



HAL
open science

:

Michel Bakni

► **To cite this version:**

| Michel Bakni. . . ICN, 2022, 978-2-9576887-1-5. <10.6084/m9.figshare.19326086>. <hal-03611066>

HAL Id: hal-03611066

<https://hal.science/hal-03611066>

Submitted on 16 Mar 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

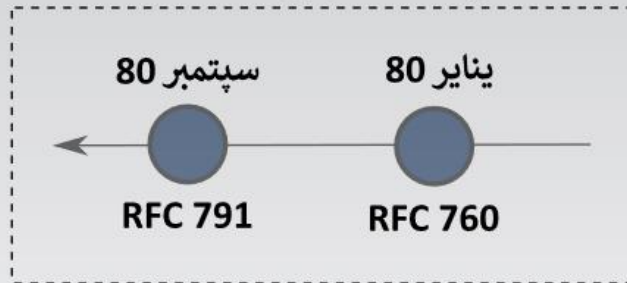
L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

بروتوكول الإنترنت: الإصداران الرَّابِع والسَّادس

الإصدار الرَّابِع IPv4



الإصدار السَّادس IPv6



تُرِكَت هذه الصَّفحة فارِغَةً عَمداً لِغرضِ تنسيقِ الكِتابِ

بروتوكول الإنترنت: الإصداران الرابع والسادس

د. ميشيل بكني

مُدَرِّس هندسة الإلكترونيات وتقانة المعلومات في المدرسة العليا للتقانات
الصناعية المتقدمة (إستيا)

2022

تُرِكَت هذه الصَّفحة فارِغَةً عَمداً لِغرضِ تنسيقِ الكِتابِ

Book Title: Internet Protocol: IPv4 & IPv6 اسم الكتاب: بروتوكول الإنترنت: الإصداران الرابع والسادس
Author: Michel Bakni المؤلف: ميشيل بكني
ISNI: 0000 0005 0354 6620 معرف الاسم القياسي الدولي:
Editor: Sandra Hanbo المحرر: ساندر هانبو
Cover design: Zeina Khoury تصميم الغلاف: زينة خوري
Publication year: 2022 سنة النشر:
Edition: 1 رقم الإصدار:
ISBN: 978-2-9576887-1-5 النظام القياسي الدولي لترقيم الكتب:
DOI: m9.figshare.19326086/10.6084 معرف الغرض الرقمي:

This book was printed at the ICN Press

ZI des Saligues, 64300 Orthez, France

Telephone number:

Email address:

0033 5 59 69 77 80

icn@imprimerie-icn.fr

طُبع هذا الكتاب في مطبعة إيسن

منطقة ساليغوس الصناعية، 64300 أورثيز، فرنسا

رقم الهاتف:

البريد الإلكتروني:

 **icn** Imprimerie
Édition

Copyright notice

The author publishes this work under Creative Commons Attribution International (CC BY 4.0)

You are free to:

- Share** — copy and redistribute the material in any medium or format
- Adapt** — remix, transform, and build upon the material for any purpose, even commercially.

This license is acceptable for Free Cultural Works.

The licensor cannot revoke these freedoms as long as you follow the license terms:

Attribution — You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.

No additional restrictions — You may not apply legal terms or technological measures that legally restrict others from doing anything the license permits.

Read the text of the full license Creative Commons Attribution 4.0 International on the following link:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>



The font used in this document is Calibri. It is a copyrighted property for Microsoft.

The font is embedded from a Microsoft word 365 application that is not for home, student, or noncommercial use.

Application license ID:

EWV_15cd13b2-4549-42f8-9d2f-00d8bd8e0e9f_ca421d4c3fbc11eecd

The illustrations used in this book are created by the author. They are all licensed under CC BY-SA Version 4.0

More information about the License can be found in appendix VII.

إشعار حقوق التأليف والنشر

يُنشر المؤلف هذا العمل وفقاً لِرخصة المشاع الإبداعيِّ الدوليَّة المُلزِمة بنسب العمل إلى مؤلِّفه (CC BY 4.0).

لك مُطلق الحُرِّيَّة في:

- المُشاركة** — نسخ وتوزيع ونقل العمل لأيِّ وسطٍ أو شكلٍ.
- التَّعديل** — المَنج والتَّحويل والإضافة على العمل. لأيِّ غرضٍ، بما في ذلك الأغراض التَّجاريَّة.

هذه الرُّخصة مُتوافقة مع أعمال التَّقافة الحُرَّة.

لا يُمكن للمُرخَّص إلغاء هذه الصَّلاحيَّات طالما أُتبعَت شروط الرُّخصة:

نسب المُصنَّف - عليك نسب العمل لِصاحبه نسباً مُناسِباً، وتوفير رابطٍ لِلترخيص، وبيان فيما إذا أُجريت أيِّ تعديلاتٍ على العمل. يُمكنك فعل هذا بأيِّ طريقةٍ مُناسِبةٍ، على ألاَّ تحضَّل ذلك بأسلوبٍ يُوجي بأنَّ المُؤلِّف أو صاحب الرُّخصة مُؤيِّد لك أو لِعملك.

منع القيود الإضافيَّة - عليك ألاَّ تُطبِّق أيِّ شروطٍ قانونيَّةٍ أو تدابيرٍ تقنيَّةٍ تُقيِّد الآخرين من مُمارسة الصَّلاحيَّات التي تُسمَح بها الرُّخصة.

اقرأ النِّصَّ الكامل لِرخصة المشاع الإبداعيِّ 4.0 عبر الرِّابط الآتي:



الخَطُّ المُستعمل في كِتابة هذا المُستند هو Calibri، وهو ملكيَّة مُحتكرة لِشركة مايكروسُوفت، ومحميٌّ بِحقوق التَّأليف والنَّشر. ضُمَّن هذا الخَطُّ في مُستند باستعمال نُسخةٍ من تطبيق مايكروسُوفت وُورد 365 غير مُخصَّصة لِلاستعمال المنزليِّ أو الطَّلابيِّ أو لِلاستعمالات غير التَّجاريَّة. مُعرِّف رُخصة التَّطبيق:

الصُّور المُستعملة في هذا الكِتَاب من إعداد المُؤلِّف وهي كُلتها مُرخَّصة بِرُخصة المشاع الإبداعيِّ الدوليَّة المُلزِمة بنسب العمل إلى مُؤلِّفه وبترخيص المُشتقَّات بالمثل 4.0 لِلمزيد من المَعْلُومَات حول رُخصة الصُّور راجع المُلحق ز.

فهرس الكِتَابِ الْمُخْتَصَرِ

ز	فهارس الكِتَابِ
ذ	مُقَدِّمَةُ الكِتَابِ
1	البَابُ الأوَّلُ: مَدخَلٌ إِلَى شَبَكَاتِ البَيَانَاتِ
3	الفصل الأوَّلُ: نَمْدَجَةُ شَبَكَةِ نَقْلِ البَيَانَاتِ
21	الفصل الثَّانِي: التَّشْبِيكُ
39	البَابُ الثَّانِي: الإِصْدَارُ الرَّابِعُ مِنْ بَرُوْتُوْكَوْلِ الإِنْتَرِنِتِ وَمُلْحَقَاتِهِ
41	الفصل الثَّالِثُ: الإِصْدَارُ الرَّابِعُ مِنْ بَرُوْتُوْكَوْلِ الإِنْتَرِنِتِ
71	الفصل الرَّابِعُ: تَجزِئَةُ فضاءِ العَنَاوِينِ
105	الفصل الخَامِسُ: البُتُّ المَجْمُوعَاتِيُّ
131	الفصل السَّادِسُ: بَرُوْتُوْكَوْلُ رَسَائِلِ التَّحَكُّمِ فِي الإِنْتَرِنِتِ
151	البَابُ الثَّالِثُ: مُشْكِلَةُ اسْتِنْفَادِ فضاءِ عَنَاوِينِ الإِصْدَارِ الرَّابِعِ وَحُلُولِهَا
153	الفصل السَّابِعُ: اسْتِنْفَادُ فضاءِ عَنَاوِينِ الإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بَرُوْتُوْكَوْلِ الإِنْتَرِنِتِ
167	الفصل الثَّامِنُ: التَّوْجِيهِ غَيْرِ الصَّنْفِيِّ بَيْنَ التَّطَاقَاتِ
181	الفصل التَّاسِعُ: تَرْجِمَةُ عُنْوَانِ الشَّبَكَةِ
201	البَابُ الرَّابِعُ: الإِصْدَارُ السَّادِسُ مِنْ بَرُوْتُوْكَوْلِ الإِنْتَرِنِتِ وَمُلْحَقَاتِهِ
203	الفصل العَاشِرُ: الإِصْدَارُ السَّادِسُ مِنْ بَرُوْتُوْكَوْلِ الإِنْتَرِنِتِ
237	الفصل الحَادِي عَشَرَ: بَرُوْتُوْكَوْلُ رَسَائِلِ التَّحَكُّمِ لِلإِصْدَارِ السَّادِسِ مِنْ بَرُوْتُوْكَوْلِ الإِنْتَرِنِتِ
255	الفصل الثَّانِي عَشَرَ: بَرُوْتُوْكَوْلُ اكْتِشَافِ الجِيرَانِ
275	المَلَاحِقُ
277	المُلْحَقُ أ: خِيَارَاتُ الإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بَرُوْتُوْكَوْلِ الإِنْتَرِنِتِ
285	المُلْحَقُ ب: أَفْضِيَةُ البُتِّ المَجْمُوعَاتِيِّ فِي الإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بَرُوْتُوْكَوْلِ الإِنْتَرِنِتِ
289	المُلْحَقُ ج: أَفْضِيَةُ مَحْجُوزَةٍ فِي الإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بَرُوْتُوْكَوْلِ الإِنْتَرِنِتِ
295	المُلْحَقُ د: أَمثَلَةٌ عَن تَجزِئَةِ فضاءِ العَنَاوِينِ وَمُلْحَقَاتِهَا
323	المُلْحَقُ هـ: الرِّسَائِلُ المُبْطَلَةُ فِي بَرُوْتُوْكَوْلِ رَسَائِلِ التَّحَكُّمِ فِي الإِنْتَرِنِتِ
327	المُلْحَقُ و: بُنَى تَرْوِيسَاتِ الإِصْدَارِ السَّادِسِ مِنْ بَرُوْتُوْكَوْلِ الإِنْتَرِنِتِ وَمُلْحَقَاتِهَا
335	المُلْحَقُ ز: بَيَانَاتُ الأشْكَالِ وَرُخْصِهَا
339	التَّعْرِيبُ
361	المَرَاجِعُ
397	كَشَافُ
418	عَن المُؤَلِّفِ

فهرس الكِتَاب المُفَصَّل

ز	فهرس الكِتَاب المُختَصِر
ح	فهرس الكِتَاب المُفَصَّل
ع	فهرس الأشكال
ش	فهرس الجداول
خ	الأيقونات المُستعملة في الكِتَاب
ذ	مُقدِّمة الكِتَاب
1	الباب الأوَّل: مَدخَلٌ إلى شَبكات البِيانات
3	1. نَمْدجة شَبكة نقل البِيانات
4	1.1. مُقدِّمة
4	2.1. مفاهيم مُجرِّدة
4	1.2.1. أطراف الاتصال
5	2.2.1. تنظيم الخِدْمات والبُرُوتوكُولات
6	1.2.2.1. النَّمُودج مُتعدِّد الطَّبقات
7	2.2.2.1. نَمُودج التَّحكُّم بين الطَّرْفِيَّات
7	3.1. أمثلة عن نماذج لِشَبكات نقل البِيانات
8	1.3.1. نَمُودج الرِّبط البِيئي لِالأنظمة المَفْتُوحة
8	1.1.3.1. تعاريف رِئِيسة
9	2.1.3.1. وصف العمل
12	3.1.3.1. بنية النَّمُودج
15	2.3.1. نَمُودج الإنترنت
16	1.2.3.1. وصف العمل
17	2.2.3.1. بنية النَّمُودج
21	2. التَّشْبِيك
22	1.2. مُقدِّمة
22	2.2. التَّعْرِيف وأصل التَّسمية
23	3.2. نَبذة تاريخيَّة
27	4.2. بنية الشَّبكة
30	5.2. وظائِف بُرُوتوكُول التَّشْبِيك
30	1.5.2. دعم نمط الاتصال
31	2.5.2. ضَبط جُودة الخِدْمة
31	3.5.2. عَنونة المُضِيفِين
32	4.5.2. تقطيع رزم البِيانات وإعادة تجميعها
33	5.5.2. التَّنْضِيد وفكُّه
35	6.5.2. التَّوْجِيه تَبَعاً لِلْمَصْدَر وتَسْجِيل المَسار
35	7.5.2. التَّحكُّم بالتَّدْفِق
36	6.2. أمثلة
36	1.6.2. الإصدار الرَّابِع مِن بُرُوتوكُول الإنترنت
37	2.6.2. الإصدار السَّادِس مِن بُرُوتوكُول الإنترنت
39	الباب الثَّانِي: الإصدار الرَّابِع مِن بُرُوتوكُول الإنترنت ومُلْحقاته
41	3. الإصدار الرَّابِع مِن بُرُوتوكُول الإنترنت
42	1.3. مُقدِّمة
42	2.3. نَبذة تاريخيَّة
45	3.3. مَبْدأ العمل
46	4.3. بنية التَّرويسة

47	الحُقُول الإِلزامِيَّة	1.4.3
49	الحُقُول الاختِياريَّة	2.4.3
50	الوظائف	5.3
50	ضَبْط جُودَةِ الخِدْمَةِ	1.5.3
52	العَنونَةُ	2.5.3
53	تعاريفُ	1.2.5.3
53	عُنْوان بَرُوتوكُول الإِنترنت	1.1.2.5.3
53	فضاء العناوين	2.1.2.5.3
57	قِناع الفضاء	3.1.2.5.3
57	عُنْوان الفضاء	4.1.2.5.3
59	عُنْوان البثِّ العامِّ	5.1.2.5.3
60	إِدارة الأفضِيَّة	2.2.5.3
60	التَّقْطِيع وإِعادة التَّجمِيع	3.5.3
60	التَّقْطِيع	1.3.5.3
62	إِعادة التَّجمِيع	2.3.5.3
64	التَّنْضِيد	4.5.3
64	التَّوجِيه تَبَعاً لِلْمَصْدَر	5.5.3
65	المُشكِلات	6.3
65	مُرْتَبِطَةٌ بِالْعَنونَةُ	1.6.3
65	استنْفاد فضاء العناوين	1.1.6.3
66	تراكِب أفضِيَّة العناوين	2.1.6.3
67	مُرْتَبِطَةٌ بِالتَّقْطِيع	2.6.3
68	بَرُوتوكولاتُ مُساعِدَةٌ	7.3
68	بَرُوتوكولاتُ اقتران العناوين	1.7.3
68	بَرُوتوكُول رسائلِ التَّحْكَم في الإِنترنت	2.7.3
69	بَرُوتوكُول إدارة مَجْمُوعَةِ الإِنترنت	3.7.3
69	جَزْمَةٌ أَمِن بَرُوتوكُول الإِنترنت	4.7.3
71	تَجزِئَةُ فضاء العناوين	4
72	مُقَدِّمَةٌ	1.4
72	نَبْذَةٌ تاريخِيَّةٌ	2.4
74	خَلْفِيَّةٌ رِياضِيَّةٌ	3.4
74	أَنْظَمَةُ العَدِّ	1.3.4
76	العَطْف المَنْطِقيُّ	2.3.4
77	مَبْدَأُ العَمَل	4.4
79	تَجزِئَةُ فضاء العناوين	5.4
79	تَجزِئَةُ فضاء عَناوين صِنْفِيٍّ	1.5.4
79	الصَّنْف A	1.1.5.4
81	الصَّنْف B	2.1.5.4
82	الصَّنْف C	3.1.5.4
83	تَجزِئَةُ فضاءٍ غيرِ صِنْفِيٍّ	2.5.4
84	آليَّةُ التَّجزِئَةِ	6.4
86	التَّجزِئَةُ مِنْ أَجْلِ عَدَدٍ مُحدَّدٍ مِنْ أفضِيَّة العناوين الجَزِئِيَّة	1.6.4
86	خوارزِمِيَّةُ العَمَل	1.1.6.4
87	المِثالُ الأوَّل	2.1.6.4
89	التَّجزِئَةُ مِنْ أَجْلِ حَجمٍ مُحدَّدٍ لفضاء العَنونَةُ الجَزِئِيَّة	2.6.4
89	خوارزِمِيَّةُ التَّجزِئَةِ	1.2.6.4
90	المِثالُ الثَّانِي	2.2.6.4

92	التجزئة من أجل عددٍ مُحدّدٍ من أفضية العناوين الجزئية مُحدّدة الحجم	3.6.4
93	المثال الثالث	1.3.6.4
94	المثال الرابع	2.3.6.4
95	التجزئة من أجل فناء ذي طولٍ مُحدّدٍ	4.6.4
96	المثال الخامس	1.4.6.4
97	المثال السادس	2.4.6.4
98	التجزئة مُتعدّدة المُستويات واستعمال أقنعة الأفضية الجزئية مُختلفة الأطوال	5.6.4
100	مُشكلات مُرتبطة بالتجزئة	7.4
100	مُشكلات مُرتبطة بالعنونة	1.7.4
100	تراكّب أفضية العناوين	1.1.7.4
100	هدر العناوين في الأفضية الجزئية الصّغيرة	2.1.7.4
101	مُشكلات مُرتبطة بالتّوجيه	2.7.4
101	زيادة أحجام جداول التّوجيه	1.2.7.4
102	تجميع المسارات غير المُلائم	2.2.7.4
105	5. البثّ المُجموعيّ	
106	1.5. مُقدّمة	
106	2.5. نظرة عامّة	
108	3.5. آليّة العمل	
109	1.3.5. إدارة المُجموعات	
109	2.3.5. شجرة البثّ المُجموعيّ	
109	1.2.3.5. البنية	
110	2.2.3.5. أنواع أشجار البثّ المُجموعيّ	
112	3.2.3.5. خوارزميات بناء الأشجار	
114	3.3.5. نطاق التّوجيه	
114	4.3.5. مجالات العنونة	
114	1.4.3.5. طبقة الشبكة	
115	2.4.3.5. طبقة الوصلة	
118	5.3.5. توجيه رزم البثّ المُجموعيّ	
119	4.5. بروتوكولات البثّ المُجموعيّ	
120	1.4.5. بروتوكولات إدارة المُجموعات	
120	1.4.4.5. بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت	
121	2.4.4.5. بروتوكول سيسكول لإدارة المجموعة	
121	3.4.4.5. بروتوكول سيسكول لإدارة مجموعة منقذ الموجه	
122	2.4.5. بروتوكولات توجيه رزم البثّ المُجموعيّ	
122	1.2.4.5. بروتوكولات توجيه رزم البثّ المُجموعيّ في الشبكات الثابتة	
123	1.1.2.4.5. بروتوكول توجيه البثّ المُجموعيّ تبعاً لشعاع المسافة	
123	2.1.2.4.5. توسعة البثّ المُجموعيّ لبروتوكول المسار الأقصر	
124	3.1.2.4.5. البثّ المُجموعيّ المُستقل عن بروتوكول التّوجيه	
125	4.1.2.4.5. بروتوكولات توجيه أخرى	
126	2.2.4.5. بروتوكولات توجيه رزم البثّ المُجموعيّ في الشبكات المُخصّصة المُتحرّكة	
128	5.5. آليات مُكّملة للبثّ المُجموعيّ	
128	1.5.5. ميزة مراقبة بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت	
129	2.5.5. التّوجيه بعكس المسار	
129	3.5.5. البثّ المُجموعيّ مُحدّد المصدر	
131	6. بروتوكول رسائل التّحكم في الإنترنت	
132	1.6. مُقدّمة	
133	2.6. نبذة تاريخيّة	

134	3.6	مبدأ العمل
135	4.6	بنية الترويسة
137	5.6	الوظائف
137	1.5.6	رسائل الإبلاغ عن الأخطاء
137	1.1.5.6	تعدُّرُ بلوغ الوجهة
140	2.1.5.6	إعادة التوجيه
142	3.1.5.6	نفاد الزمن
143	4.1.5.6	مشكلة في مُحدِّد
144	2.5.6	رسائل الاستعلام
144	1.2.5.6	رسالتا الصدى
145	2.2.5.6	رسالتا اكتشاف المُوجِّه
146	3.2.5.6	رسالتا قياس الزمن
147	6.6	التطبيقات
147	1.6.6	أمر التحقق من الاتصال
148	2.6.6	أمر تتبع المسار
149	7.6	المشكلات
151		الباب الثالث: مشكلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع وحلُّها
153	7	استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت
154	1.7	مُقدِّمة
154	2.7	خلفية عامَّة
154	1.2.7	نبذة تاريخيَّة
156	2.2.7	آليَّة تخصيص فضاء البثِّ فريد الوجهة
159	3.7	مراجِلُ الاستنفاد
163	4.7	الحلُّول المُقترحة
163	1.4.7	التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النِّطاقات
164	2.4.7	ترجمة عُنوان الشَّبكة
164	3.4.7	الإصدار السَّادس من بروتوكول الإنترنت
167	8	التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النِّطاقات
168	1.8	مُقدِّمة
168	2.8	نبذة تاريخيَّة
170	3.8	آليَّة العمل
170	1.3.8	العنونة غير الصَّنفيَّة
170	1.1.3.8	تدوين البادئة
171	2.1.3.8	هرميَّة التَّحصيل
174	2.3.8	التَّوجيه بين النِّطاقات
174	1.2.3.8	تجميع المسارات
178	2.2.3.8	قواعد إضافيَّة للتَّوجيه
179	3.2.3.8	مُشكلات التَّجميع
181	9	ترجمة عُنوان الشَّبكة
182	1.9	مُقدِّمة
183	2.9	خلفيَّة عامَّة
183	1.2.9	الأفضيَّة الخاصَّة
184	2.2.9	أرقام المنافذ
184	3.9	وصف الآليَّة
184	1.3.9	تعاريفُ واصطلاحاتُ
185	2.3.9	مبدأ العمل
187	4.9	أنماط التَّرجمة

187	1.4.9	الترجمة التقليدية
187	1.1.4.9	الترجمة التقليدية الثابتة
188	2.1.4.9	الترجمة التقليدية المتغيرة
190	3.1.4.9	الترجمة التقليدية للعنوان ورقم المنقذ
191	2.4.9	الترجمة ثنائية الاتجاه لعنوان الشبكة
192	3.4.9	الترجمة المضاعفة لعنوان الشبكة
194	5.9	اعتبارات إضافية
194	1.5.9	طبقة الشبكة
194	1.1.5.9	بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت
194	2.1.5.9	الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت
195	2.5.9	طبقة النقل
195	1.2.5.9	بروتوكول التحكم بالنقل
196	2.2.5.9	بروتوكول حزم بيانات المستخدم
197	3.2.5.9	بروتوكولات أخرى
198	6.9	مشكلات في التنفيذ
201		الباب الرابع: الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت وملحقاته
203	10	الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت
204	1.10	مقدمة
204	2.10	نبذة تاريخية
206	3.10	مبدأ العمل
208	4.10	ترويسات البروتوكول
208	1.4.10	تتابع الترويسات
210	2.4.10	ترويسة البروتوكول
211	5.10	الوظائف
211	1.5.10	العنونة
211	1.1.5.10	تعريف
212	2.1.5.10	التدوين الرياضي
213	1.2.1.5.10	تدوين العناوين والأقنعة
213	2.2.1.5.10	تدوين البادئة
214	3.1.5.10	بُنى العناوين وفقاً لنمط التوجيه
215	1.3.1.5.10	عناوين البث فريد الوجهة
219	2.3.1.5.10	عناوين البث نحو الأقرب
219	3.3.1.5.10	عناوين البث المجموعي
221	4.1.5.10	أفضية محجوزة
221	1.4.1.5.10	أفضية البث فريد الوجهة والبث نحو الأقرب
222	2.4.1.5.10	فضاء البث المجموعي
222	5.1.5.10	عناوين ملزمة
223	6.1.5.10	تهيئة العنوان الذاتية الآلية
224	7.1.5.10	إدارة فضاء العناوين: التخصيص والمنح
225	8.1.5.10	التجزئة
227	2.5.10	تقطيع رزم البيانات وإعادة تجميعها
228	1.2.5.10	التقطيع
230	2.2.5.10	إعادة التجميع
232	3.5.10	إدارة حركة البيانات
232	1.3.5.10	تعريف تدفقات حركة البيانات
232	2.3.5.10	تصنيف حركة البيانات
233	6.10	المشكلات

233	1.6.10	مُرتَبِطَةٌ بِتَقْطِيعِ الْبَيَانَاتِ
233	2.6.10	مُرتَبِطَةٌ بِإِدَارَةِ حَرَكَةِ الْبَيَانَاتِ
234	7.10	بُرُوتُوْكُولَاتٌ رَدِيفَةٌ
234	1.7.10	بُرُوتُوْكُولُ رَسَائِلِ التَّحْكُمِ فِي الْإِنْتَرْنِتِ لِلْإِصْدَارِ السَّادِسِ
235	2.7.10	بُرُوتُوْكُولُ اكْتِشَافِ الْجِيرَانِ
235	3.7.10	بُرُوتُوْكُولُ اكْتِشَافِ مُسْتَمْعِي الْبَيْتِ الْمَجْمُوعَاتِيِّ
237	11	بُرُوتُوْكُولُ رَسَائِلِ التَّحْكُمِ لِلْإِصْدَارِ السَّادِسِ مِنْ بُرُوتُوْكُولِ الْإِنْتَرْنِتِ
238	1.11	مُقَدِّمَةٌ
238	2.11	نَبْذَةٌ تَارِيخِيَّةٌ
240	3.11	مَبْدَأُ الْعَمَلِ
240	4.11	بِنِيَّةُ التَّرْوِيسَةِ
241	5.11	رَسَائِلُ الْبُرُوتُوْكُولِ
242	1.5.11	رَسَائِلُ الْإِبْلَاحِ عَنِ الْأَخْطَاءِ
242	2.5.11	تَعَدُّرُ بُلُوغِ الْوَجْهَةِ
243	3.5.11	رِزْمَةٌ مُفْرِطَةٌ فِي الطُّولِ
244	4.5.11	نَفَادُ الزَّمَنِ
244	5.5.11	مُشْكِلَةٌ فِي مُحَدِّدِ
246	6.5.11	رَسَائِلِ الْإِعْلَامِ
246	7.5.11	تَوَلِيدُ الصَّدى وَالصَّدى
246	8.5.11	إِلْتِمَاسُ الْمَوْجِّهِ وَالْإِعْلَانِ عَنْهُ
248	9.5.11	إِلْتِمَاسُ الْجَارِ وَالْإِعْلَانِ عَنْهُ
250	10.5.11	إِعَادَةُ التَّوْجِيهِ
251	11.5.11	رَسَائِلُ أُخْرَى
253	6.11	الْمُشْكِلَاتُ
255	12	بُرُوتُوْكُولُ اكْتِشَافِ الْجِيرَانِ
256	1.12	مُقَدِّمَةٌ
257	2.12	نَبْذَةٌ تَارِيخِيَّةٌ
258	3.12	مَبْدَأُ الْعَمَلِ
259	4.12	بُنَى الرِّسَائِلِ وَالخِيَارَاتِ
259	1.4.12	الرِّسَائِلُ
260	2.4.12	الخِيَارَاتُ
260	1.2.4.12	خِيَارُ عُنْوَانِ طَبَقَةِ الْوَصْلَةِ
261	2.2.4.12	خِيَارُ مَعْلُومَاتِ الْبَادِئَةِ
262	3.2.4.12	خِيَارُ تَرْوِيسَةِ إِعَادَةِ التَّوْجِيهِ
263	4.2.4.12	خِيَارُ وَحْدَةِ النَّقْلِ الْعُظْمَى
263	5.12	الْوِظَائِفُ
263	1.5.12	اكْتِشَافُ الْمَوْجِّهَاتِ وَمُلْحَقَاتِهِ
263	1.1.5.12	اكْتِشَافُ وَجُودِ الْمَوْجِّهَاتِ وَعَنَاوِينِهَا الْمَحَلِّيَّةِ وَعَنَاوِينِهَا الْفَرِيدَةِ عَالَمِيًّا فِي الشَّبَكَةِ الْمَحَلِّيَّةِ
264	2.1.5.12	اكْتِشَافُ الْبَادِئَاتِ الْمَحَلِّيَّةِ وَأَطْوَالِهَا
264	3.1.5.12	اكْتِشَافُ الْمُحَدِّدَاتِ الْمُسْتَعْمَلَةِ فِي الشَّبَكَةِ
264	2.5.12	اكْتِشَافُ الْجِيرَانِ وَمُلْحَقَاتِهِ
265	1.2.5.12	اقْتِرَانُ الْعَنَاوِينِ
266	2.2.5.12	تَحْدِيدُ الْإِسْتِعْمَالِ الْمُتَكَرِّرِ لِلْعُنْوَانِ
266	3.2.5.12	تَحْدِيدُ إِمْكَانِيَّةِ بُلُوغِ الْجَارِ
268	3.5.12	إِعَادَةُ التَّوْجِيهِ
269	6.12	الْمُشْكِلَاتُ
269	1.6.12	التَّصْنِيفُ

270	2.6.12.	أمثلة
272	7.12.	بروتوكولات ذات صلة
272	1.7.12.	توسعة الاكتشاف المعكوس للجيران
273	2.7.12.	بروتوكول اكتشاف الجيران الآمن
275		الملاحق
277	أ.	خيارات الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت
285	ب.	أفضية البث المجموعي في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت
289	ج.	أفضية محجوزة من فضاء بروتوكول الإنترنت
290	ج.1.	أولاً: الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت
291	ج.2.	ثانياً: الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت
295	د.	أمثلة عن تجزئة فضاء العناوين وملحقاتها
296	د.1.	أولاً: الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت
296	د.1.1.	التجزئة الصنفية
296	د.1.1.1.	الصنف A
296	د.1.1.1.1.	المثال الأول: حالة طول معرف الفضاء الجزئي أكبر أو يساوي 1 وأصغر تماماً من 8
297	د.2.1.1.1.	المثال الثاني: حالة طول معرف الفضاء الجزئي يساوي 8
298	د.3.1.1.1.	المثال الثالث: حالة طول معرف الفضاء الجزئي أكبر أو يساوي 9 وأصغر تماماً من 16
300	د.4.1.1.1.	المثال الرابع: حالة طول معرف الفضاء الجزئي مساو للقيمة 16
301	د.5.1.1.1.	المثال الخامس: حالة طول معرف الفضاء الجزئي أكبر أو يساوي 17 وأصغر أو يساوي من 22.
302	د.2.1.1.	الصنف B
302	د.1.2.1.1.	المثال السادس: حالة طول معرف الفضاء الجزئي أكبر أو يساوي 1 وأصغر تماماً من 8
304	د.2.2.1.1.	المثال السابع: حالة طول معرف الفضاء الجزئي مساو للقيمة 8
305	د.3.2.1.1.	المثال الثامن: حالة طول معرف الفضاء الجزئي أكبر أو يساوي 9 وأصغر أو يساوي 14
307	د.3.1.1.	الصنف C
307	د.1.3.1.1.	المثال التاسع: حالة طول معرف الفضاء الجزئي أكبر أو يساوي 1 وأصغر تماماً من 7
308	د.2.1.	التجزئة غير الصنفية:
308	د.1.2.1.	المثال العاشر: التجزئة غير الصنفية من أجل عدد محدد من للأفضية الجزئية.
310	د.2.2.1.	المثال الحادي عشر: حجم محدد للأفضية الجزئية.
311	د.3.2.1.	المثال الثاني عشر: عدد وحجم محددان للأفضية الجزئية.
312	د.4.2.1.	المثال الثالث عشر: طول محدد لقناع الأفضية الجزئية.
313	د.5.2.1.	المثال الرابع عشر: عدد محدد للأفضية الجزئية.
314	د.3.1.	استعمال أقنعة الأفضية الجزئية مختلفة الأطوال
314	د.1.3.1.	المثال الخامس عشر: فضاء جزئي من الصنف C
315	د.2.3.1.	المثال السادس عشر: فضاء جزئي من الصنف B
317	د.3.3.1.	المثال السابع عشر: فضاء جزئي من الصنف A
319	د.2.	ثانياً: الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت
319	د.1.2.	المثال الثامن عشر: المعرف ينتهي عند حدود الرباعية
320	د.2.2.	المثال التاسع عشر: المعرف ينتهي عند حدود المرتبة ستة العشرية
321	د.3.2.	المثال العشرون: المعرف ينتهي عند حدود بيت ضمن مرتبة ستة العشرية
323	هـ.	الرسائل المبذولة في بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت
327	و.	بني ترويسات الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت وملحقاتها
328	و.1.	بني الترويسات
328	و.1.1.	ترويسة خيارات المسار
328	و.2.1.	ترويسة التوجيه
330	و.3.1.	ترويسة القطعة
331	و.4.1.	ترويسة خيارات الوجهة

331	و.5.1. ترويسة المصادقة
332	و.6.1. ترويسة تأمين الحمولة بالتغليف
333	و.2. بنية الخيارات
335	ز. بيانات ورخص الأشكال
339	التعريب
340	أولاً: مسرد المصطلحات المعربة
356	ثانياً: مسرد الاختصارات
361	المراجع
362	أولاً: الأعمال المراجعة من الأقران
367	ثانياً: الكتب
367	باللغة العربية
367	باللغة الإنكليزية
368	باللغة الفرنسية
368	ثالثاً: المعايير وأدلة الاستعمال
369	رابعاً: ملاحظات تجارب الإنترنت
369	خامساً: وثائق طلب التعليقات
385	سادساً: مواقع الويب
397	كشاف
398	أولاً: أعلام
398	ثانياً: مؤسسات وكيانات
400	ثالثاً: بروتوكولات
402	رابعاً: مفاهيم وتقنيات
417	خامساً: مدن ودول
418	عن المؤلف

فهرس الأشكال

رقم الصفحة	العنوان	رقم الشكل
5	تمثيل مبسط لطرفي اتصال	1-1
6	بنية النموذج متعدد الطبقات من أجل شبكة بيانات ثلاثية الطبقات	2-1
7	بنية نموذج التحكم بين الطرقات	3-1
9	بنية نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة	4-1
10	الخدمة تبعاً لنموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة	5-1
11	البروتوكول وتقديم الخدمة عبر الطبقات المتتالية حسب نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة	6-1
12	التغليف تبعاً لنموذج الاتصال البيئي للأنظمة المفتوحة	7-1
15	نمذجة شبكة بيانات باستعمال نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة	8-1
16	بنية نموذج الإنترنت ونوع التفاعلات فيه	9-1
17	التغليف وفك التغليف في نموذج الإنترنت	10-1
19	نمذجة شبكة بيانات باستعمال نموذج الإنترنت	11-1
24	الرسالة المجمعة كما افترضها بول باران في عام 1964م	1-2
27	بنية لشبكة بيانات افترضها سيرف وخان في عام 1974م	2-2
28	نموذج شبكة بيانات اقترحه پوستل	3-2
28	مسار البيانات في أريانت	4-2
29	مخطط لبنية البوابة وعلاقتها مع بروتوكول التشبيك كما اقترحه پوستل	5-2
33	مبدأ تقطيع رزم البيانات في طبقة الشبكة	6-2
33	مخطط صندوق يظهر مسارات بيانات عبر ثلاث طبقات متتالية بوجود منضد ومفكك تنضيد	7-2
34	حالات مسارات البيانات في طبقة الشبكة تبعاً لنموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة	8-2
45	خط زمني لمراحل تطور أسلاف بروتوكول الإنترنت ولإصداراته المتنوعة	1-3
47	ترويسة الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	2-3
50	بنية خيار الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	3-3
51	بنية حقل نوع الخدمة كما اقترحتها وثيقة معيار الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	4-3
51	بنية حقل نوع الخدمة حسب مفهوم الخدمات المتميزة	5-3
53	بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	6-3
55	الأقسام الرئيسية المكونة لعنوان الإصدار الرابع والعلاقة التي تربط بين أطوالها	7-3
56	أصناف عناوين البث فريد الوجهة في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت وبنية عناوينها	8-3
56	أفضية العناوين الجزئية للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت ويظهر إلى اليمين الحجم النسبي لكل قسم	9-3
61	خوارزمية تقطيع رزم البيانات في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	10-3
63	خوارزمية إعادة تجميع رزم البيانات في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	11-3
66	مثال عن تراكب أفضية جزئية من عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	12-3
75	سرد بالمصطلحات المستعملة في أنظمة العددات المراتب	1-4
78	التغير في بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت بعد التجزئة في العنونة الصنفية	2-4
78	التغير في بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت بعد التجزئة في العنونة غير الصنفية	3-4

81	بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت في الحالات الناتجة عن تجزئة فضاء عناوين قياسي من الصنف A	4-4
82	بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت في الحالات الناتجة عن تجزئة فضاء عناوين قياسي من الصنف B	5-4
83	بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت في الحالات الناتجة عن تجزئة فضاء عناوين قياسي من الصنف C	6-4
88	بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الأول في الفصل الرابع	7-4
91	بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الثاني في الفصل الرابع	8-4
94	بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الثالث في الفصل الرابع	9-4
96	بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الخامس في الفصل الرابع	10-4
97	بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال السادس في الفصل الرابع	11-4
99	مثال عن تجزئة متعددة لفضاء عناوين قياسي من الصنف C وتوليد أقنعة شبكات جزئية مختلفة الأطوال	12-4
103	مثال عن حالة لا يمكن استخدام تجميع المسارات فيها بالشكل الأمثل	13-4
107	مبادئ إرسال رزم البيانات	1-5
108	بنية شبكة بيانات تدعم البث المجموعي	2-5
110	شجرة البث المجموعي	3-5
111	شجرتا بث مجموعاتي مبنيتان حسب مصدرين مختلفين	4-5
112	شجرة مشتركة لرزم البث المجموعي	5-5
115	الحالات المختلفة لاختبار خوارزمية حساب الشجرة المتفرعة	6-5
127	تصنيف بروتوكولات توجيه البث المجموعي في الشبكات المخصصة المتحركة	7-5
128	مثال عن استخدام ميزة مراقبة بروتوكول إدارة المجموعة في شبكة محلية	8-5
134	تغليف رزمة بروتوكول رسائل التحكم داخل رزمة بيانات الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	1-6
135	مخططا تتابع بلغة النمذجة الموحدة لوصف عمل نوعي رسائل بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت	2-6
135	بنية عامة لترويسة بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت	3-6
139	بنية رسالة تعدد بلوغ الوجهة في بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت	4-6
141	مثال عن آلية عمل رسالة إعادة التوجيه في بروتوكول رسائل التحكم للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	5-6
141	بنية رسالة إعادة التوجيه في بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت	6-6
142	بنية رسالة نفاذ الزمن في بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت	7-6
143	بنية رسالة مشكلة في محدّد في بروتوكول رسائل التحكم للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	8-6
144	بنية رسالة توليد الصدى ورسالة الصدى	9-6
146	بنية الرسائل المستعملة في آلية اكتشاف الوجهة في بروتوكول رسائل التحكم للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	10-6
147	بنية رسالة طلب الوسمة الزمنية ورسالة الردّ عليها في بروتوكول رسائل التحكم للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	11-6
148	لقطة شاشة لأمر التحقق من الاتصال في نافذة الأوامر في نظام التشغيل ويندوز 10	12-6
149	لقطة شاشة لأمر تتبع المسار في نافذة الأوامر في نظام التشغيل ويندوز 10	13-6
156	خط زمني لمشكلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	1-7
157	هرمية تخصيص فضاء الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	2-7

158	خريطة العالم السّياسيّة وتوزّع سجلّات الإنترنت الإقليميّة عليها	3-7
160	النّسبة المئويّة لفضاء الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت المُستنفد بين العامين 1994 و2007م	4-7
160	انخفاض عدّد الأفضية الحُرّة عبر الرّمن نتيجةً لاستنفاد فضاء عناوين الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت	5-7
162	استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت في مركز معلّومات الإنترنت الأوروبيّ في الفترة بين أبريل 2016 وديسمبر 2019م	6-7
162	خطّ زمنيّ لاستنفاد هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة وسجلّات الإنترنت الإقليميّة لفضاء الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت	7-7
169	الزيادة أسيّة الطّابع في عدّد المسارات المُعلّنة في الإنترنت في الفترة بين يوليو 1988 وديسمبر 1992م	1-8
171	بنية عنوان الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت في العنونة غير الصّنفية	2-8
172	مثالٌ عن عمليّة منح مُتعدّدة المراحل لفضاء عناوين للإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت	3-8
175	طوبولوجيا الشّبنة المُستعملة في مثال عمليّة تجميع المسارات	4-8
176	إعلان المُوجّهين R ₂ و R ₃ عن المسارين المُختصرين في مثال تجميع المسارات	5-8
177	الحالة النّهائية للشّبنة في مثال تجميع المسارات	6-8
179	مثالٌ عن مُشكلة في عمليّة التّجميع، مُنظمةٌ غيرت مُزوّد الخدمة، ولكنّها استمرت في استعمال الفضاء المُخصّص لها من المُزوّد القديم	7-8
186	تبديل عناوين الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت وفقاً لتقنيّة ترجمة عنوان الشّبنة	1-9
188	الترجمة التّقليديّة الثّابتة لعناوين الشّبنة	2-9
189	الترجمة التّقليديّة المُتغيّرة لعناوين الشّبنة	3-9
191	التّحميل الرّائد في الترجمة التّقليديّة لعناوين وأرقام المنافذ	4-9
192	الترجمة ثنائيّة الاتجاه لعنوان الشّبنة	5-9
193	الترجمة المُضاعفة لعنوان الشّبنة	6-9
206	خطّ زمنيّ للمعايير النّاطمة للإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت وللبروتوكولات الرّديفة له	1-10
209	أمثلة مُتنوّعة عن تتابع التّرويسات في الإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت	2-10
210	ترويسة الإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت	3-10
211	عرضٌ للمُصطلحات المُستعملة في عناوين الإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت	4-10
212	البنية العامّة لعنوان بثّ فريد الوجهة في الإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت	5-10
216	بنية عنوان البثّ فريد الوجهة العالميّ	6-10
216	بنية عنوان البثّ فريد الوجهة في الوصلة المحليّة	7-10
217	بنية عنوان البثّ فريد الوجهة المحليّ	8-10
218	بنية عنوان البثّ فريد الوجهة المحليّ في الموقع	9-10
218	بنية عنوان البثّ فريد الوجهة المُتوافق مع الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت	10-10
219	بنية عنوان البثّ فريد الوجهة المُقترن مع الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت	11-10
220	بنية عنوان البثّ المُجموعيّ	12-10
225	مثالٌ لِمَنح بادئة من الإصدار السّادس لبروتوكول الإنترنت عبر هرميّة التّحصيل	13-10
227	حالات حُدود مُعرّف الفضاء الجُزئيّ في الإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت	14-10
229	المبدأ العامّ للتّقطيع في الإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت	15-10
230	بنية رزمة بيانات الإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت النّاتجة عن إعادة تجميع القطع في المُضيف الوجهة	16-10
231	مُخطّط تدفقيّ يُبيّن خوارزمية عمليّة التّقطيع في الإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت	17-10
242	بنية رسالة تُعدّر بلوغ الوجهة	1-11

244	بنية رسالة رزمة مُفرطة في الطول	2-11
244	بنية رسالة نفاذ الرّمن	3-11
245	بنية رسالة الإبلاغ عن خطأ في مُحدّد	4-11
247	بنية الرّسالتين المُستعملتين في عمليّة توليد الصّدى	5-11
247	بنية الرّسالتين المُستعملتين في اكتشاف المُوجّهات في الشّبكة المحليّة	6-11
250	بنية الرّسالتين المُستعملتين في عمليّة اكتشاف الجيران في الشّبكة المحليّة	7-11
251	بنية رسالة إعادة التّوجيه	8-11
260	بنية عامّة لخيارات بروتوكول اكتشاف الجيران	1-12
261	بنية خيار عنوان هدف في طبقة الوصلة وخيار عنوان مصدر فيها	2-12
262	بنية خيار معلومات البادئة	3-12
262	بنية خيار ترويسة إعادة التّوجيه	4-12
263	بنية خيار وحدة النّقل العظمى	5-12
263	تبادل رسائل بروتوكول اكتشاف الجيران لغرض اكتشاف المُوجّهات في شبكة محليّة	6-12
264	تبادل رسائل بروتوكول اكتشاف الجيران لغرض اكتشاف البادئات وأطوالها في شبكة محليّة	7-12
265	تبادل رسائل بروتوكول اكتشاف الجيران لغرض إنجاز وظيفة اقتراح العناوين في شبكة محليّة	8-12
266	تبادل رسائل بروتوكول اكتشاف الجيران لغرض تحديد الاستخدام المُتكرّر للعنوان في شبكة محليّة	9-12
268	مُخطّط الحالة لآليّة تحديد إمكانيّة بلوغ الجار	10-12
269	مثال عن آليّة عمل رسالة إعادة التّوجيه في بروتوكول اكتشاف الجيران	11-12
278	بنية خيار نهاية قائمة الخيارات	1-أ
278	بنية خيار لا عمليّة	2-أ
278	بنية خيار الأمن الأساس	3-أ
279	بنية التّوجيه غير المُقيّد بمسار المُصدر	4-أ
279	بنية خيار الوسمة الرّمنيّة	5-أ
279	بنية خيار الأمن الموسّع	6-أ
280	بنية خيار الأمن التجاريّ	7-أ
280	بنية خيار المسار المُسجّل	8-أ
280	بنية خيار مُعرّف التّدفق	9-أ
281	بنية خيار التّوجيه المُقيّد بمسار المُصدر	10-أ
281	بنية خيار استشعار وحدة النّقل العظمى	11-أ
281	بنية خيار الرّدّ على استشعار وحدة النّقل العظمى	12-أ
282	بنية خيار تتبّع المسار	13-أ
282	بنية خيار إنذار المُجّه	14-أ
283	بنية خيار البثّ العامّ المُوجّه الانتقائيّ	15-أ
283	بنية خيار رزم التّيّار الصّاعد في البثّ المُجموعيّ	16-أ
296	بنية عنوان الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت النّاتج في المِثال الأوّل في المُلحق د	1-د
298	بنية عنوان الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت النّاتج في المِثال الثّاني في المُلحق د	2-د
299	بنية عنوان الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت النّاتج في المِثال الثّالث في المُلحق د	3-د
300	بنية عنوان الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت النّاتج في المِثال الرّابع في المُلحق د	4-د
302	بنية عنوان الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت النّاتج في المِثال الخامس في المُلحق د	5-د
303	بنية عنوان الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت النّاتج في المِثال السّادس في المُلحق د	6-د
305	بنية عنوان الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت النّاتج في المِثال السّابع في المُلحق د	7-د
306	بنية عنوان الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت النّاتج في المِثال الثّامن في المُلحق د	8-د
307	بنية عنوان الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت النّاتج في المِثال الثّاسع في المُلحق د	9-د

309	بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال العاشر في الملحق د	د-10
310	بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الحادي عشر في الملحق د	د-11
312	بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الثاني عشر في الملحق د	د-12
313	بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الثالث عشر في الملحق د	د-13
314	استعمال أقنعة الفضاء مختلفة الطول مع فضاء قياسي من الصنف C	د-14
316	استعمال أقنعة الفضاء مختلفة الطول مع فضاء قياسي من الصنف B	د-15
318	استعمال أقنعة الفضاء مختلفة الطول مع فضاء قياسي من الصنف A	د-16
320	بنية عنوان الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الثامن عشر في الملحق د	د-17
321	بنية عنوان الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال التاسع عشر في الملحق د	د-18
322	بنية عنوان الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال العشرين في الملحق د	د-19
328	بنية ترويسة خيارات المسار	و-1
329	بنية ترويسة التوجيه	و-2
330	بنية ترويسة القطعة	و-3
332	بنية ترويسة المصادقة	و-4
333	بنية ترويسة تأمين الحمولة بالتغليف	و-5
334	بنية الخيار العامة في الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت	و-6
334	بنية خيار الحشو	و-7

فهرس الجداول

رقم الصفحة	العنوان	رقم الجدول
12	طبقات نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة	1-1
18	طبقات نموذج الإنترنت	2-1
52	قيم حقل ترميز الخدمات المتميزة الممكنة في سلوك الإرسال المؤمن	1-3
58	القيم الثنائية والعشرية المستعملة في كتابة أفضية في خانة واحدة	2-3
58	مثال عن كيفية حساب عنوان الفضاء للعنوان 200.100.10.1 المرفق بالقناع 255.240.0.0 باستعمال عملية العطف المنطقي	3-3
59	مثال عن كيفية حساب عنوان البث العام للفضاء 200.96.0.0 المرفقة بالقناع 255.240.0.0 باستعمال عملية العطف المنطقي	4-3
73	الحدود النظرية للأصناف القياسية في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	1-4
77	جدول الحقيقة لعملية العطف المنطقي	2-4
77	عملية العطف المنطقي بين العددين $10(143)$ و $10(254)$	3-4
80	الحالات الرياضية الممكنة عند تجزئة فضاء عناوين قياسي من الصنف A	4-4
82	الحالات الرياضية الممكنة عند تجزئة فضاء عناوين قياسي من الصنف B	5-4
83	الحالات الرياضية الممكنة عند تجزئة فضاء عناوين قياسي من الصنف C	6-4
88	معرفة الأفضية الجزئية في المثال الأول في الفصل الرابع	7-4
88	عناوين الأفضية الجزئية في المثال الأول في الفصل الرابع	8-4
89	حسابات العنوان الأول الصالح والعنوان الأخير الصالح لعنوان المضيفين وعنوان البث العام للأفضية الجزئية في المثال الأول في الفصل الرابع	9-4
91	معرفة الأفضية الجزئية في المثال الثاني في الفصل الرابع	10-4
91	عناوين الأفضية الجزئية في المثال الثاني في الفصل الرابع	11-4
92	حسابات أول عنوان وآخر عنوان صالحين لعنوان المضيفين وعنوان البث العام الأفضية الجزئية في المثال الثاني في الفصل الرابع	12-4
94	معرفة الأفضية الجزئية في المثال الثالث في الفصل الرابع	13-4
94	عناوين الأفضية الجزئية في المثال الثالث في الفصل الرابع	14-4
97	عناوين الأفضية الجزئية في المثال الخامس في الفصل الرابع	15-4
98	عناوين الأفضية الجزئية في المثال السادس في الفصل الرابع	16-4
116	بعض من عناوين مجموعات البث المجموعاتي في فضاء الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت	1-5
136	رسائل بروتوكول رسائل التحكم التي ما تزال قيد الاستعمال مصنفة وفقاً للنوع	1-6
139	قيم حقل الترميز في رسالة تعدد بلوغ الوجهة ومعانيها	2-6
142	قيم حقل الترميز في رسالة إعادة التوجيه ومعانيها	3-6
143	قيمتا حقل الترميز في رسالة نفاذ الزمن ومعناهما	4-6
143	قيمتا حقل الترميز في رسالة مشكلة في محدّد ومعناهما	5-6
173	البادئات في العنوان غير الصنفية، ومكافئاتها وفقاً لعنوان الصنفية	1-8
174	عنوان الشبكات المتصلة مع منافذ الموجه R_2 والموجه R_3 في الشكل (4-8)	2-8
175	تنفيذ خوارزمية تجميع المسارات على عناوين مأخوذة من جدول توجيه الموجه R_2	3-8
176	تنفيذ خوارزمية تجميع المسارات على عناوين مأخوذة من جدول توجيه الموجه R_3	4-8
177	تنفيذ خوارزمية تجميع المسارات على عناوين مأخوذة من جدول توجيه الموجه R_1	5-8

183	بيانات الأفضية الخاصة	1-9
212	جدول تحويل مُباشر بين قِيمِ نِظامِ العِدِّ الثَّنَائِيِّ وَسِتَّةِ العَشْرِيِّ	1-10
214	أمثلة عن اختصار عناوين الإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت	2-10
215	أقسام فضاء عناوين الإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت	3-10
221	قِيمِ حَقْلِ المَجَالِ ومَعَانِيهَا في عُنْوَانِ البَتِّ المَجْمُوعَاتِيِّ لِلإِصْدَارِ السّادِسِ	4-10
227	جدولُ بِأَطْوَالِ البَادِئَاتِ المُحْتَمَلَةِ في الإِصْدَارِ السّادِسِ وأَعْدَادِ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ المُوَافِقَةِ لِكُلِّ مِنْهَا وَعَدَدِ بَتَاتِ مُعَرَّفِ المَنْعَذِ فِيهَا	5-10
241	أهمُّ رِسَائِلِ بروتوكول رِسَائِلِ التَّحْكَمِ لِلإِصْدَارِ السّادِسِ مِنْ بروتوكول الإنترنت مرتبةً وَفَقاً لِلنَّوعِ	1-11
243	قِيمِ حَقْلِ التَّرْمِيزِ في رِسَالَةِ تَعَدُّرِ بُلُوغِ الوِجْهَةِ	2-11
245	قِيمِ حَقْلِ التَّرْمِيزِ في رِسَالَةِ مُشْكَلَةٍ في مُحَدِّدِ	3-11
251	رِسَائِلِ إِعْلَامِ أُخْرَى لِدَعْمِ تَطْبِيقَاتِ الإِصْدَارِ السّادِسِ مِنْ بروتوكول الإنترنت	4-11
278	خِيارَاتِ الإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بروتوكول الإنترنت	1-أ
286	أُفْضِيَةِ البَتِّ المَجْمُوعَاتِيِّ في الإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بروتوكول الإنترنت	1-ب
290	أُفْضِيَةِ مَحْجُوزَةٍ في الإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بروتوكول الإنترنت	1-ج
291	أُفْضِيَةِ مَحْجُوزَةٍ في الإِصْدَارِ السّادِسِ مِنْ بروتوكول الإنترنت	2-ج
297	مُعَرِّفَاتِ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الأوَّلِ في المُلْحَقِ د	1-د
297	حِسابَاتِ بَعْضِ مِنَ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الأوَّلِ في المُلْحَقِ د	2-د
298	بَعْضُ مِنَ مُعَرِّفَاتِ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الثَّانِي في المُلْحَقِ د	3-د
298	حِسابَاتِ بَعْضِ مِنَ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الثَّانِي في المُلْحَقِ د	4-د
299	بَعْضُ مِنَ مُعَرِّفَاتِ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الثَّالِثِ في المُلْحَقِ د	5-د
299	حِسابَاتِ بَعْضِ مِنَ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الثَّالِثِ في المُلْحَقِ د	6-د
300	بَعْضُ مِنَ مُعَرِّفَاتِ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الرَّابِعِ في المُلْحَقِ د	7-د
301	حِسابَاتِ بَعْضِ مِنَ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الرَّابِعِ في المُلْحَقِ د	8-د
302	بَعْضُ مِنَ مُعَرِّفَاتِ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الخَامِسِ في المُلْحَقِ د	9-د
302	حِسابَاتِ بَعْضِ مِنَ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الخَامِسِ في المُلْحَقِ د	10-د
303	مُعَرِّفَاتِ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ السّادِسِ في المُلْحَقِ د	11-د
304	حِسابَاتِ بَعْضِ مِنَ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ السّادِسِ في المُلْحَقِ د	12-د
305	بَعْضُ مُعَرِّفَاتِ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ السَّابِعِ في المُلْحَقِ د	13-د
305	حِسابَاتِ بَعْضِ مِنَ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ السَّابِعِ في المُلْحَقِ د	14-د
306	بَعْضُ مِنَ مُعَرِّفَاتِ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الثَّامِنِ في المُلْحَقِ د	15-د
306	حِسابَاتِ بَعْضِ مِنَ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الثَّامِنِ في المُلْحَقِ د	16-د
308	بَعْضُ مِنَ مُعَرِّفَاتِ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ التَّاسِعِ في المُلْحَقِ د	17-د
308	حِسابَاتِ بَعْضِ مِنَ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ التَّاسِعِ في المُلْحَقِ د	18-د
309	بَعْضُ مِنَ مُعَرِّفَاتِ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ العَاشِرِ في المُلْحَقِ د	19-د
309	حِسابَاتِ بَعْضِ مِنَ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ العَاشِرِ في المُلْحَقِ د	20-د
310	بَعْضُ مِنَ مُعَرِّفَاتِ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الحَادِي عَشَرَ في المُلْحَقِ د	21-د
311	حِسابَاتِ بَعْضِ مِنَ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الحَادِي عَشَرَ في المُلْحَقِ د	22-د
312	مُعَرِّفَاتِ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الثَّانِي عَشَرَ في المُلْحَقِ د	23-د
312	حِسابَاتِ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الثَّانِي عَشَرَ في المُلْحَقِ د	24-د
313	مُعَرِّفَاتِ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الثَّالِثِ عَشَرَ في المُلْحَقِ د	25-د
313	حِسابَاتِ بَعْضِ مِنَ الأُفْضِيَةِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الثَّالِثِ عَشَرَ في المُلْحَقِ د	26-د
315	تَفَاصِيلُ أُفْضِيَةِ العِناوِينِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ الخَامِسِ عَشَرَ	27-د
315	تَفَاصِيلُ عَمَلِيَّاتِ التَّجْزِئَةِ المُتَعَدِّدَةِ في المِثَالِ الخَامِسِ عَشَرَ	28-د
316	تَفَاصِيلُ عَمَلِيَّاتِ التَّجْزِئَةِ المُتَعَدِّدَةِ في المِثَالِ السّادِسِ عَشَرَ	29-د
317	تَفَاصِيلُ أُفْضِيَةِ العِناوِينِ الجُزْئِيَّةِ في المِثَالِ السّادِسِ عَشَرَ	30-د

318	تفاصيل أفضية العناوين الجزئية في المِثال السَّابع عشر	د-31
319	تفاصيل عمليات التَّجزئة المُتعدِّدة في المِثال السَّابع عشر	د-32
320	بعضُ مِنْ مُعرِّفات الأفضية الجزئية في المِثال الثَّامن عشر في المُلحق د	د-33
320	بعضُ مِنْ عناوين الأفضية الجزئية في المِثال الثَّامن عشر في المُلحق د	د-34
321	بعضُ مِنْ مُعرِّفات الأفضية الجزئية في المِثال الثَّاسع عشر في المُلحق د	د-35
321	بعضُ مِنْ عناوين الأفضية الجزئية في المِثال الثَّاسع عشر في المُلحق د	د-36
322	بعضُ مِنْ مُعرِّفات الأفضية الجزئية في المِثال العشرون في المُلحق د	د-37
324	الرَّسائل المُبظلة في بروتوكول رسائل التَّحكُّم في الإنترنت	ه-1
336	بيانات الأشكال في موقع ويكيبيديا كُومنز	ز-1

الأيقونات المُستعملة في الكتاب¹



وَصَلَّةٌ تَسْلِسِلِيَّةٌ



شَبَكَةٌ بَيَانَاتٍ



مُوجِّهٌ



مُبَدِّلٌ



مُخَدِّمٌ



حَاسُوبٌ

¹ اعتمدنا معيار شركة سيسكو في رسم الأيقونات في أشكال الكتاب، انظره في [STD11] في نُبْت المراجع.

مُقدِّمة الكتاب

الحمد لله الذي لا يُحيط به وصف اللسان، وَيَعَجَزُ عن حصره كُلُّ ما وَضَعَ الإنسان، يُؤْتِي مَنْ يَشَاءُ نُورَ العِلْمِ والعِرْفَانِ، وَيَرْفَعُ بِهِم عن النَّاسِ ظلامَ الجهلِ والطُّغيانِ، هُوَ المُعَزِّمُ المَنانِ والرَّافِعُ المُستعان.

أَمَّا بَعْدُ،

بَدَأَ تَطْوِيرَ شَبَكَاتِ البَياناتِ في النِّصْفِ الثَّانِي مِنَ سِتِينِيَّاتِ القَرْنِ العَشْرِينَ في مَوَاقِعَ مُتَعَدِّدَةٍ مِنَ الوِلايَاتِ المُتَّحِدَةِ الأَمْرِيكِيَّةِ، وَلَجِقتْ بِهَا بَضْعَةٌ مِنَ المَوَاقِعِ في أُورُوبَةَ في مَطَلَعِ السَّبْعِينِيَّاتِ. وَلَمَّا كانَ لِكُلِّ مَوْقِعٍ فَرِيقٌ يَعمَلُ عَمَلًا مُستَقِلًّا عن سائِرِ المَوَاقِعِ وَيُشارِكُ نَتائِجَهُ مَعَهُم، فَإِنَّ هَذِهِ الشَّبَكَاتِ نَحَتَ مَنحَى مُشْتَرَكًا في تَطوُّرِها، وَلَكِنَّها اختلفتْ في بِنائها اِختِلافًا بَينًا، لِذا كانَ الوِصْلُ بَينَها مُعَقَّدًا، وَظَهَرَتِ الحَاجَةُ جَلِيَّةً لِبرُوتُوکُولِ مُشْتَرَكٍ في ما بَينَها لِتَشبيهِها بِبعضِها مَعَ بعضِ لِإنشاءِ شَبَكَةٍ جَامِعَةٍ واحِدَةٍ هي الإِنترنت، وَالتي يَعمَلُ اسمُها حَرفِيًّا الشَّبَكَاتِ المُتَشابِكة.²

وَلَم يَنْتَهِصِفْ عَقدُ السَّبْعِينِيَّاتِ قَبْلَ أن يَنْتَظِمَ وَصِفُ المُشكِلةِ السَّابِقَةِ، وَلِتَنتَظِحَ بِذَلِكَ الوِظانِفِ الَّتِي يُرادُ مِنَ بَرُوتُوکُولِ التَّشبيهِكِ أَدائُها، وَوُضِعَتِ أَيْضًا المَبادِي اللّازِمَةُ لِذَلِكَ وَصُيغَتِ المُصطَلَحاتِ الَّتِي تَخدُمُ المُطَوِّرينَ وَعُرِّفَتِ تَعرِيفًا دَقيقًا، وَلَكِنَّ الإِصدارَ المُستَقَرَّ مِنَ البرُوتُوکُولِ تَأخَّرَ حَتَّى العَامِ 1981م عَندما طُرِحَ مِعيارُ الإِصدارِ الرَّابِعِ مِنَ بَرُوتُوکُولِ الإِنترنتِ.

وَبَعدَ أن أَصبَحَتِ الإِنترنتُ مَشاعًا لِلنَّاسِ كُلِّهِم في نِهايَةِ الثَّمانِينِيَّاتِ، حَصلَتِ نَكسَةٌ لَم تَكنَ بِالحُسابانِ، فَقد تَسارَعَ اسْتِهلاكُ فِضاءِ عَناوِينِ البرُوتُوکُولِ تَسارُعًا أُسِّيًّا، وَلَم تَمضِ إِلا بَضْعَةُ سَنونٍ حَتَّى أوشَكتِ العَناوِينُ عَلى التَّفادِ. وَالوِاقِعُ أَنَّ الإِنترنتَ لَم تُطوَّرَ أساسًا لِلاستِعمالِ التَّجاريِّ الكَثيرِ، بَل كانَتِ مَشروَعًا بَحثِيًّا يُرادُ بِهِ الرِّبَطُ بَينَ مَراكِزِ صِناعةِ القَرارِ في خِصِّمِ الحَربِ الباردة، خَاصَّةً لو وَقَعَ هُجُومٌ نَوويٌّ، وَهَذِهِ المَراكِزُ مَحْدُودَةُ العَدَدِ، لِذَلِكَ اِختارَ مُصمِّمُ البرُوتُوکُولِ طُولَ العُنوانِ لِيَكونَ 32 بَيتًا، وَجَعَلَ هَذَا القَرارَ فِضاءَ البرُوتُوکُولِ مَحْدُودًا قَابلًا لِلاستِنفادِ.

وَلَم يَكنَ الِانتقالُ إِلى اسْتِعمالِ الإِصدارِ السَّادِسِ مِنَ بَرُوتُوکُولِ الإِنترنتِ مُباشِرًا، وَهُوَ الحَلُّ الَّذِي طُوِّرَ لِمُعالِجَةِ مُشكِلةِ الاسْتِنفادِ سالِفَةِ الدَّكِرِ عِلاجًا نِهايِيًّا، لَكنَّهُ مَرَّ، وَلا يَزالُ، عَبرَ مَرحَلَةٍ وَسِيطَةٍ طالَتِ أَكثَرَ مِنَ عَقدَينِ مِنَ الرِّمَنِ. فَقد طَوَّرتِ مَجْمُوعَةُ مُهندِسيِ الإِنترنتِ ما اعتَقَدَتِ أَنَّهُ حُلُولٌ قَصيرةُ الأَمَدِ هَدَفَتِ مِنها إِلى تَأخِيرِ الاسْتِنفادِ النَّهايِيِّ لِالإِصدارِ الرَّابِعِ، وَكَسِبَ بَضْعَةٌ مِنَ السَّناتِ لِحينِ تَطوِيرِ الإِصدارِ السَّادِسِ وَتَجرِبَتِهِ وَالتَّحَقُّقِ مِنَ كَوْنِهِ مُستَقَرًّا. وَلَكنَّ هَذِهِ الحُلُولُ بَلَغتْ مِنَ الفِعالِيَّةِ الغايَةِ فَاطالتْ عُمُرُ الإِصدارِ الرَّابِعِ مِنَ مُنتَهِصِ سَبعِينِيَّاتِ القَرْنِ العَشْرِينَ حَتَّى لِحَظَّةِ كِتابَةِ هَذِهِ الكَلِماتِ، وَإِن كانَتِ النَّهايَةِ قَد أَزِفَتِ، لِتَكونَ أَمْرًا مَقضِيًّا لا مَفَرَّ مِناه.

وَبِهَذَا يَكونُ بَرُوتُوکُولِ الإِنترنتِ بِإِصدارِيهِ الرَّابِعِ والسَّادِسِ قَد عَاصَرَ الإِنترنتَ مُنذُ نِشأتِها، وَكانَ بِحَقِّ عِمادِها وَالأساسِ الَّذِي قَامَتِ عَلَيهِ، لِذَلِكَ يَكتَسِبُ فَهْمَ عَمَلِهِ وَمُلاحِقاتِهِ وَمَعْرِفَةَ تاريخِهِ أَهمِّيَّةً خَاصَّةً وَهَذِهِ مَسأَلَةٌ لِزامَةٌ لِكُلِّ مَنْ يَعمَلُ في مَجالِ عُلُومِ الحاسُوبِ عَامةً، وَشَبَكَاتِ البَياناتِ خَاصَّةً. وَليسَ في المَكتَبَةِ العَرَبِيَّةِ مُؤَلَّفٌ أَفَرِدَ لَهُ، فَارتائِنًا أَن نَتصدَّى لِهُذِهِ المَسأَلَةِ،

² أصل الاسم Interconnected networks، وتختصر بأخذ الحروف الثلاثة الأولى من كل كلمة وضمها معاً ليصبح Internet.

مدفوعين بالحماسة لِملاء هذه الثَّغرة، وسدَّ هذا النَّقص، تدفعنا غيرتنا على العربيَّة ورغبتنا في إثراء مُصطلحاتها في هذا المجال الذي لا يبدو أنَّه طُرق في ما سبق وفقاً لِمَنهج بحثٍ صارمٍ قويمٍ.

وجعلنا برؤنوكول الإنترنت موضوعاً لهذا الكتاب، لتحقيق ما سبق، فأصبح مادةً لثالث مؤلِّفٍ نَصَّعه في مجالات العلوم التَّطبيقية. وها نحن نَسْتَفْتِحه، بعد الحمد والثَّناء، بمُقَدِّمةٍ مُطوَّلةٍ تُشكِّلُ جزءاً لا يتجزأً من الكتاب، وهي ضروريةٌ لفهم مَنهج البحث وآلية التَّعريب ولِقراءة الأسماء الرَّمزية للمراجع قراءةً سليمةً، وقد ربَّنا أفكارها في سبعة أقسامٍ هي:

- تأليف الكتاب
- هدفه
- بنيته
- المصاير
- مَنهج التَّعريب
- شكرٌ وعِرفان

تأليف الكتاب

لا نُبالغ إذا قلنا أنَّ إعداد هذا الكتاب قد استغرقنا ما يزيد عن نصف عقديٍّ من الرَّمن تخلَّلتها أكثر من انقطاعٍ وتوقُّفٍ. فقد وَضَعْنَا لِبَيِّنَاتِهِ الأَوَّلِ في عام 2014م، وَحَصَلْنَا حينها على نسخةٍ ورقيةٍ من معيار الإصدار الرَّابِعِ من برؤنوكول الإنترنت ومن معيار الإصدار السَّادِسِ كذلك،³ فنقلناهُما بأمانةٍ إلى العربيَّة، ونَتَجَّ عن هذا العمل ما سيُصبح الفصلين الثَّالثِ والعاشِرِ من هذا الكتاب ومَسرَّدِ مُصطلحاتٍ طويلٍ يَضُمُّ مِئاتِ الكَلِماتِ الأَعجميَّةِ ومُقابلاتِها العربيَّةِ.

ثُمَّ وَضَعْنَا كُتَيْبَ أُصولِ تجزئة الشَّبكة بعد عامين وكان ثمرة تدرسينا لِمُقَرَّرِ شبكات الحاسب لِسنواتٍ في سُوريَّة، وهو عماد الفصل الرَّابِعِ من هذا الكتاب. وانقطعنا بعدها عن التَّأليفِ لِِداعي السَّفرِ والاغتراب طلباً لِلِعِلْمِ، ولم نُعدْ لِلِكتابِ حتَّى العام 2018م، وكَتَبْنَا حينها الباب الأَوَّلُ كُلهُ والفصل الخامس ومَوْضوعه البتُّ المَجْمُوعاتيُّ، ثُمَّ تَوَقَّفْنَا مُجدِّداً لِانشغالنا بِإعداد أطروحة درجة الفلسفة في الهندسة الإلكترونيَّة، وَعَمِلْنَا في هذه الفترة أيضاً على إِنْجازِ كتاب التَّرانزستور ثنائيِّ القُطبِ⁴ الَّذِي صَدَرَ في عام 2019م، وأهمل التَّأليفِ في هذا الكتاب حتَّى كاد يُنسى.

ثُمَّ جَاءَتْ جائحة فيروس كُورونا في عام 2020م، فَحَجَرْنَا حَجراً صَحِيحاً شديداً في فرنسة، وتفرَّغنا فيه لِلِكتابةِ وأنجزنا الباب الثَّالثِ من الكتاب كُلهُ، ثُمَّ انقطعنا مُجدِّداً لِلتَّحضيرِ لِلدِّفاعِ عن الأطروحة سابقه الذِّكر، فلم نُنهِ كِتَابَةَ المُحتوى إلَّا بعد أن انقضى العام 2021م كُلهُ، وكان التَّمام حين وضعنا الفصلين الأخيرين من الكتاب في أواخر شهر ديسمبَر، ثُمَّ عملنا على تنزيده وجمع فُصوله معاً، فَخَرَجَ الشَّكْلُ النَّهائِيُّ لِلِكتابِ في شهر مارس من العام 2022م.

³ نُشيرُ إلى أنَّنا عملنا على أحدث معيارٍ للإصدار السَّادِسِ حينها، وهو وثيقة طلب التَّعليقات RFC 2460 الصَّادِرة في ديسمبَر من العام 1998م، ولكن هذا المعيار أُبطل لاحقاً في العام 2017م، عندما صَدَرَتْ، في شهر يُوليو، الوثيقة RFC 8200، فأصبحت معيار البرؤنوكول الأحدث، وكان لِزاماً علينا تحديث التَّرجمة الَّتِي أنتجناها سابقاً لِتَشْمُلَ ما وَرَدَ في المعيار الجديد.

⁴ اسم الكتاب هو "التَّرانزستور ثنائيِّ القُطبِ: القواعد والفوائِد"، ISBN: 9782957688708.

وُشير أيضاً إلى أننا نشرنا أجزاءً وإفرداً من هذا الكتاب في النسخة العربية من موسوعة ويكيبيديا بين العامين 2018 و2021م ولا يتعارض هذا مع رخصة الكتاب، وهي رخصة المشاع الإبداعي الدولية الملزمة بنسب العمل إلى مؤلفه⁵، وبذلك يكون هذا العمل، كما أردناه، لوجه الله تعالى صدقةً جاريةً وعلماً ينتفع به.

هدف الكتاب

إذا كان هدف هذا الكتاب المُباشر هو تناول برؤوتوكول الإنترنت وإصداراته ومُلاحقاته، فإن لإعداده أهدافاً أربعةً غير مُباشرة، أولها إغناء المكتبة العربية بمؤلفٍ نادرٍ في هذا الشأن، وثانيها تقديم أنموذجٍ عامٍّ للوضع والتأليف في العلوم التطبيقية، عسى أن يتبعه الهداة ويسيروا على دربه، وثالثها إعداد مسردٍ حديثٍ بالمصطلحات التقنية ذات الصلة لما في ذلك من أهميّةٍ فُصوى للباحثين والدارسين في هذا المجال، ورابعها الرّد على القائِلين باستحالة الوضع والتأليف بالعربية.

وكثما قد نظرنا إلى المكتبة العربية، فوجدناها فقيرةً فقراً مُروّعاً في هذا المجال وبأيسةً بُوساً شديداً، ولم نُعثر إلا على كُتبٍ جامعيّةٍ من سورية، بعضُها قديمٌ عفا عليه الزمن، وبعضُها سيءُ الجودة لا يُؤتمن جانبه ولا يُؤخذ به، وبعضُها يضمُّ مصطلحاتٍ غريبةً لم نألّفها ولم نُعثر لها على مثيلٍ في أيٍّ من المُعجمات التي بين أيدينا. وعثرنا أيضاً على كميّةٍ لا بأس بها من الملقّات الرقمية والمنشورات الذاتية في هذا المجال على الإنترنت، ولكنّها بالإجمال تفتقر إلى الاتساق والمنهجية، وفيها فوضىٌّ عارمةٌ في الاصطلاح والمعنى، فلم يطمئن قلبنا لأيٍّ منها، وزأينا ضرورةً وضع مؤلّفٍ جامعٍ مانعٍ.

ولمّا كنّا نعمل في المجال الجامعيّ في فرنسة، وهي مَضرب المثل في حُسن ضبط العمل وتنظيمه، وهذه ميزةٌ نفتقرها في العالم العربيّ، فقد أفدنا إفادةً كبيرةً من احتكاكنا بالخبراء والمُختصين فيها، واكتسبنا مهاراتٍ في ترتيب الأفكار وتنضيد الأعمال لم تكن مُتاحةً لنا في ما سبق، ولمّا نرتوي بعدُ من كلِّ هذا. ولمّا كانت الأعمال الموسوعة بالعربية في هذا المجال ضعيفة الجودة عامّةً، ارتأينا أن نضع هذا الكتاب وضعاً مرجعيّاً معيارياً فعنينا بترتيبه عنايةً فائقةً وقصدنا من ذلك أن نُقدّم أنموذجاً في الوضع والتأليف عسى أن يُحتذى ويُقلّد.

وإذا ما أضفنا الاستسلام للكلمات الأعجمية وعدم الإلمام الكافي بالعربية إلى غياب حُسن التنظيم، أَلفنا أنفسنا في فوضىّ المُصطلحات التي تعمُّ العالم العربيّ كافّةً، وهو داءٌ يُعيق الوضع والتأليف بالعربية. وقد عنينا بمنهج التعريب عنايةً خاصّةً لمعالجة هذه المُشكلة وشرحناه شرحاً مُفضّلاً في ما سيأتي وإهتممنا اهتماماً فائقاً بترتيب المُصطلحات في مسردٍ خاصٍّ في نهاية الكتاب ليسهل اعتمادها وتداولها والرُجوع إليها عند الحاجة وهذا جُلُّ ما نرؤو إليه ونبتغيه.

وأما الادعاءات القائلة باستحالة الوضع والتأليف في العلوم الحديثة بالعربية، فهي باطلّة مردودٌ عليها، ولا تُصدّر إلا عن جهالةٍ بماهية اللغة وركائز اللسانيات، فهي، أي اللغة، أداةٌ للتواصل، ومهمتها الرئيسية إيصال الفكرة وتوضيح المعنى، فما بالك لو كانت هذه اللغة هي العربية، وهي التي كانت لقرونٍ طويلةٍ لغة العلم والأدب، وسادت في العالم أغلبه⁶، فلم لا تتبوأ

⁵ اختصاراً CC BY 4.0، للوصول إلى نصّ الرخصة كاملةً راجع صفحة معلومات الكتاب قبل هذه المُقدمة.

⁶ انظر الفصل السابع، المُعنون: "سلاح المعرفة"، من كتاب "شمس العرب تسطع على الغرب" من تأليف زيغريد هونيكه (بالألمانية: Sigrid Hunke)، وقد وقّعنا على الطبعة الثامنة منه الصادرة في عام 1993م عن دار الجيل ودار الأفق الجديد وكلاهما في بيروت، وهي من تعريب فاروق بيضون وكمال الدسوقي. وانظر أيضاً الفصل السابع، "المُعنون "الأدب"، في الجزء الثاني من كتاب "تراث الإسلام، وهو من تأليف جوزيف شاخت ←

هذا الموقع السامي مرةً أخرى؟ أليست اليوم إحدى لغات الأمم المتحدة الرسمية الستة؟ أليست أداةً للتواصل في أكثر من عشرين دولةً حول العالم؟ ألا يتقنها كلاً أو جزئياً أكثر من مليار نسمة؟ فما المانع من الوضع والتأليف بالعربية؟ ونحن نقول لا مانع من ذلك، والمطلوب لإنجازه يسير، وهو كما تقدم تنظيم العمل وترتيب جداول الاصطلاح مع توافر الإلمام بالعربية وعُلموها، ومتى ما اجتمعت هذه، لم يبق إلا نية العمل والاجتهاد في سبيله.

بنية الكتاب

اخترنا أن نسرِد قصة هذا البروتوكول سرداً زمانياً، فركزنا على توثيق الجانب التاريخي ما استطعنا إلى ذلك سبيلاً، ونحن نرى أن لهذا أهميةً قصوى في ظلّ تسارع التطور التقني. فبدأنا، بعد مدخلٍ مختصرٍ، بالإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، ثم ناقشنا مشكلة استنفاد فضائه التي قادت إلى تطوير الإصدار السادس من البروتوكول.

ومع أننا ركزنا على الجانب التاريخي تركيزاً شديداً، إلا أننا استرسلنا أيضاً في طرح الجانب التقني وفصلنا في شرح الآليات وخوارزميات العمل. والغالب في نوع المؤلفات المشابهة لعلنا أن تكون سرديةً تتناول الجانب التاريخي وحده، فلا تَمَسُّ التفاصيل التقنية للمسألة المدروسة ولا دقائق أمورها. وقليلٌ آخرٌ من المؤلفات يتناول المادة التقنية، ولكنه يكون تناولاً جافاً لا يستسيغه حتى المختصون. ونأمل ألا نكون قد وقعنا في أيٍّ من المحظورين، بل أن نكون قد وقّقنا في جعل فصول الكتاب متوازنةً تشمل متعة السرد مع دقة التفصيل.

ويقع كتابنا هذا في أربعة أبوابٍ تضمُّ اثني عشر فصلاً:

- وأما الباب الأول، فهو مدخلٌ إلى شبكات البيانات فيه فصلان، الأول عن نمذجة هذه الشبكات وأهمّ النماذج المستعملة في توصيفها، وفيه تفصيلٌ دقيقٌ عن النماذج طبقية البنية وشرحٌ لكل طبقةٍ فيها، ويهتم الثاني بالتشبيك، وهي خدمة تُقدّمها طبقةٌ مُحدّدةٌ في نموذج شبكة البيانات، وسبب التركيز عليها هو أنها الخدمة الرئيسة التي تُقدّم نتيجةً لنشاط بروتوكولات التشبيك عند أدائها لوظائفها، ومنها الإصدار الرابع والإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت.
- وأما الباب الثاني، فهو عن الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت وملحقاته، ويضمُّ أربعة فصولٍ، أولها عن الإصدار الرابع نفسه ووظائفه التي يُؤدّيها، وثانيها عن تجزئة أفضية العناوين وما يلحق بها من آليات، وثالثها عن البثّ المجموعيّ وهو آلية توجيه يدعمها البروتوكول، ورابعها عن بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت، وهو بروتوكولٌ مُساعدٌ يستعمل لدعم عمل الإصدار الرابع.
- وأما الباب الثالث، فقد حُصص لمناقشة مشكلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت والحلول المقترحة لمعالجتها، وفيه ثلاثة فصولٍ، أولها وصفٌ لمشكلة الاستنفاد وتطورها ومناقشة

(بالألمانية: Joseph Schacht) و كليفورد بوزورث Clifford Bosworth وقد وقعنا على الطبعة الأولى منه، وهي صادرة عن المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب في الكويت في ديسمبر 1987م، وهي من تعريب حسين مؤنس وإحسان العماد ومراجعة فؤاد زكريا.

لإستراتيجيات الحُلُول، وثانيها وثالثها لمناقشة حلّين طُورًا لِمُواجهة المُشكلة ضمن الإستراتيجيّة قصيرة الأمد، هُما التّوجيه غير الصّنفّي بين النّطاقات وترجمة عُنوان الشّبكة على التّرتيب.

- وأمّا الباب الرّابع، فهو للإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت ومُلاحقاته، وهذا البروتوكول هو الحلّ النّهائيّ لِمُشكلة الاستنفاد سابقة الذّكر، وفُصول هذا الباب ثلاثٌ، أوّلها عن الإصدار السّادس نفسه، وثانيها وثالثها عن بروتوكولين مُلحقين به هُما بروتوكول رسائل التّحكّم للإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت وبروتوكول اكتشاف الجيران على التّرتيب.

وألحقنا بما أسلف سبعة ملاحقٍ تناولنا فيها مواضيع مُفصّلة لا يُمكن الاستطراد بها ضمن الفصل نفسه من غير الدّهاب بعيداً لدرجةٍ يَسْتَحِيلُ بعدها الحفاظ على الاتساق العامّ، وهذه الملاحق هي:

- المُلحق أ: وُحِصَّصَ لِحيارات الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت.
- المُلحق ب: وُحِصَّصَ لِعرض أفضية البتّ المُجموعاتيّ في الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت.
- المُلحق ج: وُحِصَّصَ لِتفصيل الأفضية المُحجّوزة في الإصدارين الرّابع والسّادس من بروتوكول الإنترنت.
- المُلحق د: وُحِصَّصَ لِتناول أمثلةٍ عن تجزئة فضاء العناوين ومُلاحقاتها في الإصدارين الرّابع والسّادس من بروتوكول الإنترنت.
- المُلحق هـ: وُحِصَّصَ لِبَيان الرّسائل المُبطلّة في بروتوكول رسائل التّحكّم في الإنترنت ولِلرّسائل الّتي لم تُذكَر تفصيلها في متن الفصل الحادي عشر المُخصّص لِبروتوكول رسائل التّحكّم للإصدار السّادس.
- المُلحق و: وُحِصَّصَ لِبُنى ترويسات الإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت ومُلاحقاتها.
- المُلحق ز: ويَعْرَضُ بيانات صور الكِتَاب ورُخصها في مَوقِع ويكيبيديا كُومنز⁷.

وزيّننا الكِتَاب بما يَقْرُب من مِمّي شَكْلٍ توضيحيّ، كُلُّها من إعدادنا ورسمنا، راعينا فيها تجريد الفكرة وابتعدنا عن الهُرج والتّلوين وما في حكم ذلك من ضُروبٍ تُبهرج الظّاهر حتّى يَضِيع الباطن، وقد رَفَعْنَا أَغْلِبُهَا على مَوقِع ويكيبيديا كُومنز باللّغتين العربيّة والإنكليزيّة تحت رُخصة مَشاعٍ إبداعيّ⁸ متوافقةٍ مع رُخصة هذا العمل، وأُفردنا، كما أشرنا سابقاً، مُلحقاً لِعرض بيانات الصُّور في المَوقِع.

وأصعب ما واجهناه في إنجاز هذا العمل هو الحفاظ على التّوازن بين السُّمول والاتساق، فكثيراً ما فكرنا بإضافة فصلٍ هُنا أو التّوسُّع في قِسمٍ ما هُناك، ثُمَّ عَدَلْنَا عن ذلك لما فيه من إضعافٍ لِمُجَمَلِ الاتساق العامّ، فلو أدخلنا هذه الإضافات لاضطرب ترتيب الأبواب والفُصول اضطراباً لا يَصِحُّ اعتماده المُؤَلَّف بعده، ولَفَقَدَ شَكْلَهُ وهَيئَتَهُ هذه. ومما تطلَّعنا لإضافته ولم نَقْدِرْ عليه بروتوكول الإنترنت المُتحرّك⁹ وتِقْنِيَّاتٍ تَسْهِيْلُ الانتقال من الإصدار الرّابع إلى السّادس وبروتوكول اكتشاف

⁷ انظر الصّفحة الرّئيسية في commons.wikimedia.org.

⁸ هي الإصدار الرّابع لِرُخصة المَشاع الإبداعيّ الدّوليّة المُلزِمة بِسَببِ العمل إلى مُؤلّفه وبترخيص المُشتقّات بِالمِثل (CC BY SA 4.0).

⁹ أصل الاسم Mobile Internet Protocol، اختصاراً MIP.

مُسْتَمِيعِي الْبَثِّ الْمَجْمُوعَاتِيَّ. وَلِهَذَا فَإِنَّا نَقُولُ بَأَنَّ هَذَا الْعَمَلَ بَعِيدٌ عَنِ الْكِمَالِ، وَلَسْنَا نَرَى فِي ذَلِكَ إِلَّا صَدَىَّ لِمَا جَاءَ فِي رِسَالَةِ الْقَاضِي عَبْدِ الرَّحِيمِ الْبَيْسَانِيَّ إِلَى عِمَادِ الدِّينِ الْأَصْفَهَانِيَّ:¹⁰

«إِنِّي رَأَيْتُ أَنَّهُ لَا يَكْتُبُ أَحَدٌ كِتَابًا فِي يَوْمِهِ، إِلَّا قَالَ فِي غَدِهِ: لَوْ غُيِّرَ هَذَا لَكَانَ أَحْسَنَ، وَلَوْ زِيدَ هَذَا لَكَانَ يُسْتَحْسَنُ، وَلَوْ قُدِّمَ هَذَا لَكَانَ أَفْضَلَ، وَلَوْ تُرِكَ هَذَا لَكَانَ أَجْمَلَ. وَهَذَا مِنْ أَعْظَمِ الْعِيْرِ، وَهُوَ دَلِيلٌ عَلَى اسْتِيْلَاءِ النَّقْصِ عَلَى جُمْلَةِ الْبَشَرِ».

مَصَادِرِ الْكِتَابِ

واعتمدنا في كتابنا هذا على سِتَّةِ أَنْوَاعٍ مِنَ الْمَصَادِرِ هِيَ الْأَعْمَالُ الْمُرَاجَعَةُ مِنَ الْأَقْرَانِ وَالْكَتُبِ وَالْمُعَايِيرِ، وَضَمَّنَاهَا أَدْلَةَ الْاسْتِعْمَالِ، وَمُلَاحَظَاتٍ تَجَارِبُ الْإِنْتَرْنِتِ وَوَنَائِقِ ظَلَبِ التَّعْلِيْقَاتِ وَمَوَاقِعِ الْوَيْبِ. وَاسْتَشْهَدْنَا بِهَذِهِ الْأَعْمَالِ فِي مَتْنِ الْكِتَابِ فِي أَكْثَرِ مِنْ ثَمَانِي مِئَةِ مَوْقِعٍ، وَأَشْرْنَا فِي كُلِّ مِنْهَا إِشْرَارَةً مُخْتَصِرَةً لِمَوْقِعِ الْاسْتَشْهَادِ فِي حَوَاشِي الصَّفْحَاتِ بِاسْتِعْمَالِ رَمُوزٍ لِلْمَرَاكِجِ فَضَّلْنَاهَا كُلَّهَا فِي ثَبْتِ فِي آخِرِ الْكِتَابِ.

- وَأَمَّا الْأَعْمَالُ الْمُرَاجَعَةُ مِنَ الْأَقْرَانِ فَهِيَ مَقَالَاتٌ بَحْثِيَّةٌ نُشِرَتْ فِي دَوْرِيَّاتٍ عِلْمِيَّةٍ مُحْكَمَةٍ مُتَنَوِّعَةٍ أَوْ شَارَكَ بِهَا مُؤَلِّفَهَا فِي مُؤْتَمَرٍ عِلْمِيٍّ، فَاطَّلَعَ عَلَيْهَا بَاحِثُونَ مُسْتَقْبِلُونَ وَرَاجِعُونَ وَأَجَازُوهَا. وَتَمْتَدُّ هَذِهِ الْأَعْمَالُ، وَعَدَدُهَا نَيْفٌ وَأَرْبَعُونَ، عَلَى أَكْثَرِ مِنْ نِصْفِ قَرْنٍ بَدَأَ مِنْ سِتِينِيَّاتِ الْقَرْنِ الْعَشْرِينَ حَتَّى تَارِيخِ نَشْرِ هَذَا الْكِتَابِ.
- وَأَمَّا الْكَتُبُ فَهِيَ مُؤَلَّفَاتٌ أَعَدَّهَا خَبْرَاءٌ مُخْتَصُّونَ فِي مَجَالِهِمْ، وَنَشَرُوهَا لِلْعُمُومِ، وَقَدْ حَاولْنَا أَلَّا نَعْتَمِدَ عَلَيْهَا اعْتِمَادًا رِئِيسِيًّا، عَلَى اعْتِبَارِ أَنَّهَا مَصَادِرٌ ثَانَوِيَّةٌ، فَعَمَلْنَا هَذَا يَعْتَمِدُ عَلَى الْأَصُولِ الْأَوَّلِيَّةِ الَّتِي رَجَعْنَا إِلَيْهَا كُلَّمَا كَانَ ذَلِكَ مُمَكِنًا، وَمَعَ ذَلِكَ فَقَدْ اسْتَشْهَدْنَا بِكُتُبٍ بِالْإِنْكَلِيزِيَّةِ وَالْفَرَنْسِيَّةِ وَالْعَرَبِيَّةِ.
- أَمَّا الْكَتُبُ الْإِنْكَلِيزِيَّةُ، وَعَدَدُهَا سَبْعَةٌ، فَبَعْضُهَا مِمَّا وَجَدْنَاهُ ذَا فَايِدَةٍ فُصُوصِيٍّ، فَاسْتَشْهَدْنَا بِهِ مَرَّاتٍ عَدِيدَةٍ فِي مَتْنِ الْكِتَابِ، وَلَكِنَّهَا فِي أَغْلِبِهَا حَوْلَ مَوَاضِيْعٍ مُخْتَصَّةٍ لَمْ نَتَطَرَّقْ لَهَا بِاسْتِغْنَاءٍ فِي كِتَابِنَا، بَلْ أَشْرْنَا إِلَيْهَا فِي الْمَتْنِ عِنْدَ اللَّزُومِ وَأَثْبَتْنَاهَا فِي مَسْرَدِ الْمَرَاكِجِ لِمَنْ أَرَادَ التَّوَسُّعَ. وَبِالإِضَافَةِ لِمَا أَثْبَتْنَاهُ، فَقَدْ اسْتَأْنَسْنَا اسْتِئْنَسًا عَامًّا بِعَدَدٍ مِنَ الْكَتُبِ وَالْمُعْجَمَاتِ الْإِنْكَلِيزِيَّةِ عِنْدَ إِعْدَادِ الْمُحْتَوَى، لَمْ نَذْكُرْهَا فِي ثَبْتِ الْمَرَاكِجِ، لَيْسَ لِغَفْلَةٍ مِئًا، وَلَكِنْ لِكِي لَا نُثْقِلَ الْمَتْنَ وَالْحَوَاشِيَّ وَنَحْمَلْهُمَا أَكْثَرَ مِمَّا يَحْتَمِلَانِ، وَنُورِدُ بَعْضًا مِنْهَا فِي مَا يَلِي، فَمِنْ الْكَتُبِ:

- ❖ A. Blank, "TCP/IP foundations". San Francisco: Sybex, 2004. ISBN: 0-7821-4370-9.
- ❖ C. Kozierok, "The TCP/IP Guide: a Comprehensive, Illustrated Internet Protocols Reference". San Francisco: No Starch Press, 2005. ISBN: 1-59327-047-X.

¹⁰ انظر الأصل في ج. 1 ص. 1042 من كتاب كشف الظنون عن أسامي الكتب والفنون لمصطفى بن عبد الله المشهور بلقب الحاج خليفة الصّادر في عام 1941م عن مكتبة المثنى في بغداد.

- ❖ A. Butterfield and J. Szymanski. "A Dictionary of Electronics and Electrical Engineering". Oxford University Press, 2018. ISBN: 978-0-19-103866-2.
- ❖ P. Laplante, "Electrical engineering dictionary". Boca Raton: CRC Press, 2000. ISBN: 978-0-19-103866-2.
- ❖ J. Gilb, "The IEEE wireless dictionary", 2^{ed} edition, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011. ISBN: 978-0-7381-6108-2.
- ❖ "Multilingual dictionary of electricity, electronics and telecommunications: with terms in nine languages and definitions in English". Geneva: International Electrotechnical Commission, 1992. ISBN:978-1-55937-185-8.

○ وأما الكُتُبُ الفرنسيَّة، فقد أَقْدنا مِن مَكْتَبَةِ مَدْرَسَةِ الْهَنْدَسَةِ حَيْثُ نَعْمَلُ إِفَادَةً خَاصَّةً، فَقَدْ عَثَرْنَا فِيهَا عَلَى كُتُبٍ عَدِيدَةٍ صَدَرَتْ فِي التَّسْعِينِيَّاتِ مِنَ الْقَرْنِ الْعَشْرِينَ، وَلِهَذَا الْمُؤَلَّفَاتِ أَهْمِيَّةٌ تَارِيخِيَّةٌ فِي رَأْيِنَا، فَكَانَتْ ذَاتَ نَفْعٍ فِي إِعْدَادِ الْبَابِ الْأَوَّلِ مِنَ الْكِتَابِ حَاصِرًا، وَقَدْ سَرَدْنَا فِي ثَبْتِ الْمَرَاكِجِ أَصُولًا اثْنَيْنِ مِنْهَا لِاعْتِمَادِنَا عَلَيْهَا اعْتِمَادًا مَلْحُوظًا، وَأَمَّا مَا سَيَأْتِي فِيهِ كُتُبٌ اسْتَأْنَسْنَا بِهَا مِنْ هَذِهِ الْمَكْتَبَةِ وَلَمْ نُورِدْهَا فِي الْمَسْرَدِ:

- ❖ F. Lepage, "Les réseaux locaux industriels : principes illustrés par des exemples". Paris: Hermès, 1991. ISBN: 2-86601-267-4.
- ❖ K. Siyan, P. Naniche and Y. Schwartz. "TCP/IP". Paris: Simon & Schuster Macmillan, 1998. ISBN: 2-7440-0391-3.

○ وأما الكُتُبُ العربيَّة، فَهِيَ فِي أَغْلِبِهَا مُعْجَمَاتٌ لُغَوِيَّةٌ عَامَّةٌ أَوْ اخْتِصَاصِيَّةٌ، فَقَدْ سَرَدْنَا ثَمَانِيَّةً مِنْهَا فِي ثَبْتِ الْمَرَاكِجِ وَأَثَرْنَا لِمَوَاقِعِ الْاسْتِشْهَادَاتِ فِي مِثْنِ الْكِتَابِ أَصُولًا. وَلَكِنَّا اسْتَأْنَسْنَا أَيْضًا فِي أَثْنَاءِ إِعْدَادِ الْمُحْتَوَى بِعَدَدٍ وَافِرٍ مِنَ الْمُعْجَمَاتِ الْاِخْتِصَاصِيَّةِ، وَلَمْ نَذْكُرْهَا فِي الثَّبْتِ، مِنْهَا:

- ❖ ت. الكيلاني، م. الكيلاني، "معجم الكيلاني لمصطلحات الحاسب الآلي"، بيروت: مكتبة لبنان ناشرون، الطبعة الثانية، 2001.
- ❖ "معجم مصطلحات المعلوماتية"، دمشق: الجمعية السورية للمعلوماتية، 2000.
- ❖ "المعجم الموحد لمصطلحات المعلوماتية"، الرباط: مكتب تنسيق التعريب، 2000، ردمك: 9881-1888-9-1.
- ❖ ي. خياط، "معجم المصطلحات العلمية والفنية" بيروت: دار لسان العرب
- ❖ المنظمة العربية للترجمة، "المنتقى: معجم المصطلحات العلمية والهندسية"، بيروت: مركز دراسات الوحدة العربية، 2012، ردمك: 978-9953-82-491-8.
- ❖ م. البرعي، ه. البرعي، ع. محمود، ح. ربحان، "معجم المصطلحات العلمية"، القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية، 2008، الطبعة الثانية عشرة، ردمك: 977-05-2086-1.

● وأما المعايير وأدلة الاستعمال، فتشمل أحد عشر مرجعاً. والمعايير هي مجموعة من المواصفات والمتطلبات لتقانة ما، تضعها هيئات ناظمة دولية أو محلية لتوحيد التنفيذ والتصنيع والاستعمال، وأما أدلة الاستعمال فهي شرح يصدر عن شركة مصنعة لتنفيذ ما لإحدى التقنيات تُحدد فيه كيفية استعمال هذا النموذج بأفضل صورة ممكنة.

● وأما ملاحظات تجارب الإنترنت، فهي وثائق أعدها مطورو الإنترنت الأوائل، ودونوا فيها أفكارهم وملاحظاتهم وتطلعاتهم عندما وضعوا لبنات الشبكة الأولى في ستينيات وسبعينيات القرن العشرين، ولكن حالة حفظ هذه الملاحظات سيئة، فبعضها مفقود تماماً وبعضها ممسوخ ضوئياً مسحاً سيئاً وبعضها غير متوفر إلا بصيغ محدّدة، ما يجعل العمل معها متعباً أشدّ التعب وغير مستحب، وأغلبها متوفر للجمهور بواسطة مجتمع الإنترنت، وقد عدنا إلى ستة منها، فاستشهدنا بها في المتن عند الحاجة وأثبتنا بياناتها في مسرد المراجع.

● وأما وثائق طلب التعليقات، فهي الأساس الذي بُني عليه هذا الكتاب، وهي منشورات رقمية يضعها مطورو تقنيات الإنترنت، وينشرها مجتمع الإنترنت منذ أكثر من خمسين سنة، وهي مجانية متاحة للجميع، ويزيد عددها في تاريخ وضع هذا الكتاب عن عشرة آلاف، وفيها توصيف وتوثيق لبروتوكولات الشبكة وتقنياتها وآلياتها كلها، وفيها أيضاً مناقشات مفيدة وتأريخ دقيق، وحالة حفظها ممتازة، وقد عدنا إلى أكثر من مئتين منها فأفدنا منها خير الإفادة وأثبتنا ما اعتمدنا عليه في مواقعها في المتن في وفصلنا في تفاصيله في ثبوت المراجع.

● وأما مواقع الويب التي استشهدنا بها، والتي يزيد عددها عن الخمسين، فهي إما قواعد بيانات لمنظمات تُشغل الإنترنت أو بيانات صحفية لا نسخة ورقية عنها أو مسودات لتطوير تقنيات توقّف العمل فيها ولم يتم. ونحن نذكر كراهة الاستشهاد بمواقع الويب إدراكاً تاماً، فهي في أغلبها لا تُحقّق شرط إمكانية التّحقّق¹¹ الذي تفرضه مناهج البحث العلمي، وبعض المواقع قد توقّف سلفاً واختفى عن الإنترنت، ولا يمكن الرجوع إليه للتّحقّق منه، لذلك عمّدنا إلى أرشفة مواقع الويب التي استشهدنا بها كلها وأثبتنا رابط الأرشيف نصّاً وتاريخه رقماً في مسرد المراجع إلى جانب تاريخ النشر للمرّة الأولى وتاريخ آخر زيارة لنا للموقع.

ورمّنا المراجع كلها بخمسة محارف تُوضَع بين قوسين معقوفين [] على أن تُشير المحارف الثلاثة الأولى إلى فئة المرجع والمحرّفين الرَّابِع والخامس إلى رقم المرجع ضمن الفئة، وجاءت الرموز كما سيأتي:

- للأعمال المراجعة من الأقران ART، من الكلمة الإنكليزية Article، نحو [ART01].
- للكُتب BK، محرّقان لتمثيل كلمة كتاب الإنكليزية وهي Book، يليها محرّف وحيد لتمثيل اللغة وهو A للعربية، نحو [BKA01]، و E للإنكليزية، نحو [BKE01]، و F للفرنسية، نحو [BKF01]، وهي الأحرف الأولى من مقابلات أسماء هذه اللغات في الإنكليزية¹².

¹¹ أصل الاسم Verifiability.

¹² أصول الأسماء: Arabic و English و French على الترتيب.

- للمعايير وأدلة الاستعمال STD، من الكلمة الإنكليزية Standard، نحو [STD01].
- لملاحظات تجارب الإنترنت IEN، بأخذ الحرف الأول من كل كلمة في العبارة الإنكليزية المقابلة، نحو [IEN01].
- لوثائق طلب التعليقات RFC، بأخذ الحرف الأول من كل كلمة في العبارة الإنكليزية المقابلة، نحو [RFC01].
- للويب WEB، وهي نفسها الكلمة الإنكليزية المقابلة نحو [WEB01].

منهج التعريب

وكُنّا قد درسنا في سنين السّباب بالعربيّة الفصحى، وهي لغة التّعليم العالي الرّسميّة في سورية، فأخذنا العُلوم والمُصطلحات كلّها بلسانٍ عربيٍّ مُبين، وما وَجدنا في ذلك مُشكلةً قُط، بل استحسانه كلّ الاستحسان، ثمّ ارتحلنا في طلب العِلْم إلى فرنسا، فدرسنا باللّغتين الفرنسيّة والإنكليزيّة، ونهلنا العلوم الحديثة بلُغاتها الأصيلة، فلم يزدنا ذلك إلا تشبُّثاً بأهميّة التّعلّم والتّعليم بالعربيّة. ثمّ درسنا في مُوسساتٍ فرنسيّةٍ وصينيّةٍ وفنزويليّةٍ، فلم نر منهم إلا الاهتمام كلّ بلغاتهم المحليّة.

ونذكر مرّةً أنّنا درسنا مُقرّر إنترنت الأشياء في أكاديميّة هواوي الصينيّة¹³، وكان في المَجْلِس كثيرٌ من الطّلبة الصّينيّين الذين يُعاني جُلهم من صعوباتٍ في التّعامل مع اللّغات الهندوأوروبية، فأنشأت جدولاً كبيراً للمُصطلحات امتدّ أكثر من عشر صفحاتٍ من القطع الكبير، فيه عُمودٌ للمُصطلح الإنكليزي وثانٍ للفرنسيّ ملأناها بالبيانات، وآخرٍ لمُفردات اللّغة الصّينيّة تركناه فارغاً لعدم معرفتنا بالصّينيّة على أن يملأه الطّلبة فيكون عوناً لهم، فملأوه كلّ في بضعة أيّام، واستحسنّت إدارة الأكاديميّة ذلك وقدرته تقديراً جَللاً.

ولم نر، في أثناء عملنا لسنواتٍ مع الفرنسيين، إلا اهتماماً كبيراً منهم بلُغتهم، وإصراراً على التّواصل بها واعتمادها في التّعلّم والتّعليم، ويندر أن يقترح فرنسيٌّ، ممّن أعرفهم، أو أن يطلب أو يُوافق على تدريس مُقرّرٍ جامعيٍّ بلُغةٍ غير الفرنسيّة، مع أنّ أغلبهم يُجيد الإنكليزيّة والإسبانيّة إجادةً تامّةً.

وعلى العكس من كلّ ما سبق، يَنشُط في البلاد العربيّة مُناوئو العربيّة نشاطاً عجبياً ويجهّدون في مُحاربة استعمالها في الحياة اليوميّة، فنراهم تارةً يُروّجون للهجات العاميّة، وطوراً للّغات الأجنبيّة، يُعدّدهم خطابٌ استعماريٌّ مُتهالكٌ عفا عليه الرّمن، ولهم في مذهبهم منهجٌ عجيبٌ وحججٌ غريبةٌ لا تستقيم، وقد تصدّى علماء العربيّة وأساتذتها المُعاصرون وردوا عليهم في كلّ محفلٍ ثَقُفُوهم به.¹⁴

وقد اعتمدنا في ضوء ما أسلف منهجاً مُتشدّداً في التّعريب، فثبتنا الكلمات عربيّة الأصول المُقابله لكلِّ مُصطلحٍ أعجميّ ما استطعنا إلى ذلك سبيلاً. فلو صادفنا كلمةً غربيّةً، رجعنا إلى المُعجمات المُختصّة التي بين أيدينا، فإن وَجدنا إجماعاً عليها، اطمأنّ قلبنا لما وَجدناه وأثبتناه، ومن الكلمات التي اعتمدنا هذا المنهج فيها كلمة "استنفاد" في مُقابل "exhaustion" و"ترويسة" في مُقابل "header".

¹³ أصل الاسمين: Internet of Things اختصاراً IoT، و Huawei ICT Academy.

¹⁴ انظر مثلاً كتاب "تاريخ الدّعوة إلى العاميّة وآثارها في مصر" لِنُفوسة سعيد، الصّادر عن دار نشر الثّقافة في الإسكندريّة في عام 1964م، وانظر أيضاً مُقدّمة كتاب "في التّعريب" الذي وَصّعه إدريس العليّ في عام 2001م، ونُشر بواسطة دار النّجاح الجديدة في الدّار البيضاء.

أمّا إذا لم نجد الكلمة في المعجمات أو لم نجد إجماعاً حول تعريبها، فإننا نعود إلى الأصل الأعجمي أولاً، ونراجع المعجمات الأعجمية لفهم معنى الكلمة وتصريفها، ثم ننظر ثانياً إلى استعمالاتها المتنوعة في السياقات التقنية، وبعد أن نفهم المعنى فهماً دقيقاً نعود ثالثاً إلى المعجمات العربية، فننقب فيها بحثاً عن معانٍ عربيةٍ مُقابلةٍ للأصول الأعجمية، ونثبتها إن وجدناها، ومن الكلمات التي اعتمدنا هذا المنهج فيها كلمة "تجزئة فضاء العناوين" في مقابل "subnetting" و"توسعة" في مقابل "plug-in" و"هجوم الوسيط" في مقابل "man-in-the-middle attack".

وأما إذا لم يَنْفَعِ المنهج السابق، فإننا ننقل، كراهةً، الكلمة الأعجمية نقلاً حرفياً (نقحرة) إلى العربية، نحو "الإنترنت" في مقابل "internet" والبروتوكول في مقابل "protocol" و"طوبولوجيا" في مقابل "topology". ولا نخفي سراً أننا عثرنا لبعضها على مُقابلاتٍ عربيةٍ، فمثلاً تُعَرَّبُ بعضُ من المعجمات الإنترنت إلى الشبكة والبروتوكول إلى الميفاق، ولكننا وجدنا هذه الكلمات ثقيلةً على اللسان، غريبةً على السمع، غير مُستحبةٍ، كما أنّها لا تُصِيبُ المعنى المُراد من اللفظ الأعجمي إصابَةً تامّةً، وقد أثبتنا الأصول المنقحرة في هذه الحالات كلّها.

وارتأينا أن يكون النصُّ في متن الكتاب عربياً بالكامل، كي لا يتشتت القارئ، فلم نرد أيّ لفظةٍ أعجميةٍ في المتن ما خلا أسماء المتحوّلات، ونقلنا الألفاظ الأعجمية كلّها إلى الحواشي، وعزّبناها مع إسنادها إلى المعجمات أصولاً وبيننا ما اجتهدنا فيه بياناً لا يقبل اللبس، كما أوردنا أصل الأسماء بلغاتها الأصلية وإلى جانبها اسم اللغة الأصل، فإن لم يذكر الاسم، فاللغة هي الإنكليزية.

وضبطنا النصَّ بالشكل صَبْطاً شبه كاملٍ، خاصّةً في حالات التّضعيف، نحو "اطمأنّ" و"الرّابع"، وعند تصريف الأفعال، نحو "يُنْتِج" و"يشمل"، وفي المواضع التي يتغيّر المعنى فيها بتباين الشّكل، نحو "يُنشئ" و"ينشأ" و"معدّل" و"معدّل"، واستثنينا الأحرف الساكنة وحركات الإعراب كي لا نُثقل النصَّ، فنُصبح قراءته مُتعبةً.

كما استعملنا الحُرُوفَ المُضافةَ للأبجدية العربية لبيان لفظ الكلمات المنقحرة لفظاً صحيحاً وهي الكاف المشروطة (ك) للصوت /g/، نحو "الإنكليزية"، والباء المثلثة (ب) للصوت /p/، نحو "سبتمبر"، والفاء المثلثة (ف) لتتوب عن الصوت /v/، نحو "نوفمبر"، وهذه الصّوائت كلّها غير موجودةٍ في العربية.

واعتمدنا على الأرقام العربية اعتماداً كاملاً وهي 0 و1 و2 و3 و4 و5 و6 و7 و8 و9، وعلى أسماء الأشهر الغربية المُعرّبة وهي على الترتيب: يناير وفبراير ومارس وأبريل ومايو ويونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر وأكتوبر ونوفمبر وديسمبر، وعلى التاريخ الميلاديّ وفقاً للتقويم الكريغوريّ وأرفقنا حرف "م" بعد كلّ ذكرٍ للسّنوات للإشارة لذلك.

ونشير إلى ثلاثة كتب أفدنا منها إفادةً جمّةً في مسألة التعريب، أولها كتاب د. عبد الكريم خليفة، رحمه الله، المُعنون "اللغة العربية والتعريب في العصر الحديث"، الصّادر عن مجمع اللغة العربية الأردنيّ في عمّان عام 1987م، فقد أفدنا منه في بناء منهج التعريب وفي توسيع مداركنا في هذا الشّأن وتحدياته. وثانيها كتاب "صناعة المعجم الحديث" لمؤلفه د. أحمد مختار عمّار، رحمه الله، الصّادر عن عالم الكتب في القاهرة عام 2009م، فقد أفدنا منه أيضاً في ترتيب مسارد المُصطلحات والاختصارات، وثالثها كتاب "فنّ الترجمة والتعريب" لمؤلفه عبّاد ديرانيّة، وهو صايدٌ عن أكاديمية حُسوب بنسخةٍ رقميّةٍ فقط في نهاية عام 2021م، وفيه تناوُلٌ لمسائلٍ كثيرةٍ في تعريب المُصطلح والتّركيب وفي نقل المعنى من لغةٍ لأخرى، وقد أطلّعنا عليه في مرحلة تنضيد الكتاب وأفدنا منه في توحيد المُصطلحات في خلال المُراجعة النهائيّة.

شُكْرٌ وَعِرْفَانٌ

ولا بُدَّ في الختام أن نذكر أساتذتنا الكرام الذين نَفَفَ على أكتافهم، والزُّملاء الأفاضل الذين ساندونا في مراحل العمل المُختلفة، كلُّ حسب وسعه، فنشكر الجميع، ونعترف بفضلهم ونفهم حقهم.

الشُّكر مَوْصُولٌ أَوَّلًا لِأَسَاتِذِنَا الْقَدِيرِ د. أُوَكْتَايَانِ كُورِيَا¹⁵ على مُساعدته القيِّمة في ترتيب الأفكار وتنسيق الطَّرح ولأنَّه كان موجوداً دائماً لِلِإِجَابَةِ عَنْ كُلِّ سُؤَالٍ نَطْرَحُهُ، خَاصَّةً فِي مَا يَتَعَلَّقُ بِمَنْهَجِيَّةِ الْعَمَلِ وَسَلَامَةِ الْبَحْثِ، وَأَيْضاً لِمْسَاهِمَتِهِ فِي إِخْرَاجِ قِسْمِ الْمَرَاجِعِ وَتَرْتِيبِهِ بِهَذَا الشَّكْلِ، وَهُوَ بِحَقِّ مَنْ عَنَاهُ الْإِمَامُ الشَّافِعِيُّ بِقَوْلِهِ:¹⁶

أخي لن تنال العلم إلا بسنةٍ
ذكاءٍ وجرصٍ واجتهادٍ وبلغةٍ
سأنيبك عن تفصيلها ببيانٍ
وصحبةً أستاذٍ وطولُ زمانٍ

وَنُودٌ أَيْضاً أَنْ نَشْكُرَ أَسَاتِذَنَا د. غَادِي مَحْمُودِي عَلَى تَخْصِيبِهِ الْوَقْتِ وَالْجُهْدِ لِقِرَاءَةِ النُّسخةِ الْأُولَى مِنَ الْكِتَابِ وَالتَّلْعِيقِ عَلَيْهَا، وَعَلَى مُرَاجَعَتِهِ الْقِيَّمةِ لِلْعَمَلِ وَمُلَاحَظَاتِهِ الدَّقِيقَةِ وَالْمُفْصَلَةِ، وَالَّتِي أَفَدَتْ مِنْهَا فِي تَصْوِيبِ بَعْضِ مِنَ الْاِعْوِجَاجَاتِ الَّتِي اعْتَرَتْ هَيْكَلَ الْعَمَلِ، فَخَرَجَ الْكِتَابُ بَعْدَهَا عَلَى هَيْئَتِهِ هَذِهِ، مُتَنَاسِقِ الْأَرْكَانِ بِدِيْعِ الْبُنْيَانِ.

وَالشُّكْرُ أَيْضاً مَوْصُولٌ لِلزُّمَلَاءِ الْأَفْضَلِ فِي مَجْمُوعَةِ وَيْكِيميديا بِلَادِ الشَّامِ¹⁷، وَهُمْ، مِنْ غَيْرِ تَرْتِيبِ، د. بَاسِمِ فُلَيْفِلِ وَعَبَّادِ دِيرَانِيَّةِ وَد. عَلَاءِ نَجَّارِ¹⁸. أَمَّا د. فُلَيْفِلِ، وَهُوَ بَاحِثٌ وَمُؤَرِّخٌ، فَفَدَتْ عُدَّتْ إِلَيْهِ غَيْرَ مَرَّةٍ فِي أَثْنَاءِ إِعْدَادِ النَّبذَاتِ التَّارِيخِيَّةِ الَّتِي تَنْصَدِرُ كُلُّ فَصْلِ، فَكَانَ خَيْرَ مَرْجِعٍ وَأَفَدْنَا مِنْهُ فِي جَعْلِ السَّرْدِ خَفِيفاً مُمْتِعاً بَعِيداً عَنِ نَمَطِيَّةِ السِّيَاقِ التَّارِيخِيِّ وَجَفَافِ التَّعَابِيرِ. وَأَمَّا الزَّمِيلُ دِيرَانِيَّةِ، فَقَدْ تَفَضَّلَ مَشْكُوراً بِمُرَاجَعَةِ مُقَدِّمَةِ الْكِتَابِ، وَأَثَرَاهَا بِمُلَاحَظَاتٍ غَنِيَّةٍ مُتَنَوِّعَةٍ، فَخَرَجَتْ بَعْدَ ذَلِكَ بِصُورَتِهَا الْحَالِيَّةِ، مُفْصَلَةً وَدَقِيقَةً وَمَنْهَجِيَّةً، وَقَدْ أَفَدْنَا أَيْضاً مِنْ كِتَابِهِ الْأَخِيرِ فِي إِعْدَادِ مَسْرَدِ الْمُصْطَلَحَاتِ كَمَا أَسْلَفْنَا. أَمَّا د. نَجَّارِ، فَقَدْ أَفَدْنَا مِنَ النِّقَاشَاتِ الْكَثِيرَةِ مَعَهُ فِي مَسَائِلِ التَّعْرِيبِ وَالتَّرْجُمَةِ، فَلَهُ بَاعٌ طَوِيلٌ فِيهَا وَلَدِيهِ مَكْتَزٌ مُصْطَلَحَاتٍ وَتَعَابِيرٍ لَا يَنْضَبُ، وَمُسَاهِمَاتِهِ فِي صِنَاعَةِ مُصْطَلَحَاتٍ جَدِيدَةٍ كَثِيرَةً بَيْنَ زَوَايَا هَذَا الْكِتَابِ.

وَلَنْ نَنْسَى مُحَرَّرَةَ الْكِتَابِ، الزَّمِيلَةَ سَانْدَرَا هَانِبُو¹⁹، وَهِيَ أَيْضاً عَضْوٌ نَشِطٌ فِي مَجْمُوعَةِ وَيْكِيميديا بِلَادِ الشَّامِ سَالِفَةُ الذِّكْرِ. فَقَدْ رَافَقْتَنِي أَكْثَرَ مِنْ عَامٍ فِي أَثْنَاءِ إِعْدَادِ هَذَا الْكِتَابِ، وَلَمْ يَمْنَعْهَا عِظَمُ الْمَسَافَةِ الَّتِي تَفْضُلُ بَيْنَ مَحَلِّي إِقَامَتِنَا مِنَ الْعَمَلِ عَلَيْهِ، فَحَرَّرَتْ نَصَّهُ وَضَبَطَتْ شَكْلَهُ وَوَحَّدَتْ الْاِصْطِلَاحَ فِيهِ، وَكَانَتْ نِعْمَ الْعَوْنِ وَخَيْرِ السَّنَدِ، وَلَمْ يَكُنْ الْكِتَابُ لِيَخْرُجَ بِهَذَا الشَّكْلِ الْأَنِيقِ الْمُنَمَّقِ مِنْ غَيْرِ لِمَسَانَتِهَا الْمُتَنَاطِرَةِ فِي كُلِّ رُكْنٍ مِنْ أَرْكَانِهِ.

¹⁵ أصل الاسم Octavian CUREA، وله المُعرِّف المَفْتُوح لِلْبَاحِثِينَ وَالْمُسَاهِمِينَ التَّالِي: ORCID: 0000-0002-5030-2088.

¹⁶ انظر النَّصَّ الْأَصِيلَ فِي ص. 49 فِي كِتَابِ "الْمُسْتَطْرَفُ فِي كُلِّ فَنٍّ مُسْتَطْرَفٌ" لِلْبُشَيْي، الصَّادِرُ عَنِ دَارِ الْأَرْقَمِ بِنِ أَبِي الْأَرْقَمِ فِي بَيْرُوتِ فِي عَامِ 2016م.

¹⁷ هِيَ مَجْمُوعَةٌ نَطَوَعِيَّةٌ عَرَبِيَّةٌ تَأَسَّسَتْ فِي عَامِ 2015م تَضُمُّ مَحَرَّرِينَ نَشِطِينَ فِي النُّسخةِ الْعَرَبِيَّةِ مِنْ مَوْسُوعَةِ وَيْكِيميديا مِنْ سُورِيَةِ وَالْأُرْدُنِ وَفِلَسْطِينِ وَلُبْنَانَ، وَهِيَ تَعْمَلُ بِالتَّعَاوُنِ مَعَ مُؤَسَّسَةِ وَيْكِيميديا فِي مَنطِقَةِ بِلَادِ الشَّامِ عَلَى تَعْزِيزِ الْمَعْرِفَةِ الْحُرَّةِ وَثِقَافَةِ الْعَمَلِ النَّطَوَعِيِّ.

¹⁸ المُعرِّف المَفْتُوح لِلْبَاحِثِينَ وَالْمُسَاهِمِينَ لِلزَّمِيلِ د. فُلَيْفِلِ هُوَ ORCID: 0000-0003-1724-0708، وَلِلزَّمِيلِ عَبَّادِ

هُوَ: ORCID: 0000-0002-1667-7580 وَلِلزَّمِيلِ د. نَجَّارِ هُوَ: ORCID: 0000-0001-6362-8899

¹⁹ المُعرِّف المَفْتُوح لِلْبَاحِثِينَ وَالْمُسَاهِمِينَ لِلزَّمِيلَةِ سَانْدَرَا هُوَ ORCID: 0000-0001-8821-0608

وأشكر أخيراً، الصديق والأخ العزيز يانك رُونُو صاحب مكتبة بلاد الشَّام²⁰ في بايُون بفرنسة، على دعمه غير المشروط في أثناء إعداد هذا الكتاب وتنضيدته، وعلى مساهمته القيِّمة في التَّواصل مع النَّاشِرين وصُولاَ لِطباعة الإصدار الورقيِّ منه.

والحمد لله أَوْلًا وأخيراً

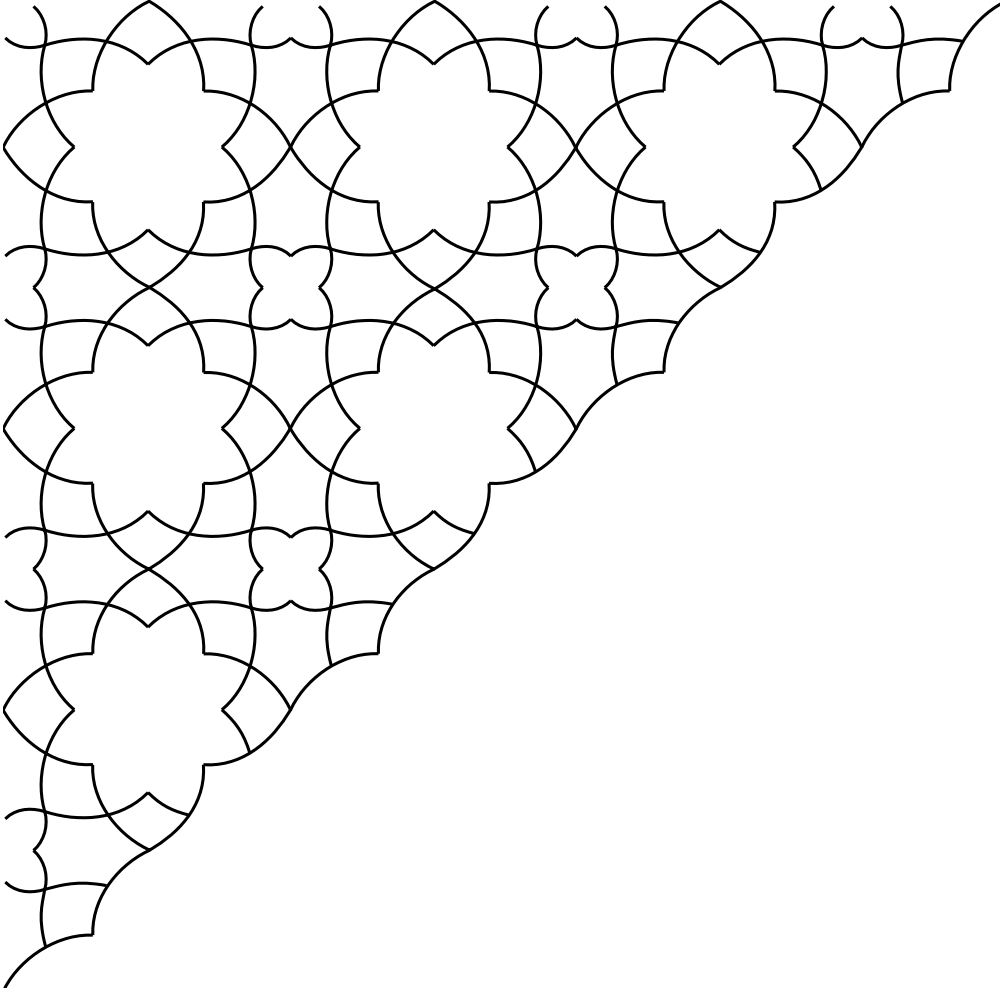
فهو غالبٌ على أمره

ووليُّ التَّوفيق

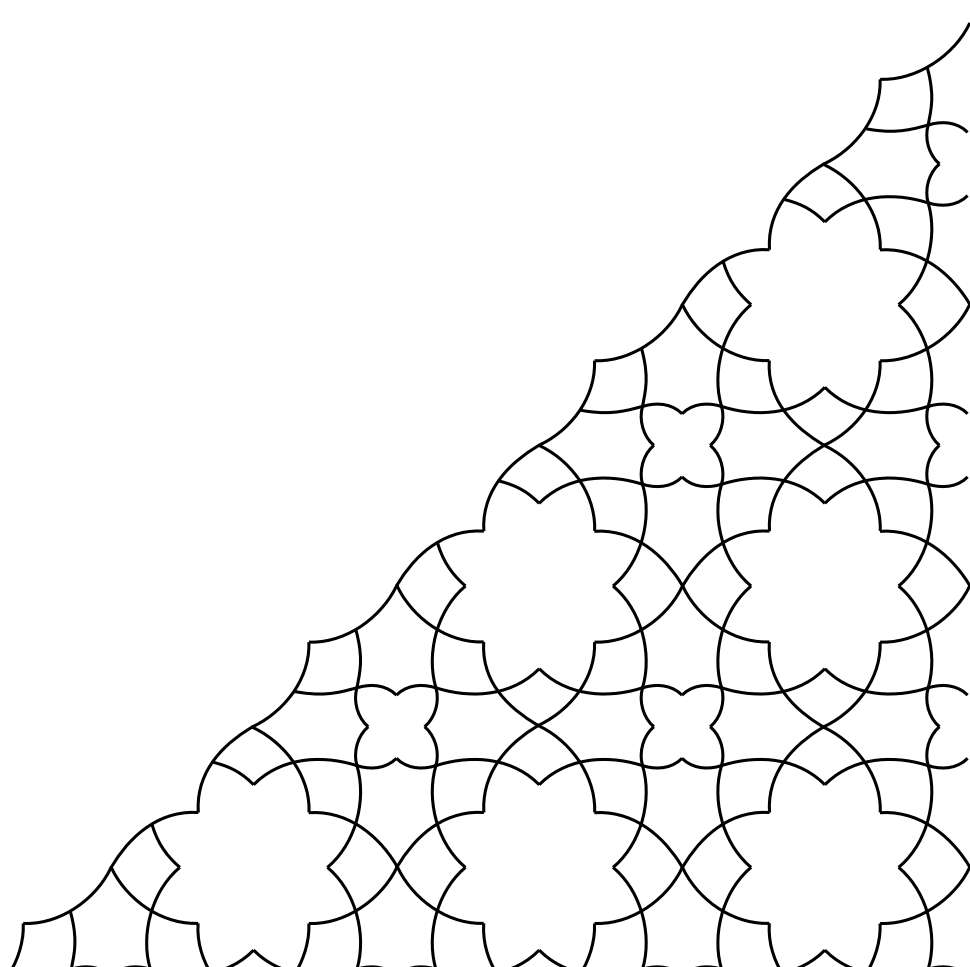
21 رجب 1443 هـ المُوافق 22 فبراير 2022م

بيدار، فرنسة

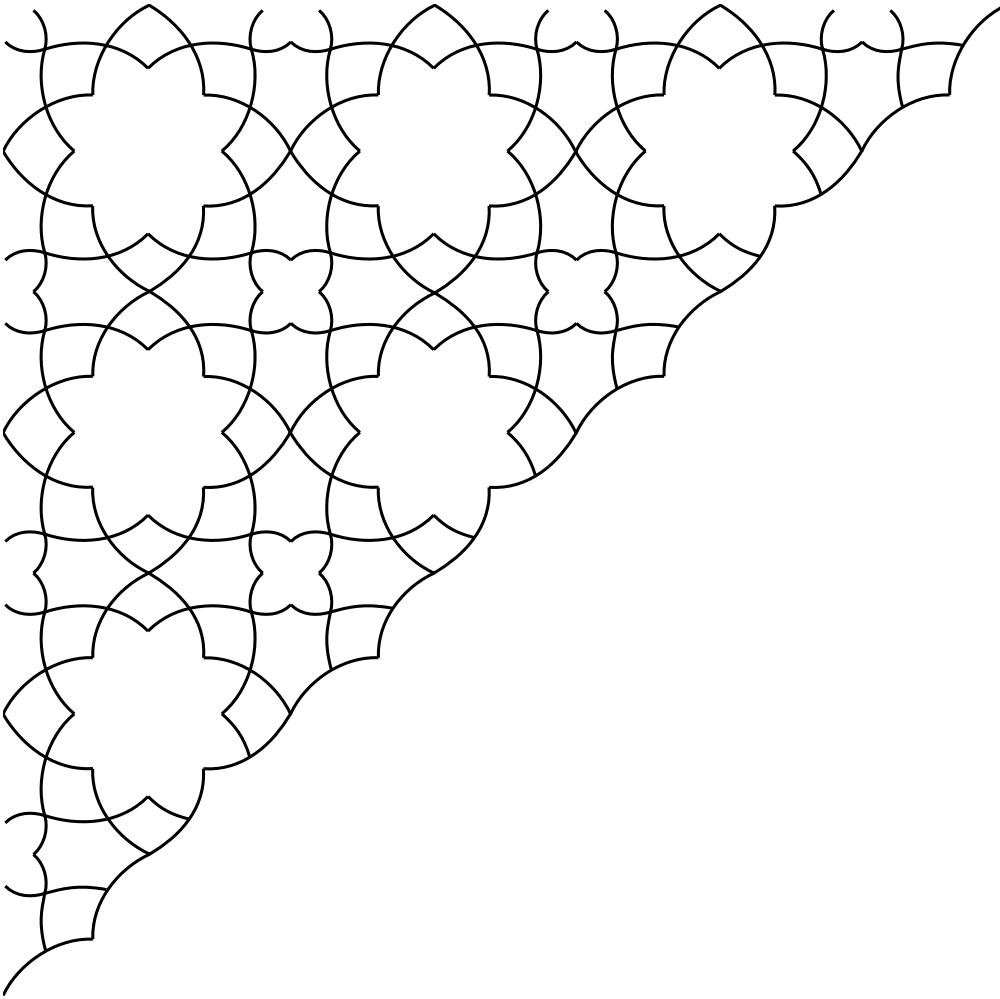
²⁰ أصل الاسم (بالفرنسيَّة: Yannick Renaud)، وأصل اسم المكتبة (بالفرنسيَّة: Librairie du Levant).



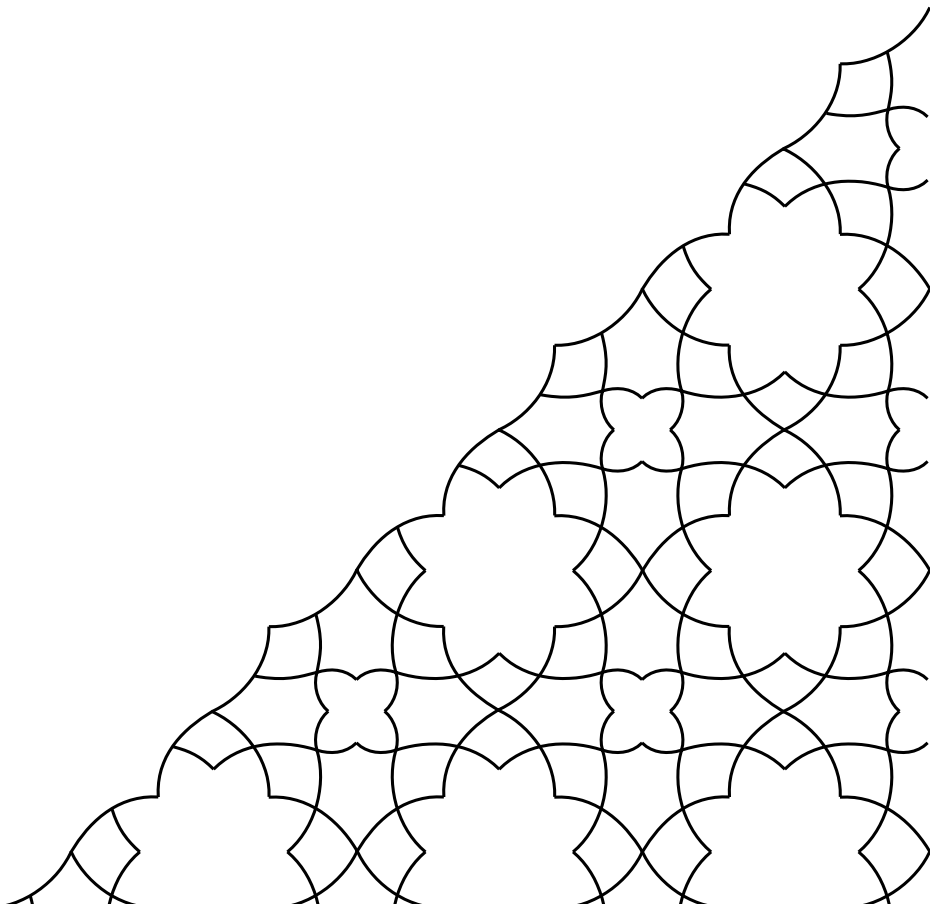
الباب الأوَّل: مَدخَلٌ إلى شَبكات البيانات



تُرِكَت هذه الصَّفحة فارِغَةً عَمداً لِغرضِ تنسيقِ الكِتابِ



الفصل الأوَّل: نَمْدَجَة شَبَكَة نَقْل البِیَانَات



مقدمة

لم يشهد تاريخ البشرية من قبل تطوراً تقنياً متسارعاً مماثلاً لما حصل في النصف الثاني من القرن العشرين. لقد تقدمت الحوسبة وتقاناتها تقدماً كبيراً، وحصلت، نتيجة لذلك، قفزة هائلة في فروع المعرفة كلها، ومن غير الممكن إنكار تأثير الحاسوب وشبكاتة في الثورة العلمية الحديثة. وأما الحاسوب فيقف وراء تسريع وتيرة معالجة البيانات وإنجاز الحسابات التي أصبحت تُنجز بسرعة غير مسبوقة، وأما الشبكات فقد جعلت مشاركة الاكتشافات والنتائج على المستوى العالمي مسألة بسيطة سهلة، ولا يُعجب إذاً من أن أول شبكة لنقل البيانات قد ربطت مراكز بحثية وجامعية في الولايات المتحدة الأمريكية.

ظهرت شبكات نقل البيانات في نهاية الستينيات من القرن العشرين، ما إن توافرت التقنية اللازمة لنجاحها، ولكن تطورها اللاحق، وتحولها من المبادئ النظرية إلى التطبيق العملي احتاج عقداً آخر من الزمن. في هذه الفترة، وضع الرواد المطورون فلسفة خاصة تُحدد نهج عمل الشبكة وإمكانية توسعها. مع أنه من غير الممكن اليوم معرفة فيما لو تطّلع هؤلاء الرواد إلى عالم متصلٍ متشابهٍ للواقع المعاش أم لا، فإن الأكيد، من غير أدنى شك، أن شبكات البيانات الحديثة كلها، قائمة دائمة على تلك المبادئ وذلك النهج الذي وضعه الجيل الأول.

ومعنى ما سبق أن الإنترنت ليست إلا رأس جبلٍ جليديٍّ ضخمٍ لا تُرى منه إلا القمة فقط، وأما السواد الأعظم من الجهود المبذولة في تطويرها وإبصارها لما هي عليه فهي حبيسة آلافٍ من الدراسات والأوراق البحثية، ولا يكاد مُستخدم الشبكة اليوم يدرك منها شيئاً. ولشدة سرعة تطور التقنيات ذوات الصلة بالإنترنت، فإن الاطلاع على هذه الدراسات والبحث فيها بات في إطار الأبحاث التاريخية أكثر من كونه شأنًا يختصُ بمسألةٍ تقنيةٍ معاصرةٍ، ولا غرابة إذاً في وجود باحثين مختصين في تاريخ تقانة المعلومات ولا في متاحفٍ مخصصةٍ لهذا الشأن.

هذا فصلٌ يَبْحَثُ في تاريخ شبكات البيانات، وفي الفلسفة الكامنة وراء تصميمها، وهو مدخلٌ لا بُدَّ من عبوره لفهم الآلية النّاطمة لعملها وأساسٍ يتركز عليه الفصل الثاني من هذا الكتاب. بالإضافة لذلك، فإن هذا الفصل وما فيه من اصطلاحاتٍ هو دعامةٌ رئيسةٌ لفهم ما سيأتي من أقسامٍ وفصولٍ لاحقةٍ بعد ذلك. يُقسّم هذا الفصل إلى قسمين: مُقدمته فيها المبادئ والأفكار المُجرّدة المُستعملة في بناء نماذجٍ لشبكات البيانات، ثمّ عرضٌ مُفصّلٌ لنموذجينٍ للشبكات هما نموذج الربط البيئيّ للأنظمة المفتوحة ونموذج الإنترنت.

مفاهيمٌ مُجرّدة

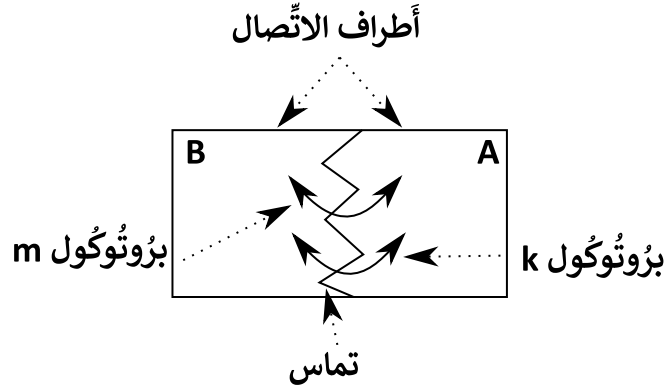
أطراف الاتصال

وظيفة شبكة البيانات الرئيسية هي دعم وتوفير السبل لتبادل البيانات بين طرفين على الأقل، يُسمى أحدهما مصدر البيانات، وهو الطرف الذي يُرسلها، ويُسمى الآخر وجهة البيانات وهو هدفها النهائي.

ليكون التعاون بين الطرفين ممكناً، لا بُدَّ من وجود طريقةٍ للتفاعل بينهما، ويمكن وصف هذا التفاعل بأنه تغييرٌ يحصل في أحدهما نتيجة فعلٍ أنجزه الطرف الآخر، وهذا يعني وجود آليةٍ للتأثير المتبادل يمكن تمثيلها بخطّ تماسٍ يُمثل الحدّ

الفاصل بين الطرفين. بالنسبة لكل طرف، فإن التماس هو معبرٌ لمجموعة الأفعال التي يمكن أن يمارسها تجاه الطرف الآخر، ولمجموعة الأفعال التي يمكن أن يمارسها الطرف الآخر نحوه أيضاً.

يقود التوصيف السابق إلى تعريف البروتوكول، وهو مجموعة من القواعد المتفق عليها بين أطراف الاتصال، وهي تُدير، بطريقة مُحددة، عملية إنجاز مهمة واحدة أو أكثر من المهام اللازمة لإنجاح الاتصال، والتي يُشار إليها باسم الخدمة. بكلمات أخرى، يمكن تعريف البروتوكول بأنه علاقة بين طرفين أو أكثر من أجل أداء خدمة ما في الشبكة أداءً مُحددًا. وإذا أراد الطرفان إنجاز أكثر من خدمة في الوقت عينه استعمالاً أكثر من بروتوكول. ويُظهر الشكل (1-1) المفهوم السابق، ويظهر فيه بروتوكولان، هما k و m ، يربطان بين طرفي اتصال هما A و B .



الشكل (1-1): تمثيل مبسط لطرفي اتصال

تنظيم الخدمات والبروتوكولات

يعتمد تنظيم الخدمات في الشبكة على كيفية إنجاز كلٍّ منها. فإذا كانت الخدمة مُقدمة في طرف اتصال وحيد، فإنها تُوصف بأنها خدمة مركزية، أمّا لو تطلّب إنجازها تدخل أكثر من طرفٍ فإنها تُسمى خدمة مُوزعة. على سبيل المثال، مُراقبته وسط الاتصال تحسباً لاستقبال رزم البيانات هي خدمة بسيطة تُحصل في كلِّ طرفٍ على حدة، ومثلها تنسيق البيانات قبل إرسالها عبر الشبكة، فكلُّ طرفٍ يُنسق البيانات ويُعدّها بالشكل المناسب للإرسال وحده ومن غير تدخل الأطراف الأخرى. أمّا نقل البيانات عبر الشبكة فهي خدمة مُعقدة لأنها تتطلّب تفاعل طرفين على الأقلّ هما مصدر البيانات ووجهتها بالإضافة لأيّ عُقدة وسيطة موجودة على المسار الذي ستسلكه.

وبعض من الخدمات، نحو التوجيه²¹، هي مثالٌ عن خدمة شبكية قد تكون مُوزعة أو مركزية. فقد يجمع طرف واحد البيانات عن الشبكة ثمّ يُنجز الحسابات الرياضية لتحديد أفضل المسارات نحو كلِّ وجهةٍ ممكنة في الشبكة، ثمّ يُعمّم هذه الحسابات على عُقد الشبكة كلّها، وسيكون التوجيه عندها خدمة مركزية. وقد تُجري كلُّ عُقدة في الشبكة، عند حاجتها، الحسابات اللازمة لتحديد المسارات التي تُريدها فقط، وهكذا فإنّ الوظيفة تُصبح مُوزعة تُنجزها أطراف مُعدّدة في الشبكة.

²¹ أصل الاسم Routing هو إرشاد رزمة بياناتٍ إلى المسار الذي ستسلكه من مصدرها إلى وجهتها (انظر ص. 333 في [BKE01] في نُبث المراجع).

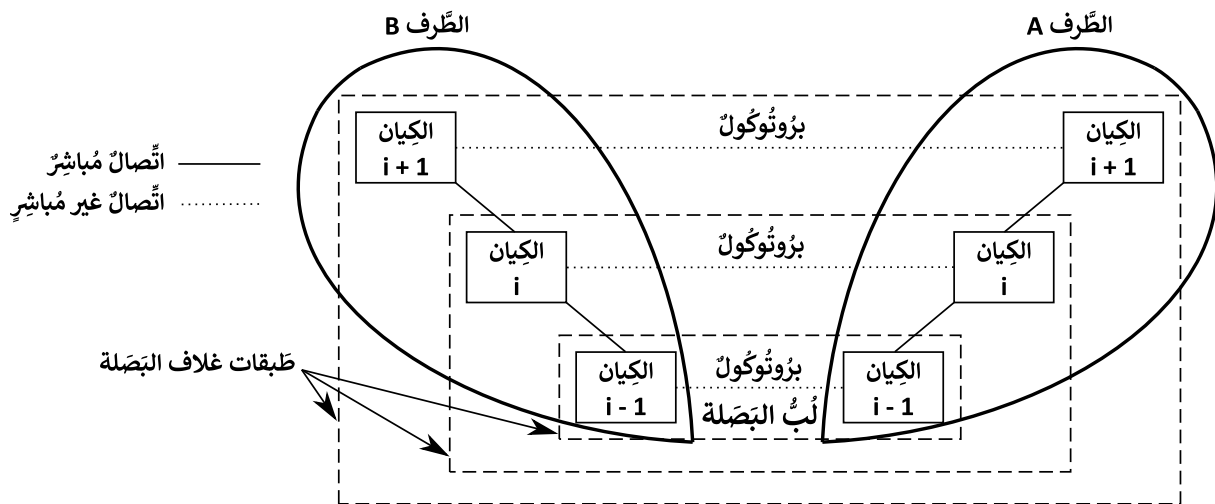
وسواء كانت الخدمة مركزيّة أو موزعة، فإنّ البروتوكولات، عبر أدائها مجموعة من الوظائف، هي التي تُحدّد الآليات اللازمة لتقديم الخدمة والكيفية التي تُقدّم بها.

تُناقش الفقرات التالية العلاقة بين الطّرفيّات والبروتوكولات من خلال وصف بنية نموذجين لشبكات البيانات هما: 22

- النموذج متعدّد الطبقات
- نموذج التحكم بين الطّرفيّات

النموذج متعدّد الطبقات

تُعامل الشّبكة في هذه النموذج معاملة بصلة ذات قشرة متعدّدة الطبقات، ويُشبهه كلّ طرفٍ بمحورٍ يخترق طبقات البصلة كلّها وُصُولاً إلى مركزها الذي يُمثّل وسط الاتّصال (الشكل 2-1). ينقسم كلّ طرفٍ إلى عدديّ من الكيانات أو الأنظمة الفرعيّة التي يُوَدّي كلّ منها خدمةً واحدةً مُحدّدةً أو أكثر، ويتموضع كلّ كيانٍ على المحور في طبقةٍ من طبقات البصلة، ويتّصل اتّصلاً مُباشراً مع الكيانات الموجودين في الطبقتين اللتان تقعان أعلى وأدنى الطبقة حيث يوجد، وبشكلٍ غير مُباشرٍ مع الكيانات التي تنتمي لأطرافٍ أخرى ولكنها تقع في طبقتها نفسها، وتدير البروتوكولات هذه الاتّصالات غير المُباشرة.



الشكل (2-1): بنية النموذج متعدّد الطبقات من أجل شبكة بيانات ثلاثية الطبقات

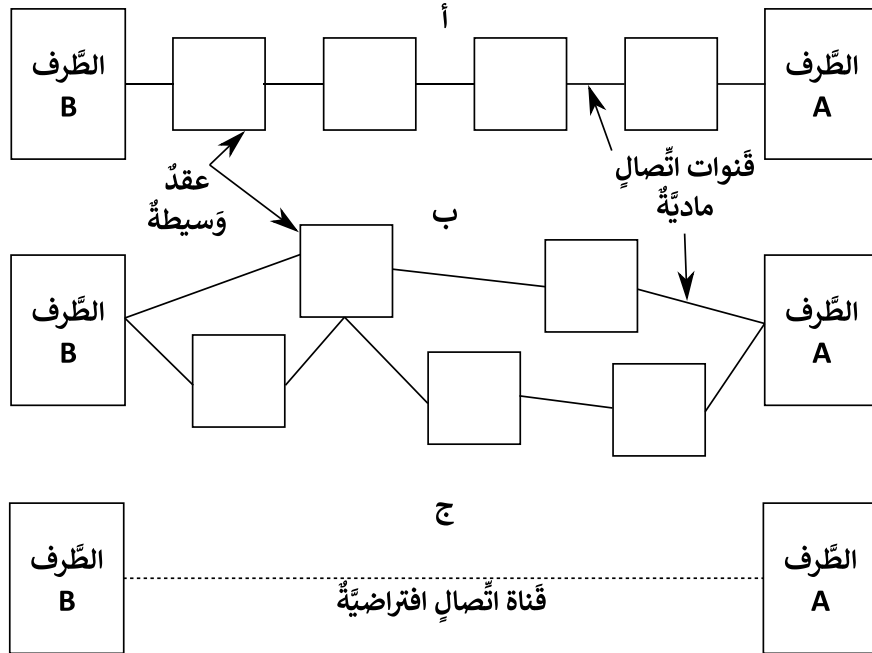
إذا مثّل النموذج اتّصلاً بين طرفين فقط، فسيوجد كيانٌ واحدٌ على الأقل في كلّ طبقةٍ من أجل كلّ طرفٍ، وتكون مهمّة البروتوكولات هي نقل البيانات بين هذين الكيانات. لا يحصل النقل مُباشرةً لعدم وجود اتّصال ماديّ بين الطرفين إلا في لبّ البصلة. فعلى سبيل المثال، لو كان الكيانان في الطبقة i من النموذج، فلا بدّ أن تمرّ البيانات المراد نقلها عبر طبقات الشّبكة ذوات المراتب $i - 1$ و $i - 2$... إلخ نُزولاً إلى اللبّ. ولكنّ الكيان الموجود في الطبقة i لا يُدرك العمليّة السّابقة، ويكتفي بتشغيل البروتوكول ذي الصّلة وبالتعامل مع الطبقتين اللتين تقعان أعلى طبقته وأدناها فقط.

22 هذا الاسم من تعريينا، وهو يُسمّى أيضاً نموذج قشرة البصلة Onion skin model، والآخر End-to-end control model. وللمزيد حولهما انظر ص. 45 في [BKF01] في نُبْت المراجع.

يَسْمَحُ النَّمُودَجُ مُتَعَدِّدُ الطَّبَقَاتِ بِإِظْهَارِ التَّفَاعُلَاتِ بَيْنَ المَكُونَاتِ المَوْجُودَةِ فِي الطَّرْفِ نَفْسِهِ، وَبَيْنَ المَكُونَاتِ المَوْزَعَةِ عَلَى أَطْرَافٍ عَدِيدَةٍ وَلَكِنَّهَا تَقَعُ كُلُّهَا فِي طَبَقَةٍ وَحِيدَةٍ، وَلِذَلِكَ، فَإِنَّ هَذَا النَّمُودَجَ يُنَاسِبُ دِرَاسَةَ تَفَاعُلِ البُرُوتُوكُولَاتِ بَعْضُهَا مَعَ بَعْضٍ وَمَعَ أَطْرَافِ الاِتِّصَالِ المُخْتَلِفَةِ.

نَمُودَجُ التَّحْكَمِ بَيْنَ الطَّرْفِيَّاتِ

هُوَ نَمُودَجٌ لِشَبَكَاتِ البَيَانَاتِ يُرَكِّزُ عَلَى تَوْضِيحِ العِلَاقَةِ الَّتِي تُرْبِطُ بَيْنَ طَرَفِي اتِّصَالٍ أَوْ أَكْثَرَ بِمَعزِلٍ عَنِ البِنِيَةِ المَادِيَّةِ الَّتِي تَصِلُ بَيْنَهُمَا. يُعَامِلُ هَذَا النَّمُودَجُ أَطْرَافَ الاِتِّصَالِ عَلَى أَنَّهَا كِيَانَاتٌ صَمَاءٌ مُهْمَلَةٌ التَّفَاصِيلُ تَنشِطُ البُرُوتُوكُولَاتِ فِي مَا بَيْنَهَا مِنْ غَيْرِ الِاهْتِمَامِ بِمَكُونَاتِهَا الدَّاخِلِيَّةِ. تُنشِئُ البُرُوتُوكُولَاتُ قَنَوَاتٍ افْتِرَاضِيَّةً بَيْنَ الأَطْرَافِ وَتَتَبَادَلُ الرِّسَالُ عِبْرَهَا. تُكُونُ القَنَوَاتُ مُسْتَقِلَّةً عَنِ البِنِيَةِ المَادِيَّةِ لِشَبَكَةِ، فَقَدْ يَتَّصِلُ طَرَفَانِ مَعاً بِوِاسِطَةِ كَبَلٍ طُولُهُ بِضْعَةُ أَمْتَارٍ أَوْ قَدْ يَتَّصِلَانِ عِبْرَ شَبَكَةٍ تَمْتَدُّ لِمِئَاتِ الكِيلُومِترَاتِ، عِبْرَ مَسَارٍ يَشْمَلُ عُقْدًا وَسَطِيَّةً، وَفِي كِلْتَا الحَالَتَيْنِ فَإِنَّ قَنَاةَ الاِتِّصَالِ هِيَ نَفْسُهَا مِنْ وَجْهَةِ نَظَرِ هَذَا النَّمُودَجِ، وَيُبَيِّنُ الشُّكْلُ (3-1) نَمُودَجَ الشَّبَكَةِ السَّابِقِ مَعَ بِنِيَتَيْنِ مَادِيَّتَيْنِ مُخْتَلِفَتَيْنِ لِشَبَكَةِ.



الشُّكْلُ (3-1): بِنِيَةُ نَمُودَجِ التَّحْكَمِ بَيْنَ الطَّرْفِيَّاتِ (أ) شَبَكَةٌ مُتَبَاعِدَةٌ ذَاتُ بِنِيَةٍ تَتَابَعِيَّةٍ (ب) شَبَكَةٌ مُتَبَاعِدَةٌ ذَاتُ بِنِيَةٍ مُتَعَدِّدَةِ المَسَارَاتِ (ج) نَمُودَجُ التَّحْكَمِ بَيْنَ الطَّرْفِيَّاتِ لِشَبَكَتَيْنِ السَّابِقَتَيْنِ

يُفِيدُ هَذَا النَّمُودَجُ فِي دِرَاسَةِ عَمَلِ بُرُوتُوكُولٍ مُحَدَّدٍ بِمَعزِلٍ عَنِ بِنِيَةِ أَطْرَافِ الاِتِّصَالِ أَوْ تَعْقِيدِ البِنِيَةِ المَادِيَّةِ لِشَبَكَةِ.

أَمْثَلَةٌ عَنِ نَمَاجِ لِشَبَكَاتِ نَقْلِ البَيَانَاتِ

يُخَصِّصُ هَذَا القِيسْمُ لِعَرْضِ نَمُودَجَيْنِ لِشَبَكَاتِ نَقْلِ البَيَانَاتِ، فِي كُلِّ مِنْهُمَا سَرْدٌ لِلتَّعَارِيفِ الرَّئِيسَةِ الَّتِي يَعْتَمِدُهَا، ثُمَّ وَصْفٌ لِأَلِيَّةِ عَمَلِهِ، وَأَخِيرًا سَرْحٌ مُفَصَّلٌ لِبِنِيَتِهِ، وَأَمَّا النَّمُودَجَانِ المَدْرُوسَانِ فَهُمَا:

- نَمُودَجُ الرِّبْطِ البِينِيِّ لِالْأَنْظِمَةِ المَفْتُوحَةِ
- نَمُودَجُ الإِنْتَرِنِتِ

نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة²³

هو نموذج لشبكة بيانات مكوّن من سبع طبقات متراصّة تُقدّم كلٌّ منها مجموعة من الخدمات اللازمة لإنجاز اتصال بين أطرافٍ مختلفة تُسمّى أنظمة مفتوحة، والنظام المفتوح قد يكون حاسوباً أو هاتفاً جوّالاً أو أيّ جهازٍ يمكن له أن يتّصل مع شبكة البيانات من غير فيود.

طرح المعيارُ النّاطم لهذا النّموذج للمرّة الأولى في عام 1979م، ثمّ عدّل مرّاتٍ متعدّدة ليؤاكب التّغيرات التي طرأت على أنظمة الاتصالات في السّنوات اللاحقة. أمّا الإصدار الأحدث فتتج عن مراجعة المعيار في عام 1994م، وأطلق عليه اسم: النّموذج المرجعيّ الأساسي، وحمل الاسم الرّمزيّ ISO/IEC 7498-1:1994.²⁴

تعريف رئيسة

يُورد المعيار الرّسميّ للنّموذج التّعريف التّالية:²⁵

- الطبقة ذات المرتبة N : تقسيم فرعيّ لبنية النّموذج يضمّ كياناتٍ وأنظمة فرعيّة، وهي موسومة بمعرّف رقميٍّ مُميّز: ليكن مثلاً N . تُقدّم هذه الطبقة خدماتٍ للطبقة ذات المرتبة $N + 1$ ، أي التي تقع فوقها، وتطلب خدماتٍ من الطبقة التي مرتبتها $N - 1$ ، أي التي تقع تحتها.
- النّظام الفرعيّ ذو المرتبة N : عنصرٌ في الطبقة ذات المرتبة N في نظامٍ مفتوح، يضمّ كياناتٍ واحداً أو أكثر، وهو لا يتفاعل إلا مع عناصر طبقاته والطبقتين ذواتيّ المراتب $N - 1$ و $N + 1$ في ذلك النّظام.
- الكيان: عنصرٌ في الطبقة أو النّظام الفرعيّ ضمن نظامٍ مفتوح ما. لكلّ كيانٍ مجموعة من الوظائف، ويشغل بروتوكولاً واحداً أو أكثر من بروتوكولات الشبكة لإنجازها.
- البروتوكول: مجموعة من القواعد والصّيغ الشّكلية والتّحويّة المتفق عليها بين الكيانات، والتي تُحدّد شكل وخصائص الاتصال في ما بينها، قد يشغل كلُّ كيانٍ بروتوكولاً واحداً أو أكثر.
- وحدة بيانات البروتوكول: المجموعة الأصغر طولاً من البيانات المتبادلة بين كيانين يقعان في الطبقة نفسها ويشغلان البروتوكول نفسه.
- الخدمة: هي عملٌ تُنجزه عناصر طبقةٍ ما من طبقات النّموذج المرجعيّ يهدف لإنجاح إنشاء اتصال بين طرفين أو أكثر بغرض نقل البيانات عبر الشبكة.

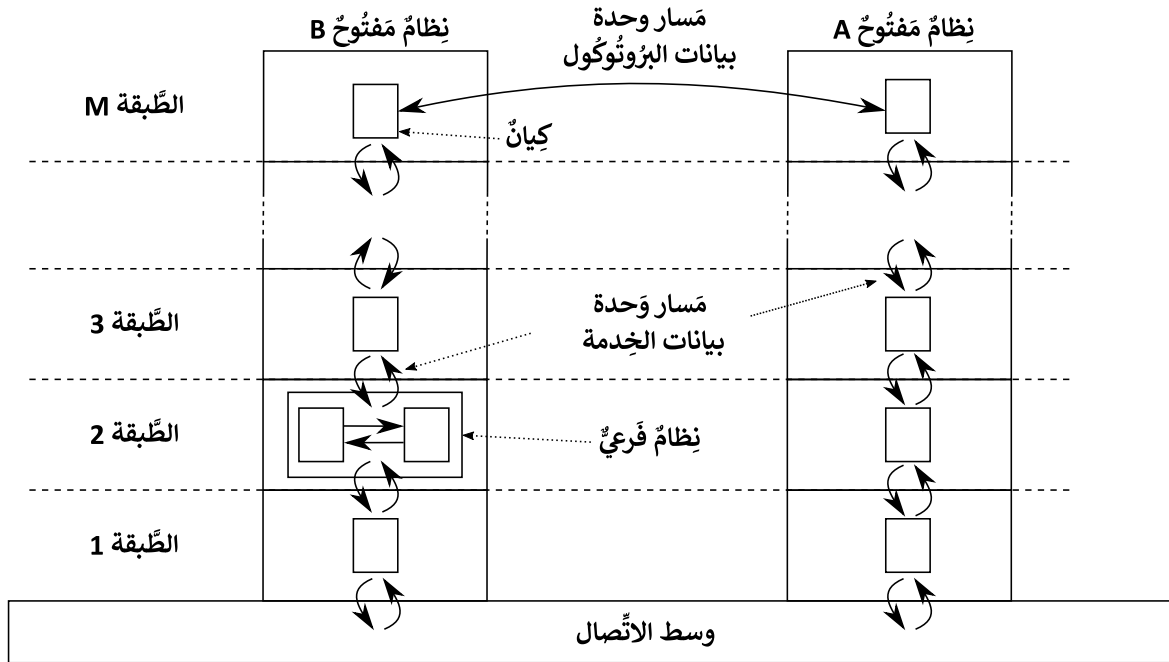
²³ اختبرت كلمة "مفتوحة" بعناية لتُشدّد على أنّ الوصول إلى أيّ نظام يتبع هذا المعيار، من أي نظام آخر يدعم المعيار نفسه، سيكون متاحاً من غير قيود. لوصف مختصر لهذا النّموذج، انظر [ART01] في تبت المراجع.

²⁴ وأصل اسمه Basic Reference Model، ويُسمّى أيضاً Open System Interconnection اختصاراً OSI. للإطلاع على هذا المعيار، انظر [STD01] في تبت المراجع.

²⁵ أصول الأسماء الطبقة Layer والنّظام الفرعيّ Subsystem والكيان Entity والبروتوكول Protocol ووحدة بيانات البروتوكول Protocol Data Unit، اختصاراً PDU، والخدمة Service ووحدة بيانات الخدمة Service Data Unit، اختصاراً SDU، ونقطة التّفاذ للخدمة Service Point Access، اختصاراً SAP.

- وحدة بيانات الخدمة: هي وحدات البيانات المتبادلة بين كيانين أو بين كيانٍ ونظامٍ فرعيٍّ ينتمي كلٌّ منهما إلى إحدى طبقتين متتاليتين ضمن النظام المفتوح نفسه. إذا كانت الوحدة منقولةً من كيانٍ في الطبقة العليا إلى كيانٍ في السفلى فهي تمثل طلباً للحصول على خدمةٍ، وإذا كانت منقولةً من الكيان في الطبقة السفلى إلى كيانٍ في العليا فهي تمثل استجابةً لطلبٍ سابقٍ للحصول على خدمةٍ ما.
- نقطة التفاعل للخدمة: هي واجهةٌ في طبقةٍ ذات مرتبةٍ N نحو طبقةٍ أعلى ذات مرتبةٍ $N + 1$. يتطلب كيانٌ أو نظامٌ فرعيٌّ في طبقةٍ عليا الحصول على خدمةٍ تُقدمها طبقةٍ سفلى من خلال أحد كياناتها أو أنظمتها الفرعية عبر هذه النقطة.

يعرض الشكل (1-4) بنيةً عامةً لنموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة مع توضيح لمواقع المكونات الرئيسية فيه وأسمائها، ويظهر فيه نظامان مفتوحان، يربطهما وسط اتصال، يضمّان M طبقةً، في كلٍّ منها كيانٌ واحدٌ على الأقل يتصل مع الكيان المقابل له في النظام الآخر عبر بروتوكول اتصال.



الشكل (1-4): بنية نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة

وصف العمل

يهدف استعمال نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة إلى إزالة أيّ عوائقٍ تقنيةٍ قد تمنع الاتصال بين نظامين مفتوحين أو أكثر، سواء كانا متشابهين أو مختلفين في البنية الداخلية، أي أنّ النموذج لا يهتم بوصف العمليات الداخلية الخاصة بالأنظمة، ولكنه يركز على تبادل البيانات في ما بينها.

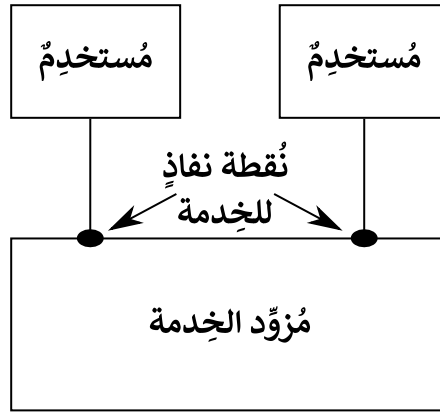
يعتمد النموذج، من أجل توصيف عملية التبادل السابقة، على مجموعةٍ من التقنيات لإنتاج بنية ذات وحداتٍ معياريةٍ²⁶ يتراكم بعضها مع بعض. يتميّز نهج الوحدات المعيارية المتراكبة بقدرته على توصيف بنيةٍ معقدةٍ توصيفاً متكاملاً ودقيقاً

من خلال تقسيم النظام الكلي إلى أنظمة فرعية ذات امتداد يمكن التحكم به. بالإضافة لذلك، يسمح هذا النهج بإدخال تقنيات جديدة دورياً على هيئة وحدات جديدة، أو تحديث وحدات مُحدّدة لتتوافق مع معدّات أو برمجيات مُستحدّثة من غير الحاجة لتعديل النظام بأكمله.

يلزم، لفهم كيفية عمل النموذج، التعرف على أربعة مفاهيم رئيسية هي الخدمة ومناقذ الوصول إليها والبنية الطبقيّة والبروتوكولات، وتناقش الفقرات التالية هذه المفاهيم وتشرحها باختصاراً.²⁷

يقسم النموذج عملية الاتصال إلى مراحل متتابعة تُنفذ عبر مجموعة من البنى المُجرّدة التي تُسمى الطبقات، في كلٍ منها مجموعة من الكيانات والأنظمة الفرعية، وتعرّف حدود الطبقات اعتماداً على الخدمات التي تُقدّمها مكوناتها، أي أنّ انتماء كيان مُحدّد لطبقة ما دون أخرى يتحدّد بالخدمة التي يُقدّمها. تتراص الطبقات بعضها فوق بعض وتمثّل الحدود الفاصلة بين الكيانات خطوط التماس بينها.

أمّا الخدمة فهي إنجاز كيان ما لعمل مُحدّد استجابةً لطلب كيان آخر. يُسمى الكيان الذي يُقدّم الخدمة بمزوّد الخدمة أو المزوّد اختصاراً، أمّا الطرف الذي يطلب الخدمة فيُسمى طالب الخدمة أو المُستخدم اختصاراً.²⁸ وأمّا نقطة التفاعل بين المُستخدم والمزوّد فهي نقطة النفاذ للخدمة. يُمكن أن يكون لخدمة ما أكثر من مُستخدم في الوقت نفسه، ويُبيّن الشكّل (5-1) نموذج الخدمة السابق.



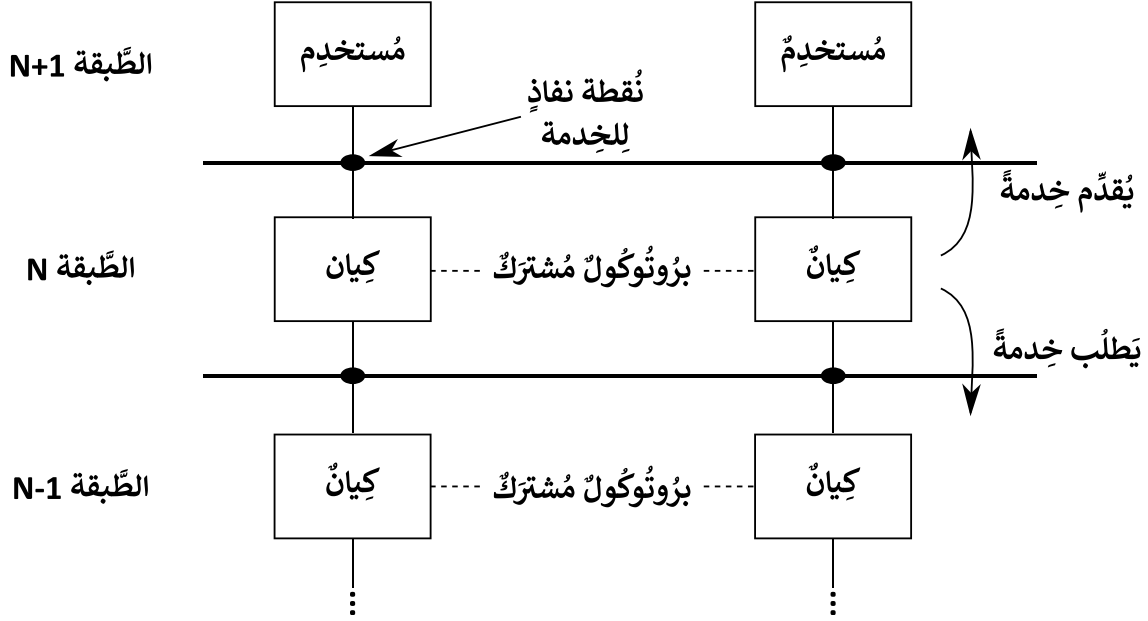
الشكّل (5-1): الخدمة تبعاً لنموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة

يمثّل نظام اتّصال بين طرفين بثلاثة كيانات: هم مُستخدمان ومزوّد خدمة. يطلب المُستخدمان من مزوّد الخدمة ربطهما معاً من غير الاهتمام بالتفاصيل اللازمة لإنجاز ذلك. بالنسبة لكلّ مُستخدم، فإنّ مزوّد الخدمة هو وسيلة للاتّصال لو احتاجه. أمّا مزوّد الخدمة فيضمّ بنية طبقيّة متعدّدة المستويات، تحوي في أبسط أشكالها كياناً واحداً في كلّ طبقة من أجل كلّ مُستخدم. يتصل الكيان الموجود في أعلى طبقة مع المُستخدم مباشرةً ويُقدّم له خدمة الاتّصال، وفي الوقت نفسه، فإنّه يُعالج طلبه ويطلب خدمة واحدة أو أكثر من الكيانات الواقعة في الطبقة التالية هبوطاً في النموذج، وهكذا تُقدّم الكيانات الواقعة في كلّ طبقة خدماتها للكيانات الواقعة في الطبقة العليّة التالية وتطلب في الوقت عينه خدمات

²⁷ لمزيد من المعلومات انظر [ART02] في تَبْت المراجع.

²⁸ أصل الاسمين مُزوّد الخدمة Service provider، وطالب الخدمة Service user.

الكِيانات الواقعة في الطَّبعة السُّفلى السَّابقة، أي يُصِحِّح الكِيانان في الطَّبعة ذات المَرْتبة N مُستخدمان لِخدمة المُقدَّمة من الطَّبعة الَّتِي مَرْتبتها $1 - N$ (الشَّكل (6-1)).



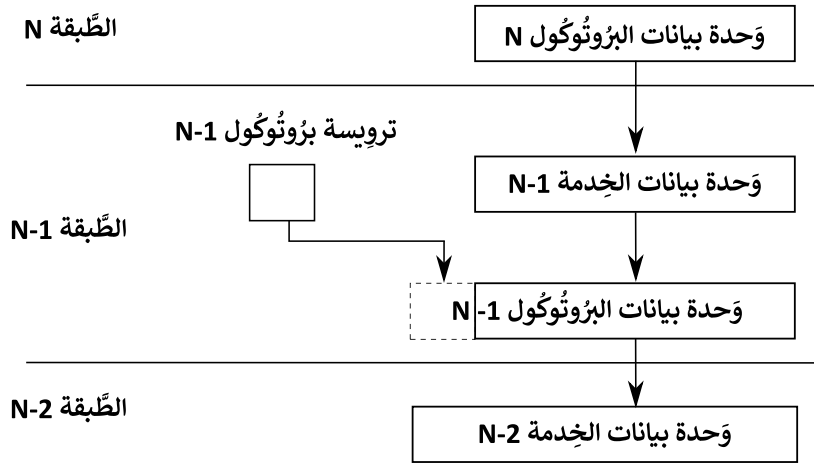
الشَّكل (6-1): البروتوكول وتقديم الخدمة عبر الطَّبعات المُتتابة تبعاً لِمُودَج الرِّبط البيئيِّ لِأنظمة المُفتوحة

يَتواصل كُلُّ كِيانين يقعان في الطَّبعة نفسِها، ولكن في طرفين مُختلفين باستعمال بروتوكولٍ مُشتركٍ يَنشطُ فيهما ويُعرِّف مَجْموعَةً من الرِّسائل الَّتِي يَتبادلانها. ومع أنَّ مَسار الرِّسائل الحقيقِيَّ يَمُرُّ عبر الطَّبعات الدُّنيا كُلِّها، فإنَّ هذا المَسار لا يعنِي الكِيانين، فالإتصال، بالنَّسبة لهما، يَجري مُباشرةً وعبر قَناةٍ افتراضِيَّةٍ تَصِلُ بينهما من غير إدراكهما لِأَلِيَّةِ إِنْجاز هذه القِناة الَّتِي تُكون مَسْؤُولِيَّةِ الكِيانات في الطَّبعات السُّفلى.

يَتبادل كُلُّ كِيانين يقعان في الطَّرْفِ نفسِه في طبقتين مُتتاليتين مَرْتبتهما N و $N - 1$ وَحدات بيانات الخِدْمَة بِمقتضى حاجتهما. ويُعرِّف مِيعار التَّمُودَجِ عَمَلِيَّةَ تَغْلِيْفِ البَيانات²⁹ في طبقةٍ مَرْتبتها $N - 1$ بأنَّها إِضافةُ تَرْوِيسة³⁰ البروتوكولِ العامِلِ في الطَّبعة ذات المَرْتبة $N - 1$ إِلى وَحدة بيانات الخِدْمَة القادِمة من الطَّبعة ذات المَرْتبة N وَيُفكُّ التَغْلِيْفَ فَكًّا مُعاكِساَ بين أَيِّ طبقتين مُتتاليتين مَرْتبتهما $N - 1$ و N . ويُظهِر الشَّكل (7-1) عَمَلِيَّةَ التَغْلِيْفِ كما يُعرِّفها نَمُودَج الرِّبط البيئيِّ لِأنظمة المُفتوحة.

²⁹ يَسْتَعْمِلُ مِيعار نَمُودَج الرِّبط البيئيِّ لِأنظمة المُفتوحة الكَلِمَتان Splitting و Recombining من أَجل الإِشارة إِلى التَغْلِيْفِ وفكِّ التَغْلِيْفِ على التَّرتيب، ولكن الكَلِمَتان المُستعملتان للإِشارة إِلى هاتين العَمَلِيَّتَيْنِ على نِطاقٍ واسِعٍ في أدبيات شبكات البَيانات اليوم هُما: Encapsulation و Decapsulation.

³⁰ أَصل الاسم Header هي مَعْلُومَاتُ تَحكُّمٍ، نحو عُنْوان المَصْدَرِ أو عُنْوان الوِجْهَة، يُضِيفُها بروتوكولٌ ما إِلى المَوقِعِ الَّذِي يَسْبِقُ بِدَايَةِ البَيانات المَنقُولَة بين ظَرْفِي الأَتصال (انظر ص. 166 في [BKE01] في ثَبَت المَراجِع). أَشير لِلتَّرْوِيسَة في مِيعار نَمُودَج الرِّبط البيئيِّ لِأنظمة المُفتوحة بِاستعمال الوَصْفِ التَّالِي: مَعْلُومَاتُ التَّحكُّمِ الخاصَّة بِالبروتوكولِ Protocol control information.



الشكل (7-1): التغليف تبعاً لنموذج الاتصال البيئي للأنظمة المفتوحة

بنية النموذج

يَتكوّن نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة من سبع طبقات، وهي، وفقاً لترتيبها، من الأعلى إلى الأسفل: التطبيق والتمثيل والجلسة والنقل والشبكة والوصلة والمادية. تُرقم هذه الطبقات بدءاً من الواحد وهو رقم الطبقة المادية، ويزداد رقم الطبقة بمقدار واحد صعوداً في الطبقات حتى طبقة التطبيق التي تحمل الرقم سبعة. يُمكن أن يُشار إلى كل طبقة برقمها من غير الحاجة لذكر اسمها صراحةً، فيقال مثلاً: الطبقة الثالثة بدلاً من طبقة الشبكة أو الرابعة بدلاً من طبقة النقل.

يضمّ الجدول (1-1) معلومات مختصرة عن كل طبقة وخدماتها بدءاً من الطبقة العليا أي طبقة التطبيق.

الجدول (1-1): طبقات نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة³¹

الوصف	اسم الطبقة	رقم الطبقة
<p>أعلى طبقة في النموذج، لذلك لا منافذ فيها نحو طبقات أعلى، ولكنها تؤمن منافذ للتطبيقات التي تحتاج لإرسال البيانات عبر الشبكة.</p> <p>الطبقة الوحيدة التي تتفاعل مع التطبيقات ويمكن لها أن تخدم أكثر من تطبيق في الوقت نفسه.</p> <p>تدعم طبقة التطبيق الخدمات التالية:</p> <ul style="list-style-type: none"> • التعرف على التطبيقات التي تحتاج للاتصال عبر الشبكة • تحديد جودة الخدمة المطلوبة • تحديد الطرف المسؤول عن تصحيح الأخطاء في حال وقوعها 	التطبيق	7

³¹ لمزيد من المعلومات عن الطبقات انظر في نيت المراجع: [ART03] من أجل التطبيق، و[ART04] من أجل التمثيل و[ART05] من أجل الجلسة و[ART06] من أجل النقل و[ART07] من أجل الشبكة و[ART08] من أجل الوصلة و[ART09] من أجل الطبقة المادية.

<ul style="list-style-type: none"> • التوافق على مبادئ الأمن التي تحمي الاتصال (المصادقة وسلامة البيانات ... إلخ) • تأمين الوصول إلى خدمات طبقة التمثيل 		
<p>توحيد أسلوب عرض البيانات التي ترغب كيانات طبقة التطبيق بتبادلها من خلال تعريف طريقة مشتركة لإنجاز عملية التبادل. يمكن اختصار خدمات هذه الطبقة بما يأتي:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ترميز البيانات • تأمين الوصول إلى خدمات طبقة الجلسة 	التمثيل	6
<p>تنظيم ومزامنة جلسات تبادل البيانات لكيانات طبقة التمثيل. وتنحصر الخدمات التي تقدمها هذه الطبقة بما يلي:</p> <ul style="list-style-type: none"> • إنشاء جلسات تبادل البيانات وإنهاؤها بين كياني طبقة تمثيل • تحديد ازدواجية الاتصال: كامل أو جزئي³² • تأمين الوصول إلى خدمات طبقة النقل 	الجلسة	5
<p>تؤمن عملية نقل البيانات بين كيانيين من طبقة الجلسة عبر قناة افتراضية تربط بين طرفي الاتصال³³ وتكون مستقلة عن المسار المادي الذي تسلكه البيانات عبر الشبكة وعن معدل النقل في الوصلات أو أي مسائل أخرى مرتبطة بالتوجيه. تدعم هذه الطبقة الخدمات التالية:</p> <ul style="list-style-type: none"> • تعريف كل جلسة تعريفاً فريداً • إنشاء قنوات بين أطراف الاتصال وإنهاؤها³⁴ • تأمين الوصول إلى خدمات طبقة الشبكة 	النقل	4

³² في شبكات البيانات، الازدواج duplex هو القدرة على إرسال واستقبال البيانات عبر قناة اتصال واحدة في الوقت نفسه، ويُشار إليه أيضاً بالازدواج الكامل Full duplex، تميزاً له عن الازدواج الجزئي Half duplex الذي يسمح بإرسال واستقبال البيانات عبر قناة الاتصال شرط ألا يحصل ذلك في الوقت نفسه، بل في أوقات متمايزة (انظر ص. 123 في [BKE01] في ثبوت المراجع). وردت مُعرّبة في ص. 101 في [BKA01] إلى "ازدواجية الاتجاه"، وعُرفت على أنها «صفة لوصلة مادية أو منطقيّة تنقل البيانات في الاتجاهين معاً».

³³ في هذه الطبقة يُطبق مبدأ الطرفين End-to-end principle، وهو مفهوم بنيوي مجرد مُستعمل في تصميم شبكات البيانات وتطبيقاتها. يلزم، وفقاً لهذا المبدأ، أن تعمل التطبيقات في الطرفين لا في العُقد الوسيطة التي تُشكل بنية الشبكة، سبق هذا المبدأ مفهوم جِياد الإنترنت ومهد له. للمزيد حول هذا المبدأ انظر [ART10] و [RFC3724] في ثبوت المراجع.

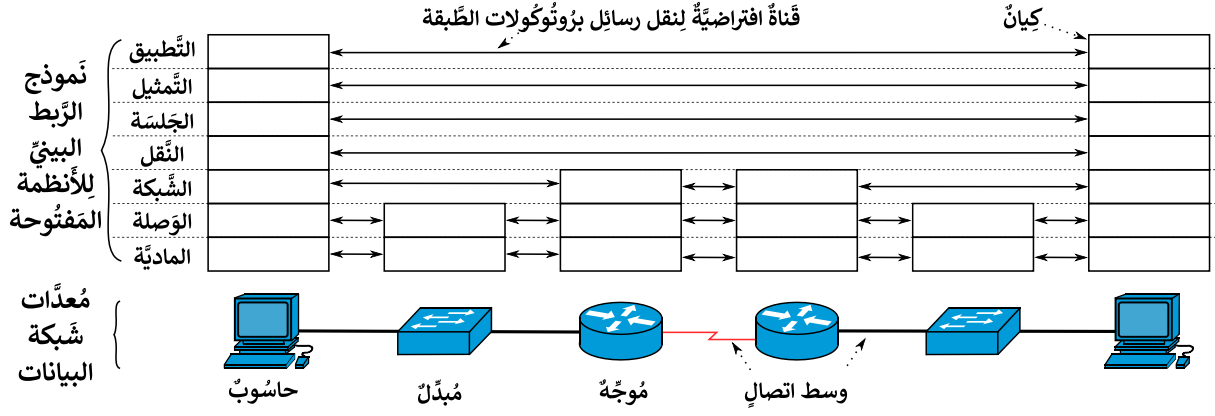
³⁴ بعض من البروتوكولات العاملة في هذه الطبقة تُدير الاتصال أيضاً، نحو بروتوكول التحكم بالنقل، انظره [RFC793] في ثبوت المراجع.

<p>بدء تطبيق الخدمات والبروتوكولات التي تعمل عبر مسارات الشبكة المادية بين الأنظمة. تُقدّم هذه الطبقة الخدمات التالية:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● عنونة كيانات طبقة الشبكة العاملة في الأنظمة المختلفة عنونة معيارية فريدة ● ضبط جودة الخدمة ● التحقق من وجود أخطاء في البيانات المتبادلة ● تقطيع البيانات، أي تقسيم ما يراد من طبقة النقل إلى قطع ذات طول قصير لتسهيل نقلها عبر الشبكة ● توجيه رزم البيانات ● التحكم بالتدفق ● تأمين الوصول إلى خدمات طبقة الوصلة 	الشبكة	3
<p>تؤمن وسيلة تواصل لكيانات طبقة الشبكة من أجل إنشاء اتصال وإدارته وإنهائه في ما بينها. بالإجمال، تُقدّم هذه الطبقة الخدمات التالية:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● التبدل³⁵ أي نقل وحدات بيانات البروتوكول بين كيانات من طبقة الوصلة موجودين في نظامين مختلفين. ● عنونة كيانات طبقة الوصلة ● تأمين الوصول إلى خدمات الطبقة المادية 	الوصلة	2
<p>تأمين الآليات والإجراءات الكهربائية والميكانيكية المناسبة لتفعيل الدارات المادية التي تُنقل البيانات عبرها والحفاظ عليها في حالة النشاط وتحريرها بعد نهاية الاتصال</p>	المادية	1

يُستعمل نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة لوصف معدات الشبكة أيضاً، ولما كان وصف المسارات المادية والبروتوكولات التي تميزها لا يبدأ إلا في الطبقة الثالثة ونزولاً في النموذج، فإن نماذج معدات الشبكة تكون في الأغلب محصورة في الطبقات الثلاثة الأولى، فمثلاً يمتد نموذج الموجه على الطبقات الثلاثة الأولى، ونموذج المبدل على أول طبقتين في حين يكون نموذج الموزع محصوراً بالطبقة المادية فقط.³⁶ ويبيّن الشكل (1-8) شبكة بيانات تحتوي حاسوبين ومبدلين وموجهين ومجموعة من الأسلاك ونمذجتها باستعمال نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة مع افتراض وجود كيان واحد فقط في كل طبقة في المعدات المستعملة كلها لغرض التبسيط.

³⁵ أشير إليه في المعيار باستعمال الكلمة Relaying، ويُشار له في أدبيات شبكات البيانات اليوم باستعمال كلمة Switching.

³⁶ أصول الأسماء الموجه Router، والمبدل Switch، والموزع Hub.



الشكل (8-1): نمذجة شبكة بيانات باستعمال نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة

يُمكن أن تُستعمل أرقام الطبقات أيضاً لوصف معدات الشبكة أو بروتوكولاتها. فعلى سبيل المثال، يُوصف الموجه بأنه أداة تعمل في الطبقة الثالثة من النموذج السابق، في حين يُوصف المبدل بأنه يعمل في الطبقة الثانية من النموذج نفسه. تُسمى بعض البروتوكولات أيضاً وفقاً لأرقام الطبقات التي تعمل فيها، مثلاً: بروتوكول الأنفاق في الطبقة الثانية³⁷ الذي ينشط في طبقة الوصلة.

نموذج الإنترنت³⁸

هو نموذج مُجرّد يصف كيفية تبادل البيانات في الإنترنت وفي شبكات بيانات أخرى. يُعامل النموذج شبكة البيانات على أنها مجموعة من الطبقات المتتالية التي تُؤدّي كلٌ منها خدماتٍ مُحدّدة، وينتج عن تقديم مجمل هذه الخدمات تبادل البيانات بنجاح بين طرفين أو أكثر يدعمان البنية الطبقيّة السّابقة. تحصل كلٌ طبقةٍ علياً في هذا النموذج على الخدمات من الطبقات الدنيا كما في نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة.

لا معيارٍ مُوحّداً يصف نموذج الإنترنت كاملاً،³⁹ ولكن يوجد توصيفٌ لكلٍ بروتوكولٍ عامِلٍ في الشبكة، وللخدمات التي تُقدّمها الطبقات، ضمن وثائقٍ خاصّةٍ تنشرها مجموعة مهندسي الإنترنت، وتُسمى وثائق طلب التعليقات، ويُشار إليها اختصاراً بالاسم الرّمزيّ RFC.⁴⁰

³⁷ اسمه الكامل هو Layer Two Tunneling Protocol، اختصاراً L2TP، للمزيد حوله انظر [RFC2661] في ثبّت المراجع.

³⁸ أصل الاسم TCP/IP model، الذي يجمع اختصارين لبروتوكول الإنترنت IP ولبروتوكول التّحكّم بالنّقل TCP لأنّهما أوّل بروتوكولين طوّرا وفقاً للنموذج. ويُشار له أيضاً باسم حزمة بروتوكولات الإنترنت Internet Protocol Suite أو نموذج وزارة الدفاع Department of Defense model، اختصاراً DoD، ويُقصد بها وزارة الدفاع الأمريكيّة لأنّها كانت المُمول الرئيسيّ للمشروع.

³⁹ لمزيد من المعلومات حول هذا النموذج، انظر [RFC1122] و [RFC1123] و [RFC1180] في ثبّت المراجع.

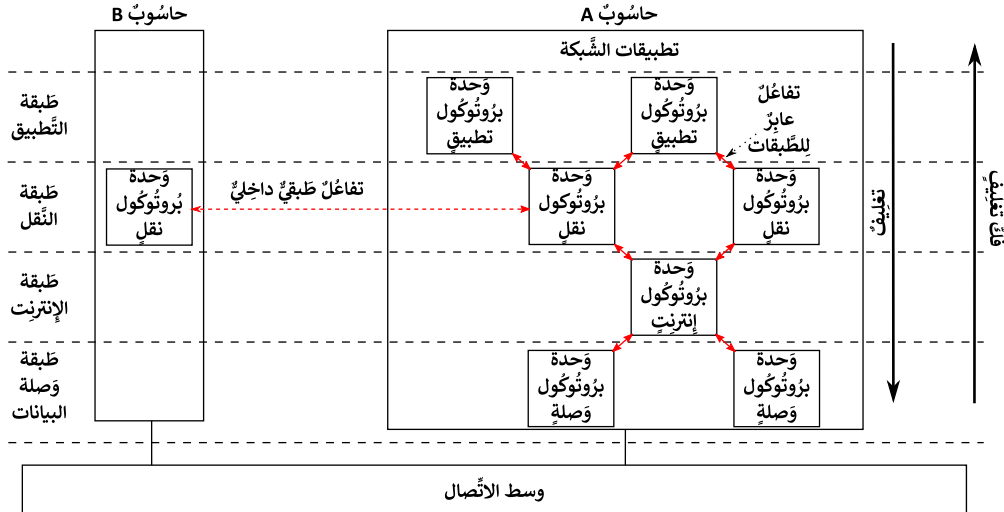
⁴⁰ أصل الاسم Internet Engineering Task Force، اختصاراً IETF، هي مجموعة عملٍ تطوعيّةٍ غير ربحيّةٍ تأسّست عام 1986م، تهدف إلى وضع معاييرٍ مُوحّدةٍ لتطوير الإنترنت والحفاظ على التّوافق بين أجزائها ومكوّناتها المختلفة (انظر ص. 36 في [RFC1594] في ثبّت المراجع)، أمّا وثائق طلب التعليقات Request for comments، اختصاراً RFC، فهي مُستنداتٌ نصيّةٌ بدأت بالصدور في عام 1969م، تُصِف بروتوكولات نموذج الإنترنت والتّجارب المرتبطة به (انظر ص. 41 في [RFC1594]).

وصف العمل

يعتمد نموذج الإنترنت على بنية مُجرّدة فيها أربع طبقات تتموضع بين تطبيقات الشبكة ووسط الاتصال المادي، ولكي يتمكن أي حاسوب، أو أي طرفية أخرى، من الاتصال مع الشبكة فإنه مُلزم بدعم هذه البنية الطبقيّة. وهذه الطبقات، تبعاً لترتيبها من الأعلى إلى الأسفل، هي: التّطبيق والنقل والإنترنت والوصلة.

يلزم أن تنشط وحدة بروتوكول واحدة على الأقل في كلّ طبقة من طبقات النموذج ليعمل بنجاح في حاسوب ما، ويُقابل مفهوم الوحدة في هذا النموذج مفهوم الكيان في نموذج الرّبط البيئي للأنظمة المفتوحة. تتجمّع الوحدات في كلّ حاسوب عمودياً، فترتبط كلّ وحدة مع الوحدات التي تقع في الطبقات الأعلى أو الأدنى من طبقتها، وينتج عن ذلك تفاعلٍ عابرٍ للطبقات يُشكّل مسارات بين الوحدات تعبرها البيانات صُعوداً وهبوطاً في النموذج في أثناء تبادلها بين الحواسيب. بالإضافة لذلك، تُشغّل الوحدات النشطة في الطبقة نفسها بروتوكولها عبر هذه الطبقة فتتفاعل بعضها مع بعض تفاعلاً داخلياً ضمن الطبقة ذاتها.⁴¹

يحصّل التفاعل الطبقي الداخلي عبر قناة افتراضية تصل بين وحدتي البروتوكول، وهي، أي القناة، لا تتجاوز نظرياً حدود الطبقة التي ينشط فيها البروتوكول. أمّا عملياً، فإنّ الرسائل المتبادلة بين وحدات البروتوكول لا بُدَّ أن تهبط في نموذج الإنترنت في الحاسوب المصدر لتُغلّف في أثناء ذلك، ثمّ تعبر الوسط الماديّ إلى الحاسوب الوجهة حيث يُفكّ تغليفها في أثناء حركتها صُعوداً قبل إيصالها إلى وحدة البروتوكول الوجهة، أي أن إنجاز عمليّتي التغليف وفكّ التغليف مسألة لازمة لإنجاح التفاعل الطبقي الداخلي، ويُظهر الشكل (9-1) بنية نموذج الإنترنت ونوعي التفاعلات بين الوحدات فيه.



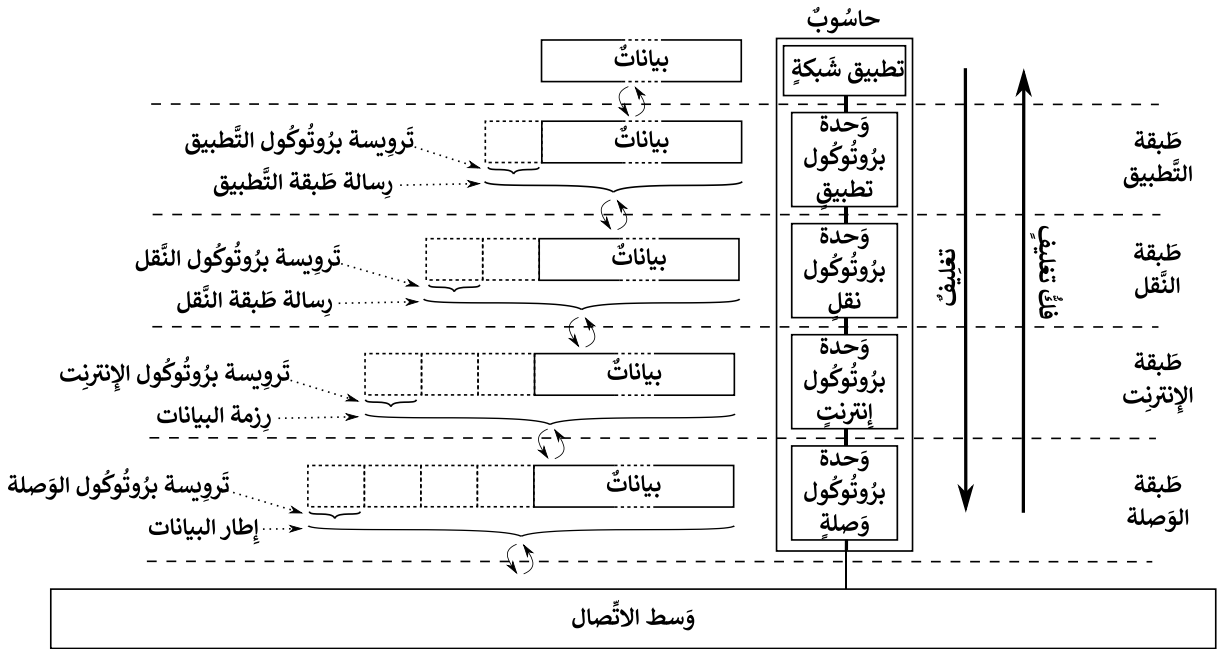
الشكل (9-1): بنية نموذج الإنترنت ونوعي التفاعلات فيه

تتحرّك البيانات عبر طبقات النموذج في كلّ حاسوبٍ بالاتجاهين: صُعوداً باتجاه تطبيقات الشبكة، وهبوطاً نحو وسط الاتصال الماديّ الذي ينقل البيانات بين الحواسيب المختلفة. خلال هذه الحركة، تُغلّف البيانات الهابطة ويُفكّ تغليف البيانات الصاعدة. في التغليف، يضيف كلّ بروتوكول ترويسته إلى البيانات وينتج وحدة بيانات البروتوكول التي تُمرّر إلى

⁴¹ أصل الاسمين Cross-layer interaction و Inter-layer interaction. انظر ص. 27-29 في أطروحة درجة الفلسفة التي أعدناها في عام 2021م في [BKE07] في نيت المراجع.

الطبقة التالية هبوطاً في النموذج. أمّا عند فكّ التغليف، فإنّ كلّ وحدة بروتوكول في الوجهة تُزِيل الترويسة التي أضافتها وحدة البروتوكول المُقابِلَة في المصدّر من البيانات الواردة، ثمّ تُمرّر الناتج إلى الطبقة التالية صعوداً.

تُسمّى وحدة بيانات البروتوكول في طبقة التطبيق رسالة طبقة النقل، وفي طبقة النقل تُسمّى أيضاً رسالة طبقة النقل، ويمكن أن تُسمّى وحدة البيانات في هذه الطبقة تبعاً لبروتوكول النقل المُستعمل، فهي قطعة⁴² من أجل بروتوكول التّحكّم بالنقل وحزمة بيانات من أجل بروتوكول حزم بيانات المُستخدم⁴³. أمّا في طبقة الإنترنت، فتُسمّى وحدة بيانات البروتوكول رزمة البيانات وتُختصر عادةً إلى رزمة، وجمعها رزم أو رزمات. وأمّا في طبقة الوصلة، فتُسمّى وحدة بيانات البروتوكول إطاراً للبيانات، وجمعها أُطر. ويُبيّن الشكل (10-1) مراحل عمليّة التغليف في نموذج الإنترنت وأسماء وحدات بيانات البروتوكول في كلّ طبقة فيه كما تقدّم.



الشكل (10-1): التغليف وفكّ التغليف في نموذج الإنترنت

بنية النموذج

يتكوّن نموذج الإنترنت من أربع طبقاتٍ كما أسلف، وهي التطبيق والنقل والإنترنت والوصلة. ويتضمّن الجدول (2-1) معلّوماتٍ مختصرةً عن كلّ طبقة ووظائفها وأمثلةً عن البروتوكولات العاملة فيها بدءاً من أعلى طبقة في النموذج، أي طبقة التطبيق.

⁴² أصول الأسماء القطعة Segment وحزمة البيانات Datagram ورزمة البيانات Data packet وإطار البيانات Data frame.

⁴³ لِمزيد من المعلومات حول بروتوكول التّحكّم بالنقل Transmission Control Protocol، اختصاراً TCP، انظر [RFC793] في ثَبْت المراجع، أمّا في ما يخصّ بروتوكول حزم بيانات المُستخدم User Datagram Protocol، اختصاراً UDP، فانظر [RFC768].

الجدول (2-1): طبقات نموذج الإنترنت

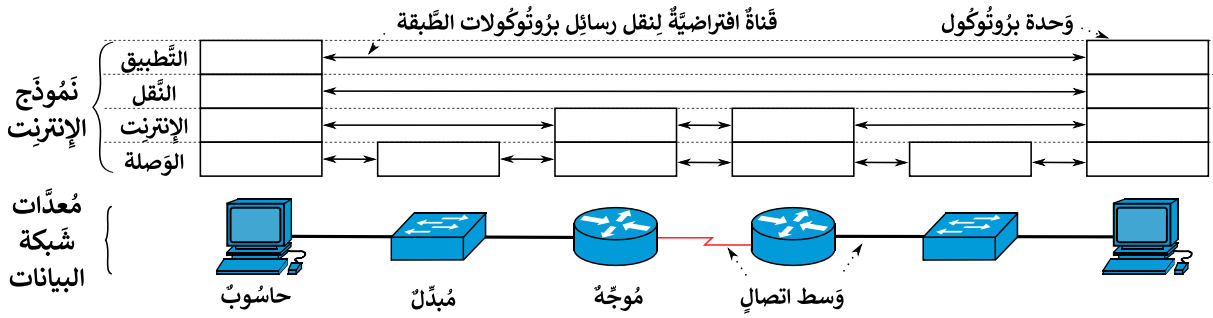
الوصف	اسم الطبقة	رقم الطبقة
<p>أعلى طبقة في النموذج، تهتم بتأمين منفذ للتطبيقات التي تحتاج للاتصال بالشبكة. تتوافق الخدمات التي تدعمها مع خدمات طبقات التطبيق والتمثيل والجلسة في نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة.</p> <p>تدعم هذه الطبقة عائلتين من البروتوكولات:</p> <ul style="list-style-type: none"> • بروتوكولات المستخدم: وهي البروتوكولات التي تقدم الخدمة لتطبيقات المستخدمين نحو بروتوكول نقل الملفات أو بروتوكول نقل البريد البسيط⁴⁴ • بروتوكولات الدعم وهي البروتوكولات التي تدعم خدمات الاتصال نحو نظام تسمية النطاقات⁴⁵ 	التطبيق	4
<p>تدعم خدمات الاتصال بين الطرفيات بمعزل عن بنية الشبكة المادية، وهو دور مشابه لدور الطبقة التي تحيل الاسم نفسه في نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة.</p> <p>أهم بروتوكولات هذه الطبقة هما بروتوكول التحكم بالنقل وبروتوكول جزم بيانات المستخدم.</p>	النقل	3
<p>تقدم خدمتي التشبيك والتوجيه، وستدرس الأولى بالتفصيل في الفصل الثاني من هذا الكتاب. وتتوافق الخدمات التي تدعمها هذه الطبقة مع خدمات طبقة الشبكة في نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة.</p> <p>أهم بروتوكولاتها الإصداران الرابع والسادس من بروتوكول الإنترنت، وسيدرس بالتفصيل في الفصلين الثالث والعاشر من هذا الكتاب على الترتيب.</p>	الإنترنت	2
<p>تحدد المعايير اللازمة لربط الحاسوب مع وسط الاتصال المادي، وتتوافق الخدمات التي تدعمها مع خدمات طبقة الوصلة والطبقة المادية في نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة.</p>	الوصلة	1

⁴⁴ لمزيد من المعلومات حول بروتوكول نقل الملفات File Transfer Protocol، اختصاراً FTP، انظر [RFC959] في نبت المراجع، وحول بروتوكول نقل البريد البسيط Simple Mail Transfer Protocol، اختصاراً SMTP، انظر [RFC5321].

⁴⁵ لمزيد من المعلومات حول نظام تسمية النطاقات Domain Name System، اختصاراً DNS، انظر [RFC1034] في نبت المراجع.

أشهر بروتوكولات هذه الطبقة بروتوكول الإنترنت وعائلة بروتوكولات الاتصال الآسلكي في الشبكة المحليّة المعروفة بالاسم الرمزي واي فاي. ⁴⁶		
---	--	--

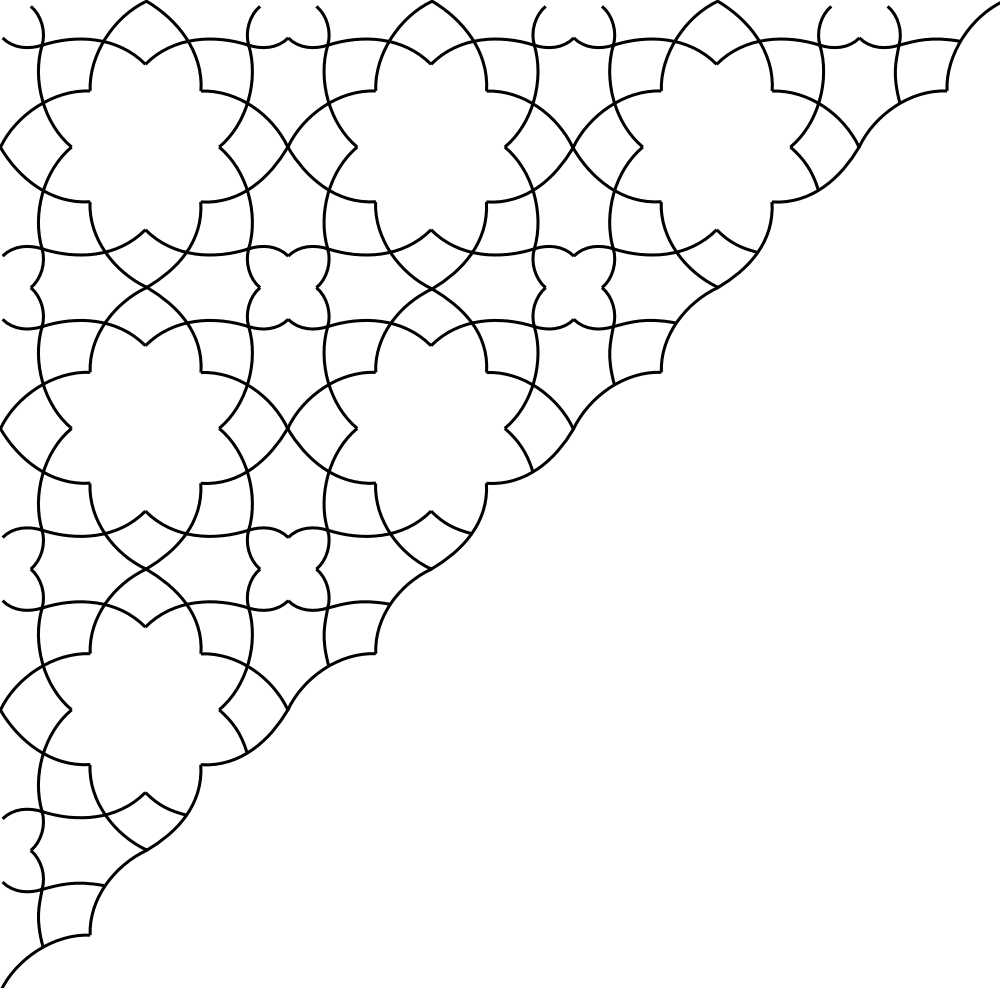
يُستعمل نموذج الإنترنت، بشكلٍ مشابهٍ لنموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة، لوصف شبكة بيانات تحتوي مُعدّاتٍ متنوّعةٍ، ويبيّن الشكل (11-1) نمذجةً باستعمال نموذج الإنترنت لشبكة البيانات السابقة الظاهرة في الشكل (8-1). يلزم عموماً الانتباه إلى ضرورة تحديد النموذج المُستعمل عند استخدام أرقام الطبقات بصفتها معرفاتٍ لها، لما قد يرافق ذلك من خلطٍ، فالطبقة الرابعة على سبيل المثال هي طبقة النقل في نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة، ولكنها طبقة التطبيق في نموذج الإنترنت.



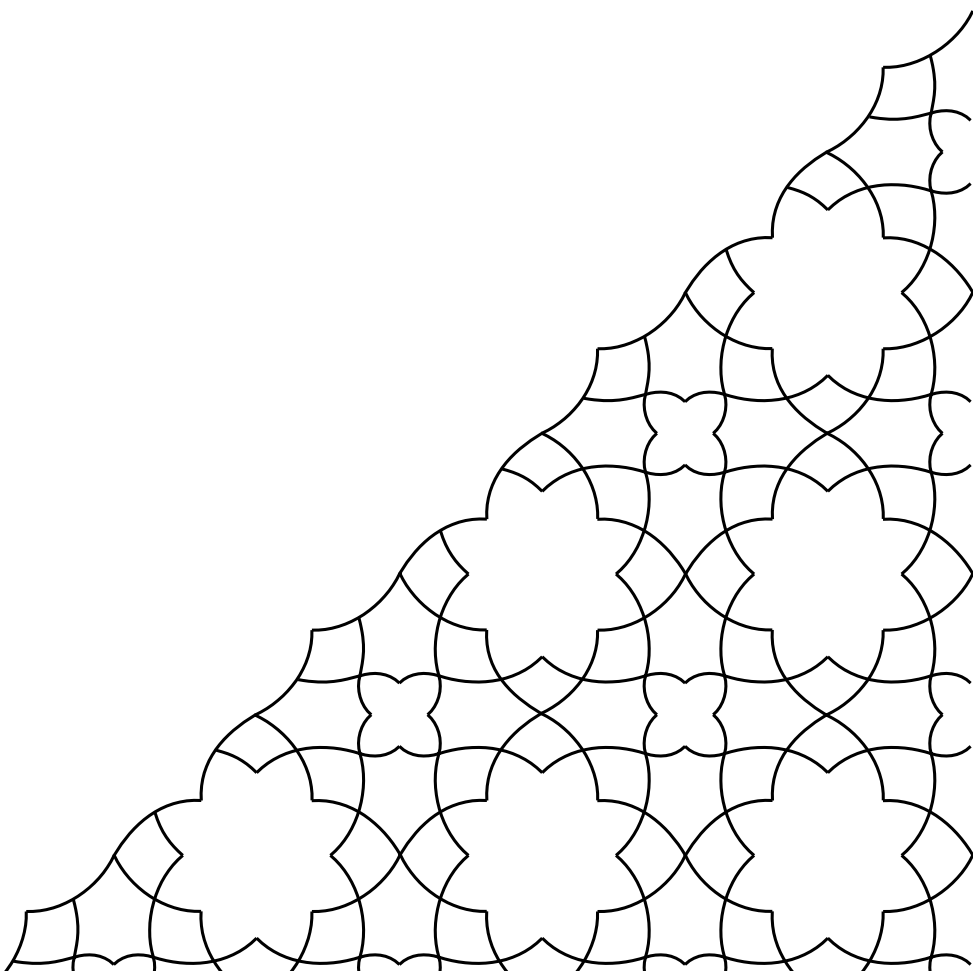
الشكل (11-1): نمذجة شبكة بيانات باستعمال نموذج الإنترنت

⁴⁶ لمزيد من المعلومات حول الإنترنت Ethernet، انظر [STD02] في ثبّت المراجع، وحول عائلة بروتوكولات الاتصال الآسلكي WiFi انظر [STD03].

تُركت هذه الصّفحة فارغة عمداً لغرض تنسيق الكتاب



الفصل الثاني: التشبيك



مقدمة

التشبيك أو تركيب الشبكات أو المشابكة هو تمكين شبكتين أو أكثر من الاتصال بعضهما مع بعض، ليكون المستخدمون في كلٍ منها قادرين على الوصول إلى الموارد في الشبكات الأخرى. قد تكون الشبكات الموصولة متشابهة، أي تُشغّل البروتوكولات نفسها، أو مختلفة، تُشغّل بروتوكولاتٍ متنوعةً.

ظهر مفهوم التشبيك مع تطوّر شبكات البيانات منذ بدايات سبعينيات القرن العشرين، وكان الهدف الرئيس منه هو ربط شبكات البيانات المختلفة بعضها مع بعض ليكون بإمكانها تبادل رزم البيانات. طوّرت وكالة مشاريع البحوث المتطورة الدفاعية نموذجها الخاص الذي ضمّ بروتوكولاً يُقدّم خدمة التشبيك إلى جانب خدماتٍ أخرى، ثمّ تلا ذلك وضع نموذج اتصالٍ مرجعيّ طبقه هو نموذج الربط البيئيّ للأنظمة المفتوحة الذي دُرِس في الفصل الأوّل من هذا الكتاب، فجُزئ البروتوكول السابق بموجبه إلى بروتوكولين يعملان في طبقتي النقل والشبكة.

أمّا التشبيك، فهو خدمةٌ من خدمات طبقة الشبكة تبعاً للنموذج السابق، وينظّمها بروتوكولٌ خاصٌ يُسمّى بروتوكول التشبيك من خلال أداء الوظائف التالية: تحديد نمط الاتصال المدعوم في الشبكة وتحديد جودة الخدمة وعنونة المضيفين المُتصلين مع الشبكة عنونةً فريدةً ومتميزةً وتقطيع رزم البيانات وإعادة تجميعها وتنضيد بيانات بروتوكولات الطبقات العليا لتمكينها من الوصول إلى خدمات الطبقات السفلى والعكس بالعكس والتوجيه تبعاً للمصدر والتحكّم بالتدفق.

من الأمثلة عن بروتوكولات التشبيك: الإصداران الرابع والسادس من بروتوكول الإنترنت، وهما البروتوكولان اللذان قامت الإنترنت عليهما وما تزال، سيُدْرَس الأوّل في الفصل الثالث من هذا الكتاب والآخر في الفصل العاشر.

هذا الفصل مُخصّصٌ لمناقشة مفهوم التشبيك، وهو يبدأ بتعريفه وعرض لتأصيل اسمه في العربية والإنكليزية، يلي ذلك نبذة تاريخية تُعرض تطوّر فكرة التشبيك ووصولاً إلى شكلها الحالي، ثمّ عرضٌ وشرحٌ للوظائف التي يُقدّمها بروتوكول التشبيك.

التعريف وأصل التسمية

التشبيك هو ربط شبكتين أو أكثر تستعملان بروتوكولاتٍ مختلفةً بواسطة بوابةٍ أو موجّهٍ ربطاً يسمّح للمستخدمين الموجودين في أيّ شبكةٍ بالوصول إلى الموارد الحاسوبية في الشبكات الأخرى،⁴⁷ وهو وفقاً لتعريف مُعجم الحاسبات⁴⁸: «توصيلٌ أكثر من شبكة حاسباتٍ لتكوين شبكةٍ أكبرٍ عاليةٍ المستوى». أمّا مُعجم المورد⁴⁹ فيقول إنّ "المشابكة" هي المُقابل العربيّ لكلمة Networking، وتعني إنشاء شبكة حواسِب أو استخدامها.

⁴⁷ انظر ص. 194 في [BKE01] في ثَبِت المراجع.

⁴⁸ وهو مُعجمٌ صادرٌ عن مَجْمَع اللُّغة العربيّة بالقاهرة، لتعريف التشبيك انظر ص. 152 في [BKA1] في ثَبِت المراجع.

⁴⁹ المورد الحديث هو مُعجمٌ إنكليزيّ عربيّ، وضعه مُنير البعلبكيّ وابنه رمزي. انظر ص. 766 في [BKA2] في ثَبِت المراجع من أجل المُشابكة.

وأما كلمة "تشبيك" في العربية فهي مصدر "شَبَّكَ" وشَبَّكَ الأشياء يُشَبِّكُها تشبيكاً أي بالغ في إدخال بعضها في بعض، والشبكة هي كلُّ مُتداخِلٍ مُتَشابِكٍ نحو شبكة الهاتف،⁵⁰ وجاء في لسان العرب⁵¹ «شَبَّكَ يَشَبِّكُ شَبْكَاً أي أَنشَبَ بعضه في بعضٍ وأدخله، والشَّبْكُ هو الخَلطُ والتَّدَاخُلُ ومنه تشبيك الأصابع».

أما مُقابل كلمة "تشبيك" في الإنكليزية فهو Internetworking، وهي كلمة مُكوَّنة من مقطعين، الأوَّل هو Inter- وهي بادئةٌ تعني على نحوٍ مُتبادلٍ أو تُشير لِحُصُولِ ما بعدها بين شيئين أو أكثر، والآخر هو network- وهو اسمٌ يعني شبكة الحواسِب.⁵²

نَبذة تاريخية

طرح بُول بَاران⁵³ في عام 1964م فكرةً جديدةً لإنشاء شبكات اتصالاتٍ لنقل البيانات، فعوضاً عن الاعتماد على مبدأ تبديل الدَّارات⁵⁴ القائم على نموذجٍ مركزيٍّ تُشرف فيه عقدةٌ واحدةٌ على إنشاء وإدارة وإغلاق قنوات الاتصالات المادية، والتي تُخصَّص واحدةٌ منها لكلِّ اتِّصال. اقترح بَاران نموذجاً مُورَّعاً لا قنوات اتصالاتٍ ماديةً مُخصَّصةً للطرفيات فيه، وبدلاً من ذلك، عَرَفَ بَاران مبدأ الرِّسالة المُجمَّعة، وفيه تجمَّع أطراف اتِّصال البيانات التي ترغب في إرسالها عبر الشبكة، ثُمَّ تُرسلها على شكل دَفَعَاتٍ، سَمَّى بَاران كلاً منها رسالةً مُجمَّعة، واقترح أن يَكُون طُول الرِّسالة 1024 بتاً، وأن تُقسَّم إلى قِسمين: قِسم المَعْلُومَاتِ الإِدَارِيَّةِ وقِسم البيانات. ويبيِّن الشَّكْل (1-2) بنية الرِّسالة المُجمَّعة كما افترضها بَاران، وفيها يشتمل قِسم المَعْلُومَاتِ الإِدَارِيَّةِ على حُقُولِ بَدَايَةِ ونهاية الرِّسالة وعُنوَانِي المَصْدَرِ والوَجْهَةِ، بالإضافة لِحَقْلِي رَقْمِ التَّسْلِيمِ والأَحْقِيَّةِ المُستعمَلان لِضَبْطِ الوِظَائِفِ المُتعلِّقة بنقل الرِّسالة نحو جُودة الخِدْمَةِ، أما قِسم البيانات فاحتوى مَعْلُومَاتٍ نَصِيَّةً فقط.⁵⁵

تَطَوَّرَ هذا المَبْدَأُ لِاحِقاً فَسُمِّيَتِ الرِّسالةُ المُجمَّعة رِزْمَةً بِنَائِهَا والمَعْلُومَاتُ الإِدَارِيَّةُ تَرْوِيسَةً وَأَصْبَحَ المَبْدَأُ يُسَمَّى تَبْدِيلِ الرِّزْمِ، وهو الأساس الذي قَامَتِ عليه شَبَّكَاتُ البِنَائِ.⁵⁶

⁵⁰ هذا ما ورد في المُعْجَمِ العَرَبِيِّ الأَسَاسِيِّ، الصَّادِرِ عَنِ المُنْظَمَةِ العَرَبِيَّةِ لِلتَّرْبِيَةِ وَالثَّقَافَةِ وَالعِلْمِ، انظر ص. 667 في [BKA03] في ثَبَتِ المَرَاجِعِ.

⁵¹ وهو مُعْجَمٌ عَرَبِيٌّ وَضَعَهُ ابْنُ مَنظُورِ الأَنْصَارِيِّ قُرَابَةَ العَامِ 1290م، انظر مادة "شَبَّكَ" فيه ص. 2187 في [BKA04] في ثَبَتِ المَرَاجِعِ.

⁵² انظر ص. 599 و ص. 766 في [BKA02].

⁵³ بُول بَاران Paul Baran (1926-2011م) هو مُهندِسٌ حَاسُوبٍ أَمْرِيكِيٌّ مِنْ أَصُولِ بُولَنْدِيَّةٍ، حَصَلَ عَلَى دَرَجَةِ البَكَاوَرِيُوسِ مِنْ جَامِعَةِ دَرِكْسِيلِ فِي عَامِ 1949م بِاخْتِصَاصِ الهِنْدَسَةِ الإِلِكْترونيَّةِ وَعَلَى دَرَجَةِ المَاجِسْتِرِ فِي عَامِ 1959م مِنْ جَامِعَةِ كَالِيفُورْنِيَا فِي لُوسِ أَنْجَلُوسِ، وَعَمِلَ بَعْدَهَا فِي مُؤَسَّسَةِ رَانْدِ عَلَى تَطْوِيرِ نِظَامِ اتِّصَالَاتِ قَادِرٍ عَلَى النَّجَاةِ مِنْ ضَرِيَابِ نُوَوِيَّةٍ مُحْتَمَلَةٍ فِي خِضْمِ الحَرْبِ البَارِدَةِ. بَارَانُ أَوَّلُ مَنْ قَالَ بِمَبْدَأِ تَبْدِيلِ الرِّزْمِ، وَهُوَ مِنَ الرُّوَادِ فِي مَجَالِ شَبَّكَاتِ اتِّصَالِ الحَاسُوبِيَّةِ.

⁵⁴ أصل الاسم Circuit switching هو نمط اتِّصالٍ تُنشَأُ فِيهِ قَنَاةٌ مَادِيَّةٌ مُوقَّتَةٌ بِمُقْتَضَى الحَاجَةِ لِتَرْبِطِ بَيْنِ طَرَفَيْنِ، لِلْمَزِيدِ انظر ص. 71 في [BKE01] في ثَبَتِ المَرَاجِعِ.

⁵⁵ نَشَرَ بَارَانُ هَذِهِ الأَفْكَارَ فِي تَقْرِيرِ حَمَلِ عُنْوَانِ "عَنِ شَبَّكَاتِ اتِّصَالِ المُوَرَّعَةِ"، وَاسْتَعْمَلَ فِيهِ المِصْطَلَحَاتِ التَّالِيَةَ: الرِّسَالَةُ المُجمَّعة Block message والمَعْلُومَاتُ الإِدَارِيَّةُ Housekeeping information، لِلْمَزِيدِ انظر [ART11] في ثَبَتِ المَرَاجِعِ.

⁵⁶ لِلْمَزِيدِ حَوْلَ مَبْدَأِ تَبْدِيلِ الرِّزْمِ وَتَطَوُّرِهِ انظر [ART12] في ثَبَتِ المَرَاجِعِ.

- قد تُستخدم شبكات البيانات الفرعية نُظْمَ عَنونَةٍ مُخْتَلِفَةٍ لِتَمييزِ المُضَيِّفِينَ، فَتَظْهَرُ عِنْدَهَا حَاجَةٌ لِإِنظَامِ عَنونَةٍ مُوَحَّدٍ لِيَكُونَ بِإمكانِ أَيِّ مُضَيِّفِينَ مِنْ شَبَكَتَيْنِ فَرعِيَّتَيْنِ التَّوَالُصُ فِي ما بَيْنَهُمَا.
- قد يَكُونُ لِلْمُضَيِّفِينَ المَوْجُودِينَ فِي شَبَكاتِ فَرعِيَّةٍ مُخْتَلِفَةٍ قُدْرَةٌ عَلى التَّعَامُلِ مَعَ أَحجامِ صُغرى مُتَنوعَةٍ مِنْ وَحَداتِ البِياتِ، وَيَلزِمُ أَنْ يُوجَدَ طُولٌ أَصغرُ مُتَّفَقٌ عَليه لِوَحَداتِ البِياتِ المُتبادِلَةِ بَينَ المُضَيِّفِينَ.
- قد تُخْتَلِفُ طَريقةُ تحديِدِ نِجاحِ أوِ إِخفاقِ عَمليَّةِ نَقْلِ البِياتِ بَينَ الشَبَكاتِ الفَرعِيَّةِ المُخْتَلِفَةِ، والأَمْرُ نَفسُهُ فِي ما يَتعلَّقُ بِتَقْيِيمِ أداءِ الشَبَكَةِ، خاصَّةً فِي مَسائِلَ نَحوِ أَزمنةِ التَّأخِيرِ المَقْبُولَةِ.
- قد تُفقدُ وَحَداتِ البِياتِ أوِ يَتَغَيَّرُ مَحتَواها فِي أَثناءِ نَقْلِها لِأسبابٍ مُتَنوعَةٍ تُخْتَلِفُ مِنْ شَبَكَةِ فَرعِيَّةٍ لِأُخرى، وَيَلزِمُ إِنشَاءُ اتِّصالٍ بَينَ الطَّرَفِيَّاتِ لِدَعْمِ آليَّةِ إِعادةِ إِرسالِ البِياتِ المَفقُودَةِ أوِ اسْتعادَتِها.
- قد تُخْتَلِفُ المَعْلُوماتِ المُرتَبِطَةُ بِحالةِ الشَبَكَةِ وبِالتَّوَجِيهِ وَبِتحديدِ الأَخْطَاءِ مِنْ شَبَكَةِ فَرعِيَّةٍ لِأُخرى، لِذلكِ يَلزِمُ وَجُودَ مِعيارٍ مُوَحَّدٍ فِي الشَبَكاتِ الفَرعِيَّةِ كُلِّها لِوصفِ العَمليَّاتِ السَّابِقَةِ.

وارتأى خان وسيرف إمكانية معالجة هذه الاختلافات على حُدودِ كُلِّ شَبَكَةٍ لا داخِلِها، أَي في البَوَّابِاتِ وَفي المُضَيِّفِينَ، واقترحوا تطوير بروتوكولٍ مُخصَّصٍ يَدَعْمُ عَمليَّةَ التَّشْبِيكِ وَيُعالجُ الاختلافاتِ السَّابِقَةَ.

استمر العمل في داريا على نقل الفلسفة التي تبنتها الوكالة من الحيزِ النَّظريِّ إلى الواقعِ العمليِّ من خلال التَّركيزِ على إلزامِ الشَبَكاتِ بِتقديمِ مَجمُوعَةٍ بَسيطةٍ مِنْ الخِدماتِ تَتَمَحَوَّرُ حَولَ نَقْلِ رِزْمِ البِياتِ بِمُعدَّلٍ عالٍ لَكن مِنْ غيرِ ضَمانِ مَوثُوقِيَّةٍ كامِلَةٍ. تَضَمَّنَتِ هَذِهِ الفِلسفةُ أَيضاً رِبطَ الشَبَكاتِ المُخْتَلِفَةِ بِعَظْمِها مَعَ بَعْضِ باسْتعمالِ البَوَّابِاتِ مِنْ أَجلِ نَقْلِ البِياتِ، وَتَتَّصِلُ كُلُّ مِنْ هَذِهِ البَوَّابِاتِ مَعَ شَبَكَتَيْنِ فَرعِيَّتَيْنِ عَلى الأَقْل، عَلى أَنْ تَظْهَرُ كُلُّ بَوَّابَةٍ فِي كُلِّ شَبَكَةٍ تَتَّصِلُ مَعها بِصِفةِ مُضَيِّفٍ مَحَلِّيِّ.

طَوَّرَ سِيرِف، اعْتِماداً عَلى الفِلسفةِ السَّابِقَةِ، نَمُودَجاً نَظريًّا يَصِفُ شَبَكَةَ بِياتِ افتِراضِيَّةً تُرِبطُ مَجمُوعَةً مِنْ الشَبَكاتِ المُتَنوعَةِ وَسَمَّاهُ نَمُودَجاً كاتِينِت. ⁶² بِالإِضافةِ لِذلكِ، اعْتَمَدَتِ شَبَكاتِ بِياتِ أُخرى المَبادِي نَفسَها وَأَدْخَلَتِ عَليها مَجمُوعَةً مِنْ التَّحسيناتِ أَيضاً نَحوِ شَبَكَةِ سِيكلادِ المُطَوَّرَةِ فِي فِرنسَةَ، فُرابَةِ العَامِ 1974م، وَالتي يُنسَبُ لِطَوَّرها، لُويسِ پُوزان ⁶³، كَونَهُ مِنْ أوائلِ مَنْ اسْتَعْمَلُوا مُصْطَلَحَ حِزْمَةِ البِياتِ ⁶⁴ فِي أدبِياتِ شَبَكاتِ الحاسِبِ. طَوَّرَ پُوزانُ مَفهُومَ الرِّسالةِ المُجمَّعةِ

⁶² أصل الاسم Catenet، وهو مُصطلحٌ مُجرَّدٌ يَعبُرُ الشَبَكاتِ المُتتابِعةَ أو المُتسلسِلَةَ وَأَصْلُهُ مِنَ العِبارَةِ Concatenated Network، وَكانَ لُويسِ پُوزانُ (انظر تَرجمته في الهامِشِ الثَّانِي) هُوَ أوَّلُ مَنْ اسْتَعْمَلَ هَذَا المُصْطَلَحَ لِوصفِ شَبَكَةِ البِياتِ فِي وَرَقَةٍ بَحْثِيَّةٍ نَشَرها فِي عَامِ 1974م (انظر [IEN48] فِي تَبْتِ المَراجِعِ).

⁶³ لُويسِ پُوزانُ (بِالفرنسيَّةِ: Louis Pouzin) (1931-) هُوَ عالِمُ حاسِبٍ فِرنسيٌّ حَصلَ عَلى دَرجَةِ البَكاُلُورِيوسِ فِي عَامِ 1962 مِنْ مَدْرسةِ الثَّقاناتِ المُتعدِّدةِ (بُولِيَتِكْنِيك)، وَعَمِلَ فِي الفِترَةِ بَينَ العَامينِ 1971 وَ1976 عَلى تَطويرِ شَبَكَةِ سِيكلادِ (بِالفرنسيَّةِ: Cyclades) الَّتِي وَصَلَتِ عَدَدًا مِنْ المَعاهِدِ وَالجَامِعاتِ البَحْثِيَّةِ الفِرنسيَّةِ وَالعالمِيَّةِ بِعَظْمِها مَعَ بَعْضِ، وَكانَتِ أوَّلَ شَبَكَةِ بِياتِ تُطبَّقُ بِنِجاحٍ مَفهُومَ حِزْمَةِ البِياتِ.

⁶⁴ أصل الاسم Datagram، وَزِدَتِ مُعَرَّبَتُهُ فِي ص. 20 فِي [BKA05] فِي تَبْتِ المَراجِعِ إِلَى "بَرقِيَّةِ مُعْطِياتٍ"، وَفِي ص. 82 فِي [BKA01] إِلَى حِزْمَةِ بِياتِ أو رِسالةِ بِياتِ، وَقَدِ اعْتَمَدنا حِزْمَةَ بِياتِ مُقابِلًا لَها فِي هَذَا الكِتابِ.

الذي صاغه بآزان في عام 1964م ونجح في نقله من فكرة نظرية إلى تطبيق عملي ليكون أول من ينجح في تنفيذ مبدأ تبادل الرزم.⁶⁵

كانت نتيجة ما سبق وضعاً معقداً ظهرت فيه أنظمة وشبكات متنوعة صنعتها أو طورتها أطراف متعددة. وقد استشعرت المنظمة الدولية للمعايير⁶⁶ الحاجة لوضع معيار موحد لشبكات البيانات غير المتجانسة، فأنشأت لجنة فرعية مخصصة لذلك في العام 1977م، أعطتها الاسم الرمزي⁶⁷ SC16. أشرفت هذه اللجنة على تطوير المعيار الذي حمل اسم "الربط البيئي للأنظمة المفتوحة"، وقد اختيرت كلمة "مفتوحة" فيه بعناية لتشديد على أن الوصول إلى أي نظام يتبع هذا المعيار سيكون متاحاً من أي نظام آخر يدعم المعيار نفسه.

اجتمعت اللجنة للمرة الأولى في شهر مارس 1978م، وقدمت اقتراحات أولية للمعيار على شكل نموذج طبقى مكون من سبع طبقات تدعم كل منها مجموعة محددة من الخدمات. وبعد 18 شهراً، طرحت النسخة الأولى من المعيار تحت عنوان "نموذج مرجعي للربط بين الأنظمة المفتوحة"، وقد سبق وعرضنا هذا النموذج بالتفصيل في الفصل الأول من هذا الكتاب، وفيه عالجت الطبقتان الثالثة، وهي طبقة الشبكة، والرابعة، وهي طبقة النقل، الإشكالات التي ناقشناها في ما سبق، وتخصصت طبقة الشبكة في الاهتمام بدعم خدمة التشبيك.

تواصل العمل في داربا في السنوات اللاحقة، فطور الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت في عام 1980م ليكون بروتوكول التشبيك في أربانت، ودعمت الوظائف التي يقدمها، نحو التحكم بالتدفق، بواسطة بروتوكول التحكم بالنقل وهو بروتوكول ينشئ قنوات افتراضية مستقلة عن بنية الشبكة المادية تمتد بين طرفي الاتصال. في حين طورت اللجنة الاستشارية الدولية للاتصال الصوتي والبياني⁶⁸ نموذج شبكة خاصاً بها وسمته إكس 25،⁶⁹ ويقدم هذا النموذج مقارنة مختلفة للتشبيك تعتمد اعتماداً رئيساً على إنشاء قنوات افتراضية تمتد عبر شبكات متنوعة لتصل بين الطرفين.⁷⁰

⁶⁵ للمزيد حول عمل بوزان انظر [ART15] في ثبث المراجع.

⁶⁶ أصل الاسم International Organization for Standardization اختصاراً ISO هي منظمة دولية غير حكومية تأسست عام 1947م، وتختص بوضع معايير دولية لقضايا التقنية والغذاء والصحة وغير ذلك، وتعرف بها أكثر من 160 دولة حول العالم.

⁶⁷ وهو مختصر عن الاسم الأجنبي للجنة الفرعية وهو Sub-Committee.

⁶⁸ أصل الاسم (بالفرنسية: Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique)، اختصاراً CCITT، هو الاسم السابق لقطاع تقييس الاتصالات Telecommunication Standardization Sector في الاتحاد الدولي للاتصالات International Telecommunication Union، اختصاراً ITU، وهو وكالة دولية تابعة للأمم المتحدة متخصصة بتطوير معايير عالمية لتقانات الاتصالات والمعلومات.

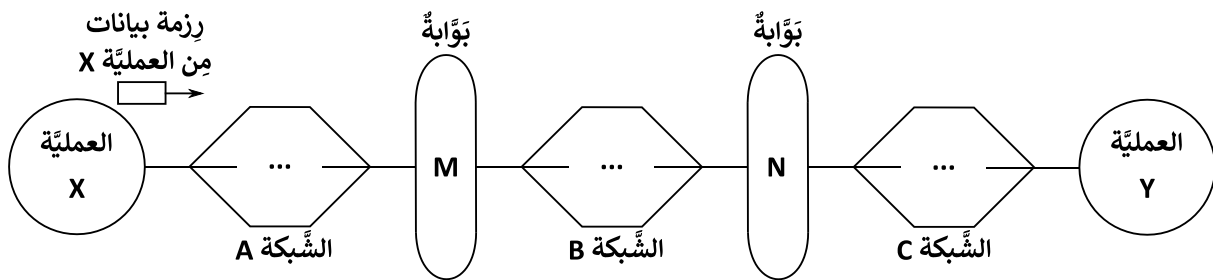
⁶⁹ أصل الاسم X. 25، هو معيار طوره اللجنة الاستشارية الدولية للاتصال الصوتي والبياني في عام 1976م، يعرف آلية الاتصال بين الطرفين وشبكة تبادل رزم عامة، انظر ص. 421 في [BKE01] في ثبث المراجع.

⁷⁰ من أجل مزيد من المعلومات عن هذه المقاربة انظر [ART16] في ثبث المراجع.

بِنِيَة الشَّبْكَة

يُبيِّن الشَّكْل (2-2) بِنِيَة شَبْكَة بِيَانَاتٍ نَمُودَجِيَّةٍ افْتَرَضَهَا سِيرْف وَخَان فِي بَحْثِهِمَا الَّذِي نَشَرَاهُ فِي الْعَام 1974م. تَتَكُون هَذِهِ الشَّبْكَة مِنْ:

- مَجْمُوعَةٌ مِنَ الْمَوَارِدِ الْحَاسُوبِيَّةِ، نَحْوِ الطَّرْفِيَّاتِ أَوْ الْحَوَاسِبِ، يُشَارُ لَهَا عَادَةً بِاسْمِ الْمُضَيِّفِينَ، يَنْشُطُ فِي كُلِّ مِنْهَا عَدَدٌ مِنَ الْعَمَلِيَّاتِ الَّتِي تَلْعَبُ دَوْرَ مَصَادِرِ الْبِيَانَاتِ الْإِبْتِدَائِيَّةِ وَوَجْهَتِهَا النَّهَائِيَّةِ، وَهِيَ تَحْتَاجُ إِلَى الْإِتِّصَالِ بَعْضُهَا مَعَ بَعْضٍ عِبْرَ الشَّبْكَةِ.
- مَجْمُوعَةٌ مِنَ الْبَوَابَاتِ تَدْعَمُ تَقْنِيَّةَ تَبْدِيلِ الرِّزْمِ (وَاحِدَةً عَلَى الْأَقْلَى، انْظُرِ الشَّكْل (2-3)).
- مَجْمُوعَةٌ مِنَ أَوْسَاطِ الْإِتِّصَالِ تَصِلُ بَيْنَ الْبَوَابَاتِ نَفْسِهَا، وَتُرْبِطُ أَيْضاً بَيْنَهَا وَبَيْنَ الْمُضَيِّفِينَ.



الشَّكْل (2-2): بِنِيَة لِشَبْكَة بِيَانَاتٍ افْتَرَضَهَا سِيرْف وَخَان فِي عَام 1974م: ثَلَاثُ شَبْكَاتٍ تَتَّصِلُ بَعْضُهَا مَعَ بَعْضٍ عِبْرَ بَوَابَتَيْنِ

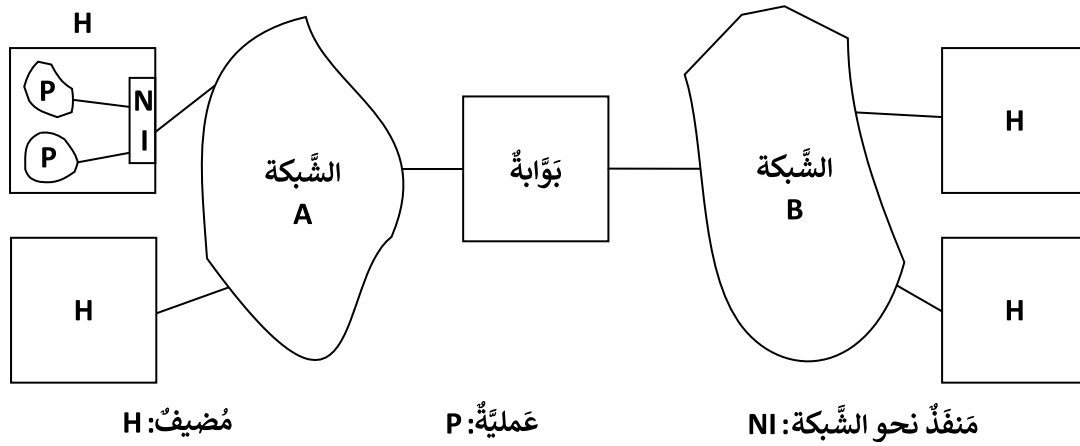
اقْتَرَحَ جُونُ بُوَسْتِل⁷¹ فِي عَام 1981م نَمُودَجاً مُشَابِهاً لِلنَّمُودَجِ السَّابِقِ عِنْدَ وَصْفِهِ الْإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بَرُوتُوْكُولِ الْإِنْتَرْنِتِ،⁷² وَهُوَ مُوضَّحٌ فِي الشَّكْل (2-3).

تَبَعاً لِلنَّمُودَجَيْنِ السَّابِقَيْنِ، تُسْتَعْمَدُ بَرُوتُوْكُولَاتُ اتِّصَالٍ تَنْشُطُ فِي ثَلَاثِ طَبَقَاتٍ مِنْ نَمُودَجِ الرِّبْطِ الْبَيْنِيِّ بَيْنَ الْأَنْظَمَةِ الْمَفْتُوحَةِ وَفَقاً لِمَا يَلِي:

- بَرُوتُوْكُولُ نَقْلِ يَصِلُ بَيْنَ طَرَفِي الْإِتِّصَالِ عِبْرَ قَنَاةٍ افْتَرَضِيَّةٍ مُسْتَقَلَّةٍ عَنِ بِنِيَةِ الشَّبْكَةِ الْمَادِيَّةِ.
- بَرُوتُوْكُولُ تَشْبِيكِ يُحَدِّدُ نِظَامَ عُنُونَةٍ مُوَحَّدَةً مَفْهُوماً فِي الشَّبْكَاتِ الْمُتَنَوِّعَةِ جَمِيعِهَا، وَيَصِفُ هَذَا الْبَرُوتُوْكُولُ أَيْضاً وَحِدَةَ بِيَانَاتٍ مَعْيَارِيَّةٍ لِيُصَارَ إِلَى تَبَادُلِهَا بَيْنَ الْمُضَيِّفِينَ، وَتُسَمَّى رِزْمَةَ الْبِيَانَاتِ.
- بَرُوتُوْكُولَاتُ وَصَلَةٍ مُتَنَوِّعَةٍ تَخْتَلِفُ مِنْ شَبْكَةٍ إِلَى أُخْرَى وَتُحَدِّدُ خَصَائِصَ هَذِهِ الشَّبْكَاتِ الْفَرِيدَةِ نَحْوَ مُعَدَّلِ النَّقْلِ.

⁷¹ جُونُ بُوَسْتِلِ Jon Postel (1943-1998) هُوَ عَالِمُ حَاسُوبٍ أَمْرِيكِيٍّ حَصَلَ عَلَى دَرَجَتِي التَّكَالُورِيُوسِ وَالْمَاجِسْتِيرِ فِي الْهَنْدَسَةِ مِنْ جَامِعَةِ كَالِيْفُورْنِيَةِ فِي لُوسِ أَنْجَلُوسِ فِي سَنَتَيْ 1966 وَ1968م عَلَى التَّرْتِيبِ، وَحَصَلَ فِيهَا أَيْضاً عَلَى دَرَجَةِ الدُّكْتُورَاهِ فِي عُلُومِ الْحَاسُوبِ فِي عَام 1974م. لِيُوسْتِلِ إِسْهَامَاتٌ بَارِزَةٌ فِي وَصْفِ الْإِنْتَرْنِتِ وَبَرُوتُوْكُولَاتِهَا وَصِفاً مَعْيَارِيّاً خَاصَّةً مِنْ خِلَالِ تَحْرِيرِهِ لِعَدِيدِ مِنْ وَثَائِقِ طَلَبِ التَّعْلِيقاتِ ذَاتِ الْأَهْمِيَّةِ الْعَالِيَةِ نَحْوَ وَثِيْقَةِ الْإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بَرُوتُوْكُولِ الْإِنْتَرْنِتِ وَوَثِيْقَةِ بَرُوتُوْكُولِ التَّحْكُمِ فِي النَّقْلِ وَاسْمَاهُمَا الرَّمَزِيَّانِ هُمَا: RFC 791 وَ RFC 793 عَلَى التَّرْتِيبِ.

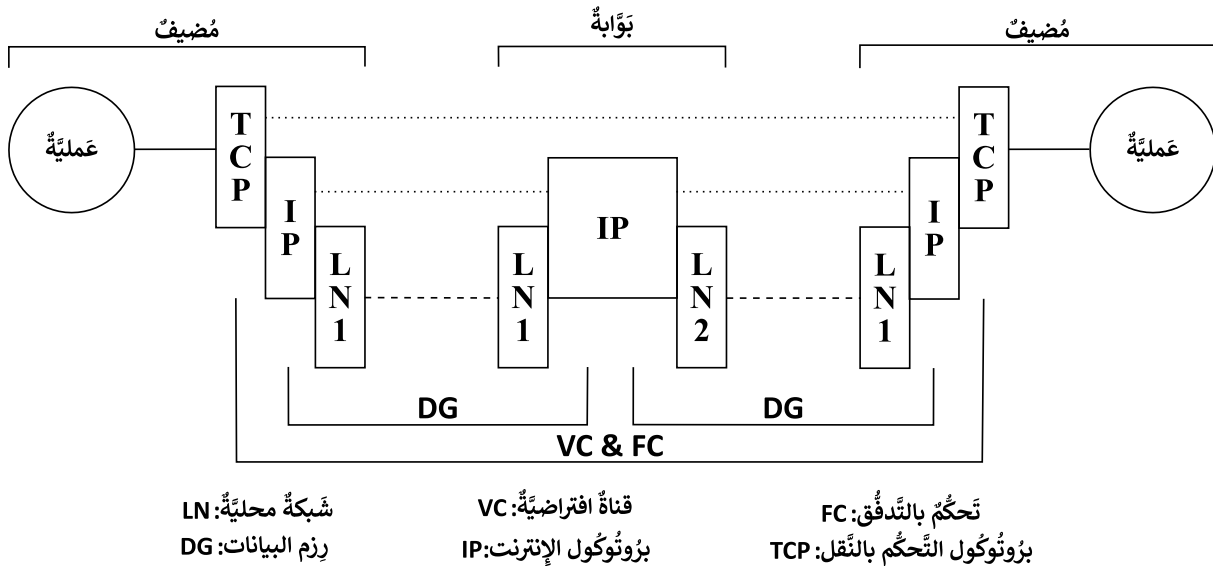
⁷² نَشَرَ بُوَسْتِلِ هَذِهِ الدَّرَاسَةَ تَحْتَ اسْمِ "بَرُوتُوْكُولِ الْإِنْتَرْنِتِ الْخَاصِّ بَدَارِيّاً"، لِمَزِيدِ حَوْلِهَا انْظُرِ [ART17] فِي نَيْبِ الْمَرَاجِعِ.



الشكل (3-2): نموذج شبكة بيانات اقترحه بوسنيل: شبكتان في كلٍّ منها مُضَيِّفَانِ يَتَّصِلَانِ عِبْرَ بَوَابَةٍ، وَيُظَهَرُ فِي أَحَدِ الْمُضَيِّفَيْنِ عَمَلِيَّتَانِ وَمَنْفَعِدُ نَحْوِ الشَّبَكَةِ.

يُظَهَرُ الشَّكْلُ (4-2) نَمُودَجًا لِشَبَكَةِ بَيَانَاتٍ هِيَ أَرْبَابَاتٍ مَعَ تَوْضِيحٍ لِدَوْرِ الْبَرُوتُوكُولَاتِ، وَفِيهَا يُسْتَعْمَلُ:

- بروتوكول نقلٍ هو بروتوكول التَّحْكُمِ بالنَّقلِ، رُمز له TCP.
- بروتوكول تشبيكٍ هو الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، ورُمز له IP.
- بروتوكولا وصلةٍ غير مُحدَّدين، رُمز لهما LN1 وLN2 على التَّرتيب.

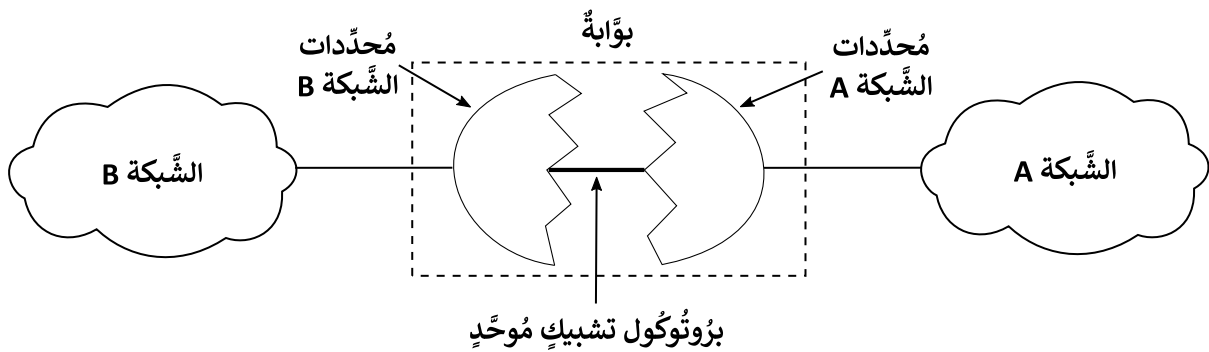


الشكل (4-2): مسار البيانات في أرباب

تُنْقَلُ الْبَيَانَاتُ عُمُومًا مِنْ عَمَلِيَّةٍ مَصْدَرٍ مَوْجُودَةٍ فِي أَحَدِ الْمُضَيِّفَيْنِ إِلَى عَمَلِيَّةٍ وَجْهَةٍ فِي مُضَيِّفٍ آخَرَ. وَلِتَحْقِيقِ ذَلِكَ، يَلَزَمُ اسْتِخْدَامَ بَرُوتُوكُولِ التَّشْبِيكِ نَفْسِهِ فِي الْمُضَيِّفَيْنِ لِئُصْبِحَا قَادِرَيْنِ عَلَى تَبَادُلِ وَحَدَاتٍ مِعْيَارِيَّةٍ مِنَ الْبَيَانَاتِ، تُسَمَّى رِزْمَ الْبَيَانَاتِ، وَهِيَ ذَاتُ طُولٍ أَعْظَمَ مُوَحَّدٍ، وَفِي كُلِّ مِنْهَا عُنُونَا مَصْدَرِ رِزْمَةِ الْبَيَانَاتِ وَوَجْهَتِهَا، وَيُحَدِّدُ بَرُوتُوكُولُ التَّشْبِيكِ هَذِهِ التَّفَاصِيلَ كُلَّهَا.

تربط الشبكات المختلفة، أي التي تُشغَل بروتوكولات وصلةٍ متنوّعة، بعضها مع بعضٍ بواسطة البوابات. والبوابة هي نقطة اتصالٍ مشتركةٌ بين شبكتين أو أكثر، وهي مُصطلحٌ مكافئٌ لكلمة مُوجّه، وكان سيرف وخان هما أول من استعمل هذا المُصطلح للإشارة إلى الأداة البيئية التي تربط بين الشبكات المختلفة.

تتألف البوابة وفقاً ليوستيل من قسمين على الأقل، يُمثل كلٌّ منهما مضيفاً مُستقلاً مُتصلاً مع شبكة بياناتٍ، تربط هذه الأقسام بعضها مع بعضٍ عبر بروتوكول التَّشبيك الذي يُوجد طريقةً مشتركةً ومفهومةً لنقل البيانات في ما بينها، ويتطلَّب ذلك وجود معرفاتٍ فريدةٍ ومُميزةٍ لكلِّ قسمٍ، لكنّها، في الوقت ذاته، تتبع بنيةً معياريةً مُوحَّدةً، ويعرِّض الشكل (2-5) بنية البوابة ودور بروتوكول التَّشبيك فيها كما افترضه يوستيل.



الشَّكل (2-5): مُخطَّط لبنية البوابة وعلاقتها مع بروتوكول التَّشبيك كما اقترحه يوستيل

تحتاج عمليَّة نقل رزم البيانات من شبكةٍ إلى أخرى إلى إنجاز البوابة للتَّوجيه من أجل تحديد مسار الرزم، وتعتد هذه العمليَّة على وجود عناوينٍ فريدةٍ تتبع بنيةً معياريةً. يهتم بروتوكول التَّشبيك بعمليَّة العنونة هذه، ولكنه لا ينجز التَّوجيه، بل هي مهمَّة بروتوكولٍ آخرٍ مُخصَّصٍ يُسمَّى بروتوكول التَّوجيه. وكما سبق وذكر في الفصل الأوَّل، فإنَّ العنونة والتَّوجيه هما من خدمات الطبقة الثالثة تبعاً لنموذج الربط البيئيِّ للأنظمة المفتوحة.

يلزم أن تكون البوابات قادرةً على تغليف رزم البيانات وفكِّ تغليفها. في التَّغليف، تُعدَّل محتويات ترؤيسة بروتوكول التَّشبيك بمقتضى الحاجة، وتُضاف ترؤيسة بروتوكول الوصلة العامل في الشبكة حيث ستوجّه البيانات. أمَّا في فكِّ التَّغليف، فستُخلَص الرزمة البيانات القادمة إلى البوابة من إطار البيانات الذي وردت فيه من أجل مُعالجتها. تُسمَّى البوابات أيضاً ببوابات تغيير وسط الاتِّصال⁷³ لأنّها قد تنقل رزم البيانات بين شبكاتٍ تُشغَل بروتوكولاتٍ وصلةٍ مُتعدِّدة وقد تربط بين أوساط اتِّصالٍ ذات بنيةٍ ماديَّةٍ مُختلفةٍ، مثلاً بين وسطٍ سلكيٍّ ووسطٍ غير سلكيٍّ.

يلزم، بالإضافة لذلك، أن تكون البوابة قادرةً على تقطيع رزم بياناتٍ تُسمَّى الرزم الأصيلة. تُقطَّع البوابة كلَّ رزمةٍ أصيلةٍ، بعد أن يتخذ قرار توجيهها، إلى رزمٍ أصغر، ثمَّ تُرسلها عبر الشبكة. يحصل ذلك إذا كان طول الرزمة أكبر من قيمة وحدة النُّقل العظمى المسموح بها في تلك الشبكة.

⁷³ أصل الاسم Media-conversion gateway.

وظائف بروتوكول التشبيك

التشبيك هو خدمة تدعمها طبقة الشبكة تبعاً لنموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة، ويُنظّمها بروتوكول يُسمى بروتوكول التشبيك، وهو يُنجز الوظائف التالية:

- دعم نمطٍ مُحدّدٍ للاتّصال
- ضبط جودة الخدمة
- عنونة المضيفين
- تقطيع رزم البيانات وإعادة تجميعها
- التّنضيد وفكّ التّنضيد
- التّوجيه تبعاً للمصدر وتسجيل المسار
- التّحكّم بالتدفّق

ونُناقش الفقرات التالية كلّاً من هذه الوظائف بالتفصيل.

دعم نمط الاتّصال

يُحدّد بروتوكول التشبيك نمط الاتّصال المدعوم في الشبكة، فإنّما أن يدعم اتّصالاً مُهيئاً أو اتّصالاً غير مُهيئاً⁷⁴.

- الاتّصال المُهيئ: يعني أن إنشاء قناة الاتّصال يَمُرُّ بثلاثة مراحل: تأسيس القناة ونقل البيانات عبرها ثمّ إغلاقها عند الانتهاء. ويتطلّب ذلك إنشاءً مُسبقاً للاتّصال قبل البدء بتبادل البيانات ومتابعةً له حتّى نهايته، يُمكن أن يكون الاتّصال غير المُهيئاً موثوقاً أو غير موثوق⁷⁵. يُقدّم هذا الاتّصال عدداً من الميزات منها إمكانية الحجز المُسبق للموارد، مثلاً: تحديد المسارات التي ستسلكها البيانات، ما يؤدي إلى استعمالٍ أكثر فعاليةً لعرض النطاق المُتاح بسبب إمكانية التّحكّم بالتدفّق.

تترافق هذه الميزات مع زيادةٍ في تعقيد عمل البروتوكول الذي يدعم هذا الاتّصال وفي بنية ووظيفة البوابات أيضاً، بالإضافة إلى حصول تأخيرٍ في توصيل البيانات إلى وجهتها النهائيّة.

- الاتّصال غير المُهيئ: ويتطلّب إرسال رزم البيانات فيه تزويد الطّرفيّات بعنواني المصدر والوجهة فقط، وسيُضاف هذان العنوانان بعدها إلى رزم البيانات كلّها، ولا يفرض في هذا النمط إلزامٌ بإنشاء اتّصالٍ مُباشرٍ بين المصدر والوجهة قبل البدء بإرسال البيانات، فلا يُراقب المصدر ولا الوجهة حركة البيانات في ما بينهما، ولا يتابعان المسارات المُتنوّعة التي قد تسلكها الرزم.

⁷⁴ أصل الاسم للاتّصال المُهيئ Connection-oriented communication وللأصل غير المُهيئ Connectionless communication.

والتّعريف في هذه الفقرة مُستندةٌ إلى ما ورد في ص. 86 في [BKE01] في ثَبَت المراجع.

⁷⁵ لا تعني كلمة "موثوق" في هذا السياق أنّ البيانات جميعها ستصل إلى وجهتها وصولاً مضموناً، ولكنها تعني وجود ضمانّة بأنّ مُستخدم الشبكة سيُنَبّه إذا لم تصل البيانات إلى وجهتها النهائيّة. انظر ما ورد في هذا الخصوص في ص. 1390 في [ART18] في ثَبَت المراجع.

يَتَمَيَّزُ هَذَا الْاِتِّصَالُ بِبَسَاطَةِ الْبِنْيَةِ الْمَطْلُوبَةِ لِإِدَارَتِهِ، وَخَاصَّةً فِي الْبَوَابَاتِ، وَبِقُدْرَتِهِ عَلَى تَوْفِيرِ مُعَدَّلِ نَقْلِ عَالٍ يُنَاسِبُ التَّطْبِيقَاتِ الَّتِي تَتَطَلَّبُ عَرْضَ نِطَاقٍ كَبِيرٍ. وَلَكِنَّ الْاِتِّصَالَاتِ غَيْرَ الْمُهَيَّأَةِ غَيْرَ مَوْثُوقِي، أَيَّ أَنَّ بَرُوْتُوَكُولِ التَّشْبِيكِ الَّلَّذِي يَدَعَمُ هَذَا النَّمَطَ مِنَ الْاِتِّصَالِ يَحْتَاجُ إِلَى تَأْمِينِ مَوْثُوقِيَّةٍ لِلْاِتِّصَالِ عِبْرَ وَسِيلَةٍ أُخْرَى نَحْوِ بَرُوْتُوَكُولِ نَقْلِ يَعْمَلُ فِي الطَّبَقَةِ الرَّابِعَةِ مِنْ نَمُودَجِ الرَّبِطِ الْبَيْنِيِّ لِلْاَنْظِمَةِ الْمَفْتُوحَةِ. بِالْإِضَافَةِ لَذَلِكَ، فَإِنَّ رَزَمَ الْبَيَانَاتِ قَدْ تَصَلَّ إِلَى وَجْهَتِهَا بِتَرْتِيبٍ مُخَالِفٍ لِتَرْتِيبِ إِرسَالِهَا، وَيَكُونُ عَلَى الْمُضْهِفِ الْوَجْهَةِ عِنْدَهَا إِعَادَةُ تَرْتِيبِهَا لِاسْتِخْرَاجِ الْبَيَانَاتِ الْمُرْسَلَةِ اسْتِخْرَاجاً صَحِيحاً.

ضَبْطُ جُودَةِ الْخِدْمَةِ⁷⁶

تَعْنِي تَحْدِيدَ وَتَنْظِيمَ الْمُتَطَلِّبَاتِ الَّتِي يَلْزَمُ أَنْ تُؤَمَّنَهَا الشَّبَكَةُ لِدَعْمِ تَطْبِيقٍ مُعَيَّنٍ. تَتَنَوَّعُ التَّطْبِيقَاتُ، لِذَا يَكُونُ لَهَا مُتَطَلِّبَاتٌ مُخْتَلِفَةٌ، كَمَا تَتَنَوَّعُ بِنْيَةُ الشَّبَكَاتِ، وَتَكُونُ بِذَلِكَ قَادِرَةً عَلَى تَأْمِينِ جُودَاتِ خِدْمَةٍ مُتَفَاوِتَةٍ.⁷⁷ تَأْمِينُ جُودَةِ خِدْمَةٍ مُحَدَّدَةٍ فِي طَبَقَةِ الشَّبَكَةِ هِيَ مَسْأَلَةٌ مُعْقَدَةٌ لِأَنَّ هَذِهِ الطَّبَقَةَ تَرْبُطُ بَيْنَ شَبَكَاتٍ مُتَنَوِّعَةٍ فِي بِنْيَتِهَا، وَقَدْ تَكُونُ جُودَةُ الْخِدْمَةِ الْمَدْعُومَةِ مُتَفَاوِتَةً عِبْرَهَا.

يُمْكِنُ أَنْ يَدَعَمَ بَرُوْتُوَكُولِ التَّشْبِيكِ مَوْثُوقِيَّةً⁷⁸ مُحَدَّدَةً مِنْ خِلَالِ الْعَمَلِ بِنَمَطِ الْاِتِّصَالِ الْمُهَيَّأَةِ، وَإِذَا تَبَايَنَتِ الْمَوْثُوقِيَّةُ الْمَدْعُومَةُ فِي عِدَّةِ شَبَكَاتٍ، فَبِالْإِمْكَانِ تَصَوِّبُهَا عِبْرَ اسْتِعْمَالِ بَرُوْتُوَكُولِ نَقْلِ يُقَدِّمُ وَظِيفَةَ الْمَوْثُوقِيَّةِ.

أَمَّا ضَبْطُ مُتَطَلِّبَاتٍ أُخْرَى نَحْوَ مُعَدَّلِ الْإِنْتَاجِيَّةِ وَالتَّأخِيرِ فَيَبْلُغُ مِنَ الصَّعُوبَةِ الْغَايَةَ، وَقَدْ يَكُونُ مُسْتَحِيلًا فِي طَبَقَةِ الشَّبَكَةِ. فَمَثَلًا، فِي مَا يَخْصُ مُعَدَّلَ الْإِنْتَاجِيَّةِ، يُمْكِنُ تَصْحِيحُ الْخَطَأِ فِي بَعْضِ الْحَالَاتِ فَقَطْ، عِنْدَمَا تَدَعَمُ بِنْيَةُ الشَّبَكَةِ حُلُولًا نَحْوَ تَوْزِيعِ الْحَمْلِ عَلَى مَسَارَاتٍ مُتَعَدَّدَةٍ مُتَوَازِيَةٍ بَدَلًا مِنْ مَسَارٍ وَحِيدٍ، فَيَرْتَفِعُ مُعَدَّلُ الْإِنْتَاجِيَّةِ. أَمَّا فِي مَا يَخْصُ التَّأخِيرَ، فَمَا إِنْ يَحْضُلُ، لَا يَعُودُ بِالْإِمْكَانِ تَدَاوُلَهُ.

عَنْوَانُ الْمُضْهِفِينَ

عَنْوَانُ الْمُضْهِفِ هُوَ مُعْرَفٌ فَرِيدٌ يُمَيِّزُ مُضْهِفًا أَوْ عَقْدَةً مُحَدَّدَةً فِي الشَّبَكَةِ.⁷⁹ إِذَا كَانَتِ الْعَنْوَابِينَ غَيْرَ عَشْوَائِيَّةٍ بَلْ مُوزَّعَةً تَوْزِيعًا مَدْرُوسًا، فَإِنَّ عَنْوَانَ الْمُضْهِفِ يُمْكِنُ أَنْ يُسَاعِدَ فِي تَحْدِيدِ مَوْقِعِهِ. كَمَا وَرَدَ فِي قِسْمِ بِنْيَةِ الشَّبَكَةِ سَابِقًا، تُوجَدُ حَاجَةٌ مَاسَّةٌ فِي شَبَكَاتِ الْبَيَانَاتِ لِاتِّبَاعِ مِعْيَارٍ مُوَحَّدٍ لِلْعَنْوَانِ عَلَى مُسْتَوَى طَبَقَةِ الشَّبَكَةِ لِتَمْيِيزِ الْعَقْدِ وَالطَّرْفِيَّاتِ الَّتِي تَتَّصِلُ مَعَ الشَّبَكَةِ تَمْيِيزًا فَرِيدًا.

⁷⁶ أصل الاسم Quality of Service، اختصاراً QoS.

⁷⁷ هذا التعريف مُستندٌ إلى ما ورد في ص. 315 في [BKE01] ثَبِتَ الْمَرَاكِجِ. أَمَّا [STD01] فَيُورِدُ فِي ص. 27 التَّعْرِيفَ التَّالِيَّ: «اسْمٌ جَامِعٌ يُطَلَّقُ عَلَى مَجْمُوعَةٍ مِنَ الْمُحْدِدَاتِ الَّتِي تَرْبِطُ بِنَقْلِ الْبَيَانَاتِ فِي طَبَقَةٍ مَرْتَبَتِهَا N عِبْرَ نِقَاطِ النِّقَاطِ لِلْخِدْمَةِ ذَاتِ الْمَرْتَبَةِ N ». وَانظُرِ الْفَصْلَ الْأَوَّلَ مِنْ هَذَا الْكِتَابِ مِنْ أَجْلِ تَعَارِيفِ الطَّبَقَةِ وَنِقْطَةِ النِّقَاطِ إِلَى الْخِدْمَةِ.

⁷⁸ مِنْ أَجْلِ الْمُصْطَلِحَاتِ الْوَارِدَةِ فِي هَذِهِ الْفَقْرَةِ، انظُرِ مَوَادِّ: Reliability و Throughput و Delay فِي [BKA02] وَ [BKA06] فِي ثَبِتِ الْمَرَاكِجِ الَّتِي تُقَابِلُ الْمَوْثُوقِيَّةَ وَمُعَدَّلَ الْإِنْتَاجِيَّةِ وَالتَّأخِيرِ عَلَى التَّرْتِيبِ.

⁷⁹ انظُرِ مَا وَرَدَ فِي ص. 13 فِي [BKE01] ثَبِتَ الْمَرَاكِجِ.

يُؤدِّي بروتوكول التشبيك وظيفة عنونة المضيفين مُحدداً كيفية توليد واستعمال عناوين الشبكة من خلال معالجة الأسئلة التالية:

- ما هو طول عنوان المضيف وما هو حجم فضاء العناوين؟ وهل يُغطي حاجة الشبكة الحالية والمستقبلية؟
- ما هي طريقة ترميز العنوان؟ هل يُرمز باستعمال بتات ثنائية أم خانات عشرية؟ هل يحتوي محارف؟ ما هو نظام العدّ المُستعمل لتمثيل العناوين؟
- ما هي الطريقة المُتبعة في تقسيم فضاء العناوين؟

في ما يخصُّ السؤال الأول، انظر الفصل السابع من هذا الكتاب لمعرفة تأثير استنفاد فضاء عناوين بروتوكول التشبيك على مدّة استخدامه المُتوقّعة، أمّا في ما يخصُّ السؤال الأخير، فيُستحسن أن يكون للعناوين بنية هرمية مُتوافقة مع تصميم الشبكة، فتشترك الطرفيات المُتقاربة مكانياً بأجزاءٍ من عناوينها، ويُساعد ذلك في تحديد مواقع المضيفين تبعاً لعناوينهم وفي اختزال أحجام جداول التوجيه كما سترى بالتفصيل في الفصل الثامن من هذا الكتاب.

تقطيع رزم البيانات وإعادة تجميعها⁸⁰

التقطيع هو تقسيم رزمة بيانات، فيها ترؤيسة وحُمولة، إلى رزمتين أو أكثر في كلٍّ منهما جزءٍ من الحُمولة السابقة وترؤيسة (انظر الشكل (2-6)). في شبكة بيانات ذات قيمة وحدة نقلٍ عظمى⁸¹ مُحدّدة، إذا تجاوز طول الرزم المراد نقلها طول الوحدة العظمى، كان التقطيع لازماً. أمّا إعادة التجميع فهي عملية جمع القطع السابقة بعضها مع بعض لإعادة تشكيل رزمة البيانات الأصلية. وستناقش عملية التقطيع في الإصدارين الرابع والسادس من بروتوكول الإنترنت في الفصلين الثالث والعاشر في هذا الكتاب على الترتيب.

يُوجد منهجان لإنجاز عمليتي التقطيع وإعادة التجميع:

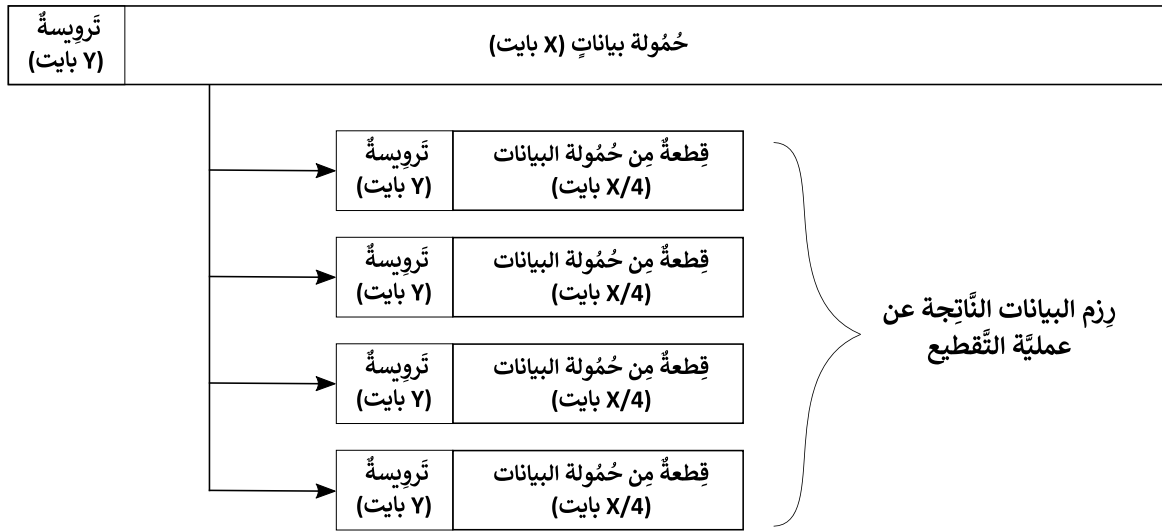
- التقطيع والتجميع على حدود الشبكة وفيه تُقطع رزم البيانات مباشرةً قبل إرسالها عبر شبكة ما، ويُعاد تجميعها لإنشاء الرزم الأصل مباشرةً بعد خروجها من تلك الشبكة.⁸²

⁸⁰ أصل الاسم Fragmentation، وقد عُرِّبت هذه الكلمة، في ص. 124 في [BKA01] في ثبّت المراجع، على أنها التجرؤ ولكن تعريفها وزد لِمَجالي آخر، وفي ص. 446 في [BKA02] على أنها الشظية، وفي ص. 32 في [BKA05] على أنها تجزئة. واخترنا مُصطلح التقطيع لتمييزها عن التجزئة التي ستناقش في الفصل الرابع من هذا الكتاب. أمّا إعادة التجميع فهي Reassembly، انظر ص. 82 وص. 962 في [BKA2].

⁸¹ أصل الاسم Maximum Transmission Unit، اختصاراً MTU، هي الحد الأقصى لطول رزمة البيانات التي يُمكن نقلها عبر شبكة بيانات ما، وتقاس بالبايت، للمزيد انظر ص. 75 في [ART19] في ثبّت المراجع.

⁸² يُوصف التقطيع على حُدود الشبكة باستعمال الكلمة: Intra-network، و-Intra هي بادئها معناها ضمن أو في داخل (انظر ص. 604 في [BKA2] في ثبّت المراجع)، فيُصبح معنى الاسم الحرفي: داخل الشبكة أو في حُدود الشبكة، وذلك لأنّ القطع الناتجة عن التقطيع تظلّ محصورةً في شبكةٍ واحدةٍ ولا تغادرها إلا قطعةً واحدةً بعد إعادة تجميعها. أمّا التقطيع العابر لحُدود الشبكة، فيُوصف باستعمال الكلمة Trans-network، و-Trans هي بادئها تعني عبر أو من خلال (انظر ص. 1247 في [BKA2])، لأنّ القطع الناتجة عن التقطيع تُعبر أكثر من شبكةٍ قبل أن يُعاد تجميعها. للمزيد حول هذا الوصف، انظر ص. 1390-1391 في [ART18].

رزمة البيانات (قبل التَّقطيع)

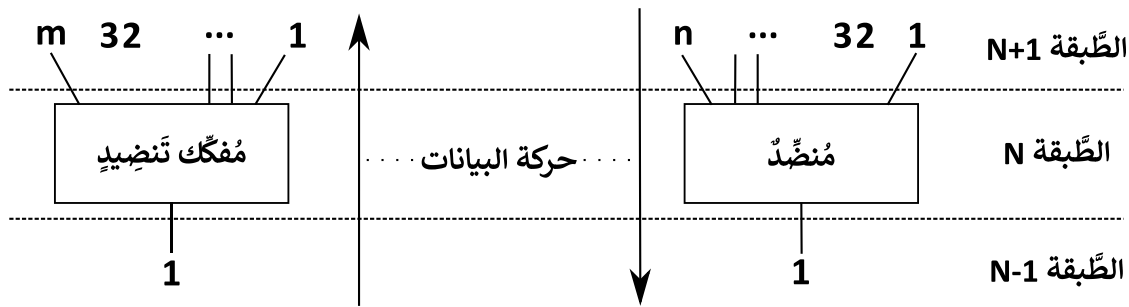


الشَّكل (6-2): مبدأ تقطيع رزم البيانات في طبقة الشبِّكة

- التَّقطيع والتَّجميع العابران لِحدود الشبِّكة وفيه تُقَطَّع رزم البيانات مُباشرةً قبل إرسالها عبر شبِّكةٍ ما، ويُعاد تجميعها في الوجهة النَّهائيَّة أو في عُقدةٍ ما قبل ذلك، أي ليس بالضرورة أن يُصار إلى تجميعها فور خُروجها من الشبِّكة التي أُرسلت عبرها أوَّلًا.

التَّنْضيد وفكُّه⁸³

التَّنْضيد هو وظيفة بروتوكولٍ يَنْشُط في طبقةٍ ما مرَّبتها N ، يُؤدِّبها لِيسمح لِمسار بياناتٍ وَّحيدٍ فيها بدعم مساراتٍ عديدةٍ هابطةٍ من كِياناتٍ في الطبقة التي مرَّبتها $N + 1$. أمَّا فكُّ التَّنْضيد فهو وظيفةٌ أُخرى لِبروتوكولٍ يَنْشُط في الطبقة التي مرَّبتها N ، يَنْجِرها لِيسمح لِمسار بياناتٍ وَّحيدٍ فيها بدعم مساراتٍ عديدةٍ صاعدةٍ من كِياناتٍ في الطبقة التي مرَّبتها $N - 1$. (الشَّكل (7-2)).⁸⁴



الشَّكل (7-2): مُخطَّطٌ صُنِّدوفيٌّ يُظهِر مساراتٍ بياناتٍ عبر ثلاث طبقاتٍ مُتتابعَةٍ بوجود مُنْضِدٍ ومُفَكِّكٍ تَنْضِيدٍ

⁸³ التَّنْضيد Multiplexing ويُسمَّى أيضاً الفَلق Splitting، وفكُّ التَّنْضيد أو تفريقه Demultiplexing (انظر ص. 48، 123 في [BKA06] في ثَبَّت المراجع). يُميِّز معيار الرِّبط البيئيِّ لِلأنظمة المَفْتُوحَة بين التَّنْضيد والفَلق بأنَّ التَّنْضيد هو الوظيفة السَّابِقة إن قام بها كِيانٌ مُحدَّدٌ في الطبقة، أمَّا الفَلق فهو الوظيفة نَفْسُها عندما تُقدِّم ضمن حُدود الطبقة، ولكن من غير تحديد من قَدَّمها، لِلمزيد انظر ص. 16-17 في [STD01].

⁸⁴ انظر ص. 3-4 في [RFC1180] في ثَبَّت المراجع.

بما أن بروتوكول التشبيك ناشط في طبقة الشبكة، فهو يُؤدّي وظيفة التنضيد لمسارات البيانات الهابطة من كيانات طبقة النقل نحو كيانات طبقة الوصلة والعكس بالعكس، أي أنه يُؤدي أيضاً وظيفة فكّ التنضيد للمسارات الصاعدة من كيانات طبقة الوصلة إلى كيانات طبقة النقل.

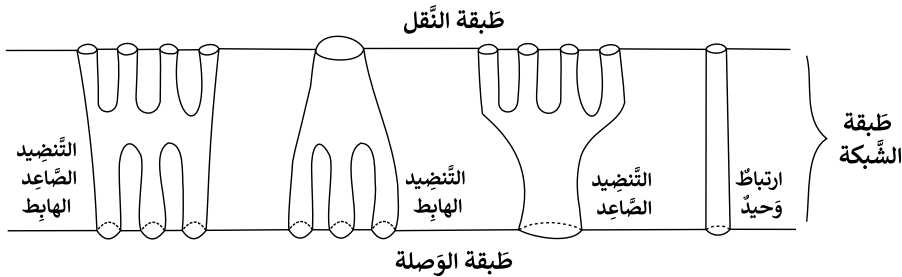
إذا دعم المضيف أكثر من بروتوكول نقلٍ أو أكثر من بروتوكول وصلةٍ، فعلى بروتوكول التشبيك أن يُنضد مسارات بياناتٍ متعدّدة هابطةٍ من طبقة النقل وأن يفكّ تنضيد مسارٍ وحيدٍ صاعدٍ من طبقة الوصلة. وينطبق ما سبق على الشكل (7-2) عندما تكون الطبقة التي مرتبتها N ، هي طبقة الشبكة والطبقة التي مرتبتها $N + 1$ هي طبقة النقل والطبقة ذات المرتبة $N - 1$ هي طبقة الوصلة.

أمّا إذا وُجدت الحالتان السابقتان في المضيف نفسه، فعلى بروتوكول التشبيك أن يُنضد ويفكّ التنضيد معاً، فإذا كان عدد المسارات المحتملة في طبقة النقل هو n وفي طبقة الوصلة هو m ، فإنّ البروتوكول يعمل وفقاً لحركة البيانات: مُنضداً n إلى m إذا كانت الحركة هبوطاً، ومُفكّكاً تنضيدٍ m إلى n إذا كانت الحركة صعوداً.

ويمكن تلخيص ما سبق في أربع حالات⁸⁵:

- ارتباط واحد، أي يوجد مسارٌ وحيدٌ للبيانات عبر طبقة الشبكة بين كيانٍ موجودٍ في طبقة النقل ويُشغل أحد بروتوكولاتها وكيانٍ آخر موجودٍ في طبقة الوصلة ويُشغل بروتوكولاً من بروتوكولاتها.
- التنضيد الهابط، ويكون لمسارات هابطةٍ من كيانٍ وحيدٍ في طبقة النقل يُشغل بروتوكول نقلٍ وحيدٍ نحو كيانات بروتوكولاتٍ متعدّدة في طبقة الوصلة تُشغل بروتوكولاتٍ وصلةٍ متنوّعةٍ.
- التنضيد الصاعد ويكون لمساراتٍ صاعدةٍ عبر طبقة الشبكة مع وجود بروتوكولٍ وحيدٍ في طبقة الوصلة وبروتوكولاتٍ عديدةٍ في طبقة النقل.
- التنضيد الصاعد الهابط، ويكون لمساراتٍ تعبر طبقة الشبكة هابطةً أو صاعدةً، وفيه تنشط بروتوكولاتٌ عديدةٌ في طبقة الوصلة وبروتوكولاتٌ عديدةٌ في طبقة النقل.

ويبيّن الشكل (8-2) الحالات السابقة التي تُحدّد أشكال مسارات البيانات عبر طبقة الشبكة، وهي من اليمين إلى اليسار: الارتباط الوحيد والتنضيد الصاعد والتنضيد الهابط ثمّ التنضيد الصاعد الهابط.



الشكل (8-2): حالات مسارات البيانات في طبقة الشبكة تبعاً لمتنوّج الربط البيئيّ للأنظمة المفتوحة

⁸⁵ أصول الأسماء الارتباط الوحيد One-to-one correspondence والتنضيد الهابط Downward multiplexing والتنضيد الصاعد Upward multiplexing، للمزيد انظر ص. 428 في [ART01] في ثبّت المراجع.

التَّوْجِيه تَبْعاً لِلْمَصْدَرِ وَتَسْجِيل الْمَسَارِ

التَّوْجِيه تَبْعاً لِلْمَصْدَرِ⁸⁶ هُوَ طَرِيقَةٌ لِتَوْجِيه رِزْمَةِ بَيَانَاتٍ، يُحَدِّد فِيهَا الطَّرْفَ الَّذِي يُؤَلِّد الرِّزْمَةَ، أَي مَصْدَرَهَا، الْمَسَارَ الَّذِي سَتَسَلُّكُهُ عِنْدَ انْتِقَالِهَا بَيْنَ مَصْدَرِهَا وَوَجْهَتِهَا، وَغَالِباً مَا تَكُونُ مَعْلُومَاتُ الْمَسَارِ هِيَ عَنَاوِينُ الْعُقْدِ الْمُتَتَابِعَةِ الَّتِي تُشَكِّلُهُ. أَمَّا تَسْجِيلُ الْمَسَارِ، فَهُوَ آليَّةٌ لِإِضَافَةِ مَعْلُومَاتٍ إِلَى تَرْوِيسَةِ رِزْمَةِ الْبَيَانَاتِ فِي أَثْنَاءِ عُبُورِهَا لِلْمَسَارِ.

يَمْتَنَحُ التَّوْجِيه تَبْعاً لِلْمَصْدَرِ مُرْسِلَ رِزْمَةِ الْبَيَانَاتِ إِمْكَانِيَّةً لِلتَّحْكُمِ بِمَسَارِهَا، مِثْلًا لِإِمْنَعِهَا مِنْ عُبُورِ شَبَكَاتٍ تَخْضَعُ لِمُؤَسَّسَاتٍ مُحَدَّدَةٍ، أَوْ لِإِمْنَعِهَا مِنَ الْمُرُورِ فِي شَبَكَةٍ تَحْتَوِي إِجْرَاءَاتٍ أَمِّنٍ مُشَدَّدَةٍ قَدْ تُؤَخَّرُ مُرُورُهَا أَوْ تُعَيِّقُهُ أَوْ تَمْنَعُهُ. أَمَّا تَسْجِيلُ الْمَسَارِ، فَيُمْكِنُ أَنْ يُسْتَعْمَدَ مِنْ أَجْلِ تَحْدِيدِ الْمَسَارِ الْوَاصِلِ بَيْنَ عَقْدَتَيْنِ تَلْعَبَانِ دَوْرَ مَصْدَرِ رِزْمَةِ الْبَيَانَاتِ وَوَجْهَتِهَا. وَيُمْكِنُ بَعْدَ ذَلِكَ إِعَادَةُ اسْتِعْمَالِ الْمَسَارِ نَفْسِهِ عِنْدَ إِسْرَالِ رِزْمِ الرَّدِّ، وَلِذَلِكَ فَإِئِدَّةٌ فِي حَالَتَيْنِ: عِنْدَمَا يَكُونُ الْمَسَارُ غَيْرَ مُحَدَّدٍ وَعِنْدَمَا تَكُونُ الْوَجْهَةُ مُتَحَرِّكَةً.

التَّحْكُمُ بِالْتَّدْفُقِ

فِي شَبَكَاتِ الْبَيَانَاتِ، تَدْفُقُ الْبَيَانَاتِ هُوَ تَتَابُعٌ مِنْ رِزْمِ الْبَيَانَاتِ الْمُرْسَلَةِ مِنْ مَصْدَرٍ مُحَدَّدٍ إِلَى وَجْهَةٍ فَرِيدَةٍ أَوْ مَجْمُوعَةٍ بَثِّ مَجْمُوعَاتِيٍّ أَوْ وَجْهَةٍ بَثِّ نَحْوِ الْأَقْرَبِ.⁸⁷ أَمَّا التَّحْكُمُ بِالْتَّدْفُقِ فَهُوَ ضَبْطُ حَرَكَةِ رِزْمِ الْبَيَانَاتِ الَّتِي تَعْبُرُ شَبَكَةَ بَيَانَاتٍ مَا ضَبْطاً يَضْمَنُ عَدَمَ حُصُولِ اِزْدِحَامٍ بَيْنَهَا.⁸⁸

التَّحْكُمُ بِالْتَّدْفُقِ وَظِيفَةُ صَرُورِيَّةٌ فِي شَبَكَاتِ الْبَيَانَاتِ لِضَمَانِ عَدَمِ فِقْدَانِ الْبَيَانَاتِ بِسَبَبِ امْتِلَاءِ الدَّاكِرَةِ فِي بَوَابَةٍ مَا عَلَى مَسَارِ الرِّزْمَةِ أَوْ فِي وَجْهَتِهَا النَّهَائِيَّةِ. يَلْزَمُ أَيْضاً التَّمْيِيزَ بَيْنَ التَّحْكُمِ بِالْتَّدْفُقِ وَالتَّحْكُمِ بِالْاِزْدِحَامِ، فَالْأَوَّلُ يُسْتَعْمَلُ لِتَقْلِيلِ اِحْتِمَالِ التَّخْلُصِ مِنَ الْبَيَانَاتِ، فِي حِينِ يُسْتَعْمَدُ الْآخَرُ مِنْ أَجْلِ تَحْدِيدِ مَا الَّذِي يَلْزَمُ التَّخْلُصَ مِنْهُ إِذَا كَانَتِ الْعَمَلِيَّةُ الْإِزْمِيَّةُ لَا مَنَاصَ مِنْهَا.

يُمْكِنُ أَنْ تَعْتَمِدَ بَرُوتُوْكُولَاتُ التَّشْبِيكِ عَلَى طَرِيقَةٍ تُسَمَّى الصَّغْطُ الْخَلْفِيَّ⁸⁹ مِنْ أَجْلِ التَّحْكُمِ بِالْتَّدْفُقِ، وَهِيَ تُشْبِهُ فِي مَبْدِئِهَا التَّحْكُمَ بِتَدْفُقِ الْمَاءِ عِبْرَ أَنْبُوبٍ فِيهِ صِمَامٌ يَجْمَعُ الْمَاءَ خَلْفَهُ. كَلَّمَا اجْتَمَعَ الْمَاءُ اِزْدَادَ الصَّغْطُ عَلَى الصِّمَامِ، حَتَّى يَصِلَ عَتَبَةً مُحَدَّدَةً لَا يُطِيقُ الصَّغْطُ بَعْدَهَا، فَيَفْتَحُ طَارِداً الصَّغْطُ وَمُفْرَغاً الْمَاءَ ثُمَّ يَعُودُ لِإِغْلِقِ وَيَحْجِزُ الْمَاءَ مِنْ جَدِيدٍ. بِهَذِهِ الطَّرِيقَةِ تَحْتَفِظُ الْبَوَابَاتُ بِالْقُدْرَةِ عَلَى تَقْيِيدِ حَرَكَةِ الْبَيَانَاتِ تَقْيِيداً مُؤَقَّتاً سِوَاءَ كَانَتِ هَذِهِ الْبَيَانَاتُ قَادِمَةً مِنْ شَبَكَاتٍ مُحَدَّدَةٍ أَوْ ذَاهِبَةً إِلَيْهَا.

⁸⁶ أصل الاسم التَّوْجِيه تَبْعاً لِلْمَصْدَرِ Source routing وتسجيل المسار Recording of route، للمزيد انظر ص. 1393 في [ART18] في ثَبْتِ المَرَاجِعِ.

⁸⁷ يُنَاقِشُ الْفَصْلُ الْخَامِسُ مِنْ هَذَا الْكِتَابِ الْبَثَّ فَرِيدَ الْوَجْهَةِ Unicast والْبَثَّ الْمَجْمُوعَاتِيَّ Multicast والْبَثَّ نَحْوِ الْأَقْرَبِ Anycast، وَأَمَّا فِي مَا يَخْصُ هَذَا التَّعْرِيفِ، فَانظُرْ ص. 3 فِي [RFC6437] فِي ثَبْتِ المَرَاجِعِ.

⁸⁸ أصل الاسم Flow control، وَيَسْتَعْدُ هَذَا التَّعْرِيفُ إِلَى مَا وَرَدَ فِي ص. 151 فِي [BKE01] فِي ثَبْتِ المَرَاجِعِ. أَمَّا مِعْيَارُ نَمُودِجِ الرِّبْطِ الْبَيْئِيِّ لِلْأَنْظِمَةِ الْمَفْتُوحَةِ فَيُعْرَفُهُ عَلَى أَنَّهُ «وْظِيفَةٌ يَجْرِي فِيهَا التَّحْكُمُ بِحَرَكَةِ الْبَيَانَاتِ الْمَنْقُولَةِ فِي طَبَقَةٍ وَاجِدَةٍ أَوْ بَيْنَ طَبَقَتَيْنِ مُتَتَابِعَتَيْنِ» (انظر ص. 17 فِي [STD01]).

⁸⁹ أصل الاسم Back pressure، للمزيد انظر ص. 1393 في [ART18] فِي ثَبْتِ المَرَاجِعِ.

وقد تحصل عملية التقييد على أساس التدفق أيضاً، وفي هذه الحالة يلزم أن تكون البوابة على دراية بوضع التدفق الحالي وغزارته، كما يمكن أن تحصل العملية على أساس المنفذ الذي ترد البيانات منه أو تخرج عبره، وتحتاج الحالاتان إكتهما إلى مراقبة البوابة لذاكرة التخزين المخصصة لكل تدفق أو منقذ.

التحكم بالتدفق وظيفته تبليغ من الأهميّة الغاية، لوجود حاجة دائمة لطريقة ما لوقف أي سلوك تخريبي قد يمارسه مستخدمٌ وحيدٌ أو مجموعة من المستخدمين معاً في الشبكة، نحو غمرها بكمية كبيرة من البيانات بهدف التأثير على الأداء.

أمثلة

الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت⁹⁰

هو بروتوكول تشبيك يعمل في شبكات البيانات ويقدم وظائف ضبط جودة الخدمة وعنونة المضيفين وتقطيع رزم البيانات وإعادة تجميعها والتضييد والتوجيه تبعاً للمصدر. طوّر هذا البروتوكول ضمن عمل وكالة مشاريع البحوث الدفاعية المتقدمة، وطرح معياره الرسمي في عام 1981م.

يدعم الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت نمط اتصال غير مهتم، أي أنه بروتوكول غير موثوق، ولكن يمكن تأمين الموثوقية باستعمال بروتوكول نقل هو بروتوكول التحكم في النقل، ليؤسس قنوات الاتصال بين أطرافه المتنوعة وليديرها وليغلقها. بالإضافة لذلك، يُخصّص البروتوكول حقل "نوع الخدمة"⁹¹ في ترويسته من أجل تحديد جودة الخدمة، ويمكن ضبط محددات الأحقية ومعدل الإنتاجية والتأخير والموثوقية باستعمال هذا الحقل.

يعرف البروتوكول فضاءً للعناوين يُمثّل مجموعة عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت كلها، وهي تضم 2³² عنواناً، أي قرابة 4.3 مليار عنوان تقريباً. وأما عنوان بروتوكول الإنترنت فهو معرف رقمي طوله 32 بتاً، غالباً ما يكتب بالتدوين العشري المنقط، ولكنه قد يكتب بالنظام الثنائي أيضاً، يقسم كل عنوان إلى أربعة أقسام تُسمى خانات،⁹² طول كل منها 8 بتات.

تُصّف محددات البروتوكول آلياً لتقطيع رزم البيانات في المصدر وفي البوابات ولإعادة تجميعها في الوجهة النهائية فقط، ويحدد البروتوكول طولاً أصغر لِرزمة البيانات هو 576 بيتاً، ويلزم على الوحدات التي تُشغل البروتوكول كلها أن تدعم هذا الطول، بالإضافة لوجود طولٍ أعظم نظرياً للرزمة هو 65536 بيتاً، وتتراوح قيمة وحدة النقل العظمى في أي شبكة بين القيمتين السابقتين.

⁹⁰ أصل الاسم Internet Protocol version 4 ويُعرف اختصاراً بالاسم الرمزي IPv4.

⁹¹ أصل الاسم Type of Service، اختصاراً ToS، انظر ص. 11 في [RFC791] في ثبت المراجع.

⁹² أصل الاسم هو Octet، وهو مصطلح خاص بالإنترنت يُستعمل لوصف وحدة بيانات مكونة من 8 بتات (انظر ص. 279 في [BKE01] في ثبت

المراجع)، وعزبها البعدي في مودره على أنها مجموعة من ثمانية أغراض (انظر ص. 788 في [BKA2]).

يُخَصِّص البروتوكول حَقلاً بطول 8 بتاتٍ في ترويسة لدعم وظيفة التَّنْضِيد، وهذا الحَقْل هو حَقْل "البروتوكول"،⁹³ وتُحدَّد هَيْئَةُ أرقام الإنترنت المُخَصَّصَة⁹⁴ قِيم التَّراميز المُستعمَلَة وبروتوكولات الطَّبقات العُلْيَا المُقابِلَة لها. بالإضافة لذلك، يُخَصِّص البروتوكول خيارين لدعم التَّوجِيه تَبَعاً للمصدَّر وتسجيل المَسار وهُما الخياران صاحِبا الرِّقْمين 7 و9 على التَّرتيب في قائمة خيارات البروتوكول.⁹⁵ ولا يَدَعَم الإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت أَيَّ آليَّةٍ لِلتَّحْكُم بالتَّدْفُق.

يُخَصِّص القِسم الثَّانِي من هذا الكِتَاب لِمناقشة الإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت ومُلحقاته.

الإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت⁹⁶

هو بروتوكول تشبيك يُستعمل في سَبكات البيانات ويُقدِّم وَظائِف جُودة الخِدْمَة والعنونة والتَّقطيع والتَّنْضِيد والتَّحْكُم بالتَّدْفُق. طُوِّر الإصدار السَّادِس في عام 1995م على يد مَجْمُوعَة مُهندِسي الإنترنت لِيكون حَلًّا نِهائِيًّا لِمُشكِلة استنفاد فضاء عَناوِين الإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت.

يَدَعَم الإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت نمط اتِّصالٍ غير مُهَيَّأ، ويُمكِن الاستعانة ببروتوكول نقل، نحو بروتوكول التَّحْكُم في النُّقل، لِتأمين مَوثُوقِيَّة الاتِّصال. بالإضافة لذلك، تُخَصِّص مُحدِّدات البروتوكول حَقلاً بطول 8 بتاتٍ في ترويسة البروتوكول من أجل دعم وظيفة جُودة الخِدْمَة، ويُسمَّى هذا الحَقْل "صِنْف حركة البيانات"، وحَقلاً لِتنظيم التَّحْكُم بالتَّدْفُق هو حَقْل "لافتة التَّدْفُق" وطُوله 20 بتاً.⁹⁷

لِأَنَّ الإصدار السَّادِس قد طُوِّر أساساً لِمُعالِجَة مُشكِلة استنفاد فضاء عَناوِين الإصدار الرَّابِع، فإنَّ البروتوكول يُعرَّف فضاءً ذا حَجْم هائلٍ يَضُمُّ ما يَقْرُب من 3.4×10^{38} عُنواناً، طُول كُلِّ مِنْها 128 بتاً، تُكْتَب هذه العَناوِين باستعمال نِظام العدِّ سِتَّة العَشْرِي.

يُمكِن أن يَصِل طُول رِزْمَة بيانات البروتوكول إلى 4 جِيغا بايت نظرياً، وَيَسْتَطِيع البروتوكول اكتِشاف أصغر قيمة لِوَحْدَة النُّقل العُظْمَى لِمَسار أَيِّ رِزْمَة بياناتٍ قبل إرسالها باستعمال آليَّةٍ مُخَصَّصَة لِذلك،⁹⁸ ونتيجةً لِهذا، يُولد المُضيف المصدَّر رِزْمَ بياناتٍ بِأحجامٍ مُتناسِبَة مع ذلك، فلا يَحْضُل التَّقطيع في البُوابات أبداً، ويلزَم على المُضيف الوِجْهَة عِنْدَها أن يُعيد تجميع القِطْع، النَّاتِجَة عن التَّقطيع في المُضيف المصدَّر فقط، لِإعادة تجميع رِزْمَة البيانات الأصيلَة.

⁹³ أصل الاسم Protocol field، انظر ص. 11 في [RFC791] في نَبْت المَراجِع.

⁹⁴ أصل الاسم Internet Assigned Numbers Authority، اختصاراً IANA، هي مُنظَمَة مُعايير تُشرف على تَحْصِيص فضاء عَناوِين بروتوكول الإنترنت، بِإصداريه الرَّابِع والسَّادِس، وعلى تَحْصِيص أرقام الأنظْمَة المُستَقْلَة وعلى إدارة المُستَوَى الأعلى في نِظام تسمية النُّطاقات في الإنترنت.
⁹⁵ انظر المُلْحَق أ في نِهاية هذا الكِتَاب.

⁹⁶ أصل الاسم Internet Protocol version 6 ويُعرَف اختصاراً بالاسم الرِّمزي IPv6.

⁹⁷ أصل الاسم صِنْف حركة البيانات Traffic class ولافتة التَّدْفُق Flow label، انظر ص. 6 في [RFC8200] في نَبْت المَراجِع.

⁹⁸ انظر [RFC8201] في نَبْت المَراجِع.

تُخصَّص مُحدِّدات البروتوكول حَقلاً بِطُول 8 بتاتٍ في ترويسته من أجل دعم وَظيفَة التَّنْضِيد، وَهُوَ حَقْل "التَّرويسَة التَّالِيَة"⁹⁹، وَتُشْرِف هَيْئَة أرقام الإنترنت المُخَصَّصَة على صَبْط قِيم مِعيارِيَّة لِهَذَا الحَقْل. وَتُعَرَّف المُحدِّدات أَيْضاً ترويسَةً مُخَصَّصَةً لِلتَّوْجِيهِ مِنْ أَجْلِ دعم وَظيفَة التَّوْجِيهِ تَبَعاً لِلْمَصْدَر.¹⁰⁰

يُخَصَّص القِسم الرَّابِع مِنْ هَذَا الكِتَاب لِمُناقِشَة الإصدار السَّادِس مِنْ بروتوكول الإنترنت ومُلحقاته.

⁹⁹ أصل الاسم Next header، انظر ص. 6 في [RFC8200] في تَبْت المَراجِع.

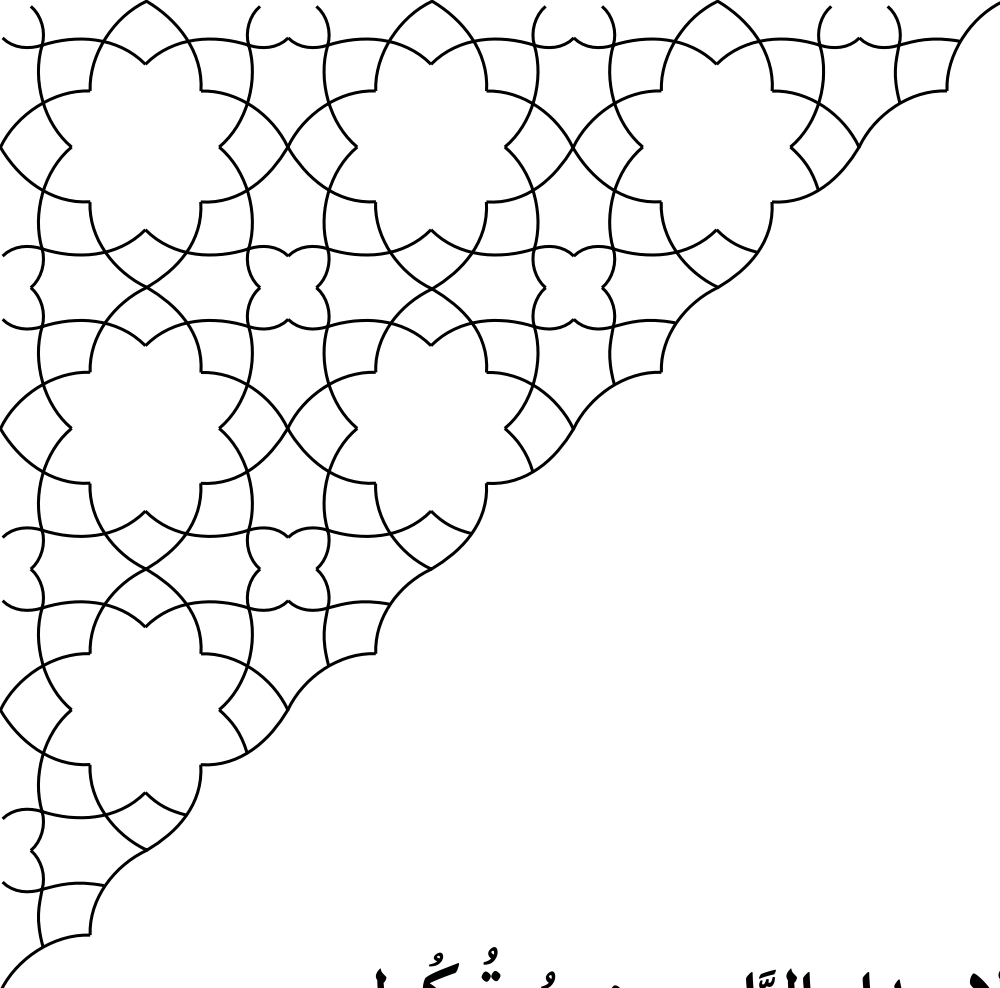
¹⁰⁰ انظر المُلحَق ب في نِهاية هَذَا الكِتَاب.



الباب الثاني: الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت



تُرِكَت هذه الصَّفحة فارِغَةً عَمداً لِغرضِ تنسيقِ الكِتابِ



الفصل الثالث: الإصدار الرابع من بروتوكول

الإنترنت



مقدمة

الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت¹⁰¹ هو بروتوكول تشبيك يعمل في طبقة الشبكة وفقاً لنموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة. طُوّر هذا البروتوكول في عام 1981م ضمن عمل وكالة مشاريع البحوث الدفاعية المتقدمة، وكان إحدى الركائز التي قامت الإنترنت على أساسها.

يُؤدّي الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت مجموعةً من الوظائف هي: ضبط جودة الخدمة والعنونة والتقطيع وإعادة التجميع والتنضيد والتوجيه تبعاً للمصدر، وتُصنّف مُحددات البروتوكول كيفية أداء هذه الوظائف.

عاش البروتوكول، بعد سنواتٍ من استخدامه في الإنترنت، ومع التوسّع الكبير الذي شهدته هذه الشبكة في مطلع عقد التسعينيات، من استفاد فضاء عناوينه. طُوّرت مجموعةً من الحلول، لمعالجة هذه المشكلة، ضمن إستراتيجيتين، الأولى قصيرة الأمد، وشملت تطوير تقنيات ترجمة عنوان الشبكة والتوجيه غير الصنفي بين النطاقات، والثانية طويلة الأمد وشملت تطوير بروتوكول تشبيك بديل ليحلّ محلّ الإصدار الرابع، وهو الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت.

يحتاج الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت إلى عددٍ من الوظائف التي تُقدّمها بروتوكولات أخرى، فهو يحصل على عنوان بروتوكول الوصلة الخاصّ بالمضيف بواسطة بروتوكول اقتران العناوين، كما يعتمد على حزمة أمن بروتوكول الإنترنت في تأمين خصائص الأمن نحو الخصوصية والسرية، وعلى بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت في معالجة القضايا الخاصة بالبنّ المجموعيّ.

يُنقش هذا الفصل الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، وهو يبدأ بمقدمةٍ لمراجعة السياق التاريخي لتطوير البروتوكول، يليها عرضٌ لمبدأ عمله ثمّ بنية ترويسته وبعد ذلك شرحٌ للوظائف التي يُنجزها وتنتهي بعرضٍ للمشكلات التي واجهت تنفيذ هذا البروتوكول في شبكات البيانات.

نبذة تاريخية

كان تطوير مبدأ تبديل الرزم في ستينيات القرن العشرين أوّل الخطوات نحو تطوير بروتوكول الإنترنت. في تبديل الرزم، تُنقل المعلومات الرقمية على شكل قطع بيانات تُسمّى رزم البيانات، تتكوّن كلّ منها من عددٍ مُحدّدٍ من البايتات، ويكون نقل كلّ رزمةٍ مُستقلاً عن نقل الرزم الأخرى، ويسمح ذلك لِرزمٍ مُختلفة المصدر أو مُختلفة الوجهة بالوصول إلى قناة الاتصال المادية نفسها.

طُوّر لويس پوزان شبكة سيكلاد¹⁰² في النصف الأوّل من سبعينيات القرن العشرين، مُطبّقاً بنجاحٍ للمرّة الأولى مفهوم رزمة البيانات، وهي قطعة بياناتٍ فيها المعلومات اللازمة لتعريف مصدرها ووجهتها النهائيّة، فأصبح بالإمكان إنشاء شبكات بياناتٍ تدعم قنواتٍ لا تتطلّب إنشاء اتّصالٍ مُسبقٍ بين الأطراف، بل تعتمد على عناوين المصدر والوجهة المحمّولة في

¹⁰¹ أصل الاسم Internet Protocol version 4، اختصاراً IPv4.

¹⁰² راجع ما جاء في شأنهما في الفصل الثّاني من هذا الكتاب.

رَمَ البيانات المُتبادلة. لقد تَبَيَّنَ مُصمِمُو الإنترنت الأوائل مَفْهُومَ رِزْمَةِ البيانات وطَوَّرُوا في تقنية تَبْدِيلِ الرِّزْمِ لِنَقْلِها، وكان لهذا القرار انعكاساتٌ عميقةٌ على تطوير مَجْمُوعَةِ البروتوكولات الخاصَّة بالشَّبكة.¹⁰³

نَشَرُ فينت سيرف ورُوْبِرْت خان في عام 1974م ورقةً بحثيَّةً بعنوان "بروتوكولُ لِاتِّصالِ البيِّنِي في شَبَكَةِ الرِّزْمِ"¹⁰⁴، وَصَفَا فيها بروتوكول نقلٍ يَعمَلُ بين المُضَيِّفِيْنَ في شَبَكَةِ تَبْدِيلِ رِزْمِ، ويُقدِّمُ عَدَدًا مِنَ الوِظَائِفِ المُرتَبِطَةِ بِرِزْمِ بِياناتٍ: التَّحْكُمُ بالتَّدْفُقِ وعنونة العمليَّاتِ والتَّحْقُقِ مِنَ الخِطَأِ بين الطَّرْفِيَّاتِ وغير ذلك، وَسَمَّى بِرِنامِجِ التَّحْكُمِ بالتَّغْل. ¹⁰⁵ ثُمَّ نُشِرَتِ وثيقة طلب تعليقاتٍ تُحدِدُ مواصفات البرنامِجِ تحت الاسم الرِّمزيَّ RFC 675.¹⁰⁶

قُسمتِ الوِظَائِفِ الَّتِي يُقدِّمُها البرنامِجُ لِاحِقًا على بروتوكولين هُما بروتوكول الإنترنت وبروتوكول التَّحْكُمِ بالتَّغْل.¹⁰⁷ يَعمَلُ البروتوكولان في طبقتين مُتتَابِعَتَيْنِ مِنَ طبقاتِ نَمُودِجِ الرِّبْطِ البيِّنِي لِالأنظمة المَفْتُوحَةِ، هُما: طبقة النُّقْلِ، وتُقدِّمُ خِدْماتٍ بين طرفيَّةً¹⁰⁸ لِلتَّطْبِيقَاتِ الَّتِي تَعمَلُ في المُضَيِّفِيْنَ، وطبقة الشَّبكة، وتُقدِّمُ الخِدْماتِ الخاصَّة بِرِزْمَةِ البيانات.

في ما يَخَصُّ بروتوكول الإنترنت، فقد طُوِّرَ ضَمَنَ مَشْرُوعِ مُمُولٍ مِنَ قِبَلِ وَكالةِ مَشَارِيعِ البُحُوثِ الدِّفاعيَّةِ المُتقدِّمة¹⁰⁹. طُرِحَتِ إِصداراتٌ تجرِبيَّةٌ مُتعدِّدةٌ مِنَ البروتوكول بين العامين 1977 و1979م، حَمَلَتِ مُعرِّفاتٍ هي: 0 و1 و4،¹¹⁰ وفي ما يَلِي مَجْمُوعَةٌ مِنَ وِثائِقِ مُلاحِظَاتِ تجارب الإنترنت الَّتِي تَصِفُ إِصداراتَ بروتوكول الإنترنت السَّابِقَةِ وَصُولًا لِلِمِعيارِ الرِّسميِّ لِالإصدارِ الرَّابِعِ:¹¹¹

- الوثيقة رقم 2: وهي مُؤرَّخَةٌ في شَهرِ أَغسُطُسِ مِنَ العامِ 1977م، وَجاءت بِعُنوانِ: "تعلِيقاتٌ على بروتوكول الإنترنت وبروتوكول التَّحْكُمِ بالتَّغْل". وتُشدِّدُ على الحاجة لِلفصلِ بين وِظائِفِ بروتوكول الإنترنت وِظائِفِ بروتوكول التَّحْكُمِ بالتَّغْل، واقترحت الوثيقة أوَّلَ تصوُّرٍ لبروتوكول الإنترنت، وأُستخدِمَ المُعرِّفُ 0 لِالإشارةِ إلى رقم الإصدارِ في ترويسة البروتوكول المُقترحة.
- الوثيقة رقم 26: وهي مُؤرَّخَةٌ في شَهرِ فيبرايِرِ مِنَ العامِ 1978م، وَجاءت بِعُنوانِ: "اقتراحٌ لِبنِيَّةٍ جَدِيدَةٍ لِترويسة بروتوكول الإنترنت"، وتَصِفُ الإصدارِ الأوَّلَ مِنَ البروتوكول.

¹⁰³ للمزيد حول هذه الانعكاسات، انظر ما جاء في ص. 5 في [BKE02] في ثَبَّتِ المَراجِع.

¹⁰⁴ انظر ترجمة المُؤلِّقِين في الفصل السَّابِقِ. أمَّا عُنوانُ الورقة الأُصلِ فهو: A protocol for packet Network Intercommunication، للمزيد انظر [ART14] في ثَبَّتِ المَراجِع.

¹⁰⁵ أُصلُ الاسمِ Transmission Control Program، اختصاراً TCP.

¹⁰⁶ انظر [RFC675] في ثَبَّتِ المَراجِع.

¹⁰⁷ أُصلُ الاسمِ Transmission Control Protocol، اختصاراً TCP أيضاً، انظر [RFC793] في ثَبَّتِ المَراجِع.

¹⁰⁸ أُصلُ الاسمِ End-to-end.

¹⁰⁹ انظر ما جاء في شَأْنِها في الفصل الثَّانِي مِنَ هذا الكِتاب.

¹¹⁰ يَلزِمُ الانتباهُ إلى أن تَرقِيبَ الإصداراتِ يَبْدَأُ مِنَ الصَّغَرِ، أي أَنَّ الإصدارِ الأوَّلَ هو الإصدارِ ذو الرِّقْمِ 0.

¹¹¹ مِنَ أَجْلِ وِثائِقِ المُلاحِظَاتِ على تجارب الإنترنت الوارِدَةِ في هذا القِسمِ وأُصولِ عناوينها، انظر و [IEN02] و [IEN26] و [IEN28] و [IEN41] و [IEN44] و [IEN54] على التَّرتِيبِ في ثَبَّتِ المَراجِع.

- الوثيقة رقم 28: وهي مؤرخة في شهر فبراير من العام 1978م، وجاءت بعنوان: "مُسوّدة توصيف الإصدار الثاني لبروتوكول الإنترنت"، وتُصِف الإصدار الثاني من البروتوكول.
- الوثيقة رقم 41: وهي مؤرخة في شهر يونيو من العام 1978م، وجاءت بعنوان: "مُحدّات الإصدار الرابع من بروتوكول التشبيك"¹¹² وهي أوّل وثيقة وصفت الإصدار الرابع من البروتوكول، ولكنّ بنية التّرويسة فيها كانت مُختلفة عن الشّكل النّهائيّ الذي اعتمد لاحقاً.
- الوثيقة رقم 44: وهي مؤرخة في شهر يونيو من العام 1978م، وجاءت بعنوان: "أحدث بُنى التّرويسات". وهي تُصِف التّعديلات التي أُدخلت على ترويسة البروتوكول الواردة في الوثيقة رقم 41.
- الوثيقة رقم 54: وهي مؤرخة في شهر سبتمبر من العام 1978م، وهي بعنوان: "مُحدّات الإصدار الرابع من بروتوكول التشبيك". وهي أوّل توصيف للإصدار الرابع من البروتوكول تُستخدَم فيه التّرويسة المُعتمّدة في الشّكل النّهائيّ للإصدار الرابع.

تحوّلت الوثيقة رقم 128 في شهر يناير من العام 1980م إلى أوّل وثيقة طلب تعليقاتٍ مُخصّصة للبروتوكول وحملت الاسم الرّمزيّ RFC 760، وجاءت بعنوان "معيّار بروتوكول الإنترنت لوزارة الدّفاع"¹¹³. وفي شهر سبتمبر من العام التّاليّ صدّرت وثيقة طلب التّعليقات RFC 791 بعنوان: "بروتوكول الإنترنت"، وحلّت محلّ الوثيقة السّابقة، وهي ما تزال الوثيقة المعيارية للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. اعتمد البروتوكول تدريجيّاً خلال العامين التّالين قبل أن يُصبح بروتوكول التشبيك الرّئيس في الشّبكة بدءاً من 1 يناير 1983م.¹¹⁴

طوّر الإصدار الخامس تحت مُسمّى بروتوكول التّدقّق في الإنترنت، ولكنّه لم يتجاوز المرحلة التّجريبية.¹¹⁵ بالإضافة لذلك، وفي الفترة المُمتدّة بين عامي 1988 و1993م، طوّر إصدارٌ جديدٌ من بروتوكول الإنترنت لمعالجة الإشكالات التي صادفها الإصدار الرابع وبالتّحديد مُشكلة استنفاد عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت التي سنناقش بالتّفصيل في الفصل السّابع من هذا الكتاب، وسُمّي تسميةً اعتباطيةً بالإصدار السّابع من بروتوكول الإنترنت،¹¹⁶ لكنّ عملية التّطوير لم تُستكمل لاحقاً.

أمّا الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت فهو وريث الإصدار الرابع، وطوّر بالأساس لحلّ مُشكلة استنفاد عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. في حين يعتمد الإصدار الرابع عناوين بطول 32 بتاً، وهو ما يكفي وجود 4.3×10^9 عنواناً متاحاً في فضاء العناوين، فإنّ الإصدار السادس يستخدم عناوين بطول 128 بتاً، ما يسمّح بوجود 3.4×10^{38} عنواناً متاحاً في فضاء عناوينه. وُصِف الإصدار السادس أوّلًا في وثيقة طلب التّعليقات RFC 1883، ثمّ أُضيفت بعض التّعديلات

¹¹² لم يُستخدَم الرّقمان 2 و3 للإشارة إلى إصدار بروتوكول الإنترنت، وحصل الانتقال من 1 إلى 4 مباشرةً. انظر موقع هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة في [WEB01] في تَبت المراجع.

¹¹³ أصل الاسم DoD standard Internet Protocol، للمزيد انظر [RFC760] في تَبت المراجع.

¹¹⁴ من أجل خطة الانتقال انظر ما جاء في ص. 2 في [RFC801] في تَبت المراجع، ومن أجل عرضٍ للتّفصيل انظر ما جاء في ص. 2 في [RFC3789].

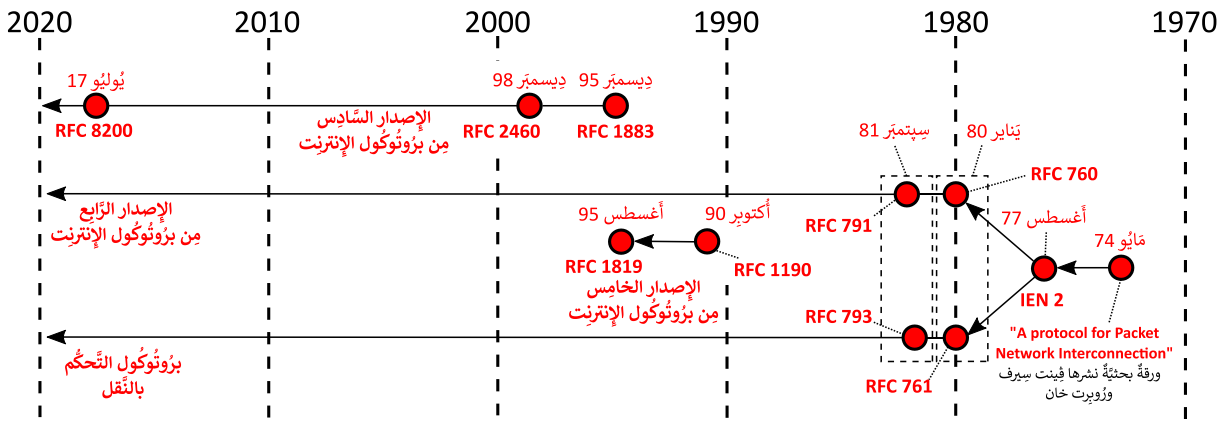
¹¹⁵ أصل الاسم Internet Stream Protocol، للمزيد انظر [RFC1819] في تَبت المراجع.

¹¹⁶ وفقاً لما جاء في ص. 7 في [RFC1475] في تَبت المراجع، فإنّ حُبّ مُطوّر البروتوكول للرّقم 7 هو سبب اختياره ليُكون رقماً للإصدار.

وأصدر معياراً جديداً لبروتوكول في العام 1998م تحت الاسم الرمزي RFC 2460. وأخيراً، في عام 2017م، صدرت الوثيقة RFC 8200، التي تحتوي التعديلات المضافة إلى معيار البروتوكول، وسيناقش الإصدار السادس بالتفصيل في الفصل العاشر من هذا الكتاب.

نشرت مجموعة مهندسي الإنترنت في 1 أبريل 1994م وثيقة طلب تعليقات تُفيد بتطوير الإصدار التاسع من بروتوكول الإنترنت، ولكن الخبر برمته كان كذبة أبريل.¹¹⁷

يُبين الشكل (1-3) المخطط الزمني لأسلاف بروتوكول الإنترنت ولإصدارات الرابع والخامس والسادس منه ولبروتوكول التحكم بالنقل.



الشكل (1-3): خط زمني لمراحل تطور أسلاف بروتوكول الإنترنت ولإصداراته المتنوعة

مبدأ العمل

ينشط بروتوكول الإنترنت في طبقة الشبكة تبعاً لنموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة. وفي حالة الإرسال، يُغلف البروتوكول وحدة بيانات البروتوكول القادمة من طبقة النقل ويُمرر الناتج إلى طبقة الوصلة. أما في حالة الاستقبال، فيستقبل البروتوكول وحدة بيانات البروتوكول القادمة من طبقة الوصلة، ثم يُحدّد فيما إذا كانت الرزمة ستُرسل إلى أحد بروتوكولات طبقة النقل، أو إلى أحد البروتوكولات الأخرى العاملة في طبقة الشبكة، وفي كلتا الحالتين يفكّ بروتوكول الإنترنت تغليف رزمة البيانات، أي يُزيل تروبيستها، ثم يُمرر الرزمة إلى البروتوكول التالي ليُعالجها.

يُحدّد بروتوكول الإنترنت أيضاً فضاءاً من العناوين الرقمية، التي تُسمّى عناوين الإنترنت، ويصِف بنية هذه العناوين وأقسامها، وتُسمّى هذه الوظيفة بالعنونة. يحصل المُضيفون في الشبكة كلُّهم على عنوان بروتوكول إنترنت واحد على الأقل، وقد يلعب هذا العنوان دور مُعرّفٍ للمُضيف في الإنترنت.

يُوجد شكلان للعنونة، هما العنونة الصنفيّة والعنونة غير الصنفيّة. في الأولى، تُنظّم عناوين فضاء البروتوكول ضمن مجموعات ذات أطوالٍ مُحدّدة سلفاً تُسمّى أصنافاً قياسيةً، ويُشار لها أيضاً "بمجموعة عناوين الفضاء"، أو "فضاء

¹¹⁷ انظر [RFC1606] في ثبت المراجع.

العناوين" اختصاراً، ويمكن تجزئة المجموعة إلى عددٍ من المجموعات الجزئية التي تُسمى أفضيةً جزئيةً. أمّا في العنونة غير الصنفية، فلا أصنافٌ مُحددة الطول، ويمكن تجزئة فضاء العناوين بمقتضى الحاجة من غير قيودٍ.

لا يدعم الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت خدمة العنونة الآلية، أي يلزم تزويد المضيفين بعناوين البروتوكول يدوياً أو الاعتماد على التهيئة الآلية التي يُقدمها بروتوكول آخر، نحو بروتوكول تهيئة المضيف الآلية¹¹⁸. ولا يُوجّه البروتوكول رزم البيانات، ولا بُدّ من إنجاز عملية التوجيه يدوياً أو الاعتماد على بروتوكول توجيهٍ لإتمامها آلياً، ويرتبط ذلك بإتمام عملية العنونة إتماماً صحيحاً فهي خطوة رئيسة لا بُدّ منها لإنجاح عملية التوجيه، فلا توجيه من غير العنونة.

يستعمل البروتوكول قنوات اتصالٍ غير مهيأة¹¹⁹ أي أنّ رزم البيانات تُنقل نقلاً غير موثوقٍ عبر الشبكة، إذا حصل خطأ، لا يمكن استرداد البيانات المفقودة. تُؤمن بعض بروتوكولات طبقة النقل، نحو بروتوكول التحكم بالنقل، قنوات اتصالٍ مهيأة وآلية لاسترداد البيانات المفقودة، لذلك يمكن الاعتماد عليه ليعمل مع بروتوكول الإنترنت.

يُشرف البروتوكول، بالإضافة لذلك، على وظيفةٍ أساسيةٍ أخرى هي تقطيع رزم البيانات وإعادة تجميعها، وفيها تُقطع أيّ رزمة بيانات قبل إرسالها، سواء في المصدر أو في أيّ عقدة على المسار، إذا كان طولها يتجاوز قيمة وحدة النقل العظمى في الشبكة حيث سُرسل، وتُنشأ نتيجةً لذلك قطع بياناتٍ أقصر طولاً. أمّا إعادة التجميع فتجري في الوجهة النهائية فقط عند استقبال قطع البيانات، وهي تهدف لإعادة تشكيل رزمة البيانات الأصلية كما كانت قبل التقطيع. باختصار، في المصدر، يستقبل بروتوكول التشبيك وحدة بيانات البروتوكول القادمة من طبقة النقل، وقد يُقطعها إلى قطعتين أو أكثر، وفقاً لقيمة وحدة النقل العظمى الخاصة بطبقة الشبكة، ثم يُضيف تروبيسته إلى كلّ قطعةٍ ناتجة، ويمرر هذه القطع إلى طبقة الوصلة. أمّا في الوجهة، فإنّ البروتوكول يستقبل وحدات بيانات البروتوكول القادمة من طبقة الوصلة، ثم يجمعها ويولد رزمة البيانات الأصلية، ثم يفكّ تغليفها، ويمررها إلى البروتوكول المناسب إمّا في طبقة الشبكة وإمّا في طبقة النقل. يدعم البروتوكول أيضاً آليةً لتحديد جودة الخدمة الواجب تقديمها لكلّ رزمة بياناتٍ على حدة وآليةً لتنضيد وفكّ تنضيد مسارات البيانات في مصدر الرزم وفي وجهتها النهائية على الترتيب، بالإضافة إلى وظيفةٍ اختياريةٍ يمكن استعمالها للتوجيه تبعاً للمصدر ولتسجيل المسار، وستناقش هذه الوظائف كلها وكيفية إنجازها بالتفصيل في هذا الفصل.

بنية الترويسة

تتكوّن رزمة الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت من ترويسة وحُمولة. يتراوح طول الترويسة بين 20 و60 بايتاً، أمّا طول الرزمة الإجمالي، أي الترويسة والحُمولة معاً، فقد يصل نظرياً إلى 65535 بايتاً.

يُبيّن الشكل (2-3) ترويسة بروتوكول الإنترنت، وهي تتكوّن من نوعين من الحقول: الإلزامية والخيارية. أمّا الحقول الإلزامية، فهي ذات طول ثابت هو 20 بايتاً، وتُمثّل الحقول التي تُوجد دائماً في الترويسة. وأمّا الخيارات، فهي حُقُول غير

¹¹⁸ أصل الاسم هو Dynamic Host Configuration Protocol ويُعرف باختصار DHCP، للمزيد انظر [RFC2131] في تَبْت المراجع.

¹¹⁹ للتعريف الدقيق، انظر ما جاء في الفصل الثاني حول الاتصال غير المهيأ، وفي هذا السياق، يعني اعتماد نمط اتصالٍ غير مهيأ أنّ بروتوكول الإنترنت لا يحتفظ بأيّ معلومةٍ عن حالة الاتصال تخصّ رزم البيانات، أي يمكن أن تسلك الرزم مساراتٍ مختلفة، وتخصّص لعمليات معالجةٍ مُتتوِّعة على طول المسار بين المصدر والوجهة، فتصل إلى وجهتها النهائية بغير ترتيبٍ إرسالها أو بهوامشٍ تأخيرٍ زمنيةٍ متفاوتةٍ.

إلزامية قد تُلحق بالتروية، ويُمكن أن يصل طولها الأعظم في رزمة واحدة إلى 40 بايتاً، وقد وُصفت بنية الحُقُول واستعمالاتها في معيار البروتوكول.



الشكل (2-3): ترويسة الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

الحُقُول الإلزامية

عدها اثني عشر حقلاً، وفي ما يلي شرح مختصر لاستعمالاتها تبعاً لترتيب وزودها في الترويسة:

- حقل الإصدار: طوله 4 بتات، يحتوي دائماً القيمة 4 في رزم الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت كلها.
- حقل طول الترويسة: طوله 4 بتات، يُحدّد موقع نهاية الترويسة وبداية الحُمولة، وهو يحتوي قيمة تُمثّل عدد الكلمات الموجودة في الترويسة بطول 32 بتاً (4 بايتات). بما أنّ طول الترويسة من غير خيارات هو 20 بايتاً، أي خمس كلمات، فإنّ القيمة الصغرى الصحيحة الممكنة لهذا الحقل هي 5.
- حقل نوع الخدمة: طوله 8 بتات، يحتوي ترميز خاصّة تُحدّد جودة الخدمة المطلوبة لنقل رزمة البيانات التي تحتوي الترويسة، وتحديدًا من خلال ضبط مُحدّدات أحقية المضيف والتأخير ومعدّل الإنتاجية والموثوقية. دُكرت قيم المُحدّدات المستعملة لضبط هذا الحقل أولاً في معيار البروتوكول، ثمّ في وثيقة طلب التعليقات RFC 1349، ثمّ في الوثيقة RFC 2474¹²⁰، وسُناقش وظيفة ضبط جودة الخدمة في ما سيأتي في هذا الفصل عند مناقشة وظائف البروتوكول.

¹²⁰ انظر [RFC1349] و [RFC2474] في ثبت المراجع.

- حقل الطول الإجمالي: طوله 16 بتاً، يُحدّد طول رزمة البيانات مُقدّراً بالبايت. إنّ القيمة العظمى التي يُمكن ترميزها في هذا الحقل هي 65535، وتُمثّل نظرياً الطول الأعظم المُمكن لرزمة بيانات الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت.
- حقل المُعرّف: طوله 16 بتاً، يُميّز الرزمة الأصل والقطع التي تنتج عن عملية تقطيعها جميعها، ويُساعد بروتوكول الإنترنت العايل في الوجهة على تمييز القطع الناتجة عن تقطيع رزمٍ مُختلفةٍ بعضُها عن بعضٍ لإعادة تجميعها لإنتاج الرزم الأصلية مُجدّداً. وتُصنّف الوثيقة RFC 6864 كيميّة اختيار قيمة هذا الحقل والإجراءات اللازم اتباعها من أجل ذلك.¹²¹
- حقل الأعلام: طوله 3 بتاتٍ، يحتوي علّمين هُما علّم عدم التّقطيع، ويُستخدَم لِمنع تقطيع الرزمة تحت أيّ ظرفٍ، وعلّم المزيد من القطع، ويُستخدَم لِتحديد القطعة الأخيرة في مجموعة القطع التي نَتجت عن تقطيع رزمةٍ ما. لا تُستخدَم هذه الأعلام إلا إذا قُطعت الرزمة.¹²² وستناقش وظيفتا التّقطيع وإعادة التّجميع في ما سيأتي من هذا الفصل عند مناقشة وظائف البروتوكول.
- حقل إزاحة القطعة: طوله 13 بتاً، يُستخدَم فقط عندما تُكون الرزمة قطعةً ناتجةً عن تقطيع رزمةٍ أصلٍ أكبر، وتُمثّل هذه القيمة إزاحة القطعة عن مَبداً الرزمة الأصلية. يُساعد هذا الحقل في إعادة تجميع القطع تجميعاً سليماً لإنتاج الرزمة الأصل في الوجهة، خاصّةً إذا وصلت القطع بترتيبٍ مُغايرٍ لِترتيب الإرسال. أمّا إذا لم تُكن الرزمة قطعةً من رزمةٍ أكبر، فلا يُستعمل هذا الحقل ويضبط إلى القيمة الصّفرية. تكون قيمة الإزاحة المُخرّنة في هذا الحقل مقسومةً على 8، أي إذا احتوى الحقل القيمة 1 فإنّ قيمة الإزاحة الحقيقية هي 8 بيتاتٍ، وأكبر قيمة مُمكنة في هذا الحقل هي $2^{13}=8192$ ، وتُكافئ إزاحةً عن المَبداً بمقدار 65536 بيتاً.
- حقل زمن حياة الرزمة: طوله 8 بتاتٍ، يحتوي عدّد القفزات الأعظم الذي يُسمَح للرزمة بالقيام به.¹²³ وأكبر قيمة يُمكن أن يحتويها الحقل هي $2^8=255$ ، وتُمثّل عدّد القفزات الأكبر المُمكن في مسار رزمة بياناتٍ تُحصُ الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. يُنقص كلُّ موجهٍ يُعالج الرزمة قيمة هذا الحقل بمقدار 1، وعندما تُصل قيمته إلى الصّفر يلزم التخلّص من الرزمة.
- حقل البروتوكول: طوله 8 بتاتٍ، يُستعمل لِإدّاء وظيفة التّنضيد، وستناقش هذه الوظيفة لاحقاً في هذا الفصل.
- حقل التّحقّق الجمعيّ للترويسة: طوله 16 بتاً، يحتوي نتاج خوارزمية التّحقّق الجمعيّ التي تُطبّق على حقول الترويسة فقط. تشرح مُحددات البروتوكول الخوارزمية المُتبعة لِحساب قيمة هذا الحقل،¹²⁴ ويلزم الانتباه إلى

¹²¹ انظر [RFC6864] في ثَبت المراجع.

¹²² أصول أسماء الأعلام هي Do not Fragment، اختصاراً DF، لعلم عدم التّقطيع، و More Fragment، اختصاراً MF، لعلم المزيد من القطع.

¹²³ في هذا السّياق، القفزة Hop هي الانتقال من شبكة بياناتٍ إلى أخرى عبر موجه. وعدّد القفزات هو مُؤشّر لِتحديد جودة مسارٍ ما في شبكات البيانات، انظر ص. 170 في [BKE01] في ثَبت المراجع.

¹²⁴ تُحسب قيمة هذا الحقل بالشكل التّالي: هو المُتمم الأوّل ذو الطول 16 بتاً لمجموع كلمات ترويسة البروتوكول التي يبلغ طول كلٍّ منها 16 بتاً مع استثناء قيمة حقل التّحقّق. انظر النّصّ الأصلي في ص. 14 في [RFC791]. على سبيل المثال (هذا المثال مُقتبسٌ من صفحة IPv4 ←

ضرورة إعادة حساب قيمة هذا الحقل عند إجراء أي تغيير في محتوي الترويسة في أثناء انتقالها عبر الشبكة، نحو حالات إنقاص قيمة زمن الحياة أو إجراء ترجمة لِعنوان الشبكة.

- حقل عنوان المصدر: طوله 32 بتاً، يحتوي عنوان بروتوكول الإنترنت للمضيف الذي ولد الرزمة، والذي يُسمى مصدر الرزمة.
- حقل عنوان الوجهة: طوله 32 بتاً، يحتوي عنوان بروتوكول الإنترنت للوجهة النهائية للرزمة، والتي تُسمى وجهة الرزمة.

الحقول الاختيارية

تُشمل حقول الخيارات، قد تحتوي الترويسة خياراً واحداً أو أكثر، بطولٍ أعظم قد يصل إلى 40 بايتاً في الرزمة الواحدة، وقد لا تحتوي أي خيار على الإطلاق. إن ما هو اختياري هو وجود الخيارات في الترويسة، أما دعمها فهو إلزامي في المضيفين والموجهات كلها وفي سائر المعدات التي تدعم الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت.

لا طول ثابتاً للخيار، ولكن للخيارات كلها بنية مشتركة ولا يشد عنها إلا خياران فقط هما خيار "نهاية قائمة الخيارات" وخيار "لا عملية". وفقاً لهذه البنية، يتألف كل خيار من ثلاثة حُقُول هي حقل النوع وطوله 8 بتات، وحقل الطول وطوله 8 بتات أيضاً، وحقل القيمة وهو ذو طول متغير بمقتضى الخيار.

يتكوّن حقل النوع من ثلاثة حُقُول فرعية هي (الشكل (3-3)):

- عَلم النسخ: هو بتٌ وحيدٌ، يُستخدم في حالة تقطيع رزمة البيانات إلى عددٍ من الرزم الأقصر طولاً، ويُحدّد فيما إذا كان الخيار سينسخ إلى الرزم كلها، لو كانت قيمته 1، وإلا فستكون قيمته 0.
- صنف الخيار: يتحدّد بتين، فإن كانت قيمتهما $(0)_{10} = (00)_2$ كان الخيار لإغراض التّحكّم وإن كانت $(2)_{10} = (10)_2$ ، كان خياراً للتّنقيح من الأخطاء وللقياس.
- الرّقم: طوله 5 بتات، وهو قيمة عددية مميزة تُعرّف كل خيار على حدة.

header checksum في النسخة الإنجليزية من موسوعة ويكيبيديا كما ظهرت بتاريخ 2021-1-29: لو كانت قيمة الترويسة وفقاً لنظام العدّ ستة العشري، فُسمت الترويسة إلى كلماتٍ طول كل منها 16 بتاً، ووضِع سطرٌ تحت حقل التّحقّق الجمعيّ:

4500 0073 0000 4000 4011 B861 C0A8 0001 C018 00C7

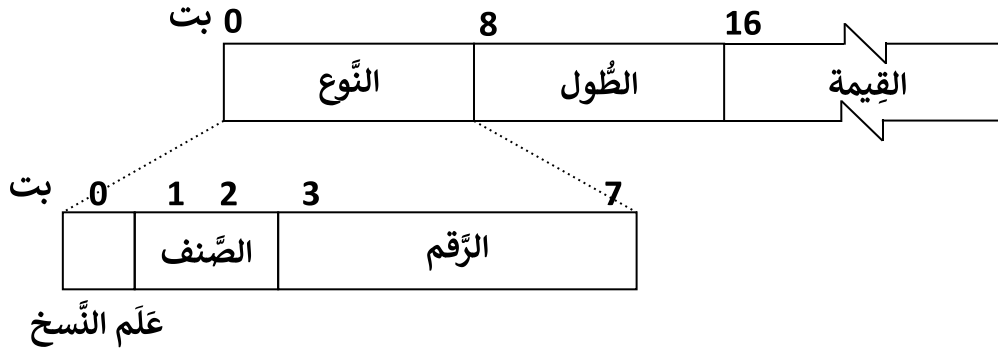
ويكون مجموع الحُقُول بعد استثناء حقل التّحقّق الجمعيّ:

4500+0073+0000+4000+4011+C0A8+0001+C018+00C7=2479C

ثمّ تُجمَع المرتبة الخامسة مع المراتب الأربعة الأولى للحفاظ على طول القيمة ضمن حُدود 16 بتاً:

$$2 + 479C = 479E$$

المتّم الأوّل هو العدّد الذي يُتمّم الناتج إلى القيمة الواحديّة، أي $(FFFF)_{16}$ ، وقيمته في هذه الحالة هي $(B861)_{16}$.



الشكل (3-3): بنية خيار الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

قد تحتوي الترويسة أكثر من خيار، ويفصل بين الخيارات عندها خيار خاص يُسمى خيار "لا عملية". بالإضافة لذلك، يكون خيار نهاية قائمة الخيارات هو الخيار الأخير دائماً، ويلزم أن ينتهي عند حدود كلمة بطول 32 بت، فإن لم يتحقق ذلك، أكمل النقص بعدد من بتات الحشو.¹²⁵

نادراً ما تُستعمل خيارات البروتوكول، لإمكانية استعمالها لشن هجمات ولضخامة حجم الإنترنت.¹²⁶

تُشرف هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة على تنظيم القيم المعيارية لخيارات الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت،¹²⁷ انظر الملحق أ من أجل الاطلاع على قائمة كاملة لخيارات البروتوكول.

الوظائف

ضبط جودة الخدمة

تُضبط جودة الخدمة باستعمال حقل نوع الخدمة في ترويسة البروتوكول. حدّدت وثيقة معيار الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت بنية مُحدّدة لهذا الحقل لنتيح إمكانية إجراء مفاوضات بين ثلاثة عناصر لوصف جودة الخدمة المطلوبة: التأخير ومعدل الإنتاجية والموثوقية. يُحجز بت واحد لكل عنصر ويُضبط إلى القيمة 0 للإشارة إلى الحاجة الرزمة لجودة خدمة تتضمّن تأخيراً اعتيادياً أو معدّل إنتاجية اعتيادياً أو موثوقية اعتيادية على الترتيب، ويُضبط إلى القيمة 1 للإشارة إلى الحاجة لتأخير مُنخفض ومعدل إنتاجية مُرتفع ولموثوقية مُرتفعة على الترتيب أيضاً.¹²⁸ وخصّصت ثلاثة بتات في حقل نوع الخدمة لتحديد أحقية الرزمة بالمعالجة، ووصف المعيار ثمانية ترميز لهذه البتات، ويُبين الشكل (3-4) البنية السابقة.

¹²⁵ أصل الاسم Padding.

¹²⁶ انظر ما جاء في ص. 192 في [BKE02] في ثبت المراجع.

¹²⁷ انظر [WEB02] في ثبت المراجع.

¹²⁸ انظر ما جاء في ص. 12 في [RFC791] في ثبت المراجع.

0	1	2	3	4	5	6	7
الأحقيّة	التّجربة	التّجربة	التّجربة	التّجربة	الموثوقية	0	0

الشّكل (4-3): بنية حقل نوع الخدمة كما اقترحتها وثيقة معيار الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

طُرِحَ مَفْهُومُ الخِدْمَاتِ المُتَمَايِزَةِ فِي عام 1998م بِصِفَتِهِ مِعْمَارِيَّةٌ تُحَدِّدُ آلِيَّةً بَسِيطَةً وَقَابِلَةً لِلتَّوسُّعِ لِتَصْنِيفِ وإدارة البيانات مِنْ أَجْلِ تَأْمِينِ جُودَةِ الخِدْمَةِ فِي الشَّبَكَاتِ الَّتِي تَدْعَمُ بروتوكول الإنترنت.¹²⁹ وأُعِيدتْ أَيْضاً هَيْكَلَةُ البِتَاتِ سَابِقَةَ الذِّكْرِ، فَدُمِجَتْ مَعاً وَأُسِّمِيَتْ حَقْلٌ جَدِيدٌ سُمِّيَ حَقْلُ تَرَامِيزِ الخِدْمَاتِ المُتَمَايِزَةِ (الشّكل (5-3)).¹³⁰

0	1	2	3	4	5	6	7
تراميز الخدمات المتمايزة						0	0

الشّكل (5-3): بنية حقل نوع الخدمة تبعاً لمفهوم الخدمات المتمايزة

يَعْتَمِدُ مَفْهُومُ الخِدْمَاتِ المُتَمَايِزَةِ عَلَى تَصْنِيفِ رِزْمِ البِیَانَاتِ إِلَى عَدَدٍ مُحَدَّدٍ مِنَ الأَصْنَافِ، وَإِضَافَةَ مُعْرِفٍ لِهَذِهِ الأَصْنَافِ إِلَى حَقْلِ نَوْعِ الخِدْمَةِ، ثُمَّ تَهْيِئَةَ المَوْجَّهَاتِ فِي الشَّبَكَةِ لِتُمَيِّزِ بَيْنَ الرِّزْمِ وَفَقْراً لِلأَصْنَافِ السَّابِقَةِ، فَيُعَامَلُ كُلُّ صَنْفٍ بِطَرِيقَةٍ تَتَوَافَقُ مَعِ أَوْلِيَّتِهِ. وَفَقْراً لِهَذَا المَفْهُومِ، نُصَنَّفُ المَوْجَّهَاتِ عَلَى أَطْرَافِ الشَّبَكَةِ رِزْمِ البِیَانَاتِ، فِي حِينِ تُعَالِجُ المَوْجَّهَاتِ فِي قَلْبِ الشَّبَكَةِ الرِّزْمَ فَقَطْ، وَبِهَذَا تَظَلُّ عَمَلِيَّةُ ضَبْطِ جُودَةِ الخِدْمَةِ المُقَدَّمَةِ فِي قَلْبِ الشَّبَكَةِ سَرِيعَةً وَبَسِيطَةً.

تُسَمَّى الشَّبَكَةُ، حَيْثُ تُوجَدُ مَجْمُوعَةُ المَوْجَّهَاتِ السَّابِقَةِ، بِنِطَاقِ الخِدْمَاتِ المُتَمَايِزَةِ، وَيَتَعَامَلُ أَيُّ مَوْجَّهٍ مِنْهَا مَعِ كُلِّ رِزْمَةٍ وَارِدَةٍ تَعَامُلاً مُنْفَصِلاً لِتَطْبِيقِ جُودَةِ الخِدْمَةِ المُتَمَايِزَةِ لَهَا، وَتُسَمَّى هَذِهِ الآلِيَّةُ بِالسُّلُوكِ الخَاصِّ بِكُلِّ قَفْزَةٍ،¹³¹ وَيُمْكِنُ تَمْيِيزَ أَرْبَعَةِ أَنْوَاعٍ مِنَ السُّلُوكَاتِ، كَمَا يَأْتِي:¹³²

- سُلُوكُ الإِرسَالِ الِافتِرَاضِيّ: وَهُوَ السُّلُوكُ الَّذِي يَخْتَارُهُ المَوْجَّهُ لِلتَّعَامُلِ مَعِ رِزْمَةِ بِیَانَاتٍ لَمْ يَتَوَافَقِ مَعَهَا أَيُّ بِنْدٍ آخَرَ مِنْ بُنُودِ السُّلُوكِ. إِنَّ دَعْمَ هَذَا البِنْدِ الإِزَامِيّ فِي المَوْجَّهَاتِ الَّتِي تَدْعَمُ الخِدْمَاتِ المُتَمَايِزَةِ، وَتَكُونُ قِيَمَةُ حَقْلِ تَرَامِيزِ الخِدْمَاتِ المُتَمَايِزَةِ فِيهِ $(0)_{10} = (00000)_2$.

¹²⁹ الخِدْمَاتِ المُتَمَايِزَةِ Differentiated services، وَلِوَصْفِ عَنِ هَذِهِ المِعْمَارِيَّةِ انظُرْ [RFC2475] فِي تَبَيُّنِ المَرَاجِعِ.

¹³⁰ أَصْلُ الاسْمِ Differentiated Services CodePoint، اِخْتِصَاراً DSCP، انظُرْ ص.7 فِي [RFC2474] فِي تَبَيُّنِ المَرَاجِعِ.

¹³¹ نِطَاقِ الخِدْمَاتِ المُتَمَايِزَةِ Differentiated services domain، وَالسُّلُوكِ الخَاصِّ بِكُلِّ قَفْزَةٍ Per-Hop Behavior، اِخْتِصَاراً PHB.

¹³² وَأَصُولُ الأَسْمَاءِ لِكُلِّ سُلُوكٍ عَلَى التَّرْتِيبِ: الافتراضي Default Forwarding، اِخْتِصَاراً DF، وَالمُعَجَّلُ Expedited Forwarding، اِخْتِصَاراً EF، وَالمُؤَمَّنُ Assured Forwarding، اِخْتِصَاراً AF، وَاخْتِيارِ الصَّنْفِ Class Selector، اِخْتِصَاراً CS، انظُرْ ص. 9-10 فِي [RFC4594]

فِي تَبَيُّنِ المَرَاجِعِ.

- سُلوك الإرسال المُعجَّل: وهو السُّلوك المُتوافق مع تطبيقات الرِّزم الحقيقي، نحو الصَّوت والفيديو. ومن خواصه: تأخيرٌ مُنخفضٌ وتقلُّلٌ إرسال¹³³ مُنخفضٌ وفقد بياناتٍ مُنخفضٌ، وتكون قيمة حقل الخِدْمات المُتميزة فيه $(46)_{10} = (101110)_2$.¹³⁴
- سُلوك الإرسال المُؤمَّن: يَسمح بتوصيل الرِّزم طالما لم تتجاوز حركة البيانات مُعدلاً مُحدداً، ومَتى ما تجاوزته، فإنَّ احتمال التَّخْلُص من الرِّزم يزداد على سُلَّم مُكوَّن من ثلاث درجاتٍ: مُنخفضةٌ ومُتوسِّطةٌ ومُرتفعةٌ.¹³⁵ يُعرَّف هذا السُّلوك، وفقاً لما سبق، أربعة أصنافٍ مُتميزةٍ لِمَنح إمكانيَّة أكبرٍ للتَّحكُّم، ويُظهر الجدول (1-3) قيمة حقل الخِدْمات المُتميزة في كُلِّ منها.
- سُلوك اختيار الصَّنْف: وَيَسمح بدعمٍ توافقيٍّ لِقِيَم حقل الأَحْقِيَّة الَّتِي عرَّفها المعيار الأصيل، وتكون قيمة حقل ترميز الخِدْمات فيه من الشَّكل: $(b_0b_1b_2000)_2$ ، وتكون b_0 و b_1 و b_2 هي بتات حقل الأَحْقِيَّة على التَّرتيب.

الجدول (1-3): قيم حقل ترميز الخِدْمات المُتميزة المُمكنة في سُلوك الإرسال المُؤمَّن

الصَّنْف 4	الصَّنْف 3	الصَّنْف 2	الصَّنْف 1	احتمال التَّخْلُص من الرِّزمة
$(100010)_2 = (34)_{10}$	$(011010)_2 = (26)_{10}$	$(010010)_2 = (18)_{10}$	$(001010)_2 = (10)_{10}$	مُنخفضٌ
$(100100)_2 = (36)_{10}$	$(011100)_2 = (28)_{10}$	$(010100)_2 = (20)_{10}$	$(001100)_2 = (12)_{10}$	مُتوسِّطٌ
$(100110)_2 = (38)_{10}$	$(011110)_2 = (30)_{10}$	$(010110)_2 = (22)_{10}$	$(001110)_2 = (14)_{10}$	مُرتفعٌ

أمَّا البتان صاحبَا المَرتبتين 6 و 7 في حقل جُودة الخِدْمة فيُشكِّلان حقل التَّنبيه الصَّريح لِلازدحام، وقد وُصِف عملهما لِلمرَّة الأولى في عام 1999م في وثيقة طلب التَّعليقات RFC 2481.¹³⁶ يُؤمَّن هذان البتان آليَّةً لِلمُوجَّهات من أجل إبلاغ الوِجهة الِلهائيَّة بوجود ازدحامٍ في الشَّبكة، من خلال حجز ترميزٍ مُحدَّدٍ لِذلك، هو $(11)_2$. أمَّا القيم الثَّلاثة الأخرى فيضْبُطها مُرسِل البيانات كما يلي: $(00)_2$ لِلإشارة إلى عدم استعمال هذه الآليَّة، و $(01)_2$ و $(10)_2$ لِلإشارة إلى استعمالها.¹³⁷

العنونة

هي مَنح مُضيفي بُروتوكول الإنترنت مُعرِّفاتٍ رَقميَّةٍ لِاستعمالها في الشَّبكة المَحَلِّيَّة أو في الإنترنت. يُسمَّى المُعرِّف المَمْنُوح عُنوان بُروتوكول الإنترنت، وقد يُستخدم لِتمييز مُضيفٍ ما تمييزاً فريداً، أو لِتحديد مجموعة المُضيفين الَّذِينَ يَستضيفونه العُنوان في الوقت نفسه. بِالإضافة لِذلك، لا مانع من استضافة المُضيف لِأكثَر من عُنوان بُروتوكول إنترنت في الوقت ذاته أيضاً.

¹³³ أصل الاسم Jitter.

¹³⁴ لِلمزيد حول هذا السُّلوك انظر [RFC3246] في نَبْت المَراجع.

¹³⁵ انظر [RFC2597] في نَبْت المَراجع.

¹³⁶ التَّنبيه الصَّريح لِلازدحام Explicit Congestion Notification، اختصاراً ECN، لِلمزيد انظر [RFC2481] في نَبْت المَراجع.

¹³⁷ انظر ص. 7 [RFC3168] في نَبْت المَراجع.

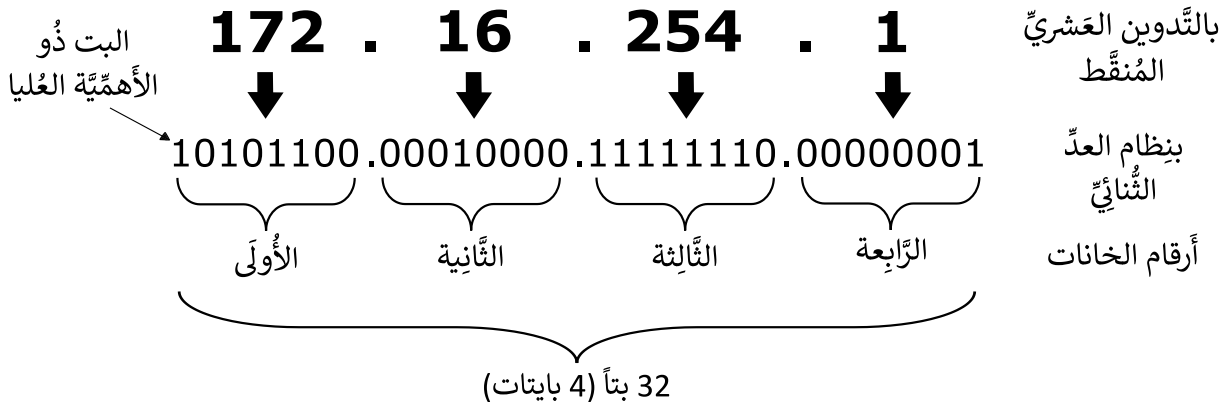
تعريف

عنوان بروتوكول الإنترنت

هو معرف رقمي طوله 32 بتاً، غالباً ما يكتب بالتدوين العشري المنقط،¹³⁸ ولكنه قد يكتب بنظام العد الثنائي أيضاً، يُقسّم كل عنوان إلى أربعة أقسام تُسمى خانات، طول كل منها 8 بتات. تُرقم الخانات انطلاقاً من الواحد وابتداءً من الخانة التي تضمّ البتات ذات الأهمية العليا،¹³⁹ وهي التي تقع أقصى يسار العنوان.

يكتب عنوان بروتوكول الإنترنت وفقاً للتدوين العشري المنقط بالشكل #.#.#.#، ويمثّل الرمز # قيمة عددية بنظام العد العشري. لأنّ كل خانة تضمّ أعداداً موجبة ممثّلة بثمانية بتات فقط، فإنّ القيمة العشرية في كل خانة يمكن أن تتراوح بين القيمتين 0 و255 فقط.¹⁴⁰ إن 8.0.0.1 و172.16.254.1 و240.0.0.9 هي أمثلة على عناوين إنترنت مكتوبة بالتدوين العشري المنقط، ويبيّن الشكل (3-6) البنية السابقة من أجل المثال الثاني.

يمكن أن يمثّل العنوان بنظام العد الثنائي من خلال استبدال قيمة المقابل الثنائي لكل خانة بالقيمة العشرية، ولكن يلزم اعتماد تمثيل واحد فقط عند الكتابة ولا يجوز خلط الشكّلين معاً.



الشكل (3-6): بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

فضاء العناوين

هو مجموعة عناوين بروتوكول الإنترنت كلها، وهي تضمّ 2^{32} عنواناً، أي قرابة 4.3 مليار عنوان تقريباً. ويُقسّم هذا الفضاء إلى ثلاثة أفضية جزئية تبعاً للغرض الذي يُستخدم كل فضاء من أجله، وهذه الأفضية هي:

- فضاء عناوين البثّ فريد الوجهة، ويُستعمل لعنونة المُضيفين عنونةً مُتمايضةً، وعُنون هذا الفضاء بطريقتين:¹⁴¹

¹³⁸ أصل الاسم Dotted-decimal notation.

¹³⁹ أصل الاسم Most Significant Bit، اختصاراً MSB.

¹⁴⁰ أي بين $2(0000\ 0000)$ و $2(1111\ 1111)$.

¹⁴¹ العنونة الصنفيّة Classful addressing والعنونة غير الصنفيّة Classless addressing، انظر الأولى في ص. 7 في [RFC791] والأخرى في ص. 4 في [RFC4632] في نَبْت المراجع.

○ صنفية¹⁴²، وهي الأصل الموصوف في معيار البروتوكول، وقد أُبطل هذا النمط لاحقاً بسبب تسارع استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، وهذه المشكلة هي مبحث الفصل السابع من هذا الكتاب. يُقسم عنوان بروتوكول الإنترنت في هذا النمط إلى ثلاثة أقسام:

■ البتات المحجوزة:¹⁴³ وهي عدد من البتات التي تُستعمل لتحديد وظيفة فضاء العنوان الذي ينتمي إليه العنوان، تبدأ البتات المحجوزة من البت الأكثر أهمية، وقد تشمل بتاً واحداً أو أكثر حتى 4 بتات، ويتحدد عددها، وليكن b_r بتاً، وفقاً لنمط العنوان المستعمل وستناقش هذه الأنماط في قسم فضاء العناوين في هذا الفصل.

■ معرف الفضاء:¹⁴⁴ وهو القسم المميز للفضاء الذي ينتمي إليه العنوان، ويكون مشتركاً بين عناوينه كلها. يبدأ هذا المعرف من حيث انتهى قسم البتات المحجوزة، ويختلف طوله، وليكن b_{NID} بتاً، تبعاً لعدد الأفضية الجزئية الناتجة عن تجزئة الفضاء الكلي N_{space} ، ويرتبط الاثنان بالعلاقة: $N_{space} = 2^{b_{NID}}$. فإذا كان طول معرف الفضاء ثلاث بتات، فإن فضاء العناوين الكلي سيُجزأ إلى $2^3 = 8$ أفضية جزئية.

■ معرف المضيف:¹⁴⁵ وهو القسم الذي يُميز مضيف العنوان، وتكون قيمته فريدة من أجل كل عنوان في الفضاء الجزئي. يبدأ معرف المضيف من حيث انتهى معرف الفضاء ويمتد حتى نهاية العنوان. وأما طول قسم المضيف، وليكن b_{HID} بتاً، فيُحدد عدد العناوين في الفضاء الجزئي $N_{address}$ ، تبعاً للعلاقة $N_{address} = 2^{b_{HID}}$. فإذا كان طول قسم المضيف 10 بتات، فإن كل فضاء عناوين جزئي سيحتوي $2^{10} = 1024$ عنواناً.¹⁴⁶

تكون أطوال قسيمي الشبكة والمضيف محددةً تحديداً مسبقاً ومعيارياً، ويكون مجموع أطوالها مساوياً لطول عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت (الشكل (3-7))، أي:

$$b_r + b_{NID} + b_{HID} = 32 \quad (1-3)$$

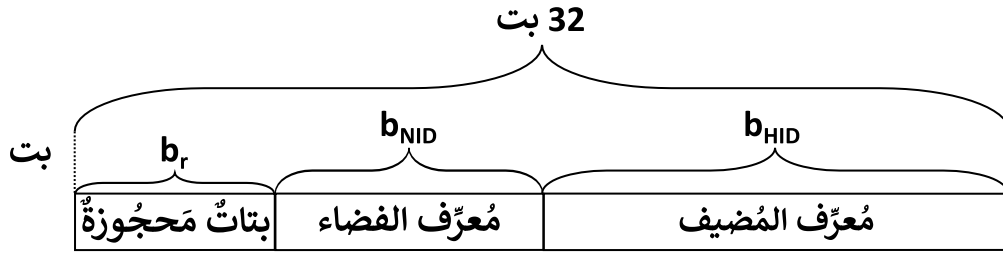
¹⁴² انظر ما جاء في مادة class في ص. 28 في [BKA06] في ثبت المراجع.

¹⁴³ عُوِّلت البتات المحجوزة في معيار البروتوكول الأصلي على أنها جزء من معرف الفضاء (انظر ص. 7 في [RFC791] في ثبت المراجع)، لكنها كانت دائماً ما تُستثنى منه في الحسابات الرياضية (انظر على سبيل المثال ما جاء في ص. 2 في [RFC1878]) لذلك ارتأينا فصلها ومعاملتها على أنها قسم منفصل.

¹⁴⁴ أصل الاسم Network Identifier، اختصاراً NID.

¹⁴⁵ أصل الاسم Host Identifier، اختصاراً HID.

¹⁴⁶ يُلزم التمييز بين عدد العناوين في الفضاء، والذي يُحسب باستخدام العلاقة $2^{b_{HID}}$ ، وبين عدد العناوين المتاحة للاستعمال عند عنوان المضيفين، ويُحسب بالعلاقة $2^{b_{HID}} - 2$. وأما العنوانان المطروحيان في العلاقة الثانية فهما عنوان الفضاء وعنوان البت العام وستناقش هذه المسألة في الفصل الرابع من هذا الكتاب.



الشكل (3-7): الأقسام الرئيسية المكونة لعنوان من الإصدار الرابع والعلاقة التي تربط بين أطوالها

تكون الأفضية الجزئية الناتجة معروفة الحجم، وتُصنّف تبعاً له إلى أصنافٍ هي (الشكل (3-8)):

- الصنف A: يكون عدد البتات المحجوزة فيه بتاً واحداً فقط، وقيمته هي 2^0 دائماً. نتيجةً لذلك، تكون قيمة الخانة الأولى فيه محصورةً بين 0 و127. طول قسم معرف الفضاء فيه هو 7 بتات، وطول قسم معرف المضيف هو 24 بتاً، لذلك فهو أكبر الأصناف حجماً: 2^{24} عنواناً في كل فضاء جزئي، وأقلها عدداً: 2^7 فضاءً جزئياً.
- الصنف B: ويكون عدد البتات المحجوزة فيه بتان اثنان، وقيمتها هي 2^{10} دائماً، ونتيجةً لذلك تكون قيمة الخانة الأولى فيه محصورةً بين 128 و191. طول قسم معرف الفضاء في هذا الصنف هو 14 بتاً وطول قسم معرف المضيف هو 16 بتاً، ويضم كل فضاء جزئي 2^{16} عنواناً، بالإضافة لوجود 2^{14} فضاءً جزئياً من هذا القياس.
- الصنف C: ويكون عدد البتات المحجوزة ثلاثة بتات، وقيمتها هي 2^{110} دائماً، أي تنحصر قيمة الخانة الأولى فيه بين 192 و223. طول قسم معرف الفضاء في هذا الصنف هو 8 بتات وطول قسم معرف المضيف هو 21 بتاً، ويضم كل فضاء جزئي 2^8 عنواناً، بالإضافة لوجود 2^{21} فضاءً جزئياً من هذا القياس.

○ غير صنفية، وهي نهجٌ مستحدثٌ لمواجهة مشكلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، ولا أصنافٌ محددة الأطوال فيه، وتكون أحجام الأفضية غير ثابتة، لذلك فإنها توصف أيضاً بأنها غير قياسية.

- فضاء عناوين البث المجموعاتي ويسمى أيضاً بالصنف D، ويُستعمل لعنونة مجموعة من المضيفين. بتاته المحجوزة أربعة، قيمتها 2^{1110} ، وسيُدرّس في الفصل الخامس من هذا الكتاب.¹⁴⁷
- فضاء عناوين محجوز، ويسمى أيضاً بالصنف E، وعدد البتات المحجوزة فيه 4 بتات وقيمتها 2^{1111} .¹⁴⁸

¹⁴⁷ انظر ما جاء في ص. 3 في [RFC1122] في ثبت المراجع.

¹⁴⁸ انظر الهامش السابق.

1	7	24	الصنف A
2	14	16	الصنف B
3	21	8	الصنف C

معرف المضيف معرف الفضاء بتات محجوزة

الشكل (8-3): أصناف عناوين البث فريد الوجهة في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت وبنية عناوينها

يُبيِّن الشكل (8-3) الأحجام النسبية للأفضية الجزئية الصنفية قياساً إلى الفضاء الإجمالي، يشغل فضاء الصنف A وحده نصف حجم الفضاء الإجمالي، في حين يشغل الصنف B ربعه والصنف C ثمنه، أما الثمن الأخير فيقسم مناصفةً بين الصنف D والصنف E.



بث فريد الوجهة بث مجموعاتي تجريبي

الشكل (9-3): أفضية العناوين الجزئية للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت وتظهر إلى اليمين الحجم النسبي لكل قسم

لا بُدَّ لحجم الفضاء من أن يكون من مضاعفات العدد 2 دائماً بسبب استعمال نظام العد الثنائي في العنونة، أي أنه ينبغي حصرًا للمجموعة {2, 4, 8, 16, ...} ¹⁴⁹.

¹⁴⁹ انظر ما جاء في ص.2 في [RFC1878] في ثبت المراجع.

قناع الفضاء

هُوَ عَدَدٌ طُولُهُ 32 بتاً، يُكْتَبُ وَفَقاً لِقَوَاعِدِ كِتَابَةِ عُنْوَانِ الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت نفسها وله البنية رباعية الخانات ذاتها. لكنَّ القناع يَتَمَيَّزُ بِنَمِطِ فَرِيدٍ مِنْ تَكَرُّارِ الأَصْفَارِ وَالوَحْدَانِ فِيهِ، فَهُوَ يَضُمُّ تَتَابِعاً وَحِيداً غَيْرَ مُنْقَطِعٍ مِنَ الوَحْدَانِ يَلِيهِ تَتَابِعٌ وَحِيدٌ غَيْرَ مُنْقَطِعٍ مِنَ الأَصْفَارِ.¹⁵⁰

يُرفَقُ عُنْوَانُ بروتوكول الإنترنت بقناعٍ دائِماً، وَيُحدِّدُ القناع البتات المَحْجُوزَةَ وَمُعَرَّفَ الفضاء، فَهِيَ تُقَابِلُ بتاتٍ ذاتِ قِيَمَةٍ وَاحِدِيَّةٍ فِي القِنَاعِ، أَمَّا بتاتِ مُعَرَّفِ المُضَيِّفِ فِي العُنْوَانِ، فَتُقَابِلُهَا بتاتٌ ذاتِ قِيَمَةٍ صِفْرِيَّةٍ فِي القِنَاعِ.

على سبيل المثال، إذا كان مَجْمُوعُ طُولِي قِسمي البتات المَحْجُوزَةَ وَمُعَرَّفَ الفضاء لعناوين فضاءٍ ما 12 بتاً، فإنَّ القِنَاعِ المُوَافِقِ لِلعُنْوَانِ يُكْتَبُ بِالتَّمثِيلِ الثَّنَائِيَّ بِالشَّكْلِ:

1111 1111.1111 0000.0000 0000.0000 0000

وهذا يُقَابِلُ القِنَاعِ 255.240.0.0، أو اختصاراً /12. أَمَّا التَّمثِيلُ الأوَّلُ فَهُوَ التَّدْوِينُ العَشْرِيُّ المُنْقَطِعُ، وَيُمْكِنُ الحُصُولُ عَلَيْهِ بِاسْتِبْدَالِ المُقَابِلِ العَشْرِيِّ لِكُلِّ خَانَةٍ بِالْقِيَمَةِ الثَّنَائِيَّةِ. وَأَمَّا التَّمثِيلُ الثَّنَائِيَّ فَهُوَ تَدْوِينُ البَادِيَّةِ،¹⁵¹ وَيُمْكِنُ الحُصُولُ عَلَيْهِ مِنْ خِلَالِ إِحْصَاءِ عَدَدِ الوَحْدَانِ المُتتَالِيَةِ فِي القِنَاعِ، وَإِضَافَتِهَا إِلَى يَمِينِ الشَّرِيْطَةِ المَائِلَةِ "/". تُسْتَعْمَلُ كِلْتَا الطَّرِيقَتَانِ لِلتَّعْبِيرِ عَنِ قِنَاعِ الفضاء، وَيُضَافُ النَّاتِجُ إِلَى يَمِينِ العُنْوَانِ دَائِماً.

على سبيل المثال: 10.0.0.0/12 و 255.240.0.0 10.0.0.0 هما تعبيران مُتطابِقان، وَيَعْنِيَانِ أَنَّ البتاتِ الاثني عَشَرَ الأَكْثَرِ أَهْمِيَّةً فِي العُنْوَانِ 10.0.0.0 تُشكِّلُ قِسمي البتات المَحْجُوزَةَ وَمُعَرَّفَ الفضاء. بِعِبَارَةٍ أُخْرَى، عَنَاوِينُ بروتوكول الإنترنت الَّتِي تَبْدَأُ مِنَ البِتِّ الأَكْثَرِ أَهْمِيَّةً بَتَتَابِعِ البتات: 0000 1010 0000 هِيَ كُلُّهَا أَعْضَاءٌ فِي هَذَا الفضاءِ الجُزْيِيِّ.

إِنَّ القِيَمَ العَشْرِيَّةَ المُسْتَعْمَلَةَ فِي كِتَابَةِ الخاناتِ فِي أَقْنَعَةِ الأفضيَّةِ فِي الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت مَحْدُودَةٌ وَعَدَدُهَا تَسَعٌ فَقَطْ، وَالسَّبَبُ فِي ذَلِكَ هُوَ شَرَطُ الوَحْدَانِ المُتتَالِيَةِ غَيْرِ المُنْقَطِعَةِ، وَهَذِهِ القِيَمُ هِيَ {0، 128، 192، 224، 240، 248، 252، 254، 255}، وَيُمْكِنُ الاطِّلَاعُ عَلَى الجَدُولِ (2-3) لِتَبْيَانِ شَرَطِ الوَحْدَانِ المُتتَالِيَةِ غَيْرِ المُنْقَطِعَةِ فِي الأَقْنَعَةِ.

عُنْوَانُ الفضاء

هُوَ عُنْوَانُ بروتوكول الإنترنت الَّذِي تُكُونُ قِيَمَةُ البتاتِ فِي قِسمِ مُعَرَّفِ المُضَيِّفِ كُلُّهَا أَصْفَاراً فِيهِ. لِهذا العُنْوَانِ القِيَمَةُ العَدَدِيَّةُ الصُّغْرَى مِنْ بَيْنِ عَنَاوِينِ الفضاء، وَيُسْتَعْمَلُ مَعَ قِنَاعِ الفضاءِ لِتَمثِيلِ فضاءِ العنونةِ الجُزْيِيِّ كَامِلاً، لِذَلِكَ لَا يُسْتَعْمَلُ فِي عَنونةِ المُضَيِّفِينَ أَبَداً.

¹⁵⁰ انظر ص. 13 في [BKA07] في تَبْتِ المَراجِعِ.

¹⁵¹ تَدْوِينُ البَادِيَّةِ Prefix notation، انظر ص. 5 في [RFC4632] في تَبْتِ المَراجِعِ

الجدول (2-3): القيم الثنائية والعشرية المستعملة في كتابة أفضية الأفضية في خانة واحدة

تدوين البادئة	القيمة العشرية	القيمة الثنائية	عدد الوحدات
/0	0	0000 0000	0
/1	128	1000 0000	1
/2	192	1100 0000	2
/3	224	1110 0000	3
/4	240	1111 0000	4
/5	248	1111 1000	5
/6	252	1111 1100	6
/7	254	1111 1110	7
/8	255	1111 1111	8

يُحَسَبُ عُنْوَانُ الْفَضَاءِ رِيَاضِيًّا أَنْطَلَاقًا مِنْ قِنَاعِ الْفَضَاءِ وَأَحَدِ عَنَاوِينِهِ وَفَقًّا لِلْخَوَارِزِمِيَّةِ (الجدول 3-3):¹⁵²

1. كِتَابَةُ الْعُنْوَانِ وَالْقِنَاعِ بِالْتَّمْثِيلِ الثَّنَائِيِّ.
2. إِجْرَاءُ عَمَلِيَّةِ الْعَطْفِ الْمَنْطِقِيِّ¹⁵³ بَيْنَ الْعُنْوَانِ وَالْقِنَاعِ، وَالنَّتِيْجَةُ هِيَ عُنْوَانُ الْفَضَاءِ بِالْتَّمْثِيلِ الثَّنَائِيِّ.
3. تَمْثِيلُ قِيَمِ الْخَانَاتِ بِنِظَامِ الْعَدِّ الْعَشْرِيِّ، وَالنَّتِيْجَةُ هِيَ عُنْوَانُ الْفَضَاءِ مَكْتُوبًا بِالْتَّدْوِينِ الْعَشْرِيِّ الْمُنْقَطِ.

الجدول (3-3): مثال عن كيفية حساب عنوان الفضاء للغنوان 200.100.10.1 المُرفق بالقناع 255.240.0.0 باستعمال عملية العطف المنطقي

عنوان العمود	الخانة الرابعة	الخانة الثالثة	الخانة الثانية	الخانة الأولى
العنوان بنظام العد العشري	1	10	100	200
القناع بنظام العد العشري	0	0	240	255
العنوان بنظام العد الثنائي	0000 0001	0000 1010	0110 0100	1100 1000
القناع بنظام العد الثنائي	0000 0000	0000 0000	1111 0000	1111 1111
نتاج عملية العطف المنطقي بنظام العد الثنائي	0000 0000	0000 0000	0110 0000	1100 1000
نتاج عملية العطف المنطقي بنظام العد العشري	0	0	96	200

¹⁵² انظر ص. 27-29 في [BKA07] في نَبْتِ المَراجِعِ.

¹⁵³ أصل الاسم Logical conjunction، انظر ص. 16 في [BKA05] في نَبْتِ المَراجِعِ، وَيُسَمَّى أَيْضًا الْاِتِّحَادِ (ص. 206 في [BKA02]) وَالاقْتِرَانِ

(ص. 69 في [BKA01])، وَهِيَ عَمَلِيَّةٌ مَنْطِقِيَّةٌ تَتَّبَعُ جَدْوَلَ الْحَقِيقَةِ التَّالِيَّ (انظر ما جاء في شَأْنِهِ فِي الْفَصْلِ الرَّابِعِ مِنْ هَذَا الْكِتَابِ):

المدخل الأول	المدخل الثاني	الخرج
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

يلزم الانتباه إلى عدم الخلط بين عنوان الفضاء ومعرّف الفضاء، فالأول هو عنوان بروتوكول إنترنت مُكتمل طوله 32 بتاً، أما الثاني فهو جزء من عنوان بروتوكول الإنترنت، ويمثّل القسم المُشترك بين العناوين التي تنتمي إلى فضاء جزئيّ ما.

عنوان البث العام¹⁵⁴

هو عنوان بروتوكول إنترنت تكون قيمة البتات كلها في قسم مُعرّف المُضيف فيه وحداناً. يملك هذا العنوان أكبر قيمة عدديّة من بين عناوين الفضاء الجزئيّ الذي ينتمي إليه، ويُستعمل بصفته عنواناً مُشتركاً لكلّ مُضيفي عناوين الفضاء، وأيُّ رزمة بيانات تُوجّه إلى هذا العنوان، سترسل إلى المُضيفين الذين يستضيفون عناوين من ذلك الفضاء، لذلك لا يُستعمل عنوان البث العامّ في عنونة المُضيفين أبداً.

تتبع الخوارزمية التالية لحساب عنوان البث العامّ في فضاء ما، انطلاقاً من قناع الفضاء وأحد العناوين فيه (الجدول 3-4):¹⁵⁵

1. كتابة العنوان وقناع الفضاء بنظام العدّ الثنائيّ.
2. تحديد طول قسم مُعرّف المُضيف في العنوان من خلال مُقارنته مع القناع، تُقابل بتات مُعرّف المُضيف بتات القناع الصّفرية.
3. ضبط قيمة بتات مُعرّف المُضيف إلى قيمٍ واحدةٍ، والنتيجة هي عنوان البث العامّ مكتوباً بنظام العدّ الثنائيّ.
4. تمثيل قيم خانات العنوان بنظام العدّ العشريّ، ثمّ كتابة عنوان البث العامّ بالتدوين العشريّ المنقط.

الجدول (3-4): مثال عن كيفية حساب عنوان البث العامّ للشبكة 200.96.0.0 المرفقة بالقناع 255.240.0.0 باستعمال عملية العطف المنطقيّ

عنوان العمود	الخانة الرابعة	الخانة الثالثة	الخانة الثانية	الخانة الأولى
العنوان بنظام العدّ العشريّ	0	0	96	200
القناع بنظام العدّ العشريّ	0	0	240	255
العنوان بنظام العدّ الثنائيّ	0000 0000	0000 0000	0110 0000	1100 1000
القناع بنظام العدّ الثنائيّ	0000 0000	0000 0000	1111 0000	1111 1111
تحديد قسم المُضيف في العنوان (وُضعت إشارة x في مُقابل كلّ بت)	XXXX XXXX	XXXX XXXX	0110 XXXX	1100 1000
ضبط بتات المُضيف إلى وحدان (عنوان البث العامّ بنظام العدّ الثنائيّ)	1111 1111	1111 1111	0110 1111	1100 1000
عنوان البث العامّ (بالتدوين العشريّ المنقط)	255	255	111	200

¹⁵⁴ أصل الاسم Broadcast address. عرّبت Broadcast في ص. 46 في [BKA01] في نُبث المراجع إلى إذاعة أو نشر، مع تعريف مُغاير لما ورد هنا، وفي ص. 163 في [BKA02] إلى بثّ إذاعيّ تلفزيونيّ، وفي ص. 9 من [BKA05] إلى بثّ شاملٍ وهو أقرب المعاني لهذا السّياق في رأينا.

¹⁵⁵ انظر ص. 27-29 في [BKA07] في نُبث المراجع.

إدارة الأفضية

تُشرف هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة، على تخصيص¹⁵⁶ فضاء البتّ فريد الوجهة ضمن بنية هرمية تُسمى سجلاً الإنترنت،¹⁵⁷ وستناقش هذه البنية بالتفصيل في الفصلين السابع والثامن من هذا الكتاب.

تُشرف هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة أيضاً إشرافاً مباشراً على تخصيص فضاء البتّ المجموعاتيّ وعلى حفظ بيانات الأفضية المُخصَّصة، لكنّ عمليّة التّخصيص تحضّل مباشرةً مع العملاء من غير الاعتماد على البنية الهرميّة، وانظر المُلحق ب من هذا الكتاب للمزيد حول هذه الأفضية.¹⁵⁸

بالإضافة لذلك، تُحجز أفضية عناوين من أجل بروتوكولات مُحدّدة أو من أجل استعمالات خاصّة، ولا يجوز استعمال عناوين من هذه الأفضية من أجل عنوانة المُضيفين في الإنترنت، وتُشرف الهيئة، المُشار إليها مسبقاً، على حفظ وإدارة سجلّ هذه الأفضية، وانظر المُلحق ج من هذا الكتاب ففيه ذكرٌ للأُنظمة المحجوزة ولِسبب حجزها وتاريخه.¹⁵⁹

التّقطيع وإعادة التّجميع

طوّرت الإنترنت أساساً لتُكون شبكةً من الشّبكات المُختلفة التي قد تدعّم أطوالاً عظمتى مُتنوّعة لرزم البيانات. وقد ظهرت هذه المسألة ظُهوراً إشكاليّاً منذ بدايات الإنترنت، فما السبيل لنقل رزم البيانات بين شبكتين تدعمان طُولي نقلٍ أعظمتين مُختلفتين؟ وكان الحلُّ المُقترح هو التّقطيع وإعادة التّجميع. في الأول، يُفطّع المُوجّه رزم البيانات التي لا يستطيع إرسالها إلى الشّبكة التّالية على المسار الواصل بين مصدرها ووجهتها، وتُسمى رزم البيانات الأصغر النّاتجة قطعاً. أمّا في إعادة التّجميع، فيُعاد إنشاء الرزمة الأصل في الوجهة النّهائية انطلاقاً من القطع المُستقبلة.¹⁶⁰

التّقطيع

عندما يستقبل كيان طبقة الشّبكة الذي يُشغّل الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت رزمة بياناتٍ مُوجّهة ليرسل عبر أحد المنافذ، فإنّه يُحدّد قيمة وحدة النّقل العظمتى في الشّبكة المُرتبطة مع ذلك المنقذ، ثمّ يُقارن طول الرزمة مع قيمة الوحدة، فإذا كان طول الرزمة أكبر، فلا بُدّ من تقطيعها إلى قطعٍ أقصر طُولاً تُشكّل كلّ منها حُمولةً لرزمة بياناتٍ مُستقلّة جديدة. يحضّل التّقطيع في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت في مصدر رزمة البيانات وفي أيّ عُقدة وسيطة تُعالج الرزمة على مسارها من مصدرها إلى وجهتها، كما يُمكن تقطيع قطع البيانات أكثر من مرّة لتُنشج قطعاً أقصر فيما لو دعت الحاجة إلى ذلك.

¹⁵⁶ التّخصيص Allocation والتّخصيص Assignment، انظر ص. 48 للأولى وص. 83 للتّانية في [BKA02] في ثبّت المراجع. والجصّة هي النّصيب، وأحصّه أي أعطاه نصيبه (انظر مادة ح ص في ص. 59 في [BKA08])، أمّا حصّه بالسّيء حصّاً فتعني أفرده به دون غيره (انظر ص. 1173 في [BKA04]).

¹⁵⁷ أصل الاسم Internet Registry، انظر ص. 3 في [RFC7020] في ثبّت المراجع.

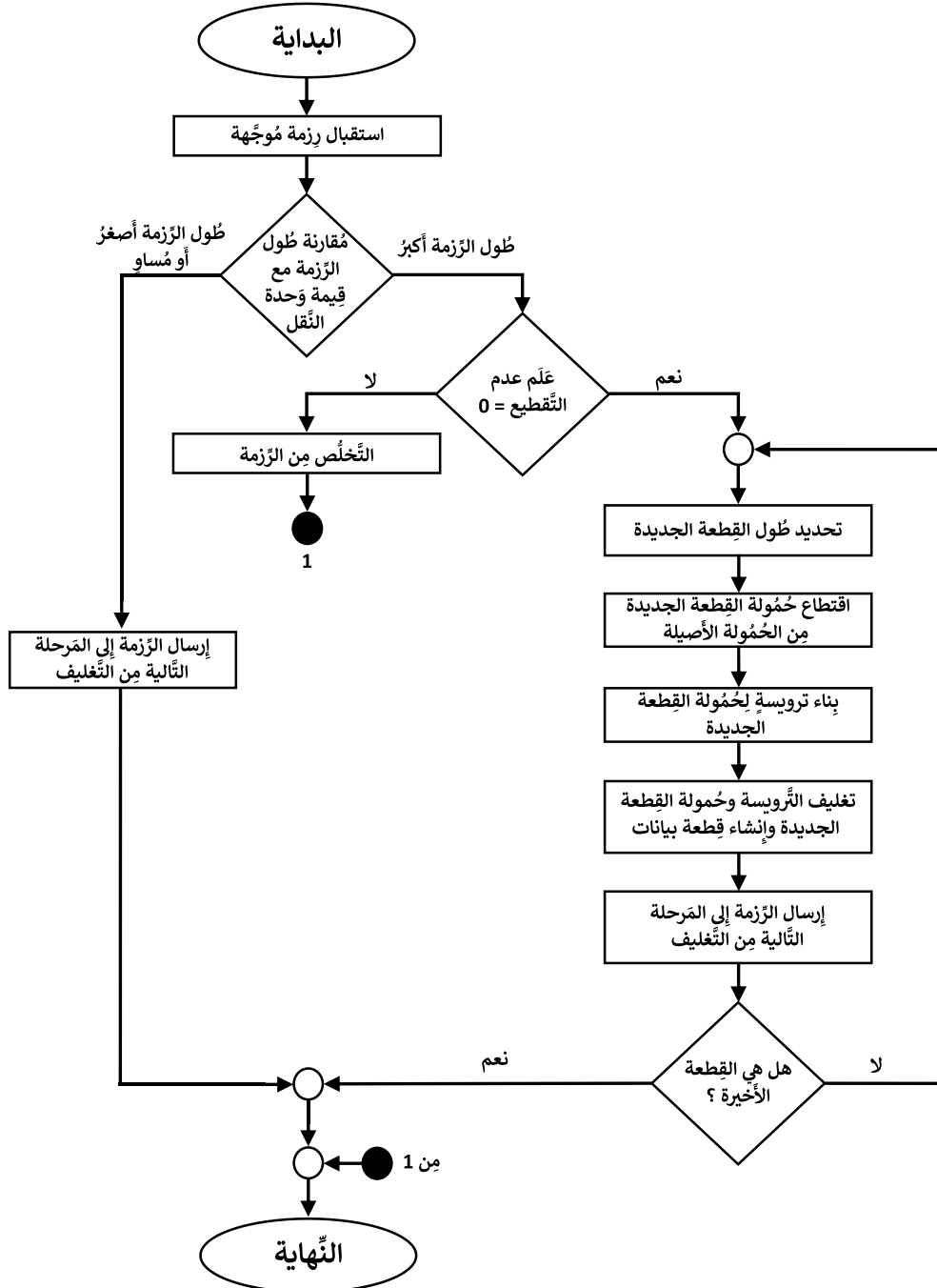
¹⁵⁸ انظر [WEB03] في ثبّت المراجع.

¹⁵⁹ انظر [WEB04] في ثبّت المراجع.

¹⁶⁰ انظر ما جاء في هذا الخُصوص في [WEB04] في ثبّت المراجع.

وُصفت خوارزمية التقطيع في مُحددات الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت،¹⁶¹ وهي تتبّع المراحل التالية (الشكل (10-3)):

1. تحديد طول الرزمة ومقارنته مع قيمة وحدة النقل العظمى الخاصة بالشبكة التي ستوجّه الرزمة إليها:
 - أ. إذا كان طول الرزمة أكبر، فتقطع الرزمة لزم، وإلا،
 - ب. تُرسل الرزمة، كما هي، إلى المرحلة التالية من التغليف. انتهت الخوارزمية.



الشكل (10-3): خوارزمية تقطيع رزم البيانات في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

¹⁶¹ انظر ما جاء في ص. 26 في [RFC791] في تَبْتِ المراجع.

2. إذا كان علم عدم التقطيع في الرزمة مرفوعاً¹⁶²، يتخلى الموجه من الرزمة. انتهت الخوارزمية. وإلا،
3. يُحدّد طول حُمولة القطعة وفقاً لقيمة وحدة النّقل العظمى وطول ترويسة بروتوكول الإنترنت.
4. يُقتطع جزء من حُمولة الرزمة الأصلية ليكُون حُمولة القطعة.
5. تُبني ترويسة القطعة، ويشمل ذلك:
 - أ. حساب طول ترويسة القطعة وإضافته إلى الحقل المُخصّص.
 - ب. حساب طول القطعة الإجمالي وإضافته إلى الحقل المُخصّص.
 - ت. تحديد زمن حياة القطعة، وإضافته إلى الحقل المُخصّص.
 - ث. ضبط قيمة مُعرّف القطعة إلى قيمة مُعرّف الرزمة الأصلية.
 - ج. تحديد قيمة الإزاحة، وإضافته إلى الحقل المُخصّص.
 - ح. تحديد قيمة العَلَمين: عدم التقطيع والمزيد من القطع، وإضافتهما إلى الحقل المُخصّص.
 - خ. حساب قيمة حقل التّحقّق الجمعي وإضافته إلى الحقل المُخصّص.
6. توليد الرزمة الجديدة من خلال تغليف حُمولة قطعة البيانات بالترويسة.
7. إرسال الرزمة إلى المرحلة التّالية من التّغليف.
8. تحديد فيما لو كانت الرزمة السّابقة هي الرزمة الأخيرة من خلال فحص قيمة علم المزيد من القطع.
9. إذا كانت الرزمة النّاتجة هي الرزمة الأخيرة، انتهت الخوارزمية. وإلا،
10. يُعاد تنفيذ الخوارزمية بدءاً من الخطوة التّالفة، مع اعتبار طول حُمولة الرزمة الأصلية هو الطول المُتبقّي بعد عملية الاقتطاع في الخطوة الرّابعة.

إعادة التّجميع

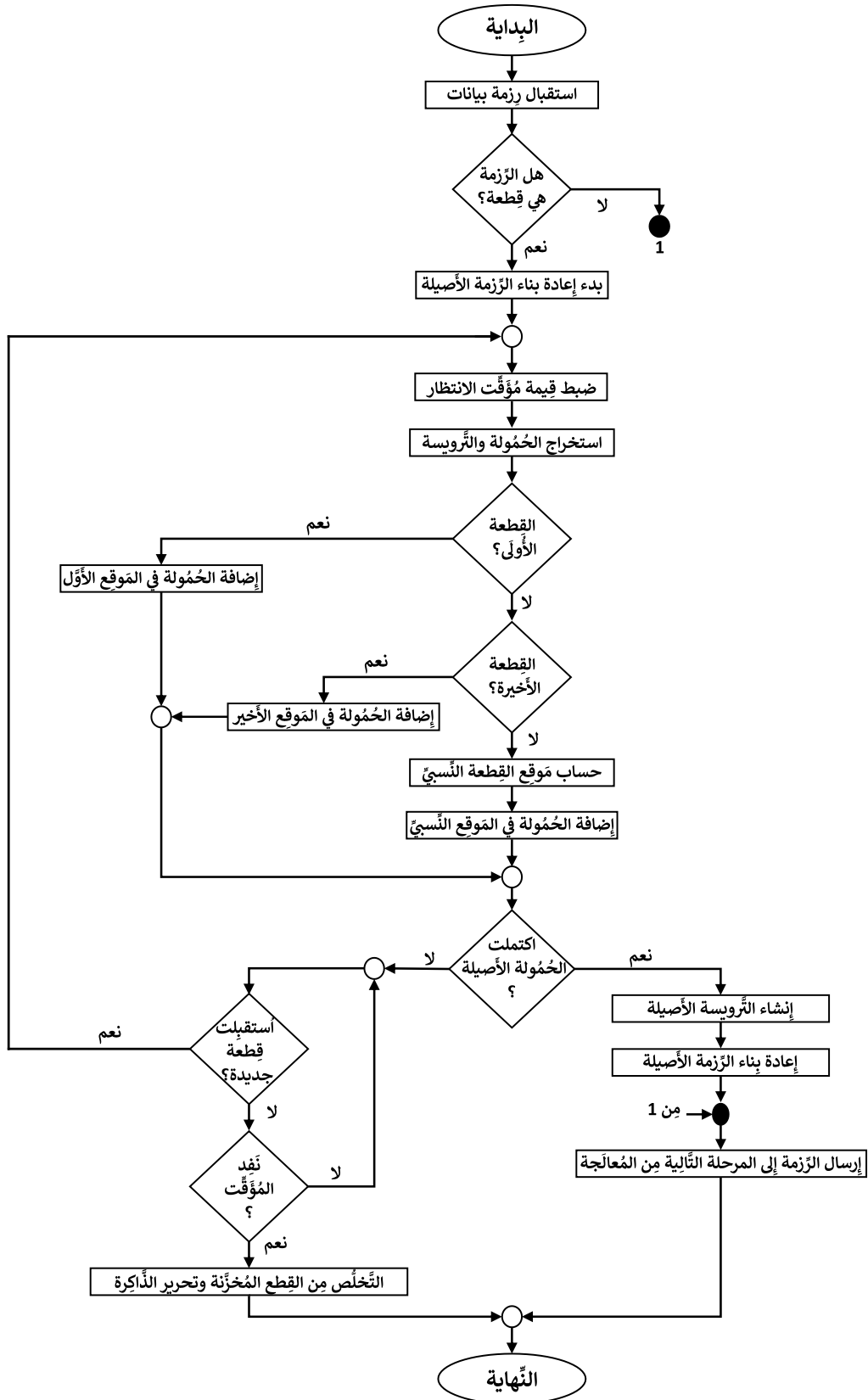
هي عملية إعادة إنشاء لرزمة البيانات الأصلية انطلاقاً من مجموعة القطع النّاتجة عن عملية التقطيع. لا يُعاد التّجميع في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت إلا في الوجهة النّهائية للرزمة، لأنّ القطع المُختلفة النّاتجة عن التقطيع قد تسلك مساراتٍ مُختلفة بعد توجيهها، وهذه المسارات قد لا تلتقي إلا في الوجهة النّهائية.

وُصفت خوارزمية إعادة التّجميع في مُحدّدات البروتوكول، وهي تتبّع المراحل التّالية (الشّكل (3-11)):¹⁶³

1. استقبال رزمة البيانات، وتحديد فيما إذا كانت قطعة من رزمة أكبر أو لا.
2. إذا لم تكن جزءاً من رزمة أكبر، فإنّ الرزمة المُستقبلة تُرسَل إلى المرحلة التّالية من المُعالجة. انتهت الخوارزمية. وإلا،
3. إذا كانت جزءاً من رزمة أكبر، تبدأ عملية إعادة تجميع الرزمة وضبط قيمة مُؤقّت الانتظار:

¹⁶² أي مضبوطاً إلى القيمة 1.

¹⁶³ انظر ما جاء في ص. 28 في [RFC791] في ثبّت المراجع. تُوجد خوارزمية تجميع أخرى، نُوقشت وشرحت في وثيقة طلب التّعليقات RFC 815، انظرها في ص. 2-3 في [RFC815].



الشكل (11-3): خوارزمية إعادة تجميع رزم البيانات في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

- أ. تحديد الحزمة والترويسة في الرزمة المستقبلية.
 ب. تحديد موقع القطعة النسبي في الرزمة الأصلية.

- I. إذا كانت القطعة الأولى، تُضاف في الموقع الأول. وإلا،
- II. إذا كانت القطعة الأخيرة، تُضاف في الموقع الأخير. وإلا،
- III. يُحسب الموقع السببي للقطعة ثم تُضاف إليه.
4. تحديد فيما إذا كانت عملية إعادة تجميع حُمولة الرزمة الأصلية قد انتهت.
 - أ. إذا كانت العملية قد انتهت، تُنشأ ترويسة الرزمة الأصلية، ثم يُعاد تجميع الرزمة الأصلية، وتُرسل إلى المرحلة التالية من المعالجة. انتهت الخوارزمية. وإلا،
 - ب. إذا لم تكن العملية قد انتهت، يلزم التحقق من ورود رزمة بيانات جديدة تحتوي قيمة المُعرّف نفسه.
 - I. إذا وردت، الانتقال إلى الخطوة (2). وإلا،
 - II. إذا لم ترد، الانتظار لحين نفاذ المؤقت، مع التحقق دورياً من ورود رزمة بيانات خلال فترة الانتظار، فإن وردت، تُنفذ الخطوة السابقة.
 - III. إذا نفاذ المؤقت، التخلّص من القطع المخزنة وتحرير الذاكرة. انتهت الخوارزمية. وإلا،
 - IV. يُعاد تنفيذ الخطوة (4.ب).

التنضيد

يُنجز الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت هذه الوظيفة بالاعتماد على حقل البروتوكول في ترويسته. ويضم هذا الحقل قيمة تُحدّد البروتوكول التالي الذي ستُسلم الرزمة إلى كيانه في أثناء عملية التغليف، وقد يكون:

- بروتوكول طبقة شبكة آخر يُؤدّي وظيفة مُغايرة للتشبيك، نحو بروتوكول رسائل التحكم في شبكة الإنترنت، أو بروتوكول التوجيه الداخلي المُحسن بين البوابات.¹⁶⁴
- بروتوكول طبقة نقل، نحو بروتوكول التحكم بالنقل أو بروتوكول رزم بيانات المُستخدم.

تُحدّد هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة قيم الترميز المُستعملة في هذا الحقل والبروتوكولات المُقابلة لها تحديداً معيارياً، وبما أنّ طول الحقل هو 8 بتات فإنّ هناك $2^8 = 256$ قيمة مُتاحة فقط لا غير.¹⁶⁵

التوجيه تبعاً للمصدر

يؤمن الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت هذه الوظيفة باستعمال حُقُول الخيارات في ترويسته (انظر الملحق أ). في ما يخصّ التوجيه تبعاً للمصدر، يُوجد خياران:¹⁶⁶

¹⁶⁴ بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت Internet Control Message Protocol، اختصاراً ICMP، هو بروتوكول مُساعد سيُدرَس بالتفصيل في الفصل السادس من هذا الكتاب. أمّا بروتوكول التوجيه الداخلي المُحسن بين البوابات Enhanced Interior Gateway Routing Protocol، اختصاراً EIGRP، فهو بروتوكول توجيه يعمل في طبقة الشبكة انظر [RFC7868] في نُبْت المراجع.

¹⁶⁵ انظر صفحة أرقام البروتوكول في موقع هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة في [WEB05] في نُبْت المراجع.

¹⁶⁶ انظر ص. 18-19 في [RFC791] في نُبْت المراجع.

- خيار التوجيه غير المُقَيَّد بمسار المصدّر، وهو الخيار ذو النوع 131، وفيه يُلزم مصدر الرزمة المُوجّهات التي تُعالجها بإرسالها عبر مسار مُحدّد لا يُمكن تبديله، فإن تُعدّ إرسال رزمة البيانات عبره، وَجِب التخلُّص من الرزمة.
- خيار التوجيه المُقَيَّد بمسار المصدّر، وهو الخيار ذو النوع 137، وفيه يقترح مصدر الرزمة على المُوجّهات التي تُعالجها مساراً غير مُلزم لنقلها من مصدرها إلى وجهتها.

المُشكلات

هذا القسم مُخصَّص لعرض المُشكلات التي واجهت تنفيذ الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت في شبكات البيانات، وقد ركّزنا عمداً على طرح المُشكلات المرتبطة بوظيفتين فقط هما العنونة والتقطيع، وأهمنا مناقشة المُشكلات المتعلقة بسائر الوظائف وأهمها جودة الخدمة، لأنّه مَبَحَثٌ مُعقّدٌ لا يُمكن اختزاله أو توضيح سياق المُشكلات التي يُواجهها بصفحاتٍ فلائِلٍ يفرضها ضيق مساحة الفصل.

مُرتبطةٌ بالعنونة

استنفاد فضاء العناوين

استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت¹⁶⁷ هو نُصوب العناوين الحُرّة من فضاء الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت بعد تخصيصها وتخصيصها لمزودات خدمة ولمُضيفين في الإنترنت. لُوحيظت هذه المُشكلة في مطلع التسعينيات من القرن العشرين مع توسّع الإنترنت، وابتداءً العمل على حلّها منذ ذلك الوقت.¹⁶⁸

عُولجت مُشكلة استنفاد العناوين عبر إستراتيجيتين، الأولى قَصيرة الأمد، هدّفت إلى خَفَض سرعة الاستنفاد وتعمير الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت إلى أَقصى ما يُمكن، والثانية طويلة الأمد، هدّفت إلى إيجاد بديل للإصدار الرابع ذي فضاء العناوين المحدود (قُرابة 4.3 مليار عنوان فقط) يَتَمَثَّل ببروتوكول تشبيك يدعم فضاء عنونة أكبر.

مع تنفيذ الإستراتيجيتين معاً، طوّرت مجموعة من الحلول الإسعافية نتيجةً للإستراتيجية قَصيرة الأمد، شَمِلت اعتماد نمط عنونة جديد غير صِنْفِي لِيَكُون جُزءاً من آليّة توجيه سُمّيت التوجيه غير الصِنْفِي بين النطاقات¹⁶⁹، وسُنْدِرَس بالتفصيل في الفصل الثامن من هذا الكتاب، وتقنيّة ترجمة عنوان الشبكية¹⁷⁰، وقد خُصص الفصل التاسع لمناقشتها. أمّا الإستراتيجية طويلة الأمد، فقد نَجَم عنها تطوير الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت ليَكُون حلاً نهائياً وبديلاً عن الإصدار الرابع من البروتوكول، والإصدار السادس ومُلاحقاته مَوْضوع الباب الرابع من هذا الكتاب.

¹⁶⁷ أصل الاسم IPv4 address exhaustion.

¹⁶⁸ انظر ص. 2 في [RFC1338] في نَبْت المراجع.

¹⁶⁹ أصل الاسم Classless Inter-Domain Routing، اختصاراً CIDR.

¹⁷⁰ أصل الاسم Network Address Translation، اختصاراً NAT.

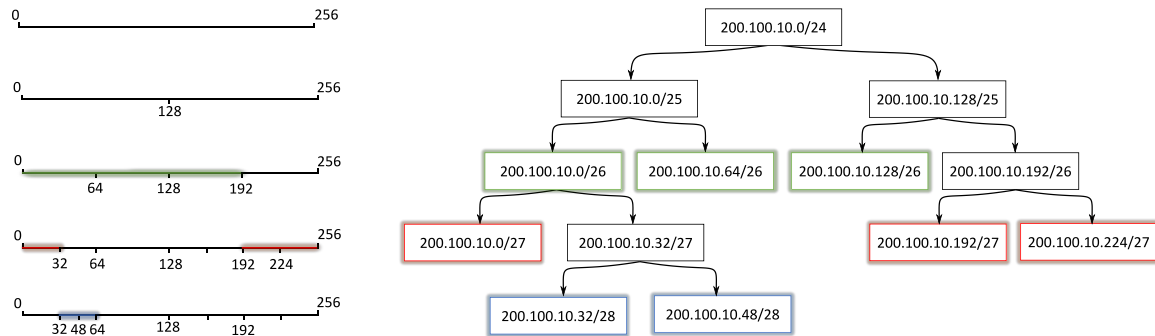
سأعدت الإستراتيجية قصيرة الأمد على تعميم الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت لأكثر من ربع قرن بعد أن كانت المدة المتوقعة هي 3-5 سنوات فقط،¹⁷¹ ولكن استنفاد فضاء العناوين استمر، وإن بوتيرة أبطأ، حتى شهر فبراير من العام 2011م حين أصدرت شركة الإنترنت للأرقام والأسماء المخصصة¹⁷²، بياناً صحفياً أفادت فيه ببدء استهلاك العناوين من الفضاء الأخير غير المخصص المحدد ببادئة من القياس 8./¹⁷³

تراكب أفضية العناوين¹⁷⁴

تتراكب أفضية عناوين بروتوكول الإنترنت عندما توجد مجموعة مشتركة من العناوين بين فضاءين أو أكثر. يحصل ذلك بسبب استخدام غير صحيح لأقنعة الأفضية الجزئية مختلفة الطول.¹⁷⁵ نتيجة لذلك، يمكن أن يحصل مضيقان على العنوان نفسه، ولكن يكون لكل عنوان فناء مختلف، ويؤدي ذلك إلى حصول مشكلة في توجيه رزم البيانات، لذلك يلزم ألا تتراكب أفضية العناوين عند إنجاز عملية العنونة.

على سبيل المثال، يُبين الشكل (3-12) احتمالات متعددة لأفضية جزئية من الفضاء 200.100.10.0/24. لا يحصل تراكب لو أستخدمت الأفضية التالية معاً:

- 200.100.10.0/26 و 200.100.10.64/26 و 200.100.10.128/26 وكلها محاطة بإطار أخضر.
- 200.100.10.0/27 و 200.100.10.192/27 و 200.100.10.224/27 وكلها محاطة بإطار أحمر.
- 200.100.10.32/28 و 200.100.10.48/28 وهما محاطان بإطار أزرق.
- 200.100.10.128/26 (أخضر) و 200.100.10.0/27 (أحمر).
- 200.100.10.64/26 (أخضر) و 200.100.10.192/27 (أحمر) و 200.100.10.48/28 (أزرق).



الشكل (3-12): مثال عن تراكب أفضية جزئية من عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

¹⁷¹ لذلك يوصف هذا الحل بأنه متوسط الأمد، انظر ص. 5 في [RFC4632] في ثبت المراجع.

¹⁷² أصل الاسم Internet Corporation for Assigned Names and Numbers، اختصاراً ICANN، وتقرأ آيكان، هي منظمة أمريكية غير ربحية، تأسست في عام 1998م، تتابع وتُنسق الإجراءات المرتبطة بقواعد البيانات الخاصة بأفضية الإنترنت الاسمية، نحو نظام تسمية النطاقات، والرقمية، نحو أفضية عناوين بروتوكول الإنترنت بهدف التحقق من عمل الشبكة عملاً آمناً ومستقلاً.

¹⁷³ انظر البيان في [WEB06] في ثبت المراجع.

¹⁷⁴ أصل الاسم Address spaces overlap.

¹⁷⁵ أصل الاسم Variable Length Subnet Mask، اختصاراً VLSM، ستناقش هذه الآلية بالتفصيل في الفصل الرابع من هذا الكتاب.

يَحْضَلُ التَّرَاكِبُ لو أُسْتَعْمِلَتِ الأفضية التالية معاً:

- 200.100.10.0/26 (أخضر) و200.100.10.0/27 (أحمر).
- 200.100.10.0/26 (أخضر) و200.100.10.48/28 (أزرق).

يُمْكِنُ التَّغَلُّبُ على هذه المُشكلة بتصميم الشبكية تصميمياً دقيقاً، أي بإنجاز العنونة عند استخدام أقنعةٍ مُختلفة الطُولِ مِنْ غيرِ حُصُولِ تراكِبٍ بين الأفضية الجزئية من خلال تحديد مُعرّفاتٍ كُلِّ فضاءٍ جزئياً ومجال العناوين الذي يمتدُّ عليه، وتلافي وجود فضاء عنونةٍ مُشتركٍ بين أيّ فضاءين مُستخدمين في العنونة.

مُرْتَبِطَةٌ بِالتَّقْطِيعِ

استغلَّ المُهاجمون إلزامية دعم التَّقْطِيعِ وإعادة التَّجميعِ في مُضيفي الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت لِشَنْ هجماتٍ مُتنوّعةٍ على شبكات البيانات، منها ما يأتي:

- هُجُومُ القِطعة الصَّغيرة: ¹⁷⁶ وهو هُجُومٌ يَحْضَلُ عِنْدَ إرسالِ رِزْمِ بياناتٍ حَبِيئَةٍ قصيرة الطُولِ لِتَمَرُّ عِبرِ جِدَارِ الحماية بوصفها قِطعةً نَاجِئةً عن التَّقْطِيعِ. يَعْتَمِدُ هذا الهُجُومُ على فكرة أنّ رِزْمَةَ البيانات القُصْرَى ¹⁷⁷ الَّتِي يُمْكِنُ لِأَيِّ وَحْدَةٍ تَدَعُمُ الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت التَّعامُلَ معها ذات طُولٍ يَبْلُغُ 68 بايتاً، وفيها تُكوّنُ ترويسة بروتوكول الإنترنت بالطُولِ الأعظمِ الأقصى المسموح لها، وهو 60 بايتاً، في حين تُكوّنُ الحُمولة بطُولِ 8 بايتاتٍ فقط. لا يَكْفِي هذا الطُولُ لِإدراج ترويسة بروتوكول التَّقلِ ضِمن الرِّزْمَةِ، وهي تَجْتَازُ بِذلك جِدَارَ الحماية مِنْ غيرِ أَنْ يَتَحَقَّقَ مِنْهَا، لِأَنَّهُ يَتَفَحَّصُ عَادَةً أرقام المَنافذِ في ترويسة بروتوكول التَّقلِ.
- هُجُومُ القِطع المُتراكِبة: ¹⁷⁸ وهو هُجُومٌ يَعْتَمِدُ على وجود ثَغْرَةٍ في خوارزمية إعادة التَّجميعِ، وهي إمكانيّة تراكِبِ أَيِّ قِطعةٍ تَرِدُ لِاحِقاً مع قِطعةٍ أُخرى سابقة لِتَحُلَّ محلّها جُزئياً أو كلياً. وَيَعْنِي ذلك أنّ بالإمكان تمرير القِطعة الأولى، الَّتِي تُحتوي ترويسة بروتوكول الإنترنت، مِنْ إجراءات الأَمْنِ في الوِجْهَة تَمَريراً شَرعياً، ثُمَّ التَّلَاعُبُ بِقيمتها عن طريق التَّرَاكِبِ مع قِطعةٍ تالِيةٍ تَرِدُ لِاحِقاً.
- مُشكِلاتٌ مُرتَبِطَةٌ بِبروتوكول اقتران العناوين: ¹⁷⁹ تَرْتَبِطُ هذه المُشكِلاتُ بِطريقة تنفيذ بروتوكول اقتران العناوين، فعند مُعالِجَةِ رِزْمِ المَصْدَرِ، وبعد تقطيعها، هل تُرْسَلُ رسائل بروتوكول الاقتران مِنْ أَجْلِ كُلِّ قِطعةٍ أم يَكْفِي إرسالها مرّةً واحدةً مِنْ أَجْلِ الرِّزْمَةِ الأَصيلةِ فقط؟ وَإِذَا أُرْسِلَتِ رسائل البروتوكول لِكُلِّ قِطعةٍ، فَإِنَّ إعادة تجميع الرِّزْمَةِ في الوِجْهَة التَّهائِيَةِ تَتَوَقَّفُ على نجاح رسائل بروتوكول الاقتران كُلِّها في عملها، ولو فُقدتِ إِحدى الرِّسائِلِ لِأسبابٍ تَتعلَّقُ بِحالة الشبكية مثلاً، فَإِنَّ القِطعة المُرتَبِطَةَ بِالرِّسالة المَفْقُودَةِ لَنْ تُرْسَلَ مِنَ المَصْدَرِ، وتُكوّنُ إعادة تجميع

¹⁷⁶ أصل الاسم Tiny fragment attack، انظر هذه المُشكلة وحُلُولها في [RFC3128] في ثَبْت المَراجِعِ.

¹⁷⁷ قُصْرَى هي مُؤنث أَقصر، انظر ص. 3644 في [BKA04] في ثَبْت المَراجِعِ.

¹⁷⁸ أصل الاسم Overlapping fragment attack، انظر ص. 46-52 في تقرير مركز معلومات الدِّفاع التَّقْنِيَّة في [ART20] في ثَبْت المَراجِعِ.

¹⁷⁹ أصل الاسم Address Resolution Protocol، اختصاراً ARP، انظر ما جاء في فقرة بروتوكولات اقتران العناوين في القِسم التَّالِي.

الزّمة الأصيلة في الوجهة غير مُمكنةٍ عندها لوجود قطعةٍ مَفْقُودَةٍ، وسيجري التّخلّص من القطع المُستقبلة بعد نفاذ مُؤقّت الانتظار.¹⁸⁰

بروتوكولات مُساعدة

هي مجموعة من البروتوكولات التي تعتمد عليها بروتوكولات أخرى في أداء وظائفها، ويعرض هذا القسم، باختصار، البروتوكولات المُساعدة للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت وهي بروتوكولات اقتران العناوين وبروتوكول رسائل التّحكّم في الإنترنت وبروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت وحزمة أمن بروتوكول الإنترنت.

بروتوكولات اقتران العناوين

في نموذج الرّبط البيئيّ للأنظمة المَفْتُوحَة، بروتوكولات اقتران العناوين هي عائلة من البروتوكولات تهتم بتحديد أزواج العناوين المُقتَرنة لبروتوكول التّشبيك العامل في طبقة الشّبكة وبروتوكول الوصلة النّاشط في طبقة الوصلة، وهي تضمّ عدداً من البروتوكولات منها:

- بروتوكول اقتران العناوين: يُستعمل لاكتشاف عنوان بروتوكول الوصلة المُرتبط مع عنوان بروتوكول الإنترنت في مُضيفٍ بعيدٍ، وهذه المُطابقة هي وظيفةٌ جوهريّةٌ في عمل حزمة بروتوكولات الإنترنت. طُوّر البروتوكول في عام 1982م ووُصف في وثيقة طلب التّعليقات RFC 826.¹⁸¹
- بروتوكول ترجمة العناوين المَعكُوسَة:¹⁸² هو بروتوكول اقتران عناوين يُستعمل لاكتشاف عنوان بروتوكول التّشبيك المُرتبط مع عنوان بروتوكول الوصلة في مُضيفٍ بعيدٍ، أي أنّ عمله مُعكسٌ لعمل بروتوكول اقتران العناوين سالف الذكر. طُوّر البروتوكول في عام 1992م، ووُصف في الوثيقة RFC 1293.¹⁸³
- بروتوكول اقتران العناوين العكسيّ: هو بروتوكول اقتران عناوين يُستعمل لاكتشاف عنوان بروتوكول التّشبيك المُرتبط مع عنوان بروتوكول الوصلة في المُضيف الذي يُشغله، أي أنّ عمله مُطابقٌ لعمل بروتوكول اقتران العناوين المَعكُوس ولكنّه يعمل في المُضيف نفسه لا عبر الشّبكة، طُوّر البروتوكول في عام 1984م، ووُصف في وثيقة طلب التّعليقات RFC 903.¹⁸⁴

بروتوكول رسائل التّحكّم في الإنترنت

هو بروتوكول مُساعدٌ وجزءٌ مُدمجٌ من الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، يُستعمل من قِبَل مُضيفي الإصدار الرابع ليؤمّن آليّةً لوجهة رزمة البيانات لتتواصل مع مصدرها وتزوّدّه بمعلُوماتٍ مُتنوّعةٍ عن حالة الشّبكة أو عن مسائِلٍ أخرى

¹⁸⁰ انظر ص. 22-24 في [RFC1122] ثبّت المراجع.

¹⁸¹ انظر [RFC826] وص. 14 في [BKE01] في ثبّت المراجع.

¹⁸² تُستعمل كلمتا "مَعكُوسٍ" و"عكسيّ" استعمالاً مُتبادلاً للدلالة على المعنى المُقابل للكلمتين Reverse وInverse. واعتمدنا التّعريب الوارد في قاموس المورد، انظر ص. 606 في [BKA02] في ثبّت المراجع للأولى، وص. 993 للأخرى.

¹⁸³ أصل الاسم Inverse Address Resolution Protocol، اختصاراً InARP، انظر في [RFC1293] ثبّت المراجع.

¹⁸⁴ أصل الاسم Reverse Address Resolution Protocol، اختصاراً RARP، انظر [RFC903] في ثبّت المراجع.

مرتبطة بمعالجة الرزمة. طُوِّر البروتوكول في العام 1981م، ووُصِف في وثيقة طلب التعليقات RFC 792،¹⁸⁵ وسُنِّقَ بالتفصيل في الفصل السادس من هذا الكتاب.

بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت¹⁸⁶

هو بروتوكول اتصال يعمل على مستوى طبقة الشبكة ويدير المجموعات الخاصة بالبروتوكولات لمجموعة الإنترنت RFC 792،¹⁸⁵ وسُنِّقَ بالتفصيل في الفصل الخامس من هذا الكتاب.

طُوِّرَت مجموعة مهندسي الإنترنت ثلاثة إصدارات من بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت، جاء أولها في العام 1989م، وهو موصوف في الوثيقة RFC 1112،¹⁸⁷ وحدد آليات انضمام المضيفين إلى مجموعة ما أو مغادرتها. أما الإصدار الثاني، فطُوِّر في العام 1997م، ووُصِف في الوثيقة RFC 2236،¹⁸⁸ وقد احتوى العديد من التعديلات أهمها السماح للمضيف بطلب مغادرة المجموعة. أما الإصدار الثالث فطُوِّر في العام 2002م، وهو موصوف في الوثيقة RFC 3376،¹⁸⁹ ويدعم ميزات إضافية أهمها البث المجموعي مُحَدَّد المصدر.¹⁹⁰

حزمة أمن بروتوكول الإنترنت¹⁹¹

هي مجموعة من البروتوكولات التي تُستعمل لتأمين خدمات الخصوصية والمصادقة في طبقة الشبكة ولضمان أمن الاتصال بين البوابات أو بين مضيف وبوابة أو بين مضيفين، وذلك من أجل الإصدارين الرابع و السادس من بروتوكول الإنترنت و من أجل بروتوكولات تشبيك أخرى.

هذه الحزمة هي معيار حُرٌّ، ويُمكن حصر الوظائف المتنوعة التي تُقدِّمها في بروتوكولين ومجموعة خوارزميات هي:

- بروتوكول ترويسات المصادقة¹⁹² ويُؤمن سلامة رزم البيانات والتَّحَقُّق من هوية مصدرها.
- بروتوكول تأمين الحُمولة بالتَّغْلِيف¹⁹³ ويُؤمن سرِّيَّة البيانات ويحميها من الهجمات المُعتمِدة على رسائل الرِّدِّ.
- تنظيمات الأمان¹⁹⁴ وهي مجموعة من الخوارزميات والمُحدِّدات التي تُستعمل من قبل البروتوكولين السَّابِقين.

¹⁸⁵ انظر [RFC792] ثبت المراجع.

¹⁸⁶ أصل الاسم Internet Group Management Protocol اختصاراً IGMP.

¹⁸⁷ انظر ص. 11 في [RFC1112] في ثبت المراجع.

¹⁸⁸ انظر [RFC2236] في ثبت المراجع.

¹⁸⁹ انظر [RFC3376] في ثبت المراجع.

¹⁹⁰ أصل الاسم Source-Specific Multicast، اختصاراً SSM.

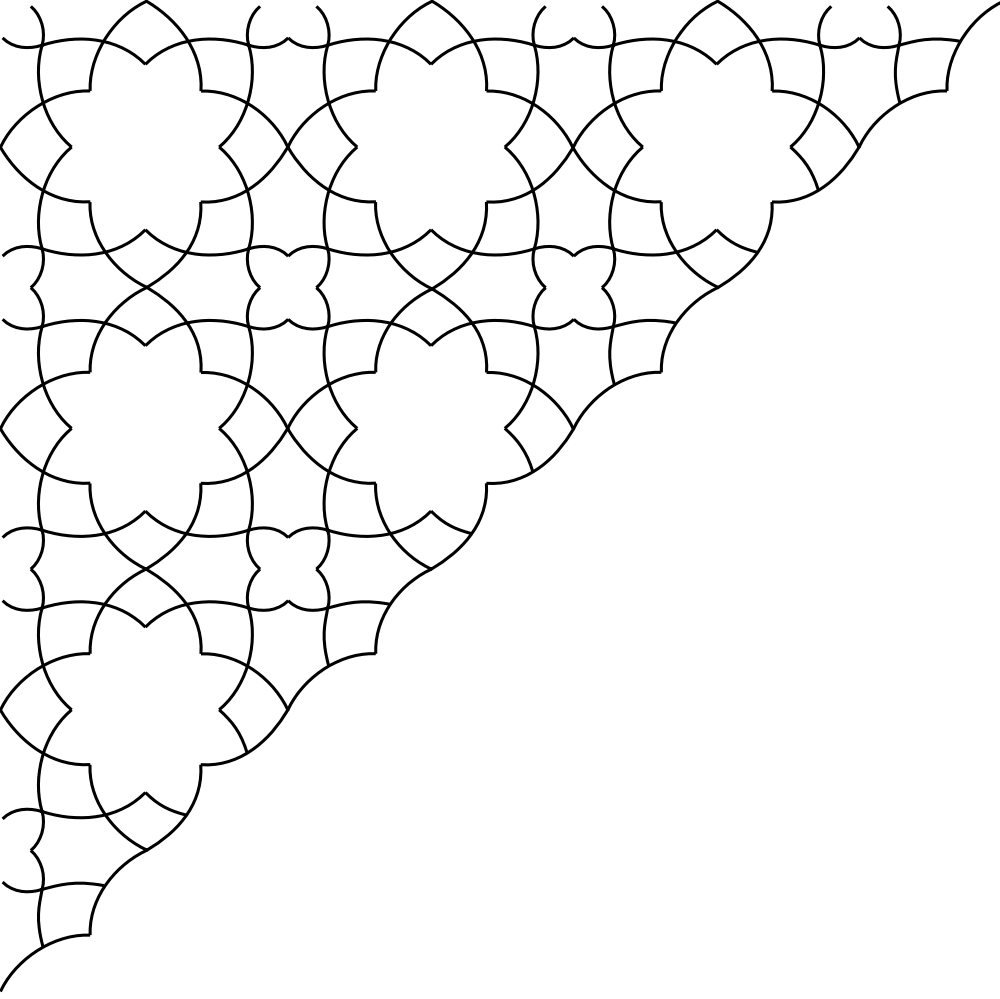
¹⁹¹ أصل الاسم Internet Protocol Security، اختصاراً IPsec.

¹⁹² أصل الاسم Authentication Headers، اختصاراً AH، انظر [RFC2402] في ثبت المراجع.

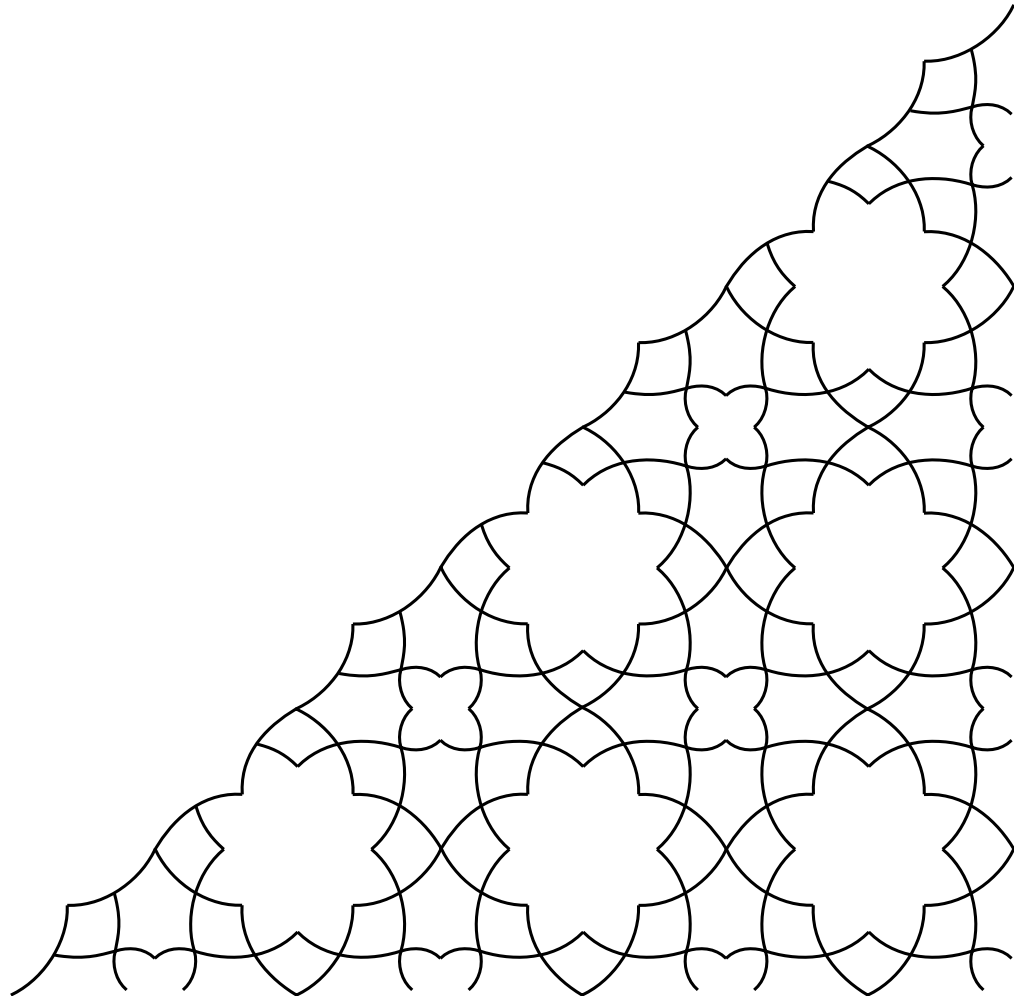
¹⁹³ أصل الاسم Encapsulating Security Payload، اختصاراً ESP، انظر [RFC2406] في ثبت المراجع.

¹⁹⁴ أصل الاسم Security Associations، اختصاراً SA، انظر [RFC2408] في ثبت المراجع.

تُرِكَت هذه الصَّفحة فارِغَةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب



الفصل الرَّابِع: تجزئة فضاء العناوين



مقدمة

تجزئة فضاء العناوين¹⁹⁵ هي عملية رياضية تُقسّم فضاء عناوين خاصّ بروتوكول تشبيك إلى فضاءي عناوين أو أكثر تُسمّى الأفضية الجزئية، وتُستخدم العناوين المأخوذة منها لعنونة شبكاتٍ مختلفة. تكون الأفضية الجزئية متساوية الحجم ومتميزة رياضياً وأصغر من فضاء العناوين الأصلي، لكلّ فضاء عناوين جزئيّ عنوانٌ مُميّز وقناع فضاءٍ يمثّلان معاً الفضاء الجزئيّ كاملاً.

يحتاج مُصمّمو الشبكات إلى تجزئة أفضية عناوينهم، إمّا بهدف الوصول إلى عددٍ مُحدّدٍ من الأفضية الجزئية أو لضبط عدد العناوين المُتاح للاستخدام في أيّ من الأفضية الجزئية، أو ليكلا الهدفين معاً. يُمكن تجزئة أفضية العنونة التي تُستخدم عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت وفقاً لشكلين: الأول محكّوم بالصنف القياسي للفضاء، والآخر مبنيّ على العنونة غير الصنفيّة التي أُبتدعت لتخفيف هدر العناوين في الشكل الأوّل.

عملية التجزئة هي آليّة رئيسة تعتمد عليها التوجيه غير الصنفيّ بين النطاقات واستخدام أفضية الجزئية مُختلفة الأطوال، ويؤدّي إنجازها إنجازاً غير صحيحٍ أو استخدام الأفضية الجزئية استخداماً غير مُناسبٍ إلى ظُهور مشكلاتٍ في الشبكة ترتبط بالعنونة وبالتوجيه.

يبدأ هذه الفصل بعرض نبذة تاريخية تُشرح كيف تطوّر هذا المفهوم يليها تذكيرة رياضية بأساسيات أنظمة العدّ وشرحٍ لكيفية إنجاز العطف المنطقيّ ثمّ شرحٍ لمبدأ عمل التجزئة إذا كانت العنونة صنفيّة أو غير صنفيّة. يلي ذلك تناول ستّ حالاتٍ يلزم فيها استعمال التجزئة للاستجابة لمتطلباتٍ مُختلفةٍ للعنونة، وأخيراً، تناولٌ للمشكلات ذات الصلة بالتجزئة.

نبذة تاريخية

تجزئة فضاء العناوين هي إحدى الآليات الرئيسيّة التي اعتمدت عليها الإنترنت في أثناء نموّها وتطوورها لتصل إلى ما هي عليه. كانت هيكلية عناوين الإنترنت الأولى مُكوّنة من مستويين: الأوّل هو مستوى أعلى يربط بين الشبكات وسمّي شبكة كاتينيت¹⁹⁶، والآخر هو مستوى الشبكات التي يُراد ربط بعضها مع بعض، والتي يُكون لكلّ منها عنوان شبكةٍ مُميّز. يلزم الانتباه إلى أن هذا التوصيف لا يعني أن طوبولوجيا الإنترنت الأولى كانت هرمية، لكنّ المقصود هو أنّ الرؤية الأولى لبنية نظام العنونة في الشبكة كانت هرمية¹⁹⁷.

¹⁹⁵ أصل الاسم Subnetting وهي كلمة مُكوّنة من مقطعين: sub- وهي بادئة تعني فرعيّ أو جزئيّ، و net وتعني الشبكة، انظر ص. 766 و 1168 في [BKA02] في ثبّت المراجع، ووَرِدَ هذا المُصطلح أيضاً مُعرّباً إلى شبكةٍ فرعيّة في ص. 79 في [BKA05]. ويشيع خطأ استعمال كمتي فضاء Space وشبكة Network على أنّهما مترادفتان تُؤدّيان المعنى نفسه، والصواب في ما رأينا أنّ الشبكة هي العتاد الماديّ مع ما فيه من برمجيات، أمّا الفضاء فهو مجموعة من الأغراض المُتجانسة غير الماديّة نحو الأعداد أو العناوين أو النقاط، وقد تكون مُنتهية أو غير مُنتهية، وقد وقعنا في هذا الخطأ في كتابنا السابقي (انظر [BKA07])، ولكنّها تجنّبناه في هذا الكتاب وقومناه في كلّ مواقع وروده.

¹⁹⁶ أصل الاسم Catenet، وهو اختصارٌ لعبارة Concatenated network التي تعني الشبكة المُتسلسلة. وكان لويس بوزان (انظر ترجمته في حواشي الفصل الثّاني من هذا الكتاب) هو أوّل من صاغ هذا المُصطلح. للمزيد حول ذلك، انظر ما جاء في ص. 21 في [ART21] في ثبّت المراجع.

¹⁹⁷ انظر ما جاء في هذا الخُصوص في ص. 4 في [RFC917] في ثبّت المراجع.

أشار ديفيد كلارك¹⁹⁸ في وثيقة ملاحظات تجارب الإنترنت رقم 46 المنشورة في العام 1978م،¹⁹⁹ إلى بنية عنوان الفضاء المُستعمل، وإلى المُشكلات المُتوقَّعة نتيجة لذلك. كان طول العنوان 32 بتاً قُسمت إلى قسمين: أحدهما خاصٌ بالفضاء طوله 8 بتات، ويسمح بوجود 256 فضاءً مختلفاً فقط، وآخر خاصٌ بالمضيفين، طوله 24 بتاً، ويُستعمل لعنونة المضيفين محلياً، كان عدد الأفضية هذا كافياً في ذلك الوقت، ولكنه لم يكن مناسباً للتوسع المُتوقَّع للشبكة، وقد اقترح كلارك البدء بالإعداد لتلك المرحلة مُبكراً وقدم بعضاً من الحلول.

بعد ذلك، طوّر الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت في العام 1981م، ووُصف في الوثيقة RFC 791، كما تقدّم، وفيه اعتمد طول العنوان ليكون 32 بتاً، وقُسم فضاء العنونة المُخصَّص للمضيفين رياضياً إلى ثلاثة أصنافٍ قياسية هي الصنف A والصنف B والصنف C، ووُصفت هذه الأصناف بأنها قياسية لأنه يكفي معرفة الصنف الذي ينتمي العنوان إليه لتحديد طول مُعرّف الفضاء وطول مُعرّف المضيف.²⁰⁰

يُحدّد طول مُعرّف الفضاء عدد أفضية العناوين في كلِّ صنفٍ، ويُحدّد طول مُعرّف المضيف عدد العناوين الموجودة في كلِّ فضاءٍ، وبما أنّ المُعرّفات في الأصناف القياسية ثابتة الطول من أجل كلِّ صنفٍ، فإنَّ عدد الأفضية وحجمها ثابتان أيضاً. فضاء عناوين الصنف A هو الأكبر، ويوجد 256 فضاءً يحتوي كلٌّ منها أكثر من 16 مليوناً من العناوين، يليه حجماً فضاء عناوين الصنف B، الذي يحتوي 65536 عنواناً، وأخيراً فضاء عناوين الصنف C الذي يضمُّ 256 عنواناً (الجدول 1-4).

الجدول (1-4): الحدود النظرية للأصناف القياسية في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

عدد العناوين في كلِّ فضاءٍ	عدد الأفضية في الصنف	أطوال أقسام العنوان (بت)			الصنف
		مُعرّف المضيف	مُعرّف الفضاء	بتاتٍ مَحجُوزة	
2 ²⁴	2 ²⁷ -2 ²⁰¹	24	7	1	الصنف A
2 ¹⁶	2 ¹⁴	16	14	2	الصنف B
2 ⁸	2 ²¹	8	21	3	الصنف C

كانت خيارات العملاء تبعاً للعنونة الصنفيّة محدودة، فإمّا اختيار فضاءٍ من الصنف C لا يُلبّي حاجتهم كاملةً ليصغر حجمه، أو اختيار فضاءٍ من الصنف B يغطّي حاجتهم، ولكنه يفيض عنها أيضاً بعشرات آلاف العناوين التي تُضيع هدرًا.

¹⁹⁸ ديفيد كلارك David Clark (1944-) هو مُهندسٌ أمريكيٌّ وعالم حاسوبٍ حصل على درجة البكالوريوس في عام 1966م من كلية سوارثمور في بنسلفانيا وعلى درجة الماجستير في عام 1968م من معهد ماساشوسيتس للتقانة وكلاهما في الهندسة الكهربائية، ثمَّ حصل على درجة الدكتوراه في عام 1973م من معهد ماساشوسيتس للتقانة أيضاً. كلارك هو أحد رواد الإنترنت الذين عملوا على تطويرها منذ مُنتصف السبعينيات.

¹⁹⁹ انظر ص. 2 في [IEN46] في تَبت المراجع.

²⁰⁰ انظر ص. 7 في [RFC791] في تَبت المراجع.

²⁰¹ فضاء العناوين 0.0.0.0/8 مَحجُوزٌ كاملاً، ولا يُستعمل في عنونة المضيفين إلا ضمن عملية التهيئة الآليّة، والفضاء 127.0.0.0/8 مَحجُوزٌ أيضاً لأغراض الحلقة العكسيّة Loopback ولا يُستخدم في عنونة المضيفين.

طُورت آلية تجزئة الأفضية في العام 1985م لحلّ هذا الإشكال، ووُصفت في وثيقة طلب التعليقات RFC 950.²⁰² وكان الهدف منها إضافة مستوى جديد للتعامل مع أفضية العناوين القياسية، ليصبح من الممكن تقسيم فضاء الصنف نفسه إلى عدد من الأفضية الجزئية، التي يمكن تمييزها رياضياً واستخدامها في عنوانة أفضية مختلفة. ساهم استعمال التجزئة في توفير أفضية جزئية ذات أحجام متنوعة تتوافق مع حاجات العملاء، فأدّى ذلك إلى تخفيض سرعة استنفاد فضاء العناوين، وإلى الحدّ من الهدر، ولكنه خلق مشكلة جديدة هي عدد الأفضية الكبير الناتج وأحجام جداول التوجيه اللازمة للتعامل مع هذا العدد.

طُرِح حلّ تجميع الأفضية²⁰³ لعلاج هذه المشكلة وهو آلية لتجميع عناوين بعض من الأفضية الجزئية أو كلها معاً لإنتاج عنوان واحد يمثل فضاء أكبر، يمكن بعد ذلك استخدام هذا العنوان في الموجّهات لتوجيه الرزم باتجاه الشبكات المعنونة بعناوين من هذه الأفضية الجزئية. أضافت هذه التقنية بعضاً من القيود على آليات منح العناوين، ولكنها قدّمت حلاً لمشكلة الأحجام الكبيرة لجداول التوجيه هو الاختزال،²⁰⁴ وبات بالإمكان تجزئة الشبكات من غير القلق من الزيادة المفرطة في حجم جداول التوجيه.

طُرِح الوثيقة RFC 1519 في العام 1993م، وبعد 12 عاماً على استخدام العنوانة الصنفية، التي قدّمت مفهوماً جديداً هو التوجيه غير الصنفي بين النطاقات ليكون آلية لتوجيه رزم البيانات بين الشبكات اعتماداً على نمط عنوانة غير قياسي هو العنوانة غير الصنفية. عدّل المعيار الأصيل لاحقاً، وطُرِح وثيقة طلب تعليقات جديدة تناولت الموضوع نفسه تحت الاسم الرمزي RFC 4632، وهي تُقدّم طريقة لإنجاز عملية التجزئة اعتماداً على العنوانة غير الصنفية.²⁰⁵

خلفية رياضية

أنظمة العدد²⁰⁶

نظام العدّ هو طريقة كتابة لترميز مجموعة غير منتهية من الأعداد باستخدام مجموعة محدّدة من الأرقام بنهج مُتسّق، ويُسمّى عدد عناصر مجموعة الأرقام أساس نظام العدّ.²⁰⁷

²⁰² انظر [RFC950] في تَبْت المراجع.

²⁰³ أصل الاسم Supernetting وقد ورد في عنوان الوثيقة RFC 1338 (انظر [RFC1338] في تَبْت المراجع) قبل أن يُحدّف من الوثائق اللاحقة ذات الصلة، وهي كلمة مُكوّنة من مقطعين: Super- وهي بادئة تعني أعلى أو فوق (انظر ص. 1179 في [BKA02]) و net وتعني شبكة، فيصبح المعنى الشبكة العليا أو الفوقية، والمراد من استعمال البادئة super- معنى يُعكس ما تُشير إليه البادئة sub- وهو التفرّع أو التجزئة، فرأينا تعريبها الأفضل إلى تجميع الأفضية لتُعطي معنى مُعكساً للتجزئة.

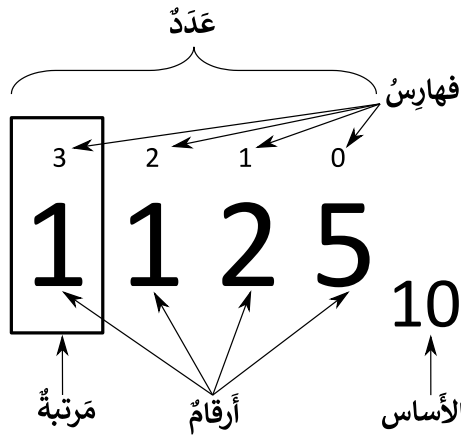
²⁰⁴ الاختزال Summarization وتجميع المسارات Route aggregation، وانظر ما جاء في شأنهما في الفصل الثامن من هذا الكتاب.

²⁰⁵ انظر [RFC1519] وص. 4-7 في [RFC4632] في تَبْت المراجع.

²⁰⁶ للتوسّع أكثر في أنظمة العدّ انظر [BKE03] في تَبْت المراجع.

²⁰⁷ أصول الأسماء الواردة في هذه الفقرة: العدد Number والرّقم Digit ونظام العدّ Numeral system وأساس النّظام Radix.

تَعْتَمِدُ أَنْظِمَةُ الْعَدِّ الْمُسْتَعْمَلَةِ فِي شَبَكَاتِ الْبَيَانَاتِ عَلَى التَّدْوِينِ ذِي الْمَرَاتِبِ، وَفِيهِ يَتَكَوَّنُ الْعَدَدُ مِنْ مَجْمُوعَةٍ مِنَ الْأَرْقَامِ الْمُتَتَابِعَةِ الَّتِي تَشْغُلُ مَرَاتِبَ مُمَيَّزَةً بِفَهْرَسٍ فَرِيدَةٍ، وَتَتَحَدَّدُ الْقِيَمَةُ الْمُقَابِلَةُ لِكُلِّ رَقْمٍ بِفَهْرَسِ الْمَرْتَبَةِ الَّتِي يَشْغُلُهَا. تَبْدَأُ فَهْرَسَةُ الْمَرَاتِبِ مِنَ الصَّفْرِ، وَتَزْدَادُ قِيَمَةُ الْفَهْرَسِ بِمِقْدَارِ 1 مِنْ أَجْلِ كُلِّ رَقْمٍ إِلَى الْيَسَارِ. أَمَّا لِتَمَثِيلِ الْأَعْدَادِ ذَوِي الْفَاصِلَةِ الْمُتَحَرِّكَة²⁰⁸، فَتُسْتَخْدَمُ فَهْرَسٌ سَالِبَةٌ الْمَرَاتِبِ، أَي تَنْقُصُ قِيَمَةَ فَهْرَسِ الْمَرْتَبَةِ بِمِقْدَارِ 1 عِنْدَ الْإِتِّجَاهِ يَمِينًا، وَيَكُونُ فَهْرَسُ الْمَرْتَبَةِ الْأُولَى إِلَى يَمِينِ الْفَاصِلَةِ هُوَ 1- ثُمَّ 2- وَهَكَذَا. مِثْلًا، فِي نِظَامِ الْعَدِّ الْعَشْرِيِّ، يَحْتَوِي الْعَدَدُ 1125 أَرْبَعَةَ أَرْقَامٍ: الْأَوَّلُ هُوَ 5 وَيَقَعُ فِي الْمَرْتَبَةِ الْأُولَى وَفَهْرَسُهَا 0، وَالثَّانِي هُوَ 2 وَيَقَعُ فِي الْمَرْتَبَةِ الثَّانِيَةِ وَفَهْرَسُهَا 1، وَالثَّلَاثُ وَالرَّابِعُ هُمَا الرَّقْمُ 1 وَيَقَعَانِ فِي الْمَرْتَبَتَيْنِ ذَوَاتِي الْفَهْرَسَيْنِ 2 وَ3 عَلَى التَّرْتِيبِ. وَفَقْطًا لِنِظَامِ الْعَدِّ، فَإِنَّ الْقِيَمَةَ الْمُقَابِلَةَ لِلرَّقْمِ 1 فِي الْمَرْتَبَةِ 2 هِيَ 100، وَالْقِيَمَةُ الْمُقَابِلَةَ لِلرَّقْمِ 1 فِي الْمَرْتَبَةِ 2 هِيَ 1000، أَي أَنَّ قِيَمَةَ الرَّقْمَيْنِ 1، فِي الْعَدَدِ 1125 تَحَدَّدَتِ تَبَعًا لِفَهْرَسِ الْمَرْتَبَةِ الَّتِي يَشْغُلُهَا كُلٌّ مِنْهُمَا (الشَّكْل (1-4)).



الشَّكْل (1-4): سرْدٌ بِالْمُصْطَلِحَاتِ الْمُسْتَعْمَلَةِ فِي أَنْظِمَةِ الْعَدِّ ذَاوَتِ الْمَرَاتِبِ

تُسْتَعْمَلُ ثَلَاثَةُ أَنْظِمَةِ عَدِّ لِتَمَثِيلِ عَنَاوِينِ بَرُوْتُوكُولِ الْإِنْتَرْنِتِ: ²⁰⁹

- نِظَامُ الْعَدِّ الثَّنَائِي: هُوَ نِظَامُ عَدِّ ثَابِتِ الْأَسَاسِ ذُو مَرَاتِبِ، أَرْقَامُهُ 0 وَ1 وَأَسَاسُهُ 2. يُضَافُ الرَّقْمُ 2 إِلَى أَسْفَلِ وَيَمِينِ الْعَدَدِ الْمَكْتُوبِ بِنِظَامِ الْعَدِّ الثَّنَائِي أَوْ يُسَبَقُ بِالْبَادِيَةِ 0b أَوْ 0B. مِثْلًا يُشَارُ إِلَى أَنَّ الْعَدَدَ 101 ثَنَائِيًّا بِالشَّكْلِ التَّالِي: $2(101)$ أَوْ $0b101$. يُسْتَعْمَلُ هَذَا النِّظَامُ أَيْضًا لِتَمَثِيلِ الْقِيَمِ الْبُولِيَانِيَّةِ²¹⁰ الَّتِي يُمَكِّنُ أَنْ تُمَثَّلَ بِاسْتِعْمَالِ أَيِّ نِظَامٍ يَضُمُّ حَالَتَيْنِ فَقَط: {تَشْغِيلٌ، تَعْطِيلٌ} أَوْ {صَوَابٌ، خَطَأٌ} أَوْ {نَعَمْ، لَا}...
- نِظَامُ الْعَدِّ الْعَشْرِيِّ: هُوَ نِظَامُ عَدِّ ثَابِتِ الْأَسَاسِ ذُو مَرَاتِبِ، أَرْقَامُهُ مِنَ الْمَجْمُوعَةِ {0، 1، 2، 3، 4، 5، 6، 7، 8، 9} وَأَسَاسُهُ 10، وَهُوَ أَكْثَرُ الْأَنْظِمَةِ شِيوعًا وَاسْتِخْدَامًا. لِلإِشَارَةِ إِلَى أَنَّ عَدَدًا مَا مُمَثَّلٌ بِنِظَامِ الْعَدِّ الْعَشْرِيِّ يُضَافُ

²⁰⁸ أصل الاسم Floating point.

²⁰⁹ أصول أسماء أنظمة العدِّ: لِلثَّنَائِيِّ Binary numeral system وَلِلْعَشْرِيِّ Decimal numeral system وَلِلسَّنَةِ عَشْرِيِّ Hexadecimal numeral system.

²¹⁰ نسبةً إِلَى جُورْجِ بُولِ George Boole (1815-1864)، وَهُوَ رِيَاذِيٌّ وَفِيلِسُوفٌ وَعَالِمٌ مَنْطِقِيٌّ إنْغَلِيزِيٌّ، أُسِّسَ فَرَعًا فِي الْجَبْرِ سُمِّيَ عَلَى اسْمِهِ وَهُوَ الْأَسَاسُ الَّذِي قَامَتْ عَلَيْهِ ثَوْرَةُ الْمَعْلُومَاتِ فِي الْقَرْنِ الْعِشْرِينَ، لَهُ أَيْضًا أَعْمَالٌ بَارِزَةٌ فِي الْمَعَادِلَاتِ التَّفَاضُلِيَّةِ وَالْمَنْطِقِ الْجَبْرِيِّ.

الرَّقْم 10 إلى أسفل ويمين العدَد أو يُسَبَقُ بِالْبَادِيَةِ 0d. مثلاً، يُشار إلى أَنَّ العَدَد 101 مَكْتُوبٌ بِنِظَامِ العَدِّ العَشْرِيِّ بِالشَّكْلَيْنِ $(101)_{10}$ أو $0d101$.

- نِظَامِ العَدِّ سِتَّةِ العَشْرِيِّ: هُوَ نِظَامٌ عَدِّ ثَابِتِ الأَسَاسِ دُو مَرَاتِبٍ، أَرْقَامُهُ مُكُونَةٌ مِنْ مَجْمُوعَتَيْنِ مِنَ الرُّمُوزِ هُمَا $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ و $\{A, B, C, D, E, F\}$ ، وَأَسَاسُ النِّظَامِ هُوَ 16. أُسْتِخْدَمُ نِظَامُ العَدِّ سِتَّةِ العَشْرِيِّ فِي شَبَكَاتِ البَيَانَاتِ لِأَنَّهُ يُوفِّرُ طَرِيقَةً سَهْلَةً وَسَرِيعَةً لِقِرَاءَةِ وَكِتَابَةِ تَتَابَعَاتٍ طَوِيلَةٍ مِنَ الأَصْفَارِ وَالوَحْدَانِ تُمَثَّلُ كُلُّ 4 بَتَاتٍ فِيهَا بِرَقِيمٍ سِتَّةِ عَشْرِيٍِّّ وَاحِدٍ فَقَط. لِلإِشَارَةِ إِلَى أَنَّ العَدَدَ مَكْتُوبٌ بِنِظَامِ العَدِّ السَّتِّ عَشْرِيٍِّّ، تُضَافُ البَادِيَةُ 0x إلى يسار العَدِّ أو اللَّاحِقَةُ h إلى يمينه، أو يُضَافُ الرَّمزُ 16 إلى أسفل ويسار العَدِّ. مثلاً لِلدَّلَالَةِ عَلَى أَنَّ العَدَدَ 101 مَكْتُوبٌ بِنِظَامِ العَدِّ السِتِّ عَشْرِيٍِّّ يُكْتَبُ $0x101$ أو $h101$ أو $(101)_{16}$.

بصورةٍ عامَّةٍ، لو كان عَدَدٌ ما، ليكن A ، مَكْتُوباً بِنِظَامِ عَدِّ أَسَاسِهِ B ، ومُؤَلَّفاً مِنْ عَدَدٍ مِنَ المَرَاتِبِ N مُرْتَبَةً تَبَعاً لِالأَهْمِيَّةِ ضِمْنَ مَصْفُوفَةٍ وَحيدة البُعد D طولها N ، فبالإمكان التَّعبيرُ عَنْهُ بِصِيغَةٍ مَجْمُوعٍ فِي نِظَامِ العَدِّ العَشْرِيٍِّّ كَمَا فِي العِلَاقَةِ (1-4):

$$A = \sum_{i=0}^N D_i B^i \quad (1-4)$$

على سبيل المثال، يُمكن وَفَقاً لِلعِلَاقَةِ (1-4) تَمثيلُ العَدَدِ 101 المَكْتُوبِ بِأَنْظِمَةِ العَدِّ الثَّنَائِيِِّّ وَالعَشْرِيِِّّ وَسِتَّةِ العَشْرِيِِّّ عَلَى التَّرْتِيبِ كَمَا يَلِي:

$$(101)_2 = 1 * 2^0 + 0 * 2^1 + 1 * 2^2$$

$$(101)_{10} = 1 * 10^0 + 0 * 10^1 + 1 * 10^2$$

$$(101)_{16} = 1 * 16^0 + 0 * 16^1 + 1 * 16^2$$

يُستعملُ نِظَامَا العَدِّ الثَّنَائِيِِّّ وَالعَشْرِيِِّّ لِتَمثيلِ عُنَاوِينِ الإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنَ بُرُونُوكُولِ الْإِنْتَرْنِت،²¹¹ وَنِظَامَا العَدِّ الثَّنَائِيِِّّ وَسِتَّةِ العَشْرِيِِّّ لِتَمثيلِ عُنَاوِينِ الإِصْدَارِ السَّادِسِ مِنَ بُرُونُوكُولِ الْإِنْتَرْنِت كَمَا سَيَرِدُ فِي الفِصْلِ العَاشِرِ مِنْ هَذَا الكِتَابِ.

العطف المنطقي²¹²

هُوَ عَمَلِيَّةٌ مَنْطِقِيَّةٌ بَيْنَ عَدَدَيْنِ مَكْتُوبَيْنِ بِنِظَامِ العَدِّ الثَّنَائِيِِّّ يُسَمَّيَانِ المَدخَلانِ، يَنْتُجُ عَنْهَا قِيَمَةٌ مَنْطِقِيَّةٌ ثَالِثَةٌ تُسَمَّى الخَرَجُ، تَفْتَرِضُ العَمَلِيَّةُ أَنَّ قِيَمَةَ الخَرَجِ سَتَكُونُ صَوَاباً، إِذَا وَفَقَطُ إِذَا، كَانَتْ قِيَمَةُ المَدخَلَيْنِ صَوَاباً مَعاً (الجدول (2-4)).

يَلزِمُ لِإِجْرَاءِ عَمَلِيَّةِ العطفِ المَنْطِقِيِِّّ بَيْنَ عَدَدَيْنِ تُمَثِّلُهُمَا بِنِظَامِ العَدِّ الثَّنَائِيِِّّ أَوَّلًا، ثُمَّ تَنْفِيزِ العَمَلِيَّةِ تَبَعاً لِجَدْوَلِ الحَقِيقَةِ الخَاصِّ بِهَا عَلَى أَرْوَاجٍ مِنَ القِيمِ المَنْطِقِيَّةِ مَأخُوذَةٍ مِنَ العَدَدِ الأَوَّلِ وَالثَّنَائِيِِّّ عَلَى التَّرْتِيبِ، يَضُمُّ كُلُّ رُوجٍ رَقْمَيْنِ لهُمَا المَرْتَبَةُ

²¹¹ سَبَقُ وَأَشْرْنَا إِلَى أَنَّ عُنَاوِينِ الإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنَ بُرُونُوكُولِ الْإِنْتَرْنِت تُكْتَبُ بِاسْتِعْمَالِ التَّدْوِينِ العَشْرِيِِّّ المَنْقُطِ وَهُوَ نِظَامٌ لِكِتَابَةِ الأَعْدَادِ مُشْتَقٌّ مِنْ نِظَامِ العَدِّ العَشْرِيِِّّ، انظُرْ مَا جَاءَ فِي شَأْنِهِ فِي الفِصْلِ الثَّلَاثِ مِنْ هَذَا الكِتَابِ.

²¹² لِلتَّوَسُّعِ فِي هَذَا السِّيَاقِ انظُرْ ص. 11 وما بَعْدَهَا فِي [BKE04] فِي تَبْتِ المَرَاجِعِ.

نفسها، أي يتشكّل الرّوج الأوّل من الرّقم الموجود في المَرْتَبَة ذات الفهرس 0 في العَدَد الأوّل، والرّقم الموجود في المَرْتَبَة ذات الفهرس 0 في العَدَد الثّاني. ويتشكّل الرّوج الثّاني من الرّقم الموجود في المَرْتَبَة ذات الفهرس 1 في العَدَد الأوّل، والرّقم الموجود في المَرْتَبَة ذات الفهرس 1 في العَدَد الثّاني، وهكذا. أخيراً، يُعاد تمثيل النّاتج بنظام العدّ الأصلي.

الجدول (2-4): جدول الحقيقة لعمليّة العطف المنطقيّ

المدخل الأوّل	المدخل الثّاني	الخروج
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

مثلاً لإجراء عمليّة العطف المنطقيّ بين العددين $10(143)$ و $109(254)$ تُتبع الخطوات التّالية (الجدول (3-4)):

1. يُمثّل العدّدان بنظام العدّ الثّنائيّ، وتكون القيمتان على التّوالي هما $2(10001111)$ و $2(11111110)$.
2. تُجرى عمليّة العطف المنطقيّ بين قيمتي كلّ مرتبتين مُتقابلتين تبعاً لجدول الحقيقة (الجدول (2-4))، وستكون النّتيجة $2(10001110)$.
3. يُعاد تحويل النّاتج إلى نظام العدّ العشريّ، وهو يُقابل القيمة $10(142)$.

الجدول (3-4): عمليّة العطف المنطقيّ بين العددين $10(143)$ و $109(254)$

الخروج بنظام العدّ العشريّ	الخروج بنظام العدّ الثّنائيّ	الأرقام تبعاً لفهارس المراتب في نظام العدّ الثّنائيّ								القيمة الثّنائيّة	القيمة العشريّة	العدّد
		7	6	5	4	3	2	1	0			
		1	0	0	0	1	1	1	1	1000 1111	143	الأوّل
		1	1	1	1	1	1	1	0	1111 1110	254	الآخر
142	1000 1110	1	0	0	0	1	1	1	0	خروج العمليّة		

مبدأ العمل 213

تجزئة فضاء العناوين هي عمليّة رياضيّة يُقسّم فيها فضاء عناوين إلى فضاءين جُزئيين أو أكثر ذوي أحجام أصغر من الفضاء الأصلي. تتمايز الأفضية الجُزئية عن الفضاء الأصلي باستعمال عدّد خاصّ يُسمّى قناع الأفضية الجُزئية.

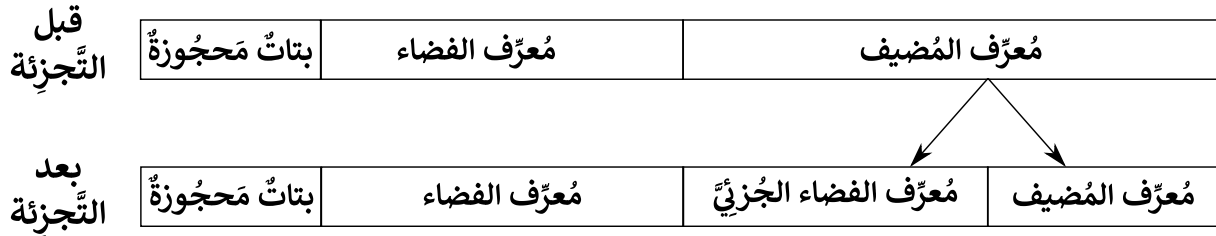
تتكوّن بنية عنوان المُضيف في العنوان الصّنفية من ثلاثة أقسام: البتات المحجوزة ومُعزّف الفضاء ومُعزّف المُضيف، ويُقاس طول المُعزّفين بالبت. يكون مُعزّف الفضاء مُشترَكاً بين العناوين التي تنتمي إلى الفضاء نفسه، أمّا مُعزّف المُضيف، فيُستخدم لتمييز المُضيفين، وتختلف قيمته من مُضيف إلى آخر، ويُحدّد طوله عدّد العناوين الموجودة ضمن الفضاء، فإذا كان طول مُعزّف المُضيف هو n بتاً، فإنّ عدّد العناوين الموجودة في الفضاء سيّكون 2^n عنواناً، أمّا عدّد العناوين المُتاحة لعنوان المُضيفين فيكون $2^n - 2$ عنواناً، لأنّ العنوان الأصغر في الفضاء يكون محجوزاً دائماً ليُمثّل الفضاء كاملاً، أمّا العنوان الأكبر فيه فيُمثّل عنوان البثّ العامّ.

²¹³ تُشير إلى مؤلّفنا السّابق في هذا الخُصوص، وعنوانه "مذكّرة في أصول تجزئة الشّبكة"، ويُمكن الاطّلاع عليه في [BKA07] في ثبّت المراجع، مع التّحقّق على استعمال كلمة "الشّبكة" خطأً بدلاً عن "الفضاء" كما أشرنا سابقاً.

عند تحصيل فضاء عناوينٍ صنفِيٍّ، يقع الحدُّ الفاصل بين مُعرِّفِ الفضاء ومُعرِّفِ المُضيف عند المراتب التي تشكّل حدود الخانات في العنوان، أي يحصل كلُّ عميلٍ يتصل مع الإنترنت على فضاءٍ عنوانيةٍ جزئيةٍ مُحدّدٍ بعددٍ من البتات المحجوزة مع مُعرِّفِ فضاءٍ بطولٍ إجماليٍّ للاثنتين يبلغ 1 أو 2 أو 3 بايتاتٍ تبعاً لِصنفِ الفضاء. يُمكن لمُديرِ الشبكة بعدها أن يُجزئ الفضاء بمقتضى الحاجة إلى أفضيةٍ أصغرَ حجماً من خلال اقتطاع جزءٍ من مُعرِّفِ المُضيف وتشكيل قسمٍ جديدٍ هو مُعرِّفِ الفضاء الجزئية،²¹⁴ في حين يبقى طول مُعرِّفِ الفضاء ثابتاً (الشكل (2-4)). فإذا أقتطع b_{SID} بتاً من مُعرِّفِ المُضيف، فإنَّ طوله الجديد سيصبح b'_{HID} بتاً، وسيُحسب وفقاً للعلاقة (2-4):²¹⁵

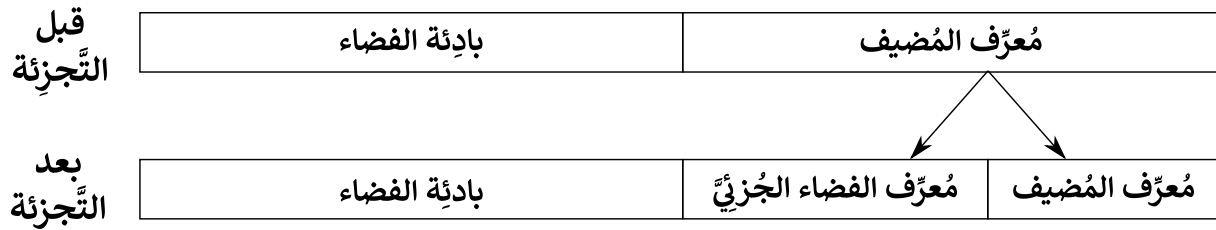
$$b'_{HID} = b_{HID} - b_{SID} \quad (2-4)$$

يكون مُعرِّفِ الفضاء الجزئيةً مشتركاً بين العناوين في كلِّ فضاءٍ جزئيةٍ، ويُحدّد طوله عدد الأفضية الجزئية الناتجة عن التجزئة كما أسلف.



الشكل (2-4): التغير في بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت بعد التجزئة في العنوانية الصنفية

أمّا في العنوانية غير الصنفية، فإنَّ الحدَّ الفاصل بين مُعرِّفِ الفضاء ومُعرِّفِ المُضيف قد يوجد في أيِّ خانةٍ ضمن العنوان، ولا قواعد أصنافٍ تُحدّد الأطوال، بل تولّد البادئة وفقاً لهرميةٍ تعتمد على موقع العميل كما سيرد بالتفصيل في الفصلين السابع والثامن من هذا الكتاب. تُمثّل كلُّ بادئةٍ فضاءً جزئياً مُقتطعاً من فضاء العناوين الكلي، ويُمكن إعادة تجزئته مجدداً بمقتضى الحاجة من خلال اقتطاع جزءٍ من مُعرِّفِ المُضيف وتشكيل قسمٍ جديدٍ هو مُعرِّفِ الفضاء الجزئية (الشكل (3-4)).



الشكل (3-4): التغير في بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت بعد التجزئة في العنوانية غير الصنفية

²¹⁴ أصل الاسم Subnet identifier، اختصاراً SID.

²¹⁵ في ما سيأتي في هذا الفصل يُستعمل المحرف b للإشارة إلى مقدارٍ مُكوّنٍ من عددٍ من البتات والمحرّف N للإشارة إلى مقدارٍ معدوم الواحدة نحو عدد العناوين أو عدد الأفضية، تُضاف كلمات أو رموزٌ توضيحية إلى أسفل ويمين المحارف لتمييزها.

يَلَزَم في هذا السِّياق التَّمييز بين مُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ وعُنوان الفضاء الجُزئيِّ، فالأوَّل هو عَدَدٌ من البتات المُقتطعة من مُعرِّف المُضيف لِتشكيل مُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ، أمَّا الثَّاني فهو عُنوان بروتوكول إنترنت يُميِّز فضاء عناوين جُزئيًّا ناتجاً عن عمليَّة التَّجزئة.

تجزئة فضاء العناوين

تجزئة فضاء عناوين صِنفيِّ

هي تقسيم فضاء عناوين لِصنف قياسيِّ من أصناف البتِّ فريد الوجهة في الإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت إلى فضاءي عناوين أو أكثر. يُوجد ثلاثة أصناف بتِّ فريد الوجهة هي: الصَّنِف A والصَّنِف B والصَّنِف C. يُقتطع عَدَدٌ مُحدَّد من البتات المُتتالية من مُعرِّف المُضيف بدءاً من البت الأكثر أهميَّةً فيه لِإنجاز التَّجزئة، ويُنشأ قِسْمٌ جديداً هو مُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ. قد تُحدَّد مُتطلَّبات التَّجزئة شُروطاً إضافيَّةً على طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ أو على طُول مُعرِّف المُضيف أو على الاثنين معاً، وقد تُوجد أطوالٌ عديدةٌ مُمكنةٌ لِمُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ تتوافق مع مُتطلَّبات التَّجزئة، ويعود اختيار القيمة المُناسبة عندها لِمدیر الشَّبكة.

الصَّنِف A

يَبْلُغ طُول مُعرِّف المُضيف في فضاء عناوين قياسيِّ من الصَّنِف A 24 بتاً، وهو يمتدُّ على ثلاث خاناتٍ هُنَّ دَوَات المراتب 2 و3 و4. عند اقتطاع مُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ من قِسْم المُضيف، فإنَّه يَبْدَأ الامتداد من البت الأكثر أهميَّةً داخل الخانة ذات المَرْتَبَة 2، وَيَبْقَى مَحْصُوراً فيها إذا كان طُول المُعرِّف أقلَّ من 8 بتاتٍ أو مُساوٍ، أو قد يمتدُّ على الخانتين دَوَاتي المَرْتَبَتين 2 و3.²¹⁶ إذا كان طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ أكبرَ تماماً من 8 ولكنَّه أصغرُ من 16 بتاً أو مُساوٍ لها، أو قد يمتدُّ على الخانات الثلاثة دَوَات المراتب 2 و3 و4 إذا كان طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ أكبرَ تماماً من 16 بتاً.

يَخْتَلِف طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ بِمُقْتَضَى مُتطلَّبات التَّجزئة، وحُدُّه الأدنىُّ هو بتٌ واحدٌ، وَيَعْنِي ذلك تجزئة فضاء العناوين إلى فضاءين جُزئيين فقط، أمَّا حُدُّه الأعلى فهو 22 بتاً، وَيَعْنِي ذلك تجزئة الفضاء إلى 2²² فضاءً جُزئياً في كُلِّ منها 4 عناوين يَصْلُح اثنان منها فقط لِعنونة المُضيفين. من المُمكن نظريًّا اختيار طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ لِيتكوَّن 23 أو 24 بتاً، لكنَّ ذلك يُنتج أفضية عناوين جُزئيةٍ تحتوي عُنوانين في الحالة الأولى وعُنواناً واحداً في الحالة الثَّانية، وفي كلتا الحالتين لا عناوين صالحةٍ لِعنونة المُضيفين. عمليًّا، لا استخداماتٍ لِأفضيةٍ جُزئيةٍ بهذه الأحجام في الإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت.

مع إمكانيَّة تغيير طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ ضمن مَجْمُوعَة الأعداد الصَّحيحة {1، 2، 3، ... 22}، يُمكن تمييز الحالات

الثَّالية (الشَّكْل (4-4):²¹⁷

- طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ أكبرُ من بتٍّ واحدٍ أو مُساوٍ له وأصغرُ تماماً من 8 بتاتٍ.

²¹⁶ التَّرتيب 2 ثمَّ 3 ذو مغزى في هذا السِّياق، لأنَّ مُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ يَنمو من الخانة الأكثر أهميَّةً نحو الخانة الأقلَّ أهميَّةً.

²¹⁷ يحوي هذا الفصل في ما سيأتي أمثلةً مُقتضبةً عن التَّجزئة لكلِّ صنف قياسيِّ، من أجل أمثلةٍ مُفضَّلةٍ لكلِّ حالةٍ انظر المُلحق د.

- طُول مُعَرَّفِ الْفَضَاءِ الْجُزْئِيِّ يُسَاوِي 8 بِنَاتٍ.
- طُول مُعَرَّفِ الْفَضَاءِ الْجُزْئِيِّ أَكْبَرُ مِنْ 9 بِنَاتٍ أَوْ يُسَاوِيهَا وَأَصْغَرُ تَمَاماً مِنْ 16 بِنَاتٍ.
- طُول مُعَرَّفِ الْفَضَاءِ الْجُزْئِيِّ يُسَاوِي 16 بِنَاتٍ.
- طُول مُعَرَّفِ الْفَضَاءِ الْجُزْئِيِّ أَكْبَرُ مِنْ 17 بِنَاتٍ أَوْ يُسَاوِي لَهَا وَأَصْغَرُ مِنْ 22 بِنَاتٍ أَوْ يُسَاوِي لَهَا.

يُبَيِّنُ الْجَدُولُ (4-4) الْحَالَاتِ الرَّيَاضِيَّةِ الْمُمَكِّنَةَ لِتَجْرِيَةِ فِضَاءٍ مِنْ الصَّنْفِ A، وَفِيهَا حَالَتَانِ مُمَيَّزَتَانِ: عِنْدَمَا يَكُونُ طُولُ مُعَرَّفِ الْفَضَاءِ الْجُزْئِيِّ 8 وَ 16 بِنَاتٍ. فِي الْأُولَى سَيَكُونُ طُولُ مُعَرَّفِ الْمُضَيَّفِ 16 بِنَاتٍ، أَيَّ أَنَّ التَّجْرِيَةَ سَتُنْتِجُ أَفْضِيَّةً جُزْئِيَّةً فِي كُلِّ مِنْهَا $2^{16}=65536$ عُنْوَانًا، وَهِيَ أَفْضِيَّةٌ مُكَافِئَةٌ حَجْمًا لِأَفْضِيَّةِ الصَّنْفِ B. وَفِي الثَّانِيَةِ سَيَكُونُ طُولُ مُعَرَّفِ الْمُضَيَّفِ 8 بِنَاتٍ، أَيَّ أَنَّ التَّجْرِيَةَ سَتُنْتِجُ أَفْضِيَّةً جُزْئِيَّةً فِي كُلِّ مِنْهَا $2^8=256$ عُنْوَانًا، وَهِيَ أَفْضِيَّةٌ مُكَافِئَةٌ حَجْمًا لِأَفْضِيَّةِ الصَّنْفِ C.

الجدول (4-4): الحالات الرياضية الممكنة عند تجزئة فضاء عناوين قياسي من الصنف A

فِنَاعِ الْأَفْضِيَّةِ الْجُزْئِيَّةِ		حَجْمُ فِضَاءِ العناوين (عُنْوَان)	عَدَدُ أَفْضِيَّةِ العناوين الْجُزْئِيَّةِ (فِضَاء)	طُولُ مُعَرَّفِ الْمُضَيَّفِ (بِتْ)	طُولُ مُعَرَّفِ الْفَضَاءِ الْجُزْئِيِّ (بِتْ)
تَدْوِينُ الْبَادِيَةِ	التَّدْوِينُ الْعَشْرِيُّ الْمُنْقَطْ				
255.128.0.0	/9	2^{23}	2	23	1
255.192.0.0	/10	2^{22}	4	22	2
255.224.0.0	/11	2^{21}	8	21	3
255.240.0.0	/12	2^{20}	16	20	4
255.248.0.0	/13	2^{19}	32	19	5
255.252.0.0	/14	2^{18}	64	18	6
255.254.0.0	/15	2^{17}	128	17	7
255.255.0.0	/16	2^{16}	256	16	8
255.255.128.0	/17	2^{15}	512	15	9
255.255.192.0	/18	2^{14}	1024	14	10
255.255.224.0	/19	8192	2048	13	11
255.255.240.0	/20	4096	4096	12	12
255.255.248.0	/21	2048	8192	11	13
255.255.252.0	/22	1024	2^{14}	10	14
255.255.254.0	/23	512	2^{15}	9	15
255.255.255.0	/24	256	2^{16}	8	16
255.255.255.128	/25	128	2^{17}	7	17
255.255.255.192	/26	64	2^{18}	6	18
255.255.255.224	/27	32	2^{19}	5	19
255.255.255.240	/28	16	2^{20}	4	20
255.255.255.248	/29	8	2^{21}	3	21
255.255.255.252	/30	4	2^{22}	2	22
255.255.255.254	/31	2	2^{23}	1	23
255.255.255.255	/32	1	2^{24}	0	24

يَلَزَم التَّمييز بين حجم فضاء العناوين الجُزئيِّ النَّاتِج عن التَّجزئة، وهو عَدَد العناوين الإجماليِّ الَّتِي يَحْتَوِيها الفضاء، وبين عَدَد عناوين الفضاء الَّتِي تَصَلح لِعنونة المُضيفين. في أَفضية عناوين الإصدار الرَّابِع من بَرُوتوكُول الإنترنت يَكُون عَدَد العناوين الَّتِي تَصَلح لِعنونة المُضيفين أَقلَّ بَعنوانين دائماً من عَدَد عناوين الفضاء الإجماليِّ. والسَّبب في ذلك أَن العنوان الأَكبر قِيمَةً والعنوان الأَصغر قِيمَةً يَكُونان مَحجُوزين لِاستخداماتٍ أُخرى: يُستخدَم الأَصغر لِيُمثِّل الفضاء الجُزئيِّ كامِلاً، ويُستخدَم الأَكبر في الفضاء الجُزئيِّ بصفته عُنواناً لِلبِتِّ العامِّ لِمُضيفي عناوين ذلك الفضاء كُلِّهم، ولا يُمكن، نَتيجةً لِذلك، استخدام هذين العناوين لِعنونة المُضيفين.

مَرْتَبَة الخانة	الرَّابِعة	الثَّالِثة	الثَّانِيَة	الأوَّلَى	
$0 < b_{SID} < 8$					حالات مُعرَّف الفضاء الجُزئيِّ
$b_{SID} = 8$					
$8 < b_{SID} < 16$					
$b_{SID} = 16$					
$16 < b_{SID} < 22$					

مُعرَّف المُضيف
 مُعرَّف الفضاء الجُزئيِّ
 مُعرَّف الفضاء
 بتات مَحجُوزة

الشَّكْل (4-4): بنية عُنوان الإصدار الرَّابِع من بَرُوتوكُول الإنترنت في الحالات النَّاتِجة عن تجزئة فضاء عناوين قياسيِّ من الصَّنْف A

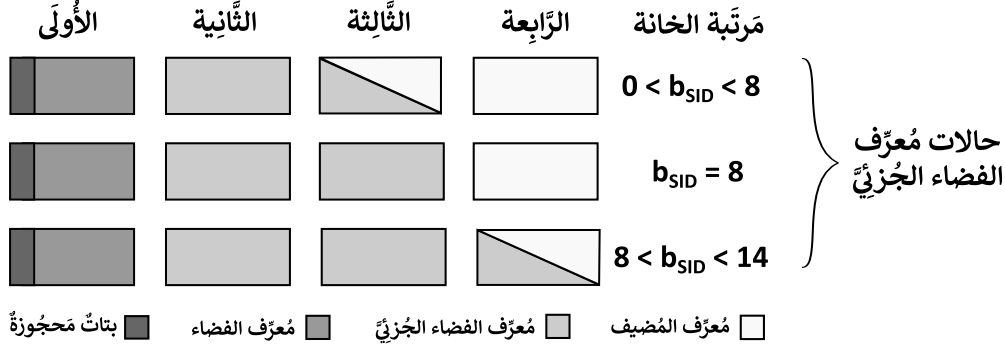
B الصَّنْف

يَكُون طُول مُعرَّف الفضاء فيه 14 بتاً، بالإضافة لِوُجُود بتين مَحجُوزين، ويَكُون طُول مُعرَّف المُضيف هو 16 بتاً، ويَمْتدُّ على الخانتين دَوَاتِي المَرْتَبَتين 3 و4. عند اقتطاع مُعرَّف الفضاء الجُزئيِّ من مُعرَّف المُضيف، فإنَّ مُعرَّف الفضاء الجُزئيِّ يَنمُو ابتداءً من البِتِّ الأَكثَر أَهمِّيَّةً في الخانة ذات المَرْتَبَة 3، وَيَظَلُّ مَحجُوزاً فيها إِذا كان طوله أَقلَّ أو مُساوٍ لِثمانية بتاتٍ، أو قد يَمْتدُّ على الخانتين دَوَاتِي المَرْتَبَتين 3 و4 إِذا كان طوله أَكْبَرَ من 8 بتاتٍ (الشَّكْل (4-5)).

يَخْتلِف طُول مُعرَّف الفضاء الجُزئيِّ بِمُقْتَضَى مُتطلِّبات التَّجزئة: حدُّه الأَدنى بَتٌّ واحدٌ، وَيَعني ذلك تجزئة فضاء العناوين الأَصَل إِلى فضائين جُزئِيَّين فقط، أمَّا حدُّه الأعلى فهو 14 بتاً، وَيَعني ذلك تجزئة الفضاء الأَصيل إِلى $2^{14} = 16384$ فضاءً جُزئِيَّاً في كُلِّ منها 4 عناوين، يَصَلح اثنان منها فقط لِعنونة المُضيفين (الجدول (4-5)). ضِمَّن الحدُود السَّابِقة، تُوجَد حالةٌ مُميَّزةٌ تَحصُل عندما يَكُون طُول مُعرَّف الفضاء الجُزئيِّ 8 بتاتٍ، ويَكُون طُول مُعرَّف المُضيف عندها 8 بتاتٍ أيضاً، وَيَعني ذلك أَن التَّجزئة سَتُنْتِج أَفضية عناوين جُزئِيَّةً في كُلِّ منها $2^8 = 256$ عُنواناً، وهي أَفضيةٌ مُكافئةٌ حَجماً لِأفضية الصَّنْف C القياسيِّ.

مع إِمكانية تغيير طُول مُعرَّف الفضاء الجُزئيِّ لِإِخْذ قِيمَةً من مَجْمُوعَة الأعداد الصَّحيحة {1, 2, 3, ... 14}، يُمكن تَمييز الحالات التَّالِيَة:

- طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئيّ هُو بَتّ واحدٌ على الأقلّ وهُو أصغرُّ تماماً من 8 بتاتٍ.
- طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئيّ يُساوي 8 بتاتٍ.
- طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئيّ أكبرُّ من 9 بتاتٍ أو مُساوٍ لها وأصغرُّ من 14 بتاً أو مُساوٍ لها.



الشَّكْل (5-4): بنية عُنوان الإصدار الرَّابِع من بُروتوكُول الإنترنت في الحالات النَّاتجة عن تجزئة فضاء عناوين قياسيٍّ من الصَّنْف B

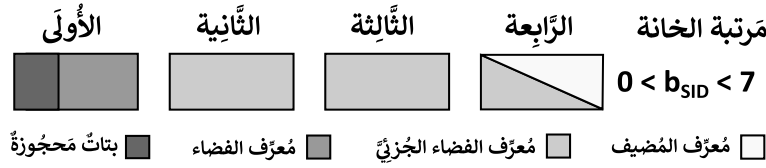
الجدول (5-4): الحالات الرِّياضيّة المُمكنة عند تجزئة فضاء عناوين قياسيٍّ من الصَّنْف B

فِناع الأفضية الجُزئيّة		حَجْم فضاء العناوين (عُنوان)	عَدَد أفضية العناوين الجُزئيّة (فضاء)	طُول مُعرِّف المُضيف (بتّ)	طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئيّ (بتّ)
تدوين البادئة	التَّدوين العشريّ المنقَط				
255.255.128.0	/17	2 ¹⁵	2	15	1
255.255.192.0	/18	2 ¹⁴	4	14	2
255.255.224.0	/19	8192	8	13	3
255.255.240.0	/20	4096	16	12	4
255.255.248.0	/21	2048	32	11	5
255.255.252.0	/22	1024	64	10	6
255.255.254.0	/23	512	128	9	7
255.255.255.0	/24	256	256	8	8
255.255.255.128	/25	128	512	7	9
255.255.255.192	/26	64	1024	6	10
255.255.255.224	/27	32	2048	5	11
255.255.255.240	/28	16	4096	4	12
255.255.255.248	/29	8	8192	3	13
255.255.255.252	/30	4	2 ¹⁴	2	14
255.255.255.254	/31	2	2 ¹⁵	1	15
255.255.255.255	/32	1	2 ¹⁶	0	16

الصَّنْف C

يَكُون طُول مُعرِّف الفضاء 21 بتاً فيه بالإضافة لوجود 3 بتاتٍ مَحجُوزةٍ، ويَكُون طُول مُعرِّف المُضيف هُو 8 بتاتٍ ويمتدُّ على الخانة ذات المَرتبّة 4. عند اقتطاع مُعرِّف الفضاء الجُزئيّ من مُعرِّف المُضيف، فإنّه يَنمو ابتداءً من البت الأكثر أهمّيّةً في الخانة ذات المَرتبّة 4، ويَظَلُّ مَحجُوراً فيها (الشَّكْل (6-4)). يَكُون حدُّ مُعرِّف الفضاء الجُزئيّ الأَدنى هُو بَتّ واحدٌ، ويَعني ذلك تجزئة فضاء العناوين الأَصيل إلى فضاءين جُزئيين فقط، أمّا حدُّه الأعلى فهو 6 بتاتٍ، ويَعني ذلك تجزئة الفضاء

الأصيل إلى $64=2^6$ فضاءً جُزئياً في كلِّ منها أربعة عناوين، يَصْلح اثنانٌ منها فقط لعنونة المُضيفين، ويُظهر الجدول (6-4) هذه الحالات.



الشَّكْل (6-4): بنية عنوان الإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت في الحالات النَّاتجة عن تجزئة فضاء عناوين قياسيٍّ من الصَّنْف C

يُمكن نظرياً اختيار مُعرَّف فضاءٍ جُزئِيٍّ بطول 7 أو 8 بتاتٍ. في الحالة الأولى، يَنْتُج عن التَّجزئة أفضية عناوين جُزئِيَّةٍ تُحتوي عُنوانين فقط، هُما عُنوان الفضاء وعُنوان البتِّ العامِّ، ولا يَبقى أيُّ عُنوانٍ آخرٍ مُتاحٍ لعنونة المُضيفين. أمَّا في الحالة الثَّانية، فإنَّ أفضية العنونة النَّاتجة لا تُحتوي إلا عُنواناً واحداً فقط هو عُنوان الفضاء، أي لا يُمكن عنونة المُضيفين أيضاً. لذلك، تُستثنى القيمتان السَّابقتان، ويتغيَّر طول مُعرَّف الفضاء الجُزئِيٍّ ضمن مَجْمُوعَة الأعداد الصَّحيحة {1، 2، 3، 4، 5، 6}.

الجدول (6-4): الحالات الرِّياضيَّة المُمكنة عند تجزئة فضاء عناوين قياسيٍّ من الصَّنْف C

فِناع الأفضية الجُزئِيَّة		حجم فضاء العناوين (عُنوان)	عَدَد أفضية العناوين الجُزئِيَّة (فضاء)	طول مُعرَّف المُضيف (بت)	طول الفضاء الجُزئِيٍّ (بت)
تدوين البادئة	التَّدوين العشريُّ المُنقَط				
255.255.255.128	/25	128	2	7	1
255.255.255.192	/26	64	4	6	2
255.255.255.224	/27	32	8	5	3
255.255.255.240	/28	16	16	4	4
255.255.255.248	/29	8	32	3	5
255.255.255.252	/30	4	64	2	6
255.255.255.254	/31	2	128	1	7
255.255.255.255	/32	1	256	0	8

تجزئة فضاء غير صِنفيٍّ

هي تقسيم فضاء عناوين أصيل غير صِنفيٍّ إلى فضاءي عناوين أو أكثر أصغر حجماً منه. تَعْتَمِد هذه التَّجزئة على العنونة غير الصَّنفيَّة وفيها لا أصناف قياسيَّة ولا أقنعة أفضية قياسيَّة ولا طول ثابتاً لمُعَرَّف الفضاء، بل يُحصَّص فضاء العناوين الأصيل وفقاً للحاجة، ويُمكن أن يَبدأ مُعرَّف الفضاء الجُزئِيٍّ في أيِّ موقعٍ في العُنوان. تُعرِّض الجهات النَّاطمة لِعَمليَّة التَّحصيل، نحو هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة أو سِجَلات الإنترنت الإقليميَّة، بادئاتٍ ذوات أطوالٍ مُختلفةٍ على العُملاء، وتَصِفُ هذه البادئات أفضية عناوين ذوات أحجامٍ مُتنوِّعةٍ، ويختار العُملاء حجم فضاء العناوين وفقاً لحاجتهم.

يُمكن للعُملاء بعد ذلك تجزئة فضاء العناوين المُخصَّص لهم لإنتاج أفضية عناوين جُزئِيَّةٍ أصغر تُناسب ما يحتاجونه، ويحدِّد العميل عندها طول مُعرَّف المُضيف وطول مُعرَّف الفضاء الجُزئِيٍّ بناءً على عَدَد عناوين المُضيفين المرغوب في كلِّ فضاءٍ جُزئِيٍّ أو على عَدَد الأفضية الجُزئِيَّة الإجماليِّ أو على الاثنين معاً.²¹⁸

²¹⁸ انظر ما جاء في ص. 29-33 في [ART22] في ثَبت المراجع.

يُجرى فضاء العناوين غير الصنفي تجزئةً مُشابهةً لتجزئة الفضاء الصنفي، فالاختلاف الأساس بين الاثنين هو في بنية العناوين وآلية منحها لا في آلية التجزئة نفسها.

آلية التجزئة

تتكوّن عملية تجزئة فضاء العناوين، سواء كانت العنونة صنفيّة أو غير صنفيّة، من مرحلتين:

1. تحديد بنية عنوان الأفضية الجزئية الناتجة، ويعني ذلك تحديد طول معرف الفضاء الجزئي وطول معرف المضيف بمقتضى الحاجة التي دعت إلى إنجاز التجزئة.

2. توليد عناوين الأفضية الجزئية الناتجة عن البنية المحددة بالخطوة الأولى.

لتجزئة الفضاء القياسي يُحدّد صنف العنوان أولاً ومنه يُعرف طول معرف الفضاء والموقع الذي يبدأ معرف الفضاء الجزئي منه، ثم يُحدّد طول معرف الفضاء الجزئي ومعرف المضيف وفقاً لمتطلبات التجزئة. أمّا لتجزئة الفضاء غير القياسي، فيُحدّد طول البادئة أولاً لمعرفة الموقع الذي يبدأ معرف الفضاء الجزئي منه، ثم يُحسب طول معرف الفضاء الجزئي وطول معرف المضيف تبعاً لمتطلبات التجزئة.

تجري العمليات الخاصة بالتجزئة وفقاً لنظام العدّ الثنائي، ثم تُنقل عناوين الأفضية الجزئية الناتجة إلى الصبغ المناسبة.

تخضع عملية التجزئة في الحالات كلّها للقواعد التالية:

- العلاقة بين عدد الأفضية الجزئية N_{sbnt} وطول معرف الفضاء الجزئي b_{SID} ، مقدراً بالبت، هي: ²¹⁹

$$N_{sbnt} = 2^{b_{SID}} \quad (3-4)$$

فمثلاً، إذا كان طول معرف الفضاء الجزئي هو 4 بتات، فإنّ عدد الأفضية الجزئية الناتجة سيكون $2^4=16$ فضاءً.

أمّا إذا كان عدد الأفضية الجزئية هو 25، فإنّ طول معرف الفضاء الجزئي المناسب سيكون 5 بتات. ²²⁰

²¹⁹ الأصل في حساب عدد الأفضية هو طرح 2 من عدد الأفضية الجزئية الإجمالي، ويعود السبب في ذلك إلى الفترة التي استُخدمت فيها بروتوكولات التوجيه الصنفيّة، أي تلك التي لا تُعلن عن أفضية الأفضية في رسائل التحديث، بل تعتمد على صنف العنوان لتحديد قناعه، ولم يكن بالإمكان حينها التمييز بين الفضاء الصنفي وأي فضاء آخر غير صنفي يتوافق معه في بنية العنوان ولكنّه يختلف عنه بالقناع، مثلاً 192.168.1.0/24 و192.168.1.0/26. بالإضافة لما سبق، فإنّ الفضاء الجزئي الأخير الذي نُج عن التجزئة يملك عنوان بتّ عامّ يُشابه في بنيته عنوان البتّ العام للفضاء الأصلي. لذلك كان هذان الفضاءان يُستثنيان دائماً من الاستعمال بعد عمليات التجزئة. يحلّ استعمال بروتوكولات توجيه غير صنفيّة، تُعلن عن الأفضية، هذه المشكلة.

²²⁰ يُستخدم اللوغاريتم ذو الأساس الثنائي لإنجاز الحساب، أي $\log_2(25) = 4.64$ ، ثم يُقرّب الناتج إلى العدد الصحيح التالي فيصبح 5.

- العلاقة (4-4) تربط بين عدد العناوين في الفضاء الجزئي N_{adrs} وطول مُعرِّف المضيف الجديد البالغ b'_{HID} بتاً:

$$N_{adrs} = 2^{b'_{HID}} \quad (4-4)$$

فمثلاً، إذا كان طول مُعرِّف المضيف هو 7 بتات، فإنَّ فضاء العناوين النَّاتج عن التَّجزئة سيَصمُّ: $128=2^7$ عنواناً. أمَّا إذا كان عدد العناوين المرعوبة في الفضاء هو 50، فإنَّ طول مُعرِّف المضيف المناسب سيَكُون 6 بتات.

- عدد العناوين التي تصلح لعنونة المضيفين ضمن فضاء عناوين الإصدار الرَّابع من بروتوكول الإنترنت $N_{address_{IPv4}}$ هو:

$$N_{adrs_{IPv4}} = N_{adrs} - 2 \quad (5-4)$$

والعنوانان المطروحيان هما عنوان الفضاء الجزئي وعنوان البثِّ العام، وهما العنوان الأصغر في الفضاء وأكبرها على الترتيب، ولا يُستعمل هذان العنوانان لعنونة المضيفين كما تقدّم.

طول قنّاع الأفضية الجزئية هو مجموع طول مُعرِّف الفضاء ومُعرِّف الفضاء الجزئي. لكتابة قنّاع الفضاء الجزئي، تُضبط مجموعة من بتات القنّاع إلى القيمة 1 بدءاً من الخانة الأكثر أهميّة، ويكُون عدد البتات المضبوطة مساوٍ لطول القنّاع، ثمَّ تُملأ سائر الخانات بالأصفار، ويحوّل العنوان إلى الصيغة المناسبة. يُمكن بعد ذلك إجراء الحسابات التالية لكلِّ فضاءٍ جزئيٍّ إجراءً منفصلاً:

- يُضبط مُعرِّف المضيف في العنوان إلى القيمة الصفرية لحساب عنوان فضاءٍ جزئيٍّ، أي تُضبط بتاته كلها إلى القيمة صفر، ثمَّ يحوّل العنوان إلى الصيغة المناسبة.
- يُضبط مُعرِّف المضيف في العنوان إلى القيمة الواحدة لحساب عنوان البثِّ العام، أي تُضبط بتاته كلها إلى القيمة 1، ثمَّ يحوّل العنوان إلى الصيغة المناسبة.
- أصغر عنوانٍ متاحٍ لعنونة المضيفين هو العنوان التالي للعنوان الأصغر في الفضاء.
- أكبر عنوانٍ متاحٍ لعنونة المضيفين هو العنوان السابق للعنوان الأكبر في الفضاء.
- مجال عناوين المضيفين هو مجموعة العناوين المحصورة بين العنوان الأصغر المتاح لعنونة المضيفين وأكبرها.

تُنقذ عملية تجزئة فضاء العناوين استجابةً لمتطلباتٍ مرتبطةٍ بالعنونة، ويُمكن تلخيصها بما يلي:

- الحاجة لعددٍ محدّدٍ من الأفضية الجزئية.
- الحاجة لحجمٍ محدّدٍ لفضاء العناوين الجزئي، أي الحاجة لعددٍ محدّدٍ من العناوين داخل الفضاء.
- الحاجة لعددٍ محدّدٍ من الأفضية الجزئية التي يكون لها حجمٌ محدّد.
- الحاجة لطولٍ محدّدٍ لقنّاع الفضاء الجزئي.

التجزئة من أجل عدد محدد من أفضية العناوين الجزئية

في هذه الحالة، يكون عدد أفضية العناوين الجزئية المطلوبة معلوماً، وليكن N_{spc} . إذا كانت العنونة صنفية، فإن صنف العنوان يكون معلوماً، أما إذا كانت العنونة غير صنفية، فإن طول البادئة هو الذي يكون معلوماً، وليكن b_{prefix} بتاً. أما طول عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت فهو 32 بتاً، وسيُرمز له في ما سيأتي باستعمال الاسم الرمزي b_{IPv4} .

خوارزمية العمل

انطلاقاً من الفرض، لحساب سائر مُحدّدات التّجزئة، تُتبع الخطوات التّالية:

1. حساب مجموع طول مُعرّف الفضاء الجزئي و طول مُعرّف المُضيف b_{SHID} من خلال ما يلي:

a. إذا كانت العنونة صنفية، يُحدّد عدد البتات المحجوزة b_r وطول مُعرّف الفضاء b_{NID} تبعاً لصنف العنوان، ولحساب مجموع طول مُعرّف الفضاء الجزئي و طول مُعرّف المُضيف تُستعمل العلاقة (6-4):

$$b_{SHID} = b_{IPv4} - (b_r + b_{NID}) \quad (6-4)$$

b. إذا كانت العنونة غير صنفية، تُستعمل العلاقة (7-4):

$$b_{SHID} = b_{IPv4} - b_{prefix} \quad (7-4)$$

2. حساب الطول الأدنى المقبول لمُعرّف الفضاء الجزئي $b_{SID_{min}}$ اعتماداً على عدد الأفضية الجزئية المطلوبة وفقاً للعلاقة:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2(N_{spc}) \rceil \quad (8-4)$$

3. تحديد الطول الأدنى المقبول لمُعرّف المُضيف $b_{HID_{min}}$ ، وهو بتان اثنان من أجل الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت،²²¹ ثم حساب الطول الأقصى المتاح لمُعرّف الفضاء الجزئي $b_{SID_{max}}$ تبعاً للعلاقة (9-4):

$$b_{SID_{max}} = b_{SHID} - b_{HID_{min}} \quad (9-4)$$

4. اختيار قيمة مناسبة لطول مُعرّف الفضاء الجزئي، تكون أكبر من الطول الأدنى لمُعرّف الفضاء الجزئي أو مساوية له وأصغر من طوله الأقصى أو مساوية له، أي:

²²¹ نظرياً، من الممكن اختيار طول مُعرّف المُضيف في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت ليكون مساوياً للقيمة 1، وسيُنتج عن ذلك أفضية جزئية تحتوي $2^1 = 2$ عنواناً فقط، يكون أحدهما هو عنوان الفضاء والآخر هو عنوان البت العام، ولا يبقى أي عنوان متاح لعنونة المُضيفين. لذلك، وعند تجزئة فضاء عناوين من الإصدار الرابع يُلزم التمييز بين عدد العناوين الإجمالي في الفضاء الجزئي الناتج، وعدد العناوين المتاحة للمُضيفين في الفضاء الجزئي الناتج، وهو أقل بعنواين من عدد العناوين الإجمالي.

$$b_{SID_{min}} \leq b_{SID} \leq b_{SID_{max}} \quad (10-4)$$

أَيُّ قِيَمَةٍ صَحِيحَةٍ تُحَقِّقُ الْمُتْرَاجِحَةَ السَّابِقَةَ سَتُنْتِجُ عَمَلِيَّةَ تَجْزِئَةٍ مُتَوَافِقَةٍ مَعَ الْفَرْضِ.
5. حِسَابُ طُولِ مُعَرَّفِ الْمُضَيِّفِ وَفَقاً لِلْعَلَاقَةِ (11-4):

$$b_{HID} = b_{SHID} - b_{SID} \quad (11-4)$$

6. كِتَابَةُ الْأَعْدَادِ الثَّنَائِيَّةِ بَدَأَ مِنَ الصَّفْرِ وَحَتَّى الْقِيَمَةَ الْكُبْرَى يَسْمَحُ بِهَا طُولُ مُعَرَّفِ الْفَضَاءِ الْجُزْئِيِّ، وَالَّتِي تُحَسَّبُ بِالْعَلَاقَةِ: $2^{b_{SID}}$ ، وَيَكُونُ عَدَدُ الْبِتَاتِ فِي الْقِيَمِ كُلِّهَا هُوَ b_{SID} بَتًّا.

7. تَشْكِيلُ عَنَاوِينِ الْأَفْضِيَّةِ الْجُزْئِيَّةِ، وَعَدَدُهَا N_{SPC} عُنَوَانًا، بِتَكَرَّارِ الْخَطَوَاتِ التَّالِيَةِ:

a. ضَمُّ إِحْدَى الْقِيَمِ الثَّنَائِيَّةِ الْمَحْسُوبَةِ فِي الْخَطْوَةِ السَّادِسَةِ إِلَى ظَرْفِ مُعَرَّفِ الْفَضَاءِ الْأَقْلَّ أَهْمِيَّةً، وَتَشْكِيلُ بَادِئَةِ الْفَضَاءِ الْجُزْئِيِّ.

b. تَشْكِيلُ مُعَرَّفِ مُضَيِّفٍ، وَضَبْطُهُ إِلَى الْقِيَمَةِ الصَّفْرِيَّةِ، أَيَّ جَعَلَ بَتَاتِهِ كُلِّهَا أَصْفَارًا.

c. ضَمُّ مُعَرَّفِ الْمُضَيِّفِ إِلَى ظَرْفِ بَادِئَةِ الْفَضَاءِ الْجُزْئِيِّ الْأَقْلَّ أَهْمِيَّةً.

d. نَقْلُ الْعُنْوَانِ إِلَى نِظَامِ الْعَدِّ الْمُنَاسِبِ.

8. حِسَابُ قِنَاعِ التَّجْزِئَةِ لِلْأَفْضِيَّةِ الْجُزْئِيَّةِ كُلِّهَا:

a. لِلْعُنُونَةِ الصَّنْفِيَّةِ: يُحَسَّبُ عَدَدُ الْبِتَاتِ ذَوَاتِ الْقِيَمَةِ الْوَاحِدِيَّةِ فِيهِ b_{msk} وَفَقاً لِلْعَلَاقَةِ (12-4):

$$b_{msk} = b_r + b_{NID} + b_{SID} \quad (12-4)$$

ثُمَّ تُضَبَّطُ سَائِرُ الْبِتَاتِ إِلَى الْقِيَمَةِ الصَّفْرِيَّةِ.

b. لِلْعُنُونَةِ غَيْرِ الصَّنْفِيَّةِ، يُحَسَّبُ عَدَدُ الْبِتَاتِ ذَوَاتِ الْقِيَمَةِ الْوَاحِدِيَّةِ وَفَقاً لِلْعَلَاقَةِ (13-4):

$$b_{msk} = b_{prfx} + b_{SID} \quad (13-4)$$

ثُمَّ تُضَبَّطُ سَائِرُ الْبِتَاتِ إِلَى الْقِيَمَةِ الصَّفْرِيَّةِ.

الْمِثَالُ الْأَوَّلُ

الْمَطْلُوبُ تَجْزِئَةُ الْفَضَاءِ الْقِيَاسِيِّ 150.150.0.0 إِلَى 6 أَفْضِيَّةٍ جُزْئِيَّةٍ.

1. الْعُنُونَةُ صَنْفِيَّةٌ وَالْقِنَاعُ الْقِيَاسِيُّ لِأَفْضِيَّةِ الصَّنْفِ B هُوَ 16 / وَعَدَدُ الْبِتَاتِ الْمَحْجُوزَةِ $b_r = 2$ وَطُولُ مُعَرَّفِ الْفَضَاءِ $b_{NID} = 14$. يَكُونُ مَجْمُوعُ طُولِ مُعَرَّفِ الْفَضَاءِ الْجُزْئِيِّ وَطُولِ مُعَرَّفِ الْمُضَيِّفِ، مُقَدَّرًا بِالْبِتِّ، وَفَقاً لِلْعَلَاقَةِ (6-4):

$$b_{SHID} = 32 - (2 + 14) = 16$$

2. حِسَابُ الطُّولِ الْأَدْنَى الْمَقْبُولِ لِمُعَرَّفِ الْفَضَاءِ الْجُزْئِيِّ، مُقَدَّرًا بِالْبِتِّ، وَفَقاً لِلْعَلَاقَةِ (8-4):

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2(6) \rceil = \lceil 2.58 \rceil = 3$$

3. حساب الطول الأقصى المقبول لمعرف الفضاء الجزئي، مقدراً بالبت، مع ضبط قيمة الطول الأدنى المقبول لمعرف المضيف إلى القيمة 2، وفقاً للعلاقة (4-9):

$$b_{SID_{max}} = 16 - 2 = 14$$

4. اختيار قيمة مناسبة لطول معرف الفضاء الجزئي تُحقق المتراجحة (4-10) أي: $3 \leq b_{SID} \leq 14$ ، أُختيرت القيمة الدنيا وهي $b_{SID} = 3$.

5. حساب طول معرف المضيف، مقدراً بالبت، وفقاً للعلاقة (4-11):

$$b_{HID} = 16 - 3 = 13$$

ويُبين الشكل (4-7) بنية عنوان الفضاء الجزئي الناتج.

عَدَد البتات	13	3	14	2
	مُعَرَّف المضيف		مُعَرَّف الفضاء	
	مُعَرَّف الفضاء الجزئي			بتات مَحجُوزة

الشكل (4-7): بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الأول في الفصل الرابع

6. عَدَد مُعرِّفات الأفضية الجزئية هو $2^3 = 8$ ، وهي مُبيَّنة بالجدول (4-7).

الجدول (4-7): مُعرِّفات الأفضية الجزئية في المثال الأول في الفصل الرابع

رَقْم المُعرِّف	قِيَمَةُ المُعرِّف	رَقْم المُعرِّف	قِيَمَةُ المُعرِّف
1	000	5	100
2	001	6	101
3	010	7	110
4	011	8	111

7. تشكيل عناوين الأفضية الجزئية تبعاً للجدول (4-8)، وفيه وُضعت مُعرِّفات الأفضية الجزئية بالخط الغليظ.

الجدول (4-8): عناوين الأفضية الجزئية في المثال الأول في الفصل الرابع

عنوان الفضاء الجزئي	قِيَمَةُ الخَانَةِ الأُولَى	قِيَمَةُ الخَانَةِ الثَّانِيَةِ	قِيَمَةُ الخَانَةِ الثَّلَاثَةِ	قِيَمَةُ الخَانَةِ الرَّابِعَةِ
	(بِنِظَام العَدِّ العَشْرِيّ)		(بِنِظَام العَدِّ الثَّنَائِيّ)	
150.150.0.0	150	150	0000 0000	0000 0000
150.150.32.0			0010 0000	
150.150.64.0			0100 0000	
150.150.96.0			0110 0000	
150.150.128.0			1000 0000	
150.150.160.0			1010 0000	
150.150.192.0			1100 0000	
150.150.224.0			1110 0000	

8. حساب عدد الوحدات في فناء التجزئة وفقاً للعلاقة (4-12):

$$b_{msk} = 2 + 14 + 3 = 19$$

أي أن فناء الأفضية الجزئية هو 19/ أو 255.255.224.0.

يُمكن أيضاً حساب العنوان الأول الصّالح لعنونة المُضيفين والعنوان الأخير الصّالح وعنوان البثّ العامّ لكلّ فضاءٍ جزئيّ، ويُبيّن الجدول (4-9) هذه الحسابات.

الجدول (4-9): حسابات العنوان الأول الصّالح والعنوان الأخير الصّالح لعنونة المُضيفين وعنوان البثّ العامّ للأفضية الجزئية في المثال الأول في الفصل الرَّابِع

عنوان البثّ العامّ	العنوان الأخير الصّالح لعنونة المُضيفين	العنوان الأول الصّالح لعنونة المُضيفين	عنوان الفضاء الجزئيّ
150.150.31.255	150.150.31.254	150.150.0.1	150.150.0.0
150.150.63.255	150.150.63.254	150.150.32.1	150.150.32.0
150.150.95.255	150.150.95.254	150.150.64.1	150.150.64.0
150.150.127.255	150.150.127.254	150.150.96.1	150.150.96.0
150.10.159.255	150.10.159.254	150.150.128.1	150.150.128.0
150.150.191.255	150.150.191.254	150.10.160.1	150.150.160.0
150.150.223.255	150.150.223.254	150.150.192.1	150.150.192.0
150.150.255.255	150.150.255.254	150.150.224.1	150.150.224.0

التجزئة من أجل حجم محدّد لفضاء العنونة الجزئية

في هذه الحالة، يكون حجم فضاء العناوين الجزئيّ المطلوب معلوماً، وليكن N_{adrs} عنواناً.

خوارزمية التجزئة

انطلاقاً من الفرض، تُتبع الخطوات التالية لحساب سائر مُحدّدات التجزئة:

1. حساب مجموع طول مُعرّف الفضاء الجزئيّ ومُعرّف المُضيف b_{SHID} وفقاً للعلاقتين (4-6) و(4-7).
2. حساب الطول الأدنى المقبول لمُعرّف المُضيف $b_{HID_{min}}$ اعتماداً على حجم الفضاء الجزئيّ المطلوب، وفقاً للعلاقة (4-14):

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(N_{adrs} + 2) \rceil \quad (14-4)$$

أضيف عنوانان إلى عدد عناوين المُضيفين المطلوب، وهما عنوان الفضاء وعنوان البثّ العامّ، ودُكر سبب ذلك في ما سبق.

3. تحديد الطول الأدنى المقبول لمُعرّف الفضاء الجزئيّ $b_{SID_{min}}$ ، وهو بثّ واحد من أجل الإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت، ويعني ذلك تجزئة الفضاء الكليّ إلى $2^1 = 2$ فضاءً فقط. نُمّ حساب الطول الأقصى المُتاح لمُعرّف المُضيف وفقاً للعلاقة (4-15):

$$b_{HID_{max}} = b_{SHID} - b_{SID_{min}} \quad (15-4)$$

4. اختيار قيمة مناسبة لطول مُعرّف المُضيف تكون أكبر من الطول الأدنى لمُعرّف المُضيف أو مُساوية له وأصغر من الطول الأقصى أو مُساوية له، أي:

$$b_{HID_{min}} \leq b_{HID} \leq b_{HID_{max}} \quad (16-4)$$

5. حساب طول مُعرّف الفضاء الجُزئي وفقاً للعلاقة (17-4):

$$b_{SID} = b_{SHID} - b_{HID} \quad (17-4)$$

6. كتابة الأعداد الثنائية بدءاً من الصفر وحتى القيمة الكبرى التي يَسمح بها طول مُعرّف الفضاء الجُزئي، والتي تُحسب بالعلاقة: $2^{b_{SID}}$ ، ويكون عدد البتات في كلٍّ منها b_{SID} بتاً.

7. تشكيل عناوين الأفضية الجُزئية، وعددها $2^{b_{SID}}$ عنواناً، بتكرار الخطوات التالية:

a. ضمُّ إحدى القيم الثنائية المحسوبة في الخطوة السادسة إلى طرف مُعرّف الفضاء الأقل أهميةً، وتشكيل بادئة الفضاء الجُزئي.

b. تشكيل مُعرّف مُضيف، وضبطه إلى القيمة الصفرية، أي جعل بتاته كلها أصفاراً.

c. ضمُّ مُعرّف المُضيف إلى طرف بادئة الفضاء الجُزئي الأقل أهميةً.

d. نقلُ العنوان إلى نظام العدّ المناسب.

8. حساب قناع التجزئة:

a. من أجل العنونة الصنفيّة، تُستعمل العلاقة (12-4) وما يليها.

b. من أجل العنونة غير الصنفيّة تُستعمل العلاقة (13-4) وما يليها.

المثال الثاني

المطلوب تجزئة الفضاء القياسي 200.100.10.0 إلى عددٍ من الأفضية الجُزئية في كلٍّ منها 50 عنواناً.

1. العنونة صنفيّة والقناع القياسي لأفضية الصنف C هو 24/ وعَدَد البتات المحجوزة $b_r = 3$ وطول مُعرّف

الفضاء $b_{NID} = 21$. يكون مجموع طول مُعرّف الفضاء الجُزئي وطول مُعرّف المُضيف، مُقدراً بالبت، وفقاً للعلاقة (6-4) هو:

$$b_{SHID} = 32 - (3 + 21) = 8$$

2. حساب الطول الأدنى المقبول لمُعرّف المُضيف مُقدراً بالبت وفقاً للعلاقة (14-4):

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(50 + 2) \rceil = \lceil 5.7 \rceil = 6$$

3. حساب الطول الأقصى المُتاح لمُعرّف المُضيف مُقدراً بالبت، مع ضبط قيمة الطول الأدنى المقبول لمُعرّف

الفضاء الجُزئي إلى القيمة 1، وفقاً للعلاقة (15-4):

$$b_{HID_{max}} = 8 - 1 = 7$$

4. اختيار قيمة مناسبة لِطول مُعرِّف المُضيف تُحَقِّق المُتراجحة (16-4) أي: $6 \leq b_{HID} \leq 7$ ، وأختيرت القيمة الدُّنيا وهي $b_{HID} = 6$.

5. حساب طول مُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ، مُقدَّراً بالبِت، وَفَقاً لِلعلاقة (17-4):

$$b_{SID} = 8 - 6 = 2$$

وَيُبين الشَّكل (8-4) بنية عُنوان الفضاء الجُزئيِّ النَّاتِج.

3	21	2	6	عَدَد البتات
	مُعرِّف الفضاء		مُعرِّف المُضيف	
مُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ				
بتات مَحجُوزة				

الشَّكل (8-4): بنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن بروتوكول الإنترنت النَّاتِج في المِثال الثَّاني في الفصل الرَّابِع

6. عَدَد مُعرِّفات الأفضية الجُزئيَّة هُو $4 = 2^2$ ، وهي مُبَيَّنة بِالجدول (10-4).

الجدول (10-4): مُعرِّفات الأفضية الجُزئيَّة في المِثال الثَّاني في الفصل الرَّابِع

رَقْم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	00
2	01
3	10
4	11

7. تشكيل عناوين الأفضية الجُزئيَّة تَبَعاً لِلجدول (11-4)، وفيه وُضِعَت مُعرِّفات الأفضية الجُزئيَّة بِالخطِّ الغليظ في الخانة الرَّابِعة.

الجدول (11-4): عناوين الأفضية الجُزئيَّة في المِثال الثَّاني في الفصل الرَّابِع

عُنوان الفضاء الجُزئيِّ	قيمة الخانة الأولى	قيمة الخانة الثَّانية	قيمة الخانة الثَّالثة	قيمة الخانة الرَّابِعة (بِنِظام العَدِّ الثُّنائيِّ)
	بِنِظام العَدِّ العَشريِّ			
200.100.10.0	200	100	10	0000 0000
200.100.10.64				0100 0000
200.100.10.128				1000 0000
200.100.10.192				1100 0000

8. حساب عَدَد الوحدان في فِناع التَّجزئة وَفَقاً لِلعلاقة (11-4):

$$b_{mask} = 3 + 21 + 2 = 26$$

أي أنَّ فِناع الأفضية الجُزئيَّة هُو $26/$ أو $255.255.255.192$.

يُمكن أيضاً حساب العُنوان الأوّل الصّالح لعنونة المُضيفين والعُنوان الأخير الصّالح وعُنوان البثّ العامّ لكلّ فضاءٍ جُزئيّ، ويُبيّن الجدول (4-12) هذه الحسابات.

الجدول (4-12): حسابات أوّل عُنوانٍ وآخر عُنوانٍ صالحين لعنونة المُضيفين وعُنوان البثّ العامّ للأفضية الجُزئية في المثال التّالي في الفصل الرابع

عُنوان البثّ العامّ	العُنوان الأخير الصّالح لعنونة المُضيفين	العُنوان الأوّل الصّالح لعنونة المُضيفين	عُنوان الفضاء الجُزئيّ
200.100.10.63	200.100.10.62	200.100.10.1	200.100.10.0
200.100.10.127	200.100.10.126	200.100.10.65	200.100.10.64
200.100.10.191	200.100.10.190	200.100.10.129	200.100.10.128
200.100.10.255	200.100.10.254	200.100.10.193	200.100.10.192

التّجزئة من أجل عدّد مُحدّدٍ من أفضية العناوين الجُزئية مُحدّدة الحجم

يكون حجم فضاء العناوين الجُزئيّ المطلوب، وليكن N_{adrs} عُنواناً، وعدّد أفضية العنونة المطلوبة، وليكن N_{space} فضاءً، معلّومين في هذه الحالة.

انطلاقاً من الفرض، لحساب سائر مُحدّدات التّجزئة، تُتبع الخطوات التّالية:

1. حساب مجموع طول مُعرّف الفضاء الجُزئيّ وطول مُعرّف المُضيف b_{SHID} وفقاً للعلاقتين (4-6) و(4-7).
2. حساب الطول الأدنى المقبول لمُعرّف الفضاء الجُزئيّ اعتماداً على عدّد الأفضية المطلوب، وفقاً للعلاقة (4-8).
3. حساب الطول الأدنى المقبول لمُعرّف المُضيف اعتماداً على حجم الأفضية المطلوب، تبعاً للعلاقة (4-14).
4. تحديد الطول الأقصى المقبول لمُعرّف الفضاء الجُزئيّ، تبعاً للعلاقة (4-9).
5. فحص الشرط:

$$b_{SID_{max}} \geq b_{SID_{min}} \quad (18-4)$$

فإذا لم يكن مُحققاً، فإنّ عمليّة التّجزئة غير مُمكنة رياضياً.

6. اختيار قيمة مناسبة لطول مُعرّف الفضاء الجُزئيّ مُتوافقة مع العلاقة (4-10).
7. حساب طول مُعرّف المُضيف وفقاً للعلاقة (4-11).
8. كتابة الأعداد الثنائية بدءاً من الصّفر وحتى القيمة الكبرى التي يسمّح بها طول مُعرّف الفضاء الجُزئيّ، المحسوبة بالعلاقة: $2^{b_{SID}}$ ، ويكون عدّد البتات في القيم كلّها هو b_{SID} بتاً.
9. تشكيل عناوين الأفضية الجُزئية، وعددها N_{spc} عُنواناً، بتكرار الخطوات التّالية:
 - a. ضمّ إحدى القيم الثنائية المحسوبة في الخطوة الثامنة إلى طرف مُعرّف الفضاء الأقلّ أهميّةً، وتشكيل بادئة الفضاء الجُزئيّ.
 - b. تشكيل مُعرّف مُضيف، وضبطه إلى القيمة الصّفرية، أي جعل بتاته كلّها أصفاراً.
 - c. ضمّ مُعرّف المُضيف إلى طرف بادئة الفضاء الجُزئيّ الأقلّ أهميّةً.
 - d. نقل العُنوان إلى نظام العدّ المناسب.

10. حساب قِناع التَّجزئة وَيَكُون طُوله مُساوياً لِطُول بِادئَة الفضاء الجُزئيِّ، أي أَنَّهُ يَحْتَوِي عَدَدًا مِنَ الوِحدان يُساوي مَجْمُوع طُول مُعرِّف الفضاء وطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئيِّ. تَشغل الوِحدان عَدَدًا مِنَ البِتات المُتتابعَة في القِناع بدءاً مِنَ المَرْتبَة الأَكثَر أَهمِّيَّةً فيه وبطُول مُساوٍ لِقيمتِه العَدديَّة في تمثيل البادئَة، وتَكُون قِيمة سائر البِتات في القِناع صِفريَّةً.

المِثال الثَّالِث

المطلوب تجزئة الفضاء القياسي 10.0.0.0 إلى 100 فضاء على الأقل في كلٍّ منها 1000 عنوان على الأقل.

1. العنونة صنفية والقناع القياسي لأفضية الصنف A هو 8/، وعدد البتات المحجوزة $b_r = 1$ ، وطول معرف الفضاء $b_{NID} = 7$. يكون مجموع طول معرف الفضاء الجزئي وطول معرف المضيف، مقدراً بالبت، وفقاً للعلاقة (6-4):

$$b_{SHID} = 32 - (1 + 7) = 24$$

2. حساب الطول الأدنى المقبول لمعرف الفضاء الجزئي وفقاً للعلاقة (8-4):

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2(100) \rceil = \lceil 6.64 \rceil = 7$$

3. حساب الطول الأدنى المقبول لمعرف المضيف، مقدراً بالبت، وفقاً للعلاقة (14-4):

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(1000 + 2) \rceil = \lceil 9.96 \rceil = 10$$

4. تحديد الطول الأقصى المقبول لمعرف الفضاء الجزئي، مقدراً بالبت، تبعاً للعلاقة (9-4):

$$b_{SID_{max}} = 24 - 10 = 14$$

5. فحص الشرط المحدد بالعلاقة (18-4):

$$14 \geq 10$$

الشرط محقق، وهذه التجزئة ممكنة.

6. اختيار قيمة مناسبة لطول معرف الفضاء الجزئي متوافقة مع المتراجحة المحددة بالعلاقة (9-4):

$$7 \leq b_{SID} \leq 14 \text{، وأختيرت القيمة } b_{SID} = 10.$$

7. حساب طول معرف المضيف تبعاً للعلاقة (10-4):

$$b_{HID} = 24 - 10 = 14$$

ويبين الشكل (9-4) بنية عنوان الفضاء الجزئي الناتج.

8. عدد معرفات الأفضية الجزئية هو $2^{10} = 1024$ وبعضها مبين بالجدول (13-4).

9. تشكيل عناوين الأفضية الجزئية وفقاً للجدول (14-4)، وفيه وضعت معرفات الأفضية الجزئية بالخط الغليظ في الخانة الثانية والثالثة.

الجدول (4-13): مُعرِّفات الأفضية الجزيئية في المِثال الثالث في الفصل الرابع

رقم المُعرِّف	قيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قيمة المُعرِّف
1	0000 0000 00	1020	1111 1110 11
2	0000 0000 01	1021	1111 1111 00
3	0000 0000 10	1022	1111 1111 01
4	0000 0000 11	1023	1111 1111 10
5	0000 0001 00	1024	1111 1111 11

الجدول (4-14): عناوين الأفضية الجزيئية في المِثال الثالث في الفصل الرابع

عنوان الفضاء الجزيئي	قيمة الخانة الأولى	قيمة الخانة الثانية	قيمة الخانة الثالثة	قيمة الخانة الرابعة
	(بنظام العدِّ العشري)	(بنظام العدِّ الثنائي)		(بنظام العدِّ العشري)
10.0.0.0	10	0000 0000	0000 0000	0
10.0.64.0		0000 0000	0100 0000	
10.0.128.0		0000 0000	1000 0000	
10.0.192.0		0000 0000	1100 0000	
10.0.1.0		0000 0001	0000 0000	
⋮		⋮	⋮	
10.254.128.0		1111 1110	1000 0000	
10.254.192.0		1111 1110	1100 0000	
10.255.255.0		1111 1111	0000 0000	
10.255.64.0		1111 1111	0100 0000	
10.255.128.0		1111 1111	1000 0000	
10.255.192.0		1111 1111	1100 0000	

10. حساب عدد الوحدات في قناع التجزئة وفقاً للعلاقة (4-12):

$$b_{mask} = 1 + 7 + 10 = 18$$

أي أن قناع الأفضية الجزيئية هو 18/ أو 255.255.192.0.

1	7	10	14	عدد البتات
مُعرِّف الفضاء	مُعرِّف الفضاء الجزيئي	مُعرِّف المضيف		

بتات
محجوزة

الشكل (4-9): بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المِثال الثالث في الفصل الرابع

المِثال الرابع

المطلوب تجزئة الفضاء 100.100.10.0/26 إلى فضاءين على الأقل في كلٍّ منهما 50 عنواناً.

1. العنونة غير صنفية، طول البادئة هو 26 بتاً، ويُحسب مجموع طول مُعرِّف الفضاء الجزيئي وطول مُعرِّف

المضيف، مُقدراً بالبت، وفقاً للعلاقة (4-7):

$$b_{SHID} = 32 - 26 = 6$$

2. حساب الطول الأدنى المقبول لمُعَرِّف الفضاء الجُزئيّ تَبَعاً لِلعَلاقة (8-4):

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2(2) \rceil = 1$$

3. حساب الطول الأدنى المقبول لمُعَرِّف المُضيف، مُقدَّراً بِالِبت، وَفَقاً لِلعَلاقة (14-4):

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(50 + 2) \rceil = \lceil 5.7 \rceil = 6$$

4. تحديد الطول الأقصى المقبول لمُعَرِّف الفضاء الجُزئيّ، مُقدَّراً بِالِبت، وَفَقاً لِلعَلاقة (9-4):

$$b_{SID_{max}} = 6 - 6 = 0$$

5. فحص الشَّرط المُحدَّد بِالعَلاقة (18-4):

$$0 \geq 1$$

وهو غير مُحَقَّق، وهذا يعني أن إنجاز التَّجزئة وَفَقاً لِهَذِهِ الشُّروط غير مُمكن.

التَّجزئة من أجل قِناع ذي طُول مُحدَّد

يَكُون عَدَد الوُحَدان في قِناع الأفضية الجُزئية b_{msk} معلوماً في هذه الحالة. إذا كانت العنونة صَنفِيَّة، فإنَّ صَنف العُنوان يَكُون معلوماً، أمَّا في حال كانت العنونة غير صَنفِيَّة، فإنَّ طُول البادئة وَلِيكُن b_{prfx} بتاً، يَكُون معلوماً.

انطلاقاً من الفرض، لِحساب سائر مُحدِّدات التَّجزئة، تُتَّبَع الخَطوات التَّالِيَّة:

1. حساب مَجْمُوع طُول مُعَرِّف الفضاء الجُزئيّ وَطُول مُعَرِّف المُضيف b_{SHID} وَفَقاً لِمَا يَلي:

a. إذا كانت العنونة صَنفِيَّة، وَفَقاً لِلعَلاقة (6-4).

b. إذا كانت العنونة غير صَنفِيَّة، وَفَقاً لِلعَلاقة (7-4).

2. حساب طُول مُعَرِّف الفضاء الجُزئيّ b_{SID} وَفَقاً لِمَا يَلي:

a. إذا كانت العنونة صَنفِيَّة، وَفَقاً لِلعَلاقة:

$$b_{SID} = b_{msk} - (b_r + b_{NID}) \quad (19-4)$$

b. إذا كانت العنونة غير صَنفِيَّة، وَفَقاً لِلعَلاقة:

$$b_{SID} = b_{msk} - b_{prfx} \quad (20-4)$$

3. حساب طُول مُعَرِّف المُضيف وَفَقاً لِلعَلاقة (11-4).

4. كِتَابَةِ الأَعْداد الثَّنَائِيَّة بِدءاً مِنَ الصَّفَر وَحَتَّى القِيَمَةُ الكُبْرَى الَّتِي يَسْمَح بِهَا طُول مُعَرِّف الفضاء الجُزئيّ، وَالمَحسُوبَةُ

بِالعَلاقة: $2^{b_{SID}}$ ، وَيَكُون عَدَد البِتات في القِيم كُلِّها b_{SID} بتاً.

5. تشكيل عناوين الأفضية الجزئية، بتكرار الخطوات التالية:

- a. ضمُّ إحدى القيم الثنائية المحسوبة في الخطوة الرابعة إلى طرف مُعرِّف الفضاء الأقلَّ أهمِّيَّةً، وتشكيل بادئة الفضاء الجزئي.
- b. تشكيل مُعرِّف مُضيفٍ، وضبطه إلى القيمة الصِّفرية، أي جعل بتاته كُلُّها أصفاراً.
- c. ضمُّ مُعرِّف المُضيف إلى طرف بادئة الفضاء الجزئي الأقلَّ أهمِّيَّةً.
- d. نقل العنوان إلى نظام العدِّ المناسب.

المثال الخامس

تجزئة الفضاء القياسي 200.200.10.0 وفقاً للقناع /26.

1. العنونة صنفية، والقناع القياسي لأفضية الصنف C هو /24، وعدد البتات المحجوزة $b_r = 3$ ، وطول مُعرِّف الفضاء $b_{NID} = 21$. يكون مجموع طول مُعرِّف الفضاء الجزئي وطول مُعرِّف المُضيف مُقدراً بالبت وفقاً للعلاقة (4-6):

$$b_{SHID} = 32 - (3 + 21) = 8$$

2. حساب طول مُعرِّف الفضاء الجزئي وفقاً للعلاقة (4-19):

$$b_{SID} = 26 - (3 + 21) = 2$$

3. حساب طول مُعرِّف المُضيف تبعاً للعلاقة (4-11):

$$b_{HID} = 8 - 2 = 6$$

ويُبين الشكل (4-10) بنية عنوان الفضاء الجزئي الناتج.

4. عدد مُعرِّفات الأفضية الجزئية هو $2^2 = 4$ وقيمتها هي $(00)_2$ و $(01)_2$ و $(10)_2$ و $(11)_2$ على الترتيب تبعاً للجدول (4-10).

عَدَد البتات		6	2	21	3
		مُعرِّف المُضيف		مُعرِّف الفضاء	
		مُعرِّف الفضاء الجزئي			بتات محجوزة

الشكل (4-10): بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الخامس في الفصل الرابع

5. تشكيل عناوين الأفضية الجزئية تبعاً للجدول (4-15)، وفيه وُضعت مُعرِّفات الأفضية الجزئية بالخط الغليظ في الخانة الرابعة.

الجدول (15-4): عناوين الأفضية الجُزئية في المثال الخامس في الفصل الرَّابِع

عنوان الفضاء الجُزئي	قيمة الخانة الأولى	قيمة الخانة الثانية	قيمة الخانة الثالثة	قيمة الخانة الرَّابِعة (بنظام العدِّ الثُّنائي)
	(بنظام العدِّ العشري)			
200.200.10.0	200	200	10	0000 0000
200.200.10.64				0100 0000
200.200.10.128				1000 0000
200.200.10.192				1100 0000

المثال السَّادِس

تجزئة الفضاء 50.50.10.0/23 وفقاً للقناع /25.

1. العنونة غير صنفية، وطول البادئة هو $b_{prefix} = 23$ وطول قناع التَّجزئة $b_{mask} = 25$ ، يكون مجموع طول مُعرِّف الفضاء الجُزئي وطول مُعرِّف المُضيف، مُقدَّراً بالبت، تبعاً للعلاقة (4-7) هو:

$$b_{SHID} = 32 - 23 = 9$$

2. حساب طول مُعرِّف الفضاء الجُزئي وفقاً للعلاقة (4-20):

$$b_{SID} = 25 - 23 = 2$$

3. حساب طول مُعرِّف المُضيف تبعاً للعلاقة (4-11):

$$b_{HID} = 9 - 3 = 7$$

ويُبين الشكل (4-11) بنية عنوان الفضاء الجُزئي النَّاتج.

4. عدَد مُعرِّفات الأفضية الجُزئية هو $2^2 = 4$ وقيمها هي $(00)_2$ و $(01)_2$ و $(10)_2$ و $(11)_2$ على التَّرتيب تبعاً للجدول (4-10).

23	2	7	عَدَد البتات
بادئة الفضاء	مُعرِّف المُضيف		

مُعرِّف الفضاء الجُزئي

الشكل (4-11): بنية عنوان الإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت النَّاتج في المثال السَّادِس في الفصل الرَّابِع

5. تشكيل عناوين الأفضية الجُزئية تبعاً للجدول (4-16)، وفيه وُضعت مُعرِّفات الأفضية الجُزئية بالخطِّ الغليظ في الخانتين الثالثة والرَّابِعة.

الجدول (4-16): عناوين الأفضية الجزئية في المثال السادس في الفصل الرابع

عنوان الفضاء الجزئي	قيمة الخانة الأولى	قيمة الخانة الثانية	قيمة الخانة الثالثة	قيمة الخانة الرابعة
	بنظام العد العشري		بنظام العد الثنائي	
50.50.10.0	50	50	0000 1010	0000 0000
50.50.10.128			0000 1010	1000 0000
200.200.11.0			0000 1011	0000 0000
200.200.11.128			0000 1011	1000 0000

التجزئة متعددة المستويات²²² واستعمال أقنعة الأفضية الجزئية مختلفة الأطوال²²³

التجزئة متعددة المستويات هي تقسيم فضاء عناوين أكثر من مرة تقسيماً متتابعاً لإنتاج أفضية عناوين جزئية ذات أحجام مختلفة. يُجزأ الفضاء في المستوى الأول إلى عددٍ من الأفضية الجزئية، وقد يُجزأ بعض من هذه الأفضية في مستوى ثانٍ ثم ثالثٍ أو أكثر بمقتضى الحاجة. يتطلب استخدام التجزئة المتعددة تخطيطاً لعنونة الشبكة ومهارات رياضية لإنجازها، ويتيح عند استخدامه استخداماً سليماً لخيارات أكثر مرونة من التجزئة الموصوفة في الفقرات السابقة في هذه الفصل والتي تُوصف بأنها وحيدة المستوى.²²⁴

يمكن استخدام التجزئة المتعددة مع فضاء عناوين قياسيٍ أو مع بادئة غير قياسية. في الأولى، ستنتج أفضية جزئية مختلفة الأحجام يكون لها أقنعة شبكات جزئية مختلفة الأطوال، ويستخدم هذا الاصطلاح عادةً للإشارة إلى استعمال أفضية جزئية ذات أطوال أقنعة مختلفة ناتجة عن التجزئة المتعددة لفضاءٍ واحدٍ من صنف قياسيٍ، ولأنَّ أطوال الأقنعة متفاوتة، فإنَّ للأفضية الجزئية أحجاماً مختلفة.

على سبيل المثال، يُبين الشكل (4-12) استخداماً لأقنعة الأفضية الجزئية مختلفة الأطوال الناتجة عن تجزئة الفضاء القياسي 200.100.10.0 من الصنف C.²²⁵

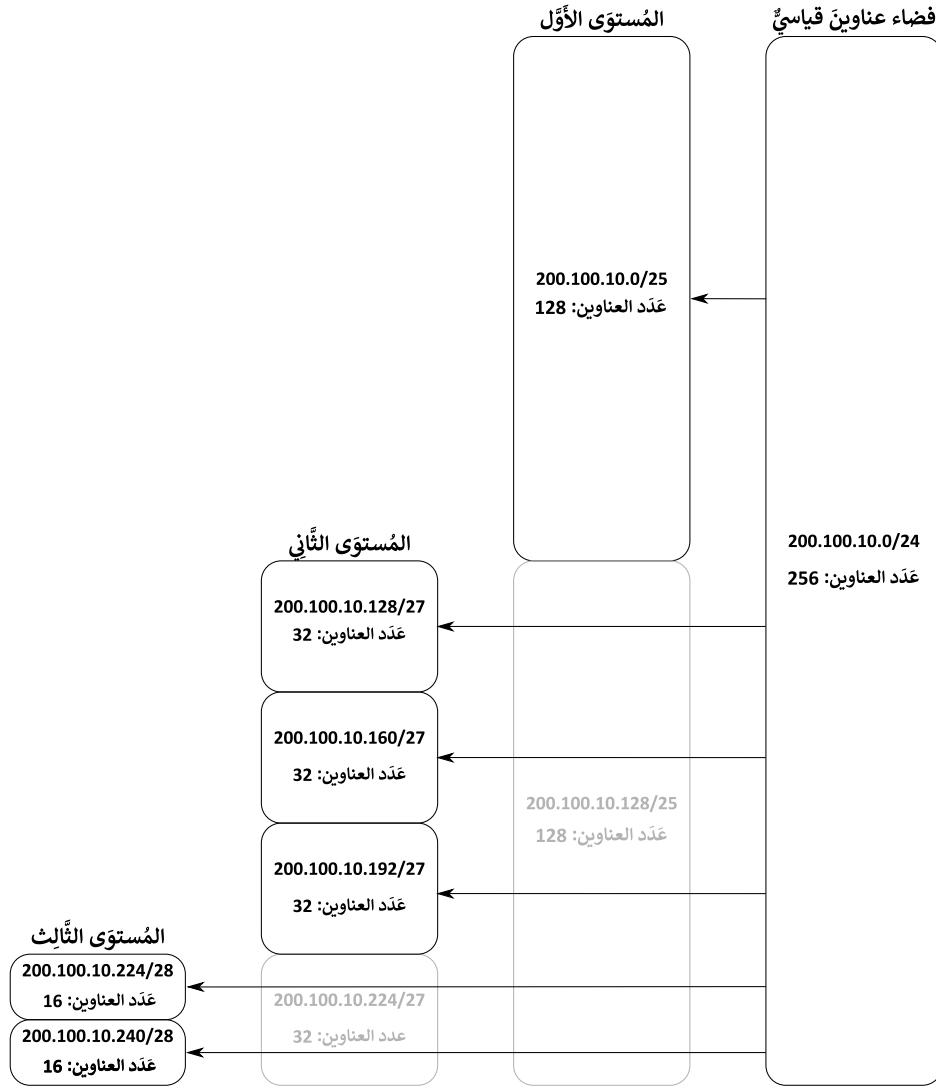
- في المستوى الأول من التجزئة يُجزأ الفضاء القياسي إلى فضاءين جزئيين، هما: 200.100.10.0/25 و 200.100.10.128/25، يحوي كلُّ منهما 128 عنواناً.
- في المستوى الثاني من التجزئة، يُجزأ الفضاء 200.100.10.128/25 إلى 4 أفضية جزئية، هي 200.100.10.128/27 و 200.100.10.160/27 و 200.100.10.192/27 و 200.100.10.224/27، في كلِّ منها 32 عنواناً.
- في المستوى الثالث من التجزئة، يُجزأ الفضاء 200.100.10.224/27 إلى فضاءين جزئيين، هما 200.100.10.224/28 و 200.100.10.240/28، في كلِّ منهما 16 عنواناً.

²²² أصل الاسم Multilevel subnetting.

²²³ أصل الاسم Variable Length Subnet Mask، اختصاراً VLSM.

²²⁴ أصل الاسم Single-level subnetting.

²²⁵ انظر ص. 5-6 في [RFC1878] في ثبت المراجع.



الشكل (4-12): مثال عن تجزئة مُتعدِّدة لفضاء عناوين قياسي من الصنف C وتوليد أقنعة شبكات جُزئية مُختلفة الأطوال

يُمكن، بعد إنجاز التَّجزئة، استعمال أفضية عناوين جُزئية من مُستويات مُختلفة بشرط الانتباه إلى عدم تراكُّبها، مثلاً يُمكن استعمال الفضاء 200.100.10.0/25 من المُستوى الأوَّل مع الفضاءين 200.100.10.128/27 و200.100.10.160/27 من المُستوى الثاني والفضاء 200.100.10.224/28 من المُستوى الثالث.²²⁶

يلزم الانتباه عند استعمال الأفضية الجُزئية النَّاتجة عن التَّجزئة السَّابقة مُتعدِّدة المُستويات إلى دور القناع في تحديد المُستوى الَّذي يقع الفضاء الجُزئيُّ فيه، فلا يكفي عنوان الفضاء وحده لتحديده. في المثال السَّابق، فالفضاء ذو العنوان 200.100.10.224 قد يكوِّن في المُستوى الثاني، لو كان قناعه /27، أو في المُستوى الثالث، لو كان قناعه /28.

يَنبُج عن استعمال الأقنعة مُختلفة الأطوال زيادةً في عدَد الأفضية الجُزئية، ويُسبِّب ذلك زيادةً في أحجام جداول التَّوجيه في المُوجِّهات، لأنَّ بَدأً جديداً سيُضاف إلى الجدول من أجل كلِّ فضاءٍ جُزئيٍّ.

²²⁶ لمزيد من الأمثلة عن استعمال أقنعة الأفضية الجُزئية مُختلفة الأطوال، انظر المُلحق د في هذا الكتاب.

مُشكلات مُرتبطة بالتجزئة

مُشكلات مُرتبطة بالعنونة

تراكِب أفضية العناوين

هُو مُشكلةٌ تُنجم عن تجزئة فضاء عناوين ما تجزئته غير صحيحة فيكون بعض من فضاء العناوين الأصلي مشتركاً بين فضاءين جُزئيين أو أكثر، ويُسبب ذلك مُشكلةً عند التوجيه، فلا يُمكن للزرم بلوغ مجموعة واحدة أو أكثر من الأفضية المُترابكة.

سبق تناول هذه المُشكلة في الفصل الثالث، عند الحديث عن مُشكلات بروتوكول الإنترنت المُرتبطة بالعنونة. ولكنها شائعةٌ أيضاً عند استعمال أفضية الجُزئية مُختلفة الأطوال. على سبيل المثال، وفقاً للشكل (4-12)، يحصل تراكِب عناوين بين الأفضية الناتجة عن استخدام أقنعة شبكات جُزئية مُختلفة الأطوال لو أُستعمل:

- الفضاء 200.100.10.0/24 مع أيّ فضاء جُزئيّ في أيّ مستوى تجزئة لاحق، فهذه الأفضية كلها أجزاء منه، ونتيجة لذلك فهي تشترك معه بمجموعة من العناوين.
- الفضاء 200.100.10.128/25 مع أيّ من الأفضية الجُزئية 200.100.10.128/27 و200.100.10.160/27 و200.100.10.192/27
- الفضاءان 200.100.10.224/27 و200.100.10.224/28.

يُمكن استخدام فضاء العناوين نفسه أو جزء منه أكثر من مرّة في الشبكة ذاتها باستعمال تقنية ترجمة عنوان الفضاء التي ستُدرّس في الفصل التاسع من هذا الكتاب، وعادةً ما تُستخدم أفضية العناوين الخاصّة²²⁷ عند تطبيقها.

هدر العناوين في الأفضية الجُزئية الصّغيرة

تحتاج بعض من بروتوكولات طبقة الوصلة، نحو بروتوكول الوصل بين نقطتين،²²⁸ إلى أفضية عناوين جُزئية بالغة الصّغر، تحتوي على عناوين فقط، لكنّ تجزئة أيّ فضاء عناوين للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت محدودة بطول أصغر لمُعريف المُضيف هو بتان اثنان، ويعني ذلك وجود أربعة عناوين في الفضاء الجُزئيّ الناتج، يكون اثنان منها محجوزين لعنوان الفضاء ولعنوان البثّ العامّ، ويظلّ عنوانان متاحين لعنونة المُضيفين. إذا جُزئ الفضاء ليكون طول مُعريف المُضيف بتاً واحداً فقط، فإنّ فضاء الفضاء سيكون 31/، وعدد عناوين الفضاء اثنان فقط، وهما محجوزان سلفاً لعنوان الفضاء ولعنوان البثّ العامّ، أي لا يوجد أيّ عنوان متاح لعنونة المُضيفين.

يعني التّقسيم السّابق هدر ما نسبته 50% تقريباً من عدد العناوين المُتاحة للمُضيفين لإنجاز قضايا تتعلّق بالتوجيه. فلو جُزئ مثلاً فضاء عناوين قياسي من الصّنف C وفقاً للقناع 30/، فسيُنتج 64 فضاء جُزئياً في كلّ منها 4 عناوين، اثنان منها

²²⁷ أصل الاسم Private address space وهي ثلاثة أفضية محجوزة في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت: 10.0.0.0/8 و172.168.0.0/12 و192.168.0.0/16، انظر ص. 4 في [RFC1918] في تَبت المراجع.

²²⁸ أصل الاسم Point-to-Point Protocol، اختصاراً PPP، انظر [RFC1661] في تَبت المراجع.

فقط متاحان للعنونة، أي ما مجمله 128 عنواناً فقط، في مقابل 254 عنواناً متاحاً للمضيفين في الفضاء القياسي قبل التجزئة. اقترحت وثيقة طلب التعليقات RFC 3021 حلاً لهذه المشكلة من خلال إيجاد آلية لاستعمال الأفضية الجزئية ذات الأفعنة 31/229، وفيها يمكن استعمال عنوان الفضاء وعنوان البث العام لعنونة المضيفين، ولكن الوثيقة اشترطت استخدام بروتوكول الوصل بين نقطتين لإنجاح ذلك.

مُشكلات مرتبطة بالتوجيه

زيادة أحجام جداول التوجيه

يلزم أن يملك أيُّ موجهٍ في جدول توجيهه مساراً واحداً على الأقل نحو كلِّ فضاءٍ مُستعملٍ في العنونة. يزداد عدد الأفضية الجزئية بعد التجزئة ما يسبب زيادةً في عدد البنود في جدول التوجيه، وتصبح القضية مشكلةً في الشبكات الكبيرة، نحو الإنترنت، حيث يمكن أن تنمو أحجام جداول التوجيه نمواً خارجاً عن السيطرة.

أشارت وثيقة طلب التعليقات RFC 1338 إلى مشكلة نمو حجم جداول التوجيه في سياق عرضها لمشكلاتٍ مرتبطةً بالعنونة والتوجيه في الإنترنت، ووصفتها بالنص التالي: ²³⁰ «نمو جداول التوجيه في موجهات الإنترنت لتتجاوز القدرات الحالية للبرمجيات (والأشخاص) لإدارتها بفعالية». تابعت وثائق طلب التعليقات اللاحقة هذه المشكلة، فورد وصفٌ مُعدّل لها في الوثيقتين RFC 1519 و RFC 4632 وفيه أضيفت كلمة "عتاد" فيه إلى جانب البرمجيات والأشخاص، وقد توقعت هذه الوثائق نمواً أسياً في أحجام جداول التوجيه إذا استمرت إضافة البنود إليها بالشكل السابق. وتُظهر الإحصائيات الخاصة بالإنترنت في الفترة بين عامي 1989 و 2007م ²³¹ زيادةً أسيةً في عدد البنود الفريدة في جدول توجيه بروتوكول البوابة الحدودية ²³² بما يتوافق مع توقعات العامين 1992م و 1993م.

يوفر التوجيه غير الصنفي بين النطاقات آليةً لتجميع بنود جدول التوجيه التي تخص أفضيةً جزئيةً ناتجةً عن تجزئة فضاءٍ أصيلٍ واحدٍ، وينتج عن ذلك بندٌ واحدٌ يمثل فضاءً يشمل الأفضية الجزئية كلها، وتسمى العملية تجميع المسارات، ²³³ وينتج عنها انخفاض ملحوظ في حجم جداول التوجيه، لكنها تتطلب تصميمًا مُحكماً للشبكة، فالاستخدام غير المضبوط لها يُؤدّي إلى تجميع غير ملائم وهو إحدى المشكلات المرتبطة بالتوجيه أيضاً.

²²⁹ انظر [RFC3021] في ثبت المراجع.

²³⁰ النصُّ الأصل كما ورد في الوثيقة RFC 1338 هو: «Growth of routing tables in Internet routers beyond the ability of current software (and people) to effectively manage Growth of routing tables in Internet routers beyond the ability of current software,» فهُوَ: RFC 4632 فهُوَ: «Growth of routing tables in Internet routers beyond the ability of current software, and people to effectively manage» انظر ص. 4 في [RFC4632].

²³¹ انظر [WEB07] و [WEB08] في ثبت المراجع.

²³² أصل الاسم Border Gateway Protocol، اختصاراً BGP، وهو بروتوكول التوجيه الرئيس في الإنترنت للمزيد حوله انظر [RFC4271] في ثبت المراجع.

²³³ انظر ما جاء في شأنها في الفصل الثامن من هذا الكتاب.

تجميع المسارات غير الملائم

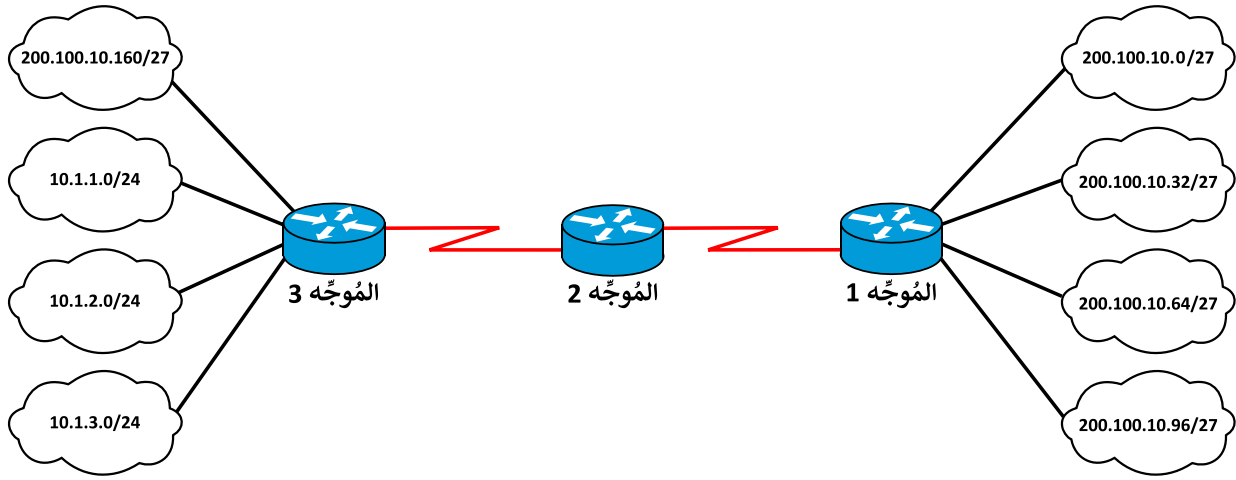
تجميع المسارات هو آلية رياضية لاختزال عدد من المسارات نحو أفضية جزئية ناتجة عن تجزئة فضاء أصل واحد، وإنتاج مسار واحد يشمل المسارات نحو تلك الأفضية. تُستعمل هذه الآلية لتصغير أحجام جداول التوجيه وبالتالي تخفيض وقت معالجة الرزم، وتقليل استهلاك عرض النطاق عند إرسال رسائل تحديث برونوكولات التوجيه.

يتطلب إنجاز تجميع المسارات إنجازاً صحيحاً تخطيطاً مسبقاً لعملية العنونة، وعندها تُورع الأفضية الجزئية بطريقة تسمح باختزالها لاحقاً عند إنجاز التوجيه. ويُسبب غياب التخطيط أو إنجاز عملية التجميع إنجازاً غير متوافق مع طوبولوجيا الشبكة مشكلة التجميع غير الملائم، وفيها يُولد مسار مختزل لا يمثل المسارات نحو الأفضية الجزئية كلها. أو يُولد مسار مختزل يمثل، بالإضافة للمسارات المطلوبة، عدداً من المسارات الأخرى غير المطلوبة، وتُسبب هذه الحالات كلها مشكلات مرتبطة بالتوجيه، وخاصةً تعدد الوصول إلى فضاء جزئي واحد أو أكثر.

على سبيل المثال، يُجزأ الفضاء القياسي 200.100.10.0 باستعمال القناع /27 فينتج عن ذلك 8 أفضية جزئية، تُستخدم خمس منها في عنونة شبكات كما يُظهر الشكل (4-13) حيث تُعنون هذه الأفضية أربع شبكات متصلة مع الموجه 1، وشبكة وحيدة متصلة مع الموجه 3. في الوقت نفسه، تُستعمل أفضية أخرى في عنونة ثلاث أفضية جزئية متصلة مع الموجه 3 أيضاً. في هذه الحالة لا يمكن اختزال المسارات نحو الأفضية الجزئية الناتجة عن تجزئة الفضاء القياسي 200.100.10.0 كلها بمسار وحيد، لأن موقع الشبكة المعنونة بالفضاء 200.100.10.160/27 يمنع ذلك، وستفقد عملية تجميع المسارات نحو الأفضية الجزئية السابقة كلها بمسار وحيد إلى مشكلة التجميع غير الملائم.

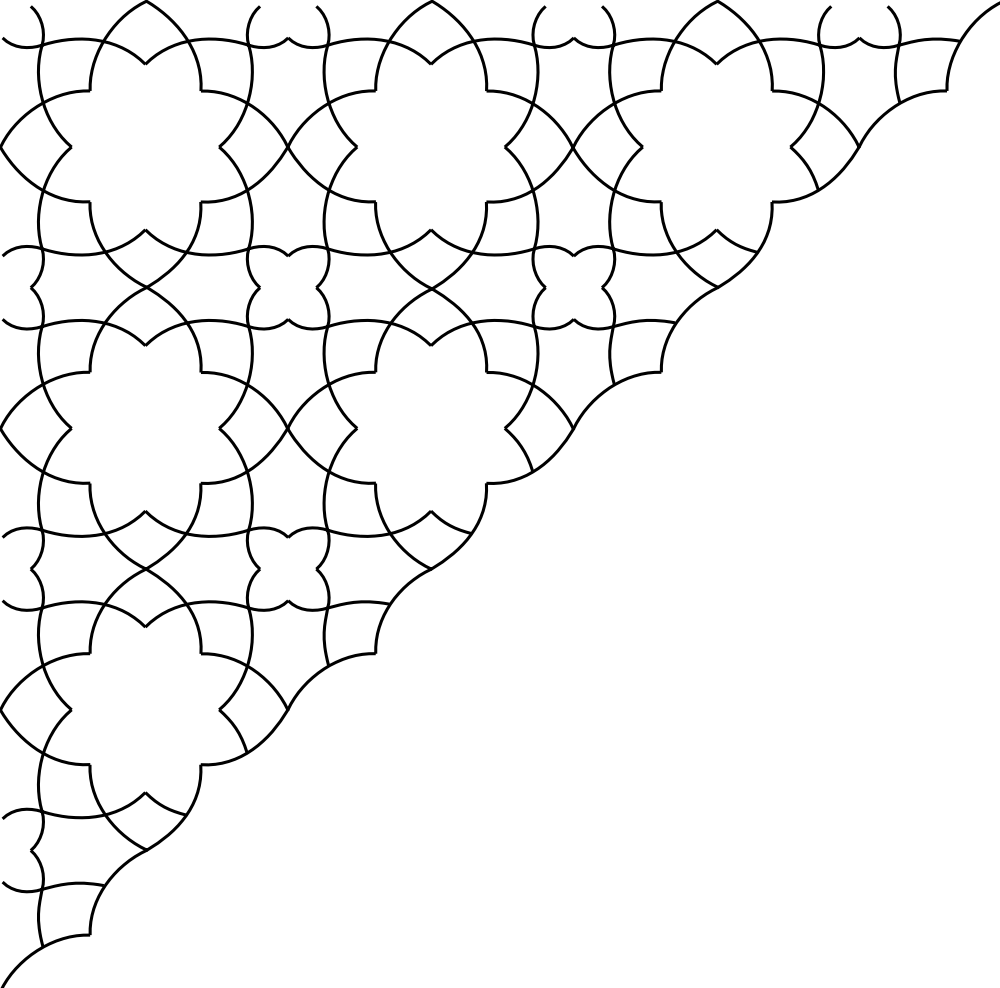
يمكن معالجة المشكلة السابقة بطريقتين:

1. إعادة عنونة الشبكات وفقاً لمنهج آخر يدعم تجميع المسارات.
2. اختزال بعض من المسارات نحو مجموعة من الأفضية الجزئية بدلاً من اختزال المسارات كلها. مثلاً اختزال المسارات نحو الأفضية الجزئية 200.100.10.0/27 و 200.100.10.32/27 و 200.100.10.64/27 و 200.100.10.96/27 بمسار وحيد نحو الفضاء 200.100.10.0/25 الذي يشمل الأفضية الجزئية الأربعة السابقة، ولا يشمل الفضاء 200.100.10.160/27.

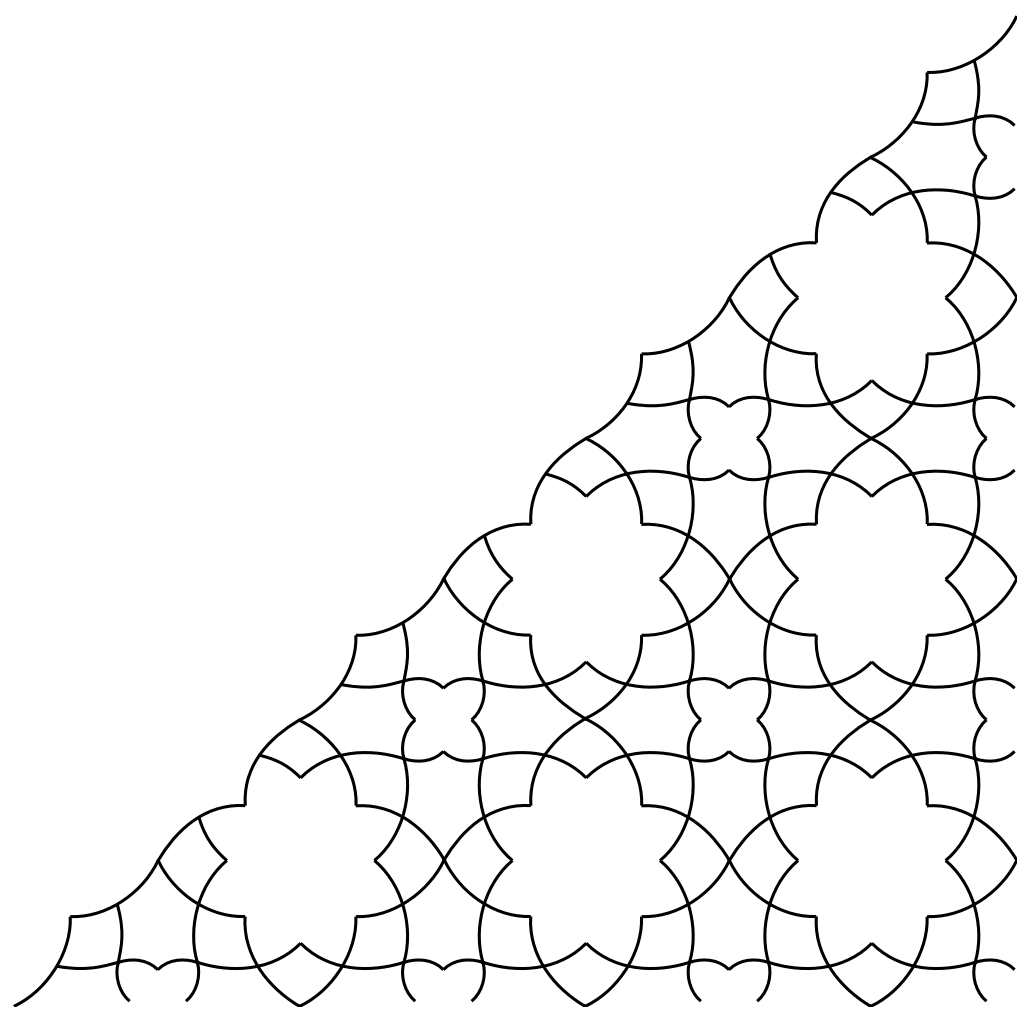


الشَّكْل (4-13): مثالٌ عن حالة لا يُمكن استخدام جميع المسارات فيها بالشَّكل الأمثل

تُرِكَت هذه الصَّفحة فارِغَةً عَمداً لِغرضِ تنسيقِ الكِتابِ



الفصل الخامس: البتُّ المَجْمُوعاتيُّ



مقدمة

البثُ المجموعيُّ أو البثُ مُتعدّد الوجّهات²³⁴ هو آليّةٌ لتوجيه حركة البيانات في الشبّكة انطلاقاً من مصدرٍ واحدٍ وُصولاً لمجموعةٍ من الطّرفيّات في الوقت نفسه. تُكون هذه الطّرفيّات أعضاءً في مجموعةٍ مُميّزة بعنوانٍ خاصٍّ من فضاء عناوين البروتوكول التّشبيك المُستعمل²³⁵.

وفقاً لِمُودَج الرّبط البيئيِّ لِلأنظمة المفتوحة، فإنَّ البثَّ المجموعيَّ من وظائف طبقة الشبّكة حيث تعمل بروتوكولات خاصّة على إنشاء مجموعات من الطّرفيّات والغايّتها، كما تُدير عمليّة انضمام الطّرفيّات إلى هذه المجموعات وخروجهم منها، من هذه البروتوكولات بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت، أمّا تشبيك أعضاء المجموعات عبر الشبكات المُختلفة فيحصل باستخدام الأشجار المُتفرّعة.

تختصُّ عائلةٌ من بروتوكولات التّوجيه بالبثَّ المجموعيَّ وتُنشئ مساراتٍ على هيئة أشجارٍ لا حلقات فيها تصل إلى أعضاء المجموعة كلّهم، نحو بروتوكول توجيه البثَّ المجموعيَّ تبعاً لِشُعاع المسافة وعائلة بروتوكولات البثَّ المجموعيَّ المُستقل عن بروتوكول التّوجيه وغير ذلك، وسيناقش هذان البروتوكولان في ما سيأتي من هذا الفصل. تُوجد أيضاً إضافاتٌ داعمّة لبروتوكولات توجيه رزم البثَّ فريد الوجهة، نحو إضافة البثَّ المجموعيَّ الخاصّة ببروتوكول المسار الأقصر والتي ستُرد في ما سيأتي.

شَهدت تقنيّة البثَّ المجموعيَّ، منذ اعتمادها آليّةً لتوجيه الرّزم، العديد من الإضافات والتّحسينات، وطوّرت لِأجل ذلك تقنيّات رديفةٌ نحو ميزة مراقبة بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت والبثَّ المجموعيَّ مُحدّد المصدر، كما أُدخلت التّعديلات على تقنيّات موجودةٍ مُسبقاً لِتخدم أغراض البثَّ المجموعيَّ نحو التّوجيه بعكس المسار، وسنُعرض لمحّة عنها في ما سيأتي.

يبدأ هذا الفصل بنظرةٍ عامّةٍ على مبدأ البثَّ المجموعيَّ وآليّة عمله، يليها تعريفٌ بالمفاهيم الرّئيسة المُرتبطة بهذه التقنيّة ثمّ عرضٌ لعوائل البروتوكولات المُستخدمة لِتنفيذ هذه المفاهيم وهي تقع في مجموعتين: بروتوكولات إدارة المجموعات وبروتوكولات توجيه رزم البثَّ المجموعيَّ، وأخيراً تقديمٌ لبعضٍ من الآليّات المُكمّلة لِتقنيّة البثَّ المجموعيَّ.

نظرة عامّة

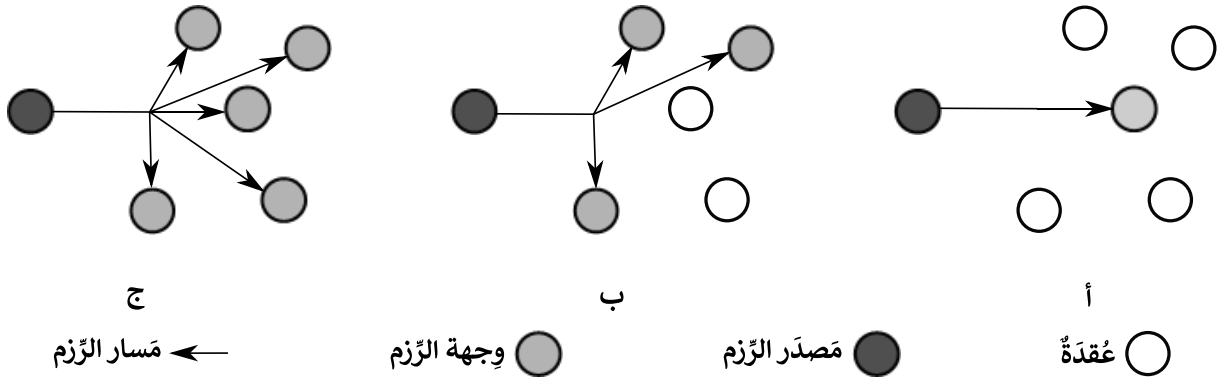
البثُّ المجموعيُّ هو طريقةٌ لِإرسال رزمة بياناتٍ واحدةٍ أو أكثرٍ إلى عدديّ من الوجّهات في الوقت نفسه. تستضيف وجّهات الرّزمة عنواناً خاصّاً مُميّزاً يُسمّى عنوان المجموعة، ويلزم أن تصل الرّزمة المُوجّهة نحو عنوان المجموعة إلى الوجّهات التي

²³⁴ أصل الاسم Multicast، ووُردت مُعرّبةً في ص. 51 في [BKA05] في ثبّت المراجع إلى "بثُّ مُتعدّد الوجّهات" ولكننا نراه تعبيراً غامضاً غير مُحدّد بما فيه الكفاية لِلتمييز عن البثَّ العامّ الذي يصحّ وصفه بأنّه بثُّ مُتعدّد الوجّهات أيضاً، فارتأينا تخصيصه أكثر وتعريبه إلى "بثُّ مجموعاتي" منعاً لِلاتباس.

²³⁵ جاء في ص. 249 في [BKE01] في ثبّت المراجع ما يأتي: "هي شكّل خاصٌّ من البثَّ العامّ يجري فيه إيصال نسخٍ من الرّسالة إلى محطّاتٍ عديدةٍ لكن لا إليها كلّها"، ونرى أنّ الصّواب قد جانب هذا التّعريف، فالبثُّ العامُّ في ما رأينا هو حالةٌ خاصّةٌ من البثَّ المجموعيَّ لا العكس.

تستضيفه كلّها. تخضع رزم البثّ المجموعيّ لعمليّة توجيهٍ مُغايرةٍ لتلك التي تخضع لها الرزم فريدة الوجهة أو رزم البثّ العامّ. عُرّف البثّ المجموعيّ في الأصل بصفته إحدى الإضافات المُلحقة بالمُضيف في وثيقة طلب التعلّيقات RFC 1122.²³⁶

يُدمع البثّ المجموعيّ مبدأ الإرسال "مصدّرٌ وحيدٌ ووجهاتٌ عديدة" ليرزم البيانات (الشكل (1-5)). ويُمثّل هذا المبدأً حلّاً وسطاً بين البثّ فريد الوجهة المحدود الذي يعتمد على مبدأ "مصدّرٌ وحيدٌ ووجهةٌ واحدة"، وبين البثّ العامّ الشامل الذي يغمّر الشبكة بعددٍ هائلٍ من الرزم بسبب اعتماده على مبدأ "مصدّرٌ وحيدٌ وكلُّ الوجهات الممكنة"²³⁷ تُشابه رزم البثّ المجموعيّ رزم البثّ فريد الوجهة ورزم البثّ العامّ من ناحية البنية، وتختلف عنها بوجود عنوان البثّ المجموعيّ في حقل الوجهة، بدلاً من عنوان البثّ فريد الوجهة أو عنوان البثّ العامّ. يُحدّد بروتوكول التشبيك بنية عنوان البثّ المجموعيّ وفضاء العناوين الخاصّ به.



الشكل (1-5): مبادئ إرسال رزم البيانات (أ) مصدّرٌ وحيدٌ ووجهةٌ واحدة (ب) مصدّرٌ وحيدٌ ووجهاتٌ عديدة (ج) مصدّرٌ وحيدٌ وكلُّ الوجهات الممكنة

تنتقل المُوجّهات رزم بيانات البثّ فريد الوجهة من مصدرها إلى وجهتها عبر مسارٍ مُكوّنٍ من قفزاتٍ مُتتابعَةٍ، وتكون مهمّة بروتوكولات التوجيه فريد الوجهة هي حساب هذه المسارات. أمّا توجيه رزم البثّ المجموعيّ فهو أكثر تعقيداً، لأنّ على بعض المُوجّهات أن تُنشئ نُسخاً مُتشابهةً من الرزمة نفسها لإرسالها عبر أكثر من منقذٍ إلى أكثر من وجهةٍ في الوقت ذاته. أي في حين يكون مسار رزمة البيانات فريدة الوجهة مُستقيماً يصل بين المصدّر والوجهة، فإنّ مسار رزمة البثّ المجموعيّ يكون شجرياً مُتفرّعاً يبدأ من المصدّر، ويتفرّع في المُوجّهات عبر الشبكة ليصل إلى وجهاتٍ مُتعدّدة، وتُعتد بروتوكولات توجيه خاصّة لإنشاء الشجرة أو تُزوّد بروتوكولات التوجيه الخاصّة بالبثّ فريد الوجهة بإضافاتٍ خاصّة لدعم البثّ المجموعيّ.

²³⁶ انظر ص. 67 وما بعدها في [RFC1122] في ثبت المراجع، وانظر أيضاً [ART23] من أجل أطروحة درجة الدكتوراه التي أعدّها ستيفن ديرينغ في عام 1989م، وهي من أقدم وأشمل المصادر التي تناولت مفهوم البثّ المجموعيّ، وانظر أيضاً [RFC5110] و [RFC6308] وفيهما نظرة شاملة تُغطّي البثّ المجموعيّ وبنيته وآلياته ونحو ذلك.

²³⁷ أصول الأسماء: مصدّرٌ وحيدٌ ووجهاتٌ عديدة One-to many، مصادرٌ عديدةٌ ووجهاتٌ عديدة Many-to-many، مصدّرٌ وحيدٌ ووجهةٌ واحدة One-to-one، ومصدّرٌ وحيدٌ وكلُّ الوجهات الممكنة One-to-all.

تصل شجرة البث المجموعاتي بين مجموعة من عقد الشبكة التي تُسمى أعضاء فيها. تُدير بروتوكولات خاصة عملية إنشاء المجموعة ونشر معلوماتها بين الموجهات، بالإضافة لعملية حذفها ولتتابة التغييرات الحاصلة فيها نحو إضافة أعضاء جدد إليها أو حذف أعضاء منها.

تخفيف الحموله في الشبكة من ميزات استعمال البث المجموعاتي. ففي البث العام، تُرسل رزمة البيانات نحو الجهات المتاحة كلها فتعمر الشبكة كلها. أما في البث المجموعاتي، فإن مصدر البيانات يُولد رزمة بيانات واحدة، ثم تُنقل هذه الرزمة بعد ذلك إلى أعضاء المجموعة فقط، ولا تُنسخ إلا عند الحاجة لإرسالها عبر أكثر من مسار في الوقت نفسه.

آلية العمل

يعتمد البث المجموعاتي على دعم شبكة البيانات لبنية شجرية تنشط فيها مجموعة من البروتوكولات التي تُنجز الوظائف اللازمة لتوصيل الرزم إلى أعضاء المجموعة كلهم.

تُقسم شبكة البيانات بنيويًا عند دعم البث المجموعاتي، إلى قسمين (الشكل (2-5)):

1. الشبكات المحليّة حيث يتواجد أعضاء المجموعات وتنشط بروتوكولات إدارة المجموعة.
2. النظام الوسيط الذي يربط بين الشبكات المحليّة وتنشط فيه بروتوكولات توجيه رزم البث المجموعاتي.



الشكل (2-5): بنية شبكة بيانات تدعم البث المجموعاتي

تهتم بروتوكولات إدارة المجموعة في الشبكات المحليّة بتعريف المجموعات وتمييزها بعناوين خاصة يُحدّد فضاءها بروتوكول التشبيك المُستخدم. أما بروتوكولات التوجيه فتعمل على بناء طوبولوجيا مكونة من مسارات تأخذ شكل شجرة متفرّعة تصل إلى أعضاء المجموعة كلهم.

يُنقش هذا القسم خمسة مفاهيم رئيسية لنجاح البث المجموعاتي هي: كيفية إدارة مجموعات الأعضاء، يليها أشجار البث المجموعاتي وأنواعها وكيفية بنائها ثم نطاقات توجيه البث المجموعاتي وأفضية العناوين المُخصّصة لها في طبقتي الشبكة والوصلة، وأخيراً، خوارزمية توجيه رزم البث المجموعاتي التي تعتمد على المفاهيم السابقة.

إدارة المجموعات

تَشْمُلُ إدارة مجموعة أعضاء البثِّ المجموعيِّ النَّشاطات اللَّازِمة لإنشاء المجموعة في الشَّبكة المَحَلِّيَّة وتعريف بُرُوتوكُول التَّوجِيه الخاصِّ بالبثِّ المجموعيِّ على أعضاء هذه المجموعة في الشَّبكة المَحَلِّيَّة ونَشْر المَعْلُومَات الخاصَّة بالمجموعة في الشَّبكة المَحَلِّيَّة ومُتَابَعَة تحديتها أولاً بأوَّلٍ.

يَلْزِمُ أيضاً أَنْ يَكُونَ المُضَيِّفون قَادِرِينَ على الانضمام آلياً إلى المجموعة ليُصْبِحُوا أعضاءً فيها، كذلك الأمر بالنَّسبة للأعضاء الَّذِينَ يَرِغِبُونَ بِمُغَادَرَتِهَا. يَلْزِمُ أيضاً تعريف المُبَدَّلَات في الشَّبكة المَحَلِّيَّة على المَخْرَج الافتراضي²³⁸ لِزِمُّ البثِّ المجموعيِّ، وَهُوَ مَنَعْدٌ لِمُوجِّهٍ مَحَلِّيٍّ مُتَّصِلٍ مع الشَّبكة المَحَلِّيَّة يُشْغَل بُرُوتوكُول توجيهِ خاصِّ بالبثِّ المجموعيِّ.

عَمَلِيَّة التَّعْرِيف السَّابِقَة هي قَضِيَّة شَائِكَةٌ لِأَنَّ المُبَدَّلَات تَعْمَل على مُسْتَوَى الطَّبَقَة الثَّانِيَّة وَفَقاً لِمُودَج الرِّبْط البينيِّ لِلانظمة المَفْتُوحَة، وهي لا تَسْتَطِيع تَلْقَائِيًّا تَمييز أَطْر²³⁹ بيانات البثِّ المجموعيِّ وَأَطْر التَّحْكُم الخاصَّة بِإدارة المَجْمُوعَات، فُعَامِل الاثْنين مُعَامِلَة أَطْر البثِّ العامِّ، أَي تُرْسِلُهُم عبر منافذ المُبَدَّل كَلِّهَا فَتَغْمُر الشَّبكة بِهِم غَمراً وَتَزِيد من الحُمُولَة فيها. وَتُحَلُّ هذه المُشْكِلَة بِوَاحِدَة من طَرِيقَتَيْن:

1. استخدام بُرُوتوكُولٍ خاصِّ لِإنجاز هذه المَهْمَة نحو بُرُوتوكُول سِيسْكُو لِإدارة المَجْمُوعَات.
2. تفعيل ميزاتٍ خاصَّةٍ في المُبَدَّل، نحو ميزة مُراقِبَة بُرُوتوكُول إدارة مجموعة الإنترنت.

وسَيُنَاقِش البُرُوتوكُول والمِيزَة لِاحِقاً في ما سَيَأْتِي من هذا الفصل.

شجرة البثِّ المجموعيِّ

هي شَجَرَةٌ مُتَفَرِّعَةٌ²⁴⁰ مُكوَّنَةٌ من مجموعةٍ من العُقَد والوَصلَات. تُمَثِّل العُقَد عَتَاد النِّظام الوَسِيط العَامِلَة في الطَّبَقَة الثَّالِثَة وَفَقاً لِمُودَج الرِّبْط البينيِّ لِلانظمة المَفْتُوحَة، أَمَّا الوَصلَات، فُتُمَثِّل الوَصلَات المَادِيَّة الَّتِي تَرِبط بينها.

يَلْزِمُ أَنْ تَكُونَ شَجَرَة البثِّ المجموعيِّ خَالِيَةً من الحَلَقَات، وَأَنْ تَصِلَ إلى أعضاء المجموعة كُلِّهِم عبر أَقْصَر المَسَارَات المُمَكِنَة، لِذَلِكَ، تُوصَف شَجَرَة البثِّ المجموعيِّ بِأَنَّهَا الشَّجَرَة المُتَفَرِّعَة ذات المَسَارَات القُصْرَى²⁴¹.

البنية

يَخْتَلِف البثُّ المجموعيُّ عن البثِّ فَرِيد الوِجْهَة بِشَكْلِ المَسَار، ففِي حِين يَكُون المَسَار خَطّاً وَحِيداً يَصِلُ بين مَصَدَّر الرِّزْمَة وَوِجْهَتِهَا فِي البثِّ فَرِيد الوِجْهَة، فَإِنَّهُ يَأْخُذ شَكْلاً شَجْرِيًّا مُتَفَرِّعاً فِي البثِّ المجموعيِّ، وَتُسَمَّى الشَّجَرَة النَّاتِجَة شَجَرَة البثِّ المجموعيِّ، وهي تَمْتَدُّ، من غير أَنْ تُشكِّل حَلَقَاتٍ، لِتَصِلَ إلى أعضاء المجموعة كُلِّهِم.

²³⁸ أصل الاسم Default gateway.

²³⁹ الأَطْر جمع إطار، انظر ص. 95 في [BKA03] في ثَبِت المَراجِع.

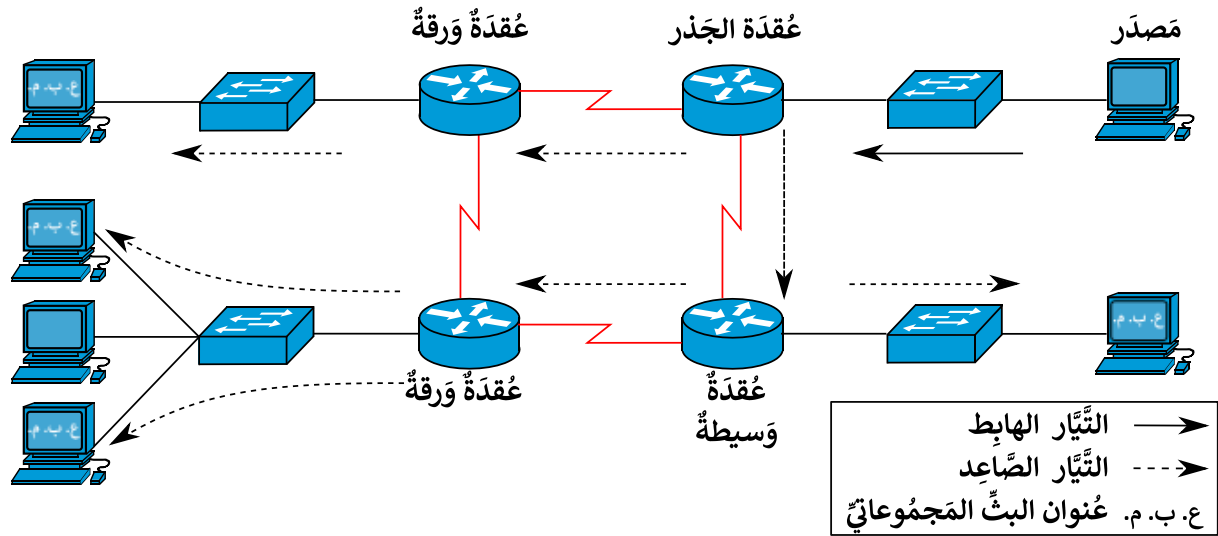
²⁴⁰ أصل الاسم Spanning tree، وهي بنية شَبَكَة خَالِيَة من الحَلَقَات، مُكوَّنَةٌ من مجموعةٍ من العُقَد إِحْدَاهَا هي المَبْدَأُ وَتُسَمَّى العُقَدَة الجذر، وهي تَتَّصِل مع سَائِر العُقَد الأُخْرَى بِمَسَارٍ وَحِيدٍ، غَالِباً ما يَكُون أَقْصَر المَسَارَات المُمَكِنَة. انظر ص. 358 في [BKE01] في ثَبِت المَراجِع.

²⁴¹ أصل الاسم Minimum Spanning Tree، اختصاراً MST، لِلمزيد حول هذه الشَّجَرَة والمَسْأَلَة المُرتَبِطَة بِإنشائها انظر [ART24] في ثَبِت المَراجِع.

تتألف شجرة البث المجموعيّ من مجموعة عقديّ هي الجذر والعقد الوسيطة والعقد الأوراق. أمّا عقدة الجذر، فهي أساس الشجرة، ومنها يبدأ التفرّع نحو سائر العقد. تُنسخ رزمة البث المجموعيّ وتُضاعف، حسب الحاجة، بدءاً من العقدة الجذر وعبر المسارات نحو العقد الوسيطة والعقد الأوراق، وتُسمى حركة البيانات صُعوداً عبر هذه المسارات بالتّيّار الصّاعد.²⁴²

يُنْتَشِر التّيّار الصّاعد من الجذر إلى العقد الأخرى في الشجرة، وتُسمى العقدة التي يمرّ التّيّار الصّاعد نحو عقدةٍ أخرى أو أكثر، بالعقدة الوسيطة. أمّا إذا لم تكن العقدة تمتلك أيّ عقدٍ جيران، ما خلا العقدة التي وُردَ منها التّيّار الصّاعد، فإنّها تُسمى عقدة ورقة، لأنها لا تمرّ التّيّار الصّاعد نحو أيّ عقدٍ أخرى في الشجرة.

تتّصل عقد الشجرة، على اختلاف أنواعها، مع الشبكات المحليّة حيث يوجد أعضاء مجموعات البث المجموعيّ، وهم طرفيات تستضيف عناوين البث المجموعيّ. لبء البث المجموعيّ، يلعب مضيف ما، لا يشترط أن يكون عضواً في المجموعة، دور مصدر رزم البيانات فيولد رزم البث المجموعيّ ويرسلها إلى عنوان المجموعة، ثمّ توجه نحو العقدة الجذر دوماً، ولا تبدأ مضاعفة الرزم ونشرها عبر شجرة البث المجموعيّ قبل وصولها إلى العقدة الجذر. بما أنّ الشبكات المحليّة التي يتواجد فيها الأعضاء قد لا تتّصل اتصالاً مباشراً مع العقدة الجذر، بل مع عقدٍ أوراقٍ أو مع عقدة وسيطة، فإنّ بعضاً من الرزم ستنتج اتجاهها معاكسٍ للتّيّار الصّاعد، أي من العقد الأوراق أو الوسيطة نحو العقدة الجذر، وتُسمى هذه الحركة بالتّيّار الهابط²⁴³ (الشكل (3-5)).



الشكل (3-5): شجرة البث المجموعيّ

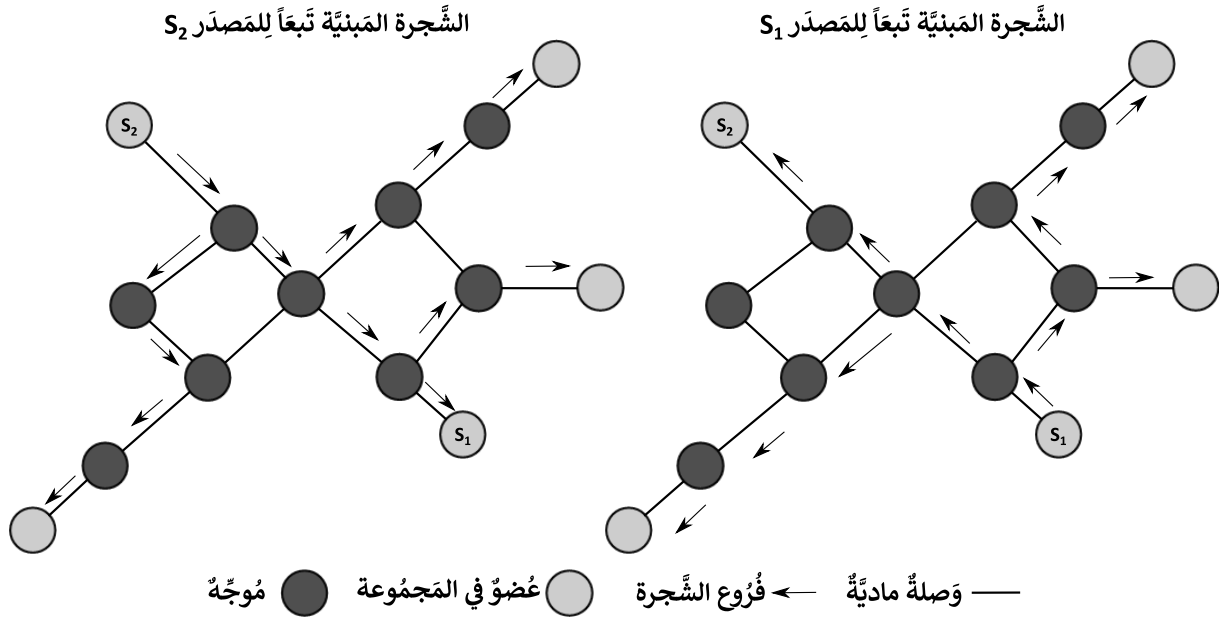
أنواع أشجار البث المجموعيّ

تُصنّف أشجار البث المجموعيّ حسب طريقة إنشائها إلى نوعين:

²⁴² أصل الاسم Upstream.

²⁴³ أصل الاسم Downstream.

- الشجرة المبنية تبعاً للمصدر: ²⁴⁴ وهي شجرة متفرعة خاصة بمصدرٍ مُحدّدٍ ليزم البثُّ المجموعيُّ، بينها برؤوسٌ توجيه رزم بثِّ مجموعاتي من أجل كلِّ مصدرٍ ليزم البيانات، ويكون جذر الشجرة هو الموجه الأقرب إلى المصدر. في هذه الحالة، ومن أجل بيانٍ ²⁴⁵ ما، ليكن G ، ومصدرين، ليكونا S_1 و S_2 ، سننشأ شجرتان هما (S_1, G) و (S_2, G) (الشكل (4-5)). لكنَّ هذه الطريقة غير فعّالةٍ من منظور استهلاك عرض النطاق المتاح وموارد التوجيه، فماذا لو وُجد مئة مصدرٍ أو أكثر مثلاً؟ كيف ستُخزّن المعلومات الخاصة بالأشجار عندها؟ وأين؟ وكيف ستُعالج؟ وأين؟



الشكل (4-5): شجرتا بثِّ مجموعاتيّ مبنيتان حسب مصدرين مختلفين

- الشجرة المشتركة ²⁴⁶ أو الشجرة مركزية النواة. ²⁴⁷: وهي شجرة متفرعة موحّدة من أجل أعضاء مجموعة البثِّ المجموعيّ كلّهم. يُعرّف برؤوسٌ التوجيه، لبناء هذه الشجرة، نقطة التقاء ²⁴⁸ من أجل كلِّ مجموعة، وتكون هذه النقطة هي جذر الشجرة المشتركة بين أعضاء المجموعة كلّهم. ويُرسَل كلُّ مصدرٍ بياناتٍ رزم البثِّ المجموعيّ إلى النقطة المشتركة أولاً، وبعد أن تصل الرزم إليها تبدأ عملية النسخ والتضاعف حسب شجرة البثِّ المجموعيّ (الشكل (5-5)). في هذه الحالة من أجل بيانٍ ما G ، ومصدرين S_1 و S_2 ، سننشأ شجرة وحيدة هي $(*, G)$ ، ويعني رمز النجمة أنّ الشجرة هي نفسها أيّاً كان المصدر.

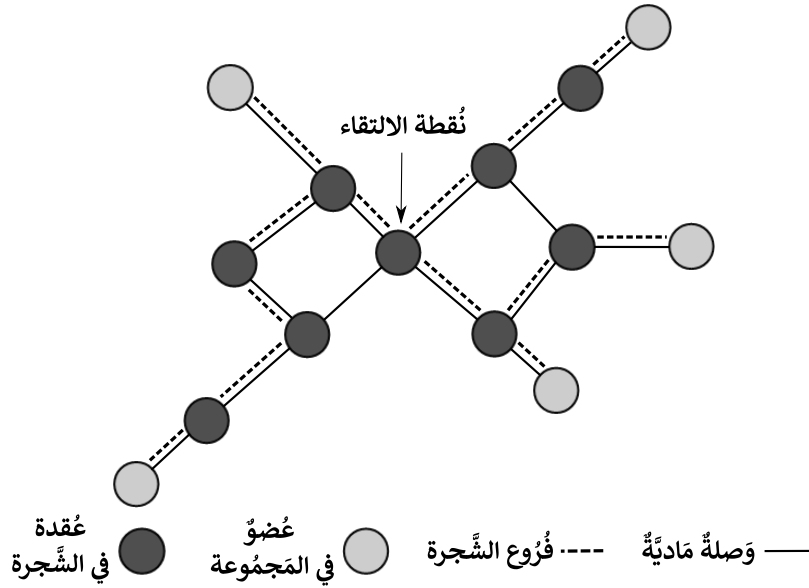
²⁴⁴ أصل الاسم Source-based tree، وانظر ما جاء في شأنها في [ART25] في ثبت المراجع.

²⁴⁵ أصل الاسم Graph، وردت مُعرّبةً في ص. 133 في [BKA01] إلى "مخطّط" وفي ص. 34 في [BKA05] إلى "مبيان"، وفي ص. 507 في [BKA02] إلى "بيان"، ورأينا أنّ الأخير هو الأدقُّ والأوضح. والبيان هو بنية تضمُّ مجموعةً من الأغراض التي ترتبط بعضها مع بعضٍ بعلاقاتٍ ما. تُسمّى الأغراض رؤوساً Vertex أو عُقداً Node والعلاقات الرابطة بينها وصلاتٍ Edge.

²⁴⁶ أصل الاسم Shared tree، انظر ما جاء في شأنها في [ART26] في ثبت المراجع.

²⁴⁷ أصل الاسم Core-based tree.

²⁴⁸ أصل الاسم Rendezvous point، وRendezvous كلمة فرنسيّة تعني حرفياً: ملقَى أو ملتقى، انظر ص. 891 في [BKF02] في ثبت المراجع.



الشكل (5-5): شجرة مشتركة لرمز البث المجموعاتي

نشئ بروتوكولات التوجيه الخاصة بالبث المجموعاتي الأشجار السابقة لنقل البيانات إلى أعضاء المجموعة كلهم.

خوارزميات بناء الأشجار

هي خوارزميات لإنشاء أشجار متفرعة لا حلقات فيها. تتفرع شجرة البث المجموعاتي تبعاً لبيان G_{all} مكون من N_{tot} عقدة، لتصل إلى مجموعة جزئية من العقد عددها N_{grp} وهي تشكل أعضاء مجموعة البث المجموعاتي.

نصنف الأشجار المتفرعة حسب امتداد الشجرة إلى صنفين رئيسين هما:²⁴⁹

- شجرة التفرعات القصوى: وهي شجرة متفرعة، تمتد من الجذر نحو مجموعة جزئية من عقد البيان، ويكون وزن المسار الذي يربط الجذر مع كل عقدة أقصر ما يمكن.
- الشجرة المتفرعة الصغرى: وهي شجرة متفرعة تمتد من الجذر لتصل إلى عقد البيان كلها، ويكون مجموع أوزان المسارات كلها هو أصغر ما يمكن.

إذا كان G_{tot} بياناً يُمثل شبكة بيانات ويتكون من N_{tot} عقدة و E_{tot} وصلة، وكانت G_{grp} مجموعة جزئية منه عددها N_{grp} لا يقل عن اثنين، فإن اختيار خوارزمية بناء شجرة البث المجموعاتي يكون حسب ما يلي (الشكل (5-6)):²⁵⁰

²⁴⁹ شجرة التفرعات القصوى Shortest-spanning tree، و الشجرة المتفرعة الصغرى Minimum Spanning Tree، اختصاراً MST.

²⁵⁰ للمزيد حول إنشاء الأشجار وأفضل الخوارزميات المعتمدة لإنجاز حساباتها، انظر [BKE05] في ثبت المراجع.

- إذا كان عدد العناصر في المجموعة الجزئية هو $N_{grp} = 2$ ، فإنَّ الشجرة تُؤوّل إلى مسارٍ خطيٍّ بين عُقدتين، بحالةٍ مشابهةٍ لمسارات الرّزم فريدة الوجهة، والأفضل في هذه الحالة استعمال خوارزمية ديكسترا²⁵¹ أو خوارزمية بيلمان وفورد²⁵².
- إذا كان عدد العناصر في المجموعة الجزئية هو نفسه عدد عناصر البيان، أي $N_{grp} = N_{tot}$ ، أي أنّ الشجرة تتمدُّ إلى عناصر البيان كلّهم، فالشجرة المراد بناؤها هي شجرة متفرّعة صُغرى، ومن الخوارزميات المناسبة لذلك خوارزمية كروسكال²⁵³ وخوارزمية پريم²⁵⁴.
- إذا كان عدد العناصر في المجموعة الجزئية أكبر من 2، ولكنه أقل من عدد عناصر البيان أي: $2 < N_{grp} < N_{tot}$ ، أي أنّ الشجرة تتمدُّ على مجموعة جزئية من العقد، فإنها تُسمى شجرة شتاينر²⁵⁵ وهي الحالة الأكثر تعقيداً في بناء الشجرة بسبب وجود مساراتٍ عديدةٍ مُحتملةٍ.

²⁵¹ نسبةً إلى إيدسجر ديكسترا (Edsger Dijkstra 1930-2002م)، وهو عالم حاسوب هولنديّ حصل على درجة البكالوريوس في الفيزياء النظرية من جامعة لايدن في مطلع خمسينيات القرن العشرين، وعلى درجة الماجستير منها أيضاً في الاختصاص نفسه في عام 1956م وعلى درجة الدكتوراه في علم الحاسوب في عام 1959م من جامعة أمستردام. ديكسترا من الرّواد المؤسسين لعلم الحاسوب وله أبحاث رائدة في أنظمة التشغيل ولغات البرمجة والمحوّلات البرمجية والحوسبة منها خوارزمية ديكسترا التي سُميت على اسمه وهي خوارزمية لإيجاد المسارات القصوى بين مجموعة من العقد في بيان ما، انظرها في [ART26] ثبّت المراجع.

²⁵² نسبةً إلى ريتشارد بيلمان (Richard Bellman 1920-1984م) وليستر فورد (Lester Ford 1927-2017م). أمّا بيلمان فهو رياضيّ أمريكيّ حاصل على درجة الدكتوراه في الرياضيات في عام 1947م من جامعة پرينستون، له إسهامات عديدة أهمها في مجال البرمجة الحركية. وأمّا فورد فهو رياضيّ أمريكيّ حاصل على درجة الدكتوراه في الرياضيات في عام 1953م من جامعة إلينوي في أوربانا شامبين، وله إسهامات بارزة في نظرية البيان. نشر كلٌّ من بيلمان وفورد بشكلٍ مُتزامنٍ ومستقلٍّ خوارزميةً دُعيت باسمهما لحساب المسار الأقصر الممكن من عقدة ما في بيانٍ نحو أيّ عقدة أخرى فيه. انظر عمل بيلمان في [ART28] في ثبّت المراجع وعمل فورد في [ART29].

²⁵³ نسبةً إلى جوزيف كروسكال (Joseph Kruskal 1928-2010م)، هو رياضيّ وعالم إحصاءٍ وعالم حاسوبٍ أمريكيّ حصل من جامعة شيكاغو على درجة البكالوريوس في الرياضيات في عام 1948 وعلى درجة الماجستير فيها في العام التالي، وحصل في عام 1954م على درجة الدكتوراه في الرياضيات من جامعة پرينستون. لدى كروسكال أبحاث رائدة في نظرية البيان وحساب الأشجار أهمها تطويره لخوارزمية كروسكال التي سُميت على اسمه وهي خوارزمية لإيجاد الشجرة المتفرّعة الصغرى في بيانٍ غير موجهٍ موزونٍ الوصلات، انظرها في [ART30] في ثبّت المراجع.

²⁵⁴ نسبةً إلى روبرت پريم (Robert Prim 1921م-...)، هو عالم حاسوبٍ ورياضيٌّ أمريكيّ حصل على درجة البكالوريوس في الهندسة الكهربائية في سنة 1941م من جامعة تكساس في أوستن وعلى درجة الدكتوراه في الرياضيات في عام 1949م من جامعة پرينستون. أعاد پريم في عام 1957م اكتشاف خوارزمية إيجاد شجرة متفرّعة صغرى في بيانٍ غير موجهٍ موزونٍ الوصلات طوّرها رياضيّ تشيكيّ يُدعى فوجيتيش يارنيك (بالتشيكية: Vojtěch Jarník) في عام 1930م، ونشرها پريم فسمّيت باسمه، انظرها في [ART31] في ثبّت المراجع.

²⁵⁵ نسبةً إلى جاكوب شتاينر (Jakob Steiner 1796م-1863م)، وهو عالم رياضياتٍ سويسريّ درس في جامعة هايدلبرج، له إسهامات عديدة في الهندسة الإقليدية أهمها طرحه لمشكلة البحث عن المسار الأقصر ممكّن يصل إلى مجموعة جزئية من العقد في بيان ما، والتي عُرفت لاحقاً باسم مسألة شجرة شتاينر الإقليدية، للمزيد حول هذه المسألة انظر [BKE06] في ثبّت المراجع.

نطاق التوجيه

نطاق التوجيه الخاص بالبروتوكول المجموعي²⁵⁶ هو مجموعة من الطرقات والأنظمة الوسيطة الموجودة ضمن نظام مستقل²⁵⁷ واحد والتي تعمل وفقاً لإجراءات التوجيه نفسها، أي تُعرّف أوزان المسارات²⁵⁸ تعريفاً محدداً وتعتمد الآليات المشتركة لحسابها.

في وثائق طلب التعليقات المتعلقة بالبروتوكول المجموعي تعاريف جزئية أو مشتقة عن التعريف السابق لنطاق توجيه البروتوكول المجموعي نحو: «مجموعة جداول التوجيه التي تتضمن بُوداً عن البروتوكول المجموعي، والتي ترتبط بعضها مع بعض عبر الشبكة وهي قادرة على تبادل المعلومات في ما بينها»²⁵⁹ و«مجموعة من الموجّهات المتجاورة التي تُشغل بروتوكول توجيه البروتوكول المجموعي نفسه وتعمل ضمن حدود معينة يُعرّفها موجّه حُدودي يُربط النطاق مع الإنترنت»²⁶⁰.

تعمل بروتوكولات توجيه رزم البروتوكول المجموعي داخل نطاقٍ مُحدّدٍ فتُوصف بأنها داخلية أو بين النطاقات المختلفة فتُوصف بأنها خارجية أو بينية، وبعضها يدعم النمطين. وفقاً لمبدأ العمل، يُقابل بروتوكول توجيه رزم البروتوكول المجموعي عاملاً ضمن النطاق بروتوكول توجيه داخلي لرمز بروتوكول توجيه الوجهة يعمل ضمن نظام مستقل واحد²⁶¹.

مَجالات العنونة

البروتوكول المجموعي هو الآلية لتوجيه رزم البيانات عبر الشبكة، وحسب نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة، فإن التوجيه يحصل على مستوى الطبقة الثالثة، ويتطلب مشاركة من كيانات الطبقة الثانية لإنجازه، وهاتان الطبقتان هما طبقة الوصلة وطبقة الشبكة وفقاً لترتيب ورودهما في النموذج.

يلزم أن تدعم بروتوكولات التشبيك في طبقة الشبكة وبروتوكولات الوصلة في طبقة الوصلة فضاءً من العناوين مختصاً بالبروتوكول المجموعي، بالإضافة لضرورة وجود آلية للمطابقة بين عناوين فضاءي الطبقتين.

طبقة الشبكة

حُصص الصنف D، في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، ليكون فضاءً لعناوين البروتوكول المجموعي، وهو فضاء جزئي يشمل عناوين الإصدار الرابع التي تبدأ بالبتات الأربعة 1110 في خانتها الأولى الأكثر أهمية، ويعني ذلك أنّ هذا المجال يمتد بين العنوين 224.0.0.0 و239.255.255.255، ويُشار له رقمياً بالشكل 224.0.0.0/4.

²⁵⁶ أصل الاسم Multicast Routing Domain.

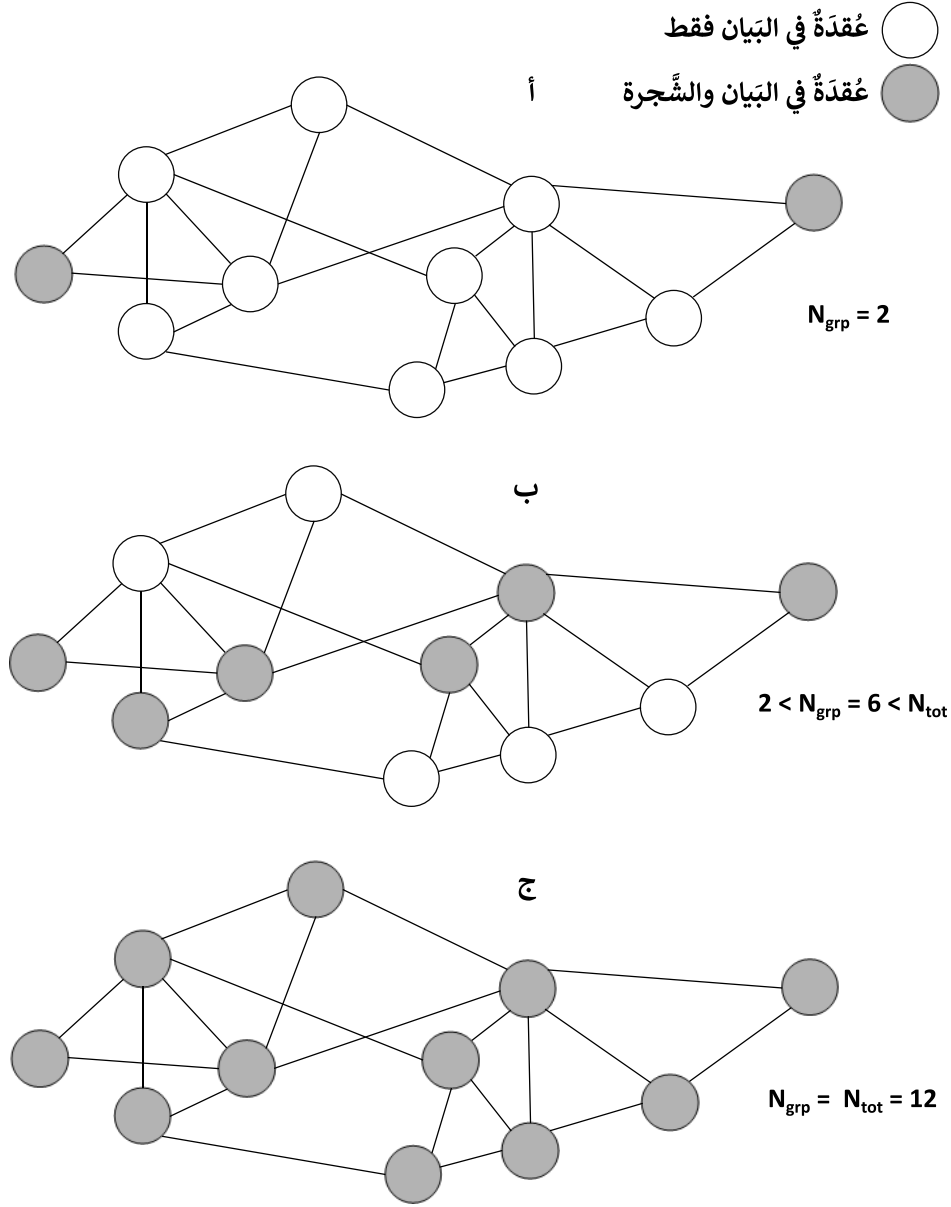
²⁵⁷ أصل الاسم Autonomous System، اختصاراً AS، هو مجموعة من الموجّهات التي تخضع لإشرافٍ إداريٍّ واحدٍ، وتُستعمل بروتوكول توجيهٍ داخلياً واحداً، وتُعرّف أوزان المسارات تعريفاً مشتركاً، وتعتمد على بروتوكول توجيهٍ خارجيٍّ واحدٍ لتوجيه رزم البيانات إلى الأنظمة الأخرى، انظر النصّ الأصيل لهذا التعريف في ص. 3 في [RFC1930] في نُبث المراجع.

²⁵⁸ أصل الاسم Metric، هو قيمةٌ كميّةٌ تُستخدم لتقييم كلفة المسار، وتُستعمل من أجل إيجاد أساسٍ للمقارنة بين المسارات. لا طريقةً موحدةً لدى بروتوكولات التوجيه لتعريف الأوزان. من أجل أصل هذا التعريف انظر ص. 4 في [RFC6551] في نُبث المراجع.

²⁵⁹ من أجل النصّ الأصيل لهذا التعريف، انظر ص. 7 في [RFC6037] في نُبث المراجع.

²⁶⁰ من أجل النصّ الأصيل لهذا التعريف، انظر ص. 7 في [RFC2362] في نُبث المراجع.

²⁶¹ انظر التعاريف والمصطلحات الخاصة ببروتوكولات التوجيه في ص. 1-4 في [RFC1136] في نُبث المراجع.



الشَّكْل (5-6): الْحَالَاتُ الْمُخْتَلِفَةُ لِاخْتِيَارِ خَوَازِمِيَّةِ حِسَابِ الشَّجَرَةِ الْمُتَفَرِّعَةِ: أ) عَدَدُ الْعُقْدِ 2 ب) عَدَدُ الْعُقْدِ أَكْبَرُ مِنْ 2 وَأَقْلُ مِنْ عَدَدِ الْعُقْدِ الْإِجْمَالِيِّ فِي الْبَيَانِ ج) الشَّجَرَةُ تَمْتَدُّ لِتَشْمُلَ عُقْدَ الْبَيَانِ كُلِّهَا

تُدِيرُ هَيْئَةُ أَرْقَامِ الْإِنْتَرْنِتِ الْمُخَصَّصَةَ عَمَلِيَّةَ حَجْزِ عَنَاوِينِ الْبَثِّ الْمَجْمُوعِيِّ لِلْإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بَرُوتُوْكُولِ الْإِنْتَرْنِتِ، فَتُخَصِّصُ عَنَاوِينَ مُحَدَّدَةً لِبَعْضِ مِنَ الْبَرُوتُوْكُولَاتِ وَالْخِدْمَاتِ حَسَبِ الْحَاجَةِ،²⁶² وَيُظْهِرُ الْجَدُولُ (5-1) قَائِمَةً فِيهَا بَعْضُ مِنَ الْعَنَاوِينِ الْمَحْجُوزَةِ مِنْ فِضَاءِ الْإِصْدَارِ الرَّابِعِ مَعَ بَيَانِ اسْتِعْمَالِهَا.

طَبَقَةُ الْوَصَلَةِ

يَنْشُطُ فِي هَذِهِ الطَّبَقَةِ عَدَدٌ مِنْ بَرُوتُوْكُولَاتِ الْوَصَلَةِ كَمَا جَاءَ فِي الْفَصْلِ الْأَوَّلِ مِنْ هَذَا الْكِتَابِ. وَلِكِي تَدْعَمَ هَذِهِ الْبَرُوتُوْكُولَاتِ الْبَثُّ الْمَجْمُوعِيِّ يَلْزَمُ مَا يَلِي:

²⁶² انظر [WEB03] مِنْ أَجْلِ قَائِمَةِ عَنَاوِينِ الْبَثِّ الْمَجْمُوعِيِّ وَأَفْضِيَّتِهِ الْمَحْجُوزَةِ فِي الْإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بَرُوتُوْكُولِ الْإِنْتَرْنِتِ.

الجدول (1-5): بعض من عناوين مجموعات البث المجموعاتي في فضاء الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

العنوان	اسم المجموعة
224.0.0.1	مجموعة كل العقد في الشبكة
224.0.0.2	مجموعة كل الموجّهات
224.0.0.4	مجموعة الموجّهات المشغلة لبروتوكول توجيه البث المجموعاتي تبعاً لشعاع المسافة
224.0.0.5، 224.0.0.6	مجموعة الموجّهات المشغلة لبروتوكول المسار الأقصر
224.0.0.9	مجموعة الموجّهات المشغلة لبروتوكول معلومات التوجيه ²⁶³
224.0.0.10	مجموعة الموجّهات المشغلة لبروتوكول التوجيه المحسن بين البوابات الداخلية
224.0.0.12	مجموعة مخدمات وكلاء التحويل لبروتوكول تهيئة المضيف الآلية
224.0.0.13	مجموعة بروتوكولات البث المجموعاتي المستقل عن بروتوكول التوجيه

1. أن تُعرّف فضاءً من عناوين بروتوكول الوصلة، وتُخصّصه للبث المجموعاتي فيصبح لبيانات هذه الطبقة التي تدعم البث المجموعاتي معرفات فريدة.
 2. أن تدعم الآلية لربط أزواج من عناوين البث المجموعاتي المستعملة في طبقتي الشبكة والوصلة بعضها مع بعض.
- تُعرّف معايير بروتوكولات الوصلة المختلفة فضاء العناوين المُخصّص للبث المجموعاتي وتُحدّد آلية المطابقة مع عنوان بروتوكول التشبيك.²⁶⁴ وستُعرض حالة بروتوكول الإيثرنت²⁶⁵ في ما سيأتي على سبيل المثال لا الحصر. والإيثرنت هو بروتوكول وصلة سلكي يدعم البث المجموعاتي، يتحدّد فضاء عناوين البث المجموعاتي خاصته المستعمل للمطابقة مع عناوين البث المجموعاتي الخاصة بالإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت كما سيأتي:

- يُعرّف بروتوكول الإيثرنت فضاءً عنونةً يبلغ طول العنوان فيه 48 بتاً، ويُسمّى عنوان تحكّم بالنفاذ للوسط،²⁶⁶ ويكون ذا بنية مكوّنة من 6 خانات في كل منها 8 بتات. يُكتب محتوى كل خانة بنظام العد ستة العشري، فتمثّل كل خانة برقمين ستة عشريين، وتفصل بين كل خانتين متتاليتين شريطة أفقيّة. على سبيل المثال، -aa-11-00 bb-cc هو عنوان إيثرنت.

²⁶³ أصل الاسم Routing Information Protocol، اختصاراً RIP، للمزيد انظر [RFC2453] في ثبت المراجع.

²⁶⁴ انظر مثلاً [RFC1390] في ثبت المراجع لاستعمال البث المجموعاتي في الشبكات التي تدعم الواجهة البينية للبيانات الموزعة بالألياف Fiber

Distributed Data Interface اختصاراً FDDI، و [RFC1469] لاستعماله مع بروتوكول حلقة الرمز Token-Ring.

²⁶⁵ انظر ص. 120 في [STD03] في ثبت المراجع.

²⁶⁶ أصل الاسم Medium Access Control، اختصاراً MAC.

• يُحدّد معيار آخر²⁶⁷ فضاء عناوين البث المجموعي الخاصّ بالإترنت على أنّه فضاء جزئيّ من العناوين التي تتميّز بأنّ قيمة البت الأقلّ أهمّيّة في الخانة الأكثر أهمّيّة فيها مُساويةً للواحد. أي أنّ: 01-00-00-00-00-00 هو عنوان إترنت للبث المجموعيّ.

• يُخصّص فضاء جزئيّ من فضاء البث المجموعيّ ويُستعمل فقط إذا كان برُوتوكول الإترنت هو برُوتوكول التّشبيك المُستعمل في طبقة الشّبكة، ويمتدّ هذا الفضاء على المجال الّذي يبدأ بالعنوان: 01-00-5e-00-00-00 ويستمرّ حتّى العنوان 01-00-5e-7f-ff-ff.²⁶⁸

أما لإيجاد عنوان الإترنت المُقابل لعنوان مجموعةٍ للإصدار الرّابع من برُوتوكول الإترنت فتُستخدم الخوارزمية التّالية:

1. كتابة عنوان المجموعة الخاصّ بالإصدار الرّابع من برُوتوكول الإترنت بنظام العدّ الثنائيّ.
2. إهمال البتات التسعة الأولى بدءاً من البت الأكثر أهمّيّة في الخانة الأكثر أهمّيّة، ونقل البتات الثلاثة والعشرون المتبقية إلى المرحلة التّالية.
3. إضافة بت واحد إلى يسار البتات السّابقة، ليُصبح العدّد الإجماليّ 24 بتاً، يُضبط هذا البت إلى القيمة 0 في حال كان الإطار سيّرسل في شبكة تُشغّل الإصدار الرّابع من برُوتوكول الإترنت، وإلى القيمة 1 في الحالات الأخرى.
4. تُنقل البتات الأربعة والعشرون إلى ستة أعدادٍ ستّ عشريةٍ هم أعضاء المجموعة $\{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6\}$ ، وفيها X_1 هو العدّد الستّ عشريّ الّذي يُمثّل البتات الأربعة الأكثر أهمّيّة في الخانة الأكثر أهمّيّة، و X_2 هو العدّد الستّ عشريّ المُوافق للبتات الأربعة التّالية في الأهمّيّة وهكذا، ثمّ تُكتب أزواجاً يُفضّل بينها إشارة شريطة أفقيّة، أي "-"، بالشّكل التّالي: $X_1X_2-X_3X_4-X_5X_6$.
5. تُضاف لاجقة ستة عشريةٍ مُكوّنة من ثلاثة بايتات هي 01-00-5e، إلى يسار الأعداد السّابقة، فينتج عنوان التّحكّم بالنّفاذ للوسط المطّوب.

مثلاً، لو كان عنوان المجموعة هو 224.0.0.10، تُنفذ الخوارزمية السّابقة بالشّكل التّالي:

1. نقل العنوان إلى نظام العدّ الثنائيّ، فتكون النتيجة:
1110 1010 . 0000 0000 . 0000 0000 . 0000 0000
2. إهمال البتات التسعة الأولى الأكثر أهمّيّة، أي الخانة الأولى كاملةً والبت الأكثر أهمّيّة في الخانة الثّانية، ثمّ نقل سائر البتات الثلاثة والعشرين (تظّهر بالخطّ الغليظ في الأسفل) إلى المرحلة التّالية.
1110 0000 . 0000 0000 . 0000 0000 . 0000 1010

²⁶⁷ انظر ص. 21 في [STD04] في تّبت المراجع.

²⁶⁸ يتحدّد هذا المجال ببادئةٍ طولها 24 بتاً تُسمّى مُعرّف المنظّمة الفريد Organizationally Unique Identifier، اختصاراً OUI، وقيمتها في هذه الحالة هي 01-00-5e. وقد خصّص معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيّات Institute of Electrical and Electronics Engineers، اختصاراً IEEE، هذه القيمة لهيئة أرقام الإترنت المُخصّصة، للمزيد حول ذلك انظر ص. 5 في [RFC5342]

3. إضافة بت قيمته 0 إلى يسار الناتج فيصبح طوله 24 بتاً:

0 >> 000 0000 . 0000 0000 . 0000 1010

0000 0000 . 0000 0000 . 0000 1010

4. نقل الناتج إلى نظام العدِّ ستة العشري، وكتابته كتابةً مناسبة:

00-00-0a

5. إضافة الناتج إلى يمين البادئة 01:00:5e كما سيأتي:

01-00-5e << 00-00-0a

فيكون الناتج النهائي:

01-00-5e-00-00-0a

توجيه رزم البث المجموعي

التوجيه هو تحديد مسار رزمة البيانات ونقلها من مصدرها إلى وجهتها. أما توجيه رزم البث المجموعي فهو تحديد شجرة البث المجموعي الخاصة بالمجموعة، ثم نقل الرزمة عبر فروع هذه الشجرة حسب مبدأ "مصدر وحيد ووجهات عديدة"، ونسخها ومضاعفتها في أثناء ذلك حسب الحاجة، لتصل في نهاية المطاف إلى أعضاء المجموعة كلهم.

توجه كل رزمة توجيهاً منفرداً حسب مبدأ تبديل الرزم، ويمكن تقسيم العملية إلى مرحلتين منفصلتين متتابعين:

1. المرحلة الأولى: تبدأ في مصدر الرزمة وتستمر عبر الشبكة حتى وصول الرزمة إلى جذر شجرة البث المجموعي.
2. المرحلة الثانية: تحصل ضمن النظام الوسيط الذي تمر شجرة البث المجموعي عبره حيث تضاعف الموجهات، بدءاً من الجذر، رزمة البيانات وتنفقها عبر فروع الشجرة لتصل إلى أعضاء المجموعة كلهم.

انطلاقاً من المصدر، توجه رزمة البث المجموعي بالشكل التالي:

1. يُولد كيان بروتوكول التشبيك العامل على مستوى طبقة الشبكة في مصدر الرزمة، والذي لا يُشترط به أن يكون عضواً في مجموعة البث المجموعي، رزمة بيانات، ويكون عنوان الوجهة فيها هو عنوان المجموعة الهدف.
2. ينتقل العمل إلى كيان طبقة الوصلة الذي يشغل بروتوكول وصلة يحسب عنوان المجموعة على مستوى طبقة الوصلة المتوافق مع عنوان المجموعة الموجود في الرزمة، ثم تغلف الرزمة بعد ذلك ضمن إطار بيانات مُرسَل نحو العنوان المحسوب.
3. يُرسل إطار البيانات عبر الشبكة.
4. تضاعف مُعدّات الشبكة المحليّة الإطار ليصل إلى أعضاء المجموعة في الشبكة المحليّة كلهم، ويشمل ذلك الموجهات التي تدعم البث المجموعي المتصلة مع الشبكة، إن وجدت، وإن لم تُوجد، تنتهي عملية التوجيه.
5. يستقبل الموجه إطار البيانات، ويتحقق من وصوله سليماً من غير أخطاءٍ في النقل، ثم يفك تغليف الإطار ويستخرج رزمة البيانات. في حال وجود أخطاءٍ يتخلّص الموجه من الإطار، وتنتهي عملية التوجيه.

6. يقرأ الموجّه عنوان وجهة الرّزمة، وتتعرف على عنوان المجموعة وتحددها.
7. يتحقق الموجّه الذي استقبل الرّزمة من كونه جذراً لشجرة البثّ المجموعيّ الخاصّة بالمجموعة المحدّدة، ولا يشترط أن يكون الموجّه الأوّل الذي تصله الرّزمة في النّظام الوسيط هو جذر الشّجرة. في الحالة التي يكون الموجّه فيها جذراً للشّجرة، يُنتقل إلى الخطوة الثامنة من الخوارزمية مباشرةً، أمّا بخلاف ذلك، فتعامل الرّزمة حسب الخطوات التّالية:
- أ. اتخاذ قرار التّوجيه بإرسال الرّزمة نحو الجذر.
- ب. تغليف الرّزمة ضمن إطار جديد مناسب.
- ت. إرسال الرّزمة عبر النّظام الوسيط نحو جذر الشّجرة، وتكون الرّزمة في هذه الحالة جزءاً من النّيار الهابط، لأنّها تتحرّك نحو الجذر.
- ث. يُعيد كلُّ موجّه يستقبل الإطار الخطوات السابقة بدءاً من الخطوة الخامسة.
8. يتخذ قرار توجيهه، بعد وصول الرّزمة إلى الجذر، بإرسالها عبر شجرة البثّ المجموعيّ، وتبدأ عمليّات نسخ الرّزمة ومضاعفتها، حسب الحاجة، لينشرها عبر فروع الشّجرة.
9. تُغلّف كلُّ رزمةٍ من الرّزم النّاتجة عن التّضاعف تغليفاً مناسباً، فتنتج مجموعةً من الأطر البيانات التي سترسل عبر فروع الشّجرة، لتصل إلى العقد الأوراق كلّها.
10. يُرسل كلُّ إطارٍ إرسالاً مستقلاً ليسلك أحد الفروع حسب قرار التّوجيه السابق، وتُصنّف حركة الأطر ضمن النّيار الصّاعد، لأنّها تتحرّك مُبتعدةً عن الجذر.
11. عندما يصل الإطار إلى العقد التّالية في الشّجرة، يتحدّد سلوك العقدة حسب نوعها:
- أ. يُغلّف تغليف الرّزمة في العقد الوسيطة، ثمّ يتخذ قرار توجيهه بإرسالها عبر فروع الشّجرة، ومضاعفتها حسب القرار، ثمّ تُغلّف الرّزم النّاتجة ضمن أطرٍ جديدةٍ مناسبةٍ لقرار التّوجيه، وترسل الأطر عبر الفروع حسب القرار، وتُعاد هذه الخطوة في العقد التّالية التي تستقبل هذه الأطر.
- ب. يتخذ قرار توجيهه في العقد الأوراق بنقل الرّزمة إلى الشّبكات المحليّة ثمّ تُعاد الخطوة الرّابعة فيها فقط.

بروتوكولات البثّ المجموعيّ

يتطلّب نجاح البثّ المجموعيّ عمل عائلتين من البروتوكولات معاً:

- عائلة بروتوكولات إدارة مجموعات البثّ المجموعيّ، وتهتمّ بالعلاقات التي تربط الأعضاء بالمجموعة، نحو الانضمام إليها أو مغادرتها، وكيفية نشر المعلومات الخاصّة بأعضاء المجموعة في الشّبكة المحليّة. تنشيط بروتوكولات إدارة المجموعة في الشّبكات المحليّة، وبالتحديد بين المضيفين وبين الموجهات، ويكون اهتمامها موجّهاً لبناء المجموعات والمحافظة عليها.
- عائلة بروتوكولات توجيه رزم البثّ المجموعيّ، تهتمّ بإنشاء أشجار البثّ المجموعيّ وتحديثها باستمرار. تُحدّد هذه الأشجار مسار رزم البثّ المجموعيّ عبر النّظام الوسيط من المصدّر وصولاً إلى أعضاء المجموعة كلّهم.

ونناقش الفقرات القادمة في هذا القسم بعضاً من الأمثلة عن بروتوكولات المجموعتين.

بروتوكولات إدارة المجموعات

هي مجموعة من البروتوكولات النشطة في الشبكة المحلية، تُشرف على الوظائف الخاصة بالمجموعة والتي تشمل انضمام الأعضاء إليها ومغادرتهم لها، بالإضافة إلى نشر المعلومات الخاصة بأعضاء المجموعات في الشبكة المحلية.

أهم بروتوكولات إدارة المجموعات هي بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت الذي يُدير مجموعات البث المجموعاتي الخاصة بالإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، وبروتوكول اكتشاف مُستمي البث المجموعاتي²⁶⁹ الذي يُدير مجموعات الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، بالإضافة لعدد من البروتوكولات التي تُنجز مهامَّ مُحددة ترتبط بتوزيع رزم البث المجموعاتي داخل الشبكة المحلية نحو بروتوكول سيسكو لإدارة المجموعة وبروتوكول سيسكو لإدارة مجموعة منقذ المُوجه، وستُدرَس هذه البروتوكولات، ما خلا بروتوكول اكتشاف مُستمي البث المجموعاتي، في ما سيأتي في هذا الفصل.

بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت²⁷⁰

هو بروتوكول اتصالٍ يعمل على مستوى طبقة الشبكة، يُدير المجموعات الخاصة بالبث المجموعاتي لرزم الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، ويُحدد كيفية انضمام المُضيفين إلى المجموعات وكيفية مغادرتها آلياً، ومعنى ذلك أنه يَسمح لأيِّ مُضيف بأن ينضمَّ إلى المجموعة أو أن يُغادرها في أيِّ وقتٍ يشاء. بالإضافة لذلك، لا يَصع البروتوكول قُوداً على عدد أعضاء المجموعة ولا على مواقعهم، كما يَسمح لِمُضيفٍ ما بالانضمام إلى أكثر من مجموعة في الوقت نفسه.

يُعرّف هذا البروتوكول نوعين من الرسائل، هما رسائل الاستعلام ورسائل التقارير. تُستخدم رسائل الاستعلام لاستجواب عُقد الشبكة من أجل التَّحَقُّق من عضويتها في مجموعة ما، أمَّا رسائل التقارير، فهي ردُّ العُقد المُستجوبة على رسالة الاستعلام.

طوّرت مجموعة مهندسي الإنترنت ثلاثة إصداراتٍ من بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت، أولها جاء في العام 1989م، وهو موصوف في الوثيقة RFC 1112،²⁷¹ وحدد آليات انضمام المُضيف إلى مجموعة ما أو مغادرتها. وأمَّا الإصدار الثاني، فطوّر في العام 1997م، ووصف في الوثيقة RFC 2236، وقد احتوى العديد من التَّعديلات أهمّها السَّماح لِلْمُضيف بطلب مغادرة المجموعة.²⁷² وأمَّا الإصدار الثالث، فقد طوّر في العام 2002، ويدعم ميزة البث المجموعاتي مُحدّد المصدّر التي سنناقش في ما سيأتي من هذا الفصل، وهو موصوف في الوثيقة RFC 3376.²⁷³

تتوافق الإصدارات الثلاثة من البروتوكول بعضها مع بعض، أي أنّ المُوجه الذي يُشغّل الإصدار الثالث من بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت يدعم أيضاً العملاء الذين يُشغّلون الإصدار الأوّل والإصدار الثاني من البروتوكول.

²⁶⁹ أصل الاسم Multicast Listener Discovery، اختصاراً MLD، وانظر ما جاء في شأنه في الفصل العاشر من هذا الكتاب.

²⁷⁰ أصل الاسم Internet Group Management Protocol، اختصاراً IGMP.

²⁷¹ انظر [RFC1112] في ثبت المراجع.

²⁷² انظر [RFC2236] في ثبت المراجع.

²⁷³ انظر [RFC3376] في ثبت المراجع.

بروتوكول سيسكو لإدارة المجموعة²⁷⁴

هو بروتوكول اتصال يعمل على مستوى طبقة الوصلة في الشبكات المحلية، ويساعد في إدارة مجموعات البث المجموعي. طُوِّر هذا البروتوكول في العام 1996م،²⁷⁵ وهو مملوك لشركة سيسكو.²⁷⁶

طُوِّر هذا البروتوكول لحل مشكلة ترتبط بالمُبدلات العاملة في مستوى الطبقة الثانية من نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة. لا تستطيع هذه المُبدلات التمييز بين رسائل البث المجموعي التي تحتوي بيانات المستخدمين وتلك التي تحتوي معلومات التحكم الخاصة بإدارة المجموعة، والسبب في ذلك هو أن الأُطر التي تحتوي الاثنين مُوجهة نحو عنوان المجموعة. نتيجة لذلك، لا تستطيع هذه المُبدلات تمييز منقذها المُتصل مع المُوجه الذي يدعم البث المجموعي، ويكون الحل المُتبع عند الحاجة لإرسال رزم بيانات البث المجموعي إلى المُوجه هو اعتماد تقنية العمر²⁷⁷.

يُنشئ البروتوكول، لمعالجة المشكلة السابقة، قاعدة بيانات لمجموعات الموجودة في الشبكة المحلية التي يتصل معها مُوجه أو مُبدل عديد الطبقات،²⁷⁸ ثم يتواصل مع المُبدلات العاملة في مستوى الطبقة الثانية في تلك الشبكة المحلية، مُستخدماً مجموعة مُحددة من عناوين التحكم بالنفاذ للوسط، فتميز المُبدلات الرسائل، وتحصل منها على معلومات المجموعات وتحدد المنقذ الذي يتصل مع المُوجه أو المُبدل عديد الطبقات.²⁷⁹ إذا فُعلت ميزة مراقبة بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت في مُبدلات الطبقة الثانية، يُمكن أن تُؤدّي الوظيفة نفسها، وستناقش هذه الميزة في ما سيأتي من الفصل.

بروتوكول سيسكو لإدارة مجموعة منقذ المُوجه²⁸⁰

هو بروتوكول اتصال يعمل على مستوى طبقة الشبكة طُوِّرته شركة سيسكو في العام 2003م، يهتم بإدارة مجموعات البث المجموعي في الشبكة المحلية، وهو موصوف في وثيقة طلب التعليقات RFC 3488.²⁸¹

طُوِّر البروتوكول لخلق آلية يُمكن من خلالها لمُعدّات الشبكة النشطة في مستوى الطبقة الثالثة أن تتواصل مع المُبدلات العاملة في الطبقة الثانية وأن تُحدّد لها المجموعات التي تمتد أشجارها عبرها. لا تظهر أهميّة ما سبق في الشبكات المحلية

²⁷⁴ أصل الاسم: Cisco Group Management Protocol، اختصاراً CGMP.

²⁷⁵ انظر مُسوّدة اقتراح البروتوكول في [WEB08] في ثبت المراجع.

²⁷⁶ شركة أنظمة سيسكو Cisco Systems, Inc، هي شركة أمريكية الأصل دولية النشاط تأسست في عام 1984م مقرها في سان فرانسيسكو، نُصِّع وتبيع عتاد شبكات البيانات وبرمجياتها.

²⁷⁷ أصل الاسم Flood، هي آلية تبديل تتبعتها مُبدلات البيانات تقضي بإرسال إطار البيانات عبر منافذ المُبدل كلّها ما خلا المنقذ الذي ورد الإطار منه، وتُستعمل عندما يجهل المُبدل وجهة إطار البيانات، ويُفضّل تجنّبها ما أمكن ذلك لأنها تغمُر الشبكة بعدد كبير من أطر البيانات المُكررة بعد كلّ استعمال، فتُحطّ من أدائها العام.

²⁷⁸ أصل الاسم Multilayer Switch، هو أحد مُعدّات الشبكة التي تنشط أساساً في الطبقة الثانية من نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة فتدعم خدماتها وبروتوكولاتها، لكنّها بالإضافة لذلك، تدعم خدمات وبروتوكولات طبقات أعلى نحو معالجة رزم البيانات أو توجيهها وهي من خدمات الطبقة الثالثة من النموذج، أي طبقة الشبكة.

²⁷⁹ انظر آلية عمل البروتوكول مُفضّلة في ص. 8-40 في [STD05] في ثبت المراجع.

²⁸⁰ أصل الاسم Cisco Systems Router-port Group Management Protocol، اختصاراً RGMP.

²⁸¹ انظر [RFC3448] في ثبت المراجع.

التي لا تتصل إلا مع جهازٍ وحيدٍ ناشطٍ في الطبقة الثالثة، لأنَّ أشجار البثِّ المجموعاتيِّ ستمرُّ كلها عبره في هذه الحالة. ولكن عندما تتصل شبكةٌ محلّيةٌ مع أكثر من جهازٍ ناشطٍ في الطبقة الثالثة في الوقت نفسه، فإنَّ أشجار البثِّ المجموعاتيِّ قد تمتدُّ عبر بعضٍ من هذه المُعدّات لا عبرها كلها، وسيكون من غير المُجدي إرسال رزم البثِّ المجموعاتيِّ إلى جهاز طبقة ثالثة لا تمتدُّ شجرة المجموعة عبره، وهذا هو الوضع المثاليُّ لاستعمال البروتوكول.

ينشط البروتوكول في الوصلات التي تربط بين المُعدّات العاملة في الطبقة الثانية والمُعدّات العاملة في الطبقة الثالثة، وهو يعمل في الطبقة الثالثة حسب نموذج الربط البيئيِّ للأنظمة المفتوحة، ولتروبيسته بنيةً مطابقةً لبنية تروبيسة بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت وتُغلف ضمن رزمة الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، مع ضبط قيمة حقل البروتوكول إلى 2، وعنوان الوجهة إلى 224.0.0.25 وهو عنوان بثِّ مجموعاتيِّ مخصَّصٍ لإدارة العلاقة بين مُعدّات الطبقة الثانية ومُعدّات الطبقة الثالثة.²⁸²

بروتوكولات توجيه رزم البثِّ المجموعاتيِّ

هي عائلةٌ من بروتوكولات التوجيه تختصُّ برزم البثِّ المجموعاتيِّ وتعمل على بناء أشجارٍ مُتفرّعةٍ خاليةٍ من الحلقات تمتدُّ نحو أعضاء المجموعة عبر المسارات القصرى المتاحة. تصل، نتيجةً لذلك، نسخةٌ واحدة فقط من الرزمة لأعضاء المجموعة كلهم ولا تصل لسواهم.

تُقسّم بروتوكولات التوجيه الخاصة بالبثِّ المجموعاتيِّ إلى مجموعتين رئيسيتين:

- بروتوكولات توجيه البثِّ المجموعاتيِّ للشبكات ثابتة البنية²⁸³.
- بروتوكولات توجيه البثِّ المجموعاتيِّ للشبكات المخصصة متحركة البنية²⁸⁴.

وستناقش الفقرات التالية بعضاً من بروتوكولات المجموعتين على سبيل المثال لا الحصر.

بروتوكولات توجيه رزم البثِّ المجموعاتيِّ في الشبكات الثابتة

تُصنّف بروتوكولات توجيه البثِّ المجموعاتيِّ الخاصة بالشبكات الثابتة وفقاً لمصدر معلوماتها، فإما أن تعتمد على معلومات التوجيه المكتسبة عن طريق بروتوكولٍ مُحدّدٍ لتوجيه رزم البثِّ فريد الوجهة، أو أن تكون مُستقلةً، أي تعمل مع أيِّ بروتوكول توجيهٍ للبرزم فريدة الوجهة.

تُصنّف هذه البروتوكولات حسب النطاق الذي تمتدُّ فيه الشجرة المُتفرّعة، سواء داخل نطاق توجيهٍ واحدٍ فقط فتُسمّى داخليةً أو بين نطاقاتٍ عديدة فتُسمّى خارجيةً أو بينيةً. يعمل بروتوكول توجيهٍ داخليٍّ واحدٍ في نطاق البثِّ المجموعاتيِّ

²⁸² انظر [WEB03] في ثبّت المراجع.

²⁸³ انظر [ART32] في ثبّت المراجع من أجل دراسةٍ استقصائيةٍ عن هذه العائلة من بروتوكولات التوجيه.

²⁸⁴ انظر [ART33] في ثبّت المراجع من أجل دراسةٍ استقصائيةٍ عن هذه العائلة من بروتوكولات التوجيه.

غالباً، ولكن قد يُشغّل أكثر من بروتوكول توجيه في النطاق نفسه، وتُصِف الوثيقة RFC 2715 عمليّة التشغيل المُشترك والمشكلات التي تُواجهها.²⁸⁵

بروتوكول توجيه البثّ المجموعيّ تبعاً لِسُباع المسافة²⁸⁶

هُو بروتوكول توجيه داخليّ لِرزم البثّ المجموعيّ، يعمل وفقاً لخوارزمية بيلمان وفورد، التي تُسمّى أيضاً خوارزمية سُباع المسافة. طُوّر هذا البروتوكول في العام 1988م، بهدف دعم البثّ المجموعيّ بين الشبكات المحليّة،²⁸⁷ وهو موصوفٌ في وثيقة طلب التعليقات RFC 1075.²⁸⁸

يبيّن البروتوكول جدول توجيه خاصّ به في كلّ موجّه يُشغّله، ثمّ تتبادل هذه المُوجّهات معلّومات التوجيه في ما بينها. يبيّن البروتوكول، اعتماداً على جدول التوجيه السابق، شجرة بثّ مجموعيّة تبعاً للمصدر لإيصال رزم البثّ المجموعيّ إلى أعضاء المجموعة كلّهم. يعتمد البروتوكول على آليّة التوجيه بعكس المسار، التي ستناقش في ما سيأتي من هذا الفصل لبناء شجرة المسارات الفُصرى الخالية من الحلقات.

صُمّم بروتوكول توجيه البثّ المجموعيّ تبعاً لِسُباع المسافة ليُكون بروتوكول توجيه داخليّ أيّ ينشط في نطاق بثّ مجموعيّ وحيدٍ، ولا يُمكن أن تمتدّ الشجرة التي يبنيها لتُصل بين نطاقين مُختلفين. بالإضافة لذلك، صُمّم هذا البروتوكول ليعملّ مُستقلاً عن بروتوكولات توجيه البثّ فريد الوجهة، لذلك يُلزم على مُوجّهات البثّ فريد الوجهة التي تُشغّله أن تدعّم عمليّتي توجيه مُستقلّتين تماماً، إحداهما للبثّ فريد الوجهة والأخرى للبثّ المجموعيّ.²⁸⁹

توسعة البثّ المجموعيّ لبروتوكول المسار الأقصر²⁹⁰

هي إضافة توسعة²⁹¹ لبروتوكول المسار الأقصر²⁹² متوافقة مع إصداراته السابقة، أُدخلت في العام 1994م، ووصفت في وثيقة طلب التعليقات RFC 1584.²⁹³ تُهدف التوسعة إلى جعل البروتوكول قادراً على توجيه رزم البثّ المجموعيّ عن طريق بناء أشجارٍ تبعاً للمصدر، بالإضافة إلى مهمّته الرئيّسة المُتمثّلة بتوجيه الرزم فريدة الوجهة.

²⁸⁵ انظر [RFC2715] في ثبت المراجع.

²⁸⁶ أصل الاسم: Distance Vector Multicast Routing Protocol، اختصاراً DVMRP.

²⁸⁷ للاطلاع على كيفية تمديد شجرة بثّ مجموعيّة عبر شبكاتٍ محليّةٍ عديدة في نطاق بثّ وحيدٍ، انظر ما جاء في ص. 58 في [ART34] في ثبت المراجع.

²⁸⁸ انظر [RFC1075] في ثبت المراجع.

²⁸⁹ للتوسّع أكثر بهذا الشأن، انظر [ART35] في ثبت المراجع.

²⁹⁰ أصل الاسم Multicast Open Shortest Path First اختصاراً MOSPF.

²⁹¹ أصل الاسم Plug-in.

²⁹² بروتوكول المسار الأقصر Open Shortest Path First، اختصاراً OSPF، هُو بروتوكول توجيه داخليّ لِرزم البثّ فريد الوجهة يعملّ تبعاً لخوارزمية ديكسترا، من أجل إصدار البروتوكول المتوافق مع الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت انظر [RFC2328] في ثبت المراجع.

²⁹³ انظر [RFC1584] في ثبت المراجع.

تُضيف الموجهات التي تُشغل البروتوكول معلوماتٍ عن أعضاء المجموعات الذين يتصلون معها إلى إعلانات حالة الوصلة²⁹⁴ المُتبادلة دورياً. ثمَّ يبيّن كلُّ موجهٍ، بعد تطبيق خوارزمية ديكسترا، جدول توجيه خاصٍّ بكلِّ مجموعةٍ.

البثُّ المجموعيُّ المُستقلُّ عن بروتوكول التوجيه²⁹⁵

هي عائلةٌ من بروتوكولات التوجيه الداخليّة لِرزم البثِّ المجموعيّ، تعتمد على معلومات التوجيه المُتوقّرة من بروتوكولات توجيه البثِّ فريد الوجهة، أيّاً كانت، عوضاً عن بناء جداول توجيه خاصّةٍ بها، ولكنَّ عملها لا يرتبط ببروتوكول توجيه مُحَدّد، ومن هنا حصلت هذه العائلة من البروتوكولات على اسمها.²⁹⁶

تختلف البروتوكولات التي تنتمي إلى هذه العائلة بأنواع أشجار البثِّ المجموعيّ التي تعتمد عليها، فمنها من يعتمد على الأشجار المبنية تبعاً للمصدر فقط، ومنها ما يعتمد على أشجار المصدر والأشجار المشتركة معاً.

أهمُّ بروتوكولات التوجيه التي تنتمي إلى هذه العائلة:²⁹⁷

- بروتوكول البثِّ المجموعيّ المُستقلُّ، النمط المُتناثر: وُصف في الوثيقة RFC 7761،²⁹⁸ وهو بروتوكول توجيه لِرزم البثِّ المجموعيّ يعمل على افتراض أن أعضاء المجموعة المُراد توجيه الرزم إليها مُتناثرون تثاراً مُتباعداً في الشبكة، واستناداً إلى هذا الافتراض، لا تحتوي الشبكات المحليّة في أغلبها أعضاء ينتمون لهذه المجموعة. ويلزم على الموجهات التي تتصل مع شبكاتٍ محليّة فيها أعضاء في هذا المجموعة أن تُعلن عن ذلك صراحةً لتوجّه الرزم إليها. غالباً ما يستخدم هذا البروتوكول أشجار البثِّ المجموعيّ المشتركة، ولكنّه قد يستخدم الأشجار المبنية تبعاً للمصدر أيضاً.
- بروتوكول البثِّ المجموعيّ المُستقلُّ، النمط الكثيف: وُصف في الوثيقة RFC 3973،²⁹⁹ وهو بروتوكول توجيه لِرزم البثِّ المجموعيّ يعمل على افتراض أن أعضاء المجموعة المُراد توجيه الرزم إليها مُنتشرين انتشاراً كثيفاً في الشبكة، واستناداً إلى هذا الافتراض، تحتوي الشبكات المحليّة في أغلبها أعضاء ينتمون لهذه المجموعة، ويلزم على الموجهات التي لا تتصل مع أعضاء في هذا المجموعة أن تُعلن عن ذلك صراحةً لكي لا تُوجّه الرزم إليها. يستخدم هذا البروتوكول أشجار البثِّ المجموعيّ المبنية تبعاً للمصدر فقط.
- بروتوكول البثِّ المجموعيّ المُستقلُّ، النمط ثنائي الاتجاه: وُصف في الوثيقة RFC 5015،³⁰⁰ وهو بروتوكول توجيه لِرزم البثِّ المجموعيّ مُطوّر عن النمط المُتناثر لِبروتوكول البثِّ المجموعيّ المُستقلُّ مع اختلافٍ

²⁹⁴ أصل الاسم Link-State Advertisement، اختصاراً LSA.

²⁹⁵ أصل الاسم Protocol Independent Multicast اختصاراً PIM.

²⁹⁶ للمزيد حول هذه العائلة، انظر [STD06] في ثبّت المراجع.

²⁹⁷ أصول الأسماء: النمط المُتناثر Sparse Mode، اختصاراً PIM-SM، النمط الكثيف Dense Mode، اختصاراً PIM-DM، النمط ثنائي

الاتجاه Bi-directional، اختصاراً BIDIR-PIM.

²⁹⁸ انظر [RFC7761] في ثبّت المراجع.

²⁹⁹ انظر [RFC3973] في ثبّت المراجع.

³⁰⁰ انظر [RFC5015] في ثبّت المراجع.

جوهريّ هو اعتماد النمط ثنائي الاتجاه للأشجار المشتركة فقط، وفيه تكون حركة البيانات غير مُفيدة بالنّسبة للصّاعِد من الجذر نحو الأوراق، بل قد تسلك أيضاً الاتجاه الهابط لو كان ذلك مناسباً، أي من الأوراق نحو الجذر، ومن هنا حصل البروتوكول على اسمه.³⁰¹

بروتوكولات توجيه أُخرى

- توسعة بروتوكول البوّابة الحدوديّة:³⁰² هي إضافة توسعة لبروتوكول البوّابة الحدوديّة، طوّرت أساساً لِمَنح البروتوكول إمكانيّة دعم عوائلٍ مُختلفةٍ من فضاءات العناوين، ليُصبح ممكناً نقل معلومات التّوجيه بين نطاقاتٍ وأنظمةٍ مُستقلّةٍ تُشغّل بروتوكولات تشبيكٍ مُختلفةٍ، وهذه التّوسعة موصوفةٌ بوثيقة طلب التّعليقات RFC 4760.³⁰³
- يَنبُج عن استعمال التّوسعة السّابقة بروتوكول توجيهٍ خارجيّ يُنقل معلومات التّوجيه الخاصّة بالمجموعات بين الأنظمة المُستقلّة، يُعامل فضاء العناوين الخاصّ بالبثّ المجموعيّ معاملةً فضاءٍ مُستقلّ، فيسمح بتوجيه رزم البثّ المجموعيّ بين الأنظمة المُستقلّة عبر طوبولوجيا متشابكةٍ خاصّةٍ بالبثّ المجموعيّ توجيهاً مُستقلّاً عن توجيه الرّزم فريدة الوجهة، أي يُمكن لِشجرة البثّ المجموعيّ حينها أن تمتدّ إلى خارج النّظام المُستقلّ وتُتوسّع نحو أنظمةٍ مُستقلّةٍ أُخرى.
- بروتوكول الشّجرة مركزيّة النّواة³⁰⁴ هو بروتوكول توجيهٍ لِرزم البثّ المجموعيّ، مناسبٌ لِلعمل بالنّمطين الدّاخليّ والخارجيّ وهو مُستقلٌّ عن بروتوكولات توجيه البثّ فريد الوجهة. يبني البروتوكول أشجاراً مُشتركةً ثنائيّة الاتجاه، وهو موصوفٌ في الوثيقة RFC 2189.³⁰⁵
- كان الدّافع الرّئيس وراء العمل هو تطوير بروتوكولٍ يدعّم قابليّة الشّبكات لِلتّوسّع، ومع أنّ مُحدّدات الإصدار الأوّل من البروتوكول قد وُضعت، إلّا أنّه لم يُنفذ أبداً. أمّا الإصدار الثّاني، وهو الإصدار الحاليّ، فهو غير متوافقٍ مع الإصدار الأوّل، ويعتمد على الأشجار مركزيّة النّواة الّتي منحت اسمها. جرّت محاولةً لِتطوير إصدارٍ ثالثٍ من البروتوكول، ولكنّها لم تتجاوز مرحلة المُسوّدة.³⁰⁶
- بروتوكول اكتشاف مصادِر البثّ المجموعيّ³⁰⁷ هو بروتوكول توجيهٍ خارجيّ لِرزم البثّ المجموعيّ مُستقلٌّ عن بروتوكولات توجيه الرّزم فريدة الوجهة، يعمل على الرّبط بين نطاقات البثّ المجموعيّ الّتي تُشغّل النمط

³⁰¹ لِمقارنةٍ بين الأشجار المُشتركة وحيدة الاتجاه والأشجار المُشتركة ثنائيّة الاتجاه، انظر ص. 1-2 في [WEB09] في ثبّت المراجع

³⁰² أصل الاسم Multiprotocol Border Gateway Protocol، اختصاراً MBGP.

³⁰³ انظر [RFC4760] في ثبّت المراجع.

³⁰⁴ أصل الاسم Core-Based Tree Protocol، اختصاراً CBT Protocol.

³⁰⁵ انظر [RFC2189] في ثبّت المراجع

³⁰⁶ انظر [WEB10] في ثبّت المراجع.

³⁰⁷ أصل الاسم Multicast Source Discovery Protocol، اختصاراً MSDP

المتناثر من بروتوكول البث المجموعيّ المستقلّ، من خلال بنائه لأشجار بثّ مجموعاتيّ مشتركة داخل نطاقه الخاصّ، وللأشجار تبعاً للمصدر مع النطاقات الأخرى التي يربط بينها. وهو موصوف في الوثيقة RFC 3618.³⁰⁸ يعمل هذا البروتوكول في طبقة التطبيق، ويعتمد على بروتوكول التحكم بالنقل ليكون بروتوكول نقل، مع رقم منقذ محجوز له هو 639.³⁰⁹

بروتوكولات توجيه رزم البث المجموعيّ في الشبكات المخصصة المتحركة

تختلف الشبكات المخصصة المتحركة³¹⁰ عن الشبكات التقليدية بافتقادها لبنية تحتية ثابتة الطوبولوجيا، بل على العكس، تكون الطوبولوجيا فيها متغيرة البنية، وتكون الشبكة مكونة من عددٍ، قد يصل للمئات أو الآلاف، من العقد المتحركة التي تعتمد على طاقة مدخرات، وهو ما يفرض على البروتوكولات العاملة فيها قيوداً إضافية ترتبط بالحاجة لاستهلاك أدنى كمية ممكنة من الطاقة.³¹¹

نصّف بروتوكولات التوجيه الخاصة بالبث المجموعيّ تبعاً:³¹²

- لفلسفة التصميم إلى استباقيّ أو متفاعليّ أو هجين³¹³. أمّا الاستباقيّ، فهو الذي يحسب المسارات نحو الوجهات كلّها بعد تشغيله. وأمّا المتفاعليّ فهو الذي يحسب المسارات عند الحاجة، وأمّا الهجين فهو يخلط شيئاً من الفلسفتين السابقتين معاً.
- لطريقة التعامل مع الطوبولوجيا، أي هل يتعامل البروتوكول مع الطوبولوجيا كاملةً دفعةً واحدة أم أنه يُقسّمها إلى أجزاء؟ فلو تعامل معها كاملةً، وُصف بأنه وحيد المستوى، ولو قسّمها إلى أجزاء، فهو تراتبيّ، وقد يُصنّف بعد ذلك أيضاً إلى مناطقيّ أو عنقوديّ وفقاً لنهج التقسيم.³¹⁴
- لطريقة إنشاء المسارات إلى متشابهة أو شجرية أو هجينة. أمّا في المتشابهة فتكون طوبولوجيا المسارات فيها متشابهة، أي يُحتمل وجود مساراتٍ متعدّدة لكلّ وجهة. وأمّا في الشجرية، تكون طوبولوجيا المسارات الناتجة شجرة جذرها هو العقدة المصدر للرزم. وأمّا في الهجينة، فتكون الطوبولوجيا خليطاً مما سبق.
- لخوارزمية عمل البروتوكول إلى بروتوكولاتٍ عاملة بخوارزميات شعاع المسافة نحو خوارزمية بيلمان فورد أو عاملة بخوارزميات حالة الوصلة نحو خوارزمية ديكسترا أو بروتوكولات هجينة تعمل وفقاً لخليط مما سبق.

³⁰⁸ انظر [RFC3618] في ثبت المراجع.

³⁰⁹ انظر [WEB11] في ثبت المراجع.

³¹⁰ أصل الاسم Ad-hoc mobile network، Ad-hoc، كلمة لاتينية الأصل تعني خاصاً أو مشكلاً لمعالجة موضوع معين، انظر ص. 33 في [BKA02] في ثبت المراجع. للمزيد حول هذه الشبكات نُشير إلى الفصل الأوّل من أطروحة الدكتوراه التي أعدناها في عام 2021م، وموضوعها محاكاة هذا النوع من الشبكات، انظر ص. 10-24 في [BKE07].

³¹¹ للمزيد حول متطلبات هذا النوع من الشبكات، انظر [ART36] في ثبت المراجع.

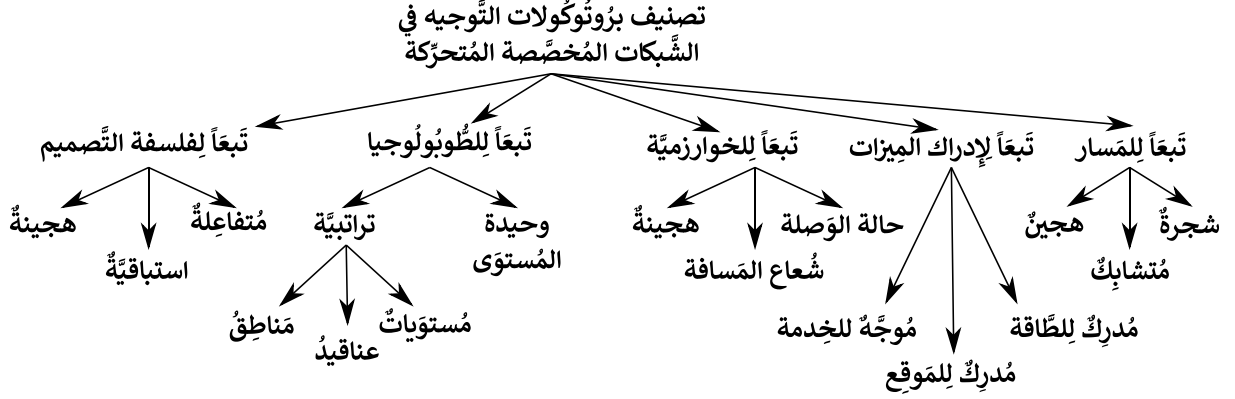
³¹² انظر تفاصيل أوسع في [ART37] في ثبت المراجع.

³¹³ أصول الأسماء هي Proactive وActive وHybrid على الترتيب.

³¹⁴ أصول الأسماء هي: Flat لوحيد المستوى، وHierarchy لتراتبية، وZone لمنطقة وCluster لعنقود.

- لإدخال البروتوكول لمعاملاتٍ مُحدَّدةٍ في حساب المسار، أيَّ أنَّ التَّفضيل بين المسارات يأخذ بالحسبان أيضاً عواملَ نحو جودة الخدمة أو موقع العقدة أو الطَّاقة المُخزَّنة فيها.

ويُبيِّن الشَّكل (5-7) شجرة تصانيف بروتوكولات توجيه البثِّ المجموعيِّ في الشبكات المُخصَّصة المُتحرِّكة.



الشَّكل (5-7): تصنيف بروتوكولات توجيه البثِّ المجموعيِّ في الشبكات المُخصَّصة المُتحرِّكة

في ما يأتي عرضٌ لبعضٍ من بروتوكولات توجيه رزم البثِّ المجموعيِّ في الشبكات المُخصَّصة المُتحرِّكة، وكُلُّها استباقيةٌ لا تُفاضل بين المسارات تبعاً للميزات:

- بروتوكول توجيه البثِّ المجموعيِّ تبعاً للطلب³¹⁵ هو بروتوكول توجيه لِرزم البثِّ المجموعيِّ مُخصَّصٌ للشبكات المُتحرِّكة، يعتمد على عدَد القفزات على طول المسار لحساب الوزن. يُنبئ البروتوكول شبكةً من المسارات المُتشابهة التي تمتدُّ على طوبولوجيا الشبكة كاملةً.
- بروتوكول توجيه البثِّ المجموعيِّ المُخصَّص للشبكات المُتحرِّكة، يعتمد على عدَد القفزات على طول المسار لحساب الوزن. يتعامل البروتوكول مع طوبولوجيا الشبكة كاملةً دفعةً واحدةً.
- بروتوكول الشبكة المُتشابهة المركزيَّة³¹⁷ هو بروتوكول توجيه لِرزم البثِّ المجموعيِّ مُخصَّصٌ للشبكات المُتحرِّكة، يعتمد على مُحدَّات الوصلة لحساب وزن المسار. بدلاً من بناء شجرة بثِّ مجموعيِّ، يُنبئ البروتوكول شبكةً من المسارات المُتشابهة التي تمتدُّ على طوبولوجيا الشبكة كاملةً.

³¹⁵ أصل الاسم On-Demand Multicast Routing Protocol، اختصاراً ODMRP، انظره في [ART38] في ثبت المراجع.

³¹⁶ أصل الاسم Ad hoc Multicast Routing protocol، اختصاراً AMRoute، انظره في [ART39] في ثبت المراجع.

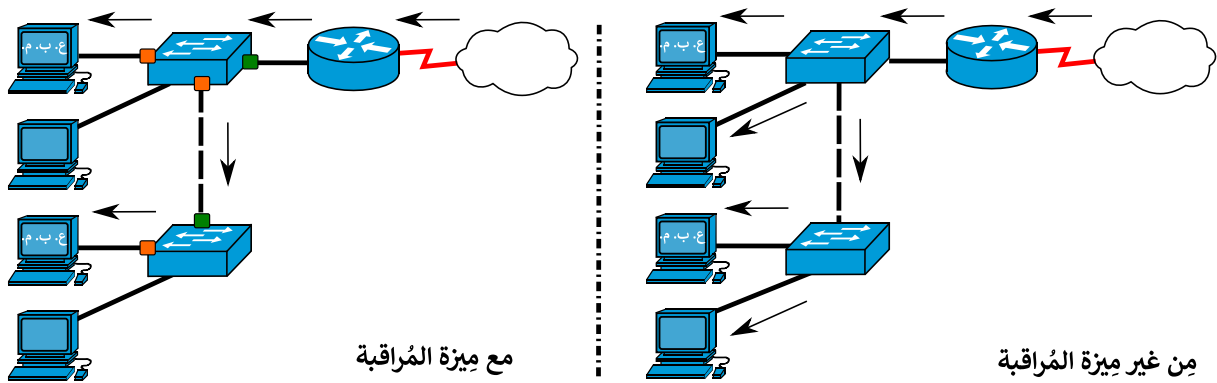
³¹⁷ أصل الاسم Core-Assisted Mesh Protocol، اختصاراً CAMP، انظره في [ART40] في ثبت المراجع.

آليات مُكمّلة لِبثِ المَجْموعاتيِّ

مِيزة مُراقبة بروتوكول إدارة مَجْموعة الإنترنت³¹⁸

هي مِيزة إضافية لِسُلوك المُبدلات العاملة في مُستوى الطّبقة الثّانية في الشّبكات المَحليّة الّتي تُشغّل الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت من أجل إدارة أفضل لِمجموعات البثّ المَجْموعاتيِّ. تَسْمَح هذه المِيزة للمُبدلات بمُراقبة حركة رسائل بروتوكول إدارة مَجْموعة الإنترنت الّذي يَعْمَل على مُستوى الطّبقة الثّالثة، وبناءً على ذلك يَتعرّف المُبدل على تَوَرُّع أعضاء المَجْموعة في الشّبكة المَحليّة،³¹⁹ وُصِفَت القواعد المُحدّدة لِلعمليّة في وثيقة طلب التّعليقات RFC 4541.³²⁰

يَقْرَأ المُبدل عناوين مَصَادِر ووجهات أطر البيانات لِأنّه يَعْمَل في مُستوى الطّبقة الثّانية تبعاً لِنموذج الرّبط البيئيّ لِلأنظمة المَفْتُوحَة. يَكُون عُنوان وجهَة الإِطار في حالة البثّ المَجْموعاتيِّ هُو عُنوان مَجْموعة دائِماً، وبالتالي فهو لا يَدُلُّ على أيِّ عَضْوٍ مُميّزٍ بِحدِّ ذاته. أمّا عُنوان المَصَدِر فهو غير ذي أَهمّيّة في هذا السّياق، فلا يَشترطُ البثّ المَجْموعاتيُّ أَنْ يَكُون المَصَدِر عَضْوً في المَجْموعة. لا يَمْلِك المُبدل، نتيجةً لِذلك، وسيلةً لِلتّعرّف على مَوَاقِع أعضاء المَجْموعة، فيُرْسِل رِزم البثّ المَجْموعاتيِّ عبر كلِّ منافذه مُستثنياً المَنفذ الّذي وَرَدت مِنْه، وفي هذا استهلاكٌ لِعرض النّطاق المُتاح في الشّبكة المَحليّة، وإرهاقٌ لِلظّرفيّات غير المَعنويّة بِالعمليّة. إضافةً لِذلك، لا يُمكن لِلْمُبدل أَنْ يُحدّد مَوَاقِع الجهاز الّذي يَعْمَل على مُستوى الطّبقة الثّالثة والّذي يُقدّم الدّعم لِأعضاء المَجْموعة في الشّبكة المَحليّة، والّذي يَكُون عادةً مُوجّهاً أو مُبدلاً عديد الطّبقات.



■ مَنفَعٌ نَحْو المُوَجّه	ع.ب.م. عُنوان بَثِّ مَجْموعاتيِّ	■ مُبدل (طَبقة 2)	☁ نِظامٌ وَسِيطٌ	⚡ وَصَلات
■ مَنفَعٌ نَحْو عَضْوٍ	مُضيفٌ	⚙ مَوْجّهٌ	← حَرَكة بَياتِ البَثِّ المَجْموعاتيِّ	

الشّكل (8-5): مثالٌ عن استخدام مِيزة مُراقبة بروتوكول إدارة المَجْموعة في شِبكة مَحليّة

يُصنّف المُبدل منافذه من أجل كلِّ مَجْموعةٍ نتيجةً لِاستخدام هذه المِيزة، فإِما أَنْ تَكُون منافدٌ مُتّصلةً مع أعضاءٍ فيها أو أَنْ تَكُون مُتّصلةً مُباشرةً، نَحْو مَوْجّه يَدْعَم البثّ المَجْموعاتيِّ لِهذه المَجْموعة أو تُؤدّي إليه عبر مَسارٍ غير مُباشِرٍ. يُرْسِل

³¹⁸ أصل الاسم IGMP Snooping

³¹⁹ انظر ما جاء في [ART41] في نَبْت المَراجِع.

³²⁰ انظر [RFC4541] في نَبْت المَراجِع.

المُبدِّل رزم المجموعة عبر التَّوعين السَّابقين فقط، أمَّا سائر المَنافذ، والتي لا تَقَع تحت أيِّ من التَّصنيفين السَّابقين، فلا تُرسَل رِزْم البثِّ المجموعيِّ لتلك المجموعة عبرها.

طُوِّرت هذه المِيزة لِتحسين عمليَّة توزيع رزم البثِّ المجموعيِّ في الشَّبكات الَّتِي تُشغَل الإصدار الرَّابِع مِن بَرُوْتُوكُول الإنترنت، وهي تُنَوَّب، عند تفعيلها في الشَّبكة المَحَلِّيَّة، عن بَرُوْتُوكُول سِيسكو لإدارة المجموعة وعن بَرُوْتُوكُول سِيسكو لإدارة المجموعة على مَنقذ المُوَجَّه معاً.

التَّوجيهِ بعكس المَسار³²¹

هي تقنيَّة لِلتَّوجيهِ في شَبكات تبديل الرِّزم، تُستخدَم لِلتَّحَقُّق مِن أن مَساراً ما خالٍ مِن الحلقات. طُوِّرت هذه التقنيَّة في عام 1978م لِتوجيهِ رزم البثِّ العامِّ، لكنَّها أُستخدِمت لاحقاً على نطاقٍ واسعٍ مِن أجل توجيهِ الرِّزم فريدة الوجهة ورزم البثِّ المجموعيِّ.³²²

تَعتمد حسابات التَّوجيهِ بعكس المَسار على مَصَدَر الرِّزمة لا على وِجْهتها، فإذا وَصَلت الرِّزمة إلى مَنقذٍ ما في أحد المُوَجَّهات على طُول المَسار، يَتَحَقَّق المُوَجَّه مِن إمكانيَّة الوُصُول إلى مَصَدَر الرِّزمة عبر ذلك المَنقذ مِن غير تشكيل حلقاتٍ، فإذا كان ذلك مُمكناً، تُقَبَل الرِّزمة، ويُصار إلى اتخاذ قرار توجيِّها نحو وِجْهتها، وإن لم يَكُن مُمكناً، يَتَخَلَّص المُوَجَّه منها.

تَعتمد هذه الطَّريقة على جزء المَسار الَّذِي سَبِق لِلرِّزمة أن سَلَكته لِتَصِل إلى المَنقذ بدءاً مِن مَصَدَرها، لا على المَسار الَّذِي سَتَسَلُكُه لاحقاً لِلوُصُول إلى هدفها، لِذلك يُوصَف هذا المَسار بالمعكُوس، لِأنَّه يَنطبق على مَسار الرِّزمة الأصيلة لكنَّه يُعاكسه بالاتِّجاه.

البثُّ المجموعيُّ مُحدَّد المَصَدَر

كانت تقنيَّة البثِّ المجموعيِّ غير مُحدَّدة المَصَدَر في الأصل،³²³ أي أنَّ كُلَّ عُضوٍ في المجموعة يَسْتقبِل رزم البثِّ المجموعيِّ المُوَجَّه لِعنوان المجموعة، سواء كان المَصَدَر عُضواً فيها أم لا. طُوِّرت تقنيَّة إضافية لاحقاً سَمَّحت بجعل البثِّ المجموعيِّ مُحدَّد المَصَدَر، وفيه يُمكن لِكُلِّ عُضوٍ في المجموعة أن يُحدِّد المَصَادِر الَّتِي يَقَبَل استقبال رزم البثِّ المجموعيِّ منها، عِوضاً عن استقبال الرزم المُوَجَّه لِعنوان المجموعة كُلِّها، وَصِفَت هذه الإضافة في وثيقة طلب التَّعليقات RFC 4607.³²⁴

يَلزِم لِعدم هذه المِيزة في الشَّبكات الَّتِي تُستخدِم الإصدار الرَّابِع مِن بَرُوْتُوكُول الإنترنت أن يُشغَل الإصدار الثَّالث مِن بَرُوْتُوكُول إدارة مجموعة الإنترنت، وقد حُجِز فضاء العناوين 232.0.0.0/8 خصيصاً لهذه المِيزة.

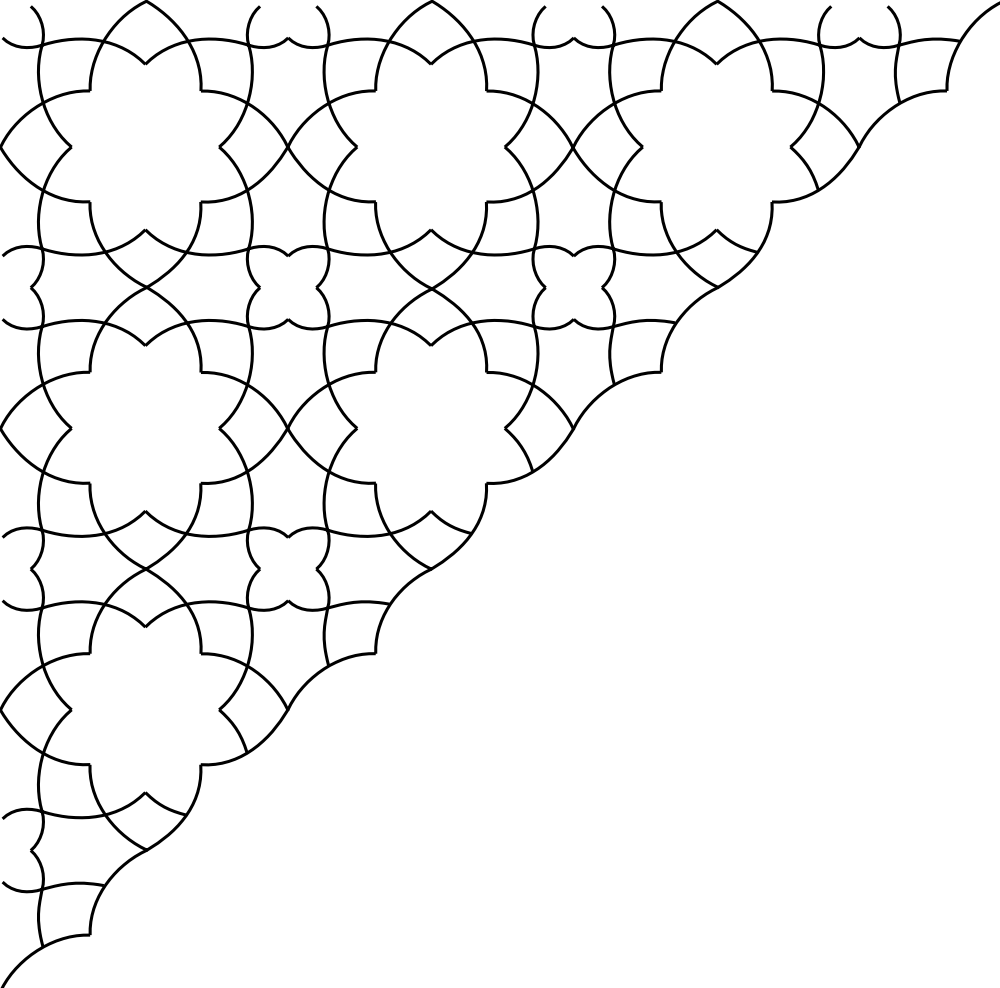
³²¹ أصل الاسم Reverse Path Forwarding، اختصاراً RPF.

³²² انظر البحث الأصيل في [ART42] في ثَبَت المَراجِع.

³²³ أصل الاسم: Any-Source Multicast، اختصاراً ASM. أمَّا البثُّ مُحدَّد المَصَدَر فاسمه الأصيل: Specific-Source Multicast، اختصاراً SSM.

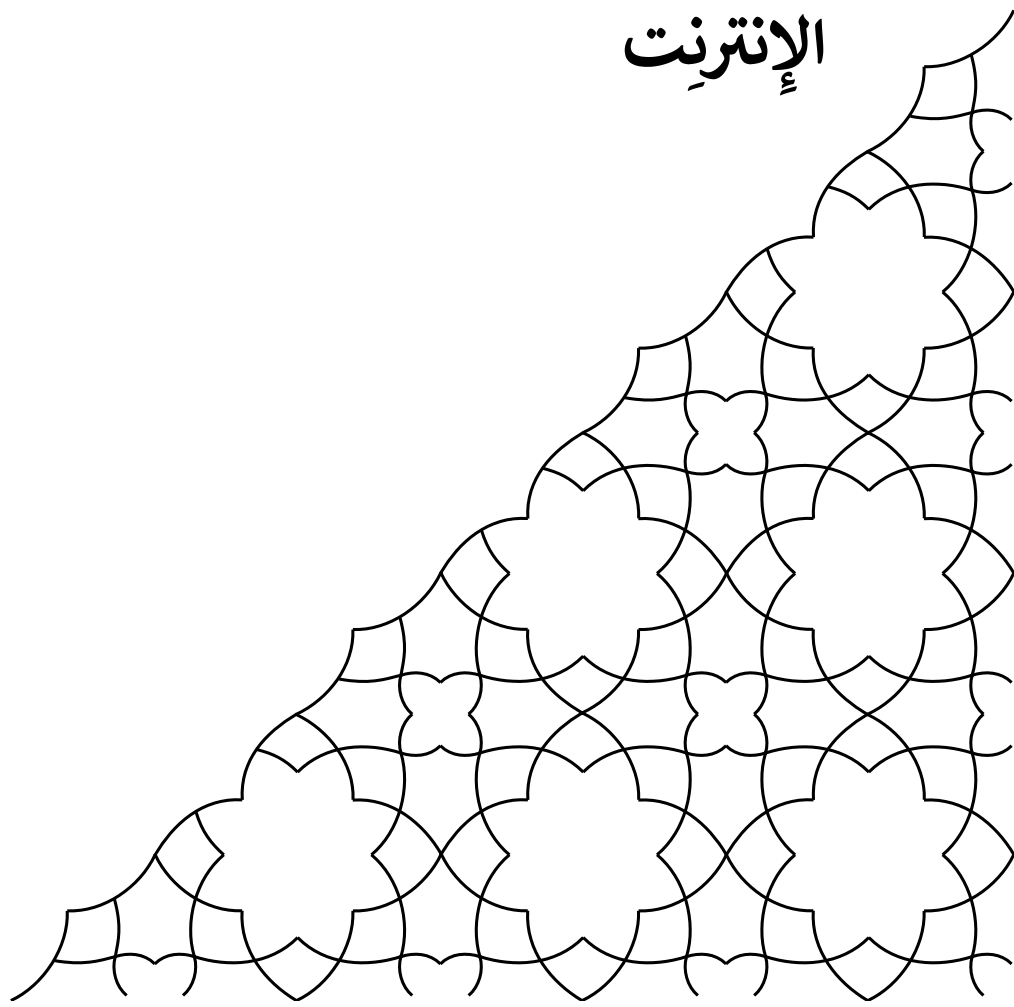
³²⁴ انظر [RFC4607] في ثَبَت المَراجِع.

تُرِكَت هذه الصَّفحة فارِغَةً عَمداً لِغرضِ تنسيقِ الكِتابِ



الفصل السّادس: بروتوكول رسائل التّحكّم في

الإنترنت



مقدمة

بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت لإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت³²⁵ هو بروتوكول مساعد لإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت وجزء مدمج فيه. يُعرّف البروتوكول عدداً من رسائل التحكم التي تُغلّف داخل رزم الإصدار الرابع، لتُنقل بين المضيفين عبر الشبكة بهذا الشكل. طُوّر البروتوكول توازياً مع تطوير الإصدار الرابع، ووُصف في وثيقة طلب التعليقات RFC 792.

تُصنّف رسائل التحكم التي يُعرّفها البروتوكول إلى صنفين: رسائل الإبلاغ عن الأخطاء ورسائل الإعلام. أمّا الأولى فهي تُرسل لمصدر رزمة بيانات نتيجة لحصول خطأ ما في أثناء معالجة الرزمة، وقد يُرسلها المضيف الوجهة أو أيّ موجهٍ يُعالج الرزمة في أثناء عبورها للمسار بين المصدر والوجهة. وأمّا الأخرى، فتُقسّم إلى مجموعتين: رسائل الطلب ورسائل الردّ. وأمّا رسائل الطلب فيُرسلها مضيفٌ نحو وجهةٍ ما يُطلب فيها الحصول على معلوماتٍ مُحدّدة، مثل عنوان الموجه المتصل مع الشبكة المحليّة، وأمّا رسائل الردّ فهي ردّ تلك الوجهة على رسالة الإعلام، ولكلّ رسالة إعلام رسالة ردّ متوافقة معها.

عَرّف المعيار الرّسمي للبروتوكول عدداً من الرسائل، أهمّها رسالة توليد الصّدَى والردّ عليها ورسالة إعادة التّوجيه ورسالة تعدّر بلوغ الوجهة. وأضيفت إليها لاحقاً عدداً من الرسائل لأداء وظائفٍ مُختلفة، مثل الاستعلام عن قناع الفضاء، ولكنّ الرسائل المُضافة أغلبها وبعضها من الرسائل المُعرّفة في المعيار الرّسمي أُبطلت في ما بعد لأسبابٍ مُتنوّعة ولم تُعد مُستخدمةً.

اعتماداً على رسالة توليد الصّدَى والردّ عليها، بُنيت أداتان لتشخيص الأخطاء في الشبكة وتعبئها هما أداة التّحقّق من الاتّصال، المشهورة باسم بينغ، وأداة تتبّع المسار. لا معيار مُوحّد لتنفيذ هاتين الأداتين، ولذلك تنوّعت أساليب تنفيذهما في أنظمة التّشغيل المُختلفة مثل نظام ويندوز الخاصّ بمبايكروسوفت وأنظمة التّشغيل الخاصّة بسيسكو وغير ذلك.

كانت رسائل البروتوكول سبباً في تطوير عدديّ من الهجمات التي يُمكن تصنيفها ضمن ثلاث فئاتٍ رئيسيةٍ هي: هجمات العمر التي تُهدف لحجب الخدمة، نحو هُجوم السنافر، والهجمات الانفجارية نحو هُجوم أمر التّحقّق من الاتّصال المُमित، وهجمات تسريب المعلومات نحو شكلٍ خاصّ من هُجوم الوسيط طُوّر اعتماداً على رسائل إعادة التّوجيه التي يُعرّفها البروتوكول، وستناقش هذه الهجمات في ما سيأتي من هذا الفصل.

يبدأ هذا الفصل بعرض نبذة تاريخيةٍ عن تطوّر بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت، ثمّ يشرح مبدأ عمله وبنية ترويسته ويُفصّل في تناول وظائفه عبر بيان رسائله وفقاً لتصنيفها سالف الذكر، يلي ذلك عرضٌ لتطبيقي البروتوكول الأكثر شهرةً وهما أمر التّحقّق من الاتّصال وأمر تتبّع المسار، ويُختم الفصل بعرضٍ للمُشكلات المُرافقة لتنفيذ واستعمال البروتوكول في شبكات البيانات.

³²⁵ أصل الاسم 4 Internet Control Message Protocol for Internet Protocol version 4، اختصاراً ICMPv4.

نبذة تاريخية

طُوِّر بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت بالتوازي مع تطوير الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، وطُرح معياره الأول له في شهر أبريل من العام 1981 في وثيقة طلب التعليقات RFC 777،³²⁶ ثمَّ طُرِحَتْ وثيقةٌ أخرى بعد خمسة أشهرٍ في سبتمبر من العام نفسه وهي وثيقة طلب التعليقات RFC 792،³²⁷ وهي المعيار الرسمي للبروتوكول حتى تاريخ تأليف هذا الكتاب.

احتوى المعيار الرسمي للبروتوكول توصيفاً مُقتضياً لإحدى عشر رسالة تحكُّم. تلا ذلك تفاصيل دقيقة أخرى صدرت في وثيقتين منفصلتين تشرحان كيفية عمل البروتوكول ومتى يلزم إرسال الرسائل. وُجِّهت الأولى لتوصيف عمل مُضيفي الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، وهي وثيقة طلب التعليقات RFC 1122 المعنونة: "مُتطلَّبات مُضيفي الإنترنت -- طبقات الاتصال"، والتي صدرت في شهر أكتوبر من العام 1989م،³²⁸ وخصَّصت الثانية لتوصيف عمل المُوجِّهات، وهي الوثيقة RFC 1812 المعنونة: "مُتطلَّبات مُوجِّهات الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت"، والتي صدرت في شهر يونيو من العام 1995م.³²⁹

وسَّع البروتوكول تتابعاً في السنوات اللاحقة لإصدار المعيار الرسمي وفقاً لما اقتضاه التطور التقني. فعلى سبيل المثال، في أغسطس من العام 1985م، صدر معيار تجزئة الشبكة، وعرِّف نوعاً جديداً من رسائل التحكم هي رسائل القناع، وتشمل نوعين من الرسائل هما رسالة طلب القناع ورسالة الردِّ عليها. صدرت الوثيقة RFC 1256 في شهر سبتمبر من العام 1991م، أي بعد قرابة 10 سنواتٍ من اعتماد البروتوكول معياراً رسمياً، وعرِّفت نوعاً جديداً من الرسائل هي رسائل اكتشاف المُوجِّه، وتضمُّ رسالتين هما رسالة الإعلان عن المُوجِّه ورسالة التماسه. ولكنَّ هذه الرسائل أعلَّبتها أُبطلت في وقتٍ لاحقٍ لأسبابٍ مُختلفة ولم تُعد مُستعملةً.

طُوِّر الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت في عام 1995م، وبالتوازي مع هذا التطوير جرى العمل على إصدار جديدٍ من بروتوكول رسائل التحكم مُتوافقٍ مع الإصدار السادس، وسُمِّي بروتوكول رسائل التحكم للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، ووُصِف في وثيقة طلب التعليقات RFC 1885،³³⁰ طُوِّر معيار هذا البروتوكول لاحقاً وعُدِّل تبعاً، وأمَّا المعيار الأحدث فهو موصوفٌ في الوثيقة RFC 4443.³³¹

³²⁶ انظر [RFC777] في ثَبِت المراجع.

³²⁷ يُمكن تبين العلاقة الوثيقة التي تربط بروتوكول رسائل التحكم مع الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت من خلال تتبع الأسماء الرمزية للمعايير الرسمية، فقد حمل معيار الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الاسم الرمزي RFC 791، وتلاه مباشرةً معيار بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت وحمل الاسم الرمزي RFC 792.

³²⁸ أصل الاسم Requirements for Internet Hosts -- Communication Layers، انظرها في [RFC1122] في ثَبِت المراجع.

³²⁹ أصل الاسم Requirements for IP Version 4 Routers، انظرها في [RFC1812] في ثَبِت المراجع.

³³⁰ أصل الاسم Internet Control Message Protocol for the Internet Protocol version 6 اختصاراً ICMPv6، وسُيُدرَس بالتفصيل في الفصل الحادي عشر من هذا الكتاب. من أجل وثيقة طلب التعليقات، انظر [RFC1885] في ثَبِت المراجع.

³³¹ انظر [RFC4443] في ثَبِت المراجع.

مبدأ العمل

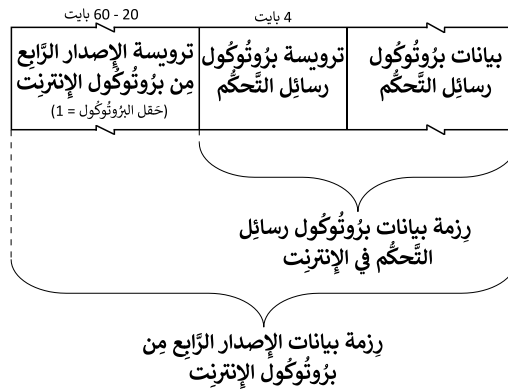
يُقدّم بروتوكول رسائل التَّحكُّم للإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت الوظائف التَّالِيَةَ:³³²

- إبلاغ مَصَدَّر الرِّزْمَة عن حُصُول أخطاءٍ في أثناء مُعالجتها.
- الاستعلام عن معلُوماتٍ من مُعدَّات الشَّبكة.
- إعادة التَّوجُّه، وتَنشُط بين المُوَجَّه الأوَّل على مَسارٍ رِزْم البيانات ومَصَدَّرها.

يُعرَّف البروتوكول، لِتحقيق ذلك، عَدَدًا من الرِّسائل الَّتِي يَجري تبادُلها عبر الشَّبكة بين مَصَدَّر رِزْم البيانات ووجهتها أو بين المَصَدَّر وعَقَد الشَّبكة المَوْجُودَة على المَسار الواصِل إلى الوجهة.

الإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت غير مَوثُوقٍ، ولا يَهْدَف استعمال بروتوكول رسائل التَّحكُّم إلى إضافة المَوثُوقِيَّة إليه، بل إلى إضافة ميزاتٍ لِلتبليغ عن وقوع أخطاءٍ في الشَّبكة أو عن حُصُول أحداثٍ تَتطلَّب انتباهاً من مُديرها. وَفَقاً لِنَمُودَج الرِّبَط البيئيِّ لِلأنظمة المَفْتُوحَة، فإنَّ رسائل هذا البروتوكول تُولَّد على مُستوى طبقة الشَّبكة حيث يَعْمَل، ولكن يُمكن أن تَتطلَّبها كياناتٌ على مُستوى طبقة النُّقل، أو على مُستوى طبقة التَّطبيق حيث تَنشُط كياناتٌ مُتَّصِلَةٌ مباشرةً مع تطبيقات المُستخدِمين.

تُغلَّف رِزْم بروتوكول رسائل التَّحكُّم داخل رِزْم الإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت، ويُبيِّن الشَّكْل (1-6) المَوْقع النَّسبي لِترويسة البروتوكولين. عند التَّغليف، يُعامل بروتوكول الإنترنت بروتوكول رسائل التَّحكُّم مُعاملة بروتوكول طبقةٍ عُلْيَا، ولكنَّ بروتوكول رسائل التَّحكُّم هُو جُزءٌ مُدمَجٌ من بروتوكول الإنترنت، ويلزِم أن يُدَعَم في أيِّ مُضيفٍ يُشغَل البروتوكول الأخير.³³³ عندما تُغلَّف رِزْم بروتوكول رسائل التَّحكُّم داخل رِزْم بروتوكول الإنترنت، يلزِم أن تُضَبَط قيمة حَقْل البروتوكول في ترويسة بروتوكول الإنترنت إلى القيمة 1.³³⁴



الشَّكْل (1-6): تغليف رِزْم بروتوكول رسائل التَّحكُّم داخل رِزْمَة بيانات الإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت

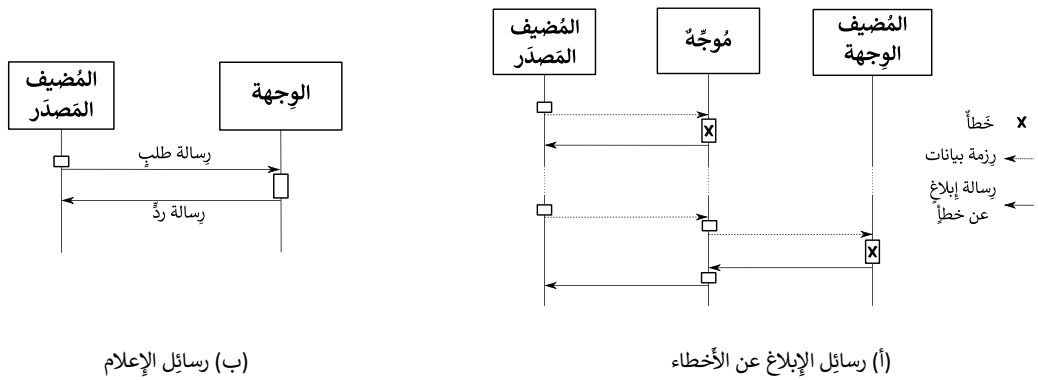
³³² كان التَّحكُّم بالازدحام من وظائف هذا البروتوكول أيضاً عند تطويره، وذلك باستعمال رسالة تهديئة المَصَدَّر (انظر المُلحق هـ). ولكنَّ هذه الرِّسالة أُبطلت لاحقاً، ولم يُعد البروتوكول يُدَعَم هذه الوظيفة.

³³³ انظر ص. 1 في [RFC792] في نَبْت المَراجِع.

³³⁴ هذه القيمة مَحجُوزَةٌ لِبروتوكول رسائل التَّحكُّم في الإنترنت بواسطة هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة، انظر ص. 2 [RFC792] في نَبْت المَراجِع.

تُصنّف رسائل التحكم وفقاً لوظيفتها إلى صنفين:³³⁵

- رسائل الإبلاغ عن الأخطاء، تُرسل من المضيف الوجهة للزّمة أو من أحد المُوجّهات على مسارها، إلى مصدر زّمة البيانات نتيجةً لحصول خطأ في معالجة الزّمة، ولا يُردُّ أبداً على رسالة الخطأ. ويُبيّن القسم أ من الشّكل (2-6) مُخطّط تتابع³³⁶ بلغة التّمدجة الموحّدة³³⁷ لآلية تبادل رسالتَي خطأ، يحصل الأولى بين مُوجّه ما على مسار الزّمة وبين مصدرها، ويحصل الثاني في الوجهة النهائيّة.
- رسائل الإعلام، تُرسل من مضيف إلى مضيف آخر أو إلى مُوجّه، ويُمكن أن تُستخدم لطلب معلوماتٍ مُحدّدة، نحو عنوان مُوجّه ما أو قِناع الفضاء، ولكلِّ رسالة طلبٍ رسالة ردّ متوافقة معها بنيّة، وتلزم الردُّ على كلّ رسالة طلبٍ برسالة الردّ المتوافقة معها. ويُظهر القسم ب من الشّكل (2-6) مُخطّط تتابع لآلية عمل رسائل الإعلام.



الشّكل (2-6): مُخطّط تتابع بلغة التّمدجة الموحّدة لوصف عمل نوعي رسائل بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت

بنية الترويسة

تتكوّن ترويسة بروتوكول رسائل التحكم من مجموعتين من الحُقُول (الشّكل (3-6)):

- الحُقُول الدائمة، وتُوجد في ترويسات رسائل البروتوكول كلّها، بغض النظر عن نوع الرّسالة، وهي ثلاثة حُقُول: النوع والرميز والتّحقّق الجمعيّ.
- حُقُول المُحتوى، وتتغير في العَدَد والبنية والطول وفقاً لنوع الرّسالة.



الشّكل (3-6): بنية عامّة لترويسة بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت

³³⁵ أصل الاسمان Error message و Query message على التّرتيب، انظر ص. 52-53 في [RFC1812] في ثبّت المراجع.

³³⁶ أصل الاسم Sequence diagram.

³³⁷ أصل الاسم Unified Modeling Language، اختصاراً UML، وهي لغة تمّذجة عامّة أُبتدعت في عام 1994م، تُستعمل في مجال تطوير البرمجيات، وتؤمّن طريقة موحّدة لعرض تصميم نظام مُستهدفٍ عرضاً مرئيّاً.

وتُوصَف حُقُول التَّرْوِيسَة السَّابِقَة كَمَا سَيَأْتِي: ³³⁸

- حَقْل النُّوع، طُولُه 8 بَتَاتٍ، يَحْتَوِي مُعْرِفًا رَقْمِيًّا يُشِيرُ إِلَى نَوْعِ رِسَالَةِ التَّحْكُمِ. تُدِيرُ هَيْئَةُ أَرْقَامِ الْإِنْتَرْنِتِ الْمُخَصَّصَةَ عَمَلِيَّةَ الضَّبْطِ المِيعَارِيِّ لِقِيمِ هَذَا الحَقْلِ عَالَمِيًّا، يُوجَدُ 43 قِيمَةً مَحْجُوزَةً، وَلَكِنَّ عَدَدًا كَبِيرًا مِنْهَا خُصَّصَ سَابِقًا لِرِسَائِلٍ مُبْطَلَةٍ لَمْ تُعَدَّ مُسْتَعْمَلَةً الْيَوْمَ. ³³⁹
- حَقْل التَّرْمِيزِ، طُولُه 8 بَتَاتٍ، يَحْتَوِي مُعْرِفًا رَقْمِيًّا يُخَصَّصُ نَوْعَ الرِّسَالَةِ. يَخْتَلِفُ مَعْنَى التَّرْمِيزِ بِاخْتِلَافِ نَوْعِ الرِّسَالَةِ، فَمَعْنَى التَّرْمِيزِ 0 مِنْ أَجْلِ أَحَدِ أَنْوَاعِ رِسَائِلِ التَّحْكُمِ يَخْتَلِفُ عَنْ مَعْنَاهُ فِي رِسَالَةٍ أُخْرَى، وَنُخَصَّصُ قِيمِ هَذَا الحَقْلِ أَيْضًا بِوَسْطَةِ هَيْئَةِ أَرْقَامِ الْإِنْتَرْنِتِ الْمُخَصَّصَةِ. ³⁴⁰
- حَقْل التَّحْقُقِ الجَمْعِيِّ، طُولُه 8 بَتَاتٍ، يَحْتَوِي نَاتِجَ خَوَارِزِمِيَّةِ التَّحْقُقِ الجَمْعِيِّ الَّتِي تُطَبَّقُ عَلَى رِزْمَةِ البرُوتُوكُولِ كَامِلَةً، وَتَشْرَحُ مُحَدَّدَاتِ البرُوتُوكُولِ الخَوَارِزِمِيَّةِ المُتَّبَعَةِ لِجِسَابِ قِيمَةِ هَذَا الحَقْلِ. ³⁴¹
- المُحْتَوَى، وَهُوَ حَقْلٌ مُتَغَيِّرُ الطُّولِ، يَضُمُّ حُقُولًا تَخْتَلِفُ فِي بِنِيَتِهَا وَعَدَدِهَا وَمُحْتَوَاهَا وَفَقًّا لِنَوْعِ الرِّسَالَةِ، وَقَدْ تَحْتَوِي فِي بَعْضِ مِنَ الْأَحْيَانِ أَجْزَاءً مِنْ تَرْوِيسَةِ بَرُوتُوكُولِ إِنْتَرْنِتِ.

نُصِّفَ رِسَائِلَ التَّحْكُمِ إِلَى نَوْعَيْنِ وَفَقًّا لِوُضُوعِهَا كَمَا أُسْلِفَ، فَهِيَ إِمَّا رِسَائِلُ إِعْلَامٍ أَوْ رِسَائِلُ إِبْلَاحٍ عَنِ الْأَخْطَاءِ، وَبَيَّنَّ الجَدُولُ (1-6) رِسَائِلَ بَرُوتُوكُولِ رِسَائِلِ التَّحْكُمِ فِي الْإِنْتَرْنِتِ الَّتِي مَا تَزَالُ قِيدَ الِاسْتِعْمَالِ وَفَقًّا لِلتَّصْنِيفِ السَّابِقِ مَعَ تَبْيَانِ أَصُولِ أَسْمَائِهَا وَقِيمَةِ حَقْلِ النُّوعِ فِي كُلِّ مِنْهَا.

الجدول (1-6): رِسَائِلُ بَرُوتُوكُولِ رِسَائِلِ التَّحْكُمِ الَّتِي مَا تَزَالُ قِيدَ الِاسْتِعْمَالِ مُصَنَّفَةٌ وَفَقًّا لِلنُّوعِ

تصنيف الرِّسَالَةِ	اسم الرِّسَالَةِ الْأَصِيلِ	اسم الرِّسَالَةِ بِالْعَرَبِيَّةِ	قِيمَةُ حَقْلِ النُّوعِ
إِعْلَامٌ	Echo replay	الصَّدَى ³⁴²	0
إِبْلَاحٌ عَنِ خَطَأٍ	Destination unreachable	تَعَدُّرُ بُلُوغِ الْوَجْهَةِ	3
إِبْلَاحٌ عَنِ خَطَأٍ	Redirect	إِعَادَةُ التَّوْجِيهِ	5
إِعْلَامٌ	Echo	تَوَلِيدُ الصَّدَى	8
إِعْلَامٌ	Router advertisement	الإِعْلَانُ عَنِ الْمَوْجِّهِ	9
إِعْلَامٌ	Router solicitation	التَّمَاَسُ الْمَوْجِّهِ	10
إِبْلَاحٌ عَنِ خَطَأٍ	Time exceeded	نِفَادُ الرِّمَنِ	11
إِبْلَاحٌ عَنِ خَطَأٍ	Parameter problem	مُشْكِكَةٌ فِي مُحَدِّدٍ	12
إِعْلَامٌ	Timestamp	ظَلْبُ وَسْمَةِ زَمْنِيَّةٍ	13
إِعْلَامٌ	Timestamp reply	الرَّدُّ عَلَى ظَلْبِ الْوَسْمَةِ الزَّمْنِيَّةِ	14

³³⁸ أَصُولُ أَسْمَاءِ الحُقُولِ هِيَ Type و Code و Checksum و Content عَلَى التَّرْتِيبِ. انظُرْ ص. 2 فِي [RFC792] فِي ثَبَاتِ المَرَاجِعِ.

³³⁹ انظُرْ [WEB13] فِي ثَبَاتِ المَرَاجِعِ.

³⁴⁰ انظُرْ ص. 5 فِي [RFC2780] فِي ثَبَاتِ المَرَاجِعِ.

³⁴¹ انظُرْ ص. 2 فِي [RFC792] فِي ثَبَاتِ المَرَاجِعِ.

³⁴² الصَّدَى لُغَةً هُوَ الصَّوْتُ الْمُجِيبُ مِنَ الْجَبَلِ بِمِثْلِ صَوْتِ المُنَادِي وَنَحْوِهِ (انظُرْ مَادَّةَ صَدَى فِي ج. 4 ص. 2421 فِي [BKA04] فِي ثَبَاتِ المَرَاجِعِ). تُمَثَّلُ الرِّسَالَةُ الْأُولَى فِي هَذَا السِّيَاقِ صَوْتِ المُنَادِي، وَالرِّسَالَةُ الثَّانِيَّةُ الْعَائِدَةُ هِيَ الصَّدَى. فِي المِيعَارِ الْأَصْلِ، سُمِّيتِ الرِّسَالَةُ الْأُولَى بِالصَّدَى Echo وَالثَّانِيَّةُ بِالرَّدِّ عَلَى الصَّدَى Echo Reply، أَمَّا عِنْدَمَا عَرَّبْنَاهَا، فَقَدْ عَكَّسْنَا الْأَسْمَاءَ لِیَسْتَقِيمَ المَعْنَى فِي الْعَرَبِيَّةِ.

طُورت رسائل عديدة أخرى لأغراضٍ متنوعة، أُستعمل بعضٌ منها لفترةٍ وجيزة، وبعضٌ منها لم يتجاوز المرحلة التجريبية، وكلُّها مُبطلَةٌ وغير مدعومةٍ في تطبيقات البروتوكول.³⁴³

الوظائف

يُنجز البروتوكول ثلاث وظائف هي إبلاغ المُضيفين بحُصول أخطاءٍ في أثناء معالجة رزم البيانات التي أرسلوها وتزويدهم بآليةٍ للاستعلام عن معلّوماتٍ من معدّات الشبكة وإعادة التوجيه. ولتحقيق ذلك، يُعرّف البروتوكول نوعين من الرسائل هما رسائل الإبلاغ عن الأخطاء ورسائل الإعلام وسيناقش النوعان فيما سيأتي.

رسائل الإبلاغ عن الأخطاء

تُرسل هذه الرسائل نتيجةً لحُصول خطأٍ ما في أثناء معالجة رزمة بيانات. يَكُون مصدر الرسالة هو وجهة الرزمة النهائية أو أحد الموجهات التي تُعالجها في أثناء عبورها الشبكة نحو وجهتها. يَلزَم أن تحتوي رسالة الخطأ على نسخةٍ من ترويسة بروتوكول الإنترنت الخاصة بالرزمة التي حصل الخطأ عند معالجتها بالإضافة لنسخةٍ من البايتات الثمانية الأولى من حُمولة الرزمة.

تُحدّد وثيقة طلب التعليقات RFC 1812 بعضاً من الحالات التي لا تُرسل رسائل الأخطاء فيها، وهي:³⁴⁴

- استقبال رسائل أخطاءٍ أخرى للبروتوكول، فلا يُردُّ على رسائل الإبلاغ عن الأخطاء أبداً.
- التخلُّص من رزمة بروتوكول إنترنتٍ لم تتجاوز اختبارات التَّحَقُّق من سلامة المحتوى، على سبيل المثال، لم تتجاوز الرزمة اختبار التَّحَقُّق الجمعيّ أو كان طولها المُحدّد في الترويسة غير مُتوافقٍ مع طولها الفعليّ.
- استقبال رزمة بثّ عامٍّ أو بثّ مجموعاتيّ فيها خطأً ما، وذلك لحماية الشبكة المحليّة من هجمات الغمر التي ستناقش في ما سيأتي من هذا الفصل.
- استقبال رزمة بياناتٍ ذات عنوان مصدرٍ غير سليم.
- استقبال أيّ قطعةٍ غير سليمةٍ ناتجةٍ عن التَّقطيع، ما خلا القطعة الأولى.

تعدُّرُ بلوغ الوجهة

تُرسل هذه الرسالة إلى المُضيف المصدر الذي أرسل رزمة بياناتٍ ما نحو مُضيفٍ وجهةٍ، ولكن، ولسببٍ ما، تُحدّده هذه الرسالة، تُعدُّر إيصال الرزمة إلى وجهتها. قد يَكُون مُرسل الرسالة مُوجَّهاً يُعالج الرزمة في أثناء عبورها المسار نحو وجهتها، أو قد تَكُون الوجهة نفسها هي المُرسِل في بعضٍ من الأحيان.³⁴⁵

³⁴³ انظر المُلحق هـ للاطلاع على قائمةٍ لرسائل البروتوكول المُبطلَة.

³⁴⁴ انظر ص. 55 في [RFC1812] في ثَبت المراجع.

³⁴⁵ يَلزَم في هذا السِّياق التَّمييز بين المُضيف الوجهة والكيان الوجهة، فالأول هو طرفيّة تُشغَل نَمُوذج اتصالٍ كاملٍ مُشابهاً لما دُرِس في الفصل الأول من الكتاب، أمّا الآخر، أي الكيان الوجهة، فينشط في طبقةٍ ما ويَدعَم بروتوكولاً ما. في الحالة هنا، تُصل الرسالة إلى المُضيف الوجهة لا إلى الكيان الوجهة.

تُرسل رسالة تُعذرُ بُلُوغَ الوجهة في الحالات التالية: 346

1. من مُوجِّهٍ يُعالج الرزمة: 347

● إذا لم يكن بالإمكان بُلُوغَ الشبّكة المُحدّدة وجهةً لِرزمة بياناتٍ ما وفقاً لِبُنود جدول التّوجيه. في هذه الحالة، يتخلّص المُوجِّه من الرزمة، ويُرسِل رسالة تُعذرُ بُلُوغَ الوجهة إلى مَصَدْرها، ويُحدّدها بحالة: "تُعذرُ بُلُوغَ الشبّكة".

● إذا كان المُوجِّه مُتّصلاً مع الشبّكة الوجهة اتّصلاً مُباشراً، ولكن تُعذرُ بُلُوغَ المُضيف المُحدّد بعنوان الوجهة، وتُحصّل هذه الحالة عندما يَكُون:

- المُضيف في وضع التّعطيل، مثلاً: في حالة الإطفاء.
- المُضيف غير مُتّصلٍ مع الشبّكة.
- عنوان المُضيف غير مُستعملٍ أو خاطئ.

وفي هذه الحالات كلّها، يتخلّص المُوجِّه من الرزمة، ويُرسِل رسالة تُعذرُ بُلُوغَ الوجهة إلى مَصَدْرها، ويُحدّدها بحالة: "تُعذرُ بُلُوغَ المُضيف".

● إذا كان عَلم عدم التّقطيع مرفوعاً في رزمة البيانات، وكان حجمها أكبر من وحدة النّقل العُظمى لبطقة الشبّكة المُحدّدة في الخطوة التالية على مسار الرزمة نحو وجهتها، في هذه الحالة يتخلّص المُوجِّه من الرزمة، ويُرسِل رسالة تُعذرُ بُلُوغَ الوجهة إلى مَصَدْرها، ويُحدّدها بحالة: "التّقطيع لازمٌ، ولكنّ عَلم عدم التّقطيع مرفوعٌ".

2. من المُضيف الوجهة: 348

● إذا كانت قيمة حقل البروتوكول في ترويسة الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت لا تتطابق مع أيّ قيمة مدعومة في كيان بروتوكول الإنترنت في المُضيف، فإنّ الكيان يتخلّص من الرزمة ويُرسِل إلى مَصَدْرها رسالة تُعذرُ بُلُوغَ الوجهة، ويُحدّدها بحالة: "تُعذرُ بُلُوغَ البروتوكول".

● إذا كان رقم المنفذ في ترويسة بروتوكول النّقل غير فعّال في المُضيف الوجهة، فإنّ كيان بروتوكول النّقل يتخلّص من الرزمة ويُرسِل إلى مَصَدْر الرزمة رسالة تُعذرُ بُلُوغَ الوجهة، ويُحدّدها بحالة: "تُعذرُ بُلُوغَ المنفذ".

³⁴⁶ انظر ص. 5 في [RFC792] في تَبْت المراجع.

³⁴⁷ أصول أسماء الحالات هي على التّرتيب: Network unreachable لتُعذرُ بُلُوغَ الشبّكة و Host unreachable لتُعذرُ بُلُوغَ المُضيف و Fragmentation needed and DF set لرسالة "التّقطيع لازمٌ، ولكنّ عَلم عدم التّقطيع مرفوعٌ".

³⁴⁸ أصل اسمي الحالتين هما Protocol unreachable لتُعذرُ بُلُوغَ البروتوكول و Port unreachable لتُعذرُ بُلُوغَ المنفذ على التّرتيب.

يُظهر الشكل (4-6) بنية رسالة تعذر بلوغ الوجهة، وتضبط قيمة حقل النوع فيها إلى 3، أما حقل الترميز فيمكن أن يأخذ قيمةً متنوعةً متوافقةً مع الحالات التي وُلدت الرسالة بسببها والتي سبق وشرحت في ما سبق، ويذكر الجدول (2-6) قيم حقل النوع المتوافقة مع هذه الحالات ويحدد معانيها.³⁴⁹

0	8	16	31
النوع = 3	الترميز	التحقق الجمعي	
غير مُستعمل			
ترويسة بروتوكول الإنترنت + 64 بت من حمولة رزمة البيانات الأصلية			

الشكل (4-6): بنية رسالة تعذر بلوغ الوجهة في بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت

الجدول (2-6): قيم حقل الترميز في رسالة تعذر بلوغ الوجهة ومعانيها

الوصف	الحالة	قيمة حقل الترميز
يُولد لها موجهة يُعالج رزمة بيانات ما إذا كان المسار نحو الشبكة الوجهة غير متوافر في جدول التوجيه.	تعذر بلوغ الشبكة	0
يُولد لها موجهة يُعالج رزمة بيانات ما إذا كان المضيف الوجهة يقع في شبكة مُتصلة اتصالاً مباشراً معه ولكن المسار نحو المضيف الوجهة غير متوافر ولا يمكن الاتصال معه.	تعذر بلوغ المضيف	1
تُولد في المضيف الوجهة إذا كان بروتوكول طبقة النقل الذي ينتظر منه أن يُعالج محتوى رزمة البيانات غير مدعوم.	تعذر بلوغ البروتوكول	2
تُولد في المضيف الوجهة إذا كان بروتوكول طبقة النقل الذي ينتظر منه معالجة محتوى رزمة البيانات لا يدعم رقم المنفذ الموجود فيها.	تعذر بلوغ المنفذ	3
يُولد لها موجهة يُعالج رزمة بيانات ما إذا كان تقطيع الرزمة إلزامي ولكنه غير مُمكن لأن علم عدم التقطيع مرفوع في ترويساتها.	التقطيع لازم، ولكن علم عدم التقطيع مرفوع	4
يُولد لها موجهة لم يستطع توجيه رزمة بيانات ما وفقاً لما يوجد في خيار التوجيه المُقيد بمسار المصدر. ³⁵⁰	إخفاق مسار المصدر	5
لا تُستعمل، لأنها تُعطي المصدر انطباعاً بأن الشبكة الوجهة غير موجودة. عوضاً عن هذه الرسالة، تُولد رسالة تعذر بلوغ وجهة تكون قيمة حقل النوع فيها مساوية للصفر.	الشبكة الوجهة غير معروفة	6

³⁴⁹ للمزيد من التفاصيل حول هذه الحالات انظر ص. 39-40 في [RFC1122] وص. 80-81 في [RFC1812] في نُبث المراجع.

³⁵⁰ للمزيد حول هذا الخيار، انظر الملحق أ في هذا الكتاب.

7	المُضيف الوجهة غير معزوف	تُولد هذه الرسالة عندما يَتِمَّكَّن المُوَجَّه، اعتماداً على مَعْلُومَات طبقة الوصلة، من الجزم بِصُورَةٍ مُؤَكَّدَةٍ أَنَّ المُضيف الوجهة غير موجودٍ.
8	المُضيف المصدّر معزوف	لا تُستعمل.
9	الاتصال مع الشبكة الوجهة محظورٌ إشرافياً	لا يُسَمَّح للمُضيف المصدّر بإرسال رزم البيانات إلى الشبكة حيث يُوجَد المُضيف الوجهة.
10	الاتصال مع المُضيف الوجهة محظورٌ إشرافياً	لا يُسَمَّح للمُضيف المصدّر بإرسال رزم البيانات إلى المُضيف الوجهة.
11	تعدُّرُ بلوغِ الشبكة الوجهة بسبب نوع الخدمة	يُولدُها مُوجَّهٌ يُعالج رزمة بياناتٍ ما، ولم يَجِد لها مَساراً يَتوافق مع نوع الخدمة الافتراضيّ وَيَصِل إلى الشبكة الوجهة في جدول توجيهه.
12	تعدُّرُ بلوغِ المُضيف الوجهة بسبب نوع الخدمة	يُولدُها مُوجَّهٌ يُعالج رزمة بياناتٍ ما، ولم يَجِد لها مَساراً نحو المُضيف الوجهة في جدول توجيهه يَتوافق مع نوع الخدمة الافتراضيّ.
13	الاتصال محظورٌ إشرافياً	تُولدُ في مُوجَّهٍ إذا لم يَكُن باستطاعته توجيه رزمة بياناتٍ ما بسبب عمليّة ترشيح ³⁵¹ إشرافياً.
14	انتهاك أحيّة المُضيف	تُرسل من مُوجَّهٍ مُتَّصِلٍ مُباشرةً مع شبكة المُضيف المصدّر لإخباره بعدم السّماح له بإنجاز عمليّة الإرسال لأغراضٍ تَتعلّق بنوع الخدمة، مثلاً لا يَحقُّ للمُضيف إنشاء اتّصال بين زوج عناوين يَضُمُّ عنوان مُصدّرٍ وعنوان وجهةٍ مُحدّدين أو أرقام منافذٍ مُحدّدةٍ للمُصدّر وللوجهة أو غير ذلك. ³⁵²
15	أحيّة غير كافية	تُرسل من مُوجَّهٍ مُتَّصِلٍ مُباشرةً مع شبكة المُضيف لإخباره بأنّه لا يُحقِّق درجة الأحيّة الدنيا اللازمة لإتمام العمليّة.

إعادة التوجيه

يُرسل مُوجَّهٌ مُتَّصِلٌ مع شبكةٍ محلّيّةٍ رسالة إعادة التوجيه إلى مُضيفٍ فيها، والهدف منها إبلاغه باستحسان إرسال رزم البيانات المُوجَّهة نحو وجهةٍ مُحدّدةٍ عبر مُوجَّهٍ آخر مُتَّصِلٍ مُباشرةً مع الشبكة المحليّة نفسها.³⁵³

³⁵¹ أصل الاسم Filtering، ومعناه الترشيح أو التصفية انظر ص. 440 في [BKA02] في ثَبَّت المراجع، وهو حذف شيءٍ أو حذف إشارةٍ لا تتوافق

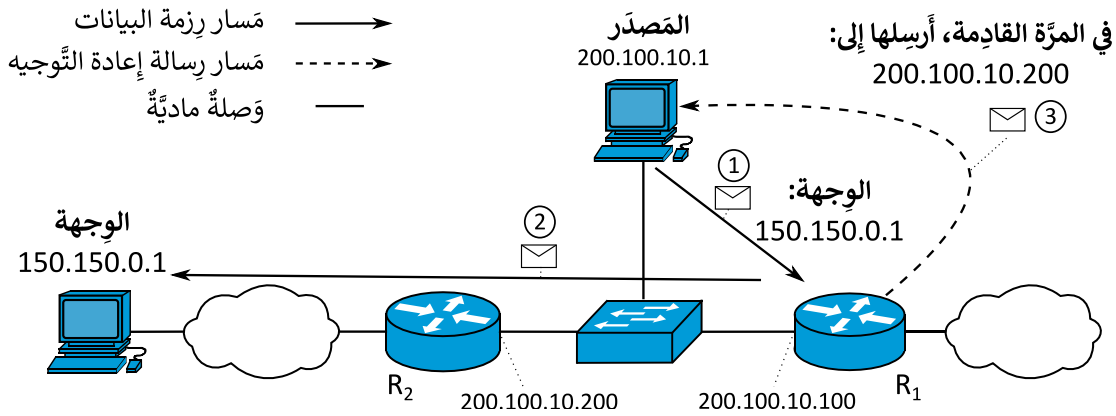
مع معيارٍ مُحدّدٍ سلفاً، انظر ص. 74 في [BKA06].

³⁵² للمزيد حول مفهوم الأحيّة، انظر ما جاء وصف حقل جودة الخدمة في ترويسة الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت في الفصل الثالث من هذا الكتاب.

³⁵³ انظر ص. 57 في [RFC1812] في ثَبَّت المراجع.

يُبين الشكل (5-6) حالة يتصل فيها موجّهان على الأقل، هما R_1 و R_2 ، مع الشبكة المحليّة المعنونة بالفضاء $200.100.10.0/24$ حيث يوجد المضيف المصدر. يُؤدّد المضيف رزمة بيانات ويرسلها نحو وجهه عنوانها $150.150.0.1$. يمرّ أفضل مسار لبُلوغ هذه الوجهة عبر الموجّه R_2 ، ولكنّ المضيف، ولِسبب ما، يرسلها نحو الموجّه R_1 . في هذه الحالة، يُوجّه R_1 الرزمة نحو الموجّه R_2 ، ثمّ يرسل رسالة إعادة توجيه للمضيف المصدر يُبلغه فيها باستحسان توجيه الرزم المستقبلية التي تكون وجهتها $150.150.0.1$ نحو الموجّه R_2 .

يُليزم كلُّ مضيف بتحديث جدول التوجيه خاصته للتفاعل مع رسائل إعادة التوجيه التي يستقبلها، ويُستثنى من ذلك الحالات التي يكون عنوان الموجّه فيها من فضاء جزئيّ آخر مُغاير للفضاء الجزئيّ الذي ينتمي عنوان المضيف إليه، وعندها يُهمل المضيف رسالة إعادة التوجيه.³⁵⁴



الشكل (5-6): مثال عن آلية عمل رسالة إعادة التوجيه في بروتوكول رسائل التحكم لإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

يُبين الشكل (6-6) بنية رسالة إعادة التوجيه وحُقولها، قيمة حقل النوع فيها هي 5، يليه حقل الترميز، الذي يحتمل أربع قيم تتحدّد وفقاً للجدول (3-6) الذي يضمّ شرحاً لكلِّ قيمة مُحتملة. يلي ذلك حقل التّحقُّق الجمعيّ الذي يُستعمل لاكتشاف أخطاء النقل كما أسلف، ثمّ عنوان البوّابة التي يقترحها الموجّه على المضيف المصدر (وعنوانه $200.100.10.200$ في الحالة المدروسة بالشكل (5-6)) بالإضافة لترويسة بروتوكول الإنترنت في الرزمة الأصيلة وللبايتات الثمانية الأولى من حمولتها، وتُساعد هذه البيانات المضيف المصدر على تشخيص سبب المشكلة التي أدّت لِعملية التوجيه غير السليمة.

0	8	16	31
النوع = 5	الترميز	التّحقُّق الجمعيّ	
عنوان بروتوكول الإنترنت للبوّابة			
ترويسة بروتوكول الإنترنت			
+ 64 بت من حُمولة رزمة البيانات الأصيلة			

الشكل (6-6): بنية رسالة إعادة التوجيه في بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت

³⁵⁴ للمزيد حول هذه المسألة انظر ص. 40-41 في [RFC1122] في ثبّت المراجع.

الجدول (3-6): قيم حقل الترميز في رسالة إعادة التوجيه ومعانيها

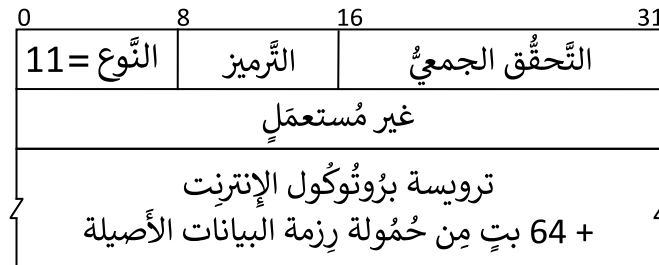
وصف	الحالة	قيمة حقل الترميز
إخبار مُضيفٍ أرسلَ رزمة بياناتٍ سابقةٍ بإعادة توجيه أيِّ رزمةٍ مُستقبليةٍ إلى عنوان الشبكة المرفق بالرسالة، أُبطلت وفقاً للوثيقة RFC 1812. ³⁵⁵	إعادة التوجيه نحو شبكة	0
إخبار مُضيفٍ أرسلَ رزمة بياناتٍ سابقةٍ بإعادة توجيه أيِّ رزمةٍ مُستقبليةٍ إلى العنوان المرفق بالرسالة.	إعادة التوجيه نحو مُضيفٍ	1
مُطابقةٍ لحالة الترميز 0، مع إضافة شرط أن تكون قيمة حقل نوع الخدمة في الرزمة المُستقبلية مُطابقة للقيمة في الرزمة السابقة.	إعادة التوجيه نحو شبكة بسبب نوع الخدمة	2
مُطابقةٍ لحالة الترميز 1، مع إضافة شرط أن تكون قيمة حقل نوع الخدمة في الرزمة المُستقبلية مُطابقة للقيمة في الرزمة السابقة. أُبطلت وفقاً للوثيقة RFC 1812.	إعادة التوجيه نحو مُضيفٍ بسبب نوع الخدمة	3

نفاد الزمن

تُرسل رسالة نفاد الزمن في حالتين اثنتين:

- بعد معالجة رزمة بيانات في موجه ما، إذا وجد الموجه أن قيمة حقل زمن حياة الرزمة في ترويسة الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت مساوية للصفر. وعندها يتخلص الموجه من الرزمة مباشرةً ويُرسِل الرسالة إلى مصدرها.
- عند تجميع قطع رزمة بيانات في الوجهة، إذا نفذت المؤقت الانتظار ولما تصل القطع كلها بعد. وعندها يتخلص المُضيف الوجهة من القطع التي جمعتها، ويُرسِل رسالة نفاد الزمن إلى مصدرها.

يُبين الشكل (6-7) بنية رسالة نفاد الزمن وحقولها، وهي مُميّزة بالقيمة 11 لحقل النوع، يليه حقل الترميز، وتكون قيمته إما 0 أو 1 وفقاً للجدول (6-4)، ثم حقل التحقق الجمعي سالف الذكر، يليه حقل غير مُستعمل طوله 32 بتاً ثم ترويسة بروتوكول الإنترنت الخاصة بالرزمة التي سببت معالجتها توليد هذه الرسالة، ثم البايتات الثمانية الأولى من حُمولة الرزمة الأصلية، والتي تحوي ترويسة بروتوكول النقل، إن وُجد.



الشكل (6-7): بنية رسالة نفاد الزمن في بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت

³⁵⁵ من أجل إبطال الرسائل ذاتي الترميزين 0 و3، انظر ص. 82 في [RFC1812] في نُبْت المراجع.

الجدول (4-6): قيمة حقل الترميز في رسالة نفاذ الزمن ومعناها

الوصف	الحالة	قيمة حقل الترميز
بلغت قيمة حقل زمن حياة الرزمة في ترويسة الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الصفر.	نفاذ زمن حياة الرزمة	0
انتهى زمن الانتظار لإعادة تجميع قطع رزمة بيانات، وبعض من القطع لمَّا تَصِل بعدُ.	نفاذ مؤقَّت الانتظار	1

مُشكِلةٌ في مُحدِّدٍ

قد يُصاَدِف مُضَيِّفٌ وَجِهَةٌ أو مُوجَّهٌ على مَسارِ رِزْمَةِ بِياناتٍ مُشكِلةٌ ما في أحدِ حُقُولِ ترويسة الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت في أثناء مُعالِجتهما لِلرِزْمَةِ، ومِثالها أن تُحتوي حُقُولِ الترويسة قيمةً غير صحيحةٍ أو غير مدعومةٍ. إذا منعت هذه المُشكِلة استمرار المُعالِجة، فلا بُدَّ عندها من التَّخْلُصِ مِنَ الرِزْمَةِ، ثُمَّ إرسالِ رسالةٍ مُشكِلةٍ في مُحدِّدٍ إلى مَصَدَرِها. تُحتوي الرِّسالة حَقْلًا يُسمَّى حَقْلُ المُؤَشِّرِ، يَسْتَعْمِلُه مُولِّدُ الرِّسالة لِلإِشارةِ إلى مَوْجِعِ البايِتِ الَّذِي سَبَّبَ المُشكِلةَ في ترويسة الرِّزْمَةِ، بِالإِضافةِ إلى احتواءِ الرِّسالةِ نُسخةً مِنَ الترويسةِ الَّتِي سَبَّبَتِ المُشكِلةَ لِتُساعدَ المَصَدَرَ في تحديدها. يَلزِمُ أن يُولِّدَ كُلُّ مُوجَّهٍ رسالةً مُشكِلةً في مُحدِّدٍ من أَجلِ أَيِّ خَطَأٍ مُعالِجَةٍ غيرِ مَشْمُولِ بِرِسائِلِ الإِبلاغِ عن الأخطاءِ الأخرى الخاصَّةِ بِبروتوكولِ رسائلِ التَّحْكَمِ لِلإِصدارِ الرابعِ مِنَ بروتوكولِ الإنترنت.

يُبيِّنُ الشَّكْلُ (6-8) بِنِيَةِ رسالةِ نفاذِ الرِّزْمِ وحُقُولِها، قيمةَ حَقْلِ النِّوعِ فيها 12، يَلِيه حَقْلُ التَّرمِيزِ، وتكونُ قيمتهِ إمَّا 0 أو 1 وَفِقالِ لِلجدولِ (6-5)، ثُمَّ حَقْلُ التَّحْقُقِ الجَمِعيِّ، ثُمَّ حَقْلُ المُؤَشِّرِ سالفِ الذِّكْرِ ثُمَّ ترويسةِ بروتوكولِ الإنترنت في الرِّزْمَةِ الَّتِي سَبَّبَتِ المُشكِلةَ مُرفَقَةً بِالبايِتاتِ الثَّمانيَةِ الأوَّلِي مِنَ حُمُولَةِ الرِّزْمَةِ.

0	8	16	31
النِّوعُ = 12	التَّرمِيزُ	التَّحْقُقُ الجَمِعيُّ	
مُؤَشِّرٌ	غير مُستعمَلٍ		
ترويسة بروتوكول الإنترنت + 64 بتٍ مِنَ حُمُولَةِ رِزْمَةِ البِياتِ الأَصِيلةِ			

الشَّكْلُ (8-6): بِنِيَةِ رسالةٍ مُشكِلةٍ في مُحدِّدٍ في بروتوكولِ رسائلِ التَّحْكَمِ لِلإِصدارِ الرابعِ مِنَ بروتوكولِ الإنترنت

الجدول (5-6): قيمة حقل الترميز في رسالة مُشكِلةٌ في مُحدِّدٍ ومعناها

الوصف	قيمة حقل الترميز
حقل المؤشِّر يُشير إلى مَوْجِعِ الخَطَأِ.	0
يُوجدُ خيارٌ مَطْلُوبٌ في الترويسة، ولكنَّه غير موجودٍ فيها.	1

رسائل الإعلام

وهي ستُرسائل، تُصنّف وفقاً للتالي:

- رسالتا الصدى، وهما توليد الصدى والصدى، وتُستخدمان للتحقق من الاتصال بين طرفين.
- رسالتا اكتشاف الموجه، وهما الإعلان عن الموجه والتماسه، وتُستخدمان لتعريف المضيفين على الموجهات المتصلة مع شبكتهم المحلية.
- رسالتا قياس الزمن، وهما طلب الوسمة الزمنية والرد عليه، وتُستعملان لقياس الزمن اللازم لنقل رزمة البيانات بين طرفين.

وستناقش هذه الرسائل في ما سيأتي من هذا القسم.

رسالتا الصدى

يتبادل مضيفان لعنوانين من الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت هاتين الرسالتين: يُرسل الأول رسالة توليد الصدى إلى الآخر الذي يتفاعل معه بإرسال رسالة الصدى. تحتوي رسالة توليد الصدى عدداً من البايتات تمثل الحزمة، ويلزم على رسالة الرد أي الصدى، أن تحتوي حزمة رسالة توليد الصدى نفسها.

يلزم أن تكون عناوين المصدر والوجهة في رسالة توليد الصدى ورسالة الصدى متعاكسة، أي يكون عنوان المصدر في رسالة توليد الصدى هو عنوان الوجهة في رسالة الصدى، وعنوان الوجهة في رسالة التوليد هو عنوان المصدر في رسالة الصدى.

يُبين الشكل (6-9) بنية رسالة توليد الصدى وهي بنية رسالة الصدى نفسها. تكون قيمة حقل النوع 8 في رسالة توليد الصدى و0 في رسالة الصدى. أما قيمة حقل الترميز، فهي 0 دائماً في كلتا الرسالتين. تضم الترويسة أيضاً حقلان هما المعرف ورقم التتابع،³⁵⁶ يضبطهما مصدر رسالة التوليد إلى أي قيمة عددية، وعلى الوجهة أن تضبط قيمة الحقلين في رسالة الرد إلى القيمة نفسها. يُساعد هذان الحقلان المصدر على مطابقة رسالة الصدى المستقبلية مع رسالة توليد الصدى المرسلية في حال أرسلت أكثر من رسالة توليد في الوقت ذاته.

0	8	16	31
النوع	الترميز = 0	التحقق الجمعي	
المعرف		رقم التتابع	
بيانات			

الشكل (6-9): بنية رسالة توليد الصدى ورسالة الصدى

³⁵⁶ وأصل اسميهما Identifier و Sequence number على الترتيب.

رسالتا اكتشاف الموجّه

آلية اكتشاف الموجّه هي توسعة بروتوكول رسائل التحكم للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. لم تكن الآلية مشمولةً في المعيار الرسمي للبروتوكول، بل صدرت صُوراً مُستقلاً وُوصفت في وثيقة طلب التعليقات RFC 1256.³⁵⁷ تسمّح هذه الآلية لمضيفين في شبكات بيانات تدعم البثّ المجموعيّ أو البثّ العامّ باكتشاف عنوان بروتوكول الإنترنت الخاصّ بالموجّهات الجيران.

تُعرف التوسعة رسالتَي إعلام، هما رسالة الإعلان عن الموجّه ورسالة التماسه. يُرسل كلُّ موجّه دورياً عبر منافذه التي تدعم البثّ المجموعيّ كلّها رسالة بثّ مجموعاتيّ هي الإعلان عن الموجّه، وتتضمّن هذه الرسالة عناوين البثّ المجموعيّ المدعومة فيه، ويمكن للمضيفين أن يكتشفوا الموجّهات الجيران بالاستماع إلى هذه الإعلانات. يُمكن أيضاً لمضيف عنوان بثّ مجموعاتيّ أن يُرسل رسالة التماس، وهي رسالة بثّ مجموعاتيّ تطلب من أيّ موجّه يستقبلها أن يُرسل مباشرةً رسالة إعلان عبر المنفذ الذي استقبلت منه، أي أنّها آلية تسمّح للمضيفين بطلب المعلومات من الموجّهات عند الحاجة عوضاً عن انتظار استقبال رسائل الإعلان الدورية.

يُبيّن القسم (أ) من الشكل (6-9) بنية رسالة الإعلان، وهي مُميّزة بالقيمة 9 لحقل النوع، أمّا قيمة حقل الترميز فيها فتكون صفرية دائماً. لا طول ثابتاً للرسالة، بل يتحدّد طولها وفقاً لعدد العناوين فيها، ويُخصّص حقل في الرسالة لذلك يُسمّى حقل عدد عناوين الموجّهات.³⁵⁸ يُرفق كلُّ عنوان بقيمة عددية تُحدّد أفضليته قياساً على سائر العناوين، وتُعبّر القيمة الأعلى عنواناً أكثر تفضيلاً. فمثلاً، لو كانت قيمة أفضلية العنوان الأوّل هي 5 وأفضلية الآخر هي 6، فإنّ العنوان الآخر يكون مُفضّلاً على الأوّل، أي يُستحسن استعماله.

تحتوي رسالة الإعلان أيضاً حقلًا هو طول البند³⁵⁹، وهو يُحدّد طول القسم المُخصّص لكلّ عنوانٍ بوحدة هي 32 بتاً، وقيمتها هي 2 دائماً، أي يُخصّص 64 بتاً لكلّ بندٍ، 32 بتاً منها للعنوان يليها 32 بتاً للأفضلية.

تتضمّن رسائل الإعلان حقلًا آخر هو زمن الحياة،³⁶⁰ وهو يُحدّد المدة العظمى التي تكون فيها العناوين التي أُعلن عنها صالحةً للاستعمال. يبدأ أيّ مضيف استقبال رسالة الإعلان بتشغيل مؤقتٍ انتظارٍ تنازليّ تُضبط قيمته العليا وفقاً لقيمة زمن الحياة في رسالة الإعلان، ويُعيد المضيف ضبط هذا المؤقت إلى قيمته العليا كلّما استقبل رسالة إعلان جديدةً، فإذا بلغت قيمة المؤقت الصفر، فإنّ العناوين المُستقبلة في آخر رسالة إعلان تُصبح غير صالحةٍ للاستعمال. وسبب استعمال هذا المؤقت هو ضمان أن يمتلك المضيفون آليةً لاكتشاف توقّف الموجّهات عن العمل، ثمّ تحديث جدول التوجيه بمقتضى التغير الحاصل.

تُرسل رسائل الإعلان دورياً بفواصلٍ زمنيةٍ تتراوح بين 7 و10 دقائق، ويمتدُّ زمن الحياة 30 دقيقةً افتراضياً.³⁶¹

³⁵⁷ انظر [RFC1256] في ثبت المراجع.

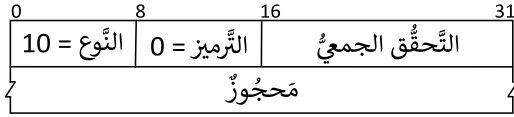
³⁵⁸ أصل الاسم Number of router addresses.

³⁵⁹ أصل الاسم Address entry size.

³⁶⁰ أصل الاسم Lifetime.

³⁶¹ انظر ص. 4 في [RFC1256] في ثبت المراجع.

يُظهر القسم (ب) من الشكل (6-9) بنية رسالة التماس الموجّه وقيمة حقل النوع فيها 10، وفيما تكون قيمة حقل الترميز صفرية دائماً. تحوي الرسالة حقلاً محجوراً طوله 32 بتاً، يُضبط إلى قيمة صفرية في المرسل ثم يُهمل ولا يُعالج في المستقبل.



(ب) بنية رسالة التماس الموجّه

0	8	16	31
النوع = 9	الترميز = 0	التحقق الجمعي	
عدد العناوين	طول البتد	زمن الحياة	
عنوان الموجّه 1			
أفضلية العنوان 1			
عنوان الموجّه 2			
أفضلية العنوان 2			
⋮			

(أ) بنية رسالة الإعلان عن الموجّه

الشكل (6-10): بنية الرسائل المستعملة في آلية اكتشاف الموجّه في بروتوكول رسائل التحكم للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

رسالتا قياس الزمن

الوسمة الزمنية³⁶² هي عدد طوله 32 بتاً يُعبّر بأجزاء ألفية من الثانية عن الزمن المنقضي منذ منتصف الليل وفقاً للتوقيت العالمي³⁶³. تؤمّن رسالة طلب الوسمة الزمنية آلية للإبلاغ عن لحظة إرسال الرسالة من مصدرها ولحظة وصولها إلى وجهتها ولحظة إرسال الردّ عليها، ولهذه الأزمنة حُقُولٌ في رسالة طلب الوسمة الزمنية وفي رسالة الردّ عليها.

يُبيّن الشكل (6-11) بنية رسالة طلب الوسمة الزمنية، وهي نفسها بنية رسالة الردّ عليها أيضاً. تكون قيمة حقل النوع في رسالة الوسمة الزمنية 13 وفي رسالة الردّ عليها 14، أمّا قيمة حقل الترميز فهي 0 دائماً في كلتا الرسالتين.³⁶⁴ تضمّ الرسالة حقلين آخرين هما المُعرّف ورقم التتابع، ويضبطهما مصدر الرسالة إلى أيّ قيمة عددية تُناسبه، وعلى الوجهة أن تضبط قيمة الحقلين في رسالة الردّ إلى القيمة نفسها. ويساعد هذان الحقلان المصدر على مطابقة رسالة الردّ القادمة مع رسالة طلب الوسمة المرسلّة في حال أرسلت أكثر من رسالة طلب تتابعاً.

عند إنشاء رسالة طلب الوسمة الزمنية، يملأ المصدر حقل وسمة الأصل الزمنية في رسالة الطلب وفقاً لساعته الداخليّة، ويضبط قيمة حقل وسمة الاستقبال الزمنية ووسمة إعادة الإرسال إلى الصفر. أمّا عند إنشاء رسالة الردّ، فإنّ المُضيف الوجهة ينسخ قيمة وسمة الأصل من رسالة طلب الوسمة ثمّ يضيف إليها قيمتي وسمة الاستقبال ووسمة إعادة الإرسال وفقاً لساعته الداخليّة، ثمّ يُرسلها إلى مصدر رسالة الطلب.

³⁶² أصل الاسم Timestamp.

³⁶³ أصل الاسم Universal Time، اختصاراً UT. في زمن تطوير البروتوكول كانت خدمة التوقيت في الإنترنت Internet Clock Service،

اختصاراً ICS، تحت إشراف مختبرات كومسات COMSAT Laboratories. للمزيد حول هذه الخدمة انظر [RFC778] في نُبْت المراجع.

³⁶⁴ انظر ص. 17 في [RFC792] في نُبْت المراجع.

0	8	16	31
النوع	الترميز	التحقق الجمعي	
المعرف		رقم التتابع	
وسمة الأصل الزمنية			
وسمة الاستقبال الزمنية			
وسمة إعادة الإرسال الزمنية			

الشكل (6-11): بنية رسالة طلب الوسمة الزمنية ورسالة الردّ عليها في بروتوكول رسائل التحكم لإصدار الرايع من بروتوكول الإنترنت

التطبيقات

أمر التحقق من الاتصال³⁶⁵

هو أمر برمجيّ مدعوم في شبكات البيانات التي تُشغّل حزمة بروتوكولات الإنترنت، يهدف إلى التحقق من القدرة على الاتصال مع مضيفٍ لعنوانٍ من الإصدار الرايع من بروتوكول الإنترنت عن طريق تبادل رسالتي توليد الصدى والصدى معه. تُرسل رسالة توليد الصدى إلى المضيف الهدف، فإذا ردّ برسالة الصدى تُوجد إمكانية لإنشاء اتصالٍ معه.

طوّر هذا الأمر في مختبر أبحاث الجيش الأمريكيّ في عام 1983م،³⁶⁶ وسُمي بهذا الاسم كنايةً عن صوت السونار عندما ترتطم أمواجه الصوتية بجسمٍ ما وترتدّ بعد ذلك عائدةً باتجاه المصدر، وهذا هو مبدأ عمل الأمر. دعت أشهر أنظمة التشغيل هذا الأمر، ومنها على سبيل المثال: لينكس³⁶⁷ وويندوز³⁶⁸ وسيسكو³⁶⁹.

يُبين الشكل (6-12) لقطة شاشةٍ لأمر التحقق من الاتصال مأخوذةً من نافذة الأوامر في نظام التشغيل ويندوز 10، وفيها فحصٌ لوجود الاتصال مع موقعٍ مُحرك البحث گوگل. يُرسل الأمر 4 رسائل توليد صدىٍ طوّل كلّ منها 32 بايتاً، ويردّ الموقع المستهدف على كلٍّ منها برسالة صدى. وتوضّح لقطة الشاشة الزمن الإجمالي اللازم لإرسال كلّ رسالةٍ ولمعالجتها

³⁶⁵ أصل الاسم Ping، ويُقرأ بينغ، وهو صوت أزيز الرصاص لغّة، وأيضاً جزءٌ من الاسم الإنجليزيّ للعبة كرة الطاولة، وهو مشتقٌ من الصوت الذي يَنجُ عن ممارستها (انظر ص. 870 في [BKA02] في ثبّت المراجع)، وهو أيضاً صوت كاشف أمواج السونار. وجاء في معجم الحاسبات (ص. 213 في [BKA01]): «أمرٌ يُستخدم للتأكد من وجود جهازٍ مُعيّن في الشبكة ومن فاعليته وإمكانية الاتصال به».

³⁶⁶ طوّر هذا الأمر على يد مايك موس Mike Muss (1958-2000) وهو مُبرمجٌ أمريكيّ حصل على بكالوريوس في الهندسة من جامعة جونز هوبكينز في بالتيمور، عمل لاحقاً في مختبر أبحاث الجيش الأمريكيّ وطوّر برمجياتٍ عديدةً أهمها اختبار بروتوكول التحكم بالنقل Test Transport Control Protocol، المعروف اختصاراً بالرمز TTCP، وأمر التحقق من الاتصال سالف الذكر، للمزيد انظر صفحته في [WEB12] في ثبّت المراجع.

³⁶⁷ أصل الاسم Linux، وهو اسمٌ لعائلةٍ من أنظمة التشغيل الرُسومية حرّة المصدر. من أجل معلوماٍ عن الأمر في عائلة الأنظمة هذه انظر ص. 115 في [STD07] في ثبّت المراجع.

³⁶⁸ أصل الاسم Microsoft Windows، وهو اسمٌ لعائلةٍ من أنظمة التشغيل الرُسومية المُحتكرة التي تُنتجها شركة مايكروسوفت. من أجل معلوماٍ عن الأمر في أنظمة تشغيل ويندوز انظر ص. 170 في [STD08] في ثبّت المراجع.

³⁶⁹ من أجل معلوماٍ عن الأمر في أنظمة تشغيل سيسكو، انظر مثلاً ص. 14 في الفصل 43 في [STD05] في ثبّت المراجع.

ولِدَّرْدَ عليها مُقَدَّرًا بِأجزاءٍ أَلْفَيَّةٍ مِنَ الثَّانِيَةِ وَحَقْلَ زَمَنِ حَيَاةِ الرِّزْمَةِ فِي كُلِّ رِسَالَةٍ رَدِّ مُسْتَقْبَلَةٍ وَتَحْلِيلًا بَسِيطًا لِمُجْمَلِ الْبَيَانَاتِ الْمَأْخُودَةِ مِنَ الرِّزْمِ الْأَرْبَعَةِ.

```

Command Prompt
Microsoft Windows [Version 10.0.18362.778]
(c) 2019 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Michel>ping www.google.com

Pinging www.google.com [172.217.19.228] with 32 bytes of data:
Reply from 172.217.19.228: bytes=32 time=39ms TTL=53
Reply from 172.217.19.228: bytes=32 time=47ms TTL=53
Reply from 172.217.19.228: bytes=32 time=58ms TTL=53
Reply from 172.217.19.228: bytes=32 time=44ms TTL=53

Ping statistics for 172.217.19.228:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 39ms, Maximum = 58ms, Average = 47ms

C:\Users\Michel>

```

الشَّكْل (12-6): لَقْطَةُ شَاشَةٍ لِأَمْرِ التَّحْقُقِ مِنَ الْإِتِّصَالِ فِي نَافِذَةِ الْأَوَامِرِ فِي نِظَامِ التَّشْغِيلِ وَبِندُوزِ

أَمْرُ تَتَبُعِ الْمَسَارِ 370

هُوَ أَمْرٌ بَرْمِجِيٌّ مَدْعُومٌ فِي شَبَكَاتِ الْبَيَانَاتِ الَّتِي تُشْغَلُ حُزْمَةُ بُرُوتوكولاتِ الْإِنْتَرِنِتِ، يَهْدَفُ إِلَى تَعَقُّبِ الْمَسَارِ الَّذِي تَسْلُكُهُ رِزْمُ الْبَيَانَاتِ عِنْدَ انْتِقَالِهَا مِنْ مَصْدَرِهَا إِلَى وَجْهَتِهَا. يُقَدِّمُ الْأَمْرُ بَيَانَاتٍ عَنِ عَدَدِ الْقَفْزَاتِ عَلَى طُولِ الْمَسَارِ وَعَنِ الزَّمَنِ الَّذِي اسْتَعْرِفْتَهُ كُلُّ مِنْهَا.

جَرَّتْ مُحَاوَلَاتٌ لِجَعْلِ هَذِهِ الْأَدَاةِ جُزْءًا مِنَ الْإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بُرُوتوكولِ الْإِنْتَرِنِتِ مِنْ خِلَالِ تَعْرِيفِ خِيَارٍ خَاصٍّ بِهَا حَمَلِ مُعْرِفِهِ الرَّقْمِ 82، وَإِضَافَتِهِ إِلَى خِيَارَاتِ الْإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنَ الْبُرُوتوكولِ،³⁷¹ بِالْإِضَافَةِ لِتَعْرِيفِ رِسَالَةِ إِعْلَامٍ إِضَافِيَّةٍ لِبُرُوتوكولِ رِسَائِلِ التَّحْكَمِ، مَعَ قِيَمَةٍ مُمَيَّزَةٍ لِحَقْلِ النَّوعِ هِيَ 30،³⁷² وَلَكِنَّ الْمُحَاوَلَاتِ السَّابِقَةَ ظَلَّتْ تَجْرِبِيَّةً وَلَمْ تُطَبَّقْ عَلَى نِطَاقٍ وَاسِعٍ، ثُمَّ أُبْطِلَتْ فِي وَقْتٍ لَاجِقٍ.³⁷³

طَوَّرَ، نَتِيجَةً لِذَلِكَ، هَذَا الْأَمْرَ اعْتِمَادًا عَلَى رِسَالَةِ تَوْلِيدِ الصِّدَى وَرِسَالَةِ الصِّدَى الْخَاصَّتَيْنِ بِبُرُوتوكولِ رِسَائِلِ التَّحْكَمِ تَطْوِيرًا مُنْفَصِلًا وَبِطَرِيقٍ مُتَنَوِّعَةٍ فِي أَنْظِمَةِ التَّشْغِيلِ الْمُخْتَلِفَةِ، وَمِنْهَا أَنْظِمَةُ لِيْنِكْسِ³⁷⁴ وَوِينْدُوزِ³⁷⁵ وَسِيسْكُو³⁷⁶.

يُبَيِّنُ الشَّكْل (13-6) لَقْطَةَ شَاشَةٍ لِأَمْرِ التَّحْقُقِ مِنَ الْإِتِّصَالِ مَأْخُودَةً مِنَ نَافِذَةِ الْأَوَامِرِ فِي نِظَامِ التَّشْغِيلِ وَبِندُوزِ 10، وَفِيهَا فَحْصٌ لِلْمَسَارِ مَعَ مَوْقِعِ مُحَرِّكِ الْبَحْثِ غُوْغَلِ، وَيُظْهِرُ الْمَسَارَ فِيهَا مُكَوَّنًا مِنْ 11 قَفْزَةً.

³⁷⁰ أصل الاسم Traceroute.

³⁷¹ انظر خيار تَتَبُعِ الْمَسَارِ فِي الْمُلْحَقِ أَيْ فِي هَذَا الْكِتَابِ.

³⁷² انظر ص. 3-4 فِي [RFC1393] فِي تَبْتِ الْمَرَايِجِ.

³⁷³ انظر ص. 5 فِي [RFC6814] فِي تَبْتِ الْمَرَايِجِ.

³⁷⁴ انظر ص. 115 فِي [STD07] فِي تَبْتِ الْمَرَايِجِ.

³⁷⁵ أصل الاسم فِي نِظَامِ وَبِندُوزِ Tracert، انظر ص. 172 فِي [STD08] فِي تَبْتِ الْمَرَايِجِ.

³⁷⁶ مِنْ أَجْلِ مَعْلُومَاتٍ عَنِ الْأَمْرِ فِي أَنْظِمَةِ تَشْغِيلِ سِيسْكُو، انظر مثلاً ص. 16 فِي الْفَصْلِ 43 فِي [STD05] فِي تَبْتِ الْمَرَايِجِ.

```

Command Prompt
Microsoft Windows [Version 10.0.18362.778]
(c) 2019 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Michel>tracert www.google.com

Tracing route to www.google.com [216.58.206.228]
over a maximum of 30 hops:

  0  5 ms  715 ms  4 ms  192.168.43.118
  1  *      *      *      Request timed out.
  2  84 ms  251 ms  351 ms  10.4.2.12
  3  777 ms  307 ms  234 ms  10.231.25.252
  4  237 ms  201 ms  201 ms  93.8.130.77.rev.sfr.net [77.130.8.93]
  5  127 ms  99 ms  99 ms  241.10.136.77.rev.sfr.net [77.136.10.241]
  6  137 ms  99 ms  99 ms  241.10.136.77.rev.sfr.net [77.136.10.241]
  7  108 ms  99 ms  99 ms  72.14.218.124
  8  637 ms  100 ms  234 ms  108.170.244.225
  9  114 ms  237 ms  163 ms  216.239.48.151
 10  166 ms  228 ms  104 ms  par10s34-in-f4.1e100.net [216.58.206.228]

Trace complete.

C:\Users\Michel>

```

الشكل (13-6): لقطة شاشة لأمر تتبع المسار في نافذة الأوامر في نظام التشغيل ويندوز 10

المشكلات

يواجه تنفيذ البروتوكول مجموعة من المشكلات المرتبطة بالأمن والمتمثلة بمجموعة من الهجمات التي تُصنّف وفقاً للهدف الذي تُشنُّ لأجله كما يأتي:³⁷⁷

- هجمات العمر، وهي شكل من أشكال هجوم حجب الخدمة، وفيه تولّد كمية كبيرة من البيانات لعمر الشبكة بها فيتعدّر استعمال الشبكة.
- الهجمات الانفجارية، وتستهدف إيقاف عمل كيان البروتوكول أو وحدته في المضيف الوجهة، ويُشنُّ عادةً عبر إرسال رسالة ذات بنية محدّدة تُسبب معالجتها خطأً يُوقف الكيان عن متابعة عمله.
- تسريب المعلومات، وهو هجوم رقمي لا يلحق ضرراً بحدّة ذاته، لكنّه يكشف للمهاجمين عن بيانات حساسة قد تُستعمل في هجمات أخرى لاحقة.

في ما يأتي، وصف لبعض من الهجمات التي يُمكن شنها اعتماداً على رسائل البروتوكول:

- هُجوم السنافر:³⁷⁸ وهو أحد هجمات العمر ويهدف إلى حجب الخدمة، وفيه يُرسل مضيف بعيد رسالة صدّي موجهة إلى شبكة محلّية مع عنوان وجهة هو عنوان البثّ العام في تلك الشبكة. تُسبب هذه الرسالة عند انتشارها في الشبكة المحلّية ردّ المضيفين كلّهم عليها، ما يُسبب غمر الشبكة المحلّية بعدد كبير من الرسائل في وقت قصير، ويؤدّي ذلك إلى خروجها من الخدمة، تُعالج هذه المشكلة بمنع رزم البثّ العام القادمة من خارج الشبكة المحلّية.³⁷⁹

³⁷⁷ أصول الأسماء هي: Flood attack و Bomb attack و Information disclosure على الترتيب.

³⁷⁸ السنفور (الجمع: السنافر، بالفرنسيّة: Les Schtroumpfs) هو شخصيّة خياليّة صغيرة الحجم زرقاء اللون تعيش في غابة في أوروبا في العصور الوسطى، ابتكرها الرسام البلجيكي بيير كوليفور (بالفرنسيّة: Pierre Culliford) في العام 1958م، وأصل اسم الهجوم Smurf attack وهو كناية عن صغر طول الرسائل المُستعملة فيه مع كثرة عددها.

³⁷⁹ انظر ص. 1 في [RFC2644] في نُبث المراجع.

- هُجُوم أمر التَّحْقُق مِن الاتِّصال المُمَيِّت: ³⁸⁰ وهو هُجُوم عَمَرٍ وهُجُومٌ انفجاريٌّ في الوقت نفسه، يَعْتَمِد على غِيَاب طُولٍ مُحدَّدٍ لِرِسائِل توليد الصَّدى، وَيَجْرِي فيه إِرسال رِسائِل توليد صَدَى إلى المُضِيف المُستَهْدَف بِالطُّول الأَعْظَم المُمَكِن، وهو 65336 بايتاً. بسبب طُولها الكَبير، فإنَّ هذه الرِّسائِل تُقَطَّع إلى عَدَدٍ كَبيرٍ من القِطْع في أَثناء عُبُورها الشَّبَكَة، وعلى المُضِيف المُستَهْدَف تَخرِيز القِطْع المُستَقْبَلَة قبل تَجمِيعها لِإِعادة إِنِتاح الرِّزْمَة الأَصِيلَة، ولا يَسْتَطِيع المُضِيف الرَّدَّ على أَيِّ مِن القِطْع قبل إِعادة تَجمِيع الرِّسالة كَامِلَةً، فَيُغَمَّر المُضِيف بِكَمِّيَّة بَياناتٍ كَبيرَة لا قِوام له على تَخرِيزها في نَهارٍ وَيَتَوَقَّف عن العَمَل. ³⁸¹
 - هُجُوم الوَسِيط: ³⁸² وهو هُجُوم تَسْرِيب مَعْلُومَاتٍ، وفيه تُوجَّه رِزْم البَيانات الَّتِي يُولِّدها المُضِيف المُستَهْدَف كُلُّها نحو وَسِيطٍ، يَطَّلِع عليها وقد يَنسُخُها، قبل أن يُوجَّهها إلى هَدَفها. يُمَكِن إِعداد هذا الهُجُوم بِواسِطَة رِسائِل إِعادة التَّوجِية، وفيه يُطَلَّب مِن المُضِيفِين تَوجِية رِسائِلهم نحو المُهاجِم بِدَلالَةٍ مِن المَخْرَج الافتِراضِيّ، وَيَعْمِد المُهاجِم بَعْد نَسْخ الرِّسائِل أو التَّلَاعِب بِمُحتَواها إلى إِعادة إِرسالها نحو المَخْرَج الافتِراضِيّ.
- تُوجَد أَيضاً وثِيقَة طَلب تَعليقاتٍ تَصِفُ الهِجَمات الَّتِي يُمَكِن أن تُشَنَّ على بُرُوتوكُول التَّحْكُم بالنَّقْل باستِعمال بُرُوتوكُول رِسائِل التَّحْكُم، ولها الاسم الرِّمزيّ RFC 5927. ³⁸³

³⁸⁰ أصل الاسم Ping of death.

³⁸¹ انظر ص. 22 في [RFC6274] في ثَبَت المَراجِع.

³⁸² أصل الاسم Man-in-the-middle attack.

³⁸³ انظرها في [RFC5927] في ثَبَت المَراجِع.

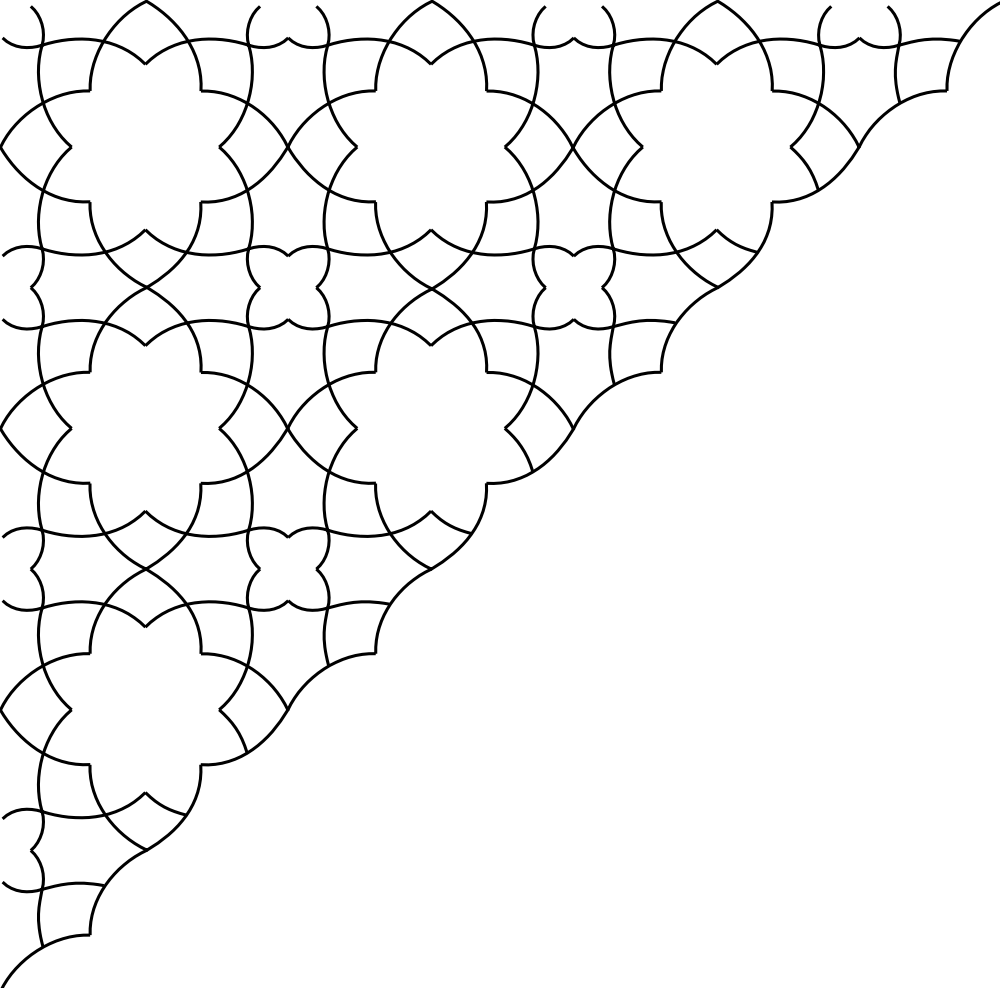


الباب الثالث: مُشكلة استنفاد فضاء عناوين


الإصدار الرابع وحُلُولها



تُرِكَتْ هَذِهِ الصَّفْحَةُ فَارِغَةً عَمْدًا لِغَرَضِ تَنْسِيقِ الْكِتَابِ



**الفصل السَّابِعُ: استنفاد فضاء عناوين الإصدار
الرَّابِعِ مِنْ بَرُوتُوْكَوْلِ الْإِنْتَرِنِتِ**



مقدمة

استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت³⁸⁴ هو نُصوب العناوين الحرة في فضاء عناوين البروتوكول. بدأت هذه المشكلة في مطلع التسعينيات من القرن العشرين مع انتشار الاستخدام التجاري للإنترنت، فقد لوحظ نُمو مُعدّل استهلاك العناوين أسيّاً، وكانت التوقعات تُشير إلى استنفاد الفضاء كاملاً في مُنتصف التسعينيات.

طُرحت مجموعة من الحلول لمعالجة هذه المشكلة وفقاً لإستراتيجيتين، الأولى قصيرة الأمد، وتهدف لإطالة الفترة المُتوقعة لاستنفاد الفضاء، وتُشمل تقنيّتي ترجمة عُنوان الشبكة والتوجيه غير الصنفيّ بين النطاقات. أمّا الثانية فهي طويلة الأمد، وتهدف لإستبدال بروتوكول تشبيكٍ آخر ذي فضاءٍ أكبر حجماً بالإصدار الرابع، وهذا البروتوكول الجديد هو الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت. ولكنّ التوجيه غير الصنفيّ كان حلاً فعّالاً، فأطال عُمر الفضاء مؤخراً تبني الإصدار السادس ما يقرب من عقدين من الزمن، ولذلك تُوصف هذه الآلية بأنّها ضمن "إستراتيجية مُتوسطة الأمد".

استنفدت هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة، وهي الهيئة الناطمة لتخصيص فضاء الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت على المُستوى العالميّ، الفضاء كاملاً في شهر يناير من العام 2011م، وبدأت بعدها سجلّات الإنترنت الإقليميّة باستنفاد أفضيتها تتابعاً، وهذه السجّلات مسؤولة عن الإشراف على عمليّة التخصيص على المُستوى القاريّ.

يبدأ هذا الفصل بخلفيةٍ عامّةٍ تُشمل استعراض خطّ زمنيّ يُركّز على تطوّر مشكلة استنفاد فضاء الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت ويليها شرحٌ مُفصّلٌ لآليّة تخصيص فضاء عناوين البثّ فريد الوجهة فيه، ثمّ يتناول بعد ذلك مراحل الاستنفاد ويُناقش باختصارٍ الحلول المُقترحة لمعالجة المشكلة.

خلفية عامة

نبذة تاريخية

كما تقدّم في الفصول السابِقة، فقد بدأت الإنترنت بصفحتها مشروعيّاً بحثيّاً في سبعينيات القرن العشرين، وكان العمل مُركّزاً على تطوير:

- (1) بروتوكول نقلٍ يدعم الاتّصال بين الطرفيّات عبر قنواتٍ افتراضيةٍ تُنشأ بصرف النظر عن عتاد الشبكة والتقنيّات المُستعملة، وتمخّضت عمليّة التطوير هذه عن بروتوكول التّحكّم بالنقل.
- (2) بروتوكول تشبيكٍ يربط الشبكات المُختلفة ويصل بينها، وُضع معياره في العام 1981م، وسُمّي بالإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت كما جاء في الفصل الثّالث من هذا الكتاب.

أختر طُول عُنوان بروتوكول التشبيك، في أثناء التطوير، ليكون 32 بتاً بناءً على توقّعاتٍ تُشمل عدّد المؤسّسات التي ستُتصل مع الشبكة وعدّد الطرفيّات في كلّ منها، وأصبح هذا الطُول في ما بعد طُول عُنوان الإصدار الرابع بعد صدور

³⁸⁴ أصل الاسم IPv4 address space exhaustion.

معياره الرسمي. أعتمد الإصدار الرابع، بعد أقل من عامين، ليكون بروتوكول الشبكات الرئيسي في الشبكة بدءاً من 1 يناير 1983م.³⁸⁵

بدأ استعمال الإنترنت لأغراض تجارية في نهاية ثمانينيات القرن العشرين، ونتج عن ذلك نمو كبير في عدد المؤسسات المتصلة مع الشبكة، وأظهر هذا النمو نزعةً أسيةً تراكمت مع تسارع في استنفاد فضاء عناوين البروتوكول، وخاصةً الطلب على أفضية الصنف B.

أصبح تبني سياسة جديدة لتخصيص فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت نتيجةً لما سبق أمراً لازماً، وإلا فإن استنفاد الفضاء سيعيق نمو الإنترنت. شكّلت مجموعة مهندسي الإنترنت، لهذا الغرض، مجموعة عمل التوجيه والعنونة والمعروفة اختصاراً باسم رُود³⁸⁶ في شهر نوفمبر من العام 1991م، ونجحت هذه المجموعة في تعريف ثلاث مشكلات رئيسية ستعيق نمو الإنترنت في المدى المنظور:³⁸⁷

1. استنفاد فضاء عناوين الصنف B، نتيجةً لغياب فضاء عناوين يُناسب مؤسسةً متوسطة الحجم تحتاج مثلاً إلى 2-5 آلاف عنوان فريد، ففضاء الصنف C صغير الحجم يضم 256 عنواناً فقط، وهو ما يدفع هذه المؤسسات لاستعمال فضاء من الصنف B يضم أكثر من 65 ألفاً من العناوين ويُفوق حاجتها بكثير.
2. نمو جداول التوجيه في موجهات الإنترنت إلى حدٍّ يزيد عن قدرات المعالجة المتوفرة في برمجيات الشبكة وعتاها.
3. استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع كلياً.

كانت التوقعات بحُصول المشكلتين الأولى والثانية، في الفترة بين العامين 1993 و1995م، على عكس المشكلة الثالثة التي وُصفت بأنها طويلة الأمد. بدأت مجموعة رُود العمل على تطوير إستراتيجية قصيرة الأمد من أجل المشكلتين الأولى والثانية، فطوّرت تقنية التوجيه غير الصنفي بين النطاقات³⁸⁸ والتي ستدرس بالتفصيل في الفصل الثامن من هذا الكتاب. نُشر مبدأ التقنية أولاً في يونيو من العام 1992م في وثيقة طلب التعليقات RFC 1338،³⁸⁹ ثم وُسع في الوثيقة RFC 1519، التي نُشرت في سبتمبر من العام 1993م، وحملت عنوان: "التوجيه غير الصنفي بين النطاقات: إستراتيجية منح العناوين وتخصيصها".³⁹⁰ صدرت الوثيقة RFC 4632 لاحقاً في العام 2006م، وهي أحدث توصيفٍ لإلية التوجيه غير الصنفي بين النطاقات.³⁹¹

³⁸⁵ يُسمّى هذا اليوم أيضاً يوم العلم Flag day، للمزيد حوله انظر ص. 2 في [RFC801] وص. 2 في [RFC3789] في ثبت المراجع.

³⁸⁶ من الأصل ROAD، ويعني حرفياً الطريق، وهو مختصرٌ من الحرفين الأولين من كلمتي التوجيه والعنونة Routing and addressing، للمزيد حول هذه المجموعة انظر ص. 4 في [RFC1752] في ثبت المراجع.

³⁸⁷ انظر ص. 4 في [RFC4632] في ثبت المراجع.

³⁸⁸ أصل الاسم Classless InterDomain Routing، اختصاراً CIDR، كما تقدّم.

³⁸⁹ سُميت التقنية في معيارها الأول تجميع الأفضية Supernetting، تمييزاً لها عن تجزئة الفضاء، للمزيد انظر [RFC1338] في ثبت المراجع.

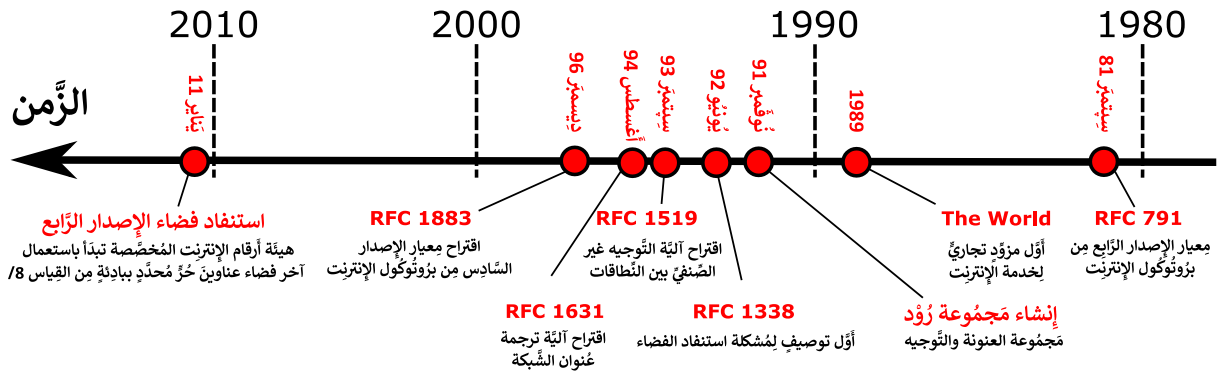
³⁹⁰ أصل الاسم Classless Inter-Domain Routing (CIDR): an Address Assignment and Aggregation Strategy، انظر [RFC1519] في ثبت المراجع.

³⁹¹ انظر وثيقة طلب التعليقات ذات الصلة في [RFC4632] في ثبت المراجع.

طُوِّرت تقنية ترجمة عنوان الشبكة³⁹² في شهر مايو من العام 1994م، لتكون حلاً آخر قصير الأمد لمشكلة الاستنفاد، واعتمد هذا الحل اعتماداً رئيساً على إعادة استعمال الأفضية الخاصة³⁹³ استعمالاً متكرراً في عنوانة الشبكات المحلية، والاقتصار على استعمال العناوين العامة عند النفاذ إلى الإنترنت فقط، وقد حُصِّص الفصل التاسع من هذا الكتاب لدراسة هذه التقنية.

طُوِّر إصدار جديد من بروتوكول الإنترنت في إطار الإستراتيجية طويلة الأمد هو الإصدار السادس، نُشر المعيار الأول للبروتوكول في شهر ديسمبر من العام 1995م، ووصف بوثيقة طلب التعليقات RFC 1883،³⁹⁴ وسيُخصَّص الباب الرابع كُله في هذا الكتاب لمناقشة الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت وملحقاته.

كان الغرض الرئيس من تطوير الحلول ضمن الإستراتيجية قصيرة الأمد هو توفير فترة زمنية تمتد بضعة من السنوات لحين تطوير حل نهائي للمشكلة ضمن الإستراتيجية طويلة الأمد، ولكنَّ الحلول قصيرة الأمد بلغت من الفعالية الغاية، فأطالت عُمر الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت ليمتدَّ عقدين من الزمن حتى استنفد الفضاء كُله أخيراً في شهر يناير من العام 2011م (الشكل 7-1)، وتأخر، نتيجةً لهذه الفعالية غير المتوقعة، تبني الإصدار السادس ليكون بروتوكول التشبيك الرئيس في الشبكة ولحلَّ كُلياً محلَّ الإصدار الرابع.



الشكل (7-1): خط زمني لمشكلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

آلية تخصيص فضاء البث فريد الوجهة

أدارات هيئة أرقام الإنترنت المخصصة عملية منح المُعرِّفات الرقمية اللازمة لعمل الإنترنت منذ نشأتها، وأشرف عليها منذ البداية معهد تقانة المعلومات في جامعة كاليفورنيا الجنوبية.³⁹⁵ ولكن منذ شهر مارس من العام 2000م، أشرفت شركة

³⁹² أصل الاسم Network Address Translation، اختصاراً NAT، ولمزيد انظر [RFC1631] في تَبْت المراجع.

³⁹³ أصل الاسم Private networks، وهي 10.0.0.0/8 و172.16.0.0/12 و192.168.0.0/16، وهي أفضية عناوين مَحجُوزة لُستعمل داخل الشبكات المحلية فقط، ولا تُستعمل أبداً لعنوانة المُضيفين في الإنترنت، ولمزيد حولها انظر [RFC1918] في تَبْت المراجع.

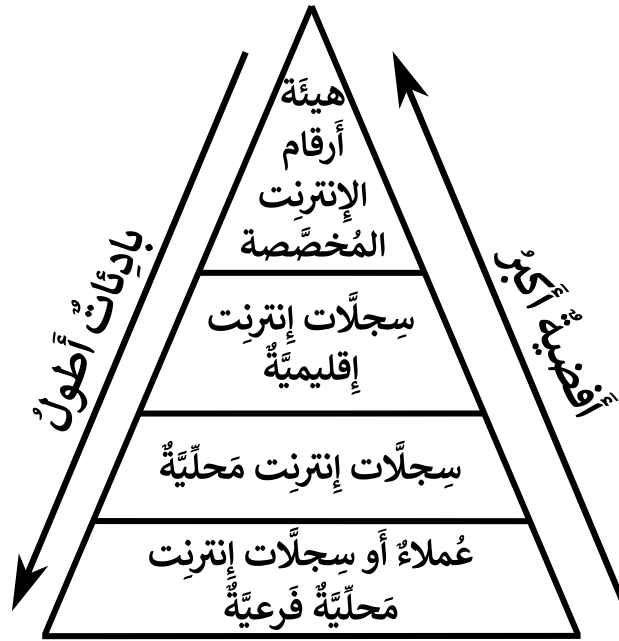
³⁹⁴ انظر هذه الوثيقة في [RFC1883] في تَبْت المراجع.

³⁹⁵ أصل الاسم USC-ISI University of Southern California Information Sciences Institute، وهو أحد أقسام مدرسة فيتبري للهندسة Viterbi School of Engineering في جامعة كاليفورنيا الجنوبية في الولايات المتحدة الأمريكية، أنشئ في مطلع سبعينيات القرن العشرين ويختصُّ بتطوير أبحاث تقانة المعلومات والحوسبة والاتصالات. للمزيد حول تاريخ آلية التخصيص انظر ما جاء في ص. 2 في [RFC1174] في تَبْت المراجع.

الإنترنت للأرقام والأسماء المُخصَّصة،³⁹⁶ عبر هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة، على تخصيص فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت.³⁹⁷

يُعرَّف التَّخصيص بأنَّه منح فضاء عناوينٍ جُزئيٍّ لسجَّلات الإنترنت الإقليميّة أو المحليّة، أمَّا التَّخصيص فهو منح فضاء عناوينٍ جُزئيٍّ للعملاء.³⁹⁸ يَحصلُ كلُّ من التَّخصيص والتَّخصيص بصفتهما جُزءً من عمل آليّة منح عناوينٍ هرميّةٍ مُكوّنةٍ من أربعة مُستوياتٍ يُبينها الشَّكل (2-7) كما يلي:³⁹⁹

1. تُؤمّن هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة، الموجودة في رأس الهرم، خدمة التَّخصيص لِعَدَدٍ من سجَّلات الإنترنت الإقليميّة على أساسٍ جُغرافيٍّ.
2. تُزوّد السجَّلات الإقليميّة السجَّلات المحليّة بأفضيّةٍ أصغر حجماً وفقاً لِحاجتها.
3. تُخصَّص السجَّلات المحليّة عناوينٍ للعملاء مباشرةً، أو تُخصَّص من فضائها لسجَّلات الإنترنت المحليّة الفرعيّة التي تُخصَّص بدورها عناوينٍ من حصّتها للعملاء نحو مُزوّدات خدمة الإنترنت أو المُستخدِمين مباشرةً.



الشَّكل (2-7): هرميّة تخصيص فضاء الإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت

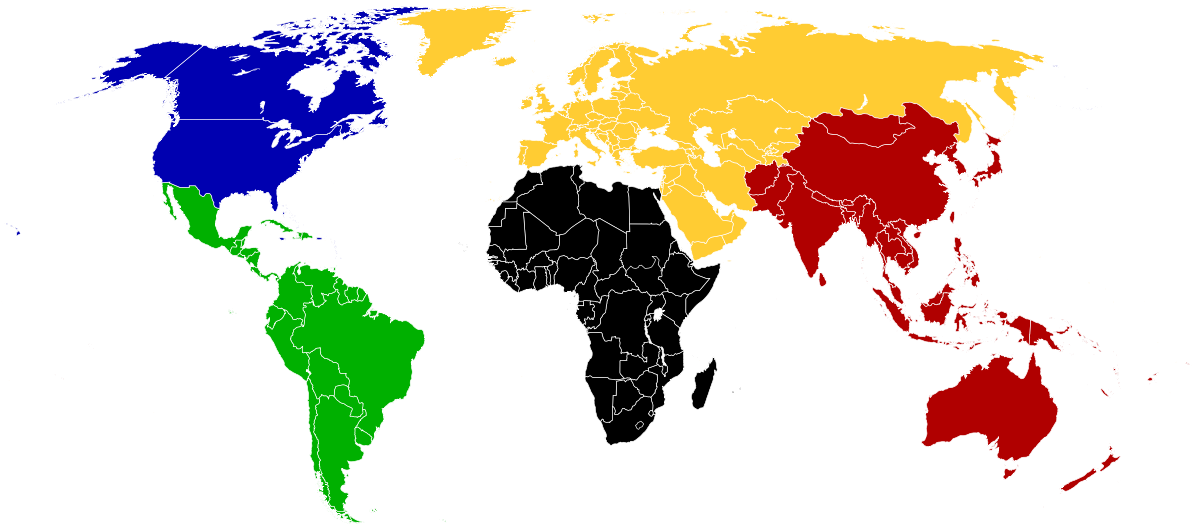
³⁹⁶ راجع ترجمة شركة الإنترنت للأرقام والأسماء المُخصَّصة في حواشي الفصل الثالث من هذا الكتاب.
³⁹⁷ في هذا السِّياق، يُلزم الانتباه إلى أنّ هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة ليست مُستقلّة، بل هي هيئةٌ للإشراف تختصُّ بمهمّةٍ مُحدّدة من طرف شركة الإنترنت للأرقام والأسماء المُخصَّصة. للمزيد حول العلاقة بين الاثنين انظر ما جاء في ص. 4 في [RFC7020] تُبث المراجع.
³⁹⁸ التَّخصيص Allocation والتَّخصيص Assignment، انظر التَّعريب في ص. 48 وص. 83 في [BKA02] تُبث المراجع. خصَّص السَّيِّء يُخصَّصه تخصيصاً، أي جعله حصصاً (انظر ص. 323 في [BKA03] في تُبث المراجع)، وخصَّص فلاناً بالسَّيِّء يُخصَّصه تخصيصاً، أي جعل السَّيِّء مُتعلّقاً به (ص. 399 في المرجع السَّابق).

³⁹⁹ أصول الأسماء هي سجَّلات إنترنت إقليميَّة Regional Internet Registries اختصاراً RIR، وسجَّلات إنترنت محليَّة Local Internet Registries، اختصاراً LIR، وسجَّلات إنترنت محليَّة فرعيَّة Sub-LIR وعميلٌ Customer ومزوّد خدمة الإنترنت Internet Service Provider. اختصاراً ISP.

أَمَّا فِي مَا يَخَصُّ سِجَلَاتِ الْإِنْتَرِنِتِ الْإِقْلِيمِيَّةِ، فَعَدَدُهَا خَمْسَةٌ فِي الْعَالَمِ كُلِّهِ وَهِيَ: 400

- مَرَكُزُ مَعْلُومَاتِ الشَّبَكَةِ الْإِفْرِيْقِيَّةِ، وَيَشْمَلُ قَارَةَ إِفْرِيْقِيَّةَ كَامِلَةً.
- مَرَكُزُ مَعْلُومَاتِ الشَّبَكَةِ فِي آسِيَةِ وَالْمُحِيطِ الْهَادِي، وَيُعْطِي الْيَابَانَ وَالصِّينَ وَمَنْغُولِيَّةَ وَشِبْهَ الْجَزِيرَةِ الْكُورِيَّةَ وَشِبْهَ الْجَزِيرَةِ الْهِنْدِيَّةِ الصِّينِيَّةِ وَمَا يُحِيطُ بِهَا وَالْهِنْدَ وَبَاكِسْتَانَ وَأَفْغَانِسْتَانَ وَبِحَرَ الْفَلْبِينَ وَمَا فِيهِ مِنْ أَرْخَبِيَّاتِ وَإِنْدُونِيْسِيَّةِ وَأَسْتْرَالِيَّةِ وَنِيوزِلَنْدَةَ وَسَائِرِ جُزُرِ الْمُحِيطِ الْهَادِي.
- السَّجَلُ الْأَمْرِيْكِيُّ لِأَرْقَامِ الْإِنْتَرِنِتِ وَيَشْمَلُ الْوَلَايَاتِ الْمُتَّحِدَةَ الْأَمْرِيْكِيَّةَ وَكَنْدَا وَبَعْضًا مِنْ حَوْضِ الْبَحْرِ الْكَارِيْبِيِّ نَحْوِ جَامَايْكَ وَالتَّاهَامَا وَبُورْتوريكو.
- مَرَكُزُ مَعْلُومَاتِ الشَّبَكَةِ فِي أَمْرِيكَةِ اللَّاتِينِيَّةِ وَالْكَارِيْبِيِّ، وَيَمْتَدُّ عَلَى قَارَةِ أَمْرِيكَةِ الْجَنْوُبِيَّةِ كُلِّهَا وَسَائِرِ أَمْرِيكَا الْوَسْطَى وَبَعْضًا مِنْ جُزُرِ الْكَارِيْبِيِّ نَحْوِ كُوبَا وَهَائِيْتِي وَالدُّومِينِيكَانَ.
- مَرَكُزُ مَعْلُومَاتِ الْإِنْتَرِنِتِ الْأُورُوبِيِّ، وَيَشْمَلُ الْمَمْلَكَةَ الْمُتَّحِدَةَ وَدَوْلَ الْإِتِّحَادِ الْأُورُوبِيِّ وَرُوسِيَّةَ وَوَسْطَى آسِيَةِ وَالْقُوقَازَ وَإِيرَانَ وَالْبِلَادَ الْعَرَبِيَّةَ الْآسِيَوِيَّةَ كُلِّهَا.

يُظْهِرُ الشَّكْلُ (3-7) الْإِمْتِدَادَ الْجُغْرَافِيَّ سَابِقَ الذِّكْرِ لِسِجَلَاتِ الْإِنْتَرِنِتِ الْخَمْسَةِ عَلَى خَرِيْطَةِ الْعَالَمِ السِّيَاسِيَّةِ.



● مَرَكُزُ مَعْلُومَاتِ الشَّبَكَةِ فِي آسِيَةِ وَالْمُحِيطِ الْهَادِي APNIC	● مَرَكُزُ مَعْلُومَاتِ الشَّبَكَةِ الْإِفْرِيْقِيَّةِ AfrinIC
● مَرَكُزُ مَعْلُومَاتِ الشَّبَكَةِ فِي أَمْرِيكَةِ اللَّاتِينِيَّةِ وَالْكَارِيْبِيِّ LACNIC	● السَّجَلُ الْأَمْرِيْكِيُّ لِأَرْقَامِ الْإِنْتَرِنِتِ ARIN
● مَرَكُزُ مَعْلُومَاتِ الْإِنْتَرِنِتِ الْأُورُوبِيِّ RIPE NIC	

الشَّكْلُ (3-7): خَرِيْطَةُ الْعَالَمِ السِّيَاسِيَّةِ وَتَوَرُّعُ سِجَلَاتِ الْإِنْتَرِنِتِ الْإِقْلِيمِيَّةِ عَلَيْهَا

400 أصول الأسماء بالترتيب: African Network Information Centre اختصاراً AfrinIC، و Asia-Pacific Network Information Centre اختصاراً APNIC، و American Registry for Internet Numbers اختصاراً ARIN، و Latin America and Caribbean Network Information Centre اختصاراً LACNIC، وبالفرنسيَّة: Réseaux IP Européens اختصاراً RIPE، وغالباً ما تُضاف له عبارة Network Information Centre فيُصبح اسمه المختصر الكامل RIPE NCC.

أما في ما يخصُّ التَّحصيل، فتتبع هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة سياسةً عامَّةً ترتكز على ثلاثة مبادئ:⁴⁰¹

1. تُخصَّص الهيئة فضاء العناوين إلى حصصٍ مُحدَّدةً ببادئةٍ من القياس 8/، وتُمنح هذه الحصص إلى سجلَّات الإنترنت الإقليمية.
2. تلتزم الهيئة بتأمين حصصٍ من أفضية العناوين تكفي الحاجة المُستقبليَّة لسجلَّات الإنترنت الإقليمية لفترةٍ لا تقلُّ عن 18 شهراً.
3. تسمَح الهيئة لسجلَّات الإنترنت الإقليمية باعتماد إستراتيجيَّات تحصيلٍ وحجزٍ محلِّيَّة خاصةٍ بها لضمان تحصيل الفضاء بأكبر فعاليَّةٍ مُمكنةٍ.

مراحلُ الاستنفاد

انتشر الاستخدام التجاريُّ للإنترنت في مطلع التسعينيات من القرن العشرين، وترافق مع تطبيق تقنيَّات التجزئة على أفضية الأصناف القياسية للإصدار الرَّابع من بروتوكول الإنترنت لإنجاز العنونة. ولكن مع استمرار تسارع نموِّ الإنترنت، ظهرت الشُّكوك حول إمكانية استمرار توسُّع الإنترنت في ظلِّ سرعة استنفاد فضاء العناوين. ففي شهر يونيو من العام 1992م مثلاً، استنفد 45% من فضاء الصَّنْف B و38% من فضاء الصَّنْف A.⁴⁰² ثُمَّ بَلَّغت نسبة الاستنفاد في مطلع العام 1994م نصف فضاء عناوين الصَّنْف B مع توقُّعاتٍ باستنفاد النِّصف الآخر في غضون عامٍ واحدٍ.⁴⁰³ لذلك، فقد اقترحت مجموعة مهندسي الإنترنت إستراتيجيَّةً جديدةً لتحصيص فضاء العناوين سُمِّيت العنونة غير الصَّنفيَّة، بالإضافة لإلآيَّة جديدةٍ للتَّوجيه سُمِّيت التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النُّطاقات، وستُدرس هذه الآليَّة، كما تقدَّم، في الفصل الثَّامن من هذا الكتاب.

انخفض مُعدَّل استنفاد فضاء العناوين في عام 1995م بعد تطبيق آليَّة التَّوجيه غير الصَّنفيِّ (الشكل (7-4))، وأصبح من المُتوقَّع أن يُستنفد فضاء عناوين الإصدار الرَّابع من بروتوكول الإنترنت في الفترة بين العامين 2005 و2011م.⁴⁰⁴ في دراسةٍ أُجريت في العام 2005م، فُحص مُعدَّل الاستنفاد في السَّنوات العشرة السَّابِقة، ووُضِع نموذُجٌ ليُصِف عمليَّة استنفاد فضاء الإصدار الرَّابع من بروتوكول الإنترنت. بناءً على هذا النموذُج، وفي حال بقيت سياسة التَّحصيل كما هي بلا تغييرٍ، فقد كان من المُتوقَّع أن تُستنفد هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة أفضية العناوين المُحدَّدة بالبادئة 8/ ضمن الفترة المُمتدَّة بين العامين 2011 و2016م.⁴⁰⁵ وتوقَّعت دراسةٌ أُخرى جرت في العام 2007م حُصول الاستنفاد في مُنتصف العام 2013.⁴⁰⁶

⁴⁰¹ انظر النَّصَّ الأصيل للسياسة العامَّة على موقع شركة الإنترنت للأرقام والأسماء المُخصَّصة على الإنترنت في [WEB14] في ثَبَّت المراجع.

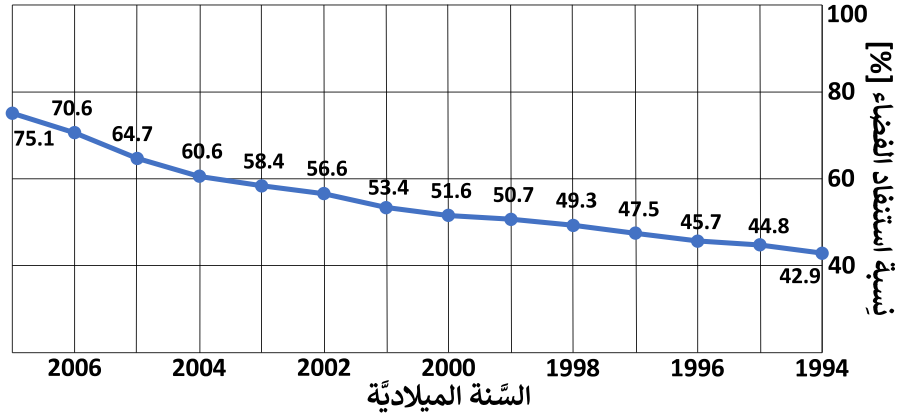
⁴⁰² انظر تفاصيل هذه الأرقام في ص. 3 في [RFC1366] في ثَبَّت المراجع.

⁴⁰³ انظر ص. 46 في [BKE02] في ثَبَّت المراجع.

⁴⁰⁴ انظر ص. 7 في [RFC1752] في ثَبَّت المراجع.

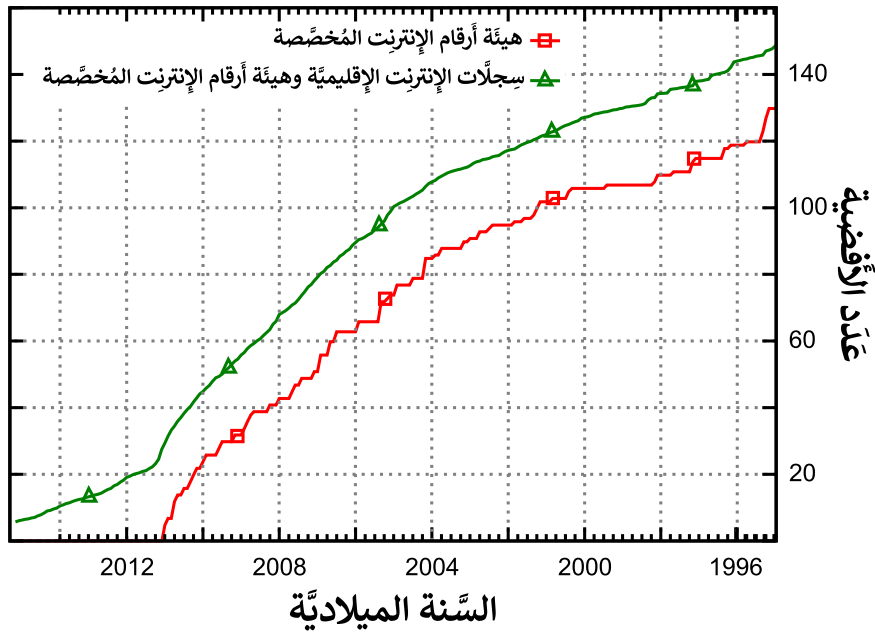
⁴⁰⁵ انظر ما جاء في [ART45] في ثَبَّت المراجع.

⁴⁰⁶ انظر [ART46] في ثَبَّت المراجع.



الشكل (4-7): النسبة المئوية لفضاء الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت المُستنفد بين العامين 1994 و2007م (أخذت الأرقام في اليوم الأول من السنة)

أستنفد الفضاء تدريجياً كما يُبين الشكل (5-7)، وتوازياً مع هذا الاستنفاد، سعت شركة الإنترنت للأرقام والأسماء المُخصّصة إلى التعاون مع سجلات الإنترنت الإقليمية من أجل تبني سياسة موحدة لتخصيص ما تبقى من فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. لتحقيق ذلك، طلبت شركة الإنترنت من السجلات في مطلع العام 2007م اقتراحات بخصوص سياسة عامة لتنظيم هذا الشأن. فطوّرت، بناءً على ما قُدّم إليها، ثلاث إصدارات مُتتابة لسياسة التخصيص طُرِحَ آخرها في شهر نوفمبر من العام 2007م.⁴⁰⁷



الشكل (5-7): انخفاض عدد الأفضية الحرة عبر الزمن نتيجة لاستنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

صَادَقَت شركة الإنترنت للأرقام والأسماء المُخصّصة على إستراتيجية عامة مكوّنة من طورين لِمَنح ما تبقى من فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت في شهر فبراير من العام 2008م:⁴⁰⁸

⁴⁰⁷ انظرها على موقع شركة الإنترنت للأرقام والأسماء المُخصّصة في [WEB15] في ثَبَت المراجع.

⁴⁰⁸ أصل اسم السياسة Global Policy for Remaining IPv4 Address Space، وأصلاً اسمي الطورين Existing phase و Exhaustion phase على الترتيب، انظر النصّ الأصلي لإستراتيجية على موقع شركة الإنترنت في [WEB16] في ثَبَت المراجع.

1. طور الوفرة: وفيه تستمّر هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة بتحصيص عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت لسجلات الإنترنت الإقليمية باستعمال سياسة التّحصيل المُتّبعة سلفاً، ويستمر هذا الطّور حتّى استتقبال طلب تحصيل لا يُمكن تلبّيته، أو يُلَبّى بتحصيص فضاء العناوين المُتّبقي كاملاً، بغضّ النّظر عن السّجلّ الّذي قدّم الطّلب. تُجيب هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة الطّلب وتُخصّصه الفضاء المُتّبقي كلّهُ، حتّى ولو لم يَكُن كافياً، ثمّ يبدأ الطّور الآخر بعدها.

2. طور الاستنفاد: يبدأ بعد نهاية طور التّوافر، وتُباشره هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة بتحصيص فضاء عناوين مَحجوزٍ ومُحدّدٍ بالبادئة 8/ لكلّ سجلّ إنترنت إقليميّ.

أقرّت شركة الإنترنت للأرقام والأسماء المُخصّصة أيضاً سياسةً عامّةً لمرحلة ما بعد الاستنفاد، وفيه تعمل هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة على تجميع أجزاء فضاء عناوين الإصدار الرابع الّتي لم تُخصّص، بالإضافة للأفضية المُستعادة من سجلّات الإنترنت الإقليمية. يُلزَم على السّجلات، وفقاً لهذه السياسة، إعادة الأفضية الجُزئيّة غير المُستعملة إلى هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة، مع إبلاغها عندما يُصبح مُجمَل القسم المُخصّص من الفضاء أقلّ في حجمه من فضاءٍ مُحدّدٍ بالبادئة 9/، وعندها تُفعل الهيئة آليّة تحصيل هذا الفضاء.

انتهى طور الوفرة في نهاية شهر يناير من العام 2011م عندما منّحت هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة الفضائين: 39.0.0.0/8 و106.0.00.0/8 لمركز معلومات الشّبكة في آسية والمُحيط الهادي،⁴⁰⁹ وتُلا ذلك، تفعيل طور الاستنفاد ومنح فضاءٍ من البادئة 8/ لكلّ سجلّ من سجلّات الإنترنت الإقليمية الخمسة. وبذلك استنفدت الهيئة فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت كاملاً.⁴¹⁰

بعد ذلك، بدأت سجلّات الإنترنت الإقليمية باستنفاد أفضيتها تبعاً:

- استنفد مركز معلومات الشّبكة في آسية والمُحيط الهادي أفضيته المُحدّدة بالبادئة 8/ في أبريل 2011م،⁴¹¹ وبدأ بعد ذلك طوراً محليّاً من سياسة الاستنفاد سمّاه المرحلة الثّالثة، يُمكن له فيها منح مُرودات الخدمة الوطنيّة أو المحليّة أفضية جُزئيّة مُحدّدة ببادئاتٍ من المقاس 22/ أو من مقاساتٍ أطول.⁴¹²
- استنفد مركز معلومات الإنترنت الأوروبيّ أفضيته ذات المقاس 8/ في شهر سبتمبر من العام 2012م،⁴¹³ وبعد ذلك، مع نهاية العام 2019م، استنفد المركز فضائه كاملاً عندما حصّص آخر أفضيته الحُرّة المُحدّدة بالبادئة 22/ (الشّكل (6-7)).⁴¹⁴

⁴⁰⁹ صدر بيانٌ رسميٌّ في هذا الشّأن عن مُنظمة الموارد الرّقميّة Number Resource Organization اختصاراً NRO، وهي هيئة تُشرف على آليّة تنسيق التّعاون بين سجلّات الإنترنت الإقليمية الخمسة، انظر البيان في [WEB17] في ثبّت المراجع.

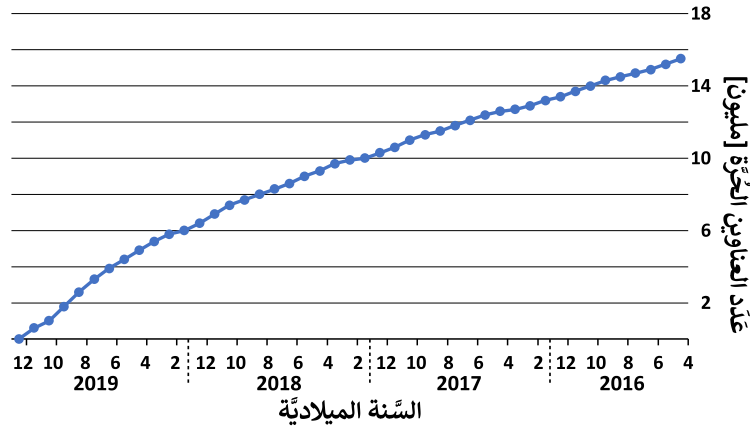
⁴¹⁰ يُمكن تتبّع الأفضية الممنوحة وتواريخ منحها من سجلّ هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة على الإنترنت في [WEB18] في ثبّت المراجع.

⁴¹¹ انظر البيان الصّحفيّ الصّادر عن المركز في [WEB19] في ثبّت المراجع.

⁴¹² أصل الاسم للمرحلة Stage 3، للمزيد حول سياسة المركز في طور الاستنفاد انظر [WEB20] في ثبّت المراجع.

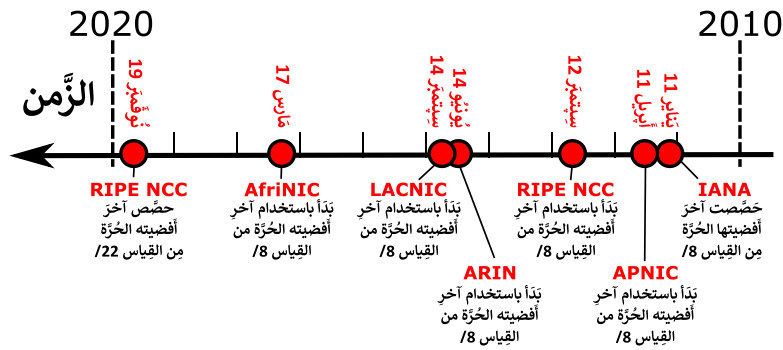
⁴¹³ انظر البيان الصّحفيّ الصّادر عن المركز في [WEB21] في ثبّت المراجع.

⁴¹⁴ للمزيد حول سياسة المركز في طور الاستنفاد انظر [WEB22] في ثبّت المراجع.



الشكل (6-7): استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت في مركز معلومات الإنترنت الأوروبي في الفترة بين أبريل 2016 وديسمبر 2019م

- استنفد مركز معلومات أمريكا اللاتينية والكاريبي أفضيته المحددة بالبادئة 8/ في شهر يونيو من العام 2014م، وابتدأ بعدها بطور ثالث من سياسة التخصيص طور بالتعاون مع مزودات الخدمة المحلية لتخصيص الأفضية ذات البادئات الطولى. 415 بالتوازي مع ذلك، فعّلت هيئة أرقام الإنترنت المخصصة "سياسة ما بعد الاستنفاد وتخصيص فضاء العناوين المستعاد"، وشمل هذا التفعيل آخر عملية تخصيص نُجزها الهيئة لفضاء من الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. 416
- استنفد السجل الأمريكي لأرقام الإنترنت آخر أفضيته المحددة ببادئة من المقاس 8/ في سبتمبر من العام 2014م، 417 وبدأ بعدها بتطبيق سياسة خاصة لعمليات المنح لا تلزمه تلبية طلبات التخصيص كلها، بالإضافة لتوجيه العملاء نحو استعمال الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت. 418
- استنفد مركز معلومات الشبكة الإفريقي آخر فضاء محدد ببادئة من القياس 8/ في شهر مارس من العام 2017م. 419



الشكل (7-7): خط زمني لاستنفاد هيئة أرقام الإنترنت المخصصة وسجلات الإنترنت الإقليمية لفضاء الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

- 415 انظر البيان الصحفي الصادر عن المركز في [WEB23] في ثبت المراجع.
- 416 انظر البيان الصحفي الصادر عن شركة الإنترنت للأرقام والأسماء المخصصة بخصوص فضاء العناوين المستعاد في [WEB24] في ثبت المراجع.
- 417 انظر البيان الصحفي الصادر عن المركز في [WEB25] في ثبت المراجع.
- 418 للمزيد حول سياسة المركز في طور الاستنفاد انظر [WEB26] في ثبت المراجع.
- 419 انظر البيان الصحفي الصادر عن المركز في [WEB27] في ثبت المراجع.

الحُلُول المُقترحة

التَّوجِيه غير الصَّنْفِي بين النُّطاقات

هُوَ حَلٌّ غير مُستدامٍ اقْتُرِحَ لِمُعَالَجَةِ مُشكِلة استنفاد فضاء الإصدار الرَّابِع من بَرُوتوكُول الإنترنت ضمن الإستراتيجية قصيرة الأمد،⁴²⁰ وستُدْرَس هذه الآليَّة، كما أُسْلِفَ، في الفصل الثَّامن من هذا الكِتَاب.

هَدَفَ تطوير هذا الحَلِّ إلى:

1. تنظيم عمليَّة المنح بطريقةٍ تَسْهُلُ بعدها عمليَّة تجميع المَسارات⁴²¹ من أجل خفض أحجام جداول التَّوجيه عالميًّا.
2. تعريف قواعدٍ جديدةٍ للعنونة مُغايرةٍ لقواعد العنونة الصَّنْفِيَّة.

يُحَصِّصُ فضاء العناوين بطريقةٍ مُتوافقةٍ مع طُوبولوجيا الإنترنت لتنفيذ الهدف الأوَّل، فتَسْهُلُ عمليَّة تجميع المَسارات وتزداد فعاليَّة نظام التَّوجيه العالميِّ. أمَّا تحقيق الهدف الثَّاني فتتطلَّب وقف العمل بنظام التَّحصيل القائم على العنونة الصَّنْفِيَّة، واستعمال نظامٍ يَعْتَمِدُ على العنونة غير الصَّنْفِيَّة، وهو يُقسِّم فضاء العناوين إلى أفضية ذات أحجام مُتنوعةٍ وفقاً للحاجة.

وُصِفَت آليَّة العنونة والتَّوجيه غير الصَّنْفِيَّتان أوَّلًا في وثيقة طلب التَّعليقات RFC 1338 في العام 1992م. وفي العام التَّالي، وتحديدًا في شهر ديسمبَر، صَدَرَت الوثيقتان: RFC 1518، وكانت مُخصَّصةً للعنونة غير الصَّنْفِيَّة، و RFC 1519، وُخصَّصَت للتَّوجيه غير الصَّنْفِيِّ. وأخيرًا، في العام 2006م، صَدَرَت الوثيقة RFC 4632 وهي الوثيقة الأحدث التي تتناول هذا المِيعار.⁴²²

كانت آليَّة التَّوجيه غير الصَّنْفِيِّ بُعيد تطويرها حَلًّا ضمن الإستراتيجية قصيرة الأمد لمُشكِلة استنفاد فضاء العناوين، وكان من المُتوقَّع أن تُطيل الأمد اللازم لاستنفاد الفضاء كاملاً لِفترةٍ تتراوح بين 3 و 5 سنواتٍ تُطوَّر خلالها حُلُولٌ أكثرُ فعاليَّةً لمُعَالَجَةِ مسألتي العنونة والتَّوجيه. ولكنَّ فعاليَّة هذه الآليَّة تَجَاوَزَت التَّوقُّعات وأطالت العُمُر المُتوقَّع للبروتوكُول لِيتجاوز 18 عاماً⁴²³ وأصبحت بذلك حَلًّا مُتوسِّط الأمد.⁴²⁴

⁴²⁰ انظر ص. 73 في [BKE01] في ثَبَت المَراجع.

⁴²¹ انظره بالتَّفصيل في الفصل الثَّامن من هذا الكِتَاب.

⁴²² انظر هذه الوثائق على التَّرتيب في [RFC1338] و [RFC1519] و [RFC4632] في ثَبَت المَراجع.

⁴²³ أخذًا بالحسبان أنَّ وثيقة طلب التَّعليقات RFC 1338 هي أوَّل معيارٍ رَسْمِيٍّ للتَّوجيه غير الصَّنْفِيِّ قد صَدَرَت في يونيو 1992م، في حين أعلنت هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة عن استنفاد أفضية العناوين المُحدَّدة بِإِدْنَةٍ من المقاس 8 / في شهر يناير من العام 2011م، فإنَّ المُدَّة الفاصلة بين الاثنين هي: 18 عاماً و 7 شُهورٍ.

⁴²⁴ أصل الاسم Mid-term solution، ودُكِرَ بهذه الصِّيغة في ص. 5 في [RFC4632] في ثَبَت المَراجع.

ترجمة عنوان الشبكة

هي تقنية تَسمحُ لِمنظَمةٍ تُديرُ شَبكَةً مَحَلِّيَّةً ما باستعمال أحد أفضية العناوين الخاصَّة⁴²⁵ لعنونة المُضيفين في تلك الشبَّكة، في الوقت نفسه الَّذي تَستعمل فيه عناوينَ عامَّةٍ فريدةٍ لِلسَّماحِ لِلْمُضيفين فيها بالاتَّصال مع الإنترنت. تَحْتَاجُ هذه التَّقنيَّةُ إلى مُوجَّهٍ يُطابقُ ويُبدِّلُ بين العناوين الخاصَّة والعامَّة، وتُسمَّى هذه العمليَّةُ التَّرجمة. يُمكنُ أن تَسمحَ ترجمة العُنونِ لِعدَدٍ كبيرٍ من مُضيفي العناوين الخاصَّة الموجودين في الشبَّكة نفسها بتشاركِ عدَدٍ قليلٍ من العناوين العامَّة واستعمالها لِلوُصولِ إلى الإنترنت.⁴²⁶ وستُدرَسُ هذه التَّقنيَّةُ بالتَّفصيلِ في الفصل التَّاسِعِ من هذا الكِتَابِ.

تُمكنُ تقنيَّةُ ترجمة عنوان الشبَّكة مُضيفاً لا يَستضيفُ عنوان بروتوكول إنترنت فريداً عالمياً من الاتِّصال مع مُضيفين آخرين عبر الإنترنت. قد يَكُونُ عنوان المُضيف من فضاءٍ خاصٍّ أو مَمْنوحاً مُسبقاً لِْمُضيفٍ آخَرَ أو لِمنظَمةٍ أُخرى، أي لا يَجُوزُ استعماله للاتِّصال مع الإنترنت. في الحالات كُلِّها، تَسمحُ ترجمة العُنونِ لِلْمُضيفِ بالاتَّصال مع هدفه عبر الإنترنت من خلال:

- تَبديلُ عنوانٍ آخَرَ عامٍّ فريداً عالمياً بعُنوانه الخاصِّ المَحَلِّيِّ في رزم البيانات الَّتِي يُرسلها عبر الإنترنت.
- تَبديلُ عُنوانه الخاصِّ المَحَلِّيِّ بعُنوانه الفريد عالمياً في رزم البيانات الَّتِي تَرِدُ له من الإنترنت.

طُوِّرت تقنيَّةُ ترجمة عنوان الشبَّكة في العام 1994م لِتَكُونُ حَلًّا لِمشكلة استنفاد عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت ضمن الإستراتيجيَّةِ قصيرة الأمد، ووُصِفَتْ أَوَّلًا في وثيقة طلب التَّعليقات RFC 1631، ثُمَّ عُدِّلَ المعيار لاحقاً وأُضيفَ إليه دَعْمُ ترجمة عنوان الشبَّكة ورَقْمِ المَنفَعْدِ ونُشِرَتْ وثيقةٌ جديدةٌ في عام 2001م تحت الاسم الرِّمزيّ، RFC 3022، وأصبحت معيار التَّقنيَّةِ منذ ذلك الحين.⁴²⁷

الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت

هُوَ بروتوكول تشبيكٍ لِشَبكاتِ البيانات، طُوِّرَ في عام 1995م لِتَكُونُ حَلًّا ضمن الإستراتيجيَّةِ طويلة الأمد لِمشكلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. يُعرَّفُ الإصدار السادس بِنِيَّةٍ مُحدَّدةٍ لِرزمة البيانات وآليَّةِ لعنونة المُضيفين عنونهُ فريدةً بطريقتيَّةٍ تَسمحُ بتوجيه الرِّزمِ من مَصَدِّرها إلى وجهتها عبر شبكاتِ البيانات، وقد خُصِّصَ الباب الرابع كُلُّه من هذا الكِتَابِ لِدراسة هذا البروتوكول ومُلاحقاته.

يَبْلُغُ طُولُ عنوان الإصدار السادس 128 بتاً، أي أَنَّهُ أطولُ بأربعة أضعافٍ مُقارنَةً طُولُ عنوان الإصدار الرابع. أمَّا عدَدُ العناوين في فضاءه، فَهُوَ أكبرُ 10^{28} ضعفاً مُقارنَةً بَعَدَدُ العناوين في فضاء عناوين الإصدار الرابع. يُكْتَبُ العُنونُ باستعمالِ نظامِ العدِّ سِتَّةَ العَشْرِيّ، وفيه 32 مَرْتَبَةً. تَكُونُ المَرْتَبَةُ الَّتِي تَقَعُ في أَقصى اليسار هي الأكثرُ أَهميَّةً. تُقسَّمُ المراتبُ إلى مَجْمُوعَاتٍ رباعيَّةٍ عدَدُها 8 مَجْمُوعَاتٍ، تَفْصِلُ بين كُلِّ مَجْمُوعَتين مُتتاليتين مِنْها نُقطتان رَاسِيَّتَانِ (:)، فمثلاً:

⁴²⁵ أصل الاسم Private address، انظرها في الفصل التَّاسِعِ من هذا الكِتَابِ.

⁴²⁶ انظر ص. 264-265 في [BKE01] في تَبْتِ المَراجِعِ.

⁴²⁷ انظر هاتين الوثيقتين على التَّرتيبِ في [RFC1631] و [RFC3022] في تَبْتِ المَراجِعِ.

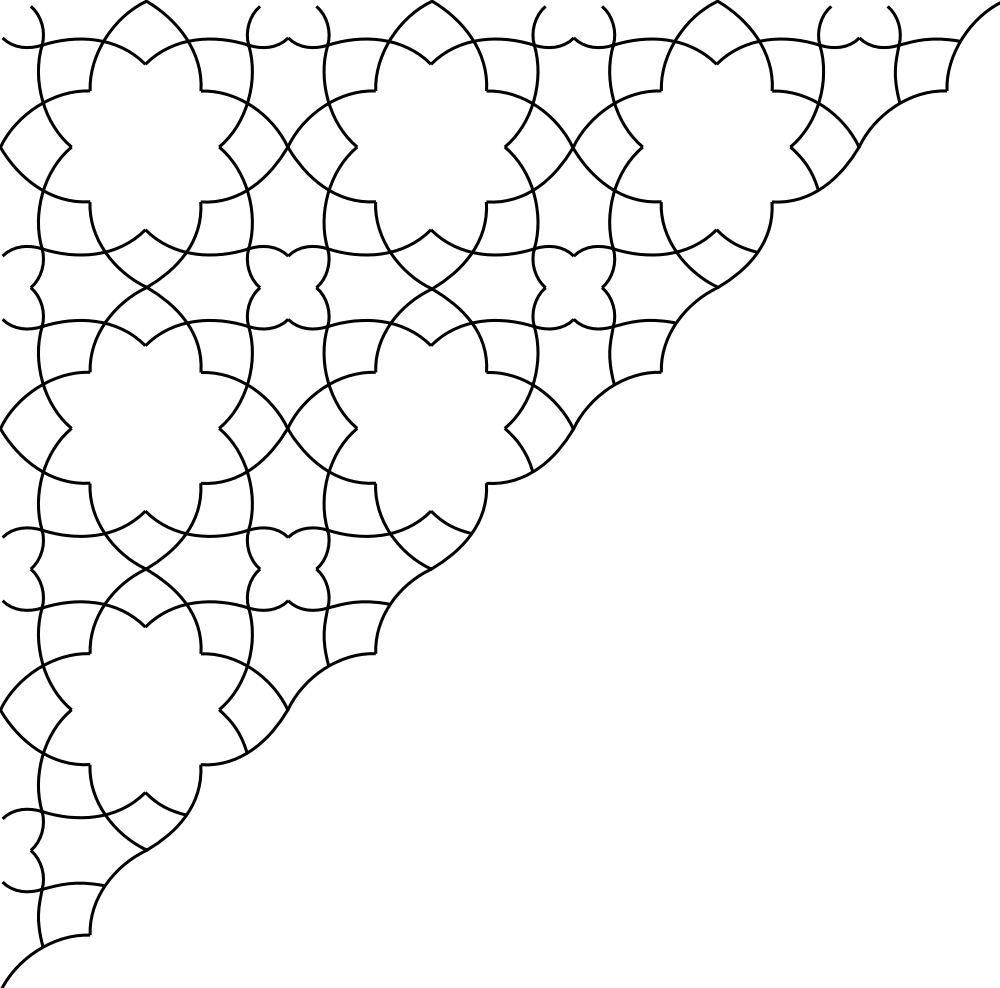
2000:abcd:ef00:0123:4567:89ab:cdef:0123

هُوَ مِثَالٌ عَنْ عُنْوَانٍ مِنْ الْإِصْدَارِ السَّادِسِ مِنْ بَرُوتُوكُولِ الْإِنْتَرِنْتِ.

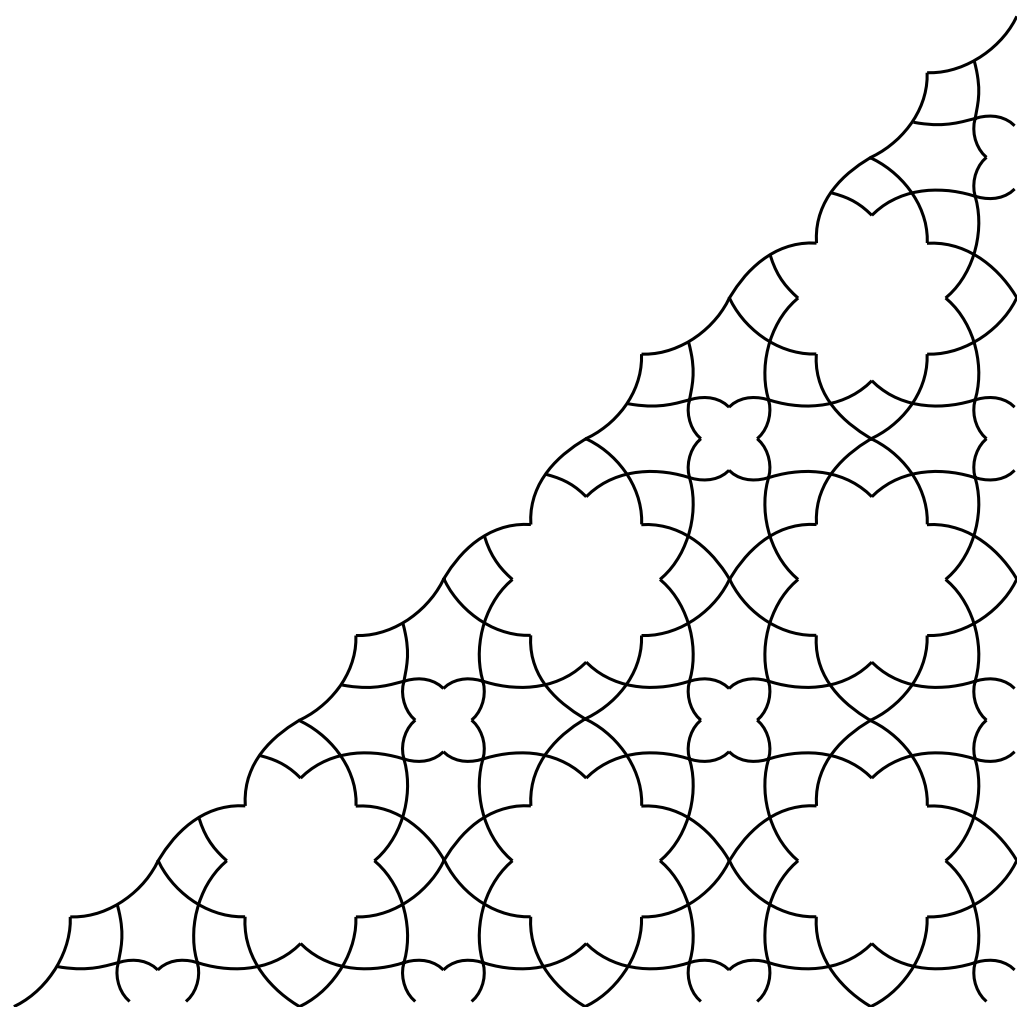
نُشِرَ الْمِيعَارُ الْأَوَّلُ لِلْبَرُوتُوكُولِ فِي دِيسَمْبَرِ مِنَ الْعَامِ 1996م فِي وَثِيقَةٍ طَلَبَ التَّعْلِيقَاتِ RFC 1883. ثُمَّ صَدَرَتِ الْوَثِيقَةُ RFC 2460 بَعْدَ سَنَتَيْنِ فِي شَهْرِ دِيسَمْبَرِ مِنَ الْعَامِ 1998م، وَظَلَّتْ هَذِهِ الْوَثِيقَةُ هِيَ الْمِيعَارَ الرَّسْمِيَّ لِلْبَرُوتُوكُولِ لِمُدَّةِ 19 عَامًا، حَتَّى صَدَرَتِ الْوَثِيقَةُ RFC 8200 فِي شَهْرِ يُولْيُو مِنَ الْعَامِ 2017م لِتُصْبِحَ الْمِيعَارَ الرَّسْمِيَّ لِلْإِصْدَارِ السَّادِسِ مِنْ بَرُوتُوكُولِ الْإِنْتَرِنْتِ مِنْذِ ذَلِكَ الْحِينِ.⁴²⁸

⁴²⁸ انظر هذه الوثائق على الترتيب في [RFC1883] و [RFC2460] و [RFC8200] في نَبْتِ الْمَرَاجِعِ.

تُرِكَت هذه الصَّفحة فارِغَةً عَمداً لِغرضِ تنسيقِ الكِتابِ



الفصل الثَّامِن: التَّوجِيه غير الصَّنْفِيِّ بين النُّطَاقَات



مقدمة

التوجيه غير الصنفي بين النطاقات⁴²⁹ هو حل ضمن الإستراتيجية قصيرة الأمد، موجه لمعالجة ثلاث مشكلات رئيسية عانت منها الإنترنت في مطلع التسعينيات نتيجة للتحوّل من استعمالها من النطاق البحثي البحت إلى التجاري، وهي: الاستنفاد الوشيك لفضاء الصنف B ونمو أحجام جداول التوجيه نمواً يفوق إمكانيات المعالجة المتاحة والاستنفاد النهائي لفضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت.

طوّر التوجيه غير الصنفي في العام 1992م، وهو يُعرف آليّة عنونة غير صنفية لتجزئة فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. تعتمد الآلية على بادئة متغيرة الطول لتحديد أقسام العنوان عوضاً عن أطوال الأقسام الثابتة المعروفة مسبقاً، والتي ميّزت العنونة الصنفية. بالإضافة لذلك، واعتماداً على العنونة غير الصنفية، يصف التوجيه غير الصنفي آليّة لتجميع المسارات تسمح بضمّ عددٍ منها بعضها مع بعض لتكوين مسارٍ جديدٍ فتحّد من نموّ أحجام جداول التوجيه.

مع أنّ التوجيه غير الصنفي قد طوّر ضمن الإستراتيجية قصيرة الأمد لحلّ مشكلة الاستنفاد، إلاّ أنّه بلغ من الفعالية الغاية، فأطال العمر المتوقع لفضاء الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت لأكثر من عقدين من الزمن، لذلك يُشار إليه أيضاً بوصفه حلّاً متوسط الأمد لمشكلة استنفاد عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت.

يبدأ هذا الفصل بنبذة تاريخية تعرض السياق العامّ لتطوير التوجيه غير الصنفي بين النطاقات بصفته حلّاً لمشكلة الاستنفاد، يليها شرحٌ لآلية العمل مقسومٌ لقسمين: العنونة غير الصنفية والتوجيه بين النطاقات. يُناقش القسم الأوّل تدوين البادئة وكيفية عمل هرمية التخصيص. أمّا الآخر، فهو مُخصّص لتناول عمليّة تجميع المسارات وقواعد التوجيه الإضافية والمشكلات التي تنتج عنها.

نبذة تاريخية

طوّر الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت في مطلع عقد الثمانينيات من القرن العشرين، كما تقدّم في الفصل الثالث من هذا الكتاب، ليؤدّي وظيفة عنونة المضيفين برمجيّاً.⁴³⁰ يُعرف البروتوكول، لتحقيق ذلك، فضاءً من العناوين يبلغ طول كلّ منها 32 بتاً. يُكتب عنوان الإصدار الرابع من البروتوكول باستعمال التدوين العشري المنقط، وفيه يُقسّم العنوان إلى أربع خانة، في كلّ منها 8 بتات، وتكون الخانة الواقعة في أقصى اليسار هي الخانة الأولى، والبت الواقع في أقصى يسارها هو البت الأكثر أهميّة. تُكتب قيم كلّ خانة بنظام العد الثنائي أولاً ثم تُنقل القيمة إلى نظام العد العشري، وتوضع نقاط لتفصيل بين الخانات الأربعة. إنّ القيم في كلّ خانة تتراوح بين: $(0)_{10} = (00000000)_2$ و $(255)_{10} = (11111111)_2$ ، لأنّ طول الخانة مُحدّد بثمانية بتات.

⁴²⁹ أصل الاسم Classless InterDomain Routing، اختصاراً CIDR، كما تقدّم.

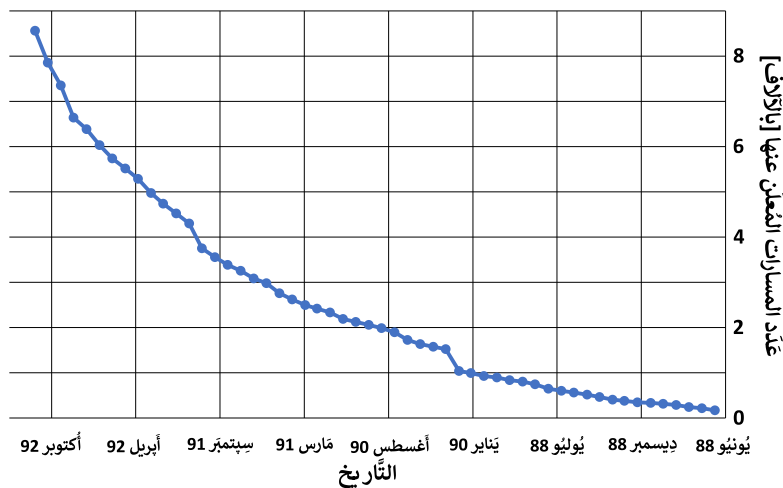
⁴³⁰ أصل الاسم Logical addressing، وتُعرّب خطأً إلى العنونة المنطقية، فكلمة Logical هنا لا تُفيد معنى المنطق هنا، بل تُشير إلى معنى "غير مادي" أي ما لا يمكن تحسّسه أو لمسّه، ويُقابلها في العربية كلمة "معنوي" ولكن هذه الكلمة لا تصحّ في هذا السياق أيضاً، فارتأينا الاجتهاد وتعريبها إلى العنوان البرمجي لأنّ العنوان يكون ضمن برمجيّات المضيف لا في عتاده.

كما تقدّم في الفصل الثالث من هذا الكتاب، فقد قُسم فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت رياضياً إلى عددٍ من الأفضية الجزئية ذات الأطوال القياسية، وسُميت هذه الأفضية أصنافاً، وهي:

- الصنف A والصنف B والصنف C، وهي مخصّصة للبتّ فريد الوجهة، وتشغل هذه الأصناف فضاء العناوين أغلبه (7/8 من مجمل الفضاء).
- الصنف D، وحُصص للبتّ المجموعيّ الذي نُوقش في الفصل الخامس من هذا الكتاب.
- الصنف E، وحُجز لاستعمالاتٍ مستقبلية.

بدأ الاستخدام التجاري للإنترنت في مطلع التسعينيات، كما ذُكر في الفصل السابع من هذا الكتاب، وتزايد معه الطلب على أفضية جزئية للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت تزايداً سريعاً ما هدّد باستنفاد الفضاء كاملاً في غضون سنواتٍ قليلة، والسبب في ذلك هو آلية العنونة الصنفية التي لم تكن قادرة على الاستجابة لمتطلبات العملاء، ففضاء قياسي من الصنف C يحتوي 256 عنواناً فقط، وهو عددٌ صغير لا يكفي المنظمات متوسطة الحجم ولا كبيرة الحجم. أمّا فضاء الصنف B، فيحتوي 65536 عنواناً، وهو عددٌ كبيرٌ يفوق بأضعافٍ عديدة حاجة المنظمات الكبيرة. ولكن، وبسبب عدم وجود حلٍّ وسطٍ يتيح فضاءً جزئياً أكبر من أفضية الصنف C وأصغر من أفضية الصنف B، فقد عمّدت المنظمات إلى طلب أفضية من الصنف B، مع أن عدد العناوين في هذه الأفضية يفوق حاجتها، وسبب ذلك استهلاكاً سريعاً وغير فعّال لفضاء الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت.

ازداد عدد الأفضية المُعلن عنها زيادةً أُسيّة نتيجةً لما سبق، ففي حين احتاج العدد المُعلن 8 أشهرٍ ليزداد من الألف إلى الألفين بين يناير وأغسطس من العام 1990م، فإنّ العدد ارتفع بمقدار ألفين تقريباً في ثلاثة أشهرٍ فقط بين سبتمبر وديسمبر من العام 1992م ليتخطى حاجز 8 آلاف مسارٍ مُعلنٍ عنه في أكتوبر 1992م (الشكل 1-8)،⁴³¹ ونشأ تخوفٌ مشروعٌ من أنّ سرعة استنفاد الفضاء ستعيق نمو الإنترنت عن طريق زيادةٍ كبيرةٍ في عدد المسارات المُعلن عنها تفوق قدرة المُعدّات المتوفرة لمعالجتها.



الشكل (1-8): الزيادة أُسيّة الطّابع في عدد المسارات المُعلنة في الإنترنت في الفترة بين يوليو 1988 وديسمبر 1992م

⁴³¹ انظر بيانات هذا الشكل في ص. 8 في [RFC1519] في تبّيت المراجع.

بدأ العمل على تطوير تقنية جديدة للعنونة والتوجيه لتخفيض عدد المسارات المعلن عنها تزامناً مع ما سبق، فُنشر مبدأ التوجيه غير الصنفي بين النطاقات للعموم في يونيو من العام 1992م في وثيقة طلب التعليقات RFC 1338 تحت عنوان "تجميع الأفضية: إستراتيجية لتخصيص وتخصيص العناوين"،⁴³² ثم نُوقشت التقنية مناقشة موسعة في أربع وثائق طلب تعليقات نُشرت في سبتمبر من العام 1993م، تقع أرقامها التسلسلية بين 1517 و1520،⁴³³ وأهمها الوثيقة RFC 1519، التي حملت عنوان: "التوجيه غير الصنفي بين النطاقات: إستراتيجية منح وتخصيص العناوين"⁴³⁴. صدرت الوثيقة RFC 4632 لاحقاً في العام 2006م، وهي أحدث توصيف لآلية التوجيه غير الصنفي بين النطاقات.

آلية العمل

العنونة غير الصنفية

أقترحت العنونة غير الصنفية لأجل تخفيض معدل استنفاد فضاء الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، وخاصةً الصنف B منه. ولكن استعمالها تطلب التخلي عن آلية العنونة المستخدمة سابقاً، وهي العنونة الصنفية، واستعمال العنونة غير الصنفية بدلاً عنها، وفيها لا أصناف قياسية محددة الطول، بل يُمنح العميل أفضية جزئية تتناسب مع حاجته، ولا تحصل عملية المنح مباشرة، وإنما اعتماداً على هرمية تخصيص يشغل العميل مستواها الأدنى، وقد نُوقشت هذه الهرمية بالتفصيل في الفصل السابع من هذا الكتاب.

تدوين البادئة

تُعرف العنونة غير الصنفية البادئة⁴³⁵ على أنها طريقة لتمثيل فضاء جزئي محدد من الفضاء الكلي للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. ولكل بادئة طول محدد، يتراوح بين 0 و32،⁴³⁶ وكلما كانت البادئة أطول، كان الفضاء الذي تُمثله أصغر حجماً. تدعم العنونة غير الصنفية آلية هرمية متعددة المستويات لتخصيص فضاء العناوين إلى حصص أو أفضية جزئية صغيرة تتناسب مع حاجة المنظمات أو المؤسسات التي ترغب في الاتصال بالإنترنت.

في العنونة الصنفية، يُحدد صنف عنوان البت فريد الوجهة أطوال أقسامه وهي: البتات المحجوزة ومُعرف الفضاء ومُعرف المُضيف. أما في العنونة غير الصنفية، فلا أصناف قياسية، بل يُقسم عنوان البت فريد الوجهة وفقاً للحاجة إلى قسمين (الشكل (8-2)):

1. البادئة، طولها b_{prefix} بتاً، وتبدأ من البت الأكثر أهمية في العنوان، وتُمثل القسم المشترك بين العناوين التي تنتهي للفضاء نفسه، ويُمكن نظرياً أن يكون طولها أي قيمة صحيحة تتراوح بين 0 و32. يُمثل طول البادئة أيضاً عدد

⁴³² أصل الاسم Supernetting: an Address Assignment and Aggregation Strategy.

⁴³³ انظرها على الترتيب في [RFC1517] و [RFC1518] و [RFC1519] و [RFC1520] في ثبت المراجع.

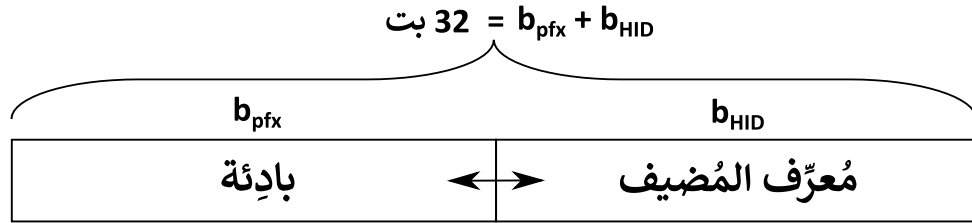
⁴³⁴ أصل الاسم Classless Inter-Domain Routing (CIDR): an Address Assignment and Aggregation Strategy.

⁴³⁵ أصل الاسم Prefix، انظر ص. 906 في [BKA02] في ثبت المراجع.

⁴³⁶ لم يسبق تخصيص أفضية محددة ببادئات أقل من 8، ولكن توجد حالات خاصة تظهر فيها بادئات أصغر طولاً نحو 0 أو 1 في جداول التوجيه عند استخدام جميع المسارات أو لأغراض أخرى، للمزيد حول هذا الشأن انظر ص. 8 في [RFC4632] ثبت المراجع.

الوحدان المتتالية في فئان الفضاء، ولذلك فهو يُضاف إلى يمين عنوان بروتوكول الإنترنت، على أن تفصل شريطةً ماثلةً، أي "/" بينهما.

2. مُعرّف المُضيف، طوله b_{HID} بتاً، ويشغل ما تبقى من العنوان، ويمثل قيمةً فريدةً تُميّز المُضيف ضمن فضاء العناوين الجزيئي.



الشكل (2-8): بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت في العنونة غير الصنفيّة

فمثلاً: 10.0.0.0/8 تعني أن البتات الثمانية الأكثر أهميّةً في العنوان، أي التي تُشكل الخانة الأولى، هي بادئة الفضاء. أمّا سائر البتات الأربعة والعشرون، فهي التي تُشكل مُعرّف المُضيف. يُمكن حساب طول مُعرّف المُضيف بطرح طول البادئة من طول العنوان الإجمالي b_{IPv4} وهو 32 بتاً في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. في المثال السابق، سيكون طول مُعرّف المُضيف $b_{\text{HID}} = b_{\text{IPv4}} - b_{\text{pfx}} = 32 - 8 = 24$ ، ولهذا العدد أهميّةً في تحديد عدد العناوين في الفضاء الذي تُمثله البادئة كما تقدّم في الفصل الرابع من هذا الكتاب.

هرميّة التّحصيل

تُخصّص موارد الإنترنت وفقاً لآليّة هرميّة تُشرف عليها سجلّات الإنترنت. وتُشمل هذه الموارد عناوين بروتوكول الإنترنت وأرقام الأنظمة المُستقلّة. طوّرت هرميّة التّحصيل في ضوء إستراتيجيّة تُرنو إلى ثلاثة أهدافٍ رئيسية:⁴³⁷

- إدارة وتخصيص فضاء العناوين: فضاء عناوين بروتوكول الإنترنت فضاءٌ مُنتهٍ يضمّ عدداً محدوداً من العناوين، لذلك يلزم إنجاز أيّ عمليّة تحصيلٍ تُلبّي حاجة العملاء ضمن حدود سعة الفضاء.
- التّحصيل الهرمي، الذي يسمّح بتجميع المسارات وخفض عدد البُود في جداول التّوجيه في نظام التّوجيه العالمي. فيُحافظ عليها صغيرة الحجم في الإنترنت قدر الإمكان، لإنجاز التّوجيه بفعاليّة.
- التّفرد⁴³⁸، أي أن يُخصّص العنوان مرّةً واحدةً فقط لا غير في وقتٍ واحدٍ، أي يكون العنوان أو الرّقم فريداً، ويُميّز مُضيفاً أو نظاماً مُستقلاًّ تمييزاً لا يقبل اللبس.

بالعودة إلى هرميّة التّحصيل المُبيّنة بالشكل (2-7) في الفصل السابق، يقع العميل الذي يحصل على فضاءٍ جزيئيّ مُخصّصٍ في قاعدة هرم التّحصيل، وهو المُستوى الرابع والأخير في الهرميّة، أمّا المُستويات الثلاثة الأولى، فهي بدءاً من رأس الهرم مُرتبةً كما يلي: هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة، ثمّ سجلّات الإنترنت الإقليميّة وتليها سجلّات الإنترنت المحليّة.

⁴³⁷ للمزيد انظر ص. 3 في [RFC7020] في ثبت المراجع.

⁴³⁸ أصل الاسم uniqueness، وunique، وتعبيري وحيداً أو فريداً (انظر ص. 1286 في [BKA02] في ثبت المراجع)، والفريد هو الواحد الذي لا نظير له، أمّا التّفرد فهو مصدر تفرّد (انظر ص. 924-925 في [BKA03]).

تشغل هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة، المستوى الأعلى من الهرم، وتمنح بادئات قصيرة تُمثل أفضيةً جُزئيةً كبيرة الحجم لسجلات الإنترنت الإقليمية. في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت مثلاً، تمنح هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة السجلات الإقليمية أفضيةً جُزئيةً مُحدَّدة ببادئة من المقاس 8/، أي يضمُّ كلُّ منها 2^{24} عنواناً. تنشُط سجلات الإنترنت الإقليمية على منطقة جُغرافية واسعة قد تشمل قارةً كاملةً أو أكثر من ذلك، ثمَّ يُجرى كلُّ سجلٍ إنترنتٍ إقليميٍّ الفضاء الذي حصل عليه إلى أفضيةٍ جُزئيةٍ أصغر حجماً، أي مُحدَّدة ببادئاتٍ أطول، مثلاً، قد ينتج عن التَّقسيم أفضيةً جُزئيةً تضمُّ 2^{17} عنواناً، أي مُحدَّدة بالبادئة 15/، أو تضمُّ 2^{11} عنواناً، أي مُحدَّدة بالبادئة 21/، أو غير ذلك وفقاً للحاجة. ثمَّ تُمنح هذه البادئات لمزودات الخدمة الوطنية أو إلى مزودات خدمةٍ محلّية، فيُخصَّص كلُّ منها فضاءً الجُزئيّ تحصيلاً مماثلاً لنتج أفضيةٍ جُزئيةٍ أصغر، مُحدَّدة ببادئاتٍ أطول، تُمنح إلى مزودات خدمةٍ محلّيةٍ أو مزوداتٍ فرعيةٍ أو تُخصَّص ⁴³⁹ للعملاء مُباشرةً. ⁴⁴⁰

يُبيِّن الشكل (3-8) مثالاً عن عمليةٍ منح فضاءٍ تمرُّ بثلاث مراحل:

1. تُخصَّص هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة الفضاء 172.0.0.0/8 للسجلِّ الأمريكيِّ لأرقام الإنترنت.
2. يُجرى السجلُّ الأمريكيُّ الفضاء إلى أفضيةٍ جُزئيةٍ أصغر، ثمَّ يُخصَّص الفضاء 172.1.128.0/8 لمزود خدمة إنترنتٍ محلّيٍّ.
3. يُجرى مزود خدمة الإنترنت المحليُّ الفضاء إلى أفضيةٍ جُزئيةٍ أصغر، ثمَّ يُخصَّص عميلاً بالفضاء الجُزئيّ 172.1.140.192/27، وفيه 32 عنواناً يصلح 30 منها لعنونة المضيفين.



الشكل (3-8): مثال عن عمليةٍ منح مُتعدِّدة المراحل لفضاء عناوين للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

يَنبج عن كلِّ مرحلةٍ من مراحل المنح أفضيةٍ عناوينٍ جُزئيةٍ أصغر حجماً من الفضاء الأصيل، وتكون مُحدَّدة ببادئاتٍ أطول من بادئته. أي يَنخفِض حجم الأفضية الجُزئية مع الابتعاد عن رأس هرم التخصيص، ولكن يترافق ذلك مع زيادةٍ طرديةٍ في طول البادئات.

يُمكن للسجلات الإقليمية والسجلات المحليَّة ولمزودات خدمة الإنترنت أن تُجرى الفضاء الممنوح لها وفقاً لحاجتها عن طريق اختيار قيمةٍ مناسبةٍ لطول البادئة. ويُبيِّن الجدول (1-8) حالات طول قسم البادئة كلها والأفضية المكافئة لكلِّ منها

⁴³⁹ انظر الفرق بين التخصيص والتخصيص في حواشي الفصل السابع من هذا الكتاب.

⁴⁴⁰ انظر ص. 6 في [RFC4632] في نَبْت المراجع.

وعدد الأفضية المكافئة في الأصناف القياسية المستعملة في العنونة الصنفيّة و عدد العناوين الإجماليّ في كلّ فضاءٍ قرعيّ ناتجٍ عن العنونة باستعمال تلك البادئة.

الجدول (1-8): البادئات في العنونة غير الصنفيّة، ومكافئاتها وفقاً للعنونة الصنفيّة⁴⁴¹

عدد العناوين في كلّ فضاءٍ قرعيّ ⁴⁴²	عدد الأفضية القياسية المكافئة			عدد البتات		قناع الشبكة	
	الصنف C	الصنف B	الصنف A	b _{HID}	b _{px}	التدوين العشريّ المنقّط	تمثيل البادئة
2 ³¹	2 ²³	2 ¹⁵	128	31	1	128.0.0.0	/1
2 ³⁰	2 ²²	2 ¹⁴	64	30	2	192.0.0.0	/2
2 ²⁹	2 ²¹	8192	32	29	3	224.0.0.0	/3
2 ²⁸	2 ²⁰	4096	16	28	4	240.0.0.0	/4
2 ²⁷	2 ¹⁹	2048	8	27	5	248.0.0.0	/5
2 ²⁶	2 ¹⁸	1024	4	26	6	252.0.0.0	/6
2 ²⁵	2 ¹⁷	512	2	25	7	254.0.0.0	/7
2 ²⁴	2 ¹⁶	256	1	24	8	255.0.0.0	/8
2 ²³	2 ¹⁵	128	1/2	23	9	255.128.0.0	/9
2 ²²	2 ¹⁴	64	1/4	22	10	255.192.0.0	/10
2 ²¹	8192	32	1/8	21	11	255.224.0.0	/11
2 ²⁰	4096	16	1/16	20	12	255.240.0.0	/12
2 ¹⁹	2048	8	1/32	19	13	255.248.0.0	/13
2 ¹⁸	1024	4	1/64	18	14	255.252.0.0	/14
2 ¹⁷	512	2	1/128	17	15	255.254.0.0	/15
2 ¹⁶	256	1	1/256	16	16	255.255.0.0	/16
2 ¹⁵	128	1/2	1/512	15	17	255.255.128.0	/17
2 ¹⁴	64	1/4	1/1024	14	18	255.255.192.0	/18
8192	32	1/8	2 ⁻¹¹	13	19	255.255.224.0	/19
4096	16	1/16	2 ⁻¹²	12	20	255.255.240.0	/20
2048	8	1/32	2 ⁻¹³	11	21	255.255.248.0	/21
1024	4	1/64	2 ⁻¹⁴	10	22	255.255.252.0	/22
512	2	1/128	2 ⁻¹⁵	9	23	255.255.254.0	/23
256	1	1/256	2 ⁻¹⁶	8	24	255.255.255.0	/24
128	1/2	1/512	2 ⁻¹⁷	7	25	255.255.255.128	/25
64	1/4	1/1024	2 ⁻¹⁸	6	26	255.255.255.192	/26
32	1/8	2 ⁻¹¹	2 ⁻¹⁹	5	27	255.255.255.224	/27
16	1/16	2 ⁻¹²	2 ⁻²⁰	4	28	255.255.255.240	/28
8	1/32	2 ⁻¹³	2 ⁻²¹	3	29	255.255.255.248	/29
4	1/64	2 ⁻¹⁴	2 ⁻²²	2	30	255.255.255.252	/30
2	1/128	2 ⁻¹⁵	2 ⁻²³	1	31	255.255.255.254	/31
1	1/256	2 ⁻¹⁶	2 ⁻²⁴	0	32	55.255.255.255	/32

⁴⁴¹ انظر ص. 2 في [RFC1878] في نَبْت المراجع.

⁴⁴² يَشْمَل هذا البند عناوين الفضاء كلّها بما فيها عنوان الفضاء وعنوان البتّ العامّ، وهذان العنوانان لا يصلحان لعنونة المضيفين، كما تقدّم في الفصل الرّابع من هذا الكتاب.

التوجيه بين النطاقات

تجميع المسارات

ترتبط عملية العنونة بنظام التوجيه في الإنترنت ارتباطاً وثيقاً، لأنَّ تخصيص أفضية عناوين يحصل على أساس متوافقٍ مع طوبولوجيا الإنترنت، فيكون بالإمكان اختزال جداول التوجيه بفعالية بعد إنجاز العنونة، وتساعد عملية الاختزال في الحد من أحجام جداول التوجيه من غير أن يؤثر ذلك في قدرات الإنترنت على التوسع عالمياً.⁴⁴³

أما تجميع المسارات، والذي يُسمى أيضاً اختصار المسارات أو اختزالها،⁴⁴⁴ فهو طريقة رياضية لتمثيل مجموعة من المسارات باستعمال مسارٍ واحدٍ، تُوصف المسارات بالمجموعة والمسار بالمختصر⁴⁴⁵. قد يبلغ عدد المسارات المجموعة اثنين أو بضع عشرات ويمكن أن يصل إلى المئات أو الآلاف، وفقاً لبنية عناوين الأفضية ولطوبولوجيا الشبكة.

يُحدّد مژودو الخدمة طوبولوجيا الشبكة التي يُراد عنونتها، ثمَّ تُخصّص عناوين الأفضية إلى العملاء بناءً على ذلك وفقاً لإلآية العنونة غير الصنفيّة، ويمكن بعدها حساب المسار المختصر، وفقاً للخطوات التآلية:

1. تُحدد الجهات التي يُراد تجميع المسارات نحوها في جدول التوجيه.
2. كتابة عناوين الجهات بنظام العد الثنائي، ثمَّ تحديد عدد البتات المتطابقة المتتالية بدءاً من البت الأكثر أهميةً في عناوين الجهات التي يُراد تجميع مساراتها.
3. تشكيل قسم البادئة للمسار المختصر من البتات المتطابقة، ويكون طولها هو عدد البتات.
4. إكمال عنوان المسار المختصر بإضافة بتات صفرية القيمة إلى يمين البتات المتطابقة حتى يبلغ مجمل عدد البتات 32 بتاً.

مثلاً، لتكن الشبكة المبيّنة بالشكل (4-8)، وفيها يتصل كلُّ من الموجّه R₂ والموجه R₃ مع أربع شبكاتٍ معنونة بأفضية جزئية وفقاً للجدول (2-8).⁴⁴⁶ يُبيّن الشكل السابق أيضاً جزءاً من جدول توجيه الموجّه R₁، وفيه ثمانية بُنود تُحدّد المنفذ الذي يُرسل الموجّه رزم البيانات عبره لو تطابقت وجهتها مع العنوان المرتبط بالبند.

الجدول (2-8): عنونة الشبكات المتصلة مع منافذ الموجّه R₂ والموجه R₃ في الشكل (4-8)

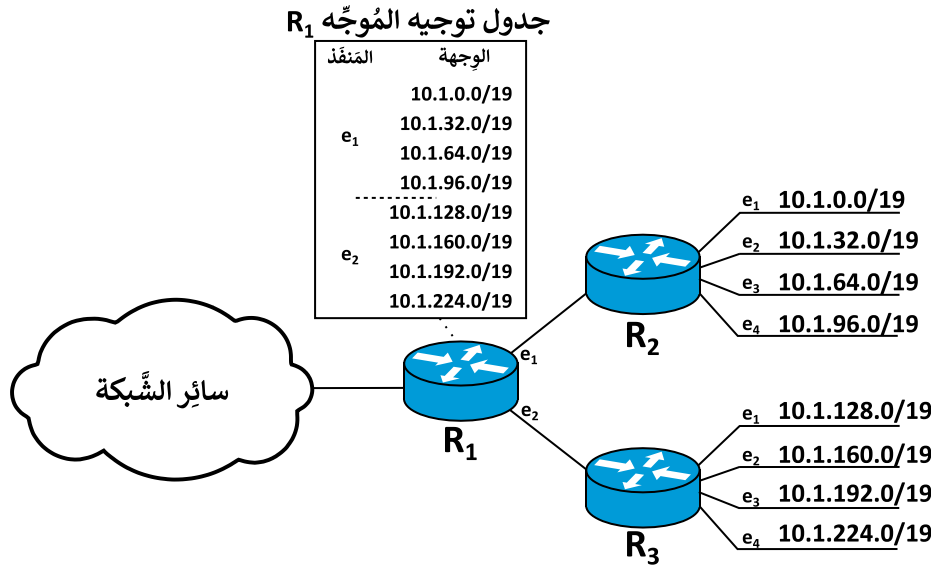
الموجه R ₃		الموجه R ₂	
الفضاء الجزئي	المنفذ	الفضاء الجزئي	المنفذ
10.1.128.0/19	e ₁	10.1.0.0/19	e ₁
10.1.160.0/19	e ₂	10.1.32.0/19	e ₂
10.1.192.0/19	e ₃	10.1.64.0/19	e ₃
10.1.224.0/19	e ₄	10.1.96.0/19	e ₄

⁴⁴³ انظر ص. 8 في [RFC4632] في ثبت المراجع.

⁴⁴⁴ أصل الاسم: التجميع Route aggregation والاختزال Route summarization.

⁴⁴⁵ أصل الاسم: المجموعة Aggregated routes والمختصر Aggregate route.

⁴⁴⁶ من أجل حسابات التجزئة، انظر المثال العاشر في الملحق د.



الشكل (4-8): طوبولوجيا الشبكة المستعملة في مثال عملية تجميع المسارات

تُجمَع المسارات في المُوجِّه R_2 وفقاً للخوارزمية المُبَيَّنة أعلاه، ويُبيَّن الجدول (3-8) تطبيق خطوات التجميع:

الجدول (3-8): تنفيذ خوارزمية تجميع المسارات على عناوين مأخوذة من جدول توجيه المُوجِّه R_2

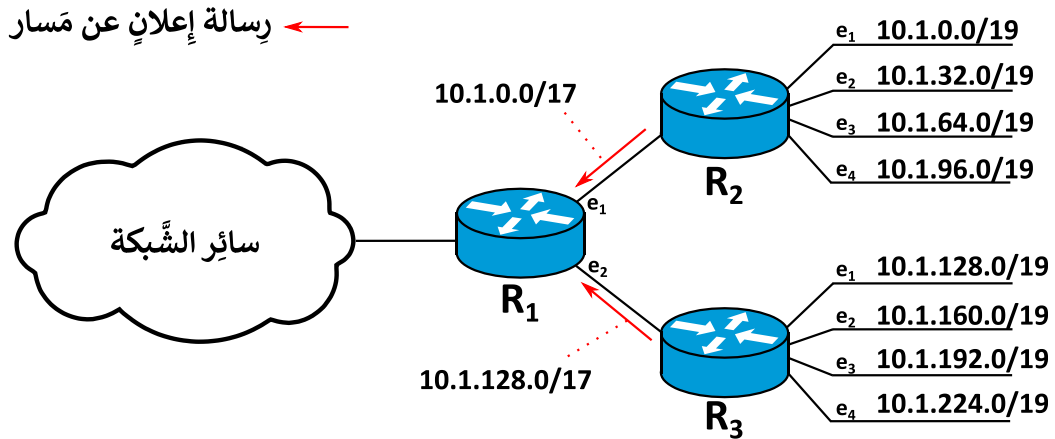
رقم الخطوة	الوصف	التنفيذ
1	تحديد الواجهات التي يُراد تجميع المسارات نحوها.	10.1.0.0/19 و 10.1.32.0/19 و 10.1.64.0/19 و 10.1.96.0/19
2	كتابة العناوين بنظام العد الثنائي، حُدِّدت البتات المتطابقة في عناوين المسارات بالخط الغليظ	<pre> 00001010.00000001.00000000.00000000 00001010.00000001.00100000.00000000 00001010.00000001.01000000.00000000 00001010.00000001.01100000.00000000 </pre>
3	البتات المشتركة تُمثل البادئة.	قِسم البادئة: 00001010.00000001.0 الطول: 17 بت.
4	إكمال عدد البتات إلى 32 بتاً عن طريق إضافة أصفار إلى يمين البادئة.	00001010.00000001.00000000.00000000
	المسار المختصر بعد كتابة العنوان بالتمثيل العشري المنقّط.	10.1.0.0/17

تُجمَع المسارات في المُوجِّه R_3 وفقاً للخوارزمية السابقة، ويُبيَّن الجدول (4-8) تطبيق خطواتها:

الجدول (4-8): تنفيذ خوارزمية تجميع المسارات على عناوين مأخوذة من جدول توجيهه المُوجّه R₃

رقم الخطوة	الوصف	التنفيذ
1	تحديد الجهات التي يُراد تجميع المسارات نحوها.	10.1.128.0/19 و 10.1.160.0/19 و 10.1.192.0/19 و 10.1.224.0/19
2	كتابة العناوين بنظام العد الثنائي، حُدّت البتات المتطابقة في عناوين المسارات بالخط الغليظ.	00001010.00000001.10000000.00000000 00001010.00000001.10100000.00000000 00001010.00000001.11000000.00000000 00001010.00000001.11100000.00000000
3	البتات المشتركة تُمثل البادئة.	قسم البادئة: 00001010.00000001.1 الطول: 17 بت.
4	إكمال عدد البتات إلى 32 بتاً عن طريق إضافة أصفار إلى يمين البادئة.	00001010.00000001.10000000.00000000
	المسار المختصر بعد كتابة العنوان بالتمثيل العشري المنقّط.	10.1.128.0/17

بدلاً من أن يُعلن كلُّ مُوجّه⁴⁴⁷ عن مساره نحو كلِّ من الشبكات الأربعة المتصلة معه، فإنه يُعلن عن مساره وحيداً هو المسار المختصر، ويُبين الشكل (5-8) مسار رسالتي الإعلان اللتين يُرسلهما المُوجّهان R₂ و R₃ نحو المُوجّه R₁.

الشكل (5-8): إعلان المُوجّهين R₂ و R₃ عن المسارين المختصرين في مثال تجميع المسارات

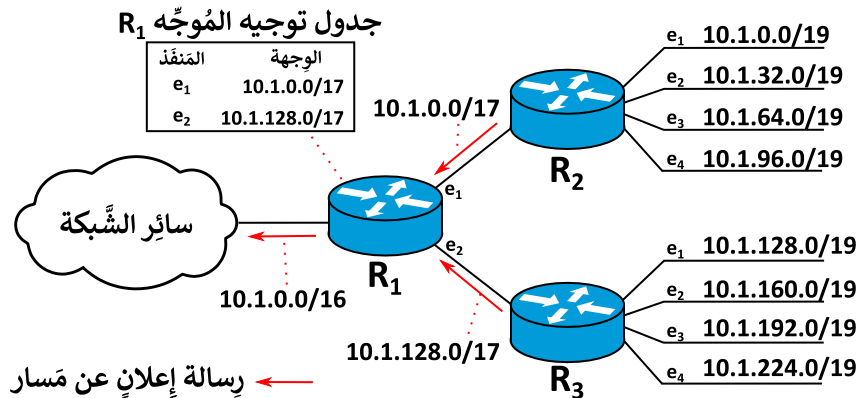
⁴⁴⁷ الإعلان عن المسار Route advertisement، وتشمل العملية استعمال أحد بروتوكولات التوجيه الذي يُحدّد بنية رسالة الإعلان ومحتوياتها وتواتر إرسالها وكيفية معالجتها وكيفية حساب المسارات نحو كلِّ الجهات المعروفة، وهذه كلها خارج نطاق المادة التي يُناقشها هذا الكتاب.

يُمكن تجميع المسارات أكثر من مرّة على مستوياتٍ مُتعدّدةٍ في الإنترنت، وعندما تُجمّع المسارات المُختصرة التي جُمّعت في المُستوى الأوّل، لِنتيجه، في مُستوىٍ ثانٍ، مساراً مُختصراً جديداً تُكوّن بادئته أقصر من بادئات المسارات المُختصرة في المُستوى الأوّل. وفقاً لهذا، تُجمّع المسارات المُختصرة التي استقبلها المُوجّه R_1 في المِثال السّابق حسب الخوارزمية المذكورة أعلاه، ويُبيّن الجدول (5-8) تطبيق هذه المراحل.

الجدول (5-8): تنفيذ خوارزمية تجميع المسارات على عناوين مأخوذة من جدول توجيه المُوجّه R_1

رقم الخطوة	الوصف	التنفيذ
1	تحديد الوجهات التي يُراد تجميع المسارات نحوها.	10.1.0.0/17 و 10.1.128.0/17
2	كتابة العناوين بنظام العد الثنائي، حدّدت البتات المُتطابقة في عناوين المسارات بالخط الغليظ.	00001010.00000001.00000000.00000000 00001010.00000001.10100000.00000000
3	البتات المُشتركة تُمثّل البادئة.	قسم البادئة: 00001010.00000001 الطول: 16 بت.
4	إكمال عدّد البتات إلى 32 بتاً عن طريق إضافة أصفارٍ إلى يمين البادئة.	00001010.00000001.00000000.00000000
	المسار المُختصر بعد كتابة العنوان بالتمثيل العشري المُنقّط.	10.1.0.0/16

ثمّ يُعلن المُوجّه R_1 عن مسارٍ واحدٍ فقط إلى سائر الشبّكة هو المسار المُختصر 10.1.0.0/16 عوضاً عن الإعلان عن ثمانية مساراتٍ نحو الشبّكات المُتصلة مع المُوجّهين R_2 و R_3 ، ويُمكن ملاحظة ذلك في الشّكل (6-8) بالإضافة إلى انخفاض عدّد البُتود في جداول توجيه المُوجّه R_1 مقارنةً بالشّكل (4-8).



الشّكل (6-8): الحالة النهائيّة للشبّكة في مِثال تجميع المسارات

قواعد إضافية للتوجيه

التوجيه هو إرشاد رزم البيانات إلى المسار الذي ستسلكه انطلاقاً من مصدرها حتى وجهتها.⁴⁴⁸ تستضيف كل عقدة متصلة مع الإنترنت عنوان بروتوكول إنترنت مميز وفريد، ويستعمل هذا العنوان معرّفاً للمضيف. تُوجّه رزم البيانات وفقاً لعنوان وجهتها، الذي يضيفه مُرسل الرزم في الحقل المُخصّص له في ترويسة الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. ولما استُبدلت العنونة غير الصنفيّة بالعنونة الصنفيّة، كان لزاماً على القائمين على الإنترنت إجراء تعديلات في قواعد التوجيه.

يُمكن تمييز فئاع الفضاء وطوله آلياً في العنونة الصنفيّة من خلال ملاحظة قيم البتات المحجوزة في الخانة الأولى من عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. أمّا في العنونة غير الصنفيّة، فلا أصناف قياسية، ولا يُمكن معرفة فئاع الفضاء ما لم يُذكر صراحةً، ولهذا تأثّر على كفيّة الإعلان عن معلومات التوجيه وتخزينها. في ما يخصّ التخزين، يلزم أن تدعم جداول التوجيه حُقولاً خاصّةً لتخزين قيمة البادئة أو فئاع الفضاء. أمّا في ما يخصّ معلومات التوجيه، فيلزم على بروتوكولات التوجيه أن تُعلن عن أقنعة الأفضية ضمن إعلانات المسارات.⁴⁴⁹

بالإضافة لما سبق، يلزم أن تُضاف القاعدتان التاليتان إلى قواعد التوجيه في الموجهات:⁴⁵⁰

1. في أثناء بحث مُوجّه عن بندٍ في جدول توجيهه لأجل توجيه رزمة بيانات ما، إذا صادفَ بندين مُتطابقين في بنيتهما، ويصلح كلٌ منهما لأن يكون الخطوة التالية على مسار تلك الرزمة، فإنّ الرزمة سُوجّه وفقاً للبند الأكثر تحديداً، أي البند ذي البادئة الطولى. فلو كان عنوان وجهة الرزمة مثلاً هو 200.10.0.100، ووُجدَ بندان في جدول التوجيه يُطابقان رقمياً عنوان الوجهة، مثل: 200.10.0.0/16 و200.10.0.0/18، فإنّ المُوجّه سيختار البند ذي البادئة الطولى، أي 18/ في هذه الحالة، ثمّ يتخذ قرار توجيه لإرسال الرزمة عبر المنفذ المُرتبط مع ذلك البند.
2. إذا كانت وجهة الرزمة النهائيّة هي مسارٌ مُختصرٌ جُمع في المُوجّه الذي يُعالج الرزمة، فيلزم على المُوجّه التخلّص من الرزمة. أي لا تُوجّه الرزم التي تُكون وجهتها النهائيّة مساراتٍ مُختصرةً، لأنّ وجهات المسارات المُختصرة ليست شبكاتٍ موجودة فعلياً، وإنّما هي تعابير رياضيّة عن عناوين مجموعةٍ من الأفضية، جُمعت معاً ليخفّض أحجام جداول التوجيه.

⁴⁴⁸ انظر ص. 333 في [BKE01] في ثبت المراجع.

⁴⁴⁹ كانت إعلانات بروتوكولات التوجيه لا تحوي أقنعة الأفضية في الأصل، لأنّ العنونة الصنفيّة تسمّح باستنتاج قيمة الفئاع آلياً فور تحديد الصنف، ويُمكن تحديد الصنف اعتماداً على تتابع البتات المحجوزة في الخانة الأولى في عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. لذلك وُصفت بروتوكولات التوجيه الأولى بأنّها صنفيّة Classful routing protocol، ومن الأمثلة عنها الإصدار الأوّل من بروتوكول معلومات التوجيه، المعروف اختصاراً بالاسم الرزميّ RIPv1 (انظر [RFC1923] في ثبت المراجع). أمّا بروتوكولات التوجيه التي طوّرت بعد اعتماد العنونة غير الصنفيّة، فتضمّن أقنعة الأفضية في إعلاناتها، ولذلك تُوصف بأنّها غير صنفيّة Classless routing protocol، ومنها على سبيل المثال بروتوكول التوجيه الداخلي المُحسّن بين البوابات، المعروف اختصاراً بالاسم الرزميّ EIGRP (انظر ص. 1 في [RFC1817]).

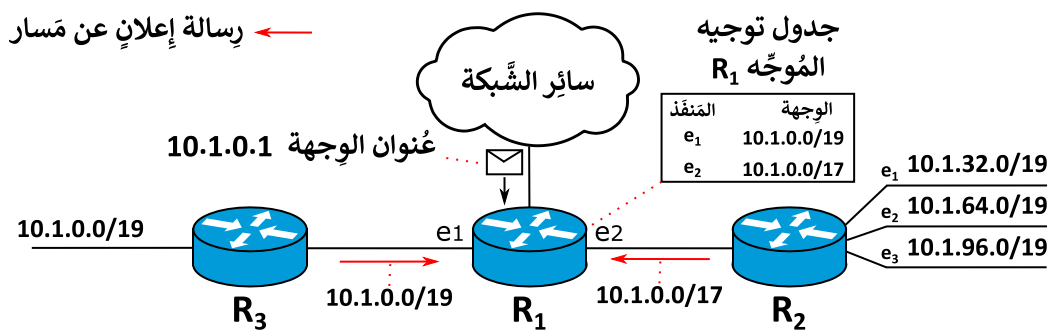
⁴⁵⁰ انظر ص. 11 في [RFC4632] في ثبت المراجع.

مُشكلات التجميع

واجهت عملية تجميع المسارات مُشكلتين رئيسيتين:⁴⁵¹

- المُنظَّمات مُتعددة المواقع:⁴⁵² وهي المُنظَّمات التي خُصص لها فضاء مُحدَّد من الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، وهي تُستخدم أجزاءً منه في عنوانة مواقع أو أكثر مُتصلين مع مُزوِّدين اثنين لخدمة الإنترنت على الأقل. في هذا الحالة، سيُعلن كلُّ مُزوِّد خدمة عن مساراتٍ نحو الأفضية الجزئية المُستخدمة في عنوانة الشبكات المُتصلة معه مباشرةً، ولا يُكون بالإمكان تجميع المسارات، بل يحتفظ كلُّ مُوجِّه في جدول توجيهه ببند مُستقلِّ نحو كلِّ فضاءٍ جزئيٍّ، وسبب هذه المُشكلة أنَّ طوبولوجيا الشبكة لا تتوافق مع العنوانة، أي أنَّ أفضيةً جزئيةً ناتجةً عن تجزئة فضاءٍ ما تُستخدم في عنوانة شبكتين مُتباعديتين مكانياً.⁴⁵³
- المُنظَّمات التي غيَّرت مُزوِّد الخدمة، ولكنها واصلت استعمال الفضاء المُخصَّص لها من المُزوِّد القديم: وينتج عن هذه الحالة إعلان المُزوِّدان القديم والجديد معاً عن مسارٍ نحو موقعٍ مُعنونٍ بفضاءٍ مُحدَّد رياضياً بالعنوان نفسه، ولكن ببادئتين مُختلفتي الطول، مثل 10.1.0.0/19 و10.1.0.0/17، ويعني هذا أن البادئة الثانية ستكون مُفضَّلةً عند توجيه الرزم وفقاً لقاعدة تفضيل البادئة الطولى. أي أنَّ المُوجِّهات ستختار توجيه أيِّ رزمة يقع عنوان وجهتها ضمن الفضاءين السابقين إلى المسار المُرتبط بالبادئة الطولى دائماً، أي 19/ في هذه الحالة، ولن تصل رزم البيانات إلى الموقع الآخر أبداً. لحلِّ هذه المُشكلة، يُنصح دائماً بأن تطلب أيُّ مُنظمةٍ تُغيِّر مُزوِّد خدمتها فضاءً جزئياً جديداً من مُزوِّد الخدمة الجديد، وأن تتوقَّف عن استعمال الفضاء القديم.

يُبين الشكل (7-8) مثالاً عن المُشكلة الثانية، وفيه ثلاثة مُوجِّهات هي: R_2 ، ويُشغله المُزوِّد الأول، و R_3 ، ويُشغله مُزوِّد خدمةٍ آخر، و R_1 الذي يصل بين المُوجِّهين السابقين وسائر الشبكة. كان المُوجِّه R_2 يرتبط في الأصل مع أربع شبكاتٍ عُنوت وفقاً للجدول (2-8)، وأختزلت بُنود جدول توجيهه وفقاً للجدول (3-8).



الشكل (7-8): مثال عن مُشكلة في عملية التجميع، مُنظمةٌ غيَّرت مُزوِّد الخدمة، ولكنها استمرت في استعمال الفضاء المُخصَّص لها من المُزوِّد القديم

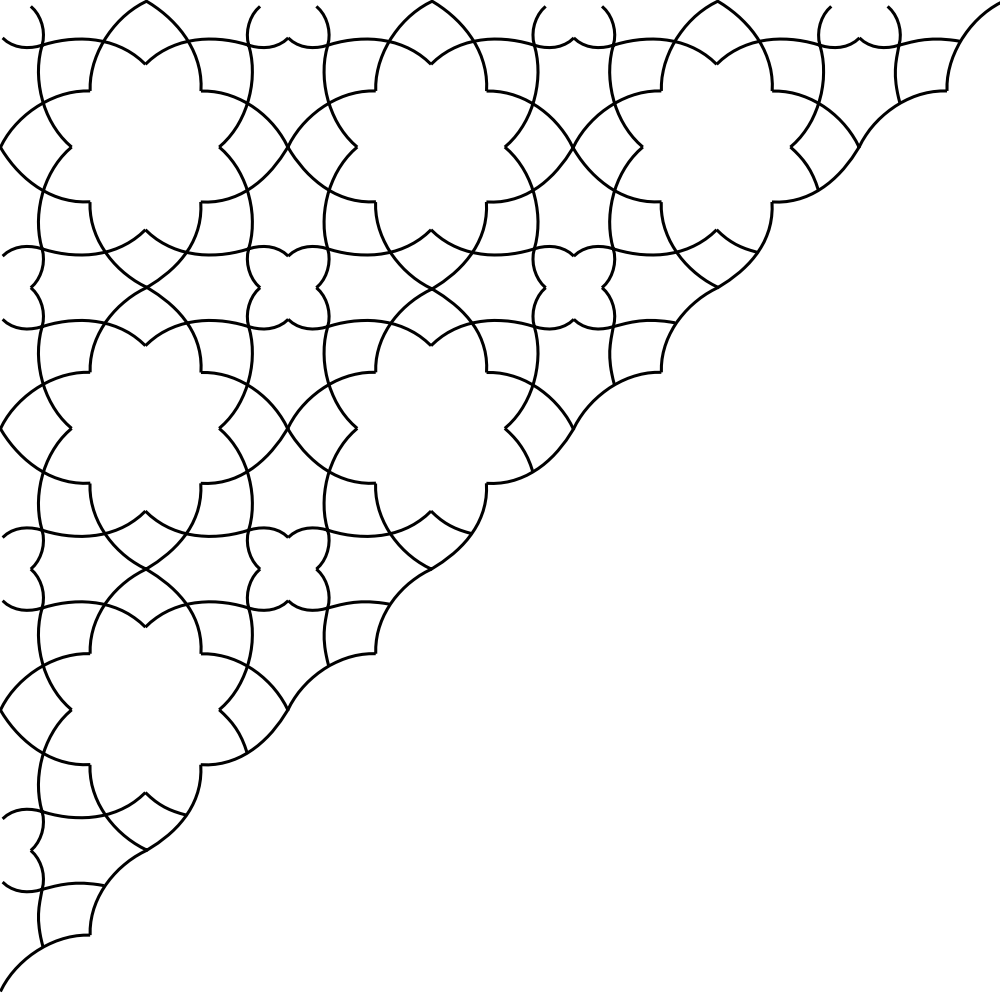
⁴⁵¹ انظر ص. 8-9 في [RFC4632] في ثبت المراجع.

⁴⁵² أصل الاسم Multi-homed organization.

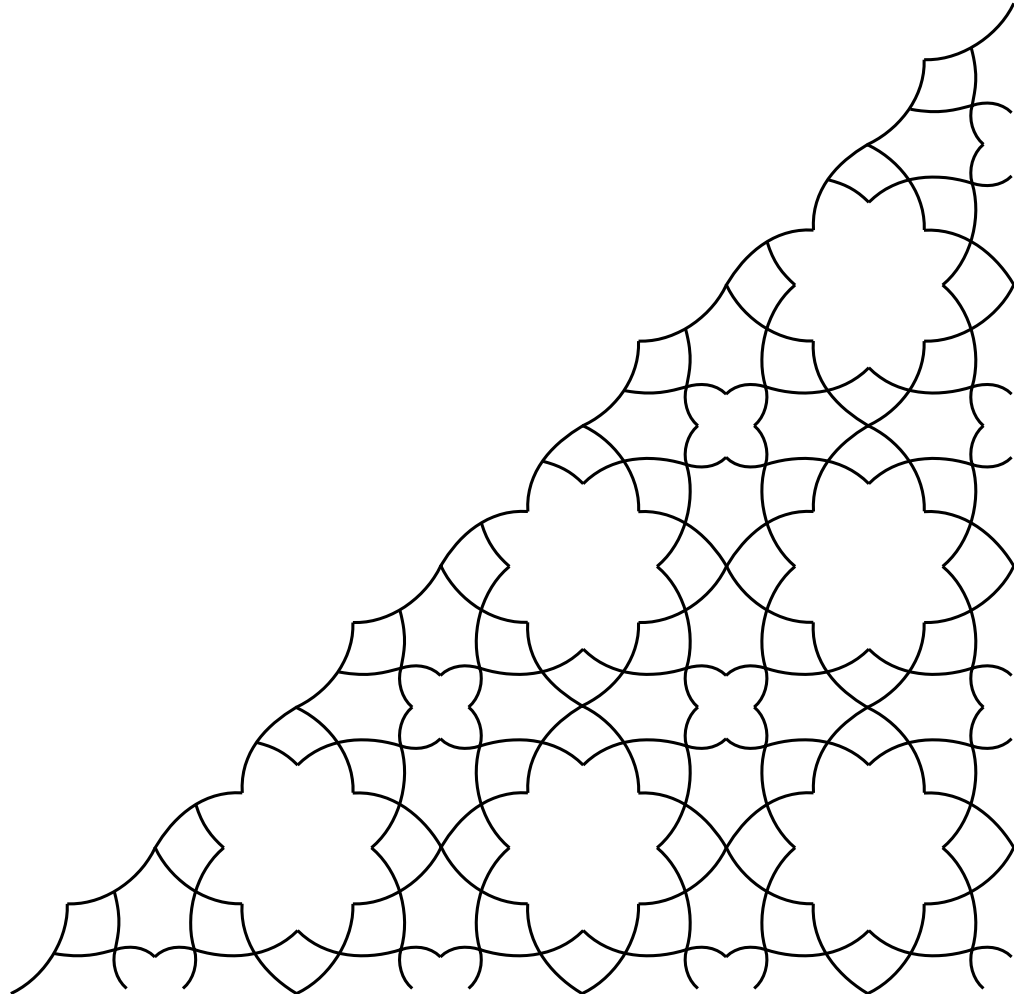
⁴⁵³ للمزيد حول هذا الشأن، انظر [RFC4116] في ثبت المراجع.

عُيِّرَت المَوْسَسَةُ الَّتِي تُشغَل الشَّبَكَةُ المَعنَوَنَةُ بالفِضَاءِ 10.1.0.0/19 مَزوَّد الخِدْمَةِ، وانتقلت، مِن غير أن تُغَيَّر فِضَاءُهَا، إِلَى المَزوَّد الأخر. فِي ما يَخصُّ المَوْجَّهَ الأَوَّلَ، فَإِنَّ المَسارَ المُختَصَرَ، أَي 10.1.0.0/17، لا يَزَال صالِحاً رِياضِيّاً، وَلِذلكَ فَإِنَّهُ يَسْتَمِرُّ بالإِعلانِ عَنه نَحو المَوْجَّهَ R_1 . ثُمَّ يُعَلِنُ المَوْجَّهَ R_3 عَن الشَّبَكَةِ الجَدِيدَةِ المُنْتَصِلَةِ مَعَهُ، وَهِيَ المَعنَوَنَةُ بالفِضَاءِ 10.1.0.0/17.

تَحْضُلُ المُشكَلَةُ فِي المَوْجَّهَ R_1 ، فِي جَدولِ تَوجِيهِهِ بَندانَ، يَتَظابِقُ عُنوانُهُما بَنيَةً وَهِيَ 10.1.0.0، وَيَخْتَلِفانِ قِناعاً: 17/ و19/. لو طُبِّقَت قاعِدَةُ التَّطابُقِ مَعَ البَندِ الأَطولِ، فَإِنَّ أَيَّ رِزْمَةٍ سَتَرِدُ مِن سائِرِ الشَّبَكَةِ نَحو المَوْجَّهَ R_1 مَعَ عُنوانِ وَجْهَةٍ يَقَعُ ضِمْنَ الفِضائِيْنَ السَّابِقِيْنَ، سَتُرْسَلُ دائِماً عَبرَ المَنقَذِ e_1 نَحو المَوْجَّهَ R_3 مُسَبَّبَةً مُشكَلَةً فِي التَّوجِيهِ.



الفصل التاسع: ترجمة عنوان الشبكة



مقدمة

ترجمة عنوان الشبكة⁴⁵⁴ هو مصطلح عام يُستعمل لوصف عددٍ من الآليات التي تُستخدم لتغيير قيم معرفات شبكية، نحو عنوان بروتوكول الإنترنت أو أرقام المنافذ، في رزم البيانات اللاتي تنتقل بين فضاءي معرفات متمايزين يُسميان النطاق الداخلي والنطاق الخارجي. طوّرت هذه الآلية في عام 1994م بصفتها جزءاً من الإستراتيجية قصيرة الأمد لمعالجة مشكلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت.

ترجمة عنوان الشبكة ليست بروتوكولاً، لكنّها آلية عمل ذات مراحل، يُنفذها مُوجّه يُربط بين فضاءين من المعرفات، غالباً ما تكون عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. تسبق عملية تهيئة المُوجّه ترجمة العناوين، وقد يُزوّد المُوجّه يدوياً بثنائيات من المعرفات، تضم زوجاً من النطاق الداخلي وزوجاً من النطاق الخارجي، أو قد يُزوّد بنهج وشروط مُحَدّدة لتشكيل الثنائيات آلياً، ويلزم في كلتا الحالتين تحديد الاتجاه الذي يُسمح فيه بإنشاء جلسة الترجمة.

يُراقب المُوجّه بعد ذلك حركة البيانات بين النطاقين، ويُنبئ جلسة ترجمة متى ما تطابقت معرفات رزمة بيانات مع ما هيئ به مسبقاً، وتستمر عملية الترجمة بعد ذلك على رزم الجلسة المتدفقة عبر المُوجّه بالاتجاهين، ثم تتوقف عند إغلاق الجلسة.

تُصنّف هذه الآلية إلى أنواع وفقاً لطريقة تشكيل ثنائيات المعرفات وللاتجاه الذي يُسمح فيه بإنشاء الجلسة، وأول هذه الأنواع هو الترجمة الأساسية، وهي طريقة يُمكن فيها إعداد ثنائيات ثابتة البنية تضم زوجين من عناوين بروتوكول الإنترنت من النطاق الداخلي والنطاق الخارجي، وثانيها هو الترجمة المتغيرة، وفيها يُحدّد فضاء للعناوين لكل نطاق، وتُشكّل ثنائيات من الفضاءين آلياً، وثالثها هو ترجمة العناوين وأرقام المنافذ، وفيها تشمل الثنائيات أيضاً أرقام منافذ بين النطاقين، وتنضوي الأنواع الثلاث تحت تصنيف واحد هو الترجمة التقليدية، وفيها يُمكن إنشاء الجلسة باتجاه واحد فقط، وغالباً ما يكون من النطاق الداخلي إلى الخارجي. ومن الأنواع أيضاً الترجمة ثنائية الاتجاه، وهي تستعمل إحدى تقنيات الترجمة التقليدية، ولكنها تسمح بإنشاء الجلسات بكلا الاتجاهين. ومنها أيضاً الترجمة المضاعفة، وفيها تُترجم معرفات مصدر الرزمة ومعرفات وجهتها معاً.

نتجت مشكلات عديدة بعد تطبيق هذه الآلية، منها ما هو فلسفي في طبيعته ومنها ما هو تقني. أمّا الفلسفي، ففيه تُخل هذه التقنية بمبدأ الطرفين، وهو أحد المبادئ الرئيسية التي قامت الإنترنت على أساسها. وأمّا التقني، فمثاله اضطراب عمل تطبيقات عديدة تعتمد على المعرفات المترجمة. ويُضاف لذلك أيضاً جدل غير محسوم حول جدوى استخدام هذه الآلية مع الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت.

يبدأ هذا الفصل باستعراض خلفية عامة حول هذه التقنية، تتضمن التعريف بأفضية العناوين الخاصة وأرقام المنافذ، يليها وصف لآلية العمل يشمل مجموعة من التعاريف والاصطلاحات ذات الصلة وتفصيلاً لخطوات الآلية، ثم يتناول

⁴⁵⁴ أصل الاسم: Network Address Translation اختصاراً NAT كما تقدّم. والدق في رأينا أن تُسمى هذه التقنية تغيير معرفات الشبكة، فكلمة Translation لا تعني الترجمة حرفياً بمعنى النقل من لغة إلى أخرى، بل تُفيد معنى تبديل معرفات النطاقات كما سيأتي، والآلية لا تقتصر على العناوين، بل يُمكن أن تشمل معرفات أخرى نحو أرقام المنافذ، ولكن أبقينا على العنوان مُترجماً حرفياً لشهرته شهرة كبيرة بهذه الصيغة.

الفصل أنماط الترجمة المختلفة ويشرحها. يلي ذلك قسمٌ مخصصٌ للمسائل التي يلزم مراعاتها في بروتوكولات طبقة الشبكة وبروتوكولات طبقة النقل بعد تطبيق الآلية، ويختتم هذا الفصل بنقاشٍ حول المشكلات التي واجهت تنفيذ ترجمة العنوان.

خلفية عامة

الأفضية الخاصة⁴⁵⁵

هي أفضيةٌ جزئيةٌ من فضاء الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، مَحْجُوزَةٌ من أجل الاستعمال المحلي فقط، ولا يُعلن عنها في الإنترنت. حُجزت هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة، ثلاثة أفضيةٍ جزئيةٍ لهذا الغرض هي 10.0.0.0/8 و172.16.0.0/12 و192.168.0.0/16⁴⁵⁶.

يُبين الجدول (9-1) بيانات الأفضية الخاصة، وفيه يُسمَّى الفضاء الأول المَجال ذا البتات الأربعة والعشرين، والثاني بالمَجال ذي البتات العشرين والثالث بالمَجال ذي البتات الستة عشرة،⁴⁵⁷ وهذه الأطوال هي أطوال مُعرِّف المضيف في تدوين البادئة للمجالات الثلاث. يُكافئ المَجال الأول فضاءً قياسياً من الصنف A ويكافئ الثاني 16 فضاءً قياسياً من الصنف B، ويكافئ الثالث 256 فضاءً قياسياً من الصنف C.⁴⁵⁸

الجدول (9-1): بيانات الأفضية الخاصة

اسم الفضاء	ذو البتات الأربعة والعشرين	ذو البتات العشرين	ذو البتات الستة عشرة
امتداد الفضاء	10.0.0.0 حتى 10.255.255.255	172.16.0.0 حتى 172.31.255.255	192.168.0.0 حتى 192.168.255.255
قِناع الفضاء	/8 (255.0.0.0)	/12 (255.240.0.0)	/16 (255.255.0.0)
طُول قِسم البادئة	8	12	16
طُول مُعرِّف المضيف	24	20	16
عَدَد عناوين الفضاء	16777216	1048576	65536
المُكافئ في العنونة الصنفيّة	فضاءٌ قياسيٌّ من الصنف A	16 فضاءً قياسياً مُتتالٍ من الصنف B	256 فضاءً قياسياً مُتتالٍ من الصنف C

⁴⁵⁵ أصل الاسم Private networks، وقد أشرنا في حاشية مُقدِّمة الفصل الرابع إلى شيوع الاستعمال المُتبادل لِكلمتي "فضاء" و"شبكة" خطأً وإلى ضرورة تصحيحه.

⁴⁵⁶ انظر ص. 6، 8، 11 في [RFC6890] في نَبْت المراجع.

⁴⁵⁷ أصول الأسماء 24 bit block و20 bit block و16 bit block على الترتيب.

⁴⁵⁸ انظر ص. 4 في [RFC1918] في نَبْت المراجع.

أرقام المنافذ 459

هي معرفات رقمية تُستخدم لتمييز الاتصال في حزمة بروتوكولات الإنترنت. يبلغ طول كل منها 16 بتاً، أي يمكن إنشاء $2^{16} = 65536$ رقم منفذ متميز. تُخدم المنافذ عموماً غرضين رئيسيين في شبكات البيانات، أولها توفير آلية للتمييز بين جلسات الاتصال المختلفة التي قد تنشأ بين طرفين، وثانيها مساعدة بروتوكول النقل في تحديد بروتوكول التطبيق الذي يستخدمه، ولهذا أهمية خاصة في عمليتي التغليف وفكّه. بالإضافة لذلك، يُستعمل رقم المنفذ جنباً إلى جنب مع عنوان بروتوكول الإنترنت لتوليد مقبس الاتصال،⁴⁶⁰ ويمكن تمييز أي اتصال تمييزاً فريداً وفقاً لقيم المقبسين على طرفيه. يُقسّم مجال أرقام المنافذ إلى ثلاثة أقسام فرعية هي:⁴⁶¹

- أرقام منافذ النظام، ومجالها 0-1023.
- أرقام منافذ المُستخدم، ومجالها 1024-49151.
- أرقام المنافذ الخاصة، ومجالها 49152-65535.

تُشرف المجموعة التوجيهية لهندسة الإنترنت⁴⁶² على منح أرقام منافذ النظام، في حين تُدير هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة عملية منح أرقام منافذ المُستخدم، وأمّا أرقام المنافذ الخاصة فلا تُمنح.

وصف الآلية

تعريف واصلاحات

تُعرف وثيقة طلب التعليقات RFC 2663، المعنونة: "اعتبارات واصلاحات لترجمة عنوان الشبكة"⁴⁶³ المفاهيم التالية:

- نطاق العناوين:⁴⁶⁴ هو قطاع من الشبكة تُمنح عناوين بروتوكول الإنترنت فيه للمُضيفين منحاً فريداً، أي لا يمكن أن يُمنح فيه مُضيفان العنوان نفسه.

⁴⁵⁹ أصل الاسم Port number.

⁴⁶⁰ أصل الاسم Socket، وهو آلية عامة لإنشاء الاتصال بين التطبيقات التي تنشط بين المُضيفين لغرض تبادل البيانات، ويُوجد مقبس على طرف كل اتصال، انظر ص. 356 في [BKE01] في ثبت المراجع.

⁴⁶¹ انظر [WEB28] في ثبت المراجع.

⁴⁶² المجموعة التوجيهية لهندسة الإنترنت Internet Engineering Steering Group، اختصاراً IESG، وهي مجموعة العمل المسؤولة عن التَحقق من جودة وثائق طلب التعليقات التي تُصدّر عن مجموعة مُهندسي الإنترنت ودقّتها، للمزيد حولها انظر ص. 1-3 في [RFC3710] في ثبت المراجع.

⁴⁶³ أصل العنوان IP Network Address Translator (NAT) Terminology and Considerations، انظر ص. 3 في [RFC2663] في ثبت المراجع.

⁴⁶⁴ أصل الاسم Address realm، realm تعني "مملكة" حرفياً. وأُستخدِمت في هذا السياق للإشارة إلى معنى حقل أو مجال فعالية أو منطقة تأثير (انظر ص. 963 في [BKA02] في ثبت المراجع)، وقد ارتأينا تعريبها إلى نطاق وفقاً لهذا المعنى.

- نطاق العناوين الخارجي⁴⁶⁵ هو نطاق عناوين تُديره هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة أو سجلّات إنترنت أدنى في هرمية تحصيل العناوين.
- نطاق العناوين الداخلي⁴⁶⁶ هو نطاق عناوين خاصّة تستعملها أكثر من منظمّة استعمالاً محلياً ومستقلاً في الوقت نفسه، وتعني كلمة مُستقلّ في هذا السياق من غير مُراجعة هيئة تحصيل العناوين أو سجلّات الإنترنت الإقليمية.
- التوجيه غير المرئي⁴⁶⁷ هو توجيه رزم البيانات بين نطاقين مختلفين، أي داخليّ وخارجيّ. ويشمل ذلك تغيير المُوجّه المُترجم لمحتويات ترويسة بروتوكول الإنترنت أو لمحتويات ترويسة بروتوكول التّحكّم بالنقل أو لكليهما معاً. وهو يختلف عن التوجيه التقليديّ الذي يحصل ضمن نطاق عناوين واحد. يوصف هذا التوجيه بأنّه غير مرئيّ لأنّه غير ملاحظ من طرف المُضيفين، فهم لا يدركون حُصوله، ولا يدركون تغيير محتويات الترويسة في أثناء عملية التّرجمة.
- الجلسة⁴⁶⁸ هي حركة البيانات التي تخضع لعملية التّرجمة. واتّجاه الجلسة هو اتّجاه هذه الحركة عند البدء، أي اتّجاه تدفق أوّل رزمة بيانات فيها. يلزم دائماً تحديد من أيّ نطاق بدأت الجلسة، ونحو أيّ نطاق ستّجه. بعد إنشاء الجلسة، فإنّ حركة البيانات ستشمل تدفقاً لرزم بيانات بروتوكول الإنترنت بالاتّجاهين، بغضّ النظر عن اتّجاه الجلسة.
- المُوجّه المُترجم: هو المُوجّه الذي يُنجز عملية ترجمة عنوان الشبكة.

مبدأ العمل

تُغيّر ترجمة عنوان الشبكة قيم حُقُول مُحدّدة في ترويسات رزم البيانات التي يعالجها المُترجم، ويُمكن ترجمة رزم البيانات التي تُعبّر المُوجّه بكلا الاتّجاهين.⁴⁶⁹ تشمل الحُقُول التي يُبدّل محتواها حقل عنوان المُصدّر أو حقل عنوان الوجهة أو كليهما في ترويسة بروتوكول الإنترنت وحقل رقم منقذ المُصدّر أو حقل رقم منقذ الوجهة أو كليهما في ترويسة بروتوكول النقل المُستعمل، وحُقُول مُعرّفات بعض من رسائل الإعلام⁴⁷⁰ في ترويسة بروتوكول رسائل التّحكّم.⁴⁷¹ يُسبّب

⁴⁶⁵ يُسمّى هذا النطاق أسماءً عديدةً أخرى أيضاً منها النطاق الخارجي Outside realm أو External realm والنطاق العامّ Public realm والنطاق العالميّ Global realm.

⁴⁶⁶ يُسمّى هذا النطاق أسماءً عديدةً أخرى أيضاً منها: النطاق الداخلي Inside realm والنطاق الخاصّ Private realm والنطاق المحليّ Local realm.

⁴⁶⁷ أصل الاسم Transparent routing، وtransparent تعني حرفياً الشّفاف أي ما يَري عبه (ص. 1249 في [BKA02] وص. 205 في [BKA06] في ثَبِت المُراجع)، ولكنّ الكلمة لا تُفيد هذا المعنى تحديداً في هذا السياق، بل تُفيد معنى غير الملحوظ أو غير المرئيّ وقد ارتأينا الاجتهاد وتعريبها بهذه الصّورة.

⁴⁶⁸ أصل الاسم Session.

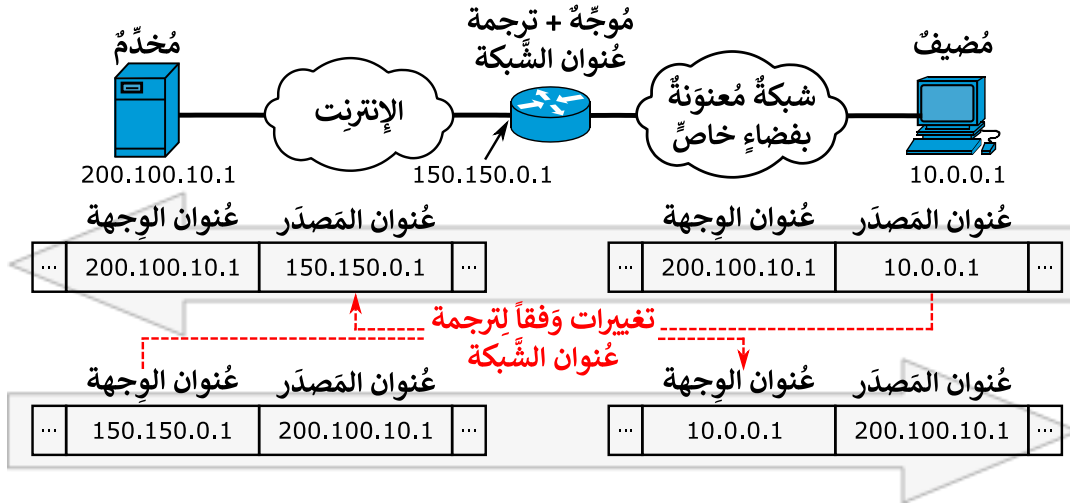
⁴⁶⁹ انظر ص. 304 في [BKE02] في ثَبِت المُراجع.

⁴⁷⁰ وهما حقل رقم التّتابع وحقل المُعرّف، للمزيد حولهما انظر الفصل السادس من هذا الكتاب.

⁴⁷¹ انظر ص. 3 في [RFC2663] في ثَبِت المُراجع.

تغيير محتوى ترويسة بروتوكول الإنترنت أو بروتوكول النقل المُستعمل الحاجة إلى إعادة حساب قيمة حقل التَّحَقُّق الجمعيّ في كلِّ ترويسةٍ عُدلت قيمة أحد حُقُولها.

يُبيِّن الشَّكْل (1-9) عمليَّة ترجمة عنوان الشَّبكة، وفيها يُنشئ مُوجَّه جلسة ترجمة بين مُضيفٍ ومُخدِّم، ويُعَيَّر فيها العناوين بالاتَّجاهين، أي عناوين المصدِّر في رزم البيانات الواردة من الشَّبكة المحليَّة وعناوين الوجهة في رزم البيانات المُوجَّهة إليها.



الشَّكْل (1-9): تبديل عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت وفقاً لتقنيَّة ترجمة عنوان الشَّبكة

تقنيَّة ترجمة عنوان الشَّبكة هي آليَّة مُكوَّنة من أربع مراحل كما يأتي: 472

1. مرحلة التَّهيئة: وتشمُل تشكيل ثنائياتٍ من المُعرِّفات، مثلاً عناوين إنترنت أو أرقام منافذ أو الاثنين معاً. تتألَّف كلُّ ثنائيَّة من زوجين، أحدهما من النطاق الدَّاخليِّ والآخر من النطاق الخارجيّ، وتشمُل عمليَّة التَّهيئة أيضاً تحديد اتِّجاه الجلسة، وهو اتجاه حركة البيانات الذي يُشترط لإنشاء الجلسة. ترتبط كلُّ ثنائيَّة بعد ذلك بعلمٍ لبيان حالتها، ويكون مرفوعاً، أي تُضبط قيمته على الواحد، فقط إذا وُجدت جلسةً جاريَّة ترتبط بهذه الثنائيَّة، وبخلاف ذلك فقيمته صفريةً.
2. مرحلة المُراقبة: ويُراقب المُوجَّه فيها حركة البيانات الَّتِي تُعبره، فإذا مرَّت رزمة بياناتٍ كانت معلّومات التَّرويسة فيها مُتوافقةً مع إحدى الثنائيَّات المُهيَّنة في المرحلة السَّابِقة، وكان اتِّجاه حركة الرزمة مُتوافقاً مع اتِّجاه إنشاء الجلسة أيضاً، فإنَّ جلسةً جديدةً ستبدأ.
3. مرحلة التَّرجمة: تُنشأ فيها جلسةً جديدةً، ويُبدل المُوجَّه قيم حُقُول ترويسة الرزمة الَّتِي حَرَضت إنشاء الجلسة بما يتوافق مع التَّهيئة، ويُرفَع علم الحالة المُرتبط بثنائيَّة المُعرِّفات ذات الصِّلة. تُترجم خلال هذه المرحلة رزم الجلسة المُتدفِّقة بكلا الاتِّجاهين الَّتِي تتوافق قيم حُقُولها مع إعدادات الجلسة.
4. مرحلة التَّحرير: وتبدأ مع إغلاق الجلسة فيخفُّض المُوجَّه علم الحالة المُرتبط بالجلسة، ويُحرَّر زوج العناوين، وتُعاد الآليَّة بذلك إلى مرحلة المُراقبة.

472 انظر ص. 7-8 في [RFC3022] في تَبت المراجع.

أنماط الترجمة

يَتَضَمَّن أبسط أشكال الترجمة تبديل عنوان مَصَدَر رزمة بروتوكول الإنترنت، وتحديدًا استبدال عنوان المَصَدَر الخاصَّ المَحَلِّيِّ بِعُنْوَانٍ فَرِيدٍ عَالَمِيًّا، وتَبْدُو الرِّزْمَةُ بعد ذلك كأنَّها قَادِمَةٌ مِنَ العُنْوَانِ الجَدِيدِ. بِإِمْكَانِ عَمَلِيَّةِ التَّرْجُمَةِ أَنْ تَسْتَبْدِلَ أَيْضًا عُنْوَانِ مَصَدَرِ الرِّزْمِ القَادِمَةِ مِنَ الإنترنتِ إِلَى شَبَكَةٍ مَحَلِّيَّةٍ خَاصَّةٍ، فَتَبْدُو بعد التَّرْجُمَةِ كأنَّها قَادِمَةٌ مِنْ وَجْهَةٍ فِيهَا، وَيُمْكِنُ أَنْ تَشْمُلَ العَمَلِيَّةُ استبدالَ عُنْوَانِ المَصَدَرِ وَعُنْوَانِ الوِجْهَةِ معًا.⁴⁷³

التَّرجمة التَّقْلِيدِيَّة⁴⁷⁴

هي الشَّكْلُ الأبْسطُ مِنْ تَرْجُمَةِ العُنْوَانِ، وَتَسْمَحُ لِمُضَيِّفِي عُنْوَانِ نِطَاقٍ دَاخِلِيٍّ بِالاتِّصَالِ مع مُضَيِّفِي عُنْوَانِ نِطَاقٍ خَارِجِيٍّ. تَحْصُلُ عَمَلِيَّةُ التَّرْجُمَةِ فِي مَوْجِّهِ يَصِلُ بَيْنَ النُّطَاقَيْنِ السَّابِقَيْنِ، وَيُنْجِزُ أَيْضًا عَمَلِيَّةَ التَّوْجِيهِ الَّذِي يَكُونُ غَيْرَ مَرْتَبِيٍّ بِالنِّسْبَةِ لِلْمُضَيِّفِينَ. تَكُونُ الجلساتُ المُنشأةُ وَحيدةُ الاتِّجَاهِ فِي هَذَا النُّوعِ مِنَ التَّرْجُمَةِ، أَيْ بِالإِمْكَانِ إنْشَاؤها بِاتِّجَاهٍ وَحِيدٍ فَقَطْ، وَغَالِبًا مَا يَكُونُ مِنَ النُّطَاقِ الدَّاخِلِيِّ نَحْوِ الخَارِجِيِّ. يَلْزَمُ الانتباهُ إِلَى أَنَّ حَرَكَةَ رِزْمِ البَيَانَاتِ وَعَمَلِيَّةُ تَرْجُمَةِ العُنْوَانِ بعد إنْشاءِ الجلسَةِ تَكُونُ بِكُلِّ الاتِّجَاهَيْنِ، أَيْ أَنَّ الشَّرْطَ السَّابِقَ هُوَ لِاتِّجَاهِ إنْشاءِ الجلسَةِ وَلَيْسَ لِحَرَكَةِ رِزْمِ البَيَانَاتِ فِي أَثْنَائِهَا.

تَشْمُلُ تَرْجُمَةُ العُنْوَانِ التَّقْلِيدِيَّةُ نَمَطَيْنِ هُمَا:⁴⁷⁵

- التَّرجمةُ الأَسَاسِيَّةُ لِعُنْوَانِ الشَّبَكَةِ⁴⁷⁶ وَتَحْصُلُ عَلَى عُنْوَانِ مَصَادِرِ وَوِجْهَاتِ رِزْمِ الإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بروتوكول الإنترنت. وَنُصِّنَفُ إِلَى نَوْعَيْنِ وَفَقًّا لِلطَّرِيقَةِ الَّتِي تُحَدِّدُ بِهَا ثُنَائِيَّاتِ العُنْوَانِ الَّتِي سَتُتَرْجَمُ بَيْنَ النُّطَاقَيْنِ الدَّاخِلِيِّ والخَارِجِيِّ، وَهُمَا:⁴⁷⁷

- التَّرجمةُ الثَّابِتَةُ لِعُنْوَانِ الشَّبَكَةِ.
- التَّرجمةُ المُتَغَيِّرَةُ لِعُنْوَانِ الشَّبَكَةِ.

- تَرْجُمَةُ عُنْوَانِ الشَّبَكَةِ وَأَرْقَامِ المَنَاظِدِ.⁴⁷⁸

التَّرجمة التَّقْلِيدِيَّةُ الثَّابِتَةُ

يُهَيِّئُ المَوْجِّهُ المُتَرْجِمُ فِي التَّرْجُمَةِ الثَّابِتَةِ بَعْدَ صَحِيحٍ مِنْ ثُنَائِيَّاتِ عُنْوَانِ بروتوكول الإنترنت، لِيَكُنَ N ، أَيْ $(add_{int_1}, add_{ext_1})$ وَ $(add_{int_2}, add_{ext_2})$ حَتَّى $(add_{int_N}, add_{ext_N})$ ، وَفِيهَا add_{int} هُوَ عُنْوَانُ بروتوكول الإنترنت مِنْ نِطَاقِ العُنْوَانِ الدَّاخِلِيِّ وَ add_{ext} هُوَ عُنْوَانُ بروتوكول الإنترنت مِنْ نِطَاقِ العُنْوَانِ الخَارِجِيِّ. يُهَيِّئُ المَوْجِّهُ أَيْضًا بِالاتِّجَاهِ المَسْمُوحِ لِإنْشاءِ الجلسَةِ، وَغَالِبًا مَا يَكُونُ مِنَ النُّطَاقِ الدَّاخِلِيِّ إِلَى الخَارِجِيِّ فِي التَّرْجُمَةِ التَّقْلِيدِيَّةِ.

⁴⁷³ انظر ص. 304-305 في [BKE02] في ثَبَتِ المَرَاجِعِ.

⁴⁷⁴ أصل الاسم Traditional NAT.

⁴⁷⁵ انظر ص. 11 في [RFC2663] في ثَبَتِ المَرَاجِعِ.

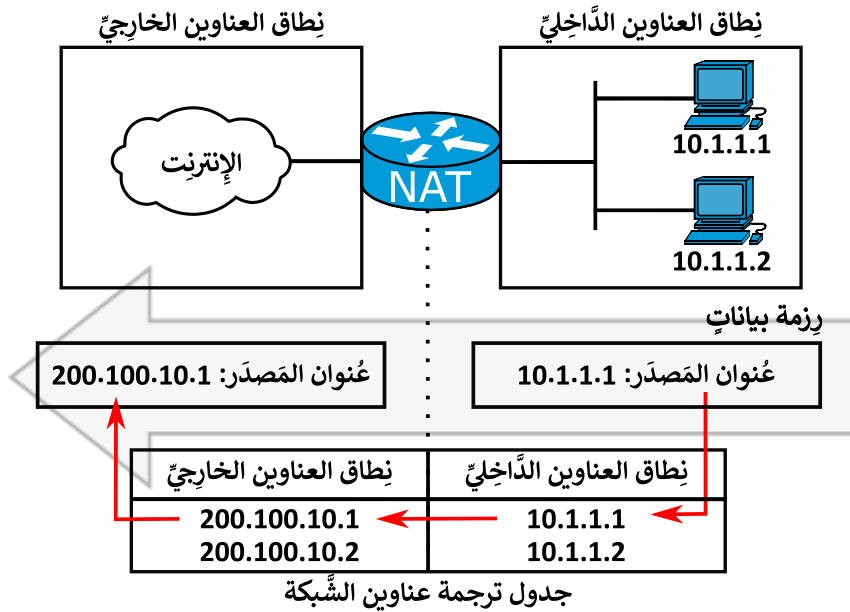
⁴⁷⁶ أصل الاسم Basic NAT.

⁴⁷⁷ أصل الاسمين Static NAT و Dynamic NAT على التَّرتِيبِ.

⁴⁷⁸ أصل الاسم Network Address Port Translation، اختصاراً NAPT.

يُراقب الموجه بعدها حركة البيانات المارة عبره لأجل إنشاء جلسة ترجمة متوافقة مع ثنائيات العناوين والاتجاه المسموح. يُعدّل الموجه، بعد إنشاء الجلسة، عنوان المصدر في رزم البيانات القادمة من النطاق الداخلي، ويُغيّره إلى العنوان الخارجي وفقاً لقيم الثنائيات التي هيئ بها، أما الرزم القادمة من النطاق الخارجي إلى الموجه في أثناء الجلسة، والتي تكون وجهتها العنوان الخارجي add_{ext} ، فيُعدّله إلى العنوان الداخلي وفقاً لقيم الثنائيات السابقة نفسها.

يُبيّن الشكل (2-9) مثلاً عن ترجمة العناوين الثابتة، وفيه يُهيئ موجهً يربط بين النطاق الداخلي والنطاق الخارجي بأربعة عناوين، اثنان من النطاق الداخلي هما 10.1.1.1 و 10.1.1.2، يُقابلها اثنان هما 200.100.10.1 و 200.100.10.2 من النطاق الخارجي، ويضبط اتجاه إنشاء الجلسة ليكون من النطاق الداخلي نحو الخارجي، ثم ينتظر الموجه المترجم مرور رزمة بيانات عبره تُحقّق الشرطين السابقين، وتظهر هذه الرزمة في القسم الأسفل من الشكل.



الشكل (2-9): الترجمة التقليدية الثابتة لعناوين الشبكة

يُوصف هذا النوع من الترجمة بأنه ثابت، لأنّ ثنائيات العناوين التي تجري الترجمة بمقتضاها ثابتة البنية لا تتغير آلياً بعد ضبطها، ويوصف أيضاً بأنه ترجمة واحد في مقابل واحد⁴⁷⁹، لأنّ الموجه يترجم عنواناً خاصاً وحيداً من النطاق الداخلي إلى عنوان عامّ واحد من النطاق الخارجي والعكس بالعكس.

الترجمة التقليدية المتغيرة

تُنشأ جلسات الترجمة المتغيرة انطلاقاً من النطاق الداخلي فقط، وفيها تُوجد مجموعة من عناوين النطاق الداخلي عددها M هي $grp_{int} = \{add_{int_1}, add_{int_2}, \dots, add_{int_M}\}$ ، ومجموعة من عناوين النطاق الخارجي عددها N هي $grp_{ext} = \{add_{ext_1}, add_{ext_2}, \dots, add_{ext_N}\}$ ، ويكون شرط بدء الجلسة أن ينتمي عنوان مصدر الرزمة إلى مجموعة عناوين النطاق الداخلي، أي grp_{int} ، وأن يتوافق اتجاه حركتها مع اتجاه إنشاء الجلسة كما تقدّم.

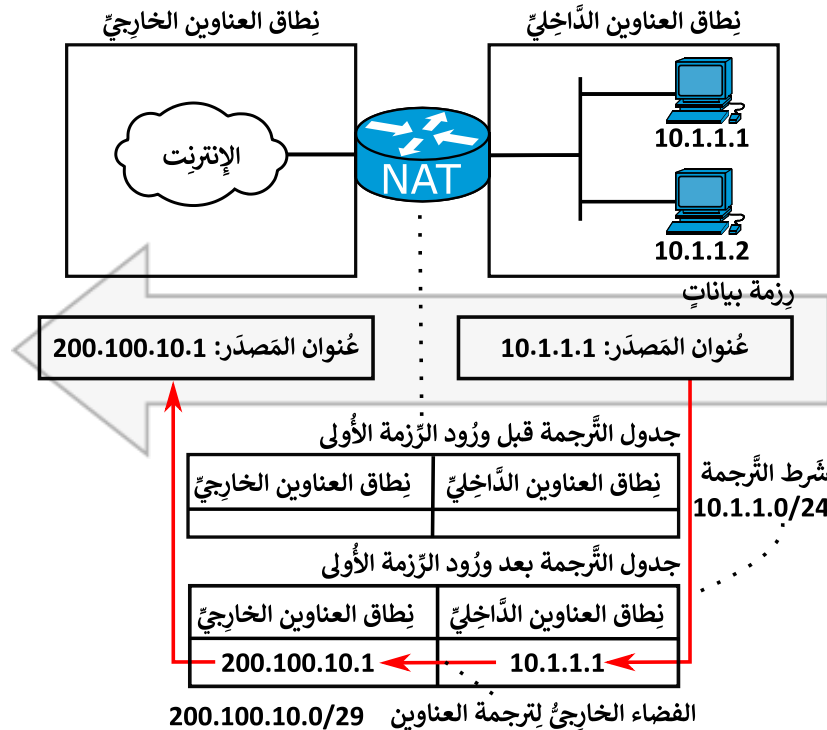
⁴⁷⁹ أصل الاسم One-to-one.

تحصل عملية الترجمة التقليدية المتغيرة وفقاً للمراحل التالية: 480

1. تهيئة الموجه المترجم بشرطي الترجمة: فضاء عناوين النطاق الداخلي واتجاه حركة الرزم، وأيضاً بفضاء عناوين من النطاق الخارجي.
2. يُراقب الموجه المترجم حركة رزم البيانات المارة عبره في انتظار أن تُحقق رزمة ما شرطي الترجمة.
3. لو حققت رزمة ما الشرطين، يبدأ الموجه عملية الترجمة، فيختار عنواناً ما من مجموعة عناوين النطاق الخارجي grp_{ext} ، وليكن مثلاً add_{ext_i} ، ويربطه مع عنوان مصدر الرزمة الذي ينتمي إلى مجموعة عناوين النطاق الداخلي grp_{int} ، وليكن مثلاً add_{int_j} ، ثم يُشكل منهنما آلياً الثنائية $(add_{int_j}, add_{ext_i})$.
4. يحتفظ الموجه بالثنائية السابقة في جدول الترجمة الآلية، ويستعملها عند إجراء عمليات تبديل عناوين مصادر رزم البيانات في الجلسة ذات الصلة.

5. يُحرر الموجه زوجي الثنائية السابقة عند إغلاق الجلسة لإعادة استخدامها مرة أخرى في تشكيل ثنائيات جديدة.

يُبين الشكل (3-9) مثلاً عن ترجمة العناوين المتغيرة، وفيه يُهيأ موجهٌ يربط بين النطاق الداخلي والنطاق الخارجي بفضاء عناوين من النطاق الداخلي هو $10.1.1.0/24$ ، ويكون انتماء عناوين مصادر الرزم إليه شرطاً أولاً لبدء الترجمة، بالإضافة لضبط اتجاه إنشاء الجلسة ليكون من النطاق الداخلي نحو الخارجي وهذا هو شرط بدء الترجمة الآخر. يُهيأ الموجه أيضاً بفضاء عناوين من النطاق الخارجي ليُصار إلى نقل العناوين إليه وهو $200.100.10.10/29$ ، ثم ينتظر الموجه المترجم مرور رزمة بيانات عبره تُحقق الشرطين السابقين، وتظهر هذه الرزمة في القسم الأسفل من الشكل.



الشكل (3-9): الترجمة التقليدية المتغيرة لعناوين الشبكة

تكون الثنائيات غير ثابتة البنية، أي بالإمكان أن يرتبط أحد زوجيها مع أزواج أخرى، في جلسات أخرى لاحقة، والعكس بالعكس في ما يخص الزوج الآخر، وذلك عوضاً عن اعتماد ثنائيات مُحَدَّدة الأزواج، كما هو الحال في الترجمة التقليدية الثابتة.

قد تكون عناوين المجموعتين السابقتين مُختلفة العَدَد، وغالباً ما يكون عَدَد العناوين المُتاح لِتشكيل الثنائيات في النطاق الداخلي أكبر من ذلك المُتاح في النطاق الخارجي، ويبي المُوجه عندها الثنائيات من عناوين النطاقين وفقاً لِمَا سبق حتَّى استنفاد فضاء عناوين النطاق الأصغر حجماً، ولا يُمكن بعدها إنشاء أيّ جلسة جديدة حتَّى يتحرَّر زوجان محجوزان من جلسة سابقة. تُوصف هذه الترجمة أيضاً بأنّها ترجمة واحد في مقابل واحد، لأنّها تُترجم عنواناً خاصاً واحداً من النطاق الداخلي إلى عنوانٍ عامٍّ واحدٍ من النطاق الخارجي.

الترجمة التقليدية للعنوان ورقم المنفذ

في ترجمة العناوين وأرقام المنافذ، ومن أجل الرِّزم الواردة إلى المُوجه من نطاق العناوين الداخلي باتجاه النطاق الخارجي، يُبدل بعنوان المصدّر في الرِّزمة add_{int} و برقم منفذ المصدّر فيها prt_{int} عنوان آخر هو add_{ext} ورقم منفذ آخر هو prt_{ext} ، أخذاً بالحسبان أنّ العنوان add_{int} ينتمي للنطاق الداخلي والعنوان add_{ext} ينتمي للنطاق الخارجي، ويُعبّر عن عملية الترجمة هذه بالشكل $add_{int}:prt_{int} \rightarrow add_{ext}:prt_{ext}$.

تجري العملية السابقة على فضاء مُحَدَّد من النطاقين الداخلي والخارجي، مع ضبط الثنائيات ضبطاً مُسبقاً أو توليدها آلياً وفقاً للحاجة.⁴⁸¹

يُوجد شكلٌ خاصٌ من ترجمة أرقام المنافذ، يُسمى التَّحميل الرّائد لِترجمة أرقام المنافذ،⁴⁸² وفيه يُستخدم عنوان مصدّرٍ وحيدٍ فقط من النطاق الخارجي في عملية الترجمة. فلو كانت ثنائيات العناوين وأرقام المنافذ في النطاق الداخلي هي $add_{int_1}:prt_{int_1}$ و $add_{int_2}:prt_{int_2}$ و $add_{int_3}:prt_{int_3}$ ، وبدلاً كُلِّ منها جلسة ترجمةٍ، فإنّها ستُترجم وفقاً لعملية التَّحميل الرّائد إلى $add_{ext_1}:prt_{ext_1}$ و $add_{ext_2}:prt_{ext_2}$ و $add_{ext_3}:prt_{ext_3}$ على التَّرتيب. ويُمكن لهذه الطريقة أن تسمَح، نظرياً، بترجمة ما يزيد عن 65 ألفاً⁴⁸³ من العناوين الداخليّة باستعمال عنوانٍ خارجيٍّ وحيدٍ، وتقلُّ بذلك من استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. يُمكن أن تجري عملية الترجمة على بعضٍ من رسائل الإعلام في بروتوكول رسائل التَّحكُّم في الإنترنت وفقاً للطريقة السابقة نفسها.⁴⁸⁴

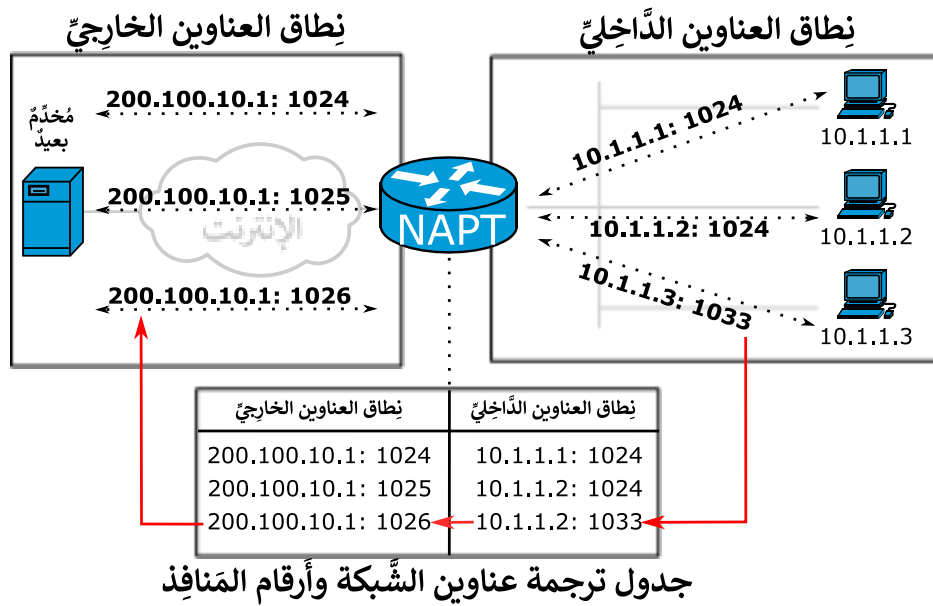
ويُبيّن الشكل (9-4) مثلاً عن التَّحميل الرّائد في الترجمة التقليدية للعناوين وأرقام المنافذ، وفيه تُترجم عناوين مصادر رزم ثلاثة مُضيفين من النطاق الداخلي لتظهر وكأنّها مُرسلةٌ من مصدرٍ وحيدٍ في النطاق الخارجي عنوانه 200.100.10.1.

⁴⁸¹ للمزيد انظر ص. 311 في [BKE02] في ثَبِت المراجع.

⁴⁸² أصل الاسم Port address translation overloading، انظر ص. 282 في [BKA01] في ثَبِت المراجع.

⁴⁸³ يتحدَّد هذا العَدَد بطول حُقُول أرقام المنافذ، وهي 16 بتاً، لذلك يُوجد نظرياً $2^{16} = 65536$ قيمةٍ مُحتملةٍ لرقم المنفذ.

⁴⁸⁴ تحديداً تلك التي تحوي حقلي المُعرِّف ورقم التَّتابع، للمزيد انظر ص. 8-9 في [RFC3022] في ثَبِت المراجع.



الشكل (4-9): التّحميل الرّائد في التّرجمة التّقليديّة لعناوين وأرقام المنافذ

يُمكن أيضاً تبيّن أرقام المنافذ المُستعملة في الشّكل السّابق، وهي قبل التّرجمة: 1024 للمُضيفين الأوّل والثّاني، و1033 للمُضيف الثّالث، وبعد التّرجمة: 1024 و1025 و1026 للمُضيفين الثّلاثة على التّرتيب. بما أنّ مصدر الاتّصالات الثّلاثة في النّطاق الخارجيّ يظُهر كأنّه العنوان 200.100.10.1، فإنّ أرقام المنافذ بعد التّرجمة هي الوسيلة الوحيدة لتمييز هذه الاتّصالات بعضها عن بعض، ولهذا الغرض، يَحْتَفِظ المُوَجّه المُترجم بأرقام المنافذ ضمن جدول التّرجمة خاصّته.

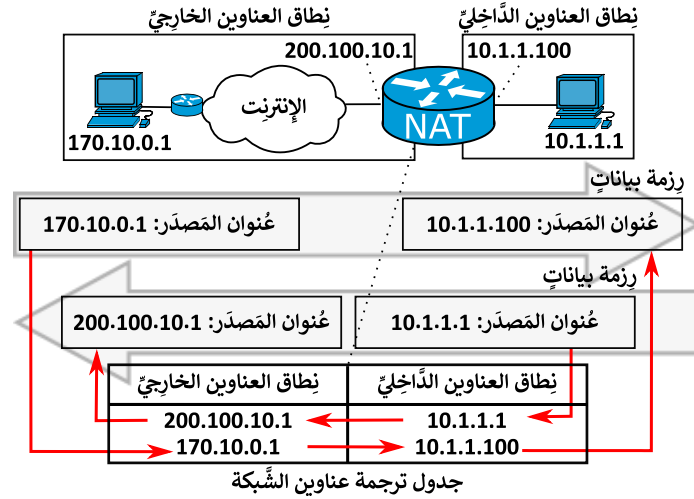
التّرجمة ثنائيّة الاتّجاه لعنوان الشبكة⁴⁸⁵

هي شكلٌ من أشكال ترجمة عنوان الشبكة يَسْمَح بإنشاء الجلسات بدءاً من مُضيفين مُتواجدين في نطاق العناوين، أي انطلاقاً من النّطاق الداخليّ أو من النّطاق الخارجيّ. وفي ما خلا ذلك، فإنّ عمليّة التّرجمة ثنائيّة الاتّجاه تخضع للقواعد المُستعملة في التّرجمة التّقليديّة نفسها سواءً لجهة كميّة إنشاء ثنائيّات العناوين التي ستُترجم أو لجهة ما يُترجم، أي عناوين المُضيفين أو أرقام المنافذ أو كليهما.⁴⁸⁶

ويبيّن الشّكل (5-9) مثلاً عن ترجمة العنوان ثنائيّة الاتّجاه، ويظُهر فيه إمكانيّة إنشاء جلسة ترجمةٍ من النّطاق الداخليّ نحو الخارجيّ، أو باتّجاه مُعاكس، أي من النّطاق الخارجيّ نحو الداخليّ، وتُعامل رزمة البيانات المُعاملة نفسها في كلتا الحالتين، ويظُهر في أسفل الشّكل جدول ترجمة العناوين في أثناء نشاط الجلستين.

⁴⁸⁵ أصل الاسم Bidirectional NAT، وتُسمّى أيضاً Two-way NAT.

⁴⁸⁶ انظر ص. 12 في [RFC2663] في ثبّت المراجع.



الشكل (5-9): الترجمة ثنائية الاتجاه لعنوان الشبكة

الترجمة المضاعفة لعنوان الشبكة⁴⁸⁷

هي شكلٌ من أشكال ترجمة عنوان الشبكة، يُعدّل فيه عنوان المصدر و عنوان الوجهة معاً في رزمة البيانات التي تُترجم، لذلك تُوصف هذه الترجمة بالمضاعفة تمييزاً لها عن الترجمة التقليدية وعن الترجمة ثنائية الاتجاه.

تُضيف هذه الترجمة بُعداً جديداً لآلية تصنيف العناوين هو النطاق الذي تُستخدم العناوين فيه، فإذا كان العنوان مُستخدمًا في نطاقه فهو عنوانٌ محليّ، وإن كان مُستخدمًا خارج نطاقه فهو عنوانٌ عالميّ، وبإضافة هذا لمنهج تصنيف العناوين على أساس موقع مُضيفها يُمكن تعريف العناوين التالية:⁴⁸⁸

- العنوان الداخلي المحليّ: هو عنوانٌ مُستضاف في النطاق الداخليّ، ويُستعمل في ذلك النطاق أيضاً.
- العنوان الداخليّ العالميّ: هو عنوانٌ مُستضاف في النطاق الداخليّ، ولكنّه يُستعمل خارج النطاق. أي هو عنوانٌ لمُضيفٍ داخليّ، ولكنّه مرئيٌّ من النطاق الخارجيّ.
- العنوان الخارجيّ المحليّ: هو عنوانٌ مُستضاف في النطاق الخارجيّ، ويُستعمل في ذلك النطاق أيضاً.

⁴⁸⁷ أصل الاسم Twice NAT، و تُسمّى أيضاً ترجمة عناوين الشبكة المترابطة Overlapping NAT، وهذا الاسم مأخوذٌ من أحد تطبيقات التّقنيّة، وفيه يُوجد فضاء عناوين متراكبان، أحدهما في النطاق الخارجيّ والآخر في النطاق الداخليّ، وتسمح هذه التّقنيّة لمُضيفي هذه العناوين المُتباعدين بالتواصل بعضهما مع بعضٍ ويتبادل البيانات كأنّهما موجودان في شبكةٍ واحدةٍ.

⁴⁸⁸ يُوجد لفظٌ في التسمية الإنكليزيّة، فالأسماء المُستعملة لوصف هذه التّقنيّة في أدبيات شبكات البيانات لا تتوافق مع ما ورد في المعيار الرّسميّ، وفي هذه الأدبيات يُشار إلى النطاق الداخليّ باستعمال كلمة Local، وإلى النطاق الخارجيّ باستعمال كلمة Global، بدلاً من Inside و Outside المُستعملة على التّرتيب في معيار التّقنيّة. ولكن في الوقت نفسه فإنّ هاتين الكلمتين، أي Inside و Outside، تُستعملان في الأدبيات نفسها لتحديد النطاق الذي يُستخدم فيه العنوان، وتكون أسماء العناوين في هذه الأدبيات كما يأتي:

- الداخليّ المحليّ Inside local
- الخارجيّ المحليّ Inside Global
- الداخليّ العالميّ Outside local
- الخارجيّ العالميّ Inside Global

ويُسبّب هذا لبساً في التّعامل مع المصطلحات، وقد تجاوزناه ولم نأخذ به عند التعريب، بل نقلنا العناوين إلى العربيّة بتصرفٍ للتوحيد مع المعيار الأصيل وإزالة هذا اللبس.

- العنوان الخارجي العالمي: هو عنوان مُستضاف في النطاق الخارجي، لكنه يُستعمل خارج النطاق. أي هو عنوان لمُضيف خارجي، ولكنه مرئي من النطاق الداخلي.

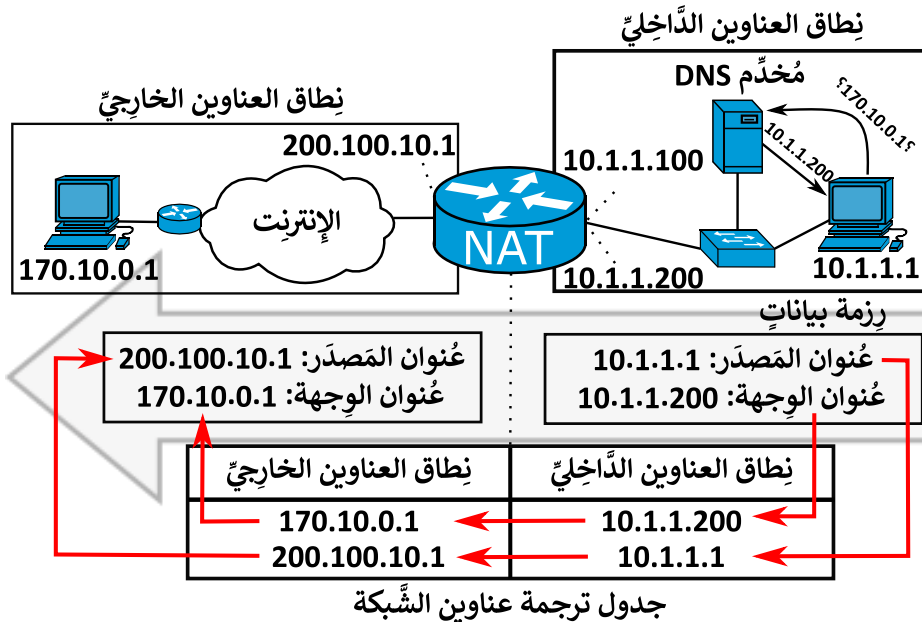
بُهيأ الموجه المترجم بُنائيتين كما سيأتي:

1. الأولى هي $(add_{int_i}, add_{int_j})$ ، وفيها add_{int_i} هو عنوان داخلي محلي لمصدر الرزمة التي سنترجم، و add_{int_j} هو عنوان داخلي عالمي، لوجهة الرزمة التي سنترجم.
2. الأخرى هي $(add_{ext_k}, add_{ext_l})$ ، وفيها add_{ext_k} هو عنوان خارجي عالمي لمصدر الرزمة بعد الترجمة، و add_{ext_l} هو عنوان خارجي عالمي تستضيفه وجهة الرزمة.

إذا وردت للموجه بعد ذلك رزمة من النطاق الداخلي وجهتها هي العنوان الخارجي المحلي، وليكن مثلاً عنوان مصدرها هو add_{int_i} وعنوان وجهتها هو add_{int_j} ، فإن الموجه سيبدل قيمة العنوانين إلى add_{ext_k} و add_{ext_l} على الترتيب، أي:

$$(add_{int_i}, add_{int_j}) \rightarrow (add_{ext_k}, add_{ext_l})$$

يُبين الشكل (5-9) مثلاً عن الترجمة المضاعفة، وفيه يوجد مُخدّم لنظام تسمية نطاقات⁴⁸⁹ نشط في نطاق عناوين داخلي، وقد هُيئ مُسبقاً بُنائيات العناوين التي يترجمها الموجه. يُريد مُضيف عنوانه 10.1.1.1 (داخلي محلي) موجود في النطاق الداخلي أن يرسل رزمة بيانات نحو النطاق الخارجي إلى المُضيف ذي العنوان 170.10.0.1 (خارجي عالمي)، فيستفسر من مُخدّم نظام تسمية النطاقات عن زوج العناوين الآخر الذي يُمثل عنواناً داخلياً عالمياً يكمل ثنائية مع العنوان الداخلي المحلي، فيعيد المُخدّم إليه عنوان الموجه المحلي، وهو في هذه الحالة 10.1.1.200 (داخلي عالمي).



الشكل (5-9): الترجمة المضاعفة لعنوان الشبكة

⁴⁸⁹ أصل اسم النظام Domain Name System، اختصاراً DNS، وأصل اسم المُخدّم DNS server.

يُرسل المُضيف بعد ذلك رسالته في رزمة بياناتٍ عنوان مَصَدْرها 10.1.1.1 وعنوان وجهتها 10.1.1.200، فتصل إلى المُوجِّه المُترجم، وهي تتوافق مع أحد بُنُود جدول التَّرجمة فيه، فيُبدل عنوان المَصَدْر في الرِّزمة ليُصبح 200.100.10.1 (خارجي محلي) وعنوان الوجهة ليُصبح 170.10.0.1، أي أنَّ المُوجِّه يُغيِّر عنوان المَصَدْر وعنوان الوجهة معاً، فتبدو الرِّزمة كأنها مُرسلةٌ من مُضيفٍ أوَّل في نطاق العناوين الخارجيِّ إلى مُضيفٍ آخر فيه.

اعتبارات إضافية

طبقة الشبكة

بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت

هو بروتوكولٌ مُساعدٌ للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، يُعرِّف رسائلَ مُتعدِّدةً يتبادلها مُضيفو الإنترنت لأغراضٍ تتعلَّق بإدارة أكثر كفاءةً للشبكة. تُصنّف رسائل هذا البروتوكول إلى صنفين: رسائل الإبلّاغ عن الأخطاء ورسائل الإعلام، وقد نُوقش الصّنفان بالتفصيل في الفصل السادس من هذا الكتاب.

تُؤثّر تقنيّة ترجمة عنوان الشبكة على نوعي رسائل البروتوكول. في ما يخصُّ رسائل الإبلّاغ عن الأخطاء، فقد تحتوي ترويسة بروتوكول إنترنت كاملةً أو جزئيّةً تضمُّ عناوين بروتوكول إنترنت، وإذا ما انتقلت الرِّسالة بين النّطاقين الدّاخليِّ والخارجيِّ، وأُجريت ترجمة عنوان الشبكة عليها، لزم أيضاً ترجمة العناوين المَحْمولة فيها. أمّا في ما يخصُّ رسائل الإعلام، فيمكن ترجمة مُعرِّفي الرِّسالة⁴⁹⁰ ترجمةً مُشابهةً لترجمة أرقام المنافذ. في كلتا الحالتين، ونتيجةً لتغيُّر مُحتويات الترويسة، يلزم إعادة حساب حقل التّحقُّق الجمعيّ فيها.

وُصفت المُتطلّبات السلوكيّة⁴⁹¹ اللّازمة لعمل ترجمة عنوان الشبكة مع بروتوكول رسائل التّحكُّم في الإنترنت في وثيقة طلب التّعليقات RFC 5508.⁴⁹²

الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت

تُوجد حالةٌ من الجدل حول استعمال ترجمة عنوان الشبكة مع الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت. يُحاجج البعض أنّ استعمال التّرجمة يُلغي مبدأً رئيساً من المبادئ التي قامت عليها الإنترنت، وهو مبدأ الطرفين⁴⁹³، ويقولون بأنّ تطوير واستعمال ترجمة عنوان الشبكة كان حلاً ضمن الإستراتيجية قصيرة الأمد لمشكلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت،⁴⁹⁴ وبما أنّ مشكلة الاستنفاد قد حلّت مع تطوير الإصدار السادس، فقد زال السبب الذي أدّى إلى تطوير تقنيّة التّرجمة، وهو محدوديّة فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، ويستند هؤلاء في دفاعهم إلى

⁴⁹⁰ هما موجودان في حقل المُعرِّف وحقل رقم التّتابع، انظر ما جاء في شأنهما في الفصل السادس من هذا الكتاب.

⁴⁹¹ أصل الاسم Behavioral requirements.

⁴⁹² انظر [RFC5508] في تَبْت المراجِع.

⁴⁹³ راجِع حواشي الفصل الأوَّل من هذا الكتاب للمزيد حول هذا المبدأ.

⁴⁹⁴ انظر نقاشاً موسَّعاً حول هذه المسألة في [RFC5902] في تَبْت المراجِع.

حقيقة أن استعمال ترجمة عنوان الشبكة يُقوّض شفافية الإنترنت⁴⁹⁵، ولذلك فإنّ وثيقة طلب التعليقات RFC 4924 تُوصي بتجنّب استعمال آلية ترجمة العنوان مع الإصدار السادس ما دام ذلك مُمكنًا.⁴⁹⁶

أما الفريق المؤيّد لاستعمال فيجادل بأنّ الترجمة تُقدّم عدداً من المنافع والتسهيلات لا بديل آخر لها أو يصعب التخلّي عنها، ويقولون بضرورة عدم اقتصرها على الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، لأنّها تصلح أيضاً للإصدار السادس، ومن الفوائد على سبيل المثال، تجنّب عملية إعادة العنونة إذا انتقلت منظمة ما من موقع جغرافي إلى آخر، وعندها يُمكن للمنظمة أن تُحافظ على فضاء العناوين القديم بوصفه نطاقاً داخلياً محلياً، وتتصل مع سائر الشبكة بصفته نطاقاً خارجياً عبر عملية ترجمة عنوان الشبكة. ومن منافع الترجمة أيضاً استعمالها حلاً لمسألة المنظمات متعددة المواقع، أي التي تُكون أماكن استضافتها متباعدة جغرافياً لكنّ المضيفين فيها مُعنونون بفضاء العناوين ذاته، ونوقشت هذه المسألة في الفصل الثامن من هذا الكتاب. يُمكن في هذه الحالة السّماح للمضيفين بتبادل البيانات في ما بينهم باستعمال ترجمة العناوين المضاعفة من غير الحاجة لإعادة العنونة. ومن المنافع أيضاً مسألة توحيد إعدادات التهيئة، فلو عُنونت الشبكات المحليّة كلّها باستعمال فضاء العناوين الخاصّ نفسه واتّصلت مع سائر الإنترنت عبر عملية ترجمة مُوحّدة، لأمكن إعداد تهيئةٍ معياريةٍ تُستعمل في أيّ شبكةٍ محليّةٍ مُعنونةٍ بذلك الفضاء، وهي الحالة السائدة اليوم في المُوجّهات المُستعملة في الشبكات المحليّة المنزليّة.⁴⁹⁷

طوّرت تقنيةٌ خاصّةٌ لترجمة عنوان الشبكة من أجل الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، ووُصفت في الوثيقة RFC 6296 التي صدرت في شهر يونيو من العام 2011م، ولكنّ هذا العمل ظلّ ضمن الإطار التجريبيّ ولم ينتقل إلى مرحلة المعيار الرسميّ.⁴⁹⁸

طبقة النقل

بروتوكول التّحكّم بالنّقل

هو بروتوكول نقلٍ يُؤمّن توصيلاً موثوقاً للبيانات عبر قنوات اتّصالٍ مُهيأة.⁴⁹⁹ إذا أُستعمل، تُراقب آلية ترجمة عنوان الشبكة محتويات ترويسة البروتوكول الموجودة داخل رزم البيانات المُتبادلة بين طرفي الاتصال من أجل تحديد متى تبدأ الجلسة.

يُنسَى الاتّصال بين طرفين، وفقاً لبروتوكول التّحكّم بالنّقل، بعد إنجاز عملية المصافحة الثلاثية⁵⁰⁰ التي تُشمل تبادلاً لمعلومات ذات صلةٍ بالاتّصال، مثل رقم التّتابع. يُمكن تحديد حُصول المصافحة الثلاثية من خلال تمييز نمطٍ مُحدّدٍ

⁴⁹⁵ أصل الاسم Internet transparency.

⁴⁹⁶ انظر [RFC4924] في ثبّت المراجع.

⁴⁹⁷ وغالباً ما تُضبط هذه المُوجّهات لُنعنون الشبكة المحليّة افتراضياً بعناوين من الفضاء الخاصّ 192.168.0.0/16 أو أفضيةٍ فرعيةٍ منه.

⁴⁹⁸ انظر [RFC6296] في ثبّت المراجع.

⁴⁹⁹ انظر هذا التعريف في ص. 386 في [BKE01]، وانظر معيار البروتوكول في [RFC793] في ثبّت المراجع.

⁵⁰⁰ المصافحة ثلاثية المراحل أو الثلاثية اختصاراً Three-way handshaking، انظر ص. 82 في [BKE01]، في ثبّت المراجع.

لقيم علمين من أعلام البروتوكول موجودين في ترويسته داخل الرسائل المتبادلة بين الطرفين، وهذان العلمان هما علم المزامنة وعلم إشعار التأكيد.⁵⁰¹

تُراقب آلية الترجمة محتويات الترويسة مُراقبَةً مُشابهَةً لما سبق لتحديد نهاية الجلسة، والتي قد تُوصف بأنها اعتيادية، أو بأنها مُتزامنة، إذا رُفِعَ علم النّهاية في ترويسة البروتوكول، وتُوصف أيضاً بأنها مُستحسنة لو رُفِعَ علم إعادة الضبط.⁵⁰² تُصِف الوثيقة RFC 5382 المُتطلّبات السلوكيّة اللازمّة لعمل آليّة ترجمة عنوان الشبكة مع بروتوكول التّحكّم بالنقل من غير حُصول مُشكلات.⁵⁰³

تُحدّد الوثيقة السّابقة أيضاً كيفيّة التّعامل مع حالات انقطاع الاتّصال، وهي الحالات التي يتوقّف فيها أحد الأطراف عن المشاركة في الجلسة فجأةً من غير إنهاؤها أو تلك التي يتعدّر فيها تحديد حالة الطرف الآخر، وتلزم عندها على المُوجّه المُترجم أن يُنهي الجلسة من تلقاء ذاته. تُحدّد الوثيقة زمنًا للانتظار في حال غياب أيّ نشاطٍ من الطرف الآخر وهو أربع دقائق تبدأ بعد آخر نشاطٍ، إذا كان إنشاء الاتّصال قد بدأ، ولكنّه لم يكتمل، وساعتان وأربع دقائق إذا كان الاتّصال مُنشأً ونشيطاً.⁵⁰⁴ تتناول الوثيقة أيضاً كيفيّة التّعامل مع حالة الاستهلال المُتزامن للاتّصال،⁵⁰⁵ وهي حالة خاصّة يُحاول فيها طرفا الاتّصال إنشاءه في الوقت نفسه، ويكون التّغيير في تتابع قيم الأعلام مُختلفاً عندها عن التّمط الموجود في المُصافحة الثّلاثيّة⁵⁰⁶، ويحتاج لمعالجةٍ أُخرى مُستقلّة عن ما سبق.

بروتوكول حزم بيانات المُستخدم

هُو بروتوكول نقلٍ غير موثوقٍ يُؤمّن اتّصالاً لنقل البيانات عبر قنواتٍ غير مُهيّأة.⁵⁰⁷ يدعم هذا البروتوكول عمليّة نقل البيانات من غير تأسيس اتّصالٍ، وهو لا يطلّب إشعاراً من المُستقبل لتأكيد استلام البيانات المُرسلة، ولذلك تُكون ترويسته أقصر طولاً وآليّة عمله أقلّ تعقيداً. نتيجةً لذلك، لا تُوجد أعلامٌ في الترويسة تُساعد على تحديد متى يُنشأ الاتّصال أو ينتهي، وتُتأثر جلسة الترجمة بما سبق، خاصّةً في مسألة تحديد متى تنتهي الجلسة. للتغلب على هذه المُشكلة، فإنّ المُوجّه المُترجم يضبط مع بدء الجلسة مُوقّت انتظارٍ تنازلياً لمدّةٍ زمنيّةٍ يُمكن تحديدها، ويُستحسن ألاّ تقلّ عن دقيقتين.

تبدأ الجلسة عادةً عندما ترد رزمة بيانات تُحقّق سُروط الترجمة، فيترجمها المُوجّه وفقاً لما هيّئ به، ويرفَع علم الحالة الخاصّ بثنائيّة المُعرفات التي استعملها للدلالة على حجزها، ثمّ يُعاد ضبط المُوقّت بعد ذلك إلى القيمة القصوى آلياً كلما

⁵⁰¹ أصل الاسمين على الترتيب Synchronization flag، اختصاراً SYN، و Acknowledgment flag، اختصاراً ACK، انظر تفاصيلهما في ص. 26-27 في [RFC793] في ثبت المراجع.

⁵⁰² أصل الاسمين على الترتيب Finish flag، اختصاراً FIN، و Reset flag، اختصاراً RST، انظر ص. 38، 79، 81 في [RFC793] في ثبت المراجع، والإنهاء الاعتياديّ Normal close والإنهاء المُتزامن Simultaneous close. انظر ص. 39 في المرجع السابق.

⁵⁰³ انظر [RFC5382] في ثبت المراجع.

⁵⁰⁴ انظر ص. 11 في [RFC5382] في ثبت المراجع.

⁵⁰⁵ أصل الاسم Simultaneous initiation.

⁵⁰⁶ للمزيد حول هذا الشأن، انظر ص. 6 في [RFC5382] في ثبت المراجع.

⁵⁰⁷ انظر هذا التعريف في ص. 400 [BKE01] في ثبت المراجع، وانظر معيار البروتوكول في [RFC768].

استقبل الموجه المترجم رزمة جديدة ضمن الجلسة نفسها، فإذا نفذ المؤقت ولم تستقبل أي رزمة، عد الموجه أن الاتصال مقطوع، وحزر ثنائيتي المعرفات المستخدمة في الترجمة.⁵⁰⁸

توجد أيضاً مشكلة مرتبطة بعملية تقطيع رزم البيانات، فالقطع الناتجة، كلها ما خلا الأولى، لا تحتوي ترويسة برؤوكول النقل، لا يمكن وبسبب ذلك إجراء عملية ترجمة أرقام المنافذ ما لم يُعاد تجميع رزمة البيانات الأصلية كاملةً. في هذه الحالة، لو أخطق تجميع الرزمة الأصلية، فإن الموجه المترجم يتخلص من الرزمة من غير إجراء عملية الترجمة، وتحصل هذه المشكلة نفسها لو استخدم برؤوكول التحكم بالنقل بصفته برؤوكول نقل بدلاً عن برؤوكول جزم بيانات المستخدم.⁵⁰⁹

برؤوكولات أخرى

توجد برؤوكولات نقل أخرى مستعملة في شبكات البيانات وهي أقل شيوفاً من البرؤوكولين السابقين، منها مثلاً برؤوكول التحكم بازدحام جزم البيانات الموصوف بوثيقة طلب التعليقات RFC 4340.⁵¹⁰ تصف الوثيقة RFC 5597 المتطلبات السلوكية اللازمة لاستعمال ترجمة عنوان الشبكة معه.⁵¹¹

أما برؤوكول التحكم بتدفق النقل⁵¹² فهو برؤوكول نقل طور أساساً لنقل رسائل تأشير شبكات الهاتف العامة⁵¹³ عبر شبكة معنونة ببرؤوكول الإنترنت، وله تطبيقات أخرى في مجال نقل الصوت باستعمال برؤوكول الإنترنت،⁵¹⁴ وهو موصوف بالوثيقة RFC 4960. لا يوجد وثيقة طلب تعليقات تصف المتطلبات السلوكية لاستعمال ترجمة عنوان الشبكة معه، ولكن صيغت مسودة لوثيقة في سنة 2009م، ولم يجر تبنيها ليصبح معياراً رسمياً.⁵¹⁵

مشكلات في التنفيذ

- تقطيع رزم البيانات: إذا قُطعت رزم البيانات، فإن ترويسة برؤوكول النقل ستكون في القطعة الأولى فقط، ويسبب هذا مشكلات في مراقبة الجلسة إذا كان برؤوكول النقل هو برؤوكول التحكم بالنقل، لأن الأعلام التي ستراقب ستكون في القطعة الأولى فقط. بالإضافة لذلك، أيًا كان برؤوكول النقل المستعمل، لا يمكن تنفيذ

⁵⁰⁸ قد تتنوع قيمة مؤقت الانتظار تنوعاً كبيراً وفقاً للتطبيق الذي يُنفذ ترجمة عنوان الشبكة، ولكن التوصيات المعيارية تشير إلى استحسان ألا تقل هذه المدة عن دقيقتين، وتحدد قيمة 5 دقائق لها، للمزيد في هذا الشأن انظر ص. 12 في [RFC4787] في ثبت المراجع.

⁵⁰⁹ انظر ص. 19 في [RFC8085] في ثبت المراجع.

⁵¹⁰ أصل الاسم Datagram Congestion Control Protocol، اختصاراً DCCP، انظره في [RFC4340] في ثبت المراجع.

⁵¹¹ انظر في [RFC5597] في ثبت المراجع.

⁵¹² أصل الاسم Stream Control Transmission Protocol، اختصاراً SCTP، انظره في [RFC4960] في ثبت المراجع.

⁵¹³ أصل الاسم: الرسائل Signaling messages وشبكة الهاتف Public Switched Telephone Network، اختصاراً PSTN.

⁵¹⁴ أصل الاسم Voice over Internet Protocol، اختصاراً VoIP.

⁵¹⁵ انظر [WEB29] في ثبت المراجع.

ترجمة أرقام المنافذ في حال التقطيع، فالقطع الناتجة كلها، ما خلا القطعة الأولى، لا تحتوي أرقام المنافذ كما تقدم.⁵¹⁶

● الاستعمال مع بروتوكول نقل الملفات:⁵¹⁷ يُستعمل بروتوكول نقل الملفات في أوامره الترميز المعياري الأمريكي لتبادل المعلومات، المعروف اختصاراً بالاسم الرمزي آسكي،⁵¹⁸ بمعنى أن ترميز العدد لا يكون وفقاً لقيمته، بل وفقاً لعدد الأرقام الذي يُشكّله، أي تُرمز الأعداد 0 و9 مثلاً برمز واحد، و10 و50 و99 برمزين، و100 و500 و999 بثلاثة رموز. تحصل المشكلة عندما يتغير طول العنوان المُستعمل في أمر بروتوكول نقل الملفات فمثلاً تُرمز قيم خانات العنوان: 10.0.0.1 باستعمال خمسة محارف مُرمزة بترميز آسكي، هم واحدان وثلاثة أصفار، بينما تُرمز قيم خانات العنوان 200.100.10.1 باستعمال تسعة محارف هم اثنين وحيدة وثلاثة واحدان وخمسة أصفار. ويسبب هذا التغير في الطول إزاحة في مواقع قيم الترويسات التالية فتضطرب عملية تحديد حُقول الترويسة. ويلزم لحل هذه المشكلة تحديث ترويسة بروتوكول نقل الملفات بعد إجراء الترجمة لتعكس التغيير الحاصل في رزمة البيانات المترجمة.⁵¹⁹

● التطبيقات المعتمدة على المعرفات المترجمة: تُوجد مجموعة من التطبيقات اللاتي يعتمد عملها على عنوان بروتوكول الإنترنت أو أرقام المنافذ أو اللاتي تحتويهما في موقع ما من ترويستها. سبب تبادل العنوان في أثناء عملية الترجمة مشكلة في عمل التطبيق، ويلزم لحلها إجراء عملية التبدل نفسها في ترويسة بروتوكول التطبيق أيضاً، وإنجاز ذلك تُستخدم تطبيقات خاصة تُهيأ في الموجه المترجم، وتسمى الواحدة منها البوابة عند مستوى التطبيق.⁵²⁰ طُرح حل آخر لهذه المشكلة وهو تخطي الترجمة⁵²¹ ويشمل عمل تطبيق في المضيفين للحصول على معرفات الطرف الآخر البعيد الذي يُراد الاتصال معه، ثم إجراء التبدل اللازم في ترويسة بروتوكول التطبيق في المضيف المصدر قبل إرسال الرزمة التي ستجري ترجمتها. طوّرت مجموعة من البروتوكولات التي تتبني هذا الحل أو شكلاً مشتقاً عنه، أشهرها: بروتوكول خدمات تخطي ترجمة عنوان الشبكة، وهو موصوف في الوثيقة RFC 5389،⁵²² وبروتوكول تخطي الترجمة باستعمال المرحلات، وهو موصوف في الوثيقة RFC 5766.⁵²³

⁵¹⁶ للمزيد حول هذا الشأن انظر ص. 309 في [BKE02] في ثبث المراجع.

⁵¹⁷ أصل الاسم File Transfer Protocol، اختصاراً FTP، انظر ص. 29 في [RFC959] في ثبث المراجع.

⁵¹⁸ أصل الاسم American Standard Code for Information Interchange، اختصاراً ASCII، وهو ترميز معياري للمحارف، سباعي البتات، طُوّر في عام 1963م بدعم من المعهد الأمريكي للمعايير الوطنية American National Standards Institute، المعروف اختصاراً بالاسم الرمزي ANSI، لغرض تبادل المعلومات في الاتصالات الإلكترونية، ونُشر تحت الاسم الرمزي X3.4-1963، انظر [STD09] في ثبث المراجع.

⁵¹⁹ انظر نقاشاً موسعاً حول هذه المشكلة في ص. 25-26 في [RFC2663] في ثبث المراجع.

⁵²⁰ أصل الاسم Application-Level Gateway، اختصاراً ALG، انظر ص. 6 في [RFC2663] في ثبث المراجع.

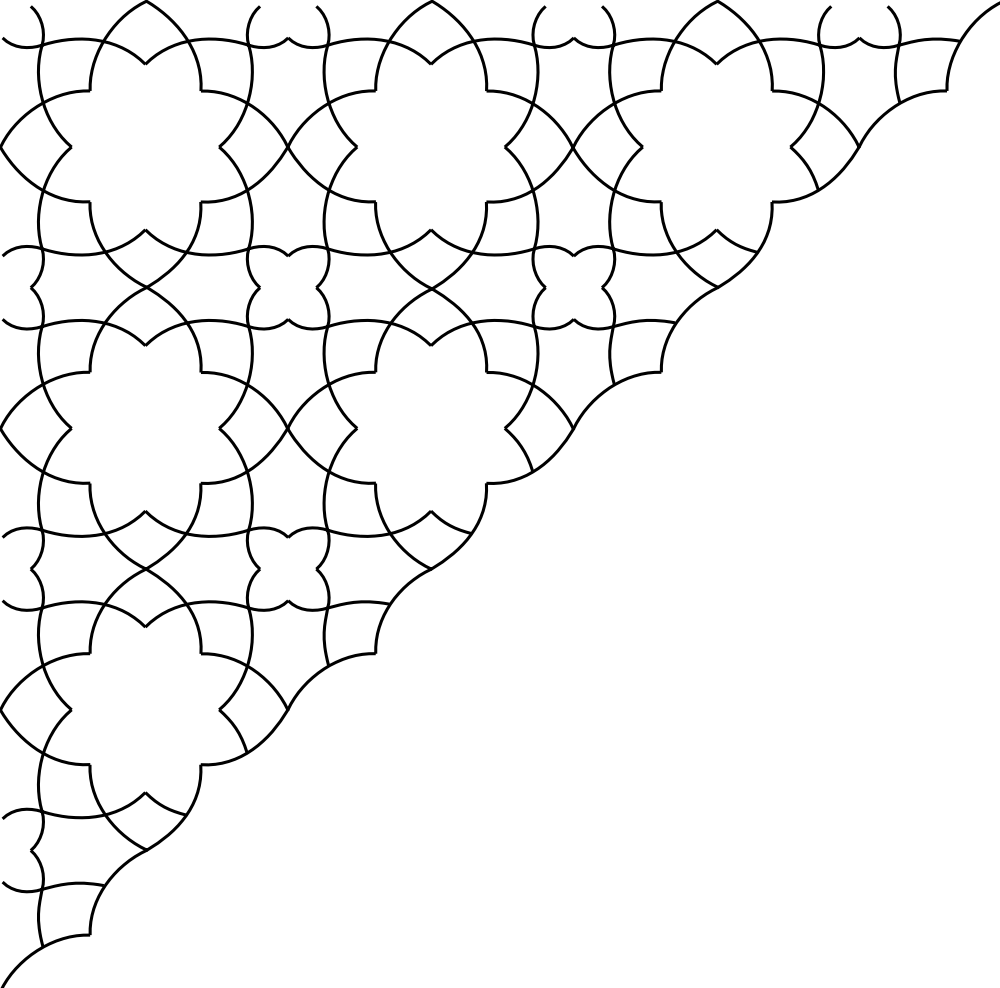
⁵²¹ أصل الاسم NAT Traversal، للمزيد حوله انظر ص. 316 في [BKE02] في ثبث المراجع.

⁵²² أصل الاسم Session Traversal Utilities for NAT، اختصاراً STUN، انظره في [RFC5389] في ثبث المراجع.

⁵²³ أصل الاسم Traversal Using Relays around NAT، اختصاراً TURN، انظره في [RFC5766] في ثبث المراجع.

- الحاجة لإعادة الحساب: تتطلّب ترجمة عنوان الشبكة حوسبةً وقدرات معالجة ملحوظة، فمن أجل كلّ رزمة تُترجم، تُوجد حاجة لإعادة حساب كلّ تحقّقٍ جمعيّ يُغطّي الحُقُول التي عُدّلت، وقد يُسبّب هذا أيضاً زيادةً في الرّمن اللازم لمعالجة الرزمة وبالتالي تأخيراً في عمليّة التّوجيه.

تُرِكَت هذه الصَّفحة فارِغَةً عَمداً لِغرضِ تنسيقِ الكِتابِ

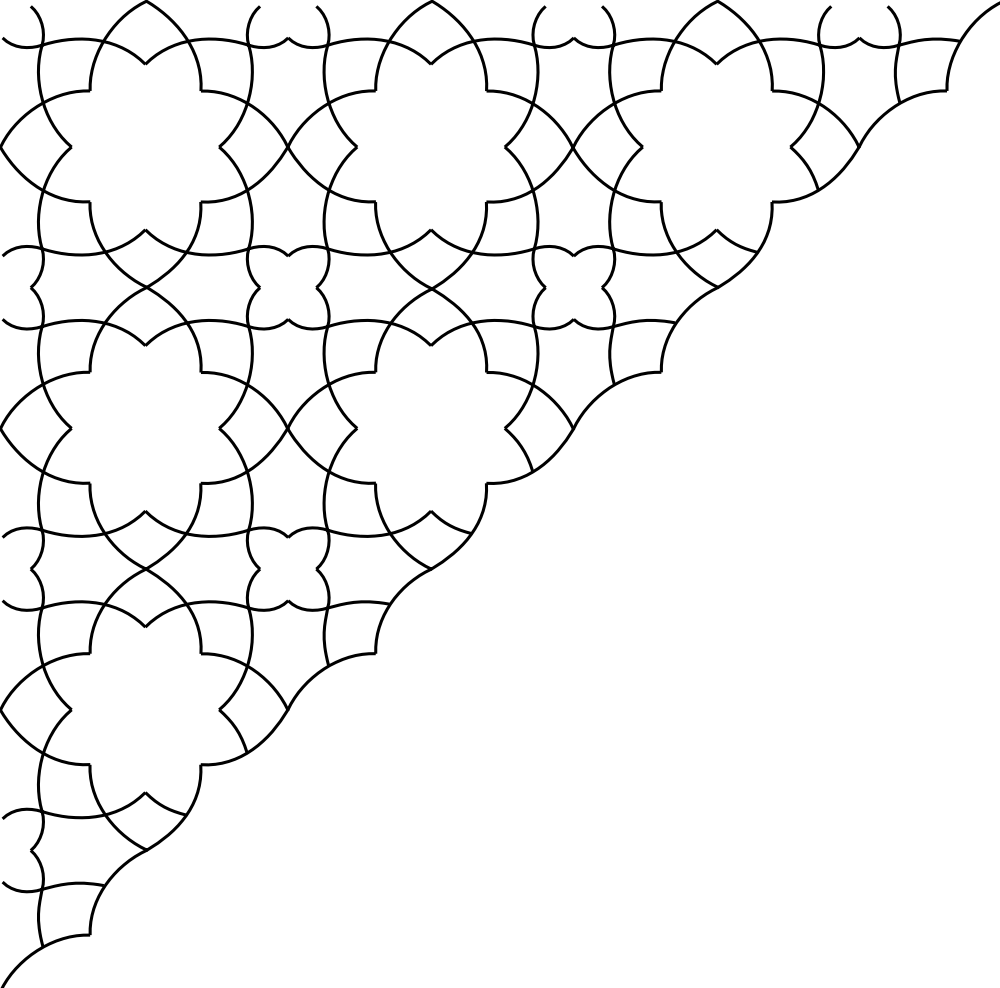


الباب الرَّابِع: الإصدار السَّادِس مِنْ بَرُوتُو كُول

الإِنْتَرِنِتِ وَمُلْحَقَاتِهِ



تُرِكَت هذه الصَّفحة فارِغَةً عَمداً لِغرضِ تنسيقِ الكِتابِ



الفصل العاشر: الإصدار السادس من بروتوكول

الإنترنت



مقدمة

الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت⁵²⁴ هو بروتوكول تشبيك يعمل في طبقة الشبكة وفقاً لنموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة، يستعمل لتقديم وظائف العنونة والتقطيع وإدارة حركة البيانات. طُوِّر الإصدار السادس في عام 1995م على يد مجموعة مهندسي الإنترنت بصفته حلاً نهائياً لمشكلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت.

يُعرّف البروتوكول ترويسة ثابتة الطول فيها أربعون بايتاً، تُضاف إلى رزم البيانات التي يُنشئها كلها، ويوجد أيضاً مجموعة من ترويسات التوسعة التي يُمكن استخدامها اختياريّاً وفقاً للحاجة عند أداء الوظائف نحو التقطيع، ويُمكن أن تحتوي رزمة بيانات الإصدار السادس على أكثر من ترويسة توسعة تلي ترويسة البروتوكول.

يُعرّف البروتوكول فضاءاً من العناوين يضمُّ قرابة 3.4×10^{38} عنواناً، طول كلِّ منها 128 بتاً. يُقسّم الفضاء رياضياً إلى فضاءين جزئيين هما فضاء البث فريد الوجهة وفضاء البث المجموعيّ، وتُدِير هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة كلا الفضاءين. يدعّم البروتوكول ثلاثة أنماطٍ من العنونة هُنَّ العنونة فريدة الوجهة وعنونة البث نحو الأقرب وعنونة البث المجموعيّ، ولا يدعّم البث العامّ.

تَصِفُ مُحَدِّدات البروتوكول آليّةً للتقطيع في مَصَادِرِ رزم البيانات فقط، وذلك لأنَّ البروتوكول يدعّم أيضاً آليّةً لاكتشاف قيمة وحدة النقل العظمى لمسار رزمة بياناتٍ ما قبل إرسالها، فيختار طول رزمةٍ متوافقاً معه، وتنتفي الحاجة لإجراء التقطيع في عُقد الشبكة الموجودة على المسار كما هو الحال في الإصدار الرابع من البروتوكول. يُعاد تجميع رزمة البيانات الأصلية في الوجهة النهائيّة، أي يُعاد تشكيلها انطلاقاً من القطع المُستقبلة.

يدعّم الإصدار السادس أيضاً آليتين لإدارة حركة البيانات في الشبكة. الآليّة الأولى هي تعريف تدفّقاتٍ لرزم البيانات، وهي طريقةٌ لتحديد مجموعةٍ من الرزم المرسلّة من مَصَدِرٍ مُحدّدٍ إلى وجهةٍ مُحدّدة، ويُستعمل لأجل ذلك حَقْلٌ مُخصّصٌ في ترويسة البروتوكول. أمّا الآليّة الأخرى فهي دعم مستوياتٍ مُتعدّدةٍ لجودة الخدمة في الشبكة، ثمَّ تحديد المُستوى المطلوب لكلِّ رزمةٍ باستعمال حَقْلٍ مُخصّصٍ لذلك في ترويسة البروتوكول. في كلتا الآليتين، لا يُحدّد البروتوكول كيفية معالجة الرزم تحديداً تفصيلياً، ولكنّه يشرح كيفية تمييز بعضها من بعضٍ في المرحلة التي تسبق معالجتها.

يَنشَأُ عن استعمال الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت مجموعةٌ من ثغرات الأمن التي قد تُكوّن مُنطلقاً لمجموعةٍ من الهجمات، بعضها مُرتبطٌ بالتقطيع نحو هُجُوم القطعة الصّغيرة أو هُجُوم القطع المُتراكبة، وبعضها مُرتبطٌ بإدارة حركة رزم البيانات مثل هُجُوم سرقة الخدمة.

نبذة تاريخية

ابتدأ نموُّ شبكات البيانات وانتشارها حول العالم منذ سبعينيّات القرن العشرين، وكانت نقطة الانطلاق من المراكز البحثية والجامعات في الولايات المتّحدة الأمريكيّة، وسُمّيت هذه الشبكة أربانت في بداياتها. اعتمدت أربانت على مجموعةٍ من

⁵²⁴ أصل الاسم Internet Protocol Version 6، اختصاراً IPv6.

البروتوكولات التي طورتها وكالة مشاريع البحوث الدفاعية المتقدمة، ومنها الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الذي أُستخدِم لعنونة المُعدّات المُتّصلة مع الشبكة عنونةً فريدةً على المُستوى العالمي. اعتمد الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، كما تقدّم في الفصل الثالث، على فضاء عنونةٍ يبلُغ طول العنوان فيه 32 بتاً، وقُسّم هذا الفضاء إلى أفضيةٍ جزئيةٍ سُميت أصنافاً، خُصّصت ثلاثٌ منها لعنونة البثّ فريد الوجهة، وهي الصنف A والصنف B والصنف C، وخُصّص فضاءٌ جزئيٌّ رابعٌ للبثّ المجموعيّ، وسُمي الصنف D.

بدأ استخدام الإنترنت تجارياً في مطلع التسعينيات، وأصبح من الشائع بعدها تقديم الخدمات أو بيع المنتجات عبرها، وسبب هذا نمواً سريعاً للشبكة خاصةً في الولايات المتحدة الأمريكية. وكما مرّ في الفصل السابع، فإنّ مشكلة استنفاد فضاء عناوين الصنف B أصبحت داهمةً، أولاً بسبب نموّ الشبكة السريع، وثانياً، لأنّ نمط العنونة المُستعمل سبّب استهلاك فضاء العناوين استهلاكاً متسارعاً وغير فعّالٍ. لذلك كان من المُتوقّع استنفاد فضاء عناوين الصنف B بدءاً من العام 1993م. عُولجت هذه المشكلة ضمن إستراتيجيتين، تشمل الأولى حُلُولاً سريعة التّطبيق قصيرة الأمد، أمّا الأخرى، فتُعنى بحلّ نهائيّ دائمٍ طويل الأمد. طُوّر التّوجيه غير الصنفيّ بين النّطاقات في إطار الإستراتيجية الأولى في العام 1992م، وقد دُرِس في الفصل الثامن من الكتاب، وطُوّرت أيضاً تقنية ترجمة عنوان الشبكة في العام 1994م، وقد تناولناها بالتفصيل في الفصل التاسع. نَجحت حُلُول الإستراتيجية قصيرة الأمد في إطالة عمر الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت من خلال إبطاء استنفاد الفضاء.

أمّا في ما يخصّ الإستراتيجية طويلة الأمد، فقد بدأت مجموعة مهندسي الإنترنت في العمل منذ مطلع التسعينيات على تطوير إصدارٍ جديدٍ من بروتوكول الإنترنت. كان التّوجّه العامّ في سنة 1993م، هو طرح نظام عنونةٍ جديدٍ موسّعٍ ضمن إصدارٍ جديدٍ من بروتوكول الإنترنت، لذلك طلبت المجموعة اقتراحاتٍ في هذا الشأن مع نهاية تلك السنة.⁵²⁵ شكّلت المجموعة في تلك الفترة أيضاً نطاق عملٍ جديدٍ سمّته الجيل الثّاني من بروتوكول الإنترنت⁵²⁶، وعمل فيه 15 مهندساً من اختصاصاتٍ مُتنوّعةٍ على مُراجعةٍ ودراسةٍ الاقتراحات لصياغة حلّ نهائيّ شاملٍ.⁵²⁷

طُرِح المعيار الأوّل للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت تحت الاسم الرّمزيّ RFC 1883 في شهر ديسمبر من العام 1995م، وصدّر معه أيضاً المعياران الأوّلان لمُحدّدات بنية العناوين في الإصدار السادس ولبروتوكول رسائل التّحكّم للإصدار السادس، وحملت وثائق طلب التّعليقات الخاصّة بهما الاسمان الرّمزيّان RFC 1884 و RFC 1885 على التّرتيب.⁵²⁸ سنناقش بنية العناوين في ما سيأتي في هذا الفصل، في حين خُصّص الفصل الحادي عشر من هذا الكتاب لمناقشة بروتوكول رسائل التّحكّم للإصدار السادس سالف الذكر. صدّر المعياران الأوّلان لبروتوكول اكتشاف الجيران ولآلية تهيئة العنوان الدّائميّة الآليّة التي سنناقش في ما سيأتي في هذا الفصل لاحقاً في شهر أغسطس من العام الثّاني، وحمل

⁵²⁵ انظر [RFC1550] في ثبّت المراجع.

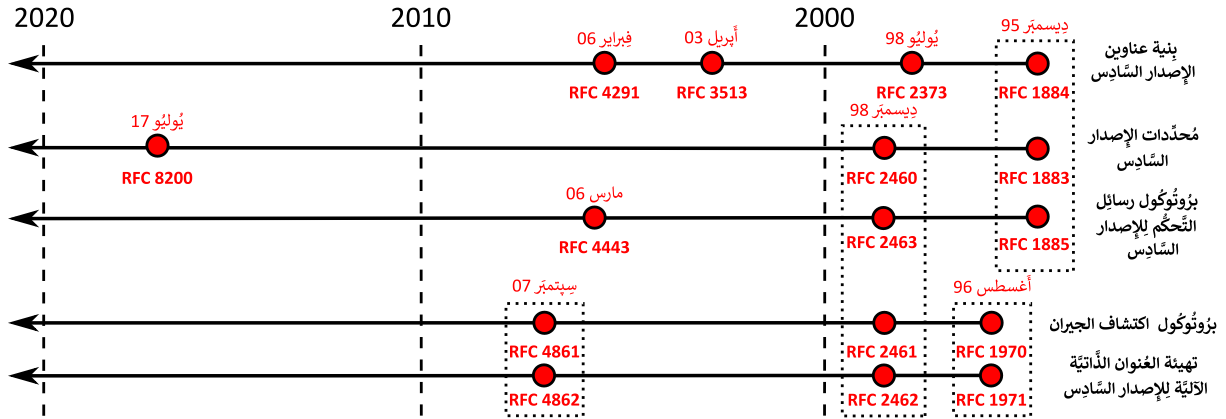
⁵²⁶ أصل الاسم IP Next Generation، اختصاراً IPng، انظر ص. 2 في [RFC1752] في ثبّت المراجع.

⁵²⁷ انظر ص. 45 في [RFC1752] في ثبّت المراجع.

⁵²⁸ انظر هذه المعايير الثلاثة في [RFC1883] و [RFC1884] و [RFC1885] في ثبّت المراجع.

المعياران الاسمين الرمزيين RFC 1970 و RFC 1971 على الترتيب.⁵²⁹ أما بروتوكول اكتشاف الجيران، فقد خصص الفصل الثاني عشر من هذا الكتاب لمناقشته.

صدّرت مجموعة تحديثات جديدة في ديسمبر من العام 1998م تضمنت أربع وثائق طلب تعليقات تمتد أسماؤها الرمزية من RFC 2460 حتى RFC 2463،⁵³⁰ وشملت معايير جديدة للإصدار السادس ولبروتوكول رسائل التحكم الخاص به ولبروتوكول اكتشاف الجيران ولآلية تهيئة العنوان الذاتية الآلية. واستمرت التحديثات بالصدور منفصلة أو ضمن مجموعات، فصدرت ثلاث معايير متتابعة لبنية عناوين الإصدار السادس، آخرها في فبراير من العام 2006م، وحمل الاسم الرمزي RFC 4291.⁵³¹ صدر أيضاً معيار ثالث لبروتوكول رسائل التحكم للإصدار السادس في مارس من العام 2006م، وحمل الاسم الرمزي RFC 4443. وصدر ثالثاً زوجان من المعايير أحدهما لبروتوكول اكتشاف الجيران والآخر لتهيئة العنوان الذاتية الآلية في فبراير 2007م وحمل الاسمين الرمزيين على RFC 4861 و RFC 4862 على الترتيب. وأخيراً صدر المعيار الحالي للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت في يونيو من العام 2017م وحمل الاسم الرمزي RFC 8200. ويبيّن الشكل (1-10) الخط الزمني للإصدارات السابقة كلّها.



الشكل (1-10): خط زمني للمعايير الناطمة للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت ولبروتوكولات الرديفة له

مبدأ العمل

الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت هو بروتوكول تشبيك يعمل في طبقة الشبكة في نموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة، ويشرف على مهام العنوان وتقطيع رزم البيانات ويساهم في إدارة حركة البيانات في الإنترنت. صمّم الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت ليحل محل الإصدار الرابع، وليلعاج المشكلات الناجمة عن استعماله والتي تتلخص بفضاء عناوين محدود الحجم وببنية ترويسة معقدة ودعم محدود لإمكانية إضافة توسعات جديدة للأصل. بالإضافة لمعالجة هذه المشكلات، فقد امتلك الإصدار السادس إمكانيات جديدة نحو إنشاء تدفقات من رزم البيانات وتمييزها بلافات

⁵²⁹ انظر في [RFC1970] و [RFC1971] في ثبت المراجع.

⁵³⁰ انظرها في [RFC2460] و [RFC2461] و [RFC2462] و [RFC2463] في ثبت المراجع.

⁵³¹ انظره في [RFC4291] في ثبت المراجع.

خاصةً تتيح إمكانيةً لتقديم مستوياتٍ مختلفةٍ من جودة الخدمة، ونحو دعم توسعاتٍ جديدةٍ اختياريةٍ للمسائل الأمنية تشمل دعم المصادقة وخصوصية البيانات.⁵³²

يُقدّم الإصدار السادس، كما الإصدار الرابع، خدمتي العنونة والتقطيع. في ما يخص العنونة فإنّ البروتوكول يُعرّف فضاء عناوينٍ يضمّ 2^{128} عنواناً، ويدعم ثلاثة أنماطٍ: هي عنوانة البث فريد الوجهة وعنوانة البث المجموعاتيّ وعنوانة البث نحو الأقرب، أمّا البث العامّ فهو غير مدعوم.⁵³³

في ما يخصّ التقطيع، يُقطع البروتوكول رزم بيانات الإصدار السادس في مصدرها فقط، ويُعيد تجميع القطع في وجهتها النهائيّة فقط، ولا حاجة لتقطيع رزم البيانات في أثناء عبورها للمسار لامتلاك مصدر الرزم الآليّة للتعرف على قيمة وحدة النقل العظمى للمسار قبل البدء بالإرسال، ما يسمّح له باختيار القيمة المناسبة وتقطيع رزمة البيانات على أساسها.⁵³⁴

أمّا في ما يخصّ إدارة حركة البيانات، فيدعم البروتوكول آليتين منفصلتين هما الإدارة باستعمال تدفق البيانات والإدارة باستعمال نوع الخدمة. في ما يخصّ إنشاء تدفقات رزم البيانات، فهي آليّة يدعّمها البروتوكول تسمّح بتعريف مجموعةٍ محدّدةٍ من رزم البيانات التي تُنقل بين مصدرٍ لرزم البيانات ووجهةٍ واحدةٍ لها على الأقلّ. وتُعرّف هذه الآليّة التدفق بأنّه مجموعة كلّ رزم البيانات التي تنتقل في اتجاهٍ واحدٍ عبر قناة اتصالٍ محدّدة. ولا يلزم أن يكون المضيف الوجهة فريداً فيمكن لهذه الآليّة أن تدعّم بالإضافة لرزم البث فريد الوجهة رزم البث المجموعاتيّ ورزم البث نحو الأقرب. تُساعد عمليّة إنشاء تدفقات الرزم على تصنيف حركة البيانات وتقديم الخدمة المناسبة لها اعتماداً على ترويسة بروتوكول الإصدار السادس فقط من غير الحاجة لترويسات الطبقات العليا.⁵³⁵

أمّا في ما يخصّ استعمال نوع الخدمة، فهي آليّةٌ مشابهةٌ لما طُبّق في الإصدار الرابع من البروتوكول، وفيها يُستعمل حقل نوع الخدمة لتعريف أصنافٍ مختلفةٍ من الخدمات حسب الحاجة، ويُصار بعدها إلى معالجة كلّ رزمةٍ وتقديم الخدمات إليها وفقاً لقيمة هذا الحقل فيها.⁵³⁶

تُعرّف مُحدّدات البروتوكول، بالإضافة لما سبق، المصطلحات التالّية، وتستخدمها وثائق طلب التعليقات ذات الصلة:⁵³⁷

- عنوان البروتوكول: مُعرّف رقميّ يخصّ طبقة الشبكة يُمكن أن يُمنح لمنقذٍ واحدٍ أو لمنافذٍ متعدّدةٍ معاً.
- العقدة:⁵³⁸ أيّ جهازٍ يستعمل البروتوكول في الشبكة.

⁵³² انظر ص. 4 في [RFC8200] في ثبّت المراجع.

⁵³³ انظر ص. 2-3 في [RFC4291] في ثبّت المراجع.

⁵³⁴ انظر [RFC8201] في ثبّت المراجع.

⁵³⁵ انظر ص. 1، 3 في [RFC6437] في ثبّت المراجع.

⁵³⁶ انظر ص. 1-2 في [RFC2474] في ثبّت المراجع.

⁵³⁷ انظر ص. 5 في [RFC8200] في ثبّت المراجع.

⁵³⁸ أصل الاسم Node، ووُزِدَت هذه الكلمة في أوّل معيار للإصدار السادس (ص.3 في [RFC1883] في ثبّت المراجع)، ولم تُكن مُستعملةً قبلاً في معيار الإصدار الرابع الذي استعمل كلمة مُضيفٍ حصراً.

- الموجه: 539 هو عقدة تُنجز عملية توجيه رزم بيانات لم تولدها، للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت.
- المضيف: هو أي عقدة ما خلا الموجهات.
- الوصلة: وسط اتصال على مستوى طبقة الوصلة، يُمكن للعقد أن تتواصل بعضها مع بعض عبرها.
- الجيران: 540 بالنسبة لعقدة ما مُتصلة مع وصلة واحدة أو أكثر، فإن الجيران هم العقد الالتي يتصلن مع تلك الوصلة أو وصلات.

ترويسات البروتوكول

تتابع الترويسات

يُضيف الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت ترويسة خاصة به في عملية التغليف عند إنشاء رزمة البيانات، وطول هذه الترويسة ثابت، وهو 40 بايتاً دائماً. 541 يُمكن أيضاً أن تُضاف معلومات أخرى تخص طبقة الشبكة في ترويسات خاصة تُسمى ترويسات التوسعة، وهي تُضاف إضافةً اختياريةً بعد ترويسة بروتوكول الإصدار السادس، وقبل ترويسات بروتوكولات الطبقات العليا. ولترويسات التوسعة أنواع هي: ترويسة خيارات المسار وترويسة القطعة وترويسة خيارات الوجهة وترويسة التوجيه وترويسة المصادقة وترويسة تأمين الحُمولة بالتغليف. 542

يُمكن إنشاء تتابع من الترويسات، ولكل نوع ترويسة مُعرّف مُحدّد، وتحتوي الترويسات كلها، بما في ذلك ترويسة الإصدار السادس، حقلاً مُخصّصاً لقيمة مُعرّف نوع الترويسة التالية في التتابع، وفيه تُشير قيمة حقل المُعرّف في كل ترويسة إلى نوع الترويسة التالية، في حين تُخصّص القيمة 59 للإشارة إلى غياب ترويسة تالية وتُستعمل في الترويسة الموجودة في نهاية التتابع. تُضبط هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة القيم المعيارية لمُعرّفات أنواع الترويسة. 543 وإذا وُزعت ترويسات عديدة معاً (الشكل (10-2))، فتُكون بالترتيب التالي: 544

1. ترويسة بروتوكول الإنترنت
2. ترويسة خيارات المسار
3. ترويسة خيارات الوجهة (للخيارات التي سُعالج في الوجهة الأولى على المسار أو أي وجهة وسيطة أخرى مُحدّدة بترويسة التوجيه ما خلا الوجهة النهائية)

539 أصل الاسم Router، وُزعت هذه الكلمة منذ أول معيار للبروتوكول، انظر ص.3 في [RFC1883] في ثبت المراجع، ولم تُكن مُستعملة قبلاً في معيار الإصدار الرابع الذي استعمل كلمة بؤابة بدلاً عنها. قارن بين المُصطلحين بمراجعة ص. 21 وص. 42 في [RFC1392].

540 أصل الاسم Neighbor، وتُعبّر جار، انظر ص. 763 في [BKA02] في ثبت المراجع.

541 انظر ص. 7 في [RFC8200] في ثبت المراجع.

542 انظر ص. 9 في [RFC8200] في ثبت المراجع.

543 انظر سجل الهيئة المُخصّص لمُحدّدات الإصدار السادس في [WEB30] في ثبت المراجع.

544 لا يُلزم المعيار مُنفذ البروتوكول اتباع الترتيب السابق اتباعاً إلزامياً، ولكنه يُستحسن ذلك، انظر ص. 10 في [RFC8200] في ثبت المراجع. وانظر أيضاً بتي هذه الترويسات واستعمالها في المُلحق وفي هذا الكتاب. أصول الأسماء هي على الترتيب: Internet Protocol version 6 و-Hop و-Fragment و-Destination options و-Routing و-Authentication و-Encapsulating Security Payload

4. ترويسة التوجيه
5. ترويسة القطعة
6. ترويسة تأمين الحمولة بالتغليف
7. ترويسة خيارات الوجهة (للخيارات التي سُعالج في الوجهة النهائية فقط)
8. ترويسات بروتوكولات الطبقات العليا

يلزم أن يكون طول ترويسة التوسعة عدداً صحيحاً من مضاعفات 8 بايتات، أي 16 و 24 و 32 ... إلخ، وهذا ضروري لمحاذاة الترويسات المتتالية. تضم بعض من الترويسات عدداً من الخيارات التي يكون لها بنية محددة أيضاً فتصطف وفقاً وتُحاذى تلقائياً داخل الترويسة.⁵⁴⁵

ترويسة بروتوكول التحكم بالنقل + بيانات		ترويسة الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت الترويسة التالية: بروتوكول التحكم بالنقل		رزمة بيانات الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت من غير أي ترويسة توسعة
ترويسة بروتوكول التحكم بالنقل + بيانات	ترويسة التوجيه الترويسة التالية: بروتوكول التحكم بالنقل	ترويسة الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت الترويسة التالية: ترويسة التوجيه		مع ترويسة التوجيه
ترويسة بروتوكول التحكم بالنقل + بيانات	ترويسة القطعة الترويسة التالية: بروتوكول التحكم بالنقل	ترويسة التوجيه الترويسة التالية: ترويسة القطعة	ترويسة الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت الترويسة التالية: ترويسة التوجيه	مع ترويسي التوجيه والقطعة

الشكل (10-2): أمثلة متنوعة عن تتابع الترويسات في الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت

لا تُعالج أي ترويسة، ما خلا ترويسة خيارات المسار، في أثناء عبور رزمة البيانات للمسار، ولا تُضاف أي ترويسة للززمة ولا تُحذف منها، حتى تبلغ العقدة المحددة بعنوان الوجهة في ترويسة البروتوكول.⁵⁴⁶

إن وجود ترويسات التوسعة في رزمة بيانات ما هو مسألة اختيارية، أما دعمها فهو إلزامي في أي تنفيذ للإصدار السادس من البروتوكول، ولكن يوجد ترويسات أخرى مُعرّفة لأغراض خاصة، ولا يلزم أن تكون مدعومة في كل تنفيذ للبروتوكول، منها على سبيل المثال ترويسة خيارات الحركة⁵⁴⁷ وترويسة بروتوكول هوية المضيف⁵⁴⁸.

⁵⁴⁵ انظر ص. 9 في [RFC8200] في ثبت المراجع.

⁵⁴⁶ في ما يخص محتويات ترويسة خيارات الوجهة، سواء كانت الوجهة العقدة الأولى على المسار أو عقداً وسيطة عليه، فإنها تخضع لهذه القاعدة أيضاً. فإذا أرسلت الرزمة عبر مسار مُحدّد نحو وجهتها النهائية، فإن عناوين الوجهات الوسيطة المتوقعة على طول المسار تكون موجودة في ترويسة التوجيه فيها، وتكون قيمة حقل عنوان الوجهة في ترويسة البروتوكول هي عنوان الوجهة الأولى. وعندما تصل الرزمة إلى الوجهة الأولى، فإن البروتوكول يُغيّر قيمة عنوان الوجهة، ويضع بدلاً منه العنوان التالي الموجود في ترويسة التوجيه. عملياً، لم تُعالج ترويسات التوسعة في الرزمة حتى بلغت الرزمة وجهتها المحددة بقيمة حقل عنوان الوجهة في ترويسة البروتوكول.

⁵⁴⁷ أصل الاسم Mobility options، ليمزيد في هذا الشأن انظر ص. 49 في [RFC6275] في ثبت المراجع.

⁵⁴⁸ أصل الاسم Host Identity Protocol، اختصاراً HIP، ليمزيد حوله انظر ص. 38 في [RFC7401] في ثبت المراجع.

ترويسة البروتوكول

يبلغ طول ترويسة الإصدار السادس 40 بيتاً، وتتكوّن من ثمانية حُقُولٍ (الشكل (10-3))، هي وفقاً لترتيب وُردوها:

- حقل رقم الإصدار: طوله 4 بيتاً، يحيل رقم الإصدار، وقيّمته هي 6 دائماً في ترويسة الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت.
- حقل صنف حركة البيانات: طوله 8 بيتاً، ويحتوي معرفاً رقمياً يمكن ضبطه لتحديد جودة الخدمة التي ستحصل عليها رزمة البيانات.
- حقل لافتة التدفق: طوله 20 بيتاً، ويحتوي معرفاً رقمياً يحدّد التدفق الذي تنتمي إليه رزمة البيانات، ويمكن أن تُستعمل هذه القيمة في تحديد كيفية معالجة الرزمة في الموجهات في أثناء عبورها المسار نحو وجهتها.
- حقل طول الحُمولة: طوله 16 بيتاً، ويحتوي عدداً صحيحاً موجباً يمثل طول حُمولة الرزمة التي تُوجد فيها الترويسة مقدراً بالبيت، يشمل ذلك ترويسات التوسعة التي تلي ترويسة الإصدار السادس كلها.
- حقل الترويسة التالية: طوله 8 بيتاً، ويحدّد نوع الترويسة التالية، التي تلي هذه الترويسة. إذا كانت الترويسة مُغيرةً لترويسات التوسعات، فإنّ قيم هذه الحقل مطابقةً للقيم المُستعملة في الإصدار الرابع من البروتوكول.
- حقل عدد القفزات: طوله 8 بيتاً، ويحتوي عدداً صحيحاً موجباً. يُنقص كلُّ موجهٍ يعالج رزمة البيانات ويوجّهها واحداً من هذه القيمة. يفحص كلُّ موجهٍ يستقبل رزمة البيانات قيمة هذا الحقل أولاً، فإذا كانت مساويةً للصفر، فإنّه يتخلّص من الرزمة، وتُسنتى من ذلك الوجهة النهائيّة للرزمة، فإذا أُستقبلت رزمةً بقيمة صفريةً في هذا الحقل، فلا تتخلّص منها بل تُعالجها.
- حقل عنوان المصدّر: طوله 128 بيتاً، وهو عنوان العقدة المصدّر التي ولدت رزمة البيانات.
- حقل عنوان الوجهة: طوله 128 بيتاً، وفيه عنوان وجهة الرزمة. قد يحتوي عنوان الوجهة الأخيرة، أو عنوان المُستقبل التالي للرزمة إذا كانت ترويسة التوجيه موجودةً بعد ترويسة البروتوكول.

0	3	11	15	23	31
الإصدار	صنف حركة البيانات		لافتة التدفق		
طول الحُمولة			الترويسة التالية	عدد القفزات	
عنوان المصدّر					
عنوان الوجهة					

الشكل (10-3): ترويسة الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت

الوظائف

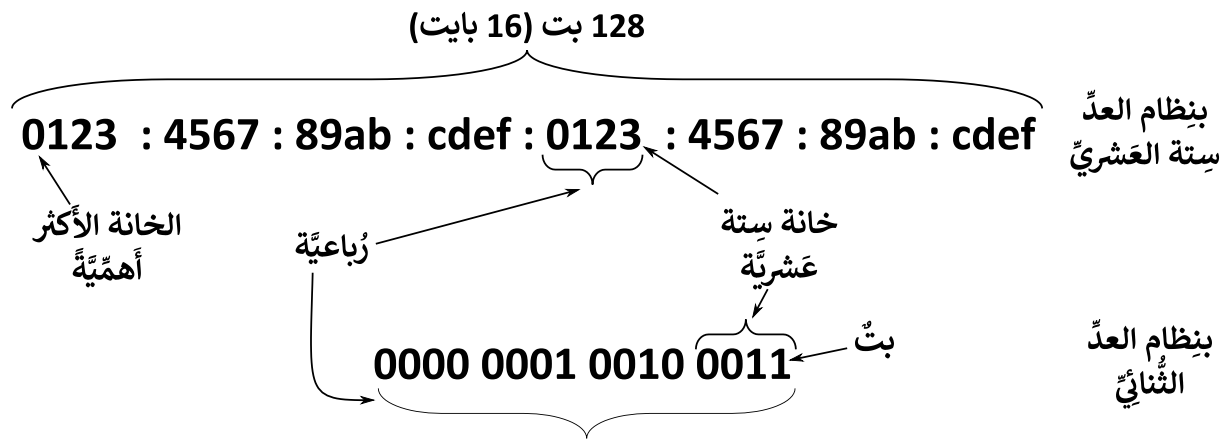
العنونة

تعريف

تُعرّف مُحدّدات البروتوكول فضاءً للعناوين يبلغ طول كلِّ عنوانٍ فيه 128 بتاً، ومعنى ذلك أن الفضاء يضمُّ 2^{128} عنواناً أي ما يُقارب 3.4×10^{38} . تُمنح عناوين الإصدار السادس للمنافذ، لا للعقد، ويُمكن للمنفذ أن يستضيف أكثر من عنوانٍ في الوقت نفسه، ويُمكن أن يكون للعقدة أكثر من منفذٍ في الوقت ذاته.

يُدعم الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت ثلاثة أنماطٍ لعنونة المنافذ هي عنونة البتّ فريد الوجهة، وعنونة البتّ المجموعيّ وعنونة البتّ نحو الأقرب،⁵⁴⁹ ولا يُدعم البروتوكول نمط عنونة البتّ العامّ.⁵⁵⁰ في عنونة البتّ فريد الوجهة، يستضيف منفذٌ ما عنواناً فريداً، وتوجّه الرزم المُرسلة نحو هذا العنوان إلى المنفذ الذي يستضيفه. أمّا في عنونة البتّ المجموعيّ، فتستضيف مجموعة من المنافذ عنواناً ما في الوقت نفسه، وتوجّه الرزم المُرسلة نحو ذلك العنوان إلى المنافذ التي تستضيفه كلّها. أمّا في عنونة البتّ نحو الأقرب، فتستضيف مجموعة من المنافذ عنواناً ما في الوقت نفسه، وتوجّه الرزم المُرسلة نحو هذا العنوان إلى أقرب منفذٍ يستضيفه.⁵⁵¹

يبلغ طول عنوان الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت 128 بتاً، ويكوّن البت الواقع في أقصى اليسار هو البت الأكثر أهميّةً (الشكل (10-4)). يُكتب عنوان الإصدار السادس باستعمال نظام العدّ ستة العشريّ، وتمثّل كلُّ 4 بتاتٍ مُتتاليةٍ فيه بخانةٍ ستة عشريةٍ واحدةٍ تكون قيمتها وفقاً للجدول (10-1).



الشكل (10-4): عرض للمصطلحات المُستعملة في عناوين الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت

⁵⁴⁹ أصل الاسم Anycast، وقد عرّيناها إلى البتّ نحو الأقرب.

⁵⁵⁰ انظر ص. 4-2 في [RFC4291] في تبّيت المراجع.

⁵⁵¹ يختلف تفسير معنى كلمة "أقرب" باختلاف بروتوكول التوجيه المُستعمل، فليكلّ بروتوكول توجيهٍ آليّةٍ مُحدّدةٍ لقياس وزن المسار، قد نعتد على عدّد القفزات اللّازمة لبلوغ الوجهة، أو على مُعدّل النّقل في الوصلات التي ستعبرها الرّزمة أو غير ذلك، ويتحدّد المنفذ الأقرب للموجّه وفقاً لهذه الآليّة.

الجدول (1-10): جدول تحويل مباشر بين قيم نظامي العد الثنائي وستة العشري

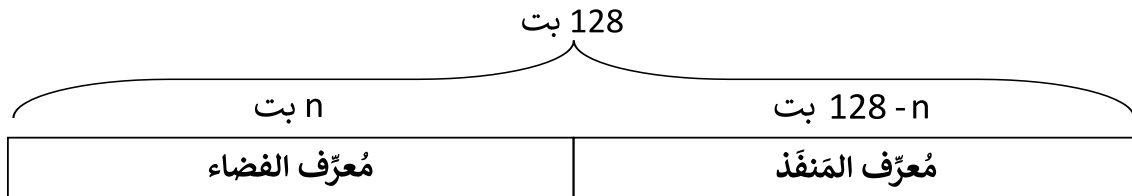
القيمة المُقابِلة بنظام العدِّ ستة العشريِّ	قيمة البتات الأربعة بنظام العدِّ الثنائيِّ	القيمة المُقابِلة بنظام العدِّ ستة العشريِّ	قيمة البتات الأربعة بنظام العدِّ الثنائيِّ
8	1000	0	0000
9	1001	1	0001
a	1010	2	0010
b	1011	3	0011
c	1100	4	0100
d	1101	5	0101
e	1110	6	0110
f	1111	7	0111

التدوين الرياضي

تُسمَّى كلُّ أربع خاناتٍ ستة عشريةٍ متتاليةٍ رُباعيةً،⁵⁵² ويفضَّل بين كلِّ رباعيَّتين متتاليتينٍ محرف التَّقطين الرَّاسيَّتين، أي ":", وتكوِّن الرُّباعية الواقعة في أقصى اليسار هي الأكثر أهميَّةً. مثلاً، العُنوان التَّالي هو مثالٌ عن عُنوانٍ من الإصدار السَّادس من بروتوكول الإنترنت:

0123:4567:89ab:cdef:0123:4567:89ab:cdef

في عناوين البتِّ فريد الوجهة، يتكوَّن كلُّ عُنوانٍ من قسمين، هما مُعرِّف الفضاء ومُعرِّف المنقذ⁵⁵³. يُكوِّن مُعرِّف الفضاء مُشتركاً بين العناوين كُلِّها التي تنتمي للفضاء الجزئيِّ نفسه، أمَّا مُعرِّف المنقذ فيكون مُميَّزاً لكلِّ منقذٍ على حدة. يُشتقُّ عُنوان البتِّ فريد الوجهة انطلاقاً من بادئةٍ ما، ويُستعمل طُول تلك البادئة لرسم الحدِّ الفاصل بين مُعرِّف الفضاء ومُعرِّف المنقذ. فإذا كان طُول بادئةٍ ما 64 بتاً، فهذا يعني أنَّ مُعرِّف الفضاء يمتدُّ امتداداً غير منقطعٍ على أربعٍ وستين بتاً مُتتابعاً بدءاً من البتِّ الأكثر أهميَّةً، في حين يمتدُّ مُعرِّف المنقذ على البتات الأربعة والسَّتين المُتبقية. تُصِف وثيقة طلب التَّعليقات RFC 5952 المُمارسات المُتَّبعة لِتمثيل عناوين الإصدار السَّادس تمثيلاً سليماً، وتُلخِّص عدداً من المُشكلات التي ترتبط بالمسألة مثل حالة الحُرُوف الكبيرة أو الصَّغيرة واستعمال التَّقطين الرَّاسيَّتين وتطرَّح حُلُولاً لها.⁵⁵⁴



الشَّكل (5-10): البنية العامَّة لعُنوان بتِّ فريد الوجهة في الإصدار السَّادس من بروتوكول الإنترنت

⁵⁵² أصل الاسم Quartet، لتعريفها انظر ص. 946 في [BKA02] في ثَبت المراجع. لا ترد هذه الكلمة في مُحدِّدات البروتوكول، ولكنها شائعة في أدبيات الشبكات لوصف هذا المفهوم.

⁵⁵³ أصل الاسم Interface identifier.

⁵⁵⁴ انظر ص. 2 في [RFC5952] في ثَبت المراجع.

تدوين العناوين والأقنعة

يُمكن تمثيل عنوان الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت بثلاث طرائق⁵⁵⁵:

- التّددوين المَكمِل: وفيه يُكتب العنوان كاملاً بالشّكل #:#:#:#:#:#:#، ويُمثّل الرّمز # أربع مرّاتٍ ستةَ عَشريّةٍ. ومثاله العُنوان:

0123:4567:89ab:cdef:0123:4567:89ab:cdef

- التّددوين المُختصر: وفيه تُختصر أجزاءٌ من العُنوان بأنّباع الخطوات التّاليّة على التّرتيب (الجدول (10-2)):
 1. إذا كانت المرّبة الأكثر أهميّةً في رباعيّةٍ ما صفريةً لوحيدها أو صفريةً مع أكثر من مرّبةٍ تاليةٍ لها من غير انقطاع، تُهمّل الأصفار وتُسقط من الكتابة، أي تُكتب المرّاتب الستة عَشريّة غير الصّفرية فقط، فمثلاً الرّباعيّة: 0123 تُكتب: 123، والرّباعيّة: 0011 تُكتب: 11.
 2. إذا كانت المرّاتب الستة عشرية في رباعيّةٍ ما كُلّها صفرية القيمة، تُمثّل الرّباعيّة بصفرٍ واحدٍ، أي الرّباعيّة: 0000، تُكتب: 0.
 3. إذا اجتمعت أكثر من رباعيّةٍ صفريةٍ متتاليةٍ، أمكن اختزالها والتّعويض عنها بمحرّفي نُقطتين رأسيّتين متتاليتين، أي "::". فمثلاً العُنوان: 1234:0:0:0:0:0:1111 يُكتب اختصاراً: 1234::1111
 4. إذا وُجد أكثر من تتابع رباعيّاتٍ صفريةٍ في عنوانٍ واحدٍ، فلا يجوز اختزال إلا تتابعٍ واحدٍ منها فقط، ويُستحسن أن يَكُون الأطول. فمثلاً العُنوان: 1234:0:0:0:2222:0:0:1111 يُكتب اختصاراً: 1234::2222:0:0:1111 أو 1234:0:0:0:1234::1111 ولا يُكتب: 1234::2222::1111.وإذا كان طُول التّتابعين مُتساوياً، أمكن اختزال أحدهما من غير تميّيز.
- التّددوين المُختلَط: وهو تمثيلٌ يُستعمل في الشّبكات التي يَستضيف فيها المُضيفون عناوينَ من الإصدارين: الرّابع والسادس معاً، ويكُون العُنوان من الشّكل d.d.d.d:#:#:#:#:#، وفيه يُمثّل المِحرف # رباعيّةً مكوّنةً من 4 خانّاتٍ ستةَ عَشريّةٍ غير صفريةٍ، وتُطبّق قواعدُ الاختصار عليه إذا وُجدت خانّاتٌ صفريةٌ. أمّا المِحرف d، فَيُمثّل خانّةً من خانّاتِ عنوانِ الإصدار الرّابع من بروتوكول الإنترنت مَكْتُوبَةً بالتّددوين العَشريّ المُنقَط، ومِثَال هذا التّمثيل العُنوان: 1111:0:0:0:200.100.10.1 الذي يُمكن أن يُكتب بعد الاختصار بالشّكل التّالي: 1111::200.100.10.1.

تدوين البادئة

هُوَ طَريقةٌ لِتمثيلِ فضاءٍ جُزئيٍّ مِنَ الفِضاءِ الكليِّ لِعناوين البروتوكول، وفيها تُمثّل كُلُّ بادئةٍ بعُنوانٍ يُسمّى عُنوانِ البادئة. يَتشابه تمثيل البادئات في الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت مع تمثيلها في الإصدار الرّابع، وهو التّمثيل الذي أُقرّ بعد اعتماد آليّة التّوجيه غير الصّنفية بين النّطاقات التي دُرست في الفصل الثّامن من هذا الكتاب.

⁵⁵⁵ انظر ص. 4-5 في [RFC4291] في ثَبّ المراجع، وفيها لم تُذكر أسماءُ لطرق التّمثيل، وقد وُضعت الأسماء العربيّة لتسهيل الاستعمال.

الجدول (2-10): أمثلة عن اختصار عناوين الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت

التدوين المختصر	التدوين المكتمل
2340:0:10:100:1000:abcd:101:1010	2340:0000:0010:0100:1000:abcd:0101:1010
30A0:abcd:ef12:3456:ABC:B0B0:9999:9009	30A0:abcd:ef12:3456:0ABC:B0B0:9999:9009
3210::	3210:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000
::1	0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:1
34ba:b:b::20	34ba:000b:000b:0000:0000:0000:0020

تتكوّن كلُّ بادئةٍ من جُزئين، هُما عنوانٌ من الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت وطول البادئة، أي عدد البتات فيها، ويكوّن شكل البادئة:

طول البادئة/عنوان الإصدار السادس

يُمكن اختصار العنوان الموجود في البادئة وفقاً لقواعد اختصار عناوين الإصدار السادس نفسها. فمثلاً، ما سيأتي هو أمثلة عن بادئات مكتوبة كتابةً صحيحةً:

1111:0000:0000:2222:0000:0000:0000:0000/64

1111:0:0:2222:0:0:0:0/64

1111:0:0:2222::/64

بُنى العناوين وفقاً لنمط التوجيه

يُعرف الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت فضاءً يضمُّ 2^{128} عنواناً، ويدعم ثلاثة أنماطٍ من العنونة هي عنونة البثّ فريد الوجهة وعنونة البثّ المجموعيّ وعنونة البثّ نحو الأقرب كما تقدّم.

يُخصّص العنوان الصّفريُّ ليكوّن العنوان غير المحدّد ويخصّص العنوان الذي يليه ليكوّن عنوان الحلقة العكسيّة، ويخصّص فضاءً محجوزاً للبثّ المجموعيّ أيضاً، ويحجز فضاءً خاصاً لعناوين البثّ فريدة الوجهة في الوصلة المحليّة، وفي ما خلا ذلك، فإنّ ما تبقى مُخصّص لفضاء عناوين البثّ فريد الوجهة العالميّ (الجدول (3-10)).⁵⁵⁶

يلزم الانتباه إلى أنّ عناوين البثّ نحو الأقرب تُقتطع من أيّ فضاءٍ من عناوين البثّ فريد الوجهة، لذلك لا يُمكن التّمييز بين عناوين الفضاءين رقمياً.

⁵⁵⁶ انظر ص. 6 في [RFC4291] في بُت المراجع.

الجدول (3-10): أقسام فضاء عناوين الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت

تدوين البادئة	طول البادئة [بت]	البادئة	الاسم
::/128	128	00 ... 0	العنوان غير المحدد ⁵⁵⁷
::1/128	128	00 ... 1	عنوان الحلقة العكسية ⁵⁵⁸
ff00::/8	8	11111111	فضاء البث المجموعي
fe80::/10	10	1111111010	فضاء البث فريد الوجهة في الوصلة المحلية
		سائر الفضاء	فضاء البث فريد الوجهة العالمي

عناوين البث فريد الوجهة

هي العناوين التي تُميّز منقداً ما تمييزاً محدداً فريداً. إذا كان عنوان وجهة رزمة ما هو عنوان بث فريد الوجهة، فستوجه الرزمة نحو المنفذ الذي يستضيف ذلك العنوان. تمتاز عناوين هذا الفضاء بإمكانية تجميعها معاً باستعمال تدوين البادئة كما هو الحال عند تمثيل الأفضية الجزئية في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت.

توجد أنواع عديدة لعناوين الفضاء فريد الوجهة، هي:⁵⁵⁹

- العنوان غير المحدد: هو العنوان الصفري، أي 0:0:0:0:0:0:0:0، اختصاراً ::. يُستعمل للدلالة على عدم استضافة المنفذ لعنوان من الإصدار السادس من بروتوكول إنترنت مع وجود دعم للبروتوكول فيه، لذلك لا يُمنح هذا العنوان لأي منقذ، ولا يُستعمل بصفته عنوان وجهة ليرزم البيانات، ويلزم أن تتخلص الموجهات من أي رزمة موجهة نحو هذا العنوان.
- عنوان الحلقة العكسية: وهو العنوان 0:0:0:0:0:0:0:1، اختصاراً ::1، ويُمكن أن يُستخدم من طرف أي عقدة لإرسال رزم بيانات إلى نفسها، لذلك لا يُمنح هذا العنوان لأي منقذ مادي، ولا يُستعمل بصفته عنوان مصدر لليرزم التي ستغادر عقدة ما، ولا يلزم أن توجه الرزم التي تكون وجهتها عنوان الحلقة العكسية نحو خارج العقدة، ويلزم أيضاً أن تتخلص الموجهات من أي رزمة موجهة نحو عنوان الحلقة العكسية.
- عناوين البث فريد الوجهة العالمية:⁵⁶⁰ وتُستخدم لعنونة منقذ ما متصل مع الإنترنت عنونة فريدة على مستوى الإنترنت كلها. يتكون العنوان من ثلاثة حُقُول (الشكل (10-6)):
○ حقل بادئة التوجيه العالمية،⁵⁶¹ وهي تُمنح للموقع الذي يُشغل المنقذ وفقاً لهرمية التخصيص رباعية المستويات التي تُديرها هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة (الشكل (7-2)).

⁵⁵⁷ أصل الاسم Unspecified address.

⁵⁵⁸ أصل الاسم Loopback address. أما الحلقة العكسية، فهي اختباراً لكشف الأخطاء تُرسل فيه إشارة من مصدر إلى وجهة، ثم تردّها الوجهة إلى المصدر، انظر ص. 222 في [BKE01] في ثبوت المراجع. في هذا السياق، تكون العقدة نفسها هي المصدر والوجهة.

⁵⁵⁹ انظر ص. 11-9 في [RFC4291] في ثبوت المراجع.

⁵⁶⁰ أصل الاسم Global unicast address.

⁵⁶¹ أصل الاسم Global unicast prefix.

- حقل مُعرّف الفضاء الجزئي والذي يضبطه مُشغلو الموقع حيث يُوجد المنفذ، وذلك بهدف تجزئة الفضاء الممنوح إلى أفضية جزئية أصغر حجماً لأغراض إدارية أو تنظيمية.
- حقل مُعرّف المنفذ، ويضم قيمة فريدة تُميز العنوان من غيره من عناوين الفضاء الجزئي. وفي ما يأتي مثال عن هذا العنوان:

2001:1111:2222:3333::1

128-n-m بت	m بت	n بت
مُعرّف المنفذ	مُعرّف الفضاء الجزئي	بادئة التوجيه العالمية

الشكل (6-10): بنية عنوان البث فريد الوجهة العالمي

يكون مجموع طولي حقلَي بادئة التوجيه العالمية ومُعرّف الفضاء الجزئي 64 بتاً في عناوين البث فريد الوجهة العالمية التي لا تكون قيمة البتات ذات الأهمية القصوى فيها $2(000)$ ، ما يترك 64 بتاً لمُعرّف المنفذ، وبهذا تتوافق بنية هذه العناوين مع تهيئة العنوان الذاتية الآلية التي ستناقش لاحقاً في هذا الفصل. أمّا العناوين التي تكون قيمة البتات الأكثر أهمية فيها $2(000)$ ، فهي لا تُلزم بالبنية السابقة.

- عناوين البث فريد الوجهة في الوصلة المحلية: ⁵⁶² تُشغل الفضاء fe80::/10، وتُستخدم على مستوى الوصلة المحلية فقط، وهي مُصممة لتخدم أغراضاً مُحددة نحو التهيئة الذاتية الآلية للعنوان واكتشاف الجيران. لا تُوجه المُوجّهات أيّ رزمة بيانات يكون عنوان مصدرها أو وجهتها عنوان وصلة محلية. يتكوّن عنوان الوصلة المحلية من ثلاثة حُقول (الشكل (7-10)):

- حقل مُعرّف فضاء عناوين الوصلة المحلية، طوله 10 بتات، وقيمته $2(111111010)$ دائماً.
- حقل صفرية يبلغ طوله 54 بتاً.
- حقل مُعرّف المنفذ، ويُستخدم لتمييز المنفذ تمييزاً فريداً على مستوى الوصلة المحلية.

وفي ما يأتي مثال عن هذا العنوان:

fe80::1ff:fe01:101

10 بتات	54 بت	64 بت
111111010	000 ... 000	مُعرّف المنفذ

الشكل (7-10): بنية عنوان البث فريد الوجهة في الوصلة المحلية

- عناوين البتّ فريد الوجهة المحليّة⁵⁶³: حُجِر لها الفضاء fc00::/7، وتُستخدَم من أجل عنوانة منقذٍ ما عنوانةً فريدةً عالمياً، بهدف إنشاء اتصالاتٍ محليّةٍ فقط، ولذلك تُوجّه الرزمُ المعنونة بهذه العناوين إلى خارج حُدود الموقع الذي وُلدت فيه.⁵⁶⁴

يتألف العنوان الفريد المحليّ من خمسة حُقُولٍ (الشكل (8-10)):⁵⁶⁵

- مُعرّف فضاء العناوين الفريدة المحليّة، طوله 7 بتاتٍ، وقيمته (1111110)₂ دائماً.
- بت المحليّة، يُضبط دائماً إلى القيمة 1 للإشارة إلى أن العنوان قد وُلد محليّاً.⁵⁶⁶
- حقل البادئة العالميّة، طوله 40 بتاً، وهو مُعرّف يفترض أن يكون فريداً على مستوى الإنترنت، يُضبط محليّاً إلى قيمة عشوائيّة.
- حقل مُعرّف الفضاء الجزئيّ، طوله 16 بتاً، وهو حقلٌ مُخصّصٌ لمُديري الشبكة لإتاحة إمكانيّة إنشاء أفضيّة جزئيّة.
- مُعرّف المنقذ، طوله 64 بتاً، ويُميّز كلَّ منقذٍ على حدة تمييزاً فريداً.⁵⁶⁷

وفي ما يأتي مثالٌ عن هذا العنوان:

fdf8:f53b:82e4::53

7 بت	1 بت	40 بت	16 بت	64 بت
1111110		مُعرّف عالميّ	مُعرّف الفضاء الجزئيّ	مُعرّف المنقذ

بت المحليّة

الشكل (8-10): بنية عنوان البتّ فريد الوجهة المحليّ

- عناوين البتّ فريد الوجهة المحليّة في الموقع:⁵⁶⁸ وهو صنفٌ مُبطلٌ من عناوين البتّ فريد الوجهة، حُجِر له الفضاء الجزئيّ fec::/10.⁵⁶⁹ طُوّر في الأصل ليخدُم غرض العنوانة داخل موقعٍ ما من غير الحاجة لإبديتٍ عالميّة، كانت بنية هذه العناوين مكوّنة من ثلاثة حُقُولٍ (الشكل (9-10)):

- مُعرّف فضاء العناوين المحليّة في الموقع، طوله 10 بتاتٍ، وقيمته (1111111011)₂ دائماً.
- مُعرّف الفضاء الجزئيّ، طوله 54 بتاً، يُضبطه مُشرفو الموقع وفقاً للحاجة.

⁵⁶³ أصل الاسم Unique local IPv6 unicast address.

⁵⁶⁴ انظر ص. 2 في [RFC4193] في تَبت المراجع.

⁵⁶⁵ أصول أسماء الحُقُول: بت المحليّة Local bit والمُعرّف العالميّ Global identifier.

⁵⁶⁶ تُشير بعضٌ من المراجع لإبديتة هذا الفضاء بالشكل fd::/8 بدلاً من fc::/7، لأنّ قيمة بت المحليّة ثابتة دائماً على القيمة 1، لعدم وجود استخدامٍ آخر لها حتى تاريخ كتابة هذه السطور، وهذا خطأً شائعٌ لا يجوز، لأنّ المعيار الرسميّ يُشير صراحةً إلى إمكانيّة تطويرٍ لاحقةٍ لاستخداماتٍ أخرى لهذا العنوان تكون قيمة بت المحليّة فيها مساويةً للصفّر، انظر ص. 3 في [RFC4193] في تَبت المراجع.

⁵⁶⁷ انظر ص. 3-4 في [RFC4193] في تَبت المراجع.

⁵⁶⁸ أصل الاسم Site-local unicast address.

⁵⁶⁹ أبطلته الوثيقة RFC 3879، انظرها في [RFC3879] في تَبت المراجع.

○ مُعرّف المنفذ، طوله 64 بتاً، لتمييز المنفذ تمييزاً فريداً في الوصلة المحليّة.

10 بت	54 بت	64 بت
1111111011	مُعرّف الفصاء الجزئي	مُعرّف المنفذ

الشكل (9-10): بنية عنوان البتّ فريد الوجهة المحليّ في الموقع

وفي ما يأتي مثالٌ عن هذا العنوان:

fec0::1234:5678:9abc

● عناوين البتّ فريد الوجهة التي تتضمّن عناوين من الإصدار الرابع: يُوجد نوعان من عناوين البتّ فريد الوجهة في الإصدار السادس يَحْمِلان في بتاتهما الاثني والثلاثين الأقلّ أهميّةً عناوين من الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، وهما: 570

○ عناوين البتّ فريدة الوجهة المتوافقة مع الإصدار الرابع: 571 عُرِفَت في الأصل لِتُساهِم في دعم عمليّة الانتقال من استعمال الإصدار الرابع إلى الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت. يتكوّن هذا العنوان، بدءاً من الخانة الأكثر أهميّةً، من 80 صفراً متتالياً، يليها حقلٌ يضمّ 16 صفراً، وتُحدّد هذه القيمة كون العنوان من النوع المتوافق مع الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، يليها عنوان الإصدار الرابع الذي يلزم أن يكون فريداً عالمياً (الشكل (10-10)).

بما أنّ طريقة الانتقال من الإصدار الرابع إلى السادس التي تستعمل هذه العناوين قد أُبطلت، فهذه العناوين لم تُعدّ قيد الاستخدام. 572 تُستعمل الطّريقة الهجينة لتمثيل هذا العنوانين، وفي ما يأتي مثالٌ عنها:

::200.100.10.1

32 بت	16 بت	80 بت
عنوان الإصدار الرابع	000 ... 000	000 ... 000

الشكل (10-10): بنية عنوان البتّ فريد الوجهة المتوافق مع الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

○ عناوين البتّ فريد الوجهة المقترنة مع الإصدار الرابع: 573 وتُستعمل لِحَمَل عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الذي تستضيفه عقدة تدعم الإصدار السادس أيضاً. وُصفت طريقة استعمال هذا العنوان في وثيقة طلب التعليقات RFC 4038، وهو يتكوّن من ثلاثة حُقُول هي (الشكل (10-11))، بدءاً من الخانة الأكثر أهميّةً، 80 صفراً متتالياً في الحقل الأوّل، يليها 16 واحداً متتالياً في الحقل الثاني،

570 انظر ص. 10-11 في [RFC4291] في ثبت المراجع.

571 أصل الاسم IPv4-compatible unicast address.

572 انظر ص. 10 في [RFC4291] في ثبت المراجع.

573 أصل الاسم IPv4-mapped unicast address.

تُحدّد كون العنوان من النوع المُقترن مع الإصدار الرابع، ثمَّ عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت. وفي ما يأتي مثالاً عن هذا العنوان:

::ffff:192.0.2.47

32 بت	16 بت	80 بت
عنوان الإصدار الرابع	111 ... 111	000 ... 000

الشكل (10-11): بنية عنوان البث فريد الوجهة المقترن مع الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

عناوين البث نحو الأقرب⁵⁷⁴

هي عناوين بث فريد الوجهة تُمنح لأكثر من منقذ في الوقت عينه، وغالباً ما تكون في هذه المنافذ في عقدٍ مُتمايزة. إذا أرسلت رزمة بيانات ما إلى عنوان بث نحو الأقرب، فإنها تُرسل إلى أقرب⁵⁷⁵ عقدة تستضيف ذلك العنوان.

تُخصّص عناوين البث نحو الأقرب من فضاء البث فريد الوجهة، من غير أيّ قيودٍ إضافية، لذلك لا يمكن تمييز عناوين البث نحو الأقرب من عناوين البث فريد الوجهة رياضياً. بعبارةٍ أخرى، إذا مُنح عنوان بث فريد الوجهة إلى أكثر من منقذ في الوقت عينه فإنه يُصبح عنوان بث نحو الأقرب، ويلزم تهيئة العقد لتكون على درايةٍ بذلك.⁵⁷⁶

يتكوّن عنوان البث نحو الأقرب من قسمين، يُمثّل الأوّل بادئة الفضاء الجزئي، وهي مُعرّف رقمي طوله n بت، يُحدّد جزءاً من طوبولوجيا الشبكة حيث تُوجد العقد التي تستضيف عنوان البث نحو الأقرب، أمّا القسم الآخر من العنوان فهو ذو قيمة صفرية.

يلزم أن تُميّز المُوجّهات، الموجودة ضمن جزء الطوبولوجيا الذي تُوجد فيه العناوين، عنوان البث نحو الأقرب ببند فريد في جداول التوجيه، ولكن خارج ذلك الجزء، يُمكن تجميع العنوان مع مساراتٍ أخرى ولا داعٍ لتمييزه ببند فريد. يُوجد حالةٌ خاصّةٌ يلزم أن يكون فيها بند عنوان البث نحو الأقرب فريداً على مستوى الإنترنت كلّها ولا يجوز تجميع بنده مع أيّ بندٍ آخر، وتُحصل عند استعمال بادئة ذي قيمة غير ذات أهميّة⁵⁷⁷ أي لا تتوافق فيها العنونة مع التّوابع الجغرافي، ويُمكن أن تُمنح هذه البادئة للمنافذ في أيّ موقعٍ في الإنترنت.

عناوين البث المجموعيّ

عنوان البث المجموعيّ هو مُعرّف رقمي يميّز مجموعةً مُحدّدة من المنافذ التي تستضيفه والمُسمّاة أعضاء في المجموعة. كما مرّ في الفصل الخامس من هذا الكتاب، فإن إرسال أيّ رزمة بيانات إلى عنوان بثٍ مجموعي سيؤدّي إلى توجيهها إلى أعضاء المجموعة المُميّزة بذلك العنوان كلّهم.

يتكوّن عنوان البث المجموعيّ من أربعة حُقولٍ هي وفقاً لترتيب وُرودها من الخانة الأكثر أهميّة (الشكل (10-12)):

⁵⁷⁴ أصل الاسم IPv6 anycast address.

⁵⁷⁵ أشرنا في هامشٍ سابقٍ إلى معنى كلمة "أقرب" في هذا السياق.

⁵⁷⁶ انظر ص. 12-13 في [RFC4291] في ثبّت المراجع.

⁵⁷⁷ أصل الاسم Null prefix، وnull تعني العدم، وتعني أيضاً مُبطل أو مُلغى، انظر ص. 780 في [BKE02] في ثبّت المراجع.

- حقل بادئة البث المجموعاتي: طوله 8 بتات، ويحتوي على القيمة $2(11111111)$ أو $16(FF)$ ، وهي تُميّز عناوين فضاء البث المجموعاتي كلها.
- حقل الأعلام: طوله 4 بتات، تُثبّت قيمة البت الأكثر أهميّة فيه إلى القيمة 0. أمّا البتات الثلاثة التالية فهي وفقاً لترتيب وُرودها بدءاً من الخانة الأكثر أهميّة: 578
 - عَلم الالتقاء: ويُحدّد فيما إذا كان العنوان يتضمّن عنوان نقطة الالتقاء⁵⁷⁹ أم لا، وهو كذلك إذا كان ذا قيمةٍ واحدةٍ، والعكس بالعكس.
 - عَلم البادئة: ويُحدّد فيما إذا كان العنوان قد مُنح على أساس بادئة الشبكة فريدة الوجهة حيث سيُستضاف العنوان، فإذا كانت قيمة العَلم واحدةٍ فإنّ العنوان قد مُنح على أساس البادئة والعكس بالعكس. 580
 - عَلم الدبّومة: إذا كان صفريةً، فإنّ العنوان مَمْنُوحٌ مَنحاً دائماً من طرف هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة ومعروفٌ في الإنترنت كلها. أمّا إذا كانت قيمته واحدةٍ، فالعنوان ليس دائماً ويكون ذا معنّى في مجالٍ يُحدّده حقل المجال، وهو الحقل التالي في الترويسة.
- حقل المجال: 581 طوله 4 بتات، ويضمّ ترميزاً يُحدّد المجال الطوبولوجي الذي تمتدّ عليه المجموعة كما في الجدول (4-10). 582 تُكون قيم المجال غير المحجوزة وغير المُخصّصة لمجالٍ مُعيّن متاحةً للاستخدام من طرف مُشرفي الشبكة المحليّة لتعريف مجالاتٍ فرعيّةٍ ثلاثٍ مُلائمٍ أغراضهم الخاصّة. 583
- حقل مُعرّف المجموعة، 584 طوله 112 بتاً، ويضمّ مُعرّفاً رقمياً يُميّز المجموعة ضمن المجال المُحدّد بحقل المجال.

112 بت			4 بت	4 بت	8 بت
مُعرّف المجموعة			المجال	أعلام	11111111
			الدبّومة	البادئة	الالتقاء
			0		

الشكل (4-10): بنية عنوان البث المجموعاتي

⁵⁷⁸ أصول أسماء الأعلام: Rendez-vous point flag و Prefix flag و Transient flag على الترتيب.

⁵⁷⁹ راجع مفهوم نُقطة الالتقاء في الفصل الخامس من هذا الكتاب.

⁵⁸⁰ انظر ص. 3 في [RFC3306] في ثبّت المراجع.

⁵⁸¹ أصل الاسم Scope.

⁵⁸² انظر ص. 3 في [RFC7346] في ثبّت المراجع.

⁵⁸³ انظر ص. 14 في [RFC4291] في ثبّت المراجع.

⁵⁸⁴ أصل الاسم Group identifier.

الجدول (4-10): قيم حقل المجال ومعانيها في عنوان البث المجموعيّ للإصدار السادس

امتداد المجال	اسم المجال	قيمة حقل المجال بِنظام العدّ الثنائي
-	مجالّ محجور	0000
يشمل منقداً واحداً في عقدة واحدة ويُستعمل في تطبيقات الحلقة العكسيّة.	مجال المنقذ	0001
يتمدّد ليغطّي الشبكيّة المحليّة تغطيةً متوافقةً مع فضاء عناوين البثّ فريد الوجهة المُستخدَم محليّاً.	مجال الوصلة المحليّة	0010
-	مجالّ محجور	0011
يتمدّد على جزءٍ من الشبكيّة يُحدّده مُشرفوها وهو أصغرُ مجالٍ لأغراض البثّ المجموعيّ يُمكن تحديده إشرافياً.	مجال الإشراف المحليّ	0100
يتمدّد المجال ليغطّي موقِعاً محليّاً واحداً، قد يشمل شبكاتٍ عديدةً محليّةً، ولكنها تعود لمنظمةٍ واحدة.	مجال الموقِع المحليّ	0101
يتمدّد على موقِعٍ محليّةٍ عديدةٍ لمنظمةٍ واحدة.	مجال المنظمة المحليّ	0100
يشمل الإنترنت كامله.	المجال العالميّ	1110
-	مجالّ محجور	1111

تُوجد بُنى عناوين بثّ مجموعاتيّ أكثر تخصّصاً، منها مثلاً ما تُعرّفه الوثيقة RFC 3306، وفيه يُقسّم مُعرّف المجموعة إلى أربعة حُقولٍ تتضمّن مُعرّفاً للمجموعة بطول 32 بتاً فقط، وحقلًا لبادئة فضاء البثّ فريد الوجهة⁵⁸⁵ التي يُمنح العنوان على أساسها.⁵⁸⁶ تصف الوثيقة RFC 7371 أيضاً بُنى عناوين البثّ المجموعيّ في الإصدار السادس وحالاتها المُختلفة ومعاني كلٍّ منها.⁵⁸⁷

أفضيّة محجوزة

تُوجد أفضيّة عناوين محجوزة من أجل بروتوكولاتٍ مُحدّدة أو من أجل استعمالاتٍ خاصّة، ولا يجوز استعمال عناوين من هذه الأفضيّة من لعنونة المُضيفين في الإنترنت. تُشرف هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة على حفظ وإدارة هذه الأفضيّة.⁵⁸⁸

أفضيّة البثّ فريد الوجهة والبثّ نحو الأقرب

يُوجد عدّد من الأفضيّة الجزئيّة المحجوزة من فضاء البثّ فريد الوجهة التي لا يُمكن استعمالها لعنونة المُضيفين لأغراض البثّ فريد الوجهة أو لأغراض البثّ نحو الأقرب.⁵⁸⁹

⁵⁸⁵ أصل الاسم Network prefix.

⁵⁸⁶ انظر ص. 1 في [RFC3306] في ثبّت المراجع.

⁵⁸⁷ انظر الوثيقة [RFC7371] في ثبّت المراجع.

⁵⁸⁸ انظر ص. 14-20 في [RFC6890] في ثبّت المراجع.

⁵⁸⁹ انظر السجّل الخاص بالهيئة في [WEB31]، وقسم الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت من المُلحق ج في هذا الكتاب.

- عنوان البث المجموعيّ الخاصّ بالتماس العقدة من أجل كلّ عنوان بثّ فريد الوجهة أو بثّ نحو الأقرب.
- أيّ عناوين بثّ مجموعاتيّ تُمثل مجموعات انضمام المُضيف إليها.

أمّا الموجّه، فيلزم أن يُميّز بالإضافة لما سبق العناوين التّالية، بوصفها معرّفات ذاتيّة له: 595

- عناوين البثّ نحو الأقرب للأفضية الجزئية على المنافذ التي هيئت لتعمل بوصفها منافذ للموجّه.
- عناوين البثّ نحو الأقرب التي هيئ للموجّه بها.
- عناوين البثّ المجموعيّ المحجوزة للموجّهات. 596

تهيئة العنوان الدّاتيّة الآلية 597

هي آليّة تُحدّد الخطوات التي يتّخذها مُضيفو الإصدار السادس من أجل تهيئة منافذهم ذاتيّاً بعناوين وصلة محلّيّة أو بعناوين عالميّة باستعمال معرّفات المنفذ المؤلّدة محلّيّاً ومعلّومات البادئات التي يحصلون عليها من إعلانات الموجّهات في الشّبكة المحليّة. تشمل هذه الآليّة أيضاً إجراءات مُحدّدة لاكتشاف الاستخدام المتعدّد للعنوان لضمان تفرّده على مُستوى الوصلة المحليّة. لا تتطلّب التهيئة الدّاتيّة أيّ إعداد يدويّ في المُضيفين، بل إعداداً بسيطاً في الموجّهات، وقد لا يكون ضروريّاً. وهي لا تحتاج لوجود مُخدّمات. يُمكن للمُضيف بواسطة هذه الآليّة، حتّى في غياب الموجّهات، أن يُولّد ذاتيّاً عنواناً محلّيّاً في الوصلة من غير أيّ تدخّل خارجيّ. 598

تُحصل عمليّة التهيئة الدّاتيّة الآلية في المنافذ التي تدعّم الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت في أربع حالات هي: تشغيل المنفذ بعد إقلاع النّظام، وإعادة تشغيل المنفذ بعد إخفاق سابق له، واتّصال المنفذ مع شّبكة ما للمرّة الأولى، وإعادة تفعيل المنفذ بعد تعطيل سابق لأسباب إشرافيّة. 599

تُحصل عمليّة التوليد الدّاتيّة الآلية لعنوان محلّيّ في الوصلة باتّباع الخطوات التّالية: 600

- تكون بادئة العنوان هي 10::fe80، وتُحجز البتات العشرة الأكثر أهمّيّة.
- يُملأ سائر العنوان بالأصفر.
- يُحسب معرّف المنفذ، وليكن طوله N بتاً، وقد يحتوي عنواناً مادياً موجوداً في المنفذ نفسه، ويكُون طوله 64 بتاً في الغالب.
- يُستبدل معرّف المنفذ بقيم N صفرًا من العنوان، تُحدّد بدءاً من الخانة الأقلّ أهمّيّة فيه.

595 انظر الهامش السابق نفسه.

596 انظرها في سجلّ الهيئة في [WEB32] تُبث المراجع.

597 أصل الاسم IPv6 stateless address autoconfiguration.

598 انظر ص. 3 في [RFC4862] في تُبث المراجع.

599 انظر ص. 11-12 من المرجع في الهامش السابق.

600 انظر ص. 12 من المرجع في الهامش السابق.

يُمكن أيضاً أن تُستخدم الآلية السابقة نفسها في تشكيل عناوين فريدة عالمياً. و يَلزَم، لتحقيق ذلك، أن يحصل المُضيف على البادئة الفريدة عالمياً باستعمال بروتوكول اكتشاف الجيران، سواء عن طريق إرسال رسالة إتمام للمُوجهات الموجودة في الشبكة المحليّة أو انتظار رسائل الإعلان التي تُرسلها دورياً. بعد ذلك، يستعمل المُضيف البادئة التي حصل عليها في الخطوة الأولى من الخوارزمية السابقة بدلاً من بادئة فضاء العناوين المحليّة في الوصلة fe80::/10، ثمّ يتابع تنفيذ سائر الخطوات كما وردت، وستُدرس الآليتان في الفصل الثّاني عشر من هذا الكتاب.⁶⁰¹

في ما يخصّ معرفّات المنافذ، يُمكن توليدها باستعمال العناوين الماديّة كما في آليّة توليد المُعرّف الفريد المُوسّع المُطوّرة من طرف معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيّات،⁶⁰² أو تولّد توليداً مُستقلاً عن العناوين الماديّة باعتماد خوارزمية موصوفة في وثيقة طلب التعليقات RFC 7217، وتكون المُعرّفات الناتجة عنها آمنة ومُستقرّة وفريدة على المُستويين المحليّ والعالميّ.⁶⁰³

إدارة فضاء العناوين: التّحصيل والمّنع

تُشرف شركة الإنترنت للأرقام والأسماء المُخصّصة، عبر هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة على تحصيل فضاء عناوين الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت تحصيلاً مُشابهاً للإصدار الرابع، وتُنجز عمليّة التّحصيل وفقاً لهرميّة مُكوّنة من المُستويات الأربعة نفسها (الشّكل (7-2)). يقع العمل الذي يحصل على فضاء جزئيّ مُخصّص في قاعدة الهرم وهو المُستوى الرابع والأخير في الهرميّة، أمّا المُستويات الثّلاث الأوّل، فهي مُرتّبة بدءاً من رأس الهرم وصولاً لبقاعده كما يلي: هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة ثمّ سجلّات الإنترنت الإقليميّة وتليها سجلّات الإنترنت المحليّة.

وضّعت شركة الإنترنت للأرقام والأسماء المُخصّصة سياسة تُنظّم عمليّة التّحصيل، تُلزم هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة بموجبها بتقديم حصص من العناوين لسجلّات الإنترنت الإقليميّة تكفي حاجتها 18 شهراً على الأقلّ، على أن تكون البادئة الدّنيا التي تُخصّصها الهيئة هي 12/604. تُوفّر عمليّة تهيئة العنّوان الدّائميّة الآليّة وسيلةً لعنونة المُضيفين آلياً باستعمال العناوين المحليّة من غير الحاجة لتدخلٍ يدويّ من طرف مدير الشبكة، وفيها يُملأ قسم مُعرّف المنقذ اعتماداً على العناوين الماديّة للمنافذ. تُحدّد وثيقة طلب التعليقات RFC 4291 العلاقة بين طول البادئة ومُعرّف المنقذ في عنوان الإصدار السادس الذي يبلغ طوله 128 بتاً كما يلي: إذا كان طول البادئة هو n بتاً، فإنّ طول مُعرّف المنقذ للملائم لعمليّة التّهيئة الدّائميّة الآليّة سيكون $(128 - n)$ بتاً،⁶⁰⁵ وتدعم الشّركات المُصنّعة لبطاقات الشبكة هذا المعيار أو تُقدّم حلولاً متوافقة معه، نحو المُعرّف الفريد المُوسّع سالف الذّكر، لإيجاد التّوافق مع العنوان المادي في الإيثرنت، المُعرّف باسم

⁶⁰¹ انظر ص. 17-21 من المرجع في الهامش السّابق.

⁶⁰² أصل الاسم Extended Unique Identifier، اختصاراً EUI، وهي آليّة لتوليد مُعرّف منقذ فريد اعتماداً على عنوان النّفاذ للوسط خاصّته،

للمزيد حولها انظر [STD10] في تّبت المراجع.

⁶⁰³ انظر ص. 5 في [RFC7217] في تّبت المراجع.

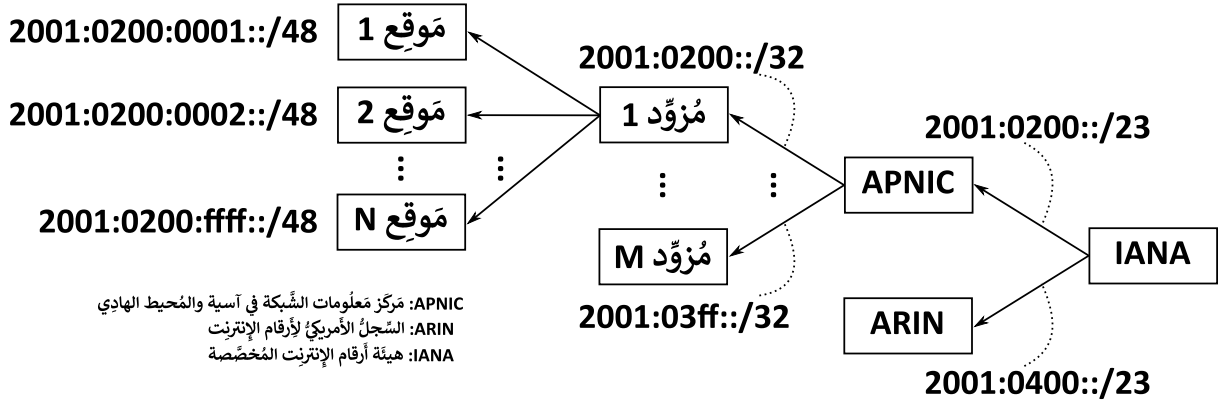
⁶⁰⁴ انظر نصّ السياسة في [WEB33] في تّبت المراجع.

⁶⁰⁵ انظر ما جاء في هذا الشّأن في ص. 7 في [RFC4291] في تّبت المراجع.

عنوان التَّحَكُّم بالتَّفَادِ للوسط، البالغ طوله 48 بتاً فقط.⁶⁰⁶ أي يُستحسن أن يكون طول البادئة النَّهائِيُّ هو 64 بتاً لإتاحة الفرصة لِعَمَلِيَّة تهيئة العُنْوَان الدَّائِيَّة الآليَّة.

تكون البادئة، خلال عمليَّة التَّحْصِيص وِعَمَلِيَّة التَّخْصِيص⁶⁰⁷ لعناوين الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، مَحْصُورَةً نظرياً بين 12/، وهي البادئة الدُّنْيَا الَّتِي تُحْصَصُهَا هِيئَةٌ أرقام الإنترنت المُخْصَّصَة، و64/، وهو الطُّول الأَقْصَى اللّازِم لِدَعْم عمليَّة تهيئة العُنْوَان الدَّائِيَّة الآليَّة. أمَّا عملياً، فقد حَصَّصت الهيئة بادئات، نحو 23/ و12/، لِسِجَلَات الإنترنت الإقليمِيَّة⁶⁰⁸ الَّتِي قَدَّمت بدورها حُلُولاً لِمَزُودَات الخِدْمَة أو لِلْعَمَلَاء على حدِّ سِوَاء، بِمَنْح أَفضِيَّة جُزئِيَّة مُتَنَوِّعة الأَحْجَام ذات بادئات لا تتجاوز 64/.

يُبيِّن الشَّكْل (10-13) مِثَالاً لِعَمَلِيَّة تحصيل ثَلَاثِيَّة المُستَوِيَات، تُحْصَص هِيئَةٌ أرقام الإنترنت المُخْصَّصَة، في المُستَوَى الأوَّل مِنْهَا، أَفضِيَّة جُزئِيَّة مُحدَّدة بالبادئة 23/ لِلسَّجَلِّ الأَمْرِيكِيِّ لِأرقام الإنترنت وَلِمَرْكُز مَعْلُومَات الشَّبَكَة في آسِيَة وَالمُحِيط الهَادِي. ثُمَّ يُحْصَص مَرْكُز مَعْلُومَات الشَّبَكَة بَعْدَهَا، في المُستَوَى الثَّانِي، فِصَاءَه الجُزئِيَّ إِلَى أَفضِيَّة جُزئِيَّة أَصْغَر مُحدَّدة بالبادئة 32/، وَتَمْنَح هَذِهِ الحِصص لِمَزُودَات خِدْمَة إنْتَرْنِت مَحَلِّيَّة في المُستَوَى الثَّالِث حيث يُحْصَص كُلُّ مِنْهَا فِصَاءَه الجُزئِيَّ، إِلَى أَفضِيَّة جُزئِيَّة أَصْغَر مُحدَّدة بالبادئة 48/، ثُمَّ يَمْنَح هَذِهِ الأُفضِيَّة لِمَوَاقِع على الإنترنت.



الشَّكْل (10-13): مِثَالٌ لِمَنْح بادئة من الإصدار السادس لِبْرُوتُوكُول الإنترنت عبر هَرْمِيَّة التَّحْصِيص

يَدَعْم مَرْكُز مَعْلُومَات الإنترنت الأُورُوبِيُّ مِثَالاً، وَهُوَ سِجَلُّ إنْتَرْنِت إِقْلِيمِيٍّ، حِصْصاً مِنْ أَفضِيَّة جُزئِيَّة ذات بادئات يَتَرَاوَح طُولُهَا بَيْن 32/ و64/، وَيُشِير إلى أَنَّ الأطوال الأَكْثَر طَلْباً هِيَ لِلْبَادئَتَيْنِ 48/ و56/، وَهِيَ تَضُمُّ على التَّوَالِي: 65.536 و256 فِصَاءً جُزئِيَّاً مُحدَّداً بالبادئة 64/.⁶⁰⁹

التَّجْزِئَة

يُقَسَّم مَجَال فِصَاء العناوين في الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت إلى مَجْمُوعَةٍ مِنَ الأُفضِيَّة الجُزئِيَّة وَفَقاً لِلْغَرَض من الاستِخْدَام. تُدير هِيئَةٌ أرقام الإنترنت المُخْصَّصَة عمليَّة تحصيل الأُفضِيَّة، وَمِنْهَا عمليَّة تحصيل فِصَاء عناوين البثِّ

⁶⁰⁶ انظر ص. 9-10 في [STD10] في ثَبِت المَرَاجِع.

⁶⁰⁷ انظر الفرق بين المُصْطَلَحِين في هَوَامِش الفِصَل السَّابِع مِنْ هَذَا الكِتَاب.

⁶⁰⁸ انظر سِجَلَّ هِيئَةِ أرقام الإنترنت المُخْصَّصَة لِأُفضِيَّة الإصدار السادس في [WEB34] في ثَبِت المَرَاجِع.

⁶⁰⁹ وَرَدَتْ هَذِهِ الأُرقام في صَفْحَة إِرْشَادِيَّة لِلسَّجَلِّ على الإنترنت، يُمَكِّن الإِطْلَاع عَلَيْهَا عبر [WEB35] في ثَبِت المَرَاجِع.

فريد الوجهة، وفيها تُمنح العناوين الفريدة عالمياً على أساس جغرافي وفقاً لبنية هرمية تسمح باستعمال تقنيات التوجيه غير الصنفي بين النطاقات لإختزال عناوين الأفضية ولتجميع المسارات، والغرض من ذلك استقرار جداول التوجيه على المستوى العالمي، كما تقدّم في الفصل الثامن من هذا الكتاب.

تُخصّص هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة أفضية عناوين لسجلات الإنترنت الإقليمية، عن طريق منحها بادئات بطول 23 بتاً. يُجرى كلُّ سجلّ إنترنت إقليمي، بعد ذلك، فضاء العناوين إلى أفضية عناوين جزئية تُمنح لمزودات الخدمة، وقد تحضّل عملية المنح على أكثر من مستوى، نحو منح فضاء عناوين لمزود خدمة وطني ليُجرّته إلى أفضية أصغر تُمنح لمزودات الخدمة المحليّة. يحضّل العملاء على أفضية عناوين جزئية من مزودات الخدمة المحليّة، وتكون البادئة عادةً بطول 48 بتاً. يقطع مديرو الشبكات، في الغالب الأعم، قسماً يبلغ طوله 16 بتاً من معرف المنفذ، ويُنشئون قسماً جديداً هو معرف الفضاء الجزئي الذي يُضاف إلى البادئة ليُصبح الطول النهائي 64 بتاً، ويتّرك ذلك 64 بتاً لمعرف المنفذ، وهو طوّل ملائمٌ لآلية توليد المعرف الفريد الموسّع كما تقدّم.

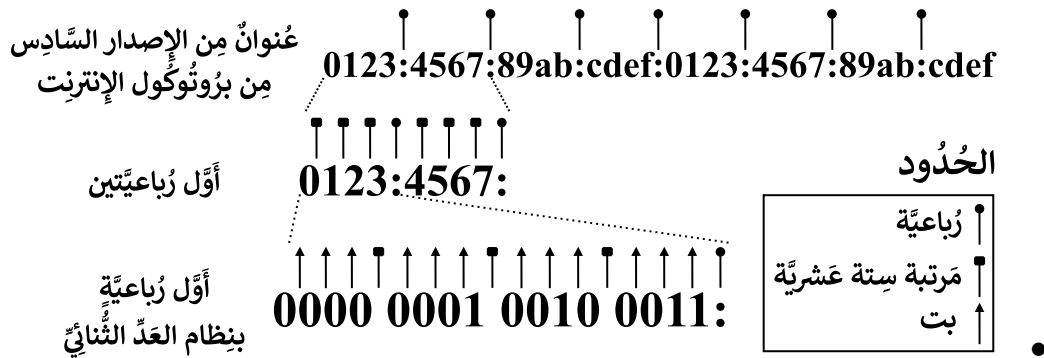
تتشابه التجزئة في الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت مع التجزئة في الإصدار الرابع آليّة، ولكنها تختلف عنها غايةً، فهي تُهدف إلى تنظيم استعمال فضاء العناوين بطريقة متوافقة مع آليّة التوجيه، ولا تُستخدم لتحديد حجم مُحدّد من أفضية العناوين كما هي الحالة في الإصدار الرابع، فعُدّ العناوين المُتاحة في فضاء جزئي واحد من الإصدار السادس طوّل بادئته 64 بتاً، يزيد بأضعاف مضاعفة عن مليارات المليارات، وهو بجدة ذاته، أكبر من فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت كاملاً.

يُقطع قسمٌ من الطرف الأكثر أهميّةً في معرف المنفذ عند تجزئة فضاء عناوين من الإصدار السادس، ويُنشأ قسمٌ جديدٌ هو معرف الفضاء الجزئي، ويُمكن التمييز بين الحالات التالّية وفقاً لموقع نهاية معرف الفضاء الجزئي ضمن العنوان (الشكل (10-14)): ⁶¹⁰

- معرف الفضاء الجزئي ينتهي عند حُدود إحدى المجموعات الرباعيّة، ويعني ذلك أن نهاية المعرف تكون عند أحد البتات ذوات الفهارس {15، 31، 47، 63، 79، 95، 111، 127}.
- معرف الفضاء الجزئي ينتهي عند حُدود إحدى المراتب الستة عشرية ضمن مجموعة رباعيّة، وتوجد ثلاث حالات مُمكنة في كلِّ مجموعة رباعيّة، مثلاً في المجموعة الأولى هي البتات ذوات الفهارس {3، 7، 11} وفي الثانية هي {19، 23، 27} وهكذا.
- معرف الفضاء الجزئي ينتهي عند حُدود أحد البتات ضمن خانة ستة عشرية داخل مجموعة رباعيّة، وتوجد ثلاث حالات مُمكنة في كلِّ خانة ستة عشرية، مثلاً في الخانة الستة عشرية الثانية، تكون الحُدود المُمكنة عند البتات ذوات الفهارس {4، 5، 6} وفي الخانة الستة عشرية الثالثة عند البتات ذوات الفهارس {8، 9، 10} وهكذا. ⁶¹¹

⁶¹⁰ انظر أمثلةً رياضيّةً عن كلِّ حالةٍ في قسم الإصدار السادس في الملحق د من هذا الكتاب.

⁶¹¹ يُستثنى البت 0 من المراتب الستة عشرية الأولى، ولذلك فحُدود نهاية معرف الفضاء الجزئي الخاص بها تضمُّ البتات ذوات الفهارس {1، 2} فقط، والسبب في ذلك أن استعماله يعني بادئةً فضاءً تمتدُّ على 0 بت، وهي حالةٌ مُستحيلَةٌ عملياً.



الشكل (10-14): حالات حدود معرف الفضاء الجزئي في الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت

تقطيع رزم البيانات وإعادة تجميعها

تقطيع رزمة البيانات وإعادة تجميعها هما وظيفتان من وظائف الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت. تحصل عملية التقطيع في المضيف المصدر عندما يكون طول الرزمة أكبر من وحدة النقل العظمى الخاصة بالمسار كاملاً، وعندها تُقطع حمولة رزمة البيانات الأصلية إلى عدد من القطع، ويضاف لكل منها ترويسة البروتوكول وترويسة القطعة، ثم تُرسل القطع إلى وجهة الرزمة الأصلية نفسها حيث يُصار إلى تجميعها.⁶¹²

يُولد المضيف المصدر قيمة مميزة ويستعملها معرفاً ضمن حقل المعرف في ترويسة القطعة من أجل كل عملية تقطيع.⁶¹³ وبهذا يمكن للمضيف الوجهة التعرف على القطع التي نتجت عن عملية تقطيع واحدة في الحالات التي يستقبل فيها قطعاً ناتجة عن أكثر من عملية تقطيع من المصدر نفسه.⁶¹⁴

الجدول (10-5): جدول بأطوال البادئات المحتملة في الإصدار السادس وأعداد الأفضية الجزئية الموافقة لكل منها وعدد بتات معرف المنفذ فيها

عَدَد بتات مُعرَف المنفَذ	عَدَد الأفضية الجزئية المكافئة			البادئة
	/64	/56	/48	
104	2 ⁴⁰	2 ³²	2 ²⁵	/24
103	2 ³⁹	2 ³¹	2 ²⁴	/25
102	2 ³⁸	2 ³⁰	2 ²³	/26
101	2 ³⁷	2 ²⁹	2 ²²	/27
100	2 ³⁶	2 ²⁸	2 ²¹	/28
99	2 ³⁵	2 ²⁷	2 ²⁰	/29
98	2 ³⁴	2 ²⁶	2 ¹⁹	/30
97	2 ³³	2 ²⁵	2 ¹⁸	/31
96	2 ³²	2 ²⁴	2 ¹⁷	/32
95	2 ³¹	2 ²³	2 ¹⁶	/33
94	2 ³⁰	2 ²²	2 ¹⁵	/34
93	2 ²⁹	2 ²¹	2 ¹⁴	/35
92	2 ²⁸	2 ²⁰	2 ¹³	/36

⁶¹² انظر ص. 184 في [BKE02] في ثبت المراجع.

⁶¹³ انظر بنية الترويسة في الملحق و في هذا الكتاب.

⁶¹⁴ انظر ص. 15-22 في [RFC8200] في ثبت المراجع.

91	2 ²⁷	2 ¹⁹	4096	/37
90	2 ²⁶	2 ¹⁸	2048	/38
89	2 ²⁵	2 ¹⁷	1024	/39
88	2 ²⁴	2 ¹⁶	512	/40
87	2 ²³	2 ¹⁵	256	/41
86	2 ²²	2 ¹⁴	128	/42
85	2 ²¹	2 ¹³	64	/43
84	2 ²⁰	4096	32	/44
83	2 ¹⁹	2048	16	/45
82	2 ¹⁸	1024	8	/46
81	2 ¹⁷	512	4	/47
80	2 ¹⁶	256	2	/48
79	2 ¹⁵	128	1	/49
78	2 ¹⁴	64		/50
77	2 ¹³	32		/51
76	4096	16		/52
75	2048	8		/53
74	1024	4		/54
73	512	2		/55
72	256	1		/56
71	128			/57
70	64			/58
69	32			/59
68	16			/60
67	8			/61
66	4			/62
65	2			/63
64	1			/64

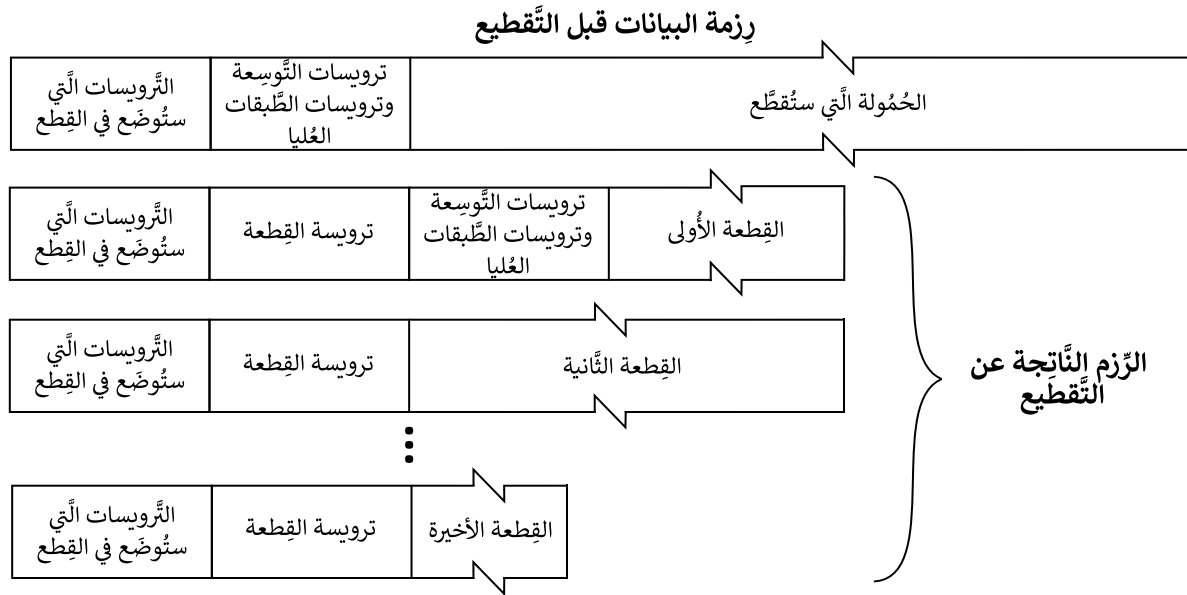
يُمكن نظرياً إرسال رزمة بياناتٍ تَبْلُغُ مِنَ الطُّولِ 65535 بايتاً مِنْ غير تقطيعها، ولكن، غالباً ما يَلِزَمُ التَّقْطِيعُ فِي حَالَةٍ مِثْلِ هَذِهِ، لِوُجُودِ طُولِ نَقْلِ أَعْظَمٍ أَقَلَّ مِنْهُ مُحَدَّدٍ سَلْفاً فِي طَبَقَةِ الوَصْلَةِ. أَمَّا طُولُ رِزْمَةِ البَياناتِ الأَدْنَى الَّذِي يَدْعَمُهُ البرُوتوكُولُ، فَهُوَ 1280 بايتاً. يَدْعَمُ البرُوتوكُولُ أَيْضاً الرِّزْمَ العِمْلَاقَةَ، وَهِيَ رِزْمٌ بَياناتٍ يَتَرَاوَحُ طُولُهَا بَيْنَ 2¹⁶ وَ2³² بايتاً وَتُستَخدَمُ فِي شَبَكاتِ بَياناتٍ تَدْعَمُ أَحْجاماً لِوَحَداتِ نَقْلِ عَظْمَى أَكْبَرَ مِنْ 65535 بايتاً.⁶¹⁵

التَّقْطِيعُ

يُعَامِلُ المُضَيِّفُ المَصْدَرِ رِزْمَةَ البَياناتِ الَّتِي يُرِيدُ تَقْطِيعُهَا عَلَيَّ أَنَّهَا مُكوَّنةٌ مِنْ ثَلَاثَةِ أَجْزَاءٍ (الشَّكْلُ (10-15)):

- التَّرْوِيساتِ الَّتِي سَتُوضَعُ فِي القِطْعِ: تَضُمُّ هَذِهِ التَّرْوِيساتِ تَرْوِيسَةَ الإِصدارِ السَّادِسِ وَتَرْوِيساتِ التَّوَسِيعَةِ التَّالِيَةِ لَهَا حَتَّى تَرْوِيسَةَ التَّوَجِيهِ، إِنْ وُجِدَتْ. وَإِلَّا، فَحَتَّى تَرْوِيسَةَ خِياراتِ المَسارِ، إِنْ وُجِدَتْ. وَأَمَّا إِذَا غَابَتْ هَاتَانِ التَّرْوِيسَتانِ وَمَا سَبَقَهُمَا، ضَمَّ هَذَا الجُزءُ تَرْوِيسَةَ الإِصدارِ السَّادِسِ فَقَط.

⁶¹⁵ أصل الاسم Jumbogram، للمزيد حولها انظر [RFC2675] في تَبْتِ المَراجِعِ.



• ترؤيسات التَّوسِعة وترؤيسات الطَّبقات العُلَيا: وتَضُمُّ ترؤيسات التَّوسِعة الأُخرى كُلِّها الَّتِي لم تُشَمَل في القِسم السَّابِق. أمَّا ترؤيسات الطَّبقات العُلَيا، فَتَشْمَلُ كُلَّ التَّرويسات الَّتِي لَيْسَتْ ترؤيسات تَوْسِعةٍ نَحْو ترؤيسات بروتوكول التَّحكُّم بالنَّقْل وبروتوكول جِزم بَياتات المُستخدِم وبروتوكول رسائل التَّحكُّم للإِصدار السَّادس من بروتوكول الإنترنت.⁶¹⁶

• الحُمولة: وهي القِسم الَّذِي سَيُقطَع، وَيَبْدَأُ بَعد ترؤيسات الطَّبقات العُلَيا، وَيَشْمَلُ البَياتات المَحْمولة في الرِّزمة.

تَجري عَمليَّة التَّقطيع وَفِقا لِلخَطوات التَّالِية (السُّكُل (10-16)):

1. تحديِد طُول رِزمة الإِصدار السَّادس الَّتِي سَتُنشِج عَن التَّقطيع، وَيُرَمَز لها L_{pkt} .
2. إنْشاء القِطعة الأُوَلَى، وهي تَتَضَمَّن ما يَأْتِي وَفِقا لِتَسلسُل الوُرود: التَّرويسات الَّتِي سَتُوضَع في القِطع وترؤيسة القِطعة (مع رَفع عَلم المَزيد مِن القِطع فِيها) وترؤيسات التَّوسِعة وترؤيسات الطَّبقات العُلَيا وقِطعةً مِن الحُمولة يُحدِّد طُولها كما سَيَأْتِي:

- أ. يُحسَب مَجموع أَطوال التَّرويسات الَّتِي سَتُوضَع في القِطع وترؤيسة القِطعة وترؤيسات التَّوسِعة وترؤيسات الطَّبقات العُلَيا، وَيُرَمَز له $S_{1PktHdr}$.
- ب. يُطرح المَجموع مِن طُول رِزمة الإِصدار السَّادس المُحدِّد بِالخَطوة الأُوَلَى، وَالتَّأْتِج هُو طُول حُمولة القِطعة الأُوَلَى L_{1pkt} ، أَي وَفِقا لِلعَلاقة (10-1):

$$L_{1PktLd} = L_{pkt} - S_{1PktHdr} \quad (1-10)$$

3. تُفْتَضَع حُمولة القِطعة الأُوَلَى مِن حُمولة الرِّزمة الأَصيلة.

⁶¹⁶ تُسْتثنَى في هذا السِّياق ترؤيسة تَأْمين الحُمولة بالتَّغْلِيف وتُعَامَل مُعامَلة ترؤيسة الطَّبقات العُلَيا مع أَنَّها ترؤيسة تَوْسِعةٍ للإِصدار السَّادس مِن البروتوكول، لِلمَزيد انظر ص. 17 في [RFC8200] في نَبْت المَراجِع.

4. تحديد عدد القطع اللازم تقطيعها N_{pkt} بتقسيم حمولة الرزمة الأصلية L_{OrgLd} ، بعد اقتطاع حمولة القطعة الأولى، على طول الرزمة المحدد بالخطوة الأولى، أي وفقاً للعلاقة (2-10):

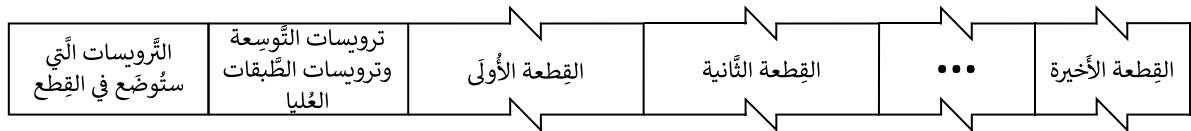
$$N_{pkt} = \frac{L_{OrgLd} - L_{1PktLd}}{L_{pkt}} \quad (2-10)$$

إذا كان الجواب كسرياً، فإنَّ القسم الصحيح هو عدد القطع الوسطى، أي التي تقع بين القطعة الأولى والقطعة الأخيرة. أما الجزء الكسري، فيُمثّل القطعة الأخيرة.

5. تقسيم حمولة الرزمة الأصلية، بعد اقتطاع حمولة القطعة الأولى، إلى عدد القطع المحدد بالخطوة الرابعة.
6. إنشاء القطع الوسطى، ما خلا القطعة الأخيرة، إذا كان عدد القطع كسرياً، وتضمّن كلُّ منها الترويسات التي ستوضع في القطع وترويسة القطعة وجزءاً من الحمولة الناتجة عن الخطوة الخامسة، وإذا لم يكن عدد القطع كسرياً، تكون القطعة الأخيرة مطابقةً في طولها للقطع الوسطى.
7. إذا كان عدد القطع كسرياً، إنشاء القطعة الأخيرة التي يكون طولها مختلفاً عن طول القطع الوسطى، وتضمّن الترويسات التي ستوضع في القطع وترويسة القطعة والقطعة الأخيرة من الحمولة الناتجة عن الخطوة الخامسة.
8. تغليف القطع الوسطى مع ضبط قيمة علم المزيد من القطع إلى القيمة 1 في ترويسة القطعة.
9. تغليف القطعة الأخيرة مع ضبط قيمة علم المزيد من القطع فيها إلى القيمة 0 في ترويسة القطعة.
10. إرسال رزم البيانات الناتجة كلها إلى المرحلة التالية من التغليف.

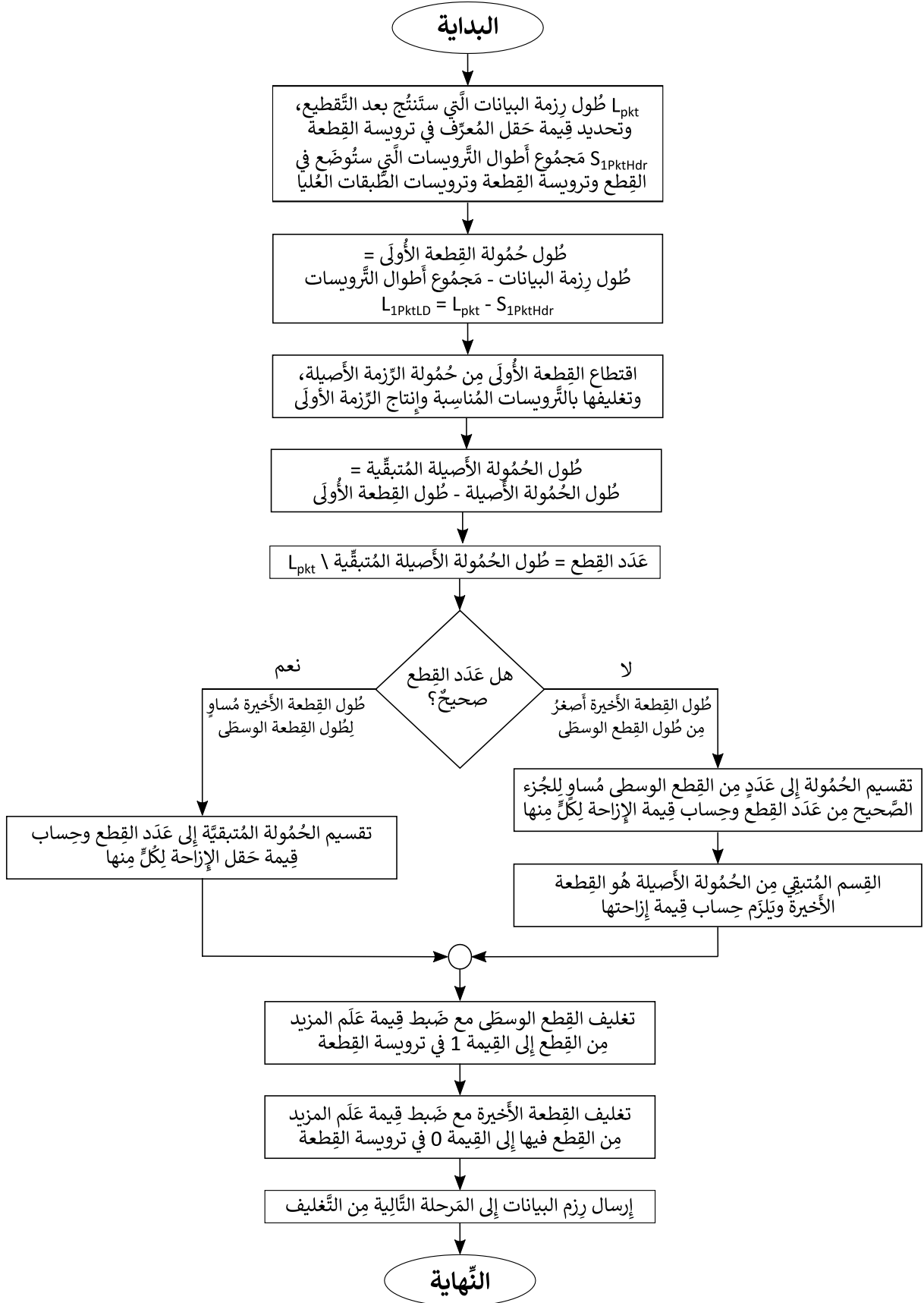
إعادة التجميع

تحصل عملية إعادة التجميع في المضيف الوجهة فقط، وفيها تُستخلص حمولة القطع المستقبلية ويُعاد ترتيبها وفقاً لموقعها الأصل المحدد بقيمة حقل إزاحة القطعة، ويُصار إلى تشكيل رزمة البيانات الأصلية كما كانت قبل التقطيع في المضيف المصدر (الشكل (10-16)).



الشكل (10-16): بنية رزمة بيانات الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت الناتجة عن إعادة تجميع القطع في المضيف الوجهة

يُشترط أن تتطابق قيم حُقول عنوان المصدر وعنوان الوجهة والمُعرف في القطع كلها التي سيعيد المضيف الوجهة تجميعها. يبدأ المضيف، لإعادة التجميع، بإنشاء ترويسة الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، ثمَّ يستخلص أيضاً نسخةً من الترويسات الموجودة في القطع كلها، ويضيفها بعد ترويسة البروتوكول، ويضيف بعدها أيضاً ترويسات التوسعة وترويسات الطبقات العليا، إن وُجدت، مع الانتباه لضبط قيمة حقل الترويسة التالية في كلِّ منها للحفاظ على تتابع الترويسات سليماً. يُحدّد المضيف الوجهة بعد ذلك الموقع النسبي لكلِّ قطعة من الحمولة في رزمة البيانات الأصلية مشكلاً حمولة الرزمة الأصلية، ثمَّ يحسب طول هذه الحمولة ويضيفه إلى ترويسة الإصدار السادس. تُغلّف الحمولة أخيراً



الشكل (10-17): مخطط تدفقي يبين خوارزمية عملية التقطيع في الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت

وترويسات الطبقات العليا وترويسات التوسعة وترويسة الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت داخل رزمة بيانات جديدة تتطابق في بنيتها مع رزمة البيانات الأصلية قبل التقطيع.

إدارة حركة البيانات

تعريف تدفقات حركة البيانات

يُستعمل حقل لافئة التدفق في ترويسة الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت لتعريف تدفق من رزم البيانات. وفقاً لمعيار البروتوكول، فإن رزم البيانات تنتمي لتدفق محدد إذا تطابقت قيم ثلاثة حُقول في ترويساتها بعضها مع بعض هي عنوان مصدرها، وعنوان وجهتها وقيمة حقل لافئة التدفق فيها. تُصنّف رزم البيانات في الشبكة وفقاً للتدفق الذي تنتمي إليه، ثم تُعامل على هذا الأساس، ويختص البروتوكول بتعريف آلية لتمييز تدفق الرزم، أما نوعية الخدمات المُقدمة للتدفقات، فهي خارج نطاق مُحدداته.⁶¹⁷

يبلغ طول حقل اللافة 20 بتاً، وتلزم أن يختار المُضيف المُصدر قيمته اختياراً عشوائياً وفريداً فلا يُولد مُعرّفين مُتطابقين القيمة من أجل تدفقين مُختلفين في الوقت نفسه. إذا كانت قيمة حقل اللافة صفرية، فهذا يعني أن رزمة البيانات لا تنتمي لأي تدفق. وبخلاف القيمة الصفرية، فإن أي قيمة عدديّة يُمكن تمثيلها باستعمال 20 بتاً تصلح للاستخدام مُعرّفاً للتدفق.⁶¹⁸

تصنيف حركة البيانات

هي الآلية للتمييز بين رزم بيانات الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت اعتماداً على قيم حقل صنف حركة البيانات ذي البتات الثمانية في ترويسة البروتوكول. تُضبط هذه القيم في العقدة المُصدر أو في العقد التي تُعالج الرزمة في أثناء عبورها للمسار. تُمنح الخدمات وأولوية المُعالجة للرزم، بعد ذلك، بناءً على قيمة هذا الحقل.

يُقسّم حقل صنف حركة البيانات إلى قسمين هما: ترميز الخدمات المُتميزة،⁶¹⁹ ويشغل البتات الستة الأكثر أهميّة من الحقل، وبتين غير مُستعملين يشغلان الموقعين الأقل أهميّة فيه. تُحدّد وثيقة طلب التعليقات RFC 2474 بنية مُحَدَّدة لقسم موقع الترميز هي: bbb000، وفيها تُمثّل b بتاً واحداً قد تكون قيمته 0 أو 1، ويسمح ذلك بإنشاء ثمانية أصنافٍ مُتميزة لرزم البيانات. يُحجز الترميز "000000" ليكون القيمة الافتراضية لهذا الحقل، أما القيم السبعة الأخرى، أي {001000، 010000، 011000 ... 111000}، فهي قابلةٌ للتهيئة وفقاً للحاجة لتعريف مستويات جودة الخدمة المطلوبة.⁶²⁰

⁶¹⁷ انظر ص. 4 في [RFC6437] في ثبت المراجع.

⁶¹⁸ انظر ص. 4 في المرجع السابق.

⁶¹⁹ أصل الاسم Differentiated services codepoint.

⁶²⁰ انظر ص. 11-13 في [RFC2474] في ثبت المراجع.

المشكلات

مُرتبطة بتقطيع البيانات

يُنْتَج عن استخدام التَّقْطِيع في الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت عَدَدٌ مِنَ الثَّغَرَاتِ الأَمْنِيَّةِ الَّتِي قَدْ تُسْتَعْمَد لِهَاجِمٍ هَاجِمَاتٍ نَحْوِ هُجُومِ القِطْعَةِ الصَّغِيرَةِ أَوْ هُجُومِ القِطْعِ المُتْرَاكِبَةِ⁶²¹، وَتَخْتَلِفُ إمْكَانِيَّةُ شَنْ الهَاجِمَاتِ وَفَقاً لِنِظَامِ التَّشْغِيلِ الَّذِي يُنْفَذُ البرُوتُوكُولِ فِيهِ.⁶²²

لَمْ تَمْتَعِ مُحَدَّدَاتُ الإصدار السادس الأَصِيلَةِ، كَمَا فِي الإصدار الرَّابِعِ مِنْ بروتوكول الإنترنت، إِنْشَاءَ قِطْعٍ مُتْرَاكِبَةٍ عِنْدَ التَّقْطِيعِ، أَيْ مِنَ المُمْكِنِ أَنْ يَتَكَرَّرَ المَقْطَعُ نَفْسُهُ مِنَ الحُمُولَةِ فِي أَكْثَرِ مِنْ قِطْعَةٍ، عَلَى أَنْ يُعْتَمَدَ المَقْطَعُ الوَارِدِ فِي آخِرِ قِطْعَةٍ مُسْتَقْبَلَةٍ عِنْدَ التَّجْمِيعِ، يُسَبِّبُ ذَلِكَ ثَغْرَةً أَمْنِيَّةً، وَيَسْمَحُ بِتَنْفِيزِ هُجُومِ القِطْعِ المُتْرَاكِبَةِ. أُكِّدُ بِوُضُوحٍ لِاحِقاً عَلَى مَنَعِ تَرَاكِبِ القِطْعِ عِنْدَ التَّقْطِيعِ فِي وَثِيقَةِ طَلَبِ التَّعْلِيقَاتِ RFC 5722.⁶²³

يَقْبَلُ مُضَيَّفُ الإصدار السادس مِنْ بروتوكول الإنترنت أَنْ تَحْتَوِي رِزْمَةُ البَيَانَاتِ عَلَى تَرْوِيسَةِ القِطْعَةِ مِنْ غَيْرِ أَنْ تَكُونَ القِطْعَةُ نَاتِجَةً عَنِ عَمَلِيَةِ تَقْطِيعِ، وَتُسَمَّى هَذِهِ القِطْعُ بِالقِطْعِ الذَّرِّيَّةِ،⁶²⁴ وَهِيَ تَنْتُجُ فِي حَالَاتٍ خَاصَّةٍ نَاقَشَهَا المِيعَارُ الأَصِيلُ لِلبرُوتُوكُولِ. مَعَ أَنَّ هَذِهِ القِطْعُ تَكُونُ وَحِيدَةً، أَيْ لَا يَلْزَمُ تَجْمِيعُهَا مَعَ أَيِّ قِطْعٍ أُخْرَى، فَإِنَّ المُضَيَّفَ الوِجْهَةَ يُعَامِلُهَا مُعَامَلَةً القِطْعِ الَّتِي تَنْتَظِرُ التَّجْمِيعِ، مَا يُسَبِّبُ ثَغْرَةً أَمْنِيَّةً، فَقَدْ يُرْسِلُ المُهَاجِمُ قِطْعَةً خَبِيثَةً مَعَ قِيمٍ مُنَاسِبَةٍ فِي تَرْوِيسَةِ القِطْعَةِ، فَتَكُونُ قِطْعَةً ذَرِّيَّةً تَقْبَلُ التَّجْمِيعَ مَعَ قِطْعٍ أُخْرَى خَبِيثَةٍ تُرْسَلُ لِاحِقاً، وَقَدْ نَاقَشَتِ الوَثِيقَةُ RFC 6946 كَيْفِيَّةَ مُعَالَجَةِ القِطْعِ الذَّرِّيَّةِ لِتَلَاوِي فِي هَذَا النُّوعِ مِنَ الهَاجِمَاتِ.⁶²⁵

مُرتبطة بإدارة حركة البيانات

يُمْكِنُ تَرْوِيزِ قِيَمَةِ حَقْلِ لِأَفْتَةِ التَّدْفُقِ فِي رِزْمَةِ البَيَانَاتِ لِتَحْصُلِ عَلَى خِدْمَةٍ مُحَدَّدَةٍ أَوْ مُعَامَلَةٍ تَفْضِيلِيَّةٍ عِنْدَ مُعَالَجَتِهَا، وَلَا طَرِيقَةَ لِحِمَايَةِ حَقْلِ التَّدْفُقِ مِنَ العَبْثِ، حَتَّى وَلَوْ أُسْتَعْمِلَتِ حِزْمَةُ أَمْنِ بروتوكول الإنترنت،⁶²⁶ وَيُشْكَلُ هَذَا ثَغْرَةً أَمْنِيَّةً. يُسْتَحْسَنُ، لِلتَّعَامُلِ مَعَ هَذَا التَّهْدِيدِ، أَنْ تَكُونَ قِيَمَةُ هَذَا الحَقْلِ عَشْوَائِيَّةً أَوْ شَبَهَ عَشْوَائِيَّةٍ، فَيَصْغُبُ عَلَى المُهَاجِمِ تَخْمِينِ قِيَمَةِ المَعْرِفِ المُسْتَعْمَلِ.⁶²⁷ يُمْكِنُ أَيْضاً أَنْ تُسْتَعْمَدَ قِيَمَةُ حَقْلِ لِأَفْتَةِ التَّدْفُقِ مِنْ أَجْلِ إِجْرَاءِ تَحْلِيلِ لِحْرَكَةِ البَيَانَاتِ فِي الشَّبَكَةِ، أَوْ لِتَنْتَبُعِ حَرَكَةٍ مُحَدَّدَةٍ لِلبَيَانَاتِ. وَحَتَّى لَوْ عَمَّيَّتِ الرِّسَالَةُ، فَإِنَّ تَعْمِيَةَ قِيَمَةٍ ثَابِتَةٍ غَيْرِ مُتَغَيِّرَةٍ قَدْ تُنْتِجُ قِيَمًا ثَابِتَةً فِي الرِّسَالَةِ المُعَمَّاةِ، وَهَذِهِ مُمَارَسَةٌ خَطِيرَةٌ تُسَاعِدُ عِنْدَ تَحْلِيلِهَا فِي كَشْفِ آلِيَةِ التَّعْمِيَةِ أَوْ فِي كَشْفِ تَرْتِيبِ البَيَانَاتِ فِي الرِّسَالَةِ.

⁶²¹ انظر قسم المشكلات المرتبطة بالتَّقْطِيعِ فِي الفِصْلِ الثَّلَاثِ مِنْ هَذَا الكِتَابِ.

⁶²² انظر المزيد حول تعريف المشكلة فِي [ART47] فِي ثَبَتِ المَرَاجِعِ.

⁶²³ انظر [RFC5722] فِي ثَبَتِ المَرَاجِعِ.

⁶²⁴ أصل الاسم Atomic fragment، انظر ص. 31 فِي [RFC8200] فِي ثَبَتِ المَرَاجِعِ.

⁶²⁵ انظر [RFC6946] فِي ثَبَتِ المَرَاجِعِ.

⁶²⁶ انظر ص. 10-9 فِي [RFC6437] فِي ثَبَتِ المَرَاجِعِ.

⁶²⁷ انظر [WEB36] فِي ثَبَتِ المَرَاجِعِ.

يُوجد أيضاً هُجُومٌ يُسمَّى هُجُومَ سرقة الخِدمة⁶²⁸، وفيه تُغَيَّرُ قِيمة حَقْلِ نوع الخِدمة في رِزْمَةِ بياناتٍ ما من أجل زيادة أولويتها أو رفع جُودة الخِدمة المُقدَّمة لها. ويُمكن أن يُشَنَّ هُجُومٌ حَجَبِ الخِدمة من خلال تَغْيِيرِ قِيمة حَقْلِ صَنْفِ الخِدمة، يَهْدَفُ لِجَعْلِ رِزْمَةِ بياناتٍ أو مَجْمُوعَةٍ رِزْمٍ تَحْصُلُ على جُودة خِدمةٍ أَقَلَّ من الجُودة المُتَوَقَّعة لها، وقد يُسَبَّبُ هذا تَأخيراً زَمَنِيّاً في وُصُولِها إلى هَدَفِها أو التَّخْلُصِ مِنْها في الوِجْهة.⁶²⁹

بروتوكولات رديفة

بروتوكول رسائل التَّحْكَمِ في الإنترنت للإصدار السادس⁶³⁰

هُوَ بروتوكولٌ مُسَاعِدٌ للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت وجزءٌ مُدمَجٌ مِنْهُ، طُوِّرَ بالتَّوَازِي معهُ، وصَدَرَ مِعيارُهُ الأَوَّلُ مع مِعيارِ الإصدار السادس في شهر دِيسَمبَرِ من العام 1995م، ووُصِفَ في وثيقة طلب التَّعليقاتِ RFC 1885.⁶³¹ تَأَثَّرَ هذا البروتوكول ببروتوكول رسائل التَّحْكَمِ المُخَصَّصِ للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، والذي سَبَقَ ونُوقِشَ في الفصل السادس من هذا الكتاب، وقد خُصَّصَ الفصل الحادي عَشَرَ من الكتاب لِمُناقِشةِ هذا البروتوكول بالتَّفصِيلِ.

تَسْتَعْمِلُ العُقْدَ الَّتِي تُشغَلُ الإصدار السادس بروتوكولَ رسائل التَّحْكَمِ لِلتَّبْلِيغِ عن الأَخْطَاءِ الحاصِلَةِ في أثناء مُعالِجَةِ رِزْمِ البياناتِ ولِإدَاءِ وظائِفٍ أُخْرَى مُرتَبِطَةٍ بِطبقة الشَّبْكةِ نحو تشخيص المُشْكِلاتِ باستعمالِ أداة تَتَبُعِ المَسارِ، وَيَلزِمُ أن يَكُونَ بروتوكولَ رسائل التَّحْكَمِ مَدْعُوماً دَعْمًا كامِلاً في العُقْدِ الَّتِي تُشغَلُ الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت كَُلِّها.⁶³²

يُعَرَّفُ البروتوكولُ ترويسةً خاصَّةً به طُولُها 4 بايتاتٍ، تُضَافُ بعد ترويسة الإصدار السادس. لهذه الترويسة مُعرِّفٌ مُميِّزٌ قِيَمَتُهُ 58، وَيَلزِمُ أن يُسْتَعْمَلَ في حَقْلِ الترويسة التَّالِيَةِ في داخِلِ الترويسة الَّتِي تَسْبِقُ ترويسة هذا البروتوكول. يُعَرَّفُ المِعيارُ الأَصِيلُ لِلبروتوكولِ أيضاً أربَعِ رسائلٍ إبلاغٍ عن الأَخْطَاءِ وثلاثِ رسائلٍ إبلاغٍ.⁶³³ أُضِيْفَتُ لِاحِقاً رسائلٌ عديدَةٌ طُوِّرَتُ لِإدَاءِ وظائِفٍ مُختلِفةٍ نحو رسالة إلتماس المُوَجَّهَ ورسالة اكتشاف الجيران اللَّتان عَرَفَهُما بروتوكول اكتشاف الجيران.⁶³⁴

صَدَرَ تَحْدِيثٌ ثانٍ لِلبروتوكولِ في وثيقة طلب التَّعليقاتِ RFC 2463 في شهر دِيسَمبَرِ من العام 1998م.⁶³⁵ صَدَرَتِ الوثيقة RFC 4443⁶³⁶ بَعْدَها بِثمانيةِ سَنواتٍ، وهي المِعيارُ الحَالِيُّ لِلبروتوكولِ وتَتَضَمَّنُ تَفصِيلاً إضافيًّا يَشْمَلُ التَّغْراتِ

⁶²⁸ أصل الاسم Theft of service.

⁶²⁹ انظر ص. 15 في [RFC2474] في ثَبَتِ المَراجِعِ.

⁶³⁰ أصل الاسم Internet Control Message Protocol for internet protocol version 6، اختصاراً ICMPv6.

⁶³¹ انظر [RFC1885] في ثَبَتِ المَراجِعِ، ولاجِظْ، من أجل تَبْيِينِ العِلاقةِ بين البروتوكولين، أنَّ أَوَّلَ مِعاييرِ الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت نُشِرَ تحتِ الاسمِ الرِّمزيِّ RFC 1883.

⁶³² انظر ص. 3 في [RFC4443] في ثَبَتِ المَراجِعِ.

⁶³³ انظر ص. 2 في [RFC1885] في ثَبَتِ المَراجِعِ.

⁶³⁴ انظر [WEB32] في ثَبَتِ المَراجِعِ.

⁶³⁵ انظر [RFC2463] في ثَبَتِ المَراجِعِ.

⁶³⁶ انظر [RFC4443] في ثَبَتِ المَراجِعِ.

الأمنية التي يمكن استعمالها لشن هجمات بواسطة البروتوكول وكيفية الوقاية منها ومجموعة من الاعتبارات اللازمة لهيئة أرقام الإنترنت المخصصة من أجل تعريف أنواع رسائل جديدة.

بروتوكول اكتشاف الجيران⁶³⁷

هو بروتوكول مُساعد للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، ينشط في الطبقتين الثانية والثالثة وفقاً لنموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة، ويُقدّم خدمات التعرف على المُوجهات والتعرف على الجيران وإعادة التوجيه. طُرِح أول معيار لبروتوكول اكتشاف الجيران في شهر أغسطس من العام 1996م، ووصف أولاً في وثيقة طلب التعليقات RFC 1970.⁶³⁸

يُعرف هذا البروتوكول خمساً من رسائل بروتوكول رسائل التحكم للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت هُنَّ: رسالة إعادة التوجيه وزوجين من الرسائل لاكتشاف عناوين المُوجهات في الشبكة المحلية، هُما رسالتا إتمام المُوجه والإعلان عنه، وزوجين لاكتشاف عناوين الجيران، هُما رسالة التماس الجار ورسالة الإعلان عنه، وأدى البروتوكول بالزوج الأخير وظيفة اقتران العناوين بين الطبقتين الثالثة والثانية مع الإصدار السادس، وهي الوظيفة نفسها التي يُؤدّيها بروتوكول اقتران العناوين مع الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت.⁶³⁹

طوّرت أشكالٌ متنوّعة مُستَنقاة من هذا البروتوكول، منها بروتوكول اكتشاف الجيران العكسي الذي يُؤدّي وظيفة اقتران العناوين العكسية بين الطبقتين الثانية والثالثة، وُصف البروتوكول في الوثيقة RFC 3122 بأنّه توسعة لبروتوكول اكتشاف الجيران.⁶⁴⁰ أمّا بروتوكول اكتشاف الجيران الآمن، فهو يُعرف آليات آمنة لتبادل بيانات الشبكة وفقاً لبروتوكول اكتشاف الجيران، وقد وُصف في وثيقة طلب التعليقات RFC 3971.⁶⁴¹

صدّرت تحديثٌ للمعيار الرّسمي في ديسمبر من العام 1998م، وحملت وثيقته الاسم الرّمزيّ RFC 2461. ثمّ صدّرت الوثيقة RFC 4861 في شهر سبتمبر من العام 2007م،⁶⁴² وهي المعيار الحاليّ لبروتوكول اكتشاف الجيران.

بروتوكول اكتشاف مُستمي البثّ المجموعيّ⁶⁴³

هو بروتوكول اتّصالٍ يَعمل على مُستوى الطبقة الثالثة وفقاً لنموذج الربط البيئي للأنظمة المفتوحة. يُدير البروتوكول المجموعات الخاصّة بالبثّ المجموعيّ لبرزم الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، وبالتحديد عمليّة اكتشاف أعضاء المجموعات في الشبكات المحليّة، وتحديد ما هي المجموعات التي يهتمّ أعضاؤها باستقبال الرّزم.⁶⁴⁴

⁶³⁷ أصل الاسم Neighbor Discovery Protocol، اختصاراً NDP.

⁶³⁸ انظر [RFC1970] في ثبّت المراجع.

⁶³⁹ انظر ص. 11 في [RFC4861] في ثبّت المراجع.

⁶⁴⁰ أصل الاسم Inverse neighbor discovery protocol، انظره في [RFC3122] في ثبّت المراجع.

⁶⁴¹ أصل الاسم Secure Neighbor Discovery protocol، اختصاراً SEND، انظره في [RFC3971] في ثبّت المراجع.

⁶⁴² انظر الوثيقتين في [RFC2461] و [RFC4861] على الترتيب في ثبّت المراجع، وراجع الشكل (1-10) لتبني علاقة إصدارات هذا البروتوكول مع معايير الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت ومُلقحاته.

⁶⁴³ أصل الاسم Multicast Listener Discovery، اختصاراً MLD.

⁶⁴⁴ انظر ص. 451-453 في [BKE02] في ثبّت المراجع.

يُقدّم البروتوكول مَفهُوماً خاصاً بالإصدار السادس هو مُستَمِع البثّ المَجْمُوعاتيّ،⁶⁴⁵ وهو وفقاً لِلتَّعْرِيفِ، عَقْدَةٌ تَرَعَّبَ فِي اسْتِقْبَالِ رِزْمِ البثّ المَجْمُوعاتيّ. إِذَا اسْتَضَافَ المُسْتَمِعُ عُنْوَانَ مَجْمُوعَةٍ مَا، أَصْبَحَ عُضُواً فِيهَا، وَبَاتَ يَهْتَمُّ بِاسْتِقْبَالِ رِزْمِهَا. يُمَكِّنُ أَنْ يَنْضَمَّ المُسْتَمِعُ إِلَى أَكْثَرِ مِنْ مَجْمُوعَةٍ فِي الْوَقْتِ نَفْسِهِ. وَمِنْ هُنَا حَاصِلُ الْبَرُوتُوكُولِ عَلَى اسْمِهِ، فَالْبَرُوتُوكُولُ يُسَاعِدُ مُعَدَّاتِ الطَّبَقَةِ الثَّالِثَةِ الْمُتَّصِلَةَ مَعَ الشَّبَكَةِ الْمَحَلِّيَّةِ عَلَى اِكْتِشَافِ وَجُودِ المُسْتَمِعِينَ فِيهَا. يُوصَفُ الْبَرُوتُوكُولُ أَيْضاً بِأَنَّهُ غَيْرُ مُتَنَاطِرٍ،⁶⁴⁶ لِأَنَّهُ يَسْلُكُ سُلُوكاً مُخْتَلِفاً عِنْدَ تَعَامُلِهِ مَعَ المُسْتَمِعِينَ عَنِ ذَلِكَ الَّذِي يَتَّبِعُهُ مَعَ تَجْهِيزَاتِ الطَّبَقَةِ الثَّالِثَةِ نَحْوِ الْمُوجَّهَاتِ.

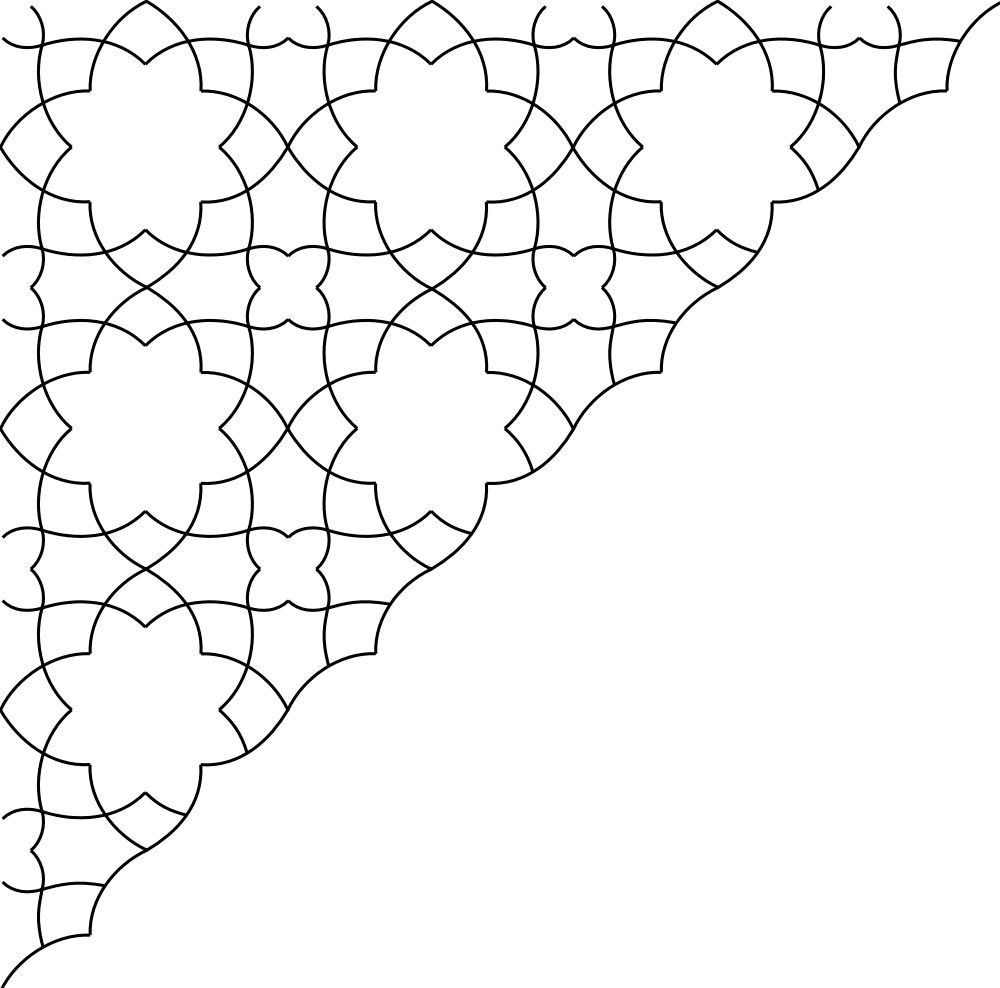
يُوجَدُ إِصْدَارَانِ لِبَرُوتُوكُولِ اِكْتِشَافِ مُسْتَمِعِي الْإِنْتَرِنِتِ، وَصِفَ الْأَوَّلُ فِي وَثِيقَةِ طَلَبِ التَّعْلِيقَاتِ RFC 2710،⁶⁴⁷ وَطُوِّرَ فِي الْعَامِ 1999م، وَهُوَ مُكَافِئٌ وَظِيفَةٌ لِلِإِصْدَارِ الثَّانِي مِنْ بَرُوتُوكُولِ إِدَارَةِ مَجْمُوعَةِ الْإِنْتَرِنِتِ. أَمَّا الْآخَرُ، فَطُوِّرَ فِي الْعَامِ 2004م، وَهُوَ مَوْصُوفٌ فِي الْوَثِيقَةِ RFC 3810،⁶⁴⁸ وَيُكَافِئُ الإِصْدَارَ الثَّلَاثِ مِنْ بَرُوتُوكُولِ إِدَارَةِ مَجْمُوعَةِ الْإِنْتَرِنِتِ، وَيَدْعَمُ مِيزَاتِ إِضَافِيَّةً نَحْوِ البثّ المَجْمُوعاتيّ مُحدِّدَ المَصْدَرِ.

⁶⁴⁵ أصل الاسم Multicast listener.


⁶⁴⁶ أصل الاسم Asymmetric protocol.

⁶⁴⁷ انظر [RFC2710] في ثبت المراجع.

⁶⁴⁸ انظر [RFC3810] في ثبت المراجع.



الفصل الحادي عشر: بروتوكول رسائل التحكم للإصدار
السادس من بروتوكول الإنترنت



مقدمة

بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت أو بروتوكول رسائل التحكم للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت⁶⁴⁹ هو بروتوكول مساعد للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، يُستعمل للإبلاغ عن وقوع أخطاء في الشبكة ولتعريف رسائل تُمكن عقد الإصدار السادس من تبادل معلومات تخص الشبكة في ما بينها. طُوّر البروتوكول في العام 1995م، وطُرح معياره الأول، الذي حمل الاسم الرمزي RFC 1885، بالتوازي مع طرح المعيار الأول للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت.

تأثر البروتوكول ببروتوكول رسائل التحكم المُخصَّص للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الذي دُرِس في الفصل السادس من هذا الكتاب،⁶⁵⁰ فاعتمد نموذج عملٍ مشابهاً له، مُعرِّفاً مجموعتين من الرسائل هما رسائل الإبلاغ عن الأخطاء ورسائل الإعلام. تُرسل الأولى من عقدة تُعالج رزمة بيانات ما إلى مصدر الرزمة للإبلاغ عن وقوع خطأ في أثناء معالجة تلك الرزمة. أمّا المجموعة الأخرى، فتكون غالباً على شكل زوجين من الرسائل تتبادلان عقدتان تدعمان الإصدار السادس. يكون الزوج الأول رسالة طلب، والآخر رسالة ردّ على الطلب.

صُمم البروتوكول وفقاً لبنية تسمح له بالتوسّع ليُغطّي وظائف جديدة من خلال تعريف أنواع جديدة من الرسائل. على سبيل المثال، عرّف بروتوكول اكتشاف الجيران خمس رسائل إضافية ليُغطّي مسائلاً اكتشاف المُوجّهات واكتشاف الجيران وإعادة التوجيه، وعرّف بروتوكول مستمعي البثّ المجموعاتي ثلاث رسائل إضافية لمُساعدته في اكتشاف مستمعي البثّ المجموعاتي في شبكةٍ محلّية وفي تحديد ما هي المجموعات التي يهتمون باستقبال رزمها.

يُمكن أن تُستعمل رسائل البروتوكول لشنّ مجموعةٍ متنوّعةٍ من الهجمات في شبكات البيانات تشمل: هجمات انتحال الهوية وهجمات إعادة التوجيه وهجمات التلاعب بالمحتوى وهجمات حجب الخدمة والهجمات على الطبقات العليا من نموذج الاتصال المُستعمل. يُمكن التعامل مع هذه الهجمات باستعمال المُصادقة وبتعمية رسائل البروتوكول ما أمكن ذلك، وأيضاً باستخدام ترويسة تأمين الحُمولة بالتغليف التي يُعرّفها الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت.

يبدأ هذا الفصل بعرض نبذة تاريخية عن بروتوكول رسائل التحكم للإصدار السادس، يلي ذلك تناولٌ لمبدأ عمله ثم شرحٌ لأنواع رسائله: الإبلاغ عن الخطأ والإعلام، وتفصيلٌ لبنية أهمّها، ويختم الفصل باستعراض المُشكلات التي واجهت تنفيذ البروتوكول في شبكات البيانات.

نبذة تاريخية

يَدعم بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، وهو غير مُتوافقٍ مع الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت. لذلك، ومع طرح الإصدار السادس، طُوّرت نسخة جديدة من بروتوكول رسائل التحكم مُخصَّصة

⁶⁴⁹ أصل الاسم Internet Control Message Protocol for Internet Protocol Version 6، اختصاراً ICMPv6.

⁶⁵⁰ يُستحسن مراجعة الفصل السادس من هذا الكتاب قبل المضي قدماً في هذا الفصل للوقوف على تفاصيل مبدأ العمل والتطبيقات التي ذُكرت فيه ولم تُذكر في هذا الفصل تجنّباً للتكرار.

لِدَعْمِهِ، وَسُمِّي النَّاتِجُ بروتوكول رسائل التَّحْكُم للإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت.⁶⁵¹ وُصِفَ الإصدار الأوَّل من هذا البروتوكول في وثيقة طلب التعليقات RFC 1885، الَّتِي صَدَرَتْ في شهر ديسمبر من العام 1995م.⁶⁵² كان التَّصوُّر الأوَّلُ لبروتوكول رسائل التَّحْكُم الجديد يَشْمَلُ توسيعه أيضاً لِيُنَجِرَ وظائف بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت. فلا تُعَوِّد الحاجة مَوْجُودَةً لِتَشْغِيلِ البروتوكولين معاً إلى جانب الإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت،⁶⁵³ ولكن هذه الفكرة لم تُدَعَمْ في الإصدارات اللاحقة، فقد طُوِّرَ بروتوكول خاصٌّ لِأداء هذه المهمة هو بروتوكول اكتشاف مُسْتَمِعي البثِّ المجموعاتي⁶⁵⁴.

نُشِرَ الإصدار الثاني من بروتوكول رسائل التَّحْكُم في عام 1998م (الشَّكْل (1-10))، تحت الاسم الرَّمْزِيَّ RFC 2463.⁶⁵⁵ أمَّا الإصدار الثالث فُنُشِرَ في العام 2006م، وَحَمَلَتْ وثيقة طلب التعليقات خاصَّته الاسم الرَّمْزِيَّ RFC 4443.⁶⁵⁶ عَرَّفَ البروتوكول في إصداره الأوَّل تسع رسائل، صُنِّفَتْ في مجموعتين: رسائل الإبلاغ عن الأخطاء وَعَدَدَهَا أربَع، ورسائل الإعلام وَعَدَدَهَا خمس. ثُمَّ انخَفَضَ عَدَدُ الرِّسَالِ لِيُصْبِحَ سِتَّةً فَقَطْ في الإصدار الثاني للبروتوكول: أربَعٌ لِلإبلاغ عن الأخطاء ورسالتان إعلام، بعد أن أبْطِلت ثلاث رسائل لإدارة المجموعة، فلم تُدَعَمْ هذه الفكرة في الإصدارات اللاحقة كما تَقَدَّمَ.⁶⁵⁷ أمَّا الإصدار الثالث، فَعَرَّفَ إحدى عشر رسالةً، هي سَبْعُ رسائلٍ لِلأخطاء وخمس رسائلٍ لِلإعلام.

يُشَابِهُ بروتوكول رسائل التَّحْكُم للإصدار السَّادِس قرينه المَوْجَّه لِدَعْمِ الإصدار الرَّابِع، ففي حين يُشكِّلُ الإصدار الأصيل جزءاً مُدمجاً من الإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت، فإنَّ الإصدار الجديد هو جزءٌ مُدمجٌ من الإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت، وَيَلزَمُ أن يُدَعَّمَ في كُلِّ عَقْدَةٍ تُشغَّلُ الإصدار السَّادِس، وهو يُقَدَّم أيضاً وَجانب الإبلاغ عن الأخطاء وَيَدَعَّمَ أدواتٍ لِلْمُسَاعَدَةِ في تشخيص مُشكلات الشبكة نحو أداة التَّحْقُق من الاتِّصَالِ.

⁶⁵¹ لا يعي رقم 6 في الاسم الرَّمْزِيَّ ICMPV6 أنَّ هذا هو الإصدار السَّادِس من البروتوكول، لكنَّه يُشير لكونه مُخصَّصاً للإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت.

⁶⁵² يَعْكِسُ الاسم الرَّمْزِيَّ لوثيقة الإصدار الأوَّل من البروتوكول العلاقة الَّتِي تَرْبُطُهُ مع الإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت، فقد كانت الوثيقة النَّاطِمة لِمِعياره إحدى ثلاث وثائقٍ صَدَرَتْ معاً، والاثنتين الأخرين هُما: الوثيقة RFC 1883، وَخُصِّصَتْ لِمُحدِّدات الإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت، والوثيقة RFC 1884، وَخُصِّصَتْ لِشرح بنية عنوان الإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت، وَيُمْكِنُ الاطِّلاع عليهما في [RFC1883] و [RFC1884] و [RFC1885] في ثَبْتِ المَراجِعِ.

⁶⁵³ انظر ص. 2 في [RFC1885] في ثَبْتِ المَراجِعِ.
⁶⁵⁴ أصل اسمه Multicast Listener Discovery، اختصاراً MLD، طُوِّرَ في عام 1999م، وَوُصِفَ في وثيقة طلب التعليقات RFC 2710. انظرها في [RFC2710] في ثَبْتِ المَراجِعِ.

⁶⁵⁵ يَعْكِسُ الاسم الرَّمْزِيَّ لوثيقة الإصدار الثاني من البروتوكول العلاقة الَّتِي تَرْبُطُهُ مع الإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت، فقد كانت الوثيقة النَّاطِمة لِمِعياره جزءاً من أربع وثائقٍ صَدَرَتْ معاً، والثلاثة الأخرى هُنَّ: الوثيقة RFC 2460، وَخُصِّصَتْ لِمُحدِّدات الإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت، والوثيقة RFC 2461، وَخُصِّصَتْ لِبروتوكول اكتشاف الجيران الَّذِي سَيُدرَسُ في الفصل الثاني عشر من هذا الكتاب، والوثيقة RFC 2462، وَخُصِّصَتْ لِلتَّهْيِئَةِ الدَّائِيَّةِ الكَلْبِيَّةِ لِعناوين الإصدار السَّادِس من البروتوكول الَّتِي نُوقِشت في الفصل العاشر، وَيُمْكِنُ الاطِّلاع على الوثائق في [RFC2460] و [RFC22461] و [RFC2462] على التَّرتِيب في ثَبْتِ المَراجِعِ.

⁶⁵⁶ انظرها في [RFC4443] في ثَبْتِ المَراجِعِ.
⁶⁵⁷ انظر ص. 3 في [RFC2463] في ثَبْتِ المَراجِعِ.

مبدأ العمل

يُقدّم بروتوكول رسائل التحكّم للإصدار السادس، بصورةً مُشابهةً لبروتوكول رسائل التحكّم للإصدار الرابع، الوظائف التالية: الإبلاغ عن الأخطاء وآلية الإعلام عن المعلومات في الشبكة، بالإضافة لمساهمة في إنجاز في وظائف تُعرّفها بروتوكولات أخرى، منها مثلاً بروتوكول اكتشاف الجيران الذي يُعرّف آلية إعادة التوجيه على مستوى المخزج الافتراضي في الشبكة المحليّة لمصدر رزم البيانات.

تُصنّف رسائل البروتوكول وفقاً لآلية عملها إلى نوعين (الشكل (6-2)): ⁶⁵⁸

- رسائل الإبلاغ عن الأخطاء: ويُمكن أن تُرسل من الوجهة النهائيّة لِرزمة بياناتٍ أو من أيّ عُقدة تُعالجها في أثناء عبورها لمسارها للإبلاغ عن وقوع خطأٍ عند مُعالجتها، ولا يُردُّ على رسائل الإبلاغ عن الأخطاء أبداً.
- رسائل الإعلام: وتضمُّ أزواجاً من الرسائل، رسالة طلبٍ ورسالة ردٍ عليه لكلّ وظيفة يُراد إنجازها.

صُمّم بروتوكول رسائل التحكّم للإصدار السادس بطريقةٍ تسمّح بتوسّعه ليؤدّي وظائف جديدةً عند الحاجة. بناءً على ذلك، نُشرت، بعد طرح معيار البروتوكول، عدّة من التوسّعات التي تُعرّف رسائل جديدةً للبروتوكول. على سبيل المثال، يُعرّف بروتوكول اكتشاف الجيران خمس رسائل جديدة، تُدرّس بالتفصيل في ما سيأتي من هذا الفصل، ويستعملها لأداء وظائف مُحدّدة نحو التماس المُوجّهات في الشبكة المحليّة أو إعادة التوجيه، ويُعرّف بروتوكول مُستمي البثّ المجموعيّ ثلاث رسائل جديدةٍ لتحديد وجود مُستمعين للبثّ المجموعيّ للإصدار السادس ولتحديد المجموعات التي يهتمّون بالاستماع إليها. ⁶⁵⁹

بنية الترويسة

تُشابه بنية ترويسة البروتوكول المُخصّص لدعم الإصدار السادس بنية ترويسة البروتوكول المُخصّص لدعم الإصدار الرابع، وهي تتكوّن من نوعين من الحُقُول:

- الحُقُول الدائمة، عددها ثلاثة حُقُول، وتُوجد في ترويسات رسائل البروتوكول كلّها، وهي: ⁶⁶⁰
 - حقل النوع، طوله 8 بتات، ويُحدّد نوع الرسالة وبالتالي بنيتها. حُصّص مجال القيم الصحيحة من 0 حتى 127 لرسائل الإبلاغ عن الأخطاء، ومجال القيم الصحيحة من 128 حتى 255 لرسائل الإعلام. وتُشرف هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة على ضبط القيم المعيارية لهذا الحقل. ⁶⁶¹

⁶⁵⁸ أصل الاسمين على الترتيب: Informational messages و Error messages.

⁶⁵⁹ انظر ص. 2-4 في [RFC2710] في ثبت المراجع.

⁶⁶⁰ انظر ص. 2 في [RFC4443] في ثبت المراجع.

⁶⁶¹ انظر [WEB37] في ثبت المراجع.

- حقل التَّرميز، طوله 8 بتات، ويتحدَّد معناها وفقاً لنوع الرِّسالة، ويُستعمل هذا الحقل لتعريف أنواع فرعيَّة أكثر تخصصاً من الرِّسائل ضمن كلِّ نوع رئيسي. تُشرف هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة على ضبط القيم المعيارية لهذه الحقل أيضاً.⁶⁶²
- حقل التَّحْقُق الجمعي، طوله 16 بتاً، ويُستعمل لتحديد فيما لو حصلت أخطاء في قيمة البيانات في أثناء نقلها عبر الشبكة.
- حُقُول المُحتوى، وهي مُتغيِّرة العدَد والبنية، وتختلف وفقاً للرِّسالة والهدف الذي تُستعمل من أجله.

الجدول (1-11): أهمُّ رسائل بروتوكول رسائل التَّحْكُم للإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت مُرتبة وفقاً للنوع

قيمة حقل النوع	اسم الرِّسالة بالعربيَّة	اسم الرِّسالة بالإنكليزيَّة	تصنيف الرِّسالة
1	تعدُّر بُلوغ الوجهة	Destination unreachable message	إبلاغ عن خطأ
2	رزمة مفرطة في الطول	Packet too big	إبلاغ عن خطأ
3	نفاد الزَّمن	Time exceeded	إبلاغ عن خطأ
4	مشكلة في مُحدَّد	Parameter problem	إبلاغ عن خطأ
128	توليد الصِّدى	Echo request	إعلام
129	الصِّدى	Echo reply	إعلام
133	إلتماس المُوجِّه	Router solicitation	إعلام
134	الإعلان عن المُوجِّه	Router advertisement	إعلام
135	إلتماس الجار	Neighbor solicitation	إعلام
136	الإعلان عن الجار	Neighbor advertisement	إعلام
137	إعادة التَّوجيه	Redirect	إعلام

رسائل البروتوكول

تُحدَّد العقدة، التي تُؤلِّد رسائل البروتوكول، عنوان مصدرها ووجهتها قبل حساب قيمة حقل التَّحْقُق الجمعي. قد يَكُون للعقدة المصدر أكثر من عنوان، ويُحدَّد عنوان مصدر الرِّسالة عندها كما يأتي:⁶⁶³

- إذا كانت الرِّسالة ردّاً على رسالة طلب أرسلت إلى أحد العناوين الفريدة للعقدة، فيلزم أن يَكُون هذا العنوان هو عنوان المصدر في رسالة الردِّ.
- إذا كانت الرِّسالة ردّاً على رسالة طلب أرسلت إلى أحد العناوين غير الفريدة للعقدة، نحو عنوان بثٍّ مَجْمُوعِيٍّ أو عنوان بثٍّ نحو الأقرب، فإنَّ عنوان المصدر يلزم أن يَكُون أحد العناوين الفريدة للعقدة.

⁶⁶² انظر [WEB37] في تَبْت المراجع.

⁶⁶³ انظر ص. 5 في [RFC4443] في تَبْت المراجع.

- في الحالات الأخرى كلها، يُختار عنوان المصدر بالطريقة نفسها التي يُختار فيها عنوان مصدر أي رزمة أخرى للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت سترسلها العقدة المصدر إلى تلك الوجهة.

رسائل الإبلاغ عن الأخطاء

هي مجموعة من رسائل البروتوكول التي تُرسل من عقدة وسيطة على مسار الرزمة أو من وجهتها النهائية نحو مصدرها لإبلاغه بوقوع خطأ في أثناء معالجة الرزمة. يُحدّد معيار البروتوكول عدداً من الحالات التي لا تُؤلّف فيها هذه الرسائل، وهي الحالات التي ستكُون فيها ردّاً على استقبال: ⁶⁶⁴

1. رسالة إبلاغ عن خطأ، فلا يُردُّ على رسائل الإبلاغ عن الخطأ أبداً.
2. رسالة إعادة توجيه، وهي رسالة إعلام سُدّرس في ما سيأتي من هذا الفصل.
3. رسالة بثّ مجموعاتيّ، فلا يُردُّ على رسالة البثّ المجموعاتيّ إلا في حالتين فقط:
 - إذا كانت الرسالة هي رسالة رزمة مُفترطة في الطول، لأنّ هذه الرسالة هي جزء من آلية اكتشاف قيمة وحدة النقل العظمى للمسار، ولا بُدّ من الرّدّ عليها لإنجاح عمل الآلية.
 - إذا كانت الرسالة هي رسالة مُشكلة في مُحدّد، وكانت قيمة حقل الترميز فيها هي 2، وهي رسالة للإبلاغ عن خيار غير معرُوف في ترويسة الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت.
4. رسالة بثّ مجموعاتيّ على مُستوى طبقة الوصلة، وتُستثنى الحالتان المشار إليهما في البند الثالث أيضاً.
5. رسالة بثّ عامّ على مُستوى طبقة الوصلة، وتُستثنى الحالتان المشار إليهما في البند الثالث أيضاً.
6. أيّ رزمة لا يُحدّد عنوان مصدرها عقدة فريدة.
7. رسالة إبلاغ عن خطأ مجهولة النوع في مصدر رزم البيانات، ويلزم في هذه الحالة تمريرها إلى بروتوكول الطبقة العليا لمعالجتها، إن أمكن ذلك. وإن تعدّر، فيتلزم التخلّص منها.

تعذر بلوغ الوجهة

تُؤلّف هذه الرسالة في مصدر رزمة البيانات أو في أيّ موجه على مسارها إذا تعذر إيصال الرزمة إلى وجهتها لأيّ سبب ما خلا الازدحام. يتكوّن حقل المحتوى في هذه الرسالة من حقل غير مُستعمل بطول 32 بتاً، يليه أطول قسم يُمكن نسخه من الرزمة التي سببت توليد هذه الرسالة من غير أن يتجاوز الطول قيمة وحدة النقل العظمى الخاصة بالإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت (الشكل (1-11)). ⁶⁶⁵

0	8	16	31
النوع = 1	الترميز	التحقّق الجمعي	
غير مُستعمل			
أكبر قدر مُمكن من رزمة الإصدار السادس التي سببت توليد هذه الرسالة			

الشكل (1-11): بنية رسالة تعذر بلوغ الوجهة

⁶⁶⁴ انظر ص. 6-7 في [RFC4443] في تبّيت المراجع.

⁶⁶⁵ انظر ص. 8-9 في [RFC4443] في تبّيت المراجع.

تكون قيمة حقل النوع في هذه الرسالة هي 1 دائماً، ولحقل الترميز سبع قيم يُبينها الجدول (2-11) مع معانيها.

الجدول (2-11): قيم حقل الترميز في رسالة تعذر بلوغ الوجهة⁶⁶⁶

الوصف	الحالة	قيمة حقل الترميز
لم تجد العقدة التي تُعالج الرزمة مساراً نحو وجهتها في جدول توجيهها	لا مسار نحو الوجهة	0
يُحظر الاتصال مع الوجهة محظورٌ وجود جدار حماية ⁶⁶⁷ مع الوجهة، مثلاً لأسباب تتعلق بالأمن نحو	الاتصال مع الوجهة محظورٌ إشرافياً	1
تحصل هذه الحالة عندما يكون عنوان الوجهة خارج مجال عنوان المصدر، مثلاً إذا كان عنوان المصدر فريداً محلياً وكان عنوان الوجهة فريداً عالمياً	خارج مجال عنوان المصدر	2
الحالة العامة، تُستعمل عندما لا يمكن إيصال رزمة البيانات للوجهة لسبب مُغاير لما ذكر في الحالات الأخرى	تعذر بلوغ العنوان	3
إذا لم يوجد بروتوكول نقل يدعم رقم منفذ الوجهة في الوجهة النهائية	تعذر بلوغ المنفذ	4
أخفقت رزمة البيانات في تجاوز سياسة الدخول أو سياسة الخروج المطبقة على المنفذ	إخفاق عنوان المصدر في سياسة الدخول أو الخروج ⁶⁶⁸	5
تُستعمل عندما يكون التوجيه نحو الوجهة مرفوضاً، مثلاً منع المُوجه من توجيه الرزم نحو بادئة ما تتضمن عنوان الوجهة لأسباب تتعلق بالأمن	رفض المسار إلى الوجهة	6
تُستعمل عندما يتعذر إيصال رزمة بيانات تُوجه تبعاً للمصدر بمفتضى ما يوجد في ترويسة التوجيه	خطأ في ترويسة التوجيه	7
تعذرت معالجة رزمة البيانات لأن الترويسات فيها بالغة الطول وتُفوق قدرة العقدة على معالجتها	قدرات معالجة محدودة	8

رزمة مُفرطة في الطول

يُرسل مُوجهٌ يُعالج رزمة بيانات للإصدار السَّادِس مِن بروتوكول الإنترنت هذه الرسالة إذا لم يكن بإمكانه إرسال الرزمة إلى وجهتها التالية على المسار لأن طولها أكبر من قيمة وحدة النقل العظمى في الشبكة حيث تُوجد تلك الوجهة.⁶⁶⁹ تُستعمل

بيانات هذه الرسالة ضمن عملية اكتشاف قيمة وحدة النقل العظمى الخاصة بالمسار.⁶⁷⁰

⁶⁶⁶ وُصفت الحالات السبعة الأولى في ص. 8-10 في [RFC4443] في ثبت المراجع، والحالة المُحددة بالقيمة 7 في ص. 138 في [RFC6550]،

والمُحددة بالقيمة 8 في ص. 12 في [RFC8883].

⁶⁶⁷ أصل الاسم Firewall، وورد المصطلح مُعرّباً إلى حاجز حماية في ص. 121 في [BKA01] في ثبت المراجع، وهو حاجز مُنشأ بواسطة عتاد الحاسب أو برمجياته أو كلاهما معاً، لمراقبة تدفق حركة البيانات والتحكم بها من شبكة أولى، غالباً ما تكون الإنترنت، إلى شبكةٍ أخرى غالباً ما تكون شبكةٍ محلية، انظر ص. 150 في [BKE01].

⁶⁶⁸ أصل الاسم Ingress/egress policy.

⁶⁶⁹ انظر ص. 10 في [RFC4443] في ثبت المراجع.

⁶⁷⁰ انظر تفصيل العملية في [RFC1981] في ثبت المراجع.

تكون قيمة حقل النوع في هذه الرسائل هي 2 دائماً، أما حقل الترميز فيضبط إلى القيمة 0 في مصدر الرسالة ويهمل في وجهتها (الشكل (2-11)). تحوي الترويسة أيضاً حقلاً لوحدة النقل العظمى بطول 32 بتاً، يليه أطول قسم يمكن نسخه من الرزمة التي سببت توليد الرسالة من غير أن يتجاوز طول الرسالة قيمة وحدة النقل العظمى الخاصة بالإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت.

0	8	16	31
النوع = 2	الترميز = 0	التحقق الجمعي	
وحدة النقل العظمى			
أكبر قدر ممكن من رزمة الإصدار السادس التي سببت توليد هذه الرسالة			

الشكل (2-11): بنية رسالة رزمة مفرطة في الطول

نفاد الزمن

تُستعمل للإبلاغ عن خطأين يحصلان عند معالجة رزم بيانات الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت: 671

1. إذا استقبلت عقدة رزمة بيانات للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، وكانت قيمة حقل عدد القفزات فيها صفراً، أو إذا أصبحت قيمة هذا الحقل 0 بعد معالجة الرزمة.
2. إذا نفذ مؤقت انتظار تجميع قطع رزمة بيانات ما ولمّا تصل القطع كلها بعد.

تكون قيمة حقل النوع في رسائل نفاذ الزمن هي 3 دائماً، ولحقل الترميز قيمتان هما 0 من أجل حقل عدد قفزات صفري و1 من أجل نفاذ مؤقت انتظار. يتكون حقل المحتوى في بنية الرسالة من حقل غير مستعمل بطول 32 بتاً يليه أطول قسم يمكن نسخه من الرزمة التي سببت توليد هذه الرسالة من غير أن يتجاوز طول الرسالة وحدة النقل العظمى الخاصة بالإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت.

0	8	16	31
النوع = 3	الترميز	التحقق الجمعي	
غير مستعمل			
أكبر قدر ممكن من رزمة الإصدار السادس التي سببت توليد هذه الرسالة			

الشكل (3-11): بنية رسالة نفاذ الزمن

مشكلة في محدّد

إذا صادفت عقدة، تُعالج رزمة بيانات ما، مشكلة في ترويسة بروتوكول الإنترنت أو في إحدى ترويسات التوسعة، فلم يعد بإمكانها إكمال المعالجة، فإنها تتخلص من الرزمة التي تحتوي الترويسة، ثم تُرسل رسالة الإبلاغ عن الخطأ إلى مصدرها. 672

671 انظر ص. 11 في [RFC4443] في ثبت المراجع.

672 انظر ص. 12 في [RFC4443] في ثبت المراجع.

تكون قيمة حقل النوع في هذه الرسالة هي 4 دائماً، أما حقل الترميز فيضبط بمقتضى نوع الخطأ وفقاً للجدول (3-11).

الجدول (3-11): قيم حقل الترميز في رسالة مشكيلة في مُحدِّد⁶⁷³

الوصف	الحالة	قيمة حقل الترميز
خطأ ما في معالجة ترويسة الإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت	خطأ في ترويسة البروتوكول	0
القيمة الموجودة في حقل البروتوكول في ترويسة الإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت غير معروفة	خطأ في حقل البروتوكول التالي	1
عُثر على خيار غير معروف النوع في ترويسة الإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت	خطأ في خيارات البروتوكول	2
يوجد نقص في تتابع الترويسات في القطعة الأولى التي نتجت عن تقطيع رزمة بيانات للإصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت	خطأ في ترويسات القطعة الأولى	3
حصل خطأ في أثناء معالجة بروتوكول طبقة عليا لبيانات ترويسة التوجيه	خطأ في معالجة ترويسة التوجيه	4
لم تتمكَّن عقدة وسيطة من التعرف على نوع الترويسة التالية في رزمة بيانات ما.	خطأ في نوع الترويسة التالية	5
تخلصت عقدة من رزمة بيانات ما لأن طول ترويسة التوسعة يفوق قدرات المعالجة في العقدة	ترويسة توسعة مُفرطة في الطول	6
تخلصت عقدة من رزمة بيانات ما لأن تتابع ترويسات التوسعة تجاوز حد الطول المسموح به	تتابع ترويسات توسعة مُفرط في الطول	7
تخلصت عقدة من رزمة بيانات ما لأن عدد ترويسات التوسعة في التتابع تجاوز حد الطول المسموح به	ترويسات توسعة أكثر من المسموح به	8
تخلصت عقدة من رزمة بيانات ما لأن ترويسة توسعة في الرزمة احتوت على عدد من الخيارات يفوق قدرات المعالجة في العقدة	خيارات أكثر من المسموح به في ترويسة التوسعة	9
رُسل هذه الرسالة في حالتين: 1. إذا تجاوز طول ترويسة خيارات المسار أو ترويسة خيارات الوجهة الحد المسموح به. 2. إذا تجاوز طول بتات الحشو في ترويسات متتابعة لخيارات المسار أو لخيارات الوجهة الحد المسموح به	خيار مُفرط في الطول	10

0	8	16	31
النوع = 4		الترميز	التحقق الجمعي
مؤشر			
أكبر قدر ممكن من رزمة الإصدار السَّادِس التي سببت توليد هذه الرسالة			

الشكل (4-11): بنية رسالة الإبلاغ عن خطأ في مُحدِّد

⁶⁷³ وُصفت الحالات الثلاثة الأولى في ص. 12 في [RFC4443] في ثبوت المراجع، والحالة المُحددة بالقيمة 3 في ص. 5 في [RFC7112]، والمُحددة بالقيمة 4 في ص. 24 في [RFC8754]، وسائر القيم في ص. 6-7 في [RFC8883].

تحتوي الترويسة أيضاً حقل المؤشر⁶⁷⁴ الذي يبلغ طوله 32 بتاً، وهو يدل على قيمة الإزاحة عن بداية الرسالة للبايت الذي سببت معالجته الخطأ ضمن ترويسة بروتوكول الإنترنت، يليه أطول قسم يمكن نسخه من الرزمة التي سببت توليد هذه الرسالة من غير أن يتجاوز طول الرسالة قيمة وحدة النقل العظمى الخاصة بالإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت.

رسائل الإعلام

تعمل هذه الرسائل أغلبها بمودج الطلب والرد، وفيه تولد عقدة ما رسالة طلب، وترسلها لعقدة أخرى تجيبها برسالة الرد المناسبة التي تُحدد وفقاً لنوع رسالة الطلب. إذا ما استقبلت رسالة طلب مجهولة النوع، فيلزم التخلص منها. ولكن بعضاً من هذه الرسائل يُرسل من غير انتظار رد، نحو رسالة إعادة التوجيه⁶⁷⁵.

توليد الصدى والصدى

يجري تبادل هاتين الرسالتين بين عقدتين تُشغلان الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، تُسمى الأولى المصدّر والأخرى الوجهة. يُرسل المصدّر رسالة توليد صدى محملةً ببيانات اختيارية القيمة واختيارية الطول إلى الوجهة التي ترد برسالة صدى فيها حمولة رسالة التوليد نفسها. يلزم أن تكون عناوين المصدّر والوجهة متعاكسة في رزمة بروتوكول الإنترنت التي تُغلف الرسالتين، أي يكون عنوان وجهة رسالة التوليد هو عنوان مصدّر رسالة الصدى وعنوان مصدّر رسالة التوليد هو عنوان وجهة رسالة الصدى.⁶⁷⁶

لرسالتَي توليد الصدى والصدى البنية نفسها (الشكل (11-5)): حقل النوع أولاً، ويُضبط إلى 128 في رسالة التوليد، و129 في رسالة الصدى، ثم حقل الترميز ثانياً، ويُضبط إلى قيمة الصفر في الرسالتين، يليه حقل التحقق الجمعي ثالثاً، ثم حقلان: المُعرّف ورقم التتابع، ويُستعملان للمساعدة في مطابقة أزواج رسائل التوليد والصدى، فلو أرسلت أكثر من رسالة توليد، ضُبط هذان الحقلان في كلٍّ منها إلى قيمٍ مختلفة وفقاً للحاجة، ويلزم على كلِّ رسالة صدى أن تنسخ قيم هذين الحقلين من رسالة التوليد التي حقّرتها. أمّا الحقل الأخير في الرسالة، فهو حقل البيانات، ويمكن أن يكون صفري الطول أو أن يضمّ عدداً من البايتات وفقاً للحاجة، ويلزم على رسالة الصدى أن تنسخ قيمة حقل البيانات في رسالة التوليد.

إلتماس المُوجّه والإعلان عنه

يتبادل مُضيف للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت ومُوجّه يدعم البروتوكول هاتين الرسالتين بصفتها جزءاً من عمل بروتوكول اكتشاف الجيران الذي سيُدرس بالتفصيل في الفصل الثامن عشر من هذا الكتاب. يُرسل المُضيف رسالة التماس المُوجّه لطلب إرسال رسالة إعلان طارئة عن المُوجّه، ويُجيب المُوجّه بإرسال رسالة الإعلان مُباشرةً.⁶⁷⁷

⁶⁷⁴ أصل الاسم Pointer.

⁶⁷⁵ تُرسل أيضاً بعض من هذه الرسائل دورياً من غير الحاجة لوجود رسالة طلب تحفّز الإرسال، مع إمكانية تحفير رسالة ردّ عاجلة تُرسل بعد أن يصل طلب الالتماس.

⁶⁷⁶ انظر ص. 13-15 في [RFC4443] في نُبْت المراجع.

⁶⁷⁷ يمكن أيضاً أن تُرسل المُوجّهات دورياً رسائل الإعلان هذه في الشبكة المحليّة من غير وجود رسالة التماس تحفّزها.

0	8	16	31
النَّوع = 128	الترميز = 0	التَّحْقُقُ الجَمْعِيُّ	
المُعَرَّف		رقم التتابع	
بيانات			

(أ) رسالة توليد الصَّدى

0	8	16	31
النَّوع = 129	الترميز = 0	التَّحْقُقُ الجَمْعِيُّ	
المُعَرَّف		رقم التتابع	
بيانات			

(ب) رسالة الصَّدى

الشَّكْل (5-11): بنية الرِّسَالَتَيْنِ المُسْتَعْمَلَتَيْنِ فِي عَمَلِيَّةِ تَوَلِيدِ الصَّدى

في ما يخصُّ رسالة الالتماس، تُكوِّن قيمة حقل النَّوع 133 وقيمة حقل الترميز صفريةً دائماً، يليها حقل التَّحْقُقُ الجَمْعِيُّ، ثُمَّ 32 بتاً مَحْجُوزاً تُضَبَطُ إلى قيمة صفريةً دائماً عند الإرسال وتُهْمَلُ عند الاستقبال، يلي ذلك حقل اختياريٍّ يَضُمُّ عُنْوَانَ بروتوكول الوصلة لمرسل الرِّسَالَةِ، إن وُجِدَ (الشَّكْل (6-11)).⁶⁷⁸

أمَّا رسالة الإعلان عن المُوجَّه فهي مُكوَّنةٌ مِنَ الحُقُولِ التَّالِيَةِ وَفَقاً لِترتيب وُروُدِهَا:⁶⁷⁹

0	8	16	31
النَّوع = 133	الترميز = 0	التَّحْقُقُ الجَمْعِيُّ	
مَحْجُوزٌ			
خِيَارَاتٌ			

(أ) رسالة الالتماس المُوجَّه

0	8	16	31
النَّوع = 134	الترميز = 0	التَّحْقُقُ الجَمْعِيُّ	
عَدَدُ القَفْزَاتِ الحَالِيَّةِ	مَحْجُوزٌ	زَمَنُ حَيَاةِ المُوجَّه	
زَمَنُ بُلُوغِ الجَارِ			
مُوقَّتُ إِعَادَةِ الإرسالِ			
عَلَمُ وَضْعِ التَّهْيِئَةِ		خِيَارَاتٌ	
عَلَمُ التَّهْيِئَةِ الإِضَافِيَّةِ			

(ب) رسالة الإعلان عن المُوجَّه

الشَّكْل (6-11): بنية الرِّسَالَتَيْنِ المُسْتَعْمَلَتَيْنِ فِي اكْتِشَافِ المُوجَّهَاتِ فِي الشَّبَكَةِ المَحَالِيَّةِ

⁶⁷⁸ انظر ص. 18-19 في [RFC4861] في نَبَتِ المَرَاجِعِ.⁶⁷⁹ انظر ص. 19-22 في [RFC4861] في نَبَتِ المَرَاجِعِ.

- حقل النوع، ويضبط إلى القيمة 134.
- حقل الترميز، وتكون قيمته صفرية دائماً.
- حقل التحقق الجمعي.
- حقل عدد القفزات الحالية⁶⁸⁰، طوله 8 بتات، ويضم القيمة الافتراضية لحقل عدد القفزات التي يستحسن أن تستعملها العقدة عند بناء ترويسة بروتوكول الإنترنت.
- علم وضع التهيئة، طوله بت واحد، ويستعمل لتحديد حالة خدمة التهيئة الآلية في الشبكة. إذا رفع، فهذا يعني أن بروتوكول تهيئة المضيف الآلية نشط في الشبكة.
- علم التهيئة الإضافية، طوله بت واحد، ويستعمل لتحديد وجود معلومات تهيئة إضافية يمكن أن يزودها بروتوكول تهيئة المضيف الآلية، نحو تهيئة المعلومات الخاصة بنظام تسمية النطاقات.
- ست بتات مَحجوزة، تُضبط إلى الصفر في المرسل ونهمل في المستقبل.
- زمن حياة الموجة، طوله 16 بتاً، ويحوي زمن فعالية بند التوجيه مقدراً بالتواني فيما لو أضيف هذا الموجة بصفة وجهة إلى جدول توجيه أي مضيف. يضبط المضيف مؤقت انتظار بقيمة هذا الحقل، إذا نفذ المؤقت، ولما تصل رسالة إعلان بعد، فإن المضيف يقول بإخفاق المسار نحو الموجة ثم يزيله من جدول توجيهه. يُعيد المضيف ضبط قيمة مؤقت الانتظار إلى قيمة زمن الحياة كلما استقبل رسالة إعلان جديدة من الموجة تحوي قيمة زمن الحياة نفسها.
- حقلان طول كل منهما 32 بتاً: زمن بلوغ الجار ومؤقت إعادة الإرسال،⁶⁸¹ ويستعملان من طرف خوارجية تحديد إمكانية بلوغ الجار التي يشغلها بروتوكول اكتشاف الجيران.⁶⁸²
- حقل اختياريّة تشمل عنوان بروتوكول الوصلة للمرسل الرسالة، إن وجد، وقيمة وحدة النقل العظمى، إن وجدت، ومعلومات البادئات لو كانت موجودة.

التماس الجار والإعلان عنه

يتبادل مضيف للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت وموجه يدعم البروتوكول هاتين الرسالتين بصفتهما جزءاً من عمل بروتوكول اكتشاف الجيران.⁶⁸³ حلت هاتان الرسالتان محلّ رسائل بروتوكول اقتراح العناوين⁶⁸⁴ الذي يعتمده الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت لإنجاز عملية اقتراح عناوين الطبقتين الثانية والثالثة وفقاً لنموذج الربط البيئي للأنظمة

⁶⁸⁰ أصول أسماء هذا الحقل وفقاً لترتيب وزودها: Current hop limit و Managed address configuration flag و Other

Router lifetime و configuration flag.

⁶⁸¹ أصل الاسمين على الترتيب: Reachable time و Retransmission timer.

⁶⁸² أصل اسم هذه الخوارزمية: Neighbor unreachability detection algorithm، انظر تفصيلها في ص. 68 في [RFC4861] في ثبت

المراجع.

⁶⁸³ انظر ص. 11 في [RFC4861] في ثبت المراجع.

⁶⁸⁴ انظر ترجمة البروتوكول في القسم الأخير من الفصل الثالث من هذا الكتاب.

المفتوحة. ولكنَّ مهمَّة هذه الرِّسائل في الإصدار السَّادِس لا تقتصر على ذلك فقط، بل يُمكن أن تُستعمل من أجل تحديد إمكانية بُلُوغ جارٍ ما وللتَّحَقُّق فيما لو كانت عُقدتان قادرتان على تبادل الرِّسائل في ما بينهما.⁶⁸⁵

في ما يخصُّ رسالة الالتماس، تُكون قيمة حقل النَّوع فيها 135، وقيمة حقل التَّرميز صفريةً دائماً، يأتي حقل التَّحَقُّق الجمعي بعد ذلك، ثُمَّ 32 بتاً محجوراً تُضبط إلى قيمة صفريةً دائماً عند الإرسال وتُهمل عند الاستقبال، ويأتي ذلك حقل عنوان الهدف⁶⁸⁶، وطوله 128 بتاً، ويشتَرط ألاَّ يكون عنوان بثِّ مجموعاتيٍّ، ويُمكن أن تُلحق بالرسالة أيضاً خياراتٌ خاصَّة يُعرِّفها البروتوكول (الشَّكل (7-11)).⁶⁸⁷

أمَّا رسالة الإعلان عن الجار فهي مُكوَّنة من الحُقُول النَّالية وفقاً لترتيب وُردها:⁶⁸⁸

- حقل النَّوع، ويضبط إلى القيمة 136.
- حقل التَّرميز، وتكون قيمته صفريةً دائماً.
- حقل التَّحَقُّق الجمعي.
- حقل الأعلام، وفيه ثلاثة هي:⁶⁸⁹
 - عَلم الموجه، يُرفع للإشارة إلى أنَّ مُرسل هذه الرسالة هو موجهٌ، أمَّا بخلاف ذلك، فيضبط إلى قيمة صفرية.
 - عَلم الالتماس، يُرفع إذا كانت رسالة الإعلان قد وُلدت ردّاً على رسالة التماسٍ سابقة، وبخلاف ذلك يُضبط إلى قيمة صفرية، فرسائل الإعلان هذه قد تولد في حالاتٍ أخرى من غير رسالة التماس.
 - عَلم التَّخَطِّي، يُرفع إذا كان مُولِّد الرسالة يَطلب من مُرسل رسالة الالتماس تَخَطِّي أي معلوماتٍ سابقة تُضمُّ عناوين طبقة الوصلة وتجاهلها.
- حقلٌ محجورٌ بطول 29 بتاً، تُضبط إلى قيمة صفريةً دائماً عند الإرسال وتُهمل عند الاستقبال.
- حقل عنوان الهدف، طوله 128 بتاً. إذا كانت الرسالة قد وُلدت ردّاً على رسالة التماس، فإنَّ قيمة الحقل تُضبط إلى قيمة عنوان مُولِّد رسالة الالتماس. ويشتَرط ألاَّ يكون العنوان الموضوع في هذا الحقل عنوان بثِّ مجموعاتيٍّ.

يُمكن أن تُلحق بالرسالة خياراتٌ خاصَّة إضافية يُعرِّفها البروتوكول.

⁶⁸⁵ للمزيد انظر ص. 437 في [BKE02] في تَبت المراجع.

⁶⁸⁶ أصل الاسم Target address.

⁶⁸⁷ انظر ص. 22-23 في [RFC4861] في تَبت المراجع.

⁶⁸⁸ انظر ص. 23-25 في المَرَجع السَّابِق.

⁶⁸⁹ أصول أسماء الأعلام على التَّرتيب: Router flag، ويُرمز له بالحرف R، Solicited flag، ويُرمز له بالحرف S، Override flag، ويُرمز له بالحرف O.



(أ) رسالة التماس الجار



(ب) رسالة الإعلان عن الجار

الشكل (7-11): بنية الرسائل المستعملتين في عملية اكتشاف الجيران في الشبكة المحلية

إعادة التوجيه⁶⁹⁰

يُشرف بروتوكول اكتشاف الجيران، في الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، على وظيفة إعادة التوجيه في الشبكة المحلية. لإداء هذه الوظيفة، يُعرف بروتوكول اكتشاف الجيران الرسالة بصفتها إحدى رسائل بروتوكول رسائل التحكم للإصدار السادس. لا يُرَدُّ على رسالة إعادة التوجيه أبداً، مع أنها رسالة إعلام، أي لا ينتظر إرسالها بعد الإرسال أي رد من مستقبلها.

قد تتصل شبكة محلية ما مع أكثر من موجهٍ ليربطها مع العالم الخارجي، وغالباً ما يكون إرسال رزم البيانات نحو وجهةٍ محددةٍ مُورراً بالموجه الذي تمرُّ أقصر الطرق وأفضلها⁶⁹¹ عبره، باتجاه تلك الوجهة. لذلك لو استقبل أحد الموجهات رزمة بياناتٍ مُرسلةً إلى خارج الشبكة، ولكنه، أي الموجه، على علمٍ بوجود مسارٍ أفضل نحو وجهة الرزمة يمرُّ عبر موجهٍ آخر

⁶⁹⁰ لم يُشر إلى تصنيف هذه الرسالة صراحةً في البروتوكول المُخصَّص للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، ولكن يفهم من موقعها بين الرسائل حسب قيمة النوع، وحسب طريقة إرسالها، أنها رسالة إبلاغ عن خطأ، ونحن نميل لهذا الرأي وقد صنفناها كذلك في الفصل السادس من هذا الكتاب. أمّا في نسخة البروتوكول المُخصَّصة للإصدار السادس، فقد وُضعت هذه الرسالة مع رسائل الإعلام صراحةً حسب مُحددات البروتوكول، ونحن لا نتفق مع هذا، ولكننا وضعناها هنا التزاماً لما جاء في المُحددات، ونشير لهذا التعارض لكي نُزيل أي لبسٍ مُحتمل عن القارئ.

⁶⁹¹ لا يُوجد طريقةٌ مُوحدةٌ لتحديد ما هي أفضل أو أقصر المسارات نحو وجهة ما في الشبكة، بل يعتمد ذلك على بروتوكول التوجيه المُستعمل وخوارزميته التي تُحدّد كيفية حساب أقصر مسارٍ.

مُتَّصِلٍ مع الشَّبكة المَحَلِّيَّة نَفْسِهَا، فَإِنَّهُ، يُعِيد توجيهِ الرِّزْمَةِ الَّتِي اسْتَقْبَلَهَا عبر المَسَار الأفضَل الَّذِي يَعْرِفُهُ، ثُمَّ يُرْسِل رِسَالَةَ إِعَادَةِ توجيهِهِ إِلَى مَصَدَّرِهَا لِيُخْبِرَهُ فِيهَا بِوُجُودِ ذَلِكَ المَسَار.⁶⁹²

تَتَكَوَّن رِسَالَةُ إِعَادَةِ التَّوجِيهِ مِنْ سِتَّةِ حُقُولٍ دَائِمَةٍ وَحَقْلِ خِيَارَاتٍ اخْتِيَارِيٍّ يَضُمُّ خِيَارَاتٍ يُعْرِفُهَا البروتوكول، وَتَكُونُ حُقُولُ التَّرويسة وَفَقاً لِترتيب وُرودها (الشَّكْل (8-11)):⁶⁹³

- حَقْلُ التَّوَجُّع، وَيُضَبِّطُ إِلَى القِيَمَةِ 137.
- حَقْلُ التَّرْمِيز، وَتَكُونُ قِيَمَتُهُ صِفْرِيَّةً دَائِمًا.
- حَقْلُ التَّحْقُقِ الجَمْعِيِّ.
- حَقْلُ مَحْجُورٍ طُولُهُ 32 بِنَاءً، يُضَبِّطُ إِلَى قِيَمَةٍ صِفْرِيَّةٍ دَائِمًا عِنْدَ الإرسال، وَيُهْمَلُ عِنْدَ الاستقبال.
- حَقْلُ عُنْوَانِ الهَدَفِ، طُولُهُ 128 بِنَاءً، وَفِيهِ عُنْوَانُ المُوَجَّهِ الآخِرِ المُتَّصِلِ مع الشَّبكة المَحَلِّيَّة الَّذِي يَمُرُّ المَسَارُ الأفضَلُ عِبرَهُ.
- حَقْلُ عُنْوَانِ الوِجْهَةِ، طُولُهُ 128 بِنَاءً، وَفِيهِ عُنْوَانُ الوِجْهَةِ النِّهَائِيَّةِ لِلرِّزْمَةِ.

0	8	16	31
النوع = 137		التَّحْقُقُ الجَمْعِيُّ	
0 = التَّرْمِيز		مَحْجُورٌ	
عُنْوَانُ الهَدَفِ			
عُنْوَانُ الوِجْهَةِ			
خِيَارَاتٌ			

الشَّكْل (8-11): بنية رسالة إعادة التَّوجِيهِ

رِسَائِلُ أُخْرَى

الجدول (4-11): رِسَائِلُ إِعْلَامٍ أُخْرَى لِدَعْمِ تَطْبِيقَاتِ الإصدار السَّادسِ مِنْ بروتوكول الإنترنت

الوصف	اسم الرِّسَالَةِ بالإنجليزية	اسم الرِّسَالَةِ بالعربية	قِيَمَةُ حَقْلِ النُّوعِ
يَسْتَعْمِلُهَا بروتوكول اكتشاف مُسْتَمِيعِي البثِّ المَجْمُوعَاتِيِّ لِتَحْدِيدِ وَجُودِ مُسْتَمِيعِينَ لِلبثِّ	Multicast listener query	استعلام مُسْتَمِيعِي البثِّ المَجْمُوعَاتِيِّ	130
المَجْمُوعَاتِيِّ للإصدار السَّادسِ مِنْ بروتوكول	Multicast listener report	تقرير مُسْتَمِيعِ البثِّ المَجْمُوعَاتِيِّ	131

⁶⁹² انظر ص. 26 في [RFC4861] في ثَبَت المراجِع.

⁶⁹³ انظر ص. 27 في المَرِجِع السَّابِق.

132	الإتمام	Multicast listener done	الإنترنت في الشبكة المحلية ولتحديد ما هي المجموعات التي يهتمون بسماعها ⁶⁹⁴
138	إعادة عنوانه موجه	Router renumbering	تستعمل ضمن آلية عنوانه لِمنافذ الموجهات التي تدعم الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت ⁶⁹⁵
139	استعلام معلومات عقدة	Node information query	طورت ضمن آلية تجريبية لاكتشاف معلومات عن عقد الشبكة المحلية تشمل أسماءها وعناوينها ⁶⁹⁶
140	الرد على استعلام معلومات عقدة	Node information response	
141	رسالة الالتماس لاكتشاف المعكوس للجار	Inverse neighbour discovery solicitation	طورت ضمن توسعة لبروتوكول اكتشاف الجيران تسمح بإنجاز عملية الاكتشاف إنجازاً معكوساً، أي يمكن لعقدة ما تُشغل البروتوكول، تعرف عنوان طبقة الوصلة الخاص بعقدة أخرى، أن تكتشف عنوان الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت الخاص بالعقدة الأخرى ⁶⁹⁷
142	رسالة الإعلان لاكتشاف المعكوس للجار	Inverse neighbour discovery advertisement	
143	تقرير مُستمع البث المجموعاتي للإصدار الثاني من بروتوكول مُستمي البث المجموعاتي ⁶⁹⁸	Version 2 multicast listener report	تُعرف بنية جديدة يستعملها مُستمعو الإصدار الثاني من بروتوكول اكتشاف مُستمي البث المجموعاتي للإبلاغ عن وضعهم الحالي ⁶⁹⁹
144	طلب اكتشاف عنوان وكيل المنزل	Home agent address discovery request message	تستخدم هاتان الرسالتان ضمن آلية اكتشاف عنوان وكيل المنزل، وفيها تُرسل عقدة متحركة رسالة طلب إلى عنوان بث نحو الأقرب مُخصَّص لوكلاء المنزل، يردُّ كلُّ وكيل يستقبل رسالة الطلب برسالة الرد التي تحوي عناوينه ⁷⁰⁰
145	الرد على طلب اكتشاف عنوان وكيل المنزل	Home agent address discovery reply	
146	التماس المتحركة لبداية الشبكة	Mobile prefix solicitation	لإعادة عنوانه العقدة المتحركة بعد انتقالها لشبكة جديدة ⁷⁰¹

⁶⁹⁴ انظر ص. 3 في [RFC2710] في ثبت المراجع.

⁶⁹⁵ انظر ص. 7 في [RFC2894] في ثبت المراجع.

⁶⁹⁶ انظر ص. 3-5 في [RFC4620] في ثبت المراجع.

⁶⁹⁷ انظر ص. 2-6 في [RFC3122] في ثبت المراجع.

⁶⁹⁸ يُعيد الإصدار الثاني تعريف رسالة إعلام مُستمي البث المجموعاتي، ولكنه يعتمد رقم النوع 130 ليكون قيمة حقل النوع، وهو نفسه المُستعمل من طرف الإصدار الأول من البروتوكول، انظر ص. 15 في [RFC3810] في ثبت المراجع.

⁶⁹⁹ انظر ص. 20 في [RFC3810] في ثبت المراجع.

⁷⁰⁰ انظر ص. 55-57 في [RFC3775] في ثبت المراجع.

⁷⁰¹ انظر ص. 59-61 في المرجع السابق.

	Mobile prefix advertisement	الإعلان عن بادئة الشبكة المتحركة	147
تُستعمل لإنجاز آليّة تحديد الاستعمال المتكرر لعنوان الإصدار السَّادِس مِن بروتوكول الإنترنت ⁷⁰²	Duplicate address request	طلب تحديد تكرر عنوان	157
	Duplicate address confirmation	تأكيد تكرر العنوان	158
إصدار مُوسَّع يَشْمَل الإصدارين الرَّابِع والسَّادِس مِن بروتوكول الإنترنت لِيدعم أداة التَّحْقُق مِن الاتِّصال تَسْمَح لِموَلَد الرِّسَالَة ومُجيبها بتبادل معلّوماتٍ إضافيّةٍ مثل حالة جدول العناوين الماديّة في العُقْدَة المُجيبَة ⁷⁰³	Extended echo request	توليد الصَّدى الموسَّعة	160
	Extended echo reply	الصَّدى الموسَّعة	161

المُشكلات

تتعرَّض رسائل البروتوكول المُخصَّص للإصدار السَّادِس، كما هو الحال مع رسائل البروتوكول المُخصَّص للإصدار الرَّابِع، إلى مجموعةٍ مِن الهجمات المتنوعة التي يُمكن تلخيصها ضمن الفئات التَّالِيَة:⁷⁰⁴

- هجمات بانتحال الهويّة: وفيها يُحاول المُهاجم أن يُوهم مُستقبل الرِّسَالَة أنّها ترد من مصدرٍ مُغايرٍ لمصدرها الأصلي، ويُمكن مُعالجة هذه الهجمات باستعمال آليّة المُصادقة مع رسائل البروتوكول، بواسطة ترويسة المُصادقة التي يدعّمها الإصدار السَّادِس مِن بروتوكول الإنترنت.
- هجمات إعادة التَّوجيه: وهي شكلٌ من أشكال هُجُوم الوسيط، وفيها يُحاول المُهاجم أن يَخْدَع عُقد الإصدار السَّادِس باستعمال رسائل إعادة التَّوجيه لِيرسل رزمها إليه بدلاً من إرسالها إلى المَخْرَج الافتراضي للشبكة المحليّة، يَنسَخ المُهاجم الرِّسَالَة أو يتلاعب بها ثُمَّ يُعيد توجيهها إلى وجهتها الأصليّة بعد ذلك. يُمكن مُعالجة هذه الهجمات باستعمال آليّة المُصادقة سالفه الذِّكر أو ترويسة تأمين الحُمولة بالتَّغْلِيْف التي تمنع أيّ تلاعبٍ مُحتملٍ بِمُحتويات التَّرويسة.
- هجمات التَّلاعب بِالمُحتوى: ويُحاول المُهاجم فيها تضليل مُديري الشبكة من خلال التَّلاعب بِمُحتوى الرِّسَالَة لِلتَّلبِيغ عن أخطاءٍ غير موجودةٍ أو عبر تزويدهم ببياناتٍ خاطئةٍ بواسطة رسائل الإعلام، ويُمكن مُعالجة هذه الهجمات بتعمية الرِّسَالَة أو بتأمين الحُمولة بالتَّغْلِيْف سالف الذِّكر.
- هجمات حجب الخدّمة: ويُمكن أن تحصل بأكثر من طريقةٍ، أهمُّها إرسال رسالةٍ بِمجموعاتيٍّ فيها خيار "الوجهة غير معلومة"، ويُسبب هذا غمر الشبكة برسائلٍ مُشكّلةٍ في مُحدّد التي ستولدها كلُّ العُقد الدَّاعمة

⁷⁰² انظر ص. 11 في [RFC8505] في ثَبِت المراجِع.

⁷⁰³ انظر ص. 5-9 في [RFC8335] في ثَبِت المراجِع.

⁷⁰⁴ انظر ص. 16-17 في [RFC4443] في ثَبِت المراجِع.

للإصدار السادس والتي استقبلت الرسالة السابقة، فلا يكون الاتصال بين العقد ممكناً بعدها، كما يمكن أيضاً إيهام العقدة المستهدفة بوجود خطأ في الشبكة وعدم قدرتها على الحصول على الخدمة.

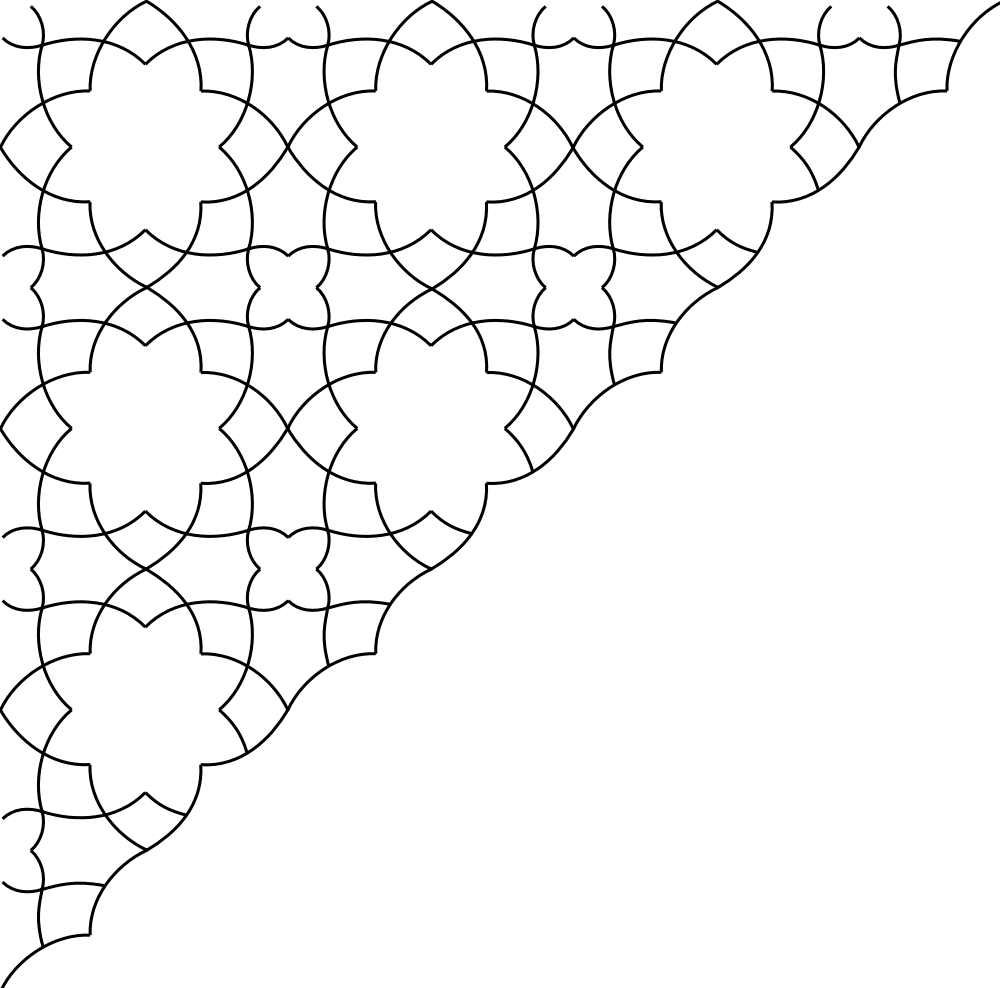
- هجمات على الطبقات العليا من نموذج الاتصال المستخدم: يمكن أن تستعمل رسائل البروتوكول لشن هجمات على بروتوكولات الطبقات العليا من النموذج المستخدم نحو بروتوكول التحكم بالنقل،⁷⁰⁵ من خلال تزويدها ببيانات خاطئة عن الوضع الحالي للشبكة أو الإبلاغ عن أخطاء غير موجودة لدفع هذه البروتوكولات لتسلك سلوكاً معيناً يستعمله المهاجم لفتح ثغرة ما في نظام الأمن يعتمد عليها لشن هجمات لاحقة أخرى.

تُناقش الوثيقة RFC 2401 كيفية معالجة رسائل الأخطاء الخاصة ببروتوكول رسائل التحكم في الحالة التي تكون الرسالة محمية فيها بواسطة ترويسة المصادقة وعند تأمين الحمولة بالتغليف، وأيضاً في الحالة التي لا تكون الرسائل فيها محمية وفقاً لما سبق.⁷⁰⁶

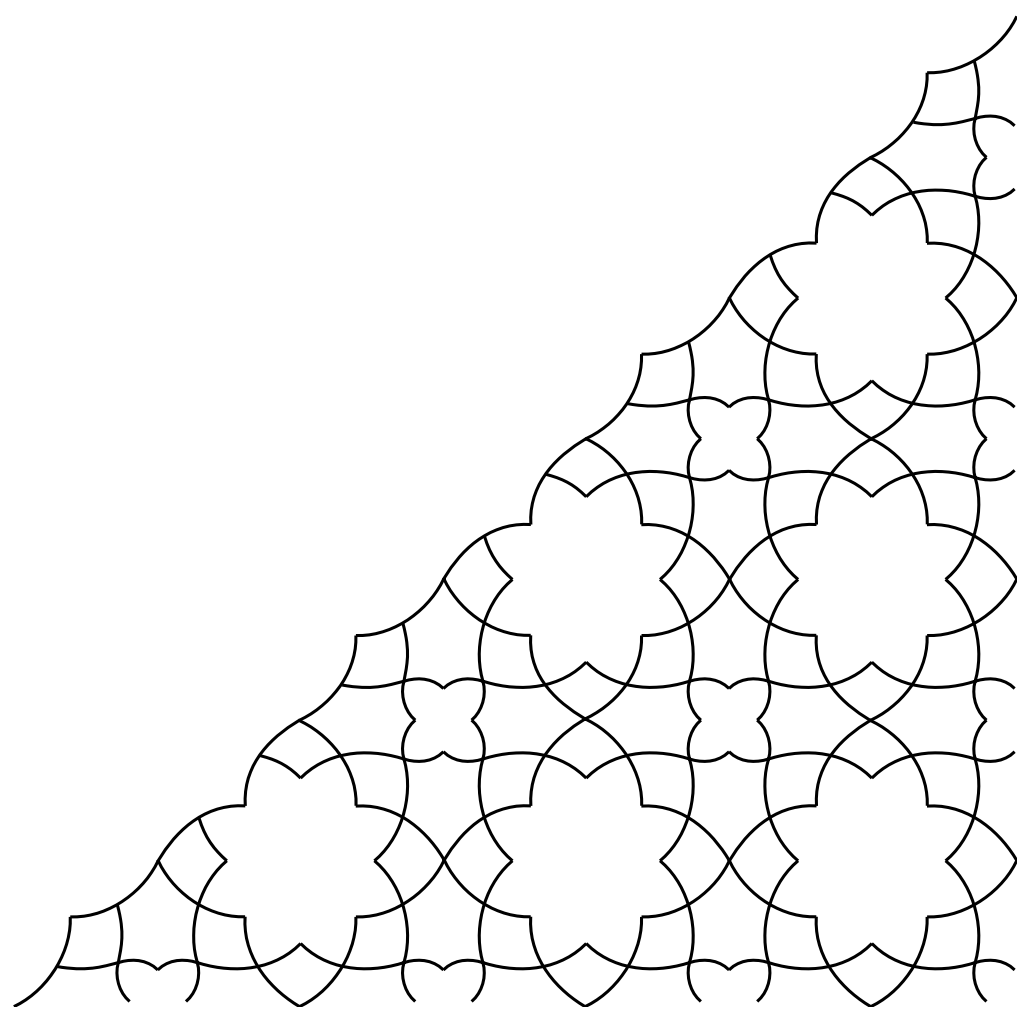
⁷⁰⁵ خُصصت الوثيقة RFC 5729 لمناقشة الهجمات التي يمكن شنها باستعمال بروتوكولي رسائل التحكم المخصصين للإصدارين الرابع والسادس،

انظرها في [RFC7529] في تَبت المراجع.

⁷⁰⁶ انظر ص. 35-38 في [RFC2401] في تَبت المراجع.



الفصل الثَّانِي عشر: بَرُوتُوگُول اکتشاف الجیران



مقدمة

بروتوكول اكتشاف الجيران⁷⁰⁷ هو بروتوكول مُساعد للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، طُوّر في عام 1996م. يُنجز بروتوكول اكتشاف الجيران، مجموعةً من الوظائف التي قُدمت في الأصل لدعم الإصدار الرابع، ويحل محل بروتوكولين دَعما سابقاً وظائفه هما: بروتوكول اقتران العناوين، الذي يُستبدله كلياً، ويحل محلّه مُقدماً وظيفة اقتران العناوين، وبروتوكول رسائل التّحكّم للإصدار الرابع، فيُقدّم اثنين من وظائفه هما اكتشاف المُوجّهات وإعادة التّوجيه.

يَعتمد بروتوكول اكتشاف الجيران على بروتوكول رسائل التّحكّم للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت فيُعَرّف في معياره الأصيل خمسَ رسائلٍ هي: رسالة التماس المُوجّه ورسالة الإعلان عنه ورسالة التماس الجار ورسالة الإعلان عنه ورسالة إعادة التّوجيه. عرّفت بروتوكولات، أو آليات طُوّرت في ما بعد، رسائلٍ إضافيةً ألحقت بالبروتوكول ووسّعت من وظائفه. تُشرف هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة على إدارة وحفظ سجلٍّ مُوحّدٍ ومعياريٍّ لبُنى رسائل البروتوكول واستعمالاتها.

يَعمل البروتوكول في الشبكات المحليّة، وينشُط بين العُقد التي تدعم الإصدار السادس لمساعدتها في اكتشاف المُوجّهات واكتشاف العُقد الجيران وما يُلحق بهما وفي إنجاز عمليّة إعادة التّوجيه. يَشمل اكتشاف الجيران تحديد عناوين المُخارج الافتراضيّة واكتشاف البادئات المحليّة والفريدة عالمياً المُستعملة في الشبكة المحليّة وأطوالها ومُحدّدات الشبكة نحو قيمة وحدة النّقل العُظمى. أمّا اكتشاف الجيران، فيُعطي عمليّة اقتران العناوين وآليّة تحديد الاستعمال المُتكرّر للعنوان وآليّة تحديد إمكانيّة بُلوغ الجار.

يُمْكِن أن يُستعمل البروتوكول لشنّ مجموعةٍ من الهجمات في شبكات البيانات، وتُصنّف هذه الهجمات وفقاً لأهدافها إلى هجمات حجب الخدمة وهجمات بالانتحال تتضمّن انتحال العناوين وانتحال المُوجّه. يُمْكِن أن تُصنّف الهجمات وفقاً لطريقة شتّها إلى هجماتٍ تتضمّن عمليّات توجيه وهجماتٍ لا تتضمّن هجماتها تتلّعب برسائل الرّد. تُعالج نقاط الضّعف المُرتبطة بهذا البروتوكول عُموماً باستعمال توسّعة بروتوكول الجيران الآمن أو بتأمين الرسائل بتعميتها عبر استخدام حزمة أمن بروتوكول الإنترنت.

ألحقت توسّعة الاكتشاف المعكوس للجيران ببروتوكول اكتشاف الجيران، وهي تُهدف لمُساعدة العُقد التي تُشغّل البروتوكول في اكتشاف عناوين بروتوكول الإنترنت لِعُقْدٍ أُخرى انطلاقاً من عنوان طبقة الوصلة خاصّتها، وألحق بروتوكول اكتشاف الجيران الآمن به أيضاً لمُعالجة تهديدات الأمن والهجمات التي طُوّرت في الشبكات المحليّة بعد تنفيذ بروتوكول اكتشاف الجيران.

يبدأ هذا الفصل بعرض نبذةٍ تاريخيّةٍ لتطوّر معايير بروتوكول اكتشاف الجيران، ثُمَّ يتناول مبدأ عمله شارحاً آليّته باختصارٍ، ويُفصّل بعد ذلك في بُنى الخيارات التي عرّفها معيار البروتوكول الرّئيس، ثُمَّ يُبوّب وظائفه بدقّة ويصفها قبل أن يعرّج على المُشكلات التي ظهرت في شبكات البيانات بعد تطبيق البروتوكول، ويختتم الفصل باستعراض بروتوكولات ذات صلةٍ ببروتوكول اكتشاف الجيران.

⁷⁰⁷ أصل الاسم Neighbor Discovery Protocol، اختصاراً NDP.

نبذة تاريخية

طُوِّر بروتوكول اكتشاف الجيران ليدعم الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، خاصَّةً في مسألة التَّهْيئة الدَّاتية الآلية التي تُؤدِّي إلى اتِّصال العقدة مع الشَّبكة المَحَلِّية من غير أيِّ تَدخُلٍ خارجيٍّ من مُديري الشَّبكة. نتيجةً لذلك، في كُلِّ مَرَّةٍ طُرِح فيها معيارٌ جديدٌ لبروتوكول اكتشاف الجيران، طُرِح معه على التَّوازي معيارٌ للتَّهْيئة الدَّاتية الآلية (الشَّكل (10-1)).⁷⁰⁸ بدَّء العمل في تطوير البروتوكول في سبتمبر من العام 1994م، وفيه ابتدأت صياغة مُسَوِّدةٍ أوَّلَى لتعريف بُنَى لرسائل بروتوكول رسائل التَّحكُّم لِيستخدِمها بروتوكول اكتشاف الجيران لاحقاً،⁷⁰⁹ ثُمَّ ابتدأت في شهر أكتوبر من العام نفسه صياغة مُسَوِّدةٍ لتعريف كيفية مُعالجة الرِّسائل السَّابِقة لِدعم الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت الذي كان ما يزال قيد التَّطوير حينها.⁷¹⁰ ثُمَّ طُوِّر تَتَابُعاً لإصداران من كُلِّ مُسَوِّدةٍ وانتهى العمل عليهما في شهري يناير وفبراير من العام 1995م على التَّرتيب.⁷¹¹

دُمِجت المُسَوِّدتان معاً في شهر يونيو من العام نفسه، وحُسِّنتا، فنتج عنهما مُسَوِّدةٌ جديدةٌ عُنونت: "اكتشاف الجيران في الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت".⁷¹² حُسِّنت المُسَوِّدة في أثناء السَّنَةِ التَّالِيَةِ، وأُصدِرَت سِتُّ نُسخٍ متتَابِعَةٍ مِنْهَا كان آخرُها في شهر مارس من العام 1996م،⁷¹³ وخلال هذه الفترة، وتحديدًا في شهر ديسمبر 1995م، صَدَرَ المِيعَارُ الأوَّلُ للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، وحَمَلَ الاسم الرِّمزيَّ RFC 1883.⁷¹⁴

صَدَرَ المِيعَارُ الأوَّلُ لبروتوكول اكتشاف الجيران في أغسطس 1996م إلى جانب المِيعَارِ الأوَّلُ لتقنيَّة التَّهْيئة الدَّاتية الآلية، وحَمَلَ الاسم الرِّمزيَّ RFC 1970.⁷¹⁵ بعد أقلَّ من عامٍ ونُصِفِ، وفي ديسمبر 1998م، صَدَرَت النُّسخة الثَّانِيَةِ من بروتوكول اكتشاف الجيران، وحَمَلَت الاسم الرِّمزيَّ RFC 2461، وأُصدِرَ معها في الوقت نفسه معيارٌ جديدٌ لِكُلِّ من الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت ولبروتوكول رسائل التَّحكُّم للإصدار السادس ولتقنيَّة التَّهْيئة الدَّاتية الآلية، في إشارةٍ لا لَبَسٍ فيها إلى أنَّ هذه التَّفانينات قد أصبحتُ جزءاً رئيساً من الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت.⁷¹⁶

⁷⁰⁸ راجع ما جاء حول التَّهْيئة الدَّاتية الآلية في القسم المُخصَّص لها في الفصل العاشر من هذا الكتاب. يُمكن أيضاً تَبَيُّنُ العَلاقة بين المِيعَارِين بَتَتُّعِ أسمائِها الرِّمزيَّة. يُوجد ثلاث مِيعَارِين للبروتوكول وثلاثٌ لِلآلية، طُرِحَت على التَّرتيب كما يَأْتِي: أوَّلُها في أغسطس 1996م، وحَمَلَ حينها مِيعَارُ بروتوكول اكتشاف الجيران الاسم الرِّمزيَّ RFC 1970 وآلية التَّهْيئة الدَّاتية الآلية الاسم الرِّمزيَّ RFC 1971، وثانِيها في ديسمبر من العام 1998م، وحَمَلَت وثيقتا طلب التَّعليقات ذاتا الصِّلة الاسمان الرِّمزيَّان RFC 2461 و RFC 2462 على التَّرتيب، وثالثها في سبتمبر من العام 2007م، وحَمَلَت الوثيقتان الاسمان الرِّمزيَّان RFC 4681 و RFC 4682 على التَّرتيب.

⁷⁰⁹ انظر نصَّ المُسَوِّدة في [WEB38] في تَبَّت المِراجِع.

⁷¹⁰ انظر نصَّ المُسَوِّدة في [WEB39] في تَبَّت المِراجِع.

⁷¹¹ انظر نصِّي المُسَوِّدتين على التَّرتيب في [WEB40] و [WEB41] في تَبَّت المِراجِع.

⁷¹² أصل الاسم IPv6 Neighbor Discovery، وانظر نصَّ المُسَوِّدة في [WEB42] في تَبَّت المِراجِع.

⁷¹³ انظر نصَّ المُسَوِّدة في [WEB43] في تَبَّت المِراجِع.

⁷¹⁴ انظرها في [RFC1883] في تَبَّت المِراجِع.

⁷¹⁵ انظرهما على التَّرتيب في [RFC1970] و [RFC1971] في تَبَّت المِراجِع.

⁷¹⁶ انظرها في [RFC2460] و [RFC2461] و [RFC2462] و [RFC2463] في تَبَّت المِراجِع.

أصدر التحديث الثالث لِمِيعيار بروتوكول اكتشاف الجيران في سِپتمبر 2007م، وَحَمَلت الوثيقة الاسم الرِّمزيّ RFC 4861،⁷¹⁷ وهي ما تزال المِيعيار الرِّسميّ للبروتوكول حتّى تاريخ إصدار هذا الكتاب.

مبدأ العمل

بروتوكول اكتشاف الجيران هو بروتوكولٌ مُساعدٌ للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، يُنجز مجموعةً من الوظائف لدعمه، فَيَحُلُّ محلَّ بروتوكولين خدما سابقاً للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، هما بروتوكول اقتراح العناوين، ويُستبدله كلياً مُقدِّماً وظيفة اقتراح العناوين، وبروتوكول رسائل التَّحكُّم في الإنترنت، ويُقدِّم اثنين من وظائفه وهما اكتشاف المُوجِّهات وإعادة التَّوجيه.⁷¹⁸

يُعرِّف البروتوكول الاصطلاحات الرِّئيسة التَّالية:⁷¹⁹

- العُقدة: جهازٌ يُنقذ الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت.
 - المُوجِّه: عُقدة تُوجِّه رزم بياناتٍ غير مُوجَّهة لها حصريّاً.
 - المُضيف: أيُّ عُقدةٍ ما خلا المُوجِّهات.
 - الوصلة: وسط اتِّصالٍ يُمكن للعقد من خلاله أن تتَّصل بعضها مع بعضٍ اعتماداً على طبقة الوصلة.
 - الجيران: العقد الَّتِي تتَّصل بعضها مع بعضٍ عبر الوصلة نفسها.
- يُعالج بروتوكول اكتشاف الجيران عُموماً مجموعةً من المسائل ذات الصِّلة بالتَّفاعل بين عُقد الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت النَّاشطة في شبكةٍ محلِّيَّة، وهذه المُشكلات هي:⁷²⁰

- اكتشاف المُوجِّهات ومُلحقاته، ويَشمل ذلك:
 - اكتشاف المُوجِّهات في الشَّبكة المحلِّيَّة: أي كيف يُمكن لِمُضيفي الإصدار السادس الموجودين في شبكةٍ محلِّيَّةٍ ما تحديد المُوجِّهات الَّتِي تتَّصل مع تلك الشَّبكة.
 - اكتشاف البادئات الفريدة عالمياً وأطوالها: أي كيف يتعرَّف مُضيفو الإصدار السادس على المُستعملة من طرف مُضيفو الشَّبكة المحلِّيَّة. يُساعد اكتشاف البادئات في تحديد فيما لو كان إرسال رزمة بياناتٍ ما لِمُضيفٍ وجهةٍ سيَحصل مباشرةً عبر الشَّبكة المحلِّيَّة أم سيَمُرُّ عبر أحد المُوجِّهات المُتَّصلة مع تلك

⁷¹⁷ انظرها في [RFC4861] في ثَبَّت المراجع.

⁷¹⁸ عُرفَّت رسائل اكتشاف المُوجِّه بصفة توسعةٍ لبروتوكول رسائل التَّحكُّم للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، ووُثقت في وثيقة طلب التَّعليقات RFC 1256، انظرها في [RFC1256] في ثَبَّت المراجع. أمَّا إعادة التَّوجيه، فهي وظيفةٌ رِئيسةٌ لبروتوكول رسائل التَّحكُّم، وُصفت في معياره الأصيل، انظرها في [RFC972].

⁷¹⁹ هذه التَّعاريف مُجتزأةٌ من التَّعاريف الواردة في معيار الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت أو مَبنيَّةٌ عليها، أُصول الأسماء هي: Node و Router و Host و Link و Neighbor على التَّرتيب، انظر الأصل في ص. 3-4 في [RFC2460] في ثَبَّت المراجع.

⁷²⁰ انظر ص. 10-11 في [RFC4861] في ثَبَّت المراجع.

الشَّبكة، ويُساعد أيضاً في دعم عمليَّة التَّهيئة الدَّائِيَّة الآليَّة للعنوان، أي تعريف العُقد على طريقة

تُمكنهم من توليد عنوانٍ لِمِنفذٍ ما ذاتياً من غير الحاجة لوجود خدمةٍ مركزيَّة تُتَّبع العمليَّة.⁷²¹

○ اكتشاف المُحدِّدات المُستعملة في الشَّبكة المحليَّة، نحو قيمة وحدة النُّقل العُظمى، وفي الإنترنت، نحو قيمة عَدَد القفزات.

● اكتشاف الجيران ومُلاحقته، ويشمل ذلك:⁷²²

○ اقتراح العناوين: أي كيف يُمكن لعقدةٍ أُولَى أن تُحدِّد عنوان طبقة الوصلة لعقدةٍ أُخرى انطلاقاً من معرفة العقدة الأُولَى لعنوان بروتوكول الإنترنت الخاصَّ بالعقدة الأُخرى.

○ تحديد الاستعمال المُتكرَّر للعناوين: أي تعريف آليَّة تُساعد عقدة الإصدار السَّادس في تحديد فيما لو كان عنوانٌ ما مُستعملٌ سلفاً في الشَّبكة المحليَّة. تختبر عُقد الإصدار السَّادس العناوين التي تولِّدها ذاتياً بواسطة هذه الآليَّة للتَّأكُّد من كونها فريدةً على مُستوى الشَّبكة المحليَّة.

○ تحديد إمكانية بلوغ الجار من عدمها لغرض الحفاظ على جدول عناوين طبقة الوصلة مُحدَّثاً. لو تَعَدَّر الوُصول للجار، يَحذف البروتوكول البند الخاصَّ به من الجدول.

● إعادة التَّوجيه: أي تعريف آليَّة يُمكن من خلالها لِمُوجِّهٍ أن يُعلم مُضيفاً لعنوانٍ من الإصدار السَّادس بوجود مسارٍ أفضلٍ يُمكن أن يُرسل إليه رزم البيانات المُوجَّهة نحو وجهةٍ مُحدَّدة.

يُعرَّف البروتوكول خَمساً من رسائل بروتوكول رسائل التَّحكُّم في بروتوكول الإنترنت من أجل إنجاز الوظائف السَّابِقة، وهي زوجان لاكتشاف المُوجَّهات وزوجان لاكتشاف الجيران ورسالةٌ لإعادة التَّوجيه، وهذه الرِّسائل هي:⁷²³ رسالة التماس المُوجَّه ورسالة الإعلان عن المُوجَّه ورسالة التماس الجار ورسالة الإعلان عن الجار ورسالة إعادة التَّوجيه.

بُنَى الرِّسائل والخيارات

الرِّسائل

بُنِيَّة رسائل بروتوكول اكتشاف الجيران هي بُنِيَّة رسائل بروتوكول رسائل التَّحكُّم للإصدار السَّادس من بروتوكول الإنترنت نفسها الذي دُرِس بالتَّفصيل في الفصل الحادي عشر من هذا الكتاب.⁷²⁴

⁷²¹ أصل الاسم Stateless، وهي كلمةٌ مُكوَّنة من مقطعين: State وتعني دولة، وless وتعني معدوم، وهو مُصطلحٌ يُستعمل للإشارة إلى معدومي الجنسيَّة أي الأشخاص الذين لا تعترف بهم أيُّ حُكومةٍ، والمقصود بهذه الكلمة في هذا السِّياق أنَّ طريقة العنونة ليست مركزيَّة ولا تُتَّبَع أيُّ مُخدِّمٍ. انظر ص. 1143 في [BKE02] في ثَبِت المراجع.

⁷²² أصول الأسماء على التَّرتيب: Address resolution و Duplicate Address Detection، اختصاراً DAD، و Neighbor Unreachability Detection، اختصاراً NUD.

⁷²³ أصول أسماء الرِّسائل على التَّرتيب: Router solicitation و Router advertisement و Neighbor solicitation و Neighbor advertisement و Redirect، انظر ص. 11-12 في [RFC4681] في ثَبِت المراجع.

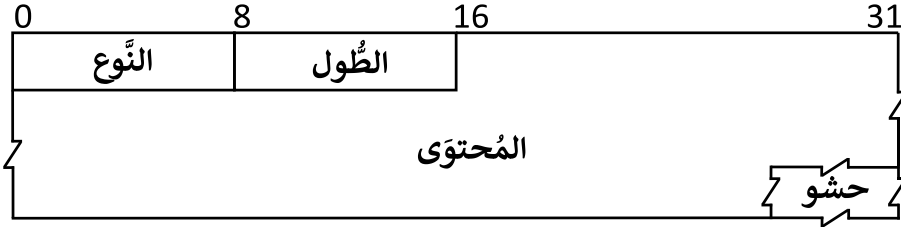
⁷²⁴ انظرها بالتَّفصيل في الفصل الحادي عشر من هذا الكتاب.

الخيارات

يُمكن أن تحتوي رسالة بروتوكول اكتشاف الجيران على خيارٍ واحدٍ أو أكثر وقد لا تحتوي على أيّ خيارٍ، ويُمكن أن يتكرّر خيارٌ ما أكثر من مرّةٍ في الرسالة نفسها.

يَتكوّن خيار بروتوكول اكتشاف الجيران من أربعة حُقُولٍ كما يأتي (الشكل (1-12)):⁷²⁵

- حقل النوع: طوله 8 بتاتٍ، وفيه ويحدّد نوع الخيار.
- حقل الطول: طوله 8 بتاتٍ، وفيه طول الخيار كاملاً بوحدة 8 بايتاتٍ، أي لو كان طول الخيار 8 بايتاتٍ، فإنّ قيمة حقل الطول هي 1، ولا تُقبل قيمة 0 فيه، ما يعني أنّ طول الخيار الأدنى هو 8 بايتاتٍ.
- المحتوى: مُتغيّر الطول، قد يتضمّن حُقُولاً فرعيةً، وتحدّد بنيته بنوع الخيار.
- الحشو: وهي مجموعة بتاتٍ، قد تكون صفريةً الطول، تُضاف بعد حقل المحتوى لمحاذاة طوله فيُصبح من مُضاعفات 8 بايتاتٍ.



الشكل (1-12): بنية عامّة لخيارات بروتوكول اكتشاف الجيران

عَرّف معيار بروتوكول اكتشاف الجيران في الأصل خمسة خياراتٍ فقط، هي:⁷²⁶ خيار عنوان طبقة الوصلة للمصدر وخيار عنوان طبقة الوصلة للوجهة وخيار معلومات البادئة وخيار ترويسة إعادة التوجيه وخيار وحدة النقل العظمى. تُدير هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة عملية إدارة وحفظ وتحديث سجلّ خياراتٍ معياريّ، وقد خصّصت، مع نهاية عام 2021م، أكثر من أربعين قيمة نوعٍ معياريةً استُعملت في تعريف خياراتٍ جديدةٍ للبروتوكول.⁷²⁷ وستناقش الأقسام التالية بنية الخيارات السابقة واستعمالها.

خيار عنوان طبقة الوصلة

يُستعمل خيار عنوان طبقة الوصلة لغرضين: إمّا لحمل عنوان طبقة الوصلة للمصدر الرسالة كما هو الحال في رسالة التماس الجار ورسالة التماس المُوجّه ورسالة الإعلان عن المُوجّه، أو لحمل عنوان طبقة الوصلة للهدف كما هو الحال في رسالة الإعلان عن الجار ورسالة إعادة التوجيه.

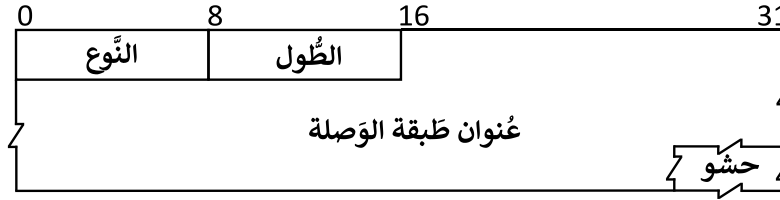
⁷²⁵ انظر ص. 28 في [RFC4681] في ثبت المراجع.

⁷²⁶ أصول أسمائها هي Source/Target link-layer address و Prefix information و Redirect header و Maximum

Transmission Unit (MTU) على الترتيب.

⁷²⁷ انظر [WEB37] في ثبت المراجع.

يَتكوَّن الخيار من ثلاثة حُقُولٍ هي حقل النَّوع، طوله 8 بتاتٍ، وتكون قيمته 1 لو حَمَلت الرِّسالة عنوان المَصَدِّر و2 لو حَمَلت الرِّسالة عنوان الهدف، يليه حقل الطُّول، طوله 8 بتاتٍ، ويحدِّد طول الخيار بوحدة 8 بايتاتٍ، ثمَّ حقلٌ مُخصَّصٌ لعنوان طبقة الوصلة، وأخيراً بتات الحشو لو وُجدت حاجةٌ لإتمام الطُّول إلى حُدود 8 بايتاتٍ (الشَّكل (2-12)).⁷²⁸



الشَّكل (2-12): بنية خيار عنوان هدفٍ في طبقة الوصلة وخيار عنوان مَصَدِّر فيها

يَتحدَّد محتوَى حقل العنوان وطريقة ترتيب بايتات عنوان طبقة الوصلة فيه، أي هل تُرتَّب حسب البتات الأكثر أهميَّةً أم حسب الأقلَّ أهميَّةً، بمعاييرٍ خاصَّةٍ مُستقلَّةٍ عن معيار البروتوكول. تُحدِّد الوثيقة RFC 2464، على سبيل المثال، كيفية إضافة عنوان التَّحكُّم بالنِّفاذ للوسط في حقل عنوان طبقة الوصلة.⁷²⁹

خيار مَعْلُومَات البادئة

يُستعمل خيار مَعْلُومَات البادئة لِزُود المضيفين بالبادئات المحلِّيَّة وبالبادئات المُستعملة في عمليَّة التَّهيئة الذاتيَّة الآليَّة. يُرفَق الخيار في رسائل الإعلان عن المُوجَّه فقط، ويكون ثابت الطُّول، وهو يتكوَّن من عشرة حُقُولٍ، وله البنية التَّالية (الشَّكل ((3-12):⁷³⁰

- حقل النَّوع، طوله 8 بتاتٍ وقيمته 3.
- حقل الطُّول، طوله 8 بتاتٍ وقيمته 4، أي 24 بايتاً.
- حقل طول البادئة، طوله 8 بتاتٍ، ويحتوي على قيمةٍ صحيحةٍ تُشير لِطول البادئة المُرفقة مع هذا الخيار، وبما أنَّ طول عنوان الإصدار السَّادس من بروتوكول الإنترنت هو 128 بتاً، فإنَّ قيم هذا الحقل تكون محصورةً بين القيمتين 0 و127.
- عَلم الوصلة المحلِّيَّة، وهو بتٌ واحدٌ، يُرفَع للإشارة إلى إمكانية استعمال البادئة محلياً. ولكن يلزم الانتباه، فلو خُفيض، فهذا لا يعني جواز استعمالها خارج الشَّبكة المحلِّيَّة.
- عَلم التَّهيئة المُستقلَّة للعناوين، وهو بتٌ واحدٌ، يُرفَع للإشارة إلى إمكانية استعمال البادئة في عمليَّة التَّهيئة الذاتيَّة الآليَّة.
- حقلٌ محجورٌ طوله 6 بتاتٍ، يُضبط إلى قيمةٍ صفريةٍ في المرسل ويُهمَل في المُستقبل.

⁷²⁸ انظر ص. 28 في [RFC4861] ثَبِت المَراجع.

⁷²⁹ انظرها في [RFC2464] في ثَبِت المَراجع.

⁷³⁰ أصول أسماء الحُقُول والأعلام بدءاً من الحقل الثالث ما خلا الحُقُول المحجوزة هي على التَّرتيب: On-link flag و Prefix length و Autonomous address-configuration flag و Valid Lifetime و Prefix Preferred Lifetime، انظر ص. 29-31 في [RFC4861] في ثَبِت المَراجع.

- حقل زمن الحياة الصالح، طوله 32 بتاً، ويضم قيمة الزمن الذي تكون البادئة خلاله صالحةً لعملية توليد العنوان المحليّ مقدراً بالتواني، ويلزم أن يبدأ حساب هذا الزمن من لحظة إرسال الرسالة التي تحتوي على هذا الخيار. لو ضبطت بتات الحقل كلها إلى قيمةٍ واحدةٍ، فهذا يعني أن قيمة الزمن غير نهائيةً.
- حقل زمن الحياة المفضّل، طوله 32 بتاً، ويضم قيمةً للزمن الذي يكون استعمال البادئة فيه مفضلاً لأغراض التهيئة الذاتية الآلية. يكون الزمن مقدراً بالتواني، ويلزم أن يبدأ حسابه من لحظة إرسال الرسالة التي تحتوي على هذا الخيار. لو ضبطت بتاته كلها إلى قيمةٍ واحدةٍ، فهذا يعني أن قيمة الزمن غير نهائيةً.
- حقل محجور طوله 32 بتاً، يُضبط إلى قيمة صفرية في المرسل ويُهمَل في المُستقبل.
- حقل البادئة، طوله 128 بتاً، ويحتوي على عنوان من الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت أو على بادئة تُحدّد فضاءً جزئياً من الإصدار السادس.

0	8	16	31
النوع = 3	الطول = 4	طول البادئة	محجور
زمن الحياة الصالح			
زمن الحياة المفضّل			
محجور			
علم التهيئة المستقلة للعناوين			
علم الوصلة المحلية البادئة			

الشكل (3-12): بنية خيار معلومات البادئة

خيار ترويسة إعادة التوجيه

يُستعمل خيار ترويسة إعادة التوجيه في رسائل إعادة التوجيه فقط من أجل تضمين الرزمة التي أعيد توجيهها كاملةً، كما هي، أو جزئياً بتضمين أكبر قسمٍ ممكنٍ منها. تكون قيمة حقل النوع في هذا الخيار هي 4 وتحدّد قيمة حقل الطول حسب طول الخيار، يلي ذلك حقل محجور طوله 48 بتاً، ثم ترويسة بروتوكول الإنترنت في الرزمة التي أعيد توجيهها وأكبر قسمٍ ممكنٍ من حمولتها من غير أن يتجاوز طول الرسالة قيمة وحدة النقل العظمى الخاصة بالإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت في تلك الشبكة (الشكل (4-12)).⁷³¹

0	8	16	31
النوع = 4	الطول	محجور	
محجور			
ترويسة بروتوكول الإنترنت + بيانات			

الشكل (4-12): بنية خيار ترويسة إعادة التوجيه

⁷³¹ انظر ص. 31-32 في [RFC4861] ثبت المراجع.

خيار وحدة النقل العظمى

يُستعمل خيار وحدة النقل العظمى في رسائل الإعلان عن المُوجَّهات فقط من أجل ضمان أن تستعمل عُقد الشبِّكة كُلُّها قيمةً موحَّدةً لوحدة النقل العظمى. تُكون قيمة حقل النوع في هذا الخيار هي 5، وقيمة حقل الطول هي 1، يليها حقلٌ محجورٌ طوله 16 بتاً، ثم حقل وحدة النقل العظمى بطول 32 بتاً، وهو يضمُّ قيمة وحدة النقل التي يُستحسن استعمالها (الشكل (4-12)).⁷³²

0	8	16	31
النوع = 5	الطول = 1	محجورٌ	
وحدة النقل العظمى			

الشكل (5-12): بنية خيار وحدة النقل العظمى

الوظائف

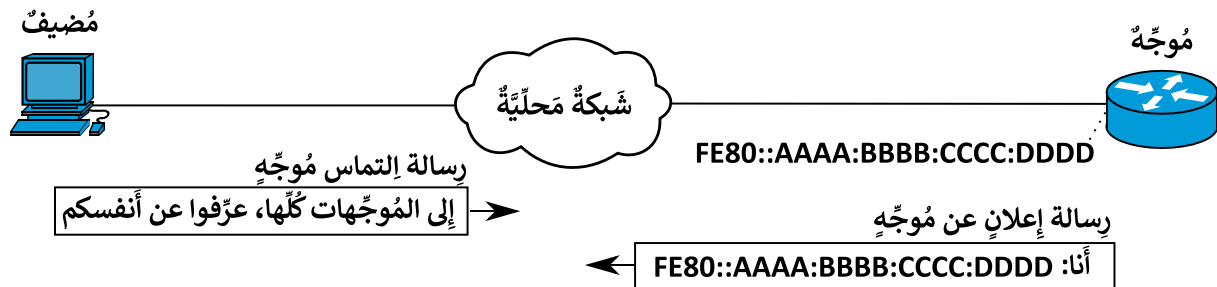
اكتشاف المُوجَّهات وملحقاته

تَشْمُل هذه الوظيفة اكتشاف المُوجَّهات الجيران في الشبِّكة المحليَّة والتَّعرُّف على البادئات والتَّعرُّف على مُحدِّدات شبِّكة البيانات المحليَّة ومُحدِّداتها العامَّة.

اكتشاف وجود المُوجَّهات وعناوينها المحليَّة وعناوينها الفريدة عالمياً في الشبِّكة المحليَّة

تسمح هذه الوظيفة لعقدة تُشغَّل الإصدار السَّادس باكتشاف المُوجَّهات التي تُدعم البروتوكول في الشبِّكة المحليَّة، وتُحصِّل العمليَّة عبر تبادل رسائل التماس المُوجَّه والإعلان عنه.

تُرسل المُوجَّهات، بصورةً عامَّةً، رسائل الإعلان عن المُوجَّهات دوريّاً، ويُمكن لأيِّ عقدة اكتشاف وجود المُوجَّهات في الشبِّكة المحليَّة والتَّأكُّد من نشاطها من خلال استمرار استلام هذه الرِّسائل. ولكن لو أرادت عقدة ما، شغلت حديثاً أو أُعيد تشغيلها، أن تكتشف المُوجَّهات المُتَّصلة مع الشبِّكة المحليَّة حيث تُوجد، فإنها تُرسل رسالة التماس للمُوجَّهات في تلك الشبِّكة المحليَّة، وتُحفِّز هذه الرِّسالة المُوجَّهات على إرسال رسالة إعلان عن مُوجَّهٍ رداً عليها (الشكل (6-12)).



الشكل (6-12): تبادل رسائل بروتوكول اكتشاف الجيران لغرض اكتشاف المُوجَّهات في شبِّكة محليَّة

كما ذُكر في الفصل العاشر، فإنَّ الإصدار السَّادس من بروتوكول الإنترنت لا يدعم البثَّ العام، ولكنه يُستخدم البثَّ المجموعيَّ عوضاً عنه. لذلك فإنَّ رسائل الالتماس تُرسل دوماً إلى عنوان مجموعة كلِّ المُوجَّهات، وهو FF02::2. أمَّا

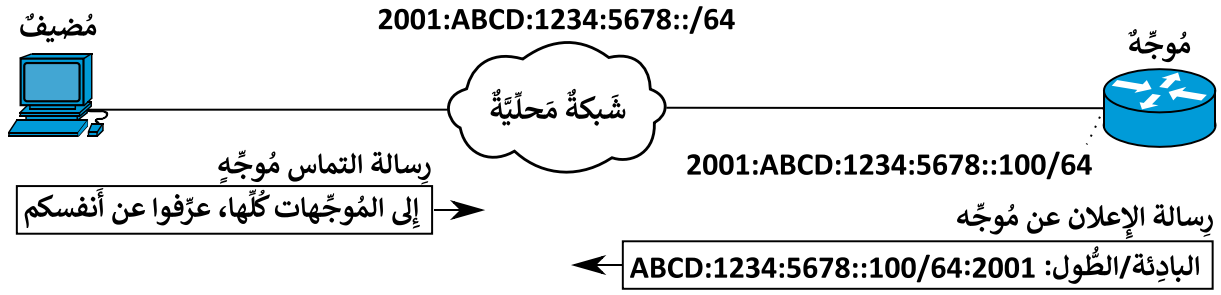
⁷³² انظر ص. 32 في [RFC4861] ثَبَّت المراجع.

رسائل الإعلان عن المُوجَّهات، فإن كانت رسائل دورية، فإنها تُرسل إلى عنوان مجموعة كلِّ العقد، وهو 1::FF02. وإن كانت ردّاً على رسالة التماس، فإن رسالة الرد تُرسل إلى العقدة التي ولدت رسالة التماس مباشرةً باستعمال عنوانها الموجود في رسالة التماس. يُمكن أن تحتوي هذه الرسائل على خيار عنوان طبقة الوصلة، وهو يُعرّف المضيف على عنوان طبقة الوصلة الخاصّ بمنقذ المُوجَّه المتّصل مع الشبكة المحليّة حيث يوجد المضيف.

اكتشاف البادئات المحليّة وأطوالها

يعني اكتشاف البادئات المحليّة تعرّف المضيفين على نطاق عناوين بروتوكول الإنترنت المُستعمل في الشبكة المحليّة، أي تحديد العناوين التي يُمكن الوصول إلى مضيفيها مباشرةً من غير أن تمرّ الرسالة عبر مُوجَّه.

يُمكن أن تحمّل رسائل الإعلان عن المُوجَّه معلومات تخصّ البادئات الفريدة المُستخدمة في الشبكة المحليّة باستعمال خيار معلومات البادئة. يُمكن للمضيفين، نتيجةً لذلك، أن يكتشفوا البادئات وأطوالها من خلال معالجة رسالة إعلان دورية عن المُوجَّه أو غير دورية خصّصت للردّ على رسالة التماس (الشكل (12-7)).



الشكل (12-7): تبادل رسائل بروتوكول اكتشاف الجيران لغرض اكتشاف البادئات وأطوالها في شبكة محليّة

اكتشاف المُحدّثات المُستعملة في الشبكة

يُمكن أن يكتشف المضيفون معلوماتٍ متنوّعةٍ عن المُحدّثات المُستعملة في الشبكة المحليّة من خلال الاطلاع على ترويسة بروتوكول الإنترنت التي تُغلّف رسائل بروتوكول اكتشاف الجيران، وعلى الخيارات الموجودة في رسائل بروتوكول اكتشاف الجيران، ومنها:

- قيمة عدد الفترات الأعظم الذي يُحدّد زمن حياة الرزمة، ويُمكن التعرّف عليه من ترويسة بروتوكول الإنترنت التي تُغلّف رسالة بروتوكول اكتشاف الجيران.
- قيمة وحدة النّقل العظمى، وذلك باستعمال خيار وحدة النّقل العظمى في رسائل الإعلان عن المُوجَّهات.
- معلومات تخصّ عمليّة التهيئة الدّاتيّة الآليّة، نحو وجود دعمٍ للخدمة في الشبكة المحليّة من عدمه، وقيمة البادئة المُستعملة في التهيئة الآليّة للعنوان باستعمال خيار معلومات البادئة.

اكتشاف الجيران وملحقاته

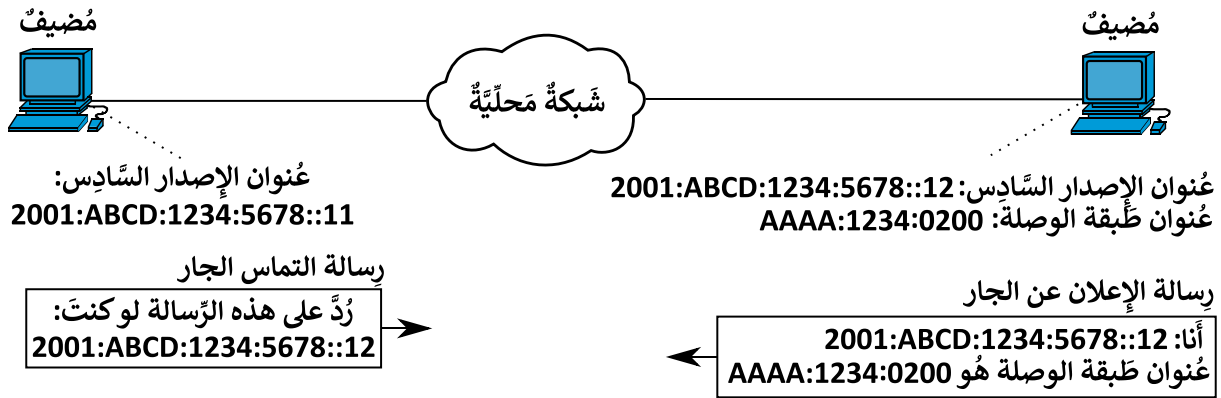
يشمل الاكتشاف ثلاث عمليّات هي اقتران العناوين وتحديد الاستعمال المُتكرّر للعناوين وتحديد إمكانية بلوغ الجار.

اقتران العناوين

هُوَ اكتشاف عناوين طبقة الوصلة للعقد الجيران عن طريق تبادل رسائلٍ معهم. أنجز بروتوكول اقتران العناوين هذه الوظيفة لدعم الإصدار الرَّابع من بروتوكول الإنترنت، وحلَّ بروتوكول اكتشاف الجيران محلَّه ليُنجز هذه الوظيفة دعماً لعمل الإصدار السَّادس من بروتوكول الإنترنت.⁷³³

تسمح هذه الوظيفة لعقدةٍ أولى موجودةٍ في شبكةٍ محلِّيَّةٍ وتُشغَّل الإصدار السَّادس من بروتوكول الإنترنت باكتشاف وجود عقدةٍ أخرى في الشبكة المحليَّة نفسها، بالإضافة إلى الحصول على عنوان طبقة الوصلة الخاصَّة بتلك العقدة، أو بمَنفذها المُعنون بعنوانٍ من تلك الشبكة، وتَحصل العمليَّة عبر تبادل رسائل التماس الجيران والإعلان عنها.

لو أرادت عقدةٌ أولى، تُعرِّف عنوان بروتوكول إنترنتٍ تستضيفه عقدةٌ أخرى، أن تُعرِّف عنوان طبقة الوصلة الخاصَّ بالعقدة الأخرى، فإنَّها تُرسل إليها رسالة التماس الجار، وتنتظر استقبال الرَّد. عندما تستقبل العقدة الأخرى رسالة التماس، فإنَّها تُردُّ عليها بإرسال رسالة الإعلان عن الجار (الشكل (8-12)).



الشكل (8-12): تبادل رسائل بروتوكول اكتشاف الجيران لغرض إنجاز وظيفة اقتران العناوين في شبكةٍ محلِّيَّةٍ

يكون عنوان وجهة رسالة الإعلان عن الجار هو عنوان التماس العقدة، وهو عنوان بثٍّ مَجْموعيٍّ محليِّ النطاق يُبنى اعتماداً على الخانات ستة العشريَّة السَّنة الأقلَّ أهميَّةً في عنوان بثٍّ فريد الوجهة للإصدار السَّادس من بروتوكول الإنترنت. يلزم أن تستمع كلُّ عقدةٍ للإصدار السَّادس إلى عناوين التماس الخاصَّة بمَنافذها لمعالجتها والرَّد عليها باستعمال رسائل الإعلان عن الجار.

أمَّا عنوان التماس العقدة، فيكون له الصِّيغة الآتية: FF02:0:0:0:1:FFXX:XXXX، أي أنه يتكوَّن من قسمين:⁷³⁴

1. بادئة طولها 104 بتات، هي: FF02:0:0:0:1:FF00::/104.
2. سِتُّ خاناتٍ ستة عشرية، طولها كُلُّها 24 بتاً، مأخوذة من البتات الأربعة والعشرين الأقلَّ أهميَّةً من عنوان بثٍّ فريد الوجهة أو عنوان بثٍّ نحو الأقرب.

⁷³³ انظر ترجمة بروتوكول اقتران العناوين في قسم "بروتوكولاتٍ مُساعدةٍ" في نهاية الفصل الثَّالث من هذا الكتاب.

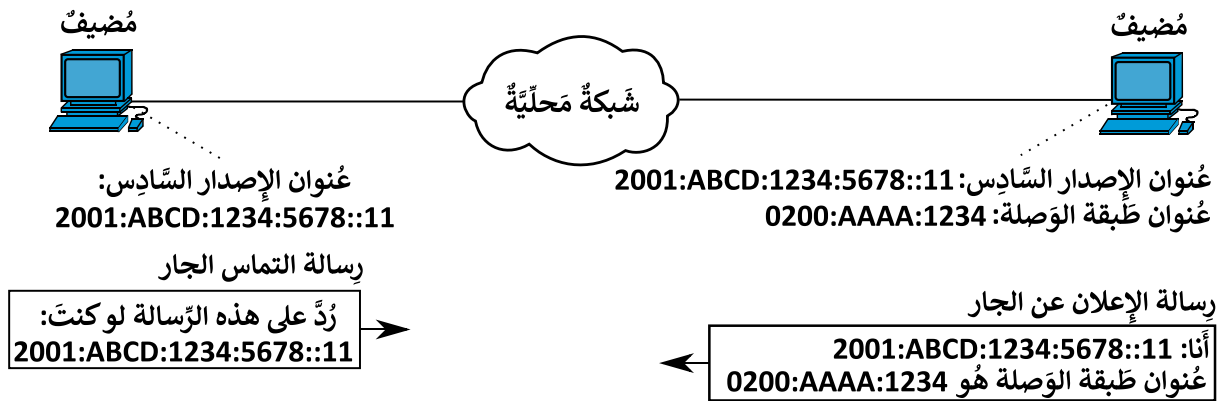
⁷³⁴ انظر ص. 15-16 في [RFC4291] في بُت المراجع.

تحديد الاستعمال المتكرر للعنوان

تُستعمل رسالتا التماس الجار والإعلان عنه ضمن آلية تحديد الاستخدام المتكرر للعنوان، وهي آلية طُوِّرت لِتُساعد العُقد على تجنُّب استعمال عنوان الإصدار السادس ذاته أكثر من مرَّةٍ في الشبَّكة المحليَّة نفسها، خاصَّةً عند استعمال التَّهيئة الدَّاتِيَّة الآليَّة، فلا سجِّلَ مَرَكزِيًّا فيها يُمكن التَّحَقُّق بواسطته من تَفَرُّد العُنوان وعدم استعماله في أيِّ مَوقِعٍ آخَرٍ في الشبَّكة المحليَّة.

تَحْصُل عمليَّة تحديد الاستخدام المتكرر للعنوان انطلاقاً من عُقدٍ تُريد التَّحَقُّق من تَفَرُّد عُنوانها في الشبَّكة المحليَّة كما يَأْتِي (الشَّكل (9-12)):

- تُرسل العُقدة رسالة التماس جارٍ نحو عُنوان التماس العُقدة المُرتَبط بالعُنوان الذي يُراد فحص تَفَرُّده.
- لو كان العُنوان فريداً، لن تَحْصُل العُقدة على أيِّ رسالةٍ إعلانٍ عن جارٍ رَدّاً على رسالة التماس السَّابِقة. وبخلاف ذلك، فهذا يَعْنِي وجود عُقدٍ أُخَرى في الشبَّكة المحليَّة يُحتمل أن يَكُون لها العُنوان نفسُه، وهي الَّتِي رَدَّت على رسالة التماس السَّابِقة بِرِسالةٍ إعلانٍ عن الجار.



الشَّكل (9-12): تبادل رسائل بروتوكول اكتشاف الجيران لغرض تحديد الاستخدام المتكرر للعنوان في شبَّكةٍ المحليَّة

تحديد إمكانية بلوغ الجار

يُساعد بروتوكول اكتشاف الجيران عُقد الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت على التَّمييز بين إخفاق العُقدة وإخفاق المَسار نحوها. فالأوَّل هو توقُّف العُقدة عن العمل توقُّفاً تاماً وتعدُّر الاتِّصال بها نتيجةً لذلك. أمَّا الآخَر، فيعني عدم صلاحية المَسار نحو العُقدة المُستهدَفة، ويُمكن عندها إيجاد مَسارٍ بديلٍ والحِفاظ على الاتِّصال مع تلك العُقدة.

تُستخدَم كُلُّ عُقدٍ في الشبَّكة المحليَّة هذه الآليَّة لِلتَّحَقُّق من إمكانية بلوغ الجيران كُلِّهم، وهذا يَشْمَل المُضيفين الجيران في تلك الشبَّكة والمُوجَّهات الَّتِي تلعب دور المَخارج الافتراضيَّة.

تَعْتَد العُقدة بإمكانية الاتِّصال مع جارٍ لها إذا كانت المُدَّة الزَّمنيَّة المُنقضية منذ استقبال آخر رزمة بياناتٍ منه لم تتجاوز عتبةً زمنيَّةً يحددها البروتوكول، ويُمكن تأكيد ذلك بطريقتين إمَّا عبر استعمال بروتوكولات طبقةٍ علياٍ نحو بروتوكول التَّحكُّم بالنَّقل، أو نتيجةً لِاستقبال رسالةٍ إعلانٍ عن جارٍ رَدّاً على رسالة التماسٍ أُرسِلت خصيصاً له، ولا يَشْمَل هذا رسائل

الإعلان عن المُوجَّهات ولا رسائل الإعلان عن الجار المُرسلة من غير رسالة التماس، فاستقبال هذه الرسائل يعني إمكانية الاتصال وحيد الاتجاه، أمَّا آلية تحديد إمكانية بُلوغ الجار فتُعتى بتأكيد وجود اتصال مُزدوج الاتجاه.

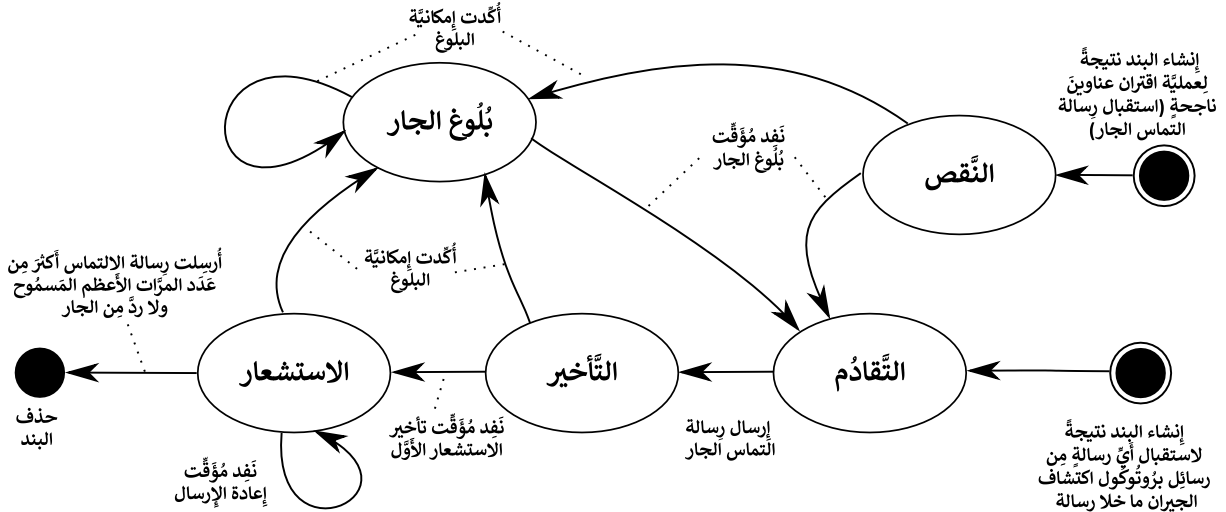
تُعرَّف الآلية خمس حالاتٍ لكلِّ بندٍ من بُنود عناوين الجيران في الدَّائِرَة المِخبِئِيَّة⁷³⁵ للعُقْدَة (الشَّكْل (10-12)):⁷³⁶

- حالة النِّقْص، وهي حالةٌ ابتدائيةٌ، يدخلها البند بعد إضافته للمرة الأولى نتيجةً لعملية اقتران عناوين ناجحة، ويعني وجود البند في هذه الحالة بأنَّ رسالة التماس جارٍ قد أُرسِلت إلى عنوان التماس العقدة، ولكن رسالة الإعلان لمَّا تَصِل بعد.
- حالة بُلوغ الجار، يدخل البند هذه الحالة عند استقبال رسالة إعلانٍ عن الجار ردًّا على رسالة التماس أُرسِلت سابقاً، أو عند وصول تأكيدٍ على إمكانية الاتصال مع الجار من بروتوكول طبقةٍ عليا، ويظلُّ البند في هذه الحالة لمدَّةٍ زمنيةٍ يُحددها مُوقِّتٌ انتظار خاصٌ يُضبط إلى زمن بُلوغ الجار.⁷³⁷ لو نَفِدت قيمته، يُصبح البند مُتقاديمًا وينتقل إلى حالة التَّقَادِم.
- حالة التَّقَادِم، يدخلها البند من حالة بُلوغ الجار، لو نَفِد زمن بُلوغ الجار من غير استقبال رسالة ردٍّ على رسالة التماس الجار. يُمكن أن تكون هذه الحالة أيضاً حالةً ابتدائيةً، لو أُضيف البند للدَّائِرَة المِخبِئِيَّة نتيجةً لاستقبال أيِّ رسالةٍ من رسائل بروتوكول اكتشاف الجيران، ما خلا رسالة الإعلان عن الجار. يُغادر البند هذه الحالة نحو حالة بُلوغ الجار لو استقبلت العقدة تأكيداً على إمكانية بُلوغ الجار، أو نحو حالة التَّأخِير لو أُرسِلت رسالة التماس الجار نحو الجار المُرتبِط بالبند.
- حالة التَّأخِير، يدخلها البند بعد إرسال رسالة التماس الجار في حالة التَّقَادِم، ينتظر البند في هذه الحالة لِفترَة زمنيةٍ يُحددها مُوقِّتٌ خاصٌ هو مُوقِّت زمن التَّأخِير، لو نَفِد هذا المُوقِّت، ولمَّا تَصِل رسالة الإعلان عن الجار التي تَرُدُّ على رسالة الإلتماس بعد، ينتقل البند إلى حالة الاستشعار.
- حالة الاستشعار، وتُعي أنَّ عملية التَّحْقُق من إمكانية بُلوغ الجار جاريةٌ من خلال إرسال رسائل الإلتماس دورياً بفواصلٍ زمنيةٍ يُحددها مُوقِّت إعادة الإرسال. تُحصَل مُحاولات إرسال عَدَدٍ مُحدَّدٍ من رسائل الإلتماس، ويظلُّ البند مُنتظراً في هذه الحالة استقبال رسالة إعلانٍ عن الجار ردًّا على إحداها. فلو وَصَلت، يَعود إلى حالة بُلوغ الجار. أمَّا لو أُرسِل عَدَدٌ من الرسائل مُساوٍ للعَدَد الَّذِي يُحدده البروتوكول، فلا إمكانية لبُلوغ الجار ويلزَم حذف البند.

⁷³⁵ أصل الاسم Chache memory، وَرِدت مُعرِّبَةً في ص. 10 في [BKA05] في ثَبت المَراجِع في إلى خابِيَّة وذاكِرةٍ مُخبِئَة، وفي ص. 51 في [BKA01] إلى كاشٍ وذاكِرةٍ حاضرة، وفي ص. 178 في [BKA02] إلى المُخْتَرِن، وارتأينا تعريها إلى ذاكرةٍ مِخبِئِيَّة، لأننا وجدناه المِصْطَلَح الأقرب إلى توصيف وظيفتها.

⁷³⁶ أصول أسماء الحالات على التَّرتِيب: Incomplete و Reachable و Stale و Prob و Delay، انظر ص. 70-71 في [RFC4861] في ثَبت المَراجِع.

⁷³⁷ القيم الافتراضية لثوابت بروتوكول اكتشاف الجيران هي: 30000 ميلي ثانية لزمن بُلوغ الجار Reachable time، و 1000 ميلي ثانية لمُوقِّت إعادة الإرسال Retrans timer، وخمس ثوانٍ لزمن تأخير الاستشعار الأوَّل Delay first probe time، وثلاثٌ لِعَدَد مرَّات إرسال رسالة الإلتماس فريدة الوجهة Max unicast solicit، انظر ص. 78-79 في [RFC4861] في ثَبت المَراجِع.



الشكل (10-12): مخطط الحالة لآلية تحديد إمكانية بلوغ الجار

إعادة التوجيه

يُرسل مُوجّه، يلعب دور مخرَج افتراضي في شبكة محلّية، هذه الرسالة إلى مُضيفٍ أرسل رزمة بياناتٍ عبره لإخباره بوجود مسارٍ أفضل⁷³⁸ نحو وجهة تلك الرزمة يمرُّ عبر مخرَج افتراضيٍّ آخر مُتصلٍ مع الشبكة المحليّة أو لإخباره أنّ الوجهة هي جارٌ مُتصلٌ مع الشبكة المحليّة نفسها، ولا داعٍ لإرسال الرزمة عبر المخرَج الافتراضيّ. يتعيّن على كلّ مُوجّه، لتحقيق ذلك، أن يكون قادراً على تحديد العناوين المحليّة للموجّهات الجيران كلّها، أي تلك المُتصلة مع الشبكة المحليّة نفسها.

يُعيد المُوجّه توجيه رزمة بياناتٍ يمرُّ مسارها عبره إلى وجهتها إذا تحققت الشروط الثلاثة التالية معاً:⁷³⁹

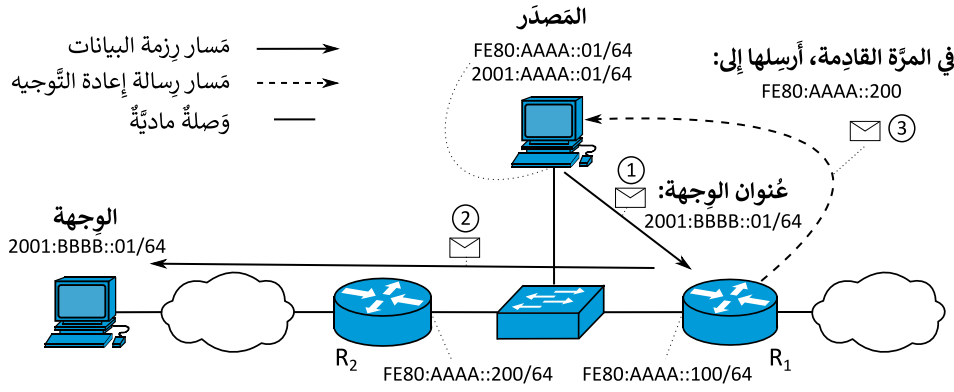
- كان عنوان مصدرها من شبكة محلّية يتصل المُوجّه معها.
- وجد المُوجّه مخرَجاً افتراضياً آخر مُتصلاً مع الشبكة المحليّة نفسها، وكان مسار الرزمة عبره أفضل نحو وجهتها.
- لم يكن عنوان وجهة الرزمة عنوان بثٍّ مجموعيّ.

بعد أن يُعيد المُوجّه توجيه رزمة البيانات نحو مُوجّهٍ آخر مُتصلٍ مع الشبكة المحليّة، فإنّه يُرسل رسالة إعادة التوجيه إلى مصدرها (الشكل (11-12)). يُمكن أن تحتوي رسالة إعادة التوجيه على خيارين: خيار عنوان طبقة الوصلة للهدف، لو كان معلوماً، وخيار ترويسة إعادة التوجيه ليضمّم أكبر قدرٍ ممكنٍ من رزمة البيانات التي أُعيد توجيهها.

إذا كان حقل عنوان الهدف في الترويسة مساوياً في قيمته لحقل عنوان الوجهة فهذا يعني أن وجهة الرزمة موجودة في الشبكة المحليّة نفسها حيث يوجد المرسل، وعليه أن يُرسل أيّ رزمٍ مُستقبليةٍ إليها مباشرةً من غير الحاجة للمُرور بمُوجّهٍ وسيطٍ. يُحبَّذ أن يُعدّل المُضيف البيانات التي يحتفظ بها في ذاكرته المخبيّية بما يتوافق مع رسالة إعادة التوجيه التي استقبلها.

⁷³⁸ يختلف معنى كلمة "الأفضل" باختلاف بروتوكول التوجيه المُستعمل، بعض من بروتوكولات التوجيه تعتمد على عدد القفزات، وبعضها على مُعدّل نقل البيانات وبعضها على عوامل هجينة تشمل ما سبق ومُحدّداتٍ أخرى غير ذلك.

⁷³⁹ انظر ص. 75 في [RFC4861] في ثبّت المراجع.



الشكل (11-12): مثال عن آلية عمل رسالة إعادة التوجيه في بروتوكول اكتشاف الجيران

المُشكلات

التصنيف

يُمكن أن يُستعمل البروتوكول لِشَرِّ هجماتٍ مُتنوّعةٍ على شبكات البيانات، وتُصنّف هذه الهجمات ضمن ثلاث فئاتٍ حسب أهدافها كما يأتي:⁷⁴⁰

- هجمات حجب الخدمة، وفيها يُحجب الاتّصال بين العقدة المُستهدفة وسائر العقدة في الشبكة، فلا يعود بإمكان سائر العقدة إرسال الرّزم إليها ولا بإمكان العقدة المُستهدفة إرسال الرّزم إليهم. يُمكن أن تحصل العمليّة من خلال عمّر العقدة المُستهدفة برزم بياناتٍ قادمةٍ أُعيد توجيهها نحو العقدة المُستهدفة من عقدةٍ أخرى لهذا الغرض، ويُسمّى هذا النوع من الهجمات حجب الخدمة بالغمر.⁷⁴¹
- هجمات بانتحال العناوين، وفيها تنتج عقدة ما دور عقدةٍ أخرى من خلال التّلاعب بالعناوين، وغالباً ما يكون الهدف منها خداع العقدة المُستهدفة ودفعها لإرسال البيانات إلى وجهةٍ خبيثةٍ أو لدفع العقدة المُستهدفة لإجراء تعديلٍ في التّهيئة أو السّلوكة ما يُؤدّي إلى فتح ثغراتٍ أمنيّةٍ جديدةٍ يستغلّها المهاجمون.
- هجمات بانتحال الموجه وتُسمى أيضاً هجمات إعادة التّوجيه⁷⁴² وفيها تلعب عقدة خبيثة دور موجه، فتعيد توجيه رزم البيانات الدّاهية نحو المخزج الافتراضيّ إلى عقدةٍ أخرى في الشبكة المحليّة.

ويُمكن أيضاً أن تُصنّف الهجمات والتّهديدات ضمن ثلاث فئاتٍ حسب طريقة تنفيذها كما سيأتي:⁷⁴³

- الهجمات التي لا تتضمّن عمليّة توجيه، وتكون موجهةً للعقد الجيران وتشمّل الهجمات على عمليّة اكتشاف الجيران وعلى آليّة تحديد إمكانية بلوغ الجار وعلى آليّة تحديد الاستخدام المُتكرّر للعنوان.

⁷⁴⁰ أصول الأسماء: Denial of Service attack، اختصاراً DoS، Address spoofing attack و Router spoofing attack.

انظر ص. 79-80 في [RFC4861] ثبّت المراجع.

⁷⁴¹ أصل الاسم: Flooding denial-of-service.

⁷⁴² أصل الاسم: Redirect attack.

⁷⁴³ انظر ص. 8 في [RFC3756] ثبّت المراجع.

- الهجمات التي تتضمن عملية توجيه، وتشمل مجموعة من الهجمات التي تؤثر على عملية توجيه رزم البيانات، وغالباً ما تتضمن إعادة توجيه لرزم البيانات لغير وجهتها الأصلية إما لغرض نسخها ثم تحليلها لاحقاً أو لِحجب خدمة ما عن مصدرها.
- الهجمات التي تتضمن رسائل الرد، وتستهدف آلية عمل البروتوكول خاصة مسألة تبادل رسائل الالتماس والإعلان، وفيه يُرور المهاجم رسالة رد لغرض خداع العقدة المُستهدفة وتزويدها ببيانات غير صحيحة لدفعها لسُلوِك ما قد يشمل تعديلاً في المعلومات المُهيئة فيها.

أمثلة

من الهجمات التي يُستعمل بروتوكول اكتشاف الجيران في شأنها: 744

- انتحال رسائل التماس الجار والإعلان عنها: ويكون الهدف الرئيس منها التلاعب بالروابط بين عناوين بروتوكول الإنترنت وعناوين طبقة الوصلة التي يُخزنها المضيف، ويُصنّف هذا الهجوم بصفته هُجوم حجب خدمة لأنّ العقدة المُستهدفة تُخفق في الاتصال بوجهات مُتعدّدة أو مع الوجهات كلّها، كما يُصنّف أيضاً على أنّه هُجوم إعادة توجيه، لو أعاد المهاجم توجيه الرزم لوجهتها الأصلية بعد نسخها أو مُعالجتها. يُمكن التصدّي لهذا الهجوم من خلال حصر إمكانية الوصول للشبكة بالعقد الموثوقة فقط. قد يحصل الهجوم عبر أشكال عديدة منها:
 - إضافة بند خبيث إلى ذاكرة المضيف ليربط بين عنوان بروتوكول إنترنت وعنوان طبقة وصلة رباطاً غير صحيح، إمّا عن طريق إرسال رسالة التماس جارٍ خبيثة فيها خيار خبيث لعنوان مصدر طبقة الوصلة أو عن طريق إرسال رسالة إعلان عن جارٍ فيها خيار خبيث لعنوان وجهة طبقة الوصلة. في كلتا الحالتين، تُخدع العقدة المُستهدفة وترسل رزمها نحو وجهة خبيثة مغايرة للوجهة الأصلية.
 - التلاعب بالآلية تحديد الاستعمال المُتكرّر للعنوان لإيهام العقدة المُستهدفة بأنّ عنوانها يُستعمل في مكان ما على الشبكة ليتوقف عن استعماله.
 - هجمات مُرتبطة بالآلية تحديد تعذر بلوغ الجيران، تحصل بعد أن تُخفق العقدة المُستهدفة في الاتصال مع أخرى، ولكن بدلاً من تعذر الاتصال، تتلاعب عقدة خبيثة بالعقدة المُستهدفة وتوهمها بأنها العقدة الأخرى من خلال إرسال رسائل الإعلان عن الجار.
- هُجوم المخرج الافتراضي الخبيث،⁷⁴⁵ وفيه تدعي عقدة ما أنّها مخرج افتراضي من الشبكة المحليّة، فتلعب دور مُوجّه وترسل رسالة إعلان عن المُوجّه في الشبكة المحليّة لعموم المضيفين أو لمضيف مُحدّد مُستهدف، ونتيجة لذلك، يُرسل المضيف المُستهدف، أو المضيفون المُستهدفون، رزمهم نحو المخرج الخبيث، الذي قد ينسخها لغرض تحليلها ثمّ يُعيد توجيهها نحو وجهتها الأصلية، ويكون الهجوم بذلك شكلاً من أشكال هُجوم الوسيط، أو قد يتخلّص المخرج الخبيث من الرزم فيحجب الاتصال مع الشبكة الخارجيّة عن المضيفين

⁷⁴⁴ انظر ص. 20-9 في [RFC3756] في نُبْت المراجع.

⁷⁴⁵ أصل الاسم Malicious last hop router attack.

المُستهدَفين، لذلك قد يُصنَّف هذا الهجوم ضمن فئة إعادة التَّوجيه أو حجب الخدمة حسب الغاية منه، وهو يتضمَّن التَّوجيه في كلتا الحالتين.

يُمكن معالجة هذا الهجوم من خلال تحديد مجموعة مُوجَّهات مُتَّصلة مع الشَّبكة المحليَّة والزام العقد على التَّعامل معها حصراً. وُصِف هذا الهجوم أولاً في مُسودَّة أعدت لتصنيف الهجمات التي تتعلَّق بالعقد المُتحرِّكة التي تُشغِّل الإصدار السَّادس من بروتوكول الإنترنت، ولكنها لم تُعتمد لاحقاً بصفةٍ معياريةٍ.⁷⁴⁶

● إلغاء المُوجَّه الافتراضي،⁷⁴⁷ يعتمد هذا الهجوم على فكرة أن مُرسِل رزم الإصدار السَّادس يفترض أنَّ الوجهات كُلُّها محليَّة إذا لم يوجد مخرُج افتراضي،⁷⁴⁸ وفيه يخدع المهاجم العقدة المُستهدفة ويجعلها تُفرِّغ قائمة المخرُج الافتراضيَّة لديها، فلا يُمكنها بعد ذلك الاتِّصال مع الشَّبكة الخارجيَّة. وقد يلعب المهاجم دور الوجهة ويُرسِل رسالة التماس جارٍ خبيثةٍ نحو مُضيفٍ محليٍّ تُقول أنَّ مصدرها مُضيفٌ محليٌّ آخر، في حين يكون العُنوان لمُضيفٍ بعيدٍ، فتخدع العقدة المُستهدفة وتُرسِل الرزم التي كانت ستُوجَّه بالأصل للمُضيف البعيد عبر المخرُج الافتراضي، إلى الجار الخبيث. يُصنَّف هذا الهجوم على أنه حجب خدمةٍ أو هُجوم إعادة توجيه، وهو هُجومٌ يتضمَّن التَّوجيه.

● انتحال رسائل إعادة التَّوجيه⁷⁴⁹ يحضُل هذا الهجوم من خلال إرسال رسائل إعادة توجيه خبيثةٍ لدفع المُضيفين المحليين لإرسال رزم بياناتهم لوجهاتٍ أُخرى إمَّا لحجب الخدمة عنهم أو لِنسخها بغرض تحليلها ثمَّ إعادة إرسالها إلى وجهتها الحقيقيَّة، يُصنَّف هذا الهجوم على أنه هُجوم حجب خدمةٍ أو هُجوم إعادة توجيه حسب الغاية من تنفيذه وهو من الهجمات التي تتضمَّن التَّوجيه.

● هُجوم البادئات المحليَّة الوهميَّة،⁷⁵⁰ وفيه يُعلن المهاجم في شَبكةٍ محليَّةٍ عن مجموعةٍ من البادئات بصفتها بادئاتٍ محليَّةٍ، أي يُمكن الوصول إلى العقد التي تستضيف عناوينٍ منها مباشرةً من غير المُرور بمُوجَّه، فيحاول المُضيفون إرسال الرزم إليها مباشرةً، فيتعدَّر ذلك لأنَّها غير موجودةٍ في الشَّبكة المحليَّة. يُصنَّف هذا الهجوم على أنه هُجوم حجب خدمةٍ وهو يتضمَّن التَّوجيه. يُمكن أن يُطوَّر الهُجوم ليشمُل الإعلان عن بادئاتٍ وهميَّةٍ لتعطيل عمليَّة التَّهيئة الدَّاتيَّة الآليَّة، ويُدفع المُضيفون في هذه الحالة إلى تهيئة منافذهم آلياً بعناوينٍ وهميَّةٍ فيتعدَّر عليهم الاتِّصال بالشَّبكة، يُسمَّى هذا الهُجوم عندها هُجوم بادئة تهيئة العناوين الوهميَّة⁷⁵¹.

⁷⁴⁶ انظر [WEB52] في تَبت المراجع.

⁷⁴⁷ أصل الاسم Default router is killed.

⁷⁴⁸ تنصُّ خوارزمية إرسال الرزم على ما يأتي: "لو كانت قائمة المخرُج الافتراضيَّة فارغة، يفترض المُرسِل بأنَّ الوجهة محليَّة"، والنَّصُّ الأصيل هو:

«If the Default Router List is empty, the sender assumes that the destination is on-link» انظره في ص. 35

في [RFC2461] في تَبت المراجع.

⁷⁴⁹ أصل الاسم Spoofed redirect message.

⁷⁵⁰ أصل الاسم Bogus on-link prefix.

⁷⁵¹ أصل الاسم Bogus address configuration prefix.

- انتحال المُحدّثات،⁷⁵² وفيها يعمد المهاجم إلى تزويد المُضيفين بقيم غير صحيحة لمُحدّثات الشبكة لدفعهم لسلوكٍ مُعيّن. مثلاً قد يُزوّدهم بعدد قفزاتٍ صغيرٍ جداً، فلا يُعود بإمكان رزم البيانات التي يُرسلوها أن تصل إلى وجهتها، وغالباً ما ستتخلّص المُوجّهات منها، ويكوّن الهُجوم عندها هُجومَ حجب خدمةٍ، ويُمكن مُواجهته بعدم قُبُول قيمٍ صغيرةٍ لحقل عدّد القفزات عن طريق بروتوكول اكتشاف الجيران. ويُمكن أيضاً أن يعمد المهاجم إلى خداع العُقد بإخبارها بوجود خدمة تهيئة المُضيف الآليّة، وعندها يُمكن تهيئة المُضيفين المُستهدفين بعناوين مُنتحلةٍ وبمُحدّثاتٍ أُخرى نحو مُحدّثات نظام تسمية النُطاقات.
- هُجوم حجب الخدمة باستعمال آليّة اكتشاف الجيران،⁷⁵³ وفيها تُغمّر الشبكة برسائل اكتشاف الجيران فتُنشغل العُقد والمُوجّهات بالردّ عليها، ولا يُمكن لعُقدةٍ جديدةٍ أن تكتشف جيرانها الذين يُخفقون بالردّ على رسائلها لانشغالهم بمعالجة رسائل الغمر الوهميّة.
- هجمات مُعتمدهً على رسائل الردّ.⁷⁵⁴ بروتوكول اكتشاف الجيران عُرضةً لهجمات التلاعّب بالردود بسبب طبيعة عمله التي تتطلّب غالباً تبادل رسائل الالتماس والإعلان، ويُمكن عندها لمُهاجمٍ ما أن يُزوّر رسالة ردّ أو أن يتلاعّب بمحتواها لإيهاّم العُقدة المُستهدفةً بمسألةٍ ما أو لدفعها لسلوكٍ مُعيّن. لهجمات التلاعّب برسائل الردّ تصنيّف مُستقلٌ بصفتها هجماتٍ يُمكن شُنها باستعمال بروتوكول اكتشاف الجيران، ويُمكن التصدّي لها بمُزامنة مُرسل الالتماس ومُرسل الإعلان لتضييق المجال الرّمزيّ المُتاح لتزييف الرسائل ولِمَنع استعمال نسخٍ قديمةٍ من الرسائل، يُمكن أيضاً أن يُطلّب استعمال مُعرّفاتٍ ظرفيّةٍ⁷⁵⁵ في رسائل الردّ باستعمال بروتوكول اكتشاف الجيران الآمن.

بروتوكولات ذات صلةٍ

توسيع الاكتشاف المعكوس للجيران⁷⁵⁶

هي توسيعٌ لبروتوكول اكتشاف الجيران تَهْدَفُ لِلسّماح لعُقدةٍ ما تُشغّل بروتوكول اكتشاف الجيران باكتشاف عنوان الإصدار السّادس لعُقدةٍ أُخرى انطلاقاً من عنوان طبقة الوصلة خاصّتها. طُوّر البروتوكول في عام 2001م، ووُصف في وثيقة طلب التعلّيقات ذات الاسم الرّمزيّ RFC 3122.⁷⁵⁷

⁷⁵² أصل الاسم Parameter spoofing.

⁷⁵³ أصل الاسم Neighbor discovery denial of service attack.

⁷⁵⁴ أصل الاسم Reply attack.

⁷⁵⁵ أصل الاسم Nonce، وتُعيّن «ظرفيٌّ»: غرضٌ مُستعملٌ أو مَصنُوعٌ لمرةٍ واحدةٍ فحسب أو لِمُناسبةٍ خاصّةٍ»، انظر ص. 774 في [BKA02] في تَبْتِ المَراجِع.

⁷⁵⁶ أصل الاسم Inverse Neighbor Discovery، اختصاراً IND.

⁷⁵⁷ انظرها في [RFC3122] في تَبْتِ المَراجِع.

كان الغرض الأساس من تطوير التوسعة هو استعمالها في شبكات تبديل الأطر⁷⁵⁸، ولكن استعمالها ممكن في أي شبكة بيانات تدعم الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت. تأثرت هذه التوسعة ببروتوكول اقتران العناوين المعكوس الذي يؤدّي الوظيفة نفسها مع الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، وهو موصوف في وثيقة طلب التعليقات ذات الاسم الرّمزي RFC 2390.⁷⁵⁹

تُعرف توسعة الاكتشاف المعكوس للجيران رسالتين جديدتين من رسائل بروتوكول رسائل التحكّم للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، تُستخدمان وفقاً لنموذج طلب الخدمة⁷⁶⁰ لآداء وظيفة اقتران العناوين المعكوس، وهاتان الرسالتان هما رسالة الالتماس لاكتشاف المعكوس للجيران ورسالة الإعلان لاكتشاف المعكوس للجيران⁷⁶¹، وهما مُميّزان بقيمة حقل النوع 141 و142 على الترتيب.

بروتوكول اكتشاف الجيران الآمن⁷⁶²

هو توسعة لبروتوكول اكتشاف الجيران، يهدف إلى تأمين تبادل رسائل البروتوكول بين عقد الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، خاصّة في شبكات البيانات التي يكون تأمين وسط الاتصال فيها صعباً نحو الشبكات اللاسلكية. طوّرت هذه التوسعة في عام 2005م ووُصفت في وثيقة طلب التعليقات ذات الاسم الرّمزي RFC 3971.⁷⁶³

مع أنّ المعيار الأصلي لبروتوكول اكتشاف الجيران دَعَا إلى استعمال حزمة أمن بروتوكول الإنترنت لتأمين عمله، فإنّ بروتوكول اكتشاف الجيران الآمن لا يعتمد على الحزمة، بل يُعرف مجموعة من الآليات الجديدة التي تتضمّن خيارات جديدة للبروتوكول نحو خيار التوقيع باستعمال خوارزمية ريفست وشامير وأدلمان⁷⁶⁴، واعتماد العناوين المؤلدة بالتعمية⁷⁶⁵، وشهادات اعتماد للمسارات⁷⁶⁶ للتحقق من كونها مسارات آمنة وموثوقة.

⁷⁵⁸ أصل الاسم Frame relay.

⁷⁵⁹ انظره في [RFC2390] في ثبت المراجع.

⁷⁶⁰ أصل الاسم Client-server model، وهو نموذج عمل للتطبيقات في شبكة بيانات تُورَع فيها المعالجة بين عملاء ومُخدّمات، انظر ص. 74-75 في [BKE01] في ثبت المراجع.

⁷⁶¹ أصل اسمي الرسالتين على الترتيب: Inverse neighbor discovery solicitation وInverse neighbor discovery advertisement.

⁷⁶² أصل الاسم SEcure Neighbor Discovery، اختصاراً SEND.

⁷⁶³ انظره في [RFC3971] في ثبت المراجع.

⁷⁶⁴ أصل الاسم Rivest-Shamir-Adleman، اختصاراً RSA، وهي خوارزمية تعمية باستعمال مفتاح عام طوّرت في عام 1978م، وسُمّيت على أسماء مطوّريها الثلاثة وهم: ليونارد أدلمان Leonard Adleman (1945-) وعدي شامير (بالعبرية: עדי שמיר) (1952-) ورونالد ريفست Ronald Rivest (1947-)، انظرها في [ART48] في ثبت المراجع.

⁷⁶⁵ أصل الاسم Cryptographically Generated Addresses، اختصاراً CGA.

⁷⁶⁶ أصل الاسم Certification paths.

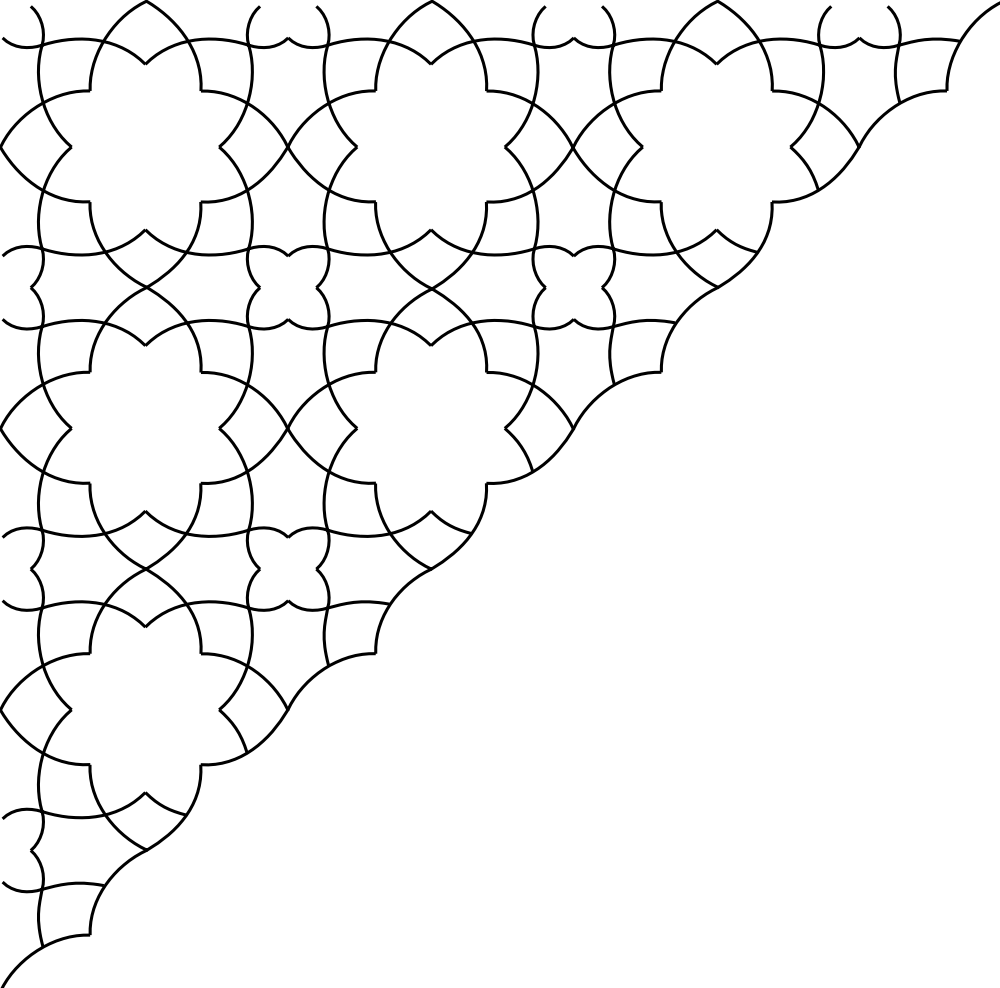
حُدِّثَ الْبُرُوثُوكُولُ فِي عَامِ 2012م بوثيقتي ظَلَبَ تَعْلِيْقَاتٍ حَمَلْتَا الْاسْمَيْنِ الرَّمَزَيْنِ RFC 6494 و RFC 6495 عَلَى التَّرْتِيبِ،⁷⁶⁷ خُصِّصَتْ الْأُولَى لِدَعْمِ اسْتِعْمَالِ الْبِنْيَةِ التَّحْتِيَّةِ لِلْمِفْتَاحِ الْعَامِّ لِلْمَوَارِدِ⁷⁶⁸، فِي حِينِ عَرَّفَتْ الْأُخْرَى بِنْيَةَ شَهَادَةِ الْاعْتِمَادِ.⁷⁶⁹

كَانَ التَّمَامُ مِنْ تَأْلِيْفِهِ فِي 20 جُمَادَى الْأُولَى 1443هـ
الْمُوَافِقَ 24 دِيْسَمْبَرِ 2021م فِي بَايُونِ فِي فَرَنْسَةِ

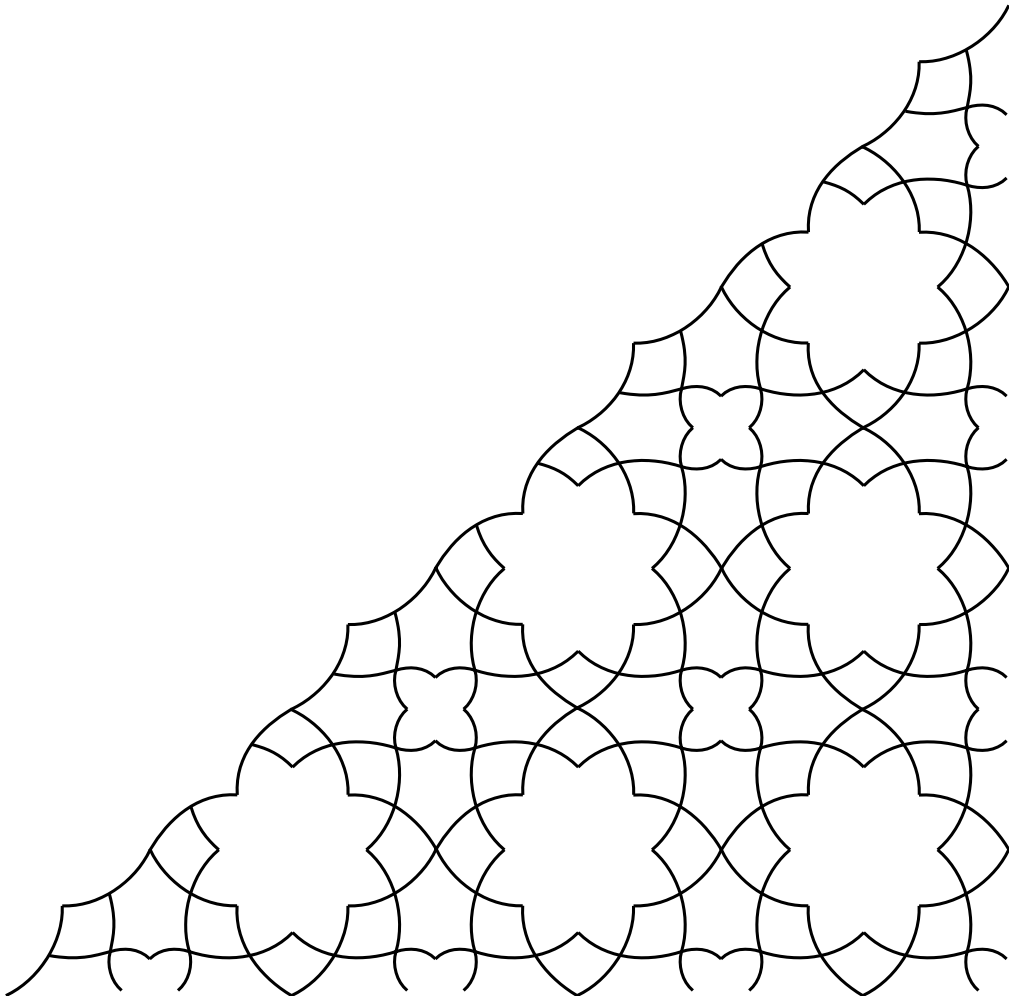
⁷⁶⁷ انظُرْهُمَا فِي [RFC6494] وَ [RFC9495] عَلَى التَّرْتِيبِ.

⁷⁶⁸ أَصْلُ الْاسْمِ Resource Public Key Infrastructure، اِخْتِصَارًا RPKI

⁷⁶⁹ أَصْلُ الْاسْمِ Certificate Profile.



الملاحق



تُرِكَت هذه الصَّفحة فارِغَةً عَمداً لِغرضِ تنسيقِ الكِتابِ



المُلْحَق أ: خِيارَات الإِصدار الرَّابِعِ مِنْ بَرُوتُوْكَول

الإِنْتَرِنِيتِ



الخيارات مرتبة تصاعدياً وفقاً لقيمة حقل الرقم، أو غاب رقم ما يكون الخيار غير مستعمل أو لا تتوفر بيانات عنه.

الجدول (أ-1): خيارات الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

الاسم	خيار نهاية قائمة الخيارات ⁷⁷⁰		
يُحدّد نهاية قائمة الخيارات لا نهاية الخيار، لذلك يُضاف مرّة واحدة فقط في الترويسة بعد الخيارات كلّها.			
<div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100px; margin: 0 auto;"> 0 7 </div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; margin: 5px auto; text-align: center;">النوع = 0</div> <p>الشكل (أ-1): بنية خيار نهاية قائمة الخيارات</p>			
حقل النوع			
الرقم	الصنف	حقل النسخ	
0	0	0	
الاسم	خيار لا عمليّة ⁷⁷¹		
يستخدم بين الخيارات. مثلاً، لمحاذاة بداية الخيار التالي عند حدود 32 بتاً.			
حقل النوع			
الرقم	الصنف	حقل النسخ	
1	0	0	
الاسم	خيار الأمن الرئيس ⁷⁷²		
يستخدم في الأنظمة البيئية أو الطرفية في الإنترنت من أجل:			
<ol style="list-style-type: none"> 1. نقل البيانات بين مضيفين هما المصدر والوجهة وفقاً لنموذج الأمن المعتمد في الشبكة. 2. التحقق من كون الرزمة صالحةً للنقل من المصدر وتوصيلها إلى الوجهة. 3. التأكد من أنّ المسار الذي تسلكه الرزمة محميّ إلى الدرجة التي تحددها الجهة المسؤولة عن أمن الشبكة (سلطة الحماية). 			
حقل النوع			
الرقم	الصنف	حقل النسخ	
2	0	1	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%; margin: 0 auto;"> 0 7 15 23 </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%; margin: 5px auto;"> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 20px; text-align: center;">النوع = 130</div> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 20px; text-align: center;">الطول</div> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 20px; text-align: center;">تصنيف المستوى</div> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 20px; text-align: center;">أعلام سلطة الحماية</div> </div> <p>الشكل (أ-3): بنية خيار الأمن الأساس</p>			

⁷⁷⁰ أصل الاسم End of option list option، انظر ص. 15 في [RFC791] في ثبت المراجع.

⁷⁷¹ أصل الاسم No operation option، انظر ص. 16 في [RFC791] في ثبت المراجع.

⁷⁷² أصل الاسم DoD Basic Security option، انظر ص. 2 في [RFC1008] في ثبت المراجع.

<p>يَسْمَح لِمَصْدَرِ رِزْمَةِ البِياتِ بِتَزويدِ البَوَّابِ بِمَعْلُومَاتٍ لِتَوجِيهِ الرِّزْمَةِ نحوَ وِجْهَتِها. هذا الخِيارُ غيرُ مُقَيَّدٍ لِأَنَّ البَوَّابِ غيرُ مُلَزَمَةٍ بالمَعْلُومَاتِ المَوْجُودَةِ بالخِيارِ الَّتِي أَضافَها مَصْدَرُ الرِّزْمَةِ، وبِإمكانِها تَوجِيهِ الرِّزْمَةِ عِبرَ أَيِّ مَسارٍ آخَرَ تَختارُه.</p>	<p>خِيارِ التَّوجِيهِ غيرِ المُقَيَّدِ بِمَسارِ المَصْدَرِ⁷⁷³</p>	الاسم																														
<p>0 7 15 23</p> <table border="1" data-bbox="204 443 1077 510"> <tr> <td>النَّوع = 131</td> <td>الطُّول</td> <td>مُؤَسَّر</td> <td>بِياتِ المَسارِ</td> </tr> </table> <p>الشَّكْل (أ-4): بِنِيَةِ التَّوجِيهِ غيرِ المُقَيَّدِ بِمَسارِ المَصْدَرِ</p>	النَّوع = 131	الطُّول	مُؤَسَّر	بِياتِ المَسارِ	حَقْلُ النَّوعِ																											
النَّوع = 131	الطُّول	مُؤَسَّر	بِياتِ المَسارِ																													
<p>يُستَخدَم لِتَتَبُعِ الرَّمَنِ المُنقِضِي في أَثناءِ انْتِقالِ ومُعالِجَةِ الرِّزْمَةِ عِبرَ مَسارِها. يُضِيفُ كُلُّ مُضِيفٍ عُنوانَه وَوَسْمَةً زَمَنِيَّةً عِندَ مُعالِجَةِ الرِّزْمَةِ، وَبِإمكانِ أَنْ تُضافَ الوَسْمَاتِ الرِّزْمِيَّةُ فَقَطِ مِن غيرِ العِناوِينِ. تَكُونُ الوَسْمَاتِ الرِّزْمِيَّةُ أَعْداداً بِطُولِ 32 بِتاً، تُمَثِّلُ الرَّمَنِ المُنقِضِي مِنذُ مُنتِصَفِ اللَّيْلَةِ السَّابِقَةِ حَسَبِ التَّوَقُّيتِ العالِمِيِّ مُقَدَّرًا بِالْمِليِ ثانِيَةٍ، وبِالإمكانِ أَيضاً أَنْ تُمَثِّلُ الوَسْمَاتِ قِيماً زَمَنِيَّةً نَسْبِيَّةً قِياساً إِلى زَمَنِ مَرَجِيٍّ آخَرَ.</p>	<p>خِيارِ الوَسْمَةِ الرِّزْمِيَّةِ⁷⁷⁴</p>	الاسم																														
<p>0 7 15 23 27 31</p> <table border="1" data-bbox="252 925 1029 1261"> <tr> <td>النَّوع = 68</td> <td>الطُّول</td> <td>مُؤَسَّر</td> <td>الطَّفْح</td> <td>أَعلامٌ</td> </tr> <tr> <td colspan="5">عُنوانِ الإنترنتِ 1</td> </tr> <tr> <td colspan="5">وَسْمَةُ زَمَنِيَّةٍ 1</td> </tr> <tr> <td colspan="5">عُنوانِ الإنترنتِ 2</td> </tr> <tr> <td colspan="5">وَسْمَةُ زَمَنِيَّةٍ 2</td> </tr> <tr> <td colspan="5">:</td> </tr> </table> <p>الشَّكْل (أ-5): بِنِيَةِ خِيارِ الوَسْمَةِ الرِّزْمِيَّةِ</p>	النَّوع = 68	الطُّول	مُؤَسَّر	الطَّفْح	أَعلامٌ	عُنوانِ الإنترنتِ 1					وَسْمَةُ زَمَنِيَّةٍ 1					عُنوانِ الإنترنتِ 2					وَسْمَةُ زَمَنِيَّةٍ 2					:					حَقْلُ النَّوعِ	
النَّوع = 68	الطُّول	مُؤَسَّر	الطَّفْح	أَعلامٌ																												
عُنوانِ الإنترنتِ 1																																
وَسْمَةُ زَمَنِيَّةٍ 1																																
عُنوانِ الإنترنتِ 2																																
وَسْمَةُ زَمَنِيَّةٍ 2																																
:																																
<p>يَسْمَحُ بِنَقلِ مَعْلُومَاتِ أَمَنِ إِضافِيَّةٍ تَزِيدُ عَلى ما يَسْمَحُ بِهِ خِيارِ الأَمَنِ الأَصِيلِ اسْتِجابَةً لِإِمتِطَلَباتِ الجِهاَتِ الَّتِي تُدِيرُ خِدماتِ الأَمَنِ في الشَّبَكَةِ.</p>	<p>خِيارِ الأَمَنِ المُوسَّعِ⁷⁷⁵</p>	الاسم																														
<p>0 7 15 23</p> <table border="1" data-bbox="204 1507 1077 1574"> <tr> <td>النَّوع = 131</td> <td>الطُّول</td> <td>تَنسيقِ التَّرْمِيزِ</td> <td>مَعْلُومَاتِ أَمَنِ إِضافِيَّةٍ</td> </tr> </table> <p>الشَّكْل (أ-6): بِنِيَةِ خِيارِ الأَمَنِ المُوسَّعِ</p>	النَّوع = 131	الطُّول	تَنسيقِ التَّرْمِيزِ	مَعْلُومَاتِ أَمَنِ إِضافِيَّةٍ	حَقْلُ النَّوعِ																											
النَّوع = 131	الطُّول	تَنسيقِ التَّرْمِيزِ	مَعْلُومَاتِ أَمَنِ إِضافِيَّةٍ																													
	حَقْلُ النَّوعِ	الاسم																														

⁷⁷³ أصل الاسم Loose source routing option، انظر ص. 18 في [RFC791] في ثَبَتِ المَراجِعِ.

⁷⁷⁴ أصل الاسم Internet timestamp option، انظر ص. 22 في [RFC791] في ثَبَتِ المَراجِعِ.

⁷⁷⁵ أصل الاسم DoD extended security option، انظر ص. 13 في [RFC1108] في ثَبَتِ المَراجِعِ.

<p>كان الغرض من تطويره تأمين توسعةٍ لـ خيار الأمان الأصيل لبروتوكول الإنترنت من أجل دعم متطلبات الاستخدام التجاري في أنظمة التشغيل المختلفة، ولكن العمل توقف في مرحلة إعداد مسودة المعيار.</p>	<p>خيار الأمان التجاري⁷⁷⁶</p>	<p>الاسم</p>													
<p>0 7 15 23</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 25%;">النوع = 7</td> <td style="width: 25%;">الطول</td> <td style="width: 25%;">نطاق الترجمة</td> <td style="width: 25%;">وسمات</td> </tr> </table> <p>الشكل (أ-7): بنية خيار الأمان التجاري</p>	النوع = 7	الطول	نطاق الترجمة	وسمات	<p>حقل النوع</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th>حقل النوع</th> <th>الرقم</th> <th>الصنف</th> </tr> <tr> <td>النسخ</td> <td>6</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		حقل النوع	الرقم	الصنف	النسخ	6	0	1		
النوع = 7	الطول	نطاق الترجمة	وسمات												
حقل النوع	الرقم	الصنف													
النسخ	6	0													
1															
<p>يسمح بتسجيل المسار الذي تسلكه الرزمة في تروبيستها. يُضيف كل موجّه الرزمة، عند استعمال الخيار، عنوان بروتوكول الإنترنت الخاص بالمنفذ الذي وجهت الرزمة عبره إلى حقل "بيانات المسار" في هذا الخيار.</p>	<p>خيار المسار المسجل⁷⁷⁷</p>	<p>الاسم</p>													
<p>0 7 15 23</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 25%;">النوع = 7</td> <td style="width: 25%;">الطول</td> <td style="width: 25%;">مؤشر</td> <td style="width: 25%;">بيانات المسار</td> </tr> </table> <p>الشكل (أ-8): بنية خيار المسار المسجل</p>	النوع = 7	الطول	مؤشر	بيانات المسار	<p>حقل النوع</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th>حقل النوع</th> <th>الرقم</th> <th>الصنف</th> </tr> <tr> <td>النسخ</td> <td>7</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		حقل النوع	الرقم	الصنف	النسخ	7	0	0		
النوع = 7	الطول	مؤشر	بيانات المسار												
حقل النوع	الرقم	الصنف													
النسخ	7	0													
0															
<p>يؤمن طريقة لنقل معرف التدفق المستعمل في ساتيت عبر شبكة لا تدعم مفهوم التدفق.</p>	<p>خيار معرف التدفق⁷⁷⁸</p>	<p>الاسم</p>													
<p>0 7 15 31</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 25%;">النوع = 136</td> <td style="width: 25%;">الطول = 4</td> <td style="width: 50%;">معرف التدفق</td> </tr> </table> <p>الشكل (أ-9): بنية خيار معرف التدفق</p>	النوع = 136	الطول = 4	معرف التدفق	<p>حقل النوع</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th>حقل النوع</th> <th>الرقم</th> <th>الصنف</th> </tr> <tr> <td>النسخ</td> <td>8</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		حقل النوع	الرقم	الصنف	النسخ	8	0	1			
النوع = 136	الطول = 4	معرف التدفق													
حقل النوع	الرقم	الصنف													
النسخ	8	0													
1															

⁷⁷⁶ أصل الاسم Commercial IP security option، انظر ص. 2 في [WEB44] في ثبت المراجع.

⁷⁷⁷ أصل الاسم Record route option، انظر ص. 20 في [RFC791] في ثبت المراجع.

⁷⁷⁸ أصل الاسم Stream identifier option، انظر ص. 21 في [RFC791] في ثبت المراجع.

<p>يَسْمَح لِمَصْدَر رِزْمَةِ البِياتَات بِتَزويد البَوَابَات بِمَعْلُومَاتٍ لِتَوجِيهِ الرِّزْمَةِ نحو وِجْهَتِهَا. وَهُوَ مُقَيَّدٌ لِأَنَّ البَوَابَات مَلزَمَةٌ بالمَعْلُومَاتِ المَوْجُودَةِ بالخِيارِ، وَعَليهَا أَن تُوجَّهَ الرِّزْمَةُ وَفَقاً لَهَا.</p>	<p>خِيار التَّوجِيهِ المُقَيَّد بِمَسَارِ المَصْدَر⁷⁷⁹</p>														
<p>الشَّكْل (أ-10): بِنِيَّة خِيار التَّوجِيهِ المُقَيَّد بِمَسَارِ المَصْدَر</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: center;">23</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">النُّوع = 137</td> <td style="text-align: center;">الطُّول</td> <td style="text-align: center;">مُؤَيَّر</td> <td style="text-align: center;">بيانات المسار</td> </tr> </table>	0	7	15	23	النُّوع = 137	الطُّول	مُؤَيَّر	بيانات المسار	<p>حَقْل النُّوع</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th>حَقْل النُّسخ</th> <th>الصَّنْف</th> <th>الرَّقْم</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">9</td> </tr> </table>	حَقْل النُّسخ	الصَّنْف	الرَّقْم	1	0	9
0	7	15	23												
النُّوع = 137	الطُّول	مُؤَيَّر	بيانات المسار												
حَقْل النُّسخ	الصَّنْف	الرَّقْم													
1	0	9													
<p>يُسْتَعْمَل لِلتَّعْرِفِ عَلى القِيميَّة الصُّغرى لِوَحْدَةِ النُّقْل العُظْمى فِي الشَّبَكَات الَّتِي مَرَّت فِيهَا الرِّزْمَةُ فِي أَثناء عُبُورِها لِمَسارِها. يُقارِن كُلُّ مُوجِّهٍ يَسْتَقْبِلُ الرِّزْمَةَ قِيميَّة حَقْل وَحْدَةِ النُّقْل العُظْمى فِي هَذَا الخِيارِ مَعَ قِيميَّة وَحْدَةِ النُّقْل العُظْمى فِي مَنقَدِها الَّذِي سَتُوجَّهُ الرِّزْمَةُ عِبره، إِذا كانت قِيميَّة وَحْدَةِ المُوَجِّه أَصغرَ، فَإِنَّه يَصْعَعُها فِي الحَقْل بَدلاً عَنِ القِيميَّة القَدِيميَّة، وإِلاَّ فَإِنَّه يُبقي القِيميَّة القَدِيميَّة كما هي دون تَغيير.</p>	<p>خِيار اسْتِشعار وَحْدَةِ النُّقْل العُظْمى⁷⁸⁰</p>														
<p>الشَّكْل (أ-11): بِنِيَّة خِيار اسْتِشعار وَحْدَةِ النُّقْل العُظْمى</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: center;">31</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">النُّوع = 11</td> <td style="text-align: center;">الطُّول = 4</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">قِيميَّة وَحْدَةِ النُّقْل العُظْمى</td> </tr> </table>	0	7	15	31	النُّوع = 11	الطُّول = 4	قِيميَّة وَحْدَةِ النُّقْل العُظْمى		<p>حَقْل النُّوع</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th>حَقْل النُّسخ</th> <th>الصَّنْف</th> <th>الرَّقْم</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">11</td> </tr> </table>	حَقْل النُّسخ	الصَّنْف	الرَّقْم	0	0	11
0	7	15	31												
النُّوع = 11	الطُّول = 4	قِيميَّة وَحْدَةِ النُّقْل العُظْمى													
حَقْل النُّسخ	الصَّنْف	الرَّقْم													
0	0	11													
<p>يُسْتَعْمَل لِللرَّدِّ عَلى خِيار اسْتِشعار وَحْدَةِ النُّقْل العُظْمى، وَهُوَ يَحْتَوِي القِيميَّة الصُّغرى الَّتِي عُثِرَ عَليها، وَيُضَافُ إِلى رِزْمَةٍ مُوجَّهَةٍ نحو المُضَيِّفِ المَصْدَرِ الَّذِي وَلَدَ خِيارِ الاسْتِشعار.</p>	<p>خِيار الرَّدِّ عَلى اسْتِشعار وَحْدَةِ النُّقْل العُظْمى⁷⁸¹</p>														
<p>الشَّكْل (أ-12): بِنِيَّة خِيار الرَّدِّ عَلى اسْتِشعار وَحْدَةِ النُّقْل العُظْمى</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: center;">31</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">النُّوع = 12</td> <td style="text-align: center;">الطُّول = 4</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">قِيميَّة وَحْدَةِ النُّقْل العُظْمى</td> </tr> </table>	0	7	15	31	النُّوع = 12	الطُّول = 4	قِيميَّة وَحْدَةِ النُّقْل العُظْمى		<p>حَقْل النُّوع</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th>حَقْل النُّسخ</th> <th>الصَّنْف</th> <th>الرَّقْم</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">12</td> </tr> </table>	حَقْل النُّسخ	الصَّنْف	الرَّقْم	0	0	12
0	7	15	31												
النُّوع = 12	الطُّول = 4	قِيميَّة وَحْدَةِ النُّقْل العُظْمى													
حَقْل النُّسخ	الصَّنْف	الرَّقْم													
0	0	12													

⁷⁷⁹ أصل الاسم Strict source route option، انظر ص. 19 في [RFC791] في ثَبَت المَراجِع.

⁷⁸⁰ أصل الاسم Probe MTU option، انظر ص. 2 في [RFC1063] في ثَبَت المَراجِع.

⁷⁸¹ أصل الاسم Reply MTU option، انظر ص. 3 في [RFC1063] في ثَبَت المَراجِع.

<p>طُور في عام 1989م، وهو جزءٌ من مجموعة إجراءات أُعدت للسماح للمنظمات الدولية التي تُشغل شبكات بيانات غير مُتجانسة في بنيتها بإدارة تدفق الرزم نحو شبكاتها.</p>	<p>خيار التَّحْكُم بالوصول التَّجْرِبِيّ⁷⁸²</p>	<p>الاسم</p>																
<p>يُوجد بِنِيتان لِلخِيار: وَاحِدَةٌ لِلبِنِية المَرَكِزِيَّة والأُخْرى لِلبِنِية غير المَرَكِزِيَّة.</p>	<p>حَقْل النُّوع</p>																	
	<p>حَقْل النُّسخ</p>	<p>الرَّقْم</p>																
	<p>1</p>	<p>0</p>																
<p>طُور لِيساعِد في عمل أداة تَتَّبِع المَسار. يَحْتوي حُقُولاً لِتخزين عَدَد القَفْزات على مَسار الرِّزْمَة في الاتجاهين المُبَاشِر والعكسيّ لِلمَسار، وعلى عُنوان بروتوكول الإنترنت لِمَصدَر الرِّزْمَة.</p>	<p>خِيار تَتَّبِع المَسار باستعمال بروتوكول الإنترنت⁷⁸³</p>	<p>الاسم</p>																
<table border="1" data-bbox="236 864 1038 1061"> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: center;">31</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">النُّوع = 82</td> <td style="text-align: center;">الطُّول = 12</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">رَقْم المَعْرِف</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">عدد القَفْزات الرَّاجِعَة</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">عدد القَفْزات الصَّادِرَة</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">عُنوان بروتوكول الإنترنت لِلمَصدَر الأَصْل</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">الشَّكْل (أ-13): بِنِية خِيار تَتَّبِع المَسار</p>	0	7	15	31	النُّوع = 82	الطُّول = 12	رَقْم المَعْرِف		عدد القَفْزات الرَّاجِعَة		عدد القَفْزات الصَّادِرَة		عُنوان بروتوكول الإنترنت لِلمَصدَر الأَصْل				<p>حَقْل النُّوع</p>	
	0	7	15	31														
	النُّوع = 82	الطُّول = 12	رَقْم المَعْرِف															
عدد القَفْزات الرَّاجِعَة		عدد القَفْزات الصَّادِرَة																
عُنوان بروتوكول الإنترنت لِلمَصدَر الأَصْل																		
<p>حَقْل النُّسخ</p>	<p>الرَّقْم</p>																	
<p>0</p>	<p>2</p>	<p>18</p>																
<p>يُستعمل لِتنبيه المُوَجَّه لِيفحَص مُحتويات الرِّزْمَة بِدَقَّةٍ، مِن خلال صَبْط قِيمة عَلم الإنذار إلى قِيمة الصِّفَر.</p>	<p>خِيار إنذار المُوَجَّه باستعمال بروتوكول الإنترنت⁷⁸⁴</p>	<p>الاسم</p>																
<table border="1" data-bbox="236 1458 1038 1541"> <tr> <td style="text-align: center;">0</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: center;">31</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">النُّوع = 148</td> <td style="text-align: center;">الطُّول = 4</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">عَلم الإنذار</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">الشَّكْل (أ-14): بِنِية خِيار إنذار المُوَجَّه</p>	0	7	15	31	النُّوع = 148	الطُّول = 4	عَلم الإنذار		<p>حَقْل النُّوع</p>									
	0	7	15	31														
	النُّوع = 148	الطُّول = 4	عَلم الإنذار															
<p>حَقْل النُّسخ</p>	<p>الرَّقْم</p>																	
<p>1</p>	<p>0</p>	<p>20</p>																

⁷⁸² أصل الاسم Visa option، انظر ص. 494 في [ART49] في تَبْت المَراجِع.

⁷⁸³ أصل الاسم Traceroute using an IP option، انظر ص. 3 في [RFC1393] في تَبْت المَراجِع.

⁷⁸⁴ أصل الاسم IP router alert option، انظر ص. 3 في [RFC2113] في تَبْت المَراجِع.

<p>يُرَوِّد مُرْسِل رَزْمِ بَياناتٍ بِأَلْيَّةِ تَوصيلٍ مُباشِرَةٍ مُتعدِّدةِ الوِجْهاتِ تُسَمَّى نَمطِ البَثِّ العَامِّ المُوجَّهَ الانتقائِيَّ.</p>	<p>خِيارِ التَّوصيلِ مُتعدِّدِ الوِجْهاتِ المُدارِ بِوِاسِطَةِ المُرْسِلِ⁷⁸⁵</p>	الاسم												
<div style="text-align: center;"> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">0</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">7</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">15</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">النَّوع = 131</td> <td style="text-align: center;">الطُّول</td> <td style="text-align: center;">عناوين بروتوكول الإنترنت</td> </tr> </table> <p>الشَّكْل (أ-15): بِنِيَّةِ خِيارِ البَثِّ العَامِّ المُوجَّهَ الانتقائِيَّ</p> </div>	0	7	15	النَّوع = 131	الطُّول	عناوين بروتوكول الإنترنت	حَقْلُ النَّوعِ							
0	7	15												
النَّوع = 131	الطُّول	عناوين بروتوكول الإنترنت												
<p>يُسْتَعْمَلُ مِن أَجْلِ المُساعَدةِ في تَوجِيهِ رِزْمِ التَّيَّارِ الصَّاعِدِ في شِجْرَةِ البَثِّ المُجمُوعاتيِّ. يَحتَوي حَقلاً يُسْتَعْمَلُ لِتَخزينِ عُنوانِ مُوجَّهِ التَّيَّارِ الصَّاعِدِ.</p>	<p>خِيارِ رِزْمِ التَّيَّارِ الصَّاعِدِ في البَثِّ المُجمُوعاتيِّ⁷⁸⁶</p>	الاسم												
<div style="text-align: center;"> <table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">0</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">7</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">15</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">31</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">النَّوع = 152</td> <td style="text-align: center;">الطُّول = 8</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">مَحمُوز</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">عُنوانِ مُوجَّهِ التَّيَّارِ الصَّاعِدِ</td> </tr> </table> <p>الشَّكْل (أ-16): بِنِيَّةِ خِيارِ رِزْمِ التَّيَّارِ الصَّاعِدِ في البَثِّ المُجمُوعاتيِّ</p> </div>	0	7	15	31	النَّوع = 152	الطُّول = 8	مَحمُوز		عُنوانِ مُوجَّهِ التَّيَّارِ الصَّاعِدِ				حَقْلُ النَّوعِ	
0	7	15	31											
النَّوع = 152	الطُّول = 8	مَحمُوز												
عُنوانِ مُوجَّهِ التَّيَّارِ الصَّاعِدِ														
<p>يُسْتَعْمَلُ مِن أَجْلِ تَحدِيدِ مُعدَّلِ نَقلِ البَياناتِ المُتاحِ لِإِستِعمالِهِ في عَمليَّةِ البِدايَةِ السَّريِعةِ، عِوضاً عَنِ الإِعتِمالِ عَلى عَمليَّةِ البِدايَةِ البَطيِّئةِ في بَرُوتوكُولِ التَّحكُّمِ بالنَّقلِ.</p>	<p>خِيارِ البِدايَةِ السَّريِعةِ⁷⁸⁷</p>	الاسم												
<p>يُمَثَّلُ الخِيارُ بِرِسالَتينِ: طَلِبِ وِردِ.</p>	حَقْلُ النَّوعِ													
	<p>حَقْلُ النَّسخِ</p>	الرَّقْمِ												
	1	0												
	1	25												

⁷⁸⁵ أصل الاسم Sender directed multi-destination delivery option، انظر ص. 2 في [RFC1770] في ثَبَتِ المَراجِعِ.

⁷⁸⁶ أصل الاسم Upstream multicast packet option، انظر ص. 5 في [WEB45] في ثَبَتِ المَراجِعِ

⁷⁸⁷ أصل الاسم Quick-start option، انظر ص. 10-13 في [RFC4782] في ثَبَتِ المَراجِعِ

<p>تُستعمل قيمة الرِّقْم 30 مع الأزواج المُمكِنَة لِالصَّنْف وَعَلَم النَّسْخ، ونتيجةً لِذلك يُوجد أربعة احتمالاتٍ لِقيمة حَقْل النَّمَط. هذا الخِيار مُخصَّصٌ لِأغراضٍ تجرِيدِيَّة.</p>	<p>خِيارات تجرِيدِيَّة⁷⁸⁸</p>		<p>الاسم</p>
<p>بِنِيَة الخِيار غير مُوضَّحةٍ فِي المِعيَار.</p>	<p>حَقْل النَّوع</p>		
	<p>حَقْل النَّسْخ</p>	<p>الصَّنْف</p>	<p>الرِّقْم</p>
	<p>1-0</p>	<p>2-0</p>	<p>30</p>

⁷⁸⁸ انظر ص. 3 في [RFC4727] فِي نَبْت المِراجِع.



المُلْحَق ب: أفضية البثِّ المَجْمُوعاتيِّ في الإصدار
الرَّابِعِ مِنْ بَرُوتُوْغُولِ الإِنْتَرْنَتِ



الأفضية مرتبة تصاعدياً وفقاً للقيمة العددية.⁷⁸⁹

الجدول (ب-1): أفضية البث المجموعي في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت⁷⁹⁰

عَدَد العناوين ⁷⁹¹	العنوان الأكبر	العنوان الأصغر	الاستعمال	فضاء العناوين
$2^8 = 256$ ⁷⁹³	224.0.0.255	224.0.0.0	مجموعة عناوين التحكم في الشبكة المحلية ⁷⁹²	224.0.0.0/24
$2^8 = 256$ ⁷⁹⁵	224.0.1.254	224.0.1.0	مجموعة عناوين التحكم بين الشبكية ⁷⁹⁴	224.0.1.0/24
$2^8 * 254 = 65024$ ⁷⁹⁸	224.0.255.255	224.0.2.0	مجموعة العناوين المخصصة الأولى ⁷⁹⁷	لا يمكن تمثيله ⁷⁹⁶
$2^{16} = 65536$	224.1.255.255	224.1.0.0	فضاء محجور	224.1.0.0/16
$2^{16} = 65536$	224.2.255.255	224.2.0.0	مجموعة عناوين بروتوكولي الإعلان عن الجلسة والإعلان عن دليل الجلسة ⁷⁹⁹	224.2.0.0/16
$2^{16} * 2 = 131072$ ⁸⁰¹	224.4.255.255	224.3.0.0	مجموعة العناوين المخصصة الثانية ⁸⁰⁰	224.3.0.0/16 و 224.4.0.0/16

⁷⁸⁹ انظر صفحة سجل فضاء عناوين البث المجموعي للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت في [WEB03] في نبت المراجع لمعلومات محدثة.

⁷⁹⁰ انظر ص.3 في [RFC5771] في نبت المراجع.

⁷⁹¹ لا تُورد الوثيقة RFC 5771 إلا عَدَد العناوين الإجمالي، من غير تبيان كيفية حسابها. لحساب عَدَد العناوين: إذا كان امتداد الفضاء متوافقاً مع مضاعفات العَدَد 2، فإنه يُحسب باستعمال العلاقة: 2^n ، و n هي عَدَد البتات المتغيرة ضمن مجموعة عناوين الفضاء، وإلا فيلزم تجزئة الفضاء إلى أفضية أصغر متوافقة مع مضاعفات العَدَد 2، ثم حساب عَدَد العناوين في كلٍّ منها، ثم حساب المجموع الإجمالي.

⁷⁹² أصل الاسم Local network control block، وهي «محجوزة من أجل استعمال بروتوكولات التوجيه أو بروتوكولات اكتشاف الطوبولوجيا منخفضة المستوى أو بروتوكولات الصيانة»، انظر ما جاء في ص. 3 في [RFC2780] في نبت المراجع.

⁷⁹³ عَدَد البتات المتغيرة ضمن مجموعة عناوين الفضاء هو 8 بتات، وهي بتات الخانة الرابعة من العنوان.

⁷⁹⁴ أصل الاسم Internetwork control block.

⁷⁹⁵ عَدَد البتات المتغيرة ضمن مجموعة عناوين الفضاء هو 8 بتات، وهي بتات الخانة الرابعة من العنوان.

⁷⁹⁶ لا يمكن تمثيل الفضاء باستعمال تدوين البادئة لأنه يمتد على مجال عناوين غير متوافق مع مضاعفات العَدَد 2، يشمل هذا على الأفضية كلها التي لا يمكن تمثيلها في هذا الجدول.

⁷⁹⁷ أصل الاسم Ad-hoc block I.

⁷⁹⁸ 254 فضاءً في كلٍّ منها 2^8 عنواناً.

⁷⁹⁹ أصل الاسم لأول: Session Announcement Protocol، اختصاراً SAP، وللثاني Session Directory announcement Protocol.

اختصاراً SDP، انظر [RFC2974] في نبت المراجع.

⁸⁰⁰ أصل الاسم Ad-hoc block II.

⁸⁰¹ فضاءان، عَدَد البتات المتغيرة ضمن مجموعة كلٍّ منهما هو 16 بتاً.

$= 251 * 2^{16}$ 802 16449536	224.255.255.255	224.5.0.0	فضاءٌ مَحْجُورٌ	لا يُمكن تمثيله
$= 7 * 2^{24}$ 803 117440512	231.255.255.255	225.0.0.0	فضاءٌ مَحْجُورٌ	لا يُمكن تمثيله
$= 2^{24}$ 805 16777216	232.255.255.255	232.0.0.0	مَجْمُوعَةٌ عَنَوايِنِ البثِّ المَجْمُوعاتيِّ المُحدَّدِ المَصْدَرِ 804	232.0.0.0/8
$= 252 * 2^{16}$ 807 16515072	233.251.255.255	233.0.0.0	مَجْمُوعَةٌ عَنَوايِنِ كُلوِبِ 806	لا يُمكن تمثيله
$= 4 * 2^{16}$ 262144	233.255.255.255	233.252.0.0.0	مَجْمُوعَةٌ العَنَوايِنِ المُخَصَّصَةِ الثَّالِثَةِ 808	232.252.0.0/14
$= 2^{24}$ 16777216	234.255.255.255	234.0.0.0	فضاءٌ مَحْجُورٌ	لا يُمكن تمثيله
$= 5 * 2^{24}$ 810 83886080	239.255.255.255	235.0.0.0	مَجْمُوعَةٌ العَنَوايِنِ المُراقِبَةِ إِشْرَافِيًّا 809	لا يُمكن تمثيله

⁸⁰² 251 فضاء، عدد البتات المتغيرة ضمن مجموعة كلِّ منها هو 16 بتاً.

⁸⁰³ 7 أفضية، عدد البتات المتغيرة ضمن مجموعة كلِّ منهما هو 24 بتاً.

⁸⁰⁴ أصل الاسم Source-specific multicast block، انظر [RFC4607] في نَبْتِ المَراجِعِ.

⁸⁰⁵ فضاء واحد، عدد البتات المتغيرة فيه هو 24 بتاً.

⁸⁰⁶ أصل الاسم GLOP، لا يبدو أنَّها اختصارٌ لمجموعة كلماتٍ ولا تذكُر وثائق طلب التَّعليقات ذات الصِّلة أيَّ معلومَاتٍ عن أصل الاسم. انظر [RFC3180] في نَبْتِ المَراجِعِ.

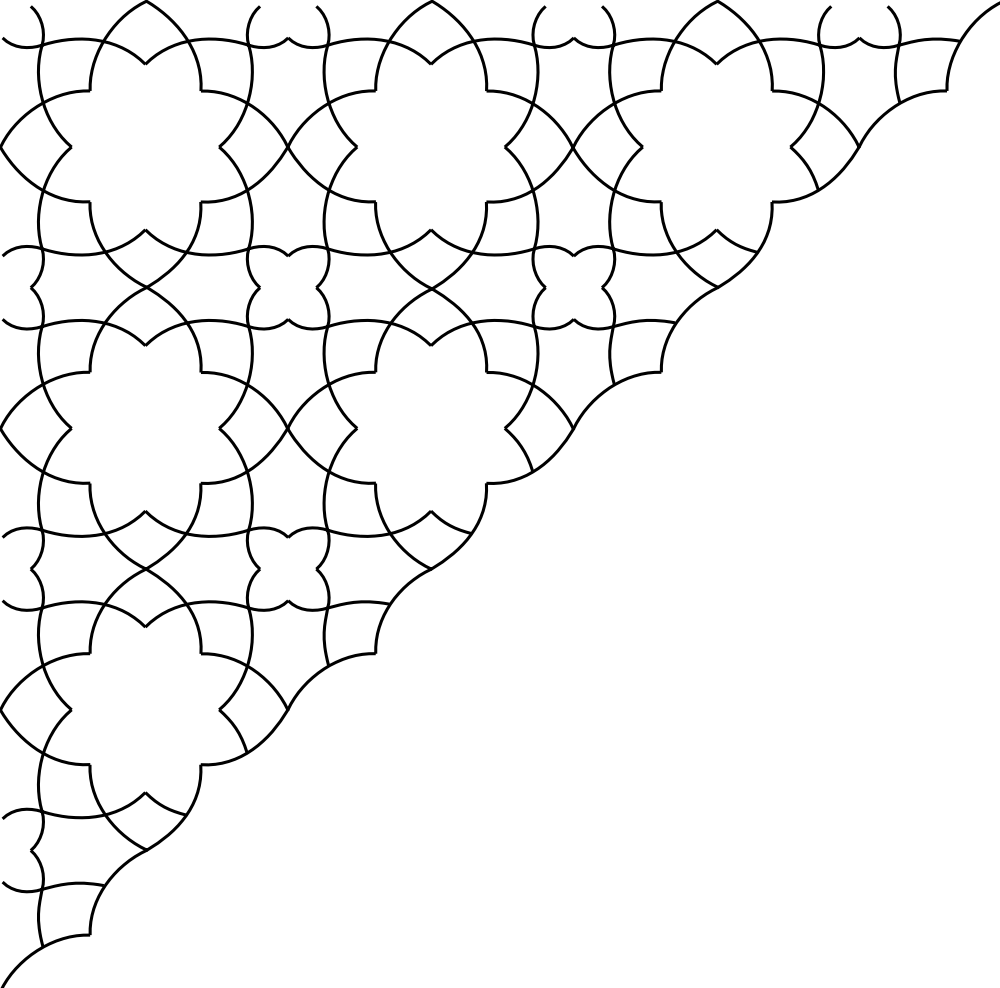
⁸⁰⁷ 252 فضاء، عدد البتات المتغيرة ضمن مجموعة كلِّ منها هو 16 بتاً.

⁸⁰⁸ أصل الاسم Ad-hoc block III.

⁸⁰⁹ أصل الاسم Scoped multicast ranges.

⁸¹⁰ خمسة أفضية، وعدد البتات المتغيرة ضمن كلِّ مجموعة منها هو 24 بتاً.

تُرِكَت هذه الصَّفحة فارِغَةً عَمداً لِغرضِ تنسيقِ الكِتابِ



المُلحَق ج: أَفضيَّة مَحجُوزةٌ مِن فضاء بروتوكول

الإنترنت



أولاً: الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

الأفضية مُرتبة تصاعدياً وفقاً للقيمة العددية.⁸¹¹

الجدول (ج-1): أفضية محجوزة في الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت⁸¹²

الاستعمال	تاريخ الحجز	فضاء العناوين
يستخدم أيُّ عنوانٍ من هذا الفضاء ليُكون عنوانَ مَصَدِرٍ لمُضيفٍ يُنجز عمليةَ التَّهيئةِ الدَّائِيَّةِ لِلحُصُولِ على عُنْوَانِ بروتوكولِ إنترنت. ⁸¹³	سبتمبر 1981	0.0.0.0/8
محجوزٌ بصفته فضاءً خاصاً ضمن أفضية الصنف A، يُمكن أن تُستخدم عناوينٌ من هذا الفضاء لتُكون عناوينَ مَصَدِرٍ أو وَجْهَةٍ في رِزْمِ الإصدارِ الرَّابِعِ من بروتوكولِ الإنترنت. ⁸¹⁴	فبراير 1996	10.0.0.0/8
محجوزٌ لاستعماله بادئَةً من أجل فضاء العناوين المُشترَكِ. ⁸¹⁵	أبريل 2012	100.64.0.0/10
فضاء عناوين الحلقة العكسيَّة، يُستخدم أيُّ عنوانٍ من هذا الفضاء ليُكون عنواناً للمُضيف المحليِّ في أيِّ مُضيفٍ للإصدارِ الرَّابِعِ من بروتوكولِ الإنترنت. ⁸¹⁶	سبتمبر 1981	127.0.0.0/8
محجوزٌ من أجل عناوين الوصلة المحليَّة في الإصدارِ الرَّابِعِ من بروتوكولِ الإنترنت. ⁸¹⁷	مايو 2005	169.254.0.0/16
محجوزٌ بصفته فضاءً خاصاً ضمن أفضية الصنف B، يُمكن أن تُستخدم عناوينٌ من هذا الفضاء لتُكون عناوينَ مَصَدِرٍ أو وَجْهَةٍ في رِزْمِ الإصدارِ الرَّابِعِ من بروتوكولِ الإنترنت. ⁸¹⁸	فبراير 1996	172.16.0.0/12
محجوزٌ لهيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة من أجل دعم مهمَّات مجموعة مهندسي الإنترنت. ⁸¹⁹	يناير 2010	192.0.0.0/24
محجوزٌ من أجل تقنيَّة المُكدَّس المُزدَوِّج المُبسَّطة. ⁸²⁰	يونيو 2011	192.0.0.0/29
محجوزٌ من أجل عمليَّات التَّوثيقِ. ⁸²¹	يناير 2010	192.0.2.0/24

⁸¹¹ انظر صفحة سجلِّ الأفضية المحجوزة للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت في [WEB46] في ثَبَت المَراجِعِ لِمَعْلُومَاتٍ مُحدَّثةِ.

⁸¹² انظر ص. 3-15 في [RFC6890] في ثَبَت المَراجِعِ.

⁸¹³ أصل الاسم Autoconfiguration، انظر ص. 30 في [RFC1112] في ثَبَت المَراجِعِ.

⁸¹⁴ انظر ص. 4 في [RFC 1918] في ثَبَت المَراجِعِ.

⁸¹⁵ أصل الاسم Shared address space، انظر ص. 8 في [RFC6598] في ثَبَت المَراجِعِ.

⁸¹⁶ أصل الاسم Loopback، انظر ص. 31 في [RFC1112] في ثَبَت المَراجِعِ.

⁸¹⁷ انظر ص. 31 في [RFC3927] في ثَبَت المَراجِعِ.

⁸¹⁸ انظر ص. 4 في [RFC1918] في ثَبَت المَراجِعِ.

⁸¹⁹ انظر ص. 3 في [RFC6890] في ثَبَت المَراجِعِ.

⁸²⁰ أصل الاسم Dual-stack lite، انظر ص. 8 في [RFC6333] في ثَبَت المَراجِعِ.

⁸²¹ انظر ص. 2 في [RFC5737] في ثَبَت المَراجِعِ.

فضاء عناوين مَحجُوزٍ مِن أَجل عناوين البثِّ نحو الأقرب لِتقنيّة 6 إلى 4. ⁸²²	يُونيو 2001	192.88.99.0/24
فضاءٌ مَحجُوزٌ بصفته فضاءً خاصّاً ضمن أفضية الصّنف C، يُمكن أن تُستخدم عناوينٌ مِن هذا الفضاء لِتكون عناوين مَصدرٍ أو وجهٍ في رزم الإصدار الرّابع مِن بروتوكول الإنترنت. ⁸²³	فبراير 1996	192.168.0.0/16
فضاء عناوين مَحجُوزٍ مِن أَجل العمليّات المُعتمِدة على أساس تقييم الأداء. ⁸²⁴	مارس 1999	198.18.0.0/15
فضاء عناوين مَحجُوزٍ مِن أَجل عمليّات التّوثيق. ⁸²⁵	يناير 2010	198.51.100.0/24
فضاء عناوين مَحجُوزٍ مِن أَجل عمليّات التّوثيق. ⁸²⁶	يناير 2010	203.0.113.0/24
فضاء عناوين الصّنف E، ومَحجُوزٌ لِاستخداماتٍ مُستقبليّة. ⁸²⁷	أغسطس 1989	240.0.0.0/4
عنوان بثّ عامٌّ يُمكن استعماله في أيّ شبكةٍ محليّة. ⁸²⁸	أكتوبر 1984	255.255.255.255/32

ثانياً: الإصدار السّادس مِن بروتوكول الإنترنت

الأفضية مُرتّبة تصاعديّاً وفقاً للقيمة العدديّة.⁸²⁹

الجدول (ج-2): أفضيةٌ مَحجُوزةٌ في الإصدار السّادس مِن بروتوكول الإنترنت⁸³⁰

الاستعمال	تاريخ الحجز	فضاء العناوين
العنوان غير المُحدّد. ⁸³¹	فبراير 2006	::/128
عنوان الحلقة العكسيّة. ⁸³²	فبراير 2006	::128/1
مُخصّصٌ لِمتّجمات العناوين بين الإصدارين الرّابع والسّادس. ⁸³³	أكتوبر 2010	ff9b::/96
مُخصّصٌ للعناوين المُقتَرنة مع الإصدار الرّابع. ⁸³⁴	فبراير 2006	::ffff:0:0/96

⁸²² أصل الاسم. anycast address. 4 to 6، انظر ص. 2 في [RFC3068] في ثبّت المراجع.

⁸²³ انظر ص. 4 في [RFC1918] في ثبّت المراجع.

⁸²⁴ أصل الاسم Benchmarking، انظر التّعريب في ص. 34 في [BKA01] في ثبّت المراجع، وانظر أيضاً ص. 25 في [RFC2544].

⁸²⁵ انظر ص. 2 في [RFC5737] في ثبّت المراجع.

⁸²⁶ انظر الهامش السّابق.

⁸²⁷ انظر ص. 3 في [RFC1112] في ثبّت المراجع.

⁸²⁸ انظر ص. 6 في [RFC919] في ثبّت المراجع.

⁸²⁹ انظر صفحة سجلّ الأفضية المَحجُوزة للإصدار السّادس مِن بروتوكول الإنترنت في [WEB31] في ثبّت المراجع لمعلوماتٍ مُحدّثة.

⁸³⁰ انظر ص. 14-20 في [RFC6890] في ثبّت المراجع.

⁸³¹ انظر ص. 9 في [RFC4291] في ثبّت المراجع.

⁸³² انظر الهامش السّابق.

⁸³³ أصل الاسم IPv4/IPV6 translators، انظر ص. 5 في [RFC6052] في ثبّت المراجع.

⁸³⁴ انظر ص. 9 في [RFC4291] في ثبّت المراجع.

100::/64	يُونِيُو 2012	بادئة الاستبعاد التي تُستعمل في عملية التوجيه والترشيح للتخلص من رزم البيانات. ⁸³⁵
2001::/23	سِبْتَمْبَر 2000	مُخَصَّصٌ لِعَمَلِيَّةِ تَطْوِيرِ إِرْشَادَاتٍ لِمَنْحِ أَفْضِيَّةِ الإِصْدَارِ السَّادِسِ مِنْ بَرُوتُوْكُولِ الإِنْتَرْنِتِ. ⁸³⁶
2001::/32	فِبْرَايِر 2006	مُخَصَّصٌ لِدَعْمِ تَقْنِيَّةِ تَيْرِيدُو لِإِنْتِقَالِ مِنَ الإِصْدَارِ الرَّابِعِ نَحْوِ الإِصْدَارِ السَّادِسِ مِنْ بَرُوتُوْكُولِ الإِنْتَرْنِتِ. ⁸³⁷
2001:1::48/1	أَكْتُوبَر 2015	مُخَصَّصٌ لِلْبِتِّ نَحْوِ الأَقْرَبِ لِبرُوتُوْكُولِ التَّحْكُمِ بِالمَنْفَذِ. ⁸³⁸
2001:1::48/2	فِبْرَايِر 2017	مُخَصَّصٌ لِلْبِتِّ نَحْوِ الأَقْرَبِ فِي بَرُوتُوْكُولِ تَخْطِي التَّرْجَمَةِ بِاسْتِعْمَالِ المُرْحَلَاتِ. ⁸³⁹
2001:2::/48	أَپْرِيَل 2008	مُخَصَّصٌ لِلْعَمَلِيَّاتِ المُعْتَمِدَةِ عَلَى أَسَاسِ تَقْيِيمِ الأَدَاءِ. ⁸⁴⁰
2001:3::/32	دِيسْمَبَر 2014	مُخَصَّصٌ لِلإِنْشَاءِ الأَلِيِّ لِأَنْفَاقِ البِتِّ المَجْمُوعَاتِيَّ. ⁸⁴¹
2001:4:112::/48	دِيسْمَبَر 2014	مُخَصَّصٌ لِمَشْرُوعِ النِّظَامِ المُسْتَقِلِّ رَقْمِ 112. ⁸⁴²
2001:10::/28	أَپْرِيَل 2007 ⁸⁴³	مُخَصَّصٌ لِبادِئَةِ مُعْرَفَاتِ التَّجْزِئَةِ المُعَمَّاةِ المُتْرَاكِبَةِ القَابِلَةِ لِلتَّوْجِيهِ، المَعْرُوفَةِ بِإِخْتِصَارٍ بِالاسْمِ الرَّمْزِيِّ أَوْرِكِيدِ. ⁸⁴⁴
2001:20::/28	يُولْيُو 2014	مُخَصَّصٌ لِلإِصْدَارِ الثَّانِي لِبادِئَةِ مُعْرَفَاتِ التَّجْزِئَةِ المُعَمَّاةِ المُتْرَاكِبَةِ القَابِلَةِ لِلتَّوْجِيهِ، المَعْرُوفَةِ بِإِخْتِصَارٍ بِالاسْمِ الرَّمْزِيِّ أَوْرِكِيدِ 2. ⁸⁴⁵
2001:0db8::/32	يُولْيُو 2004	مُخَصَّصٌ لِعَمَلِيَّةِ التَّوْثِيقِ. ⁸⁴⁶
2002::/16	فِبْرَايِر 2001	مُخَصَّصٌ لِدَعْمِ تَقْنِيَّةِ 6 إِلَى 4 لِإِنْتِقَالِ مِنَ الإِصْدَارِ السَّادِسِ نَحْوِ الإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بَرُوتُوْكُولِ الإِنْتَرْنِتِ. ⁸⁴⁷

⁸³⁵ أصل الاسم Discard prefix، انظر ص. 4 في [RFC6666] في ثبت المراجع.

⁸³⁶ انظر [RFC2928] في ثبت المراجع.

⁸³⁷ أصل الاسم Teredo، وهي تقنية طوّرت لتحقيق التّواصل بين مُضيفي الإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت عبر شبكة تدعم الإصدار الرابع فقط باستعمال شكلي خاص من أشكال ترجمة عنوان الشبكة هو الترجمة المضاعفة، للمزيد حولها انظر [RFC4380] في ثبت المراجع، وللفضاء المحجوز انظر ص. 4 من المرجع السابق.

⁸³⁸ أصل الاسم Port Control Protocol، اختصاراً PCP، انظره في [RFC7723] في ثبت المراجع، وللفضاء المحجوز انظر ص. 5 في المرجع السابق.

⁸³⁹ انظر معلومات أوفى عن البروتوكول في قسم مشكلات التنفيذ في الفصل التاسع من هذا الكتاب، وأيضاً انظر [RFC8155] في ثبت المراجع، وللفضاء المحجوز انظر ص. 9 من المرجع السابق.

⁸⁴⁰ من أجل أصل الاسم انظر الهامش 824 في ما سبق، وأيضاً انظر [RFC5180]، وللفضاء المحجوز انظر ص. 11 في المرجع السابق.

⁸⁴¹ أصل الاسم Automatic multicast tunneling، انظر ص. 78 في [RFC7450] في ثبت المراجع.

⁸⁴² أصل اسم المشروع AS112 project، انظر ص. 4 في [RFC7535] في ثبت المراجع.

⁸⁴³ حُرّر هذا الفضاء في شهر مارس من العام 2014، ولم يُعدّ محجوزاً، انظر [WEB31] في ثبت المراجع لمعلوماتٍ محدّثة.

⁸⁴⁴ أصل الاسم Overlay Routable Cryptographic Hash Identifiers، اختصاراً ORCHID، انظر ص. 5 في [RFC4843] في ثبت المراجع.

⁸⁴⁵ انظر ص. 6 في [RFC7343] في ثبت المراجع.

⁸⁴⁶ انظر [RFC3849] في ثبت المراجع.

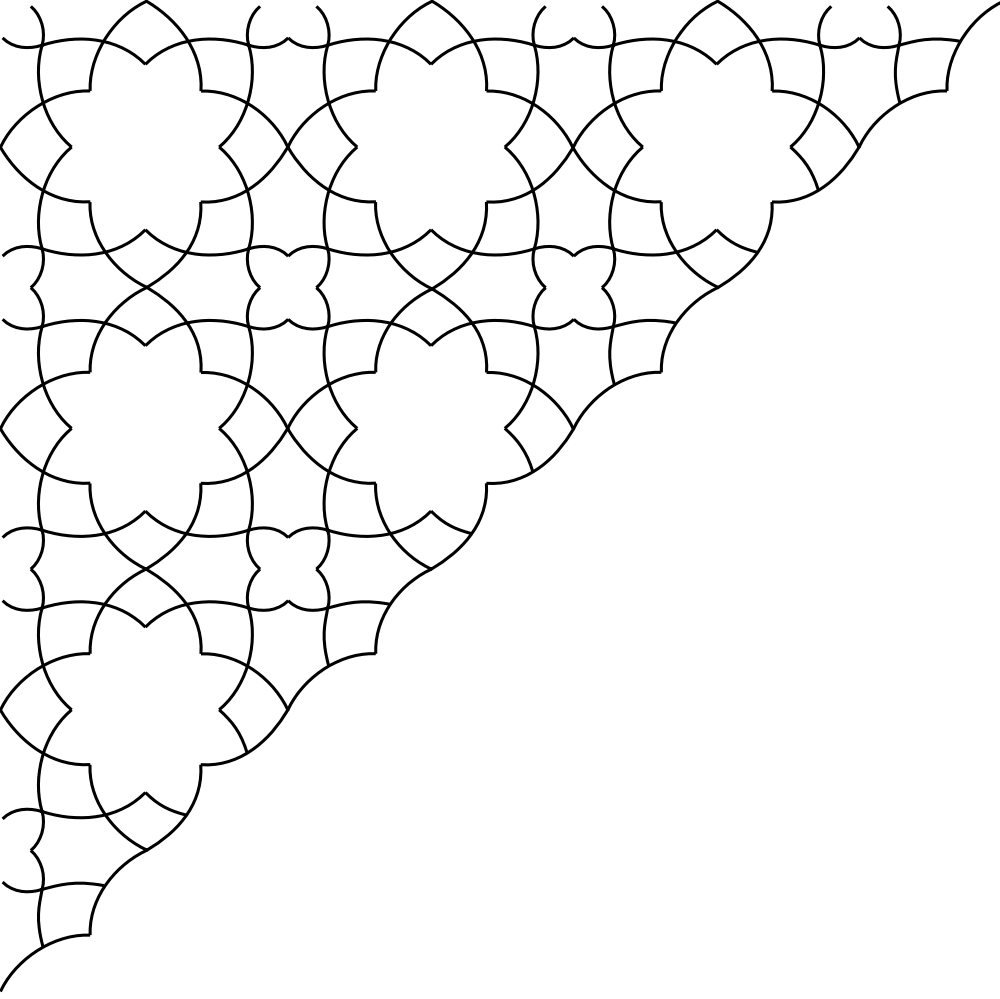
⁸⁴⁷ أصل الاسم 6 to 4، انظر ص. 5 في [RFC3056] في ثبت المراجع.

مُخصَّصٌ لفضاء عناوين البثِّ فريد الوجهة المَحليِّ. ⁸⁴⁸	أكتوبر 2005	fc00::/7
مُخصَّصٌ لفضاء عناوين البثِّ فريد الوجهة في الوصلة المَحليَّة. ⁸⁴⁹	أكتوبر 2005	fe80::/10

⁸⁴⁸ انظر ص. 3 في [RFC4193] في ثَبت المَراجع.

⁸⁴⁹ انظر ص. 11 في [RFC4291] في ثَبت المَراجع.

تُرِكَت هذه الصَّفحة فارِغَةً عَمداً لِغرضِ تنسيقِ الكِتابِ



المُلْحَق د: أمثلةٌ عن تجزئة فضاء العناوين

ومُلْحَقاتها



أولاً: الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت

التجزئة الصنفية

الصنف A

المثال الأول: حالة طول معرف الفضاء الجزئي أكبر من 1 أو مساو له وأصغر تماماً من 8. المطلوب تجزئة فضاء العناوين القياسي 10.0.0.0 إلى 5 أفضية جزئية.

1. العنونة صنفية والقناع القياسي للصنف A هو 8/ وعدد البتات المحجوزة $b_r = 1$ وطول معرف الفضاء $b_{NID} = 7$. يكون مجموع طولي معرفي الفضاء الجزئي والمضيف مقدراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (1 + 7) = 24$$

2. حساب الطول الأدنى المقبول لمعرف الفضاء الجزئي مقدراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 5 \rceil = \lceil 2.32 \rceil = 3$$

3. الطول الأدنى المقبول لمعرف المضيف $b_{HID_{min}} = 2$ ، ويُستعمل لحساب الطول الأقصى المتاح لمعرف الفضاء الجزئي:

$$b_{SID_{max}} = 24 - 2 = 22$$

4. اختيار قيمة مناسبة لطول معرف الفضاء الجزئي يُحقق المتراجحة:

$$3 \leq b_{SID} \leq 22$$

أختيرت القيمة الدنيا وهي $b_{SID} = 3$.

5. حساب طول معرف المضيف مقدراً بالبت:

$$b_{HID} = 24 - 3 = 21$$

ويبين الشكل (د-1) بنية عنوان الفضاء الجزئي الناتج.

1	7	3	21	عدد البتات
معرف الفضاء	معرف الفضاء الجزئي		معرف المضيف	
بتات محجوزة				

الشكل (د-1): بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الأول في الملحق د

6. عدد معرفات الأفضية الجزئية هو $2^3 = 8$ ، وهي مبينة بالجدول (د-1).

الجدول (د-1): مُعرّفات الأفضية الجُزئية في المِثال الأوّل في المُلحق د

رقم المُعرّف	قيمة المُعرّف	رقم المُعرّف	قيمة المُعرّف
1	000	5	100
2	001	6	101
3	010	7	110
4	011	8	111

7. حساب عدّد الوحدان في قنّاع التّجزئة:

$$b_{mask} = 3 + 7 + 1 = 11$$

أي أنّ قنّاع الأفضية الجُزئية هو 11/ أو 255.224.0.0.

الجدول (د-2): حسابات بعضي من الأفضية الجُزئية في المِثال الأوّل في المُلحق د

الفضاء السّابع (SID = 110)		الفضاء الأوّل (SID = 000)	
10.192.0.0	عنوان الفضاء الجُزئيّ	10.0.0.0	عنوان الفضاء الجُزئيّ
10.192.0.1	عنوان المُضيفين الأصغر	10.0.0.1	عنوان المُضيفين الأصغر
10.223.255.254	عنوان المُضيفين الأكبر	10.31.255.254	عنوان المُضيفين الأكبر
10.223.255.255	عنوان البثّ العامّ	10.31.255.255	عنوان البثّ العامّ
الفضاء الثّامن (SID = 111)		الفضاء الثّاني (SID = 001)	
10.224.0.0	عنوان الفضاء الجُزئيّ	10.32.0.0	عنوان الفضاء الجُزئيّ
10.224.0.1	عنوان المُضيفين الأصغر	10.32.0.1	عنوان المُضيفين الأصغر
10.255.255.254	عنوان المُضيفين الأكبر	10.63.255.254	عنوان المُضيفين الأكبر
10.255.255.255	عنوان البثّ العامّ	10.63.255.255	عنوان البثّ العامّ

المِثال الثّاني: حالة طُول مُعرّف الفضاء الجُزئيّ مُساوٍ للقيمة 8

المطلوب تجزئة فضاء العناوين القياسيّ 10.0.0.0، إلى 256 فضاءً جُزئياً.

1. العنونة صنفية والقنّاع القياسيّ للصّنف A هو 8/ وعدّد البتات المحجّوزة $b_r = 1$ وطُول مُعرّف الفضاء

$b_{NID} = 7$. يكوّن مجموع طُولي مُعرّفي الفضاء الجُزئيّ والمُضيف مُقدّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (1 + 7) = 24$$

2. حساب طُول مُعرّف الفضاء الجُزئيّ مُقدّراً بالبت:

$$b_{SID} = \lceil \log_2 256 \rceil = 8$$

3. حساب طُول مُعرّف المُضيف مُقدّراً بالبت:

$$b_{HID} = 24 - 8 = 16$$

ويبيّن الشّكل (د-2) بنية عنوان الفضاء الجُزئيّ النّاتج.

عَدَد
البتات

1	7	8	16
	مُعَرِّف الفضاء	مُعَرِّف الفضاء الجُزئِيّ	مُعَرِّف المُضَيِّف

بتات
مَحْجُوزَةٌ

الشكل (د-2): بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الثاني في الملحق د

الجدول (د-3): بعض من مُعَرِّفات الأفضية الجُزئِيّة في المثال الثاني في الملحق د

رقم المُعَرِّف	قيمة المُعَرِّف	رقم المُعَرِّف	قيمة المُعَرِّف
1	0000 0000	253	1111 1100
2	0000 0001	254	1111 1101
3	0000 0010	255	1111 1110
4	0000 0011	256	1111 1111

4. حساب عَدَد الوحدان في قناع التَّجزئة:

$$b_{mask} = 8 + 7 + 1 = 16$$

أي أنّ قناع الأفضية الجُزئِيّة هو 16/ أو 255.255.0.0

الجدول (د-4): حسابات بعض من الأفضية الجُزئِيّة في المثال الثاني في الملحق د

الفضاء رقم 255 (SID = 1111 1110)		الفضاء الأوّل (SID = 0000 000)	
10.254.0.0	عنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.0.0.0	عنوان الفضاء الجُزئِيّ
10.254.0.1	عنوان المُضَيِّفين الأصغر	10.0.0.0	عنوان المُضَيِّفين الأصغر
10.254.255.254	عنوان المُضَيِّفين الأكبر	10.0.255.254	عنوان المُضَيِّفين الأكبر
10.254.255.255	عنوان البثّ العامّ	10.0.255.255	عنوان البثّ العامّ
الفضاء رقم 256 (SID = 1111 1111)		الفضاء الثاني (SID = 0000 0001)	
10.255.0.0	عنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.1.0.0	عنوان الفضاء الجُزئِيّ
10.255.0.1	عنوان المُضَيِّفين الأصغر	10.1.0.1	عنوان المُضَيِّفين الأصغر
10.255.255.254	عنوان المُضَيِّفين الأكبر	10.1.255.254	عنوان المُضَيِّفين الأكبر
10.255.255.255	عنوان البثّ العامّ	10.1.255.255	عنوان البثّ العامّ

المثال الثالث: حالة طول مُعَرِّف الفضاء الجُزئِيّ أكبر من 9 أو مُساوٍ لها وأصغرُ تماماً من 16.

المطلوب تجزئة فضاء العناوين القياسي 10.0.0.0 إلى 1000 فضاءً جزئياً على الأقل.

1. العنونة صنفية والقناع القياسي للصنف A هو 8/ وعَدَد البتات المحجوزة $b_r = 1$ وطول مُعَرِّف الفضاء $b_{NID} = 7$. يكون مجموع طولي مُعَرِّفي الفضاء الجُزئِيّ والمُضَيِّف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (1 + 7) = 24$$

2. حساب الطول الأدنى المقبول لمُعَرِّف الفضاء الجُزئِيّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 1000 \rceil = \lceil 9.96 \rceil = 10$$

3. الطُّول الأدِّي المَقْبُول لِمُعَرِّف المُضَيِّف $b_{HID_{min}} = 2$ ، ويُستعمل لِحِساب الطُّول الأَقْصَى المُتَاح لِمُعَرِّف الفِضَاء الجُزئِيّ:

$$b_{SID_{max}} = 24 - 2 = 22$$

4. اِختِيار قِيميّة مُناسِبة لِطُول مُعَرِّف الفِضَاء الجُزئِيّ يُحَقِّق المُتَراجِحة:

$$10 \leq b_{SID} \leq 22$$

أُختِيرت القِيميّة الدُّنيا وهي $b_{SID} = 10$.

5. حِساب طُول مُعَرِّف المُضَيِّف مُقدَّراً بِالبت:

$$b_{HID} = 24 - 10 = 14$$

وَيُبيِّن الشَّكْل (د-3) بِنِيّة عُنوان الفِضَاء الجُزئِيّ النَّاتِج.

			عَدَد البتات	
1	7	10	14	
	مُعَرِّف الفِضَاء	مُعَرِّف الفِضَاء الجُزئِيّ	مُعَرِّف المُضَيِّف	

بتات
مَحجُوزة

الشَّكْل (د-3): بِنِيّة عُنوان الإِصدار الرَّابِع مِن بروتوكول الإنترنت النَّاتِج فِي المِثال التَّالِي فِي المُلحق د

الجدول (د-5): بعضٌ مِن مُعَرِّفات الأفضية الجُزئِيّة فِي المِثال التَّالِي فِي المُلحق د

رقم المُعَرِّف	قِيميّة المُعَرِّف	رقم المُعَرِّف	قِيميّة المُعَرِّف
1	0000 0000 00	1021	1111 1111 00
2	0000 0000 01	1022	1111 1111 01
3	0000 0000 10	1023	1111 1111 10
4	0000 0000 11	1024	1111 1111 11

الجدول (د-6): حِسابات بعضٍ مِن الأفضية الجُزئِيّة فِي المِثال التَّالِي فِي المُلحق د

الفِضَاء الأوَّل ($SID = 0000\ 0000\ 00$)		الفِضَاء رقم 1023 ($SID = 1111\ 1111\ 10$)	
عُنوان الفِضَاء الجُزئِيّ	10.0.0.0	عُنوان الفِضَاء الجُزئِيّ	10.255.128.0
عُنوان المُضَيِّفِين الأصغر	10.0.0.0	عُنوان المُضَيِّفِين الأصغر	10.255.128.1
عُنوان المُضَيِّفِين الأكبر	10.0.63.254	عُنوان المُضَيِّفِين الأكبر	10.254.191.254
عُنوان البثِّ العامّ	10.0.63.255	عُنوان البثِّ العامّ	10.254.191.255
الفِضَاء التَّانِي ($SID = 0000\ 0000\ 01$)		الفِضَاء رقم 1024 ($SID = 1111\ 1111\ 11$)	
عُنوان الفِضَاء الجُزئِيّ	10.0.64.0	عُنوان الفِضَاء الجُزئِيّ	10.255.192.0
عُنوان المُضَيِّفِين الأصغر	10.0.64.1	عُنوان المُضَيِّفِين الأصغر	10.255.192.1
عُنوان المُضَيِّفِين الأكبر	10.0.127.254	عُنوان المُضَيِّفِين الأكبر	10.255.255.254
عُنوان البثِّ العامّ	10.0.127.255	عُنوان البثِّ العامّ	10.255.255.255

6. حساب عدد الوحدان في قناع التجزئة:

$$b_{mask} = 10 + 7 + 1 = 18$$

أي أن قناع الأفضية الجزئية هو 18/ أو 255.255.192.0.

المثال الرابع: حالة طول معرف الفضاء الجزئي مساوٍ للقيمة 16.

المطلوب تجزئة فضاء العناوين القياسي 10.0.0.0، إلى عدد من الأفضية الجزئية يحتوي كل منها 254 عنواناً للمضيفين.

1. العنونة صنفية والقناع القياسي للصنف A هو 8/ وعدد البتات المحجوزة $b_r = 1$ ، وطول معرف الفضاء

$b_{NID} = 7$. يكون مجموع طولي معرفي الفضاء الجزئي والمضيف مقدراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (1 + 7) = 24$$

2. طول معرف المضيف مقدراً بالبت:

$$b_{HID} = \lceil \log_2(254 + 2) \rceil = \lceil \log(256) \rceil = 8$$

3. حساب طول معرف الفضاء الجزئي مقدراً بالبت:

$$b_{SID} = 24 - 8 = 16$$

ويبين الشكل (د-4) بنية عنوان الفضاء الجزئي الناتج.

عدد البتات	8	16	7	1
	معرّف المضيف	معرّف الفضاء الجزئي	معرّف الفضاء	

بتات
محجوزة

الشكل (د-4): بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الرابع في الملحق د

الجدول (د-7): بعض من معرفات الأفضية الجزئية في المثال الرابع في الملحق د

رقم المعرف	قيمة المعرف	رقم المعرف	قيمة المعرف
1	0000 0000 0000 0000	65533	1111 1111 1111 1100
2	0000 0000 0000 0001	65534	1111 1111 1111 1101
3	0000 0000 0000 0010	65535	1111 1111 1111 1110
4	0000 0000 0000 0011	65536	1111 1111 1111 1111

4. حساب عدد الوحدان في قناع التجزئة:

$$b_{mask} = 16 + 7 + 1 = 24$$

أي أن قناع الأفضية الجزئية هو 24/ أو 255.255.255.0

الجدول (د-8): حسابات بعض من الأفضية الجزئية في المثال الرابع في الملحق د

الفضاء رقم 262143 (SID = 111 ... 110)		الفضاء الأول (SID = 000 ... 000)	
10.255.254.0	عنوان الفضاء الجزئي	10.0.0.0	عنوان الفضاء الجزئي
10.255.254.1	عنوان المضيفين الأصغر	10.0.0.1	عنوان المضيفين الأصغر
10.255.254.254	عنوان المضيفين الأكبر	10.0.0.254	عنوان المضيفين الأكبر
10.255.254.255	عنوان البث العام	10.0.0.255	عنوان البث العام
الفضاء رقم 262144 (SID = 111 ... 111)		الفضاء الثاني (SID = 000 ... 001)	
10.255.255.0	عنوان الفضاء الجزئي	10.0.1.0	عنوان الفضاء الجزئي
10.255.255.1	عنوان المضيفين الأصغر	10.0.1.1	عنوان المضيفين الأصغر
10.255.255.254	عنوان المضيفين الأكبر	10.0.1.254	عنوان المضيفين الأكبر
10.255.255.255	عنوان البث العام	10.0.1.255	عنوان البث العام

المثال الخامس: حالة طول معرف الفضاء الجزئي أكبر من 17 أو مساوٍ لها وأصغر من 22 أو مساوٍ لها. المطلوب تجزئة فضاء العناوين القياسي 10.0.0.0 إلى عددٍ من أفضية العناوين الجزئية التي يحتوي كلٌ منها 50 عنواناً.

5. العنونة صنفية والقناع القياسي للصنف A هو 8/ وعدد البتات المحجوزة $b_r = 1$ وطول معرف الفضاء $b_{NID} = 7$. يكون مجموع طولي معرفي الفضاء الجزئي والمضيف مقدراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (1 + 7) = 24$$

6. حساب الطول الأدنى المقبول لمعرف المضيف مقدراً بالبت:

$$b_{HIDmin} = \lceil \log_2(50 + 2) \rceil = \lceil 5.7 \rceil = 6$$

7. الطول الأدنى المقبول لمعرف الفضاء الجزئي $b_{SIDmin} = 1$ ، ويُستعمل لحساب الطول الأقصى المتاح لمعرف المضيف.

$$b_{HIDmax} = 24 - 1 = 23$$

8. اختيار قيمة مناسبة لطول معرف المضيف يُحقق المتراجحة:

$$6 \leq b_{HID} \leq 23$$

أختيرت القيمة الدنيا وهي $b_{HID} = 6$.

9. حساب طول معرف الفضاء الجزئي مقدراً بالبت:

$$b_{SID} = 24 - 6 = 18$$

ويبين الشكل (د-5) بنية عنوان الفضاء الجزئي الناتج.

عَدَد البتات	6	18	7	1
	مُعَرَّف المضيف	مُعَرَّف الفضاء الجُزئي	مُعَرَّف الفضاء	

بتات
مَحجُوزة

الشكل (د-5): بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الخامس في الملحق د

10. عَدَد مُعَرِّفات الأفضية الجُزئية هُو $2^{18} = 262144$ ، وبعضُ منها مُبيَّن في الجدول (د-9).

الجدول (د-9): بعضُ من مُعَرِّفات الأفضية الجُزئية في المثال الخامس في الملحق د

رقم المُعَرَّف	قيمة المُعَرَّف	رقم المُعَرَّف	قيمة المُعَرَّف
1	0000 0000 0000 0000 00	262141	1111 1111 1111 1111 00
2	0000 0000 0000 0000 01	262142	1111 1111 1111 1111 01
3	0000 0000 0000 0000 10	262143	1111 1111 1111 1111 10
4	0000 0000 0000 0000 11	262144	1111 1111 1111 1111 11

11. حساب عَدَد الوحدان في قناع التَّجزئة:

$$b_{mask} = 18 + 7 + 1 = 26$$

أي أنَّ قناع الأفضية الجُزئية هُو $26/255.255.255.192$ أو $26/255.255.255.192$.

الجدول (د-10): حسابات بعضي من الأفضية الجُزئية في المثال الخامس في الملحق د

الفضاء رقم 262143 ($SID = 111 \dots 110$)		الفضاء الأوَّل ($SID = 000 \dots 000$)	
عنوان الفضاء الجُزئي	عنوان الفضاء الجُزئي	عنوان الفضاء الجُزئي	عنوان الفضاء الجُزئي
عنوان المُضيفين الأصغر	عنوان المُضيفين الأصغر	عنوان المُضيفين الأصغر	عنوان المُضيفين الأصغر
عنوان المُضيفين الأكبر	عنوان المُضيفين الأكبر	عنوان المُضيفين الأكبر	عنوان المُضيفين الأكبر
عنوان البث العام	عنوان البث العام	عنوان البث العام	عنوان البث العام
الفضاء رقم 262144 ($SID = 111 \dots 111$)		الفضاء الثاني ($SID = 000 \dots 001$)	
عنوان الفضاء الجُزئي	عنوان الفضاء الجُزئي	عنوان الفضاء الجُزئي	عنوان الفضاء الجُزئي
عنوان المُضيفين الأصغر	عنوان المُضيفين الأصغر	عنوان المُضيفين الأصغر	عنوان المُضيفين الأصغر
عنوان المُضيفين الأكبر	عنوان المُضيفين الأكبر	عنوان المُضيفين الأكبر	عنوان المُضيفين الأكبر
عنوان البث العام	عنوان البث العام	عنوان البث العام	عنوان البث العام

الصَّنْف B

المثال السادس: حالة طُول مُعَرَّف الفضاء الجُزئي أكبر من 1 أو أصغرُ تماماً من 8.

المطلوب تجزئة فضاء العناوين القياسي $150.150.0.0$ ، إلى 5 أفضية جُزئية.

1. العنونة صنفية والقناع القياسي للصَّنْف B هُو $16/$ وعَدَد البتات المَحجُوزة $b_r = 2$ وطُول مُعَرَّف الفضاء

$b_{NID} = 14$. يَكُون مَجْمُوع طُولي مُعَرِّفي الفضاء الجُزئي والمضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (2 + 14) = 16$$

8. حساب الطُول الأدنى المقبول لمُعَرَّف الفضاء الجُزئي مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 5 \rceil = \lceil 2.32 \rceil = 3$$

9. الطُّول الأدِّي المَقْبُول لِمُعَرِّف المُضَيِّف $b_{HID_{min}} = 2$ ، وَيُسْتَعْمَل لِحِساب الطُّول الأَقْصَى المُتَاح لِمُعَرِّف الفِضَاء الجُزئِيّ:

$$b_{SID_{max}} = 16 - 2 = 14$$

10. اخْتِيار قِيَمَةٍ مُناسِبَةٍ لِطُول مُعَرِّف الفِضَاء الجُزئِيّ يُحَقِّق المُتَراجِحَةَ:

$$3 \leq b_{SID} \leq 14$$

أخْتِيرت القِيَمَةُ الدُّنْيَا وَهِيَ $b_{SID} = 3$.

11. حِساب طُول مُعَرِّف المُضَيِّف مُقَدَّرًا بِالْبِت:

$$b_{HID} = 16 - 3 = 13$$

وَيُبَيِّن الشَّكْل (د-6) بِنِيَةِ عُنْوان الفِضَاء الجُزئِيّ النَّاتِج.

2	14	3	13	عَدَد البتات
مُعَرِّف الفِضَاء	مُعَرِّف المُضَيِّف			
بتات مَحْجُوزَةٌ	مُعَرِّف الفِضَاء الجُزئِيّ			

الشَّكْل (د-6): بِنِيَةِ عُنْوان الإِصدار الرَّابِعِ مِنْ بَرُوتوكُول الإِنْتِرنِت النَّاتِجِ فِي المِثال السَّادِسِ فِي المُلْحَق د

12. عَدَد مُعَرِّفات الأَفْضِيَةِ الجُزئِيَّةِ هُوَ $2^3 = 8$ ، وَهِيَ مُبَيَّنَةٌ بِالْجَدُولِ (د-11).

الجدول (د-11): مُعَرِّفات الأَفْضِيَةِ الجُزئِيَّةِ فِي المِثال السَّادِسِ فِي المُلْحَق د

رقم المُعَرِّف	قِيَمَةُ المُعَرِّف	رقم المُعَرِّف	قِيَمَةُ المُعَرِّف
1	000	5	100
2	001	6	101
3	010	7	110
4	011	8	111

13. حِساب عَدَد الوَحْدان فِي قِناع التَّجْزئة:

$$b_{mask} = 3 + 14 + 2 = 19$$

أَيَّ أَنَّ قِناع الأَفْضِيَةِ الجُزئِيَّةِ هُوَ 19/ أو 255.255.224.0.

الجدول (د-12): حسابات بعض من الأفضية الجزئية في المثال السادس في الملحق د

الفضاء السابع (SID = 110)		الفضاء الأول (SID = 000)	
150.150.192.0	عنوان الفضاء الجزئي	150.150.0.0	عنوان الفضاء الجزئي
150.150.192.1	عنوان المضيفين الأصغر	150.150.0.1	عنوان المضيفين الأصغر
150.150.223.254	عنوان المضيفين الأكبر	150.150.31.254	عنوان المضيفين الأكبر
150.150.223.255	عنوان البث العام	150.150.31.255	عنوان البث العام
الفضاء الثامن (SID = 111)		الفضاء الثاني (SID = 001)	
150.150.224.0	عنوان الفضاء الجزئي	150.150.32.0	عنوان الفضاء الجزئي
150.150.224.1	عنوان المضيفين الأصغر	150.150.32.1	عنوان المضيفين الأصغر
150.150.255.254	عنوان المضيفين الأكبر	150.150.63.254	عنوان المضيفين الأكبر
150.150.255.255	عنوان البث العام	150.150.63.255	عنوان البث العام

المثال السابع: حالة طول معرف الفضاء الجزئي مساوٍ للقيمة 8

المطلوب تجزئة فضاء العناوين القياسي 150.150.0.0 إلى 6 أفضية جزئية، يحتوي كل منها 250 عنواناً.

1. العنونة صنفية والقناع القياسي للصنف B هو 16/ وعدد البتات المحجوزة $b_r = 2$ وطول معرف الفضاء $b_{NID} = 14$. يكون مجموع طولي معرفي الفضاء الجزئي والمضيف مقدراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (2 + 14) = 16$$

2. حساب الطول الأدنى المقبول لمعرف المضيف مقدراً بالبت:

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(250 + 2) \rceil = \lceil 7.97 \rceil = 8$$

3. الطول الأدنى المقبول لمعرف المضيف $b_{HID_{min}} = 8$ ، ويستخدم لحساب الطول الأقصى المتاح لمعرف الفضاء الجزئي:

$$b_{SID_{max}} = 16 - 8 = 8$$

4. حساب الطول الأدنى المقبول لمعرف الفضاء الجزئي مقدراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 6 \rceil = \lceil 2.58 \rceil = 3$$

5. اختيار قيمة مناسبة لطول معرف الفضاء الجزئي يُحقق المتراجحة:

$$3 \leq b_{SID} \leq 8$$

أختيرت قيمة $b_{SID} = 8$.

6. حساب طول معرف المضيف مقدراً بالبت:

$$b_{HID} = 16 - 8 = 8$$

ويبين الشكل (د-7) بنية عنوان الفضاء الجزئي الناتج.

عدد البتات	8	8	14	2
	مُعَرِّف المضيف	مُعَرِّف الفضاء الجزئي	مُعَرِّف الفضاء	

بتات
مَحْجُوزَةٌ

الشكل (د-7): بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال السابع في الملحق د

الجدول (د-13): بعض معرفات الأفضية الجزئية في المثال السابع في الملحق د

رقم المُعَرِّف	قيمة المُعَرِّف	رقم المُعَرِّف	قيمة المُعَرِّف
1	0000 0000	253	1111 1100
2	0000 0001	254	1111 1101
3	0000 0010	255	1111 1110
4	0000 0011	256	1111 1111

7. حساب عدد الوحدان في قناع التجزئة:

$$b_{mask} = 2 + 14 + 8 = 24$$

أي أن قناع الأفضية الجزئية هو $24/0.255.255.255$.

الجدول (د-14): حسابات بعض من الأفضية الجزئية في المثال السابع في الملحق د

الفضاء رقم 255 (SID = 1111 1110)		الفضاء الأول (SID = 0000 0000)	
150.150.254.0	عنوان الفضاء الجزئي	150.150.0.0	عنوان الفضاء الجزئي
150.150.254.1	عنوان المضيفين الأصغر	150.150.0.1	عنوان المضيفين الأصغر
150.150.254.254	عنوان المضيفين الأكبر	150.150.0.254	عنوان المضيفين الأكبر
150.150.254.255	عنوان البث العام	150.150.0.255	عنوان البث العام
الفضاء رقم 256 (SID = 1111 1111)		الفضاء الثاني (SID = 0000 0001)	
150.150.255.0	عنوان الفضاء الجزئي	150.150.1.0	عنوان الفضاء الجزئي
150.150.255.1	عنوان المضيفين الأصغر	150.150.1.1	عنوان المضيفين الأصغر
150.150.255.254	عنوان المضيفين الأكبر	150.150.1.254	عنوان المضيفين الأكبر
150.150.255.255	عنوان البث العام	150.150.1.255	عنوان البث العام

المثال الثامن: حالة طول معرف الفضاء الجزئي أكبر من 9 أو مساو لها وأصغر من 14 أو مساو لها.

المطلوب تجزئة فضاء العناوين القياسي 150.150.0.0 إلى عدد من الأفضية الجزئية يحتوي كل منها 50 عنواناً.

1. العنونة صنفية والقناع القياسي للصنف B هو $16/$ وعدد البتات المحجوزة $b_r = 2$ وطول معرف الفضاء

$b_{NID} = 14$. يكون مجموع طولي معرفي الفضاء الجزئي والمضيف مقدراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (2 + 14) = 16$$

2. حساب الطول الأدنى المقبول لمعرف المضيف مقدراً بالبت:

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(50 + 2) \rceil = \lceil 5.7 \rceil = 6$$

3. لحساب الطول الأقصى المَتاح لمُعَرِّف الفضاء الجُزئي:

$$b_{SID_{max}} = 16 - 6 = 10$$

4. الطول الأدنى المقبول لمُعَرِّف الفضاء الجُزئي هو $b_{SID_{min}} = 1$ ، فتكون المتراحة المُستعملة لاختيار قيمة مناسبة لطول مُعَرِّف الفضاء الجُزئي هي:

$$1 \leq b_{SID} \leq 10$$

أختيرت قيمة $b_{SID} = 10$.

5. حساب طول مُعَرِّف المُضيف مُقدراً بالبت:

$$b_{HID} = 16 - 10 = 6$$

ويُبين الشكل (د-8) بنية عنوان الفضاء الجُزئي الناتج.

عَدَد البتات	6	10	14	2
	مُعَرِّف المُضيف	مُعَرِّف الفضاء الجُزئي	مُعَرِّف الفضاء	

بتات
مَحجُوزة

الشكل (د-8): بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الثامن في الملحق د

الجدول (د-15): بعض من مُعَرِّفات الأفضية الجُزئية في المثال الثامن في الملحق د

رقم المُعَرِّف	قيمة المُعَرِّف	رقم المُعَرِّف	قيمة المُعَرِّف
1	0000 0000 00	1021	1111 1111 00
2	0000 0000 01	1022	1111 1111 01
3	0000 0000 10	1023	1111 1111 10
4	0000 0000 11	1024	1111 1111 11

الجدول (د-16): حسابات بعض من الأفضية الجُزئية في المثال الثامن في الملحق د

الفضاء الأوّل ($SID = 0000\ 0000\ 00$)	الفضاء رقم 1023 ($SID = 1111\ 1111\ 10$)
عنوان الفضاء الجُزئي	عنوان الفضاء الجُزئي
150.150.0.0	150.150.255.128
عنوان المُضيفين الأصغر	عنوان المُضيفين الأصغر
150.150.0.1	150.150.255.129
عنوان المُضيفين الأكبر	عنوان المُضيفين الأكبر
150.150.0.62	150.150.255.190
عنوان البث العام	عنوان البث العام
150.150.0.63	150.150.255.191
الفضاء الثاني ($SID = 0000\ 0000\ 01$)	الفضاء رقم 1024 ($SID = 1111\ 1111\ 11$)
عنوان الفضاء الجُزئي	عنوان الفضاء الجُزئي
150.150.0.64	150.150.255.192
عنوان المُضيفين الأصغر	عنوان المُضيفين الأصغر
150.150.0.65	150.150.255.193
عنوان المُضيفين الأكبر	عنوان المُضيفين الأكبر
150.150.0.126	150.150.255.254
عنوان البث العام	عنوان البث العام
150.150.0.127	150.150.255.255

6. حساب عدد الوحدان في قناع التجزئة:

$$b_{mask} = 2 + 14 + 10 = 26$$

أي أن قناع الأفضية الجزئية هو 26/ أو 255.255.255.192.

الصنف C

المثال التاسع: حالة طول معرف الفضاء الجزئي أكبر من 1 أو مساوٍ له وأصغر تماماً من 7.

المطلوب تجزئة فضاء العناوين القياسي 200.100.0.0، إلى 5 أفضية جزئية.

1. العنونة صنفية والقناع القياسي للصنف C هو 24/ وعدد البتات المحجوزة $b_r = 3$ وطول معرف الفضاء

$b_{NID} = 21$. يكون مجموع طولي معرفي الفضاء الجزئي والمضيف مقدراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (3 + 21) = 8$$

2. حساب الطول الأدنى المقبول لمعرف الفضاء الجزئي مقدراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 5 \rceil = \lceil 2.32 \rceil = 3$$

3. الطول الأدنى المقبول لمعرف المضيف مقدراً بالبت $b_{HID_{min}} = 2$ ويُستعمل لحساب الطول الأقصى المتاح

لمعرف الفضاء الجزئي:

$$b_{SID_{max}} = 8 - 2 = 6$$

4. اختيار قيمة مناسبة لطول معرف الفضاء الجزئي يُحقق المتراجحة:

$$3 \leq b_{SID} \leq 6$$

أختيرت قيمة $b_{SID} = 3$.

5. حساب طول معرف المضيف مقدراً بالبت:

$$b_{HID} = 8 - 3 = 5$$

ويبين الشكل (د-9) بنية عنوان الفضاء الجزئي الناتج.

عدد البتات		3	21	3	5
		معرّف الفضاء			
بتات محجوزة				معرّف المضيف الجزئي	

الشكل (د-9): بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال التاسع في الملحق د

الجدول (د-17): بعض من مُعرِّفات الأفضية الجزئية في المثال التاسع في الملحق د

رقم المُعرِّف	قيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قيمة المُعرِّف
1	000	5	110
2	001	6	101
3	010	7	110
4	011	8	111

6. حساب عدد الوحدان في قناع التجزئة:

$$b_{mask} = 3 + 21 + 3 = 27$$

أي أن قناع الأفضية الجزئية هو 26/ أو 255.255.255.224.

الجدول (د-18): حسابات بعض من الأفضية الجزئية في المثال التاسع في الملحق د

الفضاء السابع (SID = 110)		الفضاء الأول (SID = 000)	
200.100.10.192	عنوان الفضاء الجزئي	200.100.10.0	عنوان الفضاء الجزئي
200.100.10.193	عنوان المضيفين الأصغر	200.100.10.1	عنوان المضيفين الأصغر
200.100.10.222	عنوان المضيفين الأكبر	200.100.10.31	عنوان المضيفين الأكبر
200.100.10.223	عنوان البث العام	200.100.10.32	عنوان البث العام
الفضاء الثامن (SID = 111)		الفضاء الثاني (SID = 001)	
200.100.10.224	عنوان الفضاء الجزئي	200.100.10.33	عنوان الفضاء الجزئي
200.100.10.225	عنوان المضيفين الأصغر	200.100.10.34	عنوان المضيفين الأصغر
200.100.10.254	عنوان المضيفين الأكبر	200.100.10.62	عنوان المضيفين الأكبر
200.100.10.255	عنوان البث العام	200.100.10.63	عنوان البث العام

التجزئة غير الصنفية

المثال العاشر: التجزئة غير الصنفية من أجل عدد محدد من للأفضية الجزئية.

المطلوب تجزئة فضاء العناوين 10.1.0.0/16 إلى 5 أفضية جزئية.

- العنوان غير صنفية، طول البادئة هو 16 بتاً والطول الإجمالي للعنوان هو 32 بتاً. يكون مجموع طولي مُعرِّفي الفضاء الجزئي والمضيف مُقدراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - 16 = 16$$

- حساب الطول الأدنى المقبول لمُعرِّف الفضاء الجزئي مُقدراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 5 \rceil = \lceil 2.32 \rceil = 3$$

- الطول الأدنى المقبول لمُعرِّف المضيف مُقدراً بالبت $b_{HID_{min}} = 2$ ويُستعمل لحساب الطول الأقصى المُتاح لمُعرِّف الفضاء الجزئي:

$$b_{SID_{max}} = 16 - 2 = 14$$

4. اختيار قيمة مناسبة لطول مُعرّف الفضاء الجُزئي يُحقّق المُتراجحة:

$$3 \leq b_{SID} \leq 14$$

أُختيرت قيمة $b_{SID} = 3$.

5. حساب طول مُعرّف المُضيف مُقدَّراً بالبِت:

$$b_{HID} = 16 - 3 = 13$$

ويُبين الشّكل (د-10) بنية عنوان الفضاء الجُزئي النَّاتج.

عدّد البتات	13	3	16
	مُعرّف المُضيف		بادئة الفضاء

مُعرّف الفضاء الجُزئي

الشّكل (د-10): بنية عنوان الإصدار الرَّابع من بروتوكول الإنترنت النَّاتج في المثال العاشر في المُلحق د

الجدول (د-19): بعض من مُعرّفات الأفضية الجُزئية في المثال العاشر في المُلحق د

رقم المُعرّف	قيمة المُعرّف	رقم المُعرّف	قيمة المُعرّف
1	000	5	110
2	001	6	101
3	010	7	110
4	011	8	111

6. حساب عدّد الوحدان في قناع التّجزئة:

$$b_{mask} = 16 + 3 = 19$$

أي أنّ قناع الأفضية الجُزئية هو 19/ أو 255.255.224.0.

الجدول (د-20): حسابات بعض من الأفضية الجُزئية في المثال العاشر في المُلحق د

الفضاء السّابع ($SID = 110$)		الفضاء الأوّل ($SID = 000$)	
10.1.192.0	عنوان الفضاء الجُزئي	10.1.0.0	عنوان الفضاء الجُزئي
10.1.192.1	عنوان المُضيفين الأصغر	10.1.0.1	عنوان المُضيفين الأصغر
10.1.223.254	عنوان المُضيفين الأكبر	10.1.31.254	عنوان المُضيفين الأكبر
10.1.223.255	عنوان البثّ العامّ	10.1.31.255	عنوان البثّ العامّ
الفضاء الثّامن ($SID = 111$)		الفضاء الثّاني ($SID = 001$)	
10.1.224.0	عنوان الفضاء الجُزئي	10.1.32.0	عنوان الفضاء الجُزئي
10.1.224.1	عنوان المُضيفين الأصغر	10.1.32.1	عنوان المُضيفين الأصغر
10.1.255.254	عنوان المُضيفين الأكبر	10.1.63.254	عنوان المُضيفين الأكبر
10.1.255.255	عنوان البثّ العامّ	10.1.63.255	عنوان البثّ العامّ

المِثال الحادي عَشْر: حَجْم مُحدَّد للأفضية الجُزئية.

المطلوب تجزئة فضاء العناوين 10.1.128.0/17 إلى عددٍ من أفضية العناوين الجُزئية يحتوي كلٌّ منها 50 عنواناً.

1. العنونة غير صنفية وطول البادئة هو 17 بتاً والطول الإجمالي للعنوان هو 32 بتاً. يكون مجموع طولي معرفي الفضاء الجُزئي والمضيف مُقدراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - 17 = 15$$

2. حساب الطول الأدنى المقبول لمعرف المضيف مُقدراً بالبت:

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(50 + 2) \rceil = \lceil 5.7 \rceil = 6$$

3. لحساب الطول الأقصى المُتاح لمعرف الفضاء الجُزئي:

$$b_{SID_{max}} = 15 - 6 = 9$$

4. الطول الأدنى المقبول لمعرف الفضاء الجُزئي هو $b_{SID_{min}} = 1$ ، فيكون اختيار قيمة مناسبة لطول معرف الفضاء الجُزئي يُحقّق المُتراجحة:

$$1 \leq b_{SID} \leq 9$$

أختيرت قيمة $b_{SID} = 9$.

5. حساب طول معرف المضيف مُقدراً بالبت:

$$b_{HID} = 15 - 9 = 6$$

ويبين الشكل (د-11) بنية عنوان الفضاء الجُزئي الناتج.

عدد البتات	6	9	16
مُعرف المضيف			بادئة الفضاء
مُعرف الفضاء الجُزئي			

الشكل (د-11): بنية عنوان الإصدار الرَّابِع من بروتوكُول الإنترنت الناتج في المِثال الحادي عَشْر في المُلحق د

الجدول (د-21): بعض من مُعرفات الأفضية الجُزئية في المِثال الحادي عَشْر في المُلحق د

رقم المُعرف	قيمة المُعرف	رقم المُعرف	قيمة المُعرف
1	00 0000 000	509	11 1111 110
2	00 0000 001	510	11 1111 101
3	00 0000 010	511	11 1111 110
4	00 0000 011	512	11 1111 111

6. حساب عدد الوحدان في قناع التَّجزئة:

$$b_{mask} = 17 + 9 = 26$$

أي أن قناع الأفضية الجُزئية هو 26/ أو 255.255.255.192.

الجدول (د-22): حسابات بعض من الأفضية الجزئية في المثال الحادي عشر في الملحق د

الفضاء رقم 511 (SID = 111 ... 110)		الفضاء الأوّل (SID = 000 ... 000)	
10.1.255.128	عنوان الفضاء الجزئي	10.1.128.0	عنوان الفضاء الجزئي
10.1.255.129	عنوان المضيفين الأصغر	10.1.128.1	عنوان المضيفين الأصغر
10.1.255.190	عنوان المضيفين الأكبر	10.1.128.62	عنوان المضيفين الأكبر
10.1.255.191	عنوان البث العام	10.1.128.63	عنوان البث العام
الفضاء الثامن رقم 512 (SID = 111 ... 111)		الفضاء الثاني (SID = 000 ... 001)	
10.1.255.192	عنوان الفضاء الجزئي	10.1.128.64	عنوان الفضاء الجزئي
10.1.255.193	عنوان المضيفين الأصغر	10.1.128.65	عنوان المضيفين الأصغر
10.1.255.254	عنوان المضيفين الأكبر	10.1.128.126	عنوان المضيفين الأكبر
10.1.255.255	عنوان البث العام	10.1.128.127	عنوان البث العام

المثال الثاني عشر: عدد وحجم محدّدان للأفضية الجزئية.

المطلوب تجزئة فضاء العناوين 10.1.0.0/25 إلى 4 أفضية جزئية يحتوي كل منها على 20 عنواناً.

- العنوان غير صنفية والعنوان من الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، طول البادئة هو 25 بتاً والطول الإجمالي للعنوان هو 32 بتاً. يكون مجموع طولي معرفي الفضاء الجزئي والمضيف مقدراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - 25 = 7$$

- حساب الطول الأدنى المقبول لمعرف المضيف مقدراً بالبت:

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(20 + 2) \rceil = \lceil 4.45 \rceil = 5$$

- لحساب الطول الأقصى المتاح لمعرف الفضاء الجزئي:

$$b_{SID_{max}} = 7 - 5 = 2$$

- حساب الطول الأدنى المقبول لمعرف الفضاء الجزئي مقدراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 4 \rceil = 2$$

- يكون طول معرف الفضاء الجزئي مقدراً بالبت:

$$b_{SID} = b_{SID_{min}} = b_{SID_{max}} = 2$$

- حساب طول معرف المضيف مقدراً بالبت:

$$b_{HID} = 7 - 2 = 5$$

ويبين الشكل (د-12) بنية عنوان الفضاء الجزئي الناتج.

عَدَد البتات	5	2	25
			بادئة الفضاء

مُعَرَّف
المُضَيِّف
الجُزْئِيّ

الشَّكْل (د-12): بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الثاني عشر في الملحق د

الجدول (د-23): مُعرِّفات الأفضية الجُزئية في المثال الثاني عشر في الملحق د

رقم المُعرِّف	قيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قيمة المُعرِّف
1	00	3	10
2	01	4	11

7. حساب عَدَد الوحدان في قناع التَّجزئة:

$$b_{mask} = 25 + 2 = 27$$

أي أنَّ قناع الأفضية الجُزئية هو 27/ أو 255.255.255.224.

الجدول (د-24): حسابات الأفضية الجُزئية في المثال الثاني عشر في الملحق د

الفضاء الأوَّل (SID = 00)		الفضاء الثاني (SID = 10)	
عنوان الفضاء الجُزئيّ	10.1.0.0	عنوان الفضاء الجُزئيّ	10.1.0.64
عنوان المُضَيِّف الأَصغر	10.1.0.1	عنوان المُضَيِّف الأَصغر	10.1.0.65
عنوان المُضَيِّف الأَكبر	10.1.0.30	عنوان المُضَيِّف الأَكبر	10.1.0.94
عنوان البثِّ العامّ	10.1.0.31	عنوان البثِّ العامّ	10.1.0.95
الفضاء الثالث (SID = 01)		الفضاء الرابع (SID = 11)	
عنوان الفضاء الجُزئيّ	10.1.0.32	عنوان الفضاء الجُزئيّ	10.1.0.96
عنوان المُضَيِّف الأَصغر	10.1.0.33	عنوان المُضَيِّف الأَصغر	10.1.0.97
عنوان المُضَيِّف الأَكبر	10.1.0.62	عنوان المُضَيِّف الأَكبر	10.1.0.126
عنوان البثِّ العامّ	10.1.0.63	عنوان البثِّ العامّ	10.1.0.127

المثال الثالث عشر: طُول مُحدَّد لقناع الأفضية الجُزئية.

المطلوب تجزئة فضاء العناوين 128.0.0.0/4، وفقاً للقناع 254.0.0.0.

- العنونة غير صنفية وطول البادئة هو 4 بتات والطول الإجمالي للعنوان هو 32 بتاً. يحتوي قناع الفضاء الجُزئيّ تتابعاً غير منقطع مكوناً من 7 وحدانٍ متتالية، ويكتب تدوين البادئة كما يأتي: /7. يكون مجموع طولي مُعرِّف الفضاء الجُزئيّ ومُعرِّف المُضَيِّف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - 4 = 28$$

- يكون طول مُعرِّف الفضاء الجُزئيّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID} = 7 - 4 = 3$$

3. حساب طول مُعرّف المُضيف مُقدراً بالبت:

$$b_{HID} = 28 - 3 = 25$$

ويُبين الشكل (د-13) بنية عنوان الفضاء الجُزئيّ الناتج.

			عَدَد البتات
4	3	25	
مُعرّف المُضيف			
مُعرّف الفضاء بادئة الفضاء الجُزئيّ			

الشكل (د-13): بنية عنوان الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الثالث عشر في الملحق د

الجدول (د-25): مُعرّفات الأفضية الجُزئية في المثال الثالث عشر في الملحق د

رقم المُعرّف	قيمة المُعرّف	رقم المُعرّف	قيمة المُعرّف
1	000	5	100
2	001	6	101
3	010	7	110
4	011	8	111

الجدول (د-26): حسابات بعض من الأفضية الجُزئية في المثال الثالث عشر في الملحق د

الفضاء السّابع (SID = 110)		الفضاء الأوّل (SID = 000)	
140.0.0.0	عنوان الفضاء الجُزئيّ	128.0.0.0	عنوان الفضاء الجُزئيّ
140.0.0.1	عنوان المُضيفين الأصغر	128.0.0.1	عنوان المُضيفين الأصغر
141.255.255.254	عنوان المُضيفين الأكبر	129.255.255.254	عنوان المُضيفين الأكبر
141.255.255.255	عنوان البثّ العامّ	129.255.255.255	عنوان البثّ العامّ
الفضاء الثامن (SID = 111)		الفضاء الثاني (SID = 001)	
142.0.0.0	عنوان الفضاء الجُزئيّ	130.0.0.0	عنوان الفضاء الجُزئيّ
142.0.0.1	عنوان المُضيفين الأصغر	130.0.0.1	عنوان المُضيفين الأصغر
143.255.255.254	عنوان المُضيفين الأكبر	131.255.255.254	عنوان المُضيفين الأكبر
143.255.255.255	عنوان البثّ العامّ	131.255.255.255	عنوان البثّ العامّ

المثال الرابع عشر: عددٌ مُحدّدٌ للأفضية الجُزئية.

المطلوب تجزئة فضاء العناوين 10.1.0.0/24، إلى 256 فضاءٍ جُزئيّ، يحتوي كلّ منها على 500 عنوانٍ.

1. العنونة غير صنفيةٍ وطول البادئة هو 24 بتاً والطول الإجماليّ للعنوان هو 32 بتاً. يَكُون مَجْمُوع طول مُعرّف

الفضاء الجُزئيّ وطول مُعرّف المُضيف مُقدراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - 24 = 8$$

2. حساب الطول الأدنى المقبول لمُعرّف الفضاء الجُزئيّ مُقدراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 256 \rceil = 8$$

3. حساب الطول الأدنى المقبول لمعرف المضيف مقدراً بالبت:

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(500 + 2) \rceil = \lceil 8.97 \rceil = 9$$

4. لحساب الطول الأقصى المتاح لمعرف الفضاء الجزئي:

$$b_{SID_{max}} = 8 - 9 = -1$$

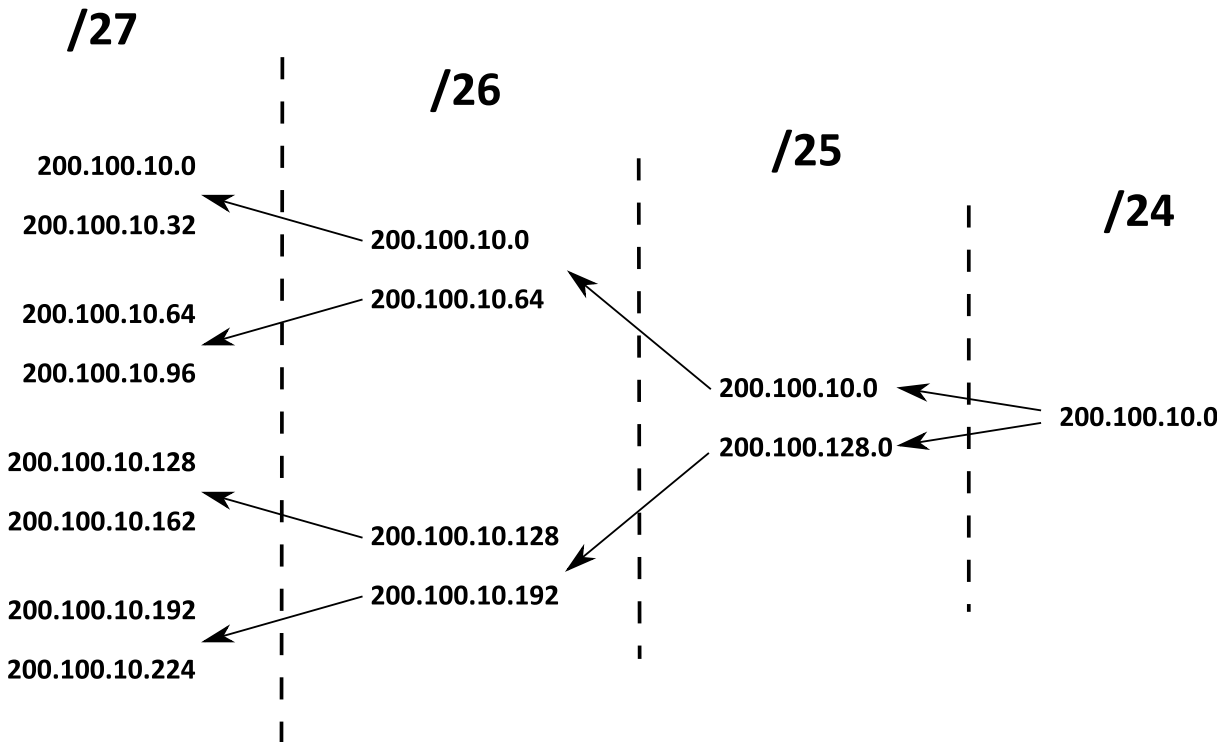
التجزئة غير ممكنة.

استعمال أقنعة الأفضية الجزئية مختلفة الأطوال

المثال الخامس عشر: فضاء جزئي من الصنف C

المطلوب استعمال أقنعة الأفضية الجزئية مختلفة الأطوال ضمن الفضاء القياسي 200.100.10.0/24.

1. يُجزأ الفضاء 200.100.10.0/24 أولاً إلى فضاءين جزئيين مناصفةً هما 200.100.10.0/25 و200.100.10.128/25.
2. يُجزأ كل من الفضاءين الجزئيين أيضاً إلى فضاءين جزئيين مناصفةً، فينتج أربعة أفضية جزئية هي: 200.100.10.0/26 و200.100.10.64/26 و200.100.10.128/26 و200.100.10.192/24.
3. تُجزأ الأفضية السابقة كلها إلى جزأين مناصفةً، فينتج ثمانية أفضية محددة بالقناع 27/ كما يُبين الشكل (د-14).



الشكل (د-14): استعمال أقنعة الفضاء مختلفة الطول مع فضاء قياسي من الصنف C

يُظهر الجدول (د-27) تفاصيل عن الأفضية السابقة تشمل عنوان الفضاء والعنوان الأول الصالح لعنونة المضيفين والعنوان الأخير وعنوان البث العام.

الجدول (د-27): تفاصيل أفضية العناوين الجزئية في المثال الخامس عشر

القناع	عنوان الفضاء	العنوان الأول الصالح لعنونة المضيفين	العنوان الأخير الصالح لعنونة المضيفين	عنوان البث العام
/24	200.100.10.0	200.100.10.1	200.100.10.254	200.100.10.255
/25	200.100.10.0	200.100.10.1	200.100.10.126	200.100.10.127
	200.100.10.128	200.100.10.129	200.100.10.254	200.100.10.255
/26	200.100.10.0	200.100.10.1	200.100.10.62	200.100.10.63
	200.100.10.64	200.100.10.65	200.100.10.126	200.100.10.127
	200.100.10.128	200.100.10.129	200.100.10.190	200.100.10.191
	200.100.10.192	200.100.10.193	200.100.10.254	200.100.10.255
/27	200.100.10.0	200.100.10.1	200.100.10.30	200.100.10.31
	200.100.10.32	200.100.10.33	200.100.10.62	200.100.10.63
	200.100.10.64	200.100.10.65	200.100.10.94	200.100.10.95
	200.100.10.96	200.100.10.97	200.100.10.126	200.100.10.127
	200.100.10.128	200.100.10.129	200.100.10.158	200.100.10.159
	200.100.10.160	200.100.10.161	200.100.10.190	200.100.10.191
	200.100.10.192	200.100.10.193	200.100.10.222	200.100.10.223
	200.100.10.224	200.100.10.225	200.100.10.255	200.100.10.255

أما الجدول (د-28)، فَيُبيِّن عَدَد الأفضية الناتجة في كُلِّ مُستوىٍ من مُستويات التَّجزئة وعَدَد العناوين في كُلِّ منها والهدر الحاصل نتيجةً للتَّجزئة المُتكرِّرة.

الجدول (د-28): تفاصيل عمليات التَّجزئة المُتعدِّدة في المثال الخامس عشر

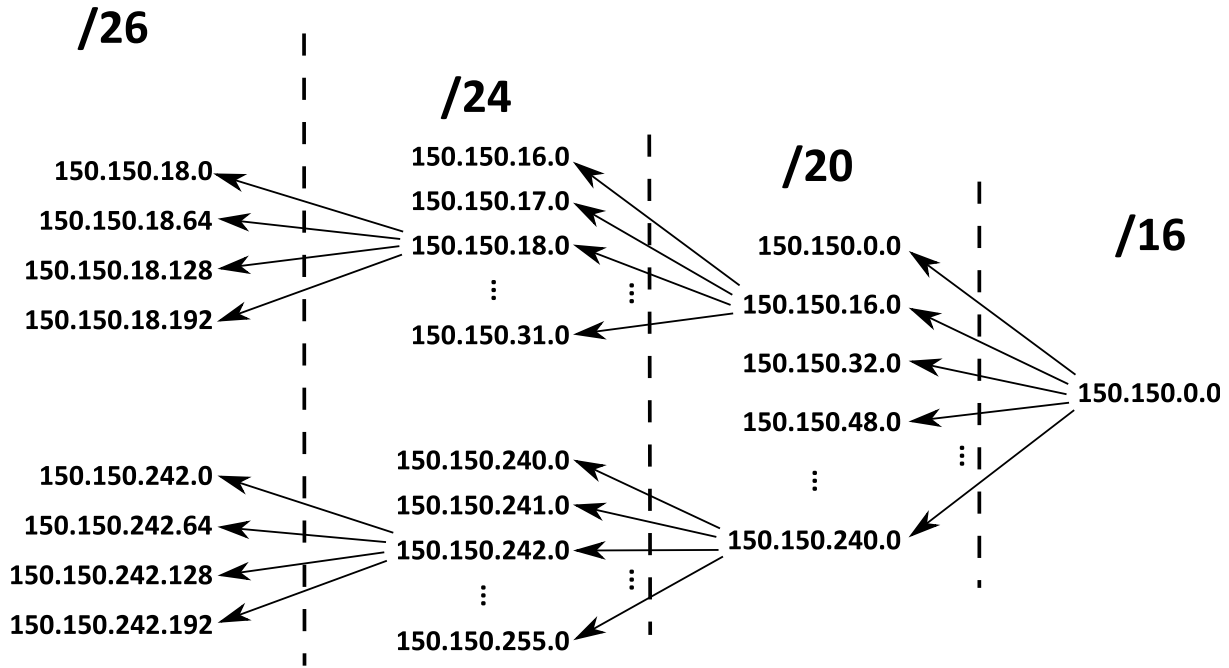
قناع المُستوى	/24	/25	/26	/27
عَدَد الأفضية الجزئية	1	2	4	8
عَدَد العناوين الصالحة لعنونة المضيفين في كُلِّ فضاء	254	126	62	30
عَدَد العناوين الإجمالي في الأفضية الجزئية كلها	$2^0 * (2^8 - 2)$	$2^1 * (2^7 - 2)$	$2^2 * (2^6 - 2)$	$2^3 * (2^5 - 2)$

4. يُمكن اختيار الأفضية الجزئية التي تَقَع في المُستوى نفسه، أي التي لها القناع الجزئي نفسه، واستعمالها بعضُها مع بعضٍ في عنونة شبكاتٍ مُختلفة من غير إشكالات تتعلَّق بالعنونة. ويُمكن استعمال أفضيةٍ مُختلفة الأطوال معاً، بشرط ألا يكون أيُّ فضاءٍ منها يَنبُج عن تجزئة فضاءٍ آخر. ومثال الاختيار السليم في هذه الحالة سيَكُون 200.100.10.192/27 و200.100.10.128/26 و200.100.10.0/25 معاً.

المثال السادس عشر: فضاء جزئي من الصنف B

المطلوب استعمال أفضية الجزئية مُختلفة الأطوال ضمن الفضاء القياسي 150.150.0.0/24.

1. يُجزأ الفضاء 150.150.0.0/24 أولاً إلى ستة عشر فضاءً جزئياً طول البادئة في كُلِّ منها 20 (الشكل (د-15)).
2. يُجزأ كُلُّ من الأفضية الستة عشرة إلى ستة عشر فضاءً جزئياً طول البادئة في كُلِّ منها 24.
3. يُجزأ كُلُّ من الأفضية الناتجة إلى أربعة أفضية جزئية مُحدَّدة بالقناع 26.



الشَّكْل (د-15): استعمال أقنعة الفضاء مُختلفة الطُّول مع فضاءٍ قياسيٍّ من الصَّنْف B

يُظهر الجدول (د-29) عدَد الأفضية النَّاتجة في كُلِّ مُستوىٍّ من مُستويات التَّجزئة وعدَد العناوين في كُلِّ منها والهدر الحاصل نتيجةً لِلتَّجزئة المُتكرِّرة. أمَّا الجدول (د-30)، فيُبيِّن تفاصيلٍ عن الأفضية السَّابِقة تُشمل عُنوان الفضاء والعُنوان الأوَّل الصَّالح لعنونة المُضيفين والعُنوان الأخير وعُنوان البثِّ العامِّ.

الجدول (د-29): تفاصيل عمليَّات التَّجزئة المُتعدِّدة في المِثال السَّادِس عَشْر

قِناع المُستوى	/16	/20	/24	/26
عدَد الأفضية الجُزئية	2^0	2^4	2^8	2^{10}
عدَد العناوين الصَّالحة لعنونة المُضيفين في كُلِّ فضاء	2^{16-2}	2^{12-2}	2^{8-2}	2^{6-2}
عدَد العناوين الإجماليِّ في الأفضية الجُزئية كُلِّها	$(2^{16-2}) * 2^0$	$(2^{16-2}) * 2^4$	$(2^{8-2}) * 2^8$	$(2^{6-2}) * 2^{10}$

4. يُمكن اختيار الأفضية الجُزئية التي تَقع في المُستوى نفسه، أي التي لها القِناع الجُزئيُّ نفسه، واستعمالها بعضُها مع بعضٍ في عنونة شبكاتٍ مُختلفة من غير إشكالاتٍ تتعلَّق بالعنونة. ويُمكن استعمال أفضيةٍ مُختلفة الأطوال معاً، بشرط ألاَّ يَكُون أيُّ فضاءٍ منها يَنبُج عن تجزئة فضاءٍ آخرٍ فيها، ومِثال الاختيار السَّليم في هذه الحالة سيَكُون $150.150.242.192/26$ و $150.150.242.128/26$ و $150.150.240.0/24$ و $150.150.31.0/24$ معاً.

الجدول (د-30): تفاصيل أفضية العناوين الجزئية في المثال السادس عشر

عنوان البث العام	العنوان الأخير الصالح لعنونة المضيفين	العنوان الأول الصالح لعنونة المضيفين	عنوان الفضاء	القناع
150.150.255.255	150.150.255.254	150.150.0.1	150.150.0.0	/16
150.150.15.255	150.150.15.254	150.150.0.1	150.150.0.0	/20
150.150.31.255	150.150.31.254	150.150.16.1	150.150.16.0	
150.150.47.255	150.150.47.254	150.150.32.1	150.150.32.0	
150.150.63.255	150.150.63.254	150.150.48.1	150.150.48.0	
150.150.255.255	150.150.255.254	150.150.240.1	150.150.240.0	
150.150.16.255	150.150.16.254	150.150.16.1	150.150.16.0	/24
150.150.17.255	150.150.17.254	150.150.17.1	150.150.17.0	
150.150.18.255	150.150.18.254	150.150.18.1	150.150.18.0	
150.150.31.255	150.150.31.254	150.150.31.1	150.150.31.0	
150.150.240.255	150.150.240.254	150.150.240.1	150.150.240.0	
150.150.241.255	150.150.241.254	150.150.241.1	150.150.241.0	
150.150.242.255	150.150.242.254	150.150.242.1	150.150.242.0	
150.150.255.255	150.150.255.254	150.150.255.1	150.150.255.0	
150.150.18.63	150.150.18.62	150.150.18.1	150.150.18.0	
150.150.18.127	150.150.18.126	150.150.18.65	150.150.18.64	
150.150.18.191	150.150.18.190	150.150.18.129	150.150.18.128	
150.150.242.255	150.150.242.254	150.150.18.193	150.150.18.192	/26
150.150.242.63	150.150.242.62	150.150.242.1	150.150.242.0	
150.150.242.127	150.150.242.126	150.150.242.65	150.150.242.64	
150.150.242.191	150.150.242.190	150.150.242.129	150.150.242.128	
150.150.242.255	150.150.242.254	150.150.242.193	150.150.242.192	

المثال السابع عشر: فضاء جزئي من الصنف A

المطلوب استعمال أفضية الجزئية مختلفة الأطوال ضمن الفضاء القياسي 10.0.0.0/8.

1. يُجزأ الفضاء 10.0.0.0/8 أولاً إلى ثمانية أفضية جزئية طول البادئة في كل منها 11 (الشكل (د-16)).

2. تُجزأ كل من الأفضية الستة عشرة إلى ستة عشر فضاء جزئياً طول البادئة في كل منها 15.

3. تُجزأ كل من الأفضية الناتجة إلى أربعة أفضية جزئية مُحَدَّدة بالقناع 17.⁸⁵⁰

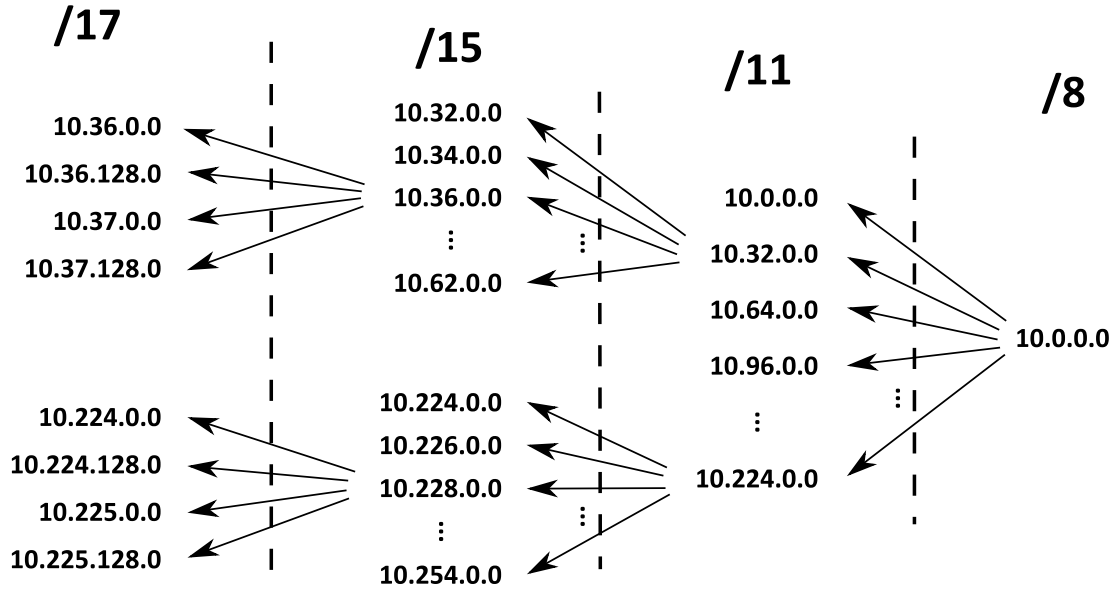
يُظهر الجدول (د-31) تفاصيل عن الأفضية السابقة تُشمل السابقة تُشمل عنوان الفضاء والعنوان الأول الصالح لعنونة المضيفين والعنوان الأخير وعنوان البث العام. أما الجدول (د-32)، فيبيّن عدد الأفضية الناتجة في كل مستوى من مستويات التجزئة وعدد العناوين في كل منها والهدر الحاصل نتيجة للتجزئة المتكررة.

4. يُمكن اختيار الأفضية الجزئية التي تقع في المستوى نفسه، أي التي لها القناع الجزئي نفسه، واستعمالها بعضها مع بعض في عنونة شبكات مختلفة من غير إشكالات تتعلّق بالعنونة. ويُمكن استعمال أفضية مختلفة الأطوال

⁸⁵⁰ يُستحسن الاستمرار بالتجزئة وتوليد أفضية جزئية أصغر تُصلح للتخصيص، ولكن هذا خارج نطاق بحث هذا الملحق الذي يركّز على آلية

التجزئة لا على استعمال الأفضية الجزئية الناتجة في عنونة الأفضية.

معاً، بشرط ألا يكون أيُّ فضاءٍ منها يَنْتُج عن تجزئة فضاءٍ آخرٍ فيها، ومِثال الاختيار السَّليم في هذه الحالة سيَكُون 10.36.0.0/17 و10.36.128.0/17 و10.32.0.0/15 و10.64.0.0/11 معاً.



الشَّكل (د-16): استعمال أقنعة الفضاء مُختلفة الطُّول مع فضاءٍ قياسيٍّ من الصَّنْف A

الجدول (د-31): تفاصيل أفضية العناوين الجُزئية في المِثال السَّابع عشر

عنوان البثِّ العامِّ	العنوان الأخير الصَّالح لعنونة المُضيفين	العنوان الأوَّل الصَّالح لعنونة المُضيفين	عنوان الفضاء	القِناع
10.255.255.255	10.255.255.254	10.0.0.1	10.0.0.0	/8
10.31.255.255	10.31.255.254	.10.0.0.1	10.0.0.0	/11
10.63.255.255	10.63.255.254	10.32.0.1	10.32.0.0	
10.95.255.255	10.95.255.254	10.64.0.1	10.64.0.0	
10.127.255.255	10.127.255.254	10.96.0.1	10.96.0.0	
10.255.255.255	10.255.255.254	10.224.0.1	10.224.0.0	
10.33.255.255	10.33.255.254	10.32.0.1	10.32.0.0	/15
10.35.255.255	10.35.255.254	10.34.0.1	10.34.0.0	
10.37.255.255	10.37.255.254	10.36.0.1	10.36.0.0	
10.63.255.255	10.63.255.254	10.62.0.1	10.62.0.0	
10.225.255.255	10.225.255.254	10.224.0.1	10.224.0.0	
10.227.255.255	10.227.255.254	10.226.0.1	10.226.0.0	
10.229.255.255	10.229.255.254	10.228.0.1	10.228.0.0	
10.255.255.255	10.255.255.254	10.254.0.1	10.254.0.0	
10.36.127.255	10.36.127.254	10.36.0.1	10.36.0.0	/17
10.36.255.255	10.36.255.254	10.36.128.1	10.36.128.0	
10.37.127.255	10.37.127.254	10.37.0.1	10.37.0.0	
10.37.255.255	10.37.255.254	10.37.128.1	10.37.128.0	
10.224.127.255	10.224.127.254	10.224.0.1	10.224.0.0	
10.224.255.255	10.224.255.254	10.224.128.1	10.224.128.0	
10.225.127.255	10.225.127.254	10.225.0.1	10.225.0.0	
10.225.255.255	10.225.255.254	10.225.128.1	10.225.128.0	

الجدول (د-32): تفاصيل عمليات التَّجزئة المُتعدِّدة في المِثال السَّابع عَشر

قِناع المُستوى	/8	/11	/15	/17
عَدَد الأفضية الجُزئية	2^0	2^3	2^7	2^9
عَدَد العناوين الصَّالحة لعنونة المُضيفين في كُلِّ فضاء	2^{24-2}	2^{21-2}	2^{17-2}	2^{15-2}
عَدَد العناوين الإجمالي في الأفضية الجُزئية كُلِّها	$(2^{24-2}) * 2^0$	$(2^{21-2}) * 2^3$	$(2^{17-2}) * 2^7$	$(2^{15-2}) * 2^9$

ثانياً: الإصدار السَّادس من بروتوكول الإنترنت

المِثال الثَّامن عَشر: المُعرِّف يَنْتهي عند حُدود الرُّباعية

المَطْلُوب تجزئة فضاء العناوين 48::abcd:1234:2000 إلى 65536 فضاء جُزئي.

1. طُول البادئة هُو 48 بتاً، والطُول الإجمالي للعنوان هُو 128 بتاً. يَكُون مَجْمُوع طُولي مُعرِّف الفضاء الجُزئي ومُعرِّف المَنفَذ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SintID} = 128 - 48 = 80$$

2. حِساب الطُول الأَدنى المَقْبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئي مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SIDmin} = \lceil \log_2 65536 \rceil = 16$$

3. الطُول الأَدنى المَقْبُول لِمُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت $b_{HIDmin} = 0$ ، ويُستعمل لِحِساب الطُول الأَقصى المُتاح لِمُعرِّف الفضاء الجُزئي:

$$b_{SIDmax} = 80 - 0 = 80$$

4. اختيار قِيمة مُناسبة لَطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئي تُحَقِّق المُتراجحة:

$$16 \leq b_{SID} \leq 80$$

أُختيرت قِيمة $b_{SID} = 16$.

5. حِساب طُول مُعرِّف المَنفَذ، الَّذي يَكافي مُعرِّف المُضيف في الإصدار الرَّابع، مُقدَّراً بالبت:

$$b_{int} = 80 - 16 = 64$$

وَيُبين الشَّكل (د-17) بنية عنوان الفضاء الجُزئي النَّاتِج.

48	16	64	عَدَد البتات
بادئة الفضاء الأصلي		مُعَرَّف المَنفَذ	

مُعَرَّف الفضاء الجُزئي

الشَّكْل (د-17): بنية عنوان الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال الثامن عشر في الملحق د.

الجدول (د-33): بعض من مُعَرِّفَات الأفضية الجُزئية في المثال الثامن عشر في الملحق د

قيمة المُعَرَّف وفقاً لِنِظام العَدِّ		رقم المُعَرَّف	قيمة المُعَرَّف وفقاً لِنِظام العَدِّ		رقم المُعَرَّف
ستة العشري	الثنائي		ستة العشري	الثنائي	
fffc	1111 1111 1111 1100	65533	0000	0000 0000 0000 0000	1
fffd	1111 1111 1111 1101	65534	0001	0000 0000 0000 0001	2
fffe	1111 1111 1111 1110	65535	0002	0000 0000 0000 0010	3
ffff	1111 1111 1111 1111	65536	0003	0000 0000 0000 0011	4

6. حساب عَدَد الوحدان في قِناع التَّجزئة:

$$b_{mask} = 48 + 16 = 64$$

أي أنَّ قِناع الأفضية الجُزئية هو /64.

الجدول (د-34): بعض من عناوين الأفضية الجُزئية في المثال الثامن عشر في الملحق د

عنوان الفضاء الجُزئي	مُعَرَّف الفضاء
2000:1234:abcd:0000::/64	1
2000:1234:abcd:0001::/64	2
2000:1234:abcd:0002::/64	3
2000:1234:abcd:0003::/64	4
2000:1234:abcd:fffc::/64	65533
2000:1234:abcd:fffd::/64	65534
2000:1234:abcd:fffe::/64	65535
2000:1234:abcd:ffff::/64	65536

المِثَال التَّاسِعَ عَشَرَ: المُعَرَّف يَنْتَهِي عِنْد حُدُود المَرْتَبَةِ سِتَّة العَشْرِيَّة

المَطْلُوب تجزئة فضاء العناوين 2000::/16 حسب القناع /19.

1. طُول البادئة هو 16 بتاً، والطُول الإجماليُّ للعنوان هو 128 بتاً. يَكُون مَجْمُوع طُولي مُعَرَّف الفضاء الجُزئيِّ ومُعَرَّف المَنفَذ مُقَدَّرًا بالبت:

$$b_{SintID} = 128 - 16 = 112$$

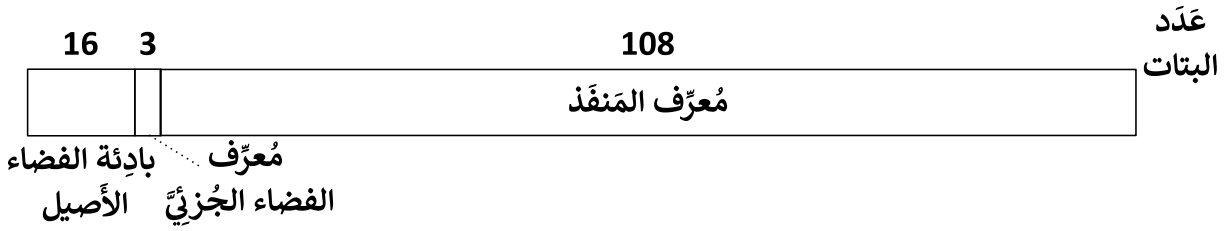
2. يَكُون طُول مُعَرَّف الفضاء الجُزئيِّ مُقَدَّرًا بالبت:

$$b_{SID} = 19 - 16 = 3$$

3. حساب طُول مُعَرَّف المَنفَذ مُقَدَّرًا بالبت:

$$b_{int} = 112 - 4 = 108$$

ويُبين الشكل (د-18) بنية عنوان الفضاء الجزئي الناتج.



الشكل (د-18): بنية عنوان الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال التاسع عشر في الملحق د

الجدول (د-35): بعض من مُعرِّفات الأفضية الجزئية في المثال التاسع عشر في الملحق د

رقم المُعرِّف	قيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قيمة المُعرِّف
1	000	5	100
2	001	6	101
3	010	7	110
4	011	8	111

الجدول (د-36): بعض من عناوين الأفضية الجزئية في المثال التاسع عشر في الملحق د

مُعَرَّف الفضاء	عنوان الفضاء الجزئي	رقم المُعرِّف	عنوان الفضاء الجزئي
1	2000::/20	5	2000:8000::/20
2	2000:2000::/20	6	2000:a000::/20
3	2000:4000::/20	7	2000:c000::/20
4	2000:6000::/20	8	2000:e000::/20

المثال العشرون: المُعرِّف ينتهي عند حُدود بت ضمن مرتبة ستة العشرية

المطلوب تجزئة فضاء العناوين 2000:1:2:3::/64 إلى عددٍ من الأفضية الجزئية في كلٍّ منها 64 عنواناً فقط.

1. طول البادئة هو 64 بتاً، والطول الإجمالي للعنوان هو 128 بتاً، يكون مجموع طولي مُعرِّف الفضاء الجزئي ومُعَرَّف المَنفَذ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SintID} = 128 - 64 = 64$$

2. حساب طول مُعرِّف المَنفَذ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{int} = \lceil \log_2 64 \rceil = 6$$

3. حساب طول مُعرِّف الفضاء الجزئي مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID} = 64 - 6 = 58$$

ويبين الشكل (د-19) بنية عنوان الفضاء الجزئي الناتج.

64	58	6	عدد البتات
بادئة الفضاء الأصلي	مُعَرَّف الفضاء الجزئي		
			مُعَرَّف المنفذ

الشكل (د-19): بنية عنوان الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت الناتج في المثال العشرين في الملحق د

4. حساب عدد الوحدة في قناع التجزئة:

$$b_{mask} = 64 + 58 = 122$$

أي أن قناع الأفضية الجزئية هو 122/.

الجدول (د-37): بعض من معرفات الأفضية الجزئية في المثال العشرون في الملحق د

عنوان الفضاء الجزئي	حالات معرف الفضاء الجزئي (بنظام العد ستة العشري)	المرتبة ست العشرية الأقل أهمية المشتركة بين المعرفين		
		بنظام العد ستة العشري	بنظام العد الثنائي	
			قسم معرف الفضاء الجزئي	قسم معرف المنفذ
2000:1:2:3::/122	0000 0000 0000 000	0	00	00
2000:1:2:3::40/122	0000 0000 0000 004	4	01	00
2000:1:2:3::80/122	0000 0000 0000 008	8	10	00
2000:1:2:3::c0/122	0000 0000 0000 00c	c	11	00
2000:1:2:3::100/122	0000 0000 0000 010	0	00	00
⋮				
2000:1:2:3:ffff:ffff:ffff:ff40/122	ffff ffff ffff ff4	4	01	00
2000:1:2:3:ffff:ffff:ffff:ff80/122	ffff ffff ffff ff8	8	10	00
2000:1:2:3:ffff:ffff:ffff:ffc0/122	ffff ffff ffffffc	c	11	00



المُلْحَق هـ: الرِّسَائِلُ الْمُبْطَلَةُ فِي بَرُوتُوْكَوْلِ رِسَائِلِ

التَّحْكُمِ فِي الْإِنْتَرْنِتِ



الجدول (هـ-1): الرسائل المُبظلة في بروتوكول رسائل التَّحكُّم في الإنترنت⁸⁵¹

سبب الإبطال	اسم الرسالة	حقل النوع
عدم فعالية الآلية في معالجة ظاهرة الازدحام. ⁸⁵²	تهديئة المصدر	4
لا معلومات متوفرة عن هذا النوع من الرسائل ⁸⁵³	عنوان المضيف البديل	6
ظهور تقنيات أخرى تُقدِّم هذه الخدمات بكفاءةٍ نحو بروتوكول تهيئة المضيف الآلية. ⁸⁵⁴	طلب معلومات	15
	الردُّ على طلب معلومات	16
	طلب قناع عنوان	17
	الردُّ على طلب قناع عنوان	18
عُرِّفت الرسالة بصفحتها خياراً تجريبياً للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت، ولم تُطبَّق أبداً على نطاقٍ واسعٍ. ⁸⁵⁵	تتبع المسار	30
كان الهدف من تطوير هذه الرسالة هو الإبلاغ عن أخطاء تحويل رزم البيانات في الإصدار السابع من بروتوكول الإنترنت، ⁸⁵⁶ ولكن البروتوكول ولم يُطبَّق أبداً على نطاقٍ واسعٍ. ⁸⁵⁷	خطأ في تحويل حزمة البيانات	31
طُوِّرت هذه الرسالة بالأصل لتكون جزءاً من بروتوكول تجريبي لمضيفي بروتوكول الإنترنت المتحرِّكين، ولكن البروتوكول لم يُطبَّق أبداً على نطاقٍ واسعٍ. ⁸⁵⁸	إعادة توجيه المضيف المتحرِّك	32

⁸⁵¹ انظر قائمة كلِّ الخيارات في [WEB13] في تَبَّت المراجع.⁸⁵² أصل الاسم Source quench، عُرِّفت في وثيقة طلب التعليقات RFC 792. من أجل المزيد عن سبب إبطالها انظر ص. 2 في [RFC6633] في تَبَّت المراجع.⁸⁵³ أصل الاسم Alternate host address، انظر ص. 3 في [RFC6918] في تَبَّت المراجع.⁸⁵⁴ أصول أسماء هذه الرسائل على الترتيب: Information request و Information reply و Address mask request و Address mask و reply. عُرِّفت الرسائلان الأولى والثانية في وثيقة طلب التعليقات RFC 792، والرسالتان الثالثة والرابعة في وثيقة طلب التعليقات RFC 950. من أجل المزيد عن سبب إبطالها، انظر ص. 2 في [RFC6633] في تَبَّت المراجع، من أجل بروتوكول تهيئة المضيف الآلية انظر [RFC2131].⁸⁵⁵ أصل الاسم Traceroute، انظر تعريف الخيار في ص. 3-4 في [RFC1393] في تَبَّت المراجع وإبطاله في ص 3 في [RFC6814].⁸⁵⁶ أصل الاسم "TP/IX" وأيضاً "IP version 7". كان الإصدار الخامس من البروتوكول تجريبياً عند تطوير هذا البروتوكول، وكان العمل جارياً على تطوير إصدارٍ مُحسَّنٍ منه، ظلَّ مُطوَّر البروتوكول أنَّه سيحمل الرقم 6، لذلك اختار الرقم 7 استباقياً، ولكن العمل في تطوير الإصدار الخامس توقَّف، ثمَّ طُوِّر الإصدار السادس تطويراً منفصلاً. للمزيد حول التسمية، انظر ص. 7 في [RFC1475] في تَبَّت المراجع.⁸⁵⁷ أصل الاسم Datagram conversion error، انظر تعريف الرسالة في ص. 23-24 في [RFC1475] في تَبَّت المراجع وإبطالها في ص. 3 في [RFC6814].⁸⁵⁸ المضيف المتحرِّك Mobile host، واسم الرسالة الأصيل Mobile host redirect، من أجل اقتراح الرسالتين انظر [WEB47] في تَبَّت المراجع، ومن أجل إبطالها انظر ص. 4 في [RFC6918].

<p>طُوِّرت هاتان الرسالتان ضمن مشروع يهدف لتحديد العقد الجيران التي تُشغَل الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت لمضيف الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، ولكن البروتوكول لم يُطبَّق أبداً على نطاقٍ واسعٍ⁸⁵⁹.</p>	<p>عقدة الإصدار السادس، أين أنت</p>	<p>33</p>
	<p>عقدة الإصدار السادس، أنا هنا</p>	<p>34</p>
<p>طُوِّرت هاتان الرسالتان لدعم توجيه رزم بيانات الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت لدى العقد المتحركة، ولكن البروتوكول لم يُطبَّق أبداً على نطاقٍ واسعٍ⁸⁶⁰.</p>	<p>طلب التسجيل</p>	<p>35</p>
	<p>الرَّدُّ على طلب التسجيل</p>	<p>36</p>
<p>طُوِّرت هاتان الرسالتان ضمن آلية تسمح للمضيف بالحصول على اسم النطاق المؤهل المُكتمل⁸⁶¹، ولكن البروتوكول لم يُطبَّق أبداً على نطاقٍ واسعٍ⁸⁶².</p>	<p>طلب اسم النطاق</p>	<p>37</p>
	<p>الرَّدُّ على طلب اسم النطاق</p>	<p>38</p>
<p>طُوِّرت هذه الرسالة لدعم إدارة المفاتيح البسيطة لبروتوكول الإنترنت⁸⁶³، ولكن البروتوكول لم يُطبَّق أبداً على نطاقٍ واسعٍ⁸⁶⁴، ثمَّ أُستبدل استبدالاً نهائياً وحلَّ محلَّه بروتوكول تبادل مفاتيح الإنترنت في عام 1998م⁸⁶⁵.</p>	<p>إدارة المفاتيح لبروتوكول الإنترنت</p>	<p>39</p>

⁸⁵⁹ أصلاً اسمي الرسالتين IPv6 where-are-you و IPv6 I-am-here على الترتيب. من أجل اقتراح الرسالتين انظر [WEB48] في ثبت المراجع، ومن أجل إبطالها انظر ص. 4 في [RFC6918].

⁸⁶⁰ أصلاً اسمي الرسالتين Mobile registration request و Mobile registration reply، من أجل اقتراح الرسالتين انظر [WEB49] في ثبت المراجع، ومن أجل إبطالها انظر ص. 4 في [RFC6918].

⁸⁶¹ أصل الاسم Fully Qualified Domain Name اختصاراً FQDN، وهو اسم نطاقٍ يتضمَّن كلَّ النطاقات العليا ذات الصلة بالكيان صاحب الاسم. للمزيد حوله انظر ص. 5 في [RFC1594] في ثبت المراجع.

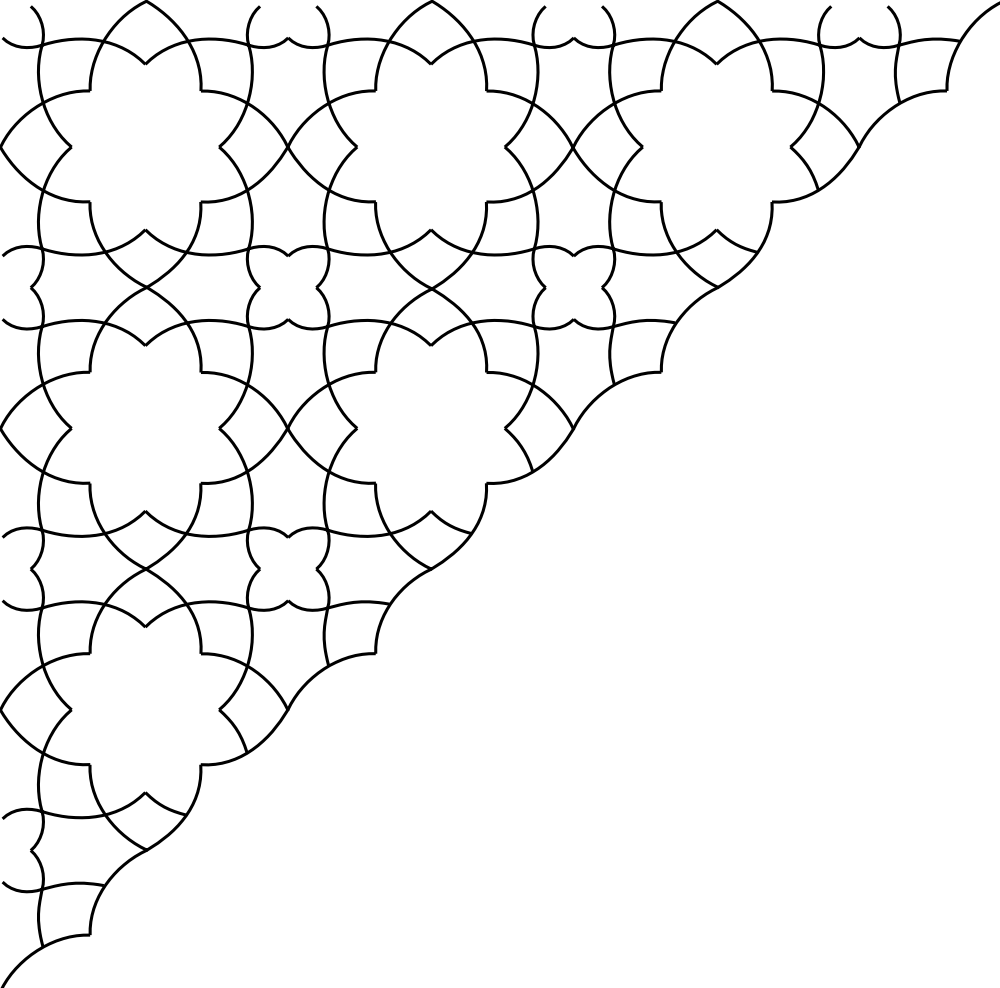
⁸⁶² أصلاً اسمي الرسالتين Domain name request و Domain name reply على الترتيب، من أجل اقتراح الرسالتين انظر [RFC1788] في ثبت المراجع، ومن أجل إبطالها انظر ص. 4-5 في [RFC6918].

⁸⁶³ أصل الاسم Simple Key-management for Internet Protocol، اختصاراً SKIP. للمزيد حوله انظر [WEB50] و [WEB51] في ثبت المراجع.


⁸⁶⁴ من أجل إبطال الرسالة انظر ص. 5 في [RFC6918].

⁸⁶⁵ أصل الاسم Internet Key Exchange، اختصاراً IKE، للمزيد حوله انظر [RFC2409] في ثبت المراجع.

تُرِكَت هذه الصَّفحة فارِغَةً عَمداً لِغرضِ تنسيقِ الكِتابِ



**المُلْحَق و: بُنَى ترويسات الإصدار السَّادِسِ مِنْ
بَرُوتُوْكَوْل الإِنْتَرِنِتِ وَمُلْحَقَاتِهَا**



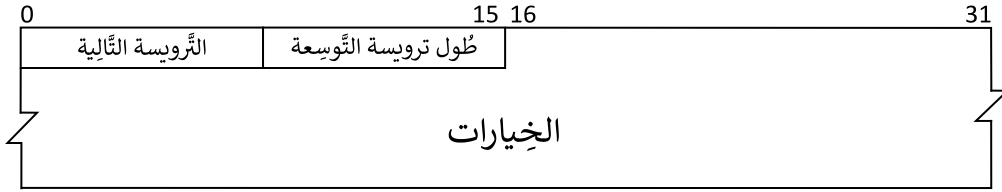
بُنى التَّرويسات

ترويسة خِيارات المَسار 866

تُستعمل لِحمل مَعْلوماتٍ لِخِياراتٍ يُمكن فَحصها أو مُعالِجة مُحْتَوَها في كُلِّ مُوجِّهٍ تمرُّ به الرِّزمة عبر مَسارها إلى وِجْهتها النَّهائِيَّة. قِيمة النَّوع الخاصَّة بهذه التَّرويسة هي 0، وإذا وُردت في رِزمة بِناناتٍ، فيلزم أن تُوضَع هذه القِيمة في حقل التَّرويسة النَّالِيَّة المَوْجُود في التَّرويسة السَّابِقة.

طُول ترويسة خِيارات المَسار مُتغيِّر، وهي تتكوَّن من حَقْلين ثابتي الطُّول يَليهما حَقْلٌ واجِدٌ مُتغيِّر الطُّول، وهذه الحُقُول هي وَفقاً لِترتيب وِزودِها (الشَّكل (و-1)): 867

- حقل التَّرويسة النَّالِيَّة: طُوله 8 بتات، ويحتوي قِيمة تُعرِّف نوع التَّرويسة المَوْجُودة مُباشرةً بعد هذه التَّرويسة.
- حقل طُول ترويسة التَّوسِعة: وطُوله 8 بتات، ويحتوي عَدداً صحيحاً مُوجِباً يُمثِّل طُول ترويسة خِيارات المَسار بواحدةٍ هي 8 بايتات، من غير احتساب البايئات الثَّمانيَّة الأولى. مثلاً إذا كان طُول التَّرويسة هو 16 بايتاً، فإنَّ قِيمة هذا الحقل هي 1، وإذا كان طُول التَّرويسة هو 32 بايتاً فإنَّ قِيمة هذا الحقل هي 3.
- حقل الخِيارات: مُتغيِّر الطُّول، يَضُمُّ خِياراً واحداً أو أكثر من خِيارات المَسار، ويلزم أن يَكُون طُول هذا القِسم مُتوافقاً مع واحدة البايئات الثَّمانيَّة، أي من المَقْبُول أن يَكُون الطُّول: 8 أو 16 أو 24 بايت ... إلخ.



الشَّكل (و-1): بنية ترويسة خِيارات المَسار

ترويسة التَّوجِية 868

تَسْتعمل عُقْدَةُ لِإِصدار السَّادِس من بروتوكول الإنترنت ترويسة التَّوجِية لِتَحديد مَسار رِزمة أو جُزءاً مِنْه من خلال إِضافة قائِمةٍ تَضُمُّ عِناوين العُقْد الوسيطة الَّتِي يَلزم أن تَعبرها الرِّزمة عبر مَسارها وَضوْلاً إلى وِجْهتها. تَنشأه وظيفه هذه التَّرويسة مع وظيفه خِيار التَّوجِية غير المُقَيَّد بِمَسار المَصْدَر في الإصدار الرَّابِع من بروتوكول الإنترنت. قِيمة النَّوع الخاصَّة بترويسة التَّوجِية هي 43، وإذا وُردت هذه التَّرويسة في رِزمة بِناناتٍ، فيلزم أن تُوضَع هذه القِيمة في حقل التَّرويسة النَّالِيَّة المَوْجُود في التَّرويسة السَّابِقة.

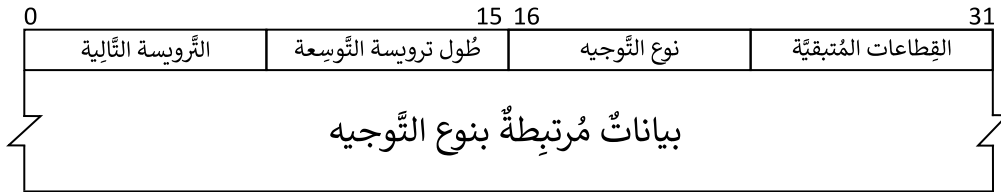
⁸⁶⁶ أصل الاسم Hop-by-hop options header.

⁸⁶⁷ انظر ص. 13 في [RFC8200] في ثَبت المِراجِع.

⁸⁶⁸ أصل الاسم Routing header.

ترويسة التوجيه مُتغيّرة الطول، وهي تتكوّن من أربعة حُقُولٍ ثابتة الطول يليها حقلٌ وحيدٌ مُتغيّر الطول، وهذه الحُقُول هي وفقاً لترتيب وزودها (الشكل (و-2)): ⁸⁶⁹

- حقل الترويسة التّالية: طوله 8 بتاتٍ، ويحتوي قيمة تُعرّف نوع الترويسة الموجودة مباشرةً بعد هذه الترويسة.
- حقل طول ترويسة التوسعة: طوله 8 بتاتٍ، ويحتوي عدداً صحيحاً موجباً يُمثّل طول ترويسة خيارات المسار بوحدة البتات الثمانية، من غير احتساب البتات الثمانية الأولى.
- حقل نوع التوجيه: طوله 8 بتاتٍ، ويضمُّ معرفاً يُحدّد نوع التوجيه، وتحتفظ هيئة أرقام الإنترنت المُخصّصة بقائمة معيارية لمعرّفات المدعومة من طرف البروتوكول ومعاني كلّ منها. ⁸⁷⁰ أعتد النوع ذو القيمة 0 في المعيار الأصلي، لكنّه أبطل لاحقاً لأسباب أمنية. ⁸⁷¹
- حقل القطاعات المُتبقية: طوله 8 بتاتٍ، ويضمُّ معرفاً رقمياً لعددٍ من قطاعات الشبكة ⁸⁷² الوسيطة التي يلزم عبورها قبل الوصول إلى الوجهة النهائيّة، ولكنها لمّا تُزر بعد.
- حقل بيانات مُرتبطة بالنوع: مُتغيّر الطول، ويحتوي مجموعةً واحدةً أو أكثر من هيكل البيانات التي يكون طولها متوافقاً مع واحدة البتات الثمانية، لتكوّن نهايتها عند نهاية الترويسة دائماً. أما بنية الهياكل، فهي تتحدّد بنوع التوجيه.



الشكل (و-2): بنية ترويسة التوجيه

يُوجد حالتان مُرتبطتان بترويسة التوجيه تستوجبان إرسال رسائلٍ إبلاغٍ عن أخطاءٍ خاصّةٍ بروتوكول رسائل التّحكّم للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت، وهما: ⁸⁷³

1. إذا استقبلت عُقدة ما، مُغايرةً للوجهة النهائيّة، رزمة بياناتٍ تحتوي ترويسة التوجيه، وكان نوع التوجيه غير معرُوفٍ، فيلزم عندها التخلّص من الرزمة أيضاً ثمّ إرسال رسالة الخطأ. أمّا إذا كانت العُقدة هي الوجهة النهائيّة، فتُهمل الترويسة وتُعالج الرزمة.

⁸⁶⁹ انظر ص. 14 في [RFC8200] في ثبّت المراجع.

⁸⁷⁰ ليوصول إلى هذه القائمة انظر [WEB30] في ثبّت المراجع.

⁸⁷¹ في النوع ذي القيمة 0، يستطيع المُضيف المصدر أن يُحدّد عناوين العُقد التي ستتمُّ فيها الرزمة بالترتيب، وسبب هذا إشكالاً أمنياً لأنّه يسمَح بإدراج العُنوان نفسه أكثر من مرّة في الترويسة نفسها، ويُسبب هذا إعادة توجيه الرزمة نحو العُقدة نفسها أكثر من مرّة خلال مسارها وبالتالي تشكيل حلقاتٍ. للمزيد في هذا الشأن انظر ص. 200 في [BKE02] في ثبّت المراجع، وأيضاً ص. 3 في [RFC5095].

⁸⁷² قطاع الشبكة Network segment، وهو وصلةٌ مُشتركة تُربط بين منافذ الشبكة المحليّة، انظر ص. 103 في [STD03] في ثبّت المراجع.

⁸⁷³ انظر ص. 15 في [RFC8200] في ثبّت المراجع.

2. إذا كان توجيه الرزمة لازماً عبر شبكة ما، ولكن كان طولها أكبر من قيمة وحدة النقل العظمى للشبكة، وعندها يلزم على العقدة التي توجه الرزمة أن تتخلص منها قبل أن ترسل رسالة الخطأ المناسبة إلى مصدر البروتوكول.

ترويسة القطعة⁸⁷⁴

تُضاف ترويسة القطعة إلى القطع كلها الناتجة عن عملية تقطيع رزم البيانات. قيمة النوع الخاصة بهذه الترويسة هي 44،⁸⁷⁵ وإذا وردت هذه الترويسة في رزمة بيانات، فيلزم أن توضع هذه القيمة في حقل الترويسة التالية الموجود في الترويسة السابقة.

يبلغ طول ترويسة القطعة 8 بايتات، وتتألف من ستة حقول دائمة، هي وفقاً لترتيب وزدها (الشكل (و-3)):⁸⁷⁶

- حقل الترويسة التالية: طوله 8 بتات، ويضبط ضبطاً مشابهاً لحقل الترويسة التالية في ترويسة البروتوكول الأصلية.
- حقل محجور طوله 8 بتات، يضبط إلى قيمة صفرية في مصدر الرزمة عند الإرسال.
- حقل إزاحة القطعة: طوله 13 بت، يحتوي على موقع حمولة القطعة النسبي ضمن حمولة الرزمة الأصلية، وتُشير قيمة الرقم الموجود فيه إلى الإزاحة بوحدة هي 8 بايتات، فإذا كانت قيمة هذا الحقل مثلاً هي 2، فإن إزاحة القطعة الحقيقية هي 16 بايتاً.
- حقل محجور طوله بتان، يضبط إلى قيمة صفرية في مصدر الرزمة عند الإرسال.
- علم المزيد من القطع: طوله بت واحد، ويُستخدم للإشارة إلى القطعة الأخيرة. إذا كانت قيمته 1، فهذا يعني وجود قطع لاحقة نتجت عن عملية التقطيع. أما إذا كانت قيمته 0، فذلك يعني بأن هذه القطعة هي الأخيرة.
- حقل معرف القطعة: طوله 32 بتاً، وهو يحتوي قيمة فريدة تُميز الرزمة الأصلية والقطع التي نتجت عن تقطيعها كلها. تُوجد خوارزميات متعددة لاختيار قيمة المعرف ليكون فريداً وآمناً، وهي موصوفة في وثيقة طلب التعليقات RFC 7739.⁸⁷⁷

0	15	16	28	31
الترويسة التالية	محجور	إزاحة القطعة	علم	محجور
المعرف				

الشكل (و-3): بنية ترويسة القطعة

⁸⁷⁴ أصل الاسم Fragment header.

⁸⁷⁵ انظر [WEB05] في ثبت المراجع.

⁸⁷⁶ انظر ص. 15-16 في [RFC8200] في ثبت المراجع.

⁸⁷⁷ انظر [RFC7739] في ثبت المراجع.

ترويسة خيارات الوجهة⁸⁷⁸

تُستخدَم هذه الترويسة لحمل الخيارات التي تُعالجها الوجهة النهائيّة للزّمة فقط. قيمة النّوع الخاصّ بترويسة خيارات التّوجيه هي 60، وإذا وُردت هذه الترويسة في رزمة بيانات، فيلزم أن تُوضَع في حقل الترويسة التّالية الموجود في الترويسة السّابقة.

ترويسة خيارات الوجهة مُتغيّرة الطّول، وهي تتطابق في بنيتها مع ترويسة خيارات المسار (الشكل و-1)، وتتكوّن من حقلين ثابتي الطّول يليهما حقلٌ وحيّدٌ مُتغيّر الطّول، وهذه الحُقُول هي وفقاً لترتيب وُرودها:⁸⁷⁹

- حقل الترويسة التّالية: طوله 8 بتات، ويحتوي قيمة تُعرّف نوع الترويسة الموجودة مباشرةً بعد هذه الترويسة.
- حقل طول ترويسة التّوسعة: طوله 8 بتات، ويحتوي عدداً صحيحاً موجِباً يُمثّل طول ترويسة خيارات المسار بوحدة البتات الثمانية، من غير احتساب البتات الثمانية الأولى احتساباً مُشابهاً لما تقدّم.
- حقل الخيارات: مُتغيّر الطّول، يَضُمُّ خياراً واحداً أو أكثر من خيارات الوجهة، ويلزم أن يَكُون طُول هذا القسم مُتوافقاً مع وحدة البتات الثمانية، أي من المقبول أن يَكُون الطّول: 8 أو 16 أو 24 بايت ... إلخ.

ترويسة المُصادقة⁸⁸⁰

تُؤمّن ترويسة المُصادقة آليّةً للتّحقّق من هوية مَصدَر رزم البيانات المنقولة عبر اتّصال يَجري عبر قناة غير مُهيّأة. تَسْمَح آليّة التّحقّق بمنع تلاعب وسيطٍ ما برزم البيانات عند حركتها بين مَصدَرها ووجهتها، وتُستخدَم في التّصدي لهجمات الوسيط. قيمة النّوع الخاصّ بترويسة المُصادقة هي 51، وإذا وُردت هذه الترويسة في رزمة بيانات، فيلزم أن تُوضَع هذه القيمة في حقل الترويسة التّالية الموجود في الترويسة السّابقة.⁸⁸¹

ترويسة خيارات الوجهة مُتغيّرة الطّول، وهي تتكوّن من ستة حُقُول، خمسة منها ثابتة الطّول يليها حقلٌ وحيّدٌ مُتغيّر الطّول، وهذه الحُقُول هي وفقاً لترتيب وُرودها (الشكل و-4):⁸⁸²

- حقل الترويسة التّالية: طوله 8 بتات، ويحتوي قيمة تُعرّف نوع الترويسة الموجودة مباشرةً بعد هذه الترويسة.
- حقل طُول الحُمولة: طوله 8 بتات، ويحتوي طُول ترويسة التّوسعة بوحدة هي 32 بتاً (4 بايتات) منقوصاً منها 16 بتاً (بايتان). أي إذا كان طُول الترويسة هو 100 بايت، فإنّ قيمة هذا الحقل هي $23 = 25 - 2 = (100/4) - 2$.
- حقلٌ مَحجُورٌ طوله 16 بتاً.

⁸⁷⁸ أصل الاسم Destination options header.

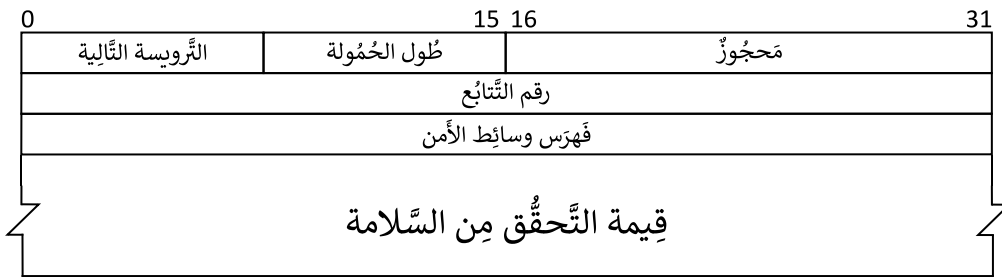
⁸⁷⁹ انظر ص. 23 في [RFC8200] في ثَبَت المراجع.

⁸⁸⁰ أصل الاسم Authentication header.

⁸⁸¹ انظر ص. 3-4 في [RFC4302] في ثَبَت المراجع.

⁸⁸² انظر ص. 5-9 في [RFC4302] في ثَبَت المراجع.

- حقل فهرس وسائط الأمان: طوله 32 بتاً، يحتوي مُعرّف الجلسة الآمنة، وهي قيمة عشوائية يُضيفها المصدر إلى الترويسة وتُستخدم من طرف الوجهة لتمييز الجلسة الآمنة التي أرسلت الرزمة عبرها.
- حقل رقم التتابع: طوله 32 بتاً، يحتوي على عدادٍ تُضبط قيمته في المصدر إلى قيمةٍ مُحددةٍ مع بدء الجلسة الآمنة، ثم قيمة التتابع بمقدار واحدٍ مع كل رزمة بيانات تُرسل في الجلسة.
- حقل قيمة التَّحَقُّق من السَّلامة: مُتغيِّر الطُّول، وتلزم أن يَكُون طُوله من مُضاعفات 32 بتاً. يُضَمُّ قيمةً رياضيَّةً تُحسب في العُقدة المصدر من أجل مُحتويات رزمة البيانات التي لا تتغيَّر في أثناء عبورها الشبَّكة. بعد أن تصل الرزمة إلى وجهتها النهائيَّة في العُقدة الوجهة، لا يُمكن الحُصول على القيمة نفسها لِحقل التَّحَقُّق من السَّلامة إلا إذا كانت مُحتويات الرزمة هي نفسها، أي أنها وصلت من المصدر إلى الوجهة من غير تلاعبٍ فيها.



الشَّكل (و-4): بنية ترويسة المُصادقة

ترويسة تأمين الحُمُولة بالتَّغْلِيْف⁸⁸³

تُستعمل ترويسة تأمين الحُمُولة بالتَّغْلِيْف لِتوفير مَجْمُوعَةٍ من خِدْمات الأمان التي تَشْمُل: سرِّيَّة البيانات والتَّحَقُّق من هوية مَصْدَرها، أي المُصادقة، ولِسَّلامة الاتِّصال عبر القنوات غير المُهيَّأة ولِلحماية من الهجمات المُضادَّة لِإعادة الإرسال.⁸⁸⁴ قيمة النَّوع الخاصَّة بترويسة التَّوجِيه هي 50، وإذا وُردت هذه الترويسة في رزمة بيانات، فيلزم أن تُوضَع هذه القيمة في حقل الترويسة التَّالِيَّة الموجود في الترويسة السَّابِقة.⁸⁸⁵

ترويسة تأمين الحُمُولة بالتَّغْلِيْف مُتغيِّرة الطُّول، وهي تتكوَّن من سبعة حُقُولٍ، أربعةٌ منها ثابتة الطُّول. وحُقُول هذه الترويسة هي وَفْقاً لِترتيب وُرودها:⁸⁸⁶

- حقل فهرس وسائط الأمان: طوله 32 بتاً، يحتوي مُعرّف الجلسة الآمنة، وهي قيمة عشوائية يُضيفها المصدر إلى الترويسة وتُستخدم من طرف الوجهة لتمييز الجلسة الآمنة التي أرسلت الرزمة عبرها.
- حقل رقم التتابع: طوله 32 بتاً، يحتوي عداداً تُضبط قيمته الابتدائيَّة في المصدر إلى قيمةٍ مُحددةٍ عند بدء الجلسة الآمنة، ثم تُزاد قيمته بمقدار واحدٍ مع كل رزمة بيانات يُرسلها مَصْدَر الرزم في تلك الجلسة.
- حقل بيانات الحُمُولة: مُتغيِّر الطُّول، يحتوي المَعْلُومَات التي تُعَمَّى من أجل حمايتها.

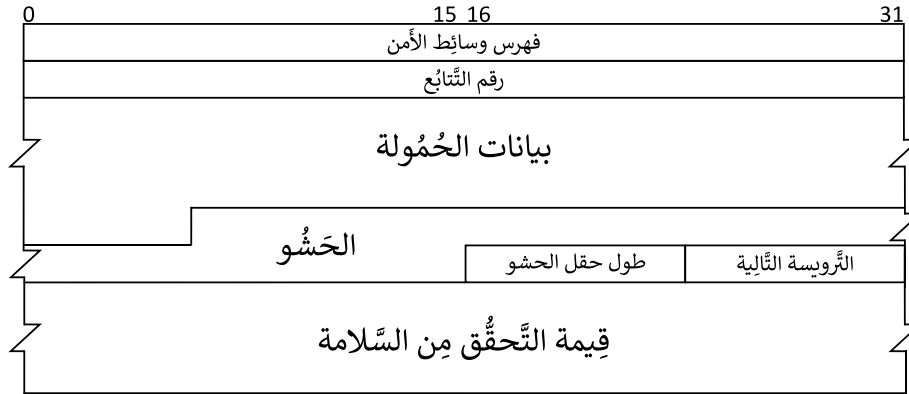
⁸⁸³ أصل الاسم Encapsulating security payload header.

⁸⁸⁴ أصل الاسم Anti-replay attacks.

⁸⁸⁵ انظر ص. 1، 5 في [RFC4303] في تَبْت المراجع.

⁸⁸⁶ انظر ص. 10-17 في [RFC4303] في تَبْت المراجع.

- حقل الحشو: مُتغيّر الطُّول، يتراوح طوله بين 0 و255 بايتاً، يحتوي بايتاتٍ إضافيةً مُلحقةً بالحُمولة. يُضاف حقل الحشو لسببين:
 1. قد يلزم حدُّ أدنى أو قيمٌ مُحدّدة لَطول البيانات المراد تعميمها. مثلاً، أن تكون من مُضاعفات 4 أو 8 أو 16 بايتاً ... إلخ، وعندها تُضاف بايتات الحشو لإكمال طُول البيانات حتّى القيمة اللازِمة.
 2. قد يلزم إضافة بايتاتٍ عديدةٍ لجعل نهاية الحقلين التّاليين تقع عند مُضاعفات 4 بايتات، وعندها تُضاف بايتات حشو وفقاً للحاجة لتحقيق ذلك.
- حقل طول الحشو: طوله 8 بتات، يحتوي عدّد البايتات المُضافة في قسم الحشو.
- حقل الترويسة التّالية: طوله 8 بتات، يحتوي قيمةً تُعرّف نوع الترويسة الموجودة مُباشرةً بعد هذه الترويسة.
- حقل قيمة التّحقّق من السّلامة: مُتغيّر الطُّول ويلزم أن يكون طوله من مُضاعفات 32 بتاً، ويضمُّ قيمةً عدديّةً تُحسب باستعمال خوارزمية مُحدّدة في العُقدة المصدّر من أجل مُحتويات رزمة البيانات التي لا تتغيّر خلال عبورها الشّبكة. يُعاد حساب هذه القيمة في العُقدة الوجهة باستعمال الخوارزمية نفسها، ولا يُمكن الحُصول على القيمة نفسها لحقل التّحقّق من السّلامة إلا إذا كانت مُحتويات الرّزمة هي نفسها دون تغيير، ومعنى ذلك أنّها وصلت من المصدّر إلى الوجهة من غير تلاعبٍ فيها.



السّكّل (و-5): بنية ترويسة تأمين الحُمولة بالتّغليف

بنية الخيارات

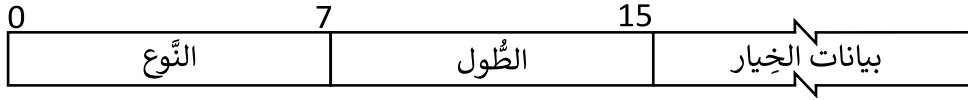
يُمكن لترويستات من الترويسات التي تُعرّفها مُحدّدات البروتوكول أن تحمّل خياراتٍ مُختلفةً في العدّد والطُّول، وهما ترويستات خيارات المسار وخيارات الوجهة.

تكون بنية الخيار في الإصدار السّادس من بروتوكول الإنترنت ثلاثيّة الحُقُول، وهي تتكوّن من (السّكّل و-6):⁸⁸⁷

- حقل النوع: طوله 8 بتات، ويحتوي مُعرّفاً رقمياً يُحدّد نوع الخيار.
- حقل الطُّول: طوله 8 بتات، ويحتوي طُول الخيار مُقدراً بالبايت.

⁸⁸⁷ انظر ص. 11 في [RFC8200] في ثَبت المراجع.

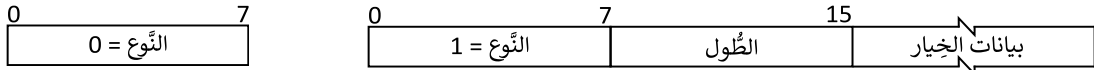
- حقل القيمة: مُتغيّر الطول، تُكوّن بنيته ومعاني القيم فيها مُرتبطةً بنوع الخيار.



الشكل (و-6): بنية الخيار العامة في الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت

تُحدّد قيمة البتان الأكثر أهميّةً في حقل النوع سُلوك العقدة التي تُعالج الخيار إذا أخفقت في التّعريف على نوعه. فإذا كانت قيمتهما₂(00)، فعلى العقدة تخطّي الخيار واستكمال مُعالجة الترويسة. وإذا كانت قيمتهما₂(01)، فعلى العقدة التخلّص من الرّزمة. وإذا كانت قيمتهما₂(10)، فعلى العقدة التخلّص من الرّزمة والاعتماد على بروتوكول رسائل التّحكّم للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت لإرسال رسالة إبلاغ عن خطأ يُشير فيها إلى عدم إمكانية التّعريف على نوع الخيار، وذلك بغضّ النظر عن كون مصدر الرّزمة عنوان بثّ فريد الوجهة أو عنوان بثّ مجموعيّ. أمّا إذا كانت قيمتهما₂(11)، فعلى العقدة تنفيذ ما سبق فقط إذا لم يكن عنوان مصدر الرّزمة عنوان بثّ مجموعيّ. أمّا البت الثالث أهميّةً، فإنّ قيمته تُحدّد فيما إذا كان محتوى الخيار يتغيّر في أثناء انتقال الرّزمة عبر الشبكة. فإن كان المحتوى متغيّراً، كانت قيمة البت هي 1، وإن كان ثابتاً كانت قيمته هي 0.⁸⁸⁸

مع أنّ مُحدّدات البروتوكول تُقدّم دليلاً إرشادياً لتبيين كيفية تصميم خيارات الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت،⁸⁸⁹ إلّا أنّ وثيقة مُحدّدات البروتوكول لا تُعرّف إلا خيارين اثنين فقط، هما خيار حشو بايت واحد، وخيار حشو N بايت (الشكل (و-7)).⁸⁹⁰ ويُستخدمان لمُحاذاة نهاية الخيار مع واجدة طول الترويسة، وهي 4 بايتات. أي إذا كان طول الخيار مثلاً 11 بايتاً، يُضاف خيار حشو بايت واحد في النهاية، وإن كان طول الخيار 13 بايتاً، يُضاف خيار حشو لثلاث بايتات. خيار حشو بايت واحد هو الخيار الوحيد الذي لا يتبع بنية الخيارات السابقة، بل يتكوّن من بايت واحد صفرى البتات.



(ب) N بايت

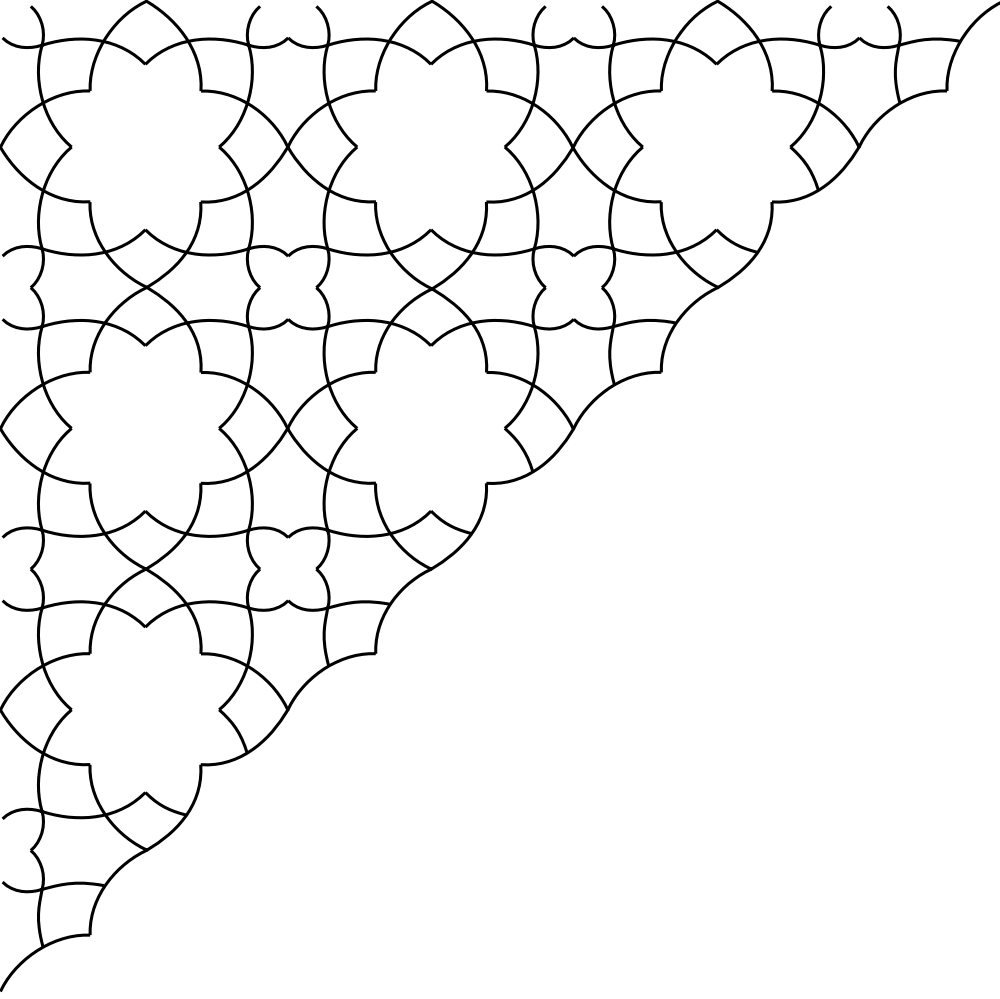
(أ) بايت واحد

الشكل (و-7): بنية خيارى الحشو

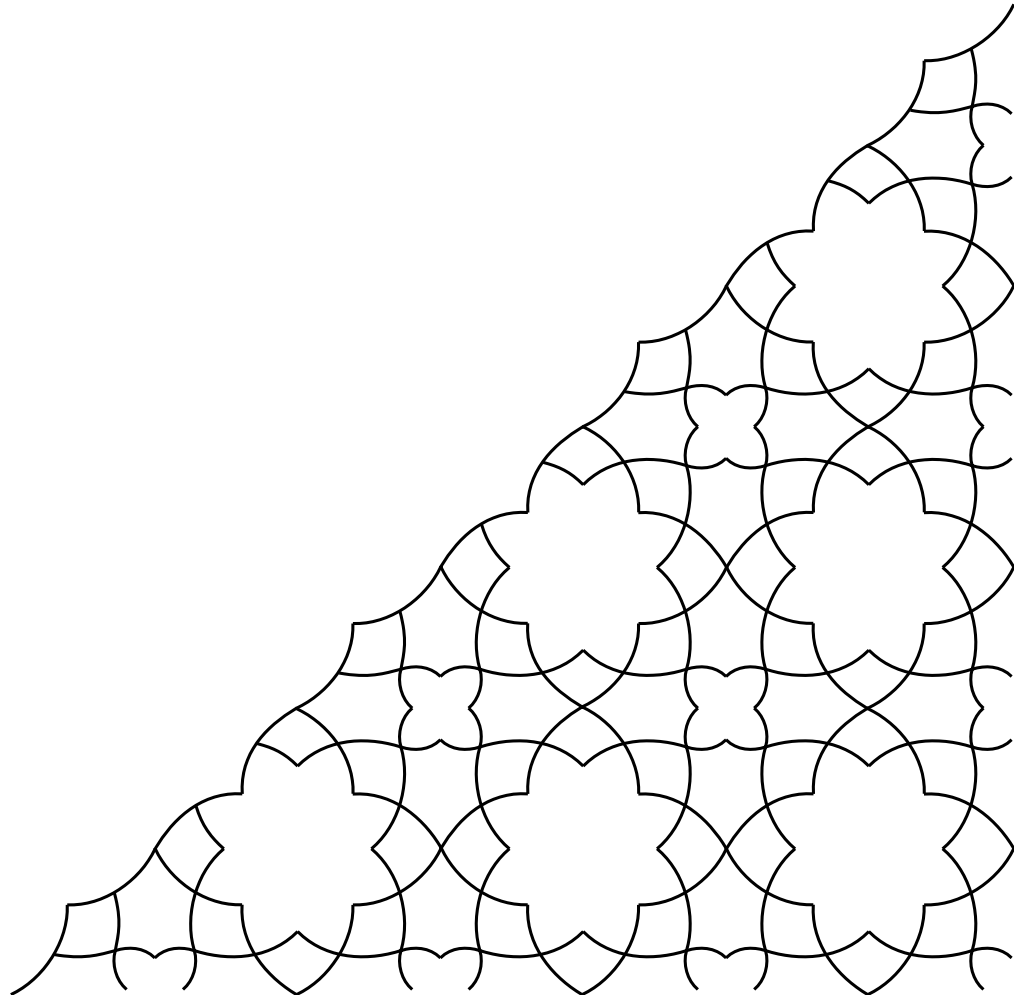
⁸⁸⁸ انظر ص. 11-12 في [RFC8200] في ثبّت المراجع.

⁸⁸⁹ انظر ص. 36-38 في [RFC8200] في ثبّت المراجع.

⁸⁹⁰ أصل الاسمين على الترتيب: Pad1 option و PadN option.



المُلْحَق ز: بيانات الأشكال ورُخصها



الجدول (1-ز): بيانات الأشكال في موقع ويكيبيديا كومنز

الرُّخصة	اسم الصُّورة في مَوْقع ويكيبيديا كُومنز ⁸⁹¹	رقم الشَّكل
-	صُور الفصل الأوَّل كُلُّها عَير مَرفُوعَة على ويكيبيديا كُومنز.	x-1
CC BY-SA 4.0 ⁸⁹²	File:The idea of the data packet (Baran, 1964)-ar.svg	1-2
CC BY-SA 4.0	File:Network topology (Cerf 1974)-ar.svg	2-2
CC BY-SA 4.0	File:Network topology (Postel, 1980)-ar.svg	3-2
CC BY-SA 4.0	File:ARPA Model for transmission path (Postel, 1980)-ar.svg	4-2
CC BY-SA 4.0	File:Gateway halves (Postal, 1980)-ar.svg	5-2
CC BY-SA 4.0	File:PDU Fragmentaion - ar 01.png	6-2
CC BY-SA 4.0	File:N-to-m multiplexer and m-to-n network layer demultiplexer-ar.svg	7-2
CC BY-SA 4.0	File:OSI correspondence between layers-ar.svg	8-2
CC BY-SA 4.0	File:TCP and IP protocols development timeline-ar.svg	1-3
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 Packet -ar.svg	2-3
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 option general structure-ar.svg	3-3
-	-	4-3
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 header - Type of Service structure-ar.svg	5-3
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 address structure and writing systems-ar.svg	6-3
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 address structure-ar.svg	7-3
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 classes-ar.svg	8-3
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 address space-ar.svg	9-3
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 Fragmentation Algorithm-ar.svg	10-3
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 reassembly Algorithm-ar.svg	11-3
CC BY-SA 4.0	File:VLSM-problem.svg	12-3
CC BY-SA 4.0	File:Positional notation glossary-ar.svg	1-4
-	-	2-4
CC BY-SA 4.0	File:Subnetting Concept-ar.svg	3-4
-	-	4-4
-	-	5-4
-	-	6-4
CC BY-SA 4.0	File:Subnetting example (7) -ar.png	7-4
CC BY-SA 4.0	File:Subnetting example (11)-ar.png	8-4
CC BY-SA 4.0	File:Subnetting example (6)-ar.png	9-4
-	-	10-4
-	-	11-4
CC BY-SA 4.0	File:VLSM example-ar.png	12-4
CC BY-SA 4.0	File:Route aggregation example-ar.svg	13-4

⁸⁹¹ يُمكن الوُصول إلى صَفحة أيِّ شَكلي انطلاَقاً مِن اسمه باستعمال بادئة الوَصلة: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:>، على أن يُذكر بعدها اسم المُلفِّ مُباشرةً مع لاجئته، مع الانتباه لاستبدال مَحارف الفراغات الأُفقِيَّة " "بشرايط أُفقِيَّة " "، مثلاً للوصول إلى

الشكل (12-4) تُكوّن الوَصلة كما يأتي: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:VLSM_example-ar.png.

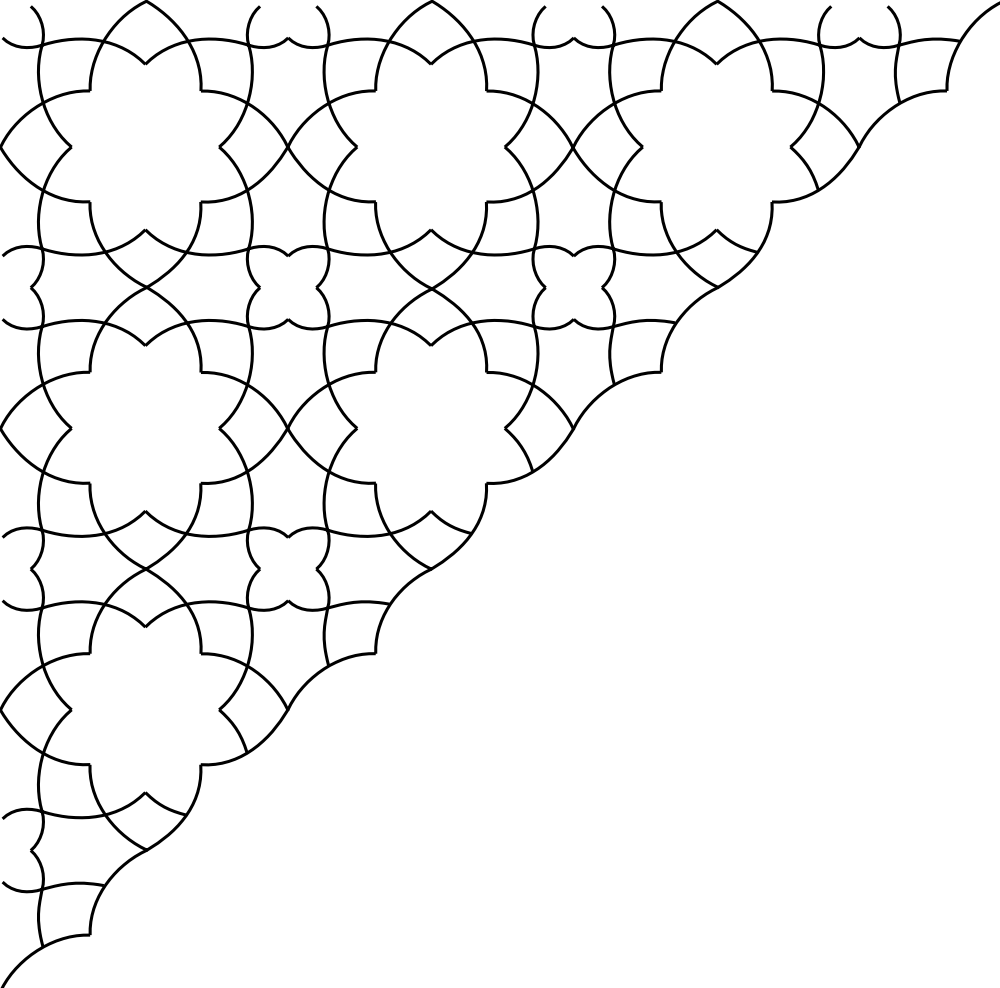
⁸⁹² اسم الرُّخصة الكامل هُو: الإصدار الرَّابِع مِن رُخصة المشاع الإبداعيِّ الدَّوليَّة المُلزمة بنسب المُصنِّف إلى مُؤلِّفه وبمُشاركة الأعمال المُشتقَّة

بالمثل، انظر نصَّ الرُّخصة كاملاً في <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.ar>.

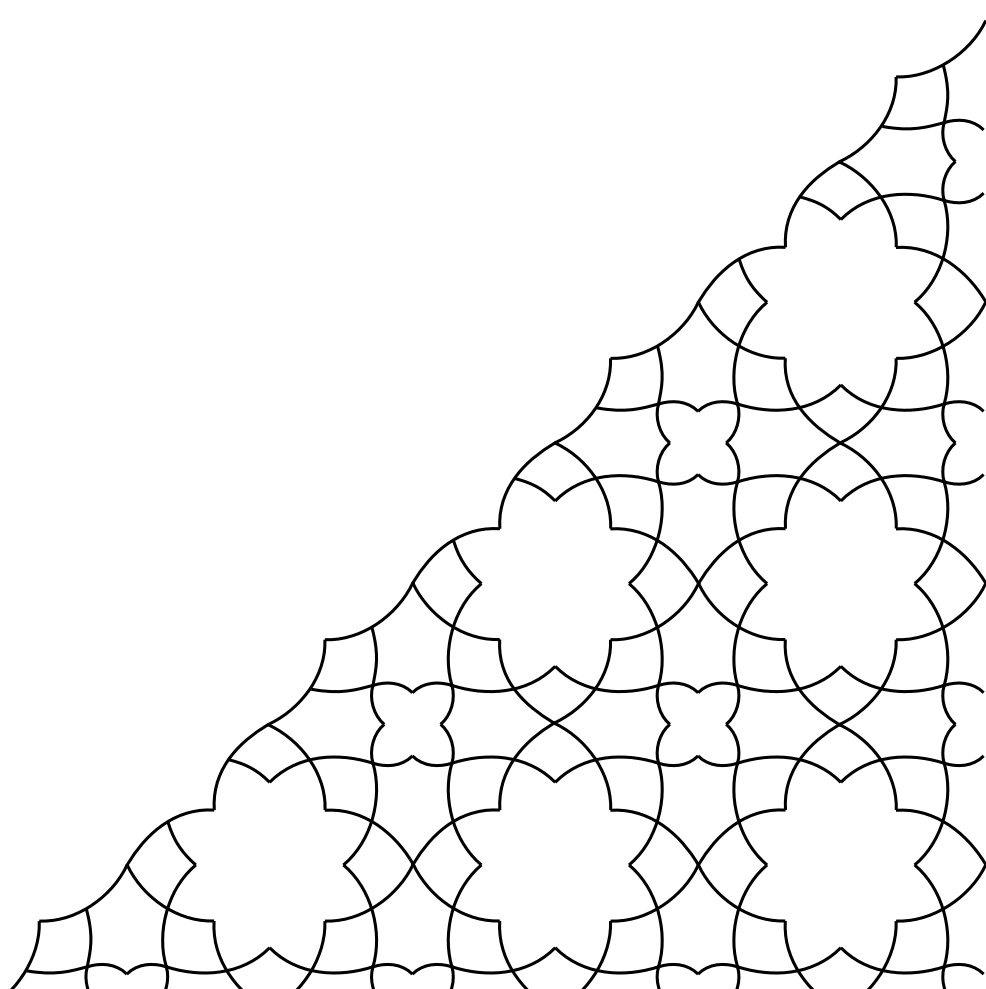
ملكيّة عامّة ⁸⁹³	a. File:Unicast.svg b. File:Multicast.svg c. File:Broadcast.svg	1-5
CC BY-SA 4.0	File:Multicast Protocols-ar.svg	2-5
CC BY-SA 4.0	File:Multicast Terms - ar.png	3-5
CC BY-SA 4.0	File:Source-based Tree Vs Shared Tree - ar.png	4-5
-	-	5-5
CC BY-SA 4.0	File:Spanning Tree Calculation Cases - ar.png	6-5
-	-	7-5
CC BY-SA 4.0	File:IGMP Snooping Example - ar.svg	8-5
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 encapsulation-ar.svg	1-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMP error message UML-ar.svg	2-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMP header - General-ar.svg	3-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 Destination Unreachable Message-ar.svg	4-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 redirect message example-ar.svg	5-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 Redirect Message-ar.svg	6-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 Time Exceeded Message-ar.svg	7-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 Parameter Problem Message-ar.svg	8-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 Echo and Echo replay message-ar.svg	9-6
CC BY-SA 4.0	a. File:ICMPv4 Router advertisement-ar.svg b. File:ICMPv4 Router Solicitation Message-ar.svg	10-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 Timestamp Message-ar.svg	11-6
CC BY-SA 4.0	File:Ping command example.png	12-6
CC BY-SA 4.0	File:Tracert example.png	13-6
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 exhaustion time line-ar.svg	1-7
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 address assignment hierarchy-ar.svg	2-7
CC BY-SA 4.0	File:Regional Internet Registries world map-ar.svg	3-7
CC BY-SA 4.0	File:Ipv4-exhaust-ar.svg	4-7
CC BY-SA 4.0	File:RIPE NCC IPv4 Address Space Exhaustion-ar.svg	5-7
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 IANA and RIR exhaustion time line-ar.svg	6-7
CC BY-SA 4.0	File:Advertised routes before CIDR-ar.svg	1-8
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 classless addressing mode-ar.svg	2-8
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 address space allocating example-ar.svg	3-8
-	-	4-8
-	-	5-8
CC BY-SA 4.0	File:Route Aggregation example-ar.svg	6-8
CC BY-SA 4.0	File:CIDR problem example-ar.svg	7-8
CC BY-SA 4.0	File:NAT Concept-ar.svg	1-9
CC BY-SA 4.0	File:Static NAT-ar.svg	2-9
CC BY-SA 4.0	File:Dynamic NAT-ar.svg	3-9
CC BY-SA 4.0	File:NAPT-ar.svg	4-9
CC BY-SA 4.0	File:Bidirectional NAT-ar.svg	5-9

⁸⁹³ أصل الاسم Public domain، وهي حالة لحقوق التأليف والنشر تُغطّي الأعمال الإبداعية غير المحميّة بحقوق تأليف ونشر أخرى، بما في ذلك الأعمال التي تُفقد مدّة حقوق تأليفها ونشرها أو صودرت أو أُسقطت.

CC BY-SA 4.0	File:Twice NAT-ar.svg	6-9
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 timeline-ar.svg	1-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 headers sequence-ar.svg	2-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 header-ar.svg	3-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 address terminology-ar.svg	4-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 address structure-ar.svg	5-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 global unicast address structure-ar.svg	6-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 link local unicast address structure-ar.svg	7-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 Unique Local unicast address structure-ar.svg	8-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 site local unicast address structure-ar.svg	9-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 IPv4-Compatible address structure-ar.svg	10-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 IPv4-Mapped address structure-ar.svg	11-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 multicast address structure-ar.svg	12-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 Prefix Assignment Example-ar.svg	13-10
CC BY-SA 4.0	File:Subnet Identifier Boundaries in IPv6-ar.svg	14-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 Fragmentation Concept-ar.svg	15-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 Fragmentation algorithm-ar.svg	16-10
CC BY-SA 4.0	File:Reassembled packet-ar.svg	17-10
-	-	1-11
CC BY-SA 4.0	File:Packet Too Big Message-ar.svg	2-11
-	-	3-11
CC BY-SA 4.0	File:Parameter Problem Message-ar.svg	4-11
CC BY-SA 4.0	a. File:Echo Request Message-ar.svg b. File:Echo Reply Message-ar.svg	5-11
CC BY-SA 4.0	c. File:Router Solicitation Message-ar.svg d. File:Router Advertisement Message-ar.svg	6-11
CC BY-SA 4.0	e. File:Neighbor Solicitation Message-ar.svg f. File:Neighbor Advertisement Message-ar.svg	7-11
CC BY-SA 4.0	File:Redirect Message-ar.svg	8-11
CC BY-SA 4.0	File:NDP Option structure-ar.svg	1-12
CC BY-SA 4.0	File:NDP Source-Target link-layer address-ar.svg	2-12
CC BY-SA 4.0	File:NDP Prefix information-ar.svg	3-12
CC BY-SA 4.0	File:NDP Redirect Header Option-ar.svg	4-12
CC BY-SA 4.0	File:NDP MTU option-ar.svg	5-12
CC BY-SA 4.0	File:RS-RA Process to Find the Default Routers-ar.svg	6-12
CC BY-SA 4.0	File:RS-RA Process to Find prefix length-ar.svg	7-12
CC BY-SA 4.0	File:NS-NA Process Find Link Address for On-Link Neighbors-ar.svg	8-12
CC BY-SA 4.0	File:NS-NA Process Duplicated Address Detection-ar.svg	9-12
CC BY-SA 4.0	File:NDP Neighbor Unreachability Detection State Diagram-ar.svg	10-12
CC BY-SA 4.0	File:NDP redirect message example-ar.svg	11-12
-	صُورُ الْمُخْتَلِفِينَ كُلِّهَا غَيْرُ مَرْفُوعَةٍ عَلَى وَيْكِيمِيدِيَا كُومَنْز.	أ-خ، د-خ
	لَا صُورُ فِي هَذِهِ الْمَلَاحِقِ.	ب-خ، ج-خ، ه-خ



التَّعْرِيْب



أولاً: مَسْرَدُ الْمُصْطَلَحَاتِ الْمُعْرَبَةِ

#

6 to 4	تقنيّة 6 إلى 4
6 to 4 anycast address	عنوان بثّ نحو الأقرب لتقنيّة 6 إلى 4

A

Acknowledgment	إشعار تأكيد استلام
Acknowledgment flag	علم إشعار تأكيد
Active	فعال
Address	عنوان
Address mask reply message	رسالة ردّ على طلب قناع عنوان
Address mask request message	رسالة طلب قناع عنوان
Address realm	نطاق عناوين
Address resolution	اقتران عناوين
Address resolution protocol	بروتوكول اقتران العناوين
Address space	فضاء عناوين
Address spoofing attack	هجوم بانتحال عنوان
Addressing	عنونة
Ad-hoc block I	مجموعة العناوين المُخصّصة الأولى
Ad-hoc block II	مجموعة العناوين المُخصّصة الثانية
Ad-hoc block III	مجموعة العناوين المُخصّصة الثالثة
Ad-hoc mobile network	شبكة مُخصّصة متحركة
Ad-hoc Multicast Routing protocol	بروتوكول توجيه البثّ المجموعيّ المُخصّص للشبكات المتحركة
Administratively prohibited	محظور إشرافياً
Advanced research projects agency network	شبكة وكالة مشاريع البحوث المتقدمة
African network information centre	مركز معلومات الشبكة الإفريقيّ
Aggregate route	مسار مختصر
Aggregated routes	مسارات مُجمّعة
Allocation	تحصيل
Alternate host address message	رسالة عنوان المضيف البديل
American National Standards Institute	المعهد الأمريكيّ للمعايير الوطنيّة
American registry for Internet numbers	السجلّ الأمريكيّ لأرقام الإنترنت
American standard code for information interchange	الترميز المعياري الأمريكيّ لتبادل المعلومات، آسي
Anti-replay attack	هجوم مضادّ لإعادة الإرسال
Anycast	بثّ نحو الأقرب
Any-source multicast	بثّ مجموعاتيّ غير محدّد المصدر
Application	تطبيق
Application-level gateway	بوابة على مستوى التطبيق
Army research laboratory	مختبر أبحاث الجيش الأمريكيّ
ARPANET	أربانت
Asia-pacific network information centre	مركز معلومات الشبكة في آسية والمحيط الهادي
Assignment	تخصيص
Assured forwarding behavior	سلوك الإرسال المؤمّن

Asymmetric protocol	بِزُونُوكُولٍ غَيْرِ مُتَنَاظِرٍ
Attack	هُجُومٌ
Atomic fragment	قِطْعَةٌ ذَرِّيَّةٌ
Authentication	مُصَادَقَةٌ، تَحَقُّقٌ مِنَ الْهَوِيَّةِ
Authentication header	تَرْوِيسَةٌ مُصَادَقَةٌ
Autoconfiguration	تَهْيِئَةٌ ذَاتِيَّةٌ
Automatic multicast tunneling	إِنْشَاءٌ آليٌّ لِأَنْفَاقِ بَيْتٍ مَجْمُوعَاتِيٍّ
Autonomous address-configuration flag	عَلَمٌ التَّهْيِئَةِ الْمُسْتَقِلَّةِ لِلْعَنَاوِينِ
Autonomous system	نِظَامٌ مُسْتَقِلٌّ
Autonomous system number	رَقْمٌ نِظَامٍ مُسْتَقِلٍّ
Autonomous system 112 project	مَشْرُوعُ النِّظَامِ الْمُسْتَقِلِّ رَقْمَ 112

B

Back pressure	ضَغْطٌ خَلْفِيٌّ
Bandwidth	عَرْضُ نِطَاقٍ
Basic reference model	النَّمُودَجُ الْمَرْجِعِيُّ الْأَسَاسِيُّ
Basic network address translation	تَرْجُمَةٌ أَسَاسِيَّةٌ لِعُنْوَانِ شَبَكَةٍ
Battery	مُدَّجِرَةٌ
Behavioral requirements	مُتَطَلِّبَاتُ سُلُوكِيَّةٍ
Bellman–Ford algorithm	خَوَارِزْمِيَّةٌ بَيْلْمَانٍ وَفُورْدٍ
Benchmarking	أَسَاسُ تَقْيِيمِ الْأَدَاءِ
Bidirectional	تُنَائِيٌّ الْإِتِّجَاهِ
Bidirectional mode	نَمَطٌ تُنَائِيٌّ الْإِتِّجَاهِ
Bidirectional network address translation	تَرْجُمَةٌ تُنَائِيَّةٌ الْإِتِّجَاهِ لِعُنْوَانِ شَبَكَةٍ
Binary numeral system	نِظَامٌ عَدَدٌ تُنَائِيٌّ
Bit	بِتٌ
Bit rate	مُعَدَّلُ نَقْلِ
Block message	رِسَالَةٌ مُجَمَّعَةٌ
Bogus address configuration prefix	هُجُومٌ بِأَدَاةٍ تَهْيِئَةِ الْعَنَاوِينِ الْوَهْمِيَّةِ
Bogus on-link prefix attack	هُجُومٌ الْبَادِئَاتِ الْمَحَلِّيَّةِ الْوَهْمِيَّةِ
Bomb attack	هُجُومٌ أَنْفِجَارِيٌّ
Border gateway protocol	بِزُونُوكُولُ الْبُؤَابَةِ الْحُدُودِيَّةِ
Broadcast	بَيْتٌ عَامٌّ
Broadcast address	عُنْوَانٌ بَيْتٌ عَامٌّ
Byte	بَايْتٌ

C

Cache memory	ذَاكِرَةٌ مَخْبِئِيَّةٌ
Catenet	كَاتِينِتٌ، الشَّبَكَةُ الْمُتَسَلِّسِلَةُ
Certificate profile	شَهَادَةُ اعْتِمَادٍ
Certification path	شَهَادَةُ اعْتِمَادٍ لِلْمَسَارِ
Channel	قَنَاةٌ
Checksum	تَحَقُّقٌ جَمْعِيٌّ
Cisco group management protocol	بِزُونُوكُولُ سِيْسِكُو لِإِدَارَةِ الْمَجْمُوعَةِ
Cisco Systems, Inc.	شَرِكَةُ أَنْظَمَةِ سِيْسِكُو
Circuit switching	تَبْدِيلُ دَارَاتٍ

Class	صنف
Classful	صنفي
Classful addressing	عنوانة صنفية
Classful routing protocol	بروتوكول توجيه صنف
Classless	غير صنف
Classless addressing	عنوانة غير صنفية
Classless Inter-domain routing	التوجيه غير الصنفي بين النطاقات
Classless routing protocol	بروتوكول توجيه غير صنف
Class selector behavior	سلوك اختيار الصنف
Client-Server model	نموذج طلب خدمة
Cluster	عُنفود
Code	رمز
Commercial internet protocol security option	خيار الأمن التجاري
Complier	مُحوّل برمجي
Computing	حوسبة
Computer	حاسوب
COMSAT laboratories	مختبرات كومسات
Content	محتوى
Confidentiality	سرية
Congestion	ازدحام
Congestion control	تحكم بالازدحام
Connection	اتصال
Connectionless	اتصال غير مهيناً
Connection-oriented	اتصال مهيناً
Copy flag	علم النسخ
Core-assisted mesh protocol	بروتوكول الشبكة المتشابكة المركزية
Core-based tree	شجرة مركزية النواة
Core-based tree protocol	بروتوكول الشجرة مركزية النواة
Cross-layer interaction	تفاعل عابر للطبقات
Cryptographically generated addresses	عناوين مولدة بالتعمية
Customer	عميل
Cyclades	سيكلاد

D

Data	بيانات
Data network	شبكة بيانات
Datagram	حزمة بيانات
Datagram congestion control protocol	بروتوكول التحكم بازدحام حزم البيانات
Datagram conversion error message	رسالة خطأ في تحويل حزمة البيانات
Decapsulation	فك تغليف
Decimal	عشري
Decimal numeral system	نظام عدّ عشري
Default forwarding behavior	سلوك الإرسال الافتراضي
Default gateway	بوابة افتراضية
Default router is killed attack	هجوم إلغاء الموجه الافتراضي

Defence advanced research projects agency	وكالة مشاريع البحوث الدفاعية المتقدمة
Delay	تأخير
Delay first probe time	زمن تأخير الاستشعار الأول
Demultiplexer	مُفكِّك تنضيد
Demultiplexing	فكُّ تنضيد
Denial of service	هُجوم حجب خدمة
Dense mode	نمط كثيف
Department of defense	وزارة الدفاع
Department of defense basic security option	خيار الأمن الرئيسي
Department of defense extended security option	خيار الأمن الموسع
Depletion	نُضوب
Destination	وجهة
Destination options header	ترويسة خيارات الوجهة
Destination unreachable message	رسالة تُعذِّر بلوغ الوجهة
Differentiated services	خدمات مُتمايِزة
Differentiated services codepoint	ترميز خدمات مُتمايِزة
Differentiated services domain	نطاق خدمات مُتمايِزة
Digit	رقم
Digital	رقمي
Dijkstra's algorithm	خوارزمية ديكسترا
Discard prefix	بادئة استبعاد
Discovery	اكتشاف
Distance vector	شُعاع المسافة
Distance vector multicast routing protocol	بروتوكول توجيه البث المجموعيّ تبعاً لشُعاع المسافة
Do not fragment flag	علَم عدم التَّقطيع
Domain	نطاق
Domain name reply message	رسالة الردُّ على طلب اسم نطاق
Domain name request message	رسالة طلب اسم نطاق
Domain name system	نظام تسمية النطاقات
Domain name system server	مُخدِّم نظام تسمية النطاقات
Dotted-decimal notation	تدوين عشريّ منقَط
Downstream	تيار هابط
Dual-stack lite	تقنية المُكدِّس المُزدوج المُبسَّطة
Duplex	ازدواج، ازدواجية
Duplicate address confirmation message	رسالة تأكيد تطابق العنوان
Duplicate address detection	تحديد الاستعمال المُتكرِّر للعنوان
Duplicate address request message	رسالة طلب التَّحَقُّق من تطابق العنوان
Dynamic addressing	عَنونة آليَّة
Dynamic configuration	تهيئة آليَّة
Dynamic host configuration protocol	بروتوكول تهيئة المُضيف الآليَّة
Dynamic host configuration protocol relay agent and server	مُخدِّم ووكيل تحويل بروتوكول تهيئة المُضيف الآليَّة
Dynamic network address translation	ترجمة مُتغيِّرة لعنوان شبكة
Dynamic programming	برمجة حركية

E

Echo message	رسالة توليد صدئ
Echo replay message	رسالة صدئ
Edge	وصلة
Egress policy	سياسة خروج
Encapsulating security payload	تأمين الحُمولة بالتغليف
Encapsulating security payload header	ترويسة تأمين الحُمولة بالتغليف
Encapsulation	تغليف
End-to-end	بين الطرفيات
End-to-end control model	نموذج التحكم بين الطرفيات
End-to-end principle	مبدأ الطرفين
End of option list option	نهاية قائمة الخيارات
Enhanced interior gateway routing protocol	بروتوكول التوجيه الداخلي المحسن بين البوابات
Entity	كيان
Error message	رسالة إبلاغ عن خطأ
Ethernet	إيثرنت
Euclidean Steiner tree problem	مسألة شجرة شتاينر الإقليدية
Exhaustion	استنفاد
Exhaustion phase	طور الاستنفاد
Existing phase	طور الوفرة
Expedited forwarding behavior	سلوك الإرسال المُعجل
Explicit congestion notification	تنبيه صريح للازدحام
Extended	موسَّع
Extended echo reply message	رسالة صدئ موسَّعة
Extended echo request message	رسالة توليد صدئ موسَّعة
Extended unique identifier	مُعَرِّف فريد موسَّع
External realm	نطاق خارجي

F

Fiber distributed data interface	الواجهة البينية للبيانات الموزعة بالألياف
Field	حقل
File transfer protocol	بروتوكول نقل الملفات
Filtering	ترشيح
Finish flag	علم النهاية
Firewall	جدار حماية
First complement	متمم أول
Flag	علم
Flag day	يوم العلم
Flat	وحيد المستوى
Floating point	فاصلة متحركة
Flood	غمر
Flood attack	هجوم غمر
Flooding denial-of-service	حجب خدمة بالغمر
Flow control	تحكم بالتدفق
Flow label	لافتة تدفق
Frame	إطار

Frame relay	تبدیل أطر
Fragment	قِطعة
Fragment header	ترويسة قِطعة
Fragmentation	تَقطِيع
Fragment offset	إِزاحة قِطعة
Fixed network	شبكة ثابتة البنية
Fully qualified domain name	اسم نطاق مُؤَهَّل مُكتَمِل

G

Gateway	بِوَابة
Global identifier	مُعرِّف عالمي
Global routing system	نظام توجيه عالمي
Global unicast address	عنوان البث فريد الوجهة العالمي
Global unicast prefix	بادئة توجيه عالمي
Graph	بيان
Graph theory	نظرية البيان
Group	مجموعة
Group address	عنوان المجموعة
Group identifier	مُعرِّف المجموعة
Group management protocol	بروتوكول إدارة المجموعة
Global realm	نطاق عالمي

H

Header	ترويسة
Header checksum	تحقق جمعي للترويسة
Header length	طول ترويسة
Hexadecimal numeral system	نظام عد ستة عشري
Hierarchical quality of service multicast routing protocol	بروتوكول توجيه البث المجموعي الهرمي المُدرِك لِجودة الخدمة
Hierarchy	ترائبي، هرمي
Home agent address discovery reply message	رسالة رد على طلب اكتشاف عنوان وكيل المنزل
Home agent address discovery request message	رسالة طلب اكتشاف عنوان وكيل المنزل
Hop	قفزة
Hop-by-hop	في أثناء عبور مسار
Hop-by-hop options header	ترويسة خيارات مسار
Host	مُضيف
Host identifier	مُعرِّف مُضيف
Host identity protocol	بروتوكول هوية المُضيف
Host unreachable	تعدّر بُلوغ مُضيف
Housekeeping information	معلومات إدارية
Hub	مُورِّع
Hybrid	هجين

Identifier	مُعَرِّف
implementation	تنفيذ
Incomplete	نقص
Index	فهرس
Information	معلومات
Informational message	رسالة إعلام
Information disclosure	تسريب معلومات
Information processing techniques office	مكتب تقنيات معالجة المعلومات
Information reply message	رسالة رد على طلب معلومات
Information request message	رسالة طلب معلومات
Ingress policy	سياسة دخول
Input	مدخل، دخل
Inside realm	نطاق داخلي
Institute of Electrical and Electronics Engineers	معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات
Integrity	سلامة
Inter-domain	بين نطاق
Interface	منفذ
Interface identifier	مُعَرِّف منفذ
Intermediate node	عقدة وسيطة
Intermediate system	نظام وسيط
Internet	إنترنت
Internetwork	تشبيك
Internetwork control block	مجموعة عناوين التحكم بين الشبكية
Internetwork protocol	بروتوكول تشبيك
Internet assigned numbers authority	هيئة أرقام الإنترنت المخصصة
Internet clock service	خدمة التوقيت في الإنترنت
Internet control message protocol	بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت
Internet control message protocol for internet protocol version 4	بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت
Internet control message Protocol for internet protocol version 6	بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت
Internet corporation for assigned names and numbers	شركة الإنترنت للأرقام والأسماء المخصصة
Internet engineering steering group	المجموعة التوجيهية لهندسة الإنترنت
Internet engineering task force	مجموعة مهندسي الإنترنت
Internet group management protocol	بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت
Internet group management protocol snooping	ميزة مراقبة بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت
Internet key exchange protocol	بروتوكول تبادل مفاتيح الإنترنت
Internet neutrality	حياد الإنترنت
Internet protocol	بروتوكول الإنترنت
Internet protocol address	عنوان بروتوكول إنترنت
Internet protocol next generation	الجيل التالي من بروتوكول الإنترنت
Internet protocol router alert option	خيار إنذار الموجه باستعمال بروتوكول الإنترنت

Internet protocol security	حِزْمَةٌ أَمِنْ بَرُوتُوْكَوْلَ الْإِنْتَرِنْتِ
Internet protocol version 4	الإِصْدَارُ الرَّابِعُ مِنْ بَرُوتُوْكَوْلَ الْإِنْتَرِنْتِ
Internet protocol version 4 address space exhaustion	اسْتِنْفَادُ فِضَاءِ عَنَاوِينِ الإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بَرُوتُوْكَوْلَ الْإِنْتَرِنْتِ
Internet-protocol-version-4-compatible unicast address	عُنْوَانُ بَثِّ فَرِيدِ الْوِجْهَةِ مُتَوَافِقٍ مَعَ الإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بَرُوتُوْكَوْلَ الْإِنْتَرِنْتِ
Internet-protocol-version-4-mapped unicast address	عُنْوَانُ بَثِّ فَرِيدِ الْوِجْهَةِ مُقْتَرِنٌ مَعَ الإِصْدَارِ الرَّابِعِ مِنْ بَرُوتُوْكَوْلَ الْإِنْتَرِنْتِ
Internet protocol version 4/ Internet protocol version 6 translator	مُتَرْجِمٌ عَنَاوِينِ بَيْنَ الإِصْدَارَيْنِ الرَّابِعِ وَالسَّادِسِ مِنْ بَرُوتُوْكَوْلَ الْإِنْتَرِنْتِ
Internet protocol version 6	الإِصْدَارُ السَّادِسُ مِنْ بَرُوتُوْكَوْلَ الْإِنْتَرِنْتِ
Internet protocol version 6 anycast address	عُنْوَانُ بَثِّ نَحْوِ الأَقْرَبِ فِي الإِصْدَارِ السَّادِسِ مِنْ بَرُوتُوْكَوْلَ الْإِنْتَرِنْتِ
Internet protocol version 6 I-Am-Here message	رِسَالَةٌ عَقْدَةٌ الإِصْدَارِ السَّادِسِ، أَنَا هُنَا
Internet protocol version 6 stateless address autoconfiguration	تَهْيِئَةُ العُنْوَانِ الدَّائِمَةِ الآلِيَّةِ فِي الإِصْدَارِ السَّادِسِ مِنْ بَرُوتُوْكَوْلَ الْإِنْتَرِنْتِ
Internet protocol version 6 Where-Are-You message	رِسَالَةٌ عَقْدَةٌ الإِصْدَارِ السَّادِسِ، أَيْنَ أَنْتَ
Internet registry	سِجَلُ إِنْتَرِنْتِ
Internet service provider	مُزَوِّدُ خِدْمَةِ إِنْتَرِنْتِ
Internet stream protocol	بَرُوتُوْكَوْلُ التَّدْفِيقِ فِي الْإِنْتَرِنْتِ
Internet timestamp option	خِيَارُ وَسْمَةِ زَمْنِيَّةِ
Internet transparency	شَفَافِيَّةُ الْإِنْتَرِنْتِ
Intra-domain	مَحْضُورٌ ضِمْنَ نِطَاقِ
Inverse address resolution protocol	بَرُوتُوْكَوْلُ تَرْجُمَةِ العَنَاوِينِ المَعْكَوسَةِ
Inverse neighbor discovery	اِكْتِشَافُ مَعْكَوسِ لِالجِيرَانِ
Inverse neighbour discovery advertisement message	رِسَالَةُ الإِعْلَانِ لِلاِكْتِشَافِ المَعْكَوسِ لِالجِيرَانِ
Inverse neighbor discovery protocol	بَرُوتُوْكَوْلُ الاِكْتِشَافِ المَعْكَوسِ لِالجِيرَانِ
Inverse neighbour discovery solicitation message	رِسَالَةُ الاِلْتِمَاسِ لِلاِكْتِشَافِ المَعْكَوسِ لِالجِيرَانِ
Isolated	مَعزُولٌ

J

Jitter	تَقْلُقُ الإِرْسَالِ
Jumbogram	رِزْمَةٌ عِمْلَاقَةٌ

K

Kruskal's algorithm	خَوَارِزْمِيَّةُ كْرُوسْكَالِ
---------------------	-------------------------------

L

Latin America and Caribbean network information centre	مَرْكَزُ مَعْلُومَاتِ الشَّبَكَةِ فِي أَمْرِيكَةِ اللَّاتِينِيَّةِ وَالكَارِيبِيِّ
Layer	طَبَقَةٌ
Layer Two Tunneling Protocol	بَرُوتُوْكَوْلُ الأَنْفَاقِ فِي الطَّبَقَةِ الثَّانِيَّةِ
Lifetime	زَمَنُ حَيَاةِ

Lightweight adaptive multicast	بثٌ مجموعاتيٌ مُتكيفٌ خفيف
Link	وصلة
Link-local unicast address	عنوان بثٌ فريد الوجهة في وصلة محلّية
Link protocol	بروتوكول طبقة الوصلة
Link-state advertisement	إعلان حالة وصلة
Linux	لينكس
Local	محلي
Local-area network	شبكة محلّية
Local bit	بت المحلّية
Local internet registry	سجل إنترنت محلي
Local network control block	مجموعة عناوين التّحكم في الشبكة المحليّة
Local realm	نطاق محلي
Logical addressing	عنونة برمجية
Logical conjunction	عطف منطقي
Long-term strategy	إستراتيجية طويلة الأمد
Loop	حلقة
Loopback	حلقة عكسيّة
Loopback address	عنوان حلقة عكسيّة
Loopless	عديم حلقات
Loose source routing option	خيار توجيه غير مُقيّد بمسار مصدر

M

Malicious last hop router attack	هُجوم المُخزج الافتراضي الخبيث
Man-in-the-middle attack	هُجوم الوسيط
Managed address configuration flag	علم وضع التّهيئة
Many-to-many	مصادر عديدة ووجهات عديدة
Mask	قناع
Max unicast solicit	عدّد مرّات إرسال رسالة الإلتماس فريدة الوجهة
Maximum transmission unit	وحدة نقل عظمى
Maximum transmission unit option	خيار وحدة النقل العظمى
Media	أوساط
Media-conversion gateway	بوابة تغيير وسط الاتّصال
Medium	وسط
Medium access control	عنوان نفاذ للوسط
Memory	ذاكرة
Metric	وزن مسار
Microsoft Windows	مايكروسوفت ويندوز
Mid-term solution	حلٌ مُتوسّط الأمد
Minimum spanning Tree	شجرة مُتفرّعة صُغرى
Mobile	مُتحرّك
Mobile host	مُضيف مُتحرّك
Mobile host redirect message	رسالة إعادة توجيه مُضيف مُتحرّك
Mobile internet protocol	بروتوكول الإنترنت المُتحرّك
Mobile network	شبكة مُتحرّكة
Mobile prefix advertisement message	رسالة إعلان عن بادئة شبكة للعقدة المُتحرّكة
Mobile prefix solicitation message	رسالة إلتماس عُقدة مُتحرّكة لبادئة شبكة

Mobile registration reply message	رسالة ردُّ على طلب تسجيل
Mobile registration request message	رسالة طلب تسجيل
Mobility option	خيار حركة
Module	وحدة معيارية
More fragment flag	علَم المزيد من القطع
Multicast	بثّ مَجْمُوعاتيّ
Multicast listener	مُستمع بثّ مَجْمُوعاتيّ
Multicast listener discovery	اكتشاف مُستمعي بثّ مَجْمُوعاتيّ
Multicast listener discovery protocol	بُروتوكول اكتشاف مُستمعي البثّ المَجْمُوعاتيّ
Multicast listener done	رسالة إتمام
Multicast listener query message	رسالة استعلام مُستمعي بثّ مَجْمُوعاتيّ
Multicast listener report message	تقرير مُستمع بثّ مَجْمُوعاتيّ
Multicast open shortest path first	توسعة البثّ المَجْمُوعاتيّ لبُروتوكول المسار الأقصر
Multicast power greedy clustering	بُروتوكول البثّ المَجْمُوعاتيّ العُنقوديّ الشَّره للاستطاعة
Multicast routing protocol	بُروتوكول توجيه رزم البثّ المَجْمُوعاتيّ
Multicast routing domain	نطاق التَّوجيه الخاصّ بالبثّ المَجْمُوعاتيّ
Multicast source discovery protocol	بُروتوكول اكتشاف مَصدَر البثّ المَجْمُوعاتيّ
Multicast tree	شجرة بثّ مَجْمُوعاتيّ
Multi-homed	متعدد المواقع
Multi-homed organization	مُنظمة مُتعددة المواقع
Multilayer switch	مُبدل عديد الطَّبقات
Multilevel subnetting	تجزئة مُتعددة المُستويات
Multiplexer	مُنضد
Multiplexing	تنضيد
Multiprotocol border gateway protocol	بُروتوكول البوابة الحدودية مُتعددة البُروتوكولات

N

Neighbor	جار
Neighbor advertisement message	رسالة إعلان عن جار
Neighbor discovery denial of service attack	هُجوم حجب الخدمة باستعمال آليّة اكتشاف الجيران
Neighbor discovery protocol	بُروتوكول اكتشاف الجيران
Neighbor solicitation message	رسالة إلتماس الجار
Neighbor unreachability detection algorithm	خوارزمية تحديد إمكانية بُلوغ الجار
Network	شبكة
Network address port translation	ترجمة عنوان الشبكة وأرقام المنافذ
Network address translation	ترجمة عنوان الشبكة
Network address translation traversal	تخطي ترجمة عنوان الشبكة
Network identifier	مُعَرِّف فضاء
Network mask	قناع فضاء
Network prefix	بادئة فضاء
Network segment	قطاع شبكة
Network unreachable	تعدُّر بُلوغ شبكة
No operation option	خيار لا عمليّة
Node	عُقدة
Node information query message	رسالة استعلام معلّومات عُقدة
Node information response message	رسالة ردّ على استعلام معلّومات عُقدة

Node leaf	عُقْدَة ورقة
Nonce	ظرفي
Normal close	إنهاء طبيعي
Null prefix	بادئة ذات قيمة غير ذات أهمية
Number	عَدَد
Number resource organization	مُنظمة الموارد الرقمية
Numerical system	نظام عدّ

O

Octet	خانة
On-demand multicast routing protocol	بروتوكول توجيه البث المجموعي تبعاً للطلب
On-link flag	علم وصلة المحلّية
One-to-all	مصدر وحيد وكلّ الوجهات الممكنة
One-to-many	مصدر وحيد ووجهات عديدة
One-to-one	مصدر وحيد ووجهة وحيدة واحد في مقابل واحد
Onion skin model	نموذج قشرة البصلة
Open shortest path first	بروتوكول المسار الأقصر
Open system interconnection	ربط بيئي للأنظمة المفتوحة
Operating system	نظام تشغيل
Option	خيار
Option class	صنف خيار
Option type	نوع خيار
Organizationally unique identifier	معرّف منظم فريد
Other configuration flag	علم تهيئة إضافية
Output	مخرج، خرج
Outside realm	نطاق خارجي
Overlap	تراكّب
Overlapping fragment attack	هجوم القِطع المتراكبة
Overlapping network address translation	ترجمة عناوين الشبكات المتراكبة
Overlay routable cryptographic hash identifier	معرّف تجزئة معمّاة متراكبة قابل للتوجيه، أوركيد
Overloading	تحميل زائد
Override flag	علم تخطّي

P

Packet	رزمة
Packet switching	تبدّل رزم
Packet too big message	رسالة رزمة مفرطة في الطول
Pad1 option	خيار حشو بايت واحد
Padding	حشو
PadN option	خيار حشو N بايت
Parameter	مُحدّد
Parameter problem message	رسالة مشكلة في مُحدّد
Parameter spoofing attack	هجوم انتحال مُحدّد
Payload	حُمولة

Per-hop behavior	سُلوك خاصّ بكلّ قَفْزة
Ping	أمر التَّحَقُّق مِن الاتِّصال
Ping of death attack	هُجُوم أمر التَّحَقُّق مِن الاتِّصال المُمَيِّتُ
Pointer	مُؤَشِّر
Point-to-Point Protocol	بِروُتوكُول الوَصَل بَين نُقْطَتَين
Port	مَنقَد
Port address translation overloading	تَحْمِيل زَائِد لِتَرْجَمَة رَقْم مَنقَد
Port control protocol	بِروُتوكُول التَّحَكُّم بِالمَنافِذ
Port number	رَقْم مَنقَد
Port unreachable	تَعَدَّر بُلُوع مَنقَد
Position	مَرَبَّة
Positional notation	تَدوِين ذُو مَرَاتِب
Precedence	أَحْقِيَّة
Preferred Lifetime	زَمَن حَيَاة مُفَضَّل
Prefix	بَادِئَة
Prefix flag	عَلَم بَادِئَة
Prefix information option	خِيَار مَعْلُومَات بَادِئَة
Prefix length	طُول بَادِئَة
Prefix notation	تَدوِين بَادِئَة
Prim's algorithm	خَوَارِزْمِيَّة پَرِيم
Privacy	خِصُوصِيَّة
Private	خَاص
Private address	عُنْوَان خَاص
Private address space	فَضَاء عُنَاوِين خَاص
Private realm	يَطَاق خَاص
Proactive	اسْتِباقي
Probe	اسْتِشْعَار
Probe maximum transmission unit option	خِيَار اسْتِشْعَار وَحْدَة نَقْل عُظْمَى
Process	عَمَلِيَّة
Protocol	بِروُتوكُول
Protocol data unit	وَحْدَة بَيَانَات بِروُتوكُول
Protocol-independent multicast	بَتّ مَجْمُوعَاتِي مُسْتَقِيلَ عَن بِروُتوكُول التَّوْجِيه
Protocol unreachable	تَعَدَّر بُلُوع بِروُتوكُول
Public	عَام
Public realm	يَطَاق عَام
Public switched telephone network	شَبَكَة هَاتِف عَامَّة

Q

Quality of service	جُودَة خِدْمَة
Quartet	رُبَاعِيَّة
Query	اسْتِعْلَام
Query message	رِسَالَة اسْتِعْلَام
Quick-start option	خِيَار بَدَايَة سَرِيعَة

R

Radix	أَسَاس نِظَام عَدِّ
-------	---------------------

Reachability	إمكانية بلوغ جار
Reachable	يُمكن بلوغه
Reachable time	زمن بلوغ جار
Realm	نطاق
Reassembly	إعادة تجميع
Record route option	خيار مسار مُسجّل
Recording of route	تسجيل مسار
Redirect	إعادة توجيه
Redirect attack	هُجُوم إعادة توجيه
Redirect header option	خيار ترويسة إعادة توجيه
Redirect message	رسالة إعادة توجيه
Regional internet registry	سجل إنترنت إقليمي
Registry	سجل
Reliability	موثوقية
Rendez-vous point	نقطة التقاء
Rendez-vous point flag	علم التقاء
Renumbering	إعادة عنونة
Reply	رد
Reply attack	هُجُوم مُعتمد على رسائل رد
Reply maximum transmission unit option	خيار رد على استشعار وحدة نقل عظمى
Request for comments	وثائق طلب التعليقات
Réseaux IP européens network information centre	مركز معلومات الإنترنت الأوروبي
Reserved bits	بتات محجوزة
Resource Public Key Infrastructure	بنية تحتية للمفتاح العام للموارد
Reset	إعادة ضبط
Reset flag	علم إعادة ضبط
Retransmission timer	مؤقت إعادة إرسال
Reverse address resolution protocol	بروتوكول اقتران العناوين العكسي
Reverse path forwarding	التوجيه بعكس المسار
Root node	عقدة جذر
Route	مسار
Route aggregation	تجميع مسارات
Route summarization	اختزال مسارات
Router	موجه
Router advertisement message	رسالة إعلان موجه
Router flag	علم موجه
Router lifetime	زمن حياة موجه
Router-port group management protocol	بروتوكول إدارة مجموعة منفذ موجه
Router renumbering message	رسالة إعادة عنونة موجه
Router solicitation message	رسالة التماس موجه
Router spoofing attack	هُجُوم بانتحال موجه
Routing	توجيه
Routing decision	قرار توجيه
Routing header	ترويسة توجيه
Routing information protocol	بروتوكول معلومات توجيه

Routing protocol	بِزُونُوكُول توجيهِ
Routing table	جَدُول توجيهِ

S

Satellite	قمر صناعي
Scope	مَجَال
Scoped multicast ranges	مَجْمُوعَة العناوين المُرَاقِبَة إشرافياً
Security	أمن
Secure neighbor discovery protocol	بِزُونُوكُول اِكتشاف الجيران الآمن
Security associations	تنظيمات أمن
Segment	قِطْعة
Sender	مُرْسِل
Sender directed multi-destination delivery option	خيار توصيل مُتعددِ الِوجهات مُدار بواسطة مُرْسِل
Sequence diagram	مُخَطَّط تَتَابُع
Sequence number	رَقْم تَتَابُع
Service	خِدمَة
Service access point	نُقْطة نفاذ لِخِدمَة
Service data unit	وحدَة بيانات خِدمَة
Service provider	مُرْوِد خِدمَة
Session	جِلسَة
Session announcement protocol	بِزُونُوكُول إعل ان عن جِلسَة
Session directory announcement protocol	بِزُونُوكُول الإعل ان عن دليل جِلسَة
Session layer	طبقة الجِلسَة
Session traversal utilities for network address translation	خِدم ات تخَطِّي جِلسَة ترجمة عُنوان شَبْكة
Shared address space	فضاء عناوين مُشترك
Shared tree	شَجْرة مُشتركة
Shortest-spanning tree	شَجْرة نَفْرَعات قُصرى
Short-term strategy	إِستراتِيجِيَة قصيرة الأمد
Signaling message	رِسالة تَأْشير
Simple key-management for internet protocol	إِدارة المفاتيح البسيطة لِبِزُونُوكُول الإِنترنت
Simple mail transfer protocol	بِزُونُوكُول نقل البريد البسيط
Simultaneous close	إِنهاء مُتزامن
Simultaneous initiation	استِهلال مُتزامن
Single-level subnetting	تَجزئَة وحيدة المُستوى
Site-local unicast address	عُنوان بَت فريد الِوجهة المَحَلِّيَة في المَوْقع
Smurf attack	هُجُوم السَّنافر
Spoofed redirect message attack	هُجُوم انتحال رِسائل إِعادة توجيهِ
Spoofing attack	هُجُوم بانتحال
Socket	مِقْبَس اتِّصال
Solicited flag	علم التماس
Solicited-node address	عُنوان عَقْدة مُلتَمَسَة
Sonar	سُونار
Source	مِصدِر

Source-based tree	شجرة مبنية تبعاً للمصدر
Source link-layer address option	خيار عنوان طبقة الوصلة لمصدر الرسالة
Source quench message	رسالة تهدئة مصدر
Source routing	توجيه تبعاً لمصدر
Source-specific multicast	بتّ مجموعاتيّ مُحدّد المصدر
Source-specific multicast block	مجموعة عناوين بتّ مجموعاتيّ مُحدّد المصدر
Spanning tree	شجرة مُتفرّعة
Spare mode	نمط مُتناثر
Specific-source multicast	بتّ مجموعاتيّ مُحدّد المصدر
Stale	تقادّم
Stateless	غير مركزية
Stateless address autoconfiguration	تهيئة عنوان ذاتية الآلية
Static network address translation	ترجمة ثابتة لعنوان شبكة
Steiner tree	شجرة شتاينر
Strategy	إستراتيجية
Stream	تدفّق
Stream control transmission protocol	بروتوكول التّحكّم بتدفّق النّقل
Stream identifier option	خيار مُعرّف التّدفّق
Strict source routing option	خيار توجيه مُقيّد بمسار مصدر
Sub-local internet registry	سجلّ إنترنت محليّ فرعيّ
Subnet	فضاء جزئيّ
Subnetting	تجزئة فضاء عناوين
Subnet identifier	مُعرّف فضاء جزئيّ
Subsystem	نظام فرعيّ
Summarization	اختزال
Supernetting	تجميع أفضية
Switch	مُبدّل
Switching	تَبديل
Synchronization flag	علَم مُزامنة

T

Target	هدف
Target address	عنوان هدف
Target link-layer address option	خيار عنوان طبقة الوصلة لهدف الرسالة
Teredo	تيريدو
Terminal	طرفية
Test transport control protocol	اختبار بروتوكول التّحكّم بالنّقل
Theft of service	سرقة خدمة
Three-way handshaking	مُصافحة ثلاثية المراحل، مُصافحة ثلاثية
Throughput	مُعدّل إنتاجية
Time	زمن
Time exceeded message	رسالة نفاذ زمن
Time to live	زمن حياة
Timestamp	وسمة زمنيةّ
Timestamp message	رسالة طلب وسمة زمنيةّ
Timestamp reply message	رسالة ردّ على طلب وسمة زمنيةّ

Tiny fragment attack	هُجُوم القِطعة الصَّغيرة
Token Ring	بُرُوتوكُول حلقة الرَّمز
Total length	طُول إجماليّ
Traceroute	تَتبُّع مَسار
Traceroute message	رِسالة تَتبُّع مَسار
Traceroute using an internet protocol option	خِيار تَتبُّع مَسار باستعمال بُرُوتوكُول الإنترنت
Traditional network address translation	ترجمة تقليديَّة لِعُنوان شَبكة
Traffic class	صنّف حركة البيانات
Transient flag	عَلَم ديمومة
Transmission control program	برنامج التَّحكُّم بالنَّقل
Transmission control protocol	بُرُوتوكُول التَّحكُّم بالنَّقل
Transparent routing	توجيه غير مرئيّ
Transport protocol	بُرُوتوكُول نقل
Traversal using relays around network address translation	تخطّي ترجمة عُنوان شَبكة باستعمال المُرَحلات
Tree	شَجرة
Truth table	جَدول حقيقة
Twice network address translation	ترجمة مُضاعفة لِعُنوان شَبكة
Two-way network address translation	تُرجمة ثنائيَّة الاتِّجاه لِعُنوان شَبكة
Type	نوع
Type of Service	نوع خِدمة

U

Undirected weighted graph	بَيان غير مُوجَّه موزون الوصلات
Unicast	بثّ فريد الوجهة
Unified modeling language	لُغة التَّمذجة المُوحَّدة
Universal time	التَّوقييت العالميّ
Unique	فريد
Unique local internet protocol version 6 unicast address	عُنوان بثّ فريد الوجهة المحليَّة
Uniqueness	تفرد
Unknown	غير معرُوف
Unspecified address	عُنوان غير مُحدّد
Upstream	تيّار صاعد
Upstream multicast packet option	خِيار رزم تيّار صاعد في البثّ المجموعيّ
User	مُستخدم
User datagram protocol	بُرُوتوكُول حِزم بيانات المُستخدم

V

Valid Lifetime	زمن حياة صالح
Variable length subnet mask	أقنعة أفضية الجزئيَّة مُختلفة الأطوال
Version	إصدار
Vertex	رأس
Violation	انتهاك
Virtual channel	قناة افتراضيَّة
Visa option	خِيار التَّحكُّم بالوصول التَّجريبيّ

W

Wide-area network	شبكة مُتباعدة
WiFi	واي فاي

Z

Zone	منطقة
------	-------

ثانياً: مسرد الاختصارات

A

AF	Assured Forwarding	إرسال مُؤمّن
AfriNIC	African Network Information Centre	مركز معلومات الشبكة الإفريقيّ
AGL	Application-Level Gateway	البوابة عند مُستوى التطبيق
AH	Authentication Headers	بروتوكول ترويسات التّحقّق من الهوية
ANSI	American National Standards Institute	المعهد الأمريكيّ للمعايير الوطنيّة
APNIC	Asia-Pacific Network Information Centre	مركز معلومات الشبكة في آسيا والمحيط الهاديّ
ARIN	American Registry for Internet Numbers	السّجل الأمريكيّ لأرقام الإنترنت
ARP	Address Resolution Protocol	بروتوكول اقتران العناوين
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Network	شبكة وكالة مشاريع البحوث المتقدّمة، شبكة أريا
AS	Autonomous System	نظام مُستقلّ
AS112	Autonomous system 112	النّظام المُستقلّ رقم 112
ASCII	American Standard Code for Information Interchange	الرّمز المعياري الأمريكيّ لتبادل المعلومات، آسكي
ASM	Any-Source Multicast	البثّ المُجموعيّ غير مُحدّد المصدر

B

BGP	Border Gateway Protocol	بروتوكول البوابة الحدوديّة
BIDIR-PIM	Bi-directional Mode Protocol-Independent Multicast	بروتوكول البثّ المُجموعيّ المُستقلّ - النمط ثنائيّ الاتجاه

C

CAMP	Core-Assisted Mesh Protocol	بروتوكول الشبكة المُتشابكة المركزيّة
Catenet	Concatenated network	الشبكة المُتسلسلة
CBT	Core-Based Tree	شجرة مركزيّة النّواة
CCIT	Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique	اللجنة الاستشاريّة الدوليّة للاتّصال الصّوتيّ والبيانيّ
CGA	Cryptographically Generated Addresses	عناوين مُولّدة بالتّعمية
CGMP	Cisco Group Management Protocol	بروتوكول سيسكو لإدارة المُجموعة
CIDR	Classless Inter-Domain Routing	توجيه غير صنفّي بين النّطاقات
CS	Class Selector	اختيار صنف

D

DAD	Duplicate Address Detection	تحديد الاستعمال المُتكرّر للعنوان
-----	-----------------------------	-----------------------------------

DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency	وكالة مشاريع البحوث الدفاعية المتقدمة
DCCP	Datagram Congestion Control Protocol	بروتوكول التحكم بازدحام حزم البيانات
DF	Default Forwarding	إرسال افتراضي
	Do not Fragment	عدم تقطيع
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	بروتوكول تهيئة المضيف الآلية
DNS	Domain Name System	نظام تسمية النطاقات
DoD	Department of Defense	وزارة الدفاع
DoS	Denial of Service	هجوم حجب خدمة
DSCP	Differentiated Services CodePoint	حقل ترميز الخدمات المتميزة
DVMRP	Distance Vector Multicast Routing Protocol	بروتوكول توجيه البث المجموعي تبعاً لشعاع المسافة

E

ECN	Explicit Congestion Notification	تنبيه صريح للازدحام
EF	Expedited Forwarding	إرسال مُعَجَّل
EIGRP	Enhanced Interior Gateway Routing Protocol	بروتوكول التوجيه الداخلي المحسن بين البوابات
ESP	Encapsulating Security Payload	بروتوكول تأمين الحمولة بالتغليف
EUI	Extended Unique Identifier	مُعرِّف فريد مُوسَّع

F

FDDI	Fiber Distributed Data Interface	الواجهة البينية للبيانات الموزعة بالألياف
FQDN	Fully Qualified Domain Name	اسم النطاق المؤهل المُكتمل
FTP	File Transfer Protocol	بروتوكول نقل الملفات

H

HID	Host identifier	مُعرِّف مُضيف
HIP	Host Identity Protocol	بروتوكول هوية المضيف
HQMRP	Hierarchical Quality of Service Multicast Routing Protocol	بروتوكول توجيه البث المجموعي الهرمي المُدرِك لجودة الخدمة

I

IANA	Internet Assigned Numbers Authority	هيئة أرقام الإنترنت المُخصَّصة
ICANN	Internet Corporation for Assigned Names and Numbers	شركة الإنترنت للأرقام والأسماء المُخصَّصة
ICMP	Internet Control Message Protocol	بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت
ICMPv4	Internet Control Message Protocol for Internet Protocol version 4	بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت للإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت
ICMPv6	Internet Control Message Protocol for Internet Protocol version 6	بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت للإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت
ICS	Internet Clock Service	خدمة التوقيت في الإنترنت
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات
IESG	Internet Engineering Steering Group	المجموعة التوجيهية لهندسة الإنترنت
IETF	Internet Engineering Task Force	مجموعة مهندسي الإنترنت
IGMP	Internet Group Management Protocol	بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت

IKE	Internet Key Exchange	تبادل مفاتيح الإنترنت
InARP	Inverse Address Resolution Protocol	بروتوكول ترجمة العناوين المعكوسة
IND	Inverse Neighbor Discovery	اكتشاف معكوس للجار
IPng	Internet Protocol Next Generation	الجيل التالي من بروتوكول الإنترنت
IPsec	Internet Protocol Security	حزمة أمن بروتوكول الإنترنت
IPTO	Information Processing Techniques office	مكتب تقنيات معالجة المعلومات
IPv4	Internet Protocol version 4	الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت
IPv6	Internet Protocol version 6	الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت
ISO	International Organization for Standardization	المنظمة الدولية للمعايير
ISP	Internet Service Provider	مُزوّد خدمة إنترنت
ITU	International Telecommunication Union	الاتحاد الدولي للاتصالات

L

L2TP	Layer Two Tunneling Protocol	بروتوكول الأنفاق في الطبقة الثانية
LACNIC	Latin America and Caribbean Network Information Centre	مركز معلومات الشبكة في أمريكا اللاتينية والكاريبي
LAM	Lightweight Adaptive Multicast	بتّ مجموعاتي متكيف خفي
LIR	Local Internet Registry	سجل إنترنت المحلي
LSA	Link-State Advertisement	إعلان حالة وصلة

M

MAC	Medium Access Control	عنوان نفاذ للوسط
MBGP	Multiprotocol Border Gateway Protocol	بروتوكول البوابة الحدودية متعددة البروتوكولات
MF	More Fragment	مزيد من القطع
MLD	Multicast Listener Discovery	اكتشاف مُستمعي بتّ مجموعاتي
MOSPF	Multicast Open Shortest Path First	توسعة البتّ المجموعاتي لبروتوكول المسار الأقصر
MPGC	Multicast Power Greedy Clustering	بروتوكول البتّ المجموعاتي العنقودي الشره للاستطاعة
MSB	Most Significant Bit	البت الأكثر أهميّة
MSDP	Multicast Source Discovery Protocol	بروتوكول اكتشاف مصدر البتّ المجموعاتي
MST	Minimum Spanning Tree	شجرة متفرعة صغرى
MTU	Maximum Transmission Unit	وحدة نقل عظمى

N

NAPT	Network Address Port translation	ترجمة عنوان شبكة ورقم منفذ
NAT	Network Address Translation	ترجمة عنوان شبكة
NDP	Neighbor Discovery Protocol	بروتوكول اكتشاف الجيران
NID	Network Identifier	معرّف شبكة
NRO	Number Resource Organization	منظمة الموارد الرقمية
NUD	Neighbor Unreachability Detection	تحديد إمكانية بلوغ جار

O

ODMRP	On-Demand Multicast Routing Protocol	بروتوكول توجيه بث مجموعاتي تبعاً للطلب
ORCHID	Overlay Routable Cryptographic Hash Identifier	معرّف تجزئة معماة متراكبة قابل للتوجيه، أوركييد
OSI	Open System Interconnection	ربط بيني للأنظمة المفتوحة
OSPF	Open Shortest Path First	بروتوكول المسار الأقصر
OUI	Organizationally Unique Identifier	معرّف منظمه فريد

P

PCP	Port Control Protocol	بروتوكول التحكم بالمنافذ
PDU	Protocol Data Unit	وحدة بيانات البروتوكول
PHB	Per-Hop Behavior	سلوك خاص بكل قفزة
PIM	Protocol-Independent Multicast	بث مجموعاتي مستقيل عن بروتوكول التوجيه
PIM-DM	Protocol-Independent Multicast Dense Mode	بروتوكول البث المجموعي المستقيل - النمط الكثيف
PIM-SM	Protocol-Independent Multicast Sparse Mode	بروتوكول البث المجموعي المستقيل - النمط المتناثر
PPP	Point-to-Point Protocol	بروتوكول الوصل بين نقطتين
PSTN	Public Switched Telephone Network	شبكة هاتف عامة

R

RARP	Reverse Address Resolution Protocol	بروتوكول اقتران العناوين العكسي
RFC	Request for comments	وثائق طلب التعليقات
RGMP	Router-port Group Management Protocol	بروتوكول إدارة مجموعة منفذ الموجه
RIP	Routing Information Protocol	بروتوكول معلومات التوجيه
RIPv1	Routing Information Protocol version 1	الإصدار الأول من بروتوكول معلومات التوجيه
RIPE NCC	Réseaux IP Européens Network Information Centre	مركز معلومات الإنترنت الأوروبي
RIR	Regional Internet Registry	سجل إنترنت إقليمي
ROAD	Routing and addressing.	التوجيه والعنونة
RPF	Reverse Path Forwarding	توجيه بعكس المسار
RPKI	Resource Public Key Infrastructure	بنية تحتية للمفتاح العام للموارد
RSA	Rivest-Shamir-Adleman	ريفيست وشامير وأدلمان

S

SA	Security Association	تنظيم الأمن
SAP	Service Access Point	نقطة نفاذ للخدمة
	Session Announcement Protocol	بروتوكول الإعلان عن الجلسة
SCTP	Stream Control Transmission Protocol	بروتوكول التحكم بتدفق النقل
SDP	Session Directory announcement Protocol	بروتوكول الإعلان عن دليل الجلسة
SDU	Service Data Unit	وحدة بيانات خدمة
SEND	SEcure Neighbor Discovery protocol	بروتوكول اكتشاف الجيران الآمن
SID	Subnet identifier	معرّف فضاء جزئي
SKIP	Simple Key-management for Internet Protocol	إدارة مفاتيح بسيطة لبروتوكول الإنترنت

SLAAC	StateLess Address AutoConfiguration	تهيئة عنوان ذاتية آلية
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol	بروتوكول نقل البريد البسيط
SSM	Source-Specific Multicast	بث مجموعاتي محدد المصدر
STUN	Session Traversal Utilities for Network address translation	خدمة تخطي جلسة ترجمة عنوان الشبكة

Q

QoS	Quality of Service	جودة خدمة
-----	--------------------	-----------

T

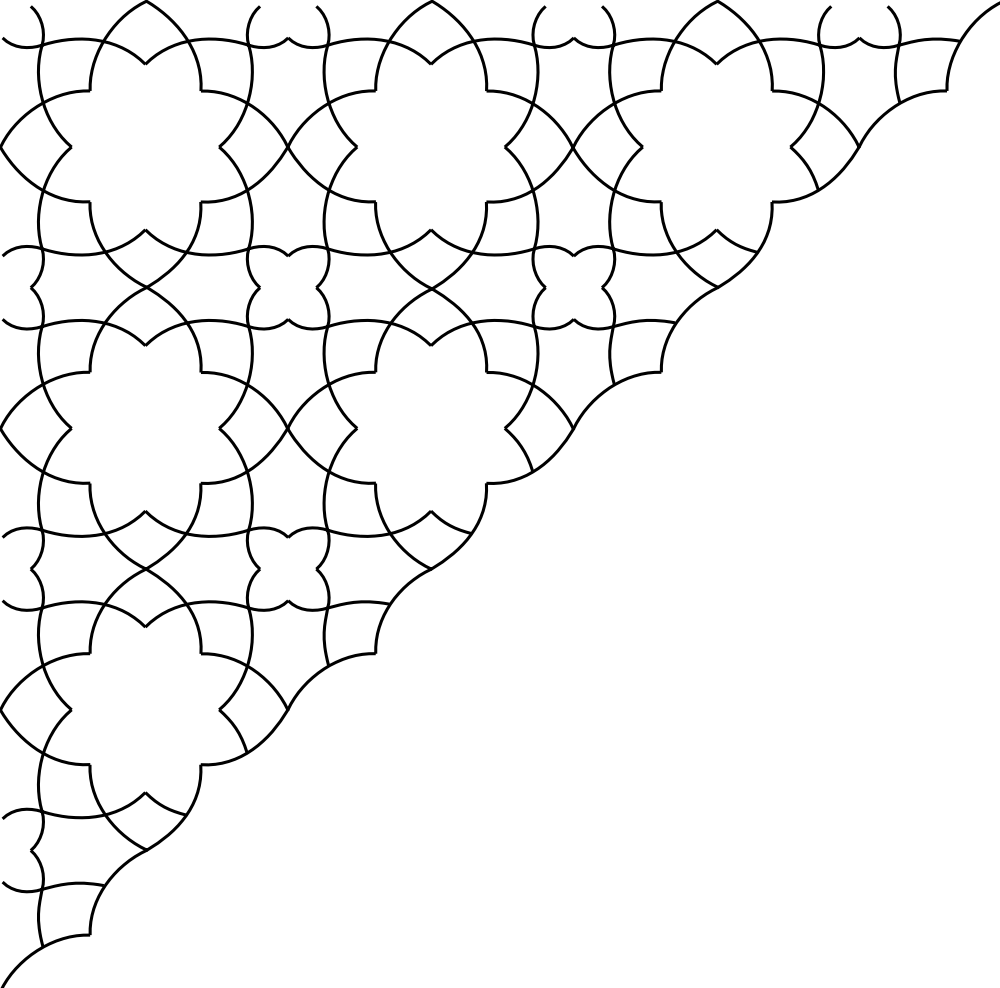
TCP	Transmission Control Program	برنامج التحكم بالنقل
	Transmission Control Protocol	بروتوكول التحكم بالنقل
ToS	Type of Service	نوع خدمة
TTCP	Test Transport Control Protocol	اختبار بروتوكول التحكم بالنقل
TURN	Traversal Using Relays around Network address translation	تخطي ترجمة عنوان شبكة باستعمال المرشحات

U

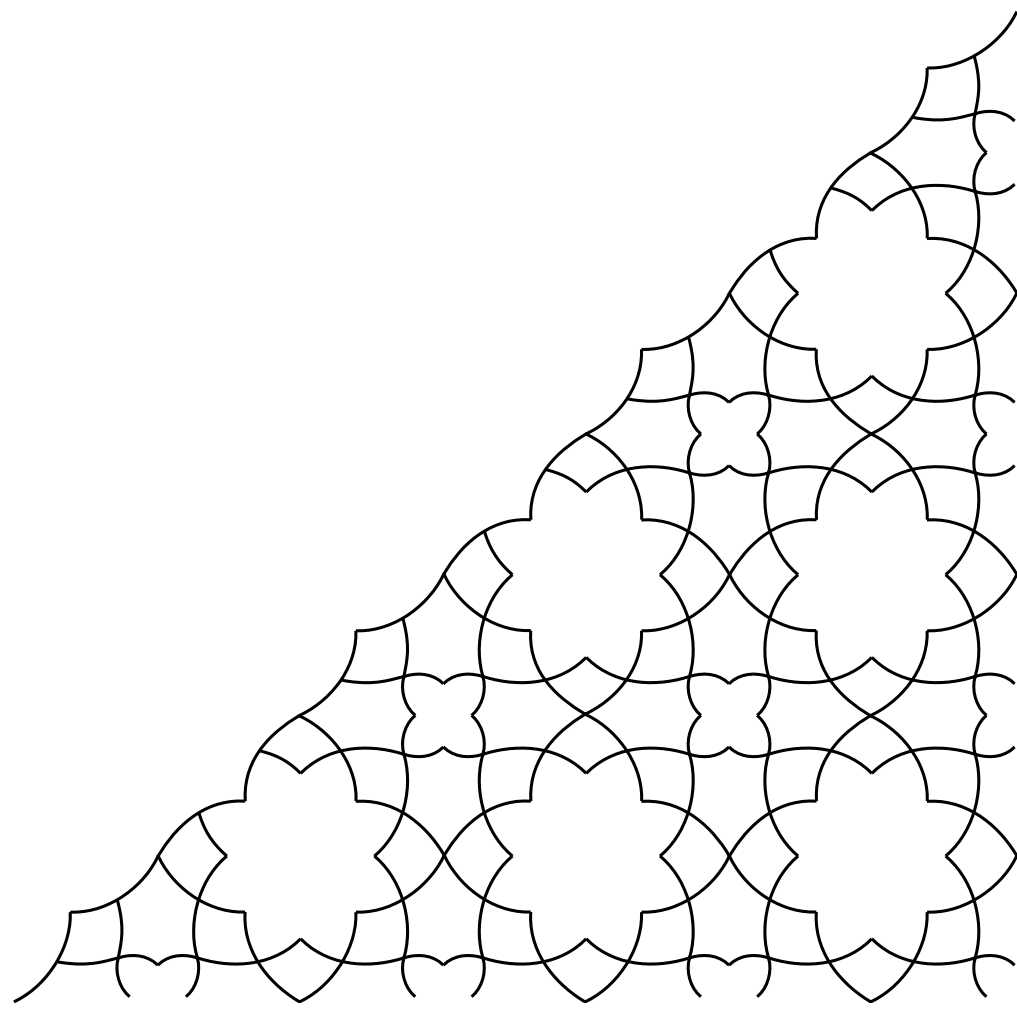
UDP	User Datagram Protocol	بروتوكول حزمة بيانات المستخدم
UML	Unified Modeling Language	لغة النمذجة الموحدة
USC-ISI	University of Southern California Information Sciences Institute	معهد تقانة المعلومات في جامعة كاليفورنيا الجنوبية
UT	Universal Time	التوقيت العالمي

V

VLSM	Variable Length Subnet Mask	أقنعة أفضية جزئية مختلفة الطول
VoIP	Voice over Internet Protocol	نقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت



المَرَاجِع



أَوَّلًا: الْأَعْمَالُ الْمُرَاجَعَةُ مِنَ الْأَقْرَانِ

مَرْتَبَةٌ وَفَقًّا لِوُرُودِهَا فِي الْكِتَابِ

- [ART01]** H. Zimmermann, "OSI Reference Model - The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection", IEEE Transactions on Communications, vol. 28, no. 4, pp. 425-432, 1980, DOI: 10.1109/TCOM.1980.1094702
- [ART02]** P. Linington, "Fundamentals of the layer service definitions and protocol specifications", Proceedings of the IEEE, vol. 71, no. 12, pp. 1341-1345, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12776
- [ART03]** P. Bartoli, "The application layer of the reference model of open systems interconnection", Proceedings of the IEEE, vol. 71, no. 12, pp. 1404-1407, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12787
- [ART04]** L. Hollis, "OSI presentation layer activities", Proceedings of the IEEE, vol. 71, no. 12, pp. 1401-1403, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12786
- [ART05]** W. Emmons and A. Chandler, "OSI session layer: Services and protocols", Proceedings of the IEEE, vol. 71, no. 12, pp. 1397-1400, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12785
- [ART06]** S. Iren, P. Amer and P. Conrad, "The transport layer: tutorial and survey", ACM Computing Surveys, vol. 31, No. 4, 1999, pp. 360-404, DOI: 10.1145/344588.344609
- [ART07]** C. Ware, "The OSI network layer: Standards to cope with the real world", Proceedings of the IEEE, vol. 71, no. 12, pp. 1384-1387, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12782
- [ART08]** J. Conard, "Services and protocols of the data link layer", Proceedings of the IEEE, vol. 71, no. 12, pp. 1378-1383, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12781
- [ART09]** F. McClelland, "Services and protocols of the physical layer", Proceedings of the IEEE, vol. 71, no. 12, pp. 1372-1377, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12780

- [ART10]** J. Saltzer, D. Reed and D. Clark, "1984. End-to-end arguments in system design", ACM Transactions on Computer Systems, vol. 2, no. 4, pp. 277–288, 1984, DOI: 10.1145/357401.357402
- [ART11]** P. Baran, "On Distributed Communications Networks", IEEE Transactions on Communications Systems, vol. 12, no. 1, pp. 1-9, 1964, DOI: 10.1109/TCOM.1964.1088883
- [ART12]** L. Roberts, "The evolution of packet switching", Proceedings of the IEEE, vol. 66, no. 11, pp. 1307-1313, 1978, DOI: 10.1109/PROC.1978.11141
- [ART13]** D. Clark, "The design philosophy of the DARPA internet protocols", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 18, no. 4, pp. 106–114, 1988, DOI: 10.1145/52325.52336
- [ART14]** V. Cerf, R. Khan, "A protocol for packet Network Intercommunication", IEEE Transactions on communications, vol. 22, no. 5, pp. 637–648, 1974, DOI: 10.1109/TCOM.1974.1092259
- [ART15]** L. Pouzin, "Presentation and major design aspects of the CYCLADES computer network". 3rd ACM symposium on Data communications and Data networks: Analysis and design, pp. 87–80, 1973, DOI: 10.1145/800280.811034
- [ART16]** J. Postel, "Internetwork Protocol Approaches", IEEE Transactions on Communications, vol. 28, no. 4, pp. 604-611, 1980, DOI: 10.1109/TCOM.1980.1094705
- [ART17]** J. Postel, C. Sunshine and D. Cohen, "The ARPA internet protocol", Computer Networks, vol. 5, no. 4, pp. 261–271, 1981, DOI: 10.1016/0376-5075(81)90003-9
- [ART18]** R. Callon, "Internetwork protocol", Proceedings of the IEEE, no. 71, vol. 12, pp. 1388–1393, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12783
- [ART19]** C. Kent and J. Mogul, "Fragmentation considered harmful", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 25, no. 1, pp. 75-87, 1995, DOI: 10.1145/205447.205456

-
- [ART20] T. Ptacek and T. Newsham, "Insertion, Evasion and Denial of Service: Eluding Network Intrusion Detection", Defense Technical Information Center, ADA391565, 1998
- [ART21] A. McKenzie, "INWG and the Conception of the Internet: An Eyewitness Account", IEEE Annals of the History of Computing, vol. 33, no. 1, pp. 66-71, 2011, DOI: 10.1109/MAHC.2011.9
- [ART22] R. White, "Working with IP Addresses", The Internet Protocol Journal, vol. 9, no. 1, pp. 24-34, 2006
- [ART23] S. Deering, "Multicast Routing in a Datagram Internetwork", Doctoral thesis at Stanford University of California, 1991, Accession Number: ADA325909.
- [ART24] R. Graham and P. Hell, "On the History of the Minimum Spanning Tree Problem", Annals of the History of Computing, vol. 7, no. 1, pp. 43-57, 1985, DOI: 10.1109/MAHC.1985.10011
- [ART25] Z. Qing, M. Parsa and J. Garcia-Luna-Aceves, "A source-based algorithm for delay-constrained minimum-cost multicasting", Proceedings of INFOCOM'95, vol. 1, pp. 377-385, 1995, DOI: 10.1109/INFCOM.1995.515898
- [ART26] C. Chiang, M. Gerla and L. Zhang, "Shared tree wireless network multicast", Proceedings of Sixth International Conference on Computer Communications and Networks, pp. 28-33, 1997, DOI: 10.1109/ICCCN.1997.623287
- [ART27] E. Dijkstra, "A note on two problems in connexion with graphs", Numerische Mathematik, vol.1, pp. 269–271, 1959, DOI: 10.1007/BF01386390
- [ART28] R. Bellman, "On a routing problem", Quarterly of applied mathematics, vol. 16, no. 1, pp. 87-90, 1958, DOI: 10.1090/qam/102435
- [ART29] R. Ford, "Network flow theory, RAND Corporation, 1956, p. 923
- [ART30] J. Kruskal, "On the shortest spanning subtree of a graph and the traveling salesman problem", Proceedings of the American Mathematical society vol. 7, no. 1, pp. 48-50, 1956, DOI: 10.2307/2033241

- [ART31]** R. Prim, "Shortest connection networks and some generalizations", in The Bell System Technical Journal, vol. 36, no. 6, pp. 1389-1401, 1957, DOI: 10.1002/j.1538-7305.1957.tb01515.x
- [ART32]** P. Pragyansmita and S. Raghavan, "Survey of multicast routing algorithms and protocols", Proceedings of the 15th international conference on Computer communication (ICCC '02), pp.902–926, 2002
- [ART33]** L. Junhai, Y. Danxia, X. Liu and F. Mingyu, "A survey of multicast routing protocols for mobile Ad-Hoc networks", in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 11, no. 1, pp. 78-91, First Quarter 2009, DOI: 10.1109/SURV.2009.090107.
- [ART34]** S. Deering, "Multicast routing in internetworks and extended LANs", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 18, no. 4, pp. 55–64, 1988, DOI: 10.1145/52325.52331
- [ART35]** S. Thyagarajan and S. Deering, "Hierarchical distance-vector multicast routing for the MBone", ACM SIGCOMM Computer Communication Review vol. 25, no. 4, pp. 60–66, 1995, DOI: 10.1145/217391.217411
- [ART36]** E. Royer and T. Chai-Keong, "A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks", IEEE Personal Communications, vol. 6, no. 2, pp. 46-55, 1999, DOI: 10.1109/98.760423
- [ART37]** L. Junhai, Y. Danxia, X. Liu and F. Mingyu, "A survey of multicast routing protocols for mobile Ad-Hoc networks", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 11, no. 1, pp. 78-91, First Quarter 2009, DOI: 10.1109/SURV.2009.090107
- [ART38]** Sung-Ju Lee, M. Gerla and Ching-Chuan Chiang, "On-demand multicast routing protocol", IEEE Wireless Communications and Networking Conference, vol. 3, pp. 1298-1302, 1999, DOI: 10.1109/WCNC.1999.796947
- [ART39]** J. Garcia-Luna-Aceves and E. Madruga, "The core-assisted mesh protocol", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 17, no. 8, pp. 1380-1394, 1999, DOI: 10.1109/49.779921

- [ART40]** L. Ji and M. S. Corson, "A lightweight adaptive multicast algorithm", IEEE GLOBECOM 1998, vol. 2, pp. 1036-1042, 1998, DOI: 10.1109/GLOCOM.1998.776885
- [ART41]** J. Leu, M. Tsai, T. Chiang and Y. Huang, "Adaptive power-aware clustering and multicasting protocol for mobile ad hoc networks", Proceedings of the Third international conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC'06), pp. 331–340, 2006, DOI: 10.1007/11833529_34
- [ART42]** L. Layuan and L. Chunlin, "A QoS multicast routing protocol for mobile ad-hoc networks", International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'05), vol. 2, pp. 609-614, 2005, DOI: 10.1109/ITCC.2005.28
- [ART43]** J. Wang, L. Sun, X. Jiang and Z. Wu, "IGMP snooping: a VLAN-based multicast protocol", 5th IEEE International Conference on High Speed Networks and Multimedia Communication, pp. 335-340, 2002, DOI: 10.1109/HSNMC.2002.1032603
- [ART44]** K. Dalal and R. Metcalfe, "Reverse path forwarding of broadcast packets", Communications of the ACM, vol. 21, no. 12, pp. 1040–1048, 1978, DOI: 10.1145/359657.359665
- [ART45]** T. Hain, "A Pragmatic Report on IPv4 Address Space Consumption", The Internet Protocol Journal, vol. 8, no. 3, pp. 2-19, 2005
- [ART46]** I. van Beijnum, "IPv4 Address Space: 2.46 Billion Down, 1.25 Billion to Go", The Internet Protocol Journal, vol. 10, no. 3, pp. 22-28, 2007
- [ART47]** A. Atlasis, "Attacking ipv6 implementation using fragmentation", Blackhat europe, 2012.
- [ART48]** R. Rivest, A. Shamir, L. Adlema, "IA method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems", Communications of the ACM, vol. 21, no. 2, pp. 120–126, 1978, DOI: 10.1145/359340.359342
- [ART49]** D. Estrin, J. Mogul and G. Tsudik, "Visa protocols for controlling interorganizational datagram flow," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 7, no. 4, pp. 486-498, 1989, DOI: 10.1109/49.17712

ثانياً: الكتب

باللغة العربية

- [BKA01] "معجم الحاسبات"، الطبعة الثالثة، القاهرة: مجمع اللغة العربية، 2003، ردمك: 977-01-8550-7.
- [BKA02] م. البعلبكي، ر. البعلبكي، "المورد الحديث"، بيروت: دار العلم للملايين، 2008.
- [BKA03] "المعجم العربي الأساسي"، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، 2003.
- [BKA04] ابن منظور، "لسان العرب"، دار المعارف، 1984، ردمك: 977-02-1105-2.
- [BKA05] ن. الحافظ، "مسرد مصطلحات المعلوماتية إنكليزي - عربي"، الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية، 2007.
- [BKA06] ع. شابسيغ، أ. الدكاك، ن. العوا، ه. ورقوزق، "معجم مصطلحات الهندسة الكهربائية والإلكترونية والاتصالات"، دمشق: مجمع اللغة العربية، 2016.
- [BKA07] م. بكني، "مذكرة في أصول تجزئة الشبكة"، 2019.
- [BKA08] م. الرازي، "مختار الصحاح"، بيروت: مكتبة لبنان، 1986.

باللغة الإنكليزية

- [BKE01] P. Dyson, "Dictionary of networking", San Francisco: Sybex, 1999. ISBN: 0-7821-2461-5
- [BKE02] K. Fall and W. Stevens, "TCP/IP Illustrated Volume 1", 2ed edition, Boston: Pearson Education, Inc., 2012. ISBN: 0-321-33631-3
- [BKE03] H.Thurston, "The number system", Mineola, N.Y: Dover Publications, 2007, ISBN: 0-486-45806-7
- [BKE04] W. Quine, "Mathematical logic", Cambridge, MA: Harvard University Press, 1981, ISBN: 0-674-55451-5
- [BKE05] Y. Wu and Chao, "Spanning trees and optimization problems", Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC, 2004, ISBN: 1-58488-436-3
- [BKE06] F. Hwang, D. Richards and P. Winter, "The Steiner tree problem", Amsterdam New York: North-Holland, 1992, ISBN: 0-444-89098-X

- [BKE07]** M. Bakni, "Multidimensional cross-level tool for Wireless Sensor Networks constrained by energy", Ph.D. Thesis, University of Bordeaux, 2021, HAL ID: tel-03213899

بِاللُّغَةِ الْفَرَنْسِيَّةِ

- [BKF01]** P. Rolin et D. Michalowicz, "Réseaux locaux : normes et protocoles", Paris Londres: Hermès, 1988, 4th edition, ISBN: 2-86601-132-5
- [BKF02]** J. Abdel-Nour et S. Idriss, "Al-Manhal: Dictionnaire Francais-Arabe", 7^{eme} Edition, Dār al-'Ilm lil-Malāyīn, 1983

ثَالِثًا: الْمَعَايِيرُ وَأَدَلَّةُ الْاسْتِعْمَالِ

- [STD01]** "ISO/IEC 7498-1:1994, Information technology -- Open Systems Interconnection -- Basic Reference Model: The Basic Model", International Organization for Standardization (ISO), 1994
- [STD02]** "IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks—Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," IEEE Std 802.11-2016 (Revision of IEEE Std 802.11-2012), pp. 1-3534, 2016, DOI: 10.1109/IEEESTD.2016.7786995
- [STD03]** "IEEE Standard for Ethernet", IEEE Std 802.3-2018 (Revision of IEEE Std 802.3-2015), pp. 1-5600, 2018, DOI: 10.1109/IEEESTD.2018.8457469
- [STD04]** "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture", IEEE Std 802-2014 (Revision to IEEE Std 802-2001), pp.1-74, 2014, DOI: 10.1109/IEEESTD.2014.6847097.
- [STD05]** "Catalyst 3750 Switch Software Configuration Guide", Cisco Systems, 2006, OL-8550-02
- [STD06]** "IP Multicast: PIM Configuration Guide, Cisco IOS Release 12.4T", Cisco Systems, 2012

- [STD07] D. Raffo, "Linux Quick Reference Guide", Self-published, 8th edition, 2020
- [STD08] J. Mueller, "Windows Command Line Administration: Instant Reference", Indianapolis: Wiley, 2010, ISBN: 978-0-470-65046-2
- [STD09] "American Standard Code for Information Interchange", American Standards Association, X3.4-1963, 1963
- [STD10] "Guidelines for Use of Extended Unique Identifier (EUI), Organizationally Unique Identifier (OUI) and Company ID (CID)", IEEE, 2017
- [STD11] Cisco Systems Corporate Iconography, Cisco Systems, url: https://web.archive.org/web/20191117113033/https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac50/ac47/PDF_icons.zip, last visited: 25-11-2019, archive url: https://web.archive.org/web/20191117113033/https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac50/ac47/PDF_icons.zip, archive date: 17-12-2019

رابعاً: ملاحظات تجارب الإنترنت

- [IEN02] J. Postel, "Comments on Internet Protocol and TCP", IEN 2, 1977
- [IEN26] V. Cerf, "A Proposed New Internet Protocol Header Format", ARPA, IEN 26, 1978
- [IEN46] V. Clark and D. Cohen "A Proposal for Addressing and Routing in the Internet", IEN 46, 1978
- [IEN48] V. Cerf, "The Catenet Model for Internetworking", Information Processing Techniques Office, Defense Advanced Research Projects Agency, IEN 48, 1978.

خامساً: وثائق طلب التعليقات

- [RFC675] V. Cerf, Y. Dalal and C. Sunshine, "Specification of Internet Transmission Control Program", RFC 675, 1974, DOI: 10.17487/RFC0675
- [RFC760] J. Postel, "DoD standard Internet Protocol", RFC 760, 1980, DOI: 10.17487/RFC0760

-
- [RFC768]** J. Postel, "User Datagram Protocol", STD 6, RFC 768, 1980, DOI: 10.17487/RFC0768
- [RFC777]** J. Postel, "Internet Control Message Protocol", RFC 777, 1981, DOI: 10.17487/RFC0777
- [RFC778]** D. Mills, "DCNET Internet Clock Service", RFC 778, 1981, DOI: 10.17487/RFC0778
- [RFC791]** J. Postel, "Internet Protocol", STD 5, RFC 791, 1981, DOI: 10.17487/RFC0791
- [RFC792]** J. Postel, "Internet Control Message Protocol", STD 5, RFC 792, 1981, DOI: 10.17487/RFC0792
- [RFC793]** J. Postel, "Transmission Control Protocol", STD 7, RFC 793, 1981, DOI: 10.17487/RFC0793
- [RFC801]** J. Postel, "NCP/TCP transition plan", RFC 801, 1981, DOI: 10.17487/RFC0801
- [RFC815]** D. Clark, "IP datagram reassembly algorithms", RFC 815, 1982, DOI: 10.17487/RFC0815
- [RFC826]** D. Plummer, "An Ethernet Address Resolution Protocol: Or Converting Network Protocol Addresses to 48.bit Ethernet Address for Transmission on Ethernet Hardware", STD 37, RFC 826, 1982, DOI: 10.17487/RFC0826
- [RFC903]** R. Finlayson, T. Mann, J. Mogul and M. Theimer, "A Reverse Address Resolution Protocol", STD 38, RFC 903, 1984, DOI: 10.17487/RFC0903
- [RFC917]** J. Mogul, "Internet subnets", RFC 917, 1984, DOI: 10.17487/RFC0917
- [RFC919]** J. Mogul, "Broadcasting Internet Datagrams", STD 5, RFC 919, 1984, DOI: 10.17487/RFC0919
- [RFC950]** J. Mogul and J. Postel, "Internet Standard Subnetting Procedure", STD 5, RFC 950, 1985, DOI: 10.17487/RFC0950
- [RFC959]** J. Postel and J. Reynolds, "File Transfer Protocol", STD 9, RFC 959, 1985, DOI: 10.17487/RFC0959
- [RFC1034]** P. Mockapetris, "Domain names - concepts and facilities", STD 13, RFC 1034, 1987, DOI: 10.17487/RFC1034

-
- [RFC1063]** J. Mogul, C. Kent, C. Partridge and K. McCloghrie, "IP MTU discovery options", RFC 1063, 1988, DOI: 10.17487/RFC1063
- [RFC1075]** D. Waitzman, C. Partridge and S. Deering, "Distance Vector Multicast Routing Protocol", RFC 1075, 1988, DOI: 10.17487/RFC1075
- [RFC1108]** S. Kent, "U.S. Department of Defense Security Options for the Internet Protocol", RFC 1108, 1991, DOI: 10.17487/RFC1108
- [RFC1112]** S. Deering, "Host extensions for IP multicasting", STD 5, RFC 1112, 1989, DOI: 10.17487/RFC1112
- [RFC1122]** R. Braden, "Requirements for Internet Hosts - Communication Layers", STD 3, RFC 1122, 1989, DOI: 10.17487/RFC1122
- [RFC1123]** R. Braden, "Requirements for Internet Hosts - Application and Support", STD 3, RFC 1123, 1989, DOI: 10.17487/RFC1123
- [RFC1136]** S. Hares and D. Katz, "Administrative Domains and Routing Domains: A model for routing in the Internet", RFC 1136, 1989, DOI: 10.17487/RFC1136
- [RFC1180]** T. Socolofsky and C. Kale, "TCP/IP tutorial", RFC 1180, 1991, DOI: 10.17487/RFC1180
- [RFC1256]** S. Deering, "ICMP Router Discovery Messages", RFC 1256, 1991, DOI: 10.17487/RFC1256
- [RFC1293]** T. Bradley and C. Brown, "Inverse Address Resolution Protocol", RFC 1293, 1992, DOI: 10.17487/RFC1293
- [RFC1338]** V. Fuller, T. Li, J. Yu and K. Varadhan, "Supernetting: an Address Assignment and Aggregation Strategy", RFC 1338, 1992, DOI: 10.17487/RFC1338
- [RFC1349]** P. Almquist, "Type of Service in the Internet Protocol Suite", RFC 1349, 1992, DOI: 10.17487/RFC1349
- [RFC1366]** E. Gerich, "Guidelines for Management of IP Address Space", RFC 1366, 1992, DOI: 10.17487/RFC1366
- [RFC1390]** D. Katz, "Transmission of IP and ARP over FDDI Networks", STD 36, RFC 1390, 1993, DOI: 10.17487/RFC1390

-
- [RFC1392]** G. Malkin and T. LaQuey Parker, "Internet Users' Glossary", RFC 1392, 1993, DOI: 10.17487/RFC1392
- [RFC1393]** G. Malkin, "Traceroute Using an IP Option", RFC 1393, 1993, DOI: 10.17487/RFC1393
- [RFC1469]** T. Pusateri, "IP Multicast over Token-Ring Local Area Networks", RFC 1469, 1993, DOI: 10.17487/RFC1469
- [RFC1475]** R. Ullmann, "TP/IX: The Next Internet", 1993, RFC 1475, DOI: 10.17487/RFC1475
- [RFC1517]** R. Hinden, "Applicability Statement for the Implementation of Classless Inter-Domain Routing (CIDR)", RFC 1517, 1993, DOI: 10.17487/RFC1517
- [RFC1518]** Y. Rekhter and T. Li, "An Architecture for IP Address Allocation with CIDR", RFC 1518, 1993, DOI: 10.17487/RFC1518
- [RFC1519]** V. Fuller, T. Li, J. Yu and K. Varadhan, "Classless Inter-Domain Routing (CIDR): an Address Assignment and Aggregation Strategy", RFC 1519, 1993, DOI: 10.17487/RFC1519
- [RFC1520]** Y. Rekhter and C. Topolcic, "Exchanging Routing Information Across Provider Boundaries in the CIDR Environment", RFC 1520, 1993, DOI: 10.17487/RFC1520
- [RFC1550]** S. Bradner and A. Mankin, "IP: Next Generation (IPng) White Paper Solicitation", RFC 1550, 1993, DOI: 10.17487/RFC1550
- [RFC1584]** J. Moy, "Multicast Extensions to OSPF", RFC 1584, 1994, DOI: 10.17487/RFC1584
- [RFC1594]** A. Marine, J. Reynolds and G. Malkin, "FYI on Questions and Answers - Answers to Commonly asked "New Internet User" Questions", RFC 1594, 1994, DOI: 10.17487/RFC1594
- [RFC1606]** J. Onions, "A Historical Perspective On The Usage Of IP Version 9", RFC 1606, 1994, DOI: 10.17487/RFC1606
- [RFC1631]** K. Egevang and P. Francis, "The IP Network Address Translator (NAT)", RFC 1631, 1994, DOI: 10.17487/RFC1631

- [RFC1661]** W. Simpson, "The Point-to-Point Protocol (PPP)", STD 51, RFC 1661, 1994, DOI: 10.17487/RFC1661
- [RFC1752]** S. Bradner and A. Mankin, "The Recommendation for the IP Next Generation Protocol", RFC 1752, 1995, DOI: 10.17487/RFC1752
- [RFC1770]** C. Graff, "IPv4 Option for Sender Directed Multi-Destination Delivery", RFC 1770, 1995, DOI: 10.17487/RFC1770
- [RFC1174]** V. Cerf, "IAB recommended policy on distributing internet identifier assignment and IAB recommended policy change to internet "connected" status", RFC 1174, 1990, DOI: 10.17487/RFC1174
- [RFC1788]** W. Simpson, "ICMP Domain Name Messages", RFC 1788, 1995, DOI: 10.17487/RFC1788
- [RFC1812]** F. Baker, "Requirements for IP Version 4 Routers", RFC 1812, 1995, DOI: 10.17487/RFC1812
- [RFC1817]** Y. Rekhter, "CIDR and Classful Routing", RFC 1817, 1995, DOI: 10.17487/RFC1817
- [RFC1819]** L. Delgrossi and L. Berger, "Internet Stream Protocol Version 2 (ST2) Protocol Specification - Version ST2+", RFC 1819, 1995, DOI: 10.17487/RFC1819
- [RFC1878]** T. Pummill and B. Manning, "Variable Length Subnet Table For IPv4", RFC 1878, 1995, DOI: 10.17487/RFC1878
- [RFC1883]** S. Deering and R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", RFC 1883, 1995, DOI: 10.17487/RFC1883
- [RFC1884]** R. Hinden and S. Deering, "IP Version 6 Addressing Architecture", RFC 1884, 1995, DOI: 10.17487/RFC1884
- [RFC1885]** A. Conta and S. Deering, "Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6)", RFC 1885, 1995, DOI: 10.17487/RFC1885
- [RFC1918]** Y. Rekhter, B. Moskowitz, D. Karrenberg, G. de Groot and E. Lear, "Address Allocation for Private Internets", BCP 5, RFC 1918, 1996, DOI: 10.17487/RFC1918

-
- [RFC1930]** J. Hawkinson and T. Bates, "Guidelines for creation, selection and registration of an Autonomous System (AS)", BCP 6, RFC 1930, 1996, DOI: 10.17487/RFC1930
- [RFC1923]** J. Halpern and S. Bradner, "RIPv1 Applicability Statement for Historic Status", RFC 1923, 1996, DOI: 10.17487/RFC1923
- [RFC1970]** T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", RFC 1970, 1996, DOI: 10.17487/RFC1970
- [RFC1971]** S. Thomson and T. Narten, "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration", RFC 1971, 1996, DOI: 10.17487/RFC1971
- [RFC1981]** J. McCann, S. Deering and J. Mogul, "Path MTU Discovery for IP version 6", RFC 1981, 1996, DOI: 10.17487/RFC1981
- [RFC2113]** D. Katz, "IP Router Alert Option", RFC 2113, 1997, DOI: 10.17487/RFC2113
- [RFC2131]** R. Droms, "Dynamic Host Configuration Protocol", RFC 2131, 1997, DOI: 10.17487/RFC2131
- [RFC2189]** A. Ballardie, "Core Based Trees (CBT version 2) Multicast Routing -- Protocol Specification --", RFC 2189, 1997, DOI: 10.17487/RFC2189
- [RFC2236]** W. Fenner, "Internet Group Management Protocol, Version 2", RFC 2236, 1997, DOI: 10.17487/RFC2236
- [RFC2328]** J. Moy, "OSPF Version 2", STD 54, RFC 2328, 1998, DOI: 10.17487/RFC2328
- [RFC2362]** D. Estrin, D. Farinacci, A. Helmy, D. Thaler, S. Deering, M. Handley, V. Jacobson, C. Liu, P. Sharma and L. Wei, "Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification", RFC 2362, 1998, DOI: 10.17487/RFC2362
- [RFC2390]** T. Bradley, C. Brown and A. Malis, "Inverse Address Resolution Protocol", RFC 2390, 1998, DOI: 10.17487/RFC2390
- [RFC2401]** S. Kent and R. Atkinson, "Security Architecture for the Internet Protocol", RFC 2401, 1998, DOI: 10.17487/RFC2401
- [RFC2402]** S. Kent and R. Atkinson, "IP Authentication Header", RFC 2402, 1998, DOI: 10.17487/RFC2402

- [RFC2406]** S. Kent and R. Atkinson, "IP Encapsulating Security Payload (ESP)", RFC 2406, 1998, DOI: 10.17487/RFC2406
- [RFC2408]** D. Maughan, M. Schertler, M. Schneider and J. Turner, "Internet Security Association and Key Management Protocol (ISAKMP)", RFC 2408, 1998, DOI: 10.17487/RFC2408
- [RFC2409]** D. Harkins and D. Carrel, "The Internet Key Exchange (IKE)", RFC 2409, 1998, DOI: 10.17487/RFC2409
- [RFC2453]** G. Malkin, "RIP Version 2", STD 56, RFC 2453, 1998, DOI: 10.17487/RFC2453
- [RFC2460]** S. Deering and R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", RFC 2460, 1998, DOI: 10.17487/RFC2460
- [RFC2461]** T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", RFC 2461, 1998, DOI: 10.17487/RFC2461
- [RFC2462]** S. Thomson and T. Narten, "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration", RFC 2462, 1998, DOI: 10.17487/RFC2462
- [RFC2463]** A. Conta and S. Deering, "Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification", RFC 2463, 1998, DOI: 10.17487/RFC2463
- [RFC2464]** M. Crawford, "Transmission of IPv6 Packets over Ethernet Networks", RFC 2464, 1998, DOI: 10.17487/RFC2464
- [RFC2474]** K. Nichols, S. Blake, F. Baker and D. Black, "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers", RFC 2474, 1998, DOI: 10.17487/RFC2474
- [RFC2475]** S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang and W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services", RFC 2475, 1998, DOI: 10.17487/RFC2475
- [RFC2481]** K. Ramakrishnan and S. Floyd, "A Proposal to add Explicit Congestion Notification (ECN) to IP", RFC 2481, 1999, DOI: 10.17487/RFC2481

-
- [RFC2544]** S. Bradner and J. McQuaid, "Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices", RFC 2544, 1999, DOI: 10.17487/RFC2544
- [RFC2597]** J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss and J. Wroclawski, "Assured Forwarding PHB Group", RFC 2597, 1999, DOI: 10.17487/RFC2597
- [RFC2644]** D. Senie, "Changing the Default for Directed Broadcasts in Routers", BCP 34, RFC 2644, 1999, DOI: 10.17487/RFC2644
- [RFC2661]** W. Townsley, A. Valencia, A. Rubens, G. Pall, G. Zorn and B. Palter, "Layer Two Tunneling Protocol "L2TP"", RFC 2661, 1999, DOI: 10.17487/RFC2661
- [RFC2663]** P. Srisuresh and M. Holdrege, "IP Network Address Translator (NAT) Terminology and Considerations", RFC 2663, 1999, DOI: 10.17487/RFC2663
- [RFC2675]** D. Borman, S. Deering and R. Hinden, "IPv6 Jumbograms", RFC 2675, 1999, DOI: 10.17487/RFC2675
- [RFC2710]** S. Deering, W. Fenner and B. Haberman, "Multicast Listener Discovery (MLD) for IPv6", RFC 2710, 1999, DOI: 10.17487/RFC2710
- [RFC2715]** D. Thaler, "Interoperability Rules for Multicast Routing Protocols", RFC 2715, 1999, DOI: 10.17487/RFC2715
- [RFC2780]** S. Bradner and V. Paxson, "IANA Allocation Guidelines For Values In the Internet Protocol and Related Headers", BCP 37, RFC 2780, 2000, DOI: 10.17487/RFC2780
- [RFC2894]** M. Crawford, "Router Renumbering for IPv6", RFC 2894, 2000, DOI: 10.17487/RFC2894
- [RFC2928]** R. Hinden, S. Deering, R. Fink and T. Hain, "Initial IPv6 Sub-TLA ID Assignments", RFC 2928, 2000, DOI: 10.17487/RFC2928
- [RFC2974]** M. Handley, C. Perkins and E. Whelan, "Session Announcement Protocol", RFC 2974, 2000, DOI: 10.17487/RFC2974
- [RFC3021]** A. Retana, R. White, V. Fuller and D. McPherson, "Using 31-Bit Prefixes on IPv4 Point-to-Point Links", RFC 3021, 2000, DOI: 10.17487/RFC3021

- [RFC3022]** P. Srisuresh and K. Egevang, "Traditional IP Network Address Translator (Traditional NAT)", RFC 3022, 2001, DOI: 10.17487/RFC3022
- [RFC3056]** B. Carpenter and K. Moore, "Connection of IPv6 Domains via IPv4 Clouds", RFC 3056, 2001, DOI: 10.17487/RFC3056
- [RFC3068]** C. Huitema, "An Anycast Prefix for 6to4 Relay Routers", RFC 3068, 2001, DOI: 10.17487/RFC3068
- [RFC3122]** A. Conta, "Extensions to IPv6 Neighbor Discovery for Inverse Discovery Specification", 2001, RFC 3122, DOI: 10.17487/RFC3122
- [RFC3128]** I. Miller, "Protection Against a Variant of the Tiny Fragment Attack (RFC 1858)", RFC 3128, 2001, DOI: 10.17487/RFC3128
- [RFC3168]** K. Ramakrishnan, S. Floyd and D. Black, "The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN) to IP", RFC 3168, 2001, DOI: 10.17487/RFC3168
- [RFC3180]** D. Meyer and P. Lothberg, "GLOP Addressing in 233/8", BCP 53, RFC 3180, 2001, DOI: 10.17487/RFC3180
- [RFC3246]** B. Davie, A. Charny, J. Bennet, K. Benson, J. Le Boudec, W. Courtney, S. Davari, V. Firoiu and D. Stiliadis, "An Expedited Forwarding PHB (Per-Hop Behavior)", RFC 3246, 2002, DOI: 10.17487/RFC3246
- [RFC3306]** B. Haberman and D. Thaler, "Unicast-Prefix-based IPv6 Multicast Addresses", RFC 3306, 2002, DOI: 10.17487/RFC3306
- [RFC3376]** B. Cain, S. Deering, I. Kouvelas, B. Fenner and A. Thyagarajan, "Internet Group Management Protocol, Version 3", RFC 3376, 2002, DOI: 10.17487/RFC3376
- [RFC3448]** I. Wu and T. Eckert, "Cisco Systems Router-port Group Management Protocol (RGMP)", RFC 3488, 2003, DOI: 10.17487/RFC3488
- [RFC3618]** B. Fenner and D. Meyer, "Multicast Source Discovery Protocol (MSDP)", RFC 3618, 2003, DOI: 10.17487/RFC3618
- [RFC3710]** H. Alvestrand, "An IESG charter", RFC 3710, 2004, DOI: 10.17487/RFC3710

-
- [RFC3724]** J. Kempf and R. Austein and "The Rise of the Middle and the Future of End-to-End: Reflections on the Evolution of the Internet Architecture", RFC 3724, 2004, DOI: 10.17487/RFC3724
- [RFC3756]** P. Nikander, J. Kempf and E. Nordmark, "IPv6 Neighbor Discovery (ND) Trust Models and Threats", RFC 3756, 2004, DOI: 10.17487/RFC3756
- [RFC3775]** D. Johnson, C. Perkins and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", RFC 3775, 2004, DOI: 10.17487/RFC3775
- [RFC3789]** P. Nesser and A. Bergstrom, "Introduction to the Survey of IPv4 Addresses in Currently Deployed IETF Standards Track and Experimental Documents", RFC 3789, 2004, DOI: 10.17487/RFC3789
- [RFC3810]** R. Vida and L. Costa, "Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6", RFC 3810, 2004, DOI: 10.17487/RFC3810
- [RFC3849]** G. Huston, A. Lord and P. Smith, "IPv6 Address Prefix Reserved for Documentation", RFC 3849, 2004, DOI: 10.17487/RFC3849
- [RFC3879]** C. Huitema and B. Carpenter, "Deprecating Site Local Addresses", RFC 3879, 2004, DOI: 10.17487/RFC3879
- [RFC3927]** S. Cheshire, B. Aboba and E. Guttman, "Dynamic Configuration of IPv4 Link-Local Addresses", RFC 3927, 2005, DOI: 10.17487/RFC3927
- [RFC3971]** J. Arkko, J. Kempf, B. Zill and P. Nikander, "SEcure Neighbor Discovery (SEND)", RFC 3971, 2005, DOI: 10.17487/RFC3971
- [RFC3973]** A. Adams, J. Nicholas and W. Siadak, "Protocol Independent Multicast - Dense Mode (PIM-DM): Protocol Specification (Revised)", RFC 3973, 2005, DOI: 10.17487/RFC3973
- [RFC4116]** J. Abley, K. Lindqvist, E. Davies, B. Black and V. Gill, "IPv4 Multihoming Practices and Limitations", RFC 4116, 2005, DOI: 10.17487/RFC4116
- [RFC4193]** R. Hinden and B. Haberman, "Unique Local IPv6 Unicast Addresses", RFC 4193, 2005, DOI: 10.17487/RFC4193

- [RFC4271]** Y. Rekhter, T. Li and S. Hares, "A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)", RFC 4271, 2006, DOI: 10.17487/RFC4271
- [RFC4291]** R. Hinden and S. Deering, "IP Version 6 Addressing Architecture", RFC 4291, 2006, DOI: 10.17487/RFC4291
- [RFC4302]** S. Kent, "IP Authentication Header", RFC 4302, 2005, DOI: 10.17487/RFC4302
- [RFC4303]** S. Kent, "IP Encapsulating Security Payload (ESP)", RFC 4303, 2005, DOI: 10.17487/RFC4303
- [RFC4340]** E. Kohler, M. Handley and S. Floyd, "Datagram Congestion Control Protocol (DCCP)", RFC 4340, 2006, DOI: 10.17487/RFC4340
- [RFC4380]** C. Huitema, "Teredo: Tunneling IPv6 over UDP through Network Address Translations (NATs)", RFC 4380, 2006, DOI: 10.17487/RFC4380
- [RFC4443]** A. Conta, S. Deering and M. Gupta, "Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification", STD 89, RFC 4443, 2006, DOI: 10.17487/RFC4443
- [RFC4541]** M. Christensen, K. Kimball and F. Solensky, "Considerations for Internet Group Management Protocol (IGMP) and Multicast Listener Discovery (MLD) Snooping Switches", RFC 4541, 2006, DOI: 10.17487/RFC4541
- [RFC4594]** J. Babiarz, K. Chan and F. Baker, "Configuration Guidelines for DiffServ Service Classes", RFC 4594, 2006, DOI: 10.17487/RFC4594
- [RFC4607]** H. Holbrook and B. Cain, "Source-Specific Multicast for IP", RFC 4607, 2006, DOI: 10.17487/RFC4607
- [RFC4620]** M. Crawford and B. Haberman, "IPv6 Node Information Queries", RFC 4620, 2006, DOI: 10.17487/RFC4620
- [RFC4632]** V. Fuller and T. Li, "Classless Inter-domain Routing (CIDR): The Internet Address Assignment and Aggregation Plan", BCP 122, RFC 4632, 2006, DOI: 10.17487/RFC4632
- [RFC4727]** B. Fenner, "Experimental Values In IPv4, IPv6, ICMPv4, ICMPv6, UDP and TCP Headers", RFC 4727, 2006, DOI: 10.17487/RFC4727

-
- [RFC4760]** T. Bates, R. Chandra, D. Katz and Y. Rekhter, "Multiprotocol Extensions for BGP-4", RFC 4760, 2007, DOI: 10.17487/RFC4760
- [RFC4782]** S. Floyd, M. Allman, A. Jain and P. Sarolahti, "Quick-Start for TCP and IP", RFC 4782, 2007, DOI: 10.17487/RFC4782
- [RFC4787]** F. Audet and C. Jennings, "Network Address Translation (NAT) Behavioral Requirements for Unicast UDP", BCP 127, RFC 4787, 2007, DOI: 10.17487/RFC4787
- [RFC4843]** P. Nikander, J. Laganier and F. Dupont, "An IPv6 Prefix for Overlay Routable Cryptographic Hash Identifiers (ORCHID)", RFC 4843, 2007, DOI: 10.17487/RFC4843
- [RFC4861]** T. Narten, E. Nordmark, W. Simpson and H. Soliman, "Neighbor Discovery for IP version 6 (IPv6)", RFC 4861, 2007, DOI: 10.17487/RFC4861
- [RFC4862]** S. Thomson, T. Narten and T. Jinmei, "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration", RFC 4862, 2007, DOI: 10.17487/RFC4862
- [RFC4924]** B. Aboba and E. Davies, "Reflections on Internet Transparency", RFC 4924, 2007, DOI: 10.17487/RFC4924
- [RFC4960]** R. Stewart, "Stream Control Transmission Protocol", RFC 4960, 2007, DOI: 10.17487/RFC4960
- [RFC5015]** M. Handley, I. Kouvelas, T. Speakman and L. Vicisano, "Bidirectional Protocol Independent Multicast (BIDIR-PIM)", RFC 5015, 2007, DOI: 10.17487/RFC5015
- [RFC5095]** J. Abley, P. Savola and G. Neville-Neil, "Deprecation of Type 0 Routing Headers in IPv6", RFC 5095, 2007, DOI: 10.17487/RFC5095
- [RFC5110]** P. Savola, "Overview of the Internet Multicast Routing Architecture", RFC 5110, 2008, DOI: 10.17487/RFC5110
- [RFC5180]** C. Popoviciu, A. Hamza, G. Van de Velde and D. Dugatkin, "IPv6 Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices", RFC 5180, 2008, DOI: 10.17487/RFC5180

- [RFC5321] J. Klensin, "Simple Mail Transfer Protocol", RFC 5321, 2008, DOI: 10.17487/RFC5321
- [RFC5342] D. Eastlake, "IANA Considerations and IETF Protocol Usage for IEEE 802 Parameters", RFC 5342, 2008, DOI: 10.17487/RFC5342
- [RFC5382] S. Guha, K. Biswas, B. Ford, S. Sivakumar and P. Srisuresh, "NAT Behavioral Requirements for TCP", BCP 142, RFC 5382, 2008, DOI: 10.17487/RFC5382
- [RFC5389] J. Rosenberg, R. Mahy, P. Matthews and D. Wing, "Session Traversal Utilities for NAT (STUN)", RFC 5389, 2008, DOI: 10.17487/RFC5389
- [RFC5508] P. Srisuresh, B. Ford, S. Sivakumar and S. Guha, "NAT Behavioral Requirements for ICMP", BCP 148, RFC 5508, 2009, DOI: 10.17487/RFC5508
- [RFC5597] R. Denis-Courmont, "Network Address Translation (NAT) Behavioral Requirements for the Datagram Congestion Control Protocol", BCP 150, RFC 5597, 2009, DOI: 10.17487/RFC5597
- [RFC5722] S. Krishnan, "Handling of Overlapping IPv6 Fragments", RFC 5722, 2009, DOI: 10.17487/RFC5722
- [RFC5737] J. Arkko, M. Cotton and L. Vegoda, "IPv4 Address Blocks Reserved for Documentation", RFC 5737, 2010, DOI: 10.17487/RFC5737
- [RFC5766] R. Mahy, P. Matthews and J. Rosenberg, "Traversal Using Relays around NAT (TURN): Relay Extensions to Session Traversal Utilities for NAT (STUN)", RFC 5766, 2010, DOI: 10.17487/RFC5766
- [RFC5771] M. Cotton, L. Vegoda and D. Meyer, "IANA Guidelines for IPv4 Multicast Address Assignments", BCP 51, RFC 5771, 2010, DOI: 10.17487/RFC5771
- [RFC5902] D. Thaler, L. Zhang and G. Lebovitz, "IAB Thoughts on IPv6 Network Address Translation", RFC 5902, 2010, DOI: 10.17487/RFC5902
- [RFC5927] F. Gont, "ICMP Attacks against TCP", RFC 5927, 2010, DOI: 10.17487/RFC5927
- [RFC5952] S. Kawamura and M. Kawashima, "A Recommendation for IPv6 Address Text Representation", RFC 5952, 2010, DOI: 10.17487/RFC5952

-
- [RFC6037]** E. Rosen, Y. Cai and IJ. Wijnands, "Cisco Systems' Solution for Multicast in BGP/MPLS IP VPNs", RFC 6037, 2010, DOI: 10.17487/RFC6037
 - [RFC6052]** C. Bao, C. Huitema, M. Bagnulo, M. Boucadair and X. Li, "IPv6 Addressing of IPv4/IPv6 Translators", RFC 6052, 2010, DOI: 10.17487/RFC6052
 - [RFC6274]** F. Gont, "Security Assessment of the Internet Protocol Version 4", RFC 6274, 2011, DOI: 10.17487/RFC6274
 - [RFC6275]** C. Perkins, D. Johnson and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", RFC 6275, 2011, DOI: 10.17487/RFC6275
 - [RFC6296]** M. Wasserman and F. Baker, "IPv6-to-IPv6 Network Prefix Translation", RFC 6296, 2011, DOI: 10.17487/RFC6296
 - [RFC6308]** P. Savola, "RFC 6308, Overview of the Internet Multicast Addressing Architecture", RFC 6308, 2011, DOI: 10.17487/RFC6308.
 - [RFC6333]** A. Durand, R. Droms, J. Woodyatt and Y. Lee, "Dual-Stack Lite Broadband Deployments Following IPv4 Exhaustion", RFC 6333, 2011, DOI: 10.17487/RFC6333
 - [RFC6437]** S. Amante, B. Carpenter, S. Jiang and J. Rajahalme, "IPv6 Flow Label Specification", RFC 6437, 2011, DOI: 10.17487/RFC6437
 - [RFC6494]** R. Gagliano, S. Krishnan and A. Kukec, "Certificate Profile and Certificate Management for SEcure Neighbor Discovery (SEND)", RFC 6494, 2012, DOI: 10.17487/RFC6494
 - [RFC6495]** R. Gagliano, S. Krishnan and A. Kukec, "Subject Key Identifier (SKI) SEcure Neighbor Discovery (SEND) Name Type Fields", RFC 6495, 2012, DOI: 10.17487/RFC6495
 - [RFC6550]** T. Winter, P. Thubert, A. Brandt, J. Hui, R. Kelsey, P. Levis, K. Pister, R. Struik, J. Vasseur and R. Alexander, "RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks", RFC 6550, 2012, DOI: 10.17487/RFC6550
 - [RFC6551]** J. Vasseur, M. Kim, K. Pister, N. Dejean and D. Barthel, "Routing Metrics Used for Path Calculation in Low-Power and Lossy Networks", RFC 6551, 2012, DOI: 10.17487/RFC6551

-
- [RFC6598]** J. Weil, V. Kuarsingh, C. Donley, C. Liljenstolpe and M. Azinger, "IANA-Reserved IPv4 Prefix for Shared Address Space", BCP 153, RFC 6598, 2012, DOI: 10.17487/RFC6598
- [RFC6633]** F. Gont, "Deprecation of ICMP Source Quench Messages", RFC 6633, 2012, DOI: 10.17487/RFC6633
- [RFC6666]** N. Hilliard and D. Freedman, "A Discard Prefix for IPv6", RFC 6666, 2012, DOI: 10.17487/RFC6666
- [RFC6814]** C. Pignataro and F. Gont, "Formally Deprecating Some IPv4 Options", RFC 6814, 2012, DOI: 10.17487/RFC6814
- [RFC6864]** J. Touch, "Updated Specification of the IPv4 ID Field", RFC 6864, 2013, DOI: 10.17487/RFC6864
- [RFC6890]** M. Cotton, L. Vegoda, R. Bonica and B. Haberman, "Special-Purpose IP Address Registries", BCP 153, RFC 2013, 2013, DOI: 10.17487/RFC6890
- [RFC6918]** F. Gont and C. Pignataro, "Formally Deprecating Some ICMPv4 Message Types", RFC 6918, 2013, DOI: 10.17487/RFC6918
- [RFC6946]** F. Gont, "Processing of IPv6 "Atomic" Fragments", RFC 6946, 2013, DOI: 10.17487/RFC6946
- [RFC7020]** R. Housley, J. Curran, G. Huston and D. Conrad, "The Internet Numbers Registry System", RFC 7020, 2013, DOI: 10.17487/RFC7020
- [RFC7112]** F. Gont, V. Manral and R. Bonica, "Implications of Oversized IPv6 Header Chains", RFC 7112, 2014, DOI: 10.17487/RFC7112
- [RFC7217]** F. Gont, "A Method for Generating Semantically Opaque Interface Identifiers with IPv6 Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC)", RFC 7217, 2014, DOI: 10.17487/RFC7217
- [RFC7343]** J. Laganier and F. Dupont, "An IPv6 Prefix for Overlay Routable Cryptographic Hash Identifiers Version 2 (ORCHIDv2)", RFC 7343, 2014, DOI: 10.17487/RFC7343

-
- [RFC7346]** R. Droms, "IPv6 Multicast Address Scopes", RFC 7346, 2014, DOI: 10.17487/RFC7346
- [RFC7371]** M. Boucadair and S. Venaas, "Updates to the IPv6 Multicast Addressing Architecture", RFC 7371, 2014, DOI: 10.17487/RFC7371
- [RFC7401]** R. Moskowitz, T. Heer, P. Jokela and T. Henderson, "Host Identity Protocol Version 2 (HIPv2)", RFC 7401, 2015, DOI: 10.17487/RFC7401
- [RFC7450]** G. Bumgardner, "Automatic Multicast Tunneling", RFC 7450, 2015, DOI: 10.17487/RFC7450
- [RFC7529]** C. Daboo and G. Yakushev, "Non-Gregorian Recurrence Rules in the Internet Calendaring and Scheduling Core Object Specification (iCalendar)", RFC 7529, 2015, DOI: 10.17487/RFC7529
- [RFC7535]** J. Abley, B. Dickson, W. Kumari and G. Michaelson, "AS112 Redirection Using DNAME", RFC 7535, 2015, DOI: 10.17487/RFC7535
- [RFC7723]** S. Kiesel and R. Penno, "Port Control Protocol (PCP) Anycast Addresses", RFC 7723, 2016, DOI: 10.17487/RFC7723
- [RFC7739]** F. Gont, "Security Implications of Predictable Fragment Identification Values", RFC 7739, 2016, DOI: 10.17487/RFC7739
- [RFC7761]** B. Fenner, M. Handley, H. Holbrook, I. Kouvelas, R. Parekh, Z. Zhang and L. Zheng, "Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification (Revised)", STD 83, RFC 7761, 2016, DOI: 10.17487/RFC7761
- [RFC7868]** D. Savage, J. Ng, S. Moore, D. Slice, P. Paluch and R. White, "Cisco's Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP)", RFC 7868, 2016, DOI: 10.17487/RFC7868
- [RFC8085]** L. Eggert, G. Fairhurst and G. Shepherd, "UDP Usage Guidelines", BCP 145, RFC 8085, 2017, DOI: 10.17487/RFC8085
- [RFC8155]** P. Patil, T. Reddy and D. Wing, "Traversal Using Relays around NAT (TURN) Server Auto Discovery", RFC 8155, 2017, DOI: 10.17487/RFC8155

- [RFC8200]** S. Deering and R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", STD 86, RFC 8200, 2017, DOI: 10.17487/RFC8200
- [RFC8201]** J. McCann, S. Deering, J. Mogul and R. Hinden, "Path MTU Discovery for IP version 6", STD 87, RFC 8201, 2017, DOI: 10.17487/RFC8201
- [RFC8335]** R. Bonica, R. Thomas, J. Linkova, C. Lenart and M. Boucadair, "PROBE: A Utility for Probing Interfaces", RFC 8335, 2018, DOI: 10.17487/RFC8335
- [RFC8550]** J. Schaad, B. Ramsdell and S. Turner, "Secure/Multipurpose Internet Mail Extensions (S/MIME) Version 4.0 Certificate Handling", RFC 8550, 2019, DOI: 10.17487/RFC8550
- [RFC8754]** C. Filsfils, D. Dukes, S. Previdi, J. Leddy, S. Matsushima and D. Voyer, "IPv6 Segment Routing Header (SRH)", RFC 8754, 2020, DOI: 10.17487/RFC8754
- [RFC8883]** T. Herbert, "ICMPv6 Errors for Discarding Packets Due to Processing Limits", RFC 8883, 2020, DOI: 10.17487/RFC8883

سادساً: مواقع الويب

- [WEB01]** "Version Numbers", IANA, URL: <https://www.iana.org/assignments/version-numbers/version-numbers.xhtml>, last visited: 20-01-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20190118144623/https://www.iana.org/assignments/version-numbers/version-numbers.xhtml>, archive date: 18-01-2019.
- [WEB02]** "Internet Protocol Version 4 (IPv4) Parameters", IANA, URL: <https://www.iana.org/assignments/ip-parameters/ip-parameters.xhtml>, last visited: 12-02-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20191124154910/https://www.iana.org/assignments/ip-parameters/ip-parameters.xhtml>, archive date: 24-11-2019
- [WEB03]** "IPv4 Multicast Address Space Registry", IANA, URL: <https://www.iana.org/assignments/multicast-addresses/multicast-addresses.xhtml>, last visited: 01-03-2021, archive URL:

- <https://web.archive.org/web/20210211072506/https://www.iana.org/assignments/multicast-addresses/multicast-addresses.xhtml>, archive date: 11-02-2021
- [WEB04]** G. Huston, "Evaluating IPv4 and IPv6 Packet Fragmentation", RIPE NCC, 19-01-2016, URL: <https://labs.ripe.net/Members/gih/evaluating-ipv4-and-ipv6-packet-fragmentation>, last visited: 08-03-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20180425142248/https://labs.ripe.net/Members/gih/evaluating-ipv4-and-ipv6-packet-fragmentation>, archive date: 25-04-2018
- [WEB05]** "Protocol Numbers", IANA, URL: <https://www.iana.org/assignments/protocol-numbers/protocol-numbers.xhtml>, last visited: 08-03-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20210121015420/https://www.iana.org/assignments/protocol-numbers/protocol-numbers.xhtml>, archive date: 21-01-2021
- [WEB06]** "Available Pool of Unallocated IPv4 Internet Addresses Now Completely Emptied", ICANN, 03-02-2011, URL: <https://www.icann.org/en/system/files/press-materials/release-03feb11-en.pdf>, last visited: 09-03-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20190920183506/https://www.icann.org/en/system/files/press-materials/release-03feb11-en.pdf>, archive date: 20-09-2018
- [WEB07]** "AAS4637 BGP Routing Table Analysis Report", bgp.potaroo, 07-06-2007, URL: <http://bgp.potaroo.net/as4637/>, last visited: 06-04-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20180529103429/http://bgp.potaroo.net/as4637/>, archive date: 29-05-2018
- [WEB08]** D. Farinacci and A. Tweedly "Cisco Group Management Protocol (CGMP)", ipsyn.net, 14-08-1996, URL: <http://ftp.ipsyn.net/pub/mirrors/cisco/ftpeng.cisco.com/ipmulticast/specs/cgmp.txt>, last visited: 29-11-2014, archive URL: <https://web.archive.org/web/20141129171936/http://ftp.ipsyn.net/pub/mirrors/cisco/ftpeng.cisco.com/ipmulticast/specs/cgmp.txt>, archive date: 29-11-2014

- [WEB09]** D. Estrin and D. Farinacci, "Bi-Directional Shared Trees in PIM-SM", Network Working Group, ietf.org, 17-05-1999, URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-farinacci-bidir-pim>, last visited: 11-05-2021, archive URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-farinacci-bidir-pim>, archive date: 06-01-2019
- [WEB10]** A. Ballardie, B. Cain and Z. Zhang "Core Based Trees (CBT version 3) Multicast Routing -- Protocol Specification --", IETF, 1998, URL: <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-idmr-cbt-spec-v3-01>, last visited: 04-05-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20181227035628/https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-idmr-cbt-spec-v3-01>, archive date: 27-12-2018
- [WEB11]** "Service Name and Transport Protocol Port Number Registry", IANA, URL: <https://www.iana.org/assignments/service-names-port-numbers/service-names-port-numbers.txt>, last visited: 04-05-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20210502115133/https://www.iana.org/assignments/service-names-port-numbers/service-names-port-numbers.txt>, archive date: 02-05-2021
- [WEB12]** "The Research Interests of MIKE MUUSS", Army Research Laboratory (ARL), URL: <https://ftp.arl.army.mil/~mike/>, last visited: 19-06-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20210114215035/https://ftp.arl.army.mil/~mike/>, archive date: 14-01-2021
- [WEB13]** "Internet Control Message Protocol (ICMP) Parameters", IANA, URL: <http://www.iana.org/assignments/icmp-parameters/icmp-parameters.xhtml>, last visited: 21-06-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20200326080414/http://www.iana.org/assignments/icmp-parameters/icmp-parameters.xhtml>, archive date: 26-03-2021
- [WEB14]** "Internet Assigned Numbers Authority (IANA) Policy For Allocation of IPv4 Blocks to Regional Internet Registries", ICANN, URL: <https://www.icann.org/resources/pages/allocation-ipv4-rirs-2012-02-25-en>, last visited: 09-08-2021, archive URL:

- <https://web.archive.org/web/20191106215243/https://www.icann.org/resources/pages/allocation-ipv4-rirs-2012-02-25-en>, archive date: 06-11-2019
- [WEB15]** "Global Policy Proposal for Remaining IPv4 Address Space – Background Report", ICANN, URL: <https://www.icann.org/resources/pages/proposal-ipv4-report-2007-11-29-en>, last visited: 09-08-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20191106115703/https://www.icann.org/resources/pages/proposal-ipv4-report-2007-11-29-en>, archive date: 06-11-2019
- [WEB16]** "Global Policy for the Allocation of the Remaining IPv4 Address Space | (ratified by ICANN Board on 6 March 2009)", ICANN, URL: <https://www.icann.org/resources/pages/remaining-ipv4-2012-02-25-en>, last visited: 09-08-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20191115211139/https://www.icann.org/resources/pages/remaining-ipv4-2012-02-25-en>, archive date: 15-11-2019
- [WEB17]** "Free Pool of IPv4 Address Space Depleted", NRO, 03-02-2011, URL: <https://www.nro.net/ipv4-free-pool-depleted>, last visited: 10-08-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20200305002101/https://www.nro.net/ipv4-free-pool-depleted>, archive date: 05-03-2020
- [WEB18]** "IANA IPv4 Address Space Registry", IANA, URL: <https://www.iana.org/assignments/ipv4-address-space/ipv4-address-space.txt>, last visited: 10-08-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20190705212510/https://www.iana.org/assignments/ipv4-address-space/ipv4-address-space.txt>, archive date: 05-07-2019
- [WEB19]** "APNIC IPv4 Address Pool Reaches Final /8", APNIC, 15-04-2011, URL: <http://www.apnic.net/publications/news/2011/final-8>, last visited: 15-04-2011, archive URL: <https://web.archive.org/web/20110418185322/http://www.apnic.net/publications/news/2011/final-8>, archive date: 18-11-2011
- [WEB20]** P. Smith, J. Martin and R. Bush, "prop-062-v002: Use of final /8", APNIC, 28-08-2008, URL: <https://www.apnic.net/wp-content/uploads/prop->

- [062/assets/prop-062-v002.txt](https://web.archive.org/web/20200101192844/https://www.apnic.net/wp-content/uploads/prop-062/assets/prop-062-v002.txt), last visited: 10-08-2021, archive URL:<https://web.archive.org/web/20200101192844/https://www.apnic.net/wp-content/uploads/prop-062/assets/prop-062-v002.txt>, archive date: 01-01-2020
- [WEB21]** "RIPE NCC Begins to Allocate IPv4 Address Space From the Last /8", RIPE NCC, 14-09-2012, URL: <https://www.ripe.net/publications/news/announcements/ripe-ncc-begins-to-allocate-ipv4-address-space-from-the-last-8>, last visited: 10-08-2021, archive URL:<https://web.archive.org/web/20190223035640/https://www.ripe.net/publications/news/announcements/ripe-ncc-begins-to-allocate-ipv4-address-space-from-the-last-8>, archive date: 10-08-2021
- [WEB22]** "L'IPv6 Suivi de l'épuisement des adresses IPv4", ARCEP, 05-12-2019, URL: <https://www.arcep.fr/la-regulation/grands-dossiers-internet-et-numerique/lipv6/suivi-epuisement-adresses-ipv4.html>, last visited: 10-08-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20200109205817/https://www.arcep.fr/la-regulation/grands-dossiers-internet-et-numerique/lipv6/suivi-epuisement-adresses-ipv4.html>, archive date: 09-01-2020
- [WEB23]** "No more IPv4 addresses in Latin America and the Caribbean", LACNIC, 10-06-2014, URL: <https://www.lacnic.net/1532/2/lacnic/no-more-ipv4-addresses-in-latin-america-and-the-caribbean>, last visited: 10-08-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20190706142950/https://www.lacnic.net/1532/2/lacnic/no-more-ipv4-addresses-in-latin-america-and-the-caribbean>, archive date: 06-07-2019
- [WEB24]** "Remaining IPv4 Addresses to be Redistributed to Regional Internet Registries | Address Redistribution Signals that IPv4 is Nearing Total Exhaustion", ICANN, 20-05-2014, URL: <https://www.icann.org/news/announcement-2-2014-05-20-en>, last visited: 10-08-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20190730032133/https://www.icann.org/news/announcement-2-2014-05-20-en>, archive date: 10-08-2021

- [WEB25]** J. Curran, "ARIN IPv4 Free Pool Reaches Zero", ARIN, 24-09-2015, URL: <https://www.arin.net/vault/announcements/2015/20150924.html>, last visited: 10-08-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20190706142951/https://www.arin.net/vault/announcements/2015/20150924.html>, archive date: 06-07-2019
- [WEB26]** "IPv4 Addressing Options", ARIN, URL: <https://www.arin.net/resources/guide/ipv4/>, last visited: 10-08-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20190504080303/https://www.arin.net/resources/guide/ipv4/>, archive date: 04-05-2019
- [WEB27]** "AFRINIC Enters IPv4 Exhaustion Phase 1", AfriNIC, 03-04-2017, URL: <http://www.afrinic.net/library/news/2053-afrinic-enters-ipv4-exhaustion-phase-1>, last visited: 03-04-2017, archive URL: <https://web.archive.org/web/20171013003610/http://www.afrinic.net/library/news/2053-afrinic-enters-ipv4-exhaustion-phase-1>, archive date: 13-10-2017
- [WEB28]** "Service Name and Transport Protocol Port Number Registry", IANA, URL: <https://www.iana.org/assignments/service-names-port-numbers/service-names-port-numbers.xhtml>, last visited: 08-09-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20180715035055/https://www.iana.org/assignments/service-names-port-numbers/service-names-port-numbers.xhtml>, archive date: 15-07-2018
- [WEB29]** R. Stewart, M. Tuexen and I. Ruengeler, "Stream Control Transmission Protocol (SCTP) Network Address Translation draft-ietf-behave-sctpnat-01.txt", IETF, 16-02-2009, URL: <https://tools.ietf.org/id/draft-ietf-behave-sctpnat-01.html>, last visited: 15-09-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20200402131543/https://tools.ietf.org/id/draft-ietf-behave-sctpnat-01.html>, archive date: 02-04-2020
- [WEB30]** "Internet Protocol Version 6 (IPv6) Parameters", IANA, URL: <https://www.iana.org/assignments/ipv6-parameters/ipv6-parameters.xhtml>, last visited: 07-10-2021, archive URL:

- <https://web.archive.org/web/20200507123543/https://www.iana.org/assignments/ipv6-parameters/ipv6-parameters.xhtml>, archive date: 07-05-2021
- [WEB31]** "IANA IPv6 Special-Purpose Address Registry", IANA, URL: <https://www.iana.org/assignments/iana-ipv6-special-registry/iana-ipv6-special-registry.xhtml>, last visited: 07-10-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20200102182841/https://www.iana.org/assignments/iana-ipv6-special-registry/iana-ipv6-special-registry.xhtml>, archive date: 02-01-2020
- [WEB32]** "IPv6 Multicast Address Space Registry", IANA, URL: <https://www.iana.org/assignments/ipv6-multicast-addresses/ipv6-multicast-addresses.xhtml>, last visited: 21-10-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20200507123528/https://www.iana.org/assignments/ipv6-multicast-addresses/ipv6-multicast-addresses.xhtml>, archive date: 07-05-2020
- [WEB33]** "Internet Assigned Numbers Authority (IANA) Policy For Allocation of IPv6 Blocks to Regional Internet Registries | (Ratified 7 September 2006)", ICANN, 25-02-2012, URL: <https://www.icann.org/resources/pages/allocation-ipv6-rirs-2012-02-25-en>, last visited: 21-10-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20200228010449/https://www.icann.org/resources/pages/allocation-ipv6-rirs-2012-02-25-en>, archive date: 28-02-2020
- [WEB34]** "IPv6 Global Unicast Address Assignments", IANA, 25-02-2012, URL: <https://www.iana.org/assignments/ipv6-unicast-address-assignments/ipv6-unicast-address-assignments.xml>, last visited: 21-10-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20211005201223/http://www.iana.org/assignments/ipv6-unicast-address-assignments/ipv6-unicast-address-assignments.xml>, archive date: 05-10-2021
- [WEB35]** "Understanding IP Addressing and CIDR Charts", RIPE NCC, 15-02-2020, URL: <https://www.ripe.net/about-us/press-centre/understanding-ip-addressing>, last visited: 21-10-2021, archive URL:

<https://web.archive.org/web/20200215034209/https://www.ripe.net/about-us/press-centre/understanding-ip-addressing>, archive date: 15-02-2021

- [WEB36]** F. Gont, "Security Assessment of the IPv6 Flow Label", IETF, 12-03-2012, URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-gont-6man-flowlabel-security>, last visited: 22-10-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20190928182425/https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-gont-6man-flowlabel-security>, archive date: 28-09-2019
- [WEB37]** "Internet Control Message Protocol version 6 (ICMPv6) Parameters", IANA, URL: <https://www.iana.org/assignments/icmpv6-parameters/icmpv6-parameters.xhtml>, last visited: 28-11-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20210729152603/https://www.iana.org/assignments/icmpv6-parameters/icmpv6-parameters.xhtml>, archive date: 29-07-2021
- [WEB38]** W. Simpson, "IPv6 Neighbor Discovery -- ICMP Message Formats draft-simpson-ipv6-discov-formats-00.txt", IETF, 1994, URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-formats-00>, last visited: 28-12-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20211222205237/https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-formats-00>, archive date: 22-12-2021
- [WEB39]** W. Simpson, "IPv6 Neighbor Discovery -- Processing draft-simpson-ipv6-discov-process-00.txt", IETF, 1994, URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-process-00>, last visited: 28-12-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20211222204823/https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-process-00>, archive date: 22-12-2021
- [WEB40]** W. Simpson, "IPv6 Neighbor Discovery -- ICMP Message Formats draft-simpson-ipv6-discov-formats-02.txt", IETF, 1995, URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-formats-02>, last visited: 28-12-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20211222204823/https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-formats-02>, archive date: 22-12-2021

- [WEB41]** W. Simpson, "IPv6 Neighbor Discovery -- Processing draft-simpson-ipv6-discov-process-02.txt", IETF, 1995, URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-process-02>, last visited: 28-12-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20211222205331/https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-process-02>, archive date: 22-12-2021
- [WEB42]** T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson, "IPv6 Neighbor Discovery <draft-ietf-ipngwg-discovery-00.txt>", IETF, 1995, URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-ipngwg-discovery-00>, last visited: 28-12-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20211222204841/https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-ipngwg-discovery-00>, archive date: 22-12-2021
- [WEB43]** T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson, "IPv6 Neighbor Discovery <draft-ietf-ipngwg-discovery-06.txt>", IETF, 1996, URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-ipngwg-discovery-06>, last visited: 28-12-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20211222210002/https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-ipngwg-discovery-06>, archive date: 22-12-2021
- [WEB44]** "COMMERCIAL IP SECURITY OPTION (CIPSO 2.2)", IETF CIPSO Working Group, 16-07-1992, URL: <https://www.ietf.org/archive/id/draft-ietf-cipso-ipsecurity-01.txt>, last visited: 7-2-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20180919032815/https://www.ietf.org/archive/id/draft-ietf-cipso-ipsecurity-01.txt>, archive date: 19-09-2018.
- [WEB45]** E. Deborah and D. Farinacci, "Bi-Directional Shared Trees in PIM-SM", 17-05-1999, URL: <https://tools.ietf.org/html/draft-farinacci-bidir-pim-01>, last visited: 20-02-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20190807153459/https://tools.ietf.org/html/draft-farinacci-bidir-pim-01>, archive date: 07-08-2019
- [WEB46]** "IANA IPv4 Special-Purpose Address Registry", IANA, URL: <https://www.iana.org/assignments/iana-ipv4-special-registry/iana-ipv4-special-registry.xhtml>, last visited: 04-03-2021, archive URL:

<https://web.archive.org/web/20210225065743/https://www.iana.org/assignments/iana-ipv4-special-registry/iana-ipv4-special-registry.xhtml>, archive date: 25-02-2021

[WEB47] D. Johnson, "Transparent Internet Routing for IP Mobile Hosts", Rice University, 11-07-1993, URL: <https://www.cs.rice.edu/~dbj/pubs/cmu-mobile.txt>, last visited: 12 July 2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20160405084117/https://www.cs.rice.edu/~dbj/pubs/cmu-mobile.txt>, archive date: 05 -4- 2016

[WEB48] W. Simpson, " IPv6 Neighbor Discovery -- ICMP Message Formats", IETF, January 1995, URL: <https://tools.ietf.org/html/draft-simpson-ipv6-discover-formats-02>, last visited: 12-07-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20190928201912/https://tools.ietf.org/html/draft-simpson-ipv6-discover-formats-02>, archive date: 28-09-2019

[WEB49] W. Simpson, "IPv6 Mobility Support", IETF, November 1994, URL: <https://tools.ietf.org/html/draft-simpson-ipv6-mobility-00>, last visited: 12-07-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20200110205314/https://tools.ietf.org/html/draft-simpson-ipv6-mobility-00>, archive date: 10-01-2020

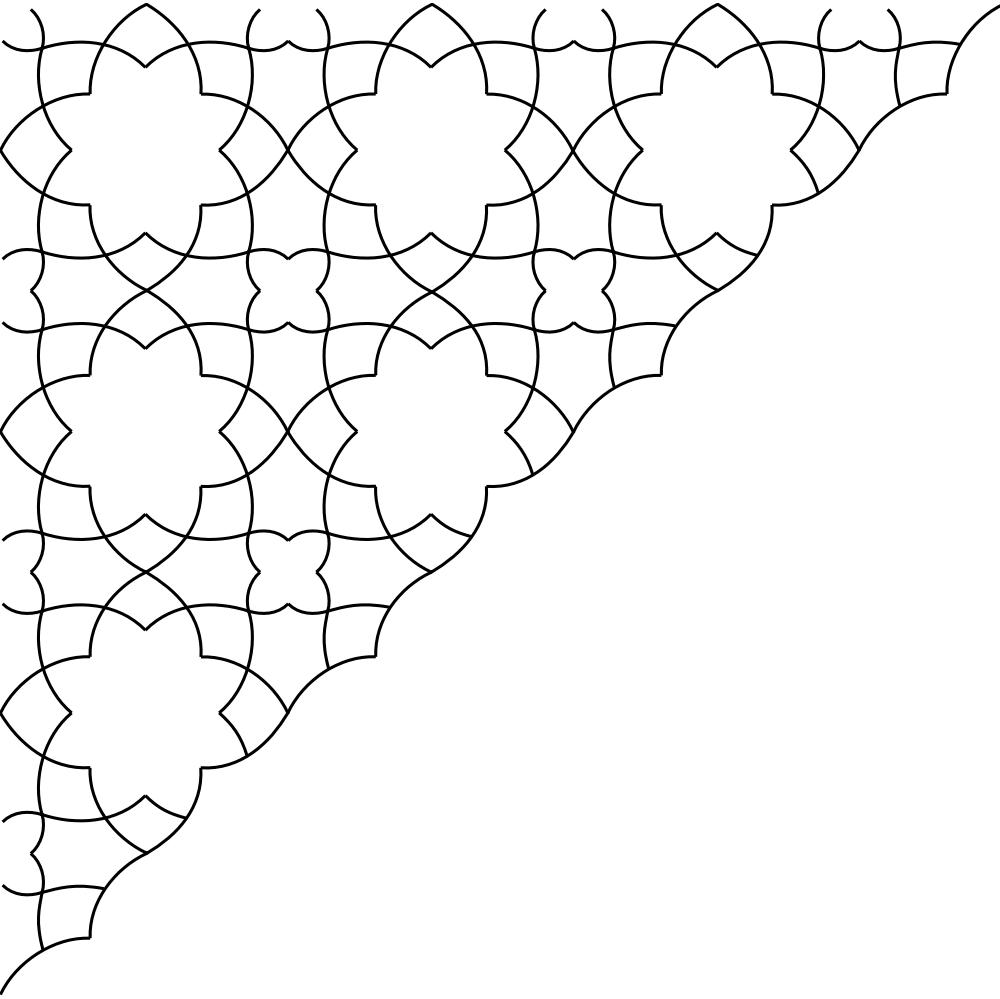
[WEB50] A. Aziz, "Simple Key-Management For Internet Protocols (SKIP)", IETF, 21-12-1995, URL: <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-ipsec-skip-06>, last visited: 12-07-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20181227062701/https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-ipsec-skip-06>, archive date: 27-12-2018

[WEB51] A. Aziz, "SKIP Algorithm Discovery Protocol", IETF, 21-12-1995, URL: <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-ipsec-skip-adp-00>, last visited: 12-07-2021, archive URL: <https://web.archive.org/web/20181227062740/https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-ipsec-skip-adp-00>, archive date: 27-12-2018

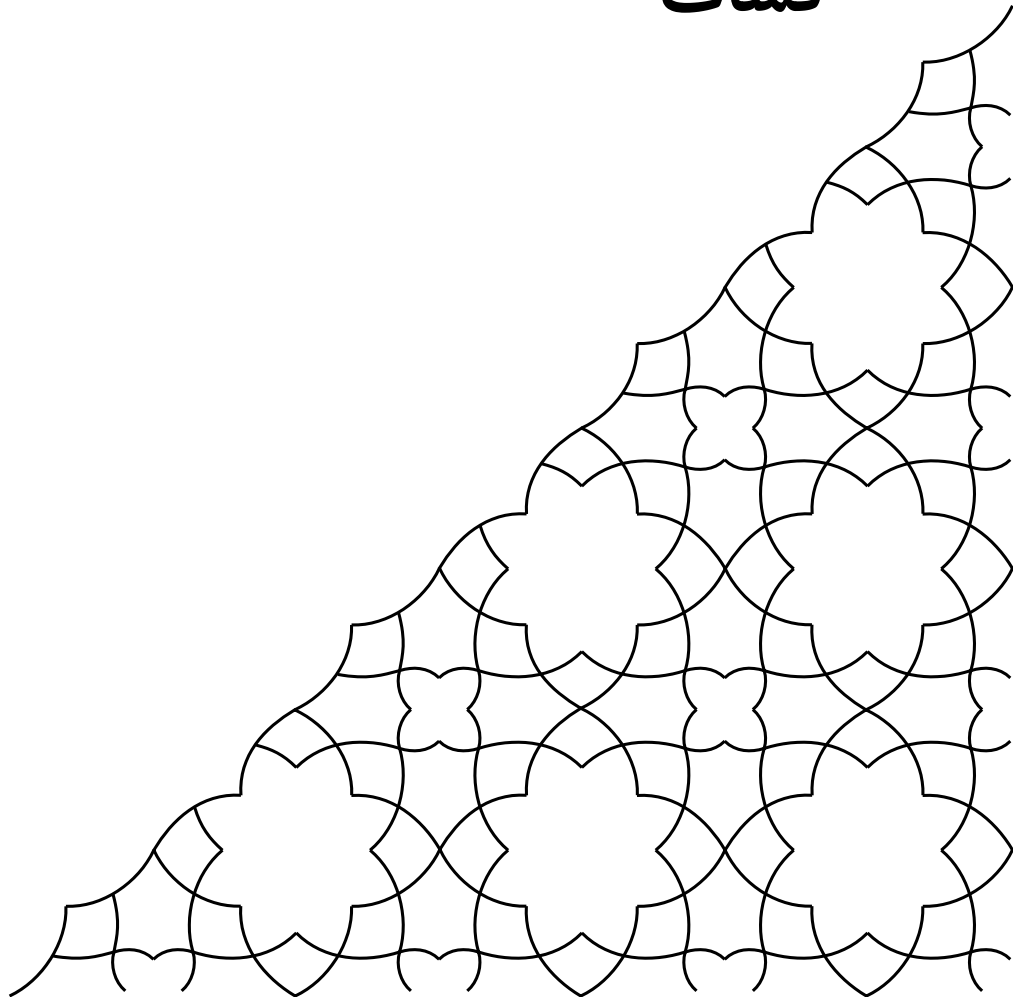
[WEB52] P. Nikander, D. Harkins, B. Patil, P. Roberts, E. Nordmark, T. Narten and A. Mankin, "Threat Models introduced by Mobile IPv6 and Requirements for

Security in Mobile IPv6 <draft-ietf-mobileip-mipv6-scrty-reqts-00.txt>", IETF, 24-09-2001, URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html///draft-ietf-mobileip-mipv6-scrty-reqts-00.txt>, last visited: 14-01-2022, archive URL: <https://web.archive.org/web/20211220114822/https://datatracker.ietf.org/doc/html///draft-ietf-mobileip-mipv6-scrty-reqts-00.txt>, archive date: 22-11-2021

تُركت هذه الصّفحة فارغةً عمداً لغرض تنسيق الكتاب



گشّاف



أَوَّلًا: أَعْلَام

- شَاخْت، جُوزِيْف: ظ.
- الشَّافِي: زز.
- شَامِيْر، عَدِي: 273.
- شَتَائِنِر، چَاكُوب: 113.
- العَلْمِيُّ، إِدْرِيس: هه.
- العَمْد، إِحْسَان: غ.
- فُوجِيْتِيْش، يَارْنِيْكَ: 113.
- فُلِيْفَل، بَاسِم: زز.
- فُورْد، لِيْسْتِر: 113.
- كُرُوسْگَال، جُوزِيْف: 113.
- كَلَارِك، دِيْفِيْد: 73.
- كُورِيَا، أُوكْتَاْفِيَان: زز.
- كُولِيْفُور، بِيِر: 149.
- مُخْتَار عَمْر، أَحْمَد: وو.
- مَحْمُودِي، غَادِي: زز.
- مُوس، مَايْكَ: 147.
- مُؤْنِس، حُسَيْن: غ.
- نَجَّار، عِلَاء: زز.
- هَانْبُو، سَانْدِرَا: زز.
- هُونِكِه، زِيْغْرِيْد: ظ.
- ابن عبد الله، مُصْطَفَى: ب.ب.
- الأنصاريُّ، ابن مَنْظُور: 23.
- الْبَعْلَبِكِي، رَمْزِي: 22، 36.
- الْبَعْلَبِكِي، مَنْبِر: 22، 36،
- أَدِلْمَان، لِيُونَارْد: 273.
- الأَصْفَهَائِيُّ، عَمَاد الدِّيْن: ب.ب.
- بَارَان، بُول: 23، 24، 26.
- پَرِيْم، رُوبِرْت: 113.
- پُوزَان، لُويْس: 25، 42، 72.
- بُوزُورْث، كَلِيْفُورْد: غ.
- بُوسْتِل، جُون: 27، 29.
- بُول، جُورْج: 75.
- الْبِيْسَائِي، عبد الرَّحِيْم: ب.ب.
- بِيضُون، فَاَرْوَق: ظ.
- بِيْلْمَان، رِيْتَشَارْد: 113.
- خَان، رُوبِرْت: 24، 25، 27، 29، 43، 45.
- خَلِيْفَة، عبد الْكَرِيْم: وو.
- الدُّسُوْقِي، كَمَال: ظ.
- دِيْرَانِيَّة، عِبَاد: وو.
- دِيْرِيْنِغ، سْتِيْفِن: 107.
- دِيْكَسْتِرَا، إِيدِسْخِر: 113.
- رُونُو، يَانِيْكَ: ح.ح.
- رِيْفِسْت، رُونَالْد: 273.
- رُكْرِيَا، فُؤَاد: غ.
- سَعِيْد، نَفُوسَة: هه.
- سِيْرْف، فِينْتُون: 24، 25، 27، 29، 43، 45.

ثَانِيًا: مَوْسَسَات وَكِيَانَات

- الآتِحَاد الدَّوْلِيُّ لِلَاتِّصَالَات: 26.
- الأمم الْمُتَّحِدَة: 26.
- السَّجْلُ الْأَمْرِيْكَِيُّ لِأَرْقَام الْإِنْتَرْنِت: 158، 162، 172،
- 225.
- اللَّجْنَة الْاسْتِشَارِيَّة الدَّوْلِيَّة لِلَاتِّصَال الصَّوْتِي
- وَالْبِيَانِي: 26.

- المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب: غ.
مجمع اللغة العربية الأردني: وو.
مجمع اللغة العربية بالقاهرة: 22.
مجموعة مهندسي الإنترنت: ذ، 15، 37، 69، 120،
155، 159، 204، 205، 290.
مختبر أبحاث الجيش الأمريكي: 147.
مختبرات كومسات: 146.
مدرسة التقانات المتعددة (بوليتكنيك): 25.
مدرسة فيتيري للهندسة: 156.
مركز دراسات الوحدة العربية: 399.
مركز معلومات الإنترنت الأوروبي: 158، 161، 162،
225.
مركز معلومات الدفاع التقنية: 67.
مركز معلومات الشبكة الإفريقي: 158، 162.
مركز معلومات الشبكة في آسية والمحيط الهادي:
158، 161، 162، 225.
مركز معلومات الشبكة في أمريكا اللاتينية والكاربي:
158، 162.
معهد تقانة المعلومات في جامعة كاليفورنيا الجنوبية:
156.
معهد ماساشوستس للتقانة: 73.
معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات: 117، 224.
مكتب تنسيق التعريب: 399.
مكتب تقنيات معالجة المعلومات: 24.
منظمة الموارد الرقمية: 161.
مؤسسة زاند: 23.
مؤسسة ويكيميديا: زز.
هيئة أرقام الإنترنت المخصصة: 37، 38، 44، 50،
60، 64، 83، 115، 117، 134، 136، 154، 156.
- المجموعة التوجيهية لهندسة الإنترنت: 184.
مجموعة عمل التوجيه والعنونة، رُود: 155، 156.
المعهد الأمريكي للمعايير الوطنية: 198.
المنظمة الدولية للمعايير: 26.
المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم: 23.
آي بي إم: 24.
بي بي إن: 24.
جامعة إلينوي: 113.
جامعة أمستردام: 113.
جامعة برينستون: 24، 113.
جامعة تكساس في أوستن: 113.
جامعة جونز هوبكنز في بالتيمور: 147.
جامعة دركسل: 23.
جامعة ستانفورد: 24.
جامعة شيكاغو: 113.
جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس: 23، 24، 27.
جامعة لايدن: 113.
جامعة هايدلبرغ: 113.
الجمعية السورية للمعلوماتية: 399.
شركة الإنترنت للأرقام والأسماء المخصصة، آيكان:
66، 156، 157، 160، 224.
شركة أنظمة سيسكو: 121، 132، 147، 148.
قطاع تقييم الاتصالات: 26.
كلية سوارثمور: 73.
كلية مدينة نيويورك: 24.
غوغل: 147، 148.
مايكروسوفت: 132، 147.
مجتمع الإنترنت: دد.

303، 305، 306، 307، 309، 310، 311، 312،
313، 319، 324، 328.

الإصدار السابع من بروتوكول الإنترنت: 44، 324.

الإصدار السادس من بروتوكول الإنترنت: ذ، ض، غ،
أ، 18، 22، 32، 37، 38، 42، 44، 45، 65، 69، 76،
133، 154، 156، 162، 164، 165، 182، 194،
195، 204، 205، 206، 207، 209، 210، 211،
212، 213، 214، 215، 218، 221، 222، 223،
224، 225، 226، 227، 228، 229، 230، 231،
232، 233، 234، 235، 236، 238، 239، 242،
243، 244، 245، 246، 248، 249، 250، 251،
254، 256، 257، 258، 261، 262، 263، 265،
271، 272، 273، 290، 292، 319، 320، 321،
322، 325، 328، 333، 334.

إيثرنت: 19، 116، 117، 120، 224، 252، 253.

بروتوكول إدارة مجموعة بثّ مجموعات: 106، 119،
120.

بروتوكول إدارة مجموعة الإنترنت: 42، 68، 69،
106، 120، 122، 128، 129، 236، 239.

بروتوكول اقتران العناوين: 42، 67، 68، 235، 248،
256، 258، 265.

بروتوكول اقتران العناوين العكسي: 68، 235، 273.

بروتوكول اقتران العناوين المعكوس: 273.

بروتوكول اكتشاف الجيران: أ، 205، 206، 224،
234، 235، 238، 239، 240، 246، 248، 250،
252، 256، 257، 258، 260، 264، 265، 266،
267، 268، 269، 270، 272، 273.

بروتوكول اكتشاف الجيران الآمن: 234، 256، 272،
273.

بروتوكول الاكتشاف المعكوس للجيران: 256.

157، 159، 160، 161، 162، 163، 172، 183،
184، 185، 204، 208، 215، 220، 221، 224،
225، 226، 235، 241، 256، 260، 290، 329.

وزارة الدفاع الأمريكية: 15، 24، 44.

وكالة مشاريع البحوث الدفاعية المتقدمة، داربا: 22،
24، 26، 27، 36، 42، 43، 204.

ويكيبيديا: ظ، 49.

ويكيبيديا بلاد الشام: زز.

ويكيبيديا كومنز: أ، 336، 338.

ثالثاً: بروتوكولات

الإصدار الأول من بروتوكول الإنترنت: 43.

الإصدار التاسع من بروتوكول الإنترنت: 45.

الإصدار الثاني من بروتوكول الإنترنت: 44.

الإصدار الخامس من بروتوكول الإنترنت: 44، 45،
324.

الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت: ذ، ض، غ، أ،
18، 22، 27، 28، 32، 36، 37، 42، 44، 45، 46،
47، 48، 49، 50، 53، 54، 56، 57، 60، 61، 64،
65، 66، 67، 68، 69، 72، 73، 76، 79، 81، 85،
86، 89، 100، 114، 115، 116، 117، 120، 122،
123، 128، 129، 132، 133، 134، 138، 142،
143، 144، 147، 148، 154، 155، 156، 157،
159، 160، 161، 162، 164، 168، 170، 171،
172، 178، 179، 182، 183، 186، 187، 194،
195، 204، 205، 206، 207، 213، 215، 218،
219، 224، 226، 233، 234، 235، 238، 239،
248، 250، 253، 258، 265، 273، 278، 286،
290، 291، 292، 296، 298، 299، 300، 302.

- 106، 107، 114، 116، 117، 118، 125، 154،
155، 156، 164، 204، 206.
بروتوكول تطبيق: 184، 198.
- بروتوكول توجيه: 46، 64، 101، 102، 107، 122،
123، 124، 125، 164، 176، 178، 211، 250،
268، 286.
- بروتوكول توجيه خارجي: 114، 125.
بروتوكول توجيه داخلي: 114، 122، 123.
بروتوكول التوجيه الداخلي المحسن بين البوابات:
64، 116، 178، 222.
- بروتوكول توجيه رزم بث مجموعاتي: 106، 109،
111، 114، 119، 122، 127.
بروتوكول توجيه صنفني: 84، 178.
بروتوكول توجيه غير صنفني: 84، 178.
بروتوكول تبادل مفاتيح الإنترنت: 325.
بروتوكول ترجمة العناوين المعكوسة: 68.
- بروتوكول تهيئة المضيف الآلية: 46، 116، 248،
324.
- بروتوكول توجيه البث المجموعاتي تبعاً لشعاع
المسافة: 106، 116، 123.
- بروتوكول توجيه البث المجموعاتي تبعاً للطلب: 127.
بروتوكول حزم بيانات المستخدم: 17، 18، 196،
197، 229.
- بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت: غ، أ، 64، 68،
132، 133، 134، 135، 136، 139، 141، 142،
143، 145، 146، 148، 150، 150، 190، 194، 238،
240، 254، 256، 257، 258.
- بروتوكول رسائل التحكم في الإنترنت للإصدار السادس
من بروتوكول الإنترنت: أ، 133، 205، 206، 229،
- بروتوكول اكتشاف الجيران العكسي: 235.
بروتوكول اكتشاف مُستمي البث المجموعاتي: أ،
ب، 120، 125، 238، 239، 240، 251، 252.
بروتوكول اكتشاف مصدر البث المجموعاتي: 125.
بروتوكول الإعلان عن الجلسة: 286.
بروتوكول الإعلان عن دليل الجلسة: 286.
بروتوكول الإنترنت: 15، 24، 43، 45، 46، 51، 54،
62، 100، 117، 134، 141، 143، 185، 186، 205،
246، 248، 270.
- بروتوكول الإنترنت المتحرك: أ.
بروتوكول الأنفاق في الطبقة الثانية: 15.
بروتوكول البث المجموعاتي المُستقل - النمط
الكثيف: 124.
بروتوكول البث المجموعاتي المُستقل - النمط
المتناثر: 124، 126.
بروتوكول البث المجموعاتي المُستقل - النمط ثنائي
الاتجاه: 124.
بروتوكول البوابة الحدودية: 101، 125.
بروتوكول التحكم بازدحام حزم البيانات: 197.
بروتوكول التحكم بتدفق النقل: 197.
بروتوكول التحكم بالمنافذ: 292.
بروتوكول التحكم بالنقل: 13، 17، 18، 24، 26، 27،
28، 36، 37، 43، 45، 46، 126، 147، 150، 154،
185، 195، 196، 197، 209، 229، 254، 266،
283.
بروتوكول التدفق في الإنترنت: 44.
بروتوكول ترويسات المصادقة: 69.
بروتوكول تشبيك: د، غ، 22، 26، 27، 28، 29، 30،
31، 32، 34، 35، 36، 42، 46، 65، 68، 69، 72،

- أَحْقِيَّة: 23، 24، 36، 47، 50، 51، 52.
- اختزال مسارات: 74، 102، 174، 226.
- أداة التَّحْقُق مِن الاتِّصال، بينغ: 132، 147، 239، 253.
- أداة تَتَبُع مسار: 132، 148، 149، 234، 282.
- إدارة حركة البيانات: 204، 207، 232، 233.
- إدارة المفاتيح البسيطة لبروتوكول الإنترنت: 325.
- أربانت: 24، 26، 28، 204.
- ازدحام: 35، 52، 324.
- ازدواج: 13، 267.
- ازدواج كامل: 13.
- ازدواج جزئي: 13.
- أساس تقييم أداء: 291، 292.
- أساس نظام عدّ: 74، 75، 76.
- إستراتيجية طويلة الأمد: 42، 65، 154، 156، 164، 205.
- إستراتيجية قصيرة الأمد: 42، 65، 66، 154، 155، 156، 163، 164، 168، 182، 194، 205.
- إستراتيجية مُتوسِّطة الأمد: 154، 168.
- استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرابع من بروتوكول الإنترنت: غ، أ، 32، 37، 42، 44، 54، 55، 65، 66، 74، 148، 154، 155، 156، 160، 163، 164، 168، 169، 170، 182، 186، 187، 188، 189، 190، 192، 193، 194، 204، 205، 259.
- استهلال مُتزامن للاتِّصال: 196.
- اسم النِّطاق المُؤهل المُكتمل: 325.
- إطار بيانات: 17، 109، 117، 119، 121، 128.
- إعادة تجميع: 30، 32، 36، 37، 42، 46، 48، 60، 67، 143، 197، 227، 230، 233، 244.
- 234، 238، 239، 240، 241، 250، 253، 254، 256، 257، 259، 329، 334.
- بروتوكول سيسكو لإدارة المجموعة: 109، 120، 121، 129.
- بروتوكول سيسكو لإدارة مجموعة منقذ المُوجّه: 120، 121، 129.
- بروتوكول الشبكة المُتشابكة المركزيَّة: 127.
- بروتوكول الشجرة مركزيَّة النّواة: 125.
- بروتوكول المسار الأقصر: 106، 116، 123.
- بروتوكول معلومات التّوجيه: 116، 178، 222.
- بروتوكول نقل: 27، 28، 31، 34، 36، 37، 43، 67، 126، 138، 142، 154، 184، 185، 186، 195، 197، 243.
- بروتوكول نقل البريد البسيط: 18.
- بروتوكول نقل المِلقات: 18، 198.
- بروتوكول هويَّة المُضيف: 209.
- بروتوكول الوصل بين نُقطتين: 100، 101.
- بروتوكول وَصلة: 27، 28، 29، 34، 42، 114، 115، 116، 118، 247، 248.
- عائلة بروتوكولات الاتِّصال اللّاسلكي في الشبكة المحليَّة: 19.
- وَاي فَي: 19.

رابعاً: مفاهيم وتقنيات

- اتِّجاه جلسة ترجمة: 182، 185، 186، 187، 188، 189، 191.
- اتِّصال غير مُهيأ: 30، 31، 36، 37، 46، 195، 196، 331، 332.
- اتِّصال مُهيأ: 30، 31، 46.

- إعادة توجيه: 134، 137، 142، 235، 238، 240، 251، 253، 256، 258، 259، 270، 329.
- إعلان حالة الوصلة: 124.
- إعلان عن مسار: 176، 177، 178، 179، 180.
- اقتران العناوين: 68، 235، 256، 258، 259، 264، 265، 267، 268.
- أقنعة الشبكات الجزئية مختلفة الأطوال: 66، 67، 72، 98، 99، 314، 315، 316، 317، 318.
- اكتشاف الاستخدام المتعدد للعنوان: 223.
- اكتشاف بادئة فضاء: 256، 258، 261، 264.
- اكتشاف جار: 215، 238، 256، 259، 264، 269، 272، 325.
- اكتشاف مُحدّد: 258، 264.
- اكتشاف مُوجّه: 256، 258، 263.
- إكس 25: 26.
- إنترنت: ذ، ظ، دد، وو، 4، 15، 36، 42، 43، 50، 52، 60، 65، 72، 78، 101، 114، 154، 155، 159، 164، 168، 169، 170، 174، 178، 183، 219، 220، 221، 243، 278.
- أوركيد: 292.
- أوركيد 2: 292.
- بادئة فضاء: 78، 83، 84، 86، 87، 92، 93، 94، 95، 97، 159، 161، 162، 168، 170، 171، 172، 174، 175، 176، 177، 178، 179، 183، 214، 215، 223، 224، 225، 226، 243، 248، 263، 264، 271، 292، 308، 309، 310، 312، 313، 319، 320، 321، 322.
- بادئة استبعاد: 292.
- بت أقل أهمية: 117، 261.
- بت أكثر أهمية: 54، 57، 117، 170، 174، 211، 212، 216، 218، 220، 223، 261، 334.
- بت المحلّية: 217.
- بتّ عام: 106، 107، 108، 109، 129، 137، 145، 149، 204، 207، 211، 242، 263، 291.
- بتّ فريد الوجهة: 35، 53، 56، 79، 106، 107، 109، 123، 125، 154، 170، 204، 205، 207، 211، 212، 214، 215، 221، 222، 223، 226، 265، 293، 334.
- بتّ مُتعدّد الجهات: 106.
- بتّ مجموعاتي: ض، غ، آ، 35، 42، 55، 56، 60، 69، 106، 107، 108، 109، 111، 114، 115، 118، 120، 123، 124، 125، 127، 128، 129، 137، 145، 204، 205، 207، 211، 214، 215، 219، 221، 222، 223، 235، 236، 242، 249، 253، 263، 265، 286، 292.
- بتّ مجموعاتي مُحدّد المصدر: 69، 106، 120، 129، 236، 287.
- البثّ المجموعاتيّ المُستقلّ عن بروتوكول التوجيه: 106، 116.
- بتّ نحو الأقرب: 35، 204، 207، 211، 214، 219، 221، 222، 223، 240، 252، 265، 291، 292.
- برمجة حركية: 113.
- برمجيّات: 72، 101، 101، 121، 135، 155، 168، 243.
- برنامج التّحكّم بالنّقل: 43.
- البنية التّحتيّة للمفتاح العامّ للموارد: 274.
- بوابة: 22، 24، 25، 27، 28، 29، 30، 35، 36، 37، 69، 141، 208، 279، 281.
- بوابة تغيير وسط الاتّصال: 29.
- بوابة على مُستوى التّطبيق: 198.

- بيان: 111، 112، 115. تحكُّم بالتدفُّق: 14، 22، 26، 28، 30، 35، 36، 37، 43، 243.
- بيان غير مُوجَّه موزون الوصلات: 113. تأخير: 25، 30، 31، 36، 46، 47، 50، 51، 199.
- التَّحْمِيلُ الرَّائِدُ لِتَرْجَمَةِ أَرْقَامِ الْمَنَافِذِ: 190، 191. تخصيص: 60، 65، 157، 174، 225، 317.
- تأمين الحُمولة بالتَّغْلِيْفِ: 69، 254. تبديل: 14.
- تخطِّي ترجمة عنوان الشَّبكة باستعمال المرحلات: 198، 292. تبديل الأطر: 273.
- تخطِّي ترجمة عنوان الشَّبكة: 198. تبديل الدَّارات: 23.
- تدفُّق: 204، 206، 207، 210، 232، 243، 280، 282. تبديل الرِّزْمِ: 23، 26، 42، 43.
- تدوين البادئة: 57، 58، 80، 82، 83، 168، 173، 215، 286، 312. تجزئة فضاء العناوين: غ، وو، 32، 46، 54، 72، 74، 77، 78، 79، 81، 82، 84، 89، 92، 95، 99، 101، 102، 133، 159، 172، 174، 179، 215، 225، 226، 292، 296، 297، 298، 300، 301، 302، 304، 305، 307، 308، 310، 311، 312، 313، 314، 315، 316، 317، 319، 320.
- تدوين عَشْرِي مُنْقَط: 36، 53، 57، 58، 59، 80، 82، 83، 168، 173، 175، 213. تجزئة مُتعدِّدة المُستويات: 98، 99، 315، 316.
- تدوين مُختَصِر: 213، 214. تجزئة وحيدة المُستوى: 98.
- تدوين مُختلَط: 213. تجميع الأفضية: 74، 155، 170.
- تراكِب: 9، 66، 67، 99، 100. تجميع المسارات: 74، 101، 102، 103، 163، 168، 174، 175، 176، 177، 179، 219، 226.
- ترجمة أساسية لعنوان الشَّبكة: 182، 186. ترجمة تقليدية: 182، 186، 191، 192. تجميع المسارات غير الملائم: 101، 102.
- ترجمة ثابتة لعنوان الشَّبكة: 182، 187، 188. تحديد إمكانية بلوغ الجار: 248، 256، 259، 264، 266، 267، 269، 270.
- ترجمة مُتغيِّرة لعنوان الشَّبكة: 182، 187، 188. تحديد الاستعمال المُتكرِّر للعنوان: 256، 259، 264، 266، 269، 270.
- ترجمة ثنائِيَّة الاتِّجاه لعنوان الشَّبكة: 182، 187، 191، 192. تخصيص: 60، 65، 156، 157، 159، 161، 162، 163، 168، 170، 171، 174، 224، 225.
- ترجمة عنوان الشَّبكة: أ، 42، 49، 65، 100، 154. تحقُّق جمعي: 48، 136، 137، 199.
- 156، 164، 182، 183، 186، 191، 192، 194. تحكُّم بالازدحام: 35، 134.
- 195، 196، 197، 198، 199، 205.

- ترجمة عنوان الشبكة المترابطة: 192.
- ترجمة عنوان الشبكة ورقم المنفذ: 182، 186، 190، 194، 197، 198.
- ترجمة واحد في مقابل واحد: 188، 190.
- ترويسة: هه، 11، 12، 16، 17، 33، 35، 37، 38، 42، 43، 44، 46، 47، 48، 49، 50، 61، 62، 63، 64، 67، 68، 122، 134، 136، 137، 138، 139، 141، 142، 178، 185، 186، 194، 195، 196، 197، 198، 204، 208، 210، 220، 228، 232، 234، 243، 245، 246، 248، 264، 280، 332، 334.
- ترويسة بزُونُوْكُول هويّة المضيف: 209.
- ترويسة تأمين حمولة بالتغليف: 208، 209، 229، 238، 253، 332، 333.
- ترويسة توجيه: 208، 209، 210، 228، 245، 328، 331، 329.
- ترويسة توسعة: 204، 208، 209، 210، 228، 229، 230، 232، 245.
- ترويسة خيارات حركة: 209.
- ترويسة خيارات مسار: 208، 209، 228، 328، 329، 331.
- ترويسة خيارات وجهة: 208، 209، 331.
- ترويسة قطعة: 208، 209، 227، 229، 230، 231، 233، 330.
- ترويسة مصادقة: 208، 253، 254، 331، 332.
- ترشيح: 140، 292.
- الترميز المعياري الأمريكي لتبادل المعلومات: 198.
- تسجيل المسار: 30، 35، 37، 46.
- تشبيك: غ، 18، 22، 23، 25، 26، 30، 64، 106.
- تطبيق: 12، 13، 16، 18، 43، 52، 134، 184، 198، 273.
- تعمية: 233، 238، 253، 273، 292، 332، 333.
- تغليف: 11، 16، 17، 29، 61، 62، 119، 122، 132، 134، 184، 208، 230، 231، 264.
- تفاعل طبقي داخلي: 16.
- تفاعل عابر للطبقات: 16.
- تقطيع: 14، 22، 29، 30، 32، 33، 36، 37، 42، 46، 48، 60، 61، 65، 67، 137، 138، 139، 150، 198، 204، 207، 227، 228، 229، 230، 231، 232، 233، 245، 330.
- تقطيع عابر لحدود شبكة: 32، 33.
- تقطيع على حدود شبكة: 32.
- تقلُّل الإرسال: 52.
- تقنيّة 6 إلى 4: 291، 292.
- تقنية المُكَدِّس المُزْدَوِج المُبَسِّطَة: 290.
- التنبيه الصّريح للازدحام: 52.
- تنضيد: 22، 30، 33، 34، 36، 37، 42، 46، 48، 6.
- تنضيد صاعد: 34.
- تنضيد صاعد هابط: 34.
- تنضيد هابط: 34.
- تهيئة آليّة: 46، 73، 222، 248، 264، 272.
- تهيئة العنوان الدّائميّة الآليّة: 205، 206، 215، 223، 224، 225، 239، 257، 259، 261، 262، 264، 266، 271، 290.
- توجيه: 5، 14، 18، 25، 29، 35، 38، 46، 66، 72، 74، 100، 101، 102، 106، 107، 108، 114، 118، 121، 125، 141، 163، 171، 174، 178، 180.

- حاسوب: خ، ذ، 4، 8، 12، 16، 22، 23، 27.
- حالة بلوغ الجار: 267، 268.
- حالة التأخير: 267، 268.
- حالة التقادم: 267، 268.
- حالة الاستشعار: 267، 268.
- حالة النقص: 267، 268.
- حزمة أمن بروتوكول الإنترنت: 42، 68، 69، 256، 273.
- حزمة بروتوكولات الإنترنت: 15، 68، 147، 148، 184.
- حزمة بيانات: 17، 25.
- حشو: 50، 245، 260، 261، 333.
- حقل إزاحة القطعة: 47، 48، 62، 230، 231، 330.
- حقل الإصدار: 47، 210.
- حقل البادئة: 262.
- حقل بادئة التوجيه العالمية: 215، 216.
- حقل البروتوكول: 37، 47، 48، 64، 134، 138، 245.
- حقل تحقق جمعي: 47، 48، 49، 135، 136، 139، 141، 142، 143، 144، 146، 147، 186، 194، 240، 244، 245، 246، 247، 248، 249، 250، 251.
- حقل ترميز الخدمات المتميزة: 52، 232.
- حقل الترميز: 135، 136، 139، 141، 142، 143، 145، 242، 243، 244، 245، 246، 247، 248، 249، 250، 251.
- حقل الترويسة التالية: 38، 208، 210، 230، 234، 245، 328، 329، 330، 331، 332، 333.
- حقل التنبه الصريح للازدحام: 52.
- 185، 199، 243، 270، 271، 279، 281، 292، 330.
- التوجيه بعكس المسار: 106، 123.
- التوجيه تبعاً للمصدر: 22، 30، 35، 36، 37، 38، 42، 46، 64.
- التوجيه غير الصنفي بين النطاقات: أ، 42، 65، 72، 74، 101، 154، 155، 156، 159، 163، 168، 170، 205، 213، 226.
- توزيع حمل: 31.
- تيار صاعد: 110، 119، 125، 283.
- تيار هابط: 110، 119، 125.
- تيريدو: 292.
- ثنائية: 187، 188، 189، 190، 191، 193، 196، 197.
- جار: 208، 235، 258، 259، 265، 266، 268، 269.
- الجيل التالي من بروتوكول الإنترنت: 205.
- جدار حماية: 67، 243.
- جدول ترجمة عنوان الشبكة: 188، 189، 191، 192، 193، 194.
- جدول توجيه: 32، 74، 99، 101، 102، 114، 123، 124، 138، 139، 140، 141، 145، 155، 163، 168، 171، 174، 176، 177، 178، 179، 219، 226، 243، 248.
- جدول حقيقة: 58، 77.
- جلسة ترجمة: 182، 185، 186، 187، 190، 195، 196، 197.
- جودة الخدمة: 12، 14، 22، 23، 30، 31، 36، 37، 42، 46، 47، 50، 51، 65، 127، 204، 207، 210، 232، 234.

- حَقْل عُنْوَانِ الْوَجْهَةِ: 47، 49، 107، 144، 185،
186، 193، 209، 210، 230، 232، 251، 268.
- حَقْل فِهْرَسِ وَسَائِطِ الْأَمْنِ: 332، 333.
- حَقْل قِطَاعَاتِ مُتَبَقِيَّةٍ: 329.
- حَقْل قِيَمَةِ: 49، 50.
- حَقْل قِيَمَةِ تَحْقُقِ مِنَ السَّلَامَةِ: 332، 333.
- حَقْل لَافِتَةِ تَدْفُقٍ: 37، 210، 232، 233.
- حَقْل مُعْرَفٍ: 47، 48، 144، 147، 185، 190، 194،
208، 227، 230، 231، 246، 247.
- حَقْل مُعْرَفٍ قِطْعَةٍ: 330.
- حَقْل مُعْرَفٍ مَجْمُوعَةٍ: 220، 221.
- حَقْل مَجَالٍ: 221.
- حَقْل مُؤَشَّرٍ: 143، 245، 246.
- حَقْل مُؤَقَّتِ إِعَادَةِ الْإِرْسَالِ: 247، 248.
- حَقْل نَوْعٍ: 49، 50، 135، 136، 139، 141، 142،
143، 144، 144، 145، 146، 147، 240، 241،
242، 243، 244، 245، 246، 247، 248، 249،
250، 251، 260، 261، 262، 263، 278، 279،
280، 281، 282، 283، 333، 334.
- حَقْل نَوْعِ تَوْجِيهِ: 329.
- حَقْل نَوْعِ خِدْمَةٍ: 36، 47، 50، 140، 142، 207،
234.
- حَقْل وَحْدَةِ النَّقْلِ الْعُظْمَى: 263.
- حَقْل وَسْمَةِ الْأَصْلِ الرَّمْنِيَّةِ: 146، 147.
- حَقْل وَسْمَةِ الْاسْتِقْبَالِ الرَّمْنِيَّةِ: 146، 147.
- حَقْل وَسْمَةِ إِعَادَةِ الْإِرْسَالِ الرَّمْنِيَّةِ: 146، 147.
- حَقْل خَلْقَةٍ: 106، 109، 112، 122، 123، 129، 329.
- حَقْل خَلْقَةٍ عَكْسِيَّةٍ: 73، 214، 215، 222، 290.
- حَيَادِ الْإِنْتَرْنِتِ: 13.
- حَقْل خِدْمَاتِ مُتَمَايِزَةٍ: 51.
- حَقْل الرَّقْمِ: 50.
- حَقْل رَقْمِ التَّنَائُجِ: 144، 147، 185، 190، 194،
245، 246، 332، 333.
- حَقْل رَقْمِ مَنْقَذِ الْمَصْدَرِ: 185.
- حَقْل رَقْمِ مَنْقَذِ الْوَجْهَةِ: 185.
- حَقْل زَمَنِ الْحَيَاةِ: 47، 48، 62، 143، 145، 146،
148.
- حَقْل زَمَنِ الْحَيَاةِ الصَّالِحِ: 262.
- حَقْل زَمَنِ الْحَيَاةِ الْمَفْضَلِ: 262.
- حَقْل زَمَنِ بُلُوغِ الْجَارِ: 247، 249.
- حَقْل زَمَنِ حَيَاةِ الْمَوْجَّهَةِ: 248، 249.
- حَقْل صَنْفِ حَرَكَةِ الْبَيَانَاتِ: 37، 210، 232.
- حَقْل صَنْفِ الْخِيَارِ: 49، 50.
- حَقْل طُولٍ: 49، 50، 210، 260، 261، 262، 263،
278، 279، 280، 281، 282، 283، 334.
- حَقْل طُولٍ إِجْمَالِيٍّ: 47، 48، 62.
- حَقْل طُولٍ بَادئَةٍ: 261، 262.
- حَقْل طُولٍ بِنْدٍ: 145، 146.
- حَقْل طُولٍ تَرْوِيسَةٍ: 47، 62.
- حَقْل طُولٍ تَرْوِيسَةٍ تَوْسِعَةٍ: 329.
- حَقْل طُولٍ حُمُولَةٍ: 331، 332.
- حَقْل عَدَدِ الْقَفْرَاتِ الْحَالِيَّةِ: 247، 248.
- حَقْل عَدَدِ عَنَاوِينِ الْمَوْجَّهَاتِ: 145، 146.
- حَقْل عَدَدِ الْقَفْرَاتِ: 210.
- حَقْل عُنْوَانِ الْمَصْدَرِ: 47، 49، 144، 185، 186،
188، 189، 192، 193، 194، 210، 230، 232.
- حَقْل عُنْوَانِ الْهَدَفِ: 249، 250، 251، 268.

- خانة: 36، 53، 55، 57، 58، 59، 78، 79، 81، 82، 85، 88، 91، 94، 96، 97، 98، 114، 116، 117، 168، 178، 211، 212، 213، 218، 222، 265.
- خِدْمَة: 5، 9، 10، 11، 14، 15، 18، 22، 26، 30، 43، 115، 205، 207، 232، 233، 235، 248، 264.
- خِدْمَة تَخْطِي جَلْسَة تَرْجَمَة عُنْوَان الشَّبَكَة: 198.
- خِدْمَة التَّوْقِي ت فِي الْإِنْتَرْنِت: 146.
- خِدْمَة مُتْمَايِزَة: 51.
- خِدْمَة مَرْكَزِيَّة: 5، 6، 259.
- خِدْمَة مُوَزَّعَة: 5، 6.
- خِصُوصِيَّة: 42، 69، 207.
- خَوَارِزِمِيَّة پَرِيم: 113.
- خَوَارِزِمِيَّة بِيْلْمَان فُورْد: 113، 123، 126.
- خَوَارِزِمِيَّة دِيكْسْتْرَا: 113، 123، 124.
- خَوَارِزِمِيَّة رِيْفِسْت وَشَامِير وَأَدْلْمَان: 273.
- خَوَارِزِمِيَّة كَرْوْسْكَال: 113.
- خِيَار اسْتِشْعَار وَحْدَة النَّقْل العُظْمَى: 281.
- خِيَار الأَمْن التَّجَارِي: 280.
- خِيَار الأَمْن الرَّئِيس: 278، 280.
- خِيَار الأَمْن المُوسَّع: 279.
- خِيَار إنْذَار المُوجَّه بِاسْتِعْمَال بْرُوتُوْكُول الْإِنْتَرْنِت: 282.
- خِيَار الْبَدَايَة السَّرِيْعَة: 283.
- خِيَار تَتَبُع المَسَار: 148، 282.
- خِيَار التَّحْكُم بِالْوُضُوع التَّجْرِيْبِي: 282.
- خِيَار تَرْوِيسَة إِعَادَة التَّوْجِيه: 260، 262، 268.
- خِيَار التَّوْجِيه غَيْر المُقَيَّد بِمَسَار المَصْدَر: 65، 279، 328.
- خِيَار التَّوْجِيه المُقَيَّد بِمَسَار المَصْدَر: 65، 281.
- خِيَار التَّوْصِيْل مُتَعَدِّد الْوِجِهَات المُدَار بِوَاسِطَة المُرْسَل: 283.
- خِيَار حَشْو بَايْت وَاحِد: 334.
- خِيَار حَشْو N بَايْت: 334.
- خِيَار الرَّدَّ عَلَى اسْتِشْعَار وَحْدَة النَّقْل العُظْمَى: 281.
- خِيَار رِزْم التِّيَّار الصَّاعِد فِي الْبِتِّ المَجْمُوعَاتِي: 283.
- خِيَار عُنْوَان طَبَقَة الْوَصْلَة: 260، 261، 264، 268، 270.
- خِيَار لَّا عَمَلِيَّة: 49، 50، 278.
- خِيَار المَسَار المُسَجَّل: 280.
- خِيَار مُعَرَّف التَّدْفُق: 280.
- خِيَار مَعْلُومَات الْبَادِيَّة: 260، 261، 264.
- خِيَار نِهَايَة قَائِمَة الْخِيَارَات: 49، 50، 278.
- خِيَار وَحْدَة النَّقْل العُظْمَى: 260، 263.
- خِيَار الْوَسْمَة الرَّمْنِيَّة: 279.
- ذَاكِرَة: 35، 36، 63، 64، 270.
- ذَاكِرَة مِخْبِنِيَّة: 267، 268.
- زُبَاعِيَّة: 164، 211، 212، 213، 226، 227.
- رِزْمَة بِيَانَات: 17، 24، 25، 27، 28، 29، 30، 31، 32، 33، 35، 36، 37، 42، 43، 46، 47، 48، 51، 60، 61، 62، 63، 64، 67، 69، 74، 100، 106، 107، 108، 109، 110، 111، 112، 113، 114، 118، 119، 120، 121، 122، 124، 125، 128، 129، 132، 133، 134، 137، 138، 140، 141، 142، 144، 148، 149، 150، 164، 178، 182، 185، 186، 187، 188، 189، 190، 191، 192، 193، 194، 195، 196، 197، 199، 204، 206، 207، 208، 209، 210، 215، 216، 219، 222، 227، 228، 229، 230، 231، 232، 233، 234، 236، 240، 242، 243، 244، 251، 258، 259.

- رسالة التماس عُقدة المُتحرّكة لِبادئة الشَّبكة: 252. 268، 270، 278، 279، 280، 281، 283، 290، 292، 328، 330، 331، 332.
- رسالة التماس مُوجَّه: 133، 136، 144، 145، 146، 224، 234، 235، 241، 246، 247، 248، 256، 259، 260، 263، 264.
- رسالة تأكيد تَكرار العُنوان: 253.
- رسالة تتبع المَسار: 324.
- رسالة تعدُّر بُلوغ وَجْهَة: 132، 136، 137، 138، 139، 241، 242.
- رسالة تقرير مُستمع البثِّ المَجْمُوعاتي: 251، 252.
- رسالة تهدئة المَصْدَر: 134، 324.
- رسالة توليد صدى: 132، 136، 140، 141، 142، 147، 148، 150، 241، 246، 247.
- رسالة توليد صدى مُوسَّعة: 253.
- رسالة خطأ في تحويل حِزمة بيانات: 324.
- رسالة صدى: 132، 136، 144، 147، 148، 149، 241، 246، 247.
- رسالة صدى مُوسَّعة: 253.
- رسالة الرَّد على استعلام مَعْلُومات عُقدة: 252.
- رسالة الرَّد على طلب اسم النُّطاق: 325.
- رسالة الرَّد على طلب اكتشاف عُنوان وكيل المنزل: 252.
- رسالة الرَّد على طلب تسجيل: 325.
- رسالة الرَّد على طلب قناع: 133، 324.
- رسالة الرَّد على طلب مَعْلُومات: 324.
- رسالة الرَّد على طلب الوسمة الزمنية: 136، 144، 146، 147.
- رسالة رزمة مُفرطة في الطُّول: 241، 242، 243، 244.
- رسالة طلب اسم النُّطاق: 325.
- رسالة طلب اكتشاف عُنوان وكيل المنزل: 252.
- رسالة إبلاغ عن خطأ: 132، 135، 136، 137، 194، 234، 238، 239، 240، 241، 242، 250، 329، 334.
- رسالة الإتمام: 252.
- رسالة إدارة المفاتيح لِبروتوكول الإنترنت: 325.
- رسالة استعلام مَعْلُومات عُقدة: 251.
- رسالة استعلام مُستمعي البثِّ المَجْمُوعاتي: 251.
- رسالة إعادة توجيهِ: 132، 136، 140، 141، 142، 150، 235، 241، 242، 250، 251، 259، 260، 262، 268، 269، 271.
- رسالة إعادة توجيهِ مُضيف مُتحرِّك: 324.
- رسالة إعادة عنوانه مُوجَّه: 252.
- رسالة الإعلان عن بادئة الشَّبكة لِلعُقدة المُتحرِّكة: 253.
- رسالة إعلان عن جار: 235، 241، 248، 249، 250، 256، 259، 260، 265، 266، 267، 270.
- رسالة إعلان عن مُوجَّه: 133، 136، 144، 145، 146، 224، 241، 247، 248، 256، 259، 260، 261، 263، 264، 267، 270.
- رسالة إعلام: 132، 135، 136، 137، 144، 185، 190، 194، 234، 238، 239، 240، 241، 246، 25، 253.
- رسالة إعلان لِلاكتشاف المَعكُوس لِالجار: 252، 273.
- رسالة التماس جار: 235، 241، 248، 249، 250، 256، 259، 265، 266، 267، 268، 270، 271.
- رسالة التماس لِلاكتشاف المَعكُوس لِالجار: 252، 273.

- رسالة طلب تحديد تكرار عنوان: 253.
- رسالة طلب تسجيل: 325.
- رسالة طلب قناع: 133، 324.
- رسالة طلب وسمة زمنية: 136، 144، 146، 147.
- رسالة عنوان المضيف البديل: 324.
- رسالة مجمعة: 23، 24.
- رسالة مشكلة في محدّد: 136، 143، 241، 242، 244، 245.
- رسالة نفاذ الزمن: 136، 142، 241.
- رقم منفذ: 67، 126، 138، 140، 164، 182، 184.
- رقم نظام مستقل: 37، 171.
- زمن بلوغ الجار: 267، 268.
- زمن حقيقي: 52.
- ساعات: 280.
- سجل إنترنت إقليمي: 60، 83، 154، 157، 159.
- 160، 161، 171، 172، 185، 224، 226.
- سجل إنترنت محلي: 157، 171، 224.
- سجل إنترنت محلي فرعي: 157.
- سرّية: 42، 69، 332.
- سلامة: 69، 137، 332.
- سلوك اختيار الصنف: 51، 52.
- سلوك الإرسال الافتراضي: 51.
- سلوك الإرسال المُعجّل: 51، 52.
- سلوك الإرسال المؤمن: 51، 52.
- سلوك خاص بكلّ قفزة: 51.
- سيكلاد: 25، 42.
- شبكة ثابتة البنية: 122.
- شبكة لاسلكية: 273.
- شبكة مخصصة متحركة البنية: 122، 126، 127.
- شبكة متباعدة: 7، 24.
- شبكة محلية: 24، 28، 52، 109، 118، 119، 120، 122، 123، 124، 128، 132، 137، 141، 149، 156، 164، 186، 187، 195، 221، 223، 224، 235، 236، 238، 240، 243، 250، 251، 252، 253، 256، 257، 258، 259، 261، 263، 264، 265، 266، 268، 269، 270، 271، 291، 329.
- شبكة هاتف عامة: 23، 197.
- شجرة بث مجموعاتي: 108، 109، 110، 112، 113.
- 118، 119، 121، 122، 125، 127، 283.
- شجرة شتاينر: 113.
- شجرة مبنية تبعاً للمصدر: 111، 123، 124، 126.
- شجرة متفرعة: 106، 107، 108، 109، 111، 112.
- 122، 123، 126.
- شجرة متفرعة صغرى: 112، 113.
- شجرة متفرعة قصرى: 109، 112، 123.
- شجرة مركزية النواة: 111، 125.
- شجرة مشتركة: 111، 112، 124، 125، 126.
- شجرة مشتركة ثنائية الاتجاه: 125.
- شجرة مشتركة وحيدة الاتجاه: 125.
- شفافية الإنترنت: 195.
- شهادة اعتماد: 273، 274.
- صنف: 45، 46، 55، 73، 78، 79، 84، 86، 95، 159، 173، 178، 205.
- الصنف A: 55، 56، 73، 79، 80، 81، 93، 169، 173، 183، 205، 290، 296، 297، 298، 300، 301، 317، 318.

- طرفيّة: 5، 6، 13، 18، 23، 25، 26، 27، 31، 32،
106، 114، 128، 137، 154.
- طوبولوجيا: وو، 72، 102، 108، 125، 126، 127،
174، 175، 179، 219، 220، 286.
- عتاد مادّي: 7، 101، 109، 121، 154، 155، 168،
243.
- طور الاستنفاد: 160، 161.
- طور الوفرة: 160، 161.
- عرض نطاق: 30، 31، 102، 111، 128.
- عضو مجموعة: 106، 108، 109، 110، 111، 112،
118، 119، 120، 123، 124، 128، 236.
- عطف منطقي: 58، 72، 76، 77.
- عقدة: 5، 23، 31، 33، 35، 46، 108، 109، 110،
111، 112، 113، 115، 116، 119، 120، 127،
134، 178، 207، 208، 209، 215، 218، 219،
221، 222، 223، 232، 234، 236، 238، 239،
240، 241، 242، 243، 244، 245، 246، 248،
249، 252، 253، 254، 256، 257، 258، 259،
263، 264، 265، 266، 267، 269، 270، 271،
272، 273، 325، 328، 329، 330، 334.
- عقدة جذر: 109، 110، 111، 112، 119، 125،
126.
- عقدة متحركة: 126، 252، 253، 271، 325.
- عقدة وسيطة: 5، 7، 24، 60، 110، 119.
- عقدة ورقة: 110، 119، 125.
- علم إشعار التأكيد: 196.
- علم الالتقاء: 220.
- علم الالتماس: 249، 250.
- علم إعادة الضبط: 196.
- الصّنف B: 55، 56، 73، 79، 80، 81، 82، 83، 87، 155،
159، 168، 169، 170، 173، 183، 205، 290،
302، 304، 305، 315، 316.
- الصّنف C: 55، 56، 73، 79، 80، 81، 82، 83، 90،
96، 98، 99، 100، 155، 159، 169، 173، 183،
205، 291، 307، 314.
- الصّنف D: 55، 56، 169، 205.
- الصّنف E: 55، 56، 169، 291.
- ضغط خلفي: 35.
- طاقة: 126، 127.
- طبقة الإنترنت: 16، 17، 18، 19.
- طبقة التطبيق: 12، 15، 16، 17، 18، 19، 134.
- طبقة التمثيل: 12، 13، 15.
- الطبقة الثالثة: 12، 15، 26، 29، 109، 114، 121،
122، 128، 235، 236، 248.
- الطبقة الثانية: 15، 109، 114، 121، 122، 128،
235، 248.
- طبقة الجلسة: 12، 13، 15.
- الطبقة الرابعة: 12، 26.
- طبقة الشبكة: 12، 14، 15، 22، 26، 30، 31، 33،
34، 42، 43، 45، 46، 60، 64، 68، 69، 106، 108،
114، 116، 117، 118، 120، 121، 134، 138،
183، 194، 204، 206، 207، 208، 234.
- الطبقة الماديّة: 12، 14، 15.
- طبقة النّقل: 12، 13، 15، 16، 17، 18، 19، 22، 26،
34، 43، 45، 46، 134، 139، 183، 195.
- طبقة الوصلة: 12، 14، 15، 16، 17، 18، 19، 34،
45، 46، 68، 100، 108، 114، 116، 118، 121،
140، 208، 228، 242، 249، 252، 256، 258،
259، 260، 261، 264، 265، 270، 272.

- عَلَمُ الْبَادِنَةُ: 220.
عُنْوَانُ بَثِّ فَرِيدٍ وَجِهَةٌ مُقْتَرَنٌ مَعَ الْإِصْدَارِ الرَّابِعِ: 218، 219.
عَلَمُ التَّخْطِي: 249، 250.
عَلَمُ التَّهْيِئَةِ الْإِضَافِيَّةِ: 247، 248.
عَلَمُ التَّهْيِئَةِ الْمُسْتَقِلَّةِ لِلْعُنَاوِينِ: 261، 262.
عَلَمُ الدَّيْمُومَةِ: 220.
عَلَمُ عَدَمِ التَّقْطِيعِ: 48، 61، 62، 138، 139.
عَلَمُ الْمَزَامَنَةِ: 196.
عَلَمُ الْمَزِيدِ مِنَ الْقِطْعِ: 48، 62، 229، 230، 330.
عَلَمُ الْمَوْجَّهِ: 249، 250.
عَلَمُ النِّسْخِ: 49، 50.
عَلَمُ النِّهَائِيَّةِ: 196.
عَلَمُ الْوَصْلَةِ الْمَحَلِّيَّةِ: 261، 262.
عَلَمُ وَضْعِ التَّهْيِئَةِ: 247، 248.
عَمَلِيَّةٌ: 24، 27، 28، 43.
عُنْفُودٌ: 126، 127.
عُنْوَانُ بُرُونُكُولِ الْإِنْتَرْنِتِ: 45، 49، 52، 53، 57، 59، 68، 72، 145، 147، 171، 178، 182، 191، 192، 193، 198، 207، 210، 211، 219، 243، 265، 272، 279، 282، 290.
عُنْوَانُ بَثِّ عَامٍ: 54، 59، 77، 81، 83، 84، 85، 86، 89، 92، 100، 101، 107، 149، 173، 266، 297، 298، 299، 301، 302، 304، 305، 306، 308، 309، 311، 312، 313، 314، 315، 316، 317، 318.
عُنْوَانُ بَثِّ فَرِيدٍ وَجِهَةٌ عَالَمِيَّةٌ: 215، 216.
عُنْوَانُ بَثِّ فَرِيدٍ وَجِهَةٌ فِي وَصْلَةٍ مَحَلِّيَّةٍ: 216.
عُنْوَانُ بَثِّ فَرِيدٍ وَجِهَةٌ مُتَوَافِقٌ مَعَ الْإِصْدَارِ الرَّابِعِ: 218.
عُنُونَةٌ بِرْمَجِيَّةٌ: 168.

- عَنْوَنَة صَنْفِيَّة: 45، 53، 54، 72، 77، 86، 87، 90، 93، 95، 96، 163، 168، 170، 178، 296، 297، 298، 300، 301، 302، 304، 305، 307.
- عَنْوَنَة غَيْر صَنْفِيَّة: 45، 46، 53، 55، 65، 72، 74، 78، 83، 86، 87، 90، 94، 95، 97، 159، 163، 168، 170، 174، 178، 308، 310، 312، 313.
- غَمْر: 36، 107، 108، 109، 121، 150، 253، 269، 272.
- فَاصِلَة مُتَحَرِّكَة: 75.
- فَضَاء عَنَاوِين: 46، 53، 65، 66، 73، 77، 78، 81، 87، 92، 98، 101، 102، 106، 107، 114، 115، 116، 125، 129، 141، 154، 157، 159، 161، 162، 164، 168، 169، 170، 171، 173، 178، 183، 204، 206، 207، 211، 214، 215، 224، 226، 286، 290، 292، 296، 297، 298، 300، 301، 302، 304، 305، 307، 308، 310، 311، 312، 313، 314، 316، 317.
- فَضَاء عَنَاوِين جُزْئِيَّة: 46، 66، 67، 72، 74، 78، 79، 80، 83، 84، 87، 89، 92، 96، 98، 99، 100، 101، 102، 114، 141، 161، 169، 170، 171، 172، 174، 179، 183، 204، 205، 213، 215، 223، 224، 225، 226، 227، 296، 297، 298، 299، 300، 301، 302، 303، 304، 305، 306، 308، 309، 310، 311، 312، 313، 314، 315، 316، 317، 318، 319، 320، 321.
- فَضَاء عَنَاوِين خَاصَّة: 100، 156، 164، 182، 183، 188، 190، 195، 290.
- فَضَاء عَنَاوِين عَامَّة: 156، 164، 188، 190.
- فَكُّ التَّغْلِيْف: 11، 16، 17، 29، 45، 46، 118، 119، 184.
- فَكُّ التَّنْضِيْد: 30، 33، 34، 46.
- قَابِلِيَّة تَوْسَع: 125.
- قَرَار تَوْجِيْه: 119، 178.
- قَفْزَة: 48، 51، 107، 127، 148، 210، 211، 244، 248، 259، 264، 268، 272، 282.
- قَنَاة: 23، 42، 207.
- قَنَاة افْتِرَاضِيَّة: 7، 11، 13، 15، 19، 26، 27، 28، 154.
- قَطْعَة: 14، 17، 32، 37، 42، 46، 48، 60، 61، 62، 63، 67، 68، 137، 143، 150، 204، 227، 229، 230، 231، 244.
- قَطْعَة ذَرِيَّة: 233.
- قِنَاع تَجْزِيَّة: 91، 93، 94، 97، 99، 102، 297، 298، 300، 302، 303، 305، 306، 308، 309، 310، 312، 320، 322.
- قِنَاع فَضَاء: 57، 59، 66، 72، 84، 87، 93، 100، 135، 171، 172، 173، 178، 183، 213، 296، 297، 298، 300، 301، 302، 304، 305، 306، 314، 315، 317، 318، 319.
- قِنَاع فَضَاء جُزْئِيَّة: 77، 80، 82، 83، 85، 89، 94، 95، 101، 221، 297، 298، 300، 302، 302، 305، 306، 308، 309، 310، 312، 315، 317، 320، 322.
- كَاتِيْبَات، الشَّبَكَة المُتَسَلِّسِلَة: 25، 72.
- كَذْبَة أُبْرِيْل: 45.
- كِيَان: 6، 8، 9، 10، 11، 13، 14، 15، 33، 34، 60، 114، 116، 118، 134، 137، 138، 149.
- لَا فِتَة التَّدْفُق: 37، 206.
- لُغَة النَّمْذَجَة المُوَحَّدَة: 135.
- لُوكَارِيْتَم: 84.

- لينكس: 147، 148.
- مَبْدَأُ الطَّرْفَيْن: 13، 182، 194.
- مَبْدَل: 14، 15، 19، 109، 121، 128، 129.
- مَبْدَل عديد الطَّبَقَات: 121، 128.
- مُتَمِّم أَوَّل: 48، 49.
- مَجْمُوعَةٌ: 69، 106، 109، 116، 118، 119، 120، 121، 124، 128، 220، 223، 236، 252.
- مَجْمُوعَةٌ عَنَاوِين البَثِّ المَجْمُوعَاتِي مُحَدَّد المَصْدَر: 287.
- مَجْمُوعَةٌ عَنَاوِين التَّحْكُم بَيْن الشَّبَكِيَّة: 286.
- مَجْمُوعَةٌ عَنَاوِين التَّحْكُم فِي الشَّبَكَةِ المَحَلِّيَّة: 286.
- مَجْمُوعَةٌ كُلُّ العُقْد: 116، 222، 264.
- مَجْمُوعَةٌ كُلُّ المُوَجَّهَات: 116، 222، 263.
- مَجْمُوعَةٌ عَنَاوِين كَلُوب: 287.
- مُخَدَّم: 186، 223، 273.
- مُخَدَّم نِظَام تَسْمِيَةِ النُّطَاقَات: 193.
- مَخْرَج افْتِرَاضِي: 109، 150، 240، 253، 256، 266، 268، 270، 271.
- مُخَطَّط تَتَابِع: 135.
- مُدْخَرَةٌ: 126.
- مُدِير الشَّبَكَةِ: 78، 134، 217، 226، 253، 257.
- مَسَار مُجْمَع: 174.
- مَسَار مُخْتَصِر: 174، 175، 176، 177، 178، 180.
- مُسْتَمِع بَثِّ مَجْمُوعَاتِي: 236، 251.
- مُصَادَقَةٌ، تَحْقُق مِن هَوِيَّة: 69، 207، 238، 253، 331، 332.
- مُصَافِحَةٌ ثَلَاثِيَّة المَرَاحِل، مُصَافِحَةٌ ثَلَاثِيَّة: 195، 196.
- مَصْدَر وَحِيد وَكُلُّ الوَجْهَات: 107.
- مَصْدَر وَحِيد وَوَجْهَات عَدِيدَةٌ: 107، 118.
- مَصْدَر وَحِيد وَوَجْهَةٌ وَحِيدَةٌ: 107.
- مُضَيِّف: 24، 25، 27، 28، 29، 31، 36، 42، 43، 46، 47، 49، 52، 53، 54، 55، 57، 59، 60، 65، 68، 69، 69، 73، 77، 79، 81، 83، 85، 86، 100، 101، 107، 109، 110، 120، 128، 133، 135، 137، 139، 142، 144، 145، 147، 150، 156، 164، 168، 171، 173، 178، 184، 185، 186، 187، 190، 191، 192، 194، 195، 198، 207، 208، 213، 222، 223، 224، 227، 228، 230، 232، 233، 246، 258، 259، 261، 264، 265، 266، 268، 270، 272، 279، 290، 292، 297، 298، 299، 300، 301، 302، 304، 305، 306، 308، 309، 311، 312، 313، 314، 315، 316، 317، 318، 319، 324، 325، 329.
- مُضَيِّف بَعِيد: 68، 149، 191.
- مُضَيِّف مُتَحَرِّك: 324.
- مُزَوِّد خِدْمَةٍ: 65، 157، 161، 172، 179، 180، 225، 226.
- مُزَوِّد خِدْمَةٍ مَحَلِّي: 161، 162، 172، 225، 226.
- مُعَدَّل نَقْل: 13، 27، 31، 211، 268، 283.
- مُعَدَّل إِنتَاجِيَّة: 31، 36، 47، 50، 51.
- مُعَرَّف جِلْسَةٍ آمَنَةٍ: 332.
- مُعَرَّف فِضَاء: 54، 55، 56، 57، 59، 73، 77، 78، 79، 81، 82، 83، 84، 85، 86، 87، 88، 89، 90، 91، 92، 93، 94، 96، 97، 170، 212، 296، 298، 299، 300، 301، 302، 303، 304، 305، 306، 307، 309.
- مُعَرَّف فِضَاء جُزْئِي: 78، 79، 80، 81، 82، 83، 84، 85، 86، 87، 88، 89، 90، 91، 92، 93، 94، 95.

- ،135 ،133 ،129 ،128 ،124 ،123 ،121 ،120 ،298 ،297 ،296 ،226 ،218 ،217 ،216 ،97 ،96 ،299 ،306 ،305 ،304 ،303 ،302 ،301 ،300 ،307 ،319 ،314 ،313 ،312 ،310 ،309 ،308 ،320 ،322 ،321 ،320
- ،235 ،223 ،222 ،219 ،215 ،211 ،210 ،208 ،78 ،77 ،73 ،59 ،57 ،56 ،55 ،54 ،مُعَرَّف مُضَيَّف: ،80 ،81 ،82 ،83 ،85 ،86 ،87 ،88 ،89 ،90 ،91 ،92 ،93 ،94 ،95 ،96 ،100 ،170 ،171 ،183 ،296 ،297 ،298 ،299 ،300 ،301 ،302 ،303 ،304 ،305 ،306 ،307 ،308 ،309 ،310 ،312 ،313 ،314 ،319 ،314
- مُوجَّه مُتَرْجِم: 185 ،188 ،189 ،196 ،197 ،198 ،. مَوْزَع: 14 .
- مُؤَقَّت انْتِظَار: 62 ،63 ،64 ،68 ،142 ،145 ،196 ،197 ،244 ،248 ،267 .
- مِيزَة مُرَاقِبَة بَرُوتُو كُول إِدَارَة مَجْمُوعَة الإِنْتِرْنِت: 106 ،109 ،121 ،128 ،129 .
- نِطَاق تَوَجِيه: 108 ،114 ،122 ،123 ،125 ،126 .
- نِطَاق خِدْمَة مُتَمَايِزَة: 51 .
- نِطَاق عَنَاوِين: 184 ،185 .
- نِطَاق عَنَاوِين خَارِجِيّ: 182 ،185 ،186 ،188 ،189 ،190 ،191 ،192 ،193 ،194 ،195 .
- نِطَاق عَنَاوِين دَاخِلِيّ: 182 ،185 ،186 ،188 ،189 ،190 ،191 ،192 ،193 ،194 ،195 .
- نِظَام تَسْمِيَة نِطَاق: 18 ،37 ،66 ،193 ،248 ،272 .
- نِظَام عَدّ: 74 ،75 ،76 ،77 ،87 ،90 ،92 ،96 .
- نِظَام عَدّ ثُنَائِيّ: 36 ،53 ،56 ،58 ،59 ،75 ،76 ،77 ،84 ،88 ،94 ،97 ،98 ،117 ،168 ،175 ،176 ،177 ،211 ،212 ،221 ،227 ،320 ،322 .
- نِظَام عَدّ سِتَّة عَشْرِيّ: 37 ،49 ،76 ،116 ،118 ،164 ،211 ،212 ،320 ،322 .
- نِظَام عَدّ عَشْرِيّ: 53 ،58 ،59 ،75 ،76 ،77 ،88 ،91 ،94 ،97 ،98 ،117 ،168 .
- مُعَرَّف فِضَاء عَنَاوِين وَصَلَة مَحَلِّيَّة: 215 .
- مُعَرَّف فِضَاء عَنَاوِين فَرِيدَة مَحَلِّيَّة: 216 .
- مُعَرَّف فِضَاء عَنَاوِين فَرِيدَة مَحَلِّيَّة فِي الْمَوْقِع: 216 .
- مُعَرَّف فَرِيد مُوَسَّع: 224 ،226 .
- مُعَرَّف مُنظَّمة فَرِيد: 117 .
- مُعَرَّف مَنفَعْد: 212 ،216 ،217 ،218 ،222 ،224 ،226 ،227 ،319 ،320 ،321 ،322 .
- مُفَكِّك تَنْضِيد: 33 ،34 .
- مِقْبَس اتِّصَال: 184 .
- مُلاحَظَة تِجَارِب الإِنْتِرْنِت: ب،ب، دد، هه، 43 ،73 .
- مُنضَّد: 33 ،34 .
- مَنْطِقَة: 126 ،127 .
- مُنظَّمة مُتَعَدِّدَة الْمَوَاقِع: 179 ،195 .
- مَنفَعْد: 28 ،36 ،60 ،107 ،109 ،121 ،128 ،129 ،145 ،174 ،179 ،180 ،207 ،211 ،212 ،215 ،216 ،219 ،221 ،222 ،223 ،243 ،252 ،259 ،264 ،280 ،281 ،329 .
- مَوْثُوقِيَّة: 31 ،36 ،37 ،47 ،50 ،51 ،134 .
- مُوجَّه: 14 ،15 ،19 ،22 ،48 ،49 ،51 ،52 ،60 ،65 ،99 ،102 ،103 ،107 ،108 ،109 ،111 ،118 ،119 ،

- نظام مُستقل: 171، 125، 114، 114.
- النَّظام المُستقل رقم 112: 292.
- نظام فرعي: 8، 9، 10.
- نظام مَفْتُوح: 8، 9.
- نظام وسيط: 109، 114، 119.
- نظرية البَيان: 113.
- نقطة التقاء: 111، 112، 220.
- نقطة نفاذ لِلخدمة: 8، 9، 10، 11، 31.
- نقل الصُّوت باستعمال بُروتوكُول الإنترنت: 197.
- نموذج الإنترنت: 4، 7، 15، 19.
- نموذج التَّحكُّم بالطَّرْفِيَّات: 6، 7.
- نموذج الرِّبَط البينيِّ لِلأنظمة المَفْتُوحة: 4، 7، 8، 9، 10، 11، 12، 14، 15، 18، 19، 22، 26، 27، 29، 30، 34، 42، 43، 45، 106، 109، 114، 121، 122، 128، 204، 206، 235، 248.
- نموذج طلب الخدمة: 273.
- نموذج قِشرة البَصَلَة: 6.
- نموذج مُتعدِّد الطَّبقات: 6، 7.
- نموذج مرجعيِّ أساسي: 8.
- نموذج وزارة الدِّفاع: 15.
- هُجُوم إعادة التَّوجيه: 238، 253، 270، 271.
- هُجُوم إلْغاء المُوجَّه الافتراضي: 271.
- هُجُوم أمر التَّحَقُّق مِن الاتِّصال المُميث: 132، 150.
- هُجُوم انفجاري: 132، 149، 150.
- هُجُوم بادئة تهيئة العناوين الوهميَّة: 271.
- هُجُوم تسريب المَعْلُومات: 132، 149.
- هُجُوم حجب الخدمة: 132، 149، 234، 238، 253، 256، 269، 270، 271، 272.
- هُجُوم حجب الخدمة بالغمر: 269.
- هُجُوم البادئات المحلِّيَّة الوهميَّة: 271.
- هُجُوم بانتحال العناوين: 256، 269.
- هُجُوم بانتحال رسائل إعادة التَّوجيه: 271.
- هُجُوم بانتحال المُحدِّدات: 272.
- هُجُوم بانتحال المُوجَّه: 256، 269.
- هُجُوم بانتحال الهويَّة: 238، 253.
- هُجُوم تلاعب بالمحتوى: 238، 253.
- هُجُوم السَّنافر: 132، 149.
- هُجُوم سرقة الخدمة: 204، 234.
- هُجُوم القِطْع المُتراكبة: 67، 204، 233.
- هُجُوم القِطْعَة الصَّغيرة: 204، 233.
- هُجُوم المَخْرَج الافتراضي الخبيث: 270.
- هُجُوم الوسيط: وو، 132، 150، 253، 270، 331.
- هُجُوم عَمْر: 132، 137، 149، 150.
- هُجُوم مُضادُّ لإعادة الإرسال: 332.
- هُجُوم مُعتمِد على رسائل رَدِّ: 69، 272.
- الوَاجهة البيئيَّة للبيانات المُوزَّعة بالألياف: 116.
- وَحدة بيانات بُروتوكُول: 8، 12، 14، 16، 17، 25، 36، 45، 46.
- وَحدة بيانات خدمة: 8، 9، 11، 12.
- وَحدة معياريَّة: 9.
- وَحدة نقل عَظْمَى: 29، 32، 36، 37، 46، 60، 61، 62، 138، 204، 207، 227، 242، 243، 244، 246، 248، 256، 259، 262، 263، 264، 281، 330.
- وزن: 114، 127، 211.
- وسط اتِّصال: 9، 15، 16، 17، 18، 19، 27، 29، 208.

- وصلة مَحَلِّيَّة: 215، 217، 223، 290، 293.
- فلسطين: زز.
- ويندُوز: 132، 147، 148.
- القاهرة: 417، وو.
- ويندُوز 10: 147، 148، 149.
- الكويت: غ.
- كندا: 158.
- لبنان: زز.
- الأردن: زز.
- المملكة المُتَّحدة: 158.
- الاتِّحاد الأوروپي: 158.
- منغولية: 158.
- الإسكندريَّة: هه.
- هايتي: 158.
- أفغانستان: 158.
- الهند: 158.
- أوروپة: ذ.
- الولايات المُتَّحدة الأمريكيَّة: ذ، 4، 158، 204.
- إيران: 158.
- اليابان: 158.
- باكستان: 158.
- بايُون: حح، 274.
- بغداد: بب.
- بنسِلَقَانيا: 73.
- بُورنُوريكو: 158.
- بيدار: حح.
- بيروت: ظ، جج.
- جامايكة: 158.
- الدَّار البيضاء: هه.
- دمشق: 417.
- الدُّومنيگان: 158.
- الرِّباط: 417.
- سان فرانسيسكو: 121،
- سُوريَّة: ض، ظ، هه، زز.
- الصِّين: 158.
- عمَّان: وو.
- فرنسة: ض، ظ، هه، حح، 25.

عن المؤلف

نال ميشيل بكني شهادة البكالوريوس في هندسة الاتصالات والإلكترونيات من جامعة تشرين في سورية عام 2013م، وأكمل دراسته العليا في جامعة بلفور ومونبليار للتقانة في فرنسا حيث حصل على درجة الماجستير عام 2017م باختصاص الشبكات الموزعة المتحركة، ثم حصل على درجة الفلسفة في الهندسة الإلكترونية من جامعة بوردو. تتمحور موضوعات أبحاثه حول الشبكات والمستشعرات اللاسلكية واستهلاك الطاقة فيها وتحسينها.



About the author

Michel Bakni received the B.S. degree in telecommunication and electronics from Tishreen University, Syria, in 2013 and the M.S. degree from UTBM (French: Université de Technologie de Belfort-Montbéliard), France, in 2017, in mobile and distributed networks. In 2021, He received a Ph.D. degree in electronics from the doctoral school of the University of Bordeaux. His research interests include networking, wireless sensor networks, and energy consumption optimization.

من مؤلفاته:

- باللغة العربية:
 - مذكرة في أصول تجزئة الشبكة
 - الترانزستور ثنائي القطب: القواعد والفوائد (ISBN: 978-2-95-768870-8).
- باللغة الإنكليزية:
 - Huawei HCIA-IoT v. 2.5 : Evaluation Questions (DOI: 10.6084/m9.figshare.14336687)

تُرِكَتْ هَذِهِ الصَّفْحَةُ فَارِغَةً عَمْدًا لِغَرَضِ تَنْسِيقِ الْكِتَابِ

عن الكتاب

هذه رحلةٌ عبر خمسين عاماً من تاريخ الإنترنت،
يبدأها الكتاب بعرض أصول الشبكة ونمذجتها
ووظيفة التشبيك فيها، ثم يشرح كيف طُوِّر
بروتوكول الإنترنت فيها ولماذا، وما هي
الوظائف التي يُؤدِّيها بالتحديد وما هي مُلحقاته.
تخوض الفصول بعد ذلك في مُشكلة استنفاد
فضاء عناوين الإصدار الرَّابع من بروتوكول
الإنترنت، وما هي الحلول التي طُرحت لمواجهتها،
وُصُولاً إلى الإصدار السَّادس من بروتوكول
الإنترنت الذي يُمثِّل الحلَّ النَّهائِيَّ، وهو مع
مُلحقاته مَوْضوع الباب الأخير.



تصميم الغلاف: زينة خوري

ISBN 978-2-95-768871-5



9 782957 688715



icn