HAL
open science

Contrôle du trafic dans un réseau LPWAN : approche distribuée et probabiliste

Kawtar Lasri, Loubna Echabbi, Oana Iova, Yann Ben Maissa, Fabrice Valois

To cite this version:

Kawtar Lasri, Loubna Echabbi, Oana Iova, Yann Ben Maissa, Fabrice Valois. Contrôle du trafic dans un réseau LPWAN : approche distribuée et probabiliste. CORES 2020 - Rencontres Francophones sur la conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication, Sep 2020, lyon, France. pp.1-4. hal-02776997

HAL Id: hal-02776997

https://hal.science/hal-02776997v1

Submitted on 4 Jun 2020

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.

Contrôle du trafic dans un réseau LPWAN : approche distribuée et probabiliste

Kawtar Lasri[1,2], Loubna Echabbi[1], Oana Iova[2], Yann Ben Maissa[1], FabriceValois[2]

[1]*INPT, STRS, Rabat, Maroc*
[2]*Univ Lyon, INSA Lyon, Inria, CITI, F-69621 Villeurbanne, France*

Les réseaux Low-Power Wide Area Networks (LPWAN) sont des réseaux sans fil à très faible consommation d'énergie et à large couverture. Capables de supporter le trafic de près d'un millier de noeuds avec un cycle d'activité de moins de 1%, ils deviennent la solution de référence pour l'Internet des Objets. Toutefois, la densification progressive des objets connectés rend le réseau inefficace à cause de l'augmentation du nombre de collisions et de la gestion du trafic descendant. Dans ce travail, nous proposons un mécanisme distribué et probabiliste permettant à un objet connecté d'adapter son trafic au besoin applicatif, en étant agnostique du nombre d'objets présents dans le réseau. Nous l'appliquons au cas particulier de la collecte de données d'un phénomène physique à l'échelle d'une ville.

Mots-clefs : LPWAN, contrôle du trafic, transmission probabiliste, LoRa, approche distribuée.

1 Introduction

Le déploiement d'objets connectés dans l'environnement permet de faire émerger le concept de villes intelligentes. Via des mesures physiques issues de capteurs, nous pouvons obtenir une cartographie du bruit ou de la pollution de l'air [BBR19]. La collecte des données, issue de ces objets connectés, se fait la plupart du temps à travers un réseau sans fil. Les technologies LPWAN (*Low Power Wide Area Network*), telles que LoRa [AYCT16], permettent de fournir rapidement, à des coûts raisonnables, une infrastructure de collecte. Ces réseaux sans fil, à bas débits, peuvent couvrir aisément plusieurs kilomètres et sont suffisants pour supporter la transmission d'informations de mesures horodatées et géolocalisées. Toutefois, ces réseaux sont dimensionnés pour supporter plusieurs centaines d'objets connectés, seuil rapidement atteint si l'on envisage les nombreuses applications qui peuvent être déployées à l'échelle d'une ville. Dès lors, un réseau LPWAN peut être saturé rapidement s'il est exposé à trop de données envoyées par de trop nombreux objets connectés. Notons que ce problème guette les déploiements à venir et ceux déjà opérationnels : la densification du réseau entraîne un accroissement du nombre de collisions et un coût important du trafic descendant. Dans ce travail, nous proposons une approche distribuée et probabiliste pour le contrôle de trafic montant dans un réseau LPWAN. Plus précisément, nous cherchons à adapter l'intensité de trafic d'objets, en fonction des besoins de l'application sur une zone de couverture.

2 Problématique

Dans un réseau de type LPWAN, les objets connectés émettent des messages via un accès Aloha [Abr70] sur une liaison montante, en fonction des besoins applicatifs et au regard d'un cycle d'activité très limité (1%). La station de base a la possibilité d'acquitter chaque message reçu, à travers un message en diffusion sur la voie descendante, impactant tous les objets sur la zone de couverture. Notons, qu'il n'y a pas de communications directes entre les objets connectés. En l'absence d'un mécanisme de contrôle, si le nombre d'objets connectés croît alors la probabilité de collisions tend vers 1 (Fig. 1) si le trafic envoyé par chaque objet connecté ne varie pas au cours du temps. Pour éviter ce problème de saturation, il faut proposer un mécanisme de contrôle du trafic des objets connectés en fonction du besoin applicatif, tout en étant agnostique du nombre d'objets présents dans le réseau.

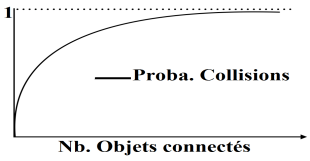


FIGURE 1: Aloha - La probabilité de collisions augmente en fonction du nombre d'objets connectés

3 Vers une approche probabiliste du trafic des objets connectés

Hypothèses. Nous considérons le cas d'un réseau composé de N objets connectés homogènes et d'une seule station de base couvrant la zone de service. Nous considérons ici que le nombre N d'objets connectés est inconnu. Dans le cas général, ce nombre d'objets connectés peut évoluer au cours du temps, en fonction des déploiements successifs ou des pannes matérielles ou des batteries épuisées, même si dans notre travail nous le supposerons constant au cours du temps. La famille d'applications considérées correspond aux applications de collecte de données, telle que la pollution, qui exige la remontée de K mesures sur l'ensemble de la zone de couverture par période de temps ΔT.

Dans un réseau LPWAN, la voie descendante est essentiellement utilisée pour acquitter les paquets correctement reçus au niveau de la station de base. Nous affirmons qu'il est possible de l'utiliser comme un mécanisme de contrôle en indiquant, par exemple, le nombre de paquets effectivement reçus au cours de la période ΔT précédente ainsi que le nombre de paquets K attendus par l'application. Il est possible d'envisager tout autre type de message dans le but de notifier si l'objectif est atteint. Ainsi, en fonction de l'information de contrôle reçue et de règles locales, chaque objet connecté peut adapter son trafic afin de répondre au besoin de l'application. L'implémentation du lien descendant n'est pas le sujet de ce travail.

Approche. Nous proposons un mécanisme probabiliste de contrôle du trafic de type AIMD(x_I,x_D) (*Additive Increase Multiplicative Decrease*), les paramètres x_I et x_D représentent respectivement les quantitées de trafic à ajouter ou à diminuer. AIMD offre un comportement stable tout en réagissant rapidement en cas de dépassement de seuil grâce à l'ajustement du trafic en se basant sur les informations envoyées par la station de base, à chaque période ΔT. Tant que la station de base ne reçoit pas le nombre K de paquets attendus par l'application par ΔT, chaque objet dans le réseau augmente son trafic d'un facteur additif x_I. Lorsque la station de base reçoit plus de K paquets sur la zone de couverture, les objets diminuent leur trafic d'un facteur multiplicatif x_D. Cette méthode permet d'augmenter le trafic de façon incrémentale, en essayant de ne pas dépasser l'objectif de K paquets par période ΔT sur la zone de couverture, et de le diminuer plus agressivement lorsque la valeur souhaitée K est dépassée.

Fig. 2 illustre les étapes du protocole probabiliste adopté par tout objet connecté appartenant au réseau. À l'état initial, chaque objet choisit uniformément ses facteurs x_{I_n} et x_{D_n} dans l'intervalle $[0,1[$. Après, il attend la réception du message en diffusion *MB*, envoyé par la station de base après chaque période ΔT, pour décider du nombre de messages m_n qu'il va transmettre. *Le message de diffusion* MB *n'est envoyé par la passerelle que si le nombre de messages reçus est différent de celui désirés*. Suivant le principe d'AIMD, à la réception de ce message, chaque objet connecté décide d'augmenter de façon linéaire ou de diminuer de façon exponentielle son trafic. Si $MB = 1$, l'intensité de trafic α_n est augmentée linéairement par x_{I_n}, sinon on la diminue exponentiellement en la multipliant par x_{D_n}. Le nombre de paquets à transmettre, m_n, est alors la partie entière de la nouvelle valeur de α_n. Ensuite, l'objet transmet ses messages en choisissant aléatoirement des instants de transmissions $T_t \in [0, \Delta T]$, tout en respectant le temps de transmission des messages et la période ΔT.

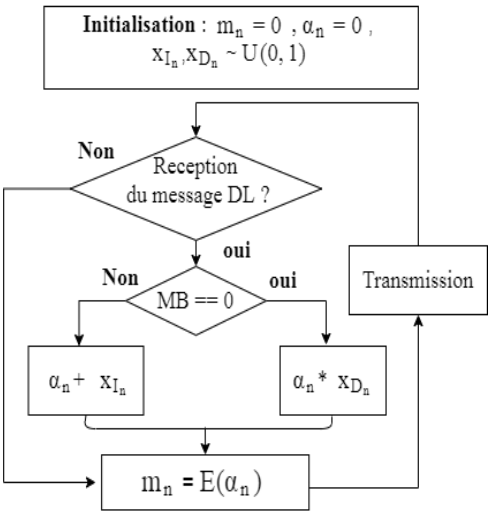


FIGURE 2: Approche probabiliste et AIMD.

4 Évaluation de performance

Nous avons implémenté et évalué notre algorithme en utilisant le simulateur LoRaSim [BRVA16]. LoRaSim est un simulateur à événements discrets, basé sur Simpy, qui permet de simuler les collisions, l'effet de capture et les interférences dans les réseaux LoRaWAN. Nous avons adapté LoRaSim pour intégrer notre algorithme AIMD, les transmissions probabilistes des objets connectés, et l'émulation d'une voie descendante en diffusion. Nous considérons les trois scénarios de simulations décrits dans la Table 1, dans le cas d'un réseau LoRaWAN composé d'une station de base et de 50 objets connectés. La durée simulée est de trois mois. Pour chaque scénario, on précise le nombre de paquets attendus par la station de base (K) pour une période de temps ΔT. Les scénarios correspondent à un réseau soumis à trafic épars, un réseau avec un trafic normal, et enfin un réseau soumis à trafic dense. Ces scénarios représentent une échelle réduite d'un réseau avec différentes intensités de trafic, et nous permettent de valider notre proposition.

Fig. 3 illustre la variation du nombre de collisions et du nombre de messages envoyés, reçus et désirés par la station de base, tout au long de la simulation dans le scénario *épars*. On remarque l'existence d'un régime transitoire, qui s'étend sur les premiers jours, suivi d'un régime permanent qui persiste jusqu'à la fin de la simulation. Ce résultat s'explique par la propriété de stabilité des algorithmes AIMD d'une part, et par l'absence des collisions d'autre part. Cette absence de collisions est due au faible trafic, conséquence du nombre de messages désirés à la station de base qui est très petit dans ce scénario ($K = 1$), ce qui contribue à une convergence rapide sans réapparition d'un régime transitoire.

Nous retrouvons le même comportement de stabilisation du trafic dans le scénario *normal* illustré dans la Fig. 4a où on augmente considérablement la période de collecte de données (10 minutes par rapport à 12h), et en conséquence, le trafic dans le réseau. On constate dans la Fig. 4c qu'après 140 minutes il y a qu'un seul objet (avec l'identifiant 35) qui s'empare du réseau et se charge de transmettre le nombre des paquets attendus par la station de base (dans ce cas, 1). Bien que ce ne soit pas équitable d'un point de vu énergétique par rapport aux autres objets du réseau, cela répond aux exigences applicatives.

Scénario	Épars	Normal	Dense
K	1	1	10
ΔT	12h	10min	1min

TABLE 1: Paramètres de simulation (K représente le nombre de paquets attendus par la station de base, dans une période de temps ΔT).

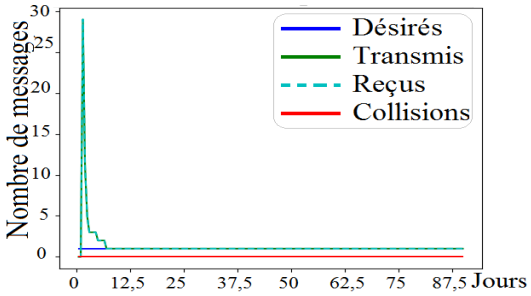
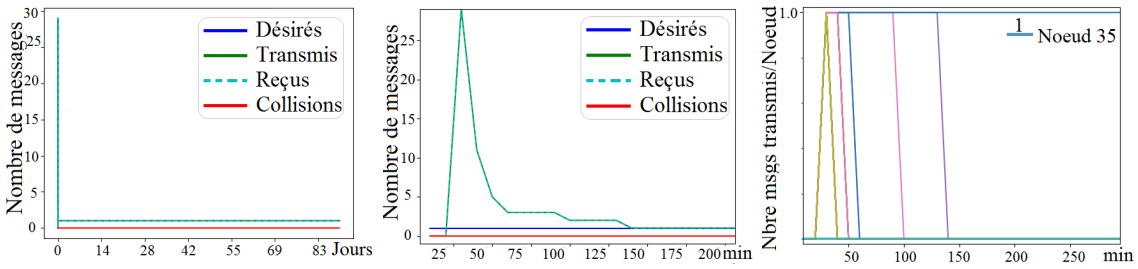
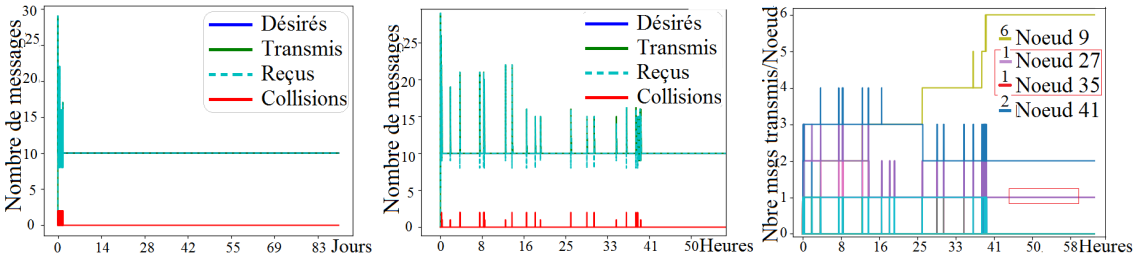


FIGURE 3: L'évolution du trafic dans le scénario *épars*.



(a) Évolution du trafic dans le temps. (b) Zoom sur le régime transitoire. (c) Évolution du trafic par noeud $m_n(t)$.

FIGURE 4: L'évolution du trafic dans le scénario *normal*.



(a) Évolution du trafic dans le temps. (b) Zoom sur le régime transitoire. (c) Évolution du trafic par noeud $m_n(t)$.

FIGURE 5: L'évolution du trafic dans le scénario *dense*.

Contrairement aux deux premiers scénarios, le troisième scénario présente plusieurs alternances entre le régime transitoire et le régime permanent, illustrées dans la Fig. 5b. Ces alternances sont le résultat de plusieurs déstabilisations produites par des collisions. Les collisions sont plus probables dans ce scénario puisque nous avons augmenté le nombre de messages attendus par la station de base tout en restreignant la période de temps ΔT. Néanmoins, le trafic se stabilise, avec seulement 4 objets actifs (Fig. 5c).

Le mécanisme probabiliste distribué que nous avons proposé montre des résultats très satisfaisants au niveau du temps de convergence, non seulement pour un réseau avec un trafic normal, mais aussi avec un trafic plus dense. Grâce à la propriété de stabilité des algorithmes AIMD, notre mécanisme arrive à se stabiliser vers la valeur désirée même après plusieurs oscillations. En effet, notre solution arrive à contrôler le trafic dans un réseau LoRaWAN toute en étant agnostique aux paramètres intrinsèques des noeuds.

5 Conclusion

Dans ce travail, nous proposons une première approche distribuée et probabiliste pour le contrôle du trafic dans un réseau LPWAN, en particulier un réseau LoRaWAN. Grâce à une diffusion du nombre de paquets effectivement reçus au niveau de la station de base, chaque noeud adapte son intensité de trafic dynamiquement. Nous suivons une approche de type AIMD afin de garantir une stabilité, tout en préservant le réseau d'une brutale congestion. Les résultats montrent que cette approche permet d'atteindre l'objectif au prix d'un régime transitoire entraînant plusieurs collisions pour des réseaux à trafic dense, mais permettant à chaque noeud d'adapter le trafic émis. Dans nos prochains travaux, nous allons revenir sur l'hypothèse de transmission fiable, que ce soit pour la voie montante ou la voie descendante, et considérer une topologie plus dynamique en limitant la durée de vie de chaque objet connecté. Cela nous permettra d'avoir une équité énergétique entre les objets du réseau. Nous allons également regarder l'évolution de notre algorithme dans le cas de plusieurs stations de base.
†

Références

[Abr70] N. Abramson. The Aloha system : another alternative for computer communications. In *AFIPS*, New York, USA, November 1970.

[AYCT16] A. Augustin, J. Yi, T. Claussen, and W.-M. Townsley. A study of LoRa : Long range low power networks for the internet of things. *Sensors*, 16(9), 2016.

[BBR19] A. Boubrima, W. Bechkit, and H. Rivano. On the deployment of wireless sensor networks for air quality mapping : Optimization models and algorithms. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 27(4) :1629–1642, 2019.

[BRVA16] M. Bor, U. Roedig, T. Voigt, and J. Alonso. Do LoRa low-power wide-area networks scale ? In *IEEE MSWiM*, Malta, November 2016.

†. Ce travail est partiellement financé par le PHC Toubkal ConsoSmart 2019, numero 41562UA.