HAL
open science

Collisions groupées lors du mécanisme d'évitement de collisions de CPL-G3

Mouhcine Mendil, Nicolas Gast, Henry-Joseph Audéoud

To cite this version:

Mouhcine Mendil, Nicolas Gast, Henry-Joseph Audéoud. Collisions groupées lors du mécanisme d'évitement de collisions de CPL-G3. 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-02879294

HAL Id: hal-02879294

https://hal.science/hal-02879294

Submitted on 23 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.

Collisions groupées lors du mécanisme d'évitement de collisions de CPL-G3

Mouhcine Mendil et Nicolas Gast et Henry-Joseph Audéoud

Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Inria, Grenoble INP, LIG, 38000 Grenoble, France
Contact : audeoudh@imag.fr, nicolas.gast@inria.fr, mouhcine.mendil@grenoble-inp.fr

Dans le contexte du CPL-G3 (courants porteurs en ligne), nous étudions la robustesse du mécanisme CSMA/CA en situation de congestion. Après un temps d'attente aléatoire (*backoff*), les modems G3 vérifient, avant d'émettre, que le canal est libre en se basant sur la détection de symboles de préambule pour repérer une transmission concurrente. Les collisions simples (où les émetteurs tirent le même *backoff* après une autre transmission) sont bien sûr inévitables : les modems décident d'émettre effectivement au même instant. Toutefois, une collision simple rend les symboles de préambules indécodables ; n'étant alors pas détectés par les autres modems, ceux-ci émettent à leur tour, produisant ainsi une collision groupée (3 transmissions en jeu ou plus). Nous proposons une approche validée par simulation, qui est basée sur l'estimation du niveau de puissance dans le canal pour améliorer le problème. La solution est appuyée sur des simulations prouvant son efficacité.

Mots-clefs : CPL-G3, CSMA/CA, congestion, collision, simulation

1 Introduction

La recommandation CPL-G3 définit et propose l'utilisation d'un ensemble de technologies pour la communication sur le réseau de distribution électrique [ITU17]. Sa couche physique s'appuie sur les courants porteurs en ligne (CPL), pour transmettre un signal multiporteuses OFDM en superposition au courant électrique alternatif du réseau de distribution. La recommandation se base sur d'autres technologies déjà existantes pour les autres couches de communication : la couche MAC est directement dérivée d'IEEE 802.15.4 ; le protocole [Ins06] LOADng [CVY+16] s'occupe du routage au-dessus de la couche MAC ; le *LoWPAN bootstrapping protocol* [YKM+08] permet l'initialisation des nœuds ; la sous-couche 6LoWPAN permet enfin d'adapter ce réseau contraint aux exigences d'IPv6.

La figure 1 donne la structure d'une trame CPL-G3 à la couche physique. Tout d'abord un préambule physique, dont les symboles sont connus. Ensuite vient un en-tête physique (FCH), indiquant les paramètres de transmission des données (porteuses utilisées, modulation, longueur de la trame. . .). Cet en-tête est toujours transmis en mode super-robuste, c'est-à-dire avec une modulation DBPSK où chaque bit est répété six fois. Dans la bande CENELEC, il a une taille de 13 symboles physiques. Enfin, les données elles-mêmes sont transmises (le PDU de la couche MAC IEEE 802.15.4). La modulation utilisée pour transmettre ces données peut varier en fonction du canal et de la robustesse de transmission désirée. Le débit peut atteindre plusieurs dizaines de kilobits par seconde. L'accès au canal est fait principalement dans deux zones temporelles : une courte zone sans contention, réservée pour l'émission des fragments consécutifs d'un même paquet de données et aux acquittements ; et une zone avec contention. Le nombre de modems attendus dans un réseau peut monter jusqu'à quelques milliers de modems ; la gestion de l'accès multiple au canal est donc une question très importante.

2 Accès multiple et collisions en CPL-G3

Le mécanisme CSMA/CA mis en place à la couche MAC permet de gérer l'accès multiple au canal. Il s'agit d'une version sans synchronisation entre les modems concurrents (sans échange de balises). Le mécanisme se déroule en plusieurs étapes. Le modem tire une durée d'attente aléatoire (appelée *backoff*).

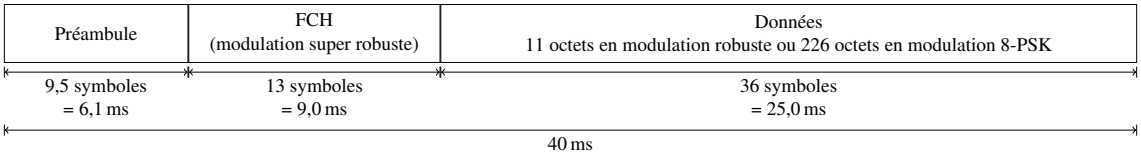

Fig. 1 : Structure d'une trame CPL-G3 à la couche physique.

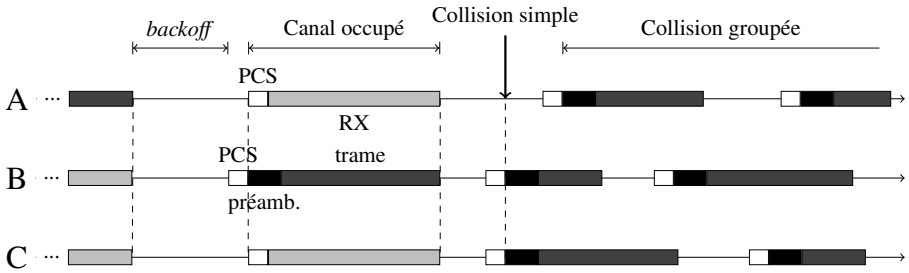

Fig. 2 : Mise en situation d'une collision groupée. *B* et *C* tirent le même *backoff* suite à la première émission de *B*, ce qui produit une collision simple. *A* n'a pas tiré le même *backoff*, mais entre quand même en collision avec les deux autres transmissions, parce qu'il n'a pas pu détecter les symboles de préambule.

Après cette durée d'attente, le modem écoute le canal et ne transmet que lorsque le canal est libre. S'il est occupé, la transmission est reportée, avec un nombre de tentatives limité à `macMaxCSMABackoffs`. Une fois cette borne atteinte, la trame est détruite.

Le procédé d'écoute du canal (appelé *Physical Carrier Sense*, PCS) consiste à détecter au moins deux symboles de préambule d'une trame, envoyés au début d'une transmission. Si aucun préambule n'est décodé, le modem considère qu'aucune transmission n'est en cours, et que le canal est disponible †. À l'inverse, lorsque des symboles de préambule sont décodés, un mécanisme complémentaire appelé VCS (*Virtual Carrier Sense*) suit l'état de la communication jusqu'à sa fin, pour éviter d'interférer avec cette transmission et les transmissions liées : acquittements lorsqu'ils sont demandés, transmission de tous les fragments, *etc*. La prochaine attente (*backoff*) commence au moment où le VCS indique la fin complète de la communication.

Collisions simples L'attente aléatoire de CSMA/CA est conçue pour tenter d'éviter les collisions lorsque, après que le VCS ait signalé au modem que le canal était libre, plusieurs d'entre eux veulent communiquer. Inévitablement, des collisions peuvent quand même se produire lorsque deux modems commencent à émettre leurs trames au même instant, à deux symboles de préambule (un *slot*) près. Les deux trames sont alors perdues et ne sont pas acquittées par la destination, conduisant à une retransmission de la trame (mécanisme d'*Automatic Repeat Request*). La longueur de la zone de contention en priorité normale qui suit une transmission, comprise par défaut entre 2^3 et 2^8 *slots* (c.-à-d. entre 10 et 328 ms), est adaptée à la difficulté qu'ont eu les modems à accéder au canal auparavant. Augmenter sa taille permet de diminuer la probabilité d'une collision simple.

Collisions groupées Lorsqu'une collision simple se produit, les symboles de préambule des trames transmises simultanément interfèrent et ne sont pas détectés par les autres modems partageant le domaine d'écoute. Or le PCS ne se base que sur la détection de ces symboles pour trouver l'état du canal, et dans ce sens, ce dernier est perçu comme libre. La figure 2 montre un exemple d'une telle situation. Le canal est occupé en émission par *A*, puis par *B* ; ensuite, *B* et *C* tirent le même temps de *backoff*, ce qui produit une collision simple. *A*, bien qu'ayant tiré un *bakoff* différent, considère le canal libre parce qu'il n'est pas arrivé à détecter les symboles de préambule de l'un ni de l'autre, et émet à son tour.

Lorsque le nombre de modems désirant émettre au même endroit est grand, cette situation peut engendrer des collisions groupées très nombreuses, avec plus d'une centaine de trames en jeu, comme le montrent nos

†. Il n'y a pas de mécanisme d'économie d'énergie : les modems qui ne sont pas en transmission sont en écoute permanente.

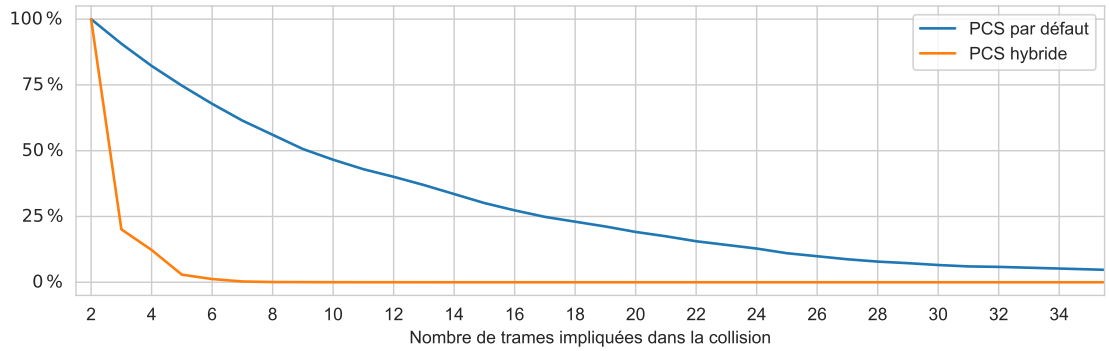

Fig. 3 : Fonction de répartition complémentaire empirique du nombre de trames impliquées dans une collision. Dans le cas du PCS hybride, la plus grande collision implique 10 trames ; dans le cas par défaut, la plus grande collision implique 146 trames.

simulations dont les résultats seront présentés en figure 3. Le canal est alors totalement indisponible pendant toute la période de la collision. Cette situation crée un « stress » sur le réseau : la congestion qui en découle peut enclencher des réparations au niveau du routage, ce qui engorgent davantage le réseau.

3 Une solution possible : utiliser le niveau de puissance du signal

Puisque le PCS est incapable de détecter les symboles des préambules transmis lors d'une collision, nous proposons une approche complémentaire pour détecter les transmissions en cours. Cette approche, s'inspirant du protocole IEEE 802.15.4, s'appuie sur une détection du niveau de bruit pour conclure sur l'état du canal [Ins06]. L'intérêt est que même les paquets en collision, dont le préambule n'est pas repérable par les modems du réseau, peuvent être perçus grâce à l'énergie des transmissions. Nous définissons la variable κ comme le seuil à partir duquel la puissance du signal sur le câble est considéré comme provenant d'une transmission en cours.

Configuration de la simulation Afin d'expérimenter les performances de notre approche, nous nous plaçons dans un réseau de topologie en étoile composé de 40 modems et un coordinateur au centre. Tous les nœuds du réseau s'entendent les uns les autres — c'est une situation classique d'un ensemble de modems dans le même immeuble par exemple. Les liens CPL entre eux sont supposés idéaux (sans atténuation, les équipements étant proches les uns des autres, et aussi sans bruit). Dans ce réseau, chaque nœud génère deux paquets UDP par seconde, d'environ 100 octets chacun, à destination du coordinateur, de manière à saturer le canal. Ce scénario permet de mettre simplement en place une situation de concurrence au niveau de l'accès au canal. Nous simulons ce réseau avec le logiciel nSim, de la société neuron [Neu18]. La durée de simulation est de 2 heures. Le démarrage du réseau et l'initialisation des modems dure environ 20 minutes ; s'ensuit un trafic de données à partir de la 30ème minute jusqu'à la fin. La simulation est faite pour les deux modes de PCS : par défaut (détection des symboles de préambules seuls) et la version hybride proposée (détection des symboles de préambules & du niveau de bruit. Les modems émettent avec une puissance de $120\,\mathrm{dB}_{\mu\mathrm{V}}$, et la modulation utilisée nécessite un SNR minimum de $-2\,\mathrm{dB}$ pour détecter les symboles de préambule, ce qui nous conduit à fixer $\kappa = 122\,\mathrm{dB}_{\mu\mathrm{V}}$ dans le cadre de la simulation.

Étant donné la saturation du canal, il est probable qu'un nœud ne réussisse pas à accéder au média après `macMaxCSMABackoffs` tentatives. Dans l'état courant du fonctionnement des nœuds, cet échec en couche MAC entraîne un changement de modulation vers une modulation plus robuste — mais aussi plus lente, ce qui diminue le débit utile disponible. Pour éviter un tel comportement, nous avons donc configuré le paramètre `macMaxCsmaBackoffs` à son maximum, 255.

Résultats de la simulation La figure 3 représente la répartition du nombre de trames dans une collision, avec les deux types de PCS. Nous y notons que les collisions impliquant deux émetteurs seulement sont la

	Détection par défaut	Détection hybride
Nombre total de paquets	120 868	175 135
Débit d'émission de données	733,20 B/s	1460,01 B/s
Débit de réception de données	716,05 B/s	1459,99 B/s
Nombre moyen de collisions par nœud	31 155	16 025
Nombre médian de trames impliquées dans une collision	9	2
Nombre maximal de trames impliquées dans une collision	146	10
Occupation du canal	75 %	74 %
Latence moyenne (niveau applicatif)	4,12 s	2,29 s

Tab. 1 : Comparaison des résultats numériques obtenus lors des simulations avec les deux modes de PCS.

majorité des cas (80 %) avec le PCS hybride, alors qu'ils représentent une minorité (20 %) dans le cas du PCS par défaut. De plus, nous notons que les collisions impliquant plus de deux trames sont généralement beaucoup plus longues dans le cas du PCS par défaut (jusqu'à 146 trames lors d'une seule collision). Il existe toujours des collisions impliquant plus de deux émetteurs avec le PCS hybride parce qu'une collision simple peut impliquer plus de deux émetteurs (lorsque trois modems tirent le même *backoff*), et parce que les collisions simples consécutives (sans transmission valide entre temps) sont décomptées comme une seule.

Nous concluons donc que les collisions sont moins fréquentes et impliquent moins de modems en utilisant la détection hybride proposée. Comme le reporte le tableau 1, le nombre absolu de collisions moyen par nœud avec le PCS par défaut est 31 155, contre 16 025 avec le PCS en mode hybride. Sachant que le temps d'utilisation du canal est approximativement de 75 % dans les deux configurations, la diminution des collisions groupées par un facteur 2 permet de diviser par deux la latence et de doubler le débit utile du réseau.

4 Conclusion

Le mécanisme de gestion d'accès concurrent au canal CPL-G3 se caractérise par un PCS déterminant l'état du canal uniquement par détection des symboles de préambule, ce qui favorise les collisions groupées impliquant un grand nombre de trames. Nous avons proposé d'ajouter au PCS une détection du niveau de bruit. Les résultats de simulation ont montré une décongestion du réseau et une amélioration remarquable du débit et de la latence. Dans la pratique, le seuil de détection du bruit κ nécessite un ajustement minutieux (voire adaptatif) qui reste à étudier, à cause de l'atténuation et du bruit très variable du canal réel CPL-G3, afin de discriminer efficacement le bruit des transmissions concurrentes.

Remerciements

Les auteurs remercient le soutien financier de la Chaire d'excellence industrielle Enedis sur les réseaux intelligents, un programme de recherche financé par la société Enedis au sein de la Fondation Grenoble INP.

Références

[CVY+16] T. H. Clausen, A. C. Verdiere, J. Yi, et al. The Lightweight On-demand Ad hoc Distance-vector Routing Protocol – Next Generation (LOADng). Internet-Draft clausen-lln-loadng-15, Internet Engineering Task Force, July 2016. Work in Progress.

[Ins06] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). *IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks (IEEE Std 802.15.4-2006)*, 2006.

[ITU17] ITU-T, G.9903. *Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for G3-PLC networks*, August 2017.

[Neu18] Neuron GmbH. nsim. Web, 2018. `https://neuron.swiss/nsim.htm`.

[YKM+08] S. Yoo, K.-H. Kim, G. C. Mulligan, et al. Commissioning in 6LoWPAN. Internet-Draft daniel-6lowpan-commissioning-02, Internet Engineering Task Force, July 2008. Work in Progress.