

Probabilité de Collision lors du Choix du Noeud Relais sans Connaissance du Voisinage dans un Réseau de Capteurs

Thomas Watteyne^{**}, Isabelle Augé-Blum^{*}, Mischa Dohler^{*}, Dominique Barthel^{*}

^{*}CITI, INSA Lyon, France. *prénom.nom@insa-lyon.fr*

^{*}France Telecom R&D, Grenoble, France. *prénom.nom@orange-ftgroup.com*

Les réseaux de capteurs présentent des contraintes propres comme la bande passante ou l'énergie disponibles. Des solutions localisées et distribuées sont pour cela préférées pour de tels réseaux. Lorsqu'un protocole pour réseaux de capteurs doit élire un noeud voisin, une approche efficace est de donner sa métrique à travers la durée d'une temporisation, et de répondre à une requête lorsque celle-ci expire. Le noeud qui répond en premier est élu. Alors que cette technique est sans état et efficace, son inconvénient majeur est que deux réponses peuvent entrer en collision. Ce papier s'adresse à ce problème en calculant la probabilité de collision et en proposant une fonction de mapping pour réduire la probabilité de collision. Une étude analytique est confrontée à une étude par simulation.

Keywords: méthodes analytiques, accès au médium

1 Introduction

Un concept qui gagne en popularité est de coder de l'information dans une temporisation. Lorsqu'un noeud émet une requête (*e.g. quel est le noeud le plus de la destination ?*), ses 1-voisins répondent avec un temps proportionnel à une métrique (*e.g. la distance à la destination*). Ce concept a de nombreux avantages: (1) il est extrêmement robuste aux interférences – il n'est nécessaire que de savoir quand on a reçu un message pour savoir l'information qu'il contient, et (2) il peut être utilisé dans des protocoles réactifs, où l'on minimise la mise en mémoire d'information sur l'état du réseau.

Dans [BB05], Bachir *et al.* proposent de retarder le relais d'un message d'une durée inversement proportionnelle à l'énergie résiduelle. Lorsqu'on applique ce concept à Directed Diffusion [IGE00], cette méthode élit le chemin optimal en terme d'énergie. Des solutions locales basées sur des temporisations peuvent également être utilisées dans des protocoles d'auto-organisation. [YLZ01] propose d'établir un gradient, chaque noeud introduisant une temporisation proportionnelle à un coût de lien. Le nombre de messages émis pour la mise en place de ce gradient est ainsi fortement réduit. Nous avons récemment proposé 1-hopMAC [WBD⁺06], un protocole MAC qui évite la connaissance du 1-voisinage. Notre proposition est basée sur un des temporisations, les noeuds candidats répondent à une requête en utilisant une temporisation proportionnelle à une métrique donnée.

Dans ce travail, nous considérons que le noeud qui répond *en premier* est élu. Avec cette solution, il est possible que les premier et deuxième messages soient séparés d'une durée tellement faible qu'ils rentrent en collision. Nous considérons ici que deux messages entrent en collision dès qu'ils se superposent dans le temps. Le but de ce travail est d'évaluer la probabilité pour qu'une telle collision survienne (Section 3) puis de proposer une fonction de mapping qui génère la plus faible probabilité de collision (Section 5). Par fonction de mapping, nous entendons la fonction qui transforme la métrique contenue dans chaque noeud en une temporisation. Notez qu'une approche CSMA n'est pas envisageable à cause du problème des noeuds cachés.

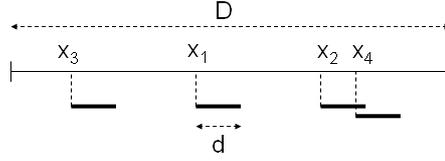


Fig. 1: Ici, nous avons $N = 4$, et $x_3 = x_{first}$. Même si les messages 2 et 4 entrent en collision, cela n'affecte pas le premier message, ici 3.

N	nombre de noeuds dans le 1-voisinage (=10)
\mathbb{D}_N	distribution de probabilité de N
D	longueur de la fenêtre de contention
d	longueur des messages (=10)
β_i	métrique du noeud i
x_i	instant d'émission du noeud i
\mathbb{D}_{x_i}	distribution de probabilité de x_i dans $[0...D]$
\mathcal{F}	fonction de mapping, $x_i = \mathcal{F}(\beta_i)$
x_{first}	plus petite valeur parmi les x_i
$\mathbb{D}_{x_{first}}$	distribution de probabilité de x_{first} dans $[0...D]$
\mathbb{P}	probabilité de collision
c	constante

Tab. 1: variables utilisées.

2 Formalisation du problème

Soit une fenêtre de longueur D dans laquelle N messages de longueur d sont aléatoirement positionnés (Fig. 1). Nous appelons x_1, x_2, \dots, x_N les instants de début d'émission des messages des noeuds 1, 2, \dots , N . Nous appelons $x_{first} = \min(x_1, x_2, \dots, x_N)$, l'instant où le premier message est envoyé. Nous appelons \mathcal{F} la fonction de mapping telle que $x_i = \mathcal{F}(\beta_i)$, avec β_i la métrique du noeud i . Nous résumons les variables utilisées (y compris celles non encore définies) dans la Table 1.

\mathbb{P} dépend de 4 paramètres: N , D , d et x_i . En jouant sur ces paramètres, nous voulons minimiser \mathbb{P} . d est une constante, qui dépend de la taille des entêtes des différents protocoles, et N dépend de la topologie du réseau, donc ne peut être modifiée. \mathbb{P} ne dépend donc réellement que de deux paramètres: x_i et D . Nous utilisons la simulation (*i.e.* programmes écrits en C++) comme outil de vérification. Les résultats analytiques sont confrontés aux résultats obtenus par simulation.

3 \mathbb{P} avec une distribution uniforme des x_i

Dans un premier temps, nous exprimons \mathbb{P} comme une fonction de x_{first} et D (Eq. 1 et Fig. 2(a)).

$$\mathbb{P}(x_{first}, D) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{D - x_{first} - d}{D - x_{first}} \right)^{N-1} & \forall x_{first} \in [0...D - d] \\ 1 \text{ sinon.} & \end{cases} \quad (1)$$

En effet, plus x_{first} est grand, moins il reste de place pour les $N - 1$ autres messages, donc plus \mathbb{P} est grand. Un message entrera en collision avec le premier avec une probabilité de $\frac{d}{D - x_{first}}$. Nous obtenons, en généralisant à $N - 1$ messages, une probabilité de collision de $1 - \left(\frac{D - x_{first} - d}{D - x_{first}} \right)^{N-1}$. Il faut borner cette fonction à 1 lorsque $x_{first} \in [D - d...D]$.

Nous exprimons ensuite $\mathbb{D}_{x_{first}}$ la distribution de probabilité de x_{first} dans $[0...D]$ (Eq. 2), pour intégrer cette distribution dans le calcul de \mathbb{P} . Nous obtenons une expression de \mathbb{P} indépendante de x_{first} (Eq. 3 et Fig. 2(b)).

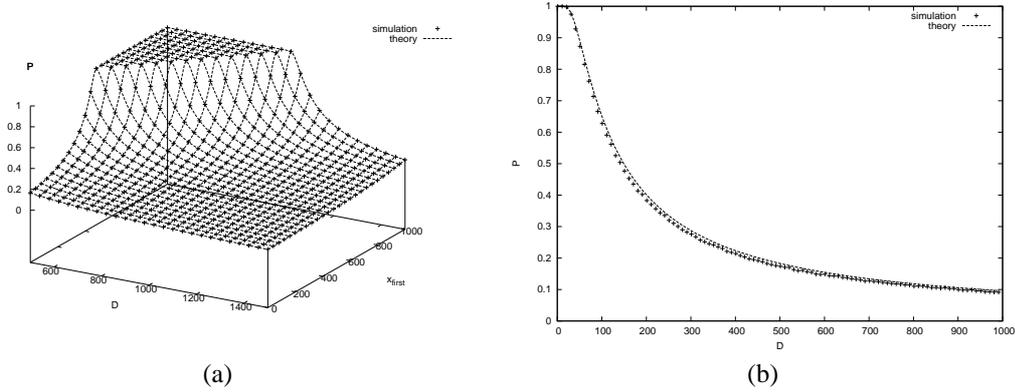


Fig. 2: \mathbb{P} comme une fonction de (a) x_{first} et D et (b) D

$$\mathbb{D}_{x_{first}} = \frac{N}{D} \left(\frac{D - x_{first}}{D} \right)^{N-1}. \quad (2)$$

$$\mathbb{P}(D, N) = 1 - \left(\frac{D - d}{D} \right)^N \quad (3)$$

4 La chaîne de probabilité

Dans cette section, nous introduisons la fonction de mapping \mathcal{F} . Nous supposons que les valeurs de β_i sont distribuées uniformément. Grâce à \mathcal{F} , nous pouvons contrôler $\mathbb{D}_{x_{first}}$. Nous déterminerons dans la Section 5 quelle fonction \mathcal{F} donne une probabilité \mathbb{P} minimale. Avant cela, nous formalisons les étapes du calcul. La chaîne de probabilité résultante est présentée dans la Table 2.

	nom	variable	distribution / fonction
étape 1	métrique	β_i	uniform
étape 2	mapping		$\int_0^{x_i} \mathbb{D}_{x_i}(x) dx = \beta_i$
étape 3	temporisation	$x_i = \mathcal{F}(\beta_i)$	\mathbb{D}_{x_i}
étape 4	tempo. min.	$x_{first} = \min(x_i)$	$\mathbb{D}_{x_{first}} = N \mathbb{D}_{x_i}(x_{first}) \left(\int_{x_{first}}^D \mathbb{D}_{x_i}(x) dx \right)^{N-1}$
étape 5	probabilité		$\mathbb{P}(D, N) = \int_0^{D-d} \left(1 - \left(\frac{D-x-d}{D-x} \right)^{N-1} \right) \mathbb{D}_{x_{first}}(x) dx + \int_{D-d}^D \mathbb{D}_{x_{first}}(x) dx$

Tab. 2: La chaîne de probabilité

5 Minimiser \mathbb{P} avec une distribution non-uniforme des x_i

Nous cherchons à minimiser \mathbb{P} en jouant sur \mathbb{D}_{x_i} . Au mieux, nous voulons un message avec un x_i petit, le reste avec des x_i grands; nous cherchons donc une fonction \mathbb{D}_{x_i} croissante. Nous explorons l'ensemble des valeurs α tel que $\mathbb{D}_{x_i} = c \cdot x^\alpha$.

Nous traçons la probabilité obtenue par simulation pour quatre fonctions de distribution croissantes, Fig. 3(a). Nous nous rendons compte que les courbes ne se croisent pas, donc qu'une fonction \mathbb{D}_{x_i} sera meilleure qu'une autre, indépendamment de la valeur de D . Nous décidons donc d'affiner notre recherche en calculant $\mathbb{P}(D = 1000)$ pour $\mathbb{D}_{x_i} = c \cdot x^\alpha$, α variant entre 0 et 3. Nous obtenons la Fig. 3(b).

La distribution qui minimise \mathbb{P} est $\mathbb{D}_{x_i}(x) = \frac{(2.1)x^{1.1}}{D^{2.1}}$. Nous utilisons la chaîne de probabilité pour déterminer \mathcal{F}_{min} la fonction de mapping correspondantes (Eq. 4).

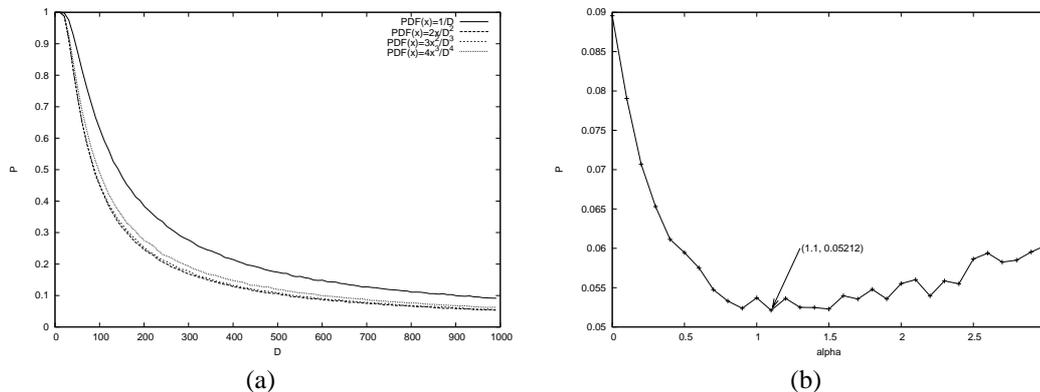


Fig. 3: Recherche grossière (a) et plus fine (b) d'une fonction \mathbb{D}_{x_i} minimisant \mathbb{P}

$$\mathcal{F}(\beta_i) = D \cdot \beta_i^{\frac{1}{2.1}} = x_i \quad (4)$$

6 Conclusion et perspectives

Dans ce papier, nous avons formellement analysé la probabilité de collision lorsque l'information est codée dans une temporisation, pour élire un noeud du 1-voisinage. Nous avons essayé de rendre l'analyse assez générale pour être facilement appliquée et utilisée dans une grande variété de protocoles. Nous avons tout d'abord identifié les paramètres, et avons extrait une première probabilité pour des messages uniformément distribués. De là, nous avons formalisé la succession des calculs probabilistes nécessaires pour calculer la probabilité en partant de la fonction de mapping. Tous les résultats analytiques ont été confrontés à des résultats de simulation. Enfin, nous avons déterminé la meilleure fonction de mapping.

En perspective, nous voudrions étendre ces résultats à des cas où le nombre de voisins n'est pas constant. De plus, nous voudrions appliquer nos résultats à un protocole existant, en utilisant des paramètres réels, pour obtenir la probabilité de collision. Cette analyse nous permettrait d'évaluer l'utilité d'introduire un mode de résolution de collision déterministe.

References

- [BB05] A. Bachir and D. Barthel. Localized max-min remaining energy routing for wsn using delay control. In *International Conference on Communications*, 2005.
- [IGE00] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin. Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks. In *6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, Boston, MA, USA, August 2000.
- [WBD⁺06] T. Watteyne, A. Bachir, M. Dohler, Dominique B.I., and Isabelle Augé-Blum. 1-hopmac: An energy-efficient mac protocol for avoiding 1-hop neighborhood knowledge. In *International Workshop on Wireless Ad-hoc and Sensor Networks*, New York, NY, USA, June 2006. IEEE.
- [YLZ01] Fan Ye, Songwu. Lu, and Lixia Zhang. Gradient broadcast: A robust, long-lived large sensor network. Technical report, UCLA, Los Angeles, CA, USA, 2001.