HAL
open science

Dissémination dans les réseaux de capteurs avec puits mobiles

Elyes Ben Hamida, Artur Ziviani, Marcelo Dias de Amorim

To cite this version:

Elyes Ben Hamida, Artur Ziviani, Marcelo Dias de Amorim. Dissémination dans les réseaux de capteurs avec puits mobiles. 9ème Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications, May 2007, Ile d'Oléron, France. pp.85-88. inria-00176965

HAL Id: inria-00176965

https://inria.hal.science/inria-00176965

Submitted on 5 Oct 2007

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.

Dissémination dans les réseaux de capteurs avec puits mobiles

Elyes Ben Hamida[1] , Artur Ziviani[2] et Marcelo Dias de Amorim[3]

[1]*CITI - ARES INRIA, INSA de Lyon, F-69621, France*
[2]*LNCC, Av. Getúlio Vargas, 333 - 25.651-075, Petrópolis - RJ, Brasil*
[3]*LIP6 - CNRS, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, France*

Dans cet article, nous proposons une nouvelle structure virtuelle permettant une dissémination efficace dans les réseaux de capteurs avec puits mobiles. Nous étudions analytiquement le coût de communication dans le pire cas. Ensuite, nous simulons et comparons notre proposition à d'autres techniques proposées dans la littérature.

Keywords: Réseaux de capteurs, dissémination et collecte des données, puits mobiles

1 Introduction

Les réseaux de capteurs sont des réseaux radio multisauts composés d'une multitude de noeuds, ou capteurs, déployés aléatoirement sur une zone d'intérêt. Ces capteurs présentent des ressources matérielles limitées en termes de calcul, de stockage et d'énergie. Le paradigme de communication dans ce type de réseau est du type *N-vers-1*, où les capteurs collectent des données de l'environnement qui les entoure (i.e., température, pression, ...), et les disséminent vers un point central, appelé également puits. Ce puits a pour principal objectif la collecte des différentes données générées par les capteurs. Plusieurs études supposent que ce puits est statique ou immobile. Cependant, cette hypothèse n'est pas toujours réalisable notamment pour des raisons de sécurité ou de déploiement. De plus, la mobilité du puits permet d'augmenter la durée de vie du réseau en évitant de surcharger les noeuds présents dans le voisinage du puits. Plusieurs applications peuvent tirer profit de la mobilité du puits comme le *target-tracking* ou le *habitat-monitoring*. Dans un premier temps, nous présentons un état de l'art. Ensuite, nous décrivons notre proposition. Enfin, nous terminons par une étude analytique et les résultats de simulation.

2 État de l'art

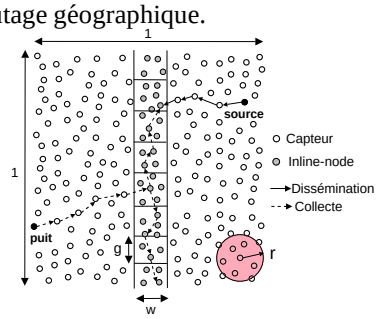
Plusieurs protocoles de dissémination des données dans les réseaux de capteurs ont été proposés dans la littérature. GHT [RKS+02] introduit le concept de *Data-centric storage*. Grâce à une fonction de hachage, GHT détermine à partir des méta-données (i.e., type des données à disséminer) les coordonnées d'un point appartenant à la zone d'intérêt. Le noeud, ou *home-node*, le plus proche de cette coordonnée aura la charge de stocker les données générées par la source. Ainsi à chaque type de données correspond un *home-node* différent. Afin d'éviter que ce home-node soit un point de congestion, les auteurs proposent de dupliquer ce noeud à travers la surface grâce à SR (*structured-replication*) [RKS+02]. Shim et al [SP06] proposent un protocole de dissémination utilisant des noeuds appelés *locators*, et qui sont déterminés grâce à GHT et répliqués sur la surface grâce à SR. Ces *locators* sont utilisés par le puits afin de mettre à jour sa position, et sont consultés par les sources afin de localiser le puits. Dans TTDD [LYC+03], chaque noeud source crée une grille virtuelle sur le réseau. Cette grille est par la suite utilisée par le protocole de routage pour acheminer les requêtes et les données entre la source et le puits mobile. Enfin, Railroad [SKPP05] permet la création d'une structure virtuelle sous la forme d'un anneau, ou *rail*, placée au milieu de la zone d'intérêt. Cet anneau joue alors le rôle d'un point de rendez-vous pour les requêtes du puits mobile et le stockage des données. Le tableau 1 présente une classification des différentes approches présentées, en fonction du type des informations que l'on dissémine, de l'emplacement pour le stockage ainsi que de la technique utilisée.

TAB. 1: Classification des protocoles de dissémination et de collecte de données.

Protocole	Qu'est ce qu'on dissémine ?	Où ?	Comment ?
GHT [RKS+02]	données	1 noeud	GHT
GHT+SR [RKS+02]	données	1 noeud parmi N	GHT
TTDD [LYC+03]	données	1 noeud	grille
Railroad [SKPP05]	méta-données	1 noeud parmi N	Rail
Locators [SP06]	position du puits	1 noeud parmi N	GHT

3 Contributions

Nous proposons dans cet article le protocole LBDD (*Line-Based Data Dissemination protocol*). LBDD définit une structure virtuelle sous la forme d'une bande, de largeur w, placée au milieu de la surface d'intérêt. Cette bande est également divisée en groupes de taille g. Les paramètres w et g permettent de limiter la congestion et d'assurer le passage à l'échelle. Les noeuds positionnés à l'intérieur de la bande sont appelés *inline-nodes*. Cette bande représente une zone de rendez-vous pour les requêtes et le stockage des données. Nous supposons que chaque noeud connaît sa position géographique (en utilisant par exemple le GPS) ainsi que les coordonnées de la zone. Grâce à ces informations, l'élection des *inline-nodes* se fait donc facilement. Enfin, l'acheminement des messages se fait grâce à un routage géographique.

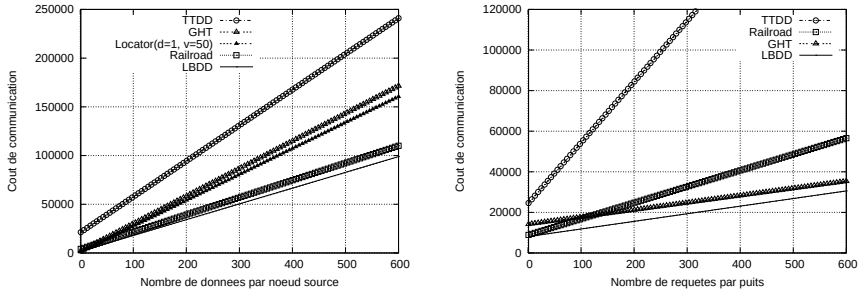


Comme présenté sur la figure de droite, le fonctionnement de LBDD se décompose en deux principales étapes : (i) **Dissémination** : dès qu'un noeud détecte un stimulus, une donnée est générée et est envoyée vers le plus proche *inline-node* ; et (ii) **Collecte** : afin de collecter les différentes données, le puits envoie une requête perpendiculairement à la bande. Le premier *inline-node* qui reçoit la requête, la fait propager dans les deux directions de la bande jusqu'à atteindre le ou les noeud(s) possédant la donnée recherchée. Celle-ci est alors renvoyée directement au puits.

Pour faciliter la recherche d'une donnée, deux solutions de stockage à l'intérieur de la bande sont possibles : (i) la donnée est inondée au sein d'un groupe ; ou (ii) la donnée est stockée au niveau du leader d'un groupe. La première solution peut présenter un problème de congestion, tandis que la deuxième nécessite une élection périodique du leader afin d'éviter de surcharger un noeud particulier. Enfin, pour gérer la mobilité du puits, celui-ci élit parmi ses voisins un *home-node* qui va se charger d'émettre les requêtes vers la bande et de la retransmission des données reçues vers le puits. Cette élection est périodique et dépend de la vitesse du puits. Si le puits s'éloigne de son *home-node*, un chemin est alors construit grâce au *progressive-footprint-chaining* [SKPP05].

4 Analyse de performances

Nous considérons un réseau multisaut dans lequel N noeuds sont déployés aléatoirement et uniformément sur un carré de surface 1×1 et suivant une intensité λ. Nous notons r la portée de communication des noeuds, et nous définissons $H_{\lambda,r}(d(x,y)) = \zeta \frac{d(x,y)}{r}$ la fonction permettant de déterminer le nombre moyen de sauts entre deux noeuds x et y [BCF05]. Cette fonction dépend de la portée de communication r, de la densité de noeuds λ, ainsi que de la distance euclidienne $d(x,y)$ entre les noeuds x et y. Nous supposons que $\zeta = 1$. Similairement à l'étude effectuée dans [SKPP05], nous admettons 4 types de messages : messages de notification, requête, donnée et messages de contrôle, de tailles respectives p_e, p_q, p_d, et p_c. Nous supposons que $p_e = p_c = p_q$ et $p_d = 2 \times p_q$. Nous considérons m puits se déplaçant aléatoirement à l'intérieur de la surface, ainsi que n noeuds source. Le nombre moyen de requêtes et de données peuvent être notés, respectivement, $m\overline{q}$ et $n\overline{e}$. Enfin, nous négligeons la largeur w de la ligne afin de permettre une analyse du coût de communication dans le pire cas. Ce coût représente le nombre total de messages échangés durant la procédure de collecte et de dissémination, et est défini comme suit : $C_{\text{protocol}} = C_{\text{DD}} + C_{\text{DL}} + C_{\text{DT}}$, où C_{DD}, C_{DL}, C_{DT} représentent, respectivement, le coût de la dissémination, de la recherche et du transfert de la donnée. **LBDD.** Pour le cas de LBDD, dès qu'un noeud détecte un stimulus, un message est généré et est transmis vers le plus proche *inline-node*. Dans le pire cas, ce message traverse environ $H_{\lambda,r}(\frac{1}{2})$ noeuds. Le coût de la dissémination est donc : $C_{\text{DD}} = H_{\lambda,r}\left(\frac{1}{2}\right) n\overline{e} p_d$. Afin de récupérer une donnée, le



(a) $\bar{q} = 50$ et $\bar{e}$ variable. (b) $\bar{e} = 50$ et $\bar{q}$ variable.

FIG. 1: Coût de communication dans le pire cas ($m = 5$ puits, $n = 10$ noeuds source, $N = 10000$, $r = 0.1$, $\alpha = 0.3$).

puits mobile envoie une requête en direction de la bande. Ce message est alors propagé le long de la bande jusqu'à arriver au *inline-node* correspondant. Dans le pire cas, le coût de la recherche est calculé comme précédemment tel que : $C_{\mathrm{DL}} = H_{\lambda,r}\left(\frac{1}{2}\right) m\bar{q}\,p_q + H_{\lambda,r}(1)\, m\bar{q}\,p_q$. Vu que la distance, dans le pire cas, entre un *inline-node* et un puits est de $\frac{\sqrt{5}}{2}$ (longueur de la diagonale d'un demi carré), le coût de transfert de la donnée du *inline-node* vers le puits est défini par : $C_{\mathrm{DT}} = H_{\lambda,r}\left(\frac{\sqrt{5}}{2}\right) n\bar{e}\,p_d$. Afin d'éviter de transférer des données dupliquées, nous considérons dans ce qui précède que le nombre de transferts n'est pas proportionnel au nombre de requêtes. En d'autres termes, un puits ne recevra une réponse à sa requête que si le *inline-node* possède une nouvelle donnée à transmettre. Le coût total de LBDD, dans le pire cas, s'écrit comme suit : $C_{\mathrm{LBDD}} = (n\bar{e}\,p_d + m\bar{q}\,p_q)\, H_{\lambda,r}\left(\frac{1}{2}\right) + H_{\lambda,r}(1)\, m\bar{q}\,p_q + H_{\lambda,r}\left(\frac{\sqrt{5}}{2}\right) n\bar{e}\,p_d$. **Locators.** Le coût total de communication de Locators est calculé de la même manière, et est défini comme suit : $C_{\mathrm{Locators}} = H_{\lambda,r}\left(\frac{1}{2^d}\right)[m\bar{v}p_e + n\bar{e}p_e] + H_{\lambda,r}(2^d)n\bar{e}p_e + H_{\lambda,r}(\sqrt{2})n\bar{e}p_d$, où $\bar{v}$ est le nombre moyen de fois que le puits change de cellules, et d est la profondeur de la hiérarchie géographique [RKS+02].

GHT, Railroad, et TTDD. Les coûts de communication de GHT, Railroad, et TTDD sont définis comme suit (pour plus de détails, se référer à [SKPP05]) :

$$C_{\mathrm{GHT}} = (2n\bar{e}\,p_d + m\bar{q}\,p_q)\, H_{\lambda,r}(\sqrt{2});$$

$$C_{\mathrm{Railroad}} = [n\bar{e}(p_e + p_q + 4p_d) + m\bar{q}p_q]\, H_{\lambda,r}\left(\sqrt{2}/4\right) + m\bar{q}H_{\lambda,r}(2\sqrt{2})\, p_q;$$

$$C_{\mathrm{TTDD}} = n\frac{4N}{H_{\lambda,r}(\frac{1}{\alpha})}p_c + m\bar{q}\left[N_L + H_{\lambda,r}(2)\right] p_q + n\bar{e}\left[H_{\lambda,r}(2) + H_{\lambda,r}(\sqrt{2}/(2\alpha))\right] p_d.$$

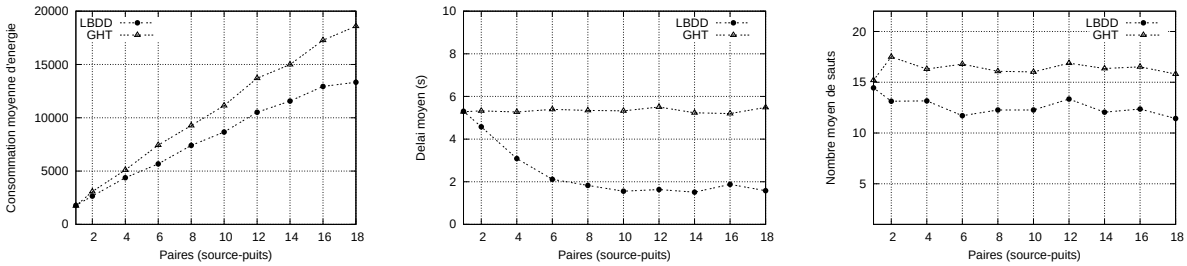
où α est la taille d'une cellule de TTDD, et N_L est le nombre de noeuds présents à l'intérieur d'une cellule, *e.g.* $N_L = \frac{N\alpha^2}{Area}$.

Afin de comparer le coût de communication des différentes approches, nous considérons deux scénarios différents : (i) le premier, représenté sur la figure 1(a), avec $\bar{q}$ requêtes par puits et un nombre variable de données générées par source ($\bar{e}$) ; et (ii) un deuxième scénario représenté sur la figure 1(b), avec un nombre de requêtes variable et $\bar{e}$ données générées par noeud source. Il est à noter que Locators n'est pas évalué sur le dernier scénario puisque c'est un protocole orienté-événements où le puits n'émet pas de requêtes. Nous remarquons dans les deux scénarios que TTDD présente un coût de communication assez élevé. Ceci est dû à la création d'une grille par noeud source. De plus, nous remarquons que les scénarios avec un nombre de données élevé par rapport aux requêtes sont plus adaptés à des protocoles mettant en oeuvre une structure virtuelle comme Railroad et LBDD. Enfin, les scénarios avec un nombre de requêtes élevé par rapport aux données sont favorables aux protocoles GHT et LBDD. Dans les deux cas LBDD s'avère le meilleur compromis avec un coût de communication assez faible par rapport aux autres approches.

5 Simulation

Afin de valider notre étude analytique nous avons effectué plusieurs simulations. Par soucis d'équité nous avons implémenté LBDD ainsi que GHT sous le framework WorldSens/wsnet†. Nous considérons un

† http ://worldsens.citi.insa-lyon.fr



(a) Consommation d'énergie. (b) Délai moyen. (c) Nbr. moyen de sauts.

FIG. 2: Résultats de simulation. (Surface=$500m \times 500m$, $\lambda = 0.005$, $r = 35m$, MAC : 802.11, Modulation : *BPSK*, Interférence : *Orthogonal*, routage géographique classique, $\bar{q} = 10$, $\bar{e} = 22$, vitesse moyenne du puits=$10m/s$)

scénario où chaque source génère une donnée toutes les $0.5s$ et où chaque puits émet une requête toutes les $1s$. Les paramètres de simulation sont présentés sur la légende de la figure 2. A travers ces simulations, nous mesurons les métriques suivantes : (i) **Énergie** : consommation moyenne d'énergie ; (ii) **Délai** : délai moyen entre le moment où la donnée est générée par une source et le moment où elle est récupérée par le puits ; (iii) **Nbr. sauts** : nombre moyen de sauts de la source vers le point de rendez-vous et entre ce dernier et le puits. Enfin, nous faisons varier le nombre de paires $\{source, puits\}$ et nous effectuons une moyenne sur 10 scénarios différents. La figure 2 présente les résultats obtenus. Nous remarquons que LBDD présente une faible consommation d'énergie par rapport à GHT, ainsi qu'un délai et un nombre moyen de sauts inférieur à ceux de GHT. Ces résultats confirment bien ceux obtenus par l'étude analytique (figure 1 (a)).

6 Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous avons étudié le problème de la dissémination et de la collecte de données dans les réseaux de capteurs avec puits mobiles. Après avoir classifié quelques approches proposées dans la littérature, nous avons proposé le protocole LBDD qui permet de mettre en oeuvre une structure virtuelle facilitant le processus de dissémination. Ensuite, nous avons calculé le coût de communication dans le pire cas de LBDD et nous l'avons comparé aux autres approches. Les résultats analytiques ont montré l'efficacité de LBDD par rapport aux autres protocoles. Dans le but de confirmer les résultats théoriques, nous avons simulé et comparé GHT et LBDD. Étant donné la limitation pour le nombre de pages, seuls quelques résultats de simulation ont été présentés. Ceux-ci montrent l'efficacité de notre approche par rapport à GHT en terme de consommation d'énergie, de délai moyen et enfin en terme de nombre moyen de sauts.

Cependant, la mise en oeuvre d'une structure virtuelle peut influer la durée de vie du réseau. Ainsi, si le nombre de données générées par un noeud source est très élevé, la zone centrale pourrait être surchargée. Il est donc intéressant d'étudier ce problème et notamment le dimensionnement des paramètres w et g. De plus, en fonction des scénarios, il serait plus efficace de disséminer des méta-données que les données elles-mêmes. Actuellement, nous travaillons activement sur cette problématique et nous essayons également de voir s'il existe d'autres structures plus efficaces que celles proposées dans cet article.

Références

[BCF05] A. Busson, G. Chelius, and E. Fleury. From euclidian to hop distance in multi-hop radio networks : a discrete approach. Research Report RR-5505, INRIA, January 2005.

[LYC+03] H. Luo, F. Ye, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang. TTDD : Two-tier data dissemination in large-scale wireless sensor networks. *ACM Journal of Mobile Networks and Applications (MONET), Special Issue on ACM MOBICOM (2003)*, 2003.

[RKS+02] S. Ratnasamy, B. Karp, S. Shenker, D. Estrin, R. Govindan, L. Yin, and F. Yu. Ght : A geographic hash table for data-centric storage in sensornets. *In Proceedings of the First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02)*, September 2002.

[SKPP05] J. H. Shin, J. Kim, K. Park, and D. Park. Railroad : virtual infrastructure for data dissemination in wireless sensor networks. *Proceedings of the 2nd ACM International Workshop on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks (PE-WASUN'05)*, pages 168–174, Oct. 2005.

[SP06] G. Shim and D. Park. Locators of mobile sinks for wireless sensor networks. *Proceedings of the 2006 International Conference on Parallel Processing Workshops (ICPPW'06)*, pages 159–164, 2006.