



# AreaCast: une communication par zone dans les réseaux de capteurs sans fil

Karel Heurtefeux, Florence Maraninchi, Fabrice Valois

## ► To cite this version:

Karel Heurtefeux, Florence Maraninchi, Fabrice Valois. AreaCast: une communication par zone dans les réseaux de capteurs sans fil. 13es Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques de Télécommunications (AlgoTel), 2011, Cap Estérel, France. inria-00588288

**HAL Id: inria-00588288**

**<https://hal.inria.fr/inria-00588288>**

Submitted on 22 Apr 2011

**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.

# AreaCast: une communication par zone dans les réseaux de capteurs sans fil

Karel Heurtefeux<sup>1</sup>, Florence Maraninchi<sup>2</sup> et Fabrice Valois<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CNRS, Verimag UMR 5104, Grenoble, F-38041, France

<sup>2</sup> Grenoble INP, Verimag UMR 5104, Grenoble, F-38041, France

<sup>3</sup> Université de Lyon, INRIA, INSA-Lyon, CITI, F-69621, France

---

AreaCast est un mécanisme d'adressage logique dans un voisinage visant à améliorer la robustesse à tout type de protocole unicast. AreaCast se base sur la notion de relai implicite tandis que le relayage unicast se base sur le choix explicite du relais. Tout en étant indépendant du protocole de routage choisi, AreaCast utilise des informations topologiques et de routage pour permettre une communication par *zone* : un nœud *relai explicite* choisi comme prochain saut par la couche routage et  $k$  nœuds *relais implicites* qui s'auto-sélectionnent en fonction de leur proximité au nœud relai explicite. Ce mécanisme utilise la « sur-écoute » pour exploiter la communication de type « broadcast » inhérente aux transmissions sans fil. Sans changer le protocole de routage ni échange de paquets supplémentaires, AreaCast permet de contourner dynamiquement un nœud défectueux ou un lien instable. Les résultats de simulation, modélisant finement la consommation énergétique, montrent qu'AreaCast améliore significativement le taux de livraison tout en étant un bon compromis entre efficacité et consommation énergétique.

**Keywords:** Réseau de capteurs, couche MAC, routage, robustesse, modélisation de la consommation énergétique

---

## 1 Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil sont composés de centaines de nœuds fortement contraints en ressources (énergie, puissance de calcul, portée radio, etc.). Les capteurs, déployés densément et aléatoirement sur une zone géographique, collectent des données de leur environnement physique pour les transmettre à un ou plusieurs *puits*. En raison des communications sans fil, d'une topologie dynamique, de l'absence de contrôle centralisé et de capacités contraintes, les réseaux de capteurs sont plus vulnérables et fragiles que les réseaux filaires ou sans fil traditionnels.

**Problématique.** Selon nous, l'adressage unicast est particulièrement peu adapté aux réseaux denses et fragiles que sont les réseaux de capteurs. Quand un capteur ou un lien disparaît, le protocole MAC essaie sans succès de retransmettre un paquet au même capteur, sans exploiter la densité du réseau. Même si un capteur est proche du nœud relai, une couche MAC traditionnelle ne considère que ce dernier. Ces retransmissions peuvent être source de pertes de paquets, d'augmentations du délai et conduisent à une forte déperdition énergétique.

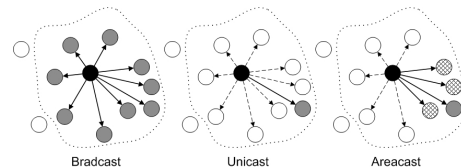


FIGURE 1: Broadcast, Unicast et AreaCast

## 2 AreaCast

Afin de limiter les retransmissions, AreaCast propose un nouveau paradigme de communication (Fig. 1). Un nœud source adresse une zone dans le voisinage plutôt qu'un seul nœud. La zone est composée du nœud *relai explicite*, prochain saut choisi par la couche routage, et de  $k$  nœuds *relais implicites* auto-désignés. Si le relai explicite n'est pas en mesure de relayer le paquet, les relais implicites le suppléent de manière transparente dans le routage multi-saut. La Figure 2 illustre la façon dont les nœuds sont ainsi capables d'éviter les capteurs défaillants. Pour adresser une zone plutôt qu'un nœud, plusieurs difficultés sont à considérer : l'auto-désignation des nœuds candidats (critères de sélection et nombre de relais implicites) et la détermination des temps de réponse associés aux nœuds relais pour éviter les collisions.

**Critères de sélection des nœuds relais implicites.** Nous fixons ici  $k = 3$  pour fournir assez de redondance et limiter la sur-écoute. La recherche de l'impact de  $k$  sera l'objet de travaux ultérieurs. Par l'échange de paquets *hello* périodiques, chaque capteur a une connaissance de son voisinage à 2 sauts. Chaque voisin d'un nœud relais explicite connaît également la *proximité* entre ce dernier et les relais implicites potentiels. En d'autres mots, le voisinage direct a la même vue et chaque nœud de ce voisinage est capable d'établir le même classement. En conséquence, ils peuvent s'élire eux-mêmes comme relais implicite sans échanger de paquets supplémentaires. L'algorithme 1 décrit le processus d'auto-élection.

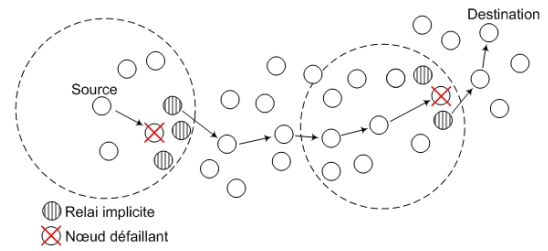


FIGURE 2: Application d'AreaCast : les nœuds gris représentent les relais implicites servant à contourner les nœuds défaillants.

### Algorithme 1 Algorithme d'élection

- 1: Un nœud  $X$  est un nœud relais explicite s'il est désigné comme prochain saut par le nœud source.
- 2: Un nœud  $X$  s'élit comme relais implicite si et seulement si :
  - $X$  n'est pas relais explicite
  - $X$  est voisin du relais explicite
  - $X$  fait partie des 3 premiers nœuds dans le classement établi selon les règles suivantes :
    - Aux premières places, les voisins du second prochain saut placés en fonction de leur proximité au relais explicite.
    - Aux places suivantes, les nœuds non-voisins du second prochain saut placés selon leur proximité au relais explicite.

En d'autres termes, la priorité est donnée aux capteurs voisins à la fois du nœud source, du relais explicite et du prochain second saut. Cette priorité permet de privilégier des capteurs n'augmentant pas la longueur du chemin. La proximité est un critère de sélection des relais implicites. Cette métrique peut être évaluée par des mesures de la qualité du signal (RSSI, LQI) ou un indice de proximité (QLoP [HV08]).

**Application d'AreaCast.** Comme dans le cas du mécanisme classique CSMA/CA, avant d'envoyer une trame de données, un nœud envoie un paquet RTS, diffusé à l'ensemble de ses voisins. L'identité du destinataire et le temps de transmission sont inclus dans la trame. Cela permet d'avertir les autres nœuds et d'éviter les collisions. Dans AreaCast, quand un voisin reçoit un paquet RTS, il est capable de se sélectionner comme nœud relais implicite en fonction des critères donnés précédemment. Les relais implicites et explicites restent éveillés tandis que les autres s'endorment le temps de la communication. Si le relais explicite n'envoie pas de paquet CTS durant le temps imparti  $t_0$ , le premier relais implicite prend sa place et envoie le paquet CTS. Si le premier relais explicite échoue, le second prend le relais puis le troisième, en cas d'échec des deux premiers relais. Si aucun des relais n'arrive à transmettre un paquet CTS avec succès, le nœud source retransmet le paquet RTS. En revanche, si l'un des relais réussit, les autres annulent leur envoi. Chaque relais a donc son propre temps de réponse :  $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  et  $t_3$ , fixé. De plus, comme, par définition, tous les nœuds relais sont voisins du nœud source, ils sont capables d'entendre si la communication est perturbée et intervenir en conséquence. Quand le nœud source reçoit un paquet CTS, du relais explicite ou implicite, il envoie immédiatement la trame de données. Quand un relais reçoit cette trame, son comportement est similaire à celui qu'il a face à la réception d'un paquet RTS : les relais implicites écoutent le canal pour savoir si le relais explicite répond une trame ACK. Dans le cas contraire, ils le remplacent dynamiquement.

## 3 Évaluation

Nous comparons ici AreaCast et S-MAC [YHE04] en termes de taux de livraison et de consommation énergétique. Les résultats présentés ont été obtenus à l'aide du simulateur WSNNet [BCG08]. Chaque valeur est une moyenne de 100 simulations avec un intervalle de confiance de 95%.

**Paramètres de simulation.** 100 nœuds fixes sont déployés aléatoirement sur une zone de  $100 \times 100m$  (degré moyen = 15). Ils échangent périodiquement des paquets *hello*. Nous considérons un routage de plus court chemin quelconque et un endormissement périodique des capteurs grâce à une synchronisation faible. Pour modéliser la dynamique d'un réseau de capteurs, nous considérons des nœuds et des liens défaillants distribués aléatoirement dans le réseau. Les  $k$  nœuds défaillants ( $k$  varie de 0% à 50%) ignorent les paquets RTS, CTS, ACK ou DATA venant de leurs voisins tout en envoyant des paquets *hello*. Il existe une probabilité  $p$  de liens défaillants ( $p$  varie de 0 à 1/2) définissant la probabilité d'échec d'une communication entre deux nœuds.

**Modèle de propagation.** Nous prenons en compte deux modèles de propagation du signal : un modèle à seuil, idéal et sans collision, et un modèle réaliste. Dans ce dernier, la portée de chaque capteur est calculée en fonction du rapport signal sur bruit plus interférences prenant en compte l'affaiblissement du signal, la puissance de transmission et le niveau de bruit. Ce dernier modèle conduit à la possibilité de liens unidirectionnels et à un voisinage dynamique.

**Modèle de consommation énergétique.** Pour modéliser la consommation énergétique, il existe essentiellement deux approches. La modélisation indirecte (i.e. envoyer un message coûte  $k$  unités d'énergie) est trop abstraite pour prendre en compte l'écoute du canal vide (idle listening). La modélisation directe repose sur la description de l'élément matériel sous forme de modèle d'états d'énergies, couplé au logiciel qui le pilote (modèle utilisé dans les émulateurs). Nous nous basons sur cette dernière approche en modélisant explicitement les états d'énergies de la radio mais de manière plus abstraite qu'un émulateur afin de préserver un temps de simulation acceptable. Le modèle radio est un automate à 4 états représentant chacun un mode de consommation (Fig. 3). A chaque état est associée la consommation énergétique instantanée (valeurs d'une radio TI CC1100 [cc108]). Nous considérons ici que le protocole MAC contrôle entièrement les états de la radio en ignorant les éventuels états intermédiaires. Cette simplification, rendue possible par la courte durée de ces états intermédiaires, permet de combiner la précision de la modélisation directe et la performance des simulations abstraites. Ce modèle a été intégré à WSNet.

**Résultats et analyse.** Comme prévu, le taux de livraison décroît quand le nombre de nœuds et de liens défaillants augmente (Fig. 4). Avec AreaCast, le taux de livraison est amélioré de manière significative comparé à S-MAC. Dans S-MAC, la probabilité de succès d'une communication est la probabilité de transmettre les paquets RTS, CTS, DATA et ACK correctement. Si l'envoi d'un de ces paquets échoue, une retransmission de la totalité des trames est nécessaire. Avec AreaCast, l'utilisation de relais implicites permet de reprendre un dialogue RTS/CTS/DATA/ACK à n'importe quel moment, de manière dynamique. Dans le cas d'une modélisation d'une propagation réaliste, le taux de livraison atteint avec S-MAC est bas, même en l'absence de nœuds défaillants. Le routage de plus court chemin favorise les voisins les plus éloignés dans le choix du nœud relai explicite et donc les liens les moins robustes. De plus, le mécanisme de retransmission utilisé dans le protocole S-MAC augmente les probabilités d'interférences et de collisions. AreaCast est capable d'acheminer une partie du trafic au puits en contournant les nœuds et les liens défaillants sans nécessiter de retransmission. En définitive, avec AreaCast, le réseau est capable de fonctionner même en présence de nœuds corrompus ou de liens instables.

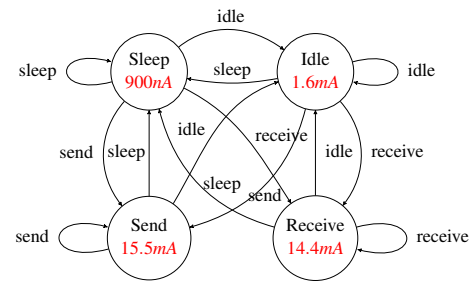


FIGURE 3: Radio modélisée par un automate d'énergie

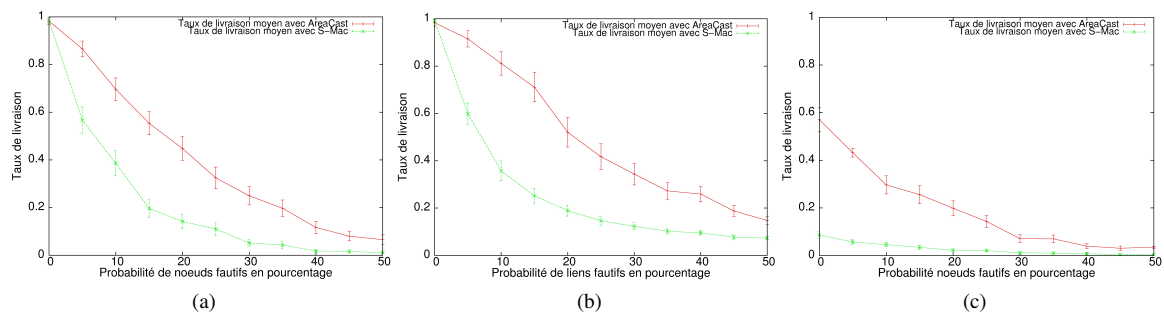


FIGURE 4: Taux de livraison : (a) face aux nœuds défaillants ; (b) face aux liens défaillants ; (c) face aux nœuds défaillants dans le cas d'un modèle de propagation réaliste

AreaCast base sa robustesse sur la « surécoute » de quelques nœuds à proximité des capteurs choisis par le protocole de routage pour acheminer les paquets de données. AreaCast a donc un surcoût énergétique. Ce surcoût ne concerne cependant qu'une petite partie des capteurs du réseau, situés à proximité de la route entre le capteur source et le puits. D'autre part, cette redondance permet de réduire les retransmissions et

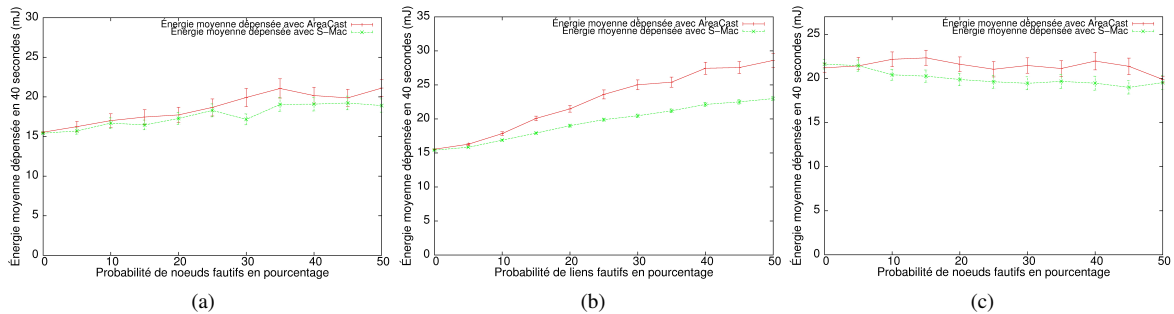


FIGURE 5: Consommation énergétique totale : (a) face aux nœuds défaillants ; (b) face aux liens défaillants ; (c) face aux nœuds défaillants dans le cas d'un modèle de propagation réaliste

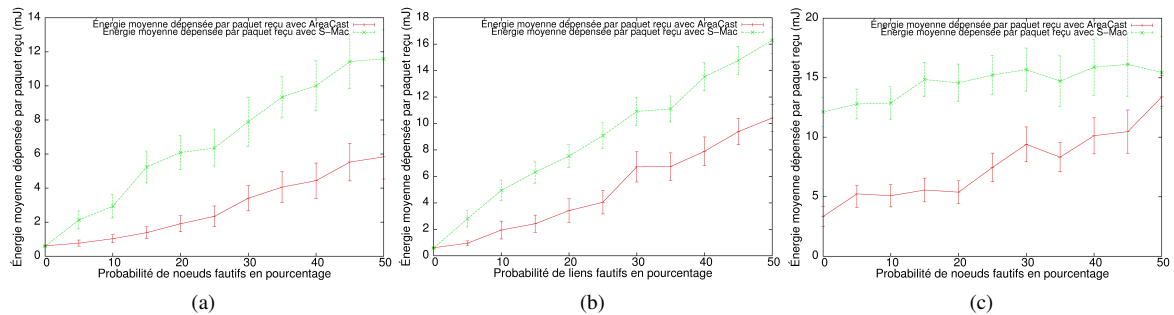


FIGURE 6: Consommation énergétique par paquet reçu : (a) face aux nœuds défaillants ; (b) face aux liens défaillants ; (c) face aux nœuds défaillants dans le cas d'un modèle de propagation réaliste

donc la consommation énergétique. Il convient donc de mesurer ce compromis. La figure 5 montre que la différence de consommation énergétique totale du réseau entre AreaCast et S-MAC reste réduite. En revanche, quand on étudie l'énergie moyenne dépensée par paquet reçu, AreaCast est clairement plus performant, en particulier quand le nombre de liens ou de nœuds défaillants est important (Fig.6). Cela signifie qu'au regard du gain d'efficacité (taux de livraison plus important), le surcoût énergétique d'AreaCast est minime. AreaCast constitue un bon compromis entre consommation énergétique et fiabilité du réseau.

## 4 Conclusion

Nous avons proposé un mécanisme d'adressage logique améliorant l'efficacité d'un réseau de capteurs en présence de liens ou de nœuds défaillants. AreaCast utilise des informations topologiques pour élire des nœuds relais implicites qui vont seconder les relais explicites désignés par le protocole de routage. Cette communication *par zone* permet d'éviter dynamiquement les nœuds défaillants et les liens instables tout en étant indépendant du protocole de routage choisi. En intégrant une modélisation directe de la consommation énergétique à WSNet, nous montrons qu'avec AreaCast le réseau est mieux capable d'acheminer les paquets de données qu'avec une couche S-MAC, tout en gardant un coût énergétique très acceptable.

## Références

- [BCG08] E. Ben Hamida, G. Chelius, and J-M. Gorce. Scalable versus accurate physical layer modeling in wireless network simulations. In *Workshop on Principles of Advanced and Distributed Simulation*, volume 1, pages 127–134, Los Alamitos, CA, USA, 2008. IEEE Computer Society.
- [cc108] Chipcon inc., cc1100 datasheet. <http://www.chipcon.com/>, 2008.
- [HV08] Karel Heurtefeux and Fabrice Valois. Distributed qualitative localization for wireless sensor networks. In *7th International Conference on AD-HOC Networks & Wireless*, 2008.
- [YHE04] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin. Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks. *ACM Transactions on Networking*, 12 :493–506, 2004.