

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

Karel Heurtefeux¹, Florence Maraninchi² et Fabrice Valois³

¹ CNRS, Verimag UMR 5104, Grenoble, F-38041, France

² Grenoble INP, Verimag UMR 5104, Grenoble, F-38041, France

³ 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 essaye 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.

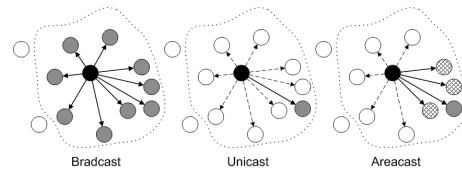


FIGURE 1: Broadcast, Unicast et AreaCast

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.

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.

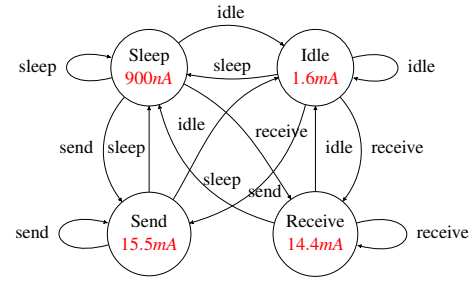


FIGURE 3: Radio modélisée par un automate d'énergie

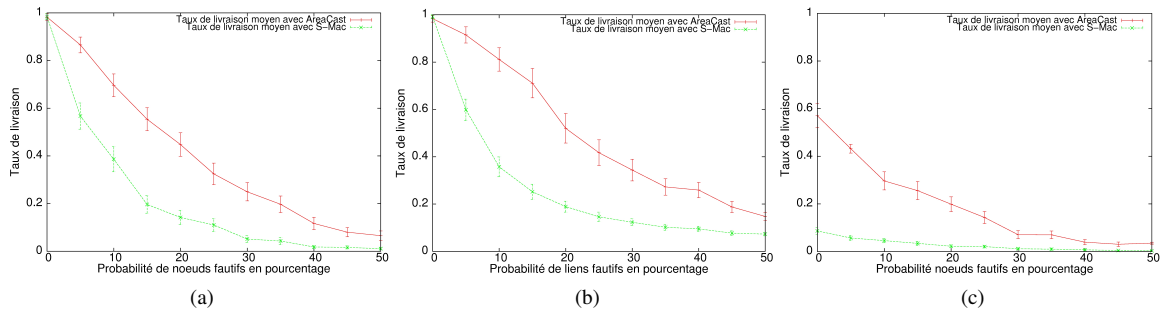


FIGURE 4: Taux de livraison : (a) face aux nœuds défaillants ; (b) face aux liens défaillants ; (c) face aux nœuds défaillants dans le cas d'un modèle de propagation réaliste

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

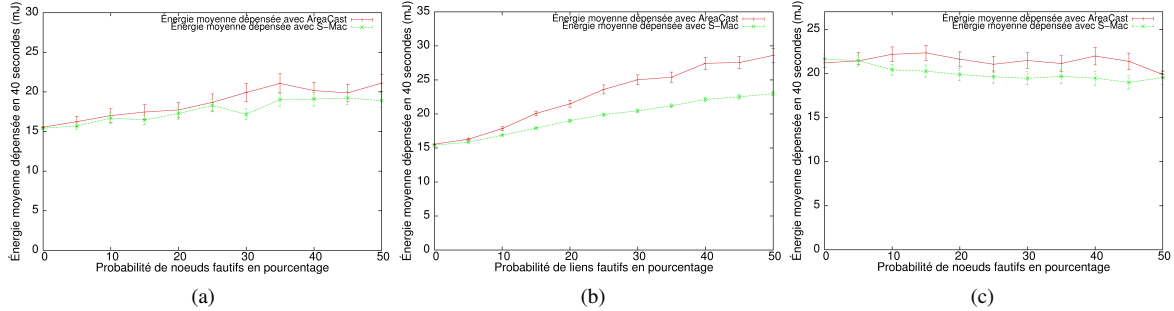


FIGURE 5: Consommation énergétique totale : (a) face aux nœuds défaillants ; (b) face aux liens défaillants ; (c) face aux nœuds défaillants dans le cas d'un modèle de propagation réaliste

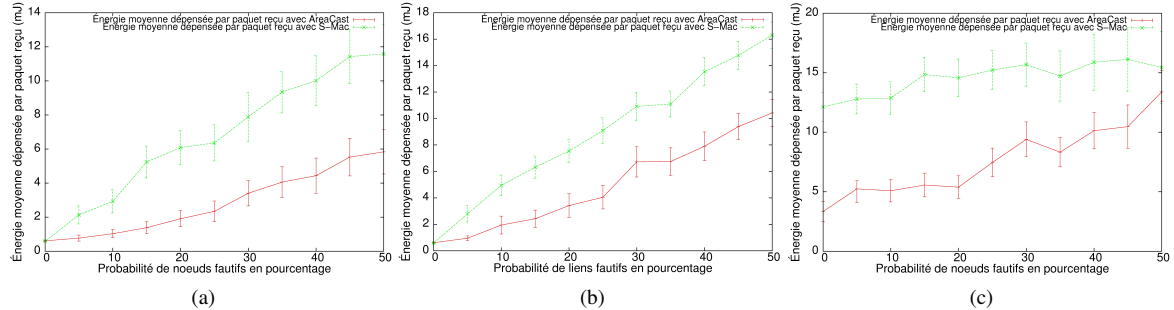


FIGURE 6: Consommation énergétique par paquet reçu : (a) face aux nœuds défaillants ; (b) face aux liens défaillants ; (c) face aux nœuds défaillants dans le cas d'un modèle de propagation réaliste

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.