

# Modélisation des contraintes et gestion de l'énergie dans les réseaux Ad Hoc

Joseph Rahmé  
LRI, Univ. Paris-SUD, CNRS  
Bât 490, 91405 Orsay, France  
Email : Joseph.Rahme@lri.fr

Aline Carneiro Viana  
ASAP, INRIA Saclay  
Ile de France sud, France  
Email : Aline.Viana@inria.fr

Khaldoun Alagha  
LRI, Univ. Paris-SUD, CNRS  
Bât 490, 91405 Orsay, France  
Email : Alagha@lri.fr

**Abstract**—Mes travaux se focalisent principalement sur la modélisation des différentes contraintes d'un réseau Ad hoc déployé dans un environnement industriel. Comme l'énergie est une ressource rare dans les réseaux Ad hoc, une bonne gestion de cette ressource permet d'augmenter la durée de vie du réseau. Pour ce même but, nous avons quantifié l'énergie consommée par un nœud dans chacun de ses états (actif, endormis, réception et overhearing) pour permettre une approximation de l'énergie résiduelle à chaque moment. Cette énergie résiduelle est utilisée avec nos fonctions de coût pour calculer des routes économes en énergie qui va permettre l'optimisation de la durée de vie du réseau.

## I. TRAVAUX

La diversité des applications ciblées par les réseaux de capteurs montre le succès de ce type de réseau. Les nœuds de ces réseaux se caractérisent par une petite taille, un coût faible et des technologies de communications avancées mais par une autonomie d'énergie limitée et généralement non renouvelable. Pour cela, l'utilisation d'une méthode de gestion d'énergie dans de tels réseaux s'avère importante pour optimiser la durée de vie du réseau. Dans la littérature, plusieurs approches ont traité ce problème :

- Un des approches consiste à changer l'état des nœuds entre 'actif' et 'veille' [2], [4] pour économiser l'énergie des nœuds
- D'autres laissent tous les nœuds actifs et font un contrôle de puissance [1] ou un routage prenant en compte l'énergie [5].

Pour quantifier les consommations énergétique des différents états d'un nœud, nous nous intéressons aux composants actifs d'un nœud dans chaque état (transmission, réception, idle et overhearing). Après l'étude des nœuds au cours d'une transmission, nous avons considéré un modèle d'interférence à deux sauts pour la conception de nos fonctions de coût, c.à.d, lorsqu'un nœud transmet, tous ses voisins à un saut reçoivent le paquet, le décodent. Ses voisins à deux sauts consomment eux aussi de l'énergie en recevant un signal non intelligible parce qu'ils sont actifs et en état d'écoute. Ces fonctions de coût vont utiliser différentes approches pour optimiser la durée de vie du réseau.

La première fonction de coût consiste à réduire l'énergie nécessaire pour router un paquet entre une source et une destination. Cette fonction  $E_{\theta_1}$  prend en compte l'énergie

nécessaire pour la transmission d'un paquet, tout en considérant l'énergie consommée par les voisins à un et deux sauts de l'émetteur pour recevoir ce paquet. Ce qui représente l'énergie totale consommée dans le réseau pour une transmission.  $E_{\theta_1}$  est utilisée pour donner un poids aux liens entre un nœud et ses voisins à un saut : le poids du lien  $(k, i)$  entre  $k$  et n'importe quel voisin à un saut est égal à  $E_{\theta_1}$  du nœud  $k$ .  $E_{\theta_1}(k, i)$  a la forme suivante :

$$E_{\theta_1}(k, i) = E_{TX} + \sum_{n_1 \in N_1(k)} E_{RX} + \sum_{n_2 \in N_2(k)} E_I \quad (1)$$

, où

- $N_1(k)$  est l'ensemble des voisins à 1-saut du nœud  $k$  ;
- $N_2(k)$  est l'ensemble des voisins à 2-saut du nœud  $k$  ;
- $E_{TX}$ ,  $E_{RX}$  et  $E_I$  désignent respectivement l'énergie consommée pour une transmission, réception et overhearing.

Ensuite, nous avons proposé une heuristique qui calcule le chemin optimal entre une source et une destination. Cette heuristique applique un algorithme de plus court chemin sur le graphe dont le poids des liens est calculé en utilisant  $E_{\theta_1}$ . Cette technique permet : (1) de minimiser la consommation d'énergie pour le routage d'une information dans le réseau (2) et de trouver un chemin énergétiquement optimal. Par contre, l'énergie restante des nœuds est la seule contrainte non prise en compte dans cette fonction, ce qui augmente le risque qu'un nœud avec une énergie restante faible participe dans un routage.

Nous avons ensuite proposé une deuxième fonction de coût qui prend en compte l'énergie résiduelle des nœuds et qui assigne un poids pour un lien entre deux nœuds. Cette fonction prend en compte le minimum de l'énergie résiduelle d'un nœud après une transmission d'un paquet avec le minimum des énergies résiduelles des voisins à un et deux sauts de l'émetteur.

La fonction de coût  $E_{\theta_2}$  est la suivante :

$$E_{\theta_2}(k, i) = \min\{(E_r(k) - E_{TX}), \min_{n_1 \in N_1(k)}(E_r(n_1) - E_{RX}), \min_{n_2 \in N_2(k)}(E_r(n_2) - E_I)\} \quad (2)$$

, où

- $E_r(k)$  est l'énergie résiduelle du nœud  $k$  ;

- $E_r(n_1), E_r(n_2)$  sont les énergies résiduelles des voisins à 1 et 2-sauts affectés par la transmission du nœud  $k$
- $E_{TX}, E_{RX}$  et  $E_I$  désignent respectivement l'énergie d'une transmission, réception et overhearing.

L'utilisation de cette fonction de coût permet une sélection des nœuds avec un énergie résiduelle importante pour participer dans le routage d'une information.

La troisième fonction de coût proposée calcule le nombre de transmission qu'un nœud peut effectuer avant d'épuiser l'énergie d'un nœud à un ou deux sauts de l'émetteur d'un paquet. Cette fonction aussi est utilisée pour calculer le poids en deux nœuds.

$$\omega(k, i) = \min \left\{ \frac{E_r(k)}{E_{TX}}, \min_{n_1 \in N_1(k)} \frac{E_r(n_1)}{E_{RX}}, \min_{n_2 \in N_2(k)} \frac{E_r(n_2)}{E_I} \right\} \quad (3)$$

Pour calculer un chemin, la deuxième et la troisième fonction de coût utilisent un algorithme qui maximise le minimum des poids des liens constituant la route et qui permet ainsi de choisir les nœuds avec le plus d'énergie pour participer dans le routage.

D'après les résultats des simulations, la première méthode a optimisé le mieux possible la durée du réseau comparé aux deux autres fonctions de coût. En fait, la deuxième et la troisième fonction de coût calculent des routes avec des nœuds intermédiaires non contraints énergétiquement mais ces routes sont souvent plus longues en termes de nombre de sauts. Ce fait dégrade les performances de ces deux fonctions et change le but principale de la conception de ces fonctions. En outre, la première fonction de coût peut être améliorée d'avantage en utilisant l'énergie restante des nœuds pour calculer les poids des liens, par exemple, pour calculer le poids d'un lien  $(k, i)$  :  $poids(k, i) = \frac{c_f \times E_{\theta_1}(k, i)}{E_r(i)}$ , ce qui permet de donner un poids différent pour  $k$  et chacun de ses voisins  $i$ , tout en favorisant le voisin avec le plus d'énergie.

La figure 1 montre la durée de vie du réseau pour les différentes tailles du réseau en utilisant les différentes fonctions de coût. Comme prévu, la fonction de coût  $E_{\theta_4}$  maximise le plus la durée de vie du réseau. La figure 2 présente le nombre moyen de saut par route pour les différentes tailles du réseau : cette fonction introduit un faible nombre de saut aux chemins contrairement à la deuxième et troisième fonction de coût. Après l'implémentation de ses quatre fonctions de coût, les résultats de simulations nous ont orienté vers une nouvelle méthode pour maximiser la durée de vie du réseau. Pour implémenter cette méthode, un nouveau problème difficile à résoudre se présente : le choix d'un chemin minimisant la consommation de l'énergie en satisfaisant en même temps une autre contrainte :

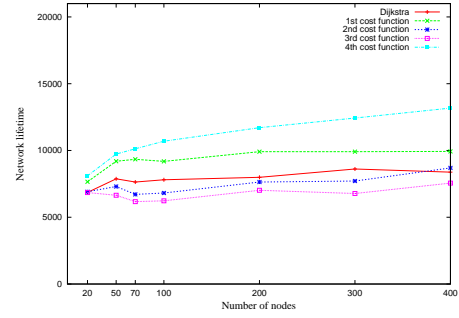


Fig. 1. Durée de vie du réseau.

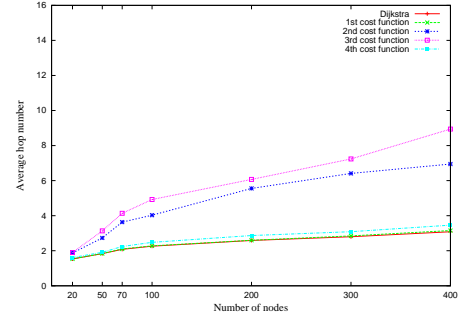


Fig. 2. Nombre moyen de saut par route.

$$Prob : \begin{cases} \min E_{\theta_4} \\ s.t. \min (\#hop) \end{cases} \quad (4)$$

$E_{\theta_4}$  étant la quatrième fonction de coût et ayant la forme suivante :

$$E_{\theta_4}(k, i) = c_f \times \frac{E_{\theta_1}(k, i)}{E_r(i)}, \forall i \in N_1(k) \quad (5)$$

Ce problème consiste à trouver un chemin optimale énergétiquement entre une source et une destination tout en garantissant en même temps un chemin avec un nombre minimale de saut. Cela est important car plus la route est longue en terme de nombres de saut, plus elle consomme d'énergie. Pour plus d'information sur ce travail, lire l'article [3].

## REFERENCES

- [1] Ingelrest, F., Simplot-Ryl, D., Stojmenovic, I. : Optimal transmission radius for energy efficient broadcasting protocols in ad hoc networks. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems (2006)
- [2] Merrer, E.L., Gramoli, V., Viana, A.C., Bertier, M., Kermarrec, A.M. : Energy aware self-organizing density management in wireless sensor networks. In : ACM MobiShare. Los Angeles, CA (2006)
- [3] Rahmé, J., Viana, A., Al Agha, K. : Avoiding energy-compromised hotspots in resource-limited wireless networks. in IFIP International Federation for Information Processing, Volume 256, Home Networking pp. 85–100 (2007)
- [4] Sengul, C., Kravets, R. : Conserving energy with on-demand topology management. In : Proceedings of the IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (2005)
- [5] Zhang, B., Mouftah, H. : Energy-aware on-demand routing protocols for wireless ad hoc networks. Wireless Networks **12** Issue 4 (2006)