

## Routage efficace en énergie pour les réseaux de capteurs

Samira YESSAD

Laboratoire de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes (LAMOS)  
Université de Béjaïa, Béjaïa 06000, Algérie  
Tél. (213) 34 21 51 88

**Résumé** Les protocoles de routage proposés pour les RCSFs doivent être efficaces en terme d'économie d'énergie. Des protocoles multi-chemins comme EAR sont proposés comme amélioration aux protocoles uni-chemin pour maximiser la durée de vie des RCSFs. Pour plus d'équité entre les nœuds capteurs et prolonger plus la durée de vie des RCSFs, nous proposons une amélioration pour EAR appelé FEAR. Dans FEAR, un nœud capteur, utilisé par plusieurs voisins comme relais, est utilisé avec une probabilité inférieure à celle des nœuds qui sont utilisés moins. En guise de perspectives, nous espérons pouvoir prouver que les performances des FEAR dépassent celles de EAR.

**Mots-clés** : RCSF, énergie, durée de vie, routage

### 4.1 Introduction

Un réseau de capteurs sans fil est constitué d'un grand nombre de capteurs interconnectés via un lien sans fil (radio, infrarouge, optique) ; chaque capteur a pour fonctions de capturer, de mémoriser, de traiter et de communiquer les données acquises vers une station de base. Ce type de réseau a beaucoup d'avantages qui ont fait d'eux des réseaux très utilisés dans des domaines différents, comme pour la surveillance de l'environnement, dans des champs de bataille, dans des océans, et plein d'autres domaines d'applications. Cependant, la faible capacité énergétique habituellement assignée à chaque nœud, et l'impossibilité d'une intervention humaine, a poussé les utilisateurs à s'intéresser à une propriété cruciale qui est la durée de vie minimale. Cette durée dépend fortement de pas mal de paramètres qui peuvent être considérés soit dans les protocoles MAC ou les protocoles de routage. Pour cela, plusieurs protocoles de routage, adressant les problèmes de limitations liées à la consommation des ressources énergétiques, ont été proposés dans la littérature. Ils sont, en général, basés sur la recherche d'une route multi-sauts optimale en considérant l'énergie résiduelle des nœuds intermédiaires.

En effet, un protocole de routage doit impérativement utiliser le minimum de ressources énergétiques et par la suite prolonger la vie du réseau pour éviter son partitionnement. Ainsi, l'idéal serait d'économiser l'énergie de tous les nœuds capteurs d'une manière équitable pour qu'ils fonctionnent tous ensemble pour une longue durée et puis tomber énergétiquement tous ensemble en même temps. Ceci ne peut pas être réalisé par les protocoles de routage à un chemin optimal, puisque les mêmes nœuds sont utilisés pour le routage ce qui va épuiser l'énergie de ces nœuds plus que d'autres.

Le but de notre exposé est de présenter un protocole de routage multi-chemin (EAR pour Energy Aware Routing protocol) proposé par Rahul et al le critiquer et de présenter un nouveau protocole de routage multi-chemin pour les réseaux de capteurs (FEAR pour Fair Energy Aware Routing protocol), que nous avons proposé pour améliorer EAR.

Notre protocole repose sur deux idées. La première idée étant celle proposée par Rahul et al dans le protocole EAR, qui consiste à sauvegarder plusieurs chemins avec un coût minimal et non pas un seul chemin qui a le coût minimal. En plus, à chaque chemin est assigné une probabilité qui permet de choisir le chemin à utiliser à chaque envoi de données.

EAR contient trois phases,

- Une phase d’initialisation : dans laquelle les chemins sont découverts et les tables de routage sont établies en utilisant une inondation locale d’un message contenant une variable coût initialisée à 0 et mise à jour avec le coût d’énergie total calculé au niveau des nœuds. Ainsi les routes avec des coûts minimaux sont sauvegardées dans la table de routage et des probabilités leurs sont assignées.
- Une phase de communication des données : dans laquelle les nœuds sources de données et les nœuds intermédiaires choisissent aléatoirement un voisin de la table de routage pour router les données en utilisant les probabilités.
- Phase de maintenance des routes : l’inondation locale est effectuée périodiquement pour mettre à jour la table des routes

La deuxième idée, qui est notre nouvelle idée, consiste à ajouter un paramètre pour le calcul de la probabilité, il s’agit du nombre de routes optimales auxquelles le nœud voisin appartient.

Ainsi, Comme EAR, notre protocole comporte trois phases :

- Une phase d’initialisation : Un message contenant une variable coût initialisée à 0 est diffusé par la station de base puis chaque nœud recevant ce message le rediffuse à son tour vers ses voisins.

En recevant le message, Le nœud calcule la métrique d’énergie pour le nœud voisin qui a envoyé le message et l’additionne au coût total du chemin. Ainsi, si un nœud  $i$  envoie le message à un nœud  $j$ , ce dernier calcule la métrique d’énergie du nœud  $i$  ( $C_{ij}$ ) en utilisant la formule suivante :

$$C_{ij} = e_{ij}^\alpha R_i^\beta$$

ou  $e_{ij}$  est l’énergie nécessaire pour l’envoi et la réception sur le lien entre le nœud  $i$  et le nœud  $j$  et  $R_i$  est l’énergie résiduelle du nœud  $i$  normalisé à son énergie initiale. Les facteurs du poids  $\alpha$  et  $\beta$  peuvent être choisis pour trouver le chemin qui consomme le minimum d’énergie ou le chemin qui contient les nœuds avec le maximum d’énergie résiduelle ou bien trouver le chemin qui combine les deux.

Une fois  $C_{ij}$  est calculé, le nœud  $j$  l’additionne avec la valeur de la variable coût ( $cout_i$ ) envoyée par le nœud  $i$  pour calculer le coût du chemin vers la station de base

à travers le voisin  $i$  ( $cout_{ij}$ ) :

$$cout_{ij} = cout_i + C_{ij}$$

Les routes avec des coûts minimaux sont sauvegardées dans la table de routage puis un message (FTM pour Forwarding Table Message) contenant ces routes est diffusé localement par le nœud. Chaque nœud recevant le message FTM répond par un message (NFTM pour Number Forwarding Table Message) contenant le nombre de nœuds voisins qui compte ce nœud dans leurs table de routage.

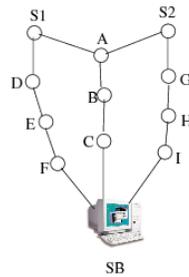
Une fois un nœud reçoit ce dernier message, il peut assigner les probabilités de choix des routes en fonction du coût de la route et le nombre de nœuds qui utilisent cette même route, et ce en utilisant la formule suivante :

$$P_{ij} = \frac{\frac{1}{C_{ij} \times N}}{\sum_{k \in FT_j} \frac{1}{C_{jk} \times N}}$$

Cette dernière prendra en considération le coût du chemin comme dans EAR et le nombre de nœuds qui utilisent le même nœud.

- Une phase de communication des données : dans laquelle les nœuds sources de données et les nœuds intermédiaires choisissent aléatoirement un voisin de la table de routage pour router les données en utilisant les probabilités.
- Phase de maintenance des routes : l'inondation locale est effectuée périodiquement pour mettre à jour la table des routes

n'ayant pas eu encore les résultats de simulation pour comparer EAR et FEAR, nous présentons un exemple pour illustrer l'apport de FEAR par rapport à EAR pour réaliser plus d'équité entre les nœuds capteurs et ainsi maximiser la durée de vie du réseau.



**FIGURE 4.1.** Exemple illustratif

Dans l'exemple simple de la figure 4.1 deux sources ( $S_1$  et  $S_2$ ) envoient des données à la station de base (SB). Supposons que les nœuds de cet exemple utilisent le protocole EAR pour le routage, le nœud  $S_1$  peut envoyer ses données à travers les deux routes (D,E,F,SB) avec une probabilité égal à 0.5 et (A,B,C,SB) avec une probabilité égale à 0.5. Le nœud

$S_2$  aussi peut envoyer ses données à travers deux routes, la route à travers les nœuds (A,B,C,SB) qui est commune entre les deux nœuds  $S_1$  et  $S_2$  avec une probabilité égale à 0.5 et la route à travers les nœuds (G,H,I,SB) avec une probabilité égale à 0.5.

Supposons que les nœuds  $S_1$  et  $S_2$  vont envoyer six paquets de données chacun, alors chacun envoie trois de ces paquets par la route commune (à travers les nœuds A,B,C,SB) et les trois autres paquets par l'autre route.

En supposant que l'énergie initiale de tous les nœuds était la même, nous pouvons remarquer que malgré que le protocole EAR a pu réaliser une certaine équité entre les nœuds du réseau en utilisant plusieurs chemins de routage au lieu d'un seul, mais il y a la route commune entre les deux nœuds sources qui est utilisée plus que les deux autres (elle est utilisée pour six communications et les deux autres pour trois communications seulement). Ceci peut épuiser les nœuds de cette route plus que les autres.

Supposons maintenant que les nœuds de cet exemple utilisent le protocole FEAR pour le routage. Alors la probabilité des routes (D,E,F,SB) et (G,H,I,SB) devient  $2/3$  et celle de la route commune devient  $1/3$ . Ainsi, avec ces probabilités, chacun des deux nœuds source va envoyer deux paquets à travers la route commune et les quatre restantes par l'autre route. Alors, avec FEAR on peut avoir une grande équité entre les nœuds capteurs et ainsi la durée de vie du réseau sera maximisée.

En guise de conclusion, nous avons essayé, à travers notre exposé, de présenter en général les réseaux de capteurs sans fil en mettant le point sur leur propriété cruciale qui est la durée de vie, et les solutions proposées au niveau des protocoles de routage. Parmi les protocoles de routage des réseaux de capteurs, nous avons présenté EAR, qui est un protocole multi-chemin proposé par Rahul et al pour maximiser la durée de vie des RCSFs que nous avons critiqué puis amélioré.

Alors, nous avons proposé un nouveau protocole de routage (FEAR), qui réduit la probabilité de l'utilisation d'un nœud qui est sollicité par plusieurs voisins dans le but de maximiser la durée de vie du réseau.

En guise de perspective, nous espérons comparer EAR et FEAR par simulation et prouver qu'avec FEAR le réseau peut fonctionner pour une longue durée.