

## **Une nouvelle approche cross-layer pour les réseaux de capteurs**

Samira YESSAD

Laboratoire de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes LAMOS  
Université de Béjaïa 06000, Algérie.

**Résumé** Dans cet exposé, nous avons présenté une nouvelle solution qui exploite les interactions entre les couches de la pile protocolaire pour le choix du prochain saut qui fournit plus d'équité dans l'utilisation des routes pour l'acheminement vers la station de base. Contrairement au choix aléatoire en fonction des probabilités utilisé dans EAR, FEAR et BEER, l'approche inter-couche réduit le nombre de messages de contrôle. En guise de perspective, nous espérons prouver ces constatations par simulation.

**Mots-clés** : RCSF, énergie, durée de vie, cross layer

Cross Layer design est apparu comme un nouveau domaine de recherche dans les RCSFs. Le principe de base de Cross Layer design est de rendre l'information disponible à tous les niveaux de la pile des protocoles. C'est-à-dire, il permet la définition des protocoles ou de mécanismes qui ne respectent pas l'isolation des couches du modèle OSI. Le principe de base du concept Cross Layer est de permettre l'échange d'informations entre les couches adjacentes et non adjacentes afin d'améliorer les performances de transmission. Cet échange d'informations peut être mis en œuvre suivant différents schémas.

La Communication directe entre les couches : C'est le modèle le plus utilisé par les architectures Cross Layer. Il permet à une couche d'accéder directement aux paramètres et aux variables d'une autre couche sans passer par un intermédiaire. Par exemple, la couche IP accède aux champs de l'en-tête TCP pour indiquer une congestion dans le réseau.

La communication via une base de données partagée : Plusieurs architectures Cross Layer proposent l'utilisation d'une base de données partagée afin de stocker et de récupérer des paramètres. Celle-ci est accessible par toutes les couches qui peuvent, ainsi, s'informer de l'état des autres couches ou récupérer des paramètres de configuration nécessaire à leur fonctionnement interne. La base de données est considérée comme une nouvelle couche en parallèle à toutes les autres.

Dans la littérature, plusieurs techniques Cross Layer ont été proposées pour améliorer les performances des transmissions sans fil. Au début, ces mécanismes étaient limités à l'interaction entre la couche physique et la couche liaison de données. De plus, les mécanismes proposés étaient indépendants et visaient l'amélioration d'une imperfection précise. Par la suite, nous avons assisté à l'apparition de plusieurs travaux proposant des interactions avec les couches supérieures et aussi à l'apparition d'architectures Cross Layer qui tentent de faire collaborer plusieurs couches, prenant en charge plusieurs paramètres, pour une optimisation globale. trois différentes approches Cross Layer existent :

L'approche ascendante (Bottom-up) : Les couches supérieures optimisent leurs mécanismes en fonctions des paramètres (conditions) des couches inférieures.

L'approche descendante (Top-down) : Les couches supérieures décident des paramètres de configuration des couches inférieures. Ou bien, les couches inférieures considèrent certaines spécificités du niveau applicatif pour exécuter leurs traitements.

L'approche mixte (Integrated) : Cette approche exploite les deux approches précédentes dans une même architecture afin de trouver la meilleure configuration inter-couches pour un fonctionnement optimal du système.

La durée de vie des RCSFs dépend fortement de pas mal de paramètres qui peuvent être considérés essentiellement soit dans les protocoles MAC ou les protocoles de routage. Pour cela, plusieurs protocoles de routage et MAC, adressant les problèmes de limitation liés à la consommation des ressources énergétiques, ont été proposés dans la littérature. L'expérience acquise par des études analytiques et des travaux expérimentaux dans les réseaux de capteurs ont révélé d'importantes interactions entre les différentes couches de la pile protocolaire. Ces interactions sont particulièrement importantes pour la conception des protocoles de communication pour les réseaux de capteurs.

Nous présentons dans ce qui suit notre nouvelle proposition qui utilise une approche cross-layer pour améliorer un ensemble de protocoles de routage proposés pour les réseaux de capteur sans fil (EAR, FEAR et BEER) : Ces trois protocoles sont composés de trois phases et diffèrent seulement dans le calcul des probabilités du choix des routes, voila à titre d'exemple les phases de FEAR :

- 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.

La dernière étape dans cette phase consiste en la diffusion du message "route request" après avoir mis à jour la variable coût en utilisant la formule suivante :

$$cost_j = \sum_{k \in FT_j} P_{jk} Cost_{jk}$$

- 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

L'objectif des protocoles EAR, FEAR et BEER est de répartir équitablement la charge de routage sur les voisins et ainsi maximiser la durée de vie des réseaux de capteurs, mais nous remarquons qu'elles augmentent le nombre de paquets de contrôle. Nous avons noté que la couche MAC peut fournir des informations à la couche réseau pour atteindre cet objectif sans augmenter l'overhead du protocole et améliorer même la durée de vie du réseau. Cette remarque nous a permis de proposer une approche cross-layer qui sera détaillée dans ce qui suit. Les nœuds peuvent utiliser des renseignements donnés par la couche MAC pour mieux répartir la charge du routage sur les voisins. En utilisant un protocole MAC avec mécanisme CSMA/CA avec RTS/CTS (IEEE 802.11, SMAC, TMAC, R-MAC,...), lors de l'envoi du CTS qui confirme la possibilité de recevoir le paquet d'un nœud voisin pour le transmettre à la station de base. Les voisins de l'émetteur du CTS informe la couche réseau de l'effort de ce dernier pour router un paquet de ses voisins.

Les nœuds n'ont plus besoin de calculer les probabilités de choix de route. Pour la première fois, chaque nœud envoie ses paquets à travers le voisin ayant un coût minimal. Au fur et à mesure qu'il y a des communications dans le réseau, les nœuds utiliseront les informations fournies par la couche MAC pour le choix du prochain saut. Un nœud possédant deux voisins dans sa table de routage et ayant entendu un CTS d'un de ces deux nœuds, envoie son prochain paquet à travers l'autre nœud.

Avec cette solution, le choix du prochain saut fournit plus d'équité dans l'utilisation des routes pour l'acheminement vers la station de base. Contrairement au choix aléatoire en fonction des probabilités utilisé dans EAR, FEAR et BEER. L'approche inter-couche réduit le nombre de messages de contrôle contrairement à FEAR et BEER qui ont rajouté deux messages de contrôle (FTM et NFTM)

En conclusion, nous avons proposé une solution pour l'exploitation des interactions entre les couches de la pile protocolaire. Parce que nous avons constaté que penser directement à des solutions inter-couches fait gagner du temps et permet de concevoir des solutions plus performantes. En guise de perspective, nous espérons prouver ces constatations par simulation.