

Clustering inégal pour l'équilibrage de charge dans les réseaux de capteurs sans fil

Nadjet KHOULALENE

Laboratoire de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes LAMOS
Université de Béjaïa 06000, Algérie.
email : nadjette.khoulalene@univ-bejaia.dz

Résumé Afin d'apporter une solution aux problèmes des points chauds dans les réseaux de capteurs sans fils, nous proposons un algorithme de clustering dont le principe est de former des clusters de tailles inégales. La taille des clusters décroît en se rapprochant de la station de base. Ceci permettra de préserver plus d'énergie pour le routage inter-clusters. L'élection des cluster-heads est faite en prenant en en considération d'autres métriques que l'énergie à savoir la capacité mémorielle et calculatoire des capteurs.

Mots-clés : Réseaux de capteurs sans fils, Clustering, Equilibrage de charge, Economie d'énergie, temps de réponse.

4.1 Introduction

Dans les algorithmes de clustering, les clusters-head (CHs) sont souvent nécessaires pour l'organisation des activités dans les clusters. Leur tâche ne se limite pas à l'agrégation de données, elle s'étend aussi à l'organisation de la communication intra-cluster et même inter-cluster. L'énergie consommée dans les échanges intra-cluster est proportionnelle au nombre de nœuds dans le cluster. Les algorithmes de clustering proposés tentent de former généralement des clusters de même taille, donc les CHs ont tendance à consommer la même quantité d'énergie pendant la phase intra-cluster de transfert de données.

Par contre durant la phase de communication inter-cluster, les nœuds proches de la station de base consomment beaucoup plus d'énergie à cause de la charge de trafic de relais. En effet, les nœuds transfèrent leurs données à la station de base avec un routage multi-sauts. Le modèle de trafic résultant est non-uniforme et surcharge les nœuds proches de la station de base. Ainsi, les CHs proches de la station de base consomment plus d'énergie et meurent plus vite que les autres CHs : problème des point chauds. Ce qui pourrait réduire la couverture de détection et conduire au partitionnement du réseau.

De ce fait, afin d'apporter une solution aux problèmes des points chauds nous nous sommes inspiré du principe de l'algorithme EEDUC [2] proposant de construire des clusters de taille inégales. La taille des clusters décroît en se rapprochant de la station de base. Ceci permettra de consommer moins d'énergie lors du transfert des données intra-cluster, et peut préserver plus d'énergie pour le routage inter-clusters. L'élection des CH est faite en utilisant l'algorithme CLB [3].

L'algorithme proposé est baptisé UCLB (unequal Clustering based Load Balancing).

4.2 Clustering inégal pour l'équilibrage de charge dans les réseaux de capteurs sans fil

Afin de proposer une stratégie d'acheminement permettant d'assurer une durée de vie maximale du réseau en équilibrant l'énergie de la manière la plus équitable possible, nous adoptant le principe du protocole EEDUC avec une prise en considération de l'énergie résiduelle et la distance d'un nœud par rapport au nœud émetteur lors du choix du nœud relais. Les différentes phases de l'algorithme de clustering proposé, sont les suivantes :

4.2.1 Phase d'initialisation

La phase d'initialisation consiste à diffuser un message d'annonce "Hello" par la station de base à tous les nœuds capteurs du réseau. Ainsi, chaque nœud peut calculer approximativement la distance qui le sépare de la station de base à partir de la puissance du signal reçu.

Durant cette phase, chaque capteur 'i' diffuse à son voisinage son énergie résiduelle e_i , sa capacité mémorielle m_i , sa capacité calculatoire c_i et la distance qui le sépare de la station de base d_i .

Chaque capteur calcule son rayon de concurrence dans le but de former des clusters de taille inégales, en fonction de sa distance par rapport à la station de base, du nombre de ses voisins et son énergie résiduelle.

Le rayon concurrence est calculé comme suit :

$$R_{comp} = [1 - W_1(1 - TS_i/TS_{MAX}) - W_2(1 - E_i/E_{MAX}) - W_3(N_i/N_{MAX})]R_{MAX}$$

Où :

TS_i : désigne la distance entre le nœud i et la station base.

TS_{MAX} : désigne la distance maximale entre un nœud voisin et la station de base.

E_i : désigne l'énergie résiduelle du nœud i.

E_{MAX} : désigne l'énergie maximale d'un nœud voisin.

R_{MAX} : désigne la portée de transmission d'un nœud.

W_1 , W_2 et W_3 : désignent des coefficients constants entre 0 et 1.

N_i : désigne le nombre de voisins du nœud i.

N_{MAX} : désigne le nombre total de capteurs dans le réseau.

Une fois le R_{comp} calculé, chaque capteur calcule une note N_i comme suit :

$$N_{i,j} = e_j / \sum_{k \in V_i} e_k + m_j / \sum_{k \in V_i} m_k + c_j / \sum_{k \in V_i} c_k$$

V_i étant l'ensemble des capteurs dans la portée radio du capteur i.

Chaque capteur envoie, par la suite, sa note aux capteurs adjacents. j est un capteur "adjacent" du capteur i si j appartient au rayon de concurrence de i ou i appartient au rayon de concurrence de j .

4.2.2 Phase d'auto-désignation des cluster-heads

Après la communication des notes par chaque capteur à l'ensemble des capteurs qui appartiennent à son rayon de concurrence, chaque capteur constitue une liste de notes et compare sa note avec celle de ses voisins non encore élus cluster-head : si sa note est plus élevée que celle de ses voisins, il s'auto-désigne cluster-head.

4.2.3 Phase de rattachement aux cluster-heads

Les nœuds qui ont été élus comme cluster-heads informent leur voisinage de leur élection par envoi d'un message d'auto-désignation. A la réception des annonces faites par ces CHs, chaque nœud choisit de se rattacher au cluster-head possédant l'énergie la plus élevée. Après la réception de tous les messages des nœuds désirant être membres d'un cluster, les CHs élus peuvent alors déterminer leurs membres et leur ordonnancement, et cela en créant des tables TDMA 'Time division Multiplexed Access' (allouer à chaque membre un slot de temps de transmission) afin d'éviter les collisions inter-cluster. En outre, un code CDMA est choisi par les CHs afin d'être utilisé par les nœuds de leur cluster lors de la phase de transmission de données. Une fois que les intervalles de temps des tables TDMA et les codes CDMA sont déterminés et annoncés aux différents membres, la deuxième phase celle de transmission est lancée. Chaque nœud ne peut émettre ses données vers le CH de son cluster que durant l'intervalle de temps alloué. Ce dernier va collecter toutes les données reçues, les agréger et les router à la station de base.

4.2.4 Phase d'acheminement des données vers la station de base

Le cluster Head, après la réception et l'agrégation des données capturées par les nœuds de son cluster, si la station de base ne se trouve pas dans la portée de transmission du CH, il choisit un nœud relais afin d'acheminer les données vers la station de base. Le meilleur choix du nœud relais est effectué comme suit :

$$S_i.R_{CH} = \{ S_j \mid d(S_i, S_j) \leq S_i.R_{comp}, d(S_j, SB) < d(S_i, SB) \}$$

En effet, le capteur en question détermine une liste $S_i.R_{CH}$, qui contient ses nœuds voisins en direction de la station base et compare leurs énergies résiduelles. Le nœud ayant plus d'énergie en direction de la station base et étant le plus proche de lui sera élu comme nœud relais. Ce processus se répète jusqu'à ce que les données soient transmises à la station de base.

Pour équilibrer la charge dans le réseau, il est important de procéder à une réélection régulière des cluster-heads. En effet, les cluster-heads consommant plus d'énergie que les autres nœuds dans le réseau. Dans ce cas, si ces derniers ne changent pas régulièrement, le réseau sera partitionné rapidement.

4.2.5 Simulation et analyse des performances

Afin d'évaluer les performances de la solution proposée et de valider les mécanismes déployés durant la phase de regroupement des capteurs dans un milieu hétérogène, nous avons opté pour la simulation à événements discrets sur ordinateur avec une comparaison des performances de UCLB avec celles de CLB et VCA (An Energy-Efficient Voting-Based Clustering Algorithm for Sensor Networks) [4].

Le modèle réseau utilisé consiste en une station de base et 300 capteurs sans fil, immobiles, aléatoirement dispersés sur le terrain simulé d'une surface de $(1000 \times 1000) m^2$ et présentant des caractéristiques différentes en mémoire et en puissance de traitement.

Le modèle radio proposé par Heinzelman et al. [1] a été utilisé pour calculer l'énergie consommée en émission et en réception des messages.

Les métriques que nous avons jugées intéressantes à étudier sont : la taille des clusters, le nombre de clusters solitaires et l'énergie consommée.

Pour chaque test effectué, 50 exécutions indépendantes sont réalisées. Le paramètre variable utilisé est la portée de chaque capteur.

A travers une comparaison du protocole UCLB par rapport aux protocoles CLB et VCA, nous avons pu montrer à travers les résultats de simulation obtenus que les objectifs de notre protocole sont atteints. En effet, l'efficacité énergétique de UCLB a été démontrée grâce à la politique de regroupement utilisée et l'obtention de clusters de taille inégale en fonction de la distance par rapport à la station de base.

4.3 Conclusion

Dans le travail présenté, nous ne sommes pas intéressés à l'énergie comme seule ressource critique mais nous avons pris en considération d'autres métriques telles que la capacité mémoire et calculatoire des capteurs. Ce travail s'est concrétisé par la proposition d'un algorithme de regroupement avec équilibrage de charge nommé UCLB dont le principe est inspiré des protocoles EEDUC et CLB. L'approche proposée a été validée. D'une part, au vue des performances obtenues par simulation, en montrant la réduction considérable du nombre de clusters formés d'un unique capteur (clusters solitaires), d'autre part en montrant une réduction de la quantité d'énergie consommée grâce à une meilleure sélection des CHs et grâce à la procédure de regroupement avec équilibrage de charge adoptée. Cette dernière consiste à construire des clusters de taille inégale. Une taille qui diminue en se rapprochant de la station de base. Ceci permettra de consommer moins d'énergie lors du transfert des données intra-cluster, et peut préserver de l'énergie pour le routage inter-clusters.

Références

1. W-R. HEINZELMAN, A. CHANDRAKASAN, and H. BALAKRISHNAN. Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks. In *Proceedings of the IEEE Hawaii International Conference on System Sciences*, pages 3005–3014, Janvier 2000.
2. S. LEE and H. SIN. An energie-efficient distributed unequal clustering protocol for wireless sensor networks. *Proceedings of word Academy of Science Engineering and Technology*, 36, Decembre 2008.
3. N.KHOULALENE. *Regroupement avec Equilibrage de charge dans les Réseaux de Capteurs sans Fil*. Mémoire de magistère en informatique, Université de Béjaïa, Algérie, Juin 2007.
4. M. QIN and R. ZIMMERMANN. Vca : An energy-efficient voting-based clustering algorithm for sensor networks. *Journal of Universal Computer Science*, 13(1) :87–109, Janvier 2007.