

Clusterisation avec équilibrage de charge et routage à basse consommation d'énergie dans les RCSFs

Nadjjet KHOULALENE

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

Résumé Pour éviter la saturation des cluster-heads et leur mort prématurée, nous nous sommes attaqués aux deux problèmes par la proposition d'un modèle d'équilibrage de charge pour les réseaux de capteurs sans fils supportant l'hétérogénéité des capteurs et qui est totalement indépendant de toute topologie de réseau particulière. Le modèle vise à équilibrer le nombre de capteurs par cluster en fonction de la charge des cluster-heads. Ceci a permis une réduction de l'énergie consommée par les capteurs ainsi que le temps de réponse.

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

8.1 Introduction

Les algorithmes de regroupement (clustering) pour un réseau de capteurs permettent la constitution de grappes (clusters) de capteurs, chacun étant dominé par un routeur élu [1]. Le regroupement autour d'un routeur s'impose naturellement afin de limiter la consommation d'énergie des capteurs.

Dans ce travail, nous proposons un modèle d'équilibrage de charge pour les réseaux de capteurs supportant l'hétérogénéité des capteurs et totalement indépendant de toute topologie de réseau particulière.

L'algorithme proposé (A Clustering based Load Balancing Algorithm for Sensor Networks : CLB) se base sur le principe du vote des capteurs utilisé par l'algorithme VCA (An Energy-Efficient Voting-Based Clustering Algorithm for Sensor Networks) [2] avec une prise en considération de critères de performances autre que l'énergie (mémoires et processeurs) dans la phase de sélection des cluster-heads et en proposant un regroupement tenant en compte les caractéristiques des cluster-heads et le nombre de capteurs qu'ils doivent gérer (équilibrage de charge par taille des clusters et par charge des cluster-heads).

Afin d'acheminer les données collectées par les capteurs vers la station de base, nous proposons une amélioration du protocole de routage à plat GOSSIPING [3] : PGA (Protocole Gossiping Amélioré).

8.2 Clusterisation par équilibrage de charge (CLB)

En général, la fonction de poids utilisée pour la sélection d'un cluster-head est l'énergie résiduelle du capteur ce qui n'est, en pratique, pas suffisante pour le choix du routeur. Les différentes phases de l'algorithme de clusterisation proposé sont les suivantes :

8.2.1 Phase d'initialisation

La phase d'initialisation consiste à assigner à chaque capteur un poids d'éligibilité à devenir routeur en fonction de son énergie résiduelle e_i , sa capacité mémorielle m_i et sa capacité calculatoire c_i . Chaque capteur 'i' diffuse à son voisinage un vecteur de données (e_i, m_i, c_i) . Le capteur 'i' va collecter à son tour les vecteurs de données de l'ensemble de ses voisins V_i et leur attribue la note $N_{i,j}$, tel que :

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

Après réception de toutes les notes attribuées à chaque capteur, tous les capteurs déterminent leur poids P_i (qui sera diffusé à l'ensemble des nœuds voisins), en fonction des notes, qui leur ont été attribuées comme suit :

$$P_i = \sum_{k \in V_i} N_{k,i}$$

8.2.2 Phase d'auto-désignation des cluster-heads

L'élection des cluster-heads est assurée par un processus itératif : dans un premier temps, l'ensemble des capteurs communiquent leur poids d'éligibilité à l'ensemble des capteurs de leur voisinage : chaque capteur constitue un vecteur \vec{W} de poids d'éligibilité. A l'issue de cette itération initiale, chaque capteur connaît le poids d'éligibilité maximal : le capteur ayant ce poids sera élu cluster-head.

8.2.3 Phase de rattachement aux cluster-heads

Après l'auto-désignation des cluster-heads, chaque cluster-head i calcule un facteur de charge CH_i qu'il envoie à tous ses voisins tel que :

$$CH_i = P_i / \text{deg}_i$$

Où P_i représente le poids du cluster-head et deg_i représente le nombre de capteurs que contient le cluster dont le capteur i est cluster-head.

Les capteurs non rattachés réceptionnent les annonces des cluster-heads nouvellement proclamés et réalisent leur choix en comparant toutes les valeurs de charge reçues. Une fois leur choix est réalisé, ils diffusent un message de retraitement de la procédure de clusterisation.

8.2.4 Phase de mise à jour des poids d'éligibilité et des facteurs de charge

- Au début de chaque itération, il est nécessaire de réactualiser le poids d'éligibilité des capteurs non rattachés en ne considérant que les notes attribuées par les capteurs non rattachés.
- A chaque rattachement d'un capteur à un cluster-head, ce dernier met à jour son facteur de charge en prenant en considération le nombre de capteurs nouvellement rattachés.

8.3 Acheminement des données vers la Station de Base (PGA)

En raison des limites que présentent les capteurs, il est crucial d'avoir recours à une stratégie d'acheminement dont l'objectif est de faire parvenir les données capturées à stations de base en empruntant les chemins induisant des dépenses énergétiques minimales et ce durant un temps d'acheminement acceptable. Le but est d'étendre la durée de fonctionnement du réseau.

Il existe plusieurs catégories de protocoles de routage, parmi lesquelles nous trouvons les protocoles utilisant une structure plate du réseau, où tous les capteurs ont la même fonctionnalité.

Parmi les protocoles de routage à plat on trouve le protocole Gossiping dans lequel un capteur qui reçoit un message ne le diffuse pas à tous ses voisins mais le transmet à un seul, sélectionné aléatoirement.

Après la capture d'un événement et vue le choix aléatoire du voisin auquel le message sera transmis, on peut passer par des capteurs plus d'une fois dans la même transmission. Ce qui génère un retard dans la propagation des données. Ce problème peut persister conduisant ainsi à un bouclage infini.

Afin de prolonger la durée de vie du réseau, nous proposons de maximiser la fonction objectif qui est donnée par l'équation suivante :

$$F_{i,j} = \frac{ER_j \times V_j \times (Deg_j - 1)}{\sum_{k=1}^N ER_k \times V_k \times (Deg_k - 1)}$$

Où :

- N : Ensemble des voisins du nœud émetteur (dans ce cas, le nœud i) ;
- ER_j : Energie résiduelle d'un nœud voisin j ;
- V_j : Visibilité du voisin j . Cette dernière est égale à l'inverse de la distance qui sépare le voisin j de la station de base.
- Deg_j : Degré du voisin j .

8.3.1 Simulation et analyse des performances

Afin d'avoir une partie expérimentale 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 CLB avec celles de VCA.

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

Le modèle radio proposé par Heinzelman et al. [4] 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 : le nombre moyen de clusters, le nombre moyen de clusters solitaires, le nombre moyen d'itérations réalisées pour l'exécution de l'algorithme de regroupement, la quantité moyenne d'énergie consommée par un capteur durant la phase de regroupement, la distribution énergétique, mémorielle et calculatoire d'un cluster-head au sein de son cluster.

Pour chaque test effectué, 50 exécutions indépendantes sont réalisées. Le paramètre variable utilisé est la portée de chaque capteur : augmenter la portée d'un capteur est alors équivalent à augmenter la densité du réseau.

Les résultats de simulation obtenus, montrent que l'algorithme CLB est efficace pour réduire le nombre de clusters solitaires et permet à travers un équilibrage par charge de capteurs et par taille de clusters, de mieux économiser les ressources des capteurs en énergie, en mémoire et en traitement.

Afin d'évaluer les performances de PGA, nous avons considéré une zone de capture d'une surface de $(100 \times 100)m^2$ sur laquelle sont déployés aléatoirement 300 capteurs.

Le protocole PGA que nous avons conçu afin d'améliorer le protocole GOSSIPING de base, utilise un nombre minimum et suffisant de nœuds pour accomplir l'opération de routage. Chaque nœud transmet ses informations au nœud ayant la fonction objectif la plus élevée. Les résultats de simulation obtenus montrent que PGA offre de meilleures performances que le protocole GOSSIPING en termes de durée de vie du réseau et de temps de réponse.

8.4 Conclusion

Dans le travail présenté, afin d'éviter la saturation des cluster-heads et leur mort prématurée, nous nous sommes attaqués aux deux problèmes par l'optimisation des protocoles de regroupement. Deux raisons principales ont motivé ce choix. Premièrement, l'état de l'art montre clairement que la plupart des protocoles hiérarchiques conçus pour les réseaux de capteurs ne prennent pas en considération les capacités mémorielles et calculatoires des capteurs lors de la phase de sélection des cluster-heads. Deuxièmement, l'optimisation des ressources des cluster-heads passe par l'équilibrage du nombre de capteurs à gérer en fonction de la capacité des cluster-heads, ce qui implique directement les procédures de rattachement des capteurs aux cluster-heads.

Les algorithmes proposés ont été validés expérimentalement. D'une part, au vu des performances obtenues par simulation, en montrant une réduction considérable du nombre de clusters formés d'un unique capteur (cluster-head), une meilleure distribution des res-

sources énergétiques, mémorielles et calculatoires des cluster-heads grâce à une meilleure sélection de ces derniers et grâce à la procédure de regroupement avec équilibrage de charge adoptée visant à équilibrer le nombre de capteurs par cluster en fonction de la charge des cluster-heads. D'autre part, en montrant une réduction de l'énergie consommée et du temps de réponse.

Références

1. C-R. LIN and M. GERLA, *Adaptive clustering for mobile wireless networks*, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Septembre 1997, volume 15, N° 7, pp. 1265-1275.
2. M. QIN and R. ZIMMERMANN, *VCA : An Energy-Efficient Voting-Based Clustering Algorithm for Sensor Networks*, Journal of Universal Computer Science, Janvier 2007, volume 13, N°1, pp. 87-109.
3. I.F.Akyildiz and W.Su and Y.Sankarasubramaniam and E.Cayirci, *Wireless sensor networks : a survey*, Computer Networks : The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, volume 38, N° 4. 2002.
4. W-R. HEINZELMAN and A. CHANDRAKASAN and H. BALAKRISHNAN, *Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks*, Proceedings of the IEEE Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 3005-3014, Janvier 2000.