

Méthodes de conservation d'énergie dans les réseaux de capteurs pour l'agriculture de précision

Marwa Abdallah Mohamed Kamil, *Étudiante, DIRO,*

Abstract—Dans le cadre de mon projet de session, j'ai choisi de découvrir les réseaux de capteurs. L'orientation prise a été la conservation de l'énergie, dans le cadre de l'agriculture de précision. Ce rapport présente le thème général et les réseaux de capteurs sans fil, les axes de recherche utilisés par la communauté académique pour parvenir à l'efficacité énergétique. En particulier, les protocoles de routage seront détaillés.

Keywords—Agriculture de précision, Réseau de capteurs, Routage energy-aware.

I. INTRODUCTION

L'agriculture moderne peut se traduire par la mise en oeuvre de moyens techniques pour limiter les coûts de production. Elle a précédé la révolution industrielle qui a vu l'exode rural dans les pays développés et le nombre d'agriculteurs diminuer exponentiellement, en même temps que leur productivité a croît de la même manière.

A ce challenge constant dans la course au rendement, s'ajoutent de nouveaux défis de taille qui voient le jour: réduire l'impact sur l'environnement et nourrir une population mondiale toujours plus nombreuse.

Parallèlement à cela, les technologies de l'information n'ont cessé d'être plus performantes et plus abordables. La performance se traduit notamment par le fait que les systèmes dotés de processeurs et capables de réaliser des tâches le font en étant de plus en plus petit et de plus en plus intégrables à différents environnements. Elle se traduit aussi par le fait que l'on peut stocker une plus grande quantité d'informations et qu'on est capable de la comprendre. En somme, comprendre des événements passés pour mieux préparer l'avenir.

L'agriculture de précision est un concept de gestion agricole, basé sur l'observation, la prise de mesures, et la capacité à répondre aux variations subies par les champs ou les élevages de bétail. En d'autres termes, Appliquer une solution personnalisée à une situation donnée au bon endroit et au bon moment.

Concrètement, il s'agit de *collecter* de l'information quantifiable et utile (niveau d'humidité, température...) à distance. Les mesures doivent être prises par des objets capables de *communiquer* l'information recueillie et de l'envoyer à une base de traitement, qui effectuera les analyses nécessaires.

Par exemple, au Chili, dans les vigneronnes équipées pour l'agriculture de précision, chaque vigne reçoit une quantité personnalisée de fertilisant, en fonction de la variété de la plante, du type de sol et de son altitude. Cela a permis d'économiser les ressources, d'augmenter le rendement en qualité et quantité et de créer une sauvegarde de données.

Nous comprenons l'intérêt de telles infrastructures. Le challenge que nous devons relever va être de créer un système à prix abordable, capable de couvrir des terrains de taille et de natures différents tout en étant le plus économe en énergie, le plus autonome au mieux.

Dans la prochaine section, nous allons présenter les réseaux de capteurs sans fil. La section III se concentrera sur les méthodes nous permettant de maximiser la durée de vie de notre réseau dans ce contexte. Dans la section IV, nous exposerons un cas pratique pour enfin présenter les futures directions, et conclure.

II. LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FIL

De manière générale, les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont une forme de réseaux de communication sans fil. Ils héritent donc des caractéristiques propres à ces dernières: ubiquité de l'information, facilité et coût réduit de l'installation, dû à l'absence de câbles.

Les RCSF sont en particuliers des systèmes embarqués qui collectent et assurent un suivi d'un ensemble de paramètres environnementaux. Nous distinguons 3 classes d'interactions courantes avec l'application: *orienté événement* (surveiller une ou plusieurs variables, et générer un rapport lorsqu'un seuil défini est atteint), *l'échantillonnage périodique* (surveillance constante) et enfin *enregistrer et transmettre*. Cette dernière est intéressante dans les cas des capteurs mobiles qui sont amenés à changer de réseau local régulièrement. L'information est gardée dans le capteur par exemple le temps de la découverte du prochain réseau.

A. Un capteur

Le capteur est l'unité de base du réseau. Son architecture est présentée dans *Fig. 1*.

Il récupère un signal analogique, le traite et le transmet. Il peut aussi faire du forwarding de paquets reçus. Il dispose d'une certaine capacité de traitement de l'information.

. Décrivons ces composantes:

- *Le processing unit* est un contrôleur doté d'une mémoire vive et une mémoire flash. En général, c'est un microcontrôleur car c'est moins cher, facile à programmer et la consommation en énergie du système est plus faible. D'autres options sont possibles, comme les ASICs (circuit intégré propre à une application, très spécialisé et moins flexible) ou les DSPs (processeur de signal numérique, optimisé pour le traitement du signal en temps réel et les applications qui ont besoin de communication haut débit).

L'OS le plus souvent utilisé est TinyOS, qui réduit la

Node Architecture (Components of Node)

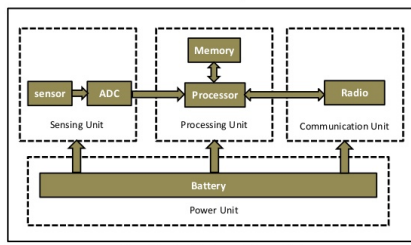


Figure10:- Architecture of Sensor Node

Fig. 1. Architecture d'un noeud

taille du code au nécessaire. Les programmes sont écrit en C pour ne pas gaspiller de mémoire et il est orienté événement.

C'est l'unité qui va contrôler les fonctions des autres composantes.

- *Le senseur* collecte les signaux (luminosité, température, vibration...), les transforme en signal électrique (via son module ADC) et les transfère au micro-contrôleur.
- L'unité *power unit* assure la gestion de l'énergie. Si la Batterie est rechargeable, elle utilise comme source de renouvellement d'énergie son environnement. Sinon, l'objectif devient l'utilisation la plus efficace des ressources énergétiques limitées pour permettre au réseau d'avoir la durée de vie la plus longue.
- Enfin, le *Transmetteur* permet l'émission et la réception de paquets. C'est la composante la plus gourmande en énergie. 4 états sont conçus pour une gestion plus optimale de l'énergie: Transmit, Receive, Idle et Sleep. Les 2 premiers correspondent respectivement au mode envoi et réception. Le mode sleep correspond au mode éteint et idle est un mode allumé mais sans exécution de tâche. On dit qu'il est en attente.

B. Un réseau de capteurs

Un réseau de RCSF connecte une plateforme, un centre de décision à un ensemble de capteurs. Nous définissons les composants du réseau:

- *Gateway* (ou Base Station): Interface entre la plateforme applicative et les noeuds du réseau. Permet la communication entre 2 protocoles différents.
- *Noeud relai*: Full Function Device (FFD). Il s'agit de routeur: Relayer l'information jusqu'au Gateway étendre la couverture géographique du réseau. Il peut aussi faire du sensing
- *Noeud feuille*: RFD. Noeuds feuilles. Surtout pour le sensing

1) *La topologie* : 3 grandes formes sont considérées.

- *Étoile*: Chaque noeud communique directement avec le Gateway. Pas de communication entre les noeuds. Avantages: La spécification des noeuds, la réduction du nombre de tâches à faire pour elles et donc durée de vie.

Installation de nouveaux noeuds simple, pas besoin de reconfiguration.

Inconvénients: Pas intéressant à grande échelle. La couverture est une fonction directe de la couverture autorisée par la fréquence radio utilisée. De plus, il y a une forte dépendance à un noeud qui concentre toutes les informations.

- *Maillé*: Les noeuds peuvent tous communiquer entre eux, et relayer de l'information. Avantages: Extensibilité du réseau. Plusieurs chemins possibles vers le gateway: cf commutation par circuit, meilleur comportement face aux erreurs. Inconvénients: forte consommation en énergie car tous les noeuds sont à l'écoute car ils peuvent être amenés à transférer de l'information.
- Enfin, la topologie *hybride* est inspirée des modèles étoile et maillé. Certains noeuds (Niveau d'énergie suffisant) peuvent faire le routage des paquets.

C. L'importance de la simulation

Effectuer des tests sur le terrain sans simulation a des inconvénients: Difficulté du déploiement dans des zones difficilement accessibles et compromission de la démarche scientifique (répéter une opération avec un environnement changeant, difficulté d'isoler un aspect). De même, il y a un Coût en temps de déploiement et d'attente que la culture soit récoltée.

Les logiciels de simulation permettent de tester les protocoles, schémas et les idées conçues par la communauté. Il rendent possible l'isolation et la variation des variables.

Les outils les plus utilisés sont NS-2, ou NS-3 plus récemment. Ce sont des logiciels gratuits, sous licence GNU GPLv2. Il y a aussi OMNeT++. On peut ajouter des extensions pour prendre en compte l'étude de la consommation d'énergie dans les RCSF.

III. LES TECHNIQUES DE CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

Nous décidons de préciser un cadre de recherche: nous étudierons les capteurs homogènes, ceux disposant tous des mêmes capacités de traitement et caractéristiques techniques. Nos capteurs seront fixes.

La durée de vie du réseau que nous cherchons à maximiser est défini comme le temps écoulé jusqu'à ce qu'une certaine condition soit vérifiée. La métrique la plus souvent utilisée est le temps jusqu'à la mort du premier noeud, mais certains travaux se basent sur le temps jusqu'à ce qu'une proportion donnée de noeuds ne peut plus communiquer avec le gateway, ou la mort du dernier noeud.

L'efficacité énergétique est le ratio entre la quantité totale de données envoyée et l'énergie totale consommée. On est plus efficace lorsque l'on utilise moins d'énergie pour faire le même service.

A. Les différents mécanismes mis en place

Ils nous sont présentés par Fig 2.

- *L'optimisation radio* se caractérise par la recherche de l'efficacité au niveau le plus bas: le signal. Optimiser la

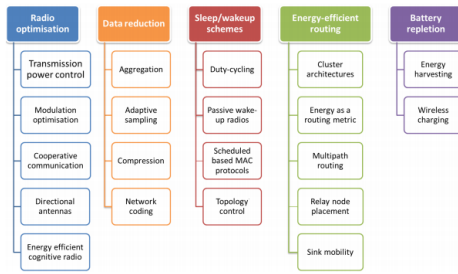


Fig. 2. Taxonomie des méthodes de conservation d'énergie



Fig. 3. Exemple de stratégie de contrôle de la topologie du réseau

directions des antennes permet de réduire la puissance de transmission de signal nécessaire, et donc d'impacter le module le plus gourmand.

- **Data Reduction:** réduire la quantité de données transmise au gateway. Par exemple, l'agrégation des données ou in-networking: les noeuds font du calcul sur les données reçues (moyenne des valeurs collectées) pour envoyer moins. Réduction du trafic mais précision un peu perdue. On permet aussi de se prémunir des fausses alarmes en faisant une moyenne.
- Les *sleep / wake up schemes* vont jouer sur le contrôle de la topologie du réseau. La zone de déploiement est découpée en zone, contenant chacune le même nombre de capteurs. Le duty cycling correspond alors à la désactivation périodique de certains noeuds, permettant un balancement de charge. La figure Fig.3 nous présente un exemple, où un seul capteur par zone est actif à un moment donné.
- Étudier les *sources d'énergie* nous permettrait, à long terme, de nous affranchir des limitations énergétiques des capteurs pour maximiser les deux buts conflictuels assurer la meilleure durée de vie du réseau sans réduire la performance. A cette fin, Energy harvesting consiste à extraire de l'énergie électrique à partir de sources d'énergie ambiantes et la conserver. Il a été proposé d'adapter dynamiquement l'architecture du réseau: les noeuds ayant la meilleure capacité de rechargement seront plus susceptibles d'effectuer les tâches de routage.

Nous nous intéresserons à la quantité d'information qui transite sur le réseau. A notre niveau, nous utiliserons des politiques de routages adaptées couplées à des méthodes de data réduction

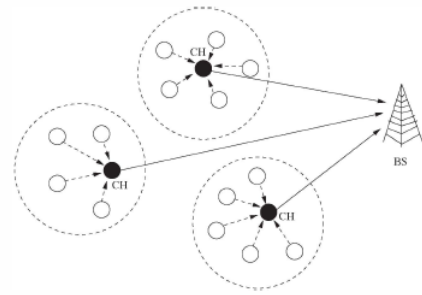


Fig. 4. Topologie hiérarchique organisée en clusters

B. Le routage energy-aware

L'état de l'art actuel favorise les hiérarchies basées sur les clusters. En effet, dans un cluster, la portée de communication souhaitée est moins importante. La Fig.4 l'illustre. 3 types de noeuds composent cette hiérarchie:

- Noeuds ordinaires: sensing et transmission
- Cluster Head (CH): émission/réception et routage. Il effectue aussi du traitement des données reçues
- Gateway/ Base Station: gestion du réseau, des cluster head en particulier

Le choix rotatif du cluster head assure un balancement de charge. Celui-ci va d'ailleurs réduire le nombre de paquets transmis par data-aggrégation des données reçues. Par ailleurs, le duty cycling sur les noeuds non cluster heads allonge leur durée de vie et permet de voir moins de paquets transitant dans le réseau. Voyons maintenant les principaux protocoles étudiés dans la littérature, et présentés dans tous les surveys récents comme les meilleures solutions à ce jour,

1) *Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH)*: LEACH, opère par rounds. Dans chacun, on a 2 phases:

- **Configuration** (set-up phase) consiste en l'élection du CH et la formation des clusters.
- **Phase stable** (steady phase): CH alloue un time slot (TDMA) à chaque noeud membre du CH. Puis le CH collecte les données, les traite et les envoie au BS en un saut.

Ce protocole, proactif, a été innovant en termes de répartition de la dissipation de l'énergie dans un réseau, dans le cadre d'une application nécessitant une surveillance constante. Il présente cependant plusieurs inconvénients: L'élection du CH ne prend pas en compte l'énergie résiduelle des capteurs. De plus, La politique du single hop entre CH et Gateway limite l'extensibilité du réseau.

Pour autant, ce protocole est toujours utilisé comme benchmark pour comparer les nouvelles idées

2) *Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS)*: Il se présente comme une amélioration de LEACH. L'architecture n'est cependant pas organisée en clusters. Les noeuds n'ont besoin de communiquer qu'entre eux. Un seul noeud, choisi à tour de rôle, communique avec le gateway. La découverte des voisins par analyse de la force du signal reçue, et chaque noeud ajuste la puissance de transmission pour atteindre un seul voisin. Une chaîne de transmission est

ainsi construite par un algorithme gourmand. Chaque noeud va recevoir de l'information et l'agréger avec ses propres données récoltées, pour les transmettre au voisin suivant.

Les avantages introduits sont l'extension de la zone couverte par le réseau, et la communication avec un voisin plutôt qu'avec un CH plus distant. Cependant, les inconvénients sont que 1) l'algorithme de formation de chaîne est gourmand. 2) Un seul capteur a la possibilité de transmettre à BS; des délais sont possibles en cas de flux important d'informations. 3) L'énergie résiduelle des capteurs n'est pas prise en compte pendant l'élection du capteur communiquant avec BS.

3) *Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol (TEEN)*: protocole réactif, convient aux applications critiques. La sélection du CH inspirée de LEACH.

CH transmet à ses noeuds 2 valeurs à surveiller: Hard Threshold (HT) et Soft Threshold (FT). Le noeud transmet des paquets **instantanément** à CH lorsque la valeur captée:

- Est supérieure à HT
- Diffère de plus ou moins ST par rapport à la valeur recueillie précédemment.

L'avantage est que la transmission rare induit une économie d'énergie. Par contre, ce protocole n'est pas applicable pour la surveillance constante.

4) *Periodic Threshold-sensitive Energy Efficient sensor Network (APTEEN)* : Combinaison des politiques productives et réactives. CH Broadcast à ses membres une planification TDMA des time slots alloués à chaque capteur. De plus, les seuils HT et ST introduits par TEEN sont utilisés de la même manière, pour répondre immédiatement (CSMA/CA si le temps de parole alloué au noeud détectant un événement est loin).

Enfin, Un Count Time, période maximale entre 2 rapports envoyés par un noeud, est un levier de contrôle de la consommation d'énergie: on modifie Count Time et valeurs seuil selon que l'on mette plus l'accent sur le monitoring ou pas.

L'avantage de ce protocole est qu'il combine recueil d'informations constant et la réactivité à un certain nombre d'événements définis par l'utilisateur. L'inconvénient majeur rencontré en pratique est la complexité dans la décision des seuils et de la période maximale Count Time pour l'efficacité énergétique.

En général la recherche de l'efficacité énergétique passe pas: l'Energy Balancing (par division des tâches et rotation) et la réduction globale de la consommation d'énergie (direction de la transmission/ data aggregation par exemple) Dans tous les cas, l'approche devrait être cross-layer pour être plus efficace. LEACH a exploité une idée innovante et reste le point de départ de la plupart des protocoles efficace en termes de consommation d'énergie Cette consommation d'énergie passe par la hiérarchisation et le clustering pour une meilleure gestion du nombre d'informations à transmettre

IV. FUTURES DIRECTIONS

Nous pourrions utiliser des noeuds hétérogènes. Nous aurions de meilleures performances, la possibilité de créer

plus de CH , et une hiérarchie entre eux.

Investir dans la recherche sur le Rechargement Énergétique est aussi primordial.

V. CONCLUSION

Marché des Réseaux de capteurs en très forte expansion. En 2002, il représentait un marché de 200 millions, valeur multipliée par 10 en seulement 14 ans. La recherche techniques sur les réseaux de capteurs doit suivre et s'adapter à l'explosion du nombre d'applications possibles.

Niveau politique, il faut penser le changement du métier de fermier, de la répartition de son temps et ses activités. Penser à sa formation en amont. Si des gains économiques sont attendus, il faut anticiper la disparition de certains métiers à cause des avancées dans les autres aspects de l'agriculture de précision, comme les robots déployés dans les champs (emplois saisonniers de récolte..).

Enfin, l'équité devrait-être pensée en réglementant l'accès aux technologies pour ne pas créer des inégalités au niveau d'un pays, surtout au niveau mondial.

REFERENCES

- [1] Abd El-kader S. M., Mohammad El-Basioni B., *Precision farming solution in Egypt using Wireless sensor network technology*, (2013), Egyptian Informatics Journal 14, 221–233
- [2] Rault T, *Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey*. Computer Networks. Volume 67, 4 July (2014) Pages 104–122
- [3] Aqeel-ur-Rehman et Al. *A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture*. Computer Standards Interfaces, Volume 36, Issue 2, February 2014, Pages 263-270, ISSN 0920-5489
- [4] Mishra P., Sharma S, *A Comparative Study of Existing Cluster-Based Routing Protocols in Wireless* (2016), International Journal of Future Generation Communication and Networking