

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université Abderrahmane Mira Béjaïa
Faculté des Sciences Exactes
Département d'Informatique



Le protocole LEACH pour les réseaux de capteurs sans fil

BOUCHELAGHEM Siham
GHEBBI Sofiane
HAMANI Mounir

Table des matières

Table des matières	i
Table des figures	iii
Introduction générale	1
1 Les réseaux de capteurs sans fil	2
1.1 Introduction	2
1.2 Définitions	2
1.2.1 RCSF	2
1.2.2 Noeud capteur	2
1.3 Architecture de communication d'un RCSF	3
1.3.1 Architecture plate et hiérarchique	4
1.3.2 Types de communications	4
1.4 Domaines d'application des RCSF	6
1.5 Contraintes de conception des RCSF	7
1.5.1 Au niveau de la communication	7
1.5.2 Au niveau du matériel	7
1.6 Consommation d'énergie dans les RCSF	7
1.6.1 Energie de capture	8
1.6.2 Energie de traitement	8
1.6.3 Energie de communication	8
1.7 Conclusion	9
2 Le protocole de routage LEACH	10
2.1 Introduction	10
2.2 Architecture de LEACH	10
2.3 Algorithme détaillé de LEACH	11
2.3.1 Phase d'initialisation	11
2.3.2 Phase de transmission	12
2.4 Avantages et inconvénients du protocole LEACH	13
2.4.1 Avantages	13
2.4.2 Inconvénients	14
2.5 Conclusion	14

3	La simulation sur MATLAB	15
3.1	Introduction	15
3.2	Configuration des paramètres	15
3.3	Dissémination aléatoire des noeuds à travers le réseau	15
3.4	Déroulement des tours	16
3.4.1	Phase d'annonce	16
3.4.2	Phase d'organisation des groupes	16
3.4.3	Phase de transmission	16
3.5	Conclusion	17
	 Conclusion générale	 18
	 Bibliographie	 19

Table des figures

1.1	Composants basiques d'un noeud capteur.	3
1.2	Architecture générale d'un réseau de capteurs sans fil.	4
1.3	Communications Single-Hop.	5
1.4	Communications Multi-Hop.	5
1.5	Modèle de consommation d'énergie.	9
2.1	Architecture du routage hiérarchique LEACH.	11
3.1	Etat du réseau après 1400 tours.	16
3.2	Nombre de noeuds morts après 1400 tours.	17

Introduction générale

Les récents progrès dans le domaine des microsystèmes électromécaniques (MEMS) ont fortement influencé le développement de noeuds capteurs miniaturisés. Ces noeuds minuscules collaborent les uns avec les autres via une communication radiofréquence (RF), dans les domaines ISM (industriel, scientifique et médical), pour former des réseaux de capteurs sans fil (RCSF). Au 21ème siècle, les RCSF sont considérés comme une des technologies les plus importantes pour beaucoup d'applications à temps-réel.

Comme beaucoup de développements technologiques, les réseaux de capteurs sans fil ont émergé pour des besoins militaires tels que la surveillance sur le terrain de combat. Puis, ils ont trouvé leur chemin pour des applications civiles. Aujourd'hui, les réseaux de capteurs sans fil sont devenus une technologie clé pour les différents types d'« environnements intelligents ». Ces réseaux sont d'une importance particulière quand un grand nombre de noeuds de capteurs doivent être déployés, dans des situations dangereuses. Par exemple, pour une gestion des catastrophes, un grand nombre de capteurs peuvent être largués par un hélicoptère. Ces capteurs peuvent aider à réaliser des opérations de sauvetage en localisant les survivants, pour l'identification des zones à risque ou pour renseigner l'équipe de secours.

Les réseaux de capteurs sont constitués de plusieurs capteurs minuscules ou noeuds ayant une caractéristique essentielle résidant dans l'absence d'infrastructure fixe et ayant une topologie changeante due à la mobilité des capteurs.

Les principaux problèmes dans les réseaux de capteurs sans fil sont le protocole de routage, l'énergie consommée par le noeud, la sécurité, l'agrégation de données, la mobilité imprévisible des noeuds, etc. Ces capteurs sont parfois déployés dans des zones hostiles. Il est donc nécessaire d'avoir une stratégie efficace qui prend en considération l'énergie du réseau pour augmenter sa durée de vie en réduisant la perte d'énergie tout en étant réactif aux changements de l'environnement.

Le présent document est organisé en trois chapitres.

Le premier est une introduction aux réseaux de capteurs sans fil. Il définit les concepts de bases pour ces réseaux, leurs architectures ainsi que leurs domaines d'application et passe en revue les principaux facteurs et contraintes qui influencent leurs conception. Nous terminerons ce chapitre par une description de la problématique de consommation d'énergie dans ce type de réseaux et nous exposerons le modèle énergétique de Heinzelman.

Le second chapitre concerne LEACH qui est un protocole de routage conçu pour les réseaux de capteurs. Il présente l'architecture de communication, l'algorithme et les principaux avantages et inconvénients de ce dernier.

Le dernier chapitre présente la simulation du protocole de routage LEACH sous MATLAB et les résultats d'implémentation obtenus.

Chapitre 1

Les réseaux de capteurs sans fil

1.1 Introduction

Les récentes avancées technologiques dans les domaines des microsystèmes électromécaniques (MEMS), de la communication sans fil, et de l'électronique digitale ont permis de mettre en marche le développement à faible coût de minuscules capteurs multifonctionnels, consommant peu d'énergie et qui ont la capacité de communiquer avec fiabilité sur de courtes distances. Ces capteurs ont influencés l'idée des réseaux de capteurs sans fil (RCSF) qui sont basés sur un effort collaboratif d'un large nombre de noeuds (capteurs) [1].

Dans ce chapitre, nous présenterons les réseaux de capteurs sans fil, leurs architectures et leurs domaines d'applications. Nous discuterons également les principaux facteurs et contraintes qui influencent la conception des réseaux de capteurs sans fil.

1.2 Définitions

Dans ce qui suit nous définirons les réseaux de capteurs sans fil et leur principal composant le noeud capteur [2].

1.2.1 RCSF

Les RCSF sont un ensemble de capteurs autonomes spatialement distribués capable de récolter et de transmettre les données acquises en collaboration via un réseau ad hoc vers un emplacement principal (puits).

1.2.2 Noeud capteur

C'est un noeud dans un réseau de capteurs qui est capable de réaliser certains traitements, comme la collecte d'informations sensorielles et la communication avec d'autres noeuds connectés sur le réseau. Il est principalement composé d'un processeur, d'une mémoire, d'un émetteur/récepteur radio, d'un ensemble de capteurs et d'une pile (source d'énergie) [2].

Comme précédemment évoqué, plusieurs unités composent chaque noeud d'un RCSF, ce point sera détaillé dans ce qui suit [2] :

- **Unité de capture** : elle est composée de deux sous unités, un dispositif de capture physique qui prélève l'information de l'environnement local et un convertisseur analogique/numérique appelé ADC (Analog to Digital Converters).
- **Unité de traitement** : c'est le noyau (l'unité principale) du capteur sans fil, habituellement composé d'un microprocesseur avec une quantité limitée de mémoire. Les données captées sont communiquées au microprocesseur ou sont stockées dans la mémoire.
- **Unité de communication** : les données reçues par l'unité de capture sont traitées et, éventuellement, transmises par la suite par l'unité de communication qui se charge d'effectuer toutes les émissions et réceptions des données sur un médium sans fil, cette unité est généralement capable d'effectuer des communications bidirectionnelles.
Concevoir des unités de transmission de type radiofréquence avec une faible consommation d'énergie est un défi car pour qu'un noeud ait une portée de communication suffisamment grande, il est nécessaire d'utiliser un signal assez puissant et donc une énergie consommée plus importante.
- **Unité d'énergie (source d'énergie)** : c'est un élément clé au sein de l'architecture d'un noeud capteur. Cette dernière fait office de ressource énergétique et est donc responsable de l'approvisionnement en puissance électrique requise par les autres unités du système. Une batterie est généralement utilisée à cet effet. Souvent dans les environnements sensibles il est pratiquement impossible de recharger ou de changer une batterie, ces dispositifs possèdent donc une quantité limitée en énergie, ce qui en fait la ressource la plus précieuse d'un capteur, car elle influe directement sur sa durée de vie.

La figure ci-dessous illustre les composants principaux d'un noeud capteur.

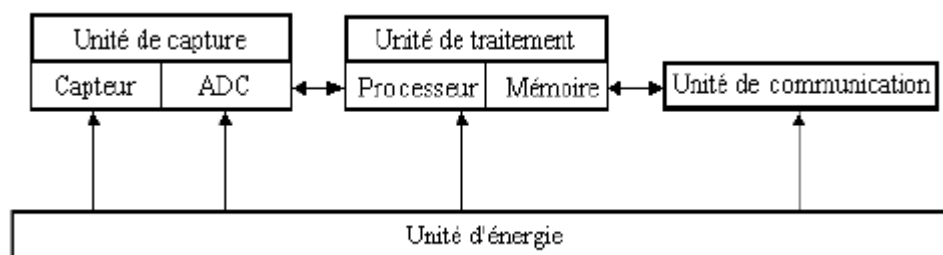


FIGURE 1.1 – Composants basiques d'un noeud capteur.

1.3 Architecture de communication d'un RCSF

Un réseau de capteur sans fil est communément constitué d'un large nombre de noeuds aléatoirement déployés dans une région d'intérêt. Les informations récoltées sont acheminées à travers les noeuds jusqu'à atteindre des entités spéciales appelées puits (ou base) [2].

L'architecture générale d'un RCSF est illustrée dans la figure 1.2.

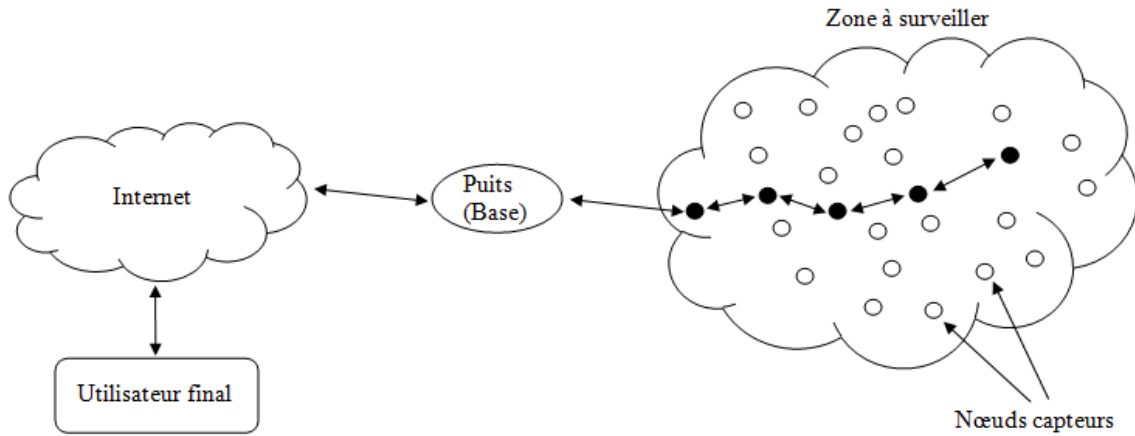


FIGURE 1.2 – Architecture générale d'un réseau de capteurs sans fil.

Les puits sont des noeuds avec deux ou plusieurs interfaces réseau qui agissent en tant que passerelle entre les RCSF et le réseau de l'utilisateur (par exemple, un réseau local ou internet). Le plus souvent, le puits recueille et traite les données du réseau, envoyant ainsi seulement des informations pertinentes à l'utilisateur. Il peut également recevoir des commandes à exécuter sur le réseau interne provenant de celui-ci (l'utilisateur) [2].

1.3.1 Architecture plate et hiérarchique

Dans les architectures plates, chaque noeud joue le même rôle pour ce qui est de la capture et de la transmission de l'information, alors que dans les architectures hiérarchiques, les noeuds sont organisés en clusters (groupes). Un ou plusieurs noeuds (noeuds de tête ou CH) sont responsables de la communication avec les autres clusters ou directement avec le puits (la base). Le CH peut être sélectionné dynamiquement par divers critères, y compris son énergie disponible ou sa proximité [2].

1.3.2 Types de communications

Un noeud capteur peut communiquer directement, sans détour, grâce à une communication Single-Hop (à un seul saut) avec le puits, ou bien en utilisant une communication Multi-Hop (à sauts multiples), passant ainsi l'information à ses voisins [2].

1.3.2.1 Communications Single-Hop

Les communications Single-Hop conduisent à des transmissions sur de longues distances, il en résulte une hausse significative en consommation d'énergie.

La figure suivante illustre ce type de communications.

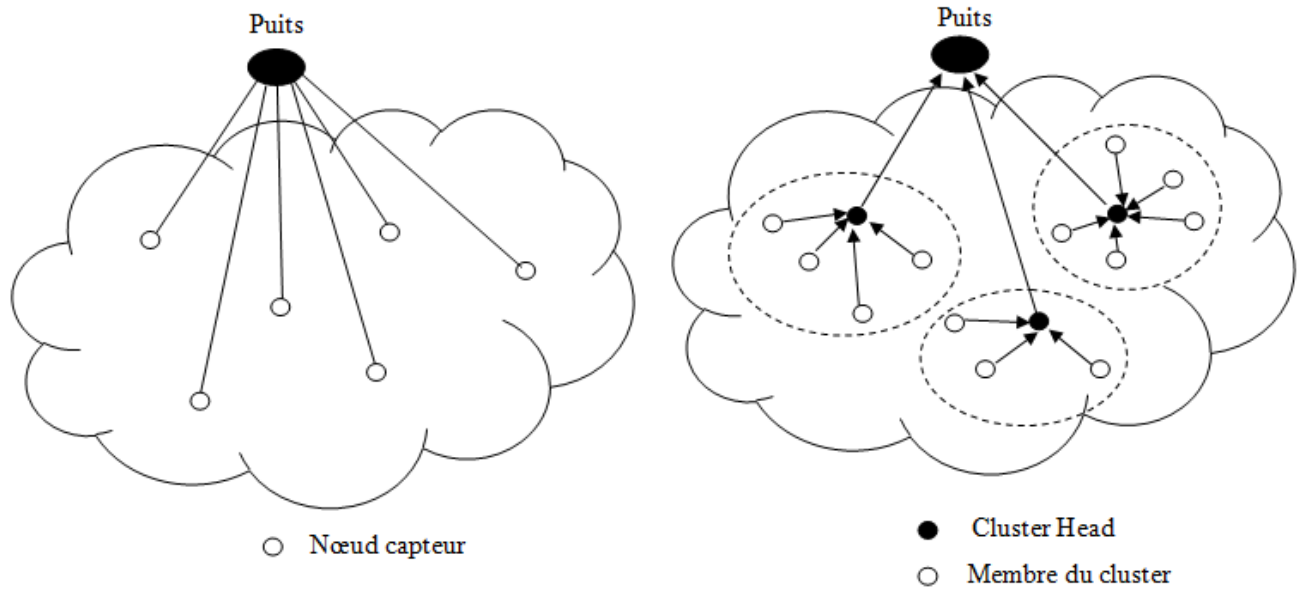


FIGURE 1.3 – Communications Single-Hop.

1.3.2.2 Communications Multi-Hop

L'utilisation d'une communication Multi-Hop permet de réduire la distance de transmission, réduisant ainsi la déperdition d'énergie en vue d'une hausse de la durée de vie du réseau.

Dans la transmission à sauts multiples, l'architecture du réseau joue un rôle majeur. Les architectures de réseau à sauts multiples sont typiquement divisées en architectures plates ou hiérarchiques.

La figure ci-dessous représente ces deux architectures.

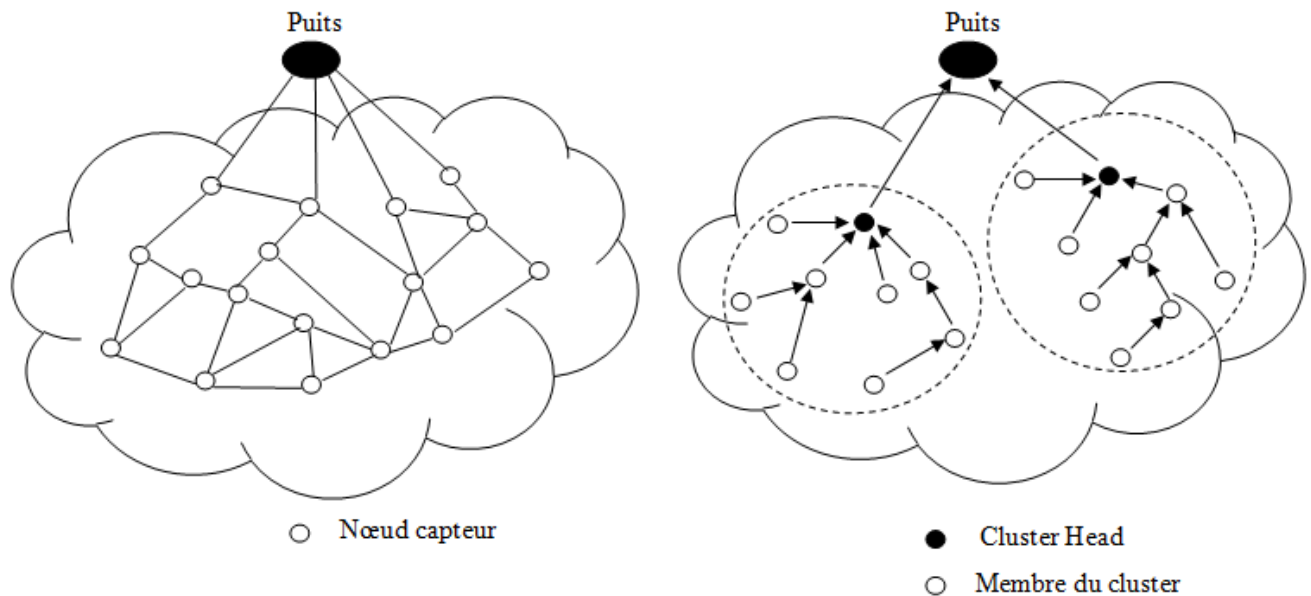


FIGURE 1.4 – Communications Multi-Hop.

1.4 Domaines d'application des RCSF

Les réseaux de capteurs sans fil ont été classés parmi les 21 technologies les plus importantes du 21^{ème} siècle [1]. En effet, la recherche dans le domaine des capteurs est en train de vivre une révolution importante, ouvrant des perspectives d'impacts significatifs dans de nombreux domaines. Des exemples d'applications potentielles dans ces différents domaines sont exposés ci-dessous [3] :

- **Domaine militaire** : comme pour de nombreuses autres technologies, le domaine militaire a été le moteur initial pour le développement des réseaux de capteurs [3].
 - **Guidage intelligent** : les capteurs peuvent être montés sur des véhicules sans pilote afin de les guider à travers les obstacles à atteindre leurs objectifs et les amener à se coordonner les uns avec les autres pour accomplir certaines tâches.
 - **Surveillance du champ de bataille** : les capteurs peuvent être déployés dans un champ de bataille pour contrôler la présence de forces ennemies.
 - **Protection** : les noeuds capteurs peuvent être déployés autour des objets sensibles, par exemple, les usines atomiques, les ponts stratégiques, les pipelines de pétrole et de gaz, les centres de communication et le siège militaire, à des fins de protection.
- **Domaine sécuritaire** : les réseaux de capteurs peuvent être utilisés dans de nombreuses applications de sécurité et de surveillance. Par exemple, des capteurs acoustiques et vidéos sont déployés dans les immeubles, les aéroports, les métros et autres infrastructures essentielles, tels que les centrales nucléaires ou les centres de communication pour identifier et suivre les intrus, fournissant en temps opportun des alarmes et prévenant ainsi des attaques potentielles.
- **Domaine environnemental** : dans la surveillance de l'environnement, des capteurs sont utilisés pour surveiller une variété de paramètres ou des conditions environnementales telles que la surveillance de la qualité de l'air et de l'eau, des catastrophes naturelles, des conditions des animaux et des plantes dans les habitats sauvage, à quoi peut s'ajouter les paramètres environnementaux de l'habitat.
- **Domaine médical** : dans le registre de la surveillance médicale, en implantant sous la peau de mini-capteurs vidéo, on peut recevoir des images d'une partie du corps en temps réel sans aucune chirurgie. On peut ainsi surveiller la progression d'une maladie ou la reconstruction d'un muscle.
- **Domaine industriel** : dans l'industrie, les réseaux de capteurs peuvent être utilisés pour contrôler les procédés de fabrication ou l'état du matériel de fabrication. Par exemple, des capteurs sans fil peuvent être instrumentés sur des lignes de production et d'assemblage pour surveiller et contrôler les processus de production.

1.5 Contraintes de conception des RCSF

La conception des RCSF est influencée par plusieurs contraintes. Ces facteurs importants servent comme directives pour le développement des algorithmes et protocoles utilisés dans les réseaux de capteurs, ils sont considérés également comme métriques de comparaison de performances entre les différents travaux dans le domaine [4].

1.5.1 Au niveau de la communication

- **Perte de données à cause de la transmission radio** : les RCSF sont des réseaux sans fil, ce qui fait que la portée de la communication est limitée par la capacité de rayonnement des antennes utilisées, à quoi s'ajoute la limitation des renvois des paquets en raison du manque d'énergie.
- **La bande passante** : limitée et partagée par tous les noeuds du réseau de capteurs.
- **Interférences** : ce réseau travaille sur une bande de fréquences non propriétaire, ce qui rend leurs communications vulnérables aux problèmes d'interférences.

1.5.2 Au niveau du matériel

Bien qu'ils aient de nombreux avantages, les noeuds capteurs sont caractérisés par des ressources et des composantes plus limitées en raison de leurs tailles réduites, ce qui conduit à la génération de nombreuses contraintes, parmi lesquelles on retrouve :

- **Puissance de calcul limitée** : fonctionnant dans la majorité des cas avec des registres 8 ou 16 bits, les processeurs des réseaux de capteurs sont différents de ceux d'une machine classique, car ils utilisent souvent des micro-contrôleurs de faible fréquence.
- **Mémoire limitée** : 2 à 250 Ko de RAM et 1 à 32 Mo de mémoire flash.
- **Environnement** : Les noeuds capteurs doivent être conçus d'une manière à résister aux différentes et sévères conditions de l'environnement (forte chaleur, pluie, humidité, etc.).
- **Consommation d'énergie** : dans ces réseaux, les noeuds sont typiquement gérés par la durée de vie de leurs batteries qui est une réserve d'énergie limitée, minimiser la consommation d'énergie est d'une importance primordiale afin de maximiser la durée de vie du RCSF.

1.6 Consommation d'énergie dans les RCSF

Les capteurs sont conçus avec un module d'énergie limité. Ainsi, cette dernière doit être utilisée efficacement afin de maximiser la durée de vie du réseau. De plus, une fois l'énergie d'un noeud épuisée, il est considéré défaillant ce qui provoque une forte probabilité de perdre la connectivité du réseau.

L'énergie consommée par un noeud capteur est due essentiellement aux opérations suivantes : la capture, le traitement et la communication de données [1].

1.6.1 Energie de capture

L'énergie de capture est dissipée pour accomplir les tâches suivantes : échantillonnage, traitement de signal, conversion analogique/numérique et activation de la sonde de capture. En général, l'énergie de capture représente un faible pourcentage de l'énergie totale consommée par un noeud.

1.6.2 Energie de traitement

L'énergie de traitement se divise en deux parties : l'énergie de commutation et l'énergie de fuite. L'énergie de commutation est déterminée par la tension d'alimentation et la capacité totale commutée au niveau logiciel (en exécutant un logiciel). Par contre, l'énergie de fuite correspond à l'énergie consommée lorsque l'unité de calcul n'effectue aucun traitement. En général, l'énergie de traitement est faible par rapport à celle nécessaire pour la communication.

1.6.3 Energie de communication

L'énergie de communication se décline en deux parties : l'énergie de réception et l'énergie d'émission. Cette énergie est déterminée par la quantité de données à communiquer et la distance de transmission, ainsi que par les propriétés physiques du module radio. L'émission d'un signal est caractérisée par sa puissance. Quand la puissance d'émission est élevée, le signal aura une grande portée et l'énergie consommée sera plus élevée. Notons que l'énergie de communication représente la portion la plus grande de l'énergie consommée par un noeud capteur.

1.7.3.1. Modèle de consommation d'énergie

Heinzelman et al. [1] proposent un modèle radio de consommation d'énergie. Ainsi, les énergies nécessaires pour émettre $E_{Tx}(s, d)$ et recevoir $E_{Rx}(s)$ des messages sont données par :

- Pour émettre un message de s bits vers un récepteur loin de d mètres, l'émetteur consomme :

$$\begin{aligned} E_{Tx}(s, d) &= E_{Tx \text{ elec}}(s) + E_{Tx \text{ amp}}(s, d) \\ E_{Tx}(s, d) &= (E_{elec} * s) + (E_{amp} * s * d^2) \end{aligned}$$

- Pour recevoir un message de s bits, le récepteur consomme :

$$\begin{aligned} E_{Rx}(s) &= E_{Rx \text{ elec}}(s) \\ E_{Rx}(s) &= E_{elec} * s \end{aligned}$$

E_{elec} et E_{amp} représentent respectivement l'énergie de transmission électronique et l'énergie d'amplification.

La figure suivante illustre ce modèle de consommation d'énergie.

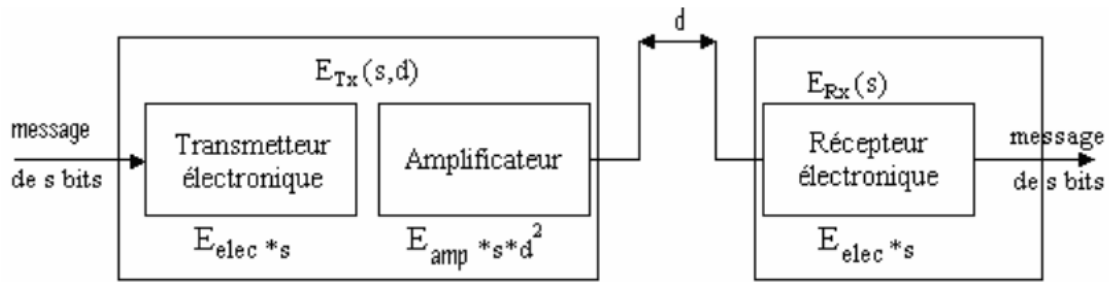


FIGURE 1.5 – Modèle de consommation d'énergie.

1.7 Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté les réseaux de capteurs sans fil, leurs architectures, leurs principales contraintes de conception ainsi que leurs domaines d'applications. Nous avons vu qu'ils présentent un intérêt considérable et réalisent une nouvelle étape dans l'évolution des technologies de l'information et de la communication. Enfin, nous avons présenté le modèle de consommation d'énergie proposé par *Heinzelman et al.*

Chapitre 2

Le protocole de routage LEACH

2.1 Introduction

Le routage hiérarchique est considéré comme étant l'approche la plus favorable en terme d'efficacité énergétique. Il se base sur le concept (noeud fils - noeud père) où les noeuds fils acheminent leurs messages à leur père, lequel les achemine ensuite dans le réseau tout entier via d'autres noeuds pères jusqu'à la station de base (puits).

Deux grandes approches sont dérivées de ce type de protocoles à savoir : chaîne-based approach (approche chaînée) et cluster-based approach (approche à grappe). LEACH est considéré comme étant le premier protocole de routage hiérarchique basé sur la seconde approche. Il est aussi l'un des algorithmes de routage hiérarchique le plus populaire pour les réseaux de capteurs. L'idée est de former des clusters de noeuds de capteurs basés sur les zones où il y a un fort signal reçu, puis utiliser des clusters-heads locaux comme passerelle pour atteindre la destination [1].

Dans ce chapitre, nous expliquerons l'architecture et l'algorithme détaillé du protocole LEACH et nous discuterons les avantages et inconvénients de ce dernier.

2.2 Architecture de LEACH

La hiérarchie de regroupement d'adaptation à faible énergie (LEACH) proposé par *Heinzelman et al.* [1] est un protocole de routage hiérarchique bien connu appliqué dans les RCSF.

LEACH divise le réseau en zones et clusters de façon distribuée, des noeuds CH (Cluster-Head) sont constitués puis utilisés comme relais pour atteindre le puits en optimisant la consommation d'énergie suivant un algorithme qui utilise la rotation randomisée des têtes de groupe (CH) pour distribuer équitablement la charge d'énergie entre les noeuds du réseau. Un noeud décide quel cluster rejoindre en se basant sur la puissance des signaux reçus.

A la formation des groupes comme indique la figure 2.1, tous les noeuds non-CH transmettent leurs données à la tête du groupe. Quand le CH reçoit les données de tout les membres du groupe, il effectue des fonctions de traitement sur les données (agrégation et compression des données), et les transmet à la station de base (BS) selon une communication unicast (à un seul saut).

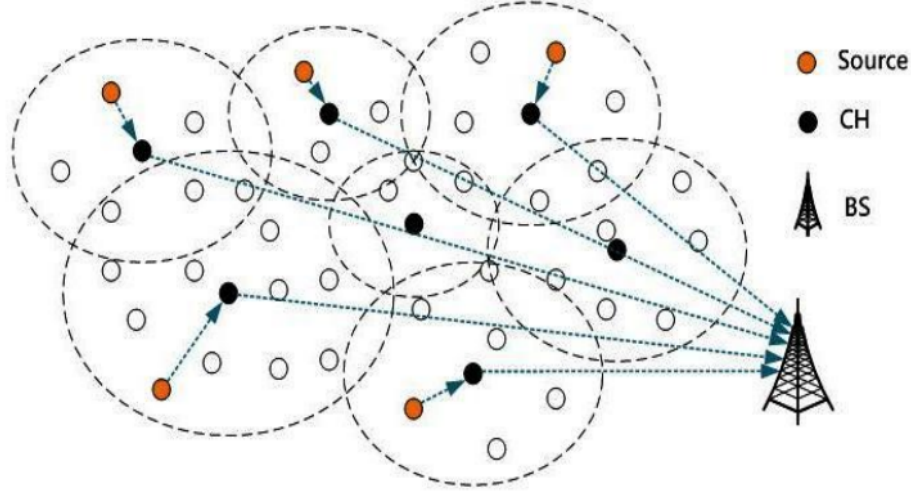


FIGURE 2.1 – Architecture du routage hiérarchique LEACH.

2.3 Algorithme détaillé de LEACH

L'algorithme se déroule en rounds (tours) qui ont approximativement le même intervalle de temps déterminé au préalable. Où chaque cycle commence par une phase d'initialisation suivie d'une phase de transmission.

2.3.1 Phase d'initialisation

La phase d'initialisation est composée de 3 sous phases : d'annonce, d'organisation des groupes et enfin d'ordonnancement.

2.3.1.1 Phase d'annonce

Initialement, lorsque les groupes sont créés, chaque noeud décide ou non de devenir un CH pour le tour courant. Cette décision est basée sur le suggéré pourcentage de CHs pour le réseau et le nombre de fois que le noeud a été un CH jusqu'ici. Cette décision est faite par le noeud en choisissant un nombre aléatoire entre 0 et 1. Si le nombre est inférieur à un seuil $T(n)$ le noeud devient un CH pour le cycle actuel. Le seuil est défini comme suit :

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P * (r \bmod \frac{1}{P})} & \text{Si } n \in G \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

- p est le pourcentage souhaité de CH c'est-à-dire choisi comme $p = 0,05$ pour une condition optimale ;
- r est le tour courant ;
- G est l'ensemble des noeuds qui n'ont pas été CHs lors des $(1/p)$ tours précédents.

Chaque noeud est donné une probabilité égale de $(1/p)$ de devenir CH afin de partager la charge de l'énergie. Ainsi, lors du commencement d'un tour, chaque noeud a une probabilité égale de devenir un CH.

Les noeuds qui étaient CHs doivent attendre jusqu'à $(1/p)$ tours, donc augmenter la probabilité contribue à augmenter la chance pour les non CH de devenir CH. Les noeuds sont de nouveau admissibles à devenir CHs si et seulement si tous les noeuds ont obtenu une fois la qualité de CH. Tout noeud après $((1/p)-1)$ tours sera de nouveau élu CH en supposant que chaque noeud possède et dissipe une quantité égale d'énergie à des fins de transmission.

Chaque noeud qui se sera désigné CH pour le tour courant diffuse un message « d'initialisation » vers le reste des noeuds l'entourant. Lors de cette phase d'initialisation, les CHs utilisent le protocole MAC (Media Access Control) CSMA (Carrier Sense Multiple Access). En utilisant le même niveau d'énergie, tous les CHs diffusent leur message d'initialisation qui contient l'ID du noeud et un entête distinguable. Les autres noeuds doivent maintenir leurs récepteurs à l'écoute afin d'entendre les messages diffusés par les CHs, et chacun de ces noeuds décide quel groupe rejoindre pour le tour courant en se basant sur la puissance des messages reçus de la part des CHs. Plus un noeud est proche du CH, plus le signal reçu sera puissant, indiquant à celui-ci qu'il aura besoin de moins d'énergie pour transmettre ses données vers le CH. Si deux signaux reçus ont la même puissance, alors le CH à rejoindre est choisi aléatoirement.

2.3.1.2 Phase d'organisation des groupes

Après que chaque noeud ait choisi quel groupe rejoindre, le CH doit être informé des noeuds composant son groupe. Chaque noeud non-CH transmet une requête de ralliement vers le CH choisi en utilisant également un protocole CSMA MAC. Ce message ou requête de ralliement se compose de l'ID du noeud, de l'ID du CH et d'un entête. Durant cette phase, tous les CHs doivent maintenir leurs récepteurs allumés.

2.3.1.3 Phase d'ordonnancement

Après avoir reçu les requêtes de tous les noeuds l'ayant rejoint, le CH leur alloue chacun un tour dans un ordonnancement TDMA (Time Division Multiple Access) en se basant sur le nombre de noeuds. Et ce n'est que pendant le temps qui leur est alloué que les noeuds peuvent transmettre leurs données vers le CH.

2.3.2 Phase de transmission

Une fois que les groupes se sont organisés et le programme TDMA mis en place, la transmission de données commence avec l'hypothèse que les noeuds ont toujours des données à transmettre, mais ces données ne sont envoyées à la station de base que pendant l'intervalle de temps alloué au noeud. Ce type de transmission requiert une énergie minimale pour la transmission. Les autres noeuds membres du groupe, dont ce n'est pas le tour, doivent éteindre leurs transmetteurs afin d'éviter la dissipation inutile d'énergie. Mais le CH doit garder son récepteur allumé durant le tour courant pour recevoir toutes les données envoyées par les noeuds membres, après quoi il exécute les fonctions de traitement du signal afin de former un signal unique à transmettre. Cette agrégation de données est alors envoyée à destination de la station de base. Le coût en énergie pour le CH est toujours supérieur à celui des membres à cause des différentes actions qu'il doit entreprendre et à cause de

l'énergie nécessaire pour transmettre vers la station de base qui se trouve plus loin que la distance qui le sépare des noeuds membres. Cela donne la phase d'état stable. Après que la transmission des données soit terminée, le prochain tour de sélection des CHs commence pour ce cycle là comme expliqué dans la phase d'initialisation.

2.3.2.1 Interférences entre groupes

Dans ce qui précède, nous avons montré comment les noeuds communiquent avec leurs CH et les CHs avec la station de base. Ces communications ayant lieu par signaux radio, les transmissions des noeuds d'un groupe donné peuvent interférer avec celles d'un groupe voisin. Ainsi, afin de réduire ces interférences, lorsqu'un noeud devient CH, il choisit parmi une liste éparse de codes CDMA (Code Division Multiple Access), celui qu'il désire utiliser et il informe tous les autres noeuds de son groupe de son choix. Ils utiliseront alors ce code là lors de leurs futures transmissions et le CH filtrera les signaux reçus en utilisant ce même code afin de reconnaître ceux émis par les membres de son groupe.

L'assignement effectif des canaux de communication est une tâche difficile même en la présence d'une supervision centralisée. Et l'utilisation des codes CDMA n'est peut être pas une solution optimale à l'égard de la bande passante mais elle produit une solution pour le problème de l'accès multiple d'une manière distribuée.

2.4 Avantages et inconvénients du protocole LEACH

Bien que LEACH économise la consommation d'énergie comparé à la transmission directe, grâce à l'agrégation de données, un nombre d'inconvénients restent plus ou moins apparents.

Dans ce qui suit, nous citerons quelques avantages et inconvénients du protocole LEACH.

2.4.1 Avantages

Parmi les avantages du protocole LEACH [4, 5] :

- Il fournit la scalabilité (évolutivité) dans le réseau en limitant la plupart des communications à l'intérieur des différents groupes (clusters) du réseau.
- Les cluster-heads (CH) agrègent ou fusionnent les informations rassemblées par les noeuds capteurs, ce qui aide à limiter le trafic produit dans le réseau. Ainsi, un réseau à grande échelle sans surcharge de trafic peut être déployé et une meilleure topologie préservant l'énergie peut être réalisée en comparaison à la topologie plate.
- La propriété de distributivité du rôle de CH entre les membres d'un cluster.
- Il ne requiert pas d'information sur la localisation des noeuds capteurs dans le réseau afin de former les groupes.

2.4.2 Inconvénients

Le protocole LEACH présente les inconvénients suivants [6, 7] :

- Il s'appuie significativement sur les CHs plutôt que sur les noeuds membres du cluster pour communiquer avec la station de base. De ce fait, il encourt des problèmes de robustesse comme la défaillance des CHs.
- Les CHs ne sont pas uniformément distribués dans le cluster, ce qui signifie que les CHs peuvent se situer sur les bords du cluster. Par conséquent, certains noeuds n'auront pas de CH dans leurs voisinages.
- Il n'y a pas de communication intergroupe dans le réseau car les CHs communiquent directement avec la station de base. Ce processus nécessite une grande gamme de puissance de transmission dans le réseau. C'est pour cela que LEACH n'est pas le mieux adapté pour les réseaux de grande envergure qui requièrent une communication à un seul saut avec la station de base.
- Les CHs les plus éloignés de la station de base meurent rapidement par rapport à ceux qui sont proches de la station.
- On pourra ne pas avoir des CH durant un round si les nombres aléatoires générés par tous les noeuds du réseau sont supérieurs à la probabilité $T(n)$.

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le protocole de routage hiérarchique LEACH dont l'objectif principal est le prolongement de la durée de vie du réseau ainsi que la gestion efficace de la consommation énergétique.

Nous avons vu que LEACH est un protocole qui suit une approche basée sur les groupes, s'appuyant fondamentalement sur les CHs pour l'agrégation des données et le routage.

Bien que cette approche ait montré son efficacité, comparée aux autres approches, en termes de consommation et de dissipation uniforme d'énergie, le protocole LEACH est soumis à certaines contraintes et suppositions qui engendrent toutefois des inconvénients.

Chapitre 3

La simulation sur MATLAB

3.1 Introduction

Dans le cadre de ce projet, nous réaliserons une simulation du protocole de routage LEACH sur MATLAB (MATrix LABoratory). Plus précisément, nous réaliserons une simulation *statistique* de ce protocole avec groupage dynamique.

3.2 Configuration des paramètres

Nous commençons par poser les dimensions de l'environnement couvert par notre réseau, nous choisissons une taille de 50 x 50 mètres, puis nous posons les coordonnées d'emplacement de la station de base (x,y)=(0,-100). Nous spécifions le nombre de noeuds capteurs à déployer dans cet environnement ($n = 100$ noeuds), ensuite nous définissons le pourcentage optimal de cluster-heads ($p = 0.05$).

En nous appuyons sur le modèle énergétique de Heinzelman, nous spécifions également l'énergie initiale de chaque noeud ($E_0 = 0.5$ Joule) ainsi que l'énergie nécessaire pour l'émission et la réception électronique d'un message de taille s ($s * E_{elec}$, tel que $E_{elec} = 0.00000005$ Joule). Pour simuler une transmission complète, il faut également prendre en compte le paramètre de la distance, nous introduisons alors le calcul de l'énergie nécessaire à l'amplification du signal ($E_{Tx_amp}(s,d) = E_{amp} * s * d^2$ Joule, tel que $E_{amp} = 0.0000000001$ Joule). Aussi, lorsque le CH reçoit les données transmises par les membres de son groupe, il dépense une certaine quantité d'énergie pour agréger ou fusionner ces données afin de produire un seul signal à émettre vers la station de base, cette énergie est équivalente à $E_{ag} = 0.000000005$ Joule. Enfin, nous préciserons le nombre de tours pendant lesquels la simulation se déroule ($rmax = 1400$).

3.3 Dissémination aléatoire des noeuds à travers le réseau

Pour cela nous faisons appel à la fonction ***rand*** qui va nous aider à générer des coordonnées aléatoires pour le noeud courant. Initialement, il n'y a pas de CH, alors le noeud est de type normal. Cette opération est répétée pour chaque noeud à l'aide de la boucle ***for***. Ensuite, nousinstancions la station de base aux coordonnées précédemment choisies.

3.4 Déroulement des tours

3.4.1 Phase d'annonce

Nous générons un nombre aléatoire, pour chacun des noeuds, que nous comparons au seuil calculé par la formule de $T(n)$ (voir section 2.3.1.1), si ce nombre est inférieur alors le noeud en question devient CH. Nous calculons alors l'énergie dissipée pour la diffusion du message d'annonce.

3.4.2 Phase d'organisation des groupes

À ce stade, nous bouclons à travers les noeuds et nous réalisons, pour chaque noeud non-CH, quelques calculs pour identifier le CH le plus proche (distance_minimale et plus_proche_cluster). Puis nous calculons l'énergie dissipée par le noeud courant pour l'envoi de sa requête de ralliement et l'énergie dissipée par le CH pour lui répondre après l'avoir programmé dans l'ordonnaceur TDMA.

3.4.3 Phase de transmission

Durant cette phase, nous comptabilisons les énergies dissipées pour la transmission des messages depuis les noeuds vers leurs CH respectifs et depuis les CHs vers la station de base après avoir également pris en compte le coût énergétique de l'agrégation des données au niveau des CHs.

Les résultats ainsi obtenus, après 1400 tours, sont représentés par la figure ci-dessous.

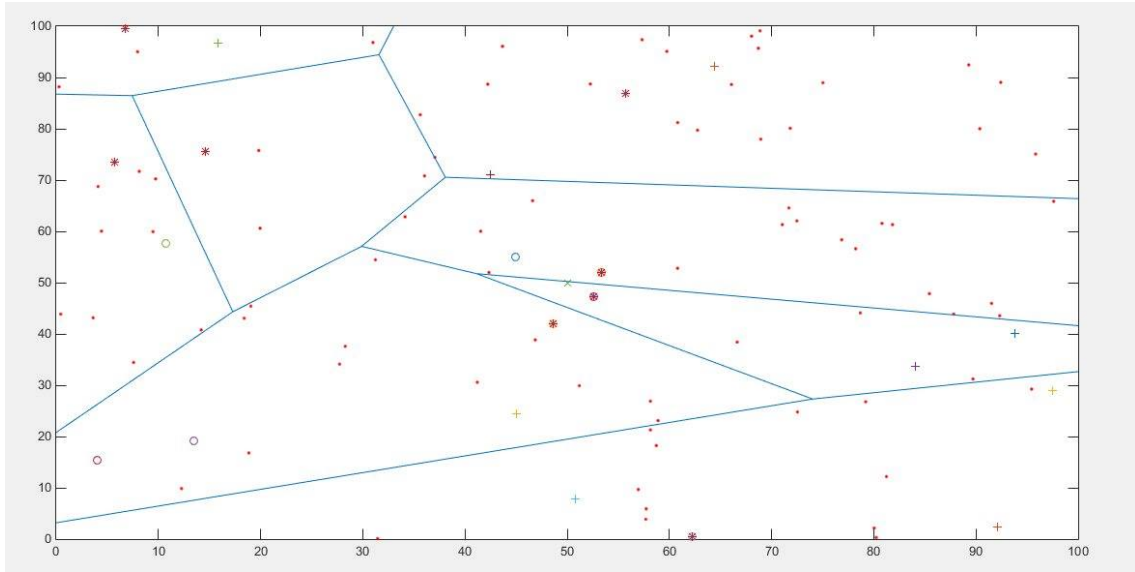


FIGURE 3.1 – Etat du réseau après 1400 tours.

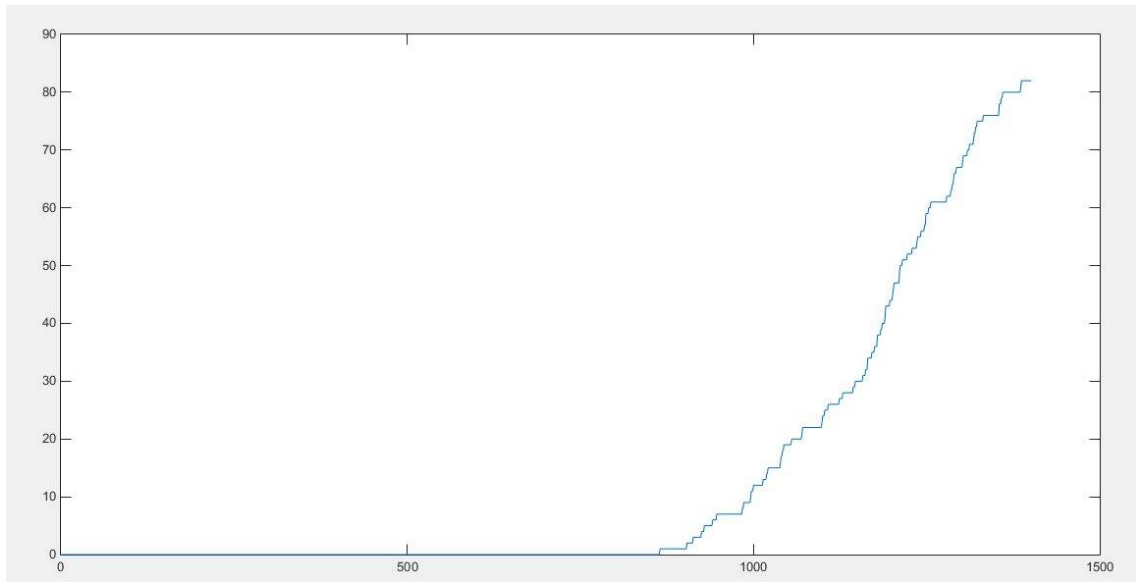


FIGURE 3.2 – Nombre de noeuds morts après 1400 tours.

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la technique de simulation du protocole de routage LEACH sur MATLAB ainsi que les résultats obtenus après implémentation.

Conclusion générale

Les réseaux de capteurs sans fil vont sans doute dans les années à venir constituer un développement technologique majeur apportant des solutions aux différents problèmes dans plusieurs domaines d'applications liés à la sécurité, la santé, l'agronomie, etc.

Dans les réseaux de capteurs sans fil, le but principal dans la conception de protocoles de routage à basse consommation d'énergie est d'utiliser efficacement l'énergie du réseau pour que sa durée de vie augmente. Dans les réseaux de capteurs sans fil, beaucoup de protocoles de routage sont disponibles de nos jours. Un des algorithmes de routage le plus efficace et le plus populaire est le protocole de routage LEACH.

LEACH est un protocole de routage basé sur la notion de clusters (groupes) minimisant l'utilisation globale d'énergie en distribuant la charge à tous les noeuds capteurs à différents moments. LEACH surpasse les protocoles à regroupements statiques en obligeant les noeuds à se porter volontaires pour être cluster-head (CH) et en adaptant les clusters correspondants basés sur les noeuds élus CH à un moment donné. Chaque CH a la charge de collecter des données depuis les membres de son groupe, de les fusionner pour obtenir un signal composite et de transmettre celui-ci vers la station de base.

LEACH est complètement distribué, ne requierant aucune information de contrôle de la part de la station de base et les noeuds ne nécessitent pas des connaissances sur le réseau global pour que LEACH puisse fonctionner.

Bibliographie

- [1] W. HEINZELMAN, A. CHANDRAKASAN, H. BALAKRISHNAN, *Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks*, International Conference on Systems Science, vol. 8, pp. 8020, January 2000.
- [2] *International Journal of Application and Innovation in Engineering & Management*, Vol. 3, Issue 3, March 2014.
- [3] C. F. GARCIA-HERNANDEZ, P. H. IBARGUENGOYTIA-GONZALEZ, J. GARCIA-HERNANDEZ and J. A. PEREZ-DIAZ, *Wireless Sensor Networks and Applications : a Survey*, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, 2007, Vo.7, No.3, pp. 264-273.
- [4] Ravneet KAUR, Deepika SHARMA and Navdeep KAUR, *Comparative Analysis Of Leach And Its Descendant Protocols In Wireless Sensor Network*, International Journal of P2P Network Trends and Technology, Vol. 3, Issue 1, 2013, pp. 51-55.
- [5] Ali NOROUZI1, Abdul Halim ZAIM, *An Integrative Comparison of Energy Efficient Routing Protocols in Wireless Sensor Network*, Scientific Research of Wireless Sensor Network, Vol. 4, 2012, pp. 65-67.
- [6] Parminder KAUR1, Mrs. Mamta KATIYAR, *The Energy-Efficient Hierarchical Routing Protocols for WSN : A Review*, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Vol. 2, Issue 11, November 2012, pp. 194-199.
- [7] J. GNANAMBIGAI, Dr. N. RENGARAJAN, K. ANBUKKARASI, *Leach and Its Descendant Protocols : A Survey*, International Journal of Communication and Computer Technologies, Vol. 01, No.3, Issue 02, September 2012, pp. 15-21.

Résumé

Les systèmes distribués de micro-capteurs sans fil permettent la surveillance fiable d'une variété d'environnements, à la fois pour des applications civiles et militaires. Dans cet exposé, nous examinons le protocole de communication LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy), qui adresse la problématique de la dissipation de l'énergie globale de ces réseaux. LEACH a été originellement proposé après que des recherches aient suggéré que les protocoles classiques de transmission directe, la transmission d'énergie minimale, routage multi-hop, et les regroupements statiques pouvaient ne pas être optimaux pour les réseaux de capteurs. LEACH est un protocole basé sur le regroupement qui utilise la rotation aléatoire de stations de base locales (cluster-heads) au sein de ces regroupements (clusters) afin de répartir uniformément la charge de l'énergie entre les capteurs dans le réseau. LEACH utilise une coordination localisée pour permettre l'extensibilité et la robustesse pour des réseaux dynamiques, et incorpore l'agrégation (compression) de données dans le protocole de routage pour réduire la quantité d'informations qui doivent être transmises à la station de base. Des simulations montrent que LEACH peut atteindre jusqu'à un facteur de réduction de 8 de la dissipation d'énergie par rapport à des protocoles de routage classiques. En outre, LEACH est capable de distribuer la dissipation d'énergie uniformément entre les capteurs, doublant ainsi la durée de vie utile des RCSF.

Mots clés : RCSF, capteurs, LEACH, routage, cluster, dissipation d'énergie.

Abstract

Wireless distributed microsensor systems allow reliable monitoring of a variety of environments for both civil and military applications. In this report, we examine the communication protocol LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) that shows the impact on the overall energy dissipation of these networks. LEACH was originally proposed after that researches suggested that the conventional protocols of direct transmission, the transmission of minimal energy, multi-hop routing and the static clustering may not be optimal for sensors networks. LEACH is a protocol based on the clustering which uses randomized rotation of local base stations (cluster-heads) within these groups (clusters) to distribute uniformly the energy load between the sensors in the network. LEACH uses a localized coordination to allow scalability and robustness for dynamic networks and incorporates data aggregation in the routing protocol to reduce the quantity of informations that must be transmitted to the base station. Simulations show that LEACH can achieve up to a factor of reduction of 8 in energy dissipation compared with conventional routing protocols. Besides, LEACH is capable of distributing the energy dissipation uniformly between the sensors, doubling the useful lifetime of WSN.

Keywords : WSN, sensors, LEACH, routing, clustering, energy dissipation.