

REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE D'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
«HOUARI BOUMEDIEN»  
FACULTE D'ELECTRONIQUE ET INFORMATIQUE

# MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTER

En : INFORMATIQUE

Spécialité : Programmation et Systèmes

Par : KHELLADI Lyes

Sujet

**Le service de routage dans les réseaux de capteurs**

Soutenu le 28/11/2005, devant le jury composé de :

M<sup>me</sup> A. AISSANI, Professeur, USTHB  
M<sup>r</sup> N. BADACHE, Professeur, USTHB  
M<sup>me</sup> N. BENSAOU, Maître de conférences, USTHB  
M<sup>r</sup> H. AZZOUNE, Maître de conférences, USTHB

Présidente  
Directeur de thèse  
Examineur  
Examineur

## Sommaire

Introduction.....	1
-------------------	---

### Chapitre 1 : Environnements mobiles et réseaux de capteurs

1. Introduction .....	4
2. Caractéristiques des environnements mobiles.....	4
2.1 La communication sans fil.....	4
2.2 Les unités mobiles.....	5
2.2.1 Classes d'unités mobiles.....	5
2.2.2 Modes de fonctionnement.....	6
3. Les réseaux cellulaires.....	6
4. Les réseaux Ad Hoc.....	7
4.1 Définition.....	7
4.2 Modèle d'un système de réseau Ad Hoc.....	8
4.3 Caractéristiques des réseaux Ad Hoc.....	8
5. Les réseaux de capteurs.....	9
5.1 Composants d'un réseau de capteurs.....	9
5.2 Différences entre les réseaux de capteurs et les réseaux Ad Hoc classiques.....	9
5.3 Pile protocolaire dans les réseaux de capteurs.....	10
6. Applications des réseaux de capteurs.....	12
6.1 Applications militaires.....	12
6.2 Applications dans l'environnement.....	13
6.3 Applications dans le domaine médical.....	13
6.4 Autres applications commerciales.....	13
7. Facteurs de conception dans les réseaux de capteurs.....	14
7.1 La tolérance aux pannes.....	14
7.2 La scalabilité.....	14
7.3 Les coûts de production.....	15
7.4 Les contraintes matérielles.....	15
7.4.1 L'unité de contrôle d'énergie.....	16
7.4.2 L'unité de transmission.....	17
7.4.3 L'unité de traitement.....	17
7.5 La topologie.....	17
7.5.1 Phase de pré-déploiement et de déploiement.....	17
7.5.2 Phase de post-déploiement.....	18
7.5.3 Phase de redéploiement des nouveaux noeuds.....	18
7.6 Le support de transmission.....	18
7.7 La consommation d'énergie.....	20
7.7.1 Phases de consommation d'énergie.....	20
8. Conclusion.....	22

### Chapitre 2 : Protocoles de routage dans les réseaux de capteurs

1. Introduction.....	23
2. Les défis du routage dans les réseaux de capteurs.....	23
3. Les protocoles de routage dans les réseaux de capteurs .....	26
3.1 Les protocoles centrés données.....	26
3.1.1 Flooding.....	26

3.1.2	Gossiping.....	27
3.1.3	Sensor Protocol for Information via Negotiation (SPIN).....	28
3.1.4	Directed Diffusion.....	29
3.1.5	Routage efficace en consommation d'énergie.....	32
3.1.6	Rumor routing for sensor networks.....	33
3.1.7	Gradient-Based Routing (GBR).....	34
3.1.8	CADR & IDSQ.....	35
3.1.9	COUGAR.....	35
3.1.10	ACQUIRE.....	36
3.2	Les protocoles hiérarchiques.....	37
3.2.1	Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH).....	38
3.2.2	PEGASIS et PEGASIS hiérarchique.....	40
3.2.3	TEEN et APTEEN.....	41
3.2.4	Energy aware routing for cluster-based sensor networks.....	43
3.2.5	Self-Organizing Protocol (SOP).....	44
3.2.6	Scalable Energy-efficient Asynchronous Dissemination protocol (SEAD).....	46
3.2.7	Two-Tier Data Dissemination (TTDD).....	47
3.3	Les protocoles basés sur la localisation.....	49
3.3.1	GAF.....	50
3.3.2	GEAR.....	52
3.4	Les Protocoles orientés réseau de flot et qualité de service.....	54
3.4.1	Maximum Lifetime Energy Routing (MLER).....	54
3.4.2	Maximum Lifetime Data Gathering (MLDG).....	55
3.4.3	Maximum Cost Forwarding (MCF).....	55
3.4.4	Sequential Assignment Routing (SAR).....	56
3.4.5	Energy-aware QoS Routing (EQR).....	57
3.4.6	SPEED.....	58
4.	Le routage dans les réseaux de capteurs: synthèse.....	59
5.	Conclusion.....	62

### **Chapitre 3 : Impact du degré de connectivité sur le protocole Directed Diffusion**

1.	Introduction .....	63
2.	Degré de connectivité et portée de communication.....	64
3.	Environnement de simulation.....	65
3.1	Portée de communication et puissance de transmission .....	65
3.2	Modèle de consommation d'énergie.....	66
3.3	Le simulateur NS-2.....	66
3.4	Choix de la version du protocole Directed Diffusion.....	67
3.5	Scénario de simulation.....	67
3.6	Métriques de performances évaluées.....	68
4.	Résultats de simulation.....	69
4.1	Impact de la connectivité sur la consommation d'énergie.....	69
4.2	Impact de la connectivité sur les délais de bout-en-bout.....	70
4.3	Impact de la connectivité sur la fiabilité.....	71
5.	Conclusion.....	72

## **Chapitre 4 : Proposition d'une amélioration au protocole de routage Directed Diffusion**

1. Introduction.....	73
2. Le modèle de consommation d'énergie adopté.....	74
3. Réseaux à consommation minimale (MECN).....	76
3.1 Principe.....	76
3.2 Algorithme Distribué pour la construction du graphe de clôture.....	80
3.2.1 Description formelle de l'algorithme.....	81
4. Directed diffusion avec topologie à consommation d'énergie minimale.....	83
4.1 Impact de la technique MECN sur Directed Diffusion.....	83
4.2 Prise en charge des coûts énergétiques pour le choix de la route appropriée.....	84
5. Conclusion.....	88
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>89</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>90</b>

## Résumé :

Les avancées récentes dans le domaine de la communication sans fil et les technologies «MEMS» (Micro-electro-mechanical systems) ont permis le développement de micro-composants qui intègrent des dispositifs de captages et de communication sans fil dans un seul circuit, à dimension réduite, et avec un coût raisonnable. Ces composants, communément appelés micro-capteurs, ont favorisé l'idée de développer les réseaux de capteurs basés sur la collaboration d'un grand nombre de noeuds opérant d'une façon autonome, et communiquant entre eux via des transmissions à courte portée.

Différents des réseaux ad hoc traditionnels, les réseaux de capteurs exigent de nouvelles limitations pour la conception des protocoles de communication. Par exemple, les protocoles de routage doivent, en plus de leurs fonctions classiques, participer à la synthèse et l'agrégation des données retournées aux utilisateurs, tout en assurant un fonctionnement optimal en consommation d'énergie, car chaque noeud est alimenté par une ressource d'énergie limitée et généralement irremplaçable..

Dans ce travail, nous présentons une étude détaillée sur la problématique de routage dans les réseaux de capteurs. Pour cela, un état de l'art est tout d'abord effectué, afin de recenser la plupart des protocoles de routage ayant été spécifiquement conçus pour les réseaux de capteurs. Cet état de l'art fournit une classification des protocoles développés en quatre catégories, en plus d'une discussion décrivant les avantages et les inconvénients de chacun d'eux.

Par la suite, une étude basée sur des résultats de simulation vient mettre en évidence la dégradation des performances du protocole de routage Directed Diffusion dans les réseaux denses. Basé sur les résultats de cette étude, des améliorations à ce protocole ont été proposées, elle consistent essentiellement à :

- 1- Utiliser la technique des réseaux à consommation d'énergie minimale (MECN) comme étape d'initialisation dans le protocole Directed Diffusion, afin de réduire le degré de connectivité de la topologie de communication considérée.
- 2- Définir et utiliser une métrique de coût énergétique, pour permettre le choix de la route la plus efficace en consommation d'énergie.

**Mots clés :** réseaux de capteurs, routage multi-sauts, communication efficace en consommation d'énergie.