

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENNE

Faculté d'Electronique et d'Informatique

Département d'Informatique



MEMOIRE

Présentée pour l'obtention du diplôme de MAGISTERE :

En : INFORMATIQUE

Spécialité : Informatique Mobile

Par : KHLATI Mustapha

Sujet :

**Minimisation du Delai pour La Diffusion Globale dans
Les Réseaux de Capteurs Sans Fil Utilisant Le Concept
« Duty-cycle »**

Soutenue publiquement, le, devant le jury composé de :

M. BENCHAIBA Mahfoud,	MCA USTHB,	Président
M. DJENOURI Djamel,	MRA CERIST,	Directeur de Mémoire
M ^{me} . MOUSSAOUI Samira,	MCA USTHB,	Examinatrice
M. ABDELI Abdelkrim,	MCA USTHB,	Examineur
M ^{me} . BENZAID Chafika,	MCB USTHB,	Invitée

Résumé — Les réseaux de capteurs sans fil (WSN) sont de plus en plus importants du fait qu'ils sont présents dans de nombreuses applications, telles que l'automatisation de processus industriels, les systèmes de contrôle aérien, le domaine médicale, etc. Les nœuds formant ces réseaux capturent des informations sur l'environnement, les traitent et les communiquent à l'utilisateur final avec d'éventuelles contraintes en temps, et surtout d'énergie. D'où l'introduction au niveau de la couche MAC de la technique duty-cycle, qui fait basculer périodiquement l'interface réseau du nœud de l'état actif à l'état sommeil pour économiser plus d'énergie. Cependant, le défi à relever est d'aboutir à des protocoles prenant en compte l'impact du duty-cycle sur la qualité de service (QoS) assurée par le réseau, particulièrement la latence de bout-en-bout engendrée par la diffusion globale des messages.

Ce mémoire est composé de deux parties. La première partie présente un état de l'art sur les protocoles MAC utilisant cette technique, ainsi que les solutions proposées dans les couches supérieures de la pile protocolaire (réseau et application) pour améliorer la QoS, particulièrement la diffusion globale de messages. La deuxième partie présente nos solutions proposées pour atteindre cet objectif. Le protocole proposé nommé- BOD_LEACH (BOD pour broadcast over duty-cycle)-, intègre les mécanismes de minimisation de la latence de bout en bout engendrée par la diffusion globale de messages dans un WSN.

Afin d'évaluer les performances de BOD_LEACH, nous avons effectué une série de tests de simulation ainsi qu'une analyse mathématique en utilisant les chaînes de Markov. Les résultats obtenus ont été comparés par rapport à ceux du protocole LEACH suivant différents scénarios. Nous avons prouvé que notre protocole minimise la latence de bout en bout engendrée par la diffusion globale de messages dans le WSN, sous la contrainte du fonctionnement en duty-cycle.

Mots clés: WSN, MAC, Duty-cycle, QoS, BOD_LEACH, LEACH, diffusion globale, Latence.

Abstract —Wireless Sensor Networks (WSNs) are increasingly important and become ubiquitous. They are used in wide range of applications such as air traffic control, industrial process, health-care, etc. However, these motes are limited with respect to computation, memory, and particularly energy supply. The key solution to minimize power consumption of the radio is to use duty-cycling at MAC layer, reducing the important amount of energy nodes tend to consume in IDLE mode. This consists of turning off and on the radio periodically, instead of keeping it on all the time. Although duty-cycling is power-efficient and essential in WSN, it may affect high layer quality of service (QoS) metrics, specially broadcasting of messages. To this end, we have proposed a solution that ensures a minimum broadcast latency while enabling the use of duty-cycling at MAC layer.

In this dissertation, we present a state of the art of the main MAC layer duty-cycle based protocols, as well as the most common high layer solutions, as sequence we present BOD_LEACH (Broadcast over duty-cycle LEACH based) a new protocol, which includes mechanisms for minimising end to end broadcast latency in WSNs where the MAC layer protocol is duty-cycle based.

To show the effectiveness of our protocol BOD_LEACH, we performed simulation tests and mathematical model validation using Markov chain. After comparing to LEACH protocol and according to different scenarios, we proved that our protocol minimizes highly the broadcast latency when using duty-cycle based MAC protocol.

Key words: WSNs, MAC, Duty-cycle, QoS, BOD_LEACH, LEACH, Broadcast latency.

Table des matières

Introduction Générale.....	1
CHAPITRE I. GENERALITES SUR LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL (WSN)	3
I.1 Introduction	3
I.2 Définition	3
I.3 Domaines d'Application des WSN	3
I.4 Éléments Constitutifs d'Un Nœud du WSN.....	4
I.5 Les Principales Caractéristiques des WSN	4
I.5.1 Ressources d'Energie Limitée	4
I.5.2 L'Auto-Configuration des Nœuds Capteurs	4
I.5.3 Densité Importante des Nœuds	5
I.5.4 Tolérance aux Pannes.....	5
I.5.5 Capacité de Communication	5
I.5.6 Les Types de Communication	5
I.5.6.1 Unicast.....	5
I.5.6.2 Broadcast	5
I.5.6.3 Convergecast	5
I.5.6.4 Local Gossip	6
I.5.6.5 Multicast	6
I.5.7 Architecture "Data-Centric"	6
I.5.8 Collaboration Entre les Nœuds	6
I.6 Conclusion	6
CHAPITRE II. LA COUCHE MAC & LA TECHNIQUE DUTY-CYCLE	7
II.1 Introduction	7
II.2 Contribution de La Couche MAC dans Les WSN.....	7
II.3 Sources de Consommation d'Energie.....	7
V.3.1 La Sur écoute "Overhearing "	8
V.3.2 Collisions	8
V.3.3 Envois Infructueux	8
V.3.4 Information de Contrôle "Overhead"	8
V.3.5 L'Ecoute Passive "Idle listening"	8
II.4 Techniques de Contrôle d'Accès au Support de Communication	8

II.4.1	L'Accès Multiple par Répartition Temporelle (TDMA)	9
II.4.2	L'Accès Multiple par Répartition Fréquentielle (FDMA)	9
II.4.3	L'Accès Multiple par Répartition de Codes (CDMA)	9
II.4.4	L'Accès Multiple avec Ecoute de La Porteuse/Evitement de Collision (CSMA/CA)	9
II.5	Introduction du Mécanisme «Duty-cycle »	9
II.6	Choix du Protocole MAC	10
-	L'Optimisation d'Energie	10
-	L'Evitement des Collisions	10
-	L'Adaptation au Changement	10
-	Le Débit "Throughput"	10
-	Le Temps d'Attente (latence)	10
II.7	Classification des Protocoles MAC Utilisant le Duty-cycle	10
II.7.1	Protocoles Planifiés " SCHEDULED PROTOCOLS "	11
II.7.1.1	Planification des Lignes de Communication " Scheduling of communication links "	11
II.7.1.2	Planification des Expéditeurs " Scheduling of senders "	11
II.7.1.3	Planification des Récepteurs " Scheduling of receivers "	11
II.7.1.4	Arguments	12
II.7.1.5	Principaux Protocoles	12
II.7.2	Les Protocoles à Périodes Actives Communes	13
II.7.2.1	Principaux Protocoles	13
II.7.2.2	Arguments	13
II.7.3	Protocoles Utilisant Le Préambule " Preamble Sampling Protocols "	14
II.7.3.1	Arguments	14
II.7.3.2	Principaux Protocoles	15
II.7.4	Protocoles Hybrides	15
II.7.4.1	Principaux Protocoles	15
II.8	Réservation d'Energie VS Qualité de Service	16
II.9	Conclusion	17
CHAPITRE III. PRINCIPALES SOLUTIONS		18
III.1	Introduction	18
III.2	Protocoles MAC Efficaces en Energie et Orientés QoS	18
III.2.1	Protocole QoS-MAC	18
III.2.2	Protocole Adaptive-MAC	19
III.2.2.1	Principe du Protocole	19
III.2.3	Protocole Q-MAC	19
III.2.4	Protocole Deterministic-MAC	20

III.2.4.1 Délai de Transfert des Messages	20
III.2.4.2 Fiabilité de Transfert des Messages	20
III.2.5 Protocole WiseMAC	21
III.2.6 Protocole PEDAMACS «Power efficient and delay aware medium access control for sensor network ».....	21
III.2.6.1 Principe de Fonctionnement.....	21
III.2.6.2 Les Différentes Phases du Protocole	22
III.3 Solutions Orientées Broadcast.....	22
III.3.1 Protocole Opportunistic-Flooding	23
III.3.1.1 La Fonction <i>pmf</i> "probability mass function"	23
III.3.1.2 Processus Décisionnel " Decision Making Process "	24
III.3.2 Protocole du Graphe d'Equivalence	27
III.3.2.1 Formulation du Problème	27
III.3.2.2 Solution Centralisée	27
III.3.2.3 Solution Distribuée	29
III.3.3 Protocole Hybridcast.....	31
III.3.3.1 Planification Hétérogène des Périodes de Réveil	31
III.3.3.2 Sélection d'Un Nœud Relais " Online Selection "	32
III.3.4 Protocole à Base du Cross-Layer Multi-sauts.....	32
III.3.4.1 Délai Minimal de Routage de Bout en Bout	33
III.3.4.2 Calcul du Chemin Optimal.....	34
III.3.4.3 Avantage du Cross-Layer Multi-saut pour La Diffusion Globale.....	35
III.3.5 Protocole ADB "Asynchronous Duty-Cycling broadcast protocol"	35
III.3.5.1 Caractéristiques du Protocole ADB.....	36
III.4 Analyse des Différentes Protocoles de Diffusion	36
III.5 Conclusion	38
CHAPITRE IV. SOLUTIONS PROPOSEES	39
IV.1 Introduction	39
IV.2 Protocole de Routage Hiérarchique Leach "Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy"39	39
IV.2.1 Phase Annonces.....	39
IV.2.2 Phase d'Organisation	40
IV.2.3 Phase d'Ordonnancement.....	40
IV.2.4 Phase d'Agrégation.....	40
IV.2.5 Communication Intra-Clusters.....	40
IV.2.6 Communication Inter-Clusters	40
IV.2.7 Avantages et Inconvénients du Protocole LEACH.....	41

IV.3 Présentation de La Contribution	43
IV.3.1 Hypothèses	43
IV.3.2 Description de La Solution	43
IV.3.3 Apports de La Solution	46
IV.3.4 Pseudo Code de La Phase de Diffusion I	47
IV.3.4.1 Pseudo Code de La Phase Annonce	47
IV.3.4.2 Pseudo Code de La phase Organisation	48
IV.3.4.3 Pseudo Code de La Phase Ordonnancement	48
IV.3.4.4 Pseudo Code de La Phase Agrégation	49
IV.3.4.5 Pseudo Code de La Phase Diffusion	49
IV.4 Discussion & Critiques	50
IV.5 Deuxième Solution.....	51
IV.5.1 Phase de Diffusion I	51
IV.5.2 Phase de Diffusion II	52
IV.5.2.1 Création des Périodes Dynamiques de Diffusion " DAP "	52
IV.5.2.2 Création des DAP	52
IV.5.2.3 Les Métriques de Création des Périodes Dynamiques de Diffusion DAP	53
IV.5.3 Modélisation par Une Chaine de Markov à Espace d'Etats Discret.....	54
IV.5.3.1 Définitions et Propriétés Elémentaires.....	54
IV.5.4 Modélisation de La Phase de Diffusion II par Une Chaine de Markov.....	55
IV.5.4.1 Etude de Cas	56
IV.5.4.2 Choix de La loi de Probabilité.....	56
IV.5.4.3 Loi de Poisson	56
IV.5.4.4 Les Etats du Système	57
IV.5.4.5 Calcul des Probabilités de Transition	57
IV.5.4.6 Graphe de Transition	59
IV.5.4.7 Distribution Stationnaire	60
IV.5.4.8 Rapport de La Latence avec La Création des Périodes DAP	61
IV.6 Conclusion	61
CHAPITRE V. SIMULATION, TESTS & RESULTATS.....	62
V.1 Introduction	62
V.2 Phase de Diffusion I	62
V.2.1 Environnement de Simulation.....	62
V.2.1.1 Choix du Système d'Exploitation	62
V.2.1.2 NesC	63

V.2.1.3 Simulateur TOSSIM.....	64
V.2.1.4 PowerTOSSIM	64
V.2.1.5 Outil de Génération de La Topologie "Link Layer Model "	65
V.2.1.6 Procédé d'Une Simulation.....	65
V.2.2 Implémentation et Déroulement de La Phase de Diffusion I.....	66
V.2.2.1 Choix du Protocole de Comparaison	66
V.2.2.2 Métriques de Simulation	66
V.2.2.3 Paramétrage de La Simulation	67
V.2.3 Tests de Simulation de La Phase de Diffusion I.....	67
V.2.3.1 Consommation d'Energie sur Un Echantillon de 100 Noeuds.....	68
V.2.3.2 Latence (Délai de bout en bout)	69
V.2.3.3 Passage à L'Echelle "Scalability"	70
V.2.3.4 Le Nombre de Messages Envoyés " Broadcast_count "	71
V.2.3.5 Latence du Protocole LEACH en Fonction de La Taille du Préambule	72
V.2.3.6 Comparaison de BOD_LEACH avec Les Principaux Protocoles de Diffusion.....	73
V.3 Phase de Diffusion II.....	75
V.3.1 Scenario de Création des Périodes DAP	75
V.3.2 Latence en Fonction des Périodes DAP	77
V.3.3 Latence en Fonction des Instants d'Arrivées de Messages.....	77
V.3.3.1 Premier Processus	78
V.3.3.2 Deuxième Processus.....	79
V.4 Conclusion	80
Conclusion Générale & Perspectives	81
- Perspectives	82
BIBLIOGRAPHIE	83