

N° d'ordre :

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene
Faculté d'Electronique et d'Informatique



THESE

Présentée pour l'obtention du diplôme de DOCTORAT

En : INFORMATIQUE

Spécialité : Informatique

Par : SENOUCI Mustapha Reda

Sujet :

**APPROCHES AUTONOMES POUR LE
DEPLOIEMENT ET LE CONTROLE DE
PLUSIEURS ENTITES COMMUNICANTES
DANS UN ENVIRONNEMENT CONTRAINT**

Soutenue publiquement, le / / 2013, devant le jury composé de :

M. N. BADACHE, Professeur à l'USTHB	Président
M. A. AISSANI, Professeur à l'USTHB	Directeur de thèse
M. A. MELLOUK, Professeur à l'UPEC - France	Directeur de thèse
M. M. BENCHAIABA, MCA à l'USTHB	Examineur
M. A. APPRIOU, Directeur de Recherche à l'ONERA - France	Examineur
M. J.M. THIRIET, Professeur à l'UJF/GIPSA-Lab - France	Examineur
Mme. L. OUKHELLOU, Directrice de Recherche à l'UPE - France	Invitée

Titre : De l'usage de la théorie des fonctions de croyance dans le déploiement et le contrôle de réseaux de capteurs sans fil.

Résumé : Cette thèse porte sur les problèmes de déploiement des Réseaux de Capteurs sans Fil (RCsF) et est centrée autour de trois directions principales : (1) le déploiement aléatoire, (2) le déploiement déterministe, et (3) l'auto-déploiement. En premier lieu, nous présentons une étude sur le placement aléatoire des capteurs et nous élaborons une stratégie pratique de déploiement aléatoire. Ensuite, nous analysons le problème de gestion des imperfections liées à la collecte des données par les capteurs dans le cas d'un déploiement déterministe. Nous discutons les modèles de couverture et les algorithmes de placement existants et nous exploitons la théorie de l'évidence pour concevoir des stratégies de déploiement plus efficaces. Enfin, nous explorons les stratégies d'auto-déploiement existantes et nous présentons un protocole en deux phases, léger et complet, pour assurer une couverture optimisée de la zone contrôlée en utilisant un RCsF mobile. Les résultats obtenus montrent l'efficacité des approches proposées qui ont été étudiées et validées à la fois sur des données synthétiques et aussi sur un banc d'essai expérimental.

Mots-clés : Réseaux de Capteurs sans Fil, Déploiement, Couverture, Connectivité, Banc d'essai, Fusion, Fonctions de Croyance, Modèle des Croyances Transférables.

Title: On the use of the belief functions theory in the deployment and control of wireless sensor networks.

Abstract: This dissertation is an in-depth investigation of the Wireless Sensor Networks (WSNs) deployment problems that follows three general directions: (1) random deployment, (2) deterministic deployment, and (3) self-deployment. First, we present a survey and taxonomy of random node placement and we devise a practical random deployment strategy. Second, we analyze the uncertainty-aware deterministic WSNs deployment problem where sensors may not always provide reliable information. We discuss sensor coverage models and placement algorithms found in the literature and we investigate the evidence theory to design better deployment strategies. We devise evidence-based sensor coverage models and we propose several polynomial-time uncertainty-aware deployment algorithms. Third, we explore the published self-deployment strategies and we devise a lightweight and comprehensive two-phase protocol, for ensuring area coverage employing a mobile WSN. Experimental results based on synthetic data sets, data traces collected in a real deployment, and an experimental testbed, show that the proposed approaches outperform the state-of-the-art deployment strategies.

Keywords: Wireless Sensor Networks, Deployment, Coverage, Connectivity, Testbed, Fusion, Belief Functions, Transferable Belief Model.

Table of Contents

Table of Contents	i
Publications personnelles faites dans le cadre de la thèse	xi
1 Introduction	1
1.1 Wireless Sensor Networks Overview	1
1.1.1 Sensor nodes	2
1.1.2 Wireless Sensor Networks	3
1.2 WSNs Deployment	7
1.2.1 Deployment Strategies	7
1.2.2 Objectives and Constraints	8
1.3 Problem Statement	12
1.4 Dissertation Contributions	14
1.5 Dissertation Organization	16
2 Literature Review & Related Work	17
2.1 Introduction	17
2.2 Random Deployment	18
2.2.1 Simple Random Node Placement Strategies	19
2.2.2 Compound Random Node Placement Strategies	21
2.2.3 Related work & Discussion	24
2.3 Deterministic Deployment	26
2.3.1 Sensor Coverage Models	26
2.3.2 Placement Algorithms	31
2.4 Self-Deployment	38
2.4.1 Virtual forces based approach	39
2.4.2 Coverage pattern based approach	41
2.4.3 Grid quorum based approach	42
2.4.4 Computational geometry based approach	43
2.4.5 Fuzzy based approach	44
2.4.6 Optimization based approach	45
2.4.7 Miscellaneous approaches	46

2.4.8	A comparison between the various approaches	46
2.5	Conclusion	48
3	Random Deployment of WSNs	49
3.1	Introduction	49
3.2	Simulation Settings	50
3.3	Deployment Metrics Analysis	51
3.3.1	Coverage Analysis	51
3.3.2	Connectivity Analysis	53
3.4	Functional Metrics Analysis	54
3.4.1	Routing-related Metrics Analysis	54
3.4.2	Fault-Tolerance Analysis	55
3.4.3	Network Lifespan Analysis	57
3.5	A Practical Random Deployment Strategy	59
3.5.1	Deployment Metrics Analysis	61
3.5.2	Functional Metrics Analysis	62
3.6	Conclusion	65
4	Uncertainty-aware WSNs Deployment	67
4.1	Introduction	67
4.2	Evidence-based Sensor Coverage Model	70
4.2.1	Evidence construction	70
4.2.2	Decision Making	72
4.2.3	Handling Deployment-related Issues	72
4.3	Application: Evidence-based Detection Coverage Model	74
4.3.1	Evidence Combination	74
4.3.2	Decision making	76
4.4	Problem Formalization	76
4.4.1	Network Model and Assumptions	77
4.4.2	Uniform Coverage and Cost Objectives	78
4.4.3	Preferential Coverage and Cost Objectives	78
4.4.4	Uniform Coverage, Cost and Connectivity Objectives	78
4.4.5	Preferential Coverage, Cost and Connectivity Objectives	79
4.5	The Proposed Sensor Placement Algorithms	79
4.5.1	EBDA	80
4.5.2	S-E2BDA	81
4.5.3	E2BDA-P	83
4.5.4	E2BDA-C	83
4.5.5	E2BDA	84
4.6	Performance Evaluation	84
4.6.1	The Effects of Different Parameters on the System Performance	85
4.6.2	EBDA vs. Random	86

4.6.3	EBDA vs. MIN_MISS: Numerical Experiments	89
4.6.4	EBDA vs. MIN_MISS: Trace-driven Simulations	91
4.6.5	E2BDA vs. State of the Art Deployment Strategies	93
4.7	Conclusion	97
5	Uncertainty-aware Fusion-based WSNs Deployment	98
5.1	Introduction	98
5.2	Evidence Fusion Model	99
5.2.1	Evidence-based Sensing Model	100
5.2.2	Building Belief Functions	103
5.3	Discussion	104
5.3.1	Handling Sensors Reliability	105
5.3.2	Handling Harsh Deployment Environments	105
5.4	Probabilistic Connectivity and Communication Cost Models	106
5.5	Sensor Placement Problems	109
5.5.1	Network Model and Assumptions	109
5.5.2	Problems Formulation	109
5.6	Sensor Placement Algorithms	112
5.6.1	GEBDA	113
5.6.2	MGEFDA	118
5.7	Performance Evaluation	122
5.7.1	GEBDA: Numerical Results	122
5.7.2	GEBDA: Trace-driven Simulations	128
5.7.3	MGEFDA	130
5.8	Conclusion	135
6	Design and Implementation of a Surveillance WSN Testbed	136
6.1	Introduction	136
6.2	Hardware and Software	136
6.2.1	Hardware	137
6.2.2	Software	140
6.3	System Architecture	141
6.4	Experiments and Results	141
6.5	Coverage Models Analysis	142
6.5.1	Building Belief Functions From Raw Sensory Data	142
6.5.2	Sensing Performance of the Phidgets Sensor	143
6.6	Connectivity Model Analysis	143
6.6.1	Regions of Connectivity	144
6.6.2	Calibrating the Communication Cost Model	145
6.7	EBDA vs. MIN_MISS	145
6.8	GEBDA	146
6.9	Conclusion	147

7	General Conclusion and Perspectives	148
7.1	Summary of Contributions	149
7.2	On-going Works	150
7.2.1	Dynamic WSNs Deployment	150
7.2.2	Post-deployment Strategies	152
7.3	Future Research Directions	153
8	Version Française Abrégée	155
8.1	Introduction	155
8.2	Etude des propriétés intrinsèques du déploiement aléatoire des RCsF	157
8.3	Proposition d'une stratégie pratique de déploiement aléatoire	158
8.4	Modèles de couverture basés sur les évidences	159
8.5	Plateformes prenant en compte l'incertitude pour le déploiement des RCsF	160
8.6	Déploiement autonome des capteurs dans un RCsF mobile	161
8.7	Les approches de post-déploiement	162
8.8	Conclusion	163
A	The Belief Functions Theory Overview	164
A.1	Introduction	164
A.2	Overview of the TBM	164
A.2.1	Representation of Information	164
A.2.2	Handling Information	167
A.2.3	Decision Making	169
	Bibliography	170