

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



THESE

Présentée pour l'obtention du **grade de DOCTORAT 3^{ème} Cycle**

En : Télécommunication

Spécialité : Systèmes et Réseaux de Télécommunications

Par : MESMOUDI Asma

Sujet

La localisation dans les réseaux de capteurs sans fil

Soutenue publiquement, le /06 / 2016 , devant le jury composé de :

Mr CHIKH Mohamed Amine	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
Mr FEHAM Mohammed	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de thèse
Mr SENOUCI Sidi Mohammed	Professeur	Université de Bourgogne- France	Examineur
Mr AMAR BENSABER Boucif	Professeur	Univ. du Québec à Trois-Rivières, Canada	Examineur
Mr SEKHRI Larbi	Professeur	Univ. d'Oran	Examineur
Mr LEHSAINI Mohamed	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur
Mme LABRAOUI Nabila	MCB	Univ. Tlemcen	Invitée

A mes parents

A mes grand-mères et mon grand-père maternel

A ma sœur et à mes frères

A toute ma famille ainsi qu'à mes amis

A la mémoire de mon grand-père paternel

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, *Pr. FEHAM Mohammed*, pour son encouragement et ses conseils tout au long de ma thèse.

J'exprime tous mes remerciements à l'ensemble des membres de mon jury : *Pr. CHIKH Mohamed Amine* d'avoir accepté de présider le jury, *Pr. SENOUCI Sidi Mohammed*, *Pr. AMAR BENSABER Boucif*, *Pr. SEKHRI Larbi*, et *Dr. LEHSAINI Mohamed*, pour avoir accepté d'examiner cette Thèse.

Je tiens à remercier également le *Dr. LABRAOUI Nabila*, le *Dr. BEKARA Chakib* et *Dr. LASLA Nouredine*, pour leurs conseils pendant la thèse, qui m'ont été extrêmement précieux.

Je tiens également à remercier les membres du laboratoire Systèmes et Technologie de l'Information et de la Communication (STIC) d'avoir créé un environnement de travail agréable. Plus particulièrement, je tiens à remercier *KHELIF MORSO Nouria* et *BENAISSA Amel* pour leur ambiance chaleureuse tout au long de ma thèse.

Je n'oublie pas non plus tous les membres de ma famille ainsi que mes amis.

RESUME

La localisation dans les réseaux de capteurs sans fil est devenue un service essentiel, non seulement pour trouver le lieu d'un événement détecté par un capteur mais aussi pour d'autres aspects tels que l'identification des données, et le routage géographique dans les réseaux à grande échelle.

Nos travaux concernent les méthodes de localisation dites Range-free, caractérisées par leurs simplicités et les coûts réduits de localisation. Dans ce cadre, nous avons proposé deux nouvelles approches de localisation, basées sur l'utilisation des ancres avec des positions déjà connues.

Notre première approche se base sur le tri des informations provenant des ancres telles que la puissance du signal reçu RSSI et les positions des ancres. Son objectif est d'introduire une nouvelle forme géométrique correspondant à la zone de présence dans laquelle se trouve le nœud cherchant à estimer sa position. De plus, elle utilise un nouveau test d'appartenance plus fiable pour vérifier la présence du capteur. La position du capteur est associée au centre de gravité de cette zone. D'autre part, la seconde approche est une version améliorée de la première, par prise en compte du nombre des ancres voisines disponibles, afin de rendre le protocole plus adaptatif pour une faible densité des ancres dans le réseau.

Mots clés : Réseaux de capteurs sans fil, localisation, Range-free, ancre, la puissance du signal reçus, zone de présence.

Abstract

The Localization in wireless sensor networks has become an essential service, not only to find the location of an event detected by a sensor but also for other aspects such as the identification of the data, and geographic routing in large scale networks.

Our work concerns range-free localization methods. Indeed, those methods guarantee simplicity and cost reduction. In this vein, we proposed two new approaches, based on the use of anchors with already known positions.

Our first approach is based on sorting the information from anchors such as: the received signal power (RSSI: Received Signal Strength Indicator), anchor positions. Its objective is to introduce a new geometric shape corresponding to the presence area in which is located the node seeking to estimate its position. This approach makes use of new reliable test of belonging to check the presence of the sensor. The position of the sensor is associated with the center of gravity of this area. Otherwise, the second approach is an improved version of the first one. The improvement provided takes into account the number of neighboring anchors available, to make the protocol more adaptive for a low density of anchors in the network.

Keywords: wireless sensors Networks, localization, range-free, anchor, the received signal power, presence area.

ملخص

ان تحديد المواقع ضمن شبكات الاستشعار اللاسلكية هو واحد من الموضوعات البحثية الأكثر تناولا في السنوات الأخيرة. يعتبر تحديد المواقع خدمة أساسية، ليس فقط للعثور على موقع اكتشاف الحدث من قبل جهاز الاستشعار ولكن لجوانب أخرى مثل تحديد هوية البيانات والتوجيه الجغرافي للشبكات الواسعة النطاق.

نعتمد في اعمالنا على طرق تحديد الموقع المسمات Range-free. والواقع أن هذا النوع بسيط الاستخدام ويقلل من التكاليف. ومن هذا المنطلق، اقترحنا نهجين جديدين لتحديد الموقع يعتمدان على استخدام المراس أساسا مواقعها معروفة.

يستند نهجنا الأول على فرز المعلومات الواردة من المراس مثل قوة الإشارة الواردة (RSSI: مؤشر قوة الإشارة الواردة) ومواقع المراس. هدفها هو طرح شكل هندسي جديد يعادل منطقة تواجد جهاز الاستشعار الذي يسعى لتقدير موقعه. بالإضافة الى ذلك فانه يستخدم اختبار عضوية جديد أكثر موثوقية للتحقق من تواجد جهاز الاستشعار. يعتبر موقع جهاز الاستشعار مركز ثقل هذه المنطقة. في حين أن النهج الثاني هو نسخة محسنة عن الأولى، يأخذ هذا التحسين بعين الاعتبار المراس المجاورة المتوفرة لجعل البروتوكول متكيف مع الكثافة المنخفضة للمراس في الشبكة.

كلمات دلالية: شبكات الاستشعار اللاسلكية، تحديد المواقع، Range-free، المراس، قوة الإشارة الواردة، منطقة تواجد.

Table des matières

Introduction générale.....	1
CHAPITRE 1.....	6
1. Introduction	7
2. Le nœud capteur sans fil.....	7
2.1 Unité d'acquisition	8
2.2 Unité de traitement	8
2.3 Unité de transmission	8
2.4 Unité d'alimentation	9
3. Les plates formes existantes	9
4. Architecture d'un réseau de capteurs	11
5. La communication dans les réseaux de capteurs.....	11
5.1. Technologie de communications sans fil.....	11
5.1.1. Bluetooth.....	11
5.1.2. ZigBee.....	11
5.2 Architecture protocolaire dans les RCSF	12
5.2.1. Plans de gestion.....	12
5.2.2 Couches de la pile protocolaire.....	13
6. Domaines d'application.....	14
6.1 Domaine militaire	15
6.2 Domaine environnemental.....	15
6.3 Domaine médical	16
6.4 Domaine industriel	17
6.5 Domaine domotique	18
7. Les défis et problématique des réseaux de capteurs.....	19
7.1 Efficacité énergétique	19
7.2 Tolérance aux pannes	19
7.3 Passage à l'échelle	20
7.4 Sécurité	20
7.5 Localisation	20

8. Conclusion.....	21
CHAPITRE 2.....	22
1. Introduction	23
2. Les systèmes de localisation dans les RCSFs	23
2.1. Les systèmes de localisation par satellite	23
2.2. Système d’auto-localisation.....	25
3. L’auto-localisation dans les RCSFs	26
3.1. Quelques définitions	26
3.2. Les composants d’un système d’auto-localisation	26
3.2.1. L’estimation de distance/angle:	26
3.2.2. Dérivation de position :	27
3.2.3. Algorithme de localisation:	27
4. Estimations de distance/angle	27
4.1. Indicateur de puissance du signal reçu – RSSI.....	28
4.2. Le temps d’arrivé – TOA.....	28
4.3. La différence du temps d’arrivé – TDoA	29
4.4. L’angle d’arrivée – AoA.....	31
4.5. Nombre de sauts	32
5. Dérivation des positions	32
5.1. Trilatération et multilatération.....	33
5.2. Triangulation	34
5.3. Boite englobante	34
5.4. Approches probabilistes	35
6. Algorithme de localisation	36
6.1. Algorithmes de localisation Centralisé/ Distribué.....	36
6.2. Algorithmes de localisation Range-free / range-based	37
6.3. Algorithmes de localisation Anchor-free / Anchor-based	37
7. Les Critères importants pour l’évaluation des performances d’un système de localisation dans les RCSF	38
7.1. La précision de la localisation	38
7.2. Le rendement de la localisation	38
7.4. La consommation énergétique.....	39
La seule source d’énergie d’un nœud capteur est sa.....	39
7.5. Le passage à l’échelle	39

8. Conclusion.....	39
CHAPITRE 3.....	41
1. Introduction	42
2. Classification des algorithmes d'auto-localisation.....	42
2.1. Les algorithmes de localisation Range-free.....	43
2.1.1. Les algorithmes Fully-range-free.....	43
2.1.2. Les algorithmes Hybrid-range-free.....	46
2.2. Les algorithmes Range-based.....	47
2.2.1. Les algorithmes Fully-range-based.....	47
2.2.2. Les algorithmes Hybrid-range-based.....	49
3. Comparaison de performance.....	51
3.1. La précision	52
3.2. Overhead.....	54
3.2.1. Coût de communication	54
3.2.2. Coût de calcul	54
3.2.3. Coût du matériel.....	55
3.3. Le passage à l'échelle	55
4. Conclusion.....	56
CHAPITRE 4.....	58
1. Introduction	59
2. Motivation	59
3. Définition du problème	60
3.1. La famille APIT.....	60
3.1.1. APIT original	60
3.1.2. Les versions améliorées de l'algorithme APIT.....	64
4. Contribution	65
4.1. Notations.....	65
4.2. Idée de base	66
4.3. Modèle du système	68
4.3.1. Modèles de communication	69
4.3.2. Modèle du réseau	69
4.4. Description de l'algorithme	69
4.5. Un exemple illustratif.....	73

5. Analyse de performance	75
5.1. Coût de communication	75
5.2. Coût de stockage	76
6. Simulation et évaluation de performance	77
6.1. Le réseau	77
6.2. Paramètre de simulation	77
6.3. Evaluation	78
6.3.1. Erreur de localisation	78
6.3.2. Taux des nœuds localisables	82
7. Conclusion	86
CHAPITRE 5	87
1. Introduction	88
2. Motivations	88
3. Contribution	89
3.1. Vue d'ensemble	89
3.2. Description de l'algorithme	89
4. Analyse d'overhead	97
5. Simulation et évaluation de performance	98
5.1. L'erreur moyenne de la localisation	98
5.2. Le taux des nœuds localisables	100
6. Conclusion	102
Conclusion générale et perspectives	103
Liste des publications	106
Bibliographie	107

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Caractéristiques de quelques capteurs sans fil	10
Tableau 3.1 : Comparaison entre des protocoles range-based et range-free.....	52
Tableau 4.1 : Notations	66
Tableau 4.2 : Les ancrs voisines du l'ancre A_1	73
Tableau 4.3 : Les ancrs voisines du nœud s	74

Table des figures

Figure 1.1 : Composants d'un capteur sans fil.....	8
Figure 1.2 : Consommation d'énergie par un capteur sans fil	9
Figure 1.3 : Quelques modèles des capteurs sans fil.....	10
Figure 1.4 : Architecture d'un réseau de capteur sans fil.....	11
Figure 1.5 : La pile protocolaire des réseaux de capteurs	14
Figure 1.6 : Tracé du chemin d'un véhicule militaire.....	15
Figure 1.7 : Participant au projet FUTUREVOLC prend des mesures de gaz.....	16
Figure 1.8 : Test de l'oxymètre de la marque iHealth, battements du cœur et oxygène dans le sang s'affichent sur iPad	17
Figure 1.9 : Contrôle de production en usine: (a) Contrôle de pièce dans l'industrie de la manutention, (b) Contrôle de fermeture et inspection d'étiquettes dans l'industrie de l'emballage, (c) Contrôle de l'orientation d'objets en défilement	18
Figure 1.10 : Quelques exemples d'offres des maisons intelligentes	18
Figure 2.1 : Principe des méthodes de localisation par satellite (en 2D)	25
Figure 2.2 : Composition d'un système d'auto-localisation	27
Figure 2.3 : Calcul de la distance à partir du temps d'arrivée d'un signal.....	29
Figure 2.4 : Calcul de la distance à partir des temps d'arrivée de deux signaux	30
Figure 2.5 : L'angle d'arrivée du signal.....	31
Figure 2.6 : (a) Trilatération, (b) Multilatération	33
Figure 2.7 : Triangulation	34
Figure 2.8 : Bounding box	35
Figure 2.9 : Exemple d'approche probabiliste	36
Figure 3.1 : Classification des algorithmes d'auto-localisation	43
Figure 4.1 : La présence du capteur M.....	61
Figure 4.2 : Approximate P.I.T Test	62
Figure 4.3 : Grid-scan algorithm	62
Figure 4.4 : Scénarios d'erreurs pour le test APIT.....	63
Figure 4.5 : Triangle divisé en petites régions	64
Figure 4.6 : Test de surface (Area test).....	65
Figure 4.7 : Illustration de la zone de présence lorsque: (a) A1 est la plus proche du nœud s , (b) A2 est la plus proche du nœud s et (c) A3 est la plus proche du nœud s	67

Figure 4.8 : (a) l'étape 3 et 4: la construction de zone de présence et la mise en place d'une grille de points équidistants dans la zone carrée, (b) étape 4: le tableau de pointage de la grille correspondante	73
Figure 4.9 : Construction de la zone de présence.....	74
Figure 4.10: Evolution de l'erreur moyenne de localisation en fonction du nombre d'ancres	80
Figure 4.11 : Evolution de l'erreur moyenne de localisation en fonction de la portée de communication	82
Figure 4.12 : Evolution du taux des nœuds localisables en fonction du nombre d'ancres	84
Figure 4.13 : Evolution du taux des nœuds localisables en fonction de la portée de communication	85
Figure 5.1 : Zone de présence du nœud s lorsqu'une ancre voisine est disponible	91
Figure 5.2 : Zone de présence du nœud s lorsque deux ancres voisines sont disponibles.....	93
Figure 5.3 : La zone de présence du nœud s lorsque trois ancres voisines sont disponibles.	95
Figure 5.4: Evolution de l'erreur moyenne de localisation en fonction du nombre d'ancres	100
Figure 5.5: Evolution de l'erreur moyenne de localisation en fonction de la portée de communication	100
Figure 5.6 : Evolution du taux des nœuds localisables en fonction du nombre d'ancres	101
Figure 5.7 : Evolution du taux des nœuds localisables en fonction de la portée de communication	102

Introduction générale

1. Introduction

Les systèmes de communication sans fil connaissent une croissance vertigineuse partout dans le monde. En effet, ces systèmes sont utilisés pour transmettre les informations nécessaires pour des applications telles que la surveillance, le contrôle à distance, la gestion de production, etc.

Les récents progrès dans les domaines de la microélectronique, et des systèmes de communication sans fil, ont permis de produire des nœuds de capteurs miniatures, peu coûteux, et de faible puissance. Les capteurs sont capables de mesurer une ou plusieurs grandeurs physiques de leurs environnements proches (luminosité, mouvement, température, pression barométrique, etc.), et de stocker, traiter et communiquer des données. Par conséquent on parle d'un Réseau de Capteurs Sans Fil (RCSF ou en anglais WSN pour Wireless Sensors Network) quand on a plusieurs de ces nœuds de capteurs déployés sur une même zone géographique.

Les réseaux de capteurs sans fil sont considérés comme un type spécial de réseaux ad hoc. En effet, Ils apportent une perspective intéressante: celle de réseaux capables de s'auto-configurer et de s'auto-gérer sans qu'il y ait besoin d'interventions humaines. De plus, les nœuds sont généralement déployés de manière aléatoire à travers une zone géographique, appelée zone d'intérêt. Les données récoltées sont acheminées grâce à des communications sans fil en multi-saut (c.-à-d. de proche en proche) à une station de base (ou puits) dont le rôle est entre autre d'agréger/exploiter les données récoltées. Elle représente en quelque sorte le point d'entrée du réseau de capteurs.

Les réseaux de capteurs peuvent se révéler très utiles dans de nombreuses applications lorsqu'il s'agit de collecter et de traiter des informations telles que: la surveillance météorologique, la gestion des catastrophes, la détection d'intrusion, la surveillance de cible, les applications médicales, les bâtiments et les structures intelligentes.

Dans plusieurs applications basées sur des réseaux de capteurs, les nœuds capteurs sont souvent déployés aléatoirement. Par conséquent, un événement détecté par un capteur n'est utile que si une information relative à sa position géographique est fournie. Cette information s'avère donc primordiale. Sans connaître leurs positions, ces applications n'auraient aucun sens. Il s'agit donc de déterminer pour chacun des capteurs ses coordonnées géographiques. Ce problème est désigné, dans la littérature, et porte le nom de «localisation». D'ailleurs, dans cette thèse, nous nous intéressons aux méthodes pouvant être exploitées pour identifier l'endroit où se trouve le capteur.

2. Motivations

La localisation dans les réseaux de capteurs est devenue un service essentiel, non seulement pour trouver le lieu d'un événement détecté par un capteur mais aussi pour d'autres aspects tels que l'identification des données, et le routage géographique dans les réseaux à grande échelle.

Plusieurs solutions ont été développées pour répondre au besoin grandissant de la localisation. La solution la plus simple se base sur l'exploitation des systèmes satellitaires (GPS, GLONAS, etc), i.e., équiper chaque capteur par un module GPS. Cependant, les contraintes de coût, de consommation d'énergie, ainsi que la visibilité des satellites dictent la nécessité d'une solution alternative.

Dans le cadre de cette thèse, nous nous intéressons au système d'auto-localisation, une bonne alternative au système de localisation par GPS. Dans ce système, les capteurs doivent eux-mêmes, à travers des techniques de coopération entre eux, déterminer leurs positions respectives.

Plusieurs solutions innovantes et intuitives ont été proposées pour résoudre le problème de localisation dans les réseaux de capteurs sans fil. Les solutions dite range-based, grâce aux outils de mesures exploités conjointement, mènent généralement à des résultats plus précis que dans le cadre range-free. Cependant, elles sont soit coûteuses, soit sensibles aux bruits et

aux obstacles. Dans un objectif de simplicité et de réduction de coût, les solutions range-free proposent des calculs plus ou moins complexes pour évaluer la position. Elles semblent donner des bons résultats dans les réseaux denses. Pour ces multiples raisons, notre choix s'est porté sur les algorithmes range-free pour une étude approfondie.

3. objectifs de la thèse et contributions

La nécessité de localiser, avec la meilleure précision possible, tous les nœuds d'un réseau de capteurs, reste une problématique ouverte. Pour pouvoir localiser les nœuds déployés aléatoirement dans un réseau de capteurs statique, nous avons proposé deux nouveaux algorithmes de localisation. Ces derniers font partie de la famille range-free.

3.1. Première contribution

Après avoir fait une étude sur les différents algorithmes de localisation, nous avons pu constater qu'un faible coût de communication est désiré lorsqu'un modèle de propagation radio irrégulier et un déploiement des nœuds sont considérés. L'algorithme APIT possède une meilleure précision par rapport aux autres méthodes range-free les plus populaires Dv-Hop, Amorphous, centroid. APIT repose sur l'obtention d'une surface contenant probablement le nœud cherchant à estimer sa position. Cependant, il est limité par les mauvaises décisions prises au sujet de la présence des capteurs à l'intérieur ou à l'extérieur des triangles formés.

Dans l'objectif de surpasser les limites du protocole APIT, nous proposons un nouvel algorithme nommé REAL (REliable Area-based Localisation algorithm). Ce dernier repose sur les mêmes données utilisées dans APIT, mais introduit une nouvelle forme géométrique correspondant à la zone de présence du capteur et utilise un nouveau test d'appartenance plus fiable pour vérifier la présence du capteur. Cela permet d'améliorer la précision des positions estimées.

3.2. Deuxième contribution

Il est bien connu que les méthodes range-free sont plus ou moins efficaces selon la densité du réseau. Ces méthodes offrent de meilleurs résultats en forte densité ou bien en présence

d'un nombre d'ancres plus important. En fait, l'adaptation à une faible densité d'ancre est souhaitable.

Notre protocole REAL exige que le nœud inconnu soit à portée d'au moins trois nœuds ancres voisines afin de déterminer sa zone de présence. Pour remédier à cela, nous avons proposé une version améliorée de notre protocole REAL, appelée IREAL (Improving on a REliable Area-based Localisation algorithm). IREAL est un protocole de localisation qui prend en compte le nombre des ancres voisines disponible.

4. Organisation de la thèse

Ce manuscrit comporte cinq chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons une description des réseaux de capteurs sans fil. Nous commençons d'abord par la définition des différentes notions et concepts gravitant autour de cette thématique tout en donnant quelques exemples d'applications. Ensuite nous présentons les challenges liés à la conception de ces dispositifs minuscules.

Dans le deuxième chapitre, nous abordons la problématique de la localisation dans les réseaux de capteurs. Nous présentons les principaux systèmes de localisation dans les réseaux de capteurs, à savoir les systèmes de localisation par satellites et les systèmes d'auto-localisation. Nous justifions le choix d'utilisation des systèmes d'auto-localisation. Ensuite, nous présentons les principales techniques de mesures, les méthodes de dérivations de position et les différentes catégories d'algorithmes d'auto-localisation. Une discussion sur les critères importants pour l'évaluation des performances d'un système de localisation, est présentée à la fin de ce chapitre.

Dans le troisième chapitre, nous survolons les travaux existants qu'on a pu recenser dans la littérature, en effectuant une analyse profonde et une classification, ainsi qu'une évaluation et une comparaison entre les différentes solutions.

Dans le quatrième chapitre, nous présentons notre première contribution liée à la localisation dans les RCSFs. Nous présentons les détails de notre protocole REAL, et nous effectuons une analyse de surcoût et une évaluation de performances ainsi qu'une comparaison par rapport à d'autres protocoles.

Dans le cinquième chapitre, nous présentons une version améliorée du protocole de localisation REAL, appelée IREAL. De la même manière, nous commençons d'abord par

présenter les motivations de cette proposition. Ensuite, nous décrivons nos algorithmes de calcul de positions. Par la suite, les performances de notre protocole proposé sont étudiées.

Enfin on conclut cette thèse en introduisant des idées et des perspectives nouvelles qui permettront de prolonger ce travail.

CHAPITRE 1

Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

Sommaire

1. Introduction
2. Le nœud capteur sans fil
3. Les plates formes existantes
4. Architecture d'un réseau de capteurs
5. La communication dans les réseaux de capteurs
6. Domaines d'application
7. Les défis et problématique des réseaux de capteurs
8. Conclusion

1. Introduction

Les récents progrès de la technologie MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems) et les technologies des communications sans fil ont permis de fabriquer des dispositifs miniaturisés à bas coût, appelés nœud capteurs [1], capables de mesurer une ou plusieurs grandeurs physiques de leurs environnements proches (luminosité, mouvement, température, pression barométrique, etc.), et de stocker, traiter et communiquer des données. Un grand nombre de ces nœuds capteurs déployés sur une zone géographique formant un Réseau de Capteurs Sans Fil (RCSF ou en anglais WSN pour Wireless Sensors Network). Les réseaux de capteurs sont généralement déployés dans des environnements hostiles et sur une large zone géographique, leur objectif est de collecter des informations issues de l'environnement en vue de les transmettre vers un nœud de contrôle puissant (appelé Sink ou station de base). Ce dernier est chargé de faire des traitements des données reçues ou de les transmettre via un autre réseau (un réseau filaire par exemple). Les applications des réseaux de capteurs sont nombreuses et variées, comme la surveillance météorologique, la gestion des catastrophes, la détection d'intrusion, la surveillance de cible, etc. Dans ce chapitre, nous nous attachons à décrire les bases nécessaires à la compréhension des réseaux de capteurs sans fil. L'architecture, les applications, les défis et les problématiques de ce type de réseaux sont les points abordés.

2. Le nœud capteur sans fil

Les capteurs sans fil sont des entités électroniques simples, peu coûteuses et dont la puissance est limitée en termes de calcul, de mémoire et d'énergie. Ces capteurs sans fil ont pour fonction de base, les relevés des mesures d'un phénomène physique. Malgré que ces capteurs supportent une grande diversité de plateforme matérielle, ils sont composés fondamentalement de quatre unités élémentaires [1] : une unité d'acquisition, une unité de traitement, une unité transmission et une unité d'alimentation (voir figure 1.1). Ils pourraient également avoir d'autres unités additionnelles, comme un mobilisateur pour changer leur emplacement, un système de localisation, afin d'attribuer une position géographique au capteur. La position d'un capteur peut être préenregistrée lors d'un déploiement des capteurs manuel ou bien s'identifier automatiquement en utilisant un récepteur GPS ou un mécanisme d'auto-localisation.

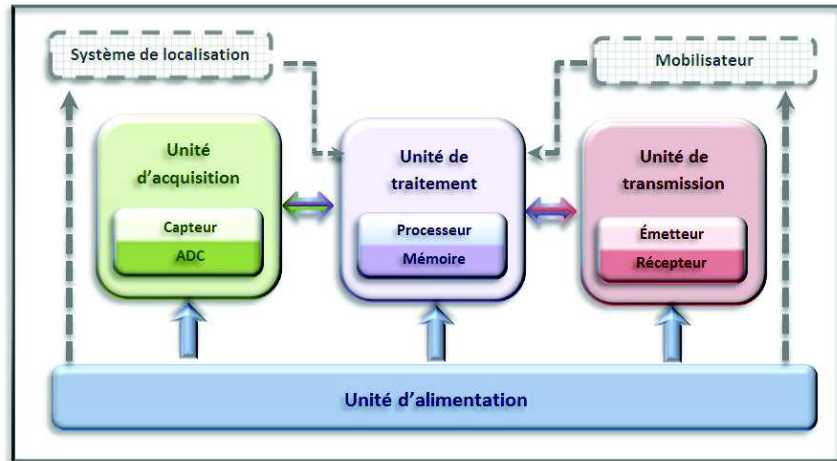


Figure 1.1 : Composants d'un capteur sans fil

2.1 Unité d'acquisition

Cette unité est composée d'un ou plusieurs capteurs qui peuvent mesurer les caractéristiques physiques de leurs environnements comme température, pression, vibrations et humidité, et un ou plusieurs convertisseurs analogiques numériques (ADC : Analog to Digital Converter) pour convertir les signaux analogiques provenant des capteurs en signaux numériques compréhensibles par l'unité de traitement.

2.2 Unité de traitement

L'unité de traitement rassemble toutes les autres unités ainsi que les périphériques supplémentaires. Son but est d'acquies les informations en prévenance du l'unité d'acquisition et de les envoyer à l'unité de transmission. L'unité de traitement prend en charge le traitement, l'exploitation et le stockage des données, sa forme courante est constituée d'un processeur associé à une petite unité de stockage. Cette dernière est dotée de deux mémoires ; une mémoire non volatile pour le stockage du programme, et une mémoire active pour stocker temporairement les données détectées [2].

2.3 Unité de transmission

Elle est responsable de toutes les émissions et réceptions des données via un support de communication radio. Cette unité permet aux capteurs, déployés dans la même zone d'intérêt, de communiquer entre eux et par conséquent former un réseau de capteur.

2.4 Unité d'alimentation

Elle est responsable de la fourniture d'énergie à toutes les autres unités. Tout capteur est muni d'une ressource énergétique, dont elle correspond souvent à une batterie de capacité finie. De ce fait, la durée de vie d'un nœud est limitée à la durée de vie de sa batterie. Dans les applications où les capteurs sont déployés dans des zones inaccessibles ou encore déployés sur un espace large, il est difficile, voir impossible, de remplacer les batteries des nœuds quand elles arrivent à épuisement [3]. Il est à noter que l'unité d'alimentation est responsable de la fourniture d'énergie aux divers modules du capteur. En outre, elle permet de contrôler l'utilisation de la batterie. Par exemple, elle réduit la consommation d'énergie en agissant sur les modules inactifs [4].

Nous notons que la consommation de l'énergie d'un capteur associé à un RCSF est répartie selon l'ordre décroissant suivant: la transmission, le traitement et le captage (voir figure 1.2).

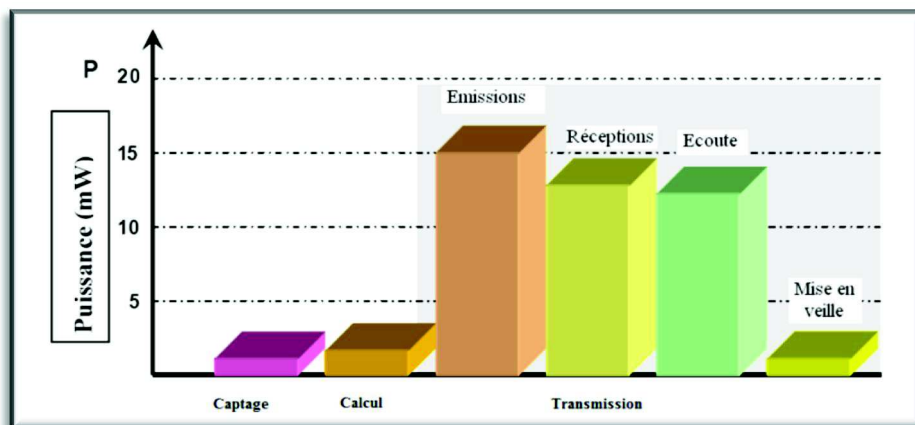


Figure 1. 2 : Consommation d'énergie par un capteur sans fil [5]

3. Les plates formes existantes

Depuis un peu plus de 15 ans, la technologie des capteurs sans fil a beaucoup évolué (voir figure 1.3). Les constructeurs s'attèlent à proposer des capteurs de plus en plus petits avec des performances en durées de vie plus importante. Aujourd'hui, le fournisseur leader sur le marché des capteurs est MEMSIC (anciennement CrossBow). Le tableau 1.1 résume certaines caractéristiques matérielles des capteurs les plus populaires conçus ces dernières années. La figure 1.3 illustre la disponibilité du matériel et la multiplicité des plateformes,

mais pour ne pas surcharger l'image elles n'ont pas été toutes présentées. Cependant, une liste exhaustive est disponible sur le site «The Sensor Network Museum» [6].

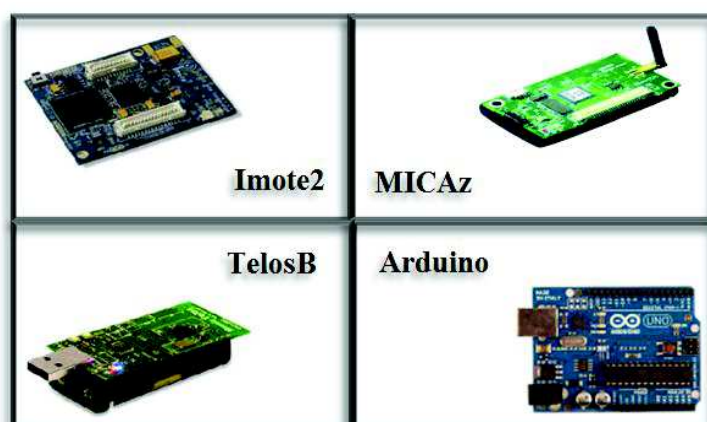


Figure 1.3 : Quelques modèles des capteurs sans fil

Plate-forme	Unité de traitement	Unité de transmission	Unité d'alimentation
Imote2	Intel PXA271 SRAM 256KB SDRAM 32MB Mémoire flash 32MB	CC2420	3.2-4.5 V
IRIS	Atmel ATmega1281 RAM 8 Ko Mémoire flash 512 Ko EEPROM 4Ko	IEEE 802.15.4	2.7-3.3 V
MICAz	Atmel ATmega128L Mémoire flash 128KB EEPROM 4KB	IEEE 802.15.4	2.7-3.3 V
TELOSB	Texas Instruments MSP430 Mémoire flash 48 KB EEPROM 16 KB RAM 10 KB	CC2420	2.1-3.6 V
Arduino Uno	ATmega328 Mémoire flash 32 KB EEPROM 1 KB SRAM 2 KB	Xbee shield 802.15.4	5 V

Tableau 1. 1 : Caractéristiques de quelques capteurs sans fil [7]

4. Architecture d'un réseau de capteurs

Un réseau de capteurs sans fil est constitué d'un ensemble de nœuds, appelés nœuds capteurs. Ces nœuds sont répartis à travers une zone géographique, appelé zone d'intérêt. Les capteurs ont la capacité de collecter des informations relativement à leurs environnement immédiat et de les acheminer via une communication sans fil avec un routage multi-sauts vers un nœud collecteur, appelé nœud puits (ou sink). Ce dernier possède plus de ressources matérielles, dont l'objectif est de constituer une passerelle qui permet l'interconnexion avec d'autres réseaux. Le nœud puits va transmettre via internet ou satellite ces informations à l'utilisateur du réseau comme le montre la figure 1.4. Ainsi, l'utilisateur peut adresser des requêtes aux autres nœuds du réseau précisant le type de données requises, puis récolter les données environnementales captées par le biais du nœud collecteur [4].

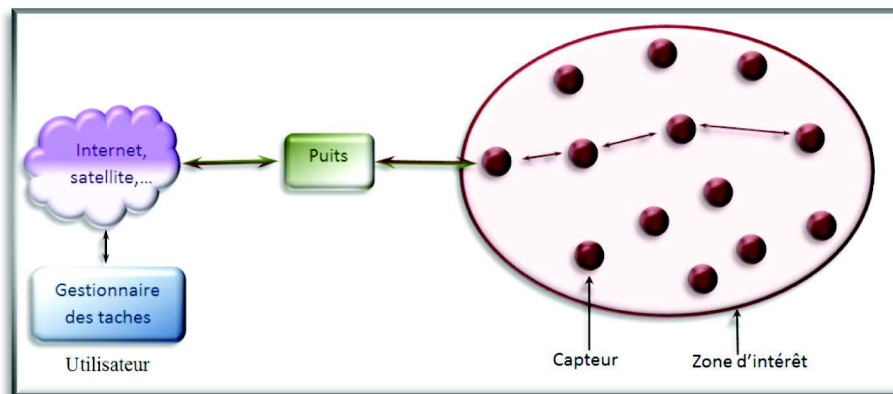


Figure 1.4 : Architecture d'un réseau de capteur sans fil

5. La communication dans les réseaux de capteurs

La communication dans les RCSF exige des protocoles et des technologies qui prennent en compte des spécificités qui répondent aux exigences de ces réseaux.

5.1. Technologie de communications sans fil

Les technologies bon marché de communication sans fil les plus exploitées actuellement dans les réseaux de capteurs sans fil et capables de répondre à ces besoins, sont Bluetooth et ZigBee:

5.1.1. Bluetooth

Bluetooth [8] est une technologie de communication sans fil utilisant l'onde radio à courte distance destinée à simplifier les connexions entre les appareils électroniques. Cette technologie, normalisée par l'IEEE sous la référence IEEE 802.15.1 [9], a un prix attractif grâce à son faible coût de production. Malheureusement, l'inconvénient majeur est la consommation d'énergie. En outre, elle ne permet pas de connecter plus de 80 nœuds [10]. Par conséquent, la technologie Bluetooth ne peut pas être utilisée dans les réseaux RCSFs denses.

5.1.2. ZigBee

ZigBee [9], basée sur le standard IEEE 802.15.4 [11] est adaptée aux réseaux personnels sans fil (WPAN : Wireless Personal Area Network). Cette technologie est caractérisée par sa faible complexité, faible coût, faible consommation d'énergie. Ces caractéristiques répondent aux besoins des réseaux de capteurs qui ont des ressources limitées.

5.2 Architecture protocolaire dans les RCSF

Les nœuds capteurs, comme tout autre composant de télécommunication, adhèrent à une architecture protocolaire spécifique. Afin d'améliorer la robustesse du réseau, une pile protocolaire en couches est utilisée par le puits et tous les nœuds capteurs du réseau. Comme le montre la figure 1.5, la pile protocolaire est constituée de cinq couches: une couche d'application, une couche de transport, une couche réseau, une couche de liaison de données et une couche physique, et de trois plans de gestion: un plan de gestion d'énergie, un plan de gestion de mobilité et un plan de gestion de tâches [1].

5.2.1. Plans de gestion

Les différents plans de gestion intégrés dans la pile protocolaire sont :

- **Plan de gestion d'énergie:** sert à contrôler la consommation d'énergie d'un nœud. Par exemple, si le niveau d'énergie d'un nœud devient bas, et afin de prolonger la durée de vie du réseau, ce nœud diffuse à ses voisins une alerte les informant qu'il ne peut pas participer au routage [2] et il réserve son énergie résiduelle pour le captage.

- **plan de gestion de mobilité** : capable de détecter et enregistrer le mouvement du nœud capteur afin de l'aider à se localiser. Ainsi, ce plan de gestion permet au nœud capteur de maintenir toujours une route vers l'utilisateur, et garder la trace de ses nœuds voisins. En déterminant leurs voisins, les nœuds capteurs peuvent équilibrer l'exécution des tâches et la consommation d'énergie.
- **Plan de gestion de tâches** : Il équilibre et ordonnance des tâches sur les différents nœuds du réseau. En effet, effectuer la tâche du captage avec le même rythme par tous les nœuds déployés dans la même région spécifique n'est pas obligatoire, il est plus efficace si certains nœuds exécutent cette tâche plus que d'autres selon leurs niveaux de batteries, de sorte que la durée de vie du réseau peut être prolongée.

5.2.2 Couches de la pile protocolaire

La pile protocolaire (voir figure 1.5) est composée de:

- **Couche application** : suivant les tâches de détection des capteurs, de nombreuses applications peuvent être développées sur la couche application. Ces applications doivent fournir des mécanismes permettant à l'utilisateur d'interagir avec les réseaux de capteur à travers différentes interfaces.
- **Couche transport** : elle est généralement présente pour constituer une interface entre la couche application et la couche réseau. Cette couche est chargée du transport des données, elle vérifie le bon acheminement des données et la qualité de la transmission.
- **Couche réseau** : elle est chargée de router les données fournis par la couche transport. Afin d'établir les routes entre les nœuds capteurs et le puits, différents protocoles de routage sont conçus pour sélectionner le meilleur chemin en terme d'énergie, de débit, de délai de transmission, etc. Parmi ces protocoles, nous citons: LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) [12] et SAR (Sequential Assignment Routing) [13].
- **Couche liaison de données** : elle permet d'interfacer les couches physiques et réseau. Cette couche assure la fiabilité de la communication en utilisant les techniques de contrôle d'erreur de transmission et aussi les méthodes de contrôle d'accès au médium (MAC).

Par exemple, le protocole MAC doit tenir en compte la consommation d'énergie et il doit être en mesure de réduire au minimum toute source de perte d'énergie lors d'une collision par exemple [14].

- **Couche physique** : elle est responsable de la sélection de la fréquence de modulation/démodulation, de la génération de la fréquence porteuse et du cryptage/décryptage.

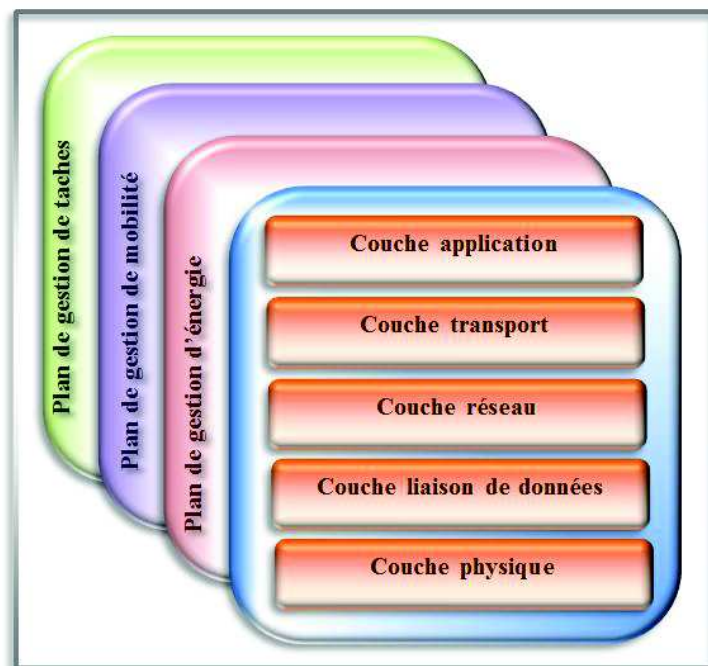


Figure 1.5: La pile protocolaire des réseaux de capteurs

6. Domaines d'application

Aujourd'hui, les réseaux de capteurs couvrent une large palette d'applications. En effet, la réduction importante de la taille des capteurs, leur coût de plus en plus faible et le support de communication sans fil utilisé, ainsi que l'étendue du type de capteurs disponibles (thermique, optique, vibration, etc), permettent aux réseaux de capteurs d'envahir de très nombreux domaines d'application. Les principaux domaines d'application sont les suivants:

6.1 Domaine militaire

Les caractéristiques telles que le faible coût, l'auto-organisation, la sécurité et la tolérance aux pannes font que ce type de réseaux est très adapté pour les applications militaires. Dans ce contexte, les réseaux de capteurs sans fil peuvent être utilisés pour: la surveillance de zone d'intérêt [15], l'évaluation des pertes et dommages post-bataille ou encore la détection d'arme nucléaire, biologique ou chimique [16]. Un exemple intéressant est l'auto-guérisant de DARPA [17], un réseau de capteur est déployé sur les mines antichars afin de répondre aux attaques. Un autre exemple d'un projet militaire a été monté par UC Berkeley [18] afin de suivre et tracer le chemin des véhicules militaires (voir figure 1.6).

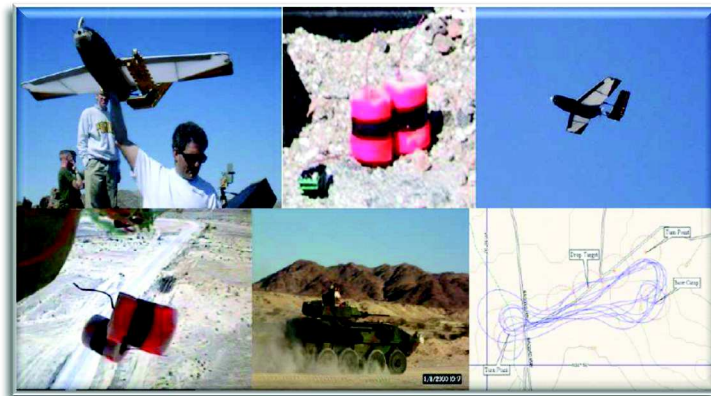


Figure 1.6: Tracé du chemin d'un véhicule militaire [19]

6.2 Domaine environnemental

L'environnement constitue un axe important pour le devenir des hommes. L'observer, le comprendre, le connaître a toujours été un but fondamental pour les hommes et pour la science. La petite taille des capteurs, leur autonomie, ainsi que leur capacité de calcul et de communication, leur a permis d'être utilisés pour surveiller les changements environnementaux surtout pour les zones difficilement accessibles et hostiles pour l'homme. Un déploiement approprié des capteurs nous permet non seulement de collecter précisément des paramètres environnementaux, mais aussi de faciliter la surveillance de zone d'intérêt et peut servir de système d'alerte pour les feux de forêt, les inondations, la détection de polluants dans l'atmosphère et dans les milieux marins et bien d'autres applications [7]. Il existe différents projets des réseaux de capteurs déployés pour les applications environnementales,

Futurevolc [20] est l'un de ces projet, dont le but est d'améliorer la prévision des éruptions volcaniques, (voir figure 1.7), d'où les chercheurs ont installé dans les régions d'Islande des détecteurs de gaz volcaniques, des capteurs à infrasons, des caméras à haute résolution, des sismomètres et des capteurs de détection des mouvements du sol.



Figure 1.7: Participant au projet FUTUREVOLC prend des mesures de gaz [20]

6.3 Domaine médical

L'augmentation des coûts de santé et l'augmentation de l'espérance de vie dans les pays développés conduit à innover dans le domaine médicale. Une de ces innovations consiste à assurer une surveillance permanente des constantes vitales d'un patient au moyen de capteurs connectés en WBSN (Wireless Body Area Network), et même alerter les services d'urgence médicale de la présence d'un patient en état critique. Dans ce type d'application, les capteurs peuvent être intégrés sur et/ou à l'intérieur d'un corps humain pour mesurer des paramètres physiologiques, comme la tension partielle et les battements du cœur. Il faut ajouter qu'à l'aide des capteurs, les comportements anormaux des personnes dépendantes tels que des chutes [21], stress [22] peuvent être détectés.

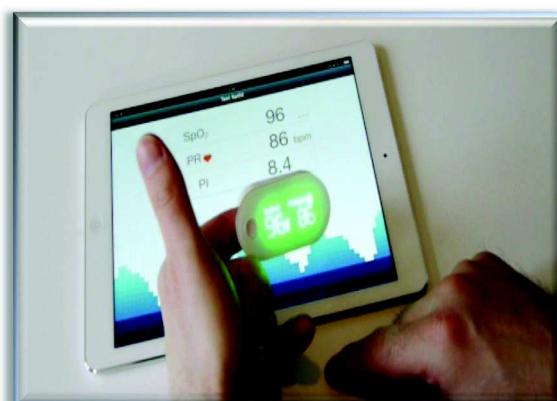
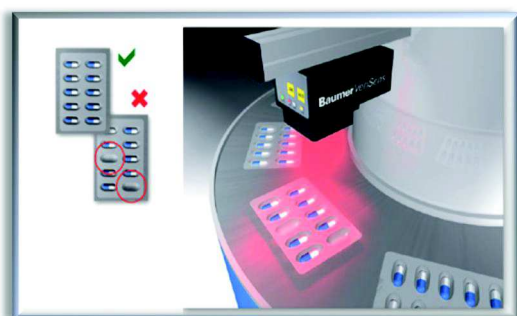


Figure 1.8: Test de l'oxymètre de la marque iHealth, battements du cœur et oxygène dans le sang s'affichent sur iPad [23]

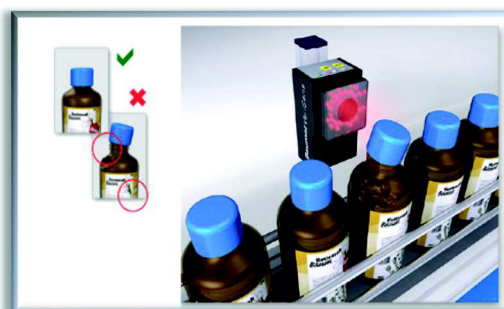
L'oxymètre d'iHealth [23], Il s'agit d'un appareil doté de trois fonctions permettant d'évaluer le taux d'oxygène dans le sang, les battements de cœur et l'indice de perfusion. Pour prendre une mesure, il suffit de glisser le doigt (ongle en bas) à l'intérieur de cet appareil qui ressemble à une pince (capteur). Les résultats qui apparaissent sur l'écran de l'oxymètre apparaissent en même temps sur l'écran de l'iPad (voir figure 1.8).

6.4 Domaine industriel

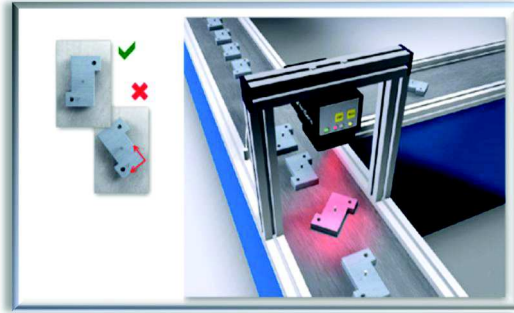
Les réseaux de capteurs sans fil permettent aujourd'hui d'automatiser certaines tâches telles que la gestion d'inventaire [24], le contrôle de qualité de production [25], le suivi de la chaîne de production [26]. La figure 1.9 illustre un exemple d'application industrielle utilisant les capteurs de vision VeriSens [27]. Ces capteurs proposent de vastes fonctions pour une multitude d'applications de vision dans l'automatisation tels que le contrôle de conformité (figure 1.9(a)), le Contrôle de présence (figure 1.9 (b)) et le contrôle de position et d'orientation (figure 1.9 (c)).



(a)



(b)



(c)

Figure 1.9 : Contrôle de Production en Usine: (a) Contrôle de pièce dans l'industrie de la manutention, (b) Contrôle de fermeture et inspection d'étiquettes dans l'industrie de l'emballage, (c) Contrôle de l'orientation d'objets en défilement [27]

6.5 Domaine domotique

Nous imaginons très bien les maisons du future dites intelligentes où une véritable interaction avec des capteurs embarqués permettra aux utilisateurs de contrôler localement ou à distance des appareils domestiques [28] et de consulter les informations concernant son domicile. Ces maisons intelligentes apportent aux utilisateurs un confort plus élevé en assurant une vie plus simple et écologique (voir figure 1.10) où elle permet d'automatiser plusieurs opérations domestiques tels que l'ajustement de température pour la climatisation et le chauffage selon les points multiples de mesure, le déclenchement d'une alarme par le capteur anti-intrusion quand un intrus veut accéder à la maison [10].

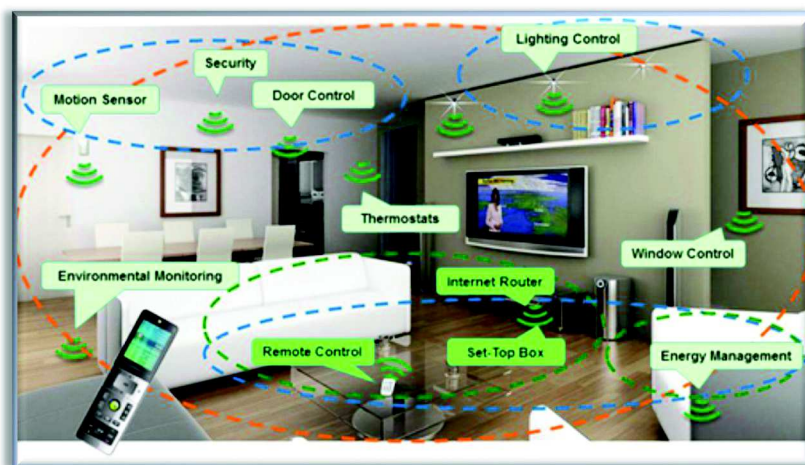


Figure 1.10: Quelques exemples d'offres des maisons intelligentes [29]

7. Les défis et problématique des réseaux de capteurs

Les réseaux de capteurs ont des caractéristiques spécifiques qui les rendent différents des autres réseaux sans fil traditionnels. Ces caractéristiques se résument en l'absence d'une infrastructure fixe, l'auto-organisation grâce à la collaboration entre les nœuds, le changement de la topologie et la limitation des ressources telles que l'énergie, la puissance de calcul, la bande passante et l'espace mémoire. En raison de ces caractéristiques, nous discutons dans la suite quelques défis et problématique des réseaux de capteurs sans fil.

7.1 Efficacité énergétique

La consommation d'énergie est considérée comme une des problématiques majeures dans les réseaux de capteurs. Les capteurs sans fil sont souvent équipés d'une batterie (piles) avec une réserve énergétique limitée. Aussi, la maintenance manuelle de ces nœuds est souvent très coûteuse et il est quasiment impossible de localiser un nœud dont la batterie est épuisée compte tenu des applications visées telle que la surveillance de zones militaires des ennemies. Il est nécessaire que les capteurs économisent au maximum l'énergie afin de pouvoir fonctionner plus longtemps [14]. Pour cette raison, la plupart des protocoles dans les RCSF sont conçus en fixant l'efficacité énergétique comme objectif principale, par agrégation des données au niveau des nœuds intermédiaires afin de réduire la consommation d'énergie lors de la transmission des données [30], sachant que la plupart de l'énergie est consommée pendant la communication sans fil.

7.2 Tolérance aux pannes

Les nœuds capteurs sans fil sont des dispositifs électroniques souvent très exposés aux pannes. Les pannes des nœuds peuvent être dues à leur conception (défaut de fabrication), ou aux interactions externes (un glissement de terre peut le détruire, enterrer et déplacer des nœuds déployés, ou plus fréquemment à une dissipation complète de la réserve d'énergie). Afin que la panne d'un capteur n'affecte pas le fonctionnement global d'un réseau, il est nécessaire d'instaurer des mécanismes et des protocoles qui permettent de garantir le bon fonctionnement du réseau et assurer la continuité du service [31].

7.3 Passage à l'échelle

Les réseaux de capteurs varient de plusieurs nœuds à plusieurs centaines de milliers. Pour certaines applications, un capteur peut posséder plusieurs centaines de voisins à sa portée de transmission. Afin de garantir le bon fonctionnement des réseaux, telle que la collecte des données à haute résolution, les protocoles dédiés pour ce type de réseaux doivent être capables de traiter un grand nombre d'évènements sans être saturés. Par exemple, le routage géographique est une technique qui permet de résoudre les problèmes de passage à l'échelle dans les réseaux de capteurs sans fil. Ce type de routage n'a pas besoin de connaître la topologie complète du réseau, ni de maintenir des tables de routage compliquées. Il est basé seulement sur les positions géographiques des nœuds dans le réseau afin de prendre les décisions de routage [32]. Nous citons quelques protocoles basés sur les positions des capteurs tels que Geographic Adaptive Fidelity (GAF) [33], GEAR (Geographic and Energy Aware Routing) [34], GOAFR (The Greedy Other Adaptive Face Routing) [35], SPAN [36].

7.4 Sécurité

Les réseaux de capteurs sans fil peuvent être déployés dans des environnements ouverts et accessibles présentant des risques d'attaques physiques comme le champ de bataille. A cause du support de communication sans fil, les attaquants peuvent espionner les communications et même modifier, rejouer et reproduire des messages. Par conséquent, il est impérativement nécessaire d'intégrer des mécanismes de sécurité dans ces réseaux vulnérables [37].

7.5 Localisation

Dans bon nombre d'applications des réseaux de capteurs, les nœuds capteurs sont souvent déployés aléatoirement. La majorité de ces applications exigent la connaissance de la position physique des capteurs pour pouvoir localiser les évènements détectés. Sans connaître leurs positions, ces applications n'auraient aucun sens. Pour ces raisons, la localisation des capteurs est un parmi les principaux problèmes dans ce type de réseaux et de nombreuses solutions ont été proposées pour le résoudre. Ces solutions sont soit imprécises, soit coûteuses en énergie [38].

8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit ce qu'est un réseau de capteurs sans fil, les composants d'un capteur sans fil et ses fonctionnalités, les technologies de communications utilisées et les différentes applications dans les RCSFs. Nous avons aussi présenté par la suite quelques défis et problématiques liés à la conception de ce type de réseaux. La pierre angulaire de notre thèse est l'étude de la localisation, un des défis majeurs dans les réseaux de capteurs sans fil. Ceci est dû principalement aux contraintes intrinsèques de ces réseaux qui font de la conception des méthodes de localisation une tâche délicate.

Dans le chapitre suivant, nous présenterons les systèmes de localisation dédiés aux réseaux de capteurs sans fil.

CHAPITRE 2

Fondements De Base Sur La Localisation Dans Les Réseaux De Capteurs Sans Fil

Sommaire

1. Introduction
2. Les systèmes de localisation dans les RCSFs
3. L'auto-localisation dans les RCSFs
4. Estimations de distance/angle
5. Dérivation des positions
6. Algorithme de localisation
7. Les Critères importants pour l'évaluation des performances d'un système de localisation dans les RCSF
8. Conclusion

1. Introduction

La localisation dans les réseaux de capteurs est devenue un service essentiel, non seulement pour trouver le lieu d'un évènement détecté par un capteur mais aussi pour d'autres aspects tels que l'identification des données (par exemple: la région d'où viennent ces données, peut-être identifiée), et le routage géographique dans les réseaux à grande échelle.

Il y a autant de manières de réaliser un service de localisation que d'applications la nécessitant. Dans ce chapitre, nous présentons les principaux systèmes de localisation dans les réseaux de capteurs, à savoir les systèmes de localisation par satellites et les systèmes d'auto-localisation. Nous nous intéressons à l'auto-localisation et en particulier aux éléments du processus de ce système. Nous présentons les principales techniques de mesures, les méthodes de dérivations de position et les différentes catégories des algorithmes d'auto-localisation. Enfin, nous concluons par une discussion sur les critères importants pour l'évaluation des performances d'un système de localisation dans les RCSFs.

2. Les systèmes de localisation dans les RCSFs

Un système de localisation permet de déterminer l'emplacement d'objets ou de personnes dans un espace. Nous distinguons deux types de système de localisations pouvant être utilisés pour les RCSFs: les systèmes de localisation par satellites et les systèmes d'auto-localisation.

2.1. Les systèmes de localisation par satellite

Vue l'importance grandissante des systèmes de localisation par satellites, plusieurs systèmes existent ou sont en cours de développement. Parmi lesquels nous citons:

- **Le système NAVstar GPS (Global Positioning System)** : il est le premier système de radionavigation par satellites. Il repose sur une constellation d'une trentaine de satellites opérationnels depuis les années 1980. Ce système a été conçu, développé et mis en place par le département de la défense des états unis, et a d'abord servi à des fins militaires [39]. C'est à la fin de l'année 1993 que le GPS est devenu accessible aux utilisateurs civils.

- **Le système GLONAS** (GLobal Navigation Satellite System) : il est géré par le ministère de défense de fédération de Russie. Ce système de navigation spatial analogue au système GPS, où les deux systèmes ont le même nombre de satellites et des orbites similaires, ce qui permet de déterminer les coordonnées et la vitesse de déplacement des objets sur terre, en mer et dans l'air avec une précision d'un mètre [40]. Le système GLONAS est devenu complètement opérationnel en 1993 et il a été ouvert en mars 1995 aux utilisateurs civils sur le long terme [41].
- **Le système chinois BEIDOU** : c'est un système de navigation et de positionnement par satellites chinois en cours de déploiement. La première version du système BEIDOU (baptisé BEIDOU-1) a été déclarée opérationnelle en 2003. Ce système n'a qu'une couverture régionale et cela lui permettait de déterminer sa position uniquement en chine et dans les régions avoisinantes. Afin d'obtenir une couverture mondiale, une deuxième version du système semblable au système GPS, connue sous le nom BEIDOU-2, annoncée en 2006 doit assurer une couverture mondiale d'ici 2020 [42].
- **Le système GALILIO**: c'est un système de positionnement par satellites, un projet mené conjointement par l'union européenne et l'agence spatiale européenne (ESA Europea Space Agency). Ce système est destiné à supprimer la dépendance de l'Europe vis-à-vis du système GPS exploité par les états unis. Le système GALILIO n'est pas fondamentalement différent du GPS, il utilise une constellation de trente satellites [43]. Le déploiement du système était initialement prévu pour se terminer d'ici 2019-2020.

Tous ces systèmes ont le même principe de localisation par trilatération. Les satellites en orbite émettent en permanence des signaux radio en direction de la terre. Pour estimer la position d'un objet ou d'une personne, il doit posséder un équipement permettant la reconnaissance des signaux émis par les satellites (un récepteur GPS par exemple). Le récepteur peut mesurer le temps de propagation du signal. Donc, la méthode utilisée pour estimer la distance qui sépare un satellite particulier et un récepteur est le temps d'arrivée du signal [44]. En deux dimensions, il faut au minimum trois satellites visibles pour qu'une position (longitude et latitude) soit déterminée (voir figure 2.1). Pour effectuer une trilatération, l'intersection de trois cercles dont les centres sont les positions des satellites et les rayons sont les distances déduites entre le récepteur et les satellites, correspond à la position estimée du récepteur (voir figure 2.1). En trois dimensions, il est nécessaire de mesurer une distance supplémentaire, un quatrième satellite est utile pour déterminer

l'altitude. Dans ce cas, les cercles sont remplacés par des sphères dont le point d'intersection correspond à la position du récepteur.

Le système GPS est le système de localisation par satellites le plus connu et utilisé à travers le monde. Son principal avantage est la grande précision des positions obtenues [21]. Aujourd'hui, le système GPS est utilisé pour des dizaines d'applications de navigation, la recherche d'itinéraires pour les conducteurs, la cartographie, les études climatiques, la recherche de zones de tremblements de terre, etc. Toutefois, un système de localisation par satellite possède quelques faiblesses et inconvénients, parmi lesquels nous citons la consommation énergétique importante, considérée comme le problème majeur de cette technologie, l'utilisation est réservée à l'extérieur, ces systèmes peuvent également être obstrués par de grands immeubles ou d'autres obstacles environnementaux.

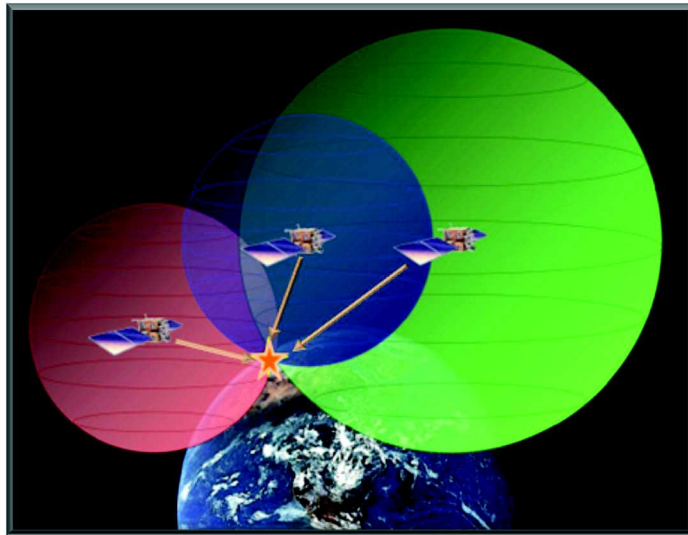


Figure 2.1: Principe des méthodes de localisation par satellite (en 2D) [45]

2.2. Système d'auto-localisation

La simple solution de localisation est l'utilisation du GPS. Cette technique n'est pas applicable à l'ensemble des capteurs d'un RCSF, car elle est bien trop coûteuse des points de vue financier et énergétique [4]. Une bonne alternative au système de localisation par GPS, est le système d'auto-localisation. Dans ce cas, les nœuds capteurs doivent eux-mêmes, déterminer leurs positions respectives, à travers des techniques de coopération entre eux.

3. L'auto-localisation dans les RCSFs

La localisation des capteurs est l'un des plus importants services. Elle consiste à déterminer la position physique pour chaque nœud capteur.

3.1. Quelques définitions

Dans un système d'auto-localisation, certains termes peuvent être utilisés pour désigner l'état d'un nœud capteur:

Nœuds inconnus: ce terme désigne les nœuds du réseau qui ne connaissent pas leur information de localisation. Permettre à ces nœuds d'estimer leurs positions est l'objectif principal d'un système d'auto-localisation.

Nœuds Localisables: Ces nœuds étaient initialement des nœuds inconnus qui ont réussi à estimer leurs positions en utilisant le système d'auto-localisation. Le nombre de nœuds localisables et l'erreur de position estimée de ces nœuds sont les principaux paramètres de détermination de la qualité d'un système d'auto-localisation.

Nœuds ancrés: Ce sont les nœuds qui ne nécessitent pas un système d'auto-localisation afin d'estimer leurs positions physiques. Leur localisation est obtenue par placement manuel ou moyens externes tels que le GPS. Ces nœuds forment la base de la plupart des systèmes de localisation pour les réseaux de capteurs.

Le problème de la localisation peut alors être défini comme la transformation des nœuds inconnus en nœuds localisables.

3.2. Les composants d'un système d'auto-localisation

Les systèmes d'auto-localisation comportent trois composants distincts [46]:

3.2.1. L'estimation de distance/angle: ce procédé est fortement dépendant du matériel de communication utilisé, en d'autre terme, en collectant différents indicateurs de la qualité des communications radio, afin d'évaluer les informations sur les distances et/ou angles entre deux nœuds. Cette information est utilisée par les autres composants du système d'auto-localisation. Le problème d'estimation des distances sera étudié en détail dans la suite.

3.2.2. Dérivation de position : Ce composant est responsable du calcul de la position d'un nœud. Il utilise les informations liées aux distances / angles et aux positions des ancres afin de dériver les positions.

3.2.3. Algorithme de localisation: est le composant principal d'un système d'auto-localisation. Il définit la manière avec laquelle les informations disponibles sont manipulées. La figure 2.2 illustre les trois composants d'un système d'auto-localisation. Comme nous le verrons, le rendement final d'un système d'auto-localisation dépend directement de chacun de ces composants. Dans ce qui suit, nous étudierons et analyserons chaque composant séparément.

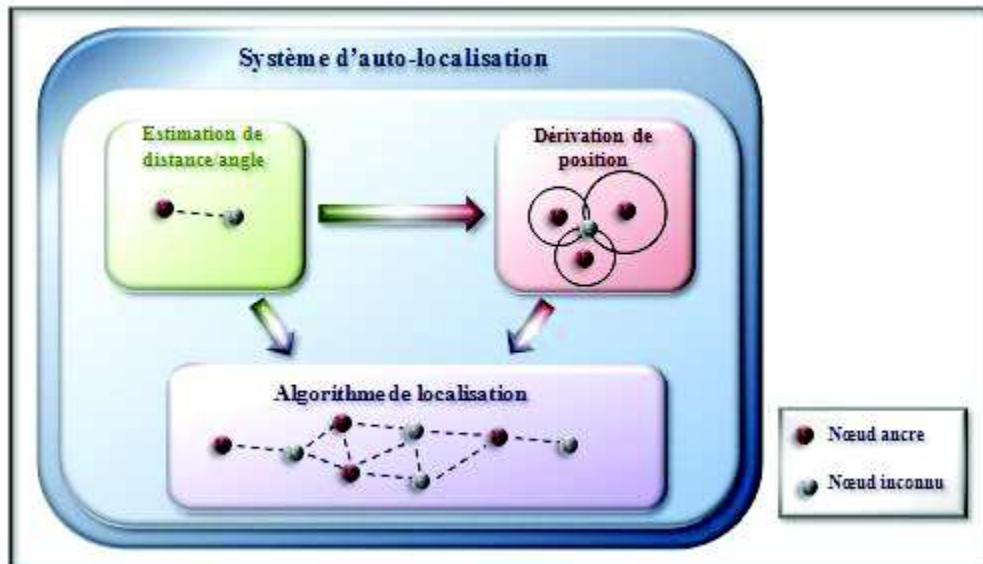


Figure 2.2: Composition d'un système d'auto-localisation

4. Estimations de distance/angle

Cette mesure consiste à estimer la distance/angle entre deux nœuds voisins. Cette estimation est très importante, car elle est utilisée pour le calcul de la position. Plusieurs techniques sont développées pour les estimations des distances/angles entre les nœuds voisins. Dans les paragraphes qui suivent, nous étudierons les principales méthodes utilisées. Parmi lesquelles nous trouvons: la technique de la force du signal reçu «RSSI: Received Signal Strength Indication », la technique de la différence entre les temps d'arrivée de deux signaux «TDoA: Time Différence of Arrival», la technique de parcours d'un signal «ToA: Time of

Arrival », la technique d'angle d'arrivée du signal «AoA: Angle of Arrival» et la technique d'estimation de la distance par le nombre de sauts.

4.1. Indicateur de puissance du signal reçu – RSSI

La technologie RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) [47], considère la perte de puissance d'un signal entre son émission et sa réception pour estimer la distance entre un capteur émetteur et un capteur récepteur. Cette perte varie en fonction de la distance entre les deux capteurs: Plus les capteurs sont éloignés (resp. proches), plus la perte est importante (resp. faible). Cette perte sera alors traduite en une distance. Plusieurs modèles de propagation ont été proposés pour décrire cette relation. Le model de propagation de l'équation Friis (équation 2.1), est souvent utilisé pour prédire le niveau de puissance reçue P_r à une certaine distance D (de l'émetteur au récepteur) connaissant la puissance émise P_t . Le milieu traversé est caractérisé par les pertes L . Ces pertes sont liées à la fréquence du signal dont la longueur d'onde λ intervient dans la formule. Finalement, les gains des antennes d'émission et de réception utilisées, G_t et G_r , entrent en ligne de compte [48].

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t \times G_r \times \frac{1}{L} \times \left(\frac{\lambda}{4\pi D}\right)^2 \quad (2.1)$$

La technologie RSSI est caractérisée par son faible coût, car chaque capteur est équipé par un dispositif de communication sans fil, qui lui permet d'estimer l'intensité du signal reçu. Cependant, cette technologie est très sensible au bruit, interférences et aux obstacles, qui se traduisent par une augmentation des inexactitudes des distances estimées.

4.2. Le temps d'arrivé – TOA

La technologie (*Time of Arrival*) [49] exploite la relation entre la vitesse, la distance parcourue et la durée du parcours. Cette technique est également utilisée par le système GPS. La vitesse de propagation du signal dans l'air étant connue, il suffit d'appliquer la formule (équation 2.2) pour obtenir la distance.

$$distance = vitesse \times temps \quad (2.2)$$

Dans un réseau, l'échange de messages entre les équipements est un moyen d'estimation du temps de parcours. Dans le cas d'un réseau synchronisé, si un signal a été envoyé à l'instant t_1 et il a atteint le nœud récepteur à l'instant t_2 , la distance entre l'émetteur et le récepteur peut être estimé (équation 2.3) :

$$d = v_r \times (t_2 - t_1) \quad (2.3)$$

Où v_r est la vitesse de propagation du signal radio (vitesse de la lumière), et t_1 et t_2 sont les instants où le signal a été envoyé et reçu, respectivement (voir figure 2.3).

La technique ToA nécessite la synchronisation parfaite entre les nœuds capteurs. Dans le cas où les nœuds ne sont pas synchrones, l'envoi d'un message aller-retour est nécessaire. De plus, l'instant auquel le signal quitte le nœud doit être indiqué dans le paquet envoyé.

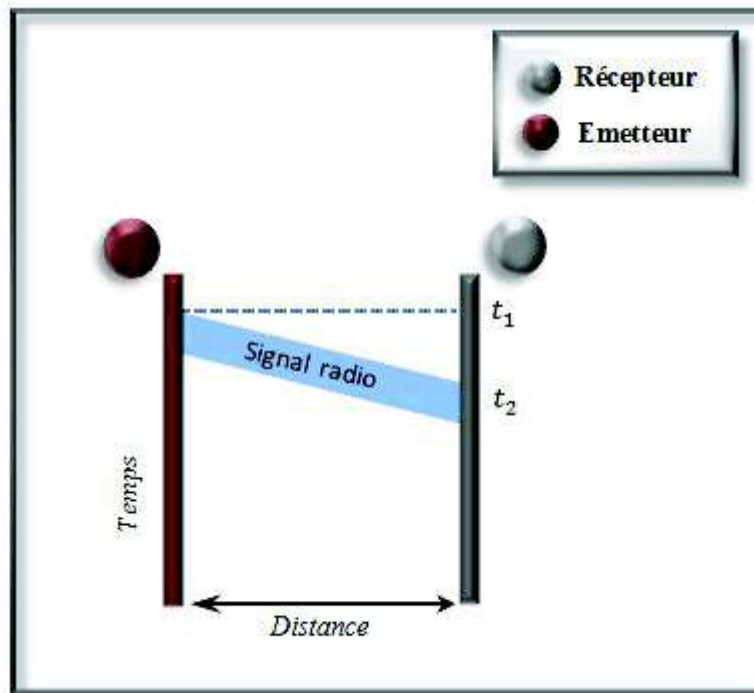


Figure 2.3: Calcul de la distance à partir du temps d'arrivé d'un signal

4.3. La différence du temps d'arrivé – TDoA

La technique TDoA (*Time Difference of Arrival*), se base sur la différence des instants auxquels de multiples signaux provenant d'un seul nœud sont arrivés à un autre nœud. Cette technologie n'est pas basée seulement sur le signal radio, elle requiert d'autres matériels. Généralement, chaque capteur doit être équipé de dispositifs capables d'envoyer deux types de

signaux simultanément. Ces signaux doivent avoir des vitesses de propagation différentes, comme les signaux radio /ultrasons [50] ou radio /sonores [51].

Un exemple de la technique TDoA est utilisé dans le travail [52] représenté dans la figure 2.4, où un signal ultrasonore est envoyé simultanément avec un signal radio. Dans ce cas, les nœuds calculent la différence entre les temps d'arrivée des deux signaux. La distance peut alors être calculée suivant l'équation 2.4:

$$d = (v_r - v_s) \times (t_2 - t_1) \quad (2.4)$$

Où v_r et v_s sont les vitesses de propagation des signaux radio et ultrasons, et t_1 et t_2 sont les temps d'arrivées des signaux radio et ultrasons, respectivement.

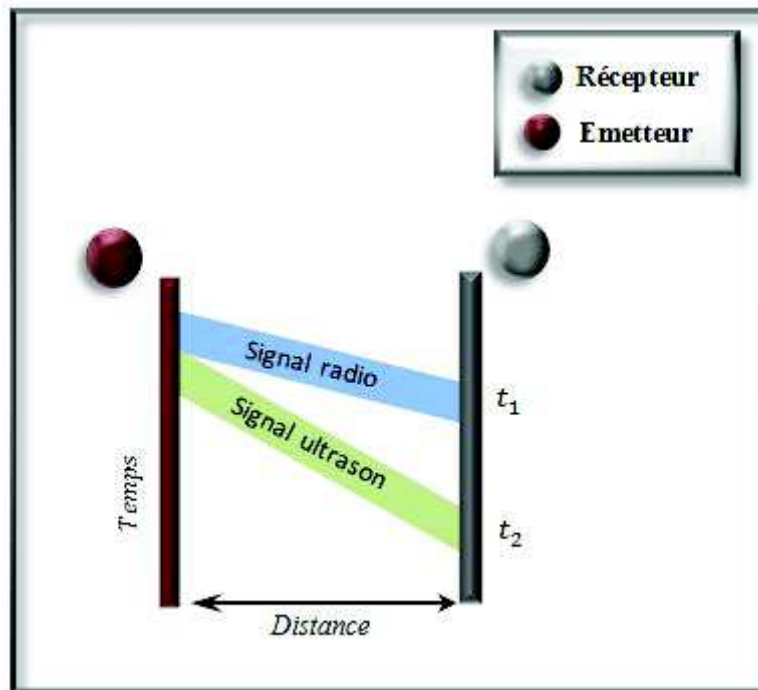


Figure 2.4: Calcul de la distance à partir des temps d'arrivées de deux signaux

La techniques TDoA mène généralement à des mesures précises. Cependant, l'inconvénient majeur de cette méthode est qu'elle nécessite un matériel supplémentaire pour envoyer le deuxième signal (sonore ou ultrason), ce qui augmente le coût du nœud capteur. En outre, la portée de communication de ce deuxième signal est limitée. Normalement, la portée est comprise entre 3 et 10 mètres avec des émetteurs plus puissants [46].

4.4. L'angle d'arrivée – AoA

La méthode AoA (*Angle of Arrival*) permet de mesurer l'angle d'incidence d'un signal à la place des distances. Chaque capteur doit être équipé soit par un ensemble de petites antennes ou plusieurs récepteurs à ultrason, généralement trois ou plus, et qui sont uniformément séparés. En analysant la phase [53] ou la différence entre les temps d'arrivée du signal à différentes antennes [54], il est possible de déduire l'angle d'arrivée de ce signal. Toutefois, la technique la plus utilisée pour l'estimation de l'angle d'incidence repose sur l'utilisation d'un réseau d'antennes linéaire et uniforme (voir figure 2.5). Sous l'hypothèse de propagation plane (champ lointain), deux éléments adjacents du réseau reçoivent l'onde avec un retard de phase donné suivant l'équation 2.5 [55] :

$$\Delta\Phi = 2\pi \frac{d \sin\alpha}{\lambda} \quad (2.5)$$

Où d est l'espacement inter-éléments du réseau qui comporte N_a éléments, et λ la longueur d'onde.

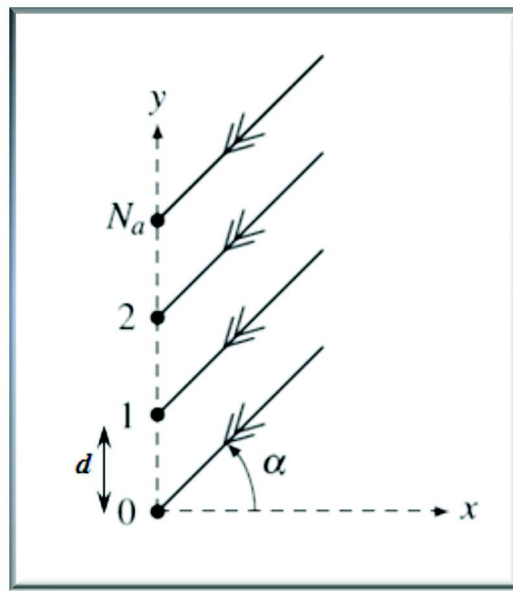


Figure 2.5: L'angle d'arrivée du signal [53]

La méthode AoA peut conduire à une précision de l'ordre de quelques degrés [50]. Malheureusement, elle exige plus de matériels liés à la récupération de l'angle d'arrivée, ce qui rend cette méthode difficile à exploiter dans le contexte d'un réseau de capteurs. De plus,

cette information est très sensible au multi trajets et ne convient qu'à des situations en espace ouvert [48].

4.5. Nombre de sauts

Cette méthode est basée sur l'utilisation d'information de connectivité pour l'estimation de la distance. Si un capteur peut communiquer directement avec ses voisins, alors la distance entre ce capteur et ses voisins est inférieure au rayon de communication (R) avec forte probabilité. Par conséquent, il détermine le nombre de sauts qui le sépare des autres nœuds (seul le plus petit nombre de sauts est considéré). Donc, la distance entre deux nœuds S_i et S_j doit vérifier la condition suivante (équation 2.6):

$$0 < d_{i,j} < R \cdot h_{i,j} \quad (2.6)$$

Où : $h_{i,j}$ est le nombre minimale de sauts entre les deux nœuds S_i et S_j

$d_{i,j}$ est la distance minimale de sauts entre les deux nœuds S_i et S_j

En connaissant le nombre des voisins, la distance couverte par un saut peut être estimée (d_{saut}), selon [4]. Dans ce cas, La distance entre les deux nœuds S_i et S_j devient (équation 2.7) :

$$d_{i,j} \approx d_{saut} \times h_{i,j} \quad (2.7)$$

Dans cette méthode, la mesure de distance est obtenue en multipliant d_{saut} avec le nombre de sauts, cela implique une imprécision qui peut être trop élevée pour certaines applications. De plus, l'existence d'obstacle empêche les nœuds de communiquer directement même s'ils sont proches. De ce fait, le nombre de sauts peut être sensiblement trop élevé.

5. Dérivation des positions

La dérivation des positions consiste à calculer les positions des capteurs. Chaque algorithme de localisation utilise une méthode de calcul qui dépend des informations disponibles, telles que les distances/ angles entre les nœuds et les positions des ancres. Parmi les méthodes de déviation des positions des capteurs les plus utilisées, nous citons: la

trilatération et la multilatération, la triangulation, les approches probabilistes et la boîte englobante. Ces méthodes seront détaillées par la suite.

5.1. Trilatération et multilatération

Elle est la méthode la plus simple pour déterminer les positions des capteurs. Elle est fondée sur le même principe du système GPS, où le nœud inconnu a besoin de connaître les positions de trois ancres ainsi que les distances qui le séparent de ces trois ancres. La distance peut être estimée en utilisant l'une des méthodes décrite dans la section précédente « Estimation de distances/ angles ». La position estimée d'un nœud correspond au point d'intersection des trois cercles (voir figure 2.6(a)). Ces cercles peuvent être représentés par la formule suivante (équation 2.8):

$$(\hat{x} - x_i)^2 + (\hat{y} - y_i)^2 = d_i^2 \quad (2.8)$$

(\hat{x}, \hat{y}) : La position estimée d'un nœud inconnu

(x_i, y_i) : La position du $i^{\text{ème}}$ ancre

d_i : La distance entre le nœud inconnu et le $i^{\text{ème}}$ ancre

Nous avons un système de trois équations à deux inconnues. La solution de ce système correspond à la position estimée du nœud inconnu. Dans le cas où le nœud inconnu a plus de trois ancres voisines, il peut utiliser la multilatération pour estimer sa position (figure 2.6(b)).

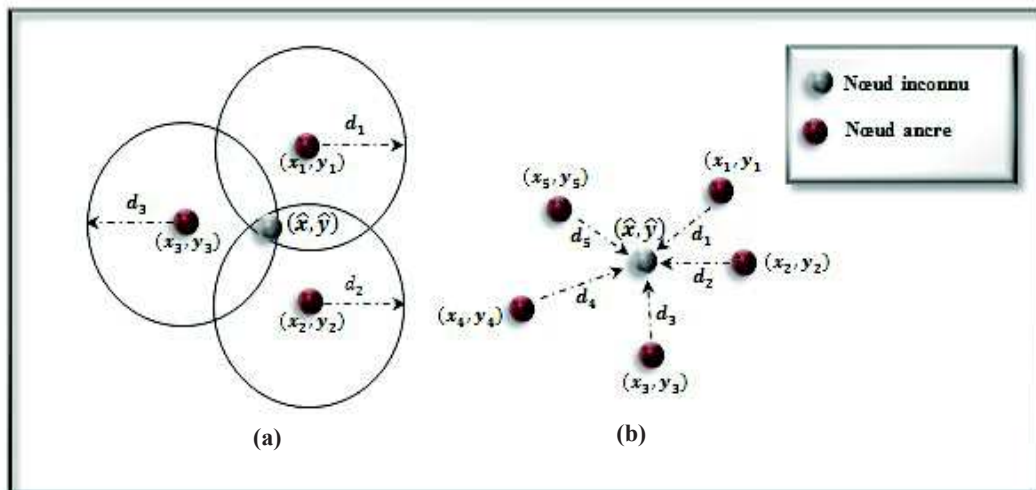


Figure 2.6: (a) trilatération, (b) multilatération

5.2. Triangulation

Dans la triangulation [56], les informations sur les angles sont utilisées aux places des distances pour estimer la position d'un nœud inconnu. Au moins trois ancres sont nécessaires pour la triangulation qui, si on considère la figure 2.7(a), donne le système d'équation 2.9:

$$\begin{cases} A^2 = B^2 + C^2 - 2BC\cos\alpha \\ B^2 = A^2 + C^2 - 2AC\cos\beta \\ C^2 = A^2 + B^2 - 2AB\cos\gamma \end{cases} \quad (2.9)$$

En se basant sur les angles estimés et les positions des ancres (qui forment un triangle), comme le montre la figure 2.7(b), le nœud inconnu peut calculer sa position en utilisant des relations trigonométriques simples.

Cette technique est similaire à la méthode de trilatération. En effet, en se basant sur les angles d'arrivés, il est possible de déduire les distances vers les ancres; ce qui permet de calculer la position du nœud inconnu.

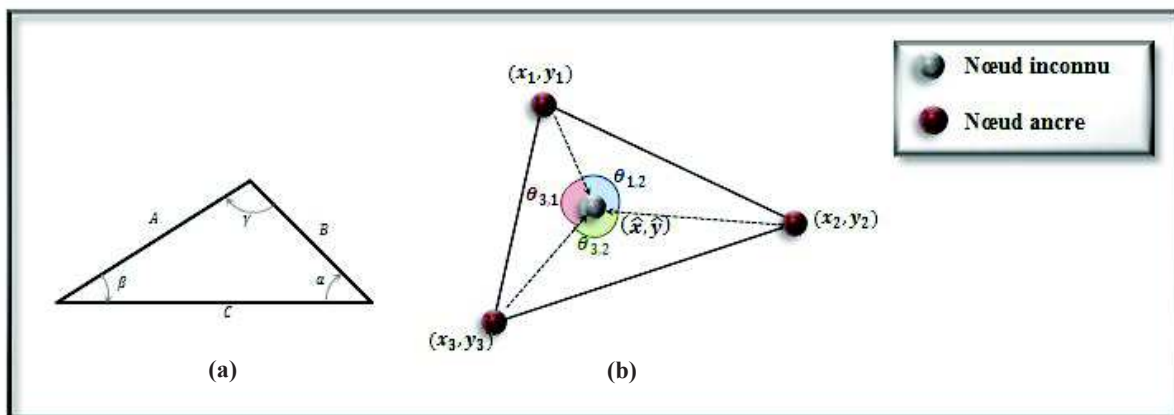


Figure 2.7: triangulation

5.3. Boite englobante

La méthode de la boite englobante (Bounding box) [57], est une méthode simple qui utilise des carrés au lieu des cercles pour calculer les positions des nœuds inconnus. Un exemple de cette méthode est illustré dans la figure 2.8. En connaissant les distances entre les ancres et les nœuds, pour chaque ancre i , une boite englobante est défini comme un carré centré à la position de coordonnée (x_i, y_i) et qui a $2 \times d_i$, comme longueur de côté (d_i est la distance estimée entre l'ancre i et le nœud inconnu) et il a comme coordonnées $(x_i - d_i, y_i - d_i)$ et

$(x_i + d_i, y_i + d_i)$ pour les coins inférieurs gauche et supérieurs droit respectivement. L'intersection de toutes les boites englobantes peuvent être facilement calculées en prenant le maximum des coordonnées inférieurs et le minimum des coordonnées supérieurs [46]. Chaque nœud inconnu suppose qu'il se trouve dans cette zone d'intersection, le rectangle ombré comme le montre la figure 2.8.

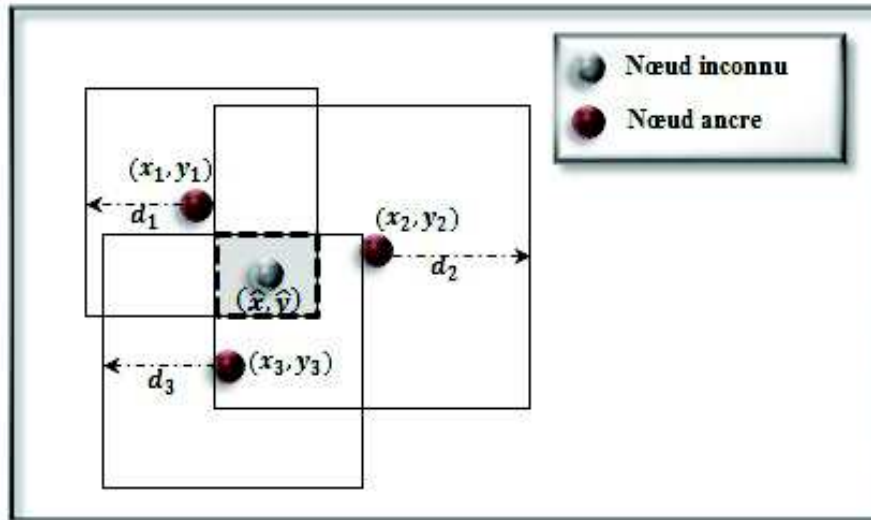


Figure 2.8: Bounding box [46]

5.4. Approches probabilistes

L'incertitude dans les estimations de la distance a motivé l'apparition des approches probabilistes. Un exemple d'une approche probabiliste est présenté dans [58], où les erreurs dans les estimations de distance sont modélisées comme des variables aléatoires normales. Dans cette approche, la distance est estimée en utilisant l'indicateur de puissance du signal reçu (RSSI). Afin de prendre en compte l'inexactitude des mesures prise par RSSI, lorsqu'un nœud inconnu reçoit un paquet à partir d'un nœud ancre, il peut être dans n'importe quel endroit autour du même nœud avec des probabilités égales, comme le montre la figure 2.9(a). Quand un autre paquet est reçu d'un autre nœud ancre, le nœud inconnu calcule à nouveau sa position, comme l'illustre la figure 2.9(b). Quand une nouvelle information arrive d'une troisième ancre, il devient possible d'identifier la position probable du nœud inconnu, comme le montre la figure 2.9(c).

L'inconvénient majeur de cette approche est qu'elle est coûteuse en puissance de calcul ainsi qu'en espace mémoire nécessaire pour stocker les informations.

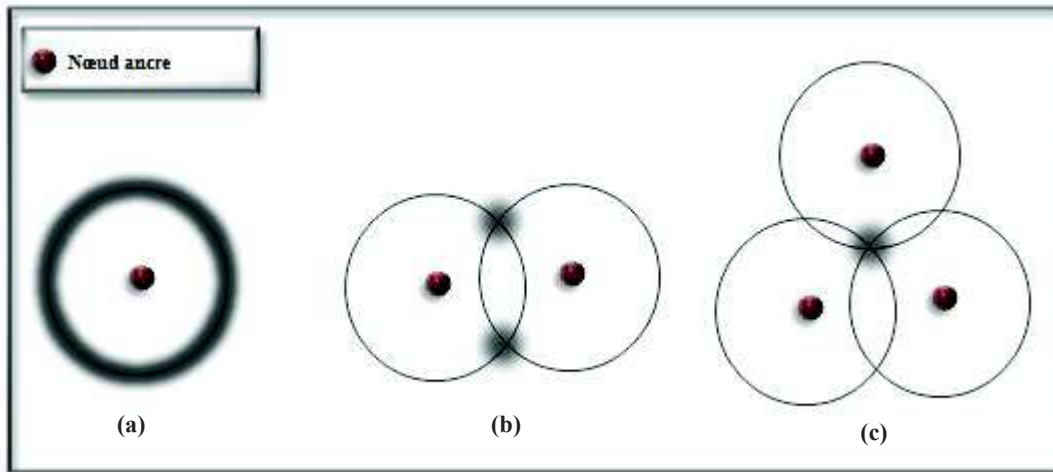


Figure 2.9: Exemple d'approche probabiliste

6. Algorithme de localisation

L'algorithme de localisation est le composant principal d'un système d'auto-localisation. Ce composant détermine la façon dont les informations concernant les distances et les positions sont manipulées. Cela permettra aux nœuds d'une zone d'intérêt d'estimer leurs positions.

Ces algorithmes de localisation peuvent être classés selon plusieurs critères distincts tels que [46]:

- La dépendance des techniques de mesure;
- La mobilité des nœuds ;
- L'organisation de calcul de position ;
- Avec ou sans infrastructure ;
- Positionnement en 2D ou 3D ;
- Les coordonnées absolues ou relatives;
- Positionnement intérieur ou extérieur.

Les catégories des algorithmes de localisation entrant dans le cadre d'étude de notre thèse seront présentées par la suite.

6.1. Algorithmes de localisation Centralisé/ Distribué

Nous distinguons deux façons d'implémenter un algorithme de localisation selon leur organisation de calcul: les algorithmes centralisés et les algorithmes distribués.

Dans le cas d'un algorithme de localisation centralisé, les nœuds capteurs recueillent des informations (signal, voisins, distances, etc.) de leur environnement et les transmettent à une station de base qui à son tour les analyse, calcule les positions et les transmet aux nœuds [19]. Les algorithmes de localisation centralisés demanderaient trop de communication pour l'acheminement des informations vers la station de base et consomment donc trop d'énergie [59]. De plus, La centralisation permet à un algorithme d'être plus complexe, car les calculs se font sur la station de base et non pas par les nœuds eux-mêmes.

Les algorithmes de localisation distribués sont conçus pour que tous les calculs soient effectués sur les nœuds de capteurs eux-mêmes. Ici tous les nœuds communiquent avec leurs voisins pour estimer les distances et échangent leurs informations de voisinage, afin de dériver leur position. Comme le calcul des positions se fait par les nœuds eux-mêmes, les algorithmes distribués ne sont pas complexes. Ceci étant dit, nous considérons qu'une méthode distribuée est adaptée aux réseaux à grande échelle [60].

6.2. Algorithmes de localisation Range-free / range-based

Les algorithmes range-based dépendent de mesures pouvant principalement être converties en distances ou angles. Ces algorithmes utilisent les technologies de mesures telles que ToA, TDoA, RSSI et AoA, afin de mesurer les distances ou les angles entre deux capteurs voisins. Les algorithmes range-free ne convertissent pas de mesure prise en distance. Elles utilisent d'autres données telles que la connectivité ou le nombre de sauts pour identifier la position des nœuds.

Grâce à la capacité de mesure, les méthodes range-based mènent, sous certaines conditions, à des résultats plus précis que dans le cadre range-free. Dans le chapitre 4, nous collectons les différentes informations pouvant être exploitées par ces méthodes.

6.3. Algorithmes de localisation Anchor-free / Anchor-based

Les capteurs avec les informations de localisation géographiques, a priori connus, sont appelés « ancrés », « références » ou « balises ». Leurs emplacements peuvent être obtenus en utilisant un système de positionnement global (GPS) ou bien par l'emplacement manuel. Les algorithmes de localisation qui n'ont pas besoin de connaître les positions des ancrés pour fonctionner, sont appelées « anchor-free ». Ils créent une carte relative des coordonnées sans recours aux ancrés [60]. Dans ce cas, les algorithmes de localisation de capteur peuvent

être utilisés pour estimer la position relative des capteurs à l'aide des mesures inter-capteurs. Ce qui signifie qu'elles forment une transformation rigide (rotation, réflexion, translation) des coordonnées du système global [4]. Par contre Les méthode de localisation qui ne fonctionnent pas sans connaître la position d'un certain nombre d'ancres à priori, sont appelées « anchor-based ». Ces méthodes produisent généralement un système de localisation absolue où les positions absolues des nœuds sont connues (par exemple, la latitude, la longitude et l'altitude). Cependant, la précision de la position estimée est fortement affectée par le nombre d'ancres et leur distribution dans la zone d'intérêt. Une bonne précision impose un grand nombre d'ancres déployés.

De ce fait, au lieu d'avoir plusieurs ancres statiques, une seule ancre mobile est déployée avec les nœuds capteurs. Cette ancre peut être un opérateur humain, un robot ou un avion. Il traverse la zone d'intérêt en communiquant avec les autres nœuds afin de leur permettre de s'auto-localiser [19]. Le principal inconvénient de l'utilisation d'une ancre mobile est cependant l'absence d'une trajectoire bien définie.

7. Les Critères importants pour l'évaluation des performances d'un système de localisation dans les RCSF

Plusieurs critères permettent d'évaluer la performance d'un système de localisation d'une manière générale, nous citons les plus importants ci-après :

7.1. La précision de la localisation

Comme critère de précision, les auteurs utilisent l'erreur moyenne de la localisation. L'objectif d'un algorithme de localisation est de minimiser l'erreur moyenne de la localisation pour augmenter sa précision. Cette erreur est souvent définit comme étant, la distance euclidienne entre les vraies positions des nœuds et celles estimées par l'algorithme [4].

7.2. Le rendement de la localisation

Le rendement d'une méthode de localisation se réfère à sa capacité à obtenir des points localisés. Il est souvent défini comme étant, le pourcentage des nœuds pouvant s'auto-localiser avec succès [61].

7.3. Les coûts d'exploitation

Les coûts d'exploitation sont fortement liés aux caractéristiques matérielles des capteurs telles que la puissance de calcul, la mémoire et surtout l'alimentation en énergie. Dans les systèmes de localisation, d'autres facteurs comme la taille et le coût en termes de matériel supplémentaire du nœud, sont à prendre en considération. Pour cela, la méthode choisie pour mesurer les distances/angles dépend des besoins de l'application ainsi que de la qualité du matériel de mesure utilisé. Par exemple, la technique TDoA exige plus de matériels (un haut-parleur et plusieurs microphones), donc elle est plus coûteuse et les nœuds tendent à être plus volumineux [19].

7.4. La consommation énergétique

La seule source d'énergie d'un nœud capteur est sa batterie. Pour cela, une gestion de l'énergie très économique est nécessaire lors de la réalisation d'un système de localisation. La consommation énergétique est souvent corrélée avec la signalisation et le temps de calcul. Il faut développer des solutions robustes et simples pouvant être implémentées directement sur les modules du WSN.

7.5. Le passage à l'échelle

Les réseaux de capteurs sont généralement envisagés à large échelle, les algorithmes de la localisation doivent assurer leur bon fonctionnement quel que soit le nombre de capteurs dans le réseau. En effet, plusieurs algorithmes de localisation sont sensibles à la densité des nœuds, s'il n'y a pas assez de nœuds l'algorithme donne des résultats imprécis [62].

8. Conclusion

De nos jours, les systèmes de localisation sont multiples et leurs champs d'application ne cessent de s'élargir. Un système de localisation par GPS possède quelques inconvénients, surtout la consommation énergétique importante, qui peut être un problème à cause des ressources énergétiques limitées des nœuds capteurs. Aussi, son utilisation est réservée à l'extérieur, ces systèmes peuvent également être obstrués par de grands immeubles ou d'autres obstacles environnementaux. Pour ces multiples raisons, nous nous intéressons à une

bonne alternative au système de localisation par GPS, qui est le système d'auto-localisation (i.e., une localisation autonome). Le chapitre présent fait l'objet de la présentation de quelques notions fondamentales de la localisation, pour mettre en évidence les différentes catégories de système d'auto-localisation, les éléments du processus d'auto-localisation, les techniques de mesure ainsi que les principes de base d'estimation de position. Le chapitre suivant permettra de remettre en cause et enrichir certaines approches d'auto-localisation existantes tout en indiquant lesquelles sont les plus adaptées selon l'environnement du réseau de capteurs.

CHAPITRE 3

L'Auto-localisation Dans Les Réseaux De Capteurs Sans Fil

Sommaire

1. Introduction
2. Classification des algorithmes d'auto-localisation
3. Comparaison de performance
4. Conclusion

1. Introduction

Plusieurs solutions innovantes et intuitives ont été proposées pour résoudre le problème de localisation dans les réseaux de capteurs sans fil. Ces solutions peuvent être vues sous plusieurs angles. En effet, plusieurs critères peuvent être utilisés afin d'avoir une classification pertinentes, e.g., la dépendance des techniques de mesure, la mobilité des nœuds, l'organisation de calcul de position avec ou sans infrastructure, le positionnement en 2D ou 3D, les coordonnées absolues ou relatives et le positionnement intérieur ou extérieur.

La classification, selon le critère de la dépendance des techniques de mesure, est présente dans la littérature [63] [64]. En effet, deux principales catégories sont définies: les approches range-based et range-free. D'autre part, cette classification est générale. En effet, il n'est pas claire comment classer les solutions hybrides combinant les fonctionnalités des systèmes range-based et/ou range free. De ce fait, dans le présent chapitre nous facilitons cette classification par la proposition d'une nouvelle taxonomie. Ensuite, nous présentons une étude comparative entre les solutions existantes en termes de performances.

2. Classification des algorithmes d'auto-localisation

Les algorithmes de localisation sont classés en deux catégories: Range-based et range-free [63]. Les algorithmes range-based dépendent des mesures pouvant principalement être converties en distances ou angles. Ces algorithmes utilisent les technologies de mesures telles que ToA, TDoA, RSSI et AoA, afin de mesurer les distances ou les angles entre deux capteurs voisins. D'autre part, les algorithmes range-free ne convertissent jamais les mesures prises en distance. Ils utilisent d'autres données telles que la connectivité ou le nombre de sauts pour identifier la position des nœuds.

Ils existent des approches qui combinent différentes méthodes basées sur des informations de connectivité et/ou les technologies de mesures. En effet, nous distinguons deux sous-catégories pour les algorithmes range-based et range-free [62]: Fully-range-free, hybrid-range-free, fully-range-based, hybrid-range-based (voir figure 3.1).

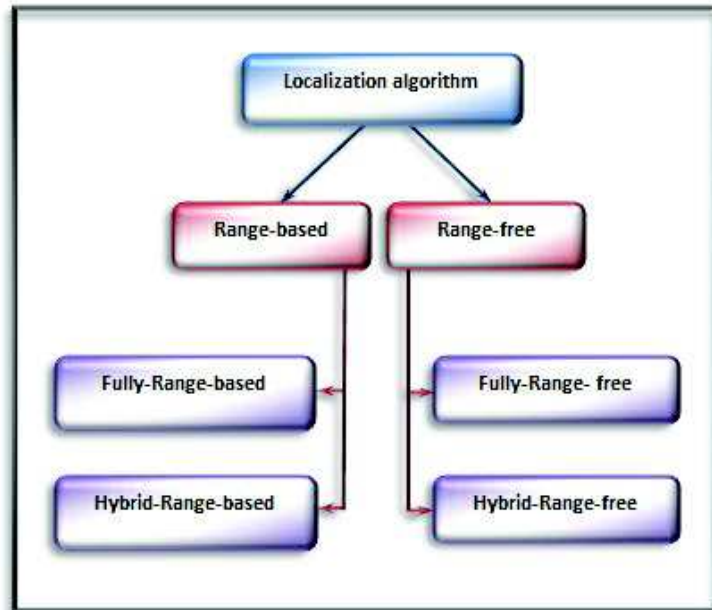


Figure 3.1: Classification des algorithmes d'auto-localisation [62]

2.1. Les algorithmes de localisation Range-free

Cette catégorie utilise les informations sur la connectivité pour estimer la position d'un nœud inconnu. Selon la manière utilisée pour exploiter ces informations, les algorithmes de classe range-free peuvent également être divisés en deux sous-catégories: Fully-range-free et hybrid-range-free.

2.1.1. Les algorithmes Fully-range-free

Ce type d'algorithmes utilise un seul mécanisme basé sur les informations de la connectivité pour obtenir la position d'un nœud inconnu. Nous proposons, dans les paragraphes de cette sous-section, de décrire quelques implémentations représentatives de l'existant.

Dans [65], les auteurs ont proposé «Centroid localization Algorithm (CA)», chaque ancre, dans cette approche, est chargée d'émettre un message contenant sa position. Ensuite, le nœud inconnu effectue un simple calcul barycentrique afin de s'auto-localiser. En effet, il s'agit de calculer le centre de gravité, d'un ensemble de nœuds ancres. Ainsi, la position d'un nœud inconnu est donnée par la formule (3.1):

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right) \quad (3.1)$$

Où : (\hat{x}, \hat{y}) : La position estimée d'un nœud inconnu

(x_i, y_i) : La position de la $i^{\text{ème}}$ ancre

n : Nombre des ancres voisines

Cette méthode de localisation est très basique. En effet, elle peut être implémentée directement sur les modules du WSN. Cependant, la précision de localisation est sensible au placement et densité des ancres. Une version de la méthode centroid adaptative à l'espace 3D est possible grâce à l'ajout de contraintes sur la hauteur par rapport au sol. D'ailleurs, «Novel Centroid Algorithm (NCA)» a été proposé dans [66]. Cet algorithme est basé sur le théorème Centroid de coordonnées-tétraèdre [67] [68].

La méthode de localisation DV-Hop [69][70] s'inspire des protocoles de routage à vecteur de distance pour proposer une estimation de la position basée sur le nombre de sauts [48]. Elle s'exécute en trois étapes :

Dans la première étape, chaque nœud ancre diffuse le message beacon (message contenant ses coordonnées (x_i, y_i) avec un nombre de saut initialisé à zéro, $h_i=0$). Lorsqu'un nœud reçoit ce message, il incrémente le nombre de saut de 1 et diffuse à son tour le message beacon. Grâce à ce mécanisme, chaque nœud dans le réseau peut obtenir le nombre de sauts minimum qui le sépare de chacun des nœuds ancres.

Dans la deuxième étape, une fois un nœud ancre reçoit la valeur du nombre de sauts minimum aux autres nœuds ancres, il calcule la taille moyenne du saut, qui va être diffusée à tous les nœuds voisins. La taille moyenne du saut (Hop-size) est estimée en utilisant la formule (3.2):

$$\text{HopSize}_i = \frac{\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{j \neq i} h_{i,j}} \quad (3.2)$$

Où : (x_i, y_i) et (x_j, y_j) , sont les coordonnées des nœuds ancres i et j , $h_{i,j}$ est le nombre de sauts entre l'ancre i et l'ancre j .

Les nœuds inconnus reçoivent la valeur du HopSize, et sauvegardent la première valeur reçue. En même temps, ils transmettent cette valeur à leurs voisins. A la fin de cette étape, chaque nœud inconnu calcule la distance le séparant des autres nœuds ancres sur la base de la taille du saut et le nombre de sauts. L'estimation de la distance consiste à multiplier le nombre de sauts séparant le capteur d'une ancre par une distance moyenne entre deux capteurs voisins, notée L_i , comme le montre l'équation (3.3):

$$d_i = \text{HopSize}_i \times L_i \quad (3.3)$$

Dans la troisième étape, dès qu'un nœud inconnu obtient trois distances (ou plus) des nœuds ancrés, il est en mesure de calculer sa position physique en utilisant une méthode de dérivation de position telle que la trilatération.

L'implémentation de l'algorithme DV-Hop est facile. En effet, il ne nécessite pas de grandes ressources. Cependant, la conversion des nombres de sauts en distance conduit à une imprécision importante pour certaines applications. Par conséquent, certaines approches ont été proposées pour améliorer la précision de la localisation de l'algorithme DV-hop. Dans [71], une amélioration, appelée «Constraint DV-Hop (CDV-hop)» a été proposée. Cette proposition utilise un nouveau mode de calcul, développé en tenant en compte de la relation implicite existante entre la portée de communication des nœuds et la distance calculée par DV-Hop. L'approche «Selective ANchors node Localization Algorithm (SANLA)» [72] représente également une amélioration de DV-Hop. Dans ce cas, le nœud inconnu choisit trois ancrés qui sont les plus proches en termes de nombre de sauts, cela permet de diminuer l'accumulation d'erreurs lors du calcul de la distance entre le nœud inconnu et ces ancrés. Dans la même logique, et afin d'améliorer DV-Hop, le travail réalisé dans [73] consiste à calculer le poids donné à l'un des ancrés en fonction de la force du signal reçu d'un nœud inconnu.

Les auteurs du travail [74] ont proposé l'algorithme «APIT (Approximate Point-In-Triangulation test) », basé sur le principe de diviser le réseau entier en zones triangulaires. Ces zones triangulaires sont constituées de vertex formés par toutes les combinaisons de trois ancrés voisins possibles. Le nœud inconnu effectue un test afin de déterminer s'il se trouve ou non à l'intérieur d'un triangle. Ce test se répète jusqu'à l'épuisement des combinaisons. La surface d'intersection des triangles obtenue correspond à la zone où se trouve très probablement le nœud inconnu. La position de ce dernier est alors associée au centre de gravité de cette surface. L'algorithme APIT peut prendre de mauvaises décisions par rapport à la présence d'un nœud à l'intérieur d'un triangle donné. En effet, le test d'appartenance d'APIT peut échouer. Par conséquent, la certitude de la zone de résidence des capteurs et la précision de la position estimée peuvent affectées. APIT est dit area-based car son objectif est l'obtention d'une zone contenant probablement le point inconnu. Dans [75], une approche, permettant d'améliorer la précision de l'algorithme APIT, a été proposée pour corriger les mauvaises décisions prises par le test d'appartenance d'APIT. Les auteurs du travail [76] ont

proposé l'algorithme «Volume Test Approximate Point-In-Triangulation test three-dimension (VT-APIT) ». Ce dernier est adapté à l'espace 3D et il est basé sur un test de volume dont le processus est similaire au processus proposé dans l'algorithme APIT.

L'approche présentée dans [77], appelée «Azimuthally Defined Area Localization (ADAL) », est également du type area-based. Elle utilise une ancre mobile au lieu des ancres statiques. L'ancre mobile est équipée d'une antenne directionnelle rotative. En se basant sur les messages reçus de cette ancre mobile, le nœud inconnu peut estimer sa position. Cependant, trouver la meilleure trajectoire de l'ancre mobile pour la localisation est très difficile.

Dans [78], les auteurs proposent un algorithme centralisé du type range-free, appelé « MDS-MAP ». Il est basé sur la méthode graduelle multidimensionnelle (multidimensional scaling MDS), proposée par Torgerson en 1952 [79]. L'algorithme MDS-MAP utilise la loi du cosinus et l'algèbre linéaire pour reconstruire les positions relatives aux nœuds inconnus sur la base des distances inter-nœuds connues.

MDS-MAP est capable de transformer les positions relatives aux nœuds inconnus en utilisant un nombre suffisant de nœuds références (3 ancres pour un positionnement en 2-D et 4 ancres pour 3-D) [80]. Les algorithmes centralisés assurent une bonne précision puisque les calculs se font sur une machine puissante permettant l'exécution des algorithmes de grande complexité, ce qui induit une forte consommation d'énergie. En contrepartie, ils ne sont pas robustes au passage à l'échelle [19]. Une amélioration de l'algorithme MDS-MAP, dite «IMDS-MAP » a été présentée dans [81]. Elle consiste à utiliser la méthode de regroupement (clustering) afin de mettre en œuvre un système de positionnement distribué.

2.1.2. Les algorithmes Hybrid-range-free

Ce type d'algorithmes combine différentes méthodes basées sur la topologie et/ou la connectivité afin d'estimer les positions des nœuds inconnus.

L'approche proposée dans [82], appelée «weighted centroid localization algorithm based on DV-Hop (WC DV-hop) », consiste à combiner les deux méthodes DV-hop et centroid. Cette approche utilise un poids, qui est une fonction de la distance estimée à partir du nombre de sauts entre l'ancre et le nœud inconnu, dans le but d'améliorer la précision par rapport aux deux méthodes DV-hop et centroid.

2.2. Les algorithmes Range-based

Cette catégorie d'algorithmes repose sur l'utilisation des techniques de mesure de distances et/ou angles pour l'estimation des positions. Selon la manière d'utilisation des techniques de mesure, cette catégorie peut être divisée en deux sous-catégories: les algorithmes fully-range-based et hybrid-range-based.

2.2.1. Les algorithmes Fully-range-based

Dans cette catégorie, les algorithmes utilisent une technique de mesure pour estimer la distance ou l'angle entre les nœuds. Quelques contributions sont présentées dans la suite. Les approches proposées dans [83, 84, 85, 86] sont basées sur l'estimation des distances entre les capteurs voisins en utilisant l'intensité du signal reçu.

La technique RSSI est l'une des techniques les plus utilisées dans les algorithmes range-based, car elle est simple, moins coûteuse et ne nécessite pas de matériel supplémentaire (par exemple des dispositifs à ultrason). Une Extension de la technique RSSI pour le positionnement en 3D, peut introduire une complexité plus élevée en termes de temps de calcul. Par conséquent, les auteurs du travail [84] ont proposé une approche, appelée «Complexity-reduced 3D trilateration Localization Approach (COLA) », afin de simplifier le processus de localisation et par conséquent diminuer le temps de calcul. En outre, dans un environnement réel, la technique RSSI est très sensible au bruit et aux obstacles, plus particulièrement pour l'environnement intérieur [87]. En effet, Des erreurs peuvent se produire lors de la prise de mesures. Par conséquent, les auteurs du travail [85] ont proposé un système d'auto-localisation intérieure, dit «ILOR (Indoor LOcalization system using RSSI measurement) ». Ce dernier se base sur la technique RSSI dans un réseau de capteurs sans fil qui utilise la technologie ZigBee. Avec ce système, l'erreur d'estimation de position est limitée à 1,5 - 2 m.

Les approches proposées dans [56, 88, 89, 90, 91, 92], sont basées sur la technique AOA (Angle of Arrival) pour estimer l'angle d'arrivée ou d'incidence du signal. La technique la plus utilisée pour l'estimation de l'angle d'incidence repose sur l'utilisation d'un réseau d'antennes linéaire et uniforme [56]. Cependant, la nécessité de disposer des réseaux d'antennes augmente la taille des équipements utilisés et implique des coûts supplémentaires. De plus, pour un environnement NLOS (Non-line-of-sight propagation) et en présence des trajets multiples, la précision de l'estimation est fortement affectée. L'une des propositions

intéressantes, qui permet de garantir de meilleures performances en présence d'un rapport signal sur bruit élevé, est appelée «ALAR (Angle-of-arrival Localization based on antenna ARrays)» [90]. Toutefois, en présence des signaux à trajets multiples et/ou à fortes interférences co-canal, cette approche peut échouer [53].

Les travaux [93, 94, 95, 96, 97] sont basés sur la technique TOA. Cette dernière nécessite des nœuds synchronisés, ce qui ajoute des coûts et de la complexité au réseau de capteurs [98]. Dans [94], les auteurs ont proposé «MABT (Mobility-Assisted Node Localization Based on TOA)», une méthode qui ne nécessite pas de synchronisation temporelle entre l'ancre mobile et les nœuds inconnus.

Les algorithmes, présentés dans [52] et [99, 100, 101], sont basés sur la technique (TDOA). Dans l'article [52], les auteurs ont proposé une nouvelle approche, appelée «AHLoS (Ad-Hoc Localization System)», pour la localisation dans les réseaux de capteurs. Cette approche repose sur l'utilisation de deux types de signaux (à savoir les signaux radio et ultrason) afin de mesurer la différence du temps d'arrivée. Elle garantit généralement des mesures précises. Cependant, elle nécessite un matériel supplémentaire pour envoyer le deuxième signal (sonore ou ultrason), ce qui augmente le coût du nœud. De plus, la portée de communication de ce deuxième signal est limitée. L'approche «Research of TDOA based Self-localization Approach (RTSA)», proposée dans [99], utilise les mesures du temps d'arrivée d'un type de signal émis par le nœud inconnu vers deux nœuds ancres différents, ensuite elle estime la différence du temps. Cette proposition peut réduire l'exigence de synchronisation temporelle pour le réseau de capteurs. En effet, Cette approche n'a pas besoin de la synchronisation temporelle entre les nœuds ancres et les nœuds inconnus, mais la synchronisation temporelle entre les nœuds ancres et la synchronisation temporelle entre nœuds inconnus sont obligatoires.

La procédure de découverte de la topologie du réseau ou «TD (Topology Discovery)», appelée aussi procédure «ABC (Assumption Based Coordinates)» [102], est basée sur les mesures RSSI afin de déterminer les distances inter-nœuds. Pour cela, cette approche choisit d'abord quatre nœuds capteurs et leur attribue des coordonnées. Les positions relatives des autres nœuds sont calculées en utilisant les distances d'au moins quatre nœuds de coordonnées déjà calculés. L'algorithme ABC est relativement simple et ne nécessite pas de calcul compliqué. Cependant, Une accumulation d'erreur se traduit par une mauvaise affectation de coordonnées des quatre capteurs. De plus, les mesures RSSI peuvent être corrompues par le

bruit. L'algorithme ABC peut conduire à une précision médiocre de la localisation surtout sur les réseaux avec un très grand nombre de nœuds.

Les auteurs de [103] ont proposé une approche applicable à la localisation dans les réseaux de capteurs en présence du bruit, appelée «Robust Distributed Network Localization with Noisy Range Measurements (RODL)». Dans cette approche, chaque nœud peut estimer la distance par rapport à ses voisins en utilisant la technique TDOA, et sans aucune information a priori sur l'emplacement des ancrés. Cette approche consiste à partitionner le réseau en un certain nombre de clusters. Chaque nœud inconnu devient le centre de son cluster et estime sa position relative à ses voisins du même cluster. Cependant, cette approche peut être incapable pour localiser un nombre important de nœuds inconnus lors d'une exposition élevée au bruit ou en présence d'une faible connectivité entre les nœuds. Afin d'aborder ces problèmes, les auteurs dans [104], ont proposé une amélioration de l'algorithme présenté dans [103]. En effet, cette approche utilise un nouveau test de robustesse basé sur des maillages en quadrilatères.

2.2.2. Les algorithmes Hybrid-range-based

Les algorithmes hybrid-range-based combinent différentes techniques de mesure de distance et/ou d'angle. Cette combinaison peut être se situer entre les techniques de mesure de distance et/ou angle, ou entre les techniques de mesure et les méthodes de connectivité.

Les auteurs de [105] ont proposé l'algorithme «ATPA (AOA aided TOA Positioning Algorithm)», afin d'estimer la position d'un capteur cible mobile dans un environnement. De plus, une incorporation entre les mesures d'angle et de distance est utilisée pour résoudre le problème de localisation. Par conséquent, un système de localisation TOA assisté par AOA peut être employé pour faire l'estimation de position possible. Le mouvement d'un capteur cible présente des différences entre les temps d'arrivés des ancrés. De ce fait, l'approche ATPA utilise les informations AOA pour modifier les mesures de TOA, qui peuvent être appliquées pour calculer les positions des nœuds inconnus. Cette approche reste plus au moins stable, indépendamment de la vitesse du nœud mobile, et fournit une amélioration robuste dans le calcul des positions. Cependant, elle nécessite un matériel supplémentaire traduit par un ensemble d'antennes pour prendre des mesures d'angles.

Le travail réalisé dans [106], appelé «EATL (Exploiting geometry for improved hybrid AOA/TDOA-based localization)», est basé sur la combinaison des techniques d'angle

d'arrivé (AOA) et la différence du temps d'arrivé (TDOA). Il consiste à dériver et examiner les relations fonctionnelles entre les erreurs de mesure dans un système de localisation hybride (les mesures de distances et d'angles). Dans ce cas, l'estimation du maximum de vraisemblance des erreurs de mesures, aide à trouver les valeurs de différence de distances et d'angles, ce qui permet de calculer la position du nœud inconnu. L'avantage de cette approche est réside dans le fait que, même en présence des mesures non fiable, le nœud inconnu ne nécessite que deux ancrés pour se localiser avec succès. En contrepartie, le coût du matériel est très élevé.

L'approche présentée dans la publication [107], appelée « HTRL (Hybrid TOA/RSSI Localization algorithm) », a été proposée pour obtenir une bonne précision de localisation dans un système UWB (Ultra Wide Band) d'intérieure. Elle permet d'atténuer les effets de pertes lorsqu'il n'y a pas de visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur (NLOS). Cette approche utilise la technique TOA pour mesurer au moins trois distances, qui séparent les ancrés du nœud inconnu. Un poids est ensuite utilisé afin de décrire la crédibilité de ce type de mesures, qui est une fonction entre la valeur du RSSI et la distance. Cela a pour objectif de discriminer les deux modes de propagation (LOS et NLOS). L'avantage principal de cette approche réside dans le fait qu'elle peut estimer les positions avec une grande précision en présence des conditions de propagation sévères.

L'approche présentée dans [108], dite « WCA (weighted Centroid localization Algorithm) », combine la méthode RSSI et la méthode de connectivité. Elle est basée sur le même principe d'estimation des positions utilisé par la méthode centroid (CA) [65]. Afin d'améliorer la précision de cette méthode, WCA utilise un poids qui est une fonction dépendante de la distance mesurée par la technique RSSI. Ce poids est ensuite utilisé lors de l'estimation des positions. WCA a pu améliorer les performances en termes de précision de localisation de la méthode centroid, sans aucun coût de matériel supplémentaire. En revanche, cette précision reste toujours sensible à la densité des ancrés. De ce fait, les auteurs de [109], ont proposé un algorithme de localisation hybride basé sur le même principe du WCA, appelé « TMWC (Three-Mobile-beacon assisted Weighted Centroid localization scheme) ». Cette technique utilise trois ancrés mobiles à la place des ancrés statiques.

Les auteurs de [110] proposent un algorithme, appelé « RDV-hop (A RSSI-based DV-hop Algorithm) », qui intègre la technique RSSI dans la méthode DV-hop. Dans cette approche, si le nœud inconnu se retrouve d'un saut des ancrés, il estime la distance qui le sépare de ces ancrés en utilisant la technique RSSI. Dans le cas contraire, il peut calculer la distance en

multipliant le nombre de sauts le séparant d'une ancre par une distance moyenne. Une fois que le nœud inconnu obtient les distances qui le séparent des ancres, il peut se localiser par l'utilisation de la méthode de triangulation. Cette contribution a pu améliorer la précision de la localisation de l'algorithme DV-hop. Cependant, elle utilise encore la conversion des nombre de sauts en distance, ce qui conduit à une imprécision.

Les auteurs de [111] ont proposé un système d'auto-localisation, dit «SSFL (Self-organized, Scalable GPS-Free Localization)», combinant les techniques de mesures de différence de temps d'arrivée TDOA et de l'angle d'arrivée AOA. Dans le réseau de capteurs, chaque nœud utilise les mesures (distances et angles) obtenues localement pour construire un système de coordonnées locales. Ensuite, chaque capteur ajuste ses coordonnées en appliquant des translations et des rotations ainsi qu'un facteur d'échelle, pour obtenir finalement un système de coordonnées globales cohérentes. L'avantage majeur de ce système d'auto-localisation réside dans le fait qu'il est adapté pour un usage pratique dans des environnements difficiles tels que les tunnels souterrains. Toutefois, le matériel supplémentaire (un ensemble d'antennes et des dispositifs ultrason) utilisé engendre un coût élevé.

3. Comparaison de performance

Après avoir établi un état de l'art des travaux existants et proposé une taxonomie des protocoles, nous allons dans cette section faire une comparaison entre tous ces protocoles cités. Nous allons les comparer selon les paramètres : de conception du réseau (déploiement, densité des nœuds, présence d'obstacle, présence des nœuds ancres, mobilité des nœuds et utilisation d'une ancre mobile), du processus de localisation (estimation de distance/angle, dérivation des positions, organisation de calcul, dimension de l'espace), des buts de conception (passage à l'échelle, overhead, précision). Nous résumons cette comparaison dans le tableau 3.1.

Fully-range-free	Net assumptions						Localization process				Design goal				
	De	Nd	Ob	An	Nm	Ma	Rae	Rac	Com	Lc	Sca	Overhead			Ac
												Cm	Cp	Hc	
CA [65]	Both	L	Y	Y	N	N	Conn	Centro	Dist	2D	Y	L	L	L	L
NCA [66]	R	L	Y	Y	N	N	Conn	Centro	Dist	3D	Y	L	M	L	L
CDV-Hop [71]	R	H	-	Y	N	N	Conn	Multi	Dist	2D	N	H	L	L	M
ADAL [77]	R	H	-	N	N	Y	Conn	Centro	Dist	2D	Y	L	L	L	M
APIT [74]	Both	H	Y	Y	N	N	Conn	Centro	Dist	2D	Y	L	L	L	M
VT-APIT [76]	R	M	-	Y	N	N	Conn	Centro	Dist	3D	Y	L	L	L	M
MDS-MAP [78]	R	L	-	N	N	N	Conn	Multi	Cent	2D	N	H	H	L	H

IMDS-MAP [81]	R	L	-	N	N	N	Conn	Multi	Dist	2D	Y	M	M	L	H
Hybrid-range-free	De	Nd	Ob	An	Nm	Ma	Rae	Rac	Com	Lc	Sca	Overhead			Ac
												Cm	Cp	Hc	
WC DV-hop [82]	R	H	-	Y	N	N	Conn	Centro	Dist	2D	N	H	M	L	H
Fully-range-based	De	Nd	Ob	An	Nm	Ma	Rae	Rac	Com	Lc	Sca	Overhead			Ac
												Cm	Cp	Hc	
ILOR [85]	R	M	-	Y	N	N	RSSI	MLE	Cent	2D	N	H	H	L	H
COLA [84]	R	M	Y	Y	N	N	RSSI	Trilat	Dist	3D	Y	L	M	L	M
DV-bearing [56]	R	H	Y	Y	Y	N	AOA	Triang	Dist	2D	Y	H	L	L	H
ALAR [90]	R	M	Y	Y	N	N	AOA	LSE	Dist	2D	Y	L	L	H	H
MABT [94]	R	M	Y	N	N	Y	TOA	LSE	Dist	2D 3D	Y	L	L	L	H
RTSA [99]	U	-	Y	Y	N	N	TDOA	LSE	Dist	2D	Y	L	L	L	H
AHLoS [52]	U	M	N	Y	N	N	TDOA	Multi	Dist	2D	Y	L	L	H	H
ABC [102]	R	M	Y	N	N	N	RSSI	Triang	Dist	2D 3D	N	L	L	L	L
RODL [103]	Both	M	Y	N	Y	N	TDOA	Trilat	Dist	2D	Y	M	M	H	M
Hybrid-range-based	De	Nd	Ob	An	Nm	Ma	Rae	Rac	Com	Lc	Sca	Overhead			Ac
												Cm	Cp	Hc	
ATPA [105]	R	H	Y	Y	Y	N	AOA TOA	BPF	Dist	2D	Y	M	M	H	V.H
EATL [106]	Both	L	Y	Y	N	N	AOA TDOA	MLE	Dist	2D	N	M	H	H	V.H
HTRL [107]	U	L	Y	Y	Y	N	TOA RSSI	MLE	Dist	2D	Y	M	M	L	H
SSFL [111]	Both	-	-	N	N	N	TDOA AOA	Triang	Dist	3D	Y	M	H	H	V.H
WCA [108]	U	-	Y	Y	N	N	RSSI Conn	Centro	Dist	2D	Y	L	M	L	H
RDV-hop [110]	R	M	-	Y	N	N	RSSI Conn	Trilat	Dist	2D	N	H	L	L	H
TMWC [109]	U	M	-	N	N	Y	RSSI Conn	Centro	Dist	2D	Y	L	L	M	H

Net: Network – **De:** deployment – **Nd:** Node density – **Ob:** obstacle - **An:** Anchor nodes - **Nm:** Nodes mobility - **Ma:** Mobile assisted - **Rae:** Range estimation - **Rac:** Range combination - **Com:** Computational model - **Lc:** localization coordinates - **Sca:** scalability - **Cm:** Communication cost - **Cp:** Computation cost - **Hc:** Hardware cost - **Ac:** Accuracy - **Dist:** Distributed - **Cent:** Centralized - **Multi:** Multilateration - **Trilat :**Trilateration - **Triang:** Triangulation - **Conn:** Connectivity - **centro:** centroid - **BPF:** Bayesian Practicle Filter - **LSE:** Least Squares Estimation - **MLE:** Maximum Likelihood Estimation - **Y:**Yes - **N:**No - **L:**Low - **M:**Med - **H:**High - **V.H:** Very High - **U:**Uniform – **R:**Random

Tableau 3.1 : Comparaison entre des protocoles range-based et range-free [62]

3.1. La précision

L'erreur moyenne de la localisation est généralement utilisée comme critère de précision. Une grande erreur apportera une mauvaise précision. Cette erreur est définie, comme étant, la distance euclidienne entre les vraies positions des nœuds et celles estimées par l'algorithme.

Les techniques range-based mènent généralement à des résultats plus précis que dans le cadre range-free. Un système d'auto-localisation, que ce soit de la famille range-free ou

range-based, a ses propres inconvénients. De ce fait, divers mécanismes sont maintenus afin d'améliorer les performances d'un système d'auto-localisation, selon la manière de manipuler les informations disponibles. Les algorithmes de localisation de familles range-free et range-based peuvent également être divisés en deux sous-catégories: Fully-range-free, hybrid-range-free et fully-range-based, hybrid-range-based.

Les techniques hybrides, grâce aux mécanismes exploités, seront considérées comme plus exactes. Comme le montre le tableau 3.1, les solutions de type hybrid-range-free effectuent souvent une estimation de position plus précise par rapport aux solutions fully-range-free, c'est le cas des protocoles WC DV-hop [82] et CA [65]. De même, les solutions de type hybrid-range-based sont généralement plus précises par rapport aux solutions fully-range-free, c'est le cas des protocoles EATL [106] et RTSA [99].

Dans un environnement obstrué, la précision d'un système de localisation peut être très affectée. En effet, sa vulnérabilité aux obstacles le rend peu fiable pour la mesure de distance. Par exemple, le protocole COLA [84] est très sensible aux effets environnementaux.

La stratégie de déploiement des nœuds de capteurs a aussi une grande influence sur la précision de la localisation. Plusieurs stratégies de déploiements, selon les besoins des applications, peuvent être envisagées. Les nœuds peuvent être déployés aléatoirement d'un avion ou d'une roquette par exemple, ou bien ils peuvent être placés un par un d'une manière déterministe par un humain ou un robot [19]. La plupart des systèmes de localisation peuvent obtenir une bonne précision dans un réseau de capteurs uniformément distribués par rapport à ceux qui sont distribués de façon aléatoire. La publication dans [112] propose un déploiement stratégique permettant d'obtenir à la fois une bonne précision de localisation et une bonne couverture des nœuds.

Le placement et la densité des ancres peuvent souvent avoir un impact significatif sur la localisation. La précision de la localisation s'améliore si les ancres forment un polygone convexe autour du réseau. De plus, d'autres ancres supplémentaires placées au centre du réseau peuvent être également utiles. A titre d'exemple, le bon fonctionnement du protocole APIT [74] impose de travailler avec un grand nombre d'ancres. Par contre, les protocoles comme ADAL [77], MABT [94] utilisent une ancre mobile à la place de plusieurs ancres fixes. Ces protocoles sont adaptés aux environnements obstrués. En effet, l'ancre mobile peut se déplacer autour des obstacles. De plus, il peut être également utilisé pour agrandir la zone de couverture de détection. Cependant, l'inconvénient principal de l'utilisation d'une ancre mobile est cependant l'absence d'une trajectoire bien définie.

De nombreux systèmes de localisation sont sensibles à la densité des nœuds. A titre d'exemple, le protocole CDV-Hop [71] peut obtenir des meilleures performances en termes de précision pour une forte densité des nœuds. Cela est dû au fait que plus la densité est importante et plus l'indice de proximité est capable de distinguer les nœuds réellement proches.

Les algorithmes centralisés sont susceptibles de fournir plus de précision par rapport aux algorithmes distribués. Cela est dû, entre autre, à la disponibilité de l'information globale dans les algorithmes centralisés. A titre d'exemple, nous citons MDS-MAP [78] comme protocole centralisé, le protocole CDV-Hop [71] comme protocole distribué.

3.2. Overhead

Dans cette section, l'overhead d'un protocole de localisation est évalué via le coût de communication, le coût de calcul et le coût du matériel, induits par le protocole.

3.2.1. Coût de communication

La plupart de l'énergie d'un capteur est consommé pendant la communication sans fil. Quelques systèmes distribués nécessitent la collaboration entre les nœuds voisins. A titre d'exemple, le protocole CDV-Hop [71], qui repose sur la méthode du nombre de sauts, induit un coût élevé de communication. De même, les systèmes centralisés ne sont pas performants. Ils exigent aux nœuds de communiquer et envoyer les informations à l'unité centrale, ce qui induit une forte consommation d'énergie. Il est à noter aussi que le protocole fondé sur l'utilisation d'une ancre mobile n'est pas limité en énergie comme c'est le cas d'un simple nœud capteur.

3.2.2. Coût de calcul

Les capteurs possèdent de faibles processeurs et de petites mémoires, ce qui rend les grands calculs irréalisables. Par conséquent, un algorithme de localisation doit être simple et non complexe et n'exige pas de grands calculs ni de grande capacité de mémoire pour le stockage des données.

Le protocole de localisation centralisé possède une exactitude plus grande mais génère une plus grande complexité dans le calcul et la communication. A titre d'exemple, le MDS-MAP [78] utilise les distances entre toutes les paires de capteurs le long du chemin le plus court

reliant deux nœuds. Cette information est utilisée pour construire une matrice de distance pour MDS-MAP. Cet algorithme permet alors de placer les nœuds selon ces informations disponibles. Dans le cas d'un réseau dense, cela peut laisser le processus de localisation prendre plus du temps de calcul.

La complexité de calcul des systèmes hybrides augmente avec la variété et la quantité de données du réseau (mesures de distance et/ou informations de topologie) utilisées dans l'estimation de position. A titre d'exemple, le protocole EATL [106], du type hybrid-range-based, génère une plus grande complexité de calcul que le protocole DV-bearing [56] de type fully-range-based.

3.2.3. Coût du matériel

Dans les systèmes range-based, le matériel de mesure n'est pas le même. Par conséquent, les performances en termes de précision sont très différentes. A titre d'exemple, le protocole ILOR [85] ne possède pas de matériel supplémentaire, parce qu'il utilise la technique de mesure RSSI. Par contre, les protocoles comme ALAR [90] et AHLoS [52] demande l'ajout de composants spécialisés et onéreux, ce qui induit un coût matériel supplémentaire et par conséquent une bonne précision. De même, les solutions hybrid-range-based ramène aux inconvénients des solutions nécessitant un ajout de matériel, surtout avec l'utilisation de deux techniques de mesure différentes exigeant deux matériels différents, comme pour les protocoles EATL [106] et AHLoS [52].

3.3. Le passage à l'échelle

Les réseaux de capteurs sont généralement envisagés à large échelle. Un algorithme de localisation doit s'adapter à l'augmentation du nombre de nœuds ou aux réseaux de forte densité. Pour les réseaux à grande échelle, nous considérons qu'une méthode distribuée, tels que les protocoles : IMDS-MAP [81], COLA [84] et HTRL [107] et APIT [74], est nécessaire. Cela est dû au fait que les méthodes centralisées demanderaient trop de communication pour l'acheminement des informations vers l'unité centrale et consommeraient donc trop d'énergie, comme c'est le cas pour les protocoles MDS-MAP [78], ILOR [85]. De même, en raison de la nécessité de mettre en place d'un grand nombre d'équipements, les protocoles qui reposent sur un matériel supplémentaire, ne sont donc pas

robuste au passage à l'échelle car cette opération est bien trop coûteuse d'un point de vue financier.

4. Conclusion

La localisation dans les RCSFs est un domaine de recherche dont l'attrait est croissant ces dernières années et de nombreuses propositions ont été faites. Dans ce chapitre, nous avons présenté l'état de l'art à travers une étude conceptuelle et une nouvelle taxonomie pour les algorithmes de localisation, ce qui a permis d'établir une comparaison entre les différentes solutions existantes.

Nous avons pu constater, à l'issue d'analyse de tous ces travaux, que la performance de n'importe quel algorithme de localisation dépend d'un certain nombre de facteurs, tels que la stratégie de déploiement des capteurs, la présence des obstacles, l'organisation de calcul, la densité des nœuds ancrés, la densité des nœuds capteurs, la mobilité et le matériel supplémentaire utilisé.

Toutes ces approches ont leurs propres avantages et inconvénients, les rendant ainsi adaptées à différentes applications. Les méthodes range-based, par nature et grâce aux outils exploités conjointement, seront considérées comme plus précises. Cependant, le coût des systèmes basés sur les mesures des angles et des temps d'arrivés est plus important car un grand nombre d'appareils supplémentaires est requis. En revanche, les systèmes range-based, basés sur la puissance du signal reçu, n'utilisent pas un matériel supplémentaire, mais elles sont très sensibles au bruit et aux obstacles pour l'environnement réel. Des erreurs peuvent se produire lors de la prise de mesure des distances. Inversement, les méthodes range-free sont certes moins précises et sont affectées par la densité des nœuds, mais elles permettent de calculer la position à partir de simples déductions. L'un des avantages de cette famille d'algorithmes tient au fait que des outils complexes ne sont généralement pas nécessaires pour traiter les informations.

Il y a beaucoup d'activités de recherche récentes visant à améliorer la précision de localisation dans les réseaux de capteurs sans fil. De ce fait, les systèmes de localisation hybrides ont vu le jour, mais rares sont celles qui supportent les nombreuses contraintes des réseaux de capteurs. En effet, un compromis doit être trouvé entre justesse et complexité en combinant des méthodes range-based et/ou range-free.

La précision des méthodes range-free peut s'avérer suffisante pour la majorité des usages. Une précision de l'ordre de quelques mètres est suffisante pour une application qui vise par exemple à localiser un incendie dans une forêt. Pour ces multiples raisons, notre choix porte sur les algorithmes range-free. En effet, nos contributions sont liées à cette famille d'approches. D'ailleurs, dans le chapitre suivant, nous proposons une nouvelle technique, appelée REAL, permettant d'aborder le problème de localisation.

CHAPITRE 4

Proposition d'un algorithme de localisation basé sur une zone efficace

Sommaire

- 1. Introduction**
- 2. Motivation**
- 3. Définition du problème**
- 4. Contribution**
- 5. Analyse de performance**
- 6. Simulation et évaluation de performance**
- 7. Conclusion**

1. Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté les différentes solutions proposées dans la littérature afin d'aborder le problème de localisation. Nous avons aussi analysé les deux grandes familles de solutions, à savoir range-based et range-free. Par conséquent, notre choix a porté sur les méthodes range-free. En effet, de tels algorithmes sont simples à mettre en œuvre et garantissent des coûts de calculs très intéressants. De plus, les méthodes range-free proposent des calculs plus ou moins complexes pour évaluer la position. Elles semblent donner de bons résultats dans les réseaux denses.

Dans ce chapitre, nous proposons un nouveau protocole de localisation. Ce dernier fait partie des méthodes de type range-free. Notre approche est fondée sur l'utilisation des ancres statiques afin d'introduire une zone de présence contenant probablement le nœud inconnu. La nouveauté de notre approche réside dans la définition d'une nouvelle forme géométrique correspondante à la zone de présence du nœud inconnu.

Nous commencerons d'abord par présenter les motivations de cette proposition. Ensuite nous présenterons les détails de notre algorithme. De plus nous analysons les performances de notre approche par rapport aux approches existantes.

2. Motivation

Dans notre travail, nous nous intéresserons aux méthodes range-free. D'ailleurs les algorithmes les plus connus de ce type sont DV-Hop [70], Amorphous [113], Centroid [65] et APIT [74]. Les expérimentations présentées dans [74] montrent que, lorsqu'un modèle de propagation radio irrégulier et un déploiement des nœuds sont considérés et un faible coût de communication est désiré, l'algorithme APIT présente une meilleure précision par rapport aux autres méthodes range-free citées précédemment. L'algorithme APIT est dit area-based car son objectif est l'obtention d'une surface contenant probablement le nœud auquel nous essayons d'estimer la position. Cette approche contribue à éliminer des données de localisation si celles-ci sont incohérentes par rapport à ces zones. Cette dernière propriété est intéressante, notamment pour atténuer l'impact des erreurs de mesure qui est le principal défaut des méthodes range-based.

L'algorithme APIT est un algorithme de localisation basé sur des triangles formés par les différentes combinaisons de trois ancrs voisines. L'inconvénient majeur de cette solution réside dans les mauvaises décisions prises au sujet de la présence des capteurs à l'intérieur ou à l'extérieur des triangles formés. De ce fait, nous proposons un nouvel algorithme du même type area-based, appelé «REAL (REliable Area-based Localisation algorithm)» [114]. REAL repose sur les mêmes paramètres de l'APIT, i.e., les différentes combinaisons de trois ancrs voisines et le tri des informations de voisinage (les valeurs de RSSI). De plus, en se basant sur des calculs géométriques simples, REAL introduit une nouvelle forme géométrique correspondante à la zone de présence du capteur. Il utilise un nouveau test d'appartenance plus fiable pour vérifier la présence du capteur. Il est à noter que l'objectif de notre approche est de surpasser la qualité de localisation du protocole APIT tout en gardant les mêmes données utilisées.

3. Définition du problème

Dans cette section, nous présentons le problème qui a motivé notre travail. Cela est fait en décrivant l'algorithme APIT et l'impact du test d'appartenance du capteur sur la précision de localisation.

3.1. La famille APIT

APIT est un algorithme de localisation range-free très populaire. Sa version originale ainsi que ces deux améliorations sont présentées dans cette section.

3.1. 1. APIT original

Dans [74], les auteurs proposent un algorithme range-free appelé APIT (Aproximate Point In Triangle Test), qui est un algorithme de localisation distribué. Il est facilement implémenté et ne nécessite pas de grandes ressources. APIT s'exécute en trois étapes:

Dans la première étape, chaque nœud ancre commence à diffuser le message beacon. Le nœud inconnu collecte les informations venant des ancrs, il construit un tableau contenant (identificateur de l'ancre, la position, la puissance du signal reçu) pour chaque ancre. Ensuite

il échange son tableau avec ses nœuds voisins. A la fin, ces tableaux sont fusionnés à chaque nœud inconnu pour maintenir l'état de voisinage.

Dans la deuxième étape, chaque nœud inconnu calcule tous les triangles possibles qu'il peut former avec ces ancres voisines. Cela permet de déterminer s'il se situe à l'intérieur ou à l'extérieur d'un triangle donné. De plus, le nœud effectue un test d'appartenance pour chaque triangle, appelé APIT Test (Aproximate PIT Test), une version approximative du PIT Test (Point In Triangle Test). Le PIT test stipule que tout déplacement d'un mobile situé à l'intérieur du triangle correspond à son rapprochement/éloignement à au moins un des sommets du triangle (voir figure 4.1(a)). S'il se rapproche/s'éloigne de tous les sommets à la fois, le mobile est à l'extérieur du triangle (voir figure 4.1(b)). Ce test est adapté à un réseau en utilisant les relations entre les mobiles voisins du nœud d'intérêt et les ancres. Cependant, le mouvement du nœud n'étant pas forcément un paramètre contrôlé par l'application de localisation. Pour émuler les déplacements, une version approximative du PIT a été proposée.

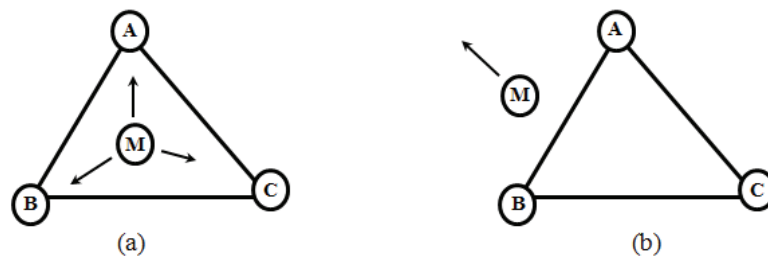


Figure 4.1: La présence du capteur M [74]

Le principe général d'un APIT test peut s'énoncer comme suit : si aucun nœud voisin de M est plus éloigné/proche de tous les sommets à la fois (i.e., ancres A, B et C simultanément) par rapport au nœud M, ce dernier suppose qu'il est à l'intérieur du triangle ABC. Sinon, M suppose qu'il est à l'extérieur du triangle.

Nous présentons un exemple pour expliquer ce test :

- Figure 4.2(a) illustre un scénario basé sur le fait qu'aucun des voisins du nœud M (les nœuds 1, 2, 3 et 4), est plus éloigné/proche de trois ancres A, B et C à la fois, par rapport au nœud M. Dans ce cas, M suppose qu'il est à l'intérieur du triangle ABC.
- Figure 4.2(b) illustre un scénario basé sur le fait que le voisin 4 est plus éloigné des trois ancres A, B, et C par rapport au nœud M. Cela permet de constater que le nœud M réside à l'extérieur du triangle ABC.

Dans APIT, chaque nœud inconnu construit un tableau contenant des informations sur l'état de voisinage, plus particulièrement les valeurs d'intensité du signal. Par conséquent, une comparaison de ces valeurs d'intensité du signal entre les nœuds voisins et les ancres permettrait au nœud inconnu de déterminer si un nœud voisin est plus éloigné/proche d'un nœud ancre donné. De ce fait, s'il existe un nœud voisin, qui a constamment la plus grande/petite puissance du signal en provenance des trois ancres A, B et C par rapport à celle du nœud inconnu, M suppose qu'il est à l'extérieur du triangle ABC. Sinon, M suppose qu'il est à l'intérieur du triangle ABC.

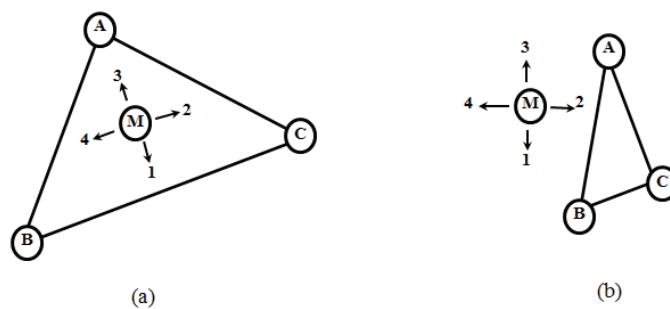


Figure 4.2: Approximate P.I.T Test [74]

Dans la troisième étape, après que le nœud inconnu ait déterminé son appartenance ou non à chacun des triangles, l'algorithme fait appel à la méthode *grid-scan*. Dans cette méthode, chaque nœud représente le réseau par une grille, dans laquelle chaque case symbolise une région bien précise de ce réseau. Le nœud incrémente les cases dans la grille qui pourraient correspondre à sa position par 1. Sinon, elles sont décrémentées de la même valeur. La zone contenant le nœud inconnu est représentée par les cases de valeurs maximales. Dans la figure 4.3, cette zone est définie par l'intersection des triangles dans lesquels le nœud se situe à l'intérieur.

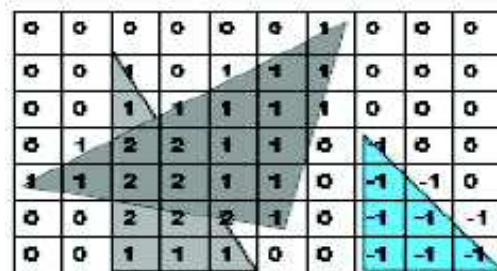


Figure 4.3 : Grid-scan algorithm [74]

Dans la quatrième étape, le nœud estime sa position comme étant le centre de gravité de la zone d'intersection des triangles (la zone constituant les cases des valeurs maximales).

Inconvénients de l'algorithme APIT:

L'algorithme APIT peut prendre de mauvaises décisions concernant la présence du nœud inconnu. Les deux scénarios, où des décisions erronées sont prises, sont illustrés dans la figure 4.4.

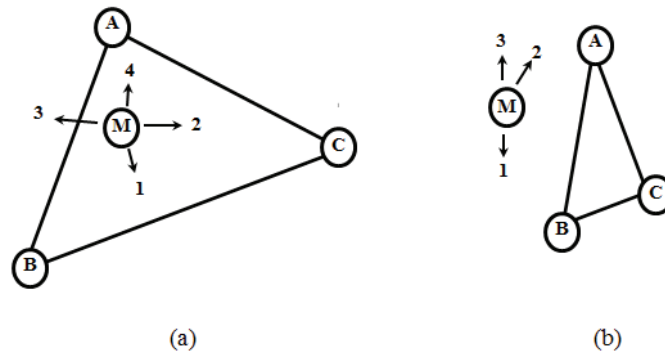


Figure 4.4 : Scénarios d'erreurs pour le test APIT [74]

La figure 4.4(a) illustre un scénario relatif à l'erreur InToOut. En effet, le nœud, qui est réellement à l'intérieur du triangle, pense à tort qu'il est à l'extérieur du même triangle. Comme le montre la figure 4.4(a), le nœud M se situe à l'intérieur du triangle ABC. Son voisin le plus éloigné de tous les nœuds ancrés A, B, et C par rapport au nœud M est le nœud 3 dans notre cas est en dehors du triangle, il est le plus éloigné de tous les nœuds ancrés A, B, et C par rapport au nœud M. Par conséquent, M pense à tort qu'il est à l'extérieur du triangle ABC. En fin, l'erreur InToOut peut se produire lorsque le nœud inconnu (M dans notre cas) est près du bord du triangle.

D'autre part, le placement irrégulier des nœuds voisins peut causer l'erreur Out-To-In. En effet, le nœud, qui est réellement à l'extérieur du triangle, pense à tort qu'il est à l'intérieur du même triangle. Comme le montre la figure 4.4(b), le nœud M est à l'extérieur du triangle ABC et aucun de ses voisins n'est plus éloigné/proche de toutes les ancrés A, B, C à la fois. Cela conduit le nœud M à penser à tort qu'il se situe à l'intérieur du triangle ABC.

L'algorithme APIT est sensible au placement des nœuds capteurs. Dans certains cas, le test APIT peut échouer. De ce fait, l'incertitude dans la détermination de la zone de présence du nœud inconnu et la précision de l'estimation de sa position peuvent être affectées.

3.1.2. Les versions améliorées de l'algorithme APIT

Plusieurs travaux ont été proposés dans la littérature afin d'améliorer les performances de l'algorithme original APIT [74]. Dans la suite de cette section, nous décrivons deux travaux récents proposant des méthodes d'amélioration.

Dans [115], les auteurs proposent l'approche suivante:

Après que le nœud inconnu effectue le test APIT, il construit un ensemble de triangles dont il se situe à l'intérieur. En divisant chaque triangle en trois petites régions (voir figure 4.5), le nœud inconnu peut, en se basant sur une comparaison des valeurs des puissances des signaux reçus en provenance des ancres (i.e., les valeurs du RSSI), estimer dans quelle petite région il se trouve. Par conséquent, la position du nœud inconnu est associée à la moyenne du centre de gravité de toutes les petites zones obtenues.

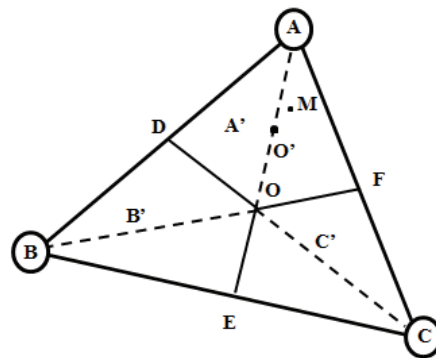


Figure 4.5: Triangle divisé en petites régions [115]

Dans le travail décrit dans [75], les auteurs ont également proposé une autre amélioration pour la version originale de l'algorithme APIT. Cette amélioration est basée sur un test efficace, appelé Area test. Ce dernier est utilisé pour déterminer si le nœud inconnu est réellement à l'intérieur d'un triangle donné ou non. Son principe est le suivant :

Avec trois ancres A, B et C, on détermine si le nœud inconnu est réellement à l'intérieur du triangle ABC ou non.

Hypothèse I (figure 4.6(a)): si le nœud M est à l'intérieur du triangle ABC, alors la surface obtenue en additionnant les surfaces du triangle ABM, du triangle ACM et du triangle BCM, est égale à la surface du triangle ABC.

Hypothèse II (figure 4.6(b)): si le nœud M est à l'extérieur du triangle ABC , alors la surface obtenue en additionnant les surfaces du triangle ABM , du triangle ACM et du triangle BCM , est supérieure à la surface du triangle ABC .

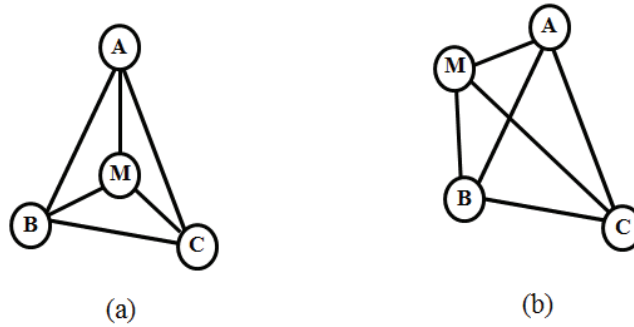


Figure 4.6: Test de surface (Area test) [75]

4. Contribution

Dans cette section, nous présentons notre algorithme de localisation. Nous commençons par donner une vue d'ensemble sur l'algorithme ensuite nous le détaillons.

4.1. Notations

Dans les sections suivantes de ce chapitre, nous utilisons les notations présentées dans le tableau 4.1:

Notation	Signification
N	Nombre des nœuds inconnus
M	Nombre des ancrés
R	Portée de communication d'un nœud
Z	superficie de la zone du réseau
s	Nœud inconnu
ID_s	Identificateur du nœud inconnu
\hat{N}_s	Nombre des nœuds inconnus voisins du nœud s
\hat{M}_s	Nombre des ancrés voisines du nœud s
L	Nombre des nœuds localisables
s_p	Nœud voisin du nœud s
(x_s, y_s)	Coordonnées réelles du nœud s

(x_{est}, y_{est})	Coordonnées estimées du nœud s
A_i	Ancre
ID_{A_i}	Identificateur de l'ancre A_i
(x_{A_i}, y_{A_i})	Coordonnées de l'ancre A_i
d_{s,A_i}	Distance entre le nœud s et l'ancre A_i
$d_{i,j}$	Distance entre l'ancre A_i et l'ancre A_j
$C_{A_i}, C_{A_j}, C_{A_k}$	Cercles avec le centre A_i, A_j et A_k , respectivement
C_{R,A_i}	Cercle avec le centre A_i et le rayon R
$RSSI_{s,A_i}$	Valeur RSSI entre le nœud s et l'ancre A_i
$RSSI_{A_i,A_j}$	Valeur RSSI entre l'ancre A_i et l'ancre A_j
$RSSI_{A_i,s_p}$	Valeur RSSI entre le voisin du nœud inconnu s_p et l'ancre A_i
NA_s	Tableau des ancres voisines de l'ancre
AH_s	Tableau des ancres voisines du nœud s
AC_s	Liste des combinaisons de trois ancres voisines
CMU	Surface d'union de deux cercles
\overline{CMU}	La surface du réseau en excluant la surface d'union de deux cercles
T	Nombre des points de la grille de la zone de présence
p_q	Points de la grille de la zone de présence
(x_{p_q}, y_{p_q})	Coordonnées de point de la grille p_q

Tableau 4.1: Notations

4.2. Idée de base

Dans cette section, nous présentons la méthode de calcul utilisée dans le cadre de nos travaux. Dans ce qui suit, nous décrivons la façon qui nous a permis de définir une nouvelle forme géométrique contenant le nœud auquel nous cherchons à estimer la position.

Soit $A_1(x_{A_1}, y_{A_1})$, $A_2(x_{A_2}, y_{A_2})$ et $A_3(x_{A_3}, y_{A_3})$ trois ancres voisines du nœud inconnu s . Cela est illustré dans la figure 4.7.

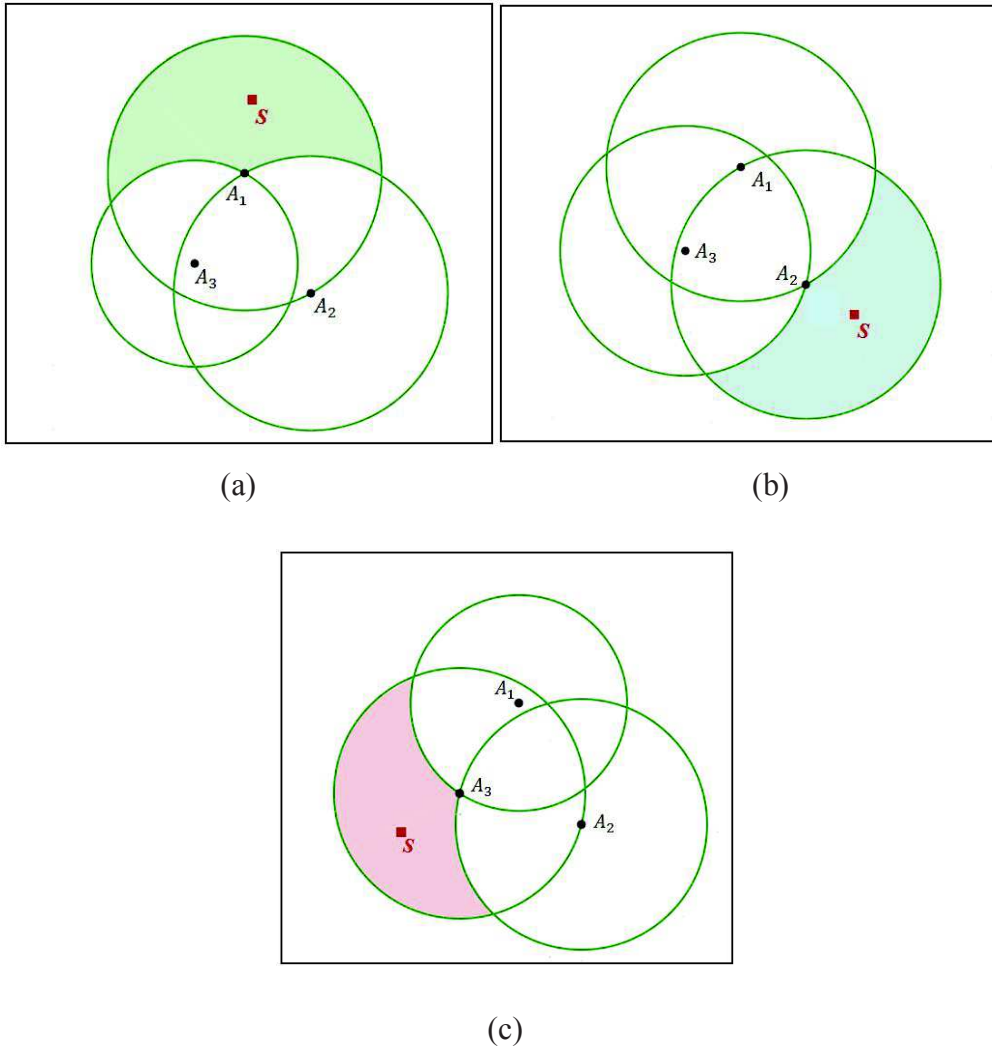


Figure 4.7: Illustration de la zone de présence lorsque:
(a) A_1 est la plus proche du nœud s , (b) A_2 est la plus proche du nœud s et
(c) A_3 est la plus proche du nœud s

Proposition I : (Recherche de l'ancre la plus proche)

Le capteur s est plus proche d'au moins une des ancres A_1 , A_2 ou A_3 , si et seulement si:

$$\begin{aligned}
 & d_{s,A_1} < d_{s,A_2} \text{ et } d_{s,A_1} < d_{s,A_3} \\
 & \text{Ou} \\
 & d_{s,A_2} < d_{s,A_1} \text{ et } d_{s,A_2} < d_{s,A_3} \quad (4.1) \\
 & \text{Ou} \\
 & d_{s,A_3} < d_{s,A_1} \text{ et } d_{s,A_3} < d_{s,A_2}
 \end{aligned}$$

Proposition II : (Création de la zone de présence)

Nous supposons que l'ancre A_1 est la plus proche du nœud inconnu s par rapport aux autres ancres. Cela est illustré dans la figure 4.7(a). Deux cercles sont dessinés, le premier est le cercle C_{A_2} avec le centre A_2 et le rayon $d_{1,2}$ (la distance entre les ancres A_2 et A_1). Le deuxième cercle est C_{A_3} avec le centre A_3 et le rayon $d_{1,3}$ (la distance entre les deux ancres A_3 et A_1). Si les distances entre le capteur s et les deux ancres A_2 et A_3 sont plus grandes respectivement que les rayons des cercles C_{A_2} et C_{A_3} , on peut déduire que le capteur s n'appartient pas à la forme géométrique définie par l'union des deux cercles C_{A_2} et C_{A_3} . Par conséquent, la zone de présence actuelle du nœud s est la surface du réseau en excluant la surface de l'union des deux cercles C_{A_2} et C_{A_3} .

La zone de présence actuelle du capteur s peut être réduite en traçant un troisième cercle C_{A_1} , défini par le centre A_1 (i.e., l'ancre la plus proche) et le rayon avec la distance la plus grande entre $d_{1,2}$ et $d_{1,3}$. Dans la figure 4.7(a), la surface en vert présente la zone de présence finale pour le capteur s .

Les figures 4.7 (b) et 4.7 (c) illustrent respectivement les cas où le capteur s est plus proche aux ancres A_2 et A_3 . Nous avons pu constater que pour une combinaison de trois ancres voisines, nous pouvons obtenir trois formes géométriques différentes. Ces formes représentent les zones de présence pour les capteurs (la surface en vert dans la figure 4.7 (a), la surface en bleu dans la figure 4.7 (b) et la zone en rouge dans la figure 4.7 (c)). D'ailleurs, l'algorithme APIT utilise uniquement la surface du triangle pour présenter la zone de présence du capteur.

Notre protocole fait partie de la famille range-free. En effet, elle est indépendante de la mesure de la distance. D'autre part, le teste d'appartenance, présenté dans cette section, repose sur les distances absolues entre les nœuds. Cela permet de vérifier si un capteur est à l'intérieur d'une forme géométrique définie ou non. Nous abordons ce problème dans les sections suivantes.

4.3. Modèle du système

Cette section illustre notre modèle du système qui inclut les modèles de la communication et du réseau.

4.3.1. Modèles de communication

Chaque capteur récepteur est capable de calculer la valeur RSSI correspondante à chaque signal radio reçu. Cela permet au nœud capteur de calculer la distance qui le sépare du nœud émetteur. En revanche, convertir la valeur RSSI en distance nécessite des connaissances sur le modèle de propagation radio et les informations topologiques sur l'environnement.

Dans l'algorithme APIT [74], le nœud inconnu se base sur une comparaison entre les valeurs RSSI afin de déterminer sa zone de présence, sans les convertir en distances. Ces valeurs permettent au nœud inconnu de vérifier si l'un de ses voisins est plus proche /éloigné d'une ancre donnée. La validité de cette hypothèse est testée à l'aide des capteurs MICA. En effet, les résultats expérimentaux ont montré que les valeurs de RSSI diminuent de façon monotone par rapport à l'augmentation de la distance. D'ailleurs, les publications [116] et [117] confirment qu'il est également possible d'indiquer le capteur proche /éloigné en se basant sur des mesures du RSSI.

4.3.2. Modèle du réseau

Dans notre étude, nous considérons un réseau de capteurs statique constitué de plusieurs nœuds capteurs déployés de façon aléatoire avec une distribution uniforme (i.e., le réseau est divisé en 4 zones et les nœuds sont uniformément répartis sur les zones) dans un champ d'intérêt de surface Z . Donc une fois les capteurs sont déployés, ils ne quittent pas leurs emplacements.

Nous supposons que le réseau est constitué d'un ensemble de nœuds inconnus, que nous cherchons à estimer les positions, et d'un ensemble de nœuds ancres avec des positions absolues déjà connues (par GPS ou par configuration manuelle). Nous supposons également que la portée de communication R de chaque nœud est la même dans tout le réseau.

4.4. Description de l'algorithme

Dans notre algorithme REAL, les capteurs inconnus exploitent les informations de localisation liées aux ancres voisines. En fonction de ses informations, chaque capteur définit une zone géographique le contenant (i.e., zone de présence) et prend pour position le centre de gravité (COG : Center Of Gravity) de celle-ci. La dérivation des positions des nœuds selon l'algorithme REAL se fait en cinq étapes : 1) la détection des ancres voisines, 2) la collecte

des informations de localisation, 3) la création de la zone de présence, 4) le raffinement de la zone de présence, 5) l'estimation de la position. Ces différentes étapes sont détaillées dans ce qui suit.

Etape 1: La détection des ancres voisines

Dans cette étape, chaque nœud ancre commence à diffuser le message beacon contenant sa position. Par conséquent, les capteurs et les ancres, qui peuvent recevoir ce message, sont dans la portée de communication de ce nœud ancre. Chaque nœud ancre (par exemple, l'ancre A_i) construit un tableau de ses ancres voisines, noté NAs . Chaque ligne du tableau NAs comprend : l'identificateur ID_{A_j} , la position (i.e. (x_{A_j}, y_{A_j})) et la valeur RSSI qui correspond au message beacon provenant du l'ancre A_j , notées $RSSI_{A_i, A_j}$. Ensuite, chaque ancre diffuse ses informations collectées à tous les capteurs voisins.

Etape 2 : La Collecte des informations de localisation

Après que le nœud capteur s collecte les informations liées aux ancres voisines, il construit son tableau d'ancrage, noté AHs . Chaque ligne dans AHs comprend : l'identificateur ID_{A_j} , la position (i.e. (x_{A_j}, y_{A_j})), la valeur du RSSI qui correspond au message beacon provenant du l'ancre A_j , notée $RSSI_{s, A_j}$ et les valeurs du $RSSI_{A_i, A_j}$ du tableau NAs .

Etape 3: La création de la zone de présence

Après avoir collecté un nombre suffisant d'informations (i.e., au moins à partir de trois ancres voisines), le nœud inconnu peut déterminer sa zone de présence.

Pour trois ancres voisine: $A_i(x_{A_i}, y_{A_i})$, $A_j(x_{A_j}, y_{A_j})$ et $A_k(x_{A_k}, y_{A_k})$, nous supposons que A_i est l'ancre la plus proche du nœud s , si et seulement si :

$$RSSI_{s, A_i} > RSSI_{s, A_j} \text{ et } RSSI_{s, A_i} > RSSI_{s, A_k} \quad (4.2)$$

De plus, si nous avons:

$$RSSI_{s, A_j} \leq RSSI_{A_i, A_j} \text{ et } RSSI_{s, A_k} \leq RSSI_{A_i, A_k} \quad (4.3)$$

Le capteur s doit être à l'extérieur de la forme géométrique définie par l'union des deux cercles C_{A_j} et C_{A_k} . Le cercle C_{A_j} est défini par le centre A_j et le rayon $d_{i,j}$ (la distance entre A_j et A_i), et le cercle C_{A_k} défini par le centre A_k et le rayon $d_{i,k}$ (la distance entre A_k et A_i). La forme géométrique dans laquelle le nœud se situe est connue comme étant le complément

du mode d'union, notée $\overline{CMU}(A_j, A_k)$, qui est la surface du réseau entier sauf la surface de l'union des deux cercles C_{A_j} et C_{A_k} . Cette zone de présence primitive peut être réduite. Le capteur s est plus proche de l'ancre A_i . Il trace un troisième cercle de centre A_i et de rayon correspondant à la plus grande distance $d_{i,j}$ entre les deux ancres A_i et A_j , ou la distance $d_{i,k}$ entre les ancres A_k et A_i . Par conséquent, la zone de présence finale du capteur s est l'intersection entre la zone $\overline{CMU}(A_j, A_k)$ et le cercle C_{A_i} .

L'algorithme 1 résume l'étape 3.

Algorithme 1: La zone de présence du nœud s

```

1: Let AHs be the set of neighbor anchors for a sensor  $s$ .
2: Let ACs be the set of all possible three anchors' combinations.
3: Z be the area of the network
4:  $R_{i,j,k}$  be the residence area of the sensor
5: for each sub-set  $(A_j, A_j, A_k) \in \mathbf{ACs}$  do
6:   Let  $A_i$  be the nearest anchor then
7:     if  $RSSI_{s,A_j} \leq RSSI_{A_i,A_j}$  and  $RSSI_{s,A_k} \leq RSSI_{A_i,A_k}$ 
8:        $R_{i,j,k} = Z \setminus \overline{CMU}(A_j, A_k)$ 
9:        $R_{i,j,k} = R_{i,j,k} \cap C_{A_i}$ 
10:    end if
11: end for.

```

Etape 4 : Le raffinement de la zone de présence

Les capteurs peuvent déterminer leur zone de présence finale en se basant uniquement sur des opérations arithmétiques. Cependant, cela serait coûteux en termes de temps de calcul. Nous avons donc essayé de trouver une alternative plus efficace. En effet, nous proposons d'utiliser l'algorithme de type «analyse de matrice» ou «*grid-scan*» pour délimiter la surface qui correspond à la zone où se trouve très probablement le nœud inconnu (i.e., la zone de présence). Cet algorithme a déjà été utilisé par le protocole APIT. D'ailleurs, le réseau entier est représenté par une grille dans laquelle chaque case symbolise une région bien précise de ce réseau. Chacune des cellules de la grille se verra affecter un poids qui évoluera suivant les résultats des tests exécutés sur la cellule. Dans les réseaux denses, et surtout déployés dans des zones vastes, analyser la surface entière du réseau peut-être un peu coûteuse en termes de temps de calcul. De ce fait, nous proposons de réduire la surface à analyser en se basant sur les coordonnées des ancres voisines et la portée de communication. Enfin, pour chaque nœud inconnu, une zone carrée, dont la longueur d'un côté est égale à $2 \times R$, est identifiée par l'ensemble des coordonnées satisfaisant (équation 4.4):

$$x_{min} - R \leq x \leq x_{max} + R \quad \text{et} \quad y_{min} - R \leq y \leq y_{max} + R \quad (4.4)$$

Où:

x_{min} : La valeur minimale des abscisses x d'un ensemble d'ancres voisines.

y_{min} : La valeur minimale des ordonnées y d'un ensemble d'ancres voisines.

x_{max} : La valeur maximale des abscisses x d'un ensemble d'ancres voisines.

y_{max} : La valeur maximale des ordonnées y d'un ensemble d'ancres voisines.

R : La portée de communication

Notre méthode *grid-scan* s'exécute en trois étapes : 1) Une fois la zone carrée du capteur inconnu est identifiée, le capteur la représente par une grille de points équidistants dans une zone carrée, comme le montre la figure 4.8(a). 2) le capteur utilise un tableau de pointage de la grille avec des valeurs initiales égales à zéro. Pour chaque point de la grille (i.e., le centre de chaque case de la grille), le capteur effectue le test *grid-region* pour vérifier si le point de la grille est inclus dans la forme géométrique définie par notre protocole REAL (i.e, la surface en vert). Si le test est positif, le capteur augmente la valeur du tableau de pointage correspondante au point de la grille à un. Sinon la valeur reste inchangée, comme le montre la figure 4.8 (b). Ce processus est répété pour tous les points de la grille.

Le test *grid-region* :

Un point de la grille P_q est inclus dans la forme géométrique définie, s'il satisfait les conditions suivantes. Nous supposons que A_i est le nœud ancre le plus proche du capteur s :

$$1) \quad \|P_q - A_i\| \leq R \quad \text{et} \quad \|P_q - A_j\| \leq R \quad \text{and} \quad \|P_q - A_k\| \leq R \quad (4.5)$$

$$2) \quad \|P_q - A_j\| \geq \|A_i - A_j\| \quad \text{et} \quad \|P_q - A_k\| \geq \|A_i - A_k\| \quad (4.6)$$

$$3) \quad \|P_q - A_i\| \leq \|A_i - A_j\| \quad \text{ou} \quad \|P_q - A_i\| \leq \|A_i - A_k\| \quad (4.7)$$

L'étape (2) est répétée pour toutes les combinaisons possibles de trois ancres voisines.

La zone de présence du capteur est représentée par les points de grille de valeur maximale dans le tableau de pointage de la grille.

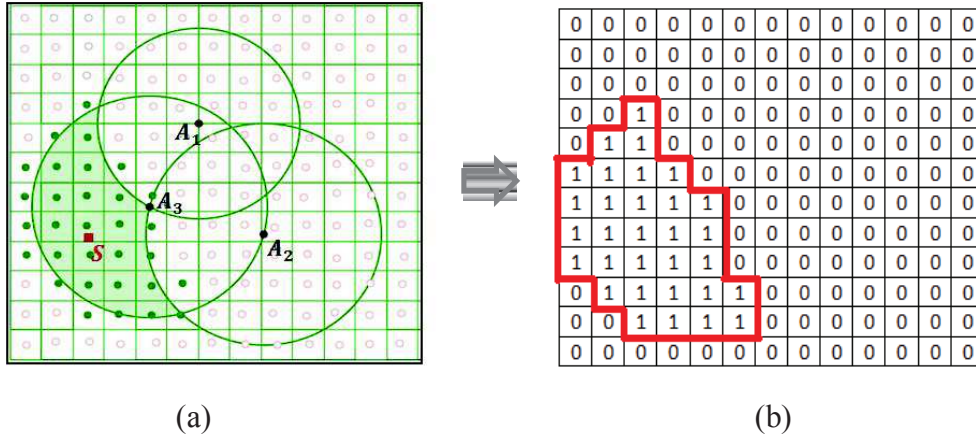


Figure 4.8: (a) l'étape 3 et 4: la construction de zone de présence et la mise en place d'une grille de points équidistants dans la zone carrée, (b) étape 4: le tableau de pointage de la grille correspondante

Etape 5: L'estimation de la position

La position du capteur inconnu est associée au centre de gravité d'un ensemble de points de grille représentant la zone de présence. La position est donc donnée par la formule suivante :

$$(x_{est}, y_{est}) = \left(\frac{1}{T} \sum_{q=1}^T x_{P_q}, \frac{1}{T} \sum_{q=1}^T y_{P_q} \right) \quad (4.8)$$

Où T est le nombre de points de grille de la zone de présence, et (x_{P_q}, y_{P_q}) sont les coordonnées d'un point P_q de la de grille.

4.5. Un exemple illustratif

Dans cette section, nous présentons un exemple pour bien expliquer l'algorithme proposé:

- 1) Chaque ancre reçoit un message beacon, provenant des ancres voisines. Il construit donc un tableau contenant l'identificateur de l'ancre, les coordonnées, les valeurs RSSI relatives aux signaux reçus. Ensuite, chaque ancre diffuse ses informations collectées à tous les nœuds voisins.

A_2	(x_2, y_2)	$RSSI_{A_2, A_1}$	$RSSI_{A_2, A_3}$
A_3	(x_3, y_3)	$RSSI_{A_3, A_1}$	$RSSI_{A_3, A_2}$

Anchor A_1

Tableau 4.2: Les ancres voisines du l'ancre A_1

- 2) Le capteur s reçoit des messages provenant des ancres A_1, A_2 et A_3 . Ensuite, il construit son propre tableau contenant l'identificateur, les valeurs RSSI correspondant aux signaux reçus.

A_1	(x_1, y_1)	$RSSI_{s,A_1}$	$RSSI_{A_1,A_2}$	$RSSI_{A_1,A_3}$
A_2	(x_2, y_2)	$RSSI_{s,A_2}$	$RSSI_{A_2,A_1}$	$RSSI_{A_2,A_3}$
A_3	(x_3, y_3)	$RSSI_{s,A_3}$	$RSSI_{A_3,A_1}$	$RSSI_{A_3,A_2}$

Tableau 4. 3: Les ancres voisines du nœud s

- 3) Afin de construire la zone de présence, le capteur s sélectionne le nœud ancre le plus proche qui a la plus grande valeur de l'intensité du signal entre $RSSI_{s,A_1}$, $RSSI_{s,A_2}$ et $RSSI_{s,A_3}$. Pour cet exemple, nous supposons que ce nœud est A_1 (voir figure 4.9(a)). Ensuite, le nœud inconnu s teste s'il est en dehors de la forme géométrique définie par l'union des deux cercles C_{A_3} et C_{A_2} , en exécutant l'algorithme 1 (ligne 7). Si c'est le cas, le capteur s se situe à l'intérieur de la zone en vert, comme le montre la figure 4.9(b) et la délimitation de cette zone de présence préliminaire est effectuée par l'exécution de l'algorithme 1 (ligne 9), comme le montre la figure 4.9(c).

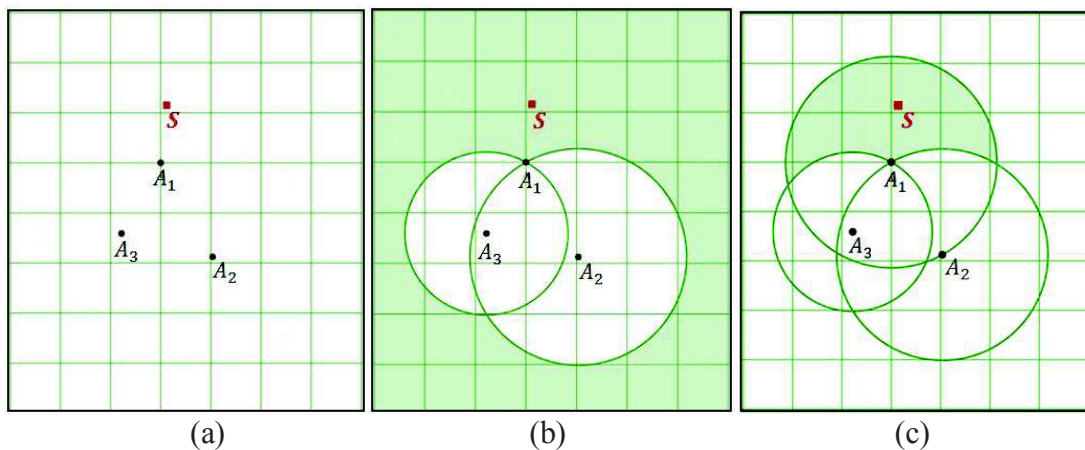


Figure 4.9: Construction de la zone de présence

- 4) Le capteur s répète l'étape 3 pour diverses combinaisons de trois ancres voisines, en exécutant l'algorithme 1 (lignes 6 à 10), afin de déterminer toutes les zones de présence possibles pour le capteur s . Il est à noter que notre exemple montre une seule combinaison de trois ancres voisines.

- 5) Le capteur s effectue l'étape 4 décrite dans la section 5.4.2. pour déterminer la zone de présence finale du capteur. Cette zone correspond à la zone d'intersection de toutes les zones de présence possibles du capteurs.
- 6) le capteur calcule sa position comme le centre de gravité de cette zone.

5. Analyse de performance

Dans cette section, nous évaluons le coût de la communication et le coût de stockage du schéma proposé et ceux d'APIT [74] et ses deux versions améliorées, notées IAPIT-I [115] et IAPIT-II [75].

5.1. Coût de communication

L'efficacité énergétique est l'un des enjeux les plus cruciaux dans les réseaux de capteurs sans fil. Le capteur consomme plus d'énergie dans la communication des données. L'algorithme APIT et ses deux versions améliorées IAPIT-I et IAPIT-II, ont le même coût de communication. En effet, les deux algorithmes sont basés sur le test d'APIT. Ce dernier exige des communications entre les nœuds pour maintenir l'état de voisinage, où chaque nœud ancre et nœud capteur diffusent un seul message beacon. En revanche, l'algorithme REAL ne nécessite pas d'interactions entre les nœuds de capteurs et les ancres diffusent seulement deux messages beacon. La métrique utilisée pour évaluer le coût de la communication est le nombre de paquets envoyés par les nœuds. Par conséquent, l'algorithme APIT et ses deux versions améliorées exigent $|M| + |N|$ messages beacon pour localiser les capteurs inconnus. De l'autre côté, notre algorithme REAL nécessite $2 \times |M|$ messages beacon.

Nous remarquons que les algorithmes étudiées REAL, APIT et ses deux versions améliorées IAPIT-I et IAPIT-II, sont classifiés comme des algorithmes de localisation anchor-based. Ce type d'algorithme utilise quelques nœuds capteurs avec des informations de localisation géographiques à priori connues, appelés «ancres». Selon l'hypothèse que le nombre d'ancres est beaucoup plus faible que le nombre de capteurs, cela implique que $|M| \ll |N|$ et par conséquent $|M| + |N| > 2 \times |M|$. De ce fait, il est clair que notre algorithme (i.e., REAL) a un coût de communication faible par rapport au celui des algorithmes APIT et ses deux versions améliorées IAPIT-I et IAPIT-II.

5.2. Coût de stockage

En raison des contraintes de miniaturisation, les capteurs ont une capacité de stockage très limitée. Ils disposent en effet de quelques kilo-octets de stockage et ne sont en mesure de stocker que quelques trames de données. Il faut distinguer les mémoires ROM et RAM nécessaires à la mise en œuvre des solutions de localisation. La mémoire ROM contient les systèmes d'exploitation (par exemple : TinyOS) du capteur et le code du programme associé à la localisation et à la gestion des communications. La mémoire RAM sert à contenir toutes les données en cours de traitement dans le capteur, telles que les résultats intermédiaires ou temporaires (e.g. les positions des ancrs voisines, la puissance du signal reçu).

Nous utilisons la quantité de données stockées au niveau de chaque capteur afin d'évaluer le coût de stockage.

Dans l'algorithme APIT, IAPIT-I et IAPIT-II, chaque nœud dans le réseau a besoin de stocker un tableau contenant des informations qui concernent ses nœuds voisins (i.e., nœuds ancrs et nœuds inconnus). Par conséquent, le coût de stockage, pour sauvegarder ces informations, correspond à l'équation 4.9:

$$S_{cost} = ID_S + \sum_{i=1}^{\dot{M}_s} ID_{A_i} + \sum_{i=1}^{\dot{M}_s} (x_{A_i}, y_{A_i}) + \sum_{i=1}^{\dot{M}_s} RSSI_{S,A_i} + \sum_{p=1}^{\dot{N}_s} ID_{S_p} + \sum_{p=1}^{\dot{N}_s} \sum_{i=1}^{\dot{M}_s} RSSI_{A_i,S_p} \quad (4.9)$$

avec \dot{N}_s le nombre des nœuds inconnus voisins, ID_S l'identificateur du nœud inconnu s , ID_{S_p} l'identificateur du nœud voisin s_p ($p = 2, \dots, \dot{N}_s$), \dot{M}_s : le nombre des ancrs voisines. ID_{A_i} l'identificateur du nœud ancre voisin A_i ($i = 1, \dots, \dot{M}_s$), $RSSI_{S,A_i}$ l'intensité du signal entre le nœud s et l'ancre A_i , $RSSI_{A_i,S_p}$ l'intensité du signal entre le voisin du nœud inconnu s_p et son nœud ancre voisin .

Dans l'algorithme REAL, le nœud inconnu sauvegarde seulement les informations relatives aux ancrs voisines. De ce fait, le coût de stockage total, pour chaque nœud du réseau, correspond à l'équation 4.10:

$$S'_{cost} = ID_S + \sum_{i=1}^{\dot{M}_s} ID_{A_i} + \sum_{i=1}^{\dot{M}_s} (x_{A_i}, y_{A_i}) + \sum_{i=1}^{\dot{M}_s} RSSI_{S,A_i} + \sum_{i=1}^{\dot{M}_s-1} \sum_{j=i+1}^{\dot{M}_s} RSSI_{A_i,A_j} \quad (4.10)$$

avec ID_S l'identificateur du nœud inconnu s , ID_{A_i} l' identificateur du nœud ancre voisin

$A_i (i = 1, \dots, \dot{M}_s)$, $RSSI_{A_i, A_j}$ l'intensité du signal entre l'ancre A_i et l'ancre A_j ($i = 1, \dots, \dot{M}_s - 1$ et $j = i + 1, \dots, \dot{M}_s$)

Selon l'hypothèse que le nombre d'ancres est beaucoup plus faible que le nombre de capteurs, cela implique que $|M| \ll |N|$. De ce fait, $|\dot{M}_s| \ll |\dot{N}_s|$. Il est clair que notre protocole REAL utilise une petite partie de la mémoire par rapport aux autres algorithmes APIT, IAPIT-I, et IAPIT-II et donc peut être facilement utilisé par les réseaux de capteurs sans fil compte tenu de leurs ressources limitées.

6. Simulation et évaluation de performance

Dans cette section, nous effectuons une étude de simulation pour démontrer l'aspect pratique et l'efficacité de notre protocole de localisation par rapport à d'autres protocoles, de la même catégorie area-based, existants (i.e., l'algorithme original APIT [74] et ses deux versions améliorées IAPIT-I [115] et IAPIT-II [75]). Nous utilisons pour cela python 2.7 [118].

6.1. Le réseau

Dans toutes nos simulations, les capteurs sont déployés aléatoirement avec une distribution uniforme dans des régions de surfaces variées. Pour chaque simulation, la topologie du réseau a été formée comme suit: étant donné le nombre de nœuds et la surface de la région, nous générons d'une manière aléatoire un couple de coordonnées (x et y) pour chaque nœud. Ce couple désigne sa position réelle. Dans ce cadre, nous avons utilisé un nombre total de nœuds (ancres et nœuds inconnus) variant de 210 à 290. Cela nous a permis de montrer la robustesse de nos algorithmes vis à vis le passage à l'échelle.

6.2. Paramètre de simulation

Nous analysons le comportement de notre approche en variant les paramètres qui peuvent affecter directement les performances des algorithmes de localisation du type area-based. Ces paramètres sont définis comme suit:

Nombre des nœuds ancres: Le nombre total des ancres dans le réseau.

La portée de communication: La distance maximale pour assurer une communication radio entre deux capteurs.

Densité des nœuds: Le nombre moyen de nœuds par zone de communication d'un nœud.

6.3. Evaluation

Dans cette section nous présentons les résultats obtenus lors de l'évaluation des différents algorithmes proposés. Les deux métriques principales évaluées dans nos simulations sont : l'erreur moyenne de la localisation et le taux de nœuds localisables. Pour évaluer les performances de ces algorithmes, nous étions amenés à varier le nombre d'ancres et le rayon de communication pour différentes densités des nœuds. La forte densité correspond au réseau de surface de (250m × 250m) et la faible densité correspond au réseau de surface (400m × 400m). De plus nous utilisons le même nombre des nœuds déployés dans les deux réseaux. Il est à noter que tous les résultats présentés dans la suite représentent l'agrégation de plusieurs exécutions des algorithmes (30 exécutions en moyenne).

6.3.1. Erreur de localisation

Un des facteurs d'évaluation le plus important dans la technologie de localisation est la précision de la localisation. La qualité de précision des positions estimées est jugée en fonction du comportement de l'erreur moyenne de localisation. Une basse erreur signifie de meilleures performances de l'algorithme de localisation.

L'erreur de localisation est calculée comme la moyenne de la différence absolue entre la position réelle et la position estimée pour chaque nœud du réseau. Il est à noter que les positions des nœuds qui ne peuvent pas estimer leurs positions (i.e., les nœuds non localisables), sont associées au centre de la zone du déploiement.

Supposons que le réseau est constitué de N nœuds, que la position réelle de chaque nœud est $\{(x, y)_a \mid a \in N\}$, et la position estimée par chaque nœud est $\{(x_{est}, y_{est})_a \mid a \in N\}$, l'erreur moyenne de localisation est donc :

$$LE = \frac{1}{N} \sum_{a \in N} \sqrt{(x - x_{est})^2 + (y - y_{est})^2} \quad (4.11)$$

Si R représente la portée de communication alors l'erreur de localisation normalisée est donnée par :

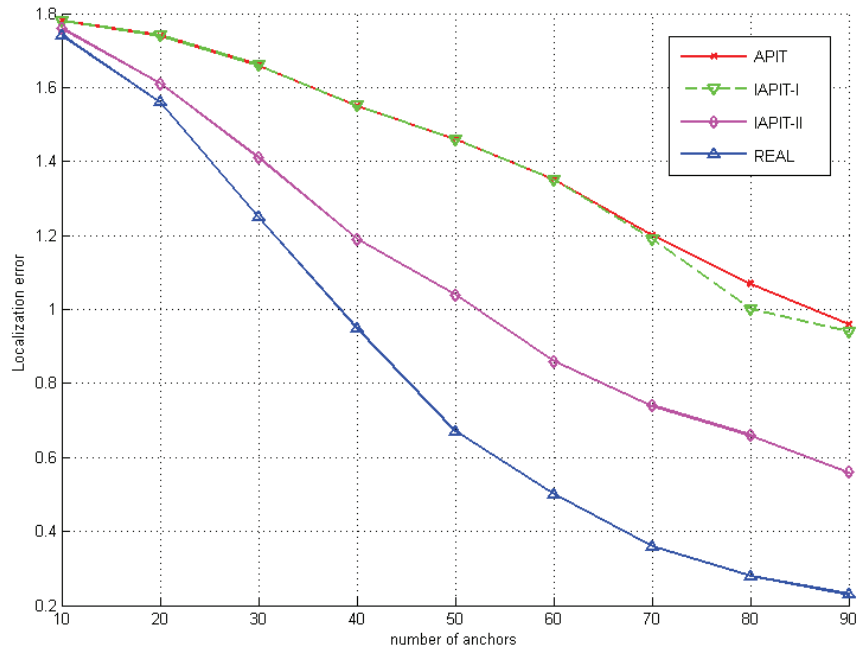
$$NLE = \frac{LE}{R} \quad (4.12)$$

A) Relation entre l'erreur de localisation et le nombre d'ancre

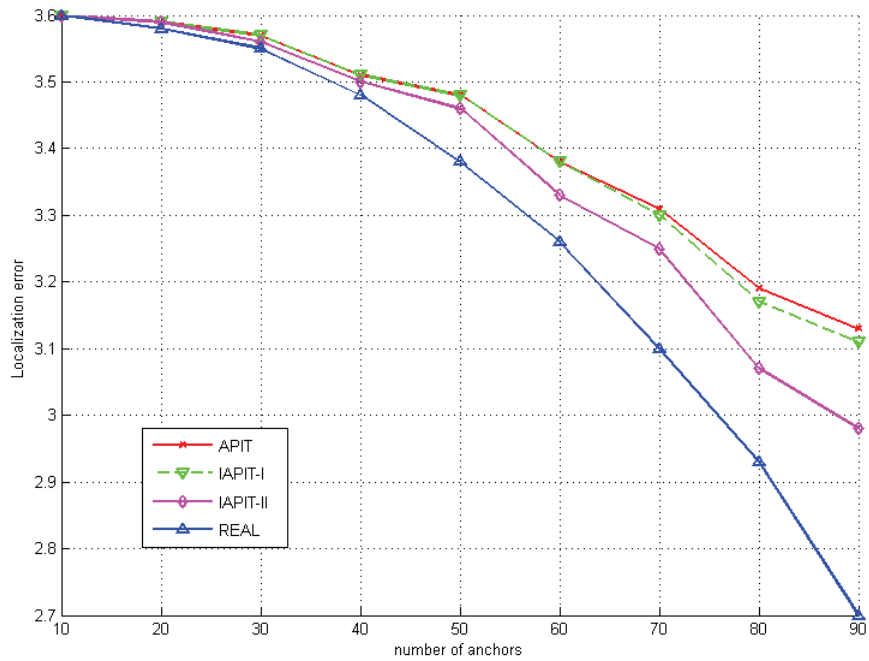
Les figures 4.10(a) et 4.10(b) illustrent la relation entre l'erreur moyenne de localisation et le nombre des nœuds ancrés pour une surface du réseau égale à $(250\text{m} \times 250\text{m})$ et à $(400\text{m} \times 400\text{m})$ respectivement. Pour un nombre de capteur fixé à 200, la portée de communication R est fixée à 43 mètres et le nombre d'ancres varie de 10 à 90. Nous avons pu constater qu'avec l'augmentation du nombre d'ancres, l'erreur de localisation diminue. Ceci est dû au fait que, la probabilité d'effectuer des tests d'appartenance augmente (minimum trois ancres pour effectuer un test), et par conséquent une petite zone de présence et une faible erreur d'estimation des positions sont obtenues.

Pour le protocole IAPIT-I, l'erreur de localisation est très proche de celle d'APIT. En effet, APIT-I souffre encore des mauvaises décisions concernant la zone de présence du capteur inconnu. Alors que, le protocole IAPIT-II utilise un mécanisme pour éviter ces mauvaises décisions dues aux erreurs In-To-Out et Out-To-In. Ce qui explique pourquoi IAPIT-II est plus performant que les protocoles APIT et IAPIT-I.

L'écart important entre les résultats de REAL et ceux d'APIT, APIT-I et APIT-II, est significatif et met en évidence les performances de REAL. Ceci est dû au test d'appartenance utilisé par notre protocole REAL qui mène à une zone de présence plus fiable pour le nœud inconnu. Il est à noter que les positions estimées par les protocoles proposés en faible densité ne sont pas très précises, comme le montre la figure 4.10 (b). Ce qui s'explique par le manque d'informations de voisinage et des positions des ancres.



(a) Réseau de capteurs (250m×250m)



(b) Réseau de capteurs (400m×400m)

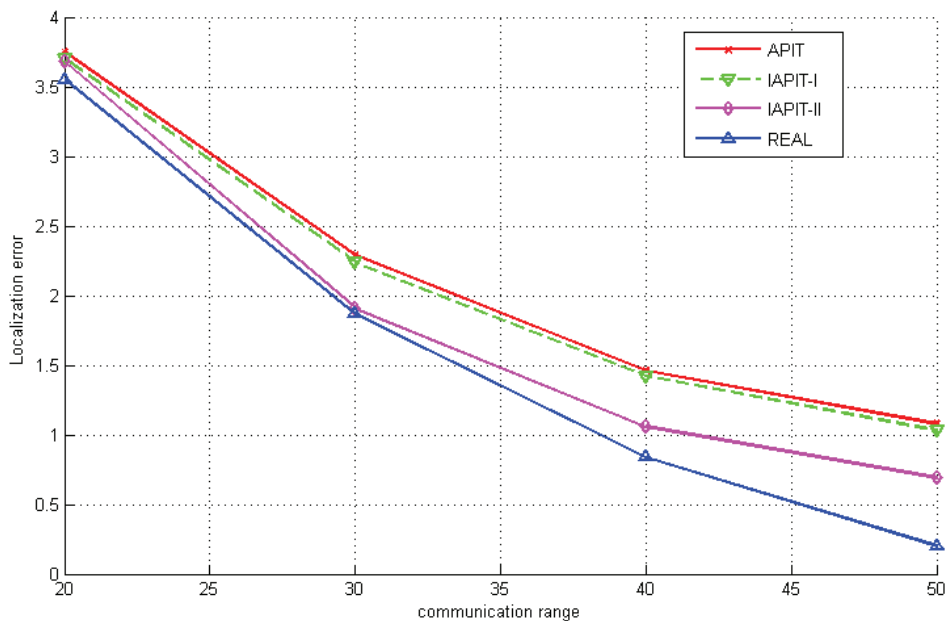
Figure 4.10 : Evolution de l'erreur moyenne de localisation en fonction du nombre d'ancres

B) Relation entre l'erreur de localisation et la portée de communication

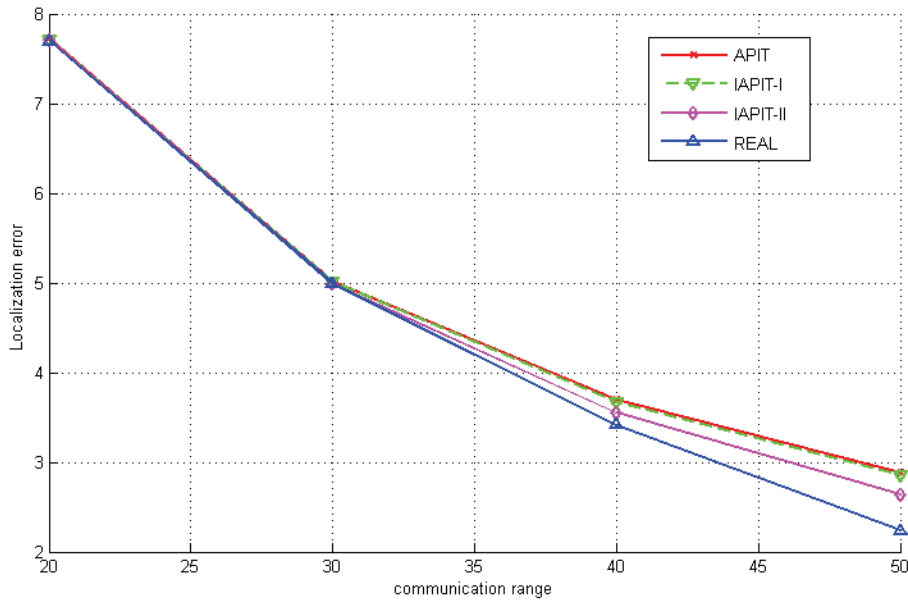
Les figures 4.11(a) et 4.11(b) illustrent l'impact de la portée de communication R sur la précision de la localisation des protocoles étudiés. En effet, nous avons considéré une topologie de 200 nœuds capteurs et 60 nœuds ancrés déployés sur deux surfaces de $(250m \times 250m)$ et de $(400m \times 400m)$. De plus, nous avons varié R de 20 à 50 mètres. Pour chaque configuration, nous avons calculé l'erreur moyenne de la localisation.

Nous avons pu remarquer que quand la portée de communication augmente, la précision des positions estimées est améliorée. En fait, en augmentant la portée de communication, plusieurs nœuds inconnus et ancrés peuvent participer au processus de localisation et par conséquent les nœuds inconnus peuvent améliorer nettement leurs positions.

En se basant sur la courbe 4.11(b), nous avons pu constater que la précision de localisation se dégrade lors d'une faible densité des nœuds. En effet, pour avoir plus de précision de localisation, il suffit d'utiliser des capteurs avec une portée de communication suffisamment grande. Cette caractéristique intéressante permet l'affinement de l'erreur de localisation. Cependant, l'énergie consommée serait importante.



(a) Réseau de capteurs $(250m \times 250m)$



(b) Réseau de capteurs (400m×400m)

Figure 4.11 : Evolution de l'erreur moyenne de localisation en fonction de la portée de communication

6.3.2. Taux des nœuds localisables

C'est le taux des nœuds inconnus qui ont réussi à estimer leurs positions en utilisant le système d'auto-localisation. C'est également une métrique importante pour évaluer la performance d'un système de localisation. Un taux plus élevé des nœuds localisables signifie une meilleure performance de l'algorithme de localisation. Le taux des nœuds localisables est donné par :

$$LR = \frac{L}{N} \quad (4.13)$$

Avec L : le nombre des nœuds localisables et N : le nombre total des nœuds dans le réseau.

A) Relation entre le taux des nœuds localisables et le nombre d'ancres

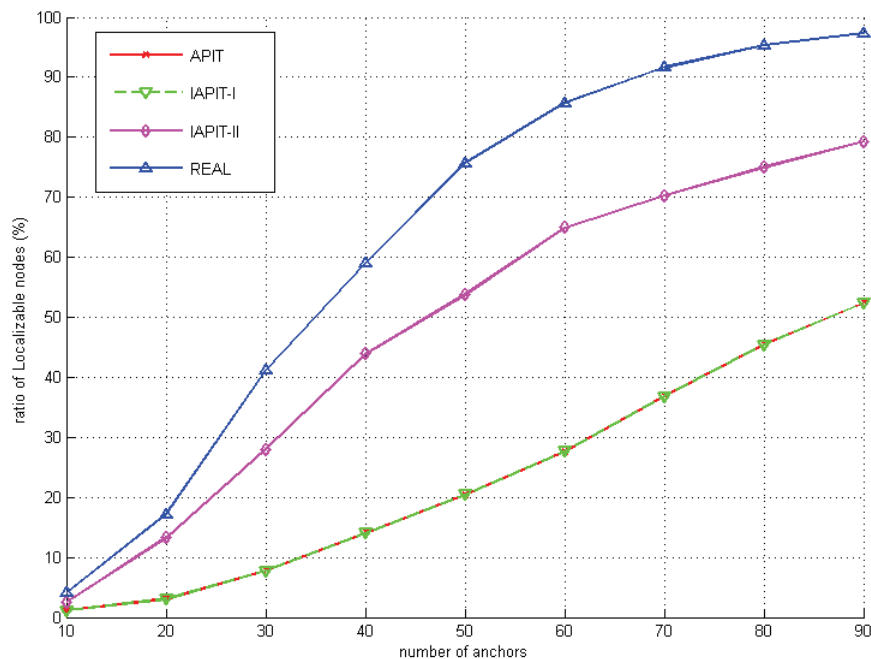
La figure 4.12 illustre le taux des nœuds localisables en fonction du nombre des ancres dans le réseau. En analysant les figures 4.12 (a) et 4.12 (b), nous avons pu remarquer que le taux

des nœuds localisables augmente avec le nombre d'ancres. Ceci est dû au fait que les nœuds inconnus augmentent leurs chances d'avoir des zones de présence et donc ils peuvent estimer leurs positions.

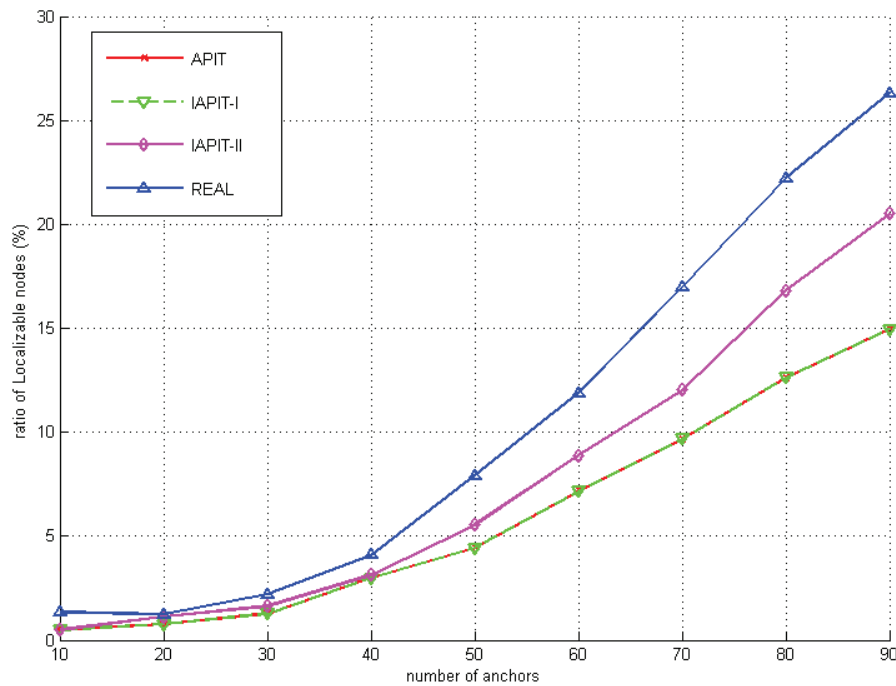
De plus, APIT et IAPIT-I ont le même taux des nœuds localisables. En effet, l'amélioration apportée par le protocole IAPIT-I n'a aucun impact sur le taux des nœuds localisables. Par contre, le protocole IAPIT-II corrige les décisions erronées relatives à la présence de nœuds à l'intérieur d'un triangle donné. Ceci est dû au fait que les nœuds qui se trouvent à l'intérieur du triangle peuvent estimer leurs positions. Ce qui conduit à augmenter le nombre de nœuds localisables et par conséquent on arrive à surpasser les protocoles APIT et IAPIT-I. Cette expérimentation montre l'impact négatif des mauvaises décisions prises par le test APIT.

Les figures 4.12 (a) et 4.12(b) montrent les bons résultats de nos méthodes de localisation. Ce qui s'explique par le fait que le capteur inconnu peut avoir une zone de présence parmi les trois zones de présence formées par une combinaison des trois ancres voisines dans notre protocole REAL. En revanche, il peut avoir seulement la surface du triangle comme zone de présence pour les protocoles APIT, IAPIT-I et IAPIT-II. En fait, la surface des zones de présences couvertes par notre protocole est très importante. Ce qui conduit plusieurs nœuds à déterminer leurs zones de présence et par conséquent d'estimer leurs positions.

La figure 4.12(b) montre l'impact de la densité sur le taux des nœuds localisables. Ceci s'explique de la même manière, plus cette densité augmente, plus les résultats sont améliorés.



(a) Réseau de capteurs (250m×250m)

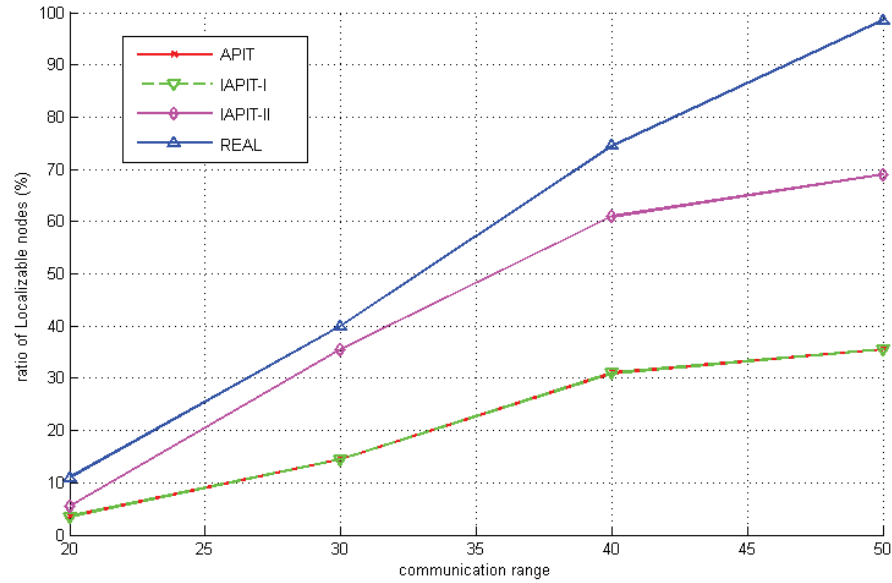


(b) Réseau de capteurs (400m×400m)

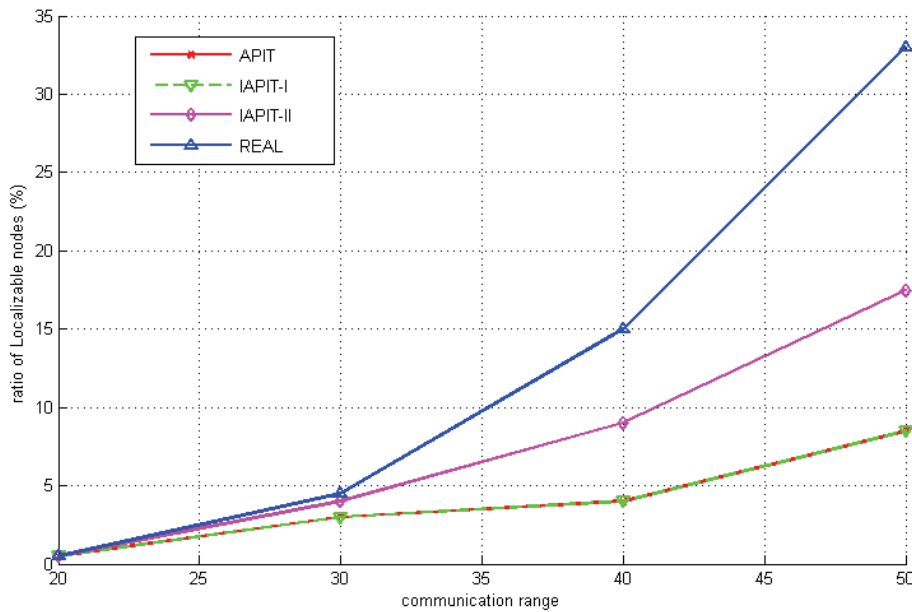
Figure 4.12 : Evolution du taux des nœuds localisables en fonction du nombre d’ancres

B) Relation entre le taux des nœuds localisables et la portée de communication

Les figures 4.13(a) et 4.13(b) montrent l’impact de la portée de communication des nœuds sur le taux des nœuds localisables. Nous considérons un nombre d’ancres fixé à 60, un nombre de nœuds inconnu fixé à 200 et une portée de communication variant de 20 à 50. Nous avons pu constater que plus la portée de communication augmente, plus le taux des nœuds localisables augmente. Ceci s’explique par la disponibilité d’un nombre suffisant d’ancres afin de construire les zones de présences et par conséquent les nœuds peuvent s’auto-localiser. La figure 4.13(b) montre l’impact de la densité des nœuds. En fait, plus la densité des nœuds augmente, plus le taux des nœuds localisables augmente. Il est à noter que l’augmentation de la densité accroît la quantité d’informations contribuant à la localisation des autres capteurs.



(a) Réseau de capteurs (250m×250m)



(b) Réseau de capteurs (400m×400m)

Figure 4.13 : Evolution du taux des nœuds localisables en fonction de la portée de communication

Nous pouvons conclure que notre protocole REAL conduit à de très bonne performances de localisation et surpasse de loin les algorithmes étudiés APIT, IAPIT-I et IAPIT-II.

7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une nouvelle approche de localisation pour les réseaux de capteurs statiques, appelé «REAL: REliable Area-based Localisation algorithm». Cette dernière repose sur l'utilisation d'une nouvelle forme géométrique formée à l'aide de trois ancres voisines, afin de définir une zone de présence contenant le capteur inconnu. Notre approche est basée sur un nouveau test pour vérifier la présence du nœud inconnu. En fait, ce test est basé sur les informations propres au nœud inconnu, et cela conduit à connaître pertinemment si le nœud est situé à l'intérieur ou à l'extérieur de la forme géométrique définie. Avec notre approche, il est possible d'obtenir trois formes géométriques différentes pour une combinaison de trois ancres voisines. Par conséquent, REAL peut couvrir plusieurs régions contenant les nœuds inconnus, et peut donc estimer les positions de plusieurs nœuds. Contrairement aux solutions existantes, notre protocole REAL ne repose pas sur les communications entre les nœuds inconnus dans le processus de localisation. En effet, il s'engage non seulement à réduire la charge réseau liée à la localisation mais aussi la consommation énergétique. Pour évaluer les performances de notre approche, nous avons effectué plusieurs séries de simulations en comparant notre solution avec d'autres approches existantes (i.e., APIT et ses deux versions améliorées IAPIT-I et IAPIT-II) et en variant plusieurs paramètres. Les résultats obtenus montrent l'effet de la densité des nœuds et le nombre d'ancres sur la performance d'un protocole de localisation de type area-based en termes de taux de nœuds localisables et de l'erreur de précision. Ces performances s'améliorent avec l'augmentation de la densité des nœuds, ainsi qu'avec le nombre d'ancres. Pour conclure, notre protocole REAL est plus performant par rapport aux protocoles étudiés.

De plus, nous avons pu constater que la précision des positions dépend fortement du nombre d'ancres dans le réseau. Dans le chapitre suivant, nous proposons des métriques afin d'améliorer les performances de notre algorithme REAL. L'idée générale de notre solution est de garantir une précision de localisation avec un minimum de nœuds ancres.

CHAPITRE 5

Proposition d'une version améliorée du l'algorithme de localisation REAL

Sommaire

1. Introduction
2. Motivations
3. Contribution
4. Analyse d'overhead
5. Simulation et évaluation de performance
6. Conclusion

Conclusion générale et perspectives

Les réseaux de capteurs sans fil ont connu, au cours de ces dernières années, un grand essor en raison de leur spectre d'application très large. Par exemple, dans le domaine militaire, ils peuvent être très utiles pour la surveillance du champ de bataille. D'autre part, dans l'industrie, ils servent à contrôler la qualité de production et suivre la chaîne de production. Enfin, d'autres applications peuvent contribuer à surveiller la pollution atmosphérique, la qualité de l'eau, l'agriculture, etc.

Dans bon nombre d'applications, un événement détecté par un capteur n'est utile que si une information relative à sa localisation géographique est fournie. C'est le cas de la surveillance des feux de forêt ou des troupes ennemies dans un contexte militaire.

La localisation dans les réseaux de capteurs est devenue un service essentiel, non seulement pour trouver le lieu d'un événement détecté par un capteur mais aussi pour d'autres aspects tels que l'identification des données, et le routage géographique dans les réseaux à grande échelle.

Il y a autant de manières de réaliser un service de localisation que l'application la nécessitant. Nous distinguons deux principaux systèmes de localisation dans les réseaux de capteurs sans fil, à savoir les systèmes de localisation par satellites et les systèmes d'auto-localisation. Cette thèse nous a permis d'étudier différentes stratégies pour la résolution du problème d'auto-localisation dans les réseaux de capteurs.

D'un point de vue théorique, nous nous sommes basés sur le fait que les méthodes range-based, par nature et grâce aux outils exploités conjointement, seront considérées comme plus précises. Cependant, le coût des systèmes basés sur les mesures des angles et des temps d'arrivés est plus important car un grand nombre d'appareils supplémentaires est requis. D'autre part, les systèmes range-based basés sur la puissance du signal reçu n'utilise pas un matériel supplémentaire, mais elles sont très sensibles au bruit et aux obstacles de l'environnement. De ce fait, des erreurs peuvent se produire lors de la prise de mesure des

distances. D'ailleurs, les méthodes range-free sont certes moins précises et affectées par la densité des nœuds, mais elles permettent de calculer la position à partir de simples déductions. L'un des avantages de cette famille de techniques tient au fait que des outils complexes ne sont généralement pas nécessaires pour traiter les informations.

Alors, nous nous sommes fixés comme objectif l'amélioration de la précision des protocoles qui font parties de la famille range-free. D'ailleurs, nous avons proposé deux approches de localisation distribuées. De plus, les deux approches sont basées sur l'utilisation des ancres avec des positions déjà connues. D'autre part, nos approches optimisent la consommation d'énergie des nœuds à cause du fait que durant toute la phase de localisation les nœuds inconnus ne communiquent jamais entre eux. Cette propriété a permis d'éviter les communications coûteuses en énergie.

Dans un premier temps, nous avons proposé un algorithme de localisation nommé REAL. Ce dernier repose sur l'utilisation d'une nouvelle forme géométrique formée à l'aide de trois ancres voisines, ce qui permet de définir une zone de présence contenant le capteur inconnu. Ensuite, nous effectuons un teste idéal pour vérifier la présence du nœud. Ce test est basé sur les informations propres au nœud inconnu. Cela permet de connaitre pertinemment si le nœud est situé à l'intérieur ou à l'extérieur de la forme géométrique définie. Avec notre approche, il est possible d'obtenir trois formes géométriques différentes pour une combinaison de trois ancres voisines. Par conséquent, REAL peut couvrir plusieurs régions contenant les nœuds inconnus, et donc estimer les positions de plusieurs nœuds.

Dans un second temps, nous avons proposé une version améliorée du protocole de localisation REAL, nommé IREAL. Ce dernier repose sur le même processus de localisation utilisé dans le protocole REAL. En fait, IREAL utilise les informations provenant des ancres voisines pour définir une zone de présence contenant le nœud inconnu. De plus, l'optimisation apportée par IREAL concerne la création des zones de présence des capteurs inconnus. Cela permet aux nœuds inconnus, et possédants moins de trois ancres voisines, de définir leurs zones de présence et par la suite d'estimer leurs positions. Cette stratégie d'optimisation rend l'algorithme IREAL adaptatif pour une faible densité d'ancres dans le réseau.

Les performances de notre approche ont été évaluées par des séries de simulations. Nous avons présenté une comparaison entre nos algorithmes proposés et d'autres existants et connus dans la littérature. Les résultats ont mis en évidence la bonne précision de nos approches par rapport aux méthodes existantes. Ces simulations ont également confirmé que nos approches garantissent le passage à l'échelle.

▪ Perspectives

Les perspectives à ces travaux sont nombreuses et variées. En effet, dans la continuité de nos travaux, nous envisageons d'exploiter une ancre mobile à la place de nombreuses ancres statiques. L'ancre mobile traverse la région d'intérêt suivant un chemin bien définie et diffuse des informations pour aider les nœuds à se localiser en utilisant les systèmes REAL ou IREAL.

D'autre part, nous songeons à d'autres méthodes de validation. En effet, nous estimons utile l'utilisation de la plateforme SensLAB. D'ailleurs, cette dernière est composée de plus de 1000 nœuds capteurs. Cela nous permettra de valider les aspects liés au passage à l'échelle de nos approches.

Pour finir la dernière direction concerne la catégorisation des algorithmes de localisation par rapport au contexte (i.e., environnement de localisation). En effet, nous avons constaté qu'un algorithme de localisation est plus performant sous certaines conditions: la présence des obstacles, la stratégie de déploiement des capteurs, l'organisation de calcul, la densité des nœuds ancres, la densité des nœuds capteurs, la mobilité, et le matériel supplémentaire. Par conséquent, nous pensons à la conception d'un système de localisation intelligent avec une capacité d'adaptation par rapport l'environnement d'utilisation.

Liste des publications

Revue internationale

- 1- A. Mesmoudi, M. Feham, N. Labraoui, " Wireless sensor networks localization algorithms: a comprehensive survey", *International Journal of Computer Networks & Communications*, 2013, vol. 5(6), pp. 45-64.
DOI: 10.5121/ijcnc.2013.5603
- 2- A. Mesmoudi, M. Feham, N. Labraoui, C. Bekara, " An Efficient Area-Based Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks", *International Review on Computers and Software*, 2015, Vol. 10(10), pp. 1062-1070.
ISSN 1828-6003
DOI: 10.15866/irecos.v10i10.7783

Conférences nationales

- 1- Asma Mesmoudi, Mohammed Feham, Nabila Labraoui, "Localization schemes of Wireless Sensor Networks: A survey", *Conférence Nationale sur les Technologies de l'Information et les Télécommunications CNTIT'13*, 10-11 Décembre 2013
- 2- Samira Mesmoudi, Asma Mesmoudi and Mohammed Feham, "Using Biometric Method to Secure Symmetric Key Establishment in Wireless Body Sensors Networks", *Conférence Nationale sur les Technologies de l'Information et les Télécommunications CNTIT'13*, 10-11 Décembre 2013

Bibliographie

- [1] I. F. Akyildiz, Su. Weilian, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", *Published online in Wiley Online Library*, pp.102–114, 2002.
- [2] M. hadjila, "protocoles de routage économes en énergie pour les réseaux de capteurs sans fil", *thèse de doctorat en télécommunications*, université de Tlemcen, Algérie, 2014.
- [3] L. Makkaoui, "Compression d'images dans les réseaux de capteurs sans", *thèse de doctorat en automatique*, l'université de Lorraine, 2012.
- [4] N. labraoui, "la sécurité dans les réseaux sans fil ad hoc", *thèse de doctorat en informatique*, l'université de Tlemcen, Algérie, 2011.
- [5] A. Berrachedi, et A. Diarbakirli, "Sécurisation du protocole de routage hiérarchique LEACH dans les réseaux de capteurs sans fil", *mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en informatique*, Ecole nationale Supérieure d'Informatique (E.S.I), Algérie, Juin 2009.
- [6] <http://www.snm.ethz.ch/>, [En ligne; accédé le 05.12.2015].
- [7] I. Boulanouar, "Algorithmes de suivi de cible mobile pour les réseaux de capteurs sans fil", *thèse de doctorat en informatique*, université Paris-EST, France, Juin 2014.
- [8] Y. Zhang and H. Xiao, "Bluetooth-based sensor networks for remotely monitoring the physiological signals of a patient", *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 13(6), pp.1040–1048, 2009.
- [9] <http://standards.ieee.org/>, [En ligne; accédé le 05.12.2015].
- [10] M. LEHSAINI, "Diffusion et couverture basées sur le clustering dans les réseaux de capteurs : application à la domotique", *thèse de doctorat en informatique*, l'université de Tlemcen, Algérie, 2009.
- [11] Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, "IEEE Std.802.15.4-2003. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Persona Area Networks (LR-WPANs)", *IEEE Press*, October 1, 2003.
- [12] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks", *In Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2000.
- [13] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, and G.J. Pottie, "Pro-tocols for self-organization of a Wireless Sensor Network", *IEEE Personal communications*, vol. 7(5), pp.16–27, 2000.
- [14] R. KACIMI, "Techniques de conservation d'énergie pour les réseaux de capteurs sans fil", *thèse de doctorat en réseaux et télécommunications*, l'université de Toulouse, 2009.
- [15] T.B. Gosnell, J.M. Hall, C. L. Jam, D.A. Knapp, Z.M. Koenig, S.J. Luke, B.A. Pohl, A. Schach von Wittenau, and J. K.Wolford, "Gamma-Ray Identification of Nuclear Weapon Materials", *Technical Report DE97053424*, Lawrence Livermore National Lab, Livermore, CA (USA), 1997.
- [16] N. Alsharabi, L.R. Fa, F. Zing, and M. Ghurab, "Wireless sensor networks of battlefields hotspot : challenges and solutions", *In : Sixth Int. Symposium on Modeling and*

Optimization in Mobile ad hoc and Wireless Networks and Workshops, pp.192-196, Berlin, Germany, 2008.

[17] G.E. Rolader, J. Rogers, and J. Batteh, "Self-healing minefield", *In: Defense and Security, International Society for Optics and Photonics*, pp.13-24, 2004.

[18] J. Bahi, A. Makhoul, and A. Mostefaoui, "A mobile beacon based approach for sensor network localization", *In Third IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, pp.44, New York, USA, 2007.

[19] A. Makhoul, "réseaux de capteurs : localisation, couverture et fusion de données", *thèse de doctorat en informatique*, université de Franche-Comté, Novembre 2008.

[20] <http://futurevolc.hi.is/>, [En ligne; accédé le 20.12.2015].

[21] A. Bourouis, "intelligent mobile health monitoring systems", *thèse de doctorat en systèmes et réseaux de télécommunications*, université de Tlemcen, Décembre 2013.

[22] M. M. Benosman, "The use of heart rate variability along with non-cardiac Muscles to distinguish physical activity from stress", *thèse de doctorat en biomedical*, université de Tlemcen, 2013.

[23] <http://www.tablette-tactile.net/accessoire/test-de-loxymetre-dihealth-battements-du-coeur-co2-dans-le-sang-saffichent-sur-ipad-150442/>, [En ligne; accédé le 21.12.2015].

[24] <http://www.magintegration.com/pelluc-inventaire/>, [En ligne; accédé le 25.12.2015].

[25] <http://www.pyrocontrole.com/fr/solutions-de-mesure-qualifiees-cimenterie>, [En ligne; accédé le 30.12.2015].

[26] <http://www.keyence.fr/solutions/case-studies/blood.jsp>, [En ligne; accédé le 02.01.2016].

[27] <http://www.baumer.com/us-en/products/identification-image-processing/vision-sensors/verisens-xc-series/>, [En ligne; accédé le 04.01.2016].

[28] E. M. Petriu, N. D. Georganas, D. C. Petriu, D. Makrakis, and V. Z. Groza, "Sensor-based information appliances", *IEEE Instrumentation Measurement Magazine*, vol.3(4), pp.31-35, 2000.

[29] <http://www.embedded.com/electronics-products/electronic-product-reviews/mcus-processors-and-socs/4415577/ZigBee-PRO-sensor-nodes-accelerate-Smart-Home-offerings>, [En ligne; accédé le 05.01.2016].

[30] O. Merad Boudia, "agregation des donnees et securite des reseaux de capteurs sans fil", *thèse de doctorat en télécommunications*, université de Tlemcen, Algérie, Mai 2014.

[31] C. Tabet Hellel, "Mécanismes d'auto-organisation pour la tolérance aux pannes dans les réseaux de capteurs sans fil", *thèse de doctorat en télécommunications*, université de Tlemcen, 2015.

[32] K. Akkaya and M. Younis, "A survey of routing protocols in wireless sensor networks", *in the Elsevier Ad Hoc Network Journal*, vol. 3(3), pp.325–349, 2005.

[33] Y. Xu, J. Heidemann and D. Estrin, "Geography-informed energy conservation for ad hoc routing", *in Proceedings of the 7th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, ACM*, pp.70–84, 2001.

- [34] Y. Yu, R. Govindan and D. Estrin, "Geographical and energy aware routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks", *UCLA Computer Science Department, Tech. Rep*, 2001.
- [35] F. Kuhn, R. Wattenhofer and A. Zollinger, "Worst-Case optimal and Average-case efficient geometric ad hoc routing", in *Proceedings of the 4th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, pp.267–278, 2003.
- [36] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan and R. Morris, "SPAN : an energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless", In *Proceedings of the 7th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp 85–96, Rome, Italy, 2001.
- [37] S.H. Sedjelmaci, "Mise En OEUVRE DE MECANISMES DE SECURITE BASES SUR LES IDS POUR LES RESEAUX DE CAPTEURS SANS FIL", *thèse de doctorat en télécommunications*, université de Tlemcen, 2012.
- [38] K. Heurtefeux, "protocoles localisés pour réseaux de capteurs", *thèse de doctorat en informatique et mathématiques*, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Septembre 2009.
- [39] <http://www.space.com/19794-navstar.html>, [En ligne; accédé le 10.01.2016].
- [40] <http://fr.sputniknews.com/trend/GLONASS/>, [En ligne; accédé le 10.01.2016].
- [41] M. Kara, "Réseau de capteurs sans fil : étude en vue de la réalisation d'un récepteur GPS différentiel à faible coût", *thèse de doctorat en informatique*, université Blaise Pascal – Clermont-Ferrand II, 2009.
- [42] <http://french.peopledaily.com.cn/Sci-Edu/8498150.html>, [En ligne; accédé le 12.01.2016].
- [43] http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/The_future__Galileo/What_is_Galileo, [En ligne; accédé le 12.01.2016].
- [44] B. Parkinson, J. Spilker, "Global positioning system: Theory and application", *American Institute of Astronautics and Aeronautics*, 1996.
- [45] <http://reperageterrestre.e-monsite.com/pages/le-gps-global-positioning-system.html>, [En ligne; accédé le 12.01.2016].
- [46] A. Boukerche, H. A. B. F. Oliveira, E. F. Nakamura and A. A. F. Loureiro, "Secure Localization Algorithms for Wireless Sensor Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 46(4), pp.96 – 101, 2008.
- [47] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An In-building RF based User Location and Tracking System", *IEEE INFOCOM*, 2000.
- [48] D. Réjane, "Méthodes de localisation par le signal de communication dans les réseaux de capteurs sans fil en intérieur", *thèse de doctorat en informatique*, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse (INSA de Toulouse), 2013.
- [49] B. Hofmann-Wellenho, H. Lichtenegger and J. Collins, "Global Positioning System: Theory and Practice", 4th ed, *Springer-Verlag*, 1997.
- [50] N. B. Priyantha et al, "The Cricket Compass for Context- Aware Mobile Applications", *7th ACM Int'l. Conf. Mobile Computing and Networking*, Rome, Italy, July 2001.

- [51] K. Whitehouse and D. Culler, "Calibration as Parameter Estimation in Sensor Networks", in *WSNA 02: WSNA '02 Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications*, 2002.
- [52] A. Savvides, C. C. Han, and M. B. Strivastava, "Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors", in *MobiCom '01 Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp.166–79, Rome, Italy, 2001.
- [53] T. S. Rappaport, J.H. Reed, and B.D. Woerner, "Position location using wireless communications on highways of the future", *IEEE Communications Magazine*, vol. 34(10), pp.33-41, 1996.
- [54] D. Koks, "Numerical calculations for passive geolocation scenarios", *Tech. Rep. DSTO-RR-0319*, 2005.
- [55] R. Dagher, "sur la radionavigation dans les villes intelligentes du futur-le cas des réseaux de capteurs sans fils", *thèse de doctorat en informatique*, université lille1- science et technologie, France, 2015.
- [56] D. Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc Positioning System (APS) Using AOA", *Proceedings. INFOCOM '03*, San Francisco, CA, 2003.
- [57] S. Simic and S. Sastry, "Distributed localization in wireless ad hoc networks", *UC Berkeley, Tech. rep.UCB/ERL M02/26*, 2002.
- [58] V. Ramadurai and M. L. Sichitiu, "Localization in Wireless Sensor Networks: A Probabilistic Approach", *Proceeding ICWN 2003*, Las Vegas, NV, pp.275–81, 2003.
- [59] J. A. Costa, N .Patwari, and O.A. Hero, "Distributed multidimensional scaling with adaptive weighting for node localization in sensor networks", *IEEE/ACM Trans. Sensor Networks*, 2006.
- [60] N. B. Priyantha, H. Balakrishnan, E. Demaine, and S. Teller. , "Anchor free distributed localization in sensor networks", *Proceeding 1st Inter. Conf. on Embedded Networked Sensor Systems*, 2003.
- [61] C. Saad, "Quelques contributions dans les réseaux de capteurs sans fil : Localisation et Routage", *thèse de doctorat en informatique*, d'Avignon et des Pays de Vaucluse, France, 2008.
- [62] A. Mesmoudi, M. Feham, and N. Labraoui, "Wireless sensor networks localization algorithms: a comprehensive survey", *International Journal of Computer Networks & Communications*, 2013, vol. 5(6), pp.45-64.
- [63] U. Nazir, M. A. Arshad, N. Shahid, S. H Raza, "Classification of localization algorithms for wireless sensor network: A survey", *IEEE International Conference on Open Source Systems and Technologies*, pp.1-5, Lahore, 2012.
- [64] J. Wang, R. K. Ghosh, and S.K. Das, "A survey on sensor localization", *Journal of Control Theory and Applications*, vol. 8(1), pp.2-11, 2010.
- [65] N .Bulusu, J .Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less low-cost outdoor localization for very small devices", *IEEE Personal Communications*, vol. 7, pp.28-34, 2000.
- [66] H .Chen, P .Huang, M .Martins, H.C. So, and K. Sezaki, "Novel centroid localization algorithm for three-dimensional wireless sensor networks", *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, pp.1–4, Dalian, 2008.

- [67] L.M. Blumenthal, ‘‘Theory and Applications of Distance Geometry’’, *Bulletin of the American Mathematical Society*, vol. 60(3), pp.272-274, 1954.
- [68] Q .Wan, Y. Peng, ‘‘An Improved 3-Dimensional Mobile Location Method Using Volume Measurements of Tetrahedron’’, *4th World Congress on intelligent Control and Automation*, vol. 3, pp.2181–2185, 2002.
- [69] D. Niculescu, B. Nath, ‘‘Ad-hoc Positioning System’’, *IEEE Global Telecommunications Conference*, vol. 5, pp.2926-2931, San Antonio, 2001.
- [70] D .Niculescu, B. Nath, ‘‘DV Based Positioning in Ad hoc Networks’’, *Journal of Telecommunication Systems*, vol. 22, pp.267-280, 2003.
- [71] W. W. Ji , Z. Liu, ‘‘An Improvement of DV-Hop Algorithm in Wireless Sensor Networks’’, *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, pp.1-4, Wuhan, 2006.
- [72] S. Tian, X. Zhang, X. Wang, P. Sun, and H. Zhang, ‘‘A Selective Anchor Node Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks’’, *International Conference on Convergence Information Technology*, pp.358 – 362, Gyeongju, 2007.
- [73] J. Li, J. Zhang, and L. Xiande, ‘‘A Weighted DV-Hop Localization Scheme for Wireless Sensor Networks’’, *International Conference on Scalable Computing and Communications / Eighth International Conference on Embedded Computing*, pp.269 – 272, Dalian, , 2009.
- [74] T. He, C. Huang, B.M. Blum, J. A. Stankovic, and T. Abdelzaher, ‘‘Range-free localization schemes for large scale sensor networks’’, *9th annual international conference on mobile computing and networking*, pp.81-95, San Diego, 2003.
- [75] J. Wang, H. Jin, ‘‘Improvement on APIT Localization Algorithms for Wireless Sensor Networks’’, *International Conference on Networks Security / Wireless Communications and Trusted Computing*, vol. 1, pp.719 – 723, 2009.
- [76] J. Shu, C. Yan, and L. Liu , ‘‘Improved three-dimensional localization algorithm based on volume-test scan for wireless sensor networks’’, *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications of Elsevier*, vol. 19, pp.1–6, 2012.
- [77] E. Guerrero, H.G. Xiong, Q. Gao, R. Ricardo, and J. Estévez , ‘‘ADAL: A Distributed Range-free Localization Algorithm Based on a Mobile Beacon for Wireless Sensor Networks’’, *International Conference on Ultra-Modern Telecommunications & Workshops*, pp.1-7, St. Petersburg, , 2009.
- [78] Y. Shang, W. Ruml, Y. Zhang, and M.P.J. Fromherz, ‘‘Localization from mere connectivity’’, *Fourth International ACM Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*, pp.201-212, 2003.
- [79] W. Torgerson, ‘‘Multidimensional scaling: I. theory and method’’, *Psychometrika*, vol. 17 (4), pp.401–419, 1952.
- [80] Y. Shang, W. Ruml, Y. Zhang, and M. P. J Fromherz , ‘‘Positioning using local maps’’, *Ad Hoc Networks Journal of Elsevier*, vol. 4, pp.240-253, 2006.
- [81] H. Junfeng, C. Jun, Z. Yafeng, and M. Xue, ‘‘A MDS-based localization algorithm for large-scale wireless sensor network’’, *International Conference on Computer Design and Applications*, pp.566-570, Qinhuangdao, 2010.
- [82] B. Zhang, M. Ji, and L. Shan, ‘‘A weighted centroid localization algorithm based on DV-hop for wireless sensor network’’, *in Proceedings of the 8th International Conference on*

Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM '12), Shanghai, China, 2012.

[83] P. Motter, R. Allgayer, I. Müller, and E. Freitas, “Practical issues in wireless sensor network localization systems using received signal strength indication”, *IEEE Sensors Applications Symposium*, pp.227–232, San Antonio, 2011.

[84] C.Y. Shih, P. J. Marrón , “COLA: Complexity-Reduced Trilateration Approach for 3D Localization in Wireless Sensor Networks”, *Fourth International Conference Sensor Technologies and Application*, pp.24–32, Venice, 2010.

[85] M. Sugano, T. Kawazoe, Y. Ohta, and M. Murata, “Indoor localization system using RSSI measurement of wireless sensor network based on ZigBee standard”, *IASTED International Multi- Conference on Wireless and Optical Communication*, 2006.

[86] K. Whitehouse, C. Karlof , and D. Culler, “A practical evaluation of radio signal strength for ranging-based localization”, *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 11, pp.41–52, 2007.

[87] E. Elnahrawy, X. Li, and R. P. Martin, “The Limits of Localization Using Signal Strength: A Comparative Study”, *First Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, pp.406-414, California, 2004.

[88] H. J Shao, X. P. Zhang, and Z. Wang, “NOVEL CLOSED-FORM AUXILIARY VARIABLES BASED ALGORITHMS FOR SENSOR NODE LOCALIZATION USING AOA”, *2014 IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp.1414 – 1418, 4-9, Florence, 2014.

[89] A. Nasipuri, K. Li, “A directionality based location discovery scheme for wireless sensor networks”, *1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications*, pp.105-111, Atlanta, 2002.

[90] P. Kułakowski, J. Vales-Alonso, E. Egea-López, W. Ludwin, and J. Garcia-Haro, “Angle-of-arrival localization based on antenna arrays for wireless sensor networks”, *Computer & Electrical Engineering*, vol. 36, pp.1181-1186, 2010.

[91] P. Rong, M. L. Sichitiu, “Angle of arrival localization for wireless sensor networks”, *IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, pp. 374–82, Reston, 2006.

[92] I. Amundson, J. Sallai, X. Koutsoukos, A. Ledeczi, and M. Maroti, “RF Angle of Arrival-based Node Localization”, *International Journal of Sensor Networks*, vol. 9, pp.209-224, 2011.

[93] K. H. Lee, C. H. Yu, J. W. Choi, and Y. B. Seo, “ToA based sensor localization in underwater wireless sensor networks”, *SICE Annual Conference*, pp.1357– 361, Tokyo, 2008.

[94] H. Chen, B. Liu, P. Huang, J. Liang, and Y. Gu , “Mobility-Assisted Node Localization Based on TOA Measurements Without Time Synchronization in Wireless Sensor Networks”, *Mobile Networks and Applications*, vol. 17, pp.90-99, 2012.

[95] L. Girod, D. Estrin, “Robust range estimation using acoustic and multimodal sensing”, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.1312–1320, Hawaii, 2001.

[96] M. Youssef, A. Youssef, C. Rieger, U. Shankar, and A. Agrawala, “Pinpoint: An

asynchronous determination time-based location determination system'', *4th International Conference on Mobile Systems/ Applications and Services*, pp.165–176, New York, 2006.

[97] B. Thorbjornsen, N. M. White, A.D. Brown, and J.S. Reeve, ''Radio frequency (RF) time-offlight ranging for wireless sensor networks'', *Measurement Science and Technology*, vol. 21, pp.1-12, 2010.

[98] L. Hu, D. Evans, ''Localization for Mobile Sensor Networks'', *10th International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.45-47, Philadelphia, 2004.

[99] J. Xiao, L. Ren, and J. Tan, ''Research of TDOA Based Self-Localization Approach in Wireless Sensor Network'', *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp.2035–2040, Beijing, 2006.

[100] S. Zhang, L. Ren, J. Xiao, and J. Tan, ''A High Precision Localization Algorithm in Wireless Sensor Network'', *9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, pp.1–6, Singapore, 2006.

[101] F. Gustafsson, F. Gunnarsson, ''Positioning using time-difference of arrival measurements'', *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 6, pp.553–556, 2003.

[102] C. Savarese, J. Rabaey, and J. Beutel, ''Locationing in distributed ad-hoc wireless sensor networks'', *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 4, pp.2037–2040, 2001.

[103] D. Moore, J. Leonard, D. Rus, and S. Teller, ''Robust distributed network localization with noisy range measurements'', *2nd ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp.50-61, Baltimore, 2004.

[104] F. Sottile, M. Spirito, ''Enhanced Quadrilateral-based Localization for Wireless Ad-hoc Networks'', *Fifth Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop*, Lipari, 2006.

[105] C. Y. Wen, F. K. Chan, ''Adaptive AOA-aided TOA self-positioning for mobile wireless sensor networks'', *Sensors*, vol. 10, pp.9742–9770, 2010.

[106] A. N Bishop, B. Fidan, K. Dogancay, B.D.O. Anderson, and P. N. Pathirana, ''Exploiting geometry for improved hybrid AOA/TDOA based localization'', *Signal Processing*, vol. 88, pp.1775–1791, 2008.

[107] C. D Wann, H. C Chin, ''Hybrid TOA /RSSI Wireless Location with Unconstrained Nonlinear Optimization for Indoor UWB Channels'', *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp.3940–3945, Kowloon, 2007.

[108] J. Blumenthal, R. Grossmann, F. Golatowski, and D. Timmermann, ''Weighted Centroid Localization in Zigbee-Based Sensor Networks'', *IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing*, pp.1-6, Alcalá de Henares, 2007.

[109] H. Cui, Y. Wang, J. Lv, and Y. Mao, ''Three-mobile-beacon assisted weighted centroid localization method in wireless sensor networks'', *IEEE 2nd International Conference on Software Engineering and Service Science*, pp.308-311, Beijing, 2011.

[110] S. Tian, X. Zhang, P. Liu, P. Sun, and X. Wang, ''A RSSI-based DV-hop Algorithm for Wireless Sensor Networks'', *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, pp.2555–2558, Shanghai, 2007.

- [111] A. Magnani, K. K. Leung, ‘‘Self-Organized, Scalable GPS-free Localization of Wireless Sensors’’, *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp.3798-3803, Kowloon, 2007.
- [112] T. Kubo, A. Tagami, T. Hasegawa, and J Walrand, ‘‘Range-free localization using grid graph extraction’’, *20th IEEE International Conference, Network Protocols (ICNP)*, pp.1 -11, Austin, 2012.
- [113] R. Nagpal, D. Coore, ‘‘An algorithm for group formation in an amorphous computer’’, *Proceedings of the 10th IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems*, 1998.
- [114] A. Mesmoudi, M. Feham, N. Labraoui, and C. Bekara, ‘‘An Efficient Area-Based Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks’’, *International Review on Computers and Software*, vol. 10(10), 2015.
- [115] F. Meng, X. Li, and Y. Zhou, ‘‘The Improved Location Algorithm of Apit Based on Midline Segmentation for Wireless Sensor Network’’, *Advances in Intelligent and Soft Computing*, vol. 141, pp.241-248, 2012.
- [116] C. BO, B. Ren, S. Tang, X. Y. Li, X. Mao, Q. Huang, L. Mo, Z. Jiang, Y. Sun, Y. Liu, ‘‘Locating sensors in the forest: A case study in greenorbs’’, *Proceedings of THE INFOCOM '12*, 2012.
- [117] Z. Zhong, T. He, ‘‘RSD: A metric for achieving range-free localization beyond connectivity’’, *IEEE Transaction on Paralleland Distributed Systems*, vol. 22(11), pp.1943–1951, 2011.
- [118] <https://www.python.org/downloads/>, [En ligne; accédé le 10.02.2016].
- [119] A. Mesmoudi, M. Feham, N. Labraoui, and C. Bekara, ‘‘Improving on a REliable Area-based Localisation algorithm’’, Soumis.

RESUME

La localisation dans les réseaux de capteurs sans fil est devenue un service essentiel, non seulement pour trouver le lieu d'un événement détecté par un capteur mais aussi pour d'autres aspects tels que l'identification des données, et le routage géographique dans les réseaux à grande échelle.

Nos travaux concernent les méthodes de localisation dites Range-free, caractérisées par leurs simplicités et les coûts réduits de localisation. Dans ce cadre, nous avons proposé deux nouvelles approches de localisation, basées sur l'utilisation des ancrs avec des positions déjà connues.

Notre première approche se base sur le tri des informations provenant des ancrs telles que la puissance du signal reçu RSSI et les positions des ancrs. Son objectif est d'introduire une nouvelle forme géométrique correspondant à la zone de présence dans laquelle se trouve le nœud cherchant à estimer sa position. De plus, elle utilise un nouveau test d'appartenance plus fiable pour vérifier la présence du capteur. La position du capteur est associée au centre de gravité de cette zone. D'autre part, la seconde approche est une version améliorée de la première, par prise en compte du nombre des ancrs voisines disponibles, afin de rendre le protocole plus adaptatif pour une faible densité des ancrs dans le réseau.

Mots clés : Réseaux de capteurs sans fil, localisation, Range-free, ancre, la puissance du signal reçus, zone de présence.

Abstract

The Localization in wireless sensor networks has become an essential service, not only to find the location of an event detected by a sensor but also for other aspects such as the identification of the data, and geographic routing in large scale networks.

Our work concerns range-free localization methods. Indeed, those methods guarantee simplicity and cost reduction. In this vein, we proposed two new approaches, based on the use of anchors with already known positions.

Our first approach is based on sorting the information from anchors such as: the received signal power (RSSI: Received Signal Strength Indicator), anchor positions. Its objective is to introduce a new geometric shape corresponding to the presence area in which is located the node seeking to estimate its position. This approach makes use of new reliable test of belonging to check the presence of the sensor. The position of the sensor is associated with the center of gravity of this area. Otherwise, the second approach is an improved version of the first one. The improvement provided takes into account the number of neighboring anchors available, to make the protocol more adaptive for a low density of anchors in the network.

Keywords: wireless sensors Networks, localization, range-free, anchor, the received signal power, presence area.

ملخص

ان تحديد المواقع ضمن شبكات الاستشعار اللاسلكية هو واحد من الموضوعات البحثية الأكثر تناولا في السنوات الأخيرة. يعتبر تحديد المواقع خدمة أساسية، ليس فقط للعثور على موقع اكتشاف الحدث من قبل جهاز الاستشعار ولكن لجوانب أخرى مثل تحديد هوية البيانات والتوجيه الجغرافي للشبكات الواسعة النطاق.

نعتمد في اعمالنا على طرق تحديد الموقع المسمات Range-free. والواقع أن هذا النوع بسيط الاستخدام ويقلل من التكاليف. ومن هذا المنطلق، اقترحنا نهجين جديدين لتحديد الموقع يعتمدان على استخدام المراس أساسا مواقعها معروفة.

يستند نهجنا الأول على فرز المعلومات الواردة من المراس مثل قوة الإشارة الواردة (RSSI: مؤشر قوة الإشارة الواردة) ومواقع المراس. هدفها هو طرح شكل هندسي جديد يعادل منطقة تواجد جهاز الاستشعار الذي يسعى لتقدير موقعه. بالإضافة الى ذلك فانه يستخدم اختبار عضوية جديد أكثر موثوقية للتحقق من تواجد جهاز الاستشعار. يعتبر موقع جهاز الاستشعار مركز ثقل هذه المنطقة. في حين أن النهج الثاني هو نسخة محسنة عن الأولى، يأخذ هذا التحسين بعين الاعتبار المراس المجاورة المتوفرة لجعل البروتوكول متكيف مع الكثافة المنخفضة للمراس في الشبكة.

كلمات دلالية: شبكات الاستشعار اللاسلكية، تحديد المواقع، Range-free، المراس، قوة الإشارة الواردة، منطقة تواجد.