

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hadj Lakhdar – Batna
Faculté des Sciences
Département d'Informatique

Mémoire
Présenté par
Messaoud BELLOULA

Pour obtenir le diplôme de
Magistère
Spécialité : Ingénierie des **Systèmes Informatiques (ISI)**

La géolocalisation dans les réseaux de capteurs sans fils

Etude de cas : utilisation en agriculture

Soutenu publiquement le|....|..... devant le jury :

Pr. Azzedine BILAMI	Professeur	Président	Université de Batna
Dr. Brahim BELATTAR	M.C.A	Rapporteur	Université de Batna
Dr. Ahmed KORICHI	M.C.A	Examineur	Université de Ouargla
Dr. Okba KAZAR	M.C.A	Examineur	Université de Biskra

*A la mémoire de mon père
A mes filles Lyna & Amena*

Remerciement

Avant tout, Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné courage, patience et force durant toutes ces années d'études. C'est grâce à lui que ce travail a pu être réalisé.

Ma profonde gratitude et mes sincères remerciements vont particulièrement à Mr Brahim BELATTAR, Maitre conférence A, département informatique, Université Hadj Lakhdar (Batna) et Mme Souheila BOUAM, Maitre conférence B, département informatique, Université Hadj Lakhdar (Batna), qui ont accepté de diriger ce travail, Je les remercie pour la confiance et la compréhension qu'ils ont toujours manifestées à mon égard. Si ce travail est mené à terme, c'est grâce à leurs aides et soutien. Qu'ils soient assurés de ma profonde estime.

Je tiens à remercier vivement toutes les personnes qui m'ont fait l'honneur d'accepter de participer au jury de notre soutenance de mémoire :

Mr Azzedine BILAMI Professeur au département informatique, Université El Hadj Lakhdar (Batna), pour avoir accepté de présider notre jury.

Messieurs : Ahmed KORICHI maitre conférence A à l'université de Ouargla, Okba KAZAR maitre conférence A à l'université de Biskra pour avoir accepté de participer au jury de notre mémoire.

Tout le mérite revient à ma femme, ma mère, ma belle mère, mon beau père et mes frères et sœurs qui m'ont encouragé, aidé moralement pour que je continue mon mémoire. Sans leur soutien moral, ce mémoire n'aurait pu commencer.

Je souhaite ici remercier les personnes qui ont contribué, directement ou indirectement et plus particulièrement l'équipe SRJ, Mr Guezouli, Mr Dilekhi et Mme Gharib, à la réalisation de ce mémoire.

أخذت شبكات الاستشعار اللاسلكية نطاقا واسعا بفضل التطورات التكنولوجية، لتدخل في العديد من مجالات الحياة (الميدان العسكري , الصحة , التربية و الفلاحة...الخ).

تحتاج بعض تطبيقات شبكات الاستشعار اللاسلكية غالبا إلى معرفة المكان الدقيق لكل أجهزة الاستشعار. هذه المعلومة تمكن من معرفة طوبولوجيا الشبكة وكذلك لتحديد مصدر معلومات معينة أو غير منطقية. توجد فئة من خوارزميات الموقع مبنية على تجميع خرائط خاصة بكل جهاز استشعار بإحداثيات نسبية للحصول على خريطة عامة لكل الشبكة. هذه الخوارزميات تحتاج إلى أجهزة استشعار تعرف مكانها بالضبط تدعى المراجع. في معظم الأعمال السابقة في هذا المجال، يتم تجاهل تعيين أماكن أجهزة الاستشعار المرجعية كعامل مؤثر على نتائج تطبيق خوارزميات الموقع.

في عملنا هذا، نقترح معايير وضع أجهزة الاستشعار المرجعية على الشكل الأمثل، الفكرة العامة لهذا الحل هي ضمان دقة مواقع أجهزة الاستشعار و ذلك بأقل عدد ممكن من أجهزة الاستشعار المرجعية. بفضل المحاكاة، بإستعمال خوارزمية تحليل إلى مكونات منحنية الأضلاع (CCA-MAP)، الذي يعتبر من أنجع الخوارزميات المقترحة ل شبكات الاستشعار اللاسلكية، نوضح أثر هذا التعيين بالنسبة للتعينات الأخرى كوضع أجهزة الاستشعار المرجعية على أركان الشبكة أو بشكل عشوائي وذلك بإستعمال أقل عدد ممكن من أجهزة الاستشعار المرجعية.

المفاتيح : شبكات الاستشعار اللاسلكية، تعيين أماكن أجهزة الاستشعار المرجعية، الموقع، CCA-MAP

Résumé

Les réseaux sans fil de capteurs (WSN) ont pris de l'envergure dans cette dernière décennie grâce aux progrès technologiques, entrant dans quasiment tous les domaines de la vie (militaire, santé, éducation, agriculture,...).

Les applications des réseaux sans fil de capteurs s'attendent souvent à la connaissance de l'emplacement exact des nœuds. Cette information sert à connaître la topologie du réseau ou bien identifier les positions spécifiques de certains nœuds si leurs lectures semblent particulières ou illogique. Par exemple, on voulait savoir l'emplacement exact de la zone infectée dans un champ de pomme de terre afin de traiter seulement cette zone avec les insecticides. Une classe d'algorithme de localisation se base sur le rassemblement des cartes locales avec des coordonnées relatives en une carte globale. Ces algorithmes nécessitent des nœuds qui connaissent leurs propres coordonnées appelées les nœuds ancrés. Dans la plupart des travaux antérieurs, le placement des nœuds ancrés n'est pas pris en considérations comme facteur affectant les résultats des algorithmes de localisation.

Dans notre travail, nous proposons des métriques pour un placement optimale des nœuds ancrés, l'idée générale de notre solution est de garantir une précision de localisation avec un minimum de nœuds ancrés. Grâce à la simulation, en utilisant l'algorithme d'analyse en composantes curvilignes (CCA-MAP), qui est parmi les plus performants algorithmes proposés pour les réseaux sans fil de capteurs, nous montrons l'impact de ce choix par rapport aux solutions antérieurs tel que le placement des nœuds ancrés dans les coins du réseau bien d'une façon aléatoire, tout en utilisant le plus petit nombre de nœuds ancrés possible.

Mots clés : réseaux sans fil de capteurs, localisation, placement des nœuds, CCA-MAP.

Sommaire

Remerciements	II
Résumé	III
Sommaire	V
Table des figures	IX
Liste des tableaux	X
Introduction générale	XI
Chapitre 1 Aperçu sur les réseaux sans fil	1
1 Introduction	2
2 Les réseaux ad hoc	3
2.1 Définitions	3
2.2 Caractéristiques des réseaux ad hoc	4
2.2.1 Mobilité (Une topologie dynamique)	4
2.2.2 Equivalence des nœuds du réseau	4
2.2.3 Liaisons sans fil (Une bande passante limitée).....	5
2.2.4 Autonomie des nœuds (Des contraintes d'énergie).....	5
2.2.5 Vulnérabilité (Une sécurité physique limitée).....	5
2.3 Applications.....	5
2.3.1 Recherche et sauvetage.....	5
2.3.2 Domaine militaire.....	6
2.3.3 Domaine de la santé.....	7
2.3.4 Domaine académique.....	8
2.3.5 Domaine industriel.....	8
2.4 Défis.....	9
3 Réseaux sans fil de Capteurs.....	10
3.1 Définition d'un réseau sans fil de capteurs.....	10
3.2 Caractéristiques des réseaux de capteurs.....	11
3.3 Utilisations.....	13
3.3.1 Applications Militaires.....	13
3.3.2 Surveillance de l'environnement.....	14

Sommaire

3.3.2.1 La surveillance des écosystèmes.....	14
3.3.2.2 Contrôle du climat Local des grands bâtiments.....	14
3.3.3 La prévention des catastrophes et les secours.....	15
3.3.4 Exploration Scientifique.....	15
3.3.5 La surveillance.....	16
3.3.6 Autres Applications.....	16
3.4 Défis techniques.....	16
3.4.1 Métriques de performances.....	17
3.4.2 Alimentation.....	18
3.4.3 Routage.....	19
3.4.4 Localisation.....	19
3.4.5 Qualité du service.....	20
3.4.6 La sécurité.....	20
3.4.7 La mise en œuvre.....	21
3.4.8 Autres défis.....	21
4 Conclusion	21
Chapitre 2 Les réseaux sans fil de capteurs dans l'agriculture.....	22
1 Introduction.....	23
2 Enjeux de l'agriculture de précision.....	23
3 Les étapes et outils	24
3.1 Géolocalisation des informations.....	24
3.2 La caractérisation de cette hétérogénéité.....	24
3.3 La prise de décision.....	25
3.4 La mise en œuvre des pratiques.....	25
4 Quelques capteurs spécifiques à l'agriculture de précision.....	26
4.1 Capteur de résistance mécanique du sol.....	26
4.2 Capteur de conductivité électrique du sol.....	27
5 Conclusion.....	28
Chapitre 3 Localisation dans les réseaux sans fil de capteurs	30
1 Introduction.....	31
2 La localisation	32

3	Techniques de mesure.....	34
3.1	Techniques géométriques d'estimation de position	34
3.1.1	La trilatération	34
3.1.2	La triangulation	35
3.2	Les mesures basées sur l'angle d'arrivée.....	36
3.3	Les mesures basées sur la distance.....	39
3.3.1	Les mesures basées sur le temps de propagation.....	39
3.3.1.1	Les mesures basées sur le temps de propagation à sens unique....	39
3.3.1.2	Les mesures basées sur le temps de propagation aller-retour.....	40
3.3.2	Les mesures de différence de temps d'arrivée.....	41
3.3.3	Mesures basées sur l'intensité du signal reçu.....	42
3.3.4	Les mesures de connectivité	43
3.4	Les mesures basées sur le profilage RSS.....	44
4	Conclusion.....	45
Chapitre 4	Algorithmes et techniques de localisation dans les WSN's.....	46
1	Introduction.....	47
2	Algorithmes de localisation dans les réseaux de capteurs	47
2.1	Localisation centralisée vs distribuée.....	47
2.2	Algorithmes multidimensionnels.....	49
2.2.1	MDS – MAP.....	49
2.2.2	CCA – MAP.....	50
2.3	Les algorithmes de localisation DV-Hop et DV-Distance.....	51
3	Les techniques de localisation en fonction de la programmation Linéaire	52
4	Les techniques de localisation basée sur l'optimisation Stochastique.....	53
5	Les techniques d'estimation de lieu statistiques.....	54
6	Techniques de localisation basée sur RSS.....	56
7	Techniques de localisation basée sur l'apprentissage automatique et la théorie de l'information.....	58
8	Conclusion.....	60
Chapitre 5	L'effet du Placement des nœuds ancrés.....	61
1	Introduction.....	62

Sommaire

2 Mesure de l'erreur de la localisation.....	62
3 Méthode de travail	63
4 Environnement de simulation.....	64
5 Résultats des simulations	64
6 Conclusion	68
Conclusion Générale et Perspectives.....	69
Bibliographie.....	71
Annexe	77
Algorithme CCA-MAP en MATLAB.....	78

Liste des figures

Figure 1.1 Réseau Ad hoc	4
Figure 2.1 Mesure de la résistance mécanique du sol	27
Figure 2.2 Mesure de la conductivité électrique du sol	28
Figure 3.1 Position en fonction du nombre et du type de nœuds ancrés	33
Figure 3.2 Estimation de position par trilatération	35
Figure 3.3 Estimation de position par triangulation	35
Figure 3.4 Le diagramme d'antenne horizontal d'une antenne de type anisotrope en coordonnées polaires	37
Figure 3.5 Ensemble d'antenne de n éléments	38
Figure 3.6 Exemple des mesures TDOA	42
Figure 5.1 Exemple de réseau montrant la connectivité entre les nœuds	64
Figure 5.2 Somme des distances entre nœuds ancrés VS max de l'erreur de localisation.....	65
Figure 5.3 Somme des distances entre nœuds ancrés VS max de l'erreur de localisation Sans valeurs aberrantes.....	65
Figure 5.4 Somme des distances entre nœuds ancrés VS la moyenne de l'erreur de localisation sans valeurs aberrantes	66
Figure 5.5 Distance maximale entre nœuds ancrés Vs max l'erreur de localisation.....	66
Figure 5.6 Distance maximale entre nœuds ancrés Vs La moyenne l'erreur de localisation Sans valeurs aberrantes	67
Figure 5.7 Distance minimale entre nœuds ancrés Vs moyenne de l'erreur de localisation Sans valeurs aberrantes	67

Liste des Tableaux

1.1 Différence entre les réseaux ad hoc et les réseaux de capteurs	12
--	----



Introduction Générale

Les scientifiques, les ingénieurs et les chercheurs utilisent des réseaux sans fil de capteurs (WSN) pour un large éventail d'applications. Beaucoup de ces applications s'appuient sur la connaissance de la position précise de chaque nœud. Alors que certains ne peuvent exiger que les coordonnées relatives au réseau, la plupart des applications biologiques, géophysiques et autres scientifiques nécessitent des coordonnées sur un système de coordonnées global. Peut-être la solution évidente est que chaque nœud du réseau doit être équipé d'un GPS ou d'autres services de positionnement géographique. Cependant, les contraintes de coût, la consommation d'énergie, ainsi que la visibilité des satellites dictent la nécessité d'une solution alternative.

De nombreux protocoles ont été proposés pour calculer les positions relatives entre les nœuds d'un réseau. L'Analyse Procuste est une méthode courante pour convertir les coordonnées relatives en coordonnées globales, exigeant à certains nœuds d'avoir une source locale de coordonnées globales. Ceci peut être réalisé par les opérateurs de l'enregistrement des coordonnées globales au cours du déploiement du réseau, en intégrant un récepteur GPS dans un sous-ensemble des nœuds par exemple. Nous les appelons les nœuds ancres. Ici, nous explorons l'effet du placement des nœuds ancres.

De nombreux protocoles et algorithmes de localisation fournissent un ensemble de coordonnées relatives, qui sont ensuite transformées en coordonnées globales. A la fin des recherches effectuées tout au long de cette étude, nous avons choisi le protocole CCA-MAP comme terrain d'étude.

Le mémoire est organisé comme suit :

Un aperçu sur les réseaux ad hoc ainsi que les réseaux sans fil de capteurs dans le chapitre1.

Le chapitre 2 illustre l'utilisation des réseaux sans fil de capteurs dans le domaine agricole.

Une définition de la localisation dans les réseaux sans fil de capteurs avec une idée générale sur les différentes techniques de mesure est donnée dans le chapitre3.

Le chapitre 4 est un état de l'art sur les techniques et les algorithmes de localisation dans les réseaux sans fil de capteurs.

Introduction générale

Le cœur de mon travail est dans le chapitre 5 qui porte sur l'effet du placement des nœuds ancrés et donne des résultats de simulation de l'algorithme CCA-MAP.

Les perspectives et futurs travaux sont détaillés dans la conclusion générale.



Chapitre 1

Aperçu sur les réseaux sans fil

1. Introduction

Aujourd'hui, La plupart des réseaux locaux sans fil installés utilisent une « infrastructure » qui exige l'utilisation d'un ou plusieurs points d'accès. Avec cette configuration, le point d'accès fournit une interface à un système de distribution (par exemple, Ethernet), qui permet aux utilisateurs l'accès aux applications d'Internet.

Cependant, la norme 802.11 spécifie un mode " ad hoc ", qui permet à la carte réseau sans fil de fonctionner avec une configuration appelée IBSS (Independent basic service set). Avec cette configuration, il n'y a aucun point d'accès. Les dispositifs des utilisateurs communiquent directement entre eux d'une façon poste à poste.

Le mode ad hoc permet à des utilisateurs de former spontanément un LAN sans fil. Par exemple, un groupe de personnes avec des micros portables équipés d'une carte réseau sans fil peut se réunir pour une réunion d'affaires à leurs sièges sociaux. Afin de partager des documents tels que des bilans, ils ont pu facilement commuter leurs NICs au mode ad-hoc pour former un petit LAN sans fil. Un autre exemple est quand vous devez partager un dossier relativement grand avec des personnes se trouvant au même endroit ou bâtiment. Par le mode ad-hoc, vous pouvez facilement transférer le dossier à partir d'un micro portable à l'autre. Avec n'importe quelle application, il n'y a aucun besoin d'installer un point d'accès ou bien des câbles.

Le mode ad hoc est particulièrement utile dans la sécurité civile et les opérations de recherche et de sauvetage. Les équipes médicales ont besoin des transmissions rapides et pertinentes quand elles se précipitent à un désastre pour traiter des victimes. Elles ne peuvent pas se permettre d'installer le câblage et le matériel de gestion du réseau. L'équipe médicale peut utiliser les cartes réseaux sans fil des micros portables et PDAs et permettre des communications de données dès qu'elles arriveront sur le site du désastre. Le domaine militaire aussi reste l'un des domaines les plus dépendants des réseaux ad hoc.

2. Les réseaux ad hoc

2.1. Définitions

Un réseau ad hoc est un ensemble de nœuds sans fils qui forment, d'une façon dynamique, un réseau sans avoir à utiliser une infrastructure ou bien une administration centralisée. Dans ce type de réseau, les routeurs sont libres de se déplacer aléatoirement et s'organisent arbitrairement.

Un réseau sans fil « ad hoc » est un réseau radioélectrique sans aucune infrastructure préexistante. Il est capable de se créer et s'organiser dynamiquement lorsque plusieurs équipements se trouvent à portée radio les uns des autres. Il se forme au gré de l'apparition et du mouvement des nœuds.

C'est un réseau capable de rendre transparentes, aux utilisateurs mobiles, les modifications de topologie qu'il subit. C'est donc un système autonome de nœuds mobiles. Ce dernier peut fonctionner d'une manière isolée ou s'interfacer à des réseaux filaires à travers des passerelles.

Il est très fréquent d'entendre parler des réseaux sans fil ad hoc mobiles (MANET), ce sont des ensembles de nœuds mobiles (PC portables, PDAs, téléphones mobiles, véhicule, etc.) interconnectés par une technologie sans fil, WiFi par exemple, formant un réseau temporaire sans aucune administration, ni support fixe.

En résumé, un réseau ad hoc est un réseau spontané, capable de se construire et de s'organiser sans aucune intervention humaine. La création de ce type de réseau se fait dès qu'un besoin de communication est senti par les nœuds.

La figure 1.1 montre un réseau ad hoc sans infrastructure, il faut juste préciser que les réseaux ad hoc fonctionnent suivant le principe de poste à poste (peer to peer), donc il suffit que deux nœuds soient à proximité pour qu'ils puissent communiquer entre eux.

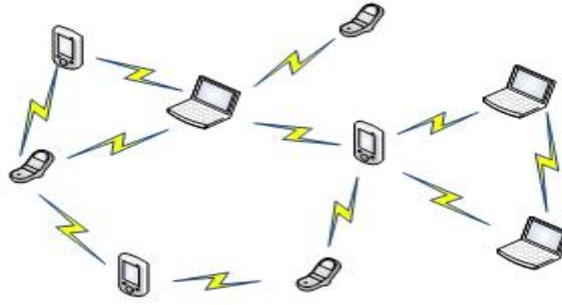


Figure 1.1 Réseau Ad hoc

A partir de cette définition générale, il est intéressant de mettre en avant les caractéristiques principales qui différencient un réseau ad hoc d'un réseau classique.

2.2. Caractéristiques des réseaux ad hoc

2.2.1. Mobilité (Une topologie dynamique)

La mobilité des nœuds constitue à l'évidence une caractéristique très spécifique des réseaux ad hoc. Cette mobilité est intrinsèque au fonctionnement du réseau.

Dans un réseau ad hoc, la topologie du réseau peut changer rapidement, de façon aléatoire et non prédictible et les techniques de routage des réseaux classiques, basées sur des routes préétablies, ne peuvent plus fonctionner correctement.

2.2.2. Equivalence des nœuds du réseau

Dans un réseau classique, il existe une distinction nette entre les nœuds terminaux (stations, hôtes) qui supportent les applications et les nœuds internes (routeurs par exemple) du réseau, en charge de l'acheminement des données. Cette différence n'existe pas dans les réseaux ad hoc car tous les nœuds peuvent être amenés à assurer des fonctions de routage.

2.2.3. Liaisons sans fil (Une bande passante limitée)

Les technologies de communication sans fil sont indispensables à la mise en place d'un réseau ad hoc. Malgré des progrès très importants, leurs performances restent et resteront en dessous de celles des technologies des réseaux filaires. La bande passante est moins importante, alors que le routage et la gestion de la mobilité génèrent davantage de flux de contrôle et de signalisation que dans une architecture de réseau filaire.

Ces flux doivent être traités de façon prioritaire pour prendre en compte rapidement les modifications de topologie.

2.2.4. Autonomie des nœuds (Des contraintes d'énergie)

La consommation d'énergie constitue un problème important pour des équipements fonctionnant grâce à une alimentation électrique autonome. Ces équipements intègrent des modes de gestion d'énergie et il est important que les protocoles mis en place dans les réseaux ad hoc prennent en compte ce problème.

2.2.5. Vulnérabilité (Une sécurité physique limitée)

Les réseaux sans fil sont par nature plus sensibles aux problèmes de sécurité. Pour les réseaux ad hoc, le principal problème ne se situe pas au niveau du support physique mais principalement dans le fait que tous les nœuds sont équivalents et potentiellement nécessaires au fonctionnement du réseau.

2.3. Applications

2.3.1. Recherche et sauvetage

Quand nous sommes en face d'un tremblement de terre, un ouragan ou bien n'importe quel désastre, les réseaux sans fil ad hoc peuvent s'avérer très utiles dans les opérations de la recherche et sauvetage. En général, les désastres laissent une grande population sans électricité et moyens de communication. Les réseaux sans fil ad hoc peuvent être établis sans de telles infrastructures et peuvent fournir des transmissions entre les diverses équipes de recherche pour coordonner leurs opérations de sauvetage.

Les réseaux sans fil de capteurs (une autre forme des réseaux ad hoc) peuvent être employés pour conduire des recherches des survivants et pour fournir le soin d'une façon opportune. Les opérations de sauvetage utilisent également des robots pour rechercher des survivants. Ces robots peuvent communiquer entre eux en utilisant les réseaux ad hoc sans fil et coordonner leurs activités. Basé sur la surface de la zone affectée par le désastre, un nombre approprié de robots (formant un réseau ad hoc) peut être déployé pour rechercher la zone et recueillir l'information dans les plus brefs délais. Ensuite, l'information recueillie peut être analysée et traitée, et l'aide appropriée peut être aisément dirigée là où il fallait.

2.3.2. Domaine militaire

La transmission sécurisée est un des aspects principaux de toutes opérations militaires réussies. En outre, beaucoup d'opérations de la défense ont lieu dans des endroits où l'infrastructure de transmission n'est pas disponible. L'utilisation des réseaux sans fil ad hoc et de capteur dans de telles situations devient très utile. Les différentes unités (armée terrestre, marine, et l'armée de l'Air) impliquées dans des opérations militaires doivent également garder la transmission entre eux. Les avions de l'armée de l'air volant dans un groupe peuvent établir un réseau sans fil ad hoc pour communiquer entre eux et échanger des images et des données. Les groupes d'armée en mouvement peuvent également utiliser les réseaux sans fil ad hoc pour communiquer entre eux-mêmes. La même chose s'applique à la marine. L'idéal de ce type de communication est que le réseau ad hoc se déplace avec les combattants sur terre ou les avions en air.

Une des nombreuses applications des réseaux sans fil ad hoc (en particulier de capteur) est la collecte de l'information. Les capteurs utilisés pour de telles applications sont essentiellement jetables et sont utilisés une fois pour une application. Les capteurs peuvent être déployés en grandes quantités dans la zone choisie pour la collecte intelligente de l'information. Les capteurs peuvent être déployés par avion ou par d'autres moyens.

En raison de leurs tailles très petites, les capteurs resteront suspendus dans l'air un certain temps. Pendant ce temps, ils peuvent rassembler l'information pour laquelle ils ont été programmés, traitent l'information, partagent l'information collectée avec d'autres capteurs voisins, et transmettent l'information à un nœud central. L'information peut alors être analysée au service de traitement central, et une décision au sujet de la prochaine étape peut être prise. Les réseaux de

capteur peuvent également être utilisés pour repérer des objets ou des cibles, qui sont un des applications critiques dans le domaine militaire.

Avec les avancements rapides en technologies de semi-conducteur, la taille des dispositifs électroniques devient plus petite et la puissance de calcul et de traitement des données est devenue plus élevée sur les puces minuscules. Ces avancements ont mené au développement des ordinateurs minuscules. L'idée de ces ordinateurs n'est pas révolutionnaire, mais l'idée d'une tenue intelligente (qui se compose de beaucoup des capteurs) est relativement récente. Dans la tenue intelligente, des ordinateurs minuscules sont reliés par des fils minces ou sans fil, qui peuvent échanger l'information entre eux, traiter les données, et exécuter l'action qu'ils sont programmés pour faire. La tenue intelligente peut être programmée pour surveiller certains états et signes essentiels d'un individu de façon régulière. Ceci a pu devenir très utile pour le personnel de la défense dans le champ de la bataille. L'information collectée peut être traitée, et la mesure appropriée peut être prise par la tenue, si nécessaire. La tenue intelligente peut même pouvoir indiquer l'emplacement exact du problème. Elle peut également demander les secours dans les circonstances critiques.

2.3.3. Domaine de la santé

L'échange de l'information multimédia (audio, vidéo, et données) entre le patient et les équipements est très utile dans des situations critiques et d'urgences. Un individu qui est transporté à l'hôpital dans une ambulance peut envoyer de l'information en utilisant les réseaux ad hoc. Un docteur, dans beaucoup de situations, est en bonne position pour diagnostiquer et préparer un traitement pour un patient s'il a une vidéo plutôt que juste des données. Par exemple, la vidéo peut être utile en évaluant les réflexes et en visualisant la capacité de coordination d'un patient. De même, la gravité des blessures d'un patient peut être établie mieux avec l'information visuelle qu'avec information sonore ou juste autre information. L'échographie des reins d'un patient, du cœur, ou d'autres organes, en temps réel, peut être très utile en préparant un traitement pour un patient qui est transporté à l'hôpital, avant son arrivée. Une telle information peut être communiquée par les réseaux sans fil, d'une ambulance à un hôpital ou à des chirurgiens qui sont dispersés dans différents endroits mais ils convergent vers l'hôpital pour traiter le patient.

Les réseaux sans fil ad hoc installés dans les maisons peuvent être très utiles pour surveiller les patients chez eux. Ces maisons intelligentes peuvent prendre quelques décisions de base, (basées sur l'information échangée entre les différents capteurs du réseau ad hoc), qui sont

bénéfiques aux personnes âgées. D'autres informations peuvent être collectées par les maisons intelligentes comme la surveillance des mouvements au sein de la maison, en reconnaissant une chute d'un être humain, ou bien une situation inhabituelle, et d'informer un organisme approprié afin que l'aide puisse être fournie, à temps.

Le concept des tenues intelligentes, qui sont examinées dans la section sur le domaine militaire (ci-dessus), peut également être utilisé pour surveiller les conditions de santé des patients. Ces tenues peuvent devenir très utiles pour fournir les soins aux personnes âgées.

2.3.4. Domaine académique

La plupart des établissements universitaires ont déjà des réseaux sans fil, ou sont en train d'établir de telles installations. Un tel environnement offre aux étudiants et aux professeurs un environnement pour interagir et accomplir leurs missions. Les réseaux sans fil ad hoc peuvent améliorer un tel environnement, et ajouter de nombreuses fonctionnalités. Par exemple, une communication sans fil peut être établie entre l'enseignant et les étudiants inscrits dans sa classe.

Un tel environnement peut fournir un mécanisme simple et pratique pour l'instructeur afin de distribuer des documents à tous les élèves de sa classe et également pour que les étudiants soumettent leurs travaux. Le partage d'informations entre les participants du cours peut être aussi simple que de taper une touche du clavier. En raison de la mobilité des réseaux sans fil ad hoc, ces réseaux peuvent également être mis en place lors d'une visite aux sites industriels. Rester en contact ne peut pas être plus simple.

2.3.5. Domaine industriel

La plupart des sites industriels ou d'entreprises ont des réseaux sans fil en place, en particulier dans des environnements de production.

Les installations de fabrication, en général, ont de nombreux dispositifs électroniques qui sont interconnectés. Le câblage mène à un encombrement de l'espace, qui pose non seulement des risques en matière de sécurité mais compromet également la fiabilité. L'utilisation des réseaux sans fil élimine plusieurs de ces soucis. Si la connectivité est sous forme de communication sans fil ad hoc, cela ajoute beaucoup d'aspects bénéfiques, y compris la mobilité. Les dispositifs peuvent être facilement déplacés, et les réseaux reconfigurés sur la base des nouvelles exigences.

2.4. Défis

Bien que les réseaux sans fil ad hoc représentent des merveilles technologiques, il existe de nombreux défis qui doivent être étudiés pour exploiter entièrement leurs avantages.

Comme avec tous les environnements de communication mobiles, les réseaux sans fil ad hoc fonctionnent avec les contraintes suivantes:

- * bande passante limitée.
- * Energie et vie de batterie limitées
- * Taille des dispositifs mobiles
- * Sécurité de l'information

La transmission sans fil fonctionne avec une bande passante limitée, qui implique que seulement une quantité d'information limitée peut être transmise sur une certaine période de temps. Les techniques efficaces de transmission prépareront le terrain pour la capacité accrue. Cependant, ce n'est pas suffisant, et les approches innovatrices pour l'usage optimal de la bande passante sont nécessaires. Le concept des structures cellulaires de transmission et de l'utilisation des techniques de transmission telles que l'accès multiple de division de code (CDMA) sont très utiles. Les travaux de recherche sont toujours nécessaires pour fournir des mécanismes plus efficaces pour l'exploitation de la bande passante disponible.

Les dispositifs mobiles de transmission n'ont pas accès à l'énergie illimitée. Ils utilisent des batteries, et les batteries ont une durée de vie. Plus l'utilisation de l'énergie est haute, plus la vie de batterie sera courte. Des efforts sont déployés pour concevoir des dispositifs qui consomment moins d'énergie et ajustent la force des signaux de transmission en se basant sur la distance entre les nœuds. En outre, des techniques et des algorithmes de traitement de signal efficaces sont développés pour consommer moins d'énergie. Avec les progrès dans les technologies de semi-conducteur, composants électroniques peuvent être placés sur des petites puces. Cela a mené au développement des dispositifs mobiles qui sont plus puissants et moins gourmands en énergie. Pendant que la taille de ces dispositifs mobiles continue à diminuer, des fonctionnalités sont ajoutées à ces dispositifs sans avoir besoin de plus d'énergie.

Les environnements de communication sans fil sont plus exposés aux risques de sécurité que d'autres, et les réseaux sans fil ad hoc ne sont pas une exception. N'importe quel niveau de sécurité de l'information désirée peut être obtenu, mais cela en consommons plus de bande passante.

Les chercheurs travaillent à découvrir des mécanismes qui fourniront une transmission plus sûre de l'information sans consommer plus de temps. La réduction du temps de transfert de l'information dans les réseaux sans fil ad hoc est un des plus grands défis. Quand l'information doit être transmise d'un dispositif à l'autre, une route ou un chemin d'accès doit être établi pour l'échange de l'information. En outre, il existe plusieurs techniques de routage qui ont été proposés pour établir une route entre deux. Le défi que posent les réseaux sans fil ad hoc est qu'ils ont une topologie dynamique. Pour établir un itinéraire entre deux dispositifs, les composants de réseau doivent être conscients de l'emplacement des autres dispositifs. Pour rendre les choses plus compliquées, les dispositifs sont mobiles et ne cessent de changer leurs emplacements. Les procédures pour l'établissement de routes doivent être dynamiques et adaptables. L'itinéraire qui est établi au début du transfert des informations entre deux dispositifs peut ne pas être identique quand l'information atteint sa destination. Par conséquent, l'information de routage doit être mise à jour d'une façon très fréquente.

3. Réseaux sans fil de Capteurs

Avant de passer à la définition d'un réseau de capteurs, il faut savoir qu'un capteur est un dispositif qui produit une réaction mesurable à un changement d'un état physique, tel que la température ou le champ magnétique.

Bien que les capteurs aient été découverts depuis longtemps, deux récentes révolutions technologiques ont considérablement mis en valeur leurs importances et leurs champs d'applications. La première était la connexion des capteurs aux systèmes informatiques, et la seconde était l'émergence de capteurs à microsystème électromécanique (MEMS) avec leurs petites tailles, faible coût et haute fiabilité.

3.1. Définition d'un réseau sans fil de capteurs

Un réseau sans fil de capteurs est une collection de nœuds. Chaque nœud se compose d'une unité de traitement (un ou plusieurs microcontrôleurs, CPU), peut contenir plusieurs types de

mémoire (RAM, disque durs et mémoires Flash), doter d'un émetteur/récepteur et une source d'énergie (par exemple, des batteries et des piles solaires).

Les nœuds de ces réseaux consistent en un grand nombre de capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome, dispersés aléatoirement à travers une zone géographique (champ de captage) et mettant en œuvre un routage multi saut jusqu'au nœud considéré comme un « point de collecte ».

Les réseaux sans fil de capteurs se composent de nœuds de capteurs qui doivent coopérer à l'exécution d'une fonction spécifique. En particulier, avec la capacité des nœuds de sentir, traiter et communiquer les données, elles sont bien convenues pour exécuter la détection d'événement, qui est clairement une application en avant des réseaux sans fil de capteurs.

3.2. Caractéristiques des réseaux de capteurs

La plupart des réseaux de capteurs utilisent l'architecture des réseaux sans fil ad hoc, qui sont des collections de nœuds sans fil, éventuellement mobiles, auto-configurable pour former un réseau sans avoir besoin d'une infrastructure. Les nœuds mobiles prennent en charge les tâches de contrôle et gestion du réseau d'une manière distribuée. L'architecture ad hoc lance un appel fortement au réseau de capteur pour beaucoup de raisons :

L'architecture ad hoc surmonte les difficultés augmentées par les configurations prédéterminées d'infrastructure des autres familles des réseaux sans fil. Les réseaux de capteurs peuvent être déployés rapidement et de façon aléatoire et reconfigurés pour inclure de nouveaux nœuds sur demande pour remplacer les nœuds défectueux ou qui n'ont plus d'énergie. Ces derniers peuvent se retirer ou s'écarter du système sans affecter la fonctionnalité des autres nœuds.

Les réseaux ad hoc peuvent être facilement conçus en fonction des applications spécifiques. Cette architecture est fortement robuste pour supporter des pannes de nœud et fournit un niveau élevé de tolérance aux fautes en raison de la redondance de nœud et de sa nature distribuée.

Les réseaux ad hoc ont l'avantage de la réutilisation de la bande passante, qui bénéficie également de diviser l'intervalle d'un long saut en plusieurs sauts. Chaque saut a une petite distance. Dans ce cas, la communication se fait au niveau local et pour un petit nombre de nœuds.

Chapitre 1

Aperçu sur les réseaux sans fil

Il n'est pas surprenant de voir que la majorité des réseaux de capteurs sont basés sur les architectures ad hoc multi sauts. Toutefois, en raison des exigences d'application unique, les réseaux de capteurs sont bien différents des réseaux sans fil ad hoc classiques. En conséquence, les architectures des réseaux ad hoc et les protocoles qui y sont utilisés ne sont pas directement extensibles aux réseaux de capteurs, donc de nouvelles approches doivent être développées afin de satisfaire les exigences spécifiques des réseaux de capteurs [25].

Le tableau 1.1 récapitule les différences principales entre ces deux types de réseaux. Ces différences soulèvent beaucoup de défis techniques sur la conception et la mise en place de système.

	Réseaux sans fil de capteurs	Réseaux sans fil ad hoc
Nombre de nœuds	Grand, centaines aux milliers voir plus de nœuds.	Petit à gérer
Densité des nœuds	élevée	Relativement basse
Redondance de données	élevée	basse
Alimentation d'énergie	Batteries non rechargeable, irremplaçable	Batteries rechargeable et /ou remplaçable
Débit	Bas ; 1- 100 Kb/s	Elevé
Mobilité des nœuds	Peu mobiles	Peuvent avoir une grande mobilité
Direction des flux	Unidirectionnel dominant : Nœuds capteur → nœud central	Bidirectionnel, flux de bout en bout
Forward de paquet	Plusieurs à un, données central	Adresse central de bout en bout
Nature de la requête	Basée sur l'attribut	Basée sur le nœud
Diffusion de la requête	Diffusion générale	Saut par saut ou bien diffusion générale
Adressage	Pas de ID unique global	ID unique global
Cycle de service actif	Peut-être moins de 1%	Elevé

Tableau 1.1 différence entre les réseaux ad hoc et les réseaux de capteurs

3.3. Utilisations

Avant de parler de quelques application des réseaux de capteurs, il faut juste mentionner que les capteurs peuvent surveiller un éventail de conditions physiques, comme la température, l'humidité, la lumière, la pression, le mouvement d'un objet, composition en sol, le niveau de bruit et les caractéristiques d'un objet telles que le poids, la taille, la vitesse de déplacement, la direction, et sa dernière position.

En raison de la fiabilité, l'auto-organisation, la flexibilité, et de la facilité de déploiement, les réseaux sans fil de capteurs peuvent être appliquées à presque n'importe quel environnement, en particulier ceux dans lesquels les réseaux de capteurs filaires sont impossibles ou indisponibles, comme dans les champs de bataille, l'espace, ou les profondeurs des océans.

3.3.1. Applications Militaires

Les réseaux de capteurs sont en train de devenir une partie intégrante du commandement militaire, de contrôle, communications, renseignement, surveillance, et reconnaissance. Dans le champ de bataille, une tendance prévisible est que les cibles deviendront plus petits et moins reconnaissables / détectable, la mobilité est plus élevée et, habituellement, se déplacer en terrain extrêmement hostile. Pour étudier la position et la force des ennemies, une solution réside dans la densité des matrices de capteurs à placer à proximité de la cible.

En raison de leur capacité à être laissé sans surveillance humaine, de la facilité de déploiement, l'auto-organisation, et la tolérance aux pannes, les réseaux de capteurs peuvent fournir une haute redondance et détection collaborative des données sans le soutien des forces amies. Aussi, les réseaux de capteurs peuvent être montés sur des véhicules robotisés sans pilote, des chars, des avions de chasse, des sous-marins, missiles, torpilles pour franchir les obstacles, les guider à la position exacte et les amener à coordonner entre eux d'une façon plus efficaces pour répondre à des attaques ou des défenses. Un réseau de capteurs peut également être utilisé pour la télé-détection des armes nucléaires, biologiques, chimiques et potentiel attentat terroriste.

De toute évidence, les réseaux de capteurs prendront un rôle plus important dans l'armée pour des tâches d'attaque et de défense plus intelligentes, avec moins d'intervention humaine.

3.3.2. Surveillance de l'environnement

La propagation des centaines à des milliers de capteurs sans fil minuscules et auto-configurable dans une région géographique donnée peut produire un large éventail d'applications en surveillance collaborative ou de contrôle de l'environnement.

Cela englobe la surveillance des écosystèmes complexes; détection d'inondation; la surveillance de l'air et des eaux usées; le contrôle du climat local dans les bureaux des grands immeubles; la détection de la composition du sol et l'agriculture précise; la détection d'incendie dans les terres sauvages; et l'exploration de réserves minérales, etc.

On peut citer quelques exemples avec plus de détails :

3.3.2.1. La surveillance des écosystèmes

Les réseaux sans fil de capteurs utilisés dans la surveillance des écosystèmes représentent une classe d'applications avec de nombreux potentiels avantages pour l'étude de la science de vie parce que les réseaux de capteurs peuvent fournir des informations sur plusieurs conditions environnementales, y compris la chimie des sols et de l'air ainsi que les plantes et les populations d'animaux et leurs comportements. La collecte d'informations à long-terme permet aux scientifiques de l'écosystème l'identification, la localisation, le suivi et la prédiction des espèces ou bien les phénomènes dans les domaines d'intérêt.

3.3.2.2. Contrôle du climat local des grands bâtiments

La plupart des gens qui ont travaillé dans les bureaux des grands immeubles ont constaté que la température est rarement bonne, à savoir, trop élevée ou trop basse; le niveau d'humidité est souvent trop sec ou trop humide; trop ou trop peu de lumière; ou bien il n'y a pas assez d'air frais.

Par conséquent, la surveillance du climat local et les systèmes de contrôle sont hautement souhaitables pour assurer des lieux de travail sains et agréables. Actuellement, les systèmes traditionnels avec des réseaux de capteurs filaires dominent ce domaine, alors que les réseaux de capteurs sans fil sont considérés comme la meilleure solution, pour une chose, le déploiement d'un réseau de capteurs sans fil est beaucoup plus souple qu'un système filaire.

Sans la restriction de fils, les capteurs peuvent être mis là où ils sont nécessaires; ils peuvent également être déplacés de leurs positions d'origine à des endroits appropriés. En outre, les réseaux sans fil de capteurs peuvent offrir des économies comparativement aux réseaux de capteurs filaires.

3.3.3. La prévention des catastrophes et les secours

Les réseaux de capteurs peuvent aussi être efficacement déployés dans les situations d'urgence et des zones sinistrées. L'exactitude de l'emplacement fournis par les réseaux de capteurs distribués pourrait être critique dans les opérations de sauvetage, y compris la détection des victimes, les risques potentiels, ou des sources d'urgence et l'identification et la localisation des personnes piégés.

Par exemple, les capteurs peuvent être intégrés dans les grands bâtiments pendant la construction, en déclenchant automatiquement les capteurs immédiatement après la catastrophe. L'effondrement des murs ou plafond pourrait être fondée et estimée par le mouvement de l'immeuble. Il est également utile de déployer les réseaux de capteur sans fil pour des tâches de surveillance, comme la détection et le suivi d'amortissement des matériaux, pour prendre des mesures efficaces avant qu'un accident ne se produise.

3.3.4. Exploration Scientifique

Le déploiement efficace et l'exploitation de l'autoréglementation des réseaux sans fil de capteurs ont permis d'avoir de nouvelles issues dans l'exploration scientifique aux milieux plus élevés ou plus profonds tels que l'espace et les profondeurs des océans.

Des scientifiques ont présenté un exemple pour employer les réseaux sans fil de capteurs sur la surface de la planète Mars, pour la collecte des mesures sismiques, chimiques, et de la température pour ensuite transmettre ces résultats à une navette spatiale.

Chaque nœud capteur distribué fournit les mesures de temps et la position; via l'énergie conservée, la charge équilibrée, communications multi-sauts, ils peuvent transmettre l'information à la station de base lointaine du réseau. De même, les réseaux sans fil de capteurs peuvent être utilisés également pour l'exploration sous-marine à l'avenir.

3.3.5. La surveillance

La surveillance en temps réel et la télésurveillance inspire des applications importantes des réseaux sans fil de capteurs. Par exemple, un grand nombre de réseaux de capteurs acoustiques peuvent être utilisés pour détecter les cibles dans une zone de sécurité bien déterminé. Les réseaux sans fil de capteurs peuvent être déployés dans les bâtiments, les quartiers résidentiels, les aéroports, les gares ferroviaires, etc.

Ils peuvent être utilisés pour identifier des intrus et rapporter à un centre de commandement afin que les actions de suivi puissent être lancées rapidement. De même, l'installation des nœuds capteurs de fumée dans certains endroits aux foyers, immeubles de bureaux, ou des usines est critique à la prévention des catastrophes d'incendies et au traçage de la propagation des feux.

3.3.6. Autres Applications

Les réseaux sans fil de capteurs auto-configurable peuvent être utilisés dans de nombreux autres domaines, tels que les soins médicaux, les maisons intelligentes, le contrôle des robots et les instrumentations des usines, le suivi automatique des stocks des entrepôts, le contrôle des réactions chimiques, etc.

3.4. Défis techniques

Remplir le monde avec des réseaux de capteurs nécessite une compréhension fondamentale des techniques de connexion et la gestion des nœuds capteurs avec un réseau de communication évolutif.

De toute évidence, les réseaux de capteurs appartiennent à la classe des réseaux ad hoc, mais ils ont des caractéristiques particulières qui ne sont pas présents dans réseaux ad hoc. Ad hoc et les réseaux de capteurs partagent un certain nombre de défis, tels que les contraintes d'énergie et du routage.

D'autre part, les réseaux ad hoc induisent les tendances du trafic différent que les réseaux de capteurs, ont d'autres exigences de vie, et sont souvent composés de nœuds mobiles. En réseaux de capteur sans fil, la plupart nœuds sont statiques; toutefois, les nœuds d'un réseau de capteur

peuvent être remplacés par des capteurs mobiles plus puissants (robots) qui, sont guidés par des capteurs, peuvent se déplacer dans des zones intéressantes ou même attraper des intrus dans le cas d'applications militaires.

Les nœuds du réseau sont équipés d'émetteurs et de récepteurs sans fil à l'aide des antennes qui peuvent être omnidirectionnel (rayonnement isotrope), fortement directionnel (point à point), probablement orientable, ou une certaine combinaison à un point donné dans un temps t , selon les positions des nœuds et leurs configurations d'émission et de réception, les niveaux de puissance du signal, et le niveau d'interférence entre les canaux.

Beaucoup d'efforts de recherches visent à améliorer l'efficacité énergétique de différents aspects. Dans des réseaux de capteur, l'énergie est consommée principalement pour trois buts: transmission de données, traitement des signaux et exécution des actions. Il est souhaitable de développer des techniques de consommation de l'énergie qui réduisent au minimum l'alimentation en énergie à travers toute la pile des protocoles et, en même temps, minimisent les messages pour la gestion et le contrôle du réseau.

3.4.1. Métriques de performances

Pour discuter les issues avec plus détails, il est nécessaire d'examiner une liste de métrique qui déterminent la performance d'un réseau sans fil de capteurs:

L'efficacité énergétique

Les capteurs sont alimentés par des batteries, ce qui rend l'énergie une ressource très maigre qui doit être gérée avec sagesse afin d'étendre la durée de vie du réseau.

La latence

De nombreuses applications capteur exigent un service avec un délai minimum garanti. Les protocoles doivent veiller à ce que données obtenues seront livrées à l'utilisateur dans un certain délai. Parmi les exemples frappants dans cette classe de réseaux on trouve certainement les réseaux capteur-actionneur.

L'exactitude

Obtenir des informations exactes est le principal objectif; la précision peut être améliorée par la combinaison de la détection et l'estimation. La théorie du taux de distorsion est un outil possible pour évaluer l'exactitude.

La tolérance aux pannes

La robustesse des capteurs et les échecs de connexion doivent être atteints par la redondance, le traitement collaboratif et la communication.

L'évolutivité

Parce qu'un réseau de capteurs peut contenir des milliers de nœuds, l'extensibilité est un facteur critique qui garantit que les performances du réseau n'ont pas grandement diminué quand la taille du réseau (ou la densité des nœuds) augmente.

La capacité de transport /le débit

Parce que la plupart des données collectées par les capteurs doivent être livrées à une seule station de base ou centre de fusion, une zone critique dans le réseau de capteurs existe, dont les nœuds capteurs doivent relayer les données produites par pratiquement tous les nœuds du réseau. Ainsi, la charge de trafic à ces nœuds critiques est lourde, même lorsque le taux moyen de la circulation est faible. Apparemment, cette zone a une influence primordiale sur le réseau, le délai de transmission du paquet de bout en bout et l'évolutivité.

En raison de l'interdépendance de la consommation énergétique, du délai, et le débit, toutes ces questions et métriques sont étroitement couplées. Ainsi, la conception d'un réseau de capteurs sans fil nécessairement se compose de la résolution de nombreux compromis, qui reflète également dans la pile des protocoles du réseau, dans laquelle une approche cross-layer est nécessaire au lieu de traditionnelle conception du protocole couche par couche [42].

3.4.2. Alimentation

La plus difficile contraintes dans la conception des réseaux de capteurs est celle concernant la consommation minimum de l'énergie nécessaire pour des circuits éventuellement des micros

dispositifs (MEMS). Le problème d'énergie est aggravée si les actionneurs sont présents qui peuvent être sensiblement plus affamés à l'énergie que les capteurs.

Dans les réseaux sans fil de capteurs, capteurs où l'échantillonnage, le traitement, la transmission de données, et, éventuellement, actionnement sont impliqués, les compromis entre ces tâches joue un rôle important en usage de l'énergie. L'équilibre entre ces paramètres sera l'orientation du processus de conception des réseaux sans fil de capteurs [25].

3.4.3. Routage

En réseaux ad hoc, protocoles de routage sont censés appliquer trois fonctions principales: la détermination et la détection des changements de la topologie du réseau; le maintien de la connectivité réseau ; et le calcul et la détection des bon itinéraires.

En réseaux de capteurs, moins d'effort à été donnée aux protocoles de routage, même si c'est clair que les protocoles de routage ad hoc tels que DSDV (destination sequenced distance vecteur), TORA (temporally-ordered routing algorithm), DSR (dynamic source routing), et AODV (ad hoc on demand distance vector) ne sont pas adaptées pour le réseaux capteur pour la cause du type de trafic qui est "plusieurs à un" et que tous les nœuds typiquement transmettent à une seule station de base ou centre de fusion.

Néanmoins, certains mérites de ces protocoles se rapportent aux caractéristiques des réseaux de capteurs, comme la communication multi-sauts et le routage QoS. Le routage peut être associé à la compression des données pour améliorer l'évolutivité du réseau [25].

3.4.4. Localisation

Un système de localisation existe déjà, qui est disponible sur toute la surface du globe : le GPS. Pourtant, il n'est pas satisfaisant pour l'usage nécessaire, car il cumule les handicaps. Il est disponible seulement en extérieur, et encore si aucun obstacle ne vient obstruer le champ de vue des récepteurs : le fonctionnement sous un feuillage dense, ou dans des villes aux rues étroites, n'est pas possible, où seulement dans de très mauvaises conditions.

De plus il est particulièrement coûteux, tant en ce qui concerne le matériel – qui est dupliqué en nombreux exemplaires dans un réseau à forte densité de capteurs. De plus, la réception du signal

est très gourmande en énergie, ce qui n'est pas compatible avec les problématiques de gestion de durée de vie des batteries.

La localisation par moyens propres est donc indispensable.

Elle se fait en deux étapes : premièrement l'estimation de la distance aux autres nœuds, et ensuite la triangulation.

Le développement de nouvelles techniques de localisation est devenu un grand souci pour les réseaux sans fil de capteurs [25].

3.4.5. Qualité de service

La qualité de service se réfère à la capacité du réseau à fournir des données fiable et à temps. Un grand nombre de service, à savoir, le débit ou la capacité de transport, ne sont pas généralement suffisant pour satisfaire un délai requis par une application, par conséquent, la vitesse de propagation de l'information peut être aussi cruciale que le débit.

En plus de la capacité du réseau, de nombreux travaux important dans les réseaux sans fil de capteurs se font pour la garantie de la qualité de service (QoS), essentiellement sur le délai. Par exemple, dans certaines télédétections et contrôle des applications, la valeur de l'information dégrade rapidement quand la latence augmente.

Parce que la qualité de service est affectée par le choix de conception au niveau des couches physique, accès au media et réseau, une approche intégrée de gestion QoS est nécessaire [25].

3.4.6. La sécurité

En fonction de l'application, la sécurité peut être critique. Le réseau devrait permettre la détection des intrusions et la tolérance, ainsi qu'un fonctionnement robuste dans le cas de défaillance parce que, souvent, les nœuds capteur ne sont pas protégés contre les mauvaises manipulation ou attaques.

L'écoute, le brouillage, et les attaques de retransmission peuvent entraver ou empêcher l'opération; par conséquent, le contrôle d'accès, l'intégrité des messages, et la confidentialité doit être garanti [25].

3.4.7. La mise en œuvre

Avec le rythme actuel des progrès réalisés dans la technologie VLSI et MEMS, dans les prochaines années, la fusion de MEMS et l'électronique sur un seul processeur pose encore des difficultés. La miniaturisation va connaître des progrès constants, sauf pour deux composantes essentielles l'antenne et la batterie, où il sera très difficile de trouver des solutions novatrices. En outre, l'impact du matériel sur la conception de protocole optimum est toujours un sujet ouvert. Les caractéristiques des amplificateurs de puissance, par exemple, influeront grandement sur l'efficacité énergétique des algorithmes de routage [25].

3.4.8. Autres défis

Le traitement du signal distribué : La plupart des tâches exigent l'effort combiné de multiples nœuds de réseau, qui exigent des protocoles qui assureront la coordination, l'efficace échange local d'information, et, éventuellement, l'opération hiérarchique.

Synchronisation et localisation : La notion de temps est critique. La détection coordonnée et l'actionnement dans le monde physique requièrent une synchronisation du temps global qui doit être en accord avec la connaissance des endroits des nœuds relative ou absolue.

Reprogrammation sans fil : Un réseau de capteur sans fil déployé doit être reprogrammé ou mis à jour. Jusqu'à présent, aucun protocole de gestion de réseau n'est disponible pour effectuer une telle tâche sûrement dans un réseau de multi-sauts. La difficulté principale est l'accusé de réception des paquets dans une telle transmission multi-sauts/multicast.

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux ad hoc et les réseaux sans fil de capteurs ainsi que leurs applications dans les différents domaines de la vie. Parmi ces applications, nous intéressons dans notre étude au domaine agricole qui sera le sujet de notre prochain chapitre.



Chapitre 2

Les réseaux sans fil de capteurs
dans l'agriculture

1. Introduction

Au cours des dernières années, les nouvelles tendances sont apparues dans le secteur agricole. Grâce à l'évolution dans le domaine des réseaux sans fil de capteurs ainsi que la miniaturisation des circuits de capteurs, l'agriculture de précision a commencé à émerger. L'agriculture de précision se concentre sur la fourniture des moyens d'observation, d'évaluation et le contrôle des pratiques agricoles. Elle couvre un large éventail de préoccupations agricoles de tous les jours de la gestion du troupeau par l'horticulture au domaine de la production des cultures. Il s'agit ainsi des aspects pré et post-production des entreprises agricoles.

Une facette de l'agriculture de précision se concentre sur la gestion des cultures d'un site spécifique. Cela englobe les différents aspects, tels que la surveillance des sols, des cultures et du climat dans un champ; généraliser les résultats pour la parcelle entière; fournir un système d'aide à la décision (décision support système DSS) pour fournir un aperçu sur les traitements possibles, sur le large du champ ou juste pour des parties spécifiques, et le moyen de prendre des mesures différentielles ou en temps réel d'une opération tels que les applications des engrais et des pesticides, le travail du sol, ou le taux de semis.

2. Enjeux de l'agriculture de précision

L'agriculture de précision a pour but d'optimiser la gestion d'une parcelle d'un point de vue

- Agronomique : ajustement des pratiques culturales au plus près des besoins de la plante (exemple : satisfaction des besoins azotés) ;
- Environnemental : réduction de l'empreinte de l'activité agricole (exemple : limitations du lessivage d'azote excédentaire) ;
- Économique : augmentation de la compétitivité par une plus grande efficacité des pratiques (exemple : meilleure gestion du coût de l'engrais azoté).

De plus, l'agriculture de précision met à la disposition de l'agriculteur de nombreuses informations qui peuvent :

-Constituer une véritable mémoire de l'exploitation,

- Aider à la prise de décision,
- Aller dans le sens des besoins de traçabilité,
- Améliorer la qualité intrinsèque des produits agricoles (exemple : taux de protéines pour les blés panifiables).

3. Les étapes et outils

On peut distinguer quatre étapes dans la mise en place des techniques d'agriculture de précision prenant en compte l'hétérogénéité spatiale:

3.1. Géolocalisation des informations

La géolocalisation de la parcelle permet de superposer sur celle-ci les informations disponibles : analyse du sol, analyse des reliquats azotés, cultures précédentes, résistivité des sols. La géolocalisation s'effectue de deux manières :

Détourage physique à l'aide d'un GPS embarqué, ce qui nécessite le déplacement de l'opérateur sur la parcelle.

Détourage cartographique sur la base de fond d'image aérienne ou satellite. Pour garantir la précision de géolocalisation, ces fonds d'images doivent être adaptés en termes de résolution et de qualité géométrique.

3.2. La caractérisation de cette hétérogénéité

Les origines de la variabilité sont diverses : climat (grêle, sécheresse, pluie, ...), sol (texture, profondeur, teneur en azote), pratiques culturales (semis sans labour), mauvaises herbes, maladies.

Des indicateurs permanents (essentiellement liés au sol) renseignent l'agriculteur sur les principales constantes du milieu.

Des indicateurs ponctuels le renseignent sur l'état actuel de la culture (développement de maladies, stress hydrique, stress azoté, verse, dégâts de gel, etc.).

Les informations peuvent provenir de stations météorologiques, de capteurs (résistivité électrique du sol, détection à l'œil nu, réflectométrie imagerie satellite...).

La mesure de la résistivité, complétée par des analyses pédologiques, aboutit à des cartes agro-pédologiques précises qui permettent une prise en compte du milieu.

3.3. La prise de décision

A partir des cartes agro-pédologiques, la décision sur la modulation des intrants dans la parcelle s'effectue selon deux stratégies :

L'approche prévisionnelle : basée sur une analyse d'indicateurs statiques pendant la campagne : le sol, la résistivité, historique de la parcelle...

L'approche de pilotage : l'approche prévisionnelle est mise à jour grâce à des mesures régulières pendant la campagne. Ces mesures sont effectuées :

Par échantillonnage physique : pesée de la biomasse, teneur en chlorophylle des feuilles, poids des fruits, etc. ...

Par proxy-détection : capteurs embarqués sur les machines pour mesurer l'état du feuillage mais nécessitant l'arpentage total de la parcelle.

Par télédétection aérienne ou satellite : des images multi spectrales sont acquises et traitées de manière à produire des cartes représentant différents paramètres biophysiques des cultures.

La décision peut être fondée sur des modèles d'aide à la décision (modèles agronomiques de simulation des cultures, et modèles de préconisation), mais elle revient avant tout à l'agriculteur, en fonction de l'intérêt économique et de l'impact sur l'environnement.

3.4. La mise en œuvre des pratiques

Les nouvelles technologies de l'information (NTIC) devraient rendre la modulation des opérations culturales au sein d'une même parcelle plus opérationnelle et facilitent l'utilisation par l'agriculteur. L'application technique des décisions de modulation nécessite la disponibilité du matériel agricole approprié. On parle dans ce cas de VRT ou technologie des taux variables (exemple

de modulation : semis à densité variable, application d'azote, application de produits phytosanitaires).

La mise en œuvre de l'agriculture de précision est facilitée par des équipements dans les tracteurs :

1. Système de positionnement (par exemple les récepteurs GPS qui utilisent les transmissions par satellite pour déterminer une position exacte sur le globe terrestre) ;
2. Systèmes d'informations géographiques (SIG) : logiciels qui aident à manipuler toutes les données à disposition ;
3. Matériel agricole pouvant pratiquer la technologie des taux variables (semoir, épandeur).

4. Quelques capteurs spécifiques à l'agriculture de précision

4.1. Capteur de résistance mécanique du sol

Un capteur mesurant la résistance mécanique du sol a été réalisé et monté sur un véhicule géo référencé. Il est constitué d'un soc étroit, enfoncé dans le sol à une profondeur de l'ordre de 30 cm. Lorsqu'il est tiré par un tracteur, ce soc subit des sollicitations (force horizontale F_x et force verticale F_z) mesurées par un capteur dynamométrique. Celui-ci, de type anneau octogonal étendu, est pourvu de trois ponts de jauges de contrainte et mesure sans interférence la force de traction F_x , la force verticale F_z et le couple de transfert M_y [56].

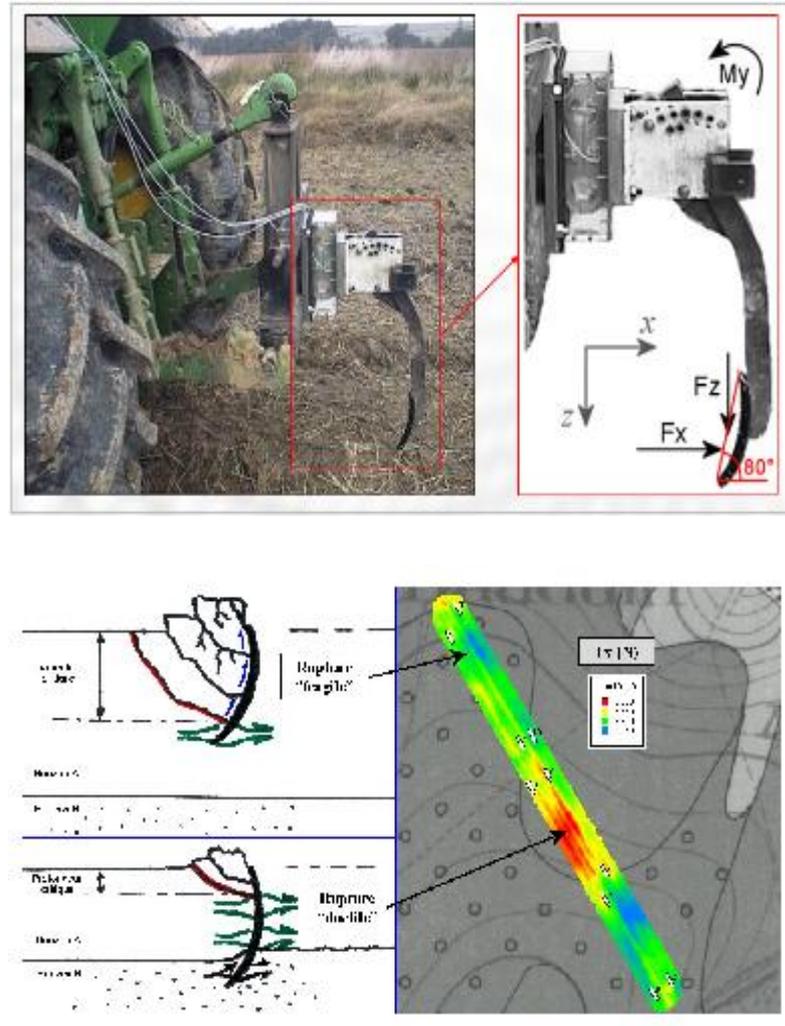


Figure 2.1 Mesure de la résistance mécanique du sol

4.2. Capteur de conductivité électrique du sol

Par ailleurs, un capteur mesurant la conductivité électrique du sol par voie électromagnétique (Geonics EM38) a été monté sur un dispositif spécialement conçu pour effectuer les mesures en ligne sans interférence. Des mesures ont été effectuées sur plusieurs terres et à divers moments, afin d'établir une cartographie de la variabilité spatio-temporelle de la conductivité électrique du sol [56].

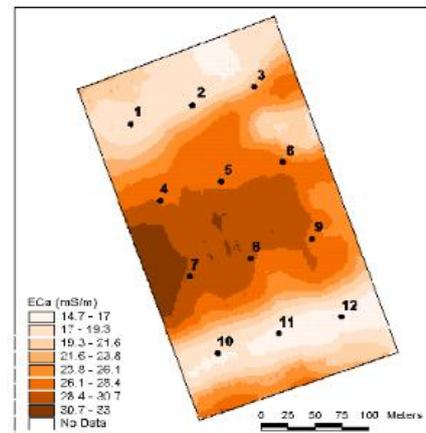


Figure 2.2 Mesure de la conductivité électrique du sol

5. Conclusion

L'apport économique de l'agriculture de précision incite les entreprises agricoles à mettre le paquet dans la recherche scientifique.

Il reste du travail à faire pour que l'agriculture de précision devienne une solution largement acceptée et entièrement viables pour tous les sous-secteurs de l'agriculture. Son adoption détient un grand potentiel pour la rationalisation des systèmes modernes de production agricole, car il:

- Permet une utilisation maximale des produits chimiques agricoles, des engrais ou des traitements correctifs appliqués aux sols et aux cultures;
- Établit clairement la corrélation entre la variabilité spatiales et / ou temporelle et les facteurs associés à des sols et le développement des cultures;

Chapitre 2

Les réseaux sans fil de capteurs dans l'agriculture

- Détermine l'existence des éléments nutritifs, matière organique, acidité, eau, la texture, les maladies, mauvaises herbes, etc.;
- Réduit les coûts de production et la contamination de l'environnement et améliore la qualité des récoltes.

Même si le thème de l'agriculture de précision est relativement nouveau, des avancées significatives ont été faites que d'autres peuvent utiliser, en particulier dans le développement des machines et des outils permettant une gestion localisée basées sur des cartes. Chaque jour, les technologies de l'information les plus avancées sont apparus sur le marché, tels que les systèmes de positionnement global (GPS), les systèmes d'information géographique (SIG), les systèmes d'acquisition et de gestion des données, les capteurs et les contrôleurs, etc.



Chapitre 3

Localisation dans les réseaux
sans fil de capteurs

1. Introduction

Les réseaux de capteurs distribués ont été discutés pendant plus de 30 ans, mais la vision des réseaux sans fil de capteurs (WSN's) a été portée dans la réalité qu'après les progrès récents dans l'électronique et les communications sans fil. Ils ont permis le développement de capteurs à faible coût, faible consommation d'énergie et multifonctionnelles. Aujourd'hui, les capteurs intelligents, bon marché, en réseau grâce à des liaisons sans fil, sont déployés en grand nombre. Ils offrent des opportunités sans précédent pour surveiller et contrôler les maisons, les villes et l'environnement. En outre, les réseaux de capteurs ont un large spectre d'applications dans le domaine de la défense, générant de nouvelles capacités de reconnaissance et de surveillance ainsi que d'autres applications tactiques.

La capacité de localisation (estimation de la position) est essentielle dans la plupart des applications de réseaux sans fil de capteurs. Dans les applications de surveillance de l'environnement comme : la surveillance de l'habitat des animaux, la surveillance de la qualité de l'eau et l'agriculture de précision. Les données de mesures ne sont rien sans une connaissance précise de l'endroit d'où les données sont obtenues. Par ailleurs, la disponibilité d'informations de localisation permet l'apparition de nouvelles applications telles que la gestion des stocks, la détection d'intrusion, le suivi de la circulation routière, la surveillance de la santé, etc....

La plupart des procédés employés pour déterminer une position sont basés sur des calculs géométriques comme la triangulation (en mesurant des angles par rapport à des points fixes ou des nœuds connaissant leur position) et la trilatération (en mesurant la distance entre les nœuds). Pour connaître la distance entre deux nœuds, plusieurs techniques peuvent être utilisées, comme la synchronisation, la puissance de signal reçu ainsi que les caractéristiques physiques de l'onde porteuse. D'autres approches, comme les caractéristiques du signal radio reçu et l'angle de l'arrivée peuvent être également appliquées pour le calcul de position.

Les techniques de localisation dans les WSN's sont utilisées pour estimer l'emplacement des capteurs sans position connu auparavant dans le réseau en utilisant les informations de position de quelques capteurs spécifiques dans le réseau et leurs inter-mesures tels que : la distance, le décalage horaire d'arrivée, l'angle d'arrivée et la connectivité. Les capteurs avec les informations de localisation, a priori connus, sont appelés ancres ou références et leurs emplacements peuvent être obtenus en utilisant un système de positionnement global (GPS), ou bien en installant des points

d'ancrage à des points avec des coordonnées connues. Dans les applications nécessitant un système de coordonnées global, ces ancres permettent de déterminer l'emplacement du réseau de capteurs dans le système de coordonnées global. Dans les applications où un système de coordonnées locale suffit par exemple : dans les maisons intelligentes, les hôpitaux ou pour la gestion des stocks, dans la salle où la connaissance dans laquelle se trouve un capteur est suffisante, ces ancres définissent le système des coordonnées local auquel tous les autres capteurs sont visés. En raison des contraintes de coût, de taille des capteurs, de consommation d'énergie, d'environnement d'exécution (par exemple, dans certains milieux où le GPS n'est pas accessible) et de déploiement de capteurs (peuvent être dispersés au hasard dans une région), la plupart des capteurs ne connaissent pas leurs propres endroits. Ces capteurs avec des informations de localisation inconnue sont appelés : les nœuds non ancre et leurs coordonnées doivent être estimées en utilisant un algorithme de localisation. Dans certaines autres applications, par exemple, pour le routage géographique dans WSN, où il n'y a pas de nœuds de référence et la connaissance de l'emplacement physique d'un capteur est inutile, les gens sont plus intéressés à savoir la position d'un capteur par rapport à d'autres capteurs. 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. Les estimations de position obtenues sont habituellement une valeur réfléchie, rotation et translation de leurs coordonnées globales.

2. La localisation

La localisation peut être définie comme la position d'un objet ou d'une personne dans un repère. Un système de localisation doit avoir les propriétés suivantes :

- 1 - Une technique d'estimation de position - trilatération ou triangulation,
- 2 - Un repère qui permet d'obtenir des positions et qui les organise de façon cohérente.

Trois types de position sont observés :

. Les positions absolues renseignent sur la position réelle de l'objet sur le globe terrestre- longitude et latitude - ou dans l'espace - longitude, latitude et altitude.

. Les positions relatives indiquent juste une direction par rapport à un voisinage donné- à droite au bout de la rue par exemple.

Chapitre 3 Localisation dans les réseaux sans fil de capteurs

. Les positions symboliques désignent par exemple une salle, un espace particulier.

3 - Une précision de position : une position peut aller d'un point dans le cas d'une grande précision à une surface (ou volume) si la précision de position est moins importante.

4 - Une architecture particulière : un système de positionnement en intérieur - dans un bâtiment par exemple - ne possède pas les mêmes contraintes qu'un système de localisation d'extérieur.

5 - Un cout - matériel, infrastructure, ...

Pour estimer la position d'un objet, il faut des points dont la position est connue ou des points qui connaissent leur propre position - points de référence ou ancres. Considérons qu'un nœud A désire estimer sa position. Son estimation de position dépendra du nombre et du type de position de nœuds de référence qu'il pourra trouver. La figure 3.1 détaille trois cas.

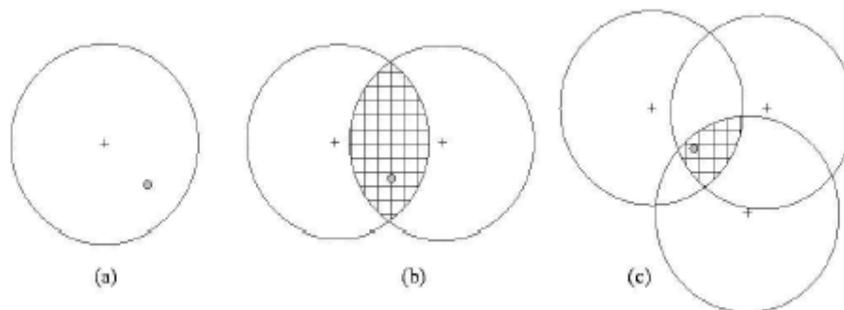


Figure3.1 - Position en fonction du nombre et du type de nœuds ancres

Dans le cas 3.1(a), un seul nœud de référence est disponible. A aura une position de type symbolique – « je suis dans telle pièce » - ou relative –« je suis en bas à droite ». La position de A est une position de proximité car seule une indication d'appartenance à une zone donnée peut être obtenue dans un tel contexte.

Si A utilise deux points de références - 3.1(b) - alors son positionnement est plus précis qu'avec un seul nœud : il possède plus d'informations pour estimer sa position. Dans le cas où les nœuds de référence ont une très bonne précision de localisation, alors A est l'un des points d'intersection des deux cercles - cercle de couverture radio par exemple. Dans le cas contraire, A appartient à la zone de recouvrement des deux points de référence – zone commune aux deux nœuds de référence.

La position de A est d'autant mieux estimée que le nombre d'ancres augmente. Dans le cas 3.1(c), la position de A est soit un point - point d'intersection des trois cercles -, soit une aire de recouvrement limitée.

Étudions maintenant les différentes méthodes de localisation existantes.

3. Techniques de mesure

La localisation dans les WSN's repose sur des mesures. Il y a plusieurs facteurs qui influent sur le choix de l'algorithme à utiliser pour une application spécifique et la précision de l'emplacement estimé. On peut citer quelques facteurs, l'architecture du réseau, le degré moyen de nœuds (à savoir, le nombre moyen de voisins par capteur), la forme géométrique de la zone du réseau et la distribution de capteurs dans ce domaine, la synchronisation du temps du capteur et la bande passante de signalisation entre les capteurs. Toutefois, c'est le type de mesures utilisées et la précision voulue qui déterminent fondamentalement l'estimation de précision d'un système de localisation et l'algorithme de localisation mis en œuvre par ce système. Les mesures déterminent également le type d'algorithme qui peut être utilisé par un système de localisation particulier.

Nous allons dans un premier temps rappeler les deux techniques d'estimation de position utilisées par les systèmes de positionnement : la trilatération et la triangulation. Nous détaillerons ensuite différentes méthodes exploitants ou nécessaires à ces deux techniques d'estimation de position.

3.1. Techniques géométriques d'estimation de position

Considérons un nœud A, pour estimer sa position au moins 3 points de référence, que nous appelons : N1, N2, N3 sont nécessaires. Il existe deux grandes classes de méthodes géométriques à notre disposition pour tirer parti de ces informations, à savoir :

3.1.1. La trilatération

La position estimée de A est calculée en fonction des positions des nœuds de référence et de leur distance au nœud A (Figure 3.2).

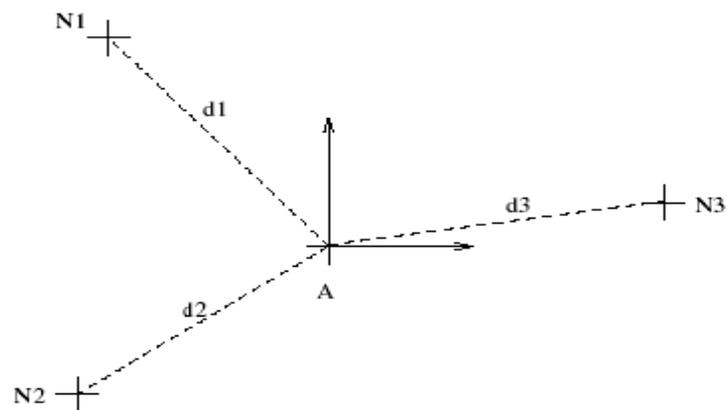


Figure3.2 - Estimation de position par trilatération

3.1.2. La triangulation

A estime sa position en fonction des positions des nœuds de référence et de l'angle d'arrivée du signal provenant des nœuds de référence (Figure 3.3).

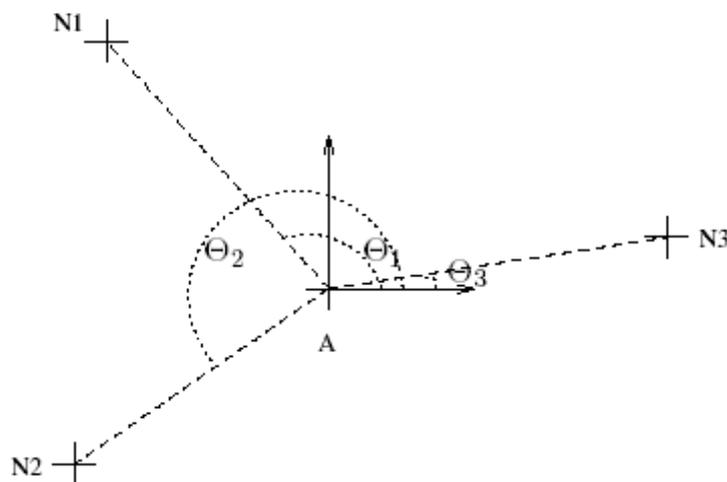


Figure 3.3 - Estimation de position par triangulation

Les techniques de mesure dans la localisation WSN peuvent être classées en trois catégories: mesures AOA (Angle of Arrival), mesures basées sur la distance et les mesures basées sur le profilage RSS. Nous introduisons ces trois catégories en détail.

3.2. Les mesures basées sur l'angle d'arrivée

Les mesures basées sur l'angle d'arrivée sont également connus sous le nom des mesures basées sur la direction d'arrivée. Les mesures de l'angle d'arrivée peuvent généralement être obtenus auprès de deux catégories de techniques: celles qui faisant usage de l'amplitude de la réponse de l'antenne du récepteur et ceux qui font usage de la phase réponse de l'antenne du récepteur. En plus de la directivité de l'antenne [7], la précision des mesures AOA est affectée par d'autres facteurs environnementaux, comme l'ombrage et les chemins multiples, ce qui fait paraître l'émetteur situé dans une direction différente du récepteur.

La première catégorie des mesures de l'angle d'arrivée est largement connue comme la formation de faisceau, elle est aussi basée sur l'anisotropie de la structure d'accueil d'une antenne [7]. La taille de l'unité de mesure peut être relativement faible en ce qui concerne la longueur d'onde des signaux. La figure 3.4 montre la configuration du faisceau d'une antenne anisotrope typique. Lorsque le faisceau de l'antenne du récepteur est mis en rotation par voie électronique ou mécanique, la direction correspondant à la puissance du signal maximum est prise comme la direction de l'émetteur. La précision des mesures est déterminée par la sensibilité du récepteur et la largeur du faisceau. En utilisant un faisceau rotatif, le problème potentiel est que le récepteur ne puisse pas différencier entre la variation de puissance du signal causée par la variation de l'amplitude du signal transmis et la puissance du signal variations causées par l'anisotropie de la structure d'accueil. Ce problème peut être traité en utilisant une seconde antenne non rotative et omnidirectionnelle sur le récepteur. L'impact des variables de puissance du signal peut être largement éliminé par la normalisation de la puissance du signal reçu par l'antenne anisotrope tournante à l'égard de la puissance du signal reçu par l'antenne non-rotative omnidirectionnelle. Alternativement, on peut également utiliser plusieurs antennes fixes dont on sait, les modes de l'antenne, afin de surmonter la difficulté provoquée par le problème de la variation de l'intensité du signal. La comparaison de la puissance du signal reçu de chaque antenne dans le même temps, avec la connaissance de leurs modes, conduit à une estimation de la direction de l'émetteur, même si la puissance du signal change [45].

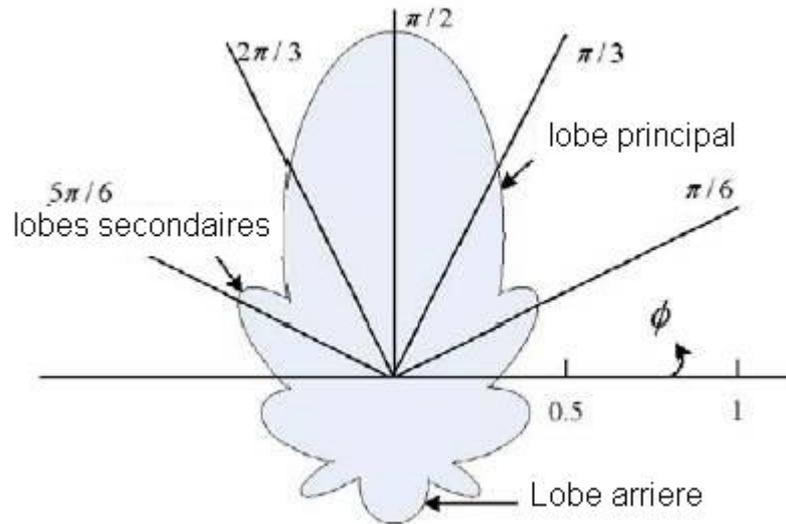


Figure 3.4 Le diagramme d'antenne horizontal d'une antenne
de type anisotrope en coordonnées polaires

L'autre catégorie de techniques de mesure de l'angle d'arrivée est largement connue sous le nom de l'interférométrie de phase et elle tire les mesures de l'angle d'arrivée à partir des mesures des différences de phases dans l'arrivée d'un front d'onde [15]. Une antenne du récepteur de grande taille (par rapport à la longueur d'onde du signal de l'émetteur) ou un ensemble d'antennes est, généralement, requis pour l'utilisation de cette technique. La figure 3.5 montre un ensemble d'antenne de n éléments. Les antennes voisines sont séparées par une distance déterminée d . Pour un émetteur loin de l'ensemble d'antennes, la distance de Kem antenne peut être approximativement obtenu par

$$\mathcal{R}_k \approx \mathcal{R}_0 - kd \cos \theta \quad (3.1)$$

Avec \mathcal{R}_0 la distance entre l'émetteur et la 0em antenne, θ est la direction de l'émetteur vu de l'ensemble d'antennes.

Le signal de l'émetteur reçu par les antennes adjacentes sera une différence de phase de

$$2\pi \frac{d \cos \theta}{\lambda}$$

avec λ est la longueur d'onde du signal de l'émetteur.

Par conséquent l'angle d'arrivée de l'émetteur à l'égard de l'ensemble d'antennes peut être dérivé à partir des mesures des différences de phase. La précision des mesures AOA obtenue en

Chapitre 3 Localisation dans les réseaux sans fil de capteurs

utilisant cette approche n'est généralement pas affecté par un grand ratio du signal par rapport au bruit (signal-to-noise-ratio SNR), mais cette approche peut échouer en présence d'une forte interférence co-canal et / ou des signaux multiples [15].

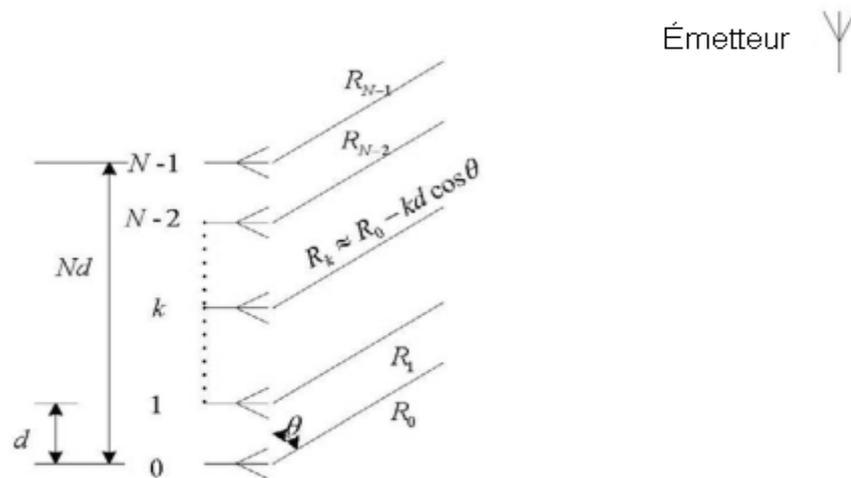


Figure 3.5 Ensemble d'antenne de n éléments

La précision des mesures AOA est limitée par la directivité de l'antenne et les mesures sont encore compliquées en présence d'ombrage et des chemins multiples dans l'environnement de mesure. Un défi majeur dans les mesures de l'angle d'arrivée est donc l'estimation exacte de l'AOA en présence des chemins multiples et de l'ombrage.

Les mesures AOA s'appuient sur un chemin en ligne de vision directe (ligne direct-of-sight LOS) entre l'émetteur et le récepteur. Un composant multi-chemin du signal de l'émetteur peut apparaître comme un signal venant d'une direction complètement différente et provoque donc une erreur très importante dans la mesure de l'angle d'arrivée.

Les problèmes des chemins multiples dans les mesures de l'angle d'arrivée ont été généralement traités à l'aide d'algorithmes du maximum de vraisemblance (Maximum Likelihood ML) [15]. En fonction des hypothèses prises sur les caractéristiques statistiques des signaux de l'émetteur, à savoir si la structure du signal de l'émetteur est connu ou inconnu pour le récepteur, ces algorithmes ML peuvent être encore classés comme algorithmes ML déterministe [10], [11], [13] et stochastiques [14], [17], [5].

3.3. Les mesures basées sur la distance

Les mesures qui peuvent être classées dans la catégorie des mesures liées à la distance comprennent les mesures basées sur le temps de propagation, à savoir, les mesures de temps de propagation en un seul sens, les mesures de temps de propagation aller-retour et des mesures TDOA (Time-difference-of-arrival); les mesures basées sur RSS (Received Signal Strength) , et les mesures de connectivité .

3.3.1. Les mesures basées sur le temps de propagation

3.3.1.1. Les mesures basées sur le temps de propagation à sens unique

Le principe de ce type de mesures est simple: mesurer la différence entre le temps de l'envoi d'un signal à l'émetteur et le temps de réception du signal au niveau du récepteur. En sachant la différence de temps et la vitesse de propagation du signal dans les médias, on peut obtenir la distance entre l'émetteur et le récepteur. La mesure de temporisation est relativement un champ mature. La méthode la plus largement utilisée pour l'obtention de la mesure de temporisation est appelé la méthode généralisée de corrélation croisée [2], [1].

Un défi majeur dans la mise en œuvre des mesures de temps de propagation à sens unique est qu'elle nécessite l'heure locale de l'émetteur et l'heure locale au niveau du récepteur pour être exactement synchronisés. Toute différence entre les deux horloges locale deviendra le biais dans la mesure de propagation à sens unique. A la vitesse de la lumière, une erreur de synchronisation de 1ns se traduira par une erreur de mesure de distance de 0,3 m. L'exigence de synchronisation précise peut augmenter le coût des capteurs par une horloge de haute précision, ou augmenter la complexité du réseau de capteurs, en exigeant un algorithme sophistiqué de synchronisation. Cet inconvénient rend les mesures de temps de propagation à sens unique une option moins attrayante dans les WSN's.

En plus d'utiliser une horloge précise pour chaque capteur ou en utilisant un algorithme de synchronisation sophistiqué, une approche intéressante a été proposée dans la littérature. Cette approche permet de surmonter le problème de synchronisation basée sur le fait que la vitesse du son dans l'air est beaucoup plus petite que la vitesse de la lumière ou le signal radio (RF) dans l'air [18]. Une combinaison du RF et du matériel ultrason est utilisé dans la technique. A chaque transmission, un émetteur envoie un signal RF et une impulsion ultrasonique dans le même temps.

Le signal RF arrivera plus tôt au niveau du récepteur que l'impulsion ultrasonique. Lorsque le récepteur reçoit le signal RF, il tourne son récepteur à ultrasons pour l'écoute de l'impulsion ultrasonique. La différence de temps entre la réception du signal RF et la réception du signal ultrasonore est utilisée comme une estimation d'un temps de propagation acoustique. Cette méthode donne assez de précision à la distance estimée au coût du matériel supplémentaire et à la complexité du système, car la réception ultrasons souffre des effets graves des chemins multiples provoqués par les réflexions des murs et des autres objets. Cette méthode est appelée, dans certains documents, mesure de différence de temps de l'arrivée (TDOA), à savoir, la mesure de la différence entre le temps d'arrivée des signaux RF et les signaux ultrasons. Toutefois, il convient de noter qu'elle est différente des mesures TDOA examinées plus loin dans ce chapitre et dans la plupart des documents sur la géo localisation.

3.3.1.2. Les mesures basées sur le temps de propagation aller-retour

C'est la différence entre le moment de l'envoi d'un signal par un capteur et le moment où le signal est renvoyé par un second capteur au capteur original. Parce que la même horloge locale est utilisée pour calculer le temps de propagation aller-retour, il n'y a pas un problème de synchronisation. La source d'erreur importante dans les mesures de temps de propagation aller-retour est le délai requis pour prendre en charge le signal par le second capteur. Ce délai interne est soit connu, calibrer auparavant, ou mesurées et envoyées au premier capteur pour être soustraite. Une technique qui peut être utilisée pour surmonter le problème des délais internes, elle implique la coopération des deux capteurs dans les mesures.

Un premier capteur A envoie un signal au capteur B au temps locale de A t_{A1} , le signal arrive au capteur B au temps locale de B t_{B1} . Après un délai, le capteur B envoie un signal au capteur A au temps locale de B t_{B2} , avec la différence de temps $t_{B2} - t_{B1}$. Le signal arrive au capteur A au temps locale de A t_{A2} . Ensuite le capteur A peut calculer le temps de l'aller-retour à l'aide $(t_{A2} - t_{A1}) - (t_{B2} - t_{B1})$.

En plus de l'erreur de synchronisation, la précision des deux mesures de temps de propagation à sens unique et aller-retour est affectée par le bruit, la bande passante du signal et les chemins multiples. Récemment, les signaux ultra-large bande (UWB) ont commencé à être utilisés pour les mesures de temps de propagation précises [44], [26]. Un signal UWB est un signal dont le ratio de la bande passante sur la fréquence centrale est supérieur à 0,2 avec un signal d'une bande passante totale de plus de 500 MHz. En principe, UWB peut atteindre une précision plus élevée, car sa bande passante est très large et donc sa pulsation a une durée très courte.

Dans les applications réelles, la situation est beaucoup plus compliquée. Certains défis qui peuvent être rencontrés dans la localisation basée sur la distance comprennent: l'erreur de mesure de distance ne peut être ni additif ni bruits gaussiens; les distances mesurées peuvent être biaisées, un nœud non-ancre peut avoir à tirer son emplacement à partir de l'emplacement prévu (contenant des erreurs) de ses voisins nœuds non-ancres au lieu des ancres; si un nœud non-ancre est un voisin d'un ensemble de nœuds qui sont presque alignés, ce nœud ne peut pas être en mesure de déterminer seul son estimation de position, la topologie du réseau peut être irrégulière, sans oublier le défi de concevoir un algorithme de calcul efficace de localisation pour les réseaux à grandes échelle. Ce sont ces défis qui font que le problème de localisation basée sur la distance soit à la fois stimulant et intrigant.

3.3.2. Les mesures de différence de temps d'arrivée

Les mesures TDOA (Time Différence Of Arrival) se basent sur la différence entre le temps d'arrivée d'un signal d'émetteur à deux récepteurs, respectivement. En [\[2\]](#), on note les coordonnées des deux récepteurs par X_i et X_j , et les coordonnées de l'émetteur par X_t . La mesure TDOA Δt_{ij} est liée aux positions des deux récepteurs par

$$\Delta t_{ij} = t_i - t_j = \frac{1}{c} (\|X_t - X_i\| - \|X_t - X_j\|) \quad (3.3)$$

Avec t_i et t_j sont respectivement les temps d'arrivée du signal de l'émetteur au récepteurs i et j , et c est la vitesse de propagation du signal de l'émetteur. En supposant que l'emplacement des récepteurs est connu et que les deux récepteurs sont parfaitement synchronisés, l'équation (3.3) définit une branche d'hyperbole à laquelle l'émetteur doit se trouver. Les foyers de l'hyperbole sont les emplacements des récepteurs i et j . Dans un système des récepteurs N , il y a $N-1$ mesures TDOA linéairement indépendants, donc $N-1$ équations linéairement indépendants comme (3.3). En [\[2\]](#), les mesures TDOA de trois récepteurs au minimum sont requises pour déterminer l'emplacement de l'émetteur. Ceci est illustré dans la figure 3.6.

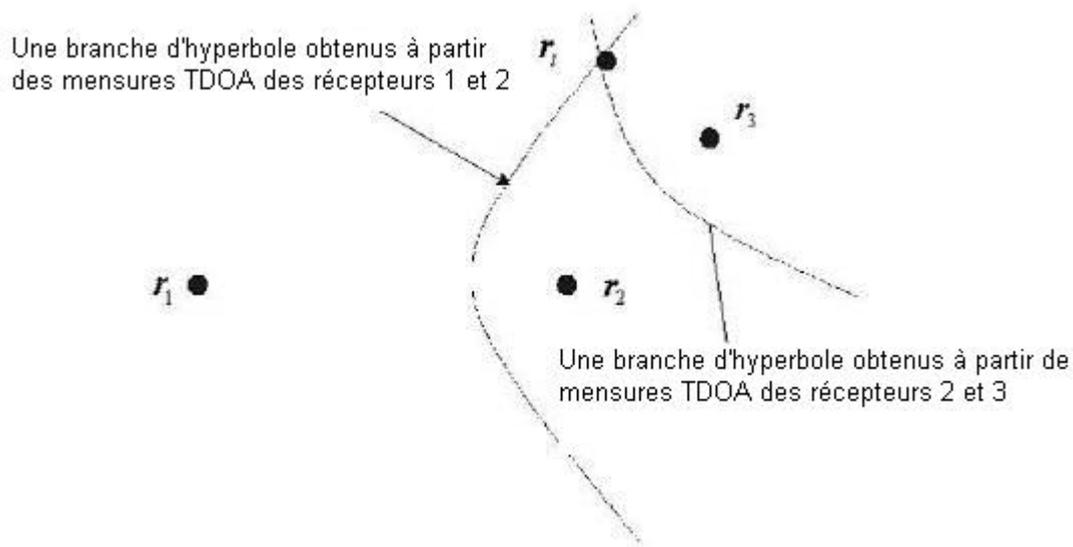


Figure 3.6 Exemple des mesures TDOA

La précision des mesures TDOA est affectée par l'erreur de synchronisation entre les récepteurs et les chemins multiples. La précision et les capacités de résolution temporelle de mesures permettront d'améliorer TDOA lorsque la séparation entre les récepteurs augmente parce que cette différence augmente entre les temps d'arrivée.

Cette méthode repose évidemment sur une bonne estimation initiale de l'emplacement de l'émetteur. En outre, la méthode peut entraîner des erreurs d'estimation significative dans certaines situations à cause de l'effet de l'illusion géométrique de précision (GDOP). GDOP décrit la situation dans laquelle une faible erreur de mesure peut provoquer une grande erreur d'estimation de localisation parce que l'émetteur est situé sur une partie de l'hyperbole loin des récepteurs [15]. Il existe beaucoup d'autres approches présentées dans la littérature sur l'estimation de localisation basée sur TDOA ([8], [12], [6], [43], [9], [4]).

3.3.3. Mesures basées sur l'intensité du signal reçu

Les mesures basées sur l'intensité du signal reçu (RSS) estiment les distances entre les capteurs voisins à partir des mesures de l'intensité du signal reçu entre les deux capteurs [33], [28],[46]. La plupart des appareils sans fil ont la capacité de mesurer l'intensité du signal reçu.

L'intensité du signal sans fil reçu par un capteur d'un autre capteur est une fonction monotone décroissante de leur distance. Cette relation entre la puissance du signal reçu et la distance est modélisée par le modèle log normal suivant:

$$P_r(d)[dBm] = P_0(d_0)[dBm] - 10n_p \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\alpha \quad (3.4)$$

Avec $P_0(d_0)[dBm]$: est une puissance de référence en milliwatts dB à une distance de référence d_0 de l'émetteur, n_p est l'exposant de perte de trajet qui mesure la vitesse à laquelle l'intensité du signal reçu diminue avec la distance, X_α est une variable aléatoire de moyenne de distribution gaussienne nulle avec l'écart-type σ et il représente l'effet aléatoire causé par l'ombrage. n_p et σ sont dépendants de l'environnement. L'exposant de perte de trajet n_p est généralement supposé être une constante.

Toute fois, certaines études sur les mesures suggèrent que le paramètre est plus précisément modélisé par une variable aléatoire gaussienne ou bien par un exposant de perte de trajet différents qui devrait être utilisée pour un récepteur dans le champ lointain de la région de l'émetteur ou dans la région de champ proche de l'émetteur. Etant donné le modèle et les paramètres du modèle, qui sont obtenus via une mesure approximative, les distances inter-capteurs peuvent être estimées à partir des mesures RSS. Les algorithmes de localisation peuvent être alors appliqués à ces mesures de distance pour obtenir les endroits estimés des capteurs.

3.3.4. Les mesures de connectivité

Les mesures de connectivité sont peut être les plus simples des mesures. En effet dans les mesures de connectivité, un capteur mesure les capteurs qui sont dans sa portée de transmission. Ces mesures peuvent être interprétées comme des mesures de distance binaires. En d'autre terme, soit qu'un autre capteur se trouve dans la zone de couverture d'un capteur donné, ou qu'il soit en dehors de sa portée de transmission.

Un capteur est dans la portée de transmission d'un autre capteur définit une contrainte de proximité entre ces deux capteurs, ce qui peut être exploité pour la localisation. Dans sa forme la plus simple, quand un capteur non-ancre est voisin de trois ancrés, cela signifie que ce capteur est très proche de trois ancrés, ainsi de nombreux algorithmes peuvent utiliser le centre des trois ancrés comme l'endroit approximatif du capteur non-ancre.

3.4. Les mesures basées sur le profilage RSS

D'abord, Nous avons mentionné quelques techniques pour estimer les distances entre les capteurs dans les mesures RSS. Ensuite les algorithmes de localisation peuvent être appliqués à ces mesures de distance pour obtenir les emplacements estimés des capteurs. L'implémentation de telles techniques de localisation rencontre deux défis majeurs: Premièrement, les environnements sans fil, en particulier à l'intérieur, qui sont très compliqué. Il est souvent difficile de déterminer le meilleur modèle pour l'estimation de la distance à base du RSS. Deuxièmement, la détermination des paramètres du modèle est aussi une tâche difficile. Ces difficultés peuvent être surmontées à l'aide d'une autre catégorie de techniques de localisation, à savoir les techniques de localisation basé sur le profilage RSS, qui estiment l'emplacement du capteur directement à partir de mesures RSS.

Les techniques de localisation basée sur le profilage RSS commencent par la construction d'une carte du comportement de l'intensité du signal des nœuds de référence dans la zone de couverture. La carte est obtenue soit en mode hors connexion par des mesures approximatives ou bien en ligne en utilisant des dispositifs à renifler [34] déployés à des endroits connus. Les techniques de localisation basée sur le profilage RSS ont été principalement utilisées pour l'estimation de l'emplacement dans les réseaux locaux sans fil (WLAN's), mais ils semblent être adéquats aux WSNs.

Dans les systèmes de localisation basé sur le profilage RSS, en plus des nœuds de référence (par exemple, les points d'accès dans les (WLAN's) et les nœuds non ancre, un grand nombre de points d'échantillonnage, par exemple, des dispositifs reniflant à des emplacements choisis à priori sont obtenus à partir des nœuds de référence avant que la localisation des nœuds non-ancre démarre, ils sont répartis dans la zone de couverture du réseau de capteurs. A chaque point échantillon, un vecteur d'intensité des signaux est obtenu, avec la $K^{ième}$ entrée correspondant à la puissance du signal reçu du $K^{ième}$ nœud de référence. Bien sûr, de nombreuses entrées du vecteur de la puissance du signal peuvent être nulles ou très faibles, correspondant aux distances plus grandes entre les nœuds et le point échantillon (par rapport à la portée de transmission). La collecte de tous ces vecteurs offre une carte RSS de toute la zone de couverture. Cette carte est unique, en respectant l'emplacement des nœuds de référence et de l'environnement. Le modèle est stocké dans un emplacement central. En se référant à la carte RSS, un nœud non-ancre peut estimer son emplacement en utilisant les mesures RSS à partir des nœuds de référence, soit en choisissant l'emplacement du point échantillon dont le vecteur de puissance du signal le plus proche du nœud

non-ancré pour être à son emplacement, ou bien en calculer sa position estimée à partir des emplacements d'un ensemble de points d'échantillon dont les vecteurs de puissance du signal correspondent le mieux à celle du nœud non-ancré que d'autres points échantillon.

4. Conclusion

Dans cette section, nous avons présenté un certain nombre de techniques de mesure ainsi que les principes de base d'estimation de l'emplacement. Ces techniques de mesure utilisées pour l'estimation de l'emplacement dépendront des exigences de l'application spécifique sur la précision de localisation, le coût et la complexité des algorithmes. En règle générale, les algorithmes basés sur la localisation AOA et les mesures du temps de propagation sont en mesure de parvenir à une meilleure précision que les algorithmes des mesures de localisation basés sur RSS. Toutefois, cette précision améliorée est obtenue au détriment de la hausse du coût des équipements. Aussi la non-linéarité élevée et la complexité dans le modèle d'observation, à savoir, l'équation reliant les coordonnées de capteurs de mesures, de l'angle d'arrivée et les mesures TDOA rend ce type de mesures une option moins intéressante que les mesures de distance pour l'estimation de l'emplacement dans de grands réseaux sans fil de capteurs multi-sauts.



Chapitre 4

Algorithmes et techniques de localisation dans les WSN's

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous donnons une brève introduction à certaines théories fondamentales de la localisation dans les réseaux de capteurs ainsi que les principaux algorithmes de localisation dans les WSNs.

2. Algorithmes de localisation dans les réseaux de capteurs

2.1. Localisation centralisée vs distribuée

Sur la base de l'approche du traitement des données individuelles de mesure inter-capteurs, les algorithmes de localisation peuvent être classés en deux catégories: les algorithmes centralisés et les algorithmes distribués. Dans les algorithmes centralisés, toutes les mesures individuelles inter-capteur sont envoyées à un processeur central unique où les estimations de position des nœuds non-ancres sont calculées, tandis que dans les algorithmes distribués, chaque nœud (ou un groupe de nœuds à proximité les uns des autres) évalue son propre emplacement en utilisant des mesures inter-capteurs et les informations de localisation collectées auprès de ses voisins. Les approches principales pour concevoir des algorithmes centralisés comprennent les algorithmes multidimensionnels (multi-dimensional scaling MDS), la programmation linéaire et les approches d'optimisation stochastique. Certains algorithmes de localisation distribués connus incluent les algorithmes "DV-hop" et «DV-distance" [19], D'autres algorithmes basés sur les deux ci-dessus algorithmes [23], [20], et les algorithmes de croyance de propagation non paramétriques [38] et ses variantes [27].

Les algorithmes de localisation basée sur la distance centralisée et distribuée peuvent être comparés à partir de plusieurs perspectives, y compris la précision de l'estimation de l'emplacement, la mise en œuvre, la complexité de calcul et la consommation d'énergie.

Les algorithmes de localisation distribués sont généralement considérés comme plus efficaces en calcul et facile à mettre en œuvre dans les réseaux à grande échelle. Toutefois, dans certains réseaux où l'architecture de l'information centralisée existe déjà, comme la surveillance et le contrôle du trafic routier, la surveillance de l'environnement, la surveillance de la santé, et la

surveillance des réseaux de l'agriculture de précision, les données de mesure de tous les nœuds du réseau doivent être collectés et envoyés à une unité centrale de traitement. Dans un tel réseau, les capteurs individuels peuvent avoir une capacité de calcul limitée. Par conséquent, un algorithme de localisation centralisée semble être un choix naturel pour de tels réseaux existants avec une architecture de l'information centralisée.

En termes de précision dans l'estimation de l'emplacement, les algorithmes centralisés sont susceptibles de fournir plus de précision que les algorithmes distribués. Une des raisons est la disponibilité de l'information globale dans les algorithmes centralisés. Toutefois les algorithmes centralisés souffrent du problème d'évolutivité et généralement, il n'est pas possible de les mettre en œuvre pour les réseaux de capteurs à grande échelle. Autres inconvénients des algorithmes centralisés, par rapport aux algorithmes distribués, ce sont leurs besoins de complexité de calcul plus élevée et moins fiables en raison de l'inexactitude des informations accumulées et les pertes à cause de la transmission multi-sauts des capteurs individuels vers le processeur centralisé dans un WSN.

D'autre part, les algorithmes distribués sont plus difficiles à concevoir à cause de la relation complexe potentiellement entre le comportement local et le comportement global. Autrement dit, les algorithmes qui sont optimale au niveau local peuvent ne pas donner de bons résultats au niveau global. La répartition optimale du calcul d'un algorithme centralisé dans un système distribué reste en général un problème de recherche très ouvert. La propagation d'erreur est un autre problème potentiel dans les algorithmes distribués. En plus, les algorithmes distribués, nécessitent généralement de multiples itérations pour arriver à une solution stable. Ceci peut laisser le processus de localisation prendre plus du temps dans certains cas.

Du point de vue de la consommation d'énergie, les quantités d'énergie individuelle requise pour chaque type d'opération dans les algorithmes de localisation centralisés et distribués doivent être prises en considération. Selon le réglage, l'énergie nécessaire pour transmettre un seul bit peut être utilisée pour exécuter de 1.000 à 2.000 instructions [24]. Les algorithmes centralisés dans les grands réseaux exigent l'envoi des mesures de chaque capteur vers un processeur central, tandis que les algorithmes distribués ne nécessitent que l'échange d'informations locales entre les nœuds voisins. Néanmoins, dans les algorithmes distribués, un grand nombre d'échanges locaux peut être nécessaire, selon le nombre d'itérations nécessaires pour parvenir à une solution stable. Une comparaison des économies d'énergie de la communication des algorithmes centralisés et distribués

fournies dans [29], où il est conclu que, en général, si dans un réseau de capteurs et un algorithme distribués donné, le nombre moyen de sauts pour le processeur central dépasse le nombre d'itérations nécessaires, alors l'algorithme distribué sera plus économe en énergie qu'un algorithme de type centralisé.

Enfin, il est intéressant de noter que la séparation entre les algorithmes de localisation distribués et les algorithmes de localisation centralisée peut parfois être difficile. Tout algorithme pour la localisation distribué peut toujours être appliqué à des problèmes centralisés. Des versions distribuées d'algorithmes centralisés peuvent être également conçus pour certaines applications. Une façon typique de la conception des versions distribués d'algorithmes centralisé consiste à diviser l'ensemble du réseau en plusieurs régions qui se chevauchent; l'implémentation d'algorithmes de localisation centralisée dans chaque région, puis piquer ces cartes locales de chaque région en utilisant des nœuds communs entre les régions qui se chevauchent pour former une carte globale [22], [30], [51]. Ces techniques peuvent offrir un compromis optimal entre les avantages et les inconvénients des algorithmes centralisés et distribués discuté ci-dessus. Un exemple particulier de ces techniques est la localisation basée sur l'échelle multidimensionnelle, qui sera examinée dans la section suivante.

Dans le reste de cette section, nous donnons une brève introduction de chaque technique de localisation majeure.

2.2. Algorithmes multidimensionnels

2.2.1. MDS - MAP

La technique du cadrage multidimensionnel (MDS) [37] peut trouver son fondement dans la théorie des graphes, elle a été à l'origine utilisée en psychométrie et en psychophysique. Elle est souvent utilisée dans le cadre de l'analyse exploratoire des données ou d'une technique de visualisation d'information qui affiche la structure des données à distance, sous forme d'une image géométrique. Le but typique de la MDS est de créer une configuration de points dans une, deux ou trois dimensions, dont les distances inter-point sont «proches» des distances inter-point connues (et peut-être inexact). Selon un critère utilisé pour définir "proche", de nombreuses variantes de MDS de base existent. MDS a été appliquée dans de nombreux domaines, tels que l'apprentissage automatique et la chimie de calcul. Lorsqu'il est utilisé pour la localisation, MDS utilise la connectivité ou les informations de distance entre les capteurs pour l'estimation de l'emplacement.

La procédure typique des algorithmes de MDS consiste d'abord à calculer le plus court chemin (par exemple, le plus petit nombre de sauts) entre toutes les paires de nœuds. Si les distances entre toutes les paires de capteurs le long du chemin le plus court reliant deux nœuds sont connues, la distance entre les deux nœuds le long du chemin le plus court peut être calculée. Cette information est utilisée pour construire une matrice de distance pour MDS, où l'entrée (i, j) représente la distance le long du plus court chemin entre les nœuds i et j . Si juste l'information de connectivité est disponible, l'entrée (i, j) représente alors le plus petit nombre de sauts entre les nœuds i et j . Ensuite, MDS est appliqué à la matrice de distance et une valeur approximative des coordonnées relatives de chaque nœud est obtenue. Enfin, les coordonnées relatives sont transformées aux coordonnées absolues en alignant les coordonnées relatives estimées des nœuds ancrés avec leurs coordonnées absolues. Les estimations d'emplacement obtenues en utilisant les étapes précédentes peuvent être affinées en utilisant une minimisation des moindres carrés.

La forme de base du MDS est une technique de localisation centralisée et ne peut être utilisée que dans un réseau régulier où la distance entre deux nœuds le long du chemin le plus court est proche de leur distance euclidienne. Cependant plusieurs variantes de l'algorithme à la base de MDS sont proposées qui permettent la mise en œuvre de MDS dans les environnements distribués et les réseaux irréguliers.

Il existe quatre algorithmes basés sur MDS: MDS-MAP (C), MDS-MAP (P) [47], MDS-hybride et Range Q-MDS. MDS-MAP (C) est un algorithme centralisé. MDS-MAP (P) [47] est une variante du MDS-MAP (C) pour la mise en œuvre dans un environnement distribué. Il a de meilleures performances que MDS-MAP (C) dans les réseaux irréguliers. MDS-hybride estime la position relative dans un environnement sans nœuds ancrés. Range Q-MDS utilise une technique d'estimation de la distance basé sur RSS quantifié pour permettre une localisation plus précise que les algorithmes utilisant uniquement les mesures de la connectivité binaires (deux nœuds sont soit connectés ou non connectés).

2.2.2.CCA – MAP

Li et al, proposent un algorithme de style similaire à MDS-MAP appelé CCA-MAP [16]. Il est similaire en ce qu'il génère des cartes locales relatives à des sections du réseau puis les regroupe dans un système de coordonnées global. CCA-MAP est mieux que MDS-MAP car l'algorithme est plus efficace. MDS est un algorithme de réduction non-linéaire, il a un coût de $O(n^3)$, où n est le nombre de nœuds dans chaque carte locale. La taille de chaque carte locale dépend de la portée

radio qui affecte le nombre de voisins pour chaque nœud capteur. En outre, l'algorithme pourrait être géré de manière centralisée, ce qui signifie que n est le nombre total de nœuds dans le réseau. D'autre part, CCA-MAP a un coût total de $O(n^2)$. CCA s'exécute en une série d'itérations, où chaque itération a un coût de calcul de $O(n)$.

CCA-MAP comporte quatre phases. Dans la première phase, chaque nœud construit une carte locale des nœuds. Pour cette carte locale, la matrice de plus courte distance est accumulée, comme dans l'APS et MDS-MAP. La deuxième phase consiste à réaliser l'algorithme CCA lui-même sur chaque carte locale, générant des coordonnées relatives pour chaque nœud de la carte locale. Dans la troisième phase, les cartes locales sont fusionnées, comme dans MDS-MAP (P), et enfin, en phase quatre, les coordonnées relatives sont transformées en coordonnées absolues sur la base des coordonnées connues des nœuds ancrés, la phase quatre ne peut être effectuée qu'avec un minimum de trois ancrés pour l'espace 2D ou quatre ancrés pour l'espace 3D.

CCA-MAP est souple quant à l'endroit où les calculs peuvent être effectués. Les calculs de la carte locale peuvent être effectués au niveau des nœuds eux-mêmes, si les ressources de calcul le permettent, ou sous-traitée à plusieurs nœuds passerelle puissante ou un serveur central. La fusion de la carte Local peut être réalisée en parallèle à des nœuds sélectionnés dans le réseau, ou encore à un serveur central.

2.3. Les algorithmes de localisation DV-Hop et DV-Distance

L'algorithme DV (distance vector)-hop [19] utilise les mesures de connectivité pour estimer les lieux des nœuds non-ancré. L'algorithme commence par la diffusion de tous les nœuds ancrés via leurs emplacements aux autres nœuds dans le réseau. Les messages sont propagés saut par saut et il y a un compteur de saut dans le message. Chaque nœud maintient une table d'informations sur le nœud ancre et compte le nombre le plus petit de saut qui le sépare d'un nœud ancre. Quand un nœud ancre reçoit un message provenant d'un autre nœud ancre, il estime la distance moyenne d'un saut en utilisant les emplacements des deux ancrés et le compteur de saut, qu'il renvoie au réseau comme un facteur de correction. Lors de la réception du facteur de correction, un nœud non-ancré est en mesure d'estimer sa distance avec des nœuds ancrés et effectue une trilatération pour estimer sa position si ses distances avec au moins trois nœuds ancre sont disponibles.

L'algorithme de DV-distance est similaire à l'algorithme de DV-hop sauf qu'il inclut les distances mesurées dans le processus de localisation. L'idée principale de l'algorithme DV-distance est la propagation de la distance mesurée entre les nœuds voisins au lieu de nombre de sauts.

Depuis la proposition des algorithmes de DV-hop et DV-distance, de nombreux autres algorithmes fondés essentiellement sur le même principe ont été proposés. Ils visent à améliorer les performances des algorithmes de DV-hop et DV-distance de base dans des conditions différentes, par exemple, dans les réseaux irréguliers ou quand il n'y a plus d'informations disponibles telles que la distribution de nœud. Nous renvoyons les lecteurs intéressés à [23], [31], pour une information plus détaillée.

3. Les techniques de localisation en fonction de la programmation Linéaire

Beaucoup de problèmes de localisation basée sur la distance ou basée sur la connectivité peuvent être formulés sous forme d'un problème d'optimisation convexe et résolu en utilisant les techniques de programmation linéaire et semi-définie (semi definite programming SDP) [21]. Les programmes semi-définis sont une généralisation des programmes linéaires et ils ont la forme suivante

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize} && c^T X \\
 & \text{Subject to} && F(X) = F_0 + X_1 F_1 + \dots + X_N F_N \\
 & && AX < B \\
 & && F_K = F_K^T
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Avec $X = [X_1, X_2, \dots, X_N]^T$ et $X_k = [x_k, y_k]^T$ représente le vecteur de coordonnées du nœud k. Les quantités A, B, c et F_k sont tous connus. L'inégalité dans (4.1) est connue comme une inégalité matricielle linéaire (IMT).

Si les informations de connectivité sont disponibles, une connexion entre les nœuds i et j peut être représentée par une « contrainte radiale » sur la position des nœuds $\|X_i - X_j\| \leq R$ avec R étant la portée de transmission des capteurs. Cette contrainte est une contrainte convexe et peut être transformée en IMT pour être utilisée dans (4.1). Une solution pour les coordonnées des nœuds non-ancres satisfaisant les contraintes « radiale » peut être obtenue en laissant la fonction objective $c^T X$ vide et résoudre le problème. Evidemment, il peut être possible que de nombreuses coordonnées de nœuds non-ancres satisfont les contraintes, c'est-à-dire, la solution peut ne pas être

unique. Si nous fixons l'entrée de c correspondant à x_k (ou y_k) à 1 (ou -1) et tous les autres éléments de c égale à zéro, le problème devient un problème de maximisation sous contraintes (ou minimisation), qui donne respectivement le maximum (ou minimum) de x_k (ou y_k) satisfaisant les contraintes dans (4.1). Une boîte rectangulaire délimitant les estimations d'emplacement du nœud non-ancre k peut être obtenue à partir de ces limites inférieures et supérieures sur x_k et y_k . L'algorithme de localisation détaillée basée sur la connectivité est signalé dans [21].

La formulation SDP ci-dessus du problème de localisation basé sur la connectivité peut être facilement étendue pour incorporer des mesures de distance [21]. Dans [35], le problème de localisation basée sur la distance est utilisé dans une forme quadratique et résolu en utilisant SDP. Dans [36] la recherche de pente est utilisée pour ajuster les emplacements initiaux estimés par SDP et améliore la précision de la localisation.

4. Les techniques de localisation basée sur l'optimisation Stochastique

L'approche d'optimisation stochastique fournit une formulation alternative et une solution du problème de localisation basé sur la distance en utilisant des notions d'optimisation combinatoire et des outils. L'un des outils les plus utilisés de cette approche est la technique du recuit simulé (Simulated Annealing SA) [39].

SA est une technique pour les problèmes d'optimisation combinatoire. L'algorithme SA exploite une analogie entre la manière dont un métal se refroidit et se fige en une structure cristalline avec le minimum d'énergie (le processus de recuit) et la recherche d'un minimum dans un système plus général. Il s'agit d'une généralisation de la méthode de Monte Carlo. Il transforme un pauvre, non ordonnée solution en une solution hautement optimisée, souhaitable. Ce principe de la technique SA avec un ensemble d'opérations analogue de «refroidissement contrôlé" a été utilisé dans les problèmes d'optimisation combinatoire, comme la réduction des fonctions de plusieurs variables, pour obtenir une solution très optimisée, souhaitable [3]. Nous renvoyons les lecteurs à [39], [48] pour une description plus détaillée de la conception d'un algorithme de SA pour des problèmes de localisation basé sur la distance.

Une technique SA bien conçu a l'avantage d'être robuste contre la prise au piège dans un local minimum faux. Toutefois SA est également bien connu pour être très exigeants en terme de calcul.

5. Les techniques d'estimation de lieu statistiques

Dans le chapitre précédent, nous avons mentionné l'utilisation de l'estimateur ML pour la localisation en vertu de divers types de mesures. Notons les vecteurs coordinateurs des nœuds non-ancré par X et le vecteur de toutes les mesures inter-capteur par Z . On note $f(Z)$ la distribution des Z de sorte que $f(Z|X)$ est la probabilité conditionnelle de Z lorsque les nœuds non-ancré sont à X . L'estimateur ML est donné par

$$\hat{X}_{\text{argmax}} = \max_{\mathbf{X}} f(Z|\hat{X}) \quad (4.2)$$

Lorsque les mesures inter-capteur peuvent être modélisées par la somme de leurs valeurs réelles et les bruits additifs gaussiens de moyenne nulle et la même la variance, l'estimateur ML est l'équivalent à un estimateur LS. Lorsque les variances des bruits additifs gaussiens sont différentes, l'estimateur ML est équivalent à un estimateur pondéré de LS. Tous les trois estimateurs, à savoir, l'estimateur ML, l'estimateur LS et l'estimateur pondéré LS, ont été largement utilisés dans les deux algorithmes de localisation centralisés et distribués.

Parfois nous pouvons avoir une connaissance préalable sur les lieux possibles des nœuds non-ancré. Dans ce cas, l'estimateur maximum a posteriori (maximum a posteriori MAP) peut être utilisé, qui utilise la connaissance a priori sur l'emplacement des nœuds non-ancré pour obtenir une estimation plus précise. Notons la distribution connue a priori des nœuds non-ancré par $g(X)$. L'estimateur MAP est donné par :

$$\hat{X}_{\text{argmax}} = \max_{\mathbf{X}} f(Z|\hat{X})g(\hat{X}) \quad (4.3)$$

Notez que l'estimateur MAP de X coïncide avec l'estimateur ML lorsque les nœuds non-ancré ont la même probabilité d'être distribué partout dans la zone de réseaux de capteurs, soit $g(X)$ est une fonction constante.

Les estimateurs ci-dessus ont souvent été utilisés pour obtenir une estimation ponctuelle des lieux des nœuds non-ancré. Dans certaines applications, nous sommes intéressés à savoir dans

quelle région un nœud non-ancre est situé. Tel la connaissance est souvent utile dans la gestion d'actifs, par exemple. Les deux estimateurs ML et PAM peuvent être modifiés de façon à générer une telle information de localisation. Supposons que la zone entière du réseau est divisée en M régions et chaque région est marquée par L_k , $1 \leq k \leq M$. Notons par $g(L_k)$ la probabilité connue a priori qu'un nœud non-ancre est situé dans L_k . Notons $f(Z | L_k)$ la probabilité conditionnelle de Z lorsque le nœud non-ancre est dans L_k . La région dans laquelle le nœud non-ancre est situé compte tenu des mesures Z peut être estimée en utilisant l'estimateur MAP suivante :

$$L_k \arg \max_{L_i} f(Z|L_i)g(L_i) \quad (4.4)$$

Une approche statistique récente de la localisation distribuée dans les réseaux de capteurs est l'utilisation des techniques de localisation basées sur le filtre bayésien [32]. Des techniques de localisation différentes à partir d'autres dont les sorties sont les estimations déterministes des emplacements des nœuds non-ancre, les filtres bayésiens probabilistes estiment les emplacements des capteurs à partir des mesures bruitées. Les sorties des filtres bayésiens sont des distributions de probabilité des emplacements estimés conditionnées sur toutes les données disponibles des capteurs. Cette distribution de probabilité est connue comme la croyance qui représente l'incertitude dans les endroits estimés. Les techniques de localisation à base du filtre bayésien sont souvent mises en œuvre sous forme d'algorithmes itératifs qui mis à jour itérativement et améliorent ces croyances avec l'exécution du processus de localisation pour avoir des connaissances sur les voisins capteurs plus précises. Ce processus est connu sous le nom de propagation de croyance. Dans [38] sur la base des filtres bayésiens, le problème de localisation dans les réseaux de capteurs est formulé comme un problème de l'inférence sur un modèle graphique et une variante des techniques de la propagation de croyance (BP), le soi-disant algorithme de propagation de croyance non paramétrique (NBP) est appliqué pour obtenir une solution approchée de l'emplacement du capteur. L'idée NBP est implémentée comme un algorithme itératif d'échange de message local, dans chaque étape dans laquelle chaque nœud de capteur quantifie sa «croyance» au sujet de sa localisation estimée, envoie cette information à ses voisins, reçoit des messages pertinents d'eux, puis il mis à jour itérativement sa croyance à l'aide de la formule de Bayes. Le processus d'itération est terminée que lorsque certains critères de convergence est atteint sur les croyances et les estimations de l'emplacement des capteurs dans le réseau. En raison de la difficulté d'obtenir à la fois une expression analytique de la fonction de croyance et de mise à jour des fonctions de croyance analytiquement, des filtres de particules [32] sont souvent utilisés pour représenter les croyances numériquement par des groupes d'échantillons, ou des particules. Les principaux avantages de

l'algorithme de NBP et l'utilisation de filtres de particules sont sa mise en œuvre facile dans une manière distribuée et de la suffisance d'un petit nombre d'itérations pour converger. En outre, il est capable de fournir des informations sur les incertitudes d'estimation de l'emplacement et pouvant accueillir les erreurs de mesure non gaussiennes. Ces avantages font de l'approche particulièrement intéressante dans les systèmes non linéaires avec des erreurs de mesure non-gaussienne.

6. Techniques de localisation basée sur RSS

Les auteurs dans [49], [40] & [33] donnent une discussion approfondie sur les différents aspects impliqués dans la conception et la mise en œuvre des systèmes de localisation basée sur RSS. Le nombre de documents de recherche dans le domaine et le nombre de systèmes déployés sur ces techniques reflète bien l'immense intérêt dans le milieu de la recherche et l'industrie sur les techniques. Tel que mentionné précédemment dans ce chapitre, les techniques de localisation basé sur RSS ne peut fournir une estimation à grain grossier des emplacements des capteurs. Mais presque tous les appareils sans fil ont la capacité d'effectuer des mesures de flux RSS et les techniques de localisation basée sur RSS répondent à la demande exacte de l'industrie sur des solutions de localisation avec un investissement minimum de matériel. C'est cette caractéristique des techniques de localisation basé sur RSS qui anime l'immense intérêt dans leurs recherches et développements.

Comme mentionné plus haut, [49] présente un système de localisation basé sur RSS pour les WLAN's aux environnements intérieur. La zone entière du réseau est divisée en plusieurs régions et l'algorithme identifie la région dans laquelle le nœud non-ancre réside. Le problème de localisation est formulé comme un problème de test multi-hypothèse et les auteurs de fournissent une garantie de performance asymptotique du système. Les auteurs recherche le placement optimal des nœuds ancre dans le système. Le problème du placement optimal est formulé en un problème de programmation linéaire mixte et un algorithme rapide est présenté pour résoudre le problème. Enfin, les techniques proposées sont validées en utilisant des essais impliquant MICAz motes fabriqués par Crossbow.

Théorie et pratique de la localisation basée sur l'intensité du signal dans les environnements intérieurs [40] commence par un bref aperçu des techniques de localisation à l'intérieur, puis se concentre sur les techniques à base de RSS pour le déploiement du sans fil à l'intérieur utilisant la technologie 802.11. Les auteurs présentent un cadre analytique qui vise à déterminer le degré de

précision des techniques de localisation basé sur RSS. Il fournit des réponses à des questions comme « y a t il une limite théorique à la précision de la localisation en utilisant des techniques basées sur l'intensité du signal? ». L'approche est basée sur l'analyse de a -régions dans l'espace d'emplacement: Si la probabilité que l'intensité du signal observé au niveau du récepteur est due à un émetteur situé dans une région donnée est a , alors cette région est appelée a -région. La définition d'une a -région conduit à une approche analytique pour caractériser des incertitudes dans la localisation basée RSS. Plusieurs propriétés des incertitudes sont établis, y compris que l'incertitude est proportionnelle à la variance de l'intensité du signal. Cette observation a donné lieu à plusieurs algorithmes qui visent l'amélioration des performances de localisation par la réduction de la variance. Les auteurs ont aussi résumé les questions qui peuvent influer sur la conception et le déploiement des systèmes de localisation basé RSS, notamment la facilité de déploiement, la simplicité de gestion, l'adaptabilité et le coût de possession et de maintenance. Avec ces renseignements, les auteurs présentent l'architecture "LEASE" pour la localisation qui permet l'adaptabilité facile des modèles de localisation.

Un état de l'art et comparaison entre plusieurs techniques de localisation RSS [33] en fonction de deux grandes catégories: basée sur le point et basée sur la surface. Dans la localisation basé sur des points, l'objectif est de retourner à une estimation d'un point unique de l'emplacement du nœud non-ancré par contre dans la localisation basé sur la surface, le but est de retourner les positions possibles du nœud non-ancré sous forme d'une zone ou un volume. Les auteurs constatent que les techniques individuelle de localisation basée sur RSS ont des performances limitées similaires dans l'erreur de localisation (par exemple, la distance entre la position estimée et le vrai site) et de révéler la loi empirique qui utilise la technologie 802.11, avec un échantillonnage dense et un bon algorithme, on peut s'attendre à une erreur de localisation moyenne d'environ 3 m, avec un échantillonnage relativement faible, tous les 6 m, on peut encore obtenir une erreur de localisation moyenne de 4,5 m. Par conséquent, on peut conclure qu'il ya des limites fondamentales de la performance de localisation à l'intérieur qui ne peut être dépassée sans utiliser des modèles plus complexes qualitativement de l'environnement intérieur, par exemple, les modèles considérant tous les murs, bureau ou un étagère, ou bien en ajoutant du matériel supplémentaire dans le nœud capteur supérieur à celui nécessaire pour la communication, par exemple, une très haute fréquence des horloges pour mesurer le TOA. Les auteurs ont également décrit brièvement un système de localisation noyau échantillon appelé GRAIL (General purpose Real-time Adaptable Localization), qui peut être intégrés de façon transparente dans n'importe quelle application qui utilise le positionnement radio via une simple Interfaces (API). Le système a été utilisé pour localiser

simultanément plusieurs périphériques exécutant 802,11 (WiFi), 802.15.4 (ZigBee) et des fréquences spéciales personnalisés RollCallTM.

7. Techniques de localisation basée sur l'apprentissage automatique et la théorie de l'information

Dans la première partie de cette section, nous avons mentionné quelques-unes des approches largement utilisées dans la localisation WSN. Il existe d'autres approches moins conventionnelles dans la littérature, qui complètent les approches ci-dessus largement utilisé, notamment en fournissant des solutions alternatives de localisation adaptés aux différents domaines d'application spécifiques et des paramètres.

Dans [52], les auteurs présentent une approche d'apprentissage automatique de localisation. L'apprentissage automatique est un domaine des sciences de l'information, étude des algorithmes qui permettent de s'améliorer automatiquement par expérience. Il s'intéresse à la conception et le développement d'algorithmes et de techniques qui permettent aux ordinateurs ou des systèmes informatiques d'apprendre" les règles et les modèles d'ensembles de données massives automatiquement, en utilisant certains outils informatiques et statistiques de régression, de détection, de classification, de reconnaissance des formes, et de filtrage des données ainsi que des techniques d'optimisation convexe. Deux concepts clés utilisés dans l'apprentissage automatique sont des noyaux, qui peuvent être considérés comme des systèmes qui décrivent les similitudes entre les objets et machines à vecteurs de support (support vector machines SVM), sous la supervision des méthodes d'apprentissage utilisées pour la régression et de classification. L'apprentissage automatique a été utilisée dans un certain nombre de domaines, notamment la reconnaissance des formes, les moteurs de recherche, le diagnostic médical, la bioinformatique, la reconnaissance d'objets en vision par ordinateur et le déplacement du robot.

L'application des méthodes d'apprentissage automatique à la localisation WSN basé sur formulation du problème de localisation (i) comme un problème de classification et (ii) comme un problème de régression [52]. Les deux définitions du problème sont basées sur RSS, et les mesures RSS à partir des nœuds ancre dans différents points d'échantillonnage distribués à l'intérieur de la zone de réseaux de capteurs qui sont utilisés comme données d'entraînement pour les machines à vecteurs de support. Dans l'approche du problème basée sur la classification, la zone de réseau de capteurs est divisé en (qui se chevauchent ou non-cumul) des régions géographiques, et un

ensemble de classes qui sont définies pour représenter l'adhésion à ces régions. Grâce à des mesures RSS reçu des nœuds ancrés au nœud non-ancré et des règles établies à partir des données de formation, les classes attachées à l'estimation d'emplacement du nœud non-ancré, ce qui représente les régions où le nœud non-ancré est estimé être dedans, est trouvé. Si les classes trouvées sont supérieures à un α alors l'algorithme de localisation retourne le centre de gravité de l'intersection des régions correspondantes à ces classes comme l'estimation de l'emplacement du nœud non-ancré. Si une seule classe est trouvée, alors l'estimation d'emplacement est déterminée comme étant le centre de la région correspondante. L'approche du problème basée sur la régression exploite la corrélation entre les mesures RSS des nœuds ancrés au nœud non-ancré et les mesures RSS des nœuds ancrés à des points échantillon. Le nœud non-ancré est estimé au centre des points échantillon dont les mesures RSS ont la plus forte corrélation avec ceux du nœud non-ancré.

Enfin, la localisation robuste en utilisant des codes d'identification présente un paradigme différent pour une robuste localisation WSN basées sur l'identification des codes [54], un concept emprunté à la littérature de la théorie de l'information avec des liens pour la couverture et des codes superposés. L'approche consiste à choisir un ensemble de points échantillon distincts et des émetteurs dans une région donnée de telle sorte que chaque point échantillon discret est couvert par un ensemble distinct d'émetteurs. L'emplacement d'un nœud non-ancré est estimé être à l'emplacement du point échantillon discret, qui est couvert par le même ensemble d'émetteurs que le nœud non-ancré. Les principaux défis liés à l'utilisation de cette approche sont le choix de l'ensemble des émetteurs et de trouver les codes d'identification bon et robuste. Le chapitre présente les bases de codes d'identification robuste, l'utilisation de ces codes dans la localisation WSN, la conception et l'analyse d'un algorithme basé sur l'identification de code, et la mise en œuvre de l'algorithme proposé sur un banc d'essai à l'Université de Boston impliquant une région couverte 33mx76m (au quatrième étage de l'immeuble photonique) et quatre émetteurs (nœuds ancrés). L'approche basée sur l'identification des codes a l'avantage de simplifier qu'un nœud non-ancré ne doit pas connaître l'ensemble des émetteurs, il peut être détecté afin d'en déduire sa position. Cette caractéristique rend l'approche robuste pour connexions parasites ou des échecs capteurs et approprié pour la mise en œuvre dans des environnements difficiles, au détriment de la précision de la localisation réduite.

8. Conclusion

Ce chapitre est une synthèse des différents algorithmes et techniques utilisés dans la localisation des capteurs. Suite à cela, nous avons arrêté notre choix sur l'algorithme CCA-MAP pour faire l'objet de nos simulations, dans le but de déterminer l'effet du placement des nœuds ancrés sur l'erreur de localisation.



Chapitre 5

L'effet du placement
des nœuds ancrés

1. Introduction

Une grande attention a été accordée à la précision de localisation dans les réseaux de capteurs et à l'effort de calcul. L'importance de placement intelligent des nœuds ancrés est souvent reconnue, mais rarement abordée comme étude.

Souvent, les auteurs choisissent le placement des ancrés aléatoirement et en discutent en fonction de leurs propres données empiriques. [31] et [50], ont choisi dans leurs études des ancrés au hasard au sein du réseau. Bien que, dans [31], les auteurs ont mentionné qu'ils ont choisi un ensemble colinéaire de nœuds ancre dans l'un des exemples, sans preuves à l'appui des raisons pour lesquelles ce n'est pas un choix aléatoire.

Des travaux antérieurs [21] exigent que les nœuds ancre doivent être placés sur les bords, et, idéalement, dans les coins du réseau. Dans ce cas, l'algorithme est un problème avec une simple contrainte. Cette dernière exige que tous les nœuds inconnus doivent être placés dans l'enveloppe convexe des points d'ancrage et, par conséquent, de meilleurs résultats sont obtenus lorsque les ancrés sont dans les coins.

Récemment, une étude a été faite sur l'effet du placement des nœuds ancrés [55], une série d'hypothèses sont présentées. Chaque hypothèse est centrée autour d'une métrique qui peut être calculée à partir des nœuds ancrés eux-mêmes, ou d'autres données que le concepteur du réseau pourrait avoir avant de déployer le réseau ou dans l'analyse des résultats de la localisation.

Tout au long de ce chapitre, nous avons utilisé l'algorithme CCA-MAP, vu le domaine choisi pour cette étude, en l'occurrence, l'agriculture qui nécessite le déploiement d'un nombre important de capteurs (peut arriver à plusieurs milliers dans un petit champ). Cependant, cet algorithme est très performant en termes de précision et moins coûteux en consommation d'énergie par rapport à l'algorithme MDS-MAP.

2. Mesure de l'erreur de la localisation

Avant de rechercher le meilleur placement de nœuds ancre il faut d'abord définir ce que signifie *meilleur* en termes d'erreur d'emplacement. Tout d'abord, l'erreur de localisation est la distance entre la position réelle et la position calculée de chaque nœud, mesurée en tant que facteur d'un rayon de radio. Étant donné que cette étude porte sur les réseaux libres de mesure, et

repose donc uniquement sur la connectivité du réseau, les unités réelles de la distance n'ont pas d'importance pour l'étude générale.

Ce qui est important pour le protocole est de savoir combien d'autres nœuds du réseau sont dans la portée d'un nœud donné. Le nombre moyen des nœuds dans la portée de chaque nœud est connu comme la densité du réseau.

Chaque réseau a ses propres exigences, donc il y a de nombreuses options pour choisir les statistiques à examiner pour déterminer la qualité des emplacements. Le plus simple critère est de regarder la moyenne de l'erreur de localisation par rapport à tous les nœuds du réseau. Toutefois, cela suppose que tous les nœuds du réseau doivent être pris en considération dans les résultats finaux. Si les concepteurs du réseau savent quels nœuds sont dans les régions pauvres, ils peuvent vouloir exclure ces nœuds du résultat final. Par conséquent, si le budget du déploiement du réseau le permet, il peut être utile d'examiner au mieux, par exemple, 80% des nœuds dans le réseau. Dans la pratique, le concepteur ne sait pas quels nœuds sont à exclure, c'est à partir de cela que cette étude cherche également à identifier une corrélation entre la position d'un nœud particulier relative aux nœuds ancrés et son erreur de localisation.

3. Méthode de travail

Afin d'évaluer le placement des nœuds ancrés, nous avons choisi de travailler avec le maximum de l'erreur qui peut être atteint avec le placement d'un ensemble de 3 ancrés, le résultat sera comparée aux deux meilleures métriques de [55] en termes de coefficient de corrélation. Ces deux métriques sont la somme des distances entre les nœuds ancrés et la distance minimale entre les nœuds ancrés. En plus de ça, nous allons introduire la distance maximale entre les nœuds ancrés comme métrique dans notre étude.

Dans l'objectif de réaliser l'essai de chaque hypothèse, des réseaux générés de façon aléatoire de tailles différentes sont utilisées. Sauf indication contraire, tous les nœuds sont placés aléatoirement dans une zone carrée avec une densité globale d'un nœud par unité de surface. Par exemple, une zone carrée de 20x20 comptera 400 nœuds placés au hasard. Les nœuds ancrés sont choisis en identifiant tous les ensembles possibles de k parmi n , où n est le nombre des nœuds dans le réseau et k est le nombre des nœuds ancrés par ensemble de nœuds. Par exemple, dans un réseau 20x20 de 400 nœuds, et trois nœuds par ensemble de nœuds ancrés, il y a 10.586.800 de choix possibles. De l'ensemble total des choix possibles, une sélection aléatoire est faite. Pour les

données dans ce chapitre, 1000 ensembles de nœuds ancrés sont choisis au hasard. Le choix de nœud ancre de la population n choisir k exclut la possibilité de choisir le même ensemble plus d'une fois.

4. Environnement de simulation

Les données dans les graphiques suivants sont tirés d'une sélection aléatoire de 1000 séries de trois nœuds chacun pour le réseau de 400 nœuds de la figure 5.1. Le placement des nœuds est sous forme d'une grille dans une surface carrée de 20 par 20 unités, et tous les nœuds ont une portée radio de 2,5 unités, fournissant un réseau entièrement connecté. Pour effectuer nos simulations, nous avons fait appel au logiciel MATLAB. Un choix motivé par le fait que la localisation peut être vue comme un problème purement géométrique.

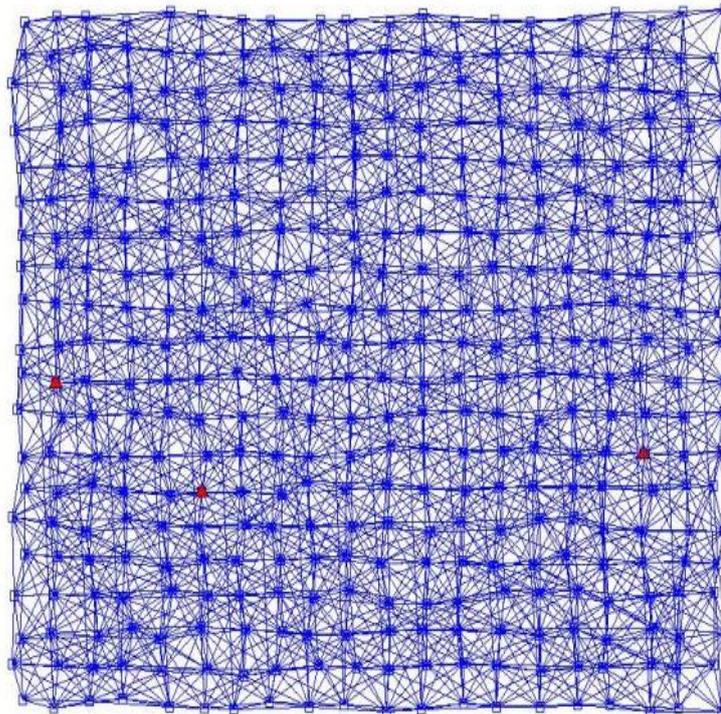


Figure 5.1 exemple de réseau montrant la connectivité entre les nœuds

5. Résultats des simulations

Dans ce qui suit, les résultats concernent deux métriques : la somme des distances entre les nœuds ancrés ou bien le périmètre du triangle et la distance maximale entre les nœuds ancrés par rapport à la valeur maximale de l'erreur de localisation et non pas avec la moyenne utilisé dans [55].

Ce choix de la valeur maximale de l'erreur pour dire qu'au pire des cas l'erreur ne dépassera pas ce seuil, bien sûr, avec l'exclusion des valeurs aberrantes.

La figure 5.2 montre la somme des distances pour chaque ensemble de nœuds ancrés par rapport au maximum de l'erreur de localisation pour ce jeu de nœuds. Le graphique montre qu'il y a une faible corrélation (0.09) entre la distance entre les nœuds ancrés et le calcul de localisation. En outre, les valeurs aberrantes sont réparties de façon relativement égale indépendamment de la distance entre les nœuds ancrés, et donc ce n'est pas un bon indicateur d'une valeur aberrante.

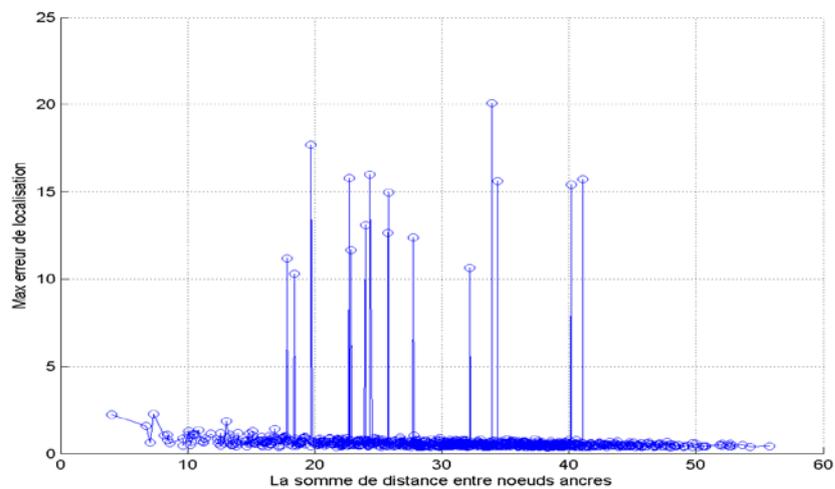


Figure 5.2 Somme des distances entre nœuds ancrés VS max de l'erreur de localisation

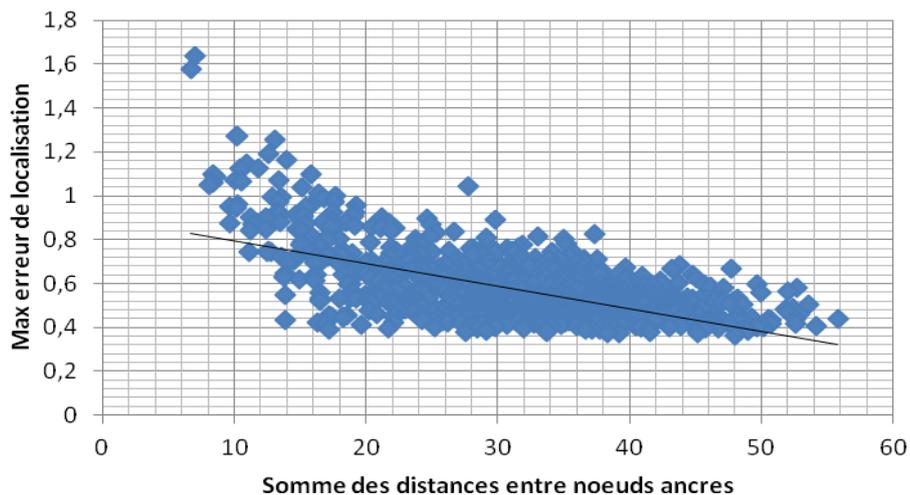


Figure 5.3 Somme des distances entre nœuds ancrés VS max de l'erreur de localisation

Sans valeurs aberrantes

Lorsque les valeurs aberrantes sont exclues, comme le montre la figure 5.3, nous constatons un coefficient de corrélation d'une valeur de 0.61, beaucoup mieux que le coefficient avec la moyenne de l'erreur dans [55] d'une valeur de 0,48 dans la figure 5.4.

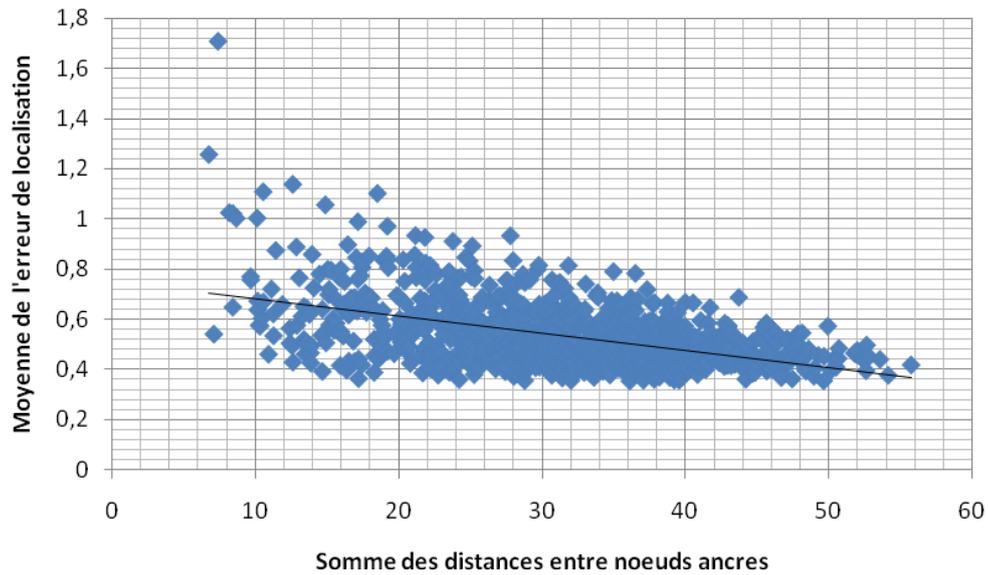


Figure 5.4 Somme des distances entre nœuds ancrés VS la moyenne de l'erreur de localisation

Sans valeurs aberrantes

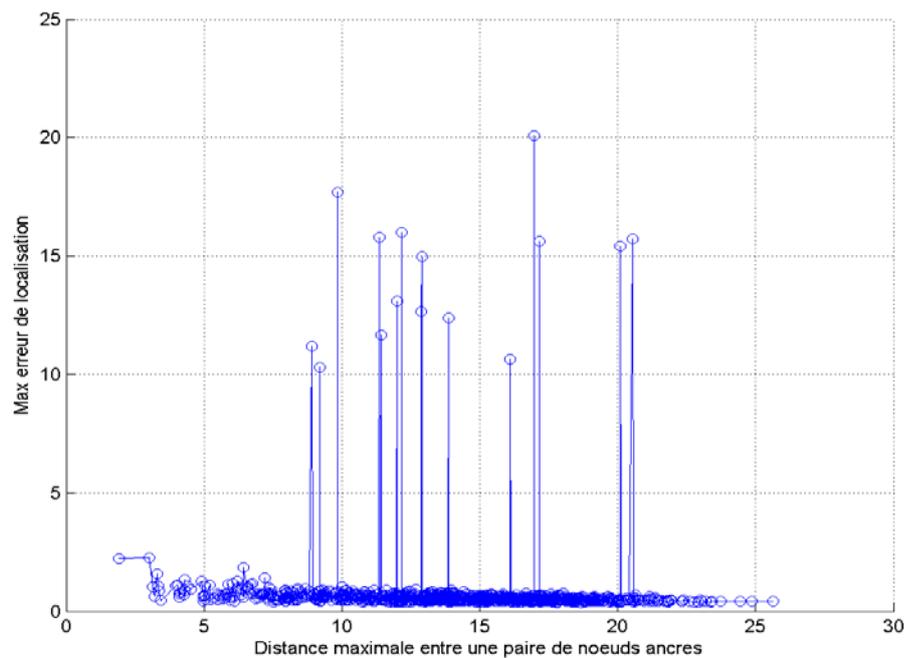


Figure 5.5 Distance maximale entre nœuds ancrés Vs max l'erreur de localisation

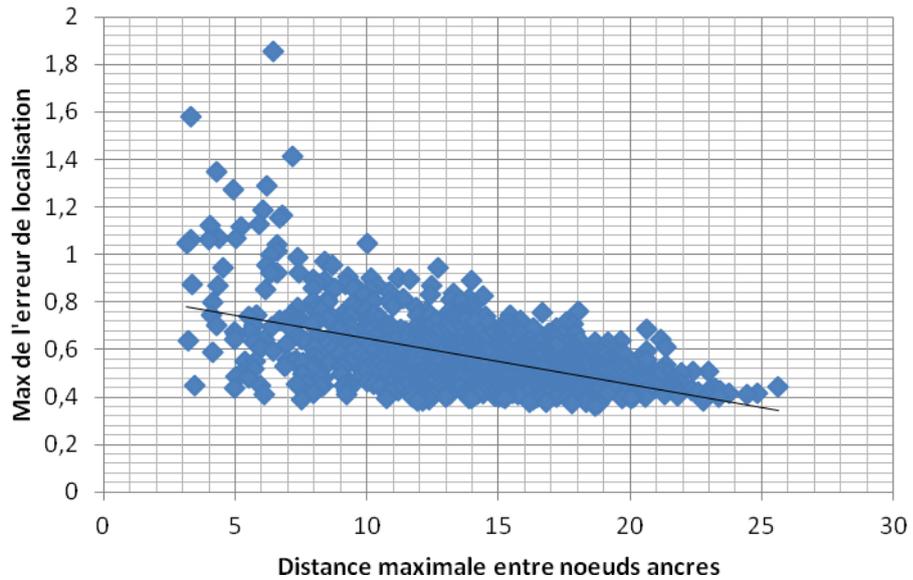


Figure 5.6 Distance maximale entre nœuds ancrés Vs max de l'erreur de localisation

Sans valeurs aberrantes

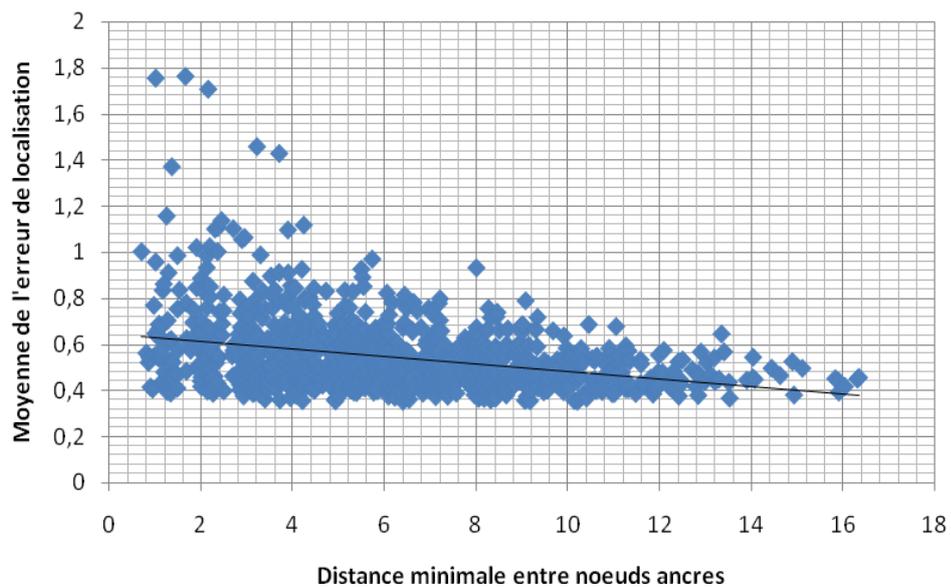


Figure 5.7 Distance minimale entre nœuds ancrés Vs moyenne de l'erreur de localisation

Sans valeurs aberrantes

Même si la somme des distances entre les nœuds ancrés est élevée, il est possible que deux nœuds ancrés soit très proche entre eux et éloignés du troisième. Par conséquent, la distance maximale entre une paire de nœuds ancrés peut être un critère d'évaluation de l'algorithme, comme le montre la figure 5.5. En outre, quand les valeurs aberrantes sont exclues dans la figure

5.6, le coefficient est légèrement inférieur à celui de la somme des distances, avec une valeur de 0.53, mieux que le coefficient constaté avec la métrique de la distance minimale entre les nœuds ancrés par rapport à la moyenne de l'erreur de localisation, d'une valeur de 0,32 comme le montre la figure 5.7 ou il y a une ligne presque droite à travers le fond des données, ce qui implique que la somme des distances entre les nœuds ancrés est un meilleur indicateur de performance de localisation que la distance maximale. Mais reste quand même une bonne métrique à prendre en considération.

6. Conclusion

Les résultats des simulations ont permis de déduire que les métriques 'Somme des distances entre les nœuds ancrés' et la distance maximale entre les nœuds ancrés' peuvent être un bon indicateur de la qualité de la localisation, vue le coefficient de corrélation avec le maximum de l'erreur de localisation et non pas la moyenne qui a donné des faibles corrélations dans les travaux antérieurs.



Conclusion Générale

Conclusion générale et perspectives

Le meilleur placement des nœuds ancrés est la clé d'une localisation plus précise, l'étude nous a permis de sortir avec deux métriques à exploiter pour placer les nœuds ancrés, la première étant le périmètre du triangle formé par les nœuds ancrés qui doit être au moins dix fois la portée radio des nœuds. La deuxième est la distance maximale entre les nœuds ancrés avec une valeur supérieure à la portée radio.

Bien que les simulations de cette étude porte sur l'utilisation de l'algorithme CCA-MAP, les résultats s'appliquent à tout algorithme dans lequel un système de coordonnées local est transformé en système de coordonnées global tel que MDS-MAP. En outre, la portée de l'étude s'étend au-delà des algorithmes dans les réseaux sans fil de capteurs et peut être appliquée à n'importe quel problème de transformation, où un petit nombre de points est utilisé comme base pour transformer un ensemble de points.

Bien que nous ayons formulé certaines recommandations pour le placement des nœuds ancrés, il y a quelques domaines clés où l'étude future pourrait améliorer les résultats. Nous pensons qu'un examen des autres facteurs affectant les performances de localisation serait bénéfique. On peut citer l'angle entre les cotés du triangle formé par les nœuds ancrés ou bien la portée radio des nœuds.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Knapp, C., & Carter, G. The generalized correlation method for estimation of time delay. *IEEE Transaction on Acoustics, Speech, Signal Processing*, 24(4) (1976), 320–327.
- [2] Carter, G. Time delay estimation for passive sonar signal processing. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 29 (3), (1981), 463-470.
- [3] Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. Optimization by simulated annealing, (1983).
- [4] Smith, J., & Abel, J. The spherical interpolation method of source localization. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 12(1), (1987), 246-252.
- [5] Ziskind, I., & Wax, M. Maximum likelihood localization of multiple sources by alternating projection. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 36(10), (1988), 1553-1560.
- [6] Crippen, G. M., & Havel, T. F. *Distance geometry and molecular conformation*. New York: John Wiley and Sons Inc, (1988).
- [7] Cheng, D. K. *Field and wave electromagnetics* (2nd ed.): Addison-Wesley Publishing Company, Inc, (1989).
- [8] Abel, J. S. A divide and conquer approach to least-squares estimation. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 26(2), (1990), 423-427.
- [9] Fang, B. T. Simple solutions for hyperbolic and related position fixes. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 26(5), (1990), 748-753.
- [10] Agee, B. G. Copy/DF approaches for signal specific emitter location. The Twenty-Fifth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers (1991), (pp. 994-999).
- [11] Halder, B., Viberg, M., & Kailath, T. An efficient non-iterative method for estimating the angles of arrival of known signals. The Twenty-Seventh Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers(1993), (pp. 1396-1400).
- [12] Chan, Y. T., & Ho, K. C. A simple and efficient estimator for hyperbolic location. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 42(8), (1994), 1905-1915.

Bibliographie

- [13] Jian, L., Halder, B., Stoica, P., & Viberg, M. Computationally efficient angle estimation for signals with known waveforms. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 43(9), (1995), 2154-2163.
- [14] Biedka, T. E., Reed, J. H., & Woerner, B. D. Direction finding methods for CDMA systems. *Thirteenth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*(1996), (pp. 637-641).
- [15] Rappaport, T. S., Reed, J. H., & Woerner, B. D. Position location using wireless communications on highways of the future. *IEEE Communications Magazine*, 34(10), (1996), 33-41.
- [16] P. Demartines and J. Herault, "Curvilinear component analysis: a self-organizing neural network for nonlinear mapping of data sets," *Neural Networks*, *IEEE Transactions on*, vol. 8, January 1997, pp. 148–154.
- [17] Bliss, D. W., & Forsythe, K. W. Angle of arrival estimation in the presence of multiple access interference for CDMA cellular phone systems. *Proceedings of the 2000 IEEE Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop* (2000), (pp. 408-412).
- [18] Priyantha, N. B., Chakraborty, A., & Balakrishnan, H. The cricket location-support system. *Proc. of the Sixth Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking* (2000, August), (pp. 32-43).
- [19] Niculescu, D., & Nath, B. Ad hoc positioning system (APS). *IEEE GLOBECOM* (2001), (pp. 2926-2931).
- [20] Savarese, C., Rabaey, J. M., & Beutel, J. Locationing in distributed ad-hoc wireless sensor networks. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*(2001), (pp. 2037 - 2040).
- [21] Doherty, L., Pister, K. S. J., & El Ghaoui, L. Convex position estimation in wireless sensor networks. *IEEE INFOCOM* (2001), (pp. 1655-1663).
- [22] Capkun, S., Hamdi, M., & Hubaux, J. GPS-free positioning in mobile ad-hoc networks. *34th Hawaii International Conference on System Sciences* (2001), (pp. 3481-3490).
- [23] Savarese, C., & Rabaey, J. Robust positioning algorithms for distributed ad-hoc wireless sensor networks. *Proceedings of the General Track: 2002 USENIX Annual Technical Conference*,(2002),(pp. 317-327).

Bibliographie

- [24] Chen, J. C., Yao, K., & Hudson, R. E. Source localization and beam forming. *IEEE Signal Processing Magazine*, 19(2), (2002), 30-39.
- [25] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasu bramaniam, E. Cayirci,(2002). Wireless sensor networks: a survey. Elsevier Science. *Computer Networks* 38 (2002), 393–422
- [26] Lee, J.-Y., & Scholtz, R. A. Ranging in a dense multipath environment using an UWB radio link. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 20(9), (2002), 1677-1683.
- [27] Fox, V., Hightower, J., Lin, L., Schulz, D., & Borriello, G. Bayesian filtering for location estimation. *IEEE Pervasive Computing*, 2(3), (2003), 24-33.
- [28] Dragos Niculescu, Badri Nath, "Ad hoc positioning system (APS) using AOA", IEEE INFOCOM 2003 - The Conference on Computer Communications, vol. 22, no. 1, Mar 2003 pp. 1734-1743.
- [29] Rabbat, M., & Nowak, R. Distributed optimization in sensor networks. *Third International Symposium on Information Processing in Sensor Networks*(2004), (pp. 20-27).
- [30] Ji, X., & Zha, H. Sensor positioning in wireless ad-hoc sensor networks using multidimensional scaling. *IEEE INFOCOM*(2004), (pp. 2652-2661).
- [31] Shang, Y., Ruml, W., Zhang, Y., & Fromherz, M. Localization from connectivity in sensor networks. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 15(11), (2004), 961-974.
- [32] Kwok, C., Fox, D., & Meila, M. Real-time particle filters. *Proceedings of the IEEE*, 92(3), (2004), 469-484.
- [33] Elnahrawy, E., Li, X., & Martin, R. P. The limits of localization using signal strength: A comparative study. *First Annual IEEE Conference on Sensor and Ad-hoc Communications and Networks*, (2004), (pp. 406-414).
- [34] Krishnan, P., Krishnakumar, A. S., Ju, W.-H., Mallows, C., & Gamt, S. N. A system for lease: Location estimation assisted by stationary emitters for indoor RF wireless networks. *IEEE INFOCOM*, (2004), (pp. 1001-1011).
- [35] Biswas, P., & Ye, Y. (2004). Semidefinite programming for ad hoc wireless sensor network localization. *Third International Symposium on Information Processing in Sensor Networks* (pp. 46-54).

Bibliographie

- [36] Liang, T.-C., Wang, T.-C., & Ye, Y. (2004). A gradient search method to round the semidefinite programming relaxation for ad hoc wireless sensor network localization: Stanford University. Technical Report.
- [37] Y. Shang and W. Ruml, "Improved MDS-based localization," in IEEE INFOCOM, 2004.
- [38] Ihler, A. T., Fisher, J. W., III, Moses, R. L., & Willsky, A. S. Non parametric belief propagation for self-localization of sensor networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 23(4), (2005), 809-819.
- [39] Kannan, A. A., Mao, G., & Vucetic, B. Simulated annealing based localization in wireless sensor network. *The 30th IEEE Conference on Local Computer Networks(2005)*, (pp. 513-514).
- [40] A. S. Krishna kumar, P. Krishnan: The theory and practice of signal strength-based location estimation. Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing, International Conference on, (2005).
- [41] H. Karl and A. Willig, *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. John Wiley & Sons, Ltd, (2005).
- [42] Mohammed Ilyas and Imad Mahgoub, "Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems", CRC Press LLC (2005).
- [43] Dogancay, K. Emitter localization using clustering-based bearing association. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 41(2), (2005), 525-536.
- [44] Gezici, S., Tian, Z., Giannakis, G. B., Kobayashi, H., Molisch, A. F., Poor, H. V., et al. Localization via ultra-wideband radios: A look at positioning aspects for future sensor networks. *IEEE Signal Processing Magazine*, 22(4), (2005), 70-84.
- [45] Koks, D. Numerical calculations for passive geolocation scenarios (No. DSTO-RR-0000). Edinburgh, SA, Australia. Document Number), (2005).
- [46] Patwari, N., Ash, J. N., Kyperountas, S., Hero, A. O., III, Moses, R. L., & Correal, N. S. Locating the nodes: Cooperative localization in wireless sensor networks. *IEEE Signal Processing Magazine*, 22(4), (2005), 54-69.

Bibliographie

- [47] I. Borg and P. Groenen, *Modern Multidimensional Scaling, Theory and Applications*, 2nd ed. New York: Springer, 2005.
- [48] Kannan, A. A., Mao, G., & Vucetic, B. Simulated annealing based wireless sensor network localization with flip ambiguity mitigation. *63rd IEEE Vehicular Technology Conference (2006)*, (pp. 1022-1026).
- [49] Ray, S., Lai, W., & Paschalidis, I. C. Statistical location detection with sensor networks. *IEEE Transactions on Information Theory*, Joint special issue with *IEEE/ACM Transactions on Networking on Networking and Information Theory* Vol. 52, No. 6 (2006), (pp. 2670-2683).
- [50] L. Li and T. Kunz, "Localization applying an efficient neural network mapping," in *Proceedings of the 1st international conference on Autonomic computing and communication systems (Autonomics 2007)*, vol. 302, (Rome, Italy), (2007).
- [51] Oh-Heum, K., & Ha-Joo, S. Localization through map stitching in wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 19(1), (2008), 93-105.
- [52] Duc A. Tran and T. Nguyen. Localization in Wireless Sensor Networks based on Support Vector Machines. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, July (2008), 19(7): 981-994.
- [53] Guoqiang Mao and Barış Fidan, *Localization Algorithms and Strategies for Wireless Sensor Networks*. Information science reference, (2008).
- [54] Moshe Laifenfeld, Ari Trachtenberg, Reuven Cohen, and David Starobinski, "Joint Monitoring and Routing in Wireless Sensor Networks using Robust Identifying Codes," *Springer Journal on Mobile Networks and Applications (MONET)*, Vol. 14, No. 4, (August 2009), pp. 415-432,.
- [55] Benjamin Tatham, "Anchor Node Placement for Localization in Wireless Sensor Networks", Ottawa-Carleton Institute for Electrical and Computer Engineering, January 2011.
- [56] http://www.fsagx.ac.be/me/Liens_Fichiers/Agriculture_de_precision.html



Annexe

```

%% construire le reseau initial
holdoff
addpath('network')
addpath('plot')
addpath('plot/addaxis')

tic;
networkconstants;

minRadius=2.5;
step=1;
numSteps=1;
maxRadius=minRadius+(step*(numSteps+1));

radii=minRadius:step:maxRadius;

forme=NET.forme_caree;
placement=NET.NODE_RANDOM;
numNodes=36;
networkEdge=6;

ranging=0;
numAncresParEns=3;
numAncresEns=1000;
numStartNodes=10;

shapeLabel=buildNetworkShape(forme,placement,networkEdge,networkEdge,numNodes);
if exist('folder','var')==0
    folder=sprintf('results/%i-%i-%i_%i_%i_%i-%s',fix(clock),shapeLabel);
mkdir(folder);
f=sprintf('%s/eps',folder);
mkdir(f);
f=sprintf('%s/png',folder);
mkdir(f);
f=sprintf('%s/localMaps',folder);
mkdir(f);
f=sprintf('%s/patchedMaps',folder);
mkdir(f);
end

filename=sprintf('%s/sourceNetwork.mat',folder);
if (exist(filename,'file') ~= 0)
    fprintf(1,'Loading source network from %s\n',filename);
    load(filename);
else

[sourceNetwork]=buildNetwork(forme,placement,networkEdge,networkEdge,numNodes);

save(filename,'sourceNetwork','numNodes','placement','ranging','forme');
clear minRadiusmaxRadiusstepnetworkEdge;
close(gcf);
end

%% construire les reseaux

```

```

filename=sprintf('%s/networks.mat',folder);
if (exist(filename,'file') ~= 0)
fprintf(1,'Loading networks from %s\n',filename);
load(filename);
else
[ networks ] = buildNetworks(sourceNetwork, radii, numSteps, folder);
save(filename, 'networks', 'radii', 'numSteps','folder');
end

%% Construire les cartes locaux
for i=1 : numSteps
localMapsFilename=sprintf('%s/localMaps/localMaps-%i.mat',folder,i);
if (exist(localMapsFilename,'file') == 0)
network=networks(i);
radius=radii(i);
fprintf(1,'Generating local maps for radius %.2f\n',radius);
localMapStart=tic;
[localMaps]=localMapComputing(network,radius,ranging,folder);
fprintf(1,'Done generating local maps for radius %.2f in %f
sec\n',radius,toc(localMapStart));
clear localMapStart;

radius=radii(i);
save(localMapsFilename, 'localMaps');
clear network;
end
end

%% construire les noeuds ancrés
filename=sprintf('%s/anchors.mat',folder);
if (exist(filename,'file') ~= 0)
fprintf(1,'Loading anchors from %s\n',filename);
load(filename);
else

[anchors]=buildAnchors(sourceNetwork,NET.ANCHORS_RANDOM,numAnchorsPerSet,numAnchorSets);
save(filename, 'anchors','numAnchorSets');
end

% choisir des noeuds de parties différentes du réseau.
% pour former un tableau startNode=[a b c ...] qui contient
% les nœuds de début pour le regroupement des cartes
% Par exemple,startNodes=[5 20 22];

startNodeIncrement=floor(numNodes/numStartNodes);
startNodes=1:startNodeIncrement:size(networks(1).points,1);

%% regroupement des cartes

global FILE_PREFIX;
FILE_PREFIX='noscaling';
localMapsFilename=sprintf('%s/localMaps/localMaps-%i.mat',folder,numSteps);
load(localMapsFilename);
allMaps(numSteps,:)=localMaps;
for i=1 : numSteps

```

```
        localMapsFilename=sprintf('%s/localMaps/localMaps-
%i.mat',folder,i);
load(localMapsFilename);
        network=networks(i);
allMaps(i,:)=localMaps;

resultFilename=sprintf('%s/%2result-%i.mat',folder,prefix,i);
disp('-----')
patchNumber=sprintf('Map patch #%i of %i for Radius %.1f',i,...
numSteps,network.radius);
        result=mapPatch(network,localMaps,startNodes,anchors,...
network.radius,patchNumber,folder,operations);
        save(resultFilename,'result');

if ~exist('results','var')
        results(size(numSteps,1))=result;
end
        results(i)=result;
end

        %% affichage des resultats
plotResult(results,anchors,radii,folder,allMaps);

end
```

ملخص

أخذت شبكات الاستشعار اللاسلكية نطاقا واسعا بفضل التطورات التكنولوجية، لتدخل في العديد من مجالات الحياة (الميدان العسكري , الصحة , التربية و الفلاحة...الخ).

تحتاج بعض تطبيقات شبكات الاستشعار اللاسلكية غالبا إلى معرفة المكان الدقيق لكل أجهزة الاستشعار. هذه المعلومة تمكن من معرفة طوبولوجيا الشبكة وكذلك لتحديد مصدر معلومات معينة أو غير منطقية. توجد فئة من خوارزميات الموقع مبنية على تجميع خرائط خاصة بكل جهاز استشعار بإحداثيات نسبية للحصول على خريطة عامة لكل الشبكة. هذه الخوارزميات تحتاج إلى أجهزة استشعار تعرف مكانها بالضبط تدعى المراجع. في معظم الأعمال السابقة في هذا المجال، يتم تجاهل تعيين أماكن أجهزة الاستشعار المرجعية كعامل مؤثر على نتائج تطبيق خوارزميات الموقع. في عملنا هذا، نقترح معايير وضع أجهزة الاستشعار المرجعية على الشكل الأمثل، الفكرة العامة لهذا الحل هي ضمان دقة مواقع أجهزة الاستشعار و ذلك بأقل عدد ممكن من أجهزة الاستشعار المرجعية. بفضل المحاكاة، بإستعمال خوارزمية تحليل إلى مكونات منحنية الأضلاع (CCA-MAP)، الذي يعتبر من أنجع الخوارزميات المقترحة ل شبكات الاستشعار اللاسلكية، نوضح أثر هذا التعيين بالنسبة للتعينات الأخرى كوضع أجهزة الاستشعار المرجعية على أركان الشبكة أو بشكل عشوائي وذلك بإستعمال أقل عدد ممكن من أجهزة الاستشعار المرجعية.

المفاتيح : شبكات الاستشعار اللاسلكية، تعيين أماكن أجهزة الاستشعار المرجعية، الموقع، CCA-MAP

Résumé

Les réseaux sans fil de capteurs (WSN) ont pris de l'envergure dans cette dernière décennie grâce aux progrès technologiques, entrant dans quasiment tous les domaines de la vie (militaire, santé, éducation, agriculture,...).

Les applications des réseaux sans fil de capteurs s'attendent souvent à la connaissance de l'emplacement exact des nœuds. Cette information sert à connaître la topologie du réseau ou bien identifier les positions spécifiques de certains nœuds si leurs lectures semblent particulières ou illogique. Par exemple, on voulait savoir l'emplacement exact de la zone infectée dans un champ de pomme de terre afin de traiter seulement cette zone avec les insecticides. Une classe d'algorithme de localisation se base sur le rassemblement des cartes locales avec des coordonnées relatives en une carte globale. Ces algorithmes nécessitent des nœuds qui connaissent leurs propres coordonnées appelées les nœuds ancrés. Dans la plupart des travaux antérieurs, le placement des nœuds ancrés n'est pas pris en considérations comme facteur affectant les résultats des algorithmes de localisation.

Dans notre travail, nous proposons des métriques pour un placement optimale des nœuds ancrés, l'idée générale de notre solution est de garantir une précision de localisation avec un minimum de nœuds ancrés. Grâce à la simulation, en utilisant l'algorithme d'analyse en composantes curvilignes (CCA-MAP), qui est parmi les plus performants algorithmes proposés pour les réseaux sans fil de capteurs, nous montrons l'impact de ce choix par rapport aux solutions antérieurs tel que le placement des nœuds ancrés dans les coins du réseau bien d'une façon aléatoire, tout en utilisant le plus petit nombre de nœuds ancrés possible.

Mots clés : réseaux sans fil de capteurs, localisation, placement des nœuds, CCA-MAP.