

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A/Mira de Béjaia

Faculté des Sciences et des Sciences Exactes

Département Informatique



Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme Master recherche
en Informatique

Spécialité : Réseaux et Système Distribuée

THÈME

Etude des mécanismes de localisation dans les
réseaux de capteurs sans fil

Présenté par :

M^{elle}. REZKI YASMINA

M^{elle}. BOURDJAH SIHAM

Devant le jury :

Présidente M^{elle}. DJERROUD Souhila , MAA, Bejaia

Promoteur M^r. LARBI Ali , MAA, Bejaia

Examineur M^r. ABBACHE Bournane , MAA, Bejaia

Examineur M^r. KACIMI Farid , Doctorant, Bejaia

Promotion 2014

Je quitte un lieu sans tristesse,
j'en rejoins un autre sans joie,
je ne m'attache ni aux lieux ni aux personnes,
mais je reste fidèle à mes amitiés.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents,

A mes frères et mes sœurs,

A toute la famille,

A mes amis et collègues, et tous ceux qui m'ont aidé ;

A ma binôme yasmina et sa famille.

BOURDJAH SIHAM

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents,

A mes frères et ma sœur,

A toute la famille,

A mes amis et collègues, et tous ceux qui m'ont aidé ;

A ma binôme Siham et sa famille.

REZKI YASMINA

Remerciements

Nous tenons à remercier le tout puissant de nous avoir donné le courage et la patience jusqu'à l'achèvement de ce modeste travail.

Nous tiens à exprimer tous nos sincères remerciements à monsieur LARBI pour avoir dirigé ce mémoire. Ses encouragements dans nos moments de doute et la confiance qu'il nous a accordés nous ont permis de mener à bien ce travail. Nous tenons encore à lui exprimer notre profonde gratitude pour son aide et tous ses précieux conseils.

Nous tenons à exprimer notre gratitude aux membres du jury pour avoir accepté de juger ce travail.

Un grand merci à tous nos collègues en Master 2 et tous les enseignants du département Informatique, qui nous ont offert un environnement étudiant extrêmement agréable.

Un merci pudique : à nos familles, pour leur soutien qui nous a poussés à chercher au fond de nous la volonté de faire toujours beaucoup plus, à nos amis et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Résumé

Le problème de la localisation a été examiné minutieusement dans les réseaux de capteurs sans fil durant ces dernières décennies, plusieurs méthodes et algorithmes ont été proposés pour remédier à ce problème. Le but de ce travail étant de proposer une méthode de localisation efficace.

Dans ce travail, nous présentons une technique simple et pratique d'estimation de distance qui utilise un capteur rotatif muni d'une antenne multi-directionnel. Cette technique est basée sur le balayage de la région désirée et la largeur du faisceau. Les nœuds ayant reçus le signal dans la région souhaitée transmettent leurs estimation de distance au capteur rotatif (station de base) via RSSI. Contrairement aux techniques de localisation par GPS ou d'ancrage, la technique proposée ne nécessite aucune modification dans les nœuds de détection. Nous démontrons différents scénarios pour l'analyse des performances de cette technique de localisation. Les résultats montrent qu'en réglant soigneusement ces paramètres, la performance souhaitée peut être obtenue.

Mots-clés : Réseau de capteurs sans fil, Les techniques de localisation.

Abstract

The problem of the localization was examined thoroughly in the networks of sensors without wire during these last decades, several methods and algorithms were proposed to cure this problem. The aim of this work is to propose a method of the effective localization.

In this work, we present a simple and practical technique of estimate of distance which uses a rotary sensor provided with an antenna multi-directional. This technique is based over the sweeping of the desired area and the width of the beam. The nodes having received the signal in the desired area transmit their estimate of distance to the rotary sensor (base station) via RSSI. Contrary to the techniques of localization by GPS or anchoring, the technique suggested does not require any modification in the nodes of detection. We show various scenarios for the analysis of the performances of this technique of localization. The results show that by regulating these parameters carefully, the desired performance can be obtained.

Keywords : Wireless sensor networks, Techniques of localization.

TABLE DES MATIÈRES

Table des Matières	i
Liste des tableaux	v
Table des figures	v
Liste des abréviations	vi
Intrduction Générale	1
Présentations des réseaux de capteurs sans fils (RCSFs)	3
1 Présentations des réseaux de capteurs sans fils (RCSFs)	3
1.1 Introduction	3
1.2 Les réseaux sans fil :	3
1.2.1 Le réseau avec infrastructure (cellulaire)	4
1.2.2 Le réseau sans infrastructure (Ah doc)	5
1.3 Les réseaux de capteurs sans fil	5
1.3.1 Définition d'un capteur (sensor)	6
1.3.2 Architecture d'un nœud capteur	6
1.3.2.1 Architecture logicielle	7
1.3.3 Types de capteurs	8
1.3.4 Caractérisation des réseaux de capteurs	8
1.4 Domaines d'application des RCSFs	9
1.4.1 Domaines militaires	9
1.4.2 Applications environnementales	10

1.4.3	Applications sanitaires	11
1.4.4	Applications commerciales	12
1.5	Communication dans les réseaux de capteurs	12
1.5.1	Architecture de communication d'un RCSF	13
1.5.2	La pile protocolaire	13
1.5.2.1	Le niveau de gestion d'énergie :	14
1.5.2.2	Le niveau de gestion de mobilité	15
1.5.2.3	Le niveau de gestion des tâches	15
1.5.3	Les types de communications	15
1.6	Objectifs des réseaux de capteurs	16
1.6.1	Qualité de service	16
1.6.2	Diffusion de l'information	16
1.6.3	Sécurité	16
1.6.4	Couverture	16
1.6.5	Routage	17
1.7	Contraintes et facteurs conceptuelles des réseaux de capteurs	17
1.8	Conclusion :	20

La localisation dans les réseaux de capteurs sans fils 21

2 La localisation dans les réseaux de capteurs sans fils 21

2.1	Introduction :	21
2.1.1	Positionnement du problème de localisation	22
2.1.2	Importance des systèmes de localisation	22
2.1.3	Contraintes pour un système de localisation	23
2.1.4	Composition d'un système de localisation :	24
2.2	Les mécanismes de calcul de la position	25
2.2.1	Estimation des distances	25
2.2.1.1	les méthode Range-Based	25
2.2.1.2	Les méthodes "Range-Free" :	29
2.2.2	Combinaison de distance	29
2.2.2.1	Trilatération	29
2.2.2.2	Triangulation	31
2.2.2.3	Multilatération	32
2.2.2.4	Bilan et synthèse sur les techniques de combinaison de la distance	32
2.3	Systèmes de localisation	33
2.3.1	GPS	33

2.3.2	Cricket	34
2.3.3	Radar	35
2.4	Conclusion	36
Etat de l’art		37
3	Etat de l’art sur les algorithmes de localisations dans les RCSFs	37
3.1	Introduction	37
3.2	Les algorithmes de localisation dans les réseaux de capteurs	37
3.2.1	Les catégories des algorithmes de localisation	37
3.2.2	Les paramètres de performance d’un algorithme de localisation	38
3.2.3	Les caractéristiques de la performance d’un système de localisation dans les RCSFS	39
3.2.4	Algorithmes DV-hop :	39
3.2.4.1	DV-hop traditionnel	39
3.2.4.2	FDV-Hop	41
3.2.4.3	DV-Hop amélioré	42
3.2.5	GGDI	44
3.2.6	CO-WVSS	45
3.3	Comparaisons des algorithmes de localisation	47
3.4	Conclusion	48
la proposition		49
4	la proposition	49
4.1	Introduction	49
4.2	Motivations et énoncé du problème	49
4.3	Algorithme proposé	50
4.3.1	Le schéma de l’algorithme proposé	50
4.3.2	Concept de base	51
4.3.3	Détermination de la localisation	51
4.4	Conclusion	53
Simulation et evaluation des performances		54
5	Simulation et evaluation des performances	54
5.1	Introduction	54
5.2	Description du démonstrateur conçu et utilisé pour les mesures	54
5.2.1	Choix du langage de programmation	55

5.2.2	Variables descriptives du système	55
5.3	Les Résultats de la simulation	55
5.3.1	Evaluation de la performance	57
5.3.1.1	Précision de localisation	57
5.3.2	Passage à l'échelle	58
5.3.3	La consommation d'énergie	59
5.4	Discussion	61
5.5	Conclusion	62
	Conclusion Générale	63
	Bibliographie	ix

LISTE DES TABLEAUX

2.1	Comparaison des méthodes Range-Based	30
2.2	Comparaison des méthodes de combinaison de la distance [2]	34
3.1	Les distances moyenne et l'estimation de distance en utilisant la méthode DV-Hop	40
3.2	Comparaison les algorithmes de la localisation.	48
5.1	Les paramètres de la simulation	56
5.2	Les paramètres de la simulation	60

TABLE DES FIGURES

1.1	Le modèle de réseaux mobiles avec infrastructure	4
1.2	Un réseau mobile Ad Hoc.	5
1.3	Quelques capteurs existants sur le marché.	6
1.4	Anatomie d'un capteur.	7
1.5	Tracé du chemin d'un véhicule militaire.	10
1.6	Les RCSFs pour la surveillance des lieux hostiles.	11
1.7	Les RCSFs pour les applications sanitaires.	11
1.8	Les RCSFs pour les applications commerciales.	12
1.9	Architecture de communication d'un RCSF.	13
1.10	La pile protocolaire utilisée dans les réseaux de capteurs.	14
2.1	Composition d'un système de localisation.	24
2.2	Estimation de distance en utilisant TDOA dans les réseaux cellulaires.	27
2.3	Principe du TDoA pris par deux signaux.	27
2.4	La méthode AOA.	29
2.5	Trilatération.	31
2.6	Triangulation.	31
2.7	Multilateration.	32
2.8	Shéma systèm GPS.	34
2.9	Carte Cricket de deuxième version.	35
3.1	Exemple d'algorithme DV-Hop.	40
3.2	Localisation d'un nœud inconnu avec la méthode GGDI	44
3.3	algorithme de localisation Triangel Centroid	46
3.4	Corriger et optimiser la localisation	47

4.1	L'architecture de l'algorithme proposé dans le RCSF	50
4.2	Estimation de distance.	53
5.1	La localisation exact des nœuds de capteurs qui se trouve aléatoirement.	57
5.2	estimation d'erreur de localisation en fonction d'un noeud de capteur	58
5.3	le passage à l'échelle	59
5.4	la moyenne de consommation d'énergie VS le nombres des noeuds.	61

TABLE DES FIGURES

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AOA	Angle of Arrival,.
ISM	Industrial, Scientific and Medical.
LPS	Pin-Point's Local Positioning System .
MEMS	Micro-Electro-Mécanique Systèmes .
MANET	Mobile Ad hoc NETwork .
MAC	Media Access Control .
OSI	Open Systems Interconnect .
IETF	Internet Engineering Task Force.
GSM	Global System for Mobile Communications .
GPS	Global Positioning System .
RCSFs	Réseaux de capteurs sans fils
RF	Radio Frequency .
RSSI	Signifie Received Signal Strength Indicator .
TOA	Time of Arrival.
TDOA	Time Difference of Arrival.
VOR	VHF Omni-directional Range.
WSN	Wireless sensor Networks

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis leur création, les réseaux de communication sans fil ont connu un succès sans cesse croissant au sein des communautés scientifiques et industrielles. Grâce à ses divers avantages, cette technologie a pu s’instaurer comme acteur incontournable dans les architectures dérivées, telles que : le réseau cellulaire, le réseau local sans fil et autres. Durant cette dernière décennie, une nouvelle architecture a vu le jour : le réseau de capteurs sans fil. Ce type de réseau peut être vu comme un réseau de microsystemes disséminés dans les capteurs s’appelle un champ de captage. Ce qui est intéressant dans les réseaux de capteurs, c’est que les nœuds sont souvent composés d’un grand nombre de micro-capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d’une manière autonome.

Les capteurs sont généralement conçus pour être déployés en forte densité dans des endroits hostiles et inaccessibles, ils deviennent alors à usage autonome en raison de l’impossibilité de remplacer ou recharger leurs batteries. La consommation d’énergie est alors distribuée en exploitant la redondance induite par le déploiement aléatoire.

Les applications des réseaux de capteurs sont aussi diverses que les informations qu’ils peuvent collecter. En médecine, ils peuvent servir à surveiller l’état d’un patient resté à domicile, envoyant des comptes rendus réguliers au personnel soignant et alertant les secours en cas de besoin. En plus, les nœuds peuvent être implantés sur des animaux afin de suivre et ainsi comprendre leurs déplacements. Ils peuvent également être utilisés pour étudier les mouvements des glaciers, surveiller le niveau de pollution de l’air où encore détecter des feux de forêt.

En l’absence d’information sur la position des éléments d’un réseau de capteurs sans fil au sein de l’environnement où ils sont déployés, les données récoltées peuvent s’avérer d’une utilité limitée. Une préalable à tout traitement consiste donc à estimer la position de ces nœuds.

Les possibilités cités ci-dessus, notamment une localisation précise des nœuds fixes ou mobiles dans les réseaux de capteurs, sont la source de recherche très active dans le domaine des réseaux

sans fil. A cet effet, une solution simple peut être envisagée. C'est par l'ajout des GPS à tous les noeuds dans le réseau. Malheureusement, cette solution n'est pas possible.

Dans ce mémoire, nous présentons notre contribution à maintenir la localisation dans les réseaux de capteurs sans fils et ce en commençant par les méthodes d'estimation de distance et les algorithmes déjà existant, ensuite nous donnons une amélioration efficace à ces algorithmes de localisation. La méthode proposée est une technique simple et pratique d'estimation de distance qui utilise un capteur rotatif muni d'une antenne multi-directionnel.

Cette technique est basée sur le balayage de la region désirée et la largeur du faisceau. Les nœuds ayant reçus le signal dans la région souhaitée transmettent leurs estimation de distance au capteur rotatif (station de base) via RSSI . Contrairement aux techniques de localisation par GPS ou d'ancrage, la technique proposée ne nécessite aucune modification dans les nœuds de détection. Nous démontrons différents scénarios pour l'analyse des performances de cette technique de localisation. Les résultats montrent qu'en réglant soigneusement ces paramètres de performances, la performance souhaitée peut être obtenue.

Ce manuscrit est organisé en quatre chapitres :

Chapitre 1 : Réseaux de capteurs : vue générale : ce chapitre constitue une introduction au domaine très vaste des réseaux de capteurs. Nous présentons les différents concepts liés à la mise en œuvre d'un réseau de capteurs, ses caractéristiques et les différents domaines d'applications.

Chapitre 2 : Localisation : ce chapitre traite la problématique de la localisation dans les réseaux de capteurs. Nous présentons les différentes méthodes existantes .

Chapitre 3 : L'état de l'art : est un état de l'art sur les algorithmes de localisation.

Chapitre 4 : La proposition : est consacré à notre contribution pour la localisation des capteurs dans le réseaux de capteurs sans fils, on y trouve une description détaillée d'une méthode proposée pour la localisation dans les réseaux de capteurs sans fil avec un grand nombre de capteurs et dans une zone d'intérêt.

Chapitre 5 : Simulation et evaluation des performances : est consacré à la simulation de la proposition et l'évaluation des performances de notre proposition.

Enfin, nous concluons ce travail en dégagant plusieurs pistes de recherche notamment en évoquant les hypothèses de travail qui restent à reconsidérer.

CHAPITRE 1

PRÉSENTATIONS DES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FILS (RCSFS)

1.1 Introduction

Les développements récents des technologies micro-capteurs et des communications sans fils ont engendré l'apparition des réseaux de capteurs sans fils (RCSF ou Wireless Sensor Network). Un tel réseau est constitué d'un grand nombre de dispositifs physiques appelés capteur ou nœud capables de relever, de traiter et de transmettre des informations de l'environnement, dans lequel ils sont déployés, à un ou plusieurs points de collecte[25]. L'un des problèmes majeurs de ce type de réseaux est la localisation qui consiste à déterminer l'emplacement des nœuds de capteur dans une zone géographique.

Dans ce chapitre, nous présenterons les réseaux de capteurs sans fils et ce en décrivant leur architecture, leurs caractéristiques, leurs domaines d'application, les contraintes de conception d'un tel type de réseau.

1.2 Les réseaux sans fil :

Les réseaux sans fil se divisent en deux catégories, le réseau avec infrastructure et le réseau sans infrastructure.

1.2.1 Le réseau avec infrastructure (cellulaire)

Un réseau mobile avec infrastructure est composé des sites mobiles. Il permet à ses utilisateurs d'accéder à l'information indépendamment de leurs positions géographiques. Dans cette classe, on distingue deux ensembles d'entités distinctes : les sites fixes d'un réseau de communication filaire classique (wired network) et les sites mobiles (wireless network) [26]. Certains sites fixes, appelés stations de support mobile (Mobile Support Station) ou stations de base (SB), sont munis d'une interface de communication sans fil pour la communication directe avec les sites ou les unités mobiles (UM) localisés dans une zone géographique limitée, appelée cellule (voir figure (1-1)).

Chaque station de base correspond une cellule à partir de laquelle des unités mobiles peuvent émettre et recevoir des messages. Alors que les sites fixes sont interconnectés entre eux à travers un réseau de communication filaire, qui se caractérise généralement par sa fiabilité et son débit élevé, par contre, les liaisons sans fil ont une bande passante limitée qui réduit sévèrement le volume des informations échangées [27].

Dans ce modèle, une unité mobile ne peut être, à un instant donné, directement connectée qu'à une seule station de base. Elle peut communiquer avec les autres sites à travers la station à laquelle elle est directement rattachée. L'autonomie réduite de sa source d'énergie, lui occasionne de fréquentes déconnexions du réseau, Sa reconnexion peut alors se faire dans un nouveau environnement voire dans une nouvelle localisation [28].

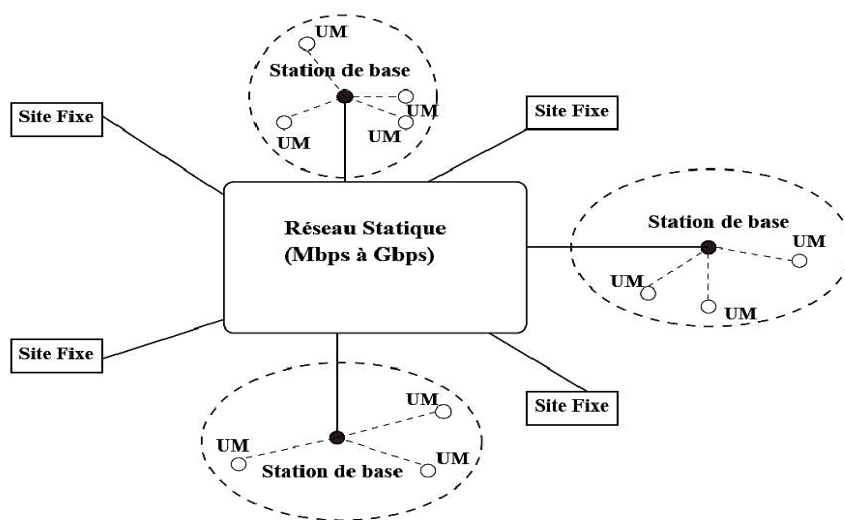


FIGURE 1.1 – Le modèle de réseaux mobiles avec infrastructure

1.2.2 Le réseau sans infrastructure (Ah doc)

Le modèle de réseau sans infrastructure préexistante ne comporte pas l'entité site fixe, tous les sites du réseau sont mobiles et se communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil. L'absence d'infrastructure ou de réseau filaire des stations de base oblige les unités mobiles à se comporter comme des routeurs qui participent à la découverte et la maintenance des chemins pour les autres hôtes du réseau.

Le groupe MANET (Mobile Ad hoc NETWORK) de l'IETF (Internet Engineering Task Force) fournit une définition plus précise en introduction de la RFC 2501 [28] : Un réseau Ad Hoc comprend des plates-formes mobiles appelées noeuds qui sont libres de se déplacer sans contrainte. Un réseau ad hoc est donc un système autonome de noeuds mobiles. Ce système peut fonctionner d'une manière isolée ou s'interfacer à des réseaux fixes au travers des passerelles.

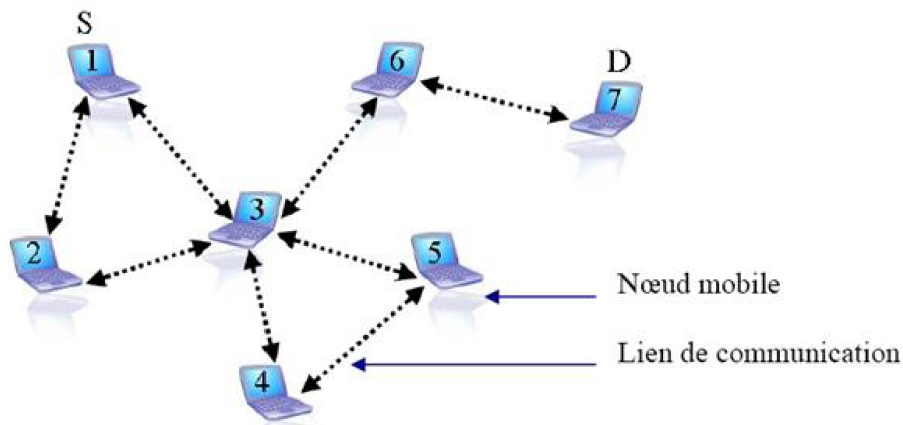


FIGURE 1.2 – Un réseau mobile Ad Hoc.

1.3 Les réseaux de capteurs sans fil

Les réseaux de capteurs sans fil sont considérés comme un type spécial des réseaux Ad hoc où l'infrastructure fixe de communication et l'administration centralisée sont absentes et les nœuds jouent, à la fois, le rôle des hôtes et des routeurs. Ce type de réseaux consiste en un ensemble de micro-capteurs éparpillés aléatoirement à travers une zone géographique qui définit le terrain d'intérêt pour le phénomène capté.[29] Les micro-capteurs déployés sont capables de surveiller, d'une manière continue, une grande variété de conditions ambiantes telles que la température, l'humidité, et de détecter également l'occurrence des événements tel que les séismes. Malgré leur capacité limitées de captage et de traitement de donnée, qui n'est qu'une conséquence de

leur taille miniaturisé (de l'ordre de 1cm^3), les composants de communication sans fil intégrés à ces capteurs leur permettent de collaborer et de coordonner entre eux afin d'accomplir des tâches de captage complexes.

1.3.1 Définition d'un capteur (sensor)

Un capteur est un petit appareil autonome capable d'effectuer de simples mesures sur son environnement immédiat, telles que la température, les vibrations et la pression. Cet appareil est augmenté de capacités de calcul et de communication ainsi que de batteries lui conférant une autonomie [30].

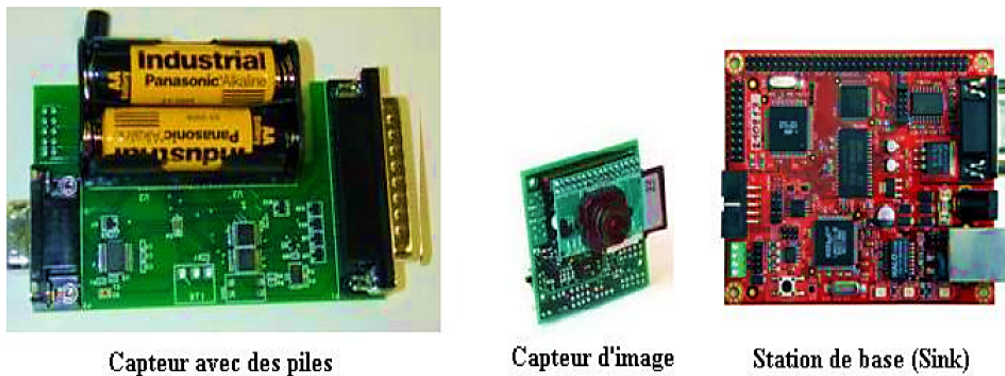


FIGURE 1.3 – Quelques capteurs existants sur le marché.

1.3.2 Architecture d'un nœud capteur

Cet appareil est un assemblage de quatre composants principaux représentés dans la figure (1-4), unité de capture (Sensing Unit), une unité de traitement (Processing Unit), une unité de communication (Transceiver Unit) et une unité d'énergie (Power Unit) ainsi que trois autres composants additionnels sont envisageable selon le domaine d'application tels qu'un système de localisation (Location Finding System), un mobilisateur (Mobiliser) et un générateur d'énergie (Power Generator) [31].

- **Unité de capture (Sensing Unit)** : Elle permet de capter le phénomène observé et le convertir depuis un signal analogique en un numérique. Il sera, ensuite, fourni à l'unité de calcul.
- **Unité de traitement (Processing Unit)** : Elle est chargée d'exécuter les protocoles de communication qui permettent aux nœuds capteurs de collaborer avec les autres nœuds

pour accomplir la requête en question.

- **Unité de communication (Transceiver Unit)** : Elle est chargée d'exécuter toutes les émissions et les réceptions de données.
- **Unité de contrôle d'énergie (Power Unit)** : Elle effectue des opérations de contrôle de l'énergie restante et de mesure de la durée de vie du capteur.
- **Système de localisation (Location Finding System)** : Il fournit des informations sur la localisation requise par les techniques de routage.
- **Unité de mobilité (Mobilizer)** : Il est appelé si le nœud capteur doit être déplacé pour accomplir la requête à traiter.
- **Générateur d'énergie (Power Generator)** : Il récupère l'énergie de l'environnement extérieure tel que l'énergie solaire puisque le capteur se laisse pendant des mois et même durant des années sans l'intervention humaine.

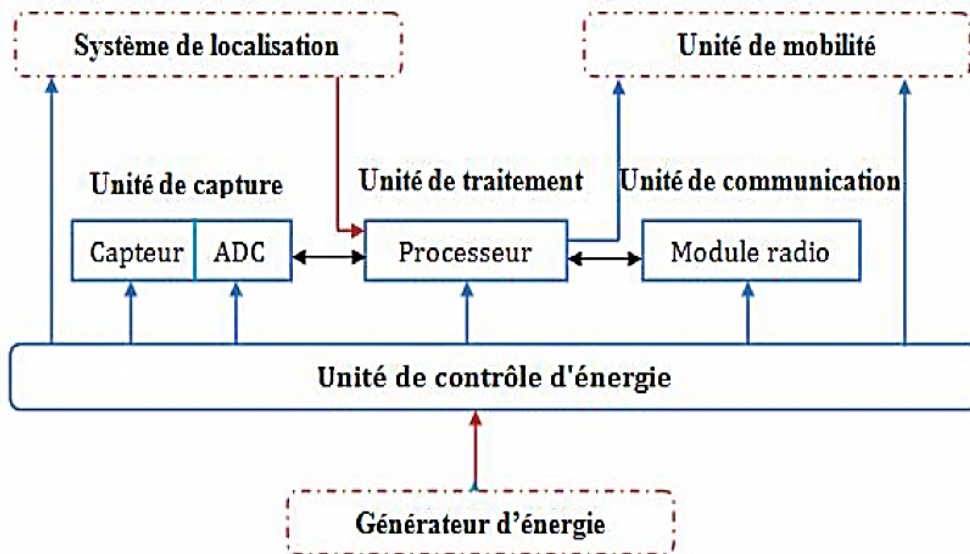


FIGURE 1.4 – Anatomie d'un capteur.

1.3.2.1 Architecture logicielle

Un capteur est doté d'un système d'exploitation open source appelé TinyOS qui est une série d'outils développés par l'université de Berkeley et enrichi par une multitude d'utilisateurs. TinyOS est en grande partie s'appuie sur un langage NesC est conçu pour les réseaux de capteurs sans fil. Il respecte une architecture basée sur une association de composants.

La bibliothèque de composants de TinyOS est particulièrement complète puisqu'elle inclut des protocoles réseaux, des pilotes de capteurs et des outils d'acquisition de données. En s'appuyant sur un fonctionnement évènementiel, TinyOS propose à l'utilisateur une gestion très précise de la consommation du capteur et permet de mieux s'adapter à la nature aléatoire de la communication sans fil entre les interfaces physiques.[32]

1.3.3 Types de capteurs

Les capteurs sont disponibles en différents modèles et dépendent de l'application à laquelle ils sont destinés. Il existe plusieurs fabricants de capteurs parmi lesquels nous trouvons : Imote IV, Art of Technology et Crossbow [33]. Les différents capteurs : MICA2, Telos B, MICAz, Imote2, etc.

1.3.4 Caractérisation des réseaux de capteurs

La réalisation d'un réseau de capteur utilise les techniques des réseaux Ad hoc. Cependant, les protocoles et les algorithmes proposés dans ce dernier ne conviennent pas aux réseaux de capteurs sans fil. Voici donc quelques caractéristiques spécifiques à ces réseaux :

- **Topologie dynamique des réseaux de capteurs sans fil** : la mobilité continue des nœuds crée un changement dynamique de topologie. Par exemple, un nœud peut rejoindre un réseau, changer de position ou quitter le réseau (suppression de capteurs à cause de défaillances ou autres choses, etc). Ce déplacement a naturellement un impact sur la morphologie du réseau [34].
- **Absence d'infrastructure** : les réseaux de capteurs en général, se distinguent des autres réseaux mobiles par la propriété d'absence d'infrastructure préexistante et de tout genre d'administration centralisée à l'exception des réseaux ad hoc. Les hôtes mobiles sont responsables d'établir et de maintenir la connectivité du réseau d'une manière continue[34].
- **Un grand nombre de capteurs** : des réseaux de 10000 nœuds peuvent être envisagés.
- **Sécurité physique limitée** : les réseaux de capteurs sans fil mobiles sont plus touchés par le paramètre de sécurité que les réseaux filaires classiques. Cela se justifie par les contraintes et limitations physiques qui font que le contrôle des données transférées doit être minimisé [34].
- **Auto déploiement** : les nœuds capteurs peuvent être déployés dans l'environnement sans intervention humaine et demeurent sans surveillance pendant longtemps après déploiement [34].

- **Auto configuration** : consiste avant tout à permettre la communication des nœuds, et donc l'affectation d'adresses aux interfaces réseaux, la diffusion des préfixes des sous réseaux et des passerelles d'interconnexion. Il s'agit ensuite de diffuser les informations comme le DNS aux nœuds du réseau[34].
- **Auto-organisation** : cherche à structurer la topologie du réseau en tirant partie des propriétés des nœuds tels que l'énergie résiduelle, la densité, etc. Par exemple, est-il préférable de proposer une architecture à plat du réseau ou au contraire est-il nécessaire de proposer des mécanismes regroupant les nœuds suivant des critères comme les services, les interfaces radio, les capacités, l'énergie disponible, etc. L'auto-organisation doit également répondre à la prise en compte efficace de la dynamique du réseau.[35]
- **Auto-gestion** : a pour objectif de proposer une supervision autonome : une fois un réseau spontané auto-configuré et auto-organisé, il est nécessaire de fournir des algorithmes et des protocoles permettant sa surveillance, sa maintenance réactive.[35]
- **Contrainte d'énergie** : dans plusieurs applications, les nœuds de capteurs sont placés dans des surfaces distantes, le service du nœud peut ne pas être possible, dans ce cas la durée de vie du nœud peut être déterminée par la vie de la batterie, ce qui exige la minimisation des dépenses énergétiques.[35]

1.4 Domaines d'application des RCSFs

Les réseaux de capteurs sans fil ont été classés parmi les 21 technologies les plus importantes du 21ème siècle [36], Les nombreux projets existants ont le plus souvent attiré à l'observation des zones inaccessibles ou à la surveillance d'environnements sensibles. Il y est essentiellement question de suivi d'objets mobiles (tels que des animaux, des véhicules ou encore des individus). L'observation de cibles fixes est aussi l'un des objectifs de ces réseaux [37]. La recherche dans ce domaine subit actuellement une révolution importante et leurs applications prennent de plus en plus d'ampleur dans plusieurs domaines, nous citons ici quelques domaines très importants :

1.4.1 Domaines militaires

Les réseaux de capteurs sans fil sont appliqués avec beaucoup de succès dans la surveillance militaire. Les RCSFs ont contribué dans le commandement, le contrôle, la communication, la surveillance du champ de bataille, la reconnaissance des forces d'opposition, l'évaluation des dommages de la bataille et la détection ainsi que la reconnaissance d'attaque à savoir si elle est nucléaire, biologique et chimique. La maîtrise de ces facteurs constitue un point fort et un atout pour les forces militaires.[25]



FIGURE 1.5 – Tracé du chemin d'un véhicule militaire.

1.4.2 Applications environnementales

Les réseaux de capteurs sans fil sont aussi largement utilisés dans le secteur environnemental [34], comme, nous allons le voir ci-dessous :

- La détection de feux de forêts.
- La détection d'inondations et de tremblements de terre.
- Le contrôle de l'environnement marin (capteurs acoustiques).
- Les études de pollution.
- La recherche météorologique ou géophysique.
- Agriculture de précision : On trouve aussi l'utilité de ces réseaux dans la surveillance de niveau de pesticides dans l'eau potable, le niveau d'érosion du sol et le niveau de pollution atmosphérique .
- L'exploration planétaire.



FIGURE 1.6 – Les RCSFs pour la surveillance des lieux hostiles.

1.4.3 Applications sanitaires

Les RCSFs sont récemment très répandus dans le secteur de la santé. Dans certains hôpitaux, ils sont installés pour surveiller des données physiologiques des patients et pour surveiller aussi le comportement des patients et des médecins à l'intérieur d'un hôpital.[25]



FIGURE 1.7 – Les RCSFs pour les applications sanitaires.

Lorent et al [35], décrivent l'application biomédicale qu'ils ont fait sur la rétine artificielle. Dans le projet : les capteurs intelligents et les microsystèmes intégrés (SSIM), la puce prothèse rétine qui est constituée de 100 micros capteurs est construite et implémentée dans l'œil humain.

Cette application a permis au patient non-voyants ou à vision limitée de voir ou d'améliorer leur niveau de vision.

Quelques autres applications ont été envisagées à savoir : la surveillance de niveau du glucose, le contrôle des organes, la détection du cancer, etc. L'idée d'intégrer des capteurs biomédicaux sans fil dans le corps humain est prometteuse, bien qu'ils existent beaucoup de défis et de contraintes à prendre au sérieux : le système doit être ultra prudent, sans danger sur la santé du patient et stable et nécessite peu de maintenance.

Avec beaucoup de recherches et de progressions dans ce domaine, un coût de traitement médical peut être réduit et une qualité de vie meilleure est promise.

1.4.4 Applications commerciales

Il est possible d'intégrer des capteurs au processus de stockage et de livraison dans le domaine commercial. Le réseau ainsi formé pourra être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'un paquet. Il devient alors possible pour un client qui attend la réception d'un paquet, d'avoir un avis de livraison en temps réel et de connaître la localisation actuelle du paquet. Pour les entreprises manufacturières, les réseaux de capteurs permettront de suivre le procédé de production à partir des matières premières jusqu'au produit final livré[25].



FIGURE 1.8 – Les RCSFs pour les applications commerciales.

1.5 Communication dans les réseaux de capteurs

Dans les réseaux de capteurs, les nœuds sont déployés dans un environnement sans infrastructure, en n'ayant aucune information sur la topologie globale même locale du réseau construit. Pour cela, les nœuds capteurs doivent graduellement établir l'infrastructure de communication durant une phase d'initialisation. Cette infrastructure doit leur permettre de ré-

pondre aux requêtes venant des sites distants, d'interagir avec l'environnement physique, réagir aux données perçues et transmettre ces données via une communication multi-sauts à la destination.

1.5.1 Architecture de communication d'un RCSF

Un RCSF est composé d'un ensemble souvent très important de nœuds capteurs. Ces nœuds capteurs sont, soit posés à un endroit précis, soit dispersés aléatoirement (souvent déployés par voie aérienne à l'aide d'avions ou d'hélicoptères) et ils sont organisés en champs "sensor fields" [34].

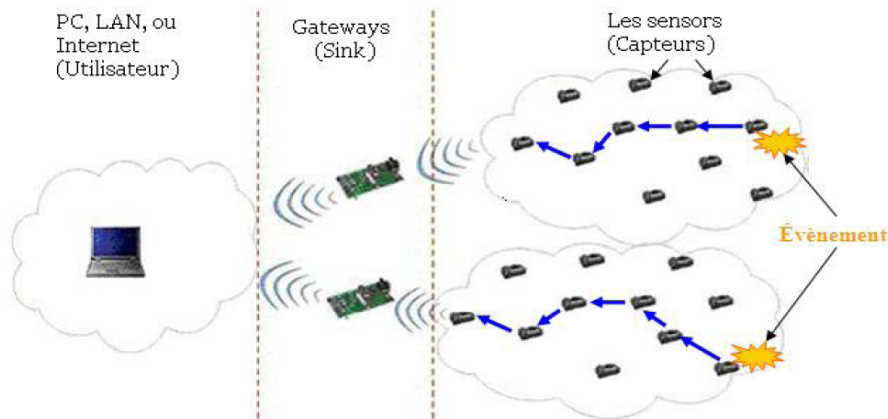


FIGURE 1.9 – Architecture de communication d'un RCSF.

1.5.2 La pile protocolaire

En général, un réseau de capteur est relié avec d'autres types de réseaux. Pour que ce réseau puisse communiquer avec eux, il a besoin d'une interface de communication standard. Comme il n'y a aucune pile protocolaire standard pour les réseaux de capteurs, en comparant la pile protocolaire dans l'architecture de réseau de capteurs pour être semblable aux sept couches d'OSI (Open Systems Interconnect) d'architecture de réseau conventionnelle. La pile protocolaire utilisée par le nœud puits ainsi que tous les autres capteurs du réseau est illustrée par la figure ci-dessus (Figure1-10) reprise depuis [25].

Cette pile prend en charge le problème de consommation d'énergie, intègre le traitement des données transmises dans les protocoles de routage, et facilite le travail coopératif entre les capteurs. Elle est composée de cinq couches : la couche physique, la couche de liaison de données, la couche réseau, la couche transport et la couche application.

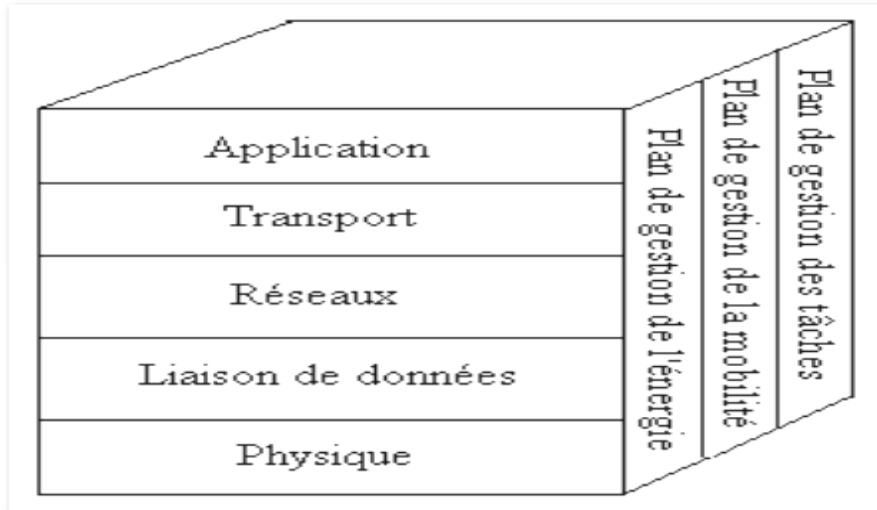


FIGURE 1.10 – La pile protocolaire utilisée dans les réseaux de capteurs.

1. **La couche physique** : doit assurer des techniques d'émission, de réception et de modulation de données d'une manière robuste.
2. **La couche de liaison de données** : comme l'environnement des réseaux de capteurs est bruyant et les nœuds peuvent être mobiles, la couche de liaison de données doit garantir une faible consommation d'énergie et un taux de collision 8 minimum entre les données diffusées par les nœuds voisins.
3. **La couche réseau** : s'occupe du routage des données fournies par la couche transport.
4. **La couche transport** : quant à elle, sert à maintenir le flux de données en cas de nécessité dans les applications utilisées, particulièrement lors d'une connexion avec Internet.
5. **La couche application** : suivant la fonctionnalité des capteurs, différentes applications peuvent être utilisées et bâties sur cette couche.

En plus de ces cinq couches, la pile protocolaire dans les réseaux de capteurs comporte trois niveaux : le niveau de gestion d'énergie, le niveau de gestion de mobilité et le niveau de gestion de tâches. Ces niveaux sont responsables du contrôle de l'énergie consommée, des mouvements des nœuds et de la distribution des tâches à travers toute la pile protocolaire, ils permettent aux capteurs de coordonner leurs tâches et minimiser la consommation d'énergie [38][25].

1.5.2.1 Le niveau de gestion d'énergie :

Les fonctions intégrées à ce niveau consistent à gérer l'énergie consommée par les capteurs. Dès lors, un capteur peut par exemple éteindre son interface de réception dès qu'il reçoit un message d'un nœud voisin afin d'éviter la réception des messages dupliqués. De plus, quand un

nœud possède un niveau d'énergie faible, il peut diffuser un message aux autres capteurs pour ne pas participer aux tâches de routage, et conserver l'énergie restante aux fonctionnalités de capture [38].

1.5.2.2 Le niveau de gestion de mobilité

Ce niveau détecte et enregistre tous les mouvements des nœuds capteurs, de manière à leur permettre de garder continuellement une route vers l'utilisateur final, et maintenir une image récente sur les nœuds voisins. Cette image est nécessaire pour pouvoir équilibrer l'exécution des tâches et la consommation d'énergie [38].

1.5.2.3 Le niveau de gestion des tâches

Lors d'une opération de capture dans une région donnée, les nœuds composant le réseau ne doivent pas obligatoirement travailler avec le même rythme. Cela dépend essentiellement de la nature du capteur, son niveau d'énergie et la région dans laquelle il a été déployé. Pour cela, le niveau de gestion des tâches assure l'équilibrage et la distribution des tâches sur les différents nœuds du réseau afin d'assurer un travail coopératif et efficace en matière de consommation d'énergie, et par conséquent, prolonger la durée de vie du réseau [38].

1.5.3 Les types de communications

En général, dans les réseaux de capteurs deux types de nœuds sont identifiés logiquement : les nœuds qui principalement transmettent leurs propres données capturées (nœuds capteurs), et les nœuds qui transmettent les messages aux autres nœuds (nœuds de relais ou stations de bases). Les données capturées sont acheminées depuis les nœuds sources jusqu'aux nœuds destinataires à travers les nœuds intermédiaires, créant ainsi une topologie multi sauts. Cette organisation logique implique quatre types de communications :

- **La communication nœud capteur à un nœud capteur** : Ce type de communication directe est employé pour des opérations locales, par exemple pendant le processus de clusterisation(c'est l'organisation du réseau en groupe)[39].
- **La communication nœud capteur à un nœud intermédiaire** : Les données capturées sont transmises d'un nœud capteur à un nœud intermédiaire. Ce type de communication est souvent unicast.
- **La communication nœud intermédiaire à un nœud capteur** : Les requêtes et la signalisation des messages, sont souvent multicast, elles sont diffusées par les nœuds intermédiaires, pour atteindre un sous-ensemble de nœuds.

- **La communication nœud intermédiaire à un nœud intermédiaire** : La communication entre ces nœuds peut être dans la plupart du temps unicast[40].

Dnas les quatre types de communication, l'énergie est une ressource critique qui fait de la consommation une métrique primaire à considérer. De nombreuses techniques d'optimisation, parfois en opposition les unes aux autres, sont étudiées pour minimiser les dépenses énergétiques et augmenter la durée de vie du réseau.

1.6 Objectifs des réseaux de capteurs

Les recherches dans le domaine des réseaux de capteurs ont soulevés plusieurs problématiques. Parmi lesquelles, nous citons :

1.6.1 Qualité de service

Des protocoles au niveau de la couche MAC devraient être capables d'établir des priorités entre les flux, limiter les pertes de paquets vitaux pour la gestion du réseau.

1.6.2 Diffusion de l'information

Les protocoles de diffusion, conçus pour les réseaux de capteurs, doivent tenir compte de leurs spécificités ainsi que de leurs contraintes intrinsèques imposées. Ainsi, pour concevoir un protocole efficace, il faudrait assurer une couverture maximale des capteurs composant le réseau, minimiser le nombre des rémissions et des réceptions redondantes ainsi que la consommation d'énergie.

1.6.3 Sécurité

Pour les applications qui exigent un niveau de sécurité assez élevé telles que les applications militaires, des mécanismes d'authentification, de confidentialité, et d'intégrité doivent être mis en place au sein de leur communauté. Les algorithmes de cryptographie conçus pour les réseaux de capteurs doivent tenir compte des ressources limitées que présentent ces réseaux.

1.6.4 Couverture

La couverture est un paramètre important dans les réseaux capteurs sans fils dans la mesure où elle affecte le résultat de la tâche de perception effectuée par un réseau, En exploitant la redondance des capteurs issue de la forte densité du réseau, en utilisant l'ordonnancement

d'activité afin d'avoir une surveillance totale d'une zone d'intérêt, nous pouvons réduire la consommation d'énergie, et donc étendre, la durée de vie du réseau.

1.6.5 Routage

Dans ses grandes lignes, la problématique du routage dans les réseaux sans fil ressemble à celle du routage dans les réseaux traditionnels. Il s'agit d'aiguiller les paquets vers leur destination. Pour connaître la topologie du réseau, les nœuds échangent des paquets comportant de l'information topologique. En effet, Le problème de routage consiste à déterminer un acheminement optimal des paquets à travers le réseau au sens d'un certain critère de performance.

1.7 Contraintes et facteurs conceptuelles des réseaux de capteurs

Les principaux facteurs et contraintes influençant l'architecture des réseaux de capteurs peuvent être résumés comme suit :

- **L'environnement** : Les capteurs sont souvent déployés en masse dans des endroits tels que des champs de bataille au-delà des lignes ennemies, à l'intérieur de grandes machines, au fond d'un océan, dans des champs biologiquement ou chimiquement souillés, etc. Par conséquent, ils doivent pouvoir fonctionner sans surveillance dans des régions géographiques éloignées[41].
- **Les ressources limitées** : Généralement les nœuds capteurs ont une taille très petite. La miniature des capteurs limite la quantité de ressources qu'il peut contenir. D'où des capacités de traitement et de mémoire très limitées[31].
- **La scalabilité** : Le nombre de nœuds déployés pour un projet peut atteindre le million. Un nombre aussi important de nœuds engendre beaucoup de transmissions inter nodales et nécessite que le puit " sink " soit équipé de beaucoup de mémoire pour stocker les informations reçues[41].
- **La tolérance aux fautes** : Certains nœuds peuvent générer des erreurs ou ne plus fonctionner à cause d'un manque d'énergie, un problème physique ou une interférence. Ces problèmes ne doivent pas affecter le fonctionnement de tout le réseau de capteur, c'est le principe de la tolérance aux fautes. La tolérance aux fautes est la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau sans interruptions dues à une erreur intervenue sur un ou plusieurs capteurs [31].

- **Les coûts de production** : Souvent, les réseaux de capteurs sont composés d'un très grand nombre de nœuds. Le prix d'un nœud est critique afin de pouvoir concurrencer un réseau de surveillance traditionnel. [31].
- **Les médias de transmission** : Dans un réseau de capteurs, les nœuds sont reliés par une architecture sans fil, Ces liens peuvent être formés par radio, infrarouge ou des média optiques. Cependant, il faut s'assurer de la disponibilité du moyen de transmission choisi dans l'environnement de capture et de permettre au réseau d'accomplir la totalité de ses tâches. Le choix des liaisons radio est par rapport à l'utilisation de la bande ISM (Industrial, Scientific and Medical) qui offre une licence gratuite (License-free) dans la plupart des pays[31]
- **Agrégation de données** : Dans les RCSF, les données produites par les nœuds capteurs voisins sont très corrélées spatialement et temporellement. Ceci peut engendrer la réception par la station de base d'informations redondantes. Réduire la quantité d'informations redondantes transmises par les capteurs permet de réduire la consommation d'énergie dans le réseau et ainsi d'améliorer sa durée de vie. L'une des techniques utilisée pour réduire la transmission d'informations redondantes est l'agrégation des données. Avec cette technique, les nœuds intermédiaires agrègent l'information reçue de plusieurs sources. Cette technique est connue aussi sous le nom de fusion de données.
- **Puissance de transmission**
 - *Les ressources limitées* : Généralement les noeuds capteurs ont une taille très petite. Le facteur de forme limite la quantité de ressources qui peut être mise dans ces nœuds. D'où leurs capacités de traitement et de mémoire sont très limitées[25].
 - *La bande passante limitée* : Etant donné le fait que la puissance de chaque capteur est limitée, les nœuds ne peuvent supporter des débits élevés [25].
- **La gestion de l'énergie** : Comme les nœuds capteurs sont des composants micro-électroniques, ils ne peuvent être équipés que par des sources limitées d'énergie. De plus, dans certaines applications, ces nœuds ne peuvent pas être dotés de mécanismes de rechargement d'énergie, par conséquent, la durée de vie d'un nœud capteur dépend fortement de la durée de vie de la batterie associée. Sachant que les réseaux de capteurs sont basés sur la communication multi-sauts, chaque nœud joue à la fois un rôle d'initiateur de données et de routeur également. Le dysfonctionnement d'un certain nombre de nœuds entraîne un changement significatif sur la topologie globale du réseau, et peut nécessiter un routage de paquets différent et une réorganisation totale du réseau. C'est pour cela que le facteur de consommation d'énergie est d'une importance primordiale dans les réseaux de

capteurs. La majorité des travaux de recherche menés actuellement se concentrent sur ce problème afin de concevoir des algorithmes et protocoles spécifiques à ce genre de réseau qui consomment le minimum d'énergie.

Dans les réseaux de capteurs, l'efficacité en consommation d'énergie représente une métrique de performance significative, qui influence directement sur la durée de vie du réseau en entier. Pour cela, les concepteurs peuvent, au moment du développement des protocoles, négliger les autres métriques de performances telles que la durée de transmission et le débit, au profit du facteur de consommation d'énergie [32]. En effet, l'énergie totale consommée par un nœud capteur a pour origine trois fonctions principales : la capture, les traitements et la communication.

1. *Energie de capture* : Cette tâche est effectuée par le composant de capture qui traduit les phénomènes physiques en signal électrique et il peut être digital ou analogique. Il existe plusieurs types de composant qui mesurent les paramètres de l'environnement comme la température, le son, l'image, la pression, etc. Les sources de consommation d'énergie dans ces composants peuvent être : l'échantillonnage des signaux, la conversion des signaux physiques en signaux électriques, le traitement des signaux et la conversion analogique numérique. La consommation d'énergie par ces composants est dépendante de leurs tâches, les capteurs de température ou de tremblement de terre sont moins consommateurs d'énergie par rapport à ceux d'imagerie ou de vidéo [33].
2. *énergie de traitements* : Cette tâche inclut le contrôle des composants de capture et l'exécution des protocoles de communication et des algorithmes de traitement de signaux sur les données collectées. Elle est effectuée par les microprocesseurs. Le choix de ces derniers est en fonction du scénario de l'application, et il fait en général un compromis entre le niveau de performance et la consommation d'énergie [33].
3. *énergie de communication* : L'énergie de communication représente la plus grande proportion de l'énergie totale consommée au niveau d'un nœud [34]. Cette communication est assurée dans la plus part des RCSFs par le support de transmission radio. La consommation d'énergie de ce dernier est affectée par plusieurs facteurs : le type du système de modulation, quantité des données à communiquer, la puissance de transmission (déterminée par la distance de transmission), etc.[34][35].
En général, les radios peuvent fonctionner dans quatre modes d'opération différents : transmission, réception, actif et sommeil. Tel que la radio consomme beaucoup plus d'énergie dans les modes transmission et réception. Cependant, le mode actif est

également coûteux en énergie. Dans la plupart des cas, la consommation d'énergie est relativement élevée dans le mode actif, puisque ce dernier nécessite que le module radio soit mis sous tension et décode continuellement les signaux radios pour détecter l'arrivée des paquets.

1.8 Conclusion :

Les progrès connus récemment dans le domaine des technologies sans fils, ont permis l'apparition des réseaux de capteurs. Les propriétés de ce type de réseaux en terme de flexibilité, coût réduit, et facilité de déploiement offrent de nombreuses possibilités de développement dans divers domaines. Par ailleurs, l'un des problèmes majeurs des réseaux de capteurs est la localisation des nœuds de capteur dans une zone. Ce chapitre a été axé sur la présentation des concepts fondamentaux de ce type de réseaux .

Plusieurs solutions à ce problème ont été proposées dans la littérature, elles sont basées essentiellement sur l'ordonnancement d'activer où seule une partie des capteurs est actif à un instant donné. Le chapitre suivant décrira le concept de la localisation dans les réseaux de capteurs sans fils.

CHAPITRE 2

LA LOCALISATION DANS LES RÉSEAUX DE CAPTEURS SANS FILS

2.1 Introduction :

Le développement récent en systèmes micro-électro-mécaniques(MEMS), et des technologies de calcul et de communication ont provoqué une émergence des réseaux de capteurs sans fil, qui peuvent être constitués[3] de centaines de milliers de nœuds. Chaque nœud est capable d'écouter l'environnement, d'exécuter des calculs simples et de communiquer avec ses capteurs voisins.

Une manière pour déployer les réseaux de capteurs est de disperser les nœuds dans une région d'intérêt. Cela rend la topologie de réseau dynamique. Ces réseaux sont très utilisés pour effectuer plusieurs tâches. [1]

Dans la plupart des cas, les batteries des nœuds de capteurs ne peuvent être remplacées ou rechargées. Pour cela, il faut penser à réduire l'énergie consommée lors de la capture, du traitement et de la transmission de données. Devant la diversité des problèmes qui se posent dans les RCSFS, le challenge de l'efficacité énergétique est toujours abordé dans divers travaux de recherche en vue d'optimiser la consommation d'énergie et de maximiser la durée de vie du réseau.

La majorité des applications utilisant les réseaux de capteurs sans fil, s'appuient sur le déploiement aléatoire d'un grand nombre de micro capteurs, cela nécessite une localisation fine, c'est-à-dire de calculer leurs positions dans un système de coordonnées fixe. De ce fait, les algorithmes de localisation deviennent plus qu'indispensable, non seulement, au fonctionnement du réseau, mais également, à l'exploitation des données récoltées.

2.1.1 Positionnement du problème de localisation

Prenons un exemple où nous avons déployé un réseau de capteur comprenant N capteurs ayant chacun un emplacement S , avec $S = \{S_1, S_2, S_3, \dots, S_n\}$, soit S_x^i, S_y^i, S_z^i , les coordonnées x, y, z respectivement.

Dans le cas où $S_z^i = 0$, c'est le système cartésien de 2D. La détermination de ces emplacements constitue le problème de localisation. Certains nœuds de capteurs connaissent leurs propres positions, ces nœuds sont appelés **ancres**. Tous les autres nœuds se localisent à l'aide des références de localisation reçues à partir de ces ancres. Donc, mathématiquement le problème de localisation peut être formulé comme suit :

Etant donné un réseau multi-saut, représenté par un graphe $G=(V,E)$, et un ensemble de nœuds balise B , dont leurs positions $\{X_b, Y_b\}$ pour tous les $b \in B$, nous voulons trouver $\{X_u, Y_u\}$ pour tous les nœuds inconnues $u \in U$ [2].

2.1.2 Importance des systèmes de localisation

Les positions des capteurs peuvent être prédéterminées et préconfigurées. Mais, en général, les capteurs ont un déploiement aléatoire, car ils sont utilisés sur des terrains inaccessibles, embarqués sur des engins mobiles où sur le lieu d'un désastre ou leur nombre (très grand) ne permet pas de préconfigurer la position.

Pour cela, un système de localisation est nécessaire afin de fournir aux nœuds leurs positions [2].

1. **L'identification des données collectées** : Cela consiste à projeter les données/événements sur la position de collecte/occurrence. L'un des objectifs majeurs des RCSF est de surveiller une zone d'intérêt. Cependant, après que les données soient collectées, il est important d'identifier la région d'où viennent ces données.
2. **L'agrégation des données collectées** : Cela permet aux nœuds intermédiaires de corrélérer et de fusionner les données qui proviennent de la même région quand ces données sont transmises via le réseau.
3. **L'adressage des nœuds** : Cela permet d'utiliser la position des nœuds comme identifiant unique dans le réseau.
4. **L'administration du réseau** : Cela permet d'administrer et d'interroger les nœuds localisés dans une région, évaluer la couverture des nœuds, et de générer une carte d'énergie disponible dans chaque nœud.
5. **Les algorithmes géographiques** : Ce sont des algorithmes qui utilisent l'information de localisation des nœuds pour optimiser l'utilisation des ressources du RCSF. Parmi ces

algorithmes : le routage, le contrôle de la topologie, le contrôle de la densité des nœuds et le suivi d'objets mobiles (object tracking).

2.1.3 Contraintes pour un système de localisation

Un système de localisation doit respecter un ensemble de contraintes imposées par les spécificités des RCSF dû à leurs limitations (ressources matérielles : puissance du processeur, mémoire, énergie) et applications. Parmi ces contraintes :[2]

1. **Auto-organisation** : Les RCSF sont utilisés dans des applications diverses. Dans plusieurs applications (si ce n'est pas la majorité des cas) le RCSF est indépendant de toute infrastructure ce qui implique que l'algorithme de localisation doit être distribué. Dans le reste des cas, l'algorithme de localisation peut être centralisé.
2. **Evolutivité (extensibilité, échelle)** : L'algorithme de localisation peut être appliqué aussi bien à un RCSF dense qu'à un RCSF avec un nombre réduit de nœuds. La plupart des algorithmes de localisation sont sensibles à la densité des nœuds, s'il n'y a pas assez de nœuds l'algorithme donne des résultats imprécis.
3. **Robustesse** : L'algorithme de localisation doit être tolérant aux problèmes de communication ainsi qu'aux imprécisions des distances et des positions dues notamment aux faits suivants :
 - Les liens de communications entre deux nœuds sont asymétriques. En effet, la communication entre deux nœuds peut passer dans un sens, sans pour autant passer dans l'autre sens.
 - Les ondes radio ne se propagent pas de la même façon dans tous les milieux. Elles se propagent différemment sur l'herbe (gazon), sable ou sur l'asphalte (réflexion et absorption).
 - Les obstacles (environnants) et les irrégularités du terrain : Les obstacles peuvent cacher les nœuds ce qui donne de mauvaises mesures et par conséquent une mauvaise localisation.
 - Topologie non convexe Les coordonnées des nœuds qui se trouvent dans les extrémités d'un RCSF sont souvent moins précises à cause du manque de mesure de distances. En effet, il n'y a pas assez de nœuds dans le voisinage et de plus tous les nœuds accessibles sont dans le même côté . Exemple : Si les capteurs sont distribués sur un champ rectangulaire, les capteurs qui se trouvent près des quatre coins (angles) du rectangle seront mal localisés.

4. **Efficacité dans l'utilisation des ressources du RCSF** : Même si le système de localisation est indispensable pour le bon fonctionnement du RCSF, il n'est pas le but principal du réseau. Il doit utiliser les ressources du capteur d'une manière efficace pour ne pas les épuiser. Les concepteurs des algorithmes de localisation doivent minimiser les coûts en termes d'énergie, matériel et déploiement de leurs algorithmes de localisation.

2.1.4 Composition d'un système de localisation :

Un système de localisation peut être décomposé en trois parties distinctes. Chaque partie a son propre objectif et méthodes de résolution. Elles seront étudiées séparément. Ces trois parties (soussystèmes) sont :[2]

1. **L'estimation de distance/angle** : Cette partie permet d'estimer la distance et/ou l'angle entre deux nœuds. Cette information est utilisée par la suite par les deux autres parties (estimation locale).
2. **Le calcul de la position** : Cette partie permet d'estimer la position d'un nœud en se basant sur les mesures de distances et/ou d'angles disponibles et sur les positions des nœuds de références (ancres) en utilisant la triangulation par exemple.
3. **Algorithme de localisation** : C'est la partie la plus importante du système de localisation. Elle définit la manière avec laquelle les informations disponibles (distances, angles, positions des nœuds déjà localisés) sont manipulées afin que la grande partie ou la totalité des nœuds puissent estimer leurs positions.

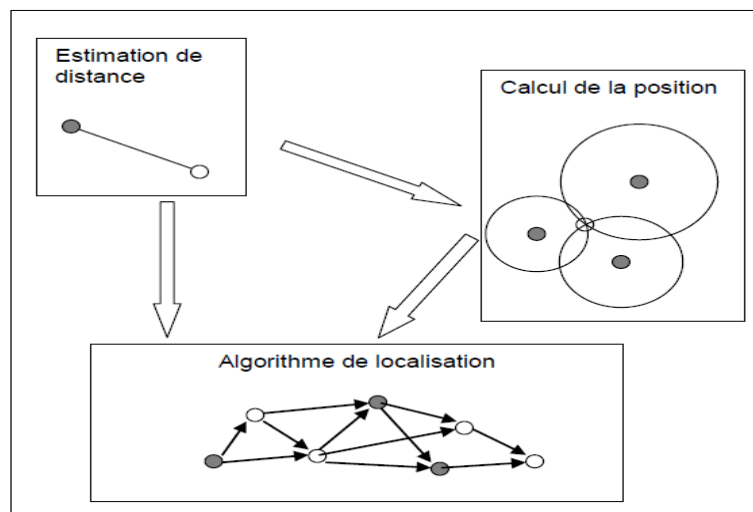


FIGURE 2.1 – Composition d'un système de localisation.

Les performances du système de localisation sont directement liées aux performances de chaque partie. La Figure (2.1) illustre la décomposition du système de localisation en sous systèmes. Les nœuds représentés par des cercles gris sont des ancres, les autres nœuds (en blanc) sont des nœuds qui ne sont pas encore localisés.

2.2 Les mécanismes de calcul de la position

Les mécanismes existants pour la détermination des positions se composent fondamentalement de deux phases principales :

2.2.1 Estimation des distances

D'une manière générale, il y a deux façons d'obtenir l'estimation de distance :[3]

1. La méthode Range-Based.
2. La méthode Range-Free.

2.2.1.1 les méthode Range-Based

les méthode Range-Based exploitent la distance ou l'information d'angle entre les nœuds voisins, puis utilisent l'information pour localiser les nœuds [19]. Il y a beaucoup de manières d'estimer la distance entre des nœuds, certains d'entre elles sont expliqué ci-dessous :[3]

- Indicateur de puissance du signal reçu (RSSI).
- Le temp d'arrivée (TOA).
- La différence du temps d'arrivée (TDoA).
- L'angle d'arrivée (AOA).

A) Indicateur de puissance du signal reçu - RSSI :

La technique de localisation basée sur le RSSI utilise la puissance du signal reçu pour estimer la distance entre un nœud émetteur et un nœud récepteur. La distance est estimée en utilisant un modèle de propagation des ondes radio. Plusieurs modèles existent, le plus simple [4] utilise la formule suivante :

$$P_R(\text{dBm}) = A - 10 \times \log_{10} \times r \quad (2-1)$$

P_R : est la puissance de réception du signal sans fil.

A : est la puissance de signal de réception lorsque le signal transmette un mètre.

r : la distance entre les nœuds émetteurs et les nœuds récepteurs.

En général, chaque modèle est conçu pour un environnement et un scénario bien défini. RSSI est une solution relativement peu coûteuse sans aucun périphérique supplémentaire, sachant que tous les nœuds capteurs sont susceptibles d'avoir l'équipement radio. Cependant, en terme de performance, cette solution n'est pas aussi bonne que d'autres techniques. Cela est dû aux trajets multiples des signaux radio. Dans [5], les auteurs caractérisent les limites d'une série de solutions de localisation en intérieur en utilisant la puissance du signal issue des routeurs de la norme 802.11. Ils suggèrent également que l'ajout de matériel supplémentaire ou la modification de modèle de propagation est la seule alternative pour améliorer les performances de localisation.

B) Le temps d'arrivée - TOA

La technique TOA (Time of Arrival) exploite la relation entre la distance parcourue par un signal et le temps de parcours. En effet, la distance entre l'émetteur et le récepteur est la multiplication du temps pris par le signal avec la vitesse des ondes radio.

$$\text{Distance} = \text{Temp} \times \text{Vitesse}$$

La vitesse de propagation du signal radio est $\cong 3 \times 10^8 \text{m/s}$.

La technique TOA nécessite la synchronisation parfaite entre l'émetteur et le récepteur [2]. Si le récepteur connaît l'heure d'émission du signal, il peut alors calculer la distance le séparant de l'émetteur en déterminant le temps pris par le signal pour arriver au niveau du récepteur.

Selon le type du signal utilisé, la méthode TOA nécessite, en général, des horloges à très grande résolution du temps pour obtenir des précisions acceptables.

Pour les ondes radio, la résolution du temps doit être très élevée. Cependant, pour les ondes sonores, les besoins en résolution du temps sont modestes, mais leur inconvénient est que leur vitesse de propagation dépend des conditions extérieures comme la température et l'humidité. Un étalonnage rigoureux est donc nécessaire [6], Pin-Point's Local Positioning System (LPS)[7], les radars civils et militaires ou la proposition GPS-free [8] utilisent cette approche.

C) La différence du temps d'arrivée - TDOA

La méthode TDOA (Time Difference of Arrival) a deux variantes :

-La différence du temps pris par un signal envoyé par un nœud pour arriver au niveau de trois nœuds ou plus. Cette variante est bien connue dans les réseaux cellulaires comme les récepteurs de GPS pour calculer leur position sur terre. Elle nécessite une synchronisation parfaite des stations de base[2].

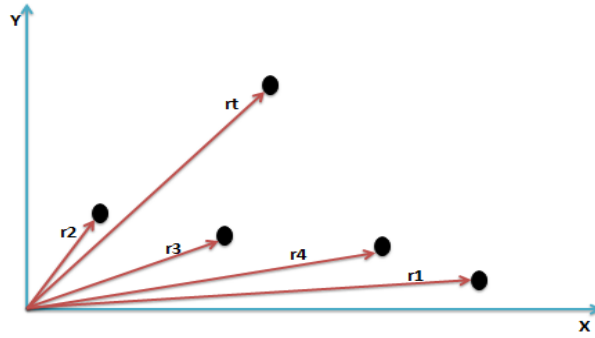


FIGURE 2.2 – Estimation de distance en utilisant TDOA dans les réseaux cellulaires.

La figure (2.2) montre un scénario de localisation TDOA avec un groupe de quatre récepteurs à des emplacements r_1, r_2, r_3, r_4 et un émetteur à r_t .

Le TDOA entre une paire de récepteurs i et j est donnée par :

$$\Delta t_{ij} \equiv t_i - t_j = \frac{1}{c} (\|r_i - r_t\| - \|r_j - r_t\|), \quad i \neq j \quad (2-2)$$

où t_i et t_j sont les temps où un signal est reçu au niveau des récepteurs i et j respectivement, c est la vitesse de propagation du signal, et $\|\cdot\|$ désigne la norme euclidienne.[9]

-La différence de temps pris par deux signaux envoyés par un même nœud pour arriver au niveau d'un autre nœud. chaque nœud est muni d'un haut-parleur et un microphone. Certains systèmes utilisent les ultrasons tandis que d'autres utilisent une fréquence audible.[10] Capteur A envoie un signal radio suivi d'un signal son. En déterminant la

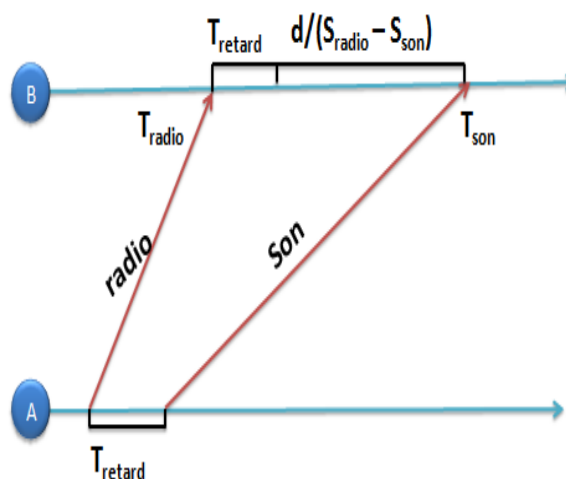


FIGURE 2.3 – Principe du TDoA pris par deux signaux.

différence de temps entre l'arrivée des deux signaux, capteur B peut estimer sa distance à partir de A.

Cependant, la technique mathématique est généralement indépendante du matériel. Dans TDOA, l'émetteur envoie d'abord un message radio. Il attend encore un intervalle de temps fixe T_{retard} (qui peut être égal à zéro), puis produit un son fixe sur son haut-parleur.

Lorsque les nœuds écoutent le signal radio, ils notent l'heure actuelle T_{radio} , puis le font tourner sur leurs microphones. Lorsque leurs microphones détectent le son, ils notent à nouveau l'heure actuelle T_{son} . Une fois qu'ils ont T_{radio} , T_{son} et T_{retard} les récepteurs peuvent calculer la distance d entre eux et l'émetteur. on suppose le fait que les ondes radio se déplacent beaucoup plus rapidement que le son dans l'air. Le TDOA est donnée par [6] :

$$d = (S_{\text{radio}} - S_{\text{son}}) * (T_{\text{radio}} - T_{\text{son}} - T_{\text{retard}}).$$

où :

S_{radio} est la vitesse du signal radio,

S_{son} est la vitesse de propagation du signal son.

D) **Direction-Angle d'Arrivée - AOA**

Une autre méthode de positionnement consiste à déterminer l'angle d'arrivée (AOA) de tous les signaux reçus de chaque nœud du voisinage[11]. Cette technique, appelée VOR (VHF Omni-directional Range) est largement répandue pour la navigation aérienne et permet aux avions de déterminer leur direction. L'AOA est également employée dans tous les systèmes de radar et GSM ainsi que les GPS [12].

La technologie AOA calcule l'angle formé entre deux capteurs. Chaque capteur est doté d'antennes orientées de sorte à déduire l'angle qu'il forme avec un voisin lorsque ce dernier lui envoie un signal. Cet angle est reporté par rapport à un axe propre au capteur.

Toutefois, un capteur peut équipé d'une boussole est dans ce cas, l'angle sera reporté sur un des axes nord, sud ou ouest.[7]. La Figure (2.4) illustre le principe du AOA :

E) **Commentaires sur les méthodes Range-Based**

Le choix des méthodes "Range-Based" qui mesure la distance entre les nœuds est un facteur important qui influe sur les performances finales du système de localisation.

Généralement, pour calculer une position, un nœud a besoin de trois distances estimées et chacune d'elle avec une erreur associée. Si seulement la précision est importante, la méthode TDOA est la plus précise. Mais d'autres facteurs comme la taille et le coût (en termes de matériel supplémentaire, ressources processeur, énergie) du nœud sont à prendre en considération. Pour cela, la méthode choisie pour estimer les distances dépend des besoins de l'application ainsi que des ressources disponibles [13].

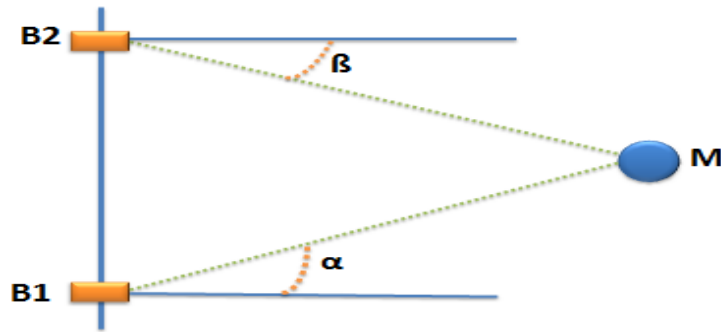


FIGURE 2.4 – La méthode AOA.

Le Tableau 2-1 liste les caractéristiques essentielles des méthodes décrites dans les paragraphes précédents.

2.2.1.2 Les méthodes "Range-Free" :

Dans les méthodes Range-Free, un réseau de capteurs est composé de deux types de nœuds : les nœuds d'ancrage et les nœuds normales. Nœuds d'ancrage sont supposés être conscients de leur propre emplacement par un service de localisation, comme le GPS. Cette information de localisation est noyé dans l'ensemble du réseau. Un nœud normal maintient le nombre de sauts à chaque nœud d'ancrage.[18]

Pour convertir le nombre de sauts dans les distances physiques, il existe un certain nombre d'algorithmes sont proposées pour calculer la distance moyenne d'un sauts. le plus connus est : DV-hop [15][16][17].

2.2.2 Combinaison de distance

2.2.2.1 Trilatération

Cette méthode nécessite la connaissance de la distance entre le capteur inconnue et chaque nœud d'ancrage.

Soient trois nœuds d'ancrages B_1, B_2 et B_3 , M est le nœud que nous voulons localiser. Les positions (x_i, y_i) des balises ainsi que les distances D_i sont connus. La relation entre M , B_1 et B_2 peut être écrit comme :

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \quad (2-3)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \quad (2-4)$$

M est donc situé à l'intersection des cercles $C_1(B_1, d_1)$ et $C_2(B_2, d_2)$. Un troisième cercle généré en utilisant les informations de B_3 nous permet de choisir la position correcte entre les deux solutions du cas général de deux cercles entrecroisés, Figure(2-5)[14].

Méthode	Précision	Distance Maximale	Matériel supplémentaire	Défis (challenges)
RSSI	2-4 m	La portée	Rien	Variations du RSSI, Interférences
TOA	2-3 cm	La portée	Rien	Synchronisation des nœuds
TDOA	2-3 cm	Quelques mètres (2-10 m)	Capteur à ultrason	La distance maximale
AoA	Quelques degrés (5°)	La portée	Un ensemble de récepteurs	Travailler avec des nœuds de petite taille

TABLE 2.1 – Comparaison des méthodes Range-Based

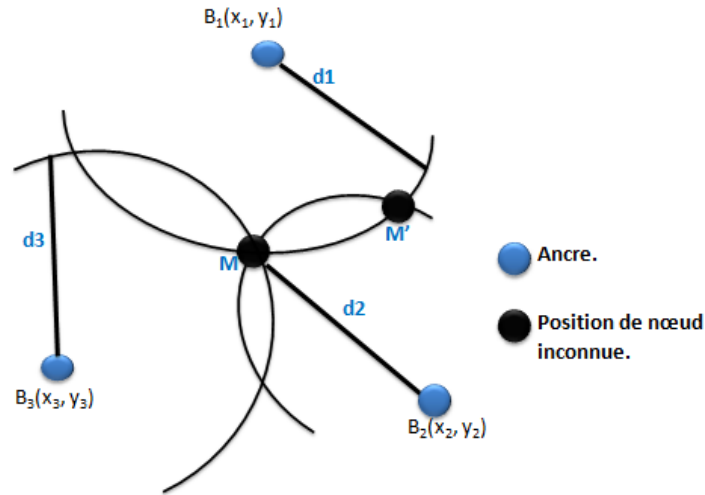


FIGURE 2.5 – Trilatération.

2.2.2.2 Triangulation

Afin d'appliquer cette méthode, le nœud capteur inconnue doit être conscient de la distance entre les deux ancrés et les angles α et β comme indiqué sur la Figure (2-6). La loi des rendements sinus :

$$a = \frac{d \times \sin \alpha}{\sin(\pi - \alpha - \beta)} \quad (2-5)$$

$$b = \frac{d \times \sin \beta}{\sin(\pi - \alpha - \beta)} \quad (2-6)$$

Une fois que les caractéristiques du triangle sont connues, les coordonnées du troisième sommet peuvent être calculés. Comme indiqué en décrivant trilateration, troisième ancre ou une hypothèse supplémentaire permettra l'identification de la solution correcte [14].

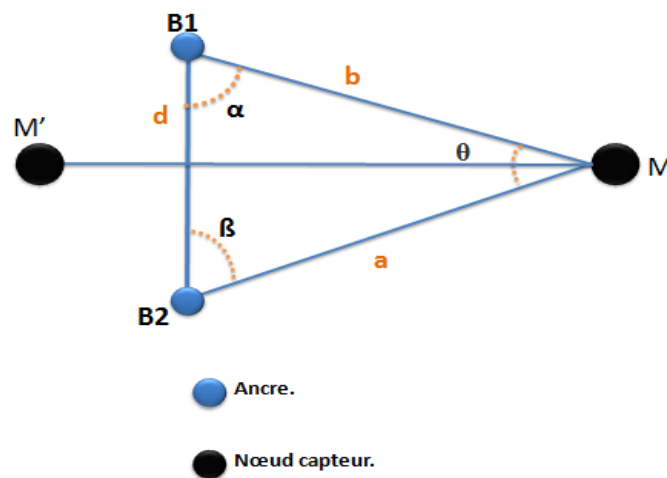


FIGURE 2.6 – Triangulation.

Le point M se retrouve à l'intersection des droites passant par les couples (B_1, M) et (B_2, M) figure(2.6). En définissant un nouveau repère dont l'origine est B_1 où (B_1, B_2) se confond avec l'axe des ordonnées, le rapprochement des équations des droites conduit à l'expression (2-5) et (2-6) de la position de M.

2.2.2.3 Multilatération

Multilatération nécessite des informations en temps plutôt que la distance. La différence de temps d'arrivée d'un signal (TDOA) est utilisée pour déterminer la position.

La figure (2-7) présente le cas avec le capteur étant en mesure d'atteindre quatre ancrs qui sont synchronisés. Le nœud capteur diffuse une frame. Chaque ancre recevoir les trame de l'heure locale de réception, et calcule ensuite la différence entre ce marqueur de temps et celui fourni par un ancre de référence réglée.[14] (X_i, y_i) :les coordonnées des ancrs.

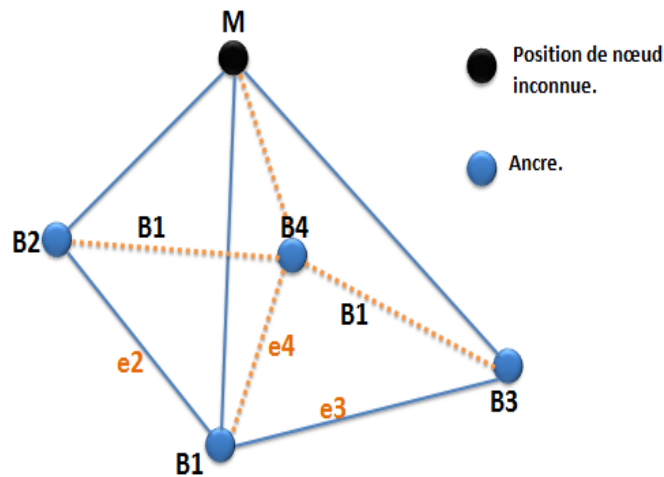


FIGURE 2.7 – Multilateration.

e_i :la distance de la référence choisie pour le nœud B_i :Pour le cas représenté à la figure (2-7), B_1 est la balise de référence.

2.2.2.4 Bilan et synthèse sur les techniques de combinaison de la distance

Un ensemble de méthodes qui peuvent être utilisées pour le calcul de la distance a été exposé. Il est à noter que cette présentation n'est pas exhaustive. Le choix de la méthode de calcul de la position influe sur les performances finales du système de localisation.

Il n'y a pas de solution générale et idéale qui fonctionne pour tous les scénarios. Le choix de la méthode dépend des informations collectées et des ressources du processeur. Le Tableau 2-2

compare les principales caractéristiques des méthodes de calcul de la distance présentées dans les paragraphes précédents.[13]

2.3 Systèmes de localisation

Dans ce paragraphe, nous allons présenter quelques systèmes de localisation tels que : le GPS, Cricket, Radar.

2.3.1 GPS

Le GPS est un système radio de positionnement par satellites, dédié plus particulièrement pour les applications en outdoor. Le GPS a été installé à l'origine par l'armée américaine en 1973 pour ses besoins propres et a été déclaré opérationnel depuis 1994.[20]

GPS «Global Positioning System» est une technologie largement utilisée dans le monde entier. Le GPS fonctionne avec l'aide de 25 satellites partout dans le monde. La principale application de GPS est de localiser une zone particulière dans le monde entier. Il est également utilisé pour trouver le plus court chemin entre deux endroits.

Avec l'utilisation de ce système de GPS, nous pouvons trouver (par exemple une voiture) les détails du système, de son emplacement actuel, la façon dont elle est précédée, la région peut atteindre tout en allant de cette façon particulière, la distance entre les points de repère les plus proches etc.[21]

Méthode	Nombre	Distance	Angle	Complexité	Défis
	référence			temporelle	
Trilatération	3	oui	Non	$O(1)$	Sensible aux imprécisions des distances
Multilatération	$n \geq 3$	Oui	Non	$O(1)^3$	Complexité du calcul
Tringulation	3	Non	Oui	$O(1)$	Besoin de matériel supplémentaire

TABLE 2.2 – Comparaison des méthodes de combinaison de la distance [2]



FIGURE 2.8 – Shéma système GPS.

2.3.2 Cricket

Le système Cricket a été développé dans le cadre du projet Oxygen du MIT.[22] La figure (2-8) montre un exemple de système Cricket. Ce système utilise deux technologies différentes. Les principaux composants matériels de cricket sont ultrasons et la fréquence radio (RF) des émetteurs-récepteurs. Lors de la mesure de distance, l'émetteur envoie d'abord un signal ultra-

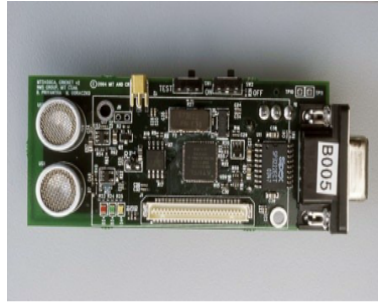


FIGURE 2.9 – Carte Cricket de deuxième version.

sonore et un signal de radiofréquence en même temps, et ensuite le récepteur détecte l'arrivée des deux signaux et calcule la différence de temps de leur arrivée. Sur la base de la TDOA, la distance peut être calculée.

Supposons la vitesse du signal ultrasonore et le signal RF est v_1 et v_2 respectivement, et la distance entre l'émetteur et le récepteur est d . De toute évidence, $v_1 < v_2$ satisfait, Lorsque ces deux signaux sont envoyés simultanément, la différence de temps d'arrivée Δt être calculée par (2-6).[23]

$$\frac{d}{v_1} - \frac{d}{v_2} = \Delta t \quad (2-6)$$

Cricket détecte l'arrivée des deux signaux et calcule Δt , Puis la distance peut être obtenue que (2-7).[23]

$$d = \frac{\Delta t}{\left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right)} \quad (2-7)$$

2.3.3 Radar

Un groupe de recherche de Microsoft a développé le système RADAR. Un système de localisation à l'intérieur d'un bâtiment basé sur l'utilisation des technologies de réseaux sans fil 802.11[24].

RADAR mesure au niveau de la station de base, la puissance du signal ainsi que le rapport signal/bruit des signaux que le dispositif sans fil envoie, et utilise par la suite cette information pour calculer la position 2D à l'intérieur du bâtiment. Microsoft a développé deux variante(version) du système RADAR, l'une basée sur l'analyse de scène (signal strength fingerprinting) et l'autre basée sur la latération.

L'approche suivie par RADAR a deux avantages :

- Seulement un nombre réduit de stations de base est nécessaire,
- Utilisation de la même infrastructure (réseau local sans fil) existante dans les bâtiments.

Le système RADAR souffre de deux inconvénients :

- L'objet suivi doit supporter un réseau sans fil, ce qui n'est pas réalisable pour des capteurs de petite taille ou qui ont des contraintes énergétiques très fortes.
- La généralisation (extensibilité) de la solution RADAR au bâtiment à plusieurs étages ou au 3D représente un problème non-trivial.

Le système RADAR qui utilise la méthode d'analyse de scène localise les objets avec une précision de 3m avec 50 base de données de la carte de la puissance du signal en cas d'un grand changement de l'environnement comme le rajout/enlèvement d'armoires en métal ou plusieurs personnes se réunissent dans des pièces ou les couloirs du bâtiment[13].

2.4 Conclusion

La localisation est utilisé dans divers applications , leurs champs d'application ne cessent de s'élargir.

Dans ce chapitre, la notion de la localisation a été introduite d'une manière didactique. nous avons rappelé quelques méthodes l'estimation de distance :le TOA, la TDOA, l'AOA, et le RSSI. Ensuite, nous avons présenté les méthodes de combinaison de distance :il s'agit de la trilatération, de la triangulation et de la méthode multilatération.

De même, quelques systèmes de localisation utilisés ont été brièvement présentés.

CHAPITRE 3

ETAT DE L'ART SUR LES ALGORITHMES DE LOCALISATIONS DANS LES RCSFS

3.1 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 RCSFs.

3.2 Les algorithmes de localisation dans les réseaux de capteurs

L'algorithme de localisation est le composant principal d'un système de localisation. Cette composante détermine comment l'information des distances et des positions sera manipulé afin que la grande partie, ou la totalité des nœuds du RCSFs estiment leurs positions[2].

3.2.1 Les catégories des algorithmes de localisation

- **Distribuée ou centralisée** Les positions des nœuds peut être calculé d'une manière distribuée par chaque nœud de réseau, ou d'une manière centralisée par un seul nœud central.

- **Avec ou sans infrastructure** : S'il n'y a pas besoin d'infrastructure ou s'il est nécessaire de repenser l'infrastructure précédente, afin de permettre le fonctionnement de l'algorithme de localisation.
- **Positionnement relatif ou absolu** : Les positions calculées peuvent être liées à coordonnées globales (par exemple, latitude, longitude) ou liées à un noeud ou un point du réseau .
- **Scénarios intérieure ou extérieure** : Si le système est plus approprié aux applications à l'intérieur(indoor) ou plutôt à l'extérieur(outdoor).
- **A un saut ou multi-saut** : Si tous les noeuds inconnus ont une communication directe avec les noeuds de balise(ancres) ou si une communication multi-sauts est nécessaire .

3.2.2 Les paramètres de performance d'un algorithme de localisation

Plusieurs paramètres peuvent être utilisés pour évaluer les performances d'un algorithme de localisation :[2]

- **L'erreur moyenne et consistance** : Cette métrique mesure l'erreur moyenne de l'estimation de distance et montre également si cette erreur moyenne est répétée dans des scénarios similaires, mais différents (de consistance de la moyenne). Cette erreur moyenne limite l'utilisation de système de localisation pour les applications où ce niveau d'inexactitudes est acceptable.
- **le coût de communication** : Cela permet de déterminer la complexité de l'algorithme de localisation en termes de paquets échangés. Il détermine aussi le coût du système de localisation de noeud du réseau.
- **Nombre de noeuds localisés(fixés)** : Ceci définit le pourcentage de noeuds de réseau qui ont réussi à calculer leur position à la fin de l'algorithme de localisation. L'idéal est que tous les noeuds doivent être capables de calculer leur position, mais dans de nombreux cas, il n'est pas possible.
- **Nombre des noeuds de balise(les ancres)** : Définit le nombre des noeuds de balise nécessaires pour que l'algorithme de localisation marche. En général, les Noeuds de balises sont plus chers que les noeuds normales, et leur utilisation doit être réduite au minimum.

3.2.3 Les caractéristiques de la performance d'un système de localisation dans les RCSFS

Plusieurs caractéristiques affectent les performances d'un système de localisation. Pour chaque système de localisation, il est important de faire plusieurs expérimentations (obtenir des données statistiques) afin d'évaluer son comportement lorsque les paramètres suivant changent[2] :

- **Densité du réseau** : elle détermine le nombre de nœuds par unité de surface. Dans les réseaux à forte densité, les distances entre les nœuds sont courtes ce qui implique des erreurs lors de l'estimation des distances, et par conséquent sur les erreurs du système de localisation. De plus, le grand nombre de nœuds non-localisés ce que leur permet de mieux estimer leurs positions.
- **La taille du réseau** : l'augmentation du nombre de nœuds (et en gardant la même densité ce qui revient à élargir la surface du réseau), se traduit par un nombre plus élevé de sauts. En général, l'augmentation du nombre de sauts s'accompagne par l'augmentation de l'imprécision[6] due à l'accumulation des erreurs.
- **Nombre des nœuds de balise (les ancres)** : Lors du déploiement d'un plus grand nombre de nœuds de balise dans le réseau, l'erreur moyenne du système de localisation a tend à diminuer et le nombre de nœuds installés tend à augmenter.
- **Précision GPS** : plusieurs travaux utilisent le GPS pour localiser les nœuds de balise (les ancres). le système GPS n'est pas parfait et sa précision va influencer les performances du système de localisation.

Dans les sections suivantes, des algorithmes de localisation proposées seront étudiées et analyser. Ces algorithmes sont : les Algorithmes DV-hop, algorithme faible complexité et énergie efficace, Algorithme hybride CO-WVSS.

3.2.4 Algorithmes DV-hop :

3.2.4.1 DV-hop traditionnel

Dans l'algorithme DV-hop [15], chaque nœud d'ancrage calcule sa distance moyenne d'un saut et se propage vers les nœuds de capteurs.

$$\text{HopSize}_i = \frac{\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{j \neq i} h_{ij}} \quad (3-1)$$

	A	B	C
la distance moyenne d'un saut	$\frac{130+90}{5+3}$	$\frac{130+150}{5+5}$	$\frac{150+90}{5+3}$
la distance à partir d'un nœud d'ancre	$\frac{130+90}{5+3} \times 2$	$\frac{130+150}{5+5} \times 3$	$\frac{150+90}{5+3} \times 3$

TABLE 3.1 – Les distances moyenne et l'estimation de distance en utilisant la méthode DV-Hop

$(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ les coordonnées de nœud i et le nœud j respectivement.

h_{ij} le nombre minimum des sauts entre le nœud j et i.

$$d_{ij} = \text{hopSize} \times \text{HopCount}_{ij} \tag{3-2}$$

d_{ij} :la distance de nœud j vers le nœud i.

HopCount_{ij} :le nombre minimum des sauts de nœud j vers le nœud i.

Chaque nœud de capteur estime la distance entre les nœuds d'ancrages et lui-même en fonction

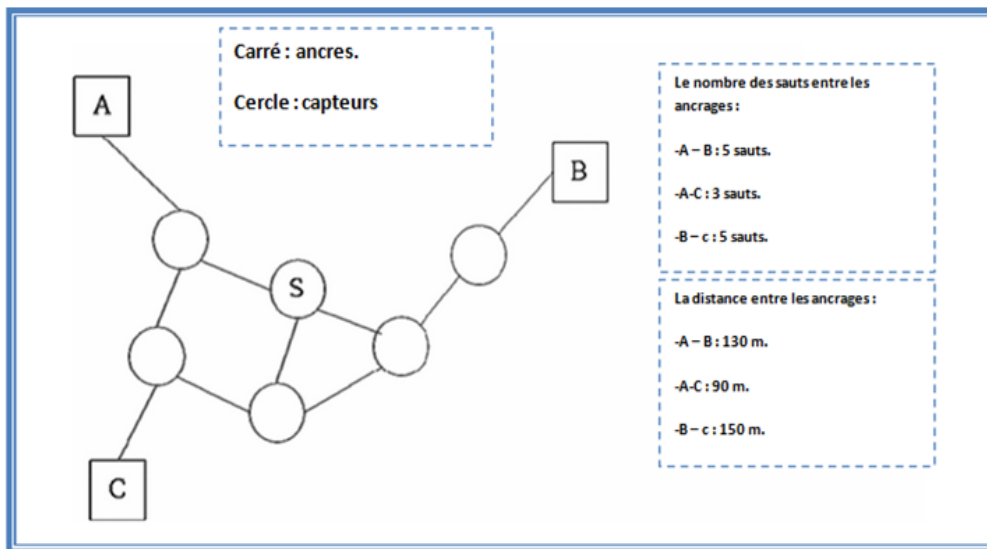


FIGURE 3.1 – Exemple d'algorithme DV-Hop.

de la distance moyen d'un saut et le nombre des sauts. Dans l'exemple de la figure(3-1), ils existes trois nœud d'ancrages(A,B,C) et un nœud capteur S pour estimé sa distance. A est le nœud d'ancrage le plus proche du nœud capteur S.

La distance moyenne d'un saut de A est utilisé pour l'estimation de la distance.

3.2.4.2 FDV-Hop

Un algorithme de localisation FDV-Hop [16] a été proposé pour déterminer les informations de position des nœuds inconnues. FDV-Hop utilise l'idée de pondération et de validation pour améliorer DV-Hop.

Description d'algorithme

FDV-Hop commence par la diffusion des messages de balise de tous les nœuds ancrés via leurs emplacements aux autres nœuds inconnues, les nœuds ancrés calculent la distance moyenne d'un saut.

$$s_i = \frac{\sum_{i \neq j}^n \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{i \neq j}^n h_{ij}} \quad (3-3)$$

(x_i, y_i) les coordonnées de nœud ancre i .

h_{ij} le nombre minimum des sauts entre le nœud i et j .

Lorsque le nombre d'ancrages dans le réseau est M , l'ancre calcule l'erreur de sa taille moyenne d'un saut par :

$$\varepsilon_i = \frac{\sum_{i \neq j}^M |d_{rij} - d_{eij}|}{M - 1} / h_{ij} \quad (3-4)$$

la distance réelle entre l'ancre i et j est représentée par d_{rij} , calculé par :

$$d_{rij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3-5)$$

La distance de mesure entre l'ancre i et j , qui est représenté par d_{eij} est calculé par :

$$d_{eij} = s_i \times h_{ij} \quad (3-6)$$

La valeur pondérée de chaque ancre est

$$w_i = \frac{\frac{1}{\varepsilon_i} \frac{1}{N_i}}{\sum_{j=1}^M \left(\frac{1}{\varepsilon_j} + \frac{1}{N_j} \right)} \quad (3-7)$$

N_i désigne le nombre de sauts entre le nœud inconnue et l'ancre i .

Puis le nœud utilise La valeur pondérée et la taille moyenne d'un saut des d'ancre pour calculer sa propre distance moyenne d'un saut.

$$s = \sum_{i=1}^M w_i s_i \quad (3-8)$$

Un nœud inconnue a sélectionné les trois nœuds d'ancrages (L_1, L_2, L_3) les plus proches pour calculer les distances(d_1, d_2, d_3), (x,y) les coordonnées nœud inconnue et (x_i, y_i) nœud d'ancre ,la formule de la méthode de triangulation sur la base de validation est :

$$\left\{ \begin{array}{l} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 = (s \times h_1)^2 \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 = (s \times h_2)^2 \\ (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 = (s \times h_3)^2 \\ \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \leq R \dots \dots \dots h_i = l, i = 1, 2, 3 \\ (h_i - 1)R \leq \sqrt{(x - x)^2 + (y - y)^2} \leq h_i \times R \dots \dots \dots h_i \neq 1, i = 1, 2, 3 \end{array} \right. \quad (3-9)$$

R est le rayon moyen de communication de réseau et h_i représente le nombre de sauts de l'ancre i au nœud inconnue.

Dans cet algorithme, basé sur la méthode de triangulation , la coordonnée du nœud inconnue est calculée dans un premier temps. Ensuite, la coordonnée obtenue est validé par les deux dernières formules de validation.

Si le nombre de sauts est inférieur à 1, alors la distance réelle de deux nœuds doit être inférieur au rayon de la communication. Alors que si le nombre de sauts est supérieur à 1, alors la distance réelle de deux nœuds doit être comprise entre le nombre de sauts et le rayon de la communication. Selon l'algorithme ci-dessus, Si les résultats ne peuvent pas satisfaire les résultats de la validation, ce que nous devons faire est de répéter les étapes ci-dessus jusqu'à ce que les coordonnées des nœud ancre soit calculer.

3.2.4.3 DV-Hop amélioré

La plupart des algorithmes améliorés DV-Hop se concentrent sur la précision des algorithmes mais sans améliorer la consommation d'énergie, dans l'article [17] ils ont proposé une nouvelle amélioration de la méthode DV-Hop qui augmente le nombre des nœuds d'ancrages par la mise en niveau des nœuds positionnés pour qu'ils être des nœuds nouveau-né ,ces nœuds permet de crée un système d'ancrage économique pour accélérer la localisation des nœuds inconnus et réduire l'ensemble des tours localisation, ainsi favorise l'économie d'énergie.

Description d'algorithme

Dans cette algorithme une centaine de nœud sont déployés de manière aléatoire dans une région, les ancrs nécessaires pour localiser les nœuds inconnus d'un réseau reçoit l'information à partir SB (station de base), L'algorithme commence par la diffusion de tous les nœuds ancrs via leurs emplacements aux autres nœuds .

Quand le nœud inconnu reçoit l'information, il calcule la distance moyenne d'un saut qui est basé sur deux facteur :

- La distance moyenne d'un saut de nœud d'ancrage ,

- La distance moyenne pondérée d'un saut de l'ancre,

$$S = \sum_{i=1}^N W_i * S_i \quad (3-3)$$

S_i :c'est la distance moyen d'un saut de nœud d'ancrage, W_i :la distance moyenne pondérée d'un saut de l'ancre i est donnée par :

$$W_i = \frac{(h_i + G_i)^{-1}}{\sum_{j=1}^N (h_j + G_j)^{-1}} \quad (3-4)$$

N :le nombre des nœuds, G_i :la génération de l'ancre i,

h_i : le nombre de sauts entre nœud inconnue et l'ancre i,

Après la distance moyenne d'un saut, le nœud inconnue peut calculé sa distance a l'aide de la trilatération ou multilatération.

les règles de localisation de l'algorithme :

Afin de réduire les frais généraux de communication et d'éviter l'utilisation de l'information redondante, les règles de localisation de l'algorithme sont les suivantes :

1. Dans le premier tour de la localisation, si les nœuds inconnues reçoivent la stern(paquets de données) des ancrs qui pourraient être combinés de manière efficace, puis ces nœuds se localiser et la mise à niveau pour être des ancrs nouveau-nés, et ils diffuse ensuite les paquets de données reçus, y compris l'emplacement et la generation d'informations.
2. dans le deuxième tour, quand les nœuds inconnues reçoivent la sterne d'ancre qui ne sont pas combinaisons d'environnement colinéaires, se localisant selon la méthode suivante :
 - Si les nœuds inconnus reçoivent la sterne seulement constitué de deux ancrs de départ et un point d'ancrage du nouveau-né,ils se localiser directement.
 - Si les nœuds inconnus reçoivent plusieurs ancrs, ils choisissant quatre ancrs avec moins de sauts a partir des nœuds d'ancrages et moins générations, pui ils se localiser. Les nouveaux noeuds situés sont mis à niveau que de nouvelles ancrs et propagent l'information lorsque la génération est inférieur au seuil ($G_t hreshold$).
 - Si les nœuds ne concordent pas avec les conditions ci-dessus, ils attendent pour recevoir de nouvelles informations provenant d'autres ancrs.

3. La localisation subséquente est la même que le deuxième tour. Le processus de localisation est considéré comme fin jusqu'à ce que le tour de certains nœuds positionnement inconnu vient aux limites : \max_{tour}

3.2.5 GGDI

Dans [42] les auteurs décrivent un algorithme de localisation à économie d'énergie et faible complexité. ils ont utilisé un nœud d'ancrage mobile dispose d'un récepteur GPS pour définir ses coordonnées de localisation en temps réel et à énergie suffisante pour diffuser des messages pendant processus de localisation et d'antenne à faisceau unique, il se déplace en ligne droite dans la zone du capteur et chaque nœud capteur est équipé d'un antenne omnidirectionnel. Le nœud mobile n'a pas d'énergie limité, et chaque nœud capteur fixe à une énergie limitée.

Description d'algorithme

Les nœuds de capteurs sont déployer aléatoirement dans la zone de capteur, et chaque capteur reçoit un maximum RSSI sur plus grands ligne de direction de gain d'intersection(GGDI).chaque nœud de capteur trouve deux grand lignes dans la zone de couverture d'un nœud mobile d'ancrage (figure 3-2).le point commun des deux lignes c'est l'emplacement de nœud capteur. En GGDI nous utilisons les points de balise pour obtenir l'emplacement. - N_1 c'est la position de

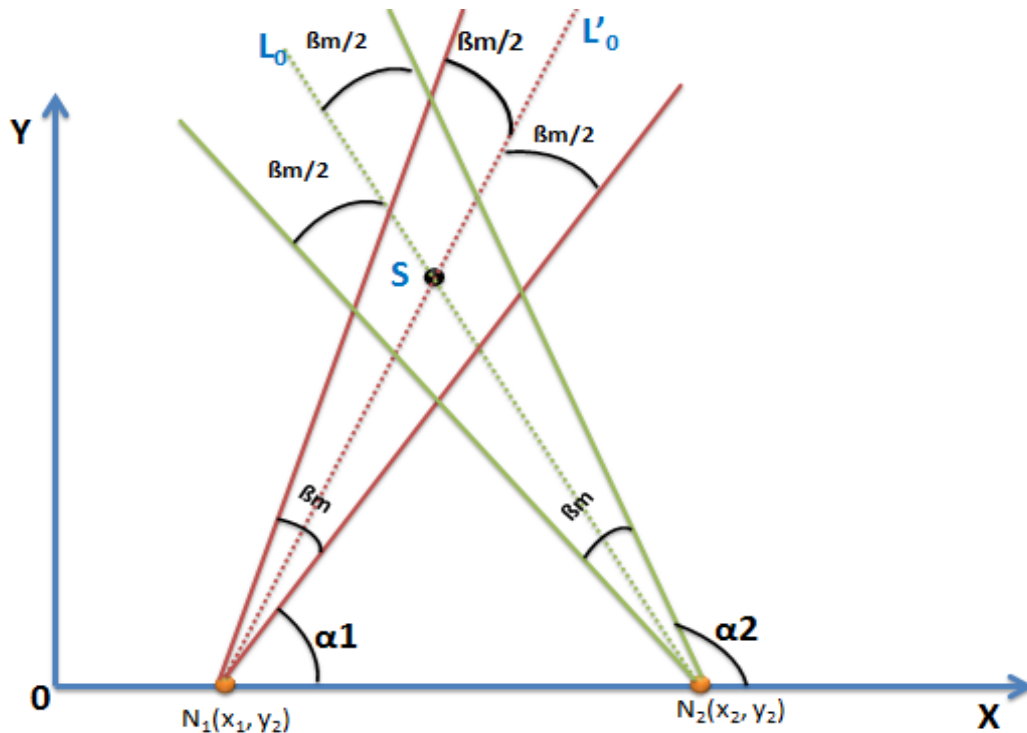


FIGURE 3.2 – Localisation d'un nœud inconnu avec la méthode GGDI .

nœud de capteur pour recevoir un paquet avec un maximum RSSI à partir de nœud d'ancrage

mobile pour la première fois.

- N_2 c'est la position de nœud capteur pour recevoir un paquet avec un maximum RSSI pour la deuxième fois.

Chaque nœud de capteur maintient une liste de visite qui contient des valeurs RSSI visité et des informations sur les paquets. La liste d'emplacement comprend points de balise N_1, N_2 et $\alpha, \alpha_2, \beta_m$ est déterminer sur la base de la liste des visiteurs.

Après que chaque nœud de capteur obtient deux points de balise, on peut calculer l'emplacement de nœud capteur :

N_1, N_2 sont des balises dont les coordonnées sont :

(x_1, y_1) et (x_2, y_2) respectivement.

- l'angle entre L_0 et l'axe x est : $\theta = \alpha_2 + \beta_m/2$.
- l'angle entre L'_0 et l'axe x est : $\varphi = \alpha_1 + \beta_m/2$.

Les coordonnées de chaque capteur peuvent être obtenues par les équations suivantes :

$$\begin{cases} L_0 : y - y_1 = k_1(x - x_1) \\ L'_0 : y - y_2 = k_2(x - x_2) \end{cases} \quad (3-12)$$

Le point d'intersection de deux lignes L_0, L'_0 est l'emplacement du capteur dont les coordonnées sont : $x = (a - b)/(k_2 - k_1)$; $y = (a \times k_2 - b \times k_1)/(k_2 - k_1)$ Avec :

$$a = y_1 - k_1 \times x_1,$$

$$b = y_2 - k_2 \times x_2,$$

$$k_1 = \tan(\theta) \text{ et } k_2 = \tan(\varphi)$$

3.2.6 CO-WVSS

Dans[4] , un algorithme hybride de localisation pour améliorer la précision en fonction de RSSI / AOA est proposé. Cependant, en raison du non linéaire de la fonction de coût basée sur RSSI, les chercheurs ont proposé une méthode numérique pour corriger et optimiser la valeur de poids à partir de la puissance du signal de similitude appelé CO-WVSS, cette méthode visent à deux processus de l'algorithme de localisation pour améliorer la précision et combinée avec algorithme de localisation triangle barycentre simple basé sur RSSI. Puis le rangement radial avec AOA.

L'idée fondamentale de triangle barycentre est : La relation entre trois nœuds de balises (A, B, C) qui sont le centre d'un cercle et un nœud inconnu(M) est un triangle tel que D, F, G est les sommets[43], le nœud inconnu M est le centroïde de triangle, comme cela est représenté sur

figure(3-3).

les coordonnées des trois nœuds de balises est $A(x_a, y_a), B(x_b, y_b), C(x_c, y_c)$

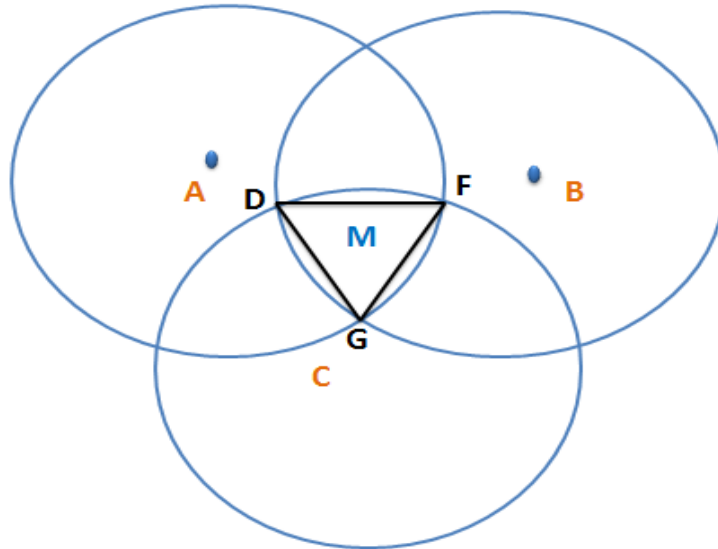


FIGURE 3.3 – algorithme de localisation Triangel Centroid .

r_a, r_b, r_c ont la distance avec le nœud inconnu respectivement. Les coordonnées de point D peut obtenue par l'équation (3-13).

$$\begin{cases} (x_e - x_a)^2 - (y_e - y_a)^2 \leq r^2 \\ (x_e - x_b)^2 - (y_e - y_b)^2 \leq r_b \\ (x_e - x_c)^2 - (y_e - y_c)^2 \leq r_c \end{cases} \quad (3-13)$$

De même, les coordonnées des points F et G peuvent être trouvés.

Ensuite, est supposé que les coordonnées du nœud inconnu est $M(x_m, y_m)$, les coordonnées du nœud inconnu M peut être obtenue par l'algorithme de centroïde [44]. La coordonnée M est représentée dans l'équation (3-14) .

$$\begin{cases} x_m = \frac{x_e + x_f + x_g}{3} \\ y_m = \frac{y_e + y_f + y_g}{3} \end{cases} \quad (3-14)$$

Description d'algorithme

Algorithme de localisation hybride CO-WVSS se compose de trois phases principales :

1. *Première phase* : Recenser l'erreur de mesure de RSSI par la contrainte géométrique de distance, puis le nœud inconnu par algorithme de localisation triangle centroïde. La coordonnée du nœud M est montrée dans l'équation (3-14).

2. *Deuxième phase* : Estimer l'angle et le chemin par AOA, placer M avec αWv (3-15) (la valeur de poids) sur le chemin radial au maximum RSSI de la mesure de trois nœuds d'ancrage comparativement, AOA est montré dans l'équation (3-16).

$$\alpha Wv = \lg(P_2/P_1)/\lg(d_1/d_2) \quad (3-15)$$

Avec P1 et P2 sont des puissances moyenne des deux nœuds, et par exemple $\lg P1 = \text{RSSI} / 10$

$$\sin \theta / \cos \theta = (x_f - x_m)/(y_f - y_m) \quad (3-16)$$

3. *Troisième phase* : le point F est obtenue par l'algorithme de centre de gravité de triangle (triangle centroide) dans un environnement idéal, θ est l'ange radiale, MF est le chemin radiale, comme le montre la figure (3.4).

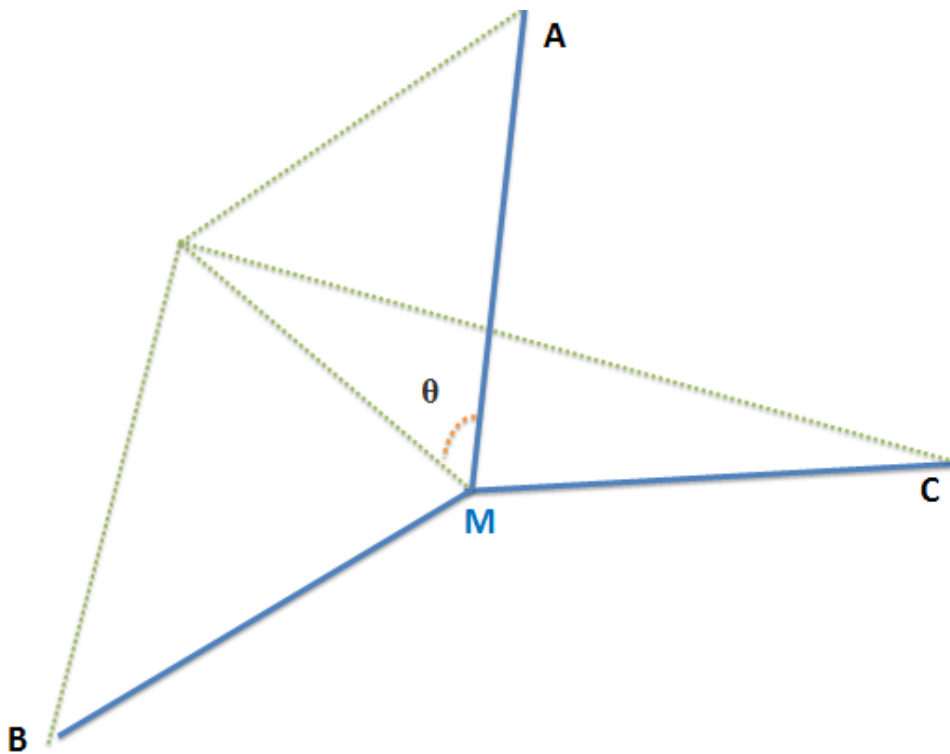


FIGURE 3.4 – Corriger et optimiser la localisation .

3.3 Comparaisons des algorithmes de localisation

L'algorithme de localisation est le composant principal d'un système de localisation. ce composant définit la façon dont l'information disponible est fournie par les nœuds d'ancrages, par les méthodes d'estimations de distances, et par les combinaisons de distance seront manipulés[2]. le tableau suivant décrit une comparaison entre les algorithmes présentés dans ce chapitre .

Algorithme	Nombres des ancrs	calcul de la position	infrastructure	Scéna- rios	multi-sauts
FDV-Hop	≥ 3	Distribué	Non	Outdoors	Oui
DV-Hop améliorée	≥ 3	Distribué	Non	Outdoors	Oui
GGDI	1 mobile	Distribué	Oui	Outdoors	Non
CO-WVSS	3	Distribué	Non	Outdoors	Non

TABLE 3.2 – Comparaison les algorithmes de la localisation.

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un état de l'art sur les algorithmes de localisation dans les réseaux de capteurs sans fils. L'étude et l'analyse de ces principaux algorithmes et approches de localisation nous a permis de proposer notre propre algorithme de localisation dont l'objectif principal est le prolongement du temps du vie du réseau ainsi que la gestion efficace de la consommation énergétique. Les performance de notre algorithme de localisation proposé vont être présentés dans le chapitre qui suit.

CHAPITRE 4

LA PROPOSITION

4.1 Introduction

Le but de notre travail de mémoire est de proposer une solution pour localiser les capteurs de réseaux dans une zone d'intérêt. Dans ce chapitre nous proposons un algorithme de localisation à l'aide d'un capteur rotatif qu'est la station de base dispose d'une antenne multi-directionnelles et d'une capacité de puissance. La station de base dispose d'un système de balayage dans le réseau de capteurs en utilisant une antenne multi-directionnelle de puissance pour contrôler et déduire l'angle qu'il forme avec le capteur a balayé.

4.2 Motivations et énoncé du problème

Cette étude porte sur certains problèmes rencontrés aujourd'hui par les chercheurs dans le domaine des réseaux de capteurs sans fils, plus précisément, elle concerne la localisation des capteurs sans fils.

On dispose d'un capteur rotatif puissant qui émet un signal radio dans une zone qui contient plusieurs capteurs sans fils qui sont déployés de manière aléatoire.

Il y a cependant des contraintes quand au placement des capteurs : en effet, il existe des zones dans l'espace qu'on appellera des trous, qui pour des raisons concernant le milieu extérieur (par exemple zone montagneuse ou zone de perturbations électromagnétiques), ne peuvent pas être traversées par une onde du réseau, les capteurs doivent donc être placés hors des trous.

L'information doit être transmise depuis la station de base dit Émetteur jusqu'à un capteur ou plusieurs capteurs dit Récepteurs via un réseau sans fil. Le but ici est de trouver la position des récepteurs à l'aide de l'émetteur(SB).

Parmi les méthodes de positionnement qui existe, on a choisi la RSSI pour mesurer la distance des capteurs.

4.3 Algorithme proposé

Cette technique est basée sur l'utilisation d'un capteur rotatif équipé d'un transmetteur de puissance optimale et d'un système de balayage. C'est un départ important des techniques de localisation existantes, ce qui est beaucoup plus simple et plus pratique par rapport aux autres basés sur le GPS. Dans l'approche traditionnelle, l'emplacement des nœuds de détection sont déterminées en déployant des nœuds particuliers (les ancrs) leur informations de coordonnées obtenues à partir d'un GPS ou d'un autre procédé[45],[46].

4.3.1 Le schéma de l'algorithme proposé

Le nœud de capteur (SB) est équipé d'un transmetteur de signale puissant qu'est constitué d'un faisceau qui est le faisceau de la région de la localisation. Ce faisceau a une direction(α) et une puissance (P), avec largeur de faisceau(Δ). La station de base effectue un balayage dans chaque étape une numérisation est réalisée pour différentes directions de faisceau. Un aperçu de schéma de réseaux est présenté dans la figure (4.1). Chaque nœud est supposé être équipé

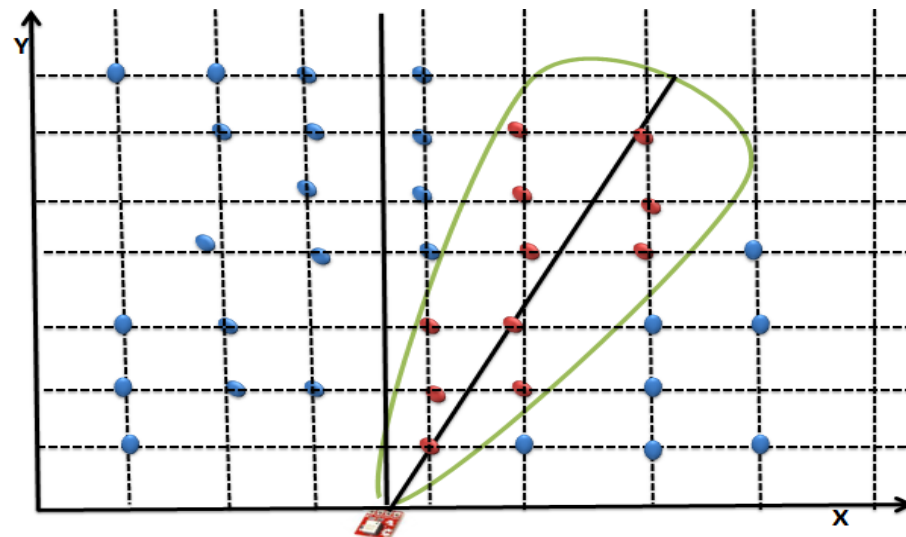


FIGURE 4.1 – L'architecture de l'algorithme proposé dans le RCSF

d'une unité d'émetteur-récepteur radio. La station de base dispose des coordonnées cartésiennes et des paramètres nécessaires (α)(la direction de faisceau) et (Δ)(la largeur de faisceau) pour la région d'intérêt.

4.3.2 Concept de base

Le concept de base de notre mécanisme de localisation est le suivant :

- La station de base est située dans un système de coordonnées cartésiennes, ce système détermine ses coordonnées(x,y).
- La station de base détermine son orientation(l'angle α) aux nœuds capteurs , ensuite va envoyer une puissance optimale (RSSI) aux nœuds capteurs, ce dernier utilise la méthode RSSI qui est proposée dans [47] pour déterminer la distance du nœud de capteur. Ce dernier va renvoyer un message d'acquittement, et elle peut ensuite déterminer la distance entre la station de base et le nœud capteur.
- Le nœud du capteur peut calculer sa position par les formules sinus et cosinus.

4.3.3 Détermination de la localisation

1. Mesure RSSI :

Après chaque processus de balayage, on peut estimer la distance dans la région de localisation de faisceau, Nous utilisons la méthode RSSI qui est proposé dans [47] pour déterminer la distance du nœud de capteur. Dans cette méthode, les nœuds mesurent la puissance du signal reçu(RSSI) en utilisant le propre émetteur-récepteur. La puissance reçue au nœud transmis par la station de base peut être calculé selon la formule suivante :

$$P_r(d) = \frac{P_t \times G_t \times G_r \times \gamma^2}{(4\pi)^2 \times d^2} \quad (1-4)$$

où :

P_r :la puissance du signale reçu.

P_t :la puissance du signal transmis.

G_r :Gain numérique de l'antenne du récepteur.

G_t :Gain numérique de l'antenne de l'émetteur.

γ :longeur de l'onde.

r :Distance entre deux nœuds.

Avec

$$F = \frac{C}{\gamma} \quad (1-5)$$

où :

C :Vitesse de propagation de l'onde dans le vide.

F :Fréquence porteuse du signal.

Connaissant la puissance du signale RSSI reçu on peut avoir la distance entre la station de base et le capteur récepteur :

$$d = d_r + X_i \quad (2-4)$$

d_r est la distance donnée par le mobile en espace libre.

X_i représente l'erreur par rapport à la vrai distance entre la station de base et le capteur récepteur.

2. Determinatation des coordonnées

Une station de base a des coordonnées $N_1(x_1, 0)$ est supposés tourner continuellement leurs antennes de degrés α par seconde pour la transmission de signal de la station dans des mêmes directions de faisceau en attribuant différents niveaux de puissance (RSSI) de chaque faisceau.

Aprés que la station de base obtient la distance entre le capteur récepteur, on peut calculer l'emplacement de nœud de capteur, comme est montré sur la figure(4-2), le point est $S(x_i, y_i)$, et l'angle entre l'axe X est α change a chaque balayage de la station.

Les coordonnées de S peuvent être obtenus par les équations suivantes :

Dans le cas : $x_i > x_1$

$$x_i = d \times \cos \alpha + x_1 \quad (2-4)$$

$$y_i = d \times \sin \alpha \quad (3-4)$$

Dans le cas : $x_i < x_1$

$$x_i = x_1 - d \times \cos \alpha \quad (4-4)$$

$$y_i = d \times \sin \alpha \quad (4-4)$$

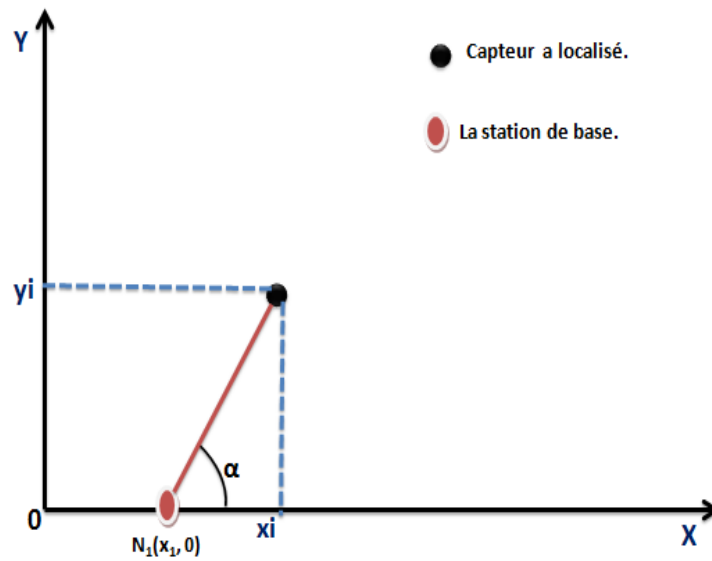


FIGURE 4.2 – Estimation de distance.

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé une méthode de localisation pour les problèmes d'estimation de distance des nœuds dans les réseaux de capteurs où un seul nœud rotatif doit être installé avec une antenne multi-directionnel. Cette technique ne nécessite aucun logiciel ou matériel supplémentaire dans les nœuds de capteurs contrairement à d'autres méthodes telles que le GPS ou les nœuds d'ancrages. Notre procédé est basé sur l'exécution de balayage du champ de détection. Dans le balayage la direction et la largeur du faisceau est changé, avec un niveau de RSSI. Ce dispositif de localisation peut être estimée pour de nombreuses applications, sans qu'il soit nécessaire d'un logiciel ou matériel supplémentaire dans les nœuds de détection.

CHAPITRE 5

SIMULATION ET EVALUATION DES PERFORMANCES

5.1 Introduction

Nous avons présenté la méthode proposée, il nous faut maintenant en choisir certaines et les implémenter pour les tester dans le cas de notre application.

Nous les adaptons au simulateur en tenant compte de nos contraintes, en particulier en utilisant des réseaux de capteurs bidimensionnels, qui pourront nous apporter plus de précision dans les résultats.

5.2 Description du démonstrateur conçu et utilisé pour les mesures

Il serait de travailler dans une zone de localisation extérieure avec la limitation de la zone de couverture, le placement de l'antenne multidirectionnel a été choisit de manière à ce que l'émetteur ou la station de base soit en vision direct avec plus de deux récepteurs à la fois.

La taille du champ de détection est $100 \times 100\text{m}^2$, et 100 nœuds de capteurs sont déployés de façon aléatoire dans la zone de capteur. La station de base est placée dans un endroit connu avec ces coordonnées cartésiennes et équipée d'une antenne multidirectionnel à faisceau unique. Il se balaye la zone du capteurs avec un angle connu a chaque balayage. Chaque nœud de capteur est équipé d'une antenne omnidirectionnelle. L'algorithme de localisation proposée est simulé à l'aide de Matlab. Il est également analysé en termes d'erreur de localisation, la consommation

d'énergie et la scalabilité .

On a donc un système de localisation qui fournit des positions en temps réel. La station de base a été intégré dans une boîte d'environ 15×30 cm alimentée par deux piles. Ce système permet de réaliser les mesures très rapidement.

5.2.1 Choix du langage de programmation

Afin de valider expérimentalement l'algorithme de localisation proposé, nous avons choisi d'utiliser MATLAB 7.9.0 (R2009B) qui est un logiciel de calcul numérique développé par la société The MathWorks. Il permet la manipulation des matrices, afficher des courbes et des données, mettre en œuvre des algorithmes et créer des interfaces utilisateurs. MATLAB contient également une interface graphique puissante afin de visualiser les résultats sous forme de graphes[48].

5.2.2 Variables descriptives du système

- **Coordonnées d'un capteur sur un plan 2D** : c'est l'affectation de deux valeurs aléatoires (x et y), comprises entre 0 et la taille de la zone du déploiement, à chaque capteur sur un plan à deux dimensions.
- **Distance entre deux capteurs** : c'est la distance euclidienne entre un capteur de coordonnées (x, y) et un autre de coordonnées (x', y') :

$$d = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2}$$

5.3 Les Résultats de la simulation

Afin de mesurer l'intérêt de la méthode que nous avons proposé, nous avons implémenté cette méthodes d'estimation de la distance dans Matlab. La couche MAC est considérée comme étant idéale, et le canal radio comme étant parfait : tout les message émis arrive correctement à la destination (pas de perte de paquets).

Nous avons généré un réseaux contenant 100 capteurs à l'extérieur. Le processus de balayage est effectué entre $[0^\circ, 180^\circ]$, et la largeur du faisceau transmis à la région d'intérêt est de 12° . Tous les nœuds de détection sont supposés stationnaires au cours de la simulation, on représente la position réelle du nœud de la station de base(sb) dans un système cartisien de 2D.

Pour chaque nœud $i \in V$, avec V l'ensemble des nœuds, on tire aléatoirement et en suivant une distribution uniforme :

- La position estimée (X_i, Y_i) de i dans le carré de taille 100×100 .
- La valeur de l'angle α_i .
- La position réelle $d_r(X_r, Y_r)$ où d_r est la distance physique qui sépare les nœuds (X_r, Y_r) et la station de bases $b(x_{sb}, 0)$, la distance euclidienne d_r est donnée par la formule suivante :

$$d_r = \sqrt{(x_r - x_{sb})^2 + (y_r)^2}$$
- L'erreur de positionnement ϵ_i compris entre -1 et 1 ;

Le tableau 4.1 résume les paramètres de simulation.

Les paramètres	Les valeurs
La taille du réseau	$100 \times 100m^2$
nombre de nœuds	100
La station de base	(50,0)
La largeur du faisceau	20°
L'angle de balayage	$[0^\circ, 180^\circ]$

TABLE 5.1 – Les paramètres de la simulation

La figure (5.1) montre le résultat de l'estimation de distance dans un intervalle de balayage compris entre 0° et 180° , cette figure représente les résultats pour 100 nombre de nœuds de capteurs qui tombent dans la région souhaitée.

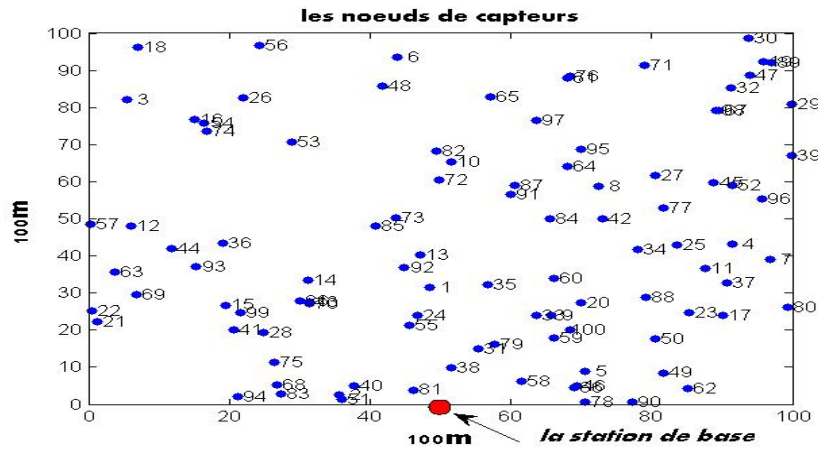


FIGURE 5.1 – La localisation exact des nœuds de capteurs qui se trouve aléatoirement.

5.3.1 Évaluation de la performance

5.3.1.1 Précision de localisation

Cette évaluation montre l’efficacité de la phase de calcul de distance entre la station de base et les nœuds.

Le but est de savoir la précision de localisation d’un nœud par rapport à sa position exacte. Cette formule représente la précision de localisation de l’algorithme lors d’estimation des distances entre les nœuds et la station de base. Nous supposons que nous connaissons également les vraies positions des nœuds. La précision d’un nœud N_i est calculée comme suivant :

$$\text{erreur}N_i = \sqrt{\frac{(x_i - x_r)^2 + (y_i - y_r)^2}{x_r + y_r}} \quad (5-2)$$

$$\text{Erreur totale} = \sum_{i=0}^N \frac{\text{erreur}N_i}{N} \quad (5-3)$$

Tel que :

X_r, Y_r : les positions réelles d’un nœud.

X_i, Y_i : les positions d’un nœud trouvées par notre proposition.

N : le nombre des nœuds ordinaires.

Erreur N_i : l’erreur d’un nœud.

Erreur totale : la Moyenne d’erreur de tous les nœuds de réseau.

nous avons répété 100 fois simulation tandis que les nœuds de capteurs sont réparties de façon aléatoire dans le champ du capteur sont de 100×100 de taille. La simulation donne ces scénarios pour différents intervalles de balayage et de largeurs de faisceau de l'antenne. la figure(5.2) présentent des distributions cumulatives d'erreurs d'estimation de la distance de chaque nœud dans la région désirée pour intervalle de balayage 0° jusqu'a 180° et 12° largeurs de faisceau, respectivement. Les résultats montrent que, les erreurs de localisation des nœuds de capteurs sont d'environ 3.5 m, cette erreur diffère d'un capteur a un autre .

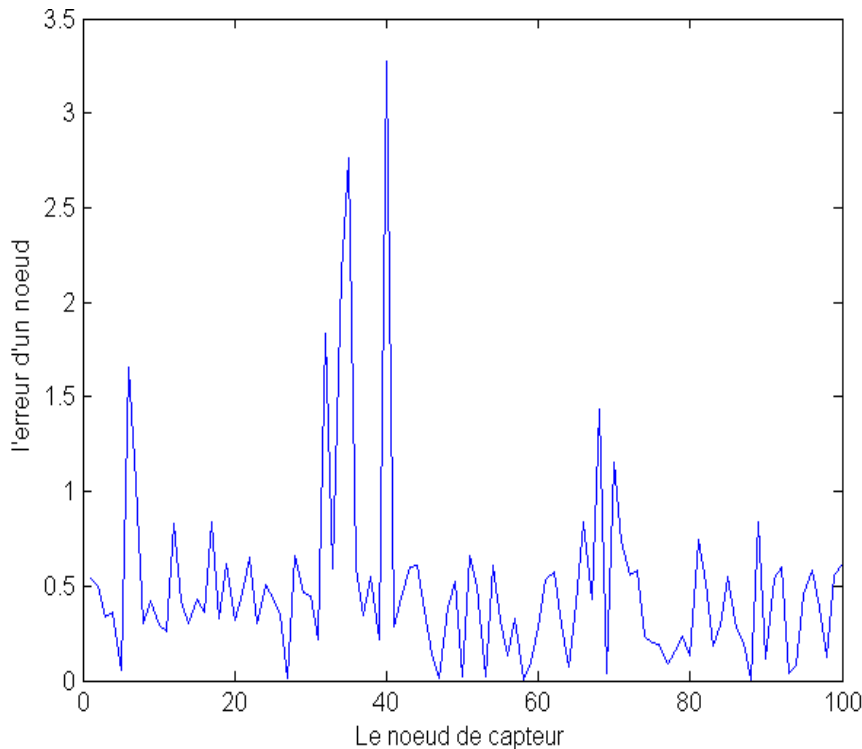


FIGURE 5.2 – estimation d'erreur de localisation en fonction d'un nœud de capteur .

5.3.2 Passage à l'échelle

Comme le calcul de la position se fait par les nœuds eux mêmes et en utilisant que des informations de la station de base, note proposition est robuste au passage à l'échelle. Pour confirmer cette « scalabilité », nous avons mené plusieurs séries de simulations tout en variant le nombre de nœuds et leur placement aléatoirement. Ce nombre a été varié entre 20 et 200 nœuds dans une surface de 100×100 . La figure (5.3) présente l'erreur moyenne de l'algorithme de localisation proposé . Nous constatons que la valeur moyenne de l'erreur reste constante pour les différentes topologies considérées. Notons aussi, que notre approche assure la localisation de tous les nœuds du réseau.

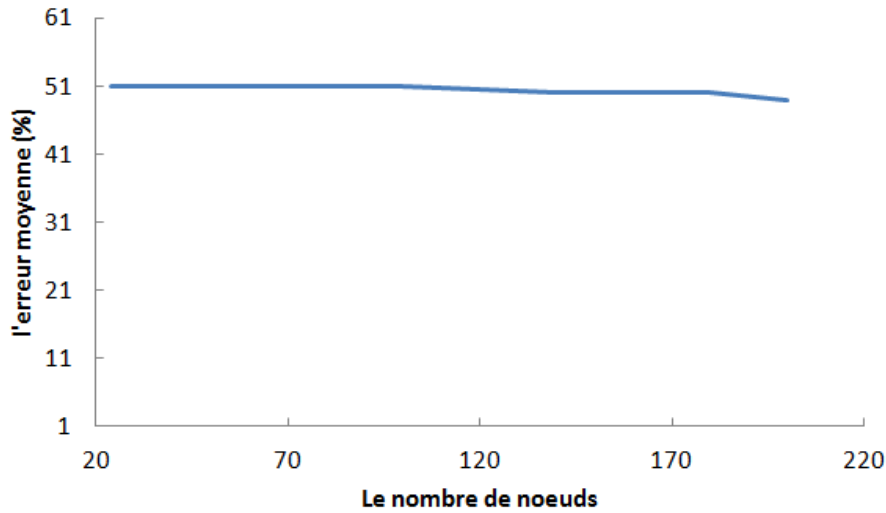


FIGURE 5.3 – le passage à l'échelle .

5.3.3 La consommation d'énergie

Avant de présenter le résultat de la simulation, nous faisons les hypothèses suivantes :

- La station de base est située loin du réseau de capteurs et fixée.
- Tous les nœuds sont homogènes et énergie limitée.
- La station de base n'est pas limitée en termes d'énergie, de la mémoire et de puissance de calcul.

Pour le modèle de la radio, on propose un modèle radio utilisé pour calculer l'énergie consommée en émission et en réception des messages, est celui proposé par Heinzelman et al[49].

L'énergie consommée lors de la transmission est donnée par :

$$E_e = E_{elec} \times pk + E_{amp} \times pk \times d^2 \quad (1-5)$$

Par contre l'énergie consommée à la réception, est donnée par :

$$E_r = E_{elec} \times pK \quad (2-5)$$

Où :

- E_{elec} : l'énergie électronique (énergie consommée par le transmetteur électronique), elle est fixée à 50 nJ/bit.
- E_{amp} : l'énergie nécessaire pour l'amplification (l'énergie consommée par l'amplificateur de l'émetteur), elle est fixée à 50 nJ/bit.
- P_k : la taille en bits d'un paquet de données.
- d : la distance en mètres entre l'émetteur et le récepteur d'un paquet de données.

Logiciel Matlab a été utilisé pour le travail de simulation. Nous avons mis en place de manière aléatoire 100 nœuds dans une zone de $100 \times 100m^2$, on génère un balayage pour 5° d'intervalle . Chaque nœud de capteur transmet un message de 32. Les approvisionnements énergétiques initiales à chaque nœud de capteur est de 0,5 Joule. Les réglages des paramètres utilisés pour la simulation sont indiqués dans le tableau (5.2).

La consommation d'énergie est importante due à la réception des paquets. La consommation

Les paramètres	Les valeurs
La taille du réseau	$100 \times 100m^2$
Les nombres des nœuds	100
La localisation de la station de base	(50,0)
La largeur du faisceau	20°
L'angle de balayage	$[0^\circ, 180^\circ]$
E_{elec}	50 nJ/bit
$E_{initial}$	0,5 Joul
La taille du paquet(P_k)	32 bits

TABLE 5.2 – Les paramètres de la simulation

d'énergie en raison de calcul est relativement faible et peut être ignoré. Le nombre de paquets

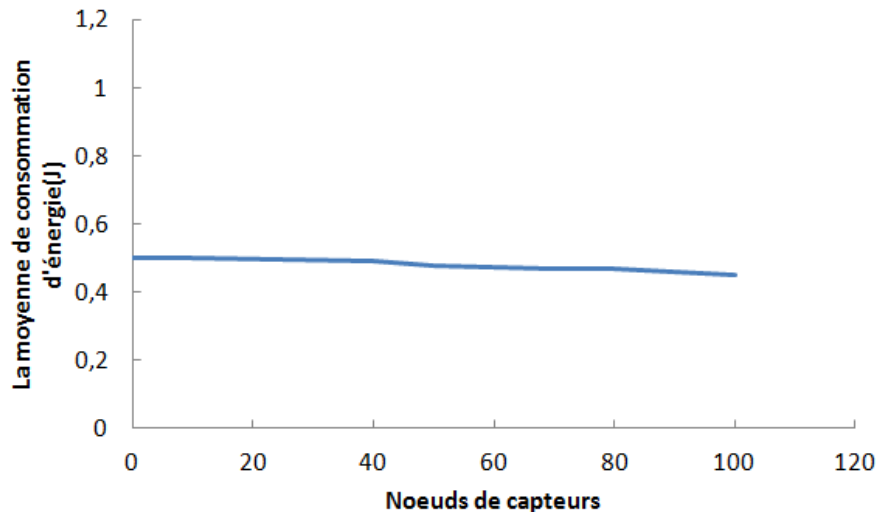


FIGURE 5.4 – la moyenne de consommation d'énergie VS le nombres des noeuds.

nécessaires pour la localisation peut représenté la consommation d'énergie moyenne, comme représenté sur la figure(5.4). Si nous supposons que la consommation d'énergie pour recevoir un paquet est constante, on peut conclure que la consommation d'énergie de notre système de localisation proposée est bien efficace. C'est parceque dans notre projet de système de localisation, un nœud de capteur fixe doit recevoir un certains nombre de messages de la stations de base.

5.4 Discussion

Comme déjà mentionné dans les chapitres précédents, l'énergie est la ressource la plus précieuse dans un réseau de capteurs, puisqu'elle influe directement sur la durée de vie des capteurs et du réseau en entier. Pour cela, la contrainte la plus forte est d'optimiser la consommation énergétique dans n'importe quel problème traité.

Les perturbations des communications (comme les obstacles, les interférences, etc.) peuvent induire des erreurs de la localisation entre les nœuds et la station de base. De plus, la précision de la localisation peut être constante a chaque déploiement d'un grand nombre de capteurs .

Ces différents aspects doivent être pris en considération pour la problématique de localisation dans les réseaux de capteurs. L'approche proposé doit supporter la variation de la précision

ainsi que la scalability du réseau, tout en réduisant la consommation d'énergie. En analysant les résultats obtenus, nous remarquons qu'en plus de vouloir optimiser le nombre des nœuds, il faut en même temps garantir la précision de la localisation pour donner l'information à l'utilisateur, ou pour réagir.

5.5 Conclusion

Dans ce chapitre, Les résultats de simulations ont permis de déduire que les métriques entre les nœuds de capteur et la station de base peuvent être un bon indicateur de la qualité de la localisation en termes de la précision de la localisation, passage a l'échelle et d'efficacité énergétique.

D'après les résultats obtenus, notre approche est servie pour les réseaux de capteur qui constitué d'un grand nombre de capteur.

CONCLUSION

Les réseaux de capteurs sans fil ont connu au cours de ces dernières années un formidable essor aussi bien dans l'industrie que dans le milieu universitaire. Cela est principalement attribuable à l'ampleur sans précédent des possibilités qu'offre cette technologie.

Toutefois, les réseaux de capteurs sans fil doivent aussi faire face à d'importants défis de conception en raison de leurs capacités de calcul et de stockage limitées et surtout de leur dépendance à l'égard d'une énergie limitée fournie par une batterie. L'énergie est une ressource critique et constitue souvent un obstacle majeur au déploiement des réseaux de capteurs qui prétendent à l'omniprésence dans le monde de demain. Ce mémoire a porté sur l'efficacité énergétique dans les réseaux de capteurs sans fil, avec un accent particulier sur la minimisation d'énergie au niveau application et par la suite au niveau de localisation.

Dans ce projet, nous avons mis en place une méthode de localisation utilisant la technique de balayage de la zone d'intérêt et la largeur du faisceau. Au cours de ce travail qui a commencé par une étude bibliographique, nous avons découvert un champ de recherche très intéressant qui touche presque tous les domaines d'application. Cela nous a permis de nous initier à la recherche, et nous espérons avoir apporté une contribution, aussi petite qu'elle soit, à ce domaine qui en pleine évolution.

Comme perspective, nous allons continuer à améliorer ce travail, et surtout en prenant d'autres métriques comme la consommation d'énergie, la scalabilité, et la précision de localisation. Nous envisageons tous cela dans nos futurs travaux de recherche qu'ils soient d'ordre individuels, professionnels ou académiques.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] B.Deng H.Liu L.Zhang, L.Duan and G.Huang. S-mrl distributed localization algorithm for wireless sensor networks. *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. WiCOM '08. 4th International Conference on*, pages 1–4, 2008.
- [2] A.Boukerche. *Algorithms And Protocols For Wireless Sensor Networks*. Wiley-IEEE Press, 1 edition, 2008.
- [3] S.Tanvir. Localisation dans les réseaux de capteurs - protocoles de communication et efficacité énergétique. Thèse docteur de udg en informatique, Université De Grenoble, Mars 2010.
- [4] L.Chen F.Dai, Y.Liu. A hybrid localization algorithm for improving accuracy based on rssi/aoa in wireless network. pages 631 – 634. Computer Science et Service System (CSSS), 2012 International Conference, 2012.
- [5] E.Elnahrawy ; Li.Xiaoyan ; R.P.Martin. The limits of localization using signal strength : a comparative study. *Sensor and Ad Hoc Communications and Networks.IEEE SECON 2004*, pages 406–414, 2004.
- [6] A.Willig. *Protocols And Architectures For Wireless Sensor Networks*. Wiley edition, april 2005.
- [7] J.Werb ; C.Lanzl. Designing a positioning system for finding things indoors. volume 35, pages 71–78. Spectrum, IEEE, 1998.
- [8] J.P.Hubeaux S.Capkun, M.Hamdi. Gps-free positioning in mobile ad-hoc networks. *Cluster Computing*,, 5(2), 2001.

- [9] B.Fidan G.Mao and Brian D. O. Anderson. Wireless sensor network localization techniques. volume 10 of *51*, pages 2529–2553. Computer Networks, July 2007.
- [10] A.Makhoul. *Wireless Sensor Network (WSN) : Localization*. mémoire, université de pau et des pays de l'adour, December 2008.
- [11] D.Niculscu ; B.Nath. Ad hoc positioning system (aps) using aoa. volume 3, pages 1734 – 1743. INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications. IEEE Societies, 2003.
- [12] E.Ermel ; A.Fladenmuller ; G.Pujolle ; A.Cotton. Estimation de positions dans des réseaux sans-fil hybrides. *CFIP 2003*, 2003.
- [13] M.Kara. *Réseau de capteurs sans fil : Etude en vue de la localisation d'un récepteur GPS différentiel est faible coût*. thèse doctorat en informatique, Université Blaise Pascal,Clermont-Ferrand II, novembre 2009.
- [14] R. Dalce ; T. Val ; A. V. D. Bossche. Comparison of indoor localization systems based on wireless communications. volume 2 of *4*, pages 240–256. Wireless Engineering and Technology, September 2011.
- [15] E.Kim I.Wha Hong J.Lee, W.Chung. Robust dv-hop algorithm for localization in wireless sensor network. pages 2506 – 2509. Control Automation and Systems (ICCAS).
- [16] F.Caixin ; Q.Zhihong ; J.Guang ; and W.Xue Z.Yanhang. An improved dv-hop localization algorithm in wireless sensor network. *Information Technology and Applications (ITA), 2013 International Conference Year=2013 , Pages= 13– 16,*.
- [17] L.Shaoqiang ; Z.Yuan ; Z.Zhi ; L.Yongzhou ; and F.Xiaoping. Improved dv-hop algorithm for high accuracy and low energy consumption. volume 3, pages 349–353, 2012.
- [18] C.Yan-Ling ; T.Jau-Rong ; C.Yung-Pin ; S.Min-Te. Density-adaptive range-free localization in large-scale sensor networks. pages 488 – 495. Parallel Processing Workshops (ICPPW), 2012 41st International Conference, 2012.
- [19] W.Huarui ; G.Ronghua. An improved method of dv-hop localization algorithm. *Computational Information Systems*, 2011 :2293–2298, July 2011.
- [20] A.Maali. *Localisation via les signaux ultra wideband(uwb)*. These de doctorat en sciences, Ecole Militaire Polytechnique, Alger, Algérie, octobre 2011.

- [21] M.Xiaoliang; B.Fuling; and X.Yichun. The application of web-based gis and gps technology to assess water quality in michigan. volume 1, page 517. Intelligent Information Technology Application. IITA 2009, 2009.
- [22] A.LaMarca; E. d. Lara. Location systems : An introduction to the technology behind location awareness. volume 3, pages 1–121. Synthesis Lectures on Mobile and Pervasive Computing, août 2008.
- [23] Z.Shuqiao;F.Haoran; and Y.Ruixi. Error compensation for cricket indoor location system. pages 390–395. Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, 2009.
- [24] P. Bahl; V. N. Padmanabhan. Radar : An in-building rf-based user location and tracking system. March 2000.
- [25] Ian F. Akyildiz; W.Su; Y.Sankarasubramaniam; and E. Cayirci. A survey on sensor networks. volume 4, pages 393–422. IEEE Communications Magazine, Août 2002.
- [26] T. Imienlinski; B.R. Badrinath. *Mobile Wireless Computing : Solutions and Challenges in Data Management*. New Brunswick, NJ 08903, Rutgers University, 1993.
- [27] D. Duchamp; N.F. Reynolds. Mesure performance of wireless lan. 1992.
- [28] Y. Youbi; Y.Isrig. Le probleme d’exclusion mutuelle dans les reseaux mobiles ad hoc. Memoire de master réeaux et systemes distribues, Universite A.Mira de Bejaia, Algerie, juin 2010.
- [29] J.Cartigny. *Contribution et la diffusion dans les réseaux ad hoc*. Thèse de doctorat, Université des sciences et technologie de Lille, décembre 2003.
- [30] V.Ailawadhi K.Sohrabi, J.Gao and G.Pottie. Protocols for self-organization of a wireless sensor network. volume 7, pages 16–27. IEEE Communication Magazine, 2000.
- [31] Y. Sankarasubramaniam E. Cayirci I.F. Akyildiz, W. Su*. Wireless sensor networks : a survey. volume 4, pages 393–422, December 2001.
- [32] L. Khelladi; N. Badache. Les réseau de capteurs : état de l’art. Technical report.
- [33] V. Raghunathan; C. Schurgers; S. Park; and M. B. Srivastava. Energy-aware wireless microsensor networks. IEEE Signal Processing Magazine,.
- [34] G. J. Pottie; W. J. Kaiser. Wireless integrated network sensors. volume 43 of 5, pages 51–58, 2002.

- [35] S. Jain. Energy aware communication in ad-hoc networks. *Technical Report UW-CSE*, 2003.
- [36] K.Sandeep ; S.Gupta L.Schwiebert and J.Weinmann. Research challenges in wireless networks of biomedical sensors. *In mobile computing and networking*, pages 151–165, 2001.
- [37] I.Amundson ; X. D. Koutsoukos. A survey on localization for mobile wireless sensor networks. *International Workshop on Mobile Entity Localization (MELT)*, septembre 2009.
- [38] K. Bouabdellah. *Problématique de la consommation de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil*. Thèse de doctorat, université d'oran, 2007.
- [39] X.Wang ; G.Xing ; Y.Zhang ; C.Lu ; R.Pless and C.Gill. integrated coverage and connectivity configuration in wireless sensor network. pages 28–39. In proceeding of the 1st international Conference on Embedded on Embedded Sensor Systems, 2003.
- [40] P.Havinga L.V.Hoesel T.Nieberg, S.Dulman and J.Wu. Collaborative algorithms for communication in wireless sensor networks. *Ambient Intelligence :Impact on Embedded Sytems design*, pages 271–294, 2003.
- [41] Y.Challal. Réseaux de capteurs sans fils. cour 1, Novembre 2008.
- [42] F.Yu B.Zhang. Low-complex energy-efficient localisation algorithm for wireless sensor networks using directional antenna. volume 4, pages 1617–1623, 2010.
- [43] S. Gezici ; Z. Sahinoglu. Enhanced position estimation via node cooperation. Cape Town, South Africa, May 2010. in Proc. IEEE International Conference on Communications (ICC).
- [44] H. Wymeersch ; J. Lien ; and M. Z. Win. Cooperative localization in wireless networks. volume 97 of 2, pages 427–450. Proceedings of the IEEE, February 2009.
- [45] A.Nasipuri ; and K. Li. Un lieu directivité schéma de découverte pour les réseaux de capteurs. *Proc. ACM première Int. Atelier sur les réseaux de capteurs et App*, pages 105–111, 2002.
- [46] V.Shankarkumar Ko, Y.B and NH.Vaidya. Protocoles moyen de contrôle d'accès utilisant antennes directives dans les réseaux ad hoc. *Proc INFOCOM IEEE 2000*, pages 13–21, 2000.
- [47] C.Alippi ; and G. Vanini. Une technique rssi base et calibré centralisée localisation pour les réseaux de capteurs. *Actes de la 4e annuelle de l'IEEE PERCOM*, 2006.

- [48] <http://www.mathworks.com/products/matlab/>.
- [49] A. Chandrakasan W-R. Heinzelman and H. Balakrishnan. Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks. pages 3005–3014, In Proceedings of the IEEE Hawaii International Conference on System Sciences, Janvier 2000.

Résumé

Le problème de la localisation a été examiné minutieusement dans les réseaux de capteurs sans fil durant ces dernières décennies, plusieurs méthodes et algorithmes ont été proposés pour remédier à ce problème. Le but de ce travail étant de proposer une méthode de localisation efficace.

Dans ce travail, nous présentons une technique simple et pratique d'estimation de distance qui utilise un capteur rotatif muni d'une antenne multi-directionnel. Cette technique est basée sur le balayage de la région désirée et la largeur du faisceau. Les nœuds ayant reçus le signal dans la région souhaitée transmettent leurs estimation de distance au capteur rotatif (station de base) via RSSI. Contrairement aux techniques de localisation par GPS ou d'ancrage, la technique proposée ne nécessite aucune modification dans les nœuds de détection. Nous démontrons différents scénarios pour l'analyse des performances de cette technique de localisation. Les résultats montrent qu'en réglant soigneusement ces paramètres, la performance souhaitée peut être obtenue.

Mots-clés : Réseau de capteurs sans fil, Les techniques de localisation.

Abstract

The problem of the localization was examined thoroughly in the networks of sensors without wire during these last decades, several methods and algorithms were proposed to cure this problem. The aim of this work is to propose a method of the effective localization.

In this work, we present a simple and practical technique of estimate of distance which uses a rotary sensor provided with an antenna multi-directional. This technique is based over the sweeping of the desired area and the width of the beam. The nodes having received the signal in the desired area transmit their estimate of distance to the rotary sensor (base station) via RSSI. Contrary to the techniques of localization by GPS or anchoring, the technique suggested does not require any modification in the nodes of detection. We show various scenarios for the analysis of the performances of this technique of localization. The results show that by regulating these parameters carefully, the desired performance can be obtained.

Keywords : Wireless sensor networks, Techniques of localization.