

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA de Bejaia
Faculté des Sciences Exacte
Département INFORMATIQUE
Master 2 Recherche



Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme Master recherche
En Informatique
Spécialité : Réseaux et Système Distribuée

Thème

**Etude des protocoles de la géolocalisation distribuée
dans les réseaux de capteurs sans fil**

Réalisé par :

M^{lle}. BARKA Dalila
M^{lle}. HADDAD Wassila

Devant le jury :

Présidente	M ^{me} . OUYAHIA YESSAD Samira, MCB, Bejaia
Promoteur	M ^r . LARBI Ali, MAA, Bejaia
Examinatrice	M ^{me} . LARBI Wahiba, MAA, Bejaia
Examinatrice	M ^{me} . MAMMERI Karima, MAB, Bejaia

Promotion: 2014/2015

Remerciements

*Nous remercions " Dieu " le tout puissant, de nous avoir accordé la patience,
la volonté et le courage pour mener à terme ce travail.*

*Nous tenons à remercier notre promoteur Mr. LARBI pour sa gentillesse et
son soutien tout au long de cette année.*

*Nous tenons à remercier aussi les membres de jury d'avoir accepté l'évaluation
de ce travail.*

*Nous remercions également nos parents, nos familles et amis ainsi que toute
personne ayant contribué à l'élaboration de ce travail de près ou de loin.*



Je dédie ce modeste travail à :

- ◇ *Les êtres les plus chers à moi, mes parents qui m'ont toujours soutenu et qui croient toujours en moi : toutes les lettres ne sauraient trouver les mots pour vous exprimer mon amour, ma gratitude et reconnaissance... ;*
- ◇ *Mes chers frères Abd Elkrim, Abd Eldjabar et Youcef Elyacine ;*
- ◇ *Mes chères sœurs Sonia, Warda et leurs maris ;*
- ◇ *A toute ma famille ;*
- ◇ *A tous mes amis ; ;*
- ◇ *Mon promoteur Mr " LARBI " qui nous a beaucoup aidé à la réalisation de ce travail ;*
- ◇ *Ma chère binôme Wassila pour son bon cœur ".*

DALILA



Je dédie ce modeste travail à :

- ◇ *Les êtres les plus chers à moi, mes parents qui m'ont toujours soutenu et qui croient toujours en moi : toutes les lettres ne sauraient trouver les mots pour vous exprimer mon amour, ma gratitude et reconnaissance... ;*
- ◇ *Mes chères sœurs Nadira, Hassiba ;*
- ◇ *Mon cher frère Walid ;*
- ◇ *A toute ma famille ;*
- ◇ *A tous mes amis ; ;*
- ◇ *Mon promoteur Mr " LARBI " qui nous a beaucoup aidé à la réalisation de ce travail ;*
- ◇ *Ma chère binôme Dalila pour son bon cœur ".*

WASSILA

TABLE DES MATIÈRES

Liste des figures	v
Liste des tables	vi
Introduction générale	1
1 Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil	4
1.1 Introduction	4
1.2 Réseaux de capteurs sans fil (RCSFs)	4
1.2.1 Définition	4
1.2.2 Les composants d'un RCSF	5
1.2.3 Caractéristiques des RCSFs	7
1.3 Types des RCSFs	8
1.3.1 Les réseaux de capteurs terrestres	8
1.3.2 Les réseaux de capteurs souterrains	8
1.3.3 Les réseaux de capteurs sous-marins	9
1.3.4 Les réseaux de capteurs multimédias	9
1.3.5 Les réseaux de capteurs mobiles	10
1.4 Architecture de communication	11
1.4.1 La couche physique	11
1.4.2 La couche liaison de données	11
1.4.3 La couche réseau	12
1.4.4 La couche transport	12

1.4.5	La couche application	12
1.4.6	La gestion d'énergie	12
1.4.7	La gestion de mobilité	13
1.4.8	La gestion des tâches	13
1.5	Domaines d'applications des RCSFs	13
1.5.1	Recherche et sauvetage	13
1.5.2	Applications militaires	13
1.5.3	Applications à la sécurité	14
1.5.4	Applications environnementales	15
1.5.5	Applications commerciales	16
1.5.6	Applications médicales	17
1.5.7	Applications agricoles	18
1.6	Classification des applications des RCSFs	18
1.6.1	Applications orientées temps	19
1.6.2	Applications orientées événements	19
1.6.3	Applications orientées requêtes	19
1.6.4	Applications hybrides	20
1.7	Problèmes des RCSFs	20
1.7.1	Consommation d'énergie	20
1.7.2	Routage	20
1.7.3	Localisation	21
1.7.4	La sécurité	21
1.7.5	Environnement	21
1.7.6	Agrégation des données	22
1.7.7	Topologie dynamique	22
1.8	Conclusion	22
2	La localisation dans les RCSFs	23
2.1	Introduction	23
2.2	La localisation	24
2.2.1	Définition	24
2.2.2	Les objectifs de la localisation	24
2.2.3	Les propriétés de localisation	24
2.3	Les principaux systèmes de localisation	25

2.4	Critères de localisation	25
2.4.1	Précision de localisation	26
2.4.2	Contraintes de ressources	26
2.4.3	Contraintes énergétique	26
2.4.4	Passage à l'échelle	26
2.4.5	La complexité	26
2.5	Protocoles de mesure	27
2.5.1	Protocoles de collecte dans les méthodes range-based	27
2.5.2	Protocoles de collecte pour les méthodes range-free	27
2.6	Technique de localisation	27
2.6.1	RSSI (Received Signal Strength Indicator)	27
2.6.2	La triangulation	29
2.6.3	Trilatération	30
2.6.4	TDOA	31
2.6.5	HT-Refine	32
2.6.6	Algorithmes multidimensionnels	33
2.7	Tableau comparative	35
2.8	La synthèse	36
2.9	Conclusion	37
3	Algorithme proposé	38
3.1	Introduction	38
3.2	Motivations	38
3.3	Principe de l'algorithme	39
3.3.1	Algorithme proposé	39
3.3.2	Le schéma de l'algorithme proposé	39
3.4	RSSI (Received Signal Strength Indicator)	40
3.4.1	Le fonctionnement de l'algorithme	40
3.5	Détermination de la localisation	41
3.6	Conclusion	41
4	Simulation et évaluation de performance	43
4.1	Introduction	43
4.2	Environnement de la simulation	43

4.2.1	Choix du langage de programmation	43
4.2.2	Variables descriptives du système	44
4.2.2.1	Précision de la localisation	44
4.2.2.2	Coordonnées d'un capteur sur un plan 2D	44
4.2.2.3	Coût énergétique de la localisation	44
4.3	Paramètres de performance	45
4.3.1	Précision de localisation	45
4.3.2	Consommation d'énergie	45
4.3.3	Passage à l'échelle	46
4.4	Evaluation de performance	46
4.4.1	Précision de localisation	46
4.4.2	Passage à l'échelle	49
4.4.3	Consommation d'énergie	50
4.5	Conclusion	51
 Conclusion générale		 52
 Résumé		 54

TABLE DES FIGURES

1.1	Architecture d'un capteur	5
1.2	Pile protocolaire dans les RCSFs.	11
1.3	Réseau de capteurs militaire.	14
1.4	Applications à la sécurité.	15
1.5	Applications environnementales.	16
1.6	Ensemble de capteurs dans un corps humain.	18
1.7	Applications agricoles.	18
1.8	Collection des informations suite à un événement.	19
2.1	Triangulation	30
2.2	Trilatiration	31
3.1	Schéma de l'algorithme proposé	40
4.1	Le modèle de réseau étudié	44
4.2	Le modèle d'énergie	46
4.3	Le réseau de capteurs avec les positions estimées des nœuds	47
4.4	Estimation d'erreur de localisation en fonction d'un noeud capteur	48
4.5	La variation de l'erreur moyenne en fonction de pas du diffusion	48
4.6	L'erreur de localisation pour 50 noeuds	49
4.7	L'erreur de localisation pour 600 noeuds	50
4.8	La variation de l'énergie moyenne en fonction de pas	50
4.9	La variation de pas en fonction de l'énergie moyenne et l'erreur moyenne	51

LISTE DES TABLEAUX

2.1	Tableau comparative	35
-----	-------------------------------	----

Introduction générale

Depuis quelques décennies, le besoin d'observer et éventuellement de contrôler des phénomènes physiques est essentiel pour de nombreuses applications. Cette tâche est déléguée aux capteurs dont la fonction est l'acquisition de l'information sur les phénomènes observés. L'utilisation des capteurs n'est pas une nouveauté en soi. En effet, grâce aux récents progrès des technologies sans fil, les capteurs peuvent communiquer non seulement de proche en proche mais aussi d'acheminer de l'information à tous les nœuds connectés au réseau. Nous sommes ainsi affranchi de la contrainte de câblage, qui limitait considérablement le déploiement d'un grand nombre de nœuds. Il est donc devenu tout à fait possible de déployer un réseau constitué d'un grand nombre de capteurs collaboratifs afin de surveiller une zone plus large.

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 compte rendus réguliers au personnel soignant et alertant les secours en cas de besoin. En plus, les nœuds peuvent être implémentés sur les 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 ou encore détecter des feux de forêt...

Les possibilités citées 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 (Global Positioning System) à tous les nœuds dans les réseaux. Malheureusement, cette solution n'est pas possible à cause des contraintes suivantes :

1. Le GPS ne peut pas être mis en œuvre en présence des forêts dense, des montagnes ou d'autres obstacles qui bloquent le champ de vision des satellites GPS.
2. La consommation électrique du GPS réduit la durée de vie des batteries des capteurs ce qui contribue également à diminuer la durée de vie effective de l'ensemble du réseau.
3. Dans un réseau qui comprend un nombre important de nœuds, le coût de production du GPS est élevé.
4. Les capteurs doivent être de petites tailles. La taille du GPS ainsi que de son antenne font augmenter la taille du capteur.

Dans ce mémoire, nous avons fait une étude des algorithmes de localisation dans les réseaux de capteurs sans fil, puis nous avons pu proposer un algorithme de localisation simple et pratique d'estimation de distance qui utilise un capteur muni d'une antenne multidirectionnel. Contrairement aux techniques de localisations par GPS ou d'ancrage, la technique proposée ne nécessite aucunes ancrés.

Cette technique est basée sur le balayage de la région désirée, les nœuds ayant reçus le signale dans la région souhaitée Procède au calcul de leurs position après l'estimation de distance via RSSI (Received Signal Strength Indicator) et l'angle de diffusion.

Une étude et analyse de performances à travers une simulation avec le logiciel MATLAB a été mené. Les résultats de simulation était particulièrement appréciable notamment pour la consommation énergétique globale de réseaux de capteur sans fil.

Pour mener à bien notre travail, nous l'avons organisé en quatre chapitres comme suit :

Le chapitre 1 : Généralités sur les RCSFs (Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil) : Ce chapitre constitue une introduction au domaine très vaste des RCSFs. Nous présentons les différents concepts liés à la mise en œuvre d'un réseau de capteurs, ses caractéristiques et les différents domaines d'applications.

Le chapitre 2 : La localisation dans les RCSFs : Nous présenterons un ensemble d'algorithmes de localisation dans les RCSFs.

Le chapitre 3 : La proposition : Ce chapitre est consacré à notre proposition pour la localisation des capteurs dans les RCSFs.

Le chapitre 4 : Simulation et évaluation de performance : Dans ce chapitre, nous avons simulé le fonctionnement de notre algorithme afin d'extraire et évaluer les Paramètres de performances.

En fin de ce mémoire, une conclusion est donnée pour résumer les apports essentiels de notre travail.

CHAPITRE 1

Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil

1.1 Introduction

Un réseau de capteurs sans fil (RCSFs) est un système mettant en communication un grand nombre d'entités autonomes communément appelées " capteurs sans fil ". Ces capteurs forment donc les nœuds du réseau. Dans un scénario d'application classique, plusieurs nœuds capteurs sont déployés dans une zone géographique appelée zone de captage.

Ce premier chapitre expose les généralités sur les RCSFs : en commençant par leur définition, leurs composants, et caractéristiques. Par la suite, les différents domaines auxquels ces types peuvent contribuer. Puis, une description de l'architecture de communication est accomplie avant de clôturer avec les problèmes dans ce type de réseau.

1.2 Réseaux de capteurs sans fil (RCSFs)

1.2.1 Définition

Un réseau de capteurs sans fil est une collection de nœuds. Chaque nœud se compose d'une unité de traitement (un ou plusieurs microcontrôleurs, CPU), peut contenir plusieurs types de mémoire (RAM, disque durs et mémoires Flash), doter d'un émetteur/récepteur et une source d'énergie (par exemple, des batteries et des piles solaires). Les nœuds de ces réseaux consistent en un grand nombre de capteurs capables de récolter et de transmettre des données environnementales d'une manière autonome, dispersés aléatoirement à travers une zone géographique

(champ de captage) et mettant en œuvre un routage multi saut jusqu’au nœud considéré comme un ” point de collecte ”. Les réseaux de capteurs sans fil se composent de nœuds de capteurs qui doivent coopérer à l’exécution d’une fonction spécifique. En particulier, avec la capacité des nœuds de sentir, traiter et communiquer les données, elles sont bien convenues pour exécuter la détection d’événement, qui est clairement une application en avant des RCSFs[2].

1.2.2 Les composants d’un RCSF

Les RCSFs assurent la surveillance de l’environnement cible en confiant aux nœuds capteurs différentes tâches telles que : le captage et le routage de données. Par ailleurs, dans ce qui suit, on mettra la lumière sur les composants du RCSF qui participent aux différentes tâches, à savoir : les nœuds capteurs et les connexions utilisées.

1. **Le capteur** : Un capteur est un petit appareil autonome capable d’effectuer des mesures simples sur son environnement immédiat, comme la température, la vibration, la pression, etc. Chaque capteur assure trois fonctions principales : la collecte, le traitement et la communication de l’information vers un ou plusieurs points de collecte appelés station de base[3].

Les capteurs se composent principalement de 4 unités :

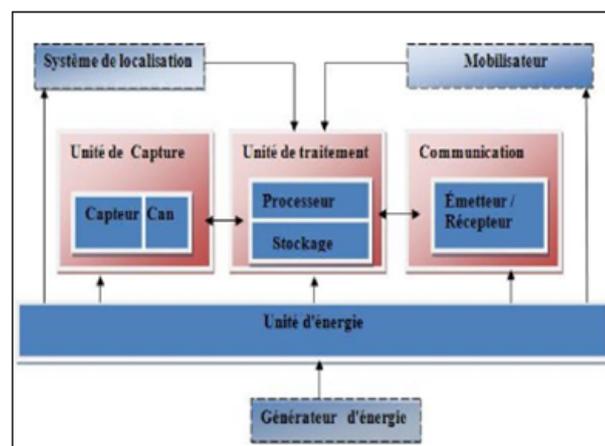


FIG. 1.1: Architecture d’un capteur

- ✓ Unité de captage : Unité responsable de capter différents types d’informations, qui se produisent autour du nœud capteur. Ces informations peuvent être sous forme de vibrations, bruits, etc. Le capteur transforme les données analogiques captées en données numériques à l’aide d’un

CAN (convertisseur analogique numérique) .

- ✓ Unité du traitement : Après avoir reçu les données de l'unité de captage, l'unité de traitement procède à des actions qui diffèrent d'un réseau à un autre (agrégation, calcul, etc.), et gère la communication avec le reste du réseau. Elle comprend un microprocesseur de fréquence limitée ne dépassant pas les 2.5 Mhz, et une mémoire de stockage (RAM) dont la capacité ne surpasse pas 4 ko. Cette unité est équipée d'un simple système d'exploitation constitué de quelques milliers de lignes seulement (ex : TinyOS)[3].
 - ✓ Unité de transmission : Tous les échanges inter-réseau se font grâce à cette unité. Le module récepteur reçoit les données en provenance de la source, et le module émetteur les transmet au collecteur ou à un voisin direct à destination du collecteur.
 - ✓ Unité de contrôle de l'énergie : Une pile avec autonomie élevée qui fournit de l'énergie pour faire fonctionner le capteur. Néanmoins, l'énergie délivrée pour chaque nœud est limitée. Par conséquent, la durée de vie du réseau est définie par la durée de vie de ses capteurs[3].
2. **Les connexions utilisées** : Pour se communiquer et afin de véhiculer les informations récoltées, les nœuds capteurs utilisent des connexions sans fil telles que les rayons radio où un canal est partagé pour transmettre les données. La limitation des fréquences utilisées et la nature vulnérable de la transmission radio font que le réseau soit exposé aux problèmes d'interférences électriques. En outre, la portée radio est courte, et la communication est à faible débit. Nous trouvons aussi la connexion Bluetooth qui est basée sur l'étalement du spectre de transmission où les canaux séparés sont utilisés pour transmettre des données. Les BTnodes développés par ETH Zurich est un exemple d'application de ce type de connexion. Toutefois, la communication Bluetooth consomme beaucoup d'énergie et ne peut en aucun cas remplacer la diffusion radio. Autres alternatives sont utilisées ; comme le media optique servi par les systèmes Smart Dust ou même l'infrarouge qui est moins coûteux et robuste face aux problèmes d'interférence. Cependant, la communication radio

reste la plus utilisée en faveur de sa construction simple et de son faible coût de réalisation et de maintenance[3].

1.2.3 Caractéristiques des RCSFs

Un ensemble de caractéristiques sont importantes pour l'accomplissement des tâches assignées aux applications. Les plus importants sont :

- ✓ **Le type de service** : nous nous attendons à ce que le RCSF offre à l'utilisateur, des informations significatives sur l'objet d'intérêt.
- ✓ **La qualité de service** : C'est une métrique de la qualité de service qui va être offerte par un RCSF à ses utilisateurs/applications. Le niveau de QoS est défini par un ensemble d'attributs comme le temps d'attente, la largeur de bande, et la perte de paquets qu'on relie directement avec le type de service du réseau[4].
- ✓ **La tolérance aux fautes** : Il est important que le RCSF soit capable de traiter l'échec des nœuds capteurs. Une manière reconnue de satisfaire cette contrainte est de réaliser un déploiement redondant des nœuds capteurs.
- ✓ **La durée de vie** : C'est la durée pendant laquelle le réseau reste opérationnel. On s'attend à ce que le RCSF puisse fonctionner au moins pendant le temps requis pour accomplir la tâche donnée. Néanmoins, la définition de la durée de vie dépend de l'application du RCSF et elle est en relation directe avec le fonctionnement efficace du réseau.
- ✓ **La scalabilité** : Cette caractéristique traduit la capacité de maintenir la performance indépendamment de la taille du réseau. Comme un grand nombre de nœuds de capteur peuvent être employés dans les applications de RCSF, les architectures et les protocoles doivent fournir le support approprié pour maintenir efficacement les services fournis par le réseau.
- ✓ **La maintenance** : Les changements dans l'environnement du réseau, par exemple, l'apparition de nœuds de capteurs avec des batteries épuisées, exigent une solution permettant l'adaptation et le maintien des services du RCSF.
- ✓ **La programmation flexible** : C'est la capacité des nœuds de capteur à modifier les options de traitement des données acquises et à effectuer des changements et des ajustements de leurs tâches[4].

1.3 Types des RCSFs

Les réseaux de capteurs actuels sont déployés sur terre, sous terre et sous l'eau. Selon l'environnement, un réseau de capteurs est confronté à différents défis et contraintes. Il existe cinq types de réseaux de capteurs : terrestre, souterrain, sous-marin, multimédia et mobile.

1.3.1 Les réseaux de capteurs terrestres

Dans un réseau de capteurs terrestre, la communication fiable dans un environnement dense est très importante. Les nœuds capteurs terrestres doivent être capables de communiquer efficacement les données vers la station de base. Alors que l'énergie de la batterie est limitée et ne peut être rechargeable, les nœuds capteurs terrestres peuvent être cependant équipés d'une source d'alimentation secondaire telle que les cellules solaires. Dans tous les cas, il est important de conserver l'énergie pour les nœuds capteurs. Pour un réseau de capteurs terrestre, l'énergie peut être conservée avec le routage optimal multi-saut, gamme de transmission courte, agrégation des données du réseau, en éliminant la redondance des données et en utilisant les opérations à faible rapport cyclique [5].

1.3.2 Les réseaux de capteurs souterrains

Les réseaux de capteurs souterrains se composent d'un nombre de nœuds capteurs enfouis sous terre ou dans une grotte ou une mine utilisés pour surveiller les conditions souterraines. Les stations de base additionnelles sont situées au dessus du sol pour relayer l'information à partir des nœuds capteurs vers la station de base. Un réseau de capteurs souterrain est plus cher qu'un réseau de capteurs terrestre en termes d'équipement, de déploiement et de maintenance. Les nœuds capteurs souterrains sont chers parce que les pièces d'équipements appropriés doivent être choisies pour assurer une communication fiable à travers le sol, les rochers, l'eau et autres contenus minéraux. Le milieu souterrain rend la communication sans fil un challenge en raison des pertes du signal et des niveaux élevés d'atténuation. Contrairement aux réseaux de capteurs terrestres, le déploiement d'un réseau de capteurs souterrain nécessite une planification minutieuse et une considération d'énergie et de coût. L'énergie est une préoccupation importante dans les réseaux de capteurs souterrains. Comme dans un réseau de capteurs terrestre, les nœuds capteurs souterrains sont équipés d'une alimentation limitée de la batterie qui est une fois déployée dans le sol, il est difficile de la recharger ou de la remplacer. Comme précédemment,

l'objectif essentiel est de conserver l'énergie afin d'augmenter la durée de vie d'un réseau qui peut être atteint par l'implémentation d'un protocole de communication efficace [5].

1.3.3 Les réseaux de capteurs sous-marins

Les réseaux de capteurs sous-marins se composent d'un nombre de nœuds capteurs et des véhicules déployés sous l'eau. A la différence des réseaux de capteurs terrestres, les nœuds capteurs sous-marins sont plus chers et sont moins déployés. Les véhicules sous-marins autonomes sont utilisés pour l'exploration ou la collecte des données de nœuds capteurs. Comparé à un déploiement dense des nœuds capteurs dans un réseau de capteurs terrestre, un déploiement clairsemé de nœuds capteurs est placé sous l'eau. Les communications sans fil sous-marines sont établies par transmission d'ondes acoustiques. Un défi en communication acoustique sous-marine est la bande passante limitée, le long temps de propagation, et le fading du signal issu. Un autre défi est l'échec de nœud capteur en raison des conditions environnementales. Les nœuds capteurs sous-marins doivent être capables de s'auto-configurer et de s'adapter à l'environnement dur de l'océan. Les nœuds capteurs sous-marins sont équipés d'une batterie limitée qui ne peut être remplacée ou rechargée. La question de la conservation de l'énergie pour les réseaux de capteurs sous-marins consiste à développer des techniques de routage et de communication sous-marine efficaces[5].

1.3.4 Les réseaux de capteurs multimédias

Les réseaux de capteurs multimédias ont été proposés pour permettre la surveillance et le suivi des événements dans la forme de multimédia comme la vidéo, l'audio et l'image. Les réseaux de capteurs multimédia se composent d'un certain nombre de nœuds capteurs à faible coût équipés de caméras et des microphones. Ces nœuds capteurs interconnectent les uns avec les autres via une connexion sans fil pour la restitution, le traitement, la corrélation et la compression de données. Les nœuds capteurs multimédias sont déployés de manière pré-planifiée dans l'environnement pour garantir une couverture. Les défis dans les réseaux de capteurs multimédias comprennent une forte demande de bande passante, une forte consommation d'énergie, une qualité de service (QoS), des techniques de traitement et de compression de données et une conception inter-couche (cross-layer design). Le contenu multimédia comme un flux vidéo nécessite une bande passante élevée afin que le contenu puisse être délivré.

En conséquence, un débit élevé de données entraîne une consommation d'énergie élevée. Les

techniques de transmission qui prennent en charge une bande passante élevée et une faible consommation d'énergie doivent être développées. L'approvisionnement de la qualité de service est une tâche difficile dans un réseau de capteurs multimédias en raison de la variable retard et la variable capacité du canal. Il est important qu'un certain niveau de qualité de service soit atteint pour une livraison fiable de contenu. En réseau, le traitement, le filtrage et la compression peuvent améliorer considérablement les performances du réseau en termes de filtrage et d'extraction d'informations redondantes et les contenus qui fusionnent. De même, l'interaction cross-layer entre les couches peut améliorer le processus de traitement et de livraison[5].

1.3.5 Les réseaux de capteurs mobiles

Les réseaux de capteurs mobiles sont constitués d'un ensemble de nœuds capteurs qui peuvent se déplacer par leurs propres moyens et d'interagir avec l'environnement physique. Comme les nœuds statiques, les nœuds mobiles ont la capacité de collecter, calculer et communiquer. Une différence clé est que les nœuds mobiles ont la possibilité de repositionner et de s'organiser en réseau. Un réseau de capteurs mobiles peut commencer avec un déploiement initial et les nœuds peuvent alors s'étaler pour recueillir des informations. L'information recueillie par un nœud mobile peut être communiquée à un autre nœud mobile quand l'un se trouve à la même portée que l'autre.

Une autre différence essentielle est la distribution des données. Dans un réseau de capteurs statique, les données peuvent être distribuées à l'aide de routage ou par inondation alors que le routage dynamique est utilisé dans un réseau de capteurs mobiles. Les challenges dans un réseau de capteurs mobiles comprennent le déploiement, la localisation, l'auto-organisation, la navigation et le contrôle, la couverture, l'énergie, l'entretien et le traitement des données. Les applications des réseaux de capteurs mobiles incluent la surveillance de l'environnement, le suivi de cible, la recherche, le sauvetage et la surveillance en temps réel des matières dangereuses. Pour la surveillance de l'environnement dans les zones sinistrées, le déploiement manuel pourrait ne pas être possible.

Les nœuds capteurs mobiles peuvent se déplacer dans les zones d'événements après le déploiement pour fournir la couverture nécessaire. Dans la surveillance et le suivi militaire, les nœuds capteurs mobiles peuvent collaborer et prendre des décisions fondées sur la cible. Les nœuds capteurs mobiles peuvent atteindre un degré de couverture et une connectivité plus élevés par rapport aux nœuds capteurs statiques. En présence d'obstacles sur le terrain, les nœuds capteurs mobiles peuvent être planifiés à l'avance et déplacés de manière appropriée aux régions

obstruées pour augmenter l'exposition de la cible[5].

1.4 Architecture de communication

Comme tout les types de réseaux, les RCSFs utilisent une architecture de communication en couches, ce sont les cinq premières couches du modèle OSI; la couche physique, la couche liaison de données, la couche réseau, la couche transport et la couche application. Chaque couche a son propre rôle et ses propres protocoles pour atteindre son objectif. Nonobstant le fait que l'objectif d'un RCSF n'est pas la communication elle même, qu'il est soumis à de fortes contraintes énergétiques, par voie de conséquence, d'autres unités doivent lui être ajoutés afin de gérer la consommation d'énergie, la mobilité des noeuds et l'ordonnancement des tâches.

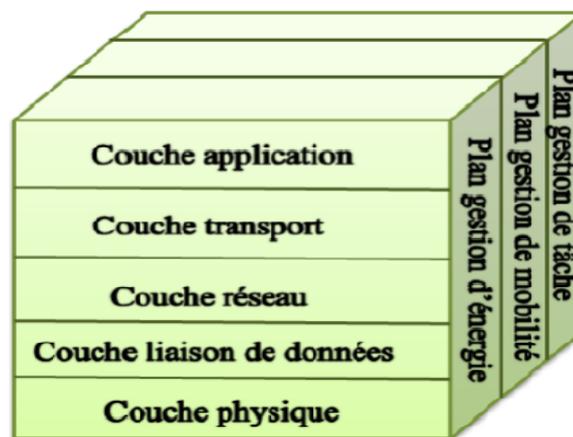


FIG. 1.2: Pile protocolaire dans les RCSFs.

1.4.1 La couche physique

La couche physique est responsable du choix de la fréquence, de la génération de la fréquence porteuse, de la détection du signal, de la modulation et du chiffage des données. Dans un réseau de capteurs multi-sauts, les nœuds communicants sont liés par un médium sans fil. Ces liens peuvent être constitués par les ondes radio ou des signaux infrarouges[4].

1.4.2 La couche liaison de données

Beaucoup de recherches dans le domaine des réseaux de capteurs entrent dans le cadre de l'optimisation de la couche de liaison. Elle manipule toutes les issues de communication entre

les nœuds voisins. Dans les réseaux sans fil, l'accès au médium commun (la fréquence) doit être contrôlé. Ceci est appelé le contrôle d'accès au Medium (MAC : Medium Access Control). La tâche principale de cette couche est d'interdire l'accès simultané au canal dans la même marge de fréquence radio. Si un récepteur reçoit deux signaux simultanément, c'est malheureusement une collision qui détruit toute l'information reçue par le récepteur. La plupart des protocoles MAC de la couche liaison tentent d'éliminer entièrement les collisions ou de réduire au minimum la capacité de canal qu'ils exigent[4].

1.4.3 La couche réseau

La couche réseau en ce qui concerne les réseaux de capteurs est habituellement conçue selon les principes suivants :

- L'efficacité d'énergie est toujours une considération importante.
- Les réseaux de capteurs sont la plupart du temps data-centric.
- L'agrégation de données est une fonctionnalité majeure[4].

1.4.4 La couche transport

La couche transport fournit un service de communication de bout en bout, fiable pour l'application. Elle manipule la segmentation des grands paquets. Elle effectue le contrôle des flots de données de bout en bout afin d'éviter la surcharge du récepteur ou du réseau[4].

1.4.5 La couche application

Selon les tâches de capture, il existe différents types de logiciels qui peuvent être installés et employés pour la couche application[4].

1.4.6 La gestion d'énergie

La gestion d'énergie contrôle la manière d'utiliser l'énergie par le nœud capteur, et gère la consommation d'énergie selon le mode de fonctionnement employé (capture, calcul, et communication par radio). Par exemple pour éviter de recevoir des messages redondants, le nœud capteur change son mode en " Off " après une réception d'un message d'un de ses voisins. En outre un nœud capteur annonce à ses voisins qu'il a atteint un bas niveau d'énergie, par conséquence il ne va pas participer au routage des données, et l'énergie restante va être utilisée pour capter et détecter des tâches[4].

1.4.7 La gestion de mobilité

La gestion de mobilité détecte et enregistre le mouvement/mobilité des nœuds capteurs. En utilisant ces positions, les nœuds capteurs peuvent connaître qui sont leurs voisins. Parfois une auto-organisation des nœuds est nécessaire à cause de la destruction de quelques nœuds. Dans ce cas, la couche de gestion de mobilité doit être capable de faire changer la position des nœuds.

1.4.8 La gestion des tâches

La gestion des tâches assure la coopération des efforts des nœuds capteurs, elle ordonnance les événements captés, et les tâches détectées dans une zone de captures spécifique. Par conséquent, les nœuds capteurs qui appartiennent à la même zone de capture ne sont pas obligés d'effectuer les tâches de capture en même temps. Selon leur niveau d'énergie, quelques nœuds capteurs peuvent accomplir des tâches de capture mieux que d'autres[4].

1.5 Domaines d'applications des RCSFs

La miniaturisation des micro-capteurs, le coût de plus en plus faible, la large gamme des types de capteurs disponibles (thermique, optique, vibrations, etc.) ainsi que le support de communication sans fil utilisé, permettent l'application des réseaux de capteurs dans plusieurs domaines parmi lesquels :

1.5.1 Recherche et sauvetage

Quand nous sommes en face d'un tremblement de terre, un ouragan ou bien n'importe quel désastre, les réseaux de capteurs sans fil peuvent s'avérer très utiles dans les opérations de la recherche et sauvetage. En général, les désastres laissent une grande population sans électricité et moyens de communication. Les réseaux sans fil ad hoc peuvent être établis sans de telles infrastructures et peuvent fournir des transmissions entre les diverses équipes de recherche pour coordonner leurs opérations de sauvetage[2].

1.5.2 Applications militaires

La transmission sécurisée est un des aspects principaux de toutes opérations militaires réussies. En outre, beaucoup d'opérations de la défense ont lieu dans des endroits où l'infrastructure de transmission n'est pas disponible. L'utilisation des réseaux sans fil ad hoc et

de capteur dans de telles situations devient très utile. Les différentes unités (armée terrestre, marine, et l'armée de l'Air) impliquées dans des opérations militaires doivent également garder la transmission entre eux. Les avions de l'armée de l'air volant dans un groupe peuvent établir un réseau sans fil ad hoc pour communiquer entre eux et échanger des images et des données. Les groupes d'armée en mouvement peuvent également utiliser les réseaux sans fil ad hoc pour communiquer entre eux-mêmes. La même chose s'applique à la marine.

L'idéal de ce type de communication est que le réseau ad hoc se déplace avec les combattants sur terre ou les avions en air. Une des nombreuses applications des réseaux sans fil ad hoc (en particulier de capteur) est la collecte de l'information. Les capteurs utilisés pour de telles applications sont essentiellement jetables et sont utilisés une fois pour une application. Les capteurs peuvent être déployés en grandes quantités dans la zone choisie pour la collecte intelligente de l'information. Les capteurs peuvent être déployés par avion ou par d'autres moyens.

En raison de leurs tailles très petites, les capteurs resteront suspendus dans l'air un certain temps. Pendant ce temps, ils peuvent rassembler l'information pour laquelle ils ont été programmés, traitent l'information, partagent l'information collectée avec d'autres capteurs voisins, et transmettent l'information à un nœud central. L'information peut alors être analysée au service de traitement central, et une décision au sujet de la prochaine étape peut être prise. Les réseaux de capteur peuvent également être utilisés pour repérer des objets ou des cibles, qui sont des applications critiques dans le domaine militaire[4];[1].



FIG. 1.3: Réseau de capteurs militaire.

1.5.3 Applications à la sécurité

Les altérations dans la structure d'un bâtiment, suite à un séisme ou au vieillissement, pourraient être détectées par des capteurs intégrés dans les murs ou dans le béton, sans alimen-

tation électrique ou autres connexions filaires. Les capteurs doivent s'activer périodiquement et peuvent ainsi fonctionner durant des années, voire des décennies. Un réseau de capteurs de mouvements peut constituer un système d'alarme distribué qui servira à détecter les intrusions sur un large secteur. Déconnecter le système ne serait plus aussi simple, puisque il n'existe pas de point critique. La surveillance de voies ferrées pour prévenir des accidents avec des animaux et des êtres humains peut être une application intéressante des réseaux de capteurs.

La protection des barrages pourrait être accomplie en y introduisant des capteurs. La détection de fuites d'eau permettrait d'éviter des dégâts. Les êtres humains sont conscients des risques et attaques qui les menacent. Du coup, ils mettent à disposition toutes les ressources humaines et financières nécessaires pour leur sécurité. Cependant, des failles sont toujours présentes dans les mécanismes de sécurisation appliqués aujourd'hui, sans oublier leur coût très élevé. L'application des réseaux de capteurs dans le domaine de la sécurité pourrait diminuer considérablement les dépenses financières consacrées à la sécurisation des lieux et à la protection des êtres humains tout en garantissant de meilleurs résultats[1].



FIG. 1.4: Applications à la sécurité.

1.5.4 Applications environnementales

Des thermo-capteurs dispersés à partir d'un avion sur une forêt peuvent signaler un éventuel début d'incendie dans le champ de captage ; ce qui permettra une meilleure efficacité pour la lutte contre les feux de forêt. Dans les champs agricoles, les capteurs peuvent être semés avec les graines. Ainsi, les zones sèches seront facilement identifiées et l'irrigation sera donc plus efficace. Sur les sites industriels, les centrales nucléaires ou dans les pétroliers, des capteurs peuvent être déployés pour détecter des fuites de produits toxiques (gaz, produits chimiques,

éléments radioactifs, pétrole, etc.) et alerter les utilisateurs dans un délai suffisamment court pour permettre une intervention efficace.

Une grande quantité de capteurs peut être déployée en forêt ou dans un environnement de conservation de la faune afin de recueillir des informations diverses sur l'état du milieu naturel et sur les comportements de déplacement. Par exemple, l'université de Pise en Italie a réalisé des réseaux de capteurs pour le contrôle des parcs naturels (feux, animaux,..). Il est ainsi possible "d'observer", sans déranger, des espèces animales difficiles à étudier dans leur environnement naturel et de proposer des solutions plus efficaces pour la conservation de la faune. Les éventuelles conséquences de la dispersion en masse des micro-capteurs dans l'environnement ont soulevé plusieurs inquiétudes. En effet, chaque micro-capteur est doté d'une batterie qui contient des métaux nocifs. Néanmoins, le déploiement d'un million de capteurs de 1 millimètre cube chacun ne représente qu'un volume total d'un litre. Même si tout ce volume était constitué de batteries, cela n'aurait pas des répercussions désastreuses sur l'environnement[5].



FIG. 1.5: Applications environnementales.

1.5.5 Applications commerciales

Il est possible d'intégrer des nœuds capteurs au processus de stockage et de livraison. Le réseau ainsi formé, pourra être utilisé pour connaître la position, l'état et la direction d'un paquet ou d'une cargaison. 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 position 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. Grâce aux réseaux de capteurs, les entreprises pourraient offrir une meilleure qualité de service tout en réduisant leurs coûts. Dans les immeubles, le système de climatisation peut être conçu en intégrant plusieurs micro-capteurs dans les tuiles du plancher et les meubles. Ainsi, La

climatisation pourra être déclenchée seulement aux endroits où il y a des personnes présentes et seulement si c'est nécessaire. Le système distribué pourra aussi maintenir une température homogène dans les pièces. Utilisée à grande échelle, une telle application permettrait de réduire la demande mondiale en énergie réduisant du même coup les gaz à effet de serre. Rien que pour les Etats-Unis, on estime cette économie à 55 milliards de dollars par an avec une diminution de 35 million de tonnes des émissions de carbone dans l'air. Ainsi, dans un contexte mondial où le réchauffement de la planète devient une préoccupation grandissante, une telle conséquence environnementale serait un pas dans la bonne direction[5].

1.5.6 Applications médicales

La surveillance des fonctions vitales de l'être humain serait possible grâce à des micro-capteurs qui pourront être avalés ou implantés sous la peau. Actuellement, des micro-caméras qui peuvent être avalées existent. Elles sont capables, sans avoir recours à la chirurgie, de transmettre des images de l'intérieur d'un corps humain avec une autonomie de 24 heures. Les auteurs d'une récente étude, présentent des capteurs qui fonctionnent à l'intérieur du corps humain pour traiter certains types de maladies. Leur projet actuel est de créer une rétine artificielle composée de 100 micro-capteurs pour corriger la vue.

D'autres ambitieuses applications biomédicales sont aussi présentées, tel que : la surveillance du niveau de glucose, le monitoring des organes vitaux ou la détection de cancers. L'utilisation des réseaux de capteurs dans le domaine de la médecine pourrait apporter une surveillance permanente des patients et une possibilité de collecter des informations physiologiques de meilleure qualité, facilitant ainsi le diagnostic de quelques maladies[6].

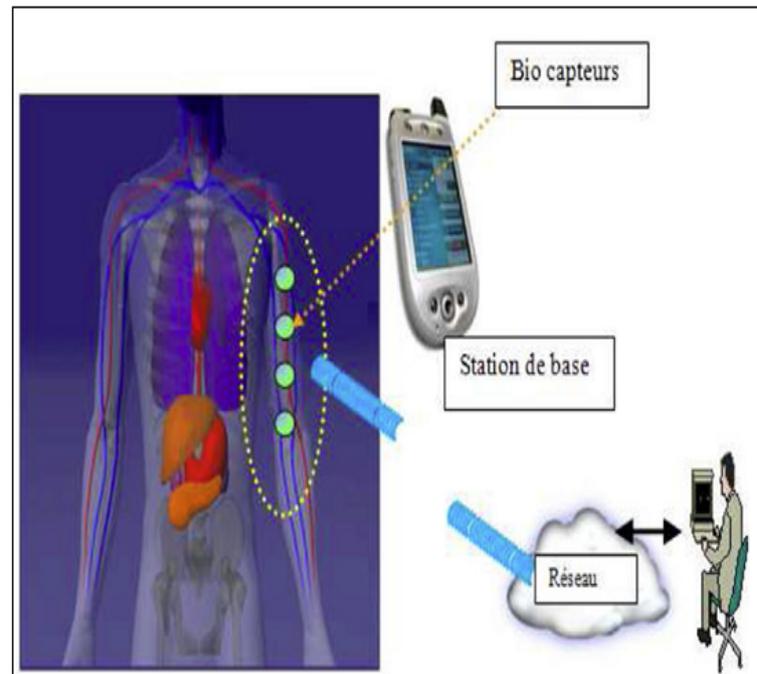


FIG. 1.6: Ensemble de capteurs dans un corps humain.

1.5.7 Applications agricoles

Dans le domaine de l'agriculture, les capteurs peuvent être utilisés pour réagir convenablement aux changements climatiques par exemple le processus d'irrigation lors de la détection de zones sèches dans un champ agricole[7].



FIG. 1.7: Applications agricoles.

1.6 Classification des applications des RCSFs

Les applications des RCSFs peuvent être classifiées en quatre classes distinctes : orientées temps (time-driven), orientées événements (event-driven), orientées requêtes (query-driven) et

hybrides (hybrid).

1.6.1 Applications orientées temps

Dans cette classe d'application, l'acquisition et la transmission de données sont liées au temps : instant précis ou période d'acquisition. Ainsi, la transmission de données dépend de la périodicité des mesures à effectuer sur l'environnement local[9].

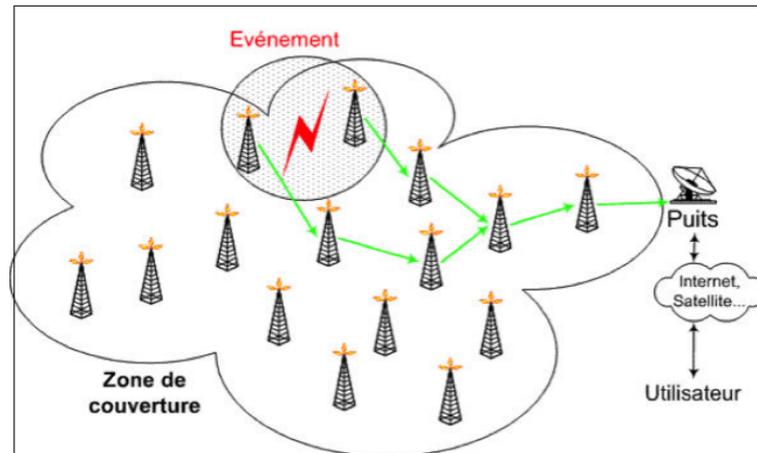


FIG. 1.8: Collection des informations suite à un événement.

La collecte de données environnementales peut en représenter un bon exemple notamment dans le domaine de l'agriculture.

1.6.2 Applications orientées événements

Dans cette classe, les capteurs envoient leurs données seulement si un événement spécifique se produit. On peut citer l'exemple de surveillance des feux dans les forêts. Au départ, cette classe d'application était conçue à des fins militaires, comme la surveillance des déplacements des objets sur un champ de bataille. Par la suite, cette classe a rapidement trouvé de nouvelles perspectives dans les domaines : industriels, médical, sécuritaire ,etc.

1.6.3 Applications orientées requêtes

Dans cette classe, un capteur n'envoie sa donnée que lorsqu'une demande explicite de la station de base lui est parvenue. Ainsi, l'utilisateur peut interroger les capteurs pour acquérir des mesures d'intérêts. Cependant, des connaissances sur la topologie du réseau et l'emplacement des capteurs peuvent s'avérer nécessaires pour l'interrogation d'un capteur bien déterminé [9].

1.6.4 Applications hybrides

Ce type d'application met en œuvre les trois modes de fonctionnement décrits précédemment. Par exemple, dans un réseau conçu pour le suivi d'objets, le réseau peut combiner entre un réseau de surveillance (time-driven) et un réseau de collecte de données par événements (event-driven). Ainsi, en plus d'un rapport périodique, lors de la détection d'un déplacement d'objet un message sera immédiatement transmis à la station de base[9].

1.7 Problèmes des RCSFs

Un ensemble de métriques permet de déterminer le design d'un réseau de capteurs. Ces facteurs influencent sur l'architecture des réseaux de capteurs et le choix des protocoles à implémenter.

1.7.1 Consommation d'énergie

L'économie d'énergie est une des problématiques majeures dans les réseaux de capteurs. En effet, la recharge des sources d'énergie est souvent trop coûteuse et parfois impossible. Il faut donc que les capteurs économisent au maximum l'énergie afin de pouvoir fonctionner. En effet, un réseau de capteurs ne peut pas survivre si la perte de nœuds est très importante car ceci engendre des pertes de communications dues à une très grande distance entre les nœuds restants. Les réseaux de capteurs fonctionnant selon un mode de routage par saut, chaque nœud du réseau joue un rôle important dans la transmission de données. Le mauvais fonctionnement d'un nœud implique un changement dans la topologie et impose une réorganisation du réseau[8].

1.7.2 Routage

En réseaux ad hoc, les protocoles de routage sont censés appliquer trois fonctions principales : la détermination et la détection des changements de la topologie du réseau ; le maintien de la connectivité réseau ; le calcul et la détection des bon itinéraires. En réseaux de capteurs, moins d'effort a été donné aux protocoles de routage, même si c'est clair que les protocoles de routage ad hoc tels que DSDV (destination sequenced distance vecteur), TORA (temporally-ordered routing algorithm), DSR (dynamic source routing), et AODV (ad hoc on demand distance vector) ne sont pas adaptés pour les réseaux de capteurs pour la cause du type de trafic qui est "plusieurs à un" et que tous les nœuds typiquement transmettent à une seule station

de base ou centre de fusion. Néanmoins, certains mérites de ces protocoles se rapportent aux caractéristiques des réseaux de capteurs, comme la communication multi-sauts et le routage QoS. Le routage peut être associé à la compression des données pour améliorer l'évolutivité du réseau[3].

1.7.3 Localisation

Un système de localisation existe déjà, qui est disponible sur toute la surface du globe le GPS. Pourtant, il n'est pas satisfaisant pour l'usage nécessaire, car il cumule les handicaps. Il est disponible seulement en extérieur, et encore si aucun obstacle ne vient obstruer le champ de vue des récepteurs : le fonctionnement sous un feuillage dense, ou dans des villes aux rues étroites, n'est pas possible, où seulement dans de très mauvaises conditions. De plus il est particulièrement coûteux, tant en ce qui concerne le matériel - qui est dupliqué en nombreux exemplaires dans un réseau à forte densité de capteurs. De plus, la réception du signal est très gourmande en énergie, ce qui n'est pas compatible avec les problématiques de gestion de durée de vie des batteries. La localisation par moyens propres est donc indispensable. Elle se fait en deux étapes : premièrement l'estimation de la distance aux autres nœuds, et ensuite la triangulation. Le développement de nouvelles techniques de localisation est devenu un grand souci pour les réseaux de capteurs sans fil[3].

1.7.4 La sécurité

En fonction de l'application, la sécurité peut être critique. Le réseau devrait permettre la détection des intrusions et la tolérance, ainsi qu'un fonctionnement robuste dans le cas de défaillance parce que, souvent, les nœuds capteurs ne sont pas protégés contre les mauvaises manipulation ou attaques. L'écoute, le brouillage, et les attaques de retransmission peuvent entraver ou empêcher l'opération ; par conséquent, le contrôle d'accès, l'intégrité des messages, et la confidentialité doivent être garanti[3].

1.7.5 Environnement

Les capteurs sont souvent déployés en masse dans des endroits hostiles. Ils sont soumis à différentes conditions d'environnement ; ils peuvent fonctionner sous haute pression au fond de l'océan, dans un environnement dur tel que les champs de bataille, dans des champs biologiquement ou chimiquement souillés ou même dans des milieux extrêmement froids. Par conséquent,

ils doivent pouvoir fonctionner sans surveillance dans des régions géographiquement éloignées ou inaccessibles[6].

1.7.6 Agrégation des données

Dans les réseaux de capteurs, les données produites par les nœuds capteurs sont très reliées, ce qui implique l'existence de redondances de données. Une approche répandue consiste à agréger les données au niveau des nœuds intermédiaires afin de réduire la consommation d'énergie lors de la transmission de ces données[8].

1.7.7 Topologie dynamique

La dynamique du réseau découle des défaillances des nœuds ou des cassures des liens entre ceux-ci. La disparition d'un nombre de capteurs dans le réseau, ainsi que le déploiement de nouveaux capteurs, rend la topologie du réseau fréquemment instable. La maintenance d'un réseau est d'autant importante que le changement de sa topologie[8].

1.8 Conclusion

Les RCSFs ne cessent de prendre une place très appréciée au sein de la communauté de la recherche vu leurs déploiement assez simple et leurs applications qui se développent chaque jour pour élargir leurs horizons.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les RCSFs, leurs caractéristiques, leurs applications dans les différents domaines de la vie ainsi que leurs problèmes.

L'un des problèmes majeurs dans les réseaux de capteurs est la localisation des nœuds de capteurs dans une zone. Plusieurs solutions à ces problèmes ont été proposées, le chapitre suivant décrira le concept de localisation dans les RCSFs.

CHAPITRE 2

La localisation dans les RCSFs

2.1 Introduction

La capacité de localisation (estimation de la position) est essentielle dans la plupart des applications de RCSF. Les procédés employés pour déterminer une position sont basés sur des calculs géométriques comme la triangulation et la trilatération.

Pour connaître la distance entre deux nœuds, plusieurs techniques peuvent être utilisées, comme la synchronisation, la puissance de signal reçu ainsi que les caractéristiques physiques de l'onde porteuse. D'autres approches, comme les caractéristiques du signal radio reçu et l'angle de l'arrivée peuvent être également appliquées pour le calcul de position. Les techniques de localisation dans les RCSFs sont utilisées pour estimer l'emplacement des capteurs sans position connu auparavant dans le réseau en utilisant les informations de position de quelques capteurs[11].

Dans ce chapitre, nous allons définir la localisation, ses objectifs, ses propriétés, ses systèmes et ses critères, ensuite nous introduisons un échantillon représentatif des différents protocoles de mesure et algorithmes de calcul de position disponibles. Enfin nous terminons avec un tableau comparatif et une synthèse.

2.2 La localisation

2.2.1 Définition

La localisation est un procédé permettant de positionner un objet sur un plan ou une carte géographique, cette opération est réalisée à l'aide d'un terminal capable d'être localisé en temps réel. La localisation dans les RCSFs est un problème qui a reçu beaucoup d'attention en raison de l'importance d'obtenir des informations de position fiable[12].

2.2.2 Les objectifs de la localisation

- Déterminer les coordonnées géographiques des différents capteurs.
- Pour le développement de protocoles de routage de l'information récoltée.
- Pour la couverture de la zone d'intérêt.
- Pour l'estimation des distances entre les nœuds [13].

2.2.3 Les propriétés de localisation

Un système de localisation doit avoir les propriétés suivantes :

- 1 . Une technique d'estimation de position (Trilatération ou triangulation).
- 2 . Un repère qui permet d'obtenir des positions et qui les organise de façon cohérente.
Trois types de positions sont observées :
 - Les positions absolues renseignent sur la position réelle de l'objet sur le globe terrestre (longitude et latitude) ou dans l'espace (longitude, latitude et altitude).
 - Les positions relatives indiquent juste une direction par rapport à un voisinage donné à droite au bout de la rue par exemple.
 - Les positions symboliques désignent par exemple une salle, un espace particulier.
- 3 . Une précision de position :une position peut aller d'un point dans le cas d'une grande précision à une surface (ou volume) si la précision de position est moins importante.
- 4 . Une architecture particulière : un système de positionnement en intérieur dans un bâtiment par exemple ne possède pas les mêmes contraintes qu'un système de localisation d'extérieur.
- 5 . Un coût (matériel, infrastructure,...)[2].

2.3 Les principaux systèmes de localisation

- ◇ **GPS (Global Positioning System)** :Système de géolocalisation par satellite. Le réseau de 24 satellites (plus 4 satellites en réserve) actuellement en fonctionnement, développé par l'armée américaine, est mis à disposition des civils. Il permet de déterminer les coordonnées géographiques de n'importe quel point situé à la surface du globe. Sa précision peut atteindre 1 mètre.[13].
- ◇ **Galileo** Ce système vise à supprimer la dépendance de l'Europe à l'utilisation du système américain GPS (Global Positioning System). Cette indépendance est essentielle car le système américain souffre de restrictions sur la précision de positionnement, sur la fiabilité et sa continuité. De plus, le positionnement dans certaines régions du globe n'est pas possible avec le GPS pour des raisons techniques ou politiques[14].
- ◇ **Le système IRNSS (Indian Regional Nafigational Satellite System)** : Est une proposition de système de positionnement par satellites qui serait construit et contrôlé par le gouvernement Indien. Il va fournir la position absolue à une précision de 20 mètres à travers toute l'Inde et à une distance de 1500 à 2000 km des frontières.
- ◇ **Glonass Signifie en russe GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema** Soit système mondial de navigation par satellite. C'est un système de positionnement développé par l'actuelle Union Soviétique et contrôlé pour le gouvernement russe par l'agence spatiale russe. Il est une alternative et complémentaire du GPS américain et du futur Galiléo européen.

Le développement de Glonass a débuté en 1976 avec une couverture mondiale en 1991. Le premier lancement de satellite a eu lieu le 12 octobre 1982 et la totalité des satellites furent mis en orbite en 1995. Cependant, après l'achèvement du projet, le système se délabra avec l'effondrement de l'économie russe. Les Russes lancèrent un grand projet de restauration du système en 2001, en introduisant notamment le gouvernement indien en tant que partenaire, et accélérant ainsi le programme de restauration du système qui a été achevé en 2009[14].

2.4 Critères de localisation

Un algorithme de localisation est évalué selon une liste de critères dont nous citons :

2.4.1 Précision de localisation

L'erreur de la localisation est souvent définie comme étant, la distance euclidienne entre les vraies positions des nœuds et celles estimées par l'algorithme. L'objectif d'un algorithme de localisation est de minimiser cette erreur pour augmenter la précision de localisation. Généralement, cette imprécision vient de l'imprécision des méthodes d'estimation de la distance. Les obstacles environnementaux et les terrains irréguliers peuvent influencer la précision des algorithmes de localisation.

2.4.2 Contraintes de ressources

Les nœuds capteurs possèdent généralement des ressources très limitées. Ils possèdent de faibles processeurs et de petites mémoires, ce qui rend les grands calculs irréalisables. Par conséquent, un algorithme de localisation doit être simple et non complexe et son développement n'exige pas de grands calculs ni de grande capacité de stockage de mémoire. De plus, nous ajoutons la rapidité de l'algorithme[13].

2.4.3 Contraintes énergétique

La seule source d'énergie d'un nœud capteur est sa batterie. Pour cela, dans les réseaux de capteurs, une gestion de l'énergie très économique est nécessaire. Comme le facteur dominant de la consommation d'énergie est la communication radio, il faut trouver un algorithme de localisation qui communique le moins possible via la radio[13].

2.4.4 Passage à l'échelle

Les réseaux de capteurs sont généralement envisagés à large échelle, avec des centaines voire des milliers de nœuds. La question qui se pose, est-ce qu'un algorithme de localisation fonctionne sur un réseau de plusieurs milliers de nœuds ? Et si oui, est-il toujours aussi efficace ? Ce critère est en rapport avec le fait qu'un algorithme soit imprésentable de façon distribuée ou non[13].

2.4.5 La complexité

Pour obtenir une meilleure complexité il faut avoir le plus petit nombre d'opérations qu'aura à exécuter l'algorithme[16].

2.5 Protocoles de mesure

2.5.1 Protocoles de collecte dans les méthodes range-based

Selon la caractéristique du signal à récupérer, le processus de collecte change. Nous présentons dans ce qui suit les deux principales caractéristiques physiques utilisables, la puissance du signal et le temps[15].

- ◇ **Indicateur de puissance du signal reçu** : La localisation par la technique RSSI implique le stockage de la valeur de ce paramètre mesuré pour une trame entrante dans une structure dédiée. Les nœuds peuvent exploiter les communications existantes pour générer leurs données et donc minimiser l'impact de la collecte sur la disponibilité du médium[15].
- ◇ **Temps de vol du signal** : Nous classerons les protocoles de collecte d'informations temporelles suivant le nombre de signaux intervenant dans leur mise en œuvre[15].

2.5.2 Protocoles de collecte pour les méthodes range-free

Les méthodes range-free se dispensent de mesurer la distance séparant le mobile des balises. Elles exploitent des hypothèses sur la connectivité en vue d'estimer les écarts avant d'appliquer la trilatération ou une méthode géométrique équivalente. La famille DV-Hop se base sur l'inondation pour collecter les informations concernant le réseau comme l'adresse des balises et le nombre de sauts séparant le mobile de chacune des balises[15].

2.6 Technique de localisation

2.6.1 RSSI (Received Signal Strength Indicator)

Indicateur de puissance du signal Reçu-RSSI : Le RSSI (received signal Strength Indication) est un indicateur de la puissance de signal au moment de la réception d'un message [24]. Dans les réseaux de capteurs sans fil chaque capteur est équipé d'une radio. En théorie, l'orsqu'un équipement radio émet un signal radio diminue avec le carré de la distance de la source du signal. Ce phénomène s'explique par les interactions entre l'onde et le milieu de propagation. De ce fait la technique de localisation basé sur le RSSI, un nœud récepteur à l'écoute d'une transmission radio doit être en mesure d'utiliser la puissance du signal reçu pour estimer sa distance de l'émetteur [25];[26]. Un certain nombre de travaux permettent d'estimer la puissance moyenne

d'un signal pour une distance donnée, aussi bien que la variabilité du signal. Cette approche est détaillée dans la proposition RADAR. La mesure du signal RSSI est représentée par l'équation suivante :

$$RSSI_{(d)} = 10 * \log_{10}(pr(d) * pref(d)) \quad (2.1)$$

- $p_r(d)$: Est la puissance du signal reçu .
- $pref(d) = pt(d)$: Est la puissance de référence (du signal transmis).

Puissance du signal radio ($pr(d)$) : Les mesures basées sur l'intensité du signal reçu estiment les distances entre les capteurs voisins à partir des mesures de l'intensité du signal reçu entre les deux capteurs. La plupart des appareils sans fils ont la capacité de mesurer l'intensité du signal reçu. RSSI propose une solution élégante pour l'estimation des distances dans les réseaux de capteurs en utilisant un modèle de propagation des ondes radio ; puisque tous les nœuds possèdent leurs propres radios. Plusieurs modèles existent ; le plus simple utilise la formule de firis suivante :

$$P_r(d) = p_t(d) * G_t * G_r * (\lambda/4\pi d)^\alpha * (1/p_{loss}(d)) \quad (2.2)$$

- $P_r(d)$:Puissance du signal reçue.
- $P_t(d) = P_e(d)$:puissance du signal transmis(d'émission).
- G_r :Gain numérique de l'antenne du récepteur.
- $G_t = G_e$:Gain numérique de l'antenne transmetteur (l'émetteur).
- $P_{loss}(d)$:Pertes de propagation en espace libre.
- d :Distance entre l'émetteur et le récepteur .
- α : Le coefficient d'affaiblissement du signal radio (dB) dépend du milieu de propagation,
 $2 \leq \alpha \leq 6$
- $\lambda = c/f$:vitesse la lumière.

Les bilans de liaison utilisent généralement le modèle de l'équation (2,2) pour prédire le niveau de puissance du signal reçue $P_r(d)$ à une certaine d (de l'émetteur au récepteur) connaissant la puissance du signal transmis $P_t(d)$. Le milieu traversé est caractérisé par les pertes de propagation en espace libre tel que :

$$P_{loss} = 20Log(\lambda/4\pi * d) \quad (2.3)$$

Ces pertes sont liées à la distance d , et à la fréquence du signal dont la longueur d'onde λ intervient dans la formule.

Finalement, les gains des antennes d'émission et de réception utilisées, G_t et G_r , entrent en ligne de compte. Ce modèle fait donc l'hypothèse d'une répartition uniforme de l'énergie sur des sphères concentriques.

Dans le cas où le milieu traverse n'est pas caractérisé par les pertes de propagation en espace libre, le RSSI est l'inverse du carré de la distance d entre l'émetteur et le récepteur. Dénotons la puissance reçue par $P_r(d)$ dans la formule suivante :

$$P_r(d) = p_t(d) * G_t * G_r * (\lambda/4\pi d)^2 (\alpha = 2, \text{ par exemple}) \quad (2.4)$$

Avantages

- RSSI est efficace pour estimer la distance entre deux nœuds.
- RSSI améliore l'exécution.
- RSSI est approximativement identique quand l'objet se tient dans des grilles symétriques[16].

Inconvénient

- RSSI est efficace seulement dans les réseaux très connectés.

2.6.2 La triangulation

La triangulation est un algorithme utilisant les propriétés géométriques du triangle pour pouvoir positionner un nœud à partir de deux nœuds de référence. Il utilise pour cela :

- la loi des sinus
- le théorème d'Al Kashi

Soit un triangle ABC, dans lequel on utilise les notations usuelles exposées sur d'une part α , β et γ pour les angles et, d'autre part, a , b et c pour les cotés respectivement opposés à ces angles. Alors, le théorème d'al-Kashi stipule que $c^2 = a^2 + b^2 - a \times b \times \cos(\gamma)$. A partir de ces relations et de deux nœuds de référence, on peut obtenir la position d'un troisième nœud. On utilise en effet, la distance AC entre les deux balises puis on mesure les angles A et C. Ensuite, il existe plusieurs solutions pour arriver à déterminer les deux distances AB et BC qui nous manquent. Cet algorithme utilise donc moins de nœuds de référence mais nécessite la connaissance de plus d'informations liant les trois nœuds. Il est en effet nécessaire de connaître les angles formés par le triangle issu des trois nœuds, les autres algorithmes n'utilisant que les distances[17].

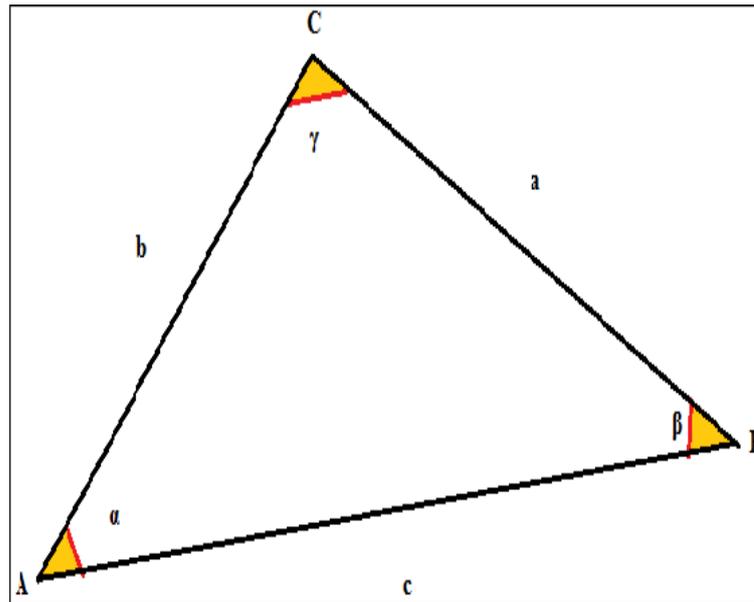


FIG. 2.1: *Triangulation*

Avantage

- La triangulation utilise moins de nœuds de référence.

inconvénient

- La triangulation nécessite la connaissance de plus d’informations liant les trois nœuds .

2.6.3 Trilatération

Soient trois balises B1, B2 et B3 et M le nœud mobile que l’on désire localiser. L’exécution du protocole de mesure de distance a produit le triplet (d1, d2, d3) et les échanges de données ont permis au mobile de connaître les positions des balises. Les équations suivantes décrivent la relation entre B1, B2 et M[15].

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \tag{2.5}$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \tag{2.6}$$

La position recherchée se trouve donc à l’intersection des cercles C1 (B1, d1) et C2 (B2, d2). Dans le cas général, C1 et C2 se rencontrent en deux points distincts M et M’. Grâce aux données de l’ancre B3, l’un de ces deux candidats peut être retenu comme position du mobile[15].

Avantage

- La trilatération consomme moins d’énergie.

inconvénient

- trompe car elle perd beaucoup d’information.

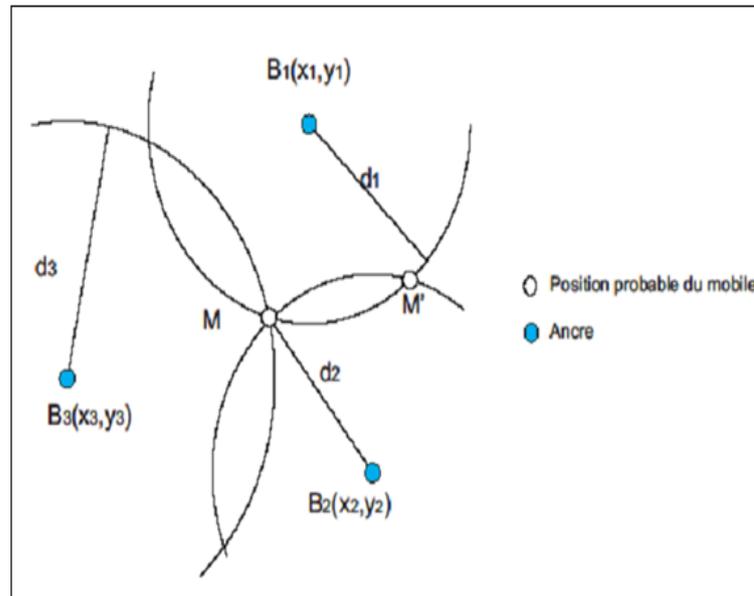


FIG. 2.2: Trilatiration

2.6.4 TDOA

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

$$\Delta t_{ij} = t_i - t_j = 1 \div c(\| X_t - X_i \| - \| X_i - X_j \|) \quad (2.7)$$

Avec t_i et t_j sont respectivement les temps d'arrivée du signal de l'émetteur au récepteurs i et j , et c est la vitesse de propagation du signal de l'émetteur. En supposant que l'emplacement des récepteurs est connu et que les deux récepteurs sont parfaitement synchronisés, l'équation définit une branche d'hyperbole à laquelle l'émetteur doit se trouver. Les foyers de l'hyperbole sont les emplacements des récepteurs I et J . Dans un système des récepteurs N , il y a $N-1$ mesures TDOA linéairement indépendantes, donc $N-1$ équations linéairement indépendantes comme l'équation précédente. Les mesures TDOA de trois récepteurs au minimum sont requises pour déterminer l'emplacement de l'émetteur[17].

Avantage

- TDOA fonctionne très bien dans les environnements urbains, suburbains et d'intérieur.

Inconvénients

- Les nœuds de référence doivent être synchronisés.

- TDOA souffrant en conditions rurales extrêmes[17].

2.6.5 HT-Refine

Dans la méthode HT-Refine, toutes les ancras diffusent leurs positions. Lorsqu'un capteur reçoit la position d'une ancre, il estime la distance qui le sépare d'elle. Pour ce faire, HT-Refine utilise la technique d'estimation des distances DV-Hop. Cette méthode s'exécute en deux phases,

- DV-Hop
- Raffinement des positions[18].

◇ DV-HOP

La phase DV-Hop permet aux nœuds d'avoir une première estimation de leurs positions.

DV-Hop est constituée de deux vagues de diffusions effectuées par les ancras ; la première sert à diffuser leurs positions et la deuxième à diffuser les distances moyennes calculées.

Pour la phase DV-Hop :

- TimerSend : Il sert à débiter la phase de diffusion des positions des ancras.
- TimerDistanceAncre : Ce timer ne concerne que les ancras, après qu'une ancre ait diffusé ses coordonnées, elle attend le déclenchement de ce timer pour calculer les distances qui la séparent des autres ancras. Ensuite, elle calcule sa distance moyenne et la diffuse dans le réseau.
- TimerDistanceMoyenne : la finalité de ce timer déclenche le calcul de la distance moyenne par les nœuds inconnus en utilisant les informations reçues de la part des ancras. Une fois la distance moyenne obtenue, le nœud estime sa position[18].

Avantages

- DV-hop est une méthode stable et probable insensible à la source d'erreur.
- DV-hop est une méthode qui permet d'estimer de très grandes distances[16].

inconvenient

- DV-hop est une méthode qui introduit un lourd surcoût de communication ce qui entraîne une consommation d'énergie très importante[16].

◇ **La phase de raffinement** servira à améliorer les estimations des nœuds, le nombre de vagues de diffusions dans cette phase dépend du nombre d'itérations définies. Pour la phase de raffinement :

- **TimerRaffinement** :Après avoir diffusé ses positions estimées une première fois, le nœud va initialiser ce timer. La fin de ce dernier déclenchera les opérations suivantes : le recalcule des coordonnées et l’envoi de ces nouvelles positions. Le timer sera réinitialisé dans chaque étape itérative. Pour la phase de raffinement, dès lors que le capteur inconnus estime sa position, il va la diffuser afin de raffiner les estimations des autres nœuds ; cela va se faire de façon itérative[18].

2.6.6 Algorithmes multidimensionnels

- ◇ **MDS - MAP** La technique du cadrage multidimensionnel (MDS) peut trouver son fondement dans la théorie des graphes, elle a été à l’origine utilisée en psychométrie et en psychophysique. Elle est souvent utilisée dans le cadre de l’analyse exploratoire des données ou d’une technique de visualisation d’information qui affiche la structure des données à distance, sous forme d’une image géométrique. Le but typique de la MDS est de créer une configuration de points dans une, deux ou trois dimensions, dont les distances inter-point sont ”proches” des distances inter-point connues (et peut-être inexact). Selon un critère utilisé pour définir ”proche”, de nombreuses variantes de MDS de base existent. MDS a été appliquée dans de nombreux domaines, tels que l’apprentissage automatique et la chimie de calcul. Lorsqu’il est utilisé pour la localisation, MDS utilise la connectivité ou les informations de distance entre les capteurs pour l’estimation de l’emplacement. La forme de base du MDS est une technique de localisation centralisée et ne peut être utilisés que dans un réseau régulier où la distance entre deux nœuds le long du chemin le plus court est proche de leur distance euclidienne. Cependant plusieurs variantes de l’algorithme à la base de MDS sont proposées qui permettent la mise en œuvre de MDS dans les environnements distribués et les réseaux irréguliers. Il existe quatre algorithmes basés sur MDS : MDS-MAP (C), MDS-MAP (P), MDS-hybride et Range Q-MDS. MDS-MAP (C) est un algorithme centralisé. MDS-MAP (P) est une variante du MDS-MAP (C) pour la mise en œuvre dans un environnement distribué. Il a de meilleures performances que MDS-MAP (C) dans les réseaux irréguliers. MDS-hybride estime la position relative dans un environnement sans nœuds ancrés. Range Q-MDS utilise une technique d’estimation de la distance basé sur RSS quantifié pour permettre une localisation plus précise que les algorithmes utilisant uniquement les mesures de la connectivité binaires (deux nœuds sont soit connecté ou non connecté)[2].
- ◇ **CCA - MAP** : CCA - MAP est similaire en ce qu’il génère des cartes locales relatives à des

sections du réseau puis les regrouper dans un système de coordonnées global. CCA-MAP est mieux que MDS-MAP car l'algorithme est plus efficace.

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

CCA-MAP est souple quant à l'endroit où les calculs peuvent être effectués. Les calculs de la carte locale peuvent être effectués au niveau des nœuds eux-mêmes, si les ressources de calcul le permettent, ou sous-traitée à plusieurs nœuds passerelle puissante ou un serveur central. La fusion de la carte Local peut être réalisée en parallèle à des nœuds sélectionnés dans le réseau, ou encore à un serveur central[2].

2.7 Tableau comparative

Critère/ Protocole	RSSI	Triangulation	TDOA
La précision de distance	Minimiser l'erreur de précision tout en gardant sa simplicité	Une grande précision (la position exacte)	la précision dépend de l'environnement du réseau
Contraintes de ressources	Accès au matériel	Les calculs se font sur la machine puissante	Accès au matériel
Contraintes énergétique	Réduire la consommation d'énergie	Conservation de l'énergie	La consommation durant les émissions et les réceptions
Passage à l'échelle	Méthode très efficace	Efficace le temps de convergence	Synchronisation
La complexité	/	La complexité est $O(N)$	complexe : des exigences de précision des horloges

Critère/ Protocole	DV-HOP	MDS et CCA
La précision distance	position presque exacte	Permet une localisation plus précise
Contraintes de ressources		Les calculs se font sur la machine puissante
Contraintes énergétique	Consommation d'énergie forte	Consommation d'énergie Forte
Passage à l'échelle	/	Non robustes.
complexité	/	Le coût est $O(n^3)$ Très complexe

TAB. 2.1: *Tableau comparative*

2.8 La synthèse

Le problème de localisation est crucial pour de nombreuses applications dans les RCSFs. Les capteurs peuvent être équipés avec des technologies différentes pour calculer des distances ou des angles lorsqu'un capteur reçoit un message provenant d'un capteur voisin. Les capteurs peuvent aussi être équipés pour avoir des capacités différentes, et dans ce cas, les capteurs utilisent uniquement les positions d'ancrage pour obtenir leurs positions.

La capacité de localisation (estimation de la position) est essentielle dans la plupart des applications de réseaux sans fil de capteurs. Dans les domaines de surveillance de l'environnement comme : la surveillance de l'habitat des animaux et la surveillance de la qualité de l'eau. Les données de mesures ne sont pas une connaissance précise de l'endroit d'où les données sont obtenues. Par ailleurs, la disponibilité d'informations de localisation permet l'apparition de nouvelles applications telles que la gestion des stocks, la détection d'intrusion, le suivi de la circulation routière, la surveillance de la santé, etc... La plupart des procédés employés pour déterminer une position sont basés sur des calculs géométriques comme la triangulation (en mesurant des angles par rapport à des points fixes ou des nœuds connaissant leur position) et la Trilatération (en mesurant la distance entre les nœuds). Pour connaître la distance entre deux nœuds, plusieurs techniques peuvent être utilisées, comme la synchronisation, la puissance de signal reçu ainsi que les caractéristiques physiques de l'onde porteuse. D'autres approches, comme les caractéristiques du signal radio reçu et l'angle de l'arrivée peuvent être également appliquées pour le calcul de position.

Beaucoup de méthodes supposent que certains capteurs dans les réseaux connaissent leur positions- exacte (GPS, etc). Ces capteurs sont appelés ancres. Il existe deux catégories parmi ces méthodes : la première, de la localisation sans plage régimes qui déduisent les positions estimées pour tous les nœuds du réseau avec coordonne seul point d'ancrage. Deuxièmement, la localisation par intervalle qui utilise les techniques TDOA, TOA etc., permettant de calculer des distances ou des angles entre deux capteurs voisins.

Les techniques de localisation dans les RCSFs sont utilisées pour estimer l'emplacement des capteurs sans position connu auparavant dans le réseau en utilisant les informations de position de quelques capteurs spécifiques dans le réseau et leurs inter-mesures tels que : la distance, le décalage horaire d'arrivée, l'angle d'arrivée et la connectivité.

Les capteurs avec les informations de localisation, a priori connus, sont appelés ancres ou références et leurs emplacements peut être obtenu en utilisant un système de positionnement

global (GPS), ou bien en installant des points d'ancrage à des points avec des coordonnées connues.

2.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes méthodes et protocoles ainsi que quelques algorithmes existants utilisées pour la localisation des RCSFs.

Les systèmes de localisation ont pour but de déterminer des emplacements physique (coordonnées) de tous les nœuds dans un réseau. Les RCSFs sont une nouvelle technologie qui a surgit après les grands progrès technologiques concernant le développement des capteurs intelligents capables de détecter des événements et de préciser sa position pour cela dans le chapitre suivant nous allons proposer une technique de localisation efficace pour estimer la position des nœuds.

CHAPITRE 3

Algorithme proposé

3.1 Introduction

Dans les dernières années les RCSFs sont devenus indispensables pour de nombreuses applications. La localisation dans les réseaux de capteurs déployés de manière aléatoire, dont le terme localisation est utilisé pour faire référence à un système permettant de déterminer l'emplacement d'un objet. Dans ce chapitre, nous présentons notre algorithme de localisation dans les RCSFs. En commençant par la présentation des motivations puis l'illustration approfondie de tous les détails de fonctionnement de notre algorithme.

3.2 Motivations

Les applications des RCSFs nécessitent souvent la connaissance de l'emplacement exact des nœuds. La majeure partie des solutions existantes nécessitent la connaissance de la localisation des capteurs. Pour un réseau dense dans lequel nous pouvons avoir des centaines voire des milliers de capteurs, le coût de communication devient très élevé ce qui entraîne une mauvaise performance de réseau. Le but de notre travail, c'est de proposer un protocole dans les RCSFs, qui nous permet de localiser les capteurs dans une zone d'intérêt. En essayant de maximiser le nombre des nœuds (passage à l'échelle), minimiser la consommation d'énergie et l'erreur d'estimation de la distance. nous disposons d'une station de base équipée d'une antenne rotative capable d'émettre un signal radio dans une zone qui contient plusieurs capteurs sans fil qui sont

déployés de manière aléatoire. Parmi les techniques de localisation des RCSFs, nous avons choisi la technique de la puissance du signal reçu (RSSI) et la triangulation.

3.3 Principe de l'algorithme

3.3.1 Algorithme proposé

Cet algorithme s'exécute en trois étapes :

✘ **Le déploiement** : Le déploiement des nœuds est la première opération (phase) dans le cycle de vie d'un réseau de capteurs. nous pouvons envisager plusieurs formes de déploiements selon les besoins des applications. Les nœuds peuvent être déployés aléatoirement par un avion ou une roquette, ou bien ils peuvent être placés un par un d'une manière déterministe . Dans un grand nombre d'applications, le déploiement manuel est difficile. De plus, même lorsque l'application permet un déploiement déterministe, le déploiement aléatoire est adopté dans la majorité des cas pour des raisons de coût et de temps.

✘ **Le balayage** : Cette étape est divisée en deux sous étapes.

La diffusion : Il s'agit de choisir un pas en degré, la station de base diffuse un signal dont lequel elle envoie la puissance d'émission, l'angle de diffusion et ses coordonnées.

Le calcul : Une fois la diffusion est faite :

- Calcul de distance : A la réception de signal, chaque nœud calcule la puissance d'une réception donc il va déduire la perte du signal à l'aide de la méthode RSSI, cette perte est traduite comme une distance qui le sépare à la station de base.

- Calcul de position : Dès que le nœud ne reçoit plus le signal de la station de base, il calcule la moyenne des distances et la moyennes de tous les α qui l'a reçu, ensuite on applique la méthode de triangulation.

✘ **La collecte des positions** : Une fois les nœuds ont fait le calcul de leurs positions, ils vont communiquer la station de base.

3.3.2 Le schéma de l'algorithme proposé

Nous supposons que nous avons N nœuds qui sont déployés aléatoirement dans un espace à deux dimensions. La station de base est équipée d'un transmetteur de signale capable d'effec-

tuer un balayage directionnelle sur 180° . Chaque antenne directionnelle se caractérise par une valeur β , de telles sortes qu'à chaque diffusion via un angle α alors tous les nouds situées dans l'intervalle $[\alpha - \beta; \alpha + \beta]$ recevrons le signal de la station de base. Nous définissons une autre valeur γ qu'est le pas qui sépare deux diffusion successives .

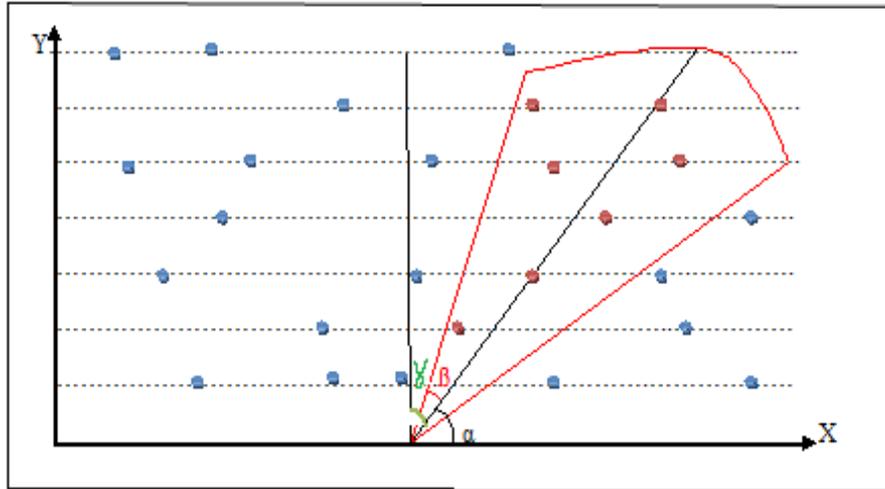


FIG. 3.1: Schéma de l'algorithme proposé

3.4 RSSI (Received Signal Strength Indicator)

Indicateur de puissance du signal Reçu-RSSI : Le RSSI (received signal Strength Indication) c'est un indicateur de la puissance de signal au moment de la réception d'un message[19].

Dans les RCSFs chaque capteur est équipé d'une radio. En théorie, l'orsqu'un équipement radio émet un signal radio diminue avec le carré de la distance de la source du signal. Ce phénomène s'explique par les interactions entre l'onde et le milieu de propagation. De ce fait la technique de localisation basé sur le RSSI, un nœud récepteur à l'écoute d'une transmission radio doit être en mesure d'utiliser la puissance du signal reçu pour estimer sa distance de l'émetteur[20].

3.4.1 Le fonctionnement de l'algorithme

1. Notre protocole ne nécessite aucune ancre à l'exception de la station de base dont la position doit être connue .
2. Soit N le nombre de nœuds déployés aléatoirement dans la zone d'étude.
3. Nous supposons que la station de base connait sa position exacte.

4. Nous choisissons le pas γ en degré.
5. La station de base diffuse un signal dont lequel elle inclue sa position, sa puissance d'émission et l'angle de diffusion α .
6. Tous les nœuds se mettent en écoute.
7. Les nœuds qui se trouvent dans l'intervalle $[\alpha-\beta; \alpha+\beta]$ vont recevoir le signal de la station de base .
8. A chaque fois un nœud reçoit un message, dont lequel il aura la puissance d'émission, l'angle α et les coordonnées de la station de base, il va les enregistrés dans un tableau.
9. La station de base se positionne sur un nouvelle angle qui est $\alpha+\gamma$ (γ : est le pas de diffusion) et on répète tous les étapes a partir de l'étapes N^05 .

Remarque : La station de base interrompe les diffusions lorsque l'angle de diffusion atteint 180° .

3.5 Détermination de la localisation

Une station de base a des coordonnées $SB(X_{SB}, 0)$ est supposée tourner continuellement leurs antennes de degrés α pour la transmission de signal dans des mêmes directions de faisceau. Connaissant la puissance de signal RSSI reçu on peut avoir la distance estimée entre la station de base et le capteur récepteur .

Après que la station de base obtient la distance entre le capteur récepteur, on peut calculer l'emplacement de nœud de capteur, le point est N (X_e, Y_e) , et l'angle entre l'axe X est α change a chaque balayage de la station. Les coordonnées de N peuvent être obtenues par les équations suivantes :

$$X_e = d * \cos \alpha + X_{SB} \quad (3.1)$$

$$Y_e = d * \sin \alpha \quad (3.2)$$

3.6 Conclusion

L'étude et l'analyse des principaux protocoles et approches de la localisation pour les RCSFs nous a permis de proposer un protocole de localisation dont l'objectif principal est la localisation de tous les nœuds sont avoir recourt à l'utilisation des ancres et avec un coût énergétique optimal.

L'étude des performances et la simulation de notre protocole seront présentées en détaille dans le chapitre suivant.

CHAPITRE 4

Simulation et évaluation de performance

4.1 Introduction

Après avoir présenté le protocole de localisation dans les RCSFs dans le chapitre précédent, nous passerons à l'évaluation de ses performance en prenant en compte plusieurs métriques, à savoir, la contrainte d'énergie, à travers le nombre de message envoyés par un capteur et le passage à l'échelle. Dans ce chapitre, nous allons en premier lieu, présenter le logiciel que nous avons utilisé pour les simulations MATLAB, ensuite, nous allons présenter les contextes de simulation et les résultats pour le protocole de localisation étudié avec discussion de résultat.

4.2 Environnement de la simulation

4.2.1 Choix du langage de programmation

Pour effectuer nos simulations, nous avons utilisé le logiciel MATLAB. Un choix motive par le fait que la localisation peut être vue comme un problème purement géométrique. De plus MATLAB (MATriX LABoratory) est un logiciel de calcul numérique produit par MathWorKs. Il est disponible sur plusieurs plateformes. MATLAB est un langage simple est très efficace, optimise pour le traitement des matrices, d'où son nom, il optimise le code des programmes en utilisant des fonctions prédéfinies. Il permet l'affichage des courbes et des données, la mise en œuvre des algorithmes et la création des interfaces.

4.2.2 Variables descriptives du système

4.2.2.1 Précision de la localisation

Nous parlons de l'erreur qu'il y a entre les vraies positions des nœuds et les positions calculées par la localisation.

4.2.2.2 Coordonnées d'un capteur sur un plan 2D

C'est l'affectation de deux valeurs aléatoires (x,y) , comprise entre 0 et la taille de la zone de déploiement, à chaque capteur sur un plan à deux dimensions.

4.2.2.3 Coût énergétique de la localisation

Dans les RCSFs, une gestion économique d'énergie est nécessaire, étant donné que le facteur dominant de la consommation d'énergie est la communication radio, il faut donc trouver un algorithme qui communique le moins possible via le support radio.

Les données dans la figure (4.1) sont tirées à partir d'un réseau de 100 nœuds déployés aléatoirement sur une surface carré de 100×100 unités de mesure, fournissant un réseau entièrement connecté. Nous supposons que tous les nœuds ont une position fixe durant toute la période de simulation.

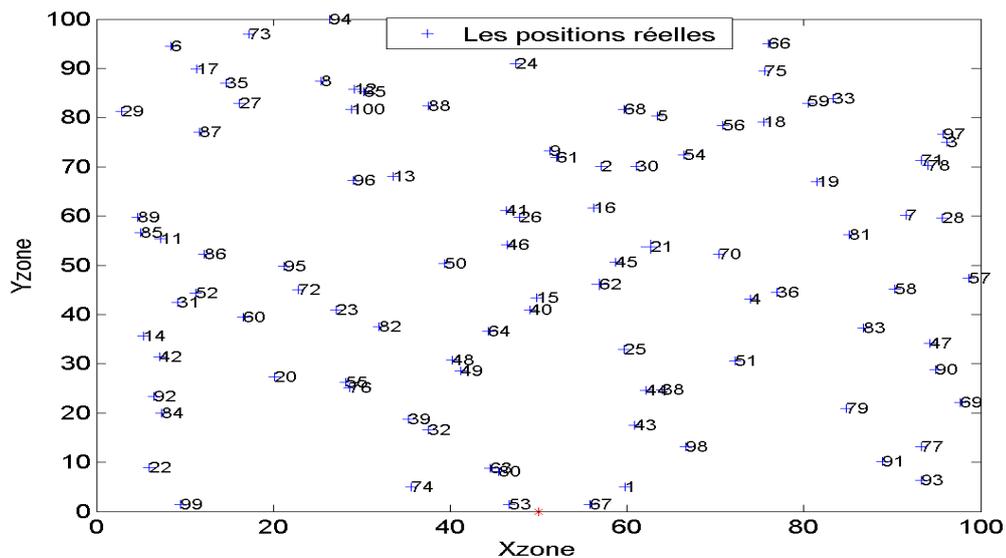


FIG. 4.1: Le modèle de réseau étudié

4.3 Paramètres de performance

4.3.1 Précision de localisation

Cette méthode consiste à comparer la position réelle d'un nœud avec sa position calculée (estimée) en utilisant la distance euclidienne.

$$ErreurN_i = \sqrt{(X_e - X_r)^2 + (Y_e - Y_r)^2} \quad (4.1)$$

$$ErreurMoy = \sum_{(i=1)}^N ErreurNi/N \quad (4.2)$$

Tel que :

- X_r, Y_r : les positions réelles d'un nœud.
- X_e, Y_e : les positions d'un nœud trouvées par notre proposition.
- N : le nombre des nœuds.
- Erreur N_i : l'erreur d'un nœud.
- ErreurMoy : L'erreur moyenne.

4.3.2 Consommation d'énergie

Dans notre proposition, nous allons utiliser le modèle radio. Pour le calcul de la consommation d'énergie en émission et réception. Avant de présenter le résultat de la simulation, nous faisons les hypothèses suivantes :

- La station de base est située loin du réseau de capteur 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 la puissance de calcul.

Pour l'émission d'un message :

$$E_e = E_{elec} \times pk + E_{amp} \times pk \times d^2 \quad (4.3)$$

pour la réception d'un message :

$$E_r = E_{elec} \times pk \quad (4.4)$$

Ou :

- E_{elec} : est l'énergie électronique (énergie consommée par le transmetteur électronique), elle est fixée à 50 nJ/bit.

- E_{amp} : est l'énergie nécessaire pour l'amplification ((énergie consommée par l'amplificateur électronique), elle est fixée à 50 nJ/bit.
- pk : est la taille en bit d'un paquet de donnée.
- d : est la distance en mètre entre l'émetteur et le récepteur d'un paquet de données[21] ;[22].

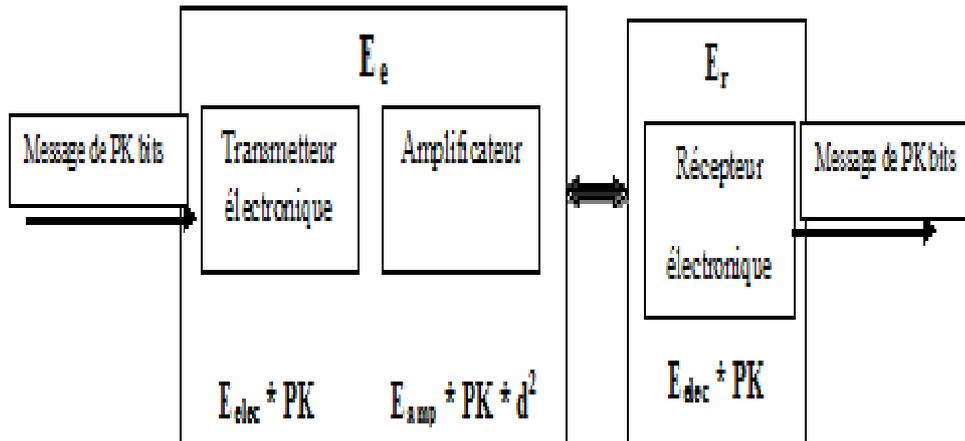


FIG. 4.2: Le modèle d'énergie

4.3.3 Passage à l'échelle

Le nombre de nœuds dans le réseau est un paramètre très important car il nous permet d'évaluer le comportement des paramètres du réseau, tels que l'erreur de précision et la consommation énergétique.

4.4 Evaluation de performance

4.4.1 Précision de localisation

La figure (4.3) montre le résultat de l'estimation des positions réelle et les positions estimées des capteurs dans un intervalle de balayage compris entre 0^0 et 180^0 , pour 100 nœuds.

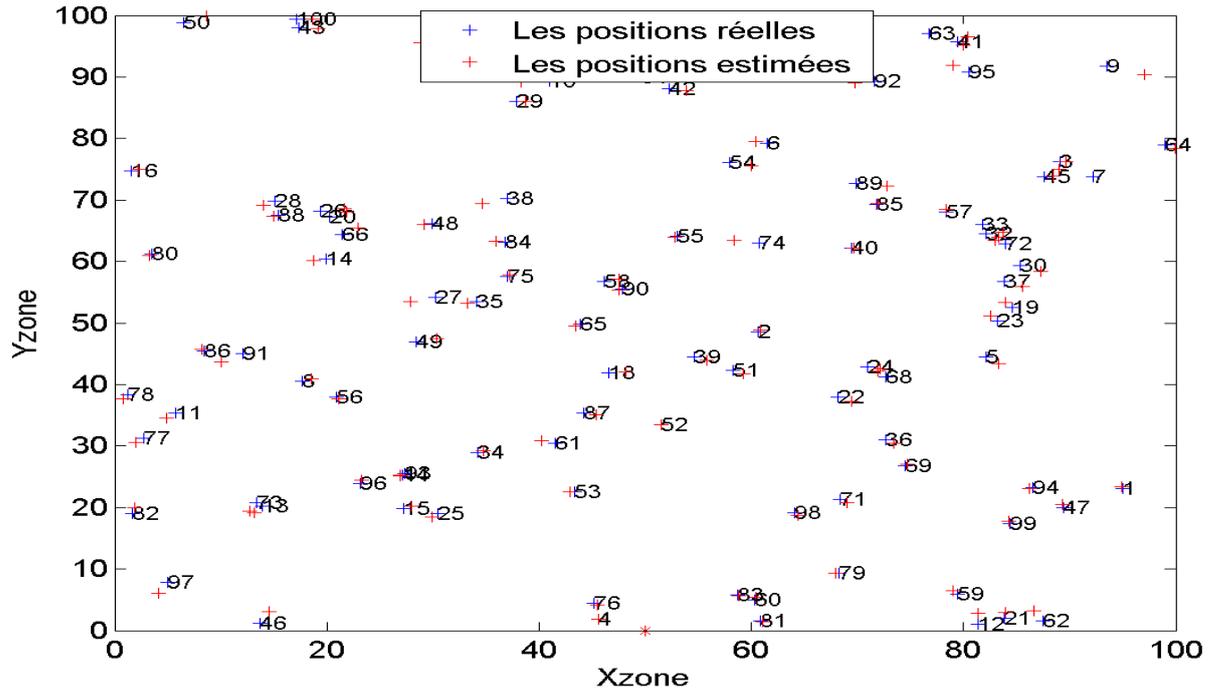


FIG. 4.3: Le réseau de capteurs avec les positions estimées des nœuds

La figure (4.4) présente les distributions cumulatives d'erreur d'estimation de la distance de chaque nœud dans la région désirée pour intervalle de balayage 0^0 jusqu'à 180^0 . Les résultats montrent que les erreurs de localisation des nœuds de capteurs sont d'environ au plus 3.5 m, cette erreur diffère d'un capteur à un autre.

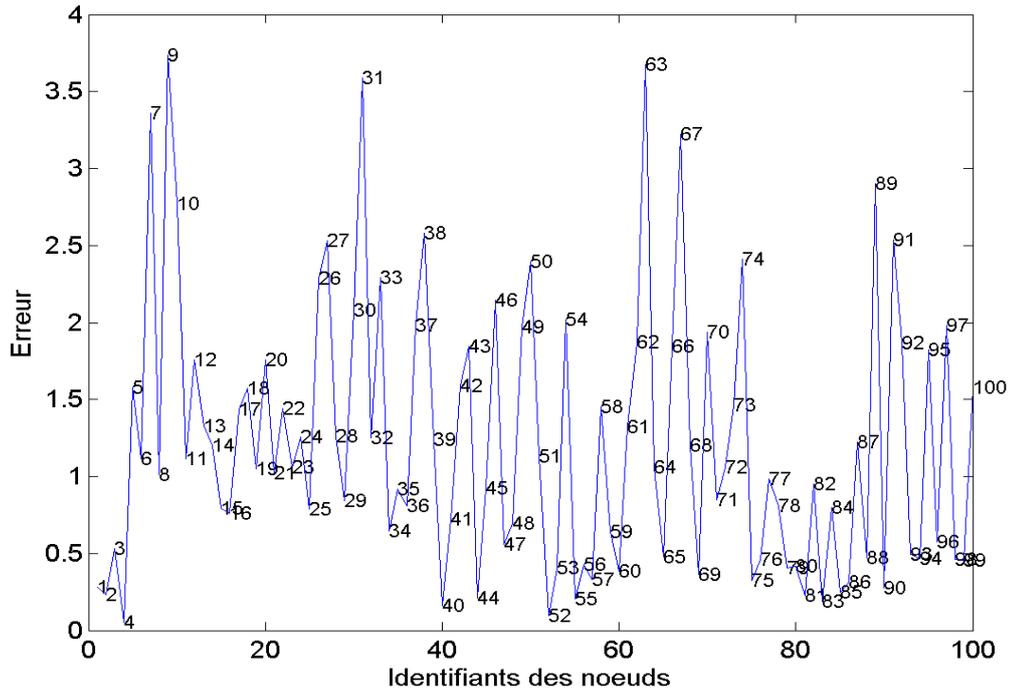


FIG. 4.4: Estimation d'erreur de localisation en fonction d'un noeud capteur

La figure (4,5) représente la variation de l'erreur moyenne en fonction de pas de diffusion tel que, à chaque fois en augmentant le pas (pas de diffusion) l'erreur moyenne augmente.

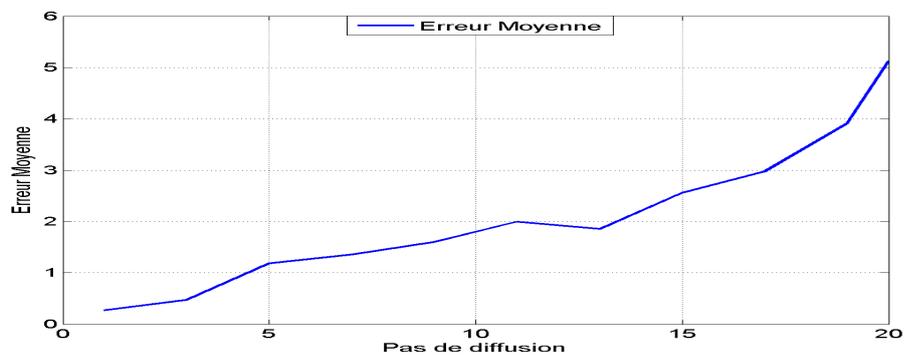


FIG. 4.5: La variation de l'erreur moyenne en fonction de pas du diffusion

4.4.2 Passage à l'échelle

Nous avons évalué les résultats de l'erreur de localisation en tenant compte du nombre de nœuds, nous remarquons dans la figure (4.6) que l'erreur de localisation lorsque nous utilisons 50 nœuds varie de $[0.3, 1.55]$, en revanche l'erreur en utilisant 600 nœuds, représentée dans la figure (4.7) varie entre $[0.1, 1.40]$. Ce qui explique la diminution de l'erreur moyenne en augmentant le nombre de nœuds. D'où on peut déduire que notre approche peut être appliquée pour des réseaux à grand échelle.

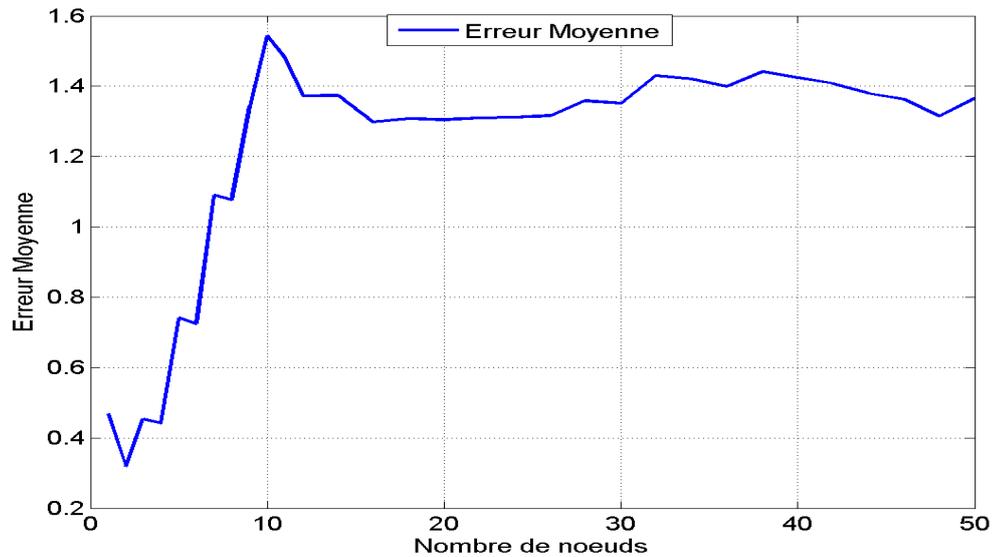


FIG. 4.6: L'erreur de localisation pour 50 nœuds

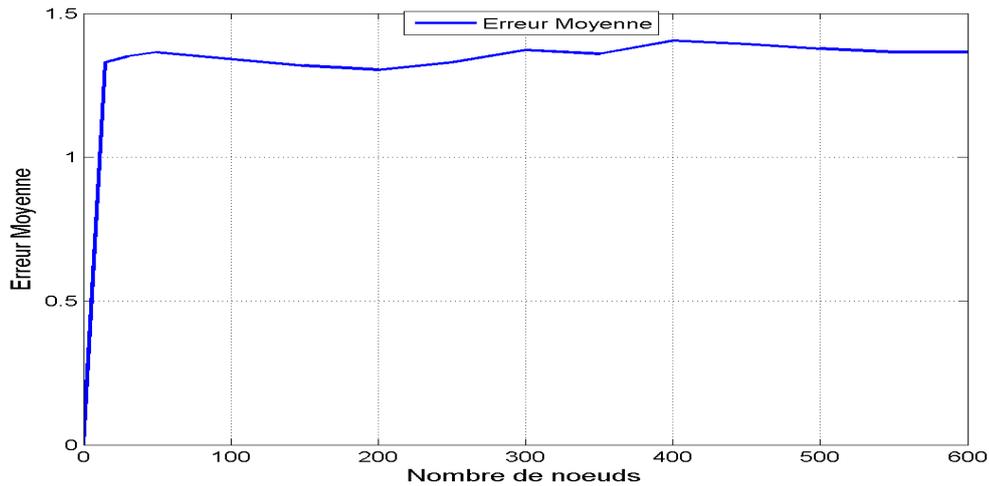


FIG. 4.7: L'erreur de localisation pour 600 noeuds

4.4.3 Consommation d'énergie

Nous avons mis en place de manière aléatoire 100 nœuds dans une zone de 100×100 . Chaque nœud de capteur transmet un message de 6400 bits pour les paquets de données et 250 bits pour les paquets de contrôle. Les approvisionnements énergétiques initiales à chaque nœud de capteur est de 1 joule.

La figure (4,8) représente la variation de l'énergie moyenne en fonction de pas tel que, à chaque fois en augmentant le pas (pas de diffusion) l'énergie moyenne diminue.

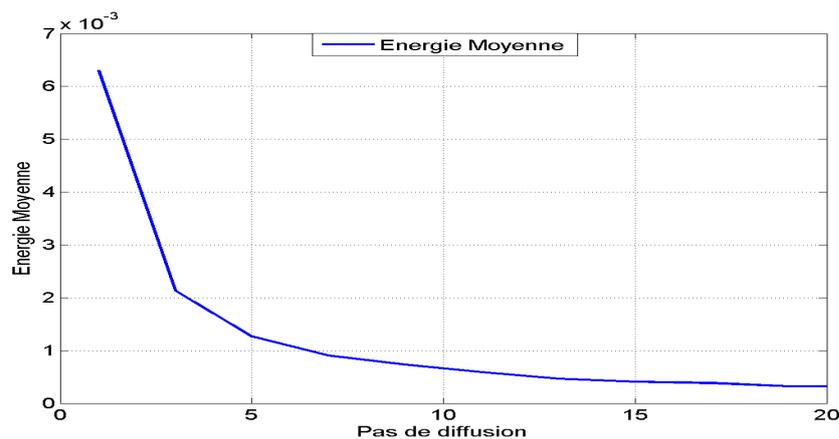


FIG. 4.8: La variation de l'énergie moyenne en fonction de pas

Nous pouvons conclure à partir de la figure(4,9) que les deux courbes de la moyenne de la consommation d'énergie et l'erreur moyenne confirme la nécessité de faire un compromis entre

la précision et la consommation d'énergie. Nous constatons que l'énergie moyenne diminue par l'augmentation de pas.

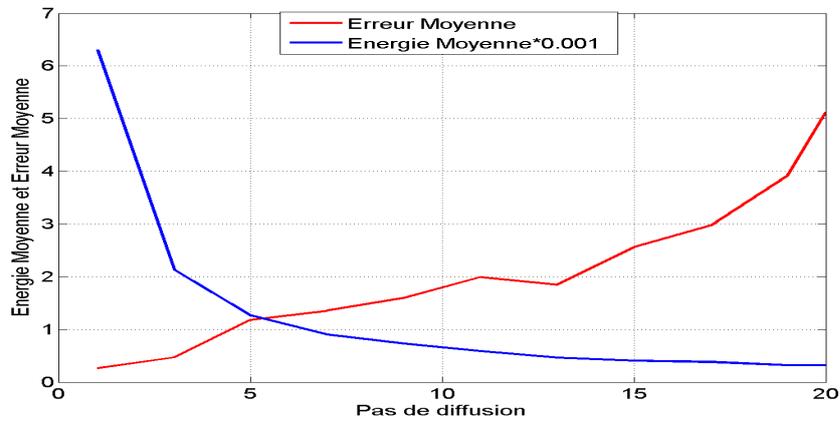


FIG. 4.9: La variation de pas en fonction de l'énergie moyenne et l'erreur moyenne

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une série de simulations sur quelques paramètres. Les résultats de simulations ont permis de déduire que les distances entre les nœuds capteurs et la station de base peuvent influencer sur la qualité de la localisation en termes de la précision de la localisation, le passage à l'échelle. D'après les résultats obtenus, notre approche est mieux adaptée aux réseaux de capteurs dense et à grand échelle.

Conclusion générale

Les réseaux de capteurs sans fil ont un large potentiel et constituent un sujet de recherche innovant ainsi qu'un outil souhaité par plusieurs domaines. C'est sans aucun doute, une technologie qui va nous accompagner pour les prochaines années et ainsi faire partie de notre vie quotidienne. Cependant, il y a encore beaucoup de problèmes qui doivent être abordés pour un fonctionnement efficace de ces réseaux dans des applications réelles. Parmi les problèmes fondamentaux et importants dans ces réseaux de capteurs nous citons le problème de la localisation qui est une nécessité absolue à laquelle des solutions adéquates doivent être proposées.

Le travail consigné dans ce mémoire a été le fruit d'une étude menée dans le contexte des réseaux de capteurs sans fil, ce qui nous a permis de découvrir les propriétés de ces derniers, leurs contraintes et des domaines variés qui les utilisent. Nous nous sommes intéressés principalement à la problématique de la localisation en étudiant la position des capteurs et en prenant d'autre métrique comme la précision de localisation, la consommation d'énergie et la scalabilité.

Du moment que l'information de positionnement fait partie de la plupart des services des réseaux de capteurs, tels que le routage géographique et la surveillance. . . . Il est nécessaire de proposer un algorithme de localisation.

Notre protocole est basé sur la méthode RSSI pour le calcul des distances et la méthode de triangulation pour le calcul de position.

Dans ce projet, nous avons mis en place une méthode de localisation utilisant la technique de balayage de la zone d'intérêt. Au cours de ce travail nous avons découvert un champ de

recherche très intéressant, qui nous a permis de nous initier à la recherche, et nous nous estimons avoir apporté notre contribution dans ce domaine.

Résumé

Résumé

Les avancées technologiques dans différents domaines ont permis l'apparition d'un nouveau type de réseau sans fil nommé " Réseau de capteurs sans fil".

Ce réseau se caractérise par l'aspect collaboratif des noeuds capteurs qui le constituent, ces derniers ont l'habileté de capter différents types d'informations environnementales. Cela a élargi le champ d'application de ce type de réseau. Ces réseaux sont confrontés à de multiples problèmes, parmi ces problèmes nous trouvons celui de la localisation, ce dernier a reçu une attention importante car plusieurs applications ont besoin de l'information de localisation des capteurs. De ce fait, de nombreux systèmes et algorithmes de localisation ont été proposés pour ces réseaux.

Dans ce travail, nous présentons une technique d'estimation de distance qui utilise un capteur (station de base) équipée d'un transmetteur de signale. Cette technique est basée sur le balayage de la région désirée, les noeuds ayant reçus le signale dans la région souhaitée. Une étude et analyse de performances à travers une simulation avec le logiciel MATLAB a été mené. Les resultats de simulation étaient particulièrement apreciable notamment pour la consommation énergitique global de réseaux de capteur sans fil.

Mots clés : Réseaux de capteur sans fil, La localisation,RSSI, MATLAB.

Abstract

Technological advances in various fields have enabled the emergence of a new type of wireless network called "wireless sensor network".

This network is characterized by the collaborative aspect of sensor nodes that constitute it; they have the ability to capture different types of environmental information. This has widened the scope of this type of network. These networks are facing multiple problems, including the problems we find that of the location, it has received considerable attention because many applications require the sensor location information. Therefore, many systems and location algorithms have been proposed for these networks.

In this work, we present a technique of estimate of outdistance which uses a sensor (basic station) team of one transmitter of announces. This technique is based on sweeping wished area, the nodes having received announces it in desired area. A study and analyzes performances through one simulation with software MATLAB was carried out. The results of simulation were particularly appreciable in particular for the energetic consumption total of networks of sensor without wire.

Keywords : networks of sensor without wire, localization, MATLAB.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] C.T. Kone , Conception de l'architecture d'un réseau de capteurs sans fil de grande dimension, Thèse de doctorat, 2011.
- [2] Messaoud Belloula, La géolocalisation dans les réseaux de capteurs sans fil ; Etude de cas utilisation en agriculture. Thèse de Magistère ; Université Hadj Lakhder-Batna, 2012.
- [3] I.F.Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasu Bramaniam, E.Cayirci, Wireless sensor networks: a survey. Elsevier Science. Computer Networks 38, page 393–422, 2002.
- [4] Boudjaadar Amina, Plateforme basée Agents pour l'aide à la conception et la simulation des réseaux de capteurs sans fil. Thèse de Magistère ; Université de Skikda, 2010.
- [5] Hadjila Mourad , protocoles de routage économes en énergie pour les réseaux de capteurs sans fil. Thèse doctorat, Université de Tlemcen, 2014.
- [6] Roozbeh Jafari, Andre Encarnacao, Azad Zahoory, Foad Dabiri, Hyduke Noshadi, And Majid Sarrafzadeh. Wireless sensor networks for health monitoring. In The Second Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, MobiQuitous 2005, pages 479–481. IEEE (2005).
- [7] Kamal Beydoun, Conception d'un protocole de routage hiérarchique pour les réseaux de capteurs, Grade de Docteur, L'université de FRANCHE-COMTE, 16 décembre 2009.
- [8] Labraoui Nabila , La sécurité dans les réseaux sans fil Ad hoc, Doctorat Spécialité : “ Informatique”, A L'université de TLEMEN Faculté des sciences ,2012.
- [9] S. Sudevalayam, P. Kulkarni, 'Energy harvesting sensor nodes: Survey and implications. Communications Surveys & Tutorials', pages 1–19, 2010.
- [10] Samia Chelloug , Optimisation d'énergie dans les algorithmes de routage pour réseaux mobile, Thèse Doctorat, Université Constantine ,2013.
- [11] Quande Dong, XuXu , A Novel weighted centroid localization algorithm based on RSSI for an outdoor environment, journal of communication vol.9,no. 3, march 2014.

- [12] <http://fr.wikipedia.org>. (Accès juin 2015)
- [13] Abdallah Makhoul, Réseaux de capteurs : localisation, couverture et fusion de données, thèse Doctorat, l'Université de Franche-Comté, 14 novembre 2008.
- [14] Arondel Olivier, Ponpardin Thomas. Système de positionnement Galileo/Glonass. Ecole supérieur d'ingénieurs, 2009.
- [15] Dalce Réjane, méthodes de localisation par le signal de communication dans les réseaux de capteurs sans fil en intérieur, 26 juin 2013.
- [16] Clement Saad, Abderrahim Benslimane, Jean-Claude Konig. AT-Family: Distributed Methods for Localization in Sensor Networks, 2007.
- [17] Karel Heurtefeux, Fabrice Valois. Localisation collaborative pour réseaux de capteurs. Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles (CFIP), Mar 2008.
- [18] Souhila Silimi, Manel Khelifi, Samira Moussaoui. Évaluation des performances des algorithmes de localisation AT-FREE et HT-REFINE, Thèse de doctorat, 2013.
- [19] B. Parno, A. Perrig, and V. D. Gligor, Distributed detection of node replication attacks in sensor networks. In Proceedings of IEEE Symposium on Security and Privacy (S&P'05), 2005.
- [20] Xiaoquin Su, Zhaoming Lie, Node localization in WSN based on weighted vectors centroid algorithm, international conference on intelligent networks and intelligent systems, 2011.
- [21] R.Manzoor, Energyefficient localization in wireless sensor networks using noisy measurements. [M.S.thesis], 2010.
- [22] W-R.Heinzelmén A.Chandrakasan and H.Balakrishnan, Energyefficient protocol for wireless sensor network. In proceedings of the IEEE Hawaii International Conference on SystemSciences, pages 3005-3014, September 2004.