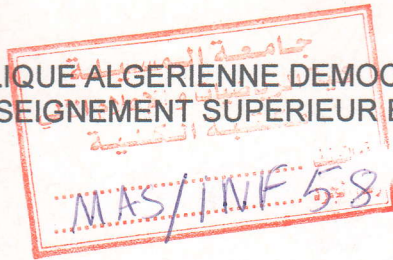


REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



N° d'ordre :

UNIVERSITE DE M'SILA
FACULTE DES MATHÉMATIQUES ET DE L'INFORMATIQUE
Département d'Informatique

MEMOIRE de fin d'étude
Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER
Domaine : Mathématiques et Informatique
Filière : Informatique
Spécialité : Réseaux
Par: Amale GUESMIA

SUJET

**Quelques algorithmes distribués et robustes pour la
réalisation d'un système d'auto-localisation dans les
réseaux ad-hoc sans fil**

Soutenu publiquement le : 25 / 06 / 2013 devant le jury composé de :

BRAHIMI Mahmoud
MOUSSAOUI Adel
BELHADJ Foudil

Université de M'sila
Université de M'sila
Université de M'sila

Président
Rapporteur
Examineur

Promotion : 2012 /2013

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|----------|
| Dédicace | |
| Remerciements | |
| Résumé | |
| Abstract | |
| Table des matières | 1 |
| Table des figures | 1 |
| Liste des tableaux | 1 |
| Liste des acronymes | 1 |
| INTRODUCTION GÉNÉRALE | 1 |
| Objectif du travail | 2 |
| Organisation du mémoire | 2 |
| I PRINCIPES DES SYSTEMES DE LOCALISATION | 3 |
| 1.1 Introduction | 3 |
| 1.1.1 Notion de positionnement et de localisation | 3 |
| 1.1.2 Importance des systèmes de localisation | 4 |
| 1.1.3 Contraintes pour un système de localisation | 4 |
| 1.1.4 Propriétés d'un système de localisation | 5 |
| 1.1.5 Composition d'un système de localisation | 7 |
| 1.2 Estimation de distance/ angle entre deux nœuds | 8 |
| 1.2.1 Indicateur de puissance du signal reçu – RSSI | 8 |
| 1.2.2 Le nombre de sauts – RHC (Radio Hop Count) | 9 |
| 1.2.3 Le temps de parcours – ToA/ToF | 10 |
| 1.2.4 La différence du temps d'arrivée – TDoA | 10 |
| 1.2.5 L'angle d'arrivée – AoA/DoA | 11 |
| 1.2.6 Autres approches | 12 |

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| 1.2.7 Commentaires sur l'estimation de distance/angle..... | 12 |
| 1.3 Calcul de la position (auto-localisation) | 12 |
| 1.3.1 Trilatération et multilatération | 13 |
| 1.3.2 Triangulation..... | 14 |
| 1.3.3 Approche probabiliste | 15 |
| 1.3.4 Bilan et synthèse sur les techniques de calcul de la position | 16 |
| 1.4 Algorithme de localisation | 17 |
| 1.5 Conclusion..... | 19 |
| II POSITIONNEMENT PAR SATELLITES | 20 |
| 2.1 Introduction | 20 |
| 2.2 Le système GPS (Global Positioning System) | 21 |
| 2.2.1 La composition du système | 22 |
| 2.2.2 L'historique du GPS..... | 23 |
| 2.2.3 Services offerts par le GPS | 23 |
| 2.2.4 Le principe du positionnement..... | 24 |
| 2.3 Autres systèmes de localisation par satellites | 27 |
| 2.3.1 GLONASS | 27 |
| 2.3.2 GALILEO | 27 |
| 2.3.3 BEIDOU (BEIDOU -2, COMPASS)..... | 28 |
| 2.4 Les problèmes posés par ses systèmes..... | 28 |
| 2.5 Conclusion..... | 29 |
| III ALGORITHMES DE POSITIONNEMENT ROBUSTE POUR LES SYSTEMES DISTRIBUES AD-HOC SANS FIL | 30 |
| 3.1 Introduction | 30 |
| 3.1.1 Défis de localisation dans les réseaux de capteurs ad-hoc | 30 |
| 3.2 Techniques et méthodes utilisées pour le positionnement | 31 |
| 3.2.1 Techniques de mesures de distance entre les nœuds voisins | 31 |
| 3.2.2 Méthode de triangulation..... | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.3 Autre approches utilisées dans la littérature | 33 |
| 3.3 Etude de quelques algorithmes de positionnement | 34 |
| 3.3.1 L'algorithme TERRAIN | 35 |
| 3.3.2 L'algorithme Hop-TERRAIN | 36 |
| 3.3.3 L'algorithme Hop-TERRAIN raffiné..... | 38 |
| 3.4 Conclusion..... | 40 |
| IV CONCEPTION ET IMPLÉMENTATION D'UN SIMULATEUR DES | |
| ALGORITHMES DE LOCALISATION : LAOCSIM | 41 |
| 4.1 Introduction | 41 |
| 4.1 Conception et implémentation du simulateur..... | 41 |
| 4.2.1 Gestion des threads | 41 |
| 4.2.2 Les structure des threads..... | 42 |
| 4.2.3 Environnement de simulation | 45 |
| 4.3 Expérimentation et vérification des algorithmes..... | 47 |
| 4.3.1 Quelque résultats de simulation..... | 47 |
| 4.3.2 Analyse des résultats d'algorithme Hop-TERRAIN..... | 48 |
| 4.4 Conclusion..... | 51 |
| CONCLUSION GENERALE..... | 52 |
| Bibliographie | 53 |
| Figure 4.4 Tableau de bord l'algorithme TERRAIN..... | 47 |
| Figure 4.5 Teste de l'algorithme TERRAIN | 48 |
| Figure 4.6 Taux d'erreur récoltée de l'algorithme Hop-TERRAIN par rapport connectivité | 49 |
| Figure 4.7 Taux d'erreur récoltée de l'algorithme Hop-TERRAIN par rapport la mobilité | 50 |
| Figure 4.8 Taux d'erreur récoltée de l'algorithme Hop-TERRAIN par rapport la distribution | 50 |
| Figure 4.9 Taux d'erreur récoltée de l'algorithme Hop-TERRAIN par rapport à la ratio (A/N)..... | 51 |

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Aujourd'hui, les réseaux sans fil sont de plus en plus populaires du fait de leur facilité de déploiement. Ces réseaux jouent un rôle crucial au sein des réseaux informatiques. Ils offrent des solutions ouvertes pour fournir la mobilité ainsi que des services essentiels là où l'installation d'infrastructures n'est pas possible.

Les réseaux sans fil sont généralement classés selon deux catégories: les réseaux sans fil avec infrastructure fixe qui utilisent généralement le modèle de la communication cellulaire et les réseaux sans fil et sans infrastructure fixe ou les réseaux ad-hoc sans fil (RASF). Un réseau ad-hoc consiste donc en un grand nombre d'unités mobiles se déplaçant dans un environnement quelconque. Les principaux problèmes liés à ces réseaux sont la limitation de bande passante, la limitation de sources d'énergie et le caractère « pseudo aléatoire » de la mobilité des hôtes.

Les réseaux ad-hoc ont la particularité de se créer de manière spontanée, de s'auto-organiser et s'auto-administrer. Ils ne reposent sur aucune infrastructure fixe [18]. Les éléments sont en général reliés par des liaisons radio, potentiellement mobiles, et peuvent être amenés à entrer ou sortir du réseau à tout moment. Pour rendre ces réseaux autonomes, chaque nœud doit collaborer avec ses voisins pour échanger des informations.

Dans les réseaux RASF, les nœuds sont souvent déployés dans un environnement où il n'y a aucune connaissance a priori de leur position. Le problème d'estimer les coordonnées spatiales de chaque nœud est désigné sous le nom de localisation. La localisation est l'un des services les plus importants, qui est devenue une information à grande valeur ajoutée, surtout de vue économique. Les systèmes de localisation sont identifiés comme une technologie clé pour le développement et l'utilisation des RASF. Cependant, leur utilisation n'est pas réservée aux RASF. Ils sont utilisés dans plusieurs autres domaines: la robotique, les réseaux de capteurs, la téléphonie mobile, ...

Une solution immédiate qui vient à l'esprit est le GPS (*Global Positioning System*) [8], il présente un certain nombre d'avantages: Il est disponible dans le monde entier, il fonctionne jour et nuit (24h/24 et 7j/7) et dans toutes les conditions météorologiques (avec dégradation de ses performances dans les cas extrêmes). Cependant, il ne fonctionne que dans les milieux extérieurs et lorsqu'il n'y a pas d'obstacle. De plus, sa précision n'est pas suffisante pour toutes les applications du fait que les signaux GPS sont perturbés par plusieurs phénomènes liés notamment à la traversée des couches atmosphériques (ionosphère et troposphère) et à

l'endroit où se trouve le récepteur GPS. Deuxièmement, les récepteurs de GPS sont coûteux et rendent le nœud volumineux en taille et gourmand en énergie. Et de plus le GPS est un système sous contrôle de l'armée américaine, d'où la nécessité de développer notre propre système de localisation.

Objectif du travail:

L'objectif principal de ce travail est de développer un système de localisation capable de fournir des estimations de position de nœuds dans un RASF sans avoir recours un système de localisation comme le GPS. Uniquement une partie des nœuds pouvant disposer d'un tel système de localisation et la majorité pouvant déduire leur position en exécutant un algorithme distribué qui aura comme entrée les informations de connectivité entre les nœuds ainsi que des données spécifiques aux réseaux comme l'intensité du signal. Notre étude se limite à étudier les techniques et les méthodes utilisées ainsi que l'étude, l'implémentation et le test de quelques algorithmes parmi ceux les plus référencés dans la littérature, afin de tester leur efficacité pratique. Ces algorithmes sont jugés à partir des marges d'erreur et de degré de couverture dans divers scénarios.

Organisation du mémoire

Ce mémoire est composé de quatre chapitres. Le premier chapitre est consacré à l'état de l'art de la localisation en général et plus particulièrement dans les réseaux ad-hoc sans fil. Il commence par les notions de positionnement et de localisation pour montrer l'importance de la localisation, ses contraintes ainsi que les caractéristiques d'un système de localisation.

Le deuxième chapitre est consacré aux systèmes de positionnement par satellites notamment le système GPS et une brève présentation des autres systèmes (déjà réalisés ou en cours de réalisation) similaires au système GPS. La majorité des principes de positionnement ont été développés par ces systèmes. Les problèmes posés par ces systèmes sont cités à la fin de ce chapitre.

Le troisième Chapitre est consacré à l'étude de trois algorithmes de localisation appelés TERRAIN, Hop TERRAIN et Hop TERRAIN raffiné, développés par Savarese et al. [7][5]. Le choix de ces trois algorithmes est motivé par leur réputation dans la communauté de recherche.

La conception et l'implémentation de notre simulateur LAOSIM est présentée dans le dernier chapitre. Nous terminons ce chapitre par le test des algorithmes dans différents scénarios.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'objectif de ce travail été d'étudier et d'implanter un système de localisation qui répond à un certains nombres de critères économique et techniques tel que la robustesse, la simplicité et le coût de déploiement à grand échelle. Doté chacun des nœuds du réseau d'un outil de localisation comme le GPS pourra couter très cher et techniquement non efficace vu qu'il peut augmenter la taille des nœuds ainsi que la consommation d'énergie. Une idée simple qui peut remédier à ces problèmes est de doté seulement une petite partie des nœuds du réseau de systèmes de localisation comme le GPS, la majorité des autres nœuds peuvent en déduire une estimation de leur position même s'ils ne sont pas pourvus nativement de capacité de localisation, cela est possible grâce à un ensemble d'algorithmes distribués que nous avons étudié dans ce travail.

Dans ce mémoire, nous avons présenté les principales idées derrière les systèmes de localisation en général. Nous avons étudié trois algorithmes complètement distribué pour résoudre la problématique du positionnement des nœuds dans un réseau ad-hoc sans fil : TERRAN, Hop TERRAIN et Hop TERRAIN Raffiné, chaque algorithme a été décrit en détail. Afin de tester ces algorithmes, nous avons réalisé un simulateur que nous avons appelé SIMLAOC. Notre simulateur est une application java multithread. Plusieurs expériences dans différents scénarios et pour chacun des algorithmes ont été effectuées. Les résultats montrent que les algorithmes sont en mesure d'atteindre des erreurs de positionnement acceptables. Par exemple pour l'algorithme Hop TERRAIN, inférieur à 90% dans un scénario avec 5% d'erreurs sur les mesures de distance, 5%des nœuds sont des ancrs de 5%, et une connectivité moyenne de 5 nœuds. Enfin, les lignes directrices pour l'implémentation et le déploiement d'un réseau qui va utiliser ces algorithmes sont donnés et expliqués.

Un aspect important des réseaux de capteurs sans fil est la consommation d'énergie. Dans un proche avenir, nous prévoyons donc d'étudier la quantité de communication et de calcul induite en exécutant les différents algorithmes. Un aspect particulièrement intéressant est de trouver le meilleur compromis entre précision et consommation d'énergie.

Il existe plusieurs autres algorithmes utilisant des approches différentes et qui méritent d'être discuté.

Une dernière perspective consiste à tester les algorithmes dans un environnement réel, tel que l'utilisation des Pico-Radio.

Bibliographies

- [1] A. Savvides, C.-C. Han, and M. Srivastava, “*Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-hoc Networks of Sensors*”, in 7th ACM Int. Conf. on Mobile Computing and Networking (Mobicom), pages 166–179, Rome, Italy, July 2001.
- [2] A. Varga, “*The OMNeT++ Discrete Event Simulation System*,” in European Simulation Multiconference (ESM’2001), Prague, Czech Republic, June 2001.
- [3] Anthony LaMarca, Eyal de Lara, “*Location Systems: An Introduction to the Technology Behind Location Awareness*”, Synthesis Lectures on Mobile and Pervasive Computing, Vol. 3, No. 1, pp. 1-121, Morgan&Claypool Publishers, ISBN: 978-1-598-29581-8, 06-2008
- [4] Azzedine Boukerche, “*Algorithms And Protocols For Wireless Sensor Network*”, Wiley, ISBN: 978-0-471-79813-2, 11-2008.
- [5] C. Savarese, “*Robust Positioning Algorithms for Distributed Ad-hoc Wireless Sensor Networks*”, M.S. thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California, 2002.
- [6] C. Savarese, J. Rabaey, and J. Beutel, “*Locationing in Distributed Ad-hoc Wireless Sensor Networks*”, in IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), pages 2037–2040, Salt Lake City, UT, May 2001
- [7] C. Savarese, K. Langendoen, and J. Rabaey, “*Robust positioning algorithms for distributed ad-hoc wireless sensor networks*”, In USENIX Technical Annual Conference, pages 317-328, Monterey, CA, June 2002.
- [8] D. Niculescu & B. Nath, “*Ad hoc positioning system*“, dans Proc. IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2001) (San Antonio, TX, USA), vol. 5, 2001, p. 2926–2931.
- [9] D. Niculescu and B. Nath, “*Ad Hoc Positioning System (APS) using AOA*”, In Proceedings of INFOCOM 2003, San Francisco, CA, 2003, pp, 1734-1743

- [10] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee & J. Liu, "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews 37 (2007), no. 6, p. 1067–1080.
- [11] Holger Karl, Andreas Willig, "Protocols And Architectures For Wireless Sensor Networks", Wiley, ISBN: 978-0-470-09510-2, 04-2005
- [12] I. Stojmenovic, "Position-based routing in ad hoc networks", IEEE Communications Magazine 40 (2002), no. 7, p. 128–134.
- [13] Ivan Stojmenovic, "Handbook Of Sensor Networks: Algorithms And Architectures", Wiley-Interscience, ISBN: 978-0-471-68472-5, 10-2005
- [14] J. Beutel, "Geolocation in a PicoRadio Environment", MS Thesis, ETH Zurich, December, 1999.
- [15] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello, "Location Systems for Ubiquitous Computing", IEEE Computer Journal, VOL. 34 N° 8, pp. 57-66, 2001
- [16] L. Doherty, K. Pister, and L. El Ghaoui, "Convex Position Estimation in Wireless Sensor Networks", in IEEE Infocom 2001, Anchorage, AK, April 2001.
- [17] M. Brunato & C. K. Kallo, "Transparent location fingerprinting for wireless services", dans Proc. 1st Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net 2002) (Sardagna, Italy), 2002.
- [18] M. Sedrati, L. Aouragh, L. Guettala & A. Bilami, "Etude des performances des protocoles de routage dans les réseaux mobiles ad-hoc", dans Proc. 4th Int'l Conf. On Computer Integrated Manufacturing (CIP'2007), 2007.
- [19] Mihaela Cardei, Ionut Cardei, Ding-Zhu Du, "Resource Management in Wireless Networking", Springer, ISBN: 978-0-387-23807-4, 01-2005
- [20] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less Low-cost Outdoor Localization for Very Small Devices", IEEE Personal Communications, 7(5):28–34, Oct 2000.

- [21] N. Priyantha, A. Miu, H. Balakrishnan, and S. Teller, "*The cricket compass for context-aware mobile applications*", in 6th ACM MOBICOM, July 2001, Rome, Italy.
- [22] Nel Samama, "*Global Positioning, Technologies and Performance*", Wiley, 2008
- [23] R. Mukai, R. Hudson, G. Pottie, and K. Yao, "*A Protocol for Distributed Node Location*", IEEE Communication Letters, to be published.
- [24] R. Nagpal, H. Shrobe, and J. Bachrach, "*Organizing a global coordinate system from local information on an ad hoc sensor network*". In Proc. of the 2nd International Workshop on Information Processing in Sensor Networks (IPSN '03), Palo Alto, California, April 2003.
- [25] S. Capkun, M. Hamdi, and J.-P. Hubaux, "*GPS-free Positioning in Mobile Adhoc Networks*", in Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS- 34), pages 3481–3490, Maui, Hawaii, January 2001.
- [26] V. Ramadurai and M. L. Sichitiu, "*Localization in wireless sensor networks: A probabilistic approach*", In Proceedings of the 2003 International Conference on Wireless Networks (ICWN 2003), Las Vegas, NV, June 2003, pp. 275–281

Quelques algorithmes distribués et robustes pour la réalisation d'un système d'auto-localisation dans les réseaux ad-hoc sans fil

ملخص

هذا العمل يناقش مشكلة تحديد الموقع في الشبكات المتنقلة المخصصة حيث كل عقدة تتصل مباشرة مع جيرانها. لمعلومات الموقع فائدة كبيرة في العديد من التطبيقات، ولكن استخدام أي وسيلة مثل نظام تحديد المواقع GPS (*Global Positioning System*) لديها العديد من العيوب التقنية والاقتصادية. لعلاج هذه المشكلة، فقط جزء من العقد لديها وسيلة لتحديد الموقع و يمكن لغيرها أن تستنتج تقديرا لموقعها باستخدام الخوارزميات الموزعة التي سيتم شرحها في هذا العمل. سنناقش كيف يمكن لهذه الخوارزميات أن تكون فعالة، حساسيتها للخطأ و لنشر وتوزيع العقد ضمن منطقة جغرافية معينة.

الكلمات الرئيسية: تحديد الموقع، شبكة لاسلكية، الخوارزميات الموزعة.

Résumé

Dans ce travail nous discutons le problème de localisation dans les réseaux mobiles ad-hoc où chaque nœud communique directement avec ses proches voisins. L'information de position a un grand intérêt dans plusieurs applications mais l'utilisation d'un moyen tel que le GPS (*Global Positioning System*) présente plusieurs inconvénients économiques et techniques. Pour remédier à ce problème seulement une partie des nœuds dispose d'un moyen de localisation et les autres peuvent en déduire une estimation de leur position en utilisant des algorithmes distribués qui seront expliqués dans ce travail. Nous discutons comment ces algorithmes peuvent être efficaces, leur sensibilité à la propagation d'erreurs et à la distribution des nœuds dans une zone géographique.

Mots clés: localisation, réseaux ad-hoc sans fils, algorithme distribué.

Abstract

In this work we discuss the problem of localization in mobile ad-hoc networks where each node communicates directly with its neighbors. The position information is of great interest in many applications, but the use of any means such as GPS (*Global Positioning System*) has several technical and economic disadvantages. To remedy this problem only a portion of nodes has a locator and others can deduce an estimate of their position in use of distributed algorithms that are explained. We discuss how these algorithms can be effective, their sensitivity to error propagation and distribution of nodes within a geographical area.

Key words: localization, wireless ad-hoc network, distributed algorithm.