

L I F C

LABORATOIRE D'INFORMATIQUE DE L'UNIVERSITE DE FRANCHE-COMTE

EA 4269

Open Wireless Positioning System : un système de géopositionnement par Wi-Fi en intérieur

Matteo Cypriani — Frédéric Lassabe — Philippe Canalda — Soumaya Zirari — François Spies

Rapport de Recherche no RR 2011-02

THÈME 4 – Février 2009



Open Wireless Positioning System : un système de géopositionnement par Wi-Fi en intérieur

Matteo Cypriani, Frédéric Lassabe, Philippe Canalda, Soumaya Zirari, François Spies

Thème 4

OMNI

Février 2009

Résumé : Le géopositionnement dans les réseaux sans fil est le premier verrou à ouvrir pour permettre une continuité des applications multimédias riches en mobilité, au sein de zones bâties, en intérieur comme en extérieur. Il est donc nécessaire d'être capable de bien se localiser au sein d'environnements hostiles, tout particulièrement à l'intérieur des bâtiments. Un système permettant ce géopositionnement serait dans l'idéal peu coûteux et facile à déployer.

Nous proposons un système de géolocalisation en intérieur, fondé sur le réseau sans fil Wi-Fi. Ce système, baptisé OWLPS (*Open WireLess Positioning System*), met en œuvre différents algorithmes de calcul de la position du mobile provenant des travaux de la communauté, et nos propres algorithmes.

Mots-clés : Wi-Fi, IEEE 802.11, Positionnement en intérieur, Géolocalisation

Open Wireless Positioning System : a Wi-Fi-Based Indoor Positioning System

Abstract: Wireless network positioning is the main pillar of the continuity of rich and mobile multimedia applications. Good position accuracy is particularly difficult to obtain in urban or leafy areas and indoors or in mixed (both indoor and outdoor) environments. A system proposing such positioning must localize any mobile terminal accurately within hostile environments and ideally be low-cost and easy to deploy.

We propose an indoor positioning system, based on the IEEE 802.11 wireless network. This system, named OWLPS (*Open WireLess Positioning System*), implements several of the major mobile position computation algorithms and techniques : fingerprinting location, topology-based and viterbi-like algorithm, propagation models. These algorithms result from community work and our personal researches.

Key-words: Wi-Fi, IEEE 802.11, Indoor positioning

I. INTRODUCTION

Alors que les efforts de la communauté scientifique se portent de plus en plus, depuis quelques années, sur la géolocalisation en intérieur, les objectifs précis et les paramètres pris en compte sont divers. Si la précision du système peut paraître l'objectif le plus important, d'autres facteurs le sont parfois tout autant. L'un des principaux est le coût matériel, c'est-à-dire les équipements nécessaires au fonctionnement du système : sont-ils standards, aisément accessibles, peu chers, ou bien onéreux ou très spécifiques ? Le deuxième élément très important est le temps de déploiement, qui peut être très court (de l'ordre de quelques heures), ou au contraire nécessiter plusieurs jours. La plupart des travaux de la communauté visent également un calcul de la position en temps réel, ce qui permet de réaliser une trace instantanée du parcours des mobiles, de leur offrir des services différents en fonction de leur position à chaque instant, etc.

Il s'agit dès lors de trouver un compromis entre ces différents paramètres, selon l'application recherchée. Dans le cadre d'un système de géolocalisation de personnes en intérieur, la précision doit être suffisante pour déterminer l'étage du bâtiment et la pièce dans laquelle se trouve la personne ; il faut en outre que le service de positionnement couvre le plus grand volume possible au sein du bâtiment. Le réseau de données IEEE 802.11 (Wi-Fi) offre un bon support à un système de géolocalisation, car il est déjà largement déployé pour d'autres services (connexion à Internet, applications multimédias, téléphonie IP, etc.), et les équipements conformes à ce standard sont peu onéreux. Si un déploiement à large échelle est envisagé, le temps de déploiement devrait de plus être le plus faible possible ; cela est facilité par l'utilisation d'un support préexistant, mais ce facteur n'est néanmoins pas suffisant.

Un tel système de géolocalisation, en fournissant la base pour le calcul de la position des mobiles en intérieur, doit permettre une avancée dans le domaine de la continuité de positionnement, impliquant diverses solutions de géolocalisation et surtout des transitions efficaces et pertinentes entre elles. Cela signifie notamment qu'à un endroit donné, parmi les solutions disponibles, celle offrant la meilleure précision puisse être choisie : un système satellitaire (GNSS [1]) dans les zones dégagées, un système fondé sur un réseau téléphonique cellulaire dans les zones urbaines, un système utilisant les réseaux informatiques sans fil dans les zones urbaines denses et à l'intérieur des bâtiments... ou encore une combinaison de plusieurs de ces systèmes.

Il ne s'agit là, bien sûr, que d'une première pierre dans la construction d'un réseau global de géopositionnement, car de nombreux autres verrous sont à lever : utilisation de divers types de réseau sans fil, notamment les réseaux *ad hoc*, adaptation à des conditions changeantes (climat, obstacles mobiles pouvant modifier le comportement des ondes) afin de conserver une précision correcte, etc.

La section II pose les quelques concepts et interrogations nécessaires à la compréhension des problématiques, et dresse

un panorama synthétique de l'état de l'art. Les composants logiciels du système OWLPS sont ensuite présentés en section III, puis nous livrons en section IV les résultats obtenus lors de nos expérimentations, c'est-à-dire le comparatif, en termes de précision, des différents algorithmes mis en œuvre.

II. CONCEPTS

A. Techniques de calcul de la position

Les systèmes de géolocalisation en intérieur utilisent diverses techniques en vue de calculer la position des mobiles. Les deux principales sont la cartographie des puissances de signal (*fingerprinting*) et la multilatération ; cette dernière peut être faite sur la puissance du signal perçu, ou encore sur le temps de propagation. Il est également possible de combiner la multilatération et la cartographie des puissances.

Dans les systèmes fondés sur une cartographie des puissances de signal, la précision est liée à la finesse du maillage de la cartographie. Dans les systèmes fondés sur la multilatération utilisant la puissance du signal, la précision dépend des modèles de propagation utilisés.

Pour affiner le choix de la position, on peut également tenir compte du parcours antérieur du mobile, éventuellement en tenant compte de la topologie du bâtiment pour estimer la distance entre deux points.

B. Calcul centré mobile ou centré infrastructure

Dans tout système de géolocalisation supporté par une infrastructure¹ à communication bidirectionnelle, il existe deux solutions de positionnement. La première est que le calcul de la position soit effectué par le mobile. Dans ce cas de figure, les éléments de l'infrastructure émettent des informations, que le mobile écoute et dont il se sert pour déduire sa position. Ces informations peuvent tout simplement être les balises Wi-Fi (*beacons*) émises par de simples points d'accès (AP), auquel cas il est très simple d'ajouter des AP pour affiner le calcul de la position (en prenant toutefois garde à éviter le brouillage mutuel des AP) ; la contrepartie est qu'il est nécessaire que le mobile dispose d'un logiciel dédié et d'une liste à jour des AP environnants avec leurs positions.

La seconde possibilité est que le mobile questionne l'infrastructure quant à sa position, et que ce soient les éléments de cette infrastructure qui effectuent le calcul de la position avant de la transmettre en réponse au mobile. Les avantages de cette solution sont multiples. Tout d'abord, le mobile n'a besoin que d'un petit programme lui permettant de contacter l'infrastructure pour lui demander le calcul de sa position. Mais le principal intérêt réside dans la souplesse dont dispose l'infrastructure pour effectuer le calcul. Puisque les « AP » écoutant les demandes de localisation n'ont pas à émettre eux-mêmes, ils peuvent être entièrement passifs et ainsi éviter toute pollution du réseau² ; on peut donc les multiplier autant qu'on

1. Par opposition à des systèmes où le mobile, autonome, déduit sa position de ses observations de l'environnement, par exemples les systèmes mécaniques à gyroscopes et accéléromètres.

2. Il ne s'agit donc pas, dans ce cas, de points d'accès au sens strict du terme, puisqu'étant passifs ils ne fournissent pas d'accès au réseau aux mobiles.

le souhaite sans influencer sur la qualité de service du réseau sans fil. Les éléments de l'infrastructure peuvent également communiquer facilement, se coordonner, et on peut imaginer que grâce à ce support le système s'adapte aux évolutions de l'environnement.

Cette seconde solution, que nous avons retenue pour la plupart de nos expérimentations, offre également la possibilité de traiter toute émission de la part d'un mobile comme une demande de localisation, afin de trouver la position des mobiles qui n'envoient pas de demande de localisation. Nous abordons ce mode de fonctionnement dans la section III-C.

C. Travaux relatifs

Le tableau I dresse un comparatif de plusieurs techniques de géopositionnement, fondées sur le réseau Wi-Fi, actuellement publiées dans les travaux de la communauté. Les colonnes *Cartographie* et *Atténuation* décrivent le cœur du fonctionnement du système expérimental, à savoir la façon dont est employée la puissance du signal : pour réaliser une cartographie, pour évaluer la distance en vue d'une multilatération, ou les deux. Les deux colonnes suivantes, *Historique* et *Topologie*, précisent l'utilisation d'éventuelles données complémentaires permettant d'affiner la position calculée et l'estimation des distances. Enfin, les deux dernières colonnes, *Centré* et *Déploiement*, donnent des informations plus générales sur le système.

La précision du système RADAR [2], qui utilise une cartographie des puissances seule, est dépendante de la finesse du maillage de la cartographie des puissances réalisée lors du déploiement. Selon la précision souhaitée, il est donc possible de consacrer plus ou moins de temps au déploiement : un maillage d'un mètre est très long à réaliser, tandis qu'un maillage de quatre ou cinq mètres (qui correspond à environ un point par pièce dans un environnement de bureaux) est nettement moins fastidieux. Ce système RADAR apporte une première adaptation, selon la précision recherchée, le temps et les moyens dont on dispose, d'une technique dont le temps de déploiement est variable en offrant une précision plus ou moins bonne. La combinaison d'un tel système avec d'autres techniques (ne nécessitant pas de calibration) et d'autres algorithmes (tirant bénéfice d'un contexte : prédiction, topologie) constituerait une contribution remarquable. Le système RADAR a été étendu par des méthodes probabilistes permettant d'accroître sa précision : Ekahau [8] considère la distribution de la puissance du signal selon une courbe gaussienne ; HORUS [9] utilise une représentation par histogrammes. Ces méthodes permettent d'obtenir une meilleure précision que l'usage de la moyenne des mesures de calibration de la cartographie.

D'autres techniques de géopositionnement fondées sur des réseaux sans fil (GSM, Wi-Fi) existent ; la façon de déterminer la position est généralement fondée sur un calcul de la distance par atténuation du signal ou par différentiel de temps (*TdoA*), ou sur les cellules du réseau (l'erreur est dans ce cas dépendante de la taille des cellules). Les travaux d'Interlink Networks [4] fonctionnent sur la base de la puissance du signal, en modifiant la formule de Friis [10]. Le principe est le

même dans le cas du SNAP-WPS [11], qui établit une relation entre la puissance du signal et la distance entre l'émetteur et le récepteur ; dans le cas de ce système, la relation est obtenue par régression d'ordre 3 sur des données de calibration. D'autres systèmes utilisent des modes de fonctionnement complètement différents : capteurs infrarouges, ultrasons, gyroscopes et accéléromètres [12], etc.

Enfin, des travaux actuels s'emploient à faire collaborer le positionnement Wi-Fi et le positionnement par satellite, afin d'offrir une continuité de positionnement quel que soit l'endroit où se trouve le mobile, à l'intérieur comme à l'extérieur.

III. CONTRIBUTIONS ET RÉALISATIONS

La contribution majeure présentée dans cet article est la réalisation d'un système mettant en œuvre plusieurs techniques et algorithmes de géolocalisation, et permettant de les comparer. Ce système, évolutif, offre un cadre propice à la création et au test en situation réelle de nouvelles techniques, de nouveaux modèles de propagation, ainsi qu'au développement de techniques mixtes combinant des algorithmes existants.

L'algorithme FRBHM [6], [7], conçu initialement par F. LASSABE, est un exemple de technique mixte. Il combine une cartographie des puissances minimaliste (environ un point par bureau) avec le FBCM [5], un modèle d'atténuation dynamique s'adaptant à un environnement donné (voir la section III-D). Dans ses deux dernières variantes (FRBHM Discret et FRBHM Continu), cette technique inclut une estimation *a posteriori* du parcours du mobile (voir la section III-D2), en tenant compte de la topologie du bâtiment pour calculer les distances entre les points, de manière à mieux refléter la réalité³. Cette estimation du parcours doit permettre d'affiner la position calculée à chaque étape, en minimisant le chemin total parcouru.

A. Architecture du système centré infrastructure

La configuration dans laquelle l'infrastructure effectue tous les traitements nécessite plusieurs types d'éléments :

- **Les mobiles**, qui sont des équipements dotés d'une carte Wi-Fi : ordinateurs portables, PDA communicants, téléphones cellulaires, consoles de jeu portatives, etc.
- **Les points d'accès**, qui capturent les trames transitant sur le support Wi-Fi, à l'écoute des demandes de localisation en provenance des mobiles.
- **Le serveur d'agrégation**, à qui les AP transmettent les demandes de localisation qu'ils ont reçues, et qui se charge de les mettre en forme.
- **Le serveur de calcul**, qui effectue le calcul de la position de chaque mobile à partir des informations que le serveur d'agrégation lui transmet.

Au moins quatre AP sont disposés au sein du bâtiment où les mobiles devront être localisés, et au moins l'un d'entre eux sera positionné sur un plan vertical différent des autres ; cette

3. La présence d'obstacle, notamment de murs entre les pièces, fait que la distance euclidienne entre deux points donnés est souvent bien inférieure à la distance que doit parcourir le mobile pour passer de l'un à l'autre.

Technique ^a	Cartographie ^b	Atténuation ^c	Historique ^d	Topologie ^e	Centré ^f	Déploiement ^g
RADAR [2]	×	–	–	–	I	moyen / long ^h
RADAR + VL [3]	×	–	×	–	I	moyen / long ^h
Interlink Networks [4]	–	×	–	–	I	court ⁱ
FBCM [5]	–	×	–	–	M ou I	court ⁱ
FRBHM Basique [6]	×	×	–	–	M ou I	moyen ^j
FRBHM Discret [7]	×	×	×	×	M ou I	moyen ^k
FRBHM Continu [7]	×	×	×	×	M ou I	moyen ^k

- a. Nom de publication de la technique ou de l'algorithme de géolocalisation.
b. Indique si la technique utilise ou pas une cartographie des puissances de signal.
c. Indique si la technique utilise ou pas un modèle d'atténuation du signal.
d. Indique si l'historique de parcours du mobile est pris en compte pour le calcul des positions suivantes.
e. Indique si la topologie de la zone de mesure est prise en compte pour calculer la distance entre deux points.
f. Indique si le système expérimental, tel que décrit par les auteurs de la technique, effectue les mesures et les calculs sur le mobile (« M ») ou sur l'infrastructure (« I »).
g. Indique si le déploiement du système est aisé et rapide, ou au contraire long et fastidieux.
h. Le temps de déploiement d'un système fondé uniquement sur la cartographie des puissances dépend du maillage de cette cartographie, dont dépendra la précision obtenue ; à cela s'ajoute, comme pour les autres systèmes, le déploiement des AP.
i. Le déploiement consiste seulement à placer les AP et à déterminer leurs coordonnées.
j. Le déploiement consiste en une cartographie des puissances minimaliste (comme pour RADAR dans le cas d'un maillage large) et au placement des AP avec enregistrement de leurs coordonnées (comme pour Interlink Networks et FBCM).
k. La description de la topologie du bâtiment allonge un peu le temps de déploiement par rapport au FRBHM Basique.

TABLE I
COMPARATIF DE TECHNIQUES DE GÉOPOSITIONNEMENT BASÉES SUR LE RÉSEAU WI-FI.

configuration est le minimum requis pour pouvoir calculer l'altitude des mobiles.

À chaque élément physique de l'architecture correspond un module logiciel, dont le rôle est d'effectuer les traitements nécessaires et de communiquer avec le module suivant (voir la section III-B). Les rôles de serveur d'agrégation et de serveur de calcul peuvent être tenus par la même machine physique faisant fonctionner les deux modules logiciels.

B. Fonctionnement du système

La figure 1 résume les quatre étapes types de la résolution de la position d'un mobile :

- 1) Le mobile émet une demande de positionnement à destination de l'infrastructure. Dans le cadre de nos expérimentations, il s'agit d'un paquet UDP contenant l'heure locale de la demande ; il contient des informations supplémentaires lorsque le mobile effectue la calibration du système (voir figure 2).
- 2) Les AP à portée capturent la demande de positionnement, et en extraient la puissance du signal reçu. Ils transmettent ensuite au serveur d'agrégation un paquet UDP contenant l'heure de la demande, la puissance du signal, l'heure de réception sur l'AP, ainsi que les adresses MAC du mobile et de l'AP.
- 3) Le serveur d'agrégation reçoit les demandes transmises par les AP. Il assemble celles qui correspondent au même couple (adresse MAC du mobile, heure de la demande), et les transmet au serveur de calcul.
- 4) Le serveur de calcul analyse les informations reçues du serveur d'agrégation, et calcule la position du mobile (par multilatération sur la puissance du signal reçu par chaque AP, par exemple) ; la position calculée est ensuite envoyée au mobile (ou traitée d'une autre manière).

C. Demandes de localisation explicites à implicites

Le cas général est l'émission par le mobile d'un paquet spécial, la demande de localisation ; on parle alors de demande de localisation *explicite* à l'infrastructure. Mais puisque la seule information nécessaire au calcul de la position du mobile est la puissance de signal (que les AP reçoivent du mobile), l'infrastructure pourrait utiliser n'importe quel paquet émis par le mobile pour calculer sa position ; ces paquets seront alors considérés comme des demandes *implicites* de positionnement : le mobile émet un paquet, sans requérir explicitement sa position, mais l'infrastructure peut l'utiliser pour calculer la position. La seule information manquante dans ces demandes implicites est l'heure d'émission, qui pourra par exemple être remplacée par une somme de contrôle (*hash*).

D. Algorithmes de calcul de la position

Le serveur de calcul met en œuvre plusieurs algorithmes de calcul de la position du mobile, qui se séparent en deux catégories : les algorithmes « simples », qui calculent la position en fonction des seules données instantanées, et ceux qui tiennent compte du parcours antérieur effectué par le mobile pour affiner la position calculée ou sélectionner la plus pertinente possibilité parmi plusieurs. La position calculée s'exprime suivant les axes X, Y, Z⁴, ainsi que par la dimension temporelle. Certains de ces algorithmes utilisent une cartographie des puissances, d'autres un modèle de propagation, ou encore une combinaison des deux.

1) Algorithmes instantanés :

- **RADAR** [2], qui utilise une cartographie des puissances ; il sélectionne, dans l'espace des puissances du signal, le point le plus proche des puissances des signaux reçus du mobile.

4. Il nous a fallu adapter les algorithmes de la littérature, conçus et expérimentés dans un environnement plan.

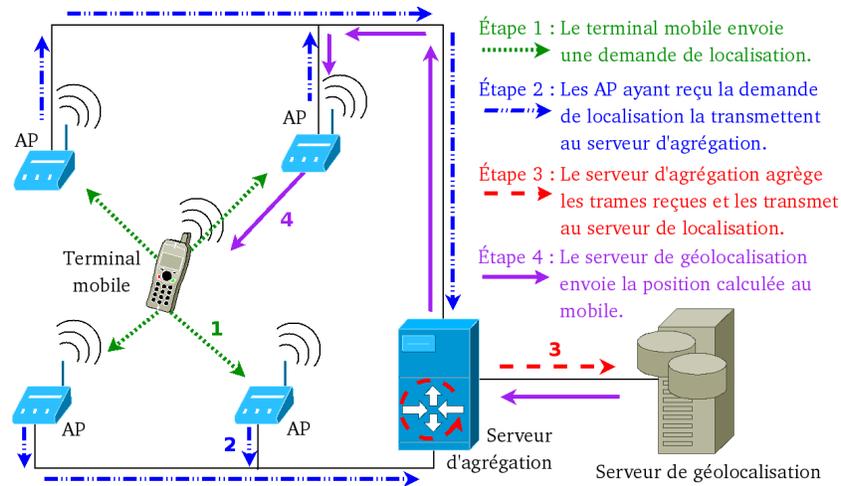


FIGURE 1. Fonctionnement en quatre étapes du système de géolocalisation centré infrastructure.

Octet :	0	1	2	3	4
0	Type demande	Date de la demande (16 octets)			
4					
8					
12					
16		Direction	Position X		
20	(4 octets)			Position Y	
24	(4 octets)			Position Z	
28	(4 octets)				

FIGURE 2. Format du paquet de demande de localisation / requête de calibration, envoyé par le client. Les champs grisés sont toujours présents ; seuls, ils correspondent à une demande de localisation. Si le paquet contient l'ensemble des champs, c'est une requête de calibration.

- La **formule de Friis modifiée d'Interlink Networks** [4], qui est une adaptation de la formule de Friis à un milieu hétérogène tel qu'un bâtiment. Le calcul est effectué par multilatération, en prenant comme points de référence les coordonnées des AP.
- **FBCM (Friis-Based Calibrated Model)** [5], qui est une modification dynamique de la formule de Friis, adaptée à un bâtiment donné grâce à des points de calibration (plutôt qu'à un milieu hétérogène générique comme le propose Interlink Networks), voire à une pièce d'un bâtiment. Le calcul est effectué de la même façon, par multilatération.
- **FRBHM (FBCM and Reference-Based Hybrid Model) basique** [6], qui combine une cartographie des puissances avec le FBCM. Comme pour RADAR, le point le plus proche dans l'espace des puissances est sélectionné, puis il est modifié à l'aide de la formule d'atténuation obtenue par le FBCM pour le bâtiment où se déroulent les expérimentations.

2) Algorithmes tenant compte du parcours :

On utilise pour tenir compte du parcours du mobile un algorithme de type Viterbi (*Viterbi-like*, VL) [13] : à chaque position calculée, on se réfère aux précédentes positions pour sélectionner parmi les meilleures possibilités non pas le point qui semble correspondre le mieux dans l'instant, mais celui

avec lequel on obtiendra le plus court chemin avec les positions précédentes.

- **RADAR avec VL**, tel que décrit dans [3].
- **FRBHM avec prise en compte de la topologie** [7], où l'on commence par élire le point le plus pertinent selon VL en tenant compte de la topologie du bâtiment dans le calcul des distances, puis on ajuste le point élu par FBCM.
- **FRBHM continu** [7], dont le fonctionnement est similaire au précédent, à la différence que les points les plus pertinents sont tous altérés par FBCM, puis l'un d'entre eux est élu par VL.

IV. EXPÉRIMENTATIONS

A. Matériel

Pour les expérimentations réalisées avec le système centré infrastructure, nous avons utilisé le matériel suivant :

- Cinq mini-PC (800 € chacun) : processeur Intel Celeron M à 1,50 GHz, 512 Mo de SDRAM, carte Wi-Fi Intel BG2200 dotée d'une antenne de gain 5 dBi ; le système d'exploitation utilisé est Debian GNU/Linux Etch, la version du noyau Linux est 2.6.23.16.
- Un point d'accès Linksys WRT54GL (60 €).
- Un ordinateur portable IBM Thinkpad R40, également doté d'une carte Wi-Fi Intel BG2200.

- Un ordinateur de bureau faisant office de serveur d’agrégation, et exploitant les mesures grâce au serveur de calcul : processeur AMD Athlon 2000+, 1 Go de SDRAM ; le système utilisé est Debian GNU/Linux Lenny (*Testing*).

Le coût de cette infrastructure expérimentale est inférieur à 5000 euros.

B. Protocole expérimental

Les expérimentations se sont déroulées au rez-de-chaussée et au premier étage de l’aile ouest du bâtiment Numérica, où le LIFC possède ses locaux à Montbéliard. Cette aile mesure 33,50m de long sur 10,30m de large, et comporte deux étages, ainsi qu’un sous-sol. Les dalles de béton et colonnes porteuses ont des épaisseurs variant entre 20cm et 80cm. La plupart des pièces sont des bureaux de 3,60m sur 5m dont les parois extérieures sont entièrement vitrées, alignées du côté ouest et desservies par un couloir faisant toute la longueur du bâtiment côté est ; chaque étage comporte une salle d’eau, des colonnes électriques et d’eau, et deux escaliers. Cet espace est occupé par une trentaine de personnes et est assez passant.

Les cinq mini-PC servant d’AP ont été disposés, deux au rez-de-chaussée (aux deux extrémités du bâtiment), et trois au premier étage (deux disposés dans la longueur, un peu plus resserrés qu’au rez-de-chaussée, et un à l’extérieur, dans une aile perpendiculaire au bâtiment), de manière à former une figure géométrique dans l’espace englobant la majorité des positions potentielles des mobiles.

Nous avons tout d’abord effectué une cartographie des puissances, avec un maillage d’un mètre (une mesure tous les mètres, dans quatre directions correspondant aux quatre points cardinaux), ce qui représente trois à quatre jours de travail (plus de 1200 mesures). Des mesures en mobilité ont ensuite été réalisées, traçant un déplacement sur les deux étages, en entrant dans plusieurs pièces, et ce à raison d’une mesure par seconde environ, soit un total de 86 points de mesure.

Nous avons pu comparer, pour chaque point de mesure, la position réelle, notée lors du déplacement, à la position calculée par les divers algorithmes, dans des conditions strictement identiques (environnement radio, calibration et cartographie des puissances) puisque le même jeu de mesures est utilisé. Nous avons fait varier le maillage de la cartographie des puissances, d’un mètre à quatre mètres (la distance approximative lorsqu’on ne conserve qu’une seule mesure par pièce, plus une mesure dans le couloir en face de chaque pièce).

C. Résultats

Les principaux résultats obtenus sont présentés dans le tableau II. Les algorithmes offrant les meilleures précisions sont RADAR et RADAR avec Viterbi-like ; on peut constater que le bénéfice tiré de la mémorisation du parcours antérieur du mobile grâce à l’algorithme VL n’améliore pas significativement la précision. La série des algorithmes FRBHM a une précision légèrement moins bonne, quoique comparable (l’erreur dépasse d’environ un mètre au maximum celle de RADAR) ; les résultats des FRBHM discret et continu confirment le fait que l’algorithme VL n’apporte pas de précision :

dans la plupart des cas, le FRBHM basique est plus précis. Enfin, viennent les techniques n’utilisant que l’atténuation du signal et la multilatération, Interlink Networks et FBCM, qui souffrent d’une erreur beaucoup plus grande ; à noter que l’erreur de la première technique est fixe car elle ne dépend pas du maillage (puisque aucune calibration n’est utilisée), tandis que celle du FBCM varie, car il utilise les points de calibration pour modifier la formule d’atténuation du signal employée.

On peut constater que la précision des algorithmes fondés sur une cartographie des puissances ne varie que légèrement en fonction de la finesse du maillage. De plus, le maillage le plus fin (1m) n’offre pas les meilleurs résultats, puisque tous les algorithmes révèlent leur meilleure précision avec un maillage de deux mètres.

À l’occasion d’évaluations complémentaires [14], nous avons observé le comportement des différentes techniques en faisant varier le nombre d’AP (de 3 à 5). Cela révèle une baisse générale de la précision lorsqu’on diminue le nombre d’AP, sauf pour l’algorithme FBCM.

Ces observations invitent à plusieurs éléments d’analyse. Tout d’abord, pour démontrer la pertinence d’un algorithme tel que VL et son adéquation à un environnement (topologie de bâtiment, exposition à la réflexion, réfraction, absorption en multi-chemin, interférences), il est nécessaire d’introduire un critère de précision topologique, puis de l’appliquer à différents types de bâtiments. Ensuite, il n’existe actuellement pas de modèle d’atténuation satisfaisant en environnement hétérogène et hostile (comme Numérica), alors que dans des espaces clos avec peu ou pas d’obstacles (cloisons, sols, plafonds) des modèles sont efficaces (un rebond sur le sol, rebond sol et plafond). Cela requiert d’évaluer d’autres approches (temps d’arrivée, déphasage). Enfin, la précision n’augmente pas de manière linéaire avec la densité du maillage ; nous pensons que cela peut être imputable à la pérégrination du mobile, les points de calibration, et la prise en compte de la topologie du bâtiment. Toutes ces analyses se doivent d’être validées afin d’aboutir à la compréhension des liens unissant telle approche avec tel environnement.

V. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

OWLPS est une plate-forme expérimentale permettant l’évaluation de différentes techniques de géolocalisation dans un espace à trois dimensions ; ces techniques sont mises en situation identique, de manière à obtenir des résultats comparables et objectifs. Les techniques mises en œuvre sont fondées sur une cartographie des puissances, des modèles d’atténuation de la puissance du signal, un historique dynamique des itinéraires des mobiles, et la topologie du bâtiment. Les plus précises offrent une précision d’environ 5 mètres dans un espace intérieur très hétérogène, en requérant une calibration limitée à un peu plus d’un point de référence par pièce, pour une densité de 5 AP pour 600 m² sur deux étages.

Il a été observé que l’environnement intérieur des bâtiments, en plus d’être très hétérogène, évolue beaucoup. En fonction de l’heure de la journée par exemple, le nombre de personnes évolue ; des meubles peuvent être déplacés, de l’eau circuler

Maillage	Interlink Networks		RADAR		FBCM		FRBHM Basique		RADAR + VL		FRBHM Discret		FRBHM Continu	
	Moy.	Éc.-t.	Moy.	Éc.-t.	Moy.	Éc.-t.	Moy.	Éc.-t.	Moy.	Éc.-t.	Moy.	Éc.-t.	Moy.	Éc.-t.
1m (308pts)	11,63	5,3	4,74	3,24	10,75	5,69	4,95	2,72	4,85	2,55	5,09	2,57	5,13	2,7
2m (113pts)	11,63	5,3	4,48	3,2	10,1	5,13	4,79	2,6	4,52	2,52	5,03	2,38	5,01	2,74
3m (62pts)	11,63	5,3	5,26	3,35	13,56	6,02	5,09	2,77	5,3	3,13	5,25	3,31	5,25	3,28
4m (35pts)	11,63	5,3	5,03	3,31	7	3,36	5,94	2,3	4,77	2,92	5,78	2,29	6,07	2,53
4m (% meilleur) ^a	6,98 %		45,35 %		24,42 %		11,63 %		8,14 %		1,16 %		2,33 %	
4m (% pire) ^b	72,09 %		10,47 %		10,47 %		4,65 %		1,16 %		0 %		1,16 %	

- a. Pourcentage des occurrences de l’algorithme en tête du classement (plus faible erreur), sur les 86 points du parcours libre, avec un maillage de 4 mètres.
- b. Pourcentage des occurrences de l’algorithme en queue du classement (plus grande erreur).

TABLE II
RÉSULTAT DES EXPÉRIMENTATIONS SUR UN TERMINAL EN MOUVEMENT : ERREUR MOYENNE ET ÉCART-TYPE.

dans les canalisations ou pas... Autant de facteurs influant sur le comportement du signal, qui seront intégrés aux paramètres de nos prochains modèles.

RÉFÉRENCES

- [1] US ARMY CORPS OF ENGINEER : *Engineering and Design - NAVSTAR Global Positioning System Surveying*. Numéro EM 1110-1-1003. Department of the Army, Washington, DC, juillet 2003.
- [2] Paramvir BAHL et Venkata N. PADMANABHAN : RADAR : An in-building RF-based user location and tracking system. *In INFOCOM (2)*, pages 775–784, 2000.
- [3] P. BAHL, A. BALACHANDRAN et V. PADMANABHAN : Enhancements to the radar user location and tracking system. Rapport technique, Microsoft Research, 2000.
- [4] INTERLINK NETWORKS, INC. : A practical approach to identifying and tracking unauthorized 802.11 cards and access points. Rapport technique, 2002.
- [5] F. LASSABE, O. BAALA, P. CANALDA, P. CHATONNAY et F. SPIES : A Friis-based calibrated model for WiFi terminals positioning. *In Proceedings of IEEE Int. Symp. on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, pages 382–387, Taormina, Italy, juin 2005.
- [6] F. LASSABE, D. CHARLET, P. CANALDA, P. CHATONNAY et F. SPIES : Refining WiFi indoor positioning renders pertinent deploying location-based multimedia guide. *In Procs of IEEE 20th Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications*, volume 2, pages 126–130, Vienna, Austria, avril 2006.
- [7] Frédéric LASSABE : *Géolocalisation et prédiction dans les réseaux Wi-Fi en intérieur*. Thèse de doctorat, École doctorale SPIM, 2009.
- [8] R. ROOS, P. MYLLYMÄKI, H. TIRRI, P. MISIKANGAS et J. SIEVÄNEN : A Probabilistic Approach to WLAN User Location Estimation. *International Journal of Wireless Information Networks*, 9(3):155–164, juillet 2002.
- [9] Moustafa A. YOUSSEF, Ashok AGRAWALA, A. Udaya SHANKAR et Sam H. NOH : A probabilistic clustering-based indoor location determination system. Tech. Report CS-TR-4350, University of Maryland, mars 2002.
- [10] L.V. BLAKE : *Radar Range-Performance Analysis*. Artech House Radar Library, décembre 1986.
- [11] Y. WANG, X. JIA et H.K LEE : An indoors wireless positioning system based on wireless local area network infrastructure. *In 6th Int. Symp. on Satellite Navigation Technology Including Mobile Positioning & Location Services*, numéro 54, Melbourne, juillet 2003.
- [12] S. MOIX, C. STEINER, Q. LADETTO et B. MERMINOD : Capteurs et analyse de signaux pour la navigation pédestre. *MPG*, pages pp. 512–516, août 2002.
- [13] G. D. FORNEY : The viterbi algorithm. *In Proceedings of the IEEE*, volume 61, pages 268–278, mars 1973.
- [14] Matteo CYPRIANI, Philippe CANALDA, Soumaya ZIRARI, Frédéric LASSABE et François SPIES : Open wireless positioning system. Technical Report RT2008-02, LIFC - Laboratoire d’Informatique de l’Université de Franche Comté, décembre 2008.



L I F C

Laboratoire d'Informatique de l'université de Franche-Comté
UFR Sciences et Techniques, 16, route de Gray - 25030 Besançon Cedex (France)

LIFC - Antenne de Belfort : IUT Belfort-Montbéliard, rue Engel Gros, BP 527 - 90016 Belfort Cedex (France)
LIFC - Antenne de Montbéliard : UFR STGI, Pôle universitaire du Pays de Montbéliard - 25200 Montbéliard Cedex (France)

<http://lifc.univ-fcomte.fr>