

Le Wi-Fi pour le positionnement et la navigation en intérieur

■ Arnaud BÉTRÉMIEUX

Cet article présente les recherches menées à l'Ecole de Technologie Supérieure de Montréal sur le positionnement d'un appareil Wi-Fi à l'intérieur des bâtiments. On utilise la technique dite du "RF fingerprinting", qui consiste à relever les caractéristiques (fingerprint) des signaux aux différents endroits du bâtiment lors d'une phase de calibration, puis à les enregistrer dans une base de données qui permettra par la suite d'associer caractéristiques du signal et lieu. Une nouvelle approche du RF fingerprinting est introduite, fondée sur l'utilisation de "stations de scan" Linux, approche qui permet la localisation de tout appareil Wi-Fi sans l'utilisation d'un logiciel particulier sur l'appareil, et avec une latence très faible.

■ mots-clés

Wi-Fi, 802.11, positionnement en intérieur, "RF Fingerprinting", Réseaux de neurones artificiels, Modèles de Markov à états cachés

Les systèmes GNSS (navigation par satellite) sont de plus en plus efficaces et précis, mais ils ne peuvent malheureusement pas fonctionner en intérieur : les structures des bâtiments font obstacle à la propagation des ondes provenant des satellites, et les faibles signaux qui parviendraient tout de même jusqu'au récepteur seraient difficiles à distinguer du bruit électromagnétique créé par les appareils électroniques environnants. Par ailleurs, la grande quantité d'obstacles de formes et de natures diverses rend la propagation des ondes dans les bâtiments très complexe (effets multi-trajet très importants) ; l'utilisation de tout système de positionnement radio en intérieur est donc difficile et de nombreuses recherches sont en cours dans ce domaine.

Les quelques systèmes radio existant sur le marché et spécifiquement conçus pour un usage en intérieur sont généralement onéreux ou peu précis et peu réactifs. Les systèmes utilisant des lasers sont, quant à eux, limités à une seule pièce, les ondes lumineuses ne pouvant traverser les murs.

Si les applications du positionnement en intérieur ne sont pas toujours évidentes, elles sont pourtant nombreuses. Dans le domaine de la robotique par exemple, la capacité d'un robot à se repérer est indispensable à son autonomie. Pour une entreprise, il peut également être très intéressant de localiser des personnes ou du matériel. Le Wi-Fi, qui a été conçu pour permettre un accès par radio aux réseaux informatiques, est une technologie éprouvée, et pourrait bien être la solution la plus intéressante pour ce type d'applications :

- Le Wi-Fi a été conçu spécifiquement pour une utilisation en intérieur ; Les infrastructures Wi-Fi sont déjà présentes dans la plupart des bâtiments, et le matériel lui-même est très répandu et peu onéreux.
- Le fait d'utiliser pour le positionnement le même composant que pour la communication permet de réduire les coûts.

C'est pour toutes ces raisons que le Wi-Fi a attiré l'attention des chercheurs du laboratoire LACIME, de l'Ecole de Technologie Supérieure de Montréal,

qui travaillent sur le projet WINS (Wireless Indoor Navigation System), de positionnement et de navigation en intérieur.

Le principe du positionnement par Wi-Fi

Une installation Wi-Fi classique (Figure 1) comprend généralement un ou plusieurs clients, appareils souvent mobiles qui souhaitent accéder au réseau (ordinateurs portables ou de poche par exemple), et un ou plusieurs points d'accès fixes, appareils qui font l'interface entre les clients et le réseau.

Lorsqu'en un endroit, plusieurs points d'accès peuvent être utilisés pour accéder à un même réseau, c'est l'appareil client qui doit décider sur lequel il souhaite se connecter. Pour cette raison, la norme 802.11, qui définit les standards pour les réseaux sans fils, impose que les appareils Wi-Fi soient capables d'indiquer la puissance du signal qu'ils reçoivent d'un point d'accès ou d'un autre appareil. Ainsi, le

■ ■ ■

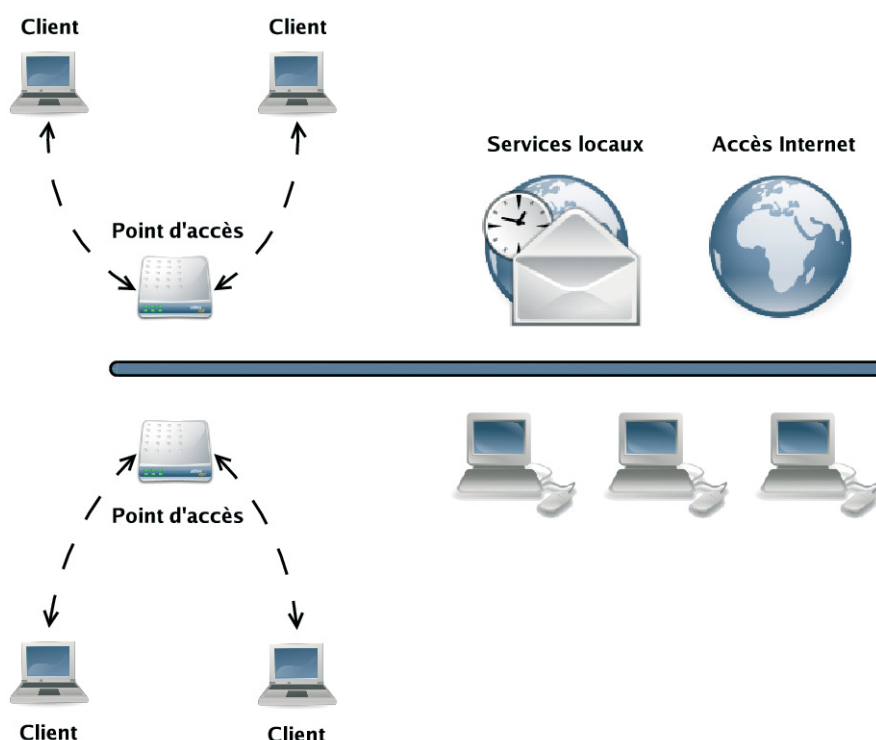


Figure 1. Topologie d'un réseau classique

- client peut sélectionner le point d'accès avec lequel la liaison radio fréquence sera la meilleure.

■ La méthode "Signature"

Si suffisamment de points d'accès sont disponibles dans un bâtiment, un appareil client peut calculer sa propre position de la position des points d'accès et des puissances du signal qu'il reçoit de chacun d'entre eux. Cette méthode (Figure 2) a été baptisée "Signature" dans le cadre du projet WINS, en référence à la "signature" du lieu que forment les puissances des signaux provenant des points d'accès. Elle est déjà utilisée dans des solutions commerciales, notamment celle de la société Ekahau: l'EPE ou Ekahau Positionning Engine. Elle a cependant deux inconvénients principaux:

- Il faut que l'appareil localisé soit équipé d'un logiciel adéquat, puisque c'est lui qui transmet les informations de puissance des signaux (il peut aussi éventuellement faire les calculs si sa capacité de traitement le lui permet) ;
- des points d'accès dont les zones de couverture se recoupent ne peuvent utiliser le même canal radio sans se

perturber. Le mobile doit donc scanner les 14 fréquences disponibles pour le Wi-Fi à la recherche des points d'accès, ce qui introduit une latence d'une à deux secondes dans le positionnement.

C'est pour ces raisons qu'une nouvelle méthode (Figure 3), dénommée "Perimeter", a été conçue par les chercheurs du projet WINS.

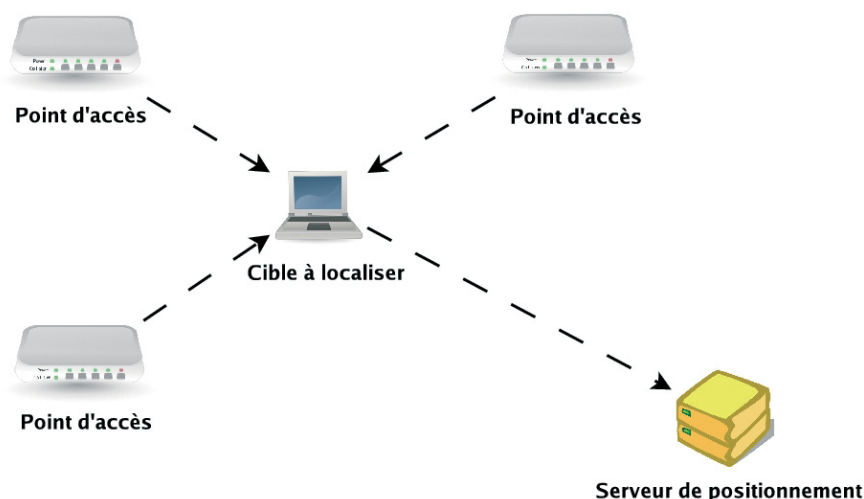


Figure 2. Principe de la méthode "Signature"

■ La méthode "Perimeter"

Cette méthode n'utilise plus les points d'accès, mais se base sur des ordinateurs supplémentaires, appelés "stations de scan". Chacune de ces stations repère les puissances des signaux émis par l'appareil à localiser lors de ses communications réseau. A partir des puissances relevées par plusieurs stations, un serveur de positionnement déduit la position de l'appareil.

Dans cette méthode, il n'y a plus besoin de logiciel sur le dispositif mobile à localiser ; celui-ci devient complètement passif. Par ailleurs, les stations ne faisant que recevoir, elles peuvent toutes opérer à la même fréquence radio que l'appareil à localiser, ce qui évite d'avoir à scanner les canaux et permet d'obtenir des mesures à plus haute cadence et donc d'augmenter la réactivité du système.

Les "stations de scan" s'appuient sur le mode "Monitor" offert par certains pilotes de matériel Wi-Fi du système d'exploitation libre Linux. Dans ce mode, le pilote transmet au système l'ensemble des données reçues, qu'elles soient ou non destinées à l'appareil. De plus, il indique en permanence les caractéristiques du signal. L'inconvénient de la méthode Perimeter est la nécessité d'utiliser des stations de scan. Ces stations peuvent être créées à partir de points d'accès

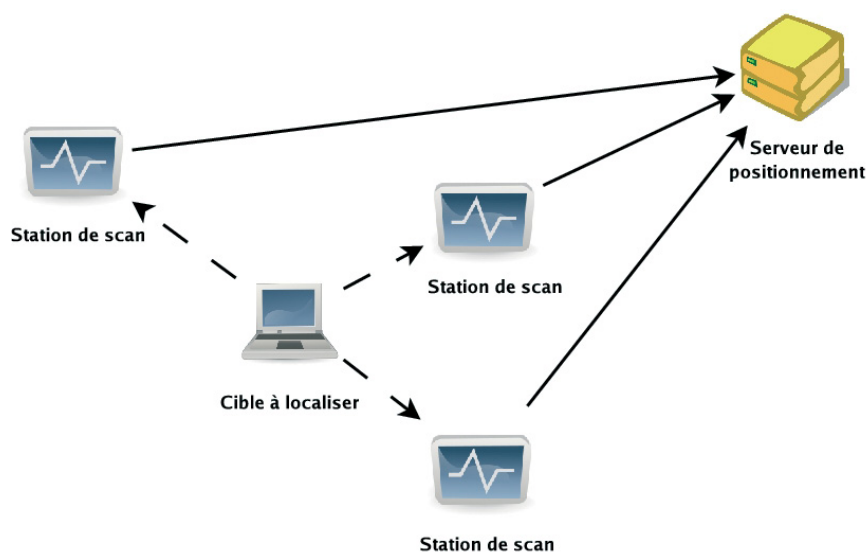


Figure 3. Principe de la méthode "Perimeter".

modifiés et coûteraient sensiblement le même prix (environ 100 €), mais elles viennent s'ajouter à l'infrastructure Wi-Fi existante du bâtiment, un même appareil ne pouvant être à la fois station et point d'accès.

Les méthodes Perimeter et Signature se complètent, car elles ont chacune des avantages et inconvénients différents selon l'application visée. Les chercheurs du LACIME ont donc décidé de développer les deux méthodes dans le cadre du projet WINS. Selon l'application les algorithmes de traitement sont différents ainsi que leurs performances.

Déduire la position de puissance des signaux

La complexité de la propagation du signal rend plutôt complexe l'utilisation de modèles mathématiques d'où l'utilisation d'une technique dite de Radio Frequency (RF) fingerprinting. Cette technique consiste à relever certaines caractéristiques des signaux (ici la puissance) aux différents endroits du bâtiment lors d'une phase de calibration, puis à les enregistrer dans une base de données qui permettra par la suite d'associer caractéristiques du signal et lieu. Le RF fingerprinting a été développé à l'origine pour localiser les téléphones portables à partir des puissances des signaux transmis entre plusieurs relais

et le téléphone, en particulier pour les appels d'urgence (112 en Europe et 911 en Amérique). Par ailleurs, les variations importantes dans la puissance des signaux à la fois dues au bruit et à la mauvaise qualité des émetteurs rendent trop incertaine l'association directe entre "fingerprint" et la position du mobile. Un système probabiliste s'impose, et on propose ici l'utilisation de l'inférence bayésienne, la plus forte probabilité devant correspondre à la réalité.

■ Les automates de Markov à états cachés

Afin d'obtenir une plus grande précision, il est intéressant que le système ne considère pas que le dernier "fingerprint", mais qu'il associe l'ensemble des "fingerprints" relevées jusqu'à l'instant du calcul à l'ensemble de points (trajectoire) correspondant. De cette façon, les erreurs dues à l'imprécision de la mesure et aux variations imprévisibles de la puissance du signal seront compensées par l'obligation d'obtenir une trajectoire probable, à la fois dans l'absolu (continuité) et pour le mobile qui est positionné (sa vitesse maximale, sa probabilité d'être en mouvement, etc.)

Les Modèles de Markov Cachés (MMC) ou automates de Markov à états cachés – en anglais Hidden Markov Models (HMM) –

sont particulièrement adaptés pour modéliser l'association entre "fingerprints" et lieux. Ils permettent une représentation des points de calibration sous la forme d'un réseau nœuds/chemins, tout en associant à chaque chemin une probabilité (celle pour le mobile suivi de passer d'un nœud à un autre) et à chaque nœud ou endroit, les probabilités d'y voir chaque "fingerprint". Un aspect très intéressant des modèles de Markov est que des données ou mesures externes provenant d'autres systèmes de positionnement, ou de capteurs, même simplistes (accéléromètres par exemple) peuvent être prises en compte dans les probabilités pour refléter encore mieux la réalité. Une fois le modèle défini, l'algorithme de Viterbi permet de trouver la séquence la plus probable d'états cachés (trajectoire) ayant conduit à la génération d'une séquence de sortie donnée (fingerprints).

La difficulté principale est ici la complexité (donc la taille des matrices de définition) d'un modèle de Markov qui intégrerait à la fois tous les points du bâtiment nécessaires à un positionnement précis, et pour chaque point, l'ensemble des "fingerprints" probables. Un tel modèle rendrait le traitement par l'algorithme de Viterbi bien trop long. Une solution est de créer un modèle dynamique, dont les matrices de définition sont mises à jour en temps réel en fonction des "fingerprints" observées, de façon à obtenir un bon compromis entre précision du positionnement et temps de traitement.

Selon le mobile qui va être suivi, définir les probabilités du modèle de Markov peut être difficile. On obtient de meilleurs résultats en ne considérant que la dernière "fingerprint" plutôt qu'en tentant d'obtenir une trajectoire cohérente pour une série de "fingerprints" à partir d'un modèle mal défini.

■ Interpolation

Le système ainsi conçu ne pouvant positionner un mobile que sur un point auquel il a préalablement été calibré, il faudrait, pour obtenir une bonne granularité, calibrer un nombre important de points, ce qui serait trop fastidieux. Pour résoudre ce problème, on peut utiliser

■■■ un système d'interpolation pour déduire une carte de référence dense d'un jeu de points de calibration plus espacés. Ne pouvant pas associer de fonctions mathématiques à la répartition des puissances des signaux, il faut une technique d'interpolation susceptible d'interpoler tout type de distribution.

La méthode choisie se base sur des réseaux de neurones artificiels (Artificial Neural Networks ou ANN). On peut ainsi créer un programme qui "apprend", s'améliorant avec chaque nouveau point de calibration qui serait ensuite capable de prédire par interpolation les puissances des signaux qui seront rencontrées en n'importe quel point. Pour que l'interpolation fonctionne correctement, il faut que les points de calibration soient assez rapprochés dans les zones où les variations de signal sont importantes (en raison de nombreux meubles, objets ou recoins) mais ils peuvent être plus espacés dans les zones telles que les couloirs ou les pièces relativement dégagées.

Résultats et conclusions

Le système WINS développé à l'Ecole de Technologie Supérieure de Montréal permet de localiser un nombre important d'appareils Wi-Fi. La latence est inférieure à la seconde, et l'erreur est inférieure à un mètre en statique, et à quelques mètres en dynamique, selon la structure, l'aménagement et la fréquentation des locaux. Ces résultats sont d'autant plus encourageants qu'ils ont été obtenus dans un des bâtiments de l'ETS, ancienne brasserie industrielle dont la structure est particulièrement néfaste à ce genre d'expériences, et qui abrite des laboratoires d'électronique et d'informatique, donc un nombre bien supérieur à la normale d'appareils électroniques susceptibles de perturber les liaisons radio. ●

Contact

Arnaud BÉTRÉMIEUX

Recherches au laboratoire LACIME de l'Ecole de Technologie Supérieure de Montréal, dans le cadre du projet WINS (Wireless Indoor Location System)
arnaud.betremieux@arnoo.net

René Jr. LANDRY

Professeur au laboratoire LACIME associé au département de génie électrique et instigateur du projet WINS
rlandry@ele.etsmtl.ca

Références

Cisco wireless location appliance

<http://www.cisco.com/en/US/products/ps6386/products/datasheet0900aecd80293728.html>

EkaHau Positioning Engine

<http://www.ekahau.com/?id=4500>

Yi-Chao Chen, Ji-Rung Chiang, Hao hua Chu, Polly Huang, and Arvin Wen Tsui.

Sensor assisted Wi-Fi indoor location system for adapting to environmental dynamics. National Taiwan University, 2005. <http://mll.csie.ntu.edu.tw/papers/MSWiM05.pdf>

Andreas Haeberlen, Eliot Flannery, Andrew M. Ladd, Algis Rudys, Dan S. Wallach, and Lydia E. Kavraki.

Practical robust localization over large-scale 802.11 wireless networks. Rice University, 2004. <http://www.cs.rice.edu/~ahae/papers/mobicom2004.pdf>

John Krumm and Eric Horvitz.

Locadio: Inferring motion and location from Wi-Fi signal strengths. Microsoft Research, Microsoft Corporation, Août 2004. http://research.microsoft.com/_horvitz/locadio.pdf

John Krumm and John Platt.

802.11 + regression = location. Microsoft Research, 2003. <http://research.microsoft.com/workshops/MLUI03/platt-poster.pdf>

Chahé Nerguizian, Charles Despins, and Sofiène Affes.

A framework for indoor geolocation using an intelligent system. INRS-Télécommunications, 2001.

M. Ocaña, L. M. Bergasa, M.A. Sotelo, J. Nuevo, and R. Flores.

Indoor robot localization system using WiFi signal measure and minimizing calibration effort. Universidad de Alcalá. Departamento de Electrónica. Madrid. Spain, 2005.

Julia Letchner (University of Washington), **Dieter Fox** (University of

Washington), and **Anthony LaMarca** (Intel Research Seattle). *Large-scale localization from wireless signal strength.* University of Washington, 2005. <http://www.cs.washington.edu/homes/lechner/Papers/wifi-location.pdf>

ABSTRACT

Keywords: Wi-Fi, 802.11, indoor geolocation, RF Fingerprinting, Artificial Neural Networks, Hidden Markov Models

This article outlines our work and our findings in the development of an indoor positioning system based on Wi-Fi: the Wireless Indoor Navigation System (WINS).

The author introduces a novel approach to RF fingerprinting based on the use of Linux scanning stations, which allows the location of any Wi-Fi device without the need for dedicated software on the client side, with a very low latency.

The positioning algorithm is based on probabilities, and the fingerprint to location relation is considered in the context of a hidden Markov model, in which the reference locations are the possible system states and the fingerprints the resulting observations. To determine the most probable position, the WINS system uses either the Viterbi algorithm with the whole history of recorded fingerprints or a naive Bayes classifier with only the last one, depending on the situation and user preference.

To reduce the time needed for calibration, we interpolate between spaced (5 m) calibrated points with an RBF (Radial Basis Function) based artificial neural network, which generates a fine grid (1 m or less) of reference locations.

Our system can provide meter-class accuracy for a device which has been static for a few seconds, and can position a moving device within a few meters. Latency is under one second.