



HAL
open science

Auto-localisation en intérieur à l'aide de mesures FTM

Jerome Henry, Yann Busnel, Romaric Ludinard, Nicolas Montavont, Ivan
Hrasko

► **To cite this version:**

Jerome Henry, Yann Busnel, Romaric Ludinard, Nicolas Montavont, Ivan Hrasko. Auto-localisation en intérieur à l'aide de mesures FTM. CORES 2021 – 6ème Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication, May 2021, La Rochelle, France. pp.1-4. hal-03220746

HAL Id: hal-03220746

<https://hal.science/hal-03220746>

Submitted on 7 May 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Auto-localisation en intérieur à l'aide de mesures FTM

Jerome Henry¹, Yann Busnel², Romaric Ludinard², Nicolas Montavont²,
et Ivan Hrasko³

¹*Cisco Systems, Research Triangle Park, NC 27560, USA, Email: jerhenry@cisco.com*

²*IMT Atlantique, IRISA, Cesson-Sévigné, France, Email: prenom.nom@imt-atlantique.fr*

³*Cisco Systems, Bratislava, Slovakia, Email: ihrasko@cisco.com*

Le positionnement multidimensionnel est couramment utilisé pour résoudre les problèmes de localisation multi-capteurs. Dans cet article, nous montrons que cette technique donne de mauvais résultats dans le cas particulier de la localisation à l'intérieur d'un bâtiment utilisant les mesures de synchronisation fine 802.11, surtout lorsque le nombre d'ancres est faible. Nous proposons ensuite une approche itérative basée sur la résolution géométrique des imprécisions d'angle. Nous montrons que cette approche géométrique donne de meilleurs résultats en matière de précision de localisation que les autres techniques de mesure de distance euclidienne basées sur la méthode des moindres carrés. Nous montrons également que la technique proposée, avec l'entrée d'un ou plusieurs emplacements connus, peut permettre à un ensemble de capteurs fixes de déterminer automatiquement leur position sur un plan de masse du bâtiment.

Mots-clefs : FTM, Fine Timing Measurement, 802.11, mMDS, Distance euclidienne, Échelle multidimensionnelle

1 Introduction

Si la localisation à l'extérieur est en voie d'être résolue, à l'aide du GPS et d'autres techniques associées, elle reste difficile à l'intérieur où le signal GPS est souvent faible ou absent. Parmi les techniques disponibles à l'intérieur, Fine Timing Measurement (FTM), défini dans la version 2016 du Standard IEEE 802.11 [1], permet à une station (l'Initiating Station, ISTA) d'échanger avec un répondeur (Responding Station, RSTA, typiquement un point d'accès radio Wi-Fi) des messages horodatés, à partir desquels l'ISTA évalue sa distance au RSTA. L'ISTA obtient ensuite la position du RSTA dans un autre message, et répète cette procédure avec autant de RSTAs que nécessaire pour pouvoir déterminer sa propre position. Malheureusement, cette procédure souffre du problème qu'elle prétend résoudre. L'absence de signal GPS à l'intérieur des bâtiments empêche la station d'utiliser cette technique pour se localiser, mais l'on suppose que le point d'accès, lui, peut obtenir (et donc partager) sa propre position. Les administrateurs de réseau utilisant FTM doivent donc mettre en place des procédures complexes pour mesurer avec précision l'emplacement de chacun de leurs points d'accès, et déduire la position géographique qu'ils devraient annoncer.

Cependant, nous démontrons dans ce travail [4] que cette procédure peut être grandement simplifiée. Un point d'accès peut utiliser FTM pour calculer sa distance et sa position relative aux autres, permettant à l'ensemble du système la construction d'un graphe de positions relatives. Ensuite, la contribution d'un ou plusieurs clients positionnés à l'extérieur (et disposant d'une position GPS) est suffisante pour orienter le graphe par rapport au bâtiment, et donc obtenir la position de tous les points d'accès. Dans ce travail, après un résumé du problème général de résolution des matrices Euclidiennes incomplètes, nous détaillons notre approche, qui consiste en une phase de réduction des erreurs d'évaluation de distances entre points d'accès par une méthode géométrique, et une phase d'optimisation géométrique complétant la technique classique de résolution de matrice, permettant une meilleure précision de résolution que les approches conventionnelles. Enfin, nous vérifions la qualité de notre méthode par des tests menés dans des bâtiments aux caractéristiques physiques différentes.

2 Positionnement multidimensionnel et FTM

FTM fait partie de cette famille de protocoles dont le but est de trouver la position d'un objet à partir d'un ensemble de distances collectées par cet objet. Dans le cas d'objets statiques, ce type de problème est souvent résolu en établissant une matrice des distances observées, dont on déduit ensuite une matrice de position. Cette approche regroupe un ensemble de techniques groupées sous la bannière MDS [3] (Multi-Dimensional Scaling), et peut s'appuyer sur des variables quantitatives ou qualitatives. Dans le cas de FTM, les points d'accès peuvent agir en tant que ISTA ou RSTA, et ainsi établir leur distances respectives. La collection de toutes ces mesures peut aider l'administrateur à déterminer la position de chaque point d'accès relativement aux autres, avant de projeter ce graphe de distances sur le plan du bâtiment. L'automatisation de cette phase peut grandement simplifier l'établissement initial d'une cartographie des points d'accès ainsi que la mise à jour de celle-ci lorsqu'un point d'accès est déplacé ou remplacé.

Malheureusement, si la famille des méthodes MDS est bien établie, elle nécessite certaines conditions non garanties par FTM [2]. En particulier, cette méthode est efficace quand *i*) le nombre des objets à mesurer est grand, et *ii*) le bruit qui affecte ces distances est Gaussien (i.e. centré sur une erreur moyenne comparable d'une paire à l'autre). Le recours à une matrice intermédiaire, dite de centrage, permet d'une part de normaliser les erreurs de mesures et d'autre part de lisser l'effet de mesures manquantes, par exemple quand des objets sont trop éloignés pour communiquer. Cette transformation identifie les valeurs propres les plus importantes de la matrice de distance, permettant de statuer quant à la coplanarité des objets considérés, c'est-à-dire s'ils sont déployés au même étage ou non.

Le recours à une matrice de centrage ne permet cependant pas de garantir un bruit gaussien. En effet, l'imprécision qui entâche les mesures n'est pas nécessairement symétrique. Ceci peut être dû à la présence de murs ou de fortes sources de réflexion du signal, induisant une différence significative des distances réciproques évaluées par deux objets. Cette situation induit deux conséquences : *i*) La détermination de la dimension n'est plus possible. Le processus de transformation fait apparaître un grand nombre de valeurs propres positives décorrélaté du nombre de dimensions observées, *ii*) Le processus de transformation, en appliquant la matrice de centrage, diffuse l'erreur à l'ensemble des paires de mesures. En d'autres termes, les erreurs larges sont appliquées aux paires à faible erreur et vice versa. Si cette étape est sans conséquences dans le cas d'une matrice large, et dans laquelle l'erreur est comparable d'une paire à l'autre, elle a l'effet direct, dans le cas FTM, que la présence d'une seule paire pour laquelle l'erreur est large est suffisante pour contaminer les autres paires, même si ces dernières avaient calculé une distance valide. Dans un environnement où le nombre de paires est faible et où l'on peut toujours s'attendre à la présence de murs, la conséquence directe est que l'erreur, dans l'établissement des positions, est toujours large (quand bien même certains points d'accès communiqueraient dans un espace ouvert et calculeraient une distance proche de la mesure réelle), rendant la méthode MDS inefficace. Si l'administrateur peut identifier les paires susceptibles de présenter une erreur large (la variance de leur mesure est comparablement plus grande que pour les autres paires), il ne dispose d'aucun moyen pour estimer quelle devrait être la mesure véritable.

3 Une approche géométrique en deux étapes

Pour limiter l'impact de cette erreur, nous proposons une méthode basée sur deux étapes complémentaires. La première, *Wall-Remover*, identifie les objets impliqués dans des mesures de distance à forte erreur, tandis que la seconde permet de compléter les mesures manquantes dans la matrice des distances.

L'étape de *Wall-remover* consiste à identifier les nœuds qui subissent une importante erreur de mesure au regard de leur voisinage. Le wall-remover va étudier l'ensemble des distances calculées par les nœuds pour chacun des triangles possibles. Dans le cas d'un bruit gaussien, on s'attend à ce que les mesures effectuées conservent la géométrie des objets. Cette situation est illustrée par la Figure 1(a). À l'inverse, dans le cas d'éléments nuisant fortement à la mesure (murs ou surfaces fortement réfléchissantes), les mesures sont altérées et de manière non symétrique. Les mesures de distances incompatibles avec celles effectuées par les autres membres du voisinage nous permettent donc de conclure que la mesure effectuée par le nœud est erronée. Cette situation est illustrée dans la Figure 1(b), où les mesures effectuées par x_4 sont incohérentes avec celles de son voisinage $\{x_1, x_2, x_3\}$. La mesure étant surévaluée, l'algorithme applique alors un facteur de correction ζ (e.g. $\zeta = 0.98$, ou toute autre valeur d'apprentissage choisie par l'opérateur). Cette mesure

Auto-localisation en intérieur à l'aide de mesures FTM

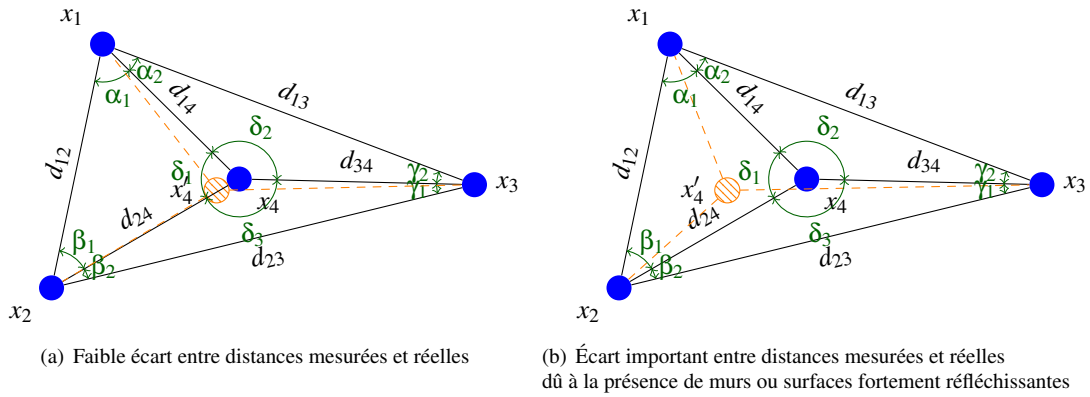


FIGURE 1: Différences entre distances mesurées et réelles en présence de murs ou de surfaces fortement réfléchissantes

Node	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0.00	1.15	1.04	1.08	1.02	1.10	1.05	1.16	1.20	1.11	1.05	NaN	NaN
2	1.15	0.00	1.06	1.04	1.11	1.19	1.16	1.29	1.03	1.20	1.27	1.14	1.11
3	1.04	1.06	0.00	1.29	1.08	1.17	1.26	NaN	1.03	1.06	NaN	1.08	1.26
4	1.08	1.04	1.29	0.00	1.10	1.26	1.10	NaN	1.07	1.24	NaN	1.10	1.10
5	1.02	1.11	1.08	1.10	0.00	1.08	1.02	1.38	1.49	1.15	1.18	NaN	NaN
6	1.10	1.19	1.17	1.26	1.08	0.00	1.09	1.19	1.22	1.15	1.35	1.20	1.14
7	1.05	1.16	1.26	1.10	1.02	1.09	0.00	NaN	1.18	1.37	NaN	1.17	1.18
8	1.16	1.29	NaN	NaN	1.38	1.19	NaN	0.00	1.11	1.02	1.14	1.06	1.00
9	1.20	1.03	1.03	1.07	1.49	1.22	1.18	1.11	0.00	1.25	1.40	1.10	1.06
10	1.11	1.20	1.06	1.24	1.15	1.15	1.37	1.02	1.25	0.00	1.16	1.09	1.10
11	1.05	1.27	NaN	NaN	1.18	1.35	NaN	1.14	1.40	1.16	0.00	1.00	1.03
12	NaN	1.14	1.08	1.10	NaN	1.20	1.17	1.06	1.10	1.09	1.00	0.00	1.11
13	NaN	1.11	1.26	1.10	NaN	1.14	1.18	1.00	1.06	1.10	1.03	1.11	0.00

TABLE 1: Ratios entre les distances mesurées par FTM et les distances au sol dans le bâtiment 1. Les distances détectées par le Wall Remover (stretched distances) sont surlignées.

est appliquée de manière itérative jusqu'à la levée de l'incohérence. Cette approche permet de rapprocher graduellement x'_4 de sa position effective x_4 dans le cas de la Figure 1.

Cette approche, bien que nécessaire, ne permet cependant pas de corriger toutes les erreurs de mesure. Elle ne s'applique en effet que dans le cas où le nœud x_4 , dont la mesure est entachée d'erreur, est située au sein du triangle formé par $\{x_1, x_2, x_3\}$. Dans le cas contraire, nous avons recours à une approche algébrique classique de résolution MDS. L'algorithme établit la liste de toutes les matrices possibles (*i.e.* toutes les paires pour lesquelles une distance a été mesurée), puis traite ces matrices par ordre, du plus grand au plus petit. Cette approche itérative permet de convertir les distances en positions et de raffiner la position de chaque nœud. Pour un nœud donné, on obtient alors un cluster de positions possibles. Dans le cas où ce cluster est dense, cela traduit une homogénéité de l'impact des obstacles autour de la position du nœud. À l'inverse, quand le cluster est étalé, cela traduit une imprécision dans les mesures.

L'algorithme peut alors construire une sous-matrice comprenant les groupes denses afin de déterminer, par une méthode MDS ou de clustering type k -means la position du nœud concerné. La position ainsi calculée est considérée comme fiable et peut être réinjectée dans l'algorithme pour déterminer, de manière itérative, l'ensemble des positions des nœuds.

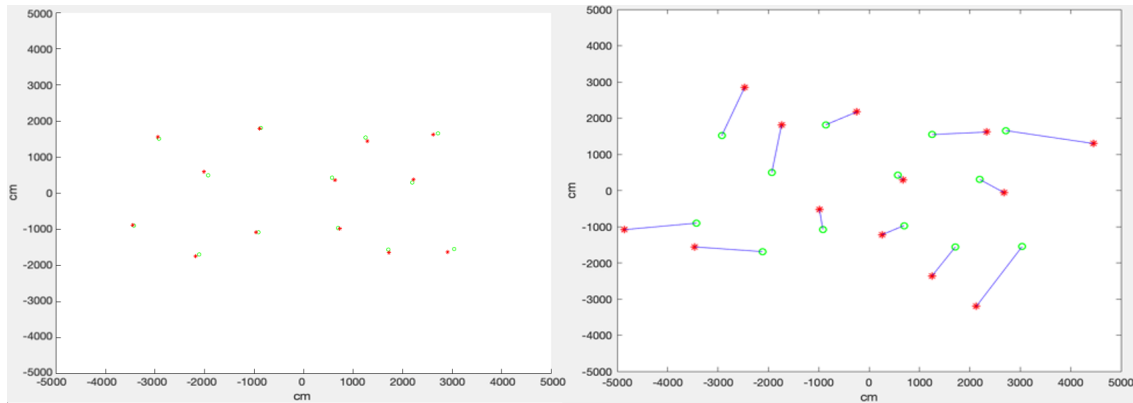


FIGURE 2: Les positions finales (en rouge) comparées aux positions véritables, avec la méthode proposée dans ce travail (à gauche), et avec la méthode MDS classique (à droite).

4 Évaluation

L'approche décrite dans la section 3 a été validée sur différents bâtiments (immeuble de bureau à la structure classique, entrepôt, cafeteria avec atrium, centre d'enseignement avec multiple salles de classe). Pour chaque bâtiment, un déploiement Wi-Fi existe (mais ne supporte pas FTM, nous installons donc nos points FTM à proximité de chaque point d'accès). Les distances au sol sont validées sur plan et sur le terrain (mesures laser). Nous laissons nos deux algorithmes opérer pendant une période d'observation de deux jours. Nous observons que le Wall Remover identifie correctement les paires dont la mesure FTM est dilatée à l'excès (voir Table 1).

La phase itérative algèbro-géométrique forme correctement les groupes, et finit par produire une estimation des positions des points d'accès proche des positions véritables. Dans tous les bâtiments, l'erreur maximale est de l'ordre du mètre (1.114 m, 1.219 m, 0.962 m, 0.73 m et 0.681 m pour les bâtiments 1, 2, 3, 4 et 5 respectivement). A titre de comparaison, la technique MDS appliquée par exemple au bâtiment 1 fait apparaître des erreurs de plus de 10 mètres dans certains cas. Une fois la position des points d'accès établie, la procédure peut être répétée occasionnellement pour détecter les changements éventuels.

5 Conclusion

Dans cet article, nous présentons une solution pour calculer des matrices de distances euclidiennes en présence de bruit. Cette solution, basée sur deux algorithmes complémentaires traitant des mesures FTM, a été validée empiriquement dans différents types de bâtiments. Cette solution offre de meilleurs résultats que les approches classiques et permet d'automatiser la localisation en intérieur de différents équipements. Dans des travaux futurs, nous nous intéresserons à l'extension de ces travaux au cas de 802.11az, permettant de calculer des positions intérieures, tout en restant passif en termes de communications.

Références

- [1] Wireless lan medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specification, 2016.
- [2] E. Candes and Y. Plan. Matrix completion with noise. *Proceedings of the IEEE*, 98(6), 2010.
- [3] J. Dattorro. *CONVEX OPTIMIZATION † EUCLIDEAN DISTANCE GEOMETRY 2e*. 2019.
- [4] J. Henry, N. Montavont, Y. Busnel, R. Ludinard, and I. Hrasko. Sensor self-location with ftm measurements. In *2020 16th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, 2020.