

FUSIC, du Ranging WiFi de haute précision en présence de multi-trajet

Kevin Jiokeng, Gentian Jakllari, Alain Tchana, André-Luc Beylot

► To cite this version:

Kevin Jiokeng, Gentian Jakllari, Alain Tchana, André-Luc Beylot. FUSIC, du Ranging WiFi de haute précision en présence de multi-trajet. Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication 2020, Sep 2020, Lyon, France. hal-02870742

HAL Id: hal-02870742

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02870742>

Submitted on 16 Jun 2020

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.

FUSIC, du Ranging WiFi de haute précision en présence de multi-trajet[†]

Kevin Jiokeng¹, Gentian Jakllari¹, Alain Tchana², André-Luc Beylot¹

¹IRIT-INP/ENSEEIH, Toulouse, France - Email : prenom.nom@enseeih.fr

²ENS Lyon, France - Email : prenom.nom@ens-lyon.fr

La récente standardisation par l'IEEE du protocole *Fine Timing Measurement (FTM)*, une approche de calcul de distance par temps de vol fondée sur le WiFi, permet de faire le pont entre la littérature très riche sur la localisation en intérieur et l'adoption jusque-là timide par le marché. Cependant, les expériences menées avec les premières cartes implantant le FTM montrent une précision de l'ordre du mètre en ligne de vue directe (LDV) mais qui chute brutalement dans les scénarios où la ligne de vue est obstruée (NLDV). Dans ce travail, nous présentons FUSIC, une approche qui étend la précision du FTM dans ce contexte, sans modifier le standard. Pour cela, FUSIC combine les résultats du FTM et de l'algorithme MUSIC – tous les deux erronés quand la ligne de vue est obstruée – pour restituer une estimation correcte de la distance séparant les deux équipements. Des expériences menées dans 4 environnements montrent que a) FUSIC étend la précision du FTM en LDV aux conditions NLDV – atteignant ainsi son but premier; et b) améliore significativement la capacité du FTM à fournir de la localisation en intérieur de haute précision.

Mots-clefs : FTM, MUSIC, Non ligne de vue, Localisation en intérieur

1 Introduction

La localisation en intérieur, où le GPS n'est généralement pas accessible, constitue un défi technologique, scientifique et économique majeur de ces deux dernières décennies. Du WiFi aux ondes millimétriques, en passant par le Bluetooth, l'UWB, la lumière visible, les signaux acoustiques et ultrasoniques, les technologies IoT et les capteurs inertiels, de nombreuses approches ont été envisagées, seules ou combinées, mêlant outils, technologies et méthodes. Cependant, il suffit de jeter un coup d'œil à son smartphone pour se rendre compte que l'adoption sur le marché reste à la traîne, malgré l'implication de géants comme Google ou Microsoft.

C'est dans ce contexte que l'IEEE a jeté son poids dans la balance en standardisant, comme partie de l'amendement 802.11mc [IEE16], le protocole FTM (*Fine Timing Measurement*). Il s'agit d'une approche de calcul de distance par temps de vol entre un client et un point d'accès WiFi, qui promet une précision très fine de l'ordre du mètre. Cette précision et son implantation *native* dans les *firmwares* des équipements pourrait constituer un tournant majeur pour le positionnement en intérieur.

Si en théorie le FTM semble être une solution miracle, la réalité est plus mitigée. Comme illustré par la Figure 1, il suffit par exemple qu'un utilisateur se retourne pour perturber significativement les résultats. Cela peut être expliqué par la présence de trajets multiples à l'intérieur des bâtiments (voir Figure 2). Entre les instants $t = 30$ s et $t = 60$ s, l'utilisateur, qui se tient désormais entre le client et le point d'accès, fait obstacle en atténuant le signal sur le chemin direct. Le FTM estime alors la distance sur la base du chemin réfléchi, plus puissant que le chemin direct. Ce point faible du FTM dans les conditions sans ligne de vue directe (NLDV) a récemment été mis en exergue par [ILJ⁺18], mais aucune solution n'a été proposée pour y remédier.

Dans ce travail, après un bref état de l'art des méthodes de calcul de distance avec le WiFi, nous menons une étude expérimentale pour identifier clairement l'origine du problème du FTM. Puis, nous présentons FUSIC, une approche qui étend la précision du FTM dans des conditions NLDV. Enfin, nous vérifions la qualité de notre méthode par des tests menés dans quatre environnements physiques différents.

[†]Ce travail a été accepté pour publication à Infocom 2020

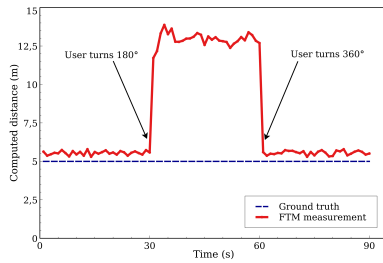


FIGURE 1: Estimation de la distance avec le FTM. Distance réelle : 5 m.

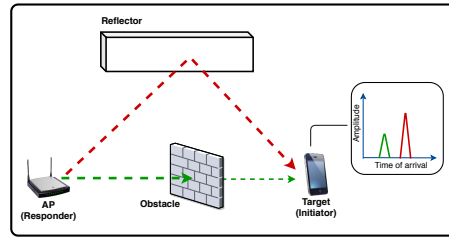


FIGURE 2: Le problème de la propagation par chemins multiples

2 Etat de l'art

Pour calculer les distances en WiFi, deux catégories de solutions se détachent : celles fondées sur la puissance du signal et celles sur le temps de vol. Comme la puissance du signal reçu dépend de nombreux facteurs environnementaux, les solutions reposant sur elle sont souvent très peu précises, en raison de la difficulté à bâtir un modèle de propagation fidèle pour ces environnements extrêmement instables. D'autre part, bien que certaines approches par temps de vol offrent une précision remarquable, le manque de standardisation rend difficile leur adoption puisqu'il n'existe aucune garantie d'interopérabilité entre elles. *A contrario*, le FTM est une solution facilement déployable car standardisée, et indépendante des conditions environnementales car fondée sur le temps de vol. Quelques premiers travaux comme [ILJ⁺18] ont évalué les performances de cet algorithme. Contrairement à ceux-ci, FUSIC, notre solution, vise à étendre la précision qu'a le FTM en ligne de vue directe aux configurations dans lesquelles elle est obstruée.

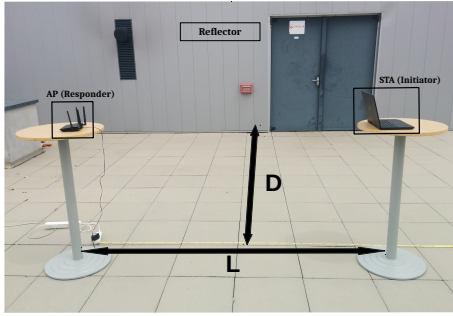
3 Motivation : Le FTM en présence de multi-chemin

D'après la *WiFi Alliance*, le FTM aurait une précision de l'ordre du mètre. Une étude récente [ILJ⁺18] a cependant montré que cette affirmation n'est généralement pas vraie en absence de ligne de vue directe. Pour évaluer la précision du FTM dans ce type de scénario, nous nous mettons dans la configuration expérimentale illustrée par la Figure 3(a). Nous plaçons deux équipements dans un environnement dans lequel il y a un réflecteur (un mur). La distance entre ces équipements, L , varie de 2 m à 10 m par pas de 2 m. La distance au réflecteur, D , varie entre 6 m et 8 m. Pour chaque valeur de L et D , nous effectuons des mesures pour deux configurations : l'une en ligne de vue directe et l'autre avec une personne entre les deux équipements. La Figure 3(b) montre les résultats obtenus. La première observation est que le FTM, qui est très précis lorsqu'il n'y a pas d'obstacle entre les deux équipements, devient imprécis lorsque la ligne de vue est obstruée : l'erreur va jusqu'à 3.03 m pour $D = 6$ m et 7.62 m pour $D = 8$ m.

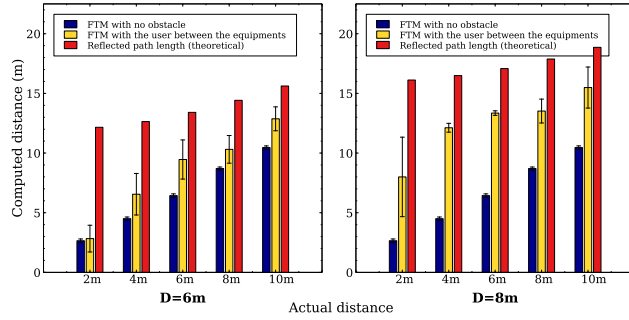
Une seconde observation, plus subtile, est que dans les conditions sans ligne de vue directe, le FTM ne renvoie pas la longueur du chemin suivi par le signal réfléchi, mais une valeur comprise entre la longueur du chemin direct et la valeur théorique du chemin réfléchi. Une étude plus poussée nous a permis de constater que cette erreur d'estimation dépend du rapport de puissance entre le chemin direct et les chemins réfléchis. Plus il y a d'obstacles sur le chemin direct, plus les chemins réfléchis prendront de l'importance dans l'estimation de la distance. Nous utilisons ces observations dans la conception de FUSIC, notre solution.

4 FUSIC

Dans cette section, nous présentons FUSIC, un algorithme qui fournit un calcul de distance précis même en présence de multi-chemin. FUSIC prend en entrée le résultat potentiellement erroné du FTM et le combine avec le spectre du signal renvoyé par l'algorithme MUSIC (Multiple Signal Classification, voir [XSJ15]), lui aussi erroné en termes de temps de vol, pour renvoyer la distance correcte séparant les deux équipements. Pour ce faire, FUSIC fait face à deux défis majeurs. Premièrement, il doit identifier quand le FTM se trompe en calculant la distance sur la base d'un ou plusieurs chemins réfléchis. Deuxièmement, lorsque le FTM s'est trompé, il tente de corriger l'erreur pour estimer la longueur du chemin direct.



(a) Configuration multi-chemin maîtrisée



(b) Estimation de la distance avec le FTM ainsi que la distance réelle du chemin réfléchi

FIGURE 3: Précision du FTM dans différentes configurations : ligne de vue directe ou obstruée

1. Détection du besoin de correction : L'intuition principale qui dirige FUSIC est que le FTM se trompe lorsque le chemin direct n'est pas dominant. Pour relever ce premier défi, FUSIC introduit un nouveau paramètre, R , défini par $R = \frac{P(\tau_1)}{\sum_{k=1}^K P(\tau_k)}$, qui quantifie la contribution du chemin direct à l'ensemble du spectre du signal renvoyé par l'algorithme MUSIC. Dans cette formule, τ_k et $P(\tau_k)$ représentent respectivement le temps de vol et la puissance du $k^{\text{ème}}$ chemin, $k = 1$ correspondant au chemin direct. Lorsque R est au-dessus d'un certain seuil, R_{seuil} , FUSIC n'effectue aucune correction. Le choix de la valeur de R_{seuil} fait place à un compromis important. Si la valeur de R_{seuil} est très faible, FUSIC pourrait altérer des mesures correctes du FTM, conduisant à des erreurs inutiles. Si, en revanche, elle est très élevée, FUSIC pourrait ne pas corriger des erreurs du FTM. Dans notre prototype, nous avons fixé la valeur de R_{seuil} à 0.5 pour n'appliquer l'algorithme de correction que lorsque cela est vraiment nécessaire.

2. Correction du résultat du FTM : Comme observé dans la section § 3, Figure 3(b), le FTM renvoie une mesure comprise entre celle du chemin direct et du chemin réfléchi. Plus encore, l'erreur augmente lorsque le chemin direct s'affaiblit par rapport aux chemins réfléchis. Nous modélisons ce phénomène en considérant la mesure du FTM comme étant celle d'un chemin virtuel dont la longueur est influencée par les longueurs et les puissances relatives des chemins dominants. Par ailleurs, bien que les temps de vol reportés par MUSIC pour les différents chemins de propagation soient erronés, la différence entre deux quelconques de ces mesures reste correcte. Cela est dû au fait que l'erreur de MUSIC, bien qu'inconnue et variable d'une expérience à l'autre, soit sensiblement additive et constante sur tous les chemins. FUSIC prend donc en compte la différence de longueur entre tous les chemins et le chemin direct calculé par MUSIC, plutôt que leurs valeurs absolues, et leur attribue des poids proportionnels à leurs niveaux de puissance. L'erreur estimée du FTM, $\bar{\tau}$, en termes de temps de vol, est donc calculée comme la moyenne pondérée des différences entre les temps de vols des différents chemins et celui du chemin direct :

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{k=1}^K P(\tau_k)(\tau_k - \tau_1)}{\sum_{k=1}^K P(\tau_k)}$$

Cette quantité est aussi connue sous le nom de délai excessif moyen. Finalement, FUSIC soustrait l'effet de cette erreur et renvoie l'estimation corrigée de la distance : $d_{fusic} = d_{ftm} - \bar{\tau} \times c$, avec $c \approx 3 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$.

5 Evaluation

Afin de valider l'efficacité de la solution proposée, nous l'avons implantée sur de vrais équipements WiFi et évaluée dans quatre contextes environnementaux. Nous utilisons un ordinateur équipé d'une carte WiFi Intel 8260 comme cible à localiser. Les points d'accès, au nombre de 3, sont implantés par des routeurs Asus AC1300 RT-AC58U et nous leur ajoutons des ordinateurs Dell Vostro 15 3000 series équipés chacun d'une carte WiFi Intel 5300 pour mesurer la réponse fréquentielle du canal nécessaire à l'exécution de l'algorithme MUSIC. Nous évaluons tout d'abord la précision dans le calcul de distance et ensuite celle de la localisation

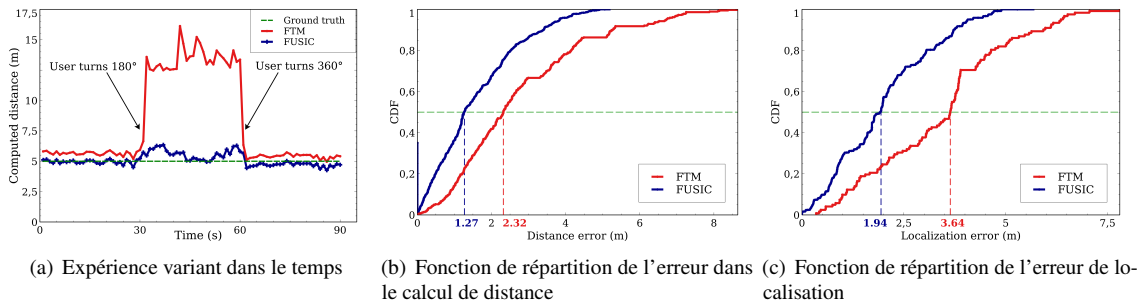


FIGURE 4: Evaluation de FUSIC par rapport au FTM

obtenue en exécutant un algorithme de tri-latération sur la base des distances obtenues relativement à chacun des points d'accès.

La première expérience est effectuée dans la configuration multi-chemin de la figure 3(a) et est similaire à celle décrite en section §1 : l'utilisateur effectue un tour de 180° à l'instant $t = 30$ s et un tour de 360° à $t = 60$ s. Les équipements sont maintenus à une distance $L = 5$ m l'un de l'autre et $D = 8$ m du réflecteur. Les résultats présentés sur la Figure 4(a) montrent que, contrairement au FTM qui se trompe lorsque l'utilisateur agit comme obstacle, FUSIC estime correctement la distance tout au long de l'expérience.

Les expériences suivantes ont été menées dans trois autres environnements : un restaurant universitaire, un entrepôt technique et une salle de convivialité. Les trois points d'accès sont déployés à des extrémités de la pièce et nous faisons varier la position de la cible. Pour chaque position, un calcul de distance est effectué par rapport à chacun des points d'accès et la réponse fréquentielle du canal est enregistrée. FUSIC est par la suite exécuté et les résultats obtenus, par le FTM et par FUSIC, sont respectivement utilisés pour calculer la localisation de la cible. La Figure 4(b) montre les fonctions de répartition de l'erreur de distance obtenue sur tous les trois environnements combinés. FUSIC obtient une médiane et un 90^{ème} percentile de 1.27 m et 3.41 m respectivement, surpassant le FTM dont la performance est de 2.32 m pour la médiane et 5.28 m pour le 90^{ème} percentile. Cette différence induit également une sur la précision de localisation (voir Figure 4(c)). FUSIC obtient une médiane d'erreur de localisation de 1.94 m et 3.77 m de 90^{ème} percentile, contre 3.64 m comme médiane et 5.79 m comme 90^{ème} percentile pour le FTM.

6 Conclusion

Dans ce travail, nous avons présenté FUSIC, une approche qui combine le protocole FTM et l'algorithme MUSIC pour étendre la précision de FTM dans les configurations dans lesquelles la ligne de vue est obstruée (NLDV). Nous avons implanté FUSIC sur un banc de test constitué de matériel sur étagère, et par des expériences menées dans 4 configurations, nous avons montré sa capacité à effectuer du calcul de distance en NLDV avec la même précision que le FTM en LDV. De plus, nos expériences montrent que FUSIC améliore significativement la capacité de FTM à fournir de la localisation en intérieur très précise.

Références

- [IEEE16] IEEE. Ieee draft standard for information technology–telecommunications and information exchange between systems - local and metropolitan area networks–specific requirements part 11 : Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications. *IEEE P802.11-REVmc/D6.0, June 2016*, pages 1–3774, 2016.
- [ILJ⁺18] Mohamed Ibrahim, Hansi Liu, Minitha Jawahar, Viet Nguyen, Marco Gruteser, Richard Howard, Bo Yu, and Fan Bai. Verification : Accuracy evaluation of wifi fine time measurements on an open platform. In *ACM MobiCom*, pages 417–427, 2018.
- [XSJ15] Jie Xiong, Karthikeyan Sundaresan, and Kyle Jamieson. Tonetrack : Leveraging frequency-agile radios for time-based indoor wireless localization. In *ACM MobiCom*, pages 537–549, 2015.