



**HAL**  
open science

## Evaluation des performances de la localisation à base de TDOA pour applications indoor à 60 GHz

Mounir Teniou, Theodoros Mavridis, Julien Sarrazin, Luca Petrillo, Philippe de Doncker, Aziz Benlarbi-Delai

► **To cite this version:**

Mounir Teniou, Theodoros Mavridis, Julien Sarrazin, Luca Petrillo, Philippe de Doncker, et al.. Evaluation des performances de la localisation à base de TDOA pour applications indoor à 60 GHz. XIXèmes Journées Nationales Microondes 2015, Jun 2015, Bordeaux, France. hal-01162816

**HAL Id: hal-01162816**

<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-01162816v1>

Submitted on 12 Jun 2015

**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.

19<sup>èmes</sup> Journées Nationales Microondes  
2-5 Juin 2015 - Bordeaux

## Evaluation des performances de la localisation à base de TDOA pour applications indoor à 60 GHz

Mounir Teniou<sup>1</sup>, Theodoros Mavridis<sup>2</sup>, Julien Sarrazin<sup>1</sup>, Luca Petrillo<sup>2</sup>, Philippe De Doncker<sup>2</sup>, Aziz Benlarbi-Delai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UPMC Université Paris 06, UR2, L2E, F-75005, Paris, France

<sup>2</sup>Université Libre de Bruxelles. Franklin Rooseveltlaan 50, 1050 Brussel, Belgique  
Mounir.teniou@upmc.fr : correspondant principal

### Résumé

Cet article présente une évaluation des performances de localisation indoor basée sur la différence entre les temps d'arrivée (TDOA : Time Difference Of Arrival). Cette évaluation a été faite dans un contexte de communication haut débit en bande millimétrique. Le choix du standard IEEE 802.11ad qui utilise une bande de fréquence de 2.16Ghz autour de 60GHz a permis une précision de localisation inférieure à 25cm.

### 1. Introduction

Avec l'avènement de l'internet des objets [1], ainsi que des environnements intelligents [2], il est devenu essentiel de pouvoir localiser les objets communicants ainsi que leurs utilisateurs. De plus, un très grand nombre de services basés sur la localisation se sont répandus ces dernières années.

Un autre aspect important est la saturation croissante des bandes de fréquences et le besoin grandissant en débit. Parmi les solutions existantes, le standard IEEE 802.11ad permet des débits pouvant dépasser 1Gb/s en utilisant la bande libre autour de 60GHz. Cependant, l'utilisation de ces fréquences millimétriques a pour inconvénient un bilan de liaison sévère, ce qui a conduit le standard à considérer la formation de faisceau. Il est donc nécessaire de localiser l'utilisateur pour savoir vers quelle direction former le faisceau.

Plusieurs méthodes de localisations outdoor (GPS, RSS...) peuvent être utilisées dans cette optique. Cependant, la précision disponible peut s'avérer insuffisante. De plus, en milieu indoor, l'utilisation du GPS n'est pas possible. Il convient alors d'imaginer d'autres solutions autorisant une localisation indoor robuste et précise.

Dans ce contexte, nous présentons ici une étude de la précision de la localisation basée sur la différence de temps d'arrivée (TDOA) en utilisant des signaux de communication. Cette étude a été faite pour le standard IEEE 802.11ad.

### 2. Principe de la localisation à base de TDOA

Dans cette technique, on se base sur la différence de distance entre l'objet à détecter et un couple de capteurs. Cette différence de distances est équivalente à la différence entre les temps d'arrivée du signal au couple de capteurs (TDOA : Time Difference Of Arrival). En combinant l'information obtenue à partir de plusieurs couples de capteurs, il est possible de déterminer la position exacte de l'objet à détecter. Cette position correspond à l'intersection des lieux (hyperboles) obtenus à partir de la TDOA estimée par chaque couple comme indiquée en Figure 1. A titre d'exemple, l'hyperbole 1 de la Figure 1 correspond à la différence entre les distances émetteur-C1 et émetteur-C2.

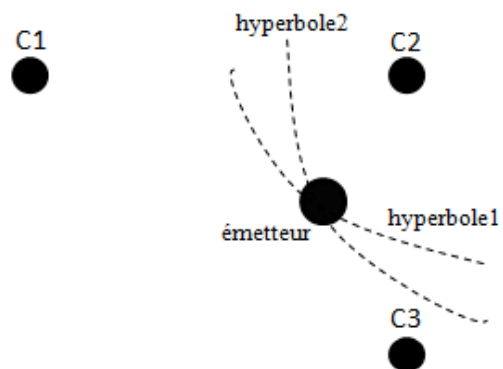


Figure 1. Triangulation à partir de deux TDOA.

L'avantage principal de cette méthode est qu'il n'est pas nécessaire d'effectuer une synchronisation entre l'émetteur et le récepteur. Par contre, une synchronisation entre les différents capteurs est classiquement requise. En effet, l'estimation de la TDOA est effectuée en calculant la corrélation entre les signaux reçus par les capteurs.

### 3. Précision de la TDOA 1D

#### 3.a. Scénario

Le scénario choisi pour cette étude est une pièce de 3m x 3m x 3m. Un couple de capteurs est situé au milieu du plafond (Figure 2).

Les courbes en bleu représentent l'intersection des hyperboloïdes générés par le couple d'antennes avec le plan du sol et ce pour plusieurs valeurs de la TDOA. La ligne rouge correspond à la TDOA=0s. En effet, pour une TDOA nulle on obtient un plan au lieu d'un hyperboloïde.

La distance entre les deux capteurs est de 10cm. Ce baseline de 10 cm est volontairement choisi petit afin de permettre qu'un dispositif puisse en localiser un autre sans avoir besoin d'une infrastructure lourde. Généralement, un faible baseline ne permet pas d'obtenir une localisation précise. Toutefois, dans le contexte des communications haut-débit à 60 GHz, les larges bandes passantes considérées entraînent l'utilisation de fréquences d'échantillonnage élevées. L'idée est donc de tirer parti de ces caractéristiques pour travailler avec un faible baseline tout en obtenant une précision de localisation raisonnable.

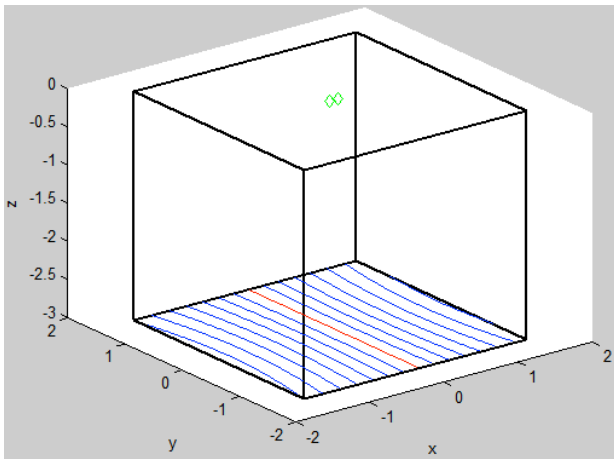


Figure 2. Scénario choisi pour l'étude de la TDOA 1D.

Les capteurs sont alignés sur l'axe x du repère comme montré en Figure 2. Ce scénario permet d'étudier la précision de la localisation 1D suivant l'axe x.

### 3.b. Implémentation

Le scénario de la Figure 2 est simulé en tenant compte des effets du canal de propagation à 60GHz ainsi que de la communication. Pour cela, un signal QPSK ayant une porteuse à 60GHz a été utilisé. La simulation a été effectuée en suivant les étapes illustrées en Figure 3.

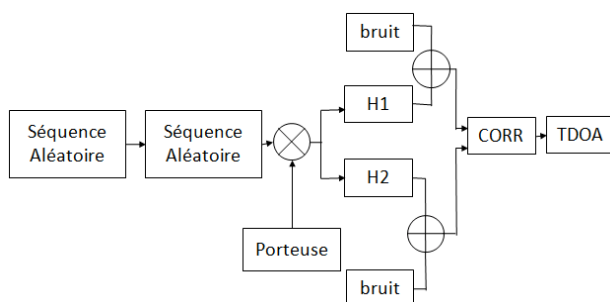


Figure 3. Schéma bloc du système de l'estimation de la TDOA.

H1 (respectivement H2) représente la réponse impulsionnelle du canal entre un point de la pièce et le capteur 1 (respectivement 2). Le modèle de canal utilisé est celui présenté dans le standard 60 GHz IEEE 802.11ad [3].

Le canal est échantillonné à une fréquence de 14GHz. Cela correspond aux fréquences d'échantillonnage classiquement utilisées dans les systèmes de localisation à 60GHz [4].

### 3.c. Résultats

Afin d'observer l'effet du canal sur l'estimation de la TDOA, la procédure précédente a été effectuée pour différents endroits de la pièce (La pièce de 3x3 m<sup>2</sup> a été divisée en 50x50 points). Pour chaque point, le canal a été généré 30 fois et le SNR du signal reçu (avant corrélation) est de 10dB. Les résultats obtenus ont été comparés avec les valeurs de la TDOA calculées analytiquement à partir de l'équation (1).

$$C * T = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} - \sqrt{(x - b)^2 + y^2 + z^2} \quad (1)$$

où (x,y,z) représente la position de l'émetteur et b la distance entre les capteurs au niveau des récepteurs.

Afin de mettre en évidence l'erreur en position correspondant à l'erreur d'estimation de la TDOA, l'équation (1) a été différenciée.

$$C * \Delta T = \left( \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} - \frac{x-b}{\sqrt{(x-b)^2 + y^2 + z^2}} \right) \Delta x \quad (2)$$

L'erreur de position calculée pour différents endroits de la pièce en effectuant un parcours suivant x et y est donnée en Figure 4 pour une bande passante de 500MHz. Dans la figure, l'erreur a été clampé à 25cm pour des raisons de visibilité.

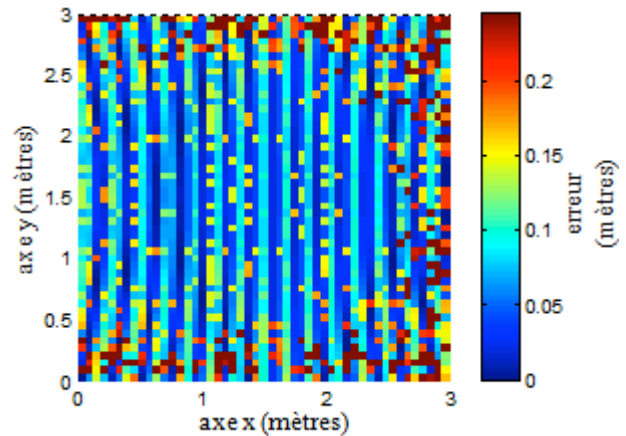
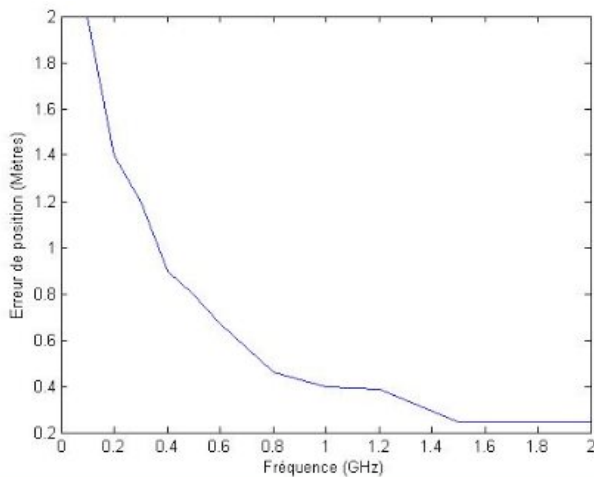


Figure 4. Erreur en position avec une bande passante de 500 MHz.

L'erreur maximale est de l'ordre de 25 cm. En moyenne, il est aisé de constater que l'erreur est plus élevée près des murs. Ceci est dû à la plus grande influence des multi-trajets.

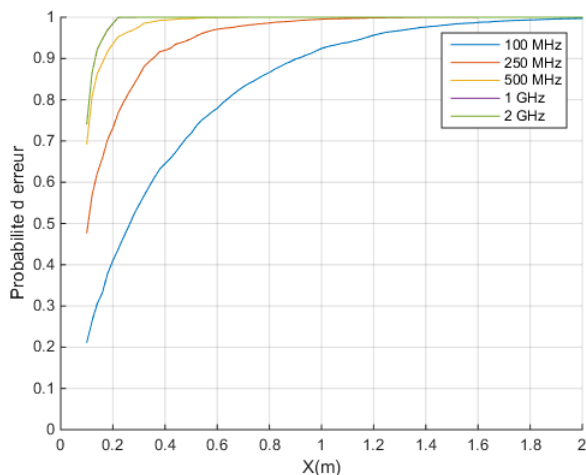
Ces simulations ont été réalisées pour différentes bandes passantes du signal émis. L'erreur maximale est tracée en fonction de la bande passante en Figure 5.



**Figure 5. Erreur maximale en position en fonction de la bande passante.**

Plus la bande passante augmente, plus l'erreur maximale de position diminue et tend vers un seuil (ici environ 25 cm) dicté par la fréquence d'échantillonnage utilisée (pour ces simulations, 14 GHz). Pour le standard considéré, les canaux ont une largeur de bande de 2.16 GHz. Ainsi, l'erreur maximale attendue est de 25 cm.

L'erreur maximale ne donne pas toute l'information sur la précision de la localisation. En effet, il est intéressant de connaître la probabilité d'avoir cette erreur. Pour cela, nous avons effectué l'estimation de l'erreur de positionnement à plusieurs reprises (30 fois) en générant à chaque fois le bruit et le canal. Nous avons ensuite calculé la probabilité d'avoir une erreur de positionnement inférieure à un certain seuil  $x$ . Ceci nous a permis de tracer les CDF (Cumulative Distribution Function) pour différentes valeurs de la bande passante (Figure 6).



**Figure 6.  $P(X < x)$  pour différentes valeurs de la bande passante**

On remarque que plus la bande passante est grande, plus la probabilité d'erreur diminue. En effet, pour une bande passante de 1GHz, on aura 74% de chance que l'erreur de positionnement soit inférieure à 10cm alors que cette probabilité était de 21% pour une bande

passante de 100MHz et 49% pour une bande passante de 250MHz.

Ces résultats montrent que la méthode de localisation basée sur la TDOA est très prometteuse pour le standard IEEE 802.11ad. Cependant, la TDOA 1D ne permet pas de donner une idée réaliste de la précision de cette technique. En effet, on ne peut pas déterminer la position d'un objet dans une pièce à partir d'une TDOA seulement. Les résultats obtenus ne donnent donc qu'une idée sur la précision d'une des composantes de la position ( $x$  ou  $y$ ). Nous avons donc poursuivi notre étude de la précision de la TDOA pour le cas 2D.

#### 4. Précision de la TDOA 2D

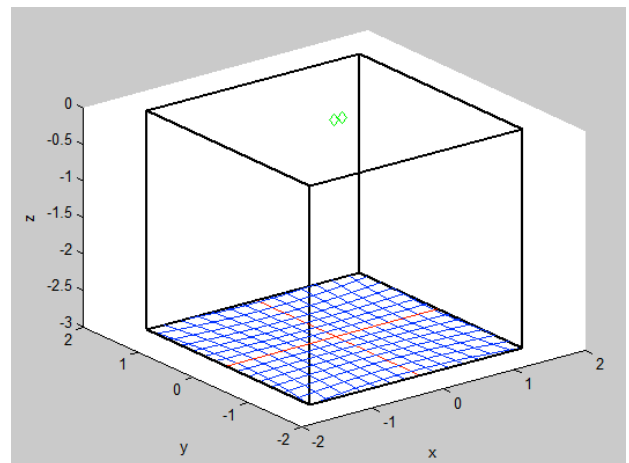
##### 4.a. Scénario

Le scénario choisi pour cette étude est le même qu'en section 3.a, sauf qu'au lieu d'un couple de capteurs, 3 capteurs situés au milieu du plafond avec une distance de 10cm entre eux sont à présent utilisés (Figure 7). Deux jeux d'hyperboles sont maintenant présents : un suivant l'axe  $Ox$  et un suivant l'axe  $Oy$ .

Les 3 capteurs sont positionnés de la façon suivante :

- Un capteur de référence situé en  $(0,0,0)$ . C'est par rapport à ce capteur que les TDOA seront calculées.
- Un capteur situé en  $(b_1,0,0)$  où  $b_1$  représente le baseline du premier couple de capteurs
- Un capteur situé en  $(0,b_2,0)$  où  $b_2$  représente le baseline du deuxième couple de capteurs

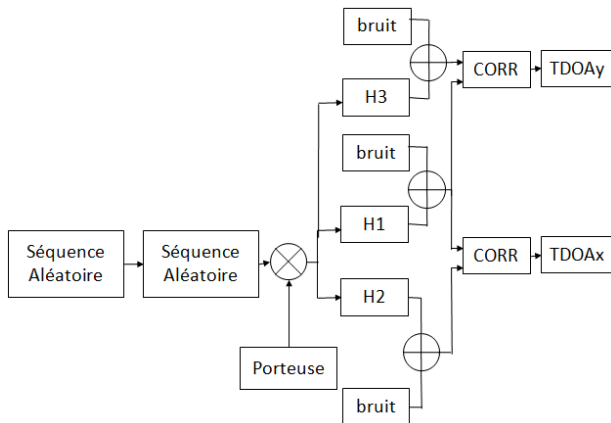
Ce scénario permet d'étudier la précision de la localisation 2D, il suppose que l'objet à localiser se trouve au niveau du sol, ou du moins, que sa hauteur est connue, ou déterminée par une autre méthode (localisation RSS par exemple).



**Figure 7. Scénario choisi pour l'étude de la TDOA 2D.**

##### 4.b. Implémentation

Afin d'effectuer notre simulation, nous nous sommes basés sur le même programme que précédemment sauf qu'à présent, deux TDOA sont calculées (une pour chaque couple de capteurs)



**Figure 8. Schéma bloc du système de l'estimation des TDOA x et y.**

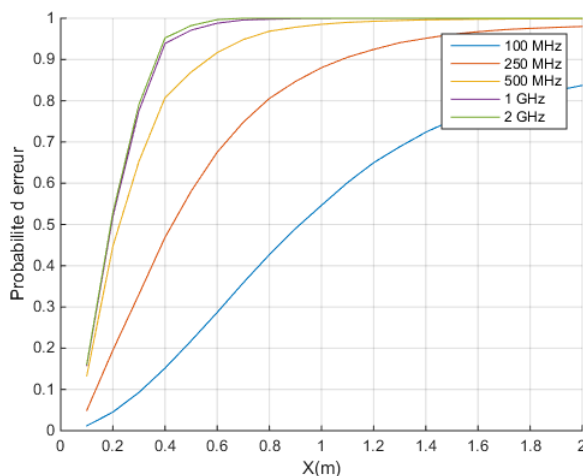
H1 (respectivement H2, H3) représente la réponse impulsionnelle du canal entre un point de la pièce et le capteur 1 (respectivement 2, 3). Le modèle de canal utilisé est le même qu'en section 3.b.

Nous avons ensuite implémenté la méthode proposée dans [5] permettant de déterminer la position d'un objet à partir de deux TDOA en connaissant la hauteur à laquelle il se trouve.

#### 4.c. Résultats

Afin de déterminer les variations de la précision de la localisation en fonction des différents paramètres du système, les deux valeurs de la TDOA ont été calculées pour 50x50 endroits de la pièce. La position a ensuite été déterminée en utilisant la technique proposée en [5]. Les résultats obtenus ont ensuite été comparés avec les vraies valeurs de position afin d'avoir la précision de la localisation.

L'opération a été répétée à plusieurs reprises (30 fois) afin de déterminer la probabilité que l'erreur de position soit inférieure à un seuil donné. L'opération a été effectuée pour plusieurs valeurs de la bande passante. Les CDF obtenues ont été tracées en Figure 9.



**Figure 9.  $P(X < x)$  pour différentes valeurs de la bande passante (cas 2D)**

Comme pour le cas 1D, plus la bande passante est grande, plus la précision augmente. En effet, pour une bande passante de 1GHz, la probabilité que l'erreur soit

inférieure à 30cm est de 80% alors qu'elle est de 30% seulement pour une bande passante de 250MHz. Il est également intéressant de noter qu'une bande de 2 GHz n'offre que peu d'amélioration par rapport à une bande de 1 GHz en termes de précision de localisation. 1 GHz semble suffisant pour lutter contre l'effet des multi-trajets dégradant l'estimation de la TDOA.

## 5. Conclusion

Ce travail présente une étude de la précision de la technique de localisation basée sur la TDOA à l'intérieur d'une pièce. Il a été déterminé que la précision était plus petite aux bords de la pièce à cause des multi-trajets. Cet effet n'est plus visible lors de l'utilisation d'une bande passante de 2.16 GHz, bande utilisée dans le standard IEEE 802.11ad pour lequel l'erreur maximale dans la pièce reste inférieure à 25cm.

Ainsi, l'exploitation des signaux de communication utilisant le standard IEEE 802.11ad apparaît prometteuse dans l'optique de localiser précisément des objets en milieux intérieurs lorsqu'une ligne de vue directe existe entre émetteur et récepteur.

Les perspectives de ce travail sont d'étudier cette précision de localisation lorsqu'aucun trajet direct n'existe entre émetteur et récepteur (situation *Non Line Of Sight*) et aussi de quantifier la probabilité qu'une telle situation intervienne dans le cas du scénario étudié dans cet article.

## 6. Bibliographie

- [1] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, «*Internet of things (iot) : A vision, architectural elements, and future directions*», Future Generation Computer Systems.,
- [2] D. Cook and S. Das, «*Smart environments : Technology, protocols and applications*». John Wiley & Sons, 2004, vol. 43
- [3] —, «*Channel models for 60 GHz WLAN systems,* » IEEE 802.11 TGad document: IEEE 802.11-09/0334r8, 2010.
- [4] F. Winkler, E Fischer. E.Graß, & G. Fischer, «*A 60 GHz OFDM indoor localization system based on DTDOA*». 14th IST Mobile & Wireless Communications Summit, Dresden. 2005
- [5] B. T. Fang, «*Simple solutions for hyperbolic and related position fixes*». Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on, 26(5), 748-753. 1990