



L'ÉLECTROMAGNÉTISME, 150-1
UNE SCIENCE EN PLEINE ACTION !

**Titre: Communication et Radio Localisation Simultanées en
Bande Millimétrique**

**Title: Simultaneous Communication and Radio Localization in
Millimeter-wave bands**

Ahmadreza Jafari*, Luca Petrillo**, Julien Sarrazin*, David Lautru*, Philippe De Doncker** et Aziz Benlarbi-Delai*

*UPMC Univ Paris 06, UR2, L2E, BC 252, 4 place Jussieu, 75005 Paris, France

**OPERA Dpt.-Wireless communications Group, Ecole Polytechnique de Bruxelles, Bruxelles, 1050 Belgique

Mots clés: Indoor localisation, millimeter wave communication, OFDM, TDOA, Ultra wideband communication.

Résumé

Parmi les solutions envisagées pour contribuer à améliorer l'efficacité spectrale des communications sans fil, l'exploitation de la ressource spatiale apparaît comme un bon candidat. Nous proposons ici, une nouvelle méthode de localisation en milieu indoor pour communications à 60 GHz basée sur l'extraction de la TDOA. La nouveauté de l'approche proposée réside dans sa capacité à extraire la TDOA tout en assurant simultanément une communication très haut débit utilisant des signaux UWB OFDM. L'amélioration de la précision de localisation est également étudiée via une approche multi-bandes profitant ainsi de l'ensemble du spectre alloué aux communications 60 GHz. L'ensemble de cette étude se fait dans le cadre des spécifications de l'alliance WiGig.

Introduction

Les communications à haut débit utilisant des techniques de modulation complexe comme l'OFDM (« Orthogonal Frequency Division Multiplexing ») sont de plus en plus utilisées dans les applications à courte portée telles que le "video streaming", "l'USB sans fil haut débit", Toutefois, les systèmes actuels sans fil commerciaux n'atteignent pas encore les débits nécessaires pour des contenus plus lourds comme la vidéo HD. Ainsi, un effort existe pour développer une technologie sans fil UWB (« Ultra Wide Band ») à 60 GHz, où 5 GHz de bandes sont disponibles internationalement. Dans ce contexte, la norme IEEE 802.15.3c a déjà été proposée, tandis que d'autres spécifications, par exemple WiGig, sont en cours d'élaboration [1], [2], [3], [4].

De plus, la consommation d'énergie dans les réseaux sans fil est un facteur essentiel à l'égard de leur impact sur l'environnement et leur autonomie [5], [6]. La focalisation d'énergie peut permettre de diminuer les consommations en jeux et d'améliorer les portées des communications sans fil. C'est pourquoi les standards 60 GHz en cours de développement envisagent le beamforming. Toutefois, pour pouvoir focaliser, il faut au préalable que les appareils communicants se localisent entre eux [7].

Dans cet article, une technique de localisation pour les réseaux large bande à 60 GHz adaptée pour les milieux indoor est présentée. Cette méthode de localisation est basée classiquement sur le calcul de la TDOA (« Time Difference of Arrival »). L'innovation réside dans l'extraction de cette TDOA, qui exploite les interférences présentes dans le spectre du signal OFDM. Avec cette approche, nous sommes en mesure d'effectuer la localisation et la transmission de données de façon simultanée.

Le papier est organisé comme suit. Dans la section 1, la théorie, les concepts et formulations sont présentés. Dans la section 2, nous examinons un exemple illustrant notre méthode. Enfin, la section 3 conclura le papier.

1. La théorie

La méthode de localisation proposée dans cet article se base sur la mesure de TDOA extraite à partir de l'interférence entre les signaux OFDM émis par deux antennes dans la bande 60 GHz [8], [9]. Afin d'implémenter cette technique, un dispositif de référence RD avec deux antennes émettrices A_1 et A_2 et un dispositif mobile (MD) sont placés dans un environnement indoor. La distance entre MD et A_1 est d_1 et entre MD et A_2 est d_2 . Dans le cas de la propagation LOS (« Line Of Sight ») entre les dispositifs de références et le MD, les retards de propagation sont $\tau_1 = d_1/c$ et $\tau_2 = d_2/c$, avec c la vitesse de la lumière et h_1 et h_2 les gains de canal respectivement entre A_1 et MD et entre A_2 et MD. A_1 et A_2 transmettent les mêmes signaux OFDM 60 GHz avec une fréquence d'échantillonnage en bande de base f_s , N porteuses et M porteuses de données. De plus, le retard τ_p est considéré, comme cela a été suggéré dans [10], pour faire varier le retard d'un signal d'une manière prédéterminée. Avec $x(t)$ le signal en bande de base modulé et transmis par les deux antennes, l'équation suivante est obtenue:

$$x_1(t) = x(t) = \sum_{k=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} c_k e^{\frac{i2\pi k f_s t}{N}} e^{i2\pi F_{RF} t} = \sum_{k=-\frac{M}{2}}^{\frac{M}{2}-1} c_k e^{\frac{i2\pi k f_s t}{N}} e^{i2\pi F_{RF} t} \quad (1)$$

$$x_2(t) = Ax(t - \tau_p) \quad (2)$$

Où A est une constante réelle, c_k sont des coefficients complexes, avec k l'indice de sous-porteuse et F_{RF} la fréquence RF. Le MD reçoit :

$$y(t) = h_1 x(t - \tau_1) + h_2 Ax(t - \tau_p - \tau_1) \quad (3)$$

Dans le cas où $h_1 = Ah_2$, $y(t)$ peut être écrit comme :

$$y(t) = h_1 [x(t) + x(t - \tau)] \quad (4)$$

Où $\tau = \tau_p + \tau_2 - \tau_1$. Le signal reçu dans le domaine fréquentiel peut être présenté comme :

$$Y(f) = H_1 \sum_{k=-\frac{M}{2}}^{\frac{M}{2}-1} C_k \delta\left(f - \frac{k f_s}{N} - F_{RF}\right) * \left(1 + e^{-i2\pi\tau\left(\frac{k f_s}{N} + F_{RF}\right)}\right) \quad (5)$$

Chaque paire de sous-porteuses $|k|$ est annulée pour les valeurs τ données par :

$$\tau = \frac{(2n+1)N}{2|k|f_s + 2NF_{RF}} \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

En bande de base, on aura:

$$\tau = \frac{2n+1}{2|k|f_s/N} \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

L'équation 7 montre que la TDOA peut être déduite en observant le spectre du signal reçu et en mesurant les positions des fréquences où ce dernier est de niveau très faible.

Afin de démontrer la faisabilité de notre approche, une chaîne de communication 60 GHz est simulée sous SystemVue. Les paramètres OFDM sont fixés selon la norme IEEE 802.15.3c (nous tenons à souligner que les spécifications IEEE 802.15.3c sont presque identiques à celle de WiGig [11]). Nous considérons donc $f_s = 2,64$ GHz, $N = 512$ et $M = 354$. Afin d'assurer l'annulation d'une seule paire de porteuses, les valeurs de τ qui donne une solution unique pour l'équation 7 sont choisies.

Connaissant les valeurs de TDOA qui peuvent être mesurées avec notre signal OFDM, nous proposons en figure 1, une configuration possible dans laquelle une paire d'antennes distante de 22 cm effectue la localisation d'un MD dans une chambre 10×10 m². Dans la figure 1, les lieux de TDOA constantes (qui sont des hyperboles) sont représentés. Les courbes correspondent exactement aux valeurs de τ qui sont solutions de l'équation 7 pour des valeurs de $|k| = 60, 66, 70, 80, \dots, 170, 177$ et $n = 0$.

L'équation 6 montre que F_{RF} joue sur les positions des nulles et ce dernier peut être utilisé afin d'améliorer la précision de localisation via une approche multi-bandes profitant ainsi de l'ensemble du spectre alloué aux communications 60 GHz.

2. La simulation et description du système

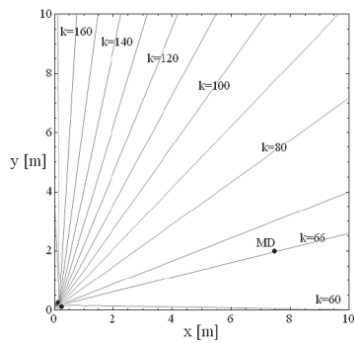


Figure 1. Lieux à «TDOA» constants soit à « k » constants.

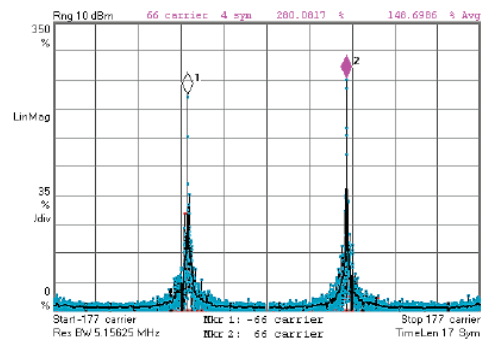


Figure 2. Module de l'erreur vectorielle (EVM) du signal reçu.

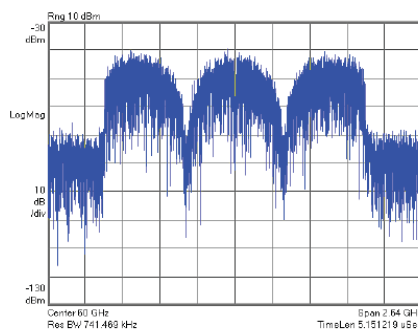


Figure 3. Spectre du signal reçu.

Un exemple de simulation de localisation d'un MD avec cette méthode est réalisé en utilisant les logiciels SystemVue et VSA 89600. Pour un point fixe dans la chambre, par exemple dans $x_p=7,5$, $y_p=2$, la valeur théorique de $\tau = \tau_p + \tau_2 - \tau_1$ pour une propagation LOS entre les références et le point fixe est calculée. Nous obtenons $\tau = 1,47$ ns et donc, selon l'équation 7, nous nous attendons à $|k|=66$, comme présenté en Figure 1. Le résultat obtenu par la simulation confirme la valeur calculée par la théorie. Avec cette courbe des lieux à TDOA constants, une localisation 1D ou 2D peut être réalisée. La Figure 2 présente l'EVM (« Error vector magnitude ») du signal reçu et la Figure 3 présente le spectre du signal reçu qui nous permettent de détecter les nuls (l'annulation est présente à $|k|=66$ comme prévu). L'EVM moyen de signal reçu est dans l'ordre de 5 pourcents qui nous permet de démoduler le signal proprement et réaliser la communication et la localisation de façon simultanée.

L'approche multi-bande est aussi étudiée expérimentalement en utilisant une communication filaire en bande de base. Pour appliquer la TDOA deux câbles avec des longueurs différentes ont été connectés aux deux canaux d'AWG où les mêmes signaux OFDM ont été produits. Pour présenter l'additionneur, un diviseur de puissance fonctionnant dans la bande à 1-4 GHz est utilisé et le VSA détecte et démodule le signal reçu. Six signaux OFDM avec une bande passante de 500 MHz et des fréquences centrales F_{RF} différentes ont été générés de façon à ce que la bande passante de 3GHz (de 1 à 4 GHz) puisse être entièrement exploitée. Les 6 signaux OFDM sont transmis séquentiellement. Les signaux reçus sont ensuite concaténés en post-traitement et le résultat est illustré en Figure 4. La bande passante de 3 GHz ainsi obtenue permet d'extraire des TDOA plus faibles et par conséquent, d'améliorer la précision de localisation. Pour ce qui est de la norme WiGig où 5 GHz de bande sont disponibles, des TDOA de l'ordre de 0,2 ns peuvent être ainsi mesurées.

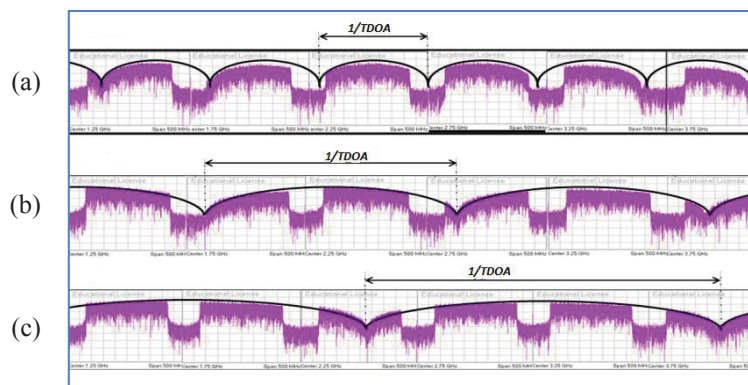


Figure 4. Spectres obtenus par concaténation des signaux reçus dans le cas d'une TDOA de a) 2,22 ns, b) 0,95 ns, c) 0,65 ns.

3. Conclusion

Dans cet article, une nouvelle méthode pour extraire la TDOA est présentée. Cette méthode est particulièrement adaptée pour les systèmes de communication à 60 GHz qui utilisent des signaux UWB OFDM. Il a été montré que, dans l'hypothèse d'une liaison LOS et de l'utilisation de deux antennes sur le dispositif de référence, qu'il est possible d'estimer la position 1D ou 2D d'un dispositif mobile dans une chambre. En outre, cette technique, contrairement à des mesures de TDOA classiques a l'avantage de permettre, de façon simultanée, la localisation et la communication. L'amélioration de la précision de localisation est également étudiée via une approche multi-bandes. Cette nouvelle méthode permettra une meilleure utilisation de la ressource spatiale et contribuera à réduire la congestion spectrale dans les communications sans fil.

Références Bibliographiques

- [1] T. Baykas et al.: 'IEEE 802.15.3c: the first IEEE wireless standard for data rates over 1 Gb/s', EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2007, **9**, pp. 114-121J.
- [2] S.K. Yong and C.-C. Chong: 'An overview of multigigabit wireless through millimeter wave technology: potentials and technical challenges', IEEE Communications Magazine, 2007, **1**, pp. 1-10
- [3] 'WiGig white paper', www.wigig.org
- [4] C.J. Hansen: 'WiGig: Multi-gigabit wireless communications in the 60 GHz band', IEEE Wireless Communications, 2011, **18**, pp. 6-7
- [5] C. Park and T.S. Rappaport: 'Short-Range Wireless Communications for Next-Generation Networks: UWB, 60 GHz Millimeter-Wave WPAN, And ZigBee', IEEE Wireless Communications, 2007, **14**, pp. 70-78
- [6] N. Patwari and al.: 'Locating the nodes: cooperative localization in wireless sensor networks', IEEE Signal Processing Magazine, 2005, **22**, pp. 54-69
- [7] J.N. Al-Karaki and A.E. Kamal: 'Routing techniques in wireless sensor networks: a survey', IEEE Wireless Communications, 2004, **11**, pp. 6-28
- [8] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, L. Jing: 'Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems', IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 2007, **37**, pp.1067-1080
- [9] Michael Bocquet, Christophe Loyez, and Aziz Benlarbi-Dela: 'Using Enhanced-TDOA Measurement for Indoor Positioning', IEEE Microwave and wireless components letters, 2005, **15**, pp. 612-614
- [10] K. Panta and J. Armstrong: 'Indoor localisation using white LEDs', Electronics Letters, 2012, **48**, pp. 228-230
- [11] G. Goth: 'Wi-Fi Making Big New Waves: In-Room High-Speed Uses to Get Big Boost from Wireless Mainstay' IEEE Internet Computing, 2011, **15**, pp. 7-10