

Titre: Localisation Indoor: Nouvelle Méthode d'Estimation de la TDOA à Partir des Signaux de Communication Millimétrique OFDM

Title: Indoor Localization: New TDOA Estimation Method Using Millimeter-wave OFDM Communication Signals

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

*Sorbonne Université, UPMC Univ Paris 06, UR2, L2E, F-75005 Paris, France

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

Mots clés: Localisation Indoor, Communication millimétrique, OFDM, TDOA, Communication sans fil ultra large bande. Indoor localization, Millimeter-wave communication, OFDM, TDOA, Ultra wideband wireless communication.

1. Introduction

Dans le domaine des communications sans fil haut débit à 60 GHz, on propose une nouvelle méthode pour la localisation d'objets communicants en milieu indoor. Cette méthode est basée sur l'extraction de la différence de temps d'arrivée : TDOA (Time Difference of Arrival), en utilisant un système MISO (Multiple Input Single Output). Avec cette approche, contrairement aux mesures TDOA conventionnelles, une seule référence RD (Reference Device) constituée de deux antennes, est requise. Cette solution qui permet de réaliser simultanément les fonctions de communication et de localisation, exploite les signaux UWB-OFDM pour estimer la TDOA. L'influence de canal sur la précision de localisation est étudiée. Les simulations et mesures, réalisées au sein de notre laboratoire, confirment la pertinence des modèles et estimateurs utilisées. Cette étude est conduite dans le cadre de la norme IEEE802.11ad [1][2][3].

2. Principe

Pour mettre en œuvre cette technique, un system MISO est considéré. Un dispositif de référence (RD) constitué de deux antennes A_1 et A_2 et un dispositif mobile (MD) sont placés dans un milieu indoor. Les temps de vol entre MD et A_1 , et entre MD et A_2 sont notés respectivement τ_1 et τ_2 [4]. Les antennes A_1 et A_2 transmettent les mêmes signaux au format IEEE802.11ad, retardés l'un par rapport à l'autre de τ_p [5]. La fréquence d'échantillonnage est noté F_s , N est le nombre de sous-porteuses et M est le nombre de sous-porteuses de données. Si nous appelons, $x(t)$, l'enveloppe complexe (CE) du signal en bande de base et $x_{RF}(t)$, la représentation RF du signal transmis, les équations suivantes sont obtenues :

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

$$x_{RF}(t) = Re(x(t)e^{i2\pi F_{RF}t}) \quad (2)$$

où Re est l'opérateur de la partie réelle, c_k sont des coefficients complexes, avec k l'indice des porteuses et F_{RF} la fréquence du signal RF. En appelant respectivement h_1 et h_2 , les gains de canal entre A_1 et MD et entre A_2 et MD, les réponses impulsionnelles du canal dans le domaine CE sont, pour les deux temps de vol τ_1 et τ_2 , :

$$h_1(t) = h_1 e^{-i2\pi F_{RF}\tau_1} \delta(t - \tau_1) \quad (3)$$

$$h_2(t) = h_2 e^{-i2\pi F_{RF}(\tau_2 + \tau_p)} \delta(t - \tau_2 - \tau_p) \quad (4)$$

où δ est la fonction de Dirac. Les deux antennes du RD étant relativement proches l'une de l'autre, nous pouvons assumer dans un scénario LOS, que $h_2 \cong h_1$. En posant $\tau = \tau_p + \tau_2 - \tau_1$, le signal reçu dans le domaine fréquentiel peut être présenté comme suit :

$$Y(f) = h_1 \sum_{k=-\frac{M}{2}}^{\frac{M}{2}-1} c_k \delta\left(f - \frac{kF_s}{N}\right) e^{-i2\pi(F_{RF} + \frac{kF_s}{N})(\tau_2 + \tau_p - \tau)} \left[1 + e^{-i2\pi(F_{RF} + \frac{kF_s}{N})\tau}\right] \quad (5)$$

De l'équation (5), on peut montrer que dans le spectre reçu, les porteuses k sont annulées pour les valeurs données par la relation:

$$\frac{kF_s}{N} = \frac{(2n+1)}{2\tau} - F_{RF} \quad n = 0,1,2, \dots \quad (6)$$

où $\frac{kF_s}{N}$ est la $k^{\text{ième}}$ sous-porteuse. A partir de (6) on déduit que le spectre reçu est un signal périodique, et cette périodicité est reliée à τ . Ainsi la valeur de la TDOA peut être directement estimée. En réalité, compte tenu de la présence de trajets multiples, l'accès à la valeur utile τ n'est pas direct. Il convient donc d'estimer cette donnée moyennant une connaissance a priori du canal.

3. La simulation, les résultats de mesures et la méthode d'estimation

Pour démontrer, par la simulation et par l'expérience, la faisabilité de cette estimation, un système de communication opérant à 60 GHz (en considérant le canal) est d'abord simulé en utilisant le logiciel SystemVue®, puis testé en utilisant un module d'émission réception fonctionnant à 60 GHz. Dans la figure 1, une configuration de mesure est présentée. En présence du canal, le spectre et la réponse équivalente du canal reçu sont déformés en raison de l'influence des multi trajets. Donc, une régression non linéaire fondée sur la méthode des moindres carrés est utilisée pour avoir une estimation de la réponse équivalente du canal et déduire la périodicité du spectre reçu. Le modèle de Fourier considéré pour cette régression permet d'obtenir, figure 2, une très bonne estimation du spectre qui donnera naturellement une très bonne estimation de τ .



Figure 2. Configuration de mesure.

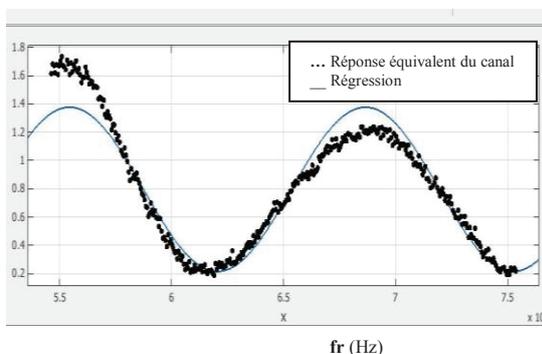


Figure 3. Réponse équivalente du canal et sa régression.

4. Conclusion

Dans ce papier, une nouvelle méthode d'estimation de TDOA particulièrement bien adaptée pour des systèmes de communication indoor opérant à 60 GHz et utilisant des signaux UWB OFDM est présentée. On a montré que, dans l'hypothèse de scénario LOS et l'utilisation de dispositif de référence (RD) formée de deux antennes, il est possible d'estimer une position 1D d'un dispositif mobile (MD) dans une pièce. Cette technique, contrairement aux mesures classiques de TDOA, a l'avantage de permettre la localisation et la communication de façon simultanée. De plus, seulement un dispositif de référence avec deux antennes très proches est utilisé au lieu de deux dispositifs de référence. Les mesures faites au sein de notre laboratoire confirment la faisabilité de cette technique en présence d'un canal réel.

5. Bibliographie

- [1] A. Jafari, L. Pettillo, J. Sarrazin, D. Lautru, P. De Doncker and A. Benlarbi-Delai, Communication et Radio Localisation Simultanées en Bande Millimétrique, URSI France 2013.
- [2] C.J. Hansen. Wigig: Multi-gigabit wireless communications in the 60 ghz band. Wireless Communications, IEEE, 18(6):6{7, 2011.
- [3] Xinrong Li, K. Pahlavan, M. Latva-aho, and M. Ylianttila. Comparison of indoor geolocation methods in dsss and ofdm wireless lan systems. In Vehicular Technology Conference, 2000. IEEE-VTS Fall VTC 2000. 52nd, volume 6, pages 3015-3020 vol.6, 2000.
- [4] M. Bocquet, C. Loyez, and A. Benlarbi-Delai. Using enhanced-tdoa measurement for indoor positioning. Microwave and Wireless Components Letters, IEEE, 15(10):612{614, 2005.
- [5] K. Panta and J. Armstrong: «Indoor localisation using white LEDs», Electronics Letters, 2012, 48, pp. 228-230.