

Etude de la propagation à 60 GHz en milieu indoor

Marwan El Hajj, Gheorghe I. Zaharia, Guy Grunfelder, Ghaïs El Zein, Hanna Farhat, Sawsan Sadek

▶ To cite this version:

Marwan El Hajj, Gheorghe I. Zaharia, Guy Grunfelder, Ghaïs El Zein, Hanna Farhat, et al.. Etude de la propagation à 60 GHz en milieu indoor. XXIèmes Journées Nationales Microondes, May 2019, Caen, France. hal-02615325

HAL Id: hal-02615325 https://hal.science/hal-02615325

Submitted on 22 May 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.



Etude de la propagation à 60 GHz en milieu indoor

M. El Hajj¹, G. Zaharia¹, G. Grunfelder¹, G. El Zein¹, H. Farhat², S. Sadek²

¹Univ Rennes, INSA Rennes, CNRS, IETR, UMR 6164, F 35000 Rennes, France ²Université Libanaise, IUT – Saida, Liban Marwan.el-hajj@insa-rennes.fr

Résumé – Cet article présente les premiers résultats de l'étude de propagation dans la bande de 60 GHz, prévue pour les nouveaux réseaux locaux sans fil. L'étude repose sur deux campagnes de mesures menées dans un environnement indoor. Les résultats permettent de modéliser les pertes de puissance en fonction de la distance pour différentes configurations. Par ailleurs, l'étude de la réponse impulsionnelle du canal permet de mettre en évidence la propagation par trajets multiples.

1. Introduction

Actuellement, une forte activité de recherche est portée sur la définition et la conception des futurs systèmes de communication envisagés pour les réseaux cellulaires (5G) [1] et les réseaux locaux et personnels sans fil (WLAN/WPAN) [2]. Ces systèmes doivent répondre simultanément à plusieurs exigences en termes de débit, de qualité de service et d'économie d'énergie. Les bandes de fréquences déjà allouées en dessous de 6 GHz ne sont plus suffisantes pour satisfaire cette demande, même en utilisant des petites cellules, des réseaux hétérogènes, des modulations complexes et des systèmes multi-antennaires.

Dans ce contexte, l'utilisation des bandes millimétriques s'avère être une solution attrayante pour transmettre des débits élevés (Gbit/s) pour des applications à courte distance. Cependant, les ondes millimétriques sont extrêmement vulnérables aux pertes de propagation et à différents obstacles tels que le blocage humain, le mobilier et les murs. L'atténuation due au blocage du corps humain a été observée à un niveau d'environ 25-30 dB [3] [4], mais elle dépend aussi de la hauteur des antennes et de la position de la personne par rapport aux antennes.

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet FUI OptimiSME, qui a pour objectif l'optimisation du déploiement des réseaux radio multi-bandes pour les petites entreprises. Après avoir étudié le canal de propagation des ondes radioélectriques à 2,4 et 5,8 GHz dans un environnement indoor de type bureau [5], cette étude porte sur la propagation à 60 GHz dans deux environnements. La première campagne de mesure est réalisée dans un couloir pour évaluer les caractéristiques des pertes de puissance. Quant à la deuxième campagne elle se déroule dans un environnement de type bureau, le même que celui décrit dans [5] et porte sur l'étude de la réponse spatio-temporelle du canal de propagation.

2. Système de mesure

Le système de mesure utilise un analyseur de réseaux vectoriel (VNA) opérant à la fréquence centrale de 3,5 GHz, avec une bande de 3 GHz, sur 801 points d'échantillonnage espacés d'un pas fréquentiel de 3,75 MHz. La transposition de fréquence (montante et descendante) à 60 GHz est assurée par des modules radiofréquences composés d'un PLO, de tripleurs et de mélangeurs. Des antennes cornets de 22,5 dBi de gain, de 10° (plan E) et de 13° (plan H) d'ouverture en polarisation verticale sont utilisées. Un calibrage est effectué avant le lancement des mesures afin de supprimer les pertes des câbles. Ensuite, un test en « back to back » est réalisé pour éliminer l'influence des têtes RF de la réponse du canal. La puissance transmise à 60 GHz est 0 dBm. Le système est contrôlé à l'aide d'un PC via un programme LabVIEW.

3. Etude des pertes de puissance

La caractérisation large bande du canal de propagation a d'abord porté sur l'évaluation des pertes de puissance (path loss, en dB) en fonction de la distance entre les antennes en utilisant le modèle suivant :

$$PL(d) = PL(d_0) + 10\alpha \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{\sigma} \qquad (1)$$

PL (d_0) : Pertes de puissance à une distance $d_0 = 1$ m α : Exposant des pertes de puissance

 X_{σ} : Variable aléatoire gaussienne N (0, σ^2)

Le récepteur R_x est fixé dans une pièce séparée d'un couloir (14 x 2 x 3 m) par une porte ouverte (Figure 1). L'émetteur T_x est placé dans 36 positions situées dans l'axe du couloir pour une distance maximale de 18 m. R_x et T_x sont à la même hauteur de 1,6 m du sol.



Figure 1. Environnement de mesure (pièce-couloir).

XXI^{èmes} Journées Nationales Microondes 14-17 mai 2019 – Caen



Pour l'analyse, le nombre de positions a été réduit en effectuant des divisions successives par 2, 3 et 4. Le Tableau 1 présente pour chaque nombre de positions les paramètres du modèle, où σ est l'écart type et ρ est le coefficient de corrélation entre le modèle et la mesure.

L'exposant α est inférieur à 2 (cas de l'espace libre), ce qui indique la présence d'un effet de guidage et varie légèrement en passant à 9 positions. Par ailleurs, σ est faible et ρ montre une forte corrélation. Dans ce cas, le choix de 12 positions s'avère un bon compromis entre la précision des résultats et le nombre de positions.

Nombre de positions	<i>PL (d</i> ₀) [dB]	α	σ [dB]	ρ
36	71,23	1,69	0,62	0,99
18	71,22	1,69	0,68	0,99
12	71,18	1,68	0,68	0,99
9	71,85	1,60	0,60	0,99

 Tableau 1. Paramètres du modèle en fonction du nombre de positions.

Ensuite, deux scénarios ont été considérés pour étudier l'influence de la position du récepteur : R_x situé à 4 m (Figure 1) puis à 1 m de la porte (Figure 2).



Figure 2. Environnement de mesure (R_x à 1 m de la porte).

Les résultats du Tableau 2 montrent que l'effet guidage est toujours présent. Il augmente légèrement quand on approche le récepteur du couloir, en conservant presque les mêmes valeurs pour σ et ρ .



Figure 3. Environnement de mesure (R_x à 4 m de la porte fermée).



Figure 4. Pertes de puissance en fonction de la distance pour R_x à 4 m de la porte.

	$\frac{PL(d_0)}{[dB]}$	α	σ [dB]	ρ
Porte ouverte (M1)	71,22	1,69	0,68	0,99
Avant la porte fermée (M2)	71,60	1,59	0,47	0,95
Après la porte fermée (M3)	77,62	1,84	0,46	0,94

Tableau 2. Paramètres du modèle.

Après la porte fermée (Figure 3), on remarque une augmentation moyenne des pertes d'environ 9 dB (Figure 4). L'exposant α augmente légèrement après la fermeture de la porte, donc l'effet de guidage est moins prononcé. Une légère variation de σ et ρ est aussi observée.

4. Etude de la réponse impulsionnelle

La caractérisation du canal a porté aussi sur sa réponse impulsionnelle dans un environnement bureautique. L'émetteur T_x était placé au coin d'une pièce et orienté vers la position 8 (Figure 5). 10 positions de réception sont considérées. À chaque position du récepteur, l'antenne R_x effectue une rotation de 360° par pas de 6° en utilisant un positionneur, et à chaque pas on sauvegarde la réponse fréquentielle du canal de propagation. Toutes les mesures ont été effectuées dans un environnement statique (en l'absence de tout mouvement).



Figure 5. Environnement de type bureau.

XXI^{èmes} Journées Nationales Microondes, 14-17 Mai 2019 – Caen

XXI^{èmes} Journées Nationales Microondes 14-17 mai 2019 – Caen



A titre d'exemple, la figure 6 représente la puissance reçue à la position 8 en fonction de l'angle de rotation, sans prendre en compte le gain des antennes. Nous observons une puissance maximale reçue lorsque R_x est orienté vers l'émetteur (0°). Elle diminue dès qu'on s'écarte de cette direction, du fait que les antennes utilisées sont très directives, jusqu'à revoir apparaitre deux réflexions significatives arrivant par derrière, à 186° et 216°.



Figure 6. Puissance reçue en fonction de l'angle de rotation (pos 8).

En analysant la réponse impulsionnelle des trois angles 0°, 186° et 216°, nous constatons que le retard du trajet direct vaut 28,81 ns (Figure 7), la première réflexion (Figure 8) correspond à un retard de 33,59 ns et la deuxième réflexion (Figure 9) à un retard de 36,04 ns ce qui correspond respectivement à une distance parcourue de 8,64 m, 10,07 m et 10,81 m.





Figure 8. Réponse impulsionnelle (pos 8 à 186°).



Figure 9. Réponse impulsionnelle (pos 8 à 216°).

En connaissant les retards, les distances parcourues par les réflexions en fonction de leurs angles et en utilisant la théorie des images, on peut par un simple calcul géométrique comparer et tracer ces réflexions (Figure 10). La première réflexion détectée à 186°, provenant de l'arrière du récepteur, s'apparente à une rétroréflexion sur un PC situé à 72 cm derrière le récepteur. La deuxième réflexion provenant d'un angle de 216° est due au mur situé à 1,08 m derrière le récepteur.



Figure 10. Représentation des trajets reçus (pos8).

Pour la position 9, l'angle 0° correspond à la direction reliant le récepteur et le coin du poteau. Trois directions d'arrivée significatives sont détectées à 18°, 240° et 270°. En comparant la puissance reçue en position 9 (Figure 11) à celle reçue en position 8, on peut noter une augmentation des pertes de puissance d'environ 10 dB. Ceci s'explique par le fait que la liaison avec le point 9 se trouve masquée davantage qu'en 8.



Figure 11. Puissance reçue en fonction de l'angle de rotation (pos 9).

XXI^{èmes} Journées Nationales Microondes 14-17 mai 2019 – Caen



Les figures 12, 13 et 14 représentent la réponse impulsionnelle mesurée dans la position 9 à 18°, 240° et 270° respectivement. L'analyse montre qu'on a une réflexion simple (Figure 13 et 14) à 240° et 270° qui correspondent respectivement à des trajets de longueur 10,95 m et 11,01 m et des réflexions multiples à 18° (Figure 12) avec une dispersion plus importante des retards.



Figure 12. Réponse impulsionnelle (pos 9 à 18°).



Figure 13. Réponse impulsionnelle (pos 9 à 240°).



Figure 14. Réponse impulsionnelle (pos 9 à 270°).

5. Conclusion

Ces premiers résultats ont permis d'abord de modéliser les pertes de puissance en fonction de la distance, en considérant l'influence du nombre de positions, de l'effet d'une obstruction et de la position du récepteur. L'étude de la réponse impulsionnelle du canal a permis de mettre en évidence la propagation par trajets multiples. Comme perspectives, d'autres paramètres du canal pourront être déterminés tels que la dispersion des retards, la bande de cohérence, les angles de départ et d'arrivée. Ces résultats permettent de mieux définir la couverture radioélectrique des points d'accès du réseau et d'optimiser le déploiement de ce type de réseaux en indoor.

6. Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet FUI22 OptimiSME et l'ARED CAMOPROM, avec le soutien financier de la Région Bretagne et Rennes Métropole.

Références

- [1] T. S. Rappaport, G. R. MacCartney, S. Sun, H. Yan, S. Deng, Small-Scale, "Local Area, and Transitional Millimeter Wave Propagation for 5G Communications", IEEE Trans. on Ant. and Prop, vol. 65, no. 12, pp. 6474 – 6490, 2017.
- [2] P. Zhou, K. Cheng, X. Han, X. Fang, Y. Fang, R. He, Y. Long, Y. Liu, "IEEE 802.11ay-Based mmWave WLANs: Design Challenges and Solutions", IEEE Comm Surveys & Tutorials, vol. 20, no. 3, pp. 1654 – 1681, 2018.
- [3] S. Collonge, G. Zaharia, G. El Zein, "Influence of the Human Activity on Wide-band Characteristics of the 60 GHz Indoor Radio Channel," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 3, no. 6, pp. 2396-2406, Nov, 2004.
- [4] V. Semkin, A. Karttunen, J. Jarvelainen, S. Andrreev, Y.Koucherayavy, "Static and Dynamic Millimeter-Wave Channel Measurements at 60 GHz in a Conference Room," in 12th European Conf. on antennas and Propagation (EUCAP), London, United Kingdom, April, 2018.
- [5] S. Kaddouri, M. El Hajj, G. Zaharia, G. El Zein, "Indoor Path Loss Measurements and Modeling in an Open-Space Office at 2.4 GHz and 5.8 GHz in the Presence of People", in International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications PIMRC, Bologna, Italy, 9-12 Sept. 2018, pp. 1-6.