

ANALYSE DE SOUS ESPACES PROPRES, BASEE SUR DES MESURES A L'INTERIEUR DES BATIMENTS, D'UN CANAL RADIO ULTRA LARGE BANDE

Rachid Saadane
GSCM-Faculté des Science de Rabat,
Université Mohammed V-Agdal, Maroc
av. Ibn Battouta, BP 1014 - Rabat, Maroc
e-mail: Saadane@eurecom.fr

Aawatif Menouni, Raymond Knopp
Mobile Communications Laboratory Institut
Eurecom, Sophia Antipolis, France
e-mail:{Menouni,Knopp}@eurecom.fr

Abstract—This work aims at characterizing the second order statistics of indoor Ultra-Wideband (UWB) channels using channel sounding techniques. We present measurement results for different scenarios conducted in a laboratory setting at Institut Eurecom. These are based on a eigen-decomposition of the channel autocovariance matrix, which allows for determining the growth in the number of significant degrees of freedom of the channel process as a function of the the signaling bandwidth. We show empirical eigenvalue distributions as a function of the signal bandwidth for both line-of-sight and non line-of-sight situations. Furthermore, we give the cumulative distribution function for the channel energy and the evolution of the number of eigenvalues as a function of the signal bandwidth.

Index Terms—second order statistics, indoor Ultra-Wideband, eigen-decomposition, degrees of freedom, eigenvalue distributions, cumulative distribution function.

Résumé—Le but de ce travail est de caractériser les statistiques du second ordre du canal ultra large bande (UWB) à l'intérieur des bâtiments, en utilisant les mesures obtenues par sondage du canal. Nous présentons les résultats des mesures pour des scénarios effectués dans le laboratoire communications mobiles de l'institut Eurécom. Ces résultats sont basés sur la décomposition en valeurs propres de la matrice d'autocorrélation du canal. Ceci permettra par la suite de déterminer le nombre de degrés de liberté du processus canal en fonction de la largeur de bande. Suite à une analyse empirique, nous présentons la distribution des valeurs propres en fonction de la largeur de bande du signal dans les deux situations "visibilité directe" (LOS) et "non visibilité directe (NLOS)". Nous donnons ensuite la fonction distribution cumulative de l'énergie du canal et l'évolution du nombre des valeurs propres en fonction de la largeur de bande.

Mots Clés—Statistiques d'ordre deux, Ultra-Large Bande a l'intérieur des bâtiments, décomposition propre, degrés de liberté, Fonction de distribution cumulative.

I. INTRODUCTION

LES TECHNIQUES de transmission Utra-Large Bande (UWB) sont utilisées pour des communications à l'intérieur des bâtiments pour des applications de faible portée, principalement pour les *réseaux personnels sans fil haut débit de la prochaine génération (WPAN)*. Un travail initial dans cette direction à été mené par Sholtz [1], [2], en utilisant une technique de transmission basée sur une modulation par position d'impulsion (PPM: Pulse-Position Modulation). De telles

techniques sont considérées dans la norme de réseaux haut débit sans fil IEEE 802.15 (<http://grouper.ieee.org>). L'agence fédérale américaine de communications et de régulation FCC (Federal Communication Commission) a donné son accord pour réserver à ces nouveaux réseaux des bandes de l'ordre du gigahertz. Ainsi pour l'UWB la bande est de 3.1 GHz à 10.6 GHz, ce qui a des conséquences significatives sur la conception et l'implémentation de ces systèmes. Le but de ce travail est de déterminer l'influence d'une largeur de bande aussi grande sur la caractérisation, au moyen de l'analyse des statistiques du second ordre, du canal de propagation. D'autres études sur le canal Ultra-Large bande ont été faites. Nous citons par exemple les travaux de Kunish, Pagani et Foerster [3], [4], [5], [6]. Pour notre campagne de mesures, nous employons un équipement large bande de très grande sensibilité pour déterminer avec finesse le nombre de degrés de liberté significatifs du canal de propagation ou, d'une manière équivalente, le nombre de multi-trajets résolubles en utilisant des techniques d'analyse de sous-espace. Ceci est directement lié à l'ordre de diversité ou à la richesse du canal. En effet, plus le nombre de multi-trajets résolvable est grand, plus la redondance et la richesse d'information sur le canal est grande. Les mesures effectuées considèrent différents scénarios de propagation, à savoir "visibilité directe Line-Of Sight (LOS)" et "non visibilité directe Non Line-Of Sight (NLOS)" dans le cadre d'une transmission à l'intérieur des bâtiments et à faible portée. Le paragraphe II décrit la méthode d'analyse basée sur la décomposition en valeurs propres suivie du paragraphe III qui présente des résultats numériques, tel que la distribution du nombre de valeurs propres en fonction de la largeur de bande. Enfin, la section IV conclut ce travail.

II. L'ANALYSE PROPRES DU UWB

Les approches classiques [7] [8] [9] utilisées pour la caractérisation des multi-trajets rencontrés dans les canaux radios, sont basées sur le retard d'étalement moyen T_d (delay spread) ou sur la bande de cohérence B_c définie comme suit

$$B_c = \frac{k}{T_d} \quad (1)$$

avec k constante tel que $0 < k < 1$. Ces deux grandeurs sont largement utilisée comme mesure de la sélectivité fréquentielle du canal. Cette approche, en général correcte

lorsque la bande utilisée n'est pas très large, ne peut être qu'une mesure locale et ne donne pas une idée correcte sur la description de la sélectivité fréquentielle [10] dans le cas d'un canal UWB.

A. Décomposition en valeurs propres de la matrice de covariance

Soit $\mathbf{h} = [h(1), h(2), \dots, h(N)]$ la réponse impulsionnelle du processus canal, qu'on assume par la suite gaussien, on définit la fonction d'autocorrélation

$$K_h(i, j) = E[h(i)h^*(j)] \quad (2)$$

Puisque la matrice d'autocorrélation est hérmittienne et définie positive, il existe donc une matrice unitaire U_h telle que la décomposition de Karhunen-Loève (KL) nous donne

$$K_h = U_h \Lambda_h U_h^H = \sum_{i=1}^N \lambda_i(h) \psi_i(h) \psi_i^H(h) \quad (3)$$

$$U_h^H U_h = I_N$$

Avec $\lambda_1(h) \geq \lambda_2(h) \geq \dots \geq \lambda_N(h)$, $\psi_i(h)$ la i^{eme} colonne de la matrice U_h , I_N la matrice identité de taille $N \times N$ et N le nombre des échantillons [11]. $\lambda_i(h)$ et $\psi_i(h)$ sont respectivement les i^{eme} valeurs propres et vecteurs propres de la matrice d'autocorrélation K_h . la Décomposition de (3) en partie principale et bruit donne

$$U_{s,h} = [\psi_1(h), \psi_2(h), \dots, \psi_p(h)];$$

$$\lambda_1(h) \geq \lambda_2(h) \geq \dots \geq \lambda_L(h);$$

$$U_{n,h} = [\psi_{L+1}(h), \psi_{L+2}(h), \dots, \psi_N(h)];$$

$$\lambda_{L+1}(h) \geq \lambda_{L+2}(h) \geq \dots \geq \lambda_N(h).$$

avec $U_{s,h} \perp U_{n,h}$. $U_{s,h}$ définit le sous- espace qui contient le signal et le bruit, tandis que $U_{n,h}$ décrit le sous espace bruit seulement. L est le nombre de valeurs propres significatives. Il représente aussi le nombre de degrés de liberté du canal. Soit $X = \|hh^*\|^2 / \|hh^*\|^2$. Suivant la décomposition en valeurs propres, on peut exprimer la fonction caractéristique de la variable X comme suit

$$G_X(s) = \frac{\sum_{i=1}^N \pi_i}{1 - s\lambda_i(h)} \quad \text{avec} \quad \pi_i = \prod_{k \neq i} \frac{\lambda_i(h)}{\lambda_i(h) - \lambda_k(h)} \quad (4)$$

Comme la fonction caractéristique et la fonction densité de probabilité (pdf) sont liées par transformée de Fourier, nous obtenons autour de l'origine pour $X \ll \min \lambda_i(h)$ [12], la fonction distribution cumulative (cdf)

$$F_X(x) = \frac{x^L}{L(L-1)! \prod_k \lambda_k(h)} \quad (5)$$

D'après l'expression de la fonction (cdf), nous pouvons remarquer que la pente de la fonction log(cdf) est L . Ceci nous donne donc une idée sur le nombre de degrés de liberté du canal ou d'une manière équivalente de la diversité.

III. DISTRIBUTION EMPIRIQUE DES VALEURS PROPRES D'UN CANAL UWB

Les résultats empiriques présentés dans le cadre de ce travail sont obtenus dans deux cas de configurations LOS et NLOS avec un Analyseur Vectoriel de Réseau de la famille ZVM de Rohde&Schwarz et des antennes omni-directionnelle de gamme de fréquence allant de 3.1 à 10 GHz de SKycross [13]. Les mesures sont effectuées dans une bande de fréquences allant de 3GHz à 9GHz avec des hauteurs d'antennes de 1.5 mètre par rapport au plan de la terre. Sur les figures 1 et 2 nous présentons pour les deux cas de configuration LOS et NLOS le pourcentage de l'énergie capturée, pour M valeurs propres considérées parmi les N valeurs les plus significatives, et défini par la relation suivante

$$E_M = \frac{\sum_{i=1}^M \lambda_i(h)}{\sum_{i=1}^N \lambda_i(h)} \quad (6)$$

Nous remarquons dans les deux cas que pour les bandes étroites la majorité de l'énergie du canal (plus de 90% de l'énergie) est confinée dans un petit nombre de valeurs propres significatives, tandis que dans le cas des bandes larges, l'énergie du canal est répartie sur un grand nombre de valeurs propres (c.à.d les degrés de liberté). Ce résultat est très important car contrairement au cas des canaux à bande étroite (dans notre étude cela correspond à des bandes de l'ordre de centaines de MHz) le nombre de degrés de liberté du canal est faible et où un récepteur type Rake à quelques doigts (typiquement trois doigts) [14] pouvait suffir. Dans le cas d'un canal UWB (largeur de bande de l'ordre du GHz) le nombre de degrés de liberté est beaucoup plus important et donc d'autres approches doivent être suivies pour concevoir des récepteurs plus adaptés. L'analyse de la courbe de la fonction (cdf) de l'énergie normalisée sur la figure 3 montre que la (cdf) pour une bande de largeur de 6 GHz exhibe une pente très raide autour de la moyenne du signal (elle est comparée a une diversité 1 d'un canal Rayleigh pour bien mettre en évidence la raideur de la courbe obtenue). Le nombre élevé des degrés de liberté prouve que les canaux UWB peuvent être considérés comme déterministes (pas de phénomène d'évanouissement) dans la pratique, permettant ainsi l'utilisation des récepteurs exploitant la totalité de l'énergie du canal.

IV. CONCLUSION

Dans ce travail nous présentons des résultats de mesures du canal UWB effectuées à l'institut Eurécom. Ces mesures confirment des résultats précédents effectués dans d'autres laboratoires (par exemple [3]) concernant la richesse et la grande diversité offerte par l'utilisation d'une très large bande. Les nouveaux résultats publiés dans ce travail sont au nombre de trois: premièrement nous montrons le pourcentage d'énergie capturée en fonction du nombre de valeurs propres pour le système UWB dans les deux scénarios LOS et NLOS. Nous montrons ensuite dans les deux cas l'évolution du nombre valeurs propres significatives du canal en fonction de la largeur

de bande du système. Nous montrons que cette évolution n'est pas linéaire mais qu'elle tend à saturer pour une très large bande du canal UWB comme le montre la figure 4. En effet, l'utilisation d'une très large bande permet d'atteindre une très grande résolution assurant ainsi la séparation du plus grand nombre de multi-trajets présentés par le canal. Enfin la grande pente exhibée par la courbe de la fonction (cdf) de l'énergie du canal confirme le nombre élevé de degrés de liberté garantissant ainsi une très grande diversité offerte par les canaux UWB. Enfin nous donnons la réponse impulsionnelle du canal radio dans les deux cas LOS et NLOS sur les figures 5 et 6 respectivement pour une distance de séparation entre l'émetteur et le récepteur de 6 mètres.

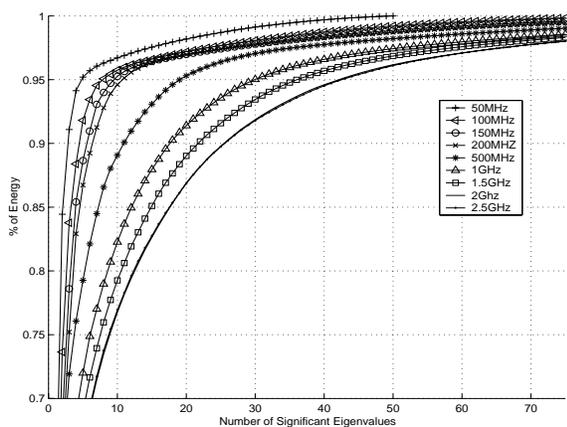


Fig. 1. Pourcentage de l'énergie capturée en fonction du nombre des valeurs propres significatives dans le cas LOS

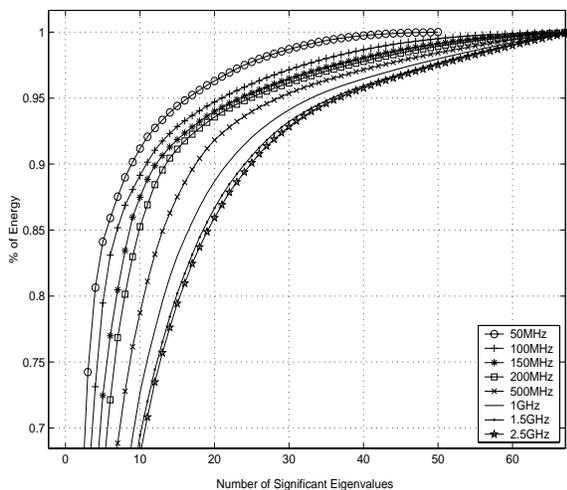


Fig. 2. Pourcentage de l'énergie capturée en fonction du nombre des valeurs propres significatives dans le cas NLOS

REFERENCES

[1] R. A. Scholtz, "Multiple Access with Time-hopping Impulse Modulation", *MILCOM93, Belford, MA*, October 1993.

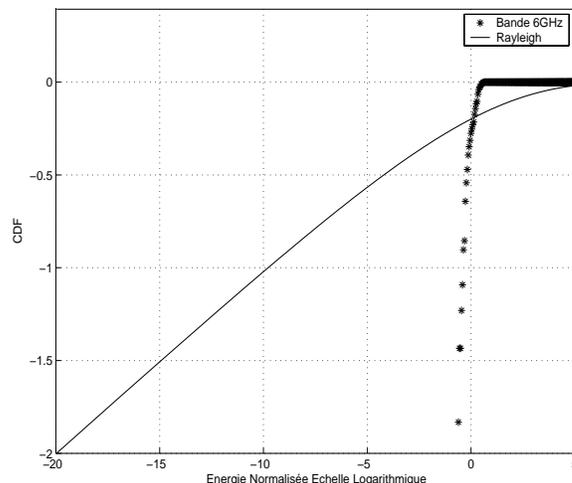


Fig. 3. La fonction de distribution cumulative de l'énergie reçue du signal

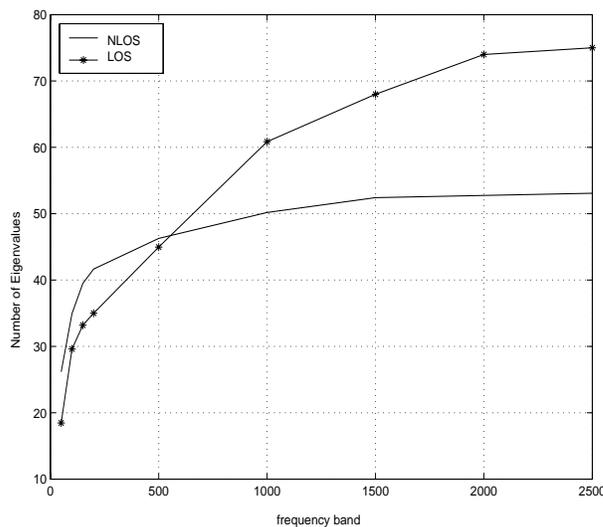


Fig. 4. L'évolution du nombre des valeurs propres pour LOS et NLOS configurations en fonction de largeur du bande

[2] M. Z. Win, R. A. Scholtz,, "Impulse radio: how it works ", *IEEE Communications Letters*, Volume: 2 Issue: 2, Pages: 36 -38, Feb. 1998.

[3] J. Kunisch, J. Pamp, "Measurement results and modeling aspects for UWB radio channel", *UWBST 2002, Baltimore, May 2002*.

[4] P. Pagani, P. Pajusco, S. Voinot, "A Study of the Ultra-Wide Band Indoor Channel: Propagation Experiment and Measurement Results", *IWUWBS Oulu, Finland, June 2003*.

[5] J. Foerster, "Channel Modeling Sub-comitee Report Final", *IEEE P802.15 WG for WPANs Technical Report, no. 02/490r0-SG3a, 2002*.

[6] R . D. Wilson , Weaver, R. D. , Chung, M. -H. , Scholtz, R. A. , "Ultra Wideband Interference Effects on an Amateur Radio Receiver", *IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, 2002*.

[7] H. Hashemi , "Impulse Response Modeling of Indoor Radio Propagation Channels", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, September 1993.

[8] H. Hashemi, D. Tholl, "Statistical Modeling and Simulation of the RMS Delay Spread of Indoor Radio Propagation Channels", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, February 1994.

[9] H. Hashemi, "The indoor radio propagation channel", *proceedings of*

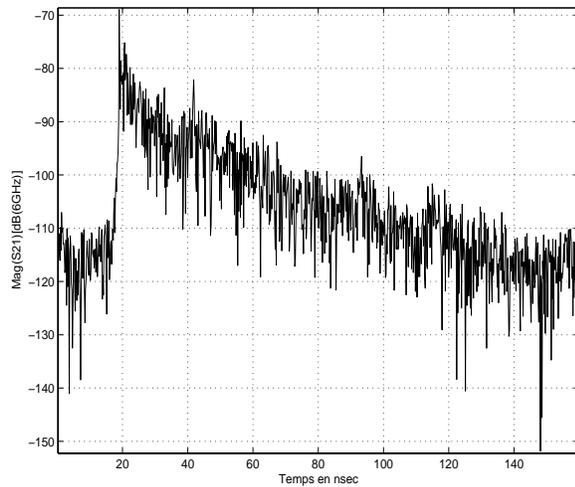


Fig. 5. Réponse typique du canal radio dans le cas LOS

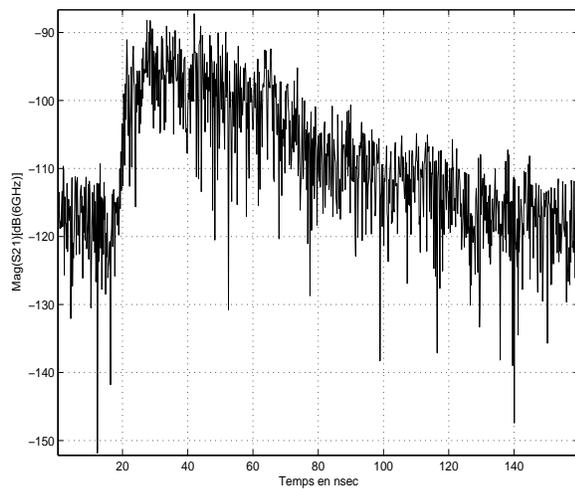


Fig. 6. Réponse typique du canal radio dans le cas NLOS

the *IEEE*, Volume: 81, N7, July 1993.

- [10] Do-Sik Yoo, Victor W. -K. Cheng, Wayne E. Stark "An Index of Frequency Selectivity Frequency Mean Square Correlation ", *Proceedings of 51st VTC 2000-Spring, Tokyo, vol.3 pp. 2546-2550*.
- [11] S.Haykin. "Adaptive Filter Theory", *Third Edition, Prentice-Hall*, Upper Saddle Rive, NJ, 1996.
- [12] M. Schwartz, W. R. Bennet, S. Stein, "Communication Systems and Techniques", *New York: McGraw-Hill*, 1966
- [13] www.skycross.com.
- [14] J. G. Proakis, Dimitris G. Manolakis "Digital Signal Processing: Principles, Algorithms and Applications" (3rd Edition)