

Modélisation du MAI d'un Système IR-UWB Transposé à 60 GHz pour des Réseaux *Ad hoc*

Hamza EL GHANNUDI¹, Laurent CLAVIER^{1 2}, Paul-Alain ROLLAND¹

¹IEMN, IRCICA

Avenue Henri Poincaré, BP 60069, F-59652 Villeneuve d'Ascq cedex, France

²GET / INT / Telecom Lille1

Cité scientifique, rue Guglielmo Marconi, 59658 Villeneuve d'Ascq Cedex, France

Hamza.elghannudi@iemn.univ-lille1.fr, Laurent.clavier@iemn.univ-lille1.fr

Paul-Alain.Rolland@iemn.univ-lille1.fr

Résumé – Dans ce papier nous présentons les performances d'un système basé sur la transposition des signaux Ultra Large Bande (UWB) dans la bande de 60 GHz dans un contexte *ad hoc*. Les interférences dues aux accès multiples (MAI) sont un des facteurs principaux limitant les performances du système. Trois différentes approches sont proposées pour estimer les distributions du MAI : la première est basée sur une estimation non paramétrique, la seconde sur la distribution Gaussienne Généralisée et la dernière sur la distribution α -stable qui est appropriée à des distributions présentant des queues importantes. Nous montrons aussi dans ce papier que les caractéristiques matérielles comme l'usage des antennes directives et les aspects routages comme la définition du voisinage ont une influence importante sur les contributions de MAI.

Abstract – This paper presents the performance of Impulse Radio Ultra Wide Band up-converted at 60 GHz for high rate *ad hoc* network. Our main concern is the impact of the *ad hoc* scenario associated with directive antennas on the system performance. Spatial diversity inherent to the *ad hoc* context, associated with directive antennas, allows good performance. However, performance is limited by multiple access interference (MAI). We propose three different methods to estimate MAI: a non parametric estimation, the Generalized Gaussian distribution and the α -stable distribution which is appropriate for heavy tailed distributions. In this paper we also show that material and network constraints as the use of directive antennas and routing aspect like the neighborhood definition can significantly affect the nature of the MAI.

1 Introduction

Dans ce papier, la couche physique d'un réseau *ad hoc* sans fil est étudiée. Une solution permettant des transmissions à haut débit est le IR-UWB transposé à 60 GHz. Une limitation importante est la présence des interférences dues aux accès multiples (MAI). Si dans le cas de CDMA à séquence directe dans un réseau centralisé le problème a été Souvent dans la littérature, le saut temporel avec un réseau *ad hoc* que nous considérons modifie fortement la nature de ces interférences. Comme le montre [1] la technique par saut temporel permet de réduire les interférences entre utilisateurs. Cependant le MAI perturbe fortement la communication lorsque la puissance des utilisateurs interférents est élevée. Le bruit résultant n'est plus Gaussien, ce qui implique l'étude de nouveaux modèles. Dans ce papier trois approches différentes, pour estimer les distributions de MAI associées avec la probabilité de collision entre impulsion, sont proposées : une basée sur une estimation non paramétrique. La seconde est basée sur la distribution Gaussienne généralisée (GGD) et la troisième sur la distribution α -stable. Nous estimons le MAI à partir de valeurs déduites par la simulation. Nous montrons aussi dans ce papier que les caractéristiques matérielles comme l'usage d'antennes directives et la définition du voisinage ont des influences importantes sur les contribu-

tions de MAI. En effet en interdisant les émetteurs dans une zone autour de chaque récepteur, les queues de distribution sont moins importantes. L'estimation GGD s'apparente aux courbes de simulation. Cependant quand les antennes directives sont utilisées sans aucune précaution sur la définition de voisinage, les interférents à forte puissance sont la limite principale du système et la distribution α -stable donne de meilleurs résultats.

2 Configuration du réseau

Nous considérons un espace bidimensionnel où N objets est aléatoirement placés suivant une distribution uniforme sur tous les axes fig. 1. Le voisinage d'un objet inclut tous les objets situés à une distance entre R_1 et R_2 . R_1 permet d'éviter des liens courts qui impliqueraient un nombre élevé de sauts pour atteindre la destination. R_2 est le rayon maximal d'une transmission.

Dans un second temps, nous ajoutons une zone de rayon R_Z autour de chaque récepteur où nous interdisons la présence d'émetteur. Nous l'appelons la zone interdite de transmission (ZIT ; fig. 2). Dans le reste du papier nous prenons $W = L = 1$, $R_1 = 0.1$, $R_2 = 0.25$, $N = 100$ et $R_Z = 0.1$.

Nous définissons ensuite un ensemble de liens actifs : en choisissant aléatoirement les récepteurs et les émetteurs

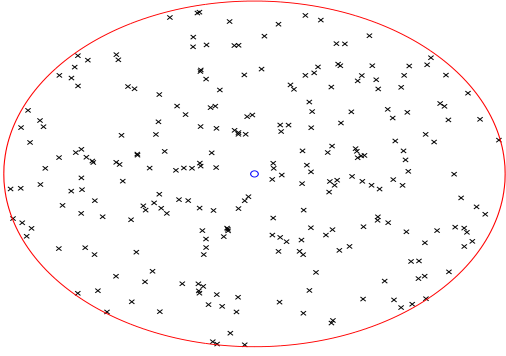


FIG. 1 – La configuration du réseau.

dans leur voisinage. Tous les émetteurs choisis emploient une puissance d'émission commune. La puissance reçue dépend de la distance entre émetteurs et récepteurs et du gain des antennes, c'est-à-dire de l'orientation des utilisateurs.

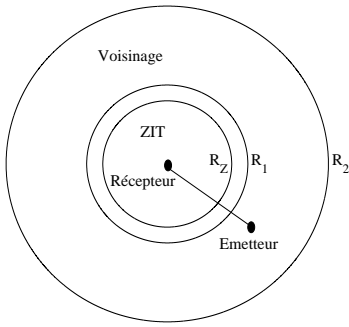


FIG. 2 – La définition du voisinage.

Le canal considéré est un canal multi-trajets. Un modèle statistique a été développé à partir de mesures effectuées à l'IEMN (Institut d'Électronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie) [2].

3 Description du système et expression du MAI

Nous considérons un système ULB impulsionnel asynchrone transposé à 60 GHz [3].

Pour une valeur donnée de bruit additif blanc gaussien Z_n et un nombre de liens interférents N_c , le taux d'erreurs binaire moyen P_e est :

$$P_{e|N_c} = \int_{-\infty}^{+\infty} P(Z_{MAI} < -x | a_j = 0, Z_n, N_c) f_x(x) dx \quad (1)$$

$x = \sqrt{E_u}(1 - C_{P_0}(\epsilon)) + Z_n = 1 + Z_n$ (le bit émis est 0; nous choisissons $\sqrt{E_u} = 1$; $C_{P_0}(\epsilon) = 0$). x est une variable aléatoire Gaussienne de moyenne 1 et de variance

$\sigma_{Z_n}^2$, Z_{MAI} est l'interférence multi-utilisateurs et $f_x(x)$ est la fonction de la densité de probabilité (pdf).

Dans le cadre de l'ULB par transmission d'impulsions, et plus encore dans un réseau *ad hoc*, le cadre habituel de l'étude des performances d'un système, basé sur des statistiques d'ordre 2 et sur l'hypothèse Gaussienne, n'est plus adapté [4]. Si plusieurs approches ont été proposées, elles présentent chacune des limites par la complexité de l'étude analytique des performances [5]. Nous pouvons écrire un échantillon de MAI comme suit :

$$Y = \int_0^T \left(\sum_{i=1}^{\kappa} \gamma_i f(t - \tau_i) \right) r(t) dt \quad (2)$$

κ est le nombre d'impulsions comprises dans l'intervalle d'intégration du filtre adapté à la réception. γ_i est le coefficient d'atténuation du canal, $f(t)$ est la forme d'onde transmise. τ_i est le décalage entre le signal de référence au récepteur et l'impulsion non désirée reçue. $r(t)$ est le signal de référence. Nous pouvons écrire (2) sous une forme simplifiée :

$$Y = \sum_{i=1}^{\kappa} \gamma_i \psi_i \quad \text{avec} \quad \psi_i = \int_0^T f(t - \tau_i) r(t) dt \quad (3)$$

Nous simulons différents scénarios et estimons les distributions de γ_i . La puissance émise est la même pour tous les objets, l'atténuation est proportionnelle à la distance d et aux gains des antennes d'émission G_t et de réception G_r : $\gamma_i \propto (G_t G_r / d^\alpha)$. Le coefficient d'atténuation γ est égal à 2, valeur conforme à la littérature pour un environnement indoor avec visibilité directe à 60 GHz [6]. Les distributions de puissance reçue sont estimées en utilisant une estimation non paramétrique avec un noyau d'Epanechnikov [7] pour les utiliser dans les estimations/simulations présentées dans la section 6.

4 Le modèle α -stable

Dans (2), c'est γ_i qui va déterminer les propriétés statistiques de la variable aléatoire Y . γ_i sont des variables aléatoires positives, indépendants et identiquement distribués. Si γ_i a une variance finie, Y tendra vers une variable Gaussienne. C'est ce qui semble naturel pour une atténuation. Cependant, dans le cas sans ZIT l'interférence doit être comparé avec l'atténuation du signal désiré γ_0 . Si γ_0 est faible et γ_i important (le trajet désiré est long mais le trajet interférent est court), alors certaines composantes de Y pourront prendre des valeurs très importantes. Dans un cas limite, nous pourrions considérer que les valeurs de γ_i tendent vers l'infini. Il est alors possible de considérer la variance des γ_i comme infinie et Y tombe alors dans le domaine d'attraction d'une loi α -stable.

La distribution α -stable est une généralisation directe de la distribution Gaussienne et partage avec elle de nombreuses propriétés [8]. À l'exception des distributions Gaussienne Cauchy et Levy qui sont des cas spéciaux de la classe stable, il n'y a aucune expression exacte de la fonction de densité de probabilité d'une distribution α -stable. Cependant nous pouvons la calculer approximativement en dérivant sa fonction caractéristique. α , σ , β et μ sont les

quatre paramètres caractérisant une distribution stable. Plus de détails concernant ces paramètres et leurs estimations sont présentés dans [9].

Nous utilisons la démonstration proposée par Sousa [10] où il considère la fonction caractéristique de la variable Y .

$$\phi_Y(\omega) = E[e^{j\omega Y}] \quad (4)$$

Nous définissons un cercle C de rayon R à l'intérieur duquel sont inclus k interférents. Afin de calculer la fonction caractérisation de Y , premièrement nous appliquons la somme dans (3) sur tous les utilisateurs inclus dans C . En suite nous tendons R vers l'infini. Nous supposons que le nombre d'interférents actifs suit une loi de Poisson, ce qui veut dire que la probabilité du nombre d'interférents actifs dans C est donnée par :

$$P(\kappa = k) = \frac{e^{-\lambda\pi R^2} (\lambda\pi R^2)^k}{k!} \quad (5)$$

Soit λ le nombre d'interférents prévu par unité de surface qui est lié à la densité de réseau. Nous pouvons alors écrire :

$$\phi_Y(\omega) = E\left[e^{j\omega\left(\sum_{i=1}^{\kappa} \gamma_i \psi_i\right)}\right] \quad (6)$$

Nous prenons le logarithme de la fonction caractéristique :

$$\varphi_Y(\omega) = \ln(\phi_Y) \quad (7)$$

Le résultat final de $\varphi_Y(\omega)$ peu s'écrire sous la forme suivante :

$$\varphi_Y(\omega) = -\sigma \|\omega\|^\alpha \quad (8)$$

L'équation (8) est le logarithme de la fonction caractéristique pour une distribution stable sphérique et symétrique d'une exposante α .

où α et σ sont les deux paramètres principales qui caractérisent une distribution stable.

Dans ce papier la méthode de régression proposée par Koutrouvelis [11] pour estimer les quatre paramètres de la distribution stable est utilisée. Elle est basée sur la fonction caractéristique, facile à calculer et semble être plus précise si aucun paramètre n'est a priori connu. En outre, contrairement à d'autres techniques, elle ne suppose aucune condition sur les valeurs théoriques des paramètres. Cependant, quand α est moins de 1, l'estimation n'est pas précise. Ceci se produit quand peu d'impulsions se superposent (moins de 6). Dans ce cas-ci un ajustement polynomial basé sur les valeurs d' α plus grandes que 1 est employé pour estimer ces valeurs basses.

5 Le Modèle GGD

Dans le cas avec ZIT, les contributions des interférents forts sont diminuées due à l'interdiction des transmissions dans une zone autour de chaque récepteur et par conséquent le comportement des distributions de MAI se rapprochent à celui d'une distribution Gaussienne.

Dans ce genre de situation, nous proposons la distribution Gaussienne généralisée (GGD) pour modéliser les contributions de MAI. Cette distribution peut être paramétrée de façon à ce que sa moyenne μ et sa variance σ^2 coïncident avec la distribution Gaussienne. En plus de μ et

σ^2 , la GGD a le paramètre de forme p qui est une mesure de la largeur de pointe de la distribution.

La pdf d'une Gaussienne généralisée est donnée par :

$$f_X(x : \mu, \sigma^2, p) = a e^{-(b|x-\mu|)^p} \quad x \in \mathfrak{R} \quad (9)$$

Les constantes positives a et b sont donnée par :

$$a = \frac{bp}{2\Gamma(1/p)} \quad \text{and} \quad b = \frac{1}{\sigma} \sqrt{\frac{\Gamma(3/p)}{\Gamma(1/p)}} \quad (10)$$

Où $\Gamma(\cdot)$ est la fonction gamma [12] :

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt \quad x > 0 \quad (11)$$

Plus de détails concernant la technique utilisée dans notre cas pour estimer le paramètre de la forme sont présentés dans [13].

Dans la figure 3 nous constatons la différence entre la décroissance de la distribution pour $\gamma_i > 0$ dans les cas avec et sans ZIT. Sans ZIT la décroissance est plus lente. Cela laisse penser que la nature du MAI résultant ne sera pas Gaussienne. Cela dépend cependant des contextes matériel et réseau de la communication comme par exemple la présence de ZIT.

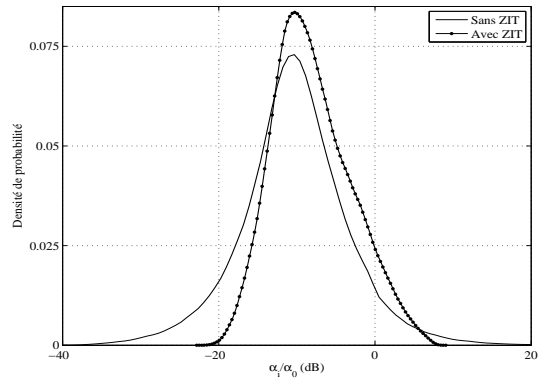


FIG. 3 – La densité de probabilité.

6 Résultats et performance

Dans nos simulations pour s'approcher d'un cas plus réel nous avons pris un environnement carré où les résultats sont aussi bien que dans un environnement circulaire. Nos simulations confirment la nature supposée du MAI. Dans un premier temps (figure 4) nous simulons un réseau avec des antennes omnidirectionnelles et sans ZIT. Dans ce premier scénario les interférents forts sont fréquents et ils déterminent le comportement du MAI. La distribution α -stable donne alors de très bonnes performances. Dans un deuxième scénario nous constatons que les conditions matériel et réseau influencent largement l'importance de ces deux contributions. Par exemple, l'utilisation des antennes directives et l'interdiction d'émettre autour d'un récepteur dans un rayon R_Z réduit considérablement les contributions des interférents forts. La distribution non paramétrique s'apparente avec les courbes de simulation pour un

fort SNR. Cependant une Gaussienne (obtenue pour $\alpha=2$) ne permet pas une bonne modélisation du MAI. En conséquence, la distribution Gaussienne généralisée (GGD) est tout à fait adaptée dans cette situation (figure 5). Par contre, quand aucune interdiction d'émettre n'est introduite, le processus α -stable est plus performant pour modéliser le MAI.

7 Conclusion

Dans ce papier, les performances d'un système IR-UWB transposé dans la bande de 60 GHz pour des réseaux *ad hoc* ont été présentées. Nous avons pris en considération la répartition spatiale des utilisateurs pour estimer les distributions des puissances reçues et les performances du système pour différents scénarios. Les interférences multi utilisateurs résultent des utilisateurs lointains de faible puissance et des interférents forts. Ces deux contributions se comportent différemment, ce qui rend l'étude analytique dépendante des conditions matériel et réseau. Une solution

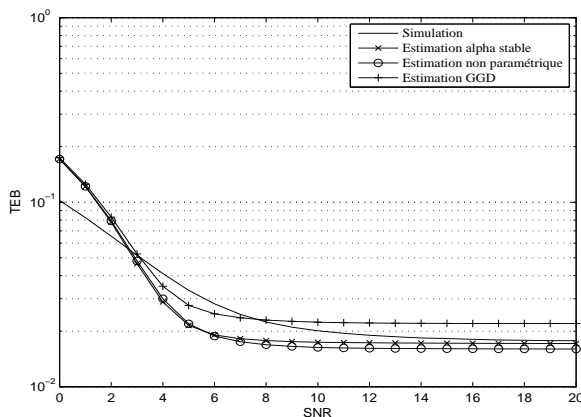


FIG. 4 – Des antennes omnidirectionnelles, sans ZIT, canal 60 GHz.

pour réduire les interférents "forts" est d'introduire autour de chaque récepteur une zone où aucune transmission n'est permise. Cela améliore largement les performances du système.

Références

- [1] M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 48, pp. 679–691, Apr. 2000.
- [2] A. Bendjaballah, H. E. Ghannudi, N. Deparis, A. Boé, and L. Clavier, "Channel model and performance of *ad hoc* networks based on IR-UWB at 60 GHz," in *4th ESA Workshop Millimetre Wave Techn. Application*, Feb 2006, pp. 75–80.
- [3] H. Ghannudi, L. Clavier, A. Bendjaballah, A. Boé, and P. Rolland, "Performance of IR-UWB at 60 GHz for *ad hoc* networks with directive antennas," in

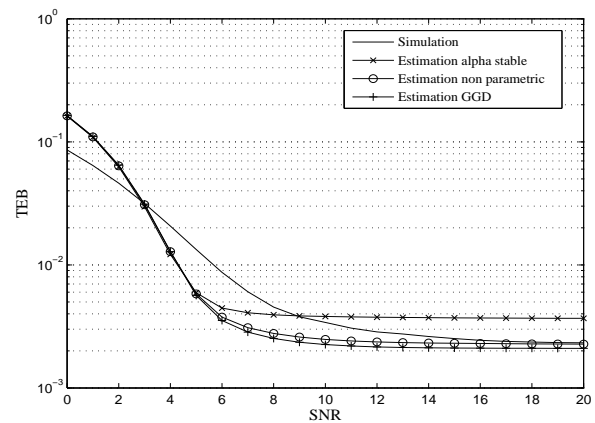


FIG. 5 – Des antennes directive, avec ZIT, canal 60 GHz

The IEEE 2006 International Conference on Ultra-Wideband (ICUWB), Sept. 2006, pp. 149–154.

- [4] G. Durisi and G. Romano, "On the validity of gaussian approximation to characterize the multiuser capacity of uwb th-ppm," *IEEE Conf. on Ultra Wideband Systems and Technologies*, pp. 20–23, May 2002.
- [5] G. Giancola and M.-G. D. Benedetto, "A novel approach for estimating multi-user interference in impulse radio uwb networks : The pulse collision model," *EURASIP Signal Processing Journal, Special Issue on Signal Processing in UWB communications*, vol. 86, pp. 2185–2197, 2006.
- [6] P. Smulders and L. Correia, "Characterisation of propagation in 60GHz radio channels," *Electronic and communication engineering journal*, vol. 9, no. 2, pp. 73–80, Apr. 1997.
- [7] W. Conover, *Practical Nonparametric Statistics*, 3rd ed., ser. Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics. John Wiley and Sons, Dec. 1998.
- [8] G. Samorodnitsky and M. S. Taqqu, *Stable Non-Gaussian Random Processes : models with infinite variance*. Chapman-Hall , 1994.
- [9] E. Fama and R. Roll, "Parameter estimates for symmetric stable distributions," *Journal of the American Statistical Association*, vol. 66, no. 334, pp. 331–338, 1971.
- [10] E. S. Sousa, "Performance of a spread spectrum packet radio network link in a poisson field of interferers," *IEEE Transaction on Information Theory*, vol. 38, no. 6, pp. 1743–1754, Nov 1992.
- [11] I. Koutrouvelis, "Regression-type estimation of the parameters of stable laws," *Journal of the American Statistical Association*, vol. 75, no. 372, pp. 918–928, 1980.
- [12] M. Abramowitz and I. Stegun, *Handbook of Mathematical Function*. New York : Dover, 1970.
- [13] K. Sharifi and Leon-Garcia, "Estimation of shape parameter for generalized gaussian distribution in subband decomposition of video," *IEEE Trans. On Circuits and system for Video Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 52–56, Feb. 1995.