

Modélisation et réception d'ondes rampantes dans le BAN à 2.4 GHz

Formulation and reception of creeping waves in 2.4 GHz BAN

Jean-Marc Laheurte, Benoît Poussot, Thierry Alves

Laboratoire ESYCOM (Electronique, SYstèmes de COmmunication et Microsystèmes) Université Paris-Est Marne-La-Vallée (UPEM)

Mots clés (*en français et en anglais*) : diversité d'antennes, mesure de canal, BAN, antenna diversity, BAN channel measurement

Introduction

Les réseaux corporels sans fil (ou BAN=Body Area Networks) utilisent des dispositifs émettant de faibles puissances pour lesquelles la durée de vie des piles est essentielle. Il est donc nécessaire d'intégrer tous les phénomènes de propagation statistiques et déterministes dans les modèles de canaux BAN pour estimer correctement le bilan de liaison et dimensionner le système. La partie statistique, en dehors des évanouissements rapides inhérents aux applications indoor, présente des spécificités liées aux scénarios de mouvement (marche, course,...), au positionnement de l'antenne (tête, tronc, bras,...) et à la position relative de l'antenne par rapport au corps (nature de vêtements, déplacement par rapport au corps,...). La partie déterministe du canal décrit les pertes de propagation dans un milieu stationnaire (chambre anéchoïque, fantôme immobile,...). Elle peut être extraite de considérations électromagnétiques, de simulations numériques ou de campagnes de mesure.

L'objet de ce travail a été tout d'abord de développer une formulation simple de la propagation d'ondes guidées le long du corps pour des chemins de section circulaires (taille, tronc, tête) et de la valider par des mesures utilisant des PIFAs comme antennes d'émission et de réception. Cette formulation analytique a l'avantage d'inclure des paramètres tels que la permittivité et la conductivité du corps humain, son périmètre ainsi que le gain et la polarisation des antennes utilisées. Un deuxième aspect du travail a été de développer des antennes à diversité reconfigurables destinées selon le scénario à recevoir plutôt les ondes « déterministes » se propageant le long du corps ou « statistiques » issues des multi trajets.

1. Formulation analytique de la propagation d'ondes rampantes autour du corps

La théorie des ondes rampantes a été initialement développée pour des modèles de propagation autour de la terre pour des trajets circulaires. Elle est donc applicable à un cylindre, à la différence près qu'un cylindre supporte également des ondes de surface longitudinales dites de Norton à prendre en compte si les dispositifs émetteur/récepteur sont sur des sections différentes. Seule la composante verticale du champ électrique (normale au corps) présente un intérêt pratique car elle est beaucoup moins atténuée que la composante horizontale dans une onde rampante. Soit a le rayon du cylindre et $\underline{\epsilon}_t = \epsilon_r - j\sigma/\omega\epsilon_0$ sa permittivité complexe. Le champ électrique à une distance d de l'antenne émettrice de gain G_{TX} alimentée par une puissance P_{TX} (en watts) s'exprime [1]:

$$\underline{E} = \underline{E}_0 \underline{W} \quad \text{avec} \quad \underline{E}_0 = 2\sqrt{\frac{\eta_0}{2\pi}} \frac{\sqrt{P_{TX} G_{TX}}}{d} e^{-jkd}$$

où \underline{E}_0 est le champ créé à une distance d par une même antenne située au dessus d'une surface conductrice parfaite. \underline{W} est la fonction d'atténuation dépendant à la fois de la polarisation de l'onde et des propriétés de la surface. $k=2\pi/\lambda_0$ est le nombre d'onde dans l'air. On montre que \underline{W} s'exprime comme une somme de modes pouvant se réduire sous certaines conditions vérifiées dans le cadre du BAN à un mode rampant dominant.

$$\underline{W} \approx e^{-j\frac{\pi}{4}} \sqrt{\pi x} \frac{e^{-jx t_1^0}}{t_1^0} \quad \text{où} \quad x = \left(\frac{ka}{2}\right)^{1/3} \frac{d}{a} \quad \text{et} \quad t_1^0 = 1.0188e^{-j\frac{\pi}{3}}$$

Si P_{RX} est la puissance reçue par l'antenne réceptrice de gain G_{RX} , le bilan de liaison est donné par:

$$\frac{P_{RX}}{P_{TX}} = \frac{c^{10/6} \pi^{2/3}}{4\pi^2 |t_1^0|^2} G_{TX} G_{RX} \frac{1}{d} \frac{1}{f^{10/6}} \frac{1}{a^{2/3}} \left| \left[e^{-\alpha d} e^{-jkd} + e^{-\alpha(p-d)} e^{-jk(p-d)} \right]^2 \right|$$

où les 2 termes entre crochets correspondent aux interférences entre les 2 ondes se propageant dans des sens contraires autour du corps à partir de l'antenne émettrice. α est l'atténuation en Np/m donnée par:

$$\alpha_{Np/m} = \frac{\pi^{1/3} |t_1^0| \cos(\pi/6)}{\lambda^{1/3} a^{2/3}}$$

qui décroît lorsque le rayon augmente. Le bilan de liaison est mesuré pour 2 antennes PIFAs pouvant se déplacer le long d'un ruban élastique (Figure 1) à l'aide d'un PNA Agilent E8361C fonctionnant à fréquence fixe avec un filtre IF fixé à 10 kHz. Les mesures sont moyennées sur 600 secondes. Le diagramme et le gain des antennes sont calculés préalablement en présence du corps afin de permettre d'extraire précisément le gain azimutal des

PIFA soit -9.5 dBi. Les pertes de propagation expérimentales et déterminées par l'équation (6) sont données sur la Figure 2 pour une propagation autour de la taille avec un périmètre de 92 cm. Une bonne concordance est observée qui valide la formulation analytique.

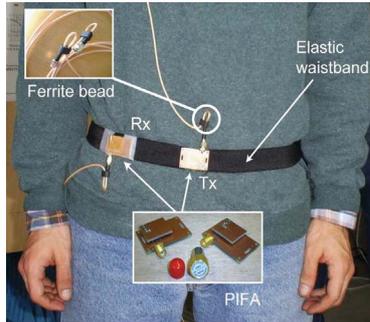


Figure 1: Dispositif de mesure sur le corps humain

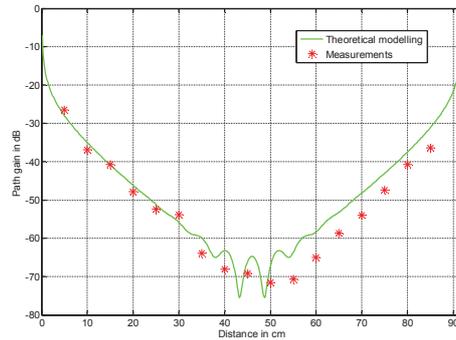


Figure 2: Pertes de propagation BAN mesurées et calculées pour une liaison autour de la taille.

2. Réception de signaux BAN par une antenne à diversité

En fonction de l'environnement et de la position respective des antennes TX et RX sur le corps, la contribution dominante peut venir de l'onde rampante, de l'onde de surface ou de la réflexion par l'environnement, notamment le sol. Dans ce contexte variable, la diversité d'antennes est a priori une solution à explorer pour optimiser la liaison BAN [2]. Afin d'estimer l'apport de la diversité d'antennes au cas spécifique du BAN, on propose trois scénarios: deux en chambre anéchoïque avec (S1) et sans (S2) mouvement du sujet et un dans un milieu indoor pour une personne en mouvement (S3). L'antenne d'émission est un monopole chargé. Pour toutes les mesures, la structure à diversité en réception combine 2 antennes miniatures colocalisées et isolées (>10 dB): 1/ un monopole chargé dont le diagramme est plutôt azimutal destiné à recevoir les ondes rampantes ou de surface. Efficacité dans l'air 93% 2/ une PIFA de rayonnement broadside destiné à la réception des multitrajets issus de l'environnement indoor. Efficacité dans l'air 73%

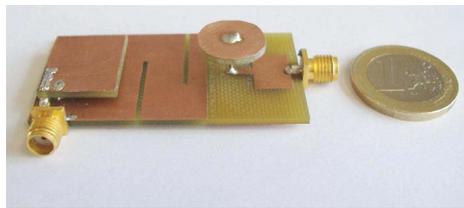


Figure 3: Antenne à diversité pour liaison BAN

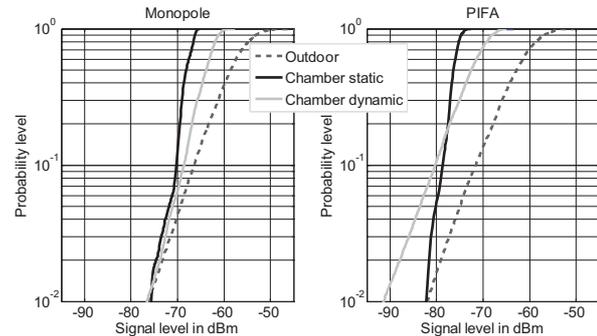


Figure 4: Fonctions de répartition CDF pour une liaison poitrine dos dans différents environnements

Les fonctions de répartition (CDFs) sont données pour une liaison entre la poitrine et le dos avec des antennes en opposition. A l'aide d'un estimateur, on retrouve les caractéristiques d'un canal de Rayleigh pour les scénarios S2 et S3 avec la PIFA, pour le scénario S3 avec le monopole. Dans le scénario S1, le modèle de Rice convient pour la IFA et le monopole et on retrouve une propagation LOS typique.

On observe que pour le monopole les valeurs faibles sont toutes identiques ce qui prouve la présence d'un chemin direct dominant, (onde rampante). Le décalage des CDFS à droite pour les scénarios S2 et S3 avec la PIFA montrent une plus forte sensibilité aux ondes diffractées par l'environnement avec des valeurs moyennes plus élevées. En comparant les scénarios S2 et S1 d'une part, S3 et S1 d'autre part, on définit les gains en puissance moyenne $G_{anecdyn}$ et G_{indyn} , respectivement. Le monopole ($G_{anecdyn}=4\text{dB}$ and $G_{indyn}=11\text{dB}$) et la PIFA ($G_{anecdyn}=11\text{dB}$ and $G_{indyn}=14.6\text{dB}$) tirent également avantage des multitrajets. Ceci indique que les ondes rampantes LOS ne sont plus prédominantes en indoor. Il en résulte un gain en diversité intéressant ($DG_{anec}=3.2\text{ dB}$) pour S2 et encore plus pour S3 ($DG_{in}=7\text{ dB}$).

Références bibliographiques

- [1] T. Alves, B. Poussot, J-M Laheurte, "Analytical Propagation Modelling of BAN Channels Based on the Creeping Wave Theory", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Volume 59, Issue 4, Avril 2011, Pages: 1269-1274
- [2] T. Alves, B. Poussot, J-M Laheurte, "PIFA - Top loaded Monopole Antenna with Diversity Features for WBAN Applications", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Volume 10, 2011, Pages 693-696