



Sujet de thèse :

Modélisation du canal de propagation pour les réseaux de capteurs sans fil près du sol et enfouis

Contexte :

La croissance de l'internet des objets (IoT) associée au développement des nouvelles générations de réseaux de communication sans fil (massive MIMO, au-delà de la 5G, etc.) offre la possibilité d'un déploiement à grande échelle de périphériques connectés. Ces objets connectés seront capables de générer une quantité extrêmement importante de données et d'ouvrir une nouvelle ère pour le contrôle de notre environnement. Ce déploiement à grande échelle des réseaux de capteurs deviendra possible à condition de maîtriser et d'optimiser l'efficacité énergétique du réseau. Un paramètre clé pour atteindre ces objectifs est une modélisation complète et fine de la couche physique des réseaux de capteurs.

Récemment, une grande attention a été portée aux réseaux de capteurs dans lesquels les antennes sont situées près du sol ou à proximité d'une interface entre deux milieux. On peut citer les réseaux de capteurs disséminés au sol (UGS : Unattended Ground Sensors) composés de différents types de capteurs de faible consommation pour les applications militaires, les réseaux corporels embarqués sans fil (BAN : Body Area Network) à des fins médicales et multimédia. Les capteurs enfouis sans fil permettent de surveiller différents paramètres, tels que les propriétés du sol pour les applications agricoles ou des substances toxiques à des fins environnementales. Nous pouvons citer dans cette même catégorie les capteurs implantés dans le corps pour le suivi de pathologie. Dans ce contexte, la présence du sol doit être prise en compte et un premier défi consiste à établir une nouvelle modélisation de ce canal de propagation [1]–[4]; sinon, l'inexactitude du modèle entraîne une estimation erronée de l'affaiblissement de trajet et donc une conception de réseau sous-optimale et un gaspillage d'énergie.

Dans ce cadre, cette thèse porte sur l'optimisation des futurs réseaux de capteurs sans fil en développant des modèles de propagation en milieux complexes dédiés aux capteurs sans fil près du sol ou enfouis.

Objectifs de la thèse :

Cette thèse s'articule autour de deux volets : expérimental et théorique. Le premier vise à compléter et à vérifier en conditions réelles l'exactitude d'un modèle théorique développé dans [5] pour des capteurs situés proche du sol. Le second volet concerne le développement d'un nouveau modèle théorique dédié à la communication entre des capteurs enfouis proche du sol.

Partie expérimentale :

Dans [5], un modèle théorique de canal a été développé pour deux antennes élémentaires situées proche d'une interface à pertes. Ce modèle déterministe fait apparaître que potentiellement, sous certaines conditions définies par les paramètres du modèle, la propagation proche d'une interface présente une atténuation plus faible et donc plus favorable qu'une propagation classique en espace

libre. A partir d'expérimentation, l'objectif est de valider le modèle de propagation théorique présenté dans [5] dans le contexte des réseaux de capteurs proches du sol. Cette validation intègre deux axes :

- Le premier vise à proposer une modélisation du canal basée sur un modèle simple intégrant les pertes du trajet (propagation en présence d'une interface à pertes) et les effets de masque (variabilité locale de l'environnement).
- Le second consiste, à partir des expérimentations, à inclure les paramètres antennaires dans le modèle de canal proposé pour obtenir un modèle complet dédié au dimensionnement des réseaux de capteurs proches du sol.

Partie théorique :

Le second volet de la thèse, à traiter en parallèle du premier, concerne l'extension du modèle théorique développé dans [5] aux capteurs enfouis. Cette étude s'articule autour d'un axe :

- Modélisation théorique de la pénétration et de la propagation des ondes dans un milieu à pertes. Cette étape passe par le développement d'un outil analytique pour estimer le champ électromagnétique en présence ou à l'intérieur du milieu à pertes. Cet outil vise à modéliser deux scénarios de communication : le premier, entre deux capteurs enterrés proches d'une interface, le second, entre un capteur aérien et un capteur enfoui.

Profil du candidat recherché :

Offre destinée aux candidats titulaires d'un Master 2 Recherche ou équivalent. Les critères recherchés sont :

- Connaissances solides en électromagnétisme et mathématiques appliquées
- Très grande rigueur scientifique et forte abstraction théorique
- Goût certain pour l'expérimentation
- Autonomie en programmation informatique

Encadrement :

Directeur : Jean-Marc Laheurte, Professeur, ESYCOM/UPEM

Encadrants : Shermila Mostarshedi, Maître de Conférences, ESYCOM/UPEM

Candidature et contacts :

Le dossier de candidature incluant, CV, lettres de motivation et de recommandation et l'ensemble des résultats académiques est à adresser par voie électronique à Shermila Mostarshedi (Shermila.Mostarshedi@u-pem.fr).

Références :

- [1] S. Sangodoyin, S. Niranjayan, and A. F. Molisch, "A Measurement-Based Model for Outdoor Near-Ground Ultrawideband Channels," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 64, no. 2, pp. 740–751, 2016.
- [2] A. Hugine, H. I. Volos, J. Gaeddert, and R. M. Buehrer, "Measurement and characterization of the near-ground indoor ultra wideband channel," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 2006.
- [3] A. R. Silva and M. C. Vuran, "Empirical Evaluation of Wireless Underground-to-Underground Communication in Wireless Underground Sensor Networks," *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 231–244, 2009.
- [4] F. Akyildiz and E. P. Stuntebeck, "Wireless underground sensor networks: Research challenges," *Ad Hoc Networks*, vol. 4, no. 6, pp. 669–686, 2006.
- [5] M. H. Bezerra Cardoso, M. H. B. Cardoso, S. Mostarshedi, G. Baudoin, and J.-M. Laheurte, "Analytical Expressions of Critical Distances for Near-Ground Propagation," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 66, no. 5, pp. 2482–2493, 2018.