

Propagation en contexte MIMO dans un tunnel - Etude théorique et expérimentale

Martine Lienard

Université des Sciences et Technologies de Lille, IEMN/TELICE
Bât P3, 59655 Villeneuve d'Ascq cedex
Martine.Lienard@univ-lille1.fr

Résumé

Les techniques multi-antennes en émission et en réception (MIMO) consistent à utiliser la propagation par trajets multiples de manière à transformer le canal global en un certain nombre de canaux indépendants les uns des autres. Cependant, si la liaison est effectuée dans un long tunnel, le nombre d'objets réfléchissants distribués entre l'émetteur et le récepteur ou au voisinage de ceux-ci, risque souvent d'être faible. De plus, compte tenu des dimensions transversales du tunnel vis-à-vis de la longueur d'onde, le tunnel se comportera comme un guide d'ondes à pertes surdimensionné. Dans ce cas, le concept de diversité spatiale doit être remplacé par celui de diversité modale. L'objet de cette présentation est de montrer, en s'appuyant sur une démarche théorique et expérimentale, les conditions dans lesquelles les techniques MIMO permettront d'augmenter la capacité ergodique du canal.

Mots clés: MIMO, canal de propagation, tunnel

Introduction

Pour de nombreuses applications, liées essentiellement au domaine routier ou ferroviaire, il est important de pouvoir maximiser le débit d'informations en évitant d'augmenter la puissance émise ou (et) la bande de transmission.

A titre d'exemple, pour une liaison sol-train, la transmission d'images depuis une rame de métro souterrain, peut constituer un des éléments nécessaires à l'élaboration d'un système destiné à augmenter la sécurité des voyageurs. De même, en cas de détection d'incident mécanique ou électrique, une transmission haut débit permettrait d'effectuer depuis le sol un pré-diagnostic, évitant ainsi le retour immédiat de la rame en atelier si celui-ci n'est pas justifié. En l'état actuel de la normalisation, la largeur de bande affectée à ce type de liaison correspond à celle du GSM-R, c'est-à-dire 200 kHz pour une fréquence porteuse proche de 900 MHz. Afin d'étudier les améliorations que pourraient apporter une transmission MIMO [1], des mesures de la matrice de transfert du canal ont été menées sur certaines lignes du réseau RATP afin d'optimiser la configuration géométrique des éléments des réseaux d'antennes, puis d'en déduire la capacité ergodique du canal en fonction notamment de la portée de la liaison. Après avoir décrit cette approche dans une première partie de cet article, nous mettrons théoriquement en évidence l'influence du nombre et de la pondération des modes sur les corrélations entre éléments d'antennes et sur la capacité prévisible de la liaison

1. Evaluation de la capacité ergodique à partir d'une caractérisation expérimentale du canal

Compte tenu de la structure géométrique compliquée d'un tunnel de métro, comme celui de Paris, tant dans le plan vertical qu'horizontal, une approche purement expérimentale a d'abord été privilégiée pour montrer l'intérêt éventuel d'une technique MIMO. Un réseau de 4 éléments a été choisi aussi bien pour les réseaux fixe que mobile. Le sondeur de canal est basé sur le principe usuel de corrélation, sa fréquence centrale étant de 900 MHz et sa bande d'analyse de 35 MHz, donc bien supérieure à la bande que l'on peut espérer pour le système MIMO final.

Le canal étant plat dans cette bande, sa caractérisation, basée sur sa réponse impulsionnelle, se résume à celle de la matrice de transfert H dont les éléments sont donc des nombres complexes.

1.1. Cas d'un tunnel uniforme

Envisageons tout d'abord un tunnel uniforme, c'est-à-dire un tunnel dont la coupe est invariante. Une étude préliminaire a montré que les éléments d'antennes devaient être alignés perpendiculairement à l'axe du tunnel pour obtenir la plus faible corrélation. Cela peut d'ailleurs s'expliquer facilement à

partir de la répartition des modes dans un guide surdimensionné. Le tableau ci-dessous donne la capacité ergodique moyenne en supposant soit une seule antenne en émission et en réception (SISO), soit en diversité en réception (SIMO Maximum Ratio Combining), soit MIMO, la portée maximum de la liaison étant de 300 m. Deux environnements ont été envisagés: Rayleigh (canaux i.i.d) ou tunnel.

Capacité moyenne	SISO	SIMO	MIMO
Rayleigh	3 b/s/Hz	5 b/s/Hz	11 b/s/Hz
Tunnel	3 b/s/Hz	#5 b/s/Hz	8.5 b/s/Hz

Tableau 1: Capacité moyenne pour diverses configurations (Rapport signal/bruit de 10 dB)

On remarque que MIMO reste une solution potentiellement intéressante en tunnel, tout au moins pour des portées de quelques centaines de mètres.

1.2 Cas d'un rétrécissement du tunnel

Si la portée de la liaison augmente ou si le tunnel se rétrécit (passage de 2 voies à 1 voie), les modes hybrides d'ordre supérieur seront rapidement atténués, entraînant une diminution rapide de la capacité comme le montre, sur la Figure 1, la courbe "tx in 2 way". L'autre courbe ("tx in 1 way") correspond à une configuration dans laquelle l'émetteur est dans un tunnel 1 voie et le mobile se déplace du tunnel 1 voie vers un tunnel 2 voies.

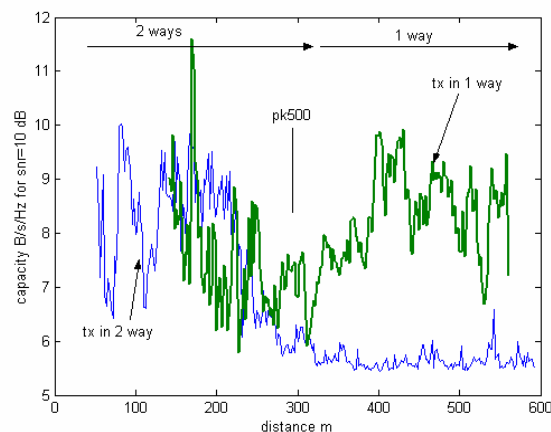


Figure 1 : Influence de la configuration du tunnel sur la capacité

Ces diverses courbes peuvent s'interpréter à partir de l'évolution des coefficients de corrélation entre antennes. Cependant pour mieux appréhender la part relative que jouent les divers modes hybrides se propageant dans cette structure guidée [2], il est intéressant de connaître leur pondération en tout point du tunnel. Une étude théorique a donc été menée en simplifiant la structure géométrique du tunnel pour se ramener au cas d'une section droite rectangulaire.

2.2 Modélisation théorique

Le poids des modes excités par une antenne dans un guide surdimensionné à pertes a été obtenu en projetant la carte de champ obtenue par la théorie des rayons sur les fonctions propres des modes. Connaissant les coefficients d'atténuation et de phase de chacun d'eux, on peut définir le nombre de modes actifs dans le plan de réception, c'est-à-dire ceux contribuant de façon significative aux canaux MIMO. De plus, on en déduit la corrélation, d'une part entre les modes excités par les différents éléments rayonnant et, d'autre part, entre les éléments de réception. Cette approche, permettant d'interpréter plus finement les résultats expérimentaux, est illustrée sur quelques exemples.

Références bibliographiques

- [1] G.J. Foschini and M.J. Gans, "On limits of wireless communication in a fading environment when using multiple antennas", *Wireless Personal Commun.*, vol 6, n°3, pp 311 – 335, 1998
- [2] S. Loyka, "Multiantenna Capacities of Waveguide and Cavity Channels", *IEEE Trans. on Vehicular Techno.*, vol. 54, no. 3, pp. 863-872, May 2005.
- [3] M. Liénard, P. Degauque, J. Baudet and D. Dégardin, "Investigation on MIMO channels in subway tunnels" *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, vol. 21, n°3, pp 332 – 339, April 2003