

MEDIDAS DEL CANAL MIMO EN LA TRANSICION DE ENTRADA A UN PEQUEÑO TUNEL

José María Molina García-Pardo, José Víctor Rodríguez y Leandro Juan Llácer
Dpto. Tecnologías de la Información y Comunicaciones
Universidad Politécnica de Cartagena, Cuartel de Antiguones, 30202 Cartagena
e-mail : josemaria.molina@upct.es y leandro.juan@upct.es

Abstract- This contribution investigates the MIMO channel by means of measurements at the entrance of a small tunnel at 2.4 GHz. The wireless channel is measured within 100MHz for a 4x4 MIMO system. It focuses on variations of the transmitter offset and on different antenna spacings, in order to understand the impact of different configurations on capacity. It will be shown that capacity is sensitive to the transmitter offset. Indeed, these measurements showed that it is possible to maintain a low distance between antenna elements if the transmitting offset is increased.

I. INTRODUCCIÓN

MIMO (en inglés múltiples entradas múltiples salidas) ha aparecido recientemente como un firme candidato que permite mejorar las prestaciones del canal radio para las comunicaciones inalámbricas. Se basa en la utilización de múltiples antenas a ambos lados del interfaz radio, que con una adecuada codificación consigue eficiencias espectrales muy elevadas [1]. De hecho, hoy en día se están dirigiendo grandes esfuerzos para desarrollar tecnología MIMO en estándares internacionales. Por ejemplo, el grupo 3GPP está trabajando activamente para incorporar MIMO en UMTS, y por otra parte IEEE ha incluido para sus redes inalámbricas de área local soluciones MIMO para aumentar la tasa de transferencia en el enlace inalámbrico.

En cuanto a la caracterización del canal radio MIMO, ésta es necesaria en los diferentes entornos donde se vaya a utilizar esta tecnología. En concreto, los túneles son un entorno confinado y específico donde las comunicaciones inalámbricas se podrán beneficiar de estos sistemas. Por ejemplo, en [2] Liénard et al. examinan las posibilidades de incrementar la capacidad del canal en túneles mediante el uso de técnicas MIMO. Sin embargo, los autores han encontrado en la literatura una falta de investigación del canal MIMO en la entrada de los túneles y en su transición.

Este trabajo presenta medidas de la respuesta del canal radio para un sistema MIMO en la entrada de un pequeño túnel a 2.4 GHz. Analizan el efecto de la posición del transmisor, que situaremos en el exterior del túnel, y el efecto de diferentes espaciados entre las antenas que componen tanto el transmisor como el receptor.

II. ENTORNO DE PROPAGACION

En la figura 1 se muestra una vista en planta del entorno que hemos seleccionado para las medidas, que es el mismo que el de [3], donde se estudiaron diferentes parámetros de banda ancha. En la figura 2 hemos presentado una fotografía de la entrada del túnel para la primera posición del transmisor. Las dimensiones del túnel son 2.85 metros de alto, 2.5 metros de ancho en la entrada, 4.2 metros de ancho en la parte interior, y 23 metros de largo. Se han seleccionado dos posiciones del transmisor (Tx1 y Tx2) a 20 metros de la entrada del túnel (ver figura 1). La separación angular ϕ de Tx2 con respecto al eje longitudinal del túnel es de 30° . El receptor recorre una línea recta desde Rx1 hasta Rx15. El número de receptores se ha elegido de tal forma que la Señal a Ruido (SNR) tenga un valor mínimo de 10dB. La separación entre receptores se ha fijado en 1 metro.

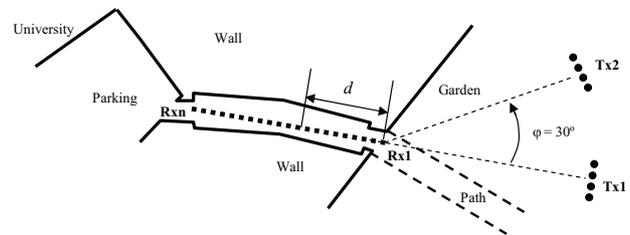


Figura 1: Vista en planta del entorno medido.



Figura 2: Foto de la entrada del túnel bajo estudio.

III. SONDA DE CANAL Y METODOLOGÍA

Para las medidas hemos utilizado un equipo de medidas para canal MIMO que fue presentado en [4]. Este equipo está formado por analizador de redes multipuerto (Agilent ENA) que hace el papel tanto de transmisor como de receptor (simultáneamente). Las cuatro antenas receptoras se conectan directamente a cuatro puertos del ENA. Uno de los puertos que queda libre se configura como transmisor, se conecta a un amplificador de 30dB de bajo ruido, un cable de 50 metros de bajas pérdidas, luego a otro amplificador de otros 30 dB, y finalmente a un conmutador de estado sólido que reparte la señal entre cuatro antenas transmisoras (figura 3). Los dos amplificadores se utilizan por un lado para compensar las pérdidas del cable, y por otro para poder radiar una potencia lo suficientemente alta. Todo el proceso se controla a través de un portátil que se conecta al conmutador por medio de GPIB, y al ENA mediante una conexión LAN.

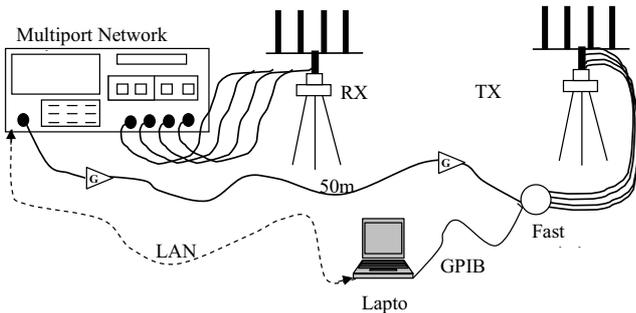


Figura 3: Esquema del equipo de medidas utilizado.

Se han seleccionado dos posiciones del transmisor (Tx1 y Tx2 figura 1), y 15 posiciones del receptor equi-espaciadas un metro. El primer transmisor corresponde a una situación de visión directa para todos los receptores, aun siendo el túnel curvo. Si observamos la foto de la figura 2 veremos que se puede ver la otra parte del túnel desde la posición del transmisor. Sin embargo, se puede demostrar que gran parte del primer elipsoide de Fresnel es interceptado por las paredes curvas del túnel a partir de la mitad del mismo. Para el caso de Tx2, tenemos no visión directa en casi todos los receptores, a excepción de los primeros que al estar a la entrada del túnel sí que habrá visión directa. Para cada recorrido, y para cada posición del transmisor, el espaciado entre las antenas tanto del receptor como del transmisor (s) ha sido $\lambda/2$, λ y 2λ para una frecuencia central de 2.45 GHz. El receptor se orienta de tal modo que su dirección de máxima radiación esté alineada con el eje longitudinal del túnel, y el transmisor se orienta hacia la entrada del túnel para las dos posiciones. En cada medida, la potencia de transmisión en cada antena es de 0 dBm, y el ruido entre -90dBm y -100dBm en los 100 MHz de ancho de banda medido. Las medidas se tomaron entre 2.4GHz y 2.5GHz en 256 puntos equiespaciados con una frecuencia intermedias de 2KHz. Durante las medidas el entorno se encontraba estático, de tal forma que el canal se ha supuesto quasi-estático.

IV. RESULTADOS EN ENTORNO MICROCELULAR

Para cada posición, cinco realizaciones de banda ancha se almacena para estudiar la estacionariedad del canal. De este forma, para cada posición de medida se obtiene una matriz de cinco dimensiones $\mathbf{G}_{4 \times 4 \times 3 \times 5 \times 256}$, cuyas dimensiones significan el número de antenas receptoras ($m=4$), el número de antenas transmisoras ($n=4$), el espaciado entre antenas ($s=3$), el número de realización temporal ($t=5$) y las frecuencias analizadas ($f=256$).

La capacidad teórica máxima para un sistema MIMO con M antenas transmisoras y N antenas receptoras, utilizando la estrategia de repartir uniformemente la potencia entre todas las antenas transmisoras, para una señal a ruido media en recepción ρ tienen el valor de [1]:

$$C_{\text{MIMO}} = \log_2 \left(\det \left[\mathbf{I}_N + \frac{\rho}{M} \mathbf{H} \mathbf{H}^H \right] \right) \quad (1)$$

donde \mathbf{I}_N es la matriz identidad $N \times N$, $()^H$ es la función compleja conjugada y \mathbf{H} es la matriz normalizada (Frobenius) de \mathbf{G} . Los resultados que vamos a mostrar son de la capacidad ergódica (al 50% o media), que hemos calculado promediando todas las frecuencias y realizaciones temporales. Los resultados se muestran para las dos antenas transmisoras y para los tres espaciados (figuras 4 y 5).

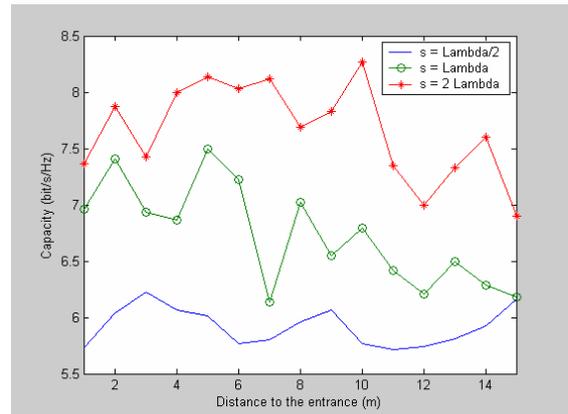


Figura 4: Capacidad en el túnel para Tx1.

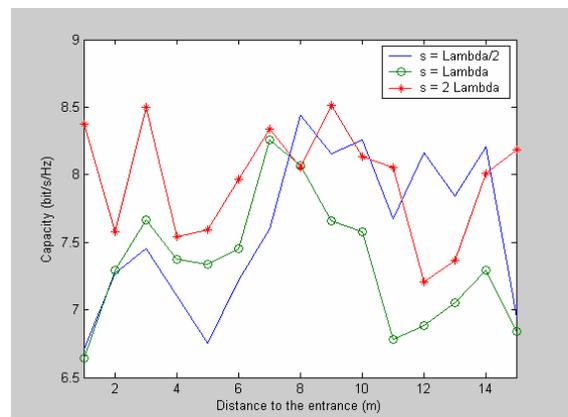


Figura 5: Capacidad en el túnel para Tx2.

En la figura 4 podemos observar que la capacidad decrece con la distancia para el transmisor Tx1. En la entrada hemos medido 7.4 bit/s/Hz para $s = 2\lambda$, 7 bit/s/Hz para $s = \lambda$ y 5.7 bit/s/Hz para $s = \lambda/2$. Las capacidades medias son 7.7, 6.7 y 5.9 bit/s/Hz respectivamente. Con esto queda de manifiesto que el espaciado entre antenas es crucial para obtener ganancias MIMO reales. Para $s = \lambda$ y 2λ se observa una pendiente negativa de 0.05bit/s/Hz/m, mientras que para $s = \lambda/2$, está permanece prácticamente constante. También se observa que la capacidad para este último espaciado corresponde a la capacidad mínima para un sistema MIMO 4x4, que para una SNR de 10dB es de 5.32 bit/s/Hz. Con lo que las prestaciones convergerían al de un sistema SIMO con el mismo número de antenas receptoras.

En el caso de Tx2 (figura 5), las capacidades permanecen constante con d (ver figura 1). En la entrada la configuración $s = 2\lambda$ presenta las mejores prestaciones, pero dentro del túnel (No visión directa), las tres configuraciones alcanzan valores similares de capacidad. Las capacidades ergódicas medias son de 8 bit/s/Hz para $s = 2\lambda$, 7.4 bit/s/Hz para $s = \lambda$ y 7.5 bit/s/Hz para $s = \lambda/2$. Resulta interesante el hecho de que cuando el transmisor se coloca con un cierto ángulo con respecto al eje del túnel, el espaciado entre antenas deja de ser un parámetro fundamental de diseño. De hecho, las prestaciones entre $s = 2\lambda$ y $s = \lambda/2$ no difieren más que en medio bit/s/Hz.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo, se ha investigado el canal radio MIMO en un pequeño túnel. Se ha utilizado un equipo de medidas de banda ancha basado en un analizador de redes multipuerto para medir la respuesta del canal para un sistema MIMO 4x4 entre 2.4 GHz y 2.5 GHz. Se han elegido dos posiciones del transmisor separados a una distancia de 20 metros de la entrada del túnel (uno con visión directa y otro sin ella). También se han estudiado para estas posiciones, tres posibles configuraciones (espaciado entre antenas) de los arrays.

Las medidas muestran que la capacidad es muy sensible a la posición del transmisor. Cuando se desarrollan sistemas MIMO reales las restricciones físicas limitan en gran medida la distancia entre los elementos radiantes. En este sentido, estas medidas muestran que es posible diseñar equipos con distancias entre antenas bajas a cambio de alejar el transmisor del eje del túnel. Sin embargo, habrá que buscar un compromiso entre los parámetros MIMO y de banda ancha de un sistema, ya que al aumentar el ángulo (figura 1), estaremos empeorando otros parámetros como son las pérdidas o la dispersión del retardo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Educación y Ciencia (TEC2004-04866-C04-04/TCM) y a la Fundación Séneca (PPC/01444/03) por financiar este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] G. J. Foschini and M. J. Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas", *Wireless Personal Commun.*, vol. 6, no. 3, pp. 311-335, Mar. 1998.
- [2] 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, no. 3, pp. 332-339, April 2003.
- [3] J.M. Molina-García-Pardo, J.V. Rodríguez and L. Juan-Llacer, "Wide-band measurements and characterization at 2.1 GHz while entering in a small tunnel", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 53, pp. 1794-1799, Nov. 2004.
- [4] Jose-María Molina-García-Pardo, Javier Celdrán-Blaya, Jose-Victor Rodríguez y Leandro Juan-Llacer, "A MIMO Measurement System Based on Two Network Analyzers", COST 273 TD(04)106, Gothenburg, Sweden, 2004/June/09-10.