

CARACTERIZACION MIMO DE UNA ESQUINA MEDIANTE MEDIDAS

Rubén Ibernón Fernández, Jose-Maria Molina García-Pardo, Leandro Juan Llácer

Dpto. Tecnologías de la Información y Comunicaciones

Universidad Politécnica de Cartagena, Antiguo Hospital de Marina, 30202 Cartagena

e-mail : ruben.ibernon@upct.es, josemaria.molina@upct.es, leandro.juan@upct.es

Abstract- This paper presents results on capacity, correlation and K-factor for a 4x4 MIMO system in a microcellular environment. A MIMO channel sounder based on a multiport network analyzer and a fast switch controlled by a laptop has been used. LoS and NLoS situations are distinguished for three antenna elements separation of the arrays each. It has been appreciated a low capacity in some positions of the NLoS situation in spite of a not very high correlation.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha tenido una gran importancia el estudio de los sistemas MIMO (Multiple-Input Multiple-Output), ya que dichos sistemas son capaces de alcanzar una alta eficiencia espectral en condiciones ideales [1].

Estudios previos demuestran que una alta correlación entre los elementos radiantes en transmisión y en recepción puede llevar a un sistema MIMO a no alcanzar la capacidad (bit/s/Hz) máxima que se podría obtener en un entorno en el que existiera una gran diversidad espacial [2]. En condiciones reales, el canal de propagación juega un papel crucial, por lo que, para que estos sistemas se puedan explotar de forma eficaz, es necesario el estudio del canal MIMO de forma experimental con el fin de conocer la capacidad que se puede alcanzar en los distintos entornos.

Existen situaciones en las que se puede producir el llamado efecto “keyhole” [3], en las que, a pesar de obtener una correlación baja entre las señales enviadas y recibidas, la capacidad se mantiene baja. Se ha comprobado que es muy difícil que se de este fenómeno de forma ideal en entornos reales, pero si de forma parcial, en el que se experimenta una reducción del rango de la matriz de transferencia [4].

En este trabajo se analiza la capacidad de un sistema MIMO formado por un array de cuatro antenas en transmisión y cuatro antenas en recepción para el caso de tres separaciones distintas entre elementos radiantes ($\lambda/2$, λ y 2λ) en el entorno de una esquina difractora. También se muestran resultados del efecto de la correlación y del factor K en este entorno. El análisis ha sido realizado en la banda de frecuencias que va desde 2.35 GHz a 2.55 GHz.

II. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDIDAS

El equipo de medidas [5] consiste en un analizador vectorial multipuerto, configurado con uno de sus puertos como transmisor y cuatro de ellos como receptores. El

puerto transmisor está conectado a un amplificador de 30dB de bajo ruido, cuya salida está conectado un cable coaxial de 50 metros de longitud, en cuyo extremo se conecta un conmutador de estado sólido con el fin de realizar el cambio entre las cuatro antenas transmisoras. En los puertos receptores están conectadas cuatro antenas directamente. Con esta configuración se consigue que el nivel de ruido esté en -100 dB con respecto a la potencia entregada a las antenas.

El proceso de medidas está totalmente automatizado por medio de un ordenador portátil desde el que controla tanto el analizador de redes como el conmutador de estado sólido. La comunicación con el analizador se realiza mediante una red LAN y con el conmutador por medio de GPIB.

III. ENTORNO Y METODOLOGÍA DE LAS MEDIDAS

Las medidas han sido realizadas en el exterior de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Cartagena, y más concretamente en una de sus cuatro esquinas Como se muestra en la figura 1, el transmisor ha sido situado en uno de los laterales del edificio, y el receptor se mueve sobre una línea de 12 metros desde las posiciones de no visión directa (Rx1 y NLoS) hacia las de visión directa (Rx13 en LoS). El entorno de medida se encuentra alejado de cualquier otra edificación, habiendo una pequeña montaña a unos 30 metros del receptor.

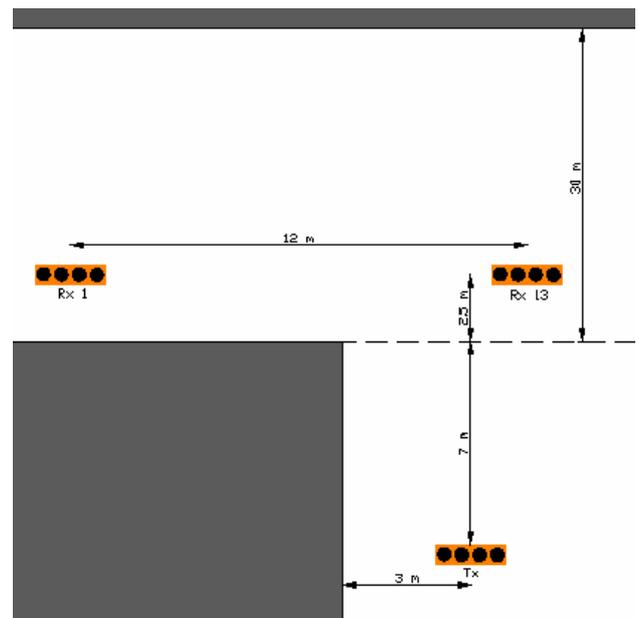


Fig. 1. Entorno de medidas.

Las medidas se han tomado para 13 posiciones del receptor, separadas un metro. En cada posición del receptor se han tomado 5 respuestas temporales para 512 frecuencias equiespaciadas entre 2.35GHz y 2.55 GHz (2560 medidas para cada una de las 13 posiciones). De esta forma se obtiene una matriz $\mathbf{G}_{4 \times 4 \times 512 \times 5}$, cuyas dimensiones nos indica el número de elementos receptores, elementos transmisores, frecuencias medidas y repeticiones (capturas en instantes temporales diferentes) de la medida por posición respectivamente. Con esta configuración se obtiene una resolución temporal de 5ns, con un retardo máximo de 2560ns.

Las antenas están orientadas de forma que quedan enfrentadas las direcciones broadside en la parte de visión directa (orientación óptima [6]). Con el fin de estudiar la influencia de la separación entre los elementos de las antenas, se han tomado tres separaciones diferentes según la longitud de onda (2λ , λ y $\lambda/2$) tanto en el transmisor como en el receptor.

IV. RESULTADOS

A. Capacidad.

La capacidad máxima teórica de un sistema MIMO formado por M antenas transmisoras y N receptoras se puede calcular a partir de la expresión [7]:

$$C_{MIMO} = \frac{1}{F} \sum_{f=f_1}^{f_2} \log_2 \left(\det \left[\mathbf{I}_N + \frac{SNR}{M} \mathbf{H}(f) \mathbf{H}^H(f) \right] \right) \quad (1)$$

donde F es el número de frecuencias tomadas, f_1 y f_2 son las frecuencias inicial y final respectivamente, \mathbf{I}_N es la matriz identidad de tamaño $N \times N$, SNR es la relación señal a ruido, $\mathbf{H}(f)$ es la matriz de transferencia a la frecuencia f de tamaño $N \times M$ normalizada según la norma de Frobenius de \mathbf{G} y $(\cdot)^H$ es el operador complejo conjugado. En los resultados que se muestran en este artículo la capacidad ha sido calculada para una SNR fija de 10 dB.

Como se puede apreciar en la figura 2, la capacidad varía entre 6.3 y 9.3 bps/Hz en todo el recorrido. En la parte de NLoS (posiciones 1-10) las capacidades entre las distintas separaciones entre elementos son similares (en torno a los 0.3 bps/Hz de diferencia, estando por encima generalmente la separación de 2λ). En la parte de LoS esta diferencia crece, llegando a ser de 2.1 bps/Hz la máxima diferencia entre las separaciones de 2λ y $\lambda/2$.

En las primeras posiciones de NLoS (1-6) la capacidad es muy baja debido a que la contribución principal es la difractada (las múltiplemente reflejadas entre la montaña y el edificio llegan con muy poca potencia). Es entre las posiciones 7-10 donde comienzan a llegar con más potencia estas contribuciones, con el consecuente aumento de la dispersión espacial y por lo tanto de la capacidad.

El decaimiento de la capacidad en las posiciones 11 y 12 es debido a que las contribuciones múltiplemente reflejadas entre la montaña y la pared del edificio desaparecen. En la posición 13 comienzan a aparecer las contribuciones reflejadas en la pared del edificio donde está situado el transmisor, con el consecuente aumento de la capacidad.

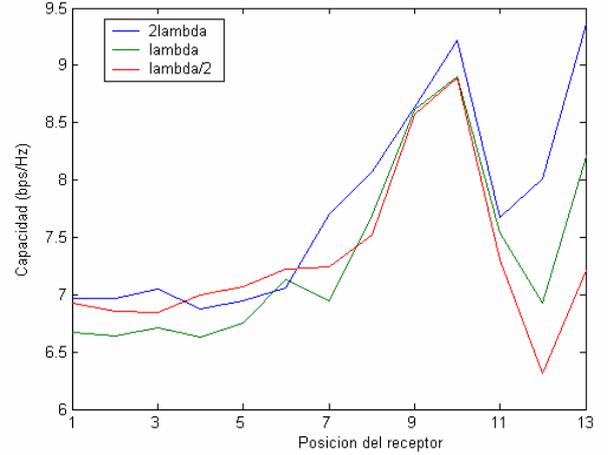


Fig. 2. Capacidad máxima teórica media para una SNR fija de 10 dB.

B. Correlación.

En estudio de la correlación de \mathbf{G} se obtiene una matriz de tamaño $NM \times NM$, cuyo tratamiento es muy complejo. Por esta razón, la correlación se suele estudiar de forma separada en el transmisor y receptor [8]. La correlación entre las antenas receptoras i y j se puede calcular a través de la siguiente expresión:

$$\rho_{Rx}(i, j) = \frac{E[G(i, k)G(j, k)^H]}{\sqrt{E[|G(i, k)|^2]E[|G(j, k)|^2]}} \quad (2)$$

Donde $E[\cdot]$ indica la esperanza. La correlación entre las antenas transmisoras i y j se calcula de forma análoga:

$$\rho_{Tx}(i, j) = \frac{E[G(k, i)G(k, j)^H]}{\sqrt{E[|G(k, i)|^2]E[|G(k, j)|^2]}} \quad (3)$$

La correlación nos da una idea de cómo se parecen las señales que llegan a o salen de dos antenas diferentes, y normalmente una mayor separación entre elementos suele repercutir en un menor valor de la correlación. Este fenómeno se puede observar en las figuras 3a y 3b, donde se muestra la correlación media en transmisión y recepción respectivamente.

Como se puede comprobar, en la parte de NLoS la correlación obtenida no es excesivamente alta, tanto en transmisión como en recepción. A pesar de esto, la capacidad obtenida también es baja.

Se puede observar como el aumento de la correlación repercute en una menor capacidad del sistema MIMO.

C. Factor K.

El factor K es un parámetro que mide la relación entre las contribuciones constantes y las contribuciones variables de una respuesta del canal. Su estimación se puede realizar por la siguiente expresión [9]:

$$K = \frac{\sqrt{1-\gamma}}{1-\sqrt{1-\gamma}} \quad (4)$$

Donde $\gamma = V[R^2]/(E(R^2))^2$, $V[\cdot]$ es la varianza y R la envolvente de la respuesta del canal, obtenida de G .

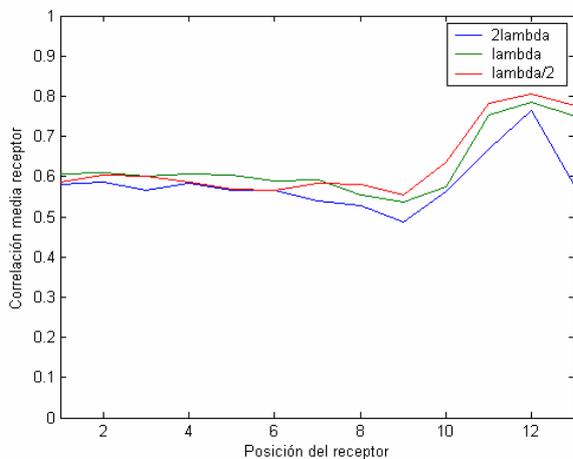
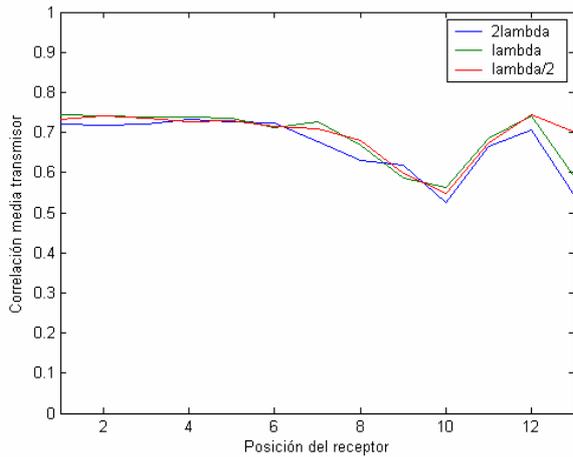


Fig. 3. Correlación media del a) transmisor y b) receptor.

La figura 4 muestra el factor K medio obtenido en las medidas. En la parte de NLOS el valor es muy bajo (en torno a los -4 dB). En la parte de visión directa el máximo se obtiene entre las posiciones 11 y 12, debido a la desaparición de las contribuciones comentadas en el apartado A de esta sección, tomando una mayor importancia la componente de visión directa. Este valor también se puede relacionar con el valor de la capacidad [10], pudiendo comprobar que un valor alto del factor K implica un menor valor de la capacidad.

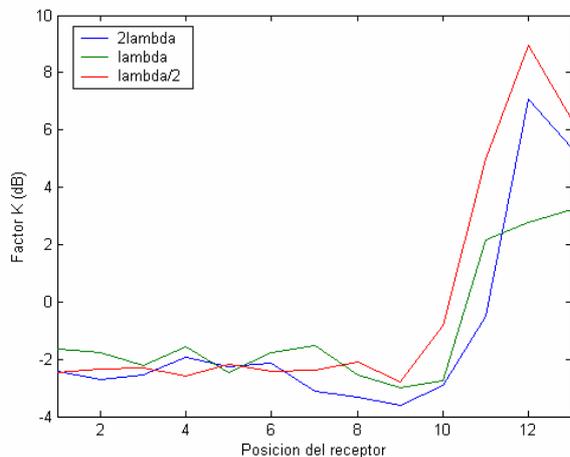


Fig. 4. Factor K medio.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha utilizado un equipo de medidas basado en un analizador multipuerto y un conmutador de estado sólido con el fin de realizar y analizar medidas MIMO en la banda de frecuencias de 2.35 GHz a 2.55 GHz en un entorno microcelular, con el fin de caracterizar la esquina de un edificio.

La capacidad máxima teórica medida para una SNR de 10dB se encuentra entre 6.3 y 9.3 bps/Hz. En la parte de NLOS alejada de la esquina difractora se ha observado que, a pesar de obtener una correlación no muy elevada tanto en transmisión como en recepción, la capacidad obtenida es baja (en torno a los 7 bps/Hz).

La capacidad en la parte de NLOS es similar para las 3 separaciones estudiadas, pero en la parte de LOS toma una mayor relevancia este parámetro, siendo mayor la capacidad para un mayor espaciado entre antenas, llegando a alcanzar 2.1 bps/Hz.

Por último, se ha comprobado como los valores altos del factor K van asociados con un descenso de la capacidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores están agradecidos al Ministerio de Educación y Ciencia por financiar este trabajo (TEC2004-04866-C04-04/TCM).

REFERENCIAS

- [1] G. J. Foschini and J. Gans, "On Limits of Wireless Communications in a Fading Environment when Using Multiple Antennas," Bell Labs Technical Journal, vol. 1, no. 2, Lucent Technologies, pp 41-59, Autumn 1996.
- [2] D.-S. Shiu, G. J. Foschini, M. J. Gans, and J. M. Kahn, "Fading correlation and its effects on the capacity of multi-element antenna systems," IEEE Trans. on Communications, vol. 48, no. 3, pp. 502-511, Mar. 2000.
- [3] D. Chizhik, G. J. Foschini, M. J. Gans and R. A. Valenzuela, "Keyholes, Correlations, and Capacities of Multielement Transmit and Receive Antennas" IEEE Trans. on Wireless Communications. Vol 1, No 2, pp 361-368. April 2002.
- [4] P. Almers, F. Tufvesson, P. Karlsson and A. Molish, "Measurement of keyhole effect in a wireless multiple-input multiple-output (MIMO) channel," Communications Letters, IEEE, vol. 7, no. 8, pp. 373-375, Aug. 2003.
- [5] Oscar Gascón Francés, Alberto García Zapata, Rubén Ibernón Fernández, José María Molina García-Pardo y Leandro Juan Llácer "Medidas MIMO de banda ancha en interiores para WiFi", XX Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio, Gandia (Valencia) 2005.
- [6] P. Almers, F. Tufvesson, P. Karlsson and A. Molish, "The Effect of Horizontal Array Orientation on MIMO Channel Capacity", Mitsubishi, TR-2003-39, July 2003.
- [7] Andreas F. Molisch, Martin Steinbauer, Martin Toeltsch, Ernst Bonek, Reiner S. Thomä, "Capacity of MIMO systems based on measured wireless channels", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 20, no. 3, pp. 561-569, April 2002
- [8] P. C. F. Eggers, J. Toftgard, and A. M. Oprea, "Antenna systems for base station diversity in urban small and microcells", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 11, no. 7, pp. 1046-1057, September 1993.
- [9] Abdi, A.; Tepedelenlioglu, C.; Kaveh, M.; Giannakis, G., "On the estimation of the K parameter for the Rice fading distribution," Communications Letters, IEEE, vol. 5, no. 3, pp. 92-94, Mar 2001.
- [10] Lebrun, G.; Faulkner, M.; Shafi, M.; Smith, P.J., "MIMO Ricean channel capacity," Communications, 2004 IEEE International Conference on, vol. 5, no. pp. 2939-2943 Vol. 5, 20-24 June 2004.