

MEDIDAS MIMO DE BANDA ANCHA EN INTERIORES PARA WiFi

Oscar Gascón Francés, Alberto García Zapata, Rubén Ibernón Fernández, José María Molina García-Pardo y Leandro Juan Llácer
Departamento de las Tecnologías y la Información
Universidad Politécnica de Cartagena
e-mail : josemaria.molina@upct.es

Abstract- In this work, preliminary results of a measurement campaign performed for a 4x4 MIMO system in the WiFi frequency band are presented. A measurement equipment based on a multiport network analyzer and a fast switch is used, and the frequency response between 2,4 GHz and 2,5 GHz has been measured. The orientation of the arrays as well as the antenna spacing have been studied. Results of the MIMO capacity, the average correlation at the transmitter and receiver, the RMS delay spread and the factor K are presented.

I. INTRODUCCIÓN

Es ampliamente conocido que mediante el uso de múltiples antenas en transmisión y en recepción (sistemas MIMO) se puede llegar a aumentar la capacidad en el bucle radio [1]. Mediante técnicas de codificado espacio-temporales y técnicas de multiplexado espacial se alcanzan eficiencias espectrales muy superiores a los sistemas convencionales [2].

Para que un canal sea apto para aplicar técnicas MIMO, las señales emitidas desde las antenas transmisoras que alcanzan a las antenas receptoras deben estar decorreladas, y esto implica que el entorno tenga una rica dispersión espacial, o lo que es lo mismo, que la correlación entre la respuesta de dos elementos contiguos (tanto en transmisión como en recepción) sea mínima. Los entornos interiores (indoor) son, por sus características de propagación, un primer marco de aplicación para estos sistemas.

El objetivo de este trabajo es medir la repuesta del canal en un entorno de interiores para un sistema MIMO. Se ha seleccionado la banda de frecuencias utilizada por WiFi (2.4-2.5 GHz) y se ha utilizado un equipo de medidas basado en un analizador de redes multipuerto, que es una variación del equipo presentado en [3]. También se han estudiado diferentes espaciados entre antenas y orientaciones del array para ver su influencia en las prestaciones de un posible sistema WiFi sobre MIMO.

II. EQUIPO DE MEDIDAS

Se ha utilizado una variación del equipo de medidas presentado en [3]. El equipo consta de un analizador de redes multipuerto ENA que actúa de transmisor-receptor. Cuatro antenas receptoras se conectan directamente a cuatro puertos del ENA. Otro de los puertos del mismo equipo hace

de transmisor, conectándose un amplificador de 30 dB, un cable de 50 metros de bajas pérdidas y un conmutador de estado sólido para ampliar el número de antenas transmisoras a 4 (ver diagrama de la Fig. 1). El rango dinámico máximo con el cable de 50 metros es de unos 90 dB. El control de las medidas es totalmente automático y se realiza a partir de un portátil que se conecta al conmutador mediante un puerto GPIB y al analizador de redes multipuerto mediante una WLAN. Se han utilizado 8 antenas omnidireccionales de CISCO con ganancia 5 dBi. La Fig. 2 muestra sendas fotos del transmisor y el receptor MIMO en el entorno de medidas. El mástil de las antenas dispone de un carril donde las antenas pueden separarse hasta 2λ para 2.45 GHz.

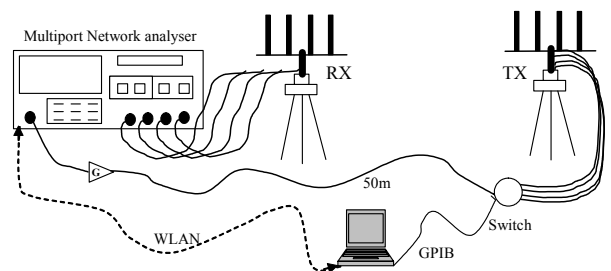


Fig. 1 Diagrama del equipo de medidas basado en un analizador de redes multipuerto y un conmutador.



Fig. 2 Fotos del a) Transmisor y b) Receptor MIMO en el entorno de medidas.

III. METODOLOGÍA Y ENTORNO DE MEDIDAS

Las medidas fueron tomadas en un laboratorio de la Universidad Politécnica de Cartagena, y su esquema se presenta en la Fig. 3.

Se seleccionaron 2 posiciones para el receptor y 16 posiciones del transmisor. Para cada una de ellas se tomaron medidas variando:

- La orientación del transmisor.
- El espacio entre elementos ($\lambda/2$, λ y 2λ).

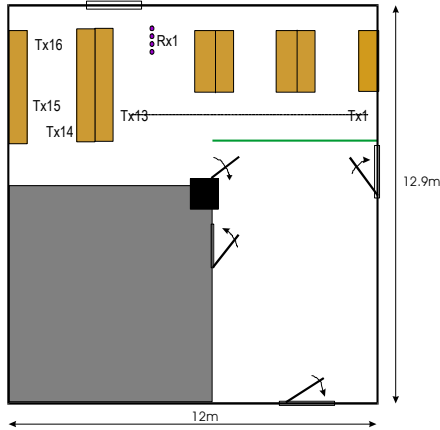


Fig. 3 Croquis del entorno de las medidas para Rx1.

En este artículo nos hemos centrado en las medidas realizadas utilizando Rx1. En cuanto a las orientaciones, el receptor se orientó en el sentido de las mesas (vertical), y los receptores se colocaron tanto en posición vertical como en posición horizontal (ver Fig. 3).

Para cada medida, la potencia transmitida por cada antena es de 0dBm, y la potencia de ruido en cada antena receptora de -90 dBm. Se ha barrido desde 2,4 GHz hasta 2,5 GHz en 256 frecuencias con un ancho de banda intermedia de 2 kHz y un promedio de 5 para reducir el ruido. Esto resulta en una resolución temporal de 10ns y un retardo máximo de 1280 ns, que son valores admisibles para un entorno indoor como el de la Fig. 3.

Es decir, para cada medida obtendremos una matriz tridimensional $\mathbf{G}_{4 \times 4 \times 256}$, donde la primera dimensión se refiere a las antenas receptoras, la segunda a las transmisoras y la tercera la respuesta en cada una de las frecuencias analizadas.

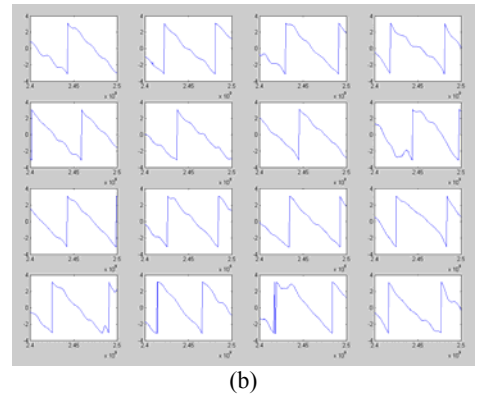
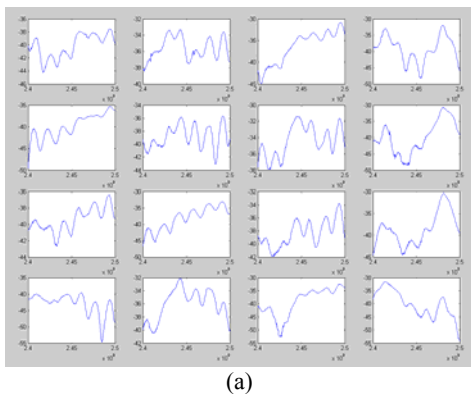


Fig. 4 Ejemplo de medida de la función de transferencia ($\mathbf{G}_{4 \times 4 \times 256}$) expresada en a) amplitud (dB) y b) fase (radianes).

En la figura 4 se muestran los datos capturados (tanto fase como amplitud) en una medida para las 16 combinaciones de un sistema MIMO 4x4.

IV. RESULTADOS

A. Capacidad

Para un sistema MIMO con M antenas transmisoras y N antenas receptoras, la capacidad máxima teórica a la frecuencia f para un sistema donde la potencia transmitida por todas las antenas es la misma y la relación señal a ruido en cada antena receptora es ρ , se puede expresar como:

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

donde \mathbf{I}_N es la matriz identidad $N \times N$, $()^H$ es la función complejo conjugado y $\mathbf{H}(f)$ es la matriz de transferencia $N \times M$ normalizada según la norma de Frobenius de \mathbf{G} utilizando todas las realizaciones de una medida. Normalmente la capacidad viene expresada como la media sobre todo el ancho de banda de estudio.

La figura 5 muestra la capacidad MIMO medida para todos los transmisores cuando recibimos en la posición Rx1. Se observa que a mayor separación entre antenas, corresponde una máxima capacidad (como era de esperar). Por otro lado, la orientación óptima depende de la posición del transmisor, ya que en posiciones cercanas la orientación perpendicular (la contraria al receptor) proporciona mejores resultados, y la paralela en los primeros puntos ya que las direcciones *broadside* se apuntan. En último punto estaba parcialmente en NLoS, por eso las capacidades son similares.

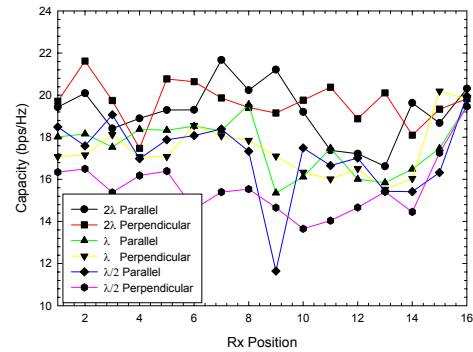


Fig. 5 Capacidad máxima teórica para todos los puntos de medida utilizando Rx1 y una SNR de 20 dB.

B. Correlación

La correlación entre los diversos elementos tanto del transmisor como del receptor determina la capacidad máxima de un sistema MIMO [4]. La correlación de los elementos de la matriz \mathbf{G} es una matriz $NM \times NM$ cuyo análisis es muy complicado. Normalmente se estudia de forma independiente la correlación en el transmisor y en el receptor [5]. La correlación en el transmisor entre las antenas i y j se puede medir como el coeficiente de correlación entre las columnas i y j de \mathbf{G} :

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

donde $()^*$ indica complejo conjugado. En el receptor, la correlación entre las antenas i y j se puede estimar como la correlación entre las filas i y j de \mathbf{G} :

$$\rho_{Rx} = \frac{E\{G(i,k)G(j,k)^*\}}{\sqrt{E\{|G(i,k)|^2\}E\{|G(j,k)|^2\}}} \quad (3)$$

La correlación depende de la distancia entre antenas, y se da normalmente en función de la diferencia de posiciones. Podemos definir entonces una correlación media promediando el vector correlación, tanto para el transmisor como para el receptor.

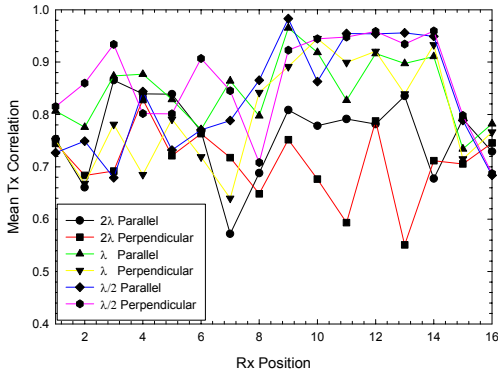


Fig. 6 Correlación media en el transmisor para todos los puntos de medida utilizando Rx1.

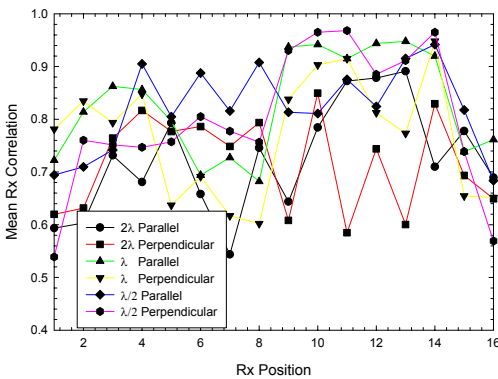


Fig. 7 Correlación media en el receptor para todos los puntos de medida utilizando Rx1.

Las figuras 6 y 7 muestran la correlación en el transmisor y en el receptor. La correlación nos da una idea de cómo se parecen las señales en elementos radiantes adyacentes. El menor espaciado conlleva una mayor correlación, especialmente en posiciones cercanas a la antena receptora (ver Fig. 3). Se concluye entonces que es muy importante la separación y la configuración de los elementos radiantes en un sistema MIMO. Por otro lado se observa que si la distancia entre el transmisor y el receptor es pequeña, aumentando el espaciado a 2λ obtenemos una mayor decorrelación comparado con las otras combinaciones.

C. Factor K

El factor K es el ratio entre la potencia recibida en la contribución de rayo directo con respecto al resto de contribuciones. Este parámetro puede estimarse utilizando un estimador basado en los momentos [6]:

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

donde $\gamma = V[R^2]/(E(R^2))^2$, siendo V el operador varianza de la envolvente compleja. Un valor cercano a 0dB indica que la potencia del rayo directo es igual a la del resto de las contribuciones. Se ha calculado el factor K utilizando las 16 respuestas frecuenciales en cada posición (Fig. 8).

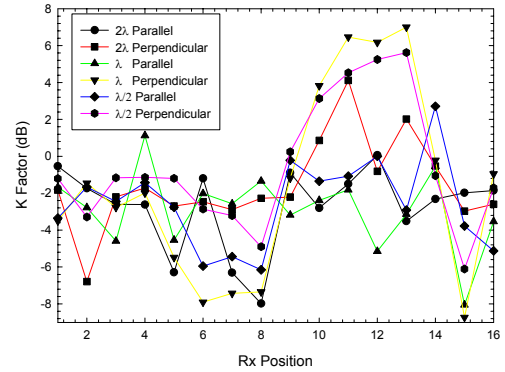


Fig. 8 Factor K para todos los puntos de medida utilizando Rx1.

Se observa que en las posiciones próximas al receptor el factor K es bastante mayor que en el resto, y que la configuración perpendicular proporciona un mayor valor de K ya que todos los elementos están a una distancia similar del receptor. Hay que tener en cuenta que el entorno de medida es *indoor*, por lo que, a no ser que el transmisor y el receptor se encuentren próximos, las componentes reflejadas y difractadas por los objetos circundantes van a proporcionar gran parte de la energía, o lo que es lo mismo, van a disminuir el valor de K.

D. Diferencia temporal

La respuesta al impulso entre las antenas n y m puede fácilmente calcularse mediante la transformada inversa de Fourier de la respuesta frecuenciale medida por el analizador de redes:

$$\mathbf{g}_{n,m}(\tau) = \text{IFFT}(\mathbf{G}_{n,m}) \quad (5)$$

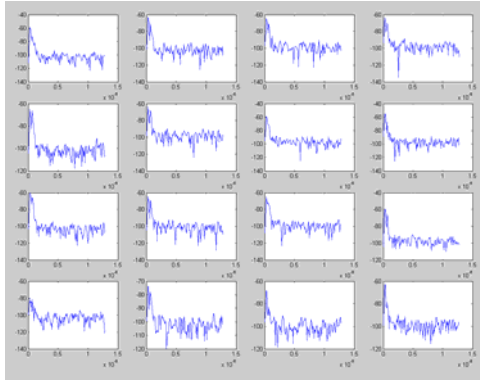


Fig. 9 Ejemplo de medida del valor absoluto de la respuesta al impulso para las 16 combinaciones.

La figura 9 muestra las 16 combinaciones de la respuesta al impulso para nuestro sistema MIMO 4x4. Una vez calculada ésta, un parámetro muy importante en el diseño de sistemas digitales es la dispersión del retardo, cuya inversa nos da una idea de la velocidad máxima de transmisión sin interferencia entre símbolos y se calcula como:

$$\tau_{rms}(n, m) = \sqrt{\frac{\sum_i |\mathbf{g}_{n,m}(\tau_i)|^2 \tau_i^2}{\sum_i |\mathbf{g}_{n,m}(\tau_i)|^2} - \left(\frac{\sum_i |\mathbf{g}_{n,m}(\tau_i)|^2 \tau_i}{\sum_i |\mathbf{g}_{n,m}(\tau_i)|^2} \right)^2} \quad (6)$$

La figura 10 muestra la dispersión del retardo medio en cada posición. Se puede ver que cuanto la distancia entre el transmisor y el receptor es pequeña y estamos en situación LoS la dispersión del retardo es mínima. Sin embargo en posiciones como Tx1, el retardo aumenta ya que K disminuye y el rayo directo deja de ser la contribución de mayor energía. También hay que notar que la posición 16 está parcialmente en NLoS, lo que justifica el elevado valor de la dispersión del retardo.

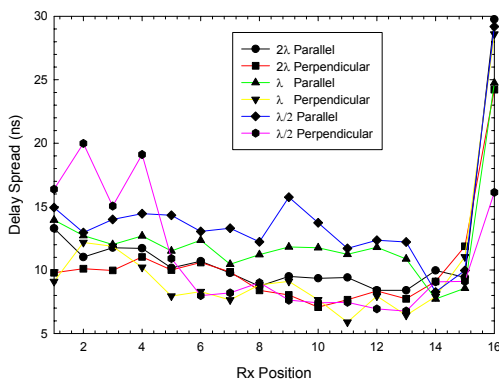


Fig. 10 RMS *delay spread* medio en todos los puntos de medida utilizando Rx1.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se han tomado y analizado medidas para un sistema MIMO en la banda de frecuencias de WiFi. Para ello se ha utilizado un equipo de medidas basado en un analizador de redes multipuerto y una matriz de conmutación de alta velocidad. Se han estudiado diferentes parámetros

como la capacidad, la correlación el factor K y la dispersión del retardo. Se concluye que para que un sistema MIMO funcione óptimamente el espaciado debe ser grande y la orientación debe ser de tal forma que las direcciones de radiación máxima de los arrays estén enfrentadas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer Fundación Séneca por financiar parcialmente este trabajo (PPC/01444/03).

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. Gesbert, M. Shafiq, D-S Shiu, P. Smith and A. Naguib, "From Theory to Practice: An Overview of MIMO Space-Time Coded Wireless Systems", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 21, no. 3, April 2003.
- [3] Javier Celadrán-Blaya, José María Molina García-Pardo y Leandro Juan-Llácer, "Sistema de medidas MIMO basado en dos analizadores de redes", XIX Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio, Barcelona, Septiembre 2004.
- [4] D. S. Shiu, G. J. Foschini, M. J. Gans and J. M. Kahn, "Fading Correlation and its Effects on the Capacity of Multielement antenna Systems", IEEE Transactions on Communications, vol. 48, no. 3, pp. 673-650, March 2000.
- [5] 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.
- [6] A. Abdi, C. Tepedelenlioglu, M. Kaveh and G. B. Giannakis, "On the Estimation of the K-parameter for Rice fading distribution", IEEE Communication Letters, vol. 5, no. 3, March 2001, pp. 92-94.