

# Análisis de la correlación de canales MIMO en interiores a 2 y 2.4 GHz

Óscar Fernández

Marta Domingo

Rafael P. Torres

Departamento de Ingeniería de Comunicaciones. Universidad de Cantabria

Avda. de Los Castros s/n. 39005 Santander

fernanos@unican.es

domingom@unican.es

torresrp@unican.es

**Abstract-** This paper presents an experimental analysis of the spatial correlation between MIMO subchannels, analyzing the various factors which affect the correlation, such as the type of scenario, topology of the arrays and the relative position between them. The results show a great variability in the correlation coefficient as a function of the distance between the elements. Thus, a statistical characterization of the correlation coefficient is performed.

**Index Terms**—Correlation distance, MIMO

## I. INTRODUCCIÓN

El éxito de los sistemas MIMO [1-2] depende de la correlación entre los diferentes subcanales definidos entre los elementos del array transmisor y receptor. Diversos factores influyen en la capacidad del canal, tales como la topología del array de múltiples elementos (Multiple Element Arrays, MEA), distancia entre los elementos del MEA, posición relativa en un entorno específico, ángulo de llegada (AoA) y la dispersión angular (Angular Spread  $\Delta_s$ ) de la señal multicamino. Debido a estos factores, los subcanales pueden dejar de ser ortogonales y en consecuencia la correlación entre ellos aumenta, disminuyendo el número de subcanales efectivos y por tanto la capacidad global del sistema MIMO.

Con el objetivo de analizar la correlación espacial en banda estrecha entre diferentes subcanales, se ha llevado a cabo una extensa campaña de medida. Estas medidas se han realizado en picoceldas interiores típicas: un área abierta y un área de oficinas. Las frecuencias de medida fueron 2 GHz y 2.4 GHz.

Se presentan resultados de la correlación entre subcanales en función de la distancia entre elementos del MEA transmisor y receptor, así como en función de la posición relativa entre ellos.

## II. CARACTERÍSTICAS DE LAS MEDIDAS

### A. Sistema de Medida

Para realizar las medidas se ha utilizado un sistema automático de medida coherente, mostrado en la figura 1 [3]. Un ordenador controla todo el sistema. Por una parte mantiene comunicación bidireccional con el controlador del motor gobernando así el movimiento de la antena receptora en una trayectoria lineal, lo que conformará un array virtual. Por otra parte el computador controla el

análisis de señal (HP 89441A) a través del bus HP-IB sincronizando el desplazamiento de la antena receptora con la adquisición de muestras de la señal multicamino por el analizador de señal a cada instante.

El analizador de señal, HP89441A, lleva incorporada una fuente de RF que hace que sea posible su uso como transmisor y receptor. Se transmite una señal CW con un nivel de potencia de 13dBm. Las antenas utilizadas, tanto en transmisión como en recepción, son omni-direccionales de banda ancha, polarizadas verticalmente, con una ganancia típica de 0dB.

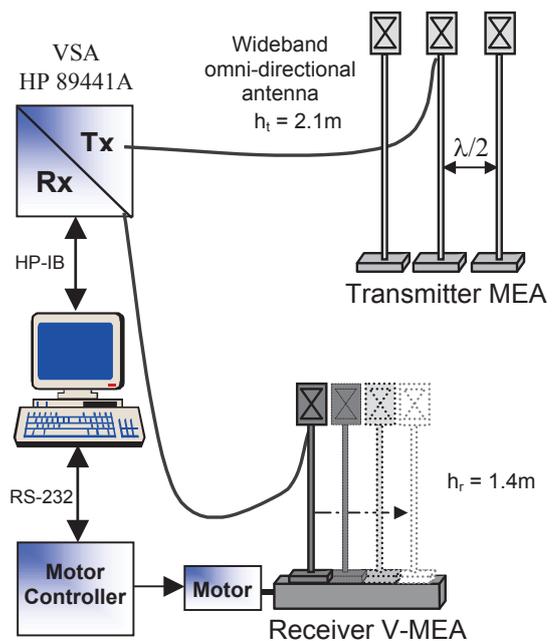


Figura 1.- Sistema de Medida

El analizador está configurado para medir la envolvente compleja de la señal en el array virtual con receptores separados aproximadamente 0.05mm.

En el MEA receptor se ha utilizado una única antena con posición variable en una trayectoria recta, formando así un array virtual de múltiples elementos con separación variable. El array transmisor consiste en tres antenas iguales con una separación fija de  $\lambda/2$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda.

Las frecuencias de medida fueron 2 GHz (Banda UMTS) y 2.4 GHz (Banda ISM), dejando para posteriores

campañas de medida la banda de 5GHz (HyperLan II/IEEE 802.11a).

### B. Escenarios

El desarrollo de las medidas se lleva a cabo en dos escenarios interiores típicos distintos:

- Área abierta que corresponde al Hall de la planta -1 de la ETSIT de la Universidad de Cantabria (Figura 2). Este área dispone de unos pocos obstáculos formados por diversas columnas, ascensores, escaleras y dos muros interiores.

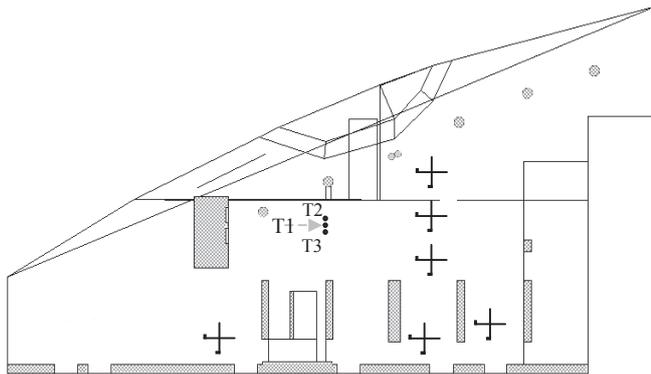


Figura 2.- Área abierta. Transmisores y trayectorias receptoras

- Planta de oficinas correspondiente a la planta -1 del Centro de desarrollo tecnológico de la ETSIT (Figura 3). Este escenario representa una planta de oficinas típica, con un pasillo largo que comunica todas ellas. Presenta mayor número de obstáculos, principalmente las paredes divisoras de las oficinas, y el mobiliario, en particular diversos armarios metálicos.

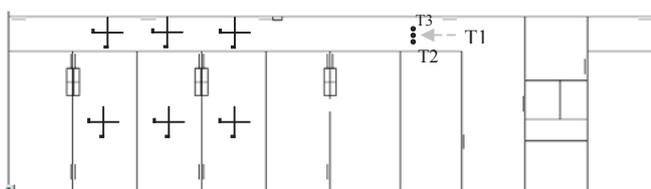


Figura 3.- Área Oficinas, Transmisores y trayectorias receptoras

Las medidas en ambos escenarios se realizaron en un horario en el que la presencia de personas en movimiento era mínima.

### III. RESULTADOS

La figura 4 presenta un ejemplo de coeficiente de correlación espacial, en valor absoluto, de la señal a lo largo del array receptor utilizando una única antena transmisora. Puede verse que los coeficientes de correlación presentan un comportamiento muy variable con respecto a la separación entre los elementos del array receptor, por lo que pequeñas variaciones en el espaciado entre antenas puede llevar a una considerable variación en el valor del coeficiente de correlación. Esta variabilidad depende de la posición relativa de las antenas así como de la presencia o no de línea de vista (LOS). Debido a este comportamiento variable, se ha realizado una caracterización estadística del coeficiente de correlación.

Las figuras 5 – 8 muestran histogramas del coeficiente de correlación promedio en intervalos de  $0.5\lambda$  (siendo el primer intervalo  $0.25\lambda$ - $0.75\lambda$ ).

Los resultados obtenidos en el primer escenario, zona abierta (Hall) se presentan en las figuras 5 y 6. La figura 5 muestra el histograma para situaciones LOS donde los arrays están perpendiculares (a) y paralelos (b) entre sí.

Se puede observar en la figura 5a como los valores de correlación se concentran entre 0.7-0.9 (Ver Tabla 1) con una desviación típica en torno a 0.05. Sin embargo cuando los arrays están paralelos entre sí, Figura 5b, los valores medios de correlación cae más rápidamente al aumentar la separación entre elementos, aunque con una mayor dispersión (desviación típica en torno a 0.1).

La figura 6 muestra los histogramas para el promedio de las situaciones NLOS con arrays perpendiculares (a) y paralelos (b). En este caso, se puede observar que los valores de correlación caen rápidamente, con unos valores medios entre 0.5 y 0.3, pero con una mayor dispersión (desviación típica entre 0.15-0.2).

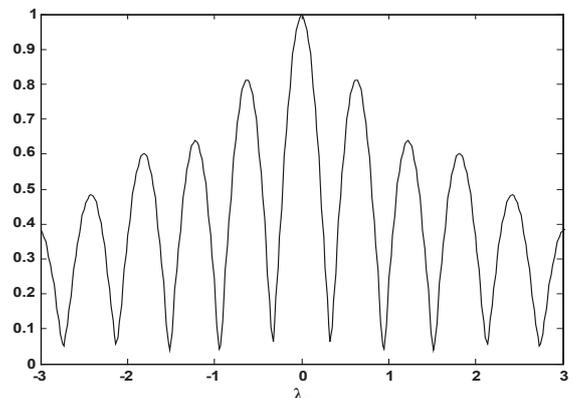


Figura 4.- Coeficiente de Correlación

Las figuras 7 y 8 muestran los resultados para el segundo entorno, un área con más obstáculos, formado por un pasillo y varias oficinas.

Los resultados de la situación LOS se muestran en las figuras 7a y 7b. Para una posición perpendicular entre los arrays (figura 7a), los valores medios del coeficiente de correlación se concentran en torno a 0.84 y 0.7 (similar al caso del entorno abierto, pero con una mayor dispersión (entre 0.1 y 0.2)). Sin embargo cuando los arrays están paralelos entre si (figura 7b), los valores medios del coeficiente de correlación son mucho menores que en el caso anterior (0.65-0.3) aunque también con mucha variabilidad (desviaciones típicas entre 0.2 y 0.15).

Las situaciones NLOS (dentro de las oficinas) presentan unos valores medios de correlación pequeños, menor de 0.3 para el caso de arrays perpendiculares (figura 8a) y algo más alto en el segundo caso pero con una rápida caída (coeficiente de correlación de 0.58 en el intervalo 0.25-0.75 que cae rápidamente en el siguiente intervalo a 0.34). Ambos casos presentan una variabilidad similar, con desviaciones típicas en torno a 0.1.

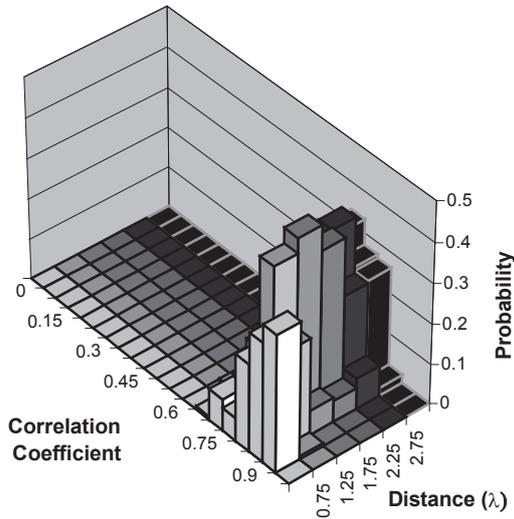


Figura 5a LOS MEAs Perpendiculares.

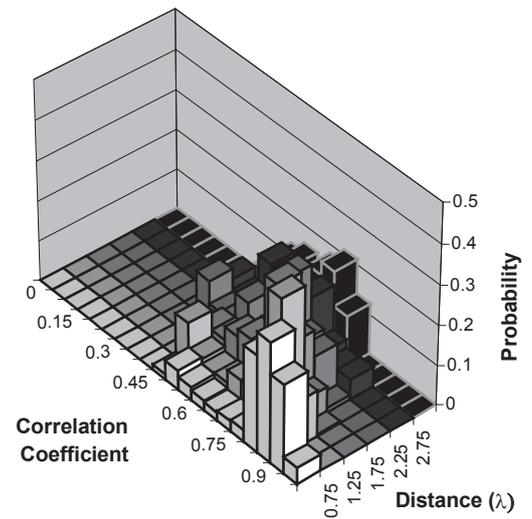


Figura 6a NLOS MEAs Perpendiculares

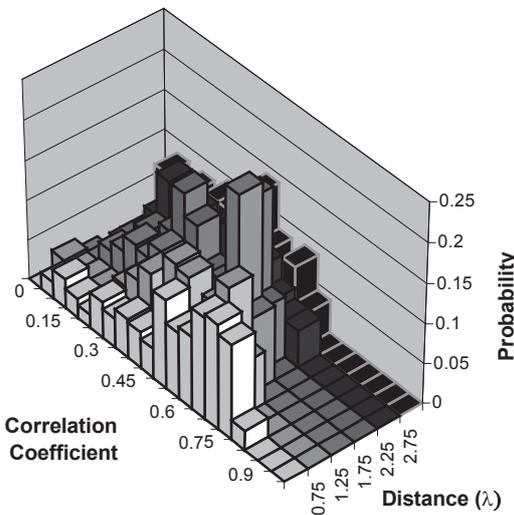


Figura 5b LOS MEAs Paralelos

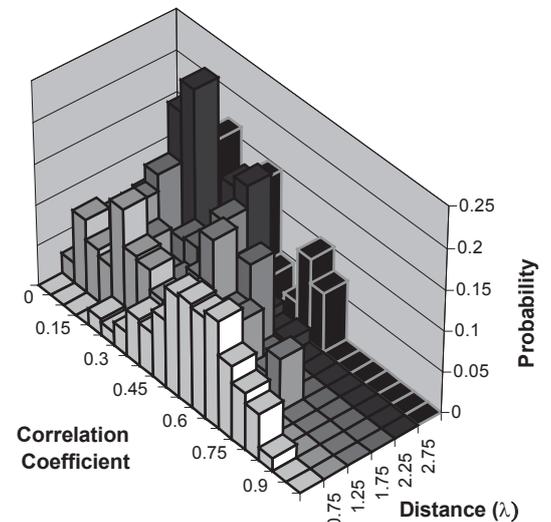


Figura 6b NLOS MEAs Paralelos

Por tanto, para los escenarios analizados a 2 y 2.4 GHz y considerando una separación entre elementos del array de  $\lambda/2$  a  $2\lambda$  se puede observar que en situaciones LOS tendiendo la dirección de llegada a “end-fire”(arrays perpendiculares) los coeficientes de correlación, en ambos escenarios, son muy elevados (0.85-0.75). Por el contrario, si la dirección de llegada tiende a “broadside”(arrays paralelos) el coeficiente cae más rápidamente. Además, en el entorno abierto los valores de correlación son mayores que en el entorno de oficinas debido a que este último tiene mayor cantidad de obstáculos y por tanto la dispersión angular ( $\Delta_s$ ) de la señal recibida es mayor (menor correlación).

Para la situación NLOS en ambos escenarios los valores de coeficiente de correlación son pequeños debido a que no existe un rayo directo predominante por lo que la señal recibida tiene un PAS (Power Azimut Spectrum) más uniforme en potencia y por tanto menos correlado.

#### IV. CONCLUSIONES

De la observación del conjunto de medidas realizadas se pueden establecer las siguientes conclusiones. Por una parte, los valores de correlación espacial medidos para separaciones entre antenas entre  $\lambda/2$  y  $2\lambda$  son generalmente mayores de 0.5 (un valor considerado como límite para asumir que un canal está correlado o no [4]). Este hecho se da principalmente en situaciones LOS donde el rayo directo prevalece sobre el scattering. La elevada correlación entre subcanales lleva a una disminución del número de subcanales efectivos y por tanto a la degradación del rendimiento del sistema MIMO.

Por otra parte, los coeficientes de correlación varían enormemente con la distancia, es decir variaciones en la separación entre antenas del orden de  $\lambda/4$  pueden producir variaciones significativas en el coeficiente de correlación. Además, se producen variaciones considerables de la correlación con la posición y orientación relativa de los arrays.

Tabla 1 Estadística de los coeficientes de correlación en intervalos de 0.5λ para 2GHz

Área Abierta – may	Media	0.837037	0.788066	0.769342	0.759465	0.751709	0.73642	Perpendicular	LOS
	Desv. Tip.	0.062416	0.053687	0.045092	0.050235	0.053482	0.053679		
Paralelo	Media	0.804115	0.711728	0.656996	0.588477	0.568162	0.562346	Perpendicular	NLOS
	Desv. Tip.	0.116902	0.128125	0.096185	0.125179	0.116489	0.098088		
Intervalos	Media	0.52572	0.460082	0.415021	0.373663	0.349786	0.317695	Perpendicular	NLOS
	Desv. Tip.	0.197064	0.174717	0.182435	0.153645	0.161556	0.15946		
Zona Oficinas	Media	0.562963	0.307613	0.334156	0.296502	0.267094	0.31358	Perpendicular	LOS
	Desv. Tip.	0.147708	0.175136	0.202419	0.150848	0.11288	0.15262		
Intervalos	Media	0.841975	0.809259	0.783951	0.747119	0.717735	0.681481	Perpendicular	LOS
	Desv. Tip.	0.118319	0.129841	0.144976	0.172407	0.193858	0.223208		
Intervalos	Media	0.645885	0.382305	0.338477	0.322428	0.309188	0.293827	Paralelo	LOS
	Desv. Tip.	0.191817	0.153074	0.10816	0.142368	0.177924	0.155499		
Intervalos	Media	0.336626	0.218313	0.221605	0.199794	0.176923	0.152675	Perpendicular	NLOS
	Desv. Tip.	0.166593	0.118043	0.091379	0.094444	0.077083	0.06669		
Intervalos	Media	0.587243	0.337449	0.266667	0.303498	0.308333	0.308025	Paralelo	NLOS
	Desv. Tip.	0.078186	0.090931	0.142508	0.139658	0.118416	0.136111		

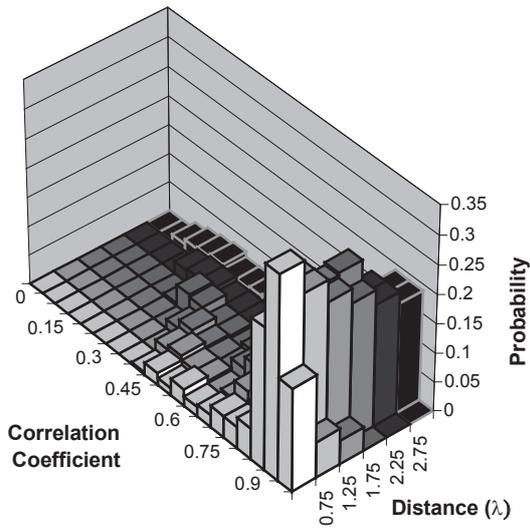


Figura 7a LOS MEAs Perpendiculares

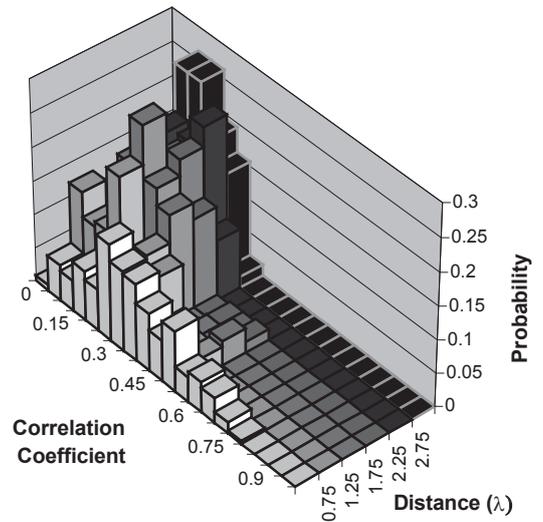


Figura 8a NLOS MEAs Perpendiculares

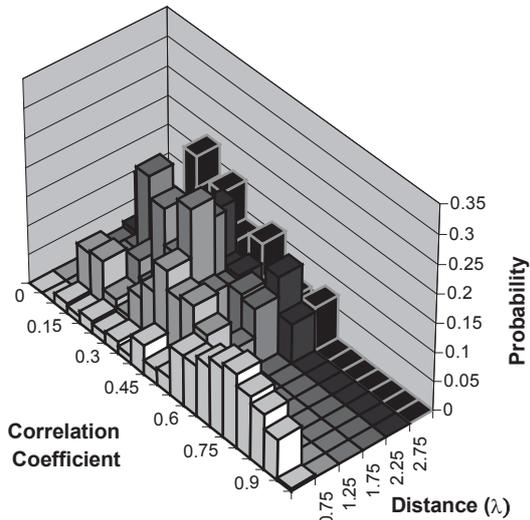


Figura 7b LOS MEAs Paralelos

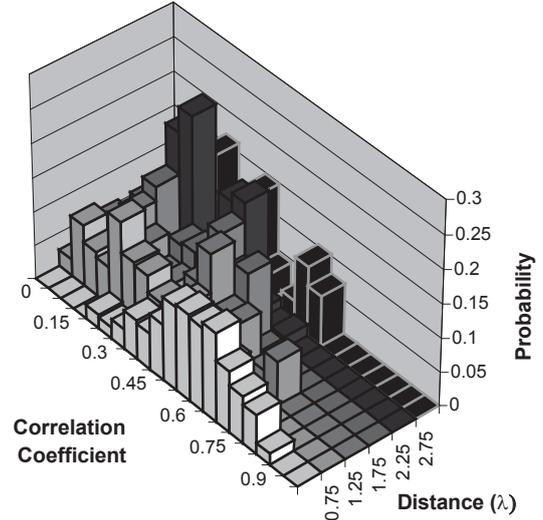


Figura 8b NLOS MEAs Paralelos

REFERENCIAS

[1] G. J. Foschini, 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] J. Kermaol et al "A Stochastic MIMO Radio Channel Model With Experimental Validation" *IEEE JSAC*, Vol. 20, No. 6, pp. 1211-1226. Aug. 2002.

[3] S. Loredó, L. Valle, R. P. Torres. "Accuracy Analysis of GO/UTD Radio-Channel Modeling in Indoor Scenarios at 1.8 and 2.5 GHz". *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 43, No. 5, October 2001, pp. 37-51.

[4] Jr. W. C. Jakes, "Microwave Mobile Communications", John Wiley and Sons, Inc, 1974