

Caracterización espacial de canal mediante sistemas multiantena con OFDM

Jonathan Mora Cuevas, Carlos Gómez Calero, Leandro de Haro Ariet.

{jmora,carlosgc,leandro}@gr.ssr.upm.es

Dpto. de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones. Universidad Politécnica de Madrid.

C. Universitaria, ETSI Telecomunicación, CP 28028, Madrid, España.

Abstract- A key point for satisfying the higher data rates that the new wireless communication services demand is to explore and apply several diversity schemes simultaneously. The frequency diversity given by OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) systems increase information of received signals, i.e. Direction-of-arrival (DoA) profiles. In this paper, a proper spatial channel characterization in terms of DoA profiles is conducted using MUSIC algorithm. A MIMO-OFDM testbed is been designed to carried out a measurement campaign in several propagation environments. In order to facilitate the repeatability of taking measurements in the experimental campaign, an automatic positioning system is presented. Several virtual array geometries are studied in terms of DoA resolution.

I. INTRODUCCIÓN

Un punto fundamental para satisfacer la creciente tasa de transmisión de datos que los nuevos sistemas de comunicaciones demandan es explorar y aplicar distintos esquemas de diversidad en forma simultánea. La técnica de modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) proporciona mayor diversidad en el dominio de la frecuencia. Esta diversidad permite estimar algunos parámetros de las señales incidentes como los ángulos de llegada (DoA, *Direction-of-Arrival*).

Algunos estudios teóricos han considerado el problema de la caracterización espacial/temporal de canales OFDM mediante algoritmos basados en subespacios [1]. En la presente contribución, se pretende proporcionar datos experimentales para validar los resultados de simulación presentados en este artículo. Los resultados de medida obtenidos con el testbed MIMO-OFDM serán presentados en el Symposium URSI2008.

El artículo se divide en las siguientes secciones. La sección 2 describe las características generales del testbed MIMO-OFDM mientras que las opciones de configuración de la modulación OFDM se describen en la sección 3. El sistema de posicionamiento automático se ve en la sección 4, seguido del algoritmo de estimación de DOA empleado. La sección 6 muestra los resultados de simulación de la caracterización espacial finalizando con las conclusiones.

II. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE MEDIDA

El testbed MIMO-OFDM tiene un esquema de $M_t \times M_r$ antenas en transmisión y en recepción respectivamente, mostrado en la Fig. 1. El número máximo de antenas en cada extremo del enlace de comunicación es de 4 siendo la frecuencia de operación de 2.45GHz, lo cual permite estudiar las características del canal en aplicaciones WLAN.

La arquitectura del testbed de medida se divide en 3 módulos principales. La etapa del procesado de señal, la de RF-IF y el módulo de antena. El modo de operación está basado en un procesado de señal *offline*. Respecto a las señales transmitidas, estas son generadas en el entorno de programación MATLAB. Las señales OFDM generadas son transmitidas independientemente por cada una de las antenas del transmisor. Una descripción completa del testbed MIMO puede encontrarse en [2].

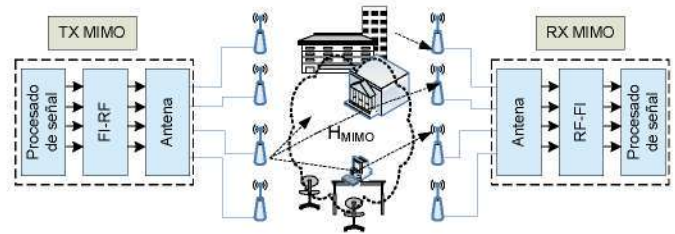


Fig. 1. Testbed MIMO-OFDM.

III. CONFIGURACIÓN OFDM

La modulación OFDM se configuró con una frecuencia de muestreo F_s de 6.25MHz, la longitud del símbolo OFDM útil ($T_u = N_s/F_s$) es de 163.84 μs , un intervalo de guarda ($T_g = T_s/8$) de 40.96 μs , una longitud de símbolo OFDM (T_s) igual a 184.32 μs con un interespaciado entre subportadoras ($1/T_u$) de 6.1kHz y 768 subportadoras (N_s). El ancho de banda es de 4687.5 kHz. Se generó una señal OFDM para ser transmitida continuamente. El número de portadoras totales fue de 1024 de las cuales 128 son portadoras nulas colocadas al inicio y al final de las 768 subportadoras. Al inicio de cada trama se agregó un intervalo de guarda de longitud 128 correspondiente al símbolo nulo. Este símbolo nulo permite evitar la interferencia entre símbolos (ISI, *InterSymbol Interference*) en el sistema de comunicaciones. La estructura del símbolo OFDM se puede visualizar en la Fig. 2.

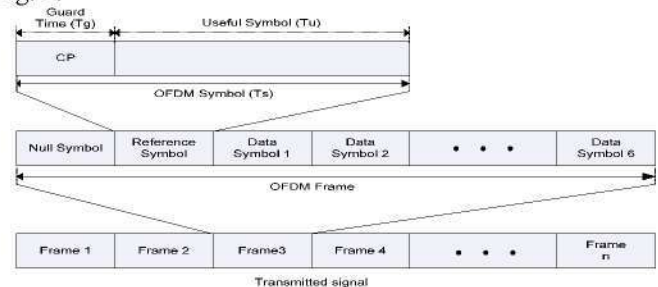


Fig. 2. Símbolo OFDM.

IV. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO AUTOMÁTICO

El sistema de posicionamiento está basado en un scanner plano, mostrado en la Fig. 3. La posición del soporte de la antena es controlada por un par de motores paso a paso que permite movimientos de translación con una resolución de 0.006cm. El sistema de posicionamiento tiene 2 brazos a lo largo de 2 ejes ortogonales, con movimiento independiente uno del otro de tal manera que es muy flexible en cuando a la geometría de array virtual que se puede formar. La longitud de los brazos es de 77.8cm.

El sistema de posicionamiento proporciona 2 posibles formas de evaluar distintos arrays de antenas. La primera consiste en montar una antena en el soporte y desplazarla a lo largo del eje del brazo de tal manera que la antena reciba las señales incidentes en cada punto donde el soporte se desplace. La principal ventaja de este método es que el efecto del acoplamiento mutuo se puede despreciar en el modelo de datos de señal. La segunda opción incluye el efecto del acoplamiento mutuo entre antenas. Esta opción consiste en montar un sistema de múltiples antenas en el soporte de la antena, de tal forma que las señales recibidas en cada antena estarán acopladas de antena a antena, en cada punto de medida. El sistema dispone de hasta 4 puertos en el trasmisor como en el receptor.

El scanner es controlado por software. Una unidad de control (GCD) recibe los comandos de un PC que se conecta a través del puerto serie. La GCD transfiere los comandos a un motor paso a paso que se encarga de mover el soporte de la antena a lo largo de la dirección de un brazo. El otro brazo del scanner tiene la misma estructura de funcionamiento. El movimiento es independiente en ambas direcciones.

Los errores de posicionamiento de la antena se traducen en errores en la estimación de la fase de las señales recibidas en cada punto de medida. Para el caso de un array virtual plano con un espaciado entre antenas de media longitud de onda y sin error de posicionamiento, la diferencia de fase de la señal recibida en cada posición de antena se ilustra en la Fig. 4 con los puntos negros. Los círculos negros corresponden a la fase en cada posición de antena con una varianza en la posición de 0.1. Este error produce una no linealidad en la fase relativa estimada de las señales recibidas, lo cual conduce a errores en la estimación de los perfiles de DoA. Al desplazar mecánicamente el soporte de la antena, el error por posicionamiento puede reducirse en el modelo de datos de señal.



Fig. 3. Scanner plano.

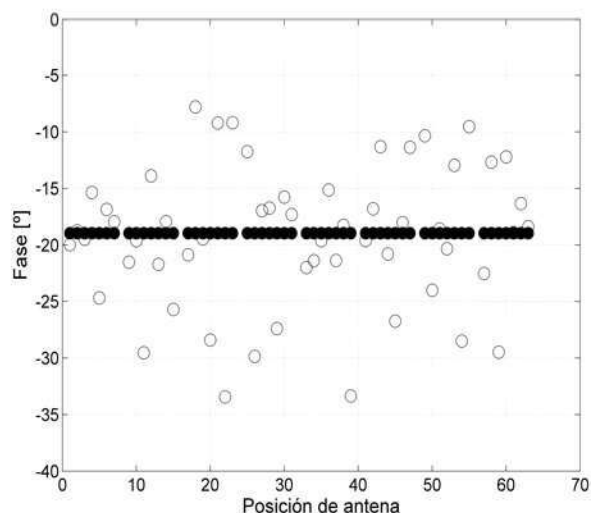


Fig. 4. Fase relativa recibida.

La programación de rutinas de movimiento del scanner permite probar distintas configuraciones de array, tanto virtuales como no virtuales. Con este fin, se desarrolló una interfaz gráfica, mostrada en la Fig. 5, de fácil manejo para configurar tanto la geometría de array que puede formarse, como el número de elementos de array y la separación en fracciones de longitud de onda de las señales incidentes.

En relación con la caracterización de canal, el elevado número de *snapshots* medidos en cada punto de medida mejora la estimación de la matriz de covarianza muestreada en relación a la matriz de covarianza teórica.

V. ALGORITMO DE ESTIMACIÓN DE DOA

Los algoritmos de estimación de DoA que emplean la información contenida en la matriz de covarianza de las señales incidentes poseen mayor precisión. Estos son los algoritmos basados en subespacios como MUSIC [3].

A. Algoritmo MUSIC aplicado para arrays virtuales

El algoritmo MUSIC (MUltiple SIgnal Classification) [4] explota la información contenida la matriz de covarianza de entrada expresada como:

$$\mathbf{R}_{xx} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \mathbf{x}_n(t) \cdot \mathbf{x}_n^H(t) = \mathbf{A} \mathbf{R}_{ss} \mathbf{A}^H + \sigma^2 \mathbf{I}. \quad (1)$$

La eigendescomposición de la matriz de covarianza de entrada \mathbf{R}_{xx} permite dividir en dos subespacios, uno asociado al subespacio de señal y el otro asociado al subespacio de ruido. Esto es posible solo si las señales incidentes no están completamente correladas entre sí. De otra forma, la matriz de covarianza de las señales de entrada \mathbf{R}_{ss} sería singular y disminuiría el rendimiento del algoritmo en términos de resolución.

El algoritmo MUSIC realiza una búsqueda en el espacio angular de interés para encontrar vectores de enfoque que sean ortogonales a aquellos vectores que expanden el subespacio del ruido. El espectro de potencia MUSIC es

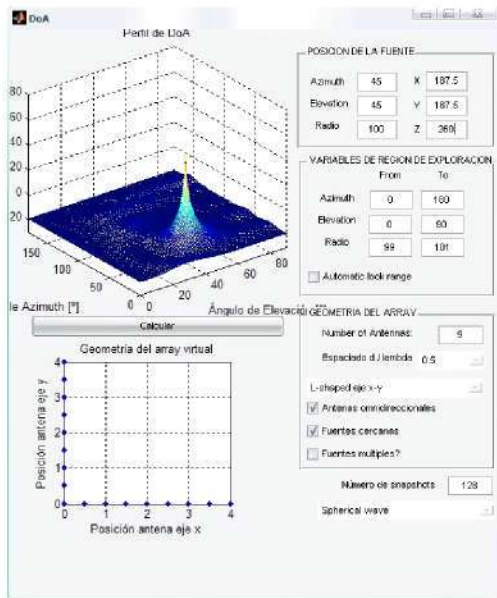


Fig. 5. Interfaz de la aplicación de DoA

$$P_{MUSIC}(\varphi) = \frac{1}{AV_n V_n^H A^H} \quad (2)$$

cuyos picos corresponden a la DoA de las fuentes buscadas.

VI. CARACTERIZACIÓN ESPACIAL

La caracterización espacial del canal ha sido analizada en términos del perfil de los ángulos de llegada. Para obtener estos perfiles, los algoritmos basados en subespacios, como el MUSIC, han sido empleados para extraer la información de la DoA contenida en la matriz de covarianza.

Las geometrías de array virtual que comparamos son las que se ilustran en la Fig. 6. El espaciado entre elementos es de media longitud de onda con un error en el posicionamiento de 0.1 en las 3 geometrías. El número de elementos de antena para las 3 configuraciones fue de 8 a lo largo de cada eje con una SNR en el receptor de 10dB.

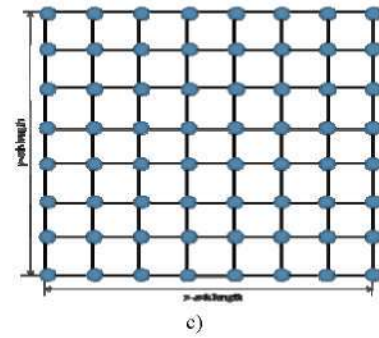
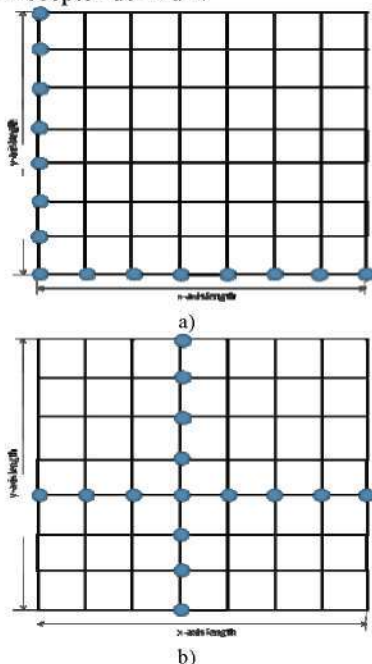


Fig. 6. Geometrías estudiadas.

A. Pseudospectro espacial

Como resultado del error de fase en la señal recibida por el array virtual de antenas, los algoritmos de estimación de llegada sufren una pérdida de resolución de las fuentes. Considerando una varianza de 0.1 en la posición de los elementos, la Fig. 8 muestra una mayor dispersión en el haz del pseudospectro espacial, además de una disminución en la amplitud del mismo en comparación con la Fig. 7 que muestra el caso sin variación en la posición.

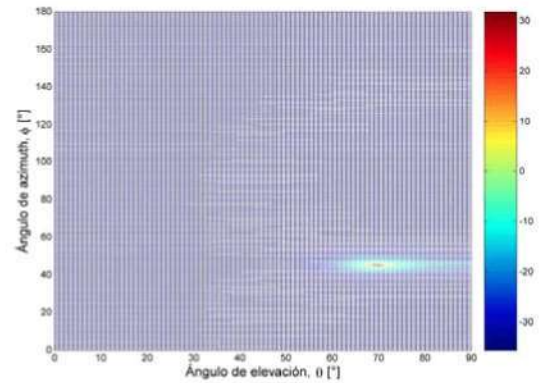


Fig. 7. Estimación de la DoA con un array virtual plano sin varianza en la posición de los elementos.

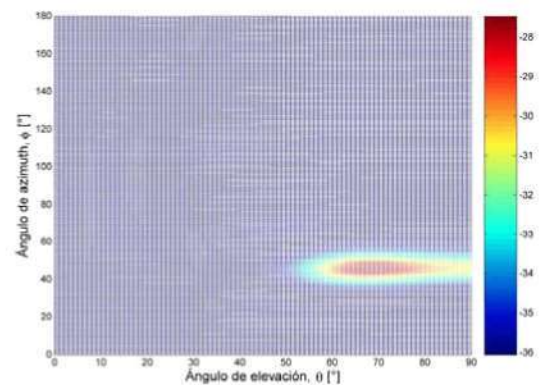
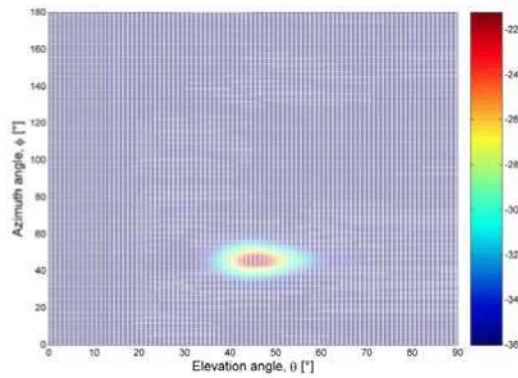
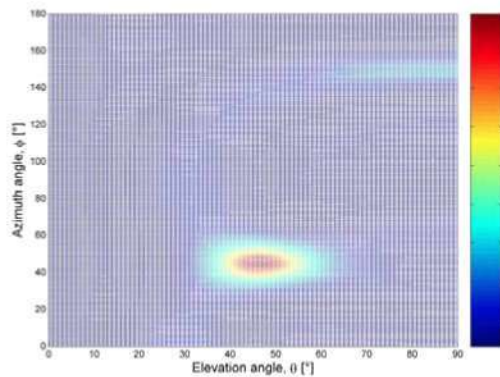


Fig. 8. Estimación de la DoA con un array virtual plano con varianza en la posición de los elementos.

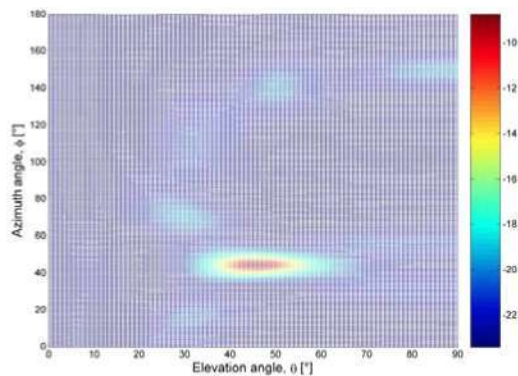
Con relación al desempeño de las geometrías analizadas, la Fig. 9 muestra la dispersión de haz para cada una de ellas. Así, la geometría en L mejora el enfoque en el plano de azimuth con respecto a las otras 2 geometrías, ya que el haz se estrecha en dicho plano. Por otra parte, el array plano produce haces en el plano de elevación con menos dispersión que los otros 2 arrays.



a)



b)



c)

Fig. 9. Pseudoespectro de potencia angular: a) array plano, b) array en cruz y c) array en L.

Considerando los errores de posicionamiento de la antena, se compara en la Fig. 10 y Fig. 11 las curvas de nivel de los perfiles de DoA obtenidos para 3 configuraciones distintas de array virtual con el mismo tamaño de apertura de array.

La configuración de array plano virtual reduce los picos falsos producidos por el algoritmo MUSIC en comparación con las otras 2 geometrías de array. Además, el nivel de ruido es menor en el perfil de array plano ya que el número de elementos de array es mayor que las otras dos configuraciones, como puede verse en los cortes de azimuth y de elevación de las Fig. 10 y 11 respectivamente. Por otra parte, la configuración del array en forma de cruz produce un haz en el plano de azimuth con mayor dispersión que el array plano y el array en forma de L, como puede verse en la Fig. 10.

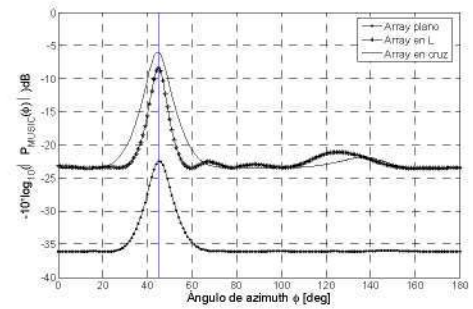


Fig. 10. Perfil en azimuth de la DoA

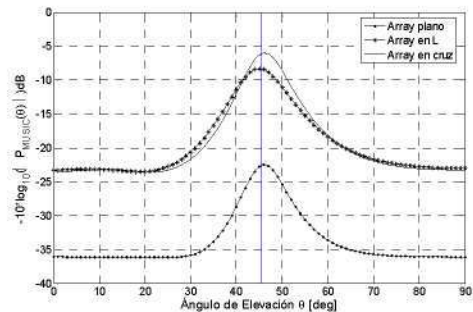


Fig. 11. Perfil en Elevación de la DoA

Queda por obtener información de canal a partir de la diversidad por frecuencia que aporta el sistema de medida MIMO-OFDM mencionado en la primera parte. Así mismo, se llevará a cabo una campaña de medidas cuyos resultados serán presentados en el Symposium URSI2008.

VII. CONCLUSIONES

El presente trabajo se presentó la caracterización espacial del canal mediante la estimación de la DoA tanto en azimuth como en elevación. Para ello, se diseñó un sistema de posicionamiento automático basado en un scanner para evaluar distintas configuraciones de array así como para evaluar distintas antenas (arrays virtuales, antenas para MIMO). Se presentaron las características principales del diseño de un testbed MIMO con OFDM con el objetivo de realizar distintas campañas de medida para validar los resultados presentados.

AGRADECIMIENTOS

J. Mora agradece el apoyo recibido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, México) para la realización del presente trabajo.

REFERENCIAS

- [1] M. Oziewicz, "On application of MUSIC Algorithm to Time Delay Estimation in OFDM Channels", IEEE Trans. On Broadcasting, vol. 51, no. 2, June, 2005.
- [2] Carlos Gómez-Calero, Laura García-García, Leandro de Haro-Ariet, "New test-bed for evaluation of antenna and system performance for MIMO systems", Proceedings of EuCAP 2006, Nice, France, November 2006.
- [3] L. C. Godara, "Application of antenna arrays to mobile communications, part II: beam-forming and direction-of-arrival considerations", Proc. IEEE, vol. 85, no. 8, Aug. 1997.
- [4] R. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation", IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. AP-34, pp. 276-280, mar, 1986.