

# Estudio de las Pérdidas de Propagación en Función de la Frecuencia en Interiores para Canales MIMO-UWB

Concepción García Pardo, Andrés Garrido Cervantes, José María Molina García-Pardo,  
José-Víctor Rodríguez, Juan Pascual García, Leandro Juan Llácer  
Grupo Sistemas de Comunicaciones Móviles (SiCoMo)  
Dpto. Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC)  
Plaza del Hospital, 1. Antiguo Cuartel de Antigones. 30202 Cartagena (Murcia)  
Teléfono: 968 33 8867 Fax: 968 33 8867  
E-mail: conchi.gpardo@upct.es

**Resumen.** En este artículo se presentan parte de los resultados extraídos de una campaña de medidas para sistemas Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Ultra-Wideband (UWB) realizada en la Universidad Politécnica de Cartagena. Se analiza el canal MIMO-UWB, y más concretamente, las pérdidas de propagación, en interiores en caso de visión directa (LoS) y para diversas polarizaciones de los arrays transmisores y receptores. Debido al gran ancho de banda empleado por las comunicaciones UWB, se analiza además, el comportamiento de las pérdidas de propagación en función de la frecuencia.

## 1 Introducción

Los sistemas de comunicación Ultra-Wideband (UWB) han centrado recientemente el interés de la comunidad científica [1]-[2]. Las señales UWB se definen como aquellas cuyo ancho de banda absoluto es mayor de 500 MHz y/o cuyo ancho de banda relativo es mayor del 20% de la frecuencia centra. Los organismos reguladores han restringido fuertemente la potencia transmitida por estos sistemas, a consecuencia de la interferencia con sistemas de comunicaciones ya existentes. Por un lado, en Estados Unidos, la FCC (Federal Communication Commission) establece para interiores, una potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE) máxima de -41.3 dBm/MHz en la banda de 3.1 a 10.6 GHz [3]. Por otro, en Europa, la CEPT (European Conference of Postal and Telecommunication Administrations), impone límites incluso más restrictivos para las emisiones UWB [4]. Estas restricciones hacen necesario un estudio intensivo del canal de propagación con el fin de lograr el mejor comportamiento posible de los futuros dispositivos UWB.

Los sistemas MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) se basan en el uso de múltiples antenas en transmisión y múltiples antenas en recepción. Dichos sistemas, son considerados como una de las mejores técnicas para aprovechar los recursos de espectro disponible y potencia. Además, se ha demostrado que el uso de la polarización espacial en sistemas MIMO puede reportar mejoras significativas en el comportamiento de dichos sistemas [5]-[8].

El trabajo aquí presentado se basa en los resultados extraídos de una intensiva campaña de medidas en los sótanos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación. Dichas medidas se han realizado para un sistema MIMO 4x4 en la banda de 2 a 5 GHz para varias combinaciones de polarizaciones en las antenas transmisoras y receptoras. Debido al gran ancho de banda de estos

sistemas, que los diferencian tanto de los sistemas de banda estrecha como de los clásicos sistemas de banda ancha, las pérdidas de propagación experimentan, además de una variación con la distancia entre transmisor y receptor, una variación con la frecuencia. Se analizan, por tanto, las pérdidas de propagación en caso de visión directa, estudiándose tanto el efecto de la polarización como el de la frecuencia. Este artículo se organiza como sigue: en el capítulo II se presentan tanto el equipo de medidas empleado como el entorno donde se han realizado dichas medidas. En la sección III se analizan las pérdidas de propagación teniendo en cuenta tanto el efecto de la polarización como el efecto de la frecuencia. Finalmente en el capítulo IV se presentan las conclusiones extraídas de este trabajo.

## 2 Entorno, Equipo y Proceso de Medidas

La campaña de medidas se ha desarrollado en los sótanos del edificio de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación. Consiste en un pasillo principal de 50 m., tres pasillos perpendiculares y laboratorios, según se muestra en la Fig. 1.

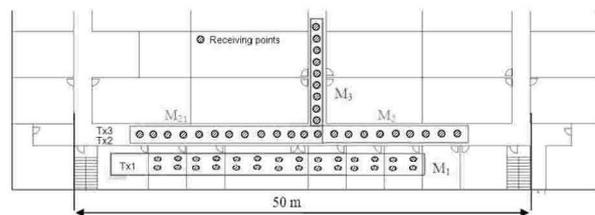


Fig. 1. Plano del entorno donde se realizan las medidas.

El sistema de medidas empleado para realizar las medidas está basado en un analizador de redes multipuerto (VNA), y un conmutador según se muestra en la Fig. 2. Las antenas receptoras están conectadas directamente al VNA.

Un puerto del VNA se configura como transmisor y se conecta a un enlace óptico (RF/OF y OF/RF) que transporta la señal hasta el conmutador, que se encarga de conmutar la señal entre las antenas transmisoras. Todo el proceso de medida está controlado por un PC.

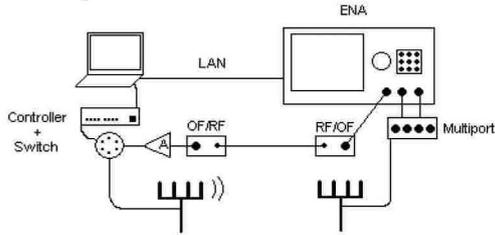


Fig. 2. Diagrama de bloques del sistema de medidas.

Finalmente, el sistema MIMO 4x4 se configura como sigue: se miden 801 puntos en frecuencia en la banda de 3 a 5 GHz, obteniéndose una resolución en frecuencia de 375 kHz. Además, cada medida se repite 5 veces para asegurar la estacionariedad del canal. Se realizan medidas en tres escenarios, caso de visión directa (LoS) a lo largo del pasillo principal (medidas  $M_{21}+M_{22}$ ); a lo largo del pasillo central perpendicular al pasillo principal (medidas  $M_3$ ); y en caso de no visión directa (NLoS) a lo largo de 6 laboratorios consecutivos (medidas  $M_1$ ).

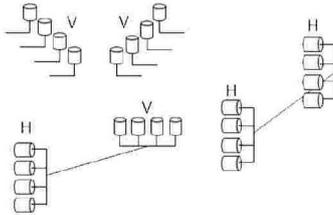


Fig. 3. Diferentes polarizaciones de los arrays.

Para cada posición (par transmisor-receptor) y teniendo en cuenta la polarización, se han realizado medidas para cuatro combinaciones de los arrays de antenas transmisoras y receptoras. Si se define V como polarización vertical y H como horizontal, las cuatro combinaciones medidas son VV, HH, o polarizaciones copolares, y HV y VH, o polarizaciones cruzadas, según se muestra en la Fig. 3 (primera letra transmisor, segunda letra receptor).

### 3 Resultados

Para cada polarización y posición, se define la matriz de transferencia del canal MIMO para la frecuencia  $f$ , en el instante  $t$ , como  $G(f,t)$ , de las siguientes dimensiones: número de antenas transmisoras ( $m=4$ ) x número de antenas receptoras ( $n=4$ ) x número de puntos en frecuencia medidos ( $f=801$ ) x número de repeticiones ( $r=5$ ). De esta manera, se calculan las pérdidas de propagación para cada combinación de polarizaciones como:

$$L_{VV,HH,VH,HV} = -20 \log_{10} \left( E_{n,m,f,t} \{ G(f,t) \} \right) \quad (1)$$

donde  $E_{n,m,f,t} \{ \}$  es la media con respecto a todas las combinaciones de antenas transmisoras y receptoras, puntos en frecuencia y repeticiones.

El trabajo aquí presentado se basa, en el análisis de un subconjunto de las medidas realizadas:

la propagación en caso de visión directa en el pasillo principal, de longitud 40 metros. Tal y como muestra la Fig. 4, empleando polarizaciones cruzadas, se experimentan unas pérdidas de propagación unos 10 dB superiores a las que se obtienen utilizando polarizaciones copolares, debido al XPD de las antenas. Además, se observa que las polarizaciones HV y VH siguen el mismo comportamiento, mientras que las polarizaciones HH y VV son ligeramente diferentes. Por tanto, se pretende modelar las polarizaciones cruzadas con un único modelo y para las copolares dos modelos (uno para HH y otro para VV). En ambos casos, se modela mediante un modelo lineal de una pendiente según:

$$L(d) = L_0 + 10n \log(d) \quad (2)$$

Donde  $L_0$  son las pérdidas a distancia de referencia (1 m),  $n$  es la pendiente de pérdidas, y  $d$  es la distancia entre transmisor y receptor.

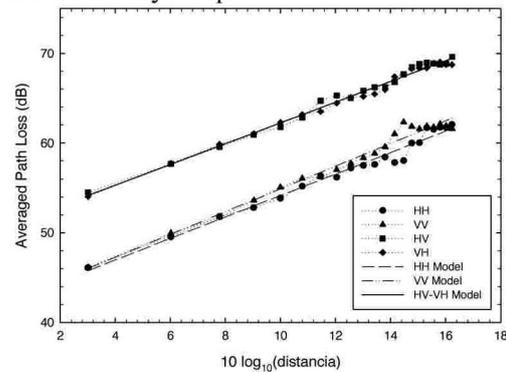


Fig. 4. Pérdidas de propagación medias para  $M_{21}+M_{22}$  y  $Tx_2$  y sus modelos ajustados.

En la Fig. 4 se presentan las pérdidas de propagación obtenidas de las medidas junto con sus modelos obtenidos, cuyos parámetros se presentan en la Tabla 1.

Polarización	$L_0$	$n$
Cruzadas (VH-HV)	50.68	1.15
Copolar VV	42.17	1.20
Copolar HH	42.20	1.27

Tabla 1. Parámetros del modelo de pérdidas para el pasillo.

Para estudiar la influencia de la frecuencia en las pérdidas de propagación, se han separado las medidas proporcionadas por el sistema de medidas, en las correspondientes a dividir todo el ancho de banda de medida en seis intervalos de 500 MHz. En este caso, se calculan las pérdidas de propagación para cada intervalo  $i$  como:

$$L_{interv,i} = -20 \log_{10} \left( E_{n,m,f,i} \{ G(f,t) \} \right) \quad (3)$$

donde  $E_{n,m,f,i} \{ \}$  es la media con respecto a todas las combinaciones de antenas transmisoras y receptoras, puntos en frecuencia que comprenden el intervalo  $i$ , polarizaciones y repeticiones. Además, se ha de eliminar el efecto introducido por las antenas debido a la variación de la ganancia con la frecuencia, empleando para ello, las características proporcionadas por el fabricante y que se muestran en la Tabla 2. Para cada intervalo, se toma como valor de la ganancia los presentados en la Tabla 3, calculados mediante la media dada por los valores extremo que comprenden dicho intervalo.

Frecuencia (GHz)	Ganancia	Ganancia (dBi)
2.0	1.94	2.88
2.5	2.58	4.12
3.0	1.32	1.20
3.5	1.89	2.76
4.0	1.26	0.99
4.5	1.72	2.34
5.0	2.47	3.93

Tabla 2. Ganancia de la antena en función de la frecuencia

Intervalo	Ganancia Tx&Rx (dBi)
2-2.5 GHz	7.1
2.5-3 GHz	5.8
3-3.5 GHz	4.1
3.5-4 GHz	3.9
4-4.5 GHz	3.5
4.5-5 GHz	6.4

Tabla 3. Ganancia a compensar en función del intervalo.

Pérdidas (dB)	Intervalo 1 2-2.5 GHz	Intervalo 2 2.5-3 GHz	Intervalo 3 3-3.5 GHz	Intervalo 4 3.5-4 GHz	Intervalo 5 4-4.5 GHz	Intervalo 6 4.5-5 GHz
Máximo	59.9	62.7	65.9	67.8	68.4	68,6
Mínimo	36.9	40.2	41.4	40.5	42.5	43,2
Media	54.4	57.5	59.6	60.2	61.6	61.9

Tabla 4. Pérdidas máximas, mínimas y medias en función del intervalo analizado.

En la Tabla 4 se muestran las pérdidas máximas, mínimas y medias para todas las polarizaciones para cada uno de los seis intervalos. Se observa cómo las pérdidas de propagación aumentan con la frecuencia, lo cual es debido a una reducción del área efectiva de la antena. Considerando espacio libre, la diferencia de atenuación entre la máxima y la mínima frecuencia del ancho de banda bajo estudio se puede calcular como:

$$20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda_{5\text{GHz}}} \right) - 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda_{2\text{GHz}}} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{5}{2} \right) = 8\text{dB} \quad (3)$$

Observando la Tabla 4 se observa que está en concordancia con lo obtenido en (5).

## 4 Conclusiones

En este artículo se han presentado los resultados extraídos en caso de visión directa de una campaña de medidas del canal MIMO-UWB, realizada en los sótanos de la Escuela de Telecomunicaciones para varias polarizaciones.

Para sistemas UWB, las pérdidas de propagación varían tanto con la distancia entre transmisor y receptor como con la frecuencia del ancho de banda ocupado. Para modelar la variación con la distancia, se ha considerado que las pérdidas de propagación son lineales con el logaritmo de la distancia entre transmisor y receptor, observándose un gran grado de acuerdo entre modelo y medidas.

Para estudiar el efecto de la frecuencia, se ha comprobado, que dicho efecto se puede modelar mediante la relación entre la frecuencia máxima y mínima del ancho de banda medido.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (TEC2007-66698-C04-04), el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio bajo el proyecto CORAGE (TSI-0201100-2009-653), y la Fundación Séneca de la Región de Murcia (08818/PI/08).

## Referencias

- [1] Win, M.Z.; Scholtz, R.A.; , "Impulse radio: how it works," Communications Letters, IEEE , vol.2, no.2, pp.36-38, Feb 1998
- [2] Molisch, A.F.; , "Ultrawideband propagation channels-theory, measurement, and modeling," Vehicular Technology, IEEE Transactions on , vol.54, no.5, pp. 1528- 1545, Sept. 2005
- [3] "First report and order 02-48," Federal Communications Commission, 2002.
- [4] "Commission Decision of the European Communities on allowing the use of the radio spectrum for equipment using ultra-wideband technology in a harmonised manner in the Community-2009/343/EC". Official Journal of the European Union. 2009.
- [5] V. Erceg, P. Soma, D.S. Baum, and S. Catreux, "Multiple-input multiple-output fixed wireless radio channel measurements and modelling using dual-polarized antennas at 2.5 GHz", IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 3, no. 6, pp. 2288–2298, Nov. 2004.
- [6] X. Zhao, S. Geng, L. Vuokko, J. Kivinen, and P. Vainikainen, "Polarization behaviors at 2, 5 and 60 GHz for indoor mobile communications", Wireless Personal Communications, vol. 27, no. 2, pp. 99–115, Nov. 2003.
- [7] P. Kyritsi, D.C. Cox, R.A. Valenzuela, and Wolniansky P.W, "Effect of antenna polarization on the capacity of a multiple element system in an indoor environment," IEEE Journal on Selected areas in Communications, vol. 20, no. 6, pp. 1227–1239, Aug. 2002.
- [8] J.W. Wallace, M.A. Jensen, and Swindlehurst A.L, "Experimental characterization of the MIMO wireless channel: data acquisition and analysis", IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 2, no. 2, pp. 335–343, March 2003.