

Análisis del Canal MIMO-UWB en Interiores para Diferentes Polarizaciones

Concepción García Pardo, María Martínez Quinto, María Teresa Martínez Inglés, 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 y la capacidad del sistema MIMO en función de la distancia entre transmisor y receptor. Debido al gran ancho de banda empleado por las comunicaciones UWB, se analiza además, el comportamiento de ambos parámetros 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 central. 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]-[7].

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. Para caracterizar experimentalmente el canal MIMO-UWB, se analizan parámetros clave como las pérdidas de propagación y la capacidad del sistema MIMO. Dicho análisis se lleva a cabo tanto en función de la distancia transmisor-receptor, como en función de la frecuencia, característica clave de los sistemas UWB, y que los diferencian de los clásicos sistemas de banda ancha. 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 y la capacidad para todas las polarizaciones, en función tanto de la distancia transmisor-receptor, como en función 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. Las medidas aquí analizadas en este caso son el grupo de medidas M_1 según se muestra en la Fig. 1. El transmisor está situado en el centro de uno de los laboratorios (SiCoMo) a una altura de 2 metros. El receptor, en cambio, se ubica sucesivamente a lo largo de 5 laboratorios consecutivos (15 posiciones).

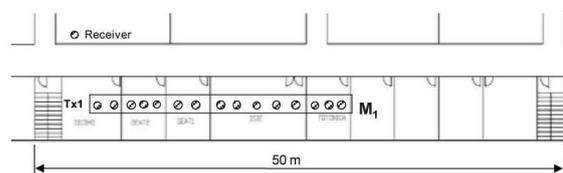


Fig. 1. Plano del entorno donde se realizan las medidas.

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, donde un puerto 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.

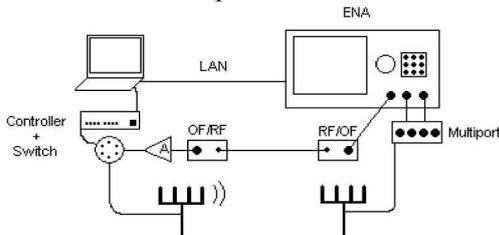


Fig. 2. Diagrama de bloques del sistema de medidas.

Finalmente, el sistema MIMO 4x4 se configura como sigue: se miden 801 puntos en frecuencia en la banda de 2 a 5 GHz, obteniéndose una resolución en frecuencia de 3.75 MHz. Además, cada medida se repite 5 veces para asegurar la estacionaridad del canal.

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).

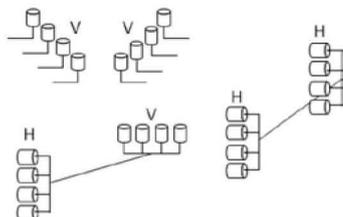


Fig. 3. Diferentes polarizaciones de los arrays.

3 Resultados

3.1 Pérdidas de Propagación

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 receptoras ($n=4$) x número de antenas transmisoras ($m=4$) 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. Tal y como muestra la Fig. 4, empleando polarizaciones

cruzadas, se experimentan unas pérdidas de propagación unos 8 dB superiores a las que se obtienen utilizando polarizaciones copolares, debido al XPD de las antenas.

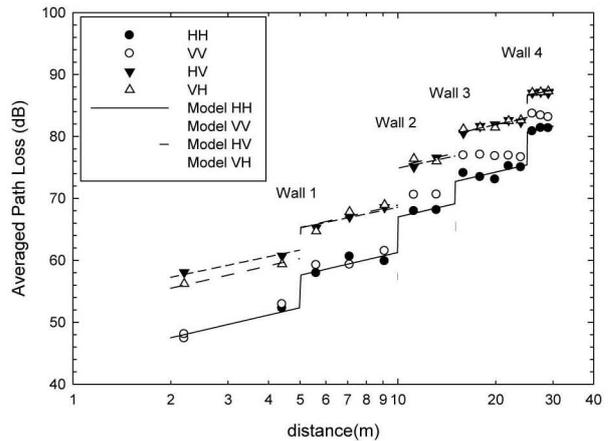


Fig. 4. Pérdidas de propagación medias para M_1 y Tx_1 y sus modelos ajustados.

Según se observa en la figura anterior, las pérdidas de propagación en función de la distancia pueden ser modeladas con una variación lineal con el logaritmo de la distancia, más unas pérdidas extra por cada pared atravesada. Dicho modelo es descrito como:

$$L(d) = L_0 + 10n \log_{10}(d) + \sum_i L_{Wall(i)} + X_\sigma \quad (2)$$

donde L_0 son las pérdidas a distancia de referencia (1 m), n es la pendiente de pérdidas, d es la distancia entre transmisor y receptor, y $L_{Wall(i)}$ es la atenuación de la pared i -ésima. En la Fig.4 se observa un gran grado de acuerdo entre el modelo propuesto y las medidas. Los parámetros de dicho modelo propuesto vienen recogidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros del modelo de pérdidas.

	n	L_0	L_{Wall1}	L_{Wall2}	L_{Wall3}	L_{Wall4}	σ
VV	0.9	45.0	5.8	8.4	4.4	5.5	1.2
HH	1.2	43.1	5.1	5.8	3.7	5.4	1.4
VH	1.3	50.5	4.8	6.1	3.1	3.6	1.4
HV	1.1	52.9	3.4	6.2	3.8	4.1	1.0

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. El análisis y modelado de las pérdidas de propagación en cada intervalo se ha realizado aplicando igualmente las expresiones (1) y (2) en dicho intervalo. En la Tabla 2 se puede observar cómo la pendiente de pérdidas se mantiene constante con la frecuencia. Además, los valores obtenidos son similares a los hallados previamente para el análisis en toda la banda (2-5 GHz).

Tabla 2. Pendiente de pérdidas, n , en función de la banda de frecuencia analizada.

	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	4-4.5	4.5-5
VV	0.9	0.9	0.9	0.9	1.1	1.1
HH	1.2	1.3	0.9	1.4	1.3	1.1
VH	1.6	1.2	1.00	1.1	1.3	0.9
HV	1.3	1.0	0.8	1.1	1.2	1.2

3.2 Capacidad para SNR Variable

En esta sección, se analiza la capacidad para el sistema MIMO $M \times N$ que puede ser obtenida de la matriz \mathbf{G} como [4]:

$$C = \log_2 \left(\det \left(\mathbf{I}_N + \frac{SNR}{M} \mathbf{H}\mathbf{H}^\dagger \right) \right) \text{ bit/s/Hz} \quad (3)$$

donde \mathbf{I}_N es la $N \times N$ matriz identidad, representa transpuesto conjugado y es la matriz \mathbf{G} Frobenius normalizada, y SNR es la relación señal a ruido medida en el receptor. Se ha promediado la capacidad para todas las frecuencias del ancho de banda analizado.

En la Fig. 5 se presenta la capacidad en función de la distancia. Debido a que la SNR disminuye de la misma forma que aumentan las pérdidas de propagación (potencia transmitida constante), la capacidad también disminuye con la distancia y experimenta fuertes decrementos tras atravesar cada pared

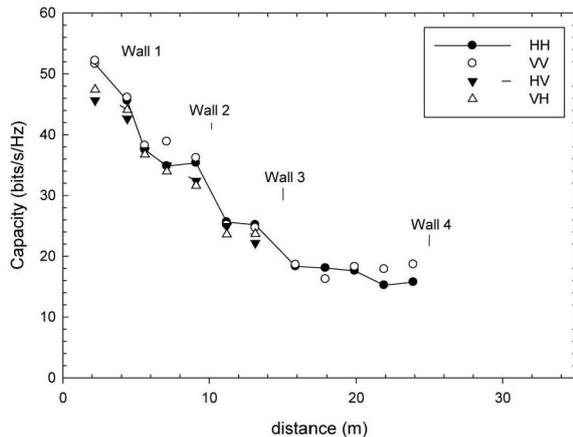


Fig. 5. Capacidad en función de la distancia.

El efecto de la frecuencia en la capacidad ha sido también analizado en intervalos de 500 MHz aplicando (3) en cada intervalo. En este caso, la capacidad se promedia tanto en frecuencia como para todos los puntos en distancia. Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 3 donde se puede observar cómo la capacidad es prácticamente constante con la frecuencia.

Tabla 3. Capacidad en función de la banda de frecuencia analizada.

	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	4-4.5	4.5-5
Máximo	51.7	51.9	51.7	49.1	53.5	49.7
Mínimo	10.2	9.8	9.1	9.6	9.3	9.7
Media	25.0	25.2	25.0	24.5	24.9	24.8

4 Conclusiones

En este artículo se han presentado los resultados extraídos de una campaña de medidas del canal MIMO-UWB, realizada en los laboratorios de los sótanos de la Escuela de Telecomunicaciones, considerando varias polarizaciones de las antenas.

Se ha observado que las pérdidas de propagación aumentan tanto con la distancia como con el número de paredes atravesadas por la señal transmitida, estableciéndose un modelo de propagación lineal con el logaritmo de la distancia transmisor-receptor y unas pérdidas extra asociadas a cada pared. Para estudiar el efecto de la frecuencia, se ha repetido este análisis en intervalos de 500 MHz, observándose que la pendiente de pérdidas permanece constante.

Finalmente, se ha analizado la capacidad del sistema MIMO, observándose que dicha capacidad disminuye con la distancia y el número de paredes atravesadas. Este hecho es debido a una disminución de la SNR medida en el receptor de la misma forma que aumentan las pérdidas de propagación. El análisis en frecuencia de la capacidad revela que ésta se comporta constante con la frecuencia.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (TEC2010-20841-C04-03), 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] "Comission 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.