

ANÁLISIS DEL CANAL RADIO PARA APLICACIONES UWB

Concepción García Pardo⁽¹⁾, Concepción Sanchís Borrás, José-María Molina García-Pardo⁽¹⁾, José-Víctor Rodríguez⁽¹⁾ y Leandro Juan Llácer⁽¹⁾.

josemaria.molina@upct.es, jvictor.rodriguez@upct.es y leandro.juan@upct.es

⁽¹⁾ Departamento Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

Antiguo Cuartel de Antigones. Plaza del Hospital, 1.

Campus Muralla del Mar, Universidad Politécnica de Cartagena 30202 Cartagena, Spain

Telephone: +34 968 325363 Fax: +34 968 325973

Abstract- Results from a MIMO-UWB measurement campaigns are presented in this contribution. We focus in the 2-5 GHz. For immediate commercial applications UWB propagation is mainly interesting for the 3-5 GHz range [1]. We present experimental validation of the assumption that the path gain function can be modelled independently from the distance and the frequency, as well as some results on the rms delay spread showing a positive increment with distance in the four situations studied.

I. INTRODUCCIÓN

Las señales Ultrawideband (UWB) se definen como aquellas que ocupan un gran ancho de banda (más de un 20% de la frecuencia central o mayores de 500MHz). Esta técnica resulta de gran aplicación en dos grandes áreas: los radares UWB [2] y los sistemas de comunicaciones [3]. En [1] y posteriormente en [4] se realiza un estado del arte muy completo sobre el estado actual de la tecnología, teoría del canal radio, medidas y modelado del canal.

Este trabajo presenta los primeros resultados de una campaña de medida realizada en la Universidad Politécnica de Cartagena. Las medidas se realizaron para un sistema MIMO-UWB (Multiple-Input Multiple-Output UWB) aunque aquí se presenta sólo el análisis SISO-UWB (Single-Input Single-Output UWB), centrándonos en dos parámetros que son muy importantes para estos sistemas: las pérdidas de propagación y la dispersión del retardo. En cualquier sistema de comunicaciones éstos parámetros son importantes, pero el modelado de los mismos difiere de los sistemas convencionales ya que al ocupar la señal un gran ancho de banda, hace que la señal se distorsione de forma importante.

El artículo lo hemos distribuido de la siguiente forma: en la sección II se presenta cómo se hicieron las medidas, es decir, se describe el entorno de medidas, el equipo de medidas y la metodología llevada a cabo en las mismas. Seguidamente, en la sección III se estudia en detalle la variación de las pérdidas de propagación tanto en frecuencia como en distancia, y en la sección IV lo mismo pero con el rms delay spread (la dispersión del retardo). Finalmente, la sección V finaliza el artículo con las conclusiones.

II. ENTORNO, EQUIPO DE MEDIDAS Y METODOLOGÍA

A. Descripción del Entorno

Se han elegido dos entornos y cuatro situaciones de propagación dentro de la escuela técnica superior de telecomunicaciones ubicada en el antiguo cuartel de Antigones en Cartagena: dos en el patio central (figuras 1 y 2) y otros dos en la zona de aulas de la primera planta (figuras 3 y 4).

Se ha elegido el patio para simular la instalación de una microcélula que dé cobertura a todo este espacio. En ella, el receptor se situará en la puerta de la biblioteca, que se encuentra

centrada en la cara sur de dicho patio, mientras que el transmisor se irá situando en distintas posiciones por toda su extensión. Estas posiciones coincidirán en casi su totalidad con las cristaleras que hay repartidas por éste y que permiten que la luz natural llegue a los laboratorios situados en el sótano. En este escenario se ha estudiado la influencia de orientación de las antenas distinguiendo entre orientación Horizontales (H) y Verticales (V). Para nuestro estudio las pérdidas de propagación y la dispersión del retardo no dependen de la orientación, pero aporta más datos al estudio. Llamaremos entornos 1a y 1b a los resultados de ambas orientaciones.

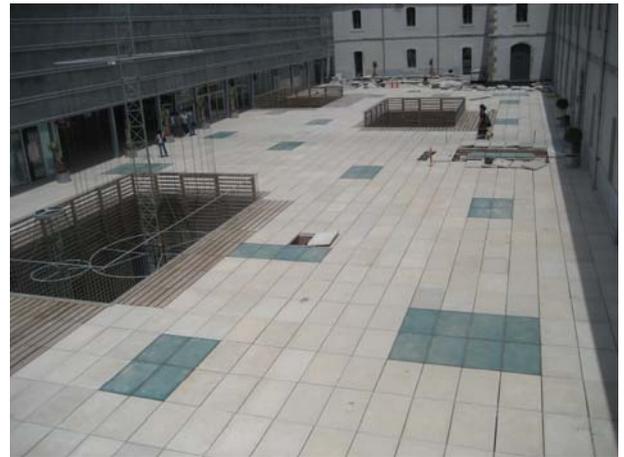


Fig. 1. Fotografía del patio del cuartel de Antigones.

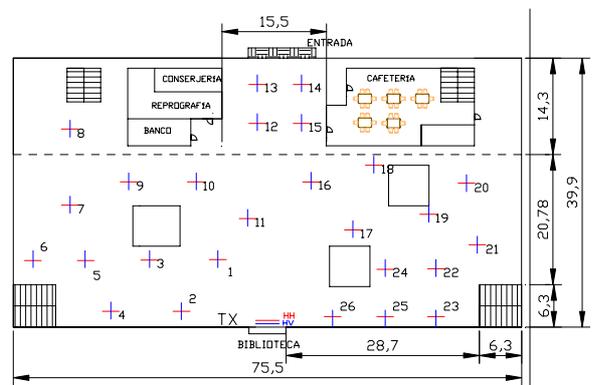


Fig. 2. Plano con la posición de los receptores en el cuartel de antigones.

Como segundo entorno hemos elegido la primera planta siendo donde se ubican prácticamente la totalidad de las aulas docentes del centro. Como podemos observar, se trata de un entorno con un pasillo muy largo y aulas a ambos lados. Todos los tabiques interiores

están fabricados en pladur de 5 cm de grosor. Es un entorno con numerosos elementos dispersivos (columnas grandes, arcos, techos con forma de cúpula, muros extremadamente gruesos, etc).

En este entorno analizaremos dos situaciones:

a) Pasillo (entorno 2). Dibujado de color azul en la Fig. 4. En él colocamos el receptor en el centro del pasillo para ir moviendo transmisor a lo largo de éste hasta llegar al final, siempre con visión directa.

b) Clase (entorno 3). Dibujado en rojo en la Fig.4, donde tenemos el receptor en la misma posición que en el caso del pasillo, pero ahora el transmisor se mueve a lo largo de una clase y sin visión directa en ningún momento.



Fig. 3. Fotografía del entorno 2.

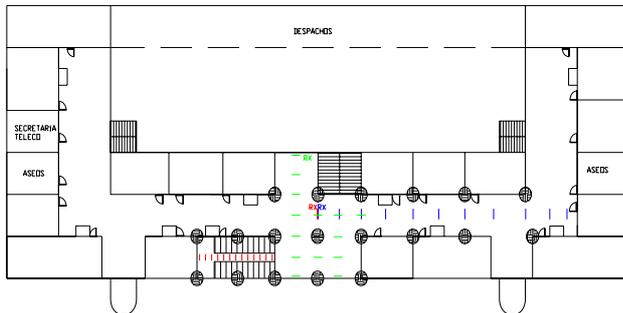


Fig. 4. Plano con las posiciones elegidas para el transmisor y receptor del entorno 2 y 3.

B. Equipo de Medidas

Las medidas han sido capturadas con una modificación de banda ancha del equipo de medidas presentado en [5]. Está formado por un analizador de redes multipuerto que hace tanto de transmisor como de receptor simultáneamente. Dos antenas se conectan directamente al analizador (que actuarán como receptoras), y uno de los puertos actúa como transmisor. Éste se conecta a un convertidor eléctrico-óptico para llevar el transmisor lejos del receptor, luego un convertidor óptico-eléctrico y un amplificador de bajo ruido de 30dB. Posteriormente colocamos un conmutador que separa la señal en tres para alimentar tres antenas transmisoras. La Fig. 5 presenta un esquema general del sondador de canal.

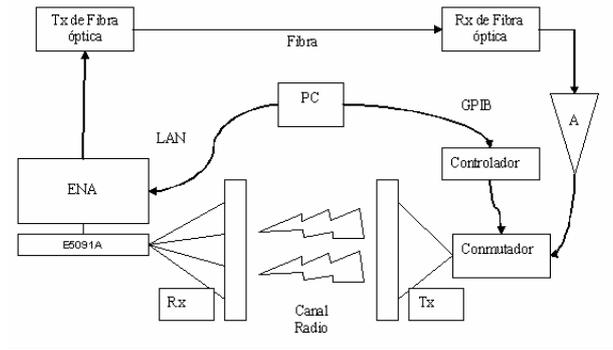


Fig. 5. Equipo de medidas MIMO-UWB.

C. Metodología

Hemos realizado medidas para un sistema MIMO 2x3, con una frecuencia central de 3.5 GHz y en un ancho de banda de 3GHz. Se ha tratado de estudiar un sistema UWB donde la estación base esté dotada de tres elementos radiante separados lo máximo posible, en nuestro caso 50 centímetros, y para el caso de la parte del usuario, dos antenas separadas $\lambda/2$ a la frecuencia más alta.

En cuanto a las antenas, hemos utilizado 5 antenas omnidireccionales EM-6116 de ELECTRO-METRICS que tienen una respuesta relativamente plana entre 2GHz y 10GHz. Además de esto, el fabricante proporciona la variación de la ganancia en función de la frecuencia, y de esta forma hemos corregido en la respuesta medida para eliminar el efecto de las antenas.

Hemos medido 1601 puntos en frecuencia, cinco veces para asegurar la estacionariedad del canal, y las medidas han sido tomadas por la noche y sin gente en la universidad debido a las limitaciones que tiene el medir con un analizador de redes. En todos los casos, se ha situado el transmisor en una altura de 2 metros con y el receptor a 1,5 metros.

El número de puntos de medida ha sido 26 para los entornos 1a y 1b, 14 para el entorno 2 y 10 para el entorno 3. Como nuestras medidas son MIMO 2x3, en cada posición de medida tenemos 6 sub-medidas que nos permiten obtener resultados promediados en el espacio.

III. PÉRDIDAS DE PROPAGACIÓN

El canal radio sufre fluctuaciones rápidas y lentas debidas principalmente a la propagación multicamino y al *shadowing* [6]. Las pérdidas de propagación se definen como:

$$G_{pr}(d) = \frac{E\{P_{RX}(d, f_c)\}}{P_{TX}} \quad (1)$$

donde $E\{\}$ es el promedio sobre un área lo suficientemente grande para eliminar tanto los desvanecimientos rápidos como cortos. P_{RX} es la potencia recibida y P_{TX} la potencia transmitida. En el caso de los sistemas UWB podemos definir las pérdidas de propagación como función de la frecuencia [1]:

$$G_{pr}(d, f) = E\left\{ \int_{f-\Delta f/2}^{f+\Delta f/2} |H(\tilde{f}, d)|^2 d\tilde{f} \right\} \quad (2)$$

En [1] se menciona que normalmente se suelen simplificar las pérdidas de propagación asumiendo que se puede escribir como la suma en unidades logarítmicas de la dependencia frecuencial y de la distancia, aunque hasta la fecha de publicación de ese artículo no se había validado experimentalmente.

$$G_{pr}(d, f) = G_{pr}(f) + G_{pr}(d) \quad (3)$$

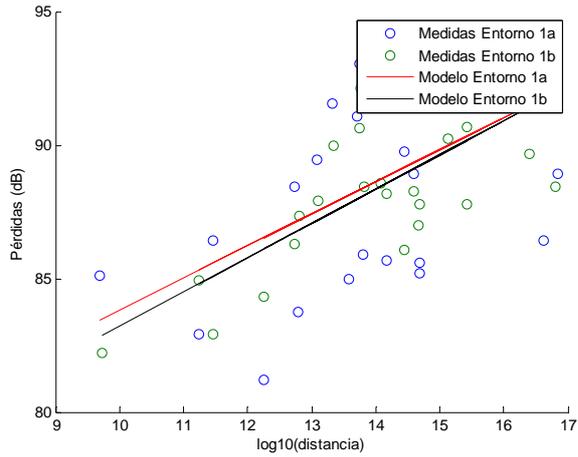


Fig. 6. Pérdidas de propagación medidos y aproximados mediante (4) en la banda de 2 a 2.5 GHz para los Entornos 1a y 1b en función de la distancia.

En la Fig. 6 se muestran los resultados de las pérdidas de propagación para cada distancia una vez promediadas todas las realizaciones frecuencias y espaciales para la banda de frecuencias desde 2GHz hasta 2.5 GHz y para los entornos 1a y 1b. Se observa como aumentan las pérdidas linealmente con el logaritmo de la distancia, así que hemos ajustado las pérdidas al siguiente modelo:

$$G_{pr}(d, f) = G_{pr}(f) + 10n \log_{10}(d) + X_{\sigma} \quad (4)$$

En las tablas I, II y III mostramos los resultados tras ajustar con las medidas la ecuación (4). La primera tabla muestra los valores de $G_{pr}(f)$, que es la variación frecuencial de las pérdidas, la segunda la pendiente de las pérdidas que acompaña a la distancia expresada en unidades logarítmicas, y por último la tercera tabla las desviaciones típicas del modelo log-normal.

	Entorno A1	Entorno A2	Entorno B	Entorno C
2-2-5 GHz	43.2	42.4	34.7	22.4
2.5-3 GHz	42.9	42.3	36.0	30.0
3-3.5 GHz	44.9	44.2	41.3	28.6
3.5-4 GHz	44.0	43.9	39.8	23.7
4-4.5GHz	45.9	44.9	40.1	34.9
4.5-5 GHz	50.8	51.1	40.1	31.4

Tabla I: Valores de $G_{pr}(f)$ (4) obtenidos a partir de las medidas.

	Entorno A1	Entorno A2	Entorno B	Entorno C
2-2-5 GHz	1.2	1.3	1.5	3.3
2.5-3 GHz	1.3	1.3	1.7	2.9
3-3.5 GHz	1.4	1.4	1.5	3.2
3.5-4 GHz	1.3	1.3	1.5	3.4
4-4.5GHz	1.3	1.4	1.6	2.6
4.5-5 GHz	1.0	1.0	1.6	3.0

Tabla II: Valores de n (4) obtenidos a partir de las medidas.

	Entorno A1	Entorno A2	Entorno B	Entorno C
2-2-5 GHz	3.2	1.9	1.2	3.8
2.5-3 GHz	2.4	2.4	1.5	3.3
3-3.5 GHz	2.3	1.5	1.7	3.4
3.5-4 GHz	2.3	1.8	1.9	3.7
4-4.5GHz	2.8	1.7	1.8	3.0
4.5-5 GHz	2.4	1.9	1.9	2.5

Tabla III: Valores de σ (4) obtenidos a partir de las medidas.

Teóricamente, suponiendo espacio libre la diferencia de atenuación entre 2 y 5 GHz es de:

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

que son los valores que se obtienen en la tabla I comparando la atenuación entre la primera y la última banda de frecuencias. Con lo que respecta a la segunda tabla y tercera tabla, donde se muestran los valores de la pendiente de las pérdidas y la desviación típica media vemos que su valor es independiente de la banda de frecuencias, teniendo entonces una validación experimental de esta afirmación.

Recientemente en [7] se publicaron resultados similares, y en esta misma contribución se recogen los valores obtenidos por diferentes grupos de investigación (Fig. 7). Nuestros valores están en concordancia con aquellos medidos en LoS y en NLoS. Nuestros entornos 1a y 1b son LoS, el 2 es un pasillo y el 3 un NLoS.

Researchers	n : Mean	n : Std. Dev.	σ (dB) : Mean	σ (dB) : Std. Dev.	Distance (m)
Virginia Tech (office)	1.3-1.4 (LOS) 2.3-2.4 (NLOS)		2.5-3 (LOS) 2.6-5.6 (NLOS)		5-49 (LOS) 2-9 (NLOS)
AT&T (Res.) [3]	1.7/3.5 (LOS/NLOS)	0.3/0.97	1.6/2.7	0.5/0.98	1-15 (LOS) 1-15 (NLOS)
U.C.A.N. [8]	1.4/3.2(soft)/4.1(hard) LOS/NLOS/NLOS		0.35 LOS/1.21(soft) /1.87(hard) NLOS		4-14 (LOS/NLOS)
France Telecom [11]	1.5 / 2.5 (LOS/NLOS)				2.5-14 (LOS) 4-16 (NLOS)
CEA-LETI [10]	1.6 (lab)1.7(flat) LOS 3.7 (office/lab/NLOS) 5.1 (flat/NLOS)		4 / 4 (LOS/NLOS)		1-6, 1-8 (LOS) 2-20,7-17 (NLOS)
Intel [4](Resident.)	1.7/4.1 (LOS/NLOS)		1.5/3.6 (LOS/NLOS)		1-11 (LOS) 4-15 (NLOS)
IKT, ETH Zurich [13]	2.7- 3.3 (on body) 4.1 (around the torso)				0.15 - 1.05
Cassio/I Molisch/Win [7]	2.04 (d<11m) -56+74log(d) (d>11)		4.3		8-11 (NLOS) 11-13(NLOS)
Oulu Univ. [9]	1.04,1.4,1.8 LOS 3.2, 3.3, 3.9 NLOS				1-30 (LOS) 4-14 (NLOS)
Whyless [5]	1.58/1.96 LOS/NLOS				2.5-16 (LOS/NLOS)
Time Domain [6]	2.1 (LOS/NLOS)		3.6		2-21 (LOS/NLOS)

Fig. 7. Exponentes de pérdidas (n) y desviaciones estándares del desvanecimiento (σ) en diferentes campañas de medidas publicadas. Tabla extraída de [7]

IV. DISPERSIÓN DEL RETARDO

El perfil de retardo en un receptor se define como la potencia que llega al mismo en función del tiempo. A partir de esta función se define un parámetro muy importante en las comunicaciones digitales, la dispersión del retardo. Se calcula de la siguiente forma:

$$\tau_{rms}(s) = \sqrt{\frac{\sum_i P_{ri} \tau_i^2}{\sum_i P_{ri}} - \left(\frac{\sum_i P_{ri} \tau_i}{\sum_i P_{ri}} \right)^2} \quad (6)$$

Donde P_{ri} es la potencia de la contribución i -ésima y τ_i el retardo correspondiente a esa contribución. En la Fig. 8 se muestran los resultados de la dispersión del retardo en función de la distancia para la banda de frecuencias desde 2GHz hasta 2.5 GHz y para los entornos 1a y 1b.

De nuevo se observa como aumenta la dispersión del retardo con la distancia. Hemos ajustado las pérdidas al siguiente modelo:

$$\tau_{rms}(d, f) = \tau_{rms}(f) + nd \quad (7)$$

donde $\tau_{rms}(f)$ es la dependencia frecuencial de la dispersión del retardo, n es la pendiente del aumento de la dispersión con la distancia.

En este caso hemos observado que una dependencia lineal con la distancia daba muy buenos resultados, aunque quizás se deba a que las medidas no han sido tomadas a distancias grandes donde la diferencia entre lineal y logarítmico se hace importante.

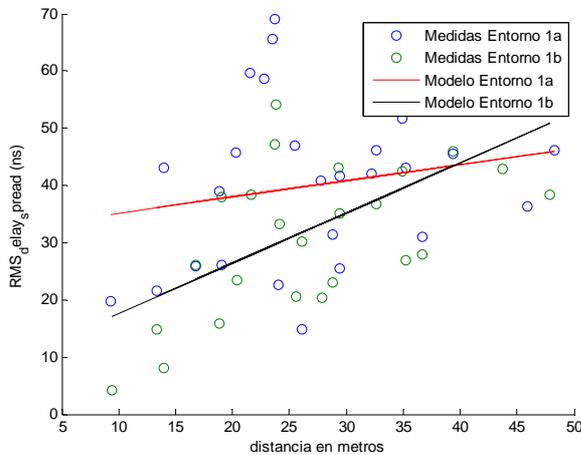


Fig. 8. Dispersión del retardo medido y aproximado mediante (7) en la banda de 2 a 2.5 GHz para los Entornos 1a y 1b en función de la distancia.

En las tablas IV y V mostramos los resultados de ajustar con las medidas la ecuación (7). La primera muestra los valores de $\tau_{rms}(f)$ que es la variación frecuencial de la dispersión del retardo y la segunda la pendiente en función de la distancia.

	Entorno A1	Entorno A2	Entorno B	Entorno C
2-2.5 GHz	32.6	9.8	11.9	13.2
2.5-3 GHz	27.4	24.1	24.9	12.1
3-3.5 GHz	15.0	6.6	31.1	15.5
3.5-4 GHz	23.2	16.7	17.5	2.9
4-4.5GHz	26.5	17.9	10.0	16.7
4.5-5 GHz	28.4	16.3	12.7	8.5

Tabla IV: Valores de $\tau_{rms}(f)$ (7) obtenidos a partir de las medidas

	Entorno A1	Entorno A2	Entorno B	Entorno C
2-2.5 GHz	0.26	0.86	1.85	0.77
2.5-3 GHz	0.31	0.31	1.02	0.94
3-3.5 GHz	0.54	0.73	1.22	0.59
3.5-4 GHz	0.41	0.49	1.07	1.37
4-4.5GHz	0.31	0.53	1.66	0.65
4.5-5 GHz	0.19	0.52	0.58	1.14

Tabla V: Valores de n (7) obtenidos a partir de las medidas

Observamos que el comportamiento de la dispersión del retardo sigue una tendencia tan clara como las pérdidas de propagación. En cuanto a su variación con la distancia, siempre aumenta con la distancia tal y como vemos en la Fig. 8.

Si analizamos los entornos por separado, en el patio, vemos que la pendiente disminuye con la frecuencia. Para el pasillo ocurre algo similar, aunque para el caso interior podemos decir que permanece más o menos constante.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se han presentado los resultados del análisis de una campaña de medida MIMO-UWB. Los resultados se centran principalmente en el análisis de las pérdidas de propagación concluyendo que las pérdidas se pueden estudiar separando la dependencia frecuencial con la de la distancia. En el caso de la dependencia con la frecuencia, obtenemos unos aumentos de las

pérdidas de propagación similares a los teóricos obtenidos mediante la fórmula de pérdidas de espacio libre. Y por otro lado, la pendiente de las pérdidas es sólo dependiente del entorno y no de la frecuencia. Obtenemos valores mayores en NLoS (no visión directa, entorno 3) que en LoS (visión directa, entornos 1a, 1b y b).

Por último, estudiamos qué ocurre con la dispersión del retardo, pudiendo concluir que la dispersión del retardo aumenta siempre con la distancia, aunque no se observa un comportamiento frecuencial claro. En los entornos con visión directa tiende a disminuir con la frecuencia, mientras que en los que no hay visión directa se comporta de manera constante.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (TEC2007-66698-C04-04/TCM) y la Fundación Séneca de Murcia (03133/PI/05).

REFERENCES

- [1] A. F. Molisch, "Ultrawideband Propagation Channels- Theory, Measurement, and Modeling", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 54, no. 5, pp. 1528-1545, September 2005.
- [2] J. D. Taylor, Ed., *Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems*, 1st ed., Boca Raton, FL: CRC Press, 1995.
- [3] R. C. Qiu, H. Liu, and X. Shen, "Ultra-wideband for multiple access communications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 43, pp. 80-87, 2005.
- [4] A. F. Molisch, "Ultrawideband propagation channels and their impact on system design", International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, page(s): K4- 1-K4- 5, 16-17 Aug. 2007
- [5] J.-M. Molina-García-Pardo, J.-V. Rodríguez, and Leandro Juan-Llácer, "MIMO Channel Sounder Based on Two Network Analyzers", accepted for publication in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*.
- [6] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, second edition. Prentice Hall Communication Engineering and Emerging Technologies Series. 2002.
- [7] B. M. Donlan, David R. McKinstry and R. Michael Buehrer, "The UWB Indoor Channel: Large and Small Scale Modeling", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 5, no. 10, pp. 2863- 73 October 2006.