

## Sistemas de comunicaciones UWB

CONCEPCIÓN GARCÍA PARDO, MARÍA VICTORIA MORENO CANO,  
JOSÉ MARÍA MOLINA GARCÍA-PARDO, JOSÉ VÍCTOR RODRÍGUEZ,  
JUAN PASCUAL GARCÍA Y LEANDRO JUAN LLÁCER

Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.  
Universidad Politécnica de Cartagena.

conchi.gpardo@upct.es; victoria.moreno@radiatio.com;  
josemaria.molina@upct.es; jvictor.rodriguez@upct.es;  
leandro.juan@upct.es

### Resumen

En este artículo se presentan los sistemas de comunicaciones Ultra-Wideband (UWB), sus fundamentos y principales características del canal radio. Asimismo, se hace un breve repaso de las herramientas de simulación disponibles así como de sistemas de medida adecuados para esta nueva tecnología. Además, se describen las actuales líneas de trabajo en las que se encuentra el grupo Sistemas de Comunicaciones Móviles (SiCoMo) en el ámbito de las comunicaciones Ultra-Wideband. Finalmente, se presenta una de las aplicaciones sobre UWB: las redes de área corporal o Body Area Networks (BANs).

**Proyecto/Grupo de investigación:** Sistemas de Comunicaciones Móviles (SiCoMo). Entidad Financiadora: Ministerio de Educación y Ciencia y FUNDACIÓN SENECA. Plan de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia. Código: TEC2007-66698-C04-04 y 08662/PI/08.

**Líneas de investigación:** *Propagación; Sistemas de Información Geográfica; MIMO; UWB; Redes Sensores.*

# 1. ¿Qué es UWB?

## 1.1. Definición y aplicaciones

Las señales de banda ultra ancha o Ultra-Wideband (UWB) en inglés se definen como aquellas señales cuyo ancho de banda absoluto es mayor de 500 MHz y/o aquellas cuyo ancho de banda es mayor de un 20 % de la frecuencia central [1]. Este gran ancho de banda brinda interesantes posibilidades tanto para aplicaciones radar, que son principalmente empleadas en el ámbito militar, como para sistemas de comunicaciones que, aunque también se usan en aplicaciones militares, hoy en día presentan un uso principalmente comercial.

Las aplicaciones y posibles áreas de interés de las comunicaciones UWB determinan qué medidas y modelado de canal son las de mayor interés, a la vez que se estiman los rangos de alcance entre transmisor y receptor. En la Figura 1 se presenta el lugar que ocupa UWB junto con otros sistemas de comunicaciones.

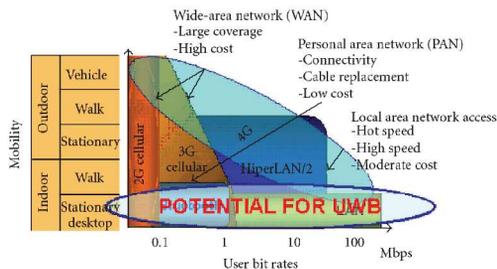


Figura 1: Lugar de UWB en los futuros sistemas de comunicaciones [2].

Una aplicación importante son las **Redes de Área Personal (PAN)** y dentro de las que se incluyen las **Redes de Área Corporal (BAN)**, que se presentan al final de este artículo. En este tipo de comunicaciones, la distancia entre transmisor y receptor no supera los 10 m, pudiéndose distinguir entre aplicaciones que requieran altas velocidades (electrónica de consumo como televisión digital o USB inalámbrico, etc.) o bajas velocidades de transmisión de datos (*streaming* de audio, *Bluetooth* o infrarrojos). La Figura 2 muestra las posibles aplicaciones de UWB en el ámbito de las redes de área personal.

Otra posible aplicación son las emergentes **Redes de Sensores**. Dado que la velocidad de transmisión de datos es mucho menor, el alcance es considerablemente mayor (de 100 a 300m). Las aplicaciones en este campo incluyen la supervisión de viviendas y entornos de oficina, el monitoreo de la seguridad en los aeropuertos y centros de convenciones, así como el seguimiento al aire libre.

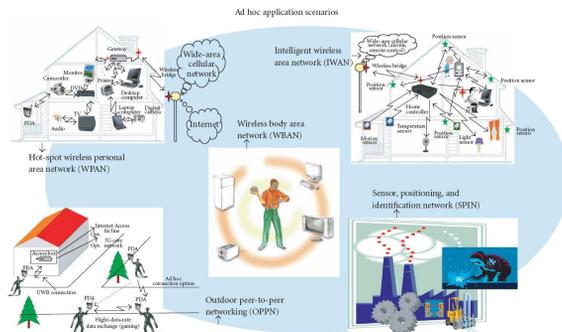


Figura 2: Aplicaciones UWB en el entorno de las comunicaciones personales (PAN) [2].

El gran ancho de banda de los sistemas UWB ofrece la posibilidad de alcance de alta precisión y con ello la **geolocalización**. Asimismo las **comunicaciones de emergencias** es otra de las aplicaciones de estos sistemas: comunicaciones de departamentos de bomberos y las fuerzas de seguridad, radio militar, comunicaciones a través de la nieve, etc.

## 1.2. Frecuencias de operación

Las frecuencias de operación de los sistemas UWB vienen determinadas por la regulación en cada país, estableciéndose unos rangos de operación en los cuales se han de desarrollar dichos sistemas con el fin de que puedan ser operativos. Los dos principales organismos que regulan las emisiones UWB son la FCC (*Federal Communications Commission*) en Estados Unidos y la CEPT (*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*) en Europa. Sin embargo, ambos permiten el uso de comunicaciones UWB sin licencia, pero estableciendo una serie de limitaciones en cuanto a la densidad de potencia emitida en función de la frecuencia. Estas “**máscaras**” en frecuencia dependerán de la aplicación así como del entorno en que operan los dispositivos.

En el caso de la FCC [3] se establece que para comunicaciones *indoor* se permite una densidad espectral de potencia de  $-41.3$  dBm/MHz en la banda entre 3.1 y 10.6MHz. Sin embargo, la existencia de WLANs de 5.1 y 5.8GHz hace esta banda menos atractiva para las comunicaciones UWB. Algunas aplicaciones están también permitidas para frecuencias inferiores a 960 MHz, aunque presentan algunos problemas de restricciones en los usuarios.

En Europa, la regulación es escasa pero estricta. En abril de 2009 se publicaron las restricciones en cuanto a densidad de potencia transmitida para sistemas UWB en función de la frecuencia, tanto para entornos *indoor* como para interiores de trenes y vehículos [4]. Esta normativa permite una densidad

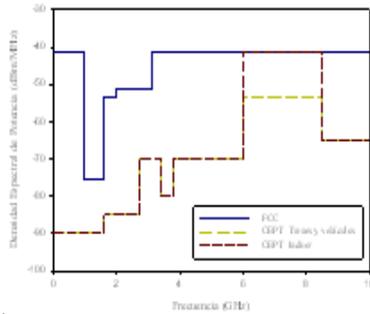


Figura 3: Máscaras de los diferentes organismos reguladores para UWB.

espectral de potencia de  $-41$  dBm/MHz en la banda de 6 a 8.5 GHz, lo que representa una reducción importante frente a la regulación estadounidense. En la Figura 3 se comparan las máscaras en frecuencia tanto de Estados Unidos (FCC) como de la Unión Europea (CEPT).

## 2. Sistemas de Comunicaciones UWB

En general, se pueden distinguir dos tipos de sistemas UWB, los basados en el dominio temporal y los basados en el dominio de la frecuencia [1].

Los sistemas basados en el dominio del tiempo se basan en la transmisión de uno o varios pulsos que representan el símbolo a transmitir. Cada pulso ocupa el total del ancho de banda asignado por el sistema, y se ha de adaptar, en cuanto a densidad de potencia transmitida, a las máscaras de frecuencia impuestas por el órgano regulador.

Por otro lado, en los sistemas de comunicaciones basados en la frecuencia, el ancho de banda disponible se divide en un número determinado de sub-bandas y los símbolos se transmiten en cada banda o de forma paralela o consecutiva. El más popular de estos sistemas es MB-OFDM (*Multi Band-Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) donde el espectro disponible se divide en bandas de 528 MHz, empleando modulación OFDM. Cada banda está separada por una banda de guarda de 4.125MHz (242.42 ns) que viene determinada por el retardo en el que han de recibirse las componentes multicamino de la señal transmitida [2].

## 3. Fundamentos de propagación

### 3.1. Propagación multicamino

Las comunicaciones inalámbricas de banda ancha se caracterizan por la propagación multicamino, es decir, el hecho de que la señal transmitida llega

al receptor a través de diferentes caminos y tras sufrir diferentes fenómenos (reflexión, difracción, etc.). En función del camino que sigue cada señal, el receptor recibe una suma de réplicas de la señal transmitida, escaladas y retardadas [1]:

$$h(t, \tau) = \sum_{i=1}^N a_i(t) \delta(\tau - \tau_i), \quad (1)$$

donde  $a_i$  y  $\tau_i$  son la amplitud y el retardo de la réplica  $i$  de la señal transmitida. Sin embargo, debido al gran ancho de banda que ocupan las señales UWB (en comparación con otros sistemas de banda ancha), algunos fenómenos de propagación no se comportan igual a todas las frecuencias de la señal por lo que se produce un efecto de distorsión,  $\chi_i(t, \tau)$ , en cada contribución recibida en el receptor según la siguiente expresión:

$$h(t, \tau) = \sum_{i=1}^N a_i(t) \chi_i(t, \tau) \otimes \delta(\tau - \tau_i). \quad (2)$$

Debido a esta variación con la frecuencia, parámetros como las pérdidas de propagación que hasta ahora dependían de la distancia y se mantenían constantes con la frecuencia (dentro de un ancho de banda relativamente pequeño), van a sufrir variaciones debido a la frecuencia, lo cual exige una doble consideración a la hora de estimar la potencia recibida en el receptor.

### 3.1.1. 2.2 Formas de onda

Como se comentó anteriormente, los sistemas UWB en el tiempo se basan en la transmisión de pulsos de corta duración (gran ancho de banda). La forma de estos pulsos puede ser cualquier función que satisfaga la máscara espectral que establezca la regulación. Sin embargo, los pulsos más usados son de tipo Gaussiano, Laplaciano, Rayleigh o Hermitiano, si bien los de tipo Gaussiano y sus derivadas son los más comunes.

La elección de un tipo de pulso u otro dependerá principalmente del ancho de banda en el que se trabaje y especialmente de los requerimientos de la máscara espectral. Por este motivo, encontrar una forma de onda que satisfaga las restricciones de los organismos reguladores no es, a priori, una tarea sencilla. En la Figura 4 se muestra cómo aumentando el orden de la derivada del pulso gaussiano se consigue un desplazamiento en frecuencia del pulso a frecuencias más altas, tal y como requiere la regulación existente.

## 4. Simulación del canal radio

A la hora de desarrollar sistemas UWB, muchas veces se hace necesario conocer el comportamiento del canal en una ubicación específica [1]. Para tal fin, se requiere disponer de medidas específicas en dicha ubicación o resolver de forma teórica las ecuaciones de Maxwell (o mediante una aproximación de ellas).

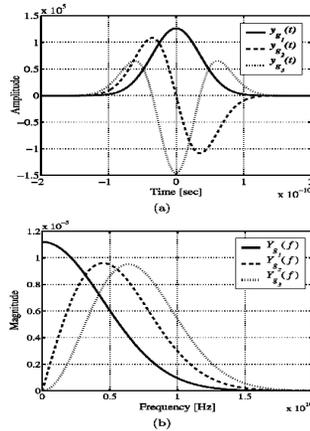


Figura 4: Pulso gaussiano, monociclo (primera derivada) y doublet (segunda derivada). Superior: En el tiempo. Inferior: En la frecuencia [5].

Las herramientas de trazados de rayos se basan en la teoría de las imágenes y consiste en la generación de imágenes a partir de todos los obstáculos de que esté formado el entorno.

Sin embargo, y debido a la variación de propiedades como el coeficiente de reflexión con la frecuencia, existen en la literatura numerosas propuestas para añadir el efecto de la variación en frecuencia. Una posible solución es la simulación tradicional del canal mediante trazado de rayos a diferentes frecuencias para combinar los resultados posteriormente [6]. Otra solución propuesta es estimar la distorsión que sufren los diferentes rayos que están expuestos a la variación en la frecuencia para después añadirlo al resultado obtenido por el trazado de rayos tradicional [7]-[8].

El grupo de investigación SiCoMo dispone de herramientas de trazado de rayos que hacen uso de la teoría geométrica de la difracción (GTD) y la teoría uniforme de la difracción (UTD) para la predicción del comportamiento del canal radio UWB en interiores y en entornos especiales como túneles. Además, estas aplicaciones se encuentran integradas en la herramienta de planificación RADIOGIS desarrollada por el grupo sobre un Sistema de Información Geográfica tal y como se muestra en la Figura 5.

Con estas aplicaciones se está en condiciones de poder simular el canal radio UWB de forma tradicional y posteriormente hacer uso de las diferentes aproximaciones para modelar la variación en frecuencia a la vez que se trabaja en el desarrollo y propuesta de nuevas soluciones para el problema.

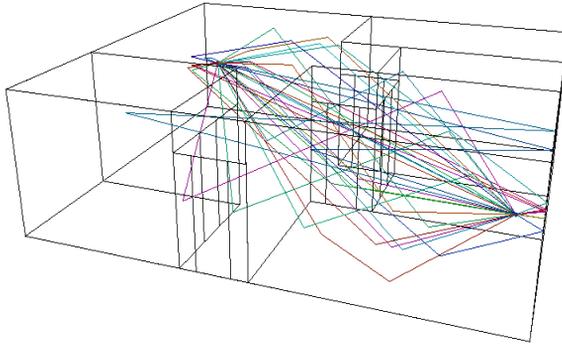


Figura 5: Trazador *indoor* sobre el software RADIOGIS [11].

## 5. Medida del canal radio

Las características de los canales UWB pueden ser medidas mediante sistemas de medidas en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia midiendo o la respuesta al impulso  $h(t, \tau)$  o la función de transferencia  $H(t, f)$ , respectivamente [1]. Ambas medidas son teóricamente equivalentes por medio de la transformada de Fourier pero en la práctica ambos sistemas son bastante diferentes. A continuación se pasa a describir ambos sistemas, así como el equipamiento del que dispone el grupo SiCoMo en ambos casos.

### 5.1. Medidas basadas en frecuencia

Los sistemas basados en la frecuencia hacen uso de un analizador de redes vectorial, que mide los parámetros de dispersión o parámetros S entre sus puertos para un número de puntos en frecuencia. De esta manera, el parámetro  $S_{21}$  mide la transmisión de energía del puerto 1 al puerto 2. Según lo anterior, una vez conocido el parámetro  $S_{21}$ , mediante una transformada inversa de Fourier, se puede calcular la respuesta al impulso del canal en el tiempo.

Sin embargo, los analizadores de redes vectoriales presentan el inconveniente de estar limitados en cuanto al tiempo de captura, que suele ser muy alto. Esto presenta un inconveniente para canales que varían rápidamente en el tiempo, donde la respuesta en frecuencia del canal puede variar rápidamente, dando una respuesta al impulso errónea [10].

En la Figura 6 se muestra el analizador de redes empleado en el sistema de medidas en la frecuencia de que dispone el grupo SiCoMo y que ha dado lugar a numerosos proyectos final de carrera, contribuciones a congresos y publicaciones en revistas internacionales.



Figura 6: Analizador del que dispone el grupo SiCoMo para medidas en el dominio de la frecuencia.

Sin embargo, y como se apuntaba anteriormente, estos sistemas tienen la desventaja de ser lentos en el proceso de toma de medidas, lo cual supone un gran inconveniente en sistemas UWB. Es por este motivo que el grupo se encuentra en la actualidad desarrollando un nuevo sistema de medidas en el dominio del tiempo, el cual se presenta a continuación.

## 5.2. Medidas basadas en el tiempo

Los sistemas de medidas en el dominio del tiempo se basan en el uso de una señal de código de pseudo ruido de máxima longitud (PN MLS) o m-secuencias, con características de autocorrelación especialmente interesantes para aplicaciones de medida del canal [12]. Dicha señal modula a una portadora a alta frecuencia que es amplificada y transmitida. La señal es recibida por un osciloscopio, demodulada y la respuesta al impulso del canal se puede hallar, simplemente correlando la señal de código original con la demodulada, es decir, se realiza una sincronización en postprocesado mediante correlación de secuencias PN. Este sistema presenta la ventaja de una gran rapidez en la toma de medidas. Sin embargo, tiene la desventaja de que en realidad la respuesta al impulso del canal no es obtenida en tiempo real si la demodulación no se realiza de forma sincronizada con el transmisor.

En la Figura 7 se observa la parte transmisora del sistema de medidas en el dominio del tiempo que en la actualidad se encuentra desarrollando el grupo.

La parte receptora se basa en un osciloscopio de altas prestaciones que se muestra en la Figura 8 con el que se captura la señal para su posterior post-procesado.



Figura 7: Parte transmisora del equipo de medidas en el dominio del tiempo desarrollado por el grupo SiCoMo.

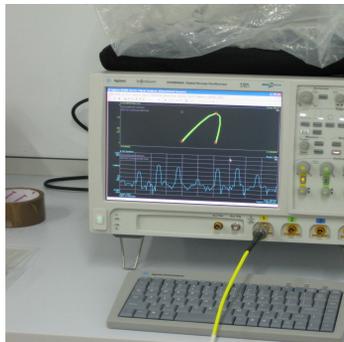


Figura 8: Osciloscopio de altas prestaciones del que dispone el grupo SiCoMo.

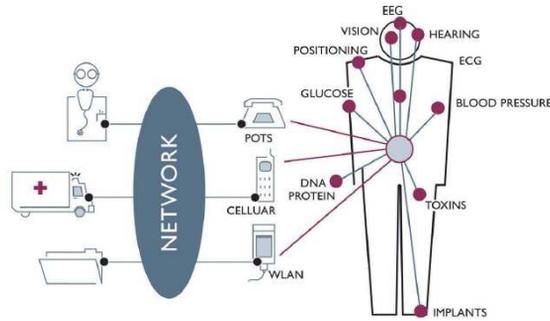


Figura 9: Visión futura de las redes de área corporal aplicadas al campo de la medicina [13].

Cabe comentar que la resolución de estos sistemas viene determinada por la frecuencia de la señal de código así como se hace necesaria la sincronización entre el generador de código y el receptor para conocer el retardo absoluto de todas las componentes multicamino.

## 6. Body Area Networks

El continuo avance de la tecnología en lo que a comunicaciones inalámbricas se refiere ha llevado al desarrollo de un tipo de redes que se han venido a denominar como Redes Inalámbricas de Área Corporal o *Wireless Body Area Networks* (WBANs ó simplemente BANs).

En estas redes BAN, un conjunto de dispositivos -que pueden comunicarse de manera inalámbrica entre sí y a su vez con un servidor personal y/o externo- se colocan sobre el cuerpo humano de manera que, a través de su conexión a diversos sensores, se pueden monitorizar de manera continua diferentes parámetros vitales o movimientos. En este sentido, las BANs presentan como aplicación directa su utilización en el sector médico o de la salud (implantes médicos o monitorización de parámetros como la tensión arterial) tal y como se muestra en la Figura 9, pero también cabe considerar la posibilidad de su empleo en otros campos como pueden ser el deporte (seguimiento de parámetros relativos al ejercicio que se está efectuando) o el entretenimiento (desarrollo de juegos multimedia).

En este sentido, las características de la tecnología UWB como el bajo consumo de potencia, robustez frente a interferencias, alta capacidad y la posibilidad de un hardware sencillo, hacen de ella especialmente interesante para desarrollo de BANs [14].

El diseño de estas redes de monitorización continua del cuerpo humano a través de sensores inalámbricos requiere de una serie de características que las diferencian del resto de redes de comunicaciones existentes:

- Operatividad de los dispositivos a potencia extremadamente baja, con bajo peso y pequeño tamaño.
- Flexibilidad necesaria de los sensores para adaptarse al estado del usuario y posibles cambios en el entorno, así como conectividad fluida para su perfecta integración en el sistema monitor.
- Minimización del riesgo de daños a la salud debido a la radiación.
- Garantía de comunicaciones viables (con posibilidad de corrección de eventuales fallos en el sistema), seguras y privadas, así como de almacenamiento de datos.

En la actualidad ya existen estudios acerca de la propagación de señales UWB en BANs [14]-[15] así como desarrollo de transmisores UWB para estas aplicaciones [13], [16].

## 7. Resumen

En este artículo se ha hecho un breve repaso de los sistemas de comunicaciones UWB, sus características más importantes, las principales diferencias con otros sistemas de banda ancha inalámbricos, así como los retos que presenta.

Se han presentado las principales características del canal radio, como la propagación multicamino o los tipos de sistemas UWB existentes tanto en el tiempo como en la frecuencia, haciendo hincapié en la consideración de que, para estos sistemas, numerosos fenómenos de propagación varían dentro de la banda de frecuencia de trabajo.

Finalmente, se han expuesto las capacidades del grupo SiCoMo en cuanto a simulación teórica del canal radio UWB así como al equipamiento de que dispone el grupo para una posterior validación experimental mediante sistemas de medidas del canal. Además se han presentado las redes de área corporal o BANs como una aplicación de la tecnología UWB.

## Referencias

- [1] A.F. Molisch, Ultra-Wide-Band Propagation Channels, Proceedings of the IEEE. Issue 2. Feb. 2009 353-371.
- [2] Maria-Gabriella Di Benedetto, Thomas Kaiser, Andreas F. Molisch, Ian Oppermann, Christian Politano, Domenico Porcino, UWB Communication Systems: A Comprehensive Overview, EURASIP Book Series on Signal Processing and Communications, Volume 5. Hindawi Publishing Corporation. 2006.

- [3] First report and order 02-48, Federal Communications Commission, 2002.
- [4] Diario Oficial de la Unión Europea. 25 de abril de 2009, 105/9-105/13
- [5] M. Ghavami, L.B. Michael, R. Kohno, *Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering*, John Wiley & Sons, Ltd. 2004.
- [6] H. Sugahara, Y. Watanabe, T. Ono, K. Oknoue, and S. Yarnazaki, Development and experimental evaluations of 'RS-2000'VA propagation simulator for UWB systems, Proc. IEEE UWBST 04, 2004, 76–80.
- [7] B. Uguen, E. Plouhinec, Y. Lostanlen, and G. Chassay, Deterministic ultra wideband channel modelling, Proc. IEEE UWBST, 2002, pp. 1–5.
- [8] G. A. Schiavone, P. Vahid, R. Palaniappan, J. Trace, and T. Dere, Analysis of ultra-wide band signal propagation in an Indoor environment, *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 36, pp. 13–15, 2003.
- [9] Theodore S.Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*. Prentice Hall PTR (2nd Edition), 2002.
- [10] <http://www.radiatio.com>
- [11] G. J. M. Janssen and J. A. M. Vriens, High resolution coherent radio channel measurements using direct sequence spread spectrum modulation, Proc. 6th Mediterranean IEEE Electrotechnical Conference, vol. 1, pp. 720-727, 1991.
- [12] Ryckaert, J., Desset, C., Fort, A., Badaroglu, M., De Heyn, V., Wambacq, P., Van der Plas, G., Donnay, S., Van Poucke, B., Gyselinckx, B., Ultra-wide-band transmitter for low-power wireless body area networks: design and evaluation, *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*. Volume 52, Issue 12, Dec. 2005, 2515 – 2525.
- [13] Zasowski, T., Meyer, G., Althaus, F., Wittneben, A., UWB signal propagation at the human head, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. Volume 54, Issue 4, Part 2, June 2006, 1836 – 1845.
- [14] Kovacs, I., Pedersen, G., Eggers, P., Olesen, K. Ultra wideband radio propagation in body area network scenarios, *Spread Spectrum Techniques and Applications, 2004 IEEE Eighth International Symposium on* 30 Aug.-2 Sept. 2004, 102 – 106.
- [15] Klemm, M., Troester, G., *Textile UWB Antennas for Wireless Body Area Networks*, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Volume 54, Issue 11, Part 1, Nov. 2006, 3192 - 3197.