

TECNOLOGÍA ULTRA-WIDEBAND (UWB)

LA REVOLUCIÓN A CORTO ALCANCE

Jordi Diaz

Center for Communications and Signal Processing Research
New Jersey Institute of Technology

jordi.diaz@njit.edu

1. INTRODUCCIÓN

El creciente agotamiento del espectro electromagnético, debido a la abundancia de aplicaciones radio, está fomentando el desarrollo de una nueva tecnología que promete reutilizar el espectro para proporcionar comunicaciones inalámbricas de corto alcance con capacidades nunca vistas hasta ahora. Ultra-Wideband, también conocido como "Impulse Radio", intenta escapar de las restricciones clásicas de ancho de banda para comunicaciones radio, explotando al máximo el concepto de espectro ensanchado. Sus impulsores afirman que UWB es capaz de utilizar bandas de frecuencia asignadas a otros servicios y funcionar con ellos sin causar interferencias perjudiciales.

El interés que ha despertado esta tecnología ha impulsado un proceso de revisión de las normativas que regulan las emisiones radio, tanto en los Estados Unidos como en Europa, para permitir que Ultra-Wideband pueda operar legalmente. Basándose en los recientes avances de las normativas en América, se puede esperar que la tecnología UWB abra las puertas al desarrollo de infinidad de aplicaciones de radar y comunicaciones de corto alcance. En un futuro, todas las cámaras podrían tener dispositivos auto-enfoque UWB, los coches podrían tener radares UWB para asistir en maniobras de aparcamiento. UWB podría convertirse en la tecnología dominante para comunicaciones inalámbricas multimedia en los hogares.

2. ¿QUÉ ES UWB?

Ultra-Wideband se define como cualquier transmisión radio que ocupe un ancho de banda mayor al 25% de la frecuencia central o más de 1.5GHz. Aunque esta definición no sea muy descriptiva a primera vista, sí sirve para diferenciar UWB de sistemas tradicionales de banda estrecha, así como de los nuevos sistemas celulares de banda ancha, también conocidos como sistemas celulares de tercera generación (3G).

Existen dos diferencias fundamentales entre UWB y los mencionados sistemas de banda-estrecha y banda ancha. La primera y más obvia, es que los sistemas UWB utilizan un ancho de banda mucho mayor del que utiliza cualquier tecnología radio celular actual. La segunda es que UWB transmite pulsos en lugar de señales sinusoidales. Los

sistemas tradicionales utilizan portadoras de radio-frecuencia (RF) para desplazar la señal en el dominio frecuencial desde la banda base hasta la frecuencia de la portadora, donde el sistema tiene licencia para operar. Por el contrario, en los sistemas UWB la información modula directamente impulsos, muy cortos en tiempo, que generan una señal cuyo espectro puede ocupar desde pocos Hertzios hasta varios GHz. En este sentido, UWB es Banda Base.

Uno de los pulsos propuestos para transmisiones UWB es el monociclo Gaussiano, cuya representación en el dominio temporal y frecuencial se muestran en la Figura 1 y Figura 2 respectivamente. La modulación más comúnmente utilizada en los sistemas UWB es Pulse Position Modulation (PPM), principalmente por su capacidad de acceso multi-usuario y su resistencia a la propagación multi-camino. La sección 4 de este artículo describe la utilización de PPM para UWB.

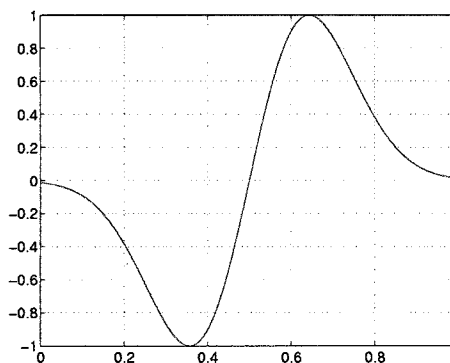


Figura 1. Monociclo Gaussiano en el dominio temporal.

Sin embargo, la característica que constituye una ruptura con todas las tecnologías anteriores, es que la señal UWB está diseñada para ocupar bandas de frecuencia asignadas a otros servicios sin causar interferencias ostensibles. Esto es posible porque los sistemas UWB emiten a una potencia muy baja que, repartida por un ancho de banda tan grande, produce una densidad espectral de potencia de pocos mW/Mhz. Estos niveles de señal son comparables a los niveles de ruido que soportan los receptores de otros sistemas. Se podría decir que la estrategia de UWB consiste en repartir su capacidad de interferencia entre

todos los demás servicios y por tanto, interfiriendo muy poco a cada uno de ellos.

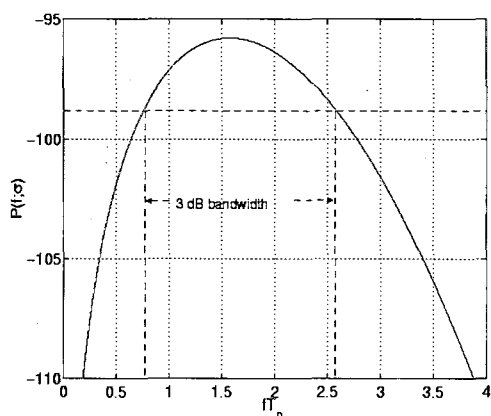


Figura 2. Monociclo Gaussiano en el dominio frecuencial

Sin duda alguna, el factor clave para determinar la inocuidad de la interferencia causada a otros sistemas, es el nivel de potencia en el que se permita operar a UWB. La sección 3 de este artículo presenta el espacio que ocupa UWB dentro de las normativas, tanto europeas como americanas.

Las restricciones de potencia en las que forzosamente tiene que operar la tecnología UWB, la hacen inviable para aplicaciones de largo alcance. Esto no supone ningún contratiempo, puesto que UWB está concebido para comunicaciones de corto alcance, principalmente para dar servicio indoor en oficinas, bibliotecas, hogares, aeropuertos, universidades, etc. En estos entornos la propagación multi-camino es un problema importante, ya que la señal rebota en muchos objetos antes de llegar al receptor. Algunos estudios demuestran que las señales UWB con modulación PPM soportan mucho mejor la propagación multi-camino que las señales sinusoidales [1][2]. Otro problema en ambientes indoor es que emisor y receptor difícilmente tienen visión directa y por tanto la señal tiene que atravesar objetos para llegar a su destino. UWB utiliza las frecuencias más bajas posibles; de esta forma mejora su capacidad de penetración en materiales que tienden a ser más opacos a frecuencias altas. Esta cualidad hace a UWB apropiada para otros propósitos aparte de las comunicaciones; tales como radares personales para detectar colisiones, sistemas de imagen que puedan ver a través de paredes, dispositivos precisos de localización, etc...

UWB ha despertado también el interés del gobierno norteamericano por su posible uso para aplicaciones militares. Tal como ocurriera con CDMA, las características que hacen de UWB una tecnología útil para el sector militar son su indetectabilidad[3] y su resistencia a interferencias de banda estrecha[4].

Así pues, tenemos una tecnología con dos cualidades fundamentales: gran ancho de banda y baja potencia. Estos atributos la habilitan a cohabitar con otros sistemas

de telecomunicaciones reutilizando el espectro; pero también la limitan para aplicaciones de corto alcance. La siguiente sección sitúa la tecnología UWB dentro de las tendencias actuales en comunicaciones radio para corto alcance.

3. EL CORTO ALCANCE.

Si el medio radio-eléctrico fuera ideal, podríamos usarlo para enviar mucha información, muy lejos, muy rápido, para muchos usuarios, todo al mismo tiempo. Desafortunadamente, las leyes físicas hacen imposible alcanzar estos cinco atributos simultáneamente. Debemos comprometer uno de ellos como mínimo si queremos alcanzar otro.

En los inicios de las comunicaciones radio, los usuarios decidieron que la habilidad de enviar información muy lejos era el atributo más importante. Marconi gustosamente comprometió los otros cuatro atributos cuando mandó la primera transmisión radio transatlántica de la historia en Diciembre de 1901. Sin embargo, en los 100 años transcurridos desde entonces, se ha producido una clara tendencia enfocada a mejorar los otros cuatro atributos a expensas de la distancia. El ejemplo más claro es la telefonía celular, que puede cubrir distancias desde 30 kilómetros hasta tan pequeñas como 300 metros. Estas distancias tan cortas son útiles sólo cuando son soportadas por estructuras cableadas; en este caso la red telefónica existente.

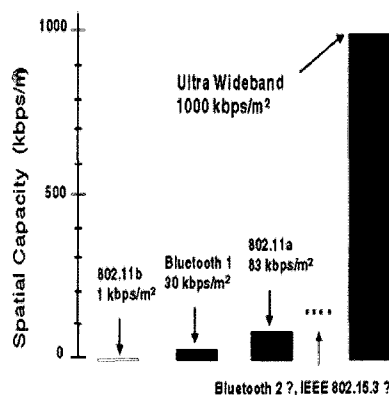


Figura 3. Comparación de capacidad espacial para sistemas radio de corto alcance

En los últimos años sistemas de más corto alcance (de 10 a 100 metros) han empezado a aparecer impulsados por aplicaciones de datos. En lugar de la red telefónica, Internet es la infraestructura cableada de soporte para este tipo de aplicaciones. Son muchos los que creen que, la combinación de comunicaciones radio a corto alcance y Internet cableado, puede convertirse rápidamente en el complemento perfecto para la nueva generación de sistemas celulares para datos, voz, audio y vídeo. Cuatro son

los factores que están impulsando las comunicaciones radio de corto alcance en general y UWB en particular:

- 1) La creciente demanda de servicios de datos, para entornos móviles, con mayor ancho de banda pero con menor coste y consumo energético que los existentes actualmente.
- 2) Super-explotación del espectro radioeléctrico, que se encuentra fragmentado por las autoridades normativas de la manera tradicional.
- 3) La popularización de acceso a Internet de alta capacidad en empresas, hogares y espacios públicos.
- 4) Continua bajada del coste de semiconductores así como de su consumo de potencia para procesado de señal.

Los factores 1 y 2 favorecen sistemas que ofrecen, no sólo altas velocidades de pico, sino también capacidad espacial; donde capacidad espacial se define como bits/seg/metro-cuadrado. De la misma forma que la red telefónica permitió la telefonía celular, el factor 3 hace posible la provisión de gran ancho de banda para dispositivos móviles que usen estándares para comunicaciones sin cables a corto alcance tales como Bluetooth o IEEE 802.11. Finalmente, el factor 4 hace posible el uso de técnicas de procesado de señal que eran impracticables hace tan sólo unos años. Es precisamente este último factor el que hace posible la tecnología Ultra-Wideband.

Los emergentes estándares para comunicaciones radio para corto o medio alcance, llevan implícitas unas ciertas capacidades espaciales. Por ejemplo:

- **IEEE 802.11b** tiene un rango de operación de 100 metros. En la banda ISM 2.4Ghz, hay cerca de 80Mhz de espectro libre. Por lo tanto, en un círculo de radio 100 metros, tres IEEE 802.11b a 22Mhz pueden operar sin interferencias, cada uno de ellos ofreciendo una velocidad máxima de 11Mbps. La suma total de 33Mbps, dividido por el área del círculo, resulta en una capacidad espacial de 1000bits/seg/metro-cuadrado.

- **Bluetooth**, en su versión de baja potencia, opera en un rango de 10 metros y tiene una velocidad máxima de 1 Mbps. Algunos estudios han mostrado que aproximadamente 10 «piconets» Bluetooth pueden operar simultáneamente en el mismo círculo de radio 10 metros, con mínima degradación. Esto resulta en una velocidad de 10Mbps, que dividido por el área del círculo produce una capacidad espacial de aproximadamente 30.000 bits/seg/metro-cuadrado.

- **IEEE 802.11a** está concebido para tener un rango de operación de 50 metros y una velocidad máxima de 54Mbps. Considerando los 200Mhz de espectro libre en

la parte baja de la banda U-NII a 5Ghz, 12 sistemas pueden operar simultáneamente con una aceptable degradación para conseguir una velocidad total de 648Mbps. Por tanto, la capacidad espacial prevista para este sistema es aproximadamente 83.000 bits/seg/metro-cuadrado.

Diversas son las capacidades proyectadas para sistemas UWB. Por ejemplo, un desarrollador de UWB ha medido velocidades máximas de 50Mbps en un rango de 10 metros. Seis sistemas pueden operar en la misma área de 10 metros de radio con mínima degradación. Siguiendo el mismo procedimiento, la capacidad espacial para el sistema UWB resulta aproximadamente de 1.000.000 bits/seg/metro-cuadrado.

Otros estándares aún en desarrollo en el “Bluetooth Special Interest Group” y el “IEEE 802 Working Group”, pueden elevar considerablemente las capacidades de sus respectivos sistemas, pero no parece probable que puedan alcanzar la capacidad espacial de UWB, tal como muestra la Figura 3.

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

Figura 4: Teorema de la capacidad de Shannon

Una justificación para ello es que todos los sistemas están limitados por el teorema de la capacidad del canal de Shannon descrito en la Figura 4. Debido a que el límite superior de la capacidad de un canal crece linealmente con el ancho de banda disponible; los sistemas UWB, que ocupan 2Ghz o más, tienen más posibilidades de expansión que otros sistemas más limitados en ancho de banda.

Para aprovechar al máximo el ancho de banda, UWB utiliza la modulación PPM, cuyos fundamentos se presentan en la siguiente sección.

4. MODULACIÓN PPM-UWB

Las modulaciones de amplitud o frecuencia/fase no son apropiadas para este tipo de comunicaciones por impulsos. Por este motivo la modulación más utilizada en comunicaciones UWB es PPM (Pulse Position Modulation). PPM es una forma de modulación temporal en la que cada símbolo de información modula la posición en tiempo de un pulso. Los sistemas PPM-UWB utilizan trenes de pulsos, no solo un único pulso, para comunicar un símbolo. El intervalo entre pulsos se controla pulso por pulso en función de 2 componentes: una componente de información y un código pseudo-aleatorio. La componente pseudo-aleatoria se utiliza para repartir la energía en el dominio frecuencial, habilitar el acceso multi-usuario y para hacer el sistema más resistente a interferencias externas.

Como ejemplo véase la Figura 5 en la que se muestran 3 posibles señales UWB. En las tres señales se ha elegido transmitir 2 pulsos por bit. La primera corresponde a la transmisión de la secuencia de información [101] por parte

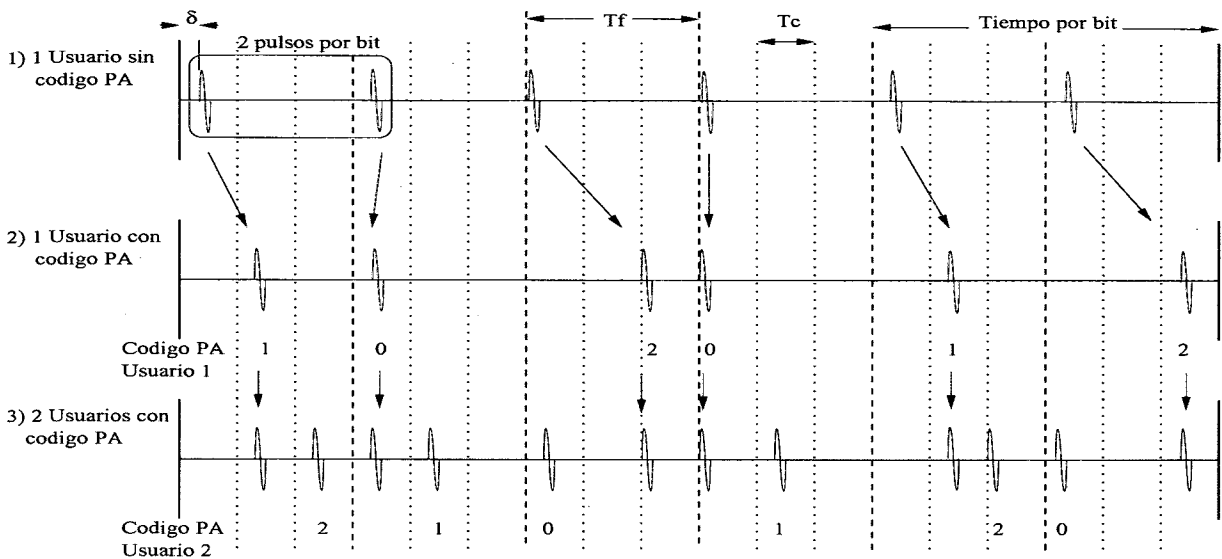


Figura 5. Ejemplo de 3 señales Ultra-Wideband con modulación PPM

| | Información | Código |
|-----------|-------------|--------|
| Usuario 1 | 101 | 102012 |
| Usuario 2 | 110 | 210120 |

Tabla 1. Secuencia de información y códigos pseudo-aleatorios de los usuarios de la señal 3

de un sólo usuario. Se puede observar que los pulsos correspondientes al bit '1' están desplazados d respecto a la posición que tendrían si fueran un cero. En esta señal no se utiliza la componente pseudo-aleatoria. La segunda señal de la Figura 5 contiene la misma información que la señal 1, pero en este caso se utiliza la componente pseudo-aleatoria. La utilización de la secuencia PA permite el acceso multi-usuario tal como se muestra en la señal número 3. La información y secuencias PA utilizadas en esta señal se incluyen en la Tabla 1. A partir de este ejemplo se pueden definir algunos de los parámetros básicos de una señal PPM-UWB.

- N_s : Número de pulsos por bit. En el ejemplo $N_s=2$. En casos reales se utilizan valores desde 200 a 2000 pulsos por bit.
- d : Tiempo de desplazamiento por información. Valor típico 0.156ns.
- T_f : Tiempo de repetición de pulso. En casos reales suele ser entre 100 y 1000 veces mayor que la duración del pulso.
- T_c : Tiempo de desplazamiento por código.

Con estos parámetros resulta evidente calcular la velocidad de transmisión $R_s=1/T_f \cdot N_s$. Una descripción más exhaustiva de la señal UWB generada por la modulación PPM puede encontrarse en [5].

La detección óptima en entornos multi-usuario conlleva un aumento en la complejidad del diseño de los receptores. Sin embargo, si el número de usuarios es grande y la detección multiusuario es irrealizable, entonces es razonable aproximar el efecto combinado de los otros usuarios por un proceso aleatorio

Gaussiano. En este caso, el receptor óptimo para UWB es el receptor de correlación.

El detector de correlación multiplica la señal de entrada por un pulso "plantilla". La señal que sale del multiplicador se integra y el valor de la integración, de todos los pulsos que forman un bit, es el que determina la decisión entre 0 o 1. Si el pulso recibido es $r(t)$, el pulso plantilla acostumbra a ser $v(t)=r(t)-r(t-d)$. En la Figura 6 se muestra un pulso recibido. La Figura 7 muestra el pulso plantilla correspondiente, eligiendo $d=0.156$ ns.

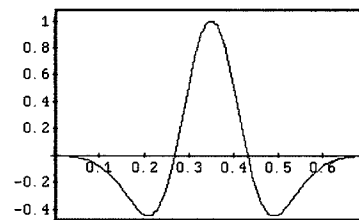


Figura 6. Típico pulso recibido en función del tiempo en nanosegundos

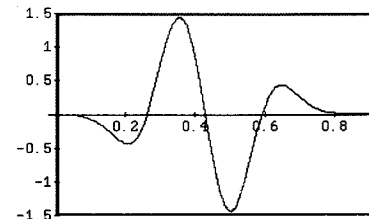


Figura 7: Pulso plantilla $v(t)=r(t)-r(t-d)$ diseñado para recibir señales UWB con parámetro $d = 0.156$ nanosegundos

Tal como es de esperar, la correlación de estos dos pulsos tiene un valor máximo cuando no existe retardo entre ellos. Por el contrario, el valor de la correlación entre ambos pulsos es mínimo cuando el pulso recibido llega retardado d . El valor umbral de decisión es 0. Esto significa que para valores positivos de la correlación se decide que el bit recibido es 0 y para valores negativos de la correlación se decide que el bit recibido es 1.

Una de las ventajas de los sistemas UWB con modulación por impulsos es su inherente robustez al fading multi-camino^[1]. Intuitivamente, esto puede explicarse de la siguiente manera. El fading multi-camino se produce por la interferencia destructiva causada por la suma de señales que, al llegar por diferentes caminos, pueden estar desfasadas unas de otras. Los pulsos extremadamente estrechos de UWB que resultan de las reflexiones en la propagación multi-camino, son tratados de forma independiente en el receptor, en lugar de combinarse destructivamente. Como resultado, la atenuación variante con el tiempo, que tanto daño hace a los sistemas de banda estrecha, se reduce significativamente por la naturaleza de la forma de onda UWB.

Los sistemas UWB parecen tener un gran potencial para soportar futuros sistemas sin cables de alta capacidad. Sin embargo, existen aún importantes desafíos que afrontar antes de que esta tecnología sea una realidad. Uno de ellos es encontrar la forma de hacer que esta tecnología se legal sin causar inaceptables interferencias a otros usuarios compartiendo el espectro. Sobre este tema trata la próxima sección.

5. NORMATIVA

La regulación será el factor crítico que determine qué tipo de dispositivos UWB se desarrollarán en el futuro. Las autoridades normativas Europeas aún no han afrontado la regulación de sistemas UWB. Todo lo contrario está ocurriendo en los Estados Unidos, donde la FCC (Federal Communications Commission) ha estado activa en el área de UWB desde hace varios años. En setiembre de 1998, la FCC inició un procedimiento llamado «Notice of Inquiry» para investigar la operatividad de sistemas radio Ultra-Wideband sin licencia bajo el apartado 15 de su normativa. El apartado 15 de la normativa de la FCC establece límites para emisiones, tanto intencionadas como no intencionadas, en bandas sin licencia.

Más recientemente, el 11 de Mayo de 2000, la FCC publicó una «Notice of Proposed Rule Making» (NPRM) con la intención de revisar el apartado 15 de su normativa para incluir a sistemas UWB. En su NPRM, la FCC proponía que provisionalmente las emisiones UWB por encima de 2 GHz deberían cumplir con los límites del apartado 15, y que las emisiones UWB por debajo de 2 GHz deberían atenuarse 12dB por debajo de los límites de dicha norma. Este último límite proporcionaría protección adicional a servicios en el congestionado espectro por debajo de 2 GHz.

Una de las preocupaciones de las autoridades reguladoras son las interferencias que pueden causarse por la proliferación de dispositivos UWB [6]. La FCC se ha comprometido a asegurar que los servicios de seguridad y asistencia, en particular el sistema de posicionamiento global (GPS), estén protegidos de interferencias UWB. GPS es un componente esencial de muchos sistemas, tales como sistemas de navegación para aviación, y es utilizado como referencia de tiempo para varios sistemas de telecomunicaciones. De hecho, una organización

americana, la National Telecommunications and Information Administration, está realizando tests para analizar la interferencia provocada por dispositivos UWB y de esta forma entender los efectos que esta interferencia provoca en los receptores GPS.

Como resultado de estos y otros estudios la FCC emitió, el pasado 14 de febrero de 2002, su primer «Report and Order for UWB technology», que autoriza el desarrollo comercial de la tecnología UWB para usos limitados [7]. También se ha comprometido a revisar los estándares en los próximos 6-12 meses para explorar la posibilidad de estándares más flexibles que permitan el desarrollo de otro tipo de dispositivos UWB. Por ahora, los dispositivos para comunicaciones UWB están restringidos a operar bajo la normativa para operaciones intencionadas entre 3.1 y 10.6GHz. La normativa de la FCC constituye sólo el primer paso en el camino que Ultra-Wideband tiene que recorrer para hacer realidad todo su potencial.

REFERENCIAS

- 1.-M. Z. Win and R. A. Scholtz, "On the robustness of Ultra-Wide Bandwidth Signals in Dense Multipath Environments," IEEE communications letters, vol. 2, no. 2, february 1998.
- 2.-M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Ultra-Wide Bandwidth Signal Propagation for indoor Wireless Communications," in Proc. IEEE Int. Conf. Communications, vol. 1, Montréal, Canada; June 1997, pp. 56-60.
- 3.-G.D. Weeks, J.K. Townsend, and J.A. Freebersyser, "Quantifying the covertness of pulse radio," 1999 International UWB Conference, Sep. 1999.
- 4.-L. Zhao and A.M. Haimovich, "Interference suppression in ultra-wideband communications" Proceedings of 35th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS '01), pp. 759-763, Mar. 21-23 2001, Baltimore, Maryland, USA.
- 5.-R.A Scholtz, "Multiple access with time-hopping impulse modulation" Proceeding of IEEE MILCOM'93, vol. 3, Oct. 1993.
- 6.-Multiple Access Communications Ltd.: 'An Investigation into the Potencial Impact of Ultra-wideband Transmission Systems', August 1999, www.macltd.com, report commissioned by the UK Radiocommunications Agency.
- 7.-El Vídeo de la reunión de la FCC se encuentra disponible en: <http://www.fcc.gov/realaudio/agendameetings.html>

AUTOR



Jordi Diaz es ingeniero de telecomunicación por la Universitat Politècnica de Catalunya. Durante el año 2002 realizó su proyecto final de carrera sobre comunicaciones Ultra-Wideband en el Center for Communications and Signal Processing Research (New Jersey, EE.UU). Anteriormente trabajó para el Col·legi d'arquitectes de Catalunya y al-pi Telecomunicacions. Actualmente es estudiante de doctorado en el New Jersey Institute of Technology.