

Nº1 | NUEVAS TECNOLOGIAS | DICIEMBRE 2007

TECNOLOGÍA EMERGENTE: BANDA ULTRA ANCHA

Autor: Ing. José I. Cracovski

COORDINACIÓN DE LAS PUBLICACIONES

Ing. Guillermo Clemente | Ing. Guillermo Montenegro

Diseño y diagramación: Aixa Sacco

La información contenida en la presente publicación puede ser utilizada total o parcialmente mientras se cite la fuente.

ISBN 978-987-24110-2-2

Hecho el depósito que marca la Ley N° 11.723

Primera Edición: 2000 ejemplares

Buenos Aires, Diciembre de 2007

NÓMINA DE AUTORIDADES

PRESIDENTA DE LA NACIÓN

DRA. CRISTINA FERNANDEZ

MINISTRO DE PLANIFICACIÓN FEDERAL, INVERSIÓN PÚBLICA Y SERVICIOS

ARQ. JULIO MIGUEL DE VIDO

SECRETARIO DE COMUNICACIONES

ARQ. CARLOS LISANDRO SALAS

COMISIÓN NACIONAL DE COMUNICACIONES

INTERVENTOR

ING. CEFERINO ALBERTO NAMUNCURÁ

UNIDAD DE AUDITORÍA INTERNA

CR. CARLOS ALBERTO BONOMI

GERENCIA DE CONTROL

DR. SILVIO DE DIEGO

GERENCIA DE INGENIERÍA

ING. GUILLERMO CLEMENTE | ING. CARLOS GAINZA

GERENCIA DE SERVICIOS POSTALES

DR. ALFREDO JAVIER PÉREZ

GERENCIA DE RELACIONES INTERNACIONALES E INSTITUCIONALES

LIC. SERGIO SCARABINO | LIC. NÉSTOR CHUMBITA

GERENCIA DE ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS

LIC. HORACIO JOSÉ TRUCCO

GERENCIA DE ASUNTOS JURÍDICOS Y NORMAS REGULATORIAS

DRA. JUVINA INÉS INTELÁNGELO DE TEN

COORDINACIÓN DE CENTROS DE COMPROBACIÓN TÉCNICA DE EMISIONES

ING. VICTOR DANIEL FRIZZERA

INDICE

PROLOGO	7
INTRODUCCION	11
CAPITULO I	
Historia	13
Antecedentes	13
Comienzos comerciales	14
Institucionalización	15
CAPITULO II	
Tipos de Modulación	17
Modulación en amplitud, en frecuencia y en fase	17
Espectro ensanchado	17
Secuencia directa	18
Salto de frecuencia	19
Modulación por posición de pulsos (PPM)	19
PPM y Banda Ultra Ancha	20
CAPITULO III	
Banda Ultra Ancha Generada por Pulsos	21
Teoría básica	21
Tipos de pulsos	21
Monociclos	21
Dobletes	23
Canalización	24
Comportamiento frente a las interferencias y al ruido	26
Usos	27
Radiocomunicaciones	27
Transmisor	27
Receptor	28
Comportamiento frente a los multitrayectos	29
Aplicaciones actuales y futuras	30

Radiolocalización y radar	31
Radiolocalización	31
Radar	33
Generalidades	33
Radares tradicionales	34
Radares de BUA	34
Aplicaciones	35
CAPITULO IV	
Otros métodos de transmisión de BUA	37
BUA de Secuencia Directa	37
BUA por Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencias	39
CAPITULO V	
Reglamentación	41
En administraciones reguladoras nacionales	41
Federal Communications Commission (FCC)	41
Comisión europea	43
En organismos normalizadores	44
Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), WiMedia Alliance y UWB Forum	44
Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)	44
Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL)	44
CONCLUSIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXO	
MERCADO MUNDIAL DE BANDA ULTRA ANCHA	48

PRÓLOGO

En consonancia con los lineamientos trazados desde el Gobierno Nacional y el Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios, tendientes a promover una política social estratégica que posibilite recuperar la participación del Estado en la formulación de políticas e instrumentos de crecimiento, inclusión y desarrollo social, desde que comenzó nuestra gestión, en la CNC hemos ido desarrollando una serie de prácticas y actividades tendientes a construir un nuevo paradigma en cuanto al rol del Organismo en su relación con la sociedad.

Durante estos años hemos implementado diversos proyectos con el objetivo de mejorar los sistemas de información y comunicación, habilitar mecanismos de participación ciudadana, hacer más eficientes los procedimientos administrativos y de resolución de reclamos y diseñar nuevas estrategias de control en materia de Telecomunicaciones, Radioeléctrico y Postales, demostrando que es posible lograr una gestión pública con altos niveles de calidad y eficiencia, generando una mayor capacidad de control, optimizando recursos, desarrollando investigaciones, innovando tecnológicamente y redefiniendo las relaciones con los distintos actores sociales involucrados.

Dentro de este marco de mejores prácticas encaradas durante la actual gestión, una de las acciones fundamentales que nos hemos propuesto fue la generación y transferencia de conocimientos, impulsando, entre otros proyectos: Convenios de Cooperación para el desarrollo de nuevas tecnologías y aplicacio-

PRÓLOGO

nes con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE; un Proyecto de Indicadores del Mercado de Telecomunicaciones, a efectos de disponer de información actualizada, consistente y confiable que permita reflejar el estado del sector, así como configurar un instrumento de gran valor estratégico para la gestión, planificación y control del mercado; la implementación de un Programa Federal de Capacitación a Cooperativas que prestan servicios de telecomunicaciones, informando acerca de los requerimientos, condiciones y posibilidades regulatorias y técnicas existentes, contribuyendo a mejorar la calidad de los servicios que prestan y a promover la competencia; y el desarrollo de una serie de investigaciones con el objetivo de aportar información sobre la materia en función de ciertas preocupaciones detectadas en distintos sectores sociales, tal el tema de las radiaciones no ionizantes, el emplazamiento de antenas y el reciclado y tratamiento de residuos electrónicos.

Es dentro de este contexto donde se encuadra la presente colección sobre nuevas tecnologías en el ámbito de las telecomunicaciones, conformada por 10 investigaciones realizadas por un grupo de estudio interdisciplinario, con el objetivo de brindar información actualizada a distintos actores acerca de los diversos avances tecnológicos y sus posibilidades de implementación, dotándolos de nuevas herramientas y conocimientos a fin de poder mejorar y ampliar los variados servicios de telecomunicaciones.

PRÓLOGO

El desarrollo de estas investigaciones es posible gracias al formidable capital humano con que contamos en nuestro Organismo, altamente capacitado, en constante formación y con amplia predisposición y voluntad para compartir y transmitir sus conocimientos y experiencias en la materia.

La conformación de grupos de estudio se prevé que sea extendida a otras áreas del Organismo, a fin de investigar y divulgar sobre diversas temáticas de interés tanto particular, para el mercado de telecomunicaciones, como general, para la sociedad en su conjunto, pues consideramos que el desarrollo de investigaciones propias constituye una obligación y una responsabilidad para el Estado en tanto instrumento para mejorar las condiciones sociales de nuestra población, y, en particular para nuestro Organismo, con el propósito de facilitar y promover el acceso a las telecomunicaciones, a la información y al conocimiento.



Ing. Ceferino Namuncurá

INTERVENTOR

COMISIÓN NACIONAL DE COMUNICACIONES

INTRODUCCIÓN

Desde la demostración práctica de Heinrich Rudolf Hertz en 1888 de la existencia de las ondas electromagnéticas, su aplicación a la transmisión de información se ha basado principalmente en la modulación de una portadora sinusoidal. No obstante, en la última década del siglo pasado, la posibilidad de transportar información por medio de portadoras no sinusoidales adquirió gran notoriedad. Organismos regulatorios, como el Federal Communications Commission, han elaborado o tienen en preparación reglamentaciones de estas nuevas tecnologías. Una de las posibilidades, aunque no la única, de implementación de esta tecnología es la generación de pulsos de forma apropiada, cuyas características, por ejemplo: separación, ancho, etc. puedan variarse para imprimirle la información a transportar. Esto resulta en un espectro de un ancho enorme, el que puede llegar a varios GHz. Esto es el motivo por el cual este tipo de emisiones recibe la denominación de Banda Ultra Ancha¹ (BUA). Por sus características la BUA no requiere asignación de espectro ya que puede compartir la banda con las emisiones convencionales, es muy resistente a las interferencias y su consumo energético es menor que otras tecnologías competidoras.

La BUA tiene una inmensa cantidad de aplicaciones, no solamente para todo tipo de comunicaciones de voz, video, datos a gran velocidad (hoy día hasta 1 Gbit/s), incluyendo aquellas que emplean tecnología celular, sino también para la radiolocalización precisa de objetos sobre la tierra o debajo de ella.

⁽¹⁾ O en inglés: Ultra Wide Bandwith (UWB).

CAPÍTULO I: HISTORIA

ANTECEDENTES

Las primeras aplicaciones de Banda Ultra Ancha (BUA) fueron para radiolocalización, ya que una de sus ventajas es su buena definición.

Si bien la invención de Louis A. Ross de un radar militar, cuya solicitud de patente² ingresó el 23 de Noviembre de 1942, utilizaba una portadora sinusoidal, puede considerarse como uno de los primeros antecedentes de la BUA. Las señales de radiolocalización emitidas por el citado dispositivo consistían en una serie de pulsos generados aleatoriamente que modulaban una portadora sinusoidal. Las señales así generadas resultan muy difícil de interferir por el enemigo, ya que la mencionada secuencia aleatoria solo es conocida por el emisor.

El 12 de marzo de 1971, Gerald F. Ross solicita la patente³ de un sistema de comunicaciones que utiliza pulsos en “banda base” de duración inferior al nanosegundo. En dicha patente Ross señala que este sistema requiere un gran ancho de banda, el que ocupa el mismo lugar que las transmisiones convencionales sin que exista interferencia mutua. Ross no utiliza en aquel entonces la denominación de Banda Ultra Ancha.

En el período 1960 a 1980 se efectúan importantes contribuciones a

2 Patente N° 2.671.896, registrada en la Oficina de Patentes de los Estados Unidos de N.A: el 9/3/1954, adjudicada a la I.T. & T.

3 Patente N° 3.728.372, registrada en la Oficina de Patentes de los Estados Unidos de N.A: el 17/4/1973, adjudicada a la Sperry Rand Co.

CAPÍTULO I: HISTORIA

esta nueva tecnología, tanto en USA como en Rusia y China. Son destacables los artículos y libros de Henning F. Harmuth en dicho período, los que contribuyeron a que la BUA pasara al dominio público. Los osciloscopios de muestreo de Hewlett Packard y Tektronix, desarrollados en aquella época, constituyeron otra contribución importante al desarrollo tecnológico de la BUA. El modulo receptor del dominio del tiempo Tektronix 7S12, puesto a la venta en 1968, fue de gran ayuda para los proyectistas de BUA. Los grandes avances producidos en los componentes de estado sólido en aquellos años tales como transistores de avalancha de conmutación, dispositivos CMOS, conmutadores foto-sensibles, etc. fueron fundamentales en el progreso de la tecnología emergente que nos ocupa.

COMIENZOS COMERCIALES

A fines de la década del '80 surgieron algunas pequeñas compañías dedicadas a la investigación y desarrollo y posterior comercialización de las tecnologías de BUA. Entre ellas merecen citarse Multispectral Solutions, Inc. Pulson Communications (actualmente Time Domain Corporation y Aether Wire), que se especializaron en ubicación de objetos y en comunicaciones. A mediados de la década siguiente se creó en la University of Southern California el UltraLab que inició gestiones ante la Federal Communications Commission (FCC) para que se permitiera la comercialización de la BUA. Por esa época, las incipientes compañías de BUA se asociaron informalmente en lo que posteriormente tomó el nombre de Ultra-Wideband Working Group, para conse-

CAPÍTULO I: HISTORIA

guir que el FCC reglamentara la nueva tecnología, lo que finalmente se logró en Febrero de 2002.

A fines de los '90 surgen dos nuevas tecnologías para generar y recibir BUA, las que serán tratadas más adelante en este trabajo.

INSTITUCIONALIZACIÓN

Con el reconocimiento de esta emergente tecnología, la investigación y comercialización de la misma tomó gran impulso. Las mayores aplicaciones actuales se dan en el campo de la localización de objetos sobre y bajo tierra y en comunicaciones a corta distancia. Las aplicaciones son tanto civiles como militares.

CAPÍTULO II: TIPOS DE MODULACIÓN

MODULACION EN AMPLITUD, EN FRECUENCIA Y EN FASE

El método tradicional de transmitir información por medio de ondas electromagnéticas es mediante la utilización de una portadora sinusoidal modulada por la mencionada información. Esta modulación se efectúa, como es bien sabido, mediante la variación instantánea de la frecuencia (FM), fase (PM) o amplitud (AM) de la portadora al ritmo de la información a transmitir. El ancho de banda ocupado por estas emisiones puede variar de unos 11 kHz para las emisiones de FM de banda angosta hasta 6 MHz (en Argentina) para las de televisión. Cabe acotar que los radioenlaces de microondas digitales (que modulan en frecuencia la portadora) pueden ocupar anchos de banda de hasta 40 MHz.

ESPECTRO ENSANCHADO

En los transmisores de espectro ensanchado la señal de la banda base -que esta constituida por datos o por una señal analógica digitalizada- modula una portadora de manera tal de lograr un espectro mucho mayor que el de la banda base. Una característica importante de las emisiones de espectro ensanchado es que en el mismo ancho de banda pueden “convivir” otras emisiones de la misma tecnología y las de otras. Lo anterior se debe a que la densidad de energía (en $\mu\text{W}/\text{Hz}$) es sumamente baja. Las emisiones de espectro ensanchado aparecen espectralmente como un ruido. Los anchos de banda típicos oscilan entre 1 MHz y 20 MHz.

CAPÍTULO II: TIPOS DE MODULACIÓN

SECUENCIA DIRECTA

Los transmisores de espectro ensanchado por secuencia directa inyectan la información a transmitir digitalizada y modulada por un generador de una secuencia pseudo aleatoria en un modulador en frecuencia M-ario. Esto resulta en una señal de banda ancha que solamente puede ser decodificada por un receptor que contiene la secuencia pseudo aleatoria del transmisor. Uno de los tantos ejemplos de aplicación de esta tecnología es la telefonía celular que emplea CDMA (Code Division Múltiple Access). Cada una de estas bandas tiene un ancho de 1,25 MHz y es capaz de soportar 64 canales dedicados a voz, datos o señalización.

SALTO DE FRECUENCIA

En este caso la secuencia pseudo aleatoria es aplicada a la frecuencia de la portadora. A fin de recibir correctamente la señal, el receptor deberá estar sincronizado con los cambios de frecuencia de la portadora. La tecnología denominada Bluetooth emplea espectro ensanchado por salto de frecuencia, con el agregado de que las frecuencias de salto se programan para evitar la coincidencia con portadoras pre-existentes.

CAPÍTULO II: TIPOS DE MODULACIÓN

MODULACIÓN POR POSICIÓN DE PULSOS (PPM)

Originalmente este tipo de modulación se implementó para transmitir información en forma alámbrica. En la Fig. 1 se muestra como mediante la variación del intervalo entre pulsos de igual amplitud pueden transmitirse unos, ceros y el símbolo “don't care”.

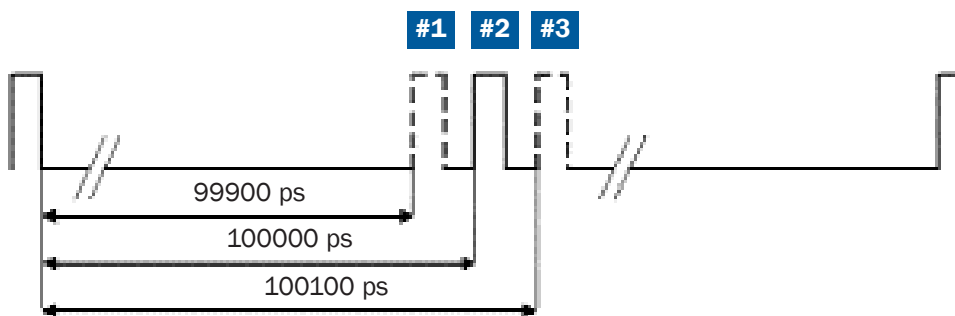


Fig. 1.- Modulación por posición de pulsos. El pulso #1 podría representar un 0 digital, el #2 un 1 digital y el #3 el símbolo “don't care”.

CAPÍTULO II: TIPOS DE MODULACIÓN

PPM Y BANDA ULTRA ANCHA

Los transmisores de BUA, en cambio y como se anticipó en la Introducción, no utilizan la modulación de una portadora. Los transmisores tradicionales de BUA y que integran la mayor parte de las aplicaciones de esta tecnología, se basan en la emisión directa al aire de una banda base constituida por trenes de pulsos cuyas características varían en función de la información a transmitir. Ya que existen varias formas de generar la BUA, la FCC definió a las mismas como las que presentan un ancho de banda superior a 500 MHz o que cumplen que $2 \cdot (f_s - f_i) / (f_s + f_i) \leq 0,2$, siendo f_i la frecuencia del extremo inferior de banda y f_s la del superior.

CAPÍTULO III: BANDA ULTRA ANCHA GENERADA POR PULSOS

TEORÍA BÁSICA TIPOS DE PULSOS

El espectro de la señal de la Fig. 1 es sumamente grande y podría, en principio, conectarse directamente a una antena apropiada lográndose así emisiones en Banda Ultra Ancha. No obstante, a fin de lograr emisiones de espectro más uniforme y cuyas características espectrales puedan ajustarse fácilmente, resulta preciso efectuar algunas modificaciones a los pulsos rectangulares. A continuación se describen algunas variantes de los pulsos utilizados en las emisiones de BUA.

MONOCICLOS

Una de las posibilidades ⁴, utilizada por la Time Domain Systems Inc., es sustituir cada pulso por dos hemisiclos sucesivos obtenidos a partir de la derivada primera de la función de Gauss, respondiendo cada hemisiclo a la siguiente fórmula:

$$g(t) = Ax \frac{t}{\tau} \times e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2} \quad (1)$$

Los pulsos así obtenidos se denominan *monociclos gaussianos* (Fig. 2a), siendo τ una constante de tiempo, que resulta aproximadamente igual a la cuarta parte del ancho del mencionado monociclo y A es directamente proporcional a la amplitud del pulso. En la Fig. 2b se muestra el espectro de frecuencias del monociclo, demostrándose en la práctica que su frecuencia central f_0 es la recíproca de la duración del monociclo gaussiano.

⁴ Patente N° 5.687.169, registrada en la Oficina de Patentes de los Estados Unidos de N.A: el 11/11/1997, a nombre de Larry Fullerton y adjudicada a Time Domain Systems Inc.

CAPÍTULO III: BANDA ULTRA ANCHA GENERADA POR PULSOS

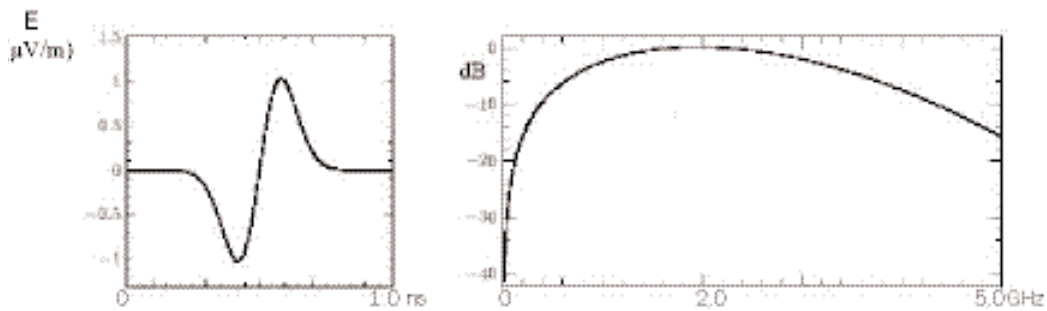


Fig. 2 a

Fig. 2 b

Fig. 2 a Monociclo gaussiano de $\tau=0,125$ ns, por lo que su duración es aproximadamente $2 \times 0,125$ ns= 0,5 ns

Fig. 2 b Espectro del anterior. Su frecuencia central es aproximadamente $1/0,5$ ns= 2 GHz.

La dependencia de τ de la duración y de la frecuencia central del monociclo facilita su ajuste. Otra de las ventajas del monociclo gaussiano con respecto a los pulsos rectangulares, es que al tener dos hemiciclos de polaridades opuestas, se cancela la componente de corriente continua, lo que permite disminuir el consumo de batería y la generación de calor.

Para transmitir la información por medio de monociclos gaussianos se utiliza modulación por posición de pulsos, tal como se ilustra en la Fig. 3a. El ciclo de servicio de los trenes de pulsos así originados es muy bajo: se recomiendan valores inferiores al 1%. La modulación por PPM contribuye a obtener un espectro de frecuencias más uniforme, tal como se ilustra en la Fig. 3b.

CAPÍTULO III: BANDA ULTRA ANCHA GENERADA POR PULSOS

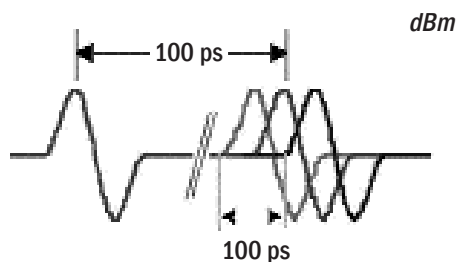


Fig. 3a

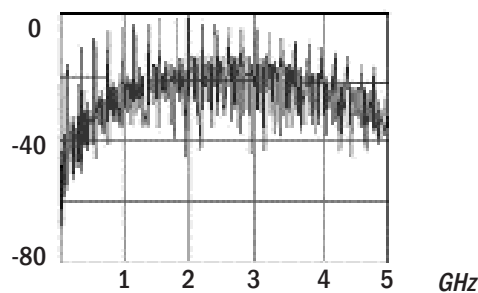


Fig. 3b

Modulación de los monociclos

Fig. 3a En el dominio del tiempo

Fig. 3b En el dominio de las frecuencias

DOBLETES

La Aether Wire & Location Inc. utiliza hemiciclos parecidos a los de la Time Domain, pero con una cierta separación entre sí y los denomina "dobletes" (Fig. 4). Dicha separación es regulable, lo que permite ajustar el formato espectral al valor más conveniente.

En la figura 5 se ilustran trenes de dobletes. Los dobletes de dichos trenes, cambian su polaridad según una cierta secuencia lo que facilita su posterior "sintonía". Si bien la Aether Wire utiliza los precitados trenes de pulsos para localización de objetos y personas, los mismos pueden también emplearse para radiocomunicaciones.

CAPÍTULO III: BANDA ULTRA ANCHA GENERADA POR PULSOS

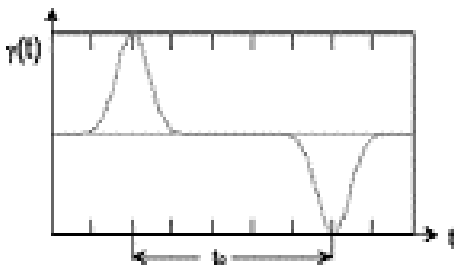


Fig. 4 a

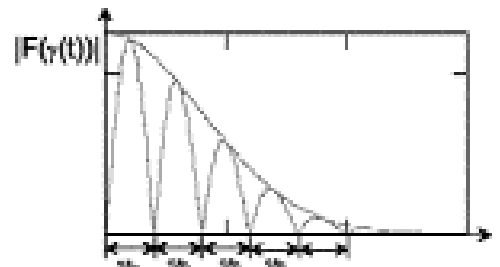


Fig. 4 b

Fig. 4 Doblete

Fig. 4a En el dominio del tiempo Fig. 4b Espectro de frecuencias

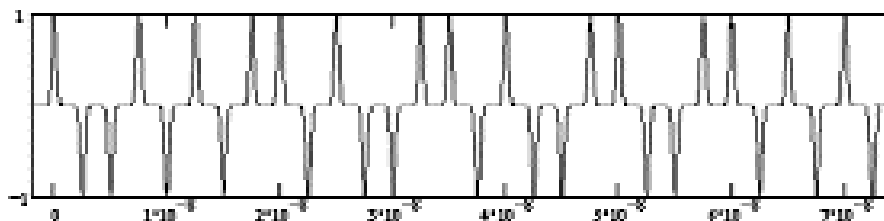


Fig. 5

Fig. 5 Tren de dobletes con un código binario

CANALIZACIÓN

Para separar entre sí o “sintonizar” los trenes de pulsos recibidos por un receptor, es preciso agregarles una codificación. En el caso de los monociclos, se agrega un desplazamiento temporal a cada pulso. El citado desplazamiento es mucho mayor que el ancho de los pulsos. Los desplazamientos descritos varían según un código del tipo de un

CAPÍTULO III: BANDA ULTRA ANCHA GENERADA POR PULSOS

ruido pseudo aleatorio. En un analizador de espectros resultaría imposible diferenciar este tipo de emisión de un ruido blanco. Solo un receptor con un detector de correlación (correlador), con el código correspondiente a la transmisión que se pretende recibir, puede recuperar la información deseada. El correlador promedia un cierto número de muestras de la señal recibida, lo que permite extraer señales cuyo nivel es considerablemente inferior al del ruido.

Los trenes de dobletes (Fig. 5), en cambio, ya incluyen la codificación exclusiva de cada transmisor. Dichos trenes también pueden detectarse por medio de un detector de correlación apropiado. Estas señales son además indistinguibles del ruido y prácticamente imposibles de interceptar e interferir.

Es importante destacar, que si bien en los dos casos anteriores parecería que pueden coexistir en el mismo sitio infinitas transmisiones de BUA, en la práctica ello estará limitado por el nivel total máximo que el receptor es capaz de recibir para una relación señal/ruido adecuada (Debe tenerse en cuenta que las señales no deseadas aparecen como un ruido). De acuerdo a un estudio teórico sobre BUA con monociclos gaussianos, efectuado por el Profesor R.A. Scholtz de la Universidad de California⁵, pueden emitirse simultáneamente unas 3 000 emisiones de 2 GHz de ancho de banda con datos de 20 kb/s. Si bien en condiciones ambientales reales tal cantidad de canales simultáneos puede resultar muy inferior, eso da una idea de la gran capacidad de esta tecnología.

⁵ Multiple Access with Time-Hopping Impulse Modulation, R. A. Scholtz. Communication Sciences Institute, University of Southern California. <http://ultra.usc.edu/assets/002/35813.pdf>

CAPÍTULO III: BANDA ULTRA ANCHA GENERADA POR PULSOS

COMPORTAMIENTO FRENTE A LAS INTERFERENCIAS Y AL RUIDO

Al igual que las transmisiones de espectro ensanchado, las de BUA pueden coexistir en la misma banda, no solo con otras emisiones similares o de espectro ensanchado, sino también con emisiones de banda angosta. El rechazo a las interferencias es proporcional a la ganancia de procesamiento G_p

$$G_p = 10 \cdot \log(AB_t / AB_i)$$

Siendo AB_t el ancho de banda de la señal de BUA y AB_i el de la información a transmitir. Por ejemplo, para 16 kHz de una señal de audio y un AB_t de 2 GHz, resulta una ganancia de procesamiento de 51 dB. Comparativamente, una señal de espectro ensanchado típica como la de CDMA utilizada por los celulares tiene una ganancia de procesamiento considerablemente menor⁶.

En cuanto al comportamiento frente al ruido, este puede explicarse mediante el teorema de Shannon-Hartley, que se expresa mediante Donde C es la máxima capacidad de información teórica en bits/segundo que, con una tasa de error tan pequeña como se desee, es posible transmitir con un cierto ancho de banda B y para una rela-

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

ción señal a ruido S/N determinada. Aplicando este teorema se demuestra que resulta posible transmitir con BUA gran cantidad de información con señales debajo del ruido.

⁶ Para una señal de audio digitalizada de 16 kHz de ancho de banda y una señal de RF de 1,25 MHz, la $G_p = 19$ dB

CAPÍTULO III: BANDA ULTRA ANCHA GENERADA POR PULSOS

Por ejemplo, para un ancho de banda de 2 GHz y $S/N = -20$ dB el C máximo teórico resulta de 29 Mb/s. Comparativamente, con la variante CDMA de espectro ensanchado de 1,25 MHz de ancho de banda solo se puede emitir un máximo teórico de 18 kb/s.

USOS

Se dividen en dos grandes grupos: **radiocomunicaciones** y **radiolocalización**.

RADIOCOMUNICACIONES

A continuación se describirá uno de los tantos esquemas, simplificado, de un transceptor que utiliza modulación por posición de pulsos.

TRANSMISOR

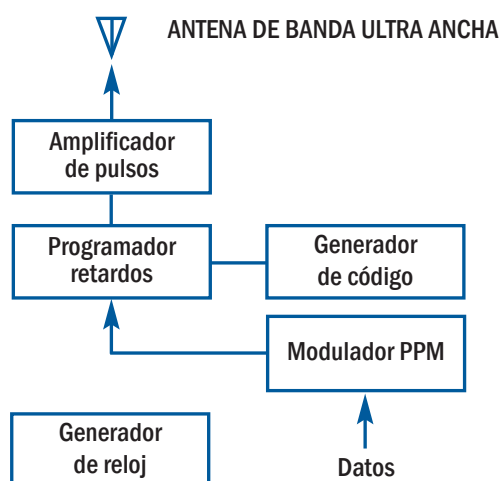


Fig. 7 Diagrama en bloques de un transmisor de BUA por PPM para radiocomunicaciones.

CAPÍTULO III: BANDA ULTRA ANCHA GENERADA POR PULSOS

La señal de datos del transmisor de Fig. 7 se inyecta al modulador por posición de pulsos. La salida de dicho modulador se aplica al programador de retardos temporales, que regula los retardos de la señal de pulsos modulada según el código -exclusivo de este transmisor- dado por el generador de códigos. El generador de pulsos es gobernado por el de retardos. El amplificador de pulsos, que generalmente utiliza circuitos CMOS, entrega pulsos de un formato determinado por las características espectrales deseadas a la antena. La citada antena debe ser de un gran ancho de banda y contribuye, junto con otros parámetros del circuito (ancho de los pulsos, etc.) a las características espectrales de la señal radiada.

RECEPTOR

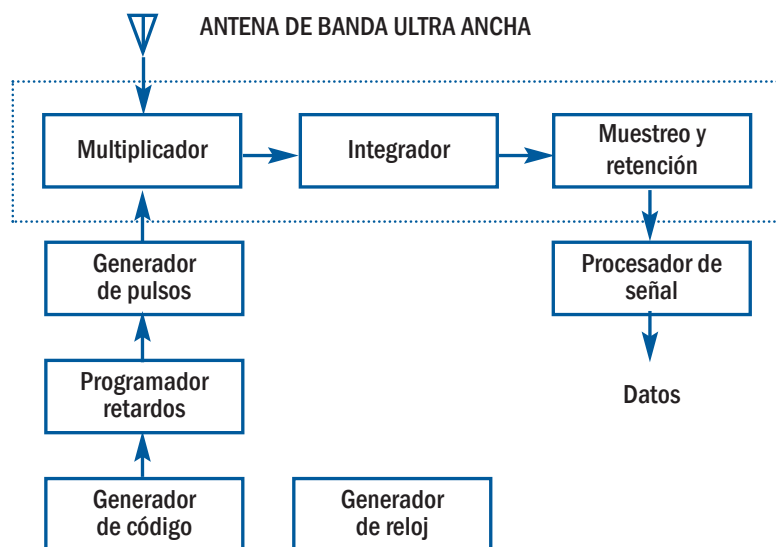


Fig. 8 Receptor de BUA por modulación por posición de pulsos.

CAPÍTULO III: BANDA ULTRA ANCHA GENERADA POR PULSOS

En el receptor de BUA de la Fig. 8 el conjunto generador de pulsos + programador de retardos + generador de códigos coherentes con la señal que se desea recibir provee una señal que ingresa al correlador, donde se multiplica por las señales recibidas. Esta multiplicación permite efectuar la separación de la señal deseada de las demás y la primera etapa de la demodulación. La demodulación se completa con la integración y la operación de muestreo y retención que siguen a continuación. El correlador entrega su salida al procesador de señal obteniéndose finalmente los datos transmitidos y una señal de sincronismo que se aplica al programador de retardos.

COMPORTAMIENTO FRENTE A LOS MULTITRAYECTOS

En entornos donde existen obstáculos, como en el caso de zonas pobladas, o en el interior de edificios, la señal podría ser atenuada por los mencionados obstáculos y/o reflejada por los mismos.

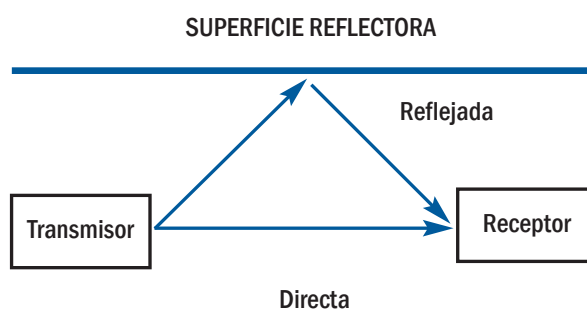


Fig. 9 Multitrayectos.

CAPÍTULO III: BANDA ULTRA ANCHA GENERADA POR PULSOS

En la Fig. 9 la señal de un transmisor de BUA sigue dos trayectos antes de llegar al receptor. La señal reflejada por la superficie reflectora llega con diferente fase que la de la trayectoria directa. Esto provocará una distorsión de los pulsos recibidos. Para solucionar este problema se agregan al receptor dos correladores, la salida de uno de los cuales se desfasa, de forma tal que la señal reflejada, en lugar de distorsionar, refuerce la señal directa. Como en la práctica existen numerosos multitrayectos, los receptores reales llevan varios elementos correladores. Es una técnica similar a la empleada en CDMA con el receptor Rake, cuya misión es también atenuar la interferencia multitrayecto, aunque en estos últimos es menos eficaz que en los receptores de BUA.

APLICACIONES ACTUALES Y FUTURAS

La gran inmunidad frente a los multitrayectos de la BUA y el hecho de que las comunicaciones mediante esta tecnología resultan casi imposibles de interceptar fueron el factor clave para que la Multispectral Solutions Inc. desarrollara un transceptor ubicado en el casco de un piloto de una aeronave militar. De esta forma se eliminan los cables entre el panel de mando del vehículo aéreo y los auriculares del piloto, conservando el secreto de las comunicaciones sin sufrir los efectos de los múltiples rebotes radioeléctricos de la cabina.

La firma Uraxs⁷, desarrolló un transceptor de BUA que integra una pulsera que utilizan niños para comunicarse con sus padres.

⁷ www.uraxs.com

CAPÍTULO III: BANDA ULTRA ANCHA GENERADA POR PULSOS

Entre las numerosas aplicaciones actualmente en desarrollo o que se prevé desarrollar, se encuentran dispositivos de corto alcance como los utilizados para interconectar computadoras y transmitir imágenes. En ese sentido, la Pulse~LINK presentó en Enero 2007 su CWave™ Whole-Home Interactive HD que integra dispositivos interactivos multimedia de alta definición en el hogar o en el ámbito de una exposición. Las BUAs se aplican además en sistemas de comunicaciones como transceptores portátiles y de mano y también se planea su empleo en sistemas de telefonía celular.

RADIOLOCALIZACIÓN Y RADAR

RADIOLOCALIZACIÓN

La aplicación de las BUAs permite ubicar objetos o personas en interiores de edificios, aun a través de paredes y también al aire libre. La reducción de los efectos de los multitrayectos ocasionados por rebotes de las señales que poseen los receptores de BUA, permite aumentar la precisión de la ubicación a valores relativamente pequeños. Por otra parte, el escaso consumo de batería de las “etiquetas” adosadas al elemento a ubicar hace que la duración sea del orden de varios años.

Un ejemplo de lo expuesto lo constituye el sistema que se ilustra en forma simplificada en Fig. 10. El mismo permite ubicar objetos -que tengan adherida la "etiqueta" apropiada - en un recinto. Dicho recinto puede ser un depósito, la bodega de un buque, etc.

El sistema ilustrado en Fig. 10 utiliza el principio de multilateración. La

CAPÍTULO III: BANDA ULTRA ANCHA GENERADA POR PULSOS

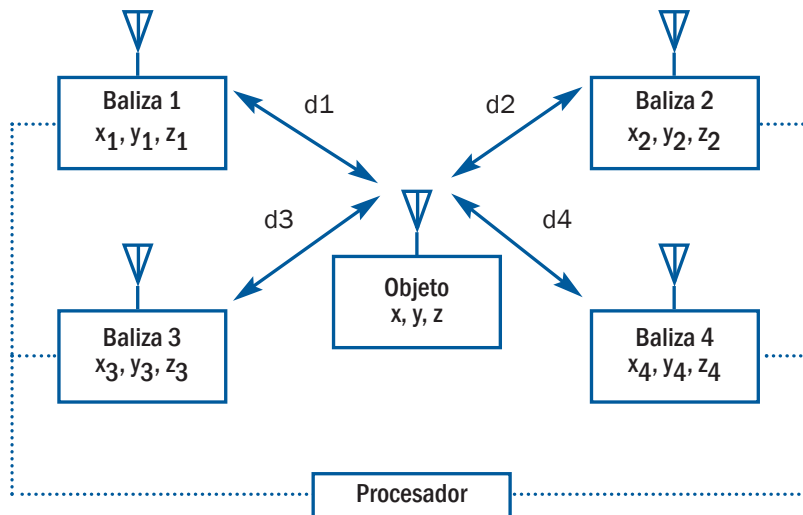


Fig. 10 Sistema típico de multilateración con BUA para ubicar objetos en un depósito.

multilateración, también conocida como posicionamiento hiperbólico, es el proceso de localización de un objeto mediante el cálculo de la diferencia entre los tiempos de llegada de las señales emitidas por el objeto en trato a tres o más receptores. El transmisor de la “etiqueta” emite a intervalos del orden del segundo ráfagas de datos en BUA que contienen una señal de sincronismo, una de identificación de la baliza y otra de corrección de errores. Estas señales son captadas y procesadas por cada una de las balizas, las que están vinculadas en forma alámbrica al módulo procesador. En dicho módulo se registran las diferencias de tiempo de llegada de cada una de las señales. Ya que la posición de las balizas es dato, resulta posible calcular la posición espacial del objeto. Si bien el sistema requiere un reloj de muy eleva-

CAPÍTULO III: BANDA ULTRA ANCHA GENERADA POR PULSOS

da precisión, resulta posible obtenerla aprovechando que la estabilidad a corto plazo de los cristales es mucho mayor que la de largo plazo. Estos sistemas suelen requerir una calibración inicial mediante una “etiqueta” ubicada en una posición conocida.

La Time Domain Co. también ofrece un sistema de RFID que permite detectar e identificar personas, las que llevan una pulsera con un transceptor de BUA, dentro de una habitación hasta una distancia, libre de obstáculos, de 1,9 m.

Es de notar que cada sistema tiene una frecuencia central adecuada a cada aplicación. Por ejemplo, si el sistema debe ubicar objetos a través de paredes, la frecuencia central debería ser inferior al GHz. Asimismo conviene recordar que uno de los motivos del bajo consumo es que el ciclo de servicio de cada ráfaga es muy bajo y que la frecuencia de repetición de las citadas ráfagas es del orden de 1 Hz.

RADAR

GENERALIDADES

Un radar está constituido por un transceptor que emite pulsos de ondas electromagnéticas que son reflejadas por los objetos -denominados blancos- que se pretenden detectar. Las ondas reflejadas - que reciben el nombre de ecos- son recibidas generalmente por la misma antena que las emitió. En base al lapso transcurrido entre la señal emitida y la recepción del eco es posible determinar la distancia al blanco. Como la orientación de la antena o del sistema de antena en el momento de emitir el pulso es conocida, también se calcula la posi-

CAPÍTULO III: BANDA ULTRA ANCHA GENERADA POR PULSOS

ción horizontal del blanco.

RADARES TRADICIONALES

Estos emiten pulsos de banda angosta y con potencias medias - según la aplicación - que van desde unos pocos mW para los radares de control de tránsito vehicular hasta varios kW en el caso de los de control de tránsito aéreo. Estos últimos pueden presentar potencias de cresta del orden de los MW. En cuanto a las frecuencias, estas varían considerablemente según la aplicación: 3 MHz a decenas de GHz.

RADARES DE BUA

Los radares que utilizan BUA emplean el mismo principio que los tradicionales, con la diferencia de estar orientados a la ubicación de blancos a través de paredes de cualquier material (excepto totalmente metálicas) y de utilizar potencias de salida del orden del mW. Para lograr tal fin utilizan bandas dentro del rango de los 250 MHz y 3 500 MHz, ya que las frecuencias más bajas son las que tienen más capacidad de penetración dentro de los materiales.

La Time Domain Corp. desarrolló su línea RadarVision, que integra en una única unidad de 53 cm x 35 cm x 20 cm y de 4,5 kg el transceptor de radar, el sistema de antena y la pantalla visora. La unidad emite 10 millones de pulsos cada segundo, opera de 1 a 3,5 GHz, tiene un alcance de 20 m en tres rangos y una autonomía de batería de 3 horas. Al igual que otras unidades de la competencia, registra la ubicación de los blancos en tiempo real y si se trata de un ser vivo, los latidos de su corazón. Cabe aclarar, que en el estado de esta técnica, según lo que informan los fabricantes, los blancos se visualizan en

CAPÍTULO III: BANDA ULTRA ANCHA GENERADA POR PULSOS

pantalla como pequeñas manchas o a lo sumo como siluetas difusas.

Numerosas empresas y centros científicos han efectuado desarrollos de radares basados en BUA, algunos de ellos disponibles comercialmente. Una de ellas es Urban Vision del Lawrence Livermore National Laboratory, dependiente de la Universidad de California, USA. Otra empresa que desarrolló uno de estos radares es la Eureka Aerospace, cuyo modelo ImpSAR tiene un alcance de 100 m y opera entre 250 MHz y 3,5 GHz. La Camero fabrica su radar Xaver TM 800, con un alcance de 8 m y que permite ver imágenes en 3 dimensiones y pesa 10 kg.

APLICACIONES

- **Militares:** detecta enemigos ocultos en edificios o en bunkers.
- **Civiles:** ubica personas atrapadas por derrumbes, incendios, etc. Ubica objetos enterrados u ocultos por la vegetación.
- **Policiales:** ubica delincuentes emboscados o escondidos con rehenes.
- **Médicas:** Diagnóstico por imágenes, incluyendo detección de tumores.
- **Geológicas y arqueológicas:** el denominado Georadar grafica perfiles terrestres desde 1 m hasta 5 km de profundidad, dependiendo de la naturaleza del suelo. Los radares de BUA también se emplean en prospección arqueológica.

Resulta apropiado señalar que en algunas aplicaciones se exceden los límites máximos de densidad de potencia estipulados en los países en que ellos se encuentran regulados.

CAPITULO IV: OTROS MÉTODOS DE TRANSMISIÓN DE BUA

La BUA de Secuencia Directa (BUA-SD) y la BUA por Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencias (BUA-AMDOF) son variantes importantes de las BUA. Ambas tecnologías transmiten en ráfagas. Si bien los circuitos son de muy elevada complejidad, la utilización de circuitos integrados CMOS consigue que los costos no sean elevados. Obviamente, esto depende de la economía de escala.

Actualmente, el mayor interés de estas dos tecnologías está en la intercomunicación a corta distancia entre dispositivos de datos.

BUA DE SECUENCIA DIRECTA

Visto de una forma muy simple, la tecnología del título es la combinación de un transmisor de BUA por pulsos con técnicas de espectro ensanchado de secuencia directa.

En la Fig. 11 la señal de datos es modulada por una secuencia seudo aleatoria que ensancha el espectro que ocupa y le da a la señal el formato de un ruido. Esta señal pasa luego a un formador de pulso, el que la transforma en una sucesión de pulsos de menos de 1 ns de duración, procesados según un cierto algoritmo matemático⁸. Dicho algoritmo cumple la función de lograr el ancho de banda deseado.

⁸ Un algoritmo utilizado frecuentemente es el del “coseno elevado”.

CAPÍTULO IV: OTROS MÉTODOS DE TRANSMISIÓN DE BUA

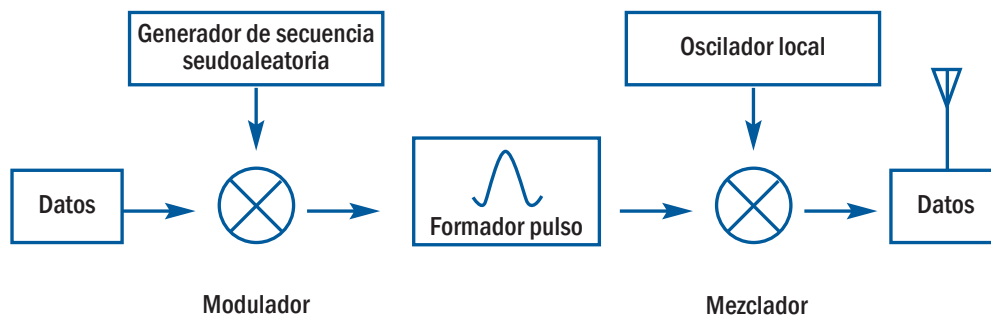


Fig. 11: Esquema simplificado de un transmisor de BUA de Secuencia Directa.

El mezclador que sigue a continuación lleva la señal de gran ancho de banda resultante a una de las dos bandas que se utilizan en esta tecnología. Una de ellas se extiende entre 3,1 y 5,1 GHz y la otra entre 5,825 y 10,6 GHz.

Los transmisores utilizados en la práctica son mucho más complejos, emplean distintas metodologías para obtener este tipo de resultado e incluyen además una técnica para "canalizar" las emisiones. Los receptores se basan en el principio inverso al de los transmisores y pueden incluir algún tipo de correlador para separar la señal del ruido.

Los propulsores de la BUA-SD dicen que esta presenta las siguientes ventajas: velocidades de por lo menos 1 Gbit/s, bajo consumo de batería, gran resistencia a los errores por multitrayectos (lo que lo hace ideal para interiores "difíciles"), fácil localización de los dispositivos y bajo costo.

CAPÍTULO IV: **OTROS MÉTODOS DE TRANSMISIÓN DE BUA**

BUA POR ACCESO MÚLTIPLE POR DIVISIÓN ORTOGONAL DE FRECUENCIAS

Esta tecnología utiliza elementos de los transmisores de pulsos en banda base y de los de Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencias, como los de la capa física de las normas IEEE 802.16.d, e y similares.

La capa física de la BUA-AMDOF está básicamente descrita en la Norma N° 368 de la ECMA⁹. Esta tecnología utiliza el espectro de frecuencias comprendido entre 3.100 y 10.600 MHz y permite velocidades entre 53,3 y 480 Mbit/s.

Dicho espectro se divide en 14 bandas de 528 MHz de ancho. Las primeras 12 bandas se agrupan en 4 grupos de 3 bandas cada uno, mientras que las 2 bandas restantes constituyen un quinto grupo. La precitada norma especifica que debe emplearse modulación múltiple por división ortogonal de frecuencias. Cada banda contiene 100 subportadoras con datos y 10 subportadoras de guarda. Adicionalmente se incluyen 12 subportadoras piloto para permitir la detección coherente. Además se efectúan ensanchamientos en el dominio de las frecuencias y en el del tiempo, lo que

⁹ European Computer Manufacturers Association International (Ecma International) es una organización internacional que agrupa a entes estandarizadores de comunicaciones e informática.

CAPÍTULO IV: OTROS MÉTODOS DE TRANSMISIÓN DE BUA

implica de alguna manera saltos de frecuencia. La corrección de errores es del tipo FEC (forward error correction)¹⁰.

Esta tecnología presenta la ventaja de que las frecuencias de salto pueden seleccionarse automáticamente a fin de evitar canales ruidosos o interferidos. Como desventaja, se dice que no es resistente a los errores por multitrayectos ¹¹ y que su circuitería es más compleja.

Por último cabe acotar que Bluetooth proyecta escoger esta tecnología como su sucesora.

¹⁰ La FEC empleada es un código de convolución de tasas de codificación de $1/3$, $1/2$, $5/8$ y $3/4$.

¹¹ Esto tal vez no sea rigurosamente cierto, ya que las transmisiones convencionales que utilizan OFDMA tienen cierta inmunidad respecto a los multitrayectos.

CAPÍTULO V: REGLAMENTACIÓN

EN ADMINISTRACIONES REGULADORAS NACIONALES

FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION (FCC)

El FCC de Estados Unidos de N.A. fue la primera administración nacional en emitir normas para la aplicación de las BUA.

Las mismas figuran en la parte 15 del Code of Federal Regulations (CFR) y se extienden principalmente entre los numerales 15.501 y 15.523 inclusive.

El numeral 15.503 a define el ancho de banda de las BUA como el comprendido por los puntos de -10 dB respecto de la cresta y supone incluido en el sistema el transmisor y la antena. De los numerales 15.503 b, c y d surge que el CFR considera emisiones de BUA aquellas que presentan un ancho de banda superior a 500 MHz o que cumplen que $2*(f_s - f_i) / (f_s + f_i) \leq 0,2$, siendo f_i la frecuencia del extremo inferior de banda y f_s la del superior.

En el 15.503 también se definen los distintos sistemas de BUA: de imágenes, radares que penetran en el interior de la tierra, diagnóstico médico por imágenes, imágenes visualizadas a través de las paredes, vigilancia y detección de intrusos, policiales y de rescate y transceptores portátiles de mano.

Los usuarios y lugares permitidos para el empleo de las BUA se indican en numerales siguientes

CAPÍTULO V: REGLAMENTACIÓN

A título de ejemplo se proporcionan a continuación los valores límites de intensidad de campo de algunas de las aplicaciones:

TABLA 1

RADARES VEHICULARES	
Frecuencia en MHz	PIRE en dBm
960-1 610	-75,3
1 610-22 000	-61,3
22 000-29 000	-41,3
29 ,000-31 000	-51,3
>31 000	-61,3

TABLA 2

SISTEMAS DE BUA PARA INTERIORES	
Frecuencia en MHz	PIRE en dBm
960-1 610	-75,3
1 610-1 990	-53,3
1 990-3 100	-51,3
3 100-10600	-41,3
>10 600	-51,3

Resulta interesante señalar que, si bien el FCC no exige a los usuarios de BUA licencia alguna, en el caso de los sistemas de imágenes, dichos usuarios deben notificar al FCC las áreas de operación, a fin de su coordinación con las aplicaciones que puedan emplear los sistemas gubernamentales.

CAPÍTULO V: REGLAMENTACIÓN

COMISIÓN EUROPEA

Ningún país integrante de la Unión Europea normalizó aun las emisiones de BUA.

Por ello, la Comisión de la Unión Europea encomendó al Instituto de Normalización de Telecomunicaciones de Europa (ETSI) la elaboración de un estándar para BUA, el que actualmente se encuentra elaborando su Grupo de Tareas 31 D y que se denomina Estándar armonizado EN 302 065. La precitada comisión también encomendó a la Conferencia Europea de Administraciones Postales y de Telecomunicaciones (CEPT) la identificación de los criterios técnicos y operativos más apropiados para la introducción armonizada de aplicaciones de BUA.

Por otra parte, el 21 de febrero de 2007 la Comisión de la Unión Europea emitió una decisión en la que establece el marco regulatorio para la BUA en los países miembros. El referido marco guarda algunos parecidos con el establecido por el FCC. Las diferencias más importantes estriban en la definición de BUA y en los niveles permitidos para cada rango de frecuencias. Por ejemplo: se define como emisión de BUA a aquella cuya anchura de banda supera los 50 MHz y se permite una densidad de potencia igual a la del FCC (-41,3 dBm/MHz) en las gamas de 4,2 y 4,8 GHz (hasta el 31/12/2010) y de 6,0 a 8,5 GHz.

CAPÍTULO V: REGLAMENTACIÓN

EN ORGANISMOS NORMALIZADORES

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE), WIMEDIA ALLIANCE Y UWB FORUM

Poco después de que en Febrero 2002 la FCC reglamentara la utilización de las BUA, el IEEE creó el grupo de tareas 802.15.3a. Dicho grupo tenía la finalidad de elaborar las normas pertinentes. El mencionado grupo de tareas estuvo trabajando arduamente durante tres años y en el mismo surgieron dos subgrupos que proponían plataformas de radio radicalmente diferentes y totalmente incompatibles. Una de ellas era la BUA-AMDOF, propuesta por la WiMedia Alliance y la otra la BUA-SD apoyada por el UWB Forum. Como el Grupo de Tareas no logró un acuerdo, el 19 de Enero de 2006, por decisión del 95% de sus integrantes éste fue disuelto. La idea era que fuese el mercado el que decidiera que tecnología debía prevalecer.

UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT)

La UIT-R emitió las siguientes recomendaciones referentes a BUA: SM 1754, SM 1755, SM 1756 y SM 1757. Los grupos de trabajo 1A y 1B son los responsables de su actualización y responden a las Cuestiones 226/1 y 227/1.

COMISIÓN INTERAMERICANA DE TELECOMUNICACIONES (CITEL)

Este tema también se encuentra en estudio en CITEL.

CONCLUSIONES

Si bien a nivel mundial esta tecnología aun no alcanzó un uso masivo, de lo investigado surge que esto ocurrirá en breve. En esa instancia, tanto las nuevas aplicaciones de radiolocalización, radar y geoproscpección como las tradicionales de intercomunicación multimedia, telefonía celular, aunadas con el menor consumo energético y bajo costo hacen esta emergente tecnología sumamente atractiva.

A los fines de una eventual normalización, lo que más interesa a la CNC son las aplicaciones orientadas a fines civiles: intercomunicación de datos, video y sonido entre PC, equipos hogareños, equipos en exposiciones o en salones de conferencia, etc. y las de seguridad: por ejemplo rescate de personas atrapadas por derrumbes o incendios y situaciones de rehenes.

Es posible que los dispositivos de BUA lleguen a Argentina, aun antes de que esta nueva tecnología se masifique a nivel mundial, por lo que conviene estar preparados para elaborar las pertinentes reglamentaciones de atribución, servicio y homologación de equipos.

La etapa siguiente es que el Estado promocióne el establecimiento de una industria manufacturera de los circuitos integrados que requieren estas aplicaciones. Esta promoción podría lograrse mediante reducciones impositivas a los fabricantes y subvenciones a aquellos que utilicen diseños locales. Los costos podrían abaratare aun más en el caso de los diseños locales, si, con la ayuda del Estado se consiguieran mercados para estos productos en el exterior.

BIBLIOGRAFÍA

- **Jeffrey H. Reed.** INTRODUCTION TO ULTRA WIDEBAND COMMUNICATION SYSTEMS, Prentice Hall, 2005.

- **Opperman, M. Hämäläinen y J. Linatti.** UWB: THEORY AND APPLICATIONS, Wiley, 2004.

- **Federal Communications Commission.** CODE OF FEDERAL REGULATIONS, Parte 15, Subparte F.

- **Ecma International.** ECMA-368: HIGH RATE ULTRA WIDEBAND PHY AND MAC STANDARD, Diciembre 2005.

- **Luther, Bill.** ULTRA WIDE BANDWIDTH, presentación efectuada en el Centro de Física Teórica de Trieste, 2005

ANEXO**MERCADO MUNDIAL DE BANDA ULTRA ANCHA**

Dispositivos de BUA (millones)	2002	2003	2004	2005	2006
Electrónica de consumo	124	140	163	192	240
PC y periféricos	574	616	674	713	754
Móviles	448	483	524	560	606
TOTALES	1.146	1.239	1.361	1.465	1.600

Fuente: Bill Luther, FCC.