

Sistema de Medidas de Banda Ancha en el Dominio del Tiempo y Comparación con Sistema en el Dominio de la Frecuencia

Concepción García Pardo, José María Molina García-Pardo,
José-Víctor Rodríguez, Leandro Juan Llácer

Dpto. Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC)
Grupo Sistemas de Comunicaciones Móviles (SiCoMo)
Plaza del Hospital, 1. Antiguo Cuartel de Antigones. 30202 Cartagena (Murcia)
Teléfono: 968 33 8867 Fax: 968 33 8867
E-mail: conchi.gpardo@upct.es

Resumen. En este artículo se presenta un nuevo sistema de medidas de banda ancha en el dominio del tiempo. El sistema consiste en el uso de una portadora cuya frecuencia es ajustable, modulada por un tren de pulsos que representan un código de pseudo ruido (PN) cuya frecuencia de chip es de 100MHz. Una vez la señal es recibida, se demodula, y la respuesta al impulso del canal puede ser extraída mediante correlación con el código original. Además, se presentan resultados experimentales para medidas realizadas en una habitación así como su comparación con las medidas realizadas en la misma situación por un sistema de medidas del canal en el dominio de la frecuencia.

1 Introducción

Las señales de banda ancha pueden experimentar diferentes efectos de propagación a los clásicos sistemas de banda estrecha [1]. Para la realización de medidas en banda ancha, se pueden emplear tanto sistemas en el dominio de la frecuencia como en el dominio del tiempo. Sin embargo, estos últimos presentan una mayor resolución temporal así como una mayor velocidad en la toma de medidas que hace que estos sistemas se adapten mejor a canales de gran ancho de banda con gran variabilidad temporal. Es por este motivo que se han ido desarrollando diferentes implementaciones de sistemas de medidas en el dominio temporal para sistemas de banda ancha [2-4].

Por un lado, los sistemas basados en la frecuencia se basan en el 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.

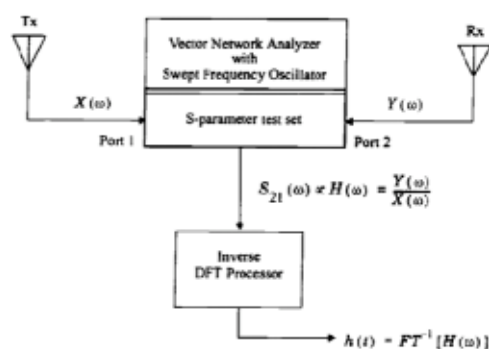


Fig. 1. Esquema de medidas en el dominio de la frecuencia empleando un analizador de redes vectorial [5].

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 número de puntos en frecuencia que se pueden adquirir. Si bien esto no es un problema para los clásicos sistemas de banda estrecha, sí lo es para los sistemas de banda ancha. Otro inconveniente es la no realización de la medida en tiempo real. Para canales que varían rápidamente en el tiempo, la respuesta en frecuencia del canal puede variar rápidamente, dando una respuesta al impulso errónea. Este problema se puede mitigar reduciendo el número de puntos en frecuencia a tomar, para agilizar la toma de la medida. Sin embargo, de este modo se sacrifica la resolución temporal de la respuesta al impulso del canal [5].

Por otro lado, 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 [6]. 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. Este sistema presenta la ventaja de una gran rapidez en la toma de medidas. Sin embargo, presenta 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 sincrónica.

El trabajo aquí presentado se basa en el desarrollo de un sistema de medidas del canal de banda ancha en el dominio del tiempo. Además, se han realizado medidas experimentales del canal en la banda de 2.4 a 2.6 GHz (frecuencia central de 2.5 GHz), aunque el sistema permite ajustar la frecuencia central de la banda bajo estudio. Este artículo se organiza como sigue: en la sección II se describe tanto el equipamiento como el proceso seguido para hallar la respuesta al impulso del canal, en la sección III se presentan resultados derivados de la toma de medidas con este nuevo sistema y en la sección IV se exponen los resultados de este trabajo.

2 Sistema de Medidas

2.1 Equipamiento

Para la implementación de este nuevo sistema de medidas se dispone de un generador en banda base Agilent 81150A que generará el código PN. Esta señal de código en banda base alimenta la entrada I de un modulador I/Q R&S SMATE200A que trabaja en la banda de 2 a 6 GHz. La frecuencia escogida será la frecuencia central de la banda de frecuencias a medir. Para amplificar la señal producida por el generador I/Q se emplea un amplificador Mini Circuits ZHL-42 que trabaja en el rango de 700 a 4200 MHz. Las antenas de que se dispone son antenas omnidireccionales EM-6116 que trabajan en un rango de frecuencias de 2 a 10 GHz.

La señal transmitida es adquirida en recepción por un osciloscopio Agilent Infiniium 90404A que es capaz de adquirir señales de hasta 4 GHz muestrándolas a una velocidad de hasta 20 Gsamples/s en cada uno de sus 4 canales.

2.2 Implementación

Primeramente se genera una *m-secuencia* de 127 bits mediante el código MATLAB disponible en [7]. Este código es cargado mediante un software específico en el generador de señal Agilent 81150A. Dado que se desea que la frecuencia de chip de la señal de código sea de 100 MHz (200 MHz una vez modulada), el generador de señal se establecerá a una frecuencia de repetición de la señal de código de 787.4016 kHz.

Esta señal de código $c(t)$ alimenta la entrada I del generador I/Q, con lo que la señal generada, que posteriormente será amplificada y transmitida, será:

$$s_{TX}(t) = c(t) \cos(2\pi f_0 t) \quad (1)$$

donde $f_0 = 2.5$ GHz (que puede variar en función de la banda de frecuencias bajo estudio), es la frecuencia central para la banda de 2.4 a 2.6 GHz. En la Fig. 2 se muestra el sistema de transmisión completo.



Fig. 2. Fotografía del equipo de transmisión.

En recepción la señal es adquirida por el osciloscopio por un tiempo igual a la duración del código, $1.27 \mu\text{s}$, y se almacena para ser procesada posteriormente.

2.3 Postprocesado

Una vez la señal es capturada por el osciloscopio, se realiza el postprocesado de la señal recibida con el fin de extraer la respuesta al impulso del canal. Para tal fin, se cuenta con la adquisición de la señal recibida en el osciloscopio de 127 bits ($1.27 \mu\text{s}$) así como de una captura de la señal de código original a la salida del generador 81150A de duración al menos dos veces la duración del código, esto es, 255 bits ($2.55 \mu\text{s}$).

Primeramente se ha de demodular la señal recibida. Para ello, se multiplica dicha señal por una portadora de frecuencia $f_0 = 2.5$ GHz, sincronizada con la señal a demodular. Posteriormente, y con el fin de eliminar el armónico a frecuencia doble generado, se aplica un filtrado paso bajo de Butterworth cuya frecuencia en la banda de paso es de 150 MHz y en la banda eliminada de 500 MHz. El filtro seleccionado pierde menos de 1 dB en la banda de paso, y al menos 60 dB en la banda eliminada. De esta manera, se recuperan 127 bits de código que modulaban la señal portadora.

Dado que la correlación es una medida de la similitud entre dos señales aleatorias, al calcular la correlación de la señal demodulada con la señal de código original de 255 bits, se obtiene un máximo en el punto en el que el código demodulado está alineado con la misma sección dentro de la señal de código original. Conocido el instante donde se da este máximo de la función de correlación, es posible extraer la sección de código de la señal original que coincide con la demodulada.

Una vez se dispone de las dos mismas secciones de código, al calcular nuevamente la correlación entre ambas, se obtiene la respuesta al impulso del canal en el tiempo.

3 Resultados

Una vez se ha presentado la implementación de este nuevo sistema de medidas en el tiempo, se pasa a la toma de medidas experimentales en una habitación a una distancia de 2 metros. La señal que ha sido modulada, amplificada y transmitida, es adquirida por el osciloscopio. Dicha adquisición es asíncrona, es decir, no se tiene información de en qué momento se transmitió aquello que se recibe. Esto presenta la ventaja de no necesitar ninguna señal de transmisión en recepción a la hora de adquirir la señal. Sin embargo, presenta la contrapartida de no aportar información temporal absoluta de la respuesta al impulso del canal medido, sino información temporal relativa respecto a la contribución principal que representa el rayo directo entre transmisor y receptor.

Tras la adquisición de la señal por parte del osciloscopio comienza la etapa de post-procesado. La señal recibida, tras ser multiplicada por una portadora a frecuencia f_0 y ser filtrada con el filtro de Butterworth, es demodulada. Como se comentó anteriormente, se ha de calcular la correlación entre este código demodulado y la señal de código original de 255 bits. La Fig. 3 muestra el resultado de dicha operación.

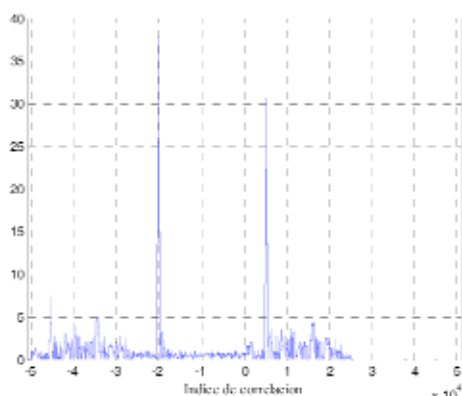


Fig. 3. Correlación de la señal adquirida con código original.

Se ha de señalar que la señal de código original se adquiere una vez al inicio del proceso de toma de medidas y se almacena para el postprocesado posterior.

Conocido el máximo de correlación, se extrae la sección del código original de 127 bits coincidente con el código de 127 bits demodulado, tal y como se presenta en la Fig. 4. Se observa claramente cómo ambas representan la misma secuencia de bits. Nótese la diferencia de amplitud (escala vertical) entre ambas.

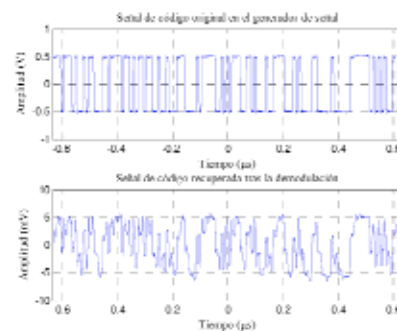


Fig. 4. Señales de código original (arriba) y recuperada tras la demodulación (abajo).

De la correlación de las dos señales anteriores, se extrae directamente la respuesta al impulso del canal según se observa en al Fig. 5. Se debe destacar que la respuesta al impulso no viene referida al tiempo absoluto sino al retardo respecto a la contribución principal (de retardo 0 ns.).

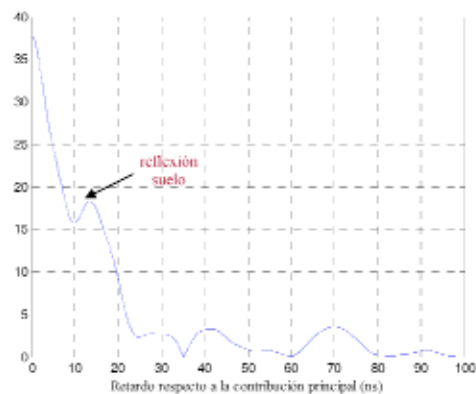


Fig. 5. Respuesta al impulso del canal.

Finalmente, para comparar el resultado obtenido con el nuevo sistema de medidas, se realiza una medida en las mismas condiciones mediante el sistema de medidas en la frecuencia comentado en la introducción de este artículo, empleando para ello el analizador de redes vectorial Agilent E5071B. La respuesta al impulso obtenida se muestra en la Fig. 6.

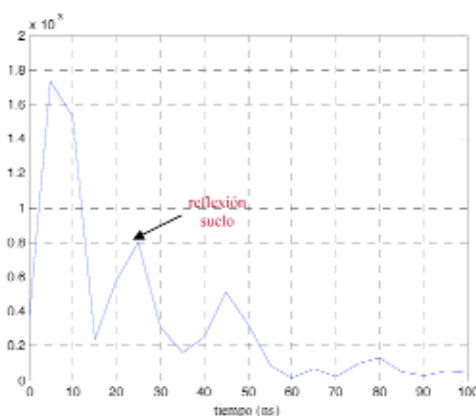


Fig. 6. Respuesta al impulso del canal con sistema de medidas en el dominio de la frecuencia.

De la comparación de ambas se extrae que el retardo con respecto a la contribución principal del rayo directo medida con ambos sistemas de medida es de 13.5 ns con el sistema de medidas basado en el tiempo y de 20 ns en el caso del sistema de medidas en el dominio de la frecuencia. La diferencia entre estos valores se debe principalmente a la gran diferencia de resolución entre ambos tipos de medida.

4 Conclusiones

En este artículo se ha presentado la implementación de un nuevo sistema de medidas en el dominio del tiempo. Este sistema se basa en transmitir código de pseudo ruido de máxima longitud (PN MLS) que modula a una portadora a alta frecuencia. La señal recibida es demodulada y correlada con una sección de código original, extrayéndose así la respuesta al impulso del canal.

Así mismo, se ha realizado una medida con este nuevo sistema de medidas a la distancia de 2 m. Se comprueba que el código es perfectamente demodulado y la respuesta al impulso calculada. Por último, se ha realizado otra medida en idénticas condiciones, con un equipo de medidas en el dominio de la frecuencia, extrayéndose resultados similares.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (TEC2007-66698-C04-04) y la Fundación Séneca de la Región de Murcia (08818/PI/08).

Referencias

- [1] Andreas F. Molisch, M.G. Di-Benedetto, T. Kaiser, I. Opperman, C. Politano, and D. Porcino, *UWB Communication Systems: A Comprehensive Overview* Hindawi Publishing Corporation, 2006.
- [2] W. Ciccognani, A. Durantini, and D. Cassioli, "Time domain propagation measurements of the UWB indoor channel using PN-sequence in the FCC-compliant band 3.6-6 GHz," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 53, no. 4, pp. 1542-1549, 2005.
- [3] T. Takuchi and M. Tamura, "A ultra-wide band channel sounder for mobile communication systems," *12th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 2, p. E-111-E-115, 2001.
- [4] J. Kivinen, T. O. Korhonen, P. Aikio, R. Gruber, P. Vainikainen, and S. G. Haggman, "Wideband radio channel measurement system at 2 GHz," *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*, vol. 48, no. 1, pp. 39-44, 1999.
- [5] Theodore S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice* Prentice Hall PTR (2nd Edition), 2002.
- [6] 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.
- [7] Gicdrius Buracas, "m-sequence generation program, "mscq.m", 2003.
<http://www.mathworks.es/matlabcentral/>