

DISEÑO DE FILTROS ÓPTIMOS PARA TRANSMULTIPLEXORES PRÓXIMOS A LA RECONSTRUCCIÓN PERFECTA

Fernando Cruz-Roldán, Pilar Martín-Martín, Jesús Alpuente-Hermosilla

Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones
Universidad de Alcalá
fernando.cruz@uah.es

Manuel Blanco-Velasco

Departamento de Ingeniería de Circuitos y Sistemas
Universidad Politécnica de Madrid
mblanco@ics.upm.es

RESUMEN

En este trabajo se presenta un nuevo método de diseño de filtros prototipo de alta calidad para transmultiplexores cercanos a la reconstrucción perfecta. Esta técnica de diseño se diferencia de las propuestas por otros autores en la función de coste que se hace mínima, así como en la técnica de diseño del filtro FIR. Se incluyen varios ejemplos que sirven para mostrar el buen comportamiento que ofrecen los sistemas resultantes.

1. INTRODUCCIÓN

La figura 1 muestra el diagrama de bloques de un sistema transmultiplexor. Estos dispositivos fueron inicialmente analizados por Bellanger et al. [1] para aplicaciones de telefonía y han recibido una atención considerable por parte de un gran número de investigadores (consulte, como ejemplo, las referencias incluidas en [2]). Los transmultiplexores se componen de una etapa de síntesis y otra de análisis, y pueden presentar dos errores: la distorsión y la diafonía. La distorsión está relacionada con los cambios introducidos en la señal de cada uno de los canales con respecto a sus características de amplitud y de fase, mientras que la diafonía está relacionada con la presencia de información de un canal en alguno de los canales restantes. Este último efecto está ocasionado por los sistemas diezmadores y por el hecho de que los filtros no son ideales, si bien hay que indicar que es posible cancelar la diafonía con un diseño apropiado de los filtros reales que se utilizan.

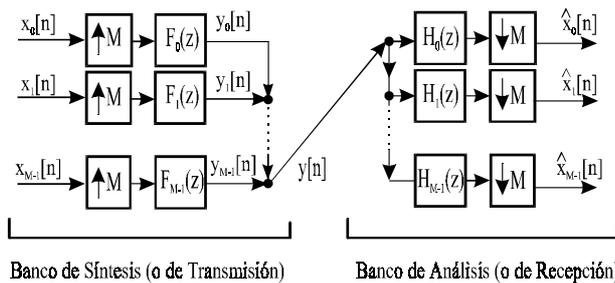


Figura 1. Transmultiplexor de M -canales (considerando un canal ideal).

En el trabajo de Vetterli [3] se demostró que un transmultiplexor es el dual de un banco de filtros de diezmado máximo con estructura en paralelo, siendo la diafonía la dual del solapamiento en estos sistemas. Es a partir de este trabajo cuando se empiezan a aplicar las técnicas de diseño de bancos de filtros (incluidas las relativas a bancos de filtros binarios basados en la Transformada Wavelet) a la realización de transmultiplexores.

En este trabajo se propone una nueva técnica de diseño de filtros prototipo válida para obtener bancos de filtros coseno-modulado de M canales. Los bancos de filtros obtenidos con estos filtros prototipo presentan una distorsión de amplitud muy reducida, y el nivel de solapamiento es comparable con la atenuación en la banda eliminada del filtro prototipo obtenido. Cuando estos bancos de filtros se destinan al diseño de transmultiplexores, el resultado es una escasa distorsión de amplitud y una diafonía prácticamente inexistente. Ambos errores son medidos a través de las interferencias entre símbolos (ISI) y entre canal (ICI).

Este trabajo se organiza como se indica a continuación. En la sección 2 se propone la nueva técnica de diseño del filtro prototipo; en la sección 3 se indica el esquema de modulación que se propone para obtener los filtros de transmisión y de recepción del sistema transmultiplexor, y en la sección 4 se muestran diversos ejemplos de diseño en los que se evalúa la calidad de los sistemas resultantes.

2. NUEVA TÉCNICA DE DISEÑO DEL FILTRO PROTOTIPO

Los transmultiplexores con estructura en paralelo diseñados con un esquema de modulación coseno (sección 3), requieren solamente diseñar un filtro prototipo $p[n]$ que presente una banda de transición estrecha y una elevada atenuación en la banda eliminada. Estos requisitos, además de los impuestos a cualquier banco de filtros para obtener unas características de proximidad a la reconstrucción perfecta, son los que permiten una separación entre bandas casi definitiva y una mínima diafonía.

La nueva técnica de diseño del filtro $p[n]$ que se propone utiliza el algoritmo de Parks-McClellan de diseño de filtros FIR de fase lineal, para obtener un filtro prototipo óptimo cuya pulsación de corte a 3 dB se sitúe lo más cerca posible de la pulsación $\pi/2M$. El problema se puede plantear como se indica a continuación: dado el orden N del filtro prototipo, y la pulsación de corte de la banda eliminada $\omega_s \geq \pi/M$, encontrar la pulsación de corte de la banda de paso ω_p que hace mínimo el valor

$$\phi = \left| \left| P(e^{j\pi/2M}) \right| - 1/\sqrt{2} \right|. \quad (1)$$

3. ESTRUCTURA DEL TRANSMULTIPLEXOR

En un transmultiplexor de M -canales basado en un esquema clásico de modulación coseno [4], los filtros de transmisión

$f_k[n]$ y los de recepción $h_k[n]$, con $0 \leq n \leq N-1$ y $0 \leq k \leq M-1$ se obtienen como

$$f_k[n] = 2p[n] \cos\left((k+0.5)\frac{\pi}{M}\left(n - \frac{N-1}{2}\right) - (-1)^k \frac{\pi}{4}\right),$$

$$h_k[n] = 2p[n] \cos\left((k+0.5)\frac{\pi}{M}\left(n - \frac{N-1}{2}\right) + (-1)^k \frac{\pi}{4}\right). \quad (2)$$

Como el filtro prototipo es de fase lineal, debido a la relación existente entre los filtros de transmisión y de recepción, en estos transmultiplexores no se presenta distorsión de fase.

4. EJEMPLOS DE DISEÑO

Para mostrar la eficacia de la técnica propuesta, se procede a diseñar diversos transmultiplexores de 8, 16 y 32 canales. En estos sistemas se procede a evaluar la máxima distorsión de amplitud δ_{pp} , la ICI, la ISI, el error máximo entre distintos canales e_{max} y la atenuación máxima de la banda eliminada del filtro prototipo diseñado δ_s . Las expresiones que permiten evaluar dichos parámetros se pueden encontrar en las referencias bibliográficas [4, 5 y 6]. Todos los resultados se muestran en las tablas I y II para filtros de longitud 129 y 257, respectivamente. Si se comparan con los sistemas transmultiplexores propuestos en los trabajos anteriormente citados, se puede comprobar la alta discriminación de cada uno de los canales propuestos (similar al parámetro δ_s) y las bajas cifras de distorsión de amplitud y diafonía introducidas. A modo de ejemplo, la figura 2 muestra el módulo de la respuesta en frecuencia de los filtros de transmisión de un transmultiplexor de 16 canales, y la figura 4 su correspondiente función de transferencia de distorsión total.

5. CONCLUSIONES

Se ha presentado una nueva técnica de diseño de filtros prototipo para bancos de filtros coseno-modulado, y por consiguiente, para el diseño de transmultiplexores de M canales. Esta nueva técnica presenta como ventaja que la función que permite optimizar el filtro es muy simple, con lo que el tiempo y el coste computacional requeridos para la obtención de los coeficientes del filtro es bastante bajo. Además, los sistemas resultantes presentan unos errores de diafonía y distorsión de amplitud muy reducidos, con lo que se puede considerar a los sistemas como próximos a la reconstrucción perfecta.

Tabla I. Comparativa de diversos transmultiplexores (filtros de orden 128).

M	δ_{pp}	ICI (dB)	ISI (dB)	e_{max}	δ_s
8	0.0024	-126.231	-57.8897	2.75e-13	-7.94e-8
16	0.0116	-49.4340	-43.1147	1.33e-5	-3.42e-4
32	0.0282	-18.3197	-25.7574	0.1219	-0.017

Tabla II. Comparativa de diversos transmultiplexores (filtros de orden 256).

M	δ_{pp}	ICI (dB)	ISI (dB)	e_{max}	δ_s
8	0.0011	-127.965	-66.7478	1.36e-13	-2.51e-8
16	0.0024	-121.846	-57.8930	7.11e-13	-7.94e-8
32	0.0116	-45.7119	-43.0874	3.108e-5	-3.23e-4

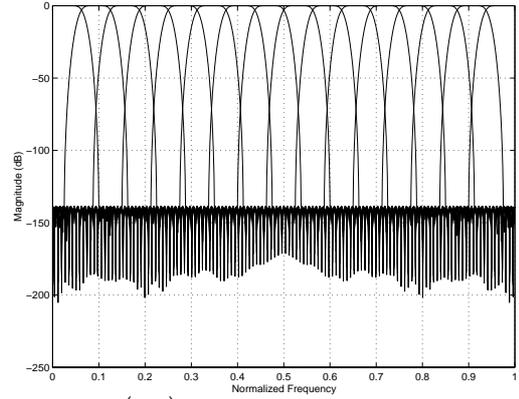


Figura 2. $|F_k(e^{j\omega})|$ de un transmultiplexor de 16 canales.

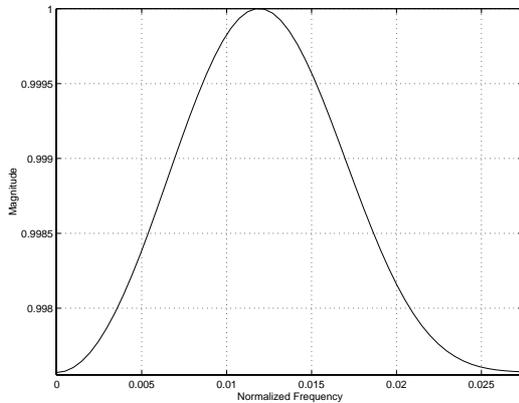


Figura 3. $|T_0(e^{j\omega})|$ (periódica $\pi/16$) de un transmultiplexor de 16 canales.

6. REFERENCIAS

- [1] M. G. Bellanger y J. L. Daguét, "TDM-FDM Transmultiplexer: Digital Polyphase and FFT", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COMM-19, pp. 628-634, Octubre 1971.
- [2] A. N. Akansu, P. Duhamel, X. Lin y M. de Courville, "Orthogonal Transmultiplexers in Communication", *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol. 46, no. 4, pp. 979-995, Abril 1998.
- [3] M. Vetterli, "Perfect Transmultiplexer", en *Proc. of IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, pp.1723-1726, Abril 1990.
- [4] P. P.Vaidyanathan, "Multirate Systems and Filter Banks," New Jersey, Prentice-Hall, 1993.
- [5] R. D. Koilpillai, T. Q. Nguyen y P. P. Vaidyanathan, "Some Results in the Theory of Crosstalk-Free Transmultiplexers," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 39, No. 10, pp. 2174-2183, Octubre 1991.
- [6] A. Viholainen, J. Alhava, J. Helenius, J. Rinne y M. Renfors, "Equalization in Filter Bank Based Multicarrier Systems," in *Proc. of IEEE Int. Conf. Electronics, Circuits and Systems*, Pafos (Cyprus), pp. 1467-1470, Septiembre 1999.