

MODULACION COFDM

Aunque el multiplexado ortogonal por división de frecuencia (OFDM) es una forma de modulación con múltiples portadoras que fue presentada hace más de treinta años^{1,2}, no ha cobrado importancia hasta finales de la década de 1980. Este cambio se debe a los recientes avances tecnológicos en diversas áreas principalmente en campos tales como procesado de señales (DSP's) y circuitos integrados a gran escala (VLSI's), los cuales han hecho factible la implementación de OFDM. La modulación por multiplexado por división de frecuencia ortogonal es una técnica de modulación de banda ancha que utiliza múltiples portadoras ortogonales, cada una modulada en amplitud y fase. Cuando la OFDM se emplea junto con codificación de canal para detección y corrección de errores, se designa como COFDM (multiplexado por división de frecuencia ortogonal codificada). Los términos OFDM y COFDM se utilizan aquí indistintamente.

Multiplexado por división de frecuencia (FDM3)

El multiplexado, tanto en frecuencia como en tiempo, es una técnica que hace posible la transmisión de varias señales por un mismo canal de comunicación. En el FDM, cada señal utiliza una porción del ancho de banda total. En el multiplexado por división de tiempo (TDM4), cada señal utiliza todo el ancho de banda del canal, pero sólo en intervalos de tiempo definidos.

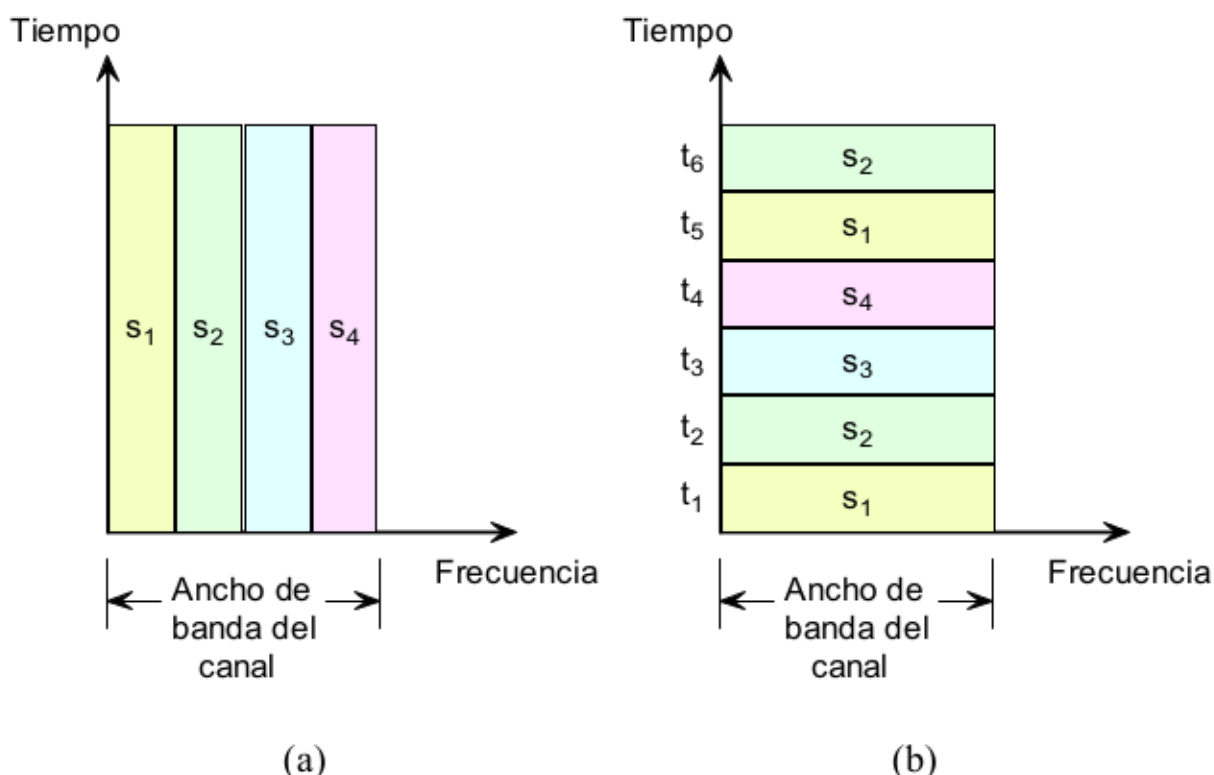


Fig. 4.1 Multiplexado en frecuencia y en tiempo

En la figura 4.1 se ilustra la idea básica del multiplexado de cuatro señales s_1 , s_2 , s_3 y s_4 . En 4.1(a), cada señal ocupa una cuarta parte del ancho de banda total del canal, durante todo el tiempo (FDM) y

en 4.1(b), cada una de las señales ocupa todo el ancho de banda del canal sólo durante un intervalo de tiempo (TDM). El multiplexado en frecuencia puede utilizarse tanto con señales analógicas como digitales, en tanto que el multiplexado en tiempo se utiliza principalmente para señales digitales. En el multiplexado en tiempo, cada señal modula a una portadora diferente y la separación entre portadoras es, aunque no necesariamente, regular. Esta forma de multiplexado es muy utilizada en telefonía y, en el caso de televisión, la señal compuesta de vídeo, que contiene las componentes de luminancia y crominancia, está también multiplexada en frecuencia. Puesto que cada señal modula a una portadora diferente o subportadora, la separación entre subportadoras debe elegirse adecuadamente, para evitar solapamiento entre los espectros de señales adyacentes y cada señal puede utilizar un tipo de modulación diferente (AM-DBL, AM-BLU, FM, etc). Para garantizar la separación entre señales adyacentes, evitar la interferencia entre ellas, y facilitar su separación y demodulación en el receptor, suele agregarse una banda de guarda entre bandas adyacentes, que no contiene ninguna señal. Cuando se suman todos los espectros de las señales moduladas, se tiene una señal multiplexada, compuesta, que a su vez puede considerarse como la señal en banda base para modular, a su vez, a una portadora de RF. En el receptor, la señal recibida se demodula primero a RF para recuperar la señal compuesta en banda base y luego se filtra para separar las señales moduladas individuales. A continuación, cada una de estas señales se demodula individualmente utilizando subportadoras generadas localmente en el receptor, para extraer las señales originales en banda base. Este proceso se ilustra en la figura 4.2

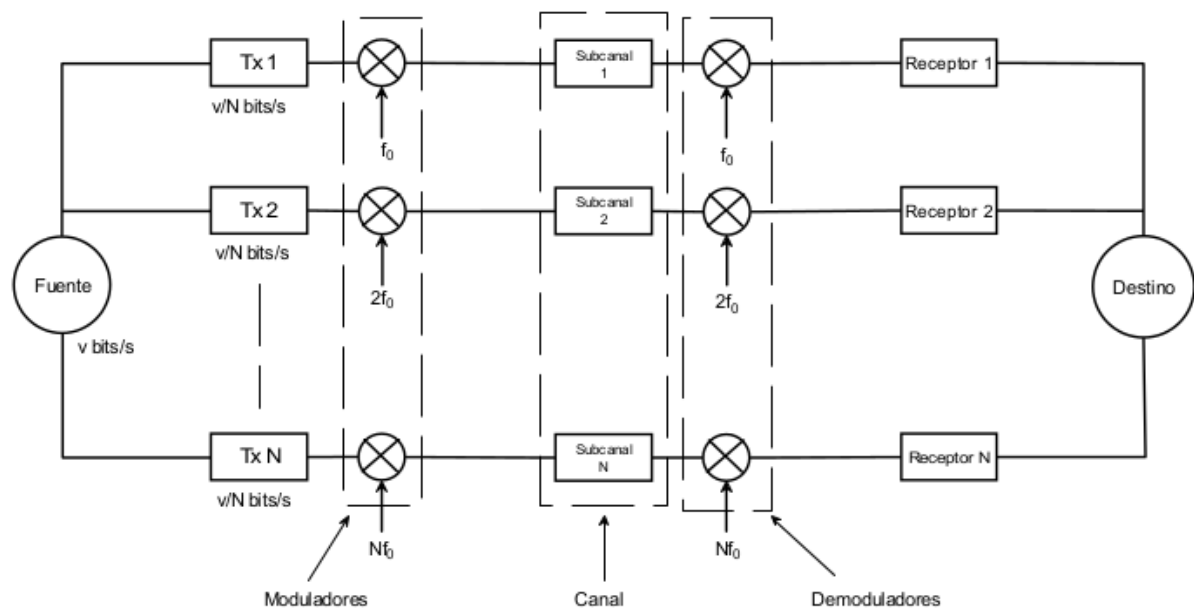


Fig. 4.2. Multiplexado por división de frecuencia (FDM)

Modulación ortogonal

Se dice que dos señales son ortogonales en un intervalo $[t_1, t_2]$ cuando cumplen la condición,

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t) g(t) dt = 0$$

Cuando dos señales son ortogonales, es posible hacer que utilicen simultáneamente el mismo ancho de banda sin interferirse entre sí. El caso más simple es el de la modulación de dos señales en

cuadratura de fase, que se ilustra esquemáticamente en la figura 4.2.

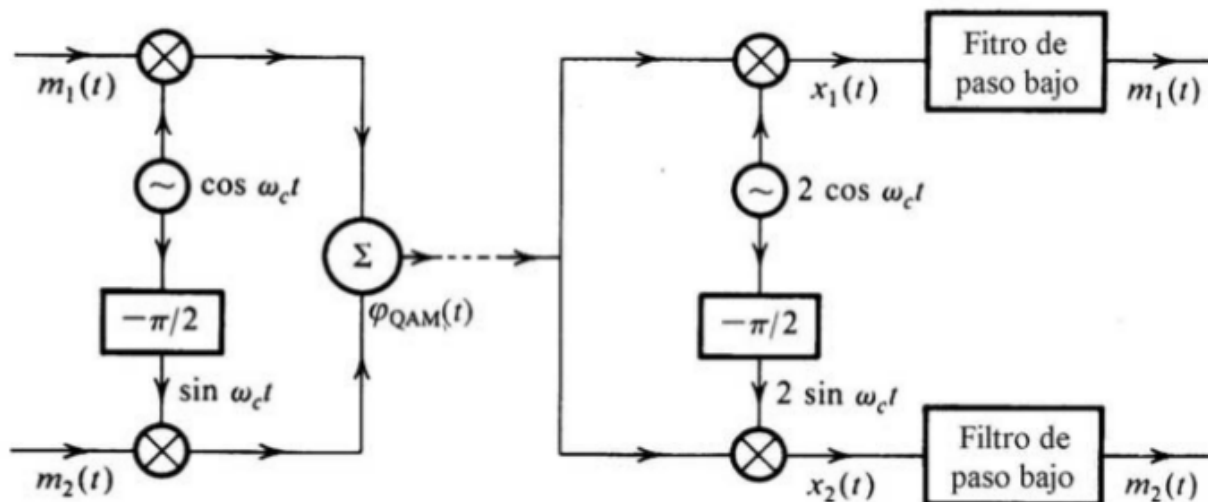


Fig. 4.3. Modulación en cuadratura de fase.

En la figura se muestra el modulador y en la derecha, el demodulador. La señales de información, o moduladoras son $m_1(t)$ y $m_2(t)$. La primera modula una portadora de frecuencia angular ω_c ($\cos \omega_c t$) y la segunda, a otra portadora de la misma frecuencia que la primera, pero defasada 90o ($\sin \omega_c t$). Las dos señales se suman para producir una señal de dos bandas laterales, en cuadratura de fase, que puede expresarse como:

$$\phi_{QAM} = m_1(t) \cos \omega_c t + m_2(t) \sin \omega_c t$$

Si, por simplicidad en el análisis, se supone que $m_1(t)$ y $m_2(t)$ son tonos puros, de forma

$$\begin{aligned} m_1(t) &= A \cos \omega_{m1} t \\ m_2(t) &= A \cos \omega_{m2} t \end{aligned}$$

la señal resultante tiene dos bandas laterales, en cada una de las cuales están contenidas, a su vez las dos señales en banda base. Estas dos señales pueden recuperarse en el receptor mediante un detector o demodulador síncrono, como se ilustra en la porción derecha de la figura 4.2. La salida del mezclador de la parte superior de la figura, $x_1(t)$ está dada por:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= 2\phi_{QAM}(t) \cos \omega_c t \\ &= 2 [m_1(t) \cos \omega_c t + m_2(t) \sin \omega_c t] \cos \omega_c t \\ &= m_1(t) + m_1(t) \cos 2\omega_c t + m_2(t) \sin 2\omega_c t \end{aligned}$$

Los dos últimos términos desaparecen después del filtrado de la señal a paso bajo, dejando sólo la señal deseada a la salida, $m_1(t)$. Puede hacerse un análisis similar para $m_2(t)$. Este sistema de modulación se conoce como modulación en cuadratura de fase o multiplexado en cuadratura y se designa habitualmente como QAM5. Por consecuencia, es posible transmitir dos señales del mismo ancho de banda base B , por un canal de ancho de banda $2B$, como una señal única de doble banda lateral, sin portadora, multiplexada o modulada en cuadratura. El canal superior se designa como

En la parte izquierda de la figura

canal en fase y el inferior, como en cuadratura. La modulación en cuadratura, de manera semejante a todos los esquemas de modulación con portadora suprimida, impone requisitos muy severos en lo que respecta a la reinsertión de la portadora local en el receptor. Un pequeño error en la fase o la frecuencia de la portadora reinsertada en el detector no sólo resulta en distorsión o pérdida de la señal, sino también en interferencia entre canales.

Las señales utilizadas, dadas por (4.3), cumplen la condición de ortogonalidad (1). Esta condición, en el caso de señales complejas tiene la forma:

$$\int_{t_1}^{t_2} f(t) g^*(t) dt = 0 \text{ o bien } \int_{t_1}^{t_2} f^*(t) g(t) dt = 0$$

en que el asterisco (*) indica el complejo conjugado.

Interferencia por efectos multicamino

En términos simples, en el caso de comunicaciones analógicas los efectos multicamino dan lugar a desvanecimientos más o menos severos de la señal recibida o a efectos tales como imágenes “fantasma” en televisión. En comunicaciones digitales estos efectos se traducen en interferencia entre símbolos (ISI) y en la consiguiente destrucción de la información.

Supóngase un sistema radioeléctrico en que se tiene una portadora modulada digitalmente por símbolos consecutivos, cada uno de longitud N bits y duración TS y que la señal llega al receptor por dos trayectos diferentes, de distinta longitud, de modo que una señal llega primero y la otra con un retraso equivalente a 4.5TS como se ilustra en la figura 4.4(a). Este retraso da lugar a que en el receptor esté presente el símbolo n durante el período de integración, es decir de demodulación, simultáneamente con porciones de los símbolos cuarto y quinto previos, n-4 y n-5, que se comportarán como señales interferentes sobre el símbolo deseado.

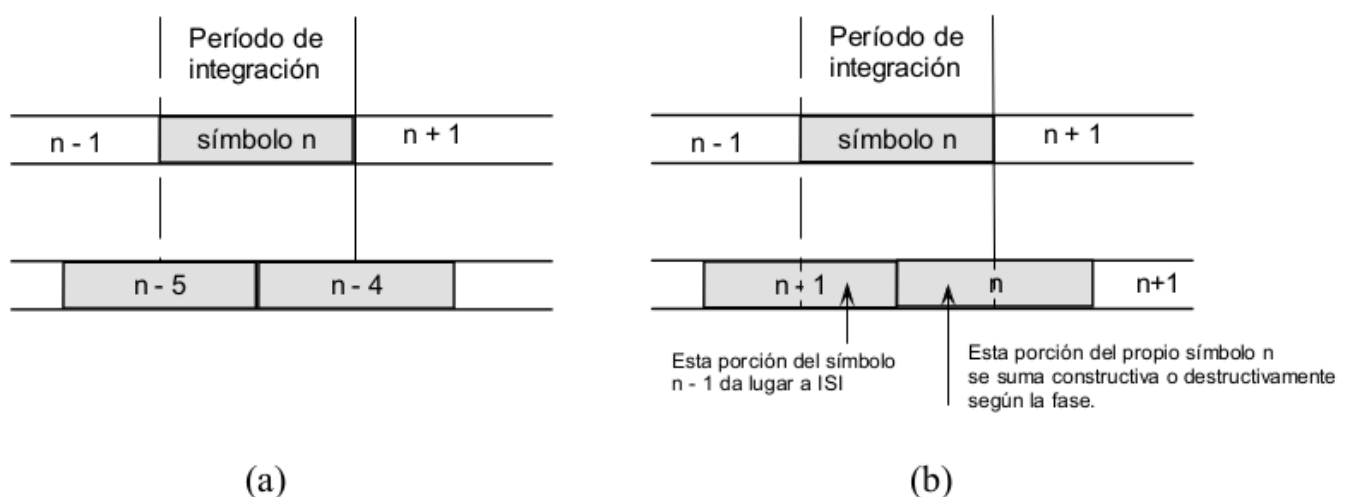


Fig. 4.4. Forma en que se produce interferencia entre símbolos

Si el retraso introducido por el segundo trayecto es inferior a TS, se dará una situación similar a la que se ilustra en 4.4(b). La porción del símbolo n-1 presente durante el período de integración actuará también como interferencia, en tanto que la porción retrasada del propio símbolo n se sumará consigo mismo de forma constructiva o destructiva, según sea la fase entre la porción directa y la

retrasada.

Aún cuando el retardo sea menor a la duración de un símbolo, se mantiene, en mayor o menor escala, interferencia entre símbolos debido a la presencia del símbolo previo. Esto podría eliminarse si el período durante el que se produce cada símbolo se hace mayor que el período durante el cual el receptor realiza la integración de la señal, lo que sugiere la conveniencia de utilizar un intervalo de guarda.

Constelaciones básicas

Para conseguir la modulación OFDM los datos de entrada se “mapean” en símbolos OFDM, lo que significa que modulan a cada una las subportadoras individuales. Esta modulación puede ser de diferentes tipos, pero en el sistema DVB-T las constelaciones contempladas son 4QAM, 16QAM y 64QAM, que se ilustran en la figura 4.5.

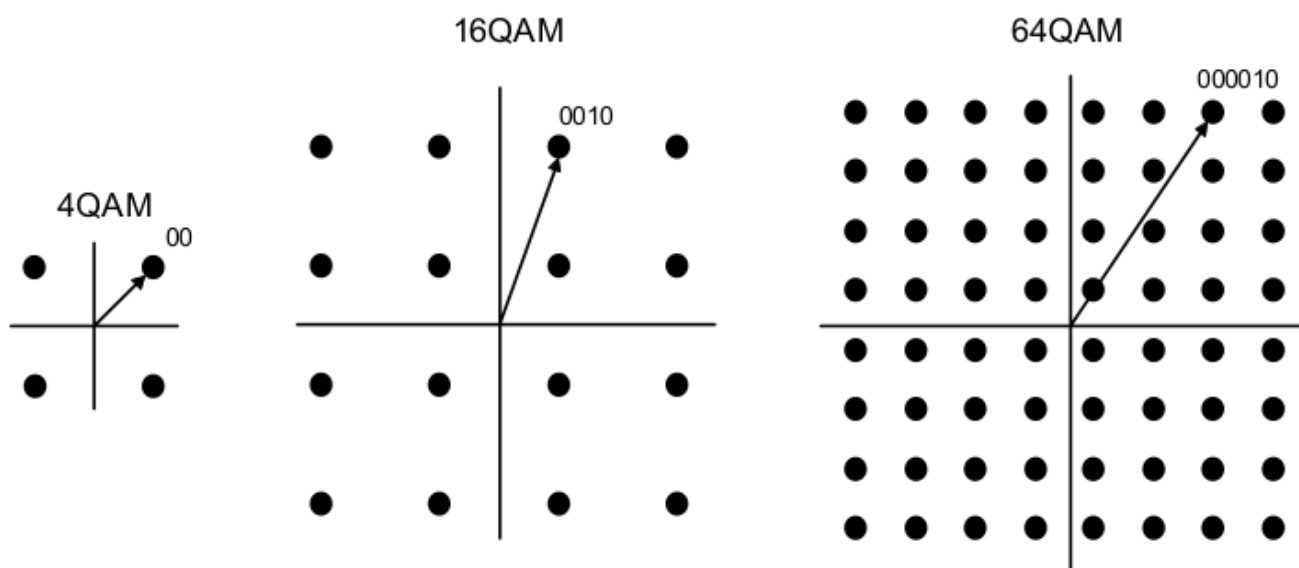


Fig. 4.5. Constelaciones usadas en DVB-T.

Dependiendo de la constelación utilizada, cada subportadora transportará 2, 4 u 8 bits de información. Cada punto de la constelación se puede representar por un número complejo. Así, la primera etapa en el proceso de modulación OFDM es el de mapear los grupos de 2, 4 u 8 bits en las componentes real e imaginaria que corresponden al número complejo en la constelación. Cada constelación tiene una robustez propia con respecto a la relación C/N mínima que puede tolerar para una demodulación correcta. En términos aproximados, 4QAM es más robusta que 64QAM.

Estos números complejos corresponden a una representación en el dominio de la frecuencia y para trasladarlos al dominio del tiempo es necesario aplicar la transformada inversa de Fourier. Estos dos procesos, el mapeo del flujo binario de entrada en símbolos complejos de la constelación y su transformación inversa bajo Fourier, constituyen la primera parte del proceso de modulación OFDM.

Teoría básica de OFDM

El método OFDM emplea N portadoras, por lo que se requieren, por lo menos, N muestras complejas en tiempo discreto para representar al símbolo OFDM.

Estas muestras en el dominio del tiempo (0, 1, ..., N-1) son el resultado de una subportadora k modulada con un símbolo C_k , de la información, dentro de un símbolo OFDM y pueden expresarse como:

$$s_{k\text{-ofdm}}[n] = \frac{C_k}{N} e^{j \frac{2\pi k n}{N}}$$

Donde:

- N = número de subportadoras y muestras en el dominio del tiempo utilizadas.
- n = índice de la muestra en el dominio del tiempo
- k = índice de la subportadora.
- C_k = amplitud y fase de la información a transmitir.

Tanto C_k como k son constantes para una subportadora dada durante el período de un símbolo OFDM. De la ecuación (1) se ve que las N muestras complejas para la subportadora k giran exactamente k círculos en el plano complejo durante el período útil de un símbolo OFDM. El símbolo completo, en el dominio del tiempo, se construye a partir de las N subportadoras superponiendo sus ondas:

Los coeficientes C_k son complejos, con lo que, de hecho, representan a la señal en el dominio de frecuencia. Para trasladar dicha señal al dominio del tiempo, es necesario aplicar, en el modulador, la transformada inversa de Fourier, de hecho la transformada inversa rápida (IFFT).

En el receptor de DVB-T se aplica la transformada rápida directa de Fourier (FFT) al símbolo OFDM en el dominio del tiempo. La señal original transmitida se reconstruye comparando cada subportadora con una de referencia, de amplitud y fase conocidas y de igual frecuencia.

Como consecuencia de la ortogonalidad de las N subportadoras, el resultado de la comparación es cero en la FFT para cualquier subportadora distinta a la de referencia.

Transmisión de Televisión

Modulación COFDM

©Constantino Pérez Vega - 2004

From: <http://server-jk.ddns.net/dokuwiki/> - IES Palomeras-Vallecas Dep. Electronica

Permanent link: http://server-jk.ddns.net/dokuwiki/doku.php?id=sistemas_de_produccion_audiovisual:teoria:modulacion_cofdm

Last update: 2025/01/22 02:02

