



Diseño de un sistema radar con multiplexación por división de frecuencias ortogonales ofdm simulado con matlab

Design of a radar system with orthogonal frequency division multiplexing ofdm simulated with matlab

Projeto de um sistema de radar com multiplexação ortogonal por divisão de frequência ofdm simulado com matlab

Alexandra Orfelina Pazmiño-Armijos ^I
apazmino_a@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2723-9850>

Jairo René Jácome-Tinoco ^{II}
jjacome@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3192-5084>

Jesús Rodríguez-Flores ^{III}
jesus.rodriguez@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8003-3619>

Correspondencia: apazmino_a@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de mayo de 2022 * **Aceptado:** 12 de junio de 2022 * **Publicado:** 04 de julio de 2022

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Ecuador.

Resumen

El desarrollo de los sistemas de comunicación se ha desarrollado muy rápidamente debido a las mejoras en los sistemas de procesamiento de señales digitales. Entre ellos se encuentran los basados en técnicas de modulación OFDM con sistemas de alto crecimiento y mayor expansión. Las mejoras en esta técnica son de transmisión constante a través de una elevada actividad investigadora. El uso de esta modulación permite un uso eficiente del canal AB en algunos aspectos, el prefijo cíclico, las portadoras piloto, las bandas de guarda, el ISI, el ICI.

El propósito de este trabajo es utilizar la modulación OFDM para un sistema de radar de comunicaciones de un objeto estacionario que entregue datos de velocidad y distancia de otro objeto para detectarlo enviando una señal para que regrese como en un momento determinado en orden estacionario. Integración de radar de señal de comunicaciones. El objetivo es utilizar completamente una señal de comunicación dirigida a una señal de radar.

Palabras Clave: sistema radar; frecuencias ortogonales.

Abstract

The development of communication systems has developed very rapidly due to improvements in systems of digital signal processing. Among them are those based on OFDM modulation techniques with high growth and increased expansion systems. Improvements in this technique are constant transmission through a high research activity. Use of this modulation allows efficient use of AB channel some aspects the cyclic prefix, pilot carriers, the guard bands, the ISI, ICI.

The purpose of this work is to use the OFDM modulation for a radar system communications of a stationary object that deliver speed and distance data of another object to detect it by sending a signal to return as at a certain time in order stationary. Integrating communications signal radar. The objective is to fully utilize a communication signal directed to a radar signal.

Keywords: radar system; orthogonal frequencies.

Resumo

O desenvolvimento de sistemas de comunicação tem se desenvolvido muito rapidamente devido a melhorias nos sistemas de processamento digital de sinais. Entre eles estão aqueles baseados em técnicas de modulação OFDM com sistemas de alto crescimento e expansão aumentada. As

melhorias nesta técnica são de transmissão constante através de uma alta atividade de pesquisa. O uso desta modulação permite o uso eficiente do canal AB em alguns aspectos: prefixo cíclico, portadoras piloto, bandas de guarda, ISI, ICI.

O objetivo deste trabalho é utilizar a modulação OFDM para um sistema de radar de comunicações de um objeto estacionário que entrega dados de velocidade e distância de outro objeto para detectá-lo enviando um sinal de retorno como em um determinado momento estacionário. Integrando radar de sinal de comunicações. O objetivo é utilizar plenamente um sinal de comunicação direcionado a um sinal de radar.

Palavras-chave: sistema de radar; frequências ortogonais.

Introducción

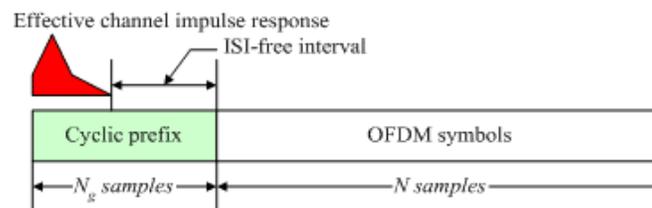
El origen de OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), se remonta a aplicaciones de uso militar, en las que se trabaja dividiendo el espectro disponible en múltiples subportadoras. La transmisión en la que no existe “visión directa” sucede cuando entre el receptor y el transmisor existen reflexiones o absorciones de la señal que implica una degradación de la señal recibida, que se manifiesta mediante efectos como pueden ser la atenuación plana, la atenuación selectiva en frecuencia o la interferencia intersimbólica. Estos efectos se mantienen bajo control con el OFDM. La técnica OFDM actual, consiste en una multiplexación en frecuencia de diferentes portadoras, donde cada una transporta una información modulada siguiendo una constelación QAM o QPSK. El resultado es una señal que se transmite en paso banda, y que contiene a su vez N sub-bandas de transmisión, esto es, un bloque de N símbolos que son transmitidos en serie en un periodo de símbolo T_s cada uno, se convierten en un bloque de N símbolos en paralelo que se transmiten en un tiempo N veces el periodo de símbolo y con ello se consigue una mayor eficiencia espectral ya que el ancho de banda que se ocupaba enviando solo una portadora ahora se ocupa enviando N subportadoras. Cada una de estas portadoras se comporta como un canal independiente que solo sufre atenuación y no dispersión en cada subcanal. El uso de portadoras ortogonales entre sí, permite un mejor aprovechamiento de la banda de transmisión.

Fundamento Teórico

Prefijo Cíclico

Una técnica utilizada para solucionar los problemas descritos anteriormente es el uso del prefijo cíclico. Dado que la duración de cada símbolo es larga, se puede introducir un intervalo de guarda entre los mismos. Este tiempo de separación soluciona el problema de la interferencia inter símbolo ISI, al impedir que la cola de un símbolo se solape con el próximo. Así mismo, reduce los problemas de sincronización temporal.

Durante este periodo de guarda, se puede transmitir el prefijo cíclico, que consiste en el final del símbolo OFDM copiado en dicho intervalo, y este se transmite, seguido del símbolo OFDM.



La razón de que el intervalo de guarda se componga de una copia del final del símbolo OFDM es tal que el receptor se integrara sobre un número entero de ciclos sinusoidales para cada camino de los multitrayectos cuando se realiza la demodulación de OFDM con la FFT.

Portadoras Piloto y Bandas de Guarda

En los sistemas coherentes, cuando el canal no es conocido en el receptor, son necesarios pilotos asistidos por algunas técnicas para estimar el canal. Usando OFDM, se puede llegar a encontrar y diseñar el patrón de pilotos óptimo, patrones que de manera eficiente estimen los canales de desvanecimiento doblemente selectivos en el tiempo y la frecuencia. Se demuestra que, disociando tiempo y frecuencia, el proceso de estimación de estos canales puede ser visto como un problema de muestreo de dos dimensiones.

El uso de bandas de guarda consiste en no transmitir información en las subportadoras OFDM de los extremos con el fin de reducir el espectro de transmisión. Esta técnica es muy útil si la limitación del canal está muy próxima al ancho de espectro, o si por el mismo canal se transmiten diferentes señales OFDM moduladas en banda.

Sincronización

El argumento de mayor peso contra OFDM es que es altamente sensitivo a errores de sincronización, en particular a errores de frecuencia. Es más sensible al desplazamiento y fluctuación de la frecuencia portadora que los sistemas de portadora única debido a la filtración de la DFT. Una pequeña desviación Δf entre el transmisor y el receptor provoca que las portadoras ya no sean ortogonales, causando una rotación de la señal en el dominio del tiempo, una reducción significativa de la amplitud de cada portadora y, el efecto más importante, la Interferencia entre Portadoras (ICI).

Técnicas de eliminación de ISI e ICI con PC insuficiente

El intervalo de guarda del que hemos hablado, debe ser mayor o igual que el retardo de difusión de canal del sistema. Como se indica, el uso de un prefijo cíclico como el intervalo de guarda es una forma sencilla de combatir la ISI e ICI, sin embargo, también reduce la eficiencia de transmisión del sistema.

El enfoque convencional consiste en utilizar un ecualizador en el dominio del tiempo EQT, también conocido como ecualizador de acortamiento de canal (*cannel shortening*), para acortar el impulso de la respuesta del canal. Sin embargo, una de las desventajas de la EQT son las fugas de energía del ruido de las subportadoras, significativamente atenuadas. Además, EQT no puede eliminar completamente la ISI y la ICI.

Sin embargo, en algunos casos como HDTV y sistemas OFDM satélite sí que se introduce un EQT en el receptor para disminuir la respuesta efectiva del canal. Ello conlleva una complejidad computacional, amplificación del ruido y una convergencia muy lenta. Para suprimir la ICI en OFDM se han propuesto técnicas como MMSE, aunque su carga implícita es la complejidad que requiere; códigos de cancelación polinómica PCC; “*matched filtering*”, que no convienen debido a su baja eficiencia espectral resultante y a que sería necesario modificar la transmisión clásica OFDM; filtros en el dominio del tiempo o expansiones de las Series de *Taylor*.

Las técnicas que se analizan son:

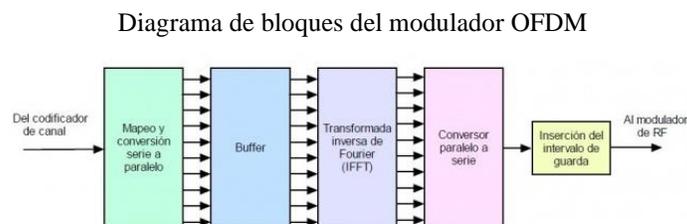
- Filtro óptimo en frecuencia eliminador de ISI e ICI.
- Método iterativo en tiempo y frecuencia para la cancelación de ISI e ICI.
- Algoritmo RISIC.

- Cancelación de ISI e ICI mediante OPT

Modulador y demodulador ofdm

La señal de entrada al modulador OFDM es un flujo binario continuo. Este flujo se segmenta en símbolos, de acuerdo a la constelación a utilizar y se obtiene un mapa de los símbolos, representados ahora por números complejos, que corresponden a la representación de la señal en el dominio de frecuencia. Si se van a modular N sub-portadoras simultáneamente, la primera operación debe ser la conversión del flujo binario de entrada, en serie, en un flujo de coeficientes complejos en paralelo.

El siguiente paso es realizar la transformada inversa de Fourier sobre esos N coeficientes para obtener una señal en el dominio del tiempo y, como la señal de entrada al transmisor debe ser un flujo binario en serie, es necesario convertir nuevamente la señal, ahora transformada y en paralelo, a una señal en serie. Esta es la señal a transmitir y el proceso se ilustra en el diagrama de bloques de la siguiente figura.

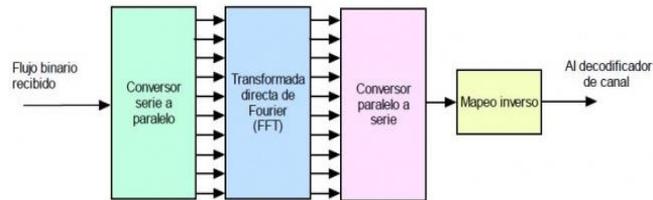


En la figura anterior, puesto que la señal de entrada procede del codificador de canal, el conjunto constituye un modulador COFDM (recuérdese que la C indica precisamente la codificación de canal).

A la salida del convertor paralelo a serie, se inserta el intervalo de guarda, designado también como prefijo cíclico, en que se copian los datos del final del bloque y se pegan al principio, lo que hace que las señales retrasadas a causa de los efectos multitrayecto caigan en el intervalo de guarda y sean ignoradas por el receptor.

El demodulador cumple la función inversa del modulador y el diagrama simplificado de bloques es similar al de la figura 19, visto ahora de derecha a izquierda, como se ilustra en la figura mostrada.

Diagrama de bloques del demodulador OFDM



Para demodular correctamente las señales, el receptor debe muestrearlas durante el período útil del símbolo OFDM, no durante el intervalo de guarda. Por consecuencia, la ventana de tiempo debe situarse con precisión en el instante en que se presenta cada símbolo.

Esto equivale, en el caso analógico, a que para llevar a cabo la demodulación coherente o síncrona en el receptor, es imprescindible que la portadora generada localmente en el receptor sea exactamente de la misma frecuencia y fase de la portadora generada en el transmisor para modular la señal.

En el sistema DVB-T se resuelve este problema utilizando sub-portadoras piloto, distribuidas de forma regular en el canal de transmisión y que actúan como marcadores de sincronismo.

Como la información de las señales piloto es conocida, en el receptor es posible realizar una estimación de la respuesta en frecuencia del canal. La estimación así obtenida para una portadora piloto puede interpolarse para llenar los huecos que separan a los pilotos y emplearse para ecualizar todas las constelaciones que transportan datos.

Principios de la técnica de modulación ofdm

El principio básico de OFDM es dividir la secuencia de datos que debe ser transmitida a una velocidad de transmisión R_s símbolos por segundo, en N sub-canales de datos paralelos, cada uno operando a una tasa de R_s/N símbolos por segundo. Cada sub-canal, modula una sub-portadora de manera que la velocidad de transmisión total del sistema sea equivalente, a la de una sub-portadora. En general, las frecuencias de las sub-portadoras utilizadas para transmitir señales multiplexadas en el dominio de la frecuencia deben ser espaciadas un valor mayor que el ancho de banda de cada sub-portadora, o sea:

$$\begin{aligned} \Delta f &> BW_{sp} \\ &> \frac{BW_s}{N} \\ &> 2R_m \end{aligned} \quad (1)$$

Donde BW_{SP} es el ancho de banda ocupada por una sub-portadora y R_m es la tasa de señalización de una sub-portadora. BW_s es definido como:

$$BW_s = \frac{R_b}{\log_2(M)}(1+\alpha) = R_s(1+\alpha) \quad (2)$$

Donde R_b es la tasa de bit necesaria para garantizar la calidad de servicio del sistema, M es el orden de la modulación empleada, R_s es la velocidad de transmisión en la salida del modulador digital en fase y cuadratura y α es el factor de caída (*roll-off*) del filtro de *Nyquist* empleado.

Para realizar el espaciamiento entre sub-portadoras, como presentado en (1), es necesario un ancho de banda total sea mucho mayor al ocupado por la señal modulada en una única portadora. Para evitar este problema, es necesario que las sub-portadoras sean sobrepuestas en el espectro de frecuencia sin introducir interferencia entre sub-portadoras *ICI (Intercarrier Interference)*. Para esto, las sub-portadoras deben ser ortogonales entre si, o sea:

$$\int_0^T \cos(\omega_i t) \cdot \cos(\omega_j t) dt = 0 \quad i \neq j \quad (3)$$

Donde $T=1/R_m$ es la velocidad de transmisión de cada sub-portadora.

Donde $T=1/R_m$ es la velocidad de transmisión de cada sub-portadora.

La figura 2, muestra seis espectros de una señal *OFDM*.

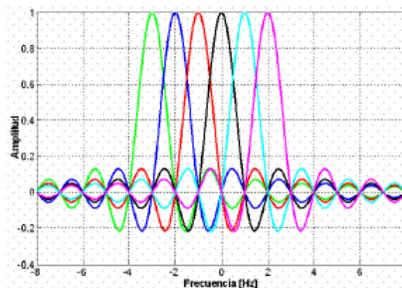


Figura 2: Espectro de una señal OFDM con 6 sub-portadoras.

Ventajas y desventajas de ofdm

Ventajas: La técnica de modulación OFDM, comparada con las técnicas de portadora única, tiene las siguientes ventajas: alta eficiencia espectral, simplicidad en la implementación de la FFT, baja complejidad en la implementación del receptor, utilizado en transmisión a velocidades elevadas en entornos con desvanecimiento multitrayecto, elevada flexibilidad en la adaptación de enlaces y una reducida complejidad en la implementación de estructuras de acceso múltiple.

Desventajas: La técnica de modulación OFDM comparada con las técnicas de portadora única, tiene las siguientes desventajas: alto PAPR (Peak-to-Average Power Ratio), alta sensibilidad a errores producidos por pérdida de sincronización ya sea en frecuencia o en tiempo.

Conclusiones

- 1.- Es posible concluir que la señal OFDM puede ser vista como una serie de Fourier limitada de N elementos, donde las componentes de fase y cuadratura son los coeficientes de esta serie.
- 2.- Se puede concluir que OFDM terminará siendo una tecnología prometedora, debido principalmente a la robustez que ofrece frente al multi-trayecto, la flexibilidad que proporciona por el hecho de dividir el ancho de banda en sub-portadoras que pueden ser moduladas independientemente para adaptarse a las condiciones específicas de los canales móviles y al aprovechamiento de la diversidad multi-usuario cuando se combina en OFDMA.

Referencias

1. Armstrong J., P. M. Grant, and G. Povey, "Polynomial cancellation coding of OFDM to reduce intercarrier interference due to doppler spread", in Proc. IEEE Global Telecommunications Conf., vol. 5, pp. 2771–2776, 1998.
2. [2] Artes Rodriguez Antonio, "Comunicaciones Digitales", Pearson COLLEGE. 2007. 775p.
3. [3] Wayne Tomasi DeVry, Sistemas de Comunicaciones Electronicas, 4ta ed., Institute of Technology Phoenix, Arizona, 2003.
4. [4] Leon W. Couch, Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos, 7ma ed., Profesor Emérito Electrical and Computer Engineering University of Florida, Gainesville, 2008.
5. [5] http://www.ingenierias.ugto.mx/profesores/arturogp/documentos/Tarea_3
6. _ Analisis_Espectral.pdf.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).