

Evaluación de desempeño de los estimadores de desplazamiento de frecuencia de portadora en sistemas variantes en el tiempo

Luis Oswaldo Chávez Torres
Universidad de Guadalajara
luisoswaldochavez@gmail.com

Roberto Carrasco Alvarez
Universidad de Guadalajara
roberto.carrasco@red.cucei.udg.mx

Resumen: Una evaluación del desempeño de los algoritmos de estimación del desplazamiento de la frecuencia de portadora (CFO) es presentado para sistemas OFDM bajo la suposición de variabilidad temporal del canal de comunicación. Típicamente, dichos algoritmos se basan en el propuesto por Timothy Schmidl y Donald Cox, el cual a partir de una secuencia entrenamiento y considerando invariabilidad del canal lleva a cabo la sincronización de trama y la estimación del CFO, aproximándose al límite inferior de Cramér-Rao. La evaluación del desempeño se llevó acabo considerando ambientes con diversas relaciones señal a ruido (SNR) y diferentes frecuencias Doppler (FD). De los resultados obtenidos se ha podido corroborar que el error cuadrático medio de la estimación del CFO suponiendo una sincronización en tiempo perfecta, se incrementa a medida

que el canal se vuelve más variante en el tiempo. Lo cual da pie a la búsqueda de nuevas técnicas de estimación y corrección del CFO para canales variantes en el tiempo.

Palabras Clave: OFDM, canal variante en el tiempo, CFO.

Performance evaluation of the estimates of carrier frequency offset in varying systems over time

Abstract: A performance evaluation of algorithms for estimating of carrier frequency offset (CFO) is presented for OFDM systems under the assumption of temporal variability of the communication channel. Typically, these algorithms are based on that proposed by Timothy Schmidl and Donald Cox; which from a training sequence and considering invariance channel performs frame synchronization and estimation of CFO, approaching the lower limit of Cramer-Rao. Performance evaluation was just considering environments with different signal-to-noise ratio (SNR) and different Doppler frequency (FD). From the results obtained it was possible to confirm that the mean square error of the estimation of CFO assuming a perfect synchronization time increases as the channel becomes more time-variant. Which leads to the search for new techniques CFO estimation and correction for time varying channels.

Keywords: OFDM, time varying channel, CFO.

1. Introducción

Uno de los esquemas de modulación más utilizados en la actualidad es el de multiplexado por división de frecuencias ortogonales (OFDM) el cual hace un uso eficiente del espectro de frecuencia debido a la ortogonalidad de sus portadoras. Adicionalmente está concebido para ser robusto a los efectos de múltiples trayectorias de un canal de comunicación móvil (Saito, Moriyama &

Nakahara, 1996). Actualmente OFDM se utiliza en los estándares 802.11 (IEEE, 1999), 802.16 para el acceso inalámbrico en redes metropolitanas (Zhao & Cui, 2011) y LTE (Al-Habashna et al, 2012).

Por otra parte, la transmisión en canales inalámbricos puede ocasionar interferencia intersimbólica (ISI), así como interferencia entre portadoras (ICI). El ISI es causado por la dispersión en el tiempo debido a la propagación por múltiples trayectorias mientras que el ICI es resultado de la dispersión de frecuencia debido al efecto Doppler (variabilidad temporal del canal) y al desplazamiento de la frecuencia de portadora (CFO) debido a las diferencias existentes entre los osciladores del trasmisor y el receptor (Montoj & Milstein, 2009). De esta manera, el receptor debe ser capaz de poder contrarrestar estos fenómenos adversos. Actualmente, la manera de compensar estos problemas, es mediante dos algoritmos distintos que estimen y contrarresten el efecto del canal y del CFO. En este sentido existen algoritmos que pueden lidiar tanto con canales variantes e invariantes en el tiempo bajo la suposición de que el CFO es nulo. Por su parte, el CFO ha sido investigado en (Schmidl et al, 1997) donde se propone el uso del preámbulo para llevar acabo la sincronía de trama y la corrección del CFO mediante el uso de correlaciones. Una modificación de este algoritmo fue presentado en (Morelli & Mengali, 1998) para ruido blanco Gaussiano (AWGN) aditivo, en (Kuo & Fitz, 1997) se lleva a cabo la estimación para canales con desvanecimiento plano, mientras que el caso de canales selectivos en frecuencia es abordado en (Hebley & Taylor, 1998), donde los autores derivan el estimador de máxima verosimilitud (ML) para el CFO.

Como se puede observar, los algoritmos existentes para la estimación del CFO son propuestos para canales invariantes en el tiempo. Así, en el siguiente trabajo se presenta una evaluación del desempeño del algoritmo de estimación de CFO propuesto por Schmidl et al en canales variantes en el tiempo bajo la suposición de sincronía perfecta de trama. El objetivo es determinar hasta que condiciones de movilidad este algoritmo funciona de manera adecuada y así

evaluar su pertinencia en dispositivos de comunicación móviles. Para llevar a cabo esta evaluación, se simuló el algoritmo suponiendo diferentes canales variantes en el tiempo (frecuencia Doppler) bajo varias relaciones señal a ruido.

El resto del artículo es organizado de la siguiente manera: el capítulo dos presenta el esquema de trama OFDM transmitida, el modelo matemático del sistema de comunicación que considera el CFO y la recepción de los datos. El capítulo tres está dedicado a presentar el algoritmo de estimación de CFO. El planteamiento de la simulación y los resultados obtenidos son expuestos en el capítulo cuatro, mientras que las conclusiones son plasmadas en el capítulo cinco.

2. Sistema de comunicación

2.1 Generación de la señal OFDM

La señal transmitida es una trama de OFDM, tal como se propone en el estándar de comunicación 802.11a (IEEE, 1999). Ésta consta de un preámbulo y M símbolos de datos, donde el preámbulo se compone de 10 símbolos cortos y dos símbolos largos, los cuales son secuencias de entrenamiento, que sirven para la corrección del CFO, la sincronización en tiempo y la estimación de canal. Cada símbolo OFDM consta de N muestras, precedidos de un prefijo cíclico de tamaño P , el cual es de mayor duración que el máximo retardo del canal.

2.2 Modelo matemático del sistema de comunicación y recepción de los símbolos OFDM.

Partiendo de un sistema de comunicación en banda base para OFDM, donde los efectos del CFO y la variabilidad temporal del canal han sido considerados, tenemos que la señal recibida puede ser expresada como:

$$x[k] = e^{j2\pi f_o k} \sum_{l=0}^{L-1} (h[k, l] s[\langle k - l \rangle_{N_r}]) + n[k]$$

Ecuación 1.

donde $x[k]$ es la señal recibida, $h[k, l]$ es la respuesta al impulso del filtro FIR que modela el canal variante en el tiempo, k enumera las muestras en el dominio del tiempo, $0 < l < L-1$ enumera los coeficientes del filtro, $s[k]$ es la señal transmitida, $\langle k \rangle_{N_r}$ es el módulo N_r de k , f_o es el desplazamiento en frecuencia y $n[k]$ es ruido blanco Gaussiano aditivo.

El receptor lleva acabo la sincronía en tiempo, la estimación del CFO, la ecualización de canal, la demodulación y decodificación. Esta parte regenera el mensaje original transmitido.

3. Algoritmo de estimación

3.1 Sincronización de frecuencia

Como se muestra en (Pollet, Bladel & Moeneclaey, 1995) y (Steendam, Moeneclaey & Sari, 1998), la falta de sincronización en frecuencia en sistemas OFDM conlleva a una degradación de la información recibida, de ahí la necesidad de ser corregido. Los algoritmos que atacan este tipo de problema se dividen en dos, NPSA (No ayudado por pilotos - Non Pilot Symbol Aided) (García, 2001) o NDA (No ayudados por datos - Non Data Aided) (Classen, & Meyr, 1994), estos algoritmos no requieren de ningún símbolo piloto para realizar la sincronización. Suelen utilizar la redundancia en el prefijo cíclico, la

propiedad de cicloestacionariedad que posee OFDM o ciertas propiedades de la modulación de los datos. Por otra parte tenemos los PSA (Ayudado por pilotos Pilot Symbol Aided) (García, 2001) o DA (Ayudado por datos Data Aided) (Classen, & Meyr, 1994), estos requieren de una información conocida en ciertas subportadoras (subportadoras piloto) para la sincronización. Suelen llevar una pérdida pequeña en eficiencia puesto que esas subportadoras no transportan datos. No obstante suelen ser más robustos que los NPSA y los estándares que utilizan OFDM suelen disponer de ciertas subportadoras piloto, que pueden ser utilizadas para la sincronización, la estimación de canal, el seguimiento de la desviación de frecuencia, etc.

En este trabajo se evaluó el desempeño del algoritmo de estimación del CFO propuesto en (Schmidl et al, 1997) el cual utiliza el paradigma de PSA basados en preámbulos. Para llevar a cabo esta evaluación se supuso la existencia de sincronía perfecta de inicio de trama. Dado que el símbolo largo del preámbulo está compuesto de dos mitades iguales de entrenamiento, la diferencia de fase que existe entre cualquier muestra de estas dos mitades al existir CFO está dada por:

$$\phi = \pi T f_o$$

Ecuación 2.

esta diferencia de fase puede ser estimada mediante la obtención de la correlación cruzada de la primera mitad del símbolo largo con la segunda mitad del mismo símbolo, así:

$$\hat{\phi} = \angle(P)$$

Ecuación 3.

donde P es la correlación entre las dos mitades del símbolos largo y \angle es el ángulo de su argumento. Si se puede garantizar que $|\phi|$, es menor que π , un estimado del desplazamiento de frecuencia es:

$$\hat{f}_o = \frac{\hat{\phi}}{\pi T}$$

Ecuación 4.

4. Resultados de simulación

La evaluación del desempeño del algoritmo de estimación fue realizada bajo los siguientes criterios de simulación. Símbolos OFDM de $N=64$ muestras de las cuales 48 muestras son de datos y 6 de entrenamiento, cada símbolo tiene un prefijo cíclico de tamaño $M=16$. Se supone una frecuencia de muestreo de $20\text{e}6$ Hz. El canal de comunicación bajo consideración fue de tipo Rayleigh el cual posee un perfil de potencia de retardo (PDF) compuesto de seis trayectorias aleatorias en los instantes de tiempo $[0, 200, 800, 1200, 2300, 3700]$ ns con potencias promedio $[0, -0.9, -4.9, -8, -7.8, -23.9]$ dB respectivamente. Adicionalmente, para simular diferentes escenarios de movilidad, se supuso diferentes espectros de potencia Doppler (PDE) de tipo Jakes con frecuencias Doppler máximas $FD_{\text{max}} = [0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900]$ Hz. Para la simulación, el CFO fue fijado a 10000 Hz mientras que la relación señal a ruido fue de $SNR = [0, 5, 10, 15, 20, 25, 30]$ dB. La simulación fue implementada en el ambiente de trabajo Matlab, en donde se llevaron a cabo 100 realizaciones Monte-Carlo para cada posible

combinación de SNR contra FD_{max} , obteniéndose como resultado el error cuadrático medio (MSE) del estimador del CFO.

En la figura 1, se presenta el error cuadrático medio (MSE) normalizado respecto a la duración del símbolo OFDM del estimador de CFO en función de los valores propuestos de SNR y FD. Se puede observar que conforme se decrementa el SNR el desempeño del estimador se ve disminuido. También es posible notar que la curva obtenida correspondiente a $FD=0$ Hz (canal invariante) corresponde a la presentada en Schmidl et al; sin embargo, conforme se incrementa FD el desempeño va disminuyendo lo cual es atribuible a que el estimador no puede discernir de manera óptima entre la variabilidad del canal y el desplazamiento de frecuencia debido a los osciladores.

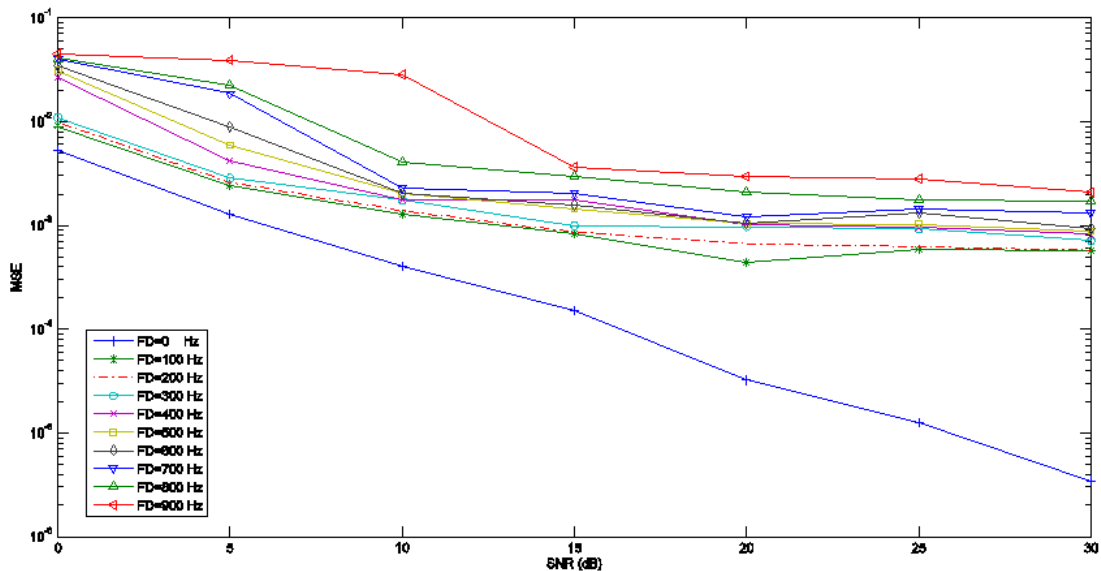


Figura 1.

Comparación del Error Cuadrático Medio (MSE) obtenido a partir de la estimación del Carry Frequency Offset (CFO) en función de la relación señal a ruido (SNR) y la Frecuencia Doppler (FD).

5. Conclusiones

Este trabajo abordó el problema de sincronización en frecuencia en sistemas OFDM, en particular, una revisión del desempeño del algoritmo presentado por Schmidl et al; en ambientes variantes en el tiempo. Para el caso de sistemas donde no se presenta el problema de variabilidad de canal, este algoritmo es altamente recomendado ya que es robusto ante presencia de selectividad frecuencial de canal. La robustez de dicho algoritmo empieza a perder fuerza en el momento que se presenta variabilidad de canal, como fue demostrado en este trabajo. Lo cual nos lleva a concluir, que se deben proponer nuevas técnicas de estimación y corrección del (CFO) para canales variantes en el tiempo.

Referencias

Al-Habashna, A., Dobre, O., Venkatesan, R., & Popescu, D., (2012) "Second-Order Cyclostationarity of Mobile WiMAX and LTE OFDM Signals and Application to Spectrum Awareness in Cognitive Radio Systems," IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN SIGNAL PROCESSING, 6(1), 26-42.

Classen, F. & Meyr, H., (1994). Frequency synchronization algorithms for OFDM systems suitable for communication over frequency selective fading channels. Proc.IEEE Vehicular Technology Conference. 44th, (pp. 1655-1659).

García, M., (2001). Time-Frequency techniques for efficient signaling in OFDM systems. PhD thesis, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Politécnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación.

Hebley, M. G. & Taylor, D. P., (1998). "The effect of diversity on a burst-mode carrier-frequency estimator in the frequency-selective multipath channel," IEEE Trans. Commun., vol. 46, pp. 553–560.

IEEE, (1999). "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band", IEEE Std 802.11a.

Kuo, W. Y., & Fitz, M. P., (1997). "Frequency offset compensation of pilot symbol assisted modulation in frequency flat fading," IEEE Trans. Commun., 45, 1412–1416.

Montoj, J. & Milstein, L., (2009). Effects of Imperfections on the Performance of OFDM Systems. IEEE Transactions on Communications, 57(7), 2060-2070.

Morelli, M. & Mengali, U., (1998). "Feedforward frequency estimation for PSK: A tutorial review," Eur. Trans. Telecommun., 9, 103–116.

Pollet, T., Bladel, M. V., & Moeneclaey, M. (1995). BER sensitivity of OFDM systems to carrier frequency offset and Wiener phase noise. IEEE Trans. on Communications, 43(2), 191-193.

Saito, M., Moriyama, S. & Nakahara, S., (1996), "Experimental and Simulation Results of an OFDM Modem for TV Broadcasters", SMPTE Journal.

Schmidl, T. M. & Cox, D. C., (1997). Robust Frequency and Timing Synchronization for OFDM. IEEE trans. on Communications, 45(12), 1613-1621.

Steendam, H., Moeneclaey, M., & Sari, H., (1998). The effect of carrier phase jitter on the performance of orthogonal frequency-division multiple-access systems. IEEE Trans. on Communications, 46(4), 456-459.

Zhao, X. & Cui, L., (2011). A New Frame synchronization Algorithm for OFDM WiMAX System in Simulink. IEEE International Conference on Computer Science and Network Technology, 4, 2321-2325

Zogakis, T.Ñ. & Cioffi, J. M. (1996). The effect of Timing Jitter on the Performance of a Discrete Multitone System. IEEE Trans. On Communications, 44(7), 799-808.

Notas biográficas:



Luis Oswaldo Chávez Torres Nació en Guadalajara, Jalisco en el año 1985. Recibió el grado de licenciatura en Ingeniería Mecatrónica en la Universidad CETI Colomos el 2012.

Actualmente es estudiante de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Electrónica y Computación en la Universidad de Guadalajara en la división de Diseño electrónico en el área de comunicaciones, trabajando en el

desarrollo de algoritmos para la estimación de canal y regeneración de datos para sistemas OFDM con el doctor Roberto Carrasco Álvarez. Él está interesado en el desarrollo en el procesamiento digitales de señales en sistemas de comunicación OFDM.



Roberto Carrasco Alvarez Nació en la ciudad de México en 1981. Cursó sus estudios universitarios en el Instituto Tecnológico de Morelia obteniendo el título en ingeniero electrónico en 2004. Llevó a cabo sus estudios de maestría y doctorado en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), en el área de telecomunicaciones, obteniendo los grados en los años 2006 y 2010 respectivamente. Ha sido profesor asistente en el CINVESTAV y profesor de asignatura en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). Actualmente es profesor investigador en el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara. Sus líneas de investigación incluyen el procesamiento digital de señales y las comunicaciones digitales.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 2.5 México.