

Cancelación del ICI mediante el método de los cinco pesos

Autor : Oscar Real Mañó

Tutor : Vicenç Almenar Terre

ESQUEMA

- ◆ **Introducción**
- ◆ **Modelo OFDM con ICI**
- ◆ **Descripción del sistema**
- ◆ **Análisis del BER : QPSK y 16QAM**
- ◆ **Resultados**
- ◆ **Conclusión**

Introducción

- ◆ Incremento del uso de las comunicaciones móviles para servicio de voz y paquetes.
- ◆ Se buscan técnicas para aumentar la capacidad de transmisión en un canal radio-móvil.
- ◆ Técnica OFDM es robusta en este tipo de canales.
- ◆ El efecto ICI es el más acusado en un sistema OFDM en un canal radio-móvil.
- ◆ Objetivo es reducir el ICI para mejorar la BER y mayor capacidad de transmisión en el mismo ancho de banda

MODELO OFDM CON ICI

$$h(t) = \sum_{i=0}^{M-1} h_i e^{j2\pi f_{d_i}(t-t_i)+\theta_i}$$

M = el número total de contribuciones que llegan al receptor.
 f_{d_i} = frecuencia Doppler para la contribución i
 θ_i = el desfase que sufre la señal para el camino i .
 t_i = el retardo que sufre la señal para el camino i
 h_i = la atenuación que sufre la señal para el camino i .

Normalizando la frecuencia Doppler, ϵ_i , como:

$$\epsilon_i = \frac{f_{d_i}}{\Delta f} = f_{d_i} \cdot T$$

Utilizando el tiempo en el dominio discreto, se sustituye t por n quedando la respuesta al impulso para un canal radio-móvil como :

$$h[n] = \sum_{i=0}^{M-1} h_i e^{j\frac{2\pi}{N}\epsilon_i(n-n_i)+\theta_i}$$

$$H[k] = \sum_{i=0}^{M-1} e^{-j\frac{2\pi}{N}n_i\epsilon_i} h_i e^{j\theta_i} \frac{\sin(\pi(k-\epsilon_i))}{\sin\left(\frac{\pi}{N}(k-\epsilon_i)\right)} e^{-j\frac{\pi}{N}(k-\epsilon_i)(N-1)}$$

Multipath
+ICI

Efecto
Multiipath

Interferencia entre subportadoras (ICI)

Desvanecimiento con distribución Rice en el canal móvil con el parámetro K elevado la respuesta en frecuencia del canal puede ser escrito como :

$$H[k] \approx \frac{\sin(\pi(k-\epsilon))}{\sin\left(\frac{\pi}{N}(k-\epsilon)\right)} e^{-j\frac{\pi}{N}(k-\epsilon)(N-1)} = G_k$$

MODELO OFDM CON ICI

Si se transmite una serie de símbolos en diferentes subportadoras la señal que se emitiría sería:

$$X_m = \sum_{m=0}^{N-1} S_m \otimes \delta(n - m)$$

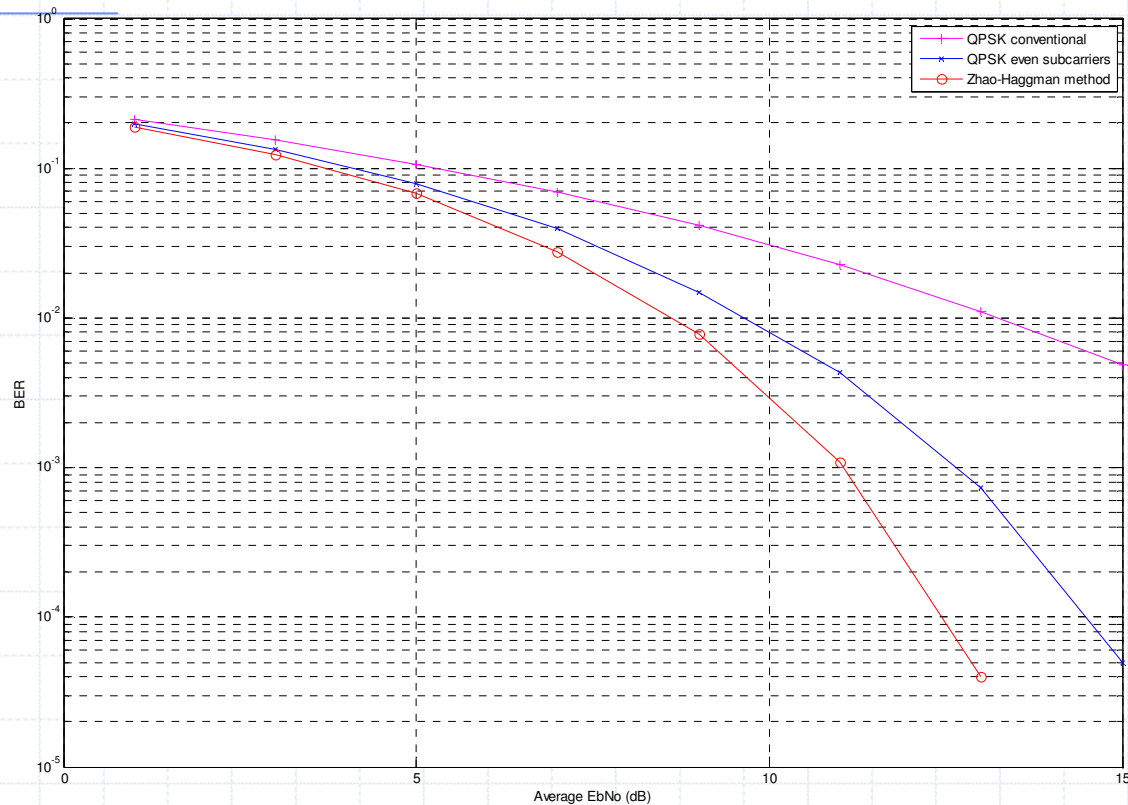
donde X_m es la señal transmitida y S_m es el símbolo transmitido en la subportadora m .

la señal recibida en recepción en el dominio de la frecuencia sería:

$$Y_m = S_m G_m + \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq m}}^{N-1} S_k \otimes G_{m-k} \quad G_{m-k} = \frac{\sin(\pi(m-k-\epsilon))}{\sin(\pi(m-k-\epsilon)/M)} e^{-j\frac{\pi}{N}(m-k-\epsilon)(N-1)}$$

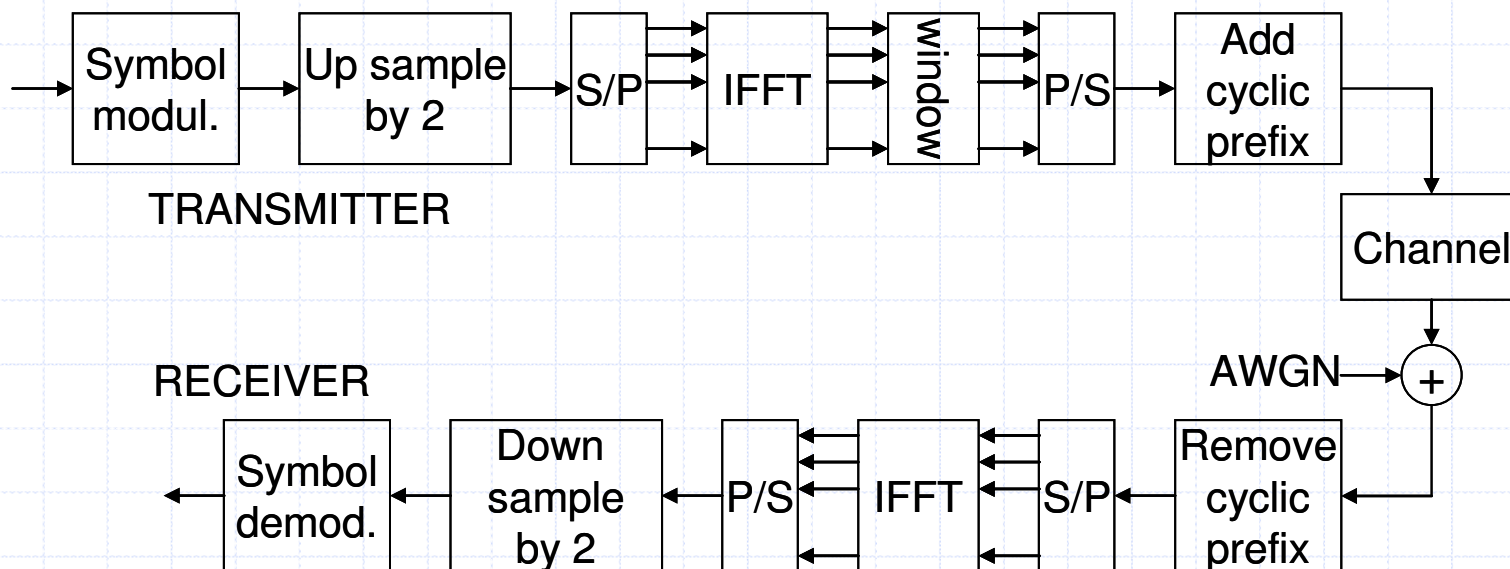
$$Y[m] = S_m \frac{\sin(\pi \epsilon)}{\sin\left(\frac{\pi}{N} \epsilon\right)} e^{j\frac{\pi}{N} \epsilon (N-1)} + \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq m}}^{N-1} S_k \frac{\sin(\pi(m-k-\epsilon))}{\sin\left(\frac{\pi}{N}(m-k-\epsilon)\right)} e^{-j\frac{\pi}{N}(m-k-\epsilon)(N-1)}$$

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA



- Reducir el ICI decrementar el parámetro ϵ_i
- Aumentando la separación en frecuencia de las subportadora, es decir, si se duplica la separación entre dos subportadoras adyacentes, el parámetro ϵ_i se reduce a la mitad, con lo que el efecto de ICI es menor.
- En el año 2001, Zhao-Haggman, descubrió un sistema que utilizando la mitad de las subportadoras para transmitir información y la otra mitad de las subportadoras para adecuar de alguna forma la información se mejora la BER

Descripción del sistema



- ◆ en la parte del transmisor se realizará una interpolación por 2 entre cada par de símbolos a transmitir, el cual estará implementado en el bloque “sample-up by 2” .
- ◆ Por lo tanto cada símbolo será insertado en cada subportadora par, mientras que la subportadoras restantes (las impares) estarán puestas a cero.
- ◆ Posteriormente de realizar la transformada inversa de Fourier, la señal será prefiltrada a través de un filtro FIR, $w[n]$
- ◆ En el lado del receptor, una vez el símbolo OFDM ha sido ecualizado, se tomarán los valores de los símbolos los cuales están ubicados en las subportadoras pares.

$$w[n] = \sum_{m=-2}^2 c_m e^{j2\pi\delta_m n/N} \quad n = 0, 1, \dots, N-1$$

Análisis del BER : QPSK

El objetivo de este punto es obtener una expresión matemática para calcular la interferencia entre subportadoras a partir de una frecuencia Doppler y conociendo el número de subportadoras que se utiliza para un símbolo OFDM con modulación QPSK utilizando cinco pesos basándose en el artículo publicado por Beaulieu. Si solo se tiene en cuenta la parte real de los símbolos transmitidos, la probabilidad media de error será :

$$P_e = \Pr(\text{Re}(Y_m) > 0 \mid a_m = -1) \quad a_m = \text{real}(S_m)_{k=m}$$

$$\text{Re}(Y_m) = -\text{Re}(G_m) + \text{Re}(z_m) + \text{Re}(N_m) \quad z_m = \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq m}}^{N-1} S_k G_{m-k}$$

$$P_e = \frac{1}{2} - \frac{2}{\pi} \sum_{\substack{l=1 \\ l \text{ odd}}}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{l \omega_0 \text{Re}(G_m)}{\sigma_n}\right)}{l} e^{-\frac{l^2 \omega_0^2}{2\sigma_n^2}} \Phi_z\left(\frac{-l \omega_0}{\sigma_n}\right)$$

$$\Phi_z(\omega_0) = \prod_{\substack{k=0 \\ k \neq m \\ k \text{ even}}}^{N-1} \cos(\omega_0 \text{Re}(G_k)) \cdot \cos(\omega_0 \text{Im}(G_k))$$

Análisis del BER : QPSK

$$Y_m = S_m G'_m + \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq m \\ k \text{ even}}}^{N-1} S_k G'_{m-k} + N_m$$

$$BER = \frac{1}{2} - \frac{2}{\pi} \sum_{\substack{l=1 \\ l \text{ odd}}}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{l \omega_0 \operatorname{Re}(G'_m)}{\sigma_n}\right)}{l} e^{-\frac{l^2 \omega_0^2}{2\sigma_n^2}} \Phi_z\left(\frac{-l \omega_0}{\sigma_n}\right)$$

$$\Phi_z(\omega_0) = \prod_{\substack{k=0 \\ k \neq m \\ k \text{ even}}}^{N-1} \cos(\omega_0 \operatorname{Re}(G'_{m-k})) \cdot \cos(\omega_0 \operatorname{Im}(G'_{m-k}))$$

$$G'_m = \sum_{k=-2}^2 c_k G_{m-\delta_k}$$

Análisis del BER : 16QAM

Se calcula primero la probabilidad de error de la parte real del símbolo

$$P_e = \Pr(\operatorname{Re}(Y_m) > 0 \mid a_m = -1) + \Pr(\operatorname{Re}(Y_m) < -2 \operatorname{Re}(G_m) \mid a_m = -1)$$

$$\operatorname{Re}(Y_m) = -\operatorname{Re}(G_m) + \operatorname{Re}(z_m) + \operatorname{Re}(N_m)$$

$$z_m = \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq m}}^{N-1} S_k G_{m-k}$$

Asumiendo que todos los símbolos son equiprobables

$$\Pr(\operatorname{Re}(Y_m) < -2 \operatorname{Re}(G_m) \mid a_m = -1) = \Pr(-\operatorname{Re}(Y_m) > 2 \operatorname{Re}(G_m) \mid a_m = 1)$$

$$P_e = 2 * \Pr(\operatorname{Re}(Y_m) > 0 \mid a_m = -1, 1)$$

Cuando la parte real del símbolo es $a_m = -3$

$$P_e = \Pr(-3 \operatorname{Re}(G_m) + \operatorname{Re}(Z_m) + \operatorname{Re}(N_m) > -2 \operatorname{Re}(G_m) \mid a_m = -3)$$

$$P_e = \Pr(-\operatorname{Re}(G_m) + \operatorname{Re}(Z_m) + \operatorname{Re}(N_m) > 0 \mid a_m = -3)$$

Análisis del BER : 16QAM

$$P_e = \Pr(\text{Re}(Y_m) > 0 | a_m = -3) = \Pr(a_m = 3)$$

Por tanto la probabilidad de error de la parte real del símbolo es :

$$P_e = (3/2) * \Pr(\text{Re}(Y_m) > 0 | a_m = -1, 1, -3, 3)$$

Por tanto la probabilidad de error de la parte real del símbolo es :

$$P_e = \left(\frac{3}{2} \right) \left[\frac{1}{2} - \frac{2}{\pi} \sum_{\substack{l=1 \\ l \text{ odd}}}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{l \omega_0 \text{Re}(G_m)}{\sigma_n}\right)}{l} e^{-\frac{l^2 \omega_0^2}{2\sigma_n^2}} \Phi_z\left(\frac{-l \omega_0}{\sigma_n}\right) \right]$$

$$\Phi_z(\omega_0) = \prod_{\substack{k=0 \\ k \neq m \\ k \text{ even}}}^{N-1} \cos(\omega_0 \text{Re}(G_k)) \cdot \cos(\omega_0 \text{Im}(G_k)) \cdot \cos(2\omega_0 \text{Re}(G_k)) \cdot \cos(2\omega_0 \text{Im}(G_k))$$

Análisis del BER : 16QAM

Para obtener la BER del sistema, basándose en codificación Gray, se comienza hallando la probabilidad de error de los dos bits en la parte real del símbolo:

$$P_{e_{2\text{bits}}} = \Pr(\text{Re}(Y_m) > 2 \cdot \text{Re}(G_m))$$
$$P_{e_{2\text{bits}}} = \left[\frac{1}{2} - \frac{2}{\pi} \sum_{\substack{l=1 \\ l \text{ odd}}}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{l\omega_0 3 \text{Re}(G_m)}{\sigma_n}\right)}{l} e^{-\frac{l^2 \omega_0^2}{2\sigma_n^2}} \Phi_z\left(\frac{-l\omega_0}{\sigma_n}\right) \right]$$

Probabilidad de error de un bit en la parte real del símbolo será:

$$P_{e_{1\text{bits}}} = P_e - P_{e_{2\text{bits}}}$$

La BER total del sistema será:

$$\text{BER} = \text{BER}_{\text{real_simbolo}} = \frac{P_{e_{\text{simbolo}}} - P_{e_{2\text{bit}}}}{2} + P_{e_{2\text{bit}}}$$

Resultados

TABLE 2
DELAY PROFILE OF THE RAYLEIGH FADING CHANNEL

Tap	Excess Delay	Relative Average Power
1	0	0 dB
2	$T/64$	-6 dB
3	$T/32$	-12 dB
4	$3T/64$	-18 dB

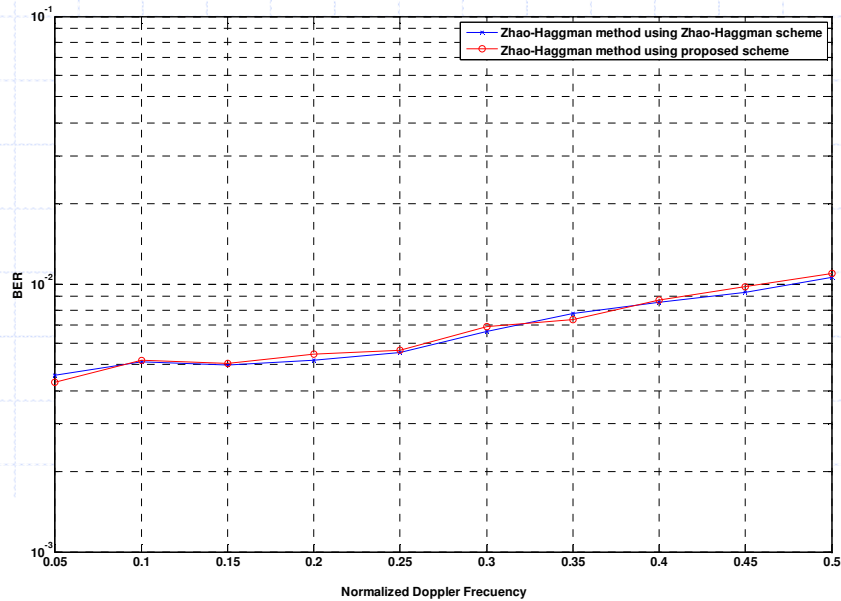
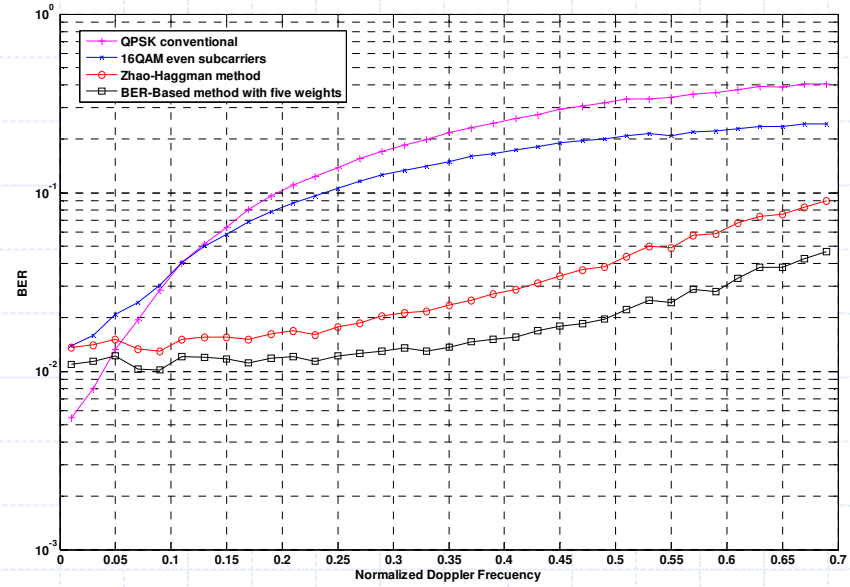
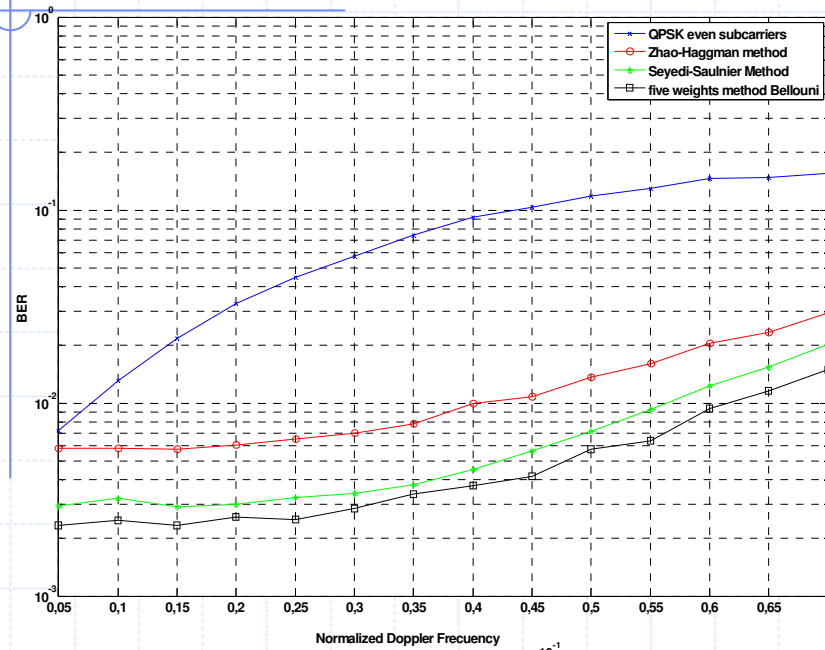
TABLE I
DESIGN PARAMETERS FOR $N = 64$ AND QPSK MODULATION

	c_1	δ_1	c_2	δ_2
Zhao-Hagmann algorithm [7]	-0.5	1	0	0
Seyedi-Saulnier Algorithm based on BER design [8]	-0.50-0.63j	0.72	0	0
Proposed Algorithm based on BER design	0.25-0.25j	0.5	-0.35-0.4j	0.83

TABLE I
DESIGN PARAMETERS FOR $N = 64$ AND 16QAM MODULATION

	c_1	δ_1	C_2	δ_2
Standard Algorithm (QPSK)	-	-	-	-
16QAM even subcarriers	0	1	-	-
Zhao-Hagmann algorithm [8]	-0.5	1	-	-
Proposed Algorithm with BER Design	0.0-0.20j	0.5	-0.4-0.1j	1

Resultados



Conclusiones

- ◆ Se ha mostrado un esquema de cancelación del ICI aplicando una ventana en el dominio de la frecuencia con cinco coeficientes. Mientras que métodos anteriores usaban 3 coeficientes (método Zhao-Haggman y método de Seyedi-Saulnier).
- ◆ Se ha demostrado que los métodos anteriores se pueden contemplar como un caso particular de nuestro método.
- ◆ Se ha obtenido una expresión matemática tanto en modulación QPSK como en modulación 16QAM para la obtención de los pesos a partir de una E_b/N_0 dada y una frecuencia Doppler máxima, tomando como referencia la BER óptima.
- ◆ Nuestro método, basado en cinco pesos, consigue una mejor BER que el resto de métodos independientemente de la frecuencia Doppler utilizada
- ◆ Cuando la frecuencia Doppler normalizada es igual o superior a 0.05, el sistema de cinco pesos en modulación 16QAM consigue mejor BER que el sistema OFDM estándar con modulación QPSK, eliminando el principal inconveniente del esquema expuesto, ya el BWefectivo es el mismo en ambos sistemas.
- ◆ El enventanado es realizado sólo en el transmisor, donde se obtiene los mismos resultados y permite así reducir la complejidad en el receptor.