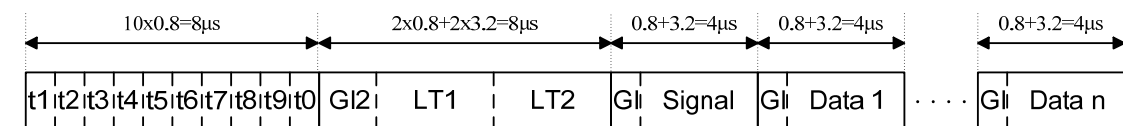


Problemas Tema 4

1. Se necesita mantener una comunicación inalámbrica a $R_b=100$ Mbit/s en un ancho de banda total $W \leq 32.5$ MHz pudiéndose elegir entre un sistema monoportadora (con filtros raíz cuadrada de coseno alzado) y un sistema OFDM, ambos con modulación 16QAM.

- Para el sistema monoportadora, calcule el máximo valor admisible de roll-off y la eficiencia espectral que proporciona. ¿Cómo podríamos incrementar dicha eficiencia espectral?
- El sistema OFDM se diseña con un tiempo de guarda $T_G = 400$ ns y un periodo de símbolo $T_S = 2.4$ μ s. Calcule el número de portadoras totales y útiles del sistema. ¿Qué eficiencia espectral proporciona? ¿Qué ventajas aporta frente al sistema del apartado anterior?
- ¿Cuál de los dos sistemas es más eficiente en potencia?

2. Las redes de área local inalámbricas WiFi emplean OFDM siguiendo el estándar IEEE 802.11a/g cuya estructura de trama se muestra en la figura. Utilizan 48 subportadoras de datos y 4 subportadoras piloto además de dejar sin modular la subportadora correspondiente a la frecuencia central.



- Calcule el ancho de banda de la señal transmitida y realice un dibujo, lo más detallado posible, de la densidad espectral de potencia.
- Si las subportadoras se modulan QPSK, obtenga una expresión de la probabilidad de error de bit en función de la potencia recibida, de R_b y de N_0 considerando canal AWGN. Cuantifique la diferencia (en decibelios) que existe con el caso QPSK monoportadora.
- Considere ahora que cada subportadora de datos se modula 64-QAM. ¿Qué régimen binario bruto proporciona el sistema? Si se añade una codificación convolucional con una tasa de $3/4$, ¿qué régimen neto se obtiene? Si tiene en cuenta la estructura de la trama de la figura (asuma que cada trama contiene 30 símbolos OFDM de datos) y que entre trama y trama son necesarios $40 \mu\text{s}$ para recibir la correspondiente trama de reconocimiento (ACK), ¿cuál es el régimen binario neto?
- Si el canal inalámbrico tiene una respuesta al impulso $h_c(t) = \delta(t) - 0.4\delta(t-5 \cdot 10^{-7})$, razone si el receptor sufrirá ISI. Para este sistema, ¿es un canal selectivo en frecuencia?

3. Se necesita diseñar un sistema OFDM que opera sobre un canal inalámbrico con un valor máximo de la dispersión temporal $\tau_{\max} = 50 \mu\text{s}$. El ancho de banda disponible es $W = 7.6 \text{ MHz}$ y el régimen binario bruto (considere que no se emplea ningún tipo de codificación) debe ser $R_b = 12 \text{ Mbit/s}$ empleando QPSK.

- Determine el valor del tiempo de guarda, T_G , del tiempo de FFT, T , y del tiempo de símbolo OFDM, T_s , de tal manera que T sea el menor múltiplo posible de T_G , que se asegure la ausencia de ISI y que permita transmitir R_b en el ancho de banda disponible.
- Especifique el tamaño de la FFT (potencia de 2) y el número de portadoras útiles. Determine el número máximo de portadoras piloto que podría usar el sistema.
- Proponga una frecuencia de muestreo a la que podría operar el receptor y especifique el número de muestras contenidas en el tiempo de guarda y en el periodo de símbolo OFDM.
- ¿Qué incremento de potencia recibida (en dB's) es necesario en el sistema OFDM diseñado para obtener, en un canal AWGN, la misma probabilidad de error de bit que un sistema monoportadora QPSK equivalente?

4. El estándar DVB-T utiliza OFDM y, en uno de sus modos de operación, proporciona un régimen binario bruto (sin tener en cuenta la codificación de canal) de 36 Mbit/s . Emplea 6048 subportadoras de datos moduladas 64QAM, 701 subportadoras piloto y 68 subportadoras TPS. La frecuencia de muestreo a la que opera el transmisor y el receptor (asumiendo que se realizan FFT's e IFFT's de longitud potencia de 2 lo más pequeña posible) es $8/7$ el ancho de banda del canal de TV analógica, es decir, $f_s = (8/7) \cdot 8 \text{ MHz}$.

- Determine el máximo valor del retardo de una componente multicamino que puede tener el canal sin que aparezca ISI en el receptor.
- Determine el ancho de banda nominal (a -3 dB) de la señal transmitida. ¿Un canal con el retardo multicamino obtenido en el apartado a) será selectivo en frecuencia en este caso?
- Determine la eficiencia espectral de este sistema.
- Calcule el incremento o decremento (en dB's) de potencia transmitida necesario para que este sistema proporcione la misma probabilidad de error de bit en un canal AWGN que un sistema monoportadora 64QAM equivalente

5. Un ASIC digital es capaz de manejar muestras complejas banda base de una señal de comunicaciones a razón de 2 Mmuestras/s y realizar FFT's e IFFT's de longitud $N_1 = 128$ (en MODO 1) o $N_2 = 1024$ (en MODO 2). Se emplea para transmitir/recibir señales OFDM 16QAM con código convolucional de tasa $2/3$. Para cada uno de los dos MODOS de operación:

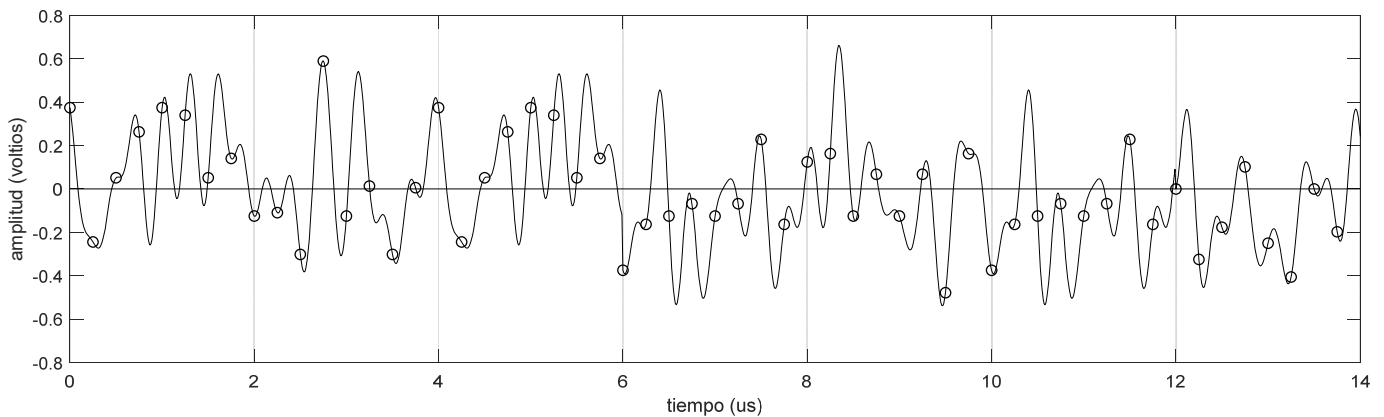
- Considerando una pérdida de eficiencia en potencia del 20% debida exclusivamente a las guardas temporales, ¿cuál es el máximo valor de la dispersión temporal del canal que no provocaría ISI?
- Demuestre si es posible transmitir al menos 4 Mbit/s netos en ambos modos.
- Para un régimen binario neto de 4 Mbit/s , determine el número de subportadoras útiles necesarias. ¿Qué ancho de banda (a -3dB) ocupa la señal OFDM si el número de subportadoras piloto es el 5% del número de subportadoras útiles y se deja sin modular la subportadora central?
- Para una misma potencia recibida y densidad espectral de potencia de ruido AWGN, ¿cuál de los dos modos proporciona una mejor BER?

6. Un sistema OFDM, cuya frecuencia central es 200 MHz, emplea 100 subportadoras útiles moduladas 16QAM, 10 subportadoras piloto y 2 subportadoras sin modular en el centro de la banda. El régimen binario neto es de 100 Mbit/s teniendo en cuenta que la tasa de codificación (Code Rate) es 1/2.

El sistema se despliega en un canal cuya dispersión máxima del retardo es $\tau_{\max} = 400$ ns.

- Proponga razonadamente un tiempo de guarda cíclica apropiado (el menor posible). Determine el ancho de banda a -3dB de la señal transmitida. Dibuje con el mayor detalle posible el espectro en escala natural de la señal OFDM transmitida.
- Calcule la frecuencia de muestreo a la que operan transmisor y receptor considerando el menor tamaño posible de FFT/IFFT. Determine el número de muestras temporales que constituyen las distintas partes del símbolo OFDM. ¿Cuántas subportadoras de guarda tiene el sistema, si es que tiene alguna?

7. En la figura se representa un pequeño intervalo de tiempo de la parte real de una señal banda base OFDM tal y como se vería en un osciloscopio. Aparecen resaltadas con círculos las muestras que se proporcionan al convertor D/A del transmisor (que trabaja sin sobremuestreo, es decir, $L = 1$).



- ¿A qué frecuencia de muestreo trabaja el transmisor (el convertor D/A)? Determine la duración del intervalo de guarda cíclica temporal (tanto en microsegundos como en número de muestras) y del tiempo total de símbolo (en microsegundos y número de muestras). ¿De qué tamaño es la IFFT?
- Razone el efecto (o los efectos) que puede provocar en el receptor un canal cuya dispersión máxima del retardo es $\tau_{\max} = 1$ μ s y otro con $\tau_{\max} = 8$ μ s. Razone, para cada caso, si todas las subportadoras experimentarán el mismo canal.

Considere que la frecuencia portadora es 10 MHz, que se emplean 2 subportadoras de guarda (una a cada extremo del espectro), que no se modula la subportadora central, que se dispone de 4 subportadoras piloto y que el resto de subportadoras transmiten símbolos 16QAM.

- Dibuje de la forma más precisa posible la densidad espectral de potencia de la señal paso banda transmitida, ¿qué ancho de banda -3 dB tiene?
- Calcule el régimen binario bruto transmitido y la eficiencia espectral.
- A igualdad de nivel de ruido AWGN y de régimen binario, ¿cuánta potencia recibida adicional es necesaria en este sistema OFDM si se compara con un sistema monoportadora 16QAM?

Soluciones Problemas Tema 4

1. a) $\text{roll_off} = 0.3, \eta = 3.08 \text{ bps/Hz}$
b) 64 portadoras totales, $N_u = 60, \eta = 3.08 \text{ bps/Hz}$
c) El sistema monoportadora
2. a) $W_{-3\text{dB}} = 16.5625 \text{ MHz}$
b) $P_{\text{error}}(\text{bit}) = Q\left(\sqrt{\frac{1.477P_{\text{RX}}}{R_b N_0}}\right)$
 $P_{\text{RX}}^{\text{QPSK}} = 0.7385 P_{\text{RX}}^{\text{OFDM-QPSK}}, P_{\text{RX}}^{\text{QPSK}}(\text{dBW}) = P_{\text{RX}}^{\text{OFDM-QPSK}}(\text{dBW}) - 1.3\text{dB}$
c) $R_{b_bruto} = 72 \text{ Mbit/s}, R_{b_neto} = 54 \text{ Mbit/s}, R_{b_neto2} = 36 \text{ Mbit/s}$
d) No ISI. Canal selectivo
3. a) $T_G = 50 \mu\text{s}, T = 200 \mu\text{s}, T_s = 250 \mu\text{s}$
b) $N_{\text{FFT}} = 2048, N_u = 1500, N_p \leq 20$
c) $f_s = 10240 \text{ kmuestras/s}, T_G: 512 \text{ muestras}, T_s: 2560 \text{ muestras}$
d) $P_{\text{RX}}^{\text{OFDM-QPSK}}(\text{dBW}) = P_{\text{RX}}^{\text{QPSK}}(\text{dBW}) + 1.03\text{dB}$
4. a) $\tau_{\text{max}} \leq T_G = 112 \mu\text{s}$
b) $W_{-3\text{dB}} = 7.6083 \text{ MHz}$, canal muy selectivo
c) $\eta = 4.73 \text{ bps/Hz}$
d) $P_{\text{TX}}^{\text{OFDM-64QAM}}(\text{dBW}) = P_{\text{TX}}^{\text{64QAM}}(\text{dBW}) + 1.03\text{dB}$
5. a) $\tau_{\text{max}1} \leq T_{G1} = 16 \mu\text{s}, \tau_{\text{max}2} \leq T_{G2} = 128 \mu\text{s}$
b) Es posible, pues $R_b \leq 4.267 \text{ Mbit/s}$ en ambos casos
c) $N_{u1} = 120, N_{u2} = 960, W_{-3\text{dB}1} = 1.984 \text{ MHz}, W_{-3\text{dB}2} = 1.97 \text{ MHz}$
d) Los dos modos proporcionan la misma BER
6. a) $T_G = \tau_{\text{max}} = 400 \text{ ns}, W_{-3\text{dB}} = 70 \text{ MHz}$
b) $f_s = 80 \text{ Mmuestras/s}$
7. a) $f_s = 4 \text{ Mmuestras}$
 $T_G = 2 \mu\text{s}$ (8 muestras), $T_s = 6 \mu\text{s}$ (24 muestras), $N_{\text{IFFT}} = 16 \text{ muestras}$
b) $\tau_{\text{max}} = 1 \mu\text{s} \rightarrow$ No ISI, canal selectivo, cada subport. experimenta un canal distinto
 $\tau_{\text{max}} = 8 \mu\text{s} \rightarrow$ ISI, canal más selectivo, cada subport. experimenta un canal distinto
c) $W_{-3\text{dB}} = 3.5 \text{ MHz}$
d) $R_b = 6 \text{ Mbit/s}, \eta = 1.7143 \text{ bps/Hz}$
e) $P_{\text{RX}}^{\text{OFDM}}(\text{dBW}) = P_{\text{RX}}^{\text{monoport}}(\text{dBW}) + 3.4\text{dB}$