

Comunicaciones Digitales

AÑO: 2009/2010

TEMA: Todos



docente 1

docente 2
docente n..

Tabla de contenido

Introducción.....	3
Ejercicio 1.	4
Ejercicio 2.	5
Ejercicio 3.	6
Ejercicio 4.	8
Ejercicio 5.	10
Ejercicio 6.	12
Ejercicio 7.	13
Ejercicio 8.	15
Ejercicio 9.	16
Ejercicio 10.	18
Ejercicio 11.	19
Ejercicio 12.	21
Ejercicio 13.	23
Ejercicio 14.	25
Ejercicio 15.	27
Ejercicio 16.	28

Introducción

Los materiales que aquí se presentan se han desarrollado para la asignatura de Comunicaciones Digitales, en tercer curso de la titulación de Ingeniería de Telecomunicación (IT). Son utilizables en la asignatura de Teoría de la Comunicación del Graduado/a en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación y en las asignaturas de Comunicaciones Digitales de todos los Grados impartidos en la ETSI Telecomunicación (Graduado/a en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, en Ingeniería de Sistemas Electrónicos, en Ingeniería de Sonido e Imagen, en Ingeniería Telemática, en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación).

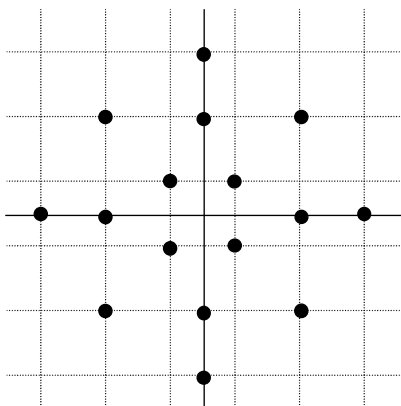
Los sistemas de comunicación digital deben cumplir unas normas a las que se llega, a veces, por acuerdos entre fabricantes y, en otras ocasiones, como normativa de los denominados organismos de estandarización. Estas normas escritas, conocidas “estándares”, suelen ser realmente complejas. Aunque los alumnos conozcan de sobra los dispositivos en los que se emplean, los estudiantes no son capaces de conectar las descripciones de estos estándares (o la información que aparece al pulsar el botón “info” del control remoto de la televisión) con los contenidos de la asignatura de Comunicaciones Digitales.

A los problemas que se incluyen aquí los solemos denominar “realistas”. Se trata de adaptar los estándares de sistemas de comunicación digital a los conocimientos y capacidades de los alumnos. En ellos no se ha escatimado el uso del nombre comercial de la tecnología, ni los valores reales de las velocidades alcanzadas ni otros parámetros de medidas. Reúnen en ellos los conocimientos de toda la asignatura, que debe emplearse como un todo para llegar a la solución.

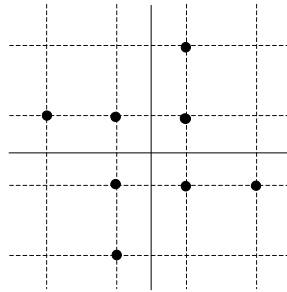
Ejercicio 1.

Los módems telefónicos disponen de la banda entre 300 y 3600 Hz para realizar una comunicación que puede ser dúplex o simplex. En el caso de que la transmisión sea dúplex dividen el ancho de banda total en dos bandas iguales, una para cada sentido, dejando entre ellas una guarda de 100 Hz en frecuencia. Durante la fase de negociación, y antes de comenzar la transmisión, el módem origen de la llamada envía al módem destino el tipo de comunicación -simplex o dúplex-, la velocidad binaria deseada -9600, 7200, 4800 ó 2400 bps- y la velocidad de baudio -2400, 1600 ó 1200 baudios-. (En el caso de comunicación dúplex la transmisión es simétrica, es decir, la velocidad binaria y de símbolo en los dos sentidos son idénticas.)

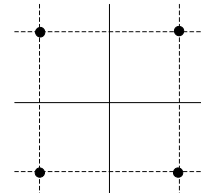
Con esta información, ambos módems son capaces de calcular la frecuencia de la(s) portadora(s) que emplean en la comunicación, el exceso de ancho de banda del pulso de coseno alzado que utilizan, y la constelación que van a usar, elegida entre las representadas en la figura y nombradas como A, B y C.



Constelación A



Constelación B

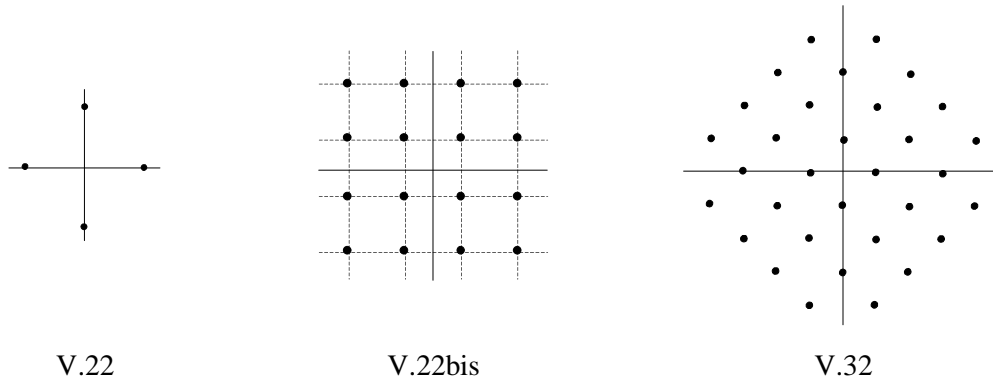


Constelación
C

- Describa las combinaciones de parámetros posibles que pueden resultar de la negociación en el establecimiento de la transmisión (comunicación simplex o dúplex, velocidad binaria, velocidad de baudio, frecuencia(s) de portadora, exceso de ancho de banda, constelación empleada).
- Seleccione uno de los casos de transmisión simplex y diseñe su receptor óptimo. Detalle los valores numéricos necesarios.
- Represente las regiones de decisión para la constelación B.
- Evalúe la probabilidad de error mínima para las tres constelaciones posibles A, B y C.
- Determine los posibles valores de eficiencia espectral del sistema.

Ejercicio 2.

Los módems telefónicos empezaron a usarse en los años 60 para transmitir información a través del cable de cobre en la banda de voz, es decir, entre 300 y 3600 Hz. La figura presenta la constelación empleada por tres estándares ampliamente extendidos, las normas V.22, V.22bis y V.32. En todos los casos la transmisión es simplex, es decir, en un solo sentido que ocupa toda la banda disponible.



En el desván de la Escuela ha aparecido un módem que puede emplear cualquiera de las tres normas, aunque, debido al tiempo que ha pasado abandonado, ya no es posible configurar el pulso empleado para la transmisión, que es siempre un coseno alzado de exceso de ancho de banda del 37'5%. Para la práctica del Laboratorio de Comunicaciones que se desea diseñar basta transmitir información a 8 kbps y se desea la menor probabilidad de error posible.

- a) Seleccione la norma en que se debe configurar el módem y determine los parámetros del sistema que deben emplearse (frecuencia de portadora, velocidad de baudio...). Determine la eficiencia espectral del sistema.
- b) Represente el diagrama de bloques del receptor óptimo. Detalle los valores numéricos necesarios.
- c) Represente las regiones de decisión y evalúe la probabilidad de error mínima para los tres estándares posibles.
- d) Proponga alguna práctica sobre detección incoherente que pueda realizarse con este módem.

Ejercicio 3.

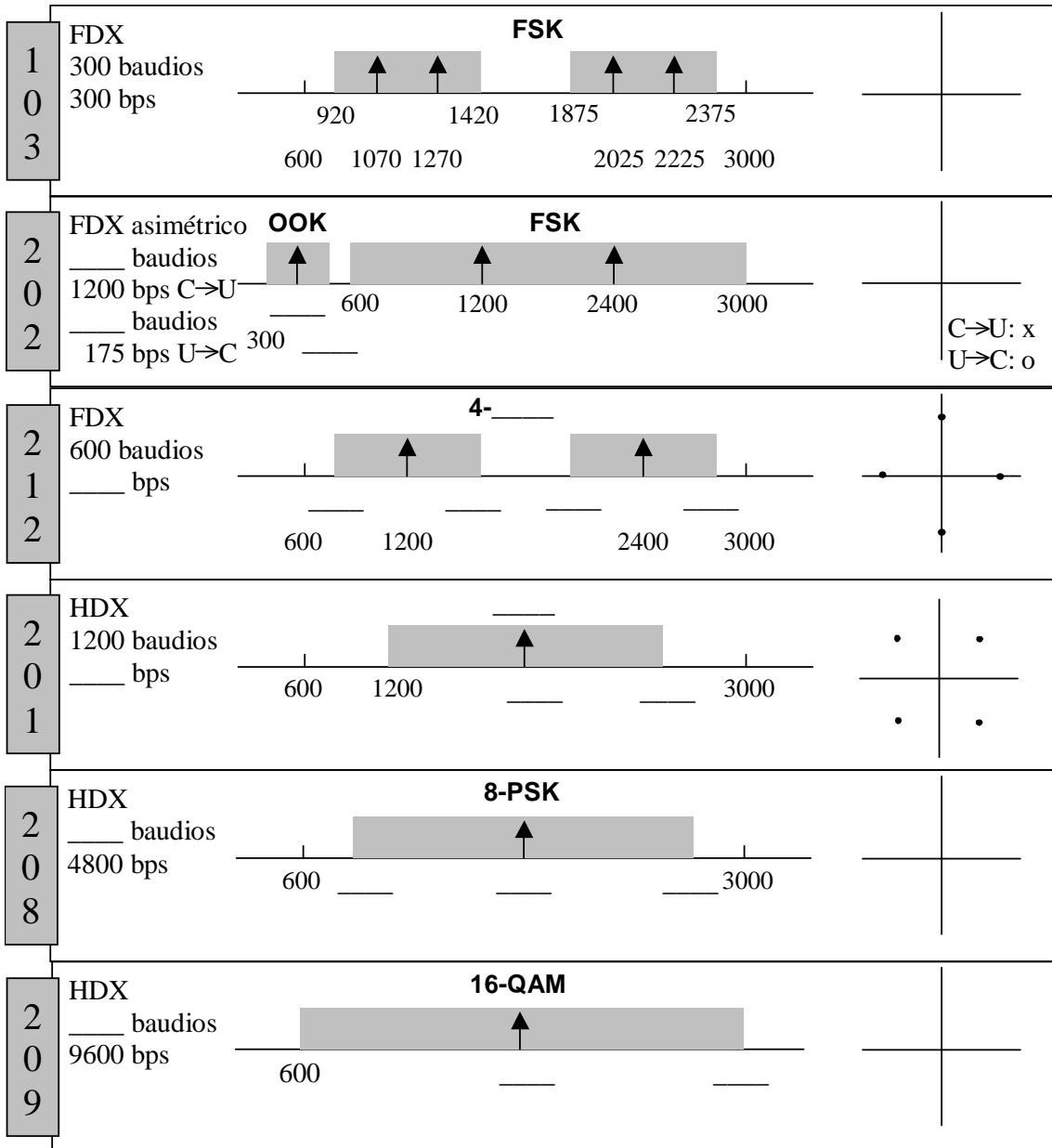
La figura es copia del catálogo de Bell Telephone Co. sobre los módems que desarrolló en los años setenta. A la izquierda lleva el nombre del modelo (103, 202...) a que se refiere la representación espectral de las señales empleadas. La energía media de las constelaciones empleadas es igual a E en todos los casos. La forma de pulso empleada es un coseno alzado con el mismo exceso de ancho de banda para todos los modelos de módem. (*Nota: No se representa el espectro de las señales transmitidas sino que las flechas indican frecuencias de portadora, no necesariamente una delta en el espectro. La zona sombreada representa la banda de frecuencias ocupada por la transmisión.*)

Los módems se clasifican como “Half Duplex” (HDX) si sólo se realiza la transmisión en el sentido central→usuario y como “Full-Duplex” (FDX) si se realiza simultáneamente la transmisión en los dos posibles sentidos (central→usuario y usuario→central). La duplexación en este caso es en frecuencia, usando el sentido central→usuario siempre la banda superior. La transmisión FDX es simétrica (es decir, la velocidad binaria de transmisión es la misma en los dos sentidos y es la presentada en la tabla) excepto en el modelo 202 para el que la transmisión usuario→central es mucho más lenta que la de sentido contrario.

- Complete los datos del catálogo que faltan. Explique cómo realiza los cálculos necesarios.
- Diseñe el receptor óptimo para el módem de usuario del modelo 201. Detalle los valores numéricos necesarios.
- Derive la probabilidad de error mínima para los módems 208 y 209.

Se desea reducir el coste del módem de usuario utilizando un detector de envolvente en vez de un detector coherente.

- Seleccione el modelo o modelos de módem que permiten esta opción.
- Haga el diseño del nuevo receptor para el modelo que permita mayor velocidad binaria de los que haya seleccionado en el apartado anterior.
- Evalúe la probabilidad de error para el receptor diseñado en el apartado previo.



Ejercicio 4.

La tecnología de banda ancha conocida como LMDS (*Local Multipoint Distribution System*) permite establecer enlaces fijos para entregar voz, datos, Internet y video en la banda de 25 GHz. LMDS permite seleccionar al comienzo de la transmisión uno de varios modos posibles de transmisión. Esos modos se presentan en la siguiente tabla, junto con el ancho de banda que emplean para realizar una transmisión a 2 Mbps.

<i>Modo</i>	<i>MHz para transmitir a 2Mbps</i>
BPSK	2'8
QPSK	1'4
8-PSK	0'8
16-QAM	0'6
64-QAM	0'4

Las operadoras que ofrecen LMDS cobran sus servicios por ancho de banda alquilado. Las empresas que usan el servicio LMDS suelen a su vez ofrecerlo a pequeñas empresas o usuarios finales como servicio equivalente a ADSL (2Mbps) y, por tanto, les resulta conveniente que el número de usuarios por Hertzio de ancho de banda sea el mayor posible siempre que la probabilidad de error sea adecuada, digamos por debajo de 10^{-4} . Con las potencias empleadas habitualmente y para receptores de calidad media puede suponerse que la relación señal a ruido ronda un valor de 20 dB.

Considere, en un primer caso, que el enlace puede considerarse un canal AWGN.

- Seleccione la constelación que cumpla las restricciones especificadas y considere más adecuada.
- Dibuje la estructura del transmisor. Incluya los datos numéricos necesarios y dé una representación gráfica aproximada de las señales del diseño (o de sus transformadas) incluyendo los valores significativos que conozca.
- Diseñe el receptor óptimo de complejidad mínima para la recepción. Incluya los datos numéricos necesarios y dé una representación gráfica aproximada de las señales deterministas del diseño (o de sus transformadas) incluyendo los valores significativos que conozca.
- Determine la eficiencia espectral por usuario del sistema seleccionado.
- Diga para cuál o cuáles de las constelaciones propuestas es posible emplear detección incoherente. Describa cualitativamente el comportamiento de la probabilidad de error para esta nueva situación.

Cuando llueve, el enlace fijo puede considerarse un canal de amplitud variable aleatoria que sigue una distribución de Rayleigh, dada por:

$$p_{\alpha}(\alpha) = 1'5625\alpha e^{-0'78125\alpha^2}$$

- f) Reconsidere la constelación seleccionada en el apartado a).
- g) Dé la expresión de la nueva probabilidad de error y calcule alguna cota que le permita indicar si se cumple el criterio de calidad mínima.

Ejercicio 5.

Ultra Wide Band (UWB) es una tecnología para transmitir información sobre un gran ancho de banda que se ha propuesto para sustituir a *Bluetooth* en las redes de área personal*. UWB debe ser capaz de transmitir a unos 480 Mbps en una banda entre los 3 y los 10 GHz. Se denomina a esta tecnología también “radio pulsada” ya que emplea una forma de pulso $\varphi(t)$ muy corta en comparación con el periodo de símbolo, distinta de cero únicamente entre 0 y 200 ps, y diseñado de manera que su transformada de Fourier ocupa por completo la banda asignada. La figura 1 representa una forma simplificada del pulso $\varphi(t)$. Suponga que la energía del pulso es de 10 μ J.

Se han propuesto cuatro opciones de modulación, en todos los casos binaria.

Opción 1. Modulación por posición del pulso: $s_0(t) = \varphi(t)$, $s_1(t) = \varphi(t-200 \cdot 10^{-9})$

Opción 2. Modulación por amplitud del pulso: $s_0(t) = \varphi(t)$, $s_1(t) = 2\varphi(t)$

Opción 3. Modulación OOK: $s_0(t) = 0$, $s_1(t) = \varphi(t)$

Opción 4. Modulación BPSK: $s_0(t) = \varphi(t)$, $s_1(t) = -\varphi(t)$

La figura 2 presenta como ejemplo la señal transmitida en las cuatro opciones para una secuencia de bits transmitida “0 0 1”. En los cuatro casos el período de símbolo es el mismo. Suponga en primer lugar que el canal puede considerarse AWGN con $N_0/2 = 1 \mu$ w/Hz. En ese caso,

- Ordene las cuatro opciones según las considere más adecuadas en términos de probabilidad de error, eficiencia espectral, eficiencia energética...
- Diseñe el receptor óptimo para la opción que considere en general más adecuada. (No olvide indicar todos los valores numéricos, ni representar o dar la expresión de las señales deterministas del diseño y de las respuestas en frecuencia o al impulso de los filtros.)

Dado que el canal para que se va a emplear la transmisión UWB es inalámbrico, puede modelarse como un canal con amplitud variable con una función de densidad de probabilidad tipo Rayleigh. Suponga, además, que la amplitud media recibida es 1.

- ¿Qué las opciones podrían emplearse en estas condiciones? Seleccione la opción que le parezca más adecuada según los mismos criterios del apartado a).
- Haga el diseño del nuevo receptor para la opción que haya seleccionado en el apartado anterior.
- Evalúe la probabilidad de error para el receptor diseñado en el apartado previo.

*Se denominan “redes de área personal” a redes digitales inalámbricas a corta distancia (unos 3 m).

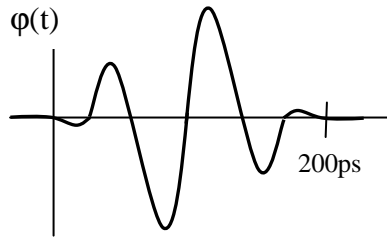


Figura 1

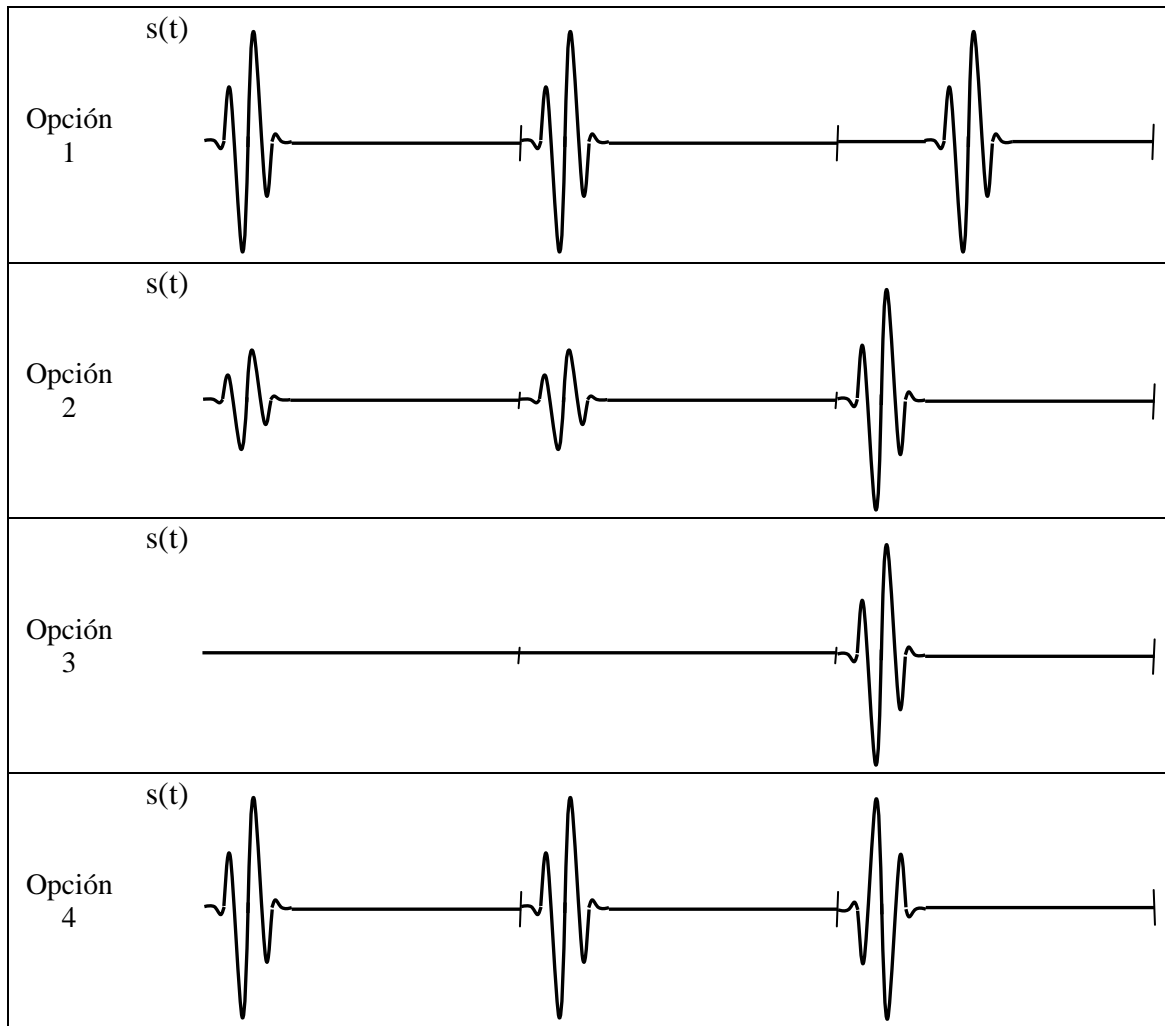


Figura 2

Ejercicio 6.

GSM (Global System for Mobile communications) emplea una forma de pulso que puede considerarse una modificación de BFSK. Considere en este problema, pues, que la constelación empleada es BFSK con separación ortogonal entre tonos mínima. Para la velocidad binaria que se transmite, 270.833 kbit/s, las señales son tales que su espectro está centrado en la banda de 900 MHz. (Simplifique el estudio suponiendo que el pulso paso bajo es rectangular en el tiempo.)

Obviamente, GSM se pretende que pueda emplearse en el canal radio, cuyas condiciones se prevén muy duras. Puede considerarse que presenta amplitud aleatoria que sigue una distribución Rayleigh. Además, se pretende evitar la recuperación de la portadora ya que sería muy complicada y encarecería mucho el receptor.

- a) Dibuje la estructura del transmisor. (No olvide indicar todos los valores numéricos, ni representar o dar la expresión de las señales deterministas del diseño y de las respuestas en frecuencia o al impulso de los filtros.)
- b) Diseñe en primer lugar el receptor óptimo de complejidad mínima. Estime la probabilidad de error mínima en función de E/N_0 .
- c) Modifique el receptor para tener en cuenta que el canal es de amplitud variable. Dé una expresión de la probabilidad de error en este caso.
- d) Adapte el receptor para no necesitar recuperar la portadora. Calcule la probabilidad de error en este caso.

Ejercicio 7.

El sistema Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) es un acuerdo establecido entre varias empresas reunidas en el *Wi-Fi Alliance* para establecer una tecnología para redes de área local inalámbricas (WLAN, *Wireless Local Area Network*) basada en el estándar IEEE 802.11. Las redes Wi-Fi operan en dos posibles bandas, 2,4 GHz (802.11b) y 5 GHz (802.11a). En este problema trabajará usted sobre la norma 802.11a.

El estándar 802.11a establece que cada usuario transmite simultáneamente 64 portadoras equiespaciadas que ocupan en total aproximadamente 20 MHz de ancho de banda. Sin embargo, sólo 48 son útiles (transmiten datos) ya que el resto son guardas o se emplean para transmitir pilotos que permiten funciones tales como recuperar el sincronismo o estimar el canal. El pulso paso bajo transmitido es rectangular de duración T_0 tras cuya transmisión se introduce una guarda (silencio) que dura un 20% del periodo de símbolo (para mitigar la interferencia entre símbolos).

Existen varios esquemas de modulación posibles, que se describen en la tabla adjunta. El usuario debe emplear la misma constelación en todas las portadoras de datos. La tabla describe también la razón de codificación (cociente entre el número de bits de información y número de bits transmitidos) ya que el transmisor incluye un codificador de canal convolucional.

Esquema	I	II	III	IV	V	VI	VII
Modulación	BPSK	BPSK	QPSK	QPSK	16-QAM	16-QAM	64-QAM
Razón de codificación	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$

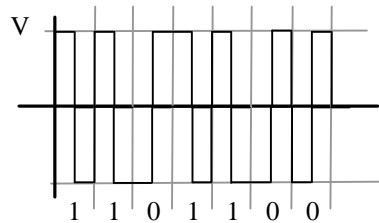
- Determine el periodo de símbolo de forma que el primer nulo de la transformada de Fourier del pulso transmitido en cada portadora coincida con la portadora contigua.
- Calcule la velocidad binaria total que se obtiene con cada uno de los posibles esquemas de modulación.
- Calcule la eficiencia espectral para todos los esquemas posibles. Con las constelaciones empleadas, ¿cuáles serían los máximos valores posibles? Comente el resultado.
- Dibuje la estructura del transmisor (para una única portadora) que emplee el esquema III. Incluya todos los datos numéricos y represente gráficamente o dé la expresión analítica de las señales del diseño (o de sus transformadas).
- Diseñe el receptor óptimo de complejidad mínima y máxima probabilidad para el transmisor del apartado anterior. Incluya los datos numéricos necesarios y represente gráficamente o dé la expresión analítica de las señales deterministas del diseño (o de sus transformadas).
- Sin considerar la codificación de canal, estime para las cuatro constelaciones posibles el valor de E/N_0 para que la probabilidad binaria de error (BER) sea del orden de 10^{-3} . ¿Qué efecto tendrá sobre este la codificación de canal? ¿Será distinto para los esquemas con razones de codificación diferentes? ¿De qué forma?

- g) Dado que el canal radio es de amplitud variable, seleccione los esquemas posibles que pueden emplearse sin modificar el receptor. Describa qué ocurriría con el resultado del apartado anterior.
- h) ¿Con cuál o cuáles de las constelaciones empleadas sería posible emplear un detector incoherente?

Ejercicio 8.

Las redes locales guiadas (*Local Area Networks*, LAN) suelen emplear la familia de tecnologías denominada Ethernet. Esta familia ha evolucionado desde 3 Mbit/s hasta 10 Gbit/s sobre medios físicos muy variados, como el cable coaxial, el par de hilos de cobre trenzados o la fibra óptica.

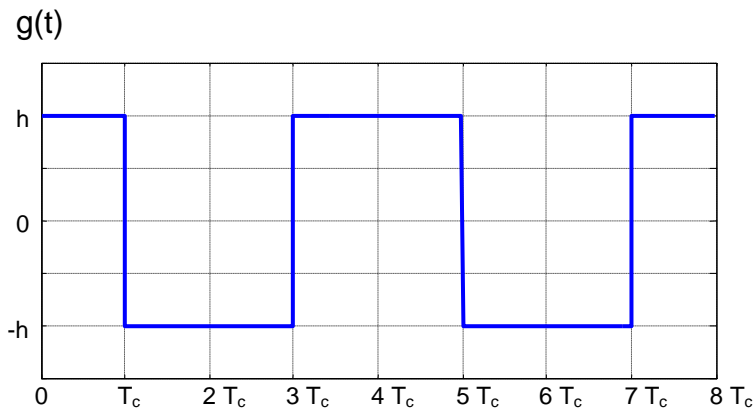
Este problema se centra en la tecnología conocida como 10BASE-T, capaz de transmitir a 10 Mbit/s sobre un par de hilos trenzados. Para ello, emplea para transmitir un código de línea binario conocido como código Manchester y amplitud 5v. Se presenta en la figura una secuencia transmitida al canal con este código.



- Represente la constelación transmitida. Calcule la energía media de dicha constelación.
- Dibuje la estructura del transmisor Ethernet.
- Diseñe el receptor óptimo de complejidad mínima para el transmisor del apartado anterior.
- Calcule la probabilidad de error del sistema 10BaseT. Considere el par de hilos un canal AWGN con densidad espectral de potencia de ruido 10^{-3} w/Hz
- Se propone reducir la probabilidad de error mediante un código de canal de razón 2/3. Especifique los nuevos parámetros de la transmisión.
- Discuta si es posible emplear la misma constelación en un canal radio con amplitud variable, y cuáles serían las consecuencias.

Ejercicio 9.

Como sabrá, UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) es el sistema de comunicaciones móviles de tercera generación que transmite en la banda de 2'5 GHz. UMTS emplea una forma de pulso paso bajo $g(t)$ de duración T_s formado por la superposición de pulsos de duración T_c . El parámetro T_c viene dado por T_s/N , donde N es un número usualmente muy grande, aunque en este problema emplearemos $N = 8$. En la figura se presenta un posible pulso empleado para $N=8$.



UMTS emplea una constelación BPSK y es capaz de transmitir hasta 2 Mbps. Como una mejora a UMTS, se ha estandarizado HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access). HSDPA emplea la misma forma de pulso y periodo de símbolo que UMTS pero permite usar además QPSK ó 16QAM. La selección de qué constelación emplear la realiza el terminal. Para ello, mide la relación señal a ruido (que, como sabrás, básicamente depende de la distancia a la estación base) y elige la constelación para mantener una cierta probabilidad de error de, digamos, 10^{-3} . La potencia transmitida por la estación base puede establecerse como +30 dBm.

- Calcule la velocidad binaria de transmisión que puede obtenerse con las tres constelaciones posibles: BPSK, QPSK y 16QAM. Determine la eficiencia espectral en todos los casos.
- Calcule h para que la energía del pulso paso bajo $g(t)$ sea unitaria. Represente la constelación QPSK transmitida, incluyendo todos los datos numéricos conocidos.
- Detalle el transmisor para QPSK. (No olvide incluir todos los datos numéricos posibles y representar gráficamente o dar la expresión analítica de las señales del diseño o de sus transformadas).
- Dibuje el receptor óptimo para el transmisor anterior. (No olvide incluir todos los datos numéricos posibles y representar gráficamente o dar la expresión analítica de las señales del diseño o de sus transformadas).

- (e) Suponiendo un receptor de mínima probabilidad de error, determine en qué rangos de distancias entre el móvil y la base puede emplearse cada una de las tres constelaciones posibles de forma que se mantenga una probabilidad de error de 10^{-3} . Suponga ruido AWGN de densidad espectral de potencia $\frac{1}{2} 10^{-18}$ w/Hz. (Encontrará un modelo de canal en la última página de este enunciado.)
- (f) UMTS emplea un codificador de canal denominado turbocódigo cuya razón de codificación es $1/3$ y cuya ganancia del orden de 10dB. Compare la velocidad neta que puede obtenerse sin y con el turbocódigo. Repita los apartados (a) y (e) en este caso.

Ejercicio 10.

Imagine que debe diseñar un enlace fijo por satélite para la transmisión de video a 384 000 bps. El ancho de banda disponible es de 128 kHz sobre una frecuencia de portadora de 3 GHz. En los enlaces por satélite es aconsejable que la energía de todas las señales empleadas sea lo más parecida posible.

- (a) Suponga que una imagen se transmite en blanco y negro con 8 niveles de gris. Si se refresca la imagen 20 veces por minuto, ¿cuál es el tamaño de imagen que podemos transmitir con este sistema? ¿Qué compresión de fuente necesitaríamos para transmitir una imagen de 1200 pixels?

Considere, en un primer caso, que el enlace satélite a tierra puede considerarse un canal AWGN. En ese caso, se empleará una modulación PAM con forma de pulso paso bajo un coseno alzado del mayor exceso de ancho de banda posible.

- (b) Seleccione la constelación (tipo y tamaño) que considere más adecuada para el diseño.
- (c) Dibuje la estructura del transmisor. Incluya todos los datos numéricos y represente gráficamente o dé la expresión analítica de las señales del diseño (o de sus transformadas).
- (d) Diseñe el receptor óptimo para dicha constelación. Incluya los datos numéricos necesarios y dé la respuesta al impulso o en frecuencia de todos los filtros empleados.
- (e) Calcule la probabilidad de error de símbolo mínima. Estime la probabilidad de error binaria mínima.
- (f) Determine la eficiencia espectral del sistema.

Generalmente, el enlace satélite-tierra puede considerarse un canal variable de tipo Rice.

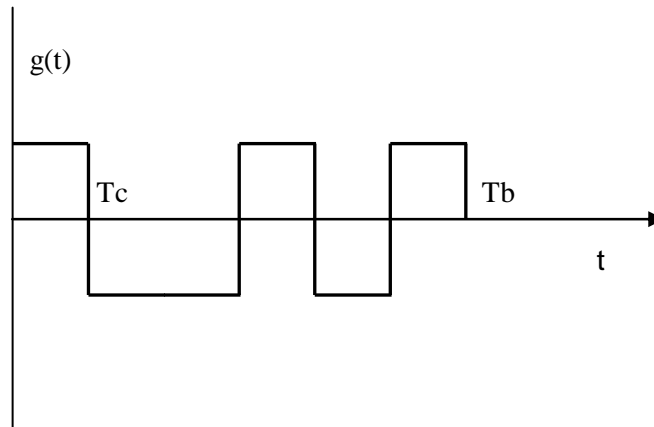
- (g) Reconsidere la constelación seleccionada en el apartado a) y diseñe el nuevo receptor.
- (h) Describa el comportamiento de la probabilidad de error para esta nueva situación.

Vuelva al caso de que el canal añada AWGN. Incluya en el diseño la condición de que se desea un receptor de bajo coste, para lo que se plantea la posibilidad de eliminar la necesidad de recuperar la portadora.

- (i) Reconsidere la constelación seleccionada en el apartado a) y diseñe el nuevo transmisor. No olvide incluir los valores numéricos.
- (j) Represente el nuevo receptor.
- (k) Calcule la probabilidad de error en este caso. Evalúe el empeoramiento respecto al caso AWGN.
- (l) Determine la nueva eficiencia espectral.

Ejercicio 11.

La tercera generación de telefonía móvil o UMTS emplea una técnica de modulación denominada por división de código y conocida generalmente por sus siglas en inglés: CDMA (Code Division Multiple Access). CDMA se basa en el empleo de formas de pulso paso bajo $g(t)$ compuestas por una sucesión de N pulsos rectangulares de duración T_c . En la figura puede verse un ejemplo para la forma de $g(t)$ con $N=6$. La modulación empleada en UMTS es BPSK, la frecuencia de portadora de 2GHz y permite transmitir hasta 2 Mbps. Suponga que la energía por bit transmitida es 1 mw y que el ruido es blanco con densidad espectral de potencia $10 \mu\text{w/Hz}$. Para que la transmisión funcione adecuadamente, la tasa de error binaria BER debe mantenerse por debajo de $2 \cdot 10^{-4}$.



Suponga, en primer lugar, que el canal entre la base y el usuario es un canal paso banda ideal.

- Determine el ancho de banda mínimo que deberá tener asignado UMTS.
- Represente el transmisor. Incluya todos los datos numéricos y represente gráficamente o dé la expresión analítica de las señales del diseño (o de sus transformadas).
- Diseñe el receptor óptimo. Incluya los datos numéricos necesarios y dé la respuesta al impulso o en frecuencia de todos los filtros empleados.
- Dé la expresión de la probabilidad de error. ¿Puede decir si se cumplirá la condición para la tasa de error?
- Calcule la eficiencia espectral.

Imagine que el canal presenta desvanecimientos Rayleigh, es decir, la señal recibida es $r(t) = a s(t) + n(t)$, donde a es una variable aleatoria con función de densidad de probabilidad Rayleigh.

- Diseñe el nuevo receptor.
- Describa cualitativamente la tasa de error. Calcule alguna cota y razone si se cumple el criterio de calidad mínima.

Imagine ahora que es un canal con ecos, es decir, la señal recibida es $r(t) = as(t) + bs(t-T_c) + n(t)$, donde a y b son fijas y conocidas. Suponga que se transmite un único símbolo.

(h) Repita los apartados a), c), d) y e) en estas condiciones.

Ejercicio 12.

El proyecto DVB (*Digital Video Broadcasting*) es un consorcio internacional que aglutina diversos organismos oficiales y empresas que desarrollan procedimientos y estándares para la difusión de televisión digital. Los estándares DVB definen la capa física y la capa de enlace de datos de un sistema de distribución de datos por satélite (DVB-S), cable (DVB-C), televisión terrestre (DVB-T) y televisión terrestre para dispositivos portátiles (DVB-H). Se diferencian principalmente en los tipos de modulación utilizados, debido a las diferentes restricciones técnicas. En este problema usted trabajará con los estándares de TV digital por satélite y por cable. En ambos casos, se especifica la utilización de un código Reed Solomon RS(204, 188, 8)¹. Considere que el canal añade ruido blanco gaussiano AWGN con densidad espectral de potencia $N_0/2=0.5 \cdot 10^{-9}$ w/Hz.

DVB-S especifica la utilización de una modulación QPSK. El pulso bajo transmitido tiene forma de raíz de coseno alzado que, como sabe, tiene transformada de Fourier igual a la raíz cuadrada del pulso de coseno alzado. Se define un exceso de ancho de banda del 35%. El canal en el enlace tierra-satélite tiene un ancho de banda de caída a 1dB de 3MHz. Aunque no es ideal, se puede considerar que si la señal supera hasta un 12.5% dicho ancho de banda no sufre distorsión apreciable. Suponga que la banda asignada al satélite es la de 20 GHz.

Por su parte, DVB-C especifica el uso de las modulaciones 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM o 256 QAM. La forma del pulso bajo transmitido es también una raíz de coseno alzado pero en este caso la relación entre el ancho de banda y la velocidad de símbolo es de 1.15. En este caso el canal paso banda se puede considerar ideal.

Considere en primer lugar la recepción de señales por satélite:

- Calcule el mínimo periodo de símbolo que se puede utilizar para que sea inapreciable la interferencia intersimbólica.
- ¿Es posible realizar la transmisión de un vídeo a 4.8 Mbps sobre este sistema? Justifique su respuesta.
- Dibuje la estructura del transmisor. Incluya los datos numéricos necesarios y dé una representación gráfica aproximada de las señales del diseño (o de sus transformadas) incluyendo los valores significativos que conozca.
- Diseñe el receptor óptimo de complejidad mínima. Incluya los datos numéricos necesarios y dé una representación gráfica aproximada de las señales deterministas del diseño (o de sus transformadas) incluyendo los valores significativos que conozca.
- Determine la eficiencia espectral.
- Calcule la probabilidad de error mínima (sin codificar) en función de la relación señal a ruido a la entrada del receptor. ¿Cómo afecta el código?

¹ Un código Reed Solomon RS(x, y, z) genera una palabras de código de x bytes a partir de un bloque de datos de entrada de y bytes, al que añade x-y bytes de paridad. El receptor puede corregir hasta z bytes por cada palabra Reed Solomon recibida.

Generalmente, el enlace satélite-tierra puede considerarse un canal aleatorio de amplitud variable que sigue una distribución de tipo Rice.

- (g) Diseñe el nuevo receptor teniendo en cuenta esta nueva consideración.
- (h) Describa el comportamiento de la probabilidad de error para esta nueva situación.

A continuación, conteste a los siguientes apartados referidos al estándar DVB de TV digital por cable:

- (i) Rellene la Tabla 1 con los valores de velocidad binaria de información disponible para dos anchos de banda asignados. Justifique todos los cálculos realizados.
- (j) Calcule la probabilidad de error mínima en función de la relación señal a ruido a la entrada del receptor para cada una de las constelaciones. Suponiendo que se utiliza codificación Gray y que la tasa binaria de bit (BER) debe quedar por debajo de 10^{-2} , ¿qué modulación escogería si la potencia de señal está limitada a 100mW?

Modulación	Ancho de banda (MHz)	
	4	8
16QAM		
32QAM		
64QAM		
128QAM		
256QAM		

Ejercicio 13.

Ultra Wide Band (UWB) es una tecnología para la transmisión de información sobre un gran ancho de banda (>500 MHz). En el caso de Estados Unidos y Australia, UWB puede operar en una banda de frecuencia centrada en los 915MHz.

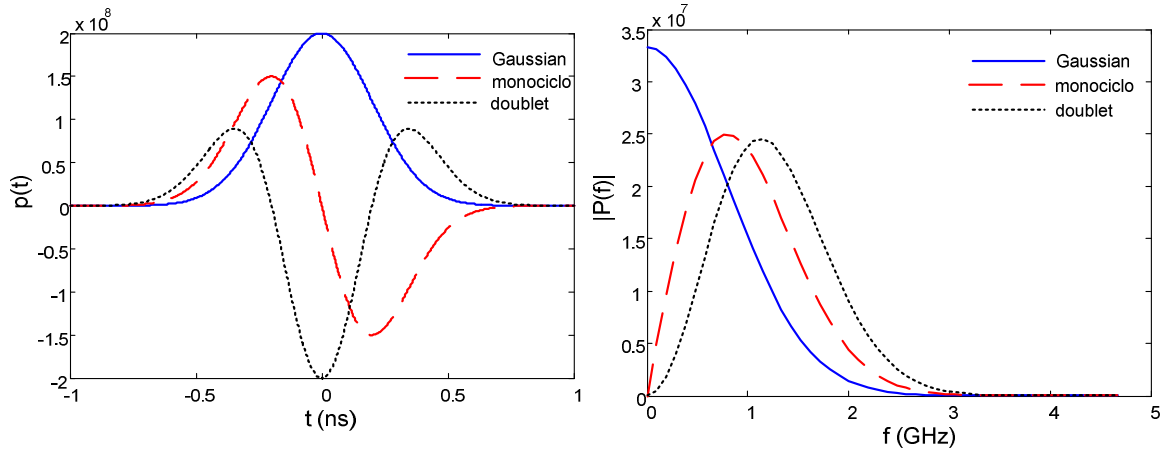
La señal UWB se genera directamente a partir de pulsos de duración muy corta cuyo espectro ocupa un ancho de banda muy grande. De entre las diversas formas de pulso que se proponen en el estándar, va a trabajar en este problema con el pulso Gaussiano y sus derivadas. En concreto:

$$(1) \text{ Pulso Gaussiano: } p_g(t) = \begin{cases} \frac{k_g}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{\sigma^2}\right) & -1 \cdot 10^{-9} < t < 1 \cdot 10^{-9} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$(2) \text{ Pulso Gaussiano monociclo: } p_m(t) = k_m \frac{\partial p_g(t)}{\partial t}$$

$$(3) \text{ Pulso Gaussiano doublet: } p_d(t) = k_d \frac{\partial^2 p_g(t)}{\partial t^2}$$

donde σ determina el ancho del pulso y las constantes k_g, k_m, k_d son utilizadas para la normalización de la energía. Suponga que la energía del pulso es de 50 μJ . La figura representa las formas de los tres pulsos en el dominio del tiempo y de la frecuencia. En todos los casos la duración del pulso, $T_p = 2\text{ns}$, es muy corta en comparación con el periodo de símbolo utilizado en el sistema, T_s , que será 100 veces mayor en este problema.



Se proponen, además, cuatro opciones de modulación, en todos los casos binaria, que se recogen en la Tabla 1, y en los que $p(t)$ es cualquiera de los tres pulsos definidos anteriormente.

	Modulación	Alfabeto
I	OOK	$s_0(t) = 0, s_1(t) = p(t)$
II	BPSK	$s_0(t) = p(t), s_1(t) = -p(t)$
III	Amplitud del pulso	$s_0(t) = p(t), s_1(t) = 2p(t)$
IV	Posición del pulso	$s_0(t) = p(t), s_1(t) = p(t-T_s)$

Tabla 1. Esquemas de modulación

Suponga en primer lugar que el canal puede considerarse AWGN con $N_0/2 = 1 \mu\text{w/Hz}$.

- Indique las expresiones en el tiempo para los pulsos monociclo y *doublet*. ¿Existe interferencia entre símbolos en este sistema?
- Indique qué pulso escogería para la transmisión y por qué.
- Calcule la máxima velocidad binaria de transmisión.
- Ordene las cuatro opciones de modulación según las considere más adecuadas en términos de probabilidad de error, eficiencia espectral, eficiencia energética...
- Dibuje la estructura del receptor para la opción que considere en general más adecuada. Incluya los datos numéricos necesarios y dé una representación gráfica aproximada de las señales del diseño (o de sus transformadas) incluyendo los valores significativos que conozca.
- Determine la eficiencia espectral.

Dado que el canal sobre el que se va a realizar la transmisión UWB es inalámbrico, puede modelarse como un canal con amplitud variable con una función de densidad de probabilidad tipo Rayleigh. Suponga, además, que la amplitud media recibida es 1.

- Seleccione el pulso y la constelación que le parezca más adecuada en este caso.
- Haga el diseño del nuevo receptor para la opción que haya seleccionado en el apartado anterior.
- Evalúe la probabilidad de error para el receptor diseñado en el apartado previo.

Ejercicio 14.

Las siglas UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) hacen referencia a la tercera generación de telefonía celular. La frecuencia de portadora en UMTS es de 2GHz y se puede conseguir una velocidad máxima de 2 Mbit/s en condiciones óptimas, como por ejemplo en el entorno interior de edificios. En UMTS se emplea como método de acceso al medio un mecanismo denominado por división de código. El transmisor binario de la figura 1 parte de un esquema convencional BPSK² al que se incorpora un nuevo bloque denominado generador de secuencia pseudoaleatoria. Este generador produce una señal periódica de periodo NT_c que toma únicamente valores ± 1 y que cumple la relación $T=NT_c$, donde T es el periodo de símbolo y T_c es conocido como *periodo de chip*. La figura 2 presenta una posible secuencia para $N = 8$.

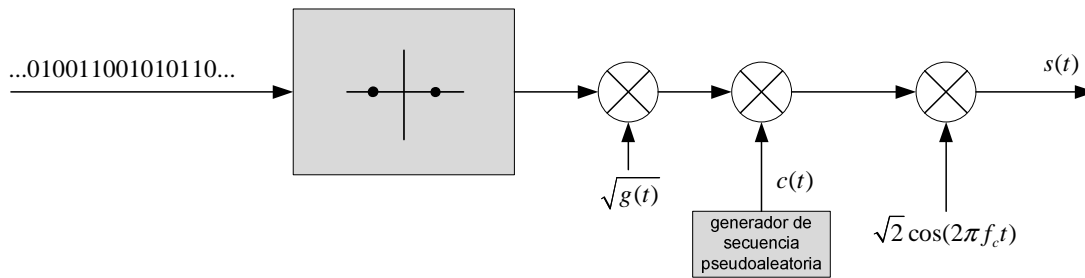


Figura 1

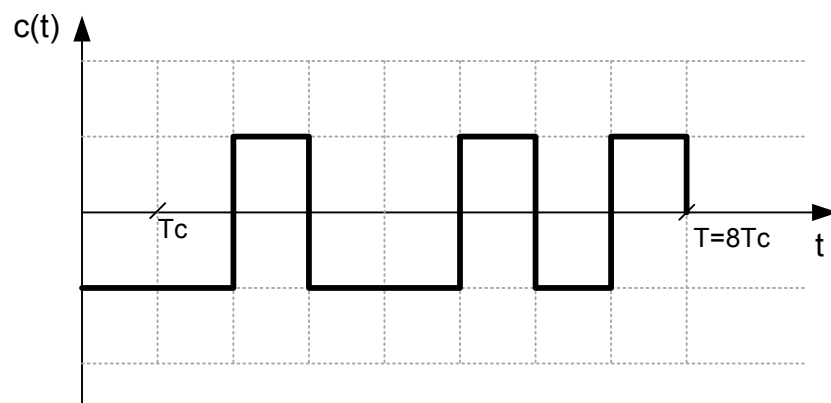


Figura 2

Suponga, en primer lugar, que el canal entre la base y el usuario es un canal paso banda ideal. La potencia transmitida es 1 mW y el ruido es blanco con densidad espectral de potencia 10^{-12} $\mu\text{W}/\text{Hz}$. Para que la transmisión funcione adecuadamente, la tasa de error binaria BER debe mantenerse por debajo de $2 \cdot 10^{-6}$.

- Determine el mínimo ancho de banda que deberá tener asignado UMTS en función de N . Calcule el ancho de banda para el pulso de la figura 2.
- Diseñe el receptor óptimo. Incluya los datos numéricos necesarios y dé la respuesta al impulso o en frecuencia de todos los filtros empleados.

² Cuando llega un 0 se envía $-\sqrt{E}$ y si es un 1, \sqrt{E} . Luego se multiplica por un pulso $g(t)$ que tomaremos rectangular unitario de duración T .

- (c) ¿Se puede emplear detección incoherente? En caso negativo, modifique el transmisor en lo que sea necesario para que sea posible.
- (d) Dé la expresión de la probabilidad de error. ¿Puede decir si se cumplirá la condición para la tasa de error?
- (e) Calcule la eficiencia espectral.
- (f) UMTS emplea un codificador de canal denominado turbocódigo, cuya ganancia de codificación es 1/3 y que consigue una ganancia de unos 10dB. Compare la velocidad neta que puede obtenerse con y sin turbocódigo. Calcule la nueva potencia de transmisión manteniendo la probabilidad de error del apartado (e).

Suponga ahora que el canal presenta desvanecimientos Rayleigh, es decir, la señal recibida es $r(t) = a s(t) + n(t)$, donde a es una variable aleatoria con función de densidad de probabilidad Rayleigh.

- (g) Diseñe el nuevo receptor.
- (h) Describa cualitativamente la tasa de error. Calcule alguna cota y razone si se cumple el criterio de calidad mínima.

Ejercicio 15.

Se desea diseñar un sistema de comunicaciones por satélite que trabajará en la banda de 1.8GHz. La tasa de información es de 200kbps y el ancho de banda disponible es 200kHz. Debido a las limitaciones prácticas en el filtrado, se decide emplear un pulso raíz de coseno alzado con exceso de ancho de banda del 50%. La potencia recibida es -42dBm y la densidad espectral de potencia de ruido es -105dBm/Hz. La máxima probabilidad de error de bit se fija en 10^{-4} .

Como esquema de modulación se duda entre QPSK y 8-PSK. Respecto a la codificación, se puede elegir de entre las opciones de la Tabla 1, donde k es el número de bits que entran al codificador, n es el número de bits tras la codificación y t es el número de bits que se pueden corregir.

Esquema	Codificación	k	n	t
I	No codificación	-	-	-
II	Código BCH	36	63	5
III	Código BCH	24	63	7
IV	Código BCH	16	63	11

Tabla 1. Esquemas de codificación

En el caso de emplear codificación, puede aproximar la probabilidad de error de bit de una modulación M-PSK con codificación BCH con la siguiente expresión:

$$p_b \approx \binom{n}{t+1} p^{t+1} (1-p)^{n-t-1},$$

$$p \approx Q\left(\sqrt{\frac{2E}{N_0} \log_2 M \cdot \frac{k}{n} \cdot \sin^2 \frac{\pi}{M}}\right)$$

- Determine la eficiencia espectral que se puede conseguir con cada una de las combinaciones modulación/codificación.
- Elija un esquema de modulación y codificación que cumpla los requisitos de diseño.
- Dibuje la estructura del transmisor para el esquema escogido. Incluya los datos numéricos necesarios y dé una representación gráfica aproximada de las señales del diseño (o de sus transformadas) incluyendo los valores significativos que conozca.
- Diseñe el receptor óptimo para el esquema escogido. (No olvide indicar todos los valores numéricos, ni representar o dar la expresión de las señales deterministas del diseño y de las respuestas en frecuencia o al impulso de los filtros.)
- Proponga un método de modulación que doble la velocidad binaria total del esquema escogido sobre el mismo ancho de banda y el mismo esquema de codificación. Calcule la energía media por bit adicional (en dB) que sería necesaria en ese caso si se quiere mantener la probabilidad de error.

- f) En el caso de modelar el enlace como un canal aleatorio de amplitud variable que sigue una distribución de tipo Rayleigh, ¿es posible mantener el receptor diseñado en (b)? Describa el comportamiento de la probabilidad de error en este caso.

Ejercicio 16.

El sistema WiMAX es una tecnología digital que proporciona acceso a internet fijo y móvil. Hay varios estándares para los distintos escenarios que se contemplan: fijo con línea de visión directa o no y móvil. En este problema trabajará usted sobre la norma WiMAX para móvil, que opera en la banda de 6GHz.

El estándar establece que cada usuario transmite simultáneamente $N=2048$ portadoras equiespaciadas que ocupan en total unos 20 MHz de ancho de banda ($BW=20\text{MHz}$). Sin embargo, sólo 1700 son útiles (transmiten datos) ya que el resto son guardas o se emplean para transmitir pilotos que permiten funciones tales como recuperar el sincronismo o estimar el canal. El pulso paso bajo transmitido es rectangular de duración T_b tras cuya transmisión se introduce una guarda (silencio) que dura $T_b/32$ (para mitigar la interferencia entre símbolos). Así, la duración total del símbolo es la suma del periodo útil (pulso paso bajo) y el periodo de guarda. Además, la separación entre portadoras Δf es la inversa del periodo útil T_b .

Existen varios esquemas de modulación posibles, algunos de los cuales se describen en la tabla adjunta. El usuario debe emplear la misma constelación en todas las portadoras de datos. La tabla describe también la razón de codificación (cociente entre el número de bits de información y número de bits transmitidos) ya que el transmisor incluye un codificador de canal FEC (*Forward Error Correction*).

Esquema	I	II	III	IV
Modulación	QPSK	16-QAM	16-QAM	64-QAM
Razón de codificación	1/2	1/2	3/4	1/2

- a) Determine el periodo de símbolo sabiendo que la separación entre portadoras se define en el estándar como $\Delta f = \frac{8BW}{7N}$
- b) Calcule la velocidad binaria total que se obtiene con cada esquema de modulación posible.
- c) Dibuje la estructura del transmisor para el esquema II. Incluya los datos numéricos necesarios y dé una representación gráfica aproximada de las señales del diseño (o de sus transformadas) incluyendo los valores significativos que conozca.
- d) Diseñe el receptor óptimo para el esquema II. (No olvide indicar todos los valores numéricos, ni representar o dar la expresión de las señales deterministas del diseño y de las respuestas en frecuencia o al impulso de los filtros.)
- e) Calcule la eficiencia espectral para todos los esquemas. Con las constelaciones empleadas, ¿cuáles serían los máximos valores posibles? Comente el resultado.

- f) Si la relación señal a ruido a la entrada del receptor es de 20dB en toda la banda de transmisión, determine la relación E/N_0 en el esquema I.

- g) Proponga un método de modulación que doble la velocidad binaria total del esquema III sobre el mismo ancho de banda y con la misma razón de codificación. Calcule la energía media por bit adicional (en dB) que sería necesaria en ese caso si se quiere mantener la probabilidad de error.
- h) Generalmente, el enlace móvil puede considerarse un canal aleatorio de amplitud variable que sigue una distribución de tipo Rayleigh. ¿Es necesario modificar el receptor para tener en cuenta esta nueva consideración? Describa el comportamiento de la probabilidad de error para esta nueva situación.
- i) ¿Es posible emplear detección incoherente en WiMAX? En caso de que la respuesta sea negativa, proponga los cambios necesarios para emplearla.



OCW- Universidad de Málaga <http://ocw.uma.es>
Bajo licencia Creative Commons Attribution-Non-Comercial-ShareAlike



Aguayo Torres, M.C.; Soret Álvarez, Beatriz
(2010). Comunicaciones Digitales

OCW- Universidad de Málaga <http://ocw.uma.es>
Bajo licencia Creative Commons Attribution-Non-Comercial-ShareAlike

