



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y CIRCUITOS
TRIMESTRE SEPTIEMBRE-DICIEMBRE 2016
EC3423 COMUNICACIONES DIGITALES
PROF. Renny Badra renny@usb.ve

PRÁCTICA 2. MODULACIÓN DIGITAL

OBJETIVOS

- Observar el comportamiento de la probabilidad de error de bit para diferentes relaciones E_b/N_0 en el caso de modulación digital.
- Comparar el desempeño de diferentes tipos de modulación en cuanto a su tasa de error de bit.

SOFTWARE

- Matlab.

REFERENCIAS

- Carlson B., *Communication Systems*, 4ª Edición, McGraw-Hill, New York, 2002.
- Haykin S., *Communication Systems*, 4ª Edición, John Wiley & Sons, New York.
- Sklar B., *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, 2ª Edición, Prentice Hall, New Jersey, 2001.
- Esta práctica está basada en la Guía de Laboratorio de Comunicaciones del Prof. Renny Badra.

REVISIÓN TEÓRICA

EQUIVALENTE PASABAJAS DE SISTEMAS PASABANDA

A la hora de analizar y simular sistemas lineales cuya respuesta frecuencial $X(f)$ está centrada en torno a una frecuencia portadora f_c (generalmente mucho mayor que el ancho de banda del sistema), es conveniente eliminar la influencia de la portadora de análisis. Esto se hace a fin de simplificar el análisis y reducir la frecuencia de muestreo f_s (en caso de simulaciones digitales). El equivalente pasabajos de un sistema o señal pasabanda con portadora f_c , se define como:

$$X_{PB} = X(f + f_c) \cdot U(f + f_c) \quad (1)$$

donde $X_{PB}(f)$ es el equivalente pasabajas de $X(f)$, y consiste básicamente en una versión del espectro pasabanda de frecuencias positivas trasladado al origen. La consecuencia de presencia de la función escalón $U(f)$ en la definición del equivalente pasabajas es la eliminación de la porción de frecuencias negativas, lo cual hace que desaparezca la simetría hermitiana del espectro y la señal pasabajas $x_{pb}(t)$ sea compleja en general. Más aún se puede demostrar que las partes real e imaginaria del equivalente pasabajas,

$$x_{pb}(t) = x_i(t) + jx_q(t) \quad (2)$$

corresponde a las componentes en fase $x_i(t)$ y cuadratura $x_q(t)$ de la señal:

$$x(t) = x_i(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) - x_q(t) \cdot \sin(2\pi f_c t) \quad (3)$$

es decir, se trata de las componentes moduladas por funciones coseno y seno en la señal pasabanda. De esta forma se observa que el equivalente pasabajas de una señal o sistema pasabanda conduce de forma natural a una representación de la señal $x(t)$ en un espacio ortogonal de señales constituido por las portadoras coseno y seno a la frecuencia f_c .

PROBABILIDAD DE ERROR EN MODULACIÓN DIGITAL

A continuación, se presenta un conocido método para la estimación de la probabilidad de error de esquemas de modulación digital, que proporciona una muy buena aproximación en la mayoría de los casos. Las condiciones para la validez del método son dos:

- El ruido es blanco gaussiano y con media cero
- La señal modulada está representada en un espacio ortogonal de señales.

Si estas condiciones se cumplen, la probabilidad de error de símbolo de un esquema de modulación M-aria puede aproximarse como:

$$P_{es} \cong \langle N_{min} \rangle \cdot Q \left(\frac{d_{min}/2}{\sqrt{N_0/2}} \right) \quad (4)$$

donde d_{min} es la distancia cartesiana mínima entre los puntos de la constelación (sin ruido), $\langle N_{min} \rangle$ es el promedio de puntos que se encuentra a la distancia d_{min} y N_0 es la densidad espectral de ruido blanco. Para que la expresión (4) sea útil es necesario expresar el parámetro d_{min} en función de la energía promedio por bit E_b ; de esta forma se puede obtener la probabilidad de error expresada en función del parámetro E_b/N_0 como es usual.

PREPARACIÓN

Al inicio de la sesión de laboratorio el estudiante debe entregar la preparación por escrito (preinforme) al profesor de laboratorio. Cada uno de los puntos a continuación debe estar desarrollado en este preinforme. Cuide la presentación del documento escrito, si está escrito a mano, debe ser legible. Si no entrega el preinforme al inicio de la clase no se le permitirá desarrollar el trabajo práctico.

1. Dadas las constelaciones de la figura 1 (espacio I-Q) de modulación 8-aria, encuentre una

expresión para estimar la probabilidad de error de símbolo en función de E_b/N_0 (el parámetro A es únicamente referencial).

2. a. Usando las expresiones de probabilidad de error halladas en la parte anterior, encuentre los valores esperados de P_{es} para valores de E_b/N_0 entre 2 y 9 dB, en intervalos de 1 dB.

b. Calcule el número de símbolos que debe simular en cada caso para que su simulación tenga significación estadística.

Nota: En la práctica, a la hora de estimar la probabilidad de error, se aplica la regla de tomar el número de bits, igual a unas 100 veces el inverso de la P_e que se espera estimar. Esto significa que en la simulación estadística ocurrirán aproximadamente unos 100 errores. Use este criterio para estimar el número de símbolos que es necesario simular en cada caso.

c. Muestre los resultados de a) y b) en una tabla que debe llevar impresa a la sesión de práctica. En esta tabla debe dedicar una columna para la P_{e_s} experimental que obtendrá en el laboratorio.

3. Proponga un esquema de etiquetado (“mapeo” de símbolos a bits) para las constelaciones dadas que garantice que la mayoría de los errores de símbolo produzcan cada uno sólo un error de bit, minimizando así la probabilidad de error de bit.

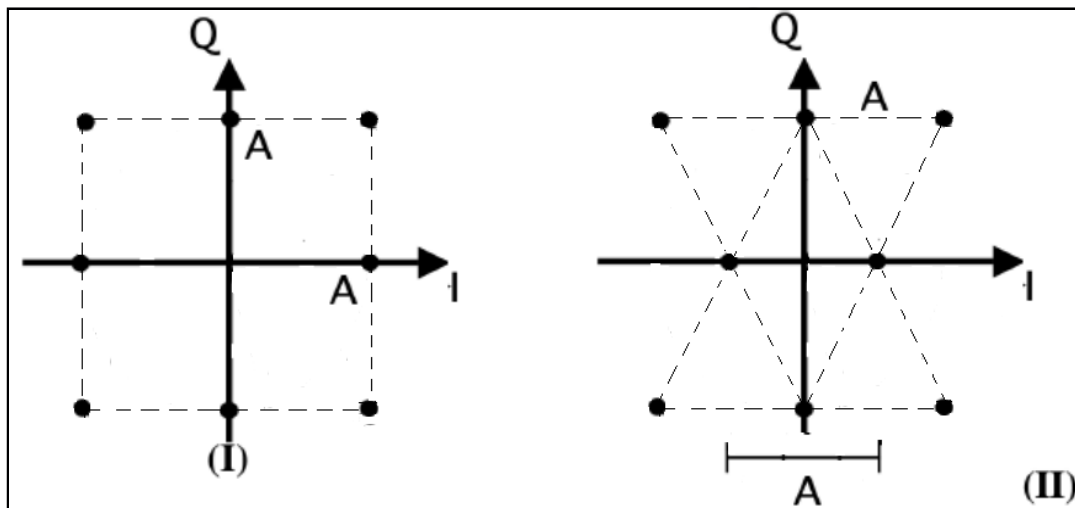


Figura 1. Constelaciones para la pregunta 1.

LABORATORIO

DESCRIPCIÓN DE LA SIMULACIÓN

El sistema simulado en esta práctica contiene los elementos mostrados en la figura 2. A pesar

de contar con un modulador digital, el sistema se basa en un equivalente pasabajas, razón por la cual todas las señales son de baja frecuencia (banda base) y por tanto la frecuencia de muestreo mínima puede ser baja (numero de muestras por símbolo (NMPS).igual a 2). En la simulación todas las señales son complejas, así como el detector. La constelación a emplear es fijada por el usuario. La energía de bit (E_b) está normalizada ($E_b=1$). El filtro de conformación de pulsos es tipo coseno alzado con factor de caída de 30%. El script *practica2.m* le será proporcionado por su profesor.

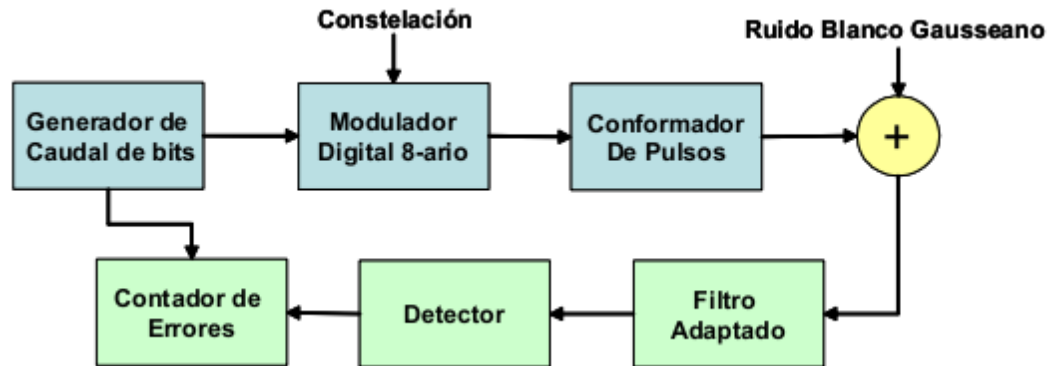


Figura 2. Elementos del sistema modulado.

EXPERIENCIAS PRÁCTICAS

1. Personalice la simulación introduciendo los números de carnet de los integrantes del grupo en las líneas 11 y 12.
2. Con el parámetro NSIMB igual a 200, ajuste el vector CONST de forma de obtener la constelación I. Grafique la constelación de la señal de pre-detección para E_b/N_0 igual a 2, 5 y 10 dB (vector DSEN). Anote sus observaciones.
3. Repita el experimento anterior para la constelación II. De acuerdo a la gráfica ¿cuál de las dos constelaciones parece más inmune al ruido?
4. Con el parámetro NSIMB ajustado a los valores hallados en el prelaboratorio, halle las probabilidades de error de símbolo experimentales para las dos constelaciones dadas. Haga esto para valores de E_b/N_0 entre 2 y 9 dB en intervalos de 1 dB.
5. Con NSIMB=200, NMPS=32 y E_b/N_0 =100 dB (sin ruido), observe el histograma de las amplitudes de la señal transmitida (vector Tsen) para las tres constelaciones. ¿Qué puede concluir en cuanto a la variabilidad de amplitudes en estas constelaciones?
6. Grafique en una sola figura las probabilidades de error de símbolo teóricas y experimentales para las dos constelaciones (Experimento 4). ¿Cuál de ellas tiene mejor desempeño (Constelación X)? ¿Coincide esta conclusión con la observación de las constelaciones (Experimentos 2 y 3)?