

Comunicaciones Digitales

Práctico 4

Modulación digital pasabanda

Cada ejercicio comienza con un símbolo el cuál indica su dificultad de acuerdo a la siguiente escala: \blacklozenge básica, \star media, \ast avanzada, y \spadesuit difícil.

\blacklozenge Ejercicio 1

Asuma que una línea telefónica está ecualizada para permitir transmitir en el rango de frecuencias de 600 a 3000 Hz con pulsos de Nyquist. Se utilizan pulsos SRRC con el siguiente espectro:

$$P(f) = \begin{cases} \sqrt{T_s} & |f| < \frac{r_s}{2}(1 - \alpha) \\ \sqrt{T_s} \cos\left(\frac{\pi|f|T_s}{2\alpha} - \frac{\pi(1-\alpha)}{4\alpha}\right) & \frac{r_s}{2}(1 - \alpha) < |f| < \frac{r_s}{2}(1 + \alpha) \\ 0 & |f| > \frac{r_s}{2}(1 + \alpha) \end{cases}$$

- Calcular el ancho disponible para la transmisión y la frecuencia central.
- Diseñar un sistema QPSK de 2400 bit/seg. Mostrar que el ancho de banda del canal es suficiente para esta señal con $\alpha = 1$. Hallar el ancho de banda de la señal.
- Repetir lo anterior para un PSK de 8 fases con una tasa de transferencia de 4800 bit/seg.

\ast Ejercicio 2

Se quiere analizar el desempeño de distintos sistemas de modulación digital transmitidos en presencia de ruido blanco gaussiano y recibiendo con pulso apareado. El ruido cumple con las hipótesis usuales con densidad espectral de potencia $G_n(f) = \frac{1}{2}\eta$.

En primera instancia se analizará el desempeño de un sistema 16-QAM con la constelación de la Figura 1a.

- Realizar un diagrama de bloques del sistema completo.
- Dibujar las fronteras de las regiones de decisión.
- Calcular la probabilidad de recibir correctamente el símbolo s_5 en función de A_c y η .
- Repetir la parte anterior para los símbolos s_0 y s_1 .
- Determinar la probabilidad de error para esta constelación.

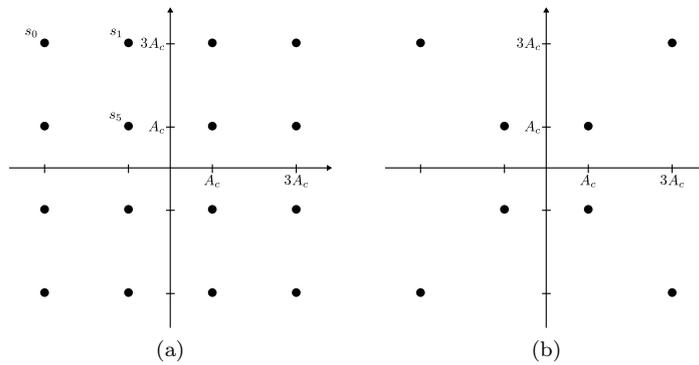


Figura 1

La segunda constelación a evaluar se muestra en la Figura 1b.

- (f) Dibujar las fronteras de las regiones de decisión y dar una expresión para la probabilidad de error en este caso.

Se busca comparar el desempeño de las dos constelaciones en la Figura 2 entre sí y respecto a la constelación en la Figura 1b si $R_1 = \sqrt{2}A_c$ y $R_2 = 3R_1$.

- (g) ¿Cuál de las constelaciones tiene menor probabilidad de error en las mismas condiciones de transmisión?

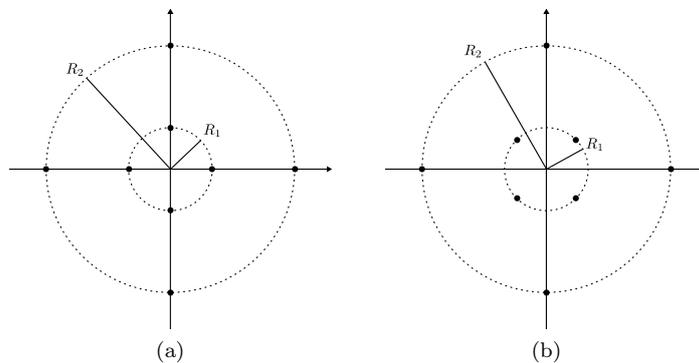


Figura 2

*Ejercicio 3

Sea un sistema BPSK con $P_0 = P_1$, $s_1(t) = \cos(\omega_0 t)$ y $s_0(t) = -\cos(\omega_0 t)$ y tiempo de bit T_b .

La detección se realiza con un filtro acoplado de respuesta al impulso:

$$h_R(t) = \cos(\omega_0 t + \phi) \Pi\left(\frac{t}{T_b}\right)$$

donde ϕ es un error de fase constante, y se puede asumir que $\omega_0 T_b = n2\pi$ con $n \in \mathbb{N}$.

- (a) Calcular el valor de ϕ que aumenta la probabilidad de error del sistema de 2×10^{-3} a 3×10^{-3} correspondiente a que no exista error de fase para un canal que introduce un ruido que se puede modelar como aditivo, blanco y gaussiano, con densidad espectral de potencia $\eta/2$.

Observación : Notar que la fase ϕ se puede interpretar como un *Error de Sincronismo* entre el Receptor y el Transmisor.

- (b) Sugerir un sistema Transmisor-Receptor alternativo que sea *immune* a un error de sincronismo.
- (c) Explicar el funcionamiento del sistema sugerido en la parte anterior.

*Ejercicio 4

La internet de las cosas ya es una realidad en Uruguay hace algunos años, con algunos despliegues de distintas tecnologías como LoRa o NB-IoT. El último en desembarcar al país es la empresa Sigfox, con su tecnología del mismo nombre. Como ingeniera en telecomunicaciones de una empresa dedicada al sensado remoto (sobre todo urbano, como ser contaminación sonora y del aire), se le encarga la evaluación de esta tecnología. Naturalmente, comienza estudiando el sentido uplink, por el cual los sensores comunican las medidas a la radiobase, pues es el más interesante para su empresa. En particular, le gustaría verificar si la promesa del representante comercial de Sigfox de 10km de cobertura puede ser cierta.

Desde un punto de vista técnico, Sigfox utiliza BPSK a 600 bps y una potencia total de transmisión de 24 dBm. Como pulso conformador se utiliza un SRRC con factor de rolloff $\rho = 1/3$. Cada transmisión consta de una carga útil de 12 bytes más 12 bytes de preámbulos (i.e. 24 bytes en total). A su vez, cuando un sensor envía una medida, elige tres frecuencias pseudo-aleatoriamente (401 canales de separados 100 Hz y centrados entre 920.780 y 920.820 MHz) y envía el mismo paquete repetido por las tres frecuencias. La radiobase está escuchando en todos los canales.

- (a) ¿Cuántos canales no-solapados pueden existir como máximo?
- (b) Realice el diagrama completo del par nodo-radiobase. En la etapa de recepción puede enfocarse en un único canal.
- (c) ¿Cuál puede ser la máxima densidad espectral de potencia del ruido en recepción si el alcance es realmente de 10 km? Suponga que una probabilidad de error de bit de como máximo 10^{-4} es necesaria. Además, para calcular la atenuación (en dB) podrá usar la siguiente fórmula empírica para entornos urbanos:

$$L(d, f) = 46.32 + 26.07 \log_{10} f + 33.77 \log_{10} d, \quad (1)$$

con d la distancia en kilómetros y f la frecuencia en MHz.

- (d) Veamos si es posible aumentar un poco la densidad de potencia máxima hallada en la parte anterior utilizando el envío por triplicado. Suponiendo que la decisión sobre cada bit se hace por votación (i.e. si en dos o más de los tres canales la decisión fue 0, entonces la decisión final será 0; idem para 1), calcule la nueva densidad espectral de potencia máxima. Explícite y justifique las hipótesis necesarias en su cálculo.

- (e) El técnico de la empresa representante le indica que en recepción en realidad sí se utilizan las señales de los tres canales, pero a nivel de símbolos: se toman los tres símbolos recibidos, se realiza la suma, y con eso se toma la decisión. Calcule la nueva densidad espectral de potencia máxima, y nuevamente explicita y justifique las hipótesis necesarias en su cálculo.

*Ejercicio 5

Se quiere implementar un enlace de microondas que utilice QPSK como esquema de modulación, entre el estadio Centenario y un canal de televisión ubicado a 5 km de distancia. La señal transmitida será

$$x_c(t) = \sum_k a_k p(t - kTs) \cos(2\pi f_c t + \phi) - \sum_k b_k p(t - kTs) \sin(2\pi f_c t + \phi),$$

con $\{a, b\}_k$ tomando valores 1 y -1 para transmitir 1 y 0 respectivamente. En recepción se agrega ruido blanco y gaussiano, de media nula y densidad espectral de potencia $\frac{\eta}{2}$. El transmisor utiliza pulsos de Nyquist con roll-off factor 20%, el ancho de banda disponible para la transmisión es 60 MHz y el receptor utiliza pulsos apareados.

- Realice un diagrama de bloques del sistema completo.
- Los enlaces de microondas requieren línea de vista e idealmente no sufren de multicamino. Si $f_c = 10 \text{ GHz}$, calcule la atenuación por espacio libre y dé una expresión para $h(t)$, la respuesta al impulso del canal. Halle una expresión para la respuesta en frecuencia del canal.
- Calcule el valor máximo de η si la potencia transmitida $S_T = 10 \text{ W}$ y se quiere tener una probabilidad de error de bit inferior a 10^{-4} .
- En algunos casos no ideales (por ejemplo en la presencia de lagos en el camino) puede generarse multicamino debido a algún rayo reflejado. ¿Qué distancia debe recorrer el rayo secundario para que en recepción haya un retraso de $2 \mu\text{s}$? ¿A cuántos símbolos corresponde? ¿Qué problema ve con que suceda esto?
- Calcule la atenuación del rayo secundario y dé una nueva expresión para $h(t)$, la respuesta al impulso del canal. Halle una expresión para la respuesta en frecuencia del canal.
- ¿Qué espera de la respuesta en frecuencia anterior si se comienzan a sumar nuevos caminos en recepción?