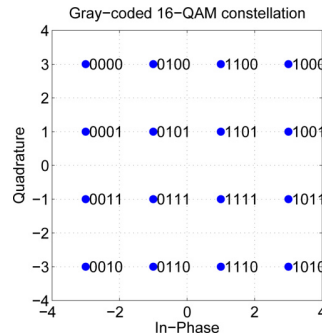


PRÁCTICA 3: ECUALIZACIÓN DE UNA SEÑAL QAM-16 TRANSMITIDA POR CANAL MULTITRAYECTORIA

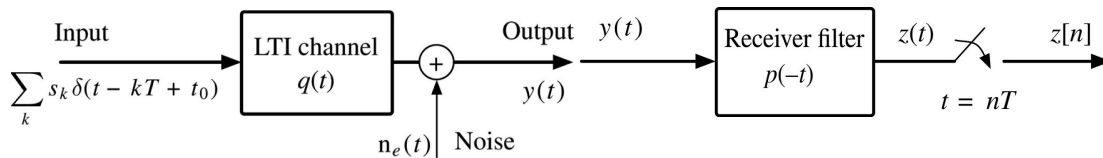
1. Fundamentos

En un sistema de comunicación se transmiten símbolos s_k de una constelación QAM-16 a través de un canal multipath con un periodo de símbolo T . La constelación y el mapeo (tipo Gray) de los cuartetos de bits en la misma es el siguiente:



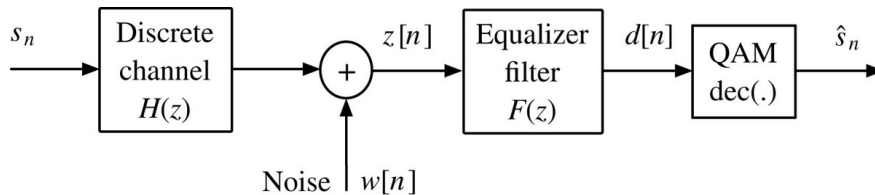
La secuencia de símbolos QAM-16 es obtenida a partir de una señal de audio muestreada a calidad telefónica (8-bits, 8 KHz, 64 kbps). En concreto, la secuencia de símbolos se compone (por este orden) de 100 símbolos aleatorios iniciales, 300 símbolos de entrenamiento y los símbolos correspondientes a las muestras de audio, a las que se les ha aplicado un offset de 128 para obtener un rango de señal de $[0, 255]$. Para cada muestra se transmiten primero los 4 LSB bits y a continuación los 4 MSB bits.

El modelo de transmisión en banda base es el siguiente:



El canal total a ecualizar es $h(t) = q(t) * p(-t)$, e incluye el pulso $p(t)$ (tipo coseno remontado), el canal físico multitrayectoria y el filtro de receptor $p(-t)$. Además, el canal introduce ruido aditivo blanco gaussiano.

El objetivo de esta práctica es ecualizar la señal $z(n)$ recibida del canal total mediante un ecualizador tipo FIR de 9 coeficientes ($M = 8$). Se trabajará sobre el modelo de transmisión en banda base y discreto (con periodo de símbolo $T = 1/16$ ms) de la siguiente figura:



2. Realización práctica

Se abordarán los dos siguientes casos:

1. Ecualizador para canal fijo con ruido AWGN con SNR por bit $E_b/\mathcal{N} = 22$ dB. Se diseñará un ecualizador fijo tipo TSE-LS a partir de la secuencia de entrenamiento. Para la realización de este apartado se dispone del fichero `Tx_fijo_variables.mat`, que contiene las siguientes variables:
 - `x`: señal de audio original (formato double, sin offset, rango $[-128, 127]$).
 - `trainseq`: secuencia de 300 símbolos complejos de entrenamiento.
 - `z`: señal de salida (compleja) del canal total (incluyendo secuencia de entrenamiento). Esta señal se ha obtenido por muestreo al symbol-rate de la señal recibida y se le han compensado los retardos introducidos en la transmisión, por lo que está sincronizada con la secuencia originalmente transmitida.

Se determinará la influencia de la introducción de un retardo u en la decisión.

2. Ecualizador TSE decision-directed para canal variable con ruido AWGN (SNR por bit $E_b/\mathcal{N} = 22$ dB). El ecualizador inicial se obtendrá mediante LS a partir de la secuencia de entrenamiento. Se comprobará el funcionamiento del algoritmo adaptable NLMS y se comparará con el ecualizador LS fijo. Para la realización de este apartado se dispone del fichero `Tx_var_variables.mat`, que contiene las mismas variables que en el apartado anterior.

Se determinará la influencia de la introducción de un retardo u en la decisión.

Aspectos de implementación a tener en cuenta:

- Para realizar la modulación QAM-16 se empleará el comando `qammod`, que nos transforma los cuartetos 4-bit (representados como números enteros) en símbolos complejos de la constelación mostrada en la sección anterior (según asignación tipo Gray). La demodulación se realiza con `qamdemod`. Una vez diseñado el ecualizador, la ecualización puede implementarse mediante el comando `filter`.
- Para realizar la conversión de la secuencia de audio de 8 bits a secuencias de codewords de 4bits y viceversa, se proporcionan sendas funciones `audio8bit_to_qam16` y `qam16_to_audio8bit`.
- Los distintos diseños se evaluarán de forma perceptual mediante comparación auditiva de los audios original y decodificado (comando `soundsc`), y de forma objetiva mediante la SNR de la señal original de audio `x` con respecto a la diferencia entre ella y la señal resintetizada `xsint` tras la ecualización,

$$\text{SNR_audio} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\sum(x.^2)}{\sum((xsint-x).^2)} \right)$$

así como con el SER (symbol error rate, en%) medido sobre los símbolos de la señal de audio.

Importante: las secuencias de salida (de símbolos o de audio reconstruido) presentarán diferentes longitudes debido a la aplicación de diferentes retardos. Para permitir la medida de SNR o SER, las secuencias correspondientes de entrada deben recortarse a la misma longitud que las de entrada.

- Los ficheros con los datos de trabajo y las funciones de conversión de formatos están disponibles en el fichero `p3_material.zip`