

Trabajo Práctico

Simulación y Análisis de un Sistema de Comunicaciones

El objetivo de este trabajo práctico es que los alumnos, en grupos de hasta cuatro integrantes, simulen y analicen en forma integral un sistema de comunicaciones capaz de transmitir texto de un extremo a otro.

Para tal fin se aplicarán progresivamente los conceptos aprendidos en la materia, simulando con el software apropiado las técnicas de codificación de fuente, modulaciones en banda base y banda pasante, los efectos del canal (ruido, ISI), y los procesos en el extremo receptor.

Podrán elegir libremente el software de su conveniencia, por ejemplo, *Matlab*, *Octave*, *Python* u otros que permitan implementar el sistema mediante el uso de bloques predefinidos (ej. *Simulink* de *Matlab*, etc.).

El Trabajo Práctico se encuentra estructurado en forma modular, siguiendo una secuencia análoga al programa de la Materia, para que los alumnos puedan avanzar en su desarrollo conforme al dictado de las clases.

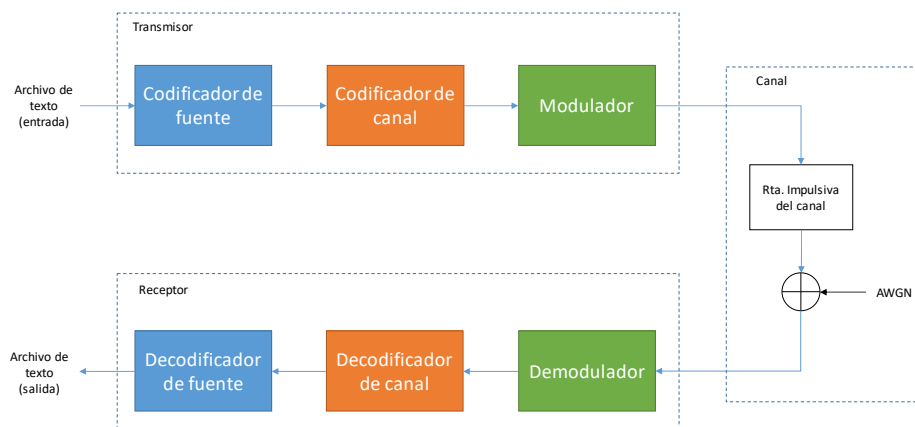
Los Docentes indicarán a cada grupo de alumnos las modulaciones y los parámetros del código lineal de bloques particulares sobre los que trabajarán en el análisis de desempeño del sistema.

Como resultado final, el grupo deberá entregar un Informe escrito incluyendo la información, gráficos y análisis solicitados en cada uno de los módulos.

A) PROGRAMA PRINCIPAL – DATOS, CONTROL Y ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA

Los alumnos deberán elaborar un código de programa principal, desde el que se ingresará la ubicación y el nombre de un archivo de texto a ser procesado y transmitido, los parámetros de control del transmisor, canal y receptor, y se invocarán cada una de las funciones específicas de cada etapa, hasta obtener el archivo recibido para su comparación con el original.

El siguiente diagrama de bloques de un sistema de comunicaciones (Transmisor – Canal – Receptor) esquematiza conceptualmente los diferentes componentes a simular:



El programa deberá estar conformado por, al menos, cuatro secciones:

Datos y control: En esta sección se ingresará el archivo de texto a procesar y transmitir, y se inicializarán todos los parámetros necesarios: esquema de modulación digital, orden de la modulación, potencia de ruido, etc.

Transmisor: Incluye los módulos de Codificador de fuente, Codificador de canal y Modulador;

Canal: Incluye los módulos AWGN y Respuesta impulsiva;

Receptor: Incluye los módulos Demodulador, Decodificador de canal y Decodificación de fuente.

Los bloques recíprocos del transmisor y receptor (ej. Modulador y Demodulador) se desarrollarán simultáneamente conforme a los apartados siguientes.

B) CODIFICACIÓN Y DECODIFICACIÓN DE FUENTE

En este apartado se deberá simular el algoritmo de Huffman para la obtención de un código binario que represente los caracteres del texto a ser transmitido en base a su distribución de probabilidades, y su correspondiente codificación y decodificación.

Para el Transmisor:

- 1) Implemente una función de lectura y análisis estadístico del archivo de texto, que reciba un archivo en formato .txt, lea uno por uno sus caracteres y devuelva un vector con la probabilidad de aparición de cada uno de los caracteres. Debe tener en cuenta letras (mayúsculas y minúsculas), números, caracteres especiales y caracteres de control.
- 2) Elabore una función que calcule la entropía del texto ingresado a partir de las probabilidades de ocurrencia de cada caracter.
- 3) Con las probabilidades de ocurrencia obtenidas, implemente una función para codificar cada uno de los caracteres según el algoritmo de Huffman, devolviendo un vector que relacione cada caracter con su palabra de código.
- 4) Calcule la longitud mínima y la longitud promedio del código obtenido. Compare ambos resultados.
- 5) Elabore una función que codifique el texto ingresado en el punto (1), utilizando el código obtenido en el punto (3). La función debe devolver un vector con la palabra binaria correspondiente a cada caracter del texto.

Para el Receptor:

- 6) Elabore una función que decodifique las palabras de código recibidas a su entrada, devolviendo en un vector los caracteres del texto.
- 7) Elabore una función que reciba un vector de caracteres y genere un archivo de texto como salida del receptor.

Informe:

En el Informe se deberá incluir:

- a. Una tabla con las probabilidades de ocurrencia de los caracteres del texto a transmitir y las palabras del código binario generado por el algoritmo de Huffman.
- b. Una breve descripción de las características del código obtenido mediante este método.
- c. Una muestra de al menos una línea de texto, con su equivalente binario obtenido mediante el algoritmo, y la misma línea de texto una vez que haya sido decodificada.
- d. Una tabla con la entropía de la fuente, la longitud mínima, la longitud promedio del código, la eficiencia del código y la longitud de un código de longitud fija (ej. Código ASCII).

Ayuda: en Matlab puede utilizar, entre otras, las funciones predefinidas *huffmandict*, *huffmanenco*, *huffmandeco*, y funciones varias sobre lectura y procesamiento de archivos de texto.

C) MODULACIÓN Y DEMODULACIÓN EN BANDA BASE O BANDA PASANTE

En este apartado se ingresarán los bits obtenidos según el apartado anterior y se modularán en banda base o banda pasante, y su correspondiente demodulación.

Para el Transmisor:

- 1) Elabore una función que reciba a su entrada un vector de valores binarios, "0" ó "1", y module la información en los esquemas de banda base y banda pasante indicados por los Docentes para cada grupo, conforme a un comando o cadena de control y al tamaño de la constelación, ambos ingresados desde el programa principal:

- M-PAM en banda base
- M-ASK en banda pasante
- M-PSK en banda pasante
- M-QAM en banda pasante
- M-FSK en banda pasante

El tamaño de la constelación, M, deberá ser variable, en potencias de 2, desde 2 hasta 16.

El etiquetamiento de los símbolos modulados deberá seguir los códigos de Gray o binario, según se indique desde el programa principal.

Los símbolos modulados se representarán a partir de sus vectores de coordenadas en una base de funciones ortonormales apropiada (no mediante su forma de onda).

Como convención, puede adoptar distancia entre símbolos unitaria, energía media de símbolo o de bit unitaria, etc. para todas las modulaciones.

- 2) Elabore una función que, a partir de un vector de símbolos modulados, estime las energías medias de símbolo y de bit.
- 3) Desde el programa principal, grafique la constelación correspondiente a la modulación seleccionada, indicando las regiones de decisión y el etiquetamiento de los símbolos.

Para el Receptor:

- 4) Elabore una función que reciba a su entrada, desde el programa principal, un vector de símbolos modulados, el esquema y orden de la modulación, y el código seleccionado para el etiquetamiento de los símbolos, efectúe la demodulación de los símbolos y obtenga la información binaria "0" ó "1".
- 5) Elabore una función que reciba y compare sendos vectores de símbolos modulados y demodulados, y estime la probabilidad de error de símbolo del sistema.
- 6) Elabore una función que reciba y compare sendos vectores de dígitos binarios transmitidos y recibidos, y estime la probabilidad de error de bit del sistema.

Informe:

En el Informe se deberá incluir:

- a. Una tabla caracterizando las diferentes modulaciones, indicando su energía media por símbolo y bit, y probabilidades de error de símbolo y de bit, en función de M. Indique en este punto la ventaja de utilizar codificación de Gray. En las secciones siguientes, continúe con este esquema.
- b. El gráfico de, al menos, una constelación de símbolos generada en el Transmisor.

- c. Las energías medias de símbolo y de bit teóricas y estimadas.

Ayuda: en Matlab puede utilizar, entre otras, las funciones predefinidas *pammod*, *pamdemod*, *pskmod*, *pskdemod*, etc.

D) EFECTOS DEL CANAL

En este apartado, los alumnos simularán diferentes efectos del canal, tales como ruido térmico, atenuación de la señal, desvanecimiento selectivo en frecuencia, etc.

- 1) Elabore una función que genere una muestra aleatoria de ruido térmico (*Additive White Gaussian Noise*, AWGN), con función de distribución Gaussiana de media nula, varianza $\sigma^2 = N_0/2$ y dimensión N.
- 2) Elabore una función que genere una atenuación aleatoria del canal, con distribución uniforme entre 0,5 y 0,9.
- 3) Elabore una función que aplique, a los símbolos modulados, los efectos de la atenuación del canal y del ruido aditivo AWGN, en base a los valores obtenidos de las funciones anteriores.
- 4) Desde el programa principal, grafique la constelación correspondiente a la modulación seleccionada una vez que se han aplicado los efectos del canal, indicando las regiones de decisión y el etiquetamiento de los símbolos.

Informe:

En el Informe se deberá incluir:

- a. El gráfico de, al menos, una constelación de símbolos ingresada al Receptor, donde se visualicen los efectos del canal para una relación E_b/N_0 de 6 dB.

Ayuda: en Matlab puede utilizar, entre otras, las funciones predefinidas *randn*, *randi*, *awgn*, etc.

E) CODIFICACIÓN DE CANAL

En este apartado se intercalará, entre el Codificador de fuente y el Modulador, un bloque Codificador de canal. Similarmente, entre el Demodulador y el Decodificador de fuente se intercalará un Decodificador de canal. La acción de estos bloques permitirá la detección y corrección de errores de bits.

Para el Transmisor:

- 1) Elabore una función que reciba a su entrada un mensaje de k bits y lo codifique en una palabra de código de tamaño n. El código obtenido deberá ser sistemático y generarse a partir de una Matriz Generadora, G, adecuada. Los valores de k, n y G serán indicados por los Docentes para cada grupo, deberán definirse en el programa principal e ingresarse a la función como parámetro.
- 2) Elabore una función que reciba a su entrada un vector de valores binarios, "0" ó "1", los organice en mensajes de k bits y genere un código lineal de bloques con palabras de código de tamaño n, utilizando la función solicitada en (1).

Para el Receptor:

- 1) Elabore una función que reciba a su entrada los valores adoptados de k , n y la Matriz Generadora, G , y devuelva su matriz de Chequeo de Paridad asociada, H .
- 2) Elabore una función que reciba a su entrada la matriz de Chequeo de Paridad, H , y calcule y devuelva la tabla de síndromes, S .
- 3) Elabore una función que reciba a su entrada la matriz de chequeo de Paridad, H , la tabla de Síndromes, S y una palabra de código, de longitud n , calcule su síndrome, detecte y corrija de ser posible los errores ocurridos, y devuelva la palabra corregida.
- 4) Elabore una función que reciba a su entrada la matriz de chequeo de Paridad, H , la tabla de Síndromes, S , y un vector de valores binarios, "0" ó "1", los organice en palabras codificadas de n bits y las decodifique, detectando y corrigiendo todos los errores que sean posibles, utilizando la función solicitada en (3).
- 5) Elabore una función que calcule la distancia mínima d_{min} , la cantidad máxima de errores a detectar, e , y a corregir, t .

Informe:

En el Informe se deberá incluir:

- a. Explique conceptualmente el método de codificación y decodificación mediante códigos lineales de bloques.
- b. Los valores de k , n y G indicados.
- c. La matriz H obtenida.
- d. Los valores de d_{min} , e y t calculados.
- e. La tabla de síndromes, S .
- f. Un ejemplo de palabra de código corrompida y la palabra corregida.

F) ANÁLISIS DEL SISTEMA

En este apartado, los alumnos ya deberán haber implementado todos los módulos del sistema transmisor – canal – receptor, para simular el comportamiento y desempeño del mismo ante variaciones de sus parámetros.

- 1) Para cada una de las modulaciones y valores de M propuestos, realice las iteraciones necesarias en el programa principal para estimar y graficar las curvas de probabilidad de error de símbolo y de bit en función de la relación E_b/N_0 , cuando ésta varía entre 0 y 10 dB, con pasos de 1 dB, variando a tal efecto el valor de N_0 y manteniendo constante E_b . Deshabilite en este ítem los módulos de Codificación y Decodificación de canal.
- 2) Para los valores de n , k y G indicados por los Docentes, repita el punto (1) si se utiliza un código lineal de bloques (n , k) con matriz generadora G .

Informe:

En el Informe se deberá incluir:

- a. Para cada modulación indicada por los Docentes, un gráfico de la probabilidad de error de símbolo, P_e , teórica y simulada, en función de la relación E_b/N_0 para $M = 2, 4, 8$ y 16 , cuando no se emplea codificación de canal.
- b. Para cada modulación indicada por los Docentes, un gráfico de la probabilidad de error de bit, P_b , teórica y simulada, en función de la relación E_b/N_0 para $M = 2, 4, 8$ y 16 , cuando no se emplea codificación de canal.

- c. Compare las modulaciones eficientes en ancho de banda PAM, ASK, QAM y PSK con la modulación eficiente en energía, FSK, cuando M crece.
- d. Seleccione una modulación y un valor de M , y grafique las curvas de probabilidad de error de símbolo simuladas en función de la relación E_b/N_0 , comparando el caso en que no se utiliza codificación de canal con el caso en que se utiliza un código (n, k) , conforme a los parámetros indicados por los Docentes.
- e. Seleccione una modulación y un valor de M , y grafique las curvas de probabilidad de error de bit simuladas en función de la relación E_b/N_0 , comparando el caso en que no se utiliza codificación de canal con el caso en que se utiliza un código (n, k) , conforme a los parámetros indicados por los Docentes.

G) CONCLUSIONES

Informe:

Elabore conclusiones a partir de los gráficos obtenidos respecto a:

- a. Empleo de algoritmos de codificación de fuente respecto a esquemas de codificación de longitud constante.
- b. Empleo de esquemas de etiquetamiento de Gray y binario decimal.
- c. Empleo de modulaciones eficientes en ancho de banda respecto a modulaciones eficientes en energía.
- d. Utilización de códigos de detección y corrección de errores.