

Teoría de la Comunicación

Práctica 2. Procesos estocásticos y sistemas lineales. Modulaciones analógicas.

3 de marzo de 2015

Introducción

En esta práctica vamos a realizar una serie de simulaciones con el objetivo de clarificar conceptos vistos en clase sobre los canales de comunicaciones y algunas características básicas sobre modulaciones analógicas. Para ello, usted tiene que completar tres hitos.

Acompañando este enunciado hay 6 archivos. Uno de ellos es el registro de una frase, `frase2.mat`. El resto son archivos de Matlab que usted puede, si quiere, utilizar como base para realizar la simulación. Es muy importante que recuerde que su tarea consiste en contestar los hitos, y que los archivos de Matlab proporcionados son solamente una ayuda. Añada todo el código que considere necesario para cumplimentar los hitos. Adicionalmente en el código hay comentarios para ayudarlo.

1. Filtrado de un P.E. mediante un filtro LTI

En este apartado vamos a generar un proceso i.i.d (independiente e idénticamente distribuido) de media cero y lo vamos a filtrar con un filtro LTI, para observar el efecto de dicho filtro sobre la potencia y la autocorrelación del proceso. Un proceso i.i.d. debe tener duración infinita, lo cual es imposible de simular en un ordenador. En nuestro caso, vamos a simular un número de realizaciones del proceso, cada una de ellas con un número limitado de N_t muestras. Gracias a la propiedad de estacionariedad del proceso, podemos asumir que las propiedades estadísticas del segmento de N_t muestras son las mismas que las del proceso i.i.d. de infinitas muestras. A la hora de calcular la media de una realización, o su potencia, podremos extender el sumatorio únicamente a las N_t muestras que tenemos (en vez de hacer el límite desde menos infinito a más infinito) y asumiremos que el resultado será una buena estimación de dichos parámetros (pero recuerde que es solamente una estimación, mejor cuanto mayor sea el número de muestras).

Abra el archivo `TC_Practica2_Hito1_ALUMNOS.m`. En el encontrará útiles comentarios para la realización de este apartado, así como algunas líneas de código ya implemen-

tadas. El archivo comienza con la definición de algunos parámetros, y continúa generando un proceso estacionario uniforme de N_r realizaciones, cada una de ellas de N_t muestras i.i.d, cuya distribución es una uniforme $U[-0,5; 0,5]$.

A continuación, complete el código para realizar los siguientes pasos:

1. Filtre cada realización con un filtro cuya respuesta al impulso discreta sea un tren de N_f deltas, cada una de ellas de altura 1.
2. Calcule la potencia del proceso original (P_X). Para hacerlo con Matlab, puede aproximar la potencia de una realización del proceso mediante la expresión $\hat{E}_X(k) = \frac{1}{N_t} \sum_{n=1}^{N_t} |X(k, n)|^2$, con k un valor que representa la realización elegida para la aproximación. Realice la aproximación para cada una de las N_r realizaciones, y estime P_X como el promedio de las N_r estimaciones así obtenidas.
3. Calcule de forma similar la potencia del proceso filtrado.
4. Calcule ahora la autocorrelación de todas las realizaciones del proceso original. Para ello, puede utilizar la función `xcorr`, que realiza correlaciones, pasándole como argumento el vector cuya autocorrelación desea calcular. Obtendrá así N_r autocorrelaciones (1 por realización). Estime la autocorrelación del proceso como la media de las N_r autocorrelaciones obtenidas. Dese cuenta de que está obteniendo un vector como la media de varios vectores: para realizar esa operación, lo ideal es que almacene los vectores como filas de una misma matriz, y finalmente utilice la instrucción `mean` de Matlab, que realiza el promediado por columnas.
5. Calcule de forma similar la autocorrelación del proceso filtrado.
6. Dibuje las autocorrelaciones del proceso original, de la respuesta al impulso del canal, y del proceso filtrado obtenidas con Matlab. Comente la relación que hay entre las tres autocorrelaciones.
7. Calcule de forma experimental (con Matlab) la potencia del proceso original y del proceso filtrado. Compare los resultados teóricos de potencia con los obtenidos de forma experimental.

2. Señal de voz filtrada

En este apartado vamos a utilizar la conversación contenida en el archivo `frase2.mat` y la vamos a filtrar con un filtro paso bajo. La situación sería similar a aquella que se tiene en comunicaciones de voz mediante un sistema de telefonía analógico.

Abra el archivo `TC_Practica2_Hito2_ALUMNOS.m`. Observe que al comienzo del código se carga el archivo `frase2.mat`. Borre todas las variables mediante la función

`clear all` y ejecute a mano esa línea. Ahora utilice la función `who` para saber qué variables hemos cargado en el espacio de trabajo. Reproduzca la frase mediante la función `sound`.

De nuevo asumiremos que el proceso estocástico tiene duración infinita (o es muy largo) y que es estacionario, por lo que la conversación registrada es solamente un fragmento del total, con el que podremos estimar los parámetros importantes del proceso estocástico.

Vamos a generar un filtro paso bajo de tipo Chebychef Type I. Para ello utilizamos la función `cheby1`, que toma como parámetros el orden del filtro, la amplitud del rizado en la banda de paso, y la frecuencia de corte normalizada. Esta función nos proporciona los coeficientes `b` y `a` del filtro FIR, que se pueden utilizar mediante la función `filter`. Busque información sobre este tipo de filtros.

1. Dibuje la respuesta al impulso y el módulo de la función de transferencia del filtro utilizado. Comente el comportamiento del filtro. Para poder dibujar la respuesta al impulso del filtro, y su respuesta en frecuencia, filtre en primer lugar una delta de dirac. Para ello, genere un vector de la misma longitud que la frase, ponga todos sus valores a cero menos el primero, que toma valor uno. Filtre el vector resultante utilizando la función `filter`. Dibuje, en la misma figura pero con subplots diferentes (ver ayuda de la función `subplot`) la respuesta al impulso y el módulo de la función de transferencia del filtro utilizado.
2. Dibuje las densidades espectrales de potencia de las señales original y filtrada, y de la respuesta del filtro para una frecuencia de corte de **400 Hz**. ¿Qué relación matemática hay entre ellas? Calcule (no teóricamente, sino usando Matlab) la potencia de la señal de entrada y de la señal de salida. Comente el resultado.
3. Dibuje las autocorrelaciones de la señal original, la respuesta al impulso del filtro, y la señal filtrada para una frecuencia de corte de **250 Hz**. ¿Qué efecto ha producido el filtrado sobre la correlación del proceso? ¿Cuál es la relación teórica entre las tres autocorrelaciones?
4. Varíe la frecuencia de corte desde los 20 Hz a los 3000 Hz (en 5 o 6 pasos), filtre la conversación y reproduzca cada vez. Antes de reproducir la frase, asegúrese de que su potencia es la misma que la de la señal original. Si no es así, modifique la señal convenientemente. Apoyándose en los resultados describa el efecto de dicho filtrado en
 - a) Frecuencia.
 - b) Tiempo.
 - c) Inteligibilidad de la frase.

¿Cuál sería el ancho de banda mínimo para que la frase fuera inteligible al otro lado del sistema de comunicaciones modelado mediante este filtro?

3. Modulaciones analógicas

En este apartado vamos a visualizar (y comprender) las señales que aparecen en un sistema de transmisión analógica (AM, FM ó PM):

- Señal de información.
- Señal modulada.
- Señal recibida (= señal modulada + ruido).
- Señal demodulada.

Para realizar esta parte de la práctica, dispone de la ayuda (sólo como ayuda; es decir, puede y debe modificarlos si lo considera necesario) de los siguientes programas: `func_Mod_AM.m`, `func_Mod_PM.m` y `func_Mod_FM.m`. Los ejemplos con los que vamos a trabajar son los siguientes casos:

- Caso 1: Señal modulada = seno de frecuencia 1Hz y amplitud 1. Con frecuencia de muestreo de 100Hz, frecuencia de portadora de 10Hz y SNR = 10dB.
- Caso 2: Señal modulada = seno de frecuencia 75Hz y amplitud 1. Con frecuencia de muestreo de 100Hz, frecuencia de portadora de 200Hz y SNR = 10dB.
- Caso 3: Señal modulada = seno de frecuencia 1Hz y amplitud 1 menos seno de frecuencia 2Hz y amplitud 1. Con frecuencia de muestreo de 100Hz, frecuencia de portadora de 10Hz y SNR = 3dB.
- Caso 4: Señal modulada = seno de frecuencia 1Hz y amplitud 1 menos seno de frecuencia 2Hz y amplitud 1. Con frecuencia de muestreo de 100Hz, frecuencia de portadora de 10Hz y SNR = 10dB.
- Caso 5: Señal modulada = seno de frecuencia 1Hz y amplitud 1 menos seno de frecuencia 2Hz y amplitud 1. Con frecuencia de muestreo de 100Hz, frecuencia de portadora de 25Hz y SNR = 10dB.

Realice las siguientes tareas:

1. Comente los pasos que se realizan mediante la función `func_Mod_AM`.
2. Obtenga las representaciones de la señal de información, señal modulada en AM, señal modulada en AM con ruido AWGN añadido y señal demodulada para los casos 1 a 5.

3. Comente los pasos que se realizan mediante la función `func_Mod_PM`.
4. Obtenga las representaciones de la señal de información, señal modulada en PM, señal modulada en PM con ruido AWGN añadido y señal demodulada para los casos 1 a 5.
5. Comente los pasos que se realizan mediante la función `func_Mod_FM`.
6. Obtenga las representaciones de la señal de información, señal modulada en FM, señal modulada en FM con ruido AWGN añadido y señal demodulada para los casos 1 (pero con frecuencia de portadora de 20Hz), 4 (pero con frecuencia de portadora de 20Hz) y 5 (pero con frecuencia de portadora de 20Hz y SNR de 20dB).