

Análisis de Sistemas y Señales - Año 2023

Práctica con Utilitario 2 - Opción C: Radar*

Introducción

En la materia Análisis de Sistemas y Señales se puso énfasis en la utilización de la herramienta informática Matlab como complemento del espacio de práctica, considerando que en primer término la misma brinda grandes ventajas en el aprendizaje de los temas de la materia, y en segundo término el manejo de la herramienta en sí misma es de provecho para un profesional vinculado al procesamiento de señales.

Por otra parte, consideramos que la capacidad de presentar resultados de una manera ordenada, para que puedan ser interpretados por un tercero no debe ser ajena a la formación de todo profesional, y mucho menos de un profesional de la Ingeniería.

Este trabajo con utilitario se enfoca en la utilización del algoritmo FFT (algoritmo rápido de la TDF) y en el diseño de filtros digitales. En particular, dado que en el conjunto de herramientas que provee MATLAB se encuentra la función de cálculo de la FFT y herramientas para el diseño y la utilización de filtros digitales, se opta por emplear dicho utilitario.

Para ello se provee una serie de funciones en archivos de tipo .m. Para ver la ayuda de los mismos, en la ventana de comandos se debe escribir `help nombreArchivo`. Los archivos provistos son:

- radarRx1.m; radarRx2.m; radarRx3.m: Señales de radar. Para ver los detalles, en la ventana de comando escribir `help radarRx1`; `radarRx2`; `radarRx3` según corresponda.

Los estudiantes deben resolver las consignas planteadas y entregar:

- Un breve informe con los procedimientos utilizados y su justificación, los resultados conseguidos (por ejemplo gráficas de las señales) y las conclusiones obtenidas.
- **TODOS** los scripts de Matlab utilizados en la resolución, de manera que los resultados obtenidos puedan ser reproducidos por un tercero.

Las condiciones y fechas límite de entrega estarán fijadas en la tarea de Moodle correspondiente a esta práctica con Utilitario.

El trabajo puede realizarse de manera individual o en grupos de máximo dos estudiantes. En caso de detectarse copias los trabajos serán **desaprobados**.

Consejo

Para insertar gráficos hechos con Matlab en un editor de textos, un método rápido y relativamente seguro es el siguiente:

1. En Matlab ingrese el comando `print -f1 -dpng figurita`, esto generará en el directorio actual el archivo gráfico `figurita.png`. El número que sigue a la opción `-f` es el número de la figura de Matlab

*Cada estudiante puede optar por resolver cualquiera de las opciones de esta práctica con utilitario. Todas poseen similar dificultad.

que se exportará.

2. Desde el editor de texto que utilice, inserte la figura. En general es conveniente que la figura no flote sobre el texto.

Consigna

En un sistema de radar, una forma de estimar la distancia entre el radar y un objeto es transmitir un pequeño pulso electromagnético y medir el tiempo que tarda el eco en volver (*tiempo de tránsito*, t_0). Dado que el radar transmite y recibe desde el mismo lugar, la distancia recorrida por la señal es el doble de la distancia que separa el radar del objeto. Así, esta distancia radar-objeto, denominada habitualmente rango (R), será igual a la mitad del tiempo de tránsito multiplicado por la velocidad del pulso, $R = \frac{t_0 \cdot c}{2}$ ($c = 300,000$ km/s). En el ejemplo que vamos a trabajar la señal transmitida se modela como $Re\{x(t)e^{j2\pi f_c t}\}$ donde $f_c = 900$ MHz es la frecuencia de portadora, y $x(t)$ es una señal periódica cuyo periodo tiene las siguientes características:

- $q(t) = \Pi\left(\frac{t - \tau_p/2}{\tau_p}\right)$ con $T = 1$ ms
- $\tau_p = 0,1$ ms

Frente a la presencia de un solo objeto, la señal que se recibe es una copia de la señal transmitida con una dada atenuación K y un dado retardo t_0 proporcional a la distancia entre el radar y el objeto (estamos haciendo un modelo muy simplificado de la situación real). Por lo tanto la señal recibida se puede modelar como $Re\{y(t)e^{j2\pi f_c(t-t_0)}\}$ donde $y(t) = Kx(t - t_0)$. En presencia de varios objetos, la señal recibida será una combinación lineal de la señal transmitida con diferentes retardos. El problema de radar consiste en estimar dichos retardos para calcular la distancia entre los objetos y el radar. Volviendo al ejercicio, supondremos que un receptor se encarga de demodular la señal recibida y tomar las muestras de la señal $y(t)$, con una frecuencia de muestreo $f_s = 12,5$ MHz. La función `radarRx1.m` entrega una secuencia $y[n]$ que corresponde a N muestras de la señal $y(t)$ ($f_s = 12,5$ MHz), y los instantes n a asociados a cada muestra.

1. Dado que se quiere estimar distancias, se debe definir el vector rango R para representar los resultados. Para ello, genere el vector tiempo teniendo en cuenta la frecuencia de muestreo f_s y los instantes n entregados por `radarRx1.m`, y luego obtenga el vector rango R multiplicando por $c/2$. Grafique la señal y generada por `radarRx1.m` en función de R . ¿Reconoce la presencia de objetos?
2. Genere una señal discreta $x[n]$ que sea un periodo de la señal transmitida $x(t)$ muestreada a la frecuencia f_s . Grafique $x[n]$ en la misma imagen que la señal recibida. Calcule la distancia entre los objetos y el radar. (**Ayuda:** compare las posiciones de la señal transmitida y los ecos recibidos.)
3. Adicione ruido a la señal recibida y mediante el comando

```
z = y+randn(size(y));
```

Grafique z en función del rango R . ¿Puede calcular la distancia entre los objetos y el radar en este caso?

4. Una manera de estimar la posición de los ecos cuando la señal recibida está contaminada por ruido, es calcular la correlación entre dicha señal y la señal transmitida, y luego detectar los puntos máximos. Como ya vimos en la materia, la correlación “mide” el parecido entre dos señales, y por lo tanto nos permitirá diferenciar los ecos del ruido. Utilizando la relación entre la correlación de señales y la convolución de señales, y aceptando que esta relación se mantiene para las versiones circulares (convolución circular y correlación

circular), implemente una función `correlfft.m` que permita obtener la correlación circular de dos señales, utilizando el comando `fft`. **Ayuda:** $r_{xy}^o[m] = \{x \circledast \bar{y}^-\}[m]$, donde $r_{xy}^o[m]$ denota la correlación circular entre x e y y $\bar{y}^-[n]$ denota $y[n]$ conjugada y reflejada circularmente.

5. A partir de la función implementada en el inciso anterior, obtenga y grafique el módulo de la correlación entre x y z en función del rango R . ¿Reconoce la presencia de algún objeto? En caso afirmativo, calcule la distancia de los mismos al radar, y compare con los resultados del inciso 1.
6. La función `radarRx2.m` genera N muestras de una nueva señal recibida en un escenario diferente al anterior. Repita el punto anterior generando nuevamente z con esta nueva señal. ¿Se alcanza a detectar la presencia de objetos? Trate de obtener a partir de lo observado la distancia mínima entre dos objetos que permite distinguirlos a partir de la correlación entre la señal transmitida y la señal recibida.

La distancia mínima entre dos objetos que permite detectarlos por separado se denomina resolución en rango. Para mejorar esta resolución se utilizan señales Chirp. Estas señales se componen por sinusoides cuya frecuencia se incrementa (Up-chirp) o disminuye (Down-chirp) linealmente con el tiempo. A continuación, en lugar de emitir pulsos de amplitud constante (cajones), se transmite la siguiente señal up-chirp¹:

- $x_m(t) = \square\left(\frac{t-\tau_p/2}{\tau_p}\right) \cos\left(\frac{\pi\beta t^2}{\tau_p}\right)$ con periodo $T = 1$ ms.
- $\beta = 250$ KHz
- $\tau_p = 0,1$ ms.

La función `radarRx3.m` genera N muestras de la señal recibida en el mismo escenario que `radarRx2.m` pero cuando la señal transmitida es $x_m(t)$.

7. Repita los incisos 1, 2, 3, y 5 considerando la señal transmitida x_m y la señal recibida generada por `radarRx3.m`. Intente obtener en forma aproximada la distancia mínima entre dos objetos que permite distinguir los mismos a partir de la correlación calculada, y compárela con la obtenida en el inciso 6.
8. **(Opcional)** Calcule y grafique el espectro de las señales transmitidas x y x_m utilizando la FFT. Defina adecuadamente el eje frecuencia y trate de encontrar una relación entre el ancho de banda de cada espectro y la resolución en rango de los incisos 6 y 7, según corresponda.

¹La señal chirp es una señal compleja, $e^{j\frac{\pi\beta t^2}{\tau_p}}$, por simplicidad consideramos solo la parte real de la misma.