

Análisis de señales  
**Laboratorio 03: Convolución y correlación  
de señales en MATLAB**

Escuela de Ciencias exactas e Ingeniería  
**Código: 2018II\_LAB03**

**Profesor:** Marco Teran

**Deadline:** 21 de noviembre de 2018

---

**Abstract**

Durante el desarrollo del presente laboratorio se pondrán a prueba los conceptos de convolución y correlación utilizando el paquete de desarrollo matemático MATLAB. Se entenderá de forma práctica los conceptos de convolución. Mediante un ejemplo de aplicación se estudiará la correlación como una herramienta versátil a la hora de diferenciar y sincronizar señales.

## 1 Desarrollo de la práctica de laboratorio

1. (5 points) **Responda brevemente en la sección de Marco Teórico de su plantilla de laboratorio las siguientes preguntas:**
  - (a) Definir que es correlación y sus principales propiedades.
  - (b) La correlación cruzada y la autocorrelación, tanto para vectores como para matrices de imágenes.
  - (c) ¿Cuál es la diferencia/relación existente (operacional) entre la **convolución** y la **correlación**?
  - (d) Defina *Circular Buffering* (utilice como guía el capítulo 28 del libro The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing de Steven W. Smith [1], [descargar](#)).
  - (e) Defina la secuencia de código Barker, sus características y propiedades. Implementación del código Barker en señales de RADAR (utilice como guía la sección 7.4.2 del capítulo 7 del libro Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB de Bassem R. Mahafza [2], [descargar libro](#)). Determinar el proceso de obtención y el significado de la función de ambigüedad de una señal digital binaria de radar.
  - (f) Investigue acerca de la generación de señales aleatorias y las características estocásticas del ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN, *ing.* Aditive White Gaussian Noise) y su generación en Matlab para una relación señal ruido (SNR, *ing.* Signal to noise ratio) predeterminada.
  - (g) ¿Qué es la desconvolución y como se implementa en Matlab?

### 2. (5 points) Convolución con Matlab:

El paquete matemático Matlab se puede utilizar para encontrar la suma de convolución de dos secuencias. El siguiente código permite encontrar la suma de convolución de dos señales  $x[n]$  y  $h[n]$ :

```
x=[0.2, 1.4, 2.6, 5.1, 3.4, 8.4];  
h=[1.0, 4.2, 3.7, 0.8, 3.9];  
y=conv(x,h);
```

Código 1 – Suma de convolución en Matlab

Realice de forma teórica esta convolución y compare resultados. Resuelva el problema que existe con los tiempos de muestra, escoja un periodo de muestreo  $T_s$  de su preferencia, y muestre el resultado de la convolución en función de las distancias de tiempo  $k$  correctas. Recuerde que Matlab se limita a operar la correlación, pero no genera un vector de diferencias de tiempo adecuado, el proceso de obtención es

sumamente sencillo. Estudiando la función conv se puede encontrar una forma rápida de hacerlo.  
La respuesta al impulso de un filtro esta dada por:

$$h[n] = \{1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, -1, -1, -1\}.$$

Utilice Matlab para determinar la salida si la entrada es la señal es:

$$x[n] = \cos\left(\frac{\pi n}{2}\right).$$

Un sistema LTI discreto presenta la siguiente respuesta al impulso:

$$h[n] = (0.6)^n u[n].$$

Con la ayuda de Matlab calcule la respuesta del sistema para una entrada:

$$x[n] = u[n].$$

Dibuje para cada caso, las tres señales que interfieren en el proceso ( $h[n]$ ,  $x[n]$  y la salida  $y[n]$ ).

3. (5 points) Compile y comente todas las lineas del siguiente código de Matlab. ¿Cuál es la función del código 2? ¿Qué es mlag?:

```
close all; clear all; clc;
N=128;
W=pi/16;
nn=0:N-1;
s= sin(W*nn);
w= 0.5*randn(1,N);
x=s+w;
subplot(321), plot(nn,w)
[phi_w,mlag]=xcorr(w,w);
subplot(322), plot(mlag,phi_w)
subplot(323), plot(nn,x, nn,s, 'k')
[phi_x,mlag]=xcorr(x,x);
subplot(324), plot(mlag,phi_x)
[phi_x_coef,mlag]=xcorr(x,x, 'coef');
subplot(325), plot(mlag,phi_x_coef)
[phi_x_biased,mlag]=xcorr(x,x, 'biased');
hold on, plot(mlag,phi_x_biased, 'r:')
[phi_x_unbiased,mlag]=xcorr(x,x, 'unbiased');
subplot(326), plot(mlag,phi_x_unbiased),axis([mlag([1 end]) -1 1])
```

Código 2 – Suma de convolución en Matlab

## 1.1 Problema de investigación: Problema Radar (20 points)

Se entiende por **RADAR** (*ing.* RAdio Detection And Ranging) un sistema electrónico de radiodetección y radiolocalización, esto quiere decir que es un sistema que utiliza señales electromagnéticas (ondas de radio) para la detección y localización de objetos. La información básica que proporciona un radar primario es: rango o distancia, acimut o ángulo. El principio básico del funcionamiento de un radar es la técnica de impulsos para determinar la distancia y la dirección en que se encuentra un objeto (*ranging*). En un radar un pulso electromagnético es emitido por un transmisor, el cual a su vez de forma pasiva es reflejado por un objeto denominado blanco. La onda reflejada,denomina **eco**, volverá al receptor radar, aunque muy debilitada. Luego esta señal es tratada y procesada para la posterior extracción de la información radar. El trabajo del radar consiste en determinar el tiempo que el pulso se demora en realizar la trayectoria de

ida y regreso del pulso.

Es necesario tener en cuenta que la precisión, durante el cálculo de la posición, es el nivel máximo de error entre la posición del blanco detectada por el sensor y su posición real en el instante de la detección. Y esta directamente proporcional relacionada a la duración del pulso de radar, es decir, entre más corto de duración sea este pulso, mayor será la precisión en distancia. Si este pulso se hace muy corto, la señal no contará con la suficiente energía y se perderá en el ruido durante la reflexión antes de regresar al receptor radar haciendo imposible detectar y mucho menos localizar el blanco.

Para mantener un equilibrio entre la precisión y la energía del pulso, dentro del pulso se implementa una modulación digital interna PSK (*ing. Phase Shift Key*) mediante la implementación de una secuencia de código Barker. Con este código interno y la implementación de la correlación, es posible encontrar la información de detección solicitada.

### Algoritmo de detección radar

Para el desarrollo se trabajara con una secuencia de código Barker  $S_L$  de longitud finita  $L$ , utilizando una sucesión de  $-1's$  y  $+1's$  para la representación de bajos y altos respectivamente. Cada punto a continuación realizarlo para cada una de las secuencias de Barker definidas.

1. Generar una secuencia de Barker de longitud  $L$ , con los siguiente parámetros (generando señales de acuerdo al laboratorio 01):
  - Sampling frequency,  $f_s = 16 \text{ MHz}$
  - Duración del pulso de radar,  $\tau = 0.1 \text{ ms}$
2. Determinar la frecuencia de transmisión de cada bit de la secuencia Barker  $R_{barker}$  y la duración de cada uno de estos bits. De igual manera encontrar el numero de samples por cada bit de la secuencia de Barker. Representar gráficamente esta secuencia.
3. Realizar la autocorrelación del código Barker y representarla de forma gráfica.
4. Realizar la correlación cruzada de la secuencia de Barker asignada  $S_L$  con un código binario generado aleatoriamente por Matlab de igual longitud y representar la gráfica resultante.
5. Adicionarle AWGN a la secuencia de código Barker con una relación señal ruido de  $-10 \text{ dB}$ ,  $-3 \text{ dB}$ ,  $0 \text{ dB}$  y  $3 \text{ dB}$ . Realizar las gráficas de cada una de estas secuencias contaminadas con ruido. Y luego realizar la correlación de estas con la señal de código Barker original sin ruido y representar los resultados de forma gráfica.
6. En la ingeniería de los sistemas de radar, para el análisis de las señales utilizadas, es necesario el cálculo y análisis de la función de ambigüedad de estas señales de radar. La función de ambigüedad entrega información sobre la resolución que tiene la señal tanto en la precisión de la medida del tiempo de retardo y como en la frecuencia Doppler. Encontrar la función de ambigüedad teniendo en cuenta los siguientes parámetros Doppler y de modulación digital del pulso de radar:
  - Rango de búsqueda en Frecuencia Doppler,  
 $f_d = [-30 \text{ kHz}, 30 \text{ kHz}]$ .
  - Resolución Doppler  $\Delta f_d = \text{Hz}$ .
  - Frecuencia de portadora de la señal de radar,  
 $f_c = 2 \text{ MHz}$ .
  - Formación del pulso de radar:  
 $S_r(t) = B_L(t) \cos(2\pi(f_c + f_d)t)$ .

Graficar la función de ambigüedad en una gráfica 3D.

Describa el procedimiento seguido para la resolución del laboratorio. Incluya imágenes (legibles y con leyenda) de lo desarrollado en el laboratorio.

## 1.2 Problema de investigación: Correlación de imágenes en Matlab (15 points)

Realice el código de correlación de imágenes que se plantea en el *paper Application of normalized cross correlation to image registration*. Descargar *paper aquí*<sup>1</sup>. Realice un resumen del artículo y describa el algoritmo implementado. Analice el código presentado y genere sus conclusiones sobre él. ¿Cómo se realiza la correlación en imágenes digitales? Aplique el código a un problema de ingeniería casual y creativo relacionado al procesamiento de imágenes.

## References

- [1] Steven W. Smith. *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. California Technical Publishing, San Diego, CA, USA, 1997.
- [2] Bassem R. Mahafza. *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL, USA, 2000.
- [3] A.V. Oppenheim, A.S. Willsky, and S.H. Nawab. *Signals and Systems*. Prentice-Hall signal processing series. Prentice Hall, 1997.
- [4] John G. Proakis and Dimitris G. Manolakis. *Digital Signal Processing (3rd Ed.): Principles, Algorithms, and Applications*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 1996.
- [5] Alan V. Oppenheim and Ronald W. Schafer. *Discrete-Time Signal Processing*. Prentice Hall Press, Upper Saddle River, NJ, USA, 3rd edition, 2009.
- [6] B.P. Lathi and R.A. Green. *Essentials of Digital Signal Processing*. Cambridge University Press, 2014.
- [7] J.W. Leis. *Digital Signal Processing Using MATLAB for Students and Researchers*. Wiley, 2011.
- [8] Monson H. Hayes. *Schaum's Outline of Digital Signal Processing*. McGraw-Hill, Inc., New York, NY, USA, 1st edition, 1998.
- [9] L.W. Couch. *Digital and Analog Communication Systems*. Pearson international edition. Pearson/Prentice Hall, 2007.

---

<sup>1</sup>Ayuda de MathWorks