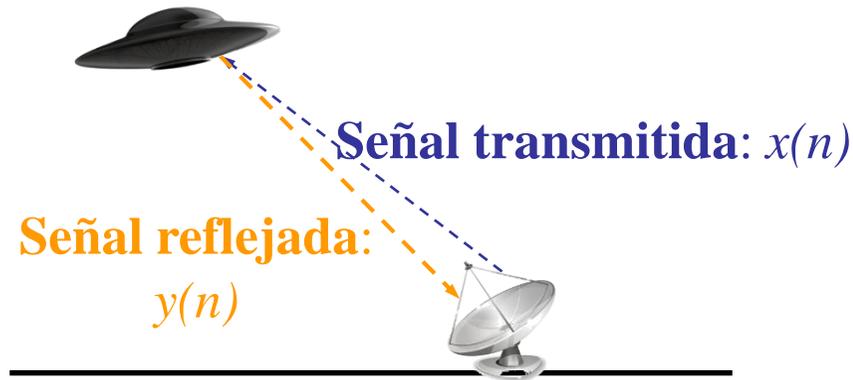


# Sistemas y Señales I

## Problema del radar

**Temario:** Cap. 2: Item 2.4

# Problema del RADAR



$$y(n) = \alpha x(n-D) + W(n)$$

$\alpha$ : factor de atenuación

$W(n)$ : ruido aditivo

$D$ : retardo transmisión/recepción

**Figura 1:** Sistema de RADAR

**Problema de radar:** determinar si existe un blanco, y si existe determinar el retardo  $D$  que permite determinar la distancia al blanco.

El problema que se presenta es que la señal reflejada por el blanco  $y(n)$  está corrupta por ruido, por lo que su simple observación no permite determinar el retardo  $D$ .

Calculemos la correlación cruzada  $r_{yx}(\ell)$

$$\begin{aligned} r_{yx}(\ell) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} y(n+\ell)x(n) \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} [\alpha x(n+\ell-D) + w(n+\ell)]x(n) \\ &= \alpha \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n+\ell-D)x(n) + \sum_{n=-\infty}^{\infty} w(n+\ell)x(n) \\ &= \alpha r_{xx}(\ell-D) + r_{wx}(\ell) \end{aligned}$$

Como la señal  $x(n)$  es determinística, generada por el radar, y el ruido  $w(n)$  es aleatorio, no están correlacionados, entonces

$$r_{wx}(\ell) \approx 0$$

Resulta entonces

$$r_{yx}(\ell) \approx \alpha r_{xx}(\ell - D) \quad (1)$$

Es decir, la correlación cruzada entre la señal reflejada y la transmitida  $r_{yx}(\ell)$  es una versión atenuada por el factor  $\alpha$  y desplazada el retardo de transmisión  $D$ , de la autocorrelación de la señal transmitida  $r_{xx}(\ell)$ . Como  $r_{xx}(\ell)$  tiene un máximo en cero, la correlación cruzada  $r_{yx}(\ell)$  tendrá un máximo en  $D$ , por lo que este retardo (en muestras) podrá medirse de la gráfica de  $r_{yx}(\ell)$ ,

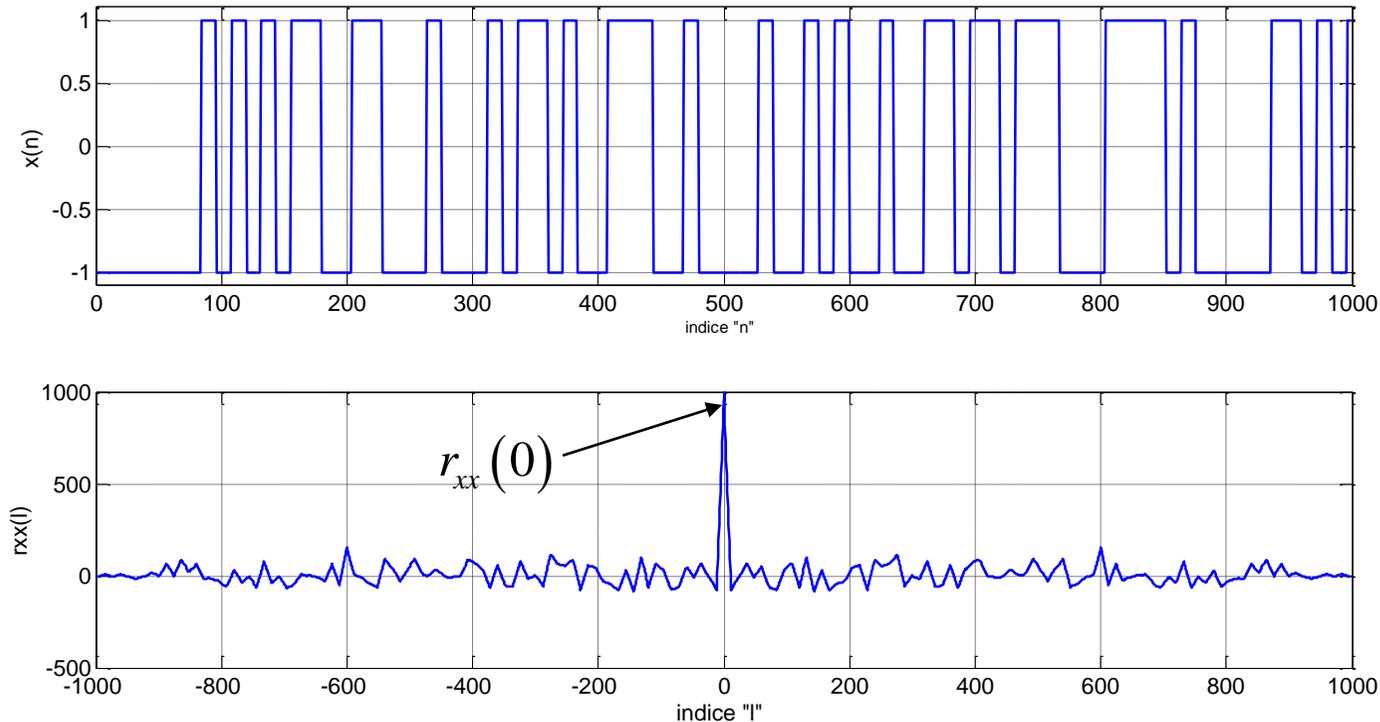
La distancia al blanco puede calcularse como:

$$(2) \quad \mathit{dist} = \frac{vDT_s}{2}$$

$v$ : velocidad de propagación de la señal  
 $T_s$ : período de muestreo

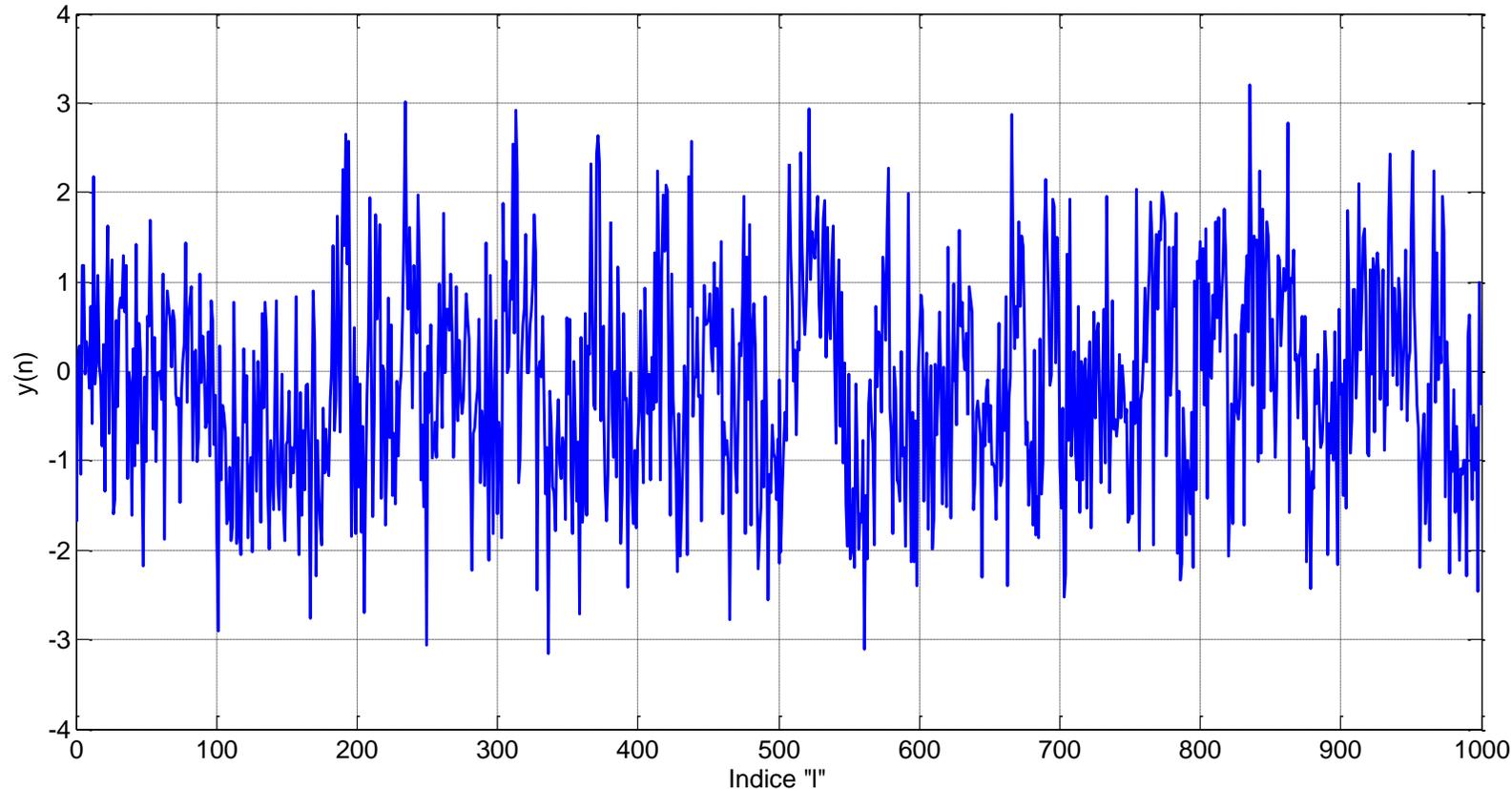
## Ejemplo de Simulación: Script Matlab: ejemplo\_radar.m

La señal transmitida es una Señal Pseudo Aleatoria Binaria (PRBS: Pseudo Random Binary Signal) que conmuta entre -1 y 1, con 1000 muestras. La señal y su autocorrelación se muestran en la Figura 2.



**Figura 2:** Señal transmitida  $x(n)$  (gráfica superior) y correspondiente secuencia de autocorrelación  $r_{xx}(\ell)$  (gráfica inferior).

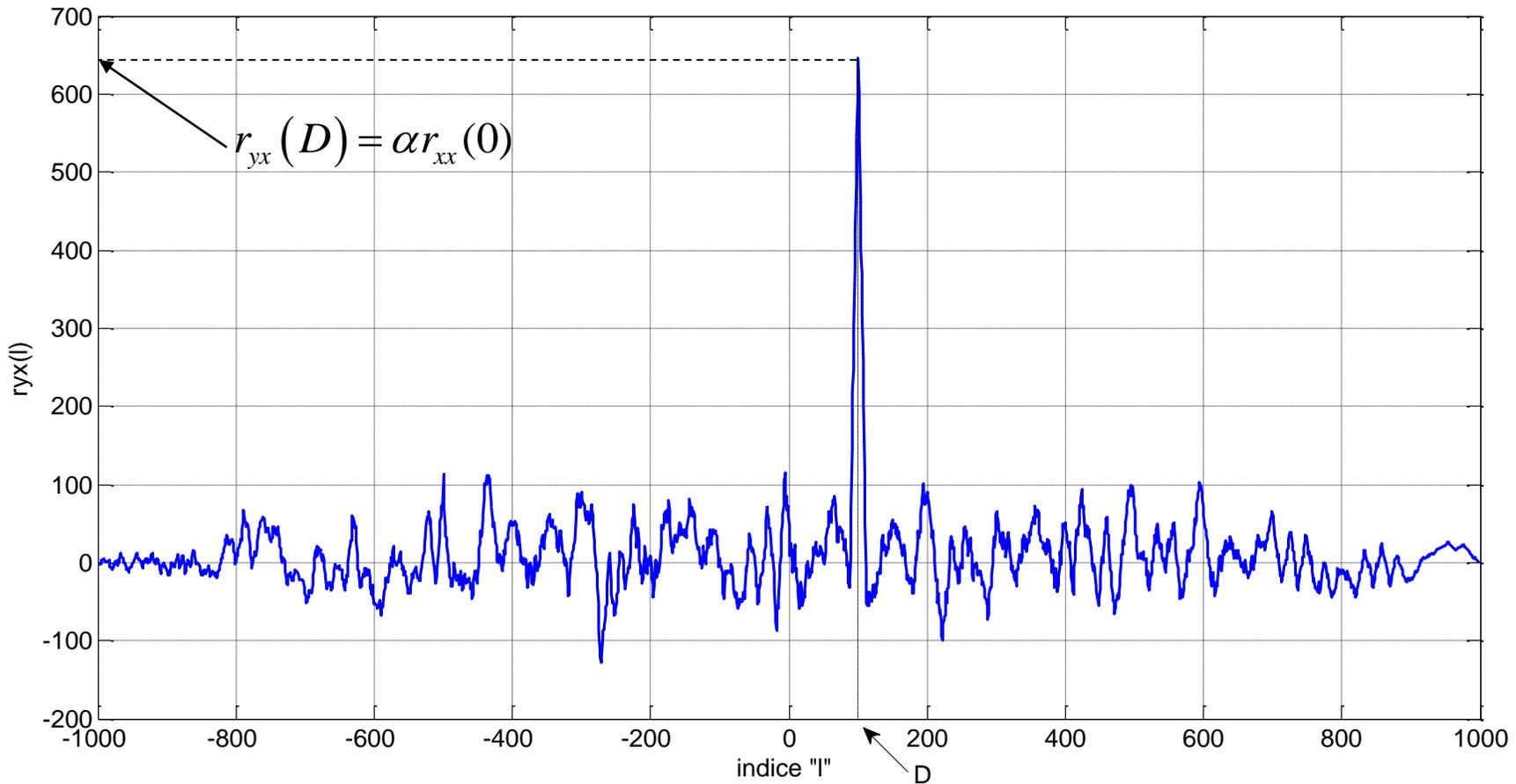
La señal reflejada  $y(n)$  se muestra en la Figura 3, de donde puede observarse que no es posible medir el retardo  $D$  a partir de la gráfica de  $y(n)$ , debido a la presencia del ruido  $w(n)$ .



**Figura 3:** Señal reflejada  $y(n)$  .

La secuencia de correlación cruzada  $r_{yx}(\ell)$  se muestra en la Figura 4, de donde puede medirse el retardo  $D$ , y calcular la atenuación  $\alpha$  como :

$$\alpha = \frac{r_{yx}(D)}{r_{xx}(0)}$$



SyS-I **Figura 4:** Secuencia de correlación cruzada  $r_{yx}(\ell)$  .

En el presente ejemplo, resulta:

$$r_{xx}(0) = 1000$$

$$r_{yx}(D) = 645.243$$

$$D = 100 \text{ muestras}$$

$$\alpha = 0.6452$$