

RADIODETERMINACIÓN Y RADAR

***Grado en Ingeniería en Sistemas de
Telecomunicación***



**Universidad
de Alcalá**

Ejercicio 1:

Simulación de escenarios radar

Septiembre 2022

Objetivos

En este ejercicio práctico se pretende que el alumno ponga en práctica los conocimientos adquiridos sobre el principio de funcionamiento de los radares primarios de impulsos y sus parámetros.

Considere un radar de control de tráfico aéreo, primario, pulsado y de exploración mecánica con los siguientes parámetros:

- Frecuencia portadora: 2,5 GHz.
- Potencia de pico: 1 kW
- Ancho de banda de la señal: 1MHz
- Factor de ruido de la cadena receptora: $F_s=2.35\text{dB}$
- Temperatura de referencia 290K
- Ganancia de la antena: 30 dB
- PRF=1950 Hz
- Ancho de haz en acimut= $1,2^\circ$
- Cobertura angular 120° .
- Velocidad de giro de la antena: 26 rpm (revoluciones por minuto).

Dimensiones de la matriz radar

```
%% PARAMETROS DEL RADAR
k=1.38054e-23;% (J/K)
T0=290; % K
c=3e8; %m/s velocidad de la luz
BW_senal=1e6;
ancho_haz=1.2; %grados
giro_antena=26; %rpm
PRF=1950;%Hz
Rango_max_matriz=30*1000; %m;
Cobertura_acimut= 120; %grados
f_portadora=2.5e9; %Hz
Fs=2.35; %dB Factor de ruido de la cadena receptora
lambda=c/f_portadora;

p_pico=1e3; %W
Ganancia_TX=30; %dB
```

1. Determine las resoluciones en distancia y acimut del sistema.
2. Calcule el número de celdas de distancia, $n_{\text{celdas_rango}}$, y acimut, $n_{\text{celdas_acimut}}$, para la cobertura angular especificada y una distancia máxima de 30km, asumiendo que la frecuencia de muestreo es la mínima necesaria.
3. Determine el tamaño de la celda de resolución del sistema en m^2 a 5 y 15 km.
4. Calcule la zona iluminada por el radar correspondiente a la muestra de la matriz situada en la columna 300 y en la fila 300.
5. Calcule el número de pulsos que se reciben de un blanco en una exploración. Este parámetro se denominará P .

6. Calcule la distancia máxima no ambigua. Indique a qué distancia detectaría el radar un blanco situado a 200km, en el caso de que pudiese detectarlo.

Ruido de la cadena receptora

El ruido que aparece en los receptores radar se debe en parte al ruido térmico generado por los propios componentes del sistema receptor, pero también intervienen otros procesos. La mayoría de estos procesos producen ruidos que, en los anchos de banda típicos de los receptores radar, tienen las mismas características que el ruido térmico.

La potencia de ruido disponible a la salida del detector síncrono en la Figura 1, N , se puede expresar en términos de la temperatura de ruido del sistema, T_s , o del factor de ruido, f_s .

El ruido a la entrada del filtro de frecuencia intermedia se asume que es un proceso aleatorio blanco, gaussiano, de media nula y una densidad espectral de potencia $N_0/2 = kT_s/2 = kT_0f/2$.

En realidad, este ruido ha sido filtrado en etapas previas de la cadena receptora, pero la señal a modelar son las muestras generadas a la salida del filtro de frecuencia intermedia. Este filtro está adaptado al pulso de radiofrecuencia transmitido, por lo que al muestrear a una frecuencia $1/\tau$, siendo τ la duración del pulso, las muestras resultantes están incorreladas.

La muestra obtenida a la salida del filtro es una variable aleatoria compleja gaussiana de media cero y varianza $2N_0$, por lo que sus componentes en fase y cuadratura también son gaussianas de media cero y varianza N_0 .

1. Determine la varianza de las muestras de ruido de la matriz radar. ¿Es la varianza de las muestras de ruido constante en todas las celdas de la matriz? Justifique su respuesta de forma razonada.
2. Se supone un escenario dominado por ruido sin ningún blanco presente. En estas condiciones, las muestras de la matriz son las debidas al ruido térmico de la cadena receptora. Genere la matriz de datos radar del modo siguiente:

```
ruido=sqrt(No)*randn(num_filas,num_columnas)+1i*sqrt(No)*...  
randn(num_filas,num_columnas);
```

3. Estime la función de densidad de probabilidad (hist) y la función de distribución acumulativa (ecdf) de las componentes en fase y cuadratura, la intensidad y la amplitud de las muestras complejas de la matriz *ruido*.

Para estimar la fdp utilice la función *pdf_estimada.m*

Estime las medias y las varianzas en cada caso y concluya sobre el tipo de distribución resultante.

Nota:

Componentes en fase y cuadratura:

$$C(t) = C_p(t) \cos(\omega_{FI} t) - C_q(t) \sin(\omega_{FI} t); \quad C_p \text{ y } C_q \sim N(0, \sigma^2)$$

Amplitud:

$$v(t) = \sqrt{C_p^2(t) + C_q^2(t)} \text{ es Rayleigh } f(v) = \frac{v}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{v^2}{2\sigma^2}\right); \quad v \geq 0$$

$$\sigma_v^2 = \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) \sigma^2; \quad E[v] = \sqrt{\frac{\pi \sigma^2}{2}}$$

Intensidad (Amplitud²):

$$P(t) = v^2(t) \text{ es exponencial } f(P) = \frac{1}{P_c} \exp\left(-\frac{P}{P_c}\right); \quad P \geq 0; \quad P_c = 2\sigma^2 \propto \bar{\sigma}^0 A_c$$

$$E[P] = P_c = 2\sigma^2, \quad \text{var}(P) = \sigma_P^2 = P_c^2 = (2\sigma^2)^2$$

Blanco no fluctuante y radar coherente

La potencia de la señal recibida debida a un blanco puntual puede calcularse utilizando la ecuación radar:

$$p_r = \frac{p_T g_T g_R \lambda^2 \sigma_S}{(4\pi)^3 R^4}$$

p_T y p_R se definen como potencias de pico (amplitud del pulso elevada al cuadrado dividida por 2). Sin considerar la modulación en amplitud provocada por la forma del haz de la antena, en el caso de una esfera conductora perfecta, las amplitudes y las fases de los P pulsos recibidos del blanco en una exploración y en exploraciones sucesivas son constantes. A la salida del filtro adaptado, las muestras de la señal generada por el blanco pueden modelarse del modo siguiente:

$$s = \sqrt{2 \cdot p_{ot_senal} \cdot duracion_pulso} \cdot \exp(1i \cdot fase_senal) \cdot \text{ones}(P, 1);$$

Teniendo en cuenta que $E_R = p_r \tau$, la relación señal a ruido se define según la siguiente expresión:

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{E_R}{N_0} \right)$$

1. Genere la variable `vector_blanco_estacionario` correspondiente a un blanco situado a una distancia de 5 km y un acimut de 10° con una relación señal a ruido de 15 dB y una fase $\theta_R = \pi/5$ ($\sqrt{2 p_r \tau} e^{j\theta_R} \cdot \text{ones}(P, 1)$)
2. Sume la variable calculada en el apartado anterior a la matriz `noise`.

```
% Blanco estacionario
SNR_estacionario=15; %dB
Er_estacionario=No*10^(SNR_estacionario/10);
vector_blanco_estacionario=sqrt(2*Er_estacionario)*...
exp(1i*pi/5)*ones(n_pulsos,1);
R_blanco_estacionario=5e3; %m
Acimut_blanco_estacionario=10; %grados

columna_blanco_estacionario=ceil(R_blanco_estacionario/...
R_resolucion)
fila_blanco_estacionario=ceil(Acimut_blanco_estacionario/...
separacion_filas)
ruido_blanco=ruido;
if rem(n_pulsos,2)==0
    ruido_blanco((fila_blanco_estacionario-(n_pulsos/2)):...
(fila_blanco_estacionario+(n_pulsos/2)-1),...
columna_blanco_estacionario)=ruido_blanco((...
fila_blanco_estacionario-(n_pulsos/2)):...
(fila_blanco_estacionario+(n_pulsos/2)-1),...
columna_blanco_estacionario)+vector_blanco_estacionario;
else
    ruido_blanco((fila_blanco_estacionario-fix(n_pulsos/2))...
:(fila_blanco_estacionario+fix(n_pulsos/2)),...
columna_blanco_estacionario)=ruido_blanco((...
fila_blanco_estacionario-fix(n_pulsos/2)):...
```

```
(fila_blanco_estacionario+fix(n_pulsos/2)),...  
columna_blanco_estacionario)+vector_blanco_estacionario;  
end  
figure(); imagesc(eje_x,eje_y,20*log10(abs(ruido_blanco)));  
title('Blanco estacionario')
```

3. Repita los apartados 1 y 2 para los siguientes casos:

- Blanco igual al de la cuestión 1 situado a una distancia de 8 km y un acimut de 10° con una fase $\theta_R = \pi/5$, que realiza un movimiento circular centrado en el sistema radar con una velocidad angular de $1^\circ/\text{s}$. Calcule la SNR del blanco.
- Blanco igual al de la cuestión 1 situado a una distancia de 7 km y un acimut de 10° con una fase $\theta_R = \pi/5$, que se desplaza radialmente alejándose del radar a una velocidad de 150km/h. Calcule la SNR del blanco.

Inserte los dos nuevos blancos en la misma matriz en la que representó el primero.

4. Genere las matrices del escenario radar considerado correspondientes a las tres vueltas de antena siguientes. Genere un vídeo con las funciones *getframe.m* y *movie.m* (https://es.mathworks.com/help/matlab/creating_plots/record-animation-for-playback.html)