

APLICACIÓN DE LA TÉCNICA "SPLIT GATE" A LA DETERMINACIÓN DE DISTANCIAS EN RADARES DE VIGILANCIA DE ALTA RESOLUCIÓN

Javier García Fominaya

Félix Pérez Martínez

Grupo de Metrología de Radiofrecuencia
Dpto. de Metrología y Ensayos
Taller de Precisión y C. E. de Artillería, Minisdef
C/. Raimundo Fdez. Villaverde, 50. Madrid 28003
jaangar@iies.es

Grupo de Microondas y Radar
Dpto. de Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones
ETSIT, UPM
Ciudad Universitaria, s/n. Madrid 28040
felix@gmr.ssr.upm.es

ABSTRACT

In this paper, we present a theoretical and experimental study of the application of the 'Split Gate' technique to the distance extraction of extended targets detected by high resolution surveillance radars.

1. INTRODUCCIÓN

La técnica "split- gate", utilizada en los actuales radares pulsados de seguimiento, consiste en pasar la señal de vídeo por dos puertas de distancia, "early" y "late", cuyas salidas son integradas y restadas. De este modo se dispone de una señal de error relacionada con la distancia entre el centroide del pulso recibido y el centro de la puerta de distancia, señal que se utiliza para controlar un lazo de seguimiento en lazo cerrado que alcanza su equilibrio cuando esta señal se anula. Tradicionalmente esta técnica se ha implementado analógicamente y en el dominio del tiempo. En la figura 1 se muestra la implementación digital de la misma.

2. TÉCNICA "SPLIT GATE" DISCRETA

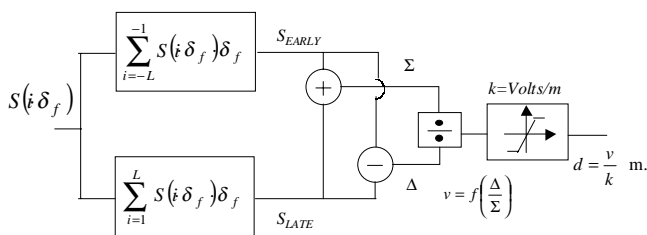


Figura 1. Técnica Split gate discreta: diagrama de bloques.

En la práctica se dispone de un conjunto discreto de rayas (la transformada de Fourier ponderada de la señal a la salida del demodulador I-Q). Suponiendo que la señal recibida es rectangular (los diversos elementos del blanco reflejan la misma energía), es inmediato encontrar que la señal de error y la distancia obtenidas son:

$$\frac{\Delta}{\Sigma} = \frac{I}{M} \quad ; \quad d = r_d \cdot M \cdot \frac{\Delta}{\Sigma} \text{ metros} \quad (1)$$

donde:

- $2 \cdot M =$ Número de rayas espectrales ocupadas por el blanco.
- $I =$ Desviación en rayas espectrales entre el centroide del blanco y el centro de la ventana ("early" + "late").
- $r_d =$ Resolución en distancia

3. ANÁLISIS DE ERRORES

3. 1. Errores instrumentales

Al no procesar entre rayas espectrales, sin ruido a la entrada, hay un error de cuantificación esperado, el cual sigue una distribución uniforme y viene dado por:

$$\sigma_e = \frac{r_d}{\sqrt{12}} \text{ metros} \quad (2)$$

Por otro lado, diferenciando la expresión (1):

$$\frac{\Delta d}{r_d} = I \cdot \frac{\Delta M}{M} \quad (3)$$

comprobándose que la técnica es muy sensible a las imprecisiones en el conocimiento del ancho de los pulsos. Ello implica la necesidad de cerrar el lazo. Así, la señal de error se podría utilizar para centrar la ventana configurando, en su caso, un lazo de realimentación negativa que alcanza el equilibrio cuando el centro de la ventana, "0", coincide con el centroide de los pulsos recibidos.

3. 2. Error por ruido térmico. Filtro de lazo

Tal como se muestra en la figura 2, el filtro del lazo o de seguimiento que actúa sobre el discriminador, corrigiendo continuamente la distancia hasta que la señal de error en su entrada sea cero, se diseña de modo que tenga una característica paso bajo, desempeñando así la función de suavizado para reducir los errores de medida originados por el ruido.

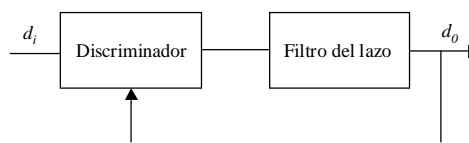


Figura 2. Filtro del lazo.

La determinación de las variables de estos lazos de realimentación, como es la pulsación de corte, ω_b , es de vital importancia en el diseño del subsistema, ya que este parámetro fija el compromiso entre eliminar la mayor cantidad de ruido y poder seguir las posibles maniobras del blanco (mayor o menor duración del transitorio).

En el caso de la ventana del discriminador centrada en el blanco (lazo en equilibrio) y despreciando la contribución de las muestras de ruido en las zonas donde no hay blanco, lo cual es consistente con la hipótesis de que $S/N \gg 1$, siempre que la diferencia de tamaños de ventana y blanco no sea excesiva, el error en la medida de distancia, debido al ruido térmico, puede ser estimado mediante la expresión:

$$\sigma_d = r_d \frac{2 \cdot M}{\sqrt{2 \cdot N}} \frac{1}{\sqrt{S/N}} \text{ metros} \quad (4)$$

- $\sigma_d =$ Desviación típica del error, en metros
- $2 \cdot M =$ Número de rayas espectrales del blanco.
- $r_d =$ Resolución en distancia, en metros.
- $N =$ Longitud de la FFT.
- $S/N =$ Relación señal- ruido a la entrada del receptor.

4. LAZOS DE SEGUIMIENTO

Con el fin de comprobar la disminución del error por ruido térmico mediante el lazo de realimentación, se han desarrollado algoritmos, bajo el entorno de programación Matlab, con un blanco teórico de prueba cuya amplitud o forma espectral sigue una función gaussiana y está contaminado con ruido térmico, de los siguientes filtros de lazo, descritos en [1] y [2]: filtro analógico tipo I, de simple integración; filtro analógico tipo II, de segundo orden, óptimo según criterio ITAE; y filtro digital α - β .

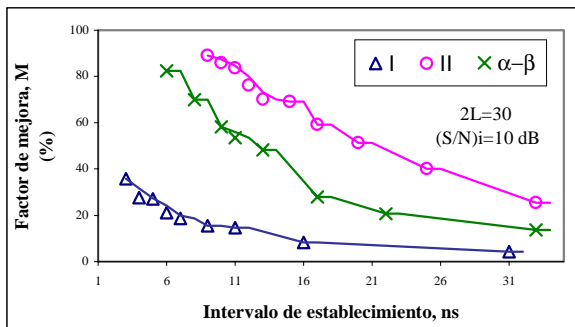


Figura 3. Factor de mejora del error por ruido térmico de los filtros tipos I, II y α - β .

En la figura 3 se muestra, para los filtros en estudio, el factor de mejora del error por ruido térmico, M , definido como:

$$M = \frac{\sigma_{XF}^2}{\sigma_{mi}^2} (\%) \quad (5)$$

σ_{mi}^2 : Potencia del ruido de medida del sensor (discriminador)

σ_{XF}^2 : Potencia de ruido a la salida del filtro

en función del intervalo de establecimiento, n_s : iteración, a partir de la cual, la respuesta se mantiene en la banda del $\pm 5\%$ de su valor final. Puede comprobarse el mejor comportamiento (para blancos estáticos) del filtro tipo I.

5. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para probar la técnica se han utilizado datos reales obtenidos con un prototipo experimental de radar LPI de onda continua y modulación FM lineal, trabajando en banda K (22 GHz). Las características del sensor radar utilizado pueden encontrarse en [3].

En la tabla 1 se muestra el error en la medida de la distancia de las tres primeras reflexiones entre los edificios, tras el procesado de 100 pulsos, utilizando un filtro tipo I, de simple integración y con un tamaño de ventana de 30 m. La señal procesada y las características del experimento pueden encontrarse en [4]. Los resultados demuestran que con un número de iteraciones bajo, en torno a 7, los resultados ya son adecuados ($\omega_0 \approx .5$ rad/s.).

Error (metros)				
ω_0 (rad/s)	n_s (núm.iter.)	Eco 1	Eco 2	Eco 3
.2	17	.05	.17	.22
.5	7	.08	.22	.23
.8	5	.12	.25	.25

Tabla 1. Error en la medida de distancia de las tres primeras reflexiones.

6. CONCLUSIONES

Se ha descrito la aplicación de la técnica "Split-Gate" discreta a la determinación de distancias de blancos extensos (pueden ocupar incluso muchas celdas de resolución en distancia), aplicable en radares de exploración y alta resolución.

Los resultados simulados nos han permitido elegir el tipo de filtro óptimo para esta aplicación (blanco fijo), con el cual se han obtenido resultados experimentales que demuestran la eficacia de la técnica.

7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado, en parte, por el proyecto del Plan Nacional de I+D, TIC99- 1172- C02- 01. Asimismo, queremos agradecer a Fernando Casanova su trabajo en la obtención de datos experimentales, al TPYCEA y CIDA, su colaboración.

8. REFERENCIAS

- [1] D'Azzo, J. J. y Houpis, C. H., "Sistemas realimentados de control (Análisis y síntesis)", cap.17, Paraninfo, 2ª ed., Madrid, 1975.
- [2] Farina, A. and Studer, F., "Radar data processing". Vol. I, Chapter 3. Research Studies Press, 1985.
- [3] Pérez Martínez, F. y Casanova, F., "Effect of subsystems' structure and electrical characteristics on the performance of a FMCW radar sensor" in OTAN: Sensors and Electronics Technology Panel Symposium on Passive and LPI Radio Frequency Sensor, Warsaw, Poland, 23- 25 April 2001.
- [4] Pérez Martínez, Félix y García Fominaya, Javier, "Técnicas de estimación de distancias en radares de exploración y alta resolución", URSI 2000.