ESTUDIO DE LAS PRESTACIONES DE CONTRA-CONTRA-MEDIDAS RADAR EN ENTORNOS RUIDOSOS

Juan Manuel Rius*, Antonio Elías*, Susana Calvo*

ABSTRACT

A Multiplier-Convolution-Multiplier (M.C.M.) processor behaves as a frequency-time converter. A computer simulation study is made to analize the performance of this device in a noisy environment. Own to its compressive feature, it is able to discriminate signals more efficiently than non-compressive receptors.

INTRODUCCION

Los principales requesitos que debe reunir un receptor de guerra electrónica para trabajar en un ambiente hostil son: rápida detección de posibles amenazas, bajo coste y buena portabilidad. Todas estas propiedades se encuentran en los receptores MCM, que suelen implementarse con tecnología SAW (ondas acústicas de superficie), o células de Bragg [1].

Los receptores MCM se utilizan como medidas de soporte electrónico (ESM) de un sistema radar para detectar y analizar señales provenientes de contra medidas electrónicas (ECM). El receptor MCM es un analizador de espectro en tiempo real, de tal forma que los parámetros clave de la señal ECM (frecuencia central, ancho de banda, densidad espectral de potencia) sean rápidamente suministrados al sistema radar para activar las contra-contra medidas electrónicas.

El receptor ESM debe detectar la señal ECM antes de que ésta afecte al rendimiento del sistema radar, por tanto debe ser capaz de discriminar la señal ECM del clutter con una relación señal-ruido (SNR) muy baja. Como el receptor MCM es de tipo compresivo, se consigue una mejora importante de SNR.

Se ha realizado un estudio detallado del rendimiento del receptor MCM en entornos ruidosos, con objeto de evaluar su capacidad de detectar un señal ECM muy débil, así como de discriminar entre dos señales ECM a frecuencias diferentes.

CONVERSORES FRECUENCIA-TIEMPO M.C.M.

Los receptores compresivos son aquellos en los que se utiliza una línea de retardo dispersiva (DDL) para comprimir la entrada de radio frecuencia en un pulso estrecho. En la configuración MCM, se utiliza un oscilador local de barrido (LO) para convertir la señal de entrada en una señal modulada en frecuencia, y otro oscilador de barrido para ajustar la fase de la salida (fig. 1)

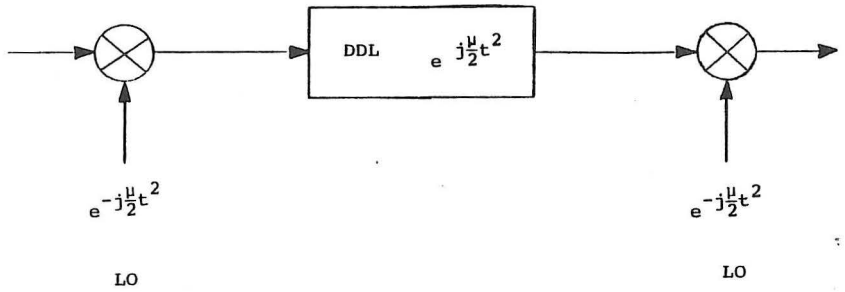

Figura 1: Configuración M.C.M.

* Grupo A.M.R., Departamento Teoría de la Señal y Comunicaciones
E.T.S.I.Telecomunicación, Universidad Politécnica de Cataluña

Si la respuesta impulsional de la DDL es una señal chirp, y los osciladores locales de barrido tienen la misma pendiente frecuencia-tiempo que la DDL, con signos opuestos, puede demostrarse muy fácilmente que la salida del sistema es la transformada de Fourier de la entrada [1], [2]: el receptor compresivo MCM se comporta como un comversor frecuencia-tiempo, con una resolución frecuencial excelente.

Por ello, tiene la capacidad de procesar simultaneamente varias señales de entrada ECM: la salida será una serie de pulsos estrechos en el dominio del tiempo. Midiendo la posición temporal de los pulsos comprimidos, se obtiene la frecuencia de las señales de entrada. Como los pulsos comprimidos son muy estrechos, se consigue un gran aumento de la SNR, igual a la relación de compresión de pulsos.

En los diseños prácticos, se realiza un enventanado temporal de las señales chirp, y por tanto se puede deducir una relación óptima entre sus anchos de banda [2] : Si el ancho de banda de la línea DDL es B_l y el retardo dispersivo introducido T_l, la pendiente de barrido de los osciladores locales debe ser igual a la pendiente frecuencia-tiempo de la DDL

$$\frac{B_m}{T_m} = \frac{B_l}{T_l} = \frac{\mu}{2\pi}$$

donde B_m es el ancho de banda de los LO y T_m la duración del barrido. Si el ancho de banda de entrada del receptor es B_i, el ancho de banda procesado por la DDL es $B_l = B_m + B_i$

Para una DDL determinada, B_l y T_l son parámetros fijos, y se conseguirá un rendimiento óptimo cuando el ancho de banda de entrada B_i y el enventanado temporal de entrada T_m sean máximos. La relación $(B_i T_m)/(B_l T_l)$ es máxima cuando $B_l = 2B_m$, lo cual implica $B_i = B_m$.

Como el receptor MCM es un transformador de Fourier en tiempo real, la resolución en frecuencia en la salida es igual al inverso del enventanado temporal de la entrada $\Delta f = 1/T_m$, y el factor de compresión es $\rho = B_m/\Delta f = B_m T_m$. Por tanto, la relación señal-ruido a la entrada es mejorada en un factor $\rho = B_m T_m$, igual al factor de compresión de pulsos.

SIMULACIONES

La convolución analógica que realiza la DDL se simula eficientemente con secuencias discretas a través del producto de las transformadas de Fourier de las secuencias [3]. Según el teorema de Nyquist, la frecuencia de muestreo debe ser como mínimo igual al ancho de banda B de la señal. Si T es la duración temporal de la señal, el mínimo número de muestras será $N = T/\Delta t = TB$.

Al simular la convolución en el receptor MCM, el número de puntos de muestreo debe ser igual al mayo producto TB de las diferentes señales que intervienen. Esta condición se alcanza a la salida de la línea DDL, donde $B = B_l = 2B_i$ y $T = T_l + T_m = 3T_m$. Por tanto, el número de muestras será $N = TB = 6B_i T_m$, donde B_i es el ancho de banda de entrada y T_m la duración del enventanado temporal de la entrada.

La señal ECM no siempre es una señal de onda continua, sino también pulsos modulados de duración finita. Se ha simulado la detección de señales ECM de distinto ancho de pulso T_i. Como el enventanado temporal en el mezclador de entrada con el oscilador local reduce valores de T_i mayores que T_m a T_m, sólo se ha considerado $T_i < T_m$, expresado como un porcentaje de T_m.

Para evaluar las prestaciones del receptor MCM en entornos ruidosos, se ha añadido ruido blanco gaussiano a la entrada del receptor, calculando siempre la SNR referida a una señal de onda continua. Cuando la señal de entrada es un pulso modulado de duración finita, como la energía que contiene decrece con el ancho del pulso, la relación entre las energías de señal y ruido decrece, aunque la SNR calculada sea la misma. Por este motivo, el rendimiento del sistema emperora al disminuir el ancho del pulso de entrada, a igualdad de SNR.

Se han realizado simulaciones con parámetros reales de un receptor ESM:

- Ancho de banda de entrada $B_i = B_m = 200$ MHz
- Frecuencia central = 1300 MHz
- Frecuencia de muestreo, en banda base = 400 MHz
- Número de muestras $N = 6T_m B_m = 2048$
- Factor de mejora de SNR $\rho_{dB} = 10\log(T_m B_m) = 25.3$ dB

RESULTADOS

Figura 2: Salida del receptor MCM para dos entradas de onda continua de frecuencias 1250 MHz y 1350 MHz (ancho del pulso igual al 100 % del enventanado temporal). Se han considerado cuatro diferentes valores de SNR.

Figura 3: Umbral de detección. Representa la mínima SNR a la entrada del receptor para detectar una señal ECM, en función del ancho del pulso. Hemos considerado que la señal es detectada con una SNR a la salida de 8 dB. En la figura 3, las señales que se encuentran por encima de la curva son detectadas, y las que se encuentran por debajo no son detectadas. Para una señal de onda continua, hace falta una SNR a la entrada de -17 dB para obtener 8 dB a la salida, por lo que el factor de mejora de SNR es de 25 dB, como se esperaba.

Figura 4: Resolución en frecuencia. Representa la mínima separación frecuencial entre dos señales a la entrada para que sean discriminadas a la salida, en función del ancho de pulso, y para distintas SNR a la entrada.

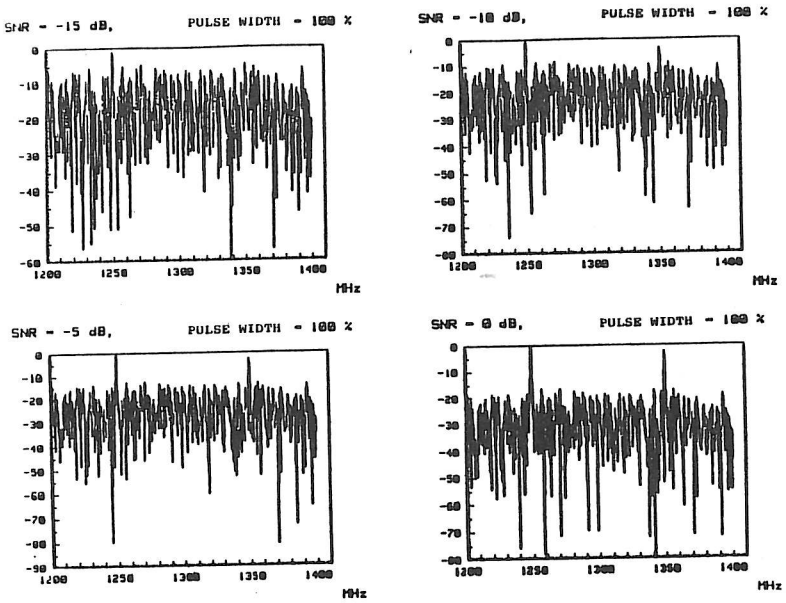

Figura 2: Salida del receptor MCM

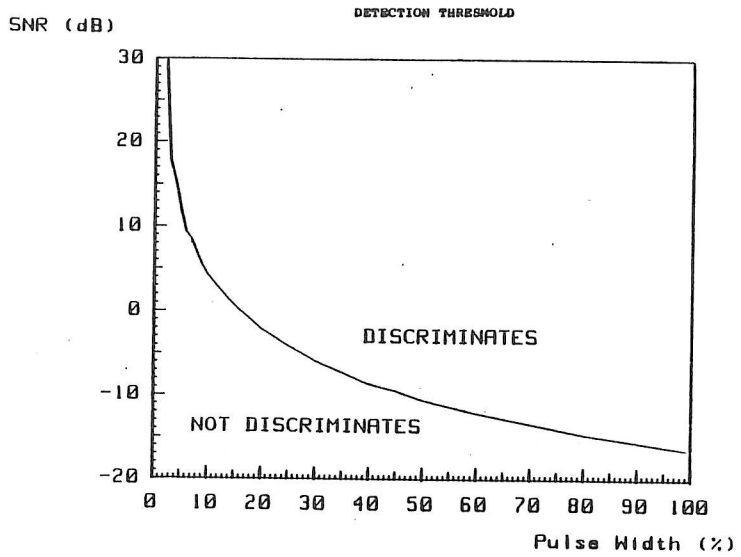

Figura 3: Umbral de detección

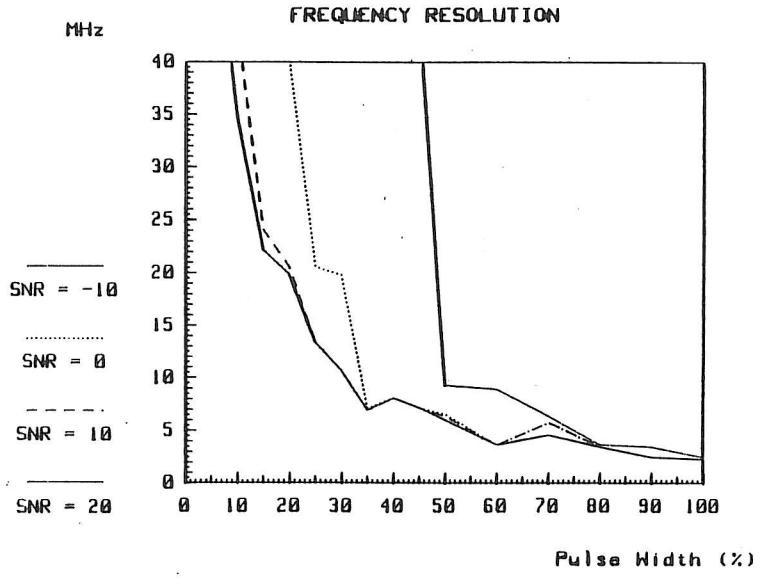

Figura 4: Resolución en frecuencia

CONCLUSIONES

1 - Al ser un sistema compresivo, la SNR es mejorada en un factor igual al producto del ancho de banda procesado por el enventanado temporal a la entrada, que es igual a la sexta parte del número de muestras. En nuestras simulaciones, el factor de mejora de de 25 dB.

2 - Tal como se esperaba, la mínima SNR para detectar un pulso ECM aumenta con el inverso del ancho del pulso.

3 - El receptor MCM simulado con 2048 puntos, no puede detectar pulsos mas cortos que el 1% del enventanado a la entrada, incluso en ausencia de ruido.

4 - El mínimo ancho de pulso a la entrada para conseguir una buena resolución en frecuencia a la salida es, para diferentes SNR:

50 % para SNR = -10 dB
34 % para SNR = 0 dB
30 % para SNR > 10 dB

5 - La resolución en frecuencia para una SNR a la entrada mayor que 0 dB es aproximadamente igual que en ausencia de ruido.

6 - La resolución en frecuencia para una señal de onda continua no ruidosa es 1.8 MHz.

REFERENCIAS

[1] J. Bao-Yen Tsui: 'Microwave Receivers with Electronic Warfare Applications', Ed. John Wiley & Sons, 1986.

[2] J.B.G. Roberts, G.L. Moule, G. Parry: 'Design and Application of Real-Time Spectrum Analyzer Systems', IEE Proceedings, April 1980.

[3] A.V. Oppenheim, R.W. Schaffer: 'Digital Signal Processing', Ed. Prentice-Hall, 1975.