

Codificación de señal portadora para un radar pulsado en banda de HF

Maria Graciela Molina^{1,2}, Miguel Angel Cabrera¹, Leonardo Miguel Albarracin¹

(1) *Laboratorio de Telecomunicaciones, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.*
gmolina@herrera.unt.edu.ar

(2) *Departamento de Ciencias de la Computación, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán.*
mcabrera@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN: En este trabajo se describe la técnica de compresión de pulso, usada en modernos sistemas de radares, los esquemas de codificación de señales portadoras más ampliamente difundidos y se muestran ejemplos para un radar de alta frecuencia para mediciones de parámetros ionosféricos. El tipo de blanco impone el esquema de codificación del radar. En general, en el diseño de radares de alta atmósfera, el criterio para obtener un eco definido a partir de una señal inmersa en ruido, es usar códigos que posean una función de autocorrelación con un lóbulo principal bien definido y con mínimos lóbulos laterales. Se puede demostrar que existe una relación de compromiso al momento de seleccionar códigos de mayor longitud, que permiten mejor resolución de rango y el alcance, pero esto afecta la distancia mínima de detección del radar.

1 INTRODUCCION

Un radar es un equipo que transmite ondas de radio, las cuales son reflejadas por un objeto de interés denominado blanco. Estos equipos, permiten determinar la distancia a la que se encuentra el blanco, su tamaño, velocidad y dirección en la que se mueve, entre otra información.

Una de las técnicas más ampliamente utilizadas actualmente para la detección de señales de radares es la codificación de señales portadoras mediante el uso de códigos binarios o técnica de compresión de pulso. El uso de códigos permite agregar información a una señal que será transmitida, para ser decodificada durante la etapa de procesamiento de la señal, después de ser recibida.

Actualmente se usa la compresión de pulso como técnica para reducir los requerimientos de potencia del transmisor, mejorar la eficiencia de la precisión de rango y mejorar la relación señal a ruido de la señal recibida (SNR) (Skolnik, 1980; Barton and Leonov, 1997; Crurry, 2005; entre otros).

En este trabajo se describe la técnica de compresión de pulso usada en los denominados radares pulsados, los esquemas de codificación de señales portadoras más usados, y se muestran ejemplos para un radar HF (acrónimo de high frequency o alta frecuencia en inglés) para mediciones de parámetros ionosféricos. Este estudio comparativo de señales codificadas para

radares pulsados permitirá tomar decisiones respecto al diseño y a las capacidades de detección de un prototipo de sondador ionosférico que lleva a cabo el equipo del Laboratorio de Telecomunicaciones de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán.

2 TECNICA DE COMPRESION DE PULSO

Existen diversos tipos de radares que son utilizados para un amplio rango de aplicaciones en el ámbito civil tales como la navegación aérea, marítima y terrestre; en contextos científicos vinculadas por ejemplo a la geodesia, geofísica de la tierra y del espacio, meteorológicos, entre otros; así como también en el ámbito de la defensa. Dentro de las aplicaciones científicas se encuentran los sistemas de radar para el estudio de la dinámica de la alta atmósfera terrestre (Rishbeth and Garriot, 1969; entre otros).

Un caso particular de radar para estimación de parámetros de la alta atmósfera que trabaja en la banda del espectro HF es el denominado sondador ionosférico (1-20 MHz). En este caso el blanco es cuasi-estacionario permitiendo el uso de integración coherente de múltiples pulsos a fin de mejorar la SNR de la señal recibida. Esta técnica es posible de usar bajo la hipótesis de que durante un periodo corto de tiempo, lo que dura un sondeo, los estratos ionosféricos permanecen estacionarios (idealmente) o sin perturbaciones significativas de su altura virtual (Rishbeth y Garriot (1969), Molina et al, 2013; entre otros).

A fin de poder detectar un eco en la señal recepcionada será necesario correlacionarla con un código patrón, producido por un generador local en el equipo o un código fijo almacenado en el mismo.

Este procedimiento se conoce en la técnica de radio señales como “spread-spectrum”(SS) o esparcimiento de frecuencia para mejorar la resolución de rango transmitiendo bajos niveles de potencia. Esto significa que se puede lograr igual ancho de banda que en la técnica de detección por envolvente (Barry, 1971; Poole, 1985; Reinisch, 2000; Bianchi and Altadill, 2005; entre otros). Así esta técnica permite alta resolución de rango mediante la transmisión de señales moduladas de gran longitud. Se generan ondas de radio de larga duración, las que se transmiten como portadoras codificadas y la señal recibida (recepcionada) se procesa mediante algoritmos numéricos, tales como la correlación de señales y cálculo de un umbral, para poder realizar la detección del eco (Rastogi, 1990; Mohamed, 1991; entre otros).

El objetivo subyacente es encontrar el pulso codificado mas largo posible, siempre que los lóbulos laterales del espectro de las señales correlacionadas sean lo mas chicos posibles. Por lo tanto, la elección de un esquema de codificación adecuado es crucial.

3 ESQUEMAS DE CODIFICACION

Existen dos tipos de códigos, bifásicos y polifásicos. Los primeros, también llamados binarios, se basan en la modulación de una portadora usando dos fases discretas (0° y 180°). Los códigos polifásicos usan pequeños incrementos de fase para codificar la portadora. Los códigos bifásicos son los más usados en sistemas de radares, por ser más robustos respecto a la SNR (Tamashi, 1996).

Entre los códigos que se propusieron y probaron para diferentes aplicaciones de radares se encuentran, código Barker (Barker, 1953), Secuencias Huffman, Códigos de Convolución, M-codes, Secuencias complementarias de Golay o código complementario (Golay, 1961), entre otros.

En general, en el diseño de radares de alta atmosfera, el criterio para obtener un eco definido a partir de una señal inmersa en ruido, es usar códigos que posean una función de autocorrelación con un lóbulo (máximo relativo) principal bien definido y con lóbulos laterales mínimos. Sultzer y Woodman (1984) mostraron que, la energía presente en los lóbulos laterales de las correlaciones deben ser 20% o menos que la del lóbulo principal.

En la mayoría de los diseños de sondadores digitales modernos los esquemas de codificación más utilizados son el esquema de codificación Barker y de Código Complementario. Estos dos tipos de codificación se analizaran en este trabajo.

3.1 Código Barker

El código Barker es un código binario (código bifásico) con la propiedad de que el pico (lóbulo principal) de su función de autocorrelación es igual a la longitud del código. Además, los lóbulos laterales tienen una estructura tal que, en teoría, poseen la mínima energía posible distribuída uniformemente entre estos lóbulos. Por este motivo, muchas veces, el código Barker es denominado como código perfecto.

Si la longitud del código es N, y el pico de su función de autocorrelación es este valor, los lóbulos laterales poseen un valor unitario.

La Fig. 1 muestra la gráfica de la función de correlación para el código Barker donde se puede observar la diferencia entre los valores de los lóbulos laterales y el lóbulo principal.

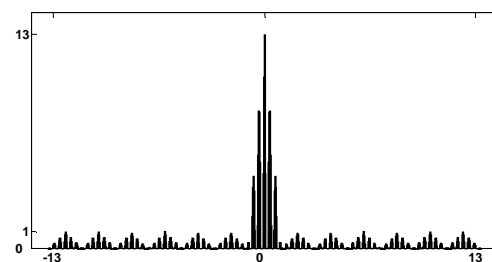


Figura 1. Función de autocorrelación de un código Barker de longitud de 13 bits.

Las únicas secuencias de código Barker conocidas en la actualidad pueden ser de longitudes de 2, 3, 4, 5, 7, 11 y 13 bits. Como se mencionó anteriormente, el objetivo de utilizar la técnica de compresión de pulso es alcanzar un gran rango de resolución usando un pulso de larga duración. Como el código Barker de mayor longitud es 13, las ondas moduladas con éste no lograrían aprovechar completamente las ventajas de la compresión de pulso (Nathanson and Reilly, 1991).

Una solución, en primera instancia, sería encontrar un esquema de codificación con una longitud de mayor número de bits.

3.2 Código Complementario

Una manera de subsanar las limitaciones del código Barker es la de usar otra técnica de

codificación binaria. El código complementario introducido por Golay en 1961, permite trabajar con secuencias largas y mantener la ventaja de reducir los lóbulos laterales de su función de autocorrelación. Sin embargo, esta técnica de codificación sólo se puede aplicar a blancos de gran tamaño, cuya velocidad de movimiento no sea alta en el período de tiempo que demora la emisión y recepción de los pulsos. Esto significa que, es un método apropiado para aplicaciones de radares ionosféricos

Un código complementario binario es un subconjunto de una clase más general de códigos, conocida como códigos complementarios polifásicos.

Un par de secuencias de código complementario consiste en dos secuencias de igual longitud finita C_0 y C_1 que se pueden representar como,

$$C_0 = \{c_0, c_1, \dots, c_N\}$$

$$C_1 = \{c'_0, c'_1, \dots, c'_N\}$$

tal que $c_i, c'_i \in \{1, -1\}$ $i = 1, 2, \dots, N$, donde N es el número de elementos de cada secuencia y determina la longitud del código (Ghebrebrhan, 2004). Estos pares de códigos complementarios tienen la importante propiedad que la suma de las funciones de autocorrelación de cada secuencia del par es cero para todos los desplazamientos, excepto para el desplazamiento cero, donde valen $2N$ (Figura 5.2) (Golay 1961).

Una observación importante es que esta definición no especifica la longitud que debe tener el código. Se puede demostrar que aquellas secuencias de códigos complementarios, cuya longitud se pueda expresar como potencias de 2, ($N=4, 8, 16, 32, \dots$) elegida apropiadamente son secuencias óptimas de código complementario. (Ghebrebrhan et. al, 2004).

En las Fig. 2-4 se grafican las funciones de autocorrelación correspondientes a dos secuencias complementarias de 16 bits, donde se puede observar la propiedad mencionada anteriormente respecto a los lóbulos laterales.

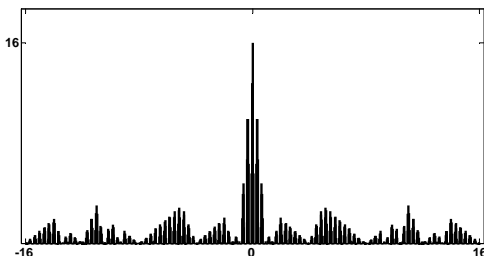


Figura 2. Función de autocorrelación de la primera secuencia de un código complementario de longitud 16

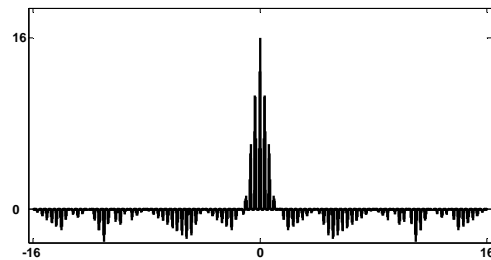


Figura 3. Función de autocorrelación de la segunda secuencia de un código complementario de longitud 16.

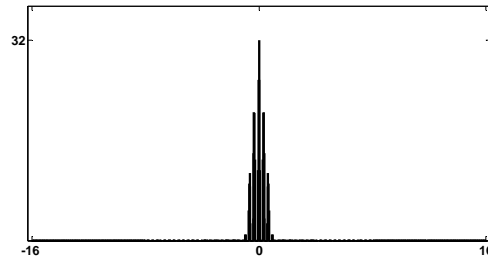


Figura 4. Suma de las funciones de autocorrelación de ambas secuencias.

Cabe destacar que esta propiedad de autocorrelación se mantiene en un ambiente ideal, sin ruido, interferencia o atenuación de la señal. En un ambiente real, otras consideraciones se deben tener en cuenta y técnicas adicionales se aplican para aprovechar las ventajas de la codificación.

Las secuencias C_0 y C_1 , son usadas para codificar dos pulsos consecutivos. La transmisión de estos pulsos se realiza de manera alternada, enviando primero un bit (también denominado chip) correspondiente a la primera secuencia y a continuación uno de la segunda secuencia. Este proceso se repite hasta que se envían los dos pulsos completos (compuestos de 16 bits cada uno). La diferencia de tiempo entre los chips de las dos secuencias se denomina distancia interpulso.

En la Fig. 5 se esquematiza el proceso de transmisión de los 3 chips iniciales de un pulso codificado con código complementario.

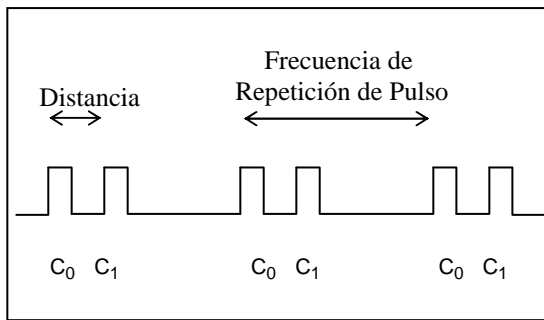


Figura 5. Esquema de la transmisión de un par de secuencias complementarias de longitud 3

La frecuencia de repetición de pulso equivale al intervalo de tiempo entre la emisión de un chip de una secuencia y el próximo chip de ésta. Es necesario controlar esto pues un eco debe ser recibido antes de que se emita el segundo pulso, de lo contrario se produce la conocida “ambigüedad de rango”. La longitud del pulso (chip) debe ser tal que la denominada “distancia ciega” del radar (por debajo de esta distancia el radar no es capaz de detectar) se encuentre dentro de las necesidades de diseño del mismo (Skolnik, 1990; entre otros).

4 CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron dos de los esquemas de codificación más utilizados en la tecnología radar HF. Se puede observar que la elección más acertada es la de utilizar códigos de mayor longitud y que además al momento de realizar la correlación permitan distinguir inequívocamente la presencia del blanco (lóbulos laterales de las funciones de autocorrelación mínimos). Existe un compromiso entre la longitud del código y la “distancia ciega”, y el alcance máximo del radar (Curry, 2005). El esquema de codificación seleccionado es el denominado de código complementario que permite obtener estas dos cualidades.

En la actualidad no solo los radares de alta atmósfera utilizan estos esquemas de codificación, sino que hay una gran variedad de radares como radares para detección de meteoritos, entre otros.

Otros tipos de radares, como los utilizados en defensa, utilizan codificación Barker debido a la robustez y velocidad de este esquema, pues es necesario sólo correlacionar un solo código (Barton and Leonov, 1990).

Es preciso aclarar que si bien la codificación de portadoras en un radar pulsado es una de las técnicas para obtener la detección efectiva del blanco, esta deberá ser complementada con técnicas como la integración coherente de pulsos,

estimación de umbral o umbrales, etc. La secuencia de etapas y técnicas aplicadas varían respecto a las características del blanco y del diseño del radar.

Los resultados preliminares obtenidos serán utilizados junto con el estudio de técnicas complementarias para la detección automática de ecos, como parte del diseño de un equipo sonador.

5 REFERENCIAS

- Barry, G. H., A low vertical incidence ionosonda, *IEEE Trans. Geosci. Electron.* GE-9(2), pp. 86-89, 1971
- Barker, R. H., Group Synchronizing of Binary Digital Sequences, *Communication Theory*, London: Butterworth, pp. 273-287, 1953.
- Barton, D. K. and Leonov, S. A., Radar Technology Encyclopedia, *Artech House*, 1997.
- Bianchi Cesidio and David Altdill, Ionospheric Doppler measurements by means of HF-radar techniques, *Annals Geophysics*, V48, N°6, pp. 989-993, 2005.
- Curry, G. Richard Radar System Performance Modeling, 2nd. Edit., Ed. *Artech House*, Norwood, MA., 2005.
- Ghebrebrhan, Ogubazghi; Luce Hubert; M. Yamamoto and S. Fukao, Interference suppression factor characteristics of complementary codes for ST/SMT radar applications, *Radio Science*, V39, RS3013, 2004.
- Golay, M.J.E., Complementary series, *IRE Trans. Inf.Theory*, V7, pp 82-87, 1961.
- Mohamed, Nasser J., Resolution Function of Nonsinusoidal Radar Signals: II – Range – Velocity Resolution with Pulse Compression Techniques, *IEEE Transactions Electromagnetic Compatibility*, V33, N°1, 1991.
- María G. Molina, M.A. Cabrera, R.G. Ezquer, P.M. Fernandez, E. Zuccheretti, Digital signal processing and numerical analysis for radar in geophysical applications, *Advances in Space Research*, V51, Issue 10, 15 May 2013, pp 1870–1877, 2013.
- Nathanson F.E, Reilly J.P., Design Principle. Signal Processing and the Environment, 2° Edic., *Mc Graw Hill*, 1991.
- Poole, A. W. V., Advanced Sounding, The FMCW alternative, *Radio Science*, V.20, pp 1609-1616, 1985.

Rastogi, P. K., and G. Sobolewki; New quasi-complementary code sets for atmospheric radar applications, *Radio Science*, V25, N°5, pp 1087-1094, 1990.

Reinisch, B. W., Radio Sounding of Geospace Plasmas, *Física de la Tierra*, pp. 105-126, 2000.

Rishbeth, H., and O. K. Garriot Introduction to Ionospheric Physics, *Academic Press, England*, 1969.

Skolnik, M. I., Introduction to radar systems, *Mc. Graw-Hill*, Tokyo, 1980.

Sultzer, M, P., and R. F. Woodman, Quasi-complementary codes: A new technique for radar sounding, *Radio Science*, 19, pp 337-344, 1984.

Tamashi, W.; Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, *2ds Ed., Prentice Hall*, Mx, 1996.