

PRÁCTICA DE LABORATORIO

SISTEMAS SPREAD SPECTRUM EN SECUENCIA DIRECTA

Objetivo

Estudiar y comprender el principio de funcionamiento de la tecnología de espectro expandido en secuencia directa BPSK, utilizadas en los actuales sistemas de comunicaciones, haciendo énfasis en las transformaciones que sufre la señal a lo largo del proceso.

Introducción

La mayoría de las técnicas empleadas en los sistemas de comunicación digital se han desarrollado sobre la base de la optimización del ancho de banda del canal de comunicación disponible y la transmisión con la menor potencia posible, tomando en cuenta las exigencias de calidad para determinado servicio.

Es ahora, cuando son consideradas otras características de calidad como la inmunidad frente a interferencia y confidencialidad de las comunicaciones en el mundo comercial a través del uso de las técnicas de modulación de espectro expandido (Spread Spectrum).

En alguna ocasión, la tecnología de "Spread Spectrum" llegó a ser de uso exclusivo para proyectos militares, para asegurar comunicaciones confiables inmunes a la interferencia premeditada de las señales de radio así como a otros tipos de interferencia. Debido a la complejidad de la tecnología de "Spread Spectrum" en aquel tiempo era muy inaccesible utilizarla para aplicaciones comerciales.

Sin embargo, a finales de los 80's, la integración a gran escala de circuitos digitales permitió colocar el costo de la tecnología de "Spread Spectrum" en un nivel realista para desarrollar aplicaciones comerciales. Al mismo tiempo la FCC en los Estados Unidos autorizó la transmisión de señales de "Spread Spectrum" en la banda de 902-928 Mhz sin licencia o permiso.

En la modulación de espectro expandido la señal ocupa un ancho de banda mayor que el mínimo requerido para que los datos sean transmitidos. El ensanchamiento de la señal transmitida se logra con una modulación en la cual se utiliza una señal de frecuencia mucho mayor que la tasa de bits de los datos, llamada *spreading signal*.

Cuando esta modulación se realiza en la modalidad de saltos de frecuencia la *spreading signal* es tal que su frecuencia cambia periódicamente; un código binario pseudoaleatorio controla la secuencia de frecuencias de la portadora. En la modalidad de secuencia directa este código pseudoaleatorio se utiliza como *spreading signal*.

En la recepción se utiliza una réplica de la *spreading signal* empleada en la transmisión para demodular la señal de datos deseada.

La mayor ventaja de la modulación de espectro expandido es la alta inmunidad frente a interferencia casuales, que ocurren cuando existen varios usuarios compartiendo el mismo

canal, y frente a interferencias intencionales por parte de alguien que desea bloquear una comunicación.

Sistemas Spread Spectrum en Secuencia Directa (DSSS)

Los sistemas DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) son los que tienen una velocidad de transmisión de datos mas alta. Distribuyen la banda de frecuencias en canales muy anchos, por lo que algunos de ellos afectan al conjunto del espectro de transmisión disponible con un solo canal. Una señal interferente situada en la banda del canal, afecta por completo a la transmisión y puede producir la perdida de toda la información.

Los sistemas DDSS multicanal utilizan hasta tres canales, intercambiables en el caso de interferencias.

En DDSS se envía varias veces la información codificada, para compensar las eventuales perturbaciones, con el inconveniente de alargar la transmisión del mensaje, a expensas de la velocidad. Además, por la dispersión de la potencia, el riesgo de interferencia con señales de nivel bajo persiste.

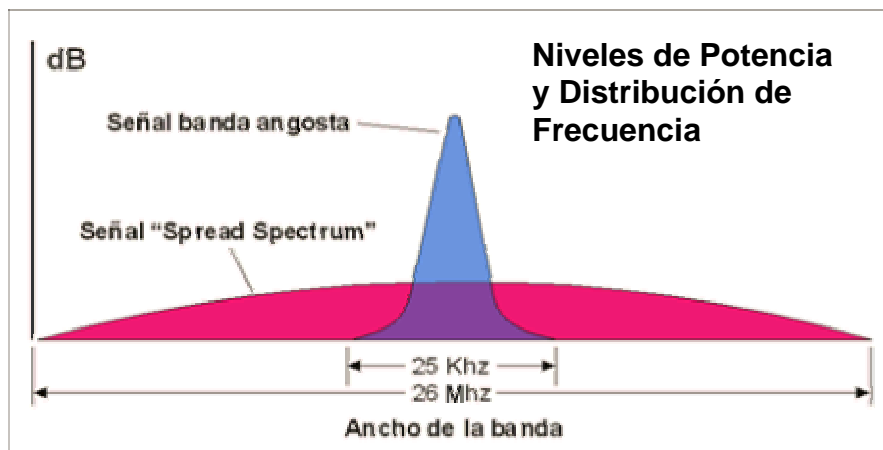


Figura N°1: Ejemplo de señal banda angosta y esparcida en espectro

Debido a que la señal se esparce sobre una banda muy ancha, la potencia promedio de señal en cualquier frecuencia, es muy baja. Entre otros, ésta señal ofrece 7 ventajas principales, sobre otros Sistemas convencionales:

- **Alta inmunidad a interferencia de señales de radio de sistemas convencionales de banda angosta.** Un ejemplo de esto es la interferencia del encendido de un vehículo tal como se escucha en la radio y/o ruido natural como la estática de la atmósfera. Esta interferencia puede causar problemas con las señales de banda angosta.
- **Anti-interferencias tanto de carácter casual como intencionales,** producidas con el propósito de bloquear el sistema, debido al ensanchamiento del espectro.

- **Alta inmunidad frente a la interferencia de señales de multitrayecto.**
- **Privacidad de comunicaciones.**
- **Produce muy poca interferencia a otros usuarios en la misma banda de frecuencia.** Debido a esto, se asegura a largo plazo la operación de este tipo de sistemas bajo las reglas de la FCC.
- **Modulación "Spread Spectrum" ofrece una mayor velocidad de transmisión de datos que los sistemas de banda angosta.**
- **Posibilidad de acceso múltiple por división de código (CDMA),** con lo cual es posible tener varios usuarios cursando comunicaciones independientes en el mismo canal.

Un método de expansión del espectro de una señal modulada por una señal de datos, es modularla por segunda vez usando una *spreading signal*. La modulación es usualmente una forma de modulación digital en fase, aunque la modulación analógica en amplitud y fase son conceptualmente posibles.

La *spreading signal* se escoge de tal manera que el receptor sólo puede obtener la señal de datos si conoce esta señal, con lo cual, se hace difícil la interceptación no autorizada de la señal. Además la señal de código que está modulada por la información y la réplica presente en el receptor deben estar sincronizadas para lograr la recuperación de la información.

Un sistema básico de modulación de espectro expandido puede realizarse mediante el empleo de un modulador de secuencia directa (DS), el cual podría implementarse con un modulador BPSK en el que la fase de la señal portadora (*spreading signal*) varía en concordancia con la señal de datos a transmitir. La modulación BPSK resulta ideal debido a que los cambios instantáneos de la portadora modulada por la señal de datos, de 180 grados, pueden ser matemáticamente representados como una multiplicación de **la portadora C(t)** por una función moduladora.

Considerando una señal modulada en fase por una señal de datos con una potencia P, una frecuencia angular ω_0 . Definida por:

$$S_d(t) = \sqrt{2P} \cos[\omega_0 t + \theta_d(t)] \quad (1)$$

Esta señal ocupa típicamente un ancho de banda entre la mitad y el doble de la tasa de datos, dependiendo de los detalles de la modulación en fase. La modulación BPSK se consume con el producto de $S_d(t)$ por la señal C(t) portadora.

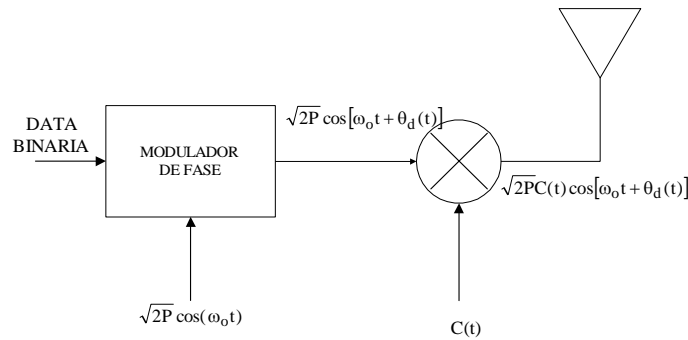


Figura N°2: Transmisor *Spread Spectrum* de Secuencia Directa BPSK.

La señal transmitida es:

$$S_T(t) = \sqrt{2PC(t)} \cos[\omega_0 t + \theta_d(t)] \quad (2)$$

Esta señal al ser transmitida tendrá un retardo de T_d . La señal es recibida junto con algún tipo de interferencia y/o ruido Gaussiano. La demodulación está compuesta por la modulación con la *spreading signal* apropiada, retardada como se muestra en la Figura N°3. Esta modulación o correlación de la señal recibida con la forma de onda expandida es una función crítica en todo sistema *Spread Spectrum*.

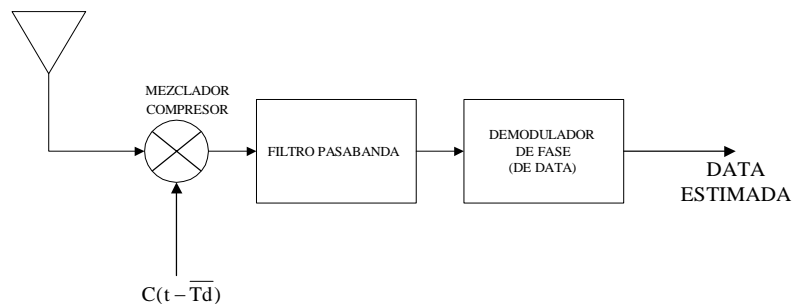


Figura N°3: Receptor *Spread Spectrum* de Secuencia Directa BPSK.

La señal componente de la salida del mezclador es:

$$\sqrt{2PC(t - Td)} C(t - \overline{Td}) \cos[\omega_0 t + \theta_d(t - \overline{Td} + \phi)] \quad (3)$$

Donde \overline{Td} es el mejor valor estimado por el receptor del retardo de transmisión. Si $C(t) = \pm 1$, el producto $C(t - \overline{Td}) C(t - Td)$ será la unidad si $Td = \overline{Td}$, lo que significa que el código expandido (*spreading code*) del receptor está sincronizado con el código expandido del transmisor. Cuando estas señales están sincronizadas se obtendrá a la salida del mezclador una señal igual a $S_d(t)$ (excepto por una fase aleatoria ϕ), que se puede demodular usando un demodulador convencional coherente.

La modulación de la información no tiene que ser BPSK, sin embargo es común usar el mismo tipo de modulación de fase digital en los dos casos.

La Figura N°4 ilustra la expansión en secuencia directa cuando la modulación de datos y la modulación de expansión son BPSK. En este caso la modulación de la portadora por los datos está representada por un producto de la portadora por $d(t)$, donde $d(t)$ toma valores de ± 1 .

Así,

$$S_d(t) = \sqrt{2P}d(t) \cos[\omega_0 t] \quad (4)$$

$$S_i(t) = \sqrt{2P}d(t)C(t) \cos[\omega_0 t] \quad (5)$$

Los datos y el *spreading code* se ilustran en 4.a y 4.b; $S_d(t)$ y $S_T(t)$ en 4.c y 4.d. La Figura 4.e representa una *spreading code* incorrectamente en fase y 4.f, representa la salida del mezclador y no es equivalente a $S_d(t)$, en este caso el receptor no está sincronizado con el transmisor. La Figura 4.g muestra la salida del mezclador cuando el *spreading code* está correctamente en fase, y la señal es equivalente a $S_d(t)$.

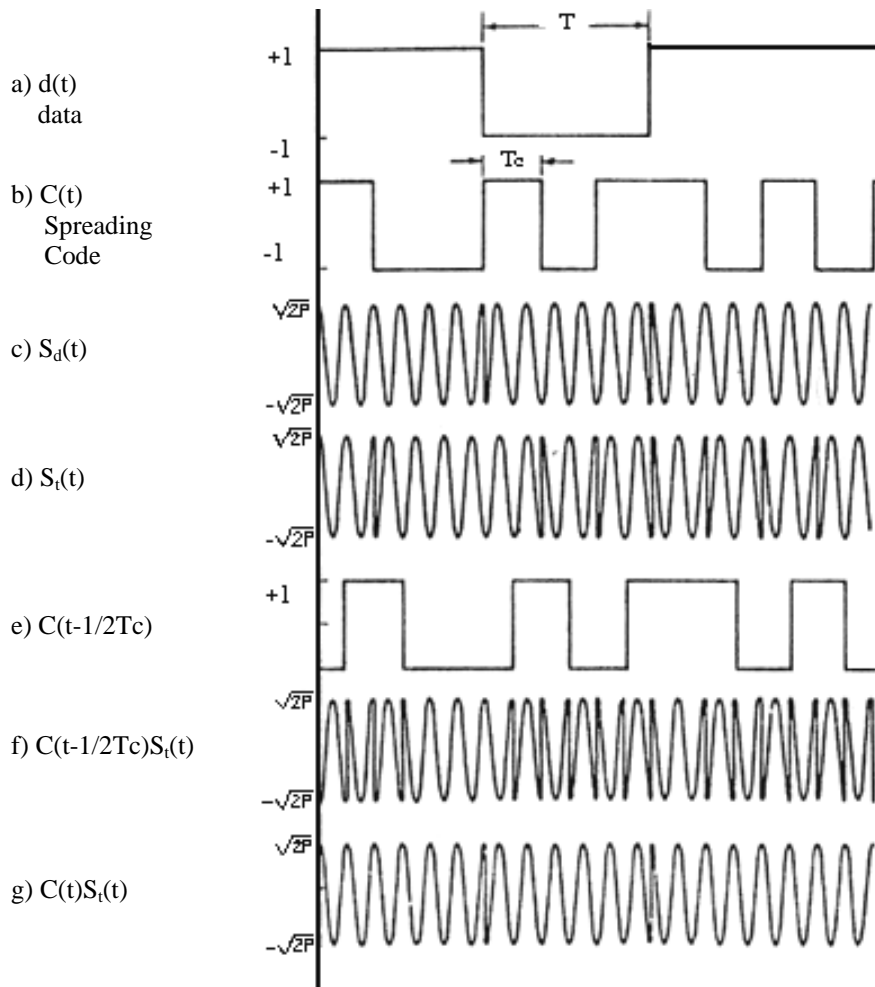


Figura N°4: Modulación y Demodulación en Spread Spectrum de Secuencia Directa

Las técnicas *Spread Spectrum* pueden ser usadas para solucionar un amplio rango de problemas de comunicación. La cantidad de mejoras de funcionamiento que se logra a través de esta técnica se definen como ganancia de procesamiento del sistema.

La ganancia de procesamiento es la diferencia entre el funcionamiento del sistema usando técnicas *Spread Spectrum* y el funcionamiento del sistema que no usa esta técnica. Una aproximación usada frecuentemente para la ganancia de procesamiento es la proporción del ancho de banda expandido y la tasa de bits de información.

Función de Autocorrelación

La función de autocorrelación $R_x(t)$ de la señal periódica $X(t)$, con periodo T_0 , está definida por la ecuación que se da a continuación:

$$R_x(\tau) = \frac{1}{KT_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} X(T)X(T - \tau)dt \quad -\infty < \tau < \infty \quad (6)$$

donde:

$$K = \frac{1}{T_0} \int_{-T_0/2}^{T_0/2} X^2(T) dt \quad (7)$$

Cuando $X(t)$ es una señal que representa a un código PN, donde cada pulso básico del código PN es conocido como símbolo código chip. La función de autocorrelación puede ser expresada como:

$$R_x(1) = \frac{1}{p} A \quad (8)$$

donde p es el n° de chips y A es igual al número de elementos de igualdad menos el número de desigualdad de elementos, en la comparación de dos secuencias desplazadas, a veces una con respecto a la otra.

La función de autocorrelación normalizada, para una secuencia de máxima longitud $R_x(J)$, es mostrada en la Figura N°2.

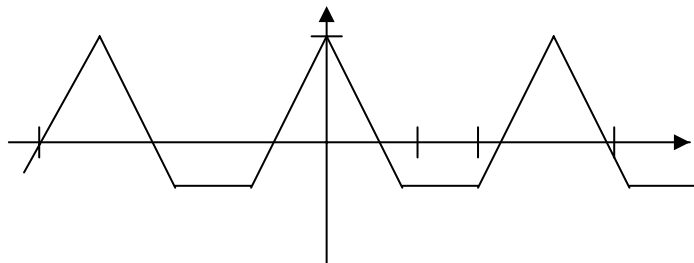


Figura N°7: Función de autocorrelación normalizada para una Secuencia-M.

Es evidente que para $t = 0$, es decir cuando $x(t)$ y su réplica, están perfectamente en fase (cero desplazamiento), $R_x(J) = 1$, sin embargo para un desplazamiento cíclico entre $x(t)$ y $x(t + J)$, con $1, J$ y p ; la función de autocorrelación es igual a $-1/p$. Por ejemplo, si se tiene la secuencia:

$$X(t) = 000100110101111$$

$$X(t + J) = 100010011010111, \quad \text{para } J = 1$$

Entonces la autocorrelación será:

$$R(J=1) = 1/15(7-8) = -1/15$$

Códigos Pseudoaleatorios

Los sistemas Spread Spectrum, además de ser prácticamente inmunes a las interferencias tanto de carácter intencional como casual (entre ellas las interferencias debido a multitrayecto), pueden ser utilizados en sistemas de múltiple acceso por división de código (CDMA).

Una señal de espectro expandido es generada usando una señal pseudoaleatoria denominada secuencia PN, ésta varía según el tipo de modalidad de spread spectrum utilizado. Para spread spectrum en secuencia directa ésta coincide con un código

pseudoaleatorio o spreading code. En el caso de spread spectrum en saltos de frecuencia varía conforme al código pseudoaleatorio utilizado.

Una señal PN es una función del dominio del tiempo generada determinísticamente, que cumple con ciertas propiedades matemáticas interesantes que facilitan las funciones de ensanchamiento del espectro de la señal de información y detección por un receptor autorizado, dificultando a su vez la interceptación de la misma por parte de un receptor no autorizado ya que la señal transmitida queda enmascarada dando la impresión de ser ruido.

La función de autocorrelación debería parecerse, tanto como sea posible a la función de autocorrelación del ruido blanco Gaussiano, por esto puede llamarse secuencia PN o pseudoaleatoria.

Todos los códigos utilizados son secuencias periódicas de unos y ceros de período N. Un código está compuesto por la división de un bit en pequeños intervalos llamados *chips* a los que se le asignan términos binarios como + ó -, 0° ó 180°, 1 ó 0, etc.

Existen diversos tipos de secuencias PN, pero la más importante es la secuencia de máxima longitud o Secuencia M, la cual, posee un valor de autocorrelación que es muy beneficioso para las funciones que debe desempeñar un sistema *spread spectrum*, entre otras características. La Secuencia M se puede obtener usando registros de desplazamiento realimentados adecuadamente, asociados a una lógica digital conformada por compuertas XOR.

Una secuencia lineal de registro de desplazamiento es definida por:

$$g(x) = g_m x^m + g_{m-1} x^{m-1} + \dots + g_1 x + g_0 \quad (9)$$

en dicha expresión se obtiene secuencias binarias y haciendo $g_m = g_0 = 1$ y fijando $g(x)=0$, tenemos la recurrencia:

$$x^m = g_{m-1} x^{m-1} + g_{m-2} x^{m-2} \dots + g_1 x + 1 \quad (10)$$

dado que $-1 = 1$ (módulo 2), x representa el retardo de k unidades de tiempo, para un registro de desplazamiento de m etapas, la máxima secuencia obtenida es $2^m - 1$. Los polinomios generadores de estas secuencias de máxima longitud son llamados *polinomios primitivos*.

Actualmente estos polinomios primitivos son conocidos y se encuentran agrupados en tablas (Ver tabla N°1 como ejemplo). En dichas tablas están especificados todos los polinomios mediante un número octal que define los coeficientes del mismo si es convertido a binario, donde el bit menos significativo corresponde al valor de g_0 y el más significativo corresponde a g_m . Por ejemplo si escogemos un polinomio de grado cuatro en la tabla se le asigna el número octal 23. entonces este número en el campo binario se representa como:

0 1 0 0 1 1 Entonces la secuencia a generar dependerá de : $g(x) = 1 + x + x^4$.

Grado	Representación octal del polinomio
2	7
3	13
4	23

5	45,75,67
6	103,147,105
7	211,217,235,367,277,325,203,313,345
8	435,551,747,453,545,537,703,543
9	1021,1131,1461,1423,1055,1167,1541,1333, 1605,1751,1743,1617,1553,1157

Fuente: Peterson and Weldon. Error-Correcting Codes. (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1.972). Apéndice C.

Tabla 1. Tabla de polinomios primitivos. Grados 2- 9.

La implementación de un generador PN puede realizarse mediante el empleo de registros de desplazamiento asociados a una lógica combinacional tal como se muestra en la Figura N°5.

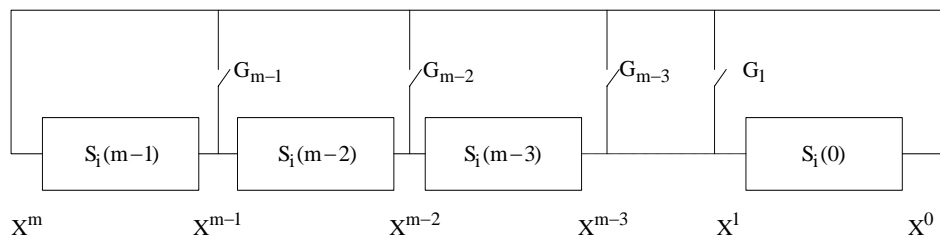


Figura N°5: Generador de Código Pseudoaleatorio.

Generalmente las buenas propiedades de autocorrelación indican un alto grado de aleatoriedad de las secuencias, pero los códigos aleatorios presentan pésimas propiedades de crosscorrelación debido a esto se utilizan códigos producto de combinaciones de secuencias pseudoaleatorias en los sistemas de múltiple acceso.

Propiedades de la Secuencias de Máxima Longitud

- El desplazamiento cíclico de una secuencia PN es también una secuencia PN.
- Una secuencia de máxima longitud, satisface la recurrencia:

$$C_{i+m} = g_{m-1}C_{i+m-1} + g_{m-2}C_{i+m-2} \dots + g_1C_{i+1} + C_1 \quad (11)$$

- Si una ventana de ancho no es desplazada a lo largo de una secuencia de registros de un estado, cada una de las m duplas binarias que se generan es vista una sola vez.
- En cualquier secuencia m se tiene:
 2^{m-1} unos y $2^{m-1}-1$ ceros.
- La suma binaria de una secuencia-M es también otra secuencia-M.
- La suma de una secuencia-M con el desplazamiento cíclico de la misma es otra secuencia-M.

- Un run es una secuencia consecutiva de unos y ceros. En una secuencia-M la mitad de los runs tiene longitud uno, un cuarto tiene longitud dos, un octavo tiene longitud tres y así sucesivamente. El total de runs de una secuencia-M es $(N+1)/2$ donde $N=2^m-1$.

Recepción

Si interceptamos una señal de banda esparcida sin conocer la secuencia exacta del código, al intentar demodularla simplemente se obtendrá una señal de ruido aleatoria y estaremos incapacitados para reconocer la información que se transmite. Así que la réplica en el receptor no está correlacionada o tiene un mínimo de correlación con el código usado en la transmisión, por lo tanto, el espectro no se concentrará.

Existen varias configuraciones básicas en la recepción de una señal de banda ancha entre estas se conocen las siguientes:

- Sistema de transmisión de referencia, donde la recepción del código pseudoaleatorio se realiza mediante la transmisión de dos versiones del mismo; una *spreading signal* modulada por los datos y otra sin modular. Ambas se recuperan por separado, espaciadas en frecuencia y son las entradas al detector de correlación que extrae los datos.
- Sistemas de referencia almacenada, requieren la generación del código en el transmisor y en el receptor. Las señales deben ser idénticas en sus características esenciales.
- Sistemas de filtrado que generan una señal de banda ancha por medio de un filtro adaptado (*matched filter*) que tiene una longitud, ancho de banda y respuesta impulsiva controlados pseudoaleatoriamente. La detección de la señal en el receptor está acompañada por un filtro adaptado con idéntico comportamiento pseudoaleatorio donde se realiza el correspondiente cálculo de correlación.

Acceso Múltiple por División de Código (CDMA)

El acceso múltiple por división de código es una técnica de multiplexión, que permite que varias señales de RF ocupen el mismo ancho de banda en forma simultánea, sin percibirse interferencias entre ellos. En un sistema con N usuarios empleando modulación DS-SS cada canal se forma con el uso de un código PN. Los códigos del sistema son ortogonales por lo tanto la correlación cruzada de dos códigos diferentes es aproximadamente cero, esto facilita la recuperación de la señal deseada en un receptor al cual llegan múltiples señales provenientes de diferentes transmisores, una baja correlación cruzada también permite minimizar el efecto de diafonía que se presenta en la multiplexación de señales.

Módem Spread Spectrum en Secuencia Directa

El módem *Spread Spectrum* en secuencia directa BPSK está compuesto por dos módulos docentes electrónicos identificados como transmisor y receptor.

Utilizan como canal de comunicación un hilo de cobre debido a la baja frecuencia de transmisión, además se transmiten de una tarjeta a otra algunas señales necesarias para el sincronismo del sistema, tales como el reloj utilizado para el convertidor, el reloj del generador de código PN, la señal senoidal usada como portadora y la tierra del sistema.

Ambas tarjetas están diseñadas para trabajar con niveles de tensión de $+12 V_{DC}$, $5 V_{DC}$ y $-12 V_{DC}$. *La señal analógica de entrada debe estar comprendida entre 0 y 5 Vpp, y debe poseer una frecuencia menor a 160 Hz aproximadamente.*

Un bloque de funcionamiento de gran importancia en los sistemas *Spread Spectrum* lo constituye el generador de códigos PN. El circuito está constituido por cuatro flip/flops tipo D, debido a que fue diseñado a partir de un polinomio generador de cuarto grado.

La longitud del código PN determina la ganancia de procesamiento del sistema, por lo cual la señal se hace más inmune a las interferencias intencionales o casuales a medida de que el código es más largo (mayor número de chips por bits de datos). Modulando una señal con un código de gran longitud logramos minimizar la probabilidad de interceptación ilícita de la misma, por esto los sistemas comerciales están diseñados en base a polinomios de grados mucho mayores que el empleado en este módem .

En la tarjeta transmisora este circuito posee un juego de switches que permiten cambiar el código pseudoaleatorio a utilizar, cada combinación produce un código de diferente longitud. *La combinación SW1 = ON, SW2 =ON y SW3 = OFF produce una secuencia de máxima longitud que es la utilizada en la modulación y posee 15 chips por cada ciclo.*

Esta misma secuencia se produce en el generador de código del receptor, cuando la señal se modula con un código producido por una combinación de switches diferente a la indicada, la señal de datos no podrá ser recuperada en el receptor, sólo se observará una señal de pseudoruido.

En el caso en que se utilice el código correcto, el circuito de detección enviará un pulso a la entrada PRESET del generador de código PN para que se sincronice con el del transmisor obteniendo a la salida del receptor la señal de datos deseada.

Conclusiones

Si interceptamos una señal de spread spectrum sin conocer la spreading signal al demodularla simplemente se obtendrá una señal de ruido pseudoaleatoria y estaremos incapacitados de reconocer la información que se transmite, así que la réplica en el receptor no está correlacionada o tiene un mínimo de correlación con el código utilizado en el transmisor, por lo tanto el espectro no se concentrará. Por el contrario si se conoce la secuencia exacta del código y el sistema está sincronizado, se obtiene el máximo de correlación y la señal de

información puede ser recuperada en el receptor. Esto se traduce en que la señal spread spectrum sólo puede ser demodulada por un receptor autorizado, el cual conoce el código utilizado por el transmisor y puede generar una réplica exacta y en fase con ésta; por eso estos sistemas garantizan la seguridad en las comunicaciones ya que la información está prácticamente encriptada.

Otra de las ventajas de los sistemas SS es la de la inmunidad a interferencias intencionales o casuales, tales como la multitrayectoria de la misma señal o las señales correspondientes a otros usuarios dentro del mismo sistema CDMA; esta también depende del código PN utilizado debido a que es el encargado de expandir la potencia espectral de la señal en un ancho de banda más grande que depende directamente del número de chip que conforman la secuencia.

Así podemos concluir que el código PN usado en la modulación independientemente de la modalidad de SS que se utilice es el responsable directo de la ganancia de funcionamiento de estos sistemas.

Es por esto que para seleccionarlo hay que tomar en cuenta las características de la autocorrelación, ya que mientras mejores sean éstas, la sincronización inicial en el proceso de recuperación será más fácil y se minimizarán las interferencias de multitrayecto. Además si se requiere un sistema de múltiple acceso los diferentes códigos PN utilizados deben tener también buenas propiedades de crosscorrelación, ya que mientras ésta sea menor habrán menos interferencias entre señales de diferentes usuarios pudiendo así aumentar el número de canales aumentando el número de códigos. Pero debido a que una misma señal no puede tener ambas correlaciones con los valores deseados, se suelen generar códigos PN a partir de combinaciones de Secuencias $-M$ y lograr así familias de códigos que posean características favorables con respecto a las correlaciones.

Trabajo Práctico de Laboratorio

Equipo necesario

Tarjeta de Inserción Módem Spread Spectrum (**Tx**) en Secuencia Directa

Tarjeta de Inserción Módem Spread Spectrum (**Rx**) en Secuencia Directa

Osciloscopio digital de cuatro canales

Fuentes Master Builder SS300 de Science Instruments Co.

Puntas de prueba para osciloscopio

Generador de señales

Papel milimetrado

Módem Spread Spectrum en Secuencia Directa

Transmisor

Procedimiento:

- a) Ajuste la tensión de la fuente de alimentación a ± 12 V.
- b) Inyecte una señal DC (ajustable) a la entrada de la tarjeta transmisora y determine el rango del convertidor A/D observando la señal en el punto TP6 (canal 1 del osciloscopio) y en punto TP1 su correspondencia digital (al canal 2).
- c) Inyecte una señal senoidal con frecuencia de 150Hz y componente DC que se ajuste al rango del convertidor A/D obtenido en el punto anterior. Esta señal quedará conectada permanentemente durante el desarrollo de la práctica.
- d) Observe la salida del generador de código pseudoaleatorio. (Punto TP2). Coloque un barrido de $20 \mu\text{s}/\text{div}$ en el osciloscopio. Variando la combinación de los interruptores del generador (SW1, SW2 y SW3) identifique todas las secuencias de código PN realice el diagrama de tiempo en cada caso e identifique la secuencia de máxima longitud y diga para que combinación de los interruptores se sucede ésta. Verifique la correspondencia del período del reloj B (TP9) con la duración del chip y calcule la ganancia de procesamiento (la ganancia de procesamiento G_p es: **$G_p = N^\circ \text{chips} / N^\circ \text{bits}$**).
- e) Seleccione en los interruptores del generador SW1, SW2 y SW3 el código de máxima longitud.
- f) Conecte al canal 1 la señal en TP5 que corresponde a la señal de datos multiplicada digitalmente por el código PN. Conecte al canal 2 el código PN y sincronice con el mismo. Coloque en la opción "display" del osciloscopio la función "vector" en on, con time/division en $10 \mu\text{s}$ y trigger en modo single. Dimensione las señales y explique.
- g) Conecte al canal 1 del osciloscopio la señal de datos multiplicada digitalmente por el código PN (TP5). Al canal 2 conecte el punto TP4 que corresponde a una modulación BPSK de esa señal. Coloque en la opción "display" del osciloscopio la función "vector" en on, sincronice con el canal 2, utilice time/division en $5 \mu\text{s}$ y trigger en modo single, utilice las

teclas run, stop y erase del osciloscopio para la visualización de las señales. Dimensione las señales y explique.

h) Comentarios.

Dibuje y dimensione todas las formas de onda observadas en papel milimetrado

Receptor

Procedimiento:

- a) Ajuste la tensión de la fuente de alimentación a ± 12 V.
- b) Conecte el cable que simula el canal de comunicación entre los dos módulos.
- c) Observe la señal en el punto TP1 que corresponde a la réplica del código usado en el transmisor. Compare con el código PN del transmisor (TP2 en el Tx).
- d) Compare la señal de entrada analógica en TP6 del transmisor (canal 2 del osciloscopio), con la señal de salida del filtro pasabajo del receptor en TP3 (canal 1).
- e) Manteniendo los anteriores puntos de prueba, cambie el código PN en los interruptores SW1, SW2 y SW3 del generador, observe la señal de salida del receptor (TP3). Explique por qué no se recupera la señal de datos.
- f) Coloque los interruptores de tal manera de obtener una secuencia de máxima longitud y observe de nuevo la señal de salida del receptor.
- g) Comentarios.

Dibuje y dimensione todas las formas de onda observadas en papel milimetrado

Comentarios y conclusiones finales.

Bibliografía

- Charles E Cook and Howard S. Marsh. An introduction to spread spectrum. IEEE Communication magazine. March 1.993. pp 8-16.
- Roger L. Peterson, Rodger Ziemer and David E. Borth. Introduction to spread spectrum communications. Prentice hall New Jersey U.S.A 1.995.
- Tero Ojanperä, Ramjee Prasad. Wideband CDMA for third generation mobile communications. Artech house publishers. pág 108-115.