

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

INFORME DE LABORATORIO - SDR

LABORATORIO N° 8 y 9

Estudiantes:

Montezuma Diego¹

Narváez Israel²

Panama Anthony³

Docente: Msc. Edgar Maya.

Técnico de laboratorio: Msc. Alejandra Pinto Erazo

17 de junio de 2024

1. Título de la práctica

Espectro ensanchado.

2. Introducción

El laboratorio se enfoca en ofrecer una comprensión profunda y práctica de los sistemas de comunicación de espectro ensanchado, una tecnología esencial en aplicaciones modernas como el GPS y los sistemas de telefonía celular 3G CDMA. A través de una combinación de simulaciones y experiencias prácticas, los estudiantes explorarán las técnicas de Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS), adquiriendo habilidades esenciales para la implementación y el análisis de estos sistemas. El laboratorio también incluye el uso de herramientas avanzadas y software especializado para diseñar y simular entornos de comunicación, proporcionando una formación integral que abarca tanto aspectos teóricos como aplicados.

El uso de hardware de Radio Definida por Software (SDR) permitirá a los estudiantes experimentar de manera tangible cómo se decodifican las señales DSSS en un entorno inalámbrico, ofreciendo una experiencia práctica que refuerza los conceptos aprendidos en clase. Este enfoque práctico no solo facilita la comprensión del funcionamiento y la importancia de los códigos de ensanchamiento y la sincronización de códigos en DSSS, sino que también prepara a los estudiantes para enfrentar desafíos reales en el campo de las telecomunicaciones. Además, el laboratorio está diseñado para simular escenarios de comunicaciones reales y multiusuario, permitiendo a los estudiantes

desarrollar y probar soluciones innovadoras que mejoren la eficiencia y seguridad de las comunicaciones inalámbricas, fortaleciendo así su preparación académica y técnica en el campo de las telecomunicaciones.

3. Objetivos

3.1. Objetivo Genral

Fomentar habilidades en los estudiantes de ingeniería en telecomunicaciones para entender, implementar y analizar sistemas de comunicación de espectro ensanchado. Esto incluye el uso de técnicas de Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS) y hardware de Radio Definida por Software (SDR), con un enfoque en aplicaciones prácticas como GPS y sistemas de telefonía celular 3G CDMA.

3.2. Objetivos Específicos

- Realizar dentro de matlab los ejemplos relacionados a DSSS BPSK y CDM.
- Analizar las señales generadas por código y dentro de simulink, con el propósito de diferenciar el espectro de cada modelo.
- Analizar adecuadamente el funcionamiento de DSSS y CDM.
- Responder a las preguntas establecidas dentro del laboratorio.

4. Fundamentación teórica

4.1. Espectro ensanchado

La técnica de espectro ensanchado se emplea para la transmisión de señales en el ámbito de la radio y las telecomunicaciones. Este concepto se refiere a la práctica de expandir la señal transmitida para abarcar un rango más amplio del espectro de frecuencias disponible.

Entre las ventajas del uso del espectro ensanchado se encuentran la disminución del ruido, el aumento de la seguridad y la mayor resistencia frente a interferencias y posibles interceptaciones.

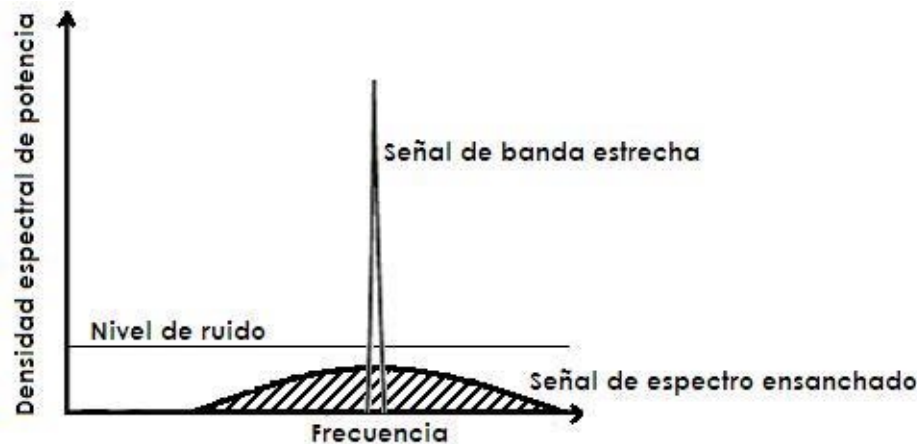


Figura 1: Señal de banda ensanchada

Una de las metodologías para implementar el espectro ensanchado es mediante el salto de frecuencia. Esta técnica consiste en transmitir una señal en breves ráfagas que saltan entre diferentes frecuencias siguiendo una secuencia pseudoaleatoria. Para que esta técnica sea efectiva, tanto el dispositivo transmisor como el receptor deben estar sincronizados con la misma secuencia de frecuencias. ([Informatica, 2023](#))

4.2. Tipos de señales de espectro ensanchado

4.2.1. Salto en Frecuencia

El salto de frecuencia es una de las dos técnicas básicas de modulación utilizadas en la transmisión de señales de espectro ensanchado. Esta técnica implica la conmutación repetitiva de frecuencias durante la transmisión de radio, a menudo con el objetivo de minimizar la efectividad de la "guerra electrónica", es decir, la interceptación no autorizada o el bloqueo de las telecomunicaciones. También se conoce como Acceso Múltiple por División de Código con Salto de Frecuencia (FH-CDMA).

En los últimos años, las técnicas de modulación de espectro han ganado popularidad. El espectro ensanchado permite transmitir una señal a través de una banda de frecuencias mucho más amplia que el ancho de banda mínimo requerido para la señal de información. El transmisor "extiende" la energía, inicialmente concentrada en una banda estrecha, a través de varios canales dentro de una banda de frecuencia más amplia del espectro electromagnético. Los beneficios incluyen una mayor privacidad, una reducción de la interferencia en banda estrecha y una mayor capacidad de transmisión de señales. ([ComputerWeekly, 2012](#))

4.2.2. Espectro Expandido con Secuencia Directa

En un sistema de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS - Direct Sequence Spread Spectrum), la señal portadora de información se multiplica por una secuencia pseudoaleatoria formada por chips, cuya duración es una fracción del tiempo necesario para transmitir un bit de información. Esto genera una nueva señal que varía más rápidamente que la señal original, ocupando así un espectro más amplio que aumenta proporcionalmente con la cantidad de chips utilizados para representar cada bit de información. Esta señal de espectro ensanchado se transmite

a través del canal y se recupera en el receptor mediante una nueva multiplicación con una réplica sincronizada de la secuencia pseudoaleatoria. (Utp, 2020)

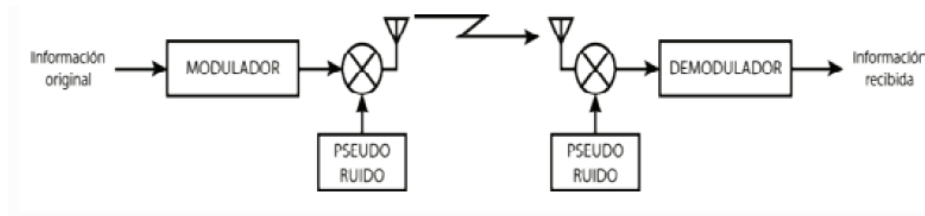


Figura 2: Sistema DSSS básico

4.3. Multiplexación por división de código

La multiplexación por división de código (CDM) es una técnica empleada en telecomunicaciones que permite la transmisión simultánea de múltiples señales en una misma frecuencia. Esto posibilita que diversas comunicaciones compartan un único canal sin interferencias mutuas.

El funcionamiento del CDM consiste en dividir cada señal de comunicación en pequeños fragmentos, asignando a cada uno un código único. Estos códigos se utilizan para mezclar las señales y transmitirlos en la misma frecuencia. En el receptor, se aplica el mismo código para separar y reconstruir la señal original de cada comunicación.

Este proceso de mezcla y separación de señales se realiza a una velocidad muy alta, lo que permite la transmisión concurrente de múltiples comunicaciones sin interferencias.

El CDM se utiliza principalmente en sistemas de comunicación móvil como CDMA (Acceso Múltiple por División de Código) y WCDMA (Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha). Estos sistemas permiten que múltiples usuarios utilicen la misma frecuencia simultáneamente, incrementando la eficiencia de la red y mejorando la calidad de las comunicaciones. (Dos Santos, 2023)

5. Materiales y Equipos

- Matlab
- Simulink

6. Desarrollo

6.1. Ejercicio en matlab

Dentro del primer ejercicio, inicialmente, se establece un mensaje de texto inicial como **MSOE University**, el cual se convierte en su forma binaria correspondiente utilizando la función **dec2bin**. Cada carácter del mensaje se transforma en una secuencia de 8 bits y se guarda en la matriz **a**.

Radio definida por software

Posteriormente, esta matriz se convierte de su representación de caracteres binarios a valores numéricos (0 y 1) mediante la operación de restar el carácter '0'. Luego, los datos se reorganizan en un vector columna de bits utilizando la función **reshape**, asegurando que cada carácter esté correctamente representado por exactamente 8 bits.

Para verificar la precisión del proceso de recuperación del mensaje, el vector de bits *a* se reestructura nuevamente en una matriz de 8 columnas *b* y se convierte de nuevo a su representación original de caracteres binarios mediante **num2str**. Finalmente, el mensaje recuperado se muestra imprimiendo los caracteres con la función **fprintf(char(bin2dec(b)))**, lo cual facilita la visualización del mensaje inicial en su forma de texto original.

```
%% Create message
message = 'MSOE University \n'; %mensaje
a = dec2bin(message, 8); %convierte cada carácter del mensaje
    %en una representación binaria de 8 bits.
numChars = size(a, 1); %almacena el número de caracteres en el mensaje
fprintf(char(bin2dec(a))); %convierte los bits binarios de vuelta a caracteres e imprime los caracteres

% Convert binary strings into vectors
a = a - '0'; %convierte la matriz de caracteres '0' y '1' a valores numéricos 0 y 1

% Reshape into a vector of bits; 8 bits per character
a = reshape(a', 8 * numChars, 1); %reorganiza la matriz en un vector columna de bits

% Make sure string is properly recovered recuperacion de mensaje
b = reshape(a, 8, numChars)'; %reorganiza el vector columna de bits en una matriz de 8 columnas
b = num2str(b); %convierte la matriz de bits de vuelta a una matriz de caracteres '0' y '1'
fprintf(char(bin2dec(b))); % convierte la matriz binaria de vuelta a caracteres

%% Build transmit packet
pre = [0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1]; %define un prefijo de bits
message = [pre a']; %concatena el prefijo y el mensaje binario
numSymsTot = length(message); %calcula la longitud total del mensaje para la transmisión.
```

Figura 3: Código de generación de mensaje

La implementación de Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS) utilizando un código de secuencia pseudo-aleatoria (PN). Primero, se define y calcula la autocorrelación del código PN, que es esencial para la sincronización y detección en sistemas DSSS. La autocorrelación se computa mediante la media del producto entre la secuencia PN y sus desplazamientos periódicos, utilizando la función **circshift** para manejar la periodicidad. Este paso es crucial para evaluar la capacidad del código PN de generar señales con baja interferencia interna y alta resistencia a ruidos externos. Luego, se simula la recepción de datos DSSS, donde el código PN se utiliza para dispersar la señal de datos modulada. La función **xcorr** calcula la correlación cruzada entre la señal dispersada y el código PN original, proporcionando así una medida de la similitud entre la señal recibida y la esperada. Estos cálculos y visualizaciones son fundamentales para entender cómo los códigos PN se emplean en la comunicación de espectro ensanchado para mejorar la robustez, seguridad y capacidad de detección de señales en entornos de alta interferencia.

```

%% Specify PN code
code = [-1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 -1 -1 1 1 1 1]'; %define un código PN
M = length(code);

%% Compute Autocorrelation Function
% R[k] = 1/M sum_{n=1}^{M-k} c[n] * c[n-k]
% Note: "circshift" is used because the sequence is assumed periodic
R = zeros(M, 1); %inicializa un vector de ceros para almacenar la autocorrelación
k = 0:(M - 1); %define un vector de desplazamientos
for ii = 1:length(k)
    R(ii) = 1/M * (code' * circshift(code, k(ii))); % circshift
end
figure;
stem(k, R);
title('Autocorrelation Function');
xlabel('k');
ylabel('R[k]');

%% Simulate received DSSS data and use "xcorr" to correlate it with PN code
% Assume spreading factor of M
m = [1 1 -1 1]'; %define un vector de datos modulados
g = [m(1) * code; m(2) * code; m(3) * code; m(4) * code]; % or, use "g = kron(m, code);"
% g --> genera el mensaje DSSS replicando el código PN para cada valor de m.
[r, lag] = xcorr(g, code); %xcorr(g, code) calcula la correlación cruzada entre el mensaje DSSS y el código PN
figure;
stem(lag, r);

```

Figura 4: Código de ejemplo de correlación

6.2. Transmisor y Receptor DSSS-BPSK.

Para comenzar con la práctica de laboratorio, se realiza la construcción del Transmisor DSSS-BPSK. En este caso, se utiliza el bloque Bernoulli Binary, el cual genera una secuencia de bits aleatorios según una configuración de entrada. También se emplea el bloque BPSK, que nos ayuda a realizar la modulación correspondiente. Después de esto, se utiliza un bloque de pulso rectangular, que modela un filtro de pulsos rectangulares para la transmisión de la señal digital. Más abajo, se usa una secuencia de chip en forma de vector, la cual tiene la secuencia $[-1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$.

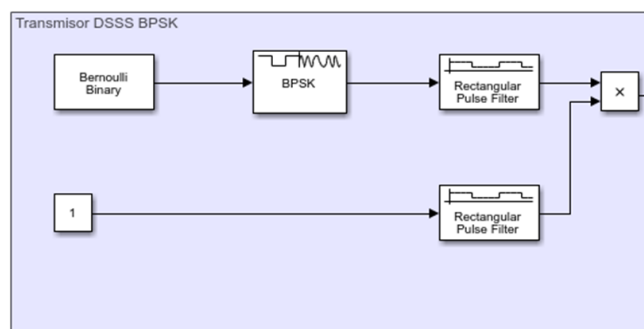


Figura 5: Construcción de transmisor DSSS-BPSK

En el medio del transmisor y receptor se utiliza un bloque AWGN, el cual nos ayuda a incluir ruido blanco gaussiano a la señal que se está transmitiendo, con un valor de 1 y 0.5 en su configuración de entrada.

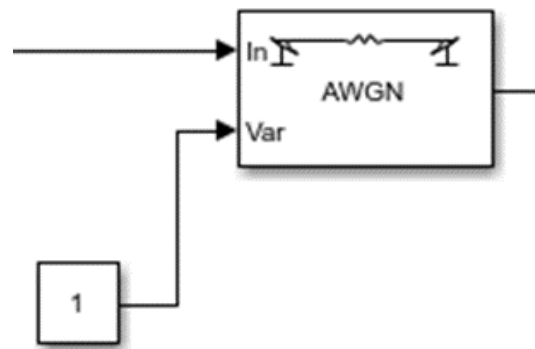


Figura 6: Bloque de canal AWGN.

Por último, se genera el receptor de señal DSSS-BPSK. En este caso, las configuraciones y bloques que se utilizan para su construcción son similares, pero se añaden 2 bloques a la ecuación. Estos bloques son el denominado "Integrate and Dump" y el "Integrator", que se utilizan en el procesamiento de la señal realizando la integración numérica. En el caso del "Integrate and Dump", se hace uso de filtros para suavizar la señal.

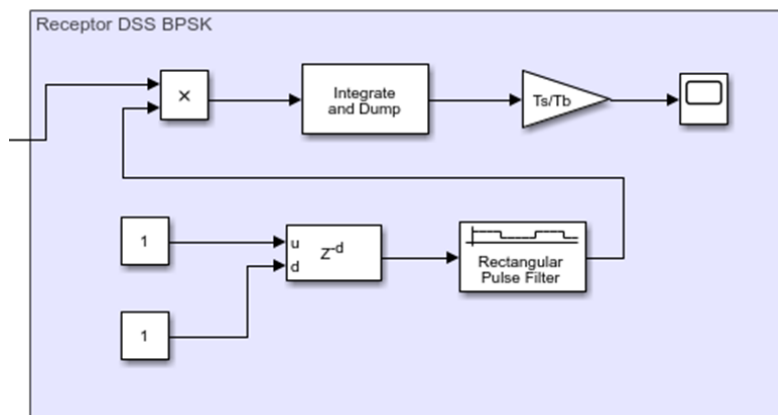


Figura 7: Construcción de receptor DSSS-BPSK.

En la siguiente figura se observa el resultado del transmisor y receptor ya contruidos en SimuLink, ene este caso se procede a realizar la explicación de las configuraciones por bloque.

Radio definida por software

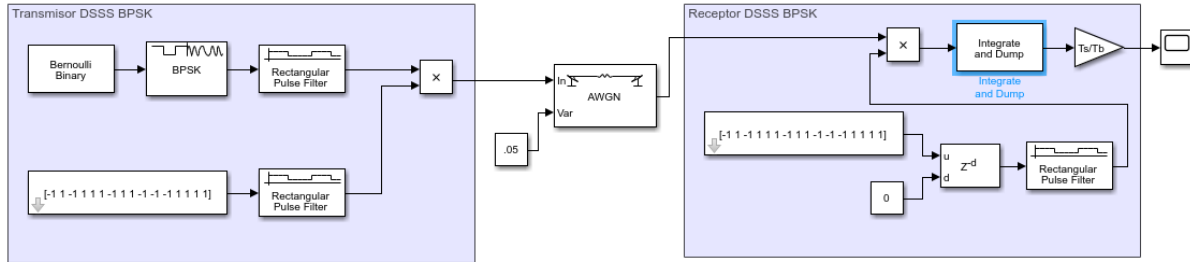


Figura 8: Transmisor y receptor DSSS-BPSK.

Como primer paso nos dirigimos hacia la pestaña de modelado y posteriormente seleccionaremos la opción de propiedades del modelo, tal como se aprecia en la siguiente figura.

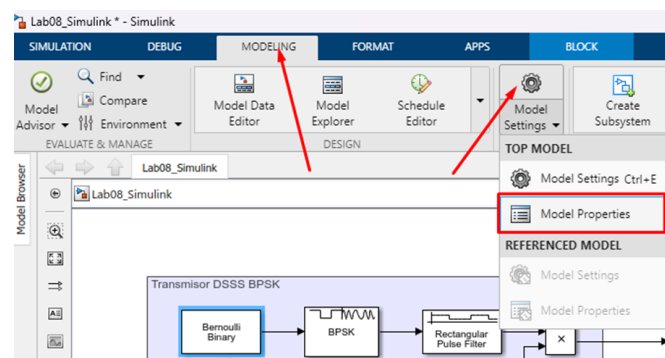


Figura 9: Configuración de propiedades de modelo.

En la ventana que se abre, seleccionaremos la opción de InitFcn^* , el cual es un parámetro que especifica la inicialización del modelo dependiendo de los valores que se agreguen a este, como por ejemplo:

- Frecuencia de muestreo.
- Tiempo de muestra.
- Tiempo de bit.
- Tiempo de chip.
- Tamaño de cada marco de bloque de origen.

Los parámetros que se ingresan son los siguientes.

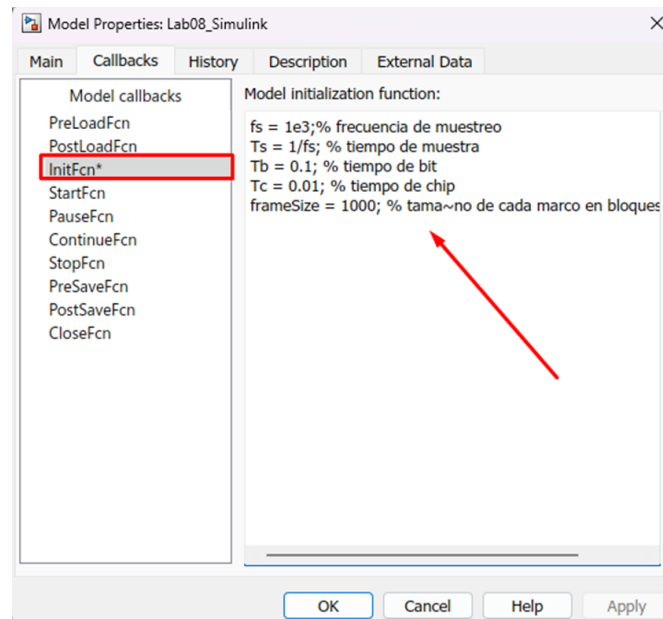


Figura 10: Configuración de propiedades de modelo .

Ahora vamos a realizar la configuración del bloque "Bernoulli Binary", aquí establecemos tanto la variable de tiempo de bit T_b , como la variable de tamaño de cada marco de bloque de origen $FrameSize$.

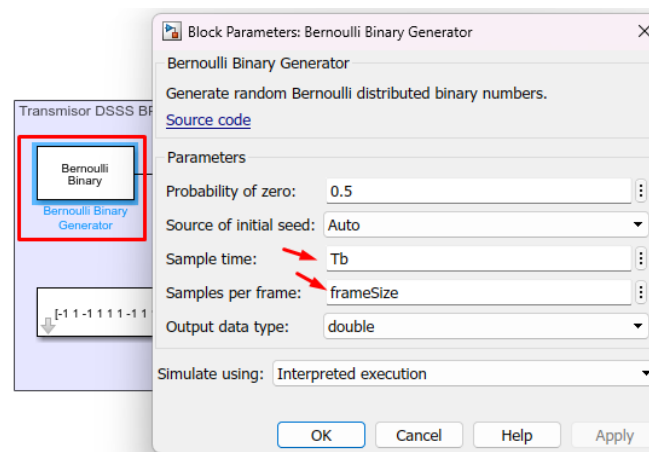


Figura 11: Configuración de bloque Bernoulli Binary.

El siguiente bloque que debemos configurar es el del pulso rectangular, aquí estableceremos la opción de tamaño de pulso mediante el tiempo de bit sobre el tiempo de muestra.

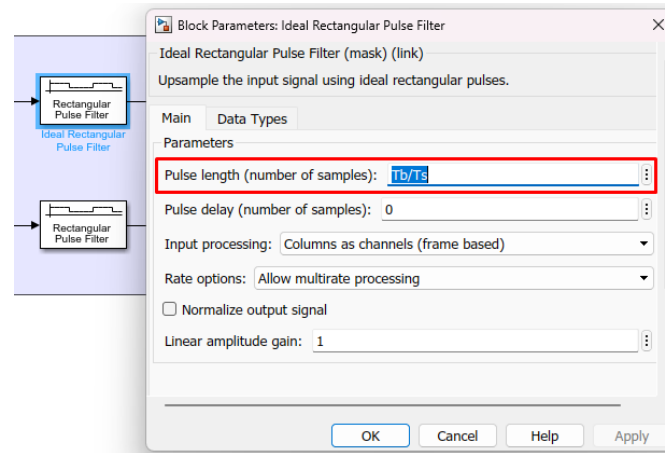


Figura 12: Configuración de filtro de pulso rectangular.

Ahora la secuencia de chip que se va a utilizar para esta señal esta dada por el vector $[-1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ -1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$.

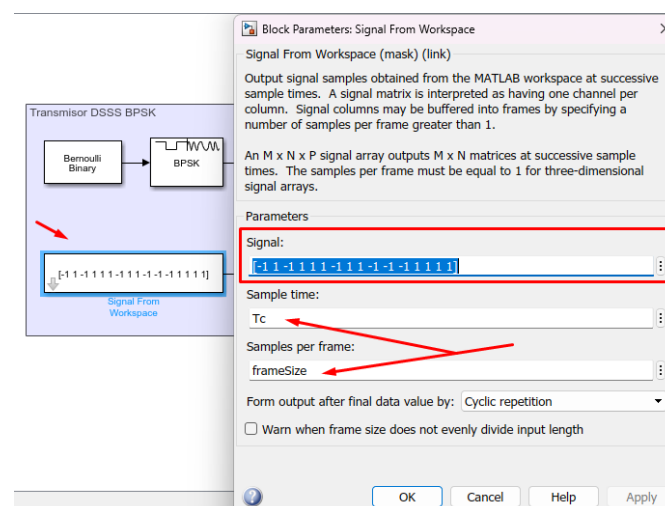


Figura 13: Configuración de parámetros de señal.

En el lado del receptor se va a realizar la configuración del bloque "Integrate and Dump" mediante la sentencia tiempo de bit sobre tiempo de muestra. Esta sera la configuracion general de todo el esquema, el cual nos dara como resultado una señal de salida, la cual la podremos visualizar en el apartado de RESULTADOS.

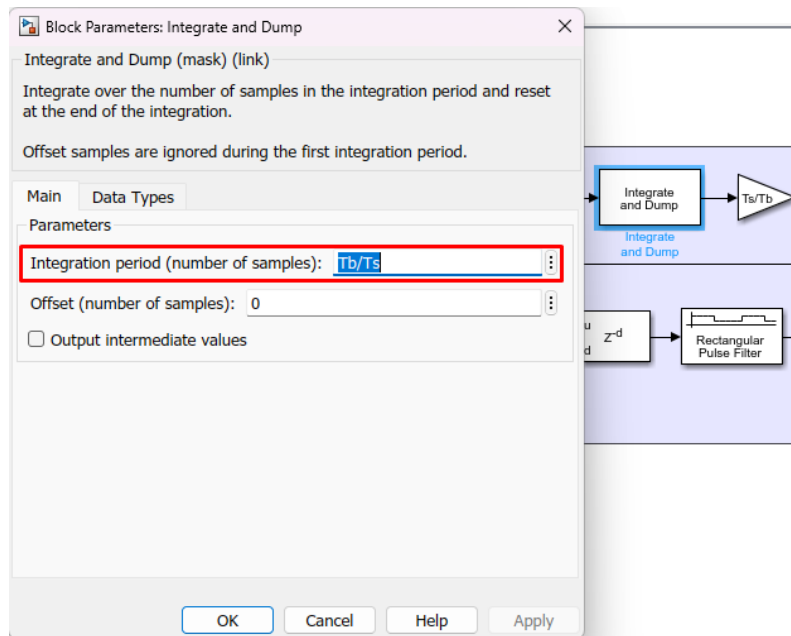


Figura 14: Configuración de bloque de integración.

6.3. Doble Transmisor y Receptor.

Para el siguiente punto de la práctica, se pide que se generen 2 transmisores y 2 receptores. Cada uno de ellos enviará una señal con una secuencia de chip distinta. Por ende, cada uno de los receptores solo recibirá dicha secuencia de chip dependiendo de su configuración. Como se puede observar en la siguiente figura, se encuentra el modelo general de la topología generada en Simulink para los 2 transmisores y 2 receptores.

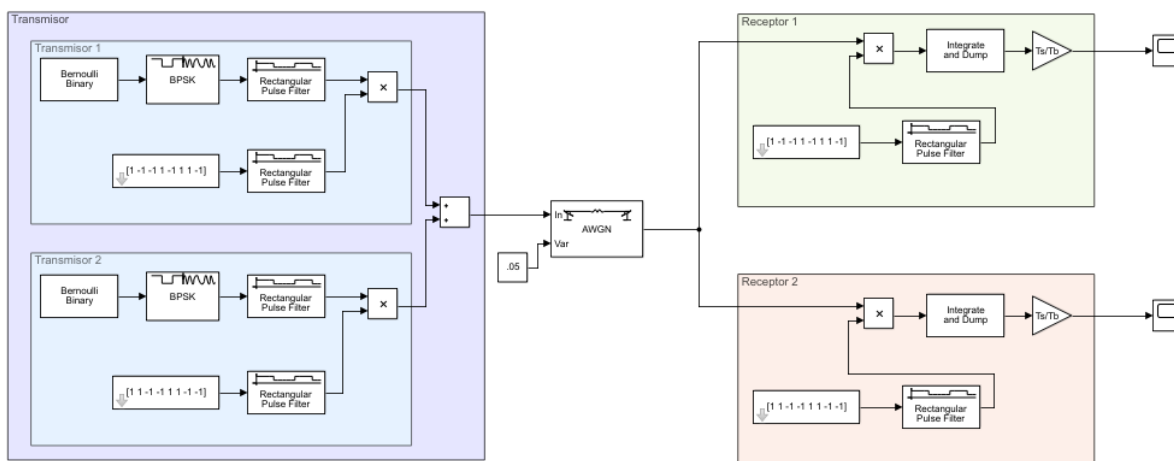


Figura 15: Doble transmisor y receptor DSSS-BPSK.

Ahora vamos a realizar la configuración del bloque "Bernoulli Binary", aquí establecemos tanto la variable de tiempo de bit T_b , pero en este caso la opción de "Sample per Frame" estará en 1, esto se realiza para los 2 transmisores.

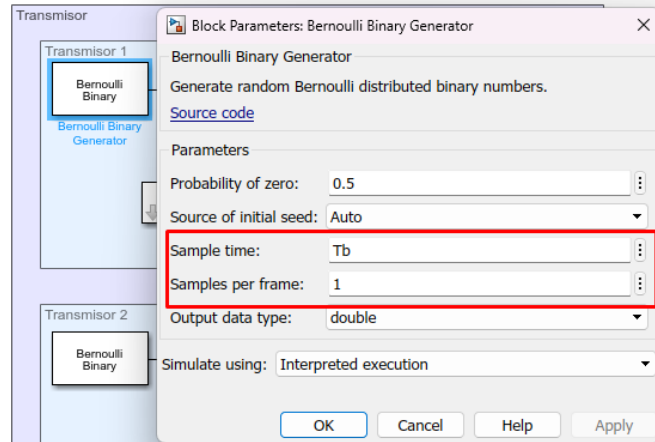


Figura 16: Configuración de bloque Bernoulli Binary.

Ahora la secuencia de chip que se va a utilizar para esta señal en el caso del transmisor numero 1 esta dada por el vector $[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$.

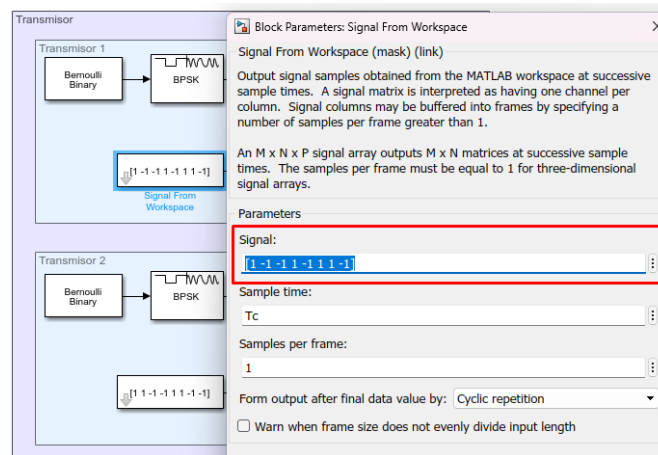


Figura 17: Configuración de forma de señal 1.

En el caso de la secuencia de chip que se va a utilizar para esta señal en el caso del transmisor numero 1 esta dada por el vector $[1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]$. El resultado de la señal que se genera por cada uno de los transmisores se puede apreciar en el apartado de RESULTADOS.

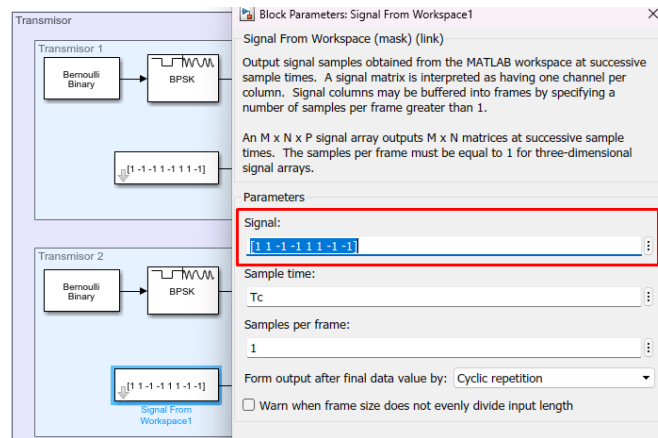


Figura 18: Configuración de forma de señal 2.

7. Interpretación de Resultados / Discusión

7.1. Resultados ejercicio 1.

Esta autocorrelación es fundamental en sistemas DSSS para sincronización y detección de señales. Luego, simula datos DSSS modulados utilizando el código PN como secuencia dispersora. El uso de la función `xcorr` permite calcular la correlación cruzada entre la señal recibida (compuesta por el mensaje modulado y el código PN) y el propio código PN, lo cual es esencial para la detección y demodulación de la señal en presencia de ruido y otras interferencias. Además, se ilustra cómo los códigos PN se utilizan efectivamente en aplicaciones de comunicación para mejorar la robustez y la eficiencia del sistema, asegurando una correcta identificación y extracción de la señal deseada.

```

Command Window
>> mensaje_lab08
MSOE University
MSOE University
Total number of symbols in the packet: 160
Transmit packet:
Columns 1 through 24
0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0 1 0 0 1 1 0 1
Columns 25 through 48
0 1 0 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 1 0 0 0 1 0 1
Columns 49 through 72
0 0 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0
Columns 73 through 96
0 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1
Columns 97 through 120
0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 1 1 0 0 1 1 0 1 1 0 0 0 1
Columns 121 through 144

```

Figura 19: Matriz generada de mensaje

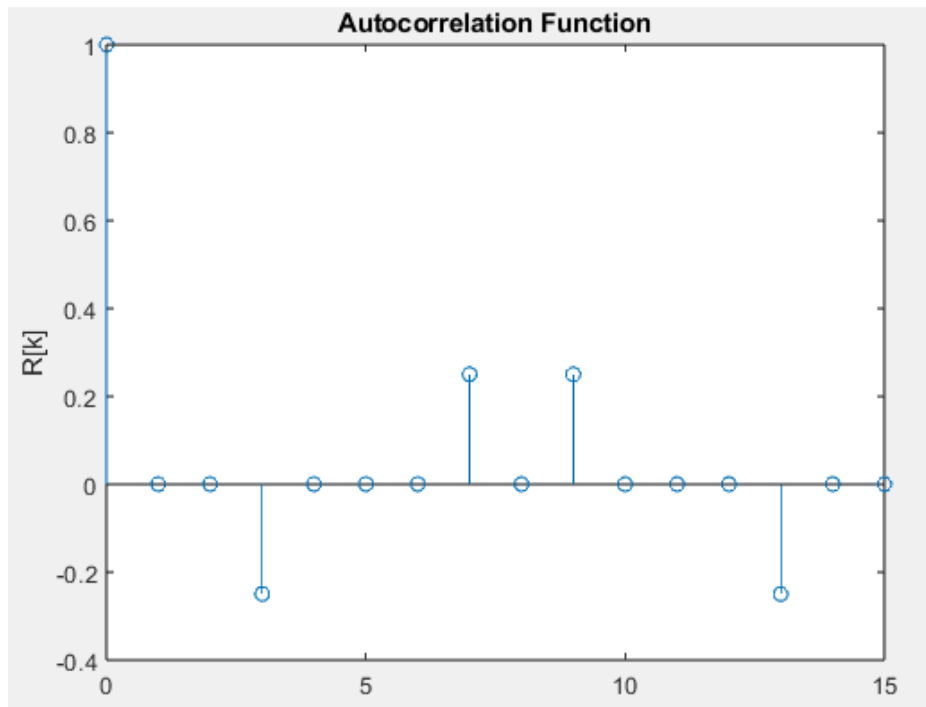


Figura 20: Gráfica de autocorrelación

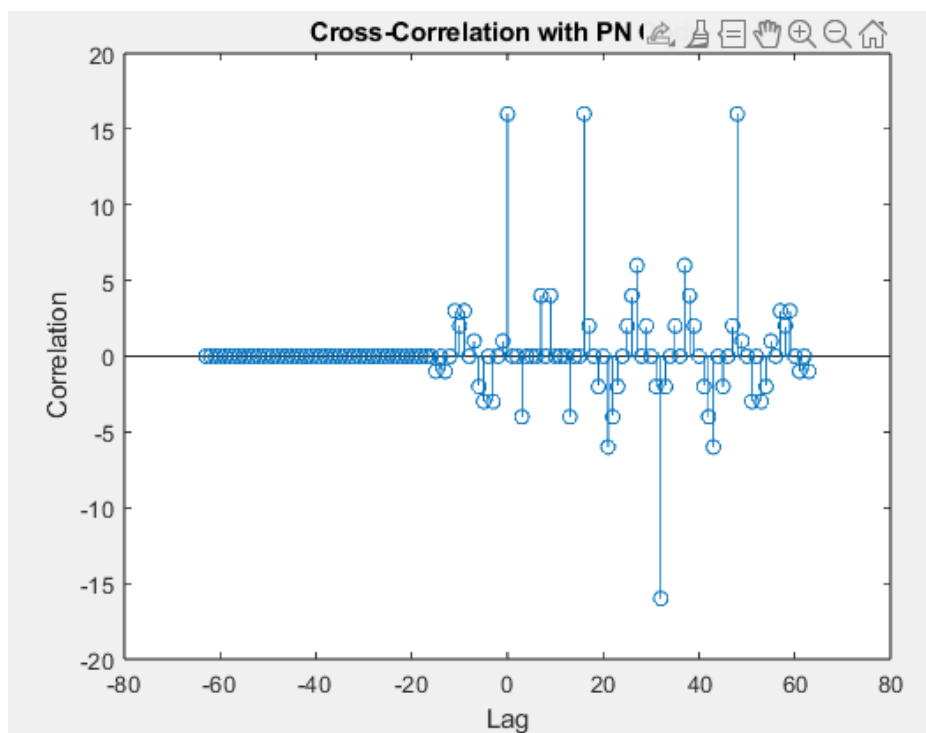


Figura 21: Gráfica de Correlación pseudo-aleatoria

7.2. Resultados de ejercicio 2.

Para el primer caso, en el cual se utiliza un transmisor con una secuencia de chip (-1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 -1 -1 1 1 1 1), este genera una señal en base a los siguientes datos:

- $f_s = 1e3$;
- $T_s = 1/f_s$;
- $T_b = 0.1$;
- $T_c = 0.01$;
- $frameSize = 1000$;

En la siguiente gráfica se observa que después de un proceso de agregado de ruido blanco con el bloque AWGN, esta señal es recibida en su secuencia que se representa por una amplitud en función del tiempo. En este caso, se aprecian los cambios de fase que se están utilizando para la transmisión de datos binarios. Mediante el eje horizontal se puede visualizar el tiempo transcurrido de la señal BPSK y, como ya mencionamos, el cambio de fase de la portadora.

En el eje vertical se observa la amplitud, que generalmente es constante. Aquí se aprecian los valores de 1 y -1. En este caso, si vemos la gráfica, al presentarse un cambio de fase brusco, este representará un cambio en el bit, es decir, que si la señal cambia de 0 grados a 180 grados o viceversa en cualquier punto específico del tiempo, esto será un cambio de un bit "0" a un bit "1", tal como se aprecia a continuación.

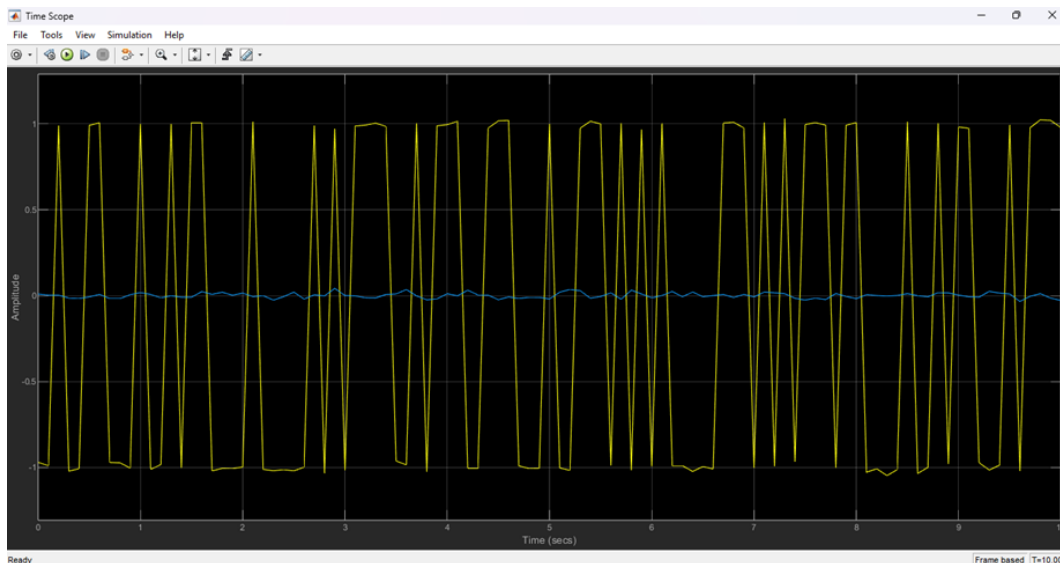


Figura 22: Resultado de señal capturada den el Receptor DSSS-BPSK.

7.3. Resultados de ejercicio 3.

Para el primer caso, en el cual se utiliza un transmisor con una secuencia de chip para el transmisor numero 1 de (1 1 1 1 1 1 1) y una secuencia de chip para el transmisor numero 2 de (1 1 1 1 1 1 1), este genera una señal en base a los siguientes datos:

Radio definida por software

- $f_s = 1e3$;
- $T_s = 1/f_s$;
- $T_b = 0.1$;
- $T_c = 0.01$;
- $\text{frameSize} = 1000$;

En este caso, las señales transmitidas son 2, cada una con una secuencia de chip diferente. El receptor solo recibirá y demodulará la señal para la cual tenga su secuencia de chip, es decir, que descartará la otra señal. Sin embargo, como se generaron 2 receptores, uno con cada secuencia de chip, entonces cada uno de los receptores recibirá la señal correspondiente, tal como se aprecia en las siguientes 2 figuras.

Resultado de señal para secuencia de chip (1 1 1 1 1 1 1):

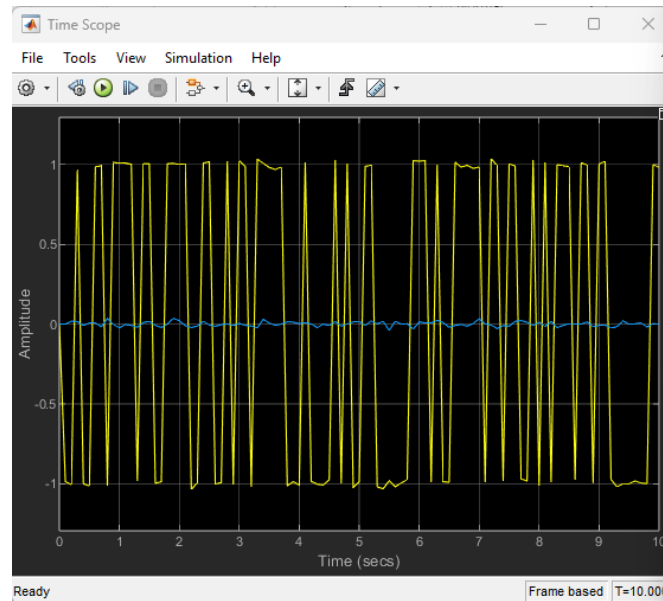


Figura 23: Resultado de señal capturada den el Receptor DSSS-BPSK numero 1.

Resultado de señal para secuencia de chip (1 1 1 1 1 1 1):

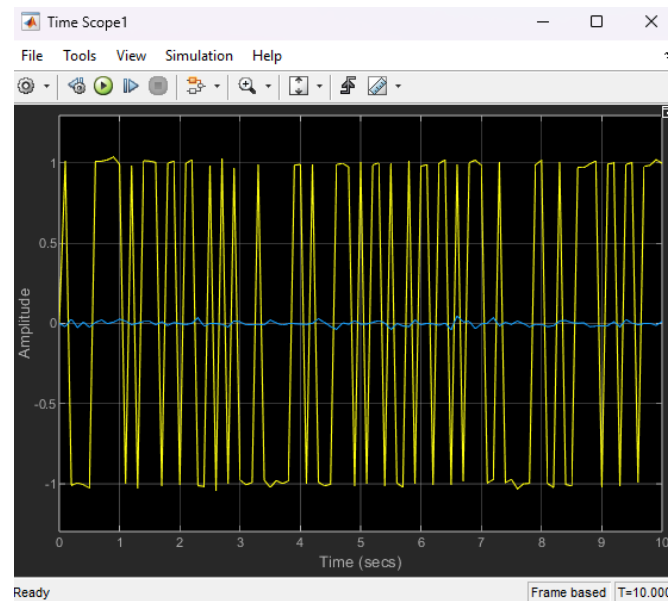


Figura 24: Resultado de señal capturada den el Receptor DSSS-BPSK numero 2.

7.4. Preguntas

- ¿Cuáles son las ventajas de utilizar sistemas de comunicación de espectro ensanchado?

Las ventajas suelen incluir la capacidad de acceso múltiple, la resistencia a la interferencia multitrayectoria, el rechazo de interferencias de banda estrecha, así como beneficios relacionados con la seguridad, los sistemas de navegación por satélite y las redes inalámbricas avanzadas.

- ¿Qué son las secuencias pseudo-aleatorias y qué propiedades estadísticas deben cumplir para ser utilizadas como señales de código?

Las secuencias pseudo-aleatorias son secuencias numéricas generadas mediante algoritmos deterministas que imitan las características de secuencias verdaderamente aleatorias. Para ser efectivas como señales de código en sistemas de comunicación, deben satisfacer varias propiedades estadísticas fundamentales: una baja autocorrelación fuera del pico principal para minimizar interferencias internas, una buena correlación cruzada para permitir la distinción clara entre diferentes usuarios, una distribución equitativa de ceros y unos para evitar cualquier sesgo, un periodo largo antes de repetirse para evitar patrones detectables y suficiente complejidad para prevenir predicciones sin conocimiento del algoritmo de generación.

Además, deben exhibir propiedades espectrales adecuadas, asegurando que su espectro de frecuencia esté uniformemente distribuido. Esta característica es crucial para asegurar que la señal abarque un amplio rango de frecuencias, lo cual es vital para resistir interferencias de banda estrecha de manera efectiva.

- ¿Qué diferencia hay entre las técnicas de espectro expandido de secuencia directa

(DSSS) y de salto de frecuencia (FHSS)?

La principal diferencia reside en el método de dispersión de la energía de la señal a lo largo del espectro de frecuencias: DSSS la expande de forma continua, mientras que FHSS lo hace en intervalos cortos y repetidos. DSSS se destaca por su capacidad para mitigar interferencias de banda estrecha y proporcionar seguridad adicional gracias a la complejidad de las secuencias pseudo-aleatorias utilizadas. En contraste, FHSS muestra una mayor robustez frente a interferencias impulsivas y ofrece una mejor protección contra la interceptación debido a la naturaleza de los saltos frecuentes entre frecuencias.

■ ¿Qué es la modulación BPSK y cómo se realiza la operación de despreading en un sistema DSSS?

La modulación BPSK es una técnica de modulación digital en la cual se utiliza una señal portadora con dos fases diferentes para representar bits de información.

En DSSS, el proceso de despreading es esencial para la recuperación de la señal original de datos después de la etapa de modulación y transmisión. Durante la transmisión en DSSS, la señal modulada de datos se mezcla con una secuencia pseudo-aleatoria de alta velocidad, conocida como "chips". En el receptor, para llevar a cabo la operación de despreading, la señal recibida se multiplica nuevamente por una réplica exacta y correctamente sincronizada de la misma secuencia pseudo-aleatoria que se utilizó durante la transmisión.

■ ¿Qué es la multiplexación por división de código (CDM) y qué códigos se utilizan para la separación de señales?

La multiplexación por división de código (CDM), es una técnica avanzada en sistemas de comunicación que permite a múltiples señales transmitirse simultáneamente sobre el mismo canal compartido utilizando códigos de acceso múltiple únicos. En CDM, cada señal de usuario se multiplexa con un código específico antes de la transmisión. Estos códigos, como los utilizados en CDMA (Code Division Multiple Access), son esenciales para la separación de las señales en el receptor. Por ejemplo, en CDMA, las señales de los usuarios se dispersan utilizando códigos de secuencia directa (DSSS), como los códigos PN (Pseudo-Noise), que expanden el espectro de frecuencia de cada señal. Esta técnica no solo optimiza la utilización del canal de transmisión, sino que también proporciona resistencia a las interferencias y asegura la privacidad de las comunicaciones al dificultar la interceptación no autorizada de las señales individuales.

■ ¿Cómo se logra la resistencia a interferencias en los sistemas de comunicación de espectro ensanchado?

Se logra mediante la dispersión de la señal a través de un amplio espectro de frecuencias utilizando técnicas como DSSS y FHSS. En DSSS, la señal transmitida se multiplica por una secuencia pseudo-aleatoria de alta velocidad antes de la transmisión, lo que distribuye la energía de la señal en un espectro mucho más amplio que la señal original de datos. Esto hace que la señal sea menos vulnerable a las interferencias de banda estrecha, ya que estas afectan solo una pequeña parte del espectro expandido y pueden ser filtradas durante la recepción.

mediante técnicas de correlación cruzada con la secuencia pseudo-aleatoria correspondiente. Por otro lado, en FHSS, la señal salta rápidamente entre diferentes frecuencias según una secuencia predefinida, lo que dificulta a los interferentes seguir la señal completa y reducir su efectividad.

- **¿Qué función cumplen los bloques que realizan la correlación cruzada en el receptor de un sistema DSSS?**

La operación de correlación cruzada entre la señal recibida y la secuencia PN facilita la identificación y extracción de la señal deseada del ruido y otras señales interferentes presentes en el canal de comunicación. Cuando la secuencia PN en el receptor está adecuadamente sincronizada con la secuencia utilizada durante la transmisión, se genera un máximo significativo en la salida de la correlación cruzada, lo cual señala la presencia de la señal de datos original.

- **¿Cómo se implementa en software un bloque que realiza la correlación cruzada para sistemas DSSS?**

Se inicia con la generación y sincronización de la secuencia pseudo-aleatoria (PN), que se utiliza tanto en la etapa de transmisión como en la recepción. Esta secuencia PN desempeña un papel fundamental al ser empleada para expandir la señal en el transmisor y para llevar a cabo la correlación cruzada en el receptor. Una vez que se recibe la señal modulada DSSS, la cual contiene la información deseada junto con posibles interferencias, se procede a alinear la secuencia PN generada en el receptor con la secuencia utilizada durante la fase de transmisión.

- **¿Cómo se podría implementar un sistema híbrido FH/DS mediante radio definida por software?**

La técnica de secuencia directa (DS) se emplea para distribuir la energía de la señal a lo largo del dominio temporal, utilizando una secuencia pseudo-aleatoria (PN) que es generada y sincronizada entre el transmisor y el receptor. Esta secuencia PN se utiliza para modular la señal y expandirla en el espectro de frecuencias. De manera simultánea, la técnica de salto de frecuencia (FH) se utiliza para cambiar periódica y pseudo-aleatoriamente la frecuencia portadora de la señal. Esto se logra mediante la generación de una secuencia de saltos de frecuencia que especifica las frecuencias portadoras a utilizar en cada intervalo de tiempo, mejorando así la robustez y la seguridad de la comunicación inalámbrica.

- **¿Qué es el dwell time y cómo afecta al rendimiento de un sistema FHSS?**

Este factor es esencial porque influye directamente en la capacidad del sistema para reducir interferencias y aumentar la seguridad mediante cambios rápidos de frecuencia. Un dwell time reducido facilita una adaptación ágil a variaciones en la interferencia, mejorando la eficiencia espectral al optimizar la utilización del espectro de frecuencias. En contraste, un dwell time prolongado puede asegurar una conexión más estable y confiable al minimizar interrupciones durante los cambios de frecuencia.

- **¿Qué es un generador de números pseudoaleatorios y qué tipos de circuitos se pueden utilizar para implementarlo?**

Los números pseudoaleatorios es un algoritmo que produce secuencias de números que parecen ser aleatorios. Estos algoritmos son esenciales en el ámbito de la informática y la electrónica, donde se emplean para emular aleatoriedad en diversas aplicaciones como simulaciones, criptografía y pruebas de software. Los números pseudoaleatorios pueden ser implementados utilizando una variedad de circuitos, como lógica combinacional y secuencial que hacen uso de puertas lógicas y registros para generar secuencias, o mediante registros de desplazamiento con retroalimentación (LFSR) que emplean una combinación lineal de bits anteriores para producir una secuencia pseudoaleatoria. Además, se pueden utilizar métodos basados en circuitos analógicos que aprovechan el ruido para la generación de números, así como algoritmos criptográficos que aseguran una aleatoriedad más fiable.

- **¿Qué es un circuito de correlación y cómo se utiliza para sincronizar la señal de código en el receptor?**

El circuito de correlación opera mediante la creación de una réplica interna del código de usuario asociado y ejecuta una operación de correlación entre esta réplica y la señal entrante. La correlación consiste en multiplicar punto a punto la señal recibida y la réplica del código a lo largo del tiempo. La presencia de un pico de correlación señala el momento exacto en que la señal recibida coincide temporalmente con el código interno, facilitando así la sincronización precisa.

- **¿Qué es un hardware SDR y qué ventajas ofrece para implementar un receptor de espectro expandido?**

El hardware SDR presenta ventajas significativas al permitir la configuración dinámica de los parámetros de recepción y procesamiento de señales. Esto resulta particularmente ventajoso para receptores de espectro expandido, ya que pueden adaptarse de manera ágil a diferentes códigos de dispersión espectral mediante software, facilitando la recepción y discriminación simultánea de múltiples señales. Además, el procesamiento digital integrado en el hardware SDR permite ejecutar operaciones complejas, como la correlación necesaria para la sincronización y demodulación de señales moduladas por diversos códigos, optimizando así el rendimiento y la eficiencia del receptor en entornos dinámicos de comunicación y radiofrecuencia.

- **¿Qué función del bloque "Ideal Rectangular Filter" en el transmisor DSSS y cómo contribuye a la generación de la señal de propagación.?**

Este proceso de filtrado es crucial para preservar la integridad de la señal, disminuir el ruido y las interferencias, y garantizar un espectro claramente definido, reduciendo así la interferencia con otros canales. Asimismo, un filtrado adecuado mejora la correlación de la señal en el receptor, facilitando la sincronización y demodulación eficiente, lo que optimiza el desempeño del sistema de comunicación en entornos de radiofrecuencia dinámicos.

- **¿Qué función cumple el bloque "Sum.^{en} el transmisor CDM?**

El bloque "Sum" tiene la función técnica de integrar las señales moduladas de múltiples usuarios en una sola señal compuesta, utilizando el principio de superposición. Este bloque recibe señales codificadas y moduladas individualmente, y las suma, lo cual es esencial para que múltiples usuarios puedan compartir el mismo canal de comunicación sin interferencias mutuas, empleando códigos ortogonales o pseudo-ortogonales. La señal compuesta resultante, que contiene la información de todos los usuarios, se prepara para su transmisión, permitiendo una utilización eficiente del ancho de banda y facilitando la comunicación simultánea en el sistema de acceso múltiple.

- **¿Cuál es la función del bloque de retardo y cómo se configura?**

La función del bloque de retardo conserva y pospone su entrada durante el intervalo de muestreo definido. Cuando se utiliza en un sistema que se puede iterar, retiene y retrasa la entrada por una iteración. Este bloque es análogo al operador discreto de tiempo z^{-1} . Recibe una entrada y produce una salida. Tanto la entrada como la salida pueden ser escalares o vectores. Si la entrada es un vector, el bloque retiene y retrasa cada uno de los elementos del vector durante el mismo intervalo de muestreo.

- **¿Qué es el espectro ensanchado y cómo se implementa en el software definido por radio?**

El espectro ensanchado es una técnica de modulación utilizada en telecomunicaciones para distribuir una señal de datos sobre un ancho de banda más amplio del que se requeriría normalmente. Este método mejora la resistencia a la interferencia, la seguridad y la capacidad de manejo de múltiples señales simultáneamente.

Espectro Ensanchado:

El espectro ensanchado implica el uso de técnicas que dispersan la energía de una señal sobre un rango más amplio de frecuencias. Esto se logra mediante la multiplicación de la señal original con un código o una secuencia específica.

Ventajas:

Resistencia a Interferencias: Las señales ensanchadas son menos susceptibles a interferencias y ruido.

Seguridad:

Es más difícil para terceros interceptar o interferir con una señal ensanchada.

Coexistencia de Múltiples Señales:

Varios sistemas pueden operar en el mismo rango de frecuencias sin interferirse significativamente.

Integración del Espectro Ensanchado en SDR:

Software:

En un SDR, las técnicas de espectro ensanchado se implementan mediante algoritmos de software. Estos algoritmos controlan cómo se modulan y demodulan las señales de datos para ensanchar el espectro.

Configurabilidad:

Los SDR pueden cambiar dinámicamente los parámetros de ensanchamiento (como los códigos de expansión o las secuencias de salto de frecuencia) mediante actualizaciones de software, adaptándose a diferentes requisitos de comunicación.

- **¿Cuáles son las técnicas de modulación de espectro ensanchado y cómo se utilizan para distribuir la información en un rango más amplio de frecuencias?**

Las técnicas de modulación de espectro ensanchado son métodos que expanden una señal de datos sobre un rango más amplio de frecuencias de lo que normalmente ocuparía. Esto mejora la resistencia a la interferencia, la seguridad y la capacidad de coexistencia con otras señales. Las dos técnicas principales de espectro ensanchado son la secuencia directa (DSSS) y el salto de frecuencia (FHSS).

Secuencia Directa (DSSS):

Descripción: En DSSS, cada bit de datos se multiplica por un código de expansión de mayor tasa, creando una señal expandida. Este código es una secuencia de bits pseudoaleatoria, que aumenta el ancho de banda de la señal.

Funcionamiento:

La señal de datos original se combina con el código de expansión mediante una operación XOR. Esto resulta en una señal que se dispersa a lo largo de un ancho de banda más amplio. En el receptor, la señal expandida se correlaciona con el mismo código para recuperar los datos originales.

Utilización en la Distribución de Información:

Ambas técnicas dispersan la energía de la señal a través de un amplio espectro, lo que las hace menos susceptibles a la interferencia y más difíciles de interceptar y bloquear.

Capacidad de Coexistencia:

La dispersión de las señales permite que múltiples sistemas compartan el mismo rango de frecuencias sin interferirse significativamente, mejorando la eficiencia del uso del espectro.

- **¿Qué es la multiplexación por división de código y cómo se utiliza en las telecomunicaciones y redes inalámbricas?**

La multiplexación por división de código (CDM, por sus siglas en inglés) es una técnica de comunicación que permite a múltiples señales ocupar el mismo canal de transmisión al mismo tiempo. En lugar de dividir el canal por tiempo (TDM) o frecuencia (FDM), CDM asigna a cada señal un código único, permitiendo que varias señales se transmitan simultáneamente y se separen en el receptor mediante el uso de estos códigos específicos.

A cada usuario o señal se le asigna un código único, que es una secuencia de bits pseudo-aleatoria conocida como código de expansión. Este código tiene propiedades especiales que permiten la separación de señales en el receptor.

La señal de datos de cada usuario se expande mediante la multiplicación con su código único. Este proceso distribuye la señal sobre un ancho de banda mayor, convirtiéndola en una señal de espectro ensanchado.

La multiplexación por división de código es una técnica poderosa que mejora la eficiencia y capacidad de las redes de telecomunicaciones e inalámbricas, permitiendo que múltiples usuarios compartan el mismo canal de transmisión mediante el uso de códigos únicos para cada señal.

- **¿Cómo se puede implementar la operación de desparramamiento en una señal de fase binaria de desplazamiento de amplitud básica (BSPK)?**

La operación de desparramamiento (spreading) en una señal de fase binaria de desplazamiento de amplitud básica (BPSK) se implementa a través de la multiplicación de la señal portadora con una secuencia de código de expansión (spreading code). Este proceso aumenta el ancho de banda de la señal transmitida, mejorando su resistencia a la interferencia y a las interceptaciones.

La señal expandida se transmite a través del canal de comunicación. Debido a su mayor ancho de banda, la señal es menos susceptible a interferencias y puede coexistir con otras señales en el mismo espectro sin causar o recibir interferencias significativas.

En el receptor, se usa el mismo código de expansión para revertir el proceso. La señal recibida se multiplica nuevamente por el mismo código de expansión, recuperando la señal BPSK original. Este proceso de desparramamiento concentra la energía de la señal sobre su banda de frecuencia original, permitiendo una decodificación precisa de los datos transmitidos.

8. Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Conclusiones

- En conclusión un transmisor y receptor DSSS-BPSK en un sistema de comunicaciones es robusto en cuanto a las interferencias causadas por el ruido, lo cual se demuestra a la hora de generar ruido en el ejercicio numero 2, que este pasa imperceptible en la señal resultante.
- Se concluye que la secuencia de chip generada en los 2 transmisores genera una señal única que puede ser demodulada por un receptor DSSS-BPSK que contenga la misma secuencia de

chip que se ha establecido al inicio, puesto que en la practica se evidencia como se descarta el resto de señales que no contengan dicha secuencia.

- También se concluye que la señal modulada mediante un sistema DSSS-BPSK no varia en amplitud, por lo que esta se mantiene constante, por ende para el cambio de bits se genera un cambio de fase en esta.
- El espectro ensanchado, al distribuir la señal de datos sobre un ancho de banda más amplio, proporciona una mayor resistencia a la interferencia y aumenta la seguridad de las comunicaciones. Esto se debe a que es más difícil interceptar
- La implementación de técnicas de espectro ensanchado en SDR permite una adaptabilidad y configurabilidad sin precedentes. Mediante el uso de software, los sistemas de comunicación pueden ajustarse dinámicamente a diferentes condiciones y estándares, lo que es esencial en entornos de comunicación modernos y diversos.
- Las técnicas de espectro ensanchado permiten que múltiples sistemas operen simultáneamente en el mismo rango de frecuencias sin interferencias significativas. Esto mejora la eficiencia del uso del espectro y permite la coexistencia de múltiples señales, crucial para aplicaciones en redes móviles, Wi-Fi y otras tecnologías inalámbricas.

8.2. Recomendaciones

- Es recomendable utilizar sistemas DSSS-BPSK cuando se requiere una comunicación robusta que no se vea muy afectada por interferencias como el ruido.
- Es recomendable realizar las simulaciones de transmisor y receptor BPSK con un modulo AWGN que permite la simulación de ruido generado en la señal, este nos ayudara a evidenciar la robustez del sistema.
- Se recomienda la adopción de tecnologías de SDR en aplicaciones donde la flexibilidad y adaptabilidad son cruciales, como en comunicaciones militares, satelitales y emergencias. La capacidad de actualizar y ajustar los parámetros de ensanchamiento mediante software puede mejorar significativamente la capacidad de respuesta y la seguridad.
- Es recomendable invertir en la investigación y desarrollo de algoritmos avanzados de espectro ensanchado y técnicas de procesamiento digital de señales. Esto ayudará a mejorar aún más la eficiencia, seguridad y capacidad de las comunicaciones inalámbricas.
- Se sugiere promover y desarrollar estándares y protocolos de comunicación que aprovechen las ventajas del espectro ensanchado y SDR. La compatibilidad y la interoperabilidad entre diferentes sistemas y dispositivos pueden maximizar los beneficios del uso de estas tecnologías en redes de telecomunicaciones y otros entornos.

9. Referencias bibliográficas

Referencias

- ComputerWeekly. (2012). Salto de frecuencia de espectro ensanchado.
<https://www.computerweekly.com/es/definicion/Salto-de-frecuencia-de-espectro-ensanchado>.
- Dos Santos, M. (2023). Cdm: Qué es y cómo funciona el code division multiplexing.
<https://polaridad.es/cdm-que-es-y-como-funciona-el-code-division-multiplexing/>.
- Informatica. (2023). ¿qué es la comunicación wireless por espectro ensanchado?
<https://www.informaticaparatunegocio.com/que-es-la-comunicacion-wireless-por-espectro-ensanchado/>.
- Utp. (2020). Vista de simulador de entornos dsss-cdma.
<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/535/html>.