

MULTI-USER COMMUNICATION SYSTEMS

Information Laboratory

Background and Motivation

The fundamental system limits, or channel capacity, of wireless communication systems. The notion of channel capacity was first developed by Claude E. Shannon in his landmark 1948 paper “A mathematical theory of communication”. Channel capacity is defined to be the maximum achievable communication rate with arbitrarily small probability of error. Channel capacity is defined with no limits on computational complexity or delay, and thus is a truly fundamental measure of the performance limits of any communication system. The additive white Gaussian noise (AWGN) channel is perhaps the simplest example of a point-to-point channel. In such a channel, the output, denoted by y , is equal to the sum of the input x and additive Gaussian noise n :

$$y = x + n \quad (1)$$

Here the inputs and outputs could be voltages in communication circuitry, and the additive noise could be thermal noise in the circuitry. By Shannon’s results, the capacity of such a channel is equal to

$$C = \text{Blog}(1 + \text{SNR}) \quad (1)$$

where the SNR is equal to the ratio of the power of the input signal to the power of the noise. Thus, asymptotically error-free communication at rates below $\text{Blog}(1+\text{SNR})$ is possible, while transmission at any rate larger than $\text{Blog}(1+\text{SNR})$ is guaranteed to have errors. In this we focus exclusively on multi-user communication networks. Most traditional wireless systems are based on the cellular methodology, where the area to be covered is broken into geographical cells. A wired base station or access point is placed in each cell, and the wireless users in each cell communicate exclusively with the corresponding base station, which acts as a gateway to the rest of the network.

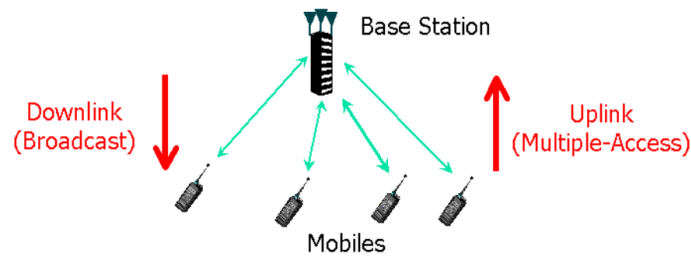


Figure 1: Cellular channel model

Cellular telephone systems and wireless local area networks are organized in this manner. Though neighboring cells do generally interact with one another, it is standard to model interference from neighboring cells as an additional source of noise. Thus, we concentrate on the single cell model shown in Figure 1, in which there is a single base station and multiple mobile devices.

When the base station is transmitting messages to the mobiles, the channel is referred to as a downlink or broadcast channel. In the context of a wireless network, the base station could be transmitting a different voice call to a number of mobiles while simultaneously transferring data files to other users. Notice that this differs from a TV or radio broadcast, in which the transmitter sends the same message to each receiver. We are in general interested in transmission of different messages to each mobile. Conversely, when the mobiles are transmitting messages to the base station, the channel is referred to as an uplink or multiple access channel. Similar to the downlink channel, we are interested in the scenario where each mobile is transmitting a different message to the base station.

Figure 2 shows the system model. In the Gaussian broadcast channel, the transmitter sends independent information to each receiver by broadcasting a complex signal $X[i]$ to K different receivers simultaneously. Here i denotes the time index. Notice that $X[i]$ contains information for all K receivers, i.e. some part of it is intended for user 1, another part for user 2, etc. Each receiver is assumed to suffer from flat-fading, i.e. the desired signal $X[i]$ is multiplied by a channel gain h_j , and white Gaussian noise $n_j[i]$ is added to the received signal. It is easy to show that the capacity region of the single-antenna

broadcast channel only depends on the norm of the channel gain h_j . Thus, for simplicity we will assume that all channel gains are real in the single antenna scenario for both the broadcast channel and multiple-access channel. We let $h = (h_1, \dots, h_K)$ denote the vector of channel gains, which are fixed for all time.

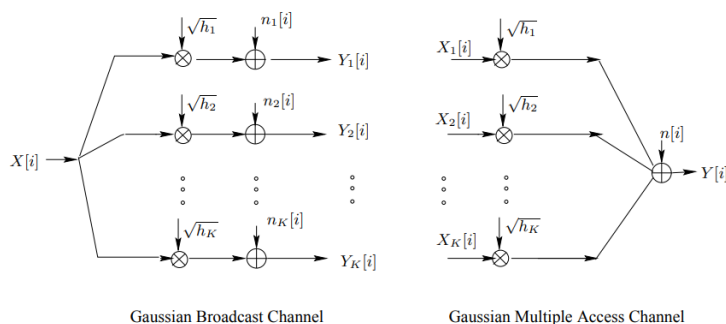


Figure 2: System Models

Communication channels can be FDMA, TDMA, CDMA and so on.

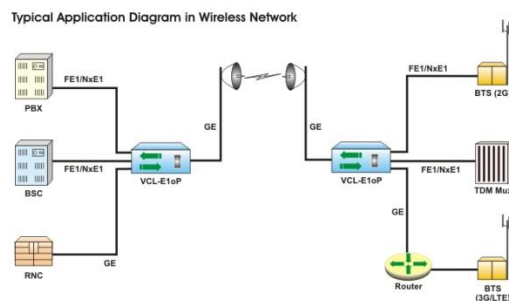
บทนำ

วิธีการมัลติเพล็กซ์ในระบบสื่อสารนั้น มีวัตถุประสงค์ เพื่อบริการให้ผู้ใช้จำนวนมาก สามารถรับบริการพร้อมกันได้ในเวลาเดียวกัน อาจกล่าวได้ว่าเพื่อเพิ่มความจุของระบบสื่อสาร วิธีการมัลติเพล็กซ์ที่ใช้ในระบบสื่อสารผ่านโครงข่ายใช้สาย (Wired network) หรือระบบสื่อสารผ่านโครงข่ายไร้สาย (Wireless network) มีหลายรูปแบบ แต่มีรูปแบบพื้นฐานอยู่สามรูปแบบ คือ

1. วิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplexing : FDM) การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ FDM นี้ จะเรียกว่า การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access : FDMA) โดยแต่ละช่องสัญญาณจะผลัดเปลี่ยนการใช้งานที่ความถี่ไม่ตรงกัน เพื่อรับส่งสัญญาณแบบแอนะล็อก

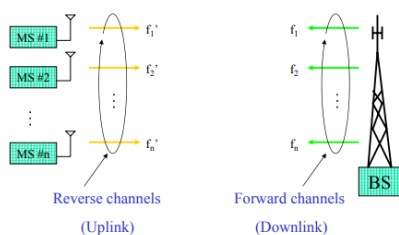
2. วิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (Time Division Multiplexing : TDM) การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ TDM นี้ จะเรียกว่า การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access : TDMA) แต่ละช่องสัญญาณจะผลัดเปลี่ยนกันใช้ความถี่กว้างแถบที่มีช่วงคาบเวลา (Time-sharing) ไม่ตรงกัน ในการรับส่งสัญญาณแบบดิจิทัล

3. วิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งรหัส (Code Division Multiplexing : CDM) การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ CDM นี้ จะเรียกว่า การเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access : CDMA) แต่ละช่องสัญญาณจะใช้ความถี่กว้างแถบเดียวกันและเวลาเดียวกันได้ แต่ละช่องสัญญาณจะมีรหัสที่ต่างกัน



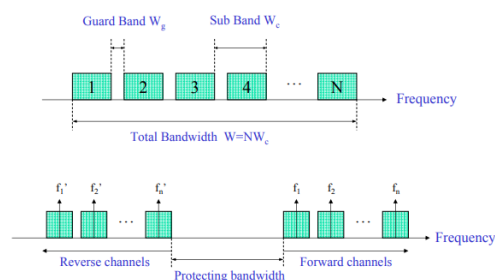
Part 1: Using FDMA

FDMA

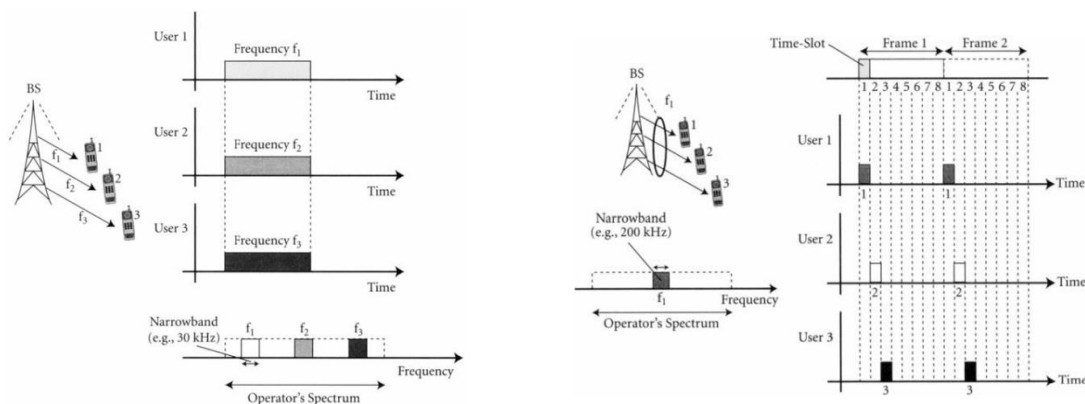


(a)

FDMA: Channel Structure

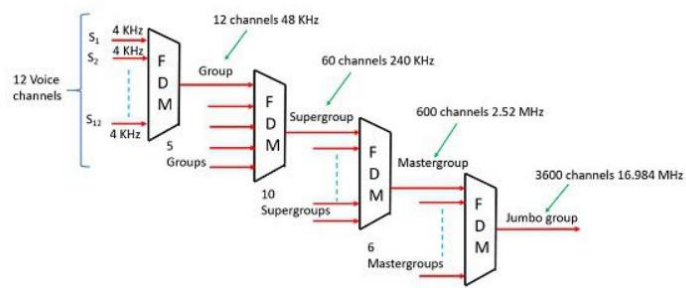


(b)

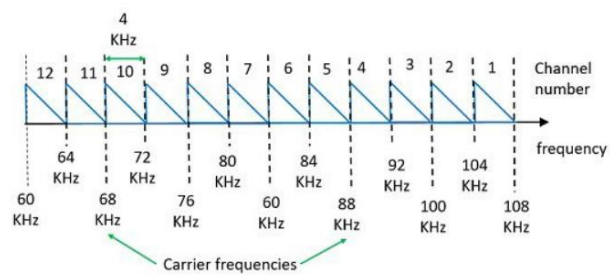


รูปที่ 3 FDMA, TDMA systems

รูปที่ 3 แสดงหลักการการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ แบ่งความถี่และแบ่งเวลา รูปที่ 3(a) แสดงหลักการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ที่ใช้ในด้านส่ง และการดีมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ที่ใช้ในด้านรับ โดยมีจำนวนสัญญาณ N ช่องสัญญาณ ส่วนรูปที่ 3(b) แสดงวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่จำนวน N ช่องสัญญาณ รูปที่ 4(a) แสดงถึง ITU FDMA Hierarchy รูปที่ 4(b) แสดงรายละเอียดการมัลติเพล็กซ์เป็น group (12 chs) รูปที่ 5 เครื่องส่ง รูปที่ 6 เครื่องรับ



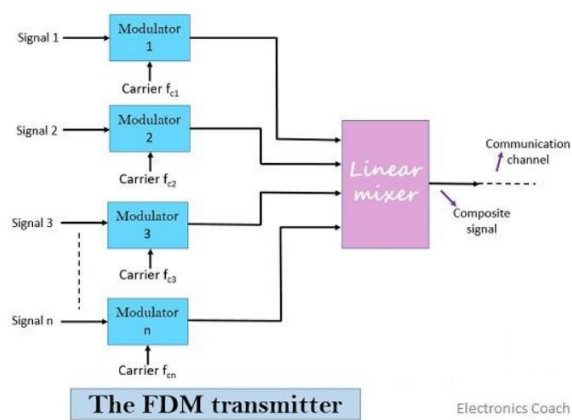
(a)



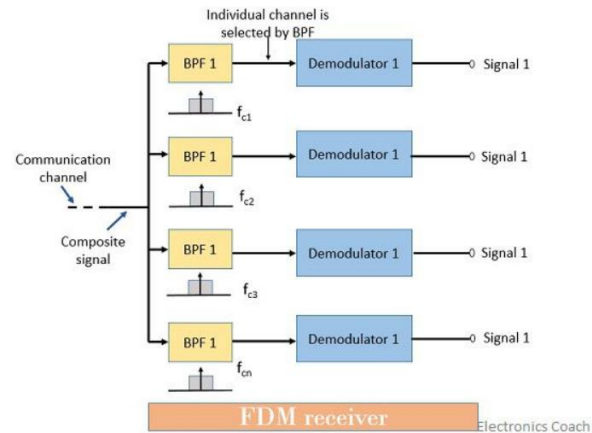
Frequency plan for basic group of FDM

(b)

รูปที่ 4 ITU FDMA Hierachy



รูปที่ 5 Transmitter



รูปที่ 6 Receiver

การทดลอง 1 FDMA

ให้นักศึกษาเขียนโปรแกรมการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ จำนวน 3 ช่องสัญญาณ โดยใช้โปรแกรม MATLAB

1. Message เป็นสัญญาณ sinusoidal มีความถี่ ดังนี้ 4 Hz, 5 Hz, 6 Hz, แอมพลิจูด 2 V
2. Carrier เป็นสัญญาณ sinusoidal มีความถี่ ดังนี้ 50 Hz, 150 Hz, 250 Hz, แอมพลิจูด 2 V
3. ผลที่ต้องการ (เรียงตามลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบ)

รูปของ message (time and frequency domain)

รูปของ carrier (time and frequency domain)

รูปของ Composite signal (time and frequency domain)

รูปของ Recovered message signal (time and frequency domain)

4. Order = 5 ทั้งวงจรกรองความถี่ bandpass และ lowpass
5. ความถี่ sampling เท่ากับ 2,000 Hz

ตัวอย่างโปรแกรม

```

clc; clear all; close all;
%Matlab program for frequency division multiplexing (FDM)
%Message signals generation
fs=2000; %sampling frequency
t=0:1/fs:1 %time
%Message signal 1
Am1=2; %Message signal 1 amplitude
fm1=4;
m1=Am1*cos(2*pi*fm1*t); %message signal 1

%Carrier signal generation
%Carrier signal 1
Ac1=2; %Carrier signal 1 amplitude
fc1=50; %Carrier signal 1 frequency
c1=Ac1*cos(2*pi*fc1*t); %Carrier signal 1

%Composite signal
x=m1.*c1+m2.*c2+m3.*c3;
figure (1);
plot(t,x);
xlabel('Time');
ylabel('Amplitude');
title('Composite signal');

%spectrum of the composite signal
%Absolute frequency on X-axis vs Magnitude on Y-axis
N=length(x);
X=fftshift(fft(x,N));
f=fs*[-N/2:N/2-1]/N;
figure(2);
plot(f,abs(X));
xlabel('Absolute frequency');
ylabel('DFT values');
title('Spectrum of composite signal');

%Recovered message signal 1
%Bandpass filtering
[num den]=butter(5,[(fc1-fm1)*2/fs (fc1+fm1)*4/fs]);
%[num den]=butter(5,[fc1-fm1 fc1+fm1]*4/fs);
bpf_1=filter(num,den,x);
%mixing
z1=2*bpf_1.*c1;
%low pass filtering
[num den]=butter(5,fm1*4/fs);
rec1=filter(num,den,z1);
figure(3);
plot(f,rec1);
xlabel('Time');
ylabel('Amplitude');
title('Recovered of signal 1');

%Spectrum of the recovered signal 1
%Absolute frequency on X-axis vs Magnitude on Y-axis

```

```

N=length(rec1);
R1=fftshift(fft(rec1,N));
f=fs*[-N/2:N/2-1]/N;
figure(4);
plot(f,abs(R1));
xlabel('Absolute frequency');
ylabel('DFT values');
title('Spectrum of recovered signal 1');

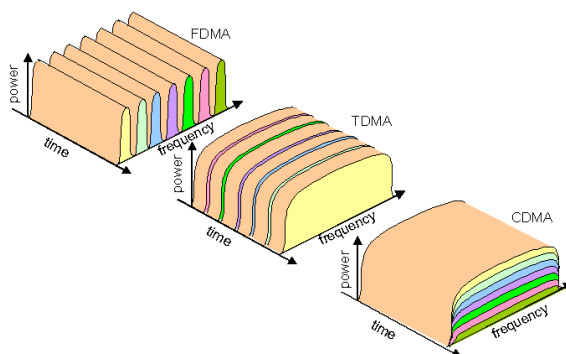
```

*** ให้นักศึกษาออกแบบส่วนแสดงผลใหม่ ให้มีรูปแบบที่ ดูและเข้าใจง่าย ***

Part 2: Using CDMA

หลักการเบื้องต้นของการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งรหัส

ในรูปที่ 7 แสดงถึงเทคนิคการเข้าถึงหลายทาง แบบแบ่งความถี่ แบบแบ่งเวลา และแบบแบ่งรหัสตามลำดับ



รูปที่ 7 การเข้าถึงหลายทางแบบ แบ่งความถี่ (FDMA) แบบแบ่งเวลา (TDMA) และ แบบแบ่งรหัส (CDMA)

เทคนิคการเข้าถึงช่องสัญญาณหลายทางแบบแบ่งรหัส หรือระบบซีดีเอ็มเอนั้น อนุญาตให้ทุกผู้ใช้ใช้ทรัพยากรความถี่ และเวลาร่วมกันได้ โดยข้อมูลของแต่ละผู้ใช้งานในระบบจะถูกแยกจากกัน ด้วยชุดรหัสเฉพาะสำหรับผู้นั้น ๆ ซึ่งการเข้ารหัสจะเป็นการแผ่สเปกตรัมของสัญญาณ และเรียกว่า การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread Spectrum Modulation) ในระบบซีดีเอ็มเอ มีอยู่สองประเภทหลัก คือ วิธีการจัดลำดับการเข้าถึงโดยตรง (Direct-Sequence : DS) และวิธีการกระโดดเปลี่ยนทางความถี่ (Frequency Hopping : FH)

นอกจากนี้ยังเรียกสัญญาณที่ถูกเข้ารหัสว่าสัญญาณสเปกตรัมแผ่ (Spread-Spectrum Signal) โดยส่วนใหญ่จะเรียกการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสนี้ ว่าการเข้าถึงหลายทางแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread - Spectrum Multiple Access : SSMA)

การเข้าถึงข้อมูลหลายทางโดยการใช้แบ่งรหัสนั้น คุณสมบัติการเข้าถึงหลายทาง สามารถทำได้โดยการเข้ารหัส ซึ่งผู้ใช้แต่ละคนจะถูกกำหนดลำดับรหัส (Code Sequence) ให้ เครื่องรับที่รู้ลำดับรหัสของผู้ใช้แต่ละคนเท่านั้น จึงจะสามารถรับสัญญาณและทำการถอดรหัส เพื่อให้ได้ข้อมูลเดิมกลับมา เนื่องจากความกว้างแถบของสัญญาณรหัสดังกล่าว มีค่ามากกว่าความกว้างแถบของสัญญาณข้อมูลมาก ทำให้กระบวนการเข้ารหัสนั้น มีผลทำให้เกิดการแผ่กว้างของสเปกตรัมของสัญญาณ

เทคนิคการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ พัฒนาขึ้น สำหรับใช้งานในระบบเรดาร์ทางการทหาร เนื่องจากเทคนิคการมอดูเลตแบบนี้ สามารถป้องกันการส่งสัญญาณรบกวน (Jamming Signal) ได้ดี และมีความน่าจะเป็นในการถูกดักจับสัญญาณต่ำ และได้มีการพัฒนาใช้ในระบบสื่อสารต่าง ๆ ต่อมาตามลำดับ การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ จะทำการเข้ารหัสสัญญาณข่าวสารด้วยสัญญาณรหัสที่มีความเป็นอิสระไม่ขึ้นกับสัญญาณข้อมูลและความกว้างของสเปกตรัมมากกว่าสัญญาณข้อมูลมาก ซึ่งจะเป็นผลทำให้กำลังของสัญญาณข้อมูลมีการแผ่กว้างออกไปตลอดช่วงของความกว้างแถบของสัญญาณสเปกตรัมแผ่นั้น เป็นผลทำให้สัญญาณสเปกตรัมแผ่มีความหนาแน่น (Density) ของกำลังงานลดลง อัตราส่วนของความกว้างแถบของสัญญาณสเปกตรัมแผ่ต่อความกว้างแถบของสัญญาณข้อมูล จะถูกเรียกว่าอัตราขยายการประมวลผล (Processing Gain : G_p) ของระบบสเปกตรัมแผ่

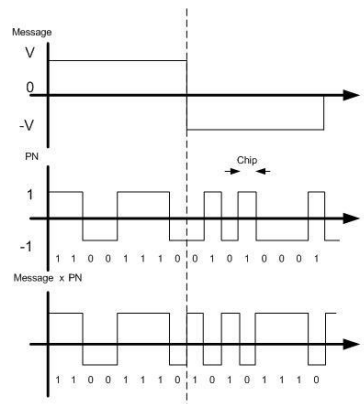
$$G_p = \frac{W_t}{W_i}$$

เมื่อ W_t คือ ความกว้างแถบของการส่งสัญญาณและ

W_i คือ ความกว้างแถบของสัญญาณข้อมูล

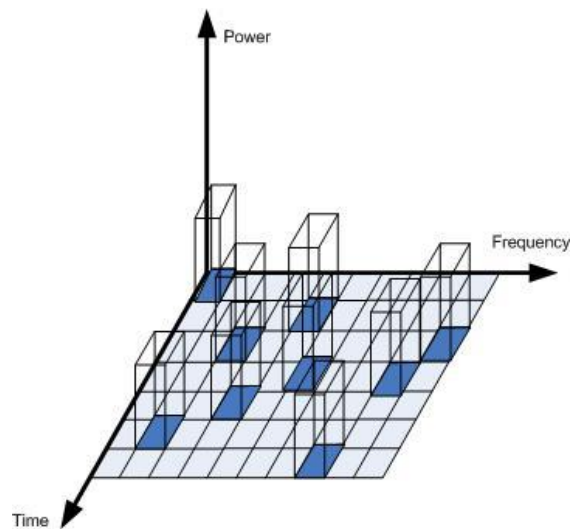
ระบบซีดีเอ็มเอเป็นระบบที่อนุญาตให้ผู้ใช้จำนวนมาก ส่งข้อมูลลงบนแบนด์วิดท์ (Bandwidth) เดียวกันและเวลาเดียวกันได้ โดยข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคน จะถูกแยกแยะออกจากกัน ด้วยชุดของรหัสที่แตกต่างกันสำหรับผู้ใช้ในแต่ละคน ที่เรียกว่า รหัสแผ่ (Spreading Code) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น ๒ ประเภทใหญ่ ๆ คือ วิธีการจัดลำดับการเข้าถึงโดยตรง (Direct-Sequence : DS) และ วิธีการกระโดดเปลี่ยนทางความถี่ (Frequency Hopping : FH) โดยมีรายละเอียดของแต่ละวิธีดังนี้

1. วิธีการจัดลำดับการเข้าถึงโดยตรง (Direct-Sequence : DS) ทำการแปลงข้อมูลแต่ละบิตเป็นรหัสที่มีจำนวนบิตข้อมูลมากกว่า แล้วเรียกแต่ละบิตของรหัสใหม่ว่า “ชิป” (Chip) ซึ่งความกว้างของ ชิป มีขนาดเล็กกว่า ความกว้างของบิตข้อมูล (Bit Data) มาก ๆ ดังตัวอย่างในรูปที่ 8



รูปที่ 8 Direct Sequence

2. วิธีการกระโดดเปลี่ยนทางความถี่ (Frequency Hopping : FH) ทำการแบ่งช่วงความถี่ออกเป็น N ช่อง แล้วให้ผู้ใช้แต่ละคนส่งบิตข้อมูลแบบกระโดดไปมาในช่วงความถี่ทั้ง N ช่องนั้น โดยวิธีการกระโดดจะสอดคล้องกับรหัสของผู้ใช้คนนั้น ๆ ดังตัวอย่างในรูปที่ 9



รูปที่ 9 Frequency Hopping

รหัสแผ่ (Spreading Code)

ในระบบ DS-CDMA รหัสแผ่จะถูกนำมาใช้เพื่อแบ่งแยกแต่ละผู้ใช้ออกจากกัน รหัสแผ่ที่ดีจะต้องตั้งฉากกันอย่างสมบูรณ์ หรือมีค่าสหสัมพันธ์ข้ามระหว่างรหัสเป็นศูนย์ อย่างไรก็ตามรหัสแผ่ที่ดีนั้นจะออกแบบได้ยาก อีกทั้งมีจำนวนชุดรหัสให้ใช้ได้จำกัด และอาจตั้งฉากกันอย่างไม่สมบูรณ์ เนื่องจาก

สภาพแวดล้อม เช่น มีค่าประวิงเวลาที่ไม่เท่ากัน รหัสแ่ที่ถูกเสนอในระบบ DS-CDMA มีอยู่ สองประเภทหลัก ๆ คือ

1. **Orthogonal Code** เป็นรหัสไบนารีที่ตั้งฉากกันสมบูรณ์ นั่นคือ ค่า Cross Correlation ของรหัสเป็นศูนย์ ซึ่งหมายความว่า การพยายามที่จะถอดรหัสด้วยรหัสชุดอื่นที่ไม่ตรงกันก็จะไม่สามารถได้ข้อมูลอะไรออกมาเลย ตัวอย่างของรหัสนี้ ได้แก่ Hadamard Walsh Code เป็นต้น

2. **PN Code (Pseudorandom Noise Code)** เป็นรหัสไบนารีที่มีคุณสมบัติคล้ายกับสัญญาณรบกวน ซึ่งเป็นกระบวนการแบบสุ่ม และเป็นรหัสที่ตั้งฉากกันอย่างไม่สมบูรณ์ รหัสชนิดนี้จะมีค่า Cross Correlation ระหว่างรหัสต่ำมาก หรือมีค่า Cross Correlation ไม่เท่ากับศูนย์ โดย PN Code ที่ใช้ในระบบซีดีเอ็มเอ สามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ แบบ Short Code และแบบ Long Code

การสร้าง Hadamard Walsh Code

สามารถสร้างได้จาก Hadamard Matrix, \mathbf{H}_{2^m} โดยที่ $m=2^i$ และ $i = 0, 1, 2, ..$

\mathbf{H}_{2^m} สามารถสร้างได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\mathbf{H}_{2^m} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_m & \mathbf{H}_m \\ \mathbf{H}_m & \overline{\mathbf{H}_m} \end{bmatrix} \quad \text{หมายเหตุ; } \mathbf{H}_1 = [0]$$

เช่น ในกรณี $m = 1$

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_2 &= \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 & \mathbf{H}_1 \\ \mathbf{H}_1 & \overline{\mathbf{H}_1} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

ในกรณี $m = 2$

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_4 &= \begin{bmatrix} \mathbf{H}_2 & \mathbf{H}_2 \\ \mathbf{H}_2 & \overline{\mathbf{H}_2} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

ในกรณี $m = 4$

$$\mathbf{H}_8 = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_4 & \mathbf{H}_4 \\ \mathbf{H}_4 & \overline{\mathbf{H}_4} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

โดยค่าในแต่ละบรรทัด (Rows) ของเมตริกซ์ คือ ค่าของชุดรหัสหนึ่งชุดนั่นเอง เช่น จากเมตริกซ์ \mathbf{H}_8 จะได้ Hadamard Code ที่มีความยาว 8 บิต จำนวน 8 ชุด ดังนี้

Code ชุดที่ 1 0 0 0 0 0 0 0 0

Code ชุดที่ 2 0 1 0 1 0 1 0 1

Code ชุดที่ 3 0 0 1 1 0 0 1 1

Code ชุดที่ 4 0 1 1 0 0 1 1 0

Code ชุดที่ 5 0 0 0 0 1 1 1 1

Code ชุดที่ 6 0 1 0 1 1 0 1 0

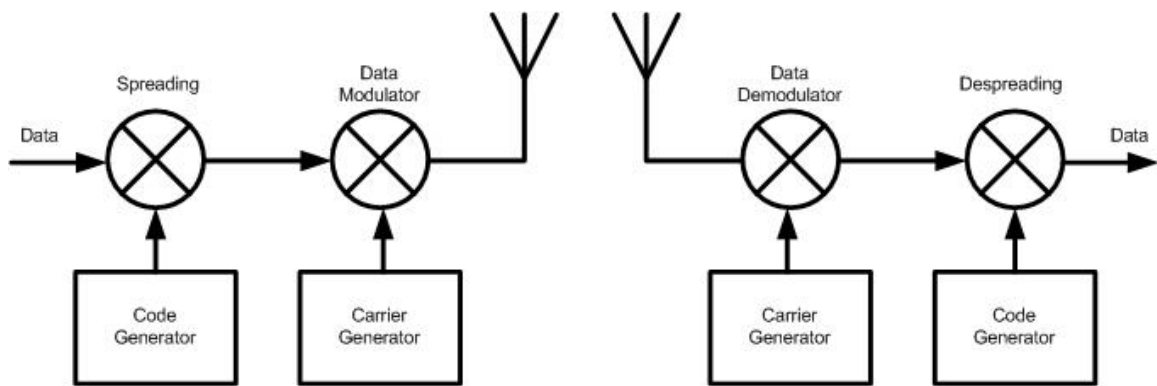
Code ชุดที่ 7 0 0 1 1 1 1 0 0

Code ชุดที่ 8 0 1 1 0 1 0 0 1

การส่งและรับสัญญาณเบสแบนด์

ขั้นตอนที่สำคัญในการสื่อสารข้อมูลในระบบ DS-CDMA คือ การแผ่หรือการสเปรด (Spreading) และการรวมกลับหรือการดีสเปรด (Despreading)

ขั้นตอนการสร้างสัญญาณ DS-CDMA สำหรับส่งออก เริ่มต้นด้วยการนำสัญญาณเสียง (หรือสัญญาณอื่น ๆ) ที่อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล ซึ่งมีอัตราบิตข้อมูลที่ค่อนข้างต่ำ มาคูณกับรหัสที่มีอัตราบิตข้อมูลที่สูงกว่ามาก ผลที่ได้คือ ข้อมูลที่มีอัตราการส่งสูงกว่าสัญญาณเสียงที่ต้องการจะส่งมาก ด้วยเหตุนี้จึงเรียกว่ามีการ สเปรดสเปกตรัม (Spread Spectrum) เกิดขึ้น และ แบนด์วิดท์ ของช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งข้อมูลจะต้องมีขนาดกว้างขึ้น ส่วนทางด้านภาครับจะมีการดีสเปรด สัญญาณที่รับได้เพื่อดึงสัญญาณเดิมกลับคืนมา ด้วยการคูณสัญญาณที่รับได้กับรหัสชุดเดิมที่เหมือนกับการคูณที่ภาคส่ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณทุก ๆ หนึ่งคาบของอัตราบิตข้อมูลของสัญญาณเสียง



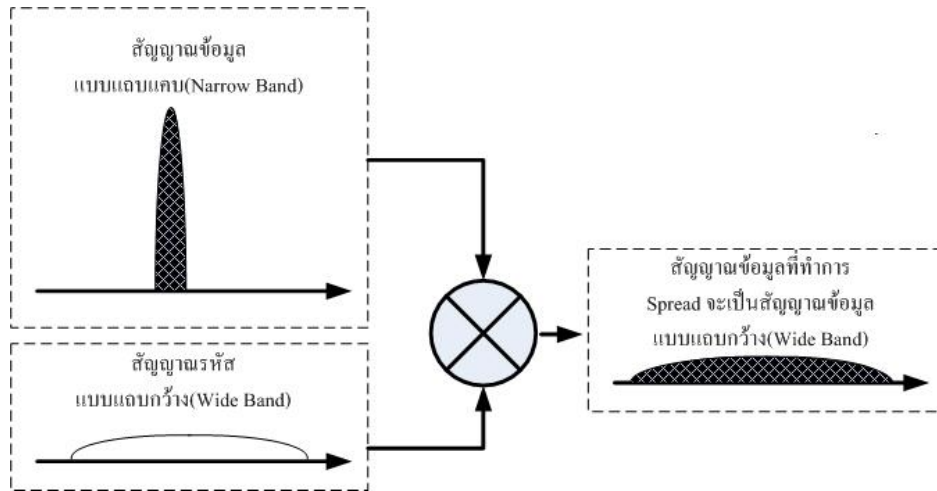
รูปที่ 10 บล็อกไดอะแกรมของการสเปรดสเปกตรัมและดีสเปรดสเปกตรัม

ตัวอย่างในการสเปรดและดีสเปรดในระบบ DS-CDMA

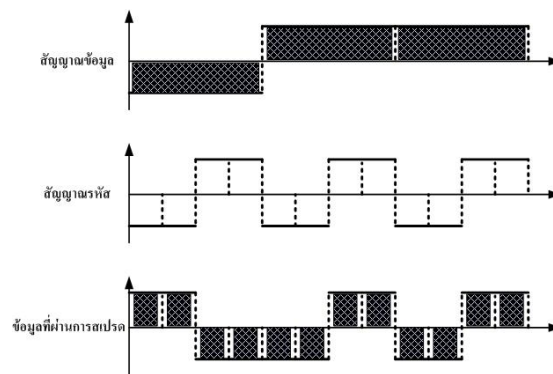
ในการสเปรดกระทำทางด้านส่ง ด้วยการกระจายแบนด์วิดท์ของสัญญาณข้อมูลให้กว้างขึ้น และ ดีสเปรด กระทำทางด้านรับ จะใช้กระบวนการเดียวกันกับการสเปรด เพื่อดึงข้อมูลที่ต้องการกลับคืนมา

ถ้าในระบบมีข้อมูลของผู้ใช้เพียงคนเดียว ที่มีความยาว 3 บิต คือ 0 1 1 โดยทำการส่งบนช่องสัญญาณ จากรูปที่ 11 จะสังเกตได้ว่า สัญญาณข้อมูล 1 แทนด้วยแรงดันไฟฟ้าเป็น 1 และ สัญญาณข้อมูล 0 แทนด้วยแรงดันไฟฟ้าเป็น -1 สัญญาณที่ทำการสเปรดแล้วจะถูกส่งออกไปบนคลื่นความถี่

เมื่อสัญญาณที่ถูกส่งออกมาถึงทางด้านรับ จะทำการดีสเปรดเพื่อดึงข้อมูลที่ต้องการกลับคืนมา คือ ถ้าต้องการข้อมูลของผู้ใช้จะต้องใช้รหัสตรงกับด้านส่ง ในการถอดรหัส ดังแสดงในรูปที่ 12

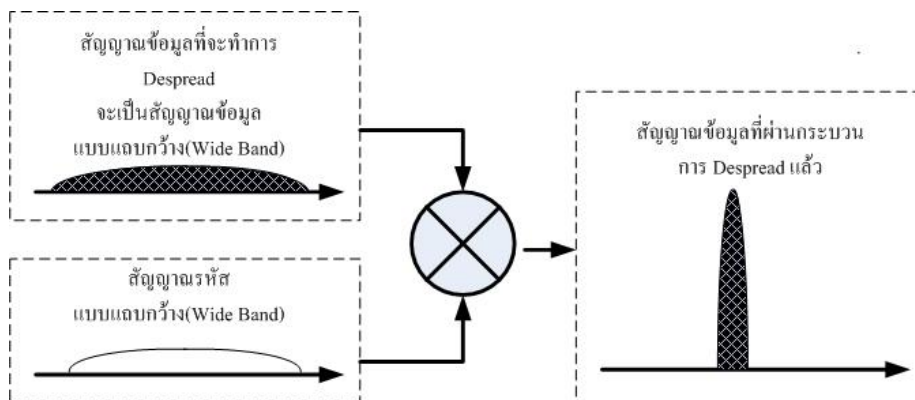


(a)

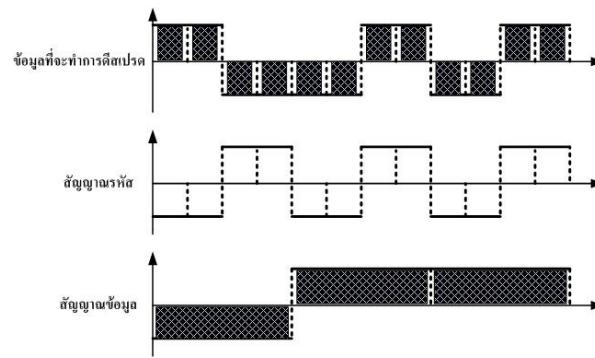


(b)

รูปที่ 11 ตัวอย่างการสเปรดข้อมูล เมื่อมีผู้ใช้เพียงคนเดียว



(a)

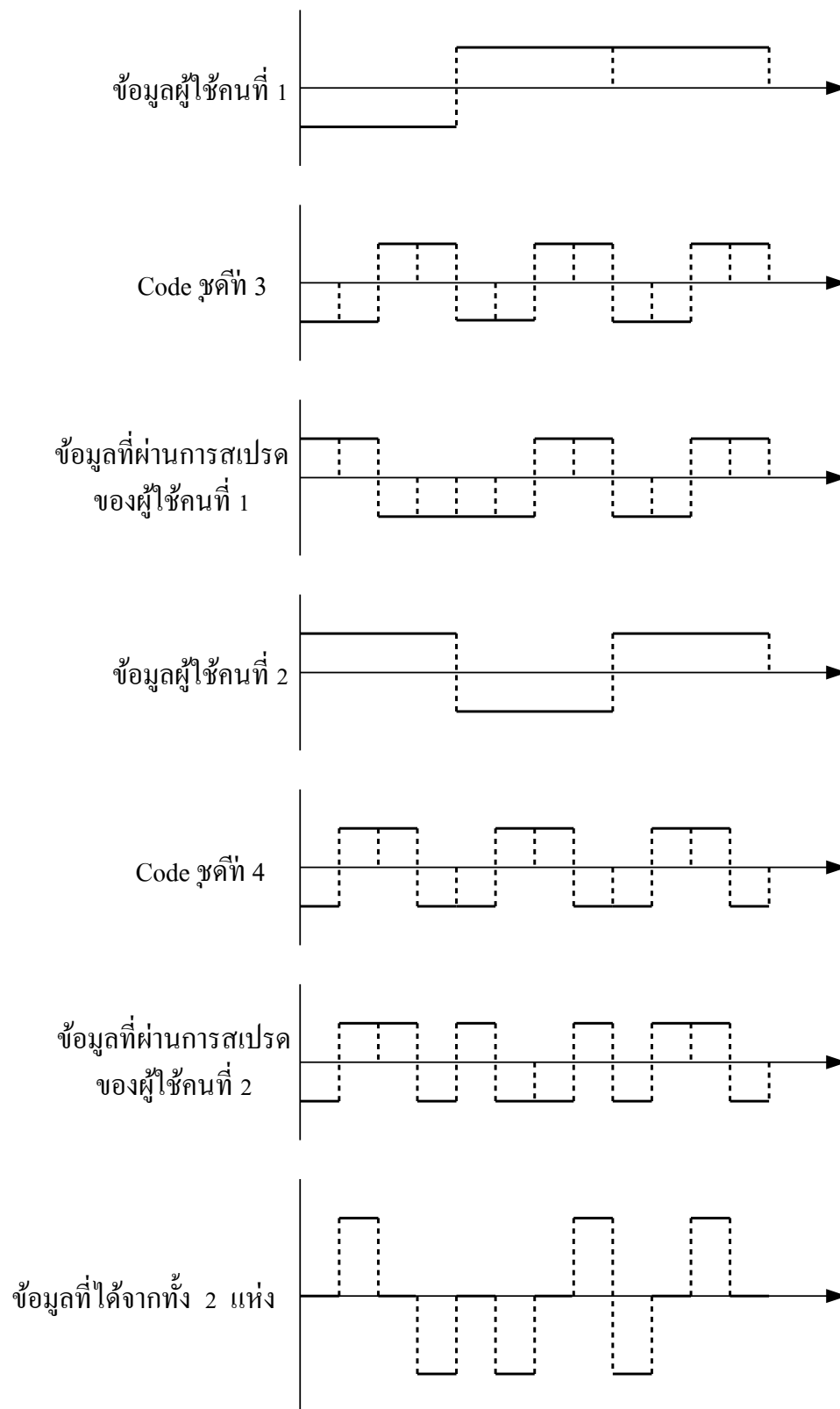


(b)

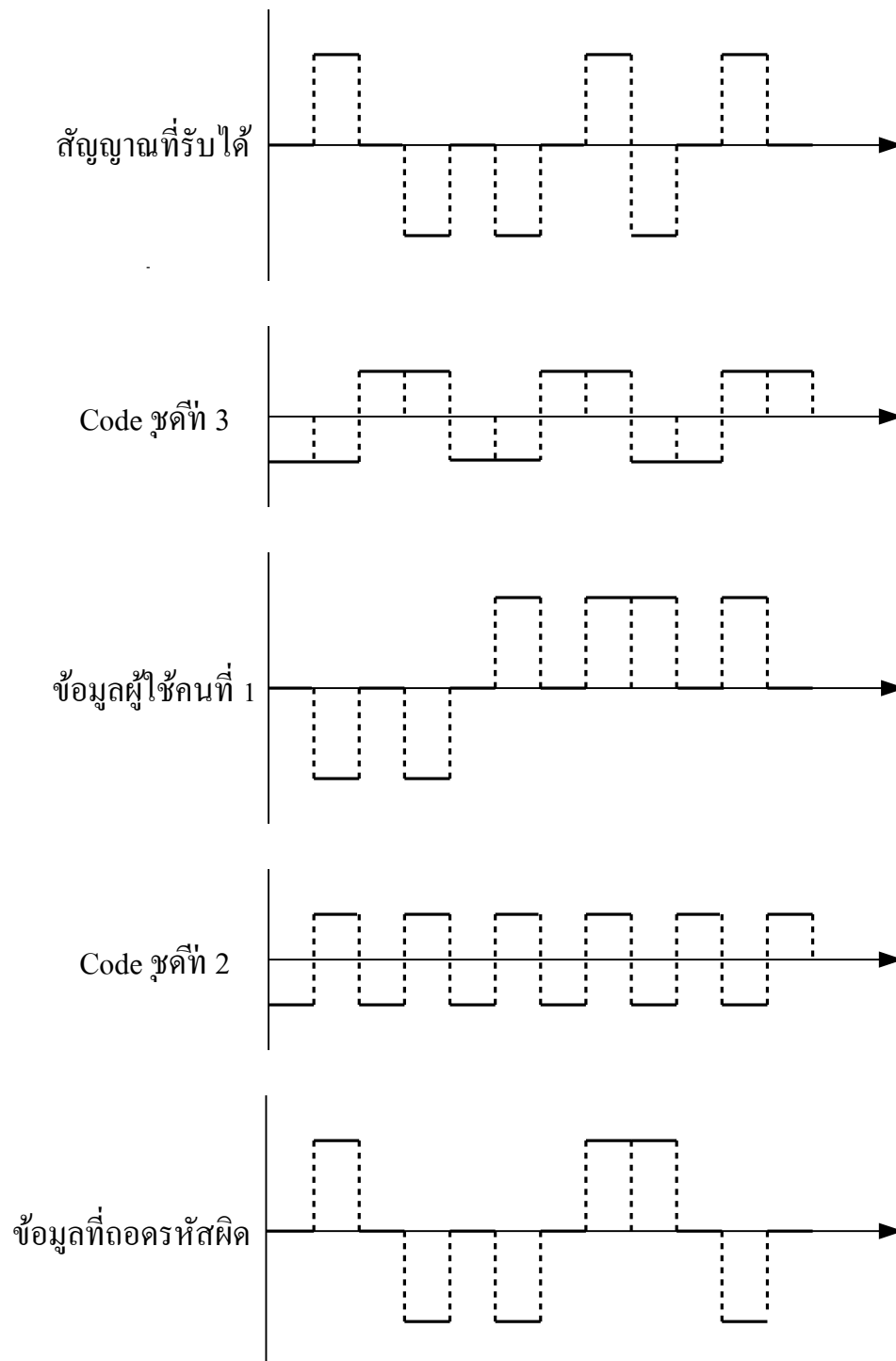
รูปที่ 12 ตัวอย่างการดีสเปรตข้อมูล เมื่อมีผู้ใช้เพียงคนเดียว

ถ้าในระบบมีข้อมูลของผู้ใช้จำนวน 2 คน ที่มีความยาว 3 บิต คือ 0 1 1 และ 1 0 1 โดยทำการส่งบนช่องสัญญาณที่ 3 และ 4 (ใช้ Code ชุดที่ 3 และ 4) ตามลำดับ จากรูปที่ 13 จะสังเกตได้ว่า สัญญาณที่ทำการสเปรตแล้วทั้ง 2 จะถูกส่งออกไปพร้อมกันบนคลื่นความถี่เดียวกัน

เมื่อสัญญาณที่ถูกส่งออกมาถึงทางด้านรับ จะทำการดีสเปรต เพื่อดึงข้อมูลที่ต้องการกลับคืนมา คือ ถ้าต้องการข้อมูลของผู้ใช้คนที่ 1 จะต้องใช้ Code ชุดที่ 3 ในการถอดรหัส แต่ถ้าเป็น Code ชุดอื่นที่ไม่ถูกต้อง เช่น ใช้ Code ชุดที่ 2 มาถอดรหัส จะไม่สามารถตีความได้ ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 13 ตัวอย่างการสเปรดข้อมูล เมื่อมีผู้ใช้ 2 คน



รูปที่ 14 ตัวอย่างการดีสเพรด์ข้อมูล เมื่อมีผู้ใช้ 2 คน

การทดลองที่ 2 โปรแกรมการสร้าง Hadamard Walsh Code

ให้นักศึกษาทำการทดลองพิมพ์โปรแกรมตามตัวอย่างและรัน เพื่อบันทึกผลการทดลองพร้อมกับพล็อตกราฟของ Code ที่ได้ โดยความยาวของ Code มีค่าเท่ากับ 2^n บิต เมื่อ $n = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ และ 6

```

clear;

clc;

L_Code=input('Please Input Length of
Code:(1,2,4,8,16,32,64):');

In_Code=input('Please Input Index of
Code:(not more than Length of
Code!!!):');

c_1=[0];

c_2=[c_1 c_1;c_1 not(c_1)];

c_3=[c_2 c_2;c_2 not(c_2)];

c_4=[c_3 c_3;c_3 not(c_3)];

c_5=[c_4 c_4;c_4 not(c_4)];

c_6=[c_5 c_5;c_5 not(c_5)];

c_7=[c_6 c_6;c_6 not(c_6)];

if L_Code==1

    B_Code=c_1;

elseif L_Code==2

    B_Code=c_2;

elseif L_Code==4

    B_Code=c_3;

elseif L_Code==8

    B_Code=c_4;

elseif L_Code==16

    B_Code=c_5;

elseif L_Code==32

    B_Code=c_6;

elseif L_Code==64

    B_Code=c_7;

else

    ('Please Input Length 1,2,4,8,16,32,64')

end

Out_Code=B_Code(In_Code,:);

Stem(Out_Code)

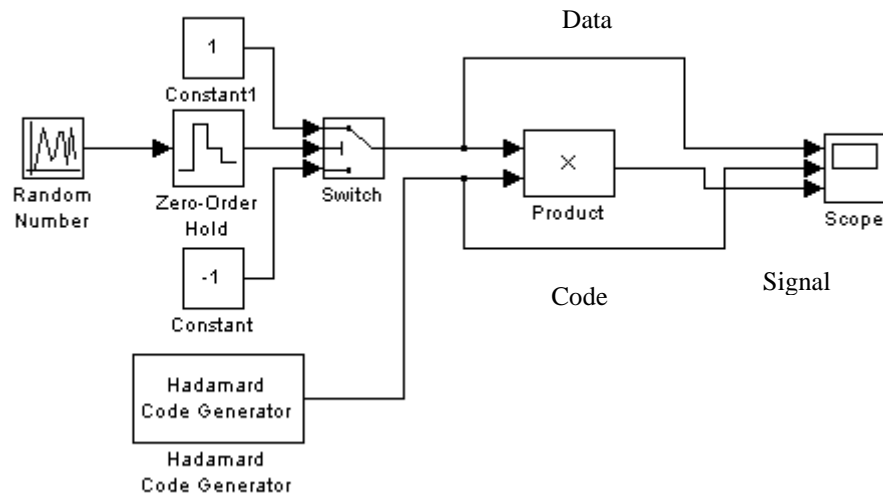
```

ผลการทดลองที่ 2

- 1.1 code ที่ได้เมื่อ $n = 0$
 รูปกราฟที่ได้
- Input Index 1 ชุดที่ 1
 Input Index 1 ชุดที่ 1
- 1.2 code ที่ได้เมื่อ $n = 1$
 รูปกราฟที่ได้
- Input Index 1 ชุดที่ 1
 Input Index 2 ชุดที่ 2
 Input Index 1 ชุดที่ 1
 Input Index 2 ชุดที่ 2
- 1.3 code ที่ได้เมื่อ $n = 2$
 รูปกราฟที่ได้
- Input Index 1 ชุดที่ 1
 Input Index 2 ชุดที่ 2
 Input Index 3 ชุดที่ 3
 Input Index 4 ชุดที่ 4
 Input Index 1 ชุดที่ 1
 Input Index 2 ชุดที่ 2
 Input Index 3 ชุดที่ 3
 Input Index 4 ชุดที่ 4
- 1.4 ทดลองซ้ำ เมื่อ $n = 3, n = 4, n = 5$ และ $n = 6$ ตามลำดับ (ไม่ต้องบันทึกผล)

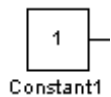
การทดลองที่ 3 แบบจำลองการ Spread และ Despread

ให้นักศึกษาทำการสร้างบล็อกไดอะแกรมของระบบการสื่อสาร DS-CDMA ตามรูปที่ 14 และ 15 พร้อมศึกษาการทำงานของแต่ละบล็อก บันทึกผลการทดลองและพล็อตรูปกราฟที่ได้ ณ แต่ละจุด แต่ละขั้นตอนในระบบสื่อสาร (ดูผลที่ scope)



รูปที่ 14 แบบจำลองภาคส่ง

กำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

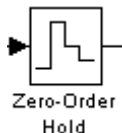


(Sources → Constant) กำหนดค่า Constant value เท่ากับ 1 และ -1

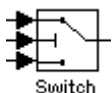


(Sources → Random Number) กำหนดค่า

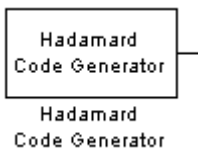
- Mean เท่ากับ 0
- Variance เท่ากับ เลขสองตัวหลังของรหัสนักศึกษา
- Initial seed เท่ากับ 100*randn(1)
- Sample time เท่ากับ 0



(Discrete → Zero-Order Hold) กำหนดค่า Sample Time เท่ากับ 1



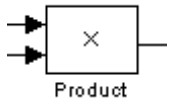
(Signal Routing → Switch) กำหนดค่า Threshold เท่ากับ 0



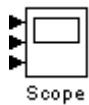
(Blocksets & Toolboxes → Comm Blockset → Comm Sources →

Sequence Generators → Hadamard Code Generator) กำหนดค่า

- Code Length เท่ากับ 8
- Code Index เท่ากับ 0-7
- Sample Time เท่ากับ 1/8



(Math → Product) กำหนดค่า Number of inputs เท่ากับ 2

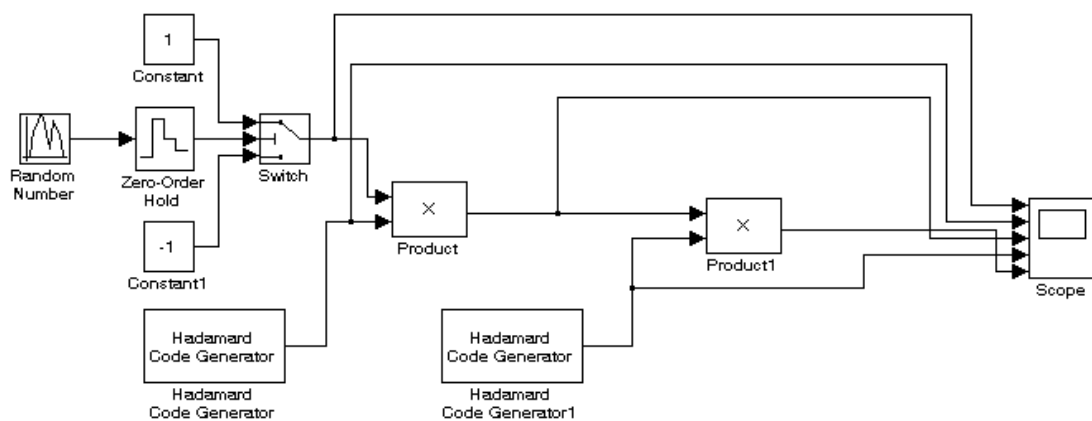


(Sinks → Scope) คลิกที่ไอคอน Parameters กำหนดค่า

- Number of axes เท่ากับ 3 สำหรับรูปที่ 9 และ 5 สำหรับรูปที่ 10
- Time range ตั้งค่าเป็น auto
- Ticks labels ตั้งค่าเป็น bottom axis only
-

เมื่อทำการตั้งค่าทั้งหมดแล้วให้ เข้าเมนูดังนี้ Simulation → Simulation parameters... กำหนดค่า

- Start time เท่ากับ 0
- Stop time เท่ากับ 8



รูปที่ 15 แบบจำลองภาคส่งและรับ

ผลการทดลองที่ 3 รูปที่ได้จากแบบจำลองในรูปที่ 14.....

รูปที่ได้จากหน้าต่างการกำหนด เลขสองตัวหลังของรหัสนักศึกษา.....

รูปที่ได้จากหน้าต่างการกำหนด Code Index เท่ากับ 1

รูปที่ได้จากแบบจำลองในรูปที่ 14.....

รูปที่ได้จากหน้าต่างการกำหนด เลขสองตัวหลังของรหัสนักศึกษา.....

รูปที่ได้จากหน้าต่างการกำหนด Code Index เท่ากับ 4

รูปที่ได้จากแบบจำลองในรูปที่ 14.....

รูปที่ได้จากหน้าต่างการกำหนด เลขสองตัวหลังของรหัสนักศึกษา.....

รูปที่ได้จากหน้าต่างการกำหนด Code Index เท่ากับ 7.....

รูปที่ได้จากแบบจำลองในรูปที่ 15.....

รูปที่ได้จากหน้าต่างการกำหนด เลขสองตัวหลังของรหัสนักศึกษา.....

รูปที่ได้จากหน้าต่างการกำหนด Code Index เท่ากับ 2.....

รูปที่ได้จากแบบจำลองในรูปที่ 15.....

รูปที่ได้จากหน้าต่างการกำหนด เลขสองตัวหลังของรหัสนักศึกษา.....

รูปที่ได้จากหน้าต่างการกำหนด Code Index เท่ากับ 6.....

*** ให้นักศึกษาสร้างแบบจำลองระบบสื่อสารซีดีเอ็มเอที่มีผู้ใช้งานสองคน ***

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายว่าระบบ CDMA แตกต่างจากระบบ FDMA และ TDMA อย่างไร
2. Code ที่ใช้ในระบบ CDMA มีกี่ชนิด และมีอะไรบ้าง
3. ค่า Processing Gain ที่ใช้ในการทดลองมีค่าเท่ากับเท่าไร
4. จงอธิบายหลักการทำงานของ Spread Spectrum และ Despread Spectrum

5. เขียนโครงสร้างของระบบ DS-CDMA ทั้งภาคส่งและภาครับที่ใช้งานจริง(เชิงพาณิชย์)ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ แบบ CDMA
6. จงอธิบายวิธีการตรวจสอบความเป็น Orthogonal กันของ Code ว่ามีวิธีการตรวจสอบอย่างไร
7. ระบบ CDMA มีข้อดีหลายอย่าง จงอธิบายข้อดีของระบบ CDMA ที่สามารถป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าระบบ TDMA
8. สรุปผลการทดลอง

ZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZZ