การศึกษาแมตช์ฟิลเตอร์สำหรับภาครับในการส่งสัญญาณแบบยูนิโพลาร์

STUDY OF MATCHED FILTER FOR THE RECEIVER IN UNIPOLAR TRANSMISSION

นายจารุวัฒน์ พัฒน์มณี รหัส 53362525

วันที่รับ 19 พ.ค. 57
เลขทะเบียน 1688480
เลขเรียกหนังสือ ฝว
มหาวิทยาลัยนเรศวร A 348 จ
2557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2556

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาแมตช์ฟิลเตอร์สำหรับภาครับในการส่งสัญญาณแบบยูนิโพลาร์
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายจารุวัฒน์ พัฒน์มณี รหัส 53362525
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเชษฐ์ กานต์ประชา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2556

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเชษฐ์ กานต์ประชา)

.....กรรมการ
(ดร. ชัยรัตน์ พินทอง)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัครพันธ์ วงศ์กังแห)

หัวข้อโครงงาน	การศึกษาแมตช์ฟิลเตอร์สำหรับภาครับในการส่งสัญญาณแบบยูนิโพลาร์
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายจารุวัฒน์ พัฒน์มณี รหัส 53362525
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเชษฐ์ กานต์ประชา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ระบบการสื่อสารที่ใช้กระบวนการ Matched Filter ในการเพิ่ม Signal to Noise Ratio (SNR) ของสัญญาณที่ภาครับให้ได้ค่าสูงที่สุด ซึ่งการวิเคราะห์จะเน้นไปที่ประสิทธิภาพของระบบ โดยการวิเคราะห์จะอาศัยหลักความน่าจะเป็นในการหาค่าอัตราบิตผิดพลาด (BER) ซึ่งจะทำการทดลองโดยการจำลองระบบสื่อสารที่มีกระบวนการ Matched Filter อยู่ในภาครับ โดยอาศัยการส่งสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar และมีการเพิ่มสัญญาณรบกวนแบบ Additive White Gaussian Noise (AWGN) เข้าไปในช่องส่งสัญญาณ โครงงานนี้จะอาศัยการพัฒนาโปรแกรม MATLAB เพื่อการสร้างแบบจำลองของระบบ

จากการศึกษาทำให้ทราบว่าเมื่อมีการใช้กระบวนการ Matched Filter ในภาครับแล้วนั้นจะมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงก่อนที่จะนำสัญญาณจาก Matched Filter ไปใช้ในการหาประสิทธิภาพของระบบคือ ค่า Threshold และ Sampling point ซึ่งจากการสร้างแบบจำลองระบบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพทำให้ทราบว่า เมื่อมีการตั้งค่า Threshold เป็น 0.5 และเลือกค่า Sampling point เป็นตำแหน่งสุดท้ายทางเวลาของแต่ละบิตจะทำให้ค่า BER ของระบบมีค่าเข้าใกล้ค่า BER จากทฤษฎี

Project title	Study of Matched Filter for the Receiver in Unipolar Transmission
Name	Mr. Jaruwat Patmanee ID. 53362525
Project advisor	Asst. Prof. Surachet Kanprachar, Ph.D.
Major	Electrical Engineering
Department	Electrical and Computer Engineering
Academic year	2013

Abstract

In this project, Matched Filter is studied at the receiver with unipolar transmission. The process of Matched Filter gives the maximum value of Signal to Noise Ratio (SNR). The analysis is based on the Bit Error Rate (BER), which is conducted by simulating communication systems with the Matched Filter at the receiver by unipolar transmission. Additive White Gaussian Noise (AWGN) is added to the channel. This project is based on the development of a MATLAB program to create a model of the system.

From the analysis, it is found that two factors affect the performance of the system with Matched filter that is, the sampling point and the threshold. From the simulation, the optimum value of threshold is 0.5 and the optimum sampling point is at the end of each receive bit. BER from these values is identical to the BER theoretically

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมไฟฟ้าฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ผู้ดำเนินโครงงานขอขอบพระคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและแนะนำข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินโครงงานตลอดมาจนสำเร็จดังนี้ พ่อ แม่ และพี่สาวที่คอยแนะนำให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้เสมอมา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรเชษฐ์ กานต์ประชา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือตลอดมาจนโครงงานสำเร็จ ดร. ชัยรัตน์ พินทอง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัครพันธ์ วงศ์กังแห คณะกรรมการสอบโครงงานที่ให้คำแนะนำและสละเวลาในการคุมสอบโครงงานนี้ สำนักหอสมุด และห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสืบค้นข้อมูล รวมถึงเอกสารและหนังสือประกอบโครงงาน

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคน และบุคลากรท่านอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวถึง ที่ได้ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์ในการดำเนินโครงงานจนสำเร็จ

นายจารุวัฒน์ พัฒน์มณี

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 2
1.5 ผลคาดว่าจะได้รับ 4
1.6 งบประมาณ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 การสร้างสัญญาณแบบ Unipolar 5
2.2 การสร้างสัญญาณรบกวน (Noise) 7
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง *SNR* และ E_b/N_0 9
2.4 Matched Filter 13
2.5 Bit Error Rate 16
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 18
3.1 การสร้างสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar 18
3.2 การสร้างสัญญาณรบกวน 19
3.3 การสร้าง Matched Filter 19
3.4 การหาค่า BER 19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน 21

4.1 ผลการสร้างสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar 21

4.2 ผลการสร้างสัญญาณรบกวน 22

4.3 ผลการรวมสัญญาณข้อมูล กับ สัญญาณรบกวน 24

4.4 ผลการสร้างสัญญาณจาก Matched Filter 27

4.5 ผลการวิเคราะห์สัญญาณจาก Matched Filter 1 บิต 30

4.6 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ Matched Filter 37

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 45

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 45

5.2 ปัญหาในการดำเนินโครงงาน 46

5.3 ข้อเสนอแนะ 46

เอกสารอ้างอิง 47

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 48

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่า E_b ของการมอดูเลตแบบต่างๆ 11

4.1 ค่า BER ที่ Threshold ต่างๆ ที่ Sampling point คือ f_s 37

4.2 ค่า BER ที่ Threshold ต่างๆ ที่ Sampling point คือ $f_s - 1$ 38

4.3 ค่า BER ที่ Threshold ต่างๆ ที่ Sampling point คือ $f_s - 2$ 39

4.4 ค่า BER ที่ Threshold ต่างๆ ที่ Sampling point คือ $f_s - 3$ 40

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การส่งสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar ในทางเวลา 6

2.2 การส่งสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar ในทางความถี่ 6

2.3 การส่งสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar ที่เป็นบิต 1 ยาวๆ 7

2.4 การกระจายตัวแบบ Gaussian 8

2.5 Matched Filter 13

2.6 ผลของ Matched Filter กับ White Noise 15

2.7 กราฟการประมาณค่า Q-function 16

2.8 ค่า BER ที่การกล้ำสัญญาณแบบต่างๆ 17

3.1 โครงสร้างแบบจำลองสัญญาณ Unipolar 18

4.1 สัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar 21

4.2 สัญญาณรบกวนแบบ AWGN ที่ $E_b/N_0 = 0$ dB 22

4.3 สัญญาณรบกวนแบบ AWGN ที่ $E_b/N_0 = 5$ dB 23

4.4 สัญญาณรบกวนแบบ AWGN ที่ $E_b/N_0 = 10$ dB 23

4.5 สัญญาณรบกวนแบบ AWGN ที่ $E_b/N_0 = 15$ dB 24

4.6 การรวมสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณรบกวนที่ $E_b/N_0 = 0$ dB 25

4.7 การรวมสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณรบกวนที่ $E_b/N_0 = 5$ dB 26

4.8 การรวมสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณรบกวนที่ $E_b/N_0 = 10$ dB 26

4.9 การรวมสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณรบกวนที่ $E_b/N_0 = 15$ dB 27

4.10 สัญญาณจาก Matched Filter ที่ $E_b/N_0 = 0$ dB 28

4.11 สัญญาณจาก Matched Filter ที่ $E_b/N_0 = 5$ dB 29

4.12 สัญญาณจาก Matched Filter ที่ $E_b/N_0 = 10$ dB 29

4.13 สัญญาณจาก Matched Filter ที่ $E_b/N_0 = 15$ dB 30

4.14 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ $E_b/N_0 = 5$ dB 31

4.15 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ $E_b/N_0 = 0$ dB ที่ Sampling point ต่างๆ 32

4.16 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ $E_b/N_0 = 5$ dB ที่ Sampling point ต่างๆ 32

4.17 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ $E_b/N_0 = 10$ dB ที่ Sampling point ต่างๆ 33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.18 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ E_b/N_0 = 15 dB ที่ Sampling point ต่างๆ 33
4.19 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ E_b/N_0 = 0 dB ที่ Threshold ต่างๆ 34
4.20 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ E_b/N_0 = 5 dB ที่ Threshold ต่างๆ 35
4.21 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ E_b/N_0 = 10 dB ที่ Threshold ต่างๆ 35
4.22 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ E_b/N_0 = 15 dB ที่ Threshold ต่างๆ 36
4.23 ประสิทธิภาพของระบบที่ Sampling point = f_s 41
4.24 ประสิทธิภาพของระบบที่ Sampling point = $f_s - 1$ 41
4.25 ประสิทธิภาพของระบบที่ Sampling point = $f_s - 2$ 42
4.26 ประสิทธิภาพของระบบที่ Sampling point = $f_s - 3$ 42
4.27 ประสิทธิภาพของระบบที่ Threshold = 0.5 ณ Sampling point ต่างๆ 44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ในการส่งสัญญาณจากต้นทางไปยังปลายทางในระหว่างทางของการส่งสัญญาณนั้น สัญญาณจะต้องอาศัยตัวกลางในการเดินทางจากต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งในระหว่างที่สัญญาณเดินทางอาจเกิดปัญหาของสัญญาณรบกวนขึ้น ซึ่งปัญหานี้จะส่งผลโดยตรงกับข้อมูลที่ทำการส่งอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลที่ปลายทางได้ ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการในการเพิ่มคุณภาพของสัญญาณที่ปลายทาง ซึ่ง Matched Filter เป็นกระบวนการหนึ่งในหลายๆกระบวนการที่สามารถใช้เพิ่ม คุณภาพของสัญญาณได้

Matched Filter เป็นกระบวนการหนึ่งที่สามรถช่วยเพิ่มคุณภาพของสัญญาณ ช่วยลดโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดของข้อมูลที่ปลายทางที่เกิดจากปัญหาสัญญาณรบกวน Matched Filter จะมีผลตอบสนองอิมพัลส์สำหรับบิต 1 และ บิต 0 ที่แตกต่างกัน โดยผลตอบสนองอิมพัลส์นี้จะเกิดจากการกลับด้านของสัญญาณอินพุต และเลื่อนสัญญาณออกไปเป็นเวลา t_0 จากนั้น Matched Filter จะใช้การคอนโวลูชั่นของสัญญาณอินพุตกับผลตอบสนองอิมพัลส์ เพื่อสร้างเป็นสัญญาณใหม่ที่ให้คุณภาพของสัญญาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ช่วยลดความผิดพลาดของข้อมูลที่ปลายทาง

ดังนั้นโครงงานนี้จึงสนใจที่จะศึกษาถึงประสิทธิภาพของภาครับที่มี Matched Filter เมื่อมีการส่งข้อมูลสัญญาณเป็นแบบ Unipolar

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1) เพื่อศึกษาการทำงานของ Matched Filter
2) เพื่อจำลองระบบสื่อสารที่มีการใช้ Matched Filter ในภาครับ
3) เพื่อทราบประสิทธิภาพของ Matched Filter เมื่อมีการส่งข้อมูลแบบ Unipolar

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1) ศึกษาทฤษฎีและโครงสร้างของ Matched Filter
2) ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างสัญญาณ Unipolar เพื่อนำมาใช้ใน Matched Filter

3) ศึกษาประสิทธิภาพของ Matched Filter เมื่อมีการส่งข้อมูลแบบ Unipolar

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

1) ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับทฤษฎีของ Matched Filter
2) ศึกษาเกี่ยวกับการส่งข้อมูลแบบ Unipolar
3) ศึกษาโปรแกรม MATLAB
4) ศึกษาแบบจำลองของกระบวนการ Matched Filter
5) ศึกษาประสิทธิภาพของ Matched Filter
6) ตรวจสอบความเรียบร้อยของโครงงานและจัดทำเป็นรูปเล่ม

การดำเนินงาน	ปี2556								
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับทฤษฎีของ Matched Filter									
ศึกษาเกี่ยวกับการส่งข้อมูลแบบ Unipolar									
ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับโปรแกรม MATLAB									
ฝึกเขียนโปรแกรม MATLAB									
เขียนโปรแกรมเพื่อสร้างแบบจำลอง Matched Filter									
ทดลองการทำงานของ Matched Filter									
วิเคราะห์และสรุปผลการทำงานของ Matched Filter									
ตรวจสอบความเรียบร้อยของโครงงานและจัดทำเป็นรูปเล่ม									

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1) มีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการ Matched Filter
2) มีความรู้ความเข้าใจในการส่งข้อมูลแบบ Unipolar
3) ได้ทักษะและความเข้าใจในการใช้โปรแกรม MATLAB
4) ได้แบบจำลองของกระบวนการ Matched Filter
5) ทราบถึงประสิทธิภาพของกระบวนการ Matched Filter

1.6 งบประมาณที่ต้องใช้

1) ค่าหนังสือประกอบการทำโครงงาน	500	บาท
2) ค่าจัดทำรูปเล่ม	500	บาท
รวม	1,000	บาท

หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

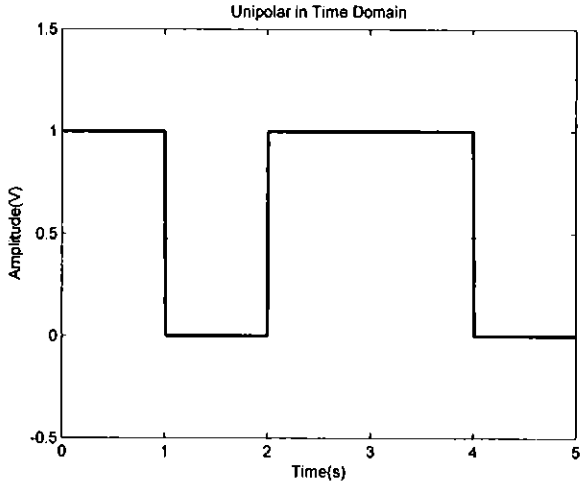
Matched Filter เป็นกระบวนการหนึ่งที่จะสามารถช่วยเพิ่มลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน เมื่อมีการส่งสัญญาณจากภาคส่งมายังภาครับ ส่งผลให้ช่วยลดโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดของข้อมูลที่ปลายทางที่เกิดจากปัญหาสัญญาณรบกวน การที่เราจะศึกษากระบวนการ Matched Filter ในภาครับได้นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีองค์ความรู้ที่เพียงพอที่จะวิเคราะห์และศึกษาให้เข้าใจ เราจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงหลักการและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา Matched Filter ที่เราจะต้องทำความเข้าใจคือ การส่งข้อมูลแบบ Unipolar การสร้างสัญญาณรบกวนที่เป็นแบบ AWGN (Additive White Gaussian Noise) การศึกษากระบวนการ Matched Filter และการศึกษาเกี่ยวกับค่าของ BER (Bit Error Rate) จากหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ได้กล่าวมานั้น เราจะต้องศึกษาให้เกิดความเข้าใจ เพื่อที่จะได้นำความรู้ที่ได้จากการศึกษาหลักการและทฤษฎีมาสร้างเป็นแบบจำลองของกระบวนการ Matched Filter ที่ภาครับได้

2.1 การส่งข้อมูลแบบ Unipolar

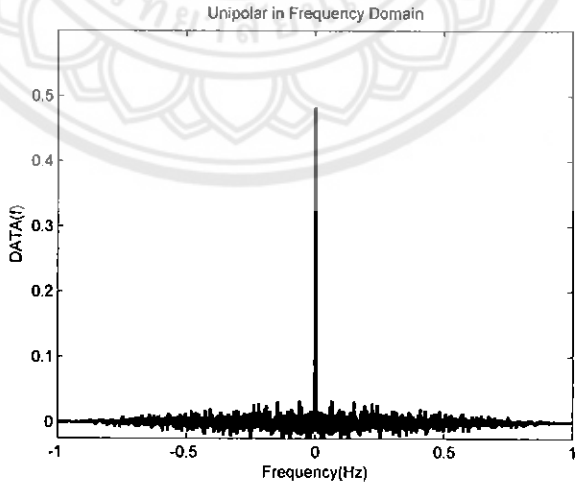
ก่อนอื่นเราจำเป็นที่จะต้องศึกษาการส่งข้อมูลแบบ Unipolar ก่อน เพราะว่าในแบบจำลองของกระบวนการ Matched Filter นั้น จะอาศัยการส่งข้อมูลแบบ Unipolar จากนั้นจะนำค่า BER (Bit Error Rate) ของการส่งข้อมูลแบบ Unipolar มาใช้ในการศึกษาต่อไป

การส่งสัญญาณแบบ Unipolar คือการส่งสัญญาณข้อมูลโดยอาศัยความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้า 2 ระดับคือ เมื่อมีการส่งสัญญาณข้อมูลที่เป็นบิต 1 จะถูกแทนด้วยแรงดันไฟฟ้าที่เป็นบวก และส่งเมื่อมีการส่งสัญญาณข้อมูลที่เป็นบิต 0 จะถูกแทนด้วยสัญญาณระนาบ [1] ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การส่งสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar ในทางเวลา

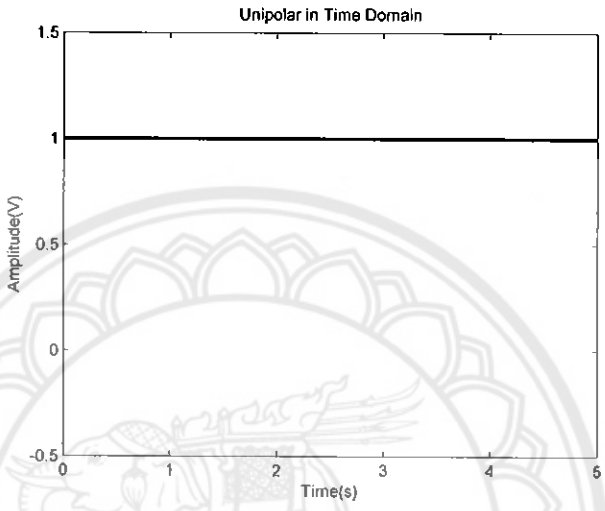
เนื่องจากการสร้างสัญญาณ Unipolar เป็นการอาศัยความแตกต่างกันของระดับแรงดันไฟฟ้าเพียง 2 ระดับ ทำให้มีความซับซ้อนของสัญญาณไม่มาก ดังนั้นเมื่อพิจารณาสัญญาณ Unipolar ในทางความถี่จะพบว่า สัญญาณ Unipolar จะใช้ Bandwidth ในการส่งสัญญาณที่น้อย ส่งผลให้ใช้ความกว้างของช่องส่งสัญญาณที่น้อยลง แต่การส่งสัญญาณแบบ Unipolar ในทางความถี่จะพบว่ามีกลุ่มของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ ทำให้การส่งสัญญาณ Unipolar จะต้องใช้พลังงานในการส่งสัญญาณค่อนข้างมาก ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การส่งสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar ในทางความถี่

ในการส่งสัญญาณแบบ Unipolar อาจมีปัญหาที่พบเจอได้คือ การส่งบิต 0 หรือ บิต 1 ยาวๆ เพราะเมื่อมีการส่งสัญญาณในลักษณะดังกล่าวแล้ว ที่ภาครับของระบบอาจจะเกิดการปัญหาใน

การตีความบิตข้อมูลที่ได้รับมา ที่ภาครับจะไม่สามารถแยกได้ว่าบิตข้อมูลที่ได้รับมานั้นเป็นข้อมูลบิต 0 ยาวหรือเป็นบิตข้อมูล 1 ยาว เนื่องจากสัญญาณที่ได้รับเข้ามานั้นมีลักษณะเป็นเส้นตรงยาวๆ การตีความบิตข้อมูลที่ได้รับมาในลักษณะบิต 0 หรือบิต 1 ยาวๆ นั้นจึงเป็นปัญหาสำหรับการส่งสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การส่งสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar ที่เป็นบิต 1 ยาวๆ

ในปัจจุบันการส่งสัญญาณแบบ Unipolar อาจไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก แต่การส่งสัญญาณแบบ Unipolar ก็สามารถใช้เป็นพื้นฐานในการศึกษาถึงวิธีการส่งสัญญาณในแบบอื่นๆที่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นได้

2.2 การสร้างสัญญาณรบกวน (Noise)

สัญญาณรบกวนเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากในการสร้างแบบจำลองระบบการสื่อสาร เพราะในทางปฏิบัตินั้นไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงที่จะไม่ให้มีสัญญาณรบกวนได้ ในการศึกษาสัญญาณรบกวนจะไม่สามารถทราบได้ว่าที่เวลาใดๆ จะมีสัญญาณรบกวนมากน้อยเท่าใด จึงต้องนำคุณสมบัติทางสถิติมาเกี่ยวข้องในการสร้างสัญญาณรบกวนให้กับแบบจำลอง เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาจะกำหนดให้สัญญาณรบกวนเป็นแบบ AWGN (Additive White Gaussian Noise)

Additive White Gaussian Noise Process

นิยาม สัญญาณสุ่ม $x(t)$ ที่เป็น AWGN จะต้องมีค่า PSD (Power Spectral Density) เป็นค่าคงที่ทุกๆความถี่ นั่นคือ

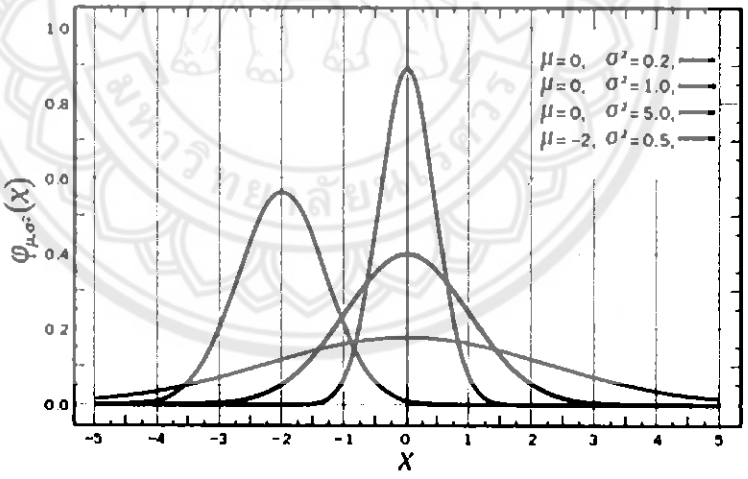
$$\rho_n(f) = \frac{N_0}{2} \tag{2.1}$$

เมื่อ N_0 คือ จำนวนบวกใดๆ มีหน่วยเป็น Watt/Hz

AWGN (Additive White Gaussian Noise) จะเป็นการกระจายตัวทางสถิติแบบ Gaussian ซึ่งเขียนในรูปสัญลักษณ์ได้เป็น $\eta(\mu,\sigma^2)$

เมื่อ $\eta(\mu,\sigma^2)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่มีการกระจายตัวแบบปรกติ โดยมีค่าเฉลี่ย (Mean) เท่ากับ μ และค่าความแปรปรวน (Variance) เท่ากับ σ^2

การกระจายตัวของข้อมูลแบบ Gaussian Distribution เมื่อมีการเปลี่ยนค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนนั้นจะมีลักษณะเป็นไปตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การกระจายตัวแบบ Gaussian [2]

ซึ่ง Power ของสัญญาณรบกวนหาได้จาก

$$Power = \mu^2 + \sigma^2 \qquad \text{[Watt]} \tag{2.2}$$

ถ้า Power ของสัญญาณรบกวนมีการเปลี่ยนแปลง จะต้องนำทฤษฎีทางสถิติเข้ามาใช้ โดยอาศัยทฤษฎีในการเปลี่ยนแปลงค่าของ μ หรือค่าของ σ แต่ในที่นี้เรากำหนดให้ $\mu = 0$ ดังนั้นค่าที่เปลี่ยนจึงเปลี่ยนเฉพาะค่าของ σ

ทฤษฎีทางสถิติที่จะนำมาใช้ คือคุณสมบัติของค่า Variance

กำหนดให้สัญญาณสุ่ม X มีค่า Expected $E[X] = \mu_x$ และ Variance $Var[X] = E[(X - \mu_x)^2]$

1.ถ้า X เป็นสัญญาณที่มีค่าเท่ากับ a จะได้ $Var[X] = 0$

2.ถ้า $Y = X+b$ จะได้ Variance คือ $Var[Y] = Var[X]$

3.ถ้า $Y = aX$ จะได้ Variance คือ $Var[Y] = a^2\ Var[X]$

2.3 ความสัมพันธ์ของ *SNR* และ E_b/N_0

ก่อนที่จะหาความสัมพันธ์ของ *SNR* กับ E_b/N_0นั้น จะต้องศึกษาถึงนิยามและทฤษฎีของ *SNR* และ E_b/N_0 ก่อน เพื่อที่จะได้นำทฤษฎีของปริมาณทั้ง 2 มารวมกันเพื่อหาความสัมพันธ์ในรูปของสมการที่ปริมาณทั้ง 2 นั้นมีร่วมกัน

SNR หรือ Signal to Noise Ratio คือปริมาณที่ใช้สำหรับพิจารณาถึงคุณภาพของสัญญาณที่ได้รับมาว่ามีคุณภาพดีหรือไม่ดี สำหรับปริมาณ *SNR* หาได้จากอัตราส่วนของกำลังสัญญาณข้อมูลในหน่วยวัตต์ ต่อกำลังของสัญญาณรบกวนในหน่วยวัตต์ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$SNR = \frac{PowerSignal(\text{Watts})}{PowerNoise(\text{Watts})} \tag{2.3}$$

โดยที่ $$PowerSignal = \frac{V^2 R_b}{4} \tag{2.4}$$

$$PowerNoise = \frac{2(N_0 B_T)}{2} \tag{2.5}$$

V คือ แอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูล Unipolar

R_b คือ จำนวนบิตข้อมูลที่ถูกส่งใน 1 วินาที

N_0 คือ กำลังงานของสัญญาณรบกวนในหน่วย W/Hz

B_T คือ แบนด์วิธของการส่งสัญญาณในหน่วย Hz

ซึ่งค่า *SNR* ที่ออกมาจะอยู่ในลักษณะของจำนวนเท่า หมายความว่า กำลังสัญญาณข้อมูลเป็นกี่เท่าของกำลังสัญญาณรบกวน ในบางกรณีค่า *SNR* อาจมีค่าสูงเป็นหลายเท่า จึงนิยมนำปริมาณ SNR มาแปลงเป็น dB(decibel) เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้และการคำนวณต่อไป สำหรับการแปลง SNR จากรูปที่เป็นจำนวนเท่าให้อยู่ในรูปของ dB สามารถเขียนได้เป็นสมการดังนี้

$$SNR(\text{dB})=10\log_{10}(SNR) \tag{2.6}$$

SNR คือ ปริมาณที่ใช้บอกถึงคุณภาพของสัญญาณได้รับมา เพราะฉะนั้นในทางทฤษฎีแล้วเราจึงต้องการให้ค่าของ *SNR* มีค่าที่สูงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ แต่ในทางปฏิบัติแล้วนั้นค่า *SNR* ที่สูงๆ อาจไม่มีความจำเป็นกับบางระบบ หรือบางระบบต้องการค่า *SNR* เพียงปริมาณหนึ่งเท่านั้นก็สามารถทำงานได้ ดังนั้นการที่ใช้ *SNR* ที่สูงเกินไปกับระบบที่ไม่มีความต้องการ จึงเป็นการสิ้นเปลือง และเพิ่มต้นทุนไปโดยเปล่า เพราะฉะนั้นการเลือกใช้ค่า *SNR* ควรเลือกให้เหมาะสมกับความต้องการของระบบ

E_b/N_0 คือ อัตราส่วนของพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อกำลังของสัญญาณของสัญญาณรบกวน เป็นปริมาณที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการสื่อสารที่เป็นดิจิตอล E_b/N_0 อาจเปรียบได้เหมือนกับการวัดค่า *SNR* ต่อบิต E_b/N_0 มักจะถูกนำไปใช้ควบคู่กับค่า BER (Bit Error Rate) ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสัญญาณในการมอดูเลตแบบต่างๆ ในการหาค่าของ E_b/N_0 นั้น ค่าของ E_b จะมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับว่าในระบบนั้นมีการเลือกใช้วิธีมอดูเลตสัญญาณแบบใด ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่า E_b ของการมอดูเลตแบบต่างๆ

Modulation	E_0	E_1	E_b
OOK	0	$\frac{V^2T_b}{2}$	$\frac{V^2T_b}{4}$
BPSK	$\frac{V^2T_b}{2}$	$\frac{V^2T_b}{2}$	$\frac{V^2T_b}{2}$
FSK	$\frac{V^2T_b}{2}$	$\frac{V^2T_b}{2}$	$\frac{V^2T_b}{2}$

สมการที่ใช้ในการหาค่าของ E_b สามารถเขียนได้ดังนี้

$$E_b = \frac{E_0 + E_1}{2} \tag{2.7}$$

โดยที่ E_b คือ พลังงานเฉลี่ยต่อ 1 บิต

E_0 คือ พลังงานใน 1 บิตของบิตข้อมูลที่เป็น 0

E_1 คือ พลังงานใน 1 บิตของบิตข้อมูลที่เป็น 1

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับนิยามและทฤษฎีของ *SNR* และ E_b/N_0 แล้ว ต่อมาเราจะหาความสัมพันธ์ในรูปสมการของ *SNR* และ E_b/N_0 จากนิยามและทฤษฎีที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว

พิจารณา *SNR*

จากสมการที่ (2-3) ถึงสมการที่ (2-5)

$$\text{จะได้} \quad SNR = \frac{\frac{V^2}{4}}{2N_0} \tag{2.8}$$

$$\text{จะได้ว่า} \quad PowerSignal = \frac{V^2}{4} \quad \text{เมื่อ} \quad PowerNoise = 2N_0 \tag{2.9}$$

พิจารณา E_b/N_0

เนื่องจากการส่งสัญญาณแบบ Unipolar รูปร่างของสัญญาณจะมีลักษณะเหมือนกับลักษณะของสัญญาณที่ถูกดีมอดูเลตจากการมอดูเลตแบบ ASK (Amplitude Shift Keying) ดังนั้นค่า E_b ที่ถูกนำมาใช้จึงเป็นตามสมการ

E_b ของสัญญาณแบบ ASK ถูกกำหนดโดย

$$E_b = \frac{E_0 + E_1}{2} \tag{2.10}$$

$$E_0 = 0 \text{ และ } E_1 = \frac{V^2 T_b}{2} \tag{2.11}$$

จะได้

$$E_b = \frac{0 + \frac{V^2 T_b}{2}}{2} = \frac{V^2 T_b}{4} \tag{2.12}$$

โดยที่ T_b คือ เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล 1 บิต

จากสมการที่ (2-9)

จะได้

$$E_b = \frac{V^2 T_b}{4} = (PowerSignal)T_b \tag{2-13}$$

$$PowerSignal = \frac{E_b}{T_b} = E_b R_b \tag{2.14}$$

แทนสมการที่ (2-16) ลงในสมการที่ (2-3)

จะได้

$$SNR = \frac{\frac{E_b R_b}{2(N_0 B_T)}}{2} \tag{2.15}$$

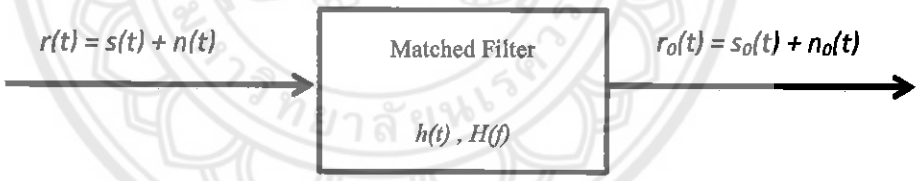
$$SNR = \frac{\frac{E_b R_b}{2(N_0 2R_b)}}{2} \tag{2.16}$$

$$SNR = \frac{E_b}{2N_0} \text{ หรือ } \frac{E_b}{N_0} = 2SNR \tag{2.17}$$

จากสมการที่ (2-17) จะทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง *SNR* และ E_b/N_0 ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ได้ว่า *SNR* มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของ E_b/N_0 หรืออีกนัยหนึ่งคือ E_b/N_0 มีค่าเป็น 2 เท่าของ *SNR*

2.4 Matched Filter [3]

Matched Filter คือตัวกรองเชิงเส้นที่สามารถช่วยลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวน เมื่อมีการส่งสัญญาณ สัญญาณอินพุตกำหนดโดย $s(t)$ และสัญญาณเอาต์พุตเป็น $s_0(t)$ สัญญาณรบกวนที่อินพุตกำหนดโดย $n(t)$ และสัญญาณรบกวนที่เอาต์พุตเป็น $n_0(t)$ Matched Filter จะถูกประยุกต์ใช้ในกรณีที่อาจจะมีสัญญาณหรือไม่มีสัญญาณ แต่ถ้าหากมีสัญญาณเราจะรู้รูปร่างของสัญญาณ สัญญาณจะถูกสมมติให้มีอยู่ในช่วงเวลาที่จำกัด $(0,T)$ และสัญญาณจะไม่มีค่าเมื่ออยู่ในช่วงเวลาอื่น จึงทำให้รู้ PSD (Power Spectrum Density) ของสัญญาณรบกวนที่อินพุต เราต้องการที่จะกำหนดลักษณะของ Matched Filter ให้เป็นสัญญาณเอาต์พุตชั่วขณะที่มีกำลังสูงที่สุด เมื่อมีเวลาในการสุ่มเป็น t_0 เปรียบเทียบกับกำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนที่เอาต์พุต จะทำให้สามารถหา $h(t)$ หรือ $H(f)$ ได้ Matched Filter จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Matched Filter

Matched Filter จะไม่รักษารูปร่างของสัญญาณอินพุตไว้ Matched Filter จะลดทอนรูปร่างของสัญญาณอินพุต และกรองสัญญาณรบกวนที่เวลาในการสุ่มเป็น t_0 ระดับของสัญญาณเอาต์พุตจะใหญ่สุดเท่าที่จะทำได้ภายใต้อิทธิพลของระดับสัญญาณรบกวน RMS แสดงให้เห็นว่าภายใต้บางเงื่อนไข Matched Filter จะช่วยลดความน่าจะเป็นของความผิดพลาดเมื่อได้รับสัญญาณดิจิตอล

ทฤษฎีบท Matched Filter เป็นวงจรกรองเชิงเส้นมีค่าที่มีค่าสูงสุดเมื่อ $\left[\frac{S}{N}\right]_{out} = \frac{s(t)^2}{n(t)^2}$ และฟังก์ชันถ่ายโอนจะสามารถเขียนในรูปสมการได้เป็น [4]

$$H(f)=K\frac{S*(f)}{\mathcal{P}(f)}exp(-jwt_0) \tag{2.18}$$

โดยที่ $S(f)$ คือการแปลง Fourier Transform ของสัญญาณอินพุต $s(t)$, $\rho_n(f)$ คือ *PSD* ของสัญญาณรบกวนที่อินพุต, t_0 คือเวลาในการสุ่มสัญญาณเมื่อ $\left[\frac{S}{N}\right]_{out}$ คือการประเมินผล และ K คือค่าคงที่จำนวนจริงที่ไม่เป็นศูนย์

ผลของ Matched Filter กับ White Noise

สำหรับในกรณีของ White Noise นั้น จะมี $\rho_n(f) = N_0 / 2$ ทำให้ฟังก์ชันถ่ายโอนของ Matched Filter เขียนใหม่ได้เป็นสมการดังนี้

$$H(f)=\frac{2K}{N}S^*(f)exp(-jwt_0) \tag{2.19}$$

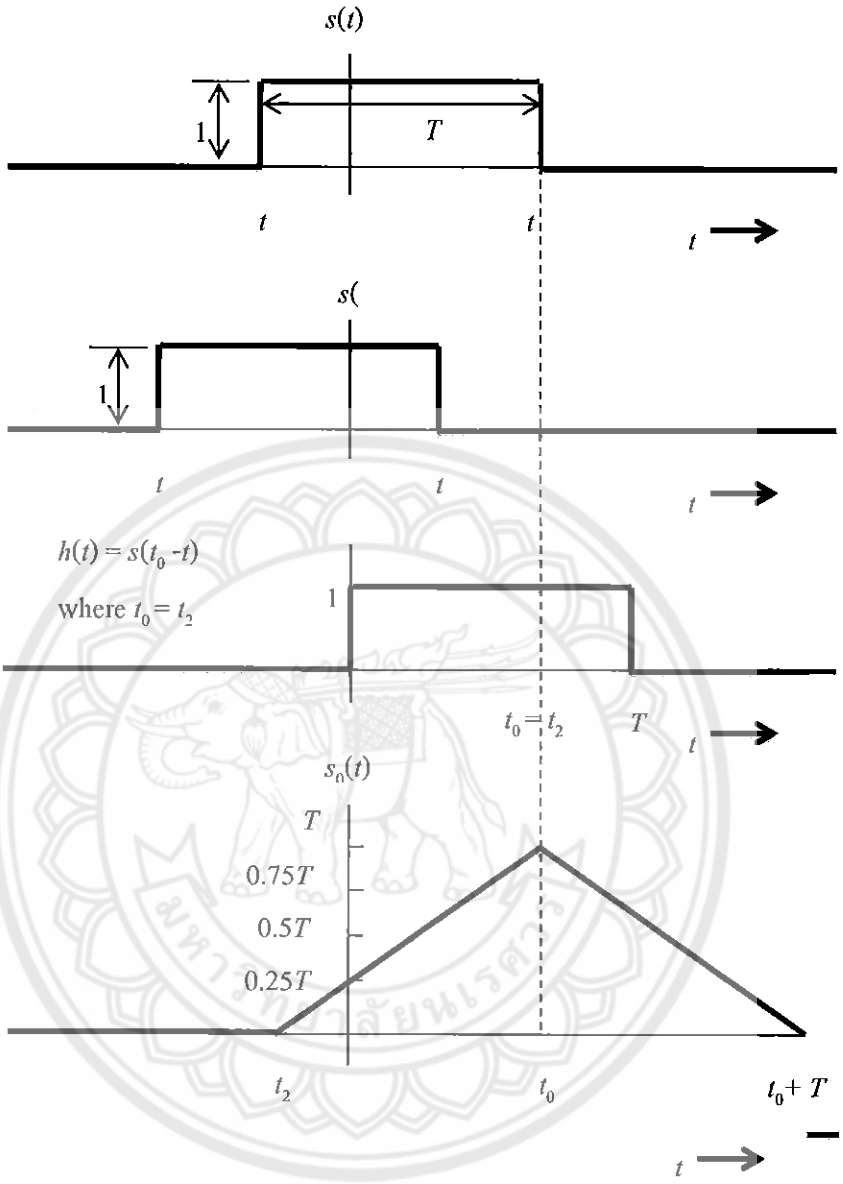
จากสมการทำให้เราสามารถเขียนเป็นทฤษฎีบทได้คือ

ทฤษฎีบท เมื่อสัญญาณรบกวนที่อินพุตเป็น White Noise ผลตอบสนองอิมพัลส์ของ Matched Filter จะสามารถเขียนตามสมการ

$$h(t)=Cs(t_0-t) \tag{2.20}$$

โดยที่ C คือ ค่าคงที่จำนวนจริงที่เป็นบวก , t_0 คือเวลาที่สัญญาณเอาต์พุตมีค่าสูงสุด และ $s(t)$ คือสัญญาณอินพุตที่รู้รูปร่าง

ในกระบวนการ Matched Filter นั้นจะมีผลตอบสนองอิมพัลส์สำหรับบิต 1 และ บิต 0 ที่แตกต่างกัน โดยผลตอบสนองอิมพัลส์นี้จะเกิดจากการกลับด้านของสัญญาณอินพุต และเลื่อนสัญญาณออกไปเป็น t_0 จากนั้น Matched Filter จะใช้การคอนโวลูชั่นของสัญญาณอินพุตกับผลตอบสนองอิมพัลส์ เพื่อสร้างเป็นสัญญาณใหม่ที่ให้คุณภาพของสัญญาณเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ผลของ Matched Filter กับ White Noise [4]

2.5 Bit Error Rate

Bit Error Rate (BER) เป็นตัวแปรที่มีสำคัญเป็นมากในระบบดิจิตอล ค่า BER จะบ่งบอกถึงความน่าจะเป็นที่จะได้รับบิตที่ผิดพลาดไปจากต้นทาง อันเป็นผลมาจากการลดทอนในช่องส่งสัญญาณและสัญญาณรบกวน ดังนั้นเราจึงต้องการให้ค่าของ BER ต่ำมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

ในการเลือกใช้ค่า BER ให้เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้ เช่น

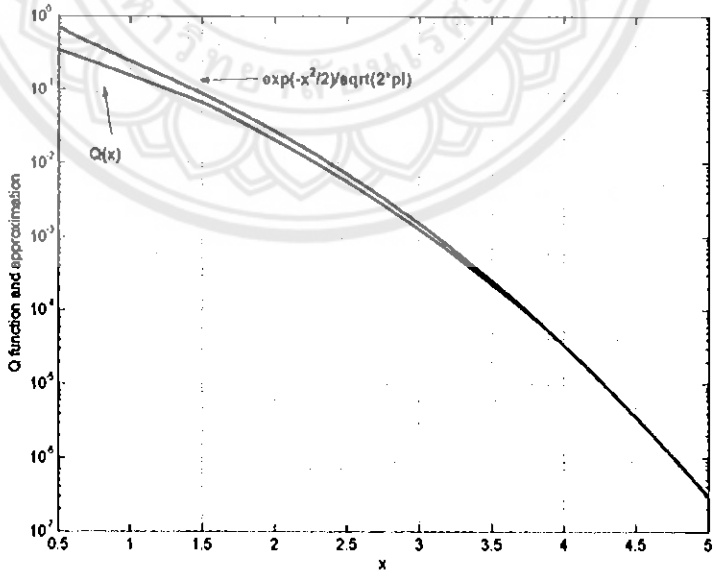
ในระบบการสื่อสารทางเสียงต้องการค่า BER ในช่วง 10^{-3} ถึง 10^{-5}

ในระบบการสื่อสารทางแสงต้องการค่า BER ในช่วง 10^{-9} ถึง 10^{-12}

ในการหาค่าของ BER จะสามารถหาได้จาก Q-function ดังสมการต่อไปนี้

$$Q(z)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{z}^{\infty}\exp(-\frac{x^2}{2})dx \tag{2.21}$$

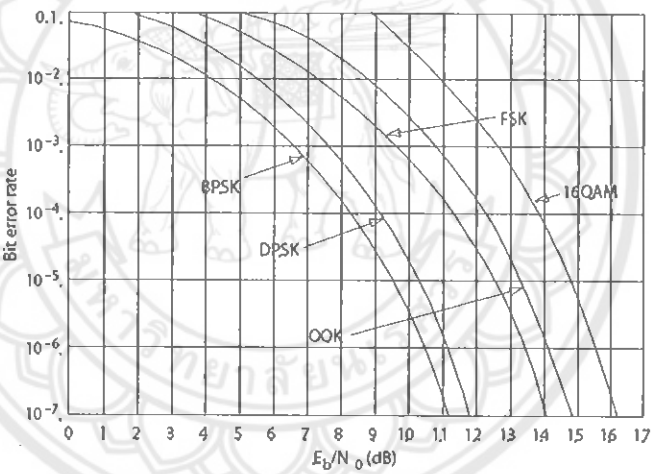
เนื่องจาก $Q(z)$ ไม่สามารถคำนวณออกมาในรูปแบบปิดได้ สำหรับทุกๆค่า z ดังนั้นค่า $Q(z)$ จะสามารถหาได้จากการใช้ตารางการประมาณค่า โดยจะสามารถสร้างเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กราฟการประมาณค่า Q-function [5]

เมื่อพิจารณาถึงค่า BER กับการมอดูเลตสัญญาณแบบต่างๆจะอาศัยกระบวนการดังที่กล่าวมาแล้ว แต่พารามิเตอร์ z ใน Q-function จะเปลี่ยนไปตามลักษณะของการกล้ำสัญญาณ พารามิเตอร์ที่สำคัญในการพิจารณาคือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานเฉลี่ยต่อบิต (E_b) กับกำลังของสัญญาณรบกวน (N_0) ซึ่งพลังงานเฉลี่ยต่อบิต (E_b) สามารถหาได้จากแอมพลิจูดและความยาวบิตของสัญญาณ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะการกล้ำสัญญาณ และการเข้ารหัส

นอกจากนี้แล้วค่า BER ของระบบสื่อสารยังจะขึ้นอยู่กับลักษณะการเลือกใช้ตัวตรวจสอบว่าเป็นแบบ Coherent หรือ Non-Coherent ซึ่งตัวตรวจสอบแบบ Coherent จะให้ค่า BER ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าตัวตรวจสอบแบบ Non-Coherent แต่ตัวตรวจสอบแบบ Coherent ก็จะมีความซับซ้อนมากกว่าตัวตรวจสอบแบบ Non-Coherent ซึ่งรูปกราฟ BER ที่การกล้ำสัญญาณแบบต่างๆ จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ค่า BER ที่การกล้ำสัญญาณแบบต่างๆ [6]

ในบทที่ 2 เราได้ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ Matched Filter คือ การศึกษาการส่งข้อมูลแบบ Unipolar การสร้างสัญญาณรบกวนที่เป็นแบบ AWGN (Additive White Gaussian Noise)การศึกษากระบวนการ Matched Filter และการศึกษาเกี่ยวกับค่าของ BER (Bit Error Rate) ซึ่งจากการศึกษานี้เราจะสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์เพื่อใช้สร้างเป็นแบบจำลองของกระบวนการ Matched Filter ที่ภาครับ เมื่อมีการส่งข้อมูลแบบ Unipolar ได้ โดยจะแสดงต่อไปในบทที่ 3 และบทที่ 4

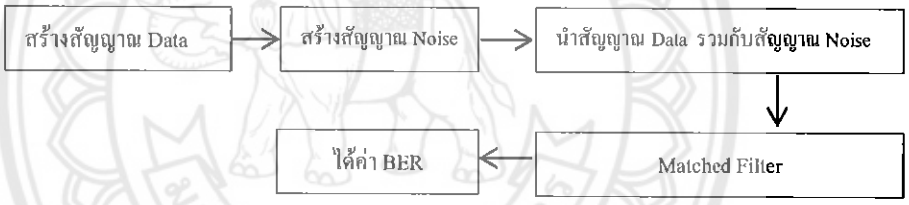
บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงงาน

จากการศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 แล้วนั้น จะได้นำเอาความรู้มาใช้ในการดำเนินการทำโครงงานต่อไป โดยอาศัยการสร้างแบบจำลองของกระบวนการ Matched Filter ที่ภาครับ ซึ่งภายในแบบจำลองจะประกอบไปด้วย การสร้างสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar การสร้าง Matched Filter และการหาค่า BER (Bit Error Rate)ตามลำดับ

3.1 การสร้างสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar

จากการสร้างสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar จะสามารถสร้างแบบจำลองโครงสร้างได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างแบบจำลองสัญญาณ Unipolar

จากรูปที่ 3.1 การสร้างแบบจำลองเริ่มจากการสร้างสัญญาณ Data ที่มีค่าบิต 0 และ 1 ด้วยการสุ่มโดยคำสั่ง randn จากนั้นสร้างสัญญาณ Noise ที่ได้จากการทำให้ E_b/N_0 = 0 dB แล้วนำสัญญาณ Noise ที่ได้ไปรวมกับสัญญาณ Data จากนั้นนำสัญญาณที่ได้จากการรวมกันของสัญญาณ Data และสัญญาณ Noise มาเข้ากระบวนการ Matched Filter จะได้ผลของสัญญาณกลับมาเป็น Data ที่มีค่าบิต 0 และ 1 จากนั้นนำ Data ที่ได้มาเปรียบเทียบกับ Data ที่ได้จากการสุ่ม เพื่อหาค่า BER ทำซ้ำโดยการเปลี่ยนค่า E_b/N_0 ตั้งแต่ 0 – 15 dB

3.2 การสร้างสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนที่ใช้ในแบบจำลองนี้คือ AWGN (Additive White Gaussian Noise)ซึ่งมีการกระจายแบบ Gaussian ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณแบบสุ่มได้โดยการใช้คำสั่ง randn แต่สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงก็คือ กำลังของสัญญาณอินพุต และ E_b/N_0 ที่ใช้ จากหลักการและทฤษฎีในการสร้างสัญญาณรบกวนบทที่ 2 เมื่อสัญญาณอินพุตมีกำลังงานที่คงที่ค่าหนึ่ง และมีการกำหนด E_b/N_0 ที่ระบบต้องการ ค่ากำลังของสัญญาณรบกวนจะต้องมีการเปลี่ยนแปลง โดยค่าที่จะเปลี่ยนแปลงไปนั้นจะคือค่า σ

3.3 การสร้าง Matched Filter

เมื่อสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar ถูกรวมเข้ากับสัญญาณรบกวนแบบ AWGN (Additive White Gaussian Noise)แล้ว ก็จะมาเข้าสู่กระบวนการ Matched Filter กระบวนการ Matched Filter จะมีผลตอบสนองอิมพัลส์ของบิต 0 และ 1 ที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการสร้าง Matched Filter จึงต้องให้สัญญาณอินพุตเข้ามาได้เพียงทีละ 1 บิต เมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามาแล้ว Matched Filter จะสร้างผลตอบสนองอิมพัลส์ที่กลับด้านกับสัญญาณอินพุตและเลื่อนสัญญาณไปเป็นเวลา t_0 จากหลักการและทฤษฎีของ Matched Filter ในบทที่ 2 เมื่อได้สัญญาณอินพุตและผลตอบสนองอิมพัลส์แล้ว Matched Filter จะใช้การคอนโวลูชั่นของสัญญาณอินพุตและผลตอบสนองอิมพัลส์ เพื่อสร้างเป็นสัญญาณใหม่ออกมา ซึ่งเมื่อได้ทำการพิสูจน์แล้วในทางโปรแกรมก็จะคือการนำเอาสัญญาณอินพุตมาคูณกับช่วงเวลาที่สัญญาณอินพุตเกิดการซ้อนทับกับผลตอบสนองอิมพัลส์ จะทำให้สามารถสร้างสัญญาณใหม่ที่มีคุณภาพของสัญญาณเพิ่มขึ้นได้

3.4 การหาค่า BER

หลังจากที่ได้สัญญาณใหม่จากกระบวนการ Matched Filter แล้ว ก็จะนำสัญญาณที่ได้นั้นมาผ่านเงื่อนไขในการตัดสินใจว่าข้อมูลที่ได้นั้นมีค่าเป็นบิต 0 หรือ 1 เมื่อผ่านกระบวนการนี้สัญญาณที่ได้จะออกมาเป็นไบนารี และทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่สร้างขึ้น เพื่อหาจำนวนบิตที่ผิดพลาด

ซึ่งเงื่อนไขในการพิจารณาว่าสัญญาณที่ได้จาก Matched Filter นั้นจะเป็น บิต 0 หรือ บิต 1 นั้นจะมีเงื่อนไขที่ต้องพิจารณา 2 อย่างคือ ตำแหน่ง Sampling point และค่า Threshold เมื่อนำสัญญาณจาก Matched Filter มาผ่านเงื่อนไขทั้ง 2 แล้ว จะสามารถตีความสัญญาณจาก Matched Filter กลับมาเป็นข้อมูลแบบไบนารีได้ จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้นี้ ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการสุ่ม เพื่อหาจำนวนบิตที่ผิดพลาด และสร้างเป็นค่า BER (Bit Error Rate) ขึ้นมา

จากวิธีดำเนินโครงงานในบทที่ 3 นี้ จะทำให้เราสามารถสร้างแบบจำลองของกระบวนการ Matched Filter ที่ภาครับ ซึ่งภายในแบบจำลองจะประกอบไปด้วย การสร้างสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar การสร้างสัญญาณรบกวนแบบ AWGN (Additive White Gaussian Noise) การสร้าง Matched Filter และการหาค่า BER (Bit Error Rate) ตามลำดับ และสามารถนำแบบจำลองไปทำการทดลองเพื่อเก็บผลการทดลองดังที่จะแสดงต่อไปในบทที่ 4

บทที่ 4

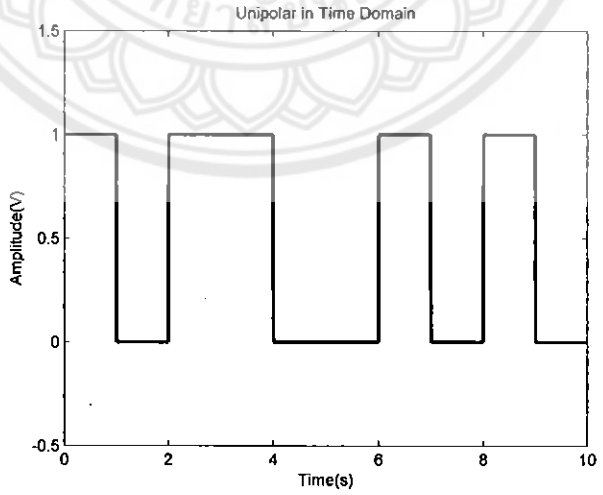
ผลการดำเนินโครงงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากแบบจำลองที่สร้างขึ้น และนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับทฤษฎีที่ได้ศึกษาและวิเคราะห์จากบทที่ผ่านมา

4.1 ผลการสร้างสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar

จากหลักการและทฤษฎีในบทที่ 2 ทำให้ทราบถึงหลักการในการสร้างสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar และเมื่อจะทำการจำลองระบบจะทำให้ได้สัญญาณ Unipolar คือข้อมูลที่เป็นบิต 0 จะถูกแทนด้วยสัญญาณขนาด 0 โวลต์ และข้อมูลที่เป็นบิต 1 จะถูกแทนด้วยสัญญาณที่ที่ขนาด 1 โวลต์ ตามทฤษฎี

ในการจำลองระบบทั้งหมดนั้นจะอาศัยการสุ่มของข้อมูลโดยอาศัย คำสั่ง rand ซึ่งข้อมูลที่ทำการสุ่มนั้นจะมีจำนวน 10^7 บิต สำหรับ E_b/N_0 ตั้งแต่ 0 – 9 dB และ 10^8 บิต สำหรับ E_b/N_0 ตั้งแต่ 10 – 15 dB สาเหตุที่ต้องมีการสุ่มจำนวนข้อมูลเป็น 10^7 และ 10^8 นั้น เพื่อให้ในส่วนของการคำนวณค่า BER มีค่าเป็นไปตามทฤษฎี สัญญาณ Unipolar ที่ถูกสร้างขึ้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.1

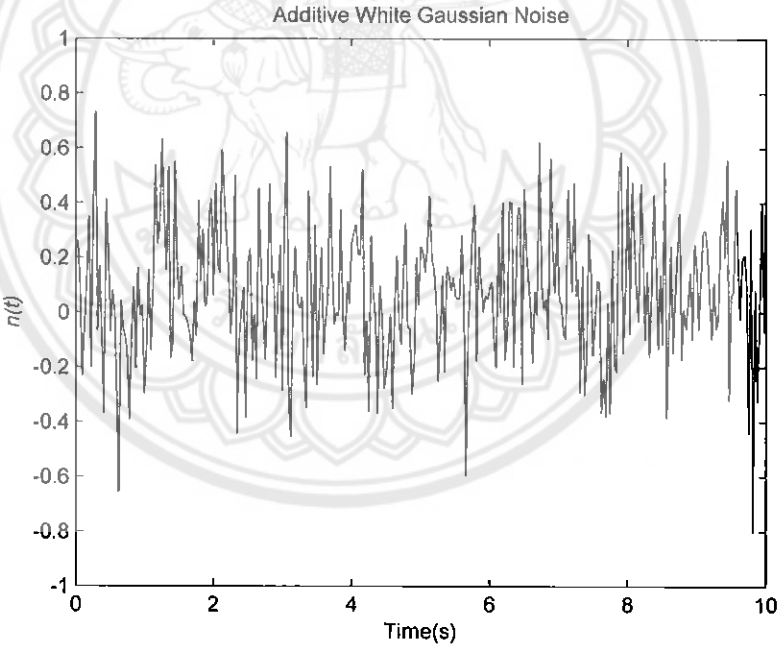


รูปที่ 4.1 สัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar

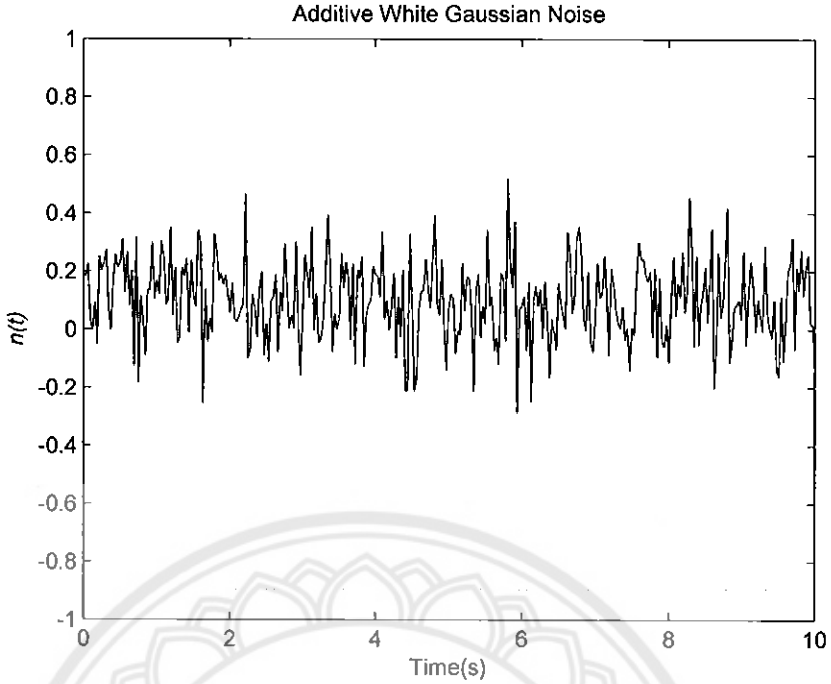
4.2 ผลการสร้างสัญญาณรบกวน

หลังจากการสร้างสัญญาณข้อมูลที่เป็นแบบ Unipolar แล้ว ในส่วนต่อมาของแบบจำลองระบบก็คือ ส่วนของการสร้างสัญญาณรบกวน ซึ่งในแบบจำลองระบบนี้ได้เลือกสัญญาณรบกวนที่เป็นแบบ Additive White Gaussian Noise (AWGN) การสร้างสัญญาณรบกวนนี้จะถูกสร้างโดยวิธีการสุ่มข้อมูลขึ้นมา โดยอาศัยคำสั่ง randn ในโปแกรม ซึ่งคำสั่ง randn นี้จะสุ่มค่าของข้อมูลขึ้นมา และเมื่อทำการหาค่าความแปรปรวนของข้อมูลที่ถูกสุ่มขึ้นมานี้ จะพบว่าค่าความแปรปรวนจะมีค่าประมาณ 1 ซึ่งเป็นตามทฤษฎีของสัญญาณรบกวนแบบ Additive White Gaussian Noise (AWGN)

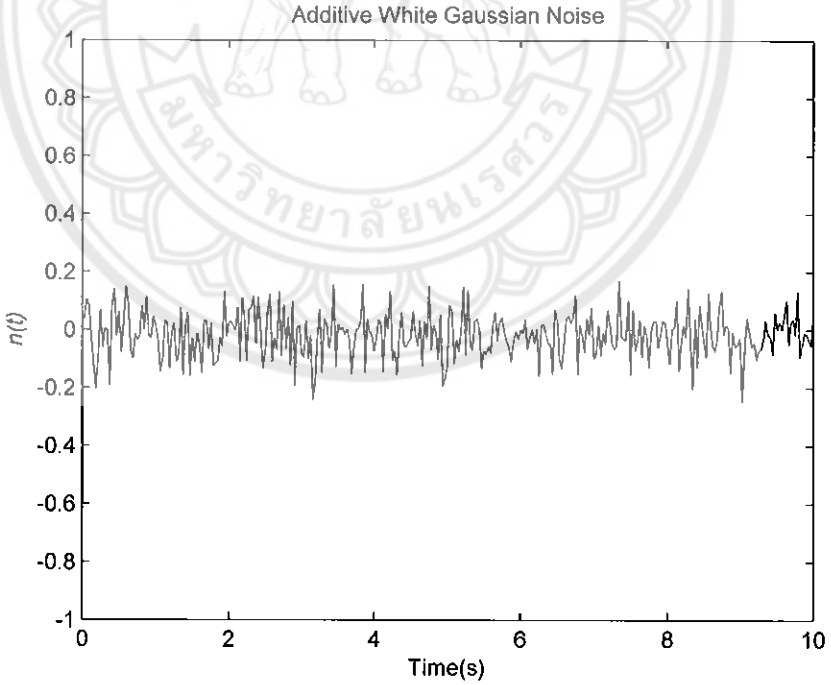
ในแบบจำลองระบบนี้มีการเปลี่ยนค่าของ E_b/N_0 ตั้งแต่ 0 – 15 dB เพราะฉะนั้นสัญญาณรบกวนจะต้องถูกสร้างขึ้นใหม่ทุกๆครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของ E_b/N_0 ดังรูปที่ 4.2 – 4.5



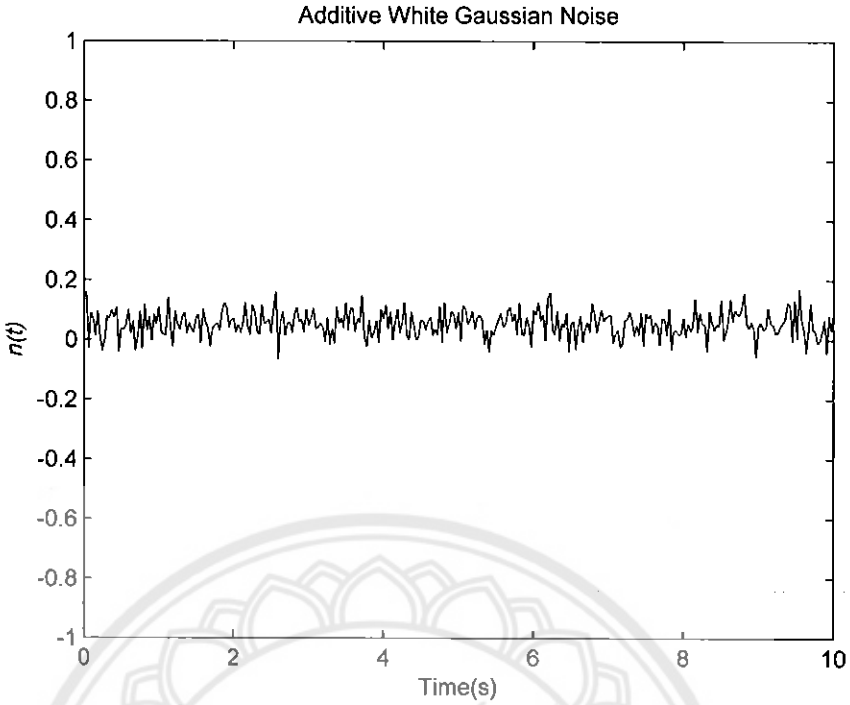
รูปที่ 4.2 สัญญาณรบกวนแบบ AWGN ที่ $E_b/N_0 = 0$ dB



รูปที่ 4.3 สัญญาณรบกวนแบบ AWGN ที่ $E_b/N_0 = 5$ dB



รูปที่ 4.4 สัญญาณรบกวนแบบ AWGN ที่ $E_b/N_0 = 10$ dB



รูปที่ 4.5 สัญญาณรบกวนแบบ AWGN ที่ E_b/N_0 = 15 dB

จากรูปที่ 4.2 – 4.5 จะพบว่าเมื่ออัตราส่วนของ E_b/N_0 มีค่าน้อยขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณรบกวนแบบ AWGN (Additive White Gaussian Noise) จะมีขนาดของแอมพลิจูดที่สูง และเมื่อมีการเพิ่มค่าของอัตราส่วน E_b/N_0 ให้สูงขึ้นเรื่อยๆ ขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณรบกวนแบบ AWGN (Additive White Gaussian Noise) จะค่อยๆมีขนาดแอมพลิจูดต่ำลง

4.3 ผลการรวมสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณรบกวน

หลังจากการสร้างสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar และการสร้างสัญญาณรบกวนแบบ AWGN (Additive White Gaussian Noise) แล้ว ขั้นตอนต่อไปของแบบจำลองระบบการสื่อสารก็คือ การนำสัญญาณข้อมูลมารวมกับสัญญาณรบกวน ซึ่งเปรียบเสมือนกับการส่งสัญญาณข้อมูลออกไปในตัวกลางผ่านทางช่องส่งสัญญาณ เมื่อสัญญาณที่ถูกส่งออกไปผ่านตัวกลางย่อมต้องมีสัญญาณรบกวนเข้ามารบกวนสัญญาณข้อมูล ทำให้สัญญาณข้อมูลเกิดการผิดเพี้ยนไป ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ของการรวมกันของสัญญาณได้คือ

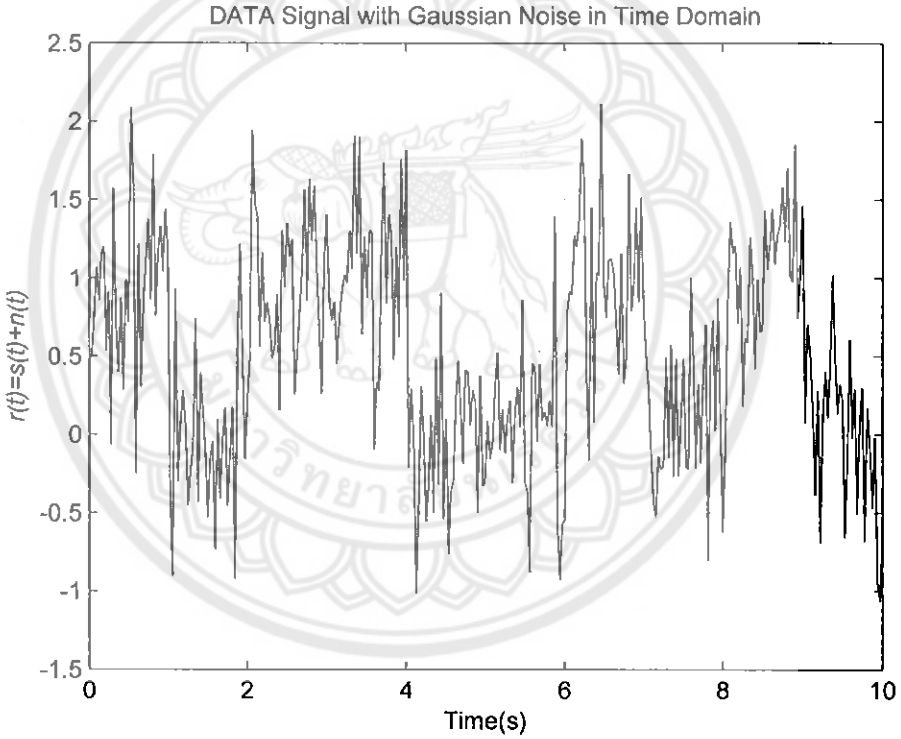
$$r(t) = s(t) + n(t) \tag{3-1}$$

โดยที่ $r(t)$ คือ สัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar

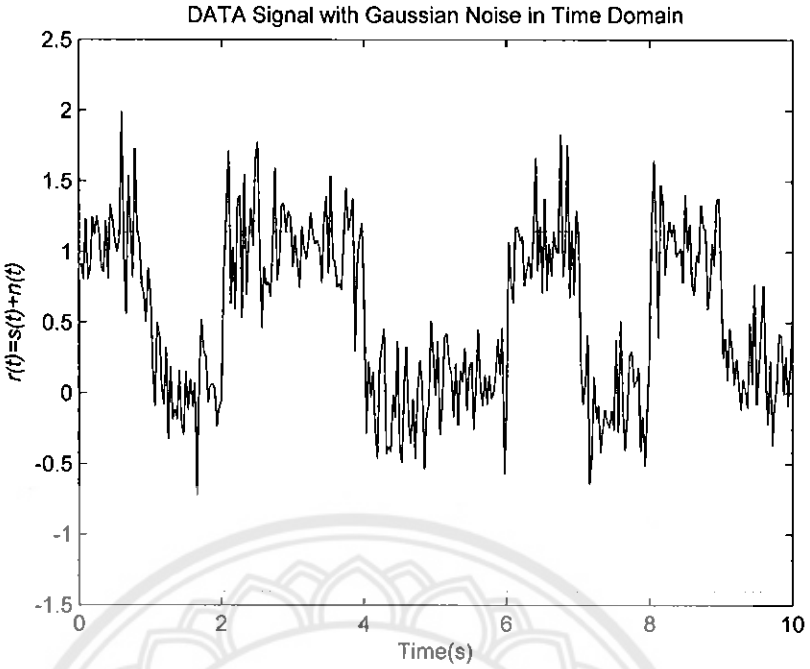
$s(t)$ คือ สัญญาณที่เกิดจากการรวมกันของสัญญาณข้อมูล และสัญญาณรบกวน

$n(t)$ คือ สัญญาณรบกวนแบบ AWGN (Additive White Gaussian Noise)

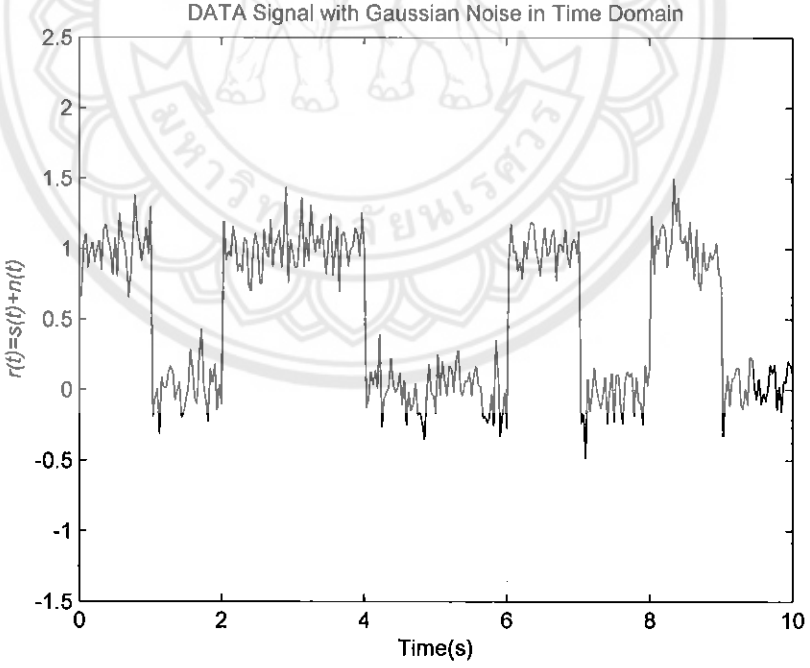
จากสมการที่ (3-1) ทำให้สามารถสร้างสัญญาณที่เกิดจากการรวมกันของสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar และสัญญาณรบกวนแบบ AWGN (Additive White Gaussian Noise) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ E_b/N_0 ได้ดังรูปที่ 4.6 – 4.9



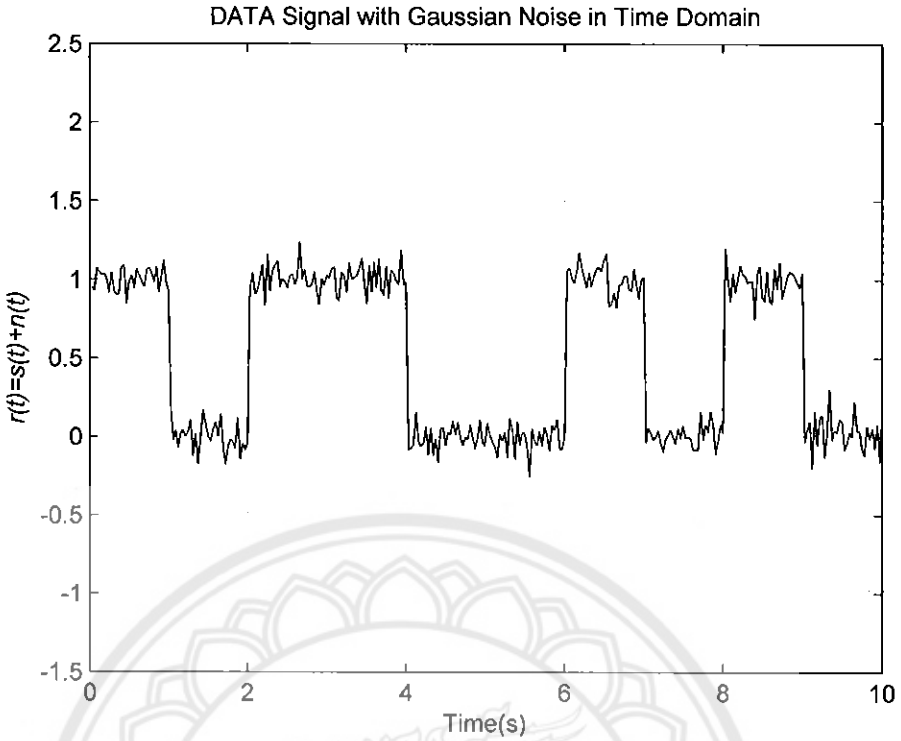
รูปที่ 4.6 การรวมสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณรบกวนที่ $E_b/N_0 = 0$ dB



รูปที่ 4.7 การรวมสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณรบกวนที่ $E_b/N_0 = 5$ dB



รูปที่ 4.8 การรวมสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณรบกวนที่ $E_b/N_0 = 10$ dB



รูปที่ 4.9 การรวมสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณรบกวนที่ E_b/N_0 = 15 dB

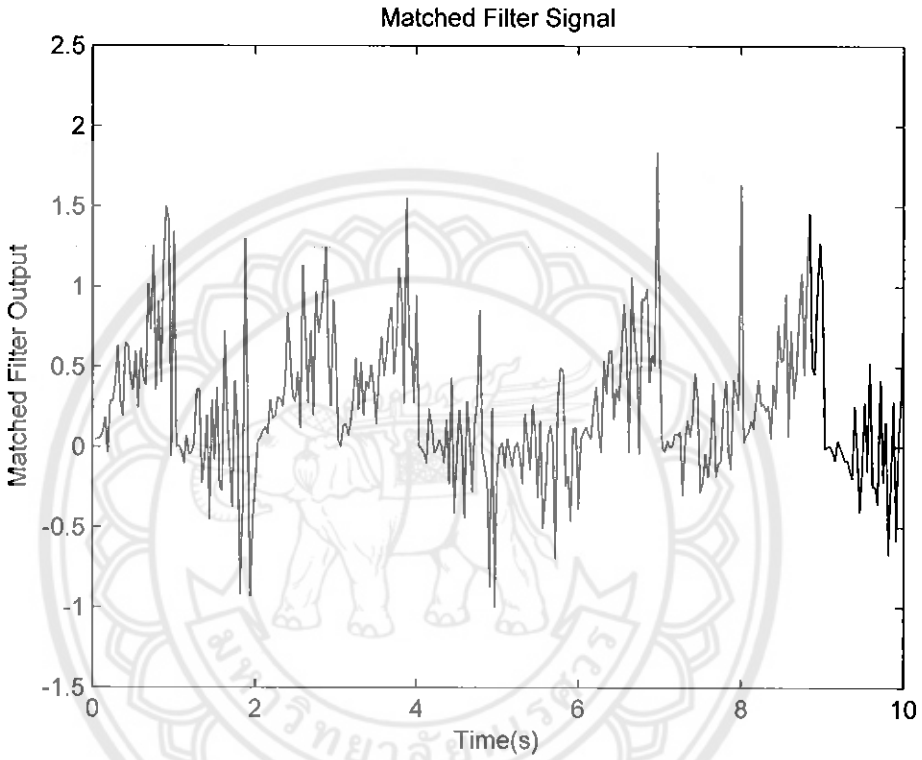
จากรูปที่ 4.6 – 4.9 คือรูปการรวมกันของสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar และสัญญาณรบกวนแบบAWGN (Additive White Gaussian Noise) โดยปกติแล้วแอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar จะมีค่า 0 สำหรับข้อมูลบิต 0 และ 1 สำหรับข้อมูลบิต 1 แต่จากรูปที่ 4.6 – 4.9 จะพบว่าค่าแอมพลิจูดของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงสำหรับแอมพลิจูดของบิต 0 จะเกิดการการติดลบ และแอมพลิจูดของบิต 1 ก็จะมีค่าเกิน 1 ทั้งนี้เป็นผลมาจากการรวมสัญญาณรบกวนเข้าไปในสัญญาณข้อมูล

จากรูปจะพบอีกว่าเมื่ออัตราส่วนของ E_b/N_0 มีค่าน้อยแอมพลิจูดของสัญญาณจะติดลบ และเกิน 1 ไปมาก แต่เมื่ออัตราส่วนของ E_b/N_0 มีค่าเพิ่มมากขึ้นแอมพลิจูดของสัญญาณก็จะค่อยๆกลับมามีค่าใกล้เคียงกับแอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar

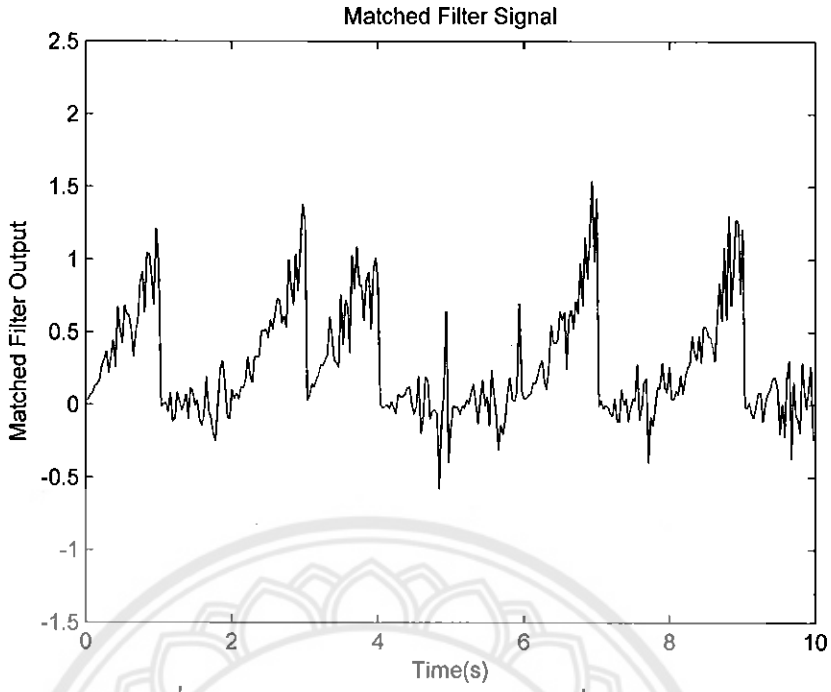
4.4 ผลการสร้างสัญญาณจาก Matched Filter

จากการสร้างสัญญาณข้อมูลที่เป็นแบบ Unipolar และนำมารวมกับสัญญาณรบกวนที่เป็นแบบ AWGN (Additive White Gaussian Noise) แล้ว จะทำให้ได้สัญญาณข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนปะปนอยู่ ส่งผลให้ที่ภาครับนั้นจะเกิดปัญหาในการตีความข้อมูลที่ได้รับมา

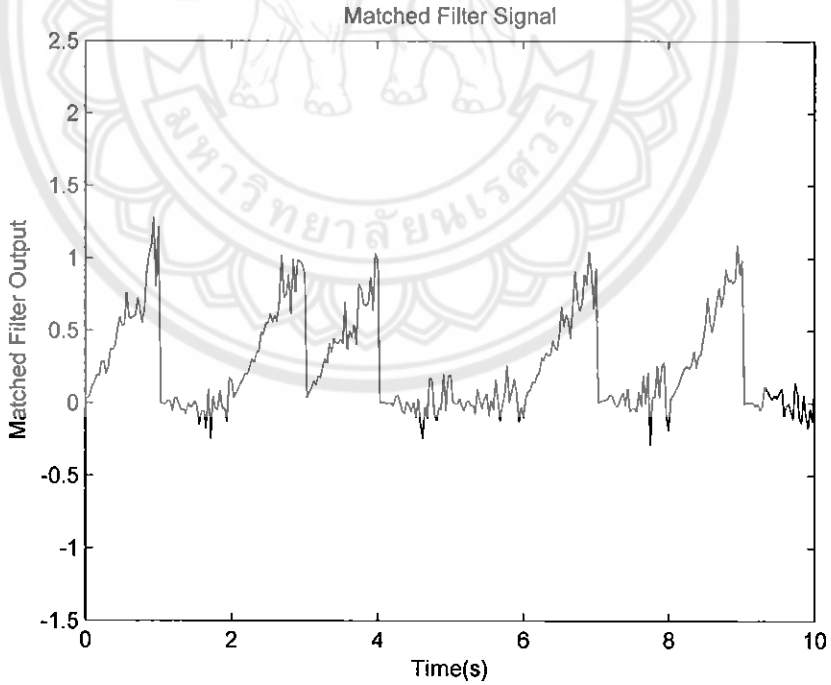
Matched Filter จึงเป็นกระบวนการที่เข้ามาช่วยให้ภาครับมีประสิทธิภาพในการตีความข้อมูลสูงขึ้น ซึ่งการสร้าง Matched Filter ในแบบจำลองนี้นั้น จะอาศัยการนำสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนปะปนอยู่มาคูณเข้ากับเวลาในการส่งสัญญาณนั่นก็คือ 1 บิตต่อวินาที เพื่อสร้างสัญญาณจาก Matched Filter ที่มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 4.10 – 4.13



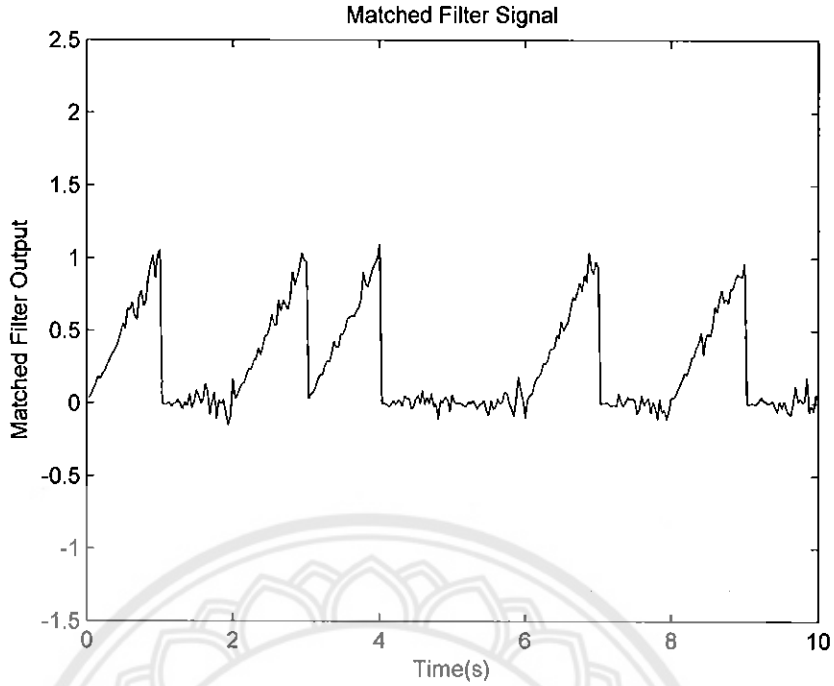
รูปที่ 4.10 สัญญาณจาก Matched Filter ที่ $E_b/N_0 = 0$ dB



รูปที่ 4.11 สัญญาณจาก Matched Filter ที่ $E_b/N_0 = 5$ dB



รูปที่ 4.12 สัญญาณจาก Matched Filter ที่ $E_b/N_0 = 10$ dB

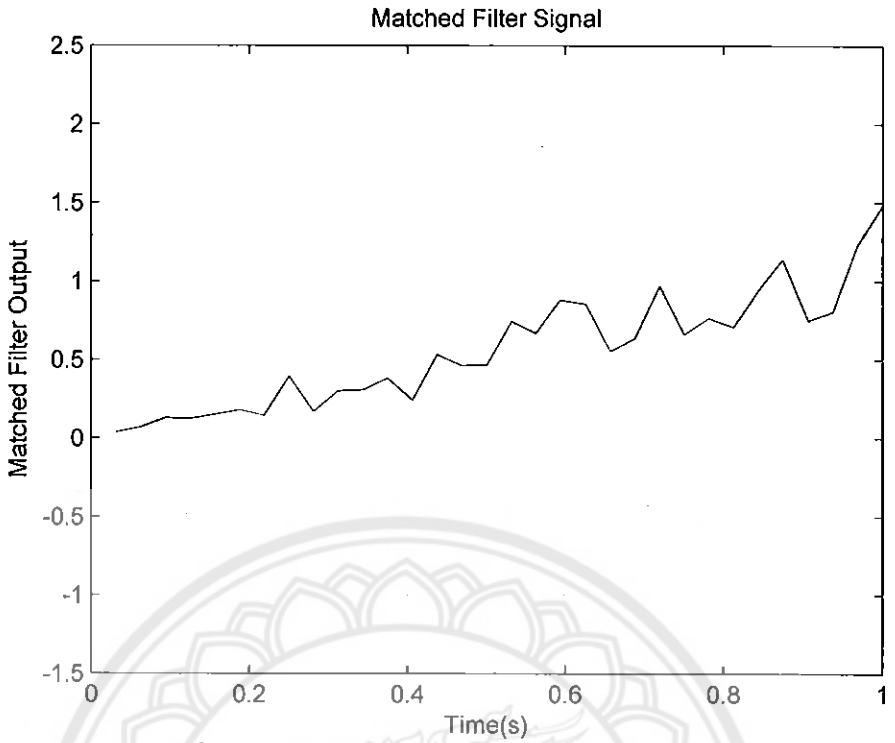


รูปที่ 4.13 สัญญาณจาก Matched Filter ที่ E_b/N_0 = 15 dB

จากการสร้างสัญญาณข้อมูลที่เป็นแบบ Unipolar โดยกำหนดให้บิต 0 มีขนาดแอมพลิจูดเป็น 0 และบิต 1 มีแอมพลิจูดเป็น 1 รูปที่ 4.10 – 4.13 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนของ E_b/N_0 เพิ่มขึ้นจะทำให้ขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณมีค่าลดลงเข้าใกล้ 1 ซึ่งเป็นแอมพลิจูดของสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar ที่ถูกสร้างขึ้นก่อนหน้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัญญาณรบกวนมีผลกับสัญญาณข้อมูลลดลง

4.5 ผลการวิเคราะห์สัญญาณจาก Matched Filter 1 บิต

สัญญาณที่ได้จาก Matched Filter นั้นจะถูกนำไปใช้ต่อในการตีความจากรูปสัญญาณให้กลายเป็นบิตข้อมูลไบนารี และนำไปหาค่า BER (Bit Error Rate) ต่อไป ดังนั้นจึงต้องนำสัญญาณจาก Matched Filter มา 1 บิต เพื่อทำการวิเคราะห์ว่าจะมีวิธีในการนำสัญญาณจาก Matched Filter นั้นไปใช้อย่างไร ซึ่งสัญญาณที่ได้จาก Matched Filter เมื่อนำมาวิเคราะห์ 1 บิต จะมีลักษณะดังรูปที่ 4.14



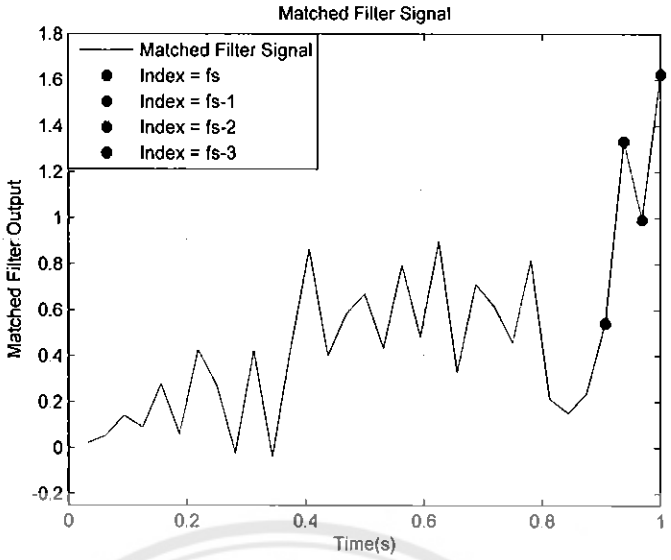
รูปที่ 4.14 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ $E_b/N_0 = 5$ dB

จากหลักการของ Matched Filter สัญญาณจาก Matched Filter จะเป็นรูปสามเหลี่ยม ซึ่งยอดของสามเหลี่ยม หรือก็คือแอมพลิจูดที่สูงที่สุดของสัญญาณจะต้องอยู่ที่ T_b ซึ่งก็คือเวลาในการส่งข้อมูล 1 บิตนั่นเอง ซึ่งในแบบจำลองระบบสื่อสารนี้มีการส่งข้อมูล 1 บิตต่อวินาที นั่นหมายความว่าสัญญาณจาก Matched Filter จะต้องมีค่าสูงที่สุดที่ 1 วินาทีนั่นเอง

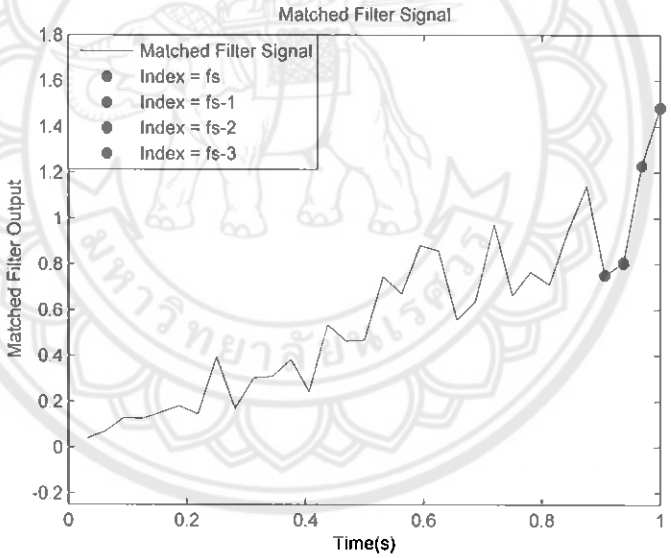
จากรูปที่ 4.14 จะพบว่าหากเราต้องการที่จะตีความรูปสัญญาณ Matched Filter กลับมาเป็นข้อมูลไบนารีเราจำเป็นที่จะต้องมี 2 สิ่งที่พิจารณาคือ Sampling point และค่า Threshold

ในการสร้างแบบจำลองกระบวนการ Matched Filter ในภาครับนี้ ได้กำหนดให้ใน 1 วินาทีนั้นจะมีจำนวนของตัวอย่างสุ่มอยู่ 32 ตัวอย่าง ซึ่งโดยปกติแล้วค่าของสัญญาณ Matched Filter จะต้องมีค่าสูงสุดที่ตัวอย่างสุ่มที่ 32 แต่เนื่องจากสัญญาณข้อมูลถูกรวมเข้ากับสัญญาณรบกวน ซึ่งส่งผลให้สัญญาณ Matched Filter อาจมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งอื่น แต่ก็จะอยู่ในบริเวณที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งของตัวอย่างสุ่มที่ 32

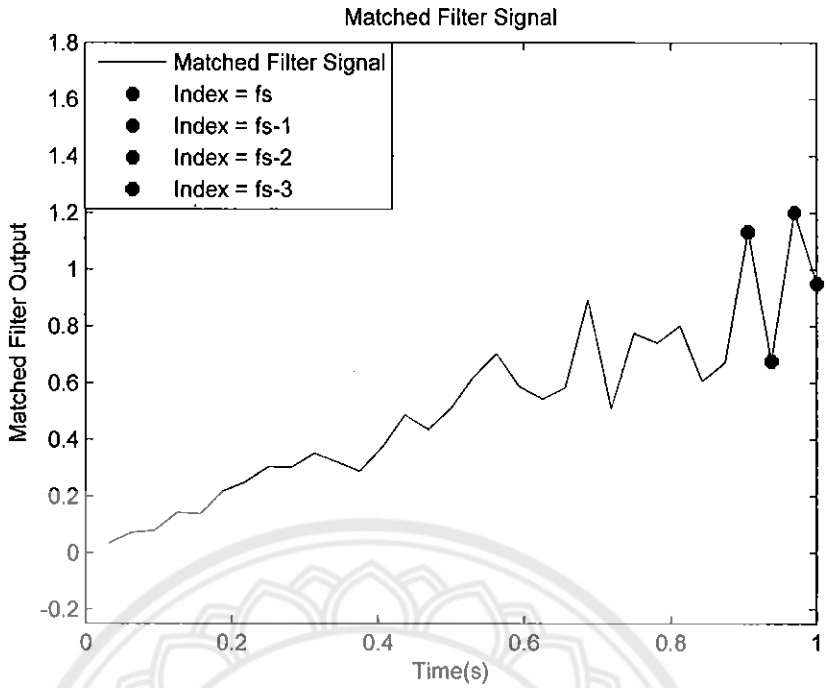
เพราะฉะนั้นเมื่อพิจารณาจุด Sampling point จึงต้องมีการตั้งค่าโปรแกรมให้มีการตรวจสอบค่าของสัญญาณ Matched Filter ที่ตำแหน่งSampling point เป็น f_s และตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับ f_s การตั้งค่า Sampling point จึงมีลักษณะดังรูปที่ 4.15 – 4.18



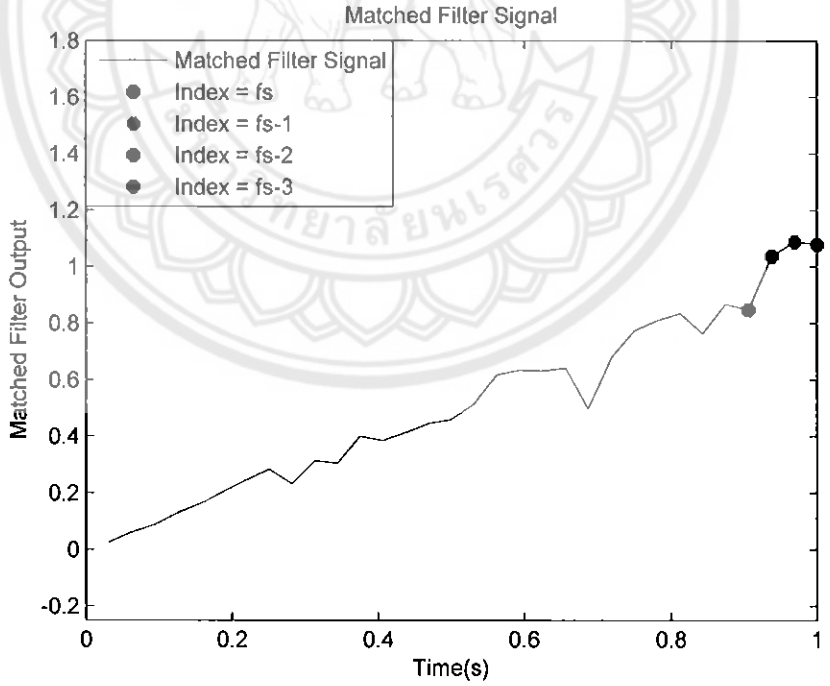
รูปที่ 4.15 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ $E_b/N_0 = 0$ dB ที่ Sampling point ต่างๆ



รูปที่ 4.16 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ $E_b/N_0 = 5$ dB ที่ Sampling point ต่างๆ



รูปที่ 4.17 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ E_b/N_0 = 10 dB ที่ Sampling point ต่างๆ



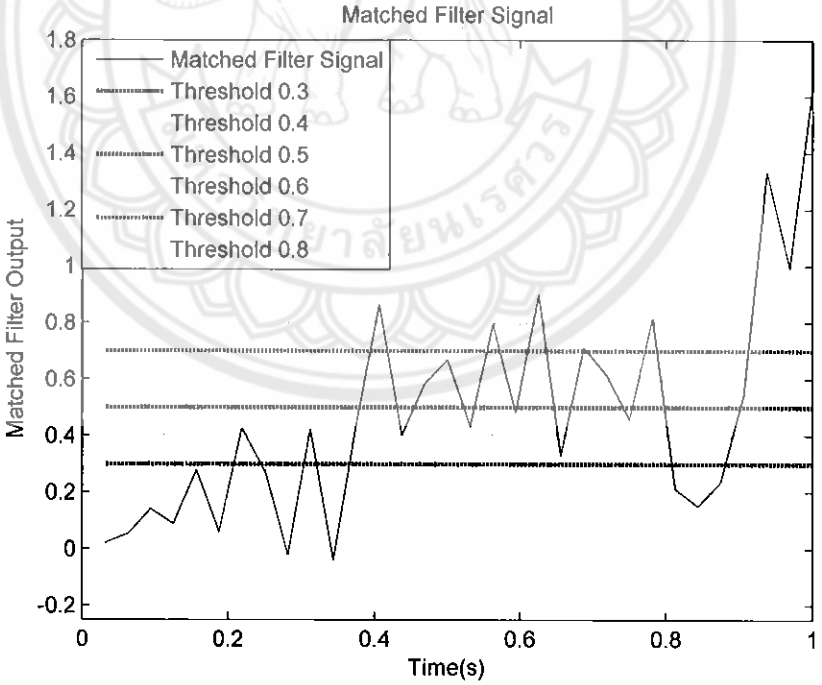
รูปที่ 4.18 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ E_b/N_0 = 15 dB ที่ Sampling point ต่างๆ

จากรูปที่ 4.15 – 4.18 จะพบว่าค่าของสัญญาณ Matched Filter ในบางรูปนั้นไม่ได้มีค่าสูงสุดที่จุดตำแหน่ง Sampling point เป็น f_s แต่จุดที่มีค่าสูงสุดนั้นก็จะมีตำแหน่งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับที่ตำแหน่ง f_s

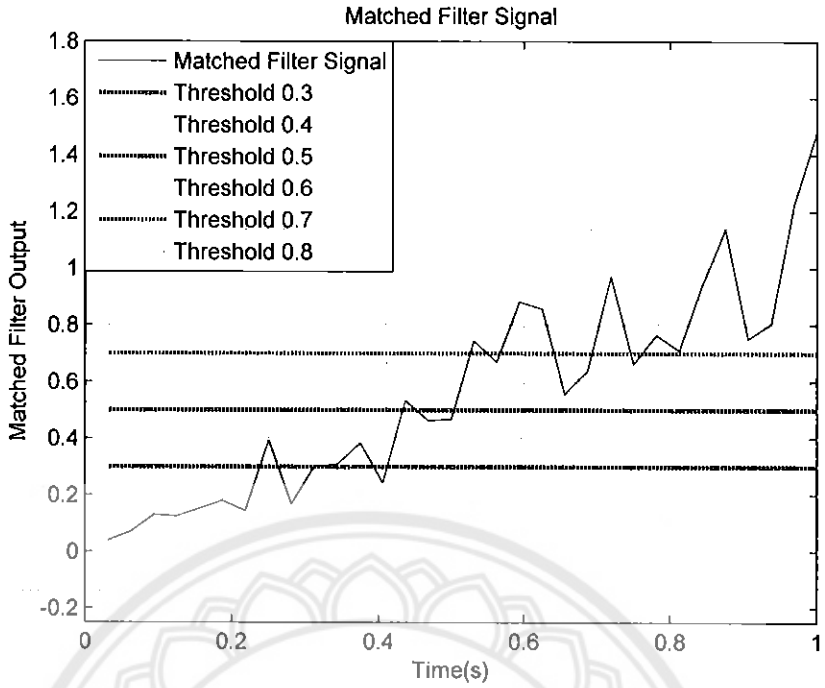
เนื่องจากในแบบจำลองระบบสื่อสารนี้เวลา 1 วินาทีจะมีจำนวนของตัวอย่างสุ่มอยู่ 32 ตัว เพราะฉะนั้นจึงได้มีการตั้งค่าของ Sampling point ขึ้นมา 4 ตำแหน่งคือ ตำแหน่ง $f_s, f_s - 1, f_s - 2$ และ $f_s - 3$ หรือก็คือที่ตำแหน่ง 32 31 30 และ 29 นั่นเอง

เมื่อได้ตำแหน่ง Sampling point แล้ว ส่วนต่อมาที่ต้องพิจารณาก็คือแอมพลิจูด จากรูปที่ 4.14 จะพบว่าแอมพลิจูดของสัญญาณ Matched Filter จะมีค่าต่างๆกันไปตามตำแหน่งเวลา เพราะฉะนั้นเมื่อเราสามารถกำหนดเวลาที่ใช้พิจารณาได้แล้ว เราก็นำค่าของสัญญาณ Matched Filter ที่ตำแหน่ง Sampling point ต่างๆไปเปรียบเทียบกับค่า Threshold ก็จะทำให้เราสามารถตีความสัญญาณ Matched Filter เป็นข้อมูลไบนารีได้

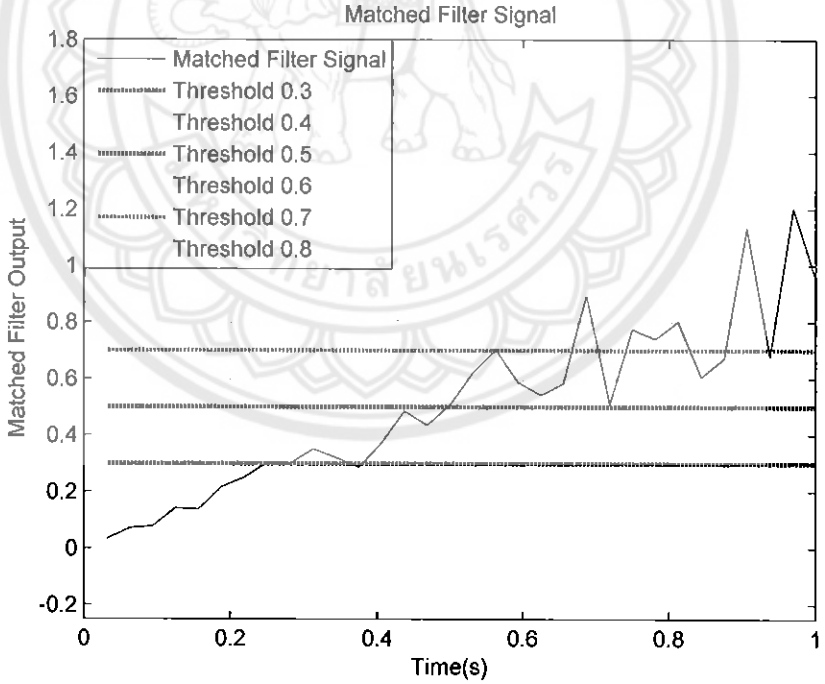
แต่เนื่องจากในการจำลองระบบการสื่อสารนี้มีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วน E_b/N_0 ซึ่งเราก็ได้ทราบจากผลการทดลองก่อนหน้าแล้วว่าการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วน E_b/N_0 นั้นจะมีผลต่อแอมพลิจูดของสัญญาณที่ได้จาก Matched Filter เพราะฉะนั้นในการตั้งค่า Threshold จึงไม่สามารถที่จะตั้งค่าไว้ที่ค่าเดียวได้ การตั้งค่า Threshold ของสัญญาณจึงเป็นไปดังรูปที่ 4.19 – 4.22



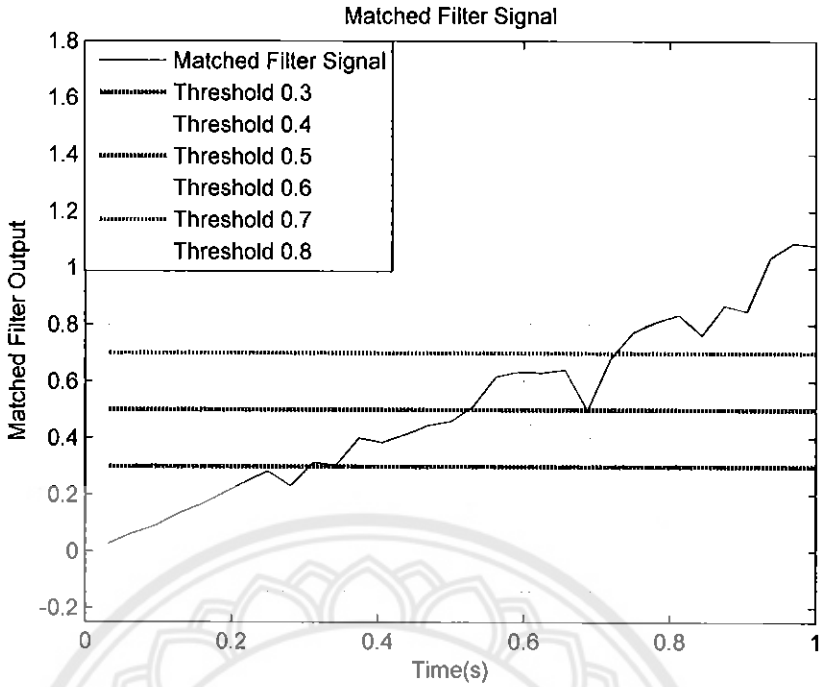
รูปที่ 4.19 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ $E_b/N_0 = 0$ dB ที่ Threshold ต่างๆ



รูปที่ 4.20 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ E_b/N_0 = 5 dB ที่ Threshold ต่างๆ



รูปที่ 4.21 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ E_b/N_0 = 10 dB ที่ Threshold ต่างๆ



รูปที่ 4.22 สัญญาณ Matched Filter 1 บิต ที่ E_b/N_0 = 15 dB ที่ Threshold ต่างๆ

จากรูปที่ 4.19 – 4.22 จะพบว่าแอมพลิจูดของสัญญาณจาก Matched Filter มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนอัตราส่วน E_b/N_0 จึงได้มีการตั้งค่า Threshold ที่แตกต่างกันไว้ 6 ค่าคือ 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 เพื่อใช้เป็นในการตีความสัญญาณจาก Matched Filter กลับมาเป็นข้อมูลไบนารี

เมื่อนำข้อมูลทั้ง 2 มารวมกันจะทำให้สามารถพิจารณาตีความรูปสัญญาณจาก Matched Filter กลับมาเป็นข้อมูลไบนารีได้ กล่าวคือ ณ ตำแหน่ง Sampling point ต่างๆถ้าหากค่าของสัญญาณจาก Matched Filter มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า Threshold ที่ได้ถูกตั้งเอาไว้ สัญญาณ Matched Filter ในช่วงเวลาที่เราสนใจนั้นจะมีค่าของข้อมูลไบนารีคือ บิต 1 แต่ถ้าหาก ณ ตำแหน่ง Sampling point ต่างๆถ้าหากค่าของสัญญาณจาก Matched Filter มีค่าน้อยกว่าค่า Threshold ที่ได้ถูกตั้งเอาไว้ สัญญาณ Matched Filter ในช่วงเวลาที่เราสนใจนั้นจะมีค่าของข้อมูลไบนารีคือ บิต 0

จากการพิจารณาสัญญาณจาก Matched Filter 1 บิตแล้ว ทำให้ได้เงื่อนไขในการตีความสัญญาณจาก Matched Filter ในช่วงเวลาที่สนใจกลับไปเป็นข้อมูลไบนารีได้ โดยเงื่อนไขที่จำเป็นต้องพิจารณาก็คือ ตำแหน่งของจุด Sampling Point และค่า Threshold เมื่อใช้เงื่อนไขทั้ง 2 ในการพิจารณาสัญญาณจาก Matched Filter แล้วจะทำให้ได้ข้อมูลที่ไบนารีออกมา จากนั้นจะนำข้อมูลไบนารีที่ได้ไปเปรียบเทียบกับบิตข้อมูลที่ได้จากการสุ่ม เพื่อทำการหาค่า BER (Bit Error Rate) ต่อไป

4.6 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ Matched Filter

จากผลการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4.5 จะพบว่าในการที่จะวิเคราะห์แบบจำลองเพื่อหาค่า BER (Bit Error Rate) ของระบบนั้น จะต้องการพิจารณาตำแหน่ง Sampling point และ ค่า Threshold ซึ่งตำแหน่ง Sampling point ได้ถูกตั้งไว้ 4 จุดคือที่ f_s, $f_s - 1$, $f_s - 2$ และ $f_s - 3$ และค่า Threshold คือ 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 ซึ่งจะได้ค่า BER (Bit Error Rate) มีค่าดังตารางที่ 4.1 – 4.4

ตารางที่ 4.1 ค่า BER ที่ Threshold ต่างๆ เมื่อ Sampling point คือ f_s

E_b/N_0	Threshold					
(dB)	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0	0.1777201	0.1635761	0.1587358	0.1635278	0.1774967	0.1997172
1	0.1545454	0.1371339	0.1310822	0.1369796	0.1543446	0.1816984
2	0.1322931	0.1115251	0.1042772	0.1115151	0.1323379	0.1648297
3	0.1112723	0.0872126	0.0790192	0.0873105	0.1113445	0.1490028
4	0.0921980	0.0656862	0.0567849	0.0657621	0.0922854	0.1345749
5	0.0747342	0.0470046	0.0377855	0.0470825	0.0748410	0.1204245
6	0.0593660	0.0320063	0.0231801	0.0319206	0.0593180	0.1065918
7	0.0451967	0.0201149	0.0126813	0.0202403	0.0453772	0.0928022
8	0.0331188	0.0118275	0.0060939	0.0119382	0.0332635	0.0789553
9	0.0227798	0.0062964	0.0024659	0.0062747	0.0228847	0.0650207
10	0.0145086	0.0029253	0.0008049	0.0029450	0.0145535	0.0516517
11	0.00834926	0.00115023	0.00019795	0.00115286	0.00840136	0.03913227
12	0.00425779	0.00036771	0.00003454	0.00037340	0.00428746	0.02796654
13	0.00185861	0.00009131	0.00000457	0.00009159	0.00186843	0.01861011
14	0.00067107	0.00001583	0.00000025	0.00001544	0.00067759	0.01134217
15	0.00019013	0.00000167	0.00000000	0.00000196	0.00019128	0.00619584

ตารางที่ 4.2 ค่า BER ที่ Threshold ต่างๆ เมื่อ Sampling point คือ $f_s - 1$

E_b/N_0 (dB)	Threshold					
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0	0.1759457	0.1625135	0.1589891	0.1656657	0.1819814	0.2066607
1	0.1521841	0.1353805	0.1309707	0.1393735	0.1595674	0.1897701
2	0.1296199	0.1097244	0.1045385	0.1145276	0.1387571	0.1748579
3	0.1083634	0.0853414	0.0793329	0.0908086	0.1188672	0.1607769
4	0.0890624	0.0636319	0.0570176	0.0695995	0.1005463	0.1476139
5	0.0712698	0.0447719	0.0380930	0.0511141	0.0837848	0.1350172
6	0.0557276	0.0296931	0.0233563	0.0357639	0.0682549	0.1221347
7	0.0419598	0.0183098	0.0129204	0.0236915	0.0540790	0.1091692
8	0.0301981	0.0104072	0.0062339	0.0145572	0.0411748	0.0956380
9	0.0203855	0.0052909	0.0025449	0.0081607	0.0296455	0.0816184
10	0.0125940	0.0023248	0.00084959	0.00408688	0.01994166	0.0678518
11	0.00703313	0.00086518	0.00021647	0.00176465	0.01233397	0.05425198
12	0.00344569	0.00025653	0.00004105	0.00062434	0.00687481	0.04154081
13	0.00142589	0.00005622	0.00000507	0.00017471	0.00335663	0.03008629
14	0.00048496	0.00000903	0.00000029	0.00003575	0.0013811	0.02033048
15	0.00012483	0.0000008	0.0000000	0.00000491	0.0004650	0.01261818

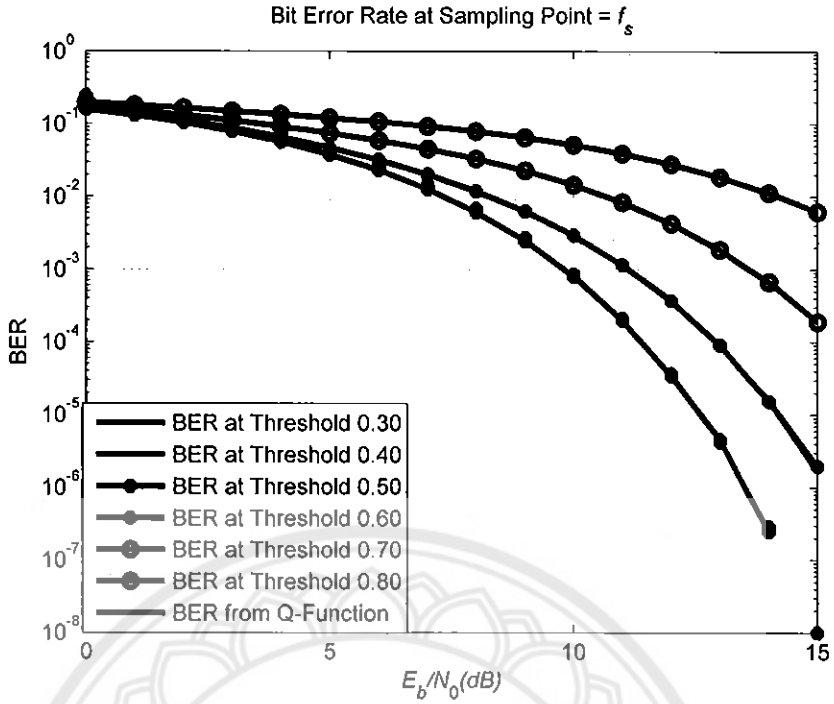
ตารางที่ 4.3 ค่า BER ที่ Threshold ต่างๆ เมื่อ Sampling point คือ $f_s - 2$

E_b/N_0	Threshold					
(dB)	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0	0.1742507	0.1613538	0.1592982	0.1680919	0.1869552	0.2141977
1	0.1502005	0.1343109	0.1317255	0.1425700	0.1659995	0.1994741
2	0.1268542	0.1079242	0.1048855	0.1179844	0.1460088	0.1858838
3	0.1053195	0.0833927	0.0798467	0.0950439	0.1272853	0.1736304
4	0.0855198	0.0614926	0.0577308	0.0743555	0.1101542	0.1623560
5	0.0678602	0.0427303	0.0388280	0.0559404	0.0939386	0.1510950
6	0.0520832	0.0278082	0.0240523	0.0404821	0.0789189	0.1398299
7	0.0386621	0.0167200	0.0135365	0.0279808	0.0645473	0.1279818
8	0.0272339	0.0090735	0.0066786	0.0181395	0.0511017	0.1154289
9	0.0178441	0.0043686	0.0028304	0.0107578	0.0384485	0.1022534
10	0.0107980	0.00183808	0.0010045	0.0057882	0.0274409	0.0886236
11	0.00582005	0.00063425	0.00027759	0.00269936	0.01815999	0.07466447
12	0.00273415	0.00017526	0.00005883	0.00105639	0.01101499	0.06091622
13	0.00107097	0.00003491	0.00000845	0.00033459	0.00598424	0.04769017
14	0.00033651	0.00000483	0.00000088	0.00007997	0.00281981	0.03551034
15	0.00008265	0.00000043	0.00000003	0.00001309	0.00111846	0.02492223

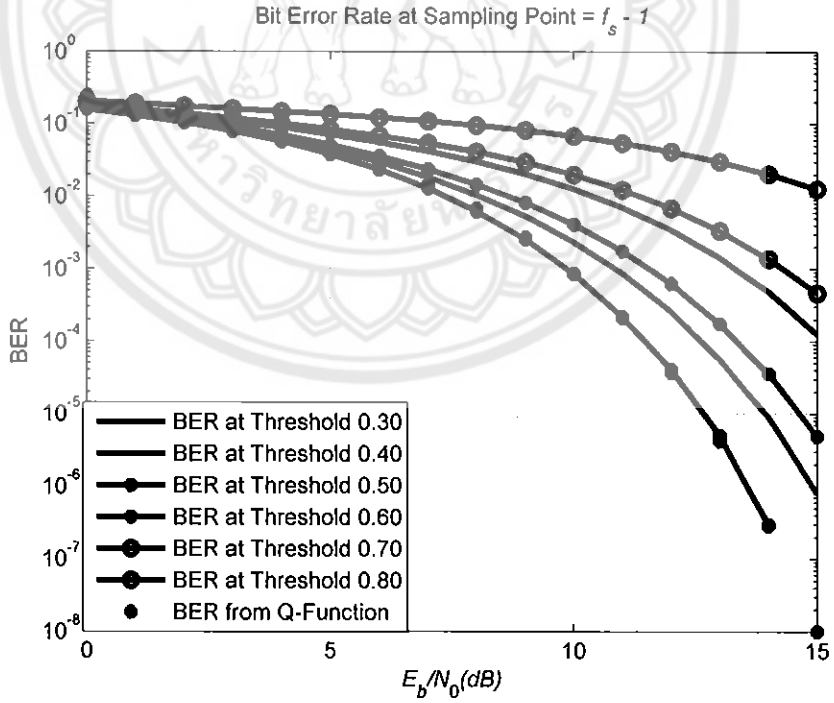
ตารางที่ 4.4 ค่า BER ที่ Threshold ต่างๆ เมื่อ Sampling point คือ $f_s - 3$

E_b/N_0	Threshold					
(dB)	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0	0.1723818	0.1604393	0.1600309	0.1711929	0.1928481	0.2231014
1	0.1477422	0.1330193	0.1325477	0.1463700	0.1729913	0.2097837
2	0.1243038	0.1066974	0.1061020	0.1227017	0.1545718	0.1984072
3	0.1023452	0.0819922	0.0813286	0.1003884	0.1375356	0.1884649
4	0.0820219	0.0597335	0.0591253	0.0801944	0.1215471	0.1790821
5	0.0642105	0.0409767	0.0403149	0.0620497	0.1060979	0.1694932
6	0.0486291	0.0262129	0.0255829	0.0466847	0.0917000	0.1602379
7	0.0352867	0.0151851	0.0146608	0.0334821	0.0773181	0.1500429
8	0.0244109	0.0080093	0.0075836	0.0228076	0.0636185	0.1393292
9	0.0155650	0.0036167	0.0033829	0.0143395	0.0499826	0.1273505
10	0.00911902	0.00142844	0.00129776	0.00822679	0.03767983	0.11473879
11	0.00473564	0.00046084	0.00040275	0.00417801	0.02673221	0.10149211
12	0.0021171	0.00011563	0.00009634	0.00181814	0.01761617	0.08777740
13	0.00078653	0.00002148	0.00001604	0.00065269	0.01060801	0.07395511
14	0.00023117	0.00000265	0.00000187	0.00018032	0.00569326	0.06014679
15	0.00004904	0.00000016	0.00000011	0.00003743	0.00266095	0.04698772

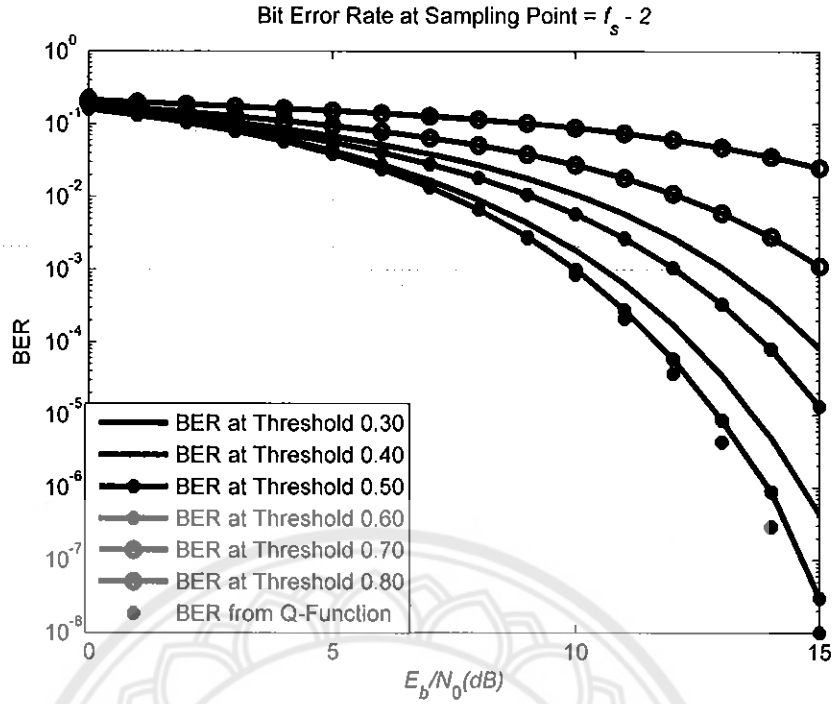
เมื่อนำค่า BER (Bit Error Rate) ที่ได้จากแบบจำลองระบบสื่อสารที่มี Matched Filter ในภาครับมาแสดงในรูปแบบของกราฟเปรียบเทียบกับกราฟของค่า BER ในทางทฤษฎีจะทำให้ได้ลักษณะของกราฟดังรูปที่ 4.23 – 4.26



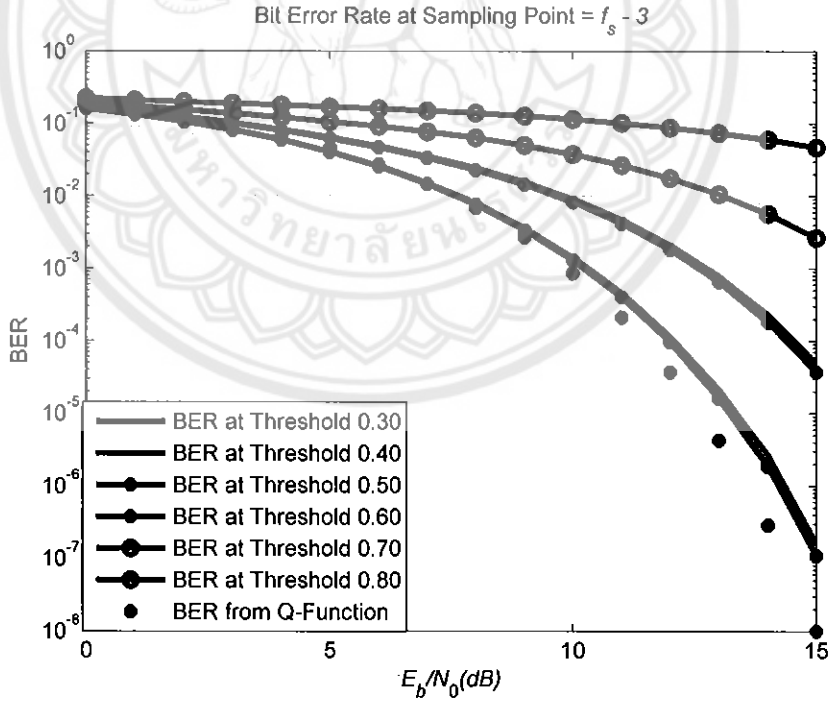
รูปที่ 4.23 ประสิทธิภาพของระบบที่ Sampling point = f_s



รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพของระบบที่ Sampling point = $f_s - 1$



รูปที่ 4.25 ประสิทธิภาพของระบบที่ Sampling point = $f_s - 2$



รูปที่ 4.26 ประสิทธิภาพของระบบที่ Sampling point = $f_s - 3$

จากรูปที่ 4.23 – 4.26 จะพบว่าลักษณะของกราฟค่า BER (Bit Error Rate) ที่ได้จากแบบจำลองระบบการสื่อสารที่มี Matched Filter ในภาครับ จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งที่มีค่า BER ลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วน E_b/N_0

พิจารณารูปที่ 4.23 คือรูปที่มี Sampling point ในการพิจารณาเป็น f_s โดยเส้นกราฟที่มี Threshold เป็น 0.5 จะให้ค่าของ BER ที่มีลักษณะของกราฟใกล้เคียงกับรูปกราฟของ BER ที่มีค่าตามทฤษฎี โดยที่เส้นกราฟ Threshold เป็น 0.5 นี้ ที่ค่า E_b/N_0 = 15 dB ค่า BER จะมีค่าเป็น 0 เนื่องมาจากการใช้จำนวนบิตในการรันที่ไม่เพียงพอ และเส้นกราฟที่ Threshold เป็น 0.8 จะให้เส้นกราฟที่ห่างจากเส้นกราฟของ BER ที่มีค่าตามทฤษฎีมากกว่าที่ Threshold อื่นๆใน Sampling point เดียวกัน

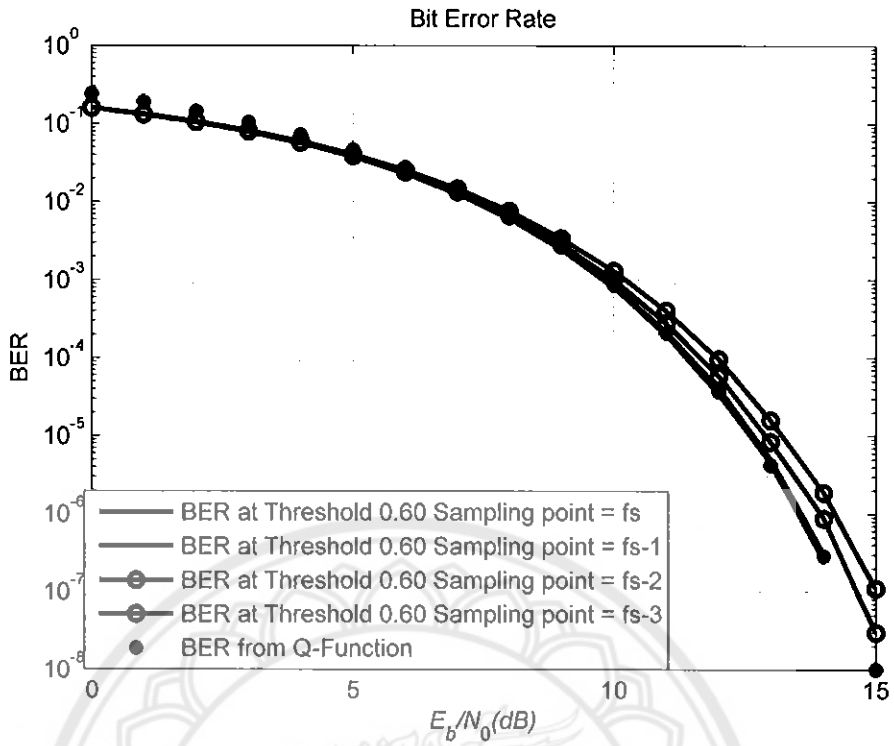
พิจารณารูปที่ 4.24 คือรูปที่มี Sampling point ในการพิจารณาเป็น $f_s - 1$ โดยเส้นกราฟที่มี Threshold เป็น 0.5 จะให้ค่าของ BER ที่มีลักษณะของกราฟใกล้เคียงกับรูปกราฟของ BER ที่มีค่าตามทฤษฎี โดยที่เส้นกราฟ Threshold เป็น 0.5 นี้ ที่ค่า E_b/N_0 = 15 dB ค่า BER จะมีค่าเป็น 0 เนื่องมาจากการใช้จำนวนบิตในการรันที่ไม่เพียงพอ และเส้นกราฟที่ Threshold เป็น 0.8 จะให้เส้นกราฟที่ห่างจากเส้นกราฟของ BER ที่มีค่าตามทฤษฎีมากกว่าที่ Threshold อื่นๆใน Sampling point เดียวกัน

พิจารณารูปที่ 4.25 คือรูปที่มี Sampling point ในการพิจารณาเป็น $f_s - 2$ โดยเส้นกราฟที่มี Threshold เป็น 0.5 จะให้ค่าของ BER ที่มีลักษณะของกราฟใกล้เคียงกับรูปกราฟของ BER ที่มีค่าตามทฤษฎี แต่ก็จะห่างกว่ารูปที่ 4.23 และ 4.24 และเส้นกราฟที่ Threshold เป็น 0.8 จะให้เส้นกราฟที่ห่างจากเส้นกราฟของ BER ที่มีค่าตามทฤษฎีมากกว่าที่ Threshold อื่นๆใน Sampling point เดียวกัน

พิจารณารูปที่ 4.26 คือรูปที่มี Sampling point ในการพิจารณาเป็น $f_s - 3$ โดยเส้นกราฟที่มี Threshold เป็น 0.4 และ Threshold เป็น 0.5 จะให้ค่าของ BER ที่มีลักษณะของกราฟใกล้เคียงกับรูปกราฟของ BER ที่มีค่าตามทฤษฎี และเส้นกราฟที่ Threshold เป็น 0.8 จะให้เส้นกราฟที่ห่างจากเส้นกราฟของ BER ที่มีค่าตามทฤษฎีมากกว่าที่ Threshold อื่นๆใน Sampling point เดียวกัน

จากการวิเคราะห์รูปที่ 4.23 -- 4.26 จะพบว่าที่ Sampling point ต่างๆ จะมีค่า Threshold ที่เท่ากับ 0.5 ให้ค่าประสิทธิภาพจากการวัดด้วย BER (Bit Error Rate) ได้ใกล้เคียงกับค่า BER (Bit Error Rate) จากทฤษฎีมากที่สุด และที่ค่า Threshold เป็น 0.8 จะให้ค่าประสิทธิภาพต่างกับค่าประสิทธิภาพจากทฤษฎีมากที่สุด

ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์ต่อว่า เมื่อ Threshold เป็น 0.5 เท่ากัน ที่ Sampling point ใด จะให้เส้นกราฟจากค่า BER ใกล้เคียงกับเส้นกราฟจากค่า BER ตามทฤษฎีมากที่สุด ซึ่งเมื่อนำเปรียบเทียบกันจะได้ผลดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ประสิทธิภาพของระบบที่ Threshold = 0.5 ณ Sampling point ต่างๆ

จากการวิเคราะห์รูปที่ 4.27 จะพบว่าที่ Threshold เป็น 0.5 เท่ากัน เมื่อมีการใช้จุด Sampling point เป็น f_s จะได้เส้นกราฟที่ใกล้เคียงกับเส้นกราฟจากค่า BER ตามทฤษฎีมากที่สุด ต่อมาจึงเป็นเส้นกราฟที่ใช้จุด Sampling point เป็น $f_s, f_s - 1, f_s - 2$ ตามลำดับ และเมื่อมีการใช้จุด Sampling point เป็น $f_s - 3$ จะทำให้เส้นกราฟที่ได้ห่างจากเส้นกราฟค่า BER ตามทฤษฎีมากที่สุด

ผลการทดลองในบทที่ 4 นี้ เป็นผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองระบบการสื่อสารที่มี Matched Filer ในภาครับ ซึ่งเราจะสามารถนำผลการทดลองที่ได้นี้ไปวิเคราะห์เพื่อสรุปถึงผลของประสิทธิภาพในระบบสื่อสารที่มี Matched Filter ในภาครับ ซึ่งจะจะแสดงต่อไปในบทที่ 5

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินการ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

จากการวิเคราะห์ผลการดำเนินโครงงานจะพบว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนของ E_b/N_0 ให้เพิ่มมากขึ้น สัญญาณรบกวนจะมีผลต่อสัญญาณข้อมูลลดลง ส่งผลให้ค่าของ BER ลดต่ำลง และเมื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองระบบการสื่อสารที่มี Matched Filter ในภาครับเมื่อมีการส่งสัญญาณข้อมูลแบบ Unipolar โดยอาศัยการพิจารณาเส้นกราฟค่า BER เปรียบเทียบกับเส้นกราฟค่า BER ตามทฤษฎี จะพบว่าที่ Sampling point = f_s และมีค่า Threshold เป็น 0.5 จะให้เส้นกราฟที่ใกล้เคียงกับเส้นกราฟของค่า BER ตามทฤษฎีมากที่สุด และที่ Sampling point = $f_s - 3$ และ Threshold เป็น 0.8 จะให้เส้นกราฟที่ห่างจากเส้นกราฟของค่า BER ตามทฤษฎีมากที่สุด

การที่ Threshold ที่ 0.5 สามารถให้ค่า BER ที่ใกล้เคียงกับค่า BER ตามทฤษฎีได้มากกว่าที่ Threshold อื่นๆ เป็นเพราะเมื่อมีการส่งสัญญาณ 1 บิต พลังงานที่ถูกใช้จะเป็น 1 เมื่อสัญญาณถูกรวมเข้ากับสัญญาณรบกวนโดยอัตราส่วนของ E_b/N_0 มีค่าน้อย จะทำให้พลังงานของสัญญาณมีค่าเกิน 1 ไป ดังนั้น Threshold ที่ควรใช้จึงควรมีค่าที่สูง แต่เมื่อสัญญาณถูกรวมเข้ากับสัญญาณรบกวนโดยอัตราส่วนของ E_b/N_0 มีค่ามากจะทำให้พลังงานของสัญญาณมีค่าเข้าใกล้ 1 ดังนั้น Threshold ที่ควรใช้จึงควรมีค่าที่ต่ำ เพราะฉะนั้น Threshold ที่เป็น 0.5 นี้ คือการพิจารณาจุดที่เป็นครึ่งหนึ่งของพลังงานในการส่งสัญญาณ 1 บิต ไม่ว่าสัญญาณรบกวนจะมีผลกับสัญญาณข้อมูลมากหรือน้อยเพียงใดที่ Threshold เป็น 0.5 นี้ จึงไม่ได้รับผลกระทบ

เมื่อพิจารณาที่ Sampling point เป็น f_s ซึ่งเป็นจุดที่ให้ค่า BER ได้ใกล้เคียงกับค่า BER จากทฤษฎีที่สุด จะพบว่าเป็นไปตามทฤษฎีของกระบวนการ Matched Filter และเมื่อเปรียบเทียบที่ Threshold เป็น 0.5 จุด Sampling point ที่มีค่าเป็น $f_s, f_s - 1, f_s - 2$ และ $f_s - 3$ จะมีค่า BER ใกล้เคียงกับค่า BER จากทฤษฎีลดลงตามลำดับ กล่าวคือ การลดตำแหน่งของจุด Sampling point จะทำให้ค่า BER สูงขึ้น

5.2 ปัญหาในการดำเนินโครงงาน

เนื่องจากเป็นโครงงานสร้างแบบจำลองของระบบสื่อสารทำให้มีการเขียนโปรแกรมที่ค่อนข้างยาวจึงทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น จึงทำให้ต้องใช้เวลาค่อนข้างนานในการหาจุดที่ผิด และเนื่องจากเป็นโปรแกรมที่อาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็น ทำให้ต้องใช้จำนวนข้อมูลมากๆ ส่งผลให้การประมวลผลต้องอาศัยเวลา

ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมควรแบ่งส่วนให้เรียบร้อย อาจมีการเขียนคอมเมนท์ในโปรแกรม เพื่อเป็นการแบ่งสัดส่วนของโค้ดให้ชัดเจน การตั้งชื่อตัวแปรในโปรแกรมแต่ละตัวควรที่จะตั้งให้เหมาะสม และในเรื่องของการประมวลผลโปรแกรมอาจจะต้องมีคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วในการประมวลผลพอสมควร หรือหาเทคนิควิธีในการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติม

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการนำโปรแกรมนี้ไปพัฒนาต่อไปอาจมีการเพิ่มส่วนของการทำ Modulation และ Demodulation ของสัญญาณข้อมูลเข้าไป และการเพิ่มจำนวนบิตข้อมูลให้มีความเพียงพอต่อการจำลองระบบ

เอกสารอ้างอิง

[1] Forouzan, B. A. (2004). **Data Communications and Networking.** (4th ed). Singapore: McGrawHill.

[2] WIKIPEDIA.Normal distribution. [Online]: http://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2556.

[3] สัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ. (2554). หลักการไฟฟ้าสื่อสาร. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

[4] Couch, L. W. (2007). **Digital and Analog Comminication Systems.** (7th ed). New Jersey: Prentice Hall.

[5] CONNEXIONS. **Fundamental Probability Density Functions and Properties.** [Online]: http://cnx.org/content/m11436/latest/ สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2556.

[6] Electronic design. **Digital Communications: The ABCs Of Ones And Zeroes.** [Online]: http://electronicdesign.com/communications/digital-communications-abcs-ones-and-zeroes สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2556.

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายจารุวัฒน์ พัฒน์มณี

ภูมิลำเนา 9/13 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง
จ.พิษณุโลก 65000

ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษาจากโรงเรียนจ่านกร้อง
  จังหวัดพิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4
  สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : **jaruwatp53@email.nu.ac.th**