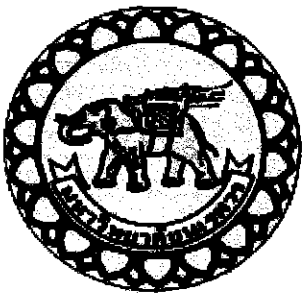


การศึกษาและจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming

STUDY & SIMULATION OF BPSK COMMUNICATION SYSTEM WITH HAMMING CODE

นางสาวโสมฤดี ท้าวถึง รหัส 48362148

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 25 พ.ค. 2553
เลขทะเบียน 1506729x
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร
2551

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2551

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน	**การศึกษาและจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบBPSKที่มีการเข้ารหัส Hamming**
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวโสมฤดี ท้าวถึง รหัส 48362148
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ชัยรัตน์ พินทอง
	อาจารย์แสงชัย มังกรทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2551

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา)

..... กรรมการ
(ดร.ชัยรัตน์ พินทอง)

..... กรรมการ
(อาจารย์แสงชัย มังกรทอง)

หัวข้อโครงงาน	การศึกษาและจำลองระบบสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวโสมฤดี ท้าวถึง รหัส 48362148
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2551

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาและจำลองระบบสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming โดยทำการวิเคราะห์การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบการสื่อสารที่ทำการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming กับการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัส ซึ่งจะทำการจำลองระบบสื่อสารและทำการเข้ารหัสแต่ละรูปแบบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการช่วยลดความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาด โครงงานนี้จะใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อใช้ในการออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming ในรูปแบบต่างๆ กันไป

จากโครงงานนี้จะเห็นว่า เมื่อทำการเข้ารหัส Hamming ความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดจะลดลงเมื่อเทียบกับการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัส และการเข้ารหัสแบบ (7,4)Hamming code จะมีประสิทธิภาพในการแก้ไขบิตผิดพลาดดีกว่าการเข้ารหัสแบบ (15,11)Hamming code, (31,26)Hamming code และการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัส

Project Title	Study & simulation of BPSK communication system with Hamming code
Name	Miss Somrudee Thaothung
Project Advisor	Asst.Prof.Surachet Kanprachar, Ph.D.
Major	Electrical Engineering.
Department	Electrical and Computer Engineering.
Academic Year	2008

.....

ABSTRACT

In this project, the performances of BPSK communication systems with Hamming code is studied using both analytical approach and simulation approach. The performance in terms of bit-error-rate (BER) of BPSK communication systems with Hamming code was compared to that of BPSK communication systems without encoding. The simulation of BPSK communication systems with Hamming code is done by using MATLAB programming.

It was found that, the bit error rate of BPSK communication systems with Hamming code is less than the communication systems without encoding. Additionally, in terms of BER, (7,4)Hamming code performs better than (15,11)Hamming code and (31,26)Hamming code and otherwise.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผศ.ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ในการให้ความรู้ คำปรึกษาและข้อแนะนำเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูล และแนวทางการวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดีเยี่ยม และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ดร.ชัยรัตน์ พินทอง และอาจารย์แสงชัย มังกรทอง ที่กรุณาสละเวลา เป็นอาจารย์สอบโครงงาน พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์

คุณพงษ์นาวิน เบี่ญพรม และคุณ ธนิตย์ พื้นสันเทียะ ที่สละเวลาคอยให้คำปรึกษาในเรื่องการเขียนโปรแกรม

ผู้จัดจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

โสมฤดี ท้าวถึง
ผู้จัดทำโครงงาน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญรูป ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 3

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 3

1.5 การดำเนินโครงงาน 3

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 4

1.7 งบประมาณที่ต้องใช้ 4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ 5

2.2 รหัสช่องสัญญาณ 6

2.3 Hamming Code 6

2.4 การมอดูเลตและการดีมอดูเลต 14

2.5 ผลกระทบของสัญญาณรบกวนในระบบการส่งสัญญาณข้อมูล 15

2.6 ความน่าจะเป็นในการตัดสินบิตผิดพลาด (Probability Of Error) 19

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 การออกแบบโปรแกรม 28

3.1.1 การสร้างสัญญาณข้อมูล 28

3.1.2 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ 28

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.1.3 การสร้างสัญญาณมอดูเลชัน 28

3.1.4 การสร้างสัญญาณรบกวน 29

3.1.5 การรวมสัญญาณข้อมูลที่ทำเข้ารหัสช่องสัญญาณและกล้ำสัญญาณแล้วกับสัญญาณรบกวน..... 29

3.1.6 การดีมอดูเลตสัญญาณ 29

3.1.7 การถอดรหัสช่องสัญญาณและแก้ไขบิตผิดพลาด 29

3.1.8 การตรวจสอบบิตผิดพลาด 29

3.2 โครงสร้างการทำงาน 30

3.3 การออกแบบ Graph User Interfaces (GUI) และขั้นตอนการดำเนินงาน 30

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน

4.1 โปรแกรมการจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming 33

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการ

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ 45

5.2 ปัญหาที่พบขณะดำเนินโครงงาน 45

5.3 ข้อเสนอแนะ 45

เอกสารอ้างอิง 46

ภาคผนวก ก 47

ภาคผนวก ข 50

ประวัติผู้เขียนโครงงาน 54

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 Block Diagram for Binary Communications System 16

2.2 Binary Communication System Model:Transmitter 16

2.3 Binary Communication System Model: Received Signal 17

2.4 Binary Communication System Model: Baseband Received Signal 17

2.5 Binary Communication System Model: Receiver Decision 19

2.6 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม r_0 เมื่อส่ง s_1 และ s_2 21

2.7 Error probability for binary signaling 22

2.8 Coherent Receiver 24

2.9 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดสำหรับการส่งสัญญาณแบบ BPSK 27

3.1 แผนภาพแสดงการทำงานของการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK
ที่มีการเข้ารหัส Hamming code 30

3.2 Graphic User Interfaces ในการแสดงตัวอย่างการส่งสัญญาณแบบ BPSK
ที่มีการเข้ารหัสHamming code 31

4.1 ผลการทดลองในรูปแบบของ Graphic User Interfaces 33

4.2 ผลการทดลองการส่งสัญญาณ 35

4.3 ผลการรันโปรแกรมการจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณ
แบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming 36

4.4 การส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัสแบบ (7,4)Hamming code 37

4.5 การส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัสแบบ (15,11)Hamming code 38

4.6 การส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัสแบบ (31,26)Hamming code 38

4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดสำหรับการเข้ารหัส
Hamming code ในกรณีต่างๆเมื่อเทียบกับการส่งแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัส 39

4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาด 43

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

ก-1 รูปการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบปกติ 47

ก-2 The Q function 50

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 3

2.1 รูปแบบคำรหัสของการเข้ารหัส(7,4)Hamming code 11

2.2 รูปแบบซินโดรมและ *error patterns* สำหรับการเข้ารหัส(7,4)Hamming code 12

ก-1 ตาราง Q function 48

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

การสื่อสารข้อมูล (Data Communications) หมายถึง กระบวนการถ่ายโอนหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างผู้ส่งและผู้รับ โดยผ่านช่องทางสื่อสารเช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือคอมพิวเตอร์เป็นตัวกลางในการส่งข้อมูล เพื่อให้ผู้ส่งและผู้รับเกิดความเข้าใจซึ่งกันและกัน วิธีการส่งข้อมูลนี้ จะแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณ หรือรหัสเสียก่อนแล้วจึงส่งไปยังผู้รับ และเมื่อถึงปลายทางหรือผู้รับก็จะต้องมีการแปลงสัญญาณนั้นกลับมาให้อยู่ในรูปที่มนุษย์ สามารถที่จะเข้าใจได้ ในระหว่างการส่งอาจจะมีอุปสรรค์ที่เกิดขึ้นก็คือ สิ่งรบกวน (Noise) จากภายนอกทำให้ข้อมูลบางส่วนเสียหายหรือผิดเพี้ยนไปได้ จึงต้องมีหาวิธีลดสิ่งรบกวนเหล่านี้ วิธีหนึ่งที่สามารถแก้ไขได้โดยส่งสัญญาณในความถี่ที่เหมาะสม

ในการส่งสัญญาณเสียง หรือสัญญาณข้อมูลผ่านช่องทางการสื่อสารนั้น ตัวกลางหรือตัวนำสัญญาณ ในการเคลื่อนย้ายข้อมูลต้องอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นตัวนำ ซึ่งขั้นตอนในการแปลงความถี่ของสัญญาณ เรียกว่า Modulation หรือการกล้ำสัญญาณให้มีความถี่ที่เหมาะสมในการส่งสัญญาณ เราเรียกว่า Carrier Signal หรือสัญญาณคลื่นพาห์ ขั้นตอนการทำงานจะเริ่มโดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ Modulator จะสร้าง Carrier Signal เพื่อให้สัญญาณมีความเข้มข้นพอที่จะส่ง และเมื่อถึงปลายทาง ก็จะมีอุปกรณ์ที่แยกสัญญาณ Carrier ออกให้เหลือแต่สัญญาณข้อมูล ซึ่งการแยกสัญญาณแบบนี้เรียกว่า Demodulation

ในการส่งสัญญาณ Digital โดยผ่านช่องทางสื่อสารของ Analog ได้แก่ การส่งข้อมูลคอมพิวเตอร์ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะ ซึ่งอาศัยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณ Digital ให้เป็น สัญญาณ Analog ย่านความถี่เสียง ซึ่งเทคนิคในการ Modulate สัญญาณ Digital ให้เป็น Analog มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือ

1.1.1 Amplitude – Shift Keying: ASK

การ Modulate เชิงเลขทาง แอมปลิจูดความถี่ของสัญญาณ คลื่นพาห์จะคงที่ โดยเมื่อค่าสัญญาณ Digital เป็น 1 Carrier Wave แอมปลิจูดจะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อค่าบิตเป็น 0 Carrier Wave แอมปลิจูดจะตกลงกว่าปกติ แต่วิธีการนี้จะไม่ค่อยได้รับความนิยม เนื่องจากว่าถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย

1.1.2 Frequency – Shift Keying: FSK

การ Modulate เชิงเลขทางความถี่ ขนาดของคลื่นพาห์ Carrier Wave จะไม่เปลี่ยน แต่ความถี่ของคลื่นจะเปลี่ยนแทน โดยเมื่อบิตมีค่าเป็น 1 ความถี่จะสูงกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นจะต่ำกว่าปกติ

1.1.3 Phase – Shift Keying: PSK

การ Modulate เชิงเลขทางเฟส คือค่าของขนาด และความถี่ของคลื่นพาห์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เฟสของสัญญาณจะเป็นตัวเปลี่ยนแปลง กล่าวคือเมื่อสภาวะของบิตเป็น 0 หรือเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน (Shift) ไป 180 องศาด้วย ซึ่งวิธีนี้จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุด ทำให้ได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุด

ในการส่งสัญญาณแบบ Phase – Shift Keying: PSK จะมีแอมปลิจูดคงที่ การเลื่อนของเฟสจะมีค่าเท่ากับ 180 องศา สำหรับสัญญาณไบนารี ค่าของเฟสที่เลื่อนไปจะมีค่าเป็นบวก 90 องศาและลบ 90 องศา จากจุดอ้างอิงสำหรับของมูล "1" และ "0" ตามลำดับในกรณีนี้เราจะเรียกว่า Binary Phase Shift Keying: BPSK

ในการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณ แม้ว่าจะส่งในความถี่ที่เหมาะสมแล้ว ยังมีสามารถเกิดการผิดเพี้ยนได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเข้ารหัสสัญญาณก่อนส่ง การเข้ารหัสช่องสัญญาณเป็นกระบวนการที่ภาคส่งเพิ่มบิตพิเศษเข้าไปกับบิตข้อมูล เพื่อช่วยให้ภาครับสามารถตรวจจับหรือแก้ไขบิตบางบิตที่ผิดพลาดระหว่างการส่งผ่านช่องสัญญาณได้ ทั้งนี้ความสามารถในการแก้ไขบิตที่ผิดพลาดขึ้นอยู่กับขนาดของบิตรหัสที่เพิ่มเข้าไป โดยวิธีพื้นฐานที่นิยมนำมาเข้ารหัสก็คือ การเข้ารหัส Hamming

ดังนั้นโครงงานนี้จะนำเสนอการศึกษาและจำลองการส่งสัญญาณแบบ Binary Phase Shift Keying: BPSK และการเข้ารหัส แบบ Hamming ว่ามีหลักการทำงานและคุณสมบัติอย่างไร เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและนำไปประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาการใช้รหัส Hamming Code

1.2.2 เพื่อศึกษาการส่งสัญญาณแบบกล้ำสัญญาณเชิงมุม BPSK

1.2.3 เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองของระบบการรับ-ส่งข้อมูลของรหัส Hamming Code และการกล้ำสัญญาณเชิงมุม (BPSK)

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการเข้ารหัส-ถอดรหัสข้อมูล โดยวิธี Hamming Code

1.3.2 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการส่งสัญญาณแบบกล้ำสัญญาณเชิงมุม BPSK

1.3.3 ศึกษาระบบการส่งข้อมูลในระบบการสื่อสารข้อมูล

1.3.4 สร้างแบบจำลองการรับ-ส่งข้อมูลของระบบสื่อสารโดยใช้โปรแกรม MATLAB

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

1.4.1 ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับการใช้รหัส Hamming Code

1.4.2 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการส่งสัญญาณแบบกล้ำสัญญาณเชิงมุม BPSK

1.4.3 ออกแบบระบบการรับ-ส่งข้อมูลในระบบสื่อสาร

1.4.4 ทดลองและฝึกใช้โปรแกรม MATLAB

1.4.5 เขียนโปรแกรมเพื่อสร้างแบบจำลองการรับ-ส่งข้อมูลในระบบสื่อสาร

1.4.6 ทดสอบการทำงานของแบบจำลอง

1.4.7 ตรวจสอบความเรียบร้อยของโครงงานและจัดทำเป็นรูปเล่ม

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินงาน	ปี 2551							ปี 2552	
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับการใช้รหัส Hamming Code	←	→							
ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการส่งสัญญาณแบบกล้ำสัญญาณเชิงมุม BPSK		←		→					
ออกแบบระบบการรับ-ส่งข้อมูลในระบบสื่อสาร			←		→				

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน (ต่อ)

การดำเนินงาน	ปี 2551							ปี 2552	
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
ทดลองและฝึกใช้โปรแกรม MATLAB				←	—	—	→		
เขียนโปรแกรมเพื่อสร้างแบบจำลองการรับ-ส่งข้อมูลในระบบสื่อสาร						←	→		
ทดสอบการทำงานของแบบจำลอง							← →		
ตรวจสอบความเรียบร้อยของโครงงานและจัดทำเป็นรูปเล่ม								← →	

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถเปรียบเทียบการส่งสัญญาณโดยการเข้ารหัส Hamming Code ได้

1.6.2 มีความรู้ความเข้าใจในการส่งสัญญาณแบบกล้ำสัญญาณเชิงมุม BPSK

1.6.3 มีความรู้ความเข้าใจและทักษะในการใช้โปรแกรม MATLAB มากขึ้น

1.6.4 ได้แบบจำลองการรับ-ส่งข้อมูลในระบบสื่อสารแบบ Binary Phase Shift Keying: BPSK และการเข้ารหัส แบบ Hamming

1.6 งบประมาณที่ต้องใช้

1.7.1 ค่าเอกสารประกอบกรทำโครงงาน	700 บาท
1.7.2 ค่าจัดทำรูปเล่มโครงงาน	300 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิน	1,000 บาท
	(หนึ่งพันบาทถ้วน)

หมายเหตุ ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระบบสื่อสารนั้นถูกสร้างขึ้นมาเพื่อทำการส่งข้อมูลข่าวสาร ในระบบสื่อสารข้อมูลข่าวสารที่ผู้ส่งได้ทำการส่งมานั้น ผู้รับจะไม่สามารถที่จะรู้ข้อมูลข่าวสารนั้นได้ จนกว่าข้อมูลข่าวสารนั้นจะมาถึง เนื่องจากหากข้อมูลข่าวสารนั้นสามารถที่จะรู้ได้ก่อนที่จะทำการส่งข้อมูลข่าวสารนั้นๆก็หมายความว่าข้อมูลข่าวสารนั้นเป็นที่รู้กันอยู่แล้ว ไม่จำเป็นต้องมีการสื่อสารใดๆก็ได้ หนึ่งในข้อจำกัดความสามารถในการสื่อสารของระบบนั้นคือสัญญาณรบกวน หากไม่มีสัญญาณรบกวนเราสามารถทำการส่งข้อมูลข่าวสารไปในสถานที่ไกลๆได้ โดยใช้พลังงานในปริมาณน้อยเพื่อทำการส่งข้อมูลข่าวสาร วิธีหนึ่งที่สามารถแก้ไขได้โดยส่งสัญญาณในความถี่ที่เหมาะสม แต่ในการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณ แม้ว่าจะส่งในความถี่ที่เหมาะสมแล้ว ยังสามารถเกิดการผิดเพี้ยนได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเข้ารหัสสัญญาณก่อนส่ง การเข้ารหัสช่องสัญญาณเป็นกระบวนการที่ภาคส่งเพิ่มบิตพิเศษเข้าไปกับบิตข้อมูล เพื่อช่วยให้ภาครับสามารถตรวจจับหรือแก้ไขบิตบางบิตที่ผิดพลาดระหว่างการส่งผ่านช่องสัญญาณได้ ทั้งนี้ความสามารถในการแก้ไขบิตที่ผิดพลาดขึ้นอยู่กับจำนวนของบิตรหัสที่เพิ่มเข้าไป

2.1 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ [1]

ถ้าข้อมูลที่ขาออกของระบบสื่อสารดิจิทัลมีความผิดพลาดเกิดขึ้น และเกิดขึ้นมากเกินกว่าที่จะนำไปใช้งานได้ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถทำให้ลดลงได้โดยใช้วิธีการต่อไปนี้

- การขอซ้ำอัตโนมัติ(ARQ: Automatic Repeat Request)
- การแก้ไขความผิดพลาดแบบไปข้างหน้า (FEC: Forward Error Correction)

ในระบบ ARQ เมื่อเครื่องรับตรวจพบความผิดพลาดขึ้นในบล็อกหนึ่งของข้อมูล ระบบจะทำการขอข้อมูลบล็อกนั้นใหม่ ในระบบ FEC ข้อมูลที่ส่งในระบบนี้จะถูกเข้ารหัส ดังนั้นเมื่อมีการตรวจพบข้อผิดพลาดในข้อมูล ระบบ FEC จะพยายามทำการแก้ไขข้อมูลนั้นจากความซ้ำซ้อนที่ทำการเข้ารหัสไป กระบวนการนี้ถูกเรียกว่า การเข้ารหัสช่องสัญญาณ เนื่องจากมีจุดมุ่งหมายในการขจัดผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากช่องสัญญาณ

การเลือกระหว่างระบบ ARQ และ FEC นั้นขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้งาน ระบบ ARQ นั้นมักถูกนำไปใช้ในระบบสื่อสารของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากการประยุกต์ใช้สามารถทำได้ในราคาถูก และช่องสัญญาณที่ใช้มักเป็นช่องสื่อสารแบบสอง ซึ่งทำให้สามารถทำการส่งข้อมูลเพื่อบอกว่า การสื่อสารสมบูรณ์ (ACK) หรือต้องการให้ส่งข้อมูลใหม่อีกครั้ง (NAC) ได้ ส่วนวิธีการ FEC นั้นจะถูกใช้ในระบบสื่อสารทางเดียว

การเข้ารหัสที่ใช้ในระบบสื่อสาร FEC จะเป็นการเพิ่มความซ้ำซ้อนให้กับข้อมูล เพื่อทำให้ตัวถอดรหัสสามารถที่จะลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ดีจำนวนบิตที่เพิ่มขึ้นนี้ก็ส่งผลให้อัตราข้อมูลเพิ่มขึ้นและต้องการแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการส่งเพิ่มด้วย

2.2 รหัสช่องสัญญาณ[1]

การเข้ารหัสอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ดังนี้คือ

2.2.1 รหัสบล็อก [1]

รหัสบล็อกคือ การโยงความสัมพันธ์จากขาเข้า k บิตไปเป็นขาออก n บิต ซึ่ง $k < n$ โดยตัวถอดรหัสที่เครื่องรับ จะใช้ประโยชน์จากส่วนที่เพิ่มเข้ามานั้นมาใช้ในการตรวจจับความผิดพลาดและแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิด เมื่ออัตรารหัสเท่ากับ $R = k/n$ อัตรารหัสที่มักใช้กันจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1/4 ถึง 7/8

2.2.2 รหัสคอนโวลูชัน [1]

รหัสคอนโวลูชันจะถูกสร้างโดยตัวเข้ารหัสที่มีหน่วยความจำ โดยเข้ารหัสคอนโวลูชัน จะสร้างรหัส n บิตจาก k บิต เช่นกัน แต่รหัส n ที่สร้างออกมานั้นจะมีความสัมพันธ์กับ k และ ν ซึ่งเป็นหน่วยความจำภายในตัวเข้ารหัส หรือที่เรียกว่า รีจิสเตอร์เลื่อน(Shift register) ซึ่ง ν มีค่ามากกว่า 0 อัตรารหัสของรหัสคอนโวลูชัน เท่ากับค่ารหัสบล็อก และอัตรารหัสที่ใช้มากจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1/4 ถึง 7/8

โดยการเข้ารหัสทั้งสองนั้น ยิ่งอัตรารหัสมีค่าน้อยนั่นหมายความว่า สามารถแก้ข้อผิดพลาดได้มาก แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้แบนด์วิดท์ในการส่งสัญญาณมากยิ่งขึ้น เนื่องจากจำนวนบิตที่เพิ่มขึ้น

2.3 Hamming Code [3]

ใน ปี 1950 Hamming ได้ค้นพบว่าสามารถสร้างวิธีการเข้ารหัสแบบบล็อกเชิงเส้นที่สามารถตรวจจับและแก้ไขบิตผิดพลาดได้ 1 บิต โดยปกติการเข้ารหัสข้อมูลจำนวน $n+1$ บิตให้ได้คำรหัสที่ยาว $m = n - k$ บิต ถ้าต้องการให้สามารถแก้ไขได้ 1 บิต จะต้องมีค่าที่ระบุถึงตำแหน่งที่ผิดหรือที่เรียกว่า "ซินโดรม" (Syndrome) ที่ต่างกันอย่างน้อย $2^m \geq n+1$ ค่า โดยจะใช้ซินโดรมจำนวน n ค่าในการระบุถึงตำแหน่งที่ผิด และใช้ซินโดรมค่าสุดท้ายสำหรับบ่งบอกว่าไม่มีบิตผิดพลาดเกิดขึ้นเลย ดังนั้นจำนวนบิตเช็คที่ต้องใช้ $m = n - k$ บิต จะต้องมากพอที่จะทำให้เงื่อนไข $2^m \geq n+1$ เป็นจริง สำหรับค่า m ค่าหนึ่งที่เลือกใช้ สามารถหาค่า n และ k มากที่สุดได้ดังนี้

$$n = 2^m - 1 \tag{2.1}$$

$$k = n - m = 2^m - m - 1 \tag{2.2}$$

จะได้

$$(n-k)=(2^m-1,2^m-1-m) \tag{2.3}$$

เมื่อ m คือจำนวนเต็มบวก , $m \geq 3$

2.3.1 การส่งข้อมูล[3]

ในการส่งข้อมูลจะใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวกับการคำนวณในระบบบล็อกเชิงเส้น (Linear block code) ข้อมูลที่จะทำการเข้ารหัสจะถูกแบ่งออกเป็นขนาดเท่ากันจำนวน k บิต ซึ่งเขียนแทนด้วย $m_0, m_1, m_2, ..., m_{k-1}$

$$\mathbf{m}=[m_0 \quad m_1 \quad m_2 \quad \cdots \quad m_{k-1}] \tag{2.4}$$

ในการเข้ารหัสจะนำบล็อกข้อมูลทั้ง k บิตไปใช้ในการสร้างพาริตี้บิต ซึ่งเป็นบิตที่สร้างเพิ่มขึ้นมาเพื่อใช้ตรวจเช็คความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการถอดรหัส เป็นจำนวน $n-k$ บิต ซึ่งเขียนแทนด้วย $b_0, b_1, b_2, ..., b_{n-k-1}$

$$\mathbf{b}=[b_0 \quad b_1 \quad b_2 \quad \cdots \quad b_{k-1}] \tag{2.5}$$

$$X_i = \underbrace{\boxed{b_0, b_1, b_2, ..., b_{n-k-1}}}_{parity\ \ bits} \underbrace{\boxed{m_0, m_1, m_2, ..., m_{k-1}}}_{message\ \ bits} \tag{2.6}$$

เมื่อนำบิตข้อมูลและพาริตี้มาประกอบกันจะได้คำรหัส (Codeword) ซึ่งเป็นระบบ Systematic ถ้าแสดงในรูปสมการจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$X_i = \begin{cases} b_i & i = 0,1,2,...,n-k-1 \\ m_{i+k-n} & i = n-k, n-k-1, ..., n-1 \end{cases} \tag{2.7}$$

กระบวนการเข้ารหัสบล็อกเชิงเส้นจึงเหมือนการแปลงบิตข้อมูลจำนวน k บิต ให้ได้เป็นคำรหัสที่มีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น n บิต นั่นเอง ซึ่งหากพิจารณาในเบื้องต้นดูเหมือนว่าเป็นกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนหรือยุ่งยากเท่าใดนัก แต่ถ้าพิจารณาให้ดี จะพบว่าการเข้ารหัสจะต้องมีการพิจารณาบิตครั้งละ k บิต ซึ่งมีรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 2^k รูปแบบ ฉะนั้นถ้าต้องการบรรจุรูปแบบทั้งหมดไว้ในหน่วยความจำเพื่อแปลงให้ได้เป็นคำรหัสที่เหมาะสมที่มีขนาดความยาว n บิต จะต้องอาศัยวงจร

ที่ซับซ้อนและหน่วยความจำที่มีขนาดใหญ่มากโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้า k มีขนาดใหญ่ขึ้น ความซับซ้อนของวงจรสร้างรหัสนี้เองที่เป็นประเด็นปัญหาหลักในการพัฒนาและก็เป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้การพัฒนาแบบบล็อกแทบทั้งหมดจึงมุ่งเน้นไปในกลุ่มที่มีคุณสมบัติพิเศษที่เรียกว่า คุณสมบัติเชิงเส้น (linear property) เป็นหลัก เพราะคุณสมบัติเชิงเส้นนั้นสามารถช่วยลดความซับซ้อนของวงจรสร้างรหัสได้อย่างมาก และจะเรียกรหัสที่ได้นี้ว่า รหัสบล็อกเชิงเส้น จากที่กล่าวจะเห็นว่าหัวใจของการเข้ารหัสอยู่ที่การคำนวณค่าพาริตี้ในกรณีของรหัสบล็อกเชิงเส้นของบิตพาริตี้จะคำนวณจากบิตข้อมูลในรูปของการบวกเชิงเส้นในรูปแบบดังต่อไปนี้

$$b_i = P_{i0}m_0 + P_{i1}m_1 + \ldots + P_{i,k-1}m_{k-1} \qquad i = 0,1,2,\ldots,n-k-1 \qquad (2.8)$$

โดยสัมประสิทธิ์ P_{ij} จะมีค่าได้ 2 แบบเท่านั้น คือ 0 หรือ 1 ทั้งนี้ค่าของ P_{ij} จะกำหนดให้สอดคล้องกับความต้องการที่จะให้บิตพาริตี้ b_i มีความเกี่ยวข้องกับบิตข้อมูลที่ m_j หรือไม่ นั่นคือถ้าไม่ต้องการให้มีความสัมพันธ์กันก็กำหนด $P_{ij} = 0$ เพราะฉะนั้นจุดสำคัญของการเข้ารหัสจึงอยู่ที่การกำหนด P_{ij} ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ

$$P_{i,j} = \begin{cases} 1 & if \quad b_i \quad depends \quad on \quad m_j \\ 0 & Otherwise \end{cases} \qquad (2.9)$$

เขียนในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{0,0} & P_{1,0} & \cdots & P_{n-k-1,0} \\ P_{1,0} & P_{1,1} & \cdots & P_{n-k-1,1} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ P_{k-1,0} & P_{k-1,1} & \cdots & P_{n-k-1,k-1} \end{bmatrix} \qquad (2.10)$$

กำหนดให้ Generator matrix $(G_{k\times n})$ มีค่าเป็น

$$\mathbf{G} = [\mathbf{P} \quad \mathrm{I}_k] \qquad (2.11)$$

จะทำให้ได้ข้อมูลที่จะส่งไปเป็นระบบ Systematic linear (n,k) block code คือ

$$\mathbf{x} = m\mathbf{G} \qquad (2.12)$$

2.3.2 การถอดรหัส [3]

กำหนดให้ เมตริกซ์พาริตี้เช็ค (Parity check matrix) มีค่าเป็น

$$\mathbf{H} = \left[I_{n-k} \mid P^T \right] \tag{2.13}$$

ภาครับจะได้รับสัญญาณในรูปของเวกเตอร์ **y** ซึ่งมีทั้งสัญญาณข้อมูลและสัญญาณรบกวนรวมกันมาด้วย

$$\mathbf{y} = \mathbf{x} + \mathbf{e} \tag{2.14}$$

เมื่อ $\mathbf{x}$ คือ สัญญาณข้อมูล

$\mathbf{e}$ คือ สัญญาณรบกวน

เมื่อได้รับสัญญาณแล้วภาครับจะทำการตรวจสอบบิตผิดพลาดแล้วทำการถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้มีค่าเป็น

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{y} + \mathbf{e}_0 \tag{2.15}$$

เมื่อ $\hat{\mathbf{x}}$ คือสัญญาณข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบบิตผิดพลาด

$\mathbf{y}$ คือ สัญญาณที่รับมา

$\mathbf{e}_0$ คือ *error patterns*

โดย *error patterns* ($\mathbf{e}_0$) หาได้จากโดยการคำนวณหาค่าที่ระบุตำแหน่งผิดหรือ "ซินโดรม" (Syndrome) เพื่อนำซินโดรมที่ได้มาเลือกรูปแบบของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดของแต่ละซินโดรมนั้นก็คือ *error patterns* ($\mathbf{e}_0$) โดยซินโดรมจะมีค่าเท่ากับ

$$\mathbf{S} = \mathbf{y}\mathbf{H}^{\mathbf{T}} \tag{2.16}$$

ตัวอย่างการส่งสัญญาณที่มีการเข้ารหัสแบบ (7,4)Hamming code

การเข้ารหัสแบบ (7,4)Hamming code นั่นคือ $n = 7,\ k = 4$ ต้องอาศัยพารามิเตอร์ตัวหนึ่ง เรียกว่า "Generator matrix" ซึ่งมีค่าเป็น

$$\mathbf{G} = [\mathbf{P} \quad \mathrm{I}_k] \tag{2.17}$$

P สำหรับการเข้ารหัสแบบ (7,4)Hamming code [3] มีค่าเป็น

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2.18}$$

ดังนั้น Generator matrix มีค่าเป็น

$$\mathbf{G} = \left[\begin{array}{ccc:cccc} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right] \tag{2.19}$$

คำรหัสที่ได้จากการเข้ารหัส Hamming code สามารถหาได้จาก

$$\mathbf{x} = m\mathbf{G} \tag{2.20}$$

การเข้ารหัส **(7,4)Hamming code** จะมีการเข้ารหัสข้อมูล $2^k = 2^4 = 16$ รูปแบบ ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบทั้งหมดดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รูปแบบคำรหัสของการเข้ารหัส (7,4)Hamming code

Message words	Code word
0000	0000000
0001	1010001
0010	1110010
0011	0100011
0100	0110100
0101	1100101
0110	1000110
0111	0010111
1000	1101000
1001	0111001
1010	0011010
1011	1001011
1100	1011100
1101	0001101
1110	0101110
1111	1111111

เช่น ทำการส่งบิตข้อมูล m=0001, จะได้คำรหัสดังนี้

$$x = mG = \begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\left[\begin{array}{ccc:cccc}1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0\\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0\\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1\end{array}\right] = [1\,0\,1\,0\,0\,0\,1] \qquad (2.21)$$

เมื่อภาครับได้รับบิตข้อมูลที่ส่งมาจะทำการตรวจสอบบิตผิดพลาดโดยอาศัยพารามิเตอร์ที่เรียกว่า เมตริกซ์พาริตี้เช็ค (Parity check matrix) มีค่าเป็น

$$\mathbf{H} = \left[\mathrm{I}_{n-k} \mid \mathrm{P}^{\mathrm{T}}\right] \qquad (2.22)$$

H สำหรับการเข้ารหัสแบบ (7,4)Hamming code มีค่าเป็น

$$\mathbf{H} = \left[\begin{array}{cccc:cccc} 1 & 0 & 0 & \vdots & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & \vdots & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \vdots & 0 & 1 & 1 & 1 \end{array}\right] \tag{2.23}$$

การตรวจสอบบิตผิดพลาดทำได้โดยการคำนวณหาค่าที่ระบุตำแหน่งบิตผิดพลาดหรือ "ซินโดรม" (Syndrome) เพื่อนำซินโดรมที่ได้มาเลือกรูปแบบของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดของแต่ละซินโดรมนั้นก็คือ *error patterns* (e_0) โดยซินโดรมจะมีค่าเท่ากับ

$$\mathbf{S} = \mathbf{y}\mathbf{H}^T \tag{2.24}$$

สำหรับการเข้ารหัส (7,4)Hamming Code มีรูปแบบซินโดรมและ *error patterns* ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 รูปแบบซินโดรมและ *error patterns* สำหรับการเข้ารหัส (7,4)Hamming Code

Error Patterns	Syndrome
0000000	000
0000001	101
0000010	111
0000100	011
0001000	110
0010000	001
0100000	010
1000000	100

เมื่อได้รับสัญญาณแล้วภาครับจะทำการตรวจสอบบิตผิดพลาดแล้วทำการถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้มีค่าเป็น

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{y} + e_0 \tag{2.25}$$

เช่น ถ้าหากบิตข้อมูลที่รับ $\mathbf{y} = [1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1]$, จะได้

$$\mathbf{s} = \mathbf{y}\mathbf{H}^T = \begin{bmatrix}1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1\\ 1 & 1 & 0\\ 0 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\\ 1 & 0 & 1\end{bmatrix} = [0\quad 0\quad 0] \tag{2.26}$$

ดังนั้นรูปแบบบิตผิดพลาดที่เกิดบ่อยที่สุด (เทียบจากตารางที่ 2.2) คือ [0 0 0 0 0 0 0] จะได้

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{x}} &= \mathbf{y} + \mathbf{e}_0 \\ &= [1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1] + [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0] \\ &= [1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1]\end{aligned} \tag{2.27}$$

เมื่อ $\hat{\mathbf{x}} = [1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1]$ จึงได้บิตข้อมูลคือ $\hat{\mathbf{m}} = 0001$ (เทียบรูปแบบการเข้า-ถอดรหัสจากตารางที่ 2.1)

ถ้าหากเกิดบิตผิดพลาดขึ้น แล้วบิตข้อมูลที่รับ $\mathbf{y} = [1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0]$, จะได้

$$\mathbf{s} = \mathbf{y}\mathbf{H}^T = \begin{bmatrix}1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 1\\ 1 & 1 & 0\\ 0 & 1 & 1\\ 1 & 1 & 1\\ 1 & 0 & 1\end{bmatrix} = [1\quad 0\quad 1] \tag{2.28}$$

ดังนั้นรูปแบบบิตผิดพลาดที่เกิดบ่อยที่สุด (เทียบจากตารางที่ 2.2) คือ [0 0 0 0 0 0 1] จะได้

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{x}} &= \mathbf{y} + \mathbf{e}_0 \\ &= [1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0] + [0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1] \\ &= [1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1]\end{aligned} \tag{2.29}$$

เมื่อ $\hat{\mathbf{x}}$ = [1 0 1 0 0 0 1] จึงได้บิตข้อมูลคือ $\hat{\mathbf{m}}$ = 0001 (เทียบรูปแบบการเข้า-ถอดรหัสจากตารางที่ 2.1)

2.4 การมอดูเลตและการดีมอดูเลต[3]

อุปกรณ์สำหรับการกล้ำสัญญาณ(modulator) จะสร้างสัญญาณคลื่นพาห์และรวมเข้ากับสัญญาณข้อมูลเพื่อให้สัญญาณมีความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการส่งสัญญาณ และเมื่อถึงปลายทางก็จะมีอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่แยกสัญญาณคลื่นพาห์ออกให้เหลือแต่เพียงสัญญาณข้อมูล เรียกวิธีแยกสัญญาณนี้ว่า การดีมอดูเลต(demodulation)

เทคนิคในการ Modulate สัญญาณ Digital ให้เป็น Analog มีอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือ

2.4.1 Amplitude – Shift Keying:ASK

การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางแอมปลิจูด ความถี่ของสัญญาณ คลื่นพาห์จะคงที่ โดยเมื่อค่าสัญญาณ Digital เป็น 1 Carrier Wave แอมปลิจูดจะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อค่าบิตเป็น 0 Carrier Wave แอมปลิจูดจะตกลงกว่าปกติ แต่วิธีการนี้จะไม่ค่อยได้รับความนิยม เนื่องจากว่าถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย

2.4.2 Frequency – Shift Keying: FSK

การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางความถี่ ขนาดของคลื่นพาห์ Carrier Wave จะไม่เปลี่ยน แต่ความถี่ของคลื่นจะเปลี่ยนแทน โดยเมื่อบิตมีค่าเป็น 1 ความถี่จะสูงกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นจะต่ำกว่าปกติ

2.4.3 Phase – Shift Keying: PSK

การกล้ำสัญญาณเชิงเลขทางเฟส คือค่าของขนาดและความถี่ของ คลื่นพาห์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เฟสของสัญญาณจะเป็นตัวเปลี่ยนแปลง กล่าวคือเมื่อสภาวะของบิตเป็น 0 หรือเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน (Shift) ไป 180 องศาด้วย ซึ่งวิธีนี้จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุด ทำให้ได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุด

ในการส่งสัญญาณแบบ Phase – Shift Keying: PSK จะมีแอมปลิจูดคงที่ การเลื่อนของเฟสจะมีค่าเท่ากับ 180 องศา สำหรับสัญญาณไบนารี ค่าของเฟสที่เลื่อนไปจะมีค่าเป็นบวก 90 องศา และลบ 90 องศา จากจุดอ้างอิงสำหรับของมูล “1” และ “0” ตามลำดับในกรณีนี้เราจะเรียกว่า Binary Phase Shift Keying : BPSK

ในกรณีทั่วไป คือ การส่งสัญญาณของแต่ละช่วงคาบเวลา จะมีรูปแบบในการส่งสัญญาณตั้งแต่ 2,4,8,...,M รูปแบบ นั่นคือ $s_1(t), s_2(t), ..., s_M(t)$ ในการแทนข้อมูลดิจิตอลสัญญาณแต่ละตัวมีขนาดและความถี่เท่ากันแต่จะมีเฟสต่างกัน โดยสัญญาณที่ใช้จะมีเฟสต่างกันไปทีละ $2\pi / M$ องศา

สัญญาณ BPSK เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$s(t) = A_c \cos[\omega_c t + D_P m(t)] = A_c \cos[2\pi f_c t + D_P m(t)] \qquad (2.30)$$

เมื่อ *m(t)* เป็นสัญญาณเบสแบนด์ที่มีขั้ว โดยค่ายอดของสัญญาณมีค่าเท่ากับ ± 1
จาก cos(A+B) = cosAcosB – sinAsinB สามารถแปลงสัญญาณ BPSK ข้างต้นได้ดังนี้

$$s(t) = A_c \cos(D_P m(t))\cos(2\pi f_c t) - A_c \sin(D_P m(t))\sin(2\pi f_c t) \qquad (2.31)$$

$$s(t) = A_c \cos(D_P)\cos(2\pi f_c t) - A_c m(t)\sin(D_P)\sin(2\pi f_c t)$$

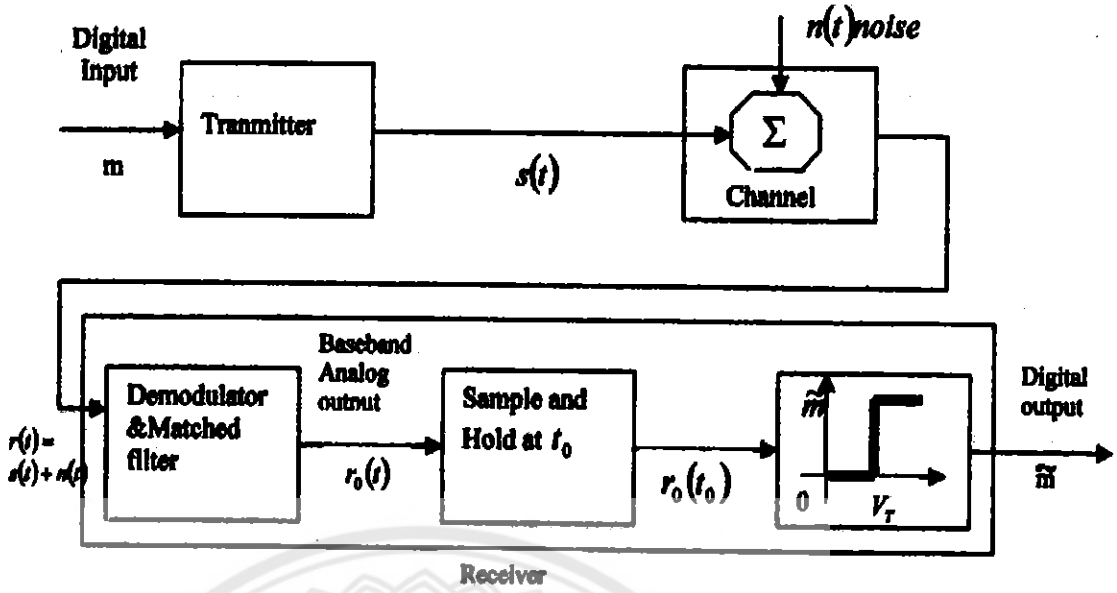
(Pilot Carrier) (data)

ระดับ Pilot Carrier จะถูกกำหนดโดย D_p สำหรับ $m(t) = \pm 1$ ถ้า D_p มีขนาดเล็กส่วนของขนาด Pilot Carrier จะมีขนาดใหญ่ เมื่อเทียบกับส่วนของข้อมูลเพื่อที่จะทำให้การส่งสัญญาณมีประสิทธิภาพมากที่สุด กำลังในส่วนของข้อมูลจะต้องมีกำลังมากที่สุด ซึ่งทำได้โดย ทำให้ $D_p = 90° = \pi/2\, rad$ ซึ่งจะตรงกับตัวชี้มอดูเลตดิจิทัลเท่ากับ 1 ซึ่งสัญญาณ BPSK จะกลายเป็น

$$s(t) = -A_c m(t)\sin(2\pi f_c t) \qquad (2.32)$$

2.5 ผลกระทบของสัญญาณรบกวนในระบบการส่งสัญญาณข้อมูล[4]

ในการส่งสัญญาณในระบบสื่อสาร จะทำการป้อนสัญญาณในรูปแบบของ m ไปที่เครื่องส่งสัญญาณเพื่อทำการแปลงสัญญาณให้มีความถี่ที่เหมาะสมในการส่งในรูปของ $s(t)$ แล้วทำการส่งสัญญาณผ่านช่องส่งสัญญาณ จะเห็นว่าการส่งสัญญาณผ่านช่องส่งสัญญาณนั้น จะมีสัญญาณรบกวนเข้ามาเพิ่มกับสัญญาณที่เราส่งในการดังแสดงในรูปที่ 2.1 ทำให้ภาครับได้รับสัญญาณในรูปของ $r(t) = s(t) + n(t)$ แล้วภาครับก็จะทำการแปลงสัญญาณกลับให้อยู่ในรูปแบบเดิม ดังแสดงขั้นตอนการส่งสัญญาณในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Block Diagram for Binary Communications System [4]

สามารถอธิบายในแต่ละขั้นตอนดังนี้

2.5.1.Transmitter [4]

เมื่อป้อนสัญญาณข้อมูลในรูปของ m เข้าไปในเครื่องส่ง จะทำการแปลงสัญญาณออกมาให้อยู่ในรูปของสัญญาณที่พร้อมจะส่งไปในช่องสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 2.2

รูปที่2.2 Binary Communication System Model: Transmitter

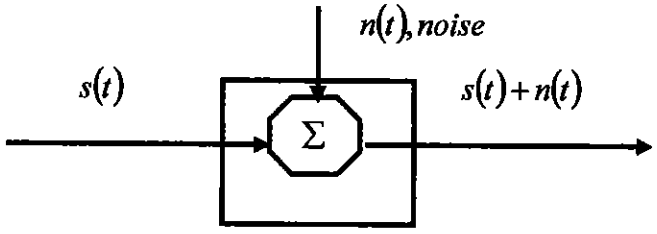
สำหรับการส่งสัญญาณ แบบ ไบนารี (Binary) สัญญาณที่ทำการส่งในแต่ละคาบสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$s(t)=\begin{cases} s_1(t), 0<t\le T & for\ a\ binary\ 1\ or\ m=1 \\ s_2(t), 0<t\le T & for\ a\ binary\ 0\ or\ m=0 \end{cases} \qquad (2.33)$$

สัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณ $s_1(t)$ สำหรับสำหรับไบนารีบิต 1 ในช่วง $0<t\le T$ และเป็นสัญญาณ $s_2(t)$ สำหรับสำหรับไบนารีบิต 0 ในช่วง $0<t\le T$

2.5.2. Received Signal [4]

เมื่อทำการส่งสัญญาณผ่านช่องส่งสัญญาณ จะมีสัญญาณรบกวนเข้ามาเพิ่มรวมกับสัญญาณข้อมูลที่ส่งมา ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่2.3 Binary Communication System Model: Received Signal

สัญญาณที่ออกมาจากช่องส่งสัญญาณจะอยู่ในรูปของสัญญาณในภาครับ ซึ่งจะเป็นผลรวมของสัญญาณข้อมูลและสัญญาณรบกวนดังแสดงในสมการ (2.34) ดังนี้

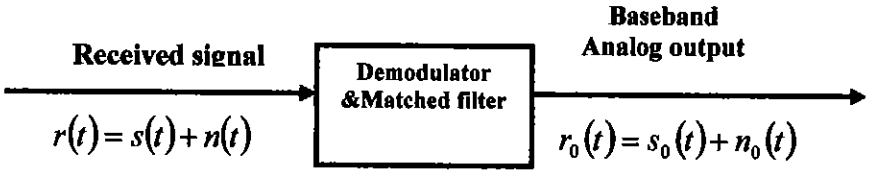
$$r(t) = s(t) + n(t) \tag{2.34}$$

เมื่อ $s(t)$ คือสัญญาณข้อมูล

$n(t)$ คือสัญญาณรบกวน

2.5.3.Baseband Received Signal [4]

เมื่อภาครับได้รับสัญญาณที่ส่งผ่านช่องส่งสัญญาณมา จะทำการแปลงสัญญาณให้กลับไปอยู่ในรูปแบบเดิมของสัญญาณที่ป้อนเข้ามาดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่2.4 Binary Communication System Model : Baseband Received Signal

หลังจากทำการ Demodulation และผ่าน Matched filter แล้ว สัญญาณที่ออกมาจะเป็นสัญญาณ Baseband ซึ่งสัญญาณที่ได้จะอยู่ในรูปของผลรวมของสัญญาณข้อมูล Baseband และสัญญาณรบกวน Baseband

$$r_0(t) = s_0(t) + n_0(t) \tag{2.35}$$

เมื่อ $r_0(t)$ คือ Baseband Received Signal

$n_0(t)$ คือ Baseband noise Signal

$s_0(t)$ คือ Baseband Signal ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$s_0(t) = \begin{cases} s_{01}(t), m = 1 \\ s_{02}(t), m = 0 \end{cases} \tag{2.36}$$

โดยสัญญาณที่ได้จะมีค่าเป็น $s_{01}(t)$ สัญญาณข้อมูล, m = 1 และเป็น $s_{02}(t)$ สัญญาณข้อมูล, m = 0

2.5.4.Sampled Received Signal [4]

หลักจากขั้นตอน Sampling เราจะทราบตัวแปรผกผันและข้อมูลทางสถิติของสัญญาณ สัญญาณที่ได้จะมีค่าเป็น

$$r_0(t_0) = r_0 = s_0 + n_0 \tag{2.37}$$

เมื่อ $r_0(t_0), r_0$ คือ Sampled Received Signal

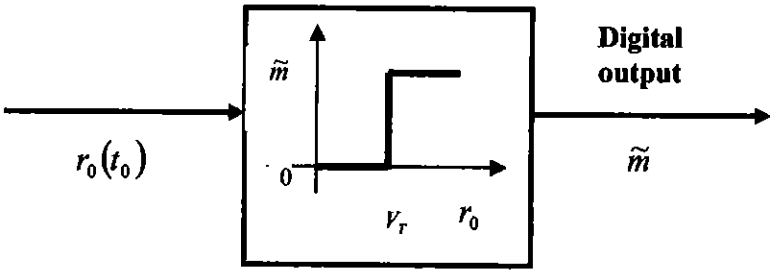
n_0 คือ Sampled noise Signal

s_0 คือ Sampled Signal ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$s_0(t_0) = s_0 = \begin{cases} s_{01}, m = 1 \\ s_{02}, m = 0 \end{cases} \tag{2.38}$$

โดยสัญญาณที่ได้จะมีค่าเป็น s_{01} สัญญาณข้อมูล, m = 1 และเป็น s_{02} สัญญาณข้อมูล, m = 0

2.5.5.Receiver Decision[4]



รูปที่2.5 Binary Communication System Model : Receiver Decision

ขั้นตอนต่อมาเป็นขั้นตอนการตัดสินว่าสัญญาณข้อมูลที่รับมาเป็นบิต "1" หรือบิต "0" โดยเปรียบเทียบกับค่า V_T ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งเราจะกำหนดค่า V_T เป็น

$$V_T = \frac{s_{01} + s_{02}}{2} \quad \text{for equally likely signals} \tag{2.40}$$

การส่งสัญญาณแบบ equally likely signals ความน่าจะเป็นที่จะส่งบิต "1" และบิต "0" จะมีค่าเท่ากันคือ 0.5

โดยการตัดสินบิตสามารถทำได้โดยการพิจารณาดังนี้

$$\tilde{m} = \begin{cases} 1, r_0 \geq V_T \\ 0, r_0 < V_T \end{cases} \tag{2.41}$$

สัญญาณจะเป็น บิต "1" เมื่อ $r_0 \geq V_T$ และ สัญญาณจะเป็น บิต "0" เมื่อ $r_0 < V_T$

2.6 ความน่าจะเป็นในการตัดสินบิตผิดพลาด (Probability of Error)[4]

ในการตัดสินบิต ที่ส่งมาว่าเป็นบิต "1" หรือบิต "0" เมื่อสัญญาณผ่านช่องส่งสัญญาณจะมีสัญญาณรบกวนต่างๆเพิ่มเข้ามา จะมีอยู่สองกรณีที่จะเกิดการผิดพลาดคือ

- ส่งบิต "1" ตัดสินว่าเป็นบิต "0"
- ส่งบิต "0" ตัดสินว่าเป็นบิต "1"

ซึ่งสามารถหาความน่าจะเป็นในการตัดสินบิตผิดพลาดในกรณีที่ส่งสัญญาณ s_1 ได้เป็น

$$P[error \mid s_1 sent] = \int_{-\infty}^{V_T} f(r_0 \mid s_1) dr_0 \qquad (2.42)$$

เมื่อ $f(r_0 \mid s_1)$ คือฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม r_0 เมื่อทราบว่า s_1 ถูกส่งมา ดังจะอธิบายภายหลัง

ความน่าจะเป็นในการตัดสินบิตผิดพลาดในกรณีที่ส่งสัญญาณ s_2 ได้เป็น

$$P[error \mid s_2 sent] = \int_{V_T}^{\infty} f(r_0 \mid s_2) dr_0 \qquad (2.43)$$

เมื่อ $f(r_0 \mid s_2)$ คือฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม r_0 เมื่อทราบว่า s_2 ถูกส่งมา ดังจะอธิบายภายหลัง

ดังนั้นความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่จะตัดสินบิตผิดพลาดจากการส่งสัญญาณมีค่าเป็น

$$P_e = P[s_1 sent]P[error \mid s_1 sent] + P[s_2 sent]P[error \mid s_2 sent] \qquad (2.44)$$

เมื่อ $P[s_1 sent]$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะส่งบิต "1"

$P[s_2 sent]$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะส่งบิต "0"

สำหรับการส่งสัญญาณแบบ equally likely signals ความน่าจะเป็นที่จะส่งบิต "0" และบิต "1" จะมีค่าเท่ากันคือ 0.5 ดังนั้นดังนั้นความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่จะตัดสินบิตผิดพลาดจากการส่งสัญญาณมีค่าเป็น

$$P_e = 0.5P[error \mid s_1 sent] + 0.5P[error \mid s_2 sent] \qquad (2.45)$$

2.6.1 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function)[4]

ในการส่งสัญญาณเราต้องการที่จะให้ค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินบิตผิดพลาดมีค่าน้อยที่สุดซึ่งเราสามารถทำได้โดยอาศัยฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ของตัวแปรสุ่ม r_0

สัญญาณรบกวน $n(t)$ ที่เพิ่มเข้ามานั้นจะเป็นกระบวนการแบบ Gaussian random process คือ ปรากฏการณ์แบบสุ่ม(random) ที่มีการกระจายแบบปกติ โดยค่าเฉลี่ยของสัญญาณมีค่าเป็นศูนย์

และหลังจากการกรองสัญญาณแล้วสัญญาณรบกวน $n_0(t)$ก็ยังเป็นกระบวนการแบบ Gaussian random process

หลังจากขั้นตอน Sampling สัญญาณรบกวน n_0 จะมีคุณสมบัติเป็น Gaussian random variable

เมื่อสัญญาณรบกวนมีคุณสมบัติเป็น white noise คือสัญญาณสุ่มที่มีกำลังของสัญญาณในสเปคตรัมเท่า ๆ กันหมด ดังนั้นจะทราบได้ว่า

- ค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวน $E[n_0]$ มีค่าเป็นศูนย์
- ค่าความแปรปรวน (Variance) ของสัญญาณรบกวน : $E[n_0{}^2]=\overline{n_0{}^2(t)^2}=\sigma^2$

สัญญาณที่เราต้องการส่ง s_{01}, s_{02} จะเป็นค่าคงที่หรือมีค่าสม่ำเสมอดังนั้นค่าเฉลี่ยของสัญญาณจะมีค่าดังสมการ (2.46)และ (2.47)

$$E[r_0 \mid m=1]=E[s_{01}]+E[n_0]=s_{01} \tag{2.46}$$

$$E[r_0 \mid m=0]=E[s_{02}]+E[n_0]=s_{02} \tag{2.47}$$

นั่นคือ เมื่อสัญญาณที่ได้รับมี บิต "1" ค่าเฉลี่ยของสัญญาณจะมีค่าเป็น s_{01} และเมื่อสัญญาณที่ได้รับมี บิต "0" ค่าเฉลี่ยของสัญญาณจะมีค่าเป็น s_{02}

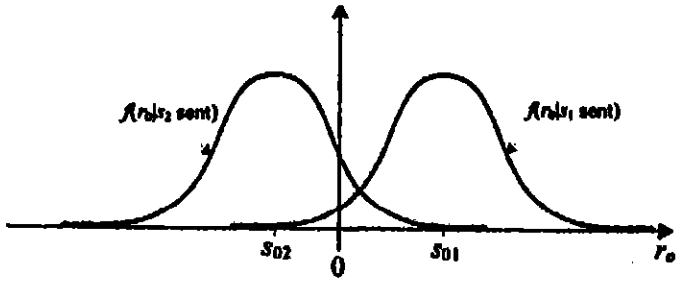
ถ้าส่งบิต "1" เราจะได้

$$f(r_0 \mid s_1)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0}e^{\frac{-(r_0-s_{01})^2}{2\sigma_0{}^2}} \tag{2.48}$$

ถ้าส่งบิต "0" เราจะได้

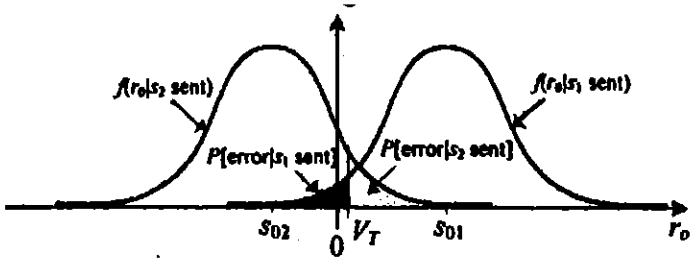
$$f(r_0 \mid s_2)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0}e^{\frac{(r_0-s_{02})^2}{2\sigma_0{}^2}} \tag{2.49}$$

ดังนั้นเราจะได้ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม r_0 เมื่อส่ง s_1 และ s_2 ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม r_0 เมื่อส่ง s_1 และ s_2 [4]

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าจะมีการทับกับของกราฟกรณีที่ ส่งสัญญาณ s_{01} และ s_{02} ดังนั้นเรานำมาเทียบกับ threshold V_T เพื่อจะหา V_T ที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ความน่าจะเป็นที่จะตัดสินบิตผิดพลาดให้น้อยที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 Error probability for binary signaling [4]

สำหรับการส่งสัญญาณแบบ equally likely signals จากรูปข้างต้น ความน่าจะเป็นเฉลี่ยที่จะตัดสินบิตผิดพลาดจากการส่งสัญญาณมีค่าเป็น

$$P_e = \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{V_T} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} e^{\frac{-(r_0-s_{01})^2}{2\sigma_0^2}} dr_0 + \frac{1}{2}\int_{V_T}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} e^{\frac{(r_0-s_{02})^2}{2\sigma_0^2}} dr_0 \qquad (2.50)$$

ค่า V_T ที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้ความน่าจะเป็นที่จะตัดสินบิตผิดพลาดให้น้อยที่สุดสามารถพิจารณาจากการนำสมการ (2.50) มาหาอนุพันธ์เทียบกับ V_T โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ แสดงดังสมการ (2.51)

$$\frac{dP_e}{dV_T} = \frac{1}{2}\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} e^{\frac{-(V_T-s_{01})^2}{2\sigma_0^2}} - \frac{1}{2}\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0^2} e^{\frac{-(V_T-s_{02})^2}{2\sigma_0^2}} = 0 \qquad (2.51)$$

จะได้

$$\frac{1}{2}\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} e^{\frac{-(V_T-s_{01})^2}{2\sigma_0^2}} = \frac{1}{2}\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0^2} e^{\frac{-(V_T-s_{02})^2}{2\sigma_0^2}}$$

$$e^{\frac{-(V_T-s_{01})^2}{2\sigma_0^2}} = e^{\frac{-(V_T-s_{02})^2}{2\sigma_0^2}}$$

$$\frac{-(V_T - s_{01})^2}{2\sigma_0{}^2} = \frac{-(V_T - s_{02})^2}{2\sigma_0{}^2}$$

$$(V_T - s_{01})^2 = (V_T - s_{02})^2$$

$$V_T = \frac{s_{01} + s_{02}}{2} \qquad (2.52)$$

จากสมการ (2.52) จะได้ค่า V_T ที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ตัดสินบิตผิดพลาดน้อยที่สุดคือ การหาค่าเฉลี่ยระหว่างสองสัญญาณ โดยนำทั้งสองสัญญาณมารวมกันแล้วหารสอง

พิจารณาสมการ (2.50)

กำหนดให้ $\lambda = -(r_0 - s_{01})/\sigma_0$ ในอินทิเกรตเทอมแรก

$\lambda = -(r_0 - s_{02})/\sigma_0$ ในอินทิเกรตเทอมที่สอง

จะได้

$$P_e = \frac{1}{2}\int_{-(V_T - s_{01})/\sigma_0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} e^{\frac{-\lambda^2}{2}} \sigma_0 dr_0 + \frac{1}{2}\int_{(V_T - s_{02})/\sigma_0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} e^{\frac{-\lambda^2}{2}} \sigma_0 dr_0$$

$$P_e = \frac{1}{2}\int_{-(V_T - s_{01})/\sigma_0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-\lambda^2}{2}} dr_0 + \frac{1}{2}\int_{(V_T - s_{02})/\sigma_0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-\lambda^2}{2}} dr_0$$

จากภาคผนวก ก จะได้

$$P_e = \frac{1}{2}Q\left(\frac{-V_T + s_{01}}{\sigma_0}\right) + \frac{1}{2}Q\left(\frac{V_T - s_{02}}{\sigma_0}\right)$$

จากสมการ (2.38) $V_T = \frac{s_{01} + s_{02}}{2}$ **ดังนั้นจะได้**

$$-V_T + s_{01} = \frac{s_{01} - s_{02}}{2} \text{ และ } V_T + s_{02} = \frac{s_{01} - s_{02}}{2} \qquad (2.53)$$

จะได้

$$P_e = \frac{1}{2}Q\left(\frac{-V_T + s_{01}}{\sigma_0}\right) + \frac{1}{2}Q\left(\frac{V_T - s_{02}}{\sigma_0}\right)$$

$$P_e = \frac{1}{2}Q\left(\frac{s_{01} - s_{02}}{2\sigma_0}\right) + \frac{1}{2}Q\left(\frac{s_{01} - s_{02}}{2\sigma_0}\right)$$

$$P_e = Q\left(\frac{s_{01} - s_{02}}{2\sigma_0}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{(s_{01} - s_{02})^2}{4\sigma_0{}^2}}\right) \qquad (2.54)$$

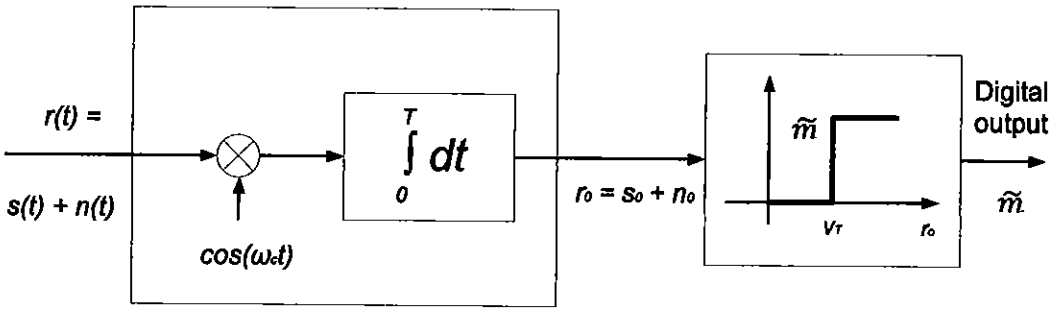
จากสมการ (2.54) จะเห็นได้ว่า เทอม $(s_{01} - s_{02})^2$ เปรียบคือพลังงานของสัญญาณ หรือเปรียบเหมือนค่าพลังงานต่อบิต (Energy per bit: E_b) และเทอม $\sigma_0{}^2$ ได้มาจาก พลังงานของสัญญาณรบกวน ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะตัดสินบิตผิดพลาดจะมีค่าน้อยก็ต่อเมื่อ ค่าในวงเล็บของ Q function มีค่ามากๆ นั้นก็คือ เทอม $(s_{01} - s_{02})^2$ ต้องมีค่ามากๆ และ/หรือ เทอม $\sigma_0{}^2$ มีค่าน้อยๆ

2.6.2 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาด (Probability of Error: BPSK)[4]

สำหรับการส่งสัญญาณแบบ BPSK สัญญาณสำหรับบิต "1" และบิต "0" จะมีค่าเป็น

$$s(t) = \begin{cases} s_1(t) = A\cos(\omega_c t), 0 < t \le T & for\ a\ binary\ 1\ or\ m = 1 \\ s_2(t) = -A\cos(\omega_c t), 0 < t \le T & for\ a\ binary\ 0\ or\ m = 0 \end{cases} \qquad (2.55)$$

โครงสร้างในการส่งสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 Coherent Receiver [4]

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

I5007297
ปร.
สกก
2551

เราสามารถหาสัญญาณเมื่อผ่านตัว Integrator ได้เป็นสองกรณีดังนี้

ถ้า $r(t)=s_1(t)$ จะได้

$$r_0 = s_{01} = \int_0^T s_1(t)\cos(\omega_c t)dt$$

$$r_0 = s_{01} = \int_0^T [A\cos(\omega_c t)]\cos(\omega_c t)dt$$

$$r_0 = s_{01} = \frac{AT}{2} \qquad (2.56)$$

ถ้า $r(t)=s_2(t)$ จะได้

$$r_0 = s_{02} = \int_0^T s_2(t)\cos(\omega_c t)dt$$

$$r_0 = s_{02} = \int_0^T [-A\cos(\omega_c t)]\cos(\omega_c t)dt$$

$$r_0 = s_{02} = \frac{-AT}{2} \qquad (2.57)$$

ดังนั้น $(s_{01}-s_{02})^2 = A^2T^2$ (2.58)

ค่าพลังงานต่อบิต (Energy per bit: E_b) ของการส่งสัญญาณ equally likely สำหรับบิต "1" และบิต "0" สามารถหาได้จาก

$$E_b = P["1"]E_1 + P["0"]E_2$$

$$E_b = \frac{1}{2}\int_0^T s_1^{\,2}(t)dt + \frac{1}{2}\int_0^T s_2^{\,2}(t)dt$$

$$E_b = \frac{1}{2}\int_0^T [A\cos(\omega_c t)]^2 dt + \frac{1}{2}\int_0^T [-A\cos(\omega_c t)]^2 dt$$

$$E_b = \frac{1}{2}\left[\frac{A^2T}{2} + \frac{A^2T}{2}\right] = \frac{A^2T}{2} \qquad (2.59)$$

ดังนั้น $(s_{01}-s_{02})^2 = 2E_bT$ (2.60)

สัญญาณรบกวนที่ผ่านตัว Integrator มีค่าเป็น

$$n_0 = \int_0^T n(t)\cos(\omega_c t)dt \tag{2.61}$$

เมื่อสัญญาณรบกวนมีคุณสมบัติเป็น white noise ค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนมีค่าเป็น

$$E[n_0] = E\left[\int_0^T n(t)\cos(\omega_c t)dt\right]$$

$$E[n_0] = \left[\int_0^T E[n(t)]\cos(\omega_c t)dt\right] = 0$$

$$E[n_0] = \left[\int_0^T (0)\cos(\omega_c t)dt\right] = 0 \tag{2.62}$$

ค่าความแปรปรวน (variance) หาได้จาก

$$\sigma_0^2 = E[n_0^2] = E\left[\int_0^T n(t)\cos(\omega_c t)dt \int_0^T n(s)\cos(\omega_c s)ds\right] \tag{2.63}$$

$$\sigma_0^2 = E\left[\iint_T n(t)n(s)\cos(\omega_c t)\cos(\omega_c s)dtds\right]$$

$$\sigma_0^2 = \iint_T E[n(t)n(s)]\cos(\omega_c t)\cos(\omega_c s)dtds$$

$$\sigma_0^2 = \iint_T \left[\frac{N_0}{2}\delta(t-s)\right]\cos(\omega_c t)\cos(\omega_c s)dtds$$

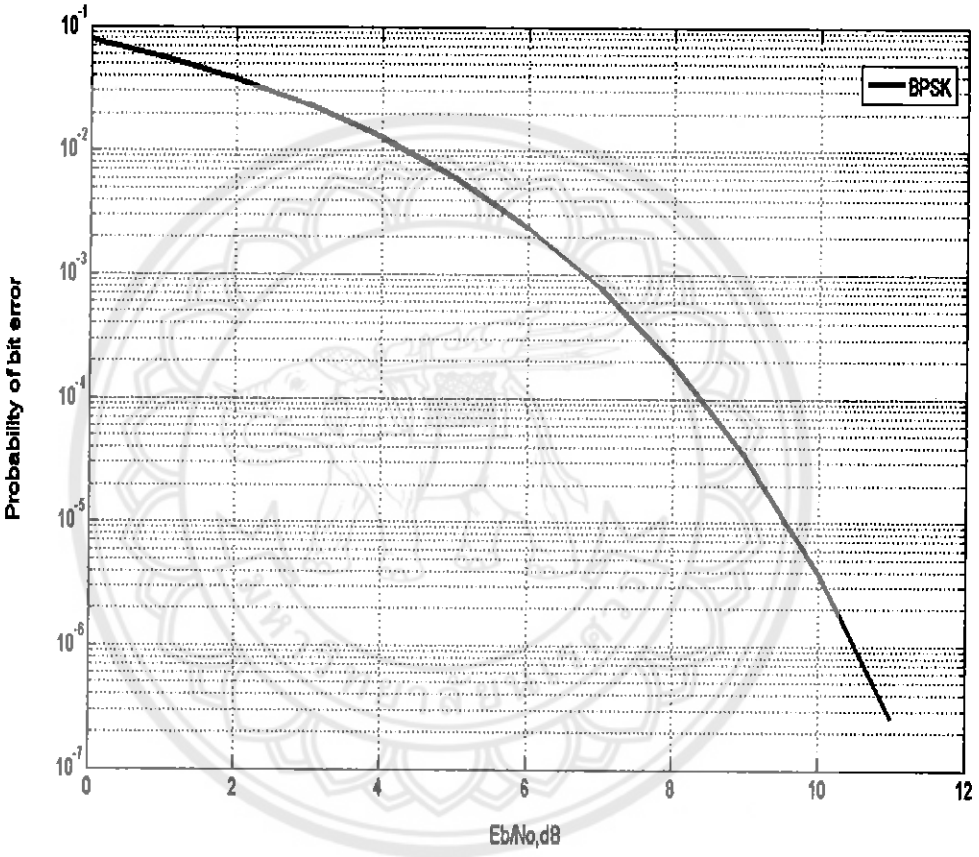
$$\sigma_0^2 = \int_0^T \frac{N_0}{2}\left[\frac{1}{2}+\frac{1}{2}\cos(\omega_c t)\right]dt$$

$$\sigma_0^2 = \frac{N_0 T}{4} \tag{2.64}$$

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะตัดสินบิตผิดพลาดสำหรับการส่งสัญญาณแบบ BPSK สามารถหาได้จาก

$$P_{e,BPSK} = Q\left(\sqrt{\frac{(s_{01}-s_{02})^2}{4\sigma_0^{\,2}}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_bT}{4\left(\frac{N_0T}{4}\right)}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \qquad (2.65)$$

นำสมการ (2.65) มาเขียนเป็นกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของสมการดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดสำหรับการส่งสัญญาณแบบ BPSK

จากรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นว่า ถ้าหากอัตราส่วนระหว่างพลังงานต่อสัญญาณรบกวนมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดลดลง

จากบทนี้ได้อธิบายถึงหลักการในการเข้ารหัสช่องสัญญาณ และการมอดูเลตและการดีมอดูเลตและโครงสร้างในการส่งสัญญาณในระบบสื่อสาร รวมทั้งได้อธิบายถึงผลกระทบของสัญญาณรบกวนในระบบการส่งสัญญาณข้อมูล

ในบทต่อไปจะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการดำเนินโครงงาน โดยจะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีเขียนโปรแกรม MATLAB เพื่อออกแบบแบบจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming

บทที่ 3
การออกแบบโครงงาน และวิธีดำเนินงาน

การที่ได้ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวกับการเข้ารหัสช่องสัญญาณและหลักการมอดูเลตและการดีมอดูเลตสัญญาณมาแล้วในบทที่ผ่านมา ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างการทำงานและการออกแบบการเขียนโปรแกรมการจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming

3.1 การออกแบบโปรแกรม

3.1.1การสร้างสัญญาณข้อมูล

ขั้นแรกในการระบบสื่อสาร การส่งสัญญาณข้อมูลจากแหล่งกำเนิดสัญญาณไปยังอุปกรณ์ภาครับจะต้องทำการสร้างสัญญาณขึ้นมา เพื่อนำสัญญาณนั้นส่งไปยังภาครับ ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณโดยมีการสุ่มรหัสสัญญาณขึ้นมา ทำได้โดยการกำหนดค่าต่างๆลงในโปรแกรม MATLAB ที่จะทำการออกแบบจำลองระบบการสื่อสาร โดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming ซึ่งได้แก่ จำนวนบล็อกข้อมูลที่ต้องการทำการส่ง และคาบของสัญญาณ

3.1.2 การเข้ารหัสช่องสัญญาณ

ในระบบสื่อสารการส่งสัญญาณข้อมูลจากแหล่งกำเนิดไปยังอุปกรณ์ภาครับนั้นอาจเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณระหว่างส่งสัญญาณได้ สามารถแก้ไขได้โดยการเข้ารหัสสัญญาณก่อนส่ง การเข้ารหัสช่องสัญญาณเป็นกระบวนการที่ภาคส่งเพิ่มบิตพิเศษเข้าไปกับบิตข้อมูล เพื่อช่วยให้ภาครับสามารถตรวจจับหรือแก้ไขบิตบางบิตที่ผิดพลาดระหว่างการส่งผ่านช่องสัญญาณได้ ทั้งนี้ความสามารถในการแก้ไขบิตที่ผิดพลาดขึ้นอยู่กับขนาดของบิตรหัสที่เพิ่มเข้าไป

3.1.3 การสร้างสัญญาณมอดูเลชัน

เมื่อทำการเข้ารหัสช่องสัญญาณเรียบร้อยแล้วจะทำการแปลงสัญญาณให้มีความถี่ที่เหมาะกับการส่งสัญญาณขั้นตอนในการแปลงความถี่ของสัญญาณ เรียกว่า Modulation หรือการกล้ำสัญญาณให้มีความถี่ที่เหมาะสมในการส่งสัญญาณ เราเรียกว่า Carrier Signal หรือสัญญาณคลื่นพาห์ ขั้นตอนการทำงานจะเริ่มโดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ Modulator จะสร้าง Carrier Signal เพื่อให้สัญญาณมีความเข้มข้นพอที่จะส่ง โดยจะกำหนดแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูลและ Carrier frequency (f_c)ให้กับสัญญาณ สัญญาณคลื่นพาห์ที่ได้จะอยู่ในรูปดังสมการ (3.1)

$$s(t) = -A_c m(t)\sin(2\pi f_c t) \qquad (3.1)$$

เมื่อ $s(t)$ คือสัญญาณคลื่นพาห์

A_c คือแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูล

$m(t)$ คือสัญญาณข้อมูล

3.1.4การสร้างสัญญาณรบกวน

ในการส่งสัญญาณโดยผ่านช่องสัญญาณมักจะมีความผิดพลาดเกิดเนื่องจากสัญญาณรบกวน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบ ทำให้สัญญาณที่ได้รับที่ปลายทางเกิดการผิดเพี้ยนไปจากเดิม การสร้างสัญญาณรบกวนทำได้โดยใช้วิธีสุ่มเช่นเดียวกับการสร้างสัญญาณข้อมูลที่ทำการส่ง ซึ่งการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบนั้น เพื่อใช้เป็นข้อพิสูจน์การแก้ไขบิตผิดพลาดที่ภาครับว่ามีความสามารถในการแก้ไขบิตผิดพลาดหรือไม่เมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้น

3.1.5 การรวมสัญญาณข้อมูลที่ทำเข้ารหัสช่องสัญญาณและกล้ำสัญญาณแล้วกับสัญญาณรบกวน

นำสัญญาณข้อมูลที่ทำเข้ารหัสช่องสัญญาณและกล้ำสัญญาณแล้วมารวมกับสัญญาณรบกวนที่สร้างขึ้น ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นการสมมุติว่าในระบบสื่อสารผ่านช่องส่งสัญญาณนั้น จะมีสัญญาณรบกวนทำให้สัญญาณข้อมูลที่ส่งมาเกิดการผิดเพี้ยนไปจากเดิม เพื่อให้ภาครับทำการถอดรหัสและแก้ไขบิตผิดพลาดให้ถูกต้อง

3.1.6 การดีมอดูเลตสัญญาณ

การดีมอดูเลตสัญญาณดิจิตอลแบบ BPSK ทำได้โดยนำสัญญาณที่ได้จากภาครับคูณเข้ากับ $\sin(2\pi f_c)$แล้วนำไปอินทริเกรต จากนั้นก็นำไปเปรียบเทียบกับ threshold เพื่อทำการตัดสินบิต

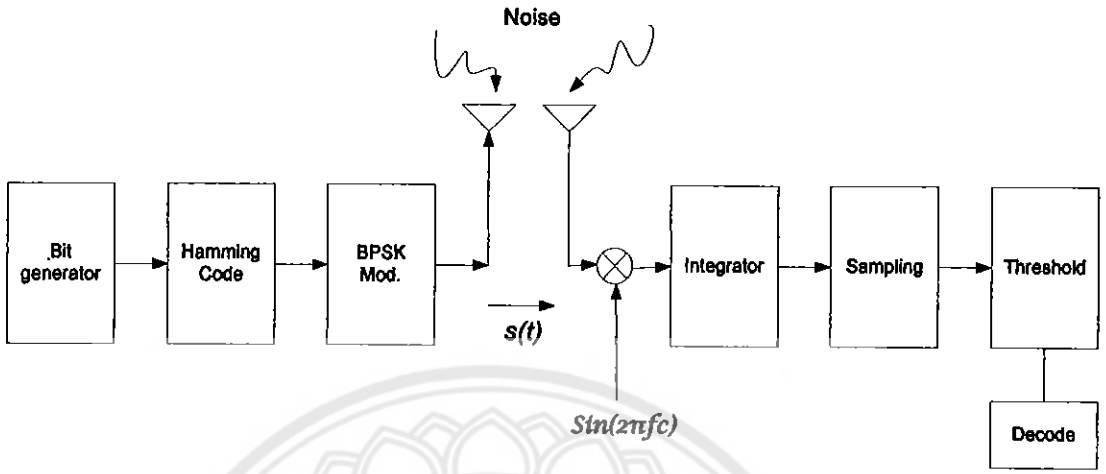
3.1.7การถอดรหัสช่องสัญญาณและแก้ไขบิตผิดพลาด

เมื่อทำการดีมอดูเลตชันสัญญาณได้สัญญาณข้อมูลรูปแบบเดิมแล้ว จะทำการถอดรหัสช่องสัญญาณและทำการแก้ไขบิตผิดพลาด

3.1.8การตรวจสอบบิตผิดพลาด

เมื่อทำการดีมอดูเลตชันและถอดรหัสช่องสัญญาณเรียบร้อยแล้ว จะนำสัญญาณที่ได้มาเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ทำการส่งมาเพื่อหาความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาด ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบระหว่างการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming code กับการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัสช่องสัญญาณ

3.2 โครงสร้างการทำงาน



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการทำงานของการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming code

จากรูป 3.1 Bit generator ทำหน้าที่สุ่มบิตข้อมูล จากนั้นก็ทำการเข้ารหัสช่องสัญญาณแบบ Hamming codeแล้วทำการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK แล้วนำสัญญาณ BPSK ที่มีการเข้ารหัสส่งไปในช่องส่งสัญญาณ ทำให้มีสัญญาณรบกวนเข้ามาทำให้สัญญาณเกิดการผิดเพี้ยน เมื่อสัญญาณมาถึงภาครับจะทำการคูณด้วย $\sin(2\pi f_c)$ เพื่อทำการแยกสัญญาณข้อมูลกับสัญญาณรบกวนออกจากกัน แล้วนำสัญญาณไปทำการอินทิเกรตแล้วมาทำการเลือกจุด Sampling ที่จะนำไปผ่าน Threshold เพื่อตัดสินบิตว่าเป็น บิต 0 หรือบิต 1หลังจากนั้นก็จะทำการถอดรหัสสัญญาณและแก้ไขบิตผิดพลาด

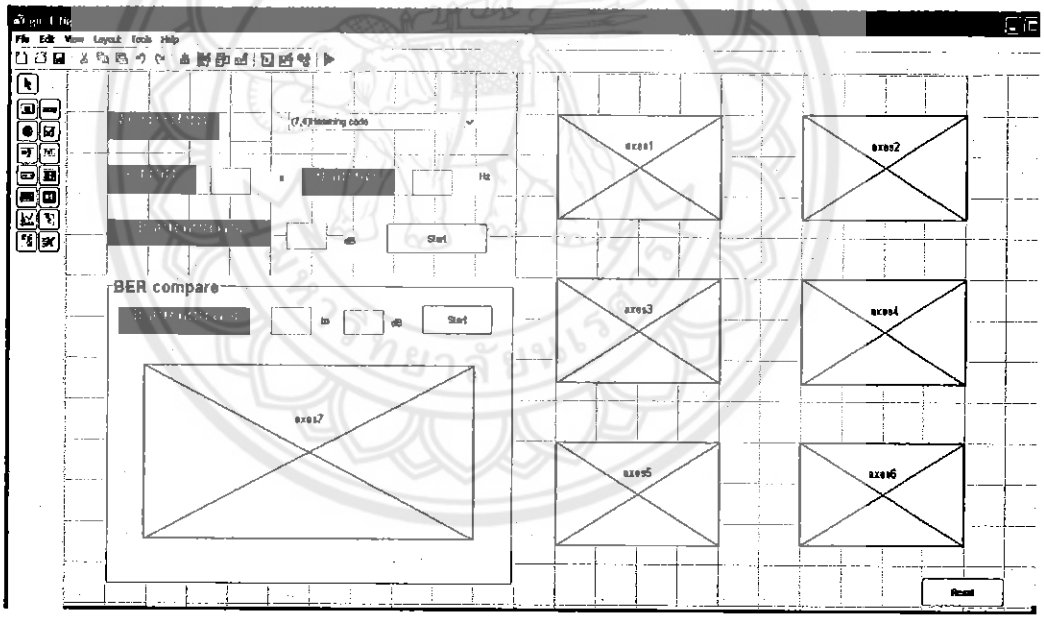
3.3 การออกแบบ Graph User Interfaces (GUI)และขั้นตอนการดำเนินงาน

ในขั้นตอนนี้จะสร้างหน้าต่างแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบสื่อโดยอาศัยการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming code และเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดของการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming code กับค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดของการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัส ดังนี้

1. ทำการสร้าง Edit Text สำหรับใส่ข้อมูลดังนี้

- จำนวน Block code ที่ต้องการทำการส่ง
- คาบเวลาสำหรับสัญญาณข้อมูล
- Carrier frequency (f_c)
- Signal to Noise Raio (SNR)

2. ทำการสร้าง Popup manu เพื่อเลือกรูปแบบการเข้ารหัส Haming code ซึ่งมีอยู่ 3 แบบ คือ (7,4)Hamming code, (15,11)Hamming code, (31,26)Hamming code
3. ทำการสร้างพื้นที่สำหรับวาดกราฟ ซึ่งมีทั้งหมด 7 กราฟ
4. สร้างปุ่ม Push Button เพื่อใช้เป็นคำสั่งเริ่มต้นการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัสแบบ Hamming code
5. สร้างปุ่ม Push Button เพื่อใช้เป็นคำสั่งเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดของการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming code กับค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดของการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัส
6. สร้างปุ่ม Push Button เพื่อใช้เป็นคำสั่งรีเซตค่าทั้งหมดเพื่อทำการเริ่มต้นทำการส่งสัญญาณใหม่
7. แล้วทำการรันโปรแกรม เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าไม่มีข้อผิดพลาดใดๆเกิดขึ้น แล้วก็จะได้ GUI ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 Graphic User Interfaces ในการแสดงตัวอย่างการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming code

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่ามีกราฟทั้งหมด 7 กราฟ ซึ่งใช้แสดงกราฟดังนี้

- axes1 แสดงการสร้างสัญญาณข้อมูล
- axes2 แสดงการเข้ารหัสช่องสัญญาณ
- axes3 แสดงการสร้างสัญญาณมอดูเลชัน

- axes4 แสดงการรวมสัญญาณข้อมูลที่ทำเข้ารหัสช่องสัญญาณและกล้ำสัญญาณแล้วกับสัญญาณรบกวน
- axes5 แสดงการดีมอดูเลตสัญญาณ
- axes6 แสดงการถอดรหัสช่องสัญญาณและแก้ไขบิตผิดพลาด
- axes7 แสดงการเปรียบเทียบระว่างค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดของการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming code กับค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดของการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัส

ในบทนี้ได้แสดงขั้นตอนและหลักการทำงานของโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างแบบจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming และได้อธิบายการสร้าง Graphic User Interface เพื่อใช้ในการนำเสนอการทำงานของโปรแกรม ในรูปแบบที่สามารถเข้าใจได้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน

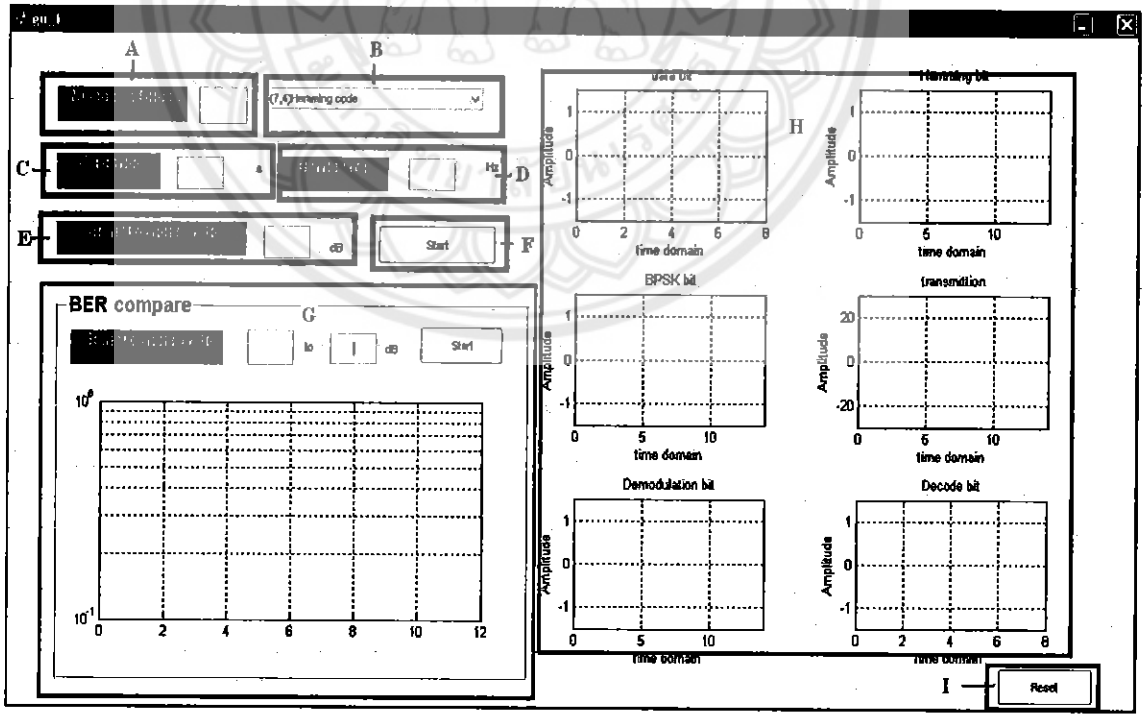
ในบทต่อไปจะแสดงผลการทดลองโปรแกรมแบบจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming ที่ได้ออกแบบไว้และการคำนวณการแสดงค่าต่างๆที่ได้สร้างไว้แล้วในบทนี้ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของระบบการสื่อสารที่ทำการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming code กับการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัส

บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

ในบทนี้จะแสดงผลการทดลองเมื่อทำการป้อนบิตข้อมูลเข้าไปในโปรแกรมการจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming ซึ่งสามารถแสดงการแก้ไขข้อมูลผิดพลาด การลดระดับอัตราการเกิดข้อมูลผิดพลาด และการทำการเปรียบเทียบระหว่างการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming code กับการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัสช่องสัญญาณ โดยแสดงผลการทดลองในรูปแบบของ Graphic User Interfaces

4.1 โปรแกรมการจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming

1. ในขั้นตอนแรกทำการเปิดโปรแกรมการจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming จะปรากฏหน้าต่างขึ้นมาดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลการทดลองในรูปแบบของ Graphic User Interfaces

จากรูปที่ 4.1 แสดงรายละเอียดของโปรแกรมการจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming ดังนี้

A คือ ช่อง Number of block code คือ จำนวน Block code ที่ต้องการทำการส่ง

B คือ ช่อง เพื่อเลือกรูปแบบการเข้ารหัส Haming code ซึ่งมีอยู่ 3 แบบ คือ (7,4)Hamming code, (15,11)Hamming code, (31,26)Hamming code

C คือ ช่อง Bit period คือ คาบเวลาสำหรับสัญญาณข้อมูล

D คือ Carrier frequency (f_c)

E คือ Signal to Noise Raio (SNR)

F คือ ปุ่มคำสั่งเมื่อป้อนข้อมูลครบถ้วนแล้ว จะทำการกดที่ปุ่ม start เพื่อใช้เป็นคำสั่งเริ่มต้นการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัสแบบ Hamming code

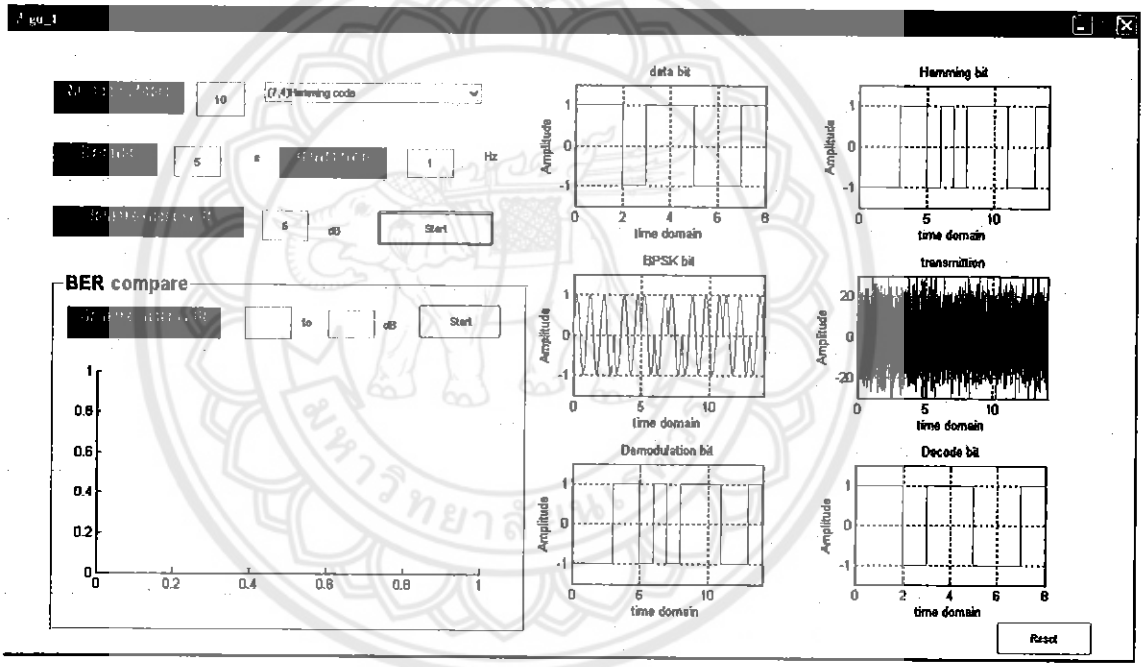
G คือ กรอบ BER compare จะทำการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดของการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming code กับค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดของการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัส โดยกำหนดค่า Signal to Noise Raio แล้วกดปุ่ม Start เพื่อเริ่มการเปรียบเทียบ

H คือ กราฟแสดงขั้นตอนการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming

I คือ ปุ่ม reset เป็นคำสั่งรีเซตค่าทั้งหมดเพื่อทำการเริ่มต้นทำการส่งสัญญาณใหม่

2. การทำงานของโปรแกรมการจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming โดยขั้นแรกจะต้องทำการสร้างสัญญาณขึ้นมา เพื่อนำสัญญาณนั้นส่งไปยังภาครับ ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณโดยมีการสุ่มรหัสสัญญาณขึ้นมา ทำได้โดยการกำหนดค่าต่างๆ ลงในโปรแกรม MATLAB ที่จะทำการออกแบบจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming ซึ่งได้แก่ จำนวนบล็อกข้อมูลที่ต้องการทำการส่ง และคาบของสัญญาณ จากนั้นจะทำการเข้ารหัสช่องโดยเลือกรูปแบบการเข้ารหัสช่องสัญญาณ ซึ่งมีอยู่ 3 แบบ คือ (7,4)Hamming code, (15,11)Hamming code, (31,26)Hamming code เมื่อทำการเข้ารหัสช่องสัญญาณเรียบร้อยแล้วจะทำการแปลงสัญญาณให้มีความถี่ที่เหมาะกับการส่งสัญญาณขั้นตอน

ในการแปลงความถี่ของสัญญาณ เรียกว่า Modulation หรือการกล้ำสัญญาณให้มีความถี่ที่เหมาะสมในการส่งสัญญาณ จากนั้นทำการส่งสัญญาณโดยผ่านช่องสัญญาณซึ่งมักจะมีความผิดพลาดเกิดเนื่องจากสัญญาณรบกวน จึงทำการสร้างสัญญาณรบกวนทำได้โดยใช้วิธีสุ่มเช่นเดียวกับการสร้างสัญญาณข้อมูลที่ทำการส่ง และนำสัญญาณข้อมูลที่ทำเข้ารหัสช่องสัญญาณและกล้ำสัญญาณแล้วมารวมกับสัญญาณรบกวนที่สร้างขึ้น ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นการสมมุติว่าในระบบสื่อสารผ่านช่องส่งสัญญาณนั้น เมื่อภาครับได้รับสัญญาณจะทำการดีมอดูเลตสัญญาณ ทำได้โดยนำสัญญาณที่ได้จากภาครับคูณเข้ากับ $\sin(2\pi f_c)$แล้วนำไปอินทริเกรต จากนั้นก็นำไปเปรียบเทียบกับ threshold เพื่อทำการตัดสินบิตเมื่อทำการดีมอดูเลตชันสัญญาณได้สัญญาณข้อมูลรูปแบบเดิมแล้ว จะทำการถอดรหัสช่องสัญญาณและทำการแก้ไขบิตผิดพลาด ซึ่งจะแสดงแต่ละขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลการทดลองการส่งสัญญาณ

โดยที่

กราฟที่ 1 การสร้างสัญญาณข้อมูลโดยการสุ่มสัญญาณขึ้นมา

กราฟที่ 2 การเข้ารหัสช่องสัญญาณแบบ Hamming Code

กราฟที่ 3 การสร้างสัญญาณมอดูเลชัน

กราฟที่ 4 การรวมสัญญาณข้อมูลที่ทำเข้ารหัสช่องสัญญาณและกล้ำสัญญาณแล้วกับสัญญาณรบกวน

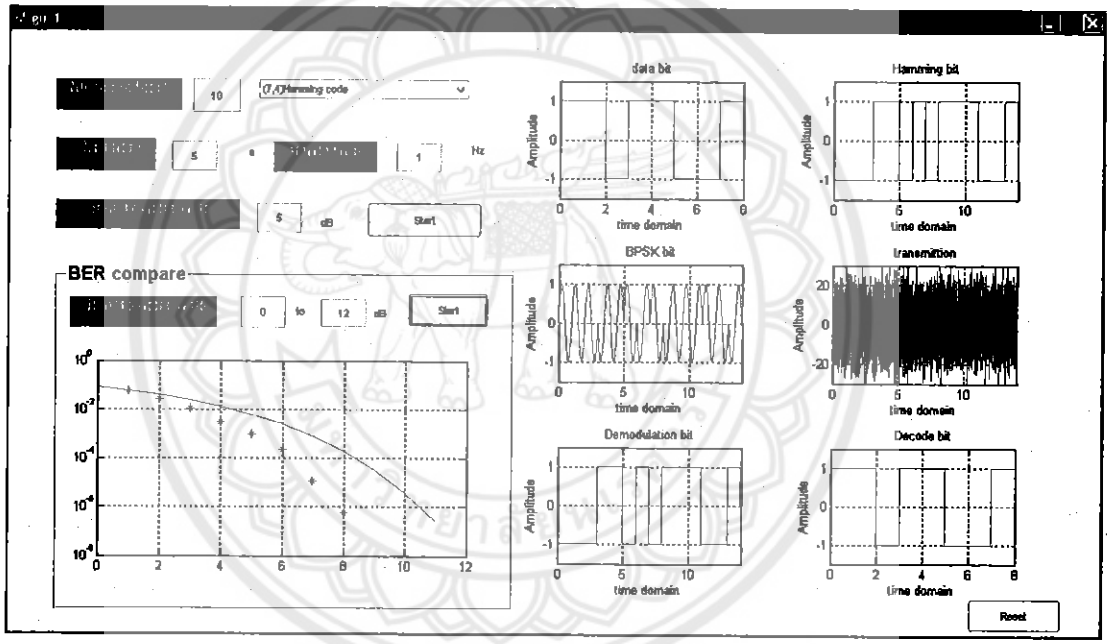
กราฟที่ 5 การดีมอดูเลตสัญญาณ

กราฟที่ 6 การถอดรหัสช่องสัญญาณและแก้ไขบิตผิดพลาด

จากรูปที่ 4.2 จะเห็น เมื่อมีการเข้ารหัสช่องสัญญาณแบบ Hamming code ก่อนส่งสัญญาณ เป็นกระบวนการที่ภาคส่งเพิ่มบิตพิเศษเข้าไปกับบิตข้อมูล เพื่อช่วยให้ภาครับสามารถตรวจจับหรือแก้ไขบิตบางบิตที่ผิดพลาดระหว่างการส่งผ่านช่องสัญญาณได้

3. ในกรอบ BER compare จะทำการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดของการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming code กับค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดของการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัส โดยกำหนดค่า Signal to Noise Raio แล้วกดปุ่ม Start เพื่อเริ่มการเปรียบเทียบ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.3

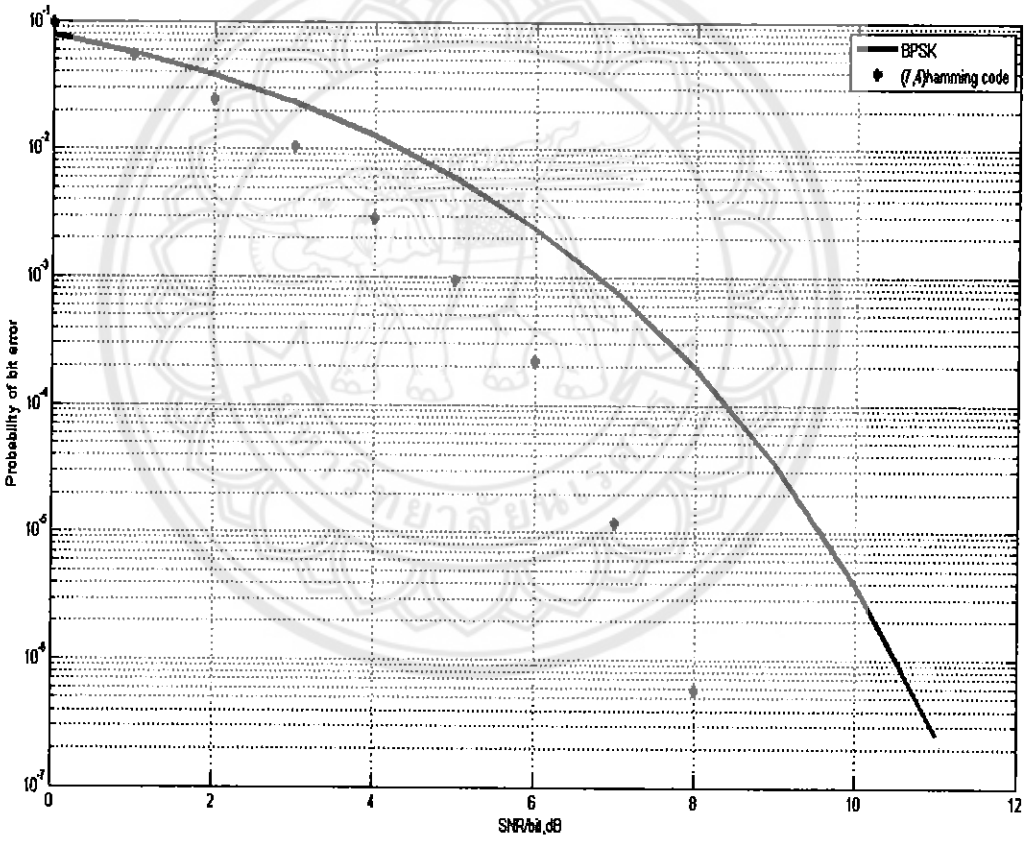
4. กดปุ่ม reset เพื่อใช้เป็นคำสั่งรีเซตค่าทั้งหมดเพื่อทำการเริ่มต้นทำการส่งสัญญาณใหม่



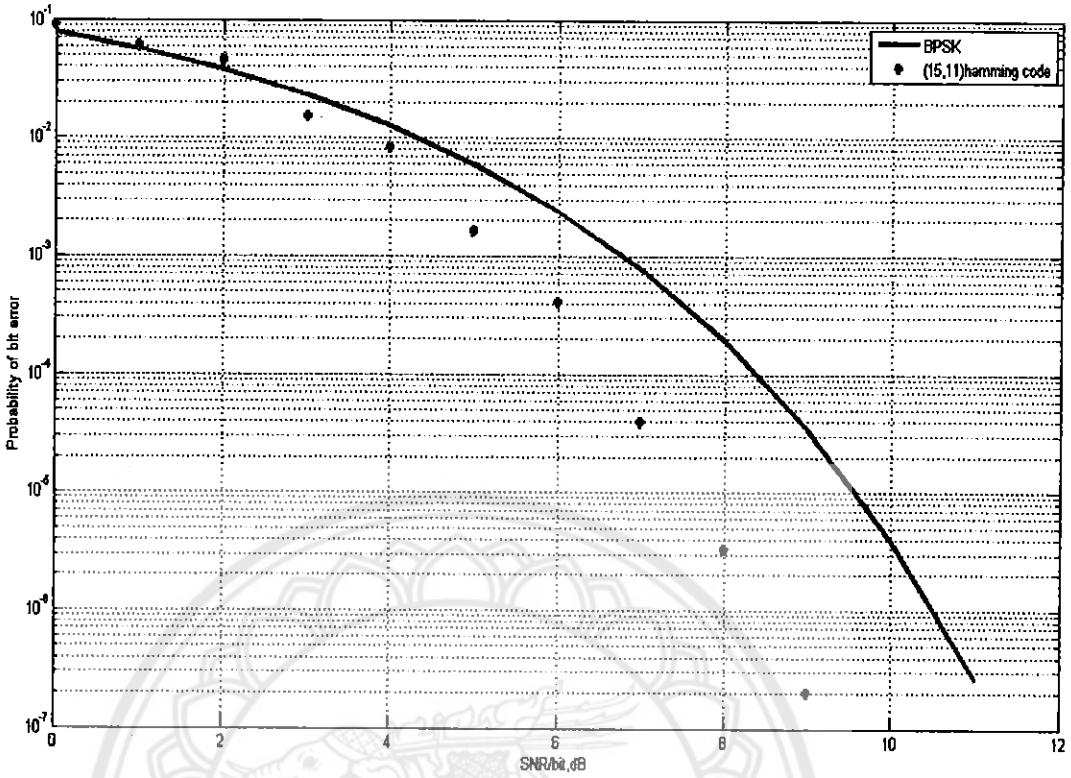
รูปที่ 4.3 ผลการรันโปรแกรมการจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming

จากรูปที่ 4.3จะเห็นการส่งสัญญาณโดยผ่านช่องสัญญาณมักจะมีความผิดพลาดเกิดเนื่องจากสัญญาณรบกวน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบ ทำให้สัญญาณที่ได้รับที่ปลายทางเกิดการผิดเพี้ยนไปจากเดิมวิธีหนึ่งที่สามารถแก้ไขได้โดยส่งสัญญาณในความถี่ที่เหมาะสมโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK แต่ในการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณ แม้ว่าจะส่งในความถี่ที่เหมาะสมแล้ว ยังมีสามารถเกิดการผิดเพี้ยนได้ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเข้ารหัสสัญญาณก่อนส่ง การเข้ารหัสช่องสัญญาณเป็นกระบวนการที่ภาคส่งเพิ่มบิตพิเศษเข้าไปกับบิตข้อมูล เพื่อช่วยให้ภาครับสามารถตรวจจับหรือแก้ไขบิตบางบิตที่ผิดพลาดระหว่างการส่งผ่านช่องสัญญาณได้ ทั้งนี้

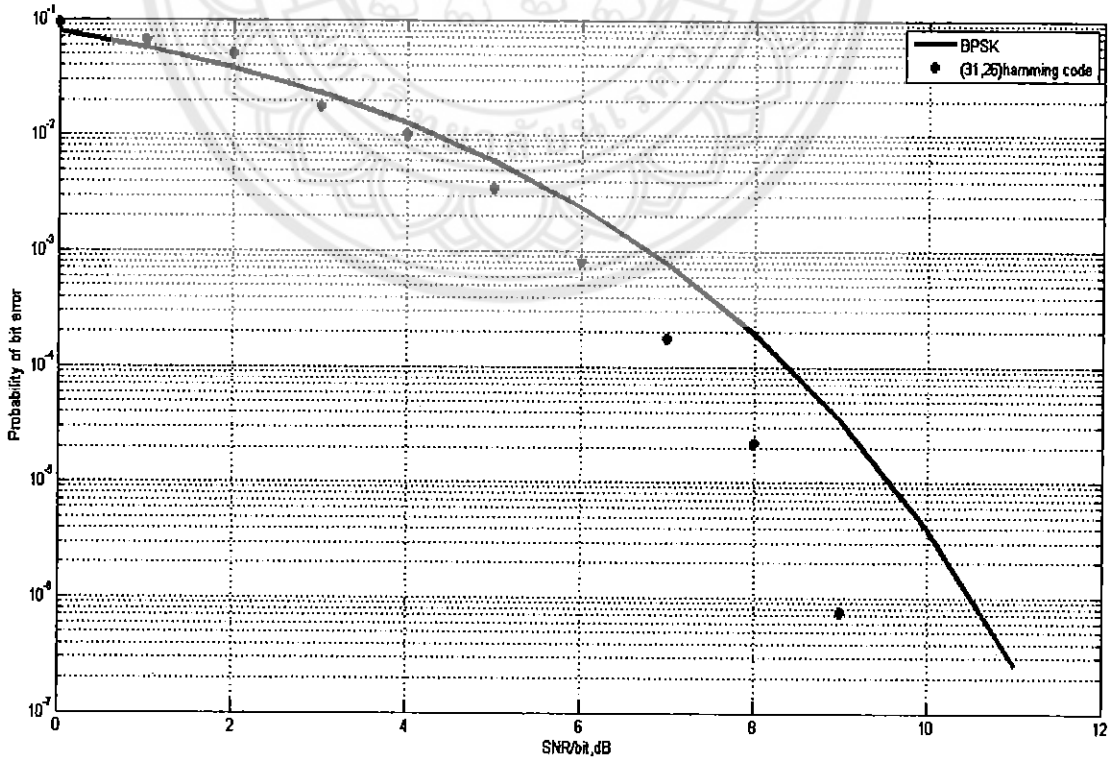
ความสามารถในการแก้ไขบิตที่ผิดพลาดขึ้นอยู่กับขนาดของบิตรหัสที่เพิ่มเข้าไป จะเห็นว่า เมื่อทำการเข้ารหัส Hamming code ความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดจะลดลงเมื่อเทียบกับการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัส โดยการเข้ารหัส Hamming code จะมีรูปแบบการเข้ารหัสต่างๆ ซึ่งโครงงานนี้จะทำการพิจารณาการเข้ารหัส Hamming code ทั้งสิ้น 3 รูปแบบ ได้แก่ (7,4)Hamming code, (15,11)Hamming code และ (31,26)Hamming code เมื่อทำการเปรียบเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดของการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming code แบบ (7,4)Hamming code, (15,11)Hamming code และ (31,26)Hamming code กับค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดของการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัส สามารถแสดงดังรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ ดังนี้



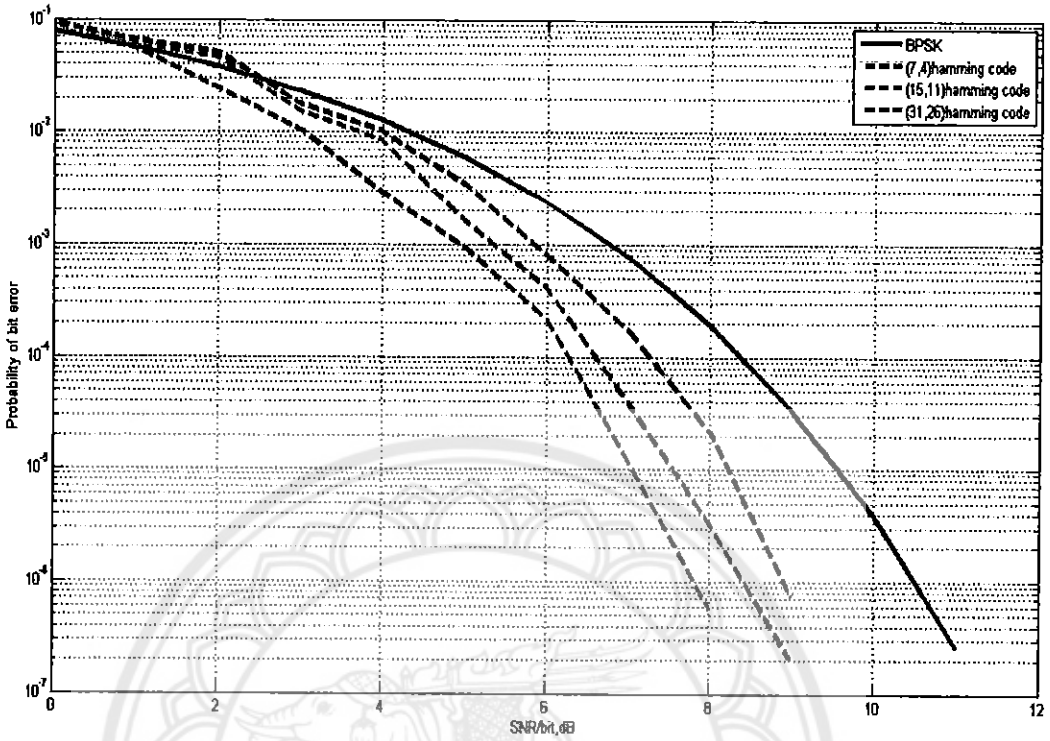
รูปที่ 4.4 การส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัสแบบ (7,4)Hamming code



รูปที่ 4.5 การส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัสแบบ (15,11)Hamming code



รูปที่ 4.6 การส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัสแบบ (31,26)Hamming code



รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดสำหรับการเข้ารหัส Hamming code ในกรณีต่างๆเมื่อเทียบกับการส่งแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัส

จากรูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดระหว่าง กรณี (7,4)Hamming Code, (15,11)Hamming Code และ (31,26)Hamming Code จะเห็นว่ากรณี (7,4)Hamming Code จะมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดน้อยที่สุด และ (15,11)Hamming Code, (31,26)Hamming Code ตามลำดับ

การเข้ารหัส Hamming Code ของสัญญาณข้อมูลก่อนที่จะทำการส่ง โดยเมื่อทำการเข้ารหัส Hamming แล้ว จะมีความสามารถในการแก้ไขบิตผิดพลาดได้ 1 บิตผิดพลาดในแต่ละบล็อกข้อมูล แต่ถ้าหากในการส่งสัญญาณเกิดบิตผิดพลาดขึ้นมากกว่า 1 บิต จะไม่สามารถตรวจสอบและแก้ไขได้ ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาด เมื่อทำการส่งสัญญาณขอมูลโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming มีค่าเป็น

$$P_{Hamming} = \sum_{x=2}^{n} P(x) \qquad (4.1)$$

เมื่อ n คือ จำนวนบิตข้อมูลในแต่ละบล็อกข้อมูล มีค่าเท่ากับ

$$n = 7,15,31,\ldots,2^m - 1 \qquad m \geq 3$$

ตัวอย่างกรณี (7,4)Hamming Code

$$P_{Hamming} = \sum_{x=2}^{n7} P(x)$$

$$= \left[\binom{7}{2}(P_b)^2(1-P_b)^{7-2}\right] + \left[\binom{7}{3}(P_b)^3(1-P_b)^{7-3}\right] + \left[\binom{7}{4}(P_b)^4(1-P_b)^{7-4}\right]$$

$$+\cdots+\left[\binom{7}{7}(P_b)^7(1-P_b)^{7-7}\right]$$

$$= [21(P_b)^2(1-P_b)^5] + [35(P_b)^3(1-P_b)^4] + [35(P_b)^4(1-P_b)^3] + \cdots$$

$$+(P_b)^7 \quad (4.2)$$

กรณี (15, 11)Hamming Code

$$P_{Hamming} = \sum_{x=2}^{n=15} P(x)$$

$$= \left[\binom{15}{2}(P_b)^2(1-P_b)^{15-2}\right] + \left[\binom{15}{3}(P_b)^3(1-P_b)^{15-3}\right] +$$

$$\left[\binom{15}{4}(P_b)^4(1-P_b)^{15-4}\right] + \cdots + \left[\binom{15}{15}(P_b)^{15}(1-P_b)^{15-15}\right]$$

$$= [105(P_b)^2(1-P_b)^{13}] + [455(P_b)^3(1-P_b)^{12}] + [1365(P_b)^4(1-P_b)^{11}] +$$

$$\ldots + (P_b)^7 \quad (4.3)$$

กรณี (31, 26)Hamming Code

$$P_{Hamming} = \sum_{x=2}^{n=31} P(x)$$

$$= \left[\binom{31}{2}(P_b)^2(1-P_b)^{31-2}\right] + \left[\binom{31}{3}(P_b)^3(1-P_b)^{31-3}\right] +$$

$$\left[\binom{31}{4}(P_b)^4(1-P_b)^{31-4}\right] + \cdots + \left[\binom{31}{31}(P_b)^{31}(1-P_b)^{31-31}\right]$$

$$= [465(P_b)^2(1-P_b)^{29}] + [4495(P_b)^3(1-P_b)^{28}] + \cdots + (P_b)^7 \quad (4.4)$$

จากสมการ (4.2), (4.3)และสมการ (4.4) จะเห็นว่าค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาด กรณี (7,4)Hamming Code จะมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดน้อยที่สุดและกรณี (15,11)Hamming Code และ (31,26)Hamming Code ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า n เพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการแก้ไขบิตผิดพลาดจะลดลง

พิจารณาสมการ (4.1) เมื่อ $P_b << 1$ (ยกตัวอย่างเช่น $10^{-4} - 10^{-8}$) จะได้

$$P_{Hamming} = \sum_{x=2}^{n} P(x)$$

$$= \left[\binom{n}{2}(P_b)^2(1-P_b)^{n-2}\right] + \left[\binom{n}{3}(P_b)^3(1-P_b)^{n-3}\right] + \cdots + {P_b}^n \qquad (4.5)$$

กำหนดให้ A แทนเทอมที่ 1 ของสมการ (4.5)

B แทนเทอมที่ 2 ของสมการ (4.5)

C แทนเทอมที่ 2 ของสมการ (4.5)

พิจารณา $\frac{A}{B} = \frac{\left[\binom{n}{2}(P_b)^2(1-P_b)^{n-2}\right]}{\left[\binom{n}{3}(P_b)^3(1-P_b)^{n-3}\right]}$ (4.6)

$$= \frac{\left[\frac{n!}{(n-2)!\,2!}(P_b)^2(1-P_b)^{n-2}\right]}{\left[\frac{n!}{(n-3)!\,3!}(P_b)^3(1-P_b)^{n-3}\right]}$$

$$\frac{A}{B} = \frac{\frac{n!}{(n-2)!2!}(P_b)^2(1-P_b)^{n-2}}{\frac{n!}{(n-3)!3!}(P_b)^3(1-P_b)^{n-3}}$$

เมื่อ $P_b \ll 1$ จะได้

$$\frac{A}{B} \cong \frac{3!}{(n-2)2!}\frac{1}{P_b}$$

$$\frac{A}{B} \cong \frac{3}{(n-2)P_b}$$

เมื่อ $n \gg 1$

$$\frac{A}{B} \cong \frac{3}{nP_b}$$

เมื่อ $P_b << 1$ และ $n >> 1$ และ $nP_b << 1$ ดังนั้น

$$\frac{A}{B} \cong \infty \tag{4.7}$$

พิจารณา $\frac{B}{C} = \frac{[\binom{n}{3}(P_b)^3(1-P_b)^{n-3}]}{[\binom{n}{4}(P_b)^4(1-P_b)^{n-4}]}$ (4.8)

$$= \frac{\frac{n!}{(n-3)!3!}(P_b)^3(1-P_b)^{n-3}}{\frac{n!}{(n-4)!4!}(P_b)^4(1-P_b)^{n-4}}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{\frac{n!}{(n-3)!3!}(P_b)^3(1-P_b)^{n-3}}{\frac{n!}{(n-4)!4!}(P_b)^4(1-P_b)^{n-4}}$$

เมื่อ $P_b \ll 1$ จะได้

$$\frac{B}{C} \cong \frac{4!}{(n-3)3!}\frac{1}{P_b}$$

$$\frac{B}{C} \cong \frac{4}{(n-3)P_b}$$

เมื่อ $n \gg 1$

$$\frac{B}{C} \cong \frac{3}{nP_b}$$

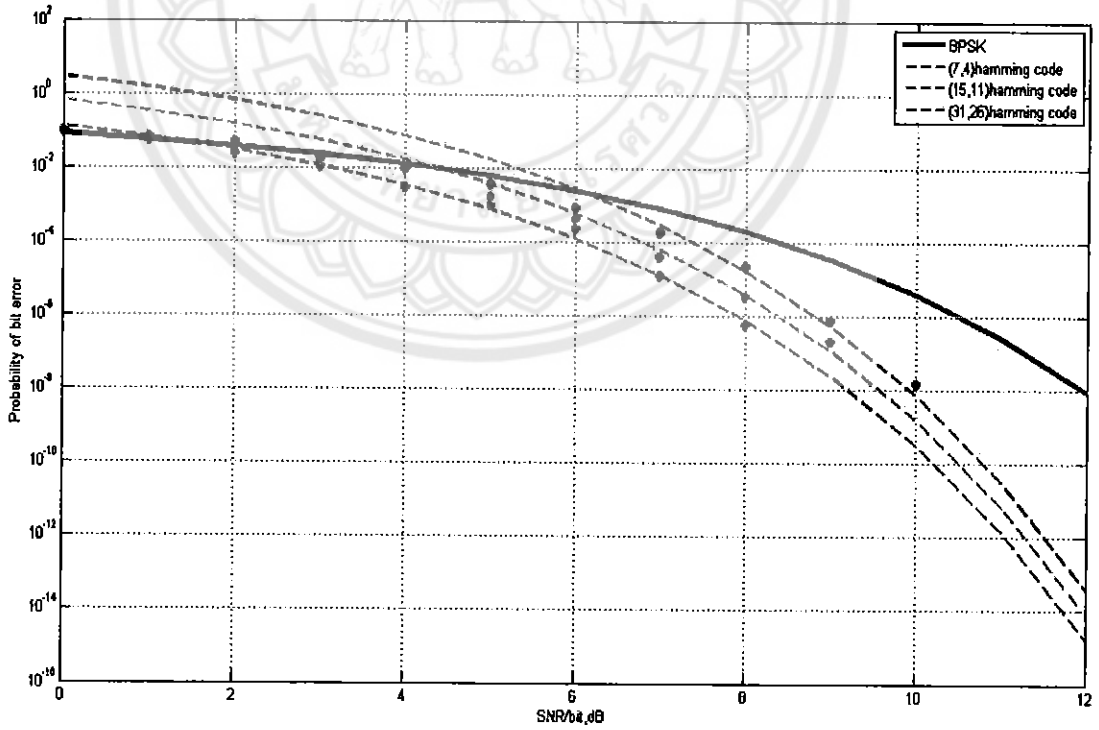
เมื่อ $P_b \ll 1, n \gg 1$ และ $nP_b \ll 1$ ดังนั้น

$$\frac{B}{C} \cong \infty \tag{4.9}$$

จากสมการ (4.7) และ สมการ (4.9) จะเห็นได้ว่า เทอมที่ 1 ของสมการ (4.5) จะมีค่ามากกว่าเทอมที่ 2 ของสมการ (4.5) มากๆ และ เทอมที่ 2 ของสมการ (4.5) จะมีค่ามากกว่าเทอมที่ 3 ของสมการ (4.5) มากๆดังนั้น เมื่อ $P_b \ll 1$ และ $nP_b \ll 1$ จะได้

$$P_{\text{Hamming}} \cong \binom{n}{2} (P_b)^2 \tag{4.10}$$

จากสมการ (4.10) แสดงให้เห็นว่า เมื่อ $P_b \ll 1$ และ $nP_b \ll 1$ สามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดของการเข้ารหัส Hamming code ได้เท่ากับสองพจน์แรกของสมการ (4.5) ซึ่งสามารถเปรียบเทียบผลของสมการ (4.5) และสมการ (4.10) ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาด

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าการประมาณค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดจากสมการ (4.10) เส้นกราฟในช่วงที่ค่าความน่าจะเป็นจะเกิดบิตผิดพลาดประมาณ 10^{-2} – 10^{-4} จะลู่เข้าสู่เส้นกราฟที่แสดงค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดจากสมการ (4.5)แสดงว่าเมื่อ $P_b \ll 1$ สามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดของการเข้ารหัส Hamming code ด้วยสมการที่ (4.10) และจากกราฟจะเห็นอีกว่าเส้นกราฟความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดตามสมการ (4.10) มีความแตกต่างจากเส้นกราฟของความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดสำหรับการส่งสัญญาณแบบ BPSK (P_{BPSK})เนื่องจากการประมาณค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดตามสมการที่ (4.10)นั้น ทำการประมาณค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดเพียงแค่ block code เดียว แต่ความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดสำหรับการส่งสัญญาณแบบ BPSK (P_{BPSK}) เป็นความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดของข้อมูลทั้งหมดที่ทำการส่ง

ในบทที่ 4 นี้ ได้แสดงผลการรันโปรแกรมการจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming และการทำการเปรียบเทียบระหว่างการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming code กับการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัสช่องสัญญาณ โดยแสดงผลการทดลองในรูปแบบของ Graphic User Interfaces

ในบทต่อไป จะเป็นการสรุปผลการดำเนินโครงงาน ปัญหาที่พบขณะดำเนินงาน และข้อเสนอแนะในการทำโครงงาน

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินโครงงาน

5.1 ผลการดำเนินโครงงาน

จากการออกแบบการเขียนโปรแกรมการจำลองระบบการสื่อสารโดยอาศัยการกล้ำสัญญาณแบบ BPSK ที่มีการเข้ารหัส Hamming เพื่อแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการส่งสัญญาณแบบ BPSK และทำการเข้ารหัส Hamming ในแต่ละรูปแบบนั้น แสดงให้เห็นว่า การเข้ารหัสช่องสัญญาณเป็นกระบวนการที่ภาคส่งเพิ่มบิตพิเศษเข้าไปกับบิตข้อมูล เพื่อช่วยให้ภาครับสามารถตรวจจับหรือแก้ไขบิตบางบิตที่ผิดพลาดระหว่างการส่งผ่านช่องสัญญาณได้ ทั้งนี้ความสามารถในการแก้ไขบิตที่ผิดพลาดขึ้นอยู่กับจำนวนของบิตรหัสที่เพิ่มเข้าไป จะเห็นว่า เมื่อทำการเข้ารหัส Hamming ความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดจะลดลงเมื่อเทียบกับการส่งสัญญาณแบบ BPSK ที่ไม่มีการเข้ารหัส และจะเห็นถึงประสิทธิภาพของการเข้ารหัส Hamming ในรูปแบบต่างๆ หากในการส่งสัญญาณต้องการความแม่นยำสูง ควรที่จะใช้การเข้ารหัสแบบ (7,4)Hamming code เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการแก้ไขบิตผิดพลาดดีกว่ารูปแบบอื่น แต่รูปแบบนี้ต้องการ Bandwidth มากกว่ารูปแบบอื่นๆ เนื่องจากมี parity bit ที่ช่วยในการตรวจสอบบิตผิดพลาดมากกว่า ในการเลือกรูปแบบการเข้ารหัสนั้นควรคำนึกถึงความเหมาะสมในการส่งสัญญาณนั้นๆ เพื่อที่จะช่วยในการประหยัดเรื่อง Bandwidth และค่าใช้จ่ายในการส่งด้วย

5.2 ปัญหาที่พบขณะดำเนินโครงงาน

1. เนื่องจากคำสั่งบางคำสั่งในโปรแกรม MATLAB ผู้ดำเนินโครงงานยังไม่มีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ ต้องใช้เวลาศึกษา

2. ในการรันโปรแกรม MATLAB เพื่อทำการทดลองหาความน่าจะเป็นที่จะเกิดบิตผิดพลาดต้องทำการรันโปรแกรมนาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการเข้าใจและศึกษาคำสั่งต่างๆในโปรแกรม MATLAB ให้เข้าใจก่อนทำการเขียนโปรแกรม

2. ในการรันโปรแกรมต่างๆควรจะแบ่งส่วนในการรันและเก็บบันทึกไว้ก่อนเพื่อประหยัดพื้นที่ในการจำและประมวลผล และสามารถนำข้อมูลที่ทำการรันเสร็จแล้วมาใช้ครั้งต่อไปได้เลย

3. เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำการรันโปรแกรม ควรจะมีหน่วยความจำและหน่วยประมวลผลสูงเพื่อช่วยลดเวลาในการรันโปรแกรม

เอกสารอ้างอิง

[1] สภาวิศวกร. "ความรู้พื้นฐานวิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร". พิมพ์ครั้งที่1 : บริษัท เดอะ ปุ๊ดส์ เลิฟเวอร์ พ.ศ.2549.

[2] ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ. "เทคโนโลยีโทรคมนาคมทฤษฎีข่าวสารและการเข้ารหัส". พิมพ์ครั้งที่1: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พ.ศ.2546.

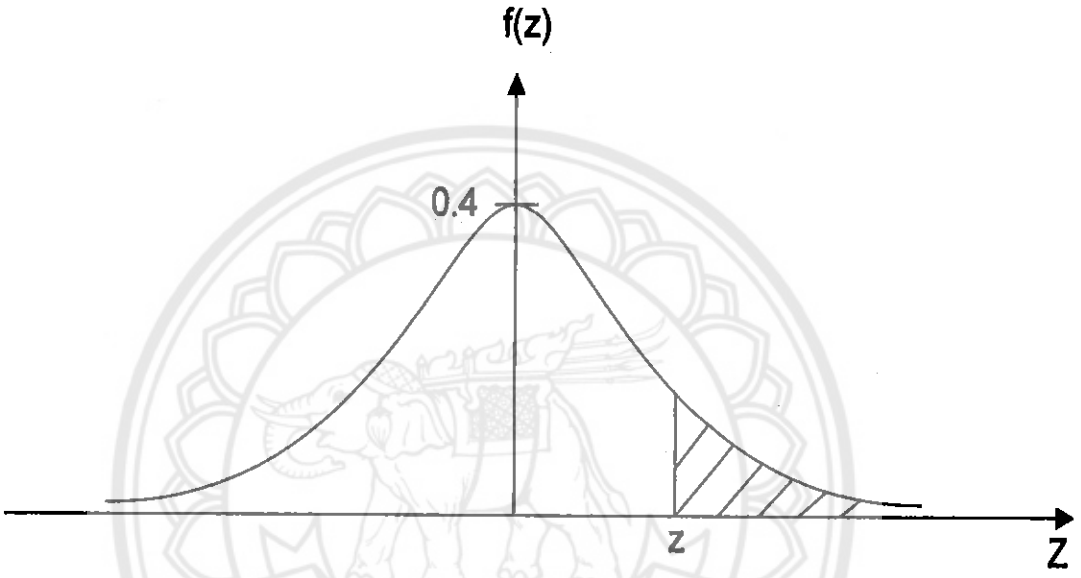
[3] Bernard Skalar, *Digital Communication Fundamental and Application*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey,1998.

[4] Couch, L. W., *Digital and Analog Communication Systems*, 7th ed., Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 2007.

ภาคผนวก ก

Q function [4]

ถ้าให้ z เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบปกติ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และมีความแปรปรวนเท่ากับ 1 กราฟของการแจกแจงความน่าจะเป็น สามารถวาดได้ดังนี้



รูปที่ ก-1 รูปการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบปกติ

สามารถหาพื้นที่ใต้โค้ง เมื่อ $Z > z$ ได้ดังนี้

$$P(Z > z) = \int_z^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(z-\mu)^2/2\sigma^2}\, dz \qquad (\text{ก} - 1)$$

กำหนดให้ $\lambda = (z - \mu)/\sigma$ จะได้

$$P(Z > z) = \int_z^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\lambda^2/2}\, \sigma d\lambda$$

$$P(Z > z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^{\infty} e^{-\lambda^2/2}\, d\lambda$$

กำหนดให้ $\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_z^\infty e^{-\lambda^2/2}\,d\lambda$ แทนด้วย Q function จะได้

$$Q(z) \triangleq \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_z^\infty e^{-\lambda^2/2}d\lambda \qquad (ก-2)$$

เมื่อ $z \geq 3$, $$Q(z) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}z}e^{-z^2/2} \qquad (ก-3)$$

จากสมการ (ก – 2) และ (ก – 3)สามารถเขียนเป็นตารางเปรียบเทียบได้ดังนี้

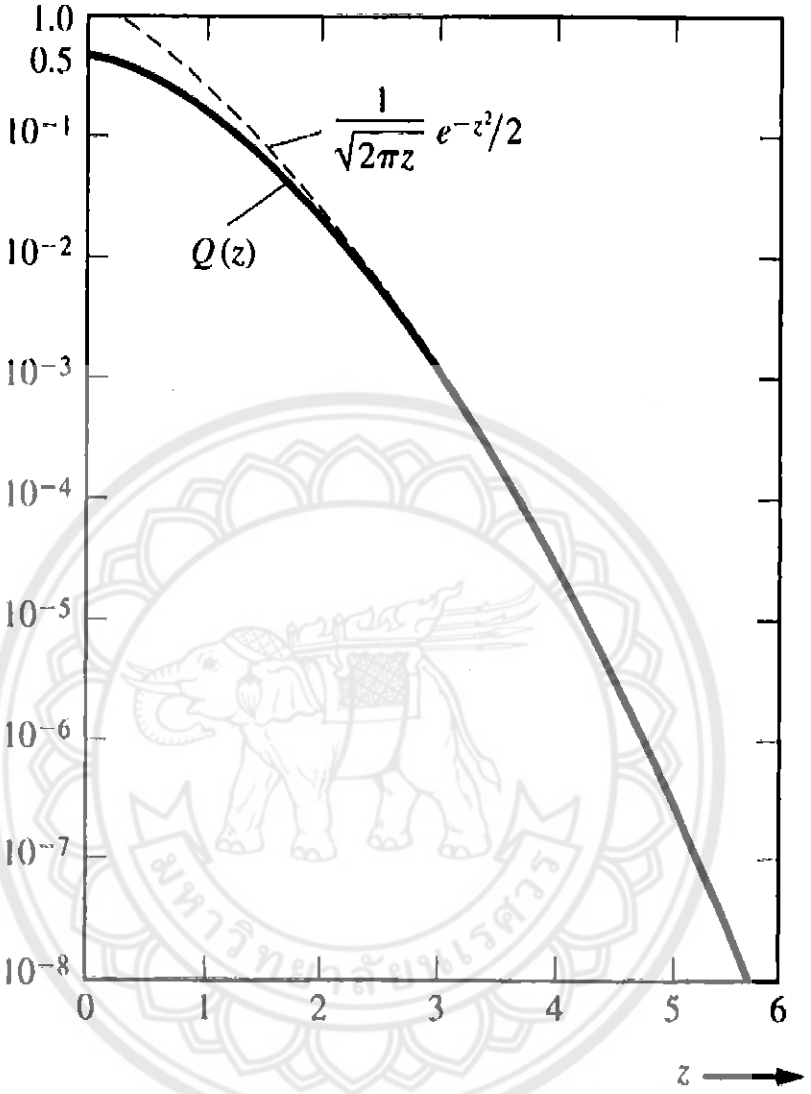
ตารางที่ ก-1 ตาราง Q function

z	$Q(z)$
0.0	0.50000
0.1	0.46017
0.2	0.42074
0.3	0.38209
0.4	0.34458
0.5	0.30854
0.6	0.27425
0.7	0.24196
0.8	0.21186
0.9	0.18406
1.0	0.15866
1.1	0.13567
1.2	0.11507
1.3	0.09680
1.4	0.08076
1.5	0.06681

ตารางที่ ก-1 ตาราง Q function (ต่อ)

z	$Q(z)$
1.6	0.05480
1.7	0.04457
1.8	0.03593
1.9	0.02872
2.0	0.02275
2.1	0.01786
2.2	0.01390
2.3	0.01072
2.4	0.00820
2.5	0.00621
2.6	0.00466
2.7	0.00347
2.8	0.00256
2.9	0.00187
3.0	0.00135
3.1	0.00097
3.2	0.00069
3.3	0.00048
3.4	0.00034
3.5	0.00023
3.6	0.00016
3.7	0.00011
3.8	0.00007
3.9	0.00005
4.0	0.00003

จากสมการ (ก – 1)และ (ก – 2)สามารถเขียนเป็นกราฟได้ดังนี้



รูปที่ ก-2 The Q function[4]

จากรูปที่ ก-2 จะเห็นเส้นกราฟของสมการ (ก – 2)และสมการ (ก – 3) จะลู่เข้าเป็นเส้นเดียวกันเมื่อ $z \geq 3$ ดังนั้นเมื่อ $z \geq 3$ สามารถประมาณค่า $Q(z)$ ด้วยสมการ (ก – 3)ได้นั้นคือ

$$Q(z) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}z} e^{-z^2/2} \qquad ; z \geq 3 \qquad (ก-4)$$

ภาคผนวก ข

1. ฟังก์ชันการหา BER ของการส่งสัญญาณแบบ BPSK

```
function ber1=bpsk(snr);
ber=[];
be=0;
for ss=1:1:10000
n=100;                                  ; กำหนดจำนวนสัญญาณข้อมูล
fs=2^5;
bit=ones(1,fs);
data=round(rand(1,n));                  ;ทำการสุ่มสัญญาณข้อมูล
data1=[];
    for i=1:1:length(data)
      if data(i)==1
      data1=[data1 bit];
      else
     data1=[data1 -1*bit];
      end
    end
%=========================================
t=linspace(0,length(data),length(data)*fs);
carr=-sin(2*pi*20*t);
bpsk=data1.*carr;                       ;จำลองการส่งสัญญาณโดยคูณกับสัญญาณคลื่นพาห์
%=========================================
 n0=0.5/10^(snr/10);
 a=(n0/2)*fs;
 noise=sqrt(a)*randn(1,length(t));
 recbpsk=bpsk+noise;                    ;จำลองการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน
```

```
%=============================================
24    recbpsk1=recbpsk.*carr;
25    dem=recbpsk1;
%=============================================

26    recdata=[];
27    for ii=1:1:length(data)
28        a=((ii-1)*fs)+1;
29        b=(ii*fs);
30        bb=sign(sum(dem(a:b)/fs));
31        recdata=[recdata bb*bit];          ;จำลองการดีมอดดูเลต
                                             สัญญาณ
32    end

33    m1=(data1+1)/2;
34    m2=(recdata+1)/2;
35    cc=sum(xor(m1,m2))/fs;                 ;หาบิตผิดพลาด
36    be=[be be(end)+cc];
37    end
38    ber=[ber be(end)/1000000];             ; หาBER โดยนำค่าจำนวนบิต
                                             ผิดพลาดที่เกิดขึ้นหารด้วย
                                             จำนวนบิตที่ส่งทั้งหมด
39    ber1=ber(end);
```

2.ฟังก์ชันการหา BER ของการเข้ารหัส Hamming Code

```
1     function y=ham(m,snr,er)                    ;m คือ ค่าบิตพาริตี้ทำต้องการ
                                                  เพิ่ม
                                                  โดย m=3,4,5
                                                  snr คือ ค่าอัตราส่วนระหว่าง
                                                  สัญญาณข้อมูลกับสัญญาณ
                                                  รบกวน
                                                  er คือ จำนวนบิตผิดพลาดที่
                                                  ต้องการ
2     jj=0;
3     bel=0;
4     while bel(end)<er
5     k=2^m-m-1;
6     n=2^m-1;
7     b=10;
8     x=k*b;
9     fs=2^4;
10    bit=ones(1,fs);
11    data=round(rand(1,x));                      ;ทำการสุ่มสัญญาณข้อมูล
12    senddata=[];
13        for i=1:1:length(data)/k
14       x1= data((i*k)-(k-1):i*k);
15       x2 = encode(x1,n,k,'hamming/binary');    ;ทำการเข้ารหัสสัญญาณ
16        senddata=[senddata x2];
17        end
18    datasend=[];
19    for i=1:1:length(senddata)
20        if senddata(i)==1
21        datasend=[datasend bit];
22            else
23        datasend=[datasend -1*bit];
24            end
25        end
%=============================
26    t=linspace(0,length(senddata),length(senddata)*fs);
%=============================
```

```
27    fc=100;
28    carr=-sin(2*pi*fc*t);                    ; จำลองการส่งสัญญาณ
29    bpsk=datasend.*carr;
%==============================
30     n0=0.5/10^(snr/10);
31     a=n0*fs/2;
32     noise=sqrt(a)*randn(1,length(t));
33     recbpsk=bpsk+noise;
%==============================
34    dem=recbpsk.*carr;
%==============================
35    dec=[];                                  ; จำลองการดีมอดดูเลต
                                               สัญญาณ
36        for ii=1:1:length(datasend)/fs
37         a=((ii-1)*fs)+1;
38         b=(ii*fs);
39    bb=sign(sum(dem(a:b)));
40    dec=[dec bb];
41    end
%==============================
42    decdata=[];                              ;ทำการถอดรัสสัญญาณ
43        for i=1:1:length(dec)/n
44       x3= dec((i*n)-(n-1):i*n);
45       x30=(x3+1)/2;
46       x4=decode(x30,n,k,'hamming/binary');
47       decdata=[decdata x4];
48    end
49    cc1=sum(xor(data,decdata));              ;หาบิตผิดพลาด
50    be1=[be1 be1(end)+cc1];
51    jj=jj+1;
52    end
53    y=be1(end)/(x*jj);                       ;หาBER โดยนำค่าจำนวนบิต
                                               ผิดพลาดที่เกิดขึ้นหารด้วย
                                               จำนวนบิตที่ส่งทั้งหมด
```

ประวัติผู้เขียนโครงงาน

ชื่อ นางสาวโสมฤดี ท้าวถึง

ภูมิลำเนา 42 หมู่ 4 ต.เชียงแรง อ.ภูซาง จ.พะเยา 56110

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนภูซางวิทยาคม จังหวัดพะเยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: t_somrudee@hotmail.com