



เทคนิคการจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบปรับตัวสำหรับช่องสัญญาณไร้สาย

ทศพร จันทร่เผือก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2553

Adaptive Constellation Technique for Wireless Channel

Thossaporn Chanpuek

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Computer and Telecommunication Engineering
Graduate School, Dhurakij Pundit University

2010

เลขทะเบียน.....	0218252
วันลงทะเบียน.....	- 9 ก.ย. 2554
เลขเรียกหนังสือ.....	๖๑๑.๓๘๔
	ก๒๓๗ท
	[๒๕๕๓]
	๑๒

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจากท่านอาจารย์ ดร.ชัยพร เชมะภาคะพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้ความรู้ตลอดจนคำแนะนำที่ดีตลอดมาแก่ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ซึ่งสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกๆ ท่านในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และ โทรมมนาคม ที่ได้ถ่ายทอดความรู้แก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาการศึกษา

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ในสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และ โทรมมนาคม ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนแนะนำกระบวนการทำวิจัยให้แก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และ โทรมมนาคมทุกท่าน ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจกันเสมอมาตลอดระยะเวลาการศึกษา

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายทางด้านการศึกษาจนตลอดหลักสูตร และผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาทุกท่านที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจเสมอมาตลอดระยะเวลาการศึกษา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครอบครัวของผู้วิจัยรวมทั้ง น.ส.พัชราภรณ์ พวงอ่อน ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนผู้วิจัยในทุกๆ ด้านเสมอมาจนจนสำเร็จการศึกษา

ทศพร จันทร์เผือก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ฅ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2. ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย.....	5
2.1 ช่องสัญญาณและการจางหาย (Channel and Fading).....	5
2.2 วิธีการปรับแต่งสัญญาณ.....	12
2.3 อีควอไลเซชัน (Equalization).....	19
3. ระเบียบวิธีวิจัย.....	24
3.1 แนวทางการวิจัยและพัฒนา.....	24
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	39
3.3 แผนการดำเนินงาน.....	39
3.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	40
3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ.....	40
3.6 ลักษณะกลุ่มของเฟรมข้อมูลและวิธีการช่วยในการลดความผิดพลาดของ กลุ่มของสัญลักษณ์.....	42

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
4. ผลการศึกษา.....	51
4.1 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูล เปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer.....	51
4.2 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิต ข้อมูลต่อความถี่คอปเพลอร์เปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer	55
5. สรุปผลการวิจัย	59
5.1 สรุปผลการศึกษาและวิจัย.....	59
5.2 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต.....	60
บรรณานุกรม.....	61
ประวัติผู้เขียน	64

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 พฤติกรรมในช่องสัญญาณที่มีการจางหายแบบเรย์ลีห์	32
3.2 เปรียบเทียบบิตข้อมูลกับแอมพลิจูดและเฟส	35
3.3 แผนการดำเนินงาน	39
3.4 พารามิเตอร์อื่นที่ใช้ในการกำหนดในระบบ	41

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณไร้สาย	2
1.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของช่องสัญญาณไร้สาย $h(t)$	3
2.1 มุมของคลื่นสัญญาณที่มาถึงของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์.....	8
2.2 รูปแบบของการจางหาย	11
2.3 หลักการทำงานของวิธีการ Equalizer	14
2.4 วิธีการ Tomlinson-Harashima Precoding	16
2.5 วิธีการแบ่งกลุ่มของสัญญาณ	18
2.6 BER for absolute phase-encoded QPSK using the dimension partitioning precoder	19
2.7 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรอควไลเซอร์ในช่วงเวลาที่มีการปรับชุด สัมประสิทธิ์การคูณ	21
3.1 พฤติกรรมของการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณที่มีการจางหาย.....	25
3.2 ผลของแอมพลิจูด เฟส และ Constellation ในการจำลองช่องสัญญาณการจางหาย เรย์ลีห์แบบเลือกความถี่เมื่อเริ่มการจำลองผ่านไป 52 ms โดยใช้พารามิเตอร์ (Doppler Frequency = 50 Hz)	26
3.3 ผลของแอมพลิจูด เฟส และ Constellation ในการจำลองช่องสัญญาณการจางหาย เรย์ลีห์แบบเลือกความถี่เมื่อเริ่มการจำลองผ่านไป 60 ms โดยใช้พารามิเตอร์ (Doppler Frequency = 50 Hz)	27
3.4 ผลของแอมพลิจูด เฟส และ Constellation ในการจำลองช่องสัญญาณการจางหาย เรย์ลีห์แบบเลือกความถี่เมื่อเริ่มการจำลองผ่านไป 66 ms โดยใช้พารามิเตอร์ (Doppler Frequency = 50 Hz)	28
3.5 ผลของแอมพลิจูด เฟส และ Constellation ในการจำลองช่องสัญญาณการจางหาย เรย์ลีห์แบบเลือกความถี่เมื่อเริ่มการจำลองผ่านไป 52 ms โดยใช้พารามิเตอร์ (Doppler Frequency = 200 Hz)	29

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่

3.6 ผลของแอมพลิจูด เฟส และ Constellation ในการจำลองช่องสัญญาณการจางหาย เรย์ลีห์แบบเลือกความถี่เมื่อเริ่มการจำลองผ่านไป 58 ms โดยใช้พารามิเตอร์ (Doppler Frequency = 200 Hz)	30
3.7 ผลของแอมพลิจูด เฟส และ Constellation ในการจำลองช่องสัญญาณการจางหาย เรย์ลีห์แบบเลือกความถี่เมื่อเริ่มการจำลองผ่านไป 64 ms โดยใช้พารามิเตอร์ (Doppler Frequency = 200 Hz)	31
3.8 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดของการส่งบิตข้อมูลผ่านช่องสัญญาณ ที่เกิดการจางหายแบบเรย์ลีห์	33
3.9 ความสัมพันธ์ของการจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบชดเชย.....	34
3.10 การทำงานของรูปแบบที่ทำการนำเสนอ	36
3.11 แบบจำลองระบบสื่อสารที่ทำการนำเสนอ.....	37
3.12 เปรียบเทียบข้อมูลที่ทำการส่งในระบบการสื่อสารที่นำเสนอ.....	42
3.13 Zero Crossing in Waveform Representing Voltage vs. Time	43
3.14 ลักษณะของ Zero Crossing ในระบบการสื่อสารไร้สาย.....	43
3.15 สัญญาณไรส์โคซายน์ในโดเมนเวลา ที่ค่า α ต่างๆ กัน	45
3.16 ไรส์โคซายน์ในโดเมนความถี่ที่ค่าแฟคเตอร์ลาดเอียง (α) ต่างๆ กัน ($T_s = 1$).....	46
3.17 การใช้การไรส์โคซายน์โดยแบ่งรากที่สองของไรส์โคซายน์ 2 ส่วน	46
3.18 โครงสร้างของตัวกรองเชิงเลข FIR.....	48
4.1 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว เมื่อ $f_{\max} = 5$ Hz	52
4.2 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว เมื่อ $f_{\max} = 50$ Hz	52
4.3 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว เมื่อ $f_{\max} = 100$ Hz	53

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.4	สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว เมื่อ $f_{\max} = 150$ Hz.....	53
4.5	สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว เมื่อ $f_{\max} = 200$ Hz.....	54
4.6	สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูล ต่อความถี่คอปเปิลอร์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว เมื่อใช้กำลังส่งเท่ากับ 16 dB.	55
4.7	สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูล ต่อความถี่คอปเปิลอร์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว เมื่อใช้กำลังส่งเท่ากับ 18 dB.	56
4.8	สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูล ต่อความถี่คอปเปิลอร์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว เมื่อใช้กำลังส่งเท่ากับ 20 dB.	56
4.9	สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูล ต่อความถี่คอปเปิลอร์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว เมื่อใช้กำลังส่งเท่ากับ 22 dB.	57
4.10	สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูล ต่อความถี่คอปเปิลอร์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว เมื่อใช้กำลังส่งเท่ากับ 24 dB.	57

หัวข้อวิทยานิพนธ์

เทคนิคการจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบปรับตัวสำหรับช่องสัญญาณ
ไร้สาย

ผู้เขียน

ทศพร จันทร์เผือก

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อาจารย์ ดร.ชัยพร เชมะภาคะพันธ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม

ปีการศึกษา

2553

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาและพัฒนาระบบการสื่อสารเคลื่อนที่บนช่องสัญญาณที่มีการจางหายเรย์ลีห์แบบเลือกความถี่ โดยเสนอใช้การปรับขนาดเซชขนาดและมุมของเฟสของกลุ่มสัญลักษณ์ล่วงหน้า ด้วยวิธีการส่งบิตนำร่องเพื่อทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณแล้วทำการส่งข้อมูลที่มีอัตราต่ำมากกลับมาให้เครื่องส่งทำการจัดกลุ่มสัญลักษณ์ล่วงหน้า เพื่อทำการชดเชยขนาดและเฟสของกลุ่มสัญลักษณ์ใหม่ก่อนทำการส่งออกไปในช่องสัญญาณ ซึ่งจะชดเชยการจางหายของสัญญาณที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณ

จากการศึกษาและผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบระบบที่นำเสนอที่มีการทำงานร่วมกับอีควอไลเซอร์ ที่เครื่องรับเปรียบเทียบกับระบบที่มีการใช้อีควอไลเซอร์เพียงอย่างเดียว พบว่าสามารถช่วยลดความผิดพลาดของบิตข้อมูลที่รับได้ที่เครื่องรับได้อย่างดี

Thesis Title Adaptive Constellation Technique for Wireless Channel
Author Thossaporn Chanpuek
Thesis Advisor Chaiyaporn Khemapatapan, Ph.D.
Department Computer and Telecommunication Engineering
Academic Year 2010

ABSTRACT

This thesis studies and develops mobile communication system over frequency selective Rayleigh fading channel. The proposed method applies a compensated constellation by adjusting power and phase of transmitted symbol. Transmitter sent pilot symbol in order to determine channel characteristics. Then, receiver feeds back the low-rate information to transmitter. So, transmitter used this information to compensated constellation of transmitted symbol to overcome fading problems.

The studied results show that BER of the proposed system in cooperated with equalizer is much lower than the system used only equalizer.

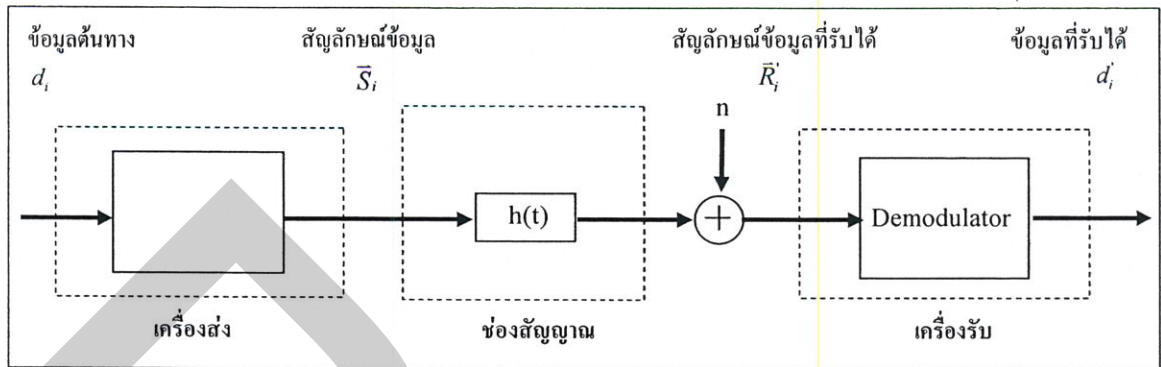
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ เป็นรูปแบบหนึ่งของระบบสื่อสารสำหรับส่งข้อมูลแบบแอนะล็อกหรือดิจิทัลจากเครื่องส่งไปสู่เครื่องรับผ่านช่องสัญญาณแบบไร้สายต่างๆ เช่น ระบบโครงข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย และ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น แต่เนื่องจากคุณลักษณะของช่องสัญญาณไร้สายที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามองค์ประกอบต่าง ๆ ได้ เช่น สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เครื่องรับหรือส่ง และ อุณหภูมิ เป็นต้น จึงส่งผลให้สัญญาณข้อมูลที่ถูกรับได้ ณ เครื่องรับอาจมีลักษณะที่ผิดเพี้ยนไป ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีและวิธีการต่าง ๆ ขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งมีสาเหตุมาจากสัญญาณรบกวนและการทับซ้อนระหว่างสัญญาณ

การออกแบบและใช้งานระบบสื่อสารเคลื่อนที่เพื่อส่งข้อมูลดิจิทัลนั้น มีความจำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบสื่อสาร เช่น ขนาดแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ของช่องสัญญาณที่ใช้งาน อัตราเร็วในการส่งข้อมูล และ สัดส่วนกำลังสัญญาณที่ได้รับต่อกำลังสัญญาณรบกวน เป็นต้น โดยจะต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมเพื่อให้สามารถใช้งานระบบสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่เป็นการรบกวนช่องสัญญาณอื่น ๆ ซึ่งข้อมูลที่เป็นสัญญาณดิจิทัล d_i ต้องผ่านกระบวนการมอดูเลต (Modulate) ก่อนถูกส่งผ่านระบบสื่อสารเพื่อแปลงข้อมูลให้เป็นสัญญาณข้อมูล S_i ที่คุณสมบัติเหมาะสมต่อการส่งผ่านช่องสัญญาณ และเมื่อเครื่องรับสัญญาณตรวจจับสัญญาณดังกล่าวได้จะเรียกว่า R_i สัญญาณดังกล่าวนั้นจะถูกนำมาผ่านกระบวนการดีมอดูเลต (Demodulate) เพื่อแปลงสัญญาณข้อมูลให้กลายเป็นข้อมูลดิจิทัล d_i เพื่อนำไปใช้งานต่อไป โดยพบว่า ข้อมูลดิจิทัลที่ได้จากทำงานของเครื่องรับนั้น อาจมีข้อมูลผิดพลาดไปเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ถูกส่งออกไปจากเครื่องส่ง ซึ่งเกิดมาจากผลขององค์ประกอบต่าง ๆ ในระบบสื่อสาร สำหรับองค์ประกอบหลักที่จะส่งผลให้ข้อมูลที่ถูกรบกวนในระบบสื่อสารเกิดความผิดพลาดขึ้นนั้น เกิดมาจากการถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนและเกิดจากลักษณะในการส่งข้อมูลที่สัญญาณข้อมูล S_i สามารถเดินทางไปถึงเครื่องรับได้จากหลายทิศทางด้วยกัน โดยที่ในแต่ละวิถี อาจจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้เกิดการรบกวนระหว่างกันได้และก่อให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณขึ้น



รูปที่ 1.1 การส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณไร้สาย

เพื่อแสดงถึงลักษณะของช่องสัญญาณแบบไร้สาย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงถูกนำมาใช้สำหรับแสดงผลกระทบของสัญญาณรบกวนและการทับซ้อนระหว่างสัญลักษณ์ที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณ ในกรณีที่มีการพิจารณาสัญญาณข้อมูลทุก ๆ คาบเวลา T พบว่าลักษณะของสัญลักษณ์ข้อมูล \bar{R}_i ที่ถูกตรวจจับได้ที่เครื่องรับ ณ เวลาใด ๆ มีลักษณะความสัมพันธ์กับสัญลักษณ์ข้อมูล \bar{S}_i ที่ถูกส่งออกไปจากต้นทางตามสมการ (1.1)¹

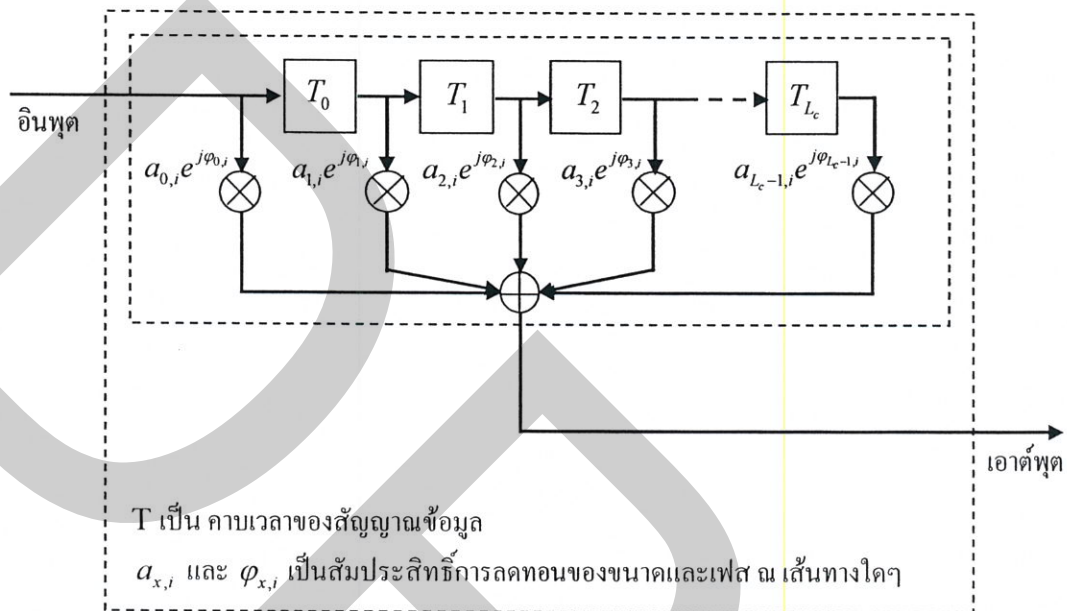
$$\begin{aligned}\bar{R}_i &= h(t)\bar{S}_i + \bar{n}_i \\ &= \sum_{k=0}^{L_c-1} (a_{k,i} e^{j\varphi_{k,i}} \cdot \bar{S}_k) + \bar{n}_i\end{aligned}\quad (1.1)$$

โดยตัวแปร $a_{k,i}$ และ $\varphi_{k,i}$ เป็นขนาดและเฟสของการจางหายของสัญญาณสัญลักษณ์ในวิถีใด ๆ L_c เป็นจำนวนวิถีที่ถูกนำมาคำนวณ และ \bar{n}_i เป็นตัวแปรสุ่มสำหรับแสดงลักษณะของสัญญาณรบกวน เป็นตัวแปรที่มีการแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian Distribution) ที่มีลักษณะดังสมการ

$$p(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(n-\bar{n})^2}{2\sigma^2}}\quad (1.2)$$

¹ C. Douillard, M. Jezequel, C. Berrou, A. Picart, P. Didier, and A. Glavieux. (1995). "Iterative correction of intersymbol interference: Turbo-equalization." *European Transactions on Telecommunications*. (Vol. 6, pp.507-511).

สำหรับ σ^2 และ \bar{h} เป็นความแปรปรวน (Variance) และค่าเฉลี่ย (Mean) ของสัญญาณรบกวนที่ได้จากการสุ่ม ดังนั้น จากสมการที่ (1.1) สามารถนำไปใช้ในการเขียนแบบจำลองสำหรับช่องสัญญาณแบบไร้สายได้ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของช่องสัญญาณไร้สาย $h(t)$

จากการศึกษาคุณสมบัติของช่องสัญญาณแบบไร้สาย พบว่าลักษณะของสัญญาณข้อมูล R_i ที่ถูกตรวจจับได้ ณ เครื่องรับ อาจมีลักษณะที่ผิดเพี้ยนไปได้จากสาเหตุต่างๆ จึงได้มีการพัฒนาวิธีการต่างๆ ขึ้นมาเพื่อลดความผิดพลาดของข้อมูลที่ถูกส่งผ่านระบบสื่อสาร เช่น การใช้ตัวปรับแต่งสัญญาณ (Equalizer) เป็นต้น ซึ่งจะช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากการผิดเพี้ยนของสัญญาณข้อมูลที่ได้รับได้

การปรับแต่งสัญญาณล่วงหน้า (Precoding)^{1 2 3} ที่เครื่องรับ หรือการเข้ารหัสเพื่อแก้ไขข้อมูลที่ผิดพลาดที่เครื่องส่ง เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้สำหรับลดความผิดพลาดในการส่งข้อมูลผ่าน

¹ Kenichi Kobayashi, Tomoaki Ohtsuki, and Toshinobu Kaneko. (2007, November). "Precoding for MIMO System in Line-Of-Sight (LOS) Environment". *IEEE Global Telecommunications conference*. (pp. 4370-4374).

² Frank A. Dietrich, Peter Breun, and Wolfgang Utschick. (2007, February). "Robust Tomlinson-Harashima Precoding for the Wireless Broadcast Channel". *IEEE Transactions Signal Processing*. (Vol. 55, pp.631-644).

³ T. Philosofof, U. Erez, and R. Zamir. (2002, December). "Precoding for Interference Cancellation at Low SNR". *Electrical and Electronics Engineer*. (pp.144-147). ISRAEL.

ระบบสื่อสาร ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานทำให้ข้อมูลที่ถูกส่งผ่านระบบสื่อสารมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งถูกนำมาใช้ในงานหลายประเภทด้วยกัน เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม เป็นต้น โดยมีวิธีการปรับแต่งสัญญาณล่วงหน้าที่ใช้หลายวิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีนั้นมีจุดเด่นและจุดด้อยในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป จากปัญหาที่กล่าวข้างต้น ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเป็นการนำเสนอวิธีการอีกรูปแบบ เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ โดยเป็นวิธีการที่ไม่มีความซับซ้อน ซึ่งหลักการพื้นฐานและวิธีการปรับแต่งสัญญาณที่นิยมใช้งานจะมีการกล่าวถึงในบทที่ 2 และวิธีการจัดกลุ่มสัญญาณแบบชดเชยสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ จะมีการนำเสนอในบทที่ 3

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาและพัฒนา วิธีการจัดกลุ่มสัญญาณแบบชดเชย เพื่อลดการเกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูล ที่อยู่ในสถานะแวดล้อมของช่องสัญญาณที่มีการจางหายเรย์ลีห์แบบเลือกความถี่

1.2.2 จำลองสถานการณ์เพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบที่นำเสนอ เพื่อให้ทราบถึงความผิดพลาดในการส่งข้อมูล ของระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ ที่อยู่ในสถานะแวดล้อมที่กำหนดไว้

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาวิจัยและพัฒนา รูปแบบการทำงานเชิงทฤษฎีสำหรับระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการส่งข้อมูลดิจิทัล ที่นำหลักการทำงานของวิธีการจัดกลุ่มสัญญาณแบบชดเชยมาใช้ เพื่อลดผลกระทบของการจางหายในสถานะแวดล้อมของช่องสัญญาณที่เป็นรูปแบบของการจางหายเรย์ลีห์

1.3.2 สร้างระบบจำลองที่จำลองระบบที่ใช้การจัดกลุ่มสัญญาณแบบชดเชย สำหรับการสื่อสารไร้สายที่อยู่ในสถานะแวดล้อมของช่องสัญญาณที่เป็นรูปแบบของการจางหายเรย์ลีห์

1.3.3 ศึกษา รูปแบบการทำงาน ของระบบการจัดกลุ่มสัญญาณแบบชดเชยที่มีการใช้งานร่วมกับระบบสื่อสารเคลื่อนที่

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระบบที่ใช้แบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพ มีสมรรถนะที่ดีขึ้นในแง่ของอัตราบิดผิดพลาด และมีความซับซ้อนไม่มากนัก เหมาะสมกับระบบการสื่อสารเคลื่อนที่โดยที่เครื่องรับมีการส่งข้อมูลป้อนกลับมาที่เครื่องส่งในอัตราที่ต่ำมาก เพื่อให้ทราบถึงลักษณะของช่องสัญญาณ ณ ช่วงเวลาขณะนั้น

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 ช่องสัญญาณและการจางหาย (Channel and Fading)^{1 2 3}

2.1.1 ช่องสัญญาณ (Channel)

ช่องสัญญาณ หมายถึง ตัวกลางที่ให้สัญญาณผ่าน จากสายอากาศเครื่องส่งไปยังสายอากาศเครื่องรับ ซึ่งมีความเป็นไปได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งที่เป็นอากาศ เป็นสายทองแดง หรือใยแก้วนำแสง โดยที่ช่องสัญญาณนั้นจะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณของข้อมูลอินพุตชุดหนึ่ง ให้เป็นสัญญาณของข้อมูลเอาต์พุตชุดหนึ่ง และในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ คลื่นสัญญาณที่ถูกส่งออกมาทางเครื่องส่งนั้น จะไม่ได้เดินทางมาถึงยังทางเครื่องรับปลายทางเป็นแนวเส้นตรง เพราะจะต้องพบกับอุปสรรคและสิ่งกีดขวางในสภาพแวดล้อมที่สัญญาณจะต้องแพร่กระจายเคลื่อนที่ผ่าน โดยที่คลื่นสัญญาณที่มาถึงทางเครื่องรับจะเกิดขึ้นจากการรวมกันของคลื่นหลายวิถีที่มาจากหลายทิศทาง ซึ่งเกิดจากการผ่านอุปสรรคและสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น สะท้อน (Reflection) การเลี้ยวเบน (Diffraction) และการกระจัดกระจาย (Scattering) และตัวอย่างของการผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น สิ่งก่อสร้าง ต้นไม้ ยานพาหนะ โดยจะเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดพหุวิถี (Multi-Path) และผลจากการเกิดพหุวิถีนี้ทำให้สัญญาณที่มาถึงทางเครื่องรับนั้น มีผลมาจากสัญญาณมากกว่าหนึ่งทาง ซึ่งในแต่ละทางนั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนที่แตกต่างกันไป ทั้งในเชิงแอมพลิจูด และเฟส สัญญาณที่ได้รับจะประกอบไปด้วยผลจากวิถีต่าง ๆ สัญญาณในแต่ละทางอาจเขียนให้อยู่ในรูปเวกเตอร์ของแอมพลิจูดและเฟสได้ ถ้าอุปกรณ์ปลายทางกำลังเคลื่อนที่หรือสภาพแวดล้อมรอบ ๆ มีการเปลี่ยนแปลงผลกระทบจากช่องสัญญาณอาจเปลี่ยนแปลงอย่างสุ่มไปตามเวลา ดังนั้น ณ ขณะหนึ่ง สัญญาณที่รับได้ อาจจะมีการรวมกันแบบหักล้าง และในอีกขณะหนึ่ง อาจจะมีการรวมกันแบบเสริม ซึ่งรูปแบบของการกระจายตัวที่ใช้กันทั่วไป ในการบอกลักษณะของการสุ่มแอมพลิจูด ที่เป็นผลมาจากช่องสัญญาณพหุวิถี จะมีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบ ได้แก่ การกระจายตัวแบบเรย์ลีห์ (Rayleigh) และการกระจายตัวแบบไรเซียน (Ricean)

¹ Marvin K. Simon and Mohamed-Slim Alouini. (2000). **Digital Communication over Fading Channels: A Unified Approach to Performance Analysis**. John Wiley & Sons, Inc.

² Matthias Pätzold. (2002). **Mobile Fading Channel**. John Wiley & Sons, Ltd.

³ Simon Haykin, Michael Moher. (2005). **Modern Wireless Communication**. Pearson Education, Inc.

ถ้าในสัญญาณที่ได้รับไม่มีองค์ประกอบตามเส้นแนวสายตา (Line-of-Sight : LOS) ซึ่งก็คือเมื่อวิถีตรงถูกบดบัง เช่น การแพร่กระจายสัญญาณระยะไกล ในสภาพแวดล้อมกลางแจ้ง (Outdoor) สัญญาณที่ได้รับจะประกอบไปด้วย องค์ประกอบที่กระจัดกระจาย (Scattered) อันเนื่องมาจากการสะท้อนที่ไม่มีวิถีหลัก ซึ่งสามารถแยกออกเป็นองค์ประกอบร่วมเฟส (In-Phase) และองค์ประกอบตั้งฉาก (Quadrature) ซึ่งวิถีแต่ละวิถีมีผลต่อทั้งสองส่วนนี้ด้วย จากทฤษฎีขีดจำกัดกลาง (Central Limit Theorem) เมื่อวิถีมีจำนวนมาก จะทำให้สามารถอนุมานได้ว่าองค์ประกอบร่วมเฟส และองค์ประกอบตั้งฉากเป็นตัวแปรสุ่มแบบเกาส์ ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ดังนั้นแอมพลิจูดทั้งหมดของสัญญาณที่ได้มาจากการบวกเวกเตอร์ขององค์ประกอบทั้งหมด จึงเป็นไปตามนิยามของการกระจายตัวแบบเรย์ลีห์ นอกจากนี้เฟสก็มีการกระจายตัวแบบเอกรูปในช่วง $[0, 2\pi]$ การกระจายตัวแบบเรย์ลีห์ของแอมพลิจูดของสัญญาณ ρ มีนิยามดังนี้

$$f_{\rho}(\rho) = \frac{\rho}{\sigma^2} e^{-\frac{\rho^2}{2\sigma^2}} \quad (2.1)$$

โดยที่ σ^2 คือ แวเรียนซ์ขององค์ประกอบร่วมเฟส และองค์ประกอบตั้งฉาก ซึ่งปริมาณทางสถิติสองค่าที่เกี่ยวข้องในที่นี้คือ ค่าเฉลี่ยและ โมเมนต์ที่สองของตัวแปรสุ่มแบบเรย์ลีห์ ซึ่งมีค่าเป็น

$$E\{\rho\} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma \quad (2.2)$$

$$E\{\rho^2\} = 2\sigma^2 \quad (2.3)$$

ถ้ามีองค์ประกอบ LOS แนวตรงดังในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor) สัญญาณที่ได้รับจะมีองค์ประกอบตาม LOS หลัก และองค์ประกอบกระเจิงอันเนื่องมาจากการสะท้อน เมื่อกำหนดให้องค์ประกอบ LOS อยู่ในแนวร่วมเฟส โดยแอมพลิจูดของสัญญาณที่ได้รับ ρ จะมีการกระจายตัวแบบไรเชียนดังนี้

$$f_{\rho}(\rho) = \frac{\rho}{\sigma^2} e^{-\frac{\rho^2 + a_0^2}{2\sigma^2}} I_0\left[\frac{a_0\rho}{\sigma^2}\right] \quad (2.4)$$

โดยที่ σ^2 แทนกำลังขององค์ประกอบร่วมเฟส และองค์ประกอบตั้งฉากกระเจิง a_0 คือ แอมพลิจูดขององค์ประกอบ LOS และ $I_0(\rho)$ เป็นฟังก์ชันเบสเซลอันดับศูนย์ (Zero Order

Modified Bessel Function) การกระจายตัวแบบไรเซียนนี้มักจะใช้ตัวประกอบ K ของไรเซียนเป็นตัวกำหนดลักษณะ ดังนี้

$$K = \frac{a_0^2}{2\sigma^2} \quad (2.5)$$

จากการวัดในสภาวะแวดล้อมภายในอาคารต่าง ๆ พบว่าโดยทั่วไปค่าของ K จะมีค่าเป็น 10 ปริมาณทางสถิติที่เกี่ยวข้องในที่นี้คือ ค่าเฉลี่ยของการกระจายตัวแบบไรเซียนซึ่งมีค่าเป็น

$$E\{\rho\} = e^{-K/2} \sqrt{\frac{\pi}{2(K+1)}} \bar{p} \left[(1+K) I_0 \left[\frac{K}{2} \right] + K I_1 \left[\frac{K}{2} \right] \right] \quad (2.6)$$

โดยที่ $I_1(K)$ แทนฟังก์ชันเบสเซลอันดับหนึ่ง (First Order Modified Bessel Function)

2.1.2 Doppler Frequency

ในระบบการสื่อสารไร้สายที่มีการเคลื่อนที่นั้น ปรากฏการณ์ที่จะเกิดขึ้นในระบบการสื่อสารไร้สาย คือ การเกิดพหุวิถี และการเกิดปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ ซึ่งก็จะส่งผลกระทบต่อ การสื่อสารของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ด้วย เนื่องจากผลที่ผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่จึงทำให้ คลื่นสัญญาณที่มาถึงนั้นมีความถี่ที่เปลี่ยนไป โดยมุมของสัญญาณที่มาถึง (Angle Of Arrival α_n) ที่ถูกนิยามให้เป็นมุมระหว่างคลื่นสัญญาณที่มาถึงวิถีที่ n และทิศทางเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน ดัง แสดงในรูปที่ 2.1 และค่าความถี่ดอปเปลอร์ของคลื่นสัญญาณวิถีที่ n จะมีค่าดังนี้

$$f_n = f_{\max} \cos \alpha_n \quad (2.7)$$

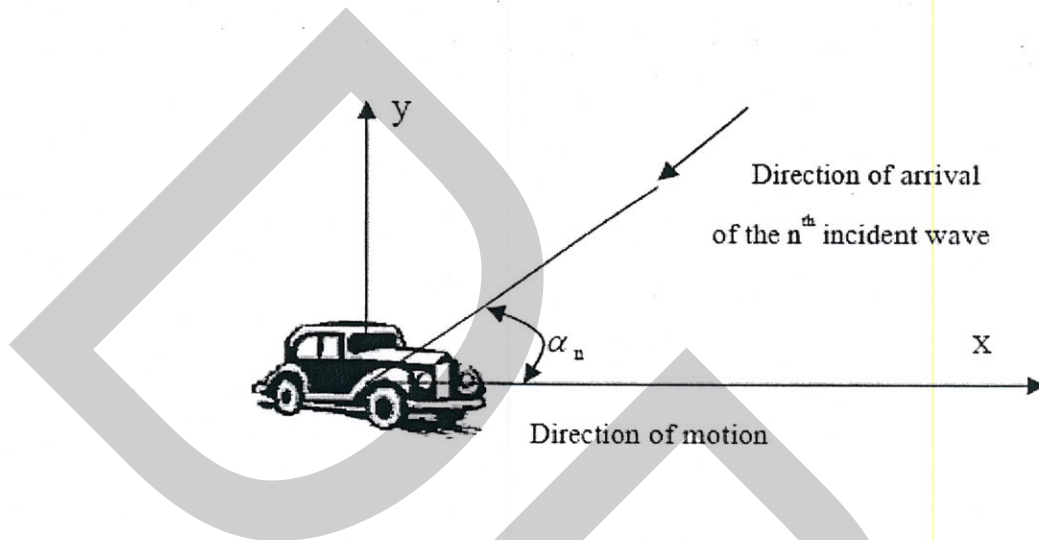
โดยที่ f_{\max} คือ ค่าความถี่ดอปเปลอร์สูงสุด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วของผู้ใช้งาน (v) และ ค่าความถี่กลางที่ใช้ในการส่งข้อมูลดังสมการที่ (2.7)

$$f_{\max} = \frac{v}{c_0} f_0 \quad (2.8)$$

เมื่อ f_0 คือ ความถี่คลื่นสัญญาณพาห้

c_0 คือ ความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที

เนื่องจากผลของปรากฏการณ์ ดอปเปลอร์นั่นเอง จะทำให้สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณที่ถูกส่งนั้น กระจายออกไประหว่างการส่งข้อมูล เมื่อพิจารณาเชิงเวลาผลของปรากฏการณ์ ดอปเปลอร์นี้จะทำให้ผลตอบสนองอิมพัลส์ (Impulse Response) ของช่องสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเวลา



รูปที่ 2.1 มุมของคลื่นสัญญาณที่มาถึงของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

2.1.3 การจางหาย (Fading)

ในระบบการสื่อสารแบบเคลื่อนที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ คุณลักษณะของช่องสัญญาณไม่อยู่ในสภาพคงที่ (Stationary) และสามารถคาดเดาได้เหมือนช่องสัญญาณในระบบสื่อสารที่เชื่อมต่อด้วยสาย (Wired Channel) กล่าวคือ ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายจะเป็นรูปแบบของช่องสัญญาณที่มีลักษณะเป็นเชิงสุ่ม (Random) และเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ทั้งนี้เนื่องจากการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณไร้สายระหว่างเครื่องรับกับเครื่องส่ง เกิดขึ้นสูงจากพื้นดินไม่มากนัก ดังนั้นสัญญาณที่ส่งอาจเกิดการสะท้อนกับสิ่งกีดขวาง ที่อยู่ในบริเวณนั้น เช่น อาคาร ต้นไม้ หรือ พื้นดิน ส่งผลให้สัญญาณที่ปลายทางได้รับ ประกอบไปด้วยสัญญาณที่สะท้อนจากหลากหลายวิธี ซึ่งมีขนาดและเฟสที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ การเคลื่อนที่ของเครื่องส่งขณะที่มีการส่งสัญญาณ หรือการที่สภาพแวดล้อมที่อยู่ระหว่างเครื่องรับส่งและเครื่องรับที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา อย่างเช่น การเคลื่อนที่ของรถยนต์ที่อยู่บริเวณรอบๆ เครื่องส่ง ก็มีผลต่อสัญญาณที่ปลายทางจะได้รับด้วยเช่นกัน ปัจจัยต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้สัญญาณที่ปลายทางได้รับนั้น มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างรวดเร็ว ทั้งในแง่ของขนาดแอมพลิจูดและเฟสของสัญญาณ ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การจางหายของสัญญาณ (Small Scaled Fading) หรือ การจางหาย (Fading) ทั้งนี้ในกรณีที่ช่องสัญญาณไร้สายมีสัญญาณการสะท้อนจากทิศทางต่างๆจำนวนมาก

แต่ไม่มีสัญญาณที่มาจากทิศทางใดเลยที่มาจากวิถีตรง (Line Of Sight : LOS) ระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ จะเรียกการจางหายที่เกิดขึ้นนี้ว่าการจางหายเรย์ลีห์ (Rayleigh Fading) ทั้งนี้เนื่องจากสภาพของเอนVELOP (Envelop) ของสัญญาณที่ได้รับมีการกระจายตัวทางสถิติเป็นแบบเรย์ลีห์ ซึ่งปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเกิดการจางหาย และรูปแบบของการจางหายมีดังนี้

2.1.4 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเกิดการจางหาย

ปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดการจางหายมีอยู่ 2 ประการ คือ

2.1.4.1 การแผ่การประวิงเวลา (Delay Spread)

เนื่องจากสัญญาณที่ถูกส่งมาจากต้นทางไปถึงปลายทาง จะพบกับอุปสรรคระหว่างการเดินทาง จะทำให้เกิดการสะท้อนและหักเห ทำให้สัญญาณที่ปลายทางได้รับประกอบด้วยสัญญาณสะท้อนจากหลายวิถี จึงทำให้สัญญาณที่ถูกส่งมาจากต้นทางถึงปลายทางมาถึงในเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นสัญญาณรวมได้ที่ปลายทาง จึงเป็นสัญญาณที่มีการประวิงเวลาไป หรืออาจเรียกได้ว่าสัญญาณเกิดการแผ่ทางเวลา (Time Spread) ผลของการประวิงเวลานั้นทำให้การเดินทาง ไปยังปลายทางของสัญญาณ ใช้เวลานานกว่าปกติ ก่อให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณใน แต่ละสัญลักษณ์ หรือการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ ทั้งนี้การประวิงเวลาของสัญญาณ จะเกิดขึ้นมากหรือน้อย ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของช่องสัญญาณจากต้นทางถึงปลายทาง

2.1.4.2 การแผ่คอปเปลอร์ (Doppler Spread)

เมื่อเครื่องรับมีการเคลื่อนที่ จะส่งผลให้สัญญาณที่เดินทางมาในแต่ละทิศทางเกิดการเลื่อนทางความถี่ เรียกว่า การเลื่อนความถี่คอปเปลอร์ (Doppler Shift) ซึ่งความถี่ที่เลื่อนไปจะมีค่าเป็นบวกหรือลบเล็กน้อยเพียงใด ก็ขึ้นอยู่กับทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องรับด้วย และนอกจากนี้การเคลื่อนที่ของวัตถุที่อยู่บริเวณรอบๆเครื่องรับก็ยังส่งผลให้มีเกิดการเลื่อนความถี่คอปเปลอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเหมือนกัน จึงกล่าวได้ว่าการแผ่คอปเปลอร์นี้ ทำให้ช่องสัญญาณมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-Varying Channel) และอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นก็ส่งผลโดยตรงต่อความเร็วของการเกิดการจางหายด้วย

2.1.5 รูปแบบของการจางหาย

การจางหายที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณไร้สายนั้น มีอยู่หลายประเภท การที่จะพิจารณาว่าเป็นการจางหายแบบใดนั้น จะพิจารณาจากลักษณะของสัญญาณที่ส่งเปรียบเทียบกับคุณลักษณะของช่องสัญญาณ (Channel Characteristic) เป็นหลักตัวแปรของช่องสัญญาณที่ใช้พิจารณาได้แก่ แบนด์วิดท์ (Bandwidth), ช่วงเวลาของสัญลักษณ์ (symbol period) หรือ อัตราการส่งสัญญาณ (Transmission Rate) ส่วนปัจจัยที่จะส่งผลต่อลักษณะของการจางหายได้แก่ การแผ่การประวิงเวลา (Delay Spread) และการแผ่คอปเปลอร์ (Doppler Spread) เมื่อพิจารณา

ถึงลักษณะของการจางหายจากการแผ่การประวิงเวลา จะได้การจางหาย 2 ประเภทคือ การจางหายแบบราบ (Flat Fading) และการจางหายแบบเลือกความถี่ (Frequency-Selective Fading) เมื่อพิจารณาถึงการแพร่ในขณะที่เป็นการแผ่คอปเปลอร์ จะส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดปรากฏการณ์การจางหายอีก 2 ประเภทคือ การจางหายแบบเร็ว (Fast Fading) และการจางหายแบบช้า (Slow Fading) ซึ่งในการพิจารณารูปแบบของการจางหายจากการแผ่การประวิงเวลา และการแผ่คอปเปลอร์ดังกล่าว ปรากฏการณ์ทั้ง 2 ประเภทนั้น เกิดขึ้นอย่างเป็นอิสระต่อกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2

2.1.5.1 การจางหายเมื่อพิจารณาจากการแผ่การประวิงเวลา

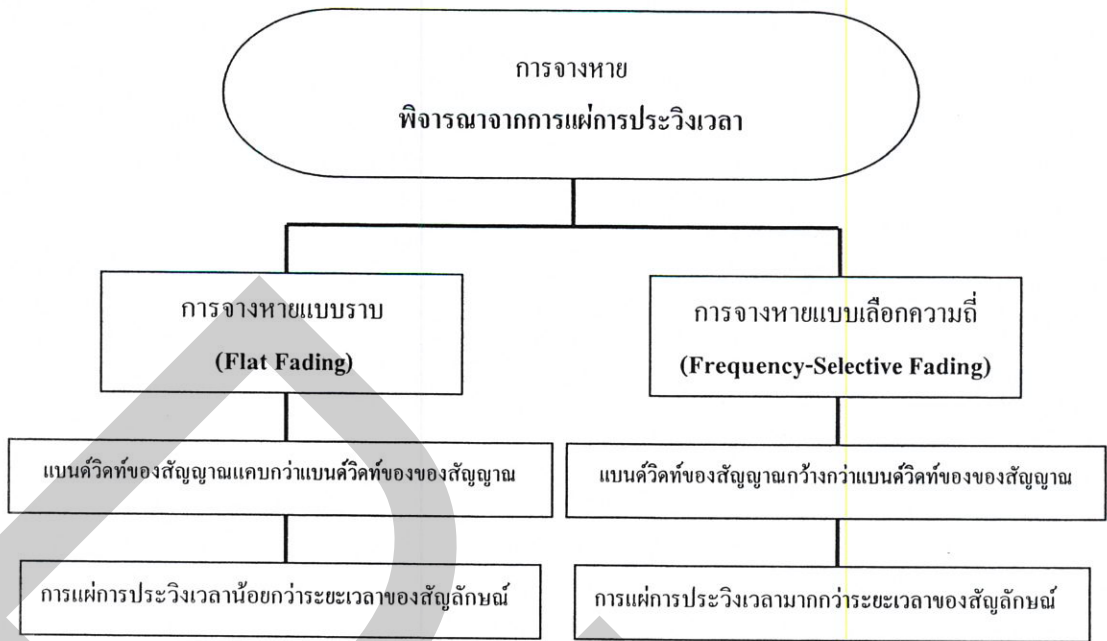
การแผ่การประวิงเวลา อันเนื่องมาจากการเดินทางของคลื่นหลายวิถีทาง (Multi-Path) ทำให้เกิดการจางหายอยู่ 2 ประเภทคือ การจางหายแบบราบและการจางหายแบบเลือกความถี่

2.1.5.1.1 การจางหายแบบราบ (Flat Fading)

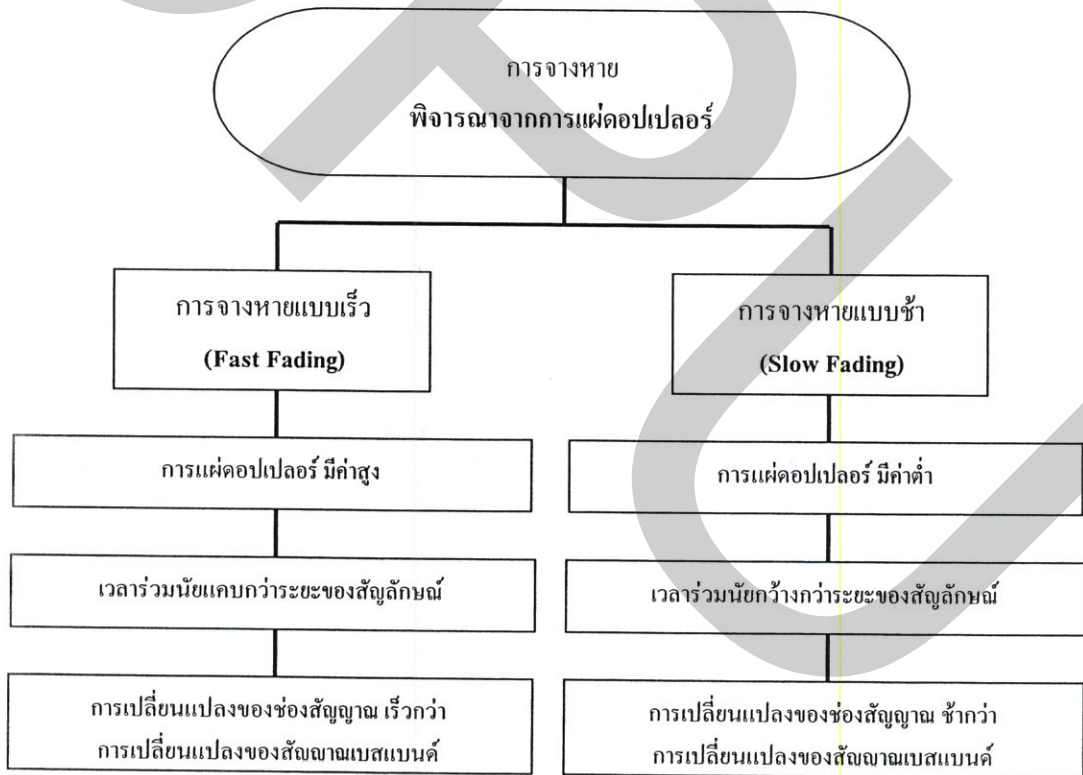
ถ้าช่องสัญญาณมีผลการตอบสนองของอัตราขยายคงที่ และมีผลการตอบสนองของเฟสที่เป็นเชิงเส้นในช่วงแบนด์วิดท์ที่กว้างกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณแล้ว จะทำให้การจางหายที่เกิดขึ้นเป็นแบบราบ กล่าวคือ สัญญาณที่ปลายทางได้รับ จะมีลักษณะเชิงสเปกตรัม (Spectrum Characteristic) ที่เหมือนเดิม แต่ค่าของกำลังของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เนื่องจากผลของการเดินทางของคลื่นหลายวิถีทางที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณ ดังนั้นผลของช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจะเป็นการจางหายแบบราบ การจางหายแบบราบนี้ จึงสามารถเรียกชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า ช่องสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูด (Amplitude Varying Channel) ซึ่งในการแจกแจงของแอมพลิจูดที่มักพบโดยทั่วไปจะเป็นรูปแบบการแจกแจงแบบเรย์ลีห์ (Rayleigh Distribution)

2.1.5.1.2 การจางหายแบบเลือกความถี่ (Frequency-Selective Fading)

ถ้าช่องสัญญาณมีผลการตอบสนองของอัตราขยายคงที่ และมีผลการตอบสนองของเฟสที่เป็นเชิงเส้นในช่วงแบนด์วิดท์ที่แคบกว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณแล้ว จะทำให้การจางหายที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบเลือกความถี่ กล่าวคือ สเปกตรัมของสัญญาณจะได้รับผลกระทบจากช่องสัญญาณที่ไม่เท่ากันทั้งหมด โดยส่วนประกอบของสเปกตรัมที่อยู่นอกช่วงแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ จะได้รับผลกระทบที่แตกต่างออกไป ซึ่งช่วงพิสัยของความถี่ที่ช่องสัญญาณ จะส่งผลกระทบต่อส่วนประกอบของสเปกตรัมโดยที่มีค่าที่เท่ากันเรียกว่า แบนด์วิดท์ร่วมนัย (Coherent Bandwidth) เมื่อช่องสัญญาณเกิดการจางหายแบบเลือกความถี่ ผลตอบสนองช่องสัญญาณจะเกิดการแผ่ออกทางเวลา ซึ่งยาวกว่าช่วงเวลาของสัญลักษณ์ ทำให้สัญญาณที่ได้รับนั้นถูกลดทอนขนาด และจะมีการประวิงทางเวลา เป็นการส่งผลให้เกิดการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ (Intersymbol Interference) เกิดขึ้น



(ก) เมื่อพิจารณาจากการแผ่การประวิงเวลา



(ข) เมื่อพิจารณาจากการแผ่คอปเปลอร์

รูปที่ 2.2 รูปแบบของการจางหาย

(ก) เมื่อพิจารณาการแผ่การประวิงเวลา

(ข) เมื่อพิจารณาจากการแผ่คอปเปลอร์

2.1.5.2 การจางหายเมื่อพิจารณาจากการแผ่ดอปเปลอร์

การเลื่อนความถี่ดอปเปลอร์ เกิดขึ้นจากการมีการเคลื่อนที่ระหว่างเครื่องรับกับเครื่องส่งนั้นจะส่งผลต่อความเร็วในการจางหายและจะทำให้เกิดการจางหายขึ้นมา การจางหายเมื่อพิจารณาจากการแผ่ดอปเปลอร์สามารถที่จะแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ การจางหายแบบเร็ว และการจางหายแบบช้า

2.1.5.2.1 การจางหายแบบเร็ว (Fast Fading)

การแผ่ดอปเปลอร์และเวลาร่วมนัย (Coherence Time) เป็นตัวแปรที่ใช่งซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงที่ตามเวลาของช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของเครื่องรับที่ เวลาร่วมนัยคือ เวลาทางสถิติที่เป็นของผลการตอบสนองที่มีต่อช่องสัญญาณที่มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง และยังบอกให้ทราบถึง ความคล้ายกันของผลการตอบสนองของช่องสัญญาณในช่วงเวลาหนึ่งอีกด้วย ซึ่งคือ การที่สัญญาณที่มาถึงเครื่องรับในเวลาต่างกันแต่ไม่เกินเวลาร่วมนัย นั้นจะได้รับผลกระทบจากช่องสัญญาณที่ใกล้เคียงกัน

การจางหายแบบเร็ว ผลการตอบสนองของช่องสัญญาณนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วภายในช่วงเวลาที่ทำการส่งสัญญาณ ดังนั้นเวลาร่วมนัยของช่องสัญญาณ จะมีค่าน้อยกว่าช่วงเวลาของสัญลักษณ์ และคุณลักษณะของการจางหายแบบนี้จะเปลี่ยนแปลงไปมาหลาย ๆ ครั้ง ในขณะที่สัญลักษณ์หนึ่งๆถูกส่งไป ซึ่งจะส่งผลให้รูปร่างของสัญญาณที่ถูกส่งออกไปในเบสแบนด์ผิดเพี้ยนไป

2.1.5.2.2 การจางหายแบบช้า (Slow Fading)

การจางหายแบบช้า เกิดขึ้นเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของผลการตอบสนองของช่องสัญญาณมีค่าน้อยกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ หรือ เวลาร่วมนัยนั้นมีค่ามากกว่าเวลาของสัญลักษณ์ ซึ่งในกรณีนี้ ช่องสัญญาณจะมีผลการตอบสนองที่คงที่ภายในช่วงเวลาหลายสัญลักษณ์ที่ถูกส่งออกไปในเบสแบนด์ ซึ่งทำให้ได้รับผลกระทบจากช่องสัญญาณนั้นติดกันเป็นช่วงยาว

2.2 วิธีการปรับแต่งสัญญาณ

สาเหตุหนึ่งที่ทำให้สัญญาณข้อมูลและข้อมูลที่ตรวจจับได้ที่เครื่องรับผิดเพี้ยนไปเนื่องจากผลของการทับซ้อนระหว่างสัญลักษณ์ที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสาร หนึ่งในวิธีการที่สามารถลดการผิดเพี้ยนของข้อมูลที่ตรวจจับได้ที่เครื่องรับคือ การปรับแต่งสัญญาณ ดังนั้นวิธีการปรับแต่งสัญญาณจึงได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดผลกระทบดังกล่าว และเป็นวิธีการที่ถูกนำไปใช้งานในระบบสื่อสารหลายประเภทด้วยกัน เช่น ระบบโทรศัพท์และอุปกรณ์ประเภทโมเด็ม เป็นต้น

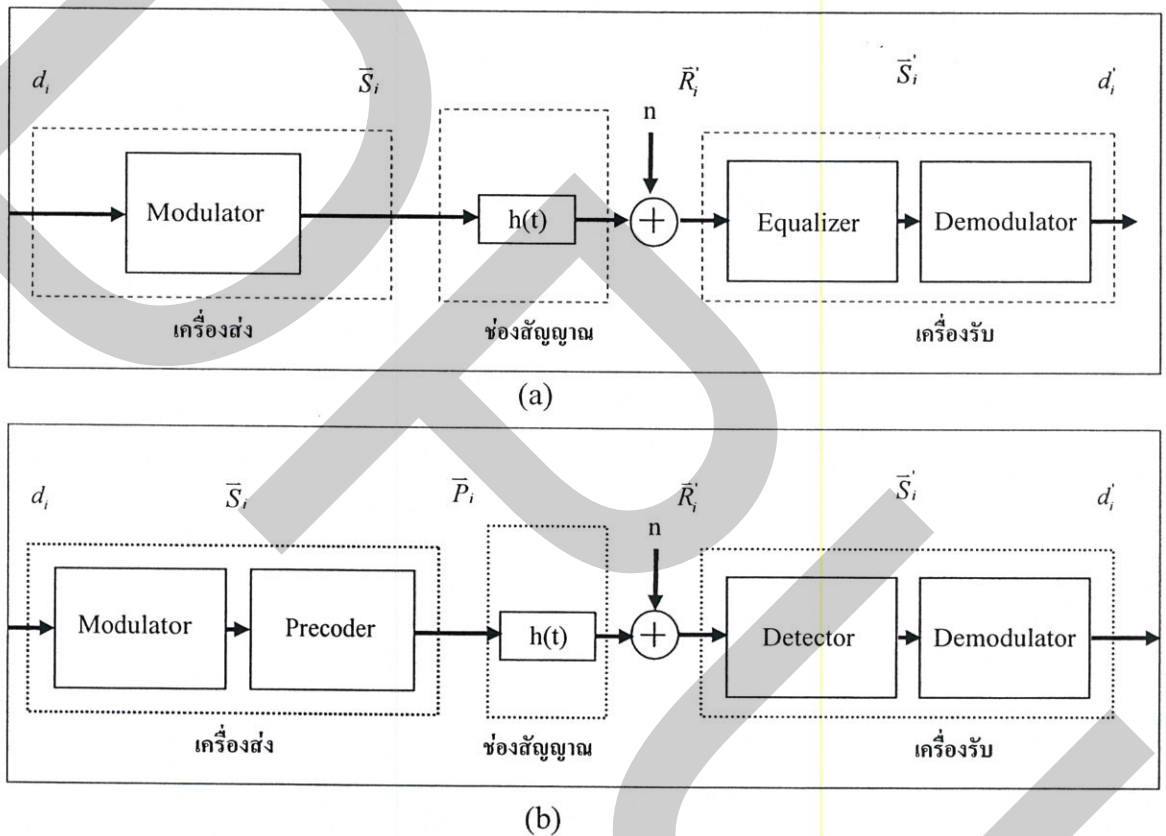
วิธีการปรับแต่งสัญญาณ สามารถแบ่งรูปแบบออกเป็น 2 รูปแบบ¹ ด้วยกันคือ วิธีการปรับแต่งสัญญาณแบบเชิงเส้นและวิธีการปรับแต่งสัญญาณแบบไม่เชิงเส้น² สำหรับวิธีการปรับแต่งสัญญาณแบบเชิงเส้น (Linear Equalization) เป็นวิธีการที่มีการนำวงจรกรองสัญญาณแบบเชิงเส้น (Linear Filter) มาใช้งาน สำหรับวิธีการปรับแต่งสัญญาณแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Equalization) มีการใช้งานวงจรแบบไม่เชิงเส้นซึ่งวิธีการปรับแต่งสัญญาณแบบไม่เชิงเส้นนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักด้วยกันคือ วิธีการ Decision Feedback Equalizer (DFE) และ วิธีการ Maximum Likelihood Sequence Estimation (MLSE) ที่มีการพิจารณาช่องสัญญาณในรูปแบบของ Finite State Machine และใช้วิธีการ เช่น Viterbi Algorithm ในการหาค่าของสัญญาณที่คาดว่าถูกส่งมา ณ เวลาต่างๆ และ Decision Feedback Equalization ที่มีการนำข้อมูลที่ตรวจจับได้ในอดีต และตัวแปรที่แสดงถึงลักษณะของช่องสัญญาณ ณ เวลานั้นๆ มาใช้ในการประมวลผลเพื่อหาค่าของข้อมูลที่รับได้ ณ เวลานั้นๆ เนื่องจากการทำงานของวิธีการปรับแต่งสัญญาณตามที่กล่าวมานั้น จะต้องส่งสัญญาณ Training Signal เพื่อหารูปแบบผลตอบสนองของช่องสัญญาณ (Channel Response) เพื่อให้ทราบถึงลักษณะของช่องสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลานั้นๆ ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนารูปแบบของวิธีการปรับแต่งสัญญาณแบบ Blind Equalization ขึ้นมา คือเป็นรูปแบบในการปรับแต่งสัญญาณที่ไม่ต้องมีการส่งสัญญาณ Training Signal เพื่อหารูปแบบผลการตอบสนองของช่องสัญญาณซึ่งเป็นวิธีการปรับแต่งสัญญาณอีกรูปแบบหนึ่งที่ถูกนำมาทำการศึกษาและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

การทำงานของวิธีการปรับแต่งสัญญาณโดยทั่วไปจะมีกระบวนการในการทำงานต่างๆ อยู่ที่เครื่องรับ (Post-Equalization) ซึ่งทำหน้าที่ในการปรับปรุงรูปแบบของสัญญาณข้อมูลที่ตรวจจับได้ให้มีความถูกต้องมากขึ้น มีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 2.3 (a) กล่าวคือ เมื่อทราบถึงรูปแบบของช่องสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไป ณ เวลานั้นๆ วงจร Equalizer จะทำการปรับปรุงรูปแบบของสัญญาณที่เข้ามาโดยเป็นการเปรียบเทียบของค่าคงที่ ที่อยู่ในวงจร Equalizer กับ Training Signal เพื่อที่จะทำการปรับระดับของสัญญาณที่มีการเข้ามาให้ดีขึ้น สำหรับการทำงานในอีกลักษณะหนึ่งของวิธีการปรับแต่งสัญญาณที่ถูกนำมาใช้งานนั้น เป็นรูปแบบในการปรับแต่งสัญญาณล่วงหน้าซึ่งมีการปรับเปลี่ยนลักษณะของสัญญาณที่ถูกส่งออกไปจากเครื่องส่งก่อนถูกรบกวนจากผลของช่องสัญญาณเพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากกระบวนการตรวจจับ ณ เครื่องรับถูกต้อง

¹ ลัญฉกร วุฒิสัทติกุลกิจ. (บรรณาธิการ). (2542). ชนิดของอีควอลไลเซอร์ : หลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

² Y. Chan, W. Zhuang. (1999, January). "Channel Precoding for Indoor Radio Communication Using Dimension Partitioning". *IEEE Transaction on Vehicular Technology*. (Vol. 48, No.1, pp.98-114).

มากขึ้นมีลักษณะการทำงานดังรูปที่ 2.3 (b) มีรูปแบบที่ใช้งานหลายรูปแบบ ซึ่งรูปแบบที่สำคัญได้แก่ วิธีการ Tomlinson-Harashima Precoding (TH-Precoding) ที่มีการนำหลักการการทำงานของวงจร Inverse Filter มาใช้ในการพัฒนา แต่เนื่องจากรูปแบบในการทำงานของวิธีการ TH-Precoding นั้น ไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานร่วมกับระบบสื่อสารที่มีการมอดูเลตแบบเฟส (Phase Modulation) ที่มีขนาดของสัญญาณคงที่จึงได้มีการพัฒนารูปแบบของการปรับแต่งสัญญาณ



รูปที่ 2.3 หลักการทำงานของวิธีการ Equalizer (a) Post-Equalization (b) Pre-Equalization

แบบ Dimension Partitioning ซึ่งเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของวิธีการปรับแต่งสัญญาณล่วงหน้าที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากวิธีการ TH-Precoding ให้สามารถใช้งานกับสัญญาณข้อมูล แบบเฟสได้และมีช่วงในการตัดสินใจ (Decision Region) ที่มากกว่าวิธีการ TH-Precoding

2.2.1 วิธีการ Precoding แบบ Tomlinson-Harashima (TH-Precoding)

วิธีการ Precoding แบบ Tomlinson-Harashima เป็นวิธีการที่ถูกพัฒนามาจากรูปแบบการทำงาน of วงจร Inverse Filter โดยการนำกระบวนการคำนวณค่า มอดูโล $-N$ (Modulo- N) เข้ามาใช้งานเพื่อให้สัญญาณเข้ามาใช้งานเพื่อให้สัญญาณข้อมูลที่ได้รับจากการคำนวณ มีค่าอยู่ใน

ขอบเขตที่จำกัดเป็นผลให้การทำงานมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น โดยมีลักษณะในการทำงานดังรูปที่ 2.4 ที่แสดงถึงหลักการของวิธีการ Precoding แบบ Tomlinson-Harashima มีการนำสัญญาณข้อมูลที่ถูกส่ง ณ เวลาต่าง ๆ มาใช้งาน โดยการนำข้อมูลผลกระทบของการทับซ้อนระหว่างสัญลักษณ์ มาลบออกจากสัญญาณที่ถูกส่งออกไป จากนั้นสัญญาณข้อมูลที่ถูกชดเชยผลกระทบของการทับซ้อนระหว่างสัญลักษณ์ ถูกนำมาผ่านกระบวนการคำนวณค่ามอดุโล $-N$ เพื่อให้สัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งออกไปในระบบสื่อสารอยู่ในช่วง $-N/2$ ถึง $N/2$ สำหรับการทำงานของภาคตรวจจับข้อมูลที่ภาครับ มีการนำสัญญาณข้อมูลที่ถูกตรวจจับได้ที่ภาครับมาทำการคำนวณค่ามอดุโล $-N$ เพื่อเปลี่ยนแปลงสัญญาณข้อมูลที่ถูกตรวจจับ ให้กลายเป็นสัญญาณข้อมูลที่สามารถนำไปใช้งานต่อไปได้

สำหรับวิธีการ Precoding แบบ Tomlinson-Harashima (TH-Precoding) นั้นเป็นวิธีการที่สามารถใช้งานร่วมกับระบบสื่อสารที่มีการมอดุเลตแบบ QAM ได้อย่างดี และเนื่องจากมีการใช้วงจรที่ใช้ในการบวกแบบมอดุโล (Modulo) ในการคำนวณ ดังนั้นจึงทำให้ค่าของสัญญาณที่ได้จากการทำงานของวงจรนั้นอยู่ในช่วงที่จำกัด แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการ TH Precoding นั้นไม่สามารถนำมาใช้งานกับระบบสื่อสารแบบ Time-Vary Fading ซึ่งผลของการจางหายของขนาดของสัญญาณจะมีผลทำให้ข้อมูลที่ปลายทางนั้นเกิดความผิดพลาดได้ง่าย และนอกจากนั้น วิธีการ TH Precoding ไม่ได้มีการออกแบบมาเพื่อใช้งานกับระบบสื่อสารที่มีการมอดุเลตแบบเฟสมอดุเลชัน (Phase Modulation) ที่มีขนาดของสัญญาณที่ได้จากการทำงานคงที่

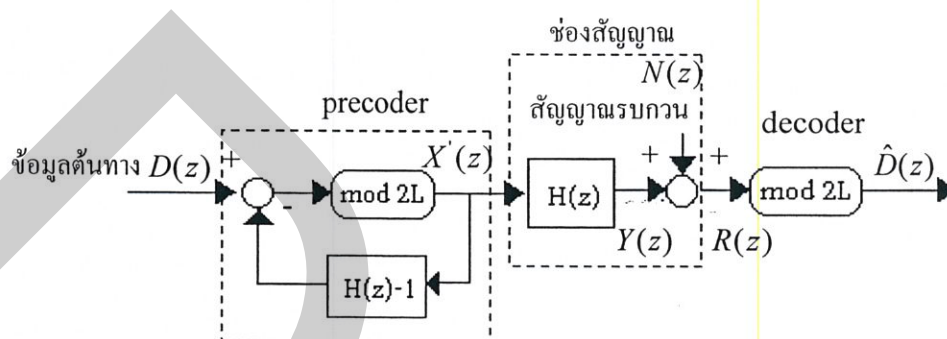
เมื่อพิจารณาในกรณีที่มีการใช้งานร่วมกับการมอดุเลตแบบ $L \times L$ QAM จะมีการใช้วงจรบวกเลขแบบมอดุโล $2L$ ในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณในส่วนของแกนจำนวนจริงและแกนจินตภาพโดยที่มีรูปแบบของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer Function) ที่ใช้งานมีค่าเท่ากับ

$$\frac{X_z}{D_z} = \frac{1}{1 + [H(z) - 1]} = H^{-1}(z) \quad (2.9)$$

โดยที่ $H(z)$ นั้นเป็นทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของช่องสัญญาณ ที่สามารถคำนวณได้จาก

$$H(z) = \sum_{k=-L2}^{L1} h_k z^{-k} \quad (2.10)$$

และเพื่อป้องกันกรณีที่ว่าจริงจะอยู่ในสถานะที่ไม่มีเสถียรภาพในกรณีที่ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของช่องสัญญาณนั้นมี Zero อยู่ในวงกลม 1 หน่วยในระนาบ z (z -plane) จึงได้มีการใช้งาน การปรับแต่งสัญญาณล่วงหน้า (Precoding) ดังที่แสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วิธีการ Tomlinson-Harashima Precoding

2.2.2 วิธีการ Precoding แบบ Dimension Partitioning

สำหรับวิธีการลดผลกระทบของการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ ที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสาร โดยใช้วิธีการ Equalization นั้น จะเป็นการนำสัญญาณข้อมูลที่รับได้ ณ ปลายทางมาผ่านกระบวนการเพื่อเปลี่ยนแปลงสัญญาณ ให้อยู่ในรูปแบบที่คาดว่าเป็นรูปแบบของสัญญาณที่ปราศจากผลของการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ โดยสำหรับรูปแบบในการทำงานนั้น จะมีรูปแบบในการทำงานหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งรูปแบบที่สำคัญในการทำงานได้แก่วิธีการ Equalization แบบ MLSE (Maximum Likelihood Sequence Estimation) ที่มีการพิจารณาช่องสัญญาณในรูปแบบของ Finite State Machine และใช้วิธีการ เช่น Viterbi Algorithm ในการหาค่าของสัญญาณที่คาดว่าถูกส่งมา ณ เวลาต่างๆ และ DFE (Decision Feedback equalization) ที่มีการนำข้อมูลที่ตรวจจับได้ในอดีต และตัวแปรที่แสดงถึงลักษณะของช่องสัญญาณ ณ เวลานั้นๆ มาใช้ในการประมวลผลเพื่อหาค่าของข้อมูลที่รับได้ ณ เวลานั้นๆ

สำหรับวิธีการ Precoding นั้น จะเป็นอีกวิธีการหนึ่งซึ่งถูกนำมาใช้สำหรับลดผลกระทบของการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ในระบบสื่อสาร โดยในการทำงานนั้น จะเป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณที่จะทำการส่งผ่านช่องสัญญาณ ให้อยู่ในอีกลักษณะหนึ่ง ซึ่งจะส่งผลทำให้เมื่อสัญญาณข้อมูลนั้น ถูกส่งไปถึงปลายทาง จะสามารถนำสัญญาณไปใช้งานได้โดยมีผลของการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ที่มีค่าลดลง โดยจะมีรูปแบบในการทำงานหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น วิธีการ Precoding แบบ Tomlinson-Harashima Precoding และ spiral curve phase precoding เป็นต้น การใช้วิธีการ Precoding ที่ใช้วิธีการ Dimension Partitioning ในการทำงาน ซึ่งเป็นวิธีการ

Precoding ที่มีการพัฒนามาจากวิธีการ Precoding แบบ Tomlinson-Harashima (TH precoding) โดยจะสามารถทำให้สามารถใช้วิธีการ precoding ร่วมกับระบบสื่อสารที่มีการมอดูเลตแบบมีขนาดของสัญญาณคงที่ เช่น QPSK ได้ และมีความสามารถในการลดผลกระทบจากความผิดพลาดเนื่องจากการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์สูงกว่ากรณีของ Tomlinson-Harashima

2.2.3 วิธีการ Dimension Partitioning

สำหรับวิธีการ Dimension Partitioning นั้น เป็นเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของวิธีการ Precoding แบบ TH Precoding ซึ่งจะสามารถทำให้วิธีการ TH Precoding นั้น สามารถทำงานภายใต้ระบบสื่อสารที่มีการมอดูเลตแบบ QPSK ซึ่งมีขนาดของสัญญาณคงที่ได้ โดยนั้น ในการทำงานจะเป็นการพิจารณาถึงการคำนวณค่าของสัญญาณที่จะถูกส่งออกไปจากภาค Precoding ในรูปแบบที่แตกต่างออกไปจากกรณีของ TH Precoding

ในกรณีที่มีการพิจารณาถึงการทำงานภายใต้ระบบสื่อสารที่มีการมอดูเลตแบบ QPSK จะได้ว่าสัญญาณข้อมูลที่จะถูกส่งออกไปในระบบสื่อสารนั้น จะมีลักษณะของสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากภาคมอดูเลตในแต่ละช่วงเวลา t_k มีค่าเท่ากับ

$$d_k = A.e^{j\theta_i} \quad (2.11)$$

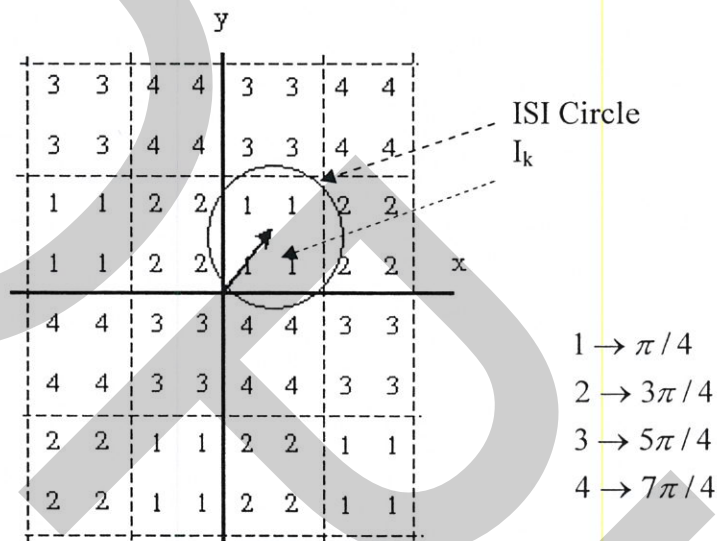
โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ A ในสมการนั้น เป็นค่าที่แสดงถึงขนาดของสัญญาณและ θ_i เป็นเฟสของสัญญาณที่ถูกส่งมาในช่วงเวลา t_k และในการทำงานของวิธีการ Precoding ซึ่งเป็นการนำสัญญาณที่จะถูกส่งมาทำการเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณ ให้อยู่ในรูปแบบใหม่ เพื่อทำให้สัญญาณที่จะถูกส่งไปถึงปลายทางนั้น ปราศจากผลของการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ หรือมีผลน้อยที่สุด โดยจะมีการคำนวณจากสมการ

$$x_k = d_k - I_k \quad (2.12)$$

โดยที่ x_k ที่ได้จากการคำนวณนั้น เป็นสัญญาณข้อมูลที่จะถูกส่งออกมาจากภาค Precoding และสำหรับ I_k นั้น เป็นตัวแปรที่ถูกนำมาลบจากสัญญาณที่ได้จากภาคมอดูเลตเพื่อชดเชยผลของการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ที่จะเกิดขึ้นระหว่างการส่งผ่านระบบสื่อสาร โดยจะเป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณผลของการแทรกสอดของสัญญาณที่ถูกส่งไปในอดีตจำนวนหนึ่ง โดยในการคำนวณหา

ค่าของสัญญาณที่ได้จากการทำงานของภาค Precoder ในแต่ละครั้งนั้น จะมีการนำวิธีการ Dimension Partitioning มาใช้ในการคำนวณหาค่าสัญญาณ

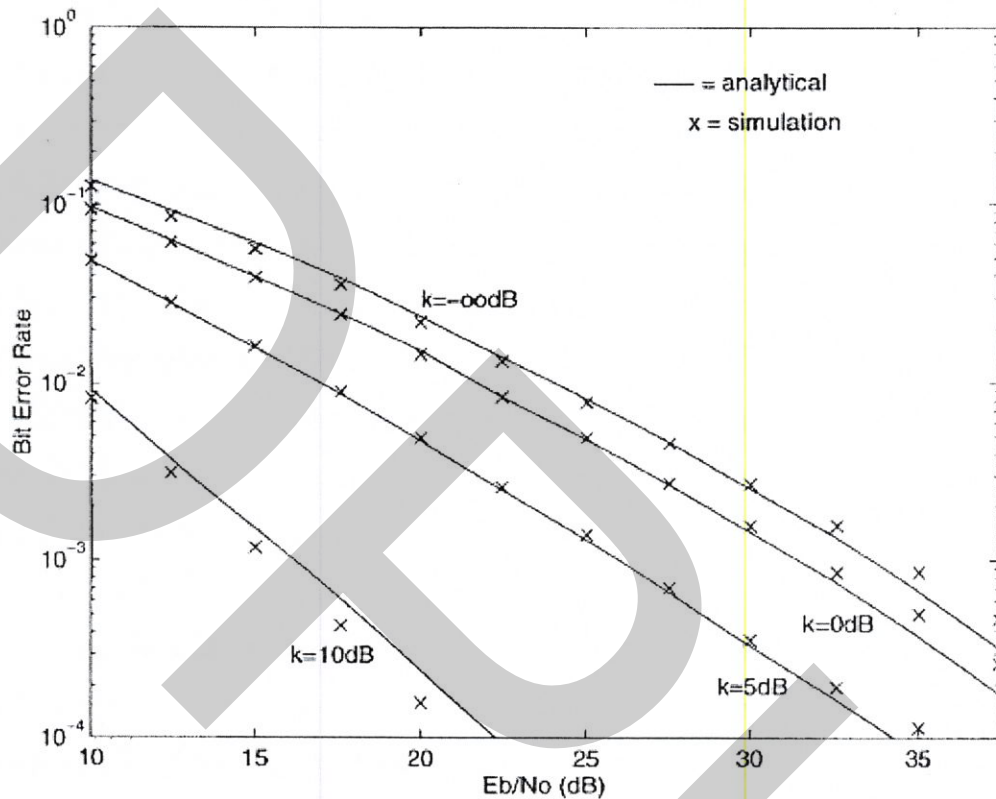
สำหรับการคำนวณโดยใช้วิธีการ Dimension Partitioning นั้น จะเป็นการพิจารณาถึงการคำนวณโดยใช้รูปภาพเข้ามาช่วยในการคำนวณในรูปแบบของ Euclidean Space การใช้งานกับการมอดูเลตแบบ QPSK แล้ว จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.5 ที่เป็นการพิจารณาถึงลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในกรณีที่มีผลของการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ I_k ที่มีค่าต่างๆ



รูปที่ 2.5 วิธีการแบ่งกลุ่มของสัญญาณ

โดยสำหรับขั้นตอนในการทำงานเพื่อคำนวณหาสัญญาณที่จะถูกส่งออกมาในแต่ละช่วงนั้น จะมีการนำค่าที่ได้จากการประมาณค่ารูปแบบของช่องสัญญาณมาใช้ในการคำนวณหาผลของการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์, I_k จากนั้น นำค่าที่ได้มาใช้เป็นจุดศูนย์กลางในการสร้างรูปวงกลมที่ใช้สำหรับแสดงสัญญาณข้อมูลต่างๆ ที่จะถูกส่งออกไป ซึ่งรูปวงกลมดังกล่าวนี้ จะถูกเรียกว่า ISI-Circle หลังจากนั้น จะมีการคำนวณเพื่อเลือกจุดที่เหมาะสมที่สุด (Best Signaling Point) ในการทำงานที่แสดงถึงข้อมูลที่จะส่ง และจะมีการนำค่าที่เลือกนั้นมาลบด้วยค่าของการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ ซึ่งจะถูส่งออกไปเป็นผลลัพธ์ของภาค Precoder ณ เวลานั้น และสำหรับการทำงานของเครื่องรับนั้น จะมีการนำสัญญาณข้อมูลที่รับได้ในแต่ละช่วงเวลามาทำการพิจารณาว่าอยู่บนตำแหน่งใด บน Euclidean Spaces และทำการหาว่าตำแหน่งของข้อมูลนั้น อยู่ในช่วงที่จะแสดงถึงข้อมูลสัญญาณใด เพื่อส่งค่าดังกล่าวออกเป็นผลลัพธ์ของภาคตรวจจับ ดังนั้นหลักการเปลี่ยนแปลงสัญญาณของภาค Precoding นั้น จะเป็นการเปลี่ยนลักษณะของสัญญาณที่จะส่ง ในแต่

ระยะเวลา เพื่อให้สัญญาณที่รับได้ ณ ปลายทางนั้น ตกลงบนช่วงที่แสดงถึงข้อมูลที่ส่งมา โดยสัญญาณที่ส่งนั้น จะต้องมีขนาดของสัญญาณคงที่



รูปที่ 2.6 BER for absolute phase-encoded QPSK using the dimension partitioning precoder

2.3 อีควอลไลเซชัน (Equalization)

การส่งผ่านสัญญาณในระบบสื่อสารแบบดิจิทัล มีปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่เรียกว่าการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ (Intersymbol Interference : ISI) ซึ่งเกิดจากคลื่นกระทบหลายวิถี (Multipath) ที่เกิดขึ้นภายในช่องสัญญาณที่สัญญาณส่งผ่าน ผลกระทบของ ISI ทำให้สัญญาณที่ส่งผ่านมีรูปร่างที่ผิดเพี้ยนไป และมีผลทำให้เกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลที่รับได้ที่เครื่องรับ หลังจากผ่านกระบวนการดึงคู่อสัญญาณคืนกลับมา วิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการจัดการกับปัญหา ISI นี้ก็คือการใช้วงจรที่เรียกว่าอีควอลไลเซอร์ (Equalizer) ไปติดตั้งที่เครื่องรับสัญญาณ ซึ่งอีควอลไลเซอร์มีหน้าที่ในการปรับแก้รูปสัญญาณให้มีคุณลักษณะที่ดีขึ้นเพื่อให้การดึงคู่อสัญญาณเดิมกลับคืนมามีความถูกต้องมากขึ้น เนื่องจากคุณลักษณะของช่องสัญญาณที่มีการแปรเปลี่ยนไปตามเวลา ดังนั้นโดยปกติแล้ว อีควอลไลเซอร์ที่ใช้สามารถปรับตัวได้ นั่นคือคุณสมบัติหรือพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรจะต้องสามารถแปรเปลี่ยนตามเวลาได้ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพของ

ช่องสัญญาณที่มักจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ดังนั้นจึงเรียกว่าอะแดปทีฟอีควอลไลเซอร์ (Adaptive Equalizer)

หลักการทำงานของอะแดปทีฟอีควอลไลเซอร์จะแบ่งการส่งสัญญาณออกเป็น 2 ช่วง สลับกันตลอด ในช่วงแรกเครื่องส่งจะส่งชุดบิตที่เรียกว่าลำดับฝึกฝน (Training Sequence) ไปให้เครื่องรับซึ่งรูปแบบของชุดบิตที่เวลานี้เครื่องรับจะทราบค่าอยู่ล่วงหน้าแล้ว ชุดบิตเหล่านี้อาจจะมีรูปแบบตายตัวหรืออาจจะเป็น Pseudorandom Binary ก็ได้ ในช่วงที่เครื่องรับได้รับชุดบิตดังกล่าว เครื่องรับก็จะทำการคำนวณ และปรับค่าสัมประสิทธิ์ของฟิลเตอร์ในอีควอลไลเซอร์ที่เหมาะสม สำหรับจัดการกับสภาพของช่องสัญญาณในขณะนั้น เมื่อเครื่องส่งสิ้นสุดการส่งชุดลำดับฝึกฝนก็จะเข้าสู่ช่วงที่สอง ซึ่งจะเป็นช่วงที่เครื่องส่งจะทำการส่งบิตข้อมูลของผู้ใช้ตามไป ในช่วงนี้เครื่องรับจะใช้อีควอลไลเซอร์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้คำนวณไว้มาใช้ในการดึงสัญญาณข้อมูลกลับมาเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากที่สุดจะเห็นว่าคุณลักษณะของอีควอลไลเซอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพของช่องสัญญาณซึ่งมักจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและสามารถแก้ปัญหาของ ISI ได้มีประสิทธิภาพ

2.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรอีควอลไลเซอร์

วงจรอีควอลไลเซอร์จะประกอบด้วยอุปกรณ์หนึ่งช่วงเวลาจำนวน N ชุด วงจรคุณสัญญาณจำนวน $N + 1$ ชุด และวงจรบวกสัญญาณ โดยพิจารณาจากรูปที่ 4.1 เป็นการแสดงโครงสร้างการทำงานของวงจรอีควอลไลเซอร์ในช่วงเวลาที่อยู่ระหว่างการปรับค่าสัมประสิทธิ์การคูณ (Weights) ที่อินพุตของวงจรจะมีสัญญาณ y_k ค่าใหม่เข้าทุก ๆ ช่วงเวลา ค่าของ y_k นี้มีขนาดที่ไม่แน่นอนเพราะการแปรเปลี่ยนได้ตามสภาพของช่องสัญญาณและปริมาณของสัญญาณรบกวนในช่องสัญญาณในขณะนั้น ๆ ดังนั้นจึงกล่าวว่า y_k เป็นกระบวนการสุ่ม โครงสร้างของวงจรที่ต่อเชื่อมในลักษณะนี้มีชื่อเรียกว่าตัวกรองความถี่แบบ Transversal ค่าสัมประสิทธิ์ของการคูณสัญญาณ w แต่ละตัวจะมีตัวแปรเวลา k ห้อยอยู่ด้วย เพื่อบ่งบอกว่าค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้แปรเปลี่ยนตามเวลาในช่วงที่ระบบกำลังหาค่าที่เหมาะสมค่า w เหล่านี้ อาจจะมีการปรับเปลี่ยนในทุก ๆ ครั้งที่มีการเพิ่มขึ้นของค่า k หรืออาจจะเปลี่ยนแปลงหลังจากที่มีข้อมูลอินพุตจำนวนหนึ่งบิตออก

กรรมวิธีหรืออัลกอริทึมในการปรับค่าสัมประสิทธิ์จะขึ้นอยู่กับค่า e_k เป็นสำคัญ โดย e_k คือ ผลต่างที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างค่า d_k กับค่า \hat{d}_k ซึ่งโดยทั่วไปอัลกอริทึมที่ใช้ก็จะพยายามปรับสัมประสิทธิ์การคูณในทิศทางที่ทำให้ค่าฟังก์ชันต้นทุน (Cost Function) ที่สนใจมีขนาดลดต่ำลงเรื่อย ๆ ค่าฟังก์ชันต้นทุนที่นิยมใช้ในการปรับค่าสัมประสิทธิ์แบบหนึ่งก็คือค่าผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error: MSE) ระหว่างค่าของสัญญาณที่ต้องการกับค่าของสัญญาณที่ได้จากวงจรอีควอลไลเซอร์สำหรับตัวอย่างของอัลกอริทึมที่ใช้ในการคำนวณและปรับค่า

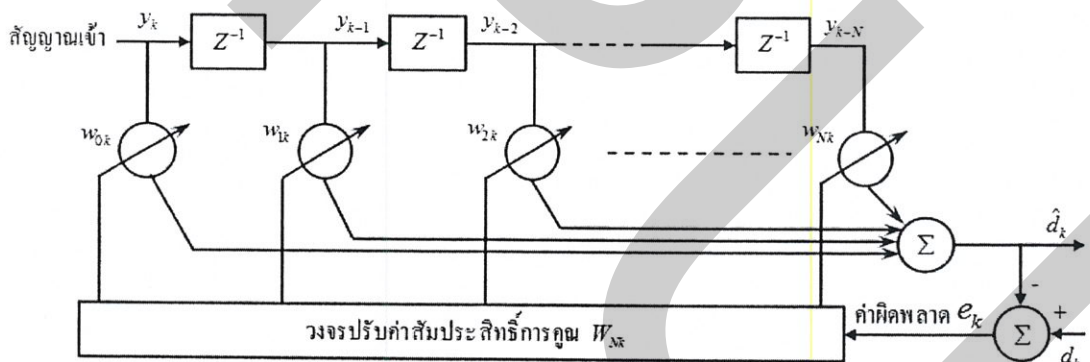
สัมประสิทธิ์คือวิธี Least Mean Squares (LMS) โดยในการคำนวณและปรับค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมจะอาศัยสมการต่อไปนี้

$$\text{New weight} = \text{Previous weights} + (\text{constant}) \times (\text{Previous error}) \times (\text{Current input})$$

โดยที่

$$\text{Previous error} = \text{Previous desired output} - \text{Previous actual output}$$

สำหรับค่าคงที่ (Constant) ที่ใช้นั้นสามารถที่จะปรับเปลี่ยนไปได้ในการคำนวณแต่ละรอบเพื่อควบคุมอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ให้เหมาะสม การคำนวณปรับค่าสัมประสิทธิ์ของการคูณจะกระทำซ้ำไปเรื่อยๆ หลายรอบจนกระทั่งค่าสัมประสิทธิ์เริ่มจะอยู่ตัวและเข้าใกล้ค่าที่ดีที่สุด เมื่อเราได้ค่าที่เหมาะสมแล้วกระบวนการปรับค่าสัมประสิทธิ์ก็จะหยุดลง ช่วงเวลาถัดมาก็จะใช้ในการรับส่งบิตข้อมูลของผู้ใช้ ในช่วงเวลานี้จะใช้ชุดสัมประสิทธิ์ที่หาได้จนกระทั่งมีความจำเป็นที่จะต้องปรับค่าสัมประสิทธิ์ใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 2.7 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรรีคควอไลเซอร์ในช่วงเวลาที่มีการปรับชุดสัมประสิทธิ์การคูณ

จากโครงสร้างของวงจรรีคควอไลเซอร์ในรูปที่ 2.7 สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมได้โดยวิธีการต่อไปนี้

กำหนดให้เวกเตอร์ y_k แทนสัญญาณอินพุตของวงจรรีคควอไลเซอร์

$$y_k = [y_k \quad y_{k-1} \quad y_{k-2} \cdots y_{k-N}]^T \quad (2.13)$$

และให้เวกเตอร์ w_k แทนค่าสัมประสิทธิ์การคูณของวงจรรีควอไลเซอร์

$$w_k = [w_k \quad w_{k-1} \quad w_{k-2} \cdots w_{k-N}]^T \quad (2.14)$$

สามารถแสดงสัญญาณที่เอาต์พุตซึ่งมีค่าเท่ากับ $\hat{d}_k = \sum_{n=0}^N w_{nk} y_{k-n}$ ในรูปของเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$\hat{d}_k = \sum_{n=0}^N w_{nk} y_{k-n} \quad (2.15)$$

ในช่วงที่วงจรรอบค่าของชุดข้อมูลที่แท้จริงอยู่แล้วค่าของ d_k จะกำหนดให้เท่ากับ x_k เพราะฉะนั้นค่าความแตกต่าง หรือค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีค่าเป็น

$$e_k = d_k - \hat{d}_k = x_k - \hat{d}_k \quad (2.16)$$

จากสมการ (2.15) จะได้

$$e_k = x_k - y_k^T w_k = x_k - w_k^T y_k \quad (2.17)$$

$$|e_k|^2 = x_k^2 + w_k^T y_k y_k^T w_k - 2x_k y_k^T w_k \quad (2.18)$$

$$E[|e_k|^2] = E[x_k^2] + w_k^T E[y_k y_k^T] w_k - 2E[x_k y_k^T] w_k \quad (2.19)$$

การคำนวณ $E[|e_k|^2]$ ในทางปฏิบัติจะใช้เวลาหาค่าเฉลี่ยทางเวลาแทน และสังเกตว่าค่าสัมประสิทธิ์การคูณ w_k มิได้ถูกนำไปใช้การหาค่าเฉลี่ยด้วย เพราะจะสมมติว่าค่า w_k ที่ใช้อยู่เป็นค่าที่ได้รับการปรับจนเหมาะสมแล้วและไม่เปลี่ยนไปตามเวลา

การกำหนดค่าเวกเตอร์ p แทนสหสัมพันธ์ไขว้ (Cross Correlation) ระหว่างสัญญาณที่ต้องการกับสัญญาณอินพุต

$$p = E[x_k y_k] = E[x_k y_k \quad x_k y_{k-1} \quad x_k y_{k-2} \cdots x_k y_{k-N}]^T \quad (2.20)$$

และกำหนดให้เมตริกซ์ R แทนเมตริกซ์สหสัมพันธ์ของอินพุต (Input Correlation Matrix) ที่มีขนาดเท่ากับ $(N+1) \times (N+1)$ หรือบางที่จะเรียกว่า โคแวนเรียนซ์เมตริกซ์ของอินพุต (Covariance Matrix)

$$R = E[y_k y_k] = E \begin{bmatrix} y_k^2 & y_k y_{k-1} & y_k y_{k-2} & \cdots & y_k y_{k-N} \\ y_{k-1} y_k & y_{k-1}^2 & y_{k-1} y_{k-2} & \cdots & y_{k-1} y_{k-N} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{k-N} y_k & y_{k-N} y_{k-1} & y_{k-N} y_{k-2} & \cdots & y_{k-N}^2 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

ถ้าหาก x_k และ y_k มีคุณลักษณะที่ไม่แปรตามเวลา จะได้ว่าเทอมต่าง ๆ ใน p และ R ก็จะไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จากสมการข้างต้นจะได้ว่า

$$\text{Mean Square Error} = \xi = E[x_k^2] + w^T R w - 2p^T w \quad (2.22)$$

จากสมการ (2.22) สามารถหาค่าเวกเตอร์ w ที่ทำให้ค่า MSE มีขนาดต่ำที่สุด (Minimum MSE หรือ MMSE) ได้โดยการหาค่าเกรเดียนต์ของ ξ

$$\nabla = \frac{\partial \xi}{\partial w} = \left[\frac{\partial \xi}{\partial w_0} \quad \frac{\partial \xi}{\partial w_1} \quad \cdots \quad \frac{\partial \xi}{\partial w_N} \right]^T \quad (2.23)$$

เมื่อหาอนุพันธ์ของแต่ละเทอมโดยเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การคูณแต่ละค่าจนครบก็จะได้

$$\nabla = 2Rw - 2P \quad (2.24)$$

กำหนดให้ $\nabla = 0$ เพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดของ MSE ผลลัพธ์ที่ได้คือชุดสัมประสิทธิ์ \hat{w} ที่เหมาะสม

$$\hat{w} = R^{-1}p \quad (2.25)$$

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้ไปแทนลงในสมการ (2.22) จะได้

$$MMSE = \xi_{\min} = E[x_k^2] - p^T R^{-1} p = E[x_k^2] - p^T \hat{w} \quad (2.26)$$

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 แนวทางการวิจัยและพัฒนา

ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ เป็นรูปแบบหนึ่งของระบบสื่อสารสำหรับส่งข้อมูลแบบแอนะล็อกหรือดิจิทัลจากเครื่องส่งไปสู่เครื่องรับผ่านช่องสัญญาณแบบไร้สาย ตัวอย่างเช่น การส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Microwave) ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม และ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น แต่เนื่องจากคุณลักษณะของช่องสัญญาณไร้สายที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามองค์ประกอบต่างๆ ได้ เช่น สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เครื่องรับหรือส่ง และ อุณหภูมิ เป็นต้น จึงส่งผลให้สัญญาณข้อมูลที่ถูกตรวจจับได้ ณ เครื่องรับ อาจมีลักษณะที่ผิดเพี้ยนไป ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีและวิธีการต่างๆ ขึ้นมาเพื่อรองรับปัญหาดังกล่าว ผลกระทบของสัญญาณรบกวนและการทับซ้อนระหว่างสัญญาณ จึงมีการจำลองลักษณะของช่องสัญญาณ เพื่อให้เข้าใจถึงปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณไร้สาย และความจำเป็นในการนำหลักการของวิธีการเข้ารหัสและวิธีการปรับแต่งสัญญาณเข้ามาใช้เพื่อลดผลกระทบดังกล่าว

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับชดเชยกลุ่มของสัญญาณ ในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่เพื่อลดความผิดพลาดของบิตข้อมูลที่ทำกรส่งระหว่างเครื่องรับกับเครื่องส่งโดยแบ่งขั้นตอนในการวิจัยออกได้ดังนี้

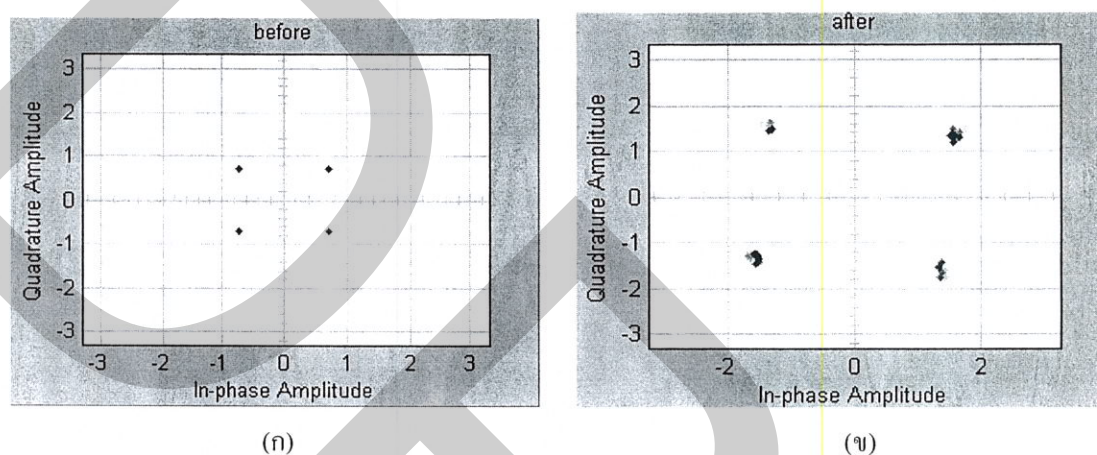
3.1.1 การวิเคราะห์ผลกระทบของการส่งข้อมูลในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่

ก่อนทำการออกแบบระบบเพื่อสร้างบล็อกการจัดกลุ่มสัญญาณแบบชดเชยนั้น จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์รูปแบบการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณที่มีการจางหายในรูปแบบต่างๆ เพื่อที่จะทำให้ทราบถึงปัญหา และแนวทางที่จะแก้ปัญหานั้น ในงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์ช่องสัญญาณผ่าน โปรแกรมจำลองเพื่อทำการสังเกตพฤติกรรม

จากการสังเกตพฤติกรรมของการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณที่มีการจางหายแสดงให้เห็นผลกระทบของการจางหายนั้นทำให้ข้อมูลที่ทำกรส่งมีการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดและเฟส รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏขึ้นนั้นมีทิศทางที่ไม่แน่นอน

ในการจำลองช่องสัญญาณที่มีการจางหายเรย์ลีห์แบบเลือกความถี่ เพื่อที่จะทำให้การจำลองระบบมีความใกล้เคียงกับช่องสัญญาณที่เป็นจริงในระบบการสื่อสาร ในกลุ่มผู้ที่ศึกษาและ

วิจัยในระบบของการสื่อสารไร้สายจึงได้มีการกำหนด รูปแบบของช่องสัญญาณที่เป็นมาตรฐาน^{1 2 3} เพื่อที่จะใช้พารามิเตอร์ต่างในการศึกษาและจำลองระบบการสื่อสารไร้สาย ในงานวิจัยนี้ในการ กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของช่องสัญญาณที่มีการจางหายเรย์ลีห์แบบเลือกความถี่ ได้นำรูปแบบ ช่องสัญญาณที่เป็นช่องสัญญาณที่ได้กำหนดการอ้างอิงจาก^{4 5}



รูปที่ 3.1 พฤติกรรมของการส่งข้อมูลผ่านช่องสัญญาณที่มีการจางหาย

(ก) พฤติกรรมของการส่งข้อมูลก่อนผ่านช่องสัญญาณที่มีการจางหาย

(ข) พฤติกรรมของการส่งข้อมูลหลังผ่านช่องสัญญาณที่มีการจางหาย

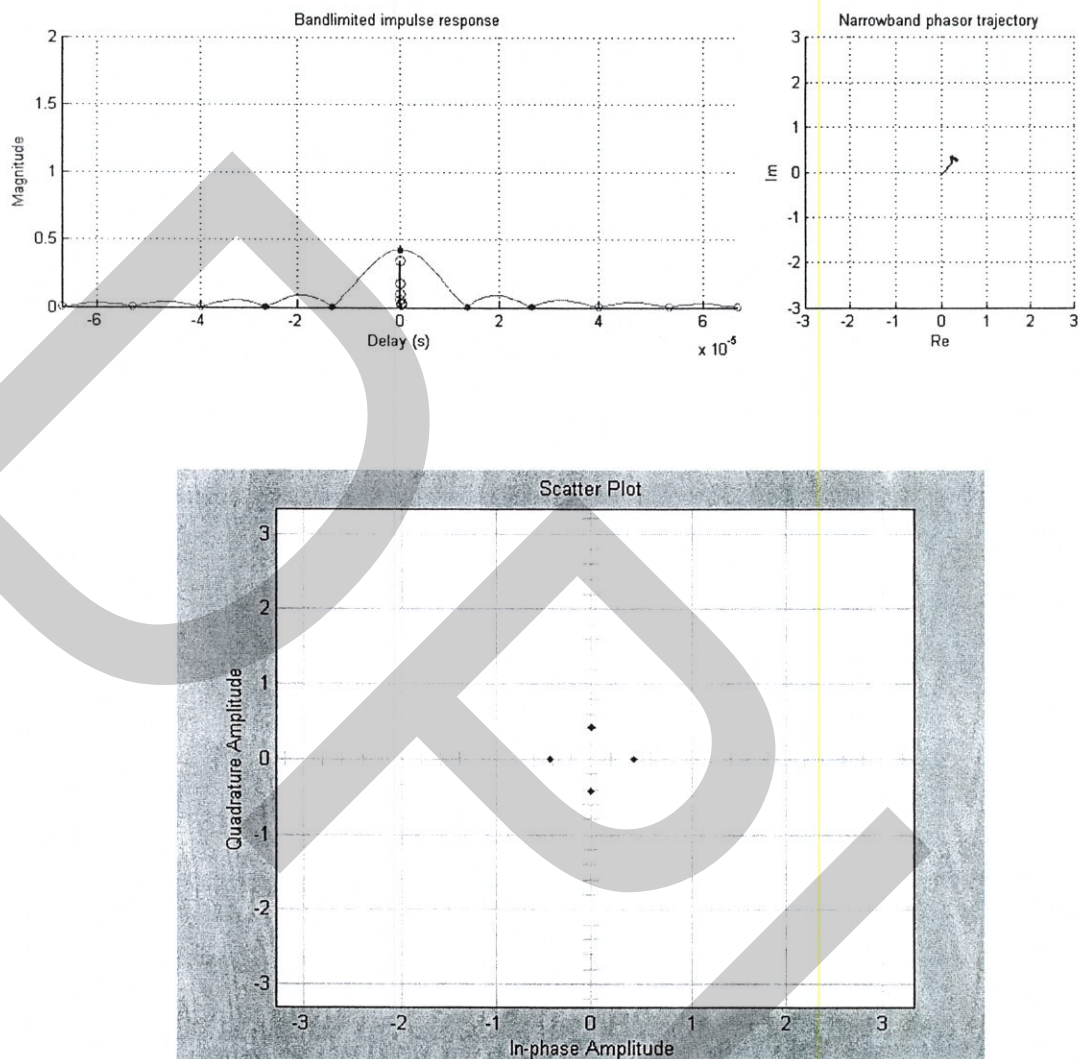
¹ Fakhrol Alam, Brian D. Woerner, and W.H. Tranter. "BER Simulation for WCDMA System in Multipath Fading Channel". (Research Report). Mobile and Portable Radio Research Group Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg. USA.

² Tommi Jämsä, Juha Meinilä, and Pekka. **Overview of WINNER Channel Modelling Activities**. (Wireless World Research Forum). Iektrobit Testing Ltd, Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zürich Hassan El-Sallabi, Helsinki University of Technology.

³ Malcom W. Oliphant. (1999, August) "The Mobile Phone Meets the Internet". **IEEE Spectrum**, (Vol.36, Issue.8 pp. 20-28).

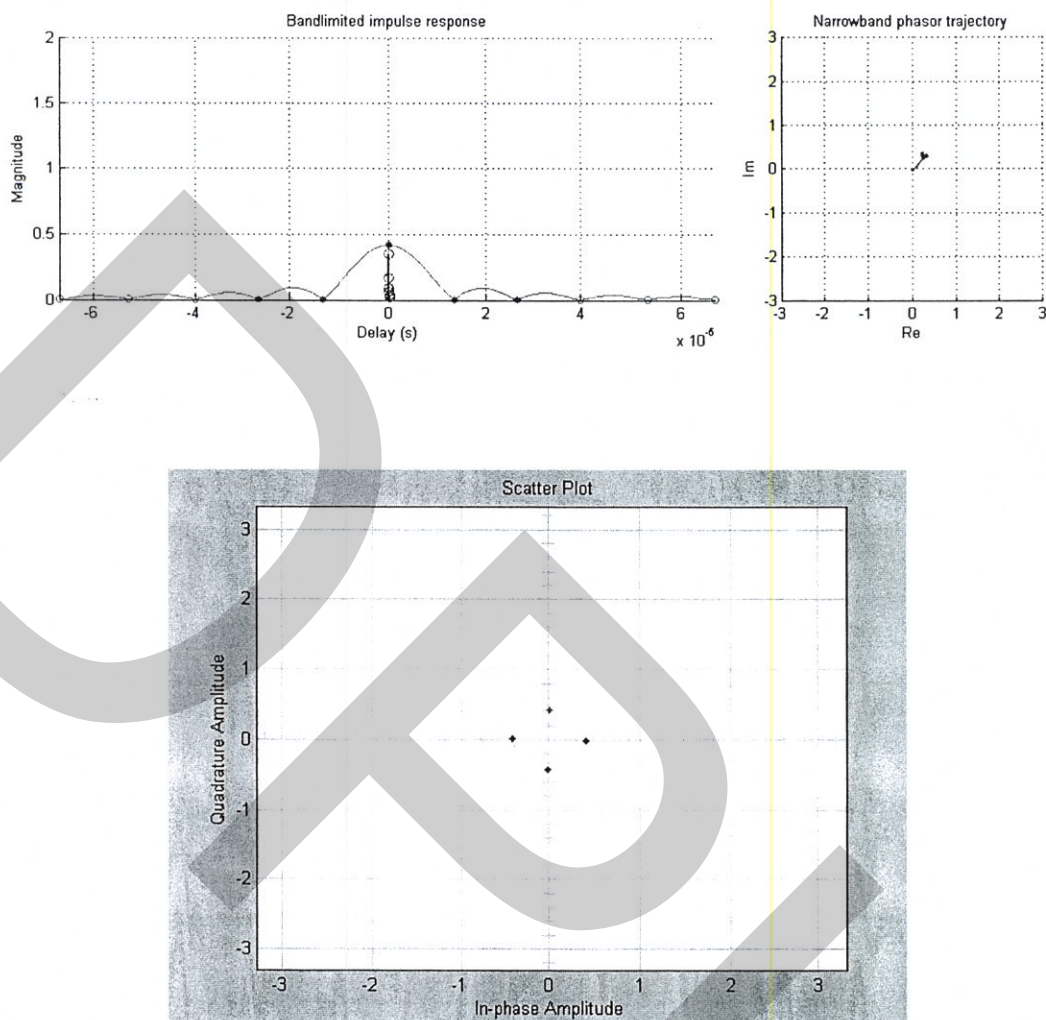
⁴ Ibid

⁵ UMTS WORLD NEWS INFO FACTS. WCDMA (UMTS). Retrieved February 10, 2010, from <http://www.umts-world.com/technology/wcdma.htm>.



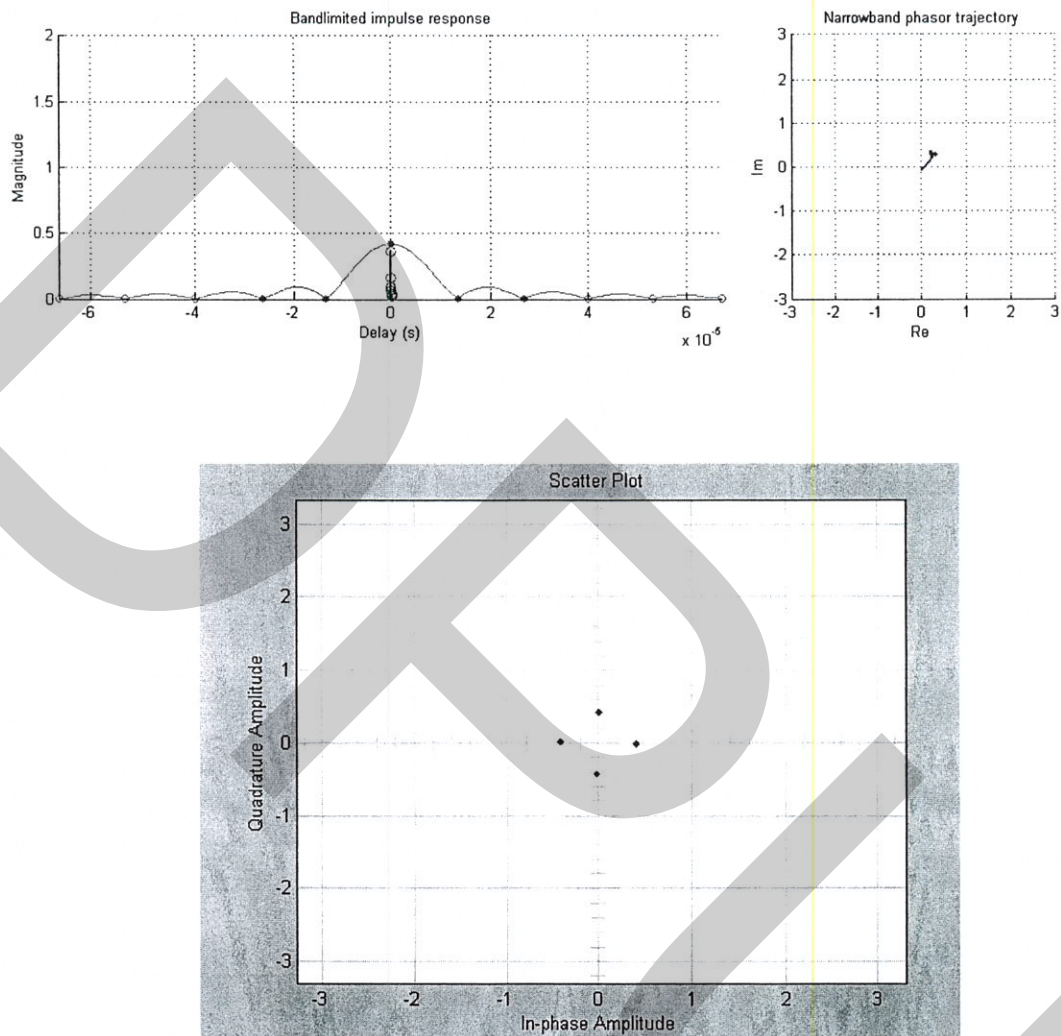
รูปที่ 3.2 ผลของแอมพลิจูด เฟส และ Constellation ในการจำลองช่องสัญญาณการจางหายเรย์ลีห์แบบเลือกความถี่เมื่อเริ่มการจำลองผ่านไป 52 ms โดยใช้พารามิเตอร์ (Doppler Frequency = 50 Hz และ Delay Profile ¹)

¹ Tommi Jämsä, Juha Meinilä, and Pekka. **Overview of WINNER Channel Modelling Activities.** (Wireless World Research Forum). Iktobit Testing Ltd, Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zürich Hassan El-Sallabi, Helsinki University of Technology.



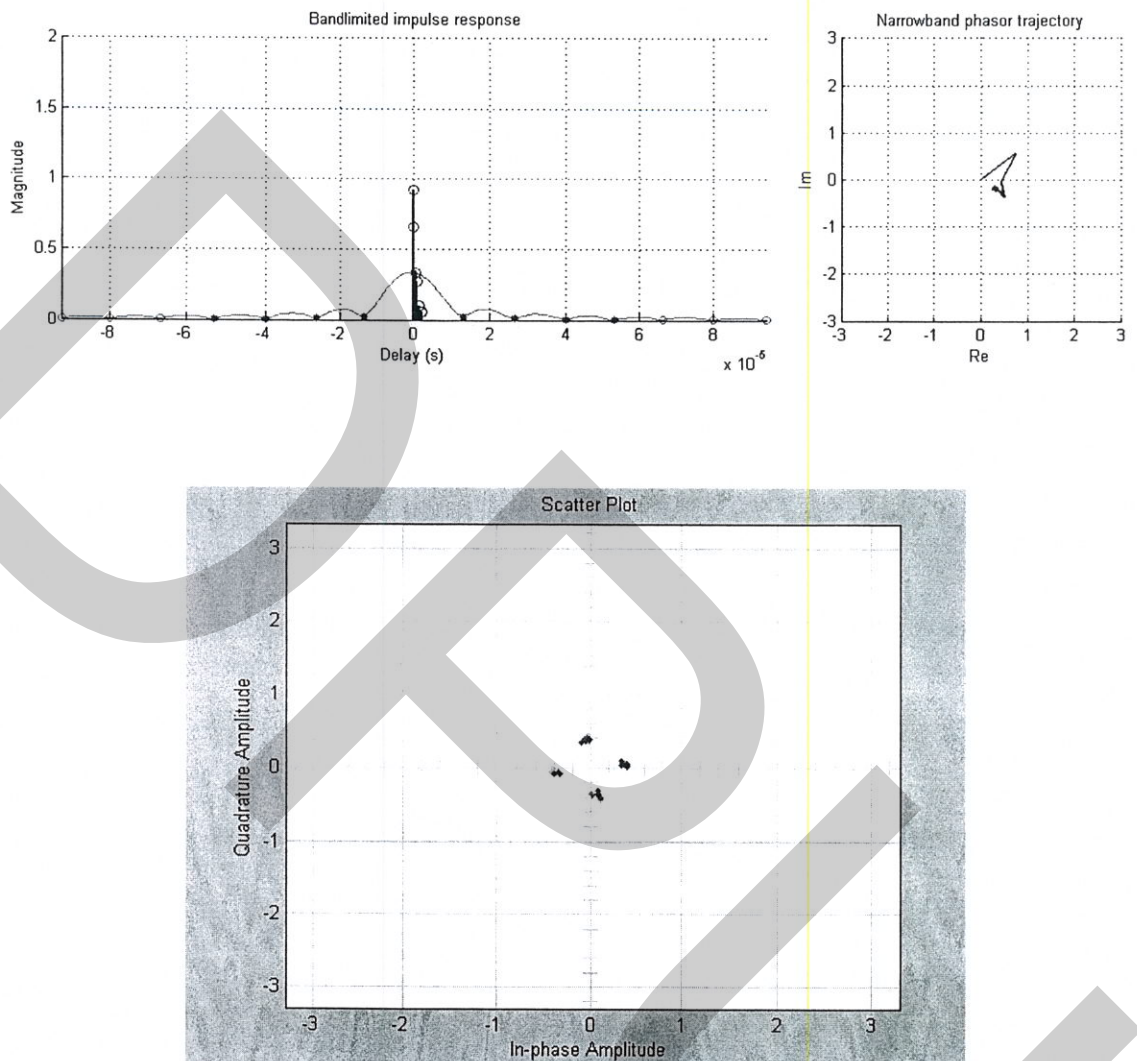
รูปที่ 3.3 ผลของแอมพลิจูด เฟส และ Constellation ในการจำลองช่องสัญญาณการจางหายเรย์ลีห์แบบเลือกความถี่เมื่อเริ่มการจำลองผ่านไป 60 ms โดยใช้พารามิเตอร์ (Doppler Frequency = 50 Hz และ Delay Profile¹)

¹ Tommi Jämsä, Juha Meinilä, and Pekka. **Overview of WINNER Channel Modelling Activities.** (Wireless World Research Forum). Iektrobit Testing Ltd, Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zürich Hassan El-Sallabi, Helsinki University of Technology.



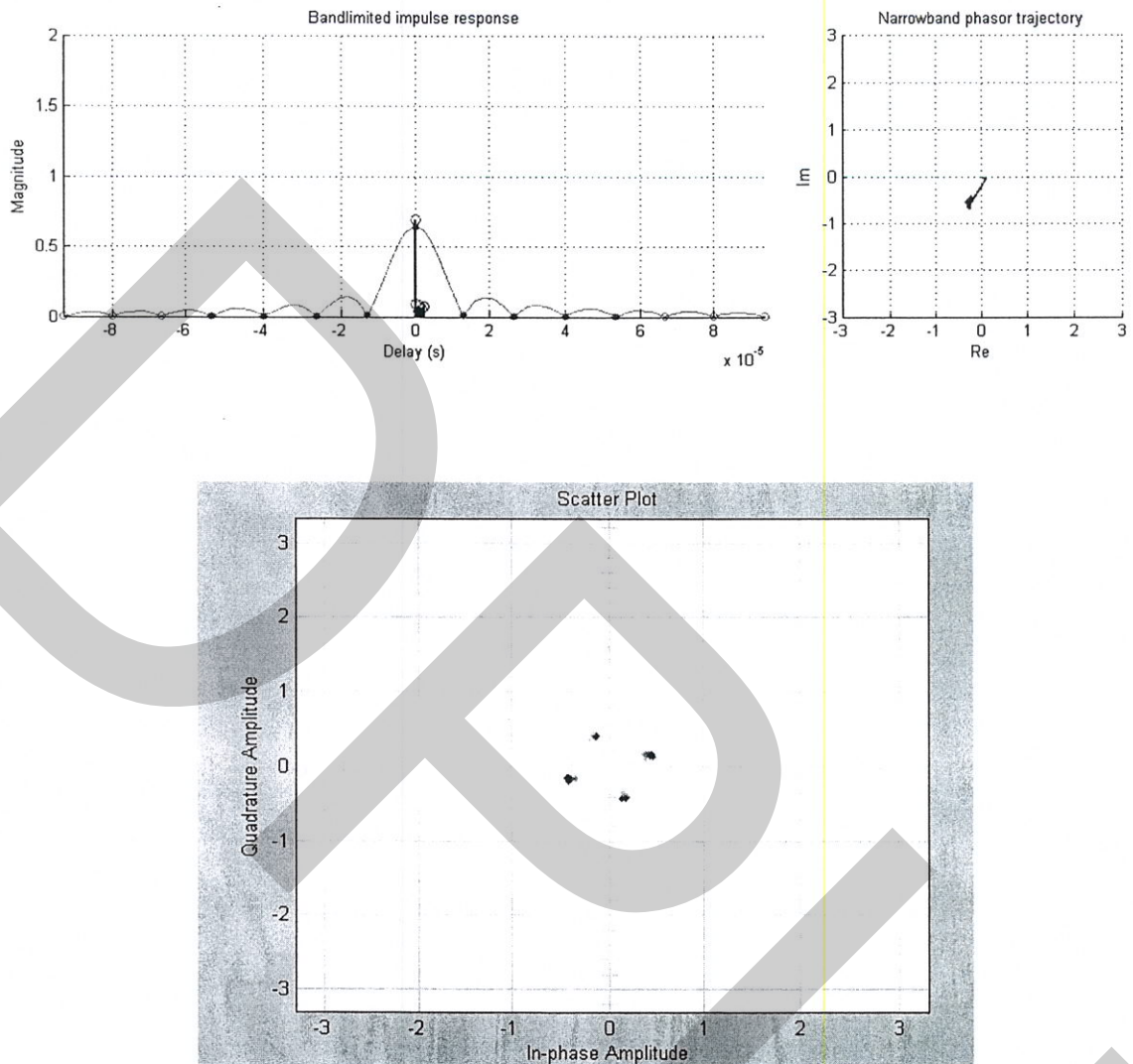
รูปที่ 3.4 ผลของแอมพลิจูด เฟส และ Constellation ในการจำลองช่องสัญญาณการจางหายเรย์ลีห์แบบเลือกความถี่เมื่อเริ่มการจำลองผ่านไป 66 ms โดยใช้พารามิเตอร์ (Doppler Frequency = 50 Hz และ Delay Profile¹)

¹ Tommi Jämsä, Juha Meinilä, and Pekka. **Overview of WINNER Channel Modelling Activities.** (Wireless World Research Forum). Iktrobit Testing Ltd, Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zürich Hassan El-Sallabi, Helsinki University of Technology.



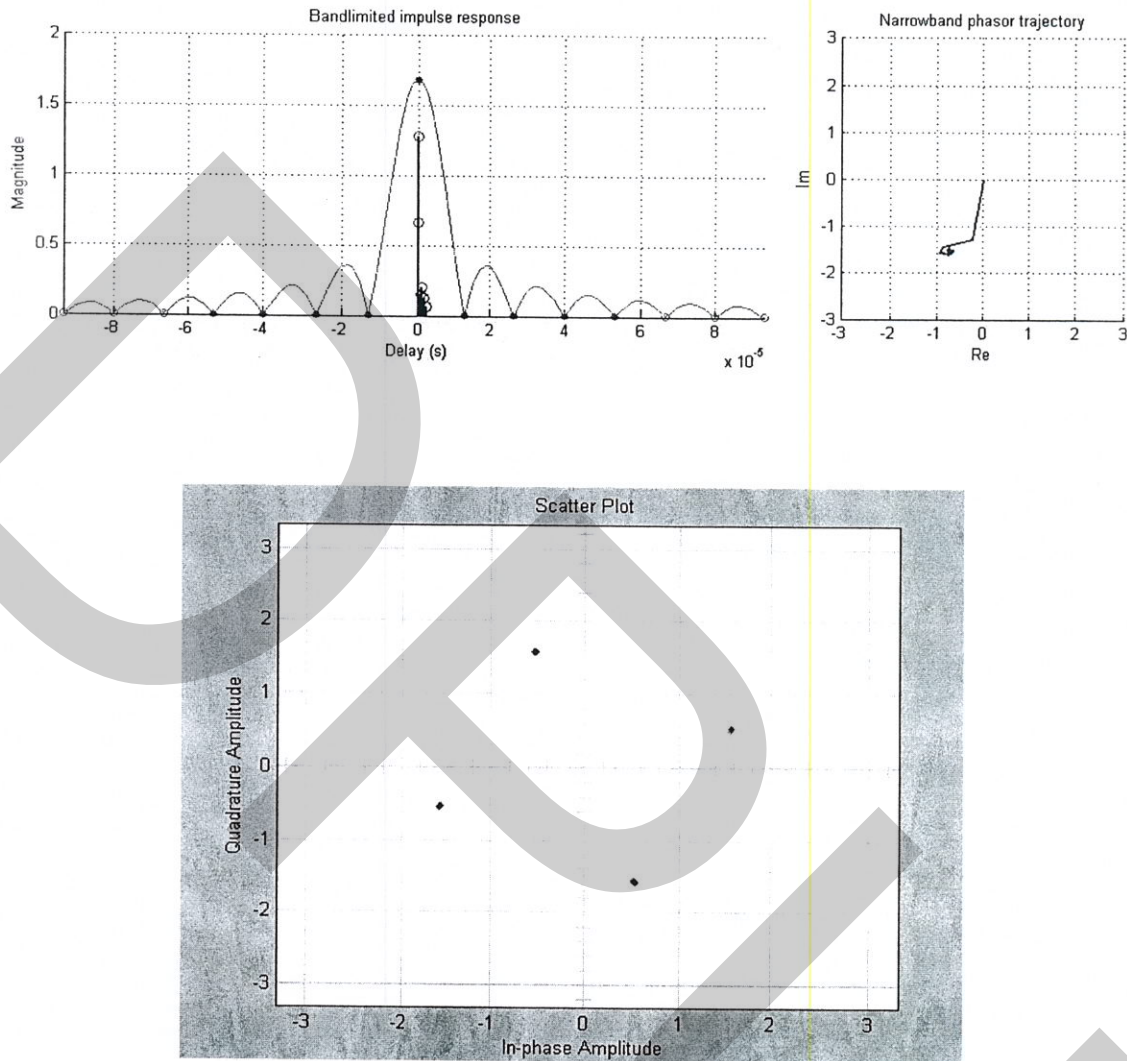
รูปที่ 3.5 ผลของแอมพลิจูด เฟส และ Constellation ในการจำลองช่องสัญญาณการจางหายเรย์ลีห์แบบเลือกความถี่เมื่อเริ่มการจำลองผ่านไป 52 ms โดยใช้พารามิเตอร์ (Doppler Frequency = 200 Hz และ Delay Profile¹)

¹ Fakhru Alam, Brian D. Woerner, and W.H. Tranter. "BER Simulation for WCDMA System in Multipath Fading Channel". (Research Report). Mobile and Portable Radio Research Group Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, USA.



รูปที่ 3.6 ผลของแอมพลิจูด เฟส และ Constellation ในการจำลองช่องสัญญาณการจางหายเรย์ลีห์แบบเลือกความถี่เมื่อเริ่มการจำลองผ่านไป 58 ms โดยใช้พารามิเตอร์ (Doppler Frequency = 200 Hz และ Delay Profile¹)

¹ Fakhrol Alam, Brian D. Woerner, and W.H. Tranter. "BER Simulation for WCDMA System in Multipath Fading Channel". (Research Report). Mobile and Portable Radio Research Group Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, USA.



รูปที่ 3.7 ผลของแอมพลิจูด เฟส และ Constellation ในการจำลองช่องสัญญาณการจางหายเรย์ลีห์แบบเลือกความถี่เมื่อเริ่มการจำลองผ่านไป 64 ms โดยใช้พารามิเตอร์ (Doppler Frequency = 200 Hz และ Delay Profile¹)

¹ Fakhru Alam, Brian D. Woerner, and W.H. Tranter. "BER Simulation for WCDMA System in Multipath Fading Channel". (Research Report). Mobile and Portable Radio Research Group Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, USA.

จากรูปที่ 3.2 – 3.4 เป็นการจำลองช่องสัญญาณการจางหายเรย์ลีห์แบบเลือกความถี่ที่แสดงให้ทราบถึงผลการเปลี่ยนแปลงของเฟส แอมพลิจูด และ Constellation ที่มีการใช้พารามิเตอร์ที่อ้างอิงตามตารางที่ 3.1 ที่มีการเคลื่อนที่และกำหนดค่า Doppler Shift = 50 Hz จากการจำลองสังเกตได้ว่ารูปแบบการจางหายของช่องสัญญาณที่ทำการจำลอง จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ และรูปที่ 3.5 – 3.7 เป็นการจำลองช่องสัญญาณการจางหายเรย์ลีห์แบบเลือกความถี่ที่แสดงให้ทราบถึงผลการเปลี่ยนแปลงของเฟส แอมพลิจูด และ Constellation ที่มีการใช้พารามิเตอร์ที่อ้างอิงตามตารางที่ 3.1 ที่มีการเคลื่อนที่และกำหนดค่า Doppler Shift = 200 Hz จากการจำลองสังเกตได้ว่ารูปแบบการจางหายของช่องสัญญาณที่ทำการจำลอง จะมีการเปลี่ยนแปลงที่เร็วกว่า การจำลองที่ใช้พารามิเตอร์ที่อ้างอิงตามตารางที่ 3.1 ที่มีการเคลื่อนที่และกำหนดค่า Doppler Shift = 50 Hz ดังนั้นจากการสังเกตรูปแบบของช่องสัญญาณที่มีการจางหายเรย์ลีห์แบบเลือกความถี่ ที่เครื่องรับมีการเคลื่อนที่ทำให้ทราบว่าเมื่อเครื่องรับมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงที่เพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดการจางหายหรือการเปลี่ยนแปลงของเฟสและแอมพลิจูด มีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วจนเป็นการจางหายแบบเร็ว

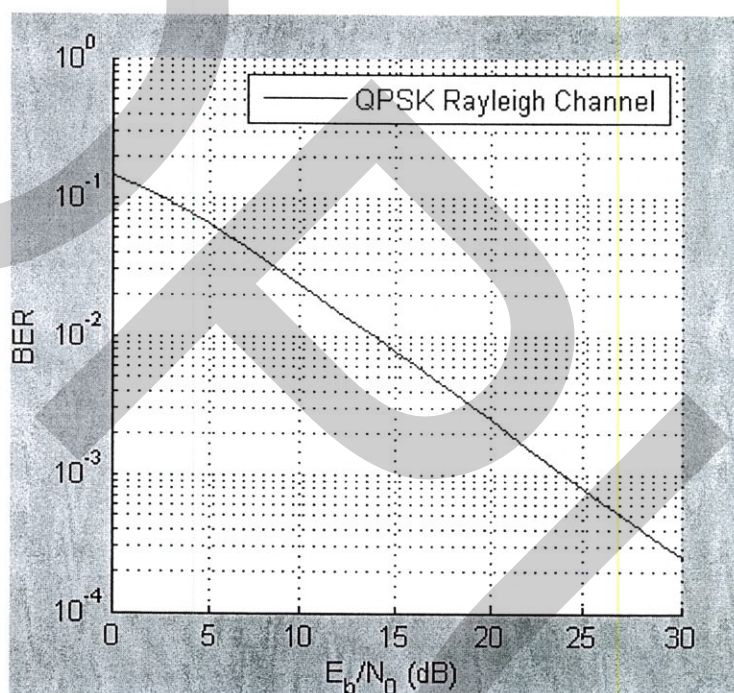
ตารางที่ 3.1 พหุวิถีภายในช่องสัญญาณที่มีการจางหายแบบเรย์ลีห์

Vehicular A Outdoor Channel Power Delay Profile ¹		Vehicular A Outdoor Channel Power Delay Profile ²	
Relative Delay (ns)	Average Power (dB)	Relative Delay (ns)	Average Power (dB)
0	-0.5	0	0
5	0	310	-1
135	-3.4	710	-9
160	-2.8	1090	-10
215	-4.6	1730	-15
260	-0.9	2510	-20

¹ Tommi Jämsä, Juha Meinilä, and Pekka. *Overview of WINNER Channel Modelling Activities*. (Wireless World Research Forum). Ictrobit Testing Ltd, Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zürich Hassan El-Sallabi, Helsinki University of Technology.

² Fakhru Alam, Brian D. Woerner, and W.H. Tranter. "BER Simulation for WCDMA System in Multipath Fading Channel". (Research Report). Mobile and Portable Radio Research Group Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, USA.

จากรูปที่ 3.1 ถึง 3.7 แสดงให้เห็นว่าในระบบการสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่ เมื่อมีการส่งข้อมูลในระบบการสื่อสารไร้สาย จะได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมต่างๆ จึงเป็นผลทำให้การส่งข้อมูลไปยังเครื่องรับมีการผิดไปจากรูปแบบ ที่ทำการส่งไป ดังนั้นในงานวิจัยที่จะนำเสนอนี้จะเป็นการปรับระดับของการจัดกลุ่มสัญลักษณ์ โดยทำการปรับแอมพลิจูดและเฟสไปเรื่อยๆ เป็นหลักการทำงานที่ไม่ซับซ้อน เป็นการเปรียบเทียบบิตที่ทำการส่งไปในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ แล้วทำการส่งกลับคีย์ที่จะใช้ในการจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบชดเชยในอัตราต่ำ เพื่อทำให้ระบบการสื่อสารนั้นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



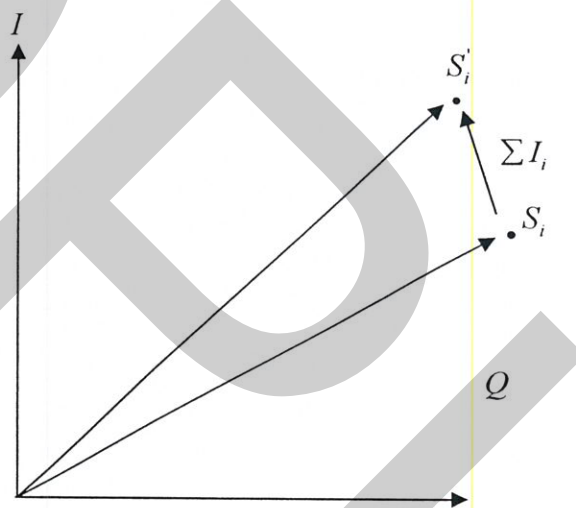
รูปที่ 3.8 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดของการส่งบิตข้อมูลผ่านช่องสัญญาณที่เกิดการจางหายแบบเรย์ลีห์

3.1.2 โครงสร้างและรูปแบบของการจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบชดเชยที่นำเสนอ

ในการจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบชดเชย จะเป็นการส่งของข้อมูลส่วนหนึ่งที่เป็นการทดสอบการจางหายของคุณลักษณะของช่องสัญญาณด้วยในชุดข้อมูล โดยโครงสร้างและรูปแบบของการจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบชดเชย ที่ทำการศึกษาจะทำงาน โดยการรับข้อมูลที่ใส่ทดสอบที่ผ่านช่องสัญญาณการจางหาย ถึงการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดและเฟส เมื่อรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงที่

เกิดขึ้นจึงทำการชดเชยแอมพลิจูด และเฟสที่ถูกผลกระทบของการจางหายของช่องสัญญาณที่มีการจางหายดังรูปที่ 3.9

จากรูปที่ 3.9 จะเห็นว่าในการชดเชยข้อมูลที่ผ่านช่องสัญญาณการจางหาย จำเป็นต้องใช้ข้อมูลในการตรวจสอบ Constellation ที่มากในการปรับแต่งสัญญาณล่วงหน้าและ มีรูปแบบการทำงานที่ซับซ้อนเพื่อที่จะทำการชดเชยสัญญาณได้อย่างถูกต้อง ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการนำเสนอการจับกลุ่มสัญลักษณ์แบบชดเชยเป็นการลดความซับซ้อนกระบวนการปรับแต่งสัญญาณล่วงหน้า โดยการวิเคราะห์ผลของการส่งข้อมูลผ่านคุณลักษณะช่องสัญญาณที่มีการจางหาย โดยการปรับระดับของแอมพลิจูดและเฟส (Compensate Constellation)



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ของการจับกลุ่มสัญลักษณ์แบบชดเชย

เมื่อพิจารณาถึงการทำงานภายใต้ระบบสื่อสารที่มีการมอดูเลตแบบ BPSK จะได้ว่าสัญญาณข้อมูลที่จะถูกส่งออกไปในระบบสื่อสารนั้น จะมีลักษณะของสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากภาคมอดูเลตในแต่ละช่วงเวลา t มีค่าเท่ากับ

$$S_i = A e^{j\theta_i} \quad (3.1)$$

โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ A ในสมการนั้น เป็นค่าที่แสดงถึงขนาดของสัญญาณ และ θ_i เป็นเฟสของสัญญาณที่ถูกส่งมาในช่วงเวลา t และในการทำงานของวิธีการจับกลุ่มสัญลักษณ์แบบปรับตัวได้ ซึ่งเป็นการนำสัญญาณที่จะถูกส่งมาทำการเปลี่ยนรูปแบบของสัญญาณ ให้อยู่ในรูปแบบ

ใหม่ เพื่อให้สัญญาณที่จะถูกส่งไปถึงปลายทางนั้น ปราศจากผลของการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ หรือมีผลน้อยที่สุด โดยจะมีการคำนวณได้คือ

$$S'_i = S_i + \sum I_i \quad (3.2)$$

โดยที่ S'_i ที่ได้จากการคำนวณนั้น เป็นสัญญาณข้อมูลที่จะถูกส่งออกมาจากภาคจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบชดเชย และ สำหรับ I_i นั้น เป็นตัวแปรที่ถูกนำมาบวกจากสัญญาณที่ได้จากภาคมอดูเลตเพื่อชดเชยผลของการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ที่จะเกิดขึ้นระหว่างการส่งผ่านระบบสื่อสาร โดยจะเป็นค่าที่เกิดจากการคำนวณผลของการแทรกสอดของสัญญาณที่ถูกส่งไปในอดีตจำนวนหนึ่ง โดยในการคำนวณหาค่าของสัญญาณที่ได้จากการทำงานของภาคจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบชดเชยในแต่ละครั้งนั้น

จากสมการข้างบน เมื่อมีการคำนวณจะได้ S'_i จะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดและเฟสที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากผลกระทบของช่องสัญญาณการจางหาย ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดรูปแบบของค่าที่ได้จากการคำนวณ S'_i เพื่อให้ได้ดัชนีของการจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบชดเชยมีอัตราการส่งข้อมูลกลับไปน้อยที่สุด โดยมีการเทียบได้ดังตารางที่ 3.1

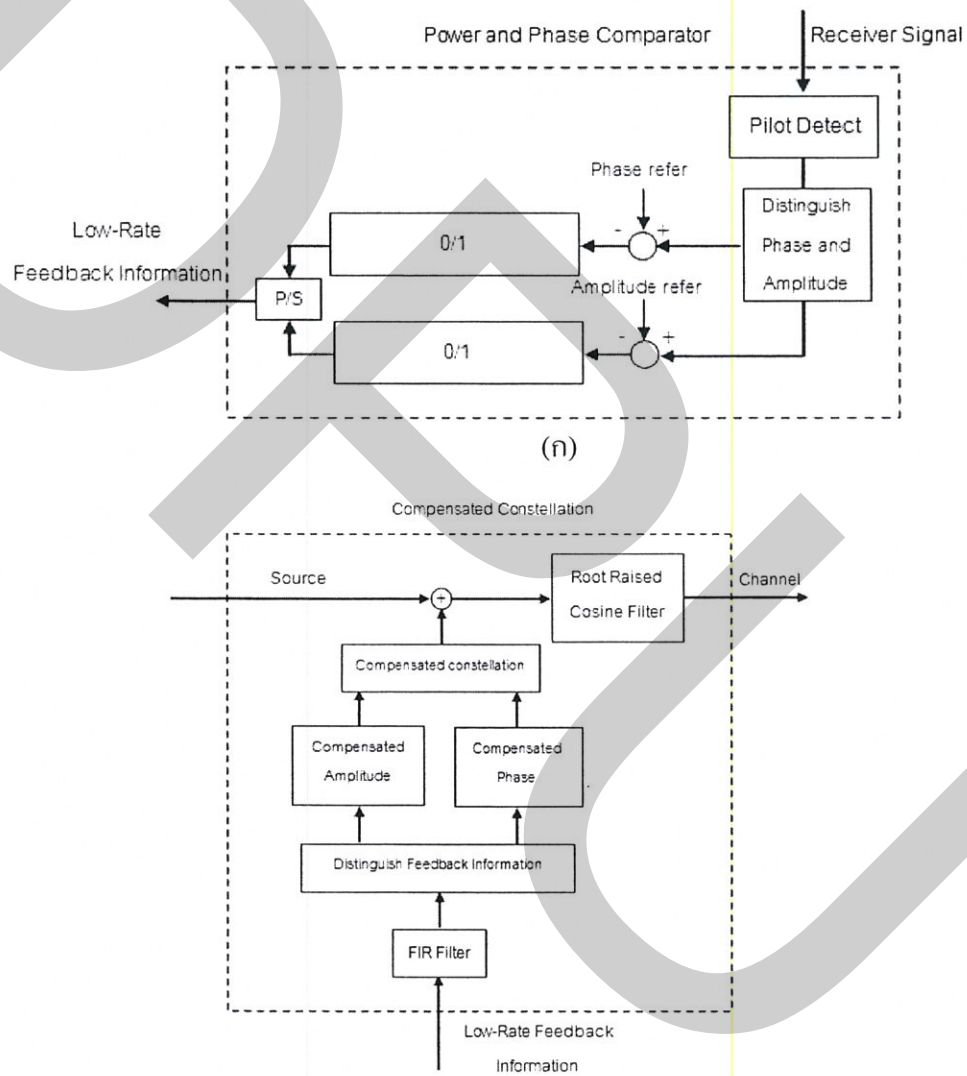
ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบบิตข้อมูลกับแอมพลิจูดและเฟส

บิตข้อมูล	รูปแบบการเปรียบเทียบแอมพลิจูดและเฟสเมื่อได้คำนวณ $S'_i = S_i + \sum I_i$
00	ลดแอมพลิจูด ลดเฟส
01	ลดแอมพลิจูด เพิ่มเฟส
10	เพิ่มแอมพลิจูด ลดเฟส
11	เพิ่มแอมพลิจูด เพิ่มเฟส

3.1.3 รูปแบบการทำงานของระบบสื่อสารของงานวิจัย

จากรูปที่ 3.11 เป็นแบบจำลองของระบบสื่อสารที่มีการใช้วิธีการจัดกลุ่มสัญลักษณ์เป็นแบบการปรับระดับ (Compensate Constellation) สำหรับการทำงานในส่วนของ Forward Link มีการนำข้อมูลแบบดิจิทัล S_i จากนั้นชุดของข้อมูลถูกส่งต่อมาที่ภาคมอดูเลต เพื่อคำนวณเป็นจำนวนเชิงซ้อนที่มีความสัมพันธ์กับชุดข้อมูลดังกล่าว $S_i = A.e^{j\theta_i}$ เมื่อ A เป็นขนาดของสัญญาณข้อมูลซึ่งมีค่าคงที่ในกรณีที่มีการมอดูเลตแบบเฟส และ θ_i เป็นเฟสของสัญญาณข้อมูล ณ เวลา

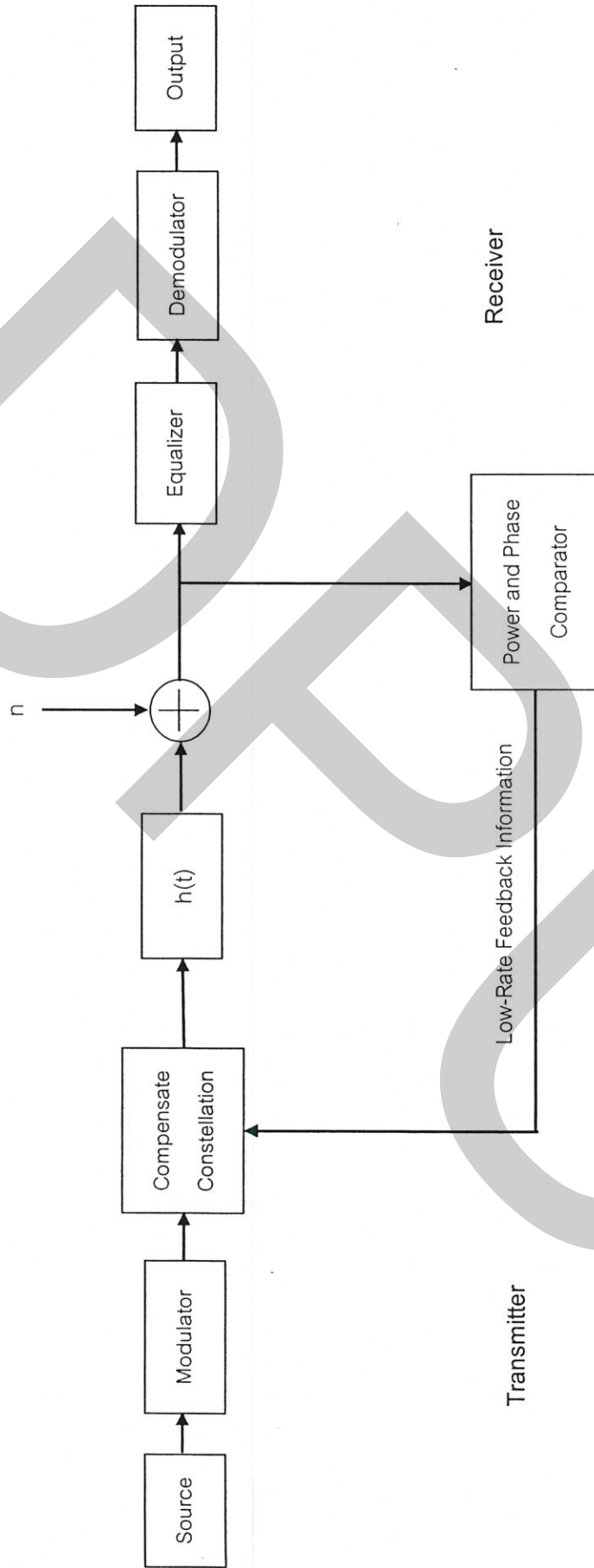
ต่างๆ \bar{I}_i เพื่อเป็นการหารูปแบบของสัญญาณที่จะถูกส่งออกไปผ่านระบบสื่อสาร เนื่องจากคุณลักษณะของช่องสัญญาณที่ถูกนำมาพิจารณาเป็นช่องสัญญาณที่มีการจางหายแบบช้า ดังนั้นตัวแปรที่ขึ้นระหว่างสัญลักษณ์ \bar{I}_i ที่ถูกนำมาใช้งานที่ภาคจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบซคเซช สามารถนำมาจากการทำงานในส่วนของ Reverse Link มาใช้งานได้เนื่องจากมีค่าที่ใกล้เคียงกับผลกระทบใน Forward Link



รูปที่ 3.10 การทำงานของรูปแบบที่ทำการนำเสนอ

(ก) การทำงานในส่วน Power and Phase Comparator

(ข) การทำงานในส่วน Compensate constellation



รูปที่ 3.11 แบบจำลองระบบสื่อสารที่ทำการนำเสนอ

จากรูปแบบการจำลองของระบบการสื่อสารที่ทำการนำเสนอ สามารถที่จะอธิบายขั้นตอนการทำงานทั้งหมดได้ดังนี้

- 1). ทำการสร้างบิตข้อมูลโดยการสุ่มบิตข้อมูลที่อยู่ในจำนวนของเลขฐานสอง
- 2). บิตข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของเลขฐานสองจะถูกทำการเปลี่ยนรูปแบบเป็นจำนวนเชิงซ้อนในส่วนของ การมอดูเลต เพื่อเป็นการหารูปแบบของสัญญาณที่ถูกส่งออกไปในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่
- 3). ในการทำงานของบล็อกการจับกลุ่มสัญลักษณ์แบบชดเชย จะทำการส่งบิตข้อมูลนำร่องโดยใช้ความถี่ในการส่งบิตข้อมูลนำร่องเป็น 1600 เฮิร์ตซ์ (เป็นการกำหนดการส่งบิตข้อมูลนำร่องให้อยู่ในรูปแบบเดียวกับความถี่ที่ใช้งานในระบบควบคุมกำลังส่งของระบบการสื่อสาร WCDMA) โดยในการส่งข้อมูลของบล็อกการจับกลุ่มสัญลักษณ์แบบชดเชย จะนำบิตข้อมูลที่ได้จากการเปรียบเทียบความแตกต่างมาทำการปรับเปลี่ยนแอมพลิจูดและเฟสของบิตข้อมูลในส่วนถัดไป โดยทำการลบหรือบวกแอมพลิจูดและเฟส การลบหรือบวกแอมพลิจูดจะมีขนาดเท่ากับ $+0.5\text{dB}$ หรือ -0.5dB ส่วนเฟสที่ใช้ในการลบหรือบวกจะมีขนาดมุมเท่ากับ $+\pi/36$ หรือ $-\pi/36$ หรือเท่ากับ ± 5 องศากรี
- 4). ช่องสัญญาณที่ทำการจำลองในระบบการสื่อสาร เป็นการรูปแบบของช่องสัญญาณของ WCDMA โดยมีพารามิเตอร์ของรีเลย์วิถีและพลังงานในแต่ละวิถี ตามตารางที่ 3.2
- 5). ในส่วนของสัญญาณที่รับได้จะผ่านบล็อกการเปรียบเทียบช่องสัญญาณเพื่อที่จะทำการตรวจสอบบิตข้อมูลนำร่องเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของสัญญาณข้อมูลผ่านช่องสัญญาณที่มีการจางหาย โดยจะทำการเปรียบเทียบบิตข้อมูลนำร่องกับบิตข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงว่าผลกระทบจากการส่งบิตข้อมูลนำร่องมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าบิตข้อมูลอ้างอิง แล้วทำการส่งค่าดัชนีการปรับแต่งสัญญาณล่วงหน้าไปยังบล็อกของการจับกลุ่มสัญลักษณ์แบบปรับตัวได้ เพื่อที่จะใช้ในการเพิ่มหรือลดสัญญาณข้อมูลก่อนที่จะทำการส่งบิตข้อมูลในส่วนต่อไป
- 6). ในการทำงานในส่วนดีมอดูเลต เป็นการแปลงบิตข้อมูลจากเลขเชิงซ้อนให้กลับมาเป็นเลขฐานสองเพื่อให้รูปแบบของบิตข้อมูลอยู่ในระบบดิจิทัลและจะได้นำข้อมูลที่ได้ไปใช้งานต่อไป

การรูปแบบการทำงานที่กล่าวมาข้างต้นนี้สรุปได้ว่าเครื่องรับจะทำหน้าที่ในการเปรียบเทียบบิตข้อมูลเพื่อเป็นการตรวจสอบลักษณะของช่องสัญญาณในขณะนั้นแล้วทำการส่งข้อมูลกลับไปให้เครื่องส่ง เพื่อให้เครื่องส่งทราบว่าลักษณะการจางหายของช่องสัญญาณที่ส่งบิตข้อมูลในขณะนั้นเป็นอย่างไร แล้วทำการเพิ่มหรือลดแอมพลิจูดและเฟส เพื่อที่จะทำให้มีการผิดพลาดของบิตข้อมูลทำการส่งผ่านช่องสัญญาณที่มีการจางหายนั้นมีการผิดพลาดน้อยที่สุด โดย

รูปแบบการจำลองของระบบการสื่อสารที่นำเสนอ นั้นเป็นการกำหนดรูปแบบของช่องสัญญาณเป็นช่องสัญญาณที่มีการจางหายแบบช้าและใช้รูปแบบการมอดูเลตแบบ BPSK กับในการจำลองระบบการสื่อสารที่ทำการเสนอ

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 เครื่อง Desktop Computer หรือ Laptop สำหรับ ทำการจำลองระบบ จำนวน 1 เครื่อง

3.2.2 โปรแกรมที่ใช้สำหรับจำลองระบบ จำนวน 1 โปรแกรม

3.3 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.3 แผนการดำเนินงาน

งาน	เดือน										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
ศึกษาหลักการของวิธีการจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบซดเซช	■	■									
ศึกษาหลักการทำงานของโปรแกรมที่ใช้จำลองระบบ		■	■								
ศึกษาความน่าจะเป็นของการจางหายของสัญญาณ			■	■							
ออกแบบและพัฒนาระบบที่ทำการนำเสนอ				■	■	■					
สร้างแบบจำลองระบบที่ทำการนำเสนอ					■	■	■				
เปรียบเทียบ วิเคราะห์ผลที่ได้และสรุป						■	■	■			
รวบรวมข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจัดทำวิทยานิพนธ์								■	■	■	

3.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.4.1 ศึกษาหลักการของวิธีการปรับแต่งสัญญาณ รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษาทฤษฎีและรวบรวมรูปแบบการจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบชัดเจนเพื่อหาวิธีการทำการปรับระดับของการปรับแต่งสัญญาณให้เป็นไปตามรูปแบบที่ทำการนำเสนอ

3.4.2 ศึกษาอุปกรณ์และโปรแกรมที่ใช้ทำการจำลองระบบ

ทำการศึกษาค้นหาและรวบรวมโปรแกรมที่จะทำการจำลองระบบเพื่อที่จะสามารถประยุกต์ใช้ในการจำลองระบบการจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบชัดเจนที่นำเสนอได้อย่างถูกต้อง

3.4.3 ศึกษาความน่าจะเป็นของการจางหายของสัญญาณ

ศึกษาทฤษฎีและหลักการของการจางหายของช่องสัญญาณ แบบต่างที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อที่จะนำรูปแบบการจางหายของช่องสัญญาณมาประยุกต์ใช้ให้แสดงถึงสภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการจำลองระบบการปรับระดับของการจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบชัดเจน

3.4.4 ออกแบบและพัฒนาระบบที่ทำการนำเสนอ

ออกแบบระบบการปรับระดับของการจัดกลุ่มสัญลักษณ์แบบชัดเจน โดยใช้โปรแกรมที่ทำการศึกษาจากข้างต้น พร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลในการออกแบบ เพื่อที่จะทำการทดสอบระบบที่นำเสนอในการวัดประสิทธิภาพของระบบ

3.4.5 สร้างจำลองระบบที่นำเสนอ

หลังจากทำการออกแบบระบบและรวบรวมข้อมูลที่จะใช้ในการออกแบบ นำข้อมูลเหล่านั้นมาทำการจำลองระบบเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบที่ทำการนำเสนอ

3.4.6 เปรียบเทียบ วิเคราะห์ผลที่ได้ และสรุป

เมื่อทำการจำลองระบบที่ทำการนำเสนอเสร็จแล้ว และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของระบบที่ทำการนำเสนอ เพื่อที่จะสรุปผลการจำลองระบบว่าประสิทธิภาพของระบบนั้นเป็นอย่างไร

3.4.7 รวบรวมข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจัดทำวิทยานิพนธ์

ทำการรวบรวมข้อมูลของระบบที่ทำการนำเสนอ ที่ได้ทำมาตั้งแต่ต้นเพื่อจัดทำเป็นวิทยานิพนธ์

3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

เพื่อที่จะทำให้ระบบที่ทำการจำลองที่ทำการนำเสนอใกล้เคียงกับระบบสื่อสารเคลื่อนที่ที่ใช้งานจริงมากที่สุดจึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลหลายส่วนนำมาประกอบการพัฒนาระบบในการออกแบบดังนี้

3.5.1 พารามิเตอร์ของช่องสัญญาณพหุวิถี

ในระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ พารามิเตอร์นี้เป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญ ซึ่งถ้าระบบการสื่อสารเคลื่อนที่มีพารามิเตอร์ของ Delay และ Gain ที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่อความผิดพลาดของข้อมูลที่รับได้ในเครื่องรับ ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยนำค่าพหุวิถีพารามิเตอร์ที่มีค่าดังตารางที่ 3.1 มาเป็นพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณพหุวิถีในการปรับแต่งระบบที่ทำการนำเสนอ

3.5.2 Doppler Shift Frequency (f_{max})

ค่าความถี่ดอปเปลอร์สามารถที่จะคำนวณได้จากสมการ $f_{max} = \frac{v}{c_0} f_0$ โดยที่ f_{max} คือค่าความถี่ดอปเปลอร์สูงสุด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วของผู้ใช้งาน (v) f_0 คือความถี่คลื่นสัญญาณพาห้ c_0 คือความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที เมื่อ f_{max} มีค่ามากขึ้นจะทำให้ช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงของเฟสในอัตราสูงขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการกำหนดค่า f_{max} เท่ากับ 5 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz และ 200Hz ตามลำดับ

3.5.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับขนาดเซชนขนาดและเฟสของสัญลักษณ์

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับขนาดเซชนขนาดและเฟสของสัญลักษณ์ที่ต้องการส่งโดยเครื่องส่ง แสดงตามตารางที่ 3.2 โดยที่เครื่องรับจะส่งข้อมูลกลับมาครั้งละ 2 บิต ด้วยอัตราความถี่ 1600Hz ซึ่งข้อมูลทั้ง 2 บิต จะใช้ในการบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงของขนาดและเฟสของสัญลักษณ์ที่เครื่องรับ รับได้ตามลำดับ

นอกจากนี้ในการออกแบบระบบการสื่อสารไร้สายยังต้องการพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ใช้ในการออกแบบระบบ ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์อื่นที่ใช้ในการกำหนดในระบบ

Training Overhead	6.25%
Transmission Rate	2.45Mb/s
Feedback Rate	1600 Hz
Maximum Doppler Shift	5 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz and 200 Hz
Equalizer Type	RLS
Equalizer Tap	12
Constellation Format	BPSK

3.6 ลักษณะกลุ่มของเฟรมข้อมูลและวิธีช่วยในการลดความผิดพลาดของกลุ่มของสัญลักษณ์

3.6.1 ลักษณะของเฟรมข้อมูลที่ทำกรส่งในระบบการสื่อสารที่นำเสนอ

Pilot bits	Data bits
100 bits	1600 bits

รูปที่ 3.12 เฟรมข้อมูลที่ทำกรส่งในระบบการสื่อสารที่นำเสนอ

จากระบบการสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่ที่ทำการนำเสนอนั้น ได้มีการกำหนดรูปแบบของเฟรมข้อมูลที่จะใช้ทำการส่งระหว่างเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ โดยเป็นการใช้เฟรมข้อมูลที่มีความยาวของบิตข้อมูลทั้งหมด 1700 บิต โดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของบิตนำร่องและส่วนของบิตข้อมูล

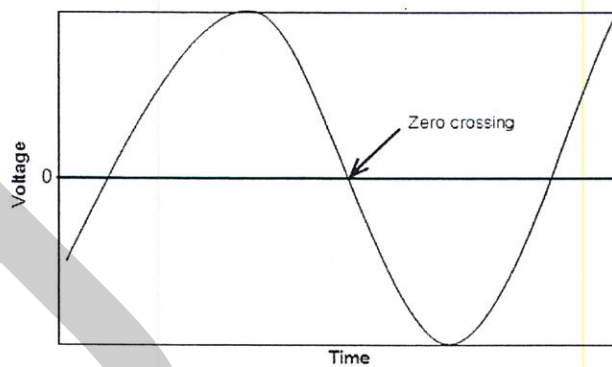
ในส่วนของบิตนำร่องจะเป็นการส่งบิตนำร่องด้วยความยาวทั้งหมด 100 บิตในแต่ละเฟรม โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ บิตนำร่องที่เป็นส่วนของ Equalizer และ เป็นนำร่องที่เป็นส่วนในการทดสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณ ณ เวลานั้น โดยเป็นการตั้งค่าในบิตแรก ให้เป็นส่วนที่ใช้ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของช่องสัญญาณ เพื่อมาใช้ในภาคการเปรียบเทียบของเครื่องรับ และทำการปรับเฟสและแอมพลิจูดในส่วนของภาคชดเชยกลุ่มของสัญลักษณ์ในเครื่องส่ง

ส่วนท้ายจะเป็นส่วนของบิตข้อมูลที่ใช้ทำการส่งด้วยความยาวทั้งหมด 1600 บิตในแต่ละเฟรม โดยในการทดสอบจะเป็นการสมมุติให้เป็นบิตข้อมูลที่ใช้ทำการส่งจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ เพื่อเป็นการทดสอบสมรรถนะของระบบการสื่อสารไร้สายที่ทำการนำเสนอ

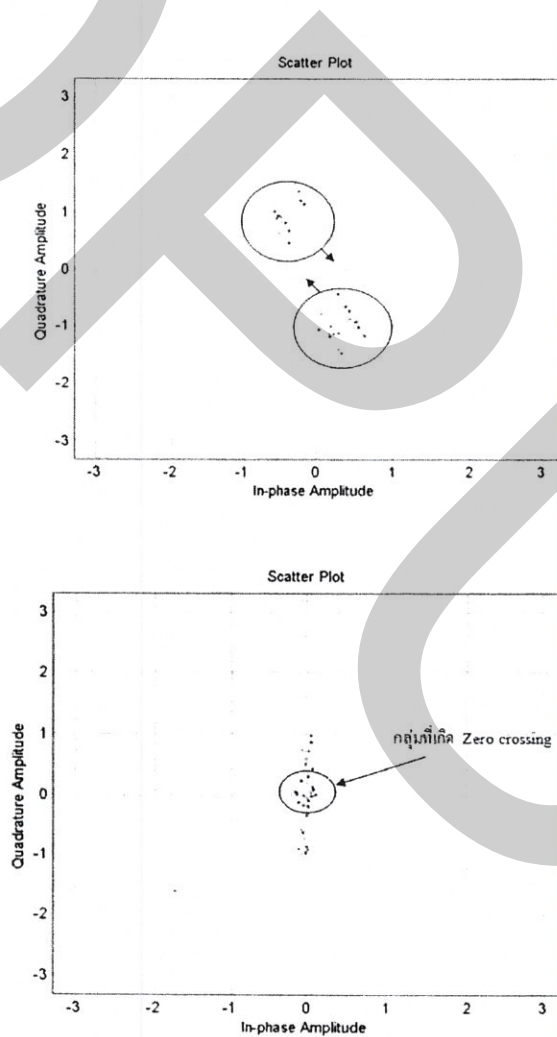
3.6.2 Zero Crossing

หนึ่งในปัญหาที่พบบ่อยในระบบการสื่อสารไร้สายคือ ปัญหาการผ่านจุดตัดศูนย์ (Zero Crossing) เมื่อพิจารณาถึง Zero Crossing จะทราบว่าเป็นพื้นฐานของคณิตศาสตร์ทางอิเล็กทรอนิกส์ และ Image Processing ในส่วนที่พิจารณาว่าแสดงถึงการเกิด Zero Crossing ในทางคณิตศาสตร์ คือ ฟังก์ชันของการเปลี่ยน (เช่นการเปลี่ยนการบวกไปลบ) แทนการที่จะแสดงถึงการข้ามแกน (ณ ค่าที่เป็นศูนย์) ในฟังก์ชันของกราฟ

ในระบบการสื่อสารไร้สายเมื่อเกิดการส่งสัญญาณของกลุ่มสัญลักษณ์ที่ผ่านจุดตัดศูนย์ (Zero Crossing) จะทำให้พลังงานที่ทำการส่งในเวลาขณะนั้นมีค่าเป็นศูนย์ จึงเป็นการยากที่เครื่องรับจะสามารถที่จะรับและแปลงสัญญาณของกลุ่มสัญลักษณ์ให้มีความถูกต้อง



รูปที่ 3.13 Zero Crossing in Waveform Representing Voltage vs. Time



รูปที่ 3.14 ลักษณะของ Zero Crossing ในระบบการสื่อสารไร้สาย

3.6.3 การแก้ปัญหาการเกิด Zero Crossing ในวิทยานิพนธ์นี้

จากที่กล่าวมาข้างต้น หนึ่งในปัญหาที่มีความสำคัญในระบบการสื่อสารแบบไร้สายคือการเกิดปรากฏการณ์ Zero Crossing ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้้นำการประยุกต์ใช้งาน FIR Filter โดยทำการติดตั้ง FIR Filter ในเครื่องส่งในภาคการปรับแต่งสัญญาณ เพื่อเป็นการชะลอ Constellation เมื่อมีการเปลี่ยนเฟสและแอมพลิจูดที่จะเข้าใกล้จุดผ่านศูนย์ ซึ่งเมื่อการเคลื่อนที่ของ Constellation ลดการผ่านจุดผ่านศูนย์ จึงทำให้เครื่องรับสามารถที่จะทำการรับข้อมูลและเปลี่ยนถ่ายข้อมูลได้อย่างถูกต้องมากขึ้น จึงเป็นการช่วยลดความผิดพลาดของบิตข้อมูลในระบบที่น่าเสนอได้เป็นอย่างดี ในการอธิบายรูปแบบและการทำงานของ FIR filter จะกล่าวส่วนถัดไป

ในการแก้ปัญหาการแทรกซ้อนระหว่างสัญลักษณ์ (ISI : Intersymbol Interference) เป็นหนึ่งในวิธีการที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหานี้ในระบบการสื่อสารไร้สายคือ การทำการกรองแบบไรส์โคซายน์ วิธีการนี้เป็นวิธีการที่สามารถช่วยลดการเกิดปัญหาการแทรกซ้อนระหว่างสัญลักษณ์ในระบบการสื่อสารได้เป็นอย่างดี วิธีการกรองไรส์โคซายน์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือการกรองไรส์โคซายน์และ การกรองรากที่สองของไรส์โคซายน์

3.6.4 การกรองไรส์โคซายน์ (Raised-Cosine Filter)

สัญญาณไรส์โคซายน์ ในโดเมนเวลาสามารถเขียนได้โดย

$$h(t) = \text{sinc}(t/T_s) \left[\frac{\cos(\pi\alpha t/T_s)}{1 - (2\alpha t/T_s)^2} \right] \quad (3.3)$$

สัญญาณไรส์โคซายน์เป็นการปรับปรุงสัญญาณซิงค์ โดยเทอมหลังจะเป็นเทอมของโคซายน์ที่ปรับปรุงให้สัญญาณนี้มีคุณสมบัติที่ดีกว่าสัญญาณซิงค์ ค่า α นี้เรียกว่าแฟคเตอร์ลาดเอียง (Roll-off factor) สัญญาณซิงค์จะมีแบนด์วิดท์ W ซึ่ง

$$W = \frac{1}{2T_s} \quad (3.4)$$

ในขณะที่สัญญาณไรส์โคซายน์สามารถที่จะมีแบนด์วิดท์ในช่วง $W \rightarrow 2W$ และหาก W_0 เป็นแบนด์วิดท์ที่ต้องการแล้วจะได้ว่า

$$W_0 = (1 + \alpha)W \quad (3.5)$$

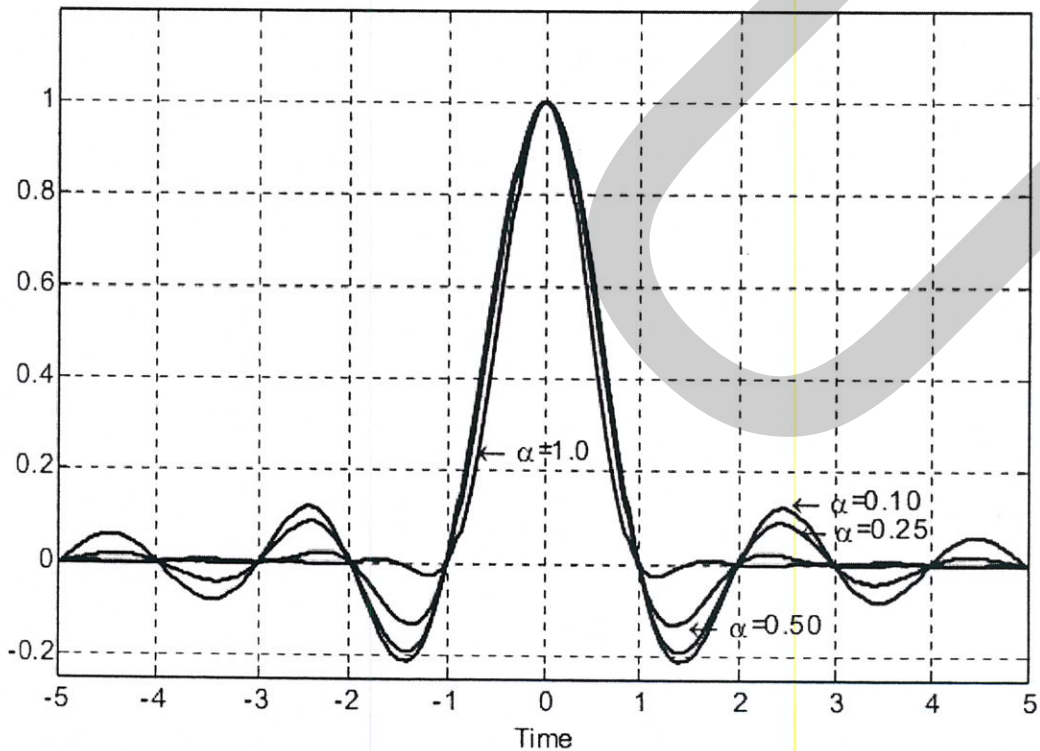
ปกติแล้วเราต้องการแบนด์วิดท์ต่ำ ๆ จึงให้ α มีค่าต่ำ เช่น การสื่อสารไร้สายจะเลือก α ประมาณ 0.2 ถึง 0.4 ในโดเมนความถี่สัญญาณไรส์โคซายน์จะเขียนได้เป็น

$$H(f) = \begin{cases} T_s & ; 0 \leq |f| \leq \frac{(1-\alpha)}{2T_s} \\ T_s \cos^2 \left[\frac{\pi T_s}{2\alpha} \left\{ |f| - \frac{(1-\alpha)}{2T_s} \right\} \right] & ; \frac{(1-\alpha)}{2T_s} \leq |f| \leq \frac{(1+\alpha)}{2T_s} \\ 0 & ; |f| > \frac{(1+\alpha)}{2T_s} \end{cases} \quad (3.6)$$

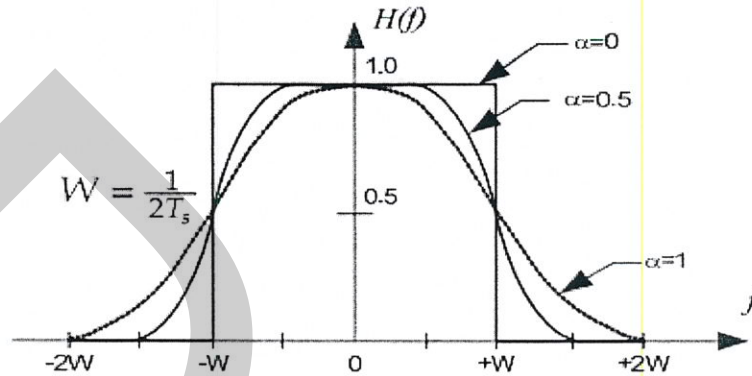
และเมื่อ $\alpha = 1$ ก็จะเรียกว่าโคซายน์ลาดเอียงอย่างสมบูรณ์ (full-cosine roll-off) และกรณีนี้การตอบสนองความถี่จะเขียนได้เป็น

$$H(f) = \begin{cases} \frac{T_s}{2} (1 + \cos(\pi f T_s)) & ; |f| \leq \frac{1}{T_s} \\ 0 & ; \text{elsewhere} \end{cases} \quad (3.7)$$

Raised Cosine (Alpha=0.1,0.25,0.5, 1)



รูปที่ 13.15 สัญญาณไรส์โคซายน์ในโดเมนเวลา ที่ค่า α ต่างๆ กัน

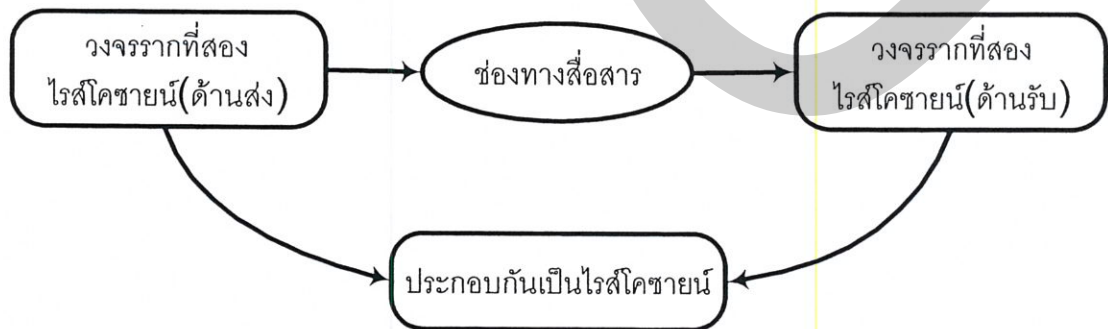


รูปที่ 3.16 ไรส์โคซายน์ในโดเมนความถี่ที่ค่าแฟคเตอร์ลาดเอียง (α) ต่างๆ กัน ($T_s = 1$)

3.6.5 การกรองรากที่สองของไรส์โคซายน์ (Root Raised-Cosine Filter)

การเอาไรส์โคซายน์ไปใช้ในทางปฏิบัติจะแยกเป็น 2 ส่วน (จะให้ผลดีกว่าใช้ไรส์โคซายน์ด้านเดียว) โดยอนุกรมกันแต่จะมีช่องทางสื่อสารคั่นกลาง ในแต่ละส่วนจะเรียกว่า รากที่สองของไรส์โคซายน์ ซึ่งบางทีก็เรียกว่าการกรองเบสแบนด์ (Baseband filter) โดยการตอบสนองความถี่

$$H_{rrc}(f) = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq |f| \leq \frac{(1-\alpha)}{2T_s} \\ T_s \cos^2 \left[\frac{\pi T_s}{2\alpha} \left\{ |f| - \frac{(1-\alpha)}{2T_s} \right\} \right] & ; \frac{(1-\alpha)}{2T_s} \leq |f| \leq \frac{(1+\alpha)}{2T_s} \\ 0 & ; |f| > \frac{(1+\alpha)}{2T_s} \end{cases} \quad (3.8)$$



รูปที่ 3.17 การใช้การไรส์โคซายน์โดยแบ่งรากที่สองของไรส์โคซายน์ 2 ส่วน

3.6.6 ตัวกรองดิจิทัลแบบ FIR

ในระบบการสื่อสารไร้สายที่ทำการนำเสนอเมื่อทำการป้อนกลับสัญญาณข้อมูลจากภาคเปรียบเทียบเฟสและแอมพลิจูดไปยังภาคการปรับชดเชยกลุ่มสัญญาณ จะประสบปัญหาการเกิดการผ่านจุดตัดศูนย์ ในการแก้ปัญหาการเกิดการผ่านจุดตัดศูนย์ของในวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีการแก้ปัญหาโดยทำการติดตั้งตัวกรองดิจิทัล เพื่อมาทำการลดผลกระทบของปัญหาดังกล่าว

ตัวกรองดิจิทัลแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- 1). ตัวกรองดิจิทัลแบบเอฟไออาร์ (FIR: Finite Impulse Response Filter)
- 2). ตัวกรองดิจิทัลแบบไอไออาร์ (IIR: Infinite Impulse Response Filter)

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้กล่าวถึงเฉพาะตัวกรองดิจิทัลแบบ FIR ซึ่งตัวกรองดิจิทัลแบบ FIR มีฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Function) มีสมการคุณสมบัติดังสมการที่ 3.9

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k) \quad (3.9)$$

เขียนให้อยู่ในแซดโดเมน ได้ดังสมการที่ 3.10

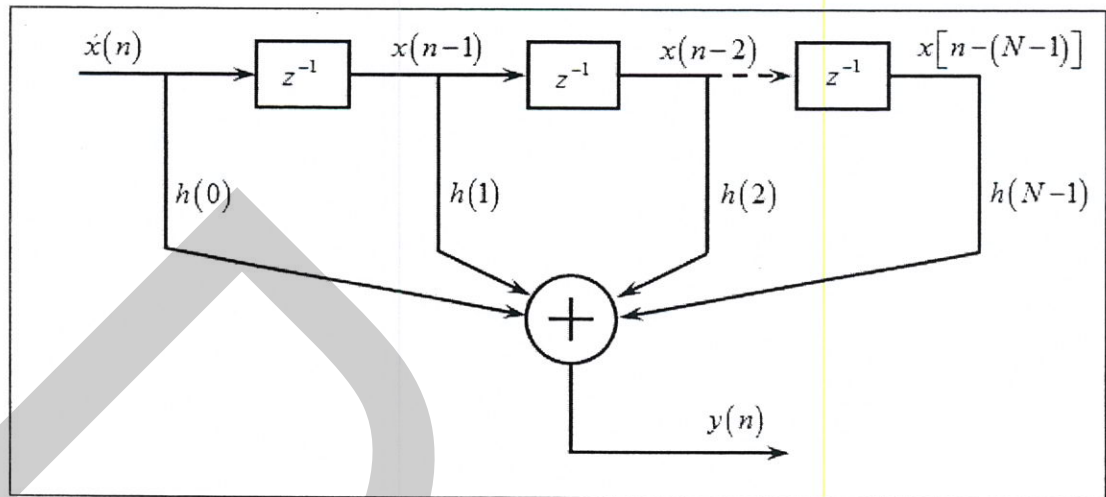
$$y(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(z)z^{-k} \quad (3.10)$$

หรือเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอนจะได้

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)z^{-k}$$

$$Y(z) = h(0)x(z) + h(1)x(z)z^{-1} + h(2)x(z)z^{-2} + \dots + h(k)x(z)z^{-k} \quad (3.11)$$

จากสมการที่ 3.11 สามารถนำไปเขียนเป็นโครงสร้างได้ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 โครงสร้างของตัวกรองเชิงเลข FIR

ตัวกรองเชิงเลข FIR จัดเป็นตัวกรองนอนรีเคอร์ซีฟ (Non Recursive) เนื่องจากไม่มีการป้อนกลับจากทางด้าน Output และนอกจากนี้ตัวกรองเชิงเลข FIR จะมีคุณสมบัติอื่นอีกคือ

- 1). สามารถสร้างได้ง่ายเมื่อเทียบกับตัวกรองแบบ IIR
- 2). มีคุณสมบัติการตอบสนองทางเฟสเป็นแบบเชิงเส้น (Linear phase)
- 3). สัมประสิทธิ์ที่เกิดจากการคำนวณจะมีค่าไม่เกินหนึ่งทำให้สามารถสร้างและทำงานได้บน ตัวประมวลผลแบบจุดทศนิยมคงที่ (Fix-point)
- 4). ตัวกรองเชิงเลข FIR จะเสถียรภาพ (Stable) แน่นนอน เนื่องจากว่ามีโพลอยู่ที่จุดกำเนิด (Origin) บนระนาบซัด

พิจารณาสมการ

$$y(n) = x(n-k) \quad (3.12)$$

เมื่อทำการแปลงฟูเรียร์ในสมการที่ 3.12 จะได้

$$Y(j\omega) = e^{-j\omega k} X(j\omega) \quad (3.13)$$

ย้ายข้างจะได้

$$\frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = H(j\omega) = e^{-j\omega kT} \quad (3.14)$$

จากสมการจะมีค่าขนาด (Magnitude) เท่ากับ 1 และมีเฟสดังสมการที่ 3.15

$$\theta(\omega) = -\omega kT \quad (3.15)$$

จากสมการที่ 3.15 ซึ่งเป็นสมการของเฟสสามารถนำไปหาค่าหน่วงกลุ่ม (Group Delay) ได้โดยทำการหาอนุพันธ์สมการที่ 3.15 เทียบกับ ω จะได้สมการของค่าหน่วงกลุ่มดังสมการที่ 3.16

$$d\theta = \frac{d(-\omega kT)}{d\omega} \quad (3.16)$$

$$\Theta = -kT \quad (3.17)$$

สมการที่ 3.17 จะเห็นได้ว่าตัวกรองเชิงเลข FIR มีผลตอบสนองทางเฟสเป็นแบบเชิงเส้น ดังนั้นตัวกรองเชิงเลข FIR จึงถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ดังตัวอย่าง เช่น การประมวลผลสัญญาณเสียง การประมวลผลสัญญาณภาพ และการประมวลผลสัญญาณทางการแพทย์ และระบบการสื่อสารไร้สาย เป็นต้น และถ้ากำหนดสมการผลตอบสนองทางเฟสใหม่โดยกำหนดให้

$$kT = \alpha \quad (3.18)$$

จะได้

$$\theta(\omega) = -\alpha\omega \quad (3.19)$$

หรือถ้าค่าของผลตอบสนองทางเฟสเท่ากับ

$$\theta(\omega) = \beta - \alpha\omega \quad (3.20)$$

β เป็นค่าคงที่

ถ้าตัวกรองมีทั้งผลการตอบสนองทางเฟสและค่าหน่วยกลุ่มเป็นแบบเชิงเส้นตามสมการที่ 3.19 จะให้ค่าผลตอบสนองอิมพัลส์ของตัวกรองเป็นแบบสมมาตรบวก (Positive Symmetry) ดังสมการที่ 3.21 และ 3.22 ซึ่งผลการตอบสนองทางเฟสจะเป็นฟังก์ชันของความยาวตัวกรอง (Filter Length)

$$h(n) = h(N-n-1) \quad \text{ที่ } n=0,1,\dots,(N-1)/2 \text{ และ } n \text{ เป็นคู่} \quad (3.21)$$

$$\alpha = \frac{(N-1)}{2} \quad \text{ที่ } n=0,1,\dots,\left(\frac{N}{2}-1\right) \text{ และ } n \text{ เป็นคู่} \quad (3.22)$$

และถ้าฟิลเตอร์มีผลการตอบสนองทางเฟสดังสมการที่ 3.20 จะได้ผลตอบสนองอิมพัลส์ของตัวกรองเป็นแบบสมมาตรลบ (Negative Symmetry) ดังสมการที่ 3.23 และ 3.24

$$h(n) = -h(N-n-1) \quad (3.23)$$

$$\alpha = \frac{(N-1)}{2} \quad (3.24)$$

โดยที่ N ในสมการที่ 3.21 – 3.24 เป็นจำนวนลำดับของตัวกรองและดังนั้นถ้า

$$0 \leq n \leq N-1$$

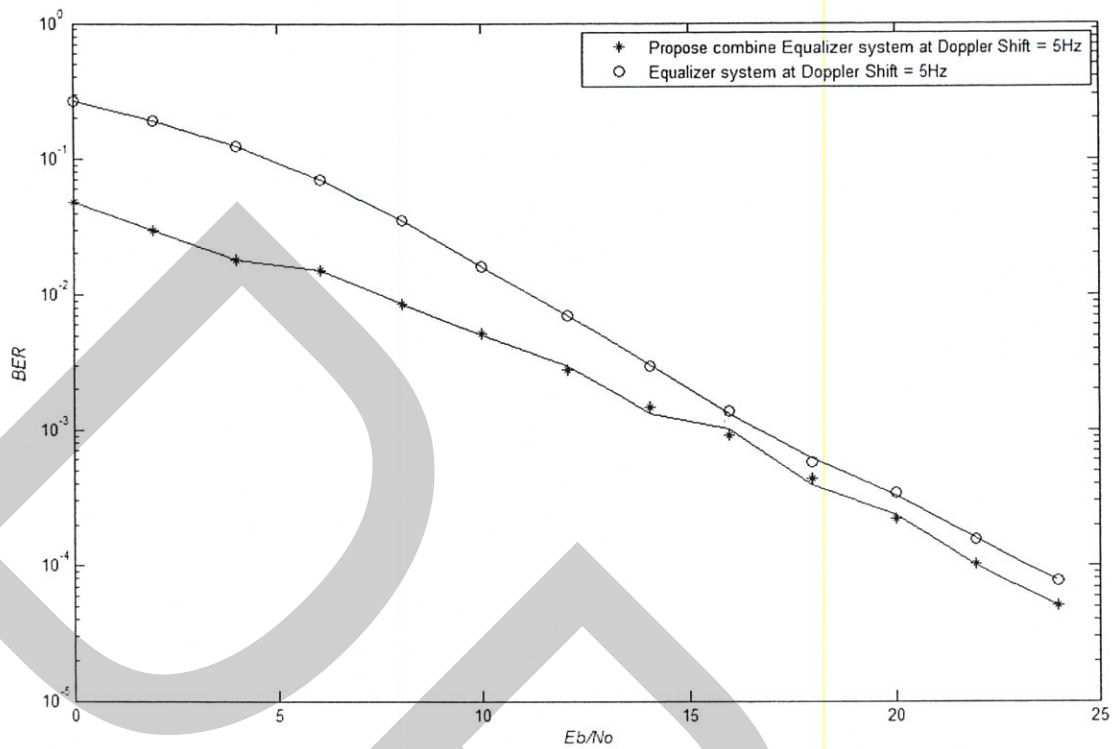
บทที่ 4

ผลการศึกษา

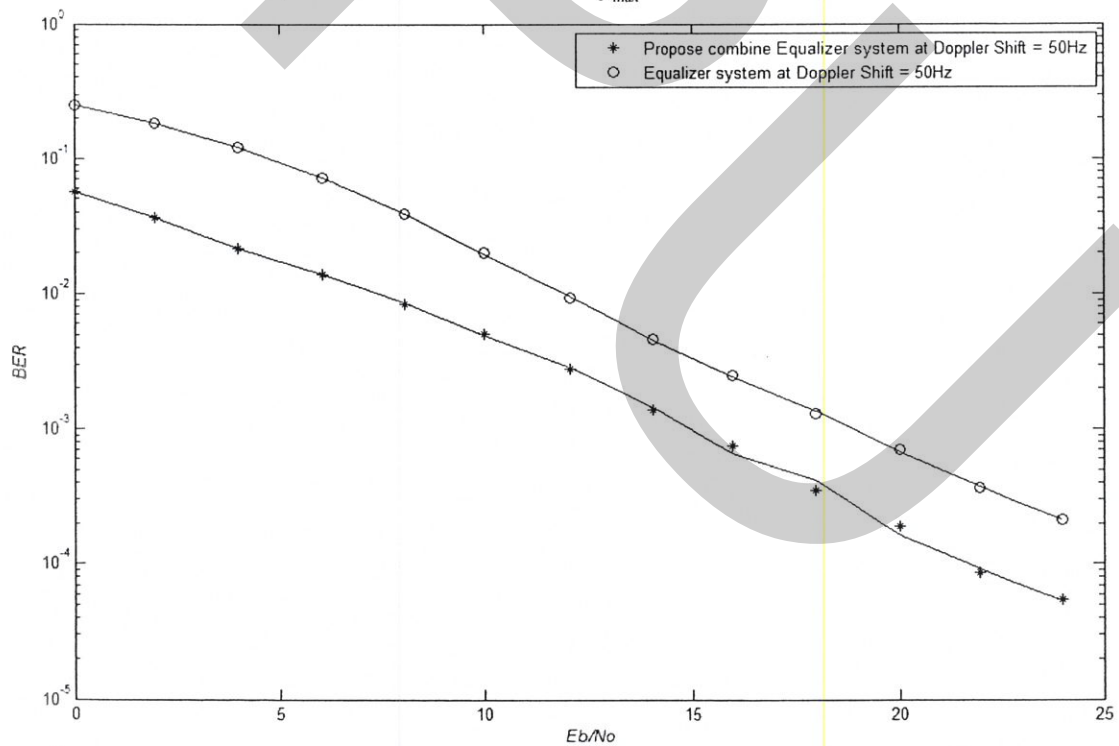
ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบ โดยใช้โปรแกรมจำลองระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ที่นำเสนอ โดยในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารที่นำเสนอ ในงานวิจัยนี้ได้ถูกจำลองสามารถที่จะแบ่งเป็น หลายสภาพแวดล้อม ได้แก่ สภาพแวดล้อมที่มีการเคลื่อนที่สูงหรือมีค่า f_{max} เท่ากับ 200 Hz แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่า f_{max} ลดลงเป็น 150 Hz, 100 Hz, 50 Hz และสภาพแวดล้อมที่มีการเคลื่อนที่ต่ำหรือ f_{max} เท่ากับ 5 Hz โดยในแต่ละสภาพแวดล้อมจะเป็นทำการเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการติดตั้ง Equalizer กับระบบที่นำเสนอดังกล่าวรวมกับ Equalizer โดยแบบจำลองจะมีพหุวัตินามิเตอร์ตามตารางที่ 3.1 และพารามิเตอร์ในการปรับแอมพลิจูดกับเฟสใช้ตามตารางที่ 3.2 และใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามที่เสนอในบทที่ผ่านมา โดยได้ศึกษาผลของการจำลองระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ที่นำเสนอเป็นผลลัพธ์ของค่าความผิดพลาดของบิตต่อพลังงานที่ทำการส่งสัญญาณข้อมูล ซึ่งมีผลโดยตรงต่อค่าของสมรรถนะของระบบโดยแบ่งได้ตามหัวข้อการวิเคราะห์ดังนี้

4.1 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer

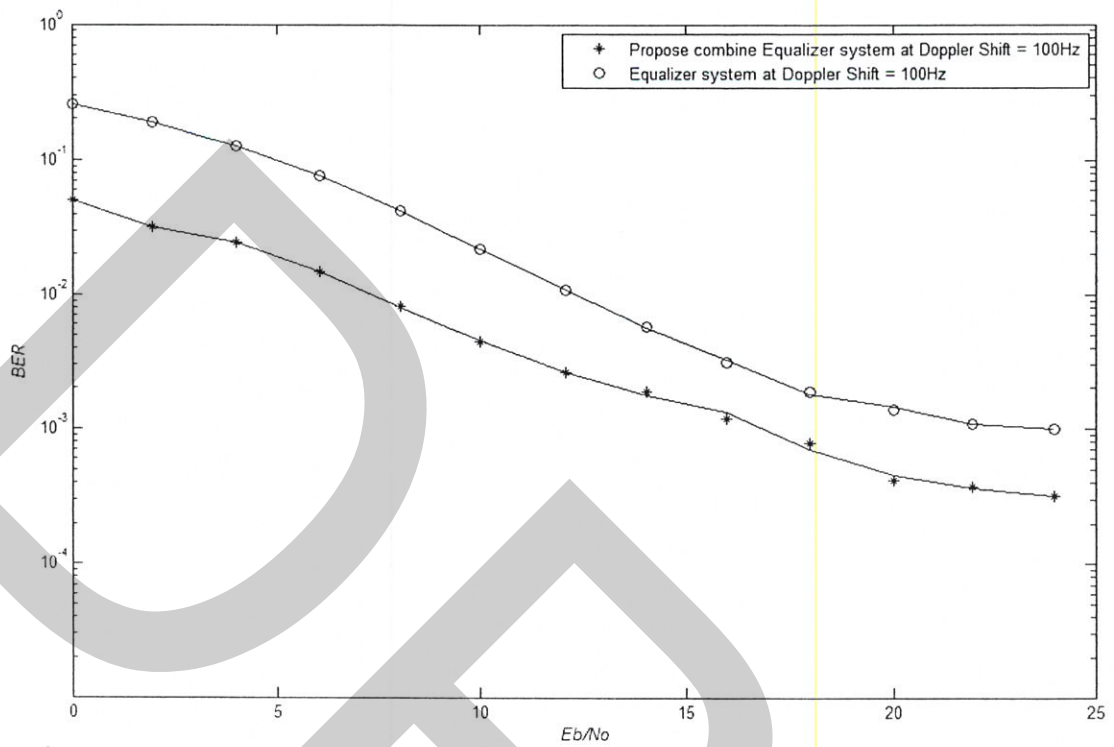
ในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงถึงสมรรถนะของระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ที่ทำการนำเสนอ เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วของระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าของความถี่คอปเปอเรเตอร์ของทั้ง 2 ระบบ เป็น 5 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz และ 200 Hz ตามลำดับ โดยที่ผลลัพธ์ของการทดสอบระบบทั้ง 2 ระบบ จะแสดงตั้งแต่รูปที่ 4.1 - 4.5 เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของระบบที่แสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว



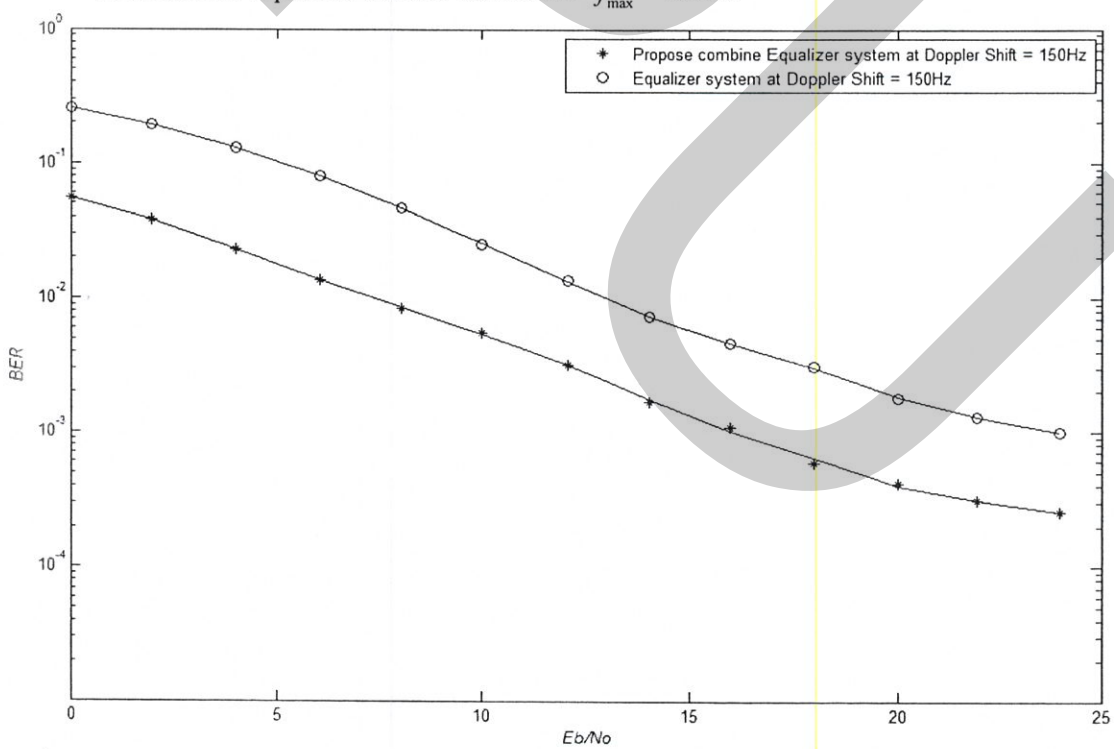
รูปที่ 4.1 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว เมื่อ $f_{\max} = 5$ Hz



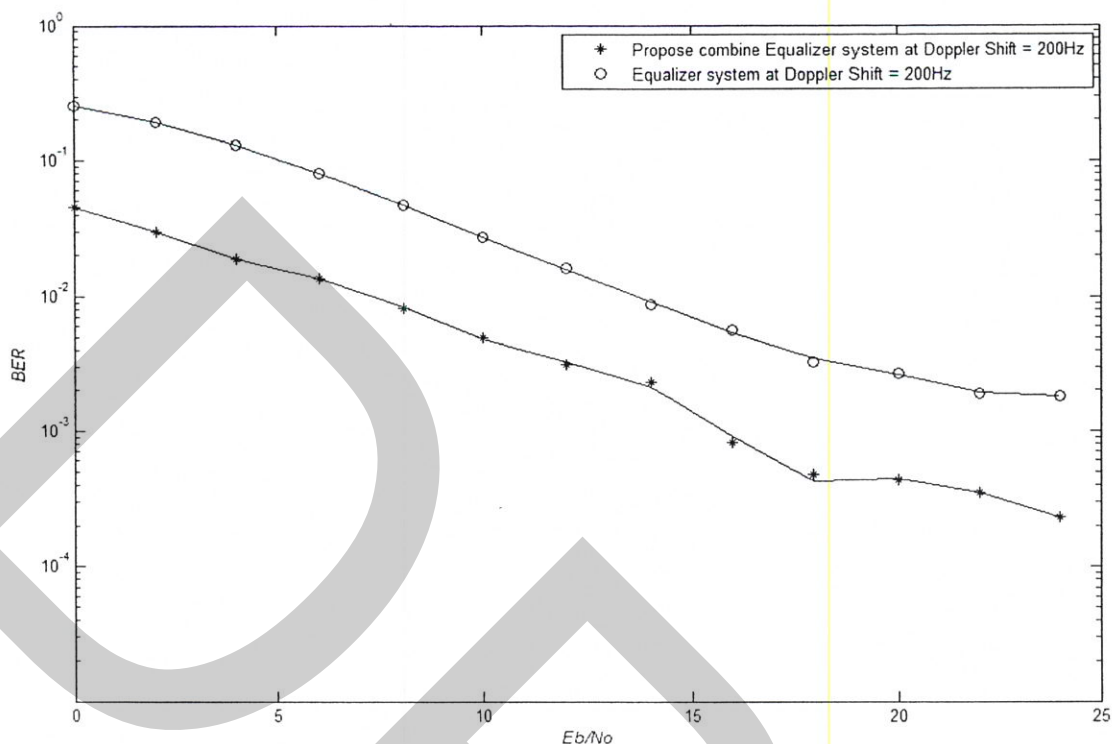
รูปที่ 4.2 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว เมื่อ $f_{\max} = 50$ Hz



รูปที่ 4.3 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว เมื่อ $f_{\max} = 100$ Hz



รูปที่ 4.4 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว เมื่อ $f_{\max} = 150$ Hz



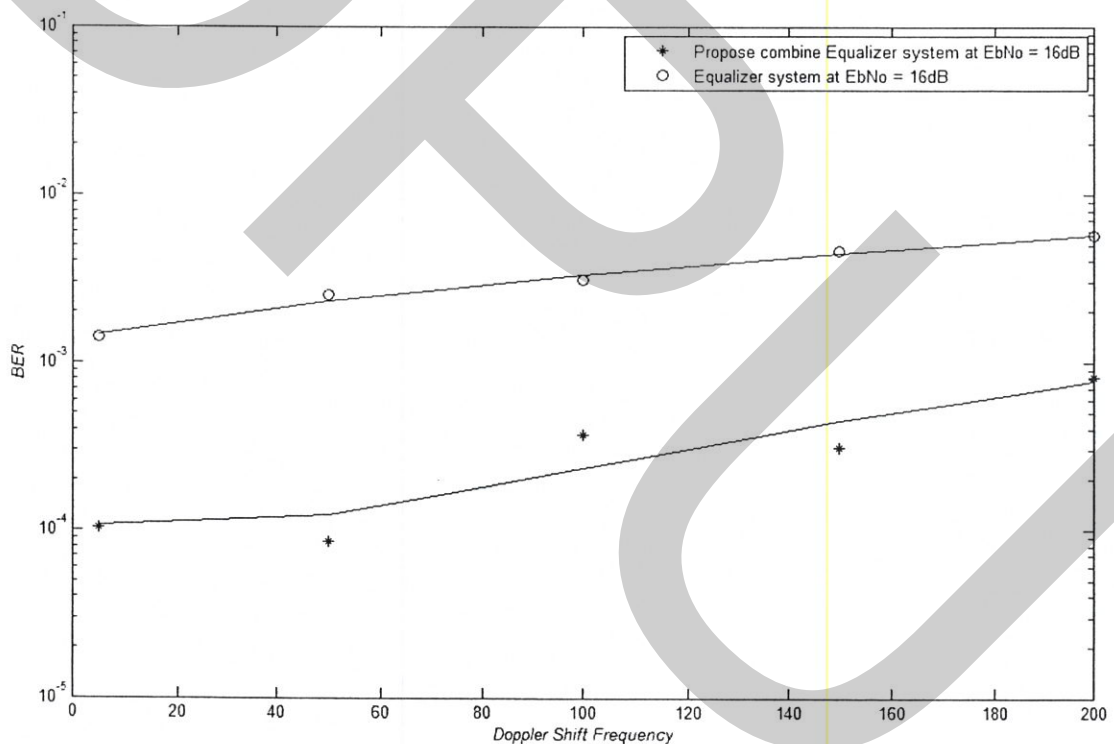
รูปที่ 4.5 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว เมื่อ $f_{\max} = 200$ Hz

จากการจำลองในสภาพแวดล้อมที่กำหนดข้างต้นเพื่อทดสอบระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ จะทำการทดสอบผ่านการจำลองด้วยการส่งข้อมูลรอบละ 500,000 บิต จำนวน 10 รอบ ที่มีความอิสระกันทางสถิติ และนำผลลัพธ์ที่ได้มาเฉลี่ยกันทางสถิติ

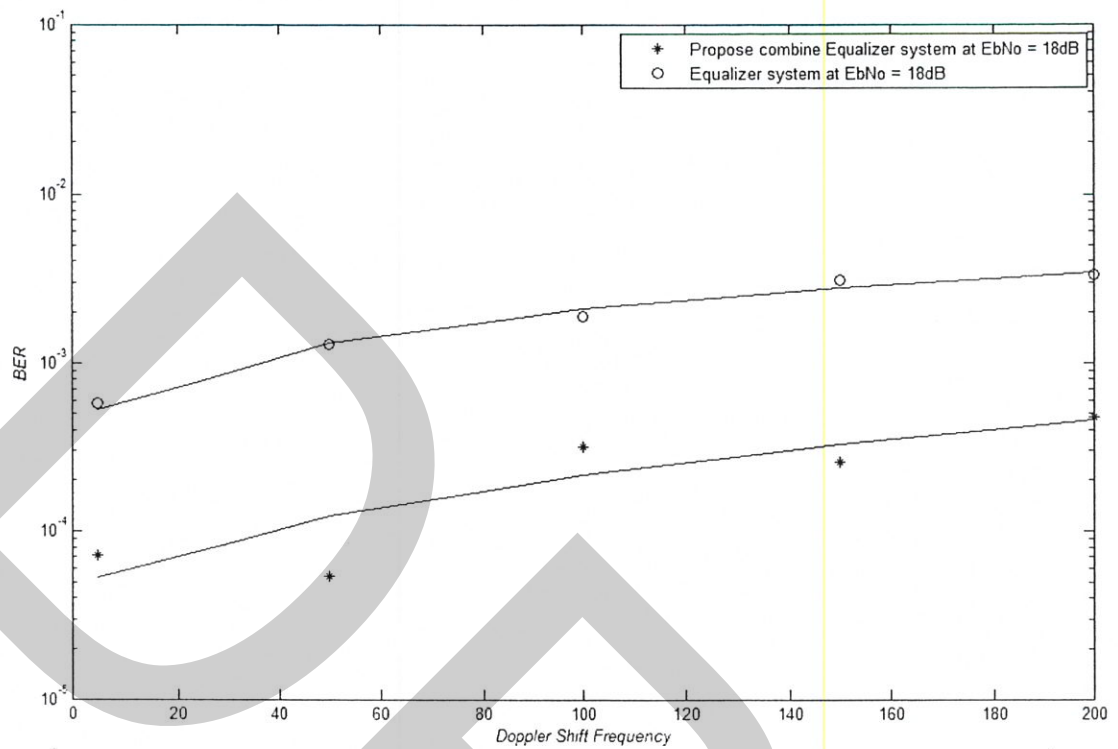
ในการจำลองระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ทั้งหลายสภาพแวดล้อม โดยมีการใช้พารามิเตอร์ของช่องสัญญาณพหุวิถี พลังงานในการส่งแต่ละสัญลักษณ์ต่อพลังงานของสัญญาณรบกวน และ อัตราการส่งข้อมูลที่เท่ากัน โดยมีพารามิเตอร์ที่ปรับเปลี่ยนคือ f_{\max} ซึ่งเลือกค่า f_{\max} 5 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz และ 200 Hz ตามลำดับ เพื่อสะท้อนการใช้งานในขณะเกือบหยุดนิ่ง และในขณะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่อนข้างสูง กล่าวคือเมื่อทำการทดสอบที่ $f_{\max} = 5$ Hz ระบบที่นำเสนอมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบเก่าอย่างชัดเจน โดยทำการเปรียบเทียบทั้ง 2 ระบบ ด้วยการให้พลังงานในการส่งบิตข้อมูลที่ 24 dB ระบบที่นำเสนอจะมีสมรรถนะที่ดีกว่าระบบที่มีเพียง Equalizer เพียงอย่างเดียว โดยจะใช้พลังงานในการส่งบิตข้อมูลน้อยกว่าประมาณ 1 dB แต่เมื่อระบบมี f_{\max} ที่สูงมากขึ้นเป็น 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz และ 200 Hz ตามลำดับ ระบบที่ทำการนำเสนอ จะมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบเก่าประมาณ 5 dB 7 dB 8 dB และ 10 dB ตามลำดับ โดยในการทดสอบส่งบิตข้อมูลจำนวน 500,000 บิต ซึ่งระบบที่นำเสนอสามารถที่จะลดความผิดพลาดในการรับข้อมูลของเครื่องรับ ได้ดีขึ้น

4.2 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลต่อความถี่ดอปเปลอร์เปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer

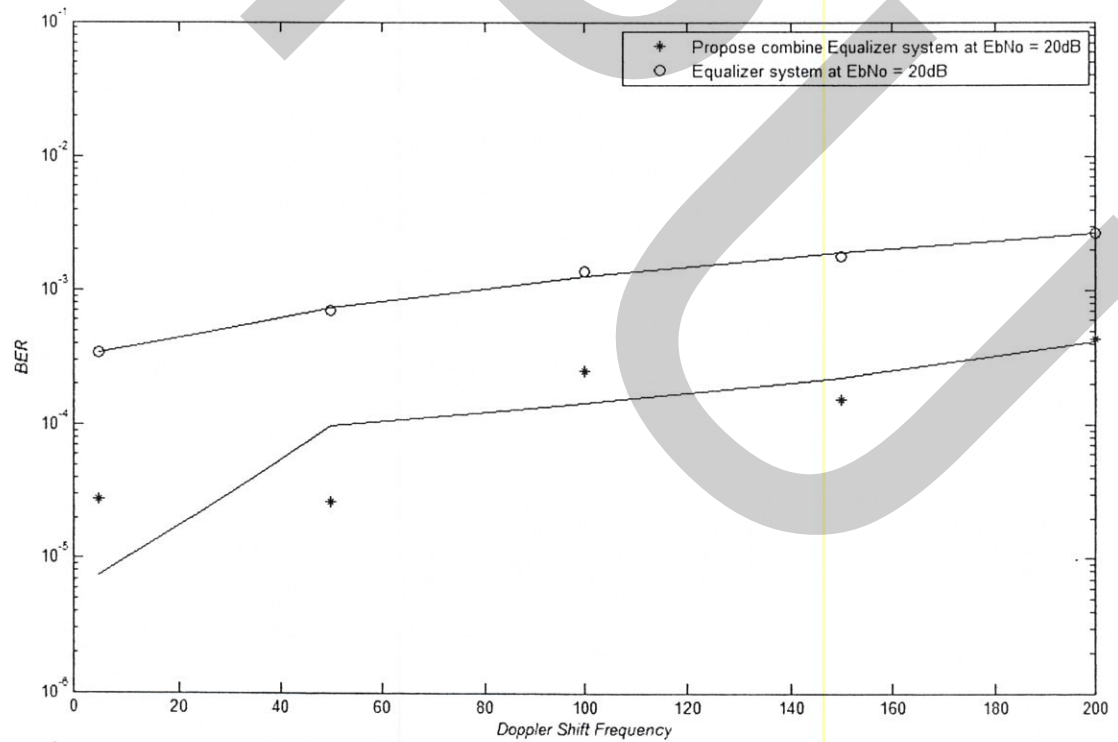
ในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงถึงสมรรถนะของระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ที่ทำการนำเสนอ เมื่อทำการส่งพลังงานของกลุ่มสัญลักษณ์ด้วยพลังงานคงที่ โดยทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วของระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าของความถี่ดอปเปลอร์ของทั้ง 2 ระบบ เป็น 5 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz และ 200 Hz ตามลำดับ โดยที่ผลลัพธ์ของการทดสอบระบบทั้ง 2 ระบบ จะแสดงตั้งแต่รูปที่ 4.6 - 4.10 เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของระบบที่แสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียว



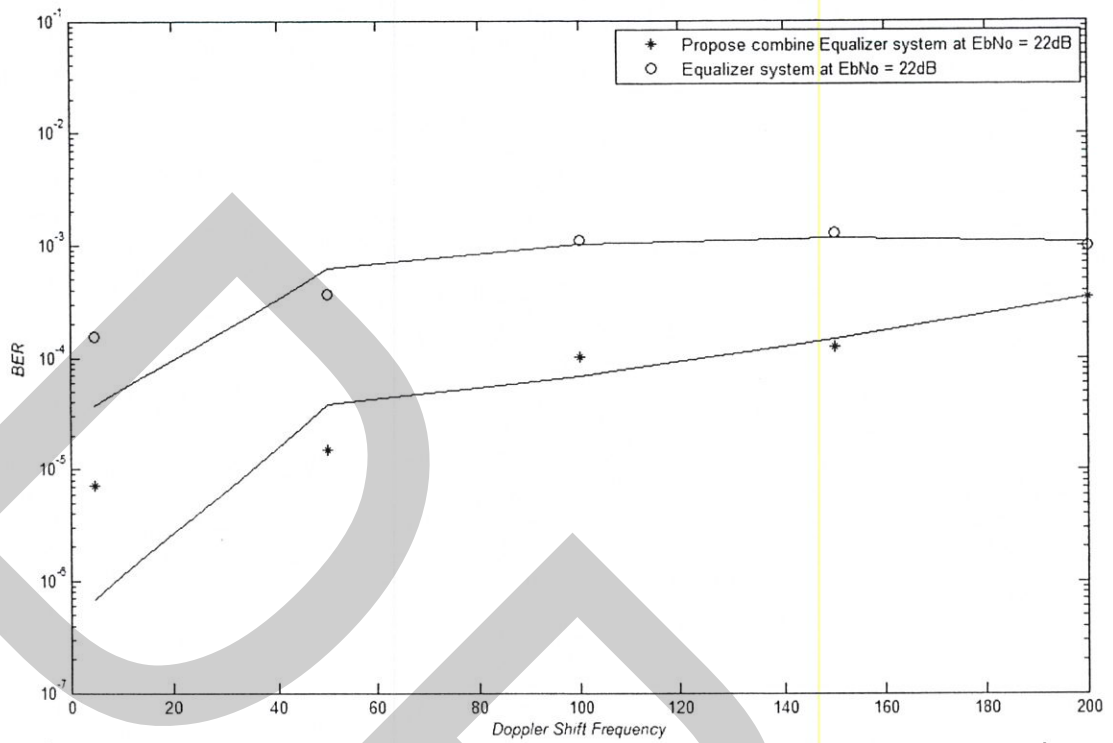
รูปที่ 4.6 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลต่อความถี่ดอปเปลอร์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียวเมื่อใช้กำลังส่งเท่ากับ 16 dB



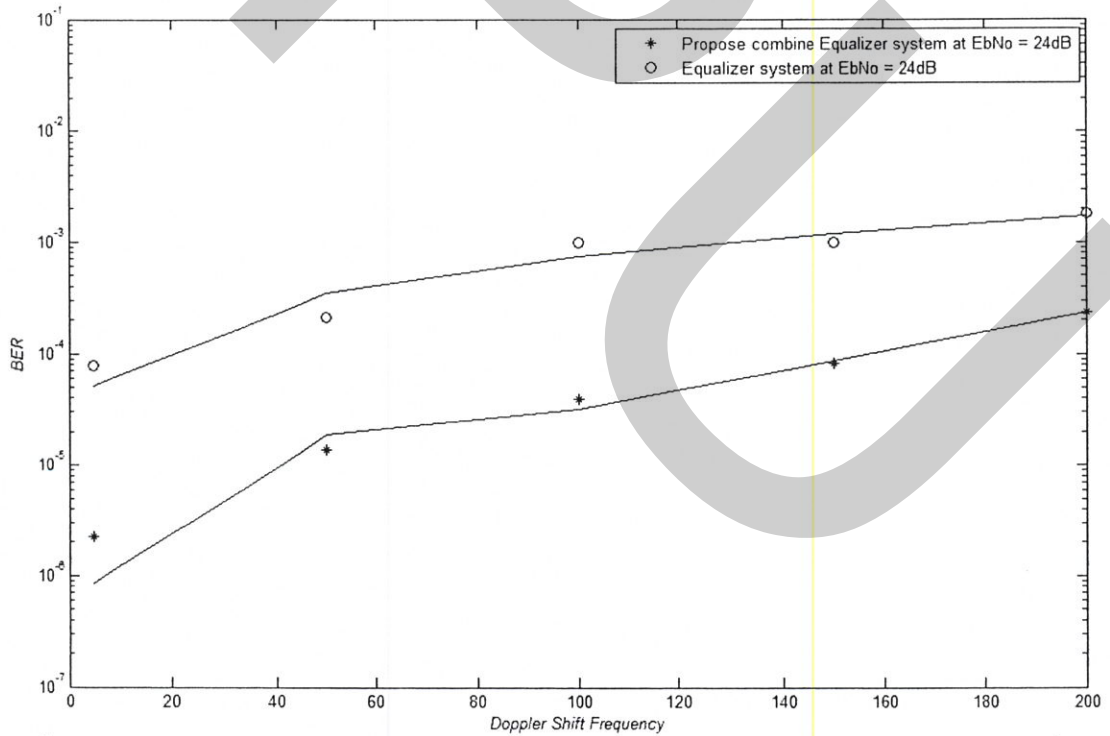
รูปที่ 4.7 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลต่อความถี่ดอปเปลอร์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียวเมื่อใช้กำลังส่งเท่ากับ 18 dB



รูปที่ 4.8 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลต่อความถี่ดอปเปลอร์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียวเมื่อใช้กำลังส่งเท่ากับ 20 dB



รูปที่ 4.9 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลต่อความถี่ดอปเปลอร์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียวเมื่อใช้กำลังส่งเท่ากับ 22 dB



รูปที่ 4.10 สมรรถนะของระบบแสดงในรูปอัตราการเกิดความผิดพลาดของบิตข้อมูลต่อความถี่ดอปเปลอร์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มี Equalizer เพียงอย่างเดียวเมื่อใช้กำลังส่งเท่ากับ 24 dB

จากการจำลองในสภาพแวดล้อมที่กำหนดข้างต้นเพื่อทดสอบระบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ จะทำการทดสอบผ่านการจำลองด้วยการส่งข้อมูลรอบละ 500,000 บิต จำนวน 10 รอบที่มีความอิสระกันทางสถิติ และนำผลลัพธ์ที่ได้มาเฉลี่ยกันทางสถิติ

ในการจำลองระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ทั้งหลายสภาพแวดล้อม โดยมีการใช้พารามิเตอร์ของช่องสัญญาณพหุวิถี พลังงานในการส่งแต่ละสัญลักษณ์ต่อพลังงานของสัญญาณรบกวน และ อัตราการส่งข้อมูลที่เท่ากัน โดยมีพารามิเตอร์ที่ปรับเปลี่ยนคือ f_{\max} ซึ่งเลือกค่า f_{\max} 5 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz และ 200 Hz ตามลำดับ และใช้กำลังในการส่งบิตข้อมูลที่คงที่เพื่อสะท้อนการใช้งานในขณะเกือบหยุดนิ่งและในขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่อนข้างสูง กล่าวคือเมื่อทำการทดสอบที่กำลังส่ง 16 dB ระบบที่นำเสนอมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบเก่าอย่างชัดเจน โดยมีความผิดพลาดของข้อมูลที่ส่งจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับเฉลี่ยประมาณ 10 เท่า ของระบบที่มีเพียง Equalizer เพียงอย่างเดียว แต่เมื่อระบบมีการส่งพลังงานในการส่งข้อมูลที่สูงมากขึ้นเป็น 18 dB 20 dB 22 dB และ 24 dB ตามลำดับ ระบบที่ทำการนำเสนอ จะมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบเก่าเฉลี่ยประมาณ 9 เท่า 8 เท่า 7 เท่า และ 11 เท่า ตามลำดับ โดยในการทดสอบส่งข้อมูลบิตจำนวน 500,000 บิต ซึ่งระบบที่นำเสนอสามารถที่จะลดความผิดพลาดในการรับข้อมูลของเครื่องรับได้ดีขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการศึกษาและวิจัย

ระบบการสื่อสารไร้สาย ในปัจจุบันเป็นระบบสื่อสารข้อมูลที่มีความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้น เช่นการเพิ่มขึ้นของความต้องการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ เครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (WLAN) และรูปแบบของการใช้บริการมัลติมีเดียแบบเคลื่อนที่ (Mobile Multimedia) ซึ่งย่านความถี่ที่มีอยู่นั้นมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการเพื่อให้ระบบการสื่อสารไร้สายมีความสามารถรองรับกับความต้องการรับส่ง ข้อมูลที่มีอัตราเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีเทคนิคการชดเชยกลุ่มของสัญญาณของระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ไร้สาย โดยให้เครื่องส่งทำการส่งบิตข้อมูลนำร่องเพื่อตรวจสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณในช่วงเวลานั้น โดยการส่งบิตข้อมูลนำร่องนั้น ใช้อัตราความถี่ในการส่งคือ 1600 Hz เป็นการส่งในความถี่เดียวกับระบบการควบคุมกำลังส่งของระบบการสื่อสารไร้สาย เมื่อบิตข้อมูลนำร่องถูกส่งออกไปตรวจสอบลักษณะของช่องสัญญาณ ไปถึงยังเครื่องรับ เครื่องรับจะทำการแยกบิตข้อมูลนำร่องมาตรวจสอบ เป็นการตรวจสอบด้วยวิธีการเปรียบเทียบกับเฟสและแอมพลิจูดที่เลขฐานจำนวนเชิงซ้อน โดยผลลัพธ์ในการตรวจสอบได้จะเป็นข้อมูลเลขฐานสองจำนวนสองบิต โดยความหมายของบิตข้อมูลส่วนหน้าแสดงถึงการปรับแต่งในส่วนของแอมพลิจูดของกลุ่มสัญญาณข้อมูลและความหมายของบิตข้อมูลในส่วนท้ายแสดงถึงการปรับแต่งในส่วนของเฟสของกลุ่มของสัญญาณข้อมูล และความหมายของค่าเลขฐานสองที่ทำการส่งกลับไปยังเครื่องส่งคือ เมื่อมีการส่งบิตข้อมูลที่มีค่าเป็นศูนย์แสดงถึงการปรับลดแอมพลิจูดหรือเฟสของกลุ่มสัญญาณของข้อมูลแต่เมื่อมีการส่งบิตข้อมูลที่มีค่าเป็นหนึ่งแสดงถึงการปรับเพิ่มแอมพลิจูดหรือเฟสของกลุ่มสัญญาณของข้อมูล เมื่อเครื่องส่งได้รับข้อมูลที่ทำการป้อนกลับจากเครื่องรับ เครื่องส่งจะทำการชดเชยกลุ่มของสัญญาณเพื่อลดผลกระทบของช่องสัญญาณในช่วงเวลานั้น

ในการทดสอบระบบที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการทดสอบเพื่อให้ทราบถึงสมรรถนะของระบบที่นำเสนอ เป็นการทดสอบโดยนำระบบที่นำเสนอมาทำการเปรียบเทียบกับระบบที่มีเพียง Equalizer เพียงอย่างเดียว โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.1 ตารางที่ 3.2 และ ตารางที่ 3.4 ซึ่งจากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าระบบที่นำเสนอสามารถที่จะลดความผิดพลาดของ

บิตข้อมูลที่ทำกรส่งจากเครื่องส่งไปถึงเครื่องรับได้ในทุกๆ ความถี่คอปเปลอร์หรือในทุกๆ ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ได้ทำการทดสอบของการเปรียบเทียบของทั้ง 2 ระบบ

5.2 ข้อเสนอแนะและงานวิจัยในอนาคต

ในระบบการสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่ เพื่อให้มีอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูงขึ้น การลดความผิดพลาดของบิตข้อมูลที่ทำกรส่งจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญยิ่งและอุปสรรคที่สำคัญในการส่งสัญญาณข้อมูลคือช่องสัญญาณ เนื่องจากช่องสัญญาณแบบไร้สายนั้นไม่สามารถที่จะคาดเดาได้ ในงานวิจัยในอนาคตผู้วิจัยต้องการที่จะศึกษาการปรับชดเชยกลุ่มของสัญลักษณ์ที่สามารถปรับมุมของแอมพลิจูดและขนาดของเฟสของกลุ่มสัญลักษณ์ได้อย่างเหมาะสมกับช่องสัญญาณในสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้อย่างอัตโนมัติเพื่อเป็นการช่วยให้ระบบการสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่มีอัตราบิตข้อมูลที่ผิดพลาดน้อยที่สุด

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

หนังสือ

ตัณยูฉกร วุฒิสัททิกุลกัจ. (บรรณาธิการ). (2542). **ชนิดของอีควอไลเซอร์ : หลักการระบบ
โทรศัพท์เคลื่อนที่**. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาต่างประเทศ

BOOKS

Matthias Pätzold. (2002). **Mobile Fading Channel**. John Wiley & Sons, Ltd.

Marvin K. Simon and Mohamed-Slim Alouini. (2000). **Digital Communication over Fading
Channels: A Unified Approach to Performance Analysis**. John Wiley & Sons, Inc.

Simon Haykin, Michael Moher. (2005). **Modern Wireless Communication**. Pearson Education,
Inc.

ARTICLES

C. Douillard, M. Jezequel, C. Berrou, A. Picart, P. Didier, and A. Glavieux. (1995). "Iterative
correction of intersymbol interference: Turbo-equalization." **European Transactions
on Telecommunications**. (Vol. 6, pp.507-511).

Fakhrul Alam, Brian D. Woerner, and W.H. Tranter. "**BER Simulation for WCDMA System in
Multipath Fading Channel**". (Research Report). Mobile and Portable Radio
Research Group Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg,
USA.

Frank A. Dietrich, Peter Breun, and Wolfgang Utschick. (2007, February). "Robust Tomlinson-
Harashima Precoding for the Wireless Broadcast Channel". **IEEE Transactions
Signal Processing**. (Vol. 55, pp.631-644).

Kenichi Kobayashi, Tomoaki Ohtsuki, and Toshinobu Kaneko. (2007, November). "Precoding for MIMO System in Line-Of-Sight (LOS) Environment". **IEEE Global Telecommunications conference**. (pp. 4370-4374).

Malcom W. Oliphant. (1999, August) "The Mobile Phone Meets the Internet". **IEEE Spectrum**, (Vol.36, Issue.8 pp. 20-28).

Tommi Jämsä, Juha Meinilä, and Pekka. **Overview of WINNER Channel Modelling Activities**. (Wireless World Research Forum). Iektrobit Testing Ltd, Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zürich Hassan El-Sallabi, Helsinki University of Technology.

T. Philosof, U. Erez, and R. Zamir. (2002, December). "Precoding for Interference Cancellation at Low SNR". **Electrical and Electronics Engineer**. (pp.144-147). ISRAEL.

Y. Chan, W. Zhuang. (1999, January). "Channel Precoding for Indoor Radio Communication Using Dimension Partitioning". **IEEE Transaction on Vehicular Technology**. (Vol. 48, No.1, pp.98-114).

ELECTRONIC SOURCES

UMTS WORLD NEWS INFO FACTS. WCDMA (UMTS). Retrieved February 10, 2010, from <http://www.umtsworld.com/technology/wcdma.htm>.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล

วัน เดือน ปีเกิด

ประวัติการศึกษา

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

นายทศพร จันทร์เฝือก

14 พฤษภาคม 2523

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรม

อิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล ปีการศึกษา 2545

นักวิชาการคอมพิวเตอร์ ดูแลรับผิดชอบซ่อมบำรุง

คอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย มหาวิทยาลัยราชภัฏ

นครราชสีมา