

การจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ LTE-Advanced System
ด้วยโปรแกรม Advanced Design System (ADS)

THE SIMULATION AND ANALYSIS OF EFFICIENCY OF LTE-
ADVANCED SYSTEM WITH THE PROGRAM OF ADVANCED
DESIGN SYSTEM (ADS)

ว่าที่ร้อยตรีเสวต บุญผ่องใส

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ LTE-Advanced System
ด้วยโปรแกรม Advanced Design System (ADS)

ว่าที่ร้อยตรีเสวต บุญผ่องใส

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ LTE-Advanced System
ด้วยโปรแกรม Advanced Design System (ADS)

The Simulation and Analysis of the Efficiency of LTE-Advanced
System with the Program of Advanced Design System (ADS)

ชื่อ-นามสกุล

ว่าที่ร้อยตรีเสวต บุญผ่องใส

สาขาวิชา

วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพฑูรย์ รักเหลือ, วศ.ด.

ปีการศึกษา

2559

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ



(อาจารย์นรเสฏฐ์ วิชัยพาณิชย์, วศ.ด.)

กรรมการ



(อาจารย์มาลียา ตั้งจิตเจษฎา, ปร.ด.)

กรรมการ



(รองศาสตราจารย์สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์, ปร.ด.)

กรรมการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพฑูรย์ รักเหลือ, วศ.ด.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิวกกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 4 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ LTE-Advanced System ด้วยโปรแกรม Advanced Design System (ADS)
ชื่อ-นามสกุล	ว่าที่ร้อยตรีเสวต บุญผ่องใส
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพฑูรย์ รักเหลือ, วศ.ค.
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ LTE-Advanced System ด้วยโปรแกรม Advanced Design System (ADS) โดยศึกษาผลกระทบการจำลองระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ 4G แบบ OFDMA (Orthogonal Frequency – Division Multiple Access) กับ SC-FDMA (Single - Carrier Frequency Division Multiple Access) สำหรับการส่งสัญญาณในช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลงที่มีความถี่ 900 MHz และ 1800 MHz ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์หาขนาดเวกเตอร์ความผิดพลาดและอัตราความผิดพลาดบิต โดยมอดูเลชันสัญญาณแบบ QPSK 16QAM และ 64QAM

ในการออกแบบระบบจำลองระบบ LTE-Advanced System โดยใช้โปรแกรม ADS จะทำการวิเคราะห์ระบบโดยกำหนดให้มีแบนด์วิดท์ 1.4, 3, 5, 10, 15 และ 20 MHz และใส่สัญญาณรบกวนเกาส์เซียนสีขาวแบบบวก (AWGN) เข้าไปในระบบจำลอง รวมทั้งวิเคราะห์ถึงความเร็วในการเคลื่อนที่อุปกรณ์ที่ความเร็ว 120 กม./ชม. ซึ่งผลการจำลองระบบแสดงค่าขนาดเวกเตอร์ความผิดพลาดในการมอดูเลชันสัญญาณแบบ QPSK มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 11% การมอดูเลชันแบบ 16QAM และ 64QAM มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 7%

จากผลการจำลองจะแสดงว่าเมื่อค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมากขึ้นจะทำให้ค่าความผิดพลาดบิตต่ำลง และผลกระทบต่อขนาดเวกเตอร์ความผิดพลาดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีสัญญาณรบกวนมากขึ้น ซึ่งผลจากการวิเคราะห์จะเห็นว่าช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลง สัญญาณรบกวนในระบบไม่ควรเกินค่า -80 dBm/Hz และ -100 dBm/Hz ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้การส่งสัญญาณระหว่างสถานีฐานและสถานีลูกข่าย มีประสิทธิภาพได้ตามมาตรฐาน LTE-A Release-13

คำสำคัญ: LTE-Advanced System ADS ค่าขนาดเวกเตอร์ความผิดพลาด อัตราความผิดพลาดบิต

Thesis Title	The Simulation and Analysis of the Efficiency of LTE-Advanced System with the Program of Advanced Design System (ADS)
Name-Surname	Acting 2 Lt. Sawet Boonpongsai
Program	Electronics and Telecommunication Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Paitoon Rukluea, Ph.D.
Academic Year	2016

ABSTRACT

This thesis presented the simulation and analysis of the efficiency of LTE-Advanced System performance with the program of Advanced Design System (ADS) by investigating the effects of the simulation of 4G mobile communication OFDMA (Orthogonal Frequency - Division Multiple Access) and SC-FDMA (Single - Carrier Frequency Division Multiple Access) on the transmission of uplink and downlink channels at 900 MHz and 1800 MHz. This was used to analyze the error vector magnitude and the bit error rate by QPSK 16QAM and 64QAM signal modulation.

To analyze a LTE-Advanced System simulator using the program of ADS, the system was designed by using bandwidths of 1.4, 3, 5, 10, 15 and 20 MHz and inserting a positive Gaussian noise (AWGN) into the simulation system. It also analyzed how fast the device moves at 120 km / h. The simulation results showed that the error vector magnitude in QPSK modulation had a tolerance of no more than 11%. and 16QAM and 64QAM modulation had a tolerance of no more than 7%.

The simulation results revealed that when the signal-to-noise ratio was greater, the bit error value was lower, while the impact on the error vector magnitude increased when there was more noise. It was found that the up and down channels had noise in the system that did not exceed -80 dBm / Hz and -100 dBm / Hz respectively, which allowed the transmission between the base station and the workstation to meet the standard of the efficiency of the LTE-A Release-13.

Keywords: LTE-Advanced System, ADS, error vector magnitude, bit error rate

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้จากความอนุเคราะห์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพฑูรย์ รักเหลือ ถือเป็นเกียรติอย่างยิ่งที่ท่านได้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคมทุกท่านที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับเรื่องชิ้นงานวิทยานิพนธ์และให้คำชี้แนะแนวทางรวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ ของการทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอดมา ขอกราบขอบพระคุณท่าน ดร.นรเศรษฐ์ วิชัยพาณิชย์ ที่กรุณารับเป็นประธานกรรมการวิทยานิพนธ์ และได้ชี้แนะแนวความคิดตลอดจนประสบการณ์ของท่านเพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณท่านรองศาสตราจารย์สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ และ ดร.มาลีตา ตั้งจิตเจษฎา ที่กรุณารับเป็นกรรมการวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสมบูรณ์และถูกต้องไม่ได้ ถ้าหากไม่ได้รับความช่วยเหลือจากรุ่นพี่ เพื่อนนักศึกษา ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อีกทั้งยังให้ความช่วยเหลือต่อวิทยานิพนธ์และที่ขาดไม่ได้ต้องขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคมที่เอื้ออำนวยเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อใช้ในการสืบค้นหาข้อมูลตลอดจนสถานที่ปฏิบัติงานในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างยิ่ง ผู้เขียนจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ท้ายนี้ใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาซึ่งสนับสนุนในด้านการศึกษและคอยให้กำลังใจแก่ผู้เขียนมาโดยตลอด และขอขอบคุณเจ้าของเอกสารและงานวิจัยทุกท่าน ที่ผู้เขียนศึกษาค้นคว้าได้นำมาอ้างอิงในการทำวิจัยจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ว่าที่ร้อยตรีเสวต บุญพองใส

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(12)
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	14
1.2 วัตถุประสงค์.....	15
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	15
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	15
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	16
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.1 เทคโนโลยี OFDMA.....	18
2.2 เทคโนโลยี SC-FDMA.....	27
2.3 Time Division Duplex (TDD) และ Frequency Division Duplex (FDD).....	29
2.4 เทคนิคการมอดูเลต.....	31
2.5 สัญญาณรบกวน (Noise).....	33
2.6 Error Vector Magnitude.....	36
2.7 Bit Error Rate.....	37
2.8 Signal to noise ratio.....	37
2.9 การวิจัยที่ได้ดำเนินการไปแล้ว.....	38
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	39
3.1 สิ่งที่ต้องทำการทดสอบในระบบ LTE-Advanced System.....	39
3.2 การออกแบบเพื่อวิเคราะห์ช่องสัญญาณขาขึ้น.....	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การออกแบบเพื่อวิเคราะห์ช่องสัญญาณขาลง.....	41
3.4 แนวทางในการออกแบบจำลองระบบ LTE-Advanced System.....	42
3.5 การออกแบบระบบจำลอง LTE-Advanced System โดยใช้โปรแกรม ADS.....	43
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	50
4.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของช่องสัญญาณขาลง	50
4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของช่องสัญญาณทางด้านขาขึ้น	62
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	74
5.1 สรุปผล.....	74
5.2 ข้อเสนอแนะ	77
บรรณานุกรม	78
ภาคผนวก.....	81
ภาคผนวก ก วิธีใช้โปรแกรม ADS เบื้องต้นเพื่อการออกแบบระบบ LTE-Advanced...	82
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	88
ประวัติผู้เขียน.....	109

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่าที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐาน LTE-Advanced System.....	45
ตารางที่ 4.1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วน สัญญาณต่อสัญญาณรบกวน.....	54
ตารางที่ 4.2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วน สัญญาณต่อสัญญาณรบกวนกรณีที่อยู่โปรแกรมเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตร ต่อชั่วโมง.....	55
ตารางที่ 4.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วน สัญญาณต่อสัญญาณรบกวน.....	59
ตารางที่ 4.4 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วน สัญญาณต่อสัญญาณรบกวนกรณีที่อยู่โปรแกรมเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตร ต่อชั่วโมง.....	60
ตารางที่ 4.5 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วน สัญญาณต่อสัญญาณรบกวน.....	65
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วน สัญญาณต่อสัญญาณรบกวนกรณีที่อยู่โปรแกรมเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตร ต่อชั่วโมง.....	66
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วน สัญญาณต่อสัญญาณรบกวน.....	70
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วน สัญญาณต่อสัญญาณรบกวนกรณีที่อยู่โปรแกรมเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง	71

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	(a) Pulse รูปสี่เหลี่ยมของสัญญาณ	20
รูปที่ 2.2	(b) Multipath fading มีค่าหน่วงเวลาน้อย.....	22
รูปที่ 2.3	Spectrum ของ OFDM และ Spectrum ของ FDM	25
รูปที่ 2.4	การปรับสัดส่วนการรับและส่งข้อมูลของ TDD.....	29
รูปที่ 2.5	ลักษณะการสื่อสารแบบ FDD และ TDD.....	30
รูปที่ 2.6	การมอดูเลตแบบ QPSK, 16QAM และ 64QAM ตามลำดับ	33
รูปที่ 2.7	แสดงความแตกต่างของจุดอ้างอิงและจุดที่วัดได้จริงจากการวัดค่า EVM.....	36
รูปที่ 3.1	แผนผังในการทดสอบระบบ LTE-Advanced System	39
รูปที่ 3.2	แสดงแนวคิดของการทดสอบช่องสัญญาณขาขึ้น	40
รูปที่ 3.3	แสดงแนวคิดของการทดสอบช่องสัญญาณขาขึ้นกรณีที่อยู่กรณี โทรศัพท์มือถือไม่มีการเคลื่อนที่.....	40
รูปที่ 3.4	แสดงแนวคิดของการทดสอบช่องสัญญาณขาขึ้นกรณีที่อยู่กรณี โทรศัพท์มือถือมีการเคลื่อนที่.....	41
รูปที่ 3.5	แสดงแนวคิดของการทดสอบช่องสัญญาณขาลง.....	41
รูปที่ 3.6	แสดงแนวคิดของการทดสอบช่องสัญญาณขาลงกรณีที่อยู่กรณี โทรศัพท์มือถือไม่มีการเคลื่อนที่.....	41
รูปที่ 3.7	แสดงแนวคิดของการทดสอบช่องสัญญาณขาลงกรณีที่อยู่กรณี โทรศัพท์มือถือมีการเคลื่อนที่.....	42
รูปที่ 3.8	แสดงการออกแบบการทดสอบ BER โดยใช้โปรแกรม ADS.....	43
รูปที่ 3.9	การออกแบบการทดสอบค่าอัตราความผิดพลาดบิตทางด้านเชื่อม โยงขาลง โดยใช้โปรแกรม ADS	44
รูปที่ 3.10	การออกแบบการทดสอบค่าการครอบครองแบนด์วิดท์ทางการ เชื่อม โยงขาลง	44
รูปที่ 3.11	การเลือกพารามิเตอร์ที่ต้องการใช้.....	45
รูปที่ 3.12	การออกแบบการทดสอบค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิง	46
รูปที่ 3.13	การจำลองเฟสของ I และ Q ที่เปลี่ยนแปลงไป	47

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.14	การจำลองเกณฑ์ของ I และ Q ที่เปลี่ยนแปลงไป	47
รูปที่ 3.15	การออกแบบการจำลองสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบ.....	48
รูปที่ 3.16	การจำลองสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ.....	48
รูปที่ 3.17	ตาราง Variable ของระบบ	49
รูปที่ 4.1	รูปการวัดค่าแบนด์วิดท์ที่ความถี่ 900 MHz และความถี่ 1800 MHz.....	50
รูปที่ 4.2	ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง	51
รูปที่ 4.3	ผลกระทบเมื่อเกณฑ์ของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง	52
รูปที่ 4.4	ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง เมื่อมีสัญญาณ รบกวน	53
รูปที่ 4.5	ค่าอัตราความผิดพลาดบิตเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อ สัญญาณรบกวน	55
รูปที่ 4.6	ค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่ความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	56
รูปที่ 4.7	ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง	57
รูปที่ 4.8	ผลกระทบเมื่อเกณฑ์ของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง	58
รูปที่ 4.9	ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง เมื่อมีสัญญาณ รบกวน	58
รูปที่ 4.10	ค่าอัตราความผิดพลาดบิต เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อ สัญญาณรบกวน	60
รูปที่ 4.11	ค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่ความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	61
รูปที่ 4.12	รูปการวัดค่าแบนด์วิดท์ที่ความถี่ 900 MHz และความถี่ 1800 MHz.....	62
รูปที่ 4.13	ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิงในช่วงค่าที่ เหมาะสมขณะที่มีสัญญาณรบกวน -80 dBm/Hz	63
รูปที่ 4.14	ผลกระทบเมื่ออัตราขยายของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง.....	64

สารบัญรูป (ต่อ)

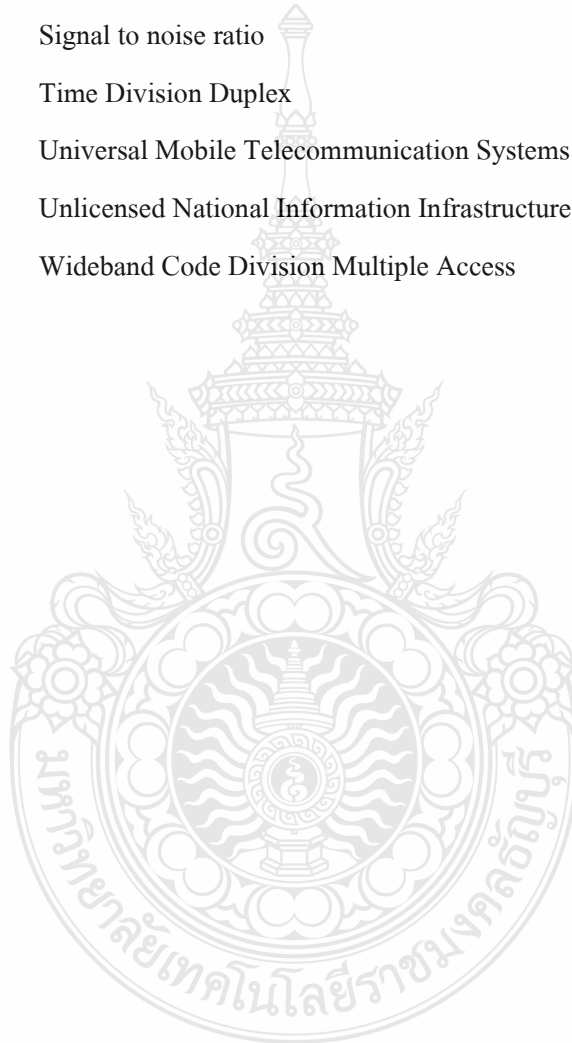
	หน้า
รูปที่ 4.15 ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง เมื่อมีสัญญาณ รบกวน	64
รูปที่ 4.16 ค่าอัตราความผิดพลาดบิต เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อ สัญญาณรบกวน	66
รูปที่ 4.17 ค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่ความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณ	67
รูปที่ 4.18 ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิงในช่วงค่าที่ เหมาะสมที่มีสัญญาณรบกวน -80 dBm/Hz.....	68
รูปที่ 4.19 ผลกระทบเมื่ออัตราขยายของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง.....	68
รูปที่ 4.20 ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง เมื่อมีสัญญาณ รบกวน	69
รูปที่ 4.21 ค่าอัตราความผิดพลาดบิต เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อ สัญญาณรบกวน	70
รูปที่ 4.22 ค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่ความเร็ว 120 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับค่า อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน	72

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

3GPP	Third Generation Partner Ship Project
4GLTE	Four Generation Long Term Evolution
BER	Bit Error Rate
CDMA	Code Division Multiple Access
DAB	Digital Audio Broadcasting
DTV	Digital Television
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
EVM	Error vector Magnitude
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency-division multiple access
FFT	Fast Fourier Transform
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
HSPA	High Speed Packet Access
ISI	Inter symbol Interference
ISM	Institute for supply Management
ITU	International Telecommunication Union
LTE	Long-term Evolution
MBR	Mobile Broadband Router
MCM	Multi Chip Module
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiple
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PAD	Packet Assembler Disassemble
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PDN	Public Data Network
QOS	Quality of Service
SAE	System Architecture Evolution

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SNR	Signal to noise ratio
TDD	Time Division Duplex
UMTS	Universal Mobile Telecommunication Systems
UNII	Unlicensed National Information Infrastructure
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน โทรศัพท์มือถือมีความสำคัญกับมนุษย์อย่างมาก ทำให้โทรศัพท์มือถือต้องมีการพัฒนาการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เทคโนโลยีสื่อสารที่ใช้บนโทรศัพท์มือถือขณะนี้ได้เข้าสู่ Fourth Generation (4G) เทคโนโลยี LTE-Advanced เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยลดข้อจำกัดในการรับส่งข้อมูลของเทคโนโลยีเดิมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ให้เพิ่มความสามารถในการรับส่งข้อมูลโดยรวม โดยในงานวิจัยของ [1] นำเสนอมาตรฐานจากกลุ่ม 3GPP เพื่อกำหนดการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตความเร็วสูงบนระบบโมบายไปสู่ ระบบโมบายยุคต่อไปที่เรียกว่าเป็นยุคที่ 4 ถูกสร้างอยู่บนพื้นฐานของ Global System for mobile Communications (GSM), General Packet Radio Service (GPRS); Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE) และ Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) รวมถึง High Speed Packet Access (HSPA) อีกด้วยจึงเป็นการพัฒนาการที่ต่อเนื่องเพื่อรองรับการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงและ Latency ที่ต่ำลง ทั้งนี้เพื่อให้เป็นโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าเทคโนโลยี HSPA และ HSPA+ สำหรับทางด้านการส่งข้อมูลจากโครงข่ายไปยังอุปกรณ์ของผู้ใช้บริการ ในงานวิจัยของ [2],[3] นำเสนอการใช้ความถี่ใน 2 ลักษณะ คือ Time Division Duplex (TDD) ที่ใช้ความถี่เดียวกันทั้งการรับและการส่ง หากแต่แบ่งที่ช่วงเวลาในการรับส่งให้ขาดจากกันไม่ซ้ำซ้อนกัน และมีการกำหนดเวลาในการรับส่งข้อมูลเพื่อที่จะได้รับส่งข้อมูลถูกต้องไม่ผิดพลาด และ Frequency Division Duplex (FDD) ในการรับและส่งจะแยกความถี่กัน โดยใช้ความถี่ต่ำกับทางด้านอพลิงค์ที่ส่งขึ้นมาจากโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่อยู่กับยูสเซอร์ ส่วนความถี่สูงก็จะใช้กับทางด้านดาวนลิงค์ที่ใช้กับสถานีฐานที่ส่งออกมา ในการรองรับเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารทั้งอพลิงค์และดาวนลิงค์ ในงานวิจัยของ [4] นำเสนอการใช้เทคโนโลยี OFDMA ที่ใช้เทคนิคการ Orthogonal และการแบ่งความถี่ย่อยและเทคโนโลยี SC-FDMA ใช้ Discrete Fourier Transform แทนการใช้ Fast Fourier Transform เพื่อลดค่า PAPR โดยใช้การมอดูเลชัน 3 แบบและเปรียบเทียบค่า Bit Error Rate ในงานวิจัยของ [5] นำเสนอการวิเคราะห์ค่า EVM ของ OFDMA และ SC-FDMA เพื่อการแก้ปัญหา Multipath fading และเมื่อเกิดสัญญาณรบกวน

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการจำลองระบบ LTE-Advanced ผ่านโปรแกรม Advance Design System (ADS) และวิเคราะห์ทางด้านการสื่อสารสัญญาณอพลิงค์และดาวนลิงค์ โดยทำการทดสอบตาม

มาตรฐาน LTE-Advanced โดยใช้โปรแกรมในการจำลองการทำงาน เพื่อศึกษาและทดลองวิเคราะห์การทำงานของระบบจำลอง LTE-Advanced เพื่อเปรียบเทียบมอดูเลชันแต่ละแบบอันได้แก่ QPSK, 16QAM และ 64QAM ตลอดจนเปรียบเทียบความแตกต่างของค่า Error ที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนเพิ่มมากขึ้น อุปกรณ์โมบายมีหลายชนิดและมีการเคลื่อนที่ จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อมีสัญญาณรบกวนในระบบมากก็จะทำให้ค่าความผิดพลาดมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย และค่าความผิดพลาดที่เกินจากเกณฑ์มาตรฐานจะทำให้ข้อมูลเกิดความผิดพลาดเพิ่มขึ้น และเมื่ออุปกรณ์โมบายมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ค่าความผิดพลาดมีค่ามากขึ้นตามไปด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อแก้ไขปัญหาในอนาคต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาหลักการทำงานของ ระบบ LTE-Advanced System

1.2.2 ศึกษาการใช้งาน โปรแกรม ADS เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ในการจำลองการทำงานระบบ LTE-Advanced System

1.2.3 ประยุกต์ใช้งาน โปรแกรม ADS ในการจำลองระบบ LTE-Advanced System

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 สร้างระบบจำลอง LTE-Advanced System โดยใช้โปรแกรม ADS ในการมอดูเลชันสัญญาณ QPSK, 16QAM, 64QAM

1.3.2 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆในระบบ LTE-Advanced System ประกอบด้วยค่า Gain, Phase, Noise

1.3.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพแต่ละแบบของการมอดูเลชันในระบบจำลอง LTE-Advanced System

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับ LTE-Advanced System

1.4.2 ศึกษาพารามิเตอร์และองค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อระบบ

1.4.3 ศึกษาการมอดูเลชันแบบต่างๆ

1.4.4 ศึกษาการใช้งาน โปรแกรม ADS

1.4.5 กำหนดหัวข้อที่จะทำการทดสอบ

- 1.4.6 ทำการออกแบบระบบในโปรแกรม ADS
- 1.4.7 ทำการทดสอบระบบที่ได้จำลองขึ้นมาในโปรแกรม ADS
- 1.4.8 สรุปผลการทดสอบ วิเคราะห์ผลการทดสอบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถประยุกต์ใช้โปรแกรม ADS กับระบบอื่นๆได้
- 1.5.2 รู้หลักทำงานของระบบ LTE-Advanced System
- 1.5.3 สามารถนำการจำลองนี้ไปต่อยอดในการทำระบบจริงได้



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิวัฒนาการของโทรศัพท์มือถือ [1] โทรศัพท์มือถือหรือโทรศัพท์เคลื่อนที่คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการสื่อสารสองทางโดยใช้คลื่นวิทยุในการติดต่อกับเครือข่ายโดยผ่านสถานีฐาน โดยวิวัฒนาการของ โทรศัพท์มือถือได้แบ่งเป็นยุคที่เรียกว่ายุค First Generation (1G), Second Generation (2G), Third Generation (3G), Fourth Generation (4G) เป็นต้น

1G เป็นยุคแรกของการพัฒนาระบบโทรศัพท์แบบเซลลูลาร์ การรับส่งสัญญาณใช้วิธีแบบมอดูเลตสัญญาณอนาล็อกเข้าช่องสื่อสาร ส่วนการใช้ไม่ได้มีประสิทธิภาพจึงคิดขัดเรื่องการขยายจำนวนเลขหมายโทรศัพท์เซลลูลาร์ยังมีขนาดใหญ่ ใช้กำลังงานไฟฟ้ามาก ในภายหลังจึงเปลี่ยนมาเป็นระบบดิจิทัลโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ 1G จึงใช้เฉพาะในยุคแรกเท่านั้น

2G เป็นยุคที่พัฒนาต่อมาโดยการเข้ารหัสสัญญาณเสียง โดยบีบอัดเสียงในรูปแบบดิจิทัลให้มีขนาดข้อมูลจำนวนน้อยลงเหลือเพียงประมาณ 9 Kbps ต่อช่องสัญญาณ การติดต่อจากสถานีลูกหรือตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีเบส ใช้วิธีการสองแบบคือ Time Division Multiple Access (TDMA) คือการแบ่งช่วงเวลาออกเป็นช่องเล็กๆ และแบ่งกันใช้ ทำให้ใช้ช่องสัญญาณความถี่วิทยุได้เพิ่มขึ้นจากเดิมอีกมาก กับอีกแบบหนึ่งเป็นการแบ่งการเข้าถึงตามการเข้ารหัส และการถอดรหัสโดยใส่แอดเดรสเหมือนไอพี เราเรียกวิธีการนี้ว่า Code Division Multiple Access (CDMA) ในยุค 2G จึงเป็นการรับส่งสัญญาณ โทรศัพท์ดิจิทัลหมดแล้ว

ยุค 3G เป็นยุคที่สร้างระบบใหม่ให้รองรับระบบเก่าได้ และเรียกว่า Universal Mobile Telecommunication Systems (UMTS) โดยมุ่งหวังว่า การเข้าถึงเครือข่ายแบบไร้สายสามารถทำได้ด้วยอุปกรณ์หลากหลายเช่น จากคอมพิวเตอร์ จากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ระบบยังคงใช้การเข้าช่องสัญญาณแบบ CDMA ซึ่งสามารถบรรจุช่องสัญญาณเสียงได้มากกว่า แต่ใช้แบบแถบกว้างในระบบนี้จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) นอกจากนี้ยังมีกลุ่มบริษัทบางบริษัทแยกการพัฒนาในรุ่น 3G เป็นแบบ CDMA เช่นกันแต่เรียกว่า CDMA2000 กลุ่มบริษัทนี้พัฒนารากฐานมาจาก IS95 ซึ่งใช้ในสหรัฐอเมริกา และยังขยายรูปแบบเป็นการรับส่งในช่องสัญญาณที่ได้อัตราการรับส่งสูง (High Data Rate; HDR) การพัฒนาในยุคที่ 3 นี้ ยังต้องการความเกี่ยวข้องกับการใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีเก่าอีกด้วย โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาที่ยังคงให้ใช้งานได้ทั้งแบบยุคที่ 1 และยุคที่ 2 โดยเรียกรูปแบบใหม่เพื่อการส่งเป็นแพคเกจว่า General Packet Ratio

Service (GPRS) ซึ่งส่งด้วยอัตราความเร็วตั้งแต่ 9.06, 13.4, 15.6 และ 21.4 Kbps โดยในการพัฒนาต่อจาก GPRS ให้เป็นระบบยุคที่ 3

ยุคที่ 4 เทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 4 เป็นเครือข่ายไร้สายความเร็วสูงชนิดพิเศษ หรือเป็นเส้นทางด่วนสำหรับข้อมูลที่ไม่ต้องอาศัยการลากสายเคเบิล โดยระบบเครือข่ายใหม่นี้ จะสามารถใช้งานได้แบบไร้สาย รวมถึงคุณสมบัติการเชื่อมต่อเสมือนจริงในรูปแบบสามมิติ สำหรับยุคที่ 4 จะสามารถส่งผ่านข้อมูลแบบไร้สายด้วยระดับความเร็วสูงที่เพิ่มขึ้นถึง 100 Mbps เมื่อพูดถึงเทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 4 เรื่องความเร็วที่เหนือกว่ายุคที่ 3 มากคือทำความเร็วในการสื่อสารได้ถึงระดับ 20-40 Mbps ความโดดเด่นของยุคที่ 4 คือ ถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานบนเครือข่ายที่กินพื้นที่กว้างก็ได้ หรือจะให้เป็นเครือข่ายขนาดเล็กๆแบบ เครือข่ายไร้สาย (WLAN) ได้อีกด้วยแต่อย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังคงอิงกับมาตรฐานของยุคที่ 3 อยู่ การพัฒนาในยุคที่ 4 มีการเปิดเผยกันคือโครงการที่เรียกว่า Long Term Evolution – Advanced (LTE-Advanced)

2.1 เทคโนโลยี OFDMA [4] [6]

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) คือเทคโนโลยีด้านความถี่คลื่นวิทยุที่นำเข้ามาใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารสมัยใหม่ต่างๆ เช่น WiMAX และ LTE ซึ่งทั้งสองเทคโนโลยีนี้เป็นเทคโนโลยีหลักในโลกของการสื่อสารไร้สายในขณะนี้สำหรับเทคโนโลยี WiMAX ใช้งาน OFDMA ทั้งในส่วนของการเชื่อมโยงช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลง แต่ LTE-Advanced ได้เลือกใช้เทคโนโลยี OFDMA สำหรับการเชื่อมโยงช่องสัญญาณขาลงเท่านั้น

OFDMA พัฒนามาจากเทคโนโลยี OFDM ที่มีพื้นฐานของ FDM ซึ่งแบ่งสัญญาณความถี่ออกจากกัน เพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณไม่มีการรบกวนกันและทำการรับส่งข้อมูลกันได้อย่างราบรื่น แต่การที่จะทำให้มันไม่รบกวนกันนั้นไม่ได้ใช้วิธีการใช้ Guard Band เพื่อแยกแต่ละความถี่ออกจากกัน ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองความถี่โดยใช่เหตุ แต่จะใช้วิธีการที่เรียกว่าการทำให้มันเป็นอิสระต่อกัน (Orthogonal) สัญญาณที่เป็นอิสระต่อกันกันนี้ เมื่อผ่านการมอดูเลชันที่ทำให้เกิดสัญญาณ Sideband รอบข้างขึ้นนั้นจะไม่มีผลต่อช่องสัญญาณข้างๆ ซึ่งจะสังเกตได้จากความถี่กลางของช่องสัญญาณนั้น จะไม่มีสัญญาณรบกวนใดๆ เนื่องจากช่องสัญญาณนั้นเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ Guard Band มาช่วยป้องกันและทำให้สูญเสียสเปกตรัมความถี่บางส่วนไปอย่างเปล่าประโยชน์ ทำให้การรับส่งสัญญาณความถี่นี้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและได้อัตรา Throughput ที่สูงกว่านั่นเอง

2.1.1 การส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นพาห์เดียว (Single Carrier Transmission)

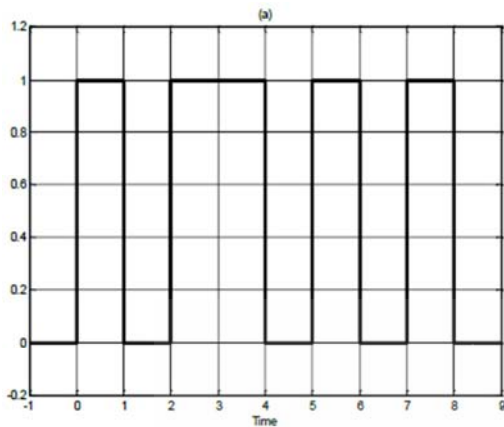
เทคนิคการส่งสัญญาณแบบ OFDM เป็นรูปแบบของการส่งข้อมูลแบบขนานโดยอาศัยหลายคลื่นพาห์ (Multi-Carrier Transmission) ซึ่งจะนำเสนอโดยเปรียบเทียบกับ การส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นพาห์เดียว (Single Carrier Transmission) ในการส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นพาห์เดียวนั้น การส่งชุดข้อมูล (Block of symbols) ที่ประกอบด้วย s_1, s_2, \dots, s_N สามารถทำได้โดยการส่ง Pulse $p(t)$ ที่เปลี่ยนขนาดไปตาม s_1, s_2, \dots, s_N เรียงกันไปตามลำดับ โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} s_k p(t-kT) \quad (2.1)$$

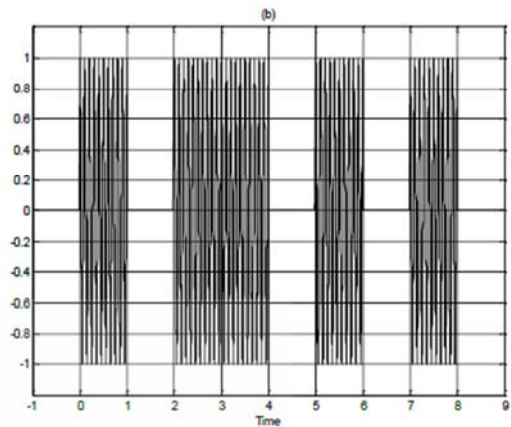
โดย T เป็นเวลาที่ใช้ในการส่งแต่ละสัญลักษณ์ข้อมูล (Symbol interval) ตัวอย่างของ Pulse $p(t)$ ที่ง่ายที่สุดก็คือ Pulse รูปสี่เหลี่ยม (Rectangular pulse) ซึ่งเขียนสมการได้เป็น

$$p(t) = 1_{[0,T]}(t) = \begin{cases} 1, & t \in [0, T] \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2.2)$$

เราจะเห็นว่าข้อมูล s_1 นั้นเมื่อนำไปคูณกับ Pulse $p(t)$ แล้วจะอยู่ระหว่างเวลา $t \in [0, T]$ ในแกนเวลา ส่วนข้อมูล s_2 นั้นจะอยู่ระหว่างเวลา $t \in [T, 2T]$ ดังนั้นเมื่อใช้ Pulse รูปสี่เหลี่ยมข้างต้น สัญญาณที่ได้จะไม่มีทับกันในแกนเวลาดังภาพที่ 2.1(a) แสดงตัวอย่างของสัญญาณ $s(t)$ สำหรับข้อมูล $(s_1, s_2, \dots, s_8) = (1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1)$



รูปที่ 2.1(a) Pulse รูปสี่เหลี่ยมของสัญญาณ



รูปที่ 2.1(b) สัญญาณที่เกิดจากการมอดูเลชั่น

รูปที่ 2.1(a) แสดงตัวอย่างของสัญญาณ $s(t)$ เมื่อข้อมูลเป็น $(s_1, s_2, \dots, s_8) = (1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1)$ รูปที่ 2.1(b) แสดงตัวอย่างของสัญญาณ $x(t)$ ที่เกิดจากการมอดูเลชั่นสัญญาณ $s(t)$

ก่อนที่สัญญาณ $s(t)$ ดังกล่าวจะถูกส่งออกไปจากเครื่องส่งสัญญาณ จะถูกแปลงความถี่ด้วยสัญญาณพาห้โดยกระบวนการที่เรียกว่ามอดูเลชั่น ถ้าเราวิเคราะห์สัญญาณในแกนความถี่ (Frequency domain) ผลของการมอดูเลชั่นก็คือสัญญาณจะย้ายแถบความถี่ของตัวเองจากรอบๆ ความถี่ศูนย์ไปยังรอบๆ ความถี่ของสัญญาณพาห้ ดังนั้นเราจึงเรียกสัญญาณที่ถูกมอดูเลชั่นแล้วว่า สัญญาณแบนด์พาส (Bandpass signal) สำหรับสัญญาณที่ยังไม่ได้ผ่านการมอดูเลชั่นเราจะเรียกว่า สัญญาณเบสแบนด์ (Baseband signal) เราสามารถเขียนสมการของสัญญาณแบนด์พาสได้ดังต่อไปนี้

$$x(t) = \text{Re}\{s(t)e^{j2\pi f_c t}\} \quad (2.3)$$

โดยที่ f_c เป็นความถี่ของคลื่นพาห้ถ้าเราให้ $S(f)$ เป็น Spectrum ของสัญญาณเบสแบนด์ $s(t)$ ผลของการมอดูเลชั่นในแกนความถี่ก็คือ Spectrum $X(f)$ ของสัญญาณแบนด์พาส $x(t)$ สามารถเขียนได้เป็น

$$X(f) = \frac{1}{2} \left(S(f-f_c) + S^*(-f-f_c) \right) \quad (2.4)$$

จะเห็นได้ว่า Spectrum $S(f)$ ของ $s(t)$ ได้ย้ายไปอยู่ที่ $\pm f_c$ นอกจากนี้ถ้าสัญญาณเบสแบนด์ $s(t)$ เป็นจำนวนจริงเสมอ สมการของสัญญาณแบนด์พาสข้างต้นจะเหลือเพียง

$$x(t) = s(t)\cos(2\pi f_c t) \quad (2.5)$$

ส่วน Spectrum $X(f)$ ก็จะเป็น

$$X(f) = \frac{1}{2} \left(S(f-f_c) + S(f+f_c) \right) \quad (2.6)$$

รูปที่ 2.1(b) แสดงตัวอย่างของสัญญาณแบนด์พาสที่ได้จากสัญญาณเบสแบนด์

สัญญาณที่ถูกมอดูเลชันแล้วจะถูกส่งผ่านไปยังช่องสัญญาณ (Channel) ในส่วนถัดไป อธิบายลักษณะของช่องสัญญาณสำหรับการสื่อสารแบบไร้สาย

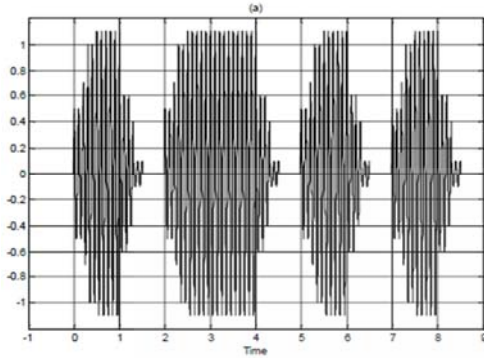
2.1.2 การสื่อสาร ไร้สายและการจางหายแบบหลายเส้นทาง (Wireless communication and Multipath fading)

การสื่อสารแบบไร้สายได้กลายเป็นส่วนสำคัญในการดำรงชีวิตประจำวัน ในขณะเดียวกันความต้องการส่งข้อมูลเป็นปริมาณมากในเวลารวดเร็วได้เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ อย่างไรก็ตาม การสื่อสารผ่านช่องสัญญาณแบบไร้สายนั้นมีข้อจำกัดมากมาย คุณลักษณะของช่องสัญญาณสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามองค์ประกอบต่างๆ เช่น สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ภาครับหรือส่ง และอุณหภูมิ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสัญญาณรบกวน (Noise) ซึ่งเราควบคุมได้ยาก ในส่วนนี้เราจะกล่าวถึงการจางหายแบบหลายเส้นทางของช่องสัญญาณ

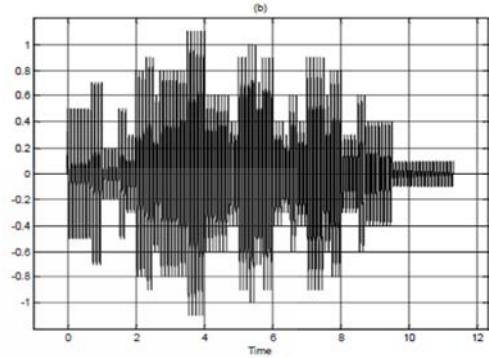
ในการสื่อสารแบบไร้สายสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจะกระจายออกเป็นหลายทิศทาง ดังนั้นจึงมีการสูญเสียของสัญญาณสูง เมื่อคลื่นสัญญาณเดินทางผ่านตัวกลางก็จะมี การลดทอน (Attenuation) ของสัญญาณเกิดขึ้น นอกจากนี้สัญญาณที่กระจายออกนอกเส้นทางยังสามารถสะท้อนกลับมายังเครื่องรับได้อีก สัญญาณที่สะท้อนกลับมาเหล่านี้เดินทางมาถึงเครื่องรับล่าช้ากว่าสัญญาณที่มาจากเส้นทางตรงเพราะระยะทางที่เพิ่มขึ้น เราจะเรียกเวลาการเดินทางที่เพิ่มขึ้นนี้ว่าค่าหน่วงเวลา (Excess delay) โดยปกติแล้วสัญญาณสะท้อนจะมีมากกว่าหนึ่งสัญญาณ โดยขนาดและค่าหน่วงเวลาของแต่ละสัญญาณก็จะแตกต่างกันไป เราเรียกการเดินทางของสัญญาณแบบหลายเส้นทางนี้ว่า Multipath propagation และเรียกสัญญาณเหล่านี้ว่า Multipath waves

เมื่อเกิด Multipath propagation สัญญาณที่เครื่องรับได้รับก็จะมี การผิดเพี้ยน (Smearing) ไปจากสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องส่งดังแสดงในรูปที่ 2.2 ปัญหาที่เราเรียกว่าการจางหายแบบหลายเส้นทางหรือ Multipath fading สังกัดว่าพลังงานบางส่วนของสัญญาณแรก ซึ่งควรจะถูกจำกัด

อยู่ระหว่างเวลา 0 ถึง T ได้ล้เข้าไปอยู่ในส่วนของสัญลักษณ์ที่สอง ปัญหานี้เรียกว่าการสอดแทรก
ระหว่างสัญลักษณ์ (Inter-symbol Interference: ISI)



รูปที่ 2.2(a) Multipath fading มีค่าหน่วยเวลาน้อย



รูปที่ 2.2(b) Multipath fading มีค่าหน่วย
เวลามากน้อย

รูปที่ 2.2(a) แสดง Multipath fading เมื่อ T (Symbol interval) มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับค่า
หน่วยเวลา จะเห็นได้ว่าสัญญาณไม่ได้เปลี่ยนไปมากนักจากสัญญาณ $x(t)$ ในรูปที่ 2.2(b) แสดง
Multipath fading เมื่อ T มีขนาดใกล้เคียงกับค่าหน่วยเวลา จะเห็นได้ว่าสัญญาณนั้นแตกต่างไปจาก
สัญญาณ $x(t)$ ในรูปที่ 2.1 อย่างมากเราสามารถจำลองลักษณะของช่องสัญญาณที่มี Multipath fading
ได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ที่อธิบายผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ (Channel impulse
response) ดังต่อไปนี้

$$h(t) = \sum_{i=0}^v \beta_i \delta(t - \tau_i)$$

(2.7)

เมื่อสัญญาณ $x(t)$ เดินทางผ่านช่องสัญญาณสัญญาณ $r(t)$ ที่ปรากฏที่เครื่องรับจะเป็น

$$x(t) * h(t) + n(t) = \sum_{i=0}^v \beta_i x(t - \tau_i) + n(t)$$

(2.8)

โดยที่ $n(t)$ คือสัญญาณรบกวนและเครื่องหมาย * แสดงถึงการประสาน (Convolution) ของสัญญาณ $x(t)$ กับ $h(t)$ เมื่อเราวิเคราะห์สมการดังกล่าวเราจะเห็นว่า มีการรวมของสัญญาณ $\beta_i x(t-\tau_i)$ ซึ่งก็คือสัญญาณ $x(t)$ ที่มีค่าหน่วงเวลา τ_i และขนาดถูกลดทอนไปเป็น β_i นั่นเองในรูปที่ 2.2(a) เราใช้

$$h(t) = 0.5\delta(t) + 0.2\delta(t-0.2T) + 0.3\delta(t-0.3T) + 0.1\delta(t-0.5T) \quad (2.9)$$

ส่วนในของรูปที่ 2.2(b) เราใช้

$$h(t) = 0.5\delta(t) + 0.2\delta(t-0.7T) + 0.3\delta(t-1.5T) + 0.1\delta(t-2.3T) \quad (2.10)$$

ข้อสังเกตอีกอย่างจากรูปที่ 2.2 ก็คือปัญหา Multipath fading จะมีน้อยมากถ้า Symbol interval T มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับค่าหน่วงเวลา อย่างไรก็ตามความต้องการส่งข้อมูลอย่างรวดเร็วทำให้ไม่สามารถเพิ่มขนาดของ T ได้โดยตรง เพราะจะทำให้อัตราการส่งข้อมูลลดลง การแก้ปัญหา Multipath fading นี้สามารถทำได้โดยการใช้การปรับแต่งช่องสัญญาณ (Equalization) ซึ่งยุ่งยากและซับซ้อน อีกวิธีหนึ่งที่สามารถหลีกเลี่ยงปัญหา Multipath fading และเป็นหลักการพื้นฐานที่ถูกนำมาใช้ใน OFDM ก็คือการส่งข้อมูลโดยแบ่งข้อมูลไปยังหลายแถบความถี่ ซึ่งจะได้กล่าวถึงในส่วนถัดไป

2.1.3 Multi-carrier transmission [9]

ดังที่ได้อธิบายในส่วนที่แล้วปัญหา Multipath fading นั้นจะมีผลกระทบน้อยมากถ้าเราส่งสัญญาณด้วยค่า T ที่มีขนาดใหญ่ แต่ความต้องการส่งข้อมูลอย่างรวดเร็วทำให้ไม่สามารถลดค่า T ได้โดยตรง เพราะจะทำให้อัตราการส่งข้อมูลลดลงตามไปด้วย การส่งข้อมูลโดยใช้หลายคลื่นพาห์เป็นเทคนิคหนึ่งซึ่งหลีกเลี่ยงปัญหา Multipath fading ได้ โดยใช้หลักการพื้นฐานที่ไม่ได้แตกต่างไปจากหลักการในการส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นพาห์เดียวที่กล่าวมาข้างต้นเลย หากแต่มีการแบ่งข้อมูลออกเป็นหลายๆส่วนขนานกันไป (Parallel data stream) โดยแต่ละส่วนย่อยถูกส่งออกไปด้วยคลื่นพาห์ย่อย (Subcarrier, SC) ที่มีความถี่ต่างกัน เมื่อข้อมูลถูกแบ่งเป็นหลายส่วนแต่ละส่วนจึงไม่จำเป็นต้องมีอัตราการส่งที่สูง ดังนั้นจึงสามารถใช้ T ที่มีขนาดใหญ่ได้ ยิ่งเพิ่มจำนวนของสัญญาณพาห์ย่อยมากขึ้นเท่าใดก็ยิ่งส่งข้อมูลได้มากขึ้นโดยไม่กระทบต่อ T วิธีนี้เรียกว่าการมัลติเพล็กซ์โดยการแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplexing: FDM)

การส่งข้อมูลแบบ FDM นั้นมีข้อจำกัดหลายประการ ประการแรกเนื่องจากมีการใช้คลื่นพาห้หลายความถี่ เครื่องรับสัญญาณจะต้องทำการแยกสัญญาณที่ถูกส่งมากับแต่ละคลื่นพาห้โดยการกรองสัญญาณ ดังนั้นเราจะต้องจัดให้ความถี่ของคลื่นพาห้ที่อยู่ห่างกันมากพอสมควร เพื่อลดการทับซ้อนของสัญญาณในแกนความถี่ ทำให้ไม่สามารถใช้ย่านความถี่ที่มีอยู่อย่างเต็มที่ อีกปัญหาของ FDM เป็นเรื่องของความซับซ้อนของระบบ นั่นคือยิ่งเราแบ่งข้อมูลออกมากส่วนเท่าใด ความซับซ้อนของเครื่องส่งและรับสัญญาณก็ยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย เพราะจะต้องรองรับการทำงานภายใต้จำนวนความถี่ของคลื่นพาห้ที่มากขึ้น เครื่องส่งสัญญาณก็จะต้องมีวงจรถ้าเนิดความถี่ (Oscillator) ที่หลากหลาย ปัญหาทั้งสองประการเป็นอุปสรรคที่สำคัญของระบบแบบ FDM ในส่วนถัดไปจะกล่าวถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพของ FDM ด้วยการส่งสัญญาณที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน

2.1.4 การตั้งฉาก (Orthogonality)

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการส่งสัญญาณที่ตั้งฉาก (Orthogonal) ซึ่งกันและกันสังเกตว่าอักษร O ในคำย่อ OFDM นั้นมาจากคำว่า Orthogonality ซึ่งก็คือการตั้งฉากที่เราจะกล่าวถึงในส่วนนี้เองสมมติว่าเราต้องการส่งข้อมูล s_1, s_2, \dots, s_N สามารถทำได้โดยการส่ง Pulse $p(t)$ ในแกนเวลาที่เปลี่ยนขนาดไปตาม s_1, s_2, \dots, s_N เรียงกันไปตามลำดับ

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} s_k p(t-kT) \quad (2.11)$$

โดยแต่ละ Pulse ใช้เวลา T หน่วยดังที่ได้อธิบายไปแล้วในส่วนของการส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นพาห้เดียว สำหรับการส่งข้อมูลแบบ FDM นั้นในแต่ละช่องเวลาที่มีขนาด T เราจะส่งข้อมูล s_1, s_2, \dots, s_N ไปพร้อมๆ กันโดยใช้หลายแถบความถี่ ซึ่งสามารถสรุปเป็นสมการในแกนความถี่ได้ว่า

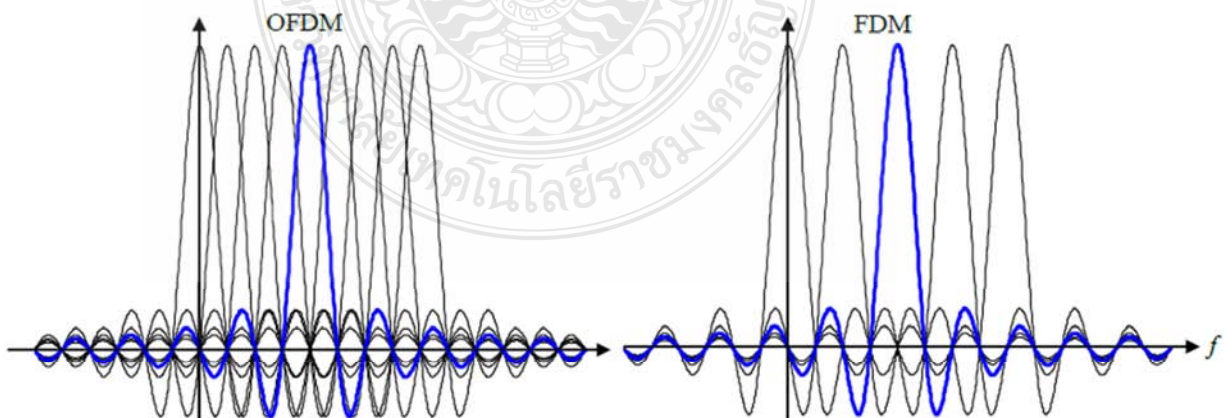
$$S(f) = \sum_{k=0}^{n-1} s_k p(f-k\Delta f) \quad (2.12)$$

โดยที่ Δf เป็นระยะห่างระหว่าง Spectrum ของสัญญาณย่อยสำหรับการส่งสัญญาณที่ตั้งฉากกันนั้นสัญญาณ $p(f-k\Delta f)$ จะต้องตั้งฉากซึ่งกันและกันด้วยนั่นคือสำหรับจำนวนเต็ม k และ j ที่แตกต่างกันเราต้องการให้

$$\int p(f-k\Delta f) p^*(f-j\Delta f) df = 0 \quad (2.13)$$

เห็นได้ชัดว่าถ้า $p(f-k\Delta f)$ ไม่ซ้อนทับกับ $p^*(f-j\Delta f)$ ในแกนความถี่ผลของการคูณกันจะได้ศูนย์เสมอ ส่งผลให้ค่าที่ได้จากการ Integrate เป็นศูนย์ไปด้วย นั่นคือสัญญาณทั้งสองก็จะตั้งฉากกันตามนิยามข้างต้น และไม่รบกวนกันซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของ FDM อย่างไรก็ตามการที่จะแยกส่งสัญญาณให้อยู่ในแถบความถี่ที่ไม่ซ้อนทับกันโดยสิ้นเชิงนั้นทำได้ยากในทางปฏิบัติและเป็นสาเหตุให้ระบบแบบ FDM ต้องวาง Spectrum ของสัญญาณย่อยบนแกนความถี่ให้ห่างกันมากอีกทั้งยังมีการเพิ่มแถบป้องกัน (Guard band) ระหว่าง Spectrum ของสัญญาณย่อยอีกทั้งหมดนี้นำมาซึ่งการสิ้นเปลืองย่านความถี่ อันที่จริงแล้วการที่สัญญาณจะตั้งฉากกันนั้นไม่จำเป็นที่จะต้องหลีกเลี่ยงการทับซ้อนกันในแกนความถี่ ตัวอย่างของชุดสัญญาณที่ตั้งฉากกันแบบนี้ก็คือสัญญาณในรูปของฟังก์ชัน *sinc* ซึ่งใช้

$$p(f) = \frac{1}{\Delta f} \text{sinc} \left(\pi \frac{f}{\Delta f} \right) \quad (2.14)$$



รูปที่ 2.3 Spectrum ของ OFDM และ Spectrum ของ FDM

ถ้าเราวิเคราะห์สัญญาณในแกนเวลาโดยใช้ Inverse Fourier Transform เราจะเห็นว่าสัญญาณที่เป็นฟังก์ชัน *sinc* ในแกนความถี่นั้นเทียบเท่ากับสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมในแกนเวลาการที่ Peak ของสัญญาณ *sinc* นั้นถูกวางไว้ที่ความถี่ $k\Delta f$ นั้นเทียบเท่ากับการคูณด้วย $e^{j2\pi k\Delta f t}$ ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$p(f-k\Delta f) \xrightarrow{F^{-1}} 1\left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right](t) e^{j2\pi k\Delta f t} \quad (2.15)$$

ดังนั้นสัญญาณข้างต้นจะถูกจำกัดอยู่ระหว่างเวลา $t \in \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right]$ โดยที่ $T = \frac{1}{\Delta f}$ เมื่อนำเอาสัญญาณย่อยมารวมกันเราจะได้

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} s_k e^{j2\pi k\Delta f t} \quad (2.16)$$

สำหรับเวลา $t \in \left[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}\right]$ แต่ถ้าเราใช้ Pulse $p(f)$ อื่นที่ไม่ใช่ฟังก์ชัน *sinc* สัญญาณรวมก็จะเป็น

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} s_k P(t) e^{j2\pi k\Delta f t} \quad (2.17)$$

โดย $P(t)$ คือ Inverse Fourier Transform ของ $p(f)$

สัญญาณ $s(t)$ ไม่จำเป็นต้องเริ่มจากเวลา $-\frac{T}{2}$ หากเราต้องการให้สัญญาณถูกจำกัดอยู่ในช่วงเวลา $[t_0, t_0+T]$ ก็สามารถทำได้โดยใช้สัญญาณ

$$s\left(t - \left(t_0 - \frac{T}{2}\right)\right) \quad (2.18)$$

แทนสัญญาณ $s(t)$

ในส่วนของเครื่องรับสัญญาณนั้นถ้าเราใช้ฟังก์ชัน sinc เป็น Pulse $p(f)$ ดังที่ ยกตัวอย่างข้างต้นและไม่เกิดการรบกวนภายในช่องสัญญาณ นั่นคือถ้าสัญญาณ $r(t)$ ที่ได้รับนั้นเป็น สัญญาณ $s(t)$ โดยตรงเมื่อเราต้องการดึงเอาข้อมูล s_1, s_2, \dots, s_N ออกมาจาก $r(t)$ ก็สามารทำได้โดยการแปลง $r(t)$ ให้อยู่ในแกนความถี่ $R(f)$ ด้วย Fourier Transform แล้วซ้กสัญญาณ (Sample) ที่ ความถี่

$$f = m\Delta f \text{ โดย } m=0,1, \dots, N-1 \quad (2.19)$$

เราจะได้

$$\begin{aligned} R(m\Delta f) &= \sum_{k=0}^{N-1} s_k p((m-k)\Delta f) \\ &= \sum_{k=0}^{N-1} s_k \frac{1}{\Delta f} \text{sinc} \\ &= \frac{S_m}{\Delta f} \end{aligned} \quad (2.20)$$

ซึ่งเทียบเท่ากับการรู้ค่าของ s_m เพราะเรารู้ค่าของ Δf อยู่ก่อนแล้วจะเห็นได้ว่าการที่ เราสามารถดึงเอาค่า s_1, s_2, \dots, s_N ออกมาได้อย่างง่ายดายก็เพราะจุด Peak ของแต่ละฟังก์ชัน sinc นั้น อยู่ตรงจุดที่ฟังก์ชัน sinc อื่นเป็น 0 ทั้งสิ้น

2.2 เทคโนโลยี SC-FDMA [4] [6]

การใช้ Orthogonality ในส่วนที่แล้วนั้นทำให้ OFDMA สามารถใช้ย่านความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเกือบเท่าตัวเมื่อเทียบกับ FDM แบบธรรมดา แต่ปัญหาใหญ่อีกประการของ FDM ก็คือการที่เครื่องส่งต้องผลิตสัญญาณพาที่มีความถี่ได้หลากหลาย ซึ่งหาก N มีค่ามากก็เป็น เรื่องที่ทำได้ยากในส่วนนี้สามารถอธิบายถึงที่มาของการประมวลสัญญาณด้วย IDFT (Inverse discrete fourier transform) และ DFT (Discrete Fourier transform) ใน OFDM ซึ่งทำให้สามารถส่งสัญญาณทั้ง N ความถี่ได้ในเวลาเดียวกันก่อนอื่นเราจะลอง Sample สัญญาณ $s(t)$ ที่เวลา

$$t = nT = \frac{n}{\Delta f} \text{ โดย } n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2.21)$$

ซึ่งผลที่ได้ก็คือ

$$s[n] = s(nT) = \sum_{k=1}^{\infty} s_k e^{j2\pi kn} \quad (2.22)$$

จะเห็นได้ว่า

$$(s[n])_{n=0}^{N-1} = \text{IDFT IDFT} \left\{ (s_k)_{k=0}^{N-1} \right\} \quad (2.23)$$

ดังนั้นหากไม่เกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณในช่องสัญญาณเราจะได้

$$r[n] = r(nT) = s(n) \quad (2.24)$$

และสามารถดึงเอาข้อมูลกลับมาได้โดยการใช้ DFT สรุปว่าในการส่งข้อมูลแบบ OFDM นั้นเราจะแปลงข้อมูลจากแบบอนุกรมซึ่งก็คือข้อมูลที่เรียงกันมาตามลำดับเป็นข้อมูลแบบขนานแล้วทำการประมวลผลข้อมูลทั้งหมดในเวลาเดียวกันด้วย IDFT จากนั้นจึงส่งออกไปในช่องสัญญาณที่เครื่องรับก็จะประมวลผลสัญญาณ โดยใช้ DFT เพื่อให้ได้ข้อมูลกลับคืนมาดังสรุปด้วยแผนผังต่อไปนี้

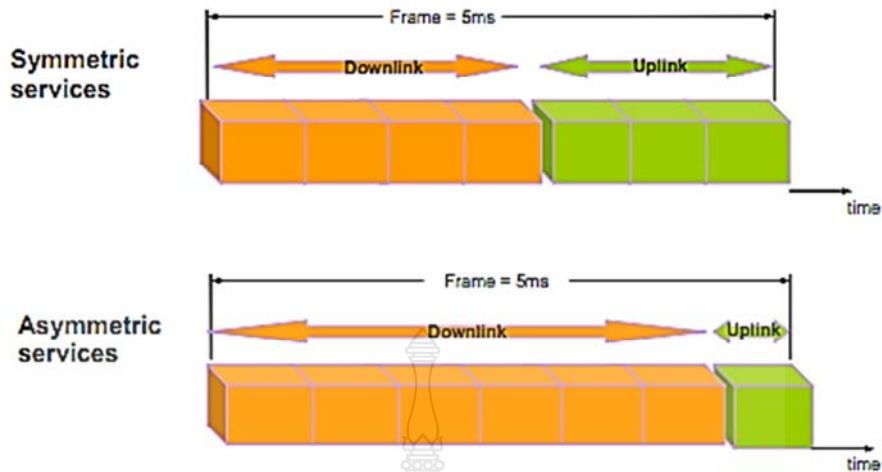
$$(s_k)_{k=0}^{N-1} \rightarrow \boxed{\text{IDFT}} \rightarrow (s[n])_{n=0}^{N-1} \dots \rightarrow (r[n])_{n=0}^{N-1} \rightarrow \boxed{\text{DFT}} \rightarrow (R_k)_{k=0}^{N-1} = (S_k)_{k=0}^{N-1} \quad (2.25)$$

นอกจากนี้เพราะข้อมูลผ่านการ IDFT ก่อนที่จะถูกส่งออกไปเราจึงเรียกข้อมูลเหล่านี้ว่า สัญลักษณ์ในแแกนความถี่ (Frequency-domain symbol)

นิยามของ DFT ใช้ข้างต้นนั้นมี $\frac{1}{N}$ เป็น Factor อยู่ด้วยด้วยเหตุนี้จึงไม่มี $\frac{1}{N}$ Factor ใน IDFT เราสามารถนิยาม DFT ใหม่เพื่อให้การแปลงของ DFT และ IDFT คล้ายกันมากขึ้น ซึ่งทำได้โดยการใช้ Factor $\frac{1}{\sqrt{n}}$ ทั้งในสูตรของ DFT และ IDFT นิยามทั้งสองแบบนี้เทียบเท่ากัน หากเราเลือกที่จะใช้นิยามใหม่ก็สามารถทำได้โดยการส่ง $\frac{1}{\sqrt{n}}s(t)$ แทน $s(t)$ เมื่อเราใช้ IDFT แล้วก็ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องมีการใช้ oscillator สำหรับแต่ละคลื่นพาห่อย่อยเทคนิคการใช้ DFT/IDFT ร่วมกับ OFDMA นี้เรียกว่า Discrete Multi-Tone (DMT) นอกจากนี้สิ่งที่ลดปัญหาความยุ่งยากของเครื่องรับส่งแบบ OFDM ก็คือการนำเอา IFFT หรือ Inverse Fast Fourier Transform มาแทน IDFT โดย IFFT นั้นสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับ IDFT ในทำนองเดียวกันส่วน DFT ของ OFDMA ก็ถูกแทนที่โดย FFT (Fast Fourier Transform) การประมวลผลโดย FFT สามารถลดจำนวนการคูณในการแปลงแบบ DFT จาก N^2 เป็น $N \log N$ สำหรับข้อมูลที่มีขนาด N นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มช่วงเวลาป้องกัน (Guard time) เพื่อป้องกันผลกระทบที่เกิดจาก Multipath fading ที่เรากล่าวถึงข้างต้นโดยมีการเสริมสัญญาณด้วย Cyclic prefix ซึ่งเป็นการคัดลอกเอาสัญญาณส่วนท้ายของแต่ละ Block ข้อมูลมาสอดไว้ก่อน Block ข้อมูลนั้น

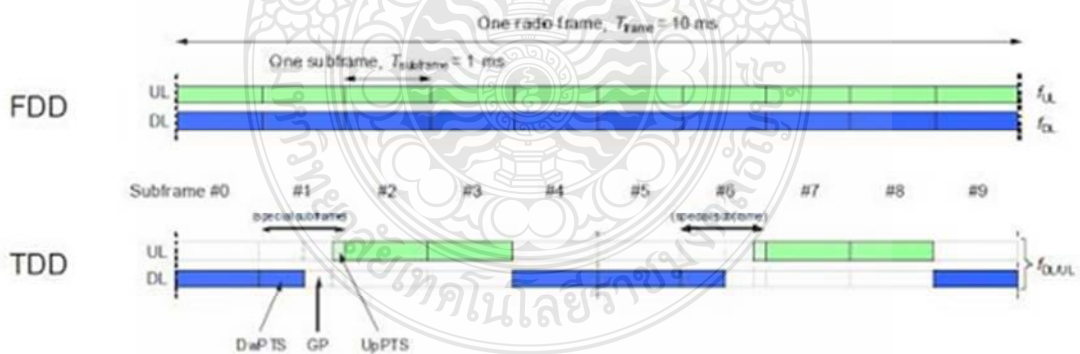
2.3 Time Division Duplex (TDD) และ Frequency Division Duplex (FDD) [12]

TDD เป็นการส่งข้อมูลทางด้าน Uplink กับ Downlink ที่ความถี่เดียวกันแต่แบ่งการส่งคนละช่วงเวลา การส่งนั้นจะถูกแบ่งช่วงเวลาออกเป็น Frame และในแต่ละ Frame มีการแบ่งช่วงเวลาย่อยเป็น 2 Subframes (คือ Uplink subframe และ Downlink subframe) การส่งข้อมูลทิศทาง Uplink จะถูกส่งในช่วงเวลา Uplink subframe ขณะที่การส่งข้อมูลทิศทาง Downlink ส่งในช่วงเวลา Downlink subframe TDD สามารถรองรับการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาของ Frame ได้คือสัดส่วนช่วงเวลาของ Uplink subframe กับ Downlink subframe มีการเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับปริมาณ Traffic ของ Uplink และ Downlink ดังนั้น TDD จึงมีความยืดหยุ่นในการจัดการ Bandwidth



รูปที่ 2.4 การปรับสัดส่วนการรับและส่งข้อมูลของ TDD [7]

FDD เป็นการส่งข้อมูล Uplink กับ Downlink ส่งทีละความถี่ การส่งข้อมูล Uplink กับ Downlink จึงสามารถส่งได้ในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ FDD ยังรองรับ CPE ที่เป็นแบบ Half-FDD คือ อุปกรณ์ลูกข่ายจะทำการส่งข้อมูลและรับข้อมูลคนละเวลากัน คือขณะที่อุปกรณ์ลูกข่ายกำลังส่งข้อมูลจะไม่สามารถรับข้อมูลได้ แต่การส่งและรับข้อมูลยังใช้คนละความถี่ การใช้รูปแบบ Half-FDD อุปกรณ์จะมีราคาที่ถูกกว่า Full FDD เพราะส่วนประกอบภาครับสัญญาณกับภาคส่งสัญญาณของอุปกรณ์สามารถใช้ชุดเดียวกันรวมกันได้



รูปที่ 2.5 ลักษณะการสื่อสารแบบ FDD และ TDD [8]

ภายใน Frame ของทั้ง TDD และ FDD จะมีการ แบ่งย่อยออกเป็น Time Slot ซึ่งการส่งข้อมูลของทั้งสถานีฐานและลูกข่ายจะต้องส่งตรงตาม Time slot ที่ว่านี้ ดังนั้นทั้งสถานีฐานและลูกข่าย

จะต้องมีการตั้งเวลาให้ตรงกัน หรือ Synchronize เวลากันเพื่อให้ส่งข้อมูลลงใน Time Slot ทำได้ถูกต้องแม่นยำการเข้าถึง Channel หรือ Multiple Channel Access สำหรับในทิศทาง Downlink จะไม่ซับซ้อนเพราะทิศทาง Downlink นั้นมีเพียงสถานีฐานผู้เดียวเท่านั้นที่ เป็นผู้ส่งข้อมูลในช่วงเวลา Downlink subframe และส่งกระจายข้อมูลไปทุกๆ สถานีลูกข่าย ส่วนการเข้าถึง Channel ในทิศทาง Uplink นั้น มีหลายๆ สถานีลูกข่ายที่มีโอกาสที่จะส่งได้ในช่วงเวลา Uplink subframe ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการจัดการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการส่งข้อมูลจากหลายสถานีลูกข่ายในเวลาพร้อมกัน ซึ่งจะก่อให้เกิดการชนกันของข้อมูล ดังนั้นในส่วน Uplink จึงต้องใช้ Time Division Multiple Access (TDMA) ช่วยจัดการเวลาของการส่งของสถานีลูกข่ายตารางเวลาของการส่งนี้ถูกกำหนดและควบคุมโดยสถานีฐานทุกๆ ช่วงเวลาหรือ Frame สถานีฐานจะทำการส่งกระจายแมชเสจไปที่สถานีลูกข่าย ภายในแมชเสจจะประกอบไปด้วยตารางเวลาการส่งของลูกข่าย ดังนั้นลูกข่ายจะรู้ว่าควรส่งข้อมูลลงใน Time Slot ไດและจำนวน Time Slot เท่าไหร่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสถานีฐานสามารถกำหนดช่วงเวลาและจำนวน Time slot ให้กับแต่ละลูกข่ายให้เหมาะสมกับความต้องการ Bandwidth ของแต่ละลูกข่ายนอกจากมีความยืดหยุ่นในการจัดการ Bandwidth แล้วยังมีความยืดหยุ่นในรูปแบบการจัดการรับส่ง ข้อมูล คือในทุกๆ Time frame สถานีฐานสามารถทำการปรับเปลี่ยนและกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพของการรับส่งสำหรับแต่ละลูกข่าย เช่น เปลี่ยน Modulation scheme (ตัวอย่างเช่น BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM) ให้เหมาะสมในแต่ละสภาพของ Channel ตัวอย่างเช่น ถ้าในขณะนั้นๆ Channel มีสัญญาณรบกวนมาก (ซึ่งวัดได้โดยดูที่ระดับ Signal to Noise Ratio หรือ SNR) สถานีฐานจะทำการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติทางกายภาพของการส่ง ให้มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนเพื่อให้สามารถสื่อสารกันต่อไปได้

การจัดสรรความถี่สำหรับ TDD จะใช้ความถี่เพียงหนึ่งช่องสัญญาณเท่านั้น ส่วนการจัดสรรความถี่สำหรับ FDD จะใช้สองช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณหนึ่งสำหรับ Uplink อีกช่องสัญญาณหนึ่งสำหรับ Downlink โดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ TDD จะมีราคาที่ถูกกว่าอุปกรณ์ FDD เพราะอุปกรณ์ TDD นั้นส่วนประกอบภาครับสัญญาณกับส่วนประกอบภาคส่งสัญญาณสามารถใช้ร่วมกันได้ แต่อุปกรณ์ FDD นั้นส่วนประกอบภาครับกับภาคส่งแยกคนละชุดกันเพราะต้องทำงานพร้อมกัน FDD ใช้ 2 ช่องสัญญาณ (สำหรับ Uplink กับ Downlink) จึงสามารถรองรับจำนวนสถานีลูกข่ายได้มากกว่า แต่ในแง่ของการบริหารจัดการ Bandwidth แล้ว TDD จะมีประสิทธิภาพกว่า เพราะโดยธรรมชาติของการใช้งานเครือข่ายนั้นปริมาณข้อมูลในทิศทาง Downlink จะมีมากกว่า Uplink หรือที่เรียกว่า Asymmetry Traffic ดังที่กล่าวมาข้างต้น TDD สามารถปรับเปลี่ยนสัดส่วนของ Frame เพื่อรองรับปริมาณข้อมูลที่ไม่สมมาตรกันได้ดีกว่า ดังนั้น สำหรับ Operator แล้ว การที่จะเลือกใช้

เทคโนโลยี TDD หรือ FDD ขึ้นกับคุณสมบัติของผู้ใช้ Service การออกแบบระบบ และงบประมาณในการลงทุน

2.4 เทคนิคการมอดูเลต

การมอดูเลชันที่กำหนดในมาตรฐานมีได้ 4 รูปแบบคือ BPSK, QPSK, 16QAM และ 64QAM ในมอดูเลชันทั้ง 4 รูปแบบนี้ 64QAM อัตราการเข้ารหัสและมอดูเลชันต่างก็มีความสัมพันธ์กับความทนทานต่อสัญญาณรบกวนและความเร็วที่ส่งได้

การเลือกรูปแบบการมอดูเลชันนั้นจะต้องทำการเลือกให้เหมาะสมกับแบนด์วิดท์และความจุของช่องสัญญาณเพื่อที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เทคนิคการมอดูเลชันนั้นมีมากมายหลายประเภทแต่ที่เลือกนำมาใช้ คือ การมอดูเลตแบบ QPSK, 16QAM และ 64QAM

2.4.1 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) [10]

การทำงานของ QPSK นั้นจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงขั้นตอนของการส่งสัญญาณไปในรูปแบบคลื่น การเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงที่จำกัดข้อมูลดิจิทัลจะไม่ซ้ำกัน การมอดูเลตสัญญาณแบบเฟสจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้ข้อมูลทางดิจิทัลในการเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณ ในขณะที่ความถี่และความกว้างคงที่ QPSK จะแสดงเป็นสัญลักษณ์และนำค่าที่ได้มาเขียนบิตोकไดอะแกรมโดยใช้มุมที่ สัญลักษณ์ที่ใช้เขียนคือ “บิตไบนารีฐานสอง”

ในวิธีการ QPSK สัญญาณ 2 บิตจะถูกส่งไปพร้อมๆกัน โดยลำดับสัญญาณดิจิทัลที่จะส่งถูกแบ่งเป็นบิตोक 2 บิตและแต่ละรหัสบิตोकประกอบด้วย 2 บิตถูกส่งไปพร้อมๆกันในกรณีนี้ จะมีการรวมรหัส 4 คู่ด้วยกันคือ 00, 01, 10 และ 11 คู่ของรหัสทั้ง 4 คู่นี้จะเทียบกับ Initial phase 4 เฟสของสัญญาณ QPSK ความสัมพันธ์ระหว่างรหัสและ Initial phase ซึ่งใช้ใน QPSK เฟส 0 แทนรหัส 00 เฟส $\pi/2$ แทนรหัส 01 เฟส π แทนรหัส 11 และเฟส $3\pi/2$ แทนรหัส 10 จะเห็นว่าถ้าเปรียบเทียบรหัสระหว่างสองเฟสข้างเคียงหนึ่งในสองบิตจะเหมือนกันในทุกๆ กรณีดังนั้นจะมีเพียงบิตเดียวที่เกิดผิดพลาดแม้ว่าสัญญาณที่รับได้ถูกคิดมอดูเลตผิดไปเป็นเฟสข้างเคียง

วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดซึ่งเทคนิคการมอดูเลชันจะถูกนำมาใช้สำหรับการสื่อสารดาวเทียมและการส่งข้อมูลผ่านสายเคเบิล เทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ QPSK ใช้งานง่าย และมีความยืดหยุ่นในการตัดเสียงสัญญาณรบกวน

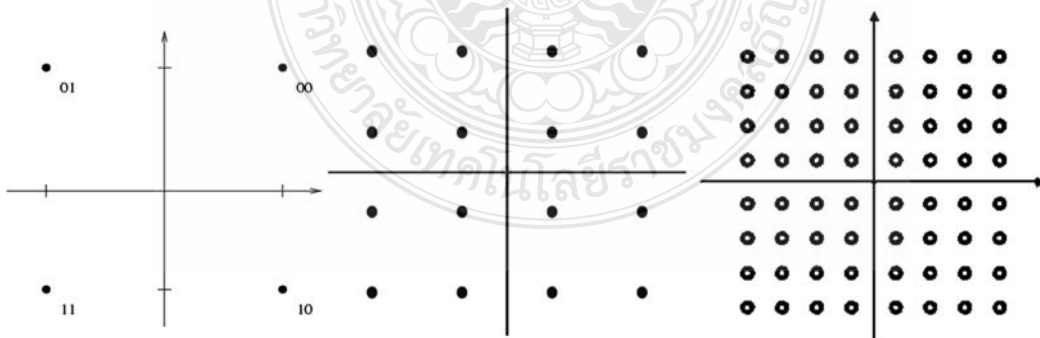
2.4.2 Quadrature Amplitude Modulation

QAM ใช้กันอย่างแพร่หลายในทางข้อมูลดิจิทัล, วิทยุสื่อสาร และข้อมูลในการใช้งานการสื่อสาร QAM มีอยู่หลายประเภท เช่น 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM และ 256QAM ตัวเลขที่แสดงนี้หมายถึงจำนวนจุดที่เกิดขึ้นของการมอดูเลต

สัญญาณที่จะส่งผ่านช่องสื่อสารใช้แบนด์วิทเป็น 2 เท่าของสัญญาณเบสแบนด์และเกิดการพัฒาเพื่อให้ใช้แบนด์วิทของช่องสื่อสารให้คุ้มค่า วิธีการที่จะทำให้เกิดการใช้แบนด์วิทของช่องสื่อสารให้คุ้มค่าคือการใช้วิธีการมอดูเลตแบบ QAM ดังจะกล่าวต่อไปนี้

สมมติว่ามีข้อมูล 2 ชุด ทำการมอดูเลตสัญญาณพาห้ที่ความถี่เดียวกันแต่ต่างเฟสกัน ด้วยวิธีการนี้จะเกิดสัญญาณซึ่งใช้ช่วงของแบนด์วิทในช่องสื่อสารช่วงเดียวกัน แต่ข้อที่ควรคำนึงและต้องระวังก็คือในระบบ QAM ถ้าสัญญาณที่มีความถี่เท่ากับสัญญาณพาห้ที่เครื่องรับมีความถี่และเฟสผิดพลาดไปเพียงเล็กน้อยจะทำให้เกิดผลตามมามีคือ 1) เกิดความสูญเสียของสัญญาณข่าวสารที่รับได้ และ 2) เกิดการรบกวนกันระหว่าง 2 ช่องสัญญาณนอกจากนั้นแล้วถ้าสัญญาณเบสแบนด์ (สัญญาณข่าวสาร) เกิดการลดทอนที่ไม่สมดุลกันในระหว่างถูกส่งไปยังเครื่องรับ เนื่องจากคุณสมบัติของช่องสื่อสารที่มีสเกลการลดทอนสัญญาณที่ไม่เท่ากันในแต่ละความถี่ ส่งผลให้เกิดความไม่สมมาตรกันของไซด์แบนด์บนและไซด์แบนด์ล่างของสัญญาณเบสแบนด์ ดังนั้นอินพุตของเครื่องรับอย่างไรก็ตามระบบ QAM มักใช้ในการสื่อสารเชิงดิจิทัล

16QAM ใช้ทั้ง Amplitude และ Phase โดยจะมี Bandwidth มากขึ้นไปถึง 16 code (4 bit = 0000.0001.....1111)และ 64QAM จะมี Bandwidth มากขึ้นไปถึง 64 code (6 bit = 000000.000001.....111111)



รูปที่ 2.6 การมอดูเลตแบบ QPSK, 16QAM และ 64QAM ตามลำดับ

2.5 สัญญาณรบกวน (Noise) [8]

เป็นผลกระทบอีกด้านหนึ่งที่ทำให้สัญญาณข้อมูลเกิดความเสียหาย โดยสัญญาณรบกวนมีอยู่หลายชนิด ประกอบด้วย

2.5.1 เทอร์มัลนอยซ์ (Thermal noise)

สัญญาณรบกวนชนิด Thermal noise มีชื่อเรียกหลายชื่อด้วยกัน เช่น White gaussian noise เป็นสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความร้อนหรืออุณหภูมิจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เลยโดยหากมีอุณหภูมิสูงขึ้น ระดับของสัญญาณรบกวนก็จะสูงขึ้นตาม สัญญาณรบกวนชนิดนี้ไม่มีรูปแบบแน่นอนและอาจมีการกระจายไปทั่วในย่านความถี่ต่างๆ สำหรับการป้องกันสัญญาณรบกวนชนิดนี้อาจป้องกันได้ด้วยการใช้อุปกรณ์กรองสัญญาณ (Filters) สำหรับสัญญาณแอนะล็อก หรืออุปกรณ์ Regenerate สัญญาณสำหรับสัญญาณดิจิทัล

2.5.2 อิมพัลส์นอยซ์ (Impulse noise)

เป็นเหตุการณ์ที่จะมีคลื่นสัญญาณ โด่ง (Spikes) ขึ้นอย่างฉับพลันอย่างรวดเร็ว เป็นสัญญาณรบกวนแบบไม่คงที่ซึ่งยากต่อการตรวจสอบ เนื่องจากอาจเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ แล้วก็หายไป โดยมักจะเกิดการรบกวนจากภายนอกแบบทันทีทันใด เช่น ไฟแลบ ไฟผ่า ซึ่งหากสัญญาณรบกวนชนิดนี้ได้มีการแทรกแซงเข้ามากับสัญญาณดิจิทัล และบ่อยครั้งที่สัญญาณดิจิทัลสามารถที่จะทำการกู้คืนสัญญาณที่สูญเสียให้กลับมาอยู่ในรูปแบบสัญญาณต้นฉบับได้ แต่ด้วยสัญญาณรบกวนแบบอิมพัลส์นอยซ์ได้ทำการลบล้างสัญญาณต้นฉบับออกไป ก็จะส่งผลกระทบต่อข้อมูลบางส่วนที่อาจทำให้ขาดหายไป และไม่สามารถทำการกู้คืน สำหรับการป้องกันสัญญาณรบกวนชนิดนี้สามารถป้องกันได้ด้วยการใช้อุปกรณ์กรองสัญญาณพิเศษที่ใช้สำหรับสัญญาณแอนะล็อก หรืออุปกรณ์ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลที่ใช้สำหรับสัญญาณดิจิทัล

2.5.3 ครอสทอล์ก (Crosstalk)

เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เข้าไปรบกวนสัญญาณข้อมูลที่ส่งผ่านเข้าไปในสายส่ง ตัวอย่างเช่น สายคู่บิดเกลียวที่ใช้กับสายโทรศัพท์ มักก่อให้เกิดสัญญาณที่เรียกว่าครอสทอล์กได้ง่าย เมื่อมีการนำสายเหล่านั้นมัดรวมกัน ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า เนื่องจากในระบบส่งสัญญาณที่มีสายส่งหลายเส้น และมีการติดตั้งบนระยะทางไกลๆ ดังนั้น โอกาสที่สัญญาณเดินทางในแต่ละเส้นจะมีโอกาสที่จะรบกวนซึ่งกันและกันได้

ตัวอย่างเช่น ในบางครั้ง ขณะที่เราพูดคุยทางโทรศัพท์กับเพื่อน แต่กลับได้ยินเสียงพูดคุยจากคู่สายอื่น อยู่เบื้องหลัง เป็นต้น สำหรับการป้องกันสัญญาณรบกวนชนิดนี้ สามารถป้องกันได้ด้วยการใช้ สายสัญญาณที่มีฉนวน หรือมีชีลด์ เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน

2.5.4 เอคโค (Echo)

เอคโคเป็นสัญญาณที่ถูกสะท้อนกลับ (Reflection) ซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับการที่เรา ตะโกนเสียงใส่ในห้องว่างเปล่า และเสียงที่ตะโกนนั้นก็วิ่งกลับมาให้เราได้ยิน โดยสัญญาณที่ส่งไป บนสายโคแอกเชียลได้เดินทางไปยังสุดปลายสาย และมีการสะท้อนกลับ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อ โหนดใกล้เคียง กล่าวคือ โหนดใกล้เคียงจะได้ยินเสียงสัญญาณสะท้อนกลับ และพลันนึกว่าสายส่ง สัญญาณในขณะนั้นไม่ว่าง ทำให้ต้องรอส่งข้อมูลแทนที่จะสามารถส่งข้อมูลได้ทันที สำหรับการ ป้องกันสัญญาณรบกวนเอคโคนี้ สามารถป้องกันได้โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าเทอร์มิเนเตอร์ (Terminator) เช่น ในระบบเครือข่ายท้องถิ่นที่มีการใช้สายโคแอกเชียลเป็นตัวกลางส่งข้อมูล จะใช้ เทอร์มิเนเตอร์ปิดที่ปลายสายทั้งสองฝั่ง เพื่อทำหน้าที่ระงับเสียงสะท้อนดังกล่าวด้วยการดูดกลืน สัญญาณเหล่านั้น

2.5.5 จิตเตอร์ (Jitter)

เป็นเหตุการณ์ที่ความถี่ของสัญญาณได้มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งก่อให้เกิดการเลื่อนเฟสไปเป็นค่าอื่นๆ อย่างต่อเนื่องด้วย สำหรับการป้องกันสัญญาณรบกวนชนิด นี้ สามารถป้องกันได้ด้วยการเลือกใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพ หรืออาจใช้อุปกรณ์ทวน สัญญาณ

2.5.6 ความผิดเพี้ยนจากการเคลื่อนที่ (Delay distortion)

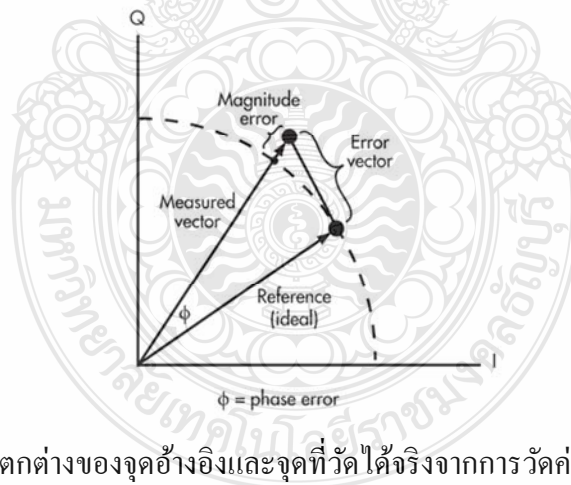
เป็นเหตุการณ์หนึ่งที่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องมาจากสัญญาณข้อมูลได้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วแตกต่างกัน สัญญาณที่เคลื่อนที่ตามมาทีหลัง มีการไล่ตามทันสัญญาณก่อนหน้า และรวม ผสมกันเข้าไป ซึ่งส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดของข้อมูล สำหรับการป้องกันสัญญาณรบกวนชนิดนี้ สามารถป้องกันได้ด้วยการเพิ่มวงจร Equalizes เพื่อตรวจตราสัญญาณที่เข้ามาและทำการปรับ ความเร็วของความถี่ให้เท่ากัน

2.5.7 การอ่อนกำลังของสัญญาณ (Attenuation)

ตามปกติสัญญาณข้อมูลเมื่อได้เดินทางผ่านตัวกลางบนสาย ไม่ว่าจะเป็นสายโคแอกเชียล สายคู่บิดเกลียว หรือสายไฟเบอร์ออปติกไปในระยะทางไกลๆ จะทำให้ความเข้มของสัญญาณลดลง และจะลดลงมากขึ้นเมื่อมีการส่งในระยะทางที่ไกลขึ้นไปอีก ดังนั้นเมื่อความเข้มของสัญญาณลดลงหรือเบาบางลง จะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์รับ เนื่องจากสัญญาณที่รับเข้ามานั้นจำเป็นต้องมีระดับความเข้มของสัญญาณมากพอ ที่จะทำให้สามารถตรวจสอบสัญญาณเหล่านั้น เพื่อนำไปใช้งานต่อไปได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วย เช่น หากเป็นการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกก็จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า แอมพลิไฟเออร์ (Amplifier) หรือหากเป็นการส่งสัญญาณแบบดิจิทัลก็จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า รีพีตเตอร์ (Repeater)

2.6 Error Vector Magnitude [13]

เป็นการวัดค่าความผิดพลาดของเวกเตอร์ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจากจุดอ้างอิงกับจุดที่วัดได้จริง เขียนแทนด้วย EVM ซึ่งจะใช้พิจารณาถึงความสมบูรณ์และผิดเพี้ยนของเฟสและความกว้างของคลื่นสัญญาณที่ผิดเพี้ยน



รูปที่ 2.7 แสดงความแตกต่างของจุดอ้างอิงและจุดที่วัดได้จริงจากการวัดค่า EVM

จากรูปที่ 2.7 ในแนวระนาบ I / Q การวัดค่า EVM จะแสดงตำแหน่งและขนาดของเส้นเวกเตอร์ระหว่างจุดอ้างอิงกับจุดที่วัดได้จริง ความแตกต่างระหว่างเส้นทั้งสองคือการวัดค่า EVM ซึ่งสามารถวัดได้จากเครื่องแปลงสัญญาณหรือวงจรรับสัญญาณของตัวรับสัญญาณ โดยสามารถหาค่าได้จาก

$$\text{EVM (dB)} = 10 \log (P_{\text{error}}/P_{\text{ref}}) \quad (2.26)$$

โดยที่ EVM คืออัตราส่วนของค่าเฉลี่ยของเวกเตอร์ที่ผิดพลาด (P_{error}) ต่อ ค่าเฉลี่ยเวกเตอร์ที่อ้างอิงโดยเฉลี่ย (P_{ref}) มีหน่วยเป็นเดซิเบล และสามารถวัดอัตราส่วนในลักษณะร้อยละจาก

$$\text{EVM (\%)} = (P_{\text{error}}/P_{\text{ref}}) \times 100 \quad (2.27)$$

สัญญาณที่วัดได้จะถูกวิเคราะห์โดยละเอียดและสามารถเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงที่ผลิตมาเพื่อวัดค่าจากเครื่องรับสัญญาณ ความแตกต่างระหว่างสัญญาณอ้างอิงและสัญญาณที่ผิดพลาดนั้นคือ ข้อบกพร่อง การวัดค่าแต่ละจุดที่แตกต่างกันไป ในการวัดแต่ละครั้ง จุดที่เป็นจุดอ้างอิงจะปรากฏเพียงจุดเดียวเท่านั้น ในขณะที่จุดที่อยู่รายล้อมคือจุดที่มีข้อบกพร่องที่วัดได้โดย EVM ข้อสำคัญคือ ในจุดที่มีเดซิเบลสูงจะแสดงข้อบกพร่องมากขึ้น หลายปัญหาที่จะเกิดขึ้นสามารถเป็นสาเหตุให้คุณภาพในการปรับสัญญาณแย่ลง ไปและพบบิตที่มีข้อบกพร่องมากขึ้น ผลบางส่วนอาจรวมถึงการที่ I/Q ในวงจรปรับสัญญาณไม่เหมาะสมกันจากการใช้เกณฑ์และเฟสที่แตกต่างกัน และวงจรไฟกระแสดตรง (DC Offset) การชดเชยความถี่และสัญญาณรบกวนในเฟสทำให้เกิดข้อผิดพลาดในกลุ่มของจุดต่างๆ การผิดเพี้ยนของสัญญาณรบกวนและสัญญาณรบกวนหลายจุด

2.7 Bit Error Rate

คืออัตราการผิดพลาดบิต เขียนแทนด้วย BER ถูกกำหนดให้เป็นอัตราข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบการส่งสามารถแปลได้โดยตรง ในจำนวนข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในสายของจำนวนที่กำหนดไว้ในบิต อัตราความผิดพลาดบิตสามารถแทนด้วยสูตร

$$\text{BER} = \text{จำนวนบิตผิดพลาด} / \text{จำนวนบิตทั้งหมดที่ส่ง} \quad (2.28)$$

อัตราความผิดพลาดบิต หรือ BER จะใช้ในการวัดปริมาณข้อมูลโดยการนับอัตราของความผิดพลาดบิตข้อมูลเทียบกับจำนวนบิตทั้งหมดที่ส่ง ถ้าบิตผิดพลาดต่อบิตที่ส่งมีจำนวนน้อยก็จะทำให้ค่า BER น้อย แสดงถึงคุณภาพของการสื่อสารที่ดีแต่ส่ง ถ้าบิตผิดพลาดต่อบิตที่ส่งมีจำนวนมากก็จะทำให้ค่า BER มากตามไปด้วย ซึ่งก็จะสัมพันธ์กับคุณภาพของการสื่อสาร BER นี้ถูกใช้ในการสื่อสารโทรคมนาคม, เครือข่ายและระบบวิทยุอัตราความผิดพลาดบิต BER เป็นตัวแปรสำคัญที่ถูกนำมาใช้ใน

การประเมินระบบที่ส่งข้อมูลดิจิทัลจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่งแม้ว่าจะมีความแตกต่างบางอย่างในวิธีการที่ระบบเหล่านี้ทำงานและวิธีการที่อัตราความผิดพลาดบิตจะได้รับผลกระทบพื้นฐานของอัตราความผิดพลาดบิตของตัวเองยังคงเดิม แต่ถ้าสื่อระหว่างเครื่องส่งและรับมีคุณภาพที่ดีและอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงแล้วอัตราความผิดพลาดบิตจะมีขนาดน้อยมาก

2.8 Signal to noise ratio [8]

ในการสื่อสารอนาล็อกและดิจิทัล Signal-to-noise ratio หรือ SNR เป็นการวัดความเข้มของสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน (Noise) อัตราส่วนมักจะวัดเป็น เดซิเบล (Decibel) หรือ dB ถ้าความเข้มของสัญญาณนำเข้าเป็นมิลลิวัตต์ คือ V_s และระดับสัญญาณรบกวน จะเป็นมิลลิวัตต์ด้วย คือ V_n ดังนั้น Signal-to-noise ratio หรือ SNR เป็น เดซิเบล ได้ให้ไว้ตามสูตร

$$\text{SNR} = 20 \log_{10} (V_s/V_n) \quad (2.29)$$

วิศวกรสื่อสารจะทำอัตรา SNR มากที่สุดเสมอ ตามปกติสิ่งนี้ทำโดยการใช้แบนวิดท์ระบบรับให้แคบที่สุดสอดคล้องกับความเร็วข้อมูลที่ต้องการ อย่างไรก็ตาม มีอีกวิธีในบางกรณีเทคนิค Spread spectrum สามารถปรับการทำงานของระบบ อัตรา SNR สามารถเพิ่มขึ้นโดยการให้ต้นทางด้วยกำลังส่งออกสัญญาณสูงกว่า

2.9 การวิจัยที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

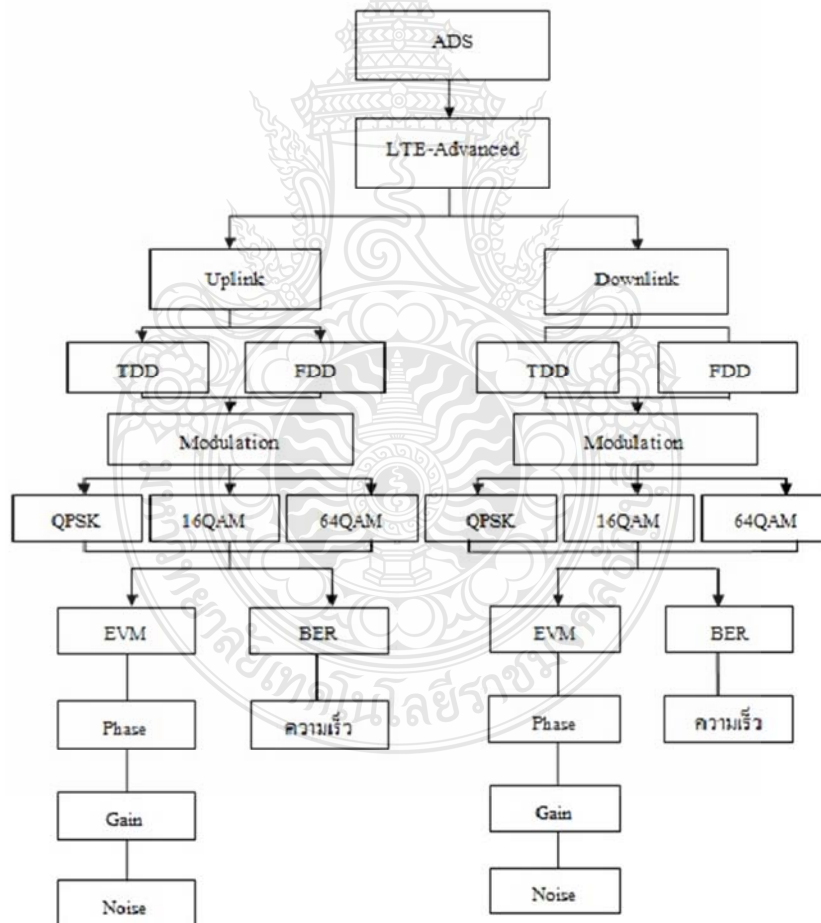
จากหลักการข้างต้น ได้ทำการวิจัยโดยใช้โปรแกรม Advanced Design System (ADS) ออกแบบแบบจำลองการทำงาน เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ LTE-Advanced และได้รับการตอบรับให้ลงตีพิมพ์และนำเสนองานวิจัยในงาน *5th International Science, Social Science, Engineering and Energy Conference 18th-20th December, 2013 : I-SEEC 2013*. เรื่อง LTE-Advanced Analysis by Simulation with Advanced Design System (ADS) และเรื่องการจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ LTE-Advanced ด้วยโปรแกรม Advanced Design System (ADS) ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6 เมื่อวันที่ 26-28 มีนาคม 2557 มารีไทม์ ปาร์คแอนสปริสเตอร์ท จังหวัดกระบี่

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้ จะทำการออกแบบระบบจำลอง LTE-Advanced System ซึ่งใช้เทคโนโลยี OFDMA กับ SC-FDMA โดยจำลองระบบด้วยโปรแกรม Advance Design System (ADS) โดยใช้หลักการและทฤษฎีในบทที่ 2 เป็นพื้นฐานในการออกแบบการจำลองและทดสอบระบบจำลอง LTE-Advanced System ในส่วนต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อกับการเปลี่ยนแปลงของระบบ

3.1 สิ่งที่ต้องทำการทดสอบในระบบ LTE-Advanced System

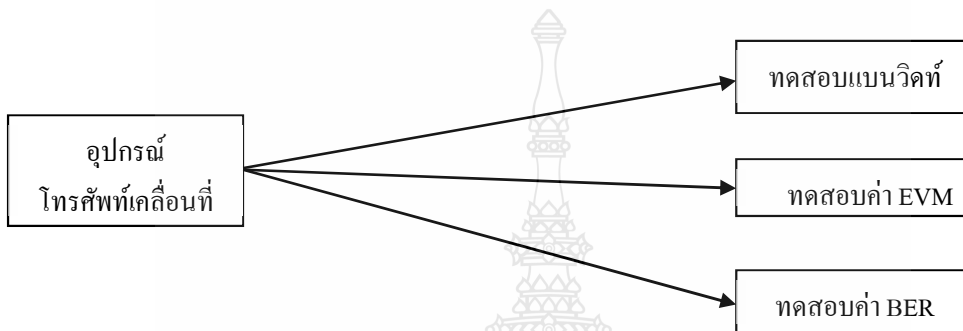


รูปที่ 3.1 แผนผังในการทดสอบระบบ LTE-Advanced System

จากรูปที่ 3.1 จะแบ่งการทดสอบออกเป็นสองส่วนคือ ระบบช่องสัญญาณขาขึ้นและระบบช่องสัญญาณขาลง

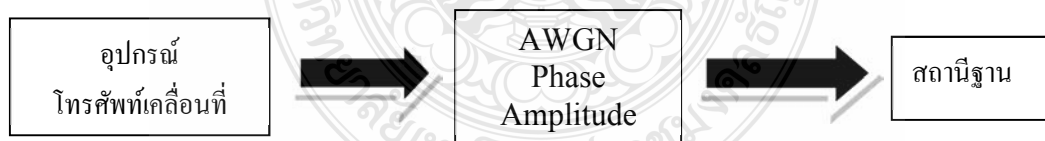
3.2 การออกแบบเพื่อวิเคราะห์ช่องสัญญาณขาขึ้น

การออกแบบเพื่อวิเคราะห์ช่องสัญญาณขาขึ้นจะมีแนวทางในการออกแบบดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงแนวคิดของการทดสอบช่องสัญญาณขาขึ้น

ในการออกแบบเพื่อวิเคราะห์ช่องสัญญาณขาขึ้นจะมีการแบ่งเป็นสองกรณีดังรูปที่ 3.3 กรณีที่อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือไม่มีการเคลื่อนที่ และรูปที่ 3.4 จะเป็นกรณีที่อุปกรณ์โทรศัพท์มีการเคลื่อนที่



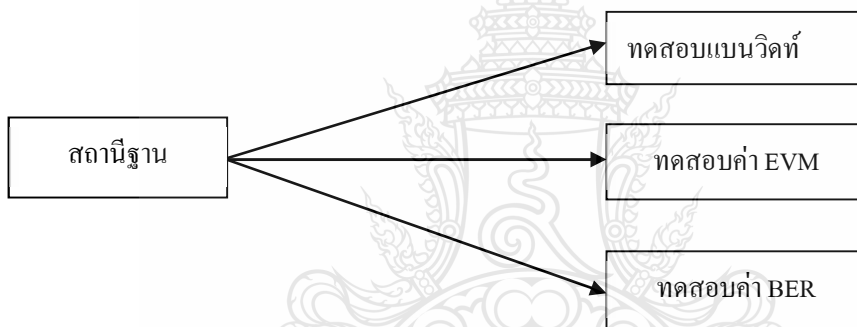
รูปที่ 3.3 แสดงแนวคิดของการทดสอบช่องสัญญาณขาขึ้นกรณีที่อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือไม่มีการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.4 แสดงแนวคิดของการทดสอบช่องสัญญาณขาขึ้นกรณีที่อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือมีการเคลื่อนที่

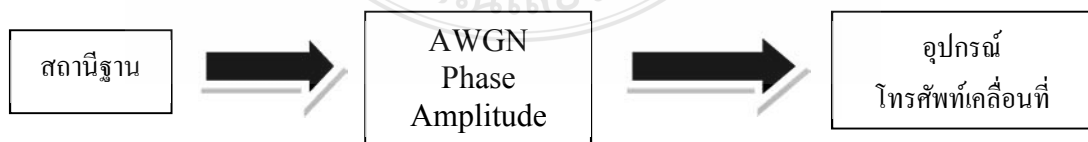
3.3 การออกแบบเพื่อวิเคราะห์ช่องสัญญาณขาลง

การออกแบบเพื่อวิเคราะห์ช่องสัญญาณขาลงจะมีแนวทางในการออกแบบตามรูปที่ 3.5

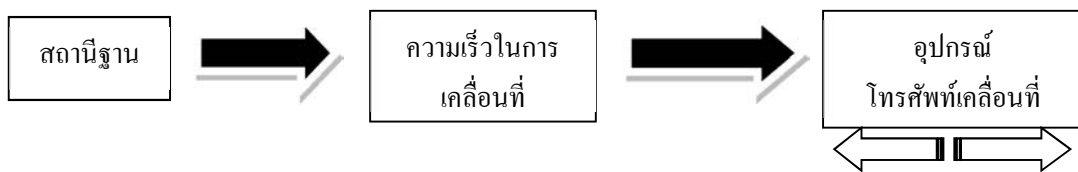


รูปที่ 3.5 แสดงแนวคิดของการทดสอบช่องสัญญาณขาลง

การออกแบบเพื่อวิเคราะห์ช่องสัญญาณขาลงจะมีการแบ่งเป็นสองกรณีตามรูปที่ 3.6 กรณีที่อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือไม่มีการเคลื่อนที่ และรูปที่ 3.7 จะเป็นกรณีที่อุปกรณ์โทรศัพท์ที่มีการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.6 แสดงแนวคิดของการทดสอบช่องสัญญาณขาลงกรณีที่อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือไม่มีการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.7 แสดงแนวคิดของการทดสอบช่องสัญญาณขาลงกรณีที่อยู่อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือมีการเคลื่อนที่

3.4 แนวทางในการออกแบบจำลองระบบ LTE – Advanced System [11]

เทคโนโลยีของ LTE-Advanced มีการใช้งานรับส่งข้อมูลอยู่ 2 ประเภท คือ Time Division Duplex (TDD) คือ การรับส่งสัญญาณข้อมูลการเชื่อมโยงขาลง ช่วงเวลาที่เดียวกันสลับช่วงเวลากัน ในระยะเวลาที่รวดเร็วมากและ Frequency Division Duplex (FDD) คือ การรับส่งสัญญาณข้อมูล การเชื่อมโยงขาลงความถี่ต่างกัน โดยในการทดสอบจะมีการวัดสัญญาณจากมาตรฐานที่ใช้ในการส่งสัญญาณออกโดยใช้ในการอ้างอิงจากมาตรฐาน LTE-Advanced System ซึ่งมีรายละเอียดของระบบการเชื่อมโยงขาลง โดยแสดงให้เห็นได้ดังนี้

3.4.1 อัตราการผิดพลาดบิต (BER) เป็นค่าที่ใช้วัดอัตราความผิดพลาดบิตของกระแสที่ป้อนสำหรับ LTE-Advanced System

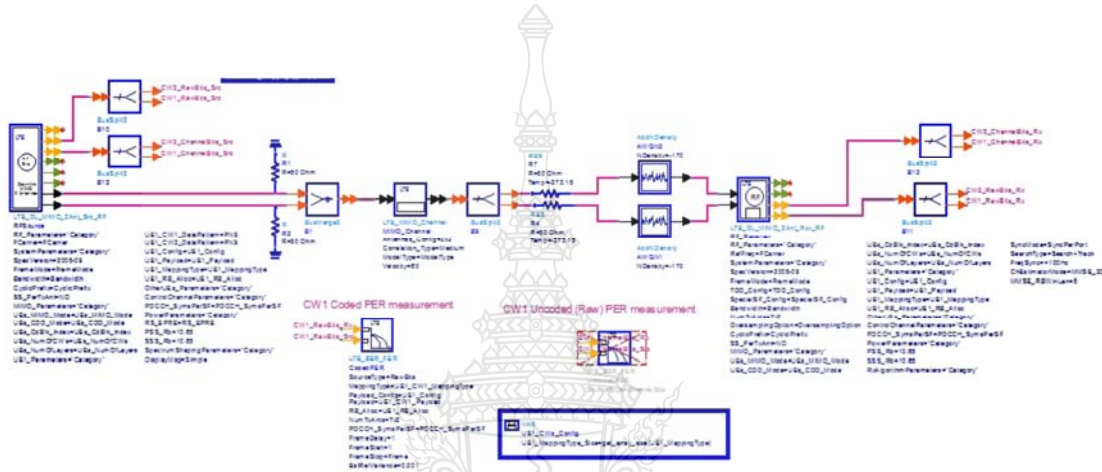
3.4.2 การครอบครองแบนด์วิดท์ ตามมาตรฐานของ LTE-Advanced System นั้นกำหนดให้มีการครอบครองแบนด์วิดท์ทั้งหมดให้อยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.4, 3, 5, 10, 15 และ 20 MHz และความถี่ที่อยู่ในช่วงใช้งานสำหรับระบบ ช่องสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบ คือ 900 MHz และ 1800 MHz

3.4.3 ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิง (EVM) เป็นการวัดค่ามาตรฐาน LTE-Advanced System ควร มีค่า EVM ไม่เกิน 11%, 7% และ 7% มีการมอดูเลตด้วยเทคนิค 3 แบบ ได้แก่ QPSK, 16QAM และ 64QAM โดยใช้เปรียบเทียบระหว่างเฟสอ้างอิงกับเฟสที่ได้จากการวัด และสิ่งที่มีผลกระทบต่อค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงการส่งสัญญาณข้อมูลทางช่องสัญญาณการเชื่อมโยงขาลงและขาขึ้น ดังนี้

- 1) ความแตกต่างระหว่างเฟส I และ Q ที่วัดได้แตกต่างจากค่าอ้างอิงตามมาตรฐาน
- 2) ความแตกต่างระหว่างแกน I และ Q ที่วัดได้แตกต่างจากค่าอ้างอิงตามมาตรฐาน
- 3) เมื่อมีสัญญาณรบกวนในระบบ

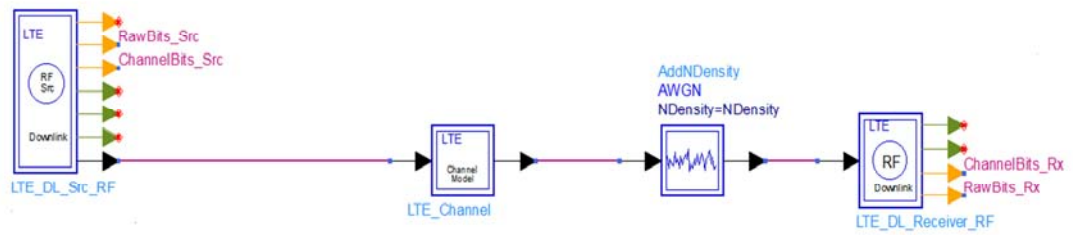
3.5 การออกแบบระบบจำลอง LTE-Advanced System โดยใช้โปรแกรม ADS

ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำแนวคิดที่ได้ออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.4 ซึ่งก็คือการวัดค่าอัตราความผิดพลาดบิต, การครอบครองแบนด์วิธ และค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิง มาทำการประยุกต์ใช้งานกับโปรแกรม ADS เพื่อใช้ในการออกแบบระบบ ซึ่งขั้นตอนการออกแบบเบื้องต้นของโปรแกรม ADS มีดังนี้



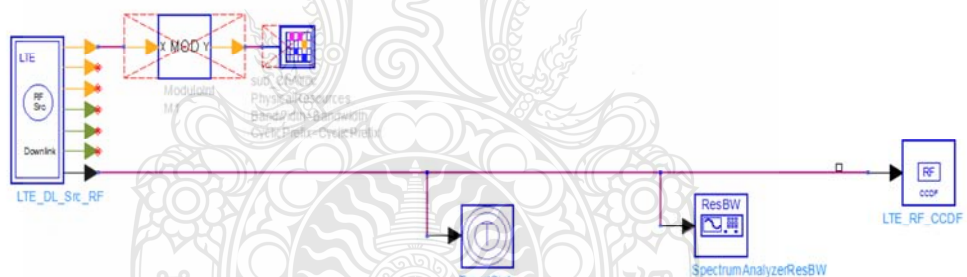
รูปที่ 3.8 แสดงการออกแบบการทดสอบ BER โดยใช้โปรแกรม ADS

- จากรูปที่ 3.8 วงจรที่ได้ทำการออกแบบการทดสอบจะใช้อุปกรณ์อยู่ 5 ส่วนด้วยกัน คือ
- ส่วนที่ 1 อุปกรณ์มือถือที่จะทำการทดสอบ
 - ส่วนที่ 2 ส่วนกำหนดความเร็ว
 - ส่วนที่ 3 เป็นบล็อกที่ใช้ในการกำเนิดสัญญาณรบกวน
 - ส่วนที่ 4 เป็นส่วนที่ใช้เป็นสถานีฐานที่จะใช้ในการทดสอบการรับ
 - ส่วนที่ 5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า BER



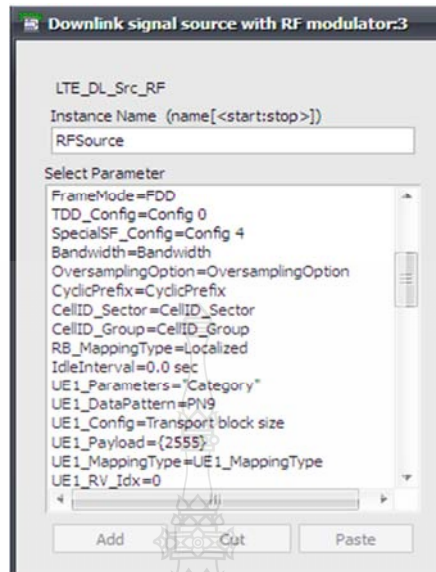
รูปที่ 3.9 การออกแบบการทดสอบค่าอัตราความผิดพลาดบิตทางด้านเชื่อมโยงขาลงโดยใช้โปรแกรม Advanced Design System

จากรูปที่ 3.9 อุปกรณ์ตัวแรกทางด้านซ้ายคือ อุปกรณ์มือถือที่ใช้ทดสอบ อุปกรณ์ตัวที่ 2 คือ อุปกรณ์ที่ใช้กำหนดค่าความเร็ว อุปกรณ์ตัวที่ 3 คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างความถี่รบกวนสามารถ กำหนดค่าความหนาแน่นของสถานการณ์ที่ต้องการจะออกแบบจำลอง และอุปกรณ์ตัวสุดท้ายคือ อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าอัตราความผิดพลาดบิต ที่จะแสดงผลออกมาเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อ สัญญาณรบกวน โดยอุปกรณ์แต่ละตัวจะปรับค่าจากการออกแบบจำลอง



รูปที่ 3.10 การออกแบบการทดสอบค่าการครอบครองแบนด์วิดท์ ทางด้านการเชื่อมโยงขาลง

จากรูปที่ 3.10 จะเห็นว่าต้องใช้อุปกรณ์ 2 ตัวดังรูปทางด้านซ้ายมือ คืออุปกรณ์มือถือที่จะทำการทดสอบและด้านขวามือคือเครื่องมือที่ใช้ทดสอบความกว้างของแบนด์วิดท์ ซึ่งในการทดสอบนี้จะจำลองระบบโดยทำการปรับแต่งค่าต่างๆ ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.11 การเลือกพารามิเตอร์ที่ต้องการใช้

จากรูปที่ 3.11 จะทำการเปลี่ยนค่าแบนด์วิดท์ สามารถที่จะเปลี่ยนได้จาก VAR มีความสะดวกมากเวลาที่มีอุปกรณ์จำนวนมากๆ ซึ่งค่าแบนด์วิดท์จะกำหนดไว้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 เป็นค่าที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐาน LTE-Advanced System

ค่าที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐาน LTE-Advanced System (Bandwidth)	
0	1.4 MHz
1	3.0 MHz
2	5.0 MHz
3	10.0 MHz
4	15.0 MHz
5	20.0 MHz

จะทำการทดสอบค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิง ซึ่งจะสามารถแสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ โดยโปรแกรม ADS ได้ดังนี้ จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1) การครอบครองแบนด์วิดท์ เป็นการปรับค่าความถี่ที่ทำการวัดแล้วทำการวัดค่าแบนด์วิดท์ว่าได้ตามที่กำหนดไว้ของการทดสอบ

2) การทดสอบค่าอัตราความผิดพลาดบิต โดยการเทียบมาตรฐาน LTE-Advanced System จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 แบบคือ

- วิเคราะห์ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิง ที่ทำการวัดได้นำมาเทียบกับค่ามาตรฐาน LTE-Advanced System เมื่อเฟสมีการเปลี่ยนแปลง

- วิเคราะห์ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิง ที่ทำการวัดได้นำมาเทียบกับค่ามาตรฐาน LTE-Advanced System เมื่อเกณฑ์มีการเปลี่ยนแปลง

- วิเคราะห์ว่าค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิง ที่ทำการวัดได้นำมาเทียบกับค่ามาตรฐาน LTE-Advanced System เมื่อมีการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบที่ทำการทดสอบ

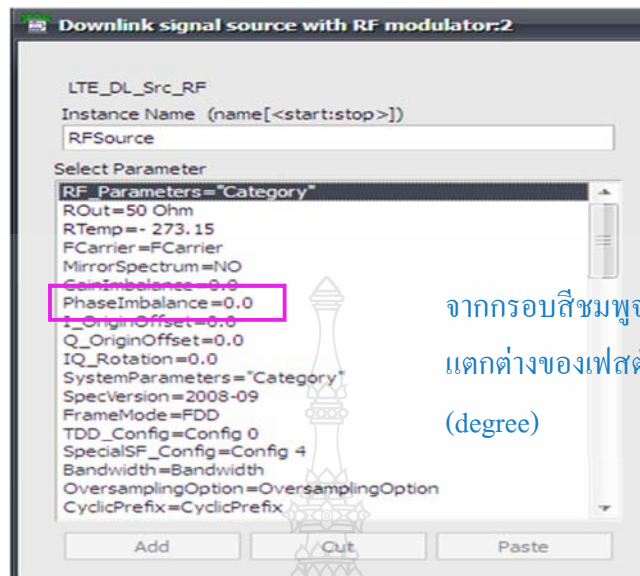
3) อัตราการผิดพลาดบิต โดยทำการเปลี่ยนค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนแล้วดูผลที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.12 การออกแบบการทดสอบของค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิง

จากรูปที่ 3.12 จะมีการแบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 3 ส่วนดังต่อไปนี้ จากทางด้านซ้ายมือส่วนที่ 1 เป็นอุปกรณ์มือถือที่ทดสอบ, ส่วนที่ 2 เป็นบล็อกที่ใช้ขยายสัญญาณ และส่วนที่ 3 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิง

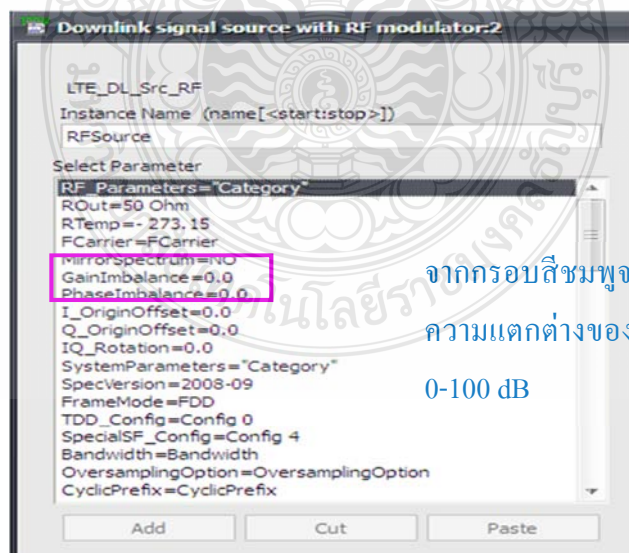
การกำหนดค่าเพื่อจำลองระบบสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ เพื่อดูผลกระทบที่เกิดกับค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยจะทำการทดสอบในเรื่องความแตกต่างระหว่างเฟสของ I และ Q กำหนดค่าการทดสอบตามมาตรฐาน LTE - Advanced System จะมีการปรับค่าเพื่อจำลองความคลาดเคลื่อนของเฟสได้ดังรูปที่ 3.13



จากกรอบสีชมพูจะทำการเพิ่มความแตกต่างของเฟสตั้งแต่ 0-360 องศา (degree)

รูปที่ 3.13 การจำลองเฟสของ I และ Q ที่เปลี่ยนแปลงไป

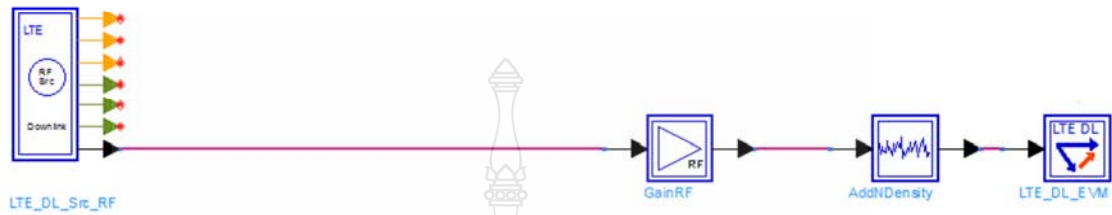
การทดสอบในเรื่องความแตกต่างระหว่างเกณฑ์ของ I และ Q กำหนดค่าการทดสอบตามมาตรฐาน LTE - Advanced System จะมีการปรับค่าเพื่อจำลองความคลาดเคลื่อนของเกณฑ์ได้ดังรูปที่ 3.14



จากกรอบสีชมพูจะทำการเพิ่มความแตกต่างของเกณฑ์ตั้งแต่ 0-100 dB

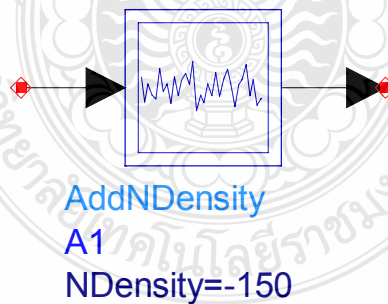
รูปที่ 3.14 การจำลองเกณฑ์ของ I และ Q ที่เปลี่ยนแปลงไป

การทดสอบค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิง เมื่อมีสัญญาณในการรบกวนสามารถแสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบโดยโปรแกรม ADS ได้ดังนี้



รูปที่ 3.15 การออกแบบการจำลองสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบ

จากรูปที่ 3.15 จะมีการแบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 3 ส่วนดังต่อไปนี้ จากทางด้านซ้ายมือส่วนที่ 1 เป็นอุปกรณ์มือถือที่ทดสอบ, ส่วนที่ 2 เป็นบล็อกที่ใช้ขยายสัญญาณ, ส่วนที่ 3 เป็นบล็อกที่ให้กำเนิดสัญญาณรบกวน และส่วนที่ 4 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิง ในการทดสอบค่ามาตรฐาน LTE – Advanced System จะมีการปรับค่าเพื่อจำลองสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ เพื่อที่จะดูผลกระทบที่เกิดกับค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิง ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ซึ่งแสดงการปรับค่าได้ดังรูป



รูปที่ 3.16 การจำลองสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบ

จากรูปที่ 3.16 เป็นตัวอย่างในการปรับค่าตัวแปรในส่วนของค่าสัญญาณรบกวน ซึ่งในส่วนนี้จะจำลองสัญญาณรบกวนที่น้อยมากหรือในระบบไม่มีสัญญาณรบกวน โดยจะกำหนดค่า NDensity เท่ากับ -150 dB ตามการออกแบบของการจำลองสัญญาณ

การกำหนดการตั้งค่าของระบบจะอยู่ในส่วนของ Variable จะมีการปรับค่าหลักของระบบ

Bandwidth	CyclicPrefix	Meaning
0 1.4 MHz BW	0	Normal
1 3.0 MHz BW	1	Extended
2 5.0 MHz BW		
3 10.0 MHz BW	0	QPSK
4 15.0 MHz BW	1	16QAM
5 20.0 MHz BW	2	64QAM

MappingType	Meaning
0	QPSK
1	16QAM
2	64QAM

OversamplingOption	Meaning
0	Oversampling ratio=1
1	Oversampling ratio=2
2	Oversampling ratio=4
3	Oversampling ratio=8

PHICH_Ng	Meaning
0	PHICH_Ng = 1/6
1	PHICH_Ng = 1/2
2	PHICH_Ng = 1
3	PHICH_Ng = 2


```

VAR
VAR_SignalSource
OversamplingOption=1
FCarrier=2000 MHz
Bandwidth=2
CyclicPrefix=0
UE1_MappingType={1}
OtherUEs_MappingType={0,1,2,0,1}
UE1_RB_Alloc={0,5}
UE2_RB_Alloc={5,5}
UE3_RB_Alloc={10,5}
UE4_RB_Alloc={15,5}
UE5_RB_Alloc={20,2}
UE6_RB_Alloc={22,3}
PDCCH_SymsPerSF={2}
PHICH_Ng=0
        
```

รูปที่ 3.17 ตาราง Variable ของระบบ

การปรับค่าภาคในระบบนั้นจะสามารถปรับได้โดยตรง โดยจะมีเลขแทนค่าที่เราจะนำมาใส่ และการ Modulation จะมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ ปรับตรง UE1_MappingType

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

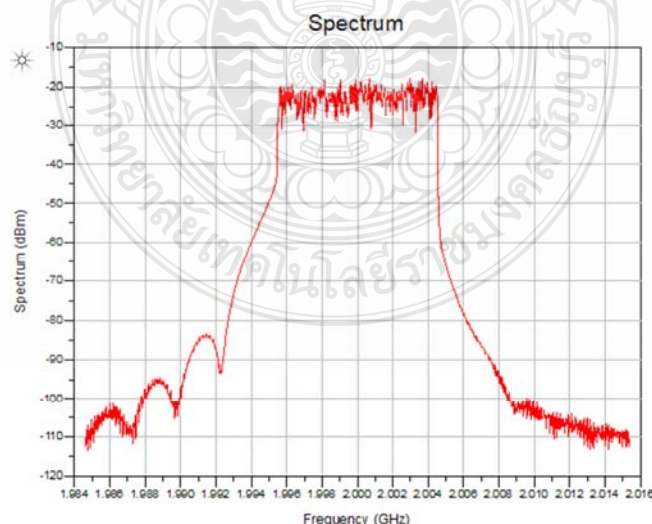
ในบทนี้เป็นการบันทึกและวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพของช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลงจากการจำลองระบบด้วยโปรแกรม Advanced Design System โดยทำการทดสอบที่ความถี่ 900 MHz และ 1800 MHz ในกรณีที่เฟสและเกณฑ์มีการเปลี่ยนแปลง กรณีที่มีสัญญาณรบกวนในระบบเพิ่มมากขึ้น พร้อมทั้งเพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อระบบเมื่อค่าของตัวแปรต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงไป เช่น เมื่อในระบบมีสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราผิดพลาดบิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่ออุปกรณ์มือถือมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น คุณภาพในการรับส่งข้อมูลของช่องสัญญาณจะลดลง

4.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของช่องสัญญาณขาลง

การทดสอบสมรรถนะของช่องสัญญาณขาลงนั้นจะประกอบไปด้วยการทดสอบดังนี้

4.1.1 การครอบครองแบนด์วิธของสัญญาณที่ส่งออก

การทดสอบการครอบครองแบนด์วิธของสัญญาณแถบความถี่เลือกใช้ทดสอบคือ 900 MHz และ 1800 MHz กำหนดแบนด์วิธ 20 MHz ตามมาตรฐาน LTE - Advanced System ได้กำหนดเส้นกำกับสเปกตรัมที่วัดได้นั้นจะต้องอยู่ในขอบเขตของเส้นมาตรฐาน

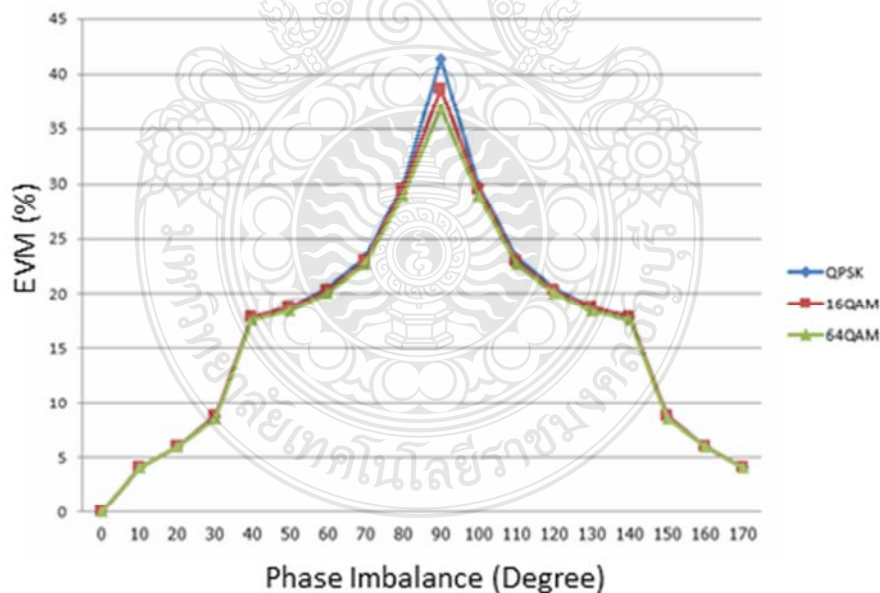


รูปที่ 4.1 ผลการวัดค่าแบนด์วิธที่ความถี่ 900 MHz และความถี่ 1800 MHz

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลการวัดค่าแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณขาลงที่ได้จากการจำลองระบบ LTE-Advanced System ด้วยโปรแกรม Advanced Design System โดยทำการทดสอบที่ความถี่ 900 MHz และความถี่ 1800 MHz ซึ่งสเปคตรัมที่วัดได้นั้นอยู่ในขอบเขตมาตรฐานของ LTE-Advanced System

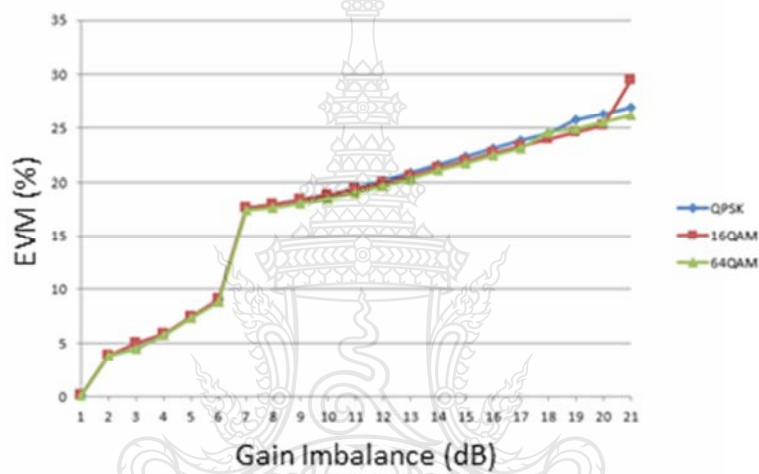
4.1.2 ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิง

ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงคือ ค่าที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพของการผสมคลื่นความถี่ โดยการวัดค่านั้นจะทำการวัดโดยจะใช้การเปรียบเทียบค่าเฟสของสัญญาณอ้างอิงและวัดเทียบกับค่าเฟสของสัญญาณที่จะส่งออกไปโดยตามมาตรฐานและข้อกำหนดของ LTE - Advanced System นั้นจะต้องมีค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงที่แตกต่างกันแล้วแต่การผสมคลื่นความถี่ เช่น การผสมคลื่นความถี่แบบ QPSK ไม่ควรมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิน 11% การมอดูเลชันแบบ 16QAM ไม่ควรมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิน 7% และการผสมคลื่นความถี่แบบ 64QAM ไม่ควรมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิน 7% ดังที่จะแสดงในผลการทดสอบต่อไปนี้โดยจะจำลอง 3 กรณี คือ เฟสอ้างอิง แอมพลิจูดอ้างอิง และสัญญาณรบกวน



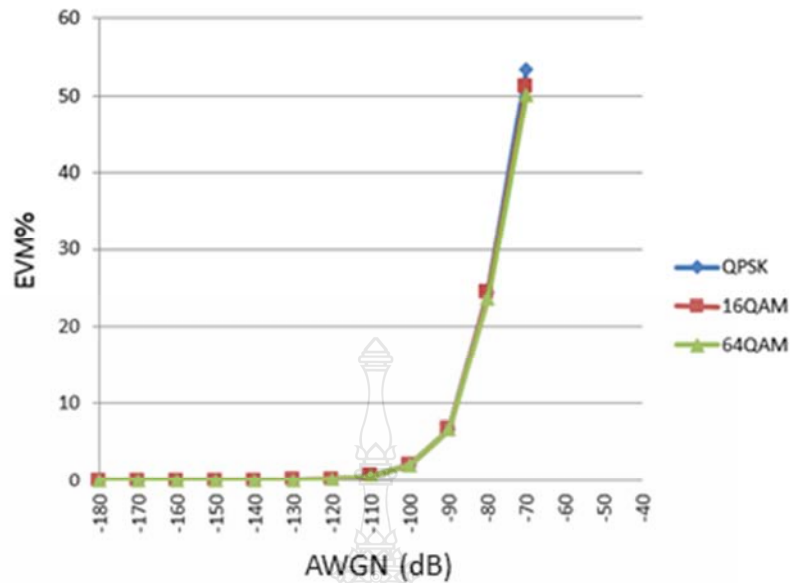
รูปที่ 4.2 ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง

จากรูปที่ 4.2 เป็นการแสดงผลการทดสอบหาค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงโดยใช้เทคโนโลยี OFDMA ที่ความถี่ 900 MHz โดยทำการเปลี่ยนค่าเฟสที่เปลี่ยนไป พบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าเฟสที่เปลี่ยนไปแล้วจะทำให้ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความผิดพลาดของระบบเพิ่มมากขึ้นตามลำดับและจะลดลงเมื่อมีค่าเฟสที่เปลี่ยนไปที่ 90 องศา ซึ่งทำมุมตั้งฉากกับระนาบ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของเทคโนโลยี OFDMA และค่าความคลาดเคลื่อนของเฟสที่เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพจะอยู่ระหว่าง 0-30 และ 150-180 เพราะมีค่าอยู่ในขอบเขตตามมาตรฐาน



รูปที่ 4.3 ผลกระทบเมื่อเกณฑ์ของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง

จากรูปที่ 4.3 เป็นการแสดงผลการทดสอบหาค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงโดยใช้เทคโนโลยี OFDMA ที่ความถี่ 900 MHz โดยทำการเปลี่ยนค่าเกณฑ์ พบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าเกณฑ์แล้วจะทำให้ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความผิดพลาดของระบบเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ โดยที่ค่าความผิดพลาดจะแตกต่างกันไปตามการมอดูเลชันแต่ละแบบ และค่าความคลาดเคลื่อนของเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพของ QPSK จะต้องมีค่าเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปไม่เกิน 5 ในส่วนของ 16QAM และ 64QAM จะต้องมีค่าเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปไม่เกิน 4 จึงจะมีค่าอยู่ในขอบเขตตามมาตรฐานที่มีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.4 ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง เมื่อมีสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.4 เป็นการแสดงผลการทดสอบหาค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงโดยใช้เทคโนโลยี OFDMA ที่ความถี่ 900 MHz โดยทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบพบว่าเมื่อทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบมากขึ้นแล้วจะทำให้ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วยโดยค่าที่เหมาะสมคือต้องมีค่าของสัญญาณรบกวนไม่เกิน -80 dB จะมีค่าความผิดพลาดอยู่ในขอบเขตตามมาตรฐาน

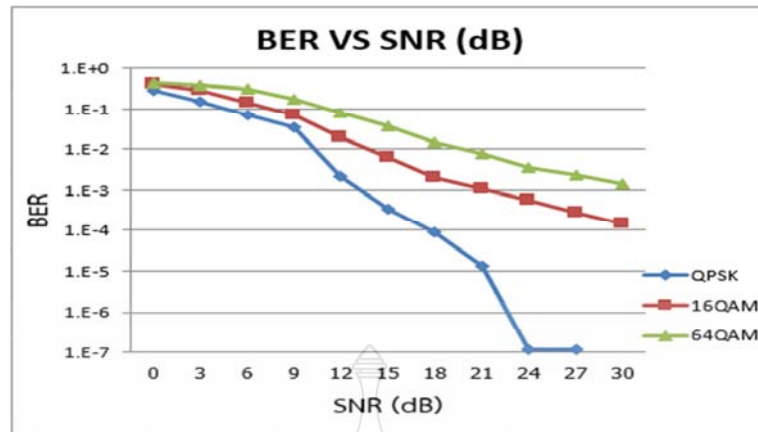
4.1.3 อัตราความผิดพลาดบิต

อัตราความผิดพลาดบิต หรือ Bit Error Rate (BER) จะทำการวัดเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ซึ่งค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่สำคัญในระบบการสื่อสาร ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงประสิทธิภาพของการสื่อสารได้โดยเป็นค่าที่บอกค่าพลังงานที่รับได้เมื่อเทียบกับค่าสัญญาณรบกวน ซึ่งค่านี้ยังมีค่ามากเท่าไรยิ่งดีนั้นหมายความว่าถ้าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนยังมีค่ามาก สัญญาณที่รับได้นั้นจะยังมีค่ามากเมื่อเทียบกับค่าสัญญาณรบกวน ซึ่งจากการทดสอบได้นำค่าอัตราความผิดพลาดเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

ตารางที่ 4.2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

SNR (dB)	QPSK (dB)	16QAM (dB)	64QAM (dB)
0	0.286531306921676	0.399379337899543	0.445551911865569
3	0.150008993624772	0.277400342465753	0.379918767146776
6	0.0673929872495446	0.138825970319635	0.301625728737997
9	0.0347840391621129	0.0709545091324201	0.174983746284865
12	0.00213911657559199	0.0192141552511416	0.0792568658550526
15	0.000340050091074681	0.00616192922374429	0.0361351880429813
18	8.75455373406193e-05	0.00206369863013699	0.0150906635802469
21	1.36612021857924e-05	0.0010976598173516	0.00752432698902606
24	01.1384335154827e-07	0.000571118721461187	0.00368344907407407
27	1.1384335154827e-07	0.000288926940639269	0.0023009545038866
30	0.0	0.000142579908675799	0.00139124657064472

จากตารางที่ 4.1 เป็นการแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ที่ได้จากการทดสอบการวัดค่าอัตราความผิดพลาดบิต (BER) เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) โดยใช้เทคโนโลยี OFDMA ที่ความถี่ 900 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz แสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนในระบบเมื่อ SNR เพิ่มขึ้น ค่า BER จากการมอดูเลชันแบบ QPSK จะมีค่าลดลงอย่างชัดเจน ทำให้คุณภาพของสัญญาณดีขึ้นกว่าการมอดูเลชันแบบ 64QAM ที่มีอัตราการลดลงของค่า BER ที่น้อยกว่า



รูปที่ 4.5 ค่าอัตราความผิดพลาดบิตเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.5 เป็นการแสดงค่าอัตราความผิดพลาดบิตเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนจากการทดสอบวัดค่าอัตราความผิดพลาดบิต (BER) เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) โดยใช้เทคโนโลยี OFDMA ที่ความถี่ 900 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีสัญญาณรบกวนในระบบ การมอดูเลชันแบบ QPSK นั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบการมอดูเลชันทั้ง 3 แบบ

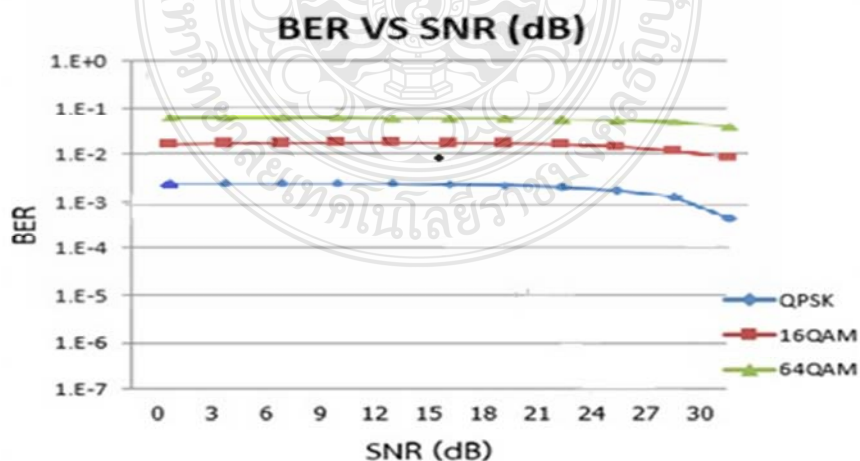
ตารางที่ 4.2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนกรณีที่อยู่กรณีเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

SNR (dB)	QPSK (dB)	16QAM (dB)	64QAM (dB)
0	0.00265653460837887	0.0153009703196347	0.0517094978852309
3	0.00266325136612022	0.0157798515981735	0.0499254115226337
6	0.00265323315118397	0.0160675228310502	0.0499487025605853
9	0.00264139344262295	0.016228196347032	0.0499487025605853
12	0.00261441256830601	0.0161836757990868	0.049800633001829
15	0.002555669398907	0.0159840753424658	0.0494907407407407

ตารางที่ 4.2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนกรณีที่อยู่กรณ์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ต่อ)

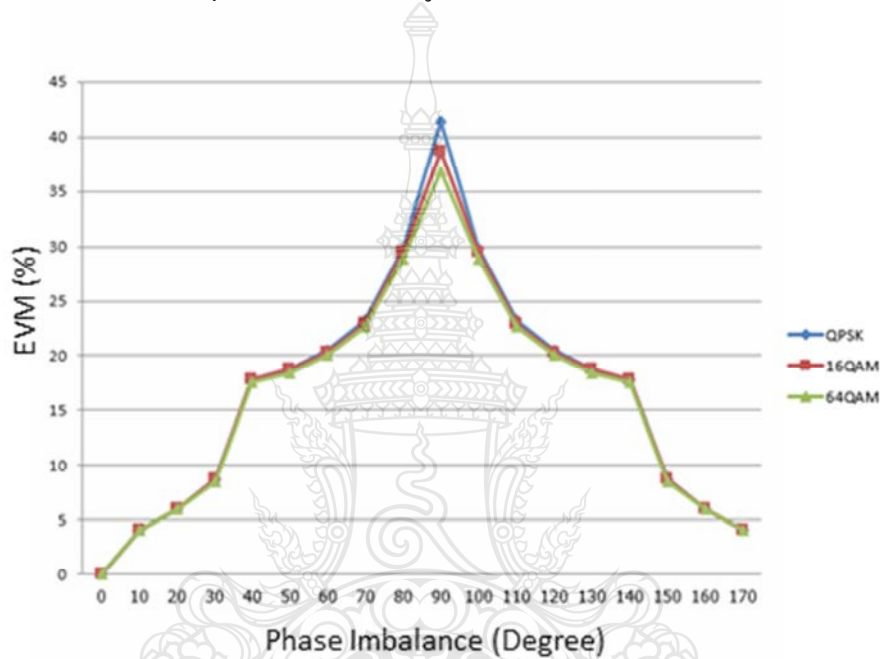
SNR (dB)	QPSK (dB)	16QAM (dB)	64QAM (dB)
18	0.00244296448087432	0.0156041666666667	0.0488282321673525
21	0.00225045537340619	0.0149518264840183	0.0476678597965249
22	0.00194535519125683	0.0137886415525114	0.0454108439071788
23	0.00144922586520947	0.0115547374429224	0.0411392961248285
24	0.000547814207650273	0.00831980593607306	0.0338273748285322

จากตารางที่ 4.2 เป็นการแสดงผลการทดสอบวัดค่าอัตราความผิดพลาดบิต (BER) เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) โดยใช้เทคโนโลยี OFDMA ที่ความถี่ 900 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz เมื่ออุปกรณ์โทรศัพท์มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนในระบบและอุปกรณ์โทรศัพท์มีการเคลื่อนที่ผลที่ได้เป็นไปได้ในทิศทางเดียวกันกับอุปกรณ์โทรศัพท์ที่ไม่มีการเคลื่อนที่ แต่จะมีความแตกต่างกันที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ส่งผลกระทบต่อค่า BER เพิ่มขึ้นตามไปด้วย



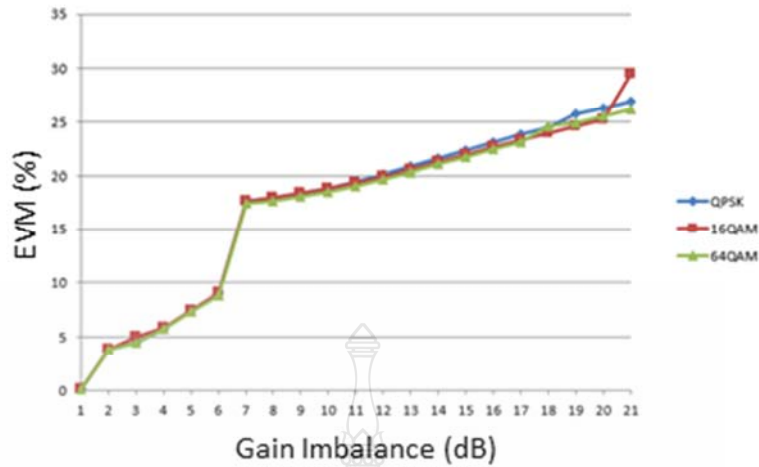
รูปที่ 4.6 ค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่ความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.6 เป็นการแสดงค่าอัตราความผิดพลาดบิตเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนจากการทดสอบการวัดค่าอัตราความผิดพลาดบิต (BER) เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) โดยใช้เทคโนโลยี OFDMA ที่ความถี่ 900 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz เมื่ออุปกรณ์โทรศัพท์มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนในระบบและอุปกรณ์โทรศัพท์มีการเคลื่อนที่ การมอดูเลชันแบบ QPSK นั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุดในเมื่อเทียบการมอดูเลชันทั้ง 3 แบบ



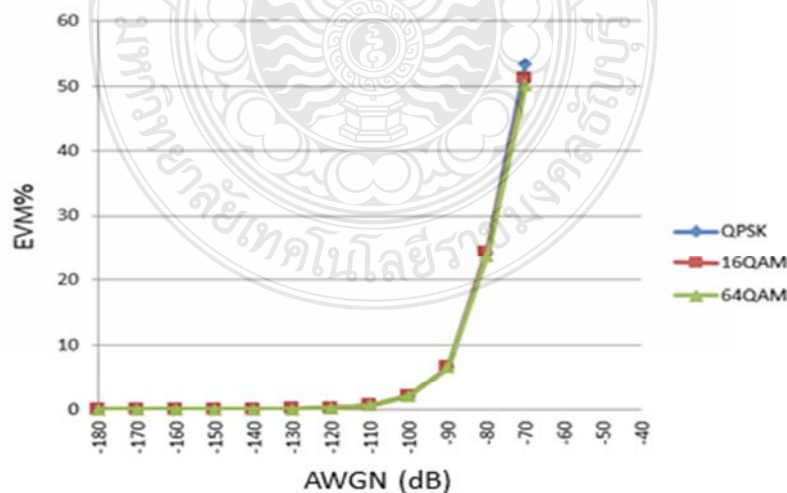
รูปที่ 4.7 ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง

จากรูปที่ 4.7 เป็นการแสดงผลการทดสอบหาค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงโดยใช้เทคโนโลยี OFDMA ที่ความถี่ 1800 MHz โดยทำการเปลี่ยนค่าเฟสที่เปลี่ยนไปพบว่าผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดสอบที่ความถี่ 900 MHz คือเมื่อทำการเพิ่มค่าเฟสที่เปลี่ยนไปแล้วจะทำให้ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยค่าที่วัดได้จากการทดสอบที่ความถี่ทั้งสองนั้นมีค่าต่างกันไม่มาก ซึ่งค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดความผิดพลาดของระบบเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกัน และจะลดลงเมื่อมีค่าเฟสที่เปลี่ยนไปที่ 90 และค่าความคลาดเคลื่อนของเฟสที่เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพจะอยู่ระหว่าง 0-30 และ 150-180 เพราะมีค่าอยู่ในขอบเขตตามมาตรฐานเช่นเดียวกันกับการทดสอบที่ความถี่ 900 MHz



รูปที่ 4.8 ผลกระทบเมื่อเกณฑ์ของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง

จากรูปที่ 4.8 เป็นการแสดงผลการทดสอบหาค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงโดยใช้เทคโนโลยี OFDMA ที่ความถี่ 1800 MHz โดยทำการเปลี่ยนค่าเกณฑ์ พบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าเกณฑ์แล้วจะทำให้ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ค่าความคลาดเคลื่อนของเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพของ QPSK จะต้องมีค่าเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปไม่เกิน 5 ในส่วนของ 16QAM และ 64QAM จะต้องมีค่าเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปไม่เกิน 4 จึงจะมีค่าอยู่ในขอบเขตตามมาตรฐานที่มีประสิทธิภาพ



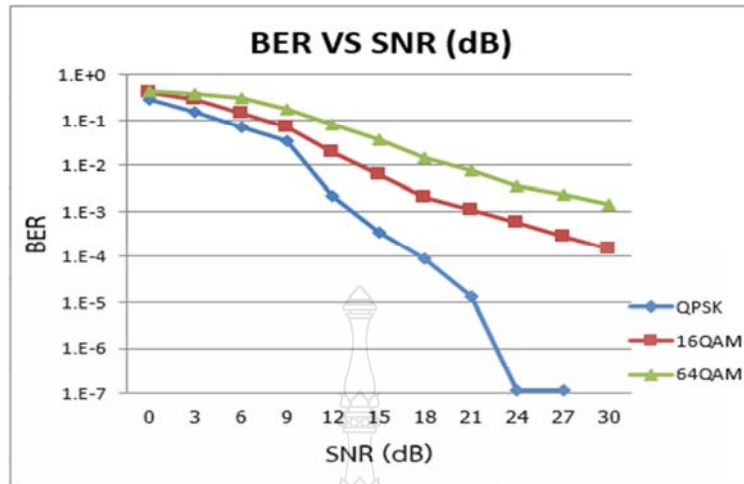
รูปที่ 4.9 ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง เมื่อมีสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.9 เป็นการแสดงผลการทดสอบค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงโดยใช้เทคโนโลยี OFDMA ที่ความถี่ 1800 MHz โดยทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบพบว่าเมื่อทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบมากขึ้นแล้วจะทำให้ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วยโดยค่าที่เหมาะสมคือต้องมีค่าของสัญญาณรบกวนไม่เกิน -80 dB จะมีค่าความผิดพลาดอยู่ในขอบเขตตามมาตรฐาน

ตารางที่ 4.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

SNR (dB)	QPSK (dB)	16QAM (dB)	64QAM (dB)
0	0.286531306921230	0.399379337895943	0.445551911865654
3	0.150008993646111	0.277400342461464	0.379918767141763
6	0.0673929872494655	0.138825970313569	0.301625728734442
9	0.0347840391692112	0.0709545091321224	0.174983746283872
12	0.00213911657584881	0.0192141552531426	0.07925686585506141
15	0.00034005009135121	0.00616192922374436	0.0361351880423214
18	8.75455373406173e-05	0.00206369863013969	0.0150906635804425
21	1.36612021857933e-05	0.0010976598171563	0.00752432698960014
24	1.1384335154827e-07	0.000571118721468711	0.00368344907407188
27	1.1384335154827e-07	0.000288926940639269	0.0023009545038356
30	0.0	0.000142579908675799	0.00139124657064311

จากตารางที่ 4.3 เป็นการแสดงผลการทดสอบวัดค่าอัตราความผิดพลาดบิต (BER) เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) โดยใช้เทคโนโลยี OFDMA ที่ความถี่ 1800 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz แสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่เพิ่มสัญญาณรบกวนในระบบเมื่อ SNR เพิ่มขึ้น ค่า BER จากการมอดูเลชันแบบ QPSK จะมีค่าลดลงอย่างชัดเจน ทำให้คุณภาพของสัญญาณดีขึ้นกว่าการมอดูเลชันแบบ 64QAM ที่มีอัตราการลดลงของค่า BER ที่น้อยกว่าซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับความถี่ 900 MHz



รูปที่ 4.10 ค่าอัตราความผิดพลาดบิต เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.10 เป็นการแสดงผลการทดสอบการวัดค่าอัตราความผิดพลาดบิต (BER) เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) โดยใช้เทคโนโลยี OFDMA ที่ความถี่ 1800 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz แสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนในระบบการมอดูเลชันแบบ QPSK นั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบการมอดูเลชันทั้ง 3 แบบ

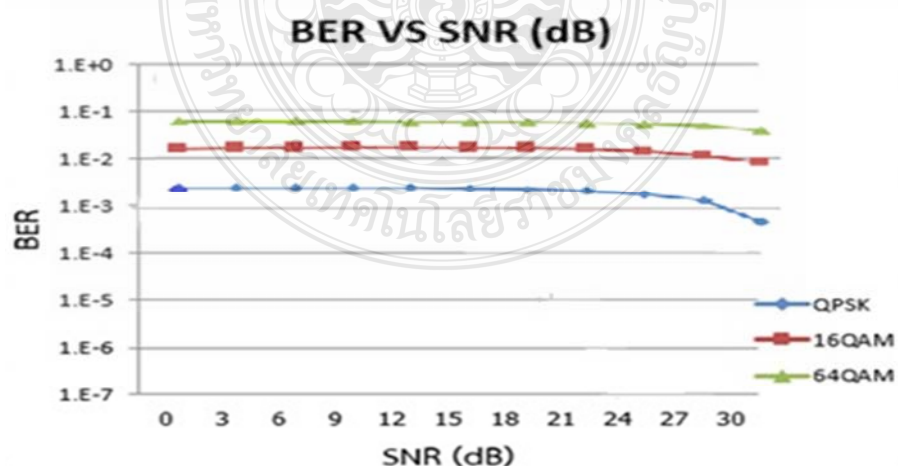
ตารางที่ 4.4 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนกรณีที่อยู่ปรณเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

SNR (dB)	QPSK (dB)	16QAM (dB)	64QAM (dB)
0	0.00265653460833121	0.0153009703196221	0.0517094978858471
3	0.00266325136611454	0.0157798515981825	0.0499254115226007
6	0.00265323315118165	0.0160675228310901	0.0499487025605481
9	0.00264139344262591	0.016228196347322	0.0499487025605773
12	0.00261441256831164	0.0161836757914565	0.049800633001961
15	0.002555669399870	0.0159840753424364	0.0494907407407321

ตารางที่ 4.4 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนกรณีที่อยู่ปรณเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ต่อ)

SNR (dB)	QPSK (dB)	16QAM (dB)	64QAM (dB)
18	0.00244296448081446	0.0156041666666667	0.0488282321673743
21	0.00225045537340541	0.0149518264840661	0.0476678597965417
22	0.00194535519125448	0.01378864155251783	0.0454108439071881
23	0.00144922586520792	0.0115547374429254	0.041139296124842
24	0.000547814207650323	0.00831980593607399	0.0338273748285311

จากตารางที่ 4.4 เป็นการแสดงผลการทดสอบวัดค่าอัตราความผิดพลาดบิต (BER) เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) โดยใช้เทคโนโลยี OFDMA ที่ความถี่ 1800 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz เมื่ออุปกรณ์โทรศัพท์มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนในระบบและอุปกรณ์โทรศัพท์มีการเคลื่อนที่ผลที่ได้เป็นไปได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับอุปกรณ์โทรศัพท์ที่ไม่มีการเคลื่อนที่ แต่จะมีความแตกต่างกันที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ส่งผลกระทบต่อทำให้ค่า BER เพิ่มขึ้นตามไปด้วย



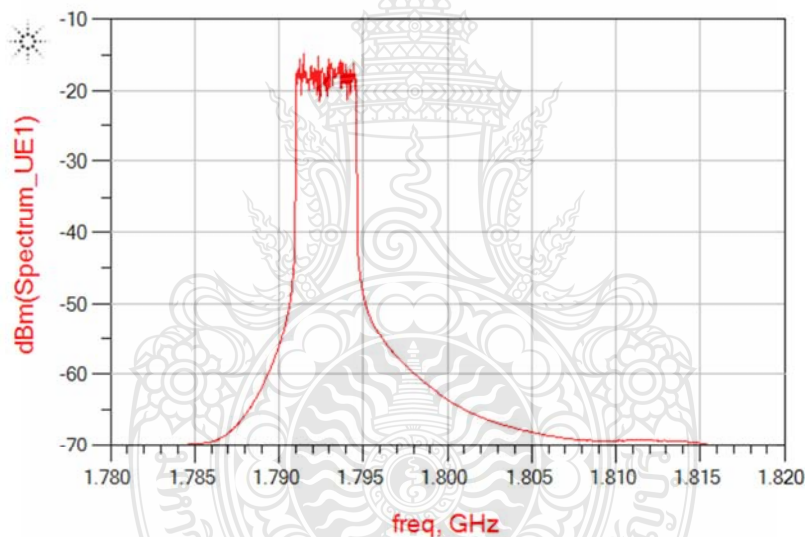
รูปที่ 4.11 ค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่ความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.11 เป็นการแสดงผลการทดสอบวัดค่าอัตราความผิดพลาดบิต (BER) เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) โดยใช้เทคโนโลยี OFDMA ที่ความถี่ 1800 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz เมื่ออุปกรณ์โทรศัพท์มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่มีสัญญาณรบกวนในระบบและอุปกรณ์โทรศัพท์มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น การมอดูเลชันแบบ QPSK นั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบการมอดูเลชันทั้ง 3 แบบ

4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของช่องสัญญาณทางด้านขาขึ้น

การทดสอบสมรรถนะของช่องสัญญาณทางการเชื่อมโยงขาขึ้นนั้นจะประกอบด้วยผลการทดสอบดังนี้

4.2.1 การครอบครองแบนด์วิดท์ทางการเชื่อมโยงขาขึ้น

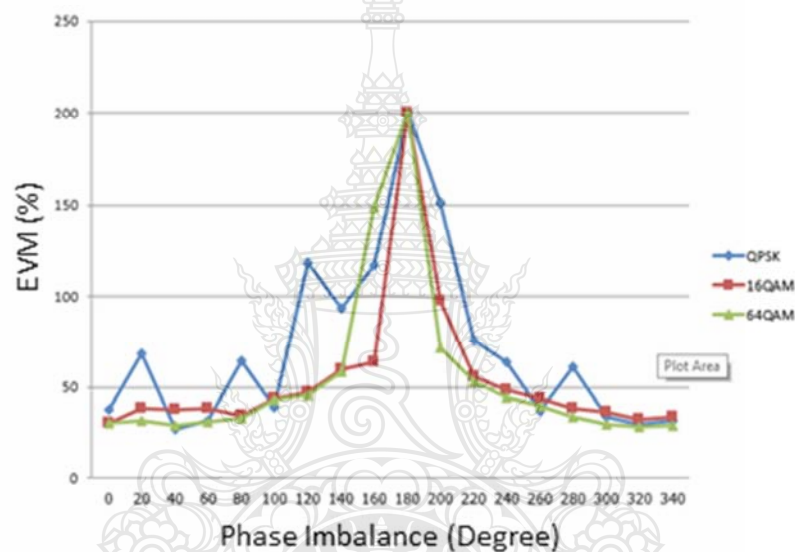


รูปที่ 4.12 รูปการวัดค่าแบนด์วิดท์ที่ความถี่ 900 MHz และความถี่ 1800 MHz

จากรูปที่ 4.12 แสดงผลการวัดค่าแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณขาขึ้นที่ได้จากการจำลองระบบ LTE-Advanced System ด้วยโปรแกรม Advanced Design System โดยทำการทดสอบที่ความถี่ 900 MHz และความถี่ 1800 MHz ซึ่งสเปกตรัมที่วัดได้นั้นอยู่ในขอบเขตมาตรฐานของ LTE-Advanced System จะสังเกตได้ว่าแบนด์วิดท์ของทางการเชื่อมโยงของช่องสัญญาณจะมีแบนด์วิดท์ที่น้อยกว่าทางการเชื่อมโยงกลาง เนื่องจากตามปกติแล้วในการใช้งานการสื่อสารข้อมูลส่วนใหญ่จะเป็นการดาวน์โหลดมากกว่าการอัปโหลด จึงมีการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานของผู้ใช้เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรด้านการสื่อสารได้อย่างคุ้มค่าที่สุด เพราะถ้าหากทำการ

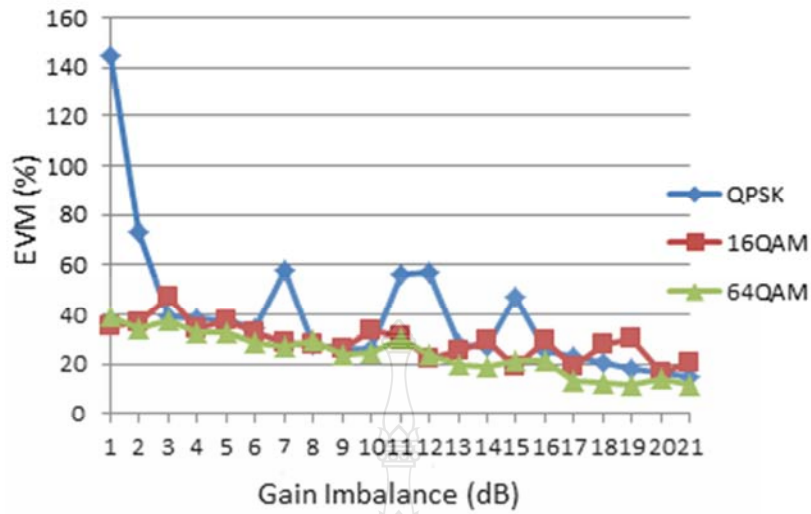
จัดสรรแบนด์วิดท์ให้ทั้งทางด้านขาลงและขาขึ้นนั้นเท่ากัน จะทำให้การใช้งานในส่วนของช่องสัญญาณขาขึ้นมีการใช้งานที่ไม่คุ้มค่า เนื่องจากแบนด์วิดท์บางส่วนสูญเปล่าไม่ได้ถูกใช้งาน ทั้งนี้ทั้งนั้นการจัดสรรแบนด์วิดท์ก็สามารถจัดสรรได้ตามความเหมาะสม เช่น บางหน่วยงานหรือบางองค์กรที่มีการให้บริการสำหรับผู้ใช้ทั่วไปดาวน์โหลดข้อมูล ก็จำเป็นต้องใช้งานแบนด์วิดท์ในส่วนช่องสัญญาณขาขึ้นมากกว่าช่องสัญญาณของลง ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสม

4.2.2 Error Vector Magnitude (EVM)



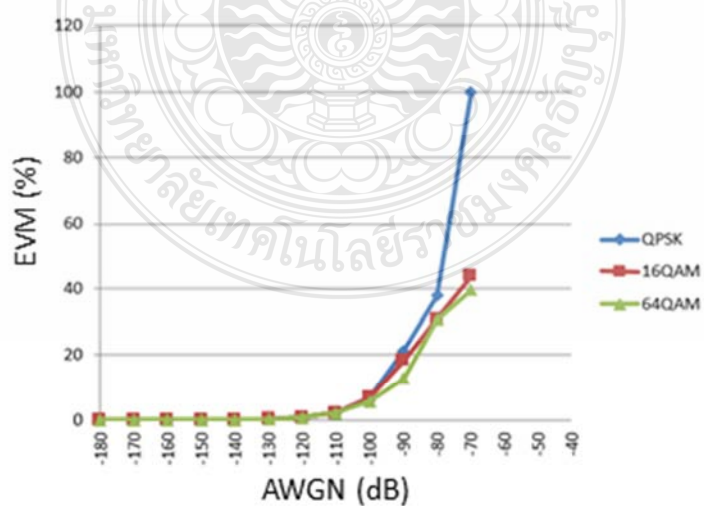
รูปที่ 4.13 ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิงในช่วงค่าที่เหมาะสมขณะที่มีสัญญาณรบกวน -80 dBm/Hz

จากรูปที่ 4.13 เป็นการแสดงผลการทดสอบหาค่า EVM โดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA ที่ความถี่ 900 MHz , Bandwidth 20 MHz , Noise -80 dBm/Hz โดยทำการเปลี่ยนค่าเฟสที่เปลี่ยนไปพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าเฟสที่เปลี่ยนไปแล้วจะทำให้ค่า EVM มีการเปลี่ยนแปลงไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบไม่อยู่ในขอบเขตตามมาตรฐาน เพราะมีค่า EVM สูงมาก ส่งผลกระทบกับระบบได้ จำเป็นต้องมีการแก้ไข เช่น เพิ่มกำลังในการส่งสัญญาณให้ความเข้มของสัญญาณเพิ่มขึ้น เพื่อให้ค่าความผิดพลาดลดลง



รูปที่ 4.14 ผลกระทบเมื่ออัตราขยายของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง

จากรูปที่ 4.14 เป็นการแสดงผลการทดสอบหาค่า EVM โดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA ที่ความถี่ 900 MHz ,Bandwidth 20 MHz ,Noise -80 dBm/Hz โดยทำการเปลี่ยนค่าเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปแล้วจะทำให้ค่า EVM มีการเปลี่ยนแปลงแบบผันผวน ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบไม่อยู่ในขอบเขตตามมาตรฐาน เพราะมีค่า EVM สูงมาก แต่ผลที่ได้จากการเพิ่มค่าเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปมากขึ้น มีแนวโน้มที่ค่า EVM จะมีค่าลดลง



รูปที่ 4.15 ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิงเมื่อมีสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.15 เป็นการแสดงผลการทดสอบหาค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงโดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA ที่ความถี่ 900 MHz โดยทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบพบว่าเมื่อทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบมากขึ้นแล้วจะทำให้ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วยโดยค่าที่เหมาะสมคือต้องมีค่าของสัญญาณรบกวนไม่เกิน -100 dB จะมีค่าความผิดพลาดอยู่ในขอบเขตตามมาตรฐาน

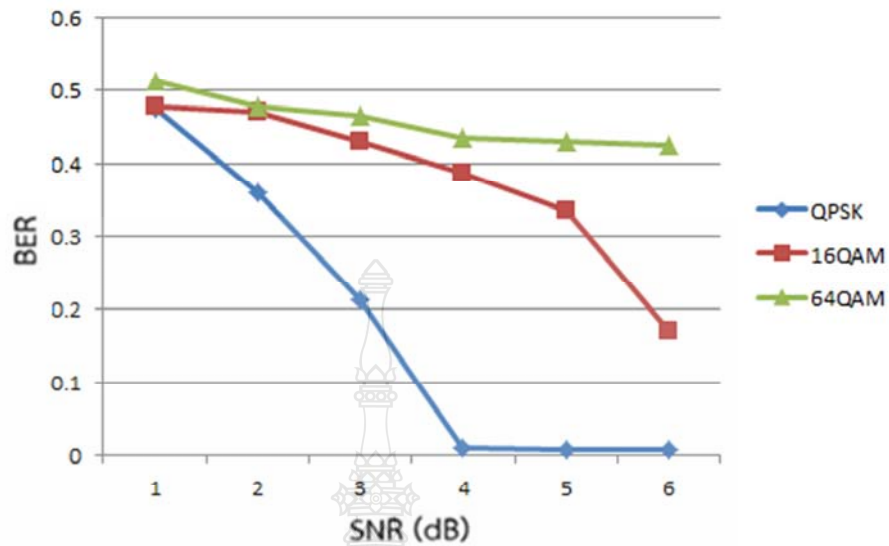
4.2.3 อัตราความผิดพลาดบิต

การทดสอบต่อไปนี้จะเป็นการจำลองระบบที่มีคลื่นพาห์ 900 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz การผสมคลื่นแบบ QPSK ,16QAM และ 64QAM โดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA

ตารางที่ 4.5 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

SNR (dB)	QPSK (dB)	16QAM (dB)	64QAM (dB)
0	0.474729241877256	0.478899082568807	0.513713080168776
2	0.360314783586284	0.470692717584369	0.4783216783217
4	0.214033179222192	0.431164901664145	0.464729241877256
6	0.0100432162639236	0.388220392653578	0.43562066306862
8	0.00811465218244879	0.336028297119757	0.431164901664145
10	0.00765400505642227	0.170817040543322	0.425092250922509

จากตารางที่ 4.5 เป็นการแสดงผลการจำลองระบบที่มีคลื่นพาห์ 900 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz โดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA เห็นได้ว่าค่า BER จะมีค่าลดลงเมื่อค่า SNR มากขึ้น ในส่วนนี้ถ้าเปรียบเทียบกับค่า BER ของทางด้านขาลงนั้นจะเห็นได้ว่า BER ของทางด้านขาขึ้นนั้นมีค่ามากกว่าขาลง เมื่อเปรียบเทียบที่ค่า SNR เท่ากัน



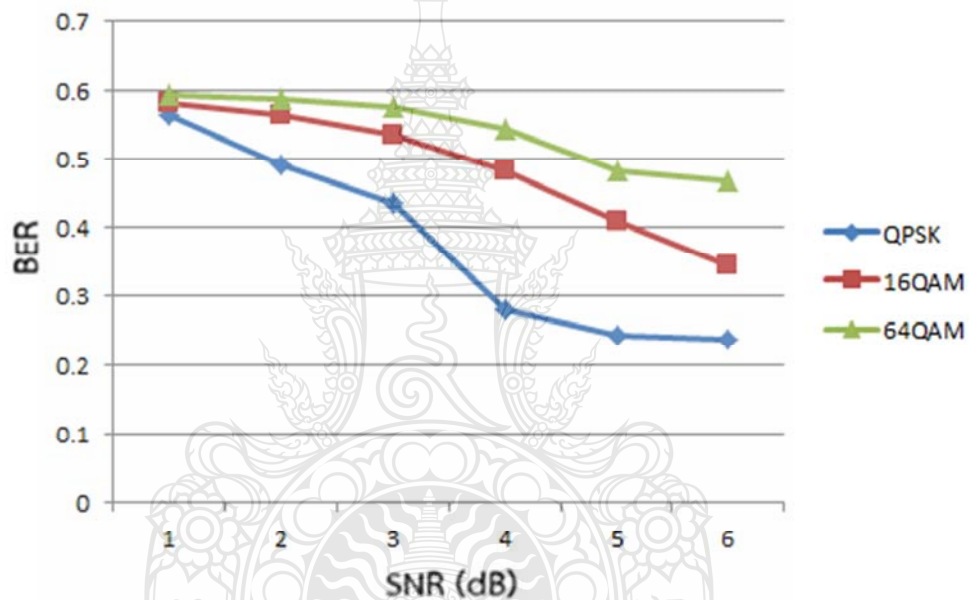
รูปที่ 4.16 ค่าอัตราความผิดพลาดบิต เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลการจำลองระบบที่มีคลื่นพาห์ 900 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz โดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA โดยใช้การมอดูเลชันแบบ QPSK, 16QAM และ 64QAM ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการมอดูเลชันแบบ QPSK ดีที่สุดเมื่อเทียบกับทั้ง 3 แบบ

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนกรณีที่อยู่ปรณเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

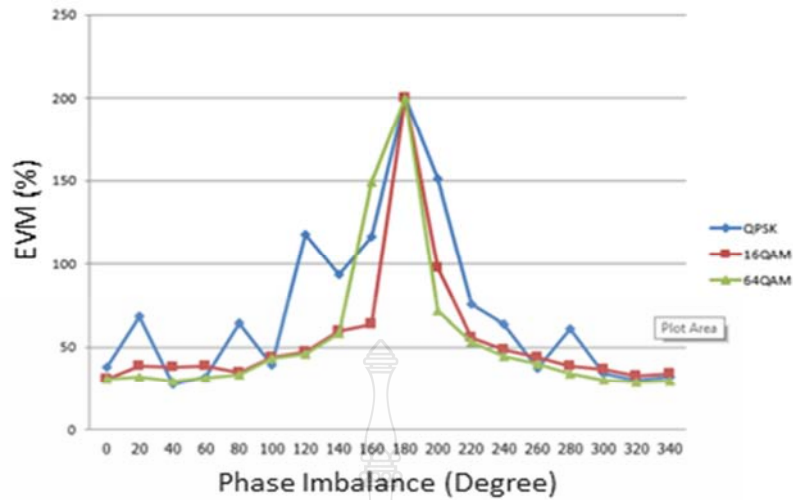
SNR (dB)	QPSK (dB)	16QAM (dB)	64QAM (dB)
0	0.563209175	0.582523323	0.592561072
2	0.490809177	0.564822082	0.587880791
4	0.434404826	0.533760266	0.574224491
6	0.27982518	0.48124053	0.544327334
8	0.241864962	0.408867297	0.481709247
10	0.236515574	0.344966612	0.466894111

จากตารางที่ 4.6 เป็นการแสดงผลการทดสอบวัดค่าอัตราความผิดพลาดบิต (BER) เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) โดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA ที่ความถี่ 900 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz ในกรณีที่อุปกรณ์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า เมื่อ SNR เพิ่มขึ้น ค่า BER จากการมอดูเลชันแบบ QPSK จะมีค่าลดลงอย่างชัดเจน ทำให้คุณภาพของสัญญาณดีขึ้นกว่าการมอดูเลชันแบบ 64QAM ที่มีอัตราการลดลงของค่า BER ที่น้อยกว่า และเมื่ออุปกรณ์มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้นก็จะทำให้คุณภาพในการรับส่งข้อมูลลดลง



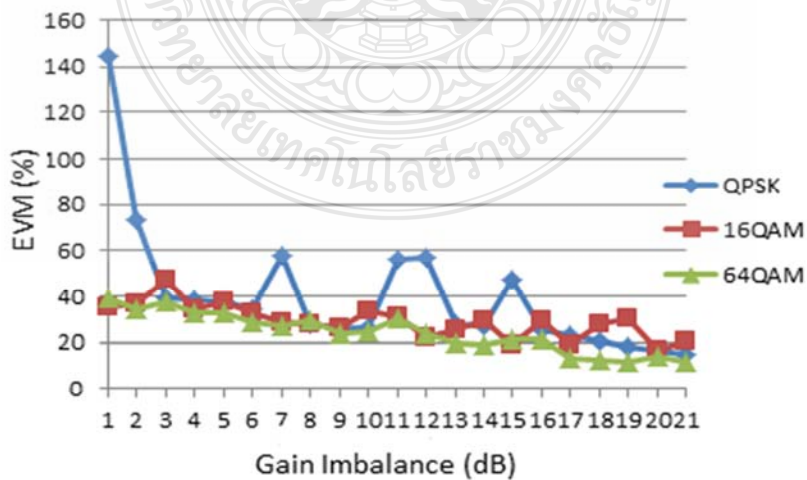
รูปที่ 4.17 ค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่ความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.17 แสดงค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่ความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผลการจำลองระบบที่มีคลื่นพาห์ 900 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz โดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA ในกรณีที่อุปกรณ์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้การมอดูเลชันแบบ QPSK, 16QAM และ 64QAM ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการมอดูเลชันแบบ QPSK ดีที่สุดเมื่อเทียบกับทั้ง 3 แบบ



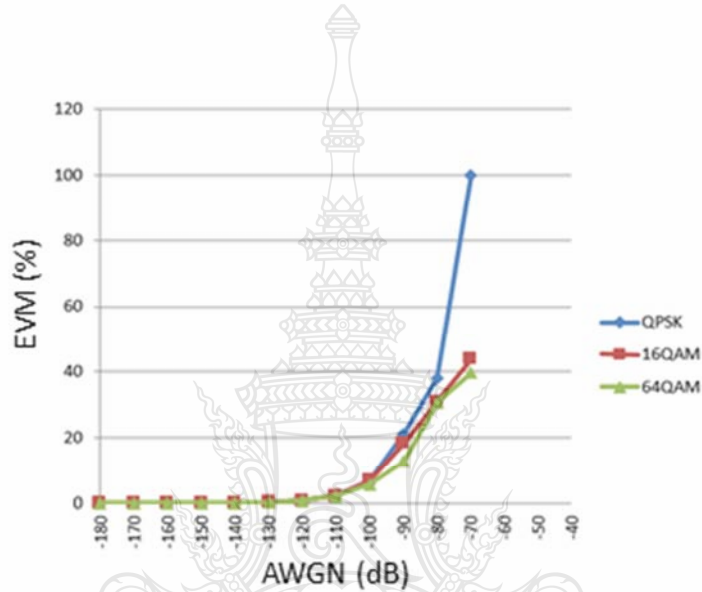
รูปที่ 4.18 ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิงในช่วงค่าที่เหมาะสมขณะที่มีสัญญาณรบกวน -80 dBm/Hz

จากรูปที่ 4.18 เป็นการแสดงผลการทดสอบหาค่า EVM โดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA ที่ความถี่ 1800 MHz ,Bandwidth 20 MHz ,Noise -80 dBm/Hz โดยทำการเปลี่ยนค่าเฟสที่เปลี่ยนไปพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าเฟสที่เปลี่ยนไป แล้วจะทำให้ค่า EVM มีการเปลี่ยนแปลงไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกันซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับที่ความถี่ 900 MHz คือไม่อยู่ในขอบเขตตามมาตรฐาน เพราะมีค่า EVM สูงมาก ส่งผลกระทบบักระบบทำให้ไม่สามารถใช้งานได้หรือใช้ได้อย่างค่อยคุณภาพ



รูปที่ 4.19 ผลกระทบเมื่ออัตราขยายของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง

จากรูปที่ 4.19 เป็นการแสดงผลการทดสอบหาค่า EVM โดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA ที่ความถี่ 1800 MHz ,Bandwidth 20 MHz ,Noise -80 dBm/Hz โดยทำการเปลี่ยนค่าเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าอัตราขยายของสัญญาณแล้วจะทำให้ค่า EVM มีการเปลี่ยนแปลงแบบผันผวน ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบไม่อยู่ในขอบเขตตามมาตรฐาน เพราะมีค่า EVM สูงมาก แต่ผลที่ได้จากการเพิ่มค่าอัตราขยายของสัญญาณมากขึ้น มีแนวโน้มที่ค่า EVM จะมีค่าลดลงเช่นเดียวกับผลจากการทดสอบที่ความถี่ 900 MHz



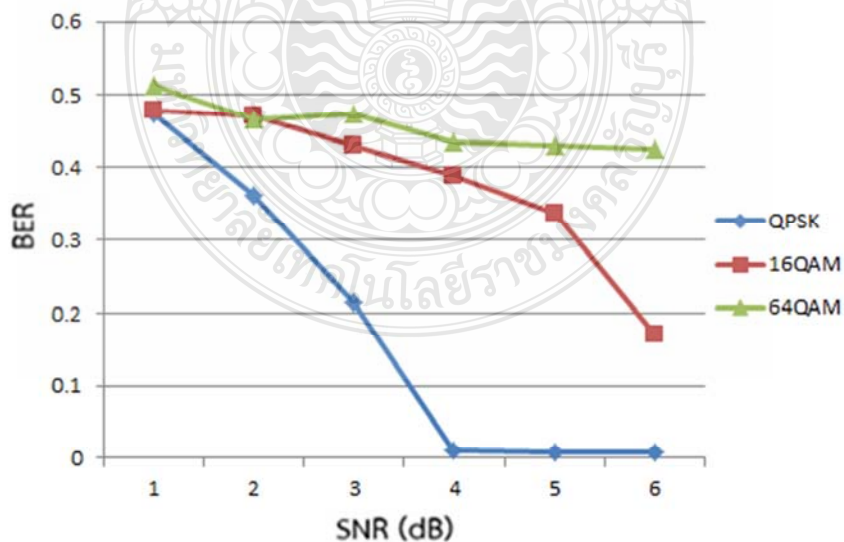
รูปที่ 4.20 ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิง เมื่อมีสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.20 เป็นการแสดงผลการทดสอบหาค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงโดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA ที่ความถี่ 1800 MHz โดยทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบพบว่าเมื่อทำการเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบมากขึ้นแล้วจะทำให้ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยค่าที่เหมาะสมคือต้องมีค่าของสัญญาณรบกวนไม่เกิน -100 dB จะมีค่าความผิดพลาดอยู่ในขอบเขตตามมาตรฐาน

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

SNR (dB)	QPSK (dB)	16QAM (dB)	64QAM (dB)
0	0.474729241877485	0.478899082567855	0.513713080168964
2	0.360314783586113	0.470692717586477	0.466783216785541
4	0.214033179222044	0.431164901666412	0.474729241878043
6	0.0100432162637821	0.388220392654008	0.43562066308102
8	0.00811465218244752	0.336028297119833	0.431164901665155
10	0.00765400505641924	0.170817040545327	0.425092250923771

จากตารางที่ 4.7 เป็นการแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ที่ได้จากการจำลองระบบที่มีคลื่นพาห์ 1800 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz โดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA เห็นได้ว่าค่า BER จะมีค่าลดลงเมื่อค่า SNR มากขึ้น ในส่วนนี้ถ้าเปรียบเทียบกับค่า BER ของทางด้านขาลงนั้นจะเห็นได้ว่า BER ของทางด้านขาขึ้นนั้นมีค่ามากกว่าขาลง เมื่อเทียบที่ค่า SNR เท่ากัน



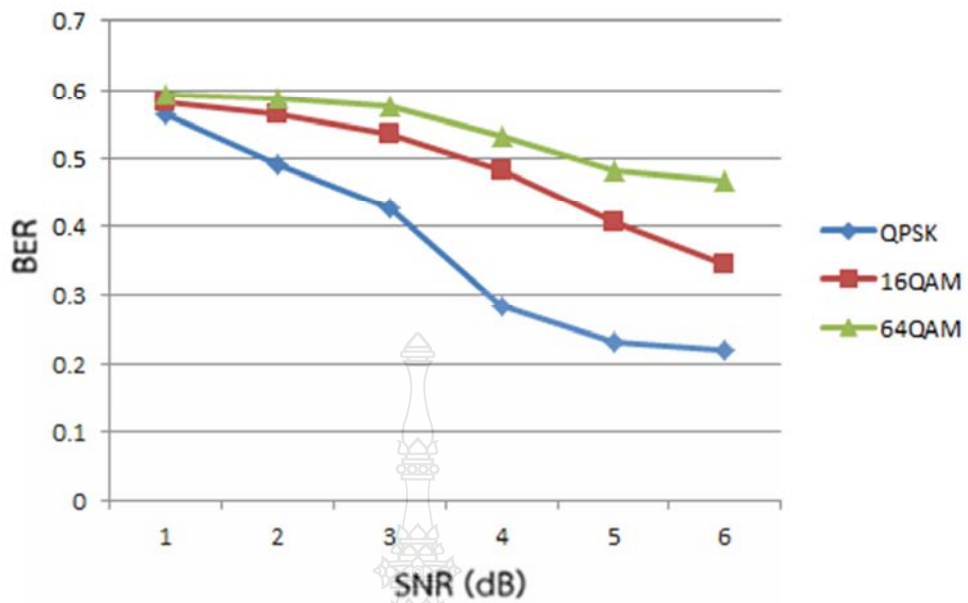
รูปที่ 4.21 ค่าอัตราความผิดพลาดบิต เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.21 เป็นการแสดงค่าอัตราความผิดพลาดบิต เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนจากการจำลองระบบที่มีคลื่นพาห์ 1800 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz โดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA เห็นได้ว่าค่า BER จะมีค่าลดลงเมื่อค่า SNR มากขึ้น ในส่วนนี้ถ้าเปรียบเทียบกับค่า BER ของทางด้านขาลงนั้นจะเห็นได้ว่า BER ของทางด้านขาขึ้นนั้นมีค่ามากกว่าขาลง เมื่อเทียบที่ค่า SNR เท่ากัน โดยใช้การมอดูเลชันแบบ QPSK, 16QAM และ 64QAM ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการมอดูเลชันแบบ QPSK ดีที่สุดเมื่อเทียบกันทั้ง 3 แบบ

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่วัดเทียบกับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนกรณีที่อยู่กรณีเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

SNR (dB)	QPSK (dB)	16QAM (dB)	64QAM (dB)
0	0.563208955	0.582517623	0.592012072
2	0.490806357	0.564536082	0.587203791
4	0.426404826	0.533753666	0.574203791
6	0.28352518	0.481069453	0.531527334
8	0.230864962	0.407297297	0.481704297
10	0.219515574	0.344696612	0.466845111

ตารางที่ 4.8 เป็นการแสดงผลการทดสอบวัดค่าอัตราความผิดพลาดบิต (BER) เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) กรณีที่อยู่กรณีเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA ที่ความถี่ 900 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz แสดงให้เห็นว่า เมื่อ SNR เพิ่มขึ้น ค่า BER จากการมอดูเลชันแบบ QPSK จะมีค่าลดลงอย่างชัดเจน ทำให้คุณภาพของสัญญาณดีขึ้นกว่าการมอดูเลชันแบบ 64QAM ที่มีอัตราการลดลงของค่า BER ที่น้อยกว่า



รูปที่ 4.22 ค่าอัตราความผิดพลาดบิตที่ความเร็ว 120 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 4.22 เป็นการแสดงผลการทดสอบการวัดอัตราความผิดพลาดบิตที่ความเร็ว 120 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) โดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA ที่ความถี่ 900 MHz แบนด์วิดท์ 20 MHz โดยใช้การมอดูเลชันแบบ QPSK, 16QAM และ 64QAM ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการมอดูเลชันแบบ QPSK ดีที่สุดเมื่อเทียบกับทั้ง 3 แบบ

จากผลการจำลองระบบ LTE-Advanced System แสดงให้เห็นว่าการทดสอบที่ความถี่ 900 MHz และ 1800 MHz ผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งในส่วนของ การทดสอบการเชื่อมโยงช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลง ค่าความผิดพลาดของเฟส เชนท์ และอัตราผิดพลาดบิตจะแตกต่างกันไปตามการมอดูเลชันแต่ละแบบ

ในส่วนของ การเชื่อมโยงช่องสัญญาณขาลงนั้น เมื่อทำการเพิ่มค่าเฟส เชนท์ และสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบมากขึ้นแล้ว จะทำให้ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิง (EVM) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในการทดสอบวัดอัตราความผิดพลาดบิต (BER) เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ในระบบเมื่อ SNR เพิ่มขึ้น ค่า BER จากการมอดูเลชันแบบต่างๆ จะมีค่าลดลงมากน้อยแตกต่างกันไปตามการมอดูเลชันแบบต่างๆและเมื่ออุปกรณ์โทรศัพท์มือถือมีการเคลื่อนที่ด้วย

ความเร็วเพิ่มขึ้น ก็มีส่วนทำให้ค่า BER มีการเปลี่ยนแปลง ค่าที่ได้จากการทดสอบที่ความถี่ 900 MHz และ 1800 MHz มีค่าใกล้เคียงกัน

ในส่วนของ การเชื่อมต่อช่องสัญญาณขาขึ้นนั้น เมื่อทำการเพิ่มค่าเฟสที่เปลี่ยนไป แล้วจะทำให้ค่า EVM มีการเปลี่ยนแปลงที่ผันผวนมีเพิ่มขึ้นและลดลงไม่แน่นอนและไม่อยู่ในขอบเขตมาตรฐาน เพราะมีค่า EVM สูงมาก เมื่อทำการเพิ่มค่าเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปแล้วจะทำให้ค่า EVM มีการเปลี่ยนแปลงแบบผันผวนไม่แน่นอน ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบไม่อยู่ในขอบเขตตามมาตรฐานแต่มีความแตกต่างจากการเปลี่ยนค่าเฟสคือ เมื่อเพิ่มค่าเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปมากขึ้น ก็ยังมีแนวโน้มที่ค่า EVM จะมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบมากขึ้นจะทำให้ค่า EVM เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ค่า BER จะมีค่าลดลงเมื่อค่า SNR มากขึ้นเช่นเดียวกับการเชื่อมต่อโยงขาด



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ LTE-Advanced System โดยใช้การจำลองระบบด้วยโปรแกรม Advanced Design System (ADS) ซึ่งได้ทำการแบ่งการวิเคราะห์เป็นสองทางคือทางด้านการสื่อสารสัญญาณขาขึ้นและทางด้านการสื่อสารสัญญาณขาการเชื่อมโยงขาขึ้น โดยใช้เทคโนโลยี OFDMA และ SC-FDMA ที่ความถี่ 900 MHz และ 1800 MHz ซึ่งจะทำให้การจำลองระบบในกรณีต่างๆเช่น เฟสเปลี่ยน เชนท์เปลี่ยน มีสัญญาณรบกวนในระบบ และ อุปกรณ์โทรศัพท์มือถือมีการเคลื่อนที่ โดยนำค่าที่ได้จากเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ในระบบ LTE-Advanced System มาเปรียบเทียบและนำมาวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมกับระบบโดยเทียบกับมาตรฐานระบบ มาตรฐาน 3GPP-Release 13

ในการออกแบบจำลองระบบโดยใช้โปรแกรม ADS ซึ่งระบบ LTE-Advanced System นั้น จะแบ่งการทดสอบเป็น 2 ช่องสัญญาณคือช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลง ทำการทดสอบและวัดค่าการครอบครองแบนด์วิดท์ที่มีการกำหนดค่าที่แน่นอนครอบคลุมตั้งแต่ 1.4 , 3 , 5 , 10 , 15 , 20 MHz ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิง และอัตราผิดพลาดบิต โดยเลือกใช้การมอดูเลชันความถี่แบบ QPSK, 16QAM และ 64QAM เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย โดยที่การมอดูเลชันแบบ QPSK ไม่ควรมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิน 11% แบบ 16QAM และ 64QAM ไม่ควรมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิน 7% เพราะถ้าหากเกินจากมาตรฐานก็จะทำให้การรับ-ส่งข้อมูลนั้นเกิดการผิดพลาดได้

5.1 สรุปผล

จากผลการจำลองระบบ LTE-Advanced System ด้วยโปรแกรม Advanced Design System ในหลายๆ กรณีที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่าการทดสอบที่ความถี่ 900 MHz และ 1800 MHz ผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยทั้งในส่วนของการทดสอบการเชื่อมโยงช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลง ค่าความผิดพลาดของเฟส เชนท์ และอัตราผิดพลาดบิตจะแตกต่างกันไปตามการมอดูเลชันแต่ละแบบ

ในส่วนของการเชื่อมโยงช่องสัญญาณขาลงนั้น เมื่อทำการเพิ่มค่าเฟส เชนท์ และสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบมากขึ้นแล้ว จะทำให้ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ในส่วนของการเฟสจะลดลงเมื่อมีค่าเฟสเปลี่ยนไป 90 องศา ค่าความคลาดเคลื่อนของเฟสที่เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพจะอยู่ระหว่าง 0-30 และ 150-180 ใน

ส่วนของเกณฑ์ ค่าความความคลาดเคลื่อนของเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิงที่เหมาะสมที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพของ QPSK จะต้องมีการเกณฑ์เปลี่ยนไปไม่เกิน 5 ในส่วนของ 16QAM และ 64QAM จะต้องมีการเกณฑ์เปลี่ยนไปไม่เกิน 4 และต้องมีค่าของสัญญาณรบกวนไม่เกิน -80 dB เพื่อให้อยู่ในขอบเขตของมาตรฐาน 3GPP Release 13 ในการทดสอบวัดค่าอัตราความผิดพลาดบิต (BER) เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ในระบบเมื่อ SNR เพิ่มขึ้น ค่า BER จากการมอดูเลชันแบบต่างๆ จะมีการลดลงเล็กน้อยแตกต่างกันไปตามการมอดูเลชันแบบต่างๆ และเมื่ออุปกรณ์โทรศัพท์มือถือมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ก็มีส่วนทำให้ค่า BER มีการเปลี่ยนแปลง

ในส่วนของการเชื่อมโยงช่องสัญญาณขาขึ้นนั้น เมื่อทำการเพิ่มค่าเฟสที่เปลี่ยนไปแล้วจะทำให้ค่า EVM มีการเปลี่ยนแปลงที่ผันผวนไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกันและไม่อยู่ในขอบเขตมาตรฐาน เพราะมีค่า EVM สูงมาก เมื่อทำการเพิ่มค่าเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปแล้วจะทำให้ค่า EVM มีการเปลี่ยนแปลงแบบผันผวน ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบไม่อยู่ในขอบเขตตามมาตรฐาน แต่มีความแตกต่างจากการเปลี่ยนค่าเฟสคือ เมื่อเพิ่มค่าเกณฑ์ที่เปลี่ยนไปให้มากขึ้น ก็ยังมีแนวโน้มที่ค่า EVM จะมีการลดลง เมื่อเพิ่มสัญญาณรบกวนเข้าไปในระบบมากขึ้นจะทำให้ค่าผิดพลาดจากจุดอ้างอิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และต้องมีค่าของสัญญาณรบกวนไม่เกิน -100 dB จึงจะมีค่าความผิดพลาดอยู่ในขอบเขตตามมาตรฐาน ค่า BER จะมีการลดลงเมื่อค่า SNR มากขึ้นเช่นเดียวกับการเชื่อมโยงขาลง

ในส่วนของการมอดูเลชันแต่ละแบบก็จะมีค่าที่แตกต่างกันไป และคุณสมบัติก็จะแตกต่างกันตามไปด้วย QPSK จะมีการผิดพลาดจากจุดอ้างอิงมากที่สุด แต่เมื่อมีการเพิ่มสัญญาณรบกวนในระบบ การมอดูเลชันแบบ QPSK นั้นมีค่า BER น้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่า QPSK ให้ประสิทธิภาพในการทนต่อสัญญาณรบกวนได้สูงสุดแต่ให้ความเร็วในการส่งข้อมูลได้ต่ำสุดเมื่อเทียบกับการมอดูเลชันทั้ง 3 แบบ ส่วนแบบ 64QAM นั้นจะมีการผิดพลาดจากจุดอ้างอิงน้อยที่สุด แต่เมื่อมีการเพิ่มสัญญาณรบกวนในระบบ การมอดูเลชันแบบ 64QAM จะมีการค่า BER มากที่สุด แสดงให้เห็นว่า 64QAM ให้ความเร็วการส่งข้อมูลสูงสุดแต่ประสิทธิภาพในการทนต่อสัญญาณรบกวนได้ต่ำสุด เนื่องจากเมื่อค่า BER น้อยทำให้ SNR มีค่ามาก ซึ่งค่า SNR นี้เป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณ เพราะถ้าหากมี SNR มากนั้นแสดงถึงคุณภาพของสัญญาณที่ดี

เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลง พบว่าค่า BER ที่ได้จากการทดสอบ เมื่อมีสัญญาณรบกวนในระบบทางด้านขาขึ้นจะมีค่ามากกว่าทางด้านขาลง จำเป็นต้องใช้การเพิ่มค่า SNR เพื่อลดค่า BER ลงเป็นการชดเชยให้ประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลดีขึ้น แสดงให้เห็นว่าการเชื่อมโยงช่องสัญญาณทางด้านขาลงมีประสิทธิภาพมากกว่าการเชื่อมโยงช่องสัญญาณทางด้านขาขึ้น และการเชื่อมโยงช่องสัญญาณทางด้านขาขึ้นจำเป็นต้องมีการใช้พลัง

สูงขึ้นในการเพิ่มค่า SNR เพื่อลดค่า BER หรือมีการคิดและพัฒนาเทคนิคใหม่ๆ ที่จะมาช่วยแก้ปัญหา
นี้เพื่อการพัฒนาต่อไป

จากการจำลองระบบเพื่อทำการทดสอบในกรณีต่างๆ ผลที่ได้ส่วนมากเป็นไปตามขอบเขตของงานที่
วางไว้คือ เมื่อค่าเฟสมีการเปลี่ยนไปจะส่งผลให้ค่า EVM มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อค่าเกณฑ์เพิ่มขึ้น
ในส่วนของการจำลองการเชื่อมโยงขาตั้งโดยใช้เทคโนโลยี OFDMA ก็จะส่งผลให้ค่า EVM เพิ่มขึ้น
แต่ในส่วนของการจำลองการเชื่อมโยงขาขึ้นโดยใช้เทคโนโลยี SC-FDMA นั้น เมื่อค่าเกณฑ์เพิ่มขึ้นค่า
EVM จะมีความผันผวนมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง แต่มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเทคโนโลยี SC-FDMA
นั้นพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาการมัลติพลาของสัญญาณสูงของเทคโนโลยี OFDMA เมื่อใช้เทคโนโลยี SC-
FDMA ในส่วนของการจำลองการเชื่อมโยงขาขึ้น จึงทำให้ลดอัตราการขยายของสัญญาณลง และเมื่อมี
การเพิ่มสัญญาณรบกวนและทดลองเปลี่ยนค่าของสัญญาณรบกวนให้กับระบบจำลอง จะส่งผลให้ค่า
EVM เปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน

การทดสอบในกรณีที่อุปกรณ์มือถือมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
นั้น ผลที่ได้คือประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงช่องสัญญาณจะดีกว่ากรณีที่อุปกรณ์มือถือหยุดนิ่งไม่มี
การเคลื่อนที่ เพราะในขณะที่อุปกรณ์มือถือเคลื่อนที่นั้น จะทำให้มีสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นในระบบ
โดยเฉพาะความผิดเพี้ยนจากการเคลื่อนที่และการอ่อนกำลังของสัญญาณที่เพิ่มขึ้นจากเดิม

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการมอดูเลชันแบบ QPSK, 16QAM และ 64QAM
โดยการจำลองระบบทั้งในส่วนของการเชื่อมโยงช่องสัญญาณขาขึ้นและการเชื่อมโยงช่องสัญญาณขา
ลง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการมอดูเลชันที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานมากที่สุดคือ
การมอดูเลชันแบบ QPSK ถึงแม้ว่าเมื่อเฟสมีการเปลี่ยนแปลงค่า EVM ของการมอดูเลชันแบบ QPSK
จะมากที่สุด แต่ก็แทบจะไม่แตกต่างจากแบบ 16QAM และ 64QAM เท่าไรนัก แต่เมื่อมีสัญญาณ
รบกวนเพิ่มมากขึ้นในระบบและอุปกรณ์มือถือมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ชัดว่าการ
มอดูเลชันแบบ QPSK มีค่า BER น้อยกว่าอีกสองแบบอย่างชัดเจน นั่นหมายถึงคุณภาพที่ดีขึ้น ซึ่ง
สอดคล้องกับทฤษฎีที่บอกว่าการมอดูเลชันแบบ QPSK เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากมี
ความยืดหยุ่นต่อสัญญาณรบกวนได้ดีและใช้งานง่าย

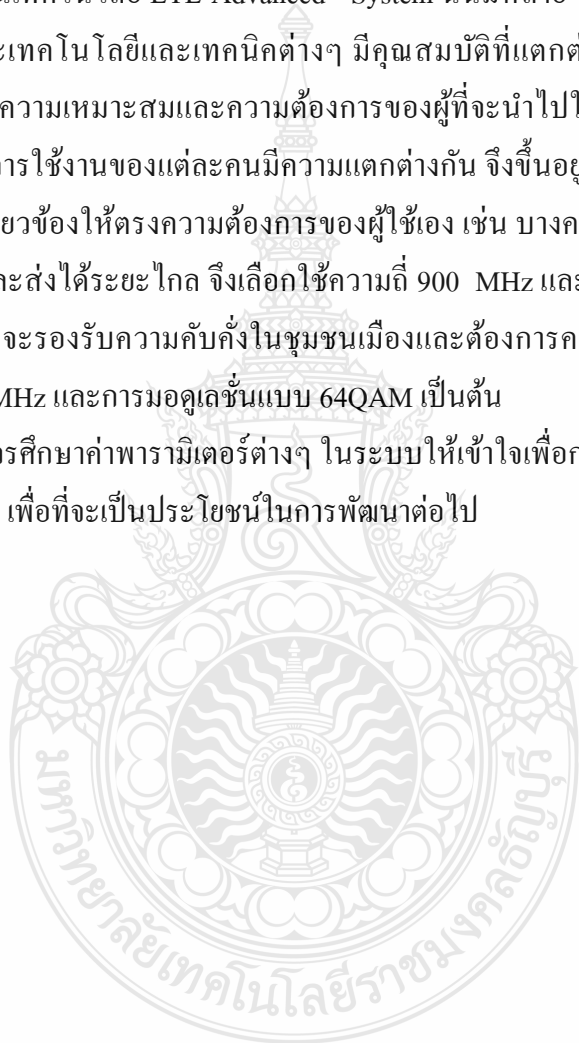
การศึกษาเรื่องการจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ LTE-Advanced System โดยใช้
โปรแกรม Advanced Design System (ADS) นี้ก็เพื่อศึกษาถึงตัวแปรและปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อ
การเชื่อมโยงช่องสัญญาณขาขึ้นและขาตั้ง เพื่อให้ทราบถึงข้อดีและข้อเสียของเทคโนโลยีแต่ละแบบ
ปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับระบบเพื่อการพัฒนาต่อไปในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ LTE-Advanced System โดยใช้โปรแกรม Advanced Design System (ADS) ทำการจำลองระบบเพื่อทดสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งอาจมีค่าความคลาดเคลื่อนหรือผิดพลาดจากความเป็นจริง เช่น การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ถูกต้อง ทำให้ผลที่ได้เกิดความผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็น

เนื่องจากในเทคโนโลยี LTE-Advanced System นั้นมีหลายๆ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องให้เลือกใช้งาน ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีและเทคนิคต่างๆ มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและความต้องการของผู้ที่จะนำไปใช้งาน เพราะความต้องการและวัตถุประสงค์ในการใช้งานของแต่ละคนมีความแตกต่างกัน จึงขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้เทคโนโลยีและตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องให้ตรงความต้องการของผู้ใช้เอง เช่น บางคนต้องการความทนทานต่อสัญญาณรบกวนที่ดีที่สุดและส่งได้ระยะไกล จึงเลือกใช้ความถี่ 900 MHz และการมอดูเลชันแบบ QPSK หรือบางคนต้องการที่จะรองรับความคับคั่งในชุมชนเมืองและต้องการความเร็วในการส่งข้อมูล จึงเลือกใช้ความถี่ 1800 MHz และการมอดูเลชันแบบ 64QAM เป็นต้น

ดังนั้นจึงควรศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบให้เข้าใจเพื่อการออกแบบระบบจำลองที่ถูกต้องและรวดเร็วขึ้น เพื่อที่จะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาต่อไป



บรรณานุกรม

- [1] MorayRumney.(2009) .**LTE and the Evolution to 4G Wireless**.U.S.A. :Agilent Technologies
- [2] Wei Hong, Jing Han, HaimingWang,"**Full Uplink Performance Evaluation of FDD/TDDLTE-Advanced Networks with Type-1 Relays.**"*2011 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*
- [3] Lu Wu, Jinhui Chen, Hongwei Yang and Di Lu.,(2011).“Codebook Design for LTE-A Downlink System” **IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall)**
- [4] Navita & Amandeep.(2016). “PERFORMANCE ANALYSIS OF OFDMA,MIMO AND SC-FDMA TECHNOLOGY IN 4GLTE NETWORKS” . **6th International Conference - Cloud System and Big Data Engineering (Confluence)**
- [5] Kun Wu, GuangliangRen, Member, IEEE, and Qiwei Wang. (2017 JANUARY). “Error Vector Magnitude Analysis of Uplink Multiuser OFDMA andSC-FDMA Systems in the Presence of Nonlinear Distortion” . **IEEE COMMUNICATIONS LETTERS, VOL. 21, NO. 1,**
- [6] **PERFORMANCE ANALYSIS OF OFDMA, MIMO AND SC-FDMA TECHNOLOGY IN 4G LTE NETWORKS 2015**
- [7] Ojanpera, T. Prasad, R.(1998).**Wideband CDMA For Third Generation Mobile Communication**. Boston, MA.:Artech House
- [8] Erik, Stefan, Johan and Beming. (2007). **3G EVOLUTION: HSPA AND LTE FOR MOBILE BROADBAND**.London :Academic Press
- [9] Z. Shen et al., (2012). “Overview of 3GPP LTE-advanced carrier aggregation for 4G wireless communications,” **IEEE Commun.Mag., vol. 50, no. 2,** (pp. 122-130)
- [10] M. Abdi.Abyaneh, B. Huyart&Jc. Cousin.(2016). “**QPSK-OFDM Carrier Aggregation Using a Single Transmission Chain**”Telecom ParisTech, Paris, France
- [11] **3GPP A GLOBAL INITIATIVE**. (2015) .“Understanding 3GPP Release 12 Standards for HSPA+ and LTE-Advanced Enhancements”

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] Wei Hong, Jing Han, Haiming Wang., (2015) “Full Uplink Performance Evaluation of FDD/TDD LTE-Advanced Networks with Type-1 Relays” **System Research and Standardization Renesas Telecommunication Technology**: China , Beijing Co.,Ltd., (pp.100-190)
- [13] Shafik, R.A., et al., (2006,November). On the Error Vector Magnitude as a Performance Metric and Comparative Analysis, **IEEE 2nd International Conference on Emerging Technologies**,
- [14] Wei Hong, Jing Han, Haiming Wang. (2015). “UL Performance of Type-1 Relay Enhanced FDD LTE-A Networks with Unaligned Backhaul Subframes” **System Research and Standardization Renesas Telecommunication Technology**, China: Beijing Co., Ltd.
- [15] N. Abu-Ali, A. Taha, M. Salah, and H. Hassanein .(2013). “Uplink Scheduling in LTE and LTE-Advanced: Tutorial, Survey and Evaluation Framework,”. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, vol. PP. 1-27
- [16] N. Zorba, E. Yaacoub, A. M. El-Hajj, and Z. Dawy.(2013). “A modified joint uplink-downlink opportunistic scheduling for Quality of Service guarantees,”. **IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)**.1000-1004.
- [17] Fan Jiang, Yun Xue, Bin Jiang, and Shi Jin(2015). “Average Effective SNR Mapping in LTE-A Uplink” **National Mobile Communications Research Laboratory Southeast University, Nanjing 2100** . China: 96.
- [18] S. Boonpongsai and P. Rakluea.(2013,).“LTE-Advanced Performance Analysis by simulation with Advanced Design System (ADS)”.**IEE 5th International Science, Social Science, Engineering and Energy Conference 18th-20th December, 2013**

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [19] เสวต บุญผ่องใส และ ไพฑูรย์ รักเหลือ. (2557). “การจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ LTE-Advanced ด้วยโปรแกรม Advanced Design System (ADS)” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6 าระปี.26-28 มีนาคม 2557



ภาคผนวก

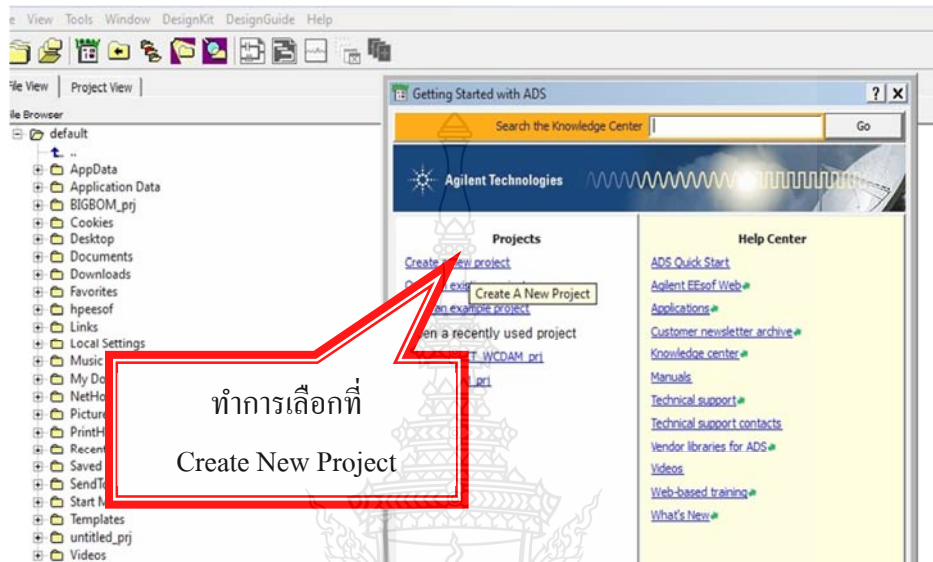




ภาคผนวก ก
วิธีใช้โปรแกรม ADS เบื้องต้นเพื่อการออกแบบระบบ
LTE-Advanced System

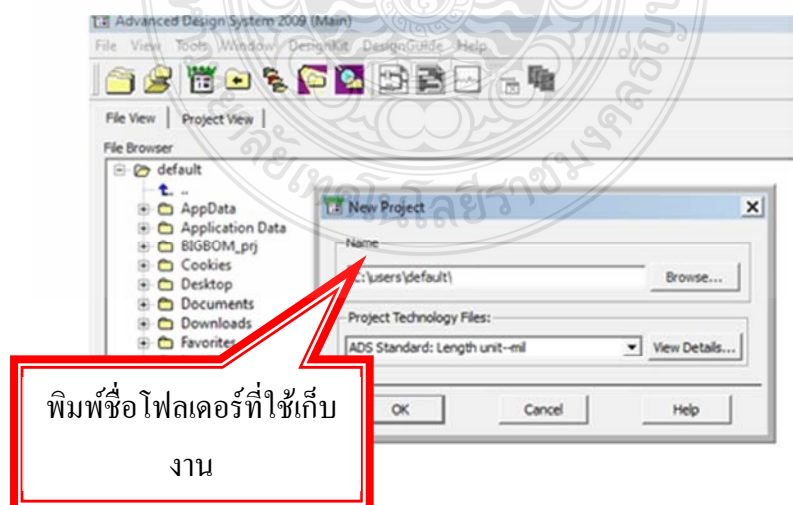
ศึกษาการใช้งานโปรแกรม ADS เบื้องต้น

ขั้นตอนแรกคือต้องรู้จักการใช้งานการสร้างโปรเจกต์ที่เราต้องการออกแบบและวิธีการเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ว่ามีวิธีการอย่างไรบ้างดังที่จะแสดงดังรูปต่อไปนี้



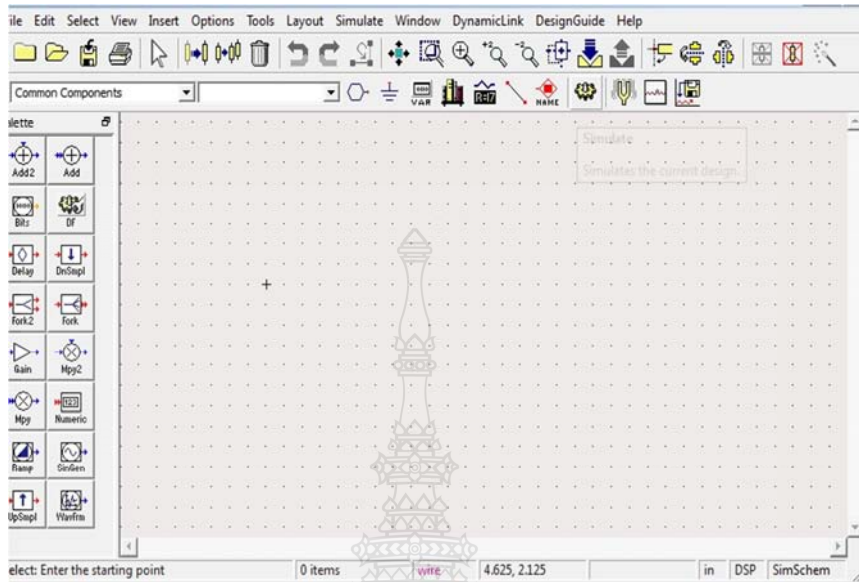
รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนในการสร้าง Folder ที่ใช้เก็บงานต่างๆ

จากรูปที่ 1 ก่อนอื่นให้ทำการเลือกที่ Create New Project เพื่อเป็นการสร้างแฟ้มที่จะทำการเก็บข้อมูลต่างๆ ที่เราทำการจำลองระบบ



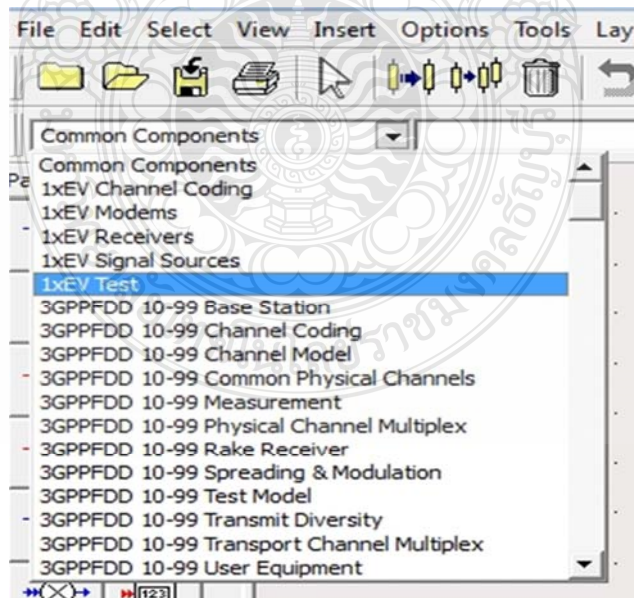
รูปที่ 2 แสดงหน้าต่างพิมพ์ชื่อโฟลเดอร์ที่เราต้องการ

จากรูปที่ 2 ทำการพิมพ์ที่โพลเดอร์ที่จะใช้ในการเก็บงานต่างๆ



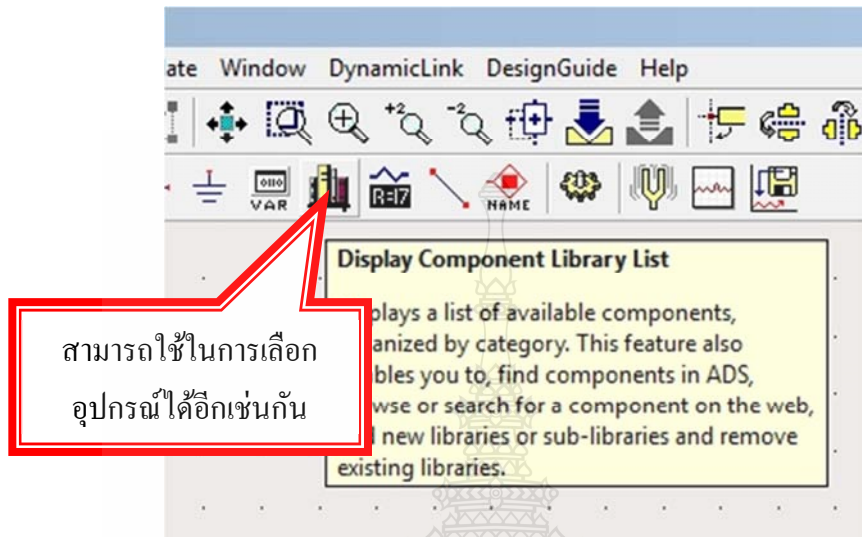
รูปที่ 3 แสดงฟังก์ชันที่ใช้ในการออกแบบงาน

เมื่อพิมพ์เป็นที่เรียบร้อยแล้วก็จะจะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการออกแบบขึ้นมาให้เราใช้ในการออกแบบ

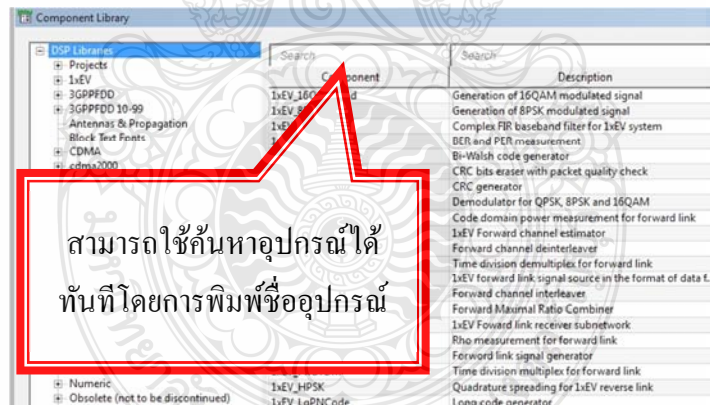


รูปที่ 4 แสดงรายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบ

จากรูปที่ 4 จะแสดงรายการอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีใช้ในการออกแบบซึ่งสามารถเลือกใช้ได้จากทางด้านซ้ายของผังการออกแบบ

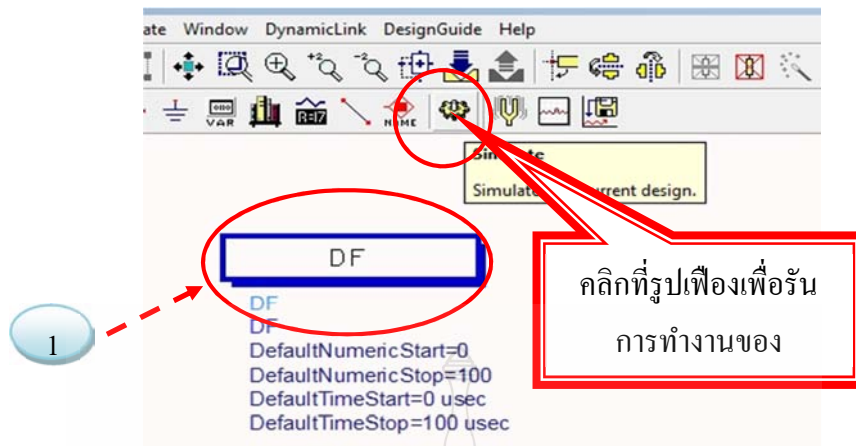


รูปที่ 5 แสดงวิธีการเลือกอุปกรณ์อีกวิธีหนึ่ง



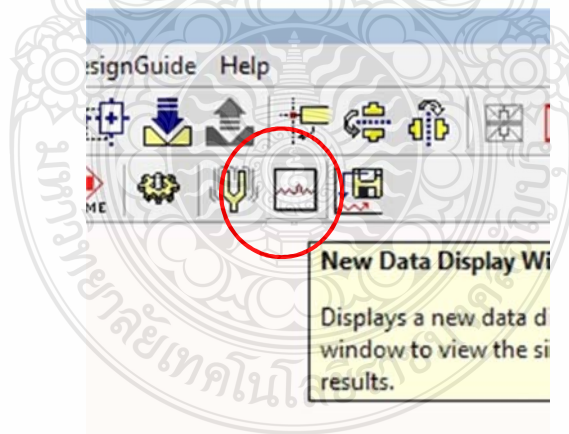
รูปที่ 6 แสดงรายการตัวเลือกสำหรับเลือกอุปกรณ์

เมื่อเราทำการคลิกที่ปุ่มดังรูปที่ 5 ก็จะได้เมนูไว้สำหรับเลือกอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 6 ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวกอย่างมากเพราะสามารถค้นหาอุปกรณ์ที่ต้องการใช้งานได้ทันทีโดยการพิมพ์ที่ช่อง Search และต่อไปจะเป็นวิธีการรันโปรแกรมที่เราได้ทำการออกแบบซึ่งสามารถได้ดังรูปด้านล่าง



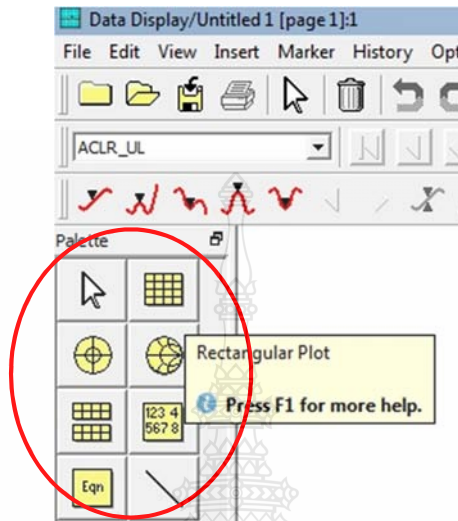
รูปที่ 7 แสดงวิธีการรันโปรแกรมเพื่อทดสอบระบบ

จากรูปที่ 7 จะเป็นการแสดงวิธีการรันโปรแกรมเพื่อทดสอบระบบที่เราได้ทำการออกแบบไว้และสิ่งที่สำคัญอีกสิ่งหนึ่งที่ขาดไม่ได้เลยคือตัวรันโปรแกรม DF ที่อยู่ในจุดหมายเลข 1 ในรูปที่ 7 ซึ่งอุปกรณ์นี้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อรันโปรแกรมที่ทำการทดสอบซึ่งทุกครั้งต้องมีอุปกรณ์ตัวนี้อยู่ด้วยซึ่งสามารถเลือกได้จากคลังอุปกรณ์ดังรูปที่ 4 หรือ 5 เมื่อทำการรันโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้วต่อมาคือ การแสดงผลการทดสอบซึ่งสามารถทำได้ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 8 แสดงวิธีการโชว์ผลลัพธ์ที่ทำการทดสอบ

จากรูปที่ 8 เมื่อทำการคลิก ณ จุดที่วงกลมไว้ก็จะสามารถที่จะ โขว์การทดสอบตามที่เราได้ ออกแบบไว้ได้ซึ่งเป็นหน้าต่างแสดงผลจะแสดงได้ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 9 แสดงหน้าต่างที่ใช้ในการแสดงผลพีชในการทดสอบ

ที่จุดที่ได้ทำการวงกลมไว้ในรูปที่ 9 จะเป็นไอคอนที่ใช้เลือกการแสดงผลพีชในแบบต่างๆ เช่นแสดงผลเป็นตาราง, สมิตซาร์ต, กราฟ เป็นต้น ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกการแสดงผลพีชได้ตามความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน



ภาคผนวก ข

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

Proceeding

5th International Science, Social Science, Engineering and Energy Conference 2013

December 18 - 20, 2013
Pavilion Rim Kwai Resort, Kanchanaburi, Thailand

Organized by : Suan Sunandha Rajabhat University



Conference Organizing Committee

Chairman Of I-SEEC 2013

Dr.Narong Sangwananatec

Faculty of Science & Technology, SuanSunandhaRajabhat University (Thailand)

International Steering Committee

Prof. Dr.Yusaku Fujii ,Japan
Assoc. Prof. Dr. Preecha Yupapin,Thailand
Prof. Dr.Pichet Limsuwan ,Thailand
Prof. Dr. William Thornton, USA
Assist. Prof. Dr. Masahiro Yoshida, Japan
Prof. Dr. Koichi Kaku, Japan
Assist. Prof. Dr. Koichi Maru,Japan
Dr.Dongning Wang, China
Dr.Zhu Pingyu, China
Dr. Radhey Shyam,India
Dr. Asghar Asgari, Iran
Prof. Dr. Jalil Ali, Malaysia
Prof. Anton C.Beynen, Netherlands
Prof. Dr. Oh ChooHiap, Singapore
Dr. Hong Joo Kim, South Korea
Dr. Hwanbe Park, South Korea

Prof. Dr. Mitra Djama, Indonesia
Prof. Sun Tong, UK
Prof. James S. Wilkinson, UK
Dr. Nithiroth Pornsuwancharoen, Thailand
Assoc. Prof. Dr.Kosin Chamnongthai, Thailand
Dr. Boonyang Plangklang, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Wisanu Pecharapa, Thailand
Dr. Withaya Mekhum, Thailand
Dr. Viboon Pensuk,Thailand
Mr.Suphanchai Punthawanunt, Thailand
Assoc. Prof. Dr. Somsak Mitatha, Thailand
Assist. Prof. Michael A.Allen, Thailand
Assist. Prof. Jakrapong Kaewkhao, Thailand
Prof. Dr. Somchai Wongwises, Thailand
Dr. Ravee Phromloungsri, Thailand

Senior Guest Editor

Assoc. Prof. Dr. Preecha Yupapin
Assoc. Prof. Dr.Somsak Mitatha
Prof. Dr. Pichit Pitaktepsombati
Asst. Prof. Pramote Anunvarapong
Prof. Dr. Yusaku Fujii
Dr.Wuttiwat Kongrattanaprasert
Prof. Dr. William Thomson
Dr.Nithiroth Pornsuwancharoen
Prof. Dr. Oh ChooHiap
Dr.Sappasit Thongmee
Prof. Dr. Koichi Kaku
Dr.Sawatsakorn Chaiyasoonthorn
Prof. Dr.James S.Wilkinson
Dr.Metha Tasakorn
Prof. Dr. Jalil Ali
Dr.Suebtarkul Suchat
Assoc. Prof. Dr. Chairit Satayaprasert
Dr.Ravee Phromloungsri
Assoc. Prof. Dr. Singthong Pattanasethanon
Dr.Chat Teeka
Dr. Viboon Pensuk
Dr.Keerayoot Srihuanjan
Dr. Ravee Phromloungsri
Mr.Suphanchai Punthawanunt
Assist.Dr. Jakrapong Kaewkhao

King Mongkut's University of Technology Ladkrabang (Thailand)
King Mongkut's University of Technology Ladkrabang (Thailand)
National Institute of Development Administration, NIDA (Thailand)
Rajamangala University of Technology Krugthep (Thailand)
Gunma University (Japan)
Rajamangala University of Technology Krugthep (Thailand)
NASA Astronaut(ret.), Texas (USA)
Rajamangala University of Technology Isan (Thailand)
National University of Singapore (Singapore)
Ramkhamhaeng University (Thailand)
Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council (Japan)
Ramkhamhaeng University (Thailand)
University of Southampton (UK)
Rajamangala University of Technology Isan (Thailand)
Universiti Teknologi Malaysia (Malaysia)
Phranakhon Rajabhat University (Thailand)
Chulalongkorn University (Thailand)
Udon Thani Rajabhat University (Thailand)
Mahasarakham University (Thailand)
Suan Dusit Rajabhat University (Thailand)
UdonThaniRajabhat University (Thailand)
King Mongkut's University of Technology Ladkrabang (Thailand)
UdonThaniRajabhat University (Thailand)
Kasem Bundit University (Thailand)
NakhonPathomRajabhat University (Thailand)

Advisory Committee

Assoc. Prof. Dr. Luedech Girdwichai
Dr. Withaya Mekhum
Asst. Prof. Dr. Suwaree Yordchim
Asst. Prof. Dr. Anat Thapinta

President of Suan Sunandha Rajabhat University, Thailand
Vice-Rector for Research and Development
Director of Research and Development Institute
Dean Faculty of Science and Technology

Organization Committee

Miss Kanyarat Bussaban
Mr. Shutchapol Chopvitakun
Dr. Nisakorn Sangwanateee
Dr. Sanisa Pinkum
Miss Nutkamol Peungsumran
Asst. Prof. Somsak Buarod
Dr. Chariwat Pitsanuwoong
Dr. Orrawan Rewthong
Asst. Prof. Siriporn Poolsuwan
Dr. Sumitra Nuanmesri
Dr. Sopicd Sawangjit

Dr. Saowanee Kumpun
Dr. Ploysai Ohama
Dr. Montarop Chamchoi
Dr. Rutanachai Thaipratum
Mr. Noppadon Chamchoi
Dr. Wanida Wonsawat
Dr. Jitlada Chumee
Dr. Sansanee Sansiribhan
Dr. Somruay Apichatibutarapong
Dr. Chonmapat Torasa

Academic Committee

Track I: Science and Engineering

Committees:

Assoc. Prof. Dr. Preecha Yupapin (Thailand)
Prof. Dr. Pichit Pitaktepsombati (Thailand)
Prof. Dr. Yusaku Fujii (Japan)
Prof. Dr. William Thornton (USA)
Prof. Dr. Oh ChooHiap (Singapore)
Prof. Dr. Koichi Kaku (Japan)
Prof. Dr. James S. Wilkinson (UK)
Prof. Dr. Jalil Ali (Malaysia)
Assoc. Prof. Dr. Chairit Satayaprasert (Thailand)
Assoc. Prof. Dr. Singthong Pattanasethanon (Thailand)
Dr. Viboon Pensuk (Thailand)
Dr. Ravee Phromloungsri (Thailand)
Assist. Dr. Jakrapong Kaewkhao (Thailand)
Assoc. Prof. Dr. Ponrudee Netisopakul (Thailand)

Assoc. Prof. Dr. Somsak Mitatha (Thailand)
Asst. Prof. Pramote Anunvarapong (Thailand)
Dr. Wuttiwat Kongrattanaprasert (Thailand)
Dr. Nithiroth Pornsuwancharoen (Thailand)
Dr. Sappasit Thongmee (Thailand)
Dr. Sawatsakorn Chaiyasoonthorn (Thailand)
Dr. Metha Tasakorn (Thailand)
Dr. Suebtarkul Suchat (Thailand)
Dr. Ravee Phromloungsri (Thailand)
Dr. Chat Teeka (Thailand)
Dr. Keerayoot Srinuanjan (Thailand)
Mr. Suphanchai Punthawanunt (Thailand)
Assoc. Prof. Dr. Chartchai Leenawong (Thailand)

Track II: Social and Behavioral Sciences

Committees:

Assoc. Prof. Dr. Preecha Yupapin (Thailand)
Prof. Dr. Pichit Pitaktepsombati (Thailand)
Prof. Dr. Yusaku Fujii (Japan)
Prof. Dr. William Thornton (USA)
Prof. Dr. Oh ChooHiap (Singapore)
Prof. Dr. Koichi Kaku (Japan)
Prof. Dr. James S. Wilkinson (UK)
Prof. Dr. Jalil Ali (Malaysia)
Assoc. Prof. Dr. Chairit Satayaprasert (Thailand)
Assoc. Prof. Dr. Singthong Pattanasethanon (Thailand)
Dr. Viboon Pensuk (Thailand)
Dr. Ravee Phromloungsri (Thailand)
Assist. Dr. Jakrapong Kaewkhao (Thailand)
Assoc. Prof. Dr. Ponrudee Netisopakul (Thailand)

Assoc. Prof. Dr. Somsak Mitatha (Thailand)
Asst. Prof. Pramote Anunvarapong (Thailand)
Dr. Wuttiwat Kongrattanaprasert (Thailand)
Dr. Nithiroth Pornsuwancharoen (Thailand)
Dr. Sappasit Thongmee (Thailand)
Dr. Sawatsakorn Chaiyasoonthorn (Thailand)
Dr. Metha Tasakorn (Thailand)
Dr. Suebtarkul Suchat (Thailand)
Dr. Ravee Phromloungsri (Thailand)
Dr. Chat Teeka (Thailand)
Dr. Keerayoot Srinuanjan (Thailand)
Mr. Suphanchai Punthawanunt (Thailand)
Assoc. Prof. Dr. Chartchai Leenawong (Thailand)

Track IV: Physics and Materials Science

Committees:

Prof.Dr.Pichet Limsuwan (Thailand)
Prof.Dr.HongJoo Kim (South Korea)
Prof.Dr.Mitra Djamal (Indonesia)
Prof. Dr. Jalil Ali (Malaysia)
Prof. Dr. Koichi Kaku (Japan)
Asst. Prof. Dr. Surasak Chiangga (Thailand)
Asst. Prof. Dr. Ratchapak Chitaree (Thailand)
Assoc.Prof.Dr.Smit Insiripong (MCRUThailand)
Asst.Prof.Dr.Thadsanee Thongkanluang (Thailand)
Asst.Prof.Dr.Suwimon Reungsri (Thailand)
Dr.Kazuhito Shimada (Japan)
Dr.Chat Teeka (Thailand)
Dr.Narong Sangwaranatee (Thailand)
Dr.Nisakorn Sangwaranatee (Thailand)
Dr.Arpaong Changjan (Thailand)
Dr.Araya Mungchamnankit (Thailand)
Dr.Treedej Kittiachawal (Thailand)
Dr.Attapol Choeysuppaket (Thailand)
Dr.Kamol Aiempnakij (Thailand)
Dr.Sayan Pudwat (Thailand)
Dr.Mati Horpratun (Thailand)

Dr.Pitak Aiemchai (Thailand)
Dr.Parnuwat Chimalawong (Thailand)
Dr.Chitra Kedkaew (Thailand)
Dr.Keerati Kirdsiri (Thailand)
Dr.Nattapon Srisittipokakun (Thailand)
Dr.Yotsakit Raungtawee (Thailand)
Dr.Natthakridta Chanthima (Thailand)
Dr.Kitipun Boonin (Thailand)
Dr.Pruittipol Limkitjareonporn (Thailand)
Dr.Suparat Tuscharoen (Thailand)
Dr.Narongchai Boonyopakorn (Thailand)
Dr.Wichain Siriprom (Thailand)
Dr. Kanchaya Honglertkongsakul (Thailand)
Dr. Jiraporn Pongsopa (Thailand)
Dr. Pattira Homhuan (Thailand)
Dr. Suebrakul Suchat (Thailand)
Dr. Keerayoot Srinuanjan (Thailand)
Dr. Muhammad Arif Jalil (Malaysia)
Dr. Worawut Khunsin (Spain)
Dr. Toto Saktioto (Malaysia)



LTE-Advanced Performance Analysis by Simulation with Advanced Design System (ADS)

S. Boonongsai^{a,e1}, P. Raklua^{a,e2}

^aDepartment of Electronics and Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Thanyaburi, Pathumtani, 12110, Thailand

^{e1}sawet.bps@gmail.com, ^{e2}paifoon_r@rmutt.ac.th

Abstract

This article presents a performance analysis of LTE-Advanced by ADS simulation to test the performance of the uplink and downlink. Tested for their ability to compare the phase of the reference signal with the phase of the signal transmitted. Analysis of bit error rate value comparison of the SNR and bit error rate. Which is set to be no greater than 17.5%, 12.5%, 8% respectively.

Keyword : LTE – Advanced, ADS, Bit Error Rate.

1. Main Text

LTE-Advanced technology is a new technology developed to reduce restrictions on the transfer of the technology used today. Add the ability to transfer information at high speeds and reduces the delay in data transmission overall. The second characteristic is the frequency Time Division Duplex (TDD) and Frequency Division Duplex (FDD) to prepare to accommodate technological advances. Entail the use of telecommunications resources efficiently.

This article presents a simulation LTE-Advanced using ADS to analyze the performance of LTE-Advanced as part of the communication FDD and TDD channel in the downlink, which uses OFDMA and the uplink is Technology SC-FDMA.

2. Design

Serial input data set to the speed V bits per second is converted into a data set of N parallel to each set contains a speed V/N bits per second. Output a signal with a wider N times the original signal. Symbol is spread can be written as equation (1).

$$X_{q,k} = x_q w_{q,k} = \alpha_q w + j\beta_q \quad (1)$$

Where W_q is the order of the orthogonal.

$$W_q = [w_{q,0}, w_{q,1}, \dots, w_{q,N-1}] ; q = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

x_q is signal q set parallel to the spread.

$$x_q = \alpha_q + j\beta_q \quad (3)$$

Then the signal is spread out to be brought together and convert data from serial to parallel these second equation (4).

$$B[k] = X_q W_q + X_{q+1} W_{q+1} + \dots ; q = 0, 1, \dots, N-1 \quad (4)$$

Where $b[k]$ is a parallel to the input of the IFFT output signal to change the frequency of the signal in the time axis. The output of the IFFT is as equation (5).

$$Y_m = \{ b[k] e^{2\pi (km/N)} \} ; m = 0, 1, \dots, N-1 \quad (5)$$

Considering the number symbol N symbol containing $[x_0, x_1, \dots, x_{N-1}]$ at the input of the system.

This way, every sub-carrier f_k consists of all symbols x_0, x_1, \dots, x_{N-1} , where each symbol is independent of each other. While the system is a traditional OFDM symbol is used for a single sub-carrier and non- W_q orthogonal sequence data by considering that $W_q = [w_{q,k}]$, where $W_q = 1; q = k$ and $W_q = 0; q \neq k$.

The receiving antenna will receive multiple copies. The received signal from each antenna is then fragmented Serial to parallel converter. FFT to process the signal that it is a sign that, depending on the frequency axis. Then converts the signal from a parallel to serial. This output can be expressed by the following equation (6).

$$R_p[k] = H_p^{(0)}[k] b_p^{(0)}[k] + H_p^{(1)}[k] b_p^{(1)}[k] + N_p[k] \quad (6)$$

The receiving antenna has a set of p and $p = 1, 2, \dots, p$.

When $b_p^{(0)}[k]$ is the desired signal from the transmitter.

$H_p^{(0)}[k]$ is the frequency response of the desired signal from receiving antenna at p .

$b_p^{(1)}[k]$ is the interference order 1.

$H_p^{(1)}[k]$ is the frequency response of the channel, consistent with interference from the antenna to the order p .

$N_p[k]$ is the noise received by the antenna with mean $p = 0$.

The received signal from each antenna are combined and a weighted linear with $G[k]$ can be written as an equation as equation (7).

$$b[k] = G^H[k] r[k] \quad (7)$$

When $r[k]$ is a vector of the received signal.

$G[k]$ is a vector of weighting.

$G^H[k]$ is the conjugate transpose of the vector and $G[k]$ and $b[k]$ is the desired signal from the transmitter. Signal $b[k]$ obtained by a linear combination of each antenna will need to make a despread or roll back by multiplying the W_q value that each brings to the positive combination. X_q signal will have to pass a good length modulation. Then converts the data from parallel to serial to get the original databack.

To establish system simulation and test by measuring the output signal standard used by the reference standard R8 both uplink and downlink. Which consisted.

EVM measurement standard modulation techniques QPSK, 16 QAM and 64 QAM with phase comparison between the reference phase from the standard R8 is set to a value of not more than 17.5%, 12.5% and 8%, respectively.

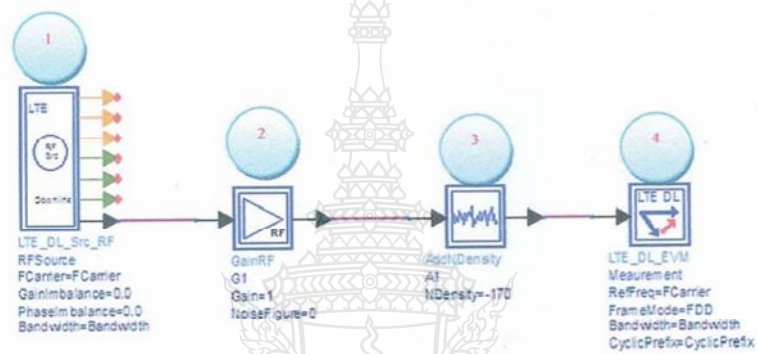


Figure 1 shows the measured EVM

- Part 1 is a cell phone that you want to test
- Part 2 is a block with gain in compression
- Part 3 is a block used for generation of noise
- Part 4 is a device used to measure the EVM

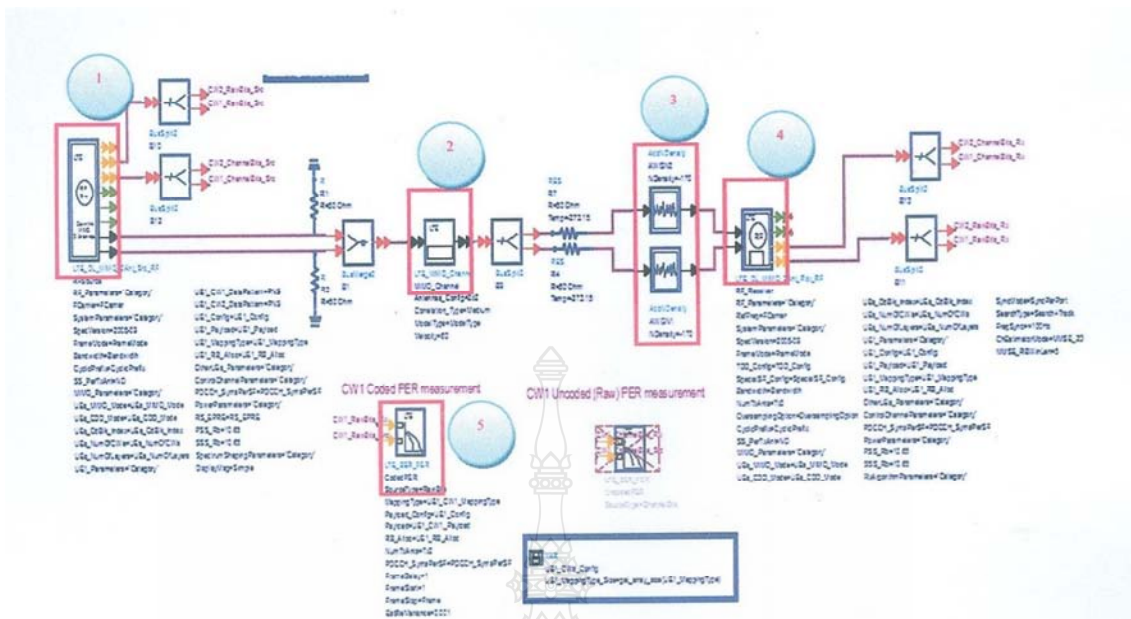


Figure 2 BER is the bit error rate of the data stream input for uplink and downlink.

- Part 1 is mobile device to be tested.
- Part 2 is the set speed.
- Part 3 is a block used for generation of noise.
- Part 4 is used as a base station that is used to test the transmission.
- Part 5 is a device used to measure the BER.

3. Results

3.1 Simulation results on the uplink.

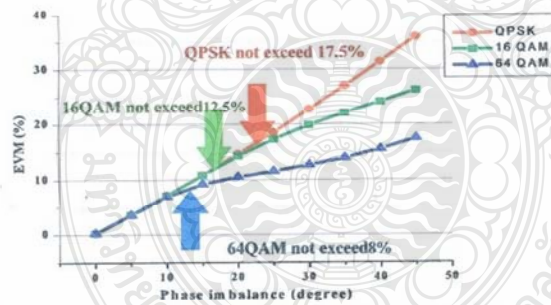


Figure 3 The effect on the phase of the I and Q reference point to the appropriate value.

Value of EVM (%) is the phase when measured from the reference phase. The right to use it under a different modulation length. The graph in Figure 3.

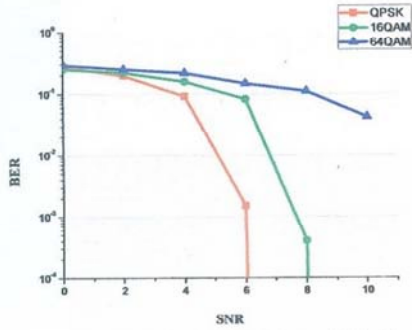


Figure 4 SNR VS BER speed 5 km/h.

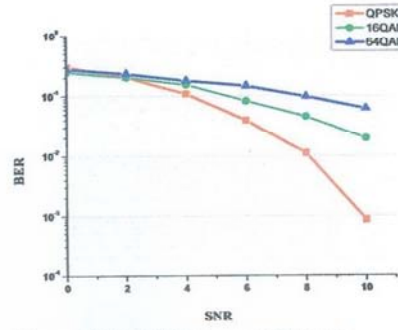


Figure 5 SNR VS BER speed 120 km/h.

The noise in the system. The BER of the more valuable it is appropriate to use different modulation according to the length of the BER decrease when the SNR is greater.

3.2 Simulation results for the downlink.

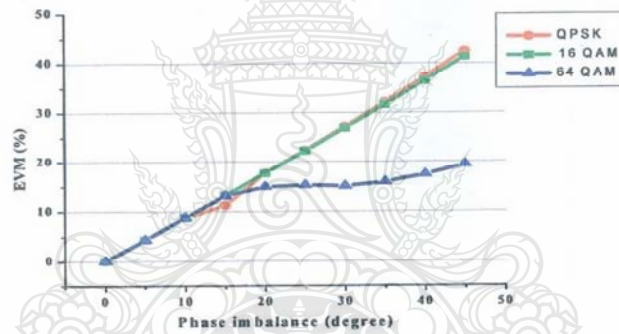


Figure 6 The effect on the phase of the I and Q Changed from a reference point in the appropriate values.

Value of EVM (%) is the phase when measured from the reference phase. The right to use it under a different modulation length. The graph in Figure 6.

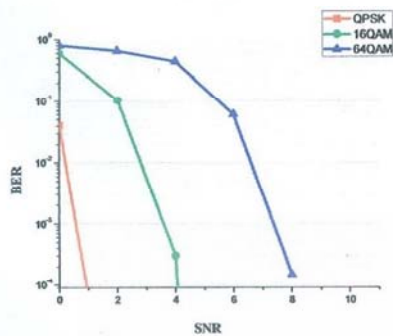


Figure 7 the SNR VS BER speed 5 km/h.

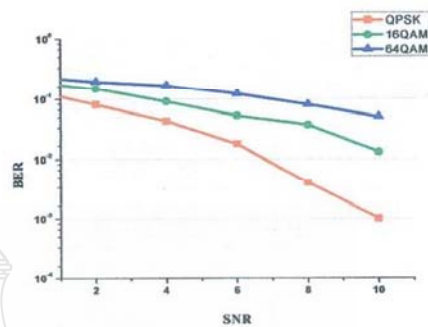


Figure 8 the SNR VS BER speed 120 km/h.

The noise in the system. The BER of the more valuable it is appropriate to use different modulation according to the length of the BER decrease when the SNR is greater.

4. Conclusion.

Of the results shows that the EVM (%) of the channel in the uplink and downlink are more valuable when there are errors in all cases are simulated to. And the modulation of the simulation. It can be seen that the modulation is QPSK EVM is the most minor of the modulation is 16 QAM and 64 QAM, respectively. By using TDD spectrum in the overall results of the EVM is less than the spectrum in the FDD.

In the analysis of the SNR vs bit error rate. This shows the efficiency of communication. Because it is the energy that has been compared to the noise. From the simulations it is seen that the value of the BER decrease when the SNR, which is a bit error rate of less efficient means of transportation as well. And modulation of each model will yield different.

Acknowledgements

Thank Lab Wireless Communication. Department of Electronics and Telecommunication Engineering. Rajamangala University of Technology. Software for Advance Design System (ADS), and thanks to Dr. Paitoon Rakluea to give advice in this research.

5. References

- [1] Moray Rumney. (2009). *LTE and the Evolution to 4G Wireless*. U.S.A : Agilent Technologies.
- [2] Harri, Antti. (2009). *LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*. Finland : John Wiley & Sons, Ltd, Publication.
- [3] Moray Rumney. (2008). *3GPP LTE Introducing Single-Carrier FDMA*. U.S.A : Agilent Technologies.
- [4] Chester Sungchung Park, Y.-P. Eric Wang, George Jöngren, and David Hammarwall, Ericsson Research *IEEE Communications Magazine • February 2011 Evolution of Uplink MIMO for LTE-Advanced*. U.S.A : Agilent Technologies
- [5] Chester Sungchung Park, Y.-P. Eric Wang, George Jöngren, and David Hammarwall, Ericsson Research *IEEE Communications Magazine • February 2011 Evolution of Downlink MIMO for LTE-Advanced*. U.S.A : Agilent Technologies.
- [6] Jeanette Wannstrom, for 3GPP. Submission, *May 2012 LTE-Advanced*. U.S.A : Agilent Technologies.



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล **ครั้งที่ ๖**

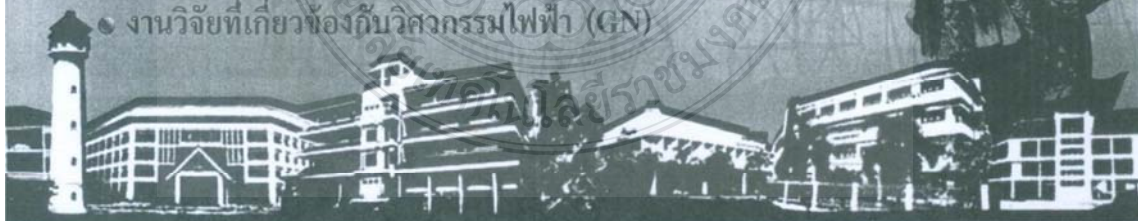
6th Electrical Engineering Network 2014
of Rajamangala University of Technology Conference

นวัตกรรมวิจัยแห่งเทคโนโลยี ตอบสนองเออีซีด้านโครงข่ายพลังงาน

Technology Research Innovation for Responding
to the Energy Network of AEC

Volume II

- อิเล็กทรอนิกส์ (EI)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- ระบบควบคุมและการวัด (CT)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)



๒๖ - ๒๘ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๗

ณ มารีไทม์ ปาร์คแอนสปาร์ตส์รีสอร์ท จังหวัดกระบี่



ดำเนินการโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี กาญจนเดชะ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตร กิณเรศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.กิริติ ชยะกุลศิริ	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
รองศาสตราจารย์ ดร.บัลลังก์ เนียมมณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ หวังนิพนพานโต	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.เสถียร ธัญญศรีรัตน์	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ อุดมพรหมากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รองศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ เกิดชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.โกศล โอฬารไพโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ชัยณรงค์ วิเศษศักดิ์วิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รองศาสตราจารย์สมพันธ์ อ้าพานัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐานินดาเพชร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัทมกรณ์ อารีอังกู	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ สากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภคพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชัย หิรัญวโรดม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรี ศรีนนท์ฉัตร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ เรืองวาริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำเร็จ อินทาม	มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ จารุมิตร	สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย คุรองกิจศิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุข อูณหเสงกะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา สิวะรังค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภักวิวัฒน์ อินทร์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตวิทย์ มีวโฒ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์พงษ์ ศรีสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอดพล ป้อมสถิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาณชัย เศรษฐธรรมรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุเทน คำน่าน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันไชย คำแสน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนามิข อินต๊ะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา อินขงกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิญญู ทองเล็ก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นาคยา ศาสตร์เวียง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญอภัยฤทธิ์ ประสาทแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ ไสครโยม	มหาวิทยาลัยสยาม

26-28 มีนาคม 2557 มาริโหม่ ปาร์คแอนสปิริตส์ จังหวัดกระบี่

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย ศิลปวิจารณ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาวัดดี คัมภานุช	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธวัชชัย ทางรัตน์สุวรรณ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรัทธา แดงเอม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทง ลานธารทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชญ์ คาราวงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุภาวดี เนตรโพธิ์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรวิฑูรย์ ทองกุลภัทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เฉลิมพล เรื่องพัฒนาวิวัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วราวุฒิ์ กรุดพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พันธ์พงศ์ อภิชาติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิเศษฐ ทัพย์ประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิสุทธิ์ พงษ์พุกฤษธาตุ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมบัติ ลีลาชนะชัยพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ ดร.วฤทธิ์ วิชกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อาจารย์ ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.ฉัตรชัย สุกพิทักษ์สกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.พดุงชน นันทนาวงศา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.ศิริชัย เตรียมล้ำเลิศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.กิตติวัฒน์ นิ่มเกิดผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.วิเชียร ชูแป้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.สุริยา แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน
อาจารย์ ดร.กฤษดา สมสัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน
อาจารย์ ดร.พรเทพ ปัญญาแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน
อาจารย์ ดร.พิชัย อยู่เปล้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน
อาจารย์ ดร.นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน
อาจารย์ ดร.เมธา ทศกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน
อาจารย์ ดร.นำพน พิพัฒน์ไพบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน
อาจารย์ ดร.สันหวังนั ทองแดง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน
อาจารย์ ดร.เสกสรร พลสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอิสาน
อาจารย์ ดร.ณัฐ ไซติ รักไทยเจริญชีพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.พนา คูสิตากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ เคชหึ่ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.พิสิษฐ์ สุวรรณภิงคาร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.ชลกาญจน์ วงศ์ก่อทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์ ดร.อุมารินทร์ แสงพานิช	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

อาจารย์ ดร.ศรีสุดา ไชยทองสูง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ ดร.สมพร ศรีวัฒนผล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ ดร.ประจวบ อินระวงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.พินิจ ศรีธร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.วรรณรีย์ วงศ์ไตรรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.มงคล คูพิมาย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.ประสพโชค โห้ทองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.มนตรี สมดุลยกนก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.ไกรฤกษ์ เซษชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.พิชิต กิตติสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.วิวัฒน์ ทิพจร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.วิฑูรย์ พรหมมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.นพพร พัชรประกิติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ชาญยุทธ์ กาญจนพิบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.จักรกฤษณ์ เคลือบวัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.พลกฤษณ์ ทุนคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ยุพดี หัตถสิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ขวัญชัย เข็ญวิธานุกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ศุภงกษ โดโพนบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.อนันท์ นำอิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.สุภกิต แก้วดวงดา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.จัดจตุฤทธิ์ ทองปรอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.ธีรศักดิ์ สมศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
อาจารย์ ดร.วุฒิวัฒน์ คงรัตน์ประเสริฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ดร.สายชล ชุติเชื้อจัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ดร.นิธิวัฒน์ ชุติกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ ดร.พิทักษ์ บุญนุ่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ ดร.ปฏิมากร จันทร์พริ้ม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
อาจารย์ ดร.ชยานิมฐ์ บุญสนิท	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ดร.สุวิทย์ อังริยะเมต	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
ดร.อรรด พยอมหอม	การไฟฟ้านครหลวง
อาจารย์พินิจ จิตจริง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์นิติพงศ์ ปานกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
อาจารย์ภัทรพงศ์ อัญชันภาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์สมยศ สันติมาลัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาจารย์วุฒิไกร จันทร์ขามเรียน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ตะวัน ขุนอาสา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์มนัส บุญเกียรติทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อาจารย์สาคร วุฒิพัฒน์พันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทความสาขาไฟฟ้าสื่อสาร (CM)

หน้า

CM-B

CM08	การจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ LTE-Advanced ด้วยโปรแกรม Advanced Design System (ADS) เสวต บุญห้องใส ไพฑูรย์ รักเหลือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	657
CM09	การเปรียบเทียบความถี่วิกฤตชั้นเอฟสองของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่วัดได้จากเครื่องไอโอโนซอนด์ กับแบบจำลอง IRI บริเวณเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กในเวียดนาม นรเสฏฐ์ วิชัยพาณิชย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	661
CM10	การศึกษาและออกแบบสายอากาศแบบโมโนโพลรูปลูกสูบคู่สำหรับประยุกต์ใช้งานการสื่อสารไร้สาย ทรงสมศักดิ์ บุญมิ่ง พิพัฒน์ พันพล อำนวย เรืองวาริ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	665
CM11	สายอากาศผสมสมสัญญาณหลักการถึงแสงขนาดเล็ก สุวรรณ จันทร์อินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา	669
CM12	การวิเคราะห์และหาประสิทธิภาพของรหัสแอดคิตีซี บนช่องสัญญาณรบกวนเกาส์เซียนสีขาวแบบบวก นิรุทธ์ กุลสุวรรณ ปรากฏ ทองใบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	673
CM13	การเพิ่มแบนด์วิดท์ของสายอากาศร่องสี่เหลี่ยมป้อนสัญญาณด้วยสายนำสัญญาณระนาบร่วม โดยการแทรกสลับ ธนา กุชฉินนัง ปรากฏ ทองใบ นิรุทธ์ กุลสุวรรณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	677
CM14	ระบบสายอากาศสำหรับการสื่อสารที่ใช้ร่วมกับสัญญาณที่มีแถบความถี่กว้าง ชยานิษฐ์ บุญสมิทธิ์ ศุภชัย อรุณพันธ์ พรชัย แดด้วอ้อม สัญญา ศาสตรา จินดา สามัคคี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	681
CM15	การวิเคราะห์ขนาดเวกเตอร์ความคิดพลาดเมื่อมีสัญญาณรบกวนในระบบการส่งของไวแมกซ์แบบประจำที่ ไชยวัฒน์ พูลเงิน ไพฑูรย์ รักเหลือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	685
CM16	วงจรกรองผ่านแถบกว้างที่มีค่าความคมความถี่ดีโดยใช้ตัวกระตุ้นแบบร่องทับ วุฒินันท์ วานะกัน สุรินทร์ อ่อนน้อม สมติน วางขุนทด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	689

CM-C

การจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ LTE-Advanced ด้วยโปรแกรม Advanced Design System (ADS)

LTE-Advanced Simulation & Performance Analysis by Advanced Design System (ADS)

เสวต บุญผ่องใสและไพฑูริย์ รักเหลือ

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อนรรังสิตนครนายก ค.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ : 0-2549-3333E-mail:sawet.bps@gmail.com, paitoon_r@rmu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ LTE-Advanced โดยทำการจำลองระบบด้วยโปรแกรม ADS เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของช่องสัญญาณทางด้านอรรถลักษณะและดาวลิ่งซึ่งจะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของมอดูเลชันแบบ QPSK, 16 QAM, 64 QAM เปรียบเทียบค่าเฟสของสัญญาณอ้างอิงกับค่าเฟสของสัญญาณที่ส่งออกไป วิเคราะห์ Bit Error Rate เปรียบเทียบค่า SNR กับค่าอัตราความผิดพลาดบิตซึ่งถูกกำหนดให้มีค่าไม่เกิน 17.5%, 12.5% และ 8% ตามลำดับ เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้นกับระบบ เช่น สัญญาณรบกวน ทำให้เห็นประสิทธิภาพของระบบที่จะเกิดขึ้นก่อนการติดตั้งระบบจริง

คำสำคัญ: LTE-Advanced, ADS, อัตราความผิดพลาดบิต

Abstract

This article present a performance analysis of LTE-Advanced by ADS simulation to test the performance of the uplink and downlink. Tested for their ability to performance analysis of modulation type QPSK, 16 QAM, 64 QAM comparing the phase of the reference signal with the phase of the signal transmitted. Analysis of bit error rate value comparison of the SNR and bit error rate. Which is set to be no greater than 17.5%, 12.5%, 8% respectively.

Keywords: LTE-Advanced, ADS, Bit Error Rate

1. บทนำ

เทคโนโลยี LTE-Advanced เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยลดข้อจำกัดในการรับส่งข้อมูลของเทคโนโลยีเดิมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ให้เพิ่มความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงและจะช่วยลดความล่าช้าในการรับส่งข้อมูลโดยรวม โดยมีการใช้ความถี่ใน 2 ลักษณะ คือ Time Division Duplex (TDD) และ Frequency Division Duplex (FDD) เพื่อเตรียมความพร้อมในการรองรับความก้าวหน้าทาง

เทคโนโลยี นำมาซึ่งการใช้ทรัพยากรทางโทรคมนาคมอย่างมีประสิทธิภาพ

บทความนี้นำเสนอการจำลองระบบ LTE-Advanced ด้วยโปรแกรม ADS เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ LTE-Advanced ทั้งในส่วนองลักษณะการสื่อสารแบบ FDD และ TDD ของช่องสัญญาณทางด้านความถี่ซึ่งใช้เทคโนโลยี OFDMA และทางด้านอรรถลักษณะซึ่งใช้เทคโนโลยี SC-FDMA

2. การออกแบบ

ชุดข้อมูลอินพุตแบบอนุกรมจะมีอัตราเร็ว V บิต/วินาที จะถูกแปลงให้เป็นข้อมูล N ชุดแบบขนาน ทำให้แต่ละชุดข้อมูลมีอัตราเร็วเป็น $\frac{V}{N}$ บิต/วินาที เวกเตอร์ที่ได้เป็นสัญญาณที่มีช่วงเวลาว่างขึ้น N เท่าของสัญญาณเดิม สัญญาณที่ถูกสเปรดหรือแผ่ (spread) สามารถเขียนได้เป็นสมการที่ (1)

$$X_{q,k} = x_q w_{q,k} = \alpha_q w + \beta q \quad (1)$$

โดยที่ W_q คือ ลำดับข้อมูลที่ตั้งฉากกัน (orthogonal)

$$W_q = [w_{q,0}, w_{q,1}, \dots, w_{q,N-1}]; q = 0, 1, \dots, N-1 \quad (2)$$

x_q คือ สัญญาณ q ชุดแบบขนานที่ถูกสเปรด

$$X_q = \alpha_q + \beta q \quad (3)$$

จากนั้นแต่ละสัญญาณที่ถูกสเปรดออกไปจะถูกนำมารวมกัน และทำการแปลงข้อมูลจากอนุกรมเป็นแบบขนานเป็นครั้งที่สองดังสมการที่ (4)

$$B[k] = \sum_{q=0}^{N-1} X_q W_q \quad (4)$$

โดยที่ $b[k]$ เป็นสัญญาณแบบขนานที่ส่งออกไปเป็นอินพุตของ IFFT เพื่อเปลี่ยนสัญญาณจากแกนความถี่เป็นสัญญาณในแกนเวลา โดยที่เอาท์พุทของ IFFT จะมีค่าเป็นดังสมการ (5)

$$Y_m = \sum_{k=0}^{N-1} b[k] e^{2\pi j \left(\frac{km}{N}\right)}; m = 0, 1, \dots, N-1 \quad (5)$$

เมื่อพิจารณาสัญญาณจำนวน N สัญญาณที่ประกอบด้วย $[x_0, x_1, \dots, x_{N-1}]$ ที่เข้ามถึงอินพุตของระบบนั้น

วิธีการนี้ทุก ๆ คลื่นพาที่ข้อ i_k จะประกอบไปด้วยทุก ๆ สัญญาณ x_0, x_1, \dots, x_{N-1} ซึ่งแต่ละสัญญาณจะเป็นอิสระจากกันในขณะที่ระบบ OFDM แบบเดิมหนึ่งสัญญาณจะใช้สำหรับหนึ่ง

คลื่นพหุคูณที่ orthogonal กัน โดยพิจารณาว่า $W_q = [w_{q,k}]$ โดยที่ $W_q = 1$; $q = k$ และ $W_q = 0$; $q \neq k$

ในภาครับจะมีสายอากาศรับหลายชุด สัญญาณที่ได้รับจากสายอากาศแต่ละชุดจะถูกแยกส่วนแล้วทำการแปลงสัญญาณจากอนุกรมเป็นขนาน เพื่อนำไปผ่านกระบวนการ FFT สัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณที่อยู่ในแฉกความถี่ จากนั้นจะทำการแปลงสัญญาณจากขนานไปเป็นอนุกรม โดยเอาท์พุทในส่วนนี้สามารถแสดงได้ดังสมการ (6)

$$r_p[k] = H_p^{(0)}[k] b_p^{(0)}[k] + \sum_{l=1}^L H_p^{(l)}[k] b_p^{(l)}[k] + N_p[k] \quad \dots(6)$$

โดยที่ สายอากาศภาครับมีจำนวน p ชุด และ $p = 1, 2, \dots, p$
 เมื่อ $b_p^{(0)}[k]$ คือ สัญญาณที่ต้องการจากเครื่องส่ง
 $H_p^{(0)}[k]$ คือ ผลตอบสนองของทางความถี่ของช่องสัญญาณที่ต้องการจากสายอากาศรับลำดับที่ p
 $b_p^{(l)}[k]$ คือ สัญญาณแทรกสอดลำดับที่ l
 $H_p^{(l)}[k]$ คือ ผลตอบสนองของทางความถี่ของช่องสัญญาณที่สอดคล้องกับสัญญาณแทรกสอดจากสายอากาศรับลำดับที่ p
 $N_p[k]$ คือ สัญญาณรบกวนของสายอากาศรับลำดับที่ p ที่มีค่าเฉลี่ย = 0
 $\sigma_{N_p}^2 I_p$ คือ ค่ากำลังงานของสัญญาณรบกวน
 สัญญาณที่ได้รับจากสายอากาศแต่ละชุดจะมีการรวมกันแบบเชิงเส้นและมีการถ่วงน้ำหนักด้วย $G[k]$ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (7)

$$b[k] = G^H[k] r[k] \quad (7)$$

เมื่อ $r[k]$ คือ เวกเตอร์ของสัญญาณที่ได้รับ $G[k]$ คือ เวกเตอร์ของการถ่วงน้ำหนัก, $G^H[k]$ คือ การหา conjugate และ transpose ของเวกเตอร์ $G[k]$ และ $b[k]$ คือ สัญญาณที่ต้องการจากเครื่องส่ง

ในการ Detection จะทำการหาค่าเฉลี่ยค่าของความผิดพลาดยกกำลังสองระหว่างสัญญาณที่ต้องการจากเครื่องส่งกับสัญญาณที่ได้จากการรวมแบบเชิงเส้นจากสายอากาศแต่ละชุดทางภาครับ ซึ่งเขียนได้เป็นสมการที่ (8)

$$DTC = \min E \{ |G^H[k] r[k] - b^{(0)}[k]|^2 \} \quad (8)$$

$$\text{โดยที่ } G[k] = (R_r[k])^{-1} H^{(0)}[k] \quad (9)$$

เมื่อ $H^{(0)}[k]$ เป็นเวกเตอร์ของผลตอบสนองของทางความถี่ของช่องสัญญาณที่มีขนาดเป็น $P \times 1$

$R_r[k]$ เป็นเมทริกซ์สหสัมพันธ์ขนาด $P \times P$ ของสัญญาณที่ได้รับจากสายอากาศส่งมายังสายอากาศรับที่คลื่นพหุคูณเดียวกัน

$$\text{โดยที่ } R_r[k] = E(r[k] r^H[k]) = \sum_{l=0}^L H^{(l)}[k] H^{(l)*}[k] + \sigma_{N_p}^2 I_p \quad \dots(10)$$

และ I_p เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์ที่มีขนาดเป็น $P \times P$

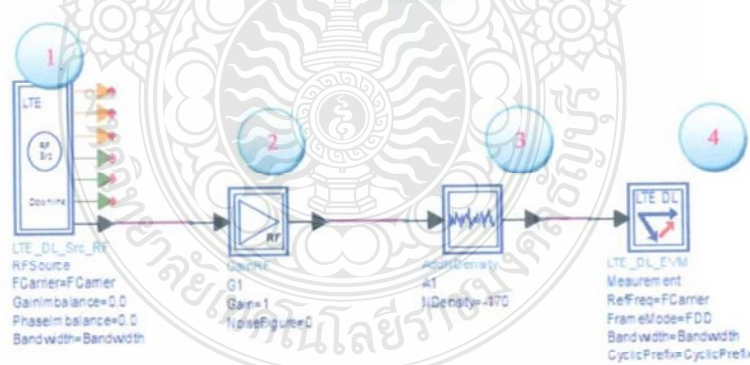
สัญญาณ $b[k]$ ที่ได้จากการรวมกันแบบเชิงเส้นจากสายอากาศแต่ละชุดจะได้นำมาทำการตีสเปรดหรือแผ่กั๊บ (despread) โดยการคูณกับ W_q ค่าที่ได้แต่ละชุดจะนำมาบวกรวมกัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (11)

$$X_q = \sum_{k=0}^{N-1} b[k] W_q \quad (11)$$

สัญญาณ X_q ที่ได้จะต้องผ่านการดีมอดูเลชัน แล้วทำการแปลงข้อมูลจากขนานเป็นอนุกรมเพื่อให้ได้ข้อมูลเดิมกลับคืน

จะทำการสร้างการจำลองระบบและทำการทดสอบโดยการวัดสัญญาณมาตรฐานที่ใช้ส่งออกโดยการอ้างอิงจากมาตรฐาน R8 ทั้งด้านอัตราก้าวและความถี่ซึ่งประกอบไปด้วย

EVM วัดค่ามาตรฐานของกวมอดูเลชันด้วยเทคนิค QPSK, 16 QAM และ 64 QAM เปรียบเทียบระหว่างเฟสอ้างอิงกับเฟสที่ได้จากการวัดค่ามาตรฐาน R8 กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 17.5%, 12.5% และ 8% ตามลำดับ

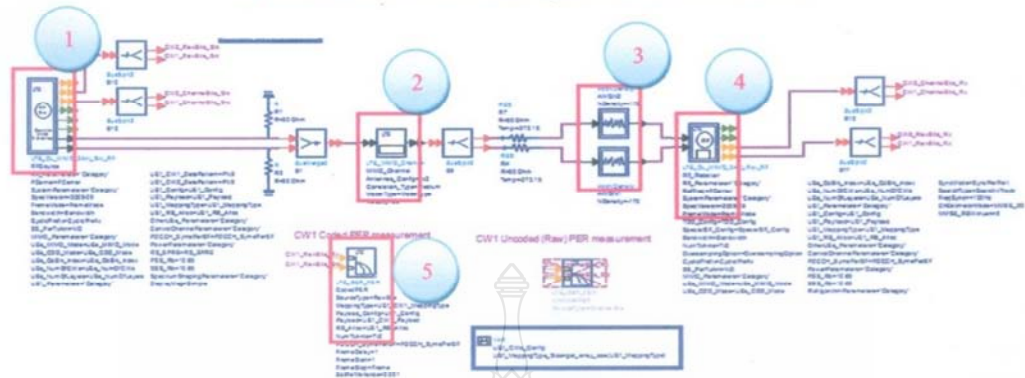


รูปที่ 1 แสดงการออกแบบการวัดค่า EVM

ส่วนที่ 1 เป็นอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือที่ต้องการทดสอบ
 ส่วนที่ 2 เป็นบล็อกที่มีอัตราขยายในการรับอัด

ส่วนที่ 3 เป็นบล็อกที่ใช้ในการก่เน็คสัญญาณรบกวน
 ส่วนที่ 4 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า EVM

BER วัดอัตราความผิดพลาดของกระแสข้อมูลที่ป้อนสำหรับอัลลิงค์และคววมิ่งค์

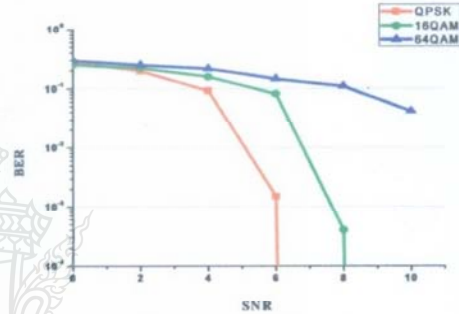


รูปที่ 2 แสดงการออกแบบวงจร วัดอัตราความผิดพลาด

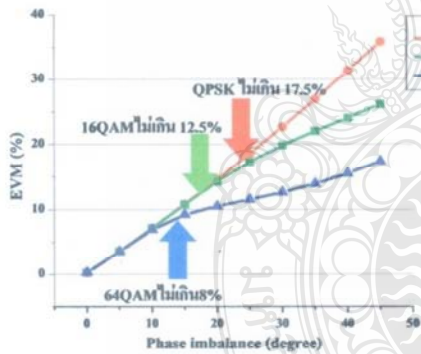
- ส่วนที่ 1 เป็นอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือที่จะทำการทดสอบ
- ส่วนที่ 2 เป็นส่วนกำหนดความเร็ว
- ส่วนที่ 3 เป็นบล็อกที่ใช้ในการกำหนดสัญญาณรบกวน
- ส่วนที่ 4 เป็นส่วนที่ใช้เป็นสถานีฐานที่ใช้ในการทดสอบการรับส่ง
- ส่วนที่ 5 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า BER

3. ผลการจำลอง

3.1 ผลการจำลองทางค่านอัลลิงค์



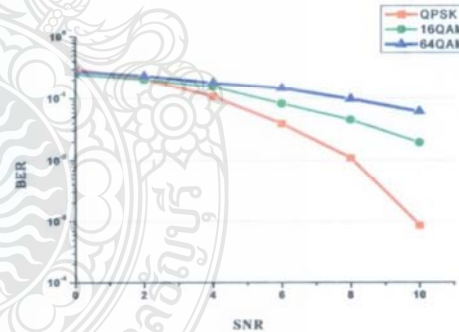
รูปที่ 4 ค่า SNR VS BER ที่ความเร็ว 5 km/h



รูปที่ 3 ผลกระทบเมื่อเฟสของ 1 และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิงในช่วงที่

เหมาะสม

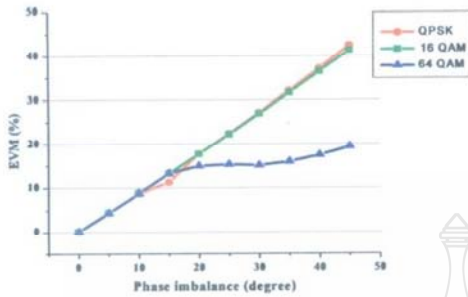
ค่าของ EVM (%) จะมีค่ามากขึ้นเมื่อเฟสที่วัด ได้ต่างจากเฟสอ้างอิงมากขึ้น ค่าที่เหมาะสมต่อการใช้งานก็แตกต่างกันตามการมอดูเลชันดังกราฟในรูปที่ 3



รูปที่ 5 ค่า SNR VS BER ที่ความเร็ว 120 km/h

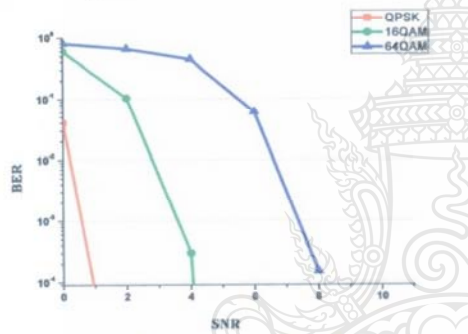
การมีสัญญาณรบกวนในระบบมากขึ้น จะทำให้ค่าของ BER มีค่ามากขึ้น ค่าที่เหมาะสมต่อการใช้งานก็แตกต่างกันตามการมอดูเลชัน ส่วนค่า BER จะมีค่าลดลงเมื่อค่า SNR มากขึ้น

3.2 ผลการจำลองทางค่านับค่านับ

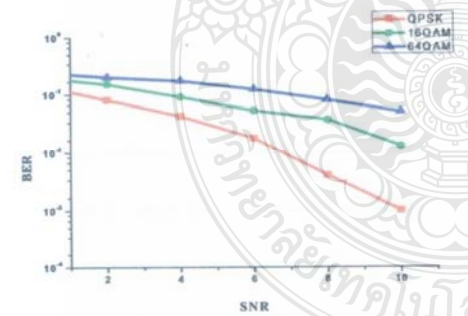


รูปที่ 6 ผลกระทบเมื่อเฟสของ I และ Q เปลี่ยนไปจากจุดอ้างอิงในช่วงค่าที่เหมาะสม

ค่าของ EVM (%) จะมีค่ามากขึ้นเมื่อเฟสที่วัดได้ต่างจากเฟสอ้างอิงมากขึ้น ค่าที่เหมาะสมต่อการใช้งานก็แตกต่างกันตามการมอดูเลชันดังกราฟในรูปที่ 6



รูปที่ 7 ค่า SNR VS BER ที่ความเร็ว 5 km/h



รูปที่ 8 ค่า SNR VS BER ที่ความเร็ว 120 km/h

การมีสัญญาณรบกวนในระบบมากขึ้น จะทำให้ค่าของ BER มีค่ามากขึ้น ค่าที่เหมาะสมต่อการใช้งานก็แตกต่างกันตามการมอดูเลชัน ส่วนค่า BER จะมีค่าลดลงเมื่อค่า SNR มากขึ้น

4. สรุป

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่า EVM(%)ของช่องสัญญาณทางด้านออปติคัลและค่านับค่านับจะมีค่ามากขึ้นเมื่อมีความผิดพลาดในทุกกรณีที่ได้ทำการจำลองไปแล้ว และผลทางการมอดูเลชันจากการจำลองจะเห็นได้ว่าการมอดูเลชันแบบ QPSK จะมีค่าของ EVM มากที่สุด รองลงมาคือการมอดูเลชันแบบ 16 QAM และ 64 QAM ตามลำดับ โดยที่ใช้คลื่นความถี่ในลักษณะ TDD ผลโดยรวมของ EVM จะน้อยกว่าการใช้คลื่นความถี่ในลักษณะ FDD

ในส่วนของการวิเคราะห์ค่า SNR เทียบกับค่าอัตราความผิดพลาดบิต ซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของการสื่อสาร เพราะเป็นค่าที่บอกค่าพลังงานที่ได้รับเมื่อเทียบกับค่าสัญญาณรบกวน จากการจำลองจะเห็นได้ว่าค่าของ BER จะมีค่าลดลงเมื่อค่า SNR มากขึ้น ซึ่งการที่มีอัตราความผิดพลาดบิตน้อยหมายถึงประสิทธิภาพในการรับส่งที่ดีและการมอดูเลชันแต่ละแบบก็จะให้ผลที่แตกต่างกัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Lab Wireless Communication ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี สำหรับซอฟต์แวร์ Advance Design System (ADS) และขอขอบคุณ ดร.ไพฑูริย์ วัชรพล ที่ให้คำแนะนำในการวิจัยนี้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Moray Rumney, 2009. LTE and the Evolution to 4G Wireless. U.S.A. : Agilent Technologies
- [2] Harri, Antti, 2009. LTE for UMTS OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access. Finland : John Wiley & Sons, Ltd, Publication
- [3] Moray Rumney, 2008. 3GPP LTE Introducing Single-Carrier FDMA. U.S.A. : Agilent Technologies
- [4] Chester Sungchung Park, Y.-P.Eric Wang, George Jöngren, and David Hammarwall, Ericsson Research IEEE Communications Magazine • February 2011 Evolution of Uplink MIMO for LTE-Advanced. U.S.A. : Agilent Technologies
- [5] Chester Sungchung Park, Y.-P.Eric Wang, George Jöngren, and David Hammarwall, Ericsson Research IEEE Communications Magazine • February 2011 Evolution of Downlink MIMO for LTE-Advanced. U.S.A. : Agilent Technologies
- [6] Jeanette Wannstrom, for 3GPP. Submission, May 2012 LTE-Advanced U.S.A. : Agilent Technologies



ประวัติผู้เขียน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ว่าที่ร้อยตรีเสวต บุญผ่องใส
วันเดือนปีเกิด	19 กันยายน 2530
ที่อยู่	24 หมู่ 14 ตำบลลำไทร อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี 12150
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	เจ้าหน้าที่ระบบคอมพิวเตอร์และเครือข่าย บริษัท ลำลูกกาคอลล์เซ็นเตอร์ จำกัด พ.ศ. 2558 ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	08-1354-1565
อีเมลล์	sawet.bps@gmail.com

