

การจัดสรรช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับรูปแบบการนำความถี่มาใช้ซ้ำ
แบบสัดส่วนในโครงข่าย LTE/LTE-A

CHANNEL ALLOCATION OPTIMIZATION FOR FRACTIONAL
FREQUENCY REUSED PATTERN IN LTE/LTE-A NETWORK



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHANNEL ALLOCATION OPTIMIZATION FOR FRACTIONAL
FREQUENCY REUSED PATTERN IN LTE/LTE-A NETWORK



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2023

KMITL-2023-EN-M-029-105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดสรรช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับรูปแบบการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วนในโครงข่าย LTE/LTE-A
นักศึกษา	นายอุดรพันธ์ ชัยวงศ์คำ
รหัสนักศึกษา	59601142
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการจัดสรรช่องสัญญาณที่เหมาะสม สำหรับรูปแบบการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วนในโครงข่าย LTE/LTE-A ปัจจุบันการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของจำนวนผู้ใช้งานในบางพื้นที่และการใช้งานแอปพลิเคชันต่างๆ ที่สื่อสารด้วยอัตราเร็วสูง ทำให้จำนวนช่องสัญญาณไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน มีการใช้เทคนิคการวางเซลล์ทับซ้อน ไมโคร/มาโครเซลล์ เพื่อเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณต่อพื้นที่ ในการศึกษา รูปแบบการวางเซลล์แบบทับซ้อนไมโคร/มาโครเซลล์ที่ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางร่วมกับสายอากาศเซกเตอร์ พิจาณา 2 รูปแบบของการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วนและการจัดสรรช่องสัญญาณที่นำเสนอ จากผลการจำลองเปรียบเทียบผลความจุกับรูปแบบที่มีการนำเสนอก่อนหน้ารูปแบบที่ 2 พบว่าให้ความจุสูงขึ้น 22% สำหรับรูปแบบที่นำเสนอ 3 และ 49% สำหรับรูปแบบที่นำเสนอ 4

Thesis Title	Channel Allocation Optimization for Fractional Frequency Reused Pattern in LTE/LTE-A Network
Student	Mr. Udornphan Chaiwongkham
Student ID.	59601142
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Phichet Moungnoul

ABSTRACT

This thesis proposes channel allocation optimization for fractional frequency reused (FFR) pattern in LTE/LTE-A network. Nowadays, the number of users are increased very quickly and some application need high speed data channel. Then the channel number are limited to support demand of all users. Overlay of Micro/Macro cell is used to increase channel number per area. In this study proposes overlay of Micro/Macro cell of omnidirectional antenna to joint with sector antenna, propose 2 fractional frequency reused pattern with channel allocation are investigated. Compare the capacity from simulation results, the capacity of 2 propose pattern is higher than conventional patterns (2) with 22% and 49% for propose pattern 3 and 4, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก บิดา มารดา พี่สาว ของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ ให้การสนับสนุนในทุกด้าน พร้อมทั้งได้รับการประสิทธิ์ประสาทวิชา คำแนะนำ และความเมตตากรณาจาก ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมถึงข้อแนะนำในการใช้ชีวิตและการทำงาน ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความเมตตากรณาช่วยเหลือให้คำแนะนำมาโดยตลอดได้แก่ รศ.ดร.มนตรี คำเงิน ผศ.ดร. สิริภพ ตู่ประกาย ผศ.ดร. สมเกียรติ ฤกษ์วัลญญ ผศ.ดร. สถาพร พรหมวงศ์ และคณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ให้ความช่วยเหลือแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องอันเป็นแนวทางไปสู่ความสำเร็จ

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความช่วยเหลือด้วยมิตรไมตรี รวมถึงเพื่อน พี่น้อง ในภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ให้คำแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

อุตรพันธ์ ชัยวงศ์คำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญขอปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	5
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	5
1.8 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาในวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 โครงข่าย EPS/LTE.....	6
2.1.1 สถาปัตยกรรมโครงข่าย.....	6
2.1.2 การรอมมิง	8
2.1.3 พื้นที่บนโครงข่าย	9
2.1.4 โพรโทคอลสื่อสาร	9
2.1.4.1 โพรโทคอลการส่งของโครงข่ายที่ใช้สาย	10
2.1.4.2 โพรโทคอลเฟลนผู้ใช้งาน.....	11
2.1.4.3 โพรโทคอลเฟลนซิกแนลลิงค์.....	11
2.1.4.4 โพรโทคอลการส่งผ่านคลื่นวิทยุ LTE.....	12
2.2 OFDMA และ SC-FDMA.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.1 มัลติเพล็กซ์แอส...	15
2.2.2 การใส่ CP (Cyclic Prefix) และการคาดคะเนช่องสัญญาณ.....	15
2.2.3 สัญญาณในโดเมนความถี่.....	17
2.2.4 SC-FDMA.....	17
2.3 โครงสร้างเฟรม.....	18
2.4 ช่องสัญญาณ LTE.....	23
2.5 LTE-A.....	24
2.5.1 เทคนิค CA (Carrier Aggregation).....	25
2.6 การวางแผนโครงข่าย LTE/LTE-A	26
2.6.1 การรื้อรากลุ่มความถี่.....	26
2.6.2 การคาดคะเนการครอบคลุม.....	28
2.7 หลักการนำความถี่มาใช้ซ้ำ.....	32
2.7.1 การแทรกสอดในระบบเซลล์ลาร์.....	33
2.7.2 การลดการแทรกสอดด้วยการแบ่งเซกเตอร์.....	35
2.7.3 แพทเทิร์นการนำความถี่มาใช้ซ้ำ 1x3x1.....	37
2.7.4 แพทเทิร์นการนำความถี่มาใช้ซ้ำ 1x3x3.....	38
2.7.5 เทคนิคการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน (FFR)	39
2.8 การครอบคลุมของช่องสัญญาณทราฟฟิก.....	39
2.8.1 การเกิดโฮลในการครอบคลุมขาลง.....	40
2.8.2 การครอบคลุมขาขึ้นที่แย.....	40
2.8.3 ความไม่สมดุลย์ของขาขึ้นและขาลง.....	41
2.8.4 การครอบคลุมที่มีการทับซ้อน.....	41
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	43
3.1 การออกแบบโครงข่าย.....	43
3.2 ขั้นตอนการออกแบบ.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การจำลองและการวิเคราะห์.....	47
4.1 การจำลองระบบ.....	47
4.2 ผลการจำลอง.....	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	58
บรรณานุกรม.....	59
ภาคผนวก.....	60
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	61
ประวัติผู้เขียน.....	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 พัฒนาการของมาตรฐาน.....	1
2.1 คุณลักษณะหลักของ EPS เอนทิตี.....	7
2.2 คุณสมบัติ OFDM และการจัดเรียงเฟรมในโดเมนความถี่.....	14
2.3 เฟรมคลื่นวิทยุ TDD.....	21
2.4 แพทเทิร์นซัพเฟรมพิเศษ TDD.....	21
2.5 ทฤษฎีผู้ใช้ DL/UL	22
2.6 แบนด์ความถี่ LTE-FDD	28
2.7 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการครอบคลุมทั้งขาขึ้นและขาลง.....	40
3.1 รายละเอียดการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณของรูปแบบที่พิจารณาทั้ง 4	46
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 รูปแบบมาโคร/ไมโครเซลล์.....	3
1.2 รูปแบบ Sectoring.....	3
2.1 โครงสร้างโครงข่าย EPS.....	6
2.2 โครงสร้างการรวมมิง UE จะสื่อสารกับระบบย่อยอินเทอร์เน็ตและสื่อประสม IP	9
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่การติดตาม พื้นที่กองกลาง MME และพื้นที่บริการ S-GW.....	9
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการแอคเซสผ่านชั้นและไม่ผ่านชั้นบนการอินเทอร์เน็ตเฟสผ่านคลื่นวิทยุ.....	10
2.5 โพรโทคอลทรานสปอร์ตบนโครงข่ายที่ใช้สาย.....	10
2.6 โพรโทคอลเพลนผู้ใช้งาน LTE.....	10
2.7 โพรโทคอลเพลนซิกแนลลิงค์ LTE	11
2.8 โพรโทคอลการอินเทอร์เน็ตเฟสผ่านคลื่นวิทยุ.....	12
2.9 เครื่องส่ง OFDM แอนะลอกอย่างง่าย.....	13
2.10 เครื่องส่ง OFDM ดิจิทัล	13
2.11 บล็อกไดอะแกรมของการรับส่ง OFDMA	14
2.12 มัลติเพลกซ์บนเวลา และความถี่ของ OFDMA.....	15
2.13 การเกิด ISI ในสภาพแวดล้อมที่เกิดมัลติพาท.....	15
2.14 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและรับ OFDMA ที่มีการใส่ CP	16
2.15 การใส่ CP.....	16
2.16 การใส่ CP.....	17
2.17 แอมพลิจูดของสัญญาณส่งบนคลื่นพาห่อยุ่ข้างเคียงตามฟังก์ชันความถี่.....	17
2.18 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและเครื่องรับ SC-FDMA.....	18
2.19 ตัวอย่างรูปสัญญาณ SC-FDMA.....	19
2.20 โครงสร้างเฟรม LTE-FDD	20
2.21 โครงสร้างเฟรม LTE-TDD	21
2.22 การจัด RG (Resource Grid).....	22
2.23 ช่องสัญญาณ LTE และการแมปของเลเยอร์	23
2.24 ช่องสัญญาณพิสคอลลักในขาลงและขาขึ้น.....	24
2.25 เทคนิค CA.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.26	แบนด์ของความถี่ที่รองรับ CA ใน LTE-A.....	26
2.27	กลยุทธ์พามความถี่ 900 (2G), 2.1 GHz (3G) และ LTE 2.6 GHz.....	27
2.28	ไดอะแกรมการคาดคะเนระดับสัญญาณระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ.....	29
2.29	สายอากาศประเภทต่างๆ	30
2.30	แพทเทิร์นสายอากาศ	30
2.31	เทคนิคพีรีแควนซีรียูส	32
2.32	การใช้ความถี่ช่องสัญญาณซ้ำของเซลล์รูปแบบต่างๆ	33
2.33	รัศมีเซลล์และระยะระหว่างเซลล์ที่ใช้งานความถี่ซ้ำกัน.....	34
2.34	การแทรกสอดโคแซนแนล (อินเทอร์เซลล์)	34
2.35	เซลล์เซกเตอร์แบบต่างๆ.....	36
2.36	รายละเอียดไอเซนของเซลล์เซกเตอร์	36
2.37	แสดงการเกิดการแทรกสอดโคแซนแนลของเซลล์ 2 ชั้น.....	36
2.38	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด	37
2.39	การครอบคลุมของ 3 เซกเตอร์ด้วยสายอากาศบีมวิทแคบ.....	38
2.40	เปรียบเทียบรียูสแพทเทิร์น 1x3x3.....	38
2.41	ตัวอย่างการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน	39
2.42	ตัวอย่างการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วนของเซลล์เซกเตอร์	39
2.43	การครอบคลุม UL ที่แยแ่และเขตการแทรกสอด.....	41
2.44	มลพิษสัญญาณไหลอด	42
3.1	รูปแบบที่พิจารณา 1	44
3.2	รูปแบบที่พิจารณา 2	44
3.3	รูปแบบที่พิจารณา 3 (นำเสนอ 1).....	45
3.4	รูปแบบที่พิจารณา 4 (นำเสนอ 2).....	45
4.1	ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของไมโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 1	48
4.2	ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของไมโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 2	49
4.3	ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของไมโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 3 (นำเสนอ 1).....	49
4.4	ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของไมโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 4 (นำเสนอ 2).....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของมาโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา	51
4.6 ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของมาโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 2	51
4.7 ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของมาโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 3 (นำเสนอ 1).....	52
4.8 ค่าความจุของมาโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 4 (นำเสนอ 2)	53
4.9 เปรียบเทียบค่าความจุอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุดของไมโครเซลล์ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 2:1 (20:10 ผู้ใช้งาน) ทั้ง 4 รูปแบบพิจารณา	53
4.10 เปรียบเทียบค่าความจุอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุด ของมาโครเซลล์ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 2:1 (20:10 ผู้ใช้งาน) ทั้ง 4 รูปแบบพิจารณา.....	54
4.11 เปรียบเทียบค่าผลรวมความจุอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุด ของของระบบตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 2:1 (20:10 ผู้ใช้งาน) ทั้ง 4 รูปแบบพิจารณา	55
4.12 เปรียบเทียบค่าความจุอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุด ของไมโครเซลล์ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 3:1 (45:15 ผู้ใช้งาน) ทั้ง 4 รูปแบบพิจารณา	55
4.13 เปรียบเทียบค่าความจุสูงสุด-ต่ำสุดของมาโครเซลล์ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 3:1 (45:15 ผู้ใช้งาน) ทั้ง 4 รูปแบบที่พิจารณา	56
4.14 เปรียบเทียบค่าผลรวมความจุอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุด ของระบบตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 3:1 (45:15 ผู้ใช้งาน) ทั้ง 4 รูปแบบที่พิจารณา	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วิวัฒนาการของระบบสื่อสารแบบไร้สายในปัจจุบันมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว มีบทบาทที่สำคัญต่อมนุษย์ในยุคเทคโนโลยีสารสนเทศ ส่งผลให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารที่เป็นไปอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองต่อปริมาณผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากการใช้งานเพื่อการติดต่อสื่อสารแล้ว ได้มีการใช้งานเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การสื่อสารข้อมูลเพื่อความบันเทิง ตามความต้องการเข้าถึงการใช้งานระบบสื่อสารแบนด์วิธสูง และมีอุปกรณ์สื่อสารที่ต้องการใช้คลื่นความถี่จำนวนมาก

ที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องจากยุคที่ 1 ไปสู่ยุคที่ 5 ที่ให้อัตราเร็วสูงถึง 10 Gbps เชื่อมต่ออุปกรณ์จำนวนมากและรองรับปริมาณทราฟฟิกที่สูงมาก ในปัจจุบันมีการใช้งานเฉพาะระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ถึง 5 โดย 3GPP (Third Generation Partnership) ได้มีการกำหนดมาตรฐานดังตารางที่ 1.1 [1],[2]

ตารางที่ 1.1 พัฒนาการของมาตรฐาน 3GPP

รีลีส	รายละเอียด	อัตราเร็วสูงสุด (Mbps)	
		ขาขึ้น	ขาลง
99	W-CDMA	0.384	0.384
4	1.28 Mcps TDD (TD-SCDMA)	0.384	0.384
5	HSDPA (QPSK, 16 QAM)	0.384	14
6	HSUPA (E-DCH) และ MBMS	5.7	14
7	HSPA+ (16 QAM ขาขึ้น, 64 QAM ขาลง, MIMO,)	11	28
8	HSDPA 2 แคนเรียร์	11	42
	LTE/SAE (20MHz) 2 x 2 MIMO (ขาลง)	50-75	150-300
9	HSUPA/HSDPA 2 แคนเรียร์ และ MIMO, ดูอัลเซลล์	23	84
	HSDPA		
	SON, eMBMS, VoLTE และเฟรมโตะเซลล์		
10	HSDPA 4 แคนเรียร์	23	168
	LTE-Advance (CA), 8 MIMO (DL), 4 x MIMO (UL)	500	450-1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 1.1 3GPP รีลีส 8 ได้มีการเสนอมาตรฐาน LTE/SAE (Long-Term Evolution/System Architecture Evolution) ที่ให้เวลาแฝง (Latency) ต่ำ เมื่อใช้สายอากาศ MIMO 2x2 จะให้อัตราเร็วสูงสุด 150 Mbps ถึง 300 Mbps [2]

ส่วนรีลีส 10 LTE- A (Advance) มีการเพิ่มเทคนิค CA (Carrier Aggregation) [3] ในทางใช้ MIMO 8 สายอากาศและขาขึ้นใช้ MIMO 4 สายอากาศ นอกจากนี้ยัง สนับสนุน HetNet (Heterogeneous Network)

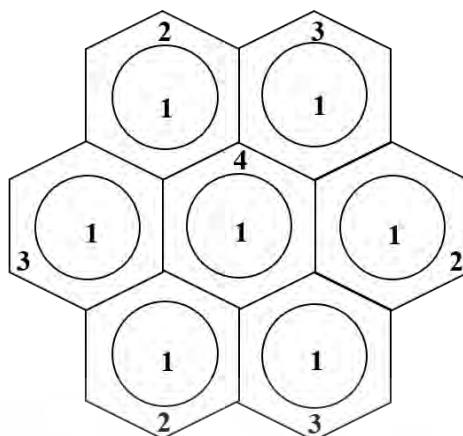
การวางแผนโครงข่าย LTE/LTE-A มีการเพิ่มเทคนิคใหม่โดยมีเป้าหมายคือการรีฟาร์ม (Re-Farming) ความถี่ได้มีการศึกษาเพื่อคาดคะเนการครอบคลุมและความจุตาม QoS ที่กำหนด เพื่อประกันว่าโครงข่ายมีความจุเพียงพอต่อความต้องการใช้งาน เพื่อให้ระบบรองรับผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3]

โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ จะใช้เทคนิคการนำความถี่มาใช้ซ้ำ (Frequency Reused) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสเปกตรัม (Spectrum Efficiency) และรองรับจำนวนผู้ใช้งานที่สูงขึ้นเทคนิคดังกล่าว จะจัดสรรความถี่ให้กับเซลล์อย่างเหมาะสมและควบคุมการแทรกสอด (Interference)

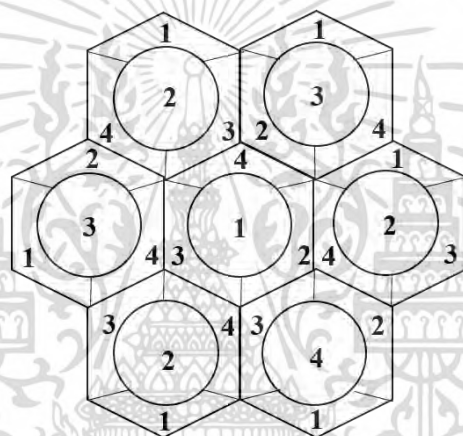
ในระบบเซลลูลาร์ที่ใช้การแทรกสอดแบ่งการแทรกสอดออกเป็น 2 ลักษณะ คือการแทรกสอดโคแชนแนล (Co-channel interference) เกิดจากการใช้งานช่องสัญญาณที่ความถี่ซ้ำกัน และการแทรกสอดจากช่องสัญญาณข้างเคียง (Adjacent-channel Interference) ปริมาณการแทรกสอดโคแชนแนลขึ้นอยู่กับระยะห่าง ระหว่างเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่ซ้ำกันถ้าระยะห่างน้อยการแทรกสอดจะสูง การแทรกสอดโคแชนแนลจะเกิดใน 2 ลักษณะคือ เกิดจาก 2 เซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำกัน เรียกว่า การแทรกสอดอินเทอร์เซลล์ (Inter-cell) คุณลักษณะช่องสัญญาณจะต่างกัน ตามเทคนิคมัลติเพล็กซ์ ระบบการแบ่งทางรหัสที่ไม่ตั้งฉาก จะเกิดการแทรกสอดระหว่างช่องสัญญาณภายในเซลล์ เรียกว่าการแทรกสอดอินทราเซลล์ (Intra-cell) จะไม่เกิดกับเทคนิคมัลติเพล็กซ์ตั้งฉาก

ที่ผ่านมาใน [4] มีการเสนอเทคนิคไมโคร/มาโครเซลล์ ที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่เหมือนกัน เพื่อเพิ่มความจุให้กับระบบ โดยพื้นที่ซึ่งมีการวางทับซ้อนของไมโคร/มาโครเซลล์ จะมีความจุสูงกว่าบริเวณที่ไม่มีการทับซ้อน แต่ต้องควบคุมการแทรกสอดระหว่างไมโครเซลล์ และมาโครเซลล์ เพื่อให้ความจุของโครงข่ายสูงสุด

ใน [5] ได้มีการนำเสนอเทคนิคการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน (Fractional Frequency Reuse : FFR) มาใช้การวางทับซ้อนของไมโคร/มาโครเซลล์ เพื่อจัดสรรช่องสัญญาณให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน ดังรูปที่ 1.1 ในไมโครเซลล์การนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ 100% เพื่อสมรรถนะสูงสุด ในมาโครเซลล์การนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ 33% กรณีไมโครเซลล์มีการแทรกสอดของ 6 เซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงกันด้วยคลื่นความถี่เดียวกัน



รูปที่ 1.1 รูปแบบไมโคร/มาโครเซลล์



รูปที่ 1.2 รูปแบบ Sectoring

ใน [6] เพื่อลดการแทรกสอดของช่องสัญญาณรวม รูปแบบของไมโคร/มาโครเซลล์ ที่ใช้สายอากาศเซกเตอร์ (Sector) มีเซลล์เซกเตอร์ดังรูปที่ 1.2 ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบอัตราส่วนกำลังต่อกำลังการแทรกสอด (Signal to Interference plus Noise Ratio: SINR) ของการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วนพิจารณาในกรณีเลวร้ายที่สุด (Worst Case) ใน [7] แสดงการใช้สายอากาศแบบรอบทิศทาง (Omnidirectional Antenna) และสายอากาศเซกเตอร์แบบ 3 เซกเตอร์ร่วมกัน ตรวจสอบโดยการจำลองด้วยโปรแกรม NS3 ผ่านสถานการณ์จำลองต่างๆ รวมทั้งใช้วิธีการวัดและหาปริมาณประสิทธิภาพโครงข่าย

ใน [8] เป็นการทำให้เซกเตอร์ออดเตอร์สูงในโครงข่ายเซลลูลาร์ OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplex Access) ที่เพิ่มการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพสเปกตรัม และพลังงานแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของการเพิ่มเซกเตอร์ที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับรูปแบบการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบ สัดส่วนในโครงข่าย LTE/LTE-A ที่มีการจัดสรรความถี่และแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณอย่าง เหมาะสมของแต่ละคลัสเตอร์ แสดงผลการวิเคราะห์อัตราส่วนกำลังต่อกำลังการแทรกสอด 4 รูปแบบ การนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบ สัดส่วน (2 รูปแบบที่เสนอก่อนหน้า [5] และ 2 รูปแบบที่เสนอใน วิทยานิพนธ์) เพื่อแสดงความจุของแต่ละรูปแบบและการจัดสรรช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการวางตำแหน่งเซลล์ซึ่งส่งผลต่ออัตราส่วนกำลัง ต่อกำลังการแทรกสอดของระบบการสื่อสารไร้สายยุคที่ 4 (LTE/LTE-A) เพื่อทราบถึงการออกแบบ ระบบที่ควรมีขนาดเซลล์และระยะห่างระหว่างเซลล์อย่างไร จึงจะเหมาะสมเพื่อให้ระบบที่มีปริมาณ ความจุสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน

ดังนั้นหากทราบถึงผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากปัจจัยดังกล่าว จะสามารถประยุกต์ใช้เพื่อเป็น แนวทางหรือเป็นข้อมูลอ้างอิงให้กับวิศวกรผู้ออกแบบระบบสามารถออกแบบระบบที่มีสมรรถนะสูงสุด

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การออกแบบระบบมีจุดมุ่งหมายในการเพิ่มปริมาณความจุสอดคล้องกับความต้องการของ ผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบันการใช้นี้ระบบ ควรได้รับการออกแบบให้มีอัตราส่วนกำลังต่อกำลังการแทรกสอดในระบบให้ปริมาณน้อยที่สุด

หากสามารถหาขนาดระหว่างไมโคร/มาโครเซลล์ ที่เหมาะสมกำหนดระยะห่างเซลล์ที่มีการนำ ความถี่มาใช้ซ้ำแบบ สัดส่วน รวมทั้งการจัดสรรแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ แสดงให้เห็นว่าระบบที่ทำการ ออกแบบมานั้นมีสมรรถนะเพียงพอที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพต่อผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่สูงสุด

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบ สัดส่วนและการจัดสรรแบนด์วิดท์ของ ช่องสัญญาณสำหรับไมโคร/มาโครเซลล์ รวมทั้งเทคนิค CA (Carrier Aggregation) มาทำการ เปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์ทั้ง 4 รูปแบบการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบ สัดส่วน (2 รูปแบบที่เสนอก่อนหน้า [5] และ 2 รูปแบบที่เสนอในวิทยานิพนธ์) ประกอบด้วยการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียเชิงวิถีส ัตราส่วนกำลังต่อกำลังการแทรกสอด (SINR) และเปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางเซลล์ที่ใช้สายอากาศ แบบรอบทิศทางและสายอากาศเซกเตอร์ หาแสดงการเพิ่มค่าความจุ (Capacity) ให้เพียงพอต่อความ ต้องการของผู้ใช้งานในแต่ละพื้นที่ใช้งาน

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ทำการศึกษาย่านความถี่แบนด์ I ความถี่ขาขึ้น 1920-1980 MHz และความถี่ขาขึ้น 2110-2170 MHz ช่องสัญญาณมี OFDM แบนด์วิดท์ 5, 10, 15, 20 MHz วิเคราะห์หาความจุของระบบทั้ง 4 รูปแบบ ผลการทดลองปริมาณความจุของผู้ใช้ระบบ LTE/LTE-A

1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1.6.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย เช่น โครงข่าย LTE การจัดวางไมโคร/มาโครเซลล์ การนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน การจัดสรรช่องสัญญาณและขนาดแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณ

1.6.2 ออกแบบการจัดวางไมโคร/มาโครเซลล์ กำหนดรูปแบบการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วนและการจัดสรรช่องสัญญาณที่ใช้ในการทดลอง

1.6.3 ทดลองการเปรียบเทียบผลจากจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับรูปแบบการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วนและการจัดสรรช่องสัญญาณแบบต่างๆ

1.6.4 สรุปผลของงานวิจัย และจัดทำวิทยานิพนธ์

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1.7.1 มีความรู้ในการออกแบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4

1.7.2 มีทักษะในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4

1.7.3 สามารถนำผลการศึกษาวิจัยไปประยุกต์ใช้งานได้

1.8 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

บทที่ 4 ผลการจำลองและการวิเคราะห์

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

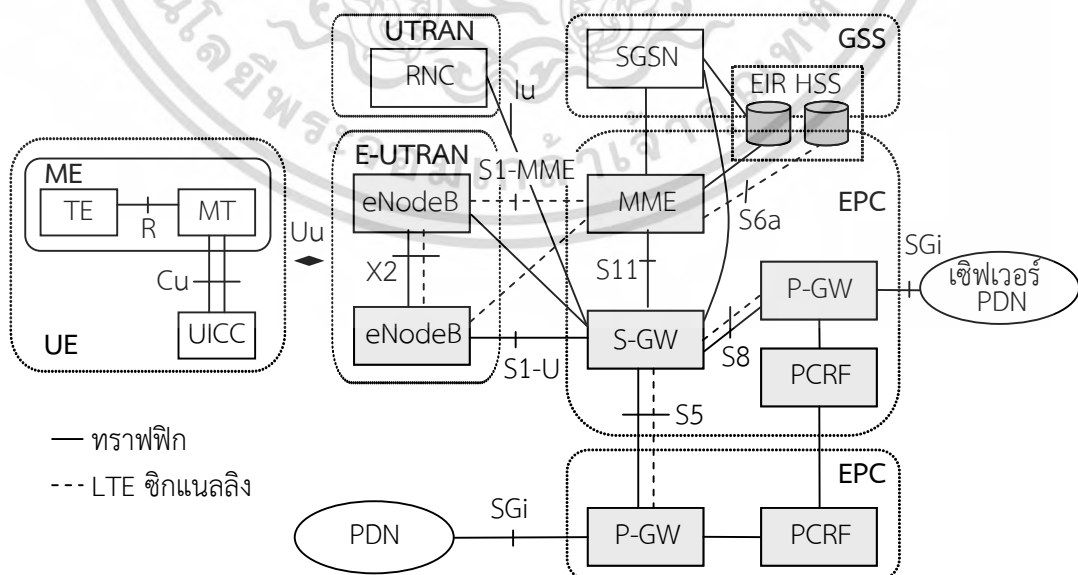
บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยได้แก่ โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ LTE/LTE-A หลักการ OFDMA และ SC-FDMA หลักการ CA การวางแผนโครงข่าย LTE/LTE-A การแพร่กระจายคลื่น การครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ การนำความถี่มาใช้ซ้ำ การนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบ สัดส่วน

2.1 โครงข่าย EPS/LTE

EPS (Evolved Packet System) รองรับบริการข้อมูลโหมต PS (Packet Service) ขนส่งเสียง และซิกแนลลิงค์ตาม IMS (IP Multimedia Subsystem) ซึ่งเป็นเอนทิตีภายนอก การแอคเซสผ่าน คลื่นวิทยุ LTE บนโครงข่ายหลักตามข้อกำหนด SAE (System Architecture Evolution) [2]

2.1.1 สถาปัตยกรรมโครงข่าย

โครงสร้างโครงข่าย EPS ดังรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย E-UTRAN (Evolution UMTS Terrestrial Radio Access Network) EPC (Evolved Packet Core) และ UE (User Equipment) ภายใน E-UTRAN ประกอบด้วย หลายๆ eNodeB (evolved NodeB) เชื่อมต่อระหว่างกันผ่านอินเทอร์เฟซ X2 และเชื่อมโยงกับ UE ในเซลล์ต่างๆ ผ่านคลื่นวิทยุ LTE (อินเทอร์เฟซ Uu) นอกจากนี้ยังเชื่อมต่อกับ EPC ผ่านอินเทอร์เฟซ S1 [2]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโครงข่าย EPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใน EPC ประกอบด้วย MME (Mobility Management Entity) รองรับกระบวนการซิกแนลลิงค์ S-GW (Serving GateWay)/P-GW (PDN GateWay) ใช้ถ่ายโอนข้อมูล PCRF (Policy and Charging Rules Function) ใช้กำหนด QoS และคิดค่าบริการ ฐานข้อมูล HSS (Home Subscriber Server) และ EIR ที่ MME ควบคุม UE ด้วยซิกแนลลิงค์เพื่อรักษาความปลอดภัย จัดการสตรีมข้อมูลและควบคุมส่วนต่างๆ P-GW แลกเปลี่ยนข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอกหรือ PDN เช่น โอเพอร์เรเตอร์เซิร์ฟเวอร์ แต่ละ PDN จะแยกแยะ APN ที่ MNO (Mobile Network Operator) ใช้แตกต่างกัน UE จะกำหนด P-GW ตามค่าตั้งต้น (default) โดยกำหนด 1 P-GW หรือมากกว่า หากมีการเชื่อมต่อไปยัง PDN ส่วน S-GW คือ เราท์เตอร์ที่ใช้ถ่ายโอนข้อมูลระหว่าง eNodeB และ P-GW นอกจากนี้ ยังมีอุปกรณ์ที่ไม่ได้แสดงในรูปที่ 2.1 คือ CBC (Cell Broadcast Centre) ของริลีสก่อนหน้า LTE ใช้ CBC กับบริการ ETWS (Earthquake and Tsunami Warning System) [9]

UE บรรจุ USIM เป็นสมาร์ตการ์ด UICC (Universal Integrated circuit Card) เก็บเลขหมายผู้ใช้งาน รายละเอียดโครงข่าย Home ที่ใช้ลงทะเบียนและรักษาความปลอดภัย UE สร้างและยกเลิกการเชื่อมต่อ รับหนึ่ง IP (Internet Protocol) แอดเดรสจาก PDN ต่างๆ E-URTAN เชื่อมโยงกับ UE ผ่านคลื่นวิทยุและเชื่อมต่อกับ EPC ผ่าน eNodeB สำหรับ eNodeB ที่สื่อสารกับ UE เรียกว่า eNodeB ใช้งาน

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะหลักของ EPS เอนทีตี [10]

ส่วนประกอบ	ส่วนประกอบ	ฟังก์ชันพื้นฐาน
EPS	MME	ซิกแนลลิงค์ และการควบคุมความปลอดภัย จัดการพื้นที่การติดตาม
EPC	S-GW	ซิกแนลลิงค์โครงข่ายหลักสำหรับการเคลื่อนที่ระหว่างโครงข่าย แอดเซส 3GPP
	P-GW	จัดการ EPS bearer การรวมมิง และการตรวจสอบการลงทะเบียน การกำหนดเส้นทางแพคเกจ และการส่งต่อ คุณภาพระดับการขนส่งของการแมปบริการ จัดสรร IP แอดเดรส การฟิลเตอร์แพคเกจ และการบังคับใช้นโยบาย การยึดเหนี่ยวผู้ใช้งานสำหรับการเคลื่อนที่ระหว่างโครงข่าย แอดเซส 3GPP

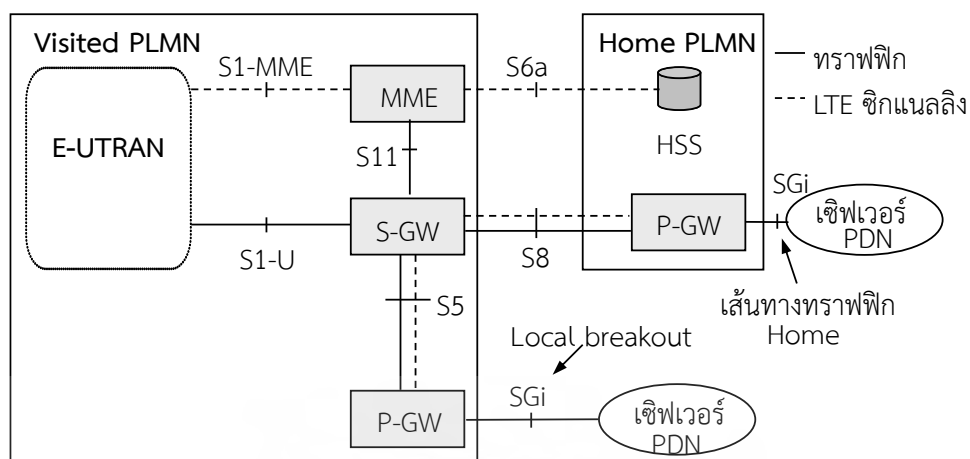
ตารางที่ 2.1 (ต่อ) คุณลักษณะหลักของ EPS เอนทีตี [10]

ส่วนประกอบ EPS	ส่วนประกอบ	ฟังก์ชันพื้นฐาน
E-UTRAN	eNodeB	จัดเตรียมโพรโทคอลเพลนผู้ใช้งาน: ชั้น PDCP, RLC, MAC, PHY และเพลนควบคุม (RRC) สำหรับผู้ใช้งาน จัดการทรัพยากรคลื่นวิทยุ การชิงโครโนซ์ E-UTRAN และการควบคุมการอินเทอร์เฟส เลือก MME

คุณลักษณะ EPS ดังตารางที่ 2.1 [10] S1-MME ใช้ S1-AP บน SCTP (Stream Control Transmission Protocol) เป็นโพรโทคอลทรานสปอร์ตที่รับประกันข้อความซิงแนลลิงค์ระหว่าง MME และ eNodeB เริ่มเชื่อมต่อ 1 โลจิคอล S1-AP ต่อ UE และหลายๆ UE ผ่าน SCTP เดียว ฟังก์ชันใน S1-AP ประกอบด้วย การเซทอัพ ปรับเปลี่ยนและยกเลิก E-RAB, เริ่มการสร้างบริบท S1 UE, ฟังก์ชันการเพจและการจัดการ S1, ฟังก์ชันทรานสปอร์ตซิงแนลลิงค์ NAS (Non-Access Stratum) ระหว่าง UE และ MME, ฟังก์ชันสถานะการถ่ายโอน, ติดตาม UE ที่แอคทีฟและรายงานตำแหน่ง, ฟังก์ชันการเคลื่อนที่สำหรับ UE เพื่อเปิดใช้งานอินทราและอินเทอร์-RAT HO (Radio Access Technology Handover)

2.1.2 การโรมมิ่ง

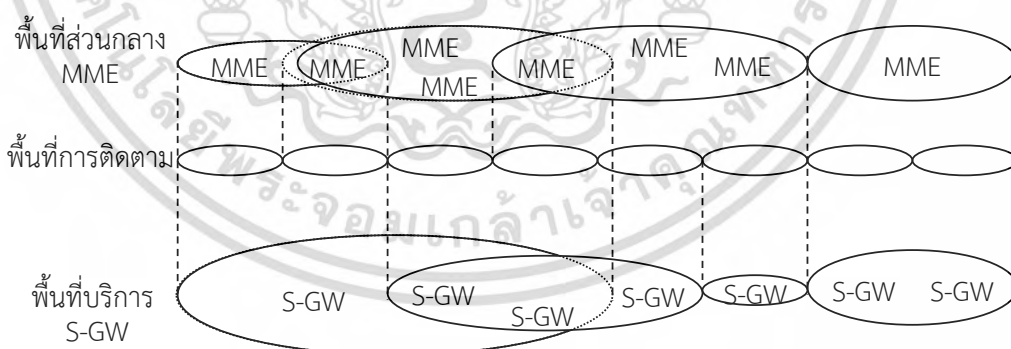
รูปที่ 2.2 Home เซิร์ฟเวอร์อยู่ใน Home PLMN (Public Land Mobile Network) ส่วน UE, E-UTRAN, MME และ S-GW อยู่ใน Visited PLMN โดย P-GW ทั้งสองโครงข่ายสื่อสารกันผ่าน อินเทอร์เน็ต Home PLMN จะเห็นกราฟฟิกทั้งหมดและเรียกเก็บเงินโดยตรง จึงต้องมีข้อตกลงในการโรมมิ่งกับ Visited PLMN ทั้งสองโครงข่ายแลกเปลี่ยนข่าวสารด้วยอินเทอร์โอเพอเรเตอร์แบคโบน (inter-operator backbone) หรือ IPX (IP packet exchange) หรือ GRX (GPRS Roaming Exchange) เดิม ส่วน IMS ใช้ใน Local Breakout สำหรับ P-GW ของ visited PLMN มีข้อดี 2 ประการ กรณีสื่อสารเสียง ผู้ใช้งานสามารถโทรออกภายในท้องถิ่น โดยกราฟฟิกไม่เดินทางกลับไปยัง Home PLMN และโทรฉุกเฉินได้ อินเทอร์เฟส S5 เมื่ออุปกรณ์ S-GW และ P-GW ในโครงข่ายเดียวกันส่วน S8 จะต่างโครงข่ายกัน



รูปที่ 2.2 โครงสร้างการรวมมิง UE จะสื่อสารกับระบบย่อยอินเทอร์เน็ตและสื่อประสม IP [9]

2.1.3 พื้นที่บนโครงข่าย

พื้นที่ EPC แบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังรูปที่ 2.3 [9] พื้นที่ส่วนกลาง MME คือพื้นที่ซึ่ง UE เคลื่อนออกจาก MME ใช้งาน MME ต่างๆ จะควบคุมพื้นที่ส่วนกลางทั้งหมด สถานีฐานต่างๆ จะเชื่อมต่อไปยัง MME ผ่าน S1-MME อินเทอร์เน็ต พื้นที่ส่วนกลางมีการทับซ้อน MNO จะทราบคุณสมบัติพื้นที่ส่วนกลางที่ครอบคลุมพื้นที่ เช่น เมืองหลัก พื้นที่บริการ S-GW รองรับ 1 เขตเวย์หรือมากกว่า เมื่อ UE เคลื่อนออกไป โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงเขตเวย์ใช้งาน สถานีฐานต่างๆ จะเชื่อมต่อทุกเขตเวย์ที่ใช้ งานด้วย S1-U อินเทอร์เน็ต พื้นที่ส่วนกลาง MME และพื้นที่บริการ S-GW จะเล็ก ส่วนที่ไม่มีทับซ้อนกัน เรียกว่า พื้นที่การติดตาม ใช้ติดตามตำแหน่ง UE ที่พร้อมใช้งาน

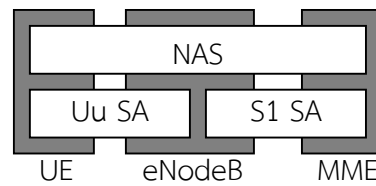


รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่การติดตาม พื้นที่กองกลาง MME และพื้นที่บริการ S-GW

2.1.4 โพรโทคอลสื่อสาร

การอินเทอร์เน็ตผ่านคลื่นวิทยุดังรูปที่ 2.4 MME จะควบคุม UE ในระดับสูง หากการส่งข้อความซิกแนลลิงค์ไม่มีเส้นทางตรงระหว่าง MME และ UE จะส่งข่าวสารเหล่านั้นได้ แบ่งการ

อินเทอร์เน็ตผ่านคลื่นวิทยุออกเป็น 2 ระดับคือ AS (Access Stratum) และ NAS การขนส่งข้อความซิกแนลลิงค์ NAS โดยใช้โปรโตคอล AS ของ S1 และ Uu อินเทอร์เน็ต



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการแอคเซสผ่านชั้นและไม่ผ่านชั้นบนการอินเทอร์เน็ตผ่านคลื่นวิทยุ

2.1.4.1 โปรโตคอลการส่งของโครงข่ายที่ใช้สาย

ใช้มาตรฐานโปรโตคอล IETF ดังรูปที่ 2.5 ที่ด้านล่างของสแตก โครงข่ายทรานสปอร์ตใช้โปรโตคอลต่างๆ ในชั้นที่ 1 และ 2 เช่น อินเทอร์เน็ต ที่สนับสนุนโปรโตคอลอื่นคือ MPLS (Multiprotocol Label Switching) ส่วน ประกอบโครงข่ายสัมพันธ์กับ IP แอดเดรส โครงข่ายใช้ IP สร้างเส้นทางจากส่วนประกอบหนึ่งไปยังส่วนอื่นๆ LTE รองรับ IPv4 และ IPv6 สำหรับ IP โปรโตคอลชั้นทรานสปอร์ตข้ามอินเทอร์เน็ตระหว่างแต่ละคู่ของส่วนประกอบ ใช้ 3 โปรโตคอลทรานสปอร์ตคือ UDP (User Data Protocol) ส่งแพคเกจข้อมูลจากโครงข่ายหนึ่งไปยังโครงข่ายอื่น TCP (Transmission Control Protocol) ใช้ส่งข้อมูลแพคเกจเมื่อเกิดความผิดพลาดและ SCTP ตาม TCP

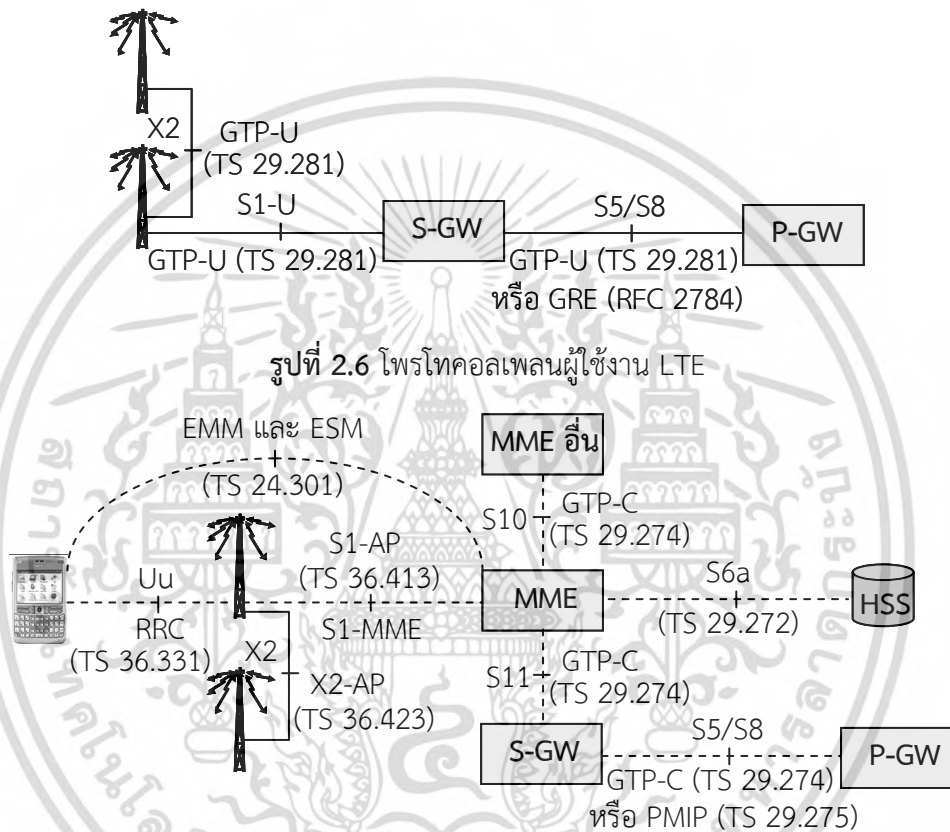


รูปที่ 2.5 โปรโตคอลทรานสปอร์ตบนโครงข่ายที่ใช้สาย

อินเทอร์เน็ตเฟส S6a ใช้โปรโตคอล Diameter ตรวจสอบการลงทะเบียนและเลขหมายตาม โปรโตคอล RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service) ส่วนอินเทอร์เน็ตอื่นๆ ใช้โปรโตคอล GTP-C (GPRS tunneling protocol control part) เป็นการสื่อสารจุดต่อจุดระหว่างส่วนต่างๆ และจัดการ GTP-U (GPRS Tunneling Protocol User Part) ใน LTE ใช้ GTPv2-C ส่วน 1 GTPv1-C ใช้ในแพคเกจสวิตช์ 2G/3G

2.1.4.2 โพรโทคอลเฟลนผู้ใช้งาน

เฟลนผู้ใช้งานบรรจุกลไกการส่งข้อมูลระหว่าง UE กับ P-GW ตอบสนองการเปลี่ยนตำแหน่งของ UE รูปที่ 2.6 LTE ใช้โพรโทคอล GTP-U เวอร์ชัน 1 คือ GTPv1-U อินเทอร์เฟซ S5/S8 อยู่ระหว่าง S-GW และ P-GW ตามมาตรฐาน IETF เรียกว่า GRE (Genetic Routing Encapsulation) GTP-U และ GRE ส่งต่อแพคเกจจากโครงหนึ่งไปยังโครงข่ายอื่น โดยใช้เทคนิคการสร้างอุโมงค์



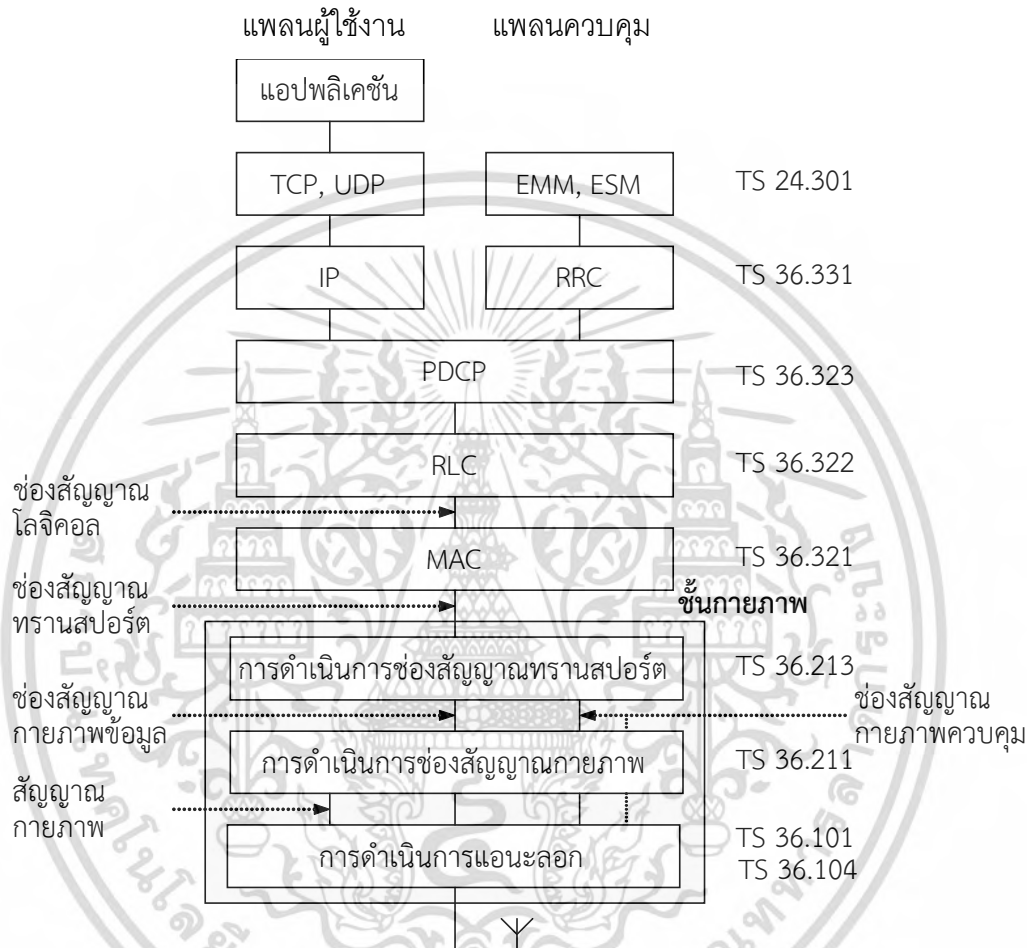
2.1.4.3 โพรโทคอลเฟลนซิกแนลลิงค์

รูปที่ 2.7 สถานีฐานจะควบคุมการสื่อสารกับ UE ด้วยข้อความซิกแนลลิงค์ตามโพรโทคอล RRC การแอคเซสผ่านคลื่นวิทยุ MME จะควบคุมสถานีฐานในพื้นที่ใช้งานรวม โดยใช้ S1-AP (S1 Application Protocol) 2 สถานีฐานใช้ X2-AP (X2 Application Protocol) MME ควบคุม UE โดยใช้ 2 โพรโทคอล NAS บนคลื่นวิทยุ ESM (EPS session management) ควบคุมสตรีมข้อมูลที่สื่อสารกันทั่วโลกและ EMM (EPS mobility management) ถือครองการทำบัญชีภายใน EPC โครงข่ายขนส่งข่าวสาร EMM และ ESM โดยฝังใน RRC และข่าวสาร S1-AP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.4 โพรโทคอลการส่งผ่านคลื่นวิทยุ LTE

รูปที่ 2.8 เพลนผู้ใช้งาน ชั้นแอปพลิเคชันสร้างแพคเกจข้อมูล เช่น TCP, UDP และ IP เพลนควบคุมโพรโทคอล RRC แลกเปลี่ยนข้อความซิกแนลลิงค์ระหว่าง eNodeB และ UE ข่าวสารทั้งสองเพลนประมวลผลที่ชั้น PDCP, RLC และ MAC ส่งไปยังชั้นกายภาพซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วน การดำเนินการช่องสัญญาณทรานสปอร์ต ใช้จัดการความผิดพลาด



รูปที่ 2.8 โพรโทคอลการอินเทอร์เฟซผ่านคลื่นวิทยุ

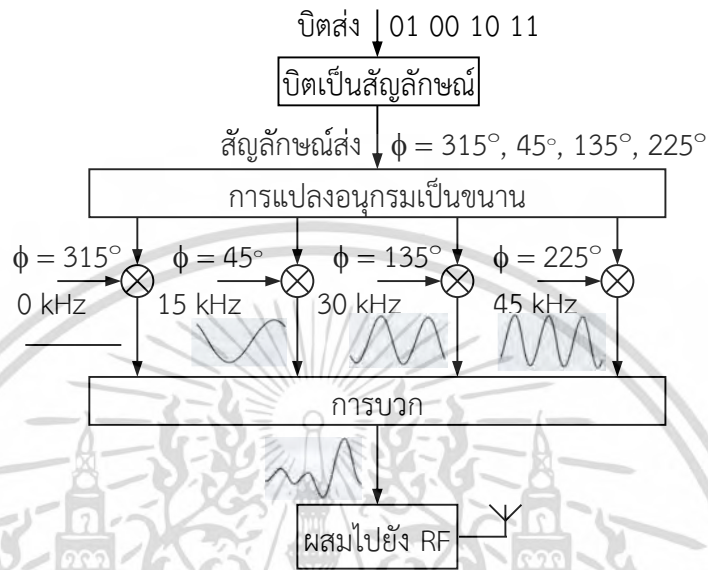
LTE ดำเนินการช่องสัญญาณกายภาพ ขาลงใช้เทคนิค OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplex Access) ขาขึ้นใช้เทคนิค SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiplex Access) และสายอากาศมัลติเพล็กซ์ การดำเนินการแอนะล็อกจะแปลงข่าวสารให้อยู่ในรูปสัญญาณแอนะล็อก ส่งผ่านฟิลเตอร์ทำการมอดูเลตกับความถี่พาห้และส่งออก

2.2 OFDMA และ SC-FDMA

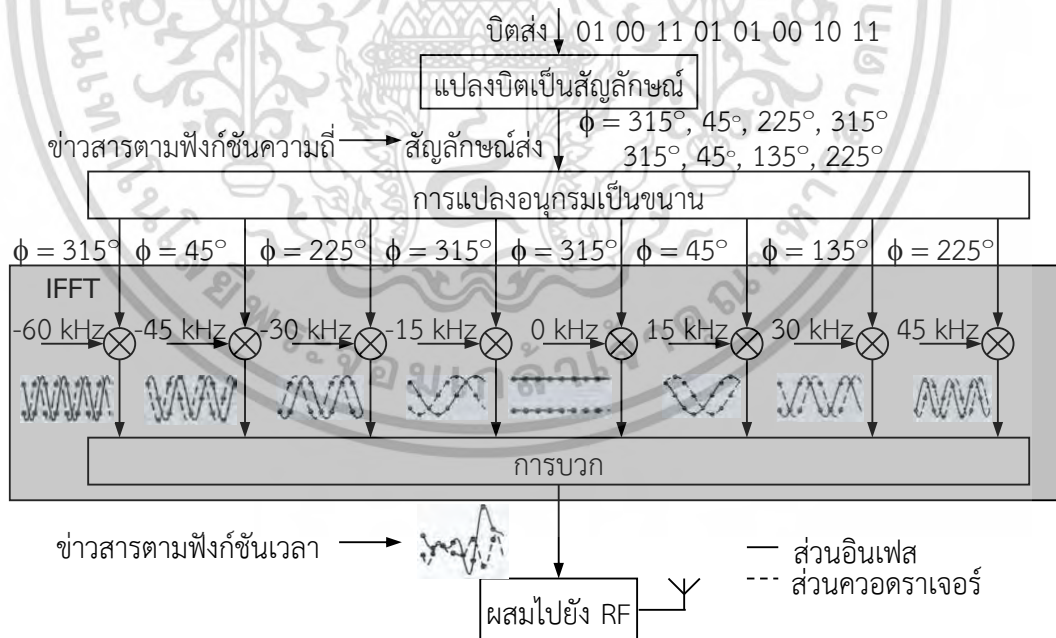
OFDM มอดูเลตข้อมูลกับซับแคเรียร์ (sub-carriers) ดังฉาก รูปที่ 2.9 แปลงบิตเป็นสัญลักษณ์ เพื่อเลือกการมอดูเลต กรณี QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) มี 4 สัญลักษณ์ การแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุกรมเป็นขนานรวมแต่ละสัญลักษณ์กับ 1 คลื่นพาที่ย่อยแบนด์วิดท์ 15 kHz แทน แอมพลิจูดและเฟสด้วยสัญญาณไซน์ ความถี่ 0, 15, 30 และ 45 kHz ส่ง 8 บิตรวมกับสัญญาณไซน์ผสมเป็นสัญญาณ RF (Radio Frequency) เพื่อส่ง [9]



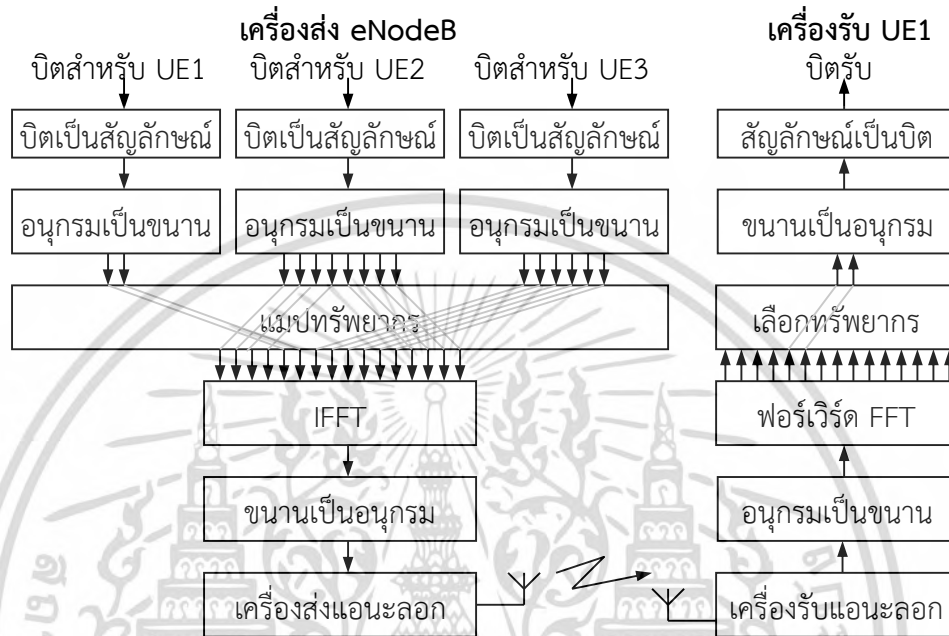
รูปที่ 2.9 เครื่องส่ง OFDM แอนะลอกอย่างง่าย



รูปที่ 2.10 เครื่องส่ง OFDM ดิจิทัล

รูปที่ 2.10 เพิ่มซัพแคเรียร์ -15, -30, -45 และ -60 kHz ตัวอย่าง 800.015 MHz (15kHz) และ 799.985 MHz (-15kHz) ส่วนอินเฟส 15 kHz/-15 kHz เหมือนกัน ส่วนควอดราเจอร์แตกต่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันผสมความถี่เป็นสัญญาณ RF ส่วนควอดราเจอร์จะถูกตัดทิ้ง แคมป์เบลส่วนอินเฟสและควอดราเจอร์ 8 ครั้งต่อสัญลักษณ์ สอดคล้องกับแคมป์เบลซ์พแคเรียร์ -60 kHz หรือสองเท่า ในทุกวงรอบ จำนวน แคมป์เบลต่อสัญลักษณ์ต่ำสุดเท่ากับจำนวนซัพแคเรียร์ ได้สัญญาณโดเมนเวลาบรรจุข่าวสารทั้งหมด แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก ส่งผ่านฟิลเตอร์และผสมเป็น RF เพื่อส่ง



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของการรับส่ง OFDMA

รูปที่ 2.11 สถานิฐานส่งบิตสตรีมไปยัง UE 1 ถึง 3 ด้วยมอดูเลตต่างกัน จำนวนสตรีมย่อยต่อ UE ขึ้นอยู่กับอัตราเร็ว ตัวแมปทรัพยากรเลือกคลื่นพาทีย่อยสำหรับ UE ในหนึ่งบล็อกต่อเนื่อง (UE1 และ 3) หรือแบ่ง (UE2) แอมพลิจูดและเฟสแต่ละคลื่นพาทีย่อยในฟังก์ชันความถี่ส่งผ่าน IFFT (Inverse fast Fourier transform) ขนาดดังตารางที่ 2.2 คำนวนส่วนอินเฟส และควอดราเจอร์ใน โดเมนเวลาผสมไปยัง RF เพื่อส่ง

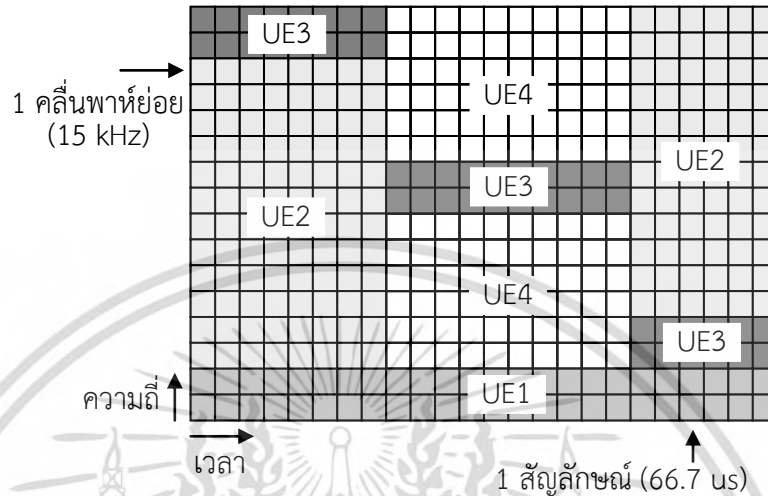
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติ OFDM และการจัดเรียงเฟรมในโดเมนความถี่

แบนด์วิทช์ช่องสัญญาณ (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
ขนาด IFFT	128	256	512	1,024	1,536	2,048
ความกว้างซัพแคเรียร์ (kHz)	15	15	15	15	15	15
ซัพแคเรียร์ DC	1	1	1	1	1	1
จำนวนซัพแคเรียร์ (ไม่มี DC)	72	150	300	600	750	1200
แบนด์วิทช์ที่ใช้ (MHz)	1.08	2.7	4.5	9	13.5	18
จำนวน RB	6	15	25	50	75	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 มัลติเพล็กซ์

รูปที่ 2.12 สถานีฐานส่งสัญญาณไปยัง UE บนเวลาและความถี่ที่แตกต่างกัน UE1 รับสตรีม IP เสียงอัตราเร็วต่ำ ที่จัดสรรคลื่นพาห์ย่อยคงที่ UE2 รับสตรีมข้อมูล NRT มีอัตราเฉลี่ยสูงขึ้น UE3 และ 4 รับสตรีม VoIP ที่จัดสรรชีพแคเรียร์ ตามรูปแบบของเฟดดิ้ง



รูปที่ 2.12 มัลติเพล็กซ์บนเวลา และความถี่ของ OFDMA

2.2.2 การใส่ CP (Cyclic Prefix) และการคาดคะเนช่องสัญญาณ

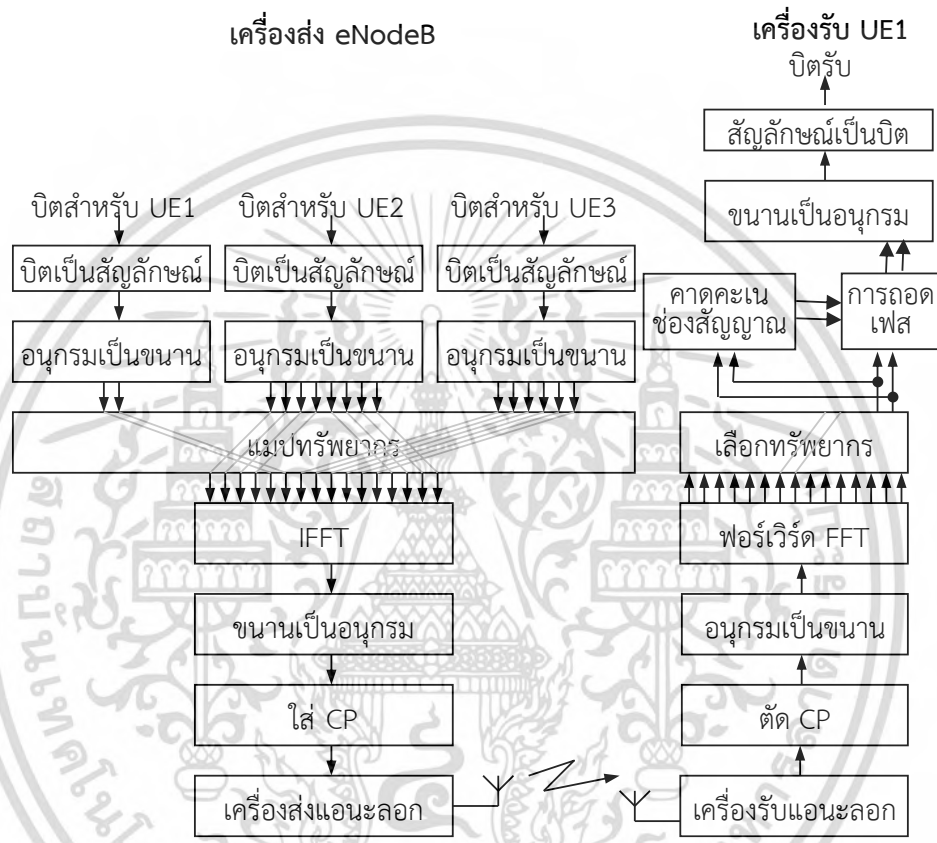
เครื่องรับได้รับ 1 สัญลักษณ์จากเส้นทางตรงและสัญลักษณ์อื่นๆ จากเส้นทางสะท้อนหากดีเลย์มากกว่า 2 สัญลักษณ์ เกิดการทับซ้อนดังรูปที่ 2.13 สัญลักษณ์จากเส้นทางที่มีระยะทางยาวที่สุดและสั้นที่สุด เกิดทับซ้อนกันหรือเกิด ISI ทำให้เกิดบิดผิดผลาดที่เครื่องรับเพิ่มขึ้น จะเพิ่ม 2 กระบวนการดังรูปที่ 2.14 เครื่องส่งจะใส่ CP ในสตรีมข้อมูล ซึ่งจะถูกตัดออกที่เครื่องรับ ส่วนเครื่องรับจะเพิ่มการคาดคะเนช่องสัญญาณ และการอีควอไลซ์ (Equalization)



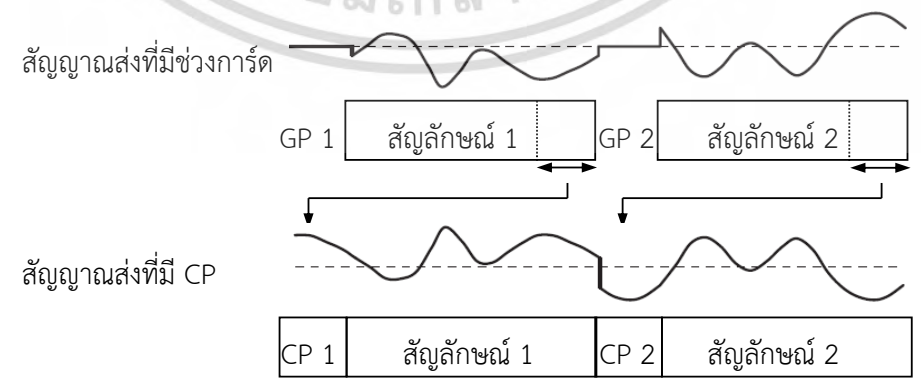
รูปที่ 2.13 การเกิด ISI ในสภาพแวดล้อมที่เกิดมัลติพาท

การใส่ GP (guard period) ก่อนแต่ละสัญลักษณ์เพื่อตัด ISI หากความยาวมากกว่าดีเลย์สเปรด เครื่องรับจะอ่านสัญลักษณ์เดียวโดยไม่มีการทับซ้อน การใส่ CP ใน LTE ดังรูปที่ 2.15 เมื่อส่ง 1 สัญลักษณ์และสัญลักษณ์ถัดไป แอมพลิจูดและเฟสเริ่มต้นและสิ้นสุดของแต่ละสัญลักษณ์เท่ากัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสภาพแวดล้อม มัลติพาท เครื่องรับได้รับหลายสัญญาณไซน์ต้นฉบับที่ความถี่เหมือนกัน แต่แอมพลิจูดและเฟสต่างกันดังรูปที่ 2.16 เมื่อสัญญาณรับเปลี่ยนแปลงราบเรียบ การแปลง CP ไปยังสัญลักษณ์ จะบดพร่องเล็กน้อยเฉพาะตรงเริ่มต้น CP และสิ้นสุดสัญลักษณ์ เครื่องรับจะรับสัญญาณภายใน หน้าต่างที่ยาวเท่ากับเวลาสัญลักษณ์ และละทิ้งส่วนเกินเมื่อตำแหน่งหน้าต่างถูกต้องสัญญาณรับจะ ถูกต้อง เกิดข้อบกพร่องเมื่อแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลง และมีการเลื่อนเฟสเครื่องรับจะชดเชยด้วยการ คาดคะเนช่องสัญญาณและการอีควอไลซ์ จึงไม่มีการแทรกสอดระหว่างคลื่นพายุย่อย



รูปที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและรับ OFDMA ที่มีการใส่ CP



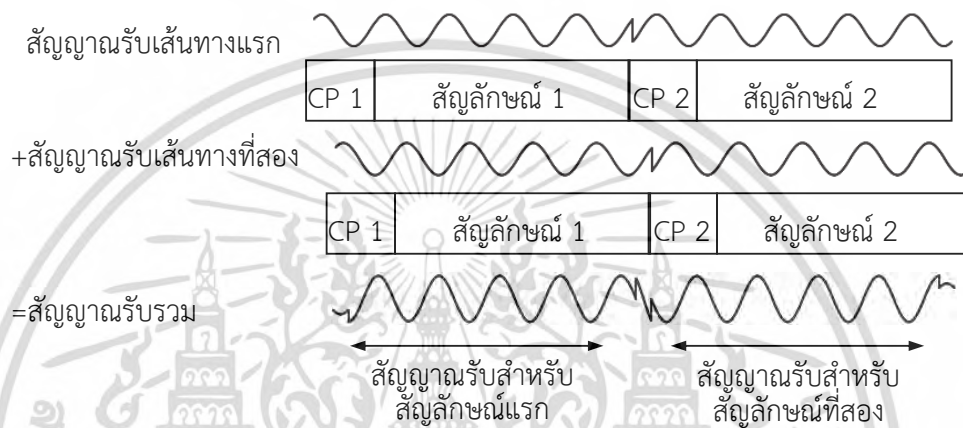
รูปที่ 2.15 การใส่ CP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

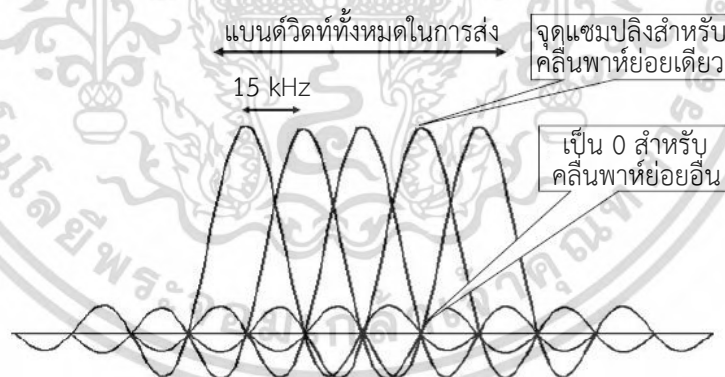
2.2.3 สัญญาณในโดเมนความถี่

สัญญาณในโดเมนความถี่ดังรูปที่ 2.17 ตามฟังก์ชัน SINC มี 1 คลื่นพาทย์ย่อยสูงสุด ส่วนคลื่นพาทย์ย่อยอื่นๆ เป็น 0 จำนวนคลื่นพาทย์ย่อยขึ้นอยู่กับแบนด์วิธของสัญญาณดังตารางที่ 2.2

OFDMA มีข้อเสียที่ กำลังส่งมี PAPR (Peak to Average Power Ratio) สูงจากอุปกรณ์ขยายกำลังที่เครื่องส่ง หากไม่เป็นเชิงเส้น สัญญาณเอาต์พุตจะถูกกดทอนในโดเมนเวลา สัญญาณจะรั่วไหลไปยังแบนด์ความถี่ที่อยู่ติดกัน เกิดการแทรกสอดไปยังเครื่องรับอื่น จึงไม่ใช่ OFDMA ในขาขึ้น



รูปที่ 2.16 การทำงานของ CP บนคลื่นพาทย์ย่อยเดียว



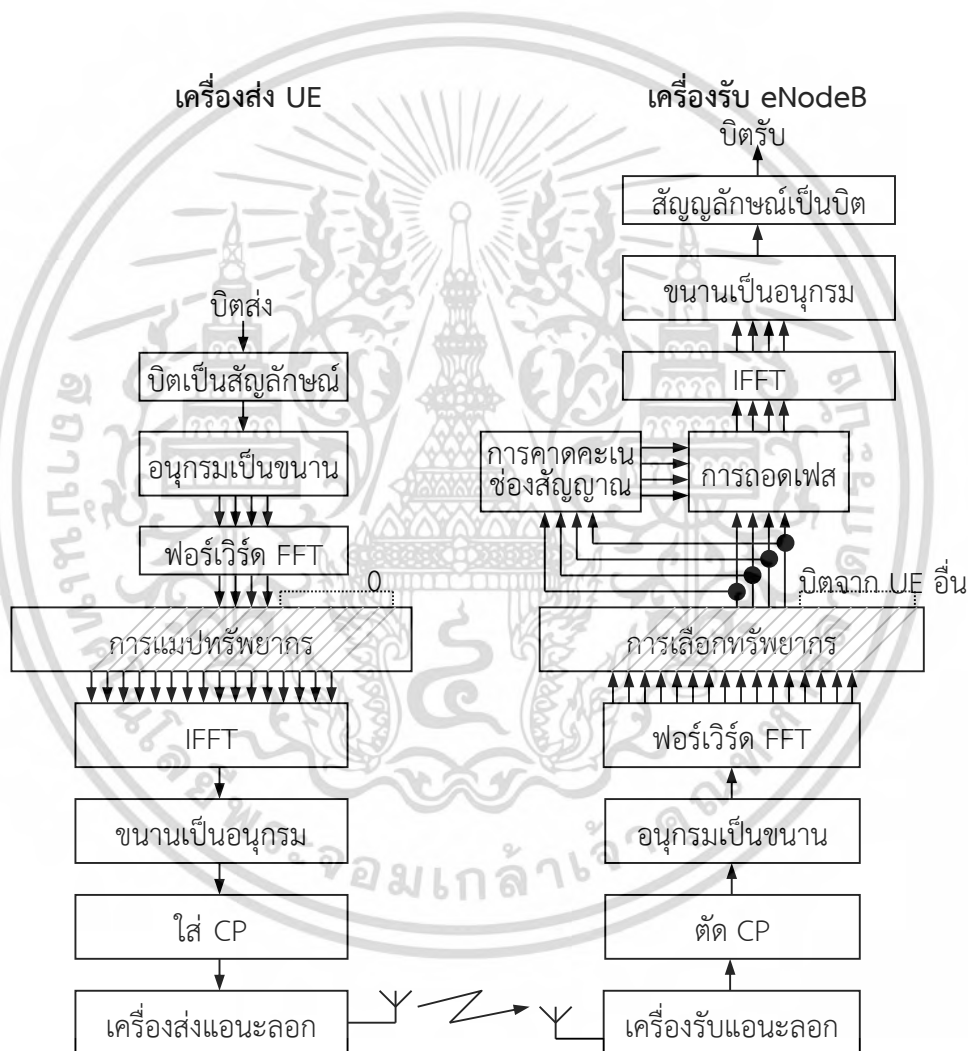
รูปที่ 2.17 แอมพลิจูดของสัญญาณส่งบนคลื่นพาทย์ย่อยข้างเคียงตามฟังก์ชันความถี่

2.2.4 SC-FDMA

เทคนิค SC-FDMA มี 3 สิ่งต่างไปจาก OFDMA (1). เครื่องส่ง SC-FDMA จะเพิ่มฟอร์เวิร์ด FFT ดังรูปที่ 2.18 ผสมสัญลักษณ์ที่กำลังเปลี่ยนแปลงต่ำสุดและรองรับ IFFT ในเครื่องรับ (2). UE ใช้บางคลื่นพาทย์ย่อยและกำหนดคลื่นพาทย์ย่อยที่ไม่ใช้งานเป็น 0 เพื่อให้ UE อื่นภายในเซลล์ใช้งานและ (3). แต่ละ UE ส่งบล็อกคลื่นพาทย์ย่อยต่อเนื่องไม่มีช่องว่างภายใน มีการเปลี่ยนแปลงกำลังต่ำสุด อินพุตที่มายังฟอร์เวิร์ด FFT คือลำดับสัญลักษณ์ในโดเมนเวลา แปลงให้เป็นโดเมนความถี่ ตัวแมปทรัพยากรเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเลื่อนไปยังศูนย์กลางความถี่และ IFFT แปลงไปยังโดเมนเวลา เหมือนกับสัญญาณมอดูเลตต้นฉบับที่เลื่อนไปยังศูนย์กลางความถี่อื่นๆ กำลังสัญญาณ QPSK จะคงที่ ส่วน 16 QAM และ 64 QAM เปลี่ยนแปลงมาก เพื่อให้ได้ผลดังกล่าวสัญญาณส่งต้องมีกำลังคงที่ [9]

ตัวอย่าง UE ใช้ 4 คลื่นพาหีย่อยจากทั้งหมด 256 มีอินพุตดังรูปที่ 2.19 (ก) ลำดับของ 4 สัญลักษณ์ QPSK มีค่า $[I,Q]$ $[1,1]$, $[1,-1]$, $[-1,1]$, $[-1,-1]$ หากส่งข้อมูลบน 4 คลื่นพาหีย่อยดังรูปที่ 2.19 (ข) คล้ายกับ QPSK ต้นฉบับ ต่างไปเฉพาะการแก้ไขที่ราบเรียบระหว่าง 256 แซมเปิลในโดเมนเวลา รอบการห่อหุ้มลำดับข้อมูลไปยัง FFT ปกติ หากเลื่อนข้อมูลไป 32 ซัพแคเรียร์ เกิดการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 2.19 (ค) สัญญาณจะเกิดการหมุนเฟสที่เปลี่ยนแปลงเพิ่ม



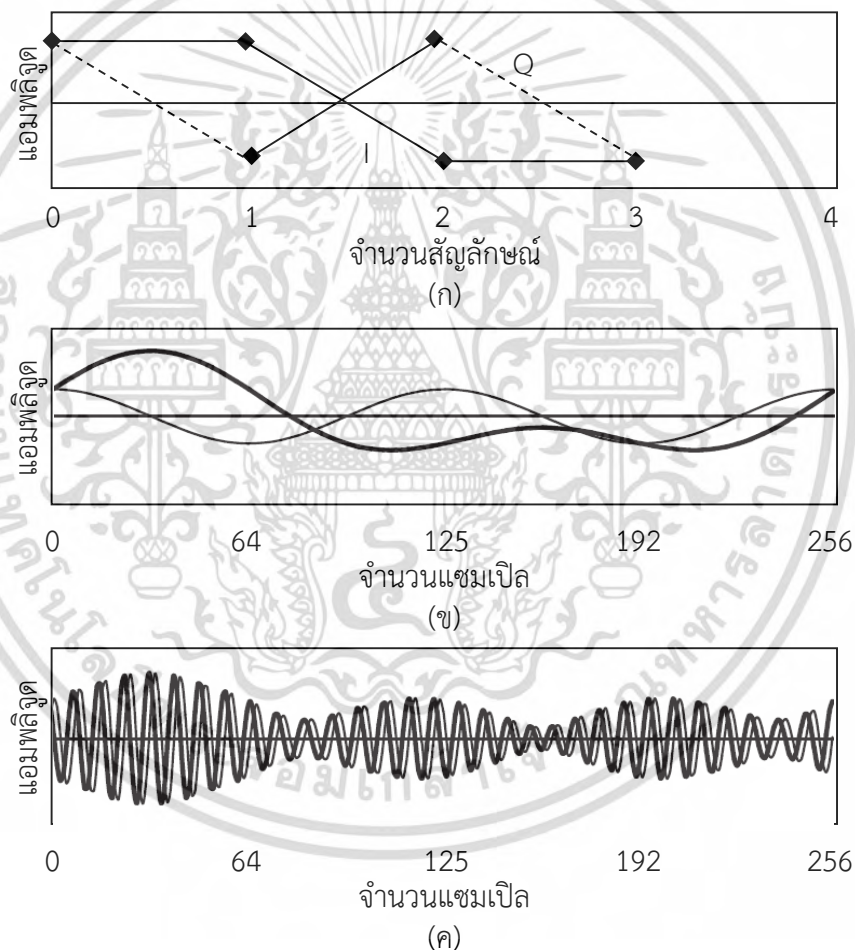
รูปที่ 2.18 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งและเครื่องรับ SC-FDMA

2.3 โครงสร้างเฟรม

โครงสร้างเฟรมชนิดที่ 1 LTE-FDD ดังรูปที่ 2.20 แทนช่องสัญญาณย่อยด้วย PRB (Physical Resource Block) ทรัพยากรในกริดเวลา และความถี่บรรจุ 12 ซัพแคเรียร์ เรียงต่อกันสำหรับ 1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

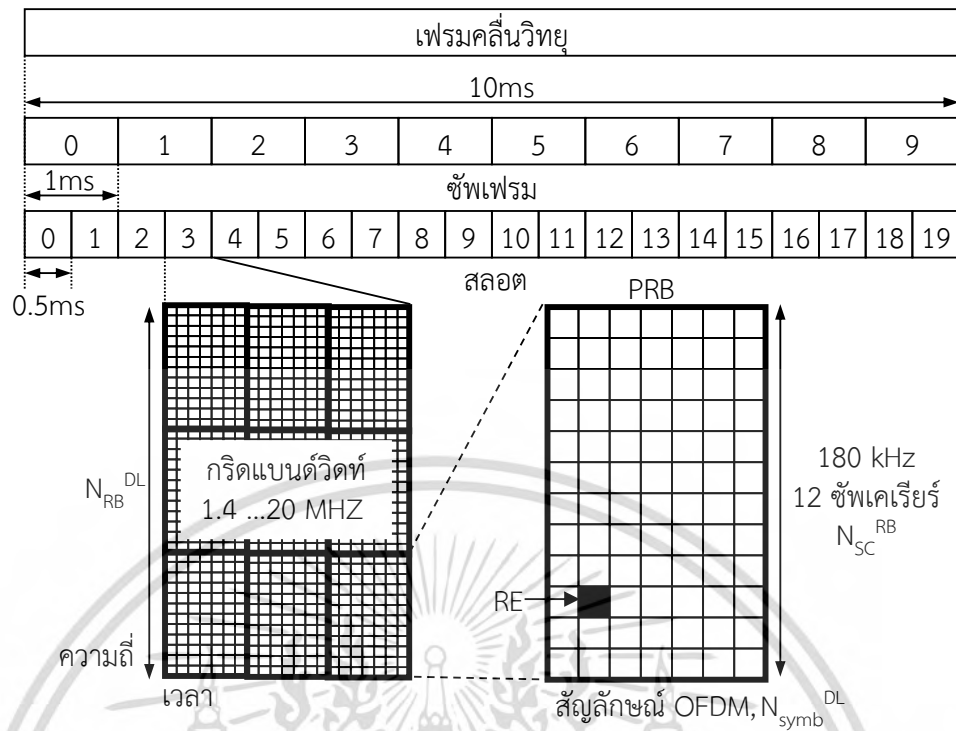
สล็อต 0.5 ms N_{RB}^{DL} คือจำนวน RB ใน DL ขึ้นอยู่กับแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ N_{RB}^{UL} คือจำนวน RB ใน UL แต่ละ RB ประกอบด้วย N_{SC}^{RB} ซับแคเรียร์ PRB ระบุการจัดสรร CP แบบปกติ 6 สัญลักษณ์ หรือ CPแบบขยาย 7 สัญลักษณ์

RE (Resource Element) ใช้ 1 ซับแคเรียร์กับ 1 สัญลักษณ์ เพื่อขนส่งข่าวสารมอดูเลต, RI (Reference Information) ตัวกำหนดการ eNB กำหนด RB ให้ UE ต่อเนื่อง ด้วยซับแคเรียร์จาก 1 RB ไปยัง RB อื่นเรียงลำดับ เรียกว่า "RB ท้องถิ่นเสมือน" กำหนดการ RB ที่กระจายบางส่วน ทรัพยากรต่อเนื่องและบางส่วนกำหนดไว้ล่วงหน้าต่างกันเรียกว่า "RB กระจายเสมือน" ข่าวสารช่องสัญญาณข่าวสารควบคุม เช่น PDCCH (Physical Downlink Control Channel) แชร่กริตเวลา/ความถี่ส่วนแบนด์วิดท์กับช่องสัญญาณข้อมูล เช่น PDSCH



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างรูปสัญญาณ SC-FDMA

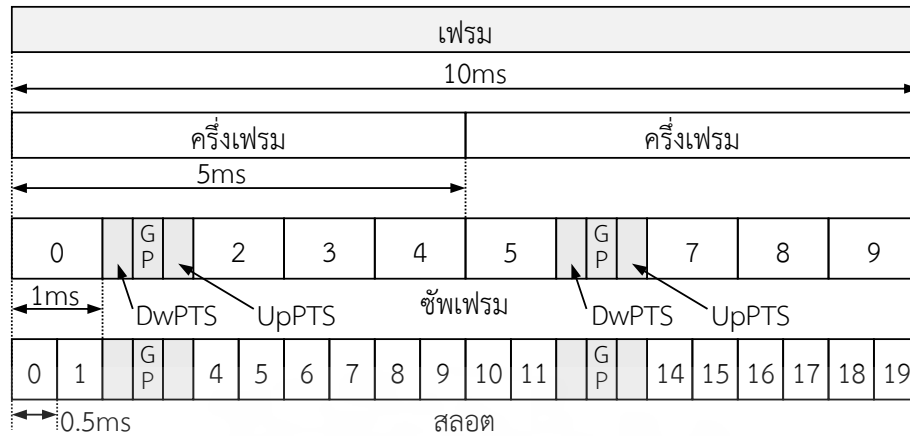
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 โครงสร้างเฟรม LTE-FDD

ขอบเขตควบคุมจำกัดที่ 3 สัญลักษณ์แรกของซัพเฟรม (แบนด์วิดท์ขนาดใหญ่) และ 4 สัญลักษณ์ (แบนด์วิดท์ขนาดเล็ก) การจัดสรรกำหนดโดย CCE (Control Channel Element) และ REG (Resource Element Group) แต่ละ CCE ประกอบด้วย 36 RE ได้จาก 9 REG x 4RE ใช้งานต่อ REG

โครงสร้างเฟรมชนิดที่ 2 LTE-TDD ดังรูปที่ 2.21 แต่ละไทม์สล็อตมี 3 พิลด์ : DwPTS (Downlink Pilot Time-slot) UpPTS (Uplink Pilot Time-slot) และ GP (Gap Period) การกำหนดค่า 0, 1, 2 และ 6 มีสอง ขาลง → ขาขึ้น และสอง ขาขึ้น → ขาลง จุดสวิตช์ ในแต่ละ 10 ms การกำหนดค่า 3, 4 และ 5 มีหนึ่ง ขาลง → ขาขึ้น และ ขาขึ้น → ขาลง จุดสวิตช์ ในแต่ละ 10 ms ดังตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.21 โครงสร้างเฟรม LTE-TDD

ตารางที่ 2.3 เฟรมคลื่นวิทยุ TDD

กำหนดค่า	ช่วงการสวิตช์	จำนวนช่องเฟรม												
		UL-DL	DL	ไปยัง UL	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U			
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D			
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D			
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D			
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D			
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D			
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U			

D = DL U = DL S = พิเศษ

ช่องเฟรมพิเศษดังตารางที่ 2.4 แทนเทรโดอระหว่างทรูพุทและการครอบคลุุม DwPTS สงวนไว้สำหรับ DL ส่วน UpPTS สงวนไว้สำหรับ UL ต้องการช่วงการ์ดที่ใหญ่กว่า หากเพิ่มการรองรับเวลาการแพร่กระจายคลื่นที่มากขึ้น ทรูพุทพิค LTE-TDD ผู้ใช้งาน DL/UL ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 แพทเทิร์นช่องเฟรมพิเศษ TDD

กำหนด	CP ปกติ			CP ขยาย			
	ค่า	DwPTS	GP	UpPTS	DwPTS	GP	UpPTS
0	3	10	1	สัญลักษณ์ OFDM	3	8	1 สัญลักษณ์ OFDM
1	9	4			8	3	
2	10	3			9	2	

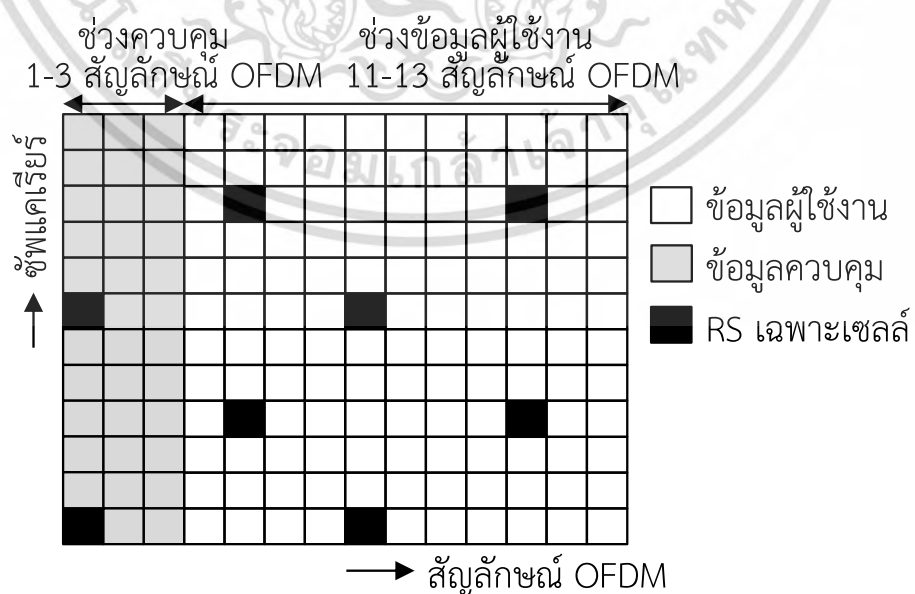
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) แพทเทิร์นซัพเฟรมพิเศษ TDD

กำหนด ค่า	CP ปกติ			CP ขยาย		
	DwPTS	GP	UpPTS	DwPTS	GP	UpPTS
3	11	2		10	1	
4	12	1		3	7	2 สัญลักษณ์ OFDM
5	3	9	2 สัญลักษณ์ OFDM	8	2	
6	9	3		9	1	
7	10	2		-	-	-
8	11	1		-	-	-

ตารางที่ 2.5 ทฤษฎีพีซีผู้ใช้งาน DL/UL (แพทเทิร์นซัพเฟรมพิเศษ 7, ทรัพยากร PUCCH 4PRB)

กำหนดค่าเฟรม UL/DL	โหมดส่ง	ทฤษฎี DL L1 (Mbps)	ทฤษฎี UL L1 (Mbps)
Con1 (DL:UL=2:2)/Con2 (DL:UL=3:1)	TM3	59.6/80	
Con1 (DL:UL=2:2)/Con2 (DL:UL=3:1)	TM7	34.0/46.8	
Con1 (DL:UL=2:2)/Con2 (DL:UL=3:1)	-	-	20.4/10.2



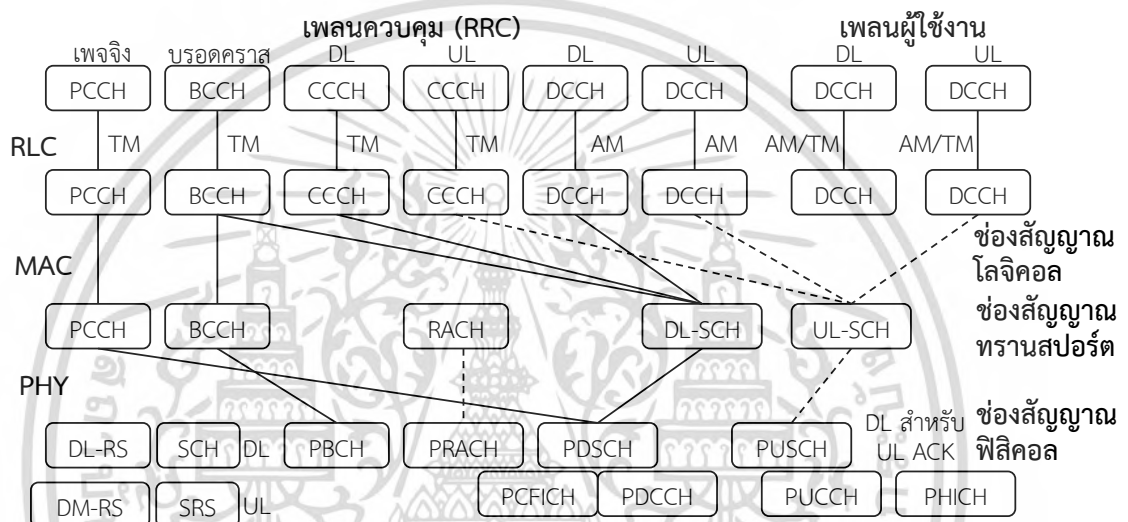
รูปที่ 2.22 การจัด RG (Resource Grid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกิจกรรมการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RG (Resource Grid) ของแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณมากกว่า 1.4 MHz ดังรูปที่ 2.22 แต่ละส่วนทรัพยากรบรรจุสัญลักษณ์มอดูเลต 3 ชนิด ข้อมูลผู้ใช้งาน: ช่องสัญญาณฟิสิกอลขนส่งข้อมูลผู้ใช้งาน จัดสรรแบนด์วิดท์ตามปริมาณข้อมูล และความจุเซลล์ ข้อมูลควบคุม: ช่องสัญญาณฟิสิกอลขนส่งข่าวสารควบคุม ปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์ตามเงื่อนไขช่องสัญญาณ และความจุเซลล์ RS: ช่องสัญญาณฟิสิกอลขนส่งสัญญาณไหลตหรือสัญญาณซิงค์ มีการจัดสรรตายตัว

2.4 ช่องสัญญาณ LTE

ช่องสัญญาณ LTE ในแต่ละเลเยอร์ มีการแมประหว่างเลเยอร์ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ช่องสัญญาณ LTE และการแมประหว่างเลเยอร์ [10]

ช่องสัญญาณโลจิคอลควบคุม – BCCH (Broadcast Control Channel) ใช้ขนส่งข้อความ SI (System Information) จาก eNB - PCCH (Paging Control Channel) ใช้ขนส่งข่าวสารการเพลง - CCCH (Common Control Channel) สร้างการเชื่อมต่อ RRC, SRB ใช้ SRB (System Radio Block) ในขั้นตอนสร้างการเชื่อมต่อใหม่หลังจากสายหลุด แมป SRB 0 ไปยัง CCCH ที่ใช้ทั้งสองทิศทาง - DCCH ใช้ขนส่งซิงแนลลิงค์ เมื่อ 2 DCCH (Dedicated Control Channel) แอคทิฟ ใช้หนึ่งกับ SRB1 ขนส่งข้อความ RRC รวมถึงซิงแนลลิงค์ NAS อีกหนึ่งใช้กับ SRB2 ขนส่งซิงแนลลิงค์ NAS ที่มีลำดับความสำคัญต่ำไป-กลับ บนข้อความ RRC ก่อนการสร้างใหม่ ส่งซิงแนลลิงค์ลำดับความสำคัญต่ำบน SRB1

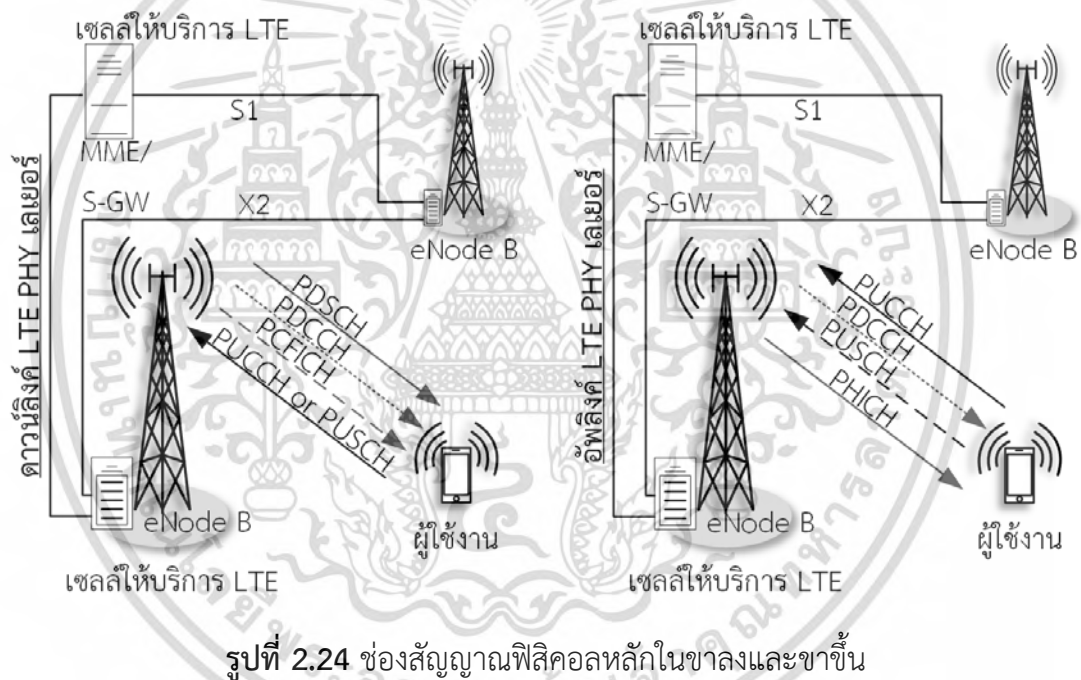
ช่องสัญญาณโลจิคอลทราฟฟิก - DTCH (Dedicated Traffic Channel) ขนส่ง DRB (Data radio bearer) IP แพคเกจข้อมูลระหว่าง UE -DTCH เป็นการกำหนดค่าสำหรับขาขึ้น และขาลง

ช่องสัญญาณทรานสปอร์ต- BCH (Broadcast Channel) มีรูปแบบตายตัว เกิดขึ้นครั้งเดียวต่อเฟรม และขนส่ง MIB (Master Information Block) - PCH (Paging Channel) ขนส่ง PCCH (ข้อความการเพลง) - RACH (Random Access Channel) -ขนส่งข่าวสารจำกัด ใช้ในจุดต่อกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้คนอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องสัญญาณ ฟิสิกอล ส่ง RA (Random Access) ตามโพรโทคอล MAC - UL-SCH (Synchronization Channe) และ DL-SCH ขนส่งข้อมูล และซิงแนลลิงค์รองรับการจัดกำหนดการแบบไดนามิก LA (Link Adaptation) แบบไดนามิก ยังรองรับ HARQ

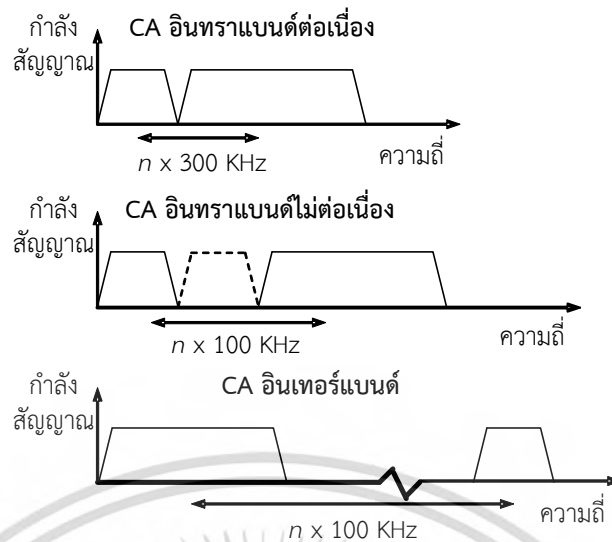
ช่องสัญญาณฟิสิกอล รองรับบริการขนส่ง MAC TrCh การจัดกำหนดการ การจัดรูปแบบและตัวระบุการควบคุม TB (Transport Block) ที่มาจาก MAC เลเยอร์ ถูกแมปบนช่องสัญญาณฟิสิกอล เพื่อส่งผ่านอากาศ ขนาด TB ผูกกับคุณภาพช่องสัญญาณที่ป้อนกลับจาก UE เช่น CQI และ RI ใน TB เพิ่มบิต CRC (Cyclic Redundancy Check) UE ใช้บิต CRC ดีเทคความผิดพลาดบน PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) เพื่อการส่งซ้ำ HARQ ฟิสิกอลเลเยอร์กระทำฟังก์ชันอื่นบน TB เช่น รหัสช่องสัญญาณ และอัตราการจัดเก็บ เพื่อแน่ใจได้ว่าการส่ง TB ผ่านอากาศเชื่อถือได้ ช่องสัญญาณฟิสิกอลในขาลง และขาขึ้นดังรูปที่ 2.24 [10]



2.5 LTE-A

LTE-A มีอัตราข้อมูลขาลงสูงถึง 1 Gbps และ ขาขึ้น 500 Mbps ใช้เทคนิค CA (Carrier Aggregation) รวมแบนด์วิดท์สูงถึง 100 MHz ปรับปรุงการใช้งาน MIMO เพื่อให้ SE สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

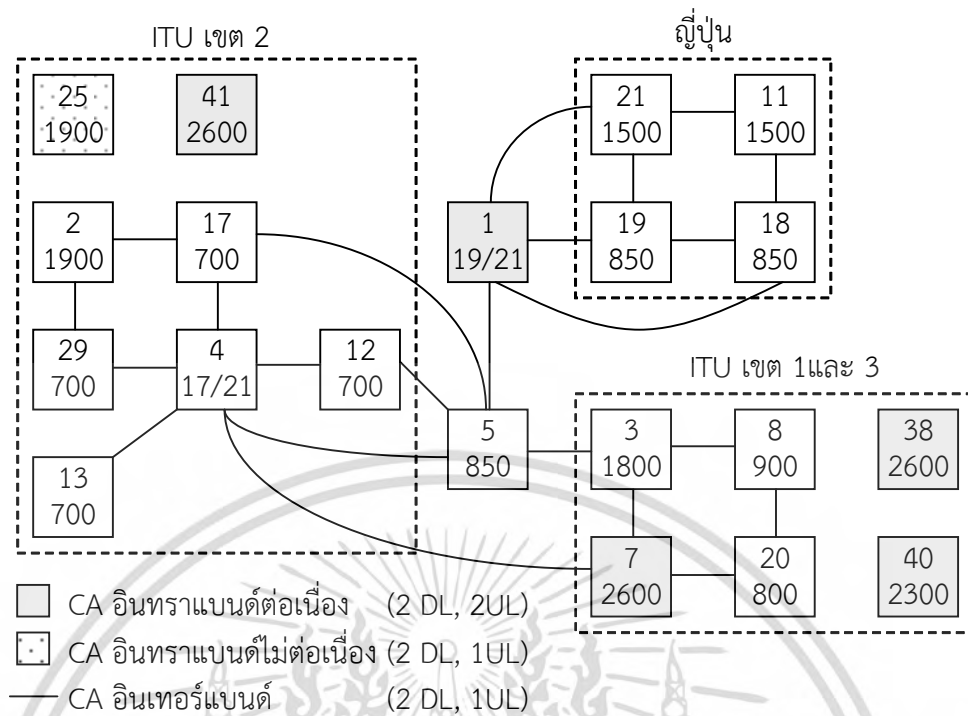


รูปที่ 2.25 เทคนิค CA

2.5.1 เทคนิค CA (Carrier Aggregation)

รูปที่ 2.25 แบ่ง เป็น 3 ลักษณะ (1) CA อินทราแบนด์ต่อเนื่อง (Contiguous intra-band) ที่ CC (Component Carriers) อยู่ในแบนด์เดียวกันและติดกัน แบ่งโดยมัลติเพล็กซ์ 300 KHz ไม่ให้เกิดการแทรกสอด (2) CA อินทราแบนด์ไม่ต่อเนื่อง (Non-contiguous intra-band) CC อยู่บนแบนด์เดียวกัน การออกแบบโครงข่ายทำได้ง่ายและ (3) CA แบบอินเทอร์แบนด์ (inter-band) ที่แต่ละ CC มีแบนด์แตกต่างกัน โทรศัพท์เคลื่อนที่จะต้องมีส่วนการรองรับคลื่นวิทยุในแต่ละแบนด์ความถี่ พื้นที่เซลล์ในแต่ละแบนด์ความถี่แตกต่างกัน จะแบ่ง CC โดยมัลติเพล็กซ์ 100 KHz [9]

ความสามารถ UE แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก CC จาก 2 ถึง 5 ส่วน CA อินทราแบนด์ต่อเนื่อง มี 2 CC สูงสุด ส่วนที่สองคือ ข้อกำหนดที่ซับซ้อนในบางความถี่ที่กำหนดสำหรับแต่ละแบนด์หรือ CA ต่างๆ ดังรูปที่ 2.26



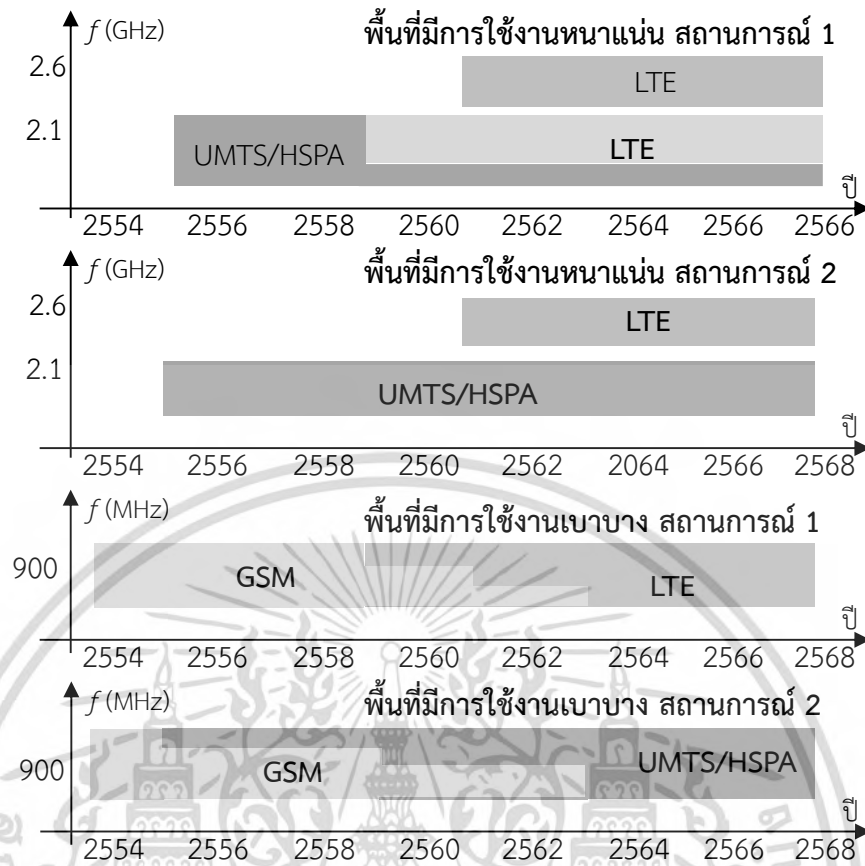
รูปที่ 2.26 แบนด์ของควมถี่ที่รองรับ CA ใน LTE-A [9]

2.6 การวางแผนโครงข่าย LTE/LTE-A

เมื่อเทียบกับระบบก่อนหน้า มีการเพิ่มเทคนิคใหม่ เป้าหมายคือการรีฟาร์ม (re-farming) ความถี่ การคาดคะเนการครอบคลุมและความจุตาม QoS ที่กำหนด เพื่อประกันว่าโครงข่ายมีความจุเพียงพอ การวางแผนแบ่งเป็นส่วนคลื่นวิทยุ และส่วน CN

2.6.1 การรีฟาร์มความถี่

การวางแผนแต่ละไซต์ใช้ทำนายพื้นที่ครอบคลุม สร้างไซต์ eNB LTE เพิ่ม และลดไซต์ 3G ลง เพื่อให้บริการที่ดี โดยพิจารณาความเป็นไปได้ในการรีฟาร์มความถี่ 2G/3G เพื่อเพิ่มแบนด์วิดท์ให้กับ LTE/LTE-A [3]



รูปที่ 2.27 กลยุทธ์รีฟาร์มความถี่ 900 (2G), 2.1 GHz (3G) และ LTE 2.6 GHz

รูปที่ 2.27 ตัวอย่างการปรับใช้ความถี่ 2.1 และ 2.6 GHz ในพื้นที่ที่มีการใช้งานอย่างหนาแน่น เซลล์ครอบคลุมพื้นที่ขนาดเล็ก และความสูงส่วนพื้นที่มีการใช้งานเบาบางใช้ความถี่ 900 MHz (ความถี่ต่ำ) เซลล์ครอบคลุมมีพื้นที่ขนาดใหญ่ และความจุต่ำมีการรีฟาร์มความถี่ตามเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลง โครงข่ายอาจใช้แบบชั้นเดียวหรือหลายชั้นที่ใช้เทคโนโลยีแตกต่างกัน

การคาดคะเนจำนวน eNB ก่อนให้บริการเพื่อประมาณค่าใช้จ่ายทั้งหมด เมื่อการบล็อคดี QoS จะสูงขึ้น MNO จะออปทิไมซ์ให้ลูกค้าพึงพอใจ โดยคำนึงถึงเทคนิคและผลกระทบ ARPU (Average Revenue Per User) การหาจุดที่ ARPU สูงสุด ตลอดอายุการใช้งานโครงข่ายจากเปอร์เซ็นต์ของลูกค้าที่เปลี่ยนสัญญาจาก MNO รายอื่น การปรับใช้ LTE/LTE-A รวมทั้งการยกเลิกใช้ UMTS เดิม ต้องมีพื้นที่ทับซ้อนของขอบเซลล์เพียงพอเพื่อประกันบริการ และอัตราสายหลุดระหว่างโทร [3]

โหมต FDD มีสเปกตรัมดังตารางที่ 2.6 โดย ITU เขต 1 ครอบคลุมทวีปยุโรป แอฟริกา และ เอเชียตะวันตกเฉียงเหนือ เขต 2 ครอบคลุมอเมริกา เขต 3 ครอบคลุมเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (อินเดีย จีนและทวีปออสเตรเลีย) คอลัมน์สุดท้ายเป็นชื่อระบบเดิมที่เคยใช้

ตารางที่ 2.6 แบนด์ความถี่ LTE-FDD [9]

แบนด์	รีลีส	UL (MHz)	DL(MHz)	BW	ITU	BW OFDM	ชื่อเดิม
1	8	1920-1980	2110-2170	60	1,3	5, 10, 15, 20	IMT 2100
2	8	1850-1910	1930-1990	60	2	ทั้งหมด	PCS 1900
3	8	1710-1785	1805-1880	75	1,3	ทั้งหมด	DCS 1800
4	8	1710-1755	2110-2115	45	2	ทั้งหมด	AWS
5	8	824-849	869-894	25	2	1.4, 3, 5, 10	850
6	-	830-840	875-885	10	-	5, 10	-
7	8	2500-2570	2620-2690	70	1,2,3	5, 10, 15, 20	IMT 2.6 GHz
8	8	880-915	925-960	35	1,3	1.4, 3, 5, 10	GSM 900
9	8	1749.9-1784.9	1844.9-1879	35	ญี่ปุ่น	5, 10, 15, 20	1700
10	8	1710-1770	2110-2170	60	2	5, 10, 15, 20	Extend AWS
11	8	1427.9-1452.9	1475.9-1500.9	20	ญี่ปุ่น	5, 10	1500 Lower
12	8	699-716	728-746	18	USA	1.4, 3, 5, 10	700 Lower
13	8	777-787	746-756	10	USA	5, 10	700 Upper
14	8	788-798	758-768	10	USA	5, 10, 15, 20	700 Pubic
15	-	1900-1920	2600-2620	20	USA	-	-
16	-	2010-2025	2585-2600	15	-	-	-
17	8	704-716	734-746	12	-	5, 10, 15, 20	700 Lower
18	9	815-830	860-875	15	USA	5, 10, 15, 20	800 Lower
19	9	830-845	875-890	15	ญี่ปุ่น	5, 10, 15, 20	800 Upper
20	9	832-862	791-821	30	ญี่ปุ่น	5, 10, 15, 20	800 MHz
21	9	1447.9-1462.9	1495.9-1510.9	15	ยุโรป		1500 Upper
22	10	3410-3490	3510-3690	80	ญี่ปุ่น	5, 10, 15, 20	3.5 GHz
23	10	2000-2020	2180-2200	20	1,2,3	1.4, 3, 5, 10	2GHzS-Band
24	10	1626.5-1660.5	1525-1559	34	USA	5, 10	L-Band
25	10	1850-1915	1930-1995	65	USA	ทั้งหมด	PCS1900+G
26	11	814-849	859-894	35	2	1.4, 5, 10, 15	Extend 800
27	11	807-824	852-869	17	2,3	1.4, 5, 10, 15	850 Lower
28	11	703-748	758-803	45	2	5, 10, 15, 20	700 APAC

2.6.2 การคาดคะเนการครอบคลุม

หลักการในการติดตั้งสถานีฐานเพื่อให้บริการ MNO (Mobile Network Operator) พยายามติดตั้งสถานีฐานให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด โดยใช้จำนวนน้อยที่สุดโดยใช้ผลจากลิงค์บัตเจท (Link Budget) กำหนดขนาดจำนวนไซต์ และตำแหน่งการติดตั้งบนพื้นที่เป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_L = \frac{P_t}{P_r} = \frac{1}{G_t G_r} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \tag{2.5}$$

เขียนในหน่วยเดซิเบล

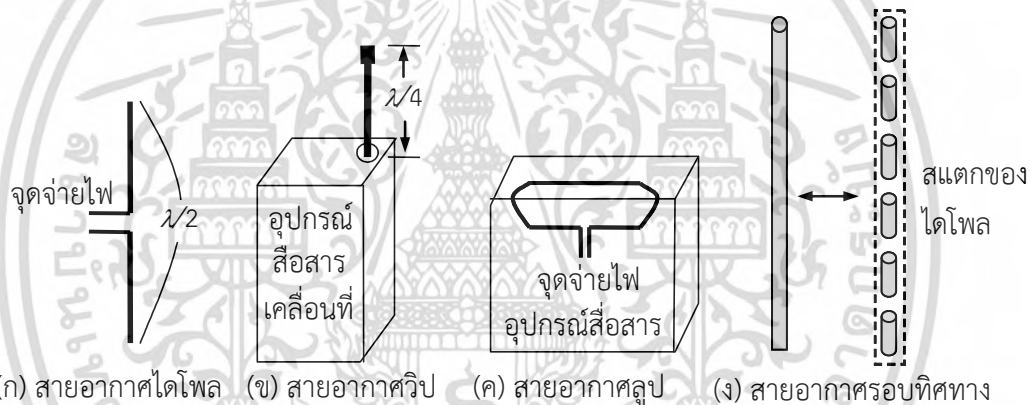
$$P_L \text{ (dB)} = 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_r} = P_t \text{ (dBm)} - P_r \text{ (dBm)} \tag{2.6}$$

กำลังรับแปรผันตรงกับควมยาวคลื่นกำลังสอง และแปรผกผันกับระยะทางกำลังสอง เมื่อความถี่แคเรียร์เพิ่มในขณะที่กำลังส่งยังคงเท่าเดิม จะได้

$$P_L \text{ (dB)} = 10 \log_{10} \frac{P_t}{P_r} = 10 \log \frac{(4\pi)^2 d^2}{G_t G_r \lambda^2} \tag{2.7}$$

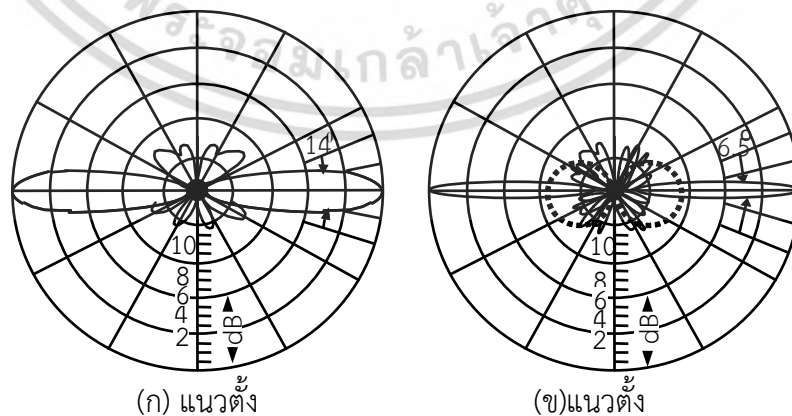
$$= K + 20 \log d + 20 \log f_c - 10 \log G_t - 10 \log G_r$$

เมื่อ K คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับ d (กม.) และ f_c (MHz) จะได้ค่า $K = 32.44$ เมื่อแกนสายอากาศส่งและรับเป็น 1 จะได้ $P_L \text{ (dB)} = 32.44 + 20 \log d + 20 \log f_c$



(ก) สายอากาศไดโพล (ข) สายอากาศวิป (ค) สายอากาศลูป (ง) สายอากาศรอบทิศทาง

รูปที่ 2.29 สายอากาศประเภทต่างๆ



(ก) แนวตั้ง

(ข)แนวตั้ง

รูปที่ 2.30 แพทเทิร์นสายอากาศ (ก) สายอากาศไดโพล $4(\lambda/2)$ เกน 6 dB (ข) ไดโพลสายอากาศ $8(\lambda/2)$ เกน 9 dB เทียบกับสายอากาศ ไดโพล $\lambda/2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานจริงไม่ได้ใช้สายอากาศอุดมคติ สายอากาศพื้นฐานดังรูปที่ 2.29 รูปที่ 2.29 (ก) สายอากาศไดโพล (Dipole) มี 2 อิลิเมนต์แต่ละอิลิเมนต์ยาว $\lambda/4$ มีไดเรกทิวิตี (Directivity) รูปเลขแปด ความแรงของคลื่นเท่าๆ กันในทุกทิศทาง รูปที่ 2.29 (ข) สายอากาศวิป (Whip) อิลิเมนต์ยาวครึ่งหนึ่งของสายอากาศไดโพล และกราวด์เพลน มีคุณสมบัติเหมือนกันแต่โครงสร้างง่ายกว่า รูปที่ 2.29 (ค) สายอากาศลูป (loop) ความยาวลูปด้านนอกเป็นส่วนสิบของความยาวคลื่น ใช้การกลับปลิงสนามแม่เหล็กให้เกนต่ำ รูปที่ 2.29 (ง) สายอากาศรอบทิศทาง (omni-directional) มีพื้นฐานมาจากอะเรย์ (array) เชิงเส้นของไดโพล มีแพทเทิร์น (pattern) ดังรูปที่ 2.30 (ก) เปรียบเทียบสายอากาศไดโพล $8(\lambda/2)$ กับ $\lambda/2$ (เส้นประ) ดังรูปที่ 2.30 (ข) มีบีมิวทด์ (beamwidth) แคบ

แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี ใช้ในการคาดคะเนรัศมีเซลล์ ตัวอย่างการสูญเสียเชิงวิถี ได้แก่ แบบจำลอง Okumura – Hata ได้จากผลการวัดที่ความถี่ 150-1500 MHz ที่ระยะ 1-100 กม. ความสูงสายอากาศส่ง h_t 30-100 เมตร นำค่าการลดทอนมาสร้างกราฟ และเปลี่ยนให้เป็นสมการ จากนั้น EURO-COST (European cooperative for scientific and technical research) ได้นำหลักการดังกล่าวไปพัฒนาที่ความถี่ 1500- 2000 MHz เรียกว่าแบบจำลอง COST-231 Hata

สำหรับพื้นที่เมือง

$$P_{L,urban}(d) = A + B \log f_c - 13.82 \log(h_t) + (44.9 - 6.55 \log(h_t)) \log(d) - a(h_r) \quad (2.8)$$

ที่ความถี่ 150- 1500 MHz ค่า $A = 69.55$, $B = 26.16$ ที่ความถี่ 1500- 2000 MHz ค่า $A = 46.3$, $B = 33.9$ ส่วน $a(h_r)$ คือแฟคเตอร์แก้ไขเพื่อให้เกิดความถูกต้อง สำหรับเมืองขนาดใหญ่

$$a(h_r) = 8.29 (\log(1.54 h_r))^2 - 1.1 \quad \text{ความถี่ } f_c \leq 300 \text{ MHz} \\ a(h_r) = 3.2 (\log(11.75 h_r))^2 - 4.97 \quad \text{ความถี่ } f_c > 300 \text{ MHz} \quad (2.9)$$

สำหรับเมืองขนาดกลางถึงเล็ก

$$a(h_r) = (1.1 \log(f_c) - 0.7) h_r - (1.56 \log(f_c) - 0.8) \quad (2.10)$$

นำแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถีของพื้นที่เมือง มาใช้สำหรับพื้นที่ชานเมืองและชนบทดังนี้

$$P_{L,suburban}(d) = P_{L,urban}(d) - 2 [\log_{10}(f_c / 28)]^2 - 5.4 \quad (2.11)$$

$$P_{L,rural}(d) = P_{L,urban}(d) - 4.78 [\log_{10}(f_c)]^2 + 18.33 \log_{10}(f_c) \quad (2.12)$$

คำนวณรัศมีเซลล์ ได้จาก

$$\left[\frac{P_{L,max} - 69.55 - 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_{ts} + a(h_{ms})}{(44.9 - 6.55 \log h_{ts})} \right] \quad (2.13)$$

$$R = 10$$

จากรัศมีเซลล์ จะคำนวณหาพื้นที่เซลล์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

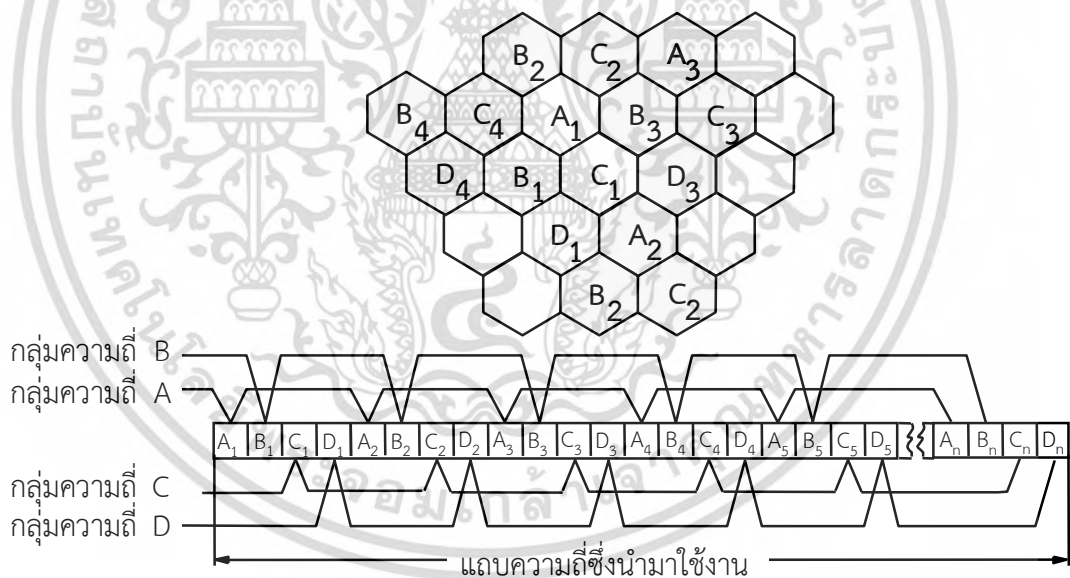
$$A_{\text{cell}} = \alpha R^2 \quad (2.14)$$

ไซท์รอบทิศทาง $\alpha = 2.6$ ไซท์ 2 เซกเตอร์ $\alpha = 1.3$ และ 1.95 สำหรับไซท์ 3 เซกเตอร์

2.7 หลักการนำความถี่มาใช้ซ้ำ

หลักการเซลลูลาร์ใช้เทคนิคการนำความถี่มาใช้ซ้ำ (frequency reused) ที่นำช่องสัญญาณความถี่เดิม ไปใช้งานในพื้นที่ซึ่งอยู่ห่างออกไป ตัวอย่างดังรูปที่ 2.31 แบ่งความถี่ออกเป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่ม $A_1, B_1, C_1, D_1, A_2, B_2, C_2, D_2, \dots, A_4, B_4, C_4, D_4$ ช่องสัญญาณในแต่ละกลุ่มความถี่จะไม่อยู่ติดกัน ช่องสัญญาณกลุ่มเดียวกันมีระยะห่างกันพอสมควร เพื่อลดการแทรกสอด (interference) ระหว่างช่องสัญญาณที่ความถี่เหมือนกัน เมื่อนำรูปแบบของกลุ่มเซลล์เหล่านี้มาต่อซ้ำๆ กันให้แผ่ขยายออกไป จะได้พื้นที่บริการที่เพิ่มมากขึ้นตามที่ต้องการ ทั้งยังแก้ปัญหาข้อจำกัดเรื่องจำนวนช่องสัญญาณต่อพื้นที่ เพราะช่องสัญญาณรวมของระบบจะเพิ่มขึ้น รองรับการใช้งานได้เพิ่มมากขึ้น

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ มีจำนวนช่องสัญญาณดูเพล็กซ์ทั้งหมด C_{td} จัดสรร k ช่องสัญญาณให้กับแต่ละเซลล์ ถ้าแบ่งกลุ่มความถี่ออกเป็น N_c กลุ่ม (เซลล์) และให้จำนวนช่องสัญญาณภายในเซลล์ทุกๆ เซลล์เท่ากัน



รูปที่ 2.31 เทคนิคฟรีควอนซีรียูส

$$C_{td} = kN_c \quad (2.15)$$

เมื่อเวลาใช้งานคือ M จะใช้จำนวนช่องสัญญาณดูเพล็กซ์ วัดขนาดความจุ (capacity) C ได้
ดังนี้

$$C = MKN_c = MC_{td} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แฟคเตอร์ N_c คือขนาดคลัสเตอร์มีค่า 4, 7 เป็นต้น เมื่อเพิ่มจำนวน N_c ขณะที่ขนาดเซลล์ยังคงเท่าเดิม อัตราส่วน D/R จะมากขึ้น เมื่อ D คือระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกัน R คือรัศมีเซลล์ ดังนั้นค่า N_c อาจหมายถึงฟังก์ชันการแทรกสอดระหว่างสถานีฐานที่ใช้ความถี่เดียวกัน รูปที่ 2.32 แสดงค่า D ที่เกิดจากการใช้ความถี่ของสัญญาณซ้ำของเซลล์รูปแบบต่างๆ



รูปที่ 2.32 การใช้ความถี่ของสัญญาณซ้ำของเซลล์รูปแบบต่างๆ

2.7.1 การแทรกสอดในระบบเซลล์

ระบบเซลล์แบ่งการแทรกสอดออกเป็น 2 ลักษณะคือ การแทรกสอดโคแชนแนล (co-channel interference) เกิดจากการใช้งานช่องสัญญาณที่ความถี่ซ้ำกัน และการแทรกสอดจากช่องสัญญาณข้างเคียง (Adjacent-channel Interference)

ปริมาณการแทรกสอดโคแชนแนล ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่ซ้ำกัน ถ้าระยะห่างน้อยการแทรกสอดจะสูง การแทรกสอดโคแชนแนล จะเกิดใน 2 ลักษณะ เกิดจาก 2 เซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำกัน เรียกว่า การแทรกสอดอินเทอร์เซลล์ (intercell) คุณลักษณะช่องสัญญาณจะต่างกัน ตามเทคนิคมัลติเพล็กซ์ ระบบการแบ่งทางรหัสที่ไม่ตั้งฉาก จะเกิดการแทรกสอดระหว่างช่องสัญญาณภายในเซลล์ เรียกว่า การแทรกสอดอินทราเซลล์ (intracell) จะไม่เกิดกับเทคนิคมัลติเพล็กซ์ตั้งฉากอุดมคติ ในทางปฏิบัติ มัลติพาทหรือความผิดพลาดในการซิงโครไนซ์ จะเปลี่ยนจากตั้งฉากเป็นไม่ตั้งฉาก

การแทรกสอดส่งผลกับ SINR (signal-to-interference-plus-noise power ratio) ดังนี้

$$\text{SINR} = \frac{P_r}{N_0 B + P_i} \quad (2.17)$$

P_i คือกำลังของสัญญาณแทรกสอด ทั้งอินเทอร์เซลล์และอินทราเซลล์ การหาอัตราบิดผิดพลาดที่อุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ ขึ้นอยู่กับค่า SINR เมื่อการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงที่ใช้กลุ่มความถี่ซ้ำกันมีจำนวนมาก จะต้องลดการแทรกสอดอินเทอร์เซลล์ โดยการเพิ่มระยะห่างระหว่างกลุ่มเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณซ้ำกันให้มากขึ้น

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{n=1}^{n_t} I_n} \quad (2.19)$$

n_t คือจำนวนเซลล์ที่แทรกสอดโคแชนแนลมายังเซลล์ที่พิจารณา รูปแบบ $N = 7$ ในชั้นแรก มีอยู่ 6 เซลล์ดังรูปที่ 2.34 การแทรกสอดจะเกิดในสองทิศทาง ค่า C/I ที่กำหนดคือ ระดับสัญญาณรับที่โทรศัพท์เคลื่อนที่สื่อสารกันเข้าใจ การแทรกสอดโคแชนแนลที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ เกิดจากการส่งสัญญาณของสถานีฐานของเซลล์อื่นๆ ที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่ซ้ำกัน ดังนี้

$$\frac{C_m}{N_m + \sum_{j=1}^N I_j} \geq \text{ค่าที่กำหนด} \quad (2.20)$$

C_m คือสัญญาณคลื่นพาห์จากสถานีฐาน ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต้องการรับ N_m คือสัญญาณรบกวนที่เกิดกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ และ j คือลำดับสัญญาณแทรกสอดจากสถานีฐานของเซลล์ข้างเคียงที่ใช้ความถี่เดียวกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดย $j = 1, 2, \dots, N$

2.7.2 การลดการแทรกสอดด้วยการแบ่งเซกเตอร์

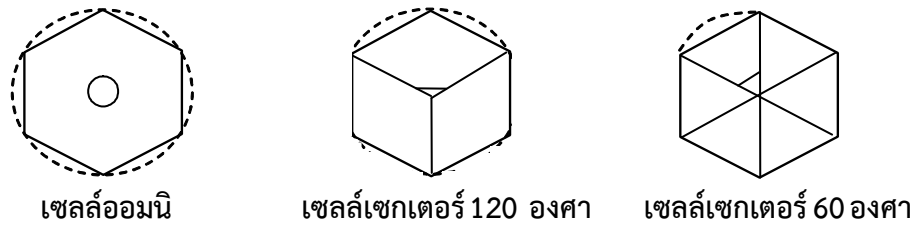
การเกิดการแทรกสอดโคแชนแนลที่สถานีฐาน เกิดจากสัญญาณแทรกสอดที่มาจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งใช้งานในเซลล์ข้างเคียงและใช้ความถี่เดียวกัน จะได้

$$\frac{C_b}{N_b + \sum_{j=1}^N I_j} \geq \text{ค่าที่กำหนด} \quad (2.21)$$

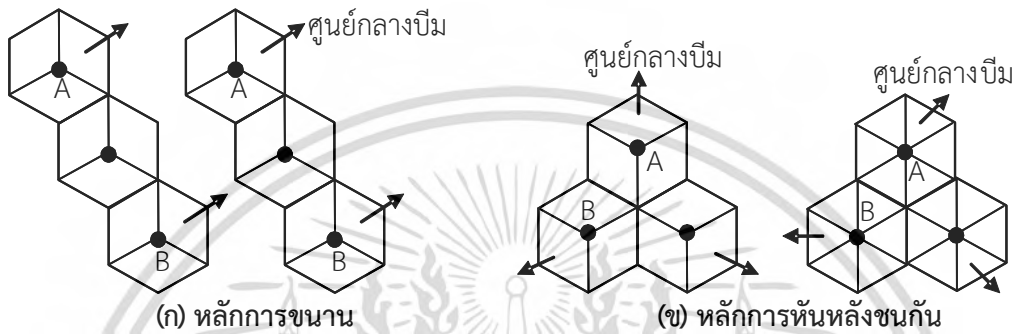
C_b คือสัญญาณพาห์จากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งสถานีฐานต้องการรับ N_b คือสัญญาณรบกวนที่เกิดกับสถานีฐานและ j คือจำนวนสัญญาณแทรกสอดจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งหมดในเซลล์ข้างเคียงที่ใช้ความถี่เดียวกัน

การแทรกสอดจากช่องสัญญาณข้างเคียงมี 2 ลักษณะคือ ภายในเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่ติดกัน จากข้อจำกัดของอุปกรณ์ เช่น เสถียรภาพของวงจรปรับความถี่และฟิลเตอร์ ฯลฯ ทำให้ความถี่เลื่อนไปเหมือนกัน แก้ไขโดยจัดสรรไม่ให้ช่องสัญญาณภายในเซลล์มีความถี่ติดกัน กรณีที่สองคือการแทรกสอดระหว่างเซลล์ แม้ในเซลล์เดียวกันไม่มีช่องสัญญาณที่ความถี่ติดกัน แต่มีการใช้งานอยู่รอบๆ เซลล์ และต้องให้เซลล์มีการเหลื่อมล้ำกันเล็กน้อย สำหรับการเปลี่ยนเซลล์ บริเวณขอบเซลล์จะสามารถรับสัญญาณจากเซลล์ที่ติดกันได้ ทำให้บริเวณขอบเซลล์มีค่าการแทรกสอดสูง

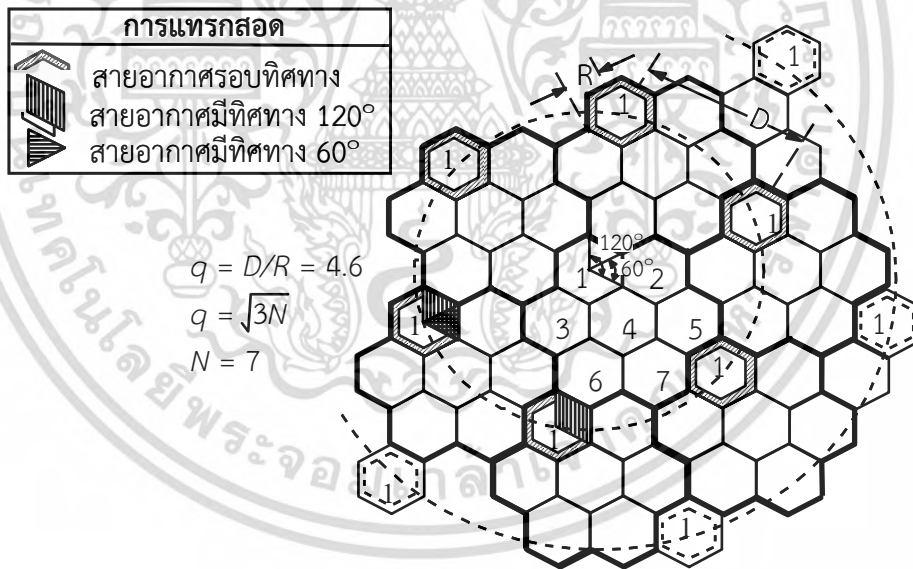
การลดการแทรกสอดด้วยการแบ่งเซกเตอร์ เมื่อใช้สายอากาศที่มีทิศทาง 60° และ 120° ดังรูปที่ 2.35 การวางตำแหน่งเซลล์เซกเตอร์มี 2 ลักษณะคือ การขนานป้อมและการหันหลังชนกัน (back-to-back) ดังรูปที่ 2.36 การหันหลังชนกัน จะกำหนดให้ทิศทางของป้อมชี้ไปในทิศทางที่สายอากาศมีแกนต่ำ



รูปที่ 2.35 เซลล์เชกเตอร์แบบต่างๆ



รูปที่ 2.36 รายละเอียดของเซลล์เชกเตอร์



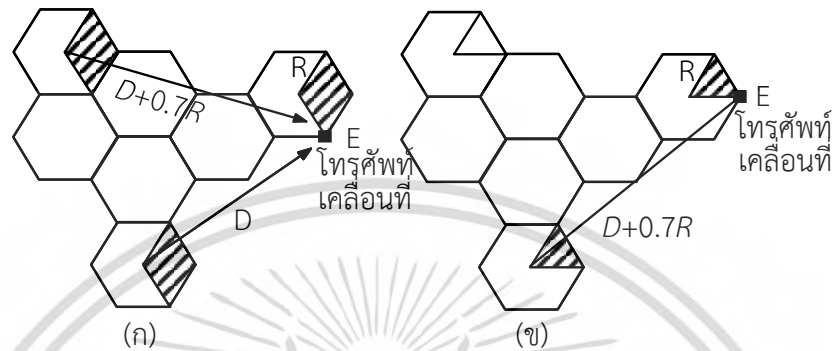
รูปที่ 2.37 แสดงการเกิดการแทรกสอดโคแซนแนลของเซลล์ 2 ชั้น (N=7)

การเพิ่ม N ทำให้จำนวนช่องสัญญาณในแต่ละเซลล์ลดลง ตัวอย่างหากจะคงค่า N ไว้ ($N=7$) และใช้สายอากาศมีทิศทาง แบ่งแต่ละเซลล์เป็น 3 หรือ 6 เซกเตอร์ ใช้สายอากาศมีทิศทาง 60° และ 120° ดังรูปที่ 2.37 จะกำหนดกลุ่มความถี่แต่ละเซกเตอร์ ที่ให้ค่าการแทรกสอดโคแซนแนลลดลง

การแบ่ง 3 เซกเตอร์ จะเหลือเซลล์ที่มีการแทรกสอดโคแซนแนลเพียง 2 เซลล์รูปที่ 2.38 (ก) ตำแหน่ง E คือจุดที่เกิดการแทรกสอดมากที่สุด เกิดจากเซลล์เชกเตอร์ (แรงแเง) โทรัสพีทเคลื่อนที่รับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณจากสถานีฐาน มีระดับการแทรกสอดโคแซนแนลจากเซลล์เชกเตอร์ทั้งสองมาก ในกรณีที่แย่มากที่สุด (worse) จะหาค่าของ C/I_c ได้จาก

$$C/I_c \text{ (กรณีแย่มากที่สุด)} = \frac{R^{-\gamma}}{(D+0.7)^{-\gamma} + D^{-\gamma}} = \frac{1}{(q+0.4)^{-\gamma} + q^{-\gamma}} \quad (2.22)$$



รูปที่ 2.38 อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด เมื่อใช้สายอากาศแบบมีทิศทาง ($N=7$)

(ก) สายอากาศแบบมีทิศทาง 120° (ข) สายอากาศแบบมีทิศทาง 60°

การแบ่งเซลล์เป็น 6 เซกเตอร์ จะต้องใช้สายอากาศแบบมีทิศทางที่มีปมวิดิธ์ 60° ดังรูปที่ 2.38 (ข) จะเกิดการแทรกสอดโคแซนแนลกับเซลล์เพียงเซลล์เดียว หา C/I_c จาก

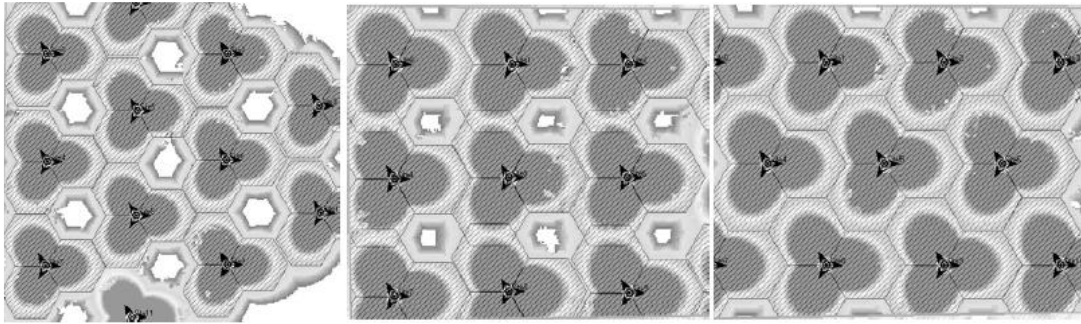
$$C/I_c \text{ (กรณีแย่มากที่สุด)} = \frac{R^{-\gamma}}{(D+0.7)^{-\gamma}} = \frac{1}{(q+0.4)^{-\gamma}} \quad (2.23)$$

ค่าการแทรกสอดโคแซนแนลลดลง แต่จำนวนช่องสัญญาณในแต่ละเซลล์มีจำนวนลดลงในสภาพแวดล้อมไมโครเซลล์ลาร์ แพคเตอร์ N ขึ้นอยู่กับค่า C/I_c หากทราบ C/I_c จะคาดคะเนแพคเตอร์ N ได้

2.7.3 แพทเทิร์นการนำความถี่มาใช้ซ้ำ $1 \times 3 \times 1$

กรณีแบนด์เดียวใช้แพทเทิร์นการนำความถี่มาใช้ซ้ำ 1 เกิดการแทรกสอดสูง ตัวอย่าง MNO กำหนดแบนด์วิดท์ 15 MHz ให้ eNB แต่ละไซต์ แบ่งแบนด์วิดท์เป็นบล็อกๆ ละ 5 MHz ต่อเซลล์ แพทเทิร์นการนำความถี่มาใช้ซ้ำ $1 \times 3 \times 1$ ทำให้การแทรกสอดลดลง หลักแรกของ แพทเทิร์นการนำความถี่มาใช้ซ้ำแทนจำนวนไซต์ หลักที่สองแทนจำนวนเซลล์ในแต่ละไซต์ หลักที่สามแทนจำนวนแคเรียร์ในแต่ละเซลล์ การวาง $1 \times 3 \times 1$ ของ กริดหกเหลี่ยมเซลล์ๆ ละ 120 องศา ให้การทับซ้อนระหว่างเซลล์ที่อยู่ติดกันน้อยที่สุด ตัวอย่างการวางตำแหน่งไซต์ต่างกันดังรูปที่ 2.31 ภาพด้านขวาเหมาะสมที่สุด เพราะช่องว่างการครอบคลุมของเซลล์จะถูกเติมโดยการครอบคลุมเซลล์ที่อยู่ติดกัน [11]

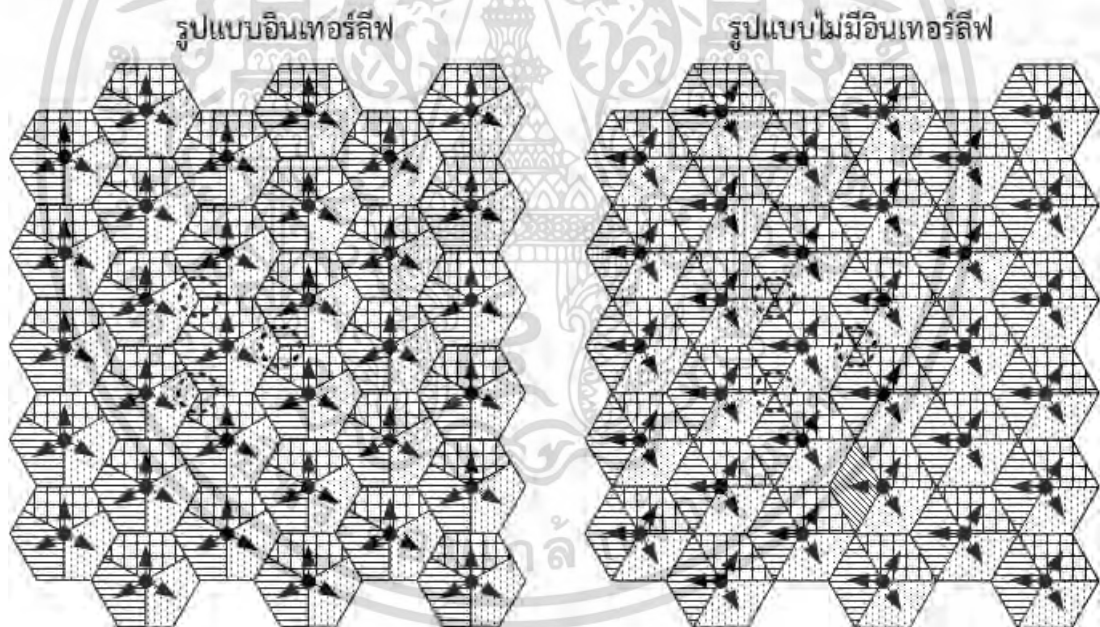
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.39 การครอบคลุมของ 3 เซกเตอร์ด้วยสายอากาศปริมิตต์แคบ

2.7.4 แพทเทิร์นการนำความถี่มาใช้ซ้ำ $1 \times 3 \times 3$

ไซท์ 3 เซกเตอร์แต่ละเซกเตอร์ใช้ช่องสัญญาณความถี่เหมือนกัน 3 กลุ่ม RB ต่างกัน รูปที่ 2.40 [11] แต่ละลายแสดงกลุ่ม RB ต่างกัน แต่ละเซกเตอร์ในแต่ละไซท์ใช้หนึ่งในสามกลุ่ม RB เรียวยุสแพทเทิร์นรูปแบบอินเทอร์ลีฟ ที่เซกเตอร์ของแต่ละไซท์ชี้ไปที่หน้าไซท์ที่อยู่ติดกัน ระหว่างสองเซกเตอร์รูปแบบไม่มีอินเทอร์ลีฟ ที่เซกเตอร์ของแต่ละไซท์ชี้ไปที่ยอดของไซท์ที่อยู่ติดกัน ข้อดีของการอินเทอร์ลีฟ มีการครอบคลุม RF ดีกว่าและการสอดแทรกน้อยกว่าไม่มีอินเทอร์ลีฟ



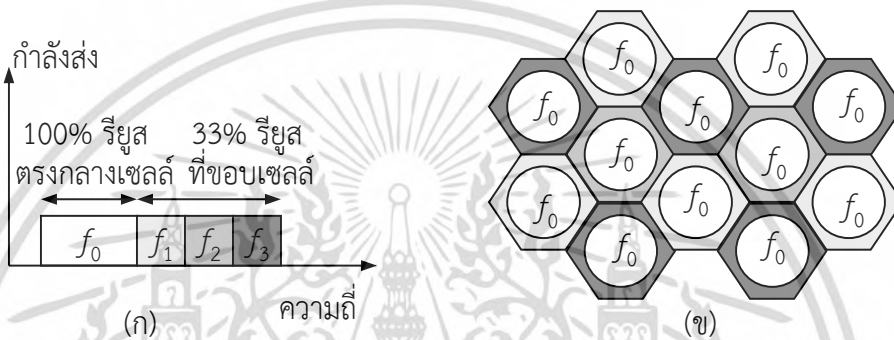
รูปที่ 2.40 เปรียบเทียบริยูสแพทเทิร์น $1 \times 3 \times 3$

รูปแบบอินเทอร์ลีฟมีเซกเตอร์น้อยลง ที่แข่งขันกับพื้นที่ครอบคลุมส่วนอื่นระหว่างไซต์แสดงโดยวงกลมเส้นประ รูปแบบอินเทอร์ลีฟมี 3 เซกเตอร์ที่แข่งขันเพื่อครอบคลุมพื้นที่ระหว่างไซท์ ซึ่งดีกว่าแบบไม่มีอินเทอร์ลีฟที่ 6 เซกเตอร์แข่งขันกัน สามเซกเตอร์ที่ชิงพื้นที่ระหว่างไซท์ในรูปแบบด้านซ้ายทั้งหมดกำหนดกลุ่ม RB ที่แตกต่างกัน จึงมีโอกาสที่ถูกแทรกสอดน้อยลง ในการใช้งานจริง เซลล์อาจไม่เป็นไปตามแผนผังกริดไซท์อุดมคติ จึงต้องทำการปรับให้เป็นอุดมคติโดย การเอียงสายอากาศลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวางแผนสายอากาศ การกำหนดกลุ่ม RB ฯลฯ การกำหนดค่าของระบบ ต้องระมัดระวังในการกำหนดกลุ่ม RB และการกำหนดค่าเซกเตอร์เพื่อให้ลดการสอดแทรกต่ำ

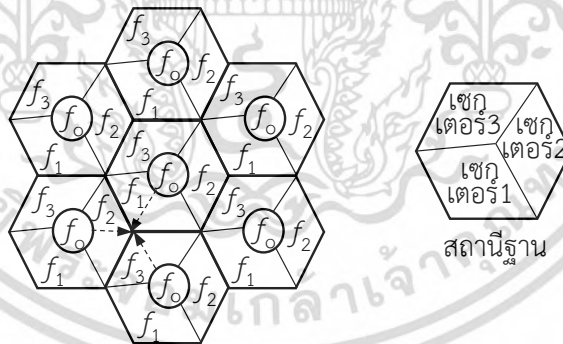
2.7.5 เทคนิคการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน (Fractional Frequency Reuse : FFR)

เทคนิคการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน ดังรูปที่ 2.41 กำหนดครึ่งแบนด์ f_0 สำหรับ UE ที่อยู่ใกล้สถานีฐาน ส่วนที่เหลือแบ่งเป็น 3 ส่วน f_1, f_2 และ f_3 สำหรับ UE ที่อยู่ไกลจากสถานีฐานตามแพคเตอร์การรียูส รูปที่ 2.42 ตัวอย่างการวางแผนความถี่ (f_1, f_2, f_3) สำหรับผู้ใช้งานที่ขอบเซลล์ทรัพยากรความถี่ (f_1), (f_2) และ (f_3) ใช้กับเซกเตอร์ 1, 2 และ 3 ของสถานีฐาน เพื่อลดการแทรกสอด



รูปที่ 2.41 ตัวอย่างการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน

(ก) การจัดสรรความถี่ (ข) แผนผังการวางแผน [9]



รูปที่ 2.42 ตัวอย่างการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วนของเซลล์เซกเตอร์ [12]

2.8 การครอบคลุมของช่องสัญญาณทรานซมิชชั่น

การแพร่กระจายคลื่นในสภาพแวดล้อมจริง อาจดี/แย่กว่าที่สมมติในการวางแผน ขนาดพื้นที่ครอบคลุมอาจมาก/น้อยกว่าที่คาดไว้ อาจเกิดโฮลในพื้นที่: RSRP < -120 dBm การครอบคลุมที่แย่ง: RSRP < -105 dBm และการเกิดโอเวอร์ชูท (Overshooting) [13]

ตารางที่ 2.7 กำลังส่ง eNB ของช่องสัญญาณต่างๆ ในขาลงส่งผลกับขนาดเซลล์ $q_{RxLevMin}$ คือระดับ RSRP รับต่ำสุดในเซลล์ที่บรอดคราส โหมด Idel การเลือกเซลล์/เลือกอีกครั้ง เมื่อ UE เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมต่อกับโครงข่ายจำนวนมาก ค่า $q_{RxLevMin}$ ต่ำมาก (ลบมาก) ส่งผลต่ออัตราการแอคเซสและการเพจสำเร็จ ใน UL เซลล์ครอบคลุมตามบริการ UE ไม่ขึ้นกับแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ แต่ขึ้นกับกำลังส่งสูงสุดของ UE การครอบคลุม PUSCH ที่ UL_SINR ตามบริการ เพื่อให้แน่ใจได้ว่า SINR เป้าหมายที่ขอบเซลล์ไม่ต่ำ จนส่งผลให้เกิดปัญหาการชิงโครโนส์ เทรดออพระหว่างการแทรกสอดต่ำสุดและทรูพุทสูงสุด กำหนดค่าตามความต้องการของโคลเอนต์ $p_{0NominalPUSCH}$ คือ ระดับสัญญาณที่รองรับ RB และถอดรหัสถูกต้อง ส่งบน BCH พารามิเตอร์ที่ส่งผลกับกำลังส่ง UE และการแทรกสอดก่อนควบคุมกำลังที่ eNB ได้รับการกำหนดค่าให้สูงขึ้นเพื่อปรับปรุงการรับ PUSCH

ตารางที่ 2.7 พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการครอบคลุมทั้งขาขึ้นและขาลง [13]

การครอบคลุมขาลง	การครอบคลุมขาขึ้น
$q_{RxLevMin}$	แพคเตอร์
กำลัง RS	$p_{0NominalPUSCH}/p_{0NominalPUCCH}$
ออฟเซทกำลัง SCH, PBCH, PCFICH, PHICH, PDCCH	Initial UL_SINR เป้าหมายสำหรับ PUSCH
$p_{boffsetPDSCH}, p_{boffsetPDSCCH}$	UL_SINR เป้าหมายสูงสุดสำหรับ PUSCH
กำลังรวม Cell DL	UL_SINR เป้าหมายต่ำสุดสำหรับ PUSCH

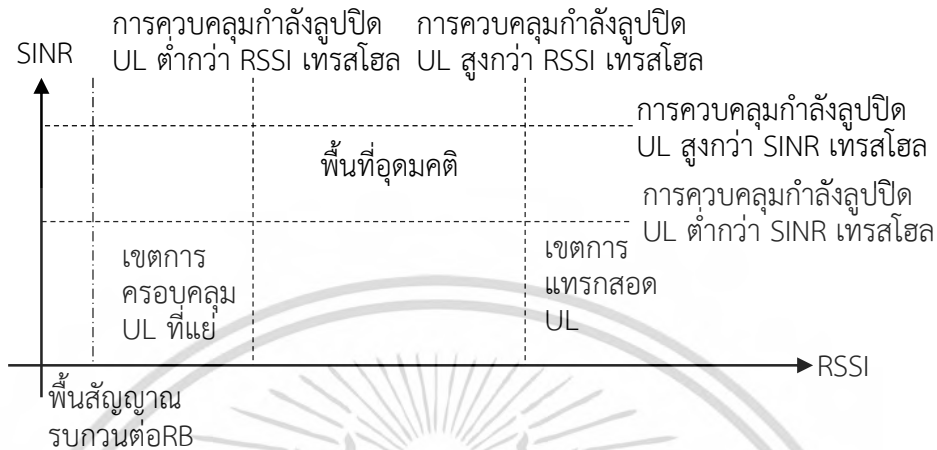
2.8.1 การเกิดโฮลในการครอบคลุมขาลง

เมื่อเกิดโฮล UE จะทำอินเทอร์-RAT แชนด์โอเวอร์ไปเซลล์ข้างเคียง ใช้สถิติแชนด์โอเวอร์เพื่อตีเทคโฮล การแก้ปัญหาการครอบคลุมที่แยวิเคราะห์จาก EIRP ในแต่ละเซลล์ เพื่อให้แน่ใจว่าเป็นค่าสูงสุด การเพิ่มกำลัง RS การปรับสายอากาศและใช้ eNB ใหม่

2.8.2 การครอบคลุมขาขึ้นที่แย

eNB ใช้ PHR (Power Headroom Report) อธิบายขนาด UL แบนด์วิดท์ต่อซัพเฟรมที่ UE ต้องใช้ว่าเป็นเท่าใด รายงานดัชนีโดย UE ระบุการคาดคะเนว่าต้องเพิ่มกำลังเท่าใด PHR อยู่ระหว่าง -23 ถึง +40dB หากเป็น (+) แสดงว่า "บางพื้นที่มีกำลังสูงสุด" ถ้า "หากได้รับอนุญาตจะส่งข้อมูลได้มาก" หากเป็น (-) แสดงว่า "พร้อมส่งกำลังมากกว่าที่ได้รับอนุญาต" การนอมอลไลซ์ PHR เพื่อคาดคะเนการครอบคลุมขาขึ้นที่แย UE จะส่ง PHR ไปยัง eNB ขณะที่ส่ง PUSCH เพื่อระบุระยะ UE ที่กำลังส่งสูงสุดเทียบกับกำลังส่ง PUSCH ที่ต้องการ eNB จะคาดคะเนขนาด UL สูงสุดที่อนุญาต (จำนวน PRB) ที่ UE รองรับด้วยกำลังส่ง PUSCH ช่วงการนอมอลไลซ์ PHR อยู่ระหว่าง -5 ถึง 20dB เมื่อค่าเข้าใกล้ 0 dB หรือต่ำกว่า แสดงว่า UE มีปัญหากำลังส่งจากกำลังส่งสูงสุด

การวัด PUSCH RSSI/PUSCH SINR เพื่อตรวจสอบการครอบคลุม UL และการแทรกสอด ช่วง SINR ขาขึ้นอยู่ระหว่าง -10 ถึง 15 dB เมื่อ UL SINR ต่ำกว่า -5dB UE อยู่ในเขตการครอบคลุม UL รูปที่ 2.43 การครอบคลุม UL ที่แย่งและพื้นที่การแทรกสอดตาม PUSCH RSSI/PUSCH SINR



รูปที่ 2.43 การครอบคลุม UL ที่แย่งและเขตการแทรกสอด

2.8.3 ความไม่สมดุลย์ของขาขึ้น และขาลง

เมื่อ UE ส่งกำลังสูงสุดแต่ยังไม่ได้ BLER ที่ต้องการ ใน DL กำลังส่ง DCH สูงสุด แต่ยังไม่ได้ BLER ที่ต้องการ ความไม่สมดุลของ UL และ DL นำไปสู่บริการสิ้นสุด สาเหตุที่พบมากที่สุดคือ การครอบคลุม UL ที่จำกัด การวิเคราะห์และแก้ปัญหา UL และ DL ไม่สมดุล (ไม่มีการแทรกสอดจากภายนอก) ใช้รายงานการวัด UL บน Uu อินเทอร์เฟซดังนี้

การจำกัด UL: $PHR < 3$ dB, $RIP < -100$ dBm, $UL_SINR < 0$ dB และ $RSRP > -105$ dBm

การจำกัด DL: $RSRP < -110$ dBm, $UL_SINR > 0$ dB, $PHR > 3$ dB และ $RIP < -100$ dBm

การแทรกสอด UL ทำให้ UL และ DL ไม่สมดุล ต้องมอนิเตอร์ eNB ตรวจสอบการแทรกสอด เพื่อแจ้งเตือนว่าอุปกรณ์ทำงานถูกต้องและแจ้งเตือนหากเกิดความไม่สมดุลจากปัจจัยอื่น เช่น การตั้งค่าเกณฑ์พิทเตอร์ และ PA ของทรังค์ไม่ถูกต้องหรือเสียหาย เป็นต้น

2.8.4 การครอบคลุมที่มีการทับซ้อน

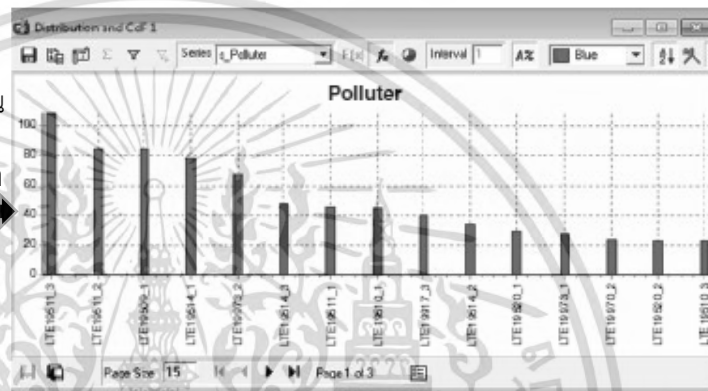
เมื่อใช้ความถี่เหมือนกัน หากพื้นที่ทับซ้อน 2 เซลล์มีขนาดใหญ่ เกิดการแทรกสอดมาก ทรูกพหุจะลดลง จึงต้องระบุตัวแทรกสอดแรงที่สุด ข้อมูลจากการขับรถทดสอบในพื้นที่ ระบุว่าพื้นที่ที่มี RSRP ดี แต่มี SINR หรือ RSRQ ต่ำ การวัด SINR และ RSRQ ขึ้นอยู่กับโหนดโครงข่าย และวิธีการวัด เมื่อโครงข่ายไม่มีโหนด จะวัด SINR จาก RS แสดงคุณภาพการวางแผน PCI ส่วน RS SINR มีส่วนประกอบบรันดัมขึ้นอยู่กับการชิงโครโนสเฟรมคลื่นวิทยุระหว่างไซต์ข้างเคียง (โครงข่ายไม่ได้ควบคุมการชิงโครโนส) เป็นไปได้ที่จะมีตำแหน่งที่ RS SINR ดี ในโครงข่ายที่ไม่มีโหนด แต่เกิดปัญหา

การแทรกสอดรุนแรง เมื่อมีทรานฟฟิกโหนดในเซลล์ข้างเคียง (ที่แทรกสอด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.44 แสดงพื้นที่ซึ่งสัญญาณไหลอดเกิดมลพิษ จากจำนวนสัญญาณที่มากกว่า 3 และ RSRP มากกว่า -105 dBm ไพลอดที่ให้บริการต่างกันน้อยกว่า 6 dB ผลเสียจากมลพิษไหลอด ประกอบด้วย การเลือกเซลล์บ่อยในสแตจ Idel การแฮนด์โอเวอร์แบบปิงปอง SNR ต่ำ BLER สูง สายหลุดระหว่างโทร (Call Drop) และทรูพุตต่ำ การลดมลพิษไหลอด (พื้นที่ทับซ้อน) เพื่อให้สมรรถนะโครงข่ายสูง สแตจแรก แก้ไขโดยปรับเปลี่ยนการเรียงสายอากาศและมุมอะซิมุท กำลัง eNB ของเซลล์ที่แทรกสอดให้ถูกต้อง แพทเทิร์นสายอากาศควรมีอัตราส่วนกำลังซีกเตอร์ต่ำ เพื่อให้การทับซ้อนน้อย และจำกัดไซท์โลป เพื่อลดพื้นที่ครอบคลุมในทิศทางที่ไม่ต้องการสัญญาณ สแตจที่สอง เปลี่ยนแปลงชนิดสายอากาศและความสูงหรือเพิ่มไซท์ใหม่/RRU

พื้นที่จำกัดสัญญาณรบกวน มีกำลังเพียงพอในพื้นที่ RSSI สูง ไม่มีซีฟเวอร์หลัก ค่า SINR นี้ สัญญาณ ถูกขัดขวาง ส่งผลให้บริการไม่ได้



รูปที่ 2.44 มลพิษสัญญาณไหลอด

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงระเบียบวิธีการวิจัยในรายละเอียด เพื่อออกแบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ LTE/LTE-A ทำการวิเคราะห์ความจุของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ LTE/LTE-A รูปแบบที่นำเสนอในทั้ง 4 กรณี

3.1. การออกแบบโครงข่าย

การออกแบบเพื่อวางตำแหน่งเซลล์สำหรับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ LTE/LTE-A ใช้งานแบนด์ I ย่านความถี่ 2100 MHz แบนด์วิดท์ในขาขึ้น และขาลงด้านละ 60 MHz มีช่วงของความถี่ขาลงที่ 2110-2170 MHz

3.2 ขั้นตอนการออกแบบ

ขั้นตอนการออกแบบมีรายละเอียดดังนี้

1. เลือกขนาดสถานีฐานของระบบ LTE/LTE-A จากคุณลักษณะที่ได้จากผู้ขาย (Vender) เพื่อหารูปแบบการติดตั้งสถานีฐานที่เหมาะสม โดยใช้แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถีของ Winner [14]

$$P_L \text{ (dB)} = A \log d(m) + B + C \log \left(\frac{f_c \text{ (GHz)}}{0.5} \right) + X \quad (3.1)$$

$$P_{L, free} \text{ (dB)} = 20 \log d(m) + 46.4 + 20 \log \left(\frac{f_c \text{ (GHz)}}{0.5} \right) \quad (3.2)$$

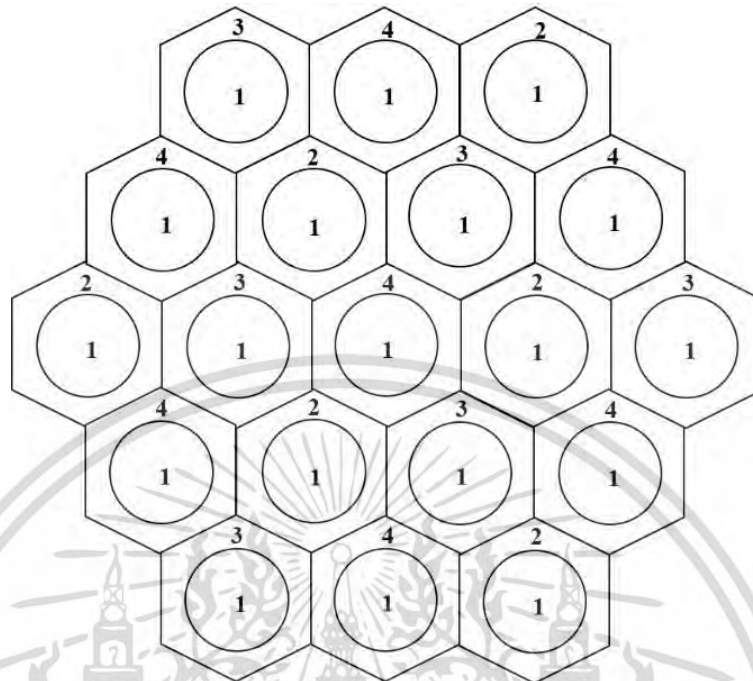
A, B, C, X ค่าสัมประสิทธิ์มีรายละเอียด ดังนี้

A1	LOS		$A = 18.7, B = 46.8, C = 20$	$\sigma = 3$
	NLOS		$A = 36.8, B = 43.8, C = 20$ และ ผนังเบา $X = 5(n_w - 1)$ ผนังหนัก $X = 12(n_w - 1)$	$\sigma = 4$
	NLOS	ผนังสูง	$A = 20, B = 46, C = 20, X = 5n_w$	$\sigma = 6$
		ผนังหนัก	$A = 20, B = 46, C = 20, X = 12n_w$	$\sigma = 8$

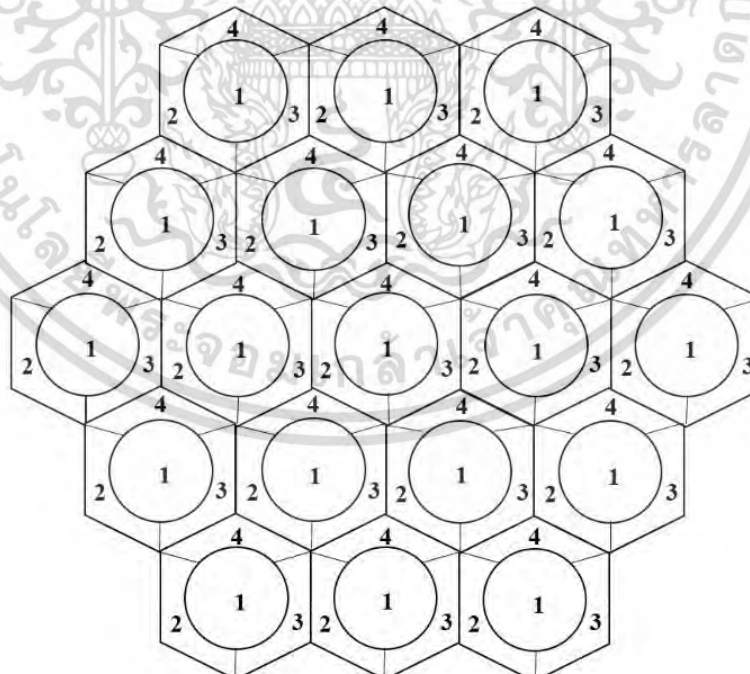
ได้ระยะการครอบคลุมของไมโคร/มาโครเซลล์ มีรัศมีเท่ากับ 500, 2000 เมตร ตามลำดับ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กำหนดรูปแบบด้วยเทคนิคการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน 4 รูปแบบ ดังรูปที่ 3.1-3.4

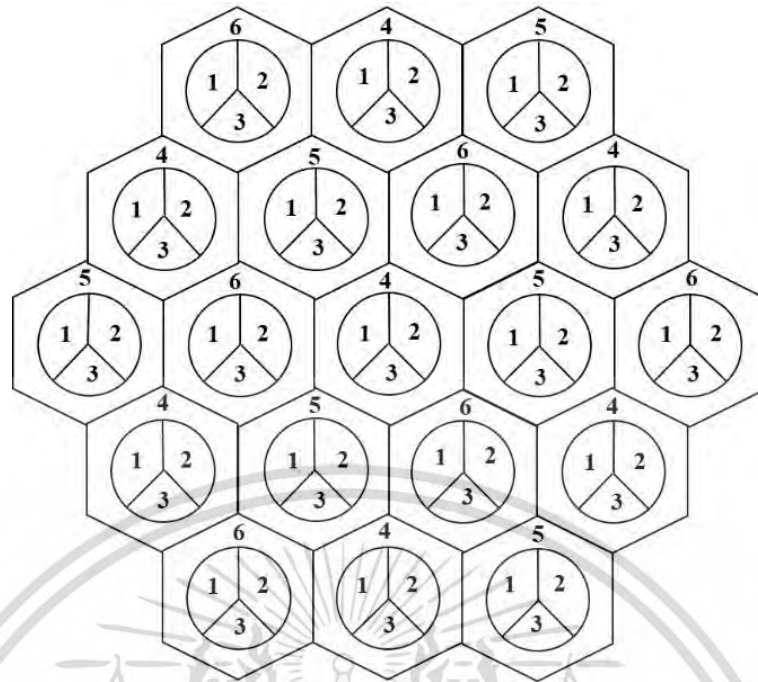


รูปที่ 3.1 รูปแบบที่พิจารณา 1 ใน [5]

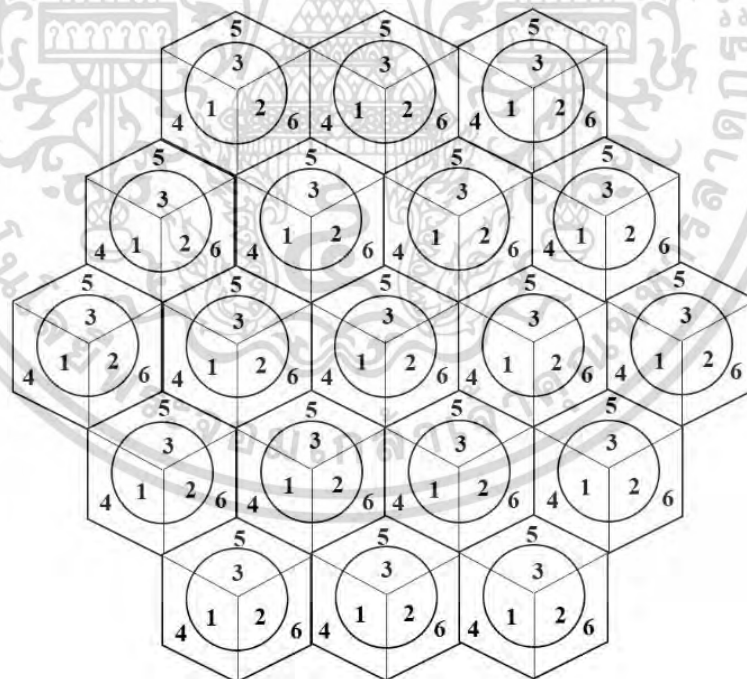


รูปที่ 3.2 รูปแบบที่พิจารณา 2 ใน [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 รูปแบบที่พิจารณา 3 (นำเสนอ 1)



รูปที่ 3.4 รูปแบบที่พิจารณา 4 (นำเสนอ 2)

3. จัดสรรช่องสัญญาณให้กับรูปแบบการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วนข้างต้นในกรณีต่างๆ มี

รายละเอียดดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณของทั้ง 4 รูปแบบที่พิจารณา

	เซลล์	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
1	ไมโคร	1=15+15=-30 MHz (2CC)	1=20+ 15+10=45 MHz (3CC)
	มาโคร	2-4=10*3=30 MHz	2-4=5*3=15 MHz
2	ไมโคร	1=15+15+15=45 MHz (3CC)	1=10+15+5=30 MHz (3CC)
	มาโคร	2-4=5*3=15 MHz	2-4=10*3=30 MHz
3	ไมโคร	1-3=5*3=15 MHz	1-3=15*3=45 MHz
	มาโคร	4-5=15*3=45 MHz	4-5=5*3=15 MHz
4	ไมโคร	1-3=10*3=30 MHz	1-3=5*3=15 MHz
	มาโคร	4-6=10*3=30 MHz	4-6=15*3=45 MHz

4. ทำการคำนวณอัตราส่วนกำลังต่อกำลังสัญญาณรบกวนที่ระยะที่ห่างจากสถานีฐานไมโคร/มาโครเซลล์ ดังนี้

$$SINR = \frac{P_x h_x P_{L,x}}{\sigma + \sum_n^z P_z h_z P_{L,z}} \quad (3.3)$$

โดย x คือ สถานีฐานในพื้นที่ให้บริการ

z คือ เซลล์ที่แทรกสอด

h คือ การกระจายเอกโพเนนเชียลของช่องสัญญาณ fast เฟดดิ้ง

P คือ กำลังส่ง

P_L คือ การสูญเสียเชิงวิถี

σ คือ ช่องสัญญาณ AWGN

y คือ จำนวนผู้ใช้งาน

5. หาค่าความจุของไมโคร/มาโครเซลล์ ได้จาก

$$C = \Delta f \log_2(1 + SINR) \quad (3.4)$$

โดย Δf คือ แบนด์วิดท์ช่องสัญญาณที่จัดสรรในแต่ละเซลล์

6. จากการจำลองแสดงผลเพื่อประเมินสมรรถนะของระบบทั้งสี่รูปแบบที่พิจารณา ด้วยขนาดความจุ

บทที่ 4

การจำลองและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลลัพธ์จำลองระบบที่ใช้ในการศึกษา และพิจารณาโดยตัวแปรหรือปัจจัยที่สำคัญ คือระยะห่างระหว่างผู้ใช้งานกับสถานีฐานทิศทางตำแหน่งการวางเซลล์ และจำนวนเซลล์ ซึ่งจะทำให้การศึกษาอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณแทรกสอด (SINR) ที่เกิดขึ้นทั้งในไมโครเซลล์ และมาโครเซลล์เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณความจุของระบบ

4.1 การจำลองระบบ

การจำลองระบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดำเนินการตามขั้นตอนในบทที่ 3 สรุปพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบดังตารางที่ 4.1

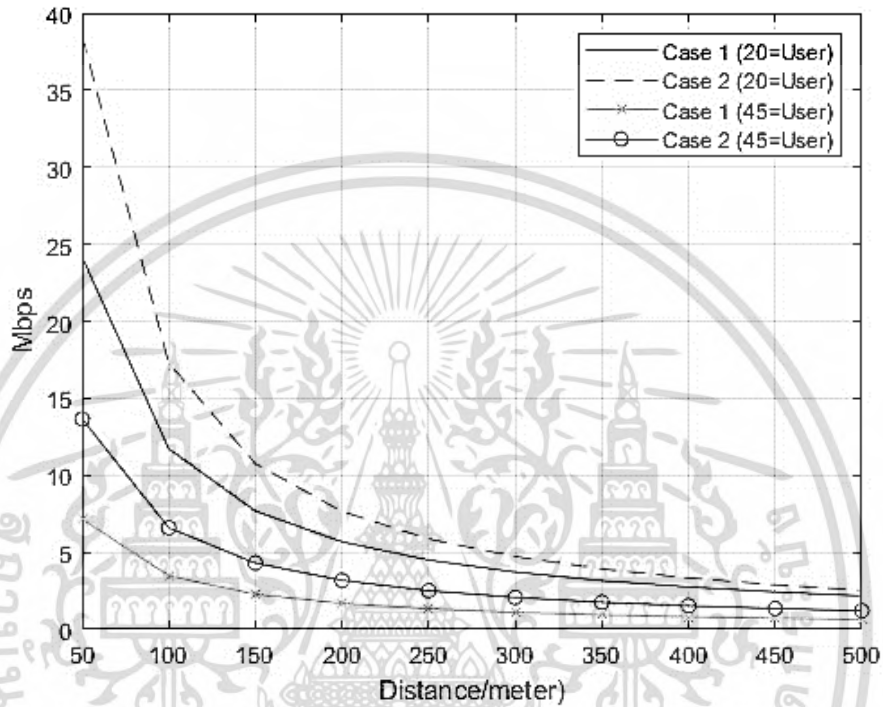
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

พารามิเตอร์	รายละเอียด	หน่วย
แบนด์ความถี่	2100	MHz
แบนด์วิธขาขึ้น/ขาลง	60/60	MHz
แบนด์วิธช่องสัญญาณ	5,10,15,20	MHz
แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี	แบบจำลอง Winner	
กำลังส่งของสถานีฐานไมโคร/มาโครเซลล์	30/60	วัตต์
เกนสายอากาศ	19	dBi
อัตราส่วนรัศมีไมโคร/มาโครเซลล์	1:4	
จำนวนผู้ใช้งานในไมโครเซลล์	20/45	ผู้ใช้งาน
จำนวนผู้ใช้งานในไมโครเซลล์ที่ไม่มีการทับซ้อนของมาโครเซลล์	10/15	ผู้ใช้งาน
รูปแบบการกระจายของผู้ใช้งาน	ยูนิฟอร์ม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

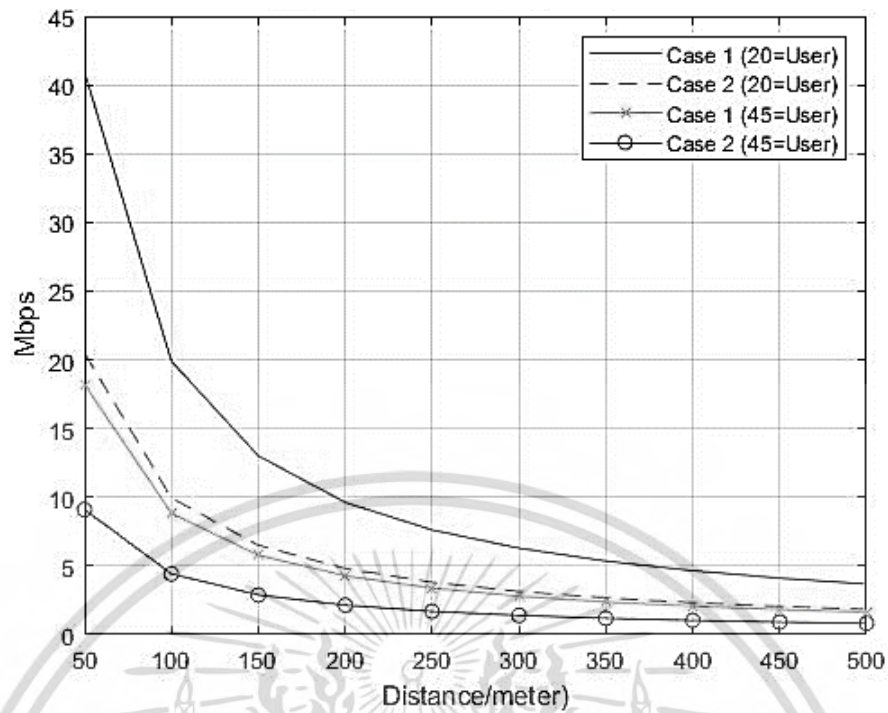
4.2 ผลการจำลอง

ผลการจำลองแสดงการเปรียบเทียบค่าความจุของแต่ละรูปแบบที่พิจารณาทั้ง 4 รวมทั้งกรณีการจัดสรรช่องสัญญาณที่ค่าแบนด์วิดท์ต่างๆ 2 กรณี รวมถึงสัดส่วนผู้ใช้งานของไมโคร/มาโครเซลล์ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 2:1 (20:10 ผู้ใช้งาน) สำหรับพื้นที่ใช้งานที่มีผู้ใช้งานปานกลางและ 3:1 (45:15 ผู้ใช้งาน) สำหรับพื้นที่ผู้ใช้งานจำนวนมาก ดังรูปที่ 4.1-4.8



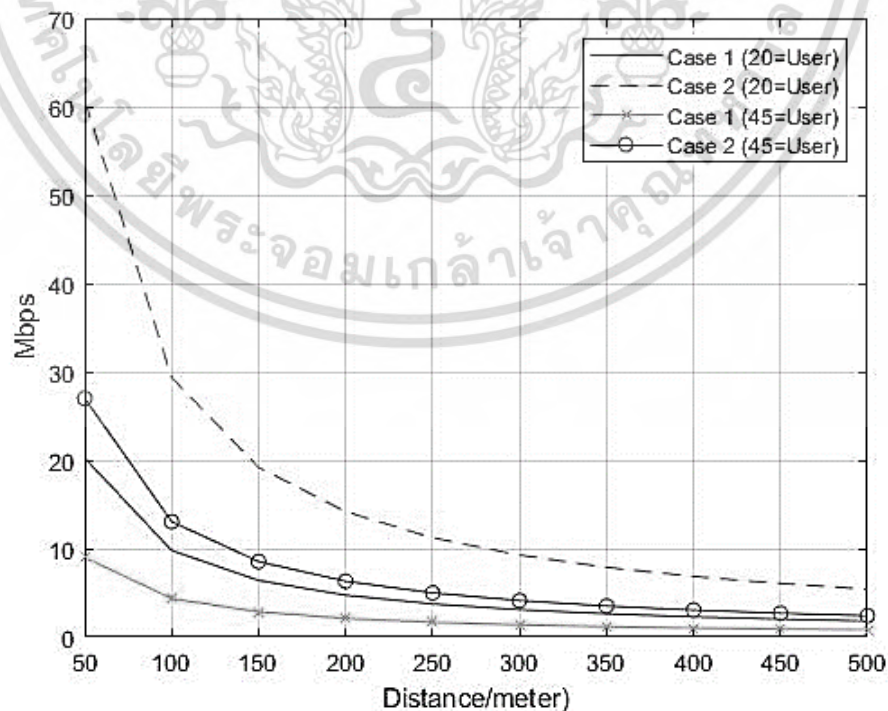
รูปที่ 4.1 ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของไมโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 1 [5]

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าความจุจะลดลงตามระยะทาง ค่าความจุของไมโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 1 [5] กรณีที่ 1 มีการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ (15+15=30 MHz (2CC MHz) กรณีที่ 2 มีการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ 20+ 15+10=45 MHz (3CC) จะเห็นได้ว่า การใช้จำนวน CC ที่มาก จะเพิ่มแบนด์วิดท์ในการใช้งาน และความจุจะเพิ่มตามแบนด์วิดท์



รูปที่ 4.2 ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของไมโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 2 [5]

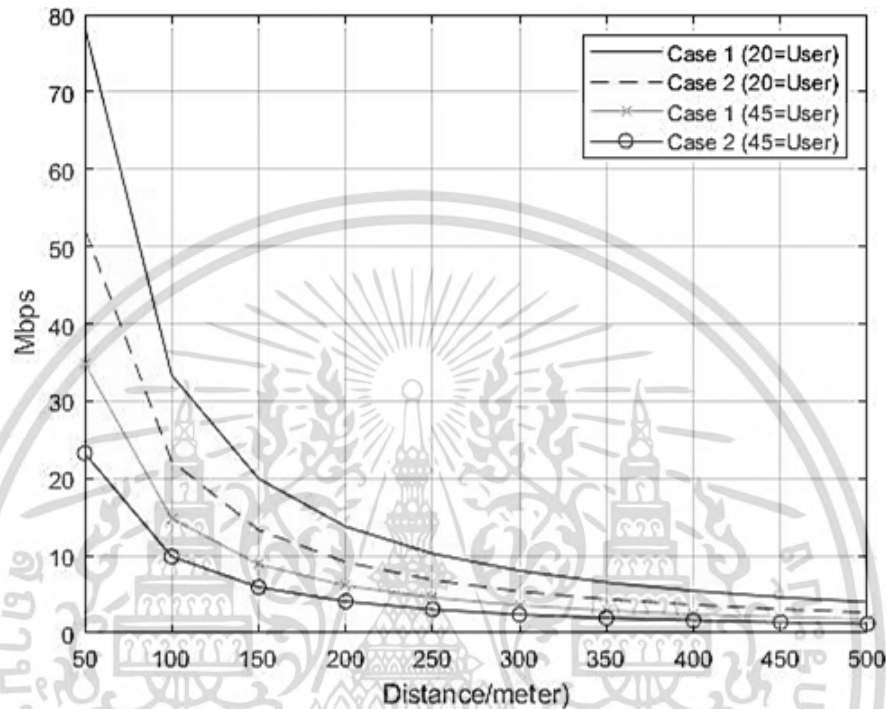
จากรูปที่ 4.2 ค่าความจุของไมโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 2 [5] กรณีที่ 1 มีการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ = $15+15+15=45$ MHz (3CC) กรณีที่ 2 มีการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ $10+15+5=30$ MHz (3CC) จะเห็นได้ว่า การใช้จำนวน CC ที่มาก จะเพิ่มแบนด์วิดท์ในการใช้งาน และความจุจะเพิ่มตามแบนด์วิดท์



รูปที่ 4.3 ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของไมโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 3 (นำเสนอ 1)

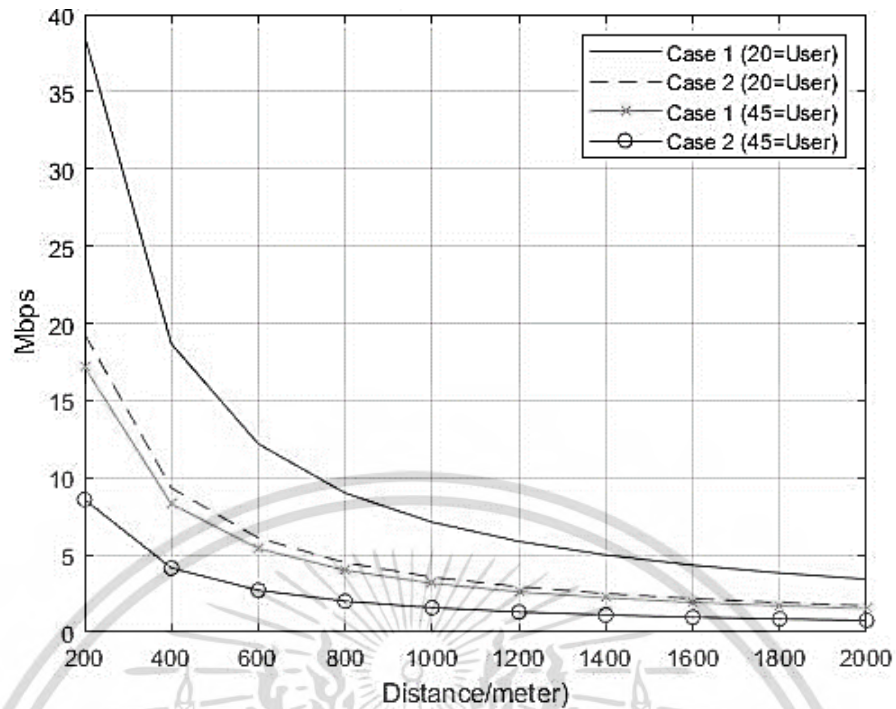
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร หรือมีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร เจ้าของเอกสารขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และไม่รับผิดชอบต่อความเสียหายใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของไมโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 3 (นำเสนอ 1) กรณีที่ 1 มีการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ $1-3=5*3=15$ MHz กรณีที่ 2 มีการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ $1-3=15*3=45$ MHz จะเห็นได้ว่า จะเพิ่มแบนด์วิดท์ในการใช้งาน และความจุจะเพิ่มตามแบนด์วิดท์



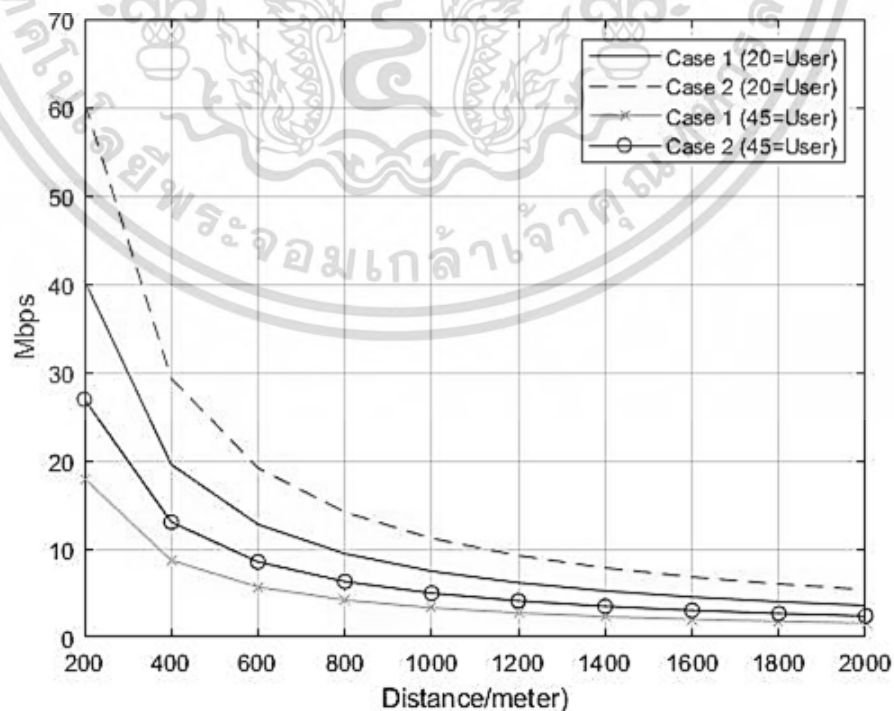
รูปที่ 4.4 ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของไมโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 4 (นำเสนอ 2)

จากรูปที่ 4.4 ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของไมโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 4 (นำเสนอ 2) กรณีที่ 1 มีการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ $1-3=10*3=30$ MHz กรณีที่ 2 มีการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ $1-3=5*3=15$ MHz จะเห็นได้ว่า จะเพิ่มแบนด์วิดท์ในการใช้งาน และความจุจะเพิ่มตามแบนด์วิดท์



รูปที่ 4.5 ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของมาโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 1 [5]

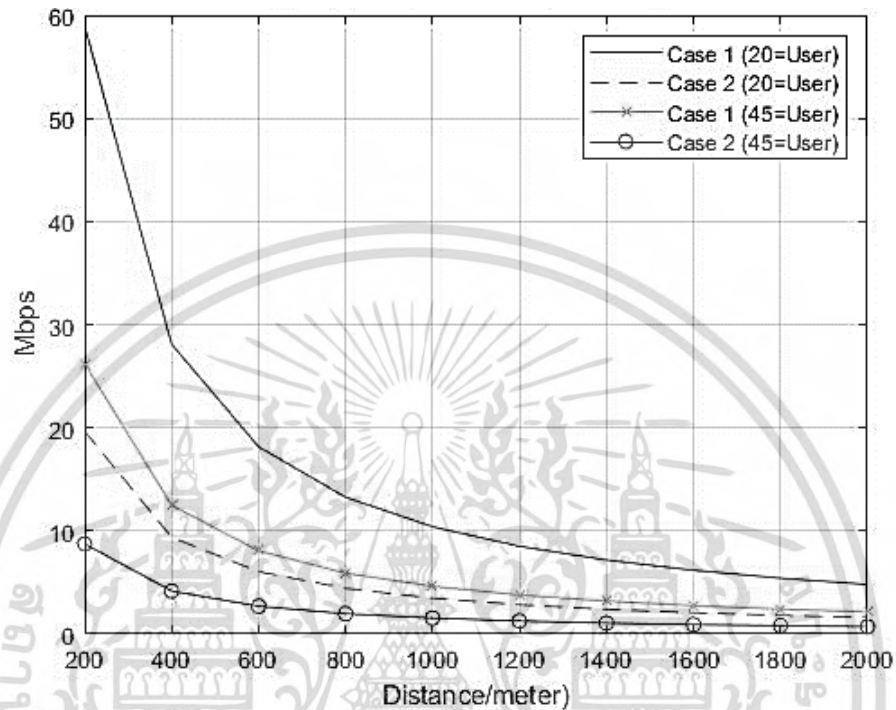
จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าค่าความจุจะลดลงตามระยะทาง ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของมาโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 1 [5] กรณีที่ 1 มีการจัดสรรแบนด์วิธช่องสัญญาณ $2-4=10*3=30$ MHz กรณีที่ 2 มีการจัดสรรแบนด์วิธช่องสัญญาณ $2-4=5*3=15$ MHz จะเห็นได้ว่า จะเพิ่มแบนด์วิธในการใช้งาน และความจุจะเพิ่มตามแบนด์วิธ



รูปที่ 4.6 ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของมาโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 2 [5]

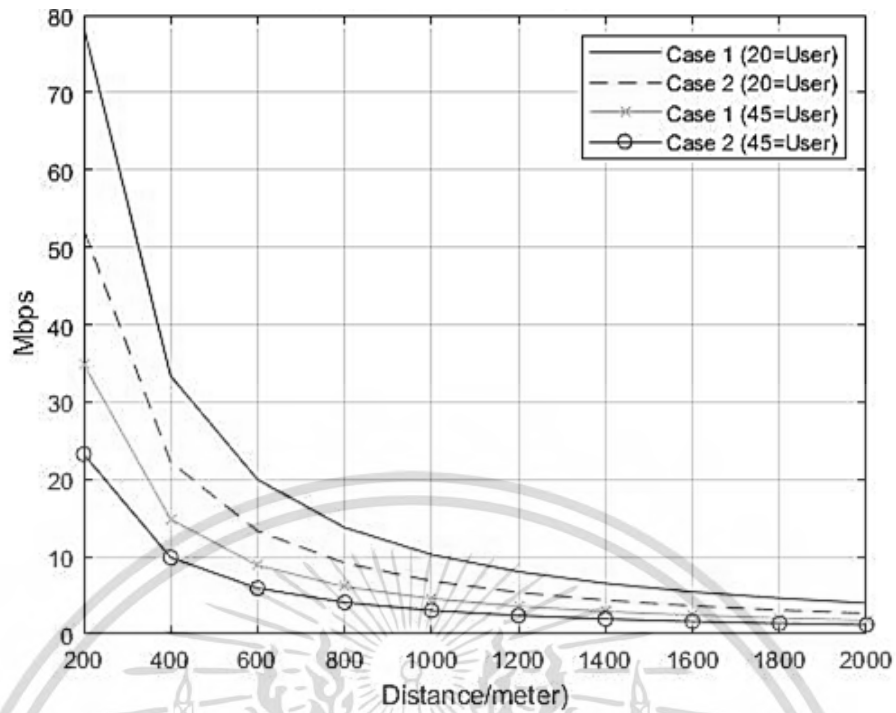
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของมาโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 2 [5] กรณีที่ 1 มีการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ $2-4=5*3=15$ MHz กรณีที่ 2 มีการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ $2-4=10*3=30$ MHz จะเห็นได้ว่า จะเพิ่มแบนด์วิดท์ในการใช้งาน และความจุจะเพิ่มตามแบนด์วิดท์



รูปที่ 4.7 ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของมาโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 3 (นำเสนอ 1)

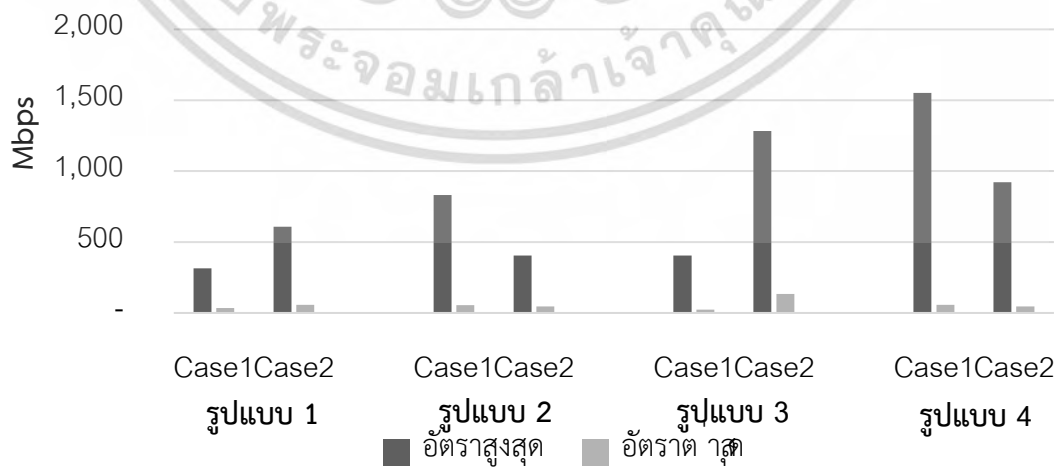
จากรูปที่ 4.7 ค่าความจุต่อผู้ใช้งานของมาโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 3 (นำเสนอ 1) กรณีที่ 1 มีการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ $4-5=15*3=45$ MHz กรณีที่ 2 มีการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ $4-5=5*3=15$ MHz จะเห็นได้ว่า จะเพิ่มแบนด์วิดท์ในการใช้งาน และความจุจะเพิ่มตามแบนด์วิดท์



รูปที่ 4.8 ค่าความจุของไมโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 4 (นำเสนอ 2)

ในรูปที่ 4.8 ค่าความจุของไมโครเซลล์ตามรูปแบบที่พิจารณา 4 (นำเสนอ 2) กรณีที่ 1 มีการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ $4-6=10*3=30$ MHz กรณีที่ 2 มีการจัดสรรแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ $4-6=15*3=45$ MHz จะเห็นได้ว่า จะเพิ่มแบนด์วิดท์ในการใช้งาน และความจุจะเพิ่มตามแบนด์วิดท์

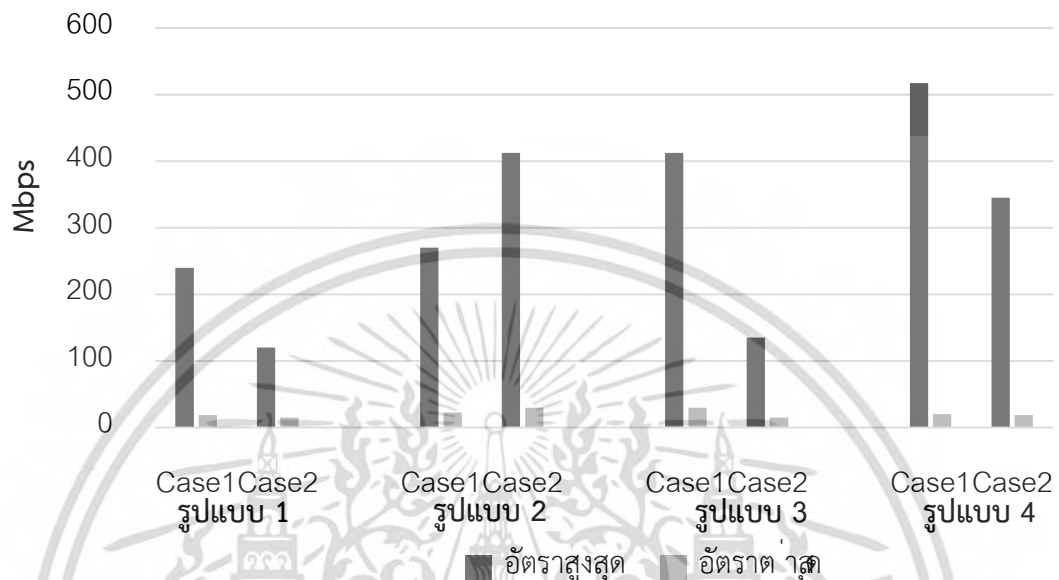
เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองแสดงค่าความจุในอัตราสูงสุด และอัตราต่ำสุด ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 2:1 (20:10 ผู้ใช้งาน) สำหรับพื้นที่ใช้งานที่มีผู้ใช้งานปานกลาง จะเห็นว่าผลการจำลองในกรณีที่ 1 รูปแบบพิจารณาที่ 4 มีปริมาณความจุสูงสุด ดังรูปที่ 4.9 - รูปที่ 4.11



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าความจุอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุดของไมโครเซลล์ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน

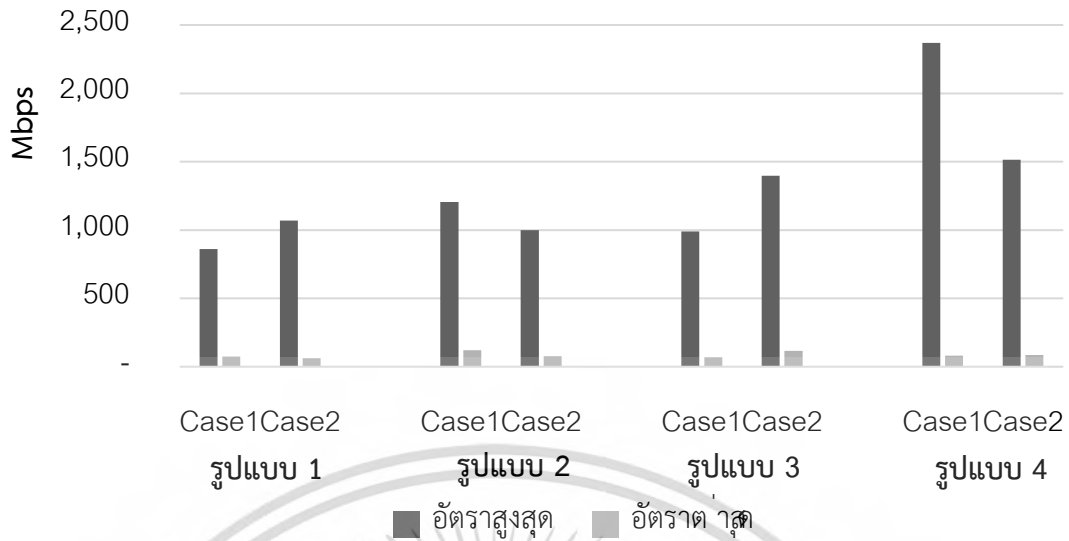
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานในเชิงวิชาการเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความจุในอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุด ของไมโครเซลล์ ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 2:1 (20:10 ผู้ใช้งาน) ผลการเปรียบเทียบค่าจากการจำลองแสดงค่าความจุใน รูปแบบพิจารณาที่ 4 กรณีที่ 1 รองลงมาคือรูปแบบพิจารณาที่ 3 กรณีที่ 2 รูปแบบพิจารณาที่ 2 กรณีที่ 1 และรูปแบบพิจารณาที่ 1 รูปแบบที่ 2



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าความจุอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุด ของไมโครเซลล์ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 2:1 (20:10 ผู้ใช้งาน) ทั้ง 4 รูปแบบพิจารณา

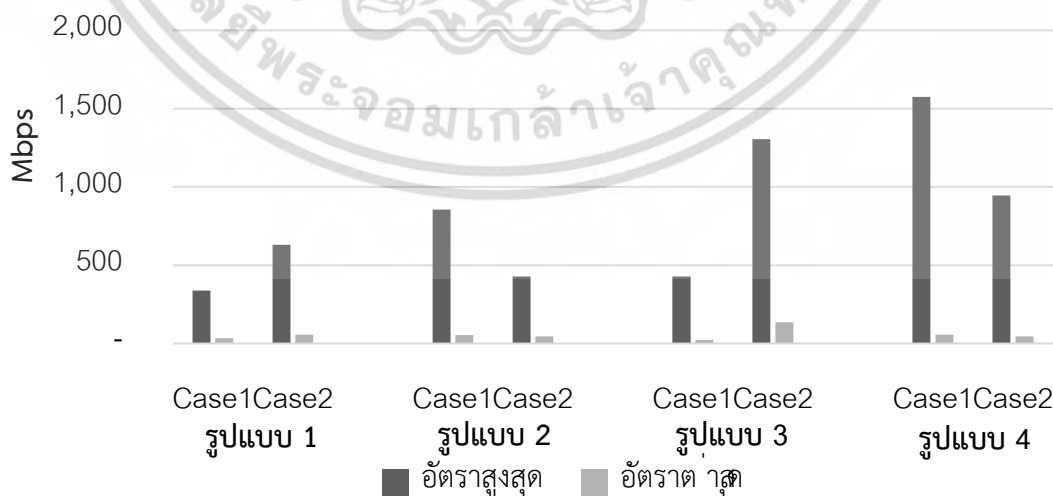
จากรูปที่ 4.10 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความจุในอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุด ของไมโครเซลล์ ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 2:1 (20:10 ผู้ใช้งาน) ผลการเปรียบเทียบค่าจากการจำลองแสดงค่าความจุใน รูปแบบพิจารณาที่ 4 กรณีที่ 1 รองลงมาคือรูปแบบพิจารณาที่ 2 กรณีที่ 2 รูปแบบการพิจารณาที่ 3 กรณีที่ 1 ค่าความจุสูงสุดมีความแตกต่างจากรูปแบบพิจารณาที่ 2 กรณีที่ 2 เพียงเล็กน้อย และอันดับ สดท้ายรูปแบบที่ 1 กรณีที่ 1



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าผลรวมความจุอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุด ของของระบบตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 2:1 (20:10 ผู้ใช้งาน) ทั้ง 4 รูปแบบพิจารณา

จากรูปที่ 4.11 แสดงค่าผลรวมการเปรียบเทียบค่าความจุในอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุด ของไมโคร/มาโครเซลล์ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 2:1 (20:10 ผู้ใช้งาน) ผลการจำลองแสดงค่าความจุสูงสุดในรูปแบบพิจารณาที่ 4 กรณีที่ 1 รองลงมาคือรูปแบบพิจารณาที่ 3 กรณีที่ 2 รูปแบบพิจารณาที่ 2 กรณีที่ 1 และรูปแบบพิจารณาที่ 1 กรณีที่ 2

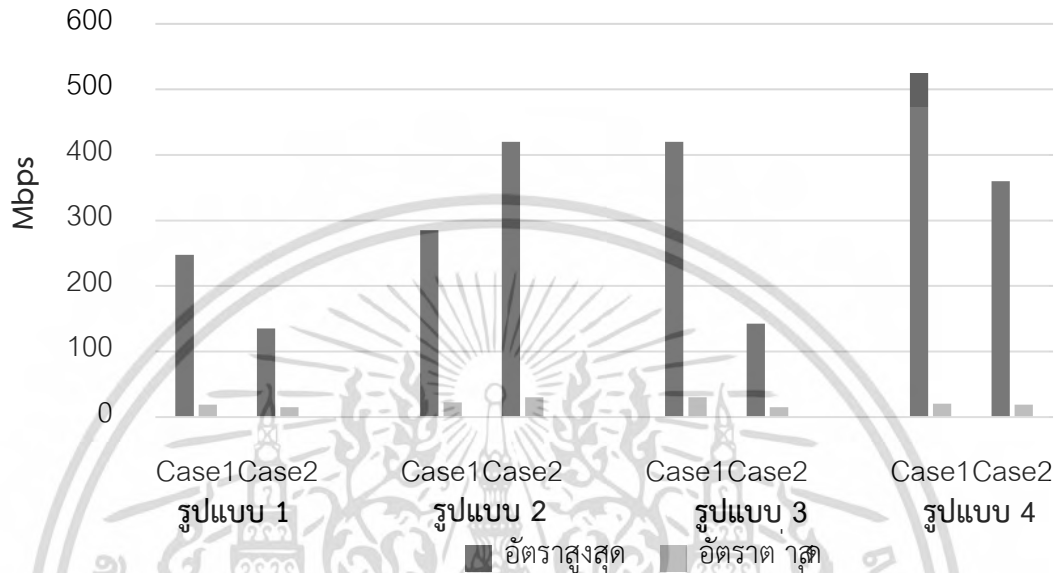
เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองแสดงค่าความจุในอัตราสูงสุด และอัตราต่ำสุด ของไมโคร/มาโครเซลล์ ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 3:1 (45:15 ผู้ใช้งาน) สำหรับพื้นที่ที่ผู้ใช้งานจำนวนมาก จะแสดงผลการเปรียบเทียบผลการจำลองในรูปแบบพิจารณาที่ 1 - รูปแบบพิจารณาที่ 4 ดังรูปที่ 4.12 - 4.14



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าความจุอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุด ของไมโครเซลล์ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน

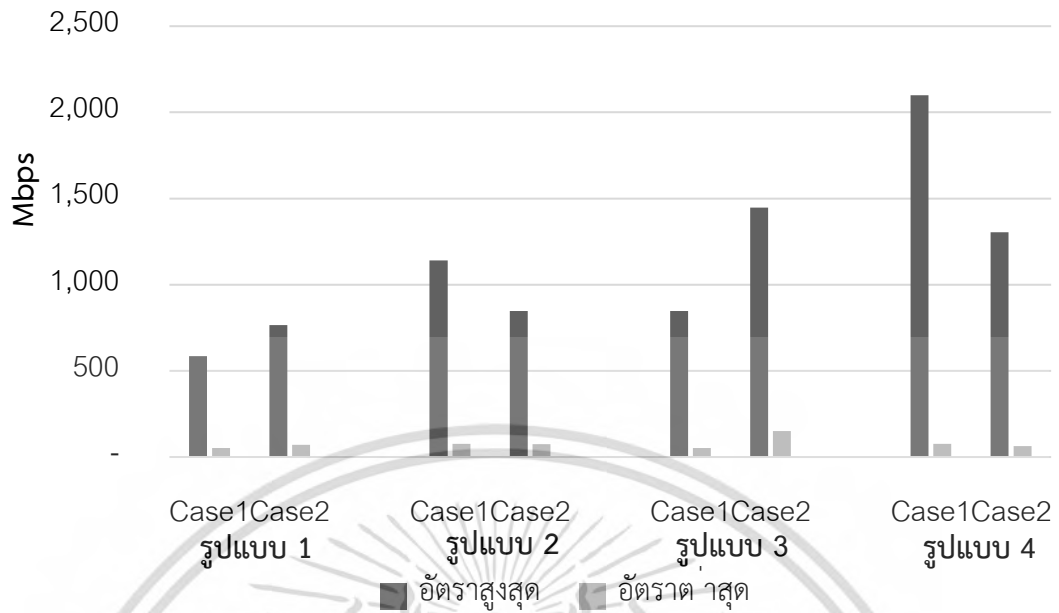
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความจุในอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุด ของไมโครเซลล์ ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 3:1 (45:15 ผู้ใช้งาน) ผลการเปรียบเทียบค่าจากการจำลองแสดงค่าความจุใน รูปแบบพิจารณาที่ 4 กรณีที่ 1 รองลงมาคือรูปแบบพิจารณาที่ 3 กรณีที่ 2 รูปแบบพิจารณาที่ 2 กรณี ที่ 1 และรูปแบบพิจารณาที่ 1 กรณีที่ 2



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าความจุสูงสุด-ต่ำสุดของมาโครเซลล์ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 3:1 (45:15 ผู้ใช้งาน) ทั้ง 4 รูปแบบที่พิจารณา

จากรูปที่ 4.13 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความจุในอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุด ของมาโครเซลล์ ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 3:1 (45:15 ผู้ใช้งาน) ผลการเปรียบเทียบค่าจากการจำลองแสดงค่าความจุใน รูปแบบพิจารณาที่ 4 กรณีที่ 1 รองลงมาคือรูปแบบพิจารณาที่ 3 กรณีที่ 2 ใกล้เคียงกับ รูปแบบ พิจารณาที่ 2 กรณีที่ 2 และอันอับสุดท้ายรูปแบบพิจารณาที่ 1 กรณีที่ 1



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าผลรวมความจุอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุด ของระบบตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 3:1 (45:15 ผู้ใช้งาน) ทั้ง 4 รูปแบบที่พิจารณา

จากรูปที่ 4.14 แสดงค่าผลรวมการเปรียบเทียบค่าความจุในอัตราสูงสุด-อัตราต่ำสุด ของไมโคร/มาโครเซลล์ ตามสัดส่วนผู้ใช้งาน 3:1 (45:15 ผู้ใช้งาน) ผลการจำลองแสดงค่าความจุสูงสุดในรูปแบบพิจารณาที่ 4 กรณีที่ 1 รองลงมาคือรูปแบบพิจารณาที่ 3 กรณีที่ 2 รูปแบบพิจารณาที่ 2 กรณีที่ 1 และรูปแบบพิจารณาที่ 1 รูปแบบที่ 2

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการจัดสรรช่องสัญญาณที่เหมาะสม สำหรับรูปแบบการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วนในโครงข่าย LTE/LTE-A โดยนำเสนอ 2 รูปแบบการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วนและการจัดสรรช่องสัญญาณแบบต่างๆ ที่แบนวิทช์ของระบบ 60 MHz จากผลการทดลองพบว่า รูปแบบพิจารณาที่ 4 (รูปแบบนำเสนอที่ 2) และการจัดสรรช่องสัญญาณในกรณีที่ 1 ให้ความจุของระบบสูงที่สุด รองลงมา คือรูปแบบพิจารณาที่ 3 (รูปแบบนำเสนอที่ 1) และการจัดสรรช่องสัญญาณกรณีที่ 2 ในตารางที่ 3.1

ค่าความจุของระบบสำหรับผู้ใช้งานในไมโคร/มาโครเซลล์ ที่อัตราส่วน 2:1 (20:10 ผู้ใช้งาน) รูปแบบพิจารณาที่ 4 (รูปแบบนำเสนอที่ 2) กรณีที่ 1 ให้ความจุของระบบสูงที่สุด เหมาะสำหรับพื้นที่ใช้งานที่มีผู้ใช้งานปานกลาง และให้ความจุต่อผู้ใช้งานสูง เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบพิจารณาที่ 2 (รูปแบบที่มีการนำเสนอก่อนหน้า) กรณีที่ 2 ความจุของรูปแบบพิจารณาที่ 4 (รูปแบบนำเสนอที่ 2) กรณีที่ 1 ให้ความจุสูงกว่า 49% เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบพิจารณาที่ 3 (รูปแบบนำเสนอที่ 1) กรณีที่ 2 กับรูปแบบพิจารณาที่ 2 (รูปแบบที่มีการนำเสนอก่อนหน้า) กรณีที่ 2 ความจุของระบบสูงกว่า 14%

ค่าความจุของระบบสำหรับผู้ใช้งานในไมโคร/มาโครเซลล์ ที่อัตราส่วน 3:1 (45:15 ผู้ใช้งาน) รูปแบบพิจารณาที่ 4 (รูปแบบนำเสนอที่ 2) กรณีที่ 1 ให้ความจุของระบบสูงที่สุด เหมาะสำหรับพื้นที่ใช้งานที่มีผู้ใช้งานปานกลาง และให้ความจุต่อผู้ใช้งานสูง เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบพิจารณาที่ 2 (รูปแบบที่มีการนำเสนอก่อนหน้า) กรณีที่ 2 ความจุของรูปแบบพิจารณาที่ 4 (รูปแบบนำเสนอที่ 2) กรณีที่ 1 ให้ความจุสูงกว่า 47% เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบพิจารณาที่ 3 (รูปแบบนำเสนอที่ 1) กรณีที่ 2 กับรูปแบบพิจารณาที่ 2 (รูปแบบที่มีการนำเสนอก่อนหน้า) กรณีที่ 2 ความจุของระบบสูงกว่า 22%

จากผลการจำลองความจุรวมของระบบ รูปแบบพิจารณาที่ 4 (รูปแบบนำเสนอที่ 2) มีความจุรวมสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบพิจารณาที่ 2 (รูปแบบที่มีการนำเสนอก่อนหน้า) ทั้งพื้นที่ใช้งานที่มีผู้ใช้งานปานกลาง และพื้นที่ผู้ใช้งานจำนวนมาก แต่จะการใช้ทรัพยากร (สายอากาศและสายส่ง) มากกว่า จึงมีค่าใช้จ่ายสูง หากต้องลดค่าใช้จ่ายให้ใช้รูปแบบพิจารณาที่ 3 (รูปแบบนำเสนอที่ 1) กรณีที่ 2 เหมาะกับพื้นที่ที่ต้องการความจุน้อยลง

บรรณานุกรม

- [1] H. Holma, A. Toskala and P. Tapia, “HSPA+ evolution to release 12 performance and optimization”, John Wiley & Sons, Ltd, 2014.
- [2] André Perez, “LTE and LTE Advanced 4G Network Radio Interface”, ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc, 2015.
- [3] J. T. J. Penttinen, “The LTE-Advanced Deployment Handbook The Planning Guidelines For The Fourth Generation Networks”, John Wiley & Sons, Ltd, 2016.
- [4] P. Moungnoul and M. Pongsuwanporn, “Capacity analysis of macro and microcell layout in W-CDMA cellular system” *2007 Asia-Pacific Conference on Communications*, pp. 253-256, 2007.
- [5] D. Bilios and et.al., " Optimization of Fractional Frequency Reuse in Long Term Evolution Networks", 2012
- [6] S. Hashima, Osamu and I Mahmoud, “Analysis and Comparison of Fractional Frequency Reuse Schemes Based on Worst Case Signal to Interference Power Ratio in OFDMA Uplink,” pp.1 - 6, DOI: 10.1109/WTS.2014.6835023,2014.
- [7] M. Malekzadeh and A. A. Abdul Ghan, “3-Sector Cell vs. Omnicell: Cell Sectorization Impact on the Performance of Side-by-Side Unlicensed LTE and 802.11ac Air Interfaces” *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 122315- 122329, 2019.
- [8] J. GARCÍA-MORALES, G. FEMENIAS, and F. RIERA-PALOU, “Higher Order Sectorization in FFR-Aided OFDMA Cellular Networks: Spectral- and Energy-Efficiency”, *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 11127- 11139, 2019.
- [9] C, Cox, “An Introduction to LTE, LTE-Advanced, SAE, VoLTE and 4G Mobile Communications”, Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd, 2014.
- [10] A. Elnashar and M. El-saidny, “Practical Guide to LTE-A, VoLTE and IoT Paving the Way Towards 5G”, John Wiley & Sons, Ltd, 2018.
- [11] Huawei, “Long Term Evolution (LTE) Radio Access Network Planning Guide”, Huawei Technologies Co., Ltd. 2011
- [12] F. Khan, “LTE for 4G Mobile Broadband Air Interface Technologies and Performanc”, Cambridge University Press, 2009
- [13] X. Zhang, “LTE Optimization Engineering Handbook”, John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 2018.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [14] P. Kyösti and group, "WINNER II Channel Models cellular models" IST-4-027756
WINNER II D1.1.2 V1.2 2007



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

[1] Udomphan Chaiwongkhan, Samakom Matathong, Tomoaki Sato and Pichet Moungnoul, “Comparison of Frequency Reuse Schemes for LTE Micro-Macro Cells”, 2018 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTICON) ,18-21 July 2018 ,Chiangrai ,Thailand.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายอุดรพันธ์ ชัยวงศ์คำ

วัน เดือน ปีเกิด 8 มิถุนายน พ.ศ.2532 ที่จังหวัดเชียงราย

ที่อยู่ 74 หมู่15 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย

ประวัติการศึกษา 2556 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ในปีการศึกษา

ประสบการณ์ทำงาน ปัจจุบัน รองกรรมการผู้จัดการ บริษัท สยามสไมล์ แอสเสท จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้