การวางแผนวิธีนำสัดส่วนความถี่มาใช้ซ้ำบนเครือข่าย แอล ที อี ในยุคที่ 4

PLANNING SCHEME OF FRACTIONAL FREQUENCY REUSE ON LTE NETWORK 4G

สมาคม มะทะธง

SAMAKOM MATATHONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2566

KMITL-2023-EN-M-029-104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PLANNING SCHEME OF FRACTIONAL FREQUENCY REUSE ON LTE NETWORK 4G

SAMAKOM MATATHONG

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2023-EN-M-029-104

COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวางแผนวิธีนำสัดส่วนความถี่มาใช้ซ้ำบนเครือข่าย แอล ที อี ในยุค ที่ 4
นักศึกษา นาย สมาคม มะทะธง
รหัสนักศึกษา 59601139
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ. 2566
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอการวางแผนเครือข่าย แอล ที อี โดยวิธีนำความถี่มาใช้ซ้ำตามสัดส่วนเพื่อใช้ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพโดยเสนอรูปแบบวิธีการนำความถี่มาใช้ซ้ำตามสัดส่วนลักษณะต่าง ๆ รวมทั้งเทคนิคการวางเซลล์แบบทับซ้อนด้านบน-ล่าง มาโคร ไมโครและพิโคร เซลล์ ทั้งหมด 4 รูปแบบแสดงผลลัพธ์ด้วยการเปรียญเทียบในแต่ละสถานการณ์ นอกจากนี้ยังนำเสอวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณให้เหมาะสมต่อความต้องการของผู้ใช้งานในแต่ละพื้นที่

จากผลลัพธ์การจำลองรูปแบบที่นำเสนอ 4 ให้สมรรถนะสูงสุด

คำสำคัญ : การนำความถี่มาใช้ซ้ำ การวางเซลล์แบบทับซ้อนด้านบน-ล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Planning Scheme of Fractional Frequency Reuse on LTE Network 4G
Student	Mr. Samakom Matathong
Student ID.	59601138
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Phichet Moungnoul

ABSTRACT

This thesis propose LTE network planning by used Fractional Frequency Reuse (FFR) method for install with high efficiently equipment The Pattern of different Fractional Frequency Reuse will be investigation

Furthermore, Cell over-under technique with Macro Micro Pico Cell.in 4 pattern are investigation . The Channel allocation for each cell in 4 model are investigation, to find the optimization model to for demand of users in each area. Simulation results show capacity of each model. By compare of each model, the patter 4 show highest of LTE network performance.

Keyword Frequency Reuse (FR) Fractional Frequency Reuse (FFR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวลซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ด้วยมิตรไมตรี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา อา พี่สาว และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สมาคม มะทะธง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VIII
สารบัญรูป.....IX
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....2
1.6 ขั้นในตอนของการศึกษา.....2
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน.....3
1.8 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาในวิทยานิพนธ์.....3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4
2.1 บทนำ.....4
2.1.1 ประวัติความเป็นมาของการสื่อสารไร้เคลื่อนที่.....4
2.2 เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ LTE.....6
2.2.1 สถาปัตยกรรมเครือข่าย.....6
2.2.2 OFDMA/SC-FDMA.....8
2.2.3 บิตและการมอดูเลต.....9
2.2.3.1 การมอดูเลตแอมพลิจูดพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส (QAM).....9
2.2.3.2 บิตที่ส่งในแต่ละการ การมอดูเลต.....11
2.2.4 ตัวเลข ที่อยู่ และการระบุตัวตน.....12
2.2.4.1 Physical Cell identity (PCI).....12
2.2.5 สถาปัตยกรรมการส่งผ่านข้อมูลทางอากาศของระบบ LTE.....13
2.2.5.1 สถาปัตยกรรมการส่งผ่านข้อมูลทางอากาศของระบบ LTE.....13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.5.2 ช่องสัญญาณตรรกะ (Logical Channel) 15
2.2.5.3 ช่องสัญญาณทางการขนส่ง (Transport Channel) 17
2.2.5.3 ช่องสัญญาณทางกายภาพ (Physical Channel) 18
2.2.5.4 ช่องสัญญาณควบคุม 19
2.2.5.5 ช่องการควบคุมทางกายภาพ 20
2.2.6 บล็อกทรัพยากร (Resource Block:RB) 21
2.2.6.1 โครงสร้างสล๊อต 21
2.2.6.2 โครงสร้างเฟรม 21
2.2.6.3 Resource Element and Resource Block 23
2.2.6.3.1 Resource Element (RE) 23
2.2.6.3.2 Resource Block (RB) 23
2.3 พื้นทีบริการของระบบ LTE 26
2.3.1 พื้นที่เซลล์ 26
2.3.2 พิโคร/ไมโคร/มาโครเซลล์ 26
2.3.2.1 สถานีฐานแบบ มาโคร เซลล์ 26
2.3.2.2 สถานีฐานแบบ ไมโครเซลล์ 26
2.3.2.3 สถานีฐาน พิโครเซลล์ 27
2.3.4 การคาดคะเนการครอบคลุม (Link Budget) 27
2.3.5 สายอากาศ (Antenna) 30
2.3.5.1 หลักการทำงานของสายอากาศ 30
2.3.5.2 ประเภทของสายอากาศ 30
สายอากาศรอบทิศทาง (Omnidirectional Antenna) 30
สายกาศกำหนดทิศทาง (Sector) 31
2.3.6 อัตราขยายของสายอากาศ 31
2.3.7 แบบจำลองการสุญเสียเชิงวิถี (Pathloss) 32
2.3.7.1 แบบจำลอง Okumura Hata 32
2.3.7.2 แบบจำลอง Winner 33
2.4 การนำความถี่กลับมาใช้ซ้ำ 34
2.4.1 สัญญาณแทรกสอด 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1.1 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดภายในเซลล์เดียวกัน 35
2.4.1.2 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากเซลล์ภายนอก 36
2.4.2 การวิเคราะห์การแทรกสอด 37
2.4.2.1 หลักการแทรกสอด 37
2.4.2.2 การแทรกสอดขาลง (Downlink) 38
2.4.3 อัตราส่วนการแทรกสอดขาลง (Downlink) 38
2.4.4 ความสมดุลของ SINR และ RSRP 39
2.4.5 การลดแทรกสอดในระบบเซลลูลาร์ 41
2.4.5.1 การลดความสูงสายอากาศสถานีฐาน 41
2.4.5.2 การลดการแทรกสอดโดยการปรับมุมเอียงของสายอากาศ 41
2.4.5.3 การลดการแทรกสอดด้วยการแบ่งเซกเตอร์ 42
2.4 6รูปแบบการจัดสรรเซลล์ 46
2.4.6.1 รูปแบบอ้างอิงที่ 1 46
2.4.6.2 รูปแบบอ้างอิงที่ 2 46
2.5 เทคนิคการวางเซลล์แบบทับซ้อนด้านบน-ล่าง 47
2.5.1 เทคนิคการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน (FFR) 47
2.5.2 การครอบคลุมของช่องสัญญาณทราฟฟิก 47
2.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ 48
2.6.1 Reference Signal Received Power (RSRP) 48
2.6.2 Signal-to-Interference-plus-noise Ratio (SINR) 48
2.6.3 Physical เซลล์ Identity (PCI) 48

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย 49
3.1 การออกแบบ 49
3.2 ขั้นตอนการออกแบบระบบ 49
3.3 รายละเอียดขั้นตอนของระบบ 50
3.3.1 ออกแบบและการกำหนดรูปแบบของกลุ่มเซลล์ 50
3.3.2 การหาระยะห่างระหว่างเซลล์ 52
3.3.3 กำหนดพื้นที่ครอบคลุมเซลล์ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.3.1 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี 54
3.3.4 จัดวางเซลล์ จัดสรรความถี่และช่องสัญญาณการถ่ายโอนข้อมูล 54
3.3.4.1 รูปแบบจากจัดสรรช่องสัญญาณในกับเซลล์ 54
3.3.5 คำนวณค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง 56
3.3.5.1 ค่า RSRP 56
3.3.5.2 ค่าอัตราส่วนกำลังส่งต่อสัญญาณรบกวน (SINR) 57
3.3.5.3 ค่าความจุของช่องสัญญาณ 57
3.4.5 การเปรียญเทียบผลลัพธ์เพื่อประเมินสมรรถนะของระบบ 57

บทที่ 4 การจำลองและการวิเคราะห์ 58
4.1 บทนำ 58
4.2 การจำลองระบบเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ 58
4.3 การจำลองระบบ 59
4.4 ผลลัพธ์การจำลอง 60
4.4.1 ผลลัพธ์ค่า ค่าความจุ ของแต่ละรูปแบบที่พิจารณาทั้ง 4 60
4.4.2 ผลลัพธ์ค่า ค่าความจุ ของ พิโคร ไมโคร มาโคร เซลล์ ที่พิจารณารูปแบบ 4 รูปแบบ 66
4.4.3 กราฟแสดงผลลัพธ์ค่า ค่าความจุ รวมสูงสุดกับต่ำสุดของ Case 1-2 67
4.5 วิเคราะห์ผลการการจำลอง 67

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 68

บรรณานุกรม 69
ภาคผนวก 70
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ 71
อภิธานศัพท์โทรคมนาคม 72
ประวัติผู้เขียน 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
2.1 พัฒนาการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ 6
2.2 ช่องตรรกะที่ใช้ในระบบ LTE 16
2.3 ช่องทางการขนส่ง (Transport Channel) 17
2.4 ช่องข้อมูลทางกายภาพที่ใช้กับระบบ LTE 18
2.5 ช่องสัญญาณควบคุม 19
2.6 ช่องสัญญาณควบคุมทางกายภาพ 20
4.1 พารามิเตอร์ระบบ 59
4.2 แบนด์วิดธ์ ที่จัดสรรรูปแบบที่ 1-4 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างโครงข่าย EPS 7

2.2 OFDMA/SC-FDMA 8

2.3 Constellation Diagram QAM 10

2.4 ค่าบิตของการการมอดูเลต ในแบบต่าง ๆ 11

2.5 การระบุตัวตน 12

2.6 การระบุตัวตนชั่วคราวของโทรศัพท์เคลื่อนที่ 13

2.7 สถาปัตยกรรมโครงข่ายโปรโตคอลในการส่งผ่านทางอากาศ 14

2.8 โครงสร้างของช่องสัญญาณ LTE 15

2.9 ลักษณะสัญลักษณ์ในสล๊อตที่ใช้ CP ปกติและขยาย 21

2.10 โครงสร้างเฟรมในโหมด FDD 22

2.11 บล๊อคทรัพยากร RB 22

2.12 Cyclic Prefix 23

2.13 Resource Grid แบบ Normal Cyclic Prefix 24

2.14 ค่าพารามิเตอร์ของแบนด์วิดธ์ ขนาดต่าง ๆ 25

2.15 พารามิเตอร์ ของ Resource block (RB) 25

2.16 ขนาดการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ 26

2.17 พื้นที่บริการของ พิโคร/ไมโคร /มาโครเซลล์ 27

2.18 ไดอะแกรมการคาดคะเนระดับสัญญาณระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ 28

2.19 สายอากาศรอบทิศทาง (Omnidirectional Antenna) 30

2.20 สายอากาศเซกเตอร์ 31

2.21 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี 32

2.22 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี Winner 33

2.23 การนำความถี่มาใช้ซ้ำ (FR) 34

2.24 การใช้ความถี่ช่องสัญญาณซ้ำของรูปแบบเซลล์ต่าง ๆ 35

2.25 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากเซลล์ภายในเซลล์เดียวกัน 36

2.26 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากเซลล์ภายนอก 37

2.27 ไม่มีเซลล์หลักในพื้นที่ 38

2.28 ไม่มีเซลล์หลักในพื้นที่ 39

2.29 สมดุลระหว่าง SINR และ RSRP 40

2.30 SINR ของ RS DL ระหว่างการแฮนด์โอเวอร์ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.31 การเปลี่ยนแปลงความสูงของสายอากาศส่งผลต่อขนาดเซลล์และการแทรกสอด 41
2.32 สายอากาศมีทิศทาง (ก) ปรับมุมเอียงในแนวนอน และ (ข) ปรับมุมเอียงในแนวตั้ง..... 42
2.33 (ก) สายอากาศแบบมีทิศทาง (ข) แพทเทิร์นสายอากาศในแนวนอนและ.....
(ค) แพทเทิร์นสายอากาศในแนวตั้ง 44
2.34 เซลล์เซกเตอร์แบบต่าง ๆ..... 44
2.35 รายละเอียดโซนของเซลล์เซกเตอร์ 45
2.36 แสดงการเกิดการแทรกสอดโคแชนแนลของเซลล์ 2 ชั้น (N=7 45
2.37 การจัดกลุ่มแบบ Omnidirectional 46
2.38 การจัดกลุ่มแบบเซกเตอร์..... 46
2.39 ตัวอย่างการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน (ก) การจัดสรรความถี่ (ข) แผนผังการวางแผน . 47
2.40 ตัวอย่างการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วนของเซลล์เซกเตอร์..... 47
3.1 ขั้นตอนการออกแบบ 49
3.2 รูปแบบที่นำเสนอ 1 50
3.3 รูปแบบที่นำเสนอ 2..... 50
3.4 รูปแบบที่นำเสนอ 3..... 51
3.5 รูปแบบที่นำเสนอ 4..... 51
3.6 การคำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างเซลล์ 52
3.7 ระยะห่างในแต่ละชั้น 53
3.8 กลุ่มเซลล์ที่พิจารณา 1..... 54
3.9 กลุ่มเซลล์ที่พิจารณา 2..... 55
3.10 กลุ่มเซลล์ที่พิจารณา 3 55
3.11 กลุ่มเซลล์ที่พิจารณา 4 56
4.1 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ พิโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 1 60
4.2 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ พิโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 2 60
4.3 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ พิโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 3 61
4.4 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ พิโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 4 61
4.5 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ ไมโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 1 62
4.6 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ ไมโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 2 62
4.7 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ ไมโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 3 63
4.8 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ ไมโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 4 63
4.9 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ มาโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 1 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.10 ค่า ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ มาโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 2 64
4.11 ค่า ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ มาโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 3 65
4.12 ค่า ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ มาโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 4 65
4.13 เปรียบเทียบค่า ค่าความจุ พิโคร Case 1-2 66
4.14 เปรียบเทียบค่า ค่าความจุ ไมโคร Case 1-2 66
4.15 เปรียบเทียบค่า ค่าความจุ มาโคร Case 1-2 67
4.16 ค่าความจุ รวมสูงสุดกับต่ำสุด ของ Case 1-2 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นการส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุ มีการพัฒนาบริการสื่อสารไร้สายเคลื่อนที่ความเร็วสูง ที่เป็นไปอย่างรวดเร็ว มีบทบาทความสำคัญต่อการดำรงชีพของมนุษย์ในยุคเทคโนโลยีสารสนเทศ ส่งผลให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารอย่างต่อเนื่องและตอบสนองต่อปริมาณผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ต่อมาได้มีการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จากยุคที่ 1 (แอนาลอก) ไปสู่ยุคที่ 4 ที่ให้อัตราเร็วสูงถึง 1 Gbps ได้มีการพัฒนามาตรฐาน (The 3rd Generation Partnership Project :3GPP) [1]

3GPP Rel (Release) 8 ได้มีการเสนอมาตรฐานเครือข่าย (Long Term Evolution : LTE) ที่ใช้เทคนิค (Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access : OFDMA) ในขาลงและ (Single-Carrier Frequency Division Multiplexing Access : SC-FDMA)

ที่ผ่านมาได้มีการพัฒนา ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ (Cullar Mobile Telephone System) ทำให้สถานีฐานมีขนาดการครอบคลุมพื้นที่โดยใช้เทคนิค (Frequency Reuse : FR) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสเปคตรัม (Spectrum Efficiency) และควบคุมการแทรกสอด (Interference)

ตาม [2] ได้เสนอการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วนในรูปแบบต่าง ๆ ช่วยลดการแทรกสอดของเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสเปคตรัม พร้อมทั้งได้มีการติดตั้งสายอากาศแบบเซกเตอร์ เพื่อหลบทิศทางการแพร่กระจายคลื่นที่ใช้งานความถี่เดียวกัน มีผลทำให้ช่วยลดการแทรกสอดพื้นที่บริเวณขอบเซลล์ที่มีสัญญาณรบกวนสูง

จาก [3] เสนอเทคนิคการจัดวางรูปแบบเซลล์แบบทับซ้อนด้านบน-ล่าง ซึ่งจะช่วยเพิ่มความจุของเครือข่าย Global System for Mobile Communications (GSM) ในพื้นที่ ซึ่งมีการวางทับซ้อนของพิโคร ไมโคร มาโครเซลล์จะมีความจุสูงกว่าบริเวณที่ไม่มีการทับซ้อนแต่ยังเพียงพอต่อความต้องการ เนื่องจาก GSM มีการจัดสรรช่องสัญญาณแบนด์วิดธ์แบบเดียวเพียง 200 kbps

และสุดท้าย [4] เสนอการใช้เซลล์ขนาดเล็ก (Small Cell) ในอาคารโดยใช้แบบจำลอง Monte Carlo ภายใต้แบบจำลองมาตรฐานและ 3GPP กลยุทธ์หมายกำหนดการใช้สัดส่วนแบนด์วิดธ์และแบนด์วิดธ์เต็มส่วน (Full Bandwidth) กรณีอย่างง่ายใช้แบนด์วิดธ์ครึ่งส่วนจะให้สมรรถนะดีกว่าแบนด์วิดธ์เต็มส่วน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอเทคนิคการจัดวางรูปแบบเซลล์แบบทับซ้อนด้านบน-ล่าง เพื่อเพิ่มความจุในบริเวณพื้นที่บริการที่มีความต้องการใช้งานสูง นอกจากนี้ยังเสนอรูปแบบการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วนเพื่อและการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับเซลล์ ช่วยแก้ปัญหาข้อจำกัดของจำนวนช่องสัญญาณต่อพื้นที่ไม่เพียงพอเพราะช่องสัญญาณรวมของระบบเพิ่มขึ้น ทำให้รองรับจำนวนผู้ใช้งานได้เพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อเพิ่มความจุของเซลล์ให้เพียงพอต่อความต้องการใช้งานในพื้นที่ต่างๆและวัตถุประสงค์ของการศึกษามี ดังนี้

1.2.1 ศึกษาการนำความถี่มาใช้ซ้ำ (FR)

12.2 ศึกษาวิธีการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน (FFR)

12.3 ศึกษาการออกแบบรูปแบบเซลล์แบบทับซ้อนด้านบน-ล่าง

12.4 ศึกษาการจัดสรรช่องสัญญาณแบนด์วิดธ์ได้อย่างเหมาะสม

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

รูปแบบเซลล์แบบทับซ้อนด้านบน-ล่าง ของ พิโคร ไมโคร มาโครเซลล์ เมื่อใช้งานรวมกับ FFR และการจัดสรรแบนวิดช์ช่องสัญญาณที่เหมาะสมจะได้ความจุสอดคล้องกับความต้องการในแต่ละพื้นที่

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิธีการจัดสรรเซลล์แบบทับซ้อนด้านบน-ล่างของ พิโคร ไมโคร มาโครเซลล์ และเทคนิคการนำความถี่ความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน (FFR) โดยใช้สายอากาศรอบทิศทาง (Omnidirectional) ร่วมกับสายอากาศเซกเตอร์ นอกจากนี้ยังมีการจัดสรรช่องสัญญาณแบนด์วิดธ์ต่าง ๆ ให้กับเซลล์สอดคล้องกับความต้องการในแต่ละพื้นที่

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 กำหนดใช้ย่านความถี่แบนด์ 2 ความถี่ 1800 MHz

1.5.2 กำหนดแบนด์วิดธ์รวมของระบบ 60 MHz

1.5.3 กำหนดใช้สายอากาศเซกเตอร์ร่วมกับสายอากาศรอบทิศทาง

1.5.4 กำหนดให้รัศมีเซลล์ พิโคร ไมโคร มาโครเซลล์ -ขนาดเท่ากับ 200/500/2000 เมตร

1.5.5 กำลังส่งของสถานีฐาน พิโคร ไมโคร มาโคร เท่ากับ 1/30/60 วัตต์

1.5.6 กำหนดให้ใช้รูปแบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี COST-321 Hata

1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1.6.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องเช่น เครือข่าย LTE การนำความถี่มาใช้ซ้ำ และเทคนิค FFR

1.6.2 ออกแบบและกำหนดรูปแบบ FFR สำหรับ พิโคร ไมโคร มาโครเซลล์

1.6.3 จัดสรรความถี่และช่องสัญญาณที่ค่าแบนด์วิดธ์ต่าง ๆ เสนอรูปแบบที่จะใช้ในการจำลอง

1.6.4 จำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบ ที่นำเสนอ

1.6.5 สรุปผลการวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน

1.7.1 ออกแบบเครือข่าย LTE ให้เหมาะสมตามสถานการณ์การใช้งาน

1.7.2 แก้ไขปัญหาเมื่อเกิดเหตุการณ์ช่องสัญญาณไม่สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน

1.7.3 นำความรู้ที่ได้จากการทำวิจัยไปประยุกต์ใช้งานจริง

1.8 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ดังนี้ คือ

บทที่ 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานและงานวิจัยเกี่ยวข้อง

บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย

บทที่ 4 ผลการจำลองและการวิเคราะห์

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อเป็นพื้นฐานในการวิจัย ความรู้เบื้องต้นที่เกี่ยวข้องการวิทยานิพนธ์

2.1 บทนำ

ปัจจุบันการสื่อสารโทรคมนาคมได้ถูกพัฒนาขึ้นจากระบบแอนะลอก (Analog) ที่ใช้บริการเพียงแค่เสียงมาเป็นบริการข้อมูลดิจิทัล (Digital) ซึ่งมีอัตราการเข้าถึงข้อมูลเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการขยายตัวของปริมาณการใช้งานอินเตอร์เน็ตที่เพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล ซึ่งผู้ให้บริการเครือข่าย (Mobile Network Operator) ประสบปัญหาคุณภาพการบริการ (Quality of Service :QoS) จึงต้องจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่ให้ได้คุณภาพการบริการที่เป็นไปตามมาตรฐาน

2.1.1 ประวัติความเป็นมาของการสื่อสารไร้เคลื่อนที่

International Telecommunication Union (ITU) ได้พัฒนามาตรฐาน International Mobile Telecommunications-2000 (IMT 2000) [8] เพื่อรองรับบริการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง เช่น บริการบรอดแบนด์

3GPP1 เสนอมาตรฐาน Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) ใช้แบนด์วิดธ์ ช่องสัญญาณ 5 MHz และเทคนิค (Wideband CDMA (W-CDMA) 3.84 Mbps Frequency Division Duplex (FDD) และ Time Division Duplex (TDD) หรือ Release 99 เพื่อรองรับมาตรฐาน GSM นอกจากนี้ ระบบต่าง ๆ ที่ใช้โพรโทคอลต่างกัน สามารถเชื่อมโยงผ่าน W-CDMA ร่วมกันได้ จึงกลายเป็นเครือข่ายที่สามารถใช้งานได้หลายๆ ลักษณะ ทั้งเสียงและบริการสื่อประสม (Multimedia)

ยุค 1G (1st Generation) เป็นยุคที่ใช้ระบบแอนาลอก คือใช้สัญญาณวิทยุในการส่งคลื่นเสียง (Voice) โดยสามารถโทรออก-รับสายได้อย่างเดียว ไม่สามารถส่งผ่านข้อมูลใด ๆ ทั้งสิ้น แม้แต่การรับ-ส่ง SMS โดยในยุคนั้นผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่วนใหญ่มักเป็นบุคคลที่มีรายได้สูง

ยุค 2G (2nd Generation) เป็นยุคที่เปลี่ยนจากการส่งคลื่นวิทยุแบบแอนาลอก มาเป็นการเข้ารหัสดิจิทัล โดยผู้ใช้งานสามารถใช้งานสื่อสารข้อมูลและบริการส่งข้อความ Short Message Service (SMS) ได้นอกเหนือจากการโทรออก-รับสาย รวมทั้งยังทำให้เกิดการบริการต่าง ๆ มากมาย เช่น การเปิดให้ดาวน์โหลดริงโทน (Ringtone) ภาพหน้าจอ (Wallpaper) ซึ่งในยุคนี้ถือเป็นยุคเฟื่องฟูของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ถัดมาได้มีการนำเทคโนโลยี General Packet Radio Service (GPRS) เพื่อเพิ่มความเร็วในการรับส่งข้อมูลให้มีการรับ-ส่งข้อมูลได้มากขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างเช่น นอกจากส่งข้อความ SMS แล้วยังสามารถส่ง Multimedia Messaging Service (MMS) ได้อีกด้วย เสียงเรียกเข้ามีการเพิ่มเสียงเป็นแบบโพลีโฟนี (Polyphonic) และ ริงโทน (True tone) รวมทั้งเริ่มมีโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่มีหน้าจอสี นอกจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าจอขาว-ดำ ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาความเร็วในการส่งข้อมูลเพิ่มสูงขึ้น โดยเรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Enhanced Data rates for Global Evolution (EDGE) ซึ่งจะมีความเร็วมากกว่า GPRS ประมาณ 3 เท่า ทำให้สามารถเข้าเว็บไซต์ เล่นอินเตอร์เน็ตได้ แต่ความเร็วยังมีจำกัด และไม่สามารถรองรับไฟล์ที่มีขนาดใหญ่ได้ โดยเทคโนโลยี GPRS และ EDGE ถูกนำมาใช้ในระบบมาตรฐานคลื่นความถี่ GSM

ยุค 3G (3rd Generation) เทคโนโลยีการสื่อสารในยุคที่ 3 มีความโดดเด่นในเรื่องของความเร็วในการเชื่อมต่อและการรับ-ส่งข้อมูลโดยเน้นการเชื่อมต่อแบบไร้สายด้วยความเร็วสูง เพื่อรองรับการใช้งานกับอุปกรณ์สมัยใหม่ ที่ช่วยให้สามารถใช้งานด้านมัลติมีเดียได้อย่างสมบูรณ์แบบ และสามารถส่งข้อมูลทั้งภาพและเสียงในระบบไร้สายด้วยความเร็วสูง ซึ่งก่อให้เกิดการใช้งานที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็นการสนทนาผ่านวีดีโอคอล หรือดูหนัง ฟังเพลงผ่านระบบอินเตอร์เน็ต นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดการบริการที่เรียกว่าแอพพลิเคชั่นอีกด้วย ในยุคนี้ถือว่าเป็นยุคแห่งเทคโนโลยีที่ช่วยอำนวยความสะดวกสบายให้กับชีวิตเลยก็ว่าได้ ยุค 3G เป็นยุคเทคโนโลยีไร้สายที่ถูกพัฒนามาจากยุค 2G ที่มีข้อจำกัดในหลายๆ ด้าน ให้มีขีดความสามารถในการรับส่งข้อมูลที่เหนือกว่า สำหรับประเทศไทยได้นำเทคโนโลยี UMTS มาใช้ ซึ่งเป็นระบบเครือข่ายมาตรฐานใหม่ที่ถูกพัฒนามาจาก ระบบมาตรฐานคลื่นความถี่ GSM ที่มีเทคโนโลยีหลักคือ W-CDMA ต่อมาได้ถูกพัฒนาให้เป็นเทคโนโลยี High Speed Packet Access Plus (HSPA+) ที่สามารถรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดถึง 42 Mbps

ยุค 4G หรือ (4th Generation) ถือได้ว่าเป็นยุคปัจจุบันสำหรับทั่วโลกยุค 4G หรือ (4th Generation) ประเทศไทยที่พึ่งจะจบการประมูลคลื่นความถี่กันไปเป็นที่เรียบร้อยและเตรียมเปิดให้บริการอย่างเต็มรูปแบบเร็วๆ นี้ หลายๆ คนคงเคยได้ยินคำว่า 4G LTE และคงมีคำถามว่าแล้ว LTE คืออะไร? เกี่ยวข้องกับ 4G อย่างไร? สำหรับ LTE นั้นย่อมาจาก “Long Term Evolution” เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกนำมาทดลองใช้ในยุค 4G โดยเกิดจากความร่วมมือของ 3GPP ที่มีการพัฒนาให้ LTE มีความเร็วมากกว่ายุค 3G ถึง 10 เท่า มีความสามารถในการส่งถ่ายข้อมูลและมัลติมีเดียสตรีมมิง (Streaming) ที่มีความเร็วอย่างน้อย 100 Mbps และมีความเร็วสูงสุดถึง 1 Gbps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 พัฒนาการของโทรศัพท์เคลื่อนที่

R (Release)	รายละเอียด	อัตราเร็วสูงสุด (Mbps)	
		ขาขึ้น	ขาลง
4	1.28 Mcps TDD (TD-SCDMA)		
5	HSDPA (QPSK, 16 QAM)	0.4	14
6	HSUPA (E-DCH) และ MBMS	5.7	14
7	HSPA+ (16 QAM ขาขึ้น, 64 QAM ขาลง, MIMO,)	11	28
8	HSDPA 2 คลื่นพาห์	11	42
	LTE/SAE (20MHz) 2 x 2 MIMO (ขาลง)	50/150	100/300
	10+10 MHz 2 x 2 MIMO, 20+20 MHz 2 x 2 MIMO	300	300

พัฒนาการของ 3GPP มีรายละเอียด ดังตารางที่ 2.1

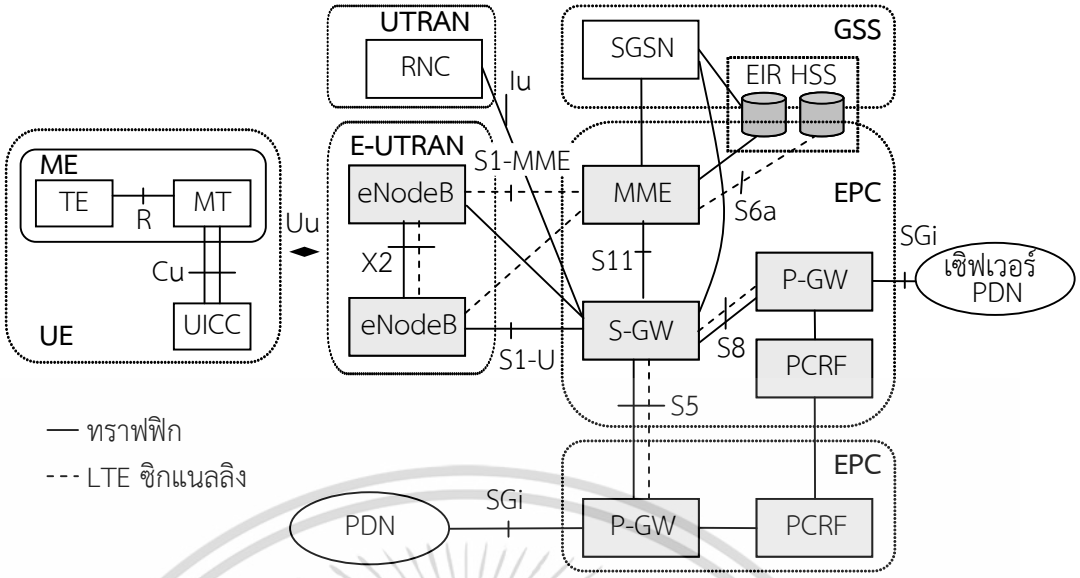
2.2 เครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ LTE

(Evolved Packet System : EPS) รองรับบริการข้อมูลโหมด (Packet Service : PS) ขนส่งเสียงและซิกแนลลิงค์ตาม (IP Multimedia Subsystem : IMS) ซึ่งเป็นเอนทิตีภายนอก การแอคเซสผ่านคลื่นวิทยุ LTE บนโครงข่ายหลักตามข้อกำหนด (System Architecture Evolution : SAE)

2.2.1 สถาปัตยกรรมเครือข่าย

โครงข่าย EPS ดังรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย E-UTRAN (Evolution UMTS Terrestrial Radio Access Network) EPC (Evolved Packet Core) และ UE ใน E-UTRAN ประกอบด้วย หลายๆ eNodeB (evolved NodeB) เชื่อมต่อระหว่างกันด้วยอินเทอร์เฟส X2 และเชื่อมโยงกับ UE ในเซลล์ต่างๆ ผ่านคลื่นวิทยุ LTE (Uu) นอกจากนี้ยังเชื่อมต่อกับ EPC ผ่านอินเทอร์เฟส S1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโครงข่าย EPS

ภายใน EPC ประกอบด้วย (Mobility Management Entity : MME) รองรับกระบวนการซิกแนลลิง (Serving GateWay : S-GW)/ (PDN GateWay : P-GW) ใช้ถ่ายโอนข้อมูล (Policy and Charging Rules Function : PCRF) ใช้กำหนด QoS และคิดค่าบริการ ฐานข้อมูล (Home Subscriber Server : HSS) และ EIR ที่ MME ควบคุม UE ด้วยซิกแนลลิงเพื่อรักษาความปลอดภัย จัดการสตรีมข้อมูลและควบคุมส่วนต่าง ๆ P-GW แลกเปลี่ยนข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอกหรือ PDN เช่น โอเปอร์เรเตอร์เซิฟเวอร์ แต่ละ PDN จะแยกแยะ APN ที่ MNO 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 (Cell Broadcast Centre : CBC) ของรีลิสก่อนหน้า LTE ใช้ CBC กับบริการ ETWS (Earthquake and Tsunami Warning System)

UE บรรจุ USIM เป็นสมาร์ทการ์ด (Universal Integrated circuit Card : UICC) เก็บเลขหมายผู้ใช้งาน รายละเอียดโครงข่าย Home ที่ใช้ลงทะเบียนและรักษาความปลอดภัย UE สร้างและยกเลิกการเชื่อมต่อ รับหนึ่ง IP แอดเดรสจาก PDN ต่าง ๆ E-URTAN เชื่อมโยงกับ UE ผ่านคลื่นวิทยุและเชื่อมต่อกับ EPC ผ่าน eNodeB สำหรับ eNodeB ที่สื่อสารกับ UE เรียกว่า eNodeB ใช้งาน

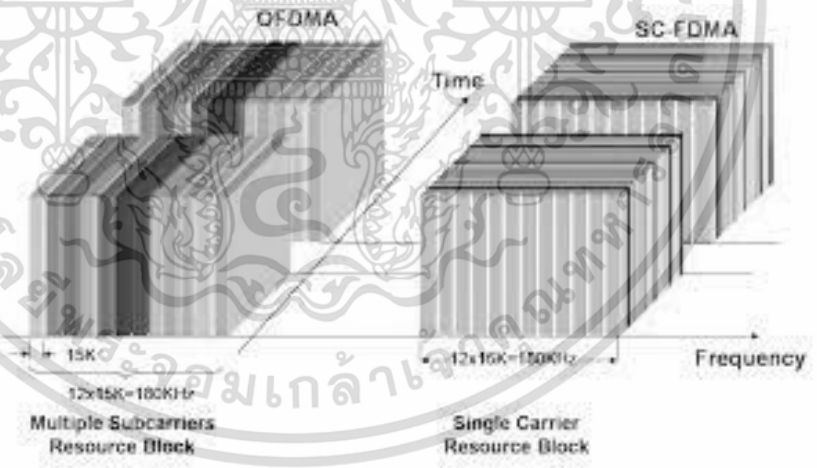
คุณลักษณะ EPS ดังตารางที่ 2.1 [10] S1-MME ใช้ S1-AP บน SCTP เป็นโพรโทคอลทราน สปอร์ตที่รับประกันข้อความซิกแนลลิงระหว่าง MME และ eNodeB เริ่มเชื่อมต่อ 1 โลจิคอล S1-AP ต่อ UE และหลายๆ UE ผ่าน SCTP เดียว ฟังก์ชันใน S1-AP ประกอบด้วย การเซทอัพ ปรับเปลี่ยนและยกเลิก E-RAB, เริ่มการสร้างบริบท S1 UE, ฟังก์ชันการเพจและการจัดการ S1, ฟังก์ชันทรานสปอร์ตซิกแนลลิงค์ NAS ระหว่าง UE และ MME, ฟังก์ชันสถานะการถ่ายโอน, ติดตาม UE ที่แอคทิฟและรายงานตำแหน่ง, ฟังก์ชันการเคลื่อนที่สำหรับ UE เพื่อเปิดใช้งานอินทราและอินเทอร์-RAT HO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 2 OFDMA/SC-FDMA

OFDMA [14] ส่งข้อมูลในหลายคลื่นพาห์ (Carrier) ไปพร้อม ๆ กันแต่ละคลื่นพาห์โดยไม่กวนกัน เพราะวิธีการที่เรียกว่า Orthogonal ทำให้เกิดความทนทานต่อความไม่สมบูรณ์ของช่องทางการสื่อสารที่แต่ละย่านความถี่มีผลตอบสนองไม่เท่าเทียมกัน โดยเราเรียกช่องการสื่อสารแบบนี้ว่า Frequency-Selective Fading Channel แต่กระนั้นก็ตามระบบ OFDMA ก็มีข้อเสียอันสำคัญตรงที่การที่ขอบ Envelope ของสัญญาณส่งนั้นมีการกระเพื่อมมากเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของกำลังที่ส่งไป หรือเรียกว่า OFDMA ให้ค่า Peak to Average Power Ratio (PAPR) ในระดับที่สูง ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการออกแบบ Power Amplifier เพราะมีค่า PAPR สูง ทำให้จะต้องหา Power Amplifier ที่เป็นเชิงเส้นมาก ๆ เพื่อป้องกันการเกิดความเพี้ยนหรือที่เรียกว่า Intermodulation Distortion ความสูญเสียจากกำลังการส่งสัญญาณเทียบกับความสูญเสียจากกำลังตรงนั้นจึงมีค่าสูง หมายถึงประสิทธิภาพที่ต่ำของ Power Amplifier ที่ใช้สำหรับขาลง (Downlink) โดยจะส่งข้อมูลในหลายคลื่นพาห์เป็นแบบทางอนุกรม (Serial)

จากปัญหา PAPR ทาง 3GPP จึงได้เสนอแนวทางอีกแบบที่เป็น OFDMA อีกรูปแบบหนึ่งซึ่งตัดปัญหาของ PAPR ที่ต้นเหตุคือ วิธีการเรียกใช้ที่ละหลายๆ คลื่นพาห์ (Multi carrier) ให้กลายเป็นประหนึ่งว่าเป็นคลื่นพาห์เดียว (Single Carrier) โดยให้ชื่อว่า SC-FDMA เป็นวิธีการ Multi-Carrier ในรูปแบบหนึ่งซึ่งมีหลักการที่แตกต่างจาก OFDMA เพียงแค่จะส่งข้อมูลที่อยู่ในหลายคลื่นพาห์พร้อม ๆ กันแบบขนาน (Parallel) ใช้สำหรับขาขึ้น (Uplink) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 OFDMA/SC-FDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 บิตและการมอดูเลต

2.2.3.1 Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

เป็นชื่อของตระกูลวิธีการมอดูเลตแบบดิจิทัลและตระกูลที่เกี่ยวข้องของวิธีการมอดูเลตแบบแอนะลอกที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการสื่อสารโทรคมนาคมสมัยใหม่เพื่อส่งข้อมูล โดยส่งสัญญาณข้อความแบบแอนะลอกสองสัญญาณหรือกระแสข้อมูลบิตแบบดิจิทัลสองสตรีมโดยการเปลี่ยน การการมอดูเลตแอมพลิจูดของคลื่นพาห์สองคลื่นโดยใช้รูปแบบการมอดูเลตแบบดิจิทัล Amplitude-Shift Keying (ASK) หรือรูปแบบการมอดูเลตแบบแอนะลอกแอมพลิจูด (AM) คลื่นพาห์สองตัวที่มีความถี่เท่ากันอยู่นอกเฟสกับแต่ละอื่น ๆ 90 ° สภาพที่เรียกว่าตั้งฉากหรือสร้างพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส สัญญาณที่ส่งถูกสร้างขึ้นโดยการเพิ่มคลื่นพาห์ทั้งสองเข้าด้วยกันที่เครื่องรับ คลื่นทั้งสองสามารถแยกออกจากกันได้ด้วยวิธีการ ดีการมอดูเลต (Demodulated) เนื่องจากคุณสมบัติของมุมฉากเป็นอีกคุณสมบัติที่สำคัญคือการปรับเป็นรูปคลื่นความถี่ต่ำ/แบนด์วิดธ์ต่ำเมื่อเทียบกับความถี่ซึ่งเป็นที่รู้จักกัน

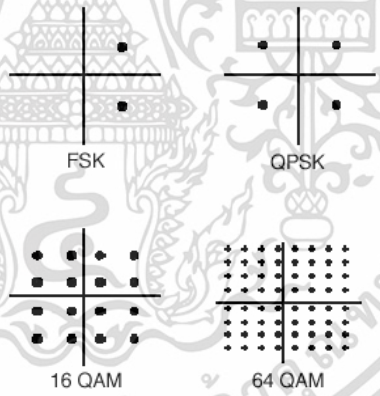
การมอดูเลตเฟส (Phase Modulation) และคีย์การเปลี่ยนเฟส (PSK Digital) ถือได้ว่าเป็นกรณีพิเศษของ QAM โดยที่แอมพลิจูดของสัญญาณที่ส่งเป็นค่าคงที่ แต่เฟสจะแปรผัน นอกจากนี้ยังสามารถขยายไปยังการปรับความถี่ (FM) และคีย์การเปลี่ยนความถี่ Phase -Shift Keying (FSK) สำหรับสิ่งเหล่านี้ถือได้ว่าเป็นกรณีพิเศษของการปรับเฟส QAM ถูกใช้อย่างกว้างขวางในรูปแบบมอดูเลตสำหรับระบบโทรคมนาคมดิจิทัลเช่น ในมาตรฐาน802.11 Wi-Fi ประสิทธิภาพของสเปกตรัมสูงโดยพลการสามารถทำได้ด้วย QAM โดยการตั้งค่าขนาดกลุ่มดาวที่เหมาะสมซึ่งจำกัดโดยระดับเสียงและความเป็นเส้นตรงของช่องสัญญาณการสื่อสารเท่านั้น QAM กำลังถูกใช้ในระบบใยแก้วนำแสงเมื่ออัตราบิตเพิ่มขึ้น QAM16 และ QAM64 สามารถเทียบทูนสายตากับ 3 เส้นทาง (Interferometer)

เช่นเดียวกับแผนการมอดูเลตดิจิทัลหลายๆ รูปแบบไดอะแกรมกลุ่มดาวมีประโยชน์สำหรับ QAM ใน QAM จุดของกลุ่มดาวมักจะจัดอยู่ในตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีระยะห่างแนวตั้งและแนวนอนเท่ากัน แม้ว่าจะมีการกำหนดค่าอื่น ๆ ได้ (เช่น ตารางหกเหลี่ยมหรือสามเหลี่ยม) ในโทรคมนาคมดิจิทัลข้อมูลมักจะเป็นเลขฐานสองดังนั้นจำนวนจุดในกริดโดยทั่วไปจึงเป็นกำลัง 2 (2, 4, 8, ...) ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนบิตต่อสัญลักษณ์ กลุ่มดาว QAM ที่ง่ายที่สุดและใช้บ่อยที่สุดประกอบด้วยจุดที่จัดเรียงเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ตัวอย่างเช่น 16-QAM, 64-QAM และ 256-QAM (เลขยกกำลังสอง) กลุ่มดาวที่ไม่ใช่สี่เหลี่ยมจัตุรัส ตัวอย่างเช่น Cross-QAM สามารถให้ประสิทธิภาพมากกว่าแต่ไม่ค่อยได้ใช้ เนื่องจากต้นทุนของความซับซ้อนของโมเด็มที่เพิ่มขึ้น โดยการย้ายไปยังกลุ่มดาวที่มีลำดับสูงกว่า เป็นไปได้ที่จะส่งบิตต่อสัญลักษณ์มากขึ้น อย่างไรก็ตาม หากพลังงานเฉลี่ยของกลุ่มดาวยังคงเท่าเดิม (โดยการเปรียบเทียบอย่างยุติธรรม) จุดต่าง ๆ จะต้องอยู่ใกล้กันมากขึ้น ดังนั้นจึงมีความอ่อนไหวต่อสัญญาณรบกวนและความเสียหายอื่น ๆ ส่งผลให้อัตราความผิดพลาดของบิตสูงขึ้นดังนั้น QAM ที่มีลำดับสูงกว่าจึงสามารถส่งข้อมูลได้อย่างน่าเชื่อถือน้อยกว่า QAM ที่มีลำดับต่ำกว่า สำหรับพลังงานกลุ่มดาวเฉลี่ยคงที่ การใช้ QAM ที่มีลำดับสูงกว่าโดยไม่เพิ่มอัตราความผิดพลาดของบิตจำเป็นต้องมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (SNR) ที่สูงขึ้นโดยการเพิ่มพลังงานสัญญาณ ลดสัญญาณรบกวน หรือทั้งสองอย่าง หากต้องใช้อัตราข้อมูลเกินกว่าที่เสนอโดย 8-PSK การย้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปยัง QAM เป็นเรื่องปกติมากกว่าเนื่องจากสามารถบรรลุระยะห่างมากขึ้นระหว่างจุดที่อยู่ติดกันในระนาบ IQ โดยการกระจายจุดอย่างเท่าเทียมกันมากขึ้น ปัจจัยที่ซับซ้อนคือจุดต่าง ๆ ไม่ได้เป็นแอมพลิจูดที่เท่ากันอีกต่อไป ดังนั้นตัวแยกสัญญาณจึงต้องตรวจจับทั้งเฟสและแอมพลิจูดได้อย่างถูกต้องแทนที่จะเป็นแค่เฟส 64-QAM และ 256-QAM มักใช้ในเคเบิลทีวีดิจิทัลและแอปพลิเคชั่นเคเบิลโมเด็มในประเทศสหรัฐอเมริกา 64-QAM และ 256-QAM เป็นรูปแบบการมอดูเลตที่ได้รับคำสั่งสำหรับสายเคเบิลดิจิทัล (QAM จูนเนอร์) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่กำหนดมาตรฐาน ส่วนมากจะเรียกสิ่งเหล่านี้ว่า QAM-64 และ QAM-256

ระบบการสื่อสารที่ออกแบบมาเพื่อให้มีประสิทธิภาพเชิงสเปกตรัมสูงมากมักใช้กลุ่มดาว QAM ที่หนาแน่นมาก ยกตัวอย่างเช่น ในปัจจุบัน Homeplug AV2 500 Mbit / สายไฟฟ้า Ethernet อุปกรณ์ใช้ 1024 QAM และ 4096 QAM รวมถึงอุปกรณ์ในอนาคตที่ใช้ ITU-T G.hn เป็นมาตรฐานสำหรับระบบเครือข่ายมากกว่าการเดินสายไฟบ้านที่มีอยู่ (คู่สาย , โทรศัพท์ สายและสายไฟ); 4096-QAM ให้ 12 บิต/สัญลักษณ์ อีกตัวอย่างหนึ่งคือเทคโนโลยี ADSL สำหรับ Copper Twisted Pair ซึ่งมีขนาดกลุ่มดาวสูงถึง 32768-QAM (ในศัพท์เฉพาะของ ADSL นี่เรียกว่า bit-loading หรือ bit per tone 32768-QAM เทียบเท่ากับ 15 บิตต่อโทน) และ ระบบ Backhaul ไมโครเวฟความจุสูงพิเศษยังใช้ 1024-QAM ด้วย 1024-QAM, Adaptive Coding and Modulation การมอดูเลต (ACM) ผู้ขายสามารถรับความจุ กิ๊กกะบิตในช่องสัญญาณ 56 MHz ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Constellation Diagram QAM

จากรูปที่ 2.3 แสดงการมอดูเลตของสัญญาณ ซึ่งแสดงในรูปแบบ 2 มิติ เพื่อให้เข้าใจและนำไปใช้งานได้ง่าย โดยภาพ 2 มิติ จะแบ่งเป็น 2 แกน

- แกน I (In Phase) ซึ่งเสมือนแกน X
- แกน Q (Quadrature Phase) ซึ่งเสมือนแกน Y
- สรุปปริมาณข้อมูล : 256QAM > 64QAM > 16QAM > QPSK
- ความทนทานต่อสัญญาณรบกวน : QPSK > 16QAM > 64QAM > 256QAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสิ่งสำคัญในการวัดคุณภาพของสัญญาณหากแผนภาพมีจุดเล็กและนิ่งแสดงว่าสัญญาณเกาะกลุ่มกันดี การถอดรหัสสัญญาณทำได้ง่าย แต่หากแผนภาพมีจุดใหญ่และฟุ้งกระจาย แสดงว่าสัญญาณได้รับการรบกวนมาก การถอดรหัสสัญญาณทำได้ยาก (อาจตีความจุดผิดเนื่องจากฟุ้งไปอยู่ใกล้กับกิ่งกลางของอีกจุด)

2.2.3.2 บิตที่ส่งในแต่ละการมอดูเลต

บิตที่ส่งต่อมาเป็นเรื่องการมอดูเลต ในรูปแบบต่าง ๆ ยิ่งมีค่าการการมอดูเลตสูงขึ้น ข้อมูลก็จะส่งได้มากขึ้นเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 2.4

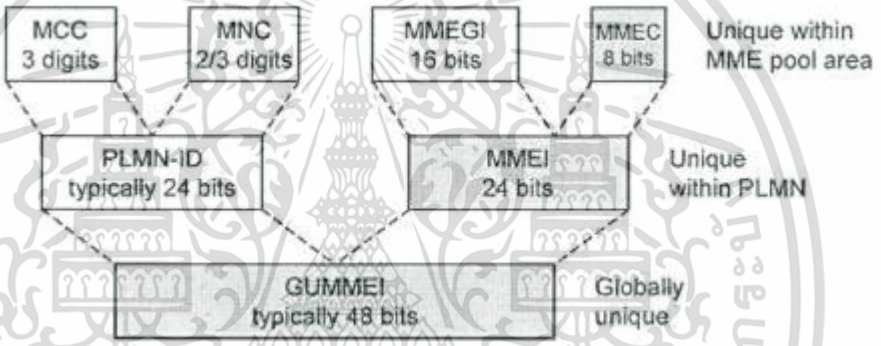
มอดูเลต	จำนวนบิตต่อสัญลักษณ์	อัตราสัญลักษณ์
BPSK	1	1x อัตราบิต
QPSK	2	1/2 อัตราบิต
8PSK	3	1/3 อัตราบิต
16QAM	4	1/4 อัตราบิต
32QAM	5	1/5 อัตราบิต
64QAM	6	1/6 อัตราบิต

รูปที่ 2.4 ค่าบิตของการการมอดูเลต ในแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ตัวเลข ที่อยู่ และการระบุตัวตน

ส่วนต่าง ๆ ของโครงข่าย LTE สามารถระบุตัวจนได้หลายรูปแบบ [8] และจะทำการระบุตัวตัวตนด้วย Public land Mobile Network Identity (PLMN-ID) ประกอบไปด้วย ตัวเลขสามหลัก เรียกว่า Mobile County Code (MCC) และตัวเลขสองหลักหรือสามหลัก เรียกว่า Mobile Network Code (MNC) เช่น Mobile Country Code ของประเทศอังกฤษจะใช้ 231 โนขณะที่ ผู้ให้บริการในประเทศอังกฤษอย่าง Vodafone จะใช้ Mobile network code เป็น 15 เป็นต้น MME จะมี 3 รูปแบบ เลขแปดบิทของรหัส MME เรียกว่า MMEC ซึ่งระระบุ MME ภายในพื้นที่สัญญาณไม่ดี รวมกับเลขสิบหกบิทที่เป็น MME group identity (MIMEG) ซึ่งทั้งหมดรวมกันทั้งหมดเป็น 24 บิท เรียกว่า MME identifier (MME) เป็นเลขที่ระบุถึง MME ในกรณีเฉพาะ ดัง รูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การระบุตัวตน

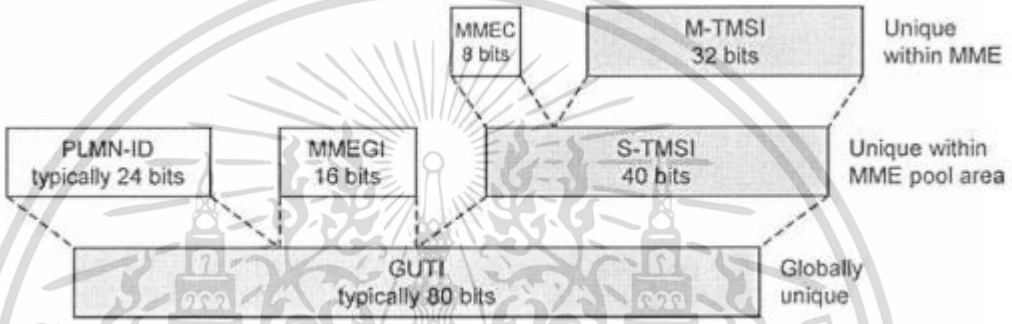
2.2.4.1 Physical Cell Identity (PCI)

MMEI กับ PLMN-ID จะเรียกรวมกันว่า Globally Unique MME Identifier (GUMIMEI) เป็นการระบุตัวตนของ MME ทุกที่ทั่วโลก การระบุพื้นที่จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ เลข 16 บิทที่เรียกว่า Tracking Area Code (TAC) ทำการระบุพื้นที่แบบเฉพาะเจาะจงและการระบุพื้นที่โดยรวมเรียกว่า Tracking Area Identity (TAI) ในเซลล์แต่ละเซลล์มี 3 รูปแบบ คือ 1. E-UTRAN เซลล์ identity (EC) เป็นตัวเลข 28 บิท ระบุเซลล์ภายในเน็ตเวิร์ตเฉพาะ, 2. E-UTRAN เซลล์ global identifier (ECGD ใระบุเซลล์ทุกที่ภายใน โลก และ 3. ระบบรับส่งข้อมูลทางอากาศ (Air interface) จะมีเลข Physical เซลล์ identity (PCI) เป็น เลขที่ใช้ในการแยกแยะเซลล์ออกจากเซลล์ของสถานีฐานข้างเคียงโดยมีตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 503 ทั้งหมด 504 ตัว การระบุตัวตนบนอุปกรณ์สื่อสารจะใช้เลข International Mobile Equipment Identity (IMEI) ในการเฉพาะเจาะจงอุปกรณ์แต่ละเครื่อง และ International Mobile Subscriber Identity (IMSI) ในการระบุตัวตนสำหรับ UICC และ USIM โดยเลข International Mobile Equipment Identity (IMEI) เป็นรหัสที่ต้องการคัดลอกและใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างอุปกรณ์เลียนแบบ ดังนั้นจึงมีการหลีกเสี่ยงการส่งข้อมูลนี้ในระบบรับส่งข้อมูลทางอากาศ (Air Interface) และใช้การระบุตัวตนแบบชั่วตราวนี้ แสลงโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.6 MME แทน ซึ่งเป็นการระบุตัวตนแบบชั่วคราวที่มีการอัพเดตและเปลี่ยนแปลงเป็นประจำ

M Temporary Mobile Subscriber Identity (M-TMS) เป็นเลข 32 บิหระบุตัวตนของอุปกรณ์สื่อสาร ถ้าเพิ่มเป็น 40 บิทจะเรียกว่า S Temporary Mobile Subscriber Identity (S-TMSI) ซึ่งใช้ระบุตัวตนของอุปกรณ์ในบริเวณที่สัญญาณไม่ดี สุดท้ายทำการเพิ่ม MMEGI และ PLMN ทั้งหมดจะเป็นการระบุ ตัวตนชั่วคราวของอุปกรณ์สื่อสารที่เรียกว่า Globally Unique Temporary Identity (GUTI) ดัง รูปที่ 2.6



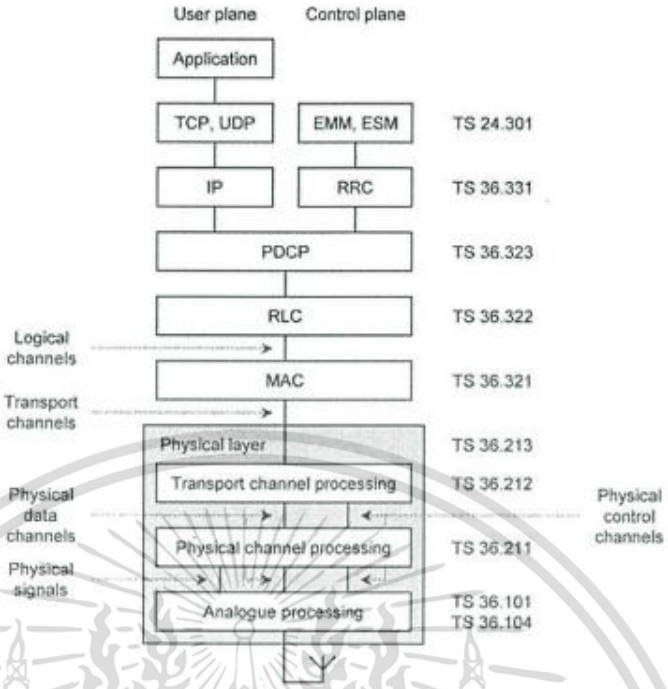
รูปที่ 2.6 การระบุตัวตนชั่วคราวของโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.2.5 สถาปัตยกรรมการส่งผ่านข้อมูลทางอากาศของระบบ LTE

2.2.5.1 สถาปัตยกรรมการส่งผ่านทางอากาศของระบบ LTE

ในส่วนของผู้ใช้งานจะมีแอพพลิเคชั่นที่จะทำการสร้างแพ็คเกจข้อมูลที่ดำเนินการส่งในรูปแบบของ TCP UDP และ IP ในขณะเดียวกันในส่วนของการควบคุมจะมีการใช้โปรโตคอล Radio Resource Control (RRC) ที่ส่งสัญญาณวันระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์สื่อสาร โดยทั้งสองส่วนสุดท้ายจะต้องผ่านกระบวนการประมวลผลโดย Packet Data Convergence Protocol (PDCP) Radio Link Control (FLC) Protocol และ Medium Access Control (MAC) Protocol ก่อนที่จะผ่านในชั้น Physical Layer ดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

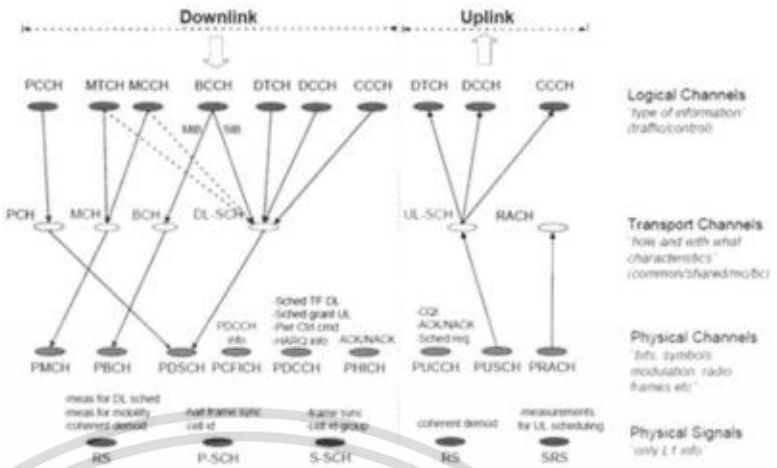


รูปที่ 2.7 สถาปัตยกรรมโครงข่ายโปรโตคอลในการส่งผ่านทางอากาศ

ในส่วนของ Physical layer จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ Transport Channel Processor ที่จัดการในเรื่องของความผิดพลาดของข้อมูลในการส่ง ส่วน Physical Channel Processor ที่จัดการเทคนิค OFDM และ SC-FDMA โดยการใช้สายอากาศหลายสายในการส่งข้อมูล ส่วนสุดท้ายคือ Analogue Processor ที่จะทำการแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณอนาล็อต โดยจะทำการรวมเข้ากับสัญญาณความถี่ที่ใช้ในการส่ง

การไหลของข้อมูลระหว่างโปรโตคอลที่แตกต่างกันในส่วนนี้จะเรียกว่าช่องสัญญาณ (Channel) โดยข้อมูลและข้อความสัญญาณระหว่างโปโตคอล RLC และ MAC จะประมวลผลอยู่บน Logical Channels ส่วนระหว่างโปรโตคอล MAC และ Physical Layer จะประมวลผลอยู่บน Transport Channels ส่วนระหว่างระดับของ Physical Layer จะประมวลอยู่บน Physical Data Channels ซึ่งในแต่ละช่องจะแบ่งส่วนย่อยได้ ดัง รูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของช่องสัญญาณ LTE

2.2.5.2 ช่องสัญญาณตรรกะ (Logical Channel)

กำหนดชนิดและรูปแบบ (What Type) ของข้อมูลที่ถูกส่งผ่านทางอากาศ ข้อมูลและข้อความการส่งสัญญาณจะดำเนินการในช่องทางตรรกะระหว่าง โปรโตคอล RLC และ MAC ช่องทางตรรกะสามารถแบ่งออกเป็นช่องทาง Logica Traffic Channels ที่จะทำ หน้าที่ในการส่งข้อมูลของส่วนผู้ใช้งาน และช่องทาง Logical Control Channel ที่จะทำหน้าที่ในการส่ง ข้อความสัญญาณในส่วนคอนโทรล ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ช่องสัญญาณตรรกะที่ใช้ในระบบ LTE

ชื่อช่อง	อักษรย่อ	หน้าที่	Control Channels	Traffic Channels
Boardcast	BCCH	eNodeB จะส่งข้อมูลที่ถูกปรับให้กับอุปกรณ์สื่อสารทั้งหมด แบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ MIB,SIB	/	
Paging	PCCH	ใช้สำหรับระบุตำเหน่งอุปกรณ์สื่อสารในกรณีที่	/	
Common	CCCH	สร้างการเชื่อมต่อ RRC Idel เป็น RRC Connected	/	
Dedicated	DPCCH	หลังเชื่อมต่อ RRC ใช้เป็นช่องทางการติดต่อสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์สื่อสารกับเครือข่าย	/	
Multicast	MCCH	หลังเชื่อมต่อ RRC อุปกรณ์สื่อสารจะใช้ช่องทางนี้ในการรับ MBMS จะถูกส่งไปยังอุปกรณ์หลายตัว	/	
Dedicated Traffic	DPCCH	ส่งข้อมูลไป-กลับระหว่าง eNodeB-ผู้ใช้ ทั้งในด้าน Downlink และ Uplink		/
Multicast Traffic	MTCH	ส่งข้อมูลไป-กลับระหว่าง eNodeB-ผู้ใช้ ทั้งในด้าน Downlink และ Uplink		/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.3 ช่องสัญญาณทางการขนส่ง (Transport Channel)

กำหนดรูปแบบการส่ง (hour is) บางสิ่งบางอย่างผ่านทางอากาศ เช่น กำหนลรูปแบบการเข้ารหัสและซนาดข้อมูลที่ถูกส่ง ข้อมูลจะถูก ดำเนินการในช่องทางขนส่งระหว่างขึ้น Mac และชั้นกายภาพ รายชื่อช่องทางการส่ง แสดงดัง ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ช่องสัญญาณทางการขนส่ง (Transport Channel)

ชื่อช่อง	อักษรย่อ	หน้าที่	Downlink	Uplink
Boardcast	BCH	กำหนดขนาดอัตราบิตที่ส่งแบบ Boardcast บริเวณพื้นที่เซลล์ โดยส่งข้อมูลเป็นแบบ MIB	/	
Downlink Shared	DL-SCH	ใช้ส่งมูล Downlink โดยใช้ Hybrid ARQ ตรวจจับความผิดพลาดข้อมูล	/	
Paging	PCH	ใช้ส่งมูล Paging แบบ Boardcast ออกไปทั่วทั้งเซลล์	/	
Multicast	MCH	ใช้เป็นช่องทางในการส่งข้อมูล Multicast Boardcast/Multi Service (MBMS)	/	
Uplink Shared	UL-SCH	ใช้ส่งมูล Uplink โดยใช้ Hybrid ARQ ตรวจจับความผิดพลาดข้อมูล		/
Ramdom Access	RACH	เป็นช่องทางในการจัดการเชื่อมต่อตามลำดับความสำคัญ Asynchronous Ramdom Access		/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.4 ช่องสัญญาณทางกายภาพ (Physical Channel)

กำหนดต้นทางและปลายทาง (where is) ส่งผ่านทางอากาศ ข้อมูลจะถูกดำเนินการในช่องทางกายภาพระหว่างระดับชั้นที่แตกต่างกัน ของชั้นกายภาหจะแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ช่องข้อมูลทางกายภาพ (Physical Data Channels) และ ช่องการควบคุมทางกายภาพ (Physical Control Channels) ช่องข้อมูลทางกายภาพ (Physical Data Channels) เป็นส่วนที่เกี่ยวกับ Physical channel processor ซึ่งทำหน้าที่จัดการ OFDMA, SC-FDMA และการสร้างรูป แบบสัญลักษณ์ และ Sub-carrier โดยใช้วิธีการส่งแบบ CFDM4 แสดง ดัง ตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ช่องสัญญาณทางกายภาพที่ใช้กับระบบ LTE

ชื่อช่อง	อักษรย่อ	หน้าที่	Downlink	Uplink
Physical Downlink Shared	PDSCH	เป็นช่องทางในการจัดส่งข้อมูลที่รับมาจาก DL-SCH สำหรับการปรับเปลี่ยนการการมอดูเลตและการเข้ารหัสตามค่า SINR ที่ได้รับ	/	
Physical Boardcast	PDSCH	เป็นช่องทางในการจัดส่งข้อมูลที่รับมาจาก BCH (Transport Channel)	/	
Physical Multicast	PMCH	เป็นช่องทางในการจัดส่งข้อมูลที่รับมาจาก MCH (Transport Channel)	/	
Physical Uplink Shared	PUSCH	เป็นช่องทางในการจัดส่งข้อมูลที่รับมาจาก UL- SCH สำหรับการปรับเปลี่ยนการการมอดูเลตและการเข้ารหัสตามค่า SINR ที่ได้รับ		/
Physical Ramdom Access	PRACH	เป็นช่องทางในการจัดส่งข้อมูลที่รับมาจาก RACH (Transport Channel)		/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.5 ช่องสัญญาณควบคุม

หน่วยประมวลผลช่องทางขนส่งจะมีประเภทของข้อมูลการควบคุม (Control Information) อยู่หลายประเภท เพื่อสนับสนุนการดำเนินงานในระดับต่ำของชั้นทางกายภาพ แสดงดัง ตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ช่องสัญญาณควบคุม

ชื่อช่อง	อักษรย่อ	หน้าที่	Downlink	Uplink
ควบคุมการ Downlink	DCI	เป็นช่องทางในการจัดส่งข้อมูลที่รับมาจาก DL-SCH สำหรับการปรับเปลี่ยนการการมอดูเลตและการเข้ารหัสตามค่า SINR ที่ได้รับ	/	
ตัวบ่งชี้รูปแบบการควบคุม	CFI	เป็นช่องทางในการจัดส่งข้อมูลที่รับมาจาก BCH (Transport Channel)	/	
ตัวบ่งชี้ ARQ Hybrid	HI	เป็นช่องทางในการจัดส่งข้อมูลที่รับมาจาก MCH (Transport Channel)	/	
ควบคุมการ Uplink	UCI	เป็นช่องทางในการจัดส่งข้อมูลที่รับมาจาก UL-SCH สำหรับการปรับเปลี่ยนการการมอดูเลตและการเข้ารหัสตามค่า SINR ที่ได้รับ		/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.6 ช่องสัญญาณการควบคุมทางกายภาพ

ข้อมูลการควบคุม (Control Information) ที่สนับสนุนการดำเนินงานในระดับต่ำของชั้นทางกายภาพและส่งนี้ไปยังหน่วยประมาลผลช่องทางายภาพ เพื่อเกิดการปรับเปลี่ยนของการส่งข้อมูล ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ช่องสัญญาณการควบคุมทางกายภาพ

ชื่อช่อง	อักษรย่อ	หน้าที่	Downlink	Uplink
Physical Control Format Indicator	PCFICH	เป็นช่องทางที่ส่งข้อมูลควบคุมและตัวกำหนดการรูปแบบการควบคุม อยู่ในประเภท CFI	/	
Physical Hybrid ARQ Indicator	PHICH	เป็นช่องทางที่ส่งข้อมูล Hybrid ARQ ข้อมูลอยู่ในประเภท HI	/	
Physical Downlink Control	PDCCH	เป็นช่องทางที่ส่งข้อมูลการควบคุมแบบ DCI	/	
Physical Uplink Control	PUCCH	เป็นช่องทางที่ส่งข้อมูลการควบคุมแบบ UCI		/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

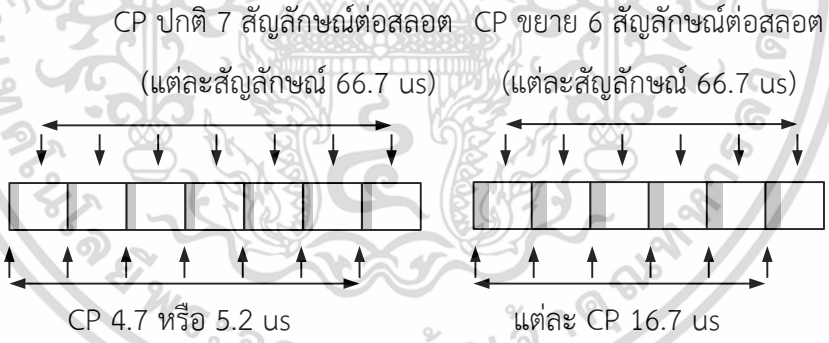
2.2.6 RB (Resource Block Grid:) บล๊อคทรัพยากร

2.2.6.1 โครงสร้างสล๊อต

LTE แมปช่องสัญญาณและสัญญาณกายภาพบนสัญลักษณ์ OFDMA และคลื่นพาห์ย่อย (Sub Carrier) เมื่อ พิจารณาในโดเมนเวลากับคาบเวลาในการส่งผ่าน LTE ตามหน่วยเวลา T_s กำหนดไว้ดังนี้ สมการที่ 2.1

$$T_s = 1/2048\ 15000x15000 \text{ วินาที} \approx \text{ns } 32.6 \quad (2.1)$$

T_s คือ ช่วงเวลาสั้นที่สุดในโพรเซสเซอร์ช่องสัญญาณกายภาพช่วงสัญลักษณ์ 66.7 us เท่ากับ $2048T_s$ จัดกลุ่มสัญลักษณ์ในสลอต 0.5 ms (15360 T_s) ทำได้ในสองลักษณะ ดังรูปที่ 2.36 CP โดยปกติ 7 สัญลักษณ์ต่อสลอต ในแต่ละสัญลักษณ์ CP ยาว 144 Ts (4.7 us) เฉพาะ CP แรกยาว 160 Ts (5.2 us) เครื่องรับจะตัด ISI ระหว่างเส้นทางยาวที่สุดและสั้นที่สุดของคลื่นที่ดีเลย์สเปรด 4.7 us ต่างกัน 1.4 กม. หากขนาดเซลล์ใหญ่กว่าปกติหรือคลัสเตอร์อาจไม่เพียงพอ จึงมีการขยาย CP ให้ จำนวนสัญลักษณ์ต่อสลอตลดลงเป็น 6 CP ขยายเป็น 512 Ts (16.7 us) รองรับเส้นทางที่ต่างกัน สูงสุด 5 กม. ข้อยกเว้นสาหรับ MBMS ใน R9 ที่สถานีฐานใช้ CP ปกติหรือขยายในขาลง โดย UE จะ ใช้ช่วง CP เหมือนกับขาขึ้น แต่สถานีฐานจะควบคุมการเลือกที่ต่างกันโดยใช้ข้อมูลระบบ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะสัญลักษณ์ในสล๊อตที่ใช้ CP ปกติและขยาย

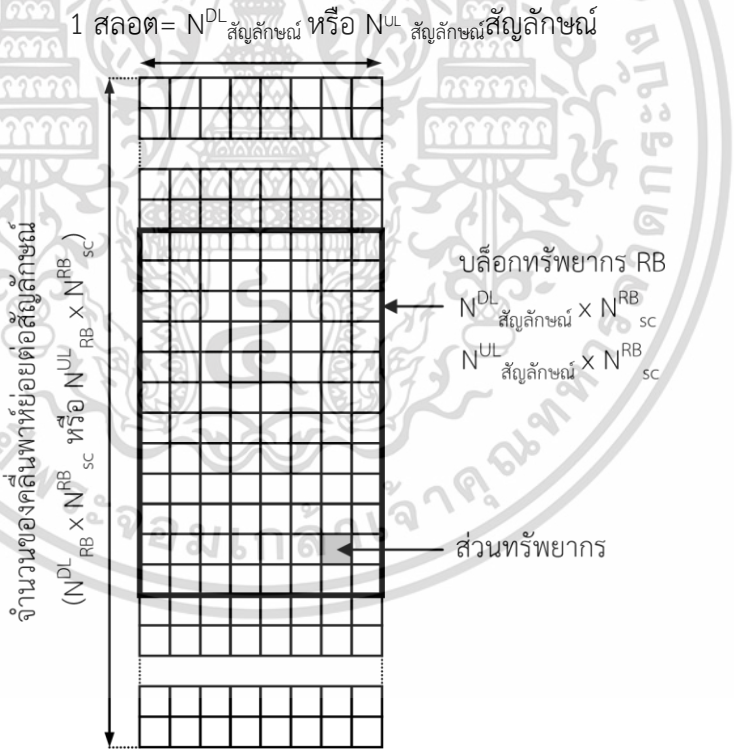
2.2.6.2 โครงสร้างเฟรม

โหมด FDD ใช้โครงสร้างเฟรมชนิดที่ 1 รวม 2 ไทม์สลอตเป็น 1 เฟรมย่อย (1 ms) ใช้สาหรับกาหนดการ รวม 10 เฟรมย่อยเป็นเฟรม 10 ms (307,200T) แต่ละเฟรมใช้ SFN (system frame number) มีค่าจาก 0 ถึง 1023 แต่ละไทม์สล๊อตมี 3, 6 หรือ 7 สัญลักษณ์ ดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 โครงสร้างเฟรมในโหมด FDD

ส่วนของทรัพยากรสอดคล้องกับหน่วยเล็ก ๆ ที่จัดสรรไปยังสัญญาณ บล็อกกายภาพ สอดคล้องกับสัญลักษณ์ในโดเมนเวลาและไปยังโดเมนความถี่ ดังรูปที่ 2.11

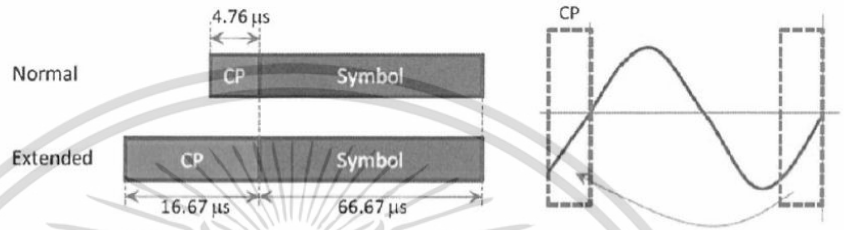


รูปที่ 2.11 บล๊อคทรัพยากร RB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นหน่วยของข้อมูลที่จัดสรรให้กับผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 2.11 กว้าง 5 ms (1 สล๊อต) ในโดเมนเวลาและ 180 Hz ในโดเมนความถี่ จำนวนคลื่นพาห์ย่อยและสัญลักษณ์ต่อ RB ขึ้นอยู่กับระยะระหว่างคลื่นพาห์ย่อยและขนาดของ CP

จากรูปที่ 2.12 เป็นโครงสร้างของสล๊อตที่สามารถส่ง สัญลักษณ์ ของการมอดูเลชันได้ 7 ครั้งหรือ 7 สัญลักษณ์ สำหรับการใช้ Normal Cyclic Prefix ดัง รูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 Cyclic Prefix

การใส่ CP จะทำการคัดลอกสัญญาณส่วนทางด้านขวามือมาวางงานซ้าย ดังรูปที่ 2.12 ทำให้ต้องเสียพื้นที่ที่จะบรรจุลงในสล๊อตไปส่วนหนึ่ง มาตราฐานมีให้เลือกใช้อยู่ 2 ขนาด สามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม แบบ Normal จะเป็นขนาดที่เป็นค่าเฉลี่ยของค่าหน่วงเวลาของสัญญาณที่สะท้อน (Multipath) ที่เกิดการสะท้อนกับสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ในเขตเมือง และ UE ก็ไม่ได้อยู่ไกลจากสถานีฐาน นัก ส่วนแบบ Extended ที่มีขนาดใหญ่กว่าจะเหมาะกับพื้นที่เขตบอกเมืองเพราะ UE จะอยู่ห่างจากสถานีฐานมาก ค่าหน่วงเวลาก็จะมากขึ้นไปด้วย

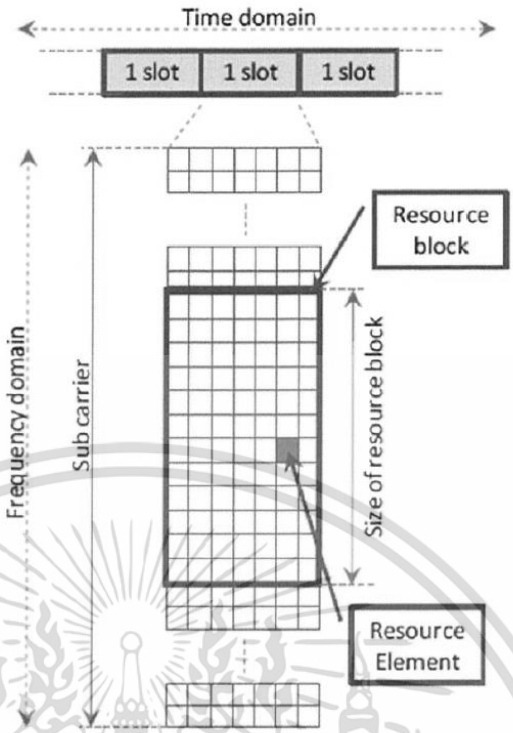
จาก รูปที่ 2.12 แนวตั้งจะอยู่ในแกนความถี่ที่แต่ละบล็อก คือ สแกรมบลิ้งโค้ด จำนวนบลิ้งโค้ดจะมีมากเท่าไหร่ขึ้นอยู่กับนาดของแบนวิดท์ที่ใช้ มีให้เลือกตั้งแต่ 1.4 MHz 3 MHz 5 MHz 10 MHz 15 MHz และ 20 MHz ถ้าใช้ 1.4 MHz แบนวิดท์จะมีสแกรมบลิ้งโด้ดได้ทั้งขนาด 72 คลื่นพาห์ย่อย ถ้าใช้ 3 MHz แบนวิดท์ก็จะ มี 180 คลื่นพาห์ย่อย เป็นต้น

2.2.6.3 Resource Element and Resource Block

2.2.6.3.1 Resource Element (RE) คือ 1 symbol ของ 1 Subcarriers ซึ่งเป็นหน่วยเล็กที่สุดของ Physical Layer

2.2.6.3.2 Resource Block (RB) คือ Resource Element มารวมกัน เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดรองจาก RE ในการทำตารางเวลาส่ง (กำหนดการ คือจัดคิวการส่งให้แต่ละ User ขั้นต่ำคือครั้งละ 1 RB ดัง รูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 Resource Grid แบบ Normal Cyclic Prefix

จาก รูปที่ 2.13 ทางด้านแนวนอนจะเป็นแกนเวลาตัวอย่างของหนึ่งสล๊อตที่แบ่งช่องเป็นช่วงเวลาของสัญลักษณ์ (Symbol Period) หรือช่วงเวลาการมอดูเลต (การมอดูเลต Period) คือ 1 ช่องเท่ากับ 1 Symbol โดยจะมีอยู่ 2 แบบคือ แบบ 6 สัญลักษณ์ ต่อสล๊อตกับแบบ 7 สัญลักษณ์ ต่อ สล๊อตขึ้นอยู่กับ Cyclic Prefix ที่ใช้

ในกรอบของ Resource block (RB) คือการนำ 12 Subcarriers (180 กิโลเฮิร์ตซ์) และ 7 (หรือ 6) symbol มาประกอบกันเป็น 1 Resource block จะสามารถคำนวณความเร็วแบบ instance data rate ได้ ดัง สมการที่ 2.2

สมมุติให้ใช้การมอดูเลต QPSK ตลอดทั้ง 7 สัญลักษณ์ และ 1 Resource Block

OPSK = 2 บิตต่อสัญลักษณ์ (2.2)

= 2 x 12 x 7 = 168 บิตต่อสล๊อต

= 336 บิตต่อซับเฟรม

= 3,360 บิตต่อเฟรม (หรือ 3,360 บิตต่อสิบมิลลิวินาที)

= 336,000 บิตต่อมิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือ แบนด์วิดธ์ 180 KHz และมอดูเลตด้วย QPSK จะได้อัตราการส่ง ข้อมูล 336 Kbits ต่อวินาที (คิดที่ 1 Kbits ต่อวินาที = 1000 บิตต่อวินาที) ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลชั้น ต่ำสุดบน Physical Channel ถ้าจะคำนวณเป็นอัตราการส่งของ User ต้องหักคำ Channel Coding,CRC หรือ Header ที่ถูกใส่เข้ามาระหว่างทางก่อนส่งออกอากาศด้วย LTE ยังใช้เทคนิคการเข้ารหัสเหมือนกับที่ใช้ใน UMTS คือ Convolution และ Turbo code ขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลที่จะเอามาเข้ารหัส ถ้าใช้แบบ Convolution ก็จะมีค่าหน่วงเวลาต่ำกว่า แต่แบบ Turbo code จะสามารถองกันข้อผิดพลาดได้ดีกว่า ดัง รูปที่ 2.14-2.15

แบนด์วิดธ์	1.4 MHz	3 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
การสุ่มตัวความถี่	1.92 MHz	3.84 MHz	7.68 MHz	15.36 MHz	23.04 MHz	30.72 MHz
คลื่นพาห์ย่อย	15 kHz					
ขนาด เอฟเอฟที	128	256	512	1024	1536	2048
คลื่นพาห์ย่อยที่ใช้งานได้	72	180	300	600	900	1200
บล๊อคทรัพยากร	6	15	25	50	75	100
ระยะเวลาสล็อต	0.5 ms					
สัญลักษณ์ต่อสล็อต	7 (ซีพีปกติ) 6 (ซีพีขยาย)					

รูปที่ 2.14 ค่าพารามิเตอร์ของแบนด์วิดธ์ ขนาดต่าง ๆ

- Δf: Subcarrier spacing
  - 15 KHZ in normal cases
  - 7.5 KHZ in MBSFN transmission
- DC Subcarrier: Direct Current subcarrier at center of frequency band
- Fs = Nfft X Δf ..... Sampling frequency
  - Where Nfft is the IFFT size
- BW = Nused X Δf .... Actual needed BW
  - Where Nused is the actual number of used subcarriers

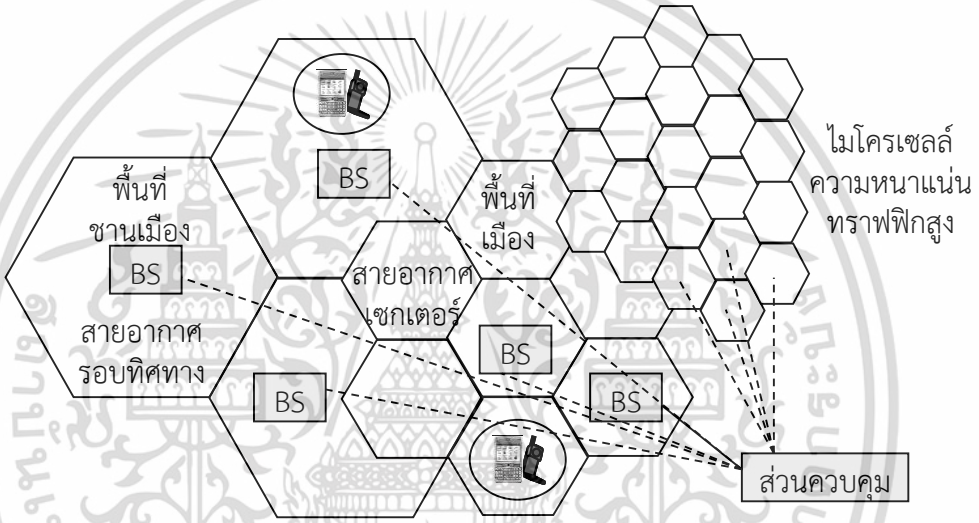
รูปที่ 2.15 พารามิเตอร์ ของ Resource block (RB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พื้นทีบริการของระบบ LTE

2.3.1 พื้นที่เซลล์

ชนิด ตำแหน่งและความสูงของสายอากาศสถานีฐาน มีผลกับขนาดการครอบคลุมพื้นที่ ในพื้นที่ชนบท มีความหนาแน่นทราฟฟิกต่ำ สถานีฐานจะจำกัดจำนวนคลื่นพาห์และใช้สายอากาศรอบทิศทาง เพื่อให้เซลล์มีขนาดใหญ่หรือ มาโครเซลล์ มีรัศมี 1- 30 กิโลเมตร ส่วนพื้นที่เมือง มีความหนาแน่นทราฟฟิกสูง สถานีฐานจะใช้คลื่นพาห์จำนวนมาก ให้เซลล์มีขนาดเล็ก เรียกว่า ไมโครเซลล์ มีรัศมี 0.1 - 1 กิโลเมตร และใช้สายอากาศเซกเตอร์ (Sector) ดังรูปที่ 2.1 นอกจากนี้ มีการใช้เซลล์ขนาดเล็กมาก เรียกว่า พิโครเซลล์ มีรัศมี 0.01 - 0.1 กิโลเมตร ใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคาร ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ขนาดการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์

2.3.2 พิโคร/ไมโคร/มาโครเซลล์

2.3.2.1 สถานีฐานแบบ มาโคร เซลล์

คือ เซลล์ที่ใช้ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยที่จะให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ที่มีความกว้างมากที่สุดสำหรับการเข้าถึงเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ แพร่กระจายสัญญาณภายในพื้นที่โล่งกว้าง โดยมีระยะครอบคลุมของสัญญาณประมาณ 1-30 กิโลเมตร และมีกำลังส่งสูงสุดเมื่อเทียบกับเซลล์แบบอื่น ๆ มีกำลังน้อยกว่าเท่ากับ 100 วัตต์

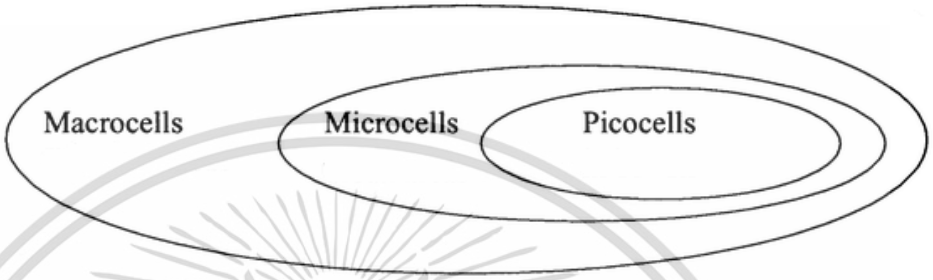
2.3.2.2 สถานีฐานแบบ ไมโครเซลล์

คือ เซลล์ที่ให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ที่มีความกว้างน้อยกว่า มาโคร เซลล์ แพร่กระจายสัญญาณภายในพื้นที่โล่งกว้าง เช่นเดียวกับ มาโคร เซลล์ แต่ระยะการแพร่กระจายน้อยกว่า โดยมีระยะครอบคลุมของสัญญาณประมาณ 200-2000 เมตร และมีกำลังส่งต่ำกว่า มาโคร เซลล์ โดยมีกำลังส่งเท่ากับ 10 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3 สถานีฐาน พิโครเซลล์

คือ เซลล์ที่ติดตั้งเพิ่มประสิทธิภาพและความครอบคลุมของสัญญาณภายในพื้นที่จำกัด โดยรองรับการใช้งานของผู้ใช้งานมากถึง 100 คน ภายในระยะที่กำหนด พิโคร เซลล์ ถูกนำไปใช้บ่อยในตึกหรืออาคาร เพื่อปรับปรุงสัญญาณอ่อนและทำให้สัญญาณภายในอาคารครอบคลุมมากขึ้น มีระยะครอบคลุมของสัญญาณประมาณ 4-200 เมตร และมีกำลังส่งของสัญญาณ น้อยกว่าเท่ากับ 0.25 วัตต์ ดัง รูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 พื้นที่บริการของ พิโคร/ไมโคร /มาโครเซลล์

โทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีกระจายสัญญาณจะสื่อสารกันด้วยความถี่ที่กำหนดไว้ เรียกความถี่นี้ว่า ความถี่คลื่นพาห์ (Carrer Frequency) รอบความถี่นี้จะมีสเปคตรัมความถี่จำนวนหนึ่งเรียกจำนวนสเปคตรัมความถี่เหล่านี้ว่า แบนด์วิดท์ (Bandwidth) เช่น คลื่นโทรศัพท์ส่งด้วยความถี่คลื่นพาห์ 1960 MHz และมี แบนด์วิดธ์ ขนาด 10 MHz หมายความว่า การสื่อสารมีระยะของความถี่ที่ใช้เป็น 1955 ถึง 1965 MHz ในการสื่อสาร สามารถแบ่งได้ 2 วิธี ตามลักษณะการส่งที่แตกต่างกัน ดังนี้

- Frequency division duplex (FDD) สถานีฐานกระจายสัญญาณและจะส่งข้อมูลด้วยความถี่คลื่นพาห์ หนึ่งความถี่ต่อโทรศัพท์หนึ่งเครื่อง มีการแบ่งความถี่ออกเป็น Downlink และ Uplink

- Time division duplex (TDD) สถานีฐานจะกระจายสัญญาณและโทรศัพท์เคลื่อนที่จะส่งข้อมูลบน ความถี่เดียวกันหมดแต่ส่งข้อมูลคนละเวลากัน [9]

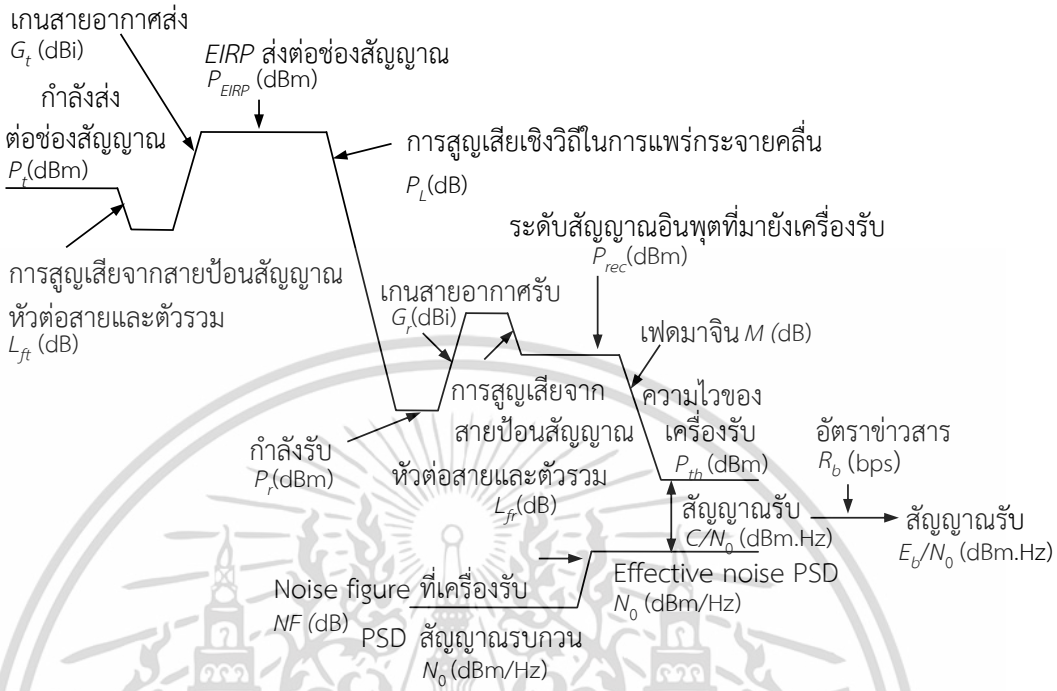
2.3.4 การคาดคะเนการครอบคลุม (Link Budget)

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

Link Budget ใช้ในการคาดคะเนระดับสัญญาณระหว่างเครื่องส่ง และเครื่องรับ ดังรูปที่ 2.28 เครื่องส่งกำลังส่งต่อช่องสัญญาณ P_t ใช้สายอากาศไอโซทรอปิก ที่เกน (Gain) สายอากาศส่ง G_t การสูญเสียรวมจากสายป้อน (Feeder) หัวต่อสาย และตัวรวมคือ L_{ft} (dBm) ทิศทางที่สายอากาศไอโซทรอปิกมีเกนสูงสุดคือค่า EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{EIRP}\,(\text{dBm}) = P_t\,(\text{dBm}) - L_{ft}\,(\text{dB}) + G_t\,(\text{dBi}) \qquad (2.3)$$



รูปที่ 2.18 ไดอะแกรมการคาดคะเนระดับสัญญาณระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ

ในทางปฏิบัติ นิยมใช้ค่า ERP (Effective Radiated Power) เมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น จะได้

$$\text{EIRP} = \text{ERP} + 2.2 \qquad (2.4)$$

ระดับสัญญาณที่มายังอินพุตของเครื่องรับคือ

$$P_r\,(\text{dB}) = P_{EIRP}\,(\text{dBm}) - P_L\,(\text{dB}) + G_r\,(\text{dBi}) - L_{fr}\,(\text{dB}) \qquad (2.5)$$

$L_{fr}\,(\text{dB})$ คือการสูญเสียจากสายป้อน หัวต่อสายที่เครื่องรับ จะหาการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) สูงสุดในการกระจายคลื่นได้จาก

$$P_{L\max}\,(\text{dB}) = (P_t - P_r) + (G_t + G_r) - (L_{ft} + L_{fr} + M) \qquad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$M(\mathrm{dB})$ คือค่าเฟดมาจิน ใช้ลดความน่าจะเป็นของสัญญาณขาดหาย ที่เกิดจากชาโดว์อิง (shadowing)

การสูญเสียเชิงวิถี คือ อัตราส่วนกำลังส่งต่อกำลังรับ ดังนี้

$$P_L = \frac{P_t}{P_r} = \frac{1}{G_t G_r}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \tag{2.7}$$

เขียนในหน่วยเดซิเบล

$$P_L\left(\mathrm{dB}\right) = 10\log_{10}\frac{P_t}{P_r} = P_t\left(\mathrm{dBm}\right) - P_r\left(\mathrm{dBm}\right) \tag{2.8}$$

กำลังรับแปรผันตรงกับความยาวคลื่นกำลังสอง และแปรผกผันกับระยะทางกำลังสอง เมื่อความถี่แคเรียร์เพิ่ม ในขณะที่กำลังส่งยังคงเท่าเดิม จะได้

$$\begin{aligned} P_L\left(\mathrm{dB}\right) &= 10\log_{10}\frac{P_t}{P_r} = 10\log\frac{(4\pi)^2 d^2}{G_t G_r \lambda^2} \\ &= K + 20\log d + 20\log f_c - 10\log G_t - 10\log G_r \end{aligned} \tag{2.9}$$

เมื่อ K คือ ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับ d (กม.) และ f_c (MHz) จะได้ค่า $K = 32.44$ เมื่อเกนสายอากาศส่งและรับเป็น 1 จะได้ P_L(dB) = 32.44 +20log$d$ + 20logf_c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 สายอากาศ (Antenna)

สายอากาศเป็นส่วนประกอบสำคัญในการรับ-ส่งคลื่นวิทยุหรือสัญญาณระบบสื่อสารไร้สายใด ๆ โดยในฝั่งส่งสัญญาณ สายอากาศจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเข็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแพร่กระจายไปในอากาศ ในฝั่งรับสัญญาณ สายอาการจะทำหน้าที่จับคลื่นวิทยุที่แพร่กระจายอยู่ในอากาศแปลงกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้า ในกรณีที่เป็นเครื่องรับวิทยุสัญญาณไฟฟ้าดังกล่าวจะถูกนำมาแปลงให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณเสียง เพื่อประโยชน์ในการรับฟัง เช่น ข่าวสารข้อมูลและความบันเทิง ระบบสื่อสารไร้สายมีหลายรูปแบบและมีลักษณะตามการใช้งานกับความถี่ที่แตกต่างกัน สายอากาศจึงต้องถูกออกแบบให้มีขนาดและรูปแบบแตกต่างกันตามความถี่และความเหมาะสมกับรูปแบบการใช้งาน

2.3.5.1 หลักการทำงานของสายอากาศ

ภาคส่ง สายอากาศมีหน้าที่หลักในการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสู่อากาศ การแพร่กระจาย คลื่นจะเกิดขึ้นเมื่อมีการป้อนสัญญาณซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามายังสายอากาศ ทำให้เกิดประจุไหบนพื้นฐานของสายอากาศและเนื่องจากสัญญาณที่ป้อนให้สายอากาศเป็น คลื่นไฟฟ้ากระแสสลับ ประจุไฟฟ้าจึงถูกเร่งให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ บนสายอากาศกลับไป- กลับมา ตามความถี่ของสัญญาณจากเครื่องส่ง จนเกิดการแพร่กระจายคลื่นออกมา

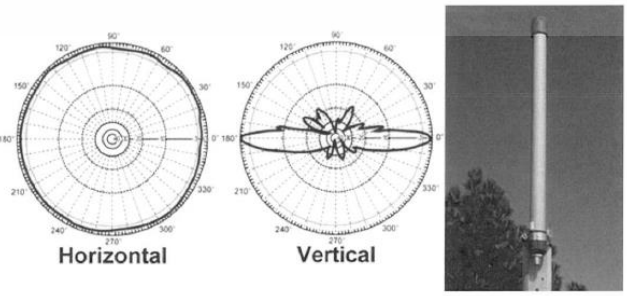
ภาครับ การทำงานของสายอากาสในฝั่งเครื่องรับวิทยุ จะมีหลักการเช่นเดียวกับฝั่ง เครื่องส่งแต่จะกลับด้านกัน กล่าวคือ สายอากาศฝั่งรับจะคอยตักจับหรือเหนี่ยวนำเอาคลื่นนแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายในอากาศ มาเป็นประจุพช้าบนขึ้นตัวนำของสายอากาศ ก่อนที่จะป้อนสัญญาณไฟฟ้าดังกล่าว ให้กับภาครับสัญญาณวิทยุต่อไป

2.3.5.2 ประเภทของสายอากาศ

สายอากาศสามารถแบ่งตามรูปแบบการกระจาย ของคลื่นได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

สายอากาศรอบทิศทาง (Omnidirectional Antenna)

มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง หรือ 350 องศา เหมาะสำหรับใช้ติดต่อกับเครื่องลูกข่ายที่อยู่ใน ตำแหน่งและทิศทางที่ไม่แน่นอน ดัง **รูปที่ 2.19**

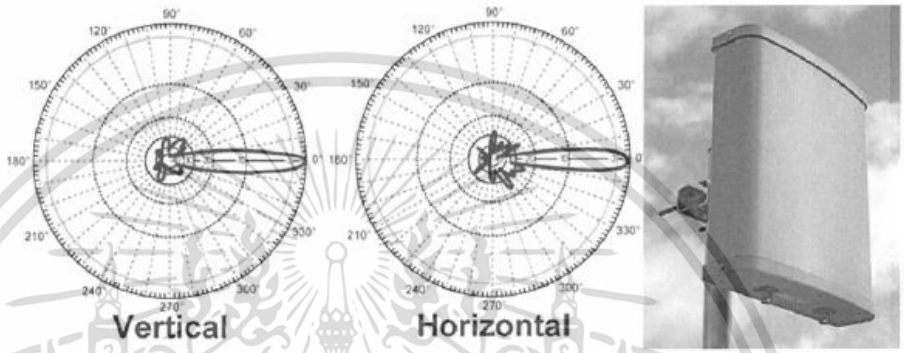


รูปที่ 2.19 สายอากาศรอบทิศทาง (Omnidirectional Antenna)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศเซกเตอร์

จะมีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นที่ชัดเจน เหมาะสำหรับการติดต่อระหว่างจุดต่อจุด สามารถเพิ่มระยะทางการใช้งานได้ไกลกว่า สายอากาตแบบรอบตัว แต่ถ้าสายอากาศไม่อยู่ในทิศทางของการแพร่กระจายของคลื่นจะไม่สามารถรับสัญญาณได้ สายอากาศแบบทิศทางที่นิยมใช้ ได้แก่ สายฮากาศแบบเซกเตอร์ สายอากาศแบบยากิ (Yagi Antenna) สายอากาศแบบกริด (Grid Antenna) สายอากาศแบบจาน (Solid Dish Antenna) ดัง รูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 สายอากาศกำหนดทิศทาง (Sector Antenna)

2.3.6 อัตราขยายของสายอากาศ

เป็นตัวบ่งบอกอัตราขยายของสายอากาศนั้น “ว่าสามารถขยายกำลังที่ถูกส่งเข้ามายังสายอากาศและแพร่กระจายออกไปได้ไกลเท่าไหร่” อัตราขยายยิ่งสูงระยะทางจะไปได้ไกลเพิ่มมากขึ้น แต่องศาในการกระจายคลื่นจะแคบลง สายอากาศแบบทิศทางเดียวจึงมีอัตราการขยายมากกว่าสายอากาศ แบบกึ่งรอบตัวและแบบรอบตัว ลักษณะการใช้งานจึงตกต่างกันไป สายอากาสที่มีอัตราขยายสูงจะ สามารถรับ-ส่งคลื่นวิทยุได้ดีมาก โดยหน่วยของอัตราขยายจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

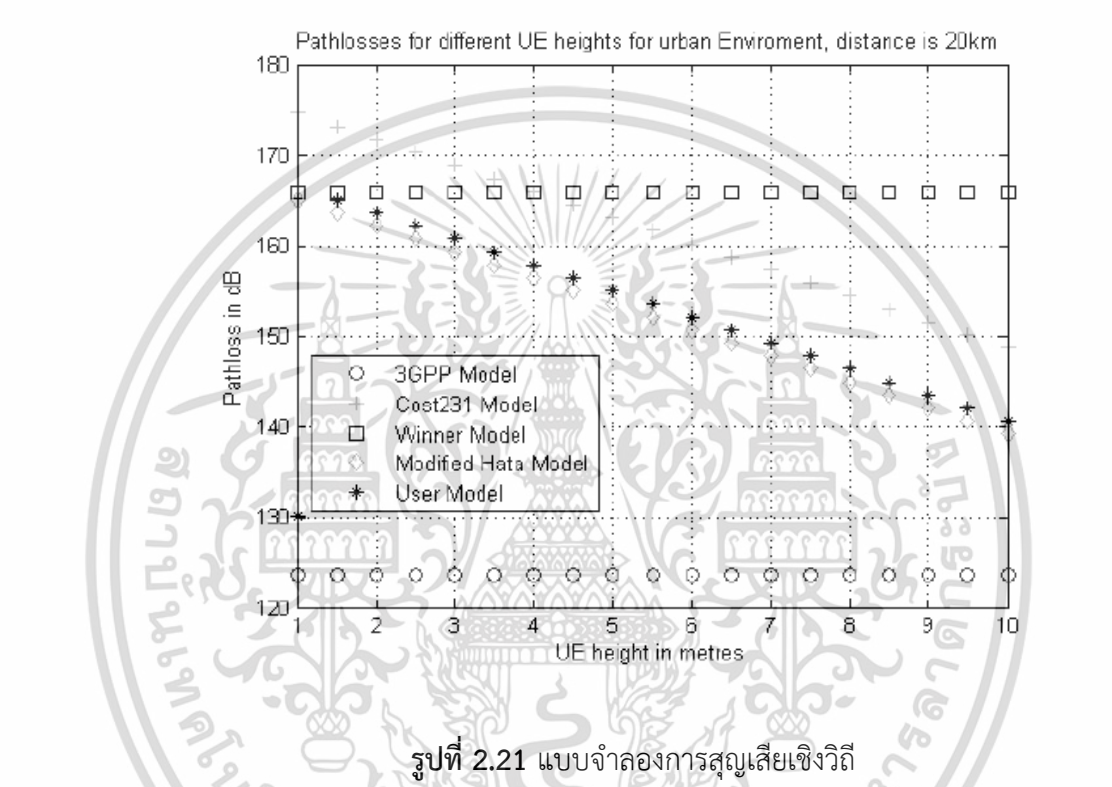
dBi เป็นหน่วยของอัตราขยายเทียบกับสายอากาศแบบไอโซโทรปิก (Isotropic)

dBd เป็นหน่วยของอัตรายายเทียบกับสายอากาศแบนไดโพล (Dipole)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 แบบจำลองการสุญเสียเชิงวิถี (Pathloss)

เปนปรากฏการณที่เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณที่ไดรับออนลง เนื่องจากระยะหางระหวางเครื่องรับและเครื่องสงที่เพิ่มมากขึ้น สำหรับในกรณีที่เครื่องรับอยูไกลจากเครื่องสงสัญญาณที่ถูกสงออกไปจะมีการสูญเสียมากขึ้นตามกำลังสองของระยะทางที่เพิ่มขึ้นและกำลังสองของความถี่ที่ใชดวย โดยทั่วไปแบบจำลองการลดทอนตามระยะทางสามารถจำแนกตาม ความเหมาะสมสำหรับการนำไปใชทดลองในสภาวะต่าง ๆ รูปที่ 2.16



รูปที่ 2.21 แบบจำลองการสุญเสียเชิงวิถี

2.3.7.1 แบบจำลอง Okumura - Hata

เป็นแบบจำลองที่ได้จากผลการวัดที่ความถี่ 150-1500 MHz ในช่วงระยะ 1-100 กิโลเมตร ความสูงสายอากาศส่ง h_t 30-100 เมตร นำค่าการลดทอนมาสร้างกราฟและเปลี่ยนให้เป็นสมการจากนั้น EURO-COST (European cooperative for scientific and technical research) ได้นำหลักการดังกล่าวไปพัฒนาที่ความถี่ 1500- 2000 MHz เรียกว่า แบบจำลอง COST-231 Hata

$$P_b\left(\text{dB}\right) = 46.3 + 33.9\log_{10}\frac{f}{MHz} - 13.82\log_{10}\frac{h_B}{m} - a(h_r f) + (44.9 - 6.55\log_{10}\frac{h_B}{m})\log_{10}\frac{d}{km} + C_m \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7.2 แบบจำลอง Winner

เป็นแบบจำลองที่ได้จากผลการวัดที่ความถี่ 210-2100 MHz ในช่วงระยะ 1-100 กิโลเมตร ความสูงสายอากาศส่ง h_t 30-100 เมตร นำค่าการลดทอนมาสร้างกราฟและเปลี่ยนให้เป็นสมการจากนั้น EURO-COST (European cooperative for scientific and technical research) ได้นำหลักการดังกล่าวไปพัฒนาที่ความถี่ 1500- 2000 MHz

$$P_L\left(\text{dB}\right) = A\log d(\text{m}) + B + C\log\left(\frac{f_c\,(\text{GHz})}{0.5}\right) + X \qquad (2.11)$$

$$P_{L,free}\left(\text{dB}\right) = 20\log d(\text{m}) + 46.4 + 20\log\left(\frac{f_c\,(\text{GHz})}{0.5}\right) \qquad (2.12)$$

A, B, C, X ค่าสัมประสิทธิมีรายละเอียด ดังนี้

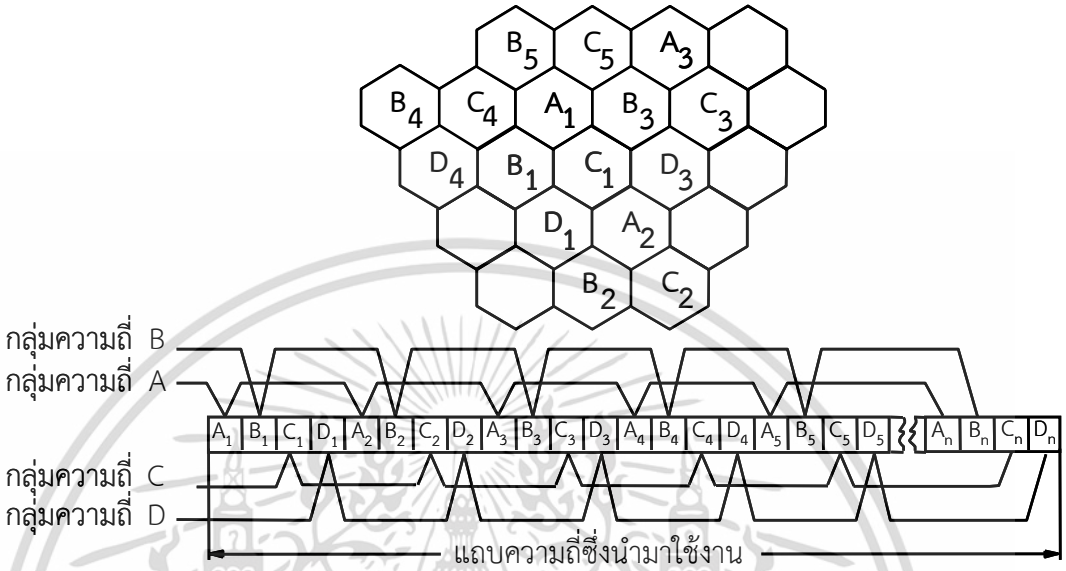
A1	LOS		$A=18.7, B=46.8, C=20$	$\sigma=3$
	NLOS		$A=36.8, B=43.8, C=20$ และ ผนังเบา $X=5\left(n_w-1\right)$ ผนังหนัก $X=12\left(n_w-1\right)$	$\sigma=4$
	NLOS	ผนังสูง	$A=20, B=46, C=20, X=5n_w$	$\sigma=6$
		ผนังหนัก	$A=20, B=46, C=20, X=12n_w$	$\sigma=8$

รูปที่ 2.22 แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี Winner

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การนำความถี่มาใช้ซ้ำ (Frequency Reuse : FR)

การจัดสรรคลื่นพาห์ย่อย ใช้เทคนิคสัดส่วนฟรีเควนซีรียูส ทุกเซลล์ใช้แบนด์ความถี่เหมือนกันร่วมกัน [13] ดัง รูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การนำความถี่มาใช้ซ้ำ (FR)

การจัดวางหลายๆ สถานีฐานเกิดเป็นเซลล์ขนาดต่าง ๆ โดยไม่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ เพื่อให้การสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยกระบวนการเปลี่ยนเซลล์ จึงต้องติดตั้งสถานีฐานเพื่อให้เซลล์เกิดการทับซ้อนกันดังรูปที่ 2.23 ซึ่งเป็นบริเวณที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ ใช้ปรับเปลี่ยนช่องสัญญาณ กรณีที่เซลล์มีขนาดเท่ากัน เส้นที่ผ่านกลางของพื้นที่ทับซ้อนระหว่างเซลล์ทั้งสอง จะมีความแรงสัญญาณที่มาจากสถานีฐานทั้งสองเท่ากัน จะเขียนรูปเซลล์ในรูปเรขาคณิตได้ รูปแบบสามเหลี่ยม จะมีพื้นที่การทับซ้อนระหว่างเซลล์มากที่สุดและรูปแบบหกเหลี่ยม จะมีพื้นที่ของการทับซ้อนระหว่างเซลล์น้อยที่สุด

หากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ มีจำนวนช่องสัญญาณดูเพล็กซ์ทั้งหมด C_{td} แต่ละเซลล์มีการจัดสรรช่องสัญญาณ k ช่อง ถ้าแบ่งกลุ่มความถี่ออกเป N เซลล์ และให้จำนวนช่องสัญญาณทุกเซลล์เท่าๆ กัน จะได้ ดัง สมการที่ 2.13-2.14

$$C_{td} = kN \tag{2.13}$$

เมื่อเวลาใช้งานคือ M จะใช้จำนวนช่องสัญญาณดูเพล็กซ์ วัดขนาดความจุ C ได้ดังนี้

$$C = MkN = MC_{td} \tag{2.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แฟคเตอร์ *N* คือขนาดคลัสเตอร์มีค่า 4, 7 เป็นต้น เมื่อเพิ่ม *N* ขณะที่ขนาดเซลล์เท่าเดิม อัตรา *D/R* เมื่อ *D* ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางเซลล์ที่มีการใช้ความถี่เดียวกัน *R* คือรัศมีเซลล์ จะมากขึ้น ค่า *N* คือฟังก์ชันการแทรกสอดระหว่างสถานีฐานที่ใช้ความถี่เดียวกันดังรูปที่ 2.24

รูปที่ 2.24 การใช้ความถี่ช่องสัญญาณซ้ำของรูปแบบเซลล์ต่าง ๆ

2.4.1 สัญญาณแทรกสอด

2.4.1.1 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดภายในเซลล์เดียวกัน Inter Cell Interference (ICI)

เป็นสัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ภายในขอบเขตเซลล์ที่ให้ บริการเดียวกัน หากเราสมมติว่าภายในเซลล์หนึ่งที่มีรัศมีเท่ากับ *R* มีจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่เท่ากับ N โดยมีการกระจายของผู้ใช้งานเท่าๆ กัน และสถานีฐาน อยู่ตำแหน่งตรงจุดกึ่งกลางของเซลล์ ถ้าเราให้ผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่มีกำลังส่งเท่ากับ $P_{T,M}$ ดังนั้นสามารถคำนวณหากำลังรับ ณ สถานี ฐานตาม [13] สมการที่ 2.15

$$P = P_{T,M} r^{-\gamma} \tag{2.15}$$

เมื่อ P คือ กำลังรับ ณ สถานีฐาน

r คือ ระยะทางระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่และสถานีฐาน

γ คือ กำลังลดทอน ($3 \le \gamma \le 5$)

ดังนั้นค่าสัญญาณแทรกสอดทั้งหมดที่เกิดจากผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในเซลล์เดียวกันจะเกิดจากกำลังส่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องอื่นที่อยู่ในเซลล์นั้น ๆ ซึ่งแสดงได้ดัง สมการที่ 2.16

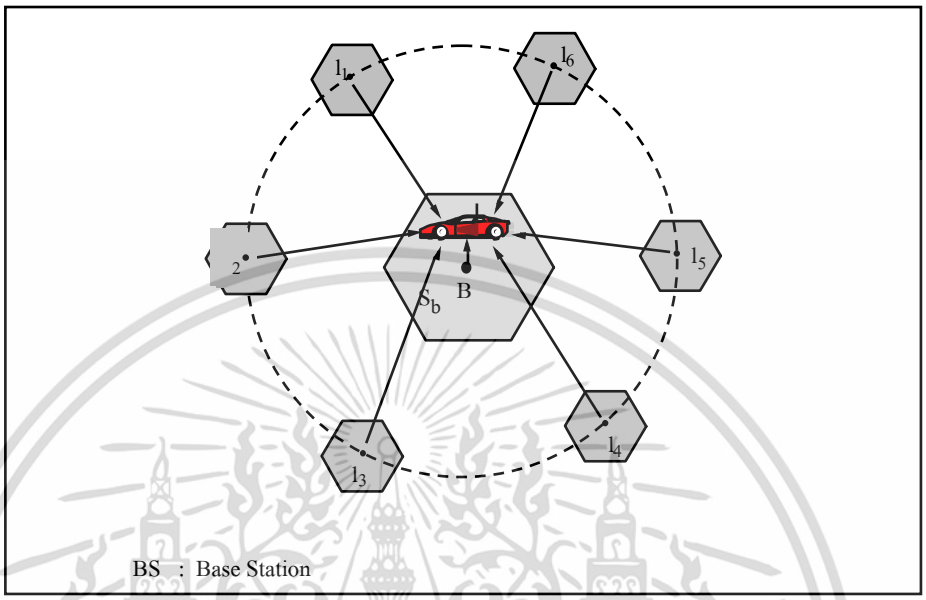
$$I = (N-1)P \tag{2.16}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ I คือ สัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในเซลล์เดียวกัน

N คือ จำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งหมดภายในเซลล์

จากสมการสามารถอธิบายได้ ดัง รูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากเซลล์ภายในเซลล์เดียวกัน

2.4.1.2 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากเซลล์ภายนอก Inter เซลล์ Interference Coordination (ICIC)

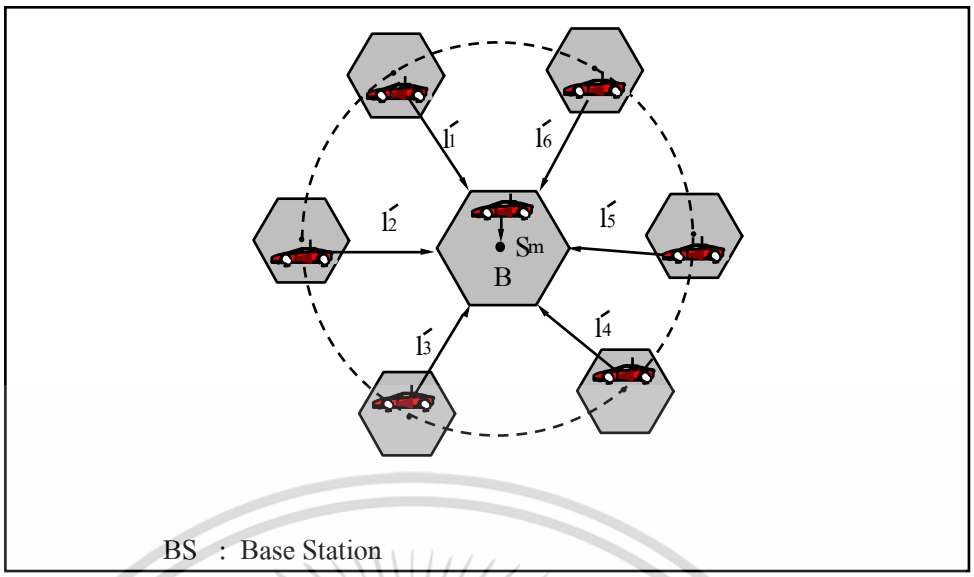
เนื่องจากว่าภายในระบบที่มีการวางเซลล์ติดกันแบบเซลลูล่าร์ ปัญหาที่พบก็คือการเกิดสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ หรือเซลล์ข้างเคียง หากพิจารณาจะเห็นว่าระยะทางระหว่าง 2 สถานีฐานที่ติดกันมีค่าเท่ากับ $2R$ เมื่อ R คือ รัศมีของแต่ละเซลล์ ในทำนองเดียวกันเรากำหนดให้แต่ละเซลล์มีจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่เท่ากับ N ซึ่งมีการกระจายเท่าๆ กันภายในเซลล์ และระบบอยู่ภายใต้การควบคุมกำลังแบบสมบูรณ์ กำลังรับ ณ สถานีฐานมีค่าเท่ากับ P อีกในหนึ่งกำลังรับ ณ สถานีฐานหลักที่ทำการพิจารณาจะมีค่าเท่ากับ $P\ r^{\gamma} d^{-\gamma}(r,\phi,R)$ เมื่อ r คือระยะทางระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐานของเซลล์ข้างเคียง และ $d(r,\phi,R)$ คือระยะทางระหว่างโทรศัพท์ เคลื่อนที่กับสถานีฐานของเซลล์หลักที่ทำการพิจารณา สามารถแสดงได้ตาม สมการที่ 2.17

$$d(r,\phi,R) = \sqrt{[2R + r\sin(\phi)]^2 + [r\cos(\phi)]^2} \qquad (2.17)$$

เมื่อ ϕ คือ มุมของตำแหน่งโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบโพลา – โคออดิเนต

จาก สามการสามารถ สรุปได้ ดัง รูปที่ 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 สัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากเซลล์ภายนอก

ดังนั้นสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจากเซลล์ข้างเคียงทั้งหมดสามารถแสดงได้ตาม สมการที่ 2.18

$$I = \left[r_1^{\gamma} d_1^{-\gamma}(r_1, \phi_1, R) + \cdots + r_N^{\gamma} d_N^{-\gamma}(r_N, \phi_N, R) \right] P \qquad (2.18)$$

เมื่อ I คือ สัญญาณแทรกสอดที่เกิดจากเซลล์ข้างเคียงทั้งหมด

2.4.2 การวิเคราะห์การแทรกสอด

2.4.2.1 หลักการแทรกสอด

การวัด RIP (received interference power) บนคอนเนคเตอร์สายอากาศรับ ในคาบเวลาเดียวกัน กรณีเครื่องรับไดเวอร์ซิตีเป็นค่าเฉลี่ยกำลังเชิงเส้นในสาขา เมื่อเซลล์ใช้ RRU คาดคะเนพื้นสัญญาณรบกวนใน UL ได้จาก (3.2) ที่ยอมรับเมื่อไม่มีโหลดต้องไม่เกิน −118 dBm ขณะโหลดสูงสุดไม่เกิน −108 dBm ใน DL คาดคะเนพื้นของสัญญาณรบกวนได้จาก

พื้นของสัญญาณรบกวน DL = RSRP + RS SINR (2.18)

การแทรกสอดที่เพิ่มจากทราฟฟิกที่เพิ่ม ใช้ในการคำนวนพื้นที่ครอบคลุมและความจุ การคำนวนการครอบคลุมจะใช้มาจินของลิงค์บัดเจทด้านบน สอดคล้องกับการแทรกสอดที่เกิดจากทราฟฟิกของเซลล์ข้างเคียง เรียกว่า *มาจินการแทรกสอด* การคำนวนความจุใช้คาดคะเน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

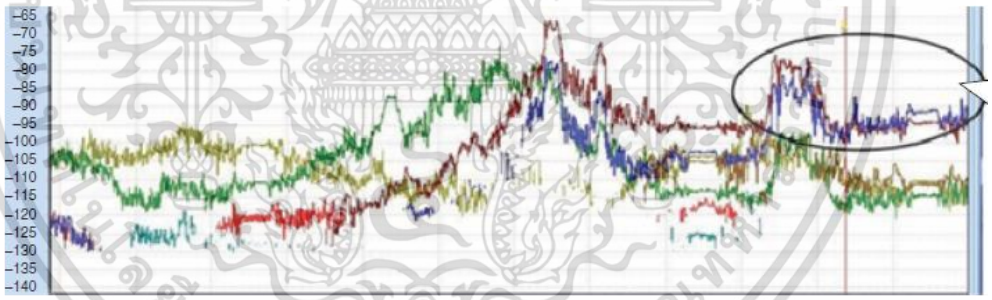
2.4.2.2 การแทรกสอดขาลง (Downlink)

การวัด RSRP หาพื้นที่ซึ่งเกิดปัญหาการแทรกสอด รูปที่ 2.27 เป็นกรณีไม่มีเซลล์หลัก จำนวน PCI ในตัวอย่าง ใช้หน้าต่างกำลัง 10 dB เป็นตัวชี้ การลดการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงใช้เพื่อปรับปรุง DL SINR กรณี RSRP ปกติและ SINR ต่ำกว่า กรณีการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียง เมื่อโหลดของเซลล์เพิ่ม ค่า SINR จะลด แต่ RSRP ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อใช้ดัชนีพื้นที่ทับซ้อนหาผลกระทบระหว่างเซลล์และการออปทิไมซ์

$$SINR = \frac{P_{wanted}}{P_{noise_UE} + P_{external} + P_{other_cell}}$$

$$SINR \approx \frac{RSRP_1}{N_{15KHz} + F_{NF_UE} + Q_{L,k} \sum_{k>1} RSRP_k} \quad (2.19)$$

ในกรณีที่ไม่มีโหลดรอบๆ เซลล์ จาก 2 กรณีที่เกิดการแทรกสอดที่ไม่ได้คาด เริ่มจากการพื้นที่เกิดการรบกวนซึ่งกำหนด PCI ผิดพลาด ต่อมาเซลล์ข้างเคียงมากเกิน ขอบเขตระหว่างเซลล์ข้างเคียงเพื่อหลีกเลี่ยงค่า PCI เท่ากับโหมด 3



รูปที่ 2.27 ไม่มีเซลล์หลักในพื้นที่

2.4.3 อัตราส่วนการแทรกสอดขาลง (Downlink)

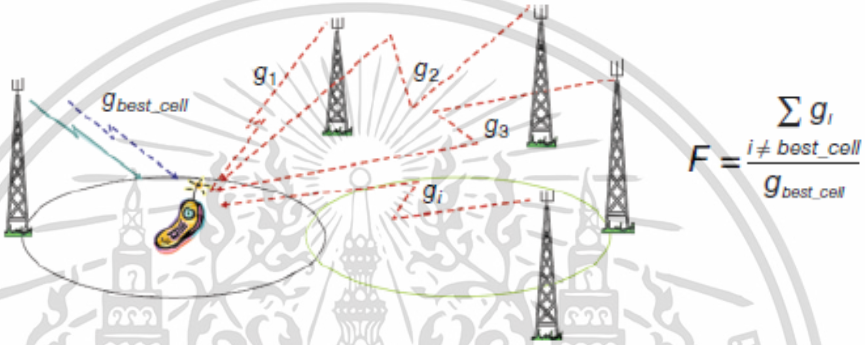
อัตราส่วนการแทรกสอด **Downlink** ดังรูปที่ 2.28 โดยแยกการวัดเซลล์ตามอัตราส่วนการแทรกสอดจากเซลล์ทั้งหมด ยกเว้นเซลล์ที่สัญญาณแรงที่สุด ไม่ขึ้นกับแอคเซสเทคโนโลยี แบนด์วิดท์ สมรรถณะเครื่องรับและความจุ สร้างการวัดการแทรกสอดอินเทอร์เซลล์และพาทเกน (หรือการลดทอน) ดังนี้:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = \frac{\sum_{i \neq best_cell} g_i}{g_{best_cell}} \tag{2.20}$$

อธิบายพาทเกนที่ผู้ใช้งานรับได้ตามความสัมพันธ์กับเซลล์อื่น ๆ ทั้งหมด ซึ่งเป็น SNR ดังนี้

$$G = \frac{RSRP_{BestServer}}{\sum\left(RSRP_{others}\right)} \tag{2.21}$$

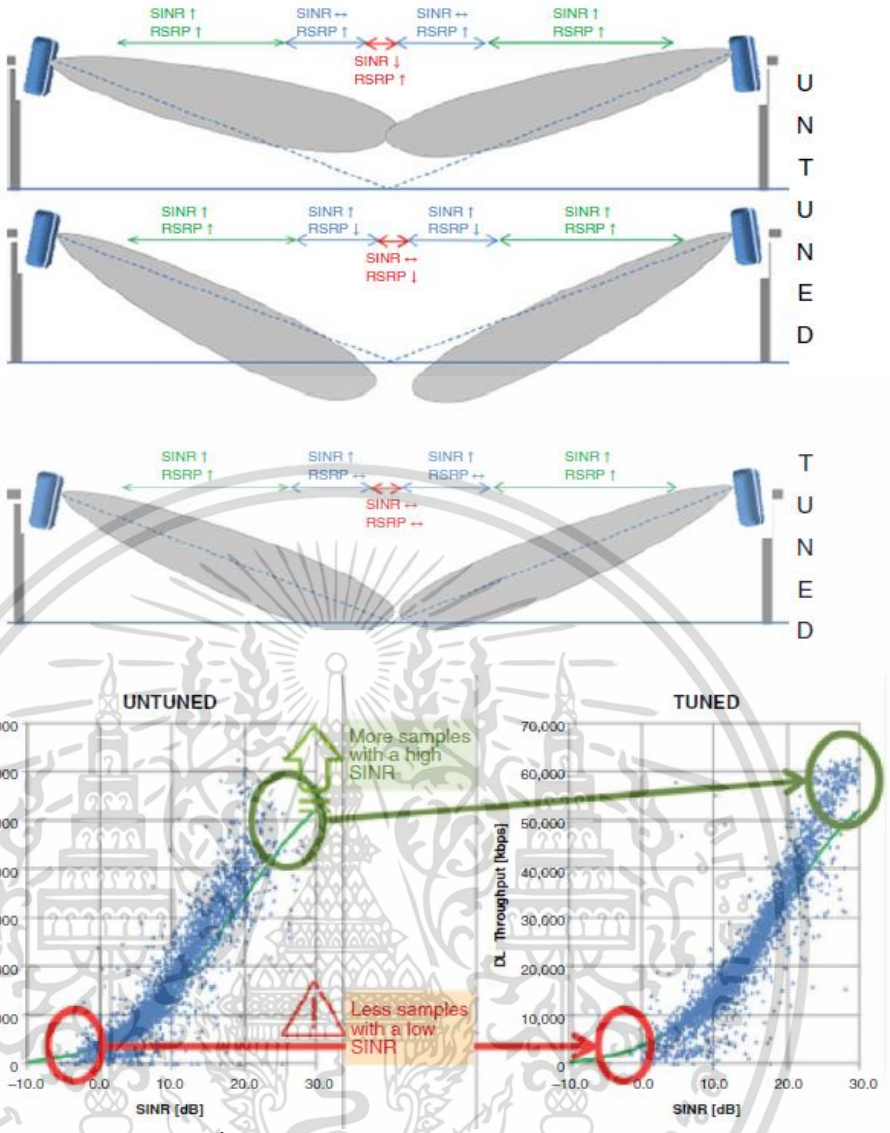


รูปที่ 2.28 ไม่มีเซลล์หลักในพื้นที่

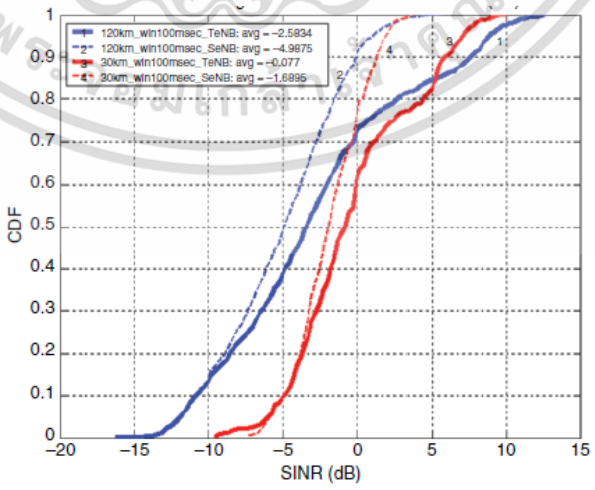
2.4.4 ความสมดุลของ SINR และ RSRP

การควบคุมการแทรกสอดเพื่อให้ SINR และ RSRP สมดุลดังรูปที่ 5.5 หากมีการทับซ้อนน้อย อาจเกิดความล้มเหลวในการแฮนด์โอเวอร์ หากการทับซ้อนมากไป การแทรกสอดสูงขึ้นและทรูพุทที่ขอบเซลล์จะลดลง การปรับมาจินการทับซ้อนและขนาดเซลล์ เพื่อให้เกิดสมดุลด้วยการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ พื้นที่ทับซ้อนของเซลล์ อ่อนไวต่อการออปทิไมซ์ ในพื้นที่ SINR และ RSRPที่แซมเปิลต่ำสุด 5% การเลือกเซลล์อีกครั้ง การแฮนด์โอเวอร์ การโทรสิ้นสุด และเหตุการณ์ล้มเหลวอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นบ่อยๆ รูปที่ 5.6 เป็นข้อมูลการทดสอบภาคสนาม ระหว่างการกระจาย SINR ของ RS ขาลงในระหว่างการแฮนด์โอเวอร์กับความเร็วของ UE ที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 สมดุลระหว่าง SINR และ RSRP



รูปที่ 2.30 SINR ของ RS DL ระหว่างการแฮนด์โอเวอร์

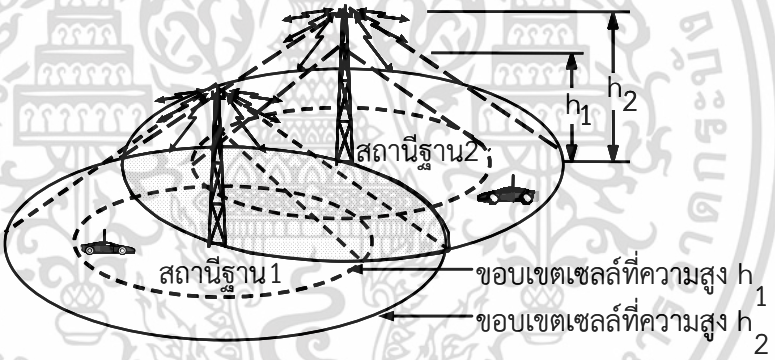
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ PDSCH มีกำหนดการ การตัดสินลักษณะการแทรกสอดต้องทราบโหลดของเซลล์ใช้งานและเซลล์ข้างเคียง ตามรายงานสถานะทรัพยากรระหว่างเซลล์ข้างเคียง โดยใช้ X2 อินเทอร์เฟสจะพิจารณาโหลดเซลล์ข้างเคียงเพื่อตัดสินลักษณะการแทรกสอดเมื่อโหลดสูง โดยขยายหรือลดพื้นที่ให้สอดคล้องกับโหลด ถ้ามีการแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงไปยังเซลล์ที่มีโหลดสูงตาม CQI ที่ถูกต้อง การจัดสรร UE ประสบปัญหาการแทรกสอดเซลล์ข้างเคียงให้น้อยลง ปรับปรุงกำหนดการเลือกความถี่ เมื่อเกิดการแทรกสอด กำหนดการจำกัดทรัพยากรที่ต้องการ ฟังก์ชันลักษณะการแทรกสอดใช้หลักการพื้นที่ซึ่งต้องการ PRB ที่ครอบครองในโดเมนความถี่ เมื่อการจัดสรรเกิดความสอดคล้อง ลักษณะการแทรกสอดในเซลล์ขึ้นอยู่กับการโหลด เซลล์ข้างเคียงจะอยู่ภายใต้โหลดที่สูง ถ้าใช้ค่า PRB เฉลี่ย ที่รายงานโดยเซลล์ตามเทรสโฮล

2.4.5 การลดแทรกสอดในระบบเซลลูลาร์

2.4.5.1 การลดความสูงสายอากาศสถานีฐาน

ปกติจะติดตั้งสายอากาศสถานีฐานให้สูง เพื่อให้เซลล์มีขนาดใหญ่ จะเกิดการแทรกสอดไปยังเซลล์ข้างเคียงดังรูปที่ 2.9 (พื้นที่แรเงา) การลดความสูงสายอากาศ ทำให้ขนาดการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ลดลง (จากเส้นทึบเป็นเส้นประ) การแทรกสอดระหว่างเซลล์จะลดลงตาม ดังรูปที่ 2.31

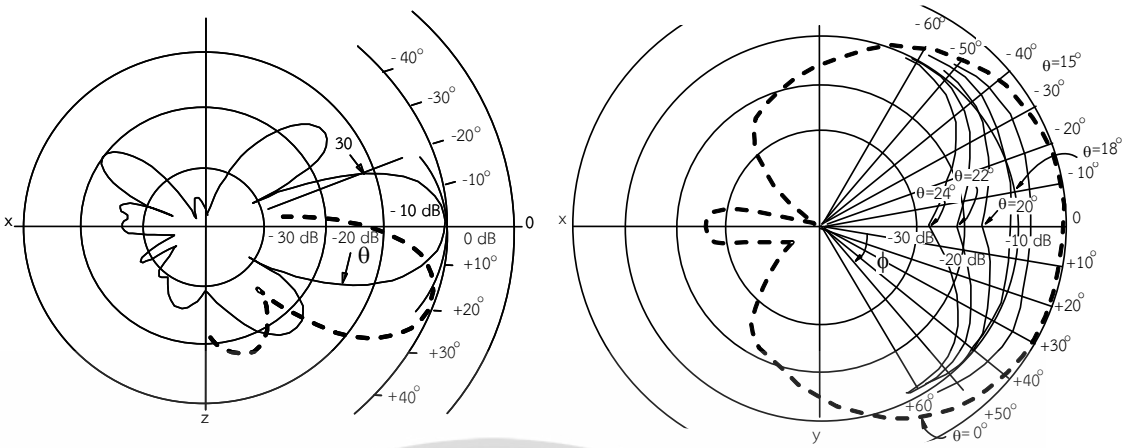


รูปที่ 2.31 การเปลี่ยนแปลงความสูงของสายอากาศส่งผลต่อขนาดเซลล์และการแทรกสอด

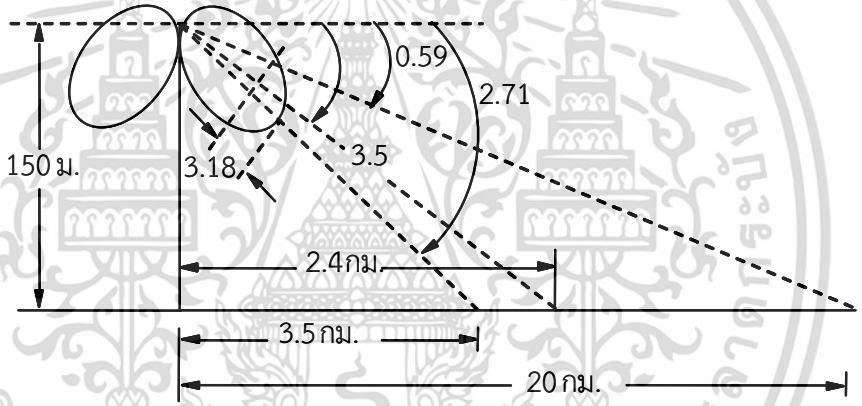
2.4.5.2 การลดการแทรกสอดโดยการปรับมุมเอียงของสายอากาศ

การปรับมุมเอียง (Tilting) จะใช้สายอากาศมีทิศทาง มีการปรับบีมในแนวนอนตามแกน *x-z* ดัง รูปที่ 2.32 (ก) และการปรับบีมสายอากาศแนวตั้งตามแนวแกน *x-y* ดัง รูปที่ 2.32 (ข) ปรับบีมหลักให้ต่ำกว่าระดับแนวนอน เพื่อลดการกระจายคลื่นในแนวนอนไปรบกวนเซลล์อื่น ๆ ที่ใช้ความถี่เดียวกันลง การแทรกสอดโคแชนแนลไปยังเซลล์ข้างเคียงที่ช่องสัญญาณซ้ำกันจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 สายอากาศมีทิศทาง (ก) ปรับมุมเอียงในแนวนอน และ (ข) ปรับมุมเอียงในแนวตั้ง



รูปที่ 2.32 ขอบเขตของสัญญาณเมื่อการปรับมุมเอียงของสายอากาศ

2.4.5.3 การลดการแทรกสอดด้วยการแบ่งเซกเตอร์

สายอากาศมีทิศทางเพื่อแบ่งเซลล์รูปวงกลมออกเป็น *K* เซกเตอร์ เมื่อใช้สายอากาศที่มีทิศทาง 60 ° และ 120° ดัง การวางตำแหน่งเซลล์เซกเตอร์มี 2 ลักษณะคือ การขนานบีมและการหันหลังชนกัน (back-to-back) การหันหลังชนกัน จะกำหนดให้ทิศทางของบีมชี้ไปในทิศทางที่สายอากาศมีเกนต่ำ ความแตกต่างของเกนสายอากาศ จะส่งผลต่อการกำหนดระยะทางต่ำสุดระหว่างสถานีฐานและยุ่งยากกว่าการขนานบีม สำหรับการขนานบีม จะลดทั้งการแทรกสอดอินทราเซลล์และอินเทอร์เซลล์ ตามพารามิเตอร์บีมของสายอากาศ ในระหว่างเซกเตอร์จะมีการเปลี่ยนช่องสัญญาณ (แฮนด์ออฟหรือแฮนด์โอเวอร์) เมื่อใช้จำนวนเซกเตอร์ที่มากขึ้น การแทรกสอดโคแชนแนลจากเซลล์ข้างเคียงจะลดลง แต่ประสิทธิภาพสเปกตรัมจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่ม N ทำให้จำนวนช่องสัญญาณในแต่ละเซลล์ลดลง ตัวอย่างหากจะคงค่า N ไว้ (N=7) และใช้สายอากาศมีทิศทาง แบ่งแต่ละเซลล์เป็น 3 หรือ 6 เซคเตอร์ ใช้สายอากาศมีทิศทาง 60° และ 120° ดังจะกำหนดกลุ่มความถี่แต่ละเซกเตอร์ ที่ให้ค่าการแทรกสอดโคแชนแนลลดลง

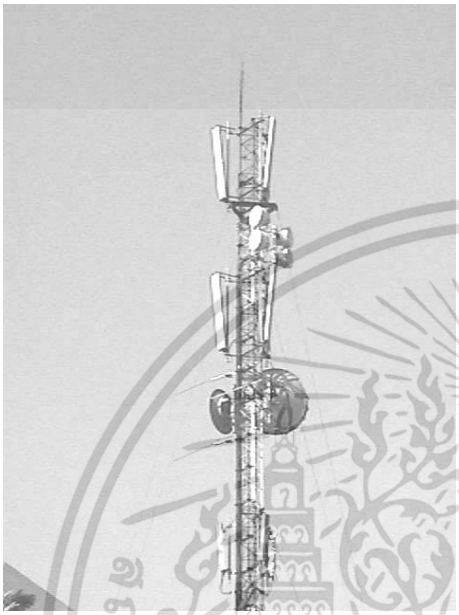
การแบ่ง 3 เซกเตอร์ จะเหลือเซลล์ที่มีการแทรกสอดโคแชนแนลเพียง 2 เซลล์ (ตำแหน่ง E คือจุดที่เกิดการแทรกสอดมากที่สุด เกิดจากเซลล์เซกเตอร์

โทรศัพท์เคลื่อนที่รับสัญญาณจากสถานีฐาน มีระดับการแทรกสอดโคแชนแนลจากเซลล์เซกเตอร์ทั้งสองมาก ในกรณีที่แย่ที่สุด (worse) จะหาค่าของ C/I_c ได้จาก สมการที่ 2.5

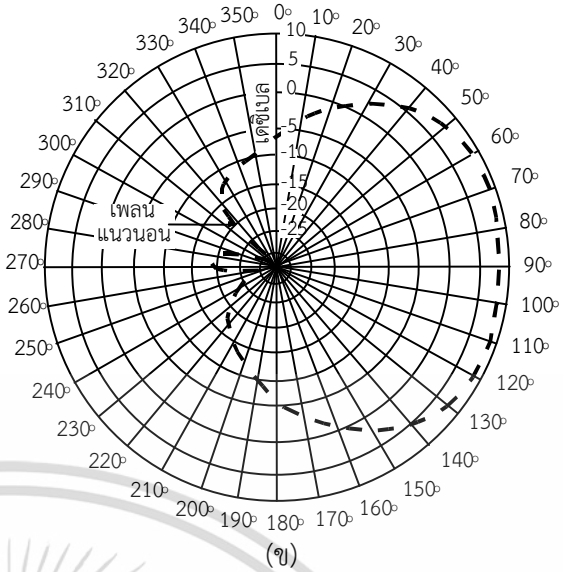
$$C/I_c \text{ (กรณีแย่ที่สุด)} = \frac{R^{-\gamma}}{(D+0.7)^{-\gamma}+D^{-\gamma}} = \frac{1}{(q+0.4)^{-\gamma}+q^{-\gamma}} \qquad (2.22)$$

การแบ่งเซลล์เป็น 6 เซกเตอร์ จะต้องใช้สายอากาศแบบมีทิศทางที่มีบีมวิดธ์ 60° ดังรูปที่ 2.32 (ข) จะเกิดการแทรกสอดโคแชนแนลกับเซลล์เพียงเซลล์เดียว หา C/I จาก

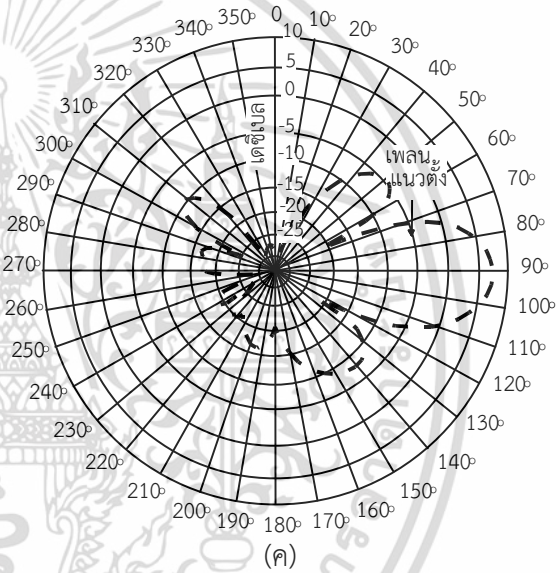
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

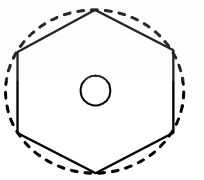


(ข)

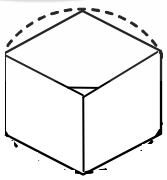


(ค)

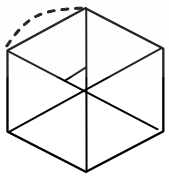
รูปที่ 2.33 (ก) สายอากาศแบบมีทิศทาง (ข) แพทเทิร์นสายอากาศในแนวนอนและ (ค) แพทเทิร์นสายอากาศในแนวตั้ง



เซลล์ออมนิ



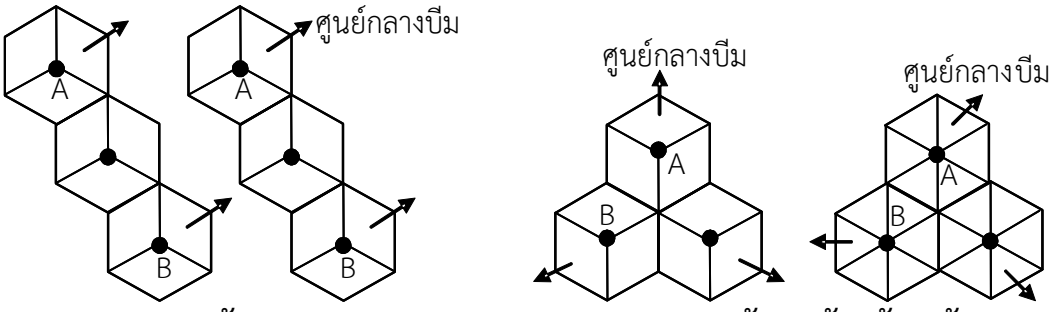
เซลล์เซกเตอร์ 120 องศา



เซลล์เซกเตอร์ 60 องศา

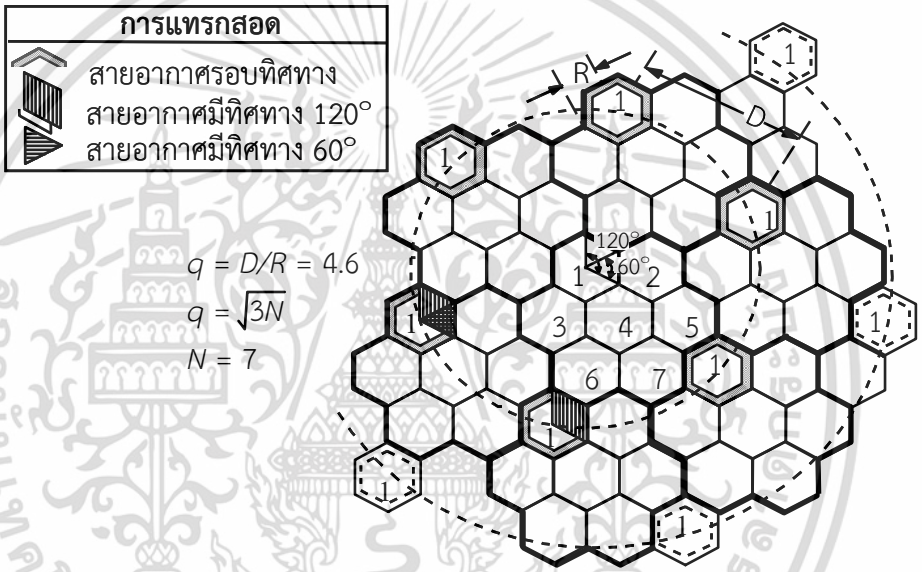
รูปที่ 2.34 เซลล์เซกเตอร์แบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) หลักการขนาน **(ข) หลักการหันหลังชนกัน**

รูปที่ 2.35 รายละเอียดโซนของเซลล์เซกเตอร์

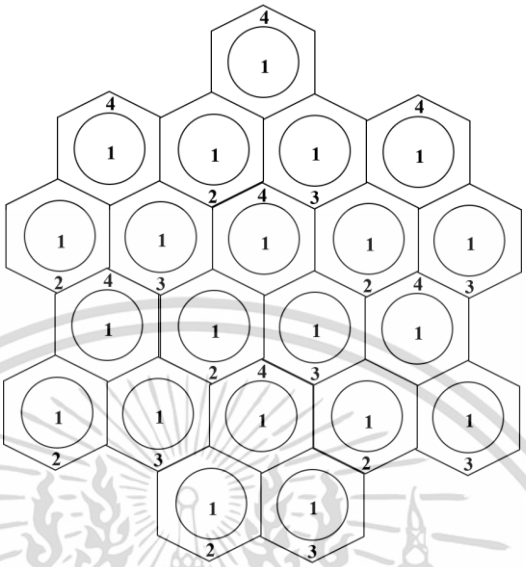


รูปที่ 2.36 แสดงการเกิดการแทรกสอดโคแชนแนลของเซลล์ 2 ชั้น (*N*=7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

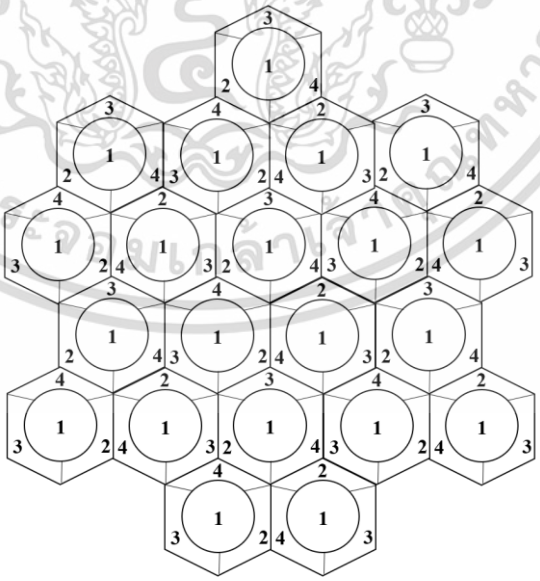
2.4 6รูปแบบการจัดสรรเซลล์

2.4.6.1 รูปแบบอ้างอิงที่ 1 [2] ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทาง ดัง รูปที่ 2.37



รูปที่ 2.37 การจัดกลุ่มแบบ Omnidirectional

2.4.6.2 รูปแบบอ้างอิงที่ 2 [4] ใช้สายอากาศแบบรอบทิศทางผสมกับแบบเซกเตอร์ ดัง รูปที่ 2.38



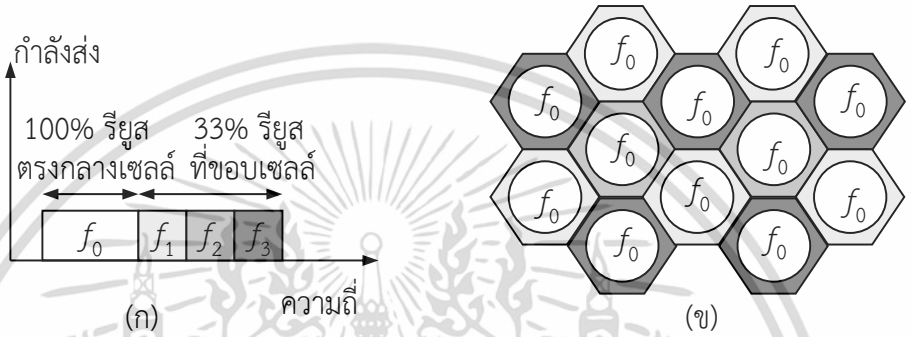
รูปที่ 2.38 การจัดกลุ่มแบบเซกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

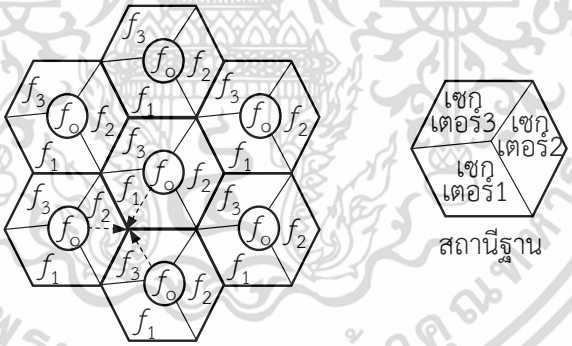
2.5 เทคนิคการวางเซลล์แบบทับซ้อนด้านบน-ล่าง

2.5.1 เทคนิคการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน (Fractional Frequency Reuse : FFR)

เทคนิคการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน ดังรูปที่ 2.39 กำหนดครึ่งแบนด์ f_0 สำหรับ UE ที่อยู่ใกล้สถานีฐาน ส่วนที่เหลือแบ่งเป็น 3 ส่วน f_1, f_2 และ f_3 สำหรับ UE ที่อยู่ไกลจากสถานีฐานตามแฟคเตอร์การรียูส รูปที่ 2.42 ตัวอย่างการวางแผนความถี่ (f_1, f_2, f_3) สำหรับผู้ใช้งานที่ขอบเซลล์ ทรัพยากรความถี่ (f_1), (f_2) และ (f_3) ใช้กับเซกเตอร์ 1, 2 และ 3 ของสถานีฐาน เพื่อลดการแทรกสอด



รูปที่ 2.39 ตัวอย่างการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วน
(ก) การจัดสรรความถี่ (ข) แผนผังการวางแผน



รูปที่ 2.40 ตัวอย่างการนำความถี่มาใช้ซ้ำแบบสัดส่วนของเซลล์เซกเตอร์

2.5.2 การครอบคลุมของช่องสัญญาณทราฟฟิก

การแพร่กระจายคลื่นในสภาพแวดล้อมจริง อาจดี/แย่กว่าที่สมมติในการวางแผน ขนาดพื้นที่ครอบคลุมอาจมาก/น้อยกว่าที่คาดไว้ อาจเกิดโฮลในพื้นที่: RSRP<-120 dBm การครอบคลุมที่แย่ลง: RSRP<-105 dBm และการเกิดโอเวอร์ชูท (Overshooting)

กำลังส่ง eNB ของช่องสัญญาณต่างๆ ในขาลงส่งผลกับขนาดเซลล์ *qRxLevMin* คือระดับ RSRP รับต่ำสุดในเซลล์ที่บรอดคราส โหมด Idel การเลือกเซลล์/เลือกอีกครั้ง เมื่อ UE เชื่อมต่อกับโครงข่ายจำนวนมาก ค่า *qRxLevMin* ต่ำมาก (ลบมาก) ส่งผลต่ออัตราการแอคเซสและการเพจสำเร็จ ใน UL เซลล์ครอบคลุมตามบริการ UE ไม่ขึ้นกับแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณ แต่ขึ้นกับกำลังส่งสูงสุดของ UE การครอบคลุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PUSCH ที่ UL_SINR ตามบริการ เพื่อให้แน่ใจได้ว่า SINR เป้าหมายที่ขอบเซลล์ไม่ต่ำ จนส่งผลให้เกิดปัญหาการซิงโครไนส์ เทรดออฟระหว่างการแทรกสอดต่ำสุดและทรูพุทสูงสุด กำหนดค่าตามความต้องการของไคลเอนต์ $p0_{NominalPUSCH}$ คือระดับสัญญาณที่รองรับ RB และถอดรหัสถูกต้อง ส่งบน BCH พารามิเตอร์ที่ส่งผลกับกำลังส่ง UE และการแทรกสอดก่อนควบคุมกำลังที่ eNB ได้รับการกำหนดค่าให้สูงขึ้นเพื่อปรับปรุงการรับ PUSCH

2.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์สัญญาณโทรศัพท์ในระบบ LTE ต้องมิตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ ดังนี้

2.6.1 Reference Signal Received Power (RSRP)

คือ ค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่ได้รับในหนึ่งแหล่งสัญญาณอ้างอิง กำลังส่งองสัญญาณที่ได้รับจะถูกวัดและส่งรายงานกลับมาที่สถานีฐานโดยรายงานที่ส่งจะมีค่า RSRP ที่ดีอยู่ในช่วง -44 ถึง -120 dBm

2.6.2 Signal-to-Interference-plus-noise Ratio (SINR)

คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังเฉลี่ยของสัญญาณต่อกำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนบวกกับกำลังของสัญญาณรบกวน ซึ่งค่า SINR จะบ่งบอกถึงคุณภาพของการเชื่อมต่อของสัญญาณ ค่า SINR ที่ดีอยู่ในช่วง +20 ถึง <0 dB

2.6.3 Physical เซลล์ Identity (PCI)

เป็นเลขที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อระบุตัวตนของ eNodeB ซึ่งเลข PCI จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Primary Synchronization Signals (PSS) มีค่าเท่ากับ 0, 1 และ 2 Secondary Synchronization Signals (SSS) มีค่าอยู่ที่ 0 ถึง 167 โดยเลข ของ PCI สามารถหาได้จาก สมการที่ 2.11

$$PCI = [(3 \times SSS) + PSS)] \quad (2.23)$$

PCI จะมีคำตั้งแต่ 0 ถึง 503 โดยตัวเลข PCI สามารถทำการนำกลับมาใช้ซ้ำโดยการ วางแผนในระบบเน็ตเวิร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงระเบียบวิธีการวิจัยโดยรายละเอียดขั้นตอนประกอบการจำลองและพิจารณาถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารไร้สาย LTE

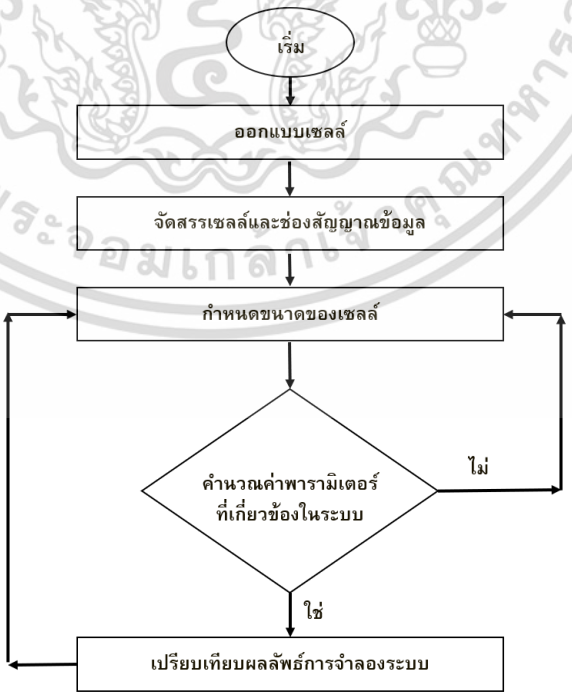
การนำสัดส่วนความถี่มาใช้ซ้ำ Fractional Frequency Reuse (FFR) เป็นการนำ แบนด์วิดธ์ มาจัดสรรให้กับเครือข่ายแบบไม่เท่ากันทำให้สามารถเพิ่มความจุให้กับผู้ใช้ที่มีอยู่ในพื้นที่เซลล์แตกต่างกันได้อย่างเหมาะสม

3.1 การออกแบบ

การออกแบบเครือข่ายใช้ย่านความถี่แบนด์ 2 1800 MHz แบนด์วิดธ์ 10 MHz รวมแบนด์วิดธ์ทั้งหมด 60 MHz โดยมีช่วงของความถี่อยู่ที่ (1930-1990 MHz)

3.2 ขั้นตอนการออกแบบระบบ

จากการศึกษาสมการที่ได้กล่าวมาเบื้องต้น ได้สรุปขั้นตอนของระบบเสนอ ดัง รูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

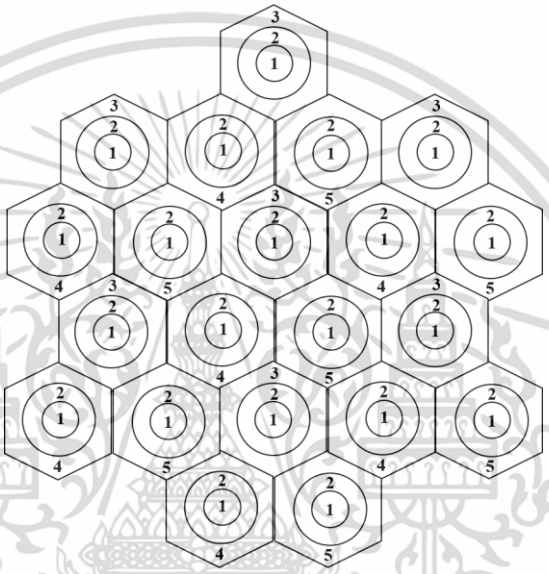
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 รายละเอียดขั้นตอนของระบบ

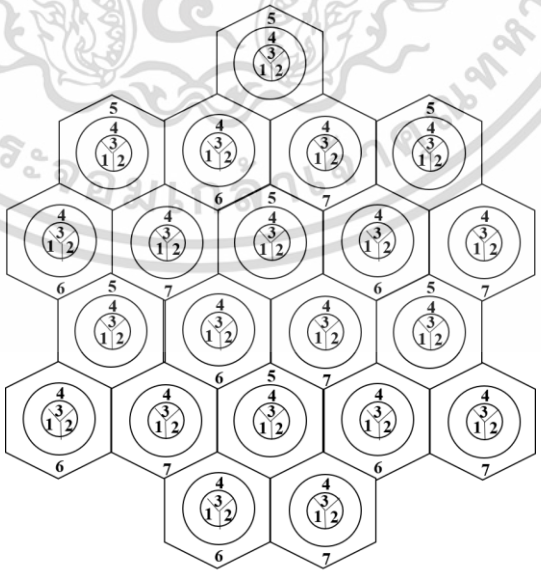
จากรูปที่ 3.1 อธิบายขั้นตอนได้ ดังนี้

3.3.1 ออกแบบและการกำหนดรูปแบบของกลุ่มเซลล์

โดยจะเริ่มจากการใช้สายอากาศเซกเตอร์และสายอากาศรอบทิศทาง (Omnidirectional Antenna) พร้อมทั้งกำหนดรูปแบบในการใช้งานออกเป็น 4 รูปแบบ ดังนี้ สำหรับรูปแบบของระบบที่นำเสนอคือ เทคนิคการจัดวางเซลล์ให้อยู่ในรูปหกเหลี่ยมที่มีลักษณะเป็นแบบสามชั้น คือ พิโคร/ไมโคร/มาโครเซลล์ ทั้งหมด 4 รูปแบบ ดัง รูปที่ 3.2-3.5

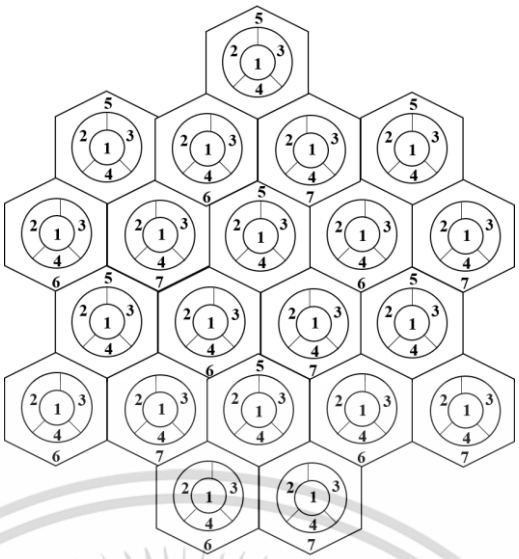


รูปที่ 3.2 รูปแบบที่นำเสนอ 1

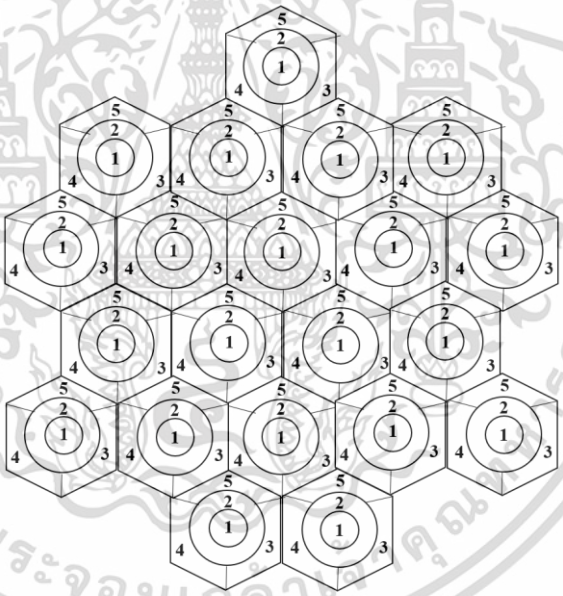


รูปที่ 3.3 รูปแบบที่นำเสนอ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 รูปแบบที่นำเสนอ 3

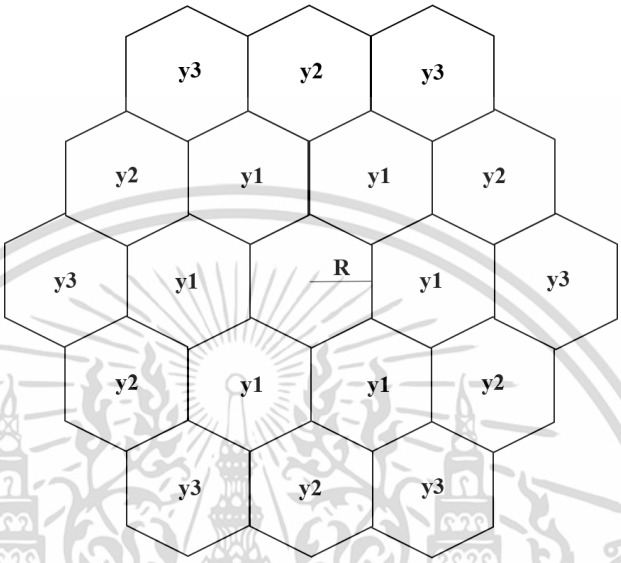


รูปที่ 3.5 รูปแบบที่นำเสนอ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การหาระยะห่างระหว่างเซลล์

เนื่องจากลักษณะการวางเซลล์ในระบบประกอบด้วย พิโคร/ไมโคร /มาโคร เซลล์ ดังนั้นปริมาณอินเตอร์เฟอเรนซ์เฟคเตอร์ที่เกิดขึ้นจะมีทั้งระหว่างเซลล์ ที่ใช่ความถี่เดียวกัน ซึ่งในการพิจารณาสัญญาณแทรกสอดขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเซลล์ ดัง รูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การคำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างเซลล์

จากรูปที่ 3.6 ค่า y_1 ถึง y_3 สามารถคำนวณได้ตาม สมการที่ 2.6-2.8 โดยยกตัวอย่างการคำนวนนั้น คือ กำหนดให้ค่ารัศมีของเซลล์เท่ากับ 1.035 m ตามลำดับ

$$y_1 = \sqrt{3} \times 1.035 R_{cir} \quad 3.1$$

$$y_2 = 3 \times 1.035 R_{cir} \quad 3.2$$

$$y_3 = 2\sqrt{3} \times 1.035 R_{cir} \quad 3.3$$

R คือ รัศมี

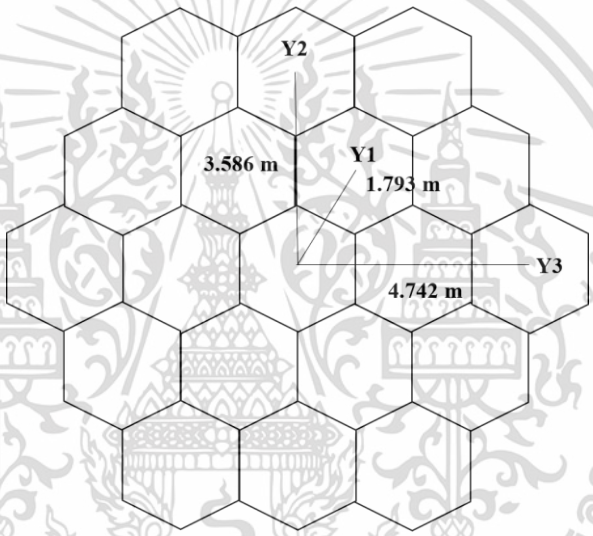
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำระยะทางที่เกิดขึ้นตาม สมการที่ 3.1-3.3 มาแทนค่าระยะห่างระหว่าง เซลล์ ของระบบซึ่งแสดงค่า ดัง ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ระยะห่างระหว่าง เซลล์

Layer 1 of เซลล์	Layer 2 of เซลล์	
y1	**y2**	**y3**
1.793	3.105	3.586

จาก ตารางที่ 2.7 สามารถสรุประยะห่างของเซลล์ในแต่ละชั้น ดัง รูปที่ 2.23



รูปที่ 3.7 ระยะห่างในแต่ละชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 กำหนดพื้นที่ครอบคลุมเซลล์

กำหนดระยะให้พื้นที่ครอบคลุมเซลล์ พิโคร,ไมโคร ,มาโคร ให้มีรัศมีเท่ากับ 200,500,2000 เมตร ตามลำดับ

3.3.3.1 ค่าการสูญเสียเชิงวิถี

จาก 3.3.3 คำนวณได้จาก สมการ Pathloss Cost 231 - Hata Model **[6]** ดัง สมการที่ 3.1

$$P_b\left(\mathrm{dB}\right) = 46.3 + 33.9\log_{10}\frac{f}{MHz} - 13.82\log_{10}\frac{h_B}{m} - a(h_r f) + (44.9 - 6.55\log_{10}\frac{h_B}{m})\log_{10}\frac{d}{km} + C_m \quad (3.5)$$

F คือ ความถี่

hB คือ ความสูงสายอากาศสถานีฐาน หน่วย: เมตร

d คือ ระยะห่างระหว่างสถานีฐานกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ หน่วย: กิโลเมตร

hR คือ ความสูงสายอากาศโทรศัพท์เคลื่อนที่ หน่วย: เมตร

Cm คือ 3 = เมือง,นอกเมือง = 0

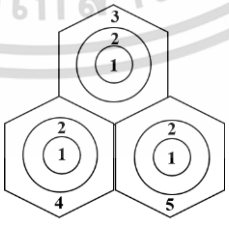
$$a(h_r f) = \left(1.1\log_{10}\frac{f}{m}) - 0.7 \right)$$

3.3.4 จัดวางเซลล์ จัดสรรความถี่และช่องสัญญาณการถ่ายโอนข้อมูล

จัดเรียงแยกเซลล์ต่าง ๆ ออกจากกัน โดยใช้แบนด์ 2 ย่านความถี่ 1800 MHz แบนด์วิดธ์ จำนวน 60 MHz โดยมีรายละเอียด ดัง

3.3.4.1 รูปแบบจากจัดสรรช่องสัญญาณในกับเซลล์

กำหนดให้ พิโคร,ไมโคร ,มาโคร เซลล์มีขนาด แบนด์วิดธ์ช่องสัญญาณต่างกันในแต่ละชั้น เรียกว่าการทำ Fractional Frequency Reuse (FFR) [12] ดัง รูปที่ 3.8-3.11



รูปที่ 3.8 กลุ่มเซลล์ที่พิจารณา 1

รูปแบบที่ 1 1=20 MHz

2=10 MHz

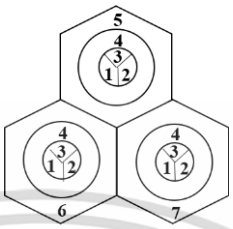
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3-5=(10 MHz*3=30 MHz)

รูปแบบที่ 2 1=15 MHz

2=15 MHz

3-5=(5 MHz*3=15 MHz)



รูปที่ 3.9 กลุ่มเซลล์ที่พิจารณา 2

รูปแบบที่ 1 1-3=(5 MHz*3=15 MHz)

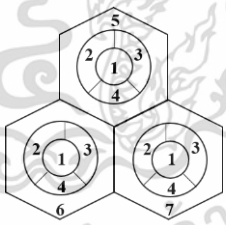
4=15 MHz

5-7=(10*3=30 MHz)

รูปแบบที่ 2 1-3=(10 MHz*3=30 MHz)

2=10 MHz

5-7=(5MHz*3=15 MHz)



รูปที่ 3.10 กลุ่มเซลล์ที่พิจารณา 3

รูปแบบที่ 1 1=10 MHz

2-4=(10 MHz*3=30 MHz)

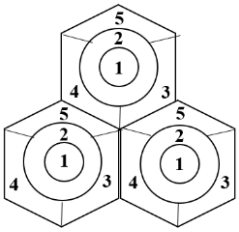
5-7=(5 MHz*3=15 MHz)

รูปแบบที่ 2 1=15 MHz

2-4=(5 MHz*3=15 MHz)

5-7=(10 MHz*3=30 MHz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 กลุ่มเซลล์ที่พิจารณา 4

รูปแบบที่ 1 1=20 MHz

2=10 MHz

3-5=10*3=30 MHz

รูปแบบที่ 2 1=10 MHz

2=5 MHz

3-5=15*3=45 MHz

3.3.5 คำนวณค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

ซึ่งวิเคราะห์ได้จาก ค่าพารามิเตอร์ของระบบ จาก สมการที่ 3.5-3.7

3.3.5.1 สัญญาณอ้างอิงที่ได้รับ Reference Signal Received Power (RSRP) [7] ดัง สมการที่ 3.5

RSRP=Power of TX (mW) /Subcarriers แบนด์วิดธ์+ *AG* – *FL*– *Pb* (3.5)

AG คือ อัตราขยายสายอากาศ

FL คือ Feeder Loss

Lb คือ แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.2 ค่าอัตราส่วนกำลังส่งต่อสัญญาณรบกวน (SINR) [2] ดัง สมการที่ 3.6

$$SINR = \frac{PT.Lb}{\sum_{N...}^{Z} Pz.Lbz} \quad (3.6)$$

z คือ สัญญาณรบกวน

PT คือ กำลังส่งของเซลล์

Lb คือ ค่า Pathloss

3.3.5.3 ค่าความจุของช่องสัญญาณ ดัง [9] สมการที่ 3.7

$$C = B.\log_2(1 + SINR) \quad (3.7)$$

B หมายถึง แบนด์วิทธ์ที่จัดสรรให้กับผู้ใช้

3.3.6 การเปรียญเทียบผลลัพธ์เพื่อประเมินสมรรถนะของระบบ

จากการจำลองของทั้งสี่รูปแบบที่นำเสนอโดยการเปรียบเทียบซึ่งวิเคราะห์ได้จากค่าความจุเพื่อประเมินสมรรถนะของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การจำลองและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลลัพธ์จำลองระบบที่ใช้ในการศึกษาและพิจารณาโดยตัวแปรหรือปัจจัยที่ที่สำคัญ คือ ระยะห่างระหว่างผู้ใช้กับสถานีฐาน ทิศทางตำแหน่งการวางเซลล์และจำนวนเซลล์ ซึ่งจะทำการศึกษาถึงปริมาณสัญญาณแทรกสอด และอัตราส่วนกำลังรับต่อสัญญาณแทรกสอด SINR ที่เกิดขึ้นทั้งใน พิโคร ไมโคร มาโคร เซลล์เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณความจุของระบบที่สามารถรองรับต่อปริมาณผู้ใช้

4.1 บทนำ

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าประสิทธิภาพและปริมาณความจุของระบบ LTE นั้นจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบและสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นภายในระบบซึ่งโดยทั่วไปสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นทั้งในทิศทางการเชื่อมขาขึ้นและขาลงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เน้นทำการศึกษาในทิศทางของการเชื่อมโยงขาขึ้น ดังนั้นสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปของระบบจะเป็นวิธีการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นนั้นจะใช้วิธีการที่เรียกว่าการจำลอง “Simulation”

4.2 การจำลองระบบเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์

ทั้ง 4 รูปแบบที่ได้นำเสนอ ด้วยการวิเคราะห์ค่า ค่าความจุ ประกอบกับศึกษาการเขียนโปรแกรม Matlab ที่แสดงผลลัพธ์การจำลองเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ LTE นอกจากนี้ยังใช้แบบจำลองการสูญเสียตามระยะทาง Pathloss Cost 321 Hata

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การจำลองระบบ

จากที่กล่าวมาข้างต้นใน 4.1 ผู้วิจัยสามารถสรุปพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองระบบของระยะห่างระหว่างผู้ใช้ (UE) กับ เซลล์

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์

พารามิเตอร์	จำนวน	หน่วย
แบนด์วิดธ์ของระบบ	60	MHz
ย่านความถี่	1800	MHz
แบบจำลองการสูญเสียเชิงวิถี	COST-321 Hata	dB
อัตรารัศมีของ พิโคร ไมโคร มาโคร	1:2.5:10	m
กำลังส่ง พิโคร/ไมโคร /มาโคร	1/30/60	Watts
อัตราขยายสายอากาศ	19	dBi

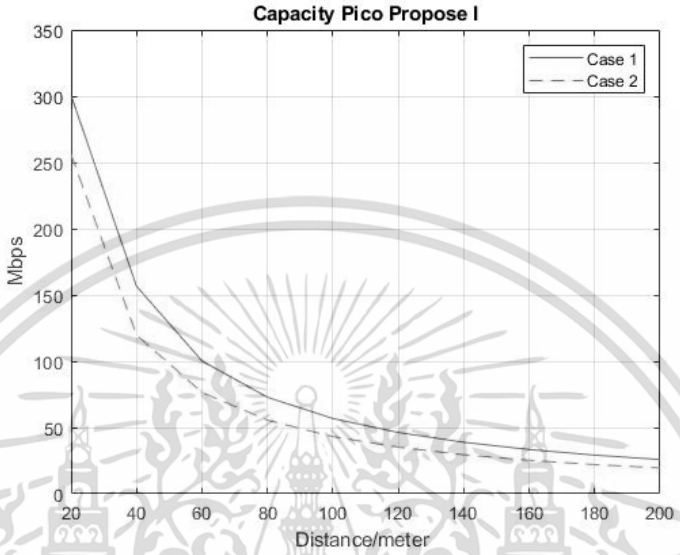
ตารางที่ 4.2 แบนด์วิดธ์ ที่จัดสรรรูปแบบที่ 1-4

รูปแบบ	เซลล์	กรณี 1	กรณี 2
1	พิโคร	1=20 MHz	1=15 MHz
	ไมโคร	2=10 MHz	2=15 MHz
	มาโคร	3-5=10*3 =(30 MHz)	3-5=5*3 =(15 MHz)
2	พิโคร	1-3=5*3=(15 MHz)	1-3=10*3=(30 MHz)
	ไมโคร	4=15 MHz	4=10 MHz
	มาโคร	5-7=10*3=(30 MHz)	5-7=5*3=(15 MHz)
3	พิโคร	1=10 MHz	1=15 MHz
	ไมโคร	2-4=10*3=(30 MHz)	2-4=5*3=(15 MHz)
	มาโคร	5-7=5*3=(15 MHz)	5-7=10*3=(30 MHz)
4	พิโคร	1=20 MHz	1=10 MHz
	ไมโคร	2=10 MHz	2=5 MHz
	มาโคร	3-5=10*3=(30 MHz)	3-5=15*3=(45 MHz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

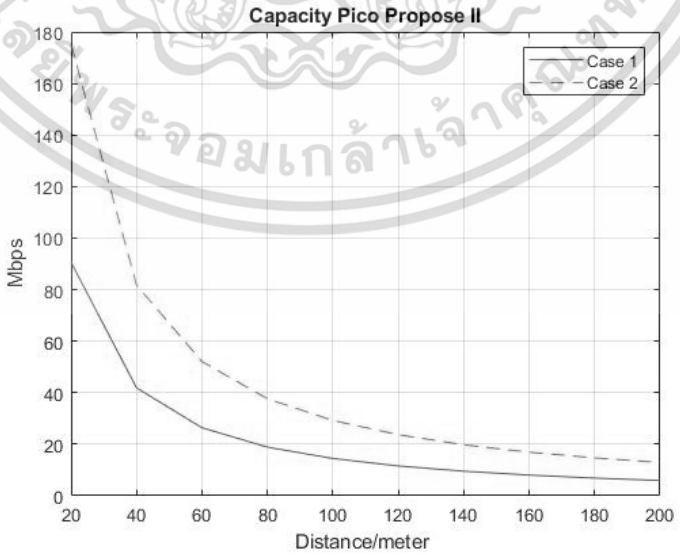
4.4 ผลการจำลอง

4.4.1 ผลลัพธ์การเปรียบเทียบค่าความจุ ของแต่ละรูปแบบที่พิจารณาทั้ง 4 รูปแบบ ดังรูปที่ 4.1-4.12



รูปที่ 4.1 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ พิโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 1

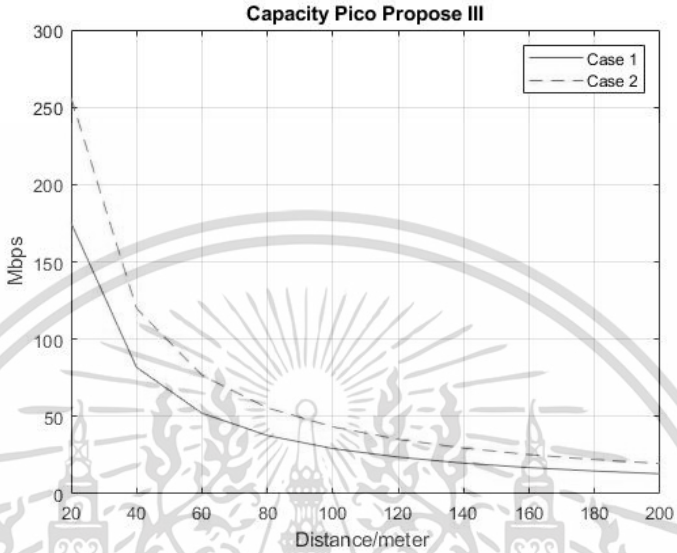
จาก รูปที่ 4.1 ค่า ค่าความจุ ของ พิโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา กรณี 1 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ (20 MHz) กรณี 2 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ (15 MHz) ทำให้ กรณี 1 มี ค่าความจุ สูงกว่า กรณี 2 20%



รูปที่ 4.2 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ พิโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 2

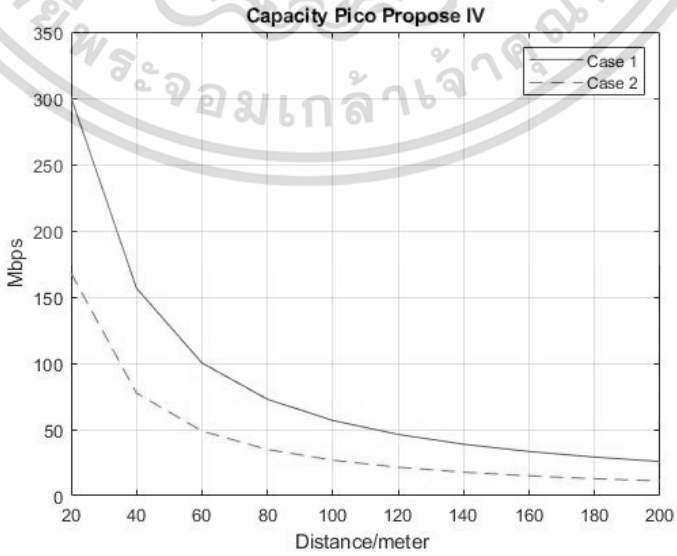
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก รูปที่ 4.2 ค่าความจุ ของ พิโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา กรณี 1 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ 1-3=5*3=(15 MHz) กรณี 2 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ 1-3=10*3=(30 MHz) ทำให้ กรณี 2 มีค่าความจุ สูงกว่า กรณี 1 80%



รูปที่ 4.3 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ พิโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 3

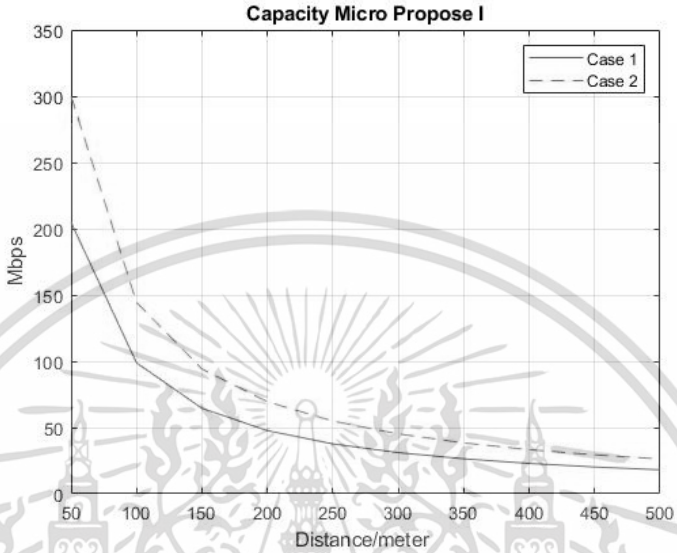
จาก รูปที่ 4.3 ค่าความจุ ของ พิโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา กรณี 1 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ (10 MHz) กรณี 2 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ (15 MHz) ทำให้ กรณี 2 มีค่าความจุ สูงกว่า กรณี 1 50%



รูปที่ 4.4 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ พิโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 4

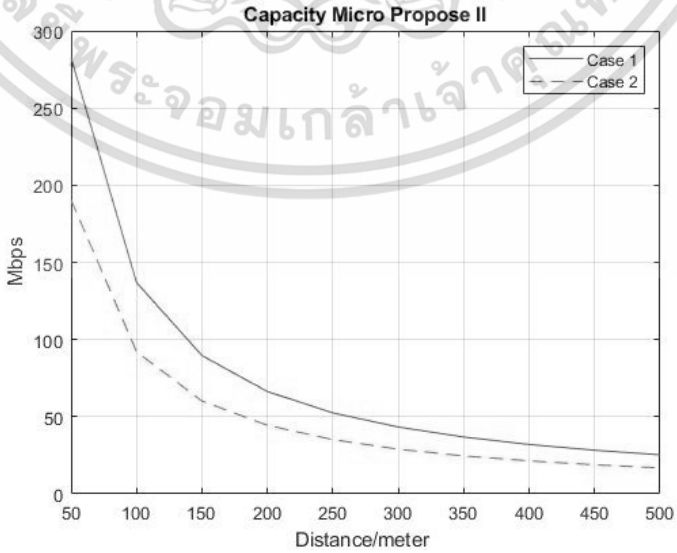
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก รูปที่ 4.4 ค่าความจุ ของ พิโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา กรณี 1 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ (20 MHz) กรณี 2 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ (10 MHz) ทำให้ กรณี 1 มีค่าความจุ สูงกว่า กรณี 2 75%



รูปที่ 4.5 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ ไมโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 1

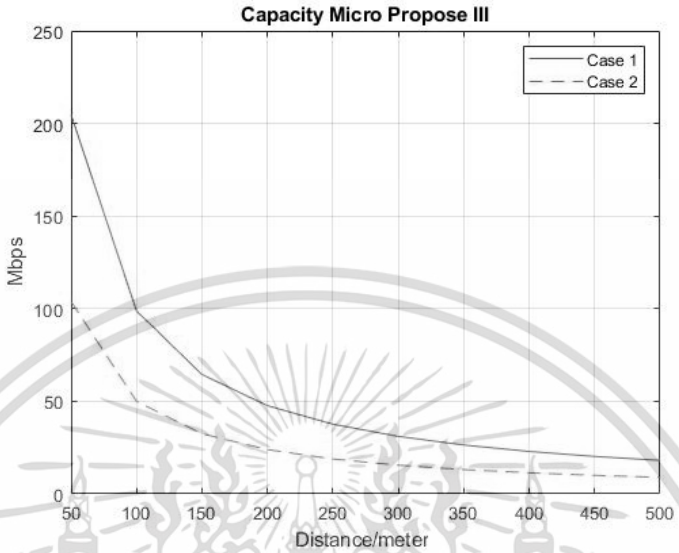
จาก รูปที่ 4.5 ค่าความจุ ของ ไมโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา กรณี 1 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ (10 MHz) กรณี 2 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ (15 MHz) ทำให้ กรณี 2 มีค่าความจุ สูงกว่า กรณี 1 50%



รูปที่ 4.6 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ ไมโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 2

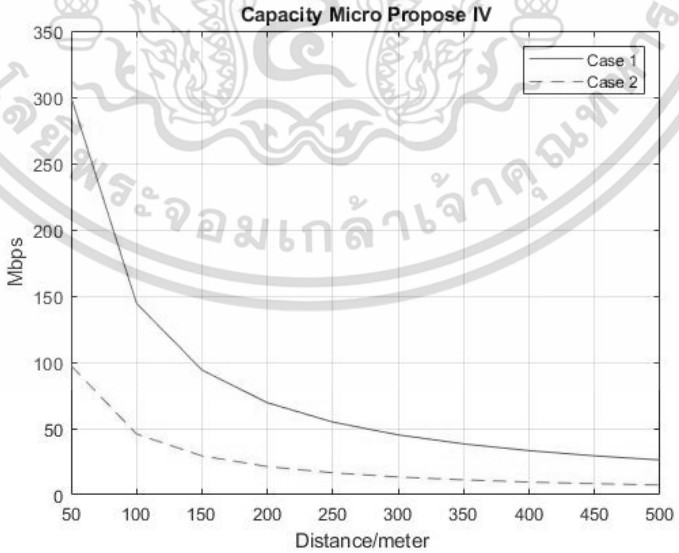
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก รูปที่ 4.6 ค่าความจุ ของ ไมโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา กรณี 1 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ (15 MHz) กรณี 2 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ (10 MHz) ทำให้ กรณี 1 ค่า มีความจุ สูงกว่า กรณี 2 40



รูปที่ 4.7 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ ไมโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 3

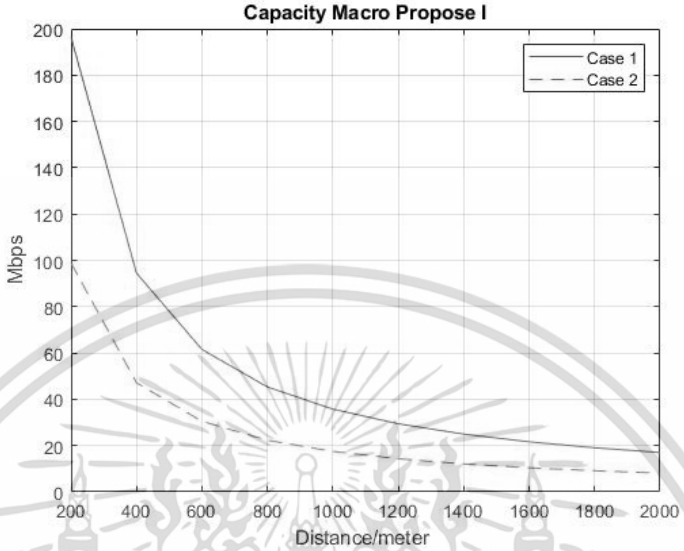
จาก รูปที่ 4.7 ค่าความจุ ของ ไมโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา กรณี 1 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ 2-4=10*3=(30 MHz) กรณี 2 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ 2-4=5*3=(15 MHz) ทำให้ กรณี 1 มีค่าความจุ สูงกว่า กรณี 2 100%



รูปที่ 4.8 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ ไมโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 4

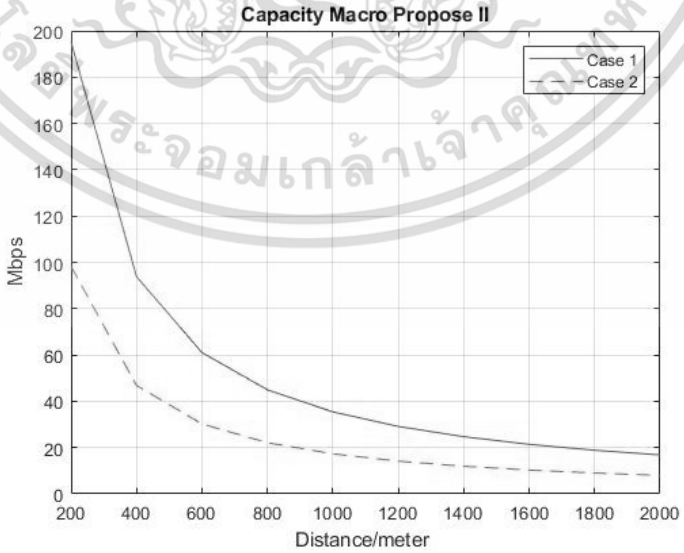
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก รูปที่ 4.8 ค่าความจุ ของ ไมโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา กรณี 1 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ (10 MHz) กรณี 2 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ (5 MHz) ทำให้ กรณี 1 มีค่าความจุ สูงกว่า กรณี 2 200%



รูปที่ 4.9 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ มาโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 1

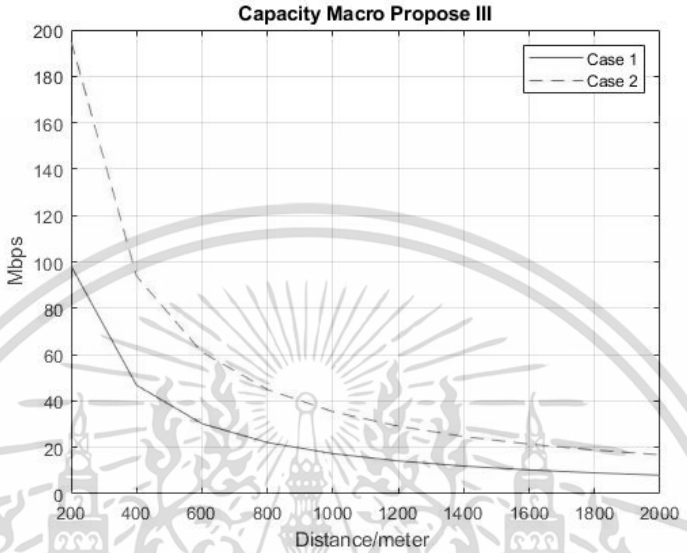
จาก รูปที่ 4.9 ค่าความจุ ของ มาโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา กรณี 1 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ 3-5=10*3=(30 MHz) กรณี 2 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ 3-5=5*3=(15 MHz) ทำให้ กรณี 1 มีค่าความจุ สูงกว่า กรณี 2 100%



รูปที่ 4.10 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ มาโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 2

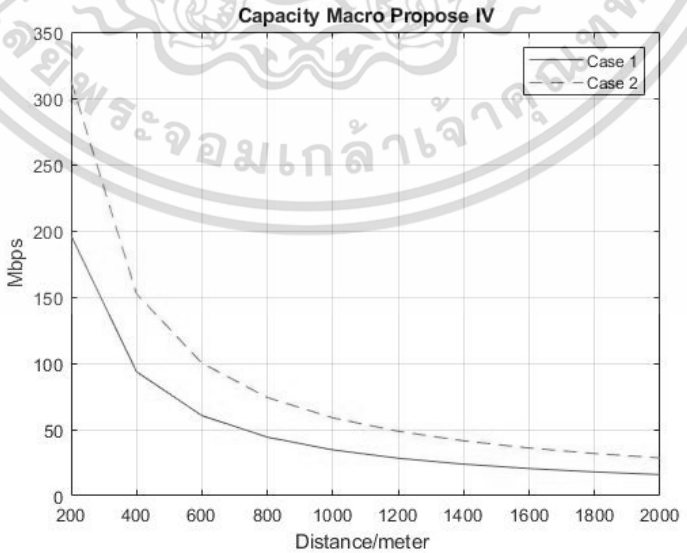
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก รูปที่ 4.10 ค่าความจุ ของ มาโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา กรณี 1 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ 5-7=10*3=(30 MHz) กรณี 2 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ 5-7=5*3=(15 MHz) ทำให้ กรณี 1 มีค่าความจุ สูงกว่า กรณี 2 100%



รูปที่ 4.11 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ มาโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 3

จาก รูปที่ 4.11 ค่าความจุ ของ มาโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา กรณี 1 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ 5-7=5*3=(15 MHz) กรณี 2 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ 5-7=10*3=(30 MHz) ทำให้ กรณี 2 มีค่าความจุ สูงกว่า กรณี 1 100%

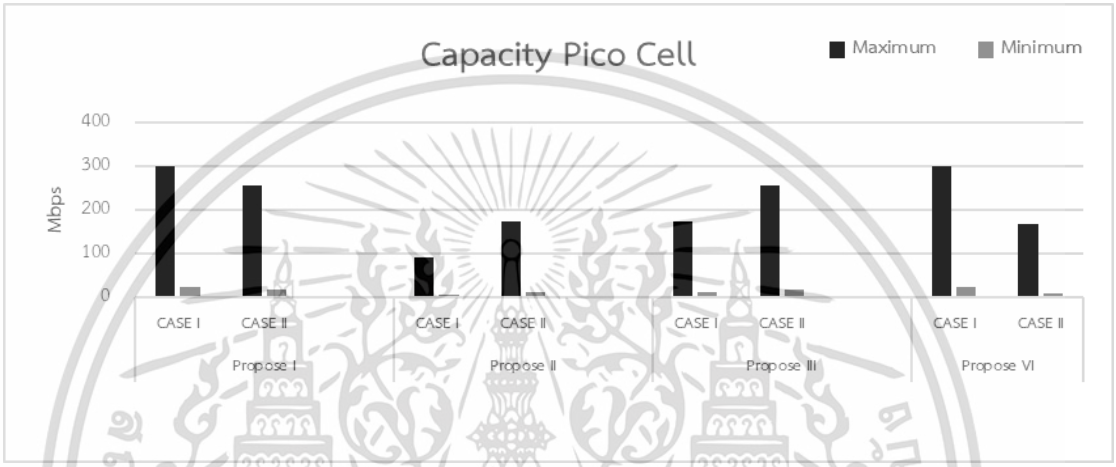


รูปที่ 4.12 ค่าความจุ ต่อผู้ใช้งานของ มาโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา 4

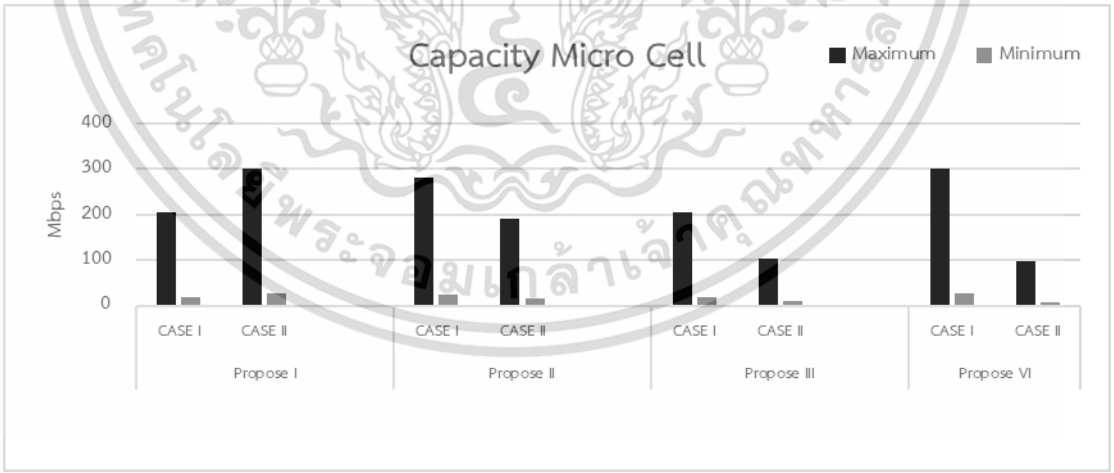
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก รูปที่ 4.12 ค่าความจุ ของ มาโคร เซลล์ ตามรูปแบบที่พิจารณา กรณี 1 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ 3-5=10*3=(30 MHz) กรณี 2 มีการจัดสรร แบนด์วิดธ์ 3-5=15*3=(45 MHz) ทำให้ กรณี 2 มีค่าความจุ สูงกว่า กรณี 1 100%

4.4.2 ผลลัพธ์การเปรียบเทียบค่า ค่าความจุ ของ พิโคร ไมโคร มาโครเซลล์ ที่พิจารณาทั้ง 4 ดัง รูปที่ 4.13-4.15

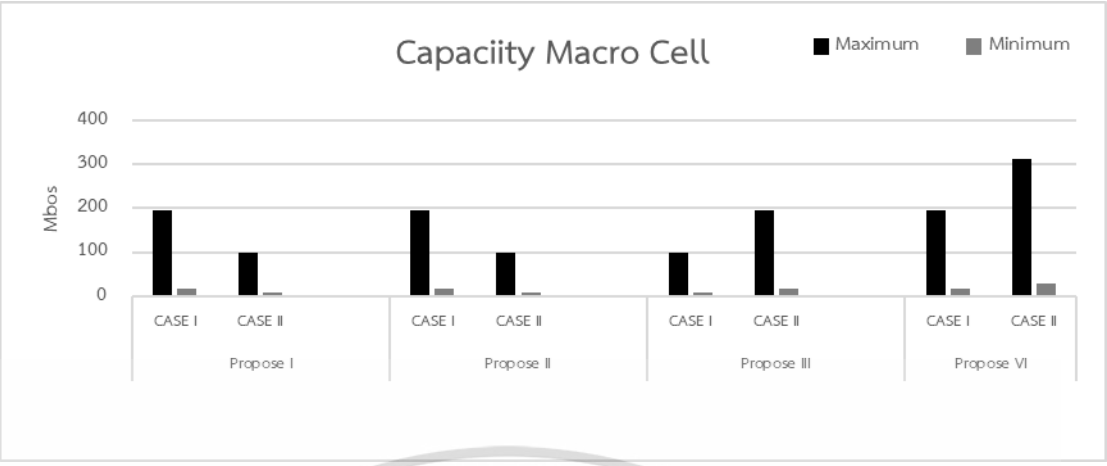


รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่า ค่าความจุ พิโคร กรณี 1-2



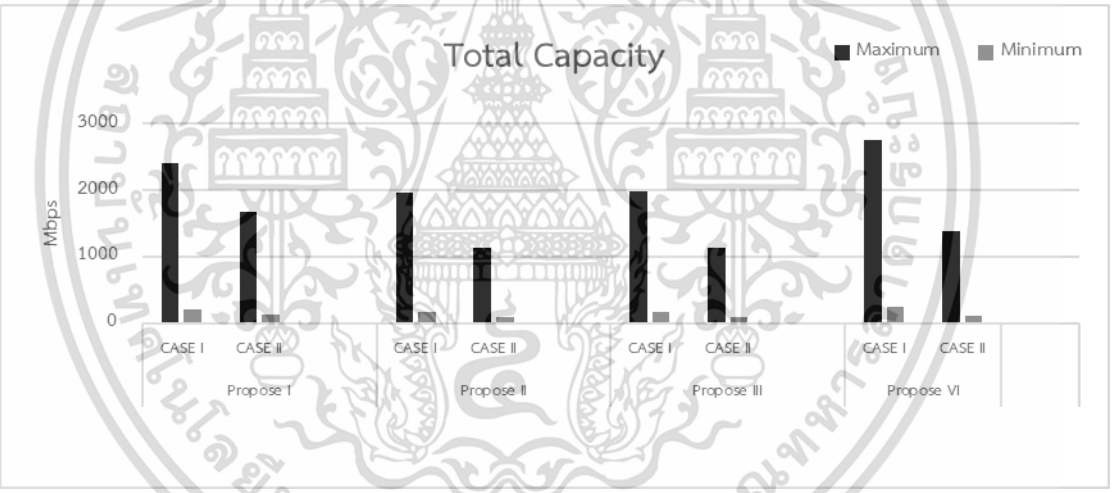
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่า ค่าความจุ ไมโคร กรณี 1-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบค่า ค่าความจุ มาโคร กรณี 1-2

4.4.3 กราฟแสดงผลลัพธ์ค่าความจุรวมสูงสุดกับต่ำสุด ของ กรณี 1-2 ดัง รูปที่ 4.20



รูปที่ 4.16 ค่าความจุรวมสูงสุดกับต่ำสุดของ กรณี 1-2

4.5 ผลการวิเคราะห์การจำลอง

จาก รูปที่ 4.1-4.16 แสดงผลการเปรียญเทียบการจัดสรร แบนด์วิดธ์ ตาม ตารางที่ 4.1 สรุปได้ว่า ถ้าหาก กรณีใดที่ได้รับการจัดสรรแบนด์วิดธ์ที่มากกว่าจะให้ผลค่าความจุสูงตามการจัดสรรที่มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอเทคนิคการจัดวางรูปแบบเซลล์แบบทับซ้อนด้านบน-ล่าง พิโก้ ไมโครและมาโครเซลล์ จากผลลัพธ์การจำลองสรุปได้ ค่าความจุแยกตามเซลล์ ดังนี้

พิโครเซลล์ รูปแบบที่ 1 กรณี 1 และ รูปแบบที่ 4 กรณี 1 เหมาะสมกับพื้นที่ในเมืองที่มีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก ไมโครเซลล์ รูปแบบที่ 1 กรณี 2 และ รูปแบบที่ 4 กรณี 1 เหมาะสมกับพื้นที่ในเมืองที่มีผู้ใช้จำนวนปานกลางและมาโครเซลล์ รูปแบบที่ 4 กรณี 2 เหมาะสมกับพื้นที่ชานเมืองที่มีผู้ใช้จำนวนน้อย

เมื่อพิจารณาจากผลลัพธ์การจำลอง รูปแบบค่าความจุรวมสูงสุด เรียงตามลำดับ คือ รูปแบบที่ 4 รูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 3 และรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] 3GPP Network Technical Specification Group Radio Access., "Physical channels and Modulation (release 8)" version 1.2.0,2007

[2] D. Bilios and et.al," Optimization of Fractional Frequency Reuse in Long Term Evolution Networks,"2012 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC).pp.1875-1879 ,2012.

[3] K. Begain, and Group, "Performance analysis of GSM networks with intelligent underlay-overlay" Proc. 7 th International Symposium on Computers and Communications (ISCC 2002), pp. 135-141, Taormina, Italy, 2002 in IEEE

[4] T. Nam,and Group "Performance evaluation of LTE small cell in-building deployment,", ICEIC 2016,.pp.399-403 ,2016

[5] H. Lei L and D. Yang,"A Novel Multi-Cell OFDMA System Structure Using Fractional Frequency Reuse" In (PIMRC). pp.267-270 ,2007

[6] http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr03/pel/loss.htm [สืบค้นข้อมูล 2023]

[7] https://telecompedia.net/rsrp/ [สืบค้นข้อมูลวันที่ 2023]

[8] X.Zhang ,"LTE Optimization Engineering Handbook" China Mobile Group Design Institute Co., Ltd. Beijing, China., 2017

[9] A. Goldsmith,"Wireless Communications " Cambridge University , 2005

[10] H.Eldin and Group. ,"Fractional Frequency Reuse in LTE Networks ", 2015

[11] U. Sawant and Group. ,"Evaluation of Adaptive and Non Adaptive LTE Fractional Frequency Reuse Mechanisms" 26th Wireless and Optical Communication Conference (WOCC) pp.152-155, 2017

[12] S. Kumar J. and Group"LTE NETWORK : COVERAGE AND Capacity PLANNING" International Conference on Networking and Network Applications, 2017

[13] M. Porjazoski and Group, "Analysis of InterCell Interference Coordination by Fractional Frequency Reuse in LTE" pp 657-660 ,2010.

[14] O. Olukayode I. and Group,"OFDM Carrier Frequency Offset Estimation" Electrical Engineering Department Karlstad University Sweden pp.157-161, 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร

[1] ,S Mathathong. and P Moungnoul ., “Underlay-Overlay of LTE Cell Capacity with Fractional Frequency Reuse,” The 4th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology, (ICEAST) Phuket, Thailand, pp.752-755 , 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อภิธานศัพท์โทรคมนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายชื่อคำศัพท์

BS	Base Station
CCU	Cell Centre User
CEU	Cell Edge User
FDM	Frequency Division Multiplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FFR	Fractional Frequency Reuse
FFT	Fast Fourier Transform
FSK	Frequency Shift Keying
GSM	Global System for Mobile Communications
ICI	Inter-Cell Interference
ICIC	Inter-Cell Interference Coordination
IP	Internet Protocol
LTE	long Term Evolution
LOS	Line of Sight
NLOS	Non-Line of Sight
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PSK	Phase Shift Keying
QoS	Quality of Service
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RB	Resource Blocks
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SFR	Soft Frequency Reuse
SINR	Signal to Interference Noise Ratio
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Time Division Multiple Access
UDP	User Datagram Protocol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย สมาคม มะทะธง
วัน เดือน ปีเกิด	31 กรกฎาคม พ.ศ.2530 ที่จัดหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	29/152 หมู่บ้าน หมู่บ้าน เคซี.รามอินทรา 1 สามวาตะวันตก คลองสามวา กทม. 10510
ประวัติการศึกษา	2555 วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้