



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การวางแผนและการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณแอลทีอี LTE Coverage Planning and Optimization

นายพงษ์ศร วงศ์ประสาธ

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การวางแผนและการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณแอลทีอี LTE Coverage Planning and Optimization

นายพงษ์ศร วงศ์ประสาธ

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การวางแผนและการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณแอลทีอี
ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายพงษ์ศธร วงศ์ประสาท

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร. นภัทร สระเอี่ยม

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นางชุตินัชชา ศุภพงษ์ภัก

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท หัวเหว่ย เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อวางแผนออกแบบการติดตั้งเสาอากาศและการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณแอลทีอีให้ครอบคลุมบริเวณพื้นที่การใช้งานของผู้ใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยทำการค้นหาพื้นที่บริเวณของสถานีฐานที่มีความจำเป็นในการติดตั้งเสาอากาศเพิ่มเติม โดยวางแผนออกแบบติดตั้งเสาอากาศให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด รวมทั้งการออกแบบทิศทางการแพร่กระจายของสัญญาณให้เหมาะสมและเกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้งานสูงสุด หลังจากทำการติดตั้งเรียบร้อยแล้ว จากนั้นตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณเบื้องต้นบริเวณพื้นที่รอบสถานีฐานที่มีการติดตั้งเสาอากาศหลังจากมีการเปิดให้บริการ โดยนำข้อมูลที่ได้จากผู้ใช้โดยการขับรถทดสอบมาวิเคราะห์และปรับปรุงแก้ไขสัญญาณโดยใช้โปรแกรม Actix Analyzer จากนั้นทดสอบสัญญาณครั้งสุดท้าย จัดทำรายงานสรุปผลค่าคุณภาพของสัญญาณที่ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Co-Operative Title: LTE Coverage Planning and Optimization

Student Intern Name: Mr. Phongsatorn Wongprasart

Faculty: Engineering

Department: Telecommunication Engineering

Advisor Name: Asst.Prof.Dr. Napat Sra-ium

Mentor Name: Mrs. Chootinatcha Supphapongpak

Company: Huawei Technologies (Thailand) Co.,Ltd.

ABSTRACT

This project introduces the Planning and design installation of the antenna and the Improvement of LTE (Long-term evolution) signal for entering the coverage area of LTE mobile service In beginning, survey the areas where have to install more antennas by planning to install according to Company standard and design direction of signal propagation to the most appropriate and maximum benefit for users. After installing the antenna is done then check the quality of the signal around the base station where the antenna is installed after service is started the initial test is done by driving test, analyzed and improved using Actix analyzer. The final test is done by driving test again, analyzed and final customized through final data. The final report is finished and make a report on the quality of signal has complied the LTE mobile phone standard.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการ “การวางแผนและการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณแอลทีอี” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี หากไม่ได้รับการสนับสนุน และคำแนะนำจากหลาย ๆ ส่วน ตลอดระยะเวลาที่ได้เข้าไปฝึกสหกิจศึกษา ได้จัดทำโครงการดังกล่าว เรียนรู้ประสบการณ์การทำงานต่าง ๆ ในแผนกตั้งแต่วันที่ 6 สิงหาคม 2561 จนถึง 23 พฤศจิกายน 2561

ผศ.ดร. นภัทร สระเอี่ยม อาจารย์ที่ปรึกษาภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้คำปรึกษาความรู้ คำแนะนำและแนวทางการแก้ไขปัญหาในการจัดทำโครงการ

นายจิรทัต ประชากุล ผู้จัดการฝ่ายบุคคล นางชุตินัชชา ศุภพงษ์ภักดิ์ ผู้นิเทศงาน และพี่พนักงานแผนก RF Engineer โดยเฉพาะอย่างยิ่งพี่ๆ บริษัทหัวเหว่ย เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ทุกคนที่ช่วยดูแล ให้คำปรึกษา วิธีแก้ไขปัญหา ให้ความรู้ความสามารถเกี่ยวกับการทำงาน และมองเห็นศักยภาพในตัวกระผมด้านการทำงานและการจัดทำโครงการ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิชาโทรคมนาคมและครอบครัว ที่คอยช่วยเหลือในการจัดทำโครงการตลอดเวลาการทำงานวันแรกจนวันที่โครงการเสร็จ รวมถึงผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ ที่มีส่วนสำหรับความสำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

พงษ์ศธร วงศ์ประสาธ
ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า	
บทคัดย่อ	I	
ABSTRACT	II	
กิตติกรรมประกาศ	III	
สารบัญ	IV	
สารบัญตาราง	VII	
สารบัญรูป	VIII	
บทที่ 1	บทนำ	
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
	1.4 วิธีการดำเนินโครงการ	2
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2	แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
	2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
	2.1.1 วิวัฒนาการของเครือข่ายการติดต่อสื่อสารผ่าน โทรศัพท์เคลื่อนที่ LTE	5
	2.1.2 โครงสร้างของเครือข่ายการติดต่อสื่อสารผ่าน โทรศัพท์เคลื่อนที่ LTE	6
	2.1.3 โครงสร้างการโรมมิ่งของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ LTE	11
	2.1.4 การนับจำนวนและที่อยู่ของระบบ LTE	13
	2.1.5 โครงสร้างโปรโตคอลสัญญาณวิทยุของระบบ LTE	15
	2.1.6 โปรโตคอลที่ใช้ในแต่ละเลเยอร์ของระบบ LTE	17
	2.1.7 การส่งผ่านข้อมูลของเลเยอร์ในระบบ LTE	20
	2.1.8 การติดต่อสื่อสารผ่านช่องสัญญาณในระบบ LTE	21
	2.1.9 เทคโนโลยี OFDM ในระบบ LTE	25
	2.1.10 โครงสร้างของสถานีฐาน (E-Node B)	42
	2.1.11 Circuit Switched Fallback (CS Fallback)	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการ IV เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.12 Carrier Aggregation	57
2.1.13 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสัญญาณในระบบ LTE	58
2.1.14 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับบอกคุณภาพของสัญญาณ	63
2.1.15 ค่า KPI (Key Performance Indicator)	63
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	66
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปฏิญญานิพนธ์	69
3.1 การออกแบบ	69
3.1.1 การทำงานของระบบโดยรวม	69
3.1.2 Site Solution และ EP TSSR (Engineering Parameter Technical Site Survey Report)	71
3.1.3 DTA (Drive Test Analysis)	72
3.2 โปรแกรมที่ใช้ในการทำงาน	73
3.2.1 Nemo Analyze	73
3.2.2 Actix Analyzer	73
3.2.3 Atoll	74
3.2.4 MapInfo	74
3.2.5 Global Mapper	74
3.2.6 Google Earth Pro	74
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	75
3.3.1 การจัดทำ Site Solution และ EP TSSR (Engineering Parameter Technical Site Survey Report)	75
3.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณโทรศัพท์จากการ Drive Test	75

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 4	ผลการดำเนินงาน	76
	4.1 การวางแผนออกแบบในการจัดทำ Site Solution และ EP TSSR (Engineering Parameter Technical Site Survey Report)	76
	4.1.1 การตรวจสอบข้อมูลจากฐานข้อมูลเปรียบเทียบกับข้อมูลจาก TSSR (Technical Site Survey Report)	76
	4.1.2 การจัดทำ Site Solution และ EP TSSR (Engineering Parameter Technical Site Survey Report)	77
	4.2 การวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณของสถานีฐานที่มีการเปิดให้บริการ	78
	4.2.1 ข้อมูลของสถานีฐาน LTE 2300	78
	4.2.2 การกำหนดเส้นทาง (Route)	79
	4.2.3 การวิเคราะห์ค่าคุณภาพของสัญญาณเบื้องต้น	80
	4.2.4 การกำหนดพื้นที่ PA (Problematic Area) เพื่อปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	87
	4.2.5 การแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณบริเวณพื้นที่ PA (Problematic Area)	89
บทที่ 5	สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	126
	5.1 สรุปผลการวิจัย	126
	5.2 ข้อเสนอแนะ	126
บรรณานุกรม		127

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 BASIS FOR COMPARISON CHARGING	12
2.2 รายการของ LOGICAL CHANNEL ที่ใช้ในระบบ LTE	22
2.3 รายการของ TRANSPORT CHANNEL ที่ใช้ในระบบ LTE	23
2.4 รายการของ PHYSICAL DATA CHANNELS ที่ใช้ในระบบ LTE	23
2.5 รายการของตัวประมวลผลใน TRANSPORT CHANNEL	24
2.6 รายการของ PHYSICAL CONTROL CHANNEL	24
2.7 แสดงพารามิเตอร์เลเยอร์ PHYSICAL ดาวน์ลิงก์ในระบบ LTE	31
2.8 จำนวนทั่วไปของพื้นที่ของ PUCCH	41
2.9 เกณฑ์มาตรฐาน KPI ที่ใช้ในระบบ LTE	66
4.1 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับแบ่งช่วงของค่า RSRP	82
4.2 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับแบ่งช่วงของค่า SINR	83
4.3 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับแบ่งช่วงของค่า CQI	84
4.4 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับแบ่งช่วงของค่า THROUGHPUT DOWNLINK (PS DOWNLOAD)	85
4.5 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับแบ่งช่วงของค่า THROUGHPUT UPLINK (PS UPLOAD)	86

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	วิวัฒนาการของโทรศัพท์เคลื่อนที่	6
2.2	โครงสร้างการเชื่อมต่อของเครือข่ายการติดต่อสื่อสารผ่าน โทรศัพท์เคลื่อนที่ LTE	7
2.3	โครงสร้างของ E-UTRAN (The Access Network)	8
2.4	ประเภทของสถานีฐานระบบโทรศัพท์มือถือ	9
2.5	โครงสร้างของ The Evolved Packet Core (EPC)	10
2.6	โครงสร้างการโรมมิ่งของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่	11
2.7	โครงสร้างของการสื่อสารโปรโตคอลในระบบ LTE	15
2.8	โครงสร้างแสดงการเชื่อมต่อแบบ User Plane	16
2.9	โครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ Control Plane	17
2.10	แผนภาพของโปรโตคอลที่ทำงานใน E-TRAN	18
2.11	แสดงการส่งผ่านข้อมูลโปรโตคอลแต่ละเลเยอร์ในระบบ LTE	20
2.12	ความถี่ย่อยของเทคโนโลยี OFDM	25
2.13	ระยะห่างระหว่างความถี่ย่อยหลายความถี่ของเทคโนโลยี OFDM	25
2.14	โดเมนความถี่ที่ใช้ในการดาวนลิงก์ของเทคโนโลยี OFDMA	28
2.15	โดเมนความถี่ที่ใช้ในการอัปลิงก์ของเทคโนโลยี SC-FDMA	28
2.16	โครงสร้างของเฟรมประเภทที่ 1 (เฟรม FDD)	29
2.17	โครงสร้างของสัญลักษณ์ของเทคนิค OFDM ในระบบ LTE	30
2.18	บล็อกทรัพยากรและการกำหนดองค์ประกอบของทรัพยากร (โหมด CP ปกติ)	31
2.19	ตำแหน่งของสัญลักษณ์อ้างอิงภายในบล็อกทรัพยากรสำหรับระบบของเสา อากาศ 1 ชุด ในกรณีของโหมด CP ปกติ	33
2.20	การตีמודูเลชันของการอัปลิงก์และสัญญาณอ้างอิงของช่องสัญญาณการ เกิดเสียง (CP โหมดปกติ)	34
2.21	เฟรมของสัญญาณการซิงโครไนเซชันและโครงสร้างของสล็อตในโดเมน เวลา	36

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
2.22 เฟรมของสัญญาณการชิงโครโนเซชันและโครงสร้างของสล็อตในโดเมนความถี่และโดเมนเวลา	36
2.23 โครงสร้างของ PBCH	37
2.24 พื้นที่การส่งสัญญาณของช่องสัญญาณ control (ตัวอย่างสัญลักษณ์แบบ 3 OFDM)	39
2.25 โครงสร้างของช่องสัญญาณควบคุมการอัปลิงก์ physical	41
2.26 การส่งสัญญาณของส่วนหัวการเข้าถึงแบบสุ่ม	42
2.27 ส่วนหัวของการเข้าถึงแบบสุ่ม	42
2.28 โครงสร้างของสถานีฐาน (E-Node B)	43
2.29 Base Station Controller (BSC)	43
2.30 Base Band Unit (BBU)	44
2.31 Remote Radio Unit (RRU)	28
2.32 เสาอากาศแบบรอบตัว (Omni Directional Antenna)	46
2.33 เสาอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna)	47
2.34 การปรับเชิงกล (Mechanical Tilt หรือ M-Tilt), ตัวช่วยยึดเสาอากาศ และการปรับมุมทิศของการปรับเชิงกล (Mechanical Tilt หรือ M-Tilt)	48
2.35 การปรับเชิงกล (Mechanical Tilt หรือ M-Tilt)	48
2.36 ตัวอย่างการปรับเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt หรือ E-Tilt) ของเสาอากาศคู่	49
2.37 การปรับเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt หรือ E-Tilt)	49
2.38 แบบรูปการแพร่กระจายของคลื่นเมื่อทำการปรับมุมทิศแบบ M-TILT และ E-TILT โดยมีความกว้างของลำคลื่น 90 และ 65 องศา ตามลำดับ	50
2.39 การคำนวณหามุมก้มที่ระยะทางของคลื่นที่สามารถส่งไปได้	51
2.40 Guy Mast on Ground	51
2.41 Self Support Before 2016	52
2.42 Self Support 2016	53
2.43 Pole on Building	53
2.44 Guy on Building	54

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
2.45 Wall Mount	54
2.46 Billboard	55
2.47 Stand Pole	55
2.48 Electrical Pole	56
2.49 Spun or Mono Pole	56
2.50 Circuit Switched Fallback (CS Fallback)	57
2.51 Carrier Aggregation (FDD)	58
2.52 ตารางช่วงของค่า RSRP	59
2.53 ตารางความสัมพันธ์ของค่า CQI Index, Modulation, Code Rate และ Efficiency	60
2.54 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่า MCS Index, Modulation และ TBS INDEX	62
2.55 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับบอกคุณภาพของสัญญาณในระบบ LTE	63
3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ	70
3.2 แผนผังการทำงานของระบบโดยรวม	70
3.3 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการทำ SITE SOLUTION และ EP TSSR (ENGINEERING PARAMETER TECHNICAL SITE SURVEY REPORT)	72
3.4 แผนผังขั้นตอน DTA (DRIVE TEST ANALYSIS)	73
4.1 ข้อมูลจากฐานข้อมูลและ TSSR (Technical Site Survey Report)	76
4.2 ภาพถ่ายหน้างานจริง หรือ TSSR (Technical Site Survey Report)	77
4.3 การทำ Site Solution	77
4.4 ตารางเกณฑ์มาตรฐานของ Wind Load สำหรับเสาแต่ละประเภท	78
4.5 ตารางข้อมูลของสถานีฐาน	79
4.6 การกำหนดเส้นทาง (Route)	80
4.7 โปรแกรม Atoll Prediction Coverage	80

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.8 RSRP ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	81
4.9 กราฟ RSRP ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	81
4.10 SINR ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	82
4.11 กราฟ SINR ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	82
4.12 CQI ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	83
4.13 กราฟ CQI ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	83
4.14 PCI ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	84
4.15 Throughput Downlink (PS Download) ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	85
4.16 กราฟ THROUGHPUT DOWNLINK (PS DOWNLOAD) ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	86
4.17 Throughput Uplink (PS Upload) ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	86
4.18 กราฟ THROUGHPUT UPLINK (PS UPLOAD) ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	86
4.19 PA (Problematic Area) ของ RSRP	87
4.20 PA (Problematic Area) ของ SINR	87
4.21 PA (Problematic Area) ของ PCI	88
4.22 PA (Problematic Area) ของ Throughput Downlink	88
4.23 PA (Problematic Area) ของ Throughput Uplink	88
4.24 ค่า RSRP บริเวณ PA1 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	89
4.25 ค่า RSRP บริเวณ PA1 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	90
4.26 ค่า SINR บริเวณ PA1 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	90
4.27 ค่า PCI บริเวณ PA1 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	91
4.28 ค่า Throughout DL บริเวณ PA1 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	91

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.29 ค่า RSRP บริเวณ PA2 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	92
4.30 ค่า RSRP บริเวณ PA2 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	92
4.31 ค่า SINR บริเวณ PA2 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	93
4.32 ค่า PCI บริเวณ PA2 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	93
4.33 ค่า Throughput DL บริเวณ PA2 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	93
4.34 ค่า RSRP บริเวณ PA3 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	94
4.35 ค่า RSRP บริเวณ PA3 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	94
4.36 ค่า SINR บริเวณ PA3 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	95
4.37 ค่า PCI บริเวณ PA3 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	95
4.38 ค่า Throughput DL บริเวณ PA3 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	95
4.39 ค่า RSRP บริเวณ PA4 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	96
4.40 ค่า RSRP บริเวณ PA4 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	97
4.41 ค่า SINR บริเวณ PA4 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	97
4.42 ค่า PCI บริเวณ PA4 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	98
4.43 ค่า Throughput DL บริเวณ PA4 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	98
4.44 ค่า RSRP บริเวณ PA5 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	99
4.45 ค่า RSRP บริเวณ PA5 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญา	99

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.46 ค่า SINR บริเวณ PA5 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง สัญญาณ	100
4.47 ค่า PCI บริเวณ PA5 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง สัญญาณ	100
4.48 ค่า Throughput DL บริเวณ PA5 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการ ปรับปรุงสัญญาณ	100
4.49 ค่า RSRP บริเวณ PA6 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	101
4.50 ค่า RSRP บริเวณ PA6 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	101
4.51 ค่า SINR บริเวณ PA6 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง สัญญาณ	102
4.52 ค่า PCI บริเวณ PA6 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง สัญญาณ	102
4.53 ค่า Throughput DL บริเวณ PA6 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการ ปรับปรุงสัญญาณ	102
4.54 ค่า RSRP บริเวณ PA7 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	103
4.55 ค่า RSRP บริเวณ PA7 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	103
4.56 ค่า SINR บริเวณ PA7 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง สัญญาณ	104
4.57 ค่า PCI บริเวณ PA7 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง สัญญาณ	104
4.58 ค่า Throughput DL บริเวณ PA7 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการ ปรับปรุงสัญญาณ	104
4.59 ค่า RSRP บริเวณ PA8 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	105
4.60 ค่า RSRP บริเวณ PA8 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	106
4.61 ค่า SINR บริเวณ PA8 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง สัญญาณ	106

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.62 ค่า PCI บริเวณ PA8 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง สัญญาณ	107
4.63 ค่า Throughout DL บริเวณ PA8 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการ ปรับปรุงสัญญาณ	107
4.64 ค่า RSRP บริเวณ PA9 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	108
4.65 ค่า RSRP บริเวณ PA9 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	108
4.66 ค่า SINR บริเวณ PA9 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง สัญญาณ	109
4.67 ค่า PCI บริเวณ PA9 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง สัญญาณ	109
4.68 ค่า Throughout DL บริเวณ PA9 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการ ปรับปรุงสัญญาณ	109
4.69 ค่า RSRP บริเวณ PA10 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	110
4.70 ค่า RSRP บริเวณ PA10 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	111
4.71 ค่า SINR บริเวณ PA10 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง สัญญาณ	111
4.72 ค่า PCI บริเวณ PA10 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง สัญญาณ	112
4.73 ค่า Throughout DL บริเวณ PA10 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการ ปรับปรุงสัญญาณ	112
4.74 ค่า RSRP บริเวณ PA11 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	113
4.75 ค่า RSRP บริเวณ PA11 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	113
4.76 ค่า SINR บริเวณ PA11 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง สัญญาณ	114
4.77 ค่า PCI บริเวณ PA11 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุง สัญญาณ	114

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.78 ค่า Throughout DL บริเวณ PA11 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	114
4.79 ค่า RSRP บริเวณ PA12 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	115
4.80 ค่า RSRP บริเวณ PA12 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	115
4.81 ค่า SINR บริเวณ PA12 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	116
4.82 ค่า PCI บริเวณ PA12 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	116
4.83 ค่า Throughout DL บริเวณ PA12 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	116
4.84 ค่า RSRP บริเวณ PA13 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	117
4.85 ค่า RSRP บริเวณ PA13 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	118
4.86 ค่า SINR บริเวณ PA13 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	118
4.87 ค่า PCI บริเวณ PA13 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	119
4.88 ค่า Throughout DL บริเวณ PA13 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ	119
4.89 RSRP หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	120
4.90 กราฟ RSRP เปรียบเทียบก่อน - หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	120
4.91 ค่า SINR หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	120
4.92 กราฟ SINR เปรียบเทียบก่อน - หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	121
4.93 ค่า CQI หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	121
4.94 กราฟ CQI เปรียบเทียบก่อน - หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	121
4.95 ค่า PCI ก่อน - หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	122
4.96 ค่า Throughput Download หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	122

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.97 กราฟ Throughput Download เปรียบเทียบก่อน – หลังการปรับปรุง แก้ไขสัญญาณ	123
4.98 ค่า Throughput Upload หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ	123
4.99 กราฟ Throughput Upload เปรียบเทียบก่อน – หลังการปรับปรุงแก้ไข สัญญาณ	123



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โทรศัพท์มือถือ หรือ โทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือ วิทยุโทรศัพท์ คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการสื่อสาร โทรศัพท์มือถือใช้คลื่นวิทยุในการติดต่อกับเครือข่ายโทรศัพท์มือถือโดยผ่านสถานีฐาน โดยเครือข่ายของโทรศัพท์มือถือแต่ละผู้ให้บริการ จะเชื่อมต่อกับเครือข่ายของโทรศัพท์บ้าน และเครือข่ายโทรศัพท์มือถือของผู้ให้บริการอื่น โทรศัพท์มือถือที่มีความสามารถเพิ่มขึ้นในลักษณะคอมพิวเตอร์พกพา จะถูกกล่าวถึงในชื่อ สมาร์ทโฟน

เทคโนโลยีการสื่อสารมีความสำคัญต่อมนุษย์และจำเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ทำให้มนุษย์ต้องพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารให้ทันสมัยเพื่อตอบสนองความต้องการในการทำกิจกรรมต่างๆ ดังนั้นมนุษย์จึงต้องพัฒนาเรื่องมือถือสื่อสารให้มีความทันสมัย และอำนวยความสะดวกได้มากขึ้น ในปัจจุบันโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างมาก เพราะในปัจจุบันโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีความสำคัญและมีส่วนร่วมทั้งในการดำรงชีวิตประจำวันการดำเนินธุรกิจ ฯลฯ เป็นต้น ซึ่งความสำคัญของโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นมีความเพิ่มขึ้นต่างจากอดีต ที่ใช้เพียงแคโทรออกหรือรับสาย และส่งข้อความ แต่ในปัจจุบันโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ โดยผ่านทางระบบอินเทอร์เน็ตไร้สายอย่าง 3G หรือ 4G ดังนั้น การใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยผ่านการเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับเสาสัญญาณ จำเป็นต้องมีสถานีให้บริการที่เพียงพอแก่ผู้ใช้งาน เพื่อให้สัญญาณครอบคลุมทุกพื้นที่ และมีคุณภาพสัญญาณที่ดี ซึ่งจำเป็นต้องมีการวางแผนที่ดีเพื่อให้ทุกพื้นที่ สามารถใช้งานสัญญาณอินเทอร์เน็ตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อวางแผนการติดตั้งเสาอากาศ และปรับปรุงคุณภาพสัญญาณให้ครอบคลุมและทำให้ผู้ใช้งานได้รับสัญญาณอินเทอร์เน็ตที่มีประสิทธิภาพและคุณภาพที่ดี

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาหลักการทำงานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่
- 2) เพื่อศึกษาระบบการทำงานของ RF Engineering
- 3) เพื่อศึกษาการวางแผนและออกแบบการติดตั้งเสาอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เพื่อศึกษาการปรับปรุงสัญญาณโทรศัพท์ให้ดีขึ้น

5) เพื่อศึกษาการเพิ่มขอบเขตความครอบคลุมของสัญญาณโทรศัพท์ให้มากขึ้น

1.3 ขอบเขตของโครงการ

การวางแผนออกแบบการติดตั้งเสาอากาศและการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณโทรศัพท์ได้เริ่มต้นดำเนินการจาก การทำข้อตกลงงานกับลูกค้า เพื่อให้ลูกค้ารับรองพื้นที่ที่จำเป็นต้องติดตั้งสถานีเพื่อให้บริการสัญญาณโทรศัพท์เพิ่มเติม จากนั้นนำข้อมูลที่ลูกค้าต้องการมาทำการวิเคราะห์และวางแผนออกแบบการติดตั้งเสาอากาศ เมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ทำการทดสอบสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ของเสาอากาศ และปรับปรุงค่าของสัญญาณโทรศัพท์ให้ได้ค่าตามเกณฑ์มาตรฐาน พร้อมทั้งติดตามดูแลคุณภาพของสัญญาณตามวันเวลาที่กำหนด จากนั้นส่งคืนงานให้ลูกค้าต่อไป

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1) ทำข้อตกลงกับลูกค้าเกี่ยวกับพื้นที่ที่ต้องการติดตั้งสถานีฐานและเสาอากาศเพิ่มเติม
- 2) วางแผนและออกแบบการติดตั้งเสาอากาศ และออกแบบทิศทางของเสาอากาศ
- 3) ติดตั้งเสาอากาศพร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องในการติดตั้ง
- 4) ชักรอบสถานีฐานเพื่อเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสัญญาณหลังการติดตั้งก่อนให้บริการแก่ผู้ใช้ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องเปิดก่อนให้บริการ
- 5) เปิดให้บริการแก่ผู้ใช้งาน
- 6) ติดตามดูแลค่าคุณภาพของสัญญาณ นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาวิเคราะห์พร้อมทั้งปรับปรุงค่าคุณภาพและขอบเขตของสัญญาณให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
- 7) จัดทำรายงานส่งคืนงานให้ลูกค้า

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เข้าใจการทำงานของระบบการสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่
- 2) เข้าใจถึงระบบการทำงานของ RF Engineering

- 3) ได้ฝึกพัฒนาศักยภาพของตนเองในการทำงานใหม่ๆ ฝึกแก้ปัญหาเกี่ยวกับงานที่ทำ เรียนรู้การอยู่ร่วมกับผู้อื่น และการปฏิบัติตัวกับผู้ที่อาวุโสกว่าอย่างเหมาะสม
- 4) สามารถออกแบบและวางแผนการติดตั้งเสาอากาศได้
- 5) สามารถปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณให้ดีขึ้นได้
- 6) สามารถทำความรู้และการฝึกฝนที่ได้รับไปปรับใช้ได้กับการทำงานในอนาคต



บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการ “LTE Coverage Planning and optimization” จัดทำขึ้นเพื่อวางแผนติดตั้งสถานีฐานและเสาอากาศ 4G LTE 2300 MHz ให้ครอบคลุมทุกพื้นที่ เพื่อให้ผู้ใช้งานได้รับสัญญาณที่มีคุณภาพ เมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ต้องทำการทดสอบสัญญาณแต่ละทิศทางของเสาอากาศ เก็บค่าพารามิเตอร์มาวิเคราะห์โดยเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานตามที่กำหนดไว้ เพื่อปรับปรุงสัญญาณให้มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพ เพียงพอต่อความต้องการใช้งานของผู้ใช้ โดยมีหลักการที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 วิวัฒนาการของเครือข่ายการติดต่อสื่อสารผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคแรกหรือยุค 1G (1st Generation) ของโลกถูกสร้างขึ้นในประเทศญี่ปุ่น ดำเนินการโดย Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT) ใช้ความถี่ย่าน 800 MHz แบ่งเป็น 600 ช่องสัญญาณ (channel) แต่ละช่องสัญญาณ (channel) มีความกว้าง 25 kHz เป็นระบบแบบแอนะล็อก (Analog) และมีอีกหนึ่งระบบที่เปิดดำเนินการคือ ระบบ Japanese Total Access Communication System (JTACS) การมีสองระบบทำให้ผู้ใช้สามารถมองว่าควรทำให้มีการใช้งานร่วมกัน หรือเรียกว่า Roaming รัฐบาลญี่ปุ่นจึงนำไปศึกษาทำให้ได้ระบบสื่อสารใหม่ที่เป็นแบบดิจิทัล (digital) ขึ้นมา เรียกว่าระบบ Pacific Digital Cellular (PDC) และได้เปิดให้สามารถใช้งานได้ในเวลาต่อมา

ต่อมาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่แพร่ไปถึงบริเวณพื้นที่ฝั่งยุโรป Nordic Mobile Phone (NMT) ได้เปิดให้บริการในย่านความถี่ 450 MHz หรือเรียกว่า ระบบ NMT-450 ในแถบ Scandinavia จากนั้นประเทศอังกฤษ ก็เปิดให้บริการระบบ The Total Access Communication System (TACS) และประเทศเยอรมันก็เปิดให้บริการระบบ C-450 จึงทำให้เป็นการสิ้นสุดการเปิดให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบริเวณภาคพื้นยุโรป เพราะวาระบบที่หลากหลายไม่สามารถใช้งานร่วมกันได้

เมื่อเทคโนโลยีได้รับการพัฒนามากขึ้น ทำให้การสื่อสารแบบดิจิทัลเกิดขึ้นจริงได้ จึงทำให้เกิดระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่สองหรือยุค 2G (2nd Generation) (หรือยุคดิจิทัล) ซึ่งมีการให้บริการทั่วโลก หรือเรียกว่า ระบบ Global System for Mobile Communications (GSM) มีจุดประสงค์เพื่อให้

เป็นมาตรฐานเดียวกันทั้งยุโรป และทำให้การให้บริการการสื่อสารแบบไร้สายด้านเสียงเป็นแบบไร้รอยต่อทั่วพื้นที่ เรียกว่าการทำ International Roaming

โลกของการสื่อสารได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว มีการใช้เทคโนโลยีแบบดิจิทัลกันอย่างกว้างขวาง นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการให้บริการและเครือข่าย ความต้องการใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ขยายตัวมากขึ้นไปทั่วโลก ทำให้ความต้องการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตไร้สายผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นแรงผลักดันสำคัญของโทรศัพท์ยุคที่สาม ที่มีความต้องการให้เป็นมาตรฐานที่ครอบคลุมการใช้งานอย่างกว้างขวาง (Universal Standard) ซึ่งเป็นที่มาของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่สามหรือยุค 3G (3rd Generation) เรียกว่า ระบบ Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) ซึ่งเป็นระบบเครือข่ายมาตรฐานใหม่ที่ถูกพัฒนามาจาก ระบบมาตรฐานคลื่นความถี่ GSM ที่มีเทคโนโลยีหลักคือ W-CDMA ต่อมาได้ถูกพัฒนาให้เป็นเทคโนโลยี HSPA+ ที่สามารถรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดถึง 42 Mbps

ปัจจุบันโลกก็ยังไม่หยุดที่จะพัฒนาเทคโนโลยีและยังพัฒนาต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ไม่มีวันสิ้นสุด จึงทำให้เกิดยุคที่สี่หรือยุค 4G (4th Generation) หรือเรียกว่า Long Term Evolution (LTE) เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกนำมาทดลองใช้ในยุค 4G โดยเกิดจากความร่วมมือของ 3GPP (3rd Generation Partnership Project) ที่พัฒนาให้เทคโนโลยี LTE มีความเร็วกว่ายุค 3G ถึง 10 เท่า โดยมีความสามารถในการส่งถ่ายข้อมูลและมัลติมีเดียสตรีมมิ่งที่มีความเร็วอย่างน้อย 100 Mbps และมีความเร็วสูงสุดถึง 1 Gbps

เทคนิคที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างเครื่องลูกข่ายกับสถานีฐานที่ใช้คลื่นวิทยุ มีเทคนิคการเข้าถึง (Access) ของโทรศัพท์แต่ละยุคดังนี้

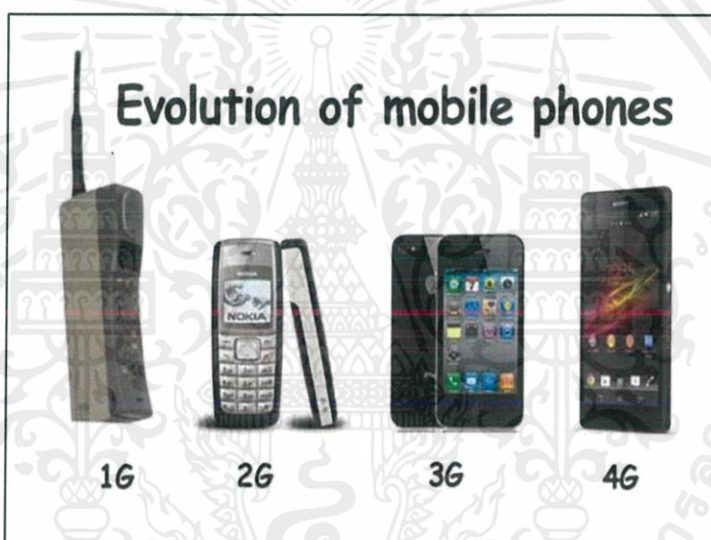
1) ยุคที่ 1 (1G) เป็นการสื่อสารในรูปแบบแอนะล็อก (Analog) เป็นยุคที่ใช้เทคนิคที่ง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน โดยจะแบ่งความถี่เป็นช่องเล็กๆ ประมาณ 25 kHz – 30kHz ใช้การมอดูเลชันแบบ Frequency Modulation (FM)

2) ยุคที่ 2 (2G) เป็นการสื่อสารในรูปแบบดิจิทัล มีความซับซ้อนมากกว่ายุค 1G แบ่งความถี่เป็นช่องขนาด 200 kHz ใช้เทคนิคการมอดูเลชันแบบ Time Division Multiple Access (TDMA) ซึ่งเทคนิคนี้ ผู้ใช้จะต้องแบ่งเวลายกกันใช้ความถี่เดียวกัน

3) ยุคที่ 3 (3G) เป็นการสื่อสารในรูปแบบดิจิทัล ใช้เทคโนโลยีการเข้าถึงแบบ Code Division Multiple Access (CDMA) มีคุณสมบัติการสื่อสารแบบ Real time คือ การเปลี่ยนสถานีฐานใช้งานขณะเคลื่อนที่ จะไม่มีการขัดจังหวะรับ-ส่งข้อมูลในจังหวะ เรียกว่า Handover ถ้าเกิดในระบบ 1G

และ 2G การรับ-ส่งข้อมูล Real time เช่นเสียงสนทนาจะสูญหายขณะทำ Handover ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับในการสื่อสารแบบ Real Time ดังนั้น ระบบแบบ CDMA ผู้ใช้แต่ละคนจะถูกแยกออกจากกันด้วยรหัส (Code) ต่างกัน

4) ยุคที่ 4 (4G) เป็นการสื่อสารในรูปแบบดิจิทัล ใช้เทคโนโลยีการเข้าถึงแบบ Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) เป็นการพัฒนาจากยุค 3 G เพื่อลดข้อด้อยของยุค 3G เป็นการใช้งานเทคโนโลยีแบบไร้สายในการใช้งานกับทุกเทคโนโลยีและแอปพลิเคชันบนโครงข่ายไร้สาย และมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลที่เร็วขึ้นมาก สามารถส่งผ่านข้อมูลแบบไร้สายด้วยระดับความเร็วสูงที่เพิ่มขึ้นถึง 100 Mbps อีกทั้งรองรับรูปแบบการใช้งานระบบเคลื่อนที่มากขึ้นและมีการสนับสนุนด้านความปลอดภัยมากขึ้น โดยจะแสดงวิวัฒนาการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ดังรูปที่ 2.1



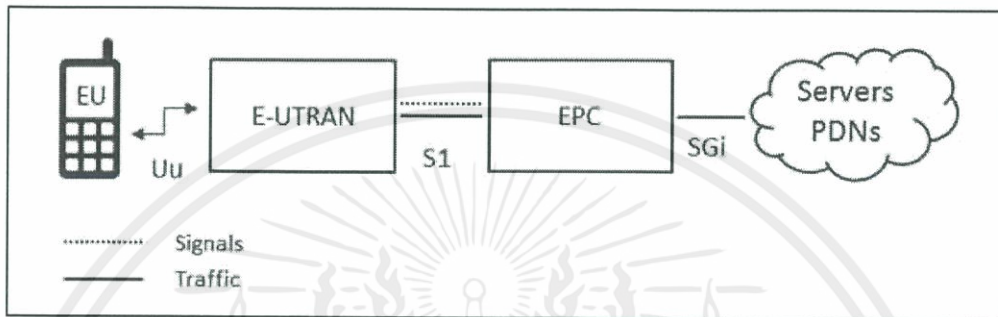
รูปที่ 2.1 วิวัฒนาการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ [1]

2.1.2 โครงสร้างของเครือข่ายการติดต่อสื่อสารผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ LTE

โครงสร้างของเครือข่ายการติดต่อสื่อสารผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ LTE ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนดังต่อไปนี้

- The User Equipment (UE)
- The Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)
- The Evolved Packet Core (EPC)

Evolved Packet Core (EPC) ทำให้สามารถติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายของแพ็คเกจข้อมูลกับโลกภายนอก เช่น อินเทอร์เน็ต, ส่วนตัว เช่น เครือข่ายของบริษัท หรือระบบย่อยของมัลติมีเดีย อินเทอร์เน็ตโพรโตคอล การเชื่อมต่อระหว่างระบบที่แตกต่างกัน ถูกกำหนดให้ใช้ 3 การเชื่อมต่อ ได้แก่ 1) Uu (ใช้เชื่อมต่อระหว่าง EU กับ E-UTRAN), 2) S1 (ใช้เชื่อมต่อระหว่าง E-TRAN กับ EPC) และ 3) SGi (ใช้เชื่อมต่อระหว่าง EPC กับ Servers PDNs) โดยจะแสดงการเชื่อมต่อดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างการเชื่อมต่อของเครือข่ายการติดต่อสื่อสารผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ LTE [2]

2.1.2.1 The User Equipment (UE)

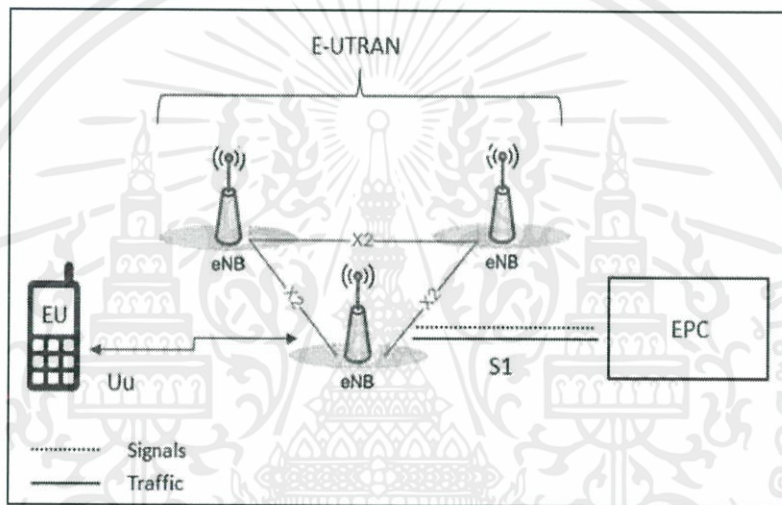
User Equipment (UE) คือ อุปกรณ์ที่ใช้งานได้โดยบุคคลทั่วไป เช่น สมาร์ทโฟน หรือคอมพิวเตอร์พกพา หรือ แท็บเล็ต ซึ่งติดตั้งตัวแปลงสัญญาณโทรศัพท์ สามารถใช้ในการติดต่อสื่อสารกับสถานีฐานได้ โครงสร้างภายในของ user equipment ถูกกำหนดให้มีผู้ใช้งานคล้ายกับ UMTS และ GSM ซึ่งนั่นก็คือ Mobile Equipment (ME) โดยที่ Mobile Equipment ประกอบด้วยโมดูลที่สำคัญ 3 ส่วน ดังนี้

- Mobile Termination (MT) : เป็นตัวควบคุมฟังก์ชันการติดต่อสื่อสารทั้งหมด
- Terminal Equipment (TE) : การให้บริการข้อมูลจะสิ้นสุดตรงนี้
- Universal Integrated Circuit Card (UICC) : เป็นอุปกรณ์ซิมการ์ดของ LTE ที่สามารถทำงานบนแอปพลิเคชัน หรือเรียกอีกชื่อว่า Universal Subscriber Identity Module (USIM)

Universal Subscriber Identity Module USIM ใช้เก็บข้อมูลรายละเอียดของผู้ใช้งาน มีความคล้ายคลึงกับซิมการ์ด 3G ซึ่งจะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเบอร์โทรศัพท์ของผู้ใช้งาน, ลักษณะเฉพาะของเครือข่าย และข้อมูลที่มีความปลอดภัย

2.1.2.2 The E-UTRAN (The access network)

Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network: E-UTRAN (The access network) คือ ตัวควบคุมการติดต่อสื่อสารผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งอยู่ระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่ (User Equipment : UE) กับ Evolved Packet Core (EPC) โดยภายใน E-UTRAN (The access network) จะมี evolved base stations หรือเรียกว่า e-Node B หรือ eNB เป็นสถานีฐานที่ควบคุมโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในหนึ่งหรือหลายเซลล์ ซึ่งสถานีฐานจะทำการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน โดยให้บริการผ่าน eNB โครงสร้างของ E-UTRAN (The access network) แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของ E-UTRAN (The access network) [2]

แต่ละ eNB จะเชื่อมต่อกับ EPC โดยเป็นการเชื่อมต่อ S1 และสามารถเชื่อมต่อกับ eNB อื่นใกล้เคียงกันโดยเป็นการเชื่อมต่อ X2 โดยที่ส่วนใหญ่ใช้สำหรับการส่งสัญญาณและการส่งแพ็กเก็ตระหว่าง handover

Home eNB (HeNB) คือสถานีฐานที่ถูกซื้อโดยผู้ใช้เพื่อใช้ในการเพิ่มขอบเขตของสัญญาณภายในบ้าน และสามารถเข้าถึงการติดต่อสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้ USIM ซึ่งเป็นของ closed subscriber group (CSG)

สถานีฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ (eNB) มี 4 ประเภท ได้แก่

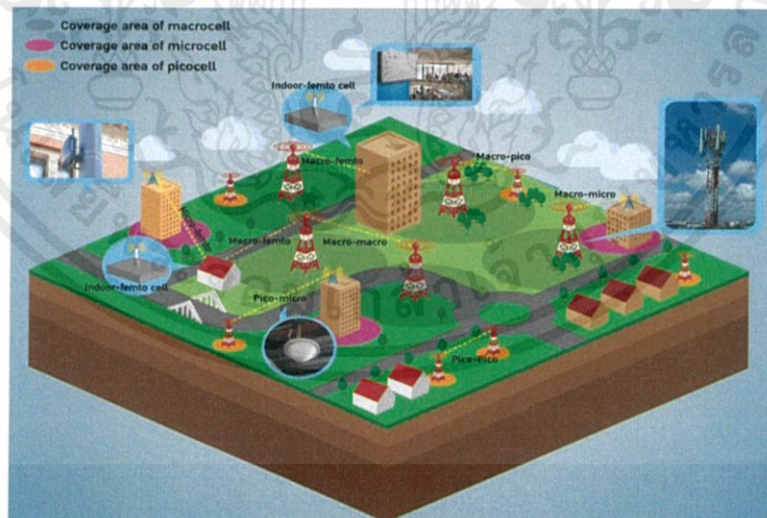
1) สถานีฐานแบบ Macrocell คือ เซลล์ที่ใช้ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยที่จะให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ที่มีความกว้างมากสำหรับการเข้าถึงเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ แพร่กระจาย

สัญญาณภายในพื้นที่โล่งกว้าง โดยมีระยะครอบคลุมของสัญญาณประมาณ 1-30 กิโลเมตร และมีกำลังส่งสูงสุดเมื่อเทียบกับเซลล์แบบอื่นๆ มีกำลังน้อยกว่าเท่ากับ 100 วัตต์

2) สถานีฐานแบบ Microcell คือ เซลล์ที่ให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ที่มีความกว้างน้อยกว่า Macro Cell แพร่กระจายสัญญาณภายในพื้นที่โล่งกว้างเช่นเดียวกับ Macrocell แต่ระยะการแพร่กระจายน้อยกว่า โดยมีระยะครอบคลุมของสัญญาณประมาณ 200-2000 เมตร และมีกำลังส่งต่ำกว่า Macrocell โดยมีกำลังส่งน้อยกว่าเท่ากับ 10 วัตต์

3) สถานีฐานแบบ Picocell คือ เซลล์ที่ติดตั้งเพิ่มประสิทธิภาพและความครอบคลุมของสัญญาณภายในพื้นที่จำกัด โดยรองรับการใช้งานของผู้ใช้งานมากถึง 100 คน ภายในระยะที่กำหนด Picocell ถูกนำไปใช้บ่อยในตึกหรืออาคาร เพื่อปรับปรุงสัญญาณอ่อนและทำให้สัญญาณภายในอาคารครอบคลุมมากขึ้น มีระยะครอบคลุมของสัญญาณประมาณ 4-200 เมตร และมีกำลังส่งของสัญญาณ น้อยกว่าเท่ากับ 0.25 วัตต์

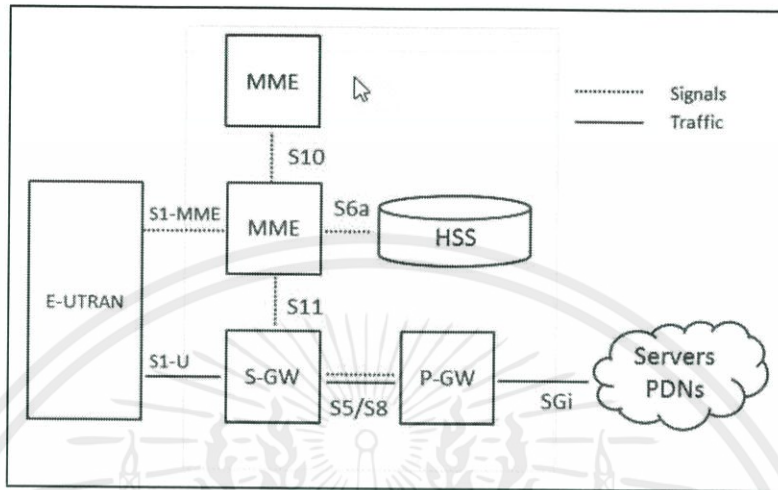
4) สถานีฐานแบบ Femtocell คือ เซลล์ที่ติดตั้งโดยผู้ใช้เพื่อปรับปรุงความครอบคลุมของสัญญาณภายในบริเวณขอบเขตพื้นที่เล็กๆ เช่น บ้าน สำนักงาน หรือพื้นที่เสี่ยงภายในตึกอาคาร Femtocell โดยมีระยะความครอบคลุมของสัญญาณประมาณ 10 เมตร และมีกำลังส่งของสัญญาณ น้อยกว่าเท่ากับ 0.1 วัตต์ ถูกออกแบบมาให้รองรับผู้ใช้งานได้จำนวนไม่มาก โดยจะแสดงประเภทของสถานีฐานระบบโทรศัพท์มือถือทุกประเภทดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ประเภทของสถานีฐานระบบโทรศัพท์มือถือ [3]

2.1.2.3 The Evolved Packet Core (EPC) (The core network)

Evolved Packet Core (EPC) มีองค์ประกอบย่อยดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ The Evolved Packet Core (EPC) [2]

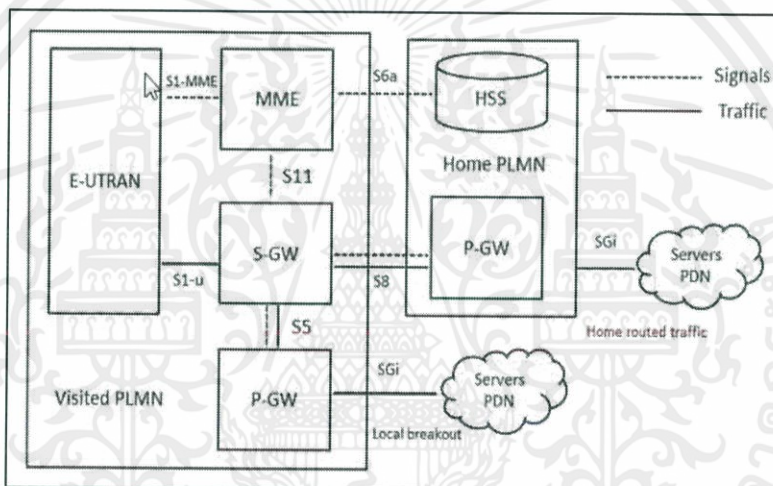
องค์ประกอบย่อยของ The Evolved Packet Core (EPC) มีดังนี้

- The Home Subscriber Server (HSS) มีการดำเนินการส่งต่อข้อมูลโดยเป็นข้อมูลที่มาจาก UMTS กับ GSM และเป็นศูนย์กลางของฐานข้อมูลซึ่งบรรจุข้อมูลเกี่ยวกับสมาชิกผู้ดำเนินการเครือข่ายทั้งหมด
- The Packet Data Network (PDN) Gateway (P-GW) ติดต่อสื่อสารกับโลกภายนอกโดยที่เครือข่ายข้อมูลแบบแพ็คเกจ PDN ใช้การเชื่อมแบบ SGI ซึ่งแต่ละเครือข่ายข้อมูลแพ็คเกจจะถูกกำหนดด้วย Access Point Name (APN) สำหรับ PDN gateway มีหน้าที่เดียวกับ GPRS ในการสนับสนุนโหนด GGSN และ การให้บริการ GPRS สนับสนุนโหนด SGSN กับ UMTS และ GSM
- The serving gateway (S-GW) ทำหน้าที่เป็นเราเตอร์และส่งต่อข้อมูลระหว่างสถานีฐานกับ PDN gateway
- The mobility management entity (MME) ควบคุมการทำงานระดับสูงของโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยการส่งสัญญาณข้อความและ Home Subscriber Server (HSS)
- The Policy Control and Charging Rules Function (PCRF) มีหน้าที่ควบคุมการตัดสินใจหรือการกำหนดนโยบายเพื่อการควบคุมฟังก์ชันการตรวจสอบให้เป็นไปตาม Policy Control Enforcement Function (PCEF) ซึ่งอยู่ใน P-GW

2.1.3 โครงสร้างการโรมมิ่งของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ LTE

เครือข่ายที่ทำงานได้โดยผู้ให้บริการ 1 คนต่อ 1 ประเทศ จะเรียกว่า Public Land Mobile Network (PLMN) เมื่อสมาชิกหรือผู้ใช้ ใช้งาน PLMN ของผู้ให้บริการเครือข่ายของตนเองดังนั้นจะเรียกว่า Home-PLMN แต่การโรมมิ่งจะอนุญาตให้ผู้ใช้งานสามารถย้ายไปใช้งานเครือข่ายอื่นซึ่งจะเรียกว่า Visited-PLMN

การโรมมิ่งของผู้ใช้งานเครือข่ายแบบ Visited-PLMN มีการเชื่อมต่อได้แก่ E-UTRAN, MME และ S-GW แต่ทว่า LTE/SAE อนุญาตให้ P-GW ของเครือข่ายตนเองหรือทั้งเครือข่ายอื่นสามารถใช้งานได้ แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างการโรมมิ่งของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ [2]

การเชื่อมต่อระหว่างผู้ให้บริการกับเส้นทาง PDN เรียกว่า S5 และ S8 ทั้งสองการเชื่อมต่อมีความแตกต่างกันเล็กน้อยด้านการใช้งาน โดยที่ใช้ S5 ถ้ามีสองอุปกรณ์ในเครือข่ายเดียวกันเชื่อมต่อกัน และใช้ S8 ถ้าอุปกรณ์ต่างเครือข่ายกันเชื่อมต่อกัน สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ไม่มีการโรมมิ่ง การให้บริการ กับเส้นทาง PDN สามารถประยุกต์ใช้ได้กับอุปกรณ์ตัวเดียว ดังนั้น การเชื่อมต่อ S5 และ S8 จะหายไปทั้งหมด

2.1.3.1 Roaming Charging

Roaming Charging (การเก็บค่าบริการโรมมิ่ง) ความซับซ้อนของกลไกการเก็บค่าบริการแบบใหม่ จำเป็นต้องรองรับการโรมมิ่งของ 4G ซึ่งมีมากกว่าการใช้งาน 3G โดยมีการใช้คำศัพท์ที่ใช้เรียกเก็บค่าบริการ 2 คำ คือ 1) Pre-paid Charging 2) Post-paid Charging สำหรับการโรมมิ่ง LTE

- Pre-paid Charging ตามมาตรฐาน CAMEL การโรมมิ่งแบบ Pre-paid ทำให้สามารถเติมเงินในระบบ 3G แต่ไม่รองรับในระบบ 4G ดังนั้นข้อมูลของลูกค้าแบบเติมเงินต้องถูกส่งกลับไปยังเครือข่ายของตนเอง (Home-PLMN) ในทางตรงกันข้ามก็จะจัดการกับเครือข่ายอื่น (Visited-PLMN) ในพื้นที่อีกด้วย ส่งผลให้ผู้ให้บริการเครือข่ายต้องใส่ใจกระแสบัญชีใหม่ในการเข้าถึงข้อมูลการเติมเงินของลูกค้า

- Post-paid Charging การเก็บค่าบริการของการใช้งานข้อมูลแบบรายเดือน ทำงานในระบบ 4G เหมือนกับในระบบแบบ 3G ใช้งานรุ่น TAP 3.11 หรือ 3.12 ซึ่ง Local Breakout (LBO) ของการบริการ International Mobile Subscriber Identity (IMSI) จำเป็นต้องใช้ TAP 3.12

ผู้ให้บริการไม่จำเป็นต้องมีจำนวนสมาชิกในการใช้งานที่เท่ากันภายในสถานการณ์ เส้นทางภายในบ้าน (home-routing) ในกรณีของสถานการณ์ของ Local Breakout (LBO) เพราะว่าการกลุ่มข้อมูลสมาชิกจะถูกเก็บภายใน visited network ดังนั้นเพื่อให้ผู้ให้บริการเครือข่ายตนเองในการจัดเก็บข้อมูลแบบ real-time ทั้ง pre-paid และ post-paid ซึ่งจำเป็นต้องสร้างการเชื่อมต่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง ระบบการเก็บค่าบริการ (charging systems) และ P-Gateway ของเครือข่ายนอกเครือข่ายตนเอง (visited network's P-Gateway)

ในกรณีของ Local Breakout (LBO) จะกล่าวถึงเหตุการณ์การบริการของเครือข่ายนอกเครือข่ายตนเอง (visited network) จะสร้าง call detail records (CDRs) จาก S-Gateway ซึ่ง CDRs จะไม่ทำการบรรจุข้อมูลทั้งหมดที่จำเป็นในการสร้างกลุ่มของโทรศัพท์เคลื่อนที่ TAP 3.12 หรือ บันทึกเหตุการณ์สำหรับการใช้การบริการ เป็นผลให้ผู้ให้บริการต้องเชื่อมโยง core data network CDRs กับ IMS CDRs ในการสร้างตัวบันทึก TAP

ตารางเปรียบเทียบระหว่าง Pre-paid Charging กับ Post-paid Charging แสดงดังตารางที่ 2.1
 ตารางที่ 2.1 Basis for Comparison Charging

Basis for Comparison	Pre-paid Charging	Post-paid Charging
ความหมาย	แบบเติมเงิน หรือจ่ายก่อนใช้งาน	แบบรายเดือน
ค่าใช้จ่ายในการวางแผน	ต่ำ	ค่อนข้างสูง
การวางแผน	เข้มงวด	ยืดหยุ่น
การเรียกเก็บค่าบริการ	ตามเวลาจริง	ทุกๆ สิ้นเดือน

ตารางที่ 2.1 Basis for Comparison Charging (ต่อ)

Basis for Comparison	Pre-paid Charging	Post-paid Charging
เครดิต	จำกัด	ไม่จำกัด
ประวัติย้อนหลังของเครดิต	ไม่มีความจำเป็น	สำคัญที่สุด
บิล	ไม่มีรายละเอียดบิลให้ลูกค้า	มีรายละเอียดบิลให้ลูกค้า

2.1.4 การนับจำนวนและที่อยู่ของระบบ LTE

พื้นที่ของเครือข่าย LTE จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ ได้แก่

1) The MME pool areas เป็นพื้นที่ผ่านซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถเคลื่อนที่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของการบริการ MME ทุกๆ MME pool area ถูกควบคุมโดยหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่ง MME บนเครือข่าย

2) The S-GW service areas เป็นพื้นที่ให้บริการสำหรับหนึ่งหรือมากกว่าผ่านทางเส้นทาง S-GW ซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถเคลื่อนที่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงเส้นทางการให้บริการ

3) The Tracking areas สำหรับ MME pool areas และ S-GW service areas ทั้งสองนั้นทำมาจากพื้นที่ที่เล็กกว่า และไม่มีการซ้อนทับกัน เรียกว่า tracking areas (TAs) โดยที่มีความคล้ายคลึงด้านตำแหน่งและพื้นที่เส้นทางกับ UMTS กับ GSM และจะใช้เพื่อติดตามตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่อยู่โนโหมดพร้อมใช้งาน

2.1.4.1 The Network IDs

เครือข่ายในตัวเองจะถูกระบุโดยใช้ Public Land Mobile Network Identity (PLMN-ID) ซึ่งจะมี mobile country code (MCC) และ mobile network code (MNC) สำหรับตัวอย่างของ Mobile Country Code ของประเทศอังกฤษ คือ 234 ขณะที่เครือข่ายของซิม Vofafone ของประเทศอังกฤษใช้ Mobile Network Code คือ 15

2.1.4.2 The MME IDs

แต่ละ MME จะมีหลักการในการระบุ 3 ประการ โดยที่ MME code (MMEC) ใช้ระบุลักษณะเฉพาะของ MME ภายใน pool area ทั้งหมด กลุ่มที่ใช้กำหนดกลุ่มของ MMEs เรียกว่า MME

Group Identity (MMEGI) ซึ่งทำงานพร้อมกันกับ MMEC ในการทำ MME identifier โดยที่ MMEI ใช้ระบุลักษณะเฉพาะของ MME ภายในเครือข่ายเฉพาะ

ถ้าทำการรวม PLMN-ID กับ MMEI จะทำให้ได้ Globally Unique MME Identifier (GUMMEI) ซึ่งใช้ในการระบุ MME ทุกๆที่บนโลก

2.1.4.3 The Tracking Area IDs

แต่ละ tracking area จะมีหลักการในการระบุ 2 ประการ โดยที่ tracking area code (TAC) ใช้ในการระบุ พื้นที่ที่มีการติดตามภายในเครือข่ายเฉพาะและ ถ้ามีการรวมกับ PLMN-ID จะทำให้ได้ Globally Unique Tracking Area Identity (TAI)

2.1.4.4 The Cell IDs

แต่ละเซลล์ในเครือข่ายมีประเภทของการระบุ 3 ประเภท โดยที่ E-UTRAN Cell Identity (ECI) ใช้ในการระบุเซลล์ภายในเครือข่ายเฉพาะ ขณะที่ E-UTRAN Cell Global Identifier (ECGI) ใช้ในการระบุเซลล์ทุกๆที่บนโลก

สำหรับ Physical Cell Identity (PCI) จะมีจำนวนเลขตั้งแต่ 0-503 และแต่ละเซลล์ข้างเคียงกัน จะมีเลข PCI ต่างกัน

2.1.4.5 The Mobile Equipment ID

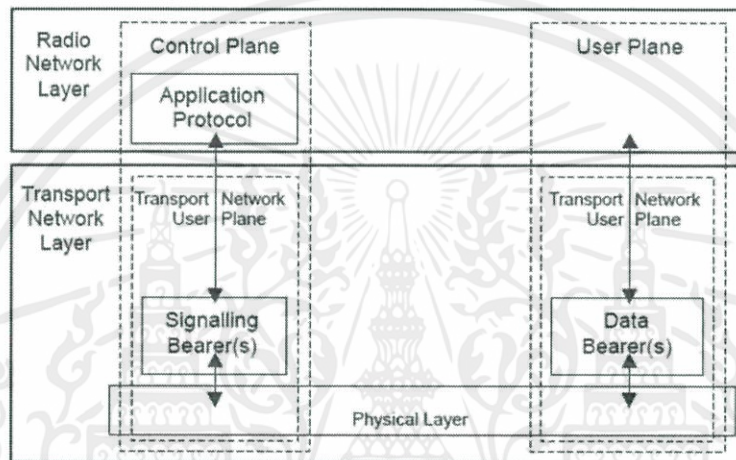
International Mobile Equipment Identity (IMEI) เป็นการระบุลักษณะเฉพาะสำหรับอุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่และ International Mobile Subscriber Identity (IMSI) เป็นการระบุลักษณะเฉพาะของ UICC และ USIM

M Temporary Mobile Subscriber Identity (M-TMSI) ใช้ในการระบุโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการให้บริการ MME โดยทำการเพิ่ม MME code ใน M-TMSI ส่งผลให้ใน S Temporary Mobile Subscriber Identity (S-TMSI) ซึ่งใช้ในการระบุโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในพื้นที่ MME pool area

การเพิ่ม MME Group Identity (MMEGI) และ PLMN Identity (PLMN-ID) กับ S-TMSI จะทำให้ได้ Globally Unique Identity (GUTI)

2.1.5 โครงสร้างโปรโตคอลสัญญาณวิทยุของระบบ LTE

โครงสร้างโปรโตคอลวิทยุของระบบ LTE สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) โครงสร้างแบบ Control Plane 2) โครงสร้างแบบ User Plane แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของการสื่อสารโปรโตคอลในระบบ LTE [2]

ในส่วนของ user plane แอปพลิเคชันทำการสร้างแพ็คเกจข้อมูลจะถูกประมวลผลโดยโปรโตคอล เช่น TCP (Transmission Control Protocol), UDP (User Datagram Protocol) และ IP (Internet Protocol) ขณะที่ในส่วนของ control plane โปรโตคอล radio resource control (RRC) จะเขียนข้อความที่ใช้ในการส่งสัญญาณซึ่งมีการแลกเปลี่ยนกันระหว่างสถานีฐานกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยทั้งสองกรณีนี้ ข้อมูลจะถูกประมวลผลโดย Packet Data Convergence Protocol (PDCP), Radio Link Control (RLC) และ Medium Access Control (MAC) ก่อนที่จะส่งไปยัง Physical Layer สำหรับการสื่อสาร

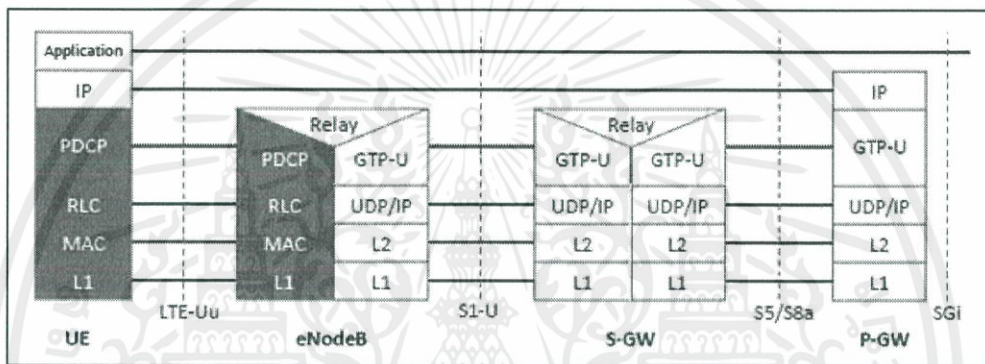
2.1.5.1 User Plane

โปรโตคอล user plane ระหว่าง e-Node B กับ UE ประกอบด้วยเลเยอร์ย่อย ดังนี้

- PDCP (Packet data Convergence Protocol)
- RLC (Radio Link Control)

- Medium Access Control (MAC)

สำหรับในส่วนของ user plane จะมี Evolved Packet in the Core network (EPC) ถูกเก็บไว้ในโปรโตคอล EPC เฉพาะ และมีโปรโตคอล Tunneling ที่สร้างการเชื่อมต่อระหว่าง P-GW กับ e-Node B สำหรับโปรโตคอล Tunneling ที่จะนำมาใช้ขึ้นอยู่กับ การเชื่อมต่อและช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการส่งผ่านข้อมูล สำหรับโปรโตคอล GPRS Tunneling Protocol (GTP) ถูกนำไปใช้ในการเชื่อมต่อแบบ S1 ระหว่าง e-Node B กับ S-GW และการเชื่อมต่อแบบ S5, S8 ใช้เชื่อมต่อระหว่าง S-GW กับ P-GW โดยที่โครงสร้างแสดงการเชื่อมต่อแบบ User Plane แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 โครงสร้างแสดงการเชื่อมต่อแบบ User Plane [2]

แพ็คเกจที่ได้รับจากเลเยอร์เรียกว่า Service Data Unit (SDU) ในขณะที่แพ็คเกจที่ส่งออกมาของแต่ละเลเยอร์จะถูกเรียกว่า Protocol Data Unit (PDU) และ แพ็คเกจ IP ที่ user plane จะไหลจากเลเยอร์บนลงสู่เลเยอร์ล่าง

2.1.5.2 Control Plane

Control Plane ประกอบด้วย Radio Resource control layer (RRC) ซึ่งมีหน้าที่ในการกำหนดค่าในเลเยอร์ล่าง

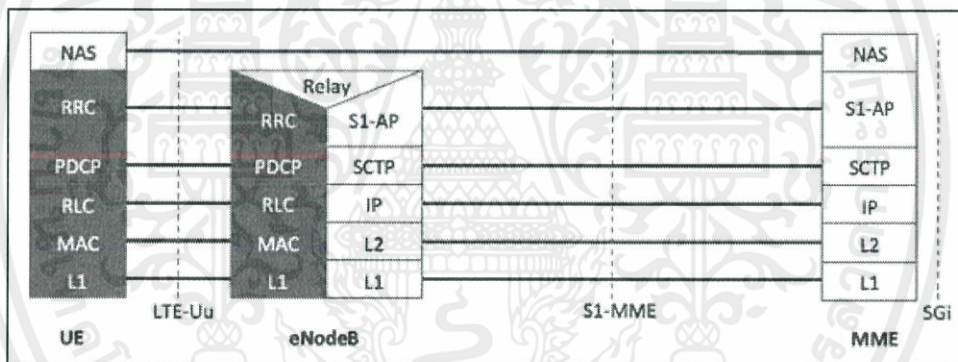
Control Plane ควบคุมฟังก์ชันวิทยุเฉพาะ โดยขึ้นอยู่กับสถานะของอุปกรณ์ของผู้ใช้หรือ UE (User Equipment) ซึ่งประกอบด้วยของสถานะ คือ 1) สถานะว่าง (Idle) 2) สถานะเชื่อมต่อ (Connected)

- สถานะว่าง หรือ Idle คือ อุปกรณ์ของผู้ใช้จับกับเซลล์หลังจากที่มีการเลือกเซลล์หรือมีกระบวนการเลือกเซลล์ใหม่ สำหรับสถานที่ที่มีปัจจัยคุณภาพของการเชื่อมต่อสัญญาณวิทยุ, สถานะของ

เซลล์ และเทคโนโลยีการเข้าถึงสัญญาณวิทยุที่ได้รับการพิจารณา โดยที่ อุปกรณ์ของผู้ใช้จะทำการสังเกตการณ์จากหน้าจอของช่องสัญญาณในการตรวจจับสายเรียกเข้าและให้ระบบทำการรับข้อมูลมา ใน โหมดนี้ โพรโตคอลของ control plane จะประกอบด้วย cell selection และ reselection procedures

- สถานะเชื่อมต่อ หรือ Connected อุปกรณ์ของผู้ใช้งานจะรองรับ E-UTRAN สำหรับคุณภาพของช่องสัญญาณแบบดาวน์ลิงก์และข้อมูลของเซลล์ใกล้เคียงในการใช้งาน E-UTRAN เพื่อที่จะเลือกเซลล์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอุปกรณ์ของผู้ใช้ ในโหมดนี้ โพรโตคอล control plane ประกอบด้วย โพรโตคอล Radio Link Control (RRC)

สำหรับโพรโตคอลของ control plane ระหว่าง UE กับ MME จะถูกแสดงดังรูป โดยที่พื้นที่สีเทานั้น ประกอบด้วยส่วนที่ระบุถึงโพรโตคอล Access Stratum (AS) ซึ่งเลเยอร์ล่างจะทำงานในฟังก์ชันเดียวกันกับ user plane โดยมีข้อยกเว้นคือจะไม่มีการบีบอัดเฮดเดอร์ของ control plane โดยที่โครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ Control Plane แสดงดังรูปที่ 2.9

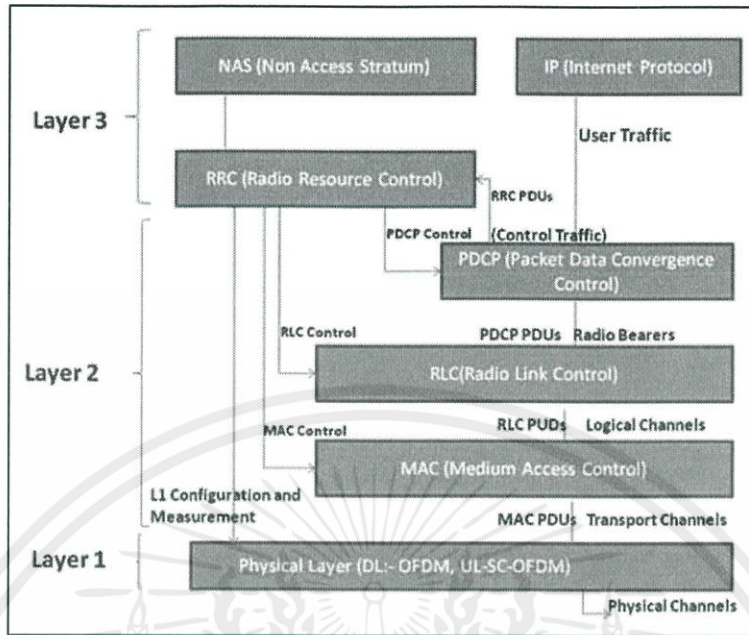


รูปที่ 2.9 โครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ Control Plane [2]

2.1.6 โพรโตคอลที่ใช้ในแต่ละเลเยอร์ของระบบ LTE

โพรโตคอลแต่ละเลเยอร์ที่สามารถทำงานได้ใน E-UTRAN จะถูกแสดงภายในแผนภาพดังรูปที่

2.10



รูปที่ 2.10 แผนภาพของโปรโตคอลที่ทำงานใน E-TRAN [2]

2.1.6.1 Physical Layer (Layer 1)

เลเยอร์ Physical จะดำเนินการขนส่งข้อมูลทั้งหมดจากช่องสัญญาณ MAC ผ่านการเชื่อมต่อทางอากาศ, ดูแลเรื่องการตัดแปลงการเชื่อมโยง (AMC), ควบคุมกำลัง, ค้นหาเซลล์ (สำหรับการเริ่มต้นการซิงโครไนซ์เซชันและการวัดผลกระทบการเกิดแฮนด์โอเวอร์) และการวัดอื่นๆ (ภายในระบบ LTE และระหว่างระบบ) สำหรับเลเยอร์ RRC

2.1.6.2 Medium Access Layer (MAC)

เลเยอร์ MAC มีหน้าที่ในการจัดการระหว่างช่องสัญญาณ logical และช่องสัญญาณ transport, การมัลติเพล็กซ์ของ MAC SDUs จากช่องสัญญาณ logical ที่ต่างกันไปยัง Transport Blocks (TB) จะถูกส่งไปเลเยอร์ Physical บนช่องสัญญาณ Transport และการดีมัลติเพล็กซ์ของ MAC SDUs จากช่องสัญญาณ logical ที่ต่างกันที่มาจาก transport blocks (TB) ซึ่งมีการส่งจากเลเยอร์ physical ไปยังช่องสัญญาณ transport

การจัดทำรายงานของข้อมูล ซึ่งจะมีการแก้ไขความผิดพลาดผ่านโปรโตคอล HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) มีการจัดลำดับตามความสำคัญระหว่าง อุปกรณ์ของผู้ใช้ (UEs) โดยการทำหนดแบบไดนามิก และการจัดลำดับความสำคัญระหว่างช่องสัญญาณ logical ของ อุปกรณ์ของผู้ใช้เพียงหนึ่งอุปกรณ์ เรียกว่า การจัดลำดับช่องสัญญาณแบบ logical (Logical Channel Prioritization)

2.1.6.3 Radio Link Control (RLC)

RLC มีการทำงาน 3 โหมด ได้แก่ 1) Transparent Mode (TM) 2) Unacknowledged Mode (UM) 3) Acknowledged Mode (AM)

เลเยอร์ RLC มีหน้าที่สำหรับส่งผ่าน PDUs เลเยอร์บน, การแก้ไขความผิดพลาดผ่าน ARQ (สำหรับถ่ายโอนข้อมูลแบบ AM เท่านั้น), การเรียงต่อกัน, การแบ่งออกเป็นส่ว และ การรวมกันของ RLC SDUs (สำหรับถ่ายโอนข้อมูลแบบ UM และ AM เท่านั้น)

RLC ยังมีหน้าที่สำหรับการแบ่งส่วนใหม่อีกครั้งของข้อมูล PDUs (สำหรับการถ่ายโอนข้อมูลแบบ AM เท่านั้น), การส่งการใหม่อีกครั้งของข้อมูล PDUs (สำหรับการถ่ายโอนข้อมูลแบบ UM และ AM เท่านั้น), การตรวจสอบซ้ำ (สำหรับการถ่ายโอนข้อมูลแบบ UM และ AM เท่านั้น), การละทิ้ง RLC SDU (สำหรับการถ่ายโอนข้อมูลแบบ UM และ AM เท่านั้น), การสร้างใหม่อีกครั้งของ RLC และโปรโตคอลที่ตรวจจับความผิดพลาด (สำหรับการถ่ายโอนข้อมูลแบบ AM เท่านั้น)

2.1.6.4 Radio Resource Control (RRC)

การให้บริการหลักและฟังก์ชันของเลเยอร์ย่อยของ RRC ประกอบด้วยการกระจายเสียงของระบบข้อมูลที่สัมพันธ์กับ Non-Access Stratum (NAS), การกระจายเสียงของระบบข้อมูลที่สัมพันธ์กับ Access Stratum (AS), Paging, การสร้าง, การซ่อมบำรุง และ การปลดการเชื่อมต่อของ RRC ระหว่าง UE กับ E-UTRAN โดยที่ฟังก์ชันของความปลอดภัยประกอบด้วย การจัดการที่สำคัญ, การสร้างใหม่, การติดตั้ง, การซ่อมบำรุง และการปลดจุดต่อจุดของผู้รับสัญญาณวิทยุ

2.1.6.5 Packet Data Convergence Control (PDCP)

เลเยอร์ PDCP มีหน้าที่ในการการบีบอัดเฮดเดอร์และคลายการบีบอัดของข้อมูล IP, ถ่ายโอนข้อมูล (user plane หรือ control plane), ซ่อมบำรุงของ PDCP Sequence Numbers (SNs), ในการขนส่งตามลำดับของเลเยอร์บน PDUs ที่ การสร้างใหม่อีกครั้งของเลเยอร์ล่าง, การกำจัดซ้ำของเลเยอร์ล่าง SDUs ที่ การสร้างใหม่อีกครั้งของเลเยอร์ล่างสำหรับผู้รับสัญญาณวิทยุเพื่อจัดการบน RLC AM, การเข้ารหัสและการถอดรหัสข้อมูลของ user plane และ control plane, การป้องกันและการตรวจสอบข้อมูลอย่างสมบูรณ์ของ control plane, การละทิ้งตามเวลาที่กำหนด, การละทิ้งซ้ำ

PDCP ถูกใช้สำหรับ SRBs และ DRBs ในการจัดการกับ DCCH และ DTCH ซึ่งเป็นประเภทของช่องสัญญาณแบบ logical

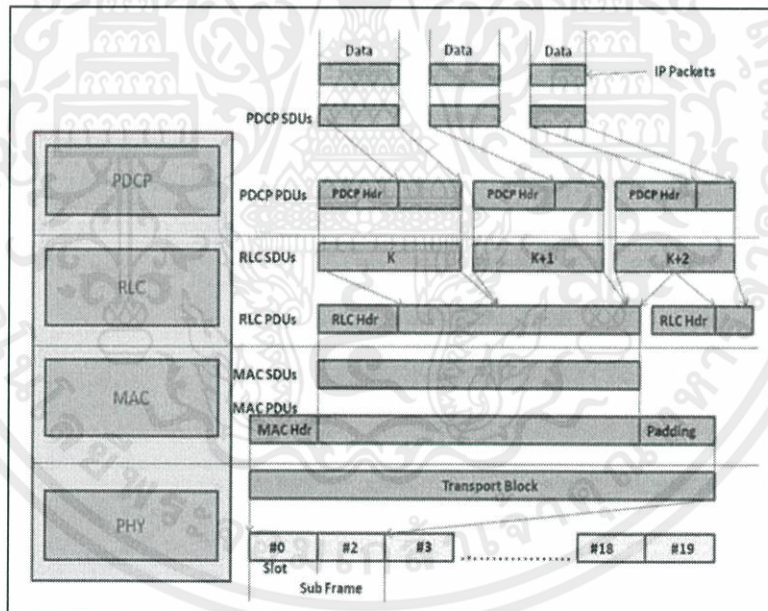
2.1.6.6 Non Access Stratum (NAS) Protocols

โพรโตคอล non-access stratum (NAS) มาจาก control plane ชั้นสูงกว่า ระหว่าง user equipment (UE) และ MME

โพรโตคอล NAS รองรับการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ผู้ใช้งานและขั้นตอนในการจัดการแบบกลุ่มเพื่อสร้างและรักษาการเชื่อมต่อ IP ระหว่าง UE กับ PDN-GW

2.1.7 การส่งผ่านข้อมูลของเลเยอร์ในระบบ LTE

แผนภาพ logical ของ E-UTRAN เลเยอร์แต่ละโพรโตคอล โดยแสดงให้เห็นเกี่ยวกับการส่งผ่านข้อมูลผ่านแต่ละเลเยอร์ แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงการส่งผ่านข้อมูลโพรโตคอลแต่ละเลเยอร์ในระบบ LTE [2]

แพ็คเกจที่เลเยอร์ได้รับเรียกว่า Service Data Unit (SDU) ในขณะที่แพ็คเกจที่ส่งออกจากเลเยอร์เรียกว่า Protocol Data Unit (PDU)

การส่งผ่านข้อมูลจากเลเยอร์บนสู่เลเยอร์ล่างมีดังนี้

- เลเยอร์ IP จะส่ง PDCP SDUs (แพ็คเกจ IP) ไปยัง เลเยอร์ PDCP มีการบีบอัดเฮดเดอร์ และเพิ่มเฮดเดอร์ของ PDCP ใน PDCP SDUs เหล่านี้ ส่วนเลเยอร์ PDCP จะส่ง PDCP PDUs (RLC SDUs) ไปยัง เลเยอร์ RLC

- การบีบอัดเฮดเดอร์ของ PDCP : PDCP จะลบ เฮดเดอร์ของ IP (ขนาดเล็ก 20 ไบต์) จาก PDU และ เพิ่ม Token 1-4 ไบต์ ซึ่งทำให้การจัดเก็บมีขนาดเยอะมากในจำนวนของเฮดเดอร์ ซึ่งอาจจะต้องไปในอากาศ

- เลเยอร์ RLC มีการแบ่งส่วนของ SDUs ในการทำ RLC PDUs โดยที่ RLC จะเพิ่มเฮดเดอร์ขึ้นอยู่กับโหมดของ RLC ในการทำงาน RLC จะส่งต่อ RLC PDUs (MAC SDUs) ไปยัง เลเยอร์ MAC

- การแบ่งส่วนของ RLC : ถ้า RLC SDU มีขนาดใหญ่ หรือมีอัตราข้อมูลสัญญาณวิทยุที่ใช้งานต่ำ (ส่งผลให้ใน transport blocks มีขนาดเล็ก) ทำให้ RLC SDU อาจแบ่งได้จำนวนหลายๆ RLC PDUs ถ้า RLC PDUs มีขนาดเล็ก หรือมีอัตราข้อมูลสัญญาณวิทยุที่ใช้งานสูง ทำให้หลายๆ RLC SDUs อาจรวมกับภายใน PDU เดียว

- เลเยอร์ MAC ทำการเพิ่มเฮดเดอร์และทำการขยายเพื่อให้พอดีกับ MAC SDU ใน TTI เลเยอร์ MAC จะเสนอ MAC PDU ให้ เลเยอร์ Physical เพื่อทำการส่งข้อมูลภายในเลเยอร์ Physical

- เลเยอร์ Physical ส่งข้อมูลภายใน slots ของเฟรมย่อย

2.1.8 การติดต่อสื่อสารผ่านช่องสัญญาณในระบบ LTE

ข้อมูลที่ถูกส่งผ่านระหว่างโปรโตคอลที่ต่างกัน จะเรียกว่า ช่องสัญญาณและสัญญาณ โดยที่ระบบ LTE จะใช้ประเภทของความแตกต่างหลายประเภทของช่องสัญญาณ logical, transport และ physical ซึ่งจะโดดเด่นโดยประเภทของข้อมูลที่ส่งผ่านและโดยวิธีการในการประมวลผลของข้อมูล ประเภทของช่องสัญญาณแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ Logical Channel, Transport Channel และ Physical Channel

2.1.8.1 Logical Channels

Logical Channels กำหนดประเภทของข้อมูลที่ถูกถ่ายโอน โดยที่ช่องสัญญาณเหล่านี้จะกำหนดข้อมูลสำหรับการถ่ายโอนการให้บริการโดยผ่านเลเยอร์ MAC ข้อมูลและการส่งสัญญาณข้อมูลจะถูกส่งผ่าน Logical Channel ระหว่าง โปรโตคอล RLC และ MAC

Logical Channels สามารถแบ่งให้อยู่ภายใต้การควบคุมของ control channel และ traffic channel โดยที่ Control Channel สามารถเป็นได้ทั้ง common channel หรือ dedicated channel ซึ่ง common channel หมายถึง ศูนย์รวมผู้ใช้ทั้งหมดในเซลล์ (Point to multipoint) ขณะที่ dedicated channel หมายถึงช่องสัญญาณที่สามารถใช้งานได้เพียงแค่ผู้ใช้เพียงคนเดียวเท่านั้น (Point to point)

Logical Channels มีความโดดเด่นด้วยข้อมูลที่มีการถ่ายโอนและสามารถจำแนกได้ 2 แบบ ซึ่งแบบแรก logical traffic channel จะถ่ายโอนข้อมูลใน user plane และแบบที่สอง logical control channel จะถ่ายโอนการส่งสัญญาณข้อความใน control plane ซึ่งตารางแสดงรายการของ logical channel ที่ใช้ในระบบ LTE แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 รายการของ logical channel ที่ใช้ในระบบ LTE

ชื่อช่องสัญญาณ	อักษรย่อ	Control Channel	Traffic Channel
Broadcast Control Channel	BCCH	X	
Paging Control Channel	PCCH	X	
Common Control Channel	CCCH	X	
Dedicated Control Channel	DCCH	X	
Multicast Control Channel	MCCH	X	
Dedicated Traffic Channel	DTCH		X
Multicast Traffic Channel	MTCH		X

2.1.8.2 Transport Channels

Transport channels กำหนดวิธีการ และประเภทของคุณสมบัติข้อมูลที่ถูกถ่ายโอนที่เลเยอร์ physical ข้อมูลและการส่งสัญญาณข้อความถูกถ่ายโอนบน transport channel ระหว่าง เลเยอร์ MAC กับ Physical

Transport Channel มีความโดดเด่นด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่ง transport channel จัดการการประมวลผลด้วยตนเอง ตารางแสดงรายการของ transport channels ที่ใช้ในระบบ LTE แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 รายการของ transport channel ที่ใช้ในระบบ LTE

ชื่อช่องสัญญาณ	อักษรย่อ	Downlink	Uplink
Broadcast Channel	BCH	X	
Downlink Shared Channel	DL-SCH	X	
Paging Channel	PCH	X	
Multicast Channel	MCH	X	
Uplink Shared Channel	UL-SCH		X
Random Access Channel	RACH		X

2.1.8.3 Physical Channels

ข้อมูลและการส่งสัญญาณข้อความจะถูกถ่ายโอนผ่าน physical channels ระหว่างลำดับชั้นที่ต่างกันภายใน physical layer ดังนั้นจึงถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

- Physical Data Channels
- Physical Control Channels

Physical Data Channels มีความโดดเด่นด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่ง physical channel จัดการประมวลผลด้วยตนเอง และทำการแมประหว่างสัญลักษณ์ไปยังความถี่ย่อย โดยใช้วิธีการแบบ Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDMA) ซึ่งตารางแสดงรายการของ physical data channels ที่ใช้ในระบบ LTE แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 รายการของ physical data channels ที่ใช้ในระบบ LTE

ชื่อช่องสัญญาณ	อักษรย่อ	Downlink	Uplink
Physical Downlink Shared Channel	PDSCH	X	
Physical Broadcast Channel	PBCH	X	
Physical Multicast Channel	PMCH	X	
Physical Uplink Shared Channel	PUSCH		X
Physical Random Access Channel	PRACH		X

สำหรับ transport channel ตัวประมวลผลประกอบด้วยการควบคุมข้อมูลหลายประเภท เพื่อที่จะสนับสนุนการทำงานของลำดับชั้นที่ต่ำกว่าของเลเยอร์ physical ซึ่งข้อมูลเหล่านี้แสดงรายการตามตารางดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 รายการของตัวประมวลผลใน transport channel

ชื่อสนาม	อักษรย่อ	Downlink	Uplink
Downlink Control Information	DCI	X	
Control Format Indicator	CFI	X	
Hybrid ARQ Indicator	HI	X	
Uplink Control Information	UCI		X

Physical Control Channels ตัวประมวลผลทำการสร้างการควบคุมข้อมูลโดยที่สนับสนุนการทำงานของลำดับชั้นที่ต่ำกว่าของเลเยอร์ physical และส่งข้อมูลนั้นไปยังตัวประมวลผลของช่องสัญญาณ physical ในรูปแบบของ physical control channels

ข้อมูลมีการเดินทางถึงตัวประมวลผลของช่องสัญญาณ transport ในเครื่องรับสัญญาณ แต่จะไม่ปรากฏในเลเยอร์ที่สูงกว่า เหมือนกับว่า ตัวประมวลผลของช่องสัญญาณ physical สร้างสัญญาณทางกายภาพ ซึ่งสนับสนุนลำดับชั้นที่ต่ำที่สุดด้านต่างๆของระบบ ซึ่ง physical control channels แสดงรายการดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 รายการของ physical control channel

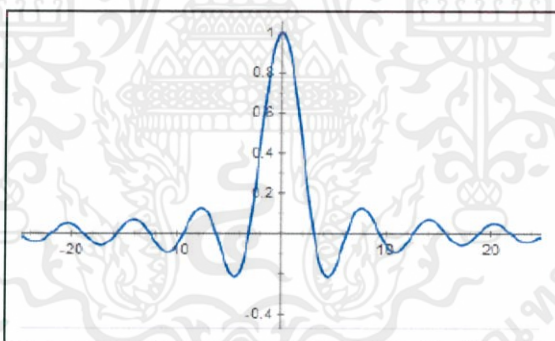
ชื่อช่องสัญญาณ	อักษรย่อ	Downlink	Uplink
Physical Control Format Indicator Channel	PCFICH	X	
Physical Hybrid ARQ Indicator Channel	PHICH	X	
Physical Downlink Control Channel	PDCCH	X	
Relay Physical Downlink Control Channel	R-PDCCH	X	
Physical Uplink Control Channel	PUCCH		X

สถานีฐานยังส่งสัญญาณทางกายภาพอื่นอีก 2 ตัว ซึ่งจะช่วยให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานหลังจากมีการเปิดใช้งานครั้งแรก เรียกว่า Primary Synchronization Signal (PSS) และ Secondary Synchronization Signal (SSS)

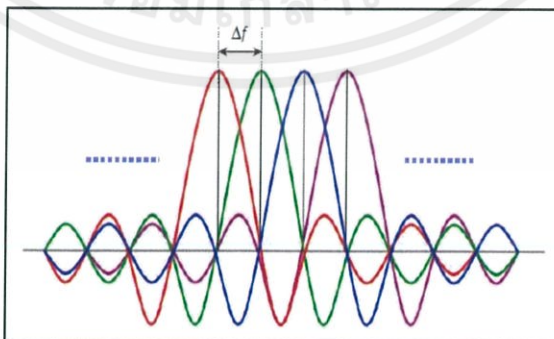
2.1.9 เทคโนโลยี OFDM ในระบบ LTE

2.1.9.1 เทคนิคการเข้าถึงหลายรูปแบบ

ระบบ LTE ใช้เทคโนโลยี Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) เป็นพื้นฐานของการใช้ย่านความถี่ย่อยแบบแคบหลายความถี่กระจายอยู่บนช่องสัญญาณแบนด์วิธกว้าง โดยที่ความถี่ย่อยแต่ละความถี่จะตั้งฉากซึ่งกันและกันในโดเมนความถี่ซึ่งการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ Mitigates Inter-symbol Interference (ISI) แสดงดังรูปข้างล่างต่อไปนี้ แต่ความถี่ย่อยเหล่านี้มีแบนด์วิธต่ำกว่าแบนด์วิธของช่องสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สอดคลองกัน โดยที่แสดงความถี่ย่อยของเทคโนโลยี OFDM และระยะห่างระหว่างความถี่ย่อยหลายความถี่ของเทคโนโลยี OFDM ดังรูปที่ 2.12 และ 2.13 ตามลำดับ



รูปที่ 2.12 ความถี่ย่อยของเทคโนโลยี OFDM [4]



รูปที่ 2.13 ระยะห่างระหว่างความถี่ย่อยหลายความถี่ของเทคโนโลยี OFDM [4]

กระแสข้อมูลเป็นแบบขนานและกระจายไปทั่วความถี่ย่อยสำหรับการส่งสัญญาณ กระบวนการในการมอดูเลตสัญลักษณ์ของข้อมูลและการรวมข้อมูลจะเทียบเท่ากับการทำงานของ Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) ทำให้ได้ผลเป็นสัญลักษณ์ของ OFDM โดยมีความยาวเป็น T_u (T_u คือความยาวของสัญลักษณ์ที่เป็นประโยชน์) ในด้านเครื่องรับจะมีการทำงานย้อนกลับโดยถูกนำไปใช้กับสัญลักษณ์ของ OFDM เพื่อที่จะกู้คืนกระแสข้อมูลกลับมา ซึ่งจะเทียบเท่ากับการทำงานของ Fast Fourier Transform (FFT)

ช่องสัญญาณการแพร่กระจายของโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยปกติจะกระจายตามเวลา โดยที่แบบจำลองหลายตัวของสัญญาณที่ถูกส่ง และจะได้รับสัญญาณที่มีความล่าช้าหลายค่าซึ่งเกิดจากผลของการมีหลายเส้นทางและเกิดจากการสะท้อนของสัญญาณซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกันระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ การแพร่กระจายของเวลาจะเทียบเท่ากับผลของการตอบสนองความถี่ของช่องสัญญาณที่มีการเลือกความถี่ ซึ่งนำไปสู่การสูญเสียบางส่วนของ การตั้งฉากกันระหว่างความถี่ย่อย ผลที่ได้คือ เกิดการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ ไม่ได้มีเพียงภายในความถี่ย่อย แต่ยังเกิดขึ้นระหว่างความถี่ย่อยด้วย เพื่อป้องกันการเกิดการซ้อนกันของสัญลักษณ์และลดการเกิดการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ ระยะห่างป้องกัน T_g (T_g คือ ระยะห่างเริ่มต้นที่เพิ่มขึ้นมาของสัญลักษณ์ของ OFDM) ระยะห่างช่วงเวลาป้องกัน หรือ Cyclic Prefix (CP) คือการทำซ้ำของเศษส่วนของปลายสัญลักษณ์ ดังนั้นช่วงความยาวสัญลักษณ์ทั้งหมดเป็น $T_s = T_u + T_g$ วิธีนี้ทำให้สัญลักษณ์ของ OFDM ไม่ไวต่อการกระจายตัวตามเวลา

ข้อดีของการใช้เทคโนโลยี OFDM สำหรับระบบการเข้าถึงของโทรศัพท์เคลื่อนที่

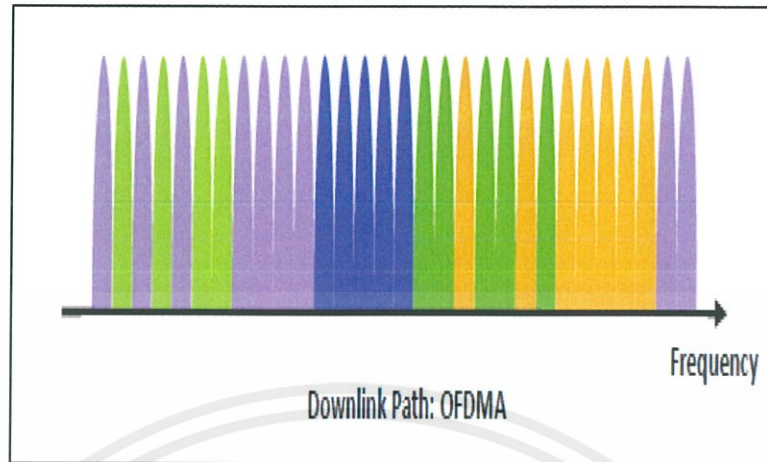
- เวลาของสัญลักษณ์ยาวและระยะห่างป้องกันช่วยเพิ่มความแข็งแกร่งทนทานให้กับ การเกิดเส้นทางหลายเส้นทางและการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ที่จำกัด
- กำจัดความจำเป็นสำหรับการยกเลิกสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในเซลล์
- ช่วยทำให้สามารถใช้งานได้อย่างยืดหยุ่นสำหรับสเปกตรัมความถี่
- ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสเปกตรัมเนื่องจากการตั้งฉากซึ่งกันและกันของความถี่ย่อย
- ช่วยให้การเพิ่มประสิทธิภาพของอัตราข้อมูลสำหรับผู้ใช้งานทั้งหมดภายในเซลล์การส่งสัญญาณข้อมูลที่ดีที่สุดในของความถี่ย่อยของแต่ละผู้ใช้

สำหรับคุณสมบัติพื้นฐานสุดท้ายของเทคโนโลยี OFDM คือ เทคโนโลยี OFDM มีการจราจรหลายทางโดยที่มีการจัดการรูปแบบเฉพาะสำหรับความถี่ย่อยๆ ในทั้งในพื้นที่ความถี่และเวลาของผู้ใช้ที่แตกต่างกัน

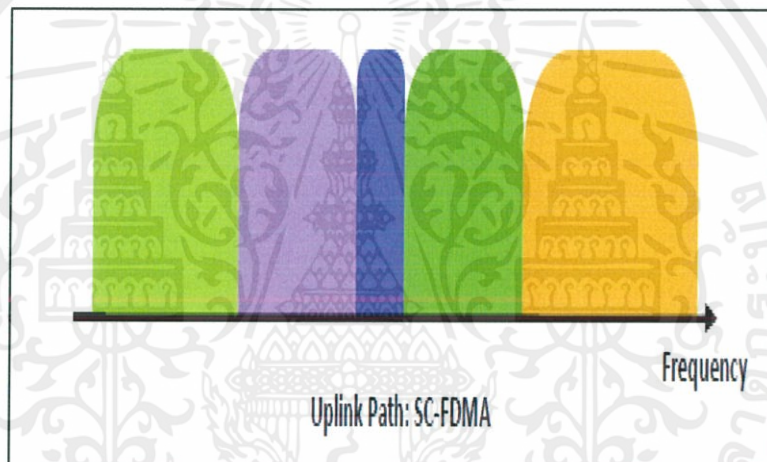
กัน นอกจากนี้การจราจรของข้อมูล ช่องสัญญาณควบคุมและสัญญาณอ้างอิงสามารถสลับกันได้ สำหรับ ช่องสัญญาณควบคุมจะขนส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายและเซลล์ขณะที่สัญญาณอ้างอิงจะได้รับการช่วยเหลือ ในการกำหนดการตอบสนองของช่องสัญญาณการแพร่กระจาย

การคำนวณลิงก์ในเลเยอร์ physical ในระบบการสื่อสาร LTE จะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยี OFDM อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีข้อดีหลายอย่าง แต่เทคโนโลยี OFDM ก็มีข้อเสียบางประการ เช่น มีความไวสูงต่อการหักล้างความถี่ (เป็นผลมาจากความไม่แน่นอนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และการเกิดดอปเพลอร์แพร่กระจายเนื่องจากการเคลื่อนที่) และการเกิดอัตราส่วนของ Peak to Average Power (PAPR) สูง PAPR เกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มของการสร้างแบบสุ่มของความถี่ย่อยและส่งผลในการแพร่กระจายสเปกตรัมของสัญญาณนำไปสู่การเกิดสัญญาณรบกวนภายในช่องสัญญาณที่อยู่ติดกัน ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นนี้สามารถเอาชนะกำลังของเครื่องขยายแรงดันสูงและเครื่องขยายที่ใช้เทคนิคความเป็นเส้นตรงได้ ขณะที่วิธีเหล่านี้สามารถใช้กับสถานีฐานได้ แต่จะทำให้แพงสำหรับอุปกรณ์ของผู้ใช้ User Equipment (UE) ดังนั้น ระบบการสื่อสาร LTE จึงใช้ Single Carrier FDMA (SC-FDMA) กับ CP ในการอัปลิงก์ซึ่งช่วยลด PAPR เพราะว่ามีเพียงความถี่เดียวเท่านั้น

สำหรับในทางปฏิบัติของ SC-OFDMA ถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสาร LTE โดยการใช้การส่งสัญญาณแบบ Discrete Fourier Transform Spread OFDM (DFTS-OFDM) โดยปกติเรียกว่าลักษณะทั่วไปในโดเมนความถี่ของ SC-FDMA ซึ่ง DFT จะถูกใช้ในการส่งสัญญาณอัปลิงก์หลายเส้นทางภายในพื้นที่บล็อกความถี่เฉพาะซึ่งภายในระบบทั้งหมดแบนด์วิธจะตาม eNodeB ตามการแนะนำการจัดตารางเวลา สำหรับแบนด์วิธของความถี่เดียวจะถูกกำหนดให้ขึ้นอยู่กับอัตราข้อมูลที่ต้องการโดยผู้ใช้ ซึ่งข้อมูลยังคงเป็นอนุกรมและไม่ใช้แบบขนานตามที่เป็นอยู่ในดาวนลิงก์กับเทคโนโลยี OFDMA (ยกตัวอย่างคือ หนึ่งบิตข้อมูลที่ถูส่งในแต่ละครั้ง) การอธิบายนี้ไปสู่ความคล้ายคลึงของการเชื่อมโยงประสิทธิภาพของพารามิเตอร์สำหรับการอัปลิงก์และการดาวนลิงก์ อย่างไรก็ตาม จะมีความสัมพันธ์อย่างการแทรกสอดระหว่างสัญญาณสูงสำหรับการอัปลิงก์เนื่องจากการมอดูเลชันของความถี่เดียว ซึ่งวิธีนี้ต้องใช้บล็อกอีควอลไลเซอร์ความซับซ้อนต่ำที่เครื่องรับ eNodeB เพื่อแก้ไขให้ถูกต้องสำหรับผลกระทบที่เกิดจากการบิดเบือนสำหรับช่องสัญญาณการสื่อสารวิทยุ โดยที่ SC-FDMA จะไม่ไวต่อความไม่แน่นอนของความถี่ และผลกระทบของดอปเพลอร์ เพราะเป็นความถี่เดียวแบบธรรมชาติ โดยที่โดเมนความถี่ที่ใช้ในการดาวนลิงก์ของเทคโนโลยี OFDMA และ โดเมนความถี่ที่ใช้ในการอัปลิงก์ของเทคโนโลยี SC-FDMA แสดงดังรูปที่ 2.14 และ 2.15 ตามลำดับ



รูปที่ 2.14 โดเมนความถี่ที่ใช้ในการดาวน์โหลดของเทคโนโลยี OFDMA [4]



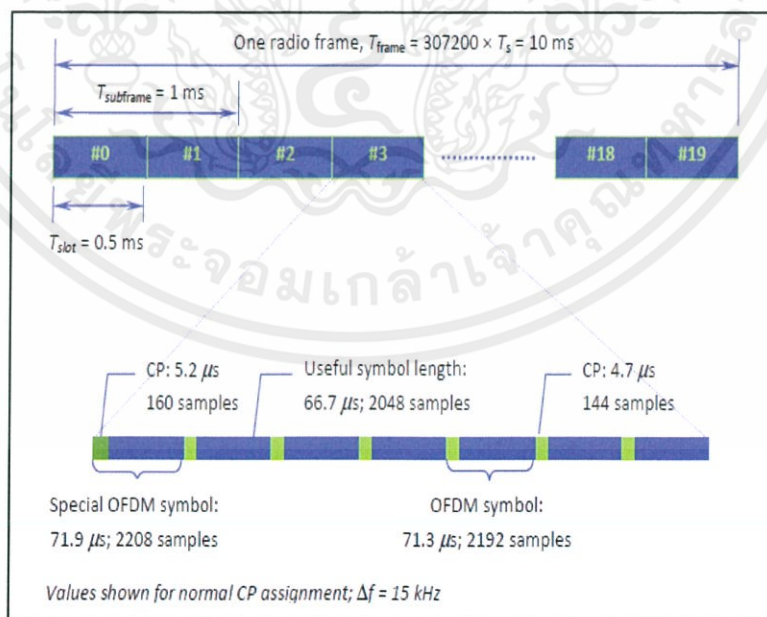
รูปที่ 2.15 โดเมนความถี่ที่ใช้ในการอัปโหลดของเทคโนโลยี SC-FDMA [4]

2.1.9.2 พารามิเตอร์เลเยอร์ physical

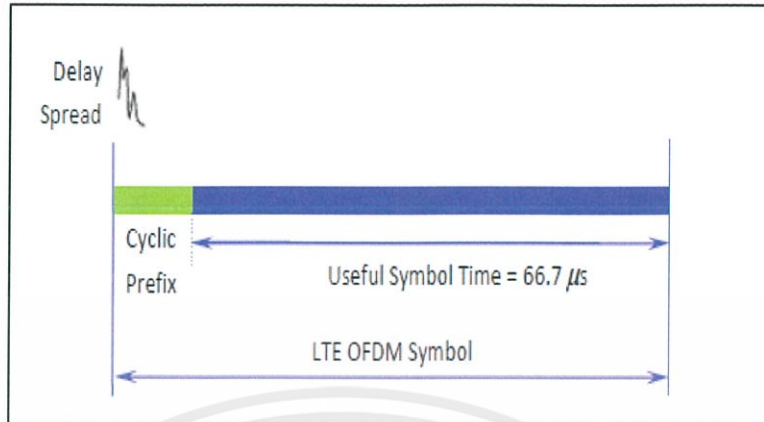
ในโดเมนเวลา ระยะห่างความต่างของเวลาภายในระบบ LTE จะแสดงเป็นหน่วยพื้นฐานทางเวลา ($T_s = 1/30720000$) สำหรับเฟรมของสัญญาณวิทยุมีความยาวของคาบเวลาเท่ากับ 10 ms ($T_{frame} = (307200 * T_s)$) แต่ละเฟรมจะถูกแบ่งออกเป็นขนาด 10 เฟรมย่อยของ 1 ms ภายในความยาว ($T_{subframe} = (307200 * T_s)$) การกำหนดจะเสร็จสิ้นบนพื้นฐานของเฟรมย่อยสำหรับทั้งดาวน์โหลดและอัปโหลด แต่ละเฟรมย่อยจะประกอบด้วย 2 สล็อตขนาดเท่ากันของ 0.5 ms ภายในความยาว ($T_{slot} = (15360 * T_s)$) แต่ละสล็อตในทางกลับกันก็ประกอบด้วยจำนวนของสัญลักษณ์ OFDM ซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งแบบ 7 (CP แบบปกติ) หรือแบบ 6 (CP แบบขยาย)

สำหรับเวลาของสัญลักษณ์ที่เป็นประโยชน์คือ $T_{cp} = (2048 * T_s) \approx 5.2 \mu s$ สำหรับโหมดปกติ สัญลักษณ์แรกจะมี CP ของความยาว $T_{cp} = (160 * T_s) \approx 5.2 \mu s$ ส่วนที่เหลือของสัญลักษณ์แบบ 6 จะมี CP ของความยาว $T_{cp} = (144 * T_s) \approx 4.7 \mu s$ สาเหตุของความยาวของ CP ที่แตกต่างกันของสัญลักษณ์แรกคือ เพื่อที่จะทำให้ความยาวของสล็อตทั้งหมดในเทอมของหน่วยเวลาหารด้วย 15360 สำหรับโหมดขยายจะมี CP คือ $T_{cp-e} = (512 * T_s) \approx 16.7 \mu s$ ซึ่งค่า CP จะมีค่ายาวกว่าการแพร่กระจายความล่าช้าทั่วไปของการค้นพบโดยทั่วไปเพียงไม่กี่มิลลิวินาทีในทางปฏิบัติ ซึ่ง CP ปกติจะถูกนำมาใช้ในเซลล์เขตเมืองและการประยุกต์ใช้อัตราข้อมูลสูง ขณะที่ CP แบบขยายจะถูกใช้ในกรณีพิเศษเหมือนกับการออกอากาศหลายเซลล์และภายในเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ (สำหรับตัวอย่างได้แก่ พื้นที่ชนบท, การประยุกต์ใช้อัตราข้อมูลต่ำ)

CP ใช้ส่วนหนึ่งของความจุเลเยอร์ physical 7.5 เปอร์เซ็นต์ในกรณีของ CP ปกติ วิธีหนึ่งในการลดค่าใช้จ่ายที่สัมพันธ์กันเนื่องจากการแทรกของ CP เพื่อที่จะลดพื้นที่ของความถี่ย่อย (Δf) กับการเพิ่มขึ้นที่สอดคล้องกันในเวลาของสัญลักษณ์ (T_u) เป็นผลที่ตามมา อย่างไรก็ตาม วิธีนี้จะช่วยเพิ่มความไวของการส่งสัญญาณของเทคนิค OFDM เพื่อความไม่แน่นอนทางความถี่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณรวดเร็ว (สำหรับตัวอย่างได้แก่ การกระจายของดอปเพลอร์สูง) รวมทั้งประเภทความถี่ของความผิดพลาดของความถี่เนื่องจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยที่โครงสร้างของเฟรมประเภทที่ 1 (เฟรม FDD) แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของเฟรมประเภทที่ 1 (เฟรม FDD) [4]



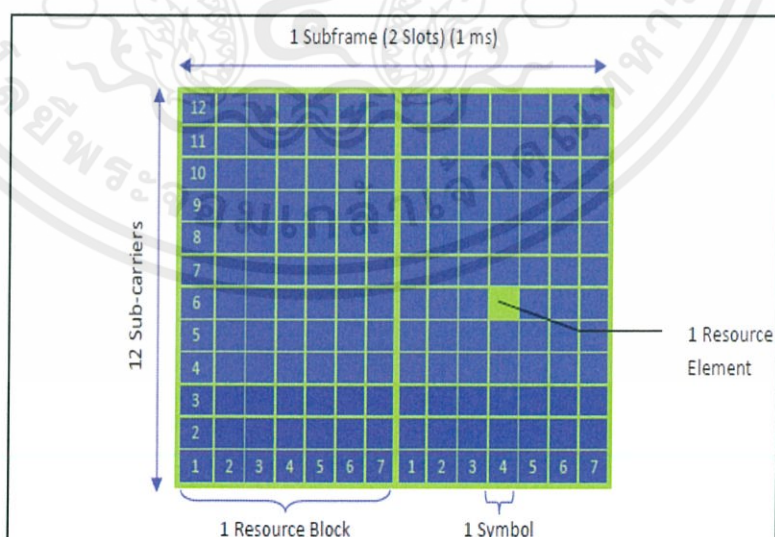
รูปที่ 2.17 โครงสร้างของสัญลักษณ์ของเทคนิค OFDM ในระบบ LTE [4]

ในโดเมนความถี่ จำนวนของความถี่ย่อยมีช่วงความยาว N ระหว่าง 128 ถึง 2048 ขึ้นอยู่กับแบนด์วิธของช่องสัญญาณ 512 และ 1024 สำหรับความถี่ 5 และ 10 MHz ตามลำดับ ซึ่งถูกนำมาใช้มากที่สุดในการปฏิบัติ การเว้นระยะของความถี่ย่อยมีค่าคือ $\Delta f = \frac{1}{T_s} = 15 \text{ kHz}$ อัตราการสุ่มตัวอย่างมีค่าคือ $f_s = (\Delta f * N) = 15000 N$ จากผลลัพธ์นี้ในอัตราการสุ่มตัวอย่างใน WCDMA อัตราชิปมีค่า 3.84 Mcps ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของระบบ LTE ได้รับเลือกให้มีความยาว FFT และอัตราการสุ่มตัวอย่างจะง่ายต่อการได้รับสำหรับโหมตการทำงานทั้งหมด ขณะที่ในเวลาเดียวกัน มีการรับรองว่าง่ายต่อการใช้งานสำหรับอุปกรณ์แบบสองโหมตมีการอ้างอิงตามเวลาทั่วไป สำหรับตารางที่ 2.7 จะสรุปบางอย่างของพารามิเตอร์เลเยอร์ physical ของระบบ LTE ในโหมต FDD

ใน มาโครเซลล์ แบนด์วิธที่สอดคล้องกันของสัญญาณจะอยู่ในลำดับที่ 1 MHz ภายในระบบ LTE แบนด์วิธของความถี่จะมีค่าถึง 20 MHz และมีบางความถี่ย่อยจะจางหายไปและมีบางส่วนที่ไม่จางหายไปเมื่อการส่งสัญญาณสำเร็จการใช้ความถี่เหล่านั้นจะไม่จางหายไป การส่งสัญญาณสามารถกำหนดได้โดย Resource Blocks (RB) แต่ละแห่งจะประกอบด้วย 12 ความถี่ย่อยที่ถูกเลือก หรือ 180 kHz สำหรับช่วงเวลาของหนึ่งสล็อต (0.5 ms) ความละเอียดนี้ถูกเลือกเพื่อค่าใช้จ่ายในการส่งสัญญาณที่จำกัด Resource Element (RE) เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดที่ถูกกำหนดไว้ซึ่งประกอบด้วยหนึ่งความถี่ย่อย OFDM ระหว่างระยะห่างของหนึ่งสัญลักษณ์ OFDM แต่ละ RB ประกอบด้วย $(12 * 7) = 84$ ซึ่ง RE ในกรณี CP ปกติ (72 สำหรับ CP ขยาย) โดยที่พารามิเตอร์เลเยอร์ physical ดาวนลิงก์ในระบบ LTE แสดงดังตารางที่ 2.7 และบล็อกทรัพยากรและการกำหนดองค์ประกอบของทรัพยากร (โหมต CP ปกติ) แสดงดังรูปที่ 2.18

ตารางที่ 2.7 พารามิเตอร์เลเยอร์ physical ดาวน์ลิงก์ในระบบ LTE

Channel Bandwidth (MHz)	1.25	2.5	5	10	15	20
Frame Duration (ms)	10					
Subframe Duration (ms)	1					
Sub-carrier Spacing (kHz)	15					
Sampling Frequency (MHz)	1.92	3.84	7.68	15.36	23.04	30.72
FFT Size	128	256	512	1024	1536	2048
Occupied Sub-carrier (inc. DC sub-carrier)	76	151	301	601	901	1201
Guard Sub-carriers	52	105	211	423	635	847
Number of Resource Blocks	6	12	25	50	75	100
Occupied Channel Bandwidth (MHz)	1.140	2.265	4.515	9.015	13.515	18.015
DL Bandwidth Efficiency	77.1%	90%	90%	90%	90%	90%
OFDM Symbols/Subframe	7/6 (short/long CP)					
CP Length (Short CP) (μ s)	5.2 (first symbol) / 4.69 (six following symbols)					
CP Length (Long CP) (μ s)	16.67					



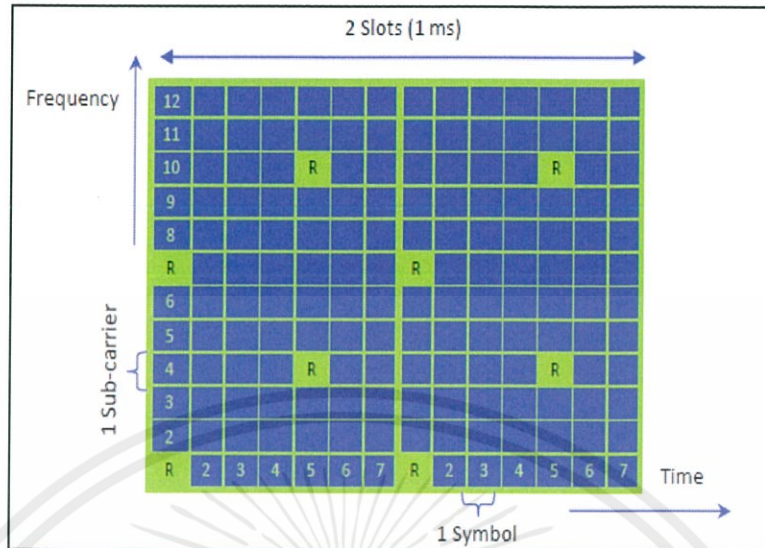
รูปที่ 2.18 บล็อกทรัพยากรและการกำหนดดองค์ประกอบของทรัพยากร (โหมด CP ปกติ) [4]

สำหรับโครงสร้างของการส่งสัญญาณอพัลลิงก์จะมีความคล้ายคลึงกับดาวนลิงก์ หน่วยที่เล็กที่สุดของทรัพยากรคือ องค์ประกอบทรัพยากร Resource Element (RE) ซึ่งประกอบด้วยวหนึ่ง SC-FDMA ความยาวบล็อคข้อมูลในหนึ่งความถี่ย่อย (อนุญาตให้ใช้ในเทอมนี้เพราะ DFT ถูกนำมาใช้สำหรับก่อนการเข้ารหัสกับการเว้นระยะของความถี่ย่อย 15 kHz) สำหรับบล็อคทรัพยากรประกอบด้วย 12 Res สำหรับช่วงเวลาของสล็อด (0.5 ms) แบนด์วิธที่มีการจัดสรรต่ำที่สุดให้กับ UE คือ 180 kHz สำหรับบล็อคทรัพยากรหลายรายการจะถูกกำหนดให้ติดต่อกันในโดเมนความถี่ให้กับ UE ในการอพัลลิงก์ขณะที่มีการกระจายออก เกิดการกำหนดที่ไม่ต่อเนื่องและจะเสร็จในการดาวนลิงก์

ในโดเมนเวลา 10 ms เฟรมอพัลลิงก์ประกอบด้วย 10 เฟรมย่อย 1 ms และ 20 สล็อด ช่วงเวลาของ CP อพัลลิงก์ที่รองรับคือ เช่นเดียวกับของดาวนลิงก์ ซึ่งค่า CP ปกติมีค่า 4.69 μ s และค่า CP ขยายมีค่า 16.67 μ s (ช่วงเวลาของ CP แรก ในโหมดปกติคือ 5.2 μ s และยังคงเป็นเหมือนกับการดาวนลิงก์) และสล็อดประกอบด้วย 7 หรือ 6 SC-FDMA สัญลักษณ์ในกรณีของ CP โหมดปกติและโหมดขยายตามลำดับ

2.1.9.3 สัญลักษณ์อ้างอิงของการดาวนลิงก์

เพื่อให้สามารถทำการมอดูเลชันสอดคล้องกันได้ที่อุปกรณ์ของผู้ใช้ (user equipment) สัญลักษณ์อ้างอิง (หรือสัญลักษณ์นำร่อง) ถูกแทรกเข้าไปในเทคโนโลยี OFDM ตารางเวลาความถี่เพื่อทำให้สามารถประมาณค่าของช่องสัญญาณได้ ซึ่งสัญลักษณ์อ้างอิงของการดาวนลิงก์ถูกแทรกอยู่ในสัญลักษณ์ของเทคโนโลยี OFDM สุดท้ายที่หนึ่งและสามของแต่ละสล็อดกับการเว้นระยะของโดเมนความถี่ของความถี่ย่อย 6 (การสอดคล้องนี้ไปยังสัญลักษณ์ของเทคโนโลยี OFDM ที่ห้าและที่หกของสล็อดในกรณีของ CP โหมดปกติและโหมดขยาย ตามลำดับ) แสดงดังรูปที่ 2.19 ของระบบ LTE ของเสาอากาศหนึ่งตัวในโหมด CP ปกติ นอกจากนี้ยังมีโดเมนความถี่ที่สายของ 3 ความถี่ย่อยระหว่างสัญลักษณ์อ้างอิงที่หนึ่ง และสอง ดังนั้นจึงมีสัญลักษณ์อ้างอิงที่สี่ภายในแต่ละบล็อคทรัพยากร โดยที่อุปกรณ์ของผู้ใช้จะสอดแทรกสัญลักษณ์อ้างอิงมากกว่าหลายรายการเพื่อประมาณค่าของช่องสัญญาณ ในกรณีของเสาอากาศส่งสัญญาณ 2 ชุด สัญลักษณ์อ้างอิงจะถูกแทรกจากแต่ละเสาอากาศเมื่อสัญญาณอ้างอิงบนเสาอากาศชุดที่ 2 ถูกหักล้างในโดเมนความถี่โดยที่มี 3 ความถี่ย่อย เพื่อให้ทำให้อุปกรณ์ของผู้ใช้สามารถใช้งานประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของช่องสัญญาณอย่างถูกต้อง ไม่มีอะไรที่ถูกส่งไปยังเสาอากาศอื่นที่ตำแหน่งของความถี่และเวลาเดียวกันของสัญญาณอ้างอิง โดยที่ตำแหน่งของสัญลักษณ์อ้างอิงภายในบล็อคทรัพยากรสำหรับระบบของเสาอากาศ 1 ชุด ในกรณีของโหมด CP ปกติ แสดงดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ตำแหน่งของสัญลักษณ์อ้างอิงภายในบล็อกทรัพยากรสำหรับระบบของเสาอากาศ 1 ชุด ในกรณีของโหมด CP ปกติ [4]

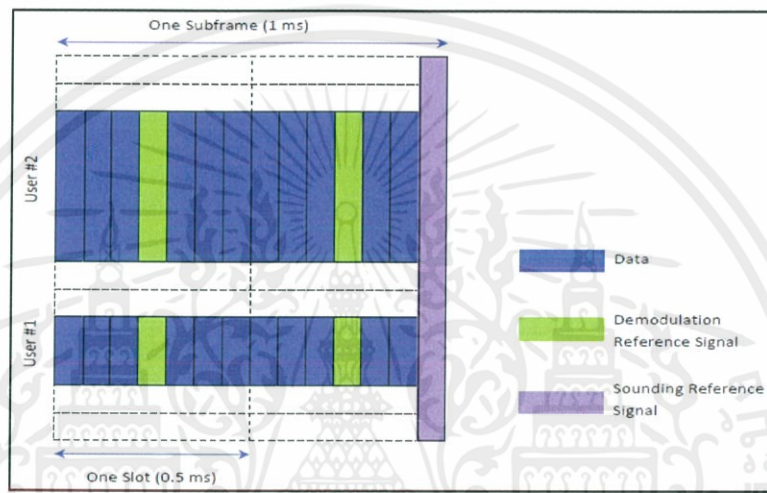
สัญลักษณ์อ้างอิงจะมีค่าที่ซับซ้อนซึ่งถูกกำหนดให้เป็นไปตามตำแหน่งของสัญลักษณ์เช่นเดียวกับเซลล์ ข้อกำหนดของระบบ LTE จะอ้างอิงถึงลำดับของสัญญาณอ้างอิงสองมิตินี้ซึ่งจะช่วยระบุสถานะของเซลล์ในระบบ LTE ซึ่งจะมี 510 ลำดับสัญญาณอ้างอิงที่สอดคล้องกันกับ 510 สถานะของเซลล์ที่แตกต่างกัน โดยที่สัญญาณอ้างอิงจะได้รับมาจากผลของลำดับการสุ่มของพีซีโด้แบบสองมิติและลำดับความถี่แบบสองมิติ ซึ่งจะมี 170 ลำดับการสุ่มของพีซีโด้ที่แตกต่างกันที่สอดคล้องกันกับ 170 กลุ่มของสถานะเซลล์ และลำดับความถี่ที่สามที่สอดคล้องกันกับสถานะของเซลล์เฉพาะภายในกลุ่มที่มีสถานะของเซลล์

2.1.9.4 สัญญาณอ้างอิงของการอัปลิงก์

สัญญาณอ้างอิงจะมีอยู่ 2 ประเภทสำหรับการอัปลิงก์ในระบบ LTE ประเภทที่ 1 จะมี Demodulation Reference Signals (DM-RS) ซึ่งเคยใช้งานการตีמודูเลชั่นสัญญาณที่สอดคล้องกันที่ E-Node B สัญญาณเหล่านี้จะมีเวลาในการมัลติเพล็กซ์กับการอัปลิงก์ข้อมูลและถูกส่งไปยังสัญลักษณ์ของ SC-FDMA ที่สี่หรือสามของการอัปลิงก์ของสล็อตสำหรับ CP โหมดปกติหรือโหมดขยายตามลำดับ และมีการใช้แบนด์วิธเดียวกันกับของข้อมูล

ประเภทที่ 2 คือ Sounding Reference Signal (SRS) ซึ่งถูกนำมาใช้เพื่ออนุญาตให้ใช้กับช่องสัญญาณ (เช่น การเลือกความถี่) การกำหนดของอัปลิงก์เป็น DM-RS ไม่สามารถนำมาใช้กับความถี่

ต้องการนี้ตั้งแต่ที่มีการกำหนดค่าแบนด์วิธมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ไปยัง UE โดยที่ SRS ถูกแนะนำว่าเป็นสัญญาณอ้างอิงย่านกว้างขึ้นโดยปกติจะส่งสัญญาณในสัญลักษณ์ SC-FDMA สุดท้ายของเฟรมย่อย 1 ms ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.20 ซึ่งการส่งสัญญาณข้อมูลของผู้ใช้จะไม่ได้รับอนุญาตในบล็อกนี้ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการอัปเดตลดลงถึง 7 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น SRS เป็นคุณสมบัติเสริมและกำหนดค่าได้สูงเพื่อควบคุมค่าใช้จ่ายซึ่งสามารถปิดได้ในเซลล์ ผู้ใช้กับแบนด์วิธในการส่งสัญญาณที่แตกต่างกันจะแบ่งช่องสัญญาณการเกิดเสียงนี้ในโดเมนความถี่



รูปที่ 2.20 การตีמודูเลชั่นของการอัปเดตและสัญญาณอ้างอิงของช่องสัญญาณการเกิดเสียง (CP โหมดปกติ) [4]

2.1.9.5 ลำดับการชิงโครโนเซชั่น

อุปกรณ์ของผู้ใช้ที่ต้องการเข้าถึงระบบ LTE ต้องทำตามขั้นตอนการค้นหาเซลล์ซึ่งประกอบด้วยชุดขั้นตอนของการชิงโครโนเซชั่นโดยที่ UE จะกำหนดเวลาและพารามิเตอร์ความถี่ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการมอดูเลตการดาวน์ลิงก์สัญญาณ ในการส่งสัญญาณกับช่วงเวลาที่ถูกต้องและเพื่อรับพารามิเตอร์ระบบบางอย่างที่สำคัญ

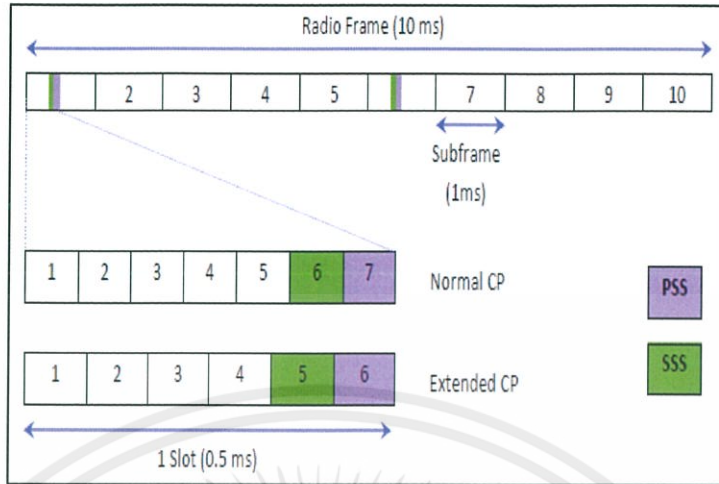
สำหรับการชิงโครโนเซชั่นมีความต้องการสำหรับการชิงโครโนซ์ 3 ประการ ในระบบ LTE ซึ่งได้รับช่วงเวลาของสัญลักษณ์โดยที่สัญลักษณ์ที่ถูกต้องจะเริ่มถูกกำหนดให้การชิงโครโนเซชั่นความถี่ของผู้ให้บริการซึ่งช่วยลดผลกระทบความผิดพลาดของความถี่ที่เกิดจากการเลื่อนของดอปเพลอร์และความผิดพลาดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และการชิงโครโนเซชั่นของจังหวะในการสุ่มตัวอย่าง

ในระบบ LTE มีขั้นตอนในการค้นหาเซลล์ 2 ประการ คือ ประการแรกสำหรับการซิงโครไนซ์เซชันเริ่มต้นและอีกประการคือเซลล์ข้างเคียงสำหรับการตรวจจับในการเตรียมการสำหรับการเกิดแฮนด์โอเวอร์ ซึ่งทั้งสองกรณี UE จะใช้การออกอากาศสัญญาณพิเศษ 2 ชุดในแต่ละเซลล์ นั่นคือ Primary Synchronization Sequence (PSS) และ Secondary Synchronization Sequence (SSS) การตรวจจับสัญญาณเหล่านี้จะช่วยให้ UE สำเร็จตามเวลาและการซิงโครไนซ์เซชันของความถี่และเพื่อได้รับพารามิเตอร์ของระบบที่มีประโยชน์ เช่น สถานะของเซลล์, ความยาวของ CP และโหมดของการเข้าถึง (FDD/TDD) ซึ่ง UE ยังคงสามารถถอดรหัสของ Physical Broadcast Control Channel (PBCH) และได้รับข้อมูลของระบบที่สำคัญ

สัญญาณการซิงโครไนซ์เซชันจะถูกส่งเฟรมสัญญาณวิทยุ 2 ครั้งต่อ 10 ms โดยที่ PSS จะมีตำแหน่งอยู่ในสัญลักษณ์ของ OFDM สุดท้ายของสล็อตแรกและสล็อตลำดับที่ 11 ของแต่ละเฟรมสัญญาณวิทยุซึ่งจะอนุญาตให้ UE ได้รับช่วงของขอบเขตสล็อตเป็นอิสระจากประเภทของความยาวของ CP สำหรับสัญญาณ PSS จะเป็นเหมือนกันสำหรับเซลล์ที่ได้รับใด ๆ ก็ตามในทุกๆ เฟรมย่อยซึ่งในการส่งสัญญาณ (PSS ใช้ลำดับที่เรียกว่า Zadoff-Chu)

สำหรับตำแหน่งของ SSS จะมาก่อน PSS เสมอ ในสัญลักษณ์สุดท้ายก่อนหน้าของสล็อตแรกและสล็อตลำดับที่ 11 ของแต่ละเฟรมสัญญาณวิทยุ ซึ่ง UE จะสามารถกำหนดความยาวของ CP ได้ โดยการตรวจสอบตำแหน่งที่แน่นอนของ SSS ซึ่ง UE จะสามารถกำหนดตำแหน่งของขอบเขตเฟรม 10 ms เป็นสัญญาณ SSS สลับในวิธีเฉพาะระหว่างการส่งสัญญาณสองแบบ (SSS ใช้ลำดับที่เรียกว่า ลำดับ M)

ในโดเมนความถี่ PSS และ SSS จะครอบครองบล็อครหัสพารามิเตอร์ศูนย์กลาง 6 โดยไม่คำนึงถึงระบบแบนด์วิธของช่องสัญญาณ ซึ่งจะอนุญาตให้ UE เพื่อซิงโครไนซ์กับเครือข่ายโดยปราศจากความรู้เบื้องต้นของการจัดสรรแบนด์วิธ สำหรับลำดับของการซิงโครไนซ์เซชันจะใช้ 62 ความถี่ย่อยจากทั้งหมด กับ 31 ความถี่ย่อยเพื่อจับคู่กับแต่ละด้านของความถี่ย่อย DC ซึ่งไม่ได้ใช้ ซึ่งปล่อยให้ 5 ความถี่ย่อยนี้ที่แต่ละปลายสุดของ 6 ศูนย์กลางของ RBs ที่ไม่ได้ใช้งาน โดยที่เฟรมของสัญญาณการซิงโครไนซ์เซชันและโครงสร้างของสล็อตในโดเมนเวลา และ เฟรมของสัญญาณการซิงโครไนซ์เซชันและโครงสร้างของสล็อตในโดเมนความถี่และโดเมนเวลา แสดงดังรูปที่ 2.21 และ 2.22 ตามลำดับ



รูปที่ 2.21 เฟรมของสัญญาณการซิงโครไนเซชันและโครงสร้างของสล็อตในโดเมนเวลา [4]



รูปที่ 2.22 เฟรมของสัญญาณการซิงโครไนเซชันและโครงสร้างของสล็อตในโดเมนความถี่และโดเมนเวลา [4]

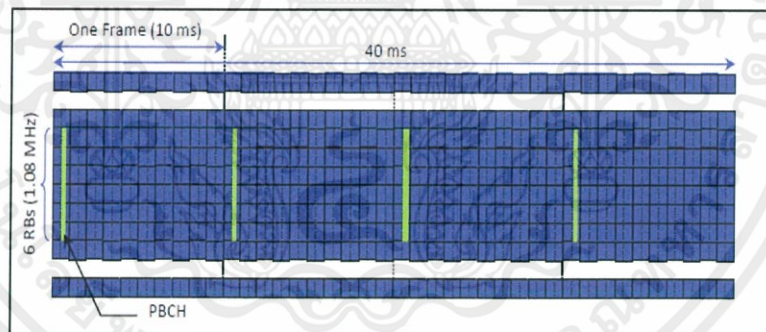
2.1.9.6 การคำนวณลิงก์ของช่องสัญญาณ physical

ระบบการสื่อสาร LTE กำหนดจำนวนของการคำนวณลิงก์ของช่องสัญญาณ physical ในการขนส่งบล็อกข้อมูลที่ได้รับมาจากเลเยอร์ MAC และเลเยอร์ที่สูงกว่า ซึ่งช่องสัญญาณเหล่านี้ถูกจัดเป็นช่องสัญญาณ transport และช่องสัญญาณ control

- ช่องสัญญาณ transport

1) Physical Broadcast Channel (PBCH) - การออกอากาศแบบ PBCH จำกัดจำนวนของพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการเข้าถึงเริ่มต้นของเซลล์ เช่น แบนด์วิธของระบบการดาวน์ลิงก์, โครงสร้างช่องสัญญาณตัวบ่งบอกของ Physical Hybrid ARQ และ 8 บิตที่สำคัญที่สุดของระบบหมายเลขเฟรม พารามิเตอร์เหล่านี้จะถูกดำเนินการในสิ่งที่เรียกว่า บล็อกข้อมูลหลักซึ่งมีความยาว 14 บิต

PBCH จะถูกออกแบบให้สามารถตรวจจับได้โดยไม่มีความรู้เกี่ยวกับแบนด์วิธของระบบและเพื่อให้เข้าถึงได้ที่ขอบของเซลล์ สำหรับ MIB เป็นรหัสที่มีอัตราการเข้ารหัสต่ำมาก และมีการจับคู่กับ 72 ความถี่ย่อยศูนย์กลาง (6 RBs) ของโครงสร้างเทคโนโลยี OFDM การส่งสัญญาณ PBCH ถูกกระจายไปบน 4 เฟรม 10 ms ในคาบระยะ 40 ms แสดงดังรูปที่ 2.23 แต่ละเฟรมย่อยจะสามารถถอดรหัสได้ด้วยตนเองซึ่งช่วยลดค่าความเร็วในการตอบสนองระหว่างเครื่องเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการกับเครื่องคอมพิวเตอร์หรือมือถือของผู้ใช้ (หรือเรียกว่า latency หรือ ping) และช่วยลดการใช้งานแบตเตอรี่ของอุปกรณ์ผู้ใช้ในกรณีของคุณภาพสัญญาณที่ต่ำ มิฉะนั้น การส่งสัญญาณหลายแบบรวมกันอย่างง่ายจนกระทั่ง PBCH ถูกถอดรหัส โดยที่ PBCH จะถูกส่งสัญญาณโดยใช้ Space Frequency Block Code (SFBC) รูปแบบของการส่งข้อมูลความหลากหลาย ในกรณีที่มีเสาอากาศหลายชุดจะช่วยให้ขอบเขตของสัญญาณครอบคลุมมากยิ่งขึ้น โดยที่โครงสร้างของ PBCH แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 โครงสร้างของ PBCH [4]

2) Physical Downlink Shared Channel (PDSCH) - PDSCH คือ ข้อมูลหลักที่มีการแบกรับช่องสัญญาณซึ่งถูกจัดสรรให้กับผู้ใช้บนพื้นฐานแบบไดนามิกและแบบฉวยโอกาส โดยที่ PDSCH จะขนส่งข้อมูลในสิ่งที่เรียกว่า Transport Blocks (TB) ซึ่งสอดคล้องกับ MAC PDU ข้อมูลเหล่านั้นถูกส่งมาจากเลเยอร์ MAC ส่งต่อไปยังเลเยอร์ PHY หนึ่งครั้งต่อ Transmission Time Interval (TTI) ซึ่งเป็นเวลา 1 ms (ตัวอย่างเช่น 1 ms ช่วงในการกำหนดเพื่อตอบสนองความต้องการของความแอบแฝงต่ำ)

การเข้ารหัสเทอร์โบคอนโวลูชัน คือ วิธีที่ถูกนำมาใช้สำหรับแก้ไขข้อผิดพลาดล่วงหน้า เพื่อป้องกันความผิดพลาดของช่องสัญญาณการแพร่กระจาย ข้อมูลที่ถูกจับคู่กับเลเยอร์ที่เกี่ยวข้องกับระยะตามประเภทของเทคนิคเสาอากาศแบบหลายชุด และการจับคู่สัญลักษณ์การมอดูเลชันซึ่งประกอบด้วย QPSK, 16 QAM และ 64 QAM

ทรัพยากร physical จะถูกกำหนดบนพื้นฐานของบล็อกทรัพยากร 2 แบบสำหรับ 1 TTI (1 ms) จะถูกเรียกว่าคู่ของบล็อกทรัพยากร ซึ่งเป็นควอนตัมของทรัพยากรที่สามารถจัดสรรได้ (180 kHz) สำหรับ 14 สัญลักษณ์ของเทคโนโลยี OFDM (CP โหมดปกติ)

PDCH ยังใช้ในการส่งสัญญาณออกอากาศข้อมูล ไม่ถูกส่งบน PBCH ซึ่งประกอบด้วย System Information Blocks (SIB) และข้อความการเพจจิง

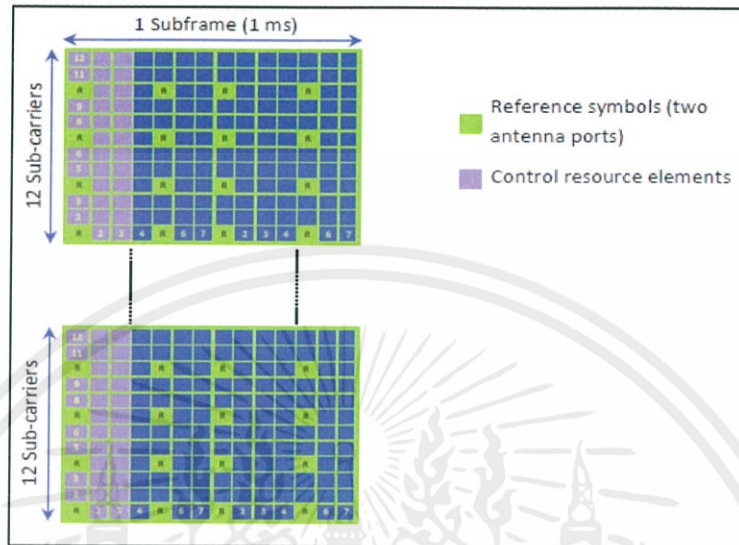
3) Physical Multicast Channel (PMCH) - ช่องสัญญาณนี้จะกำหนดโครงสร้างของเลเยอร์ physical เพื่อขนส่ง Multimedia Broadcast and Multicast Services (MBMS) อย่างไรก็ตาม MBMS จะไม่รวมอยู่ในการเผยแพร่ครั้งแรกของระบบ LTE โดยที่ PMCH จะถูกออกแบบสำหรับเครือข่ายความถี่เดียวและต้องการให้สถานีฐานส่งสัญญาณกับการชิงโครโนเซชันที่เวลาแน่นอนหากับสัญลักษณ์มอดูเลตเดียวกัน สำหรับ PMCH จะถูกส่งสัญญาณในเฟรมย่อยที่ส่งให้แบบเฉพาะเมื่อ PDSCH จะไม่ถูกส่ง

- ช่องสัญญาณ Control

ช่องสัญญาณ control จะครอบครองสัญลักษณ์แรก 1, 2 หรือ 3 ของเทคโนโลยี OFDM ในเฟรมย่อยที่มีการขยายบนแบนด์วิธของระบบทั้งหมด แสดงดังรูป 2.24 ในระบบของย่านแคบ (น้อยกว่า 10 RBs) สัญลักษณ์การควบคุมจะสามารถเพิ่มขึ้นเพื่อรวม 4 สัญลักษณ์ของเทคโนโลยี OFDM

1) Physical Downlink Control Channel (PDCCH) - PDCCH จะขนส่งการกำหนดทรัพยากรสำหรับ UEs ซึ่งมีอยู่ในข้อความ Downlink Control Information (DCI) สำหรับ PDCCH หลายตัวสามารถส่งสัญญาณในเฟรมย่อยเดียวกันได้โดยใช้ Control Channel Elements (CCE) ซึ่งแต่ละชุดมี 9 ชุดขององค์ประกอบทรัพยากร 4 ชุด เรียกว่า Resource Element Groups (REG) สำหรับการมอดูเลตแบบ QPSK จะนำมาใช้กับ PDCCH สำหรับสัญลักษณ์ 4 QPSK ถูกจับคู่กับแต่ละ REG นอกจากนี้ CCEs แบบ 1, 2, 4 หรือ สามารถนำมาใช้สำหรับ UE ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของช่องสัญญาณเพื่อ

ทำให้แน่ใจว่ามีความทนทานเพียงพอ โดยที่พื้นที่การส่งสัญญาณของช่องสัญญาณ control (ตัวอย่างสัญลักษณ์แบบ 3 OFDM) แสดงดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 พื้นที่การส่งสัญญาณของช่องสัญญาณ control (ตัวอย่างสัญลักษณ์แบบ 3 OFDM) [4]

2) Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH) - ช่องสัญญาณนี้จะขนส่ง Control Frame Indicator (CFI) ซึ่งประกอบด้วยจำนวนของสัญลักษณ์ OFDM ใช้สำหรับการส่งสัญญาณช่องสัญญาณควบคุมในแต่ละเฟรมย่อย สำหรับ CFI ความยาว 32 บิต ถูกจับคู่กับ 16 องค์ประกอบทรัพยากรในสัญลักษณ์ OFDM แรกของแต่ละเฟรมตามวิธีโดยการใช้อัตราการมอดูเลตแบบ QPSK

3) Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH) – PHICH จะขนส่ง HARQ ACK/NAK ซึ่งระบุถึง UE ว่า eNodeB ได้รับอย่างถูกต้อง ข้อมูลผู้ใช้ของการดาวน์โหลดจะขนส่งบน PUSCH โดยใช้อัตราการมอดูเลตแบบ BPSK

2.1.9.7 การอพลิงก์ของช่องสัญญาณ physical

การอพลิงก์ของช่องสัญญาณ physical ในระบบการสื่อสาร LTE มีอยู่ 3 ช่องสัญญาณดังนี้

1) Physical Uplink Shared Channel (PUSCH) – ช่องสัญญาณจะขนส่งข้อมูลของผู้ใช้ ซึ่งรองรับการมอดูเลตแบบ QPSK, 16 QAM และ 64 QAM โดยที่บิตข้อมูลแรกของการเข้ารหัสช่องสัญญาณกับรหัสเทอร์โบของอัตราแม่ 1/3 ก่อนที่จะถูกปรับโดยกระบวนการจับคู่อัตราสำหรับอัตรารหัสสุดท้ายที่เหมาะสม สัญลักษณ์ข้อมูลที่อยู่ติดกันจะถูกจับคู่กับสัญลักษณ์ SC-FDMA ที่อยู่ติดกันใน

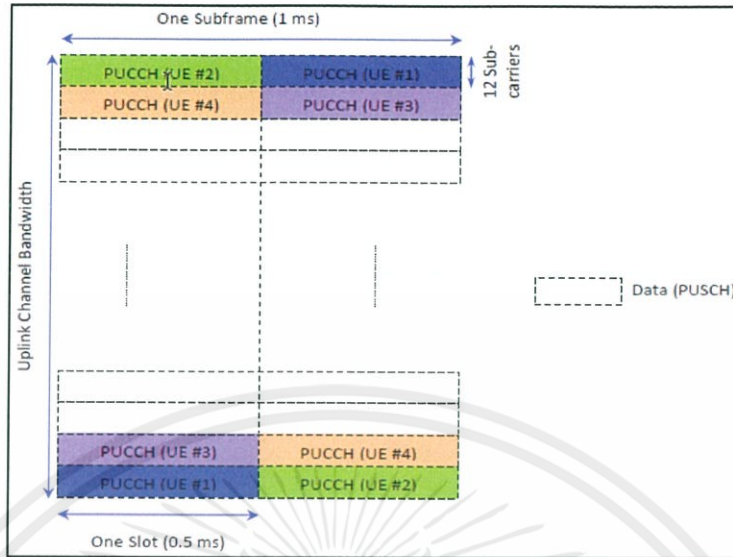
โดเมนเวลาก่อนที่จะจับคู่กับความถี่ย่อยตรงข้าม หลังจากกระบวนการนี้ บิตจะมีสัญญาณรบกวนก่อนที่จะมีการจับคู่การมอดูเลชัน, การแพร่กระจาย DFT, การจับคู่ความถี่ย่อย และการมอดูเลชันของเทคโนโลยี OFDM ซึ่งการเข้ารหัสของช่องสัญญาณนั้นจะเหมือนกับแบบดาวนลิงก์

ระยะห่างของกำหนดการการอัปลิงก์คือ 1 ms เหมือนกับแบบดาวนลิงก์ อย่างไรก็ตาม ก็สามารถรวมกลุ่มได้ 4 TTI เพื่อใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพที่ขอบของเซลล์และลดค่าใช้จ่ายของโปรโตคอลเลเยอร์ที่สูงกว่า ในกรณีนี้ MAC PDU คือ ถูกแบ่งเป็นหมวดหมู่สำหรับการส่งสัญญาณผ่าน TTI หลายแบบ ในโดเมนความถี่ การส่งสัญญาณจะถูกจัดสรรให้ขึ้นอยู่กับลึอกทรัพยากรของ 180 kHz ทรัพยากรของการอัปลิงก์จะเป็นไปตามชุดเดียวกับความถี่ย่อยที่ถูกกำหนดไว้สำหรับ 2 สล็อตของเฟรมย่อย อย่างไรก็ตาม การกระโดดของความถี่สล็อตคือส่วนเสริมที่แตกต่างกันของความถี่ย่อยจะถูกใช้สำหรับสล็อตที่สอง ส่งผลให้ความหลากหลายของความถี่ที่ได้รับและสัญญาณรบกวนเฉลี่ยให้ลำดับการกระโดดที่ต่างกัน จึงถูกนำมาใช้ในเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงกัน

PUSCH จะขนส่งในการเพิ่มของข้อมูลผู้ใช้ที่จำเป็นของการควบคุมข้อมูลใดๆ เพื่อถอดรหัสข้อมูล เช่น ตัวระบุรูปแบบการขนส่งและพารามิเตอร์ของ MIMO การควบคุมข้อมูลคือ มัลติเพล็กซ์กับข้อมูลก่อนไปยังการแพร่กระจาย DFT

2) Physical Uplink Control Channel (PUCCH) – ควบคุมการส่งสัญญาณที่ประกอบด้วยของมูลของการอัปลิงก์ส่งไปอย่างอิสระของข้อมูลการจราจรซึ่งประกอบด้วย HARQ ACK/NAK, Channel Quality Indicators (CQI), การตอบกลับของ MIMO และการกำหนดคำร้องขอสำหรับการส่งสัญญาณการอัปลิงก์ ช่องสัญญาณนี้จะส่งในพื้นที่ความถี่ที่ขอบของระบบแบนด์วิธ แสดงดังรูปที่ 2.25 ซึ่งประกอบด้วย 1 RB ต่อการส่งสัญญาณที่ปลายทางของระบบแบนด์วิธติดตามโดย RB ในสล็อตที่ตามไปที่ตำแหน่งตรงข้ามกับปลายทางของสเปกตรัมของช่องสัญญาณ ดังนั้น การใช้ประโยชน์จากความหลากหลายทางความถี่กับการได้รับโดยประมาณมีค่า 2 dB โดยที่ PUCCH ควบคุมพื้นที่ประกอบด้วยทุกๆ 2 RBs ตารางที่ 2.8 แสดงจำนวนทั่วไปของพื้นที่ของ PUCCH สำหรับแบนด์วิธของระบบที่แตกต่างกัน ซึ่งข้อมูลของ PUCCH ใช้การมอดูเลตแบบ BPSK หรือแบบ QPSK

โดยที่โครงสร้างของช่องสัญญาณควบคุมการอัปลิงก์ physical แสดงดังรูปที่ 2.25 และตารางแสดงจำนวนทั่วไปของพื้นที่ของ PUCCH แสดงดังตารางที่ 2.8

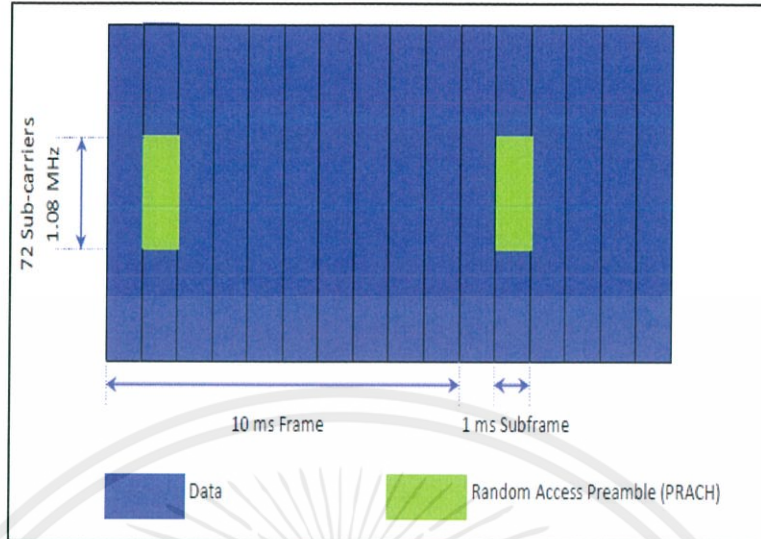


รูปที่ 2.25 โครงสร้างของช่องสัญญาณควบคุมการอัปลิงก์ physical [4]

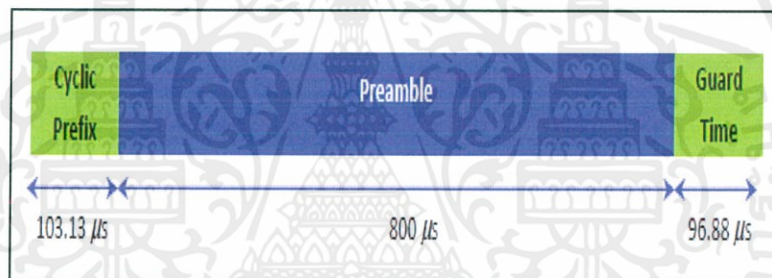
ตารางที่ 2.8 จำนวนทั่วไปของพื้นที่ของ PUCCH

System Bandwidth (MHz)	1.25	2.5	5	10	15	20
PUCCH Control Regions	1	2	4	8	12	16
Number of Resource Blocks	2	4	8	16	24	32

3) Physical Random Access Channel (PRACH) – ช่องสัญญาณนี้ขนส่งส่วนหัว การเข้าถึงแบบสุ่ม UE จะส่งเพื่อเข้าถึงเครือข่ายในโหมดแบบไม่เชิงโครโนซ์และเคยให้ UE เข้าถึงช่วงเวลาแบบเชิงโครโนซ์กับ eNodeB ซึ่งประกอบด้วย 72 ความถี่ย่อยในโดเมนความถี่ (6 บล็อกทรัพยากร, 1.08 MHz) แสดงดังรูปที่ 2.26 FDD ในระบบ LTE ได้กำหนด 4 ความแตกต่างของ Random Access (RA) รูปแบบของส่วนหัวกับความแตกต่างของส่วนหัวและช่วงเวลาของ CP เพื่อรองรับขนาดของเซลล์ที่แตกต่างกัน โดยที่ส่วนหัวรูปแบบ 0 ซึ่งเหมาะสำหรับเซลล์ขนาดเล็กจนถึงขนาดกลาง (ระยะทางประมาณ 14 km) ใช้เฟรมย่อยแบบเต็ม 1 ms และมีระยะเวลาของส่วนหัวเป็น 800 μ s กับ CP 103 μ s และเวลาในการป้องกัน 97 μ s แสดงดังรูปที่ 2.27



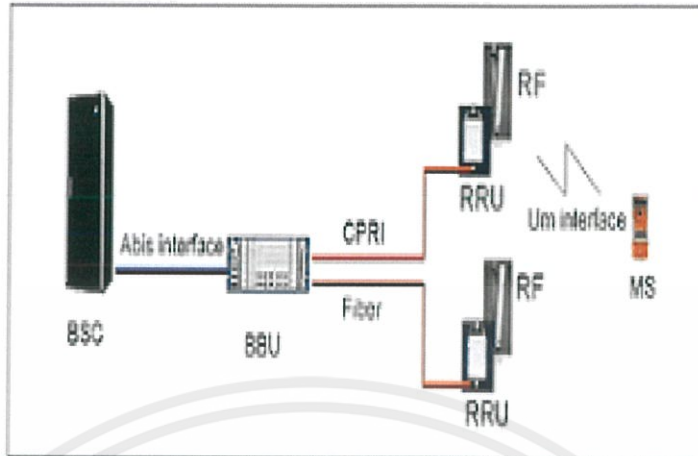
รูปที่ 2.26 การส่งสัญญาณของส่วนหัวการเข้าถึงแบบสุ่ม [4]



รูปที่ 2.27 ส่วนหัวของการเข้าถึงแบบสุ่ม [4]

2.1.10 โครงสร้างของสถานีฐาน (E-Node B)

สถานีฐานเป็นสถาปัตยกรรมที่ใช้ในการติดตั้งเสาอากาศสำหรับรับและส่งสัญญาณภายในเครือข่ายการติดต่อสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่และอุปกรณ์สื่อสารไร้สายต่างๆ สามารถใช้งานการติดต่อสื่อสารได้ แสดงโครงสร้างของสถานีฐานดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 โครงสร้างของสถานีฐาน (E-Node B) [8]

2.1.10.1 Base Station Controller (BSC)

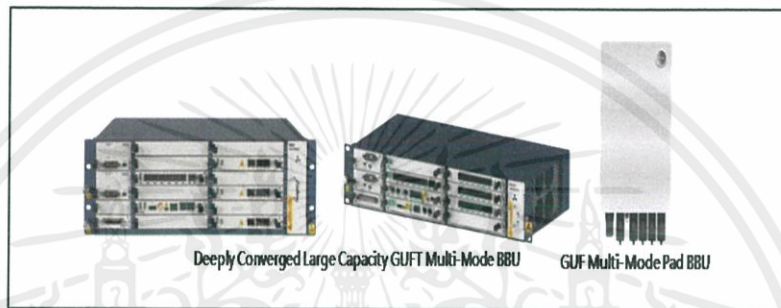
Base Station Controller (BSC) คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมเกี่ยวกับคลื่นวิทยุในระบบ เช่น ควบคุมการเกิดแชนด์โอเวอร์, จัดการเกี่ยวกับช่องสัญญาณวิทยุต่างๆ และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเซลล์ อีกทั้งยังควบคุมกำลังส่งสัญญาณของสถานีฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่, ควบคุมจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ในกลุ่มสถานีฐาน และควบคุมการสร้างเส้นทางเชื่อมต่อเพื่อใช้ในการสนทนาผ่านสถานีฐานไปยังอุปกรณ์ของผู้ใช้ โดยที่แสดง Base Station Controller (BSC) ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 Base Station Controller (BSC) [9]

2.1.10.2 Base Band Unit (BBU)

Base Band Unit (BBU) มีหน้าที่เป็นโมเด็มสื่อสารกับชุดเครื่องส่งวิทยุหรือ RRU และควบคุมการทำงานของ RRU เป็นอุปกรณ์ที่มีพอร์ตเส้นใยแก้วนำแสงเชื่อมต่อไปยัง RRU บนเสา หรือส่งไปที่ RRU ที่ติดตั้งห่างออกไปได้ โดยปกติ BBU 1 จะสามารถควบคุม RRU ได้ 3 หรือ 6 ตัว BBU มีขนาด 2U หรือ 3U ติดตั้งภายในตู้แร็ค และจะต่อเข้ากับสวิตช์ไอพีแลนเพื่อส่งข้อมูลกลับไปยังชุมสาย แล้วกระจายไปยังสถานีอื่นๆ โดยที่แสดง Base Band Unit (BBU) ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 Base Band Unit (BBU) [10]

2.1.10.3 Remote Radio Unit (RRU)

Remote Radio Unit (RRU) มีหน้าที่แปลงสัญญาณจากโมเด็ม หรือ BBU ที่ส่งมาทางเส้นใยแก้วนำแสง ติดตั้งบนเสาสูง เพื่อออกอากาศความถี่วิทยุ ซึ่งเสาอากาศจะส่งสัญญาณไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ และรับสัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่งไปที่ BBU ผ่านไอพีแลนกลับไปชุมสาย โดยการติดตั้ง RRU จะติดตั้งอยู่ด้านล่างของแท่งเสาอากาศ มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม มีครีบบระบายความร้อน เพราะเป็นเครื่องส่งวิทยุจึงทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นได้ โดยที่แสดง Remote Radio Unit (RRU) ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 Remote Radio Unit (RRU) [8]

2.1.10.4 เสาอากาศ (Antenna)

เสาอากาศ คือตัวแปลงสัญญาณเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องส่งวิทยุ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กระจายไปในอากาศ และในทางกลับกันก็สามารถเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระจายอยู่ในอากาศ ให้กลับมาเป็นพลังงานไฟฟ้า และส่งต่อให้กับเครื่องรับวิทยุ ซึ่งจะมีเสาอากาศทั้ง 2 แบบได้แก่ เสาอากาศแบบรับสัญญาณและเสาอากาศแบบส่งสัญญาณ สำหรับส่ง-รับการส่งสัญญาณวิทยุ ซึ่งถูกนำมาใช้ในเครือข่ายพื้นที่ท้องถิ่นแบบไร้สาย, ระบบการสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ และการสื่อสารผ่านดาวเทียม

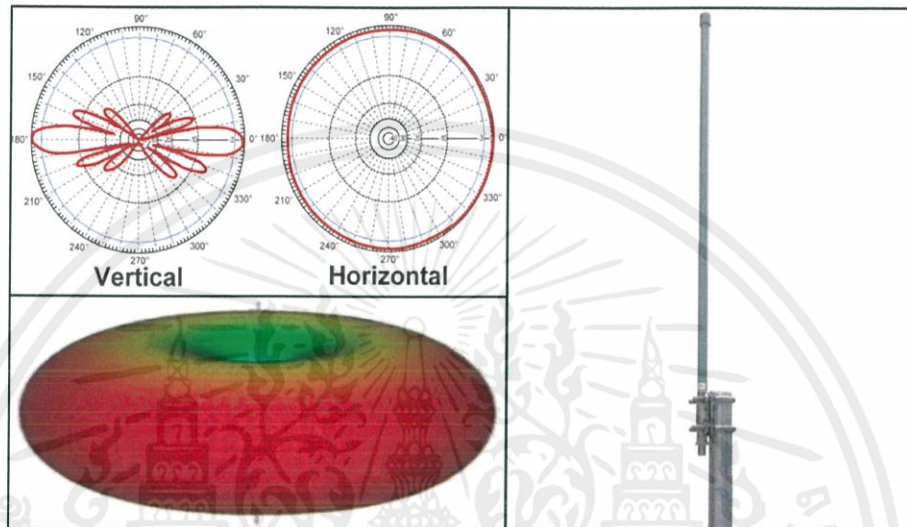
- หลักการทำงานของเสาอากาศ

ระบบส่งสัญญาณวิทยุ เสาอากาศมีหน้าที่หลักในการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสู่ อากาศ การแพร่กระจายคลื่นจะเกิดขึ้น เมื่อมีการป้อนสัญญาณซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามายังสายอากาศ ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าบวก และลบบนพื้นผิวของสายอากาศ และเนื่องจากสัญญาณที่ป้อนให้สายอากาศ เป็นคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับประจุไฟฟ้าจึงถูกเร่งให้เคลื่อนที่ ไปยังตำแหน่งต่างๆ บนสายอากาศกลับไป-กลับมา ตามความถี่ของสัญญาณจากเครื่องส่ง จนเกิดการแพร่กระจายคลื่นออกมา

- ประเภทของสายอากาศ

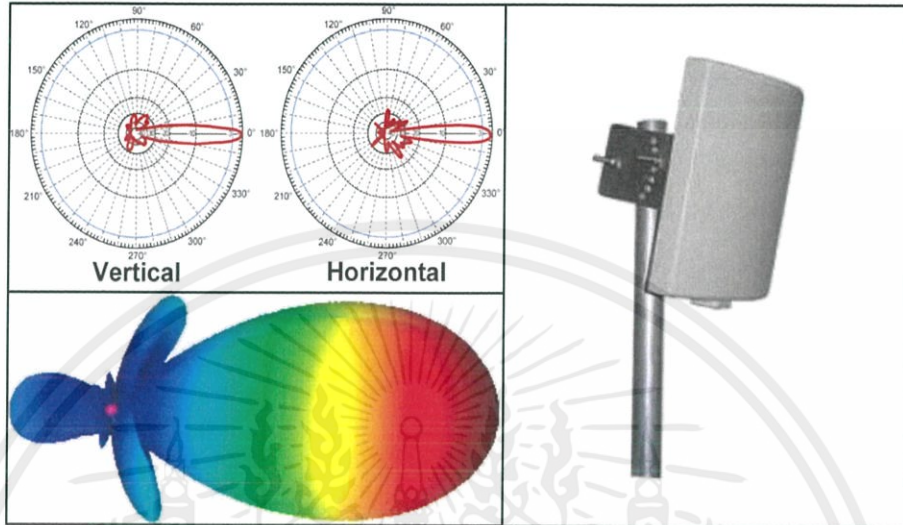
เสาอากาศสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ จากรูปแบบการกระจายของคลื่นคือ

1) เสาอากาศแบบรอบตัว (Omni Directional Antenna) เสาอากาศประเภทนี้มีทิศทาง การแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง 360 องศา เหมาะสำหรับใช้ติดตั้งกับเครื่องลูกข่ายที่เคลื่อนไหวอยู่ ในตำแหน่งและทิศทางที่ไม่แน่นอน โดยที่แสดงรูปแบบการแพร่กระจายของเสาอากาศแบบรอบตัว, 3D และ เสาอากาศจริง ดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 เสาอากาศแบบรอบตัว (Omni Directional Antenna) [11], [12], [13]

2) เสาอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna) เป็นเสาอากาศที่มีทิศทาง การแพร่กระจายของคลื่นที่มีทิศทางชัดเจนเหมาะสำหรับการติดต่อระหว่างจุดต่อจุด สามารถเพิ่มระยะ ทางการใช้งานได้ไกลกว่าเสาอากาศแบบรอบตัว แต่มีข้อเสียคือ ถ้าไม่อยู่ในทิศทาง การแพร่กระจายของ คลื่นจะไม่สามารถรับสัญญาณได้เลย ชื่อของเสาอากาศแบบนี้ที่นิยมใช้กันได้แก่ เสาอากาศแบบเซ็กเตอร์ (Sector Antenna) เสาอากาศแบบยาคิ (Yagi Antenna) เสาอากาศแบบกริด (Grid Antenna) เสา อากาศแบบจาน (Solid Dish Antenna) อัตราขยายของเสาอากาศแบบนี้อยู่ในเกณฑ์สูง โดยที่แสดง รูปแบบการแพร่กระจายของเสาอากาศแบบทิศทาง, 3D และ เสาอากาศจริง ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 เสาอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna) [13],[14],[15]

- อัตราขยายของเสาอากาศ

เป็นตัวบ่งบอกอัตราขยายของสายอากาศนั้นๆว่า สามารถขยายกำลังที่ถูกส่งเข้ามาที่เสาอากาศและแพร่กระจายออกไปได้ไกลแค่ไหน ถ้าหากอัตราขยายยิ่งสูง ระยะทางยิ่งไปได้ไกลขึ้น แต่องศาในการกระจายคลื่นจะยิ่งแคบลง ตัวอย่างเช่น ลูกโป่งยางยัดที่มีลมอยู่ภายใน ถ้าหากอัตราขยายน้อยคือลูกโป่งแบบปกติ อัตราการขยายสูงคือลูกโป่งที่ถูกจับยัดออก (ระยะทางมากขึ้น แต่องศาการกระจายคลื่นน้อยลง) เสาอากาศแบบทิศทางเดียวจึงมีอัตราการขยายมากกว่าเสาอากาศแบบกึ่งรอบตัว และแบบรอบตัวตามลำดับ ลักษณะการใช้งานจึงแตกต่างกันไป เสาอากาศที่มีอัตราขยายสูง จะสามารถรับ-ส่งคลื่นวิทยุได้ดีมาก โดยที่หน่วยของอัตราขยายจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

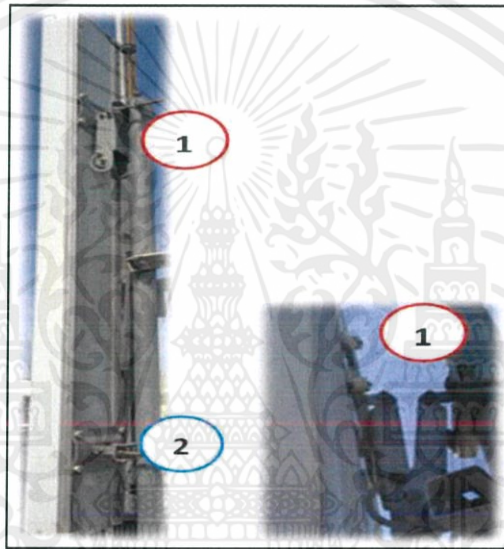
- dBi เป็นหน่วยของอัตราขยายเทียบกับเสาอากาศแบบ Isotropic
- dBd เป็นหน่วยของอัตราขยายเทียบกับเสาอากาศแบบ Dipole

- การปรับมุมทิศของเสาอากาศ

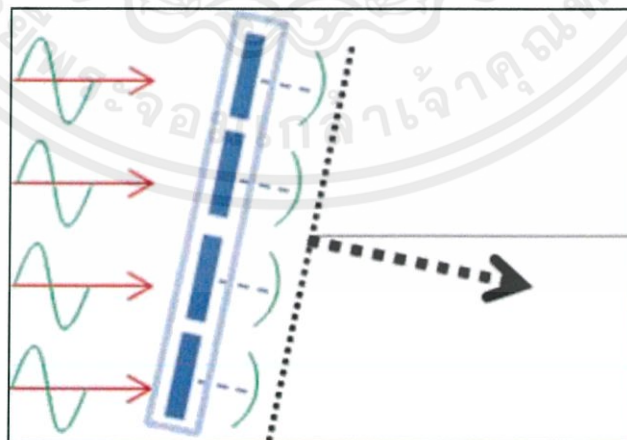
สำหรับเสาอากาศแบบทิศทาง จะแบ่งการปรับมุมทิศของเสาอากาศออกเป็น 2 แบบ คือ

- 1) การปรับเชิงกล (Mechanical Tilt) และ 2) การปรับเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt)

1) การปรับเชิงกล (Mechanical Tilt หรือ M-Tilt) คือ การปรับมุมทิศของเสาอากาศโดยใช้มนุษย์ปรับที่ตัวอุปกรณ์โดยปรับไปยังมุมที่มีพื้นที่มีสัญญาณแยะ หรือสัญญาณอ่อน และสามารถปรับเพื่อให้สัญญาณครอบคลุมขอบเขตพื้นที่ที่ต้องการได้ จากรูปที่ 2.34 ด้านซ้ายมือ หมายเลข 1 คือ การปรับเชิงกล (Mechanical Tilt หรือ M-Tilt) หมายเลข 2 คือ ตัวช่วยยึดเสาอากาศกับขายึดเสาอากาศ และทางด้านขวามือ หมายเลข 1 แสดงการปรับ การปรับเชิงกล (Mechanical Tilt หรือ M-Tilt) ให้มีมุมทิศของเสาอากาศก้มลง ซึ่งแสดงการปรับเชิงกล (Mechanical Tilt หรือ M-Tilt) ดังรูปที่ 2.35 ดังนี้

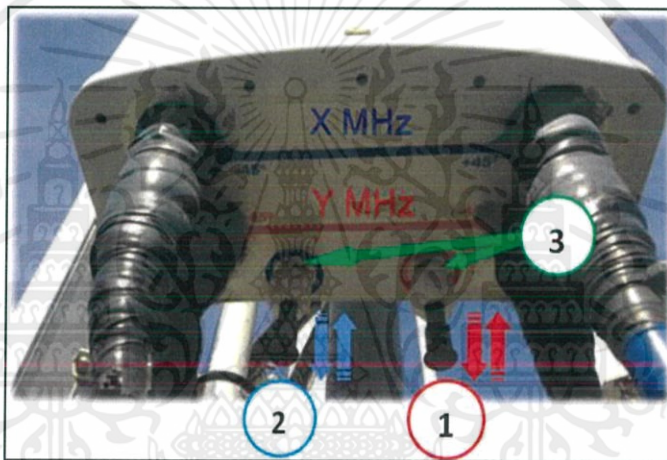


รูปที่ 2.34 การปรับเชิงกล (Mechanical Tilt หรือ M-Tilt), ตัวช่วยยึดเสาอากาศ และการปรับมุมทิศของการปรับเชิงกล (Mechanical Tilt หรือ M-Tilt) [6]

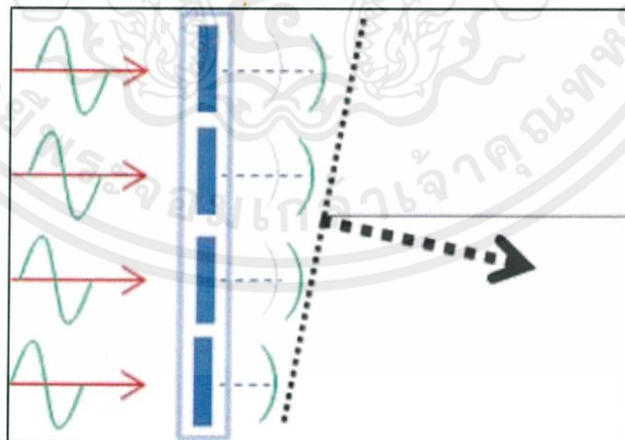


รูปที่ 2.35 การปรับเชิงกล (Mechanical Tilt หรือ M-Tilt) [6]

2) การปรับเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt หรือ E-Tilt) คือ การปรับมุมทิศของเสาอากาศหรือสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้โดยไม่ต้องใช้มนุษย์ในการปรับ โดยการปรับนั้นจะเปลี่ยนแปลงเฟสของอินพุตและรูปแบบการแพร่กระจายของคลื่น ซึ่งจะมีการปรับระยะไกลโดยใช้รีโมทเรียกว่า Remote Electrical Tilt (RET) มักจะเป็นเครื่องกลขนาดเล็กที่สามารถทำให้ตัวน็อตที่เชื่อมต่อกับกำเนิดคลื่นนั้นสามารถปรับทิศทางของเสาอากาศได้ ซึ่งการปรับแบบนี้เป็นการปรับภายในระบบไม่ได้แต่ต้องเสาะอากาศ จากรูปที่ 2.36 หมายเลข 1 และ 2 แสดงเสาอากาศคู่ (2 ย่านความถี่) ทำให้มีแท่ง 2 แท่งรับสัญญาณจาก RET เพื่อหมุนน็อต หมายเลข 3 แสดงตำแหน่งที่มีการการปรับเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt หรือ E-Tilt) ซึ่งแสดงการปรับเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt หรือ E-Tilt) ดังรูปที่ 2.37 ดังนี้



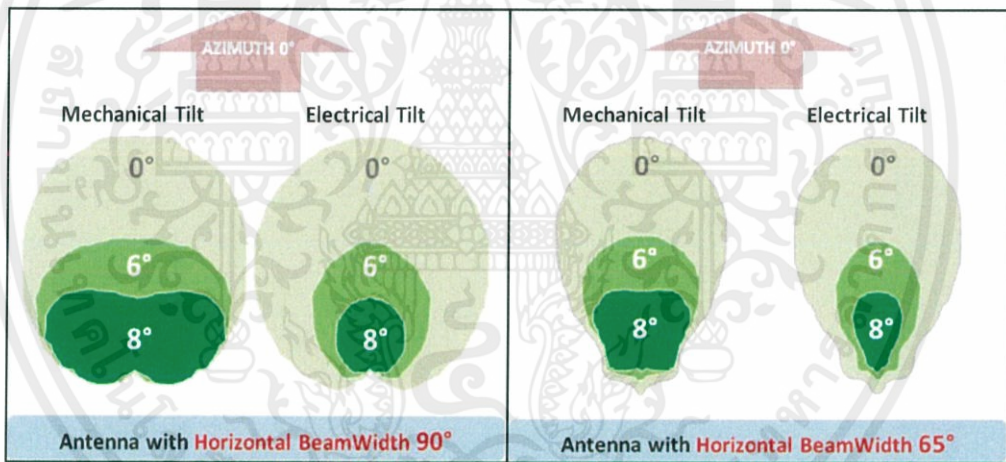
รูปที่ 2.36 ตัวอย่างการปรับเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt หรือ E-Tilt) ของเสาอากาศคู่ [6]



รูปที่ 2.37 การปรับเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt หรือ E-Tilt) [6]

- แบบรูปการแพร่กระจายของคลื่น

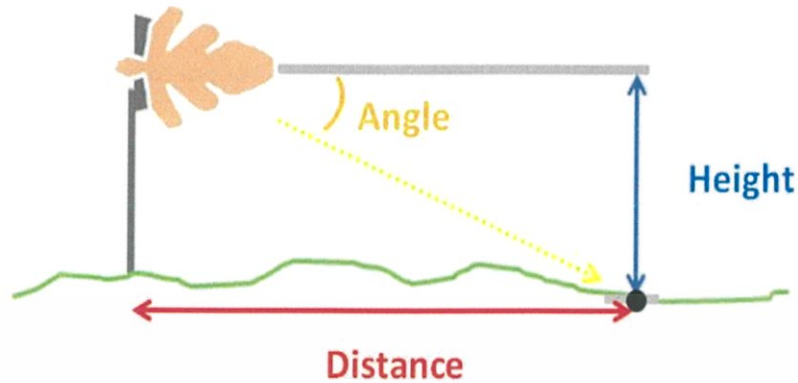
สำหรับการปรับมุมทิศของเสาอากาศทั้งแบบการปรับเชิงกล (Mechanical Tilt หรือ M-Tilt) และการปรับเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt หรือ E-Tilt) ของเสาอากาศเป็นการปรับเพื่อเปลี่ยนแปลงการแพร่กระจายของสัญญาณ แต่การเปลี่ยนแปลงนี้ยังแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของ E-Tilt และ M-Tilt ดังนั้นสิ่งสำคัญก็คือต้องเข้าใจเกี่ยวกับการแพร่กระจายของสัญญาณที่ได้รับผลกระทบในแต่ละกรณี เพื่ออธิบายผลกระทบเหล่านี้ผ่านการคำนวณและการกำหนดในหน่วย dB, พื้นที่ว่าง และเกณฑ์ที่ได้รับบนแผนภาพที่เป็นไปได้ แต่รูปดังต่อไปนี้เป็นวิธีที่ช่วยให้เข้าใจง่ายขึ้น ซึ่งแสดงแบบรูปของลำคลื่นในแนวนอน ทั้งแบบ M-Tilt และ แบบ E-Tilt เป้าหมายของการแสดงภาพนี้คือ เพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับการส่งผลกระทบของประเภทของการปรับทั้ง 2 แบบ ที่ส่งผลให้สัญญาณมีขอบเขตครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ โดยที่แสดงแบบรูปการแพร่กระจายของคลื่นโดยมีความกว้างของลำคลื่น 90 และ 65 องศา ดังรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 แบบรูปการแพร่กระจายของคลื่นเมื่อทำการปรับมุมทิศแบบ M-Tilt และ E-Tilt โดยมีความกว้างของลำคลื่น 90 และ 65 องศา ตามลำดับ [6]

- การคำนวณหามุมก้มที่ระยะทางของคลื่นที่สามารถส่งไปได้
การคำนวณหามุมก้มที่ระยะทางของคลื่นที่สามารถส่งไปได้สามารถหาได้จากสูตรการคำนวณต่อไปนี้ โดยที่รายละเอียดของค่าที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังรูปที่ 2.39

$$\text{มุมก้มของเสาอากาศ (องศา)} = \arctan\left(\frac{\text{ความสูงของสายอากาศ}}{\text{ระยะทางของคลื่นที่ส่งไปได้}}\right)$$

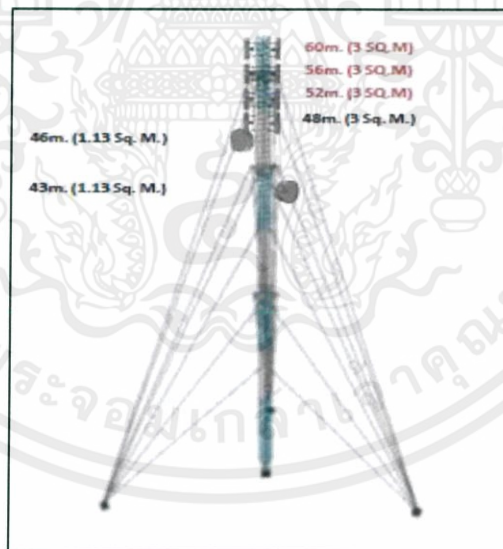


รูปที่ 2.39 การคำนวณหามุมก้มที่ระยะทางของคลื่นที่สามารถส่งไปได้ [6]

2.1.10.5 เสา (Tower) ที่ใช้ในระบบ LTE

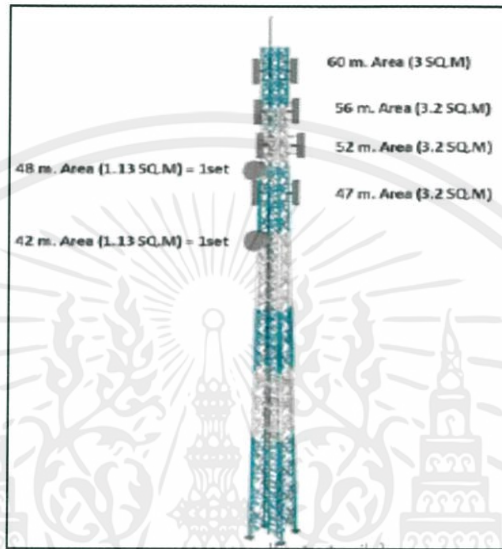
เสา (Tower) ที่ใช้ในการติดตั้งเสาอากาศในระบบ LTE มีดังต่อไปนี้

- Guy Mast on Ground เป็นเสาที่มีสลิงยึดโยงไว้ 3 ด้าน ยึดโยงเสาหลักกับฐานราก เพื่อทำหน้าที่ช่วยรับแรงลม ใช้พื้นที่กว้างสำหรับการติดตั้ง มีความสูงตั้งแต่ 30 – 60 เมตร สามารถติดตั้งเสาอากาศได้ 4 layer โดยที่แสดง Guy Mast on Ground ดังรูปที่ 2.40



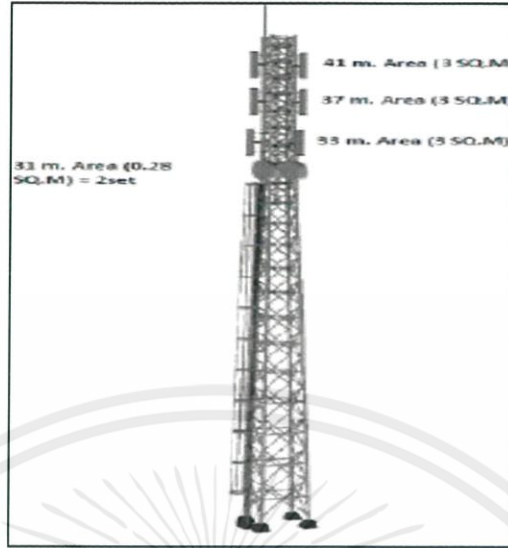
รูปที่ 2.40 Guy Mast on Ground [16]

- Self Support Before 2016 เป็นเสาสูง มีฐานกว้าง รองรับอุปกรณ์ทุกขนาดได้ดี นิยมใช้ในไทย มีความสูง 30 - 120 เมตรมีทั้ง 3 ขา และ 4 ขา มีบันไดให้ปีนภายในเสา มีความมั่นคง แข็งแรงมาก สามารถรองรับแรงลงพายุ และรองรับน้ำหนักของอุปกรณ์ได้มากกว่าเสาประเภทอื่น สามารถติดตั้งเสาอากาศได้ 4 layer โดยที่แสดง Self Support Before 2016 ดังรูปที่ 2.41



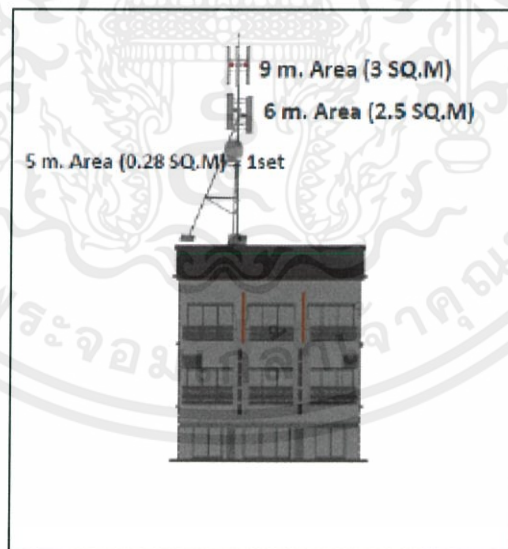
รูปที่ 2.41 Self Support Before 2016 [16]

- Self Support 2016 เหมือนกับเสา Self Support Before 2016 เกือบทุกประการ ต่างกันตรงที่ เสาไม่มีบันไดอยู่ภายนอกเสา และรองรับแรงลมได้ดีกว่าเสา Self Support Before 2016 ที่ layer 2 และ 3 สามารถติดตั้งเสาอากาศได้ 3 layer โดยที่แสดง Self Support 2016 ดังรูปที่ 2.42



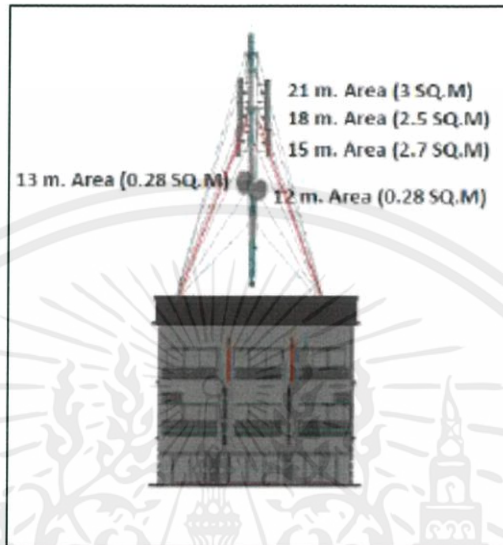
รูปที่ 2.42 Self Support 2016 [16]

- Pole on Building เป็นเสาที่มีเสาหลักแกนเดียว มีขนาดเล็ก และมี 3 ขาทางออก ติดกับพื้น ติดตั้งในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด โดยเฉพาะนิยมติดตั้งบนอาคารตาดฟ้าในชุมชน สามารถติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็วกว่าเสาประเภทอื่นๆ มีความสูง 3 – 15 เมตร สามารถติดตั้งเสาอากาศได้ 2 layer โดยที่แสดง Pole on Building ดังรูปที่ 2.43



รูปที่ 2.43 Pole on Building [16]

- Guy on Building เป็นเสาที่มีสลิงยึดโยงไว้ 3 ด้าน มีขนาดเล็ก ติดตั้งในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด นิยมติดตั้งบนอาคารดาดฟ้าในชุมชนคล้ายกับเสาแบบ Pole มีความสูงตั้งแต่ 9 – 21 เมตร สามารถติดตั้งเสาอากาศได้ 3 layer โดยที่แสดง Guy on Building ดังรูปที่ 2.44



รูปที่ 2.44 Guy on Building [16]

- Special Tower เป็นเสาที่ถูกระบุเป็นกรณีพิเศษ ได้แก่
 - Wall Mount เป็นเสาที่ยื่นออกมาจากผนังของอาคาร ถ้าต้องการเปลี่ยน Mounting ของเสาอากาศควรได้รับใบอนุญาตจาก Civil Engineer และหลีกเลี่ยงการใช้ Combine Solution โดยที่แสดง Wall Mount ดังรูปที่ 2.45



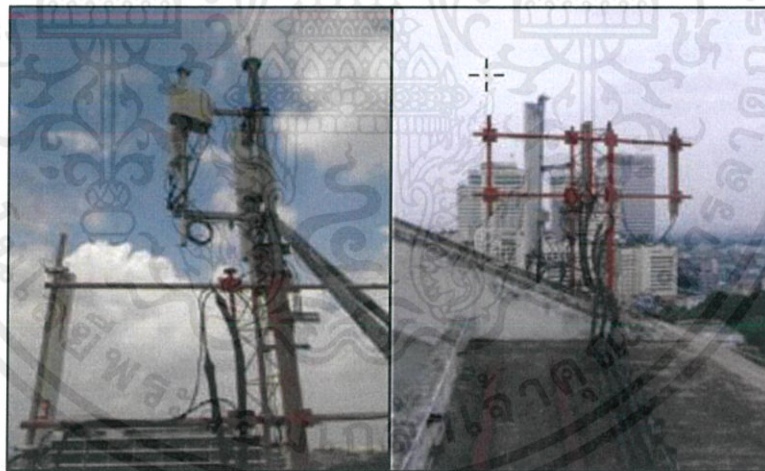
รูปที่ 2.45 Wall Mount [16]

- Billboard เป็นเสาที่ติดอยู่กับบอร์ดโฆษณา โดยที่แสดงรูปเสาอากาศที่ติดตั้งบน Billboard ดังรูปที่ 2.46



รูปที่ 2.46 Billboard [16]

- Stand Pole เป็นเสาที่ไม่นิยมในการติดตั้งเพิ่มแล้ว โดยที่ Stand Pole แสดงดังรูปที่ 2.47



รูปที่ 2.47 Stand Pole [16]

- Electrical Pole เป็นการติดตั้งเสาอากาศอยู่บนเสาไฟฟ้า โดยที่แสดง Electrical Pole ดังรูปที่ 2.48



รูปที่ 2.48 Electrical Pole [16]

- Spun or Mono Pole เป็นเสาเหล็กทรงกระบอกขนาดเล็กแต่สูง โดยที่แสดง Spun or Mono Pole ดังรูปที่ 2.49



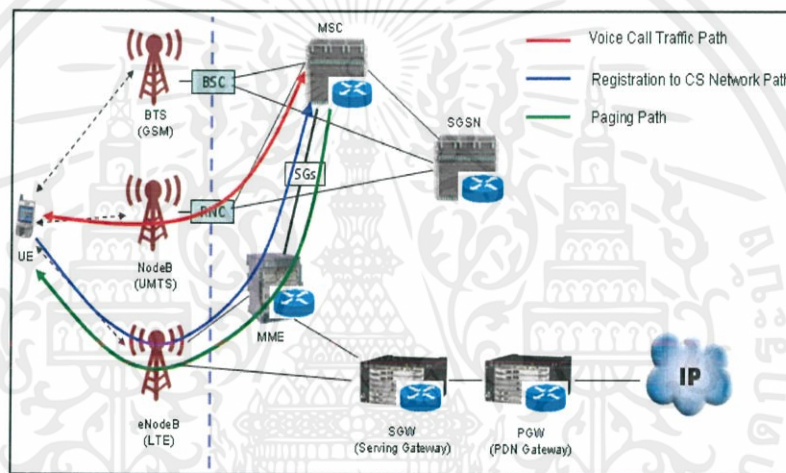
รูปที่ 2.49 Spun or Mono Pole [16]

2.1.11 Circuit Switched Fallback (CS Fallback)

Circuit Switched Fallback (CS Fallback) คือ เทคโนโลยีเมื่อมีการโทรหรือการบริการ SMS เพื่อส่งสัญญาณข้อมูลไปยังอุปกรณ์ในระบบ LTE ผ่านการใช้ระบบ GSM หรือเครือข่ายเซอร์กิตสวิตช์แบบอื่น โดยที่ Circuit Switched Fallback (CS Fallback) เป็นสิ่งจำเป็นเพราะในระบบ LTE เป็นรูปแบบ

การส่งพื้นฐานแพ็คเกจทั้งหมดในเครือข่ายไอพี ซึ่งจะไม่รองรับการโทรแบบเซอร์กิตสวิตซ์ เมื่ออุปกรณ์ของระบบ LTE มีการใช้งานในการรับสัญญาณการสนทนาหรือ SMS อุปกรณ์ “falls back” ไปยังเครือข่าย 3G หรือ 2G เพื่อโทรออกหรือส่ง SMS แบบข้อความ

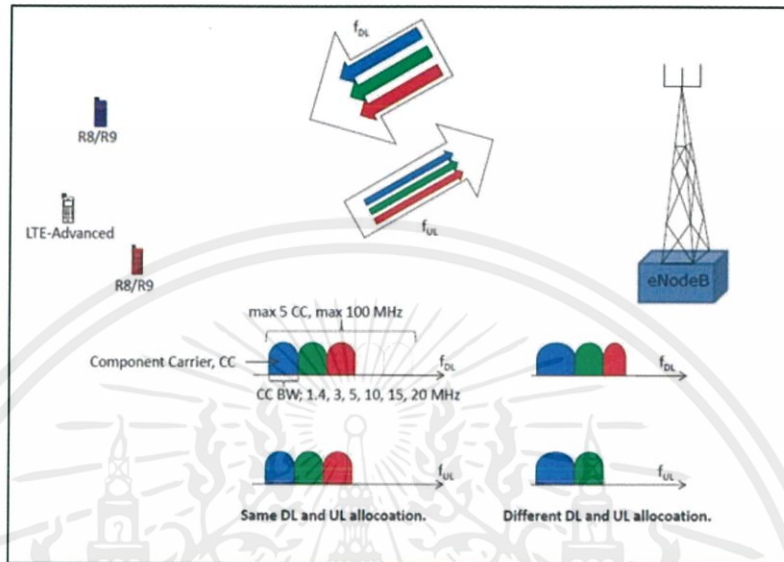
CSFB ถูกกำหนดอยู่ใน 3rd Generation Partnership Project (3GPP) ต้องมีการปรับปรุงการทำงานของศูนย์ควบคุมและเครือข่ายการส่งสัญญาณวิทยุอยู่เสมอ ซึ่งส่วนมากพบว่าเป็นวิธีการทำงานชั่วคราวสำหรับการใช้งานในระบบ LTE ซึ่ง Voice over LTE (VoLTE) ถูกพิจารณาว่าเป็นเป้าหมายระยะยาวสำหรับการจัดส่งของการให้บริการด้านเสียงบนเครือข่าย LTE โดยที่แสดงการ Circuit Switched Fallback ดังรูปที่ 2.50



รูปที่ 2.50 Circuit Switched Fallback (CS Fallback) [17]

2.1.12 Carrier Aggregation

Carrier Aggregation ถูกนำมาใช้ใน LTE-Advance เพื่อที่จะช่วยเพิ่มแบนด์วิธและทำให้เพิ่มอัตราบิตด้วย นอกจากนี้ยังมีความสำคัญในการเก็บรักษาความเข้ากันได้แบบย้อนกลับกับ UEs แบบ R8 และ R9 ซึ่ง Aggregation เป็นพื้นฐานของผู้ให้บริการ R8/R9 โดยที่ Carrier Aggregation สามารถใช้สำหรับ FDD และ TDD สำหรับรูปที่ 2.51 แสดง Carrier Aggregation ของ FDD



รูปที่ 2.51 Carrier Aggregation (FDD) [18]

จากรูป UE ของ LTE-Advanced สามารถถูกจัดสรรทรัพยากรของ DL และ UL เกี่ยวกับทรัพยากรที่ถูกรวบรวมซึ่งประกอบด้วย 2 หรือมากกว่า Component Carriers (CC) สำหรับ UEs แบบ R8/R9 สามารถถูกจัดสรรทรัพยากรกับ CCs ใดๆ โดยที่ CCs สามารถเป็นแบนด์วิธที่ต่างกันได้

แต่ละ aggregated carrier จะเรียกว่า Component Carrier (CC) โดยที่ Component Carrier สามารถมีแบนด์วิธได้ตั้งแต่ 1.4, 3, 5, 10, 15, หรือ 20 MHz และมีได้สูงสุดถึง 5 Component Carrier สามารถถูกนำมารวบรวมกันได้ เพราะฉะนั้นแบนด์วิธสูงสุดของ Component Carrier คือ 100 MHz ใน FDD จำนวนของ aggregated carrier สามารถมีความต่างในส่วนของ DL และ UL ดังรูปที่ 2.41 ใดๆก็ตาม จำนวนของ Component Carrier UL จะมีค่าเท่ากับเสมอหรือต่ำกว่าจำนวนของ Component Carrier DL แต่สำหรับ TDD จำนวน Component Carrier UL จะมีค่าเท่ากับ Component Carrier DL เสมอ

2.1.13 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสัญญาณในระบบ LTE

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ของสัญญาณในระบบ LTE มีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ ดังนี้

2.1.13.1 RSRP (Reference Signal Received Power) คือค่ากำลังของสัญญาณอ้างอิงเฉลี่ยเชิงเส้นในหน่วยวัตต์ และเป็นค่าที่สำคัญที่สุดสำหรับ UE ในการวัดสำหรับกรณีการเลือกเซลล์, การเลือกเซลล์ใหม่ และการเกิดแฮนด์โอเวอร์ หรือค่า RSRP เป็นค่าที่ใช้บอกความแรงของสัญญาณมีหน่วยเป็น dBm สำหรับสูตรการคำนวณหาค่า RSRP สามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{RSRP (dBm)} = \text{RSSI (dBm)} - 10\log(12 \times N)$$

โดยที่ RSSI คือ ค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่ได้รับได้ มีหน่วยเป็น dBm คำนวณได้จาก

$$\text{RSSI} = \text{wideband power} = \text{noise} + \text{serving cell power} + \text{interference power}$$

$$\text{RSSI} = 10 \times N \times \text{RSRP}$$

N คือ จำนวนของ RBs ตามแบนด์วิธของช่องสัญญาณ

โดยที่แสดงตารางช่วงของค่า RSRP ดังรูปที่ 2.52

Reported value	Measured quantity value	Unit
RSRP_00	RSRP < -140	dBm
RSRP_01	-140 ≤ RSRP < -139	dBm
RSRP_02	-139 ≤ RSRP < -138	dBm
...
RSRP_95	-46 ≤ RSRP < -45	dBm
RSRP_96	-45 ≤ RSRP < -44	dBm
RSRP_97	-44 ≤ RSRP	dBm

รูปที่ 2.52 ตารางช่วงของค่า RSRP [18]

2.1.13.2 SINR (Signal to Interference and Noise Ratio) คือค่าที่ใช้ในการวัดคุณภาพของสัญญาณ หรือค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังเฉลี่ยของสัญญาณต่อกำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนบวกกับกำลังของสัญญาณรบกวน สำหรับสูตรการคำนวณหาค่า SINR สามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{SINR} = \frac{S}{I + N}$$

โดยที่ S (Average Received Signal Power) คือค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่ได้รับ

I (Average Interference Power) คือค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวน

N (Noise Power) คือค่ากำลังของสัญญาณรบกวน

2.1.13.3 CQI (Channel Quality Indicator) คือค่าที่ใช้บอกคุณภาพของสัญญาณการสื่อสาร และข้อมูลในการติดต่อสื่อสาร ถ้าหากค่า CQI สูง จะทำให้คุณภาพของสัญญาณดี และ ค่า Throughput สูงด้วยเช่นกัน โดยที่แสดงตาราง ความสัมพันธ์ของค่า CQI Index, modulation, code rate และ efficiency ดังรูปที่ 2.53

การคำนวณค่า CQI มีปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการที่ส่งต่อการวัดค่า CQI มีดังนี้

1. Signal to Noise Ratio (SNR)
2. Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR)
3. Signal to Noise plus Distortion Ratio (SNDR)

CQI index	modulation	code rate x 1024	efficiency
0		out of range	
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	120	0.2344
3	QPSK	193	0.3770
4	QPSK	308	0.6016
5	QPSK	449	0.8770
6	QPSK	602	1.1758
7	16QAM	378	1.4766
8	16QAM	490	1.9141
9	16QAM	616	2.4063
10	64QAM	466	2.7305
11	64QAM	567	3.3223
12	64QAM	666	3.9023
13	64QAM	772	4.5234
14	64QAM	873	5.1152
15	64QAM	948	5.5547

รูปที่ 2.53 ตารางความสัมพันธ์ของค่า CQI Index, modulation, code rate และ efficiency [19]

จากรูปที่ 2.53 จะมีความแตกต่างของค่า CQI index 15 ค่า อยู่ในช่วง 1 ถึง 15 (4 บิต) และมีการแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า CQI กับการมอดูเลชัน, อัตรารหัส และประสิทธิภาพของแต่ละค่า CQI

2.1.13.4 PCI (Physical Cell ID) เป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่สำคัญมาก ใช้เพื่อระบุเซลล์ภายในเครือข่ายไร้สายของระบบ LTE ในการกำหนด PCI จะต้องคำนึงถึงความถูกต้องและมีประสิทธิภาพจะทำให้เพิ่มการใช้ทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพและเพิ่มคุณภาพของการให้บริการสำหรับระบบ LTE เพื่อผู้ใช้งานทุกคน

ค่า PCI สามารถใช้ตรวจสอบการเกิด Cross Sector (Cross Sector คือ การเกิดปัญหาเกี่ยวกับค่าที่ติดตั้ง PCI ไม่ตรงตามทีออกแบบไว้) และใช้ตรวจสอบการเกิด Handover (Handover คือ กระบวนการที่ User Equipment : UE เปลี่ยนแปลงเซลล์ที่กำลังจับสัญญาณอยู่) ซึ่งแต่ละเซลล์นั้นจะมีค่า PCI ต่างกัน เช่น สถานีฐาน 1 สถานีฐาน มีเสาอากาศ 3 ตัว แสดงว่า มี 3 PCI หรือ มี 3 เซลล์ โดยทีแต่ละ PCI จะใช้สีในการระบุต่างกัน จะทำให้ง่ายต่อการตรวจสอบเมื่อนำค่าที่ได้จากการ Drive Test มาวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับสัญญาณภายในพื้นที่นั้น ซึ่งค่า PCI จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 503 สำหรับสูตรการคำนวณหาค่า PCI สามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$PCI = (PSS + (3 \times SSS))$$

โดยที่ PSS (Primary Synchronization Signal) คือค่า Identifies Cell ID มีค่า 0, 1 และ 2

SSS (Secondary Synchronization Signal) คือค่า Identifies Cell ID มีค่า 0 ถึง 167

2.1.13.5 Throughput Downlink (PS Download)/Throughput Uplink (PS Upload) คือ ค่าจำนวนข้อมูลที่ส่ง - รับได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เป็นตัวบอกความเร็วในการใช้งานเครือข่าย สำหรับการคำนวณค่า Throughput มีวิธีการดังนี้

1. กำหนดแบนด์วิธโดยทีมีค่า 1.4, 3, 5, 10, 15 และ 20 MHz จากนั้นดูความสัมพันธ์กับสื่อทรัพยากรโดยใช้ข้อมูลจากรูป 2.54

2. เลือกหรือกำหนดคุณภาพการเชื่อมโยงสัญญาณวิทยุ เพื่อคำนวณค่า Throughput โดยต้องรู้ค่า MCS Index โดยทีค่า MCS Index จะขึ้นอยู่กับค่า CQI อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างค่า MCS Index และค่า CQI ขึ้นอยู่กับแต่ละผู้ขายหรือเจ้าของเฉพาะแต่ละที สามารถเลือกค่า MCS Index จากรูป 2.54

3. สังเกตที Transport Block Size (TBS) เพื่อกำหนดจำนวนของบิตทีจะส่งต่อ 1 TTI และคูณด้วย 1000 เพื่อเปลี่ยนหน่วยเป็น bps

โดยทีจะแสดงรูปตารางสำหรับการคำนวณค่า Throughput หรือ ตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่า MCS Index, Modulation และ TBS Index ได้ดังรูปที 2.54

MCS Index	Modulation	TBS Index	MCS Index	Modulation	TBS Index
0	QPSK	0	17	64QAM	15
1		1	18		16
2		2	19		17
3		3	20		18
4		4	21		19
5		5	22		20
6		6	23		21
7		7	24		22
8		8	25		23
9		9	26		24
10	16QAM	10	27	Reserved	25
11		11	28		26
12		12	29		QPSK
13		13	30		16QAM
14		14	31		64QAM
15		15			
16		16			

รูปที่ 2.54 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่า MCS Index, Modulation และ TBS Index [20]

โดยที่ MCS (Modulation and Coding Scheme) มีค่าขึ้นอยู่กับคุณภาพของสัญญาณในช่องสัญญาณนั้นๆ และใช้ในการบอกจำนวนบิต ซึ่งสามารถรองรับได้ต่อหนึ่งองค์ประกอบทรัพยากร (Resource Element)

สำหรับสูตรในการคำนวณค่า Through สามารถคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Throughput (Mbps)} = \frac{N \times 12 \times 7 \times \text{subframe}(2\text{slot}) \times \text{MIMO} \times \text{bit per modulation symbol}}{1 \text{ ms}}$$

โดยที่ N คือ จำนวนของบล็อกทรัพยากร (Resource Block) ที่ใช้ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับจำนวนของแบนด์วิธ

subframe คือ จำนวน subframe ในการส่งข้อมูล โดยที่จะแบ่งเป็น 2 สล็อต แต่ละสล็อตจะมีขนาด 0.5 มิลลิวินาที

MIMO (Multi Input Multi Output) คือ จำนวนเสาอากาศที่ใช้ในการส่ง-รับพร้อมกัน เช่น MIMO 2x2 มีค่า MIMO เท่ากับ 2

Bit per modulation symbol คือ จำนวนบิตต่อหนึ่งสัญลักษณ์ ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับการมอดูเลชัน เช่น BPSK จะมีค่าจำนวนบิตต่อหนึ่งสัญลักษณ์เท่ากับ 2

2.1.14 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับบอกคุณภาพของสัญญาณในระบบ LTE

โดยทั่วไปการสังเกตค่าสัญญาณของระบบการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายในระบบ LTE ส่วนใหญ่จะมีค่าที่สังเกตกันอยู่บ่อยๆประมาณ 3 ค่า ได้แก่ ค่า RSRP, RSRQ และ SINR ซึ่งสำหรับสัญญาณที่มีคุณภาพดีมากควรมีค่า RSRP มากกว่าหรือเท่ากับ -80 dBm, ค่า RSRQ มากกว่าหรือเท่ากับ -10 dB และ ค่า SINR มากกว่าหรือเท่ากับ 20 dB แสดงดังรูปที่ 2.55

		RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)
RF Conditions	Excellent	≥ -80	≥ -10	≥ 20
	Good	-80 to -90	-10 to -15	13 to 20
	Mid Cell	-90 to -100	-15 to -20	0 to 13
	Cell Edge	≤ -100	≤ -20	≤ 0

รูปที่ 2.55 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับบอกคุณภาพของสัญญาณในระบบ LTE [21]

2.1.15 ค่า KPI (Key Performance Indicator) ในระบบ LTE

ค่า KPI มีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายการติดต่อสื่อสารในระบบ LTE ในกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพสัญญาณ จะมีกระบวนการในการตรวจสอบค่า KPI เพื่อสังเกตการณ์และเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเครือข่ายของสัญญาณวิทยุเพื่อทำให้คุณภาพสำหรับสมาชิกผู้ใช้งานมีประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีขึ้น หรือเพื่อทำให้สามารถใช้งานทรัพยากรเครือข่ายได้ดีขึ้น สำหรับค่า KPI สามารถแบ่งออกตามได้ดังนี้

2.1.15.1 Accessibility KPI

Accessibility KPI การให้บริการโดย E-UTRAN ถูกกำหนดให้เป็น EPS หรือ ERAB, RRC และ SAE (ERAB) การตั้งค่าเป็นขั้นตอนพื้นฐานสำหรับค่า Accessibility KPI ซึ่งค่า Accessibility KPI จะช่วยในการวัดการทำงานของเครือข่ายของข้อมูลเกี่ยวกับการให้บริการที่ถูกร้องขอโดยผู้ใช้ที่สามารถเข้าถึงเครือข่ายได้ โดยที่ค่า Accessibility KPI มีดังต่อไปนี้

1) PS Setup Success Rate คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างความสำเร็จในการเชื่อมต่อข้อมูลต่อความพยายามในการเชื่อมต่อข้อมูล หรือค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการร้องขอเพื่อเชื่อมต่อกับเครือข่ายหลักสำหรับอุปกรณ์ของผู้ใช้ในระบบ LTE

$$\text{PS Setup Success Rate} = \frac{\text{Data Connection Success}}{\text{Data Connection Attempt}}$$

2) Voice Call Setup Success Rate (E – UTRAN, SCFB) คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างความสำเร็จในการตั้งค่าการโทรแบบเซอร์กิตสวิตช์ของกระบวนการ CSFB ต่อความพยายามในการโทรแบบเซอร์กิตสวิตช์ของกระบวนการ CSFB หรือค่าที่บ่งบอกความสามารถเกี่ยวกับอัตราความสำเร็จในการตั้งค่าการโทรแบบเสียงในระบบ LTE

$$\text{Voice Call Setup Success Rate} = \frac{\text{LTE CSFB Call Setup OK}}{\text{LTE CSFB Call Attempt}}$$

3) Voice Setup Time (E – UTRAN, CSFB) คือ ค่าเวลาที่ใช้ในการตั้งค่าการโทรแบบเซอร์กิตสวิตช์ของกระบวนการ CSFB หรือค่าที่บ่งบอกความสามารถของเวลาในการตั้งค่าการโทรแบบเสียงในระบบ LTE

$$\text{Voice Setup Time} = \text{LTE CSFB Call Setup Time}$$

2.1.15.2 Retainability KPI

Retainability KPI ถ้าผู้ใช้ถูกขัดจังหวะบ่อยครั้งระหว่างการใช้บริการ หรือการบริการถูกยกเลิกระหว่างการใช้งาน Retainability KPI ใช้ในการวัดความสามารถในการใช้งานของระบบเพื่อเชื่อมต่อการใช้งานใหม่อีกครั้งและทำให้สามารถทำงานตามที่กำหนดไว้ โดยที่ค่า Retainability KPI มีดังต่อไปนี้

1) PS Drop Rate คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างความล้มเหลวในการเชื่อมต่อแบบกระบวนการ RRC ต่อความพยายามในการเชื่อมต่อแบบกระบวนการ RRC หรือค่าที่บ่งบอกอัตราความล้มเหลวในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายหลักสำหรับอุปกรณ์ของผู้ใช้ในระบบ LTE

$$\text{PS Drop Rate} = \frac{\text{LTE RRC Connection Drop}}{\text{LTE RRC Connection Attempt}}$$

2) VoLTE Call Drop Rate คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างอัตราความล้มเหลวในการโทรของเทคโนโลยี Voice over LTE (VoLTE) ต่อความสำเร็จในการตั้งค่าการโทรของเทคโนโลยี Voice over LTE (VoLTE) หรือค่าที่บ่งบอกอัตราความล้มเหลวสำหรับอุปกรณ์ของผู้ใช้งานเครือข่ายในการโทรของเทคโนโลยี Voice over LTE (VoLTE)

$$\text{VoLTE Call Drop Rate} = \frac{\text{LTE VoLTE Call Drop Rate}}{\text{LTE VoLTE Call Setup OK}}$$

2.1.15.3 Mobility KPI

Mobility KPI เป็นการใช้งานพื้นฐานที่ทำให้การให้บริการมีความต่อเนื่องสำหรับผู้ใช้งานบนเครือข่าย Mobility KPI มีความเกี่ยวข้องกับ Handovers (HOs) เมื่อทำการวัดเรียบร้อยแล้วที่เซลล์และคลัสเตอร์ Hos จะกำหนดการโอนย้าย UE ที่มีการใช้งานอยู่เชื่อมต่อจากเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง สำหรับ Hos ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบ LTE จะมีการเชื่อมต่อระหว่าง UE และ RAN ถ้าเกิดการล้มชั่วคราวระหว่างการเกิด Hos

1) Handover Success Rate (E - UTRAN) คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างความสำเร็จในการเกิดแฮนด์โอเวอร์ต่อความพยายามในการเกิดแฮนด์โอเวอร์ หรือค่าที่บ่งบอกอัตราความสำเร็จในการเกิดแฮนด์โอเวอร์ในการไปจับเซลล์อื่นในระบบ LTE

$$\text{Handover Success Rate} = \frac{\text{Handover Success}}{\text{Handover Attempt}}$$

2.1.15.4 Integrity KPI

Integrity KPI เป็นการระบุผลกระทบของ E – UTRAN ของคุณภาพการให้บริการสำหรับผู้ใช้งานการให้บริการสำหรับค่า Integrity KPI สามารถคำนวณได้จากเซลล์หรือคลัสเตอร์ โดยที่ คลัสเตอร์ของค่า KPIs จะบอกการจับกลุ่มกันของเซลล์ภายในพื้นที่นั้นๆ

โดยที่จะแสดงเกณฑ์มาตรฐาน KPI ที่ใช้ในระบบ LTE ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 เกณฑ์มาตรฐาน KPI ที่ใช้ในระบบ LTE

KPI Parameter	KPI Target Criteria	Service	Formula
PS Setup Success Rate	>=98%	PSDL	$\text{NemoEvent_GPRS_DataConnectionSuccess_DAC} / \text{NemoEvent_GPRS_DataConnectionAttempt_DAA}$
Voice Call Setup Success Rate	>=98%	CSFB	$\text{LTE_Event_CSFB_CallSetupOK} / \text{LTE_Event_CSFB_CallAttempt}$
Voice Setup Time	>=95%	CSFB	$\text{LTE_CSFB_Call_SetupTime}$
PS Drop Rate	<1%	PSDL	$\text{LTE_RRCConnectionDrop} / \text{LTE_RRCConnectionAttempt}$
VoLTE Call Drop Rate	<1%	VoLTE	$\text{LTE_Event_VoLTE_CallDrop} / \text{LTE_Event_VoLTE_CallSetupOK}$
Handover Success Rate	>=99%	PSDL	$\text{NemoEvent_HandoverSuccess_HOS} / \text{NemoEvent_HandoverAttempt_HOA}$

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Coverage and Capacity Analysis of LTE Radio Network Planning considering Dhaka City

ความสัมพันธ์เกี่ยวกับการทำงาน ในการประมาณค่าขอบเขตความครอบคลุมและประสิทธิภาพที่ถูกดำเนินการในเครือข่ายของระบบการสื่อสารสัญญาณวิทยุ งบประมาณสำหรับการเชื่อมโยงสัญญาณวิทยุจะถูกตรวจสอบสำหรับการวางแผนขอบเขตความครอบคลุม สำหรับทฤษฎีด้านการทำงาน จะถูกใส่เข้าไปภายหลังจากพัฒนาของโปรแกรม Excel ขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ ซึ่งจะถูกรวบรวมเพื่อเก็บการเชื่อมต่อแบบง่ายและเพื่อกำหนดส่วนของการใช้งานที่สามารถแยกแยะได้ชัดเจน สำหรับผลผลิตสุดท้ายจะให้จำนวนของไซต์ (เซลล์) ที่จำเป็นเพื่อรองรับจำนวนของสมาชิกผู้ใช้งาน สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ

ในส่วนของการพยายามที่จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ LTE จากการวางแผนของเครือข่ายการสื่อสารสัญญาณวิทยุตามที่ได้ถูกจัดทำไปแล้ว การกำหนดจำนวนของทรัพยากรในการจัดสรรช่องสัญญาณ PDCCH และ วิธีที่ UE ควรจะใช้สัญญาณอย่างมีประสิทธิภาพบนช่องสัญญาณ PDCCH

การวางแผนเครือข่ายการติดต่อสื่อสารสัญญาณวิทยุจะมีจำนวนของเฟส ได้แก่

1) Initial Phase ประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลก่อนการวางแผนและการเริ่มต้นของเครือข่าย ตัวอย่างเช่น การจัดเตรียมงบประมาณการเชื่อมโยง, ขอบเขตความครอบคลุม และประสิทธิภาพ คำนวณได้โดย การจำลองการทำงาน

2) Nominal and Detailed Planning ประกอบด้วย การเลือกและการใช้เครื่องมือในการวางแผนสัญญาณวิทยุ วิธีนี้เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงสัญญาณโมเดลการแพร่กระจาย การกำหนดเกณฑ์จากงบประมาณการเชื่อมโยง, การออกแบบรายละเอียดวางแผนสัญญาณวิทยุที่ขึ้นอยู่กับเกณฑ์, การตรวจสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายเมื่อเทียบกับการประมาณการจรรยาละเอียดเพิ่มเติม, การวางแผนการติดตั้ง, การสำรวจไซต์, ก่อนการตรวจสอบไซต์, การตรวจสอบไซต์ และการวางแผนพารามิเตอร์ของ E-Node B

3) Defining KPIs and Parameter Planning มีการใช้ พารามิเตอร์ระบบของ E-Node B การกำหนดประสิทธิภาพของ KPIs และ ค่าเป้าหมายขึ้นอยู่กับสัญญาของผู้ขาย การตรวจสอบค่า KPIs และ ค่าเป้าหมาย โดยใช้การวางแผน และเครื่องมือรวมไปถึงการเพิ่มประสิทธิภาพก่อนและหลังการเปิดตัว

เป้าหมายของ Coverage และ Capacity

- Coverage Analysis การวิเคราะห์ขอบเขตความครอบคลุมของสัญญาณ

ขอบเขตความครอบคลุมของสัญญาณหรือช่วงของเซลล์จะถูกกำหนดสำหรับสถานการณ์ขอบเขตความครอบคลุมจำกัด หรือ สำหรับสถานการณ์สัญญาณรบกวนจำกัด ซึ่งขึ้นอยู่กับขอบเขตการจางหาย โดยที่ขอบของเซลล์มีเป้าหมายคือ throughput (ความสามารถในการส่ง-รับข้อมูลกับเครือข่ายหลัก) และ โหลดของเครือข่ายเฉลี่ย

- Capacity Analysis การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสัญญาณ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสัญญาณเกี่ยวข้องกับการประเมินความต้องการและการพิจารณาปัจจัยการจราจรที่มีการใช้งานอยู่, Overbooking Factor (OBF), และ อัตราเฟรมของ UL/DL

ธากา (Dhaka) คือ เมืองหลวงของประเทศบังกลาเทศ (Bangladesh) ในพื้นที่เอเชียใต้ ประสิทธิภาพของการวางแผนเครือข่ายการสื่อสารสัญญาณวิทยุมีความท้าทายยิ่งใหญ่ที่นี่ กับการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด ในส่วนของการทำงานเกี่ยวกับการจำลองระดับการวิเคราะห์เชื่อมโยงขอบเขตของความครอบคลุมส่งผลให้การเตรียมการของงบประมาณในการเชื่อมโยง และการจำลองระดับการวิเคราะห์ระบบที่มีประสิทธิภาพ ที่ได้รับการดำเนินการ ซึ่งการคำนวณจะถูกทำภายในพื้นที่เฉพาะของเมืองธากา ส่งผลให้สามารถเมืองธากาให้สมบูรณ์ได้สำหรับการดำเนินการการวางแผนการสื่อสารสัญญาณวิทยุ โดยที่เครื่องมือที่ใช้ในการจำลองจะใช้โปรแกรม Atoll

เป้าหมายสูงสุดของการเรียนรู้ในปัจจุบันของการวางแผนเครือข่ายการสื่อสารสัญญาณวิทยุในระบบ LTE แนวทางคือ เพื่อแนะนำคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับระบบ LTE เพื่อกำหนดโมเดลพื้นฐานสำหรับการวางแผนการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ เพื่อประมาณค่าขอบเขตความครอบคลุมและการนับองค์ประกอบของเครือข่าย แนวทางการเตรียมการจะช่วยให้ในการพัฒนาเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ใน RNP (Radio Network Planning) ตามที่มาตรฐานการวางแผนเครือข่ายสัญญาณวิทยุมีขั้นตอนเชื่อมโยงระดับการจำลองที่ถูกดำเนินการกับค่าพารามิเตอร์บางค่า จากนั้นงบประมาณการเชื่อมโยงจะถูกเตรียมเพื่อจ่ายสำหรับบางมาตรฐานหรือค่าที่ถูกออกแบบจากตัวจำลองการเชื่อมโยง ดังนั้น ในส่วนของการวิเคราะห์ขอบเขตความครอบคลุมของสัญญาณจะถูกดำเนินการอีกครั้ง โดยใช้ระบบตัวจำลองระดับของเกณฑ์ในการวิเคราะห์ระดับของประสิทธิภาพที่ถูกดำเนินการ สำหรับการพัฒนาเครือข่ายเบื้องต้น ที่จุดเริ่มต้นจำนวนน้อยของสมาชิกจะถูกพิจารณาสำหรับการคำนวณประสิทธิภาพ ดังนั้นยังคงเหลือความท้าทายสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพในอนาคต ผลที่ได้รับในจุดนี้จะถูกคาดหวังเพื่อใช้ในชื่อและรายละเอียดของการวางแผนการสื่อสารสัญญาณวิทยุ เมื่อ Atoll อาจจะถูกนำมาใช้สำหรับการวางแผนการสื่อสารสัญญาณวิทยุวัตถุประสงค์โดยมีความเกี่ยวข้องกับแผนที่ดิจิทัลเมืองธากา ในวิธีนี้การใช้ขอบเขตความครอบคลุมที่ได้รับและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยใช้การจำลองของโปรแกรม Atoll สามารถให้รายละเอียดแผนที่การจราจรกับขอบเขตความครอบคลุมและวิธีการแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของพื้นที่ E-Node B ได้เป็นอย่างดี

บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปฏิญญานิพนธ์

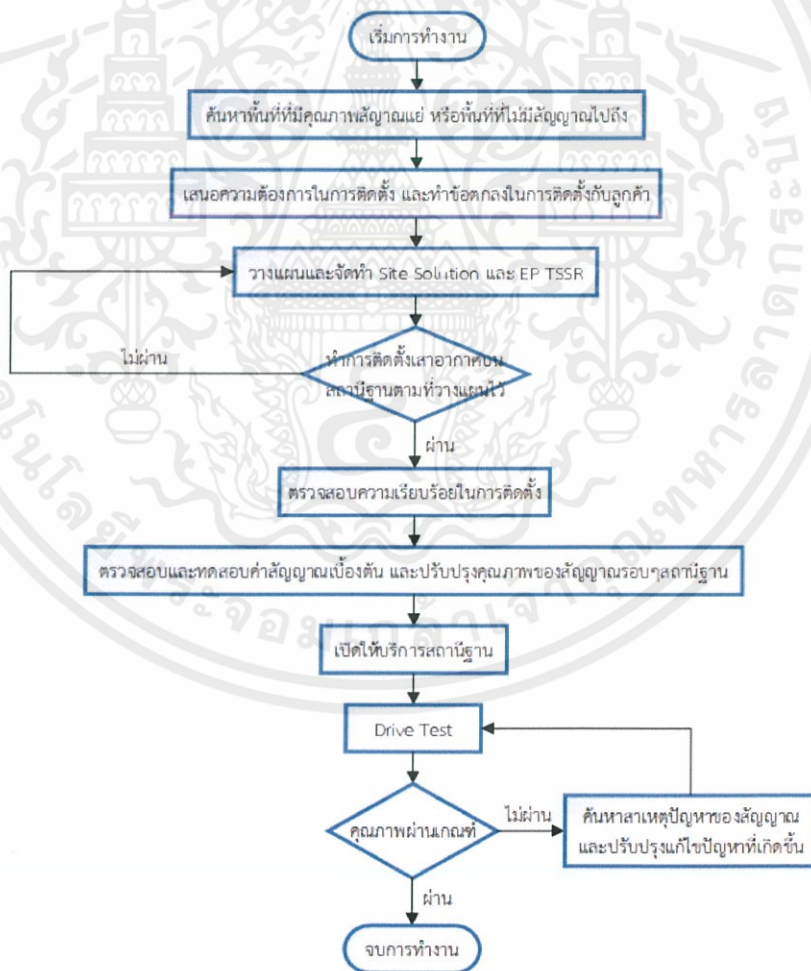
3.1 การออกแบบ

3.1.1 การทำงานของระบบโดยรวม

เริ่มจากการทำข้อตกลงโปรเจกต์กับลูกค้า เกี่ยวกับความต้องการในการติดตั้งตำแหน่งของสถานีฐาน รวมถึงออกแบบทิศทางของเสาอากาศ 4G LTE L2300 เพื่อให้ครอบคลุมกับการใช้งานของผู้ใช้ทั่วทุกพื้นที่ การทำ Site Solution, EP TSSR (Engineering Parameter Technical Site Survey Report) และทำการติดตั้ง โดยการติดตั้งนั้นต้องผ่านการรับรองจากทีมวิศวกรโยธา เมื่อทำการติดตั้งเสร็จแล้ว จึงทำการทดสอบคุณภาพของสัญญาณ, เก็บข้อมูล และทดสอบสัญญาณภายในพื้นที่ติดตั้งจากการใช้งานจริง ซึ่งทำได้โดยการ Drive Test เพื่อทดสอบบริเวณสถานีเพื่อวัดสัญญาณ และนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้มา ทำการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและขอบเขตการแพร่กระจายสัญญาณให้มีคุณภาพสัญญาณที่ครอบคลุมและทำให้คุณภาพสัญญาณที่ได้ตรงตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการมาแล้ว นำมาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม เพื่อหาดูว่ามีพื้นที่ในส่วนใดบ้างที่จำเป็นต้องปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ให้ตรงตามเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์นั้นมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับความเหมาะสม เมื่อทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ให้ดีขึ้นแล้ว ต้องทำการ Drive Test อีกครั้งเพื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ก่อนหลังว่ามีคุณภาพที่ดีขึ้นตามที่เปลี่ยนแปลงแล้วหรือไม่ เพื่อให้ได้ผลตามเกณฑ์ที่ลูกค้าต้องการ โดยแผนผังการทำงานแสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ

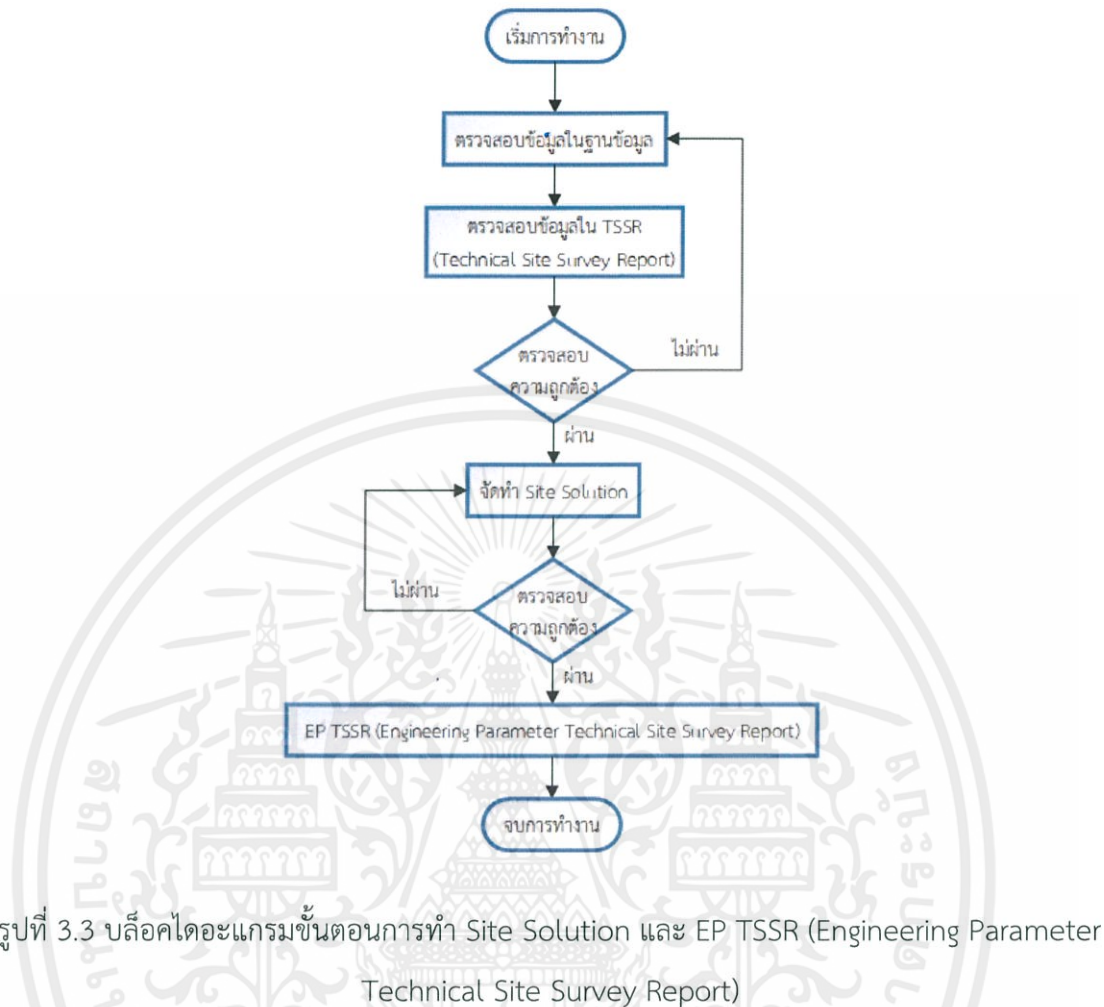


รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของระบบโดยรวม

3.1.2 Site Solution และ EP TSSR (Engineering Parameter Technical Site Survey Report)

สำหรับการทำ Site Solution ต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ Tower Solution, Antenna Solution และ Tower Load Criteria โดยขั้นตอนแรกคือการนำข้อมูลจากหลายทางมาประกอบกันเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้อง เพราะเราไม่ได้อยู่หน้างานจะมองไม่เห็นระบบที่แท้จริงบนสถานีฐานว่ามีระบบใดติดตั้งอยู่บ้าง ข้อมูลที่ได้มาจะเป็นฐานข้อมูลของลูกค้า ได้แก่ เสาอากาศความถี่ 850 MHz, 1800 MHz และ 2100 MHz ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักในการติดตั้งเสาอากาศเพิ่มคือ เสาอากาศความถี่ 2300 MHz เพื่อให้บริเวณพื้นที่ที่มีสัญญาณแย่ หรือบริเวณพื้นที่ที่ได้รับสัญญาณไม่ทั่วถึงจะช่วยในการแก้ไขปัญหาจุดนี้ โดยทำการนำเสาอากาศความถี่ 2300 MHz ติดตั้งบนสถานีฐานเดิมที่มีเสาอากาศเหล่านี้อยู่

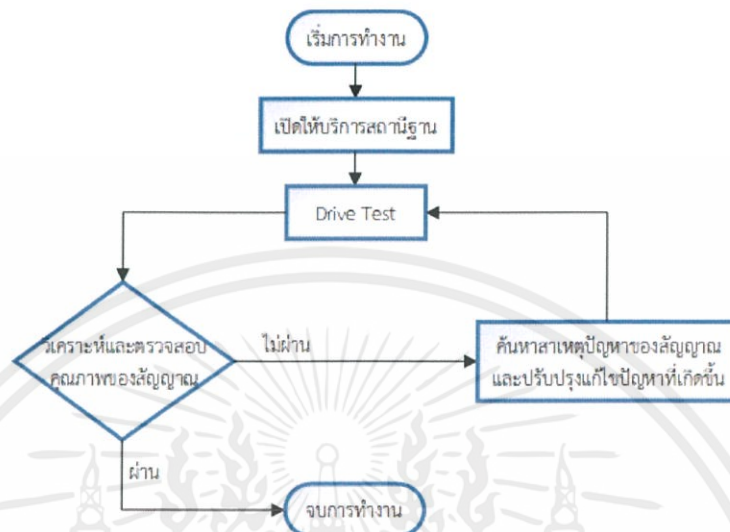
การทำ Site Solution นั้นเมื่อได้ฐานข้อมูลรายละเอียดต่างๆมา จะนำมาตรวจสอบเปรียบเทียบกับรูปภาพของ TSSR (Technical Site Survey Report) คือ ข้อมูลรูปภาพที่ได้รับมาจากหน้างานจริง โดยจะมีภาพเสาอากาศทั้งหมดบนสถานีฐาน และภาพสถานีฐานโดยรวมทั้งหมด เพื่อใช้เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลว่าตรงกันหรือไม่ เมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าข้อมูลถูกต้อง ก็จะสามารถทำ Site Solution ได้ และจะทำให้ได้เป็น EP TSSR (Engineering Parameter Technical Site Survey Report) ซึ่งการทำ EP TSSR นั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนและต้องอาศัยความละเอียดรอบคอบเป็นอย่างมาก และห้ามผิดพลาดโดยเด็ดขาด เพราะข้อมูลพารามิเตอร์ที่ต้องนำมาใช้นั้นเยอะมาก ตัวช่วยในการทำงานคือ การใช้โปรแกรม Microsoft Excel จะช่วยให้แบ่งรายละเอียดของข้อมูลเป็นระบบ ตรวจสอบง่าย และสามารถนำกลับมาแก้ไขได้ง่าย อีกทั้งภายในโปรแกรม Microsoft Excel มีฟังก์ชันเครื่องมือต่างๆ มากมาย เช่น VLOOKUP ต้องใช้บ่อยมากในการจัดการกับข้อมูลครั้งละมากๆ เพราะช่วยลดระยะเวลาในการทำงานได้ จำเป็นต้องใช้ฟังก์ชันนี้ให้คล่อง จากนั้นส่งต่อให้ทีมวิศวกรโยธาตรวจสอบว่าการวางแผนในการติดตั้งเสาอากาศนั้นผ่านการรับรองของเกณฑ์ตามวิศวกรโยธาหรือไม่ เพื่อทำการติดตั้งต่อไป โดยที่ขั้นตอนการทำงานจะแสดงดังบล็อกไดอะแกรมดังต่อไปนี้



3.1.3 DTA (Drive Test Analysis)

การ DTA (Drive Test Analysis) เป็นวิธีในการวัดและการวิเคราะห์ค่า ขอบเขตความครอบคลุม , ประสิทธิภาพการของอุปกรณ์ และคุณภาพในการให้บริการ Quality of Service (Qos) หลังจากที่มี การติดตั้งเสาอากาศบนสถานีฐานและเปิดให้บริการใช้งานแล้ว จะต้องทำการกำหนดเส้นทางให้กับ Drive Test ซึ่งสิ่งสำคัญในการกำหนดเส้นทาง คือ ควรกำหนดเส้นทางตามถนนสายหลัก, หมู่บ้าน และพื้นที่ที่มี ผู้คนอาศัยอยู่ เพื่อไปขับตามเส้นทางที่กำหนดไว้รอบสถานีฐาน แล้วเก็บค่าของสัญญาณรอบสถานีฐาน จะ ทำให้การกำหนดเส้นทางนั้นเกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งระยะทางสูงสุดที่เสาอากาศจะแพร่กระจายออกไปได้ คือ ไม่เกิน 15 กิโลเมตรจากสถานีฐาน จากนั้นนำค่าที่ได้มาทำการวิเคราะห์และวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ พร้อมทั้งตรวจสอบว่าผ่านเกณฑ์หรือไม่ ถ้าไม่ผ่านจะต้องทำการค้นหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น ทำการ ปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้นแล้วทำการ Drive Test ใหม่ เพื่อตรวจสอบว่าปัญหาที่ได้รับการแก้ไขแล้ว ผ่าน

เกณฑ์ตามที่กำหนดไว้หรือไม่ เพื่อให้พื้นที่นั้นมีคุณภาพสัญญาณที่ดีขึ้น ซึ่งแผนผังขั้นตอนแสดงดังรูปต่อไปนี



รูปที่ 3.4 แผนผังขั้นตอน DTA (Drive Test Analysis)

3.2 โปรแกรมที่ใช้ในการทำงาน

3.2.1 Nemo Analyze

โปรแกรม Nemo Analyze ใช้ในการแสดงข้อมูลสำหรับการทำ Drive Test และแสดงข้อมูลสำหรับการประมวลผลจากการโทรของสัญญาณโทรศัพท์ตามตำแหน่งของแผนที่พร้อมทั้งระบบ GPS ในการนำทาง ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลไว้ของการโทรไว้ เพื่อนำข้อมูลสัญญาณการโทรที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป

3.2.2 Actix Analyzer

เป็นโปรแกรมใช้ในการวิเคราะห์ Drive Test Survey ขั้นสูง ซึ่งจะสนับสนุนการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายสัญญาณ, การตอบสนองกับเครือข่ายสัญญาณ และการตรวจสอบเครือข่ายของสัญญาณ ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้ง 2G, 3G, LTE and VoLTE.

Actix Analyzer สนับสนุนอุปกรณ์ Drive Test ทุกชนิดที่สามารถใช้งานได้ วิศวกรสามารถวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆที่รับมา โดยที่ข้อมูลนั้นเป็นข้อมูลตั้งต้นที่ได้มาจากการ Drive Test ซึ่งมีความน่าเชื่อถือมากที่สุดและเป็นเครื่องมือที่เชื่อถือได้ สำหรับช่วยเหลือผู้ใช้งานในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ซึ่งสามารถระบุ วิเคราะห์ และพิจารณาได้อัตโนมัติสำหรับการเกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณทั่วไปและเพิ่มความสามารถในการวิเคราะห์รายละเอียดของการเกิดปัญหาของสัญญาณได้ โดยที่โปรแกรมสามารถ

กำหนด และวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยทำการตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว เพื่อปรับปรุงความครอบคลุม (Coverage) ปรับปรุงคุณภาพ (Quality) และปรับปรุงประสิทธิภาพ (Capacity) เครือข่ายของสัญญาณ

3.2.3 Atoll

เป็นโปรแกรมที่ใช้เพื่อออกแบบและสร้างแบบรูปของการแพร่กระจายสัญญาณในการคาดการณ์ เพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพของสัญญาณเครือข่ายแบบไร้สาย ซึ่งโปรแกรม Atoll มีความสามารถในการทำงานทั้งสองด้านคือ การคาดการณ์ (Predictions) และข้อมูลเครือข่ายแบบสด (live network data) ผ่านกระบวนการวางแผนและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่าย

3.2.4 MapInfo

เป็นโปรแกรมเสริมเพื่อใช้ร่วมกับ โปรแกรม Actix Analyzer เพื่อความสมบูรณ์ในการทำ PAC (Pre Acceptance) Report ซึ่งโปรแกรม Mapinfo เป็นโปรแกรมที่แสดงผลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) มีเครื่องมือหลากหลายให้เลือกใช้ตามความต้องการ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทำงานนี้คือ Polygon เครื่องมือนี้มีหน้าที่เลือกพื้นที่ตามที่ใช้ระบุได้ โดยการลากรอบพื้นที่ที่ต้องการ สามารถเปลี่ยนชนิดของกรอบ และสีของกรอบได้ อีกทั้งสามารถแบ่งเป็นเลเยอร์ได้ ถ้าหากการทำงานมีหลายขั้นตอน ทำให้สะดวกสบายเมื่อต้องการทำการแก้ไข

3.2.5 Global Mapper

เป็นโปรแกรมใช้ในการสร้างการแก้ไขและการอ่านแผนที่ สามารถประยุกต์ใช้ซึ่งจะช่วยให้การแก้ไขการสร้างและการลบข้อมูลบนแผนที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วยให้ Global Mapper แปลง, แก้ไข, พิมพ์, จีพีเอสติดตาม และใช้ประโยชน์จากฟังก์ชันระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์กับข้อมูล ในที่นี้เราจะใช้งาน โปรแกรม Global Mapper โดยการแปลงไฟล์จากไฟล์ข้อมูลจากโปรแกรม Google Earth ที่มีนามสกุลเป็น (.KML/.KMZ) ไปเป็นไฟล์ที่มีนามสกุลเป็น (.TAB) ซึ่งสามารถนำไปเปิดในโปรแกรมอื่นๆ เพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ได้

3.2.6 Google Earth Pro

เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับดูภาพถ่ายทางอากาศพร้อมทั้งแผนที่, เส้นทาง และผังเมือง รวมทั้งระบบจีไอเอส ในรูปแบบ มิติ สามารถค้นหาสถานที่ที่เราต้องการได้ รวมถึงการแสดงเส้นทางต่างๆ ซึ่ง 3 ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้กับการทำงานคือ นำมาเป็นแบบฟอร์มที่ใช้ในการกำหนดเส้นทาง(Route) เพื่อความสะดวกสบายของทีม Drive Test เพราะสามารถดูเส้นทางผ่านโปรแกรมได้เลย รวมถึงทราบรายละเอียดตำแหน่งพื้นที่ของเส้นทางที่ต้องการที่จะไปเก็บไฟล์ข้อมูลได้

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 การจัดทำ Site Solution และ EP TSSR (Engineering Parameter Technical Site Survey Report)

ทำการจัดทำด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยใช้ฟังก์ชันช่วยในการทำงาน เช่น VLOOKUP เพื่อนำผลที่ได้ไปติดตั้งและสามารถใช้งานได้จริง

3.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณโทรศัพท์จากการ Drive Test

ทำการนำข้อมูลสัญญาณที่ได้มาทดสอบด้วยโปรแกรม Actix Analyzer เพื่อนำค่าที่บ่งบอกคุณภาพของสัญญาณที่ต้องการตรวจสอบมาแสดงบนเส้นทางที่ไปทำการ Drive Test เพื่อวิเคราะห์แก้ไขให้ได้ผลที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด



บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

สำหรับการทดลองเกี่ยวกับการวางแผนและปรับปรุงสัญญาณนั้น ได้ทำการจัดเก็บผลการดำเนินงานและผลการทำงานของระบบ โดยแบ่งออกเป็นผลการดำเนินงานและผลการทดลองเป็นส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.1 การวางแผนออกแบบในการจัดทำ Site Solution และ EP TSSR (Engineering Parameter Technical Site Survey Report)

4.1.1 การตรวจสอบข้อมูลจากฐานข้อมูลเปรียบเทียบกับข้อมูลจาก TSSR (Technical Site Survey Report)

เป็นการนำข้อมูลจากการทำข้อตกลงกับลูกค้าเกี่ยวกับความต้องการในการติดตั้งเสาอากาศบนสถานีฐานเพิ่มเติม ซึ่งข้อมูลที่ได้จะอยู่ในโปรแกรม Microsoft Excel นำมาตรวจสอบโดยที่นำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการไปถ่ายภาพหน้างานจริงที่สถานีฐาน เรียกว่า TSSR (Technical Site Survey Report) เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลจากฐานข้อมูลตรงกับข้อมูลจาก TSSR หรือไม่ ซึ่งข้อมูลหลักๆ ที่จะดู ได้แก่ ประเภทของเสาอากาศที่มีการติดตั้งอยู่บนสถานีฐานว่ามีเสาอากาศความถี่ใดบ้าง มีจำนวน เซกเตอร์เท่าไร มีประเภทของเสาแบบใด และมีความสูงของเสาอากาศอยู่ที่ความสูงเท่าใด จากนั้นทำการดึงข้อมูลที่ได้รับการตรวจสอบแล้วจากฐานข้อมูลนำมากรอกใส่รูปแบบการจัดการข้อมูลให้ถูกต้อง แสดงดังรูปที่ 4.1 และแสดงรูปจากหน้างานจริง หรือ TSSR (Technical Site Survey Report) ดังรูปที่ 4.2

Site Code	Tower Type	Site Type	Sector	U21 Cell	U21 Azimuth	U21 Antenna	U21 Height	E18 Antenna	E18 Height	U850 Antenna	U850 Height
site 01	Self Support - 30 m	Macro	A	U21-Site 01-1A	30	A19451811	27	KT_741987	31	no U850	-
site 01	Self Support - 30 m	Macro	B	U21-Site 01-1B	130	A19451811	27	KT_741987	31	no U850	-
site 01	Self Support - 30 m	Macro	C	U21-Site 01-1C	240	A19451811	27	KT_741987	31	no U850	-

รูปที่ 4.1 ข้อมูลจากฐานข้อมูลและ TSSR (Technical Site Survey Report)



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายหน้างานจริง หรือ TSSR (Technical Site Survey Report)

4.1.2 การจัดทำ Site Solution และ EP TSSR (Engineering Parameter Technical Site Survey Report)

เมื่อได้ข้อมูลจากการตรวจสอบฐานข้อมูลกับ TSSR (Technical Site Survey Report) แล้ว จากนั้นเป็นการทำ Site Solution โดยการทำให้ Site Solution คือ การออกแบบติดตั้งเสาอากาศความถี่ 2300 MHz กับความถี่ที่ใดความถี่หนึ่งบนสถานีฐานกับความถี่ที่มีการติดตั้งอยู่ก่อนแล้ว เป้าหมายแรกคือ การติดตั้งกับเสาอากาศ 2100 MHz แต่หากทำการติดตั้งกับเสาอากาศความถี่ 2100 MHz ไม่ได้ก็ควร คัดค้นหาวิธีการในการติดตั้งใหม่กับเสาความถี่ 1800 หรือ 850 MHz หรือปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งจากรูป เป็นการติดตั้งเสาอากาศ 2300 MHz กับเสาอากาศ 2100 MHz โดยที่ความสูงและมุมทิศที่หันของเสาอากาศ (Azimuth) ต้องมีค่าเท่ากัน จากนั้นต้องวางแผนว่าควรใช้เสาอากาศประเภทใด, วิธีในการติดตั้ง เสาอากาศแบบใด, ตำแหน่งเลเยอร์ใด และต้องมีการคำนวณ Wind Load โดยที่เสาแต่ละประเภหมี เกณฑ์ของ Wind Load แตกต่างกัน เพื่อตรวจสอบว่า Solution ที่ออกแบบขึ้นมานั้น สามารถนำไป ติดตั้งจริงได้โดยไม่เกิดปัญหาตามมาภายหลัง แสดงรายละเอียดการจัดทำ Site Solution ดังรูปที่ 4.3 และตารางเกณฑ์มาตรฐานของ Wind Load สำหรับเสาแต่ละประเภทดังรูปที่ 4.4

L23 Antenna model	L23 Azimuth	L23 Hight	L23 Mtilt	L23 Etilt	L23 Antenna Solution	Tower Solution Options	Position	Layer In
ADU4518R6v06	30	27	2	2	L23 Separate Antenna	T02 TDD Separate on 2100 Same Layer	Layer 2	L23,UL21
ADU4518R6v06	130	27	2	2	L23 Separate Antenna	T02 TDD Separate on 2100 Same Layer	Layer 2	L23,UL21
ADU4518R6v06	240	27	2	2	L23 Separate Antenna	T02 TDD Separate on 2100 Same Layer	Layer 2	L23,UL21

รูปที่ 4.3 การทำ Site Solution

Tower Type	Layer 1 (Sq.m)	Layer 2 (Sq.m)	Layer 3 (Sq.m)	Layer 4 (Sq.m)
Guy on Ground 60, 46, 34m	3	3	3	3
SST before 2016 60, 45, 35m	3	3.2	3.2	2.98
SST after 2016 42, 36, 30, 24m	3	3	3	-
Pole on Building 3,6,9 m	3	2.5	-	-
Guy on Building 21, 15m	3	2.5	2.7	-

รูปที่ 4.4 ตารางเกณฑ์มาตรฐานของ Wind Load สำหรับเสาแต่ละประเภท [16]

จากการทำ Site Solution จะเห็นว่ามีการใช้เสาอากาศความถี่ 2300 MHz โดยใช้เสาอากาศชื่อว่า AUD4518R6v06 จะมีค่าพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.367 มีจำนวน 3 เซกเตอร์ จะได้ผลรวมของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดเท่ากับ 1.101 ติดตั้งที่เลเยอร์เดียวกันกับเสาอากาศความถี่ 2100 MHz โดยใช้เสาอากาศชื่อว่า A19451811 จะมีค่าพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.21158 มีจำนวน 3 เซกเตอร์ จะได้ผลรวมของพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดเท่ากับ 0.63474 จากนั้นนำผลการคำนวณพื้นที่หน้าตัดของเสาอากาศความถี่ทั้งสองมารวมกันเพราะอยู่เลเยอร์เดียวกัน จะได้ผลรวมทั้งหมดเท่ากับ 1.73574 จากนั้นทำค่าที่ได้ไปตรวจสอบกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ในรูปที่ 4.4 โดยมีประเภทของเสาคือ Self Support – 30 m, เสาอากาศทั้งสองติดตั้งอยู่ที่เลเยอร์ 2 ค่าในตารางคือ 3 ตารางเมตร เมื่อตรวจสอบแล้ว Solution ที่ทำการออกแบบมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานในรูป ดังนั้นสามารถใช้ Solution นี้เพื่อไปติดตั้งจริงได้ โดยจะเรียกการออกแบบและการคิดค้น Site Solution ที่สมบูรณ์ว่า EP TSSR (Engineering Parameter Technical Site Survey Report)

4.2 การวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณของสถานีฐานที่มีการเปิดให้บริการ

4.2.1 ข้อมูลของสถานีฐาน LTE 2300

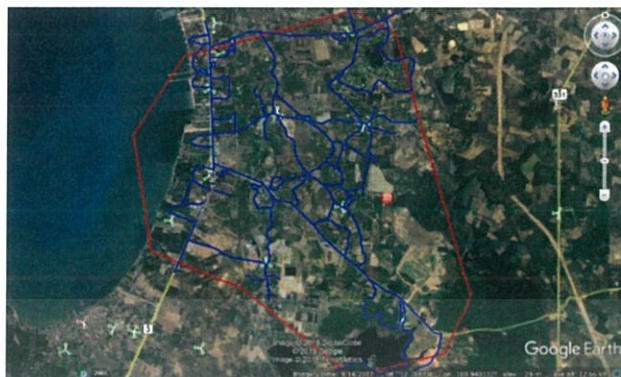
การวิเคราะห์และการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณจำเป็นต้องใช้ข้อมูลของสถานีฐานดังรูปที่ 4.5 ดังต่อไปนี้ ซึ่งใช้ในการตรวจสอบรวมกับการกำหนดเส้นทางเพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์และปรับปรุงแก้ไขคุณภาพของสัญญาณต่อไป

Site Code	L23 Cell	Sector	Antenna model	Antenna Height	Azimuth	M-tilt	E-tilt	PCI	Power	Pa	Cell Status
Site0014-L23	L23-Site0014-1A	A	ADU4518R6v06	40	320	0	2	171	15.2	-3 dB	Active
Site0014-L23	L23-Site0014-1B	B	ADU4518R6v06	40	120	0	2	173	15.2	-3 dB	Active
Site0014-L23	L23-Site0014-1C	C	ADU4518R6v06	40	240	0	2	172	15.2	-3 dB	Active
Site0118-L23	L23-Site0118-1A	A	ADU4518R6v06	60	330	2	4	155	15.2	-3 dB	Active
Site0118-L23	L23-Site0118-1B	B	ADU4518R6v06	60	125	2	4	154	15.2	-3 dB	Active
Site0118-L23	L23-Site0118-1C	C	ADU4518R6v06	60	235	2	4	153	15.2	-3 dB	Active
Site0125-L23	L23-Site0125-1A	A	ADU4518R6v06	45	0	2	2	313	15.2	-3 dB	Active
Site0125-L23	L23-Site0125-1B	B	ADU4518R6v06	45	120	2	2	312	15.2	-3 dB	Active
Site0125-L23	L23-Site0125-1C	C	ADU4518R6v06	45	240	2	2	314	15.2	-3 dB	Active
Site0266-L23	L23-Site0266-1A	A	ADU4518R6v06	45	30	2	2	271	15.2	-3 dB	Active
Site0266-L23	L23-Site0266-1B	B	ADU4518R6v06	45	150	2	1	272	15.2	-3 dB	Active
Site0266-L23	L23-Site0266-1C	C	ADU4518R6v06	45	270	2	2	270	15.2	-3 dB	Active
Site0288-L23	L23-Site0288-1A	A	ADU4518R6v06	44	30	2	4	395	15.2	-3 dB	Active
Site0288-L23	L23-Site0288-1B	B	ADU4518R6v06	44	150	2	4	394	15.2	-3 dB	Active
Site0288-L23	L23-Site0288-1C	C	ADU4518R6v06	44	230	2	4	393	15.2	-3 dB	Active
Site0491-L23	L23-Site0491-1A	A	APE4517R0v06	33	0	0	2	406	15.2	-3 dB	Active
Site0491-L23	L23-Site0491-1B	B	APE4517R0v06	33	110	0	2	407	15.2	-3 dB	Active
Site0491-L23	L23-Site0491-1C	C	APE4517R0v06	33	240	0	2	405	15.2	-3 dB	Active
Site0513-L23	L23-Site0513-1A	A	APE4516R1v06	30	0	0	2	170	15.2	-3 dB	Active
Site0513-L23	L23-Site0513-1B	B	APE4516R1v06	30	120	0	2	169	15.2	-3 dB	Active
Site0513-L23	L23-Site0513-1C	C	APE4516R1v06	30	240	0	2	168	15.2	-3 dB	Active
Site1020-L23	L23-Site1020-1A	A	ADU4518R6v06	36	300	0	4	356	15.2	-3 dB	Active
Site1020-L23	L23-Site1020-1B	B	ADU4518R6v06	36	80	0	4	355	15.2	-3 dB	Active
Site1020-L23	L23-Site1020-1C	C	ADU4518R6v06	36	200	0	4	354	15.2	-3 dB	Active
Site1049-L23	L23-Site1049-1A	A	ADU4518R6v06	30	70	0	4	14	15.2	-3 dB	Active
Site1049-L23	L23-Site1049-1B	B	ADU4518R6v06	30	220	0	4	13	15.2	-3 dB	Active
Site1049-L23	L23-Site1049-1C	C	ADU4518R6v06	30	300	0	4	12	15.2	-3 dB	Active

รูปที่ 4.5 ตารางข้อมูลของสถานีฐาน

4.2.2 การกำหนดเส้นทาง (Route)

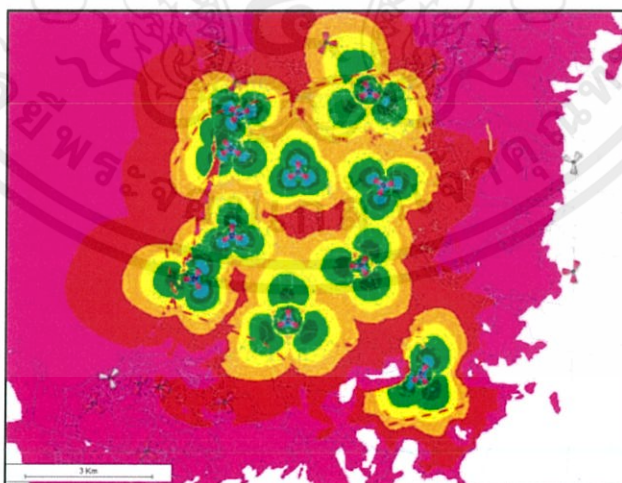
เมื่อผ่านขั้นตอนการทำ Site Solution ว่า EP TSSR (Engineering Parameter Technical Site Survey Report) และการติดตั้งเสาอากาศบนสถานีฐานเรียบร้อยแล้ว พร้อมทั้งเปิดให้บริการแล้ว จำเป็นต้องทำการทดสอบ และวัดคุณภาพของสัญญาณ เพื่อนำค่าของสัญญาณที่ได้มาวิเคราะห์ โดยจะต้องทำการกำหนดเส้นทางให้ Drive Test เพื่อไปเก็บค่าสัญญาณบริเวณพื้นที่รอบๆ สถานีฐานนั้นมา ซึ่งการกำหนดเส้นทางจำเป็นต้องกำหนดตามถนนสายหลัก, หมู่บ้านชุมชน และพื้นที่ที่มีผู้คนอาศัยอยู่ โดยที่พื้นที่เหล่านั้นจะต้องอยู่ในระยะที่สัญญาณจะแพร่กระจายไปได้ โดยระยะทางที่สามารถแพร่กระจายไปได้สูงสุดจากสถานีฐาน คือ ประมาณ 1.5 กิโลเมตร อีกต้องต้องกำหนดเส้นทางให้ครอบคลุมสถานีฐานภายในคลัสเตอร์ที่ได้รับมอบหมาย โปรแกรมที่ใช้ในการช่วยกำหนดเส้นทาง คือ โปรแกรม Google Earth Pro ซึ่งแสดงตัวอย่างการกำหนดเส้นทางโดยใช้โปรแกรม Google Earth Pro ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การกำหนดเส้นทาง (Route)

4.2.3 การวิเคราะห์ค่าคุณภาพของสัญญาณเบื้องต้น

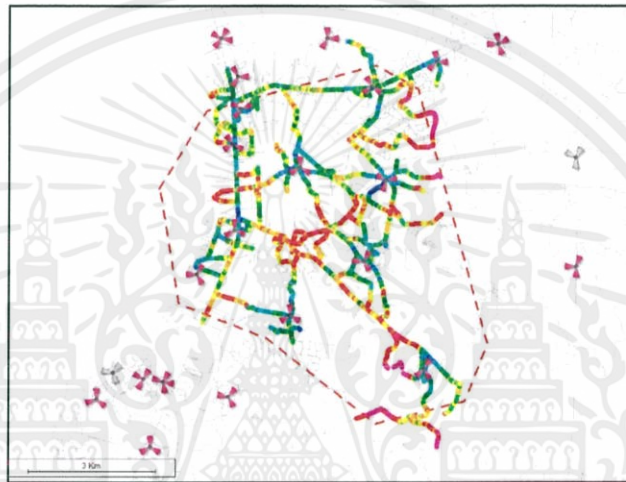
หลังจากทำการ Drive Test มาแล้ว จะได้ค่าจากโปรแกรม Nemo Analyze เป็นค่า Log file มาทำการวิเคราะห์สัญญาณเบื้องต้นโดยใช้โปรแกรม Actix Analyzer โดยสามารถตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ RSRP, SINR, CQI, PCI, Throughput Downlink และ Throughput Uplink ซึ่งจะมีโปรแกรมอีกหนึ่งโปรแกรมที่ช่วยในการตรวจสอบขอบเขตความครอบคลุมของสัญญาณ สามารถตรวจสอบค่าความแรง และคุณภาพของสัญญาณจากโปรแกรมนี้ได้ โดยดูจากสีรอบๆสถานีฐานภายในโปรแกรม โดยระยะใกล้ๆสถานีฐานจะมีความแรงและคุณภาพดีมาก และค่อยๆลดลงเมื่อระยะทางห่างออกไปจากสถานีฐาน เรียกว่า โปรแกรม Atoll มีหน้าที่ Prediction Coverage ค่าความแรงและคุณภาพของสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 4.7



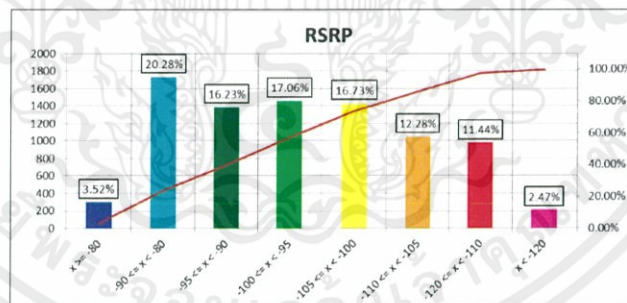
รูปที่ 4.7 โปรแกรม Atoll Prediction Coverage

สำหรับรูปที่ 4.8 – 4.18 เป็นการแสดงค่าและกราฟของค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่า RSRP, SINR, CQI, PCI, Throughput Downlink และ Throughput Uplink ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณเบื้องต้น โดยการวิเคราะห์สัญญาณเบื้องต้นนั้น จะตรวจสอบได้จากสีของสัญญาณบนเส้นทางที่ Drive Test ทำการเก็บข้อมูลมาตามเส้นทางที่กำหนด นำไปเปรียบเทียบกับตารางเกณฑ์มาตรฐานในการแบ่งช่วงของแต่ละค่าจากตารางที่ 4.1 – 4.5 เพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณต่อไป จะแสดงดังต่อไปนี้

1) RSRP (Reference Signal Received Power) ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ



รูปที่ 4.8 RSRP ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

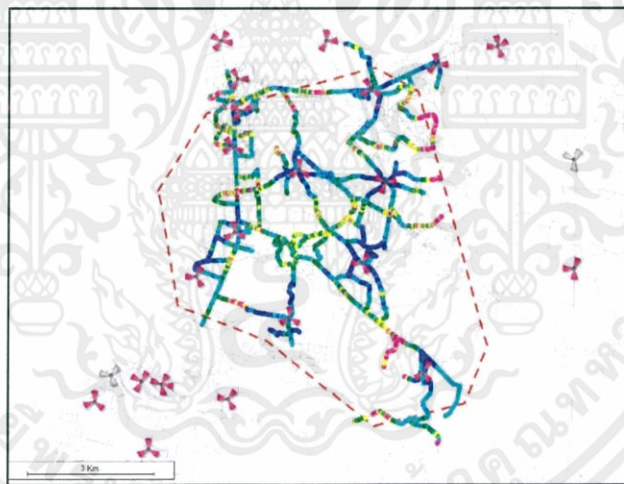


รูปที่ 4.9 กราฟ RSRP ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

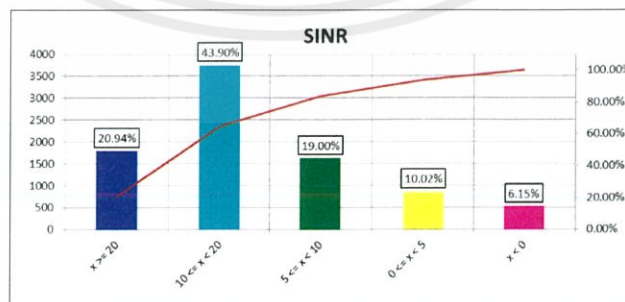
ตารางที่ 4.1 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับแบ่งช่วงของค่า RSRP

ช่วงของค่า RSRP	สี	ความหมาย
$X \geq -80$	น้ำเงินเข้ม	ความแรงของสัญญาณดีมาก
$-90 < X < -80$	น้ำเงิน	ความแรงของสัญญาณดี
$-95 < X < -90$	น้ำเงินเข้ม	ความแรงของสัญญาณค่อนข้างดี
$-100 < X < -95$	น้ำเงิน	ความแรงของสัญญาณพอใช้
$-105 < X < -100$	เหลือง	ความแรงของสัญญาณค่อนข้างแย่
$-110 < X < -105$	ส้ม	ความแรงของสัญญาณแย่
$-120 < X < -110$	แดง	ความแรงของสัญญาณแย่มาก
$X < -120$	ชมพู	รับสัญญาณไม่ได้

2) SINR (Signal to Interference & Noise Ratio) ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ



รูปที่ 4.10 SINR ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

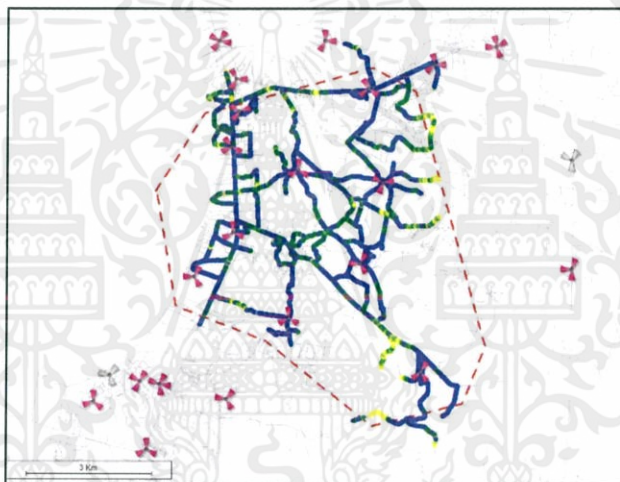


รูปที่ 4.11 กราฟ SINR ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

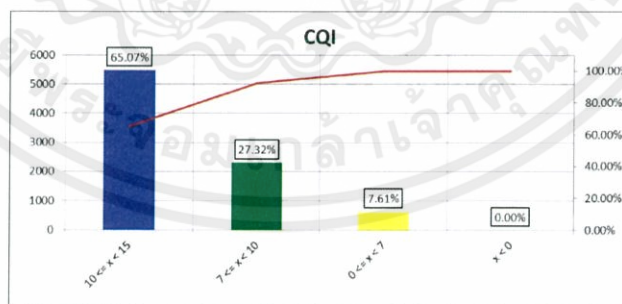
ตารางที่ 4.2 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับแบ่งช่วงของค่า SINR

ช่วงของค่า SINR	สี	ความหมาย
$X \geq 20$	น้ำเงินเข้ม	คุณภาพของสัญญาณดีมาก
$10 < X < 20$	น้ำเงิน	คุณภาพของสัญญาณดี
$5 < X < 10$	น้ำเงินเข้ม	คุณภาพของสัญญาณค่อนข้างดี
$0 < X < 5$	น้ำเงิน	คุณภาพของสัญญาณค่อนข้างแย่
$X < 0$	น้ำเงิน	รับสัญญาณไม่ได้

3) CQI (Channel Quality Indicator) ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ



รูปที่ 4.12 CQI ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

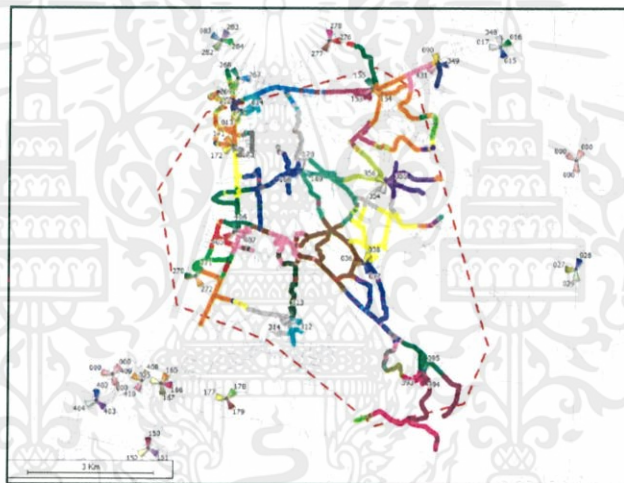


รูปที่ 4.13 กราฟ CQI ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

ตารางที่ 4.3 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับแบ่งช่วงของค่า CQI

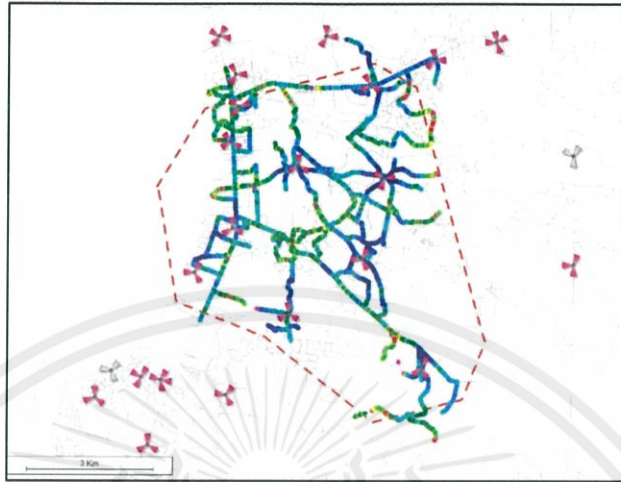
ช่วงของค่า CQI	สี	ความหมาย
$X \geq 15$	■	คุณภาพของสัญญาณดีมาก
$10 \leq X < 15$	■	คุณภาพของสัญญาณดี
$7 \leq X < 10$	■	คุณภาพของสัญญาณค่อนข้างดี
$0 \leq X < 7$	■	คุณภาพของสัญญาณค่อนข้างแย่
$X < 0$	■	รับสัญญาณไม่ได้

4) PCI (Physical Cell Id) ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

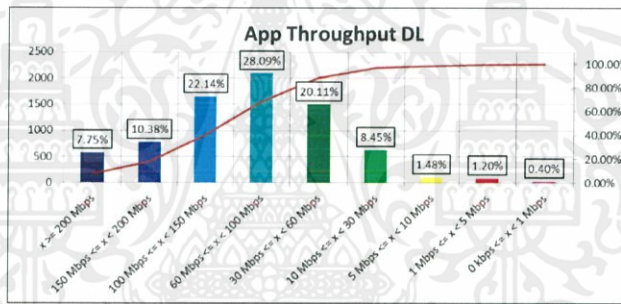


รูปที่ 4.14 PCI ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

5) Throughput Downlink (PS Download) ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ



รูปที่ 4.15 Throughput Downlink (PS Download) ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

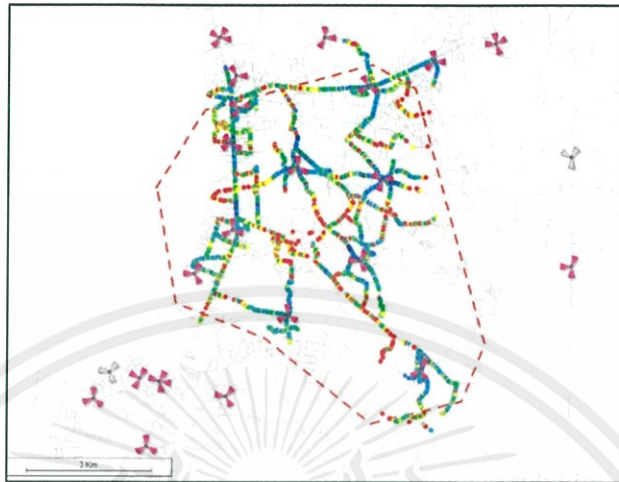


รูปที่ 4.16 กราฟ Throughput Downlink (PS Download) ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

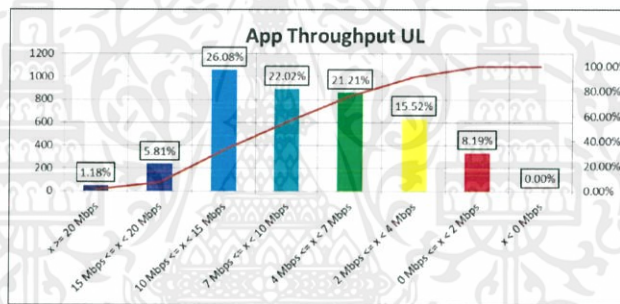
ตารางที่ 4.4 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับแบ่งช่วงของค่า Throughput Downlink (PS Download)

ช่วงของค่า App Through DL	สี	ความหมาย
$X \geq 200$ Mbps	Dark Blue	การ Download ข้อมูลของสัญญาณดีเยี่ยม
$150 \text{ Mbps} \leq X < 200$ Mbps	Blue	การ Download ข้อมูลของสัญญาณดีมาก
$10 \text{ Mbps} \leq X < 150$ Mbps	Light Blue	การ Download ข้อมูลของสัญญาณดี
$60 \text{ Mbps} \leq X < 100$ Mbps	Teal	การ Download ข้อมูลของสัญญาณค่อนข้างดี
$30 \text{ Mbps} \leq X < 60$ Mbps	Green	การ Download ข้อมูลของสัญญาณพอใช้
$10 \text{ Mbps} \leq X < 30$ Mbps	Light Green	การ Download ข้อมูลของสัญญาณค่อนข้างแย่
$5 \text{ Mbps} \leq X < 10$ Mbps	Yellow	การ Download ข้อมูลของสัญญาณแย่
$1 \text{ Mbps} \leq X < 5$ Mbps	Red	การ Download ข้อมูลของสัญญาณแย่มาก
$0 \text{ kbps} \leq X < 1$ Mbps	Dark Red	ไม่สามารถ Download ข้อมูลของสัญญาณได้

6) Throughput Uplink (PS Upload) ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ



รูปที่ 4.17 Throughput Uplink (PS Upload) ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ



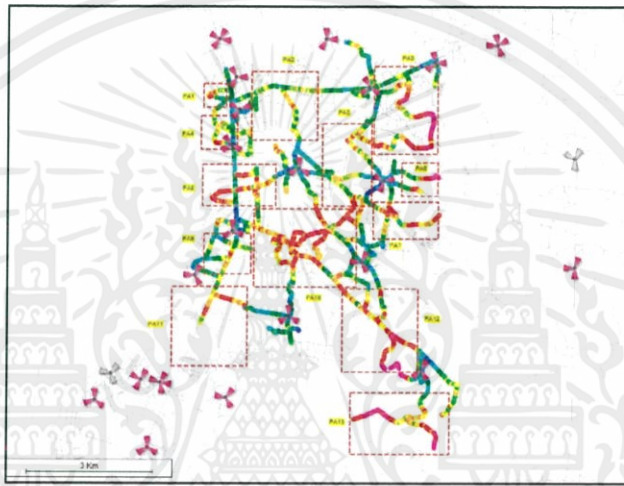
รูปที่ 4.18 กราฟ Throughput Uplink (PS Upload) ก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

ตารางที่ 4.5 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับแบ่งช่วงของค่า Throughput Uplink (PS Upload)

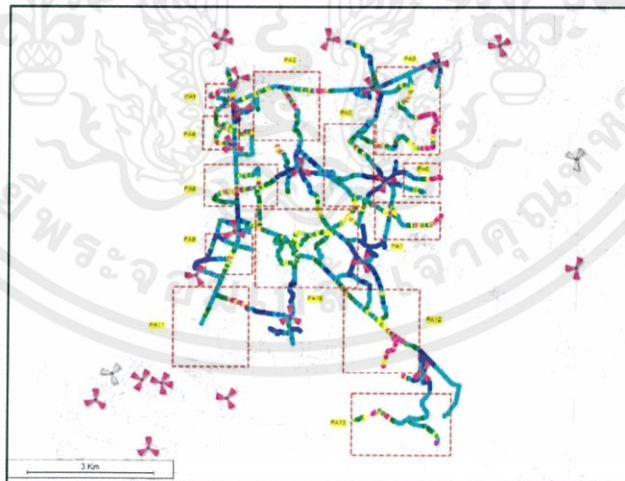
ช่วงของค่า App Throughput UL	สี	ความหมาย
$X \geq 20$ Mbps	Dark Blue	การ Upload ข้อมูลของสัญญาณดีเยี่ยม
15 Mbps $\leq X < 20$ Mbps	Blue	การ Upload ข้อมูลของสัญญาณดีมาก
10 Mbps $\leq X < 15$ Mbps	Light Blue	การ Upload ข้อมูลของสัญญาณดี
7 Mbps $\leq X < 10$ Mbps	Teal	การ Upload ข้อมูลของสัญญาณค่อนข้างดี
4 Mbps $\leq X < 7$ Mbps	Green	การ Upload ข้อมูลของสัญญาณค่อนข้างแย่
2 Mbps $\leq X < 4$ Mbps	Yellow	การ Upload ข้อมูลของสัญญาณแย่มาก
0 Mbps $\leq X < 2$ Mbps	Red	การ Upload ข้อมูลของสัญญาณแย่มาก
$X < 0$ Mbps	Pink	ไม่สามารถ Upload ข้อมูลของสัญญาณได้

4.2.4 การกำหนดพื้นที่ PA (Problematic Area) เพื่อปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

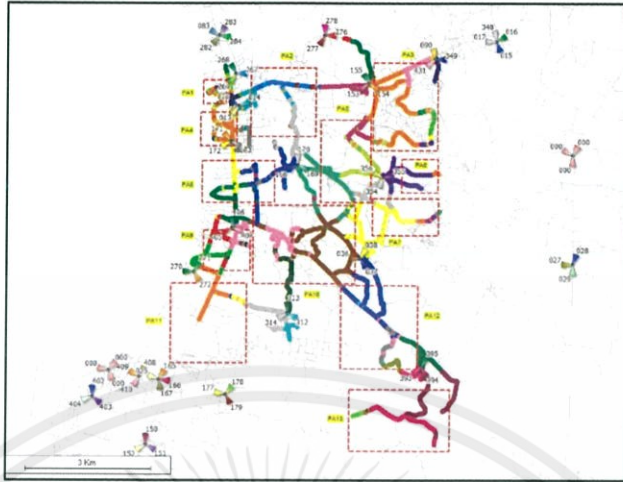
สำหรับการกำหนดขอบเขตของ PA (Problematic Area) เป็นการเขียนกรอบล้อมรอบบริเวณที่มีคุณภาพและความแรงของสัญญาณต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยพิจารณาจากการวิเคราะห์ค่า RSRP, SINR, PCI, Throughput Downlink และ Throughput Uplink ตามลำดับ โดยสังเกตจากสีของสัญญาณ ถ้าหากบริเวณพื้นที่ใดมีค่าของสัญญาณ ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานให้กำหนดเป็นพื้นที่ Problematic Area (PA) เพื่อรอทำการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณให้ดีขึ้น ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 4.19 – 4.23 ตามลำดับ



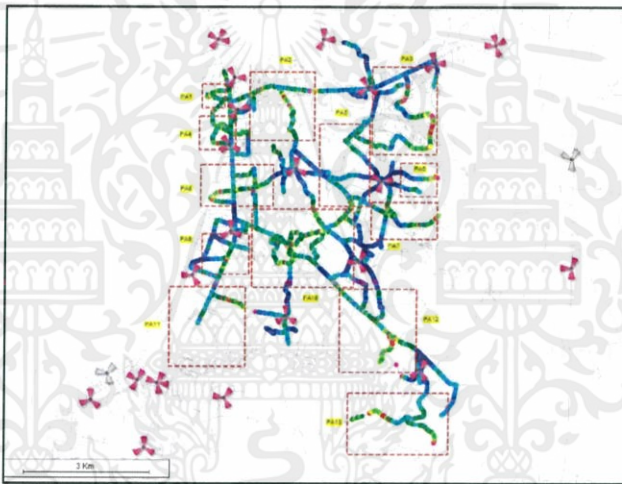
รูปที่ 4.19 PA (Problematic Area) ของ RSRP



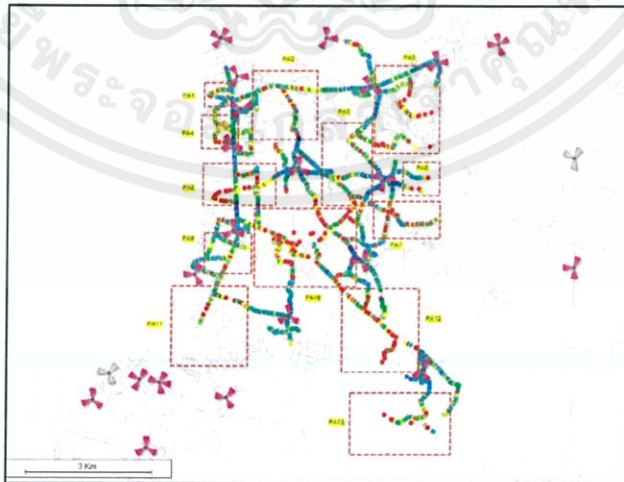
รูปที่ 4.20 PA (Problematic Area) ของ SINR



รูปที่ 4.21 PA (Problematic Area) ของ PCI



รูปที่ 4.22 PA (Problematic Area) ของ Throughput Downlink



รูปที่ 4.23 PA (Problematic Area) ของ Throughput Uplink

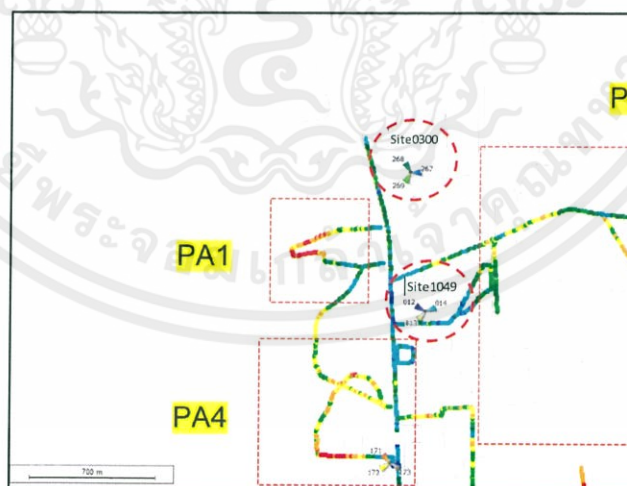
จากรูปมีจำนวน PA (Problematic Area) หรือพื้นที่สัญญาณที่มีปัญหา 13 จุด เพื่อการปรับปรุงแก้ไขให้มีสัญญาณที่ดีขึ้น

4.2.5 การแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณบริเวณพื้นที่ PA (Problematic Area)

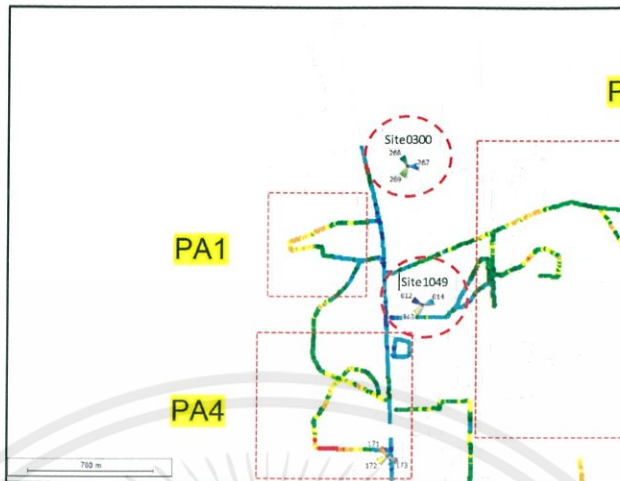
สำหรับพื้นที่ที่ต้องทำการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณมีจำนวน 13 PA (Problematic Area) ที่ได้จากการกำหนดขอบเขตไว้ โดยจะทำการปรับปรุงทีละพื้นที่ตามลำดับต่อไปนี้

4.2.5.1 การแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA1

จากรูปที่ 4.24 จะเห็นว่า PA1 มีคุณภาพของสัญญาณ RSRP เป็นสีแดงแสดงว่ามีคุณภาพของสัญญาณแย่มาก โดยที่สาเหตุอาจเกิดจากการที่มีสถานีฐาน 2 สถานีฐานอยู่ใกล้เคียงกัน แพร่กระจายสัญญาณมาในทิศทางเดียวกัน อาจจะทำให้สัญญาณบริเวณนั้นหักล้างกัน ดังนั้นจำเป็นต้อง ปรับ tilt ของสถานีฐานที่เกี่ยวข้องกับ PA1 ซึ่งสถานีฐานที่เกี่ยวข้องได้แก่ Site0300 และ Site1049 โดยทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site1049 เซกเตอร์ C (PCI = 012) จาก 4 เป็น 2 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณในพื้นที่ PA1 และทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0300 เซกเตอร์ B (PCI = 269) จาก 1 เป็น 3 องศา เพื่อลดระยะการแพร่กระจายของสัญญาณทำให้สัญญาณไม่ซ้อนทับ หรือ ชนกันระหว่างสถานีฐาน Site0300 กับ Site1049 โดยที่แสดงผลการทดลองการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณดังรูปที่ 4.25

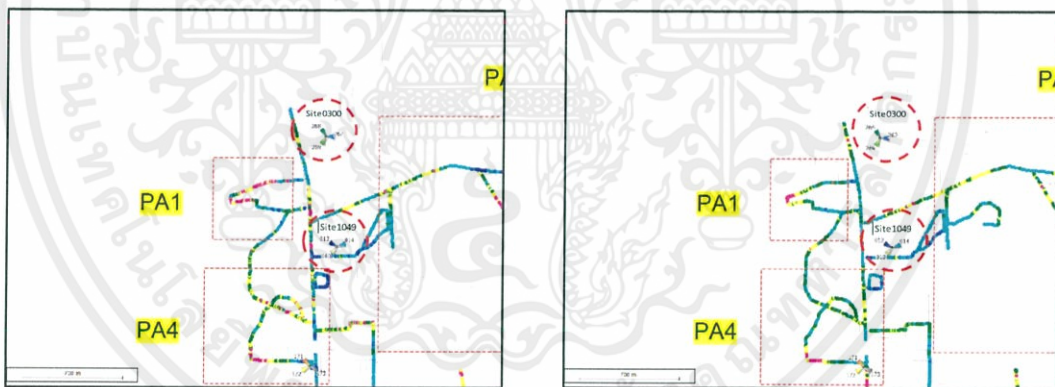


รูปที่ 4.24 ค่า RSRP บริเวณ PA1 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

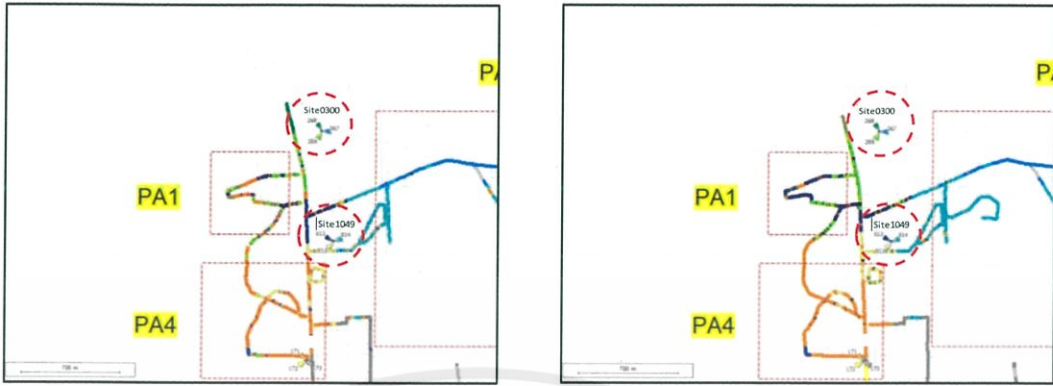


รูปที่ 4.25 ค่า RSRP บริเวณ PA1 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

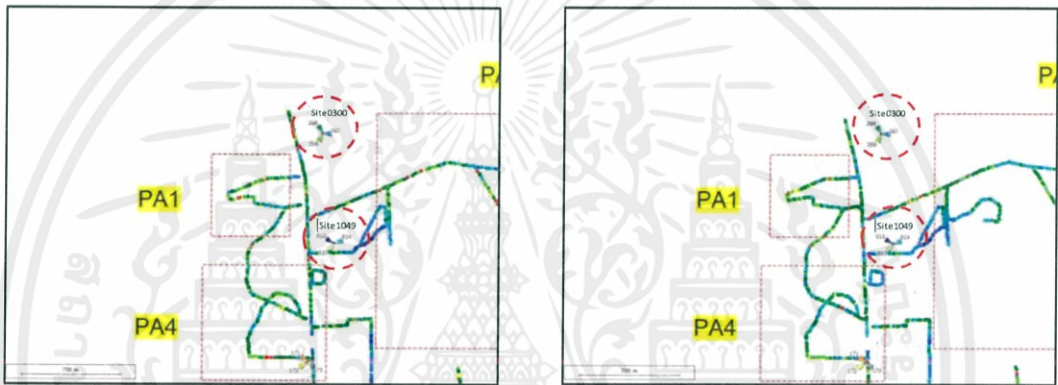
จากการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA1 พบว่า บริเวณพื้นที่ PA1 มีคุณภาพของสัญญาณดีขึ้น อาจจะไม่ถึงขั้นดีมาก แต่ก็สามารถทำให้ใช้งานการติดต่อสื่อสารได้ดีขึ้น จากการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณทำให้ค่าของสัญญาณอื่น ได้แก่ SINR, PCI และ Throughput DL ตามลำดับ ให้ดีขึ้นด้วย ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.26 – 4.28 ตามลำดับ



รูปที่ 4.26 ค่า SINR บริเวณ PA1 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



รูปที่ 4.27 ค่า PCI บริเวณ PA1 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

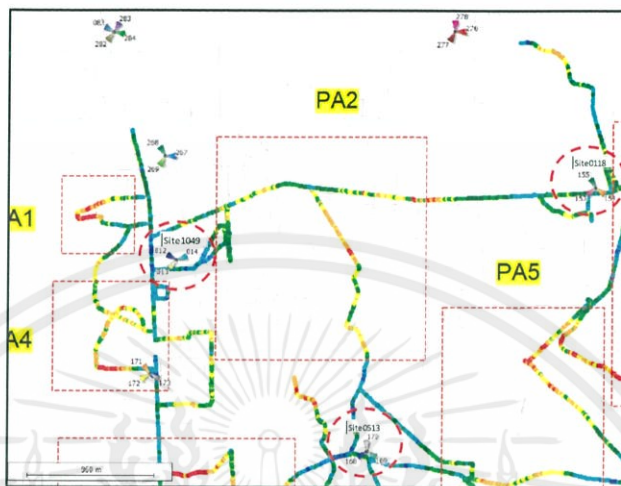


รูปที่ 4.28 ค่า Throughput DL บริเวณ PA1 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

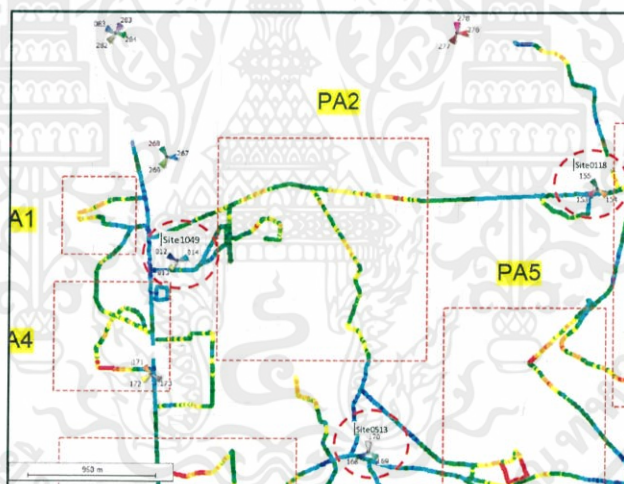
4.2.5.2 การแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA2

จากรูป 4.29 จะเห็นว่ามีความคุณภาพของสัญญาณ RSRP กระจายรอบพื้นที่ PA2 ส่วนมากจะเป็นสีเหลืองและส้มบ่งบอกถึงสัญญาณที่มีความคุณภาพอ่อนมาก และเป็นพื้นที่ที่มีสถานีฐานอยู่ห่างกันมาก โดยมีสถานีฐานที่เกี่ยวข้อง 3 สถานีฐาน ได้แก่ สถานีฐาน Site1049, Site0118 และ Site0513 โดยทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site1049 เซกเตอร์ A (PCI = 014) จาก 4 เป็น 2 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณให้พื้นที่ PA2 ทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0118 เซกเตอร์ B (PCI = 153) จาก 4 เป็น 2 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณให้พื้นที่ PA2 และทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0513 เซกเตอร์ A (PCI = 170) จาก 2 เป็น 1 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณให้พื้นที่ PA2 สังเกตว่าการปรับปรุงสัญญาณของทั้ง 3 สถานีฐานเป็นการเพิ่มระยะทางในการแพร่กระจายทั้งหมด เพราะพื้นที่ PA2 เป็นพื้นที่ที่มีสถานีฐานตั้งอยู่ห่างกัน ดังนั้นจึง

จำเป็นต้องแพร่กระจายสัญญาณไปยังบริเวณที่มีคุณภาพของสัญญาณต่ำ เพื่อให้สัญญาณครอบคลุมมากขึ้น โดยที่แสดงผลการทดลองการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณดังรูปที่ 4.30

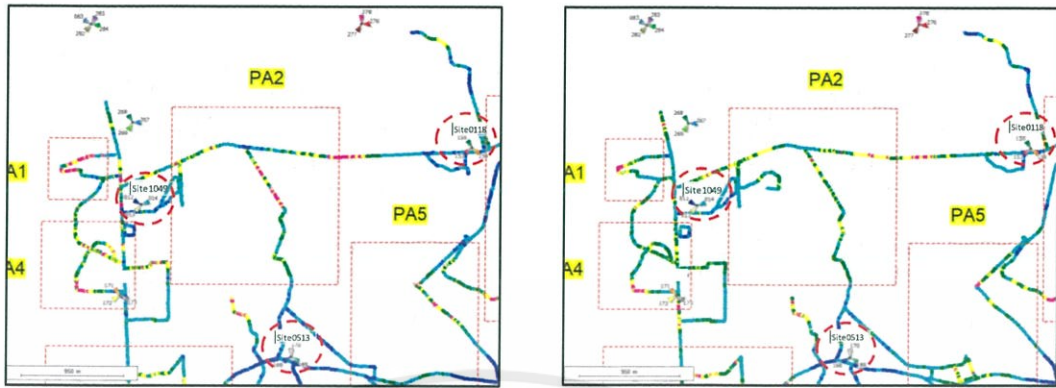


รูปที่ 4.29 ค่า RSRP บริเวณ PA2 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

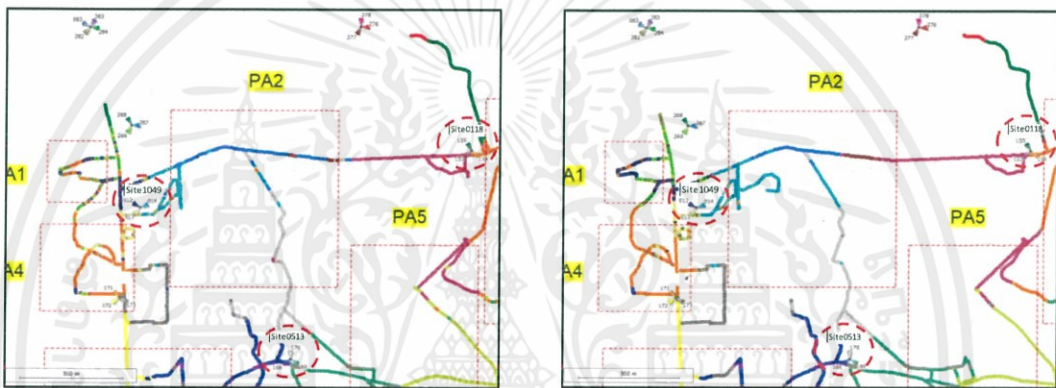


รูปที่ 4.30 ค่า RSRP บริเวณ PA2 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

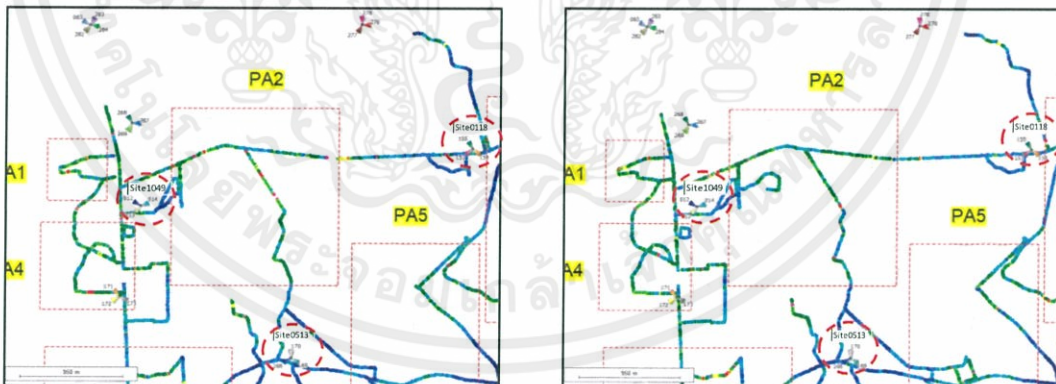
จากการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA2 พบว่า บริเวณพื้นที่ PA2 มีคุณภาพของสัญญาณดีขึ้น อาจจะไม่ถึงขั้นดีมาก แต่ก็สามารถทำให้ใช้งานการติดต่อสื่อสารได้ดีขึ้น จากการแก้ไข ปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณทำให้ค่าของสัญญาณอื่น ได้แก่ SINR, PCI และ Throughput DL ตามลำดับ ให้ดีขึ้นด้วย ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.31 – 4.33 ตามลำดับ



รูปที่ 4.31 ค่า SINR บริเวณ PA2 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



รูปที่ 4.32 ค่า PCI บริเวณ PA2 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

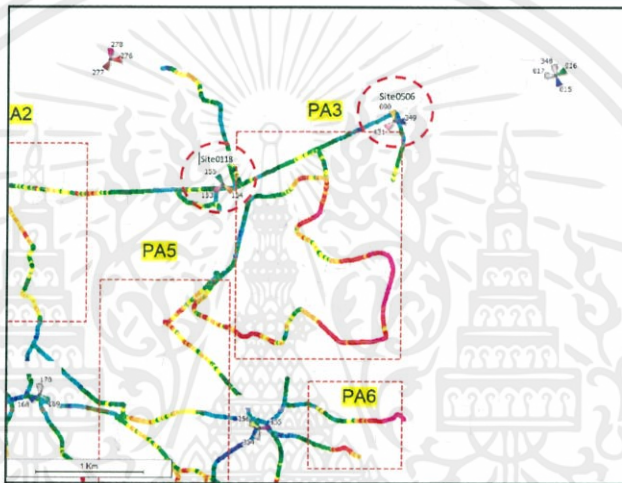


รูปที่ 4.33 ค่า Throughout DL บริเวณ PA2 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

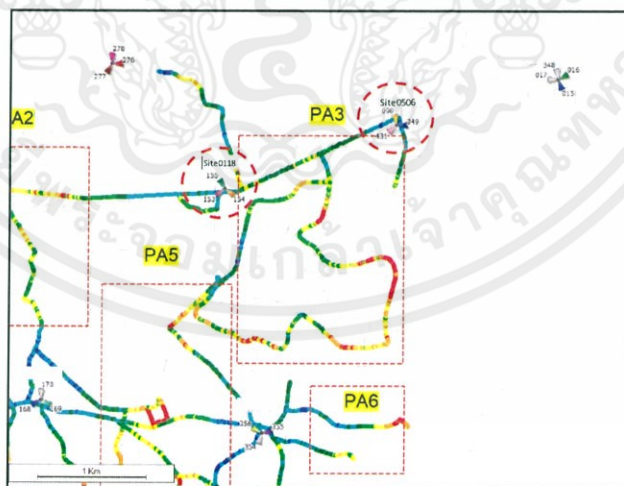
4.2.5.3 การแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA3

จากรูป 4.34 จะเห็นว่ามีความคุณภาพของสัญญาณ RSRP ของพื้นที่ PA3 ส่วนใหญ่มีสีแดงและสีชมพู บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณแย่มากๆ ซึ่งเป็นบริเวณพื้นที่ที่สถานีฐานตั้งอยู่ห่างกัน โดยที่มีสถานีฐานที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 สถานีฐาน ได้แก่ สถานีฐาน Site0118 กับ Site0506 โดยทำการปรับ E-Tilt ของสถานี

ฐาน Site0118 เซกเตอร์ B (PCI = 154) จาก 4 เป็น 2 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณให้พื้นที่ PA3 และทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0506 เซกเตอร์ C (PCI = 431) จาก 4 เป็น 2 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณให้พื้นที่ PA3 เช่นกัน เพราะพื้นที่ที่มีสัญญาณแยะอยู่ในบริเวณที่ไกลจากสถานีฐาน ทั้ง 2 สถานีฐาน จึงจำเป็นต้องเพิ่มระยะในการแพร่กระจายออกไป ทำให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ดังกล่าวมากยิ่งขึ้น โดยที่แสดงผลการทดลองการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณดังรูปที่ 4.35



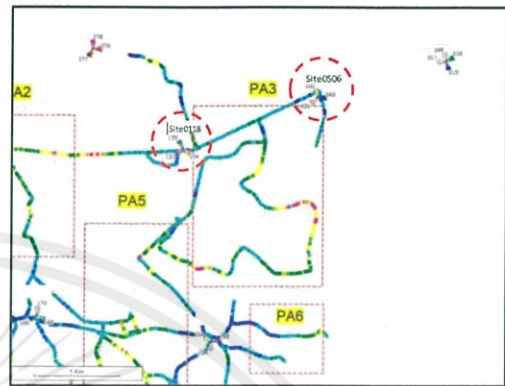
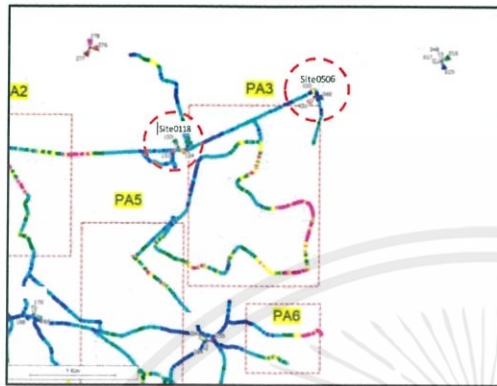
รูปที่ 4.34 ค่า RSRP บริเวณ PA3 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



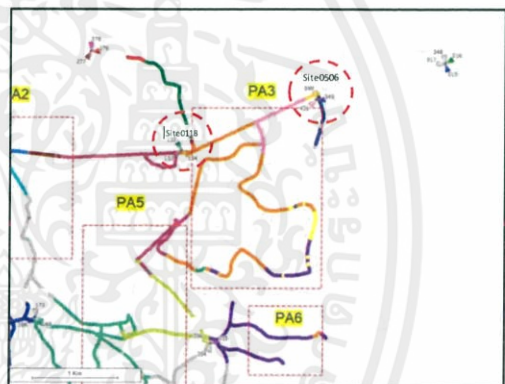
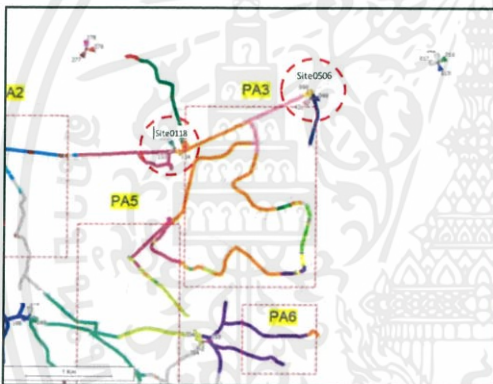
รูปที่ 4.35 ค่า RSRP บริเวณ PA3 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

จากการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA3 พบว่า บริเวณพื้นที่ PA3 มีคุณภาพของสัญญาณดีขึ้น อาจจะไม่ถึงขั้นดีมาก แต่ก็สามารถทำให้ใช้งานการติดต่อสื่อสารได้ดีขึ้น จากการแก้ไข

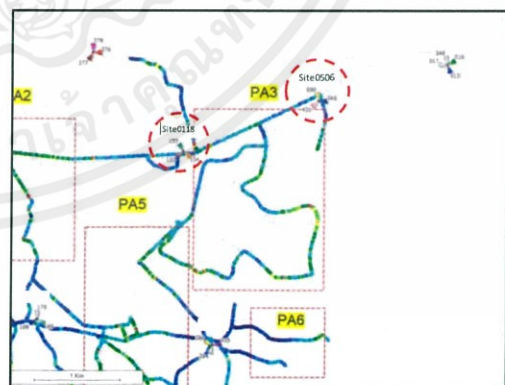
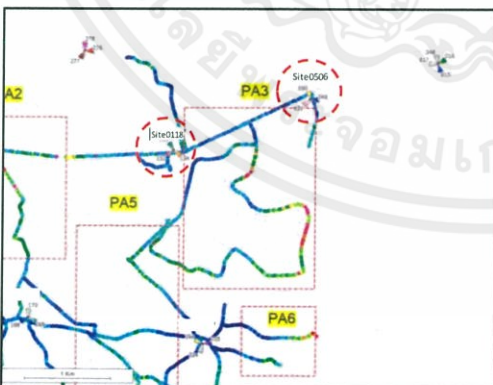
ปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณทำให้ค่าของสัญญาณอื่น ได้แก่ SINR, PCI และ Throughput DL ตามลำดับ ให้ดีขึ้นด้วย ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.36 – 4.38 ตามลำดับ



รูปที่ 4.36 ค่า SINR บริเวณ PA3 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



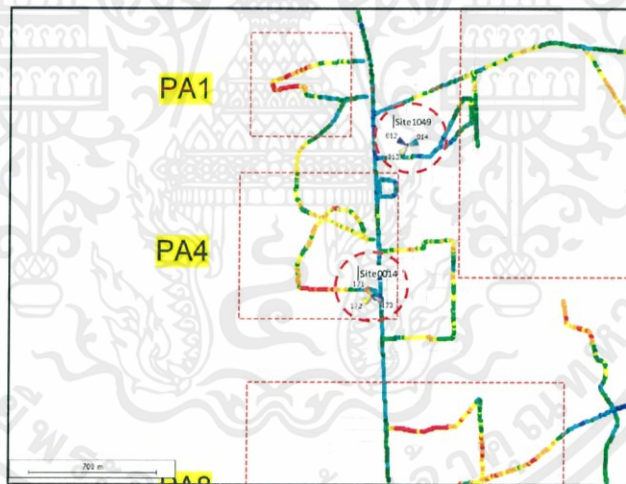
รูปที่ 4.37 ค่า PCI บริเวณ PA3 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



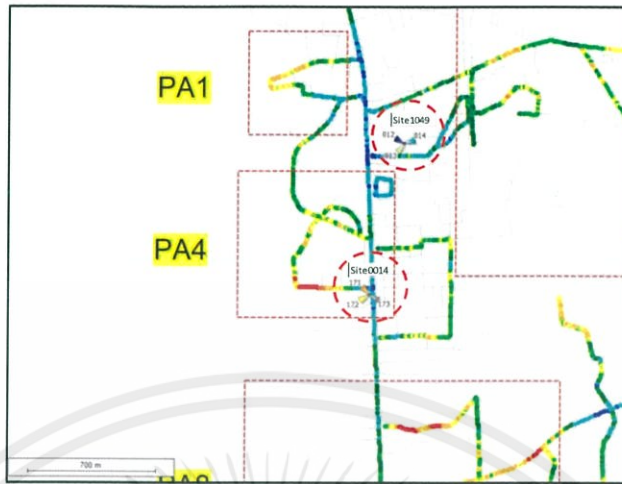
รูปที่ 4.38 ค่า Throughput DL บริเวณ PA3 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

4.2.5.4 การแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA4

จากรูป 4.39 จะเห็นว่ามีคุณภาพของสัญญาณ RSRP ของพื้นที่ PA4 ส่วนใหญ่มีสีแดงและสีเหลือง บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณแย่ไปจนถึงแย่มาก เป็นบริเวณที่สถานีฐานตั้งอยู่ไม่ห่างกันมาก โดยมีสถานีฐานที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 สถานีฐาน ได้แก่ สถานีฐาน Site1049 กับ Site0014 สาเหตุที่ทำให้คุณภาพสัญญาณแย่อาจเกิดจากการแพร่กระจายสัญญาณของทั้งสองสถานีฐานเกิดการซ้อนทับกัน ทำให้สัญญาณหักล้างกัน ดังนั้นจำเป็นต้องลดหรือเพิ่มระยะการแพร่กระจายของสถานีฐานใดสถานีฐานหนึ่ง โดยทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site1049 เซกเตอร์ B (PCI = 013) จาก 4 เป็น 2 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณในพื้นที่ PA4 และทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0014 เซกเตอร์ A (PCI = 171) จาก 2 เป็น 4 องศา เพื่อลดระยะการแพร่กระจายของสัญญาณทำให้สัญญาณไม่ซ้อนทับ หรือ ขนกันระหว่างสถานีฐาน Site1049 กับ Site0014 โดยที่แสดงผลการทดลองการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ ดังรูปที่ 4.40

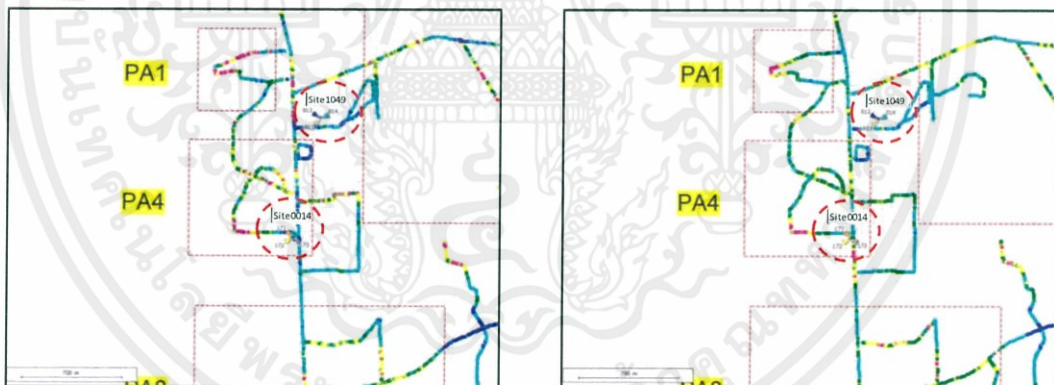


รูปที่ 4.39 ค่า RSRP บริเวณ PA4 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

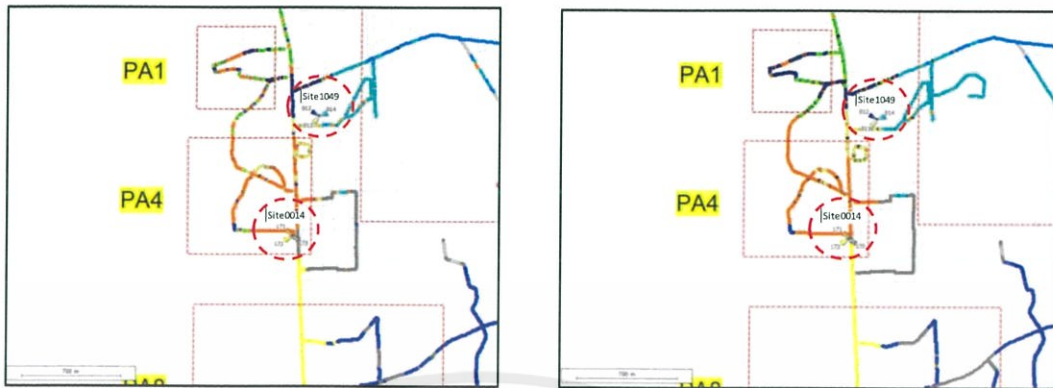


รูปที่ 4.40 ค่า RSRP บริเวณ PA4 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

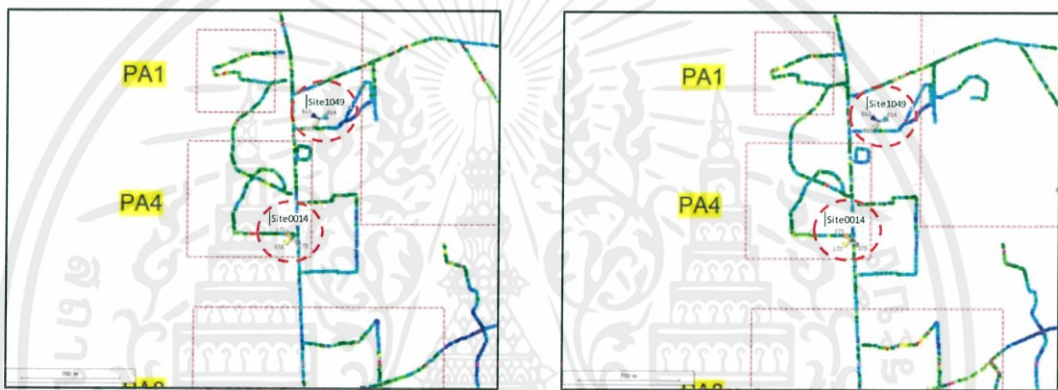
จากการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA4 พบว่า บริเวณพื้นที่ PA4 มีคุณภาพของสัญญาณดีขึ้น อาจจะไม่ถึงขั้นดีมาก แต่ก็สามารถทำให้ใช้งานการติดต่อสื่อสารได้ดีขึ้น จากการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณทำให้ค่าของสัญญาณอื่น ได้แก่ SINR, PCI และ Throughput DL ตามลำดับ ให้ดีขึ้นด้วย ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.41 – 4.43 ตามลำดับ



รูปที่ 4.41 ค่า SINR บริเวณ PA4 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



รูปที่ 4.42 ค่า PCI บริเวณ PA4 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

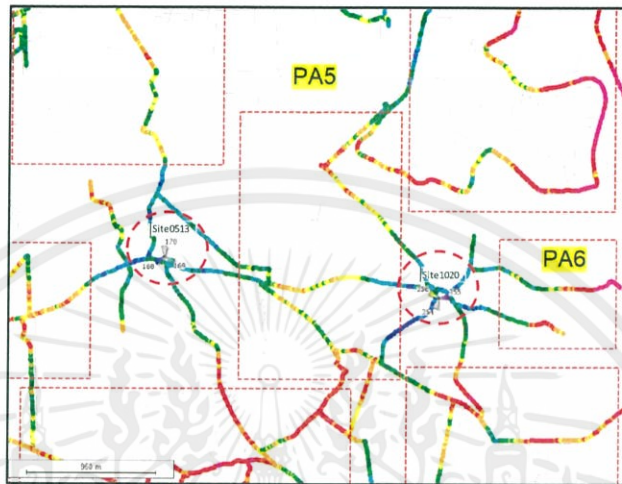


รูปที่ 4.43 ค่า Throughput DL บริเวณ PA4 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

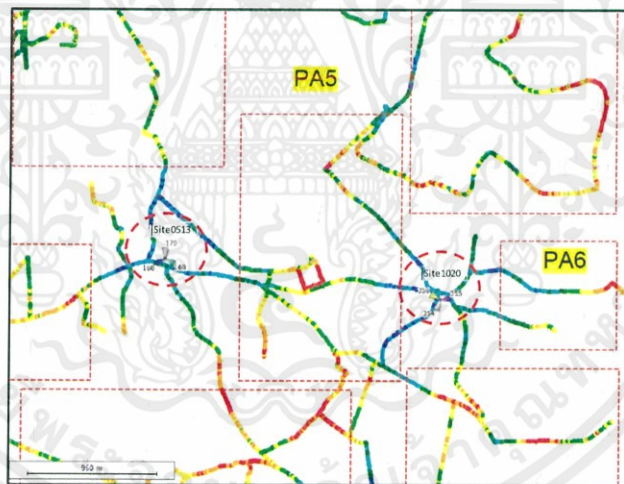
4.2.5.5 การแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA5

จากรูป 4.44 จะเห็นว่ามีความคุณภาพของสัญญาณ RSRP ของพื้นที่ PA5 ส่วนใหญ่มีสีแดง สีส้ม และสีเหลือง บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณแย่ไปจนถึงแย่มาก และเป็นบริเวณพื้นที่ที่อยู่ระหว่างกลางของสถานีฐาน 2 สถานีฐาน สาเหตุที่ทำให้คุณภาพของสัญญาณบริเวณนี้แย่อาจเกิดจากระยะของการแพร่กระจายของสัญญาณสั้นจนเกินไป เพราะกังวลว่าสถานีฐานทั้งสองสถานีฐานจะแพร่กระจายสัญญาณมาชนกัน หรือ ซ้อนทับกัน ทำให้ผู้ออกแบบมุมทิศแพร่กระจายสัญญาณในระยะสั้นใกล้สถานีฐาน ทำให้สัญญาณไม่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณนี้ ดังนั้นต้องทำการเพิ่มระยะของการแพร่กระจายสัญญาณของทั้งสองสถานีฐาน เพื่อให้สัญญาณครอบคลุมบริเวณพื้นที่ PA5 ซึ่งจะมีสถานีฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สถานีฐาน Site0513 กับ Site1020 โดยทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0513 เซกเตอร์ B (PCI = 169) จาก 2 เป็น 1 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณให้พื้นที่ PA5 และทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site1020 เซกเตอร์ A (PCI = 356) จาก 4 เป็น 2 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้

ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณให้พื้นที่ PA5 เช่นเดียวกัน ทำให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ PA5 มากขึ้น ส่งผลให้คุณภาพภายในพื้นที่ดีขึ้นด้วย โดยที่แสดงผลการทดลองการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณดังรูปที่ 4.45

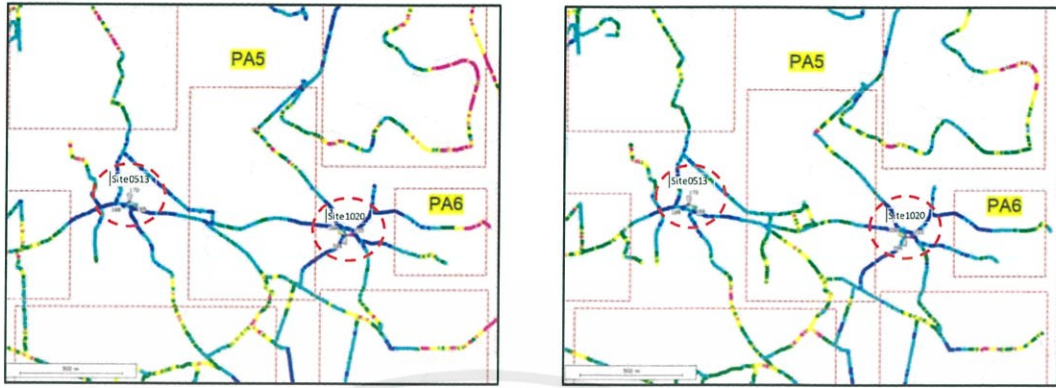


รูปที่ 4.44 ค่า RSRP บริเวณ PA5 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

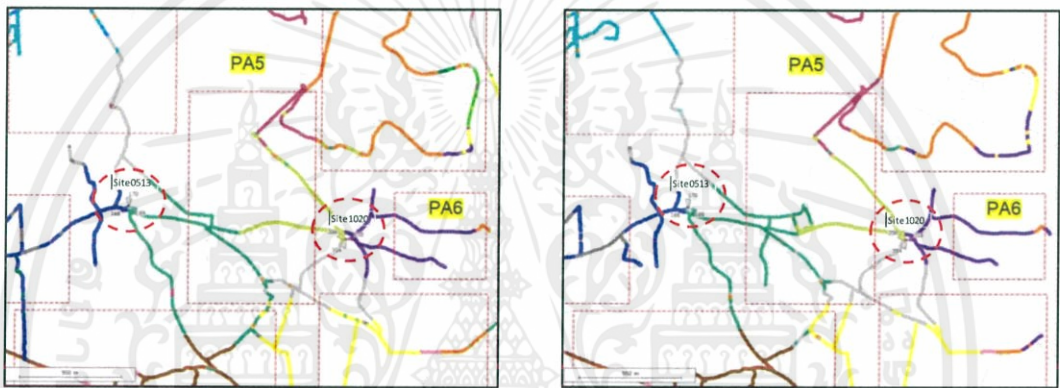


รูปที่ 4.45 ค่า RSRP บริเวณ PA5 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

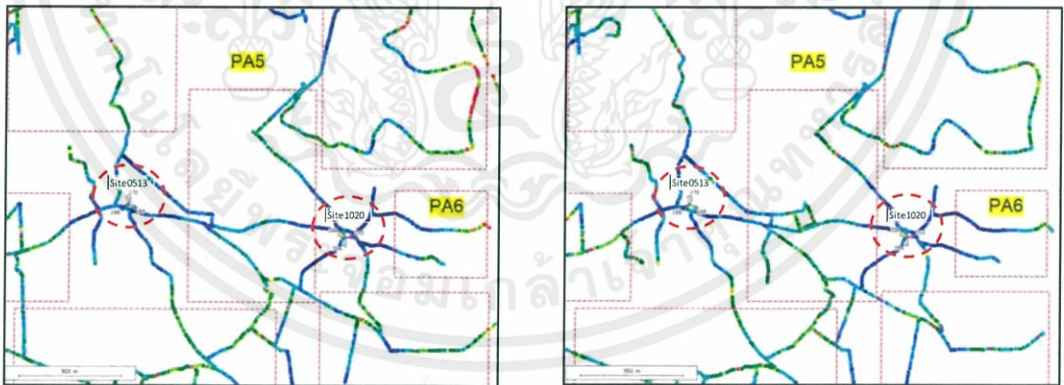
จากการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA5 พบว่า บริเวณพื้นที่ PA5 มีคุณภาพของสัญญาณดีขึ้น อาจจะไม่ถึงขั้นดีมาก แต่ก็สามารถทำให้ใช้งานการติดต่อสื่อสารได้ดีขึ้น จากการแก้ไข ปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณทำให้ค่าของสัญญาณอื่น ได้แก่ SINR, PCI และ Throughput DL ตามลำดับ ให้ดีขึ้นด้วย ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.46 – 4.48 ตามลำดับ



รูปที่ 4.46 ค่า SINR บริเวณ PA5 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



รูปที่ 4.47 ค่า PCI บริเวณ PA5 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

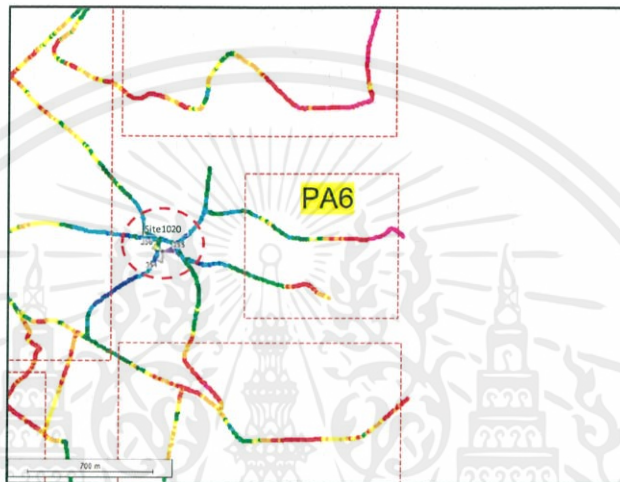


รูปที่ 4.48 ค่า Throughput DL บริเวณ PA5 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

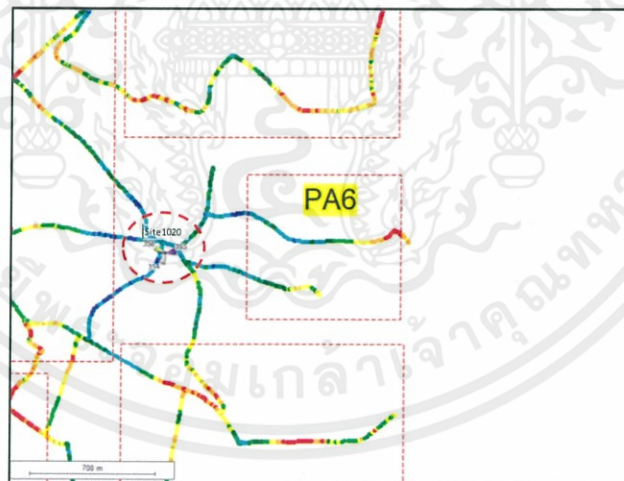
4.2.5.6 การแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA6

จากรูป 4.49 จะเห็นว่ามีความหนาแน่นของสัญญาณ RSRP ของพื้นที่ PA6 ส่วนใหญ่มีสีแดง สีส้ม และสีชมพู บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณแย่ไปจนถึงแย่มาก ซึ่งบริเวณพื้นที่ดังกล่าวอยู่ห่างจากสถานีฐานมาก สาเหตุเกิดจากการแพร่กระจายสัญญาณจากสถานีฐานไปไม่ถึงพื้นที่นั้น อีกทั้งพื้นที่ PA6 มีสถานีฐาน

ที่เกี่ยวข้องเพียงสถานีฐานเดียว คือ สถานีฐาน Site1020 ทำให้ง่ายต่อการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณบริเวณพื้นที่นี้ โดยทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site1020 เซกเตอร์ B (PCI = 355) จาก 4 เป็น 1 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณให้พื้นที่ PA6 ทำให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ PA6 มากขึ้น ส่งผลให้คุณภาพของสัญญาณบริเวณนั้นดีขึ้นเช่นเดียวกัน โดยที่แสดงผลการทดลองการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณดังรูปที่ 4.50



รูปที่ 4.49 ค่า RSRP บริเวณ PA6 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



รูปที่ 4.50 ค่า RSRP บริเวณ PA6 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

จากการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA6 พบว่า บริเวณพื้นที่ PA6 มีคุณภาพของสัญญาณดีขึ้น อาจจะไม่ถึงขั้นดีมาก แต่ก็สามารถทำให้ใช้งานการติดต่อสื่อสารได้ดีขึ้น จากการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณทำให้ค่าของสัญญาณอื่น ได้แก่ SINR, PCI และ Throughput DL ตามลำดับ ให้ดีขึ้นด้วย ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.51 – 4.53 ตามลำดับ



รูปที่ 4.51 ค่า SINR บริเวณ PA6 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



รูปที่ 4.52 ค่า PCI บริเวณ PA6 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

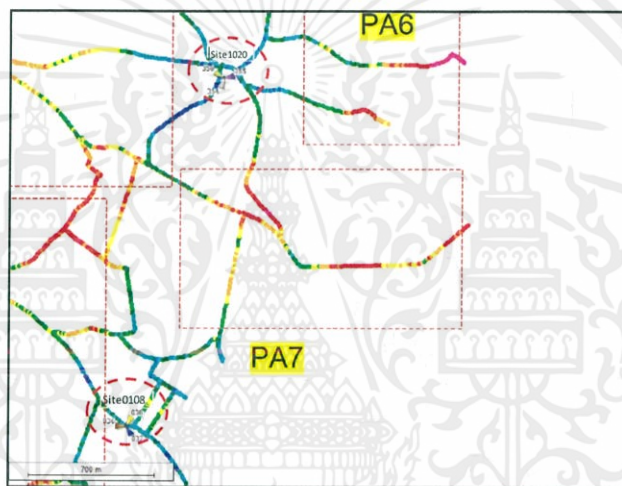


รูปที่ 4.53 ค่า Throughput DL บริเวณ PA6 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

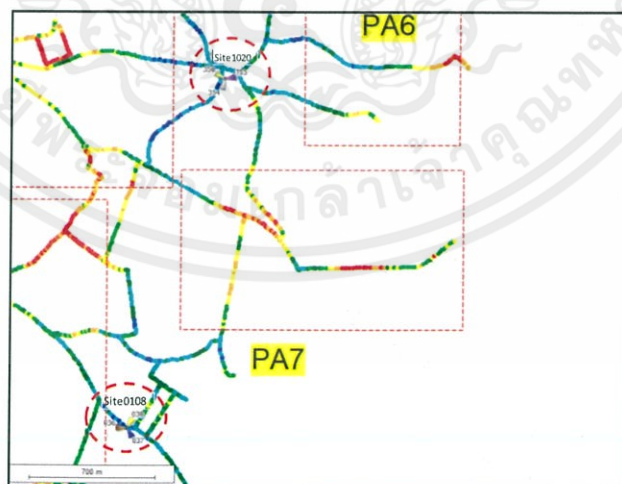
4.2.5.7 การแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA7

จากรูป 4.54 จะเห็นว่ามีความหมายของสัญญาณ RSRP ของพื้นที่ PA7 ส่วนใหญ่มีสีแดง และสีส้ม บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณแย่ไปจนถึงแย่มาก ซึ่งพื้นที่ PA7 มีตำแหน่งที่อยู่ห่างจากสถานีฐานค่อนข้างไกล และอยู่ระหว่างสองสถานีฐาน ทำให้การแพร่กระจายของสัญญาณไปไม่ถึง โดยที่พื้นที่ PA7

มีสถานีฐานที่เกี่ยวข้อง 2 สถานีฐาน ได้แก่ สถานีฐาน Site1020 กับ Site0108 โดยทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site1020 เซกเตอร์ C (PCI = 354) จาก 4 เป็น 2 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณให้พื้นที่ PA7 และทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0108 เซกเตอร์ A (PCI = 038) จาก 4 เป็น 2 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณให้พื้นที่ PA7 เช่นเดียวกัน ส่งผลให้พื้นที่ PA7 มีคุณภาพสัญญาณที่ดีขึ้น เพราะสถานีฐานทั้งสองเพิ่มขอบเขตความครอบคลุมของสัญญาณเพื่อแพร่กระจายสัญญาณไปยังพื้นที่ดังกล่าว โดยที่แสดงผลการทดลองการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณดังรูปที่ 4.55

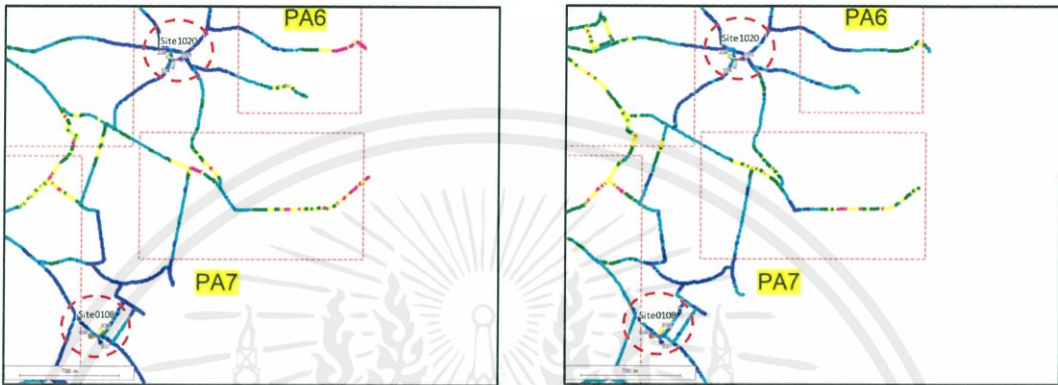


รูปที่ 4.54 ค่า RSRP บริเวณ PA7 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

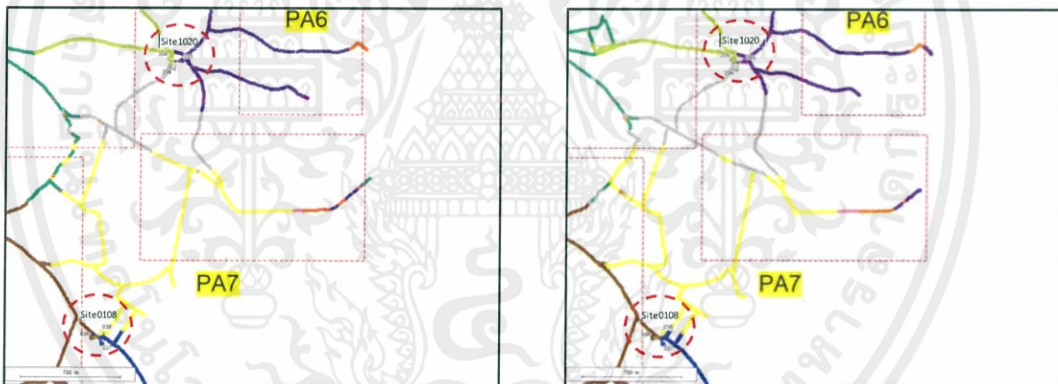


รูปที่ 4.55 ค่า RSRP บริเวณ PA7 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

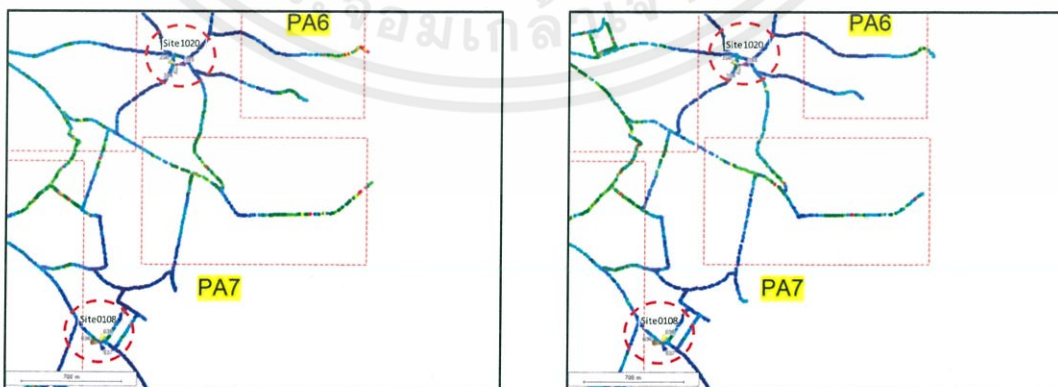
จากการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA7 พบว่า บริเวณพื้นที่ PA7 มีคุณภาพของสัญญาณดีขึ้น อาจจะไม่ถึงขั้นดีมาก แต่ก็สามารถทำให้ใช้งานการติดต่อสื่อสารได้ดีขึ้น จากการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณทำให้ค่าของสัญญาณอื่น ได้แก่ SINR, PCI และ Throughput DL ตามลำดับ ให้ดีขึ้นด้วย ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.56 – 4.58 ตามลำดับ



รูปที่ 4.56 ค่า SINR บริเวณ PA7 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



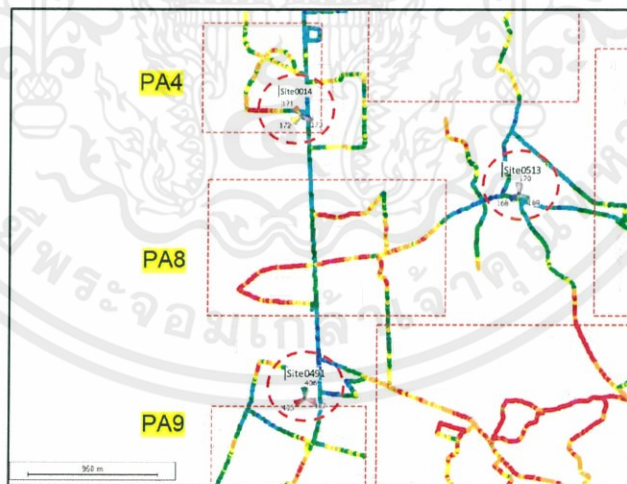
รูปที่ 4.57 ค่า PCI บริเวณ PA7 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



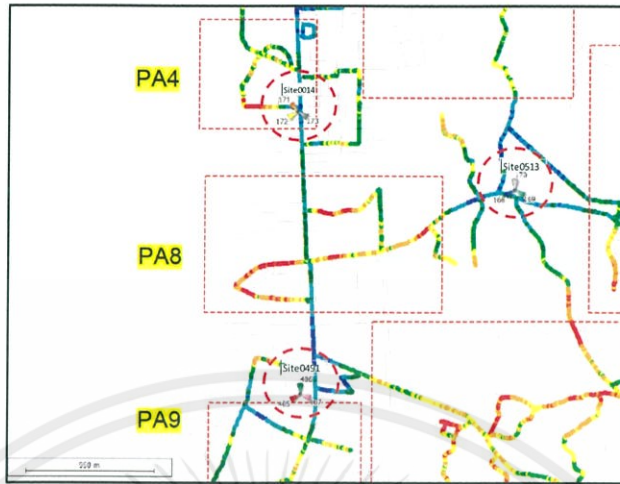
รูปที่ 4.58 ค่า Throughput DL บริเวณ PA7 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

4.2.5.8 การแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA8

จากรูป 4.59 จะเห็นว่ามีความผิดปกติของสัญญาณ RSRP ของพื้นที่ PA8 ส่วนใหญ่มีสีแดงและสีส้ม บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณแย่มาก และเป็นพื้นที่ที่มีสถานีฐานอยู่ห่างกันมาก โดยมีสถานีฐานที่เกี่ยวข้อง 3 สถานีฐาน ได้แก่ สถานีฐาน Site0014, Site0491 และ Site0513 โดยทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0014 เซกเตอร์ C (PCI = 172) จาก 2 เป็น 1 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณในพื้นที่ PA8 ทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0491 เซกเตอร์ A (PCI = 406) จาก 2 เป็น 1 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณในพื้นที่ PA8 และทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0513 เซกเตอร์ C (PCI = 168) จาก 2 เป็น 1 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณในพื้นที่ PA8 สังเกตว่าสังเกตว่า การปรับปรุงสัญญาณของทั้ง 3 สถานีฐานเป็นการเพิ่มระยะทางในการแพร่กระจายทั้งหมด เพราะพื้นที่ PA8 เป็นพื้นที่ที่มีสถานีฐานตั้งอยู่ห่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแพร่กระจายสัญญาณไปยังบริเวณที่มีคุณภาพของสัญญาณต่ำ เพื่อให้สัญญาณครอบคลุมมากขึ้น และส่งผลให้คุณภาพของสัญญาณดีขึ้นเช่นกัน โดยที่แสดงผลการทดลองการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณดังรูปที่ 4.60

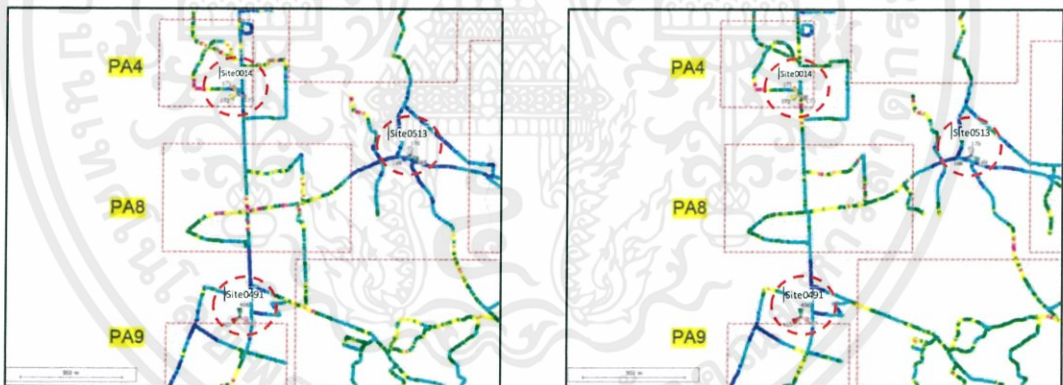


รูปที่ 4.59 ค่า RSRP บริเวณ PA8 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

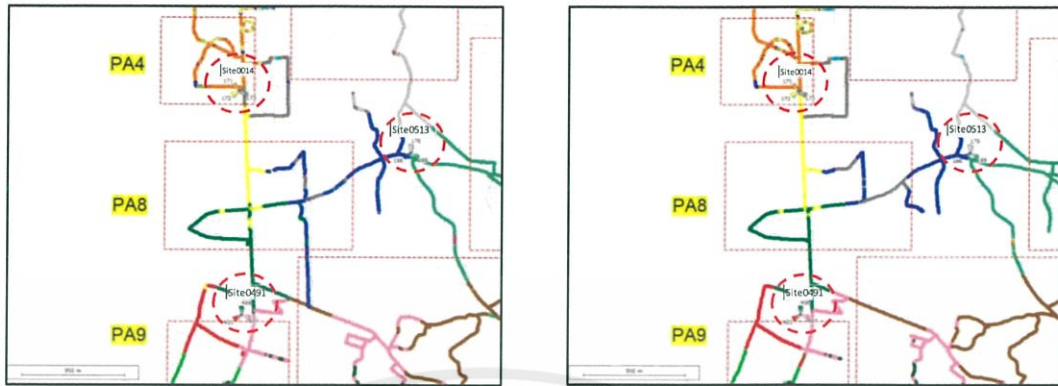


รูปที่ 4.60 ค่า RSRP บริเวณ PA8 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

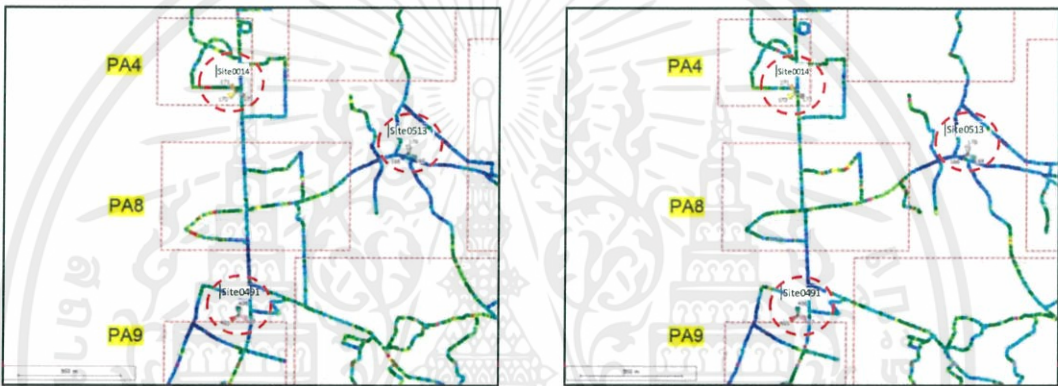
จากการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA8 พบว่า บริเวณพื้นที่ PA8 มีคุณภาพของสัญญาณดีขึ้น อาจจะไม่ถึงขั้นดีมาก แต่ก็สามารถทำให้ใช้งานการติดต่อสื่อสารได้ดีขึ้น จากการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณทำให้ค่าของสัญญาณอื่น ได้แก่ SINR, PCI และ Throughput DL ตามลำดับ ให้ดีขึ้นด้วย ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.61 – 4.63 ตามลำดับ



รูปที่ 4.61 ค่า SINR บริเวณ PA8 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



รูปที่ 4.62 ค่า PCI บริเวณ PA8 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

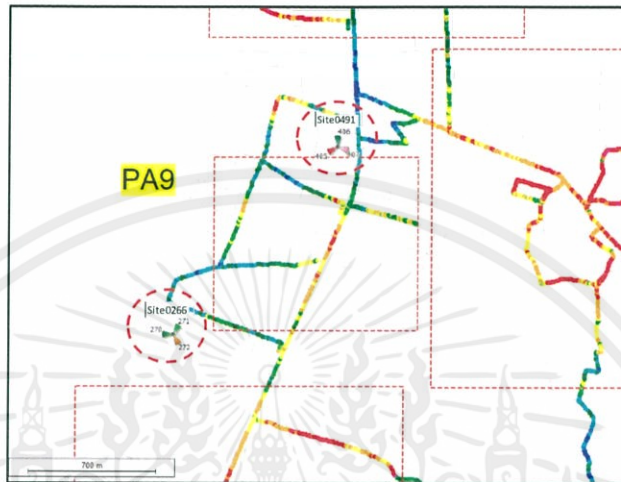


รูปที่ 4.63 ค่า Throughput DL บริเวณ PA8 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

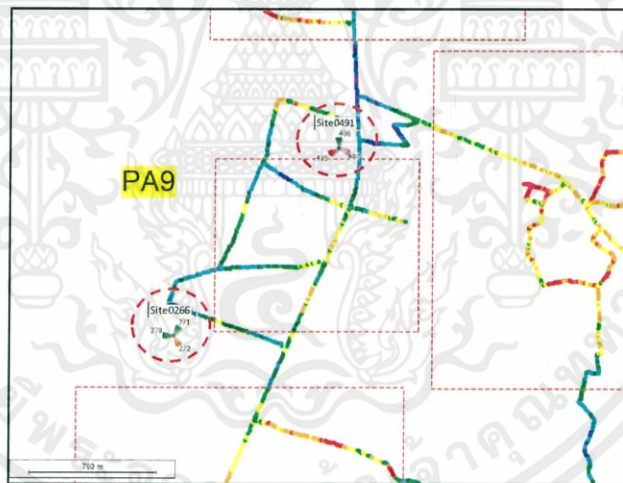
4.2.5.9 การแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA9

จากรูป 4.64 จะเห็นว่ามีความคุณภาพของสัญญาณ RSRP ของพื้นที่ PA9 ส่วนใหญ่มีสีแดง สีส้ม และสีเหลือง บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณแย่มาก และเป็นบริเวณพื้นที่ที่อยู่ระหว่างกลางของสถานีฐาน 2 สถานีฐาน สาเหตุที่ทำให้คุณภาพของสัญญาณบริเวณนี้แย่มากเกิดจากระยะของการแพร่กระจายของสัญญาณสั้นจนเกินไป เพราะกังวลว่าสถานีฐานทั้งสองสถานีฐานจะแพร่กระจายสัญญาณมาชนกัน หรือ ซ้อนทับกัน ทำให้ผู้ออกแบบมุมมองการแพร่กระจายสัญญาณในระยะสั้นใกล้สถานีฐาน ทำให้สัญญาณไม่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณนี้ ดังนั้นต้องทำการเพิ่มระยะของการแพร่กระจายสัญญาณของทั้งสองสถานีฐาน เพื่อให้สัญญาณครอบคลุมบริเวณพื้นที่ PA9 ซึ่งจะมีสถานีฐานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ สถานีฐาน Site0491 กับ Site0266 โดยทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0491 เซกเตอร์ C (PCI = 405) จาก 2 เป็น 1 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณให้พื้นที่ PA9 และทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0266 เซกเตอร์ A (PCI = 271) จาก 2 เป็น 1 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้

ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณให้พื้นที่ PA9 เช่นเดียวกัน ทำให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ PA9 มากขึ้น ส่งผลให้คุณภาพภายในพื้นที่ดีขึ้นด้วย โดยที่แสดงผลการทดลองการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณดังรูปที่ 4.65

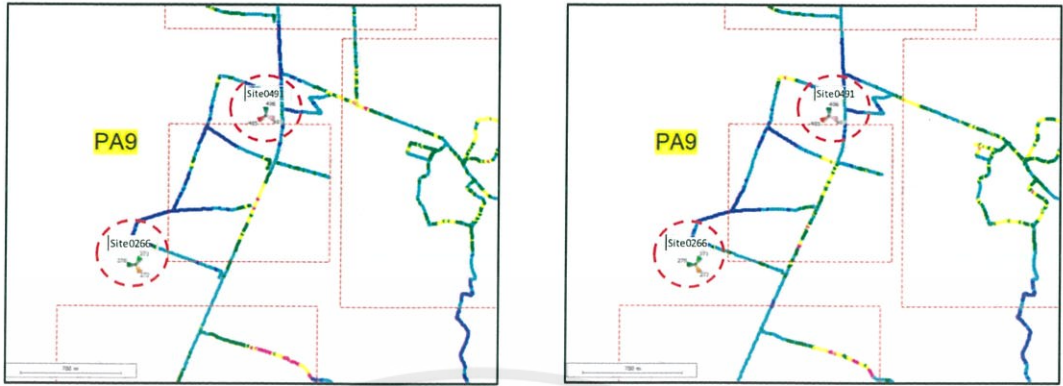


รูปที่ 4.64 ค่า RSRP บริเวณ PA9 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

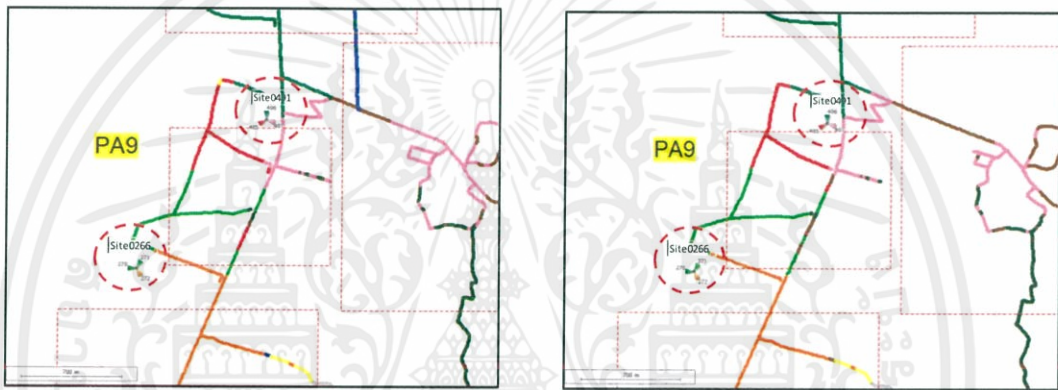


รูปที่ 4.65 ค่า RSRP บริเวณ PA9 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

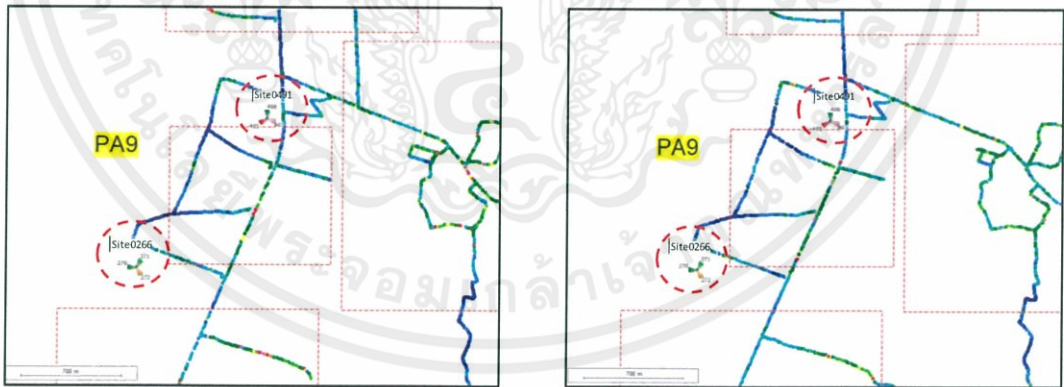
จากการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA9 พบว่า บริเวณพื้นที่ PA9 มีคุณภาพของสัญญาณดีขึ้น อาจจะไม่ถึงขั้นดีมาก แต่ก็สามารถทำให้ใช้งานการติดต่อสื่อสารได้ดีขึ้น จากการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณทำให้ค่าของสัญญาณอื่น ได้แก่ SINR, PCI และ Throughput DL ตามลำดับ ให้ดีขึ้นด้วย ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.66 – 4.68 ตามลำดับ



รูปที่ 4.66 ค่า SINR บริเวณ PA9 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



รูปที่ 4.67 ค่า PCI บริเวณ PA9 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

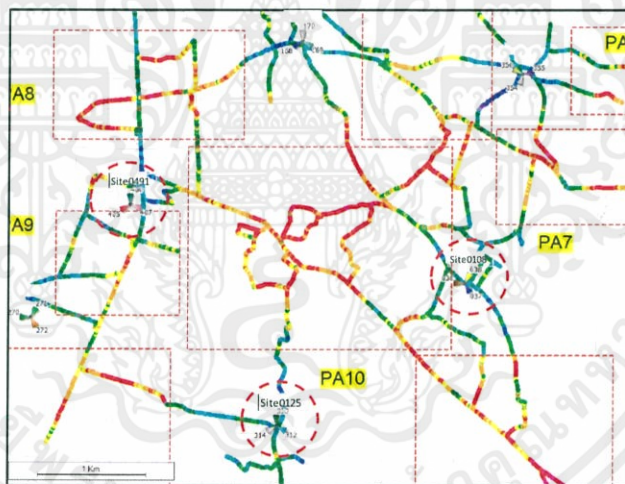


รูปที่ 4.68 ค่า Throughput DL บริเวณ PA9 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

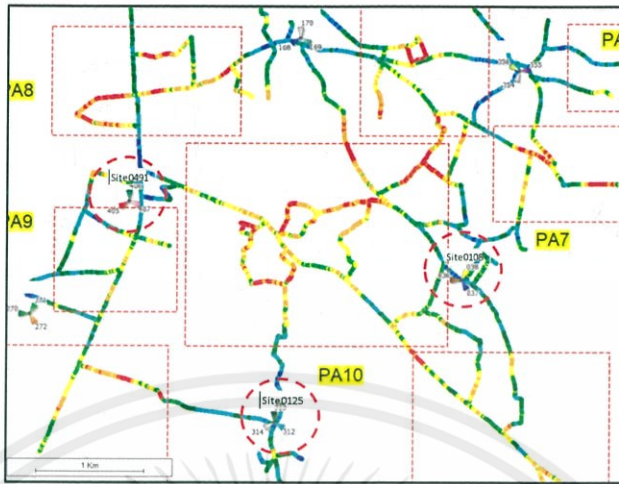
4.2.5.10 การแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA10

จากรูป 4.69 จะเห็นว่ามีความผิดปกติของสัญญาณ RSRP ของพื้นที่ PA10 ส่วนใหญ่มีสีแดง สีส้ม และสีเหลือง บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณแย่ไปจนถึงแย่มาก ซึ่งพื้นที่บริเวณ PA10 นั้นเป็นพื้นที่ที่มีขอบเขตกว้างมาก และเป็นบริเวณที่อยู่ระหว่างสถานีฐานหลายสถานีฐาน ส่งผลให้การแพร่กระจายของ

สัญญาณไปไม่ถึงบริเวณพื้นที่ดังกล่าวทำให้คุณภาพสัญญาณของบริเวณพื้นที่ PA10 มีคุณภาพสัญญาณที่แย่มาก ซึ่งมีสถานีฐานที่เกี่ยวข้องอยู่ 3 สถานีฐาน ได้แก่ สถานี Site0125, Site0491 และ Site0108 โดยทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0125 เซกเตอร์ A (PCI = 313) จาก 2 เป็น 1 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณในพื้นที่ PA10 ทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0491 เซกเตอร์ B (PCI = 407) จาก 2 เป็น 1 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณในพื้นที่ PA10 และทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0108 เซกเตอร์ C (PCI = 036) จาก 4 เป็น 1 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณในพื้นที่ PA10 สังเกตว่าการปรับปรุงสัญญาณของทั้ง 3 สถานีฐานเป็นการเพิ่มระยะทางในการแพร่กระจายทั้งหมด เพราะพื้นที่ PA10 เป็นพื้นที่ที่มีสถานีฐานตั้งอยู่ห่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแพร่กระจายสัญญาณไปยังบริเวณที่มีคุณภาพของสัญญาณต่ำ เพื่อให้สัญญาณครอบคลุมมากขึ้น โดยที่แสดงผลการทดลองการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณดังรูปที่ 4.70

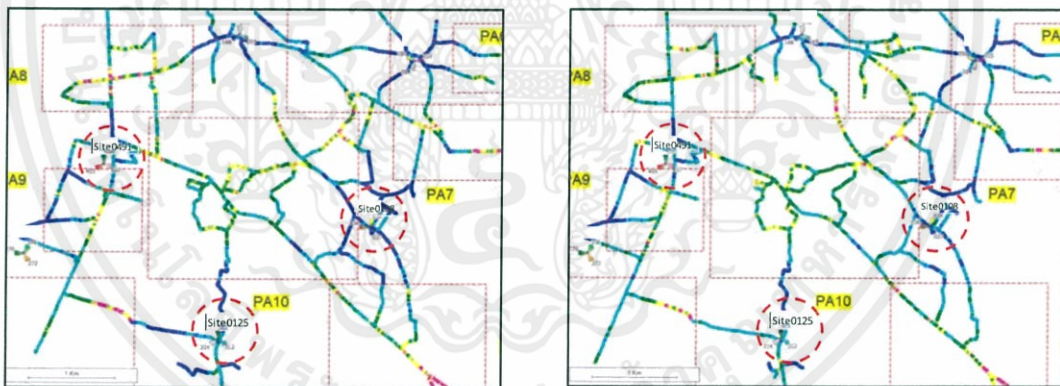


รูปที่ 4.69 ค่า RSRP บริเวณ PA10 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

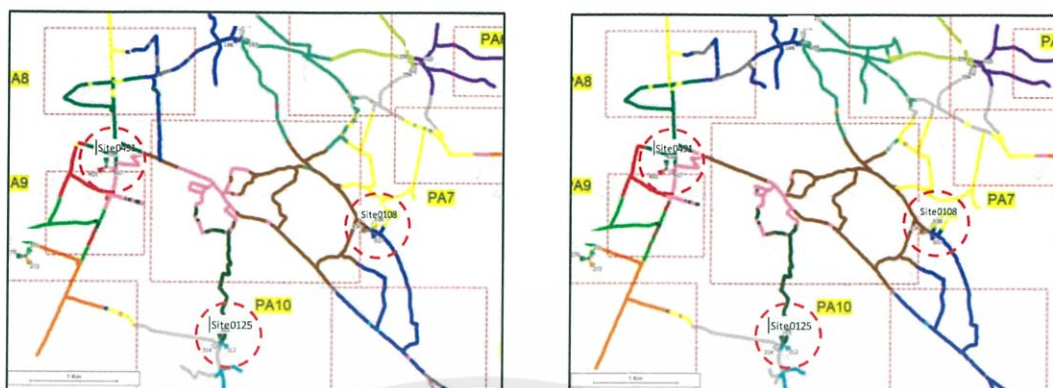


รูปที่ 4.70 ค่า RSRP บริเวณ PA10 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

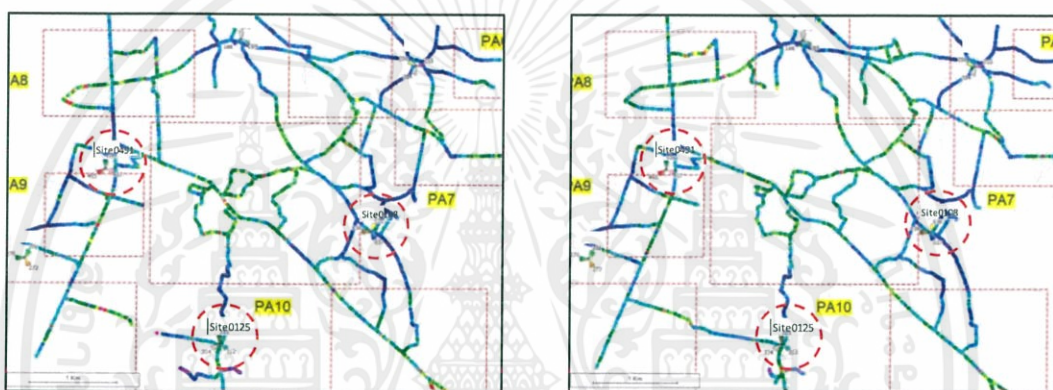
จากการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA10 พบว่า บริเวณพื้นที่ PA10 มีคุณภาพของสัญญาณดีขึ้น อาจจะไม่ถึงขั้นดีมาก แต่ก็สามารถทำให้ใช้งานการติดต่อสื่อสารได้ดีขึ้น จากการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณทำให้ค่าของสัญญาณอื่น ได้แก่ SINR, PCI และ Throughput DL ตามลำดับ ให้ดีขึ้นด้วย ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.71 – 4.73 ตามลำดับ



รูปที่ 4.71 ค่า SINR บริเวณ PA10 ก่อน – หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



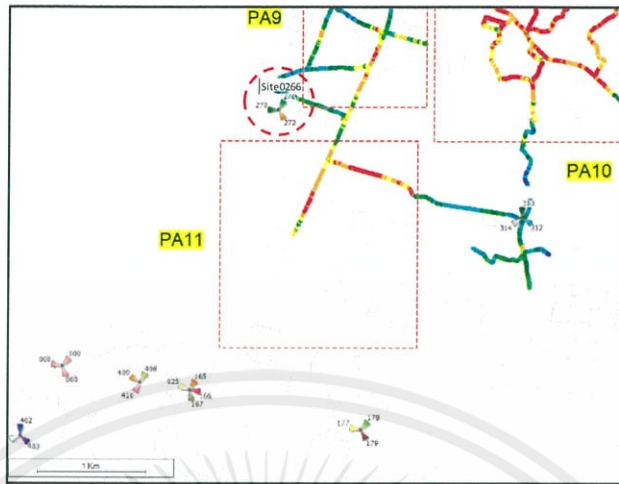
รูปที่ 4.72 ค่า PCI บริเวณ PA10 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



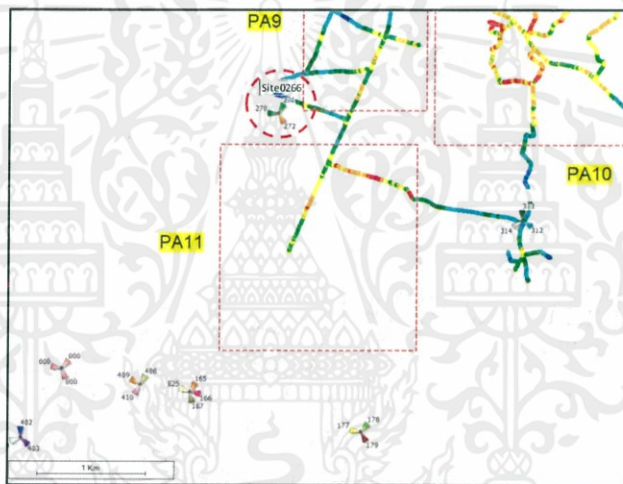
รูปที่ 4.73 ค่า Throughout DL บริเวณ PA10 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

4.2.5.11 การแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA11

จากรูป 4.74 จะเห็นว่ามีความคุณภาพของสัญญาณ RSRP ของพื้นที่ PA11 ส่วนใหญ่มีสีแดงและสีส้ม บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณแย่มาก ซึ่งบริเวณพื้นที่ดังกล่าวอยู่ไม่ห่างจากสถานีฐานมาก สาเหตุเกิดจากการแพร่กระจายสัญญาณจากสถานีฐานไปไม่ถึงพื้นที่นั้น อีกทั้งพื้นที่ PA11 มีสถานีฐานที่เกี่ยวข้องเพียงสถานีฐานเดียว คือ สถานีฐาน Site0266 ทำให้ง่ายต่อการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณบริเวณพื้นที่นี้ โดยทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0266 เซกเตอร์ B (PCI = 272) จาก 2 เป็น 1 องศา จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณให้พื้นที่ PA11 ทำให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ PA11 มากขึ้น ส่งผลให้คุณภาพของสัญญาณบริเวณนั้นดีขึ้นเช่นเดียวกัน โดยที่แสดงผลการทดลองการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณดังรูปที่ 4.75

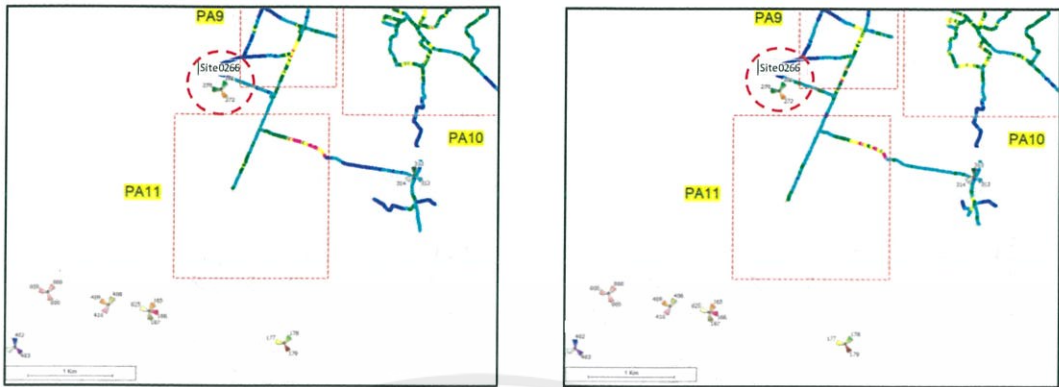


รูปที่ 4.74 ค่า RSRP บริเวณ PA11 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

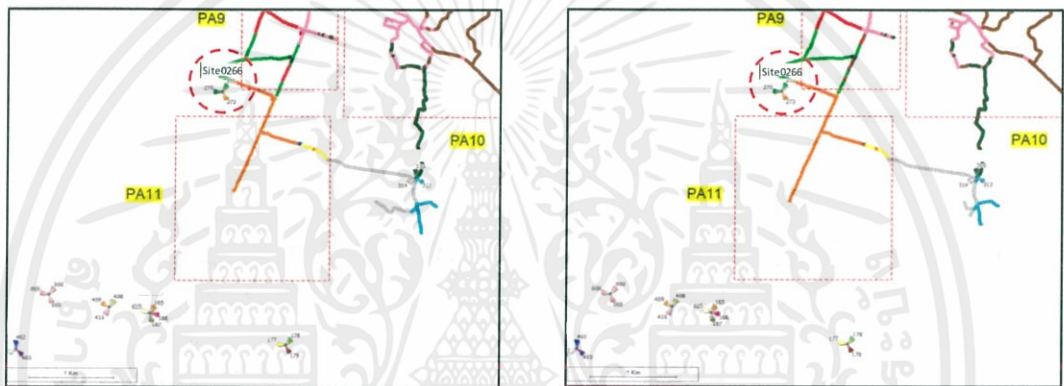


รูปที่ 4.75 ค่า RSRP บริเวณ PA11 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

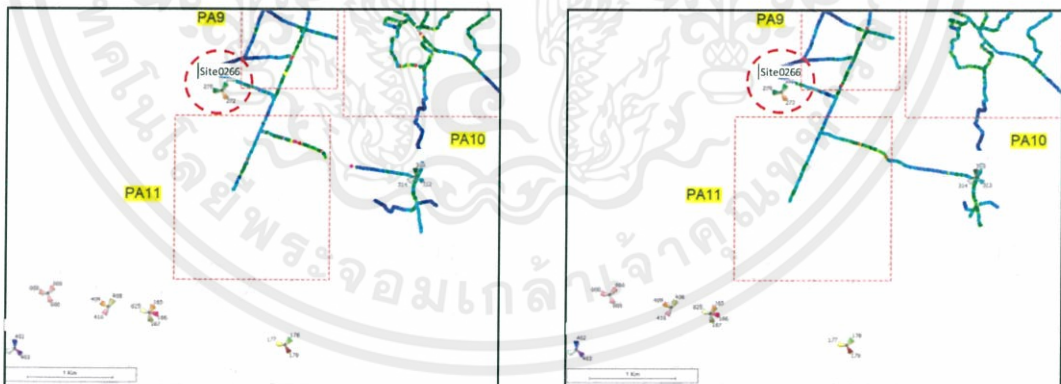
จากการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA11 พบว่า บริเวณพื้นที่ PA11 มีคุณภาพของสัญญาณดีขึ้น อาจจะไม่ถึงขั้นดีมาก แต่ก็สามารถทำให้ใช้งานการติดต่อสื่อสารได้ดีขึ้น จากการแก้ไข ปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณทำให้ค่าของสัญญาณอื่น ได้แก่ SINR, PCI และ Throughput DL ตามลำดับ ให้ดีขึ้นด้วย ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.76 – 4.78 ตามลำดับ



รูปที่ 4.76 ค่า SINR บริเวณ PA11 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



รูปที่ 4.77 ค่า PCI บริเวณ PA11 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

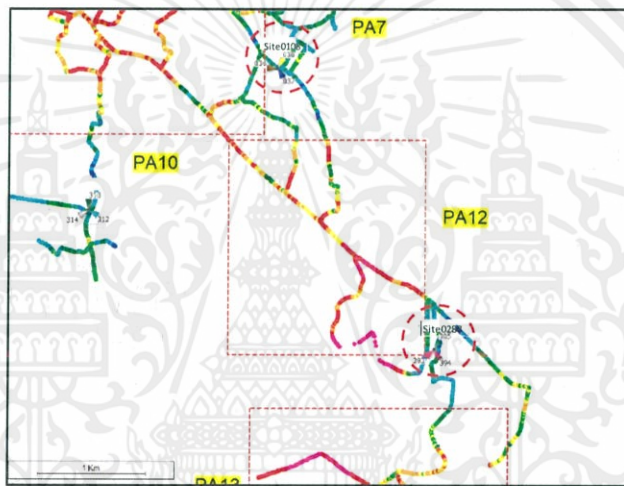


รูปที่ 4.78 ค่า Throughput DL บริเวณ PA11 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

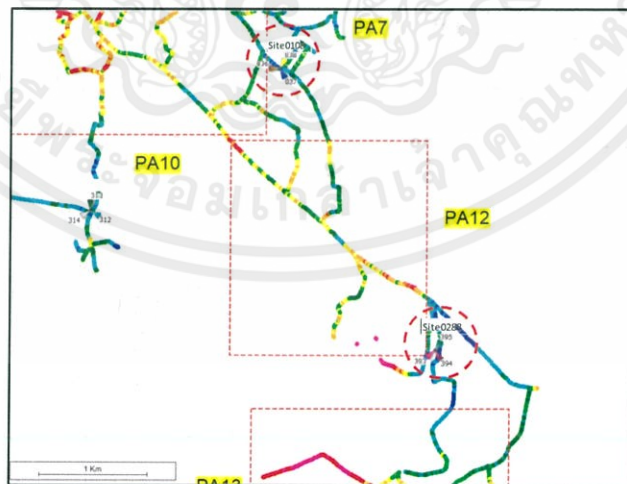
4.2.5.12 การแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA12

จากรูป 4.79 จะเห็นว่ามีความคุณภาพของสัญญาณ RSRP ของพื้นที่ PA12 ส่วนใหญ่มีสีแดง และสีชมพู บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณแย่มากจนถึงขั้นไม่ใช้งาน ซึ่งพื้นที่ PA12 มีตำแหน่งที่อยู่ห่างจากสถานีฐานค่อนข้างไกล และอยู่ระหว่างสองสถานีฐาน ทำให้การแพร่กระจายของสัญญาณไปไม่ถึง โดยที่พื้นที่ PA12

มีสถานีฐานที่เกี่ยวข้อง 2 สถานีฐาน ได้แก่ สถานีฐาน Site0108 กับ Site0288 โดยทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0108 เซกเตอร์ B (PCI = 037) จาก 4 เป็น 1 องศา จะทำให้เพิ่มพลังของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณในพื้นที่ PA12 และทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0288 เซกเตอร์ A (PCI = 395) จาก 4 เป็น 2 องศา จะทำให้เพิ่มพลังของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณในพื้นที่ PA12 เช่นเดียวกัน ส่งผลให้พื้นที่ PA12 มีคุณภาพสัญญาณที่ดีขึ้น เพราะสถานีฐานทั้งสองเพิ่มขอบเขตความครอบคลุมของสัญญาณเพื่อแพร่กระจายสัญญาณไปยังพื้นที่ดังกล่าว โดยที่แสดงผลการทดลองการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณดังรูปที่ 4.80

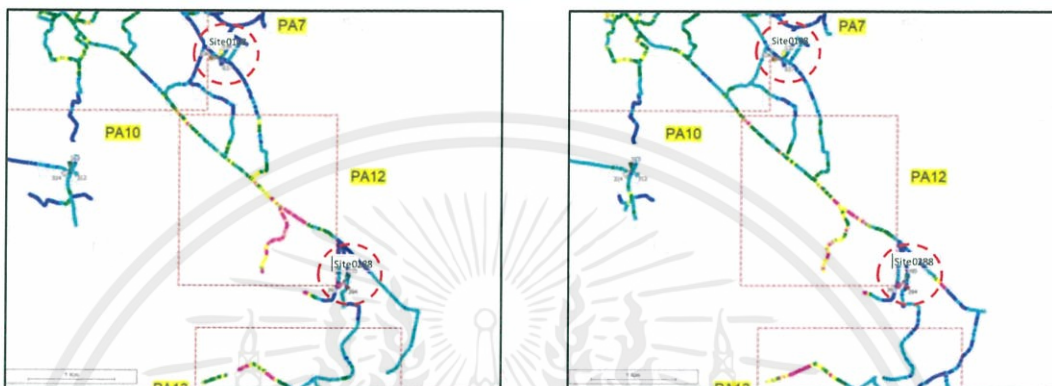


รูปที่ 4.79 ค่า RSRP บริเวณ PA12 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

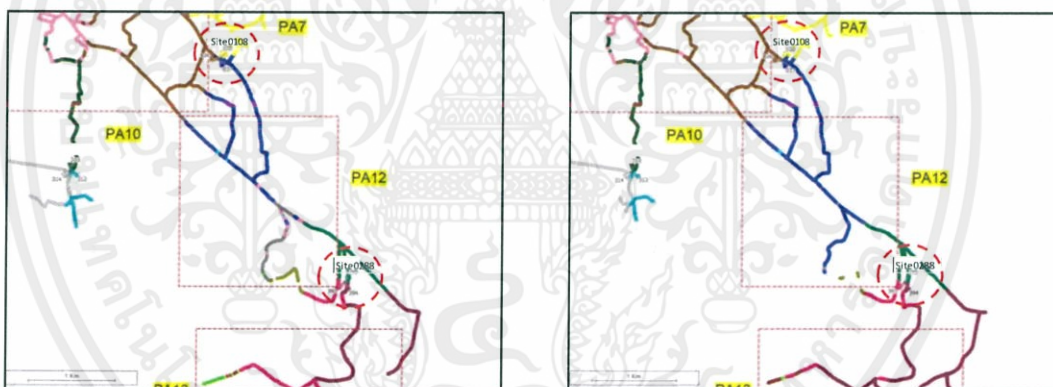


รูปที่ 4.80 ค่า RSRP บริเวณ PA12 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

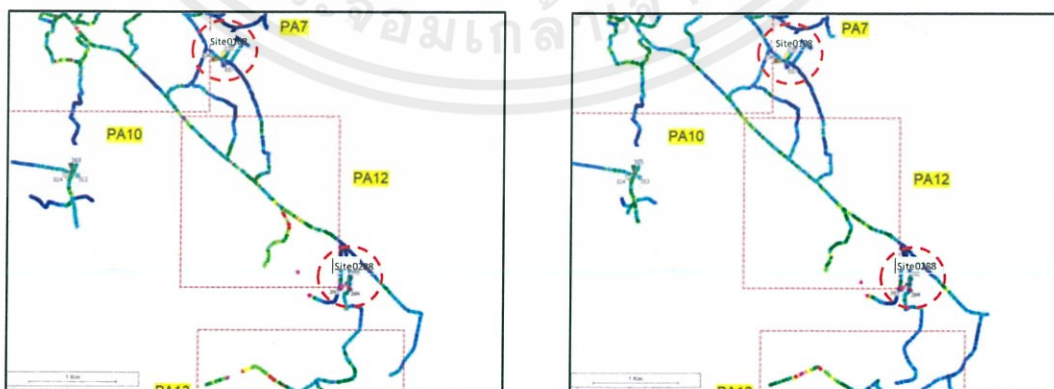
จากการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA12 พบว่า บริเวณพื้นที่ PA12 มีคุณภาพของสัญญาณดีขึ้น อาจจะไม่ถึงขั้นดีมาก แต่ก็สามารถทำให้ใช้งานการติดต่อสื่อสารได้ดีขึ้น จากการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณทำให้ค่าของสัญญาณอื่น ได้แก่ SINR, PCI และ Throughput DL ตามลำดับ ให้ดีขึ้นด้วย ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.81 – 4.83 ตามลำดับ



รูปที่ 4.81 ค่า SINR บริเวณ PA12 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



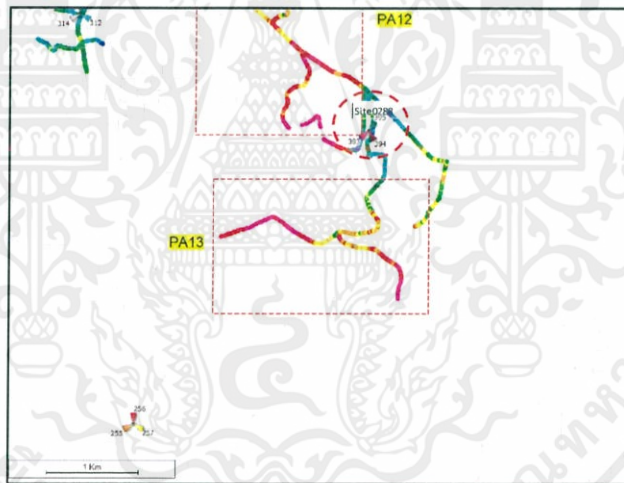
รูปที่ 4.82 ค่า PCI บริเวณ PA12 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



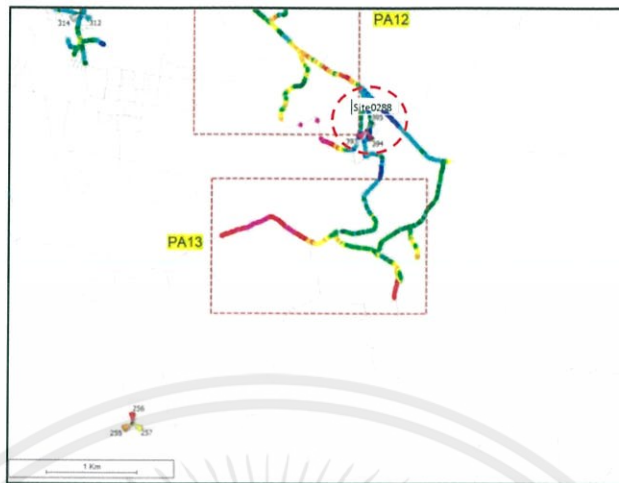
รูปที่ 4.83 ค่า Throughput DL บริเวณ PA12 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

4.2.5.13 การแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA13

จากรูป 4.84 จะเห็นว่ามีความผิดปกติของสัญญาณ RSRP ของพื้นที่ PA13 ส่วนใหญ่มีสีแดง สีชมพู และสีส้ม บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณแย่ไปจนถึงแย่มาก ซึ่งบริเวณพื้นที่ดังกล่าวอยู่ห่างจากสถานีฐานมาก สาเหตุเกิดจากการแพร่กระจายสัญญาณจากสถานีฐานไปไม่ถึงพื้นที่นั้น อีกทั้งพื้นที่ PA13 มีสถานีฐานที่เกี่ยวข้องเพียงสถานีฐานเดียว คือ สถานีฐาน Site0288 ทำให้ง่ายต่อการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณบริเวณพื้นที่นี้ โดยทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0288 เซกเตอร์ C (PCI = 393) จาก 4 เป็น 2 องศา และทำการปรับ E-Tilt ของสถานีฐาน Site0288 เซกเตอร์ B (PCI = 394) จาก 4 เป็น 1 องศา ซึ่งเป็นการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ 2 เซกเตอร์บนสถานีฐานเดียว จะทำให้เพิ่มความแรงของสัญญาณและทำให้แพร่กระจายสัญญาณได้ไกลขึ้น เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของสัญญาณให้พื้นที่ PA13 ทำให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่ PA13 มากขึ้น ส่งผลให้คุณภาพของสัญญาณบริเวณนั้นดีขึ้นเช่นเดียวกัน โดยที่แสดงผลการทดลองการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณดังรูปที่ 4.85



รูปที่ 4.84 ค่า RSRP บริเวณ PA13 ก่อนการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



รูปที่ 4.85 ค่า RSRP บริเวณ PA13 หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

จากการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงสัญญาณของ PA13 พบว่า บริเวณพื้นที่ PA13 มีคุณภาพของสัญญาณดีขึ้น อาจจะไม่ถึงขั้นดีมาก แต่ก็สามารถทำให้ใช้งานการติดต่อสื่อสารได้ดีขึ้น จากการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณทำให้ค่าของสัญญาณอื่น ได้แก่ SINR, PCI และ Throughput DL ตามลำดับ ให้ดีขึ้นด้วย ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.86 – 4.88 ตามลำดับ



รูปที่ 4.86 ค่า SINR บริเวณ PA13 ก่อน – หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



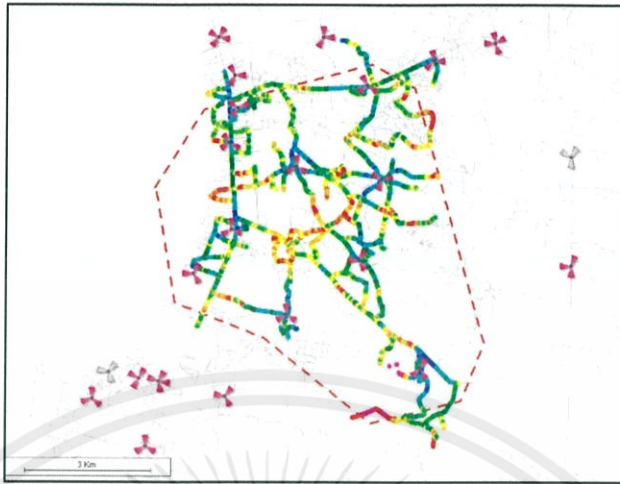
รูปที่ 4.87 ค่า PCI บริเวณ PA13 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ



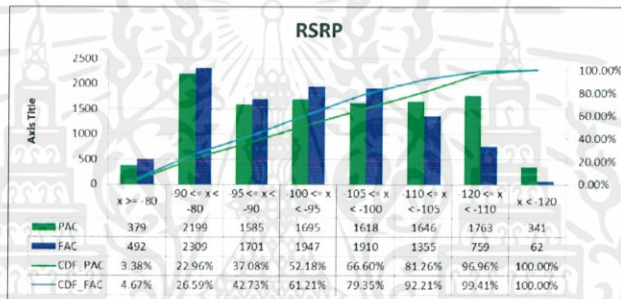
รูปที่ 4.88 ค่า Throughput DL บริเวณ PA13 ก่อน - หลังการแก้ไขปัญหาและการปรับปรุงสัญญาณ

สำหรับรูปที่ 4.89 – 4.99 เป็นการแสดงค่าและกราฟของค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่า RSRP, SINR, CQI, PCI, Throughput Downlink และ Throughput Uplink หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ โดยทำการ Drive Test รอบสุดท้าย หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณเรียบร้อยแล้ว จะแสดงดังต่อไปนี้

- 1) RSRP (Reference Signal Received Power) หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

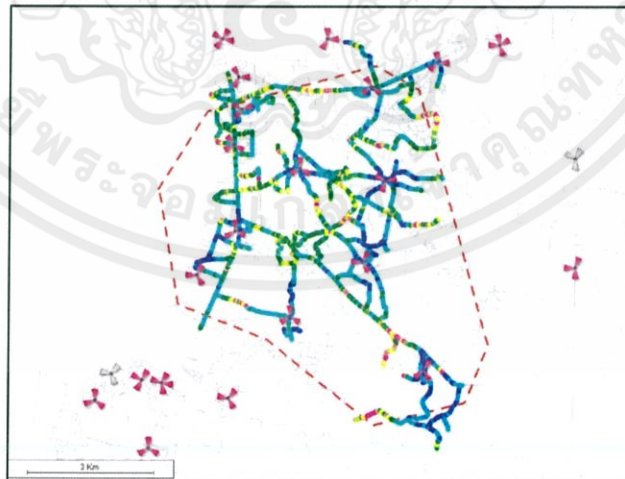


รูปที่ 4.89 ค่า RSRP หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

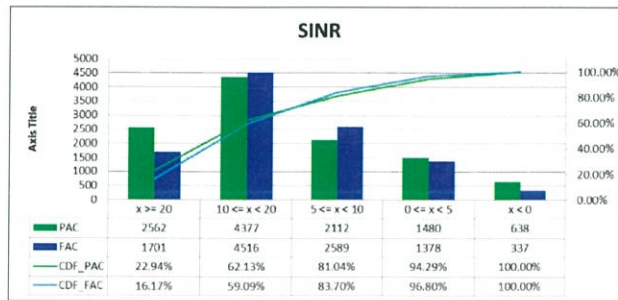


รูปที่ 4.90 กราฟ RSRP เปรียบเทียบก่อน – หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

2) SINR (Signal to Interference & Noise Ratio) หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

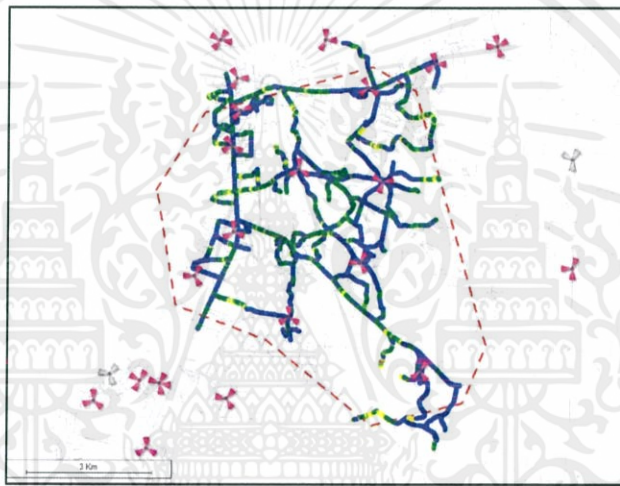


รูปที่ 4.91 ค่า SINR หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

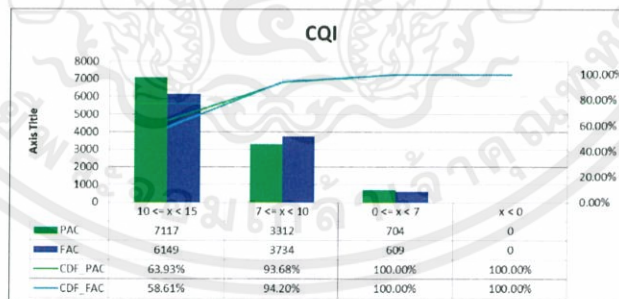


รูปที่ 4.92 กราฟ SINR เปรียบเทียบก่อน - หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

3) CQI (Channel Quality Indicator) หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

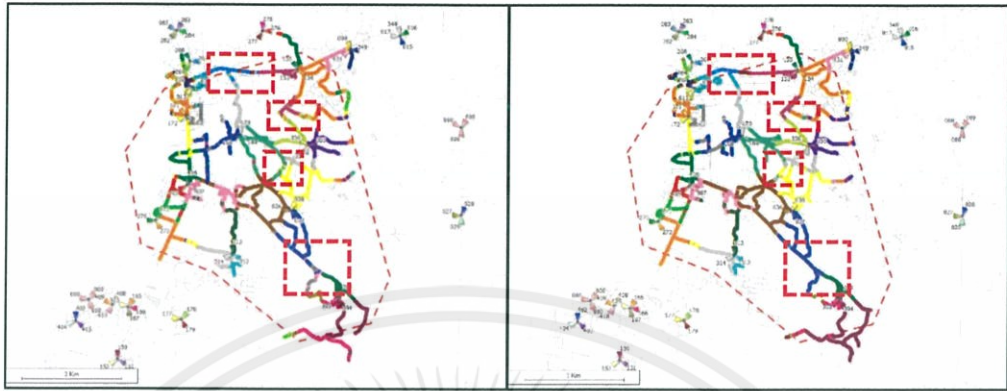


รูปที่ 4.93 ค่า CQI หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ



รูปที่ 4.94 กราฟ CQI เปรียบเทียบก่อน - หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

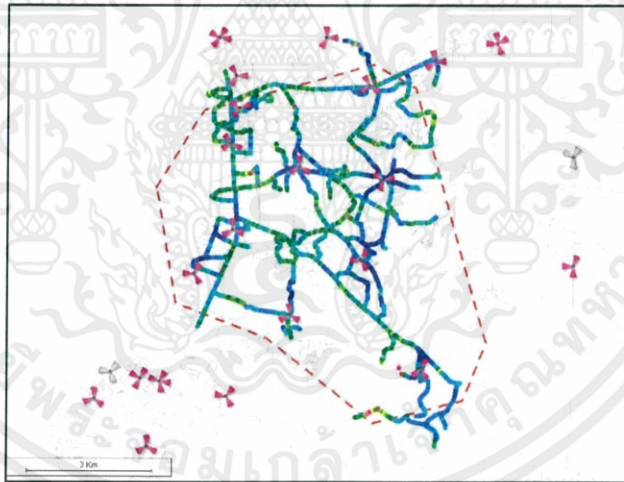
4) PCI (Physical Cell Id) หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ



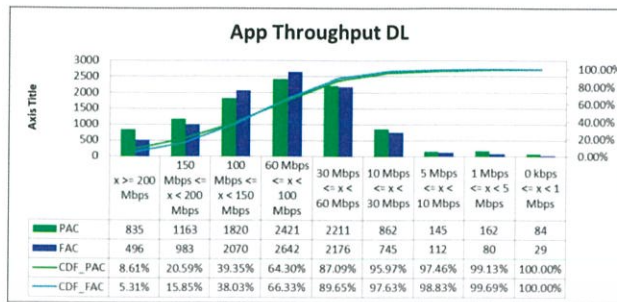
รูปที่ 4.95 ค่า PCI ก่อน - หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

จากรูปที่ 4.95 จะเห็นว่าหลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ ตำแหน่งของเส้นทางที่จับสัญญาณแต่ละ PCI นั้น มีการแบ่งแยกพื้นที่และสีที่ชัดเจนขึ้น ซึ่งแตกต่างจากก่อนการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

5) Throughput Downlink (PS Download) หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

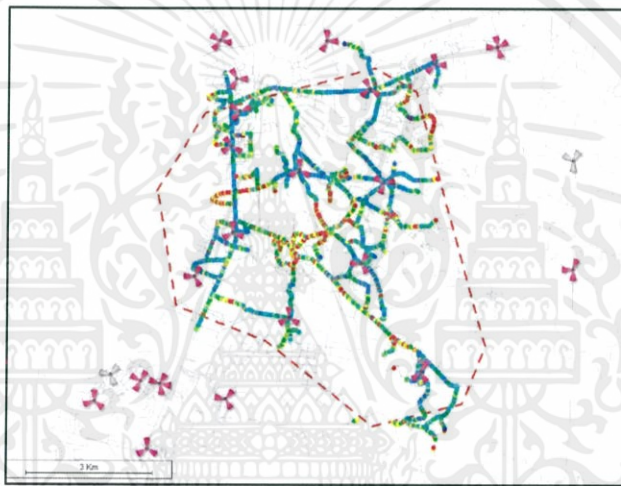


รูปที่ 4.96 ค่า Throughput Downlink หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

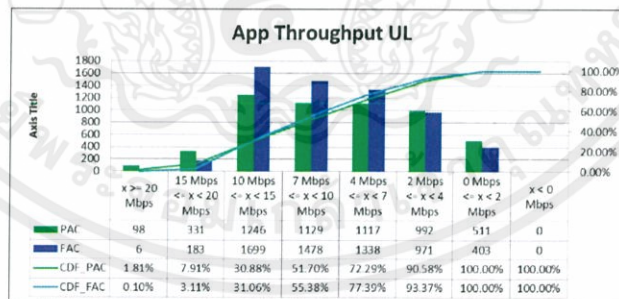


รูปที่ 4.97 กราฟ Throughput Download เปรียบเทียบก่อน – หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

6) Throughput Uplink (PS Upload) หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ



รูปที่ 4.98 ค่า Throughput Upload หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ



รูปที่ 4.99 กราฟ Throughput Upload เปรียบเทียบก่อน – หลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ

จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณ จะเห็นว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของคุณภาพของสัญญาณที่มีคุณภาพดีนั้น เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดสำหรับทุกๆค่าพารามิเตอร์ สำหรับการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณเบื้องต้นนี้ ยังไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุด โดยจะมีวิธีการปรับที่ดีที่สุดโดยการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบ ทำโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณเบื้องต้นนั้น สิ้นสุดขั้นตอนเพียงเท่านี้

สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่บ่งบอกคุณภาพของสัญญาณได้แก่ ค่า RSRP, SINR, CQI และ PCI มีความสัมพันธ์กันคือ เมื่อวางแผนออกแบบการติดตั้งเสาอากาศเพื่อจุดประสงค์ทำให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่รอบสถานีฐาน และทำให้สัญญาณสามารถแพร่กระจายไปในระยะที่ไกลที่สุด นั้นเรียกว่าการปูพรมค่า RSRP จากนั้น DTA (Drive Test Analysis) ตรวจสอบว่าภาพรวมของค่า RSRP ครอบคลุมพื้นที่แล้ว ทำให้คุณภาพของสัญญาณบริเวณนั้นใช้งานได้ตามมาตรฐานหรือไม่ ซึ่งบางครั้งการแพร่กระจายของสัญญาณไปถึงบริเวณพื้นที่หนึ่งๆ แต่คุณภาพของสัญญาณพื้นที่บริเวณนั้นไม่สามารถใช้งานได้ ซึ่งกรณีแบบนี้อาจจะเกิดขึ้นกับสถานีฐานที่เป็นสถานีฐานเดี่ยว ไม่มีสถานีฐานอื่นรบกวนสัญญาณ ซึ่งในกรณีนี้ ค่า SINR จะมีคุณภาพสัญญาณที่ดีโดยที่แปรผันตรงกับค่า RSRP แต่ถ้าหากมีสถานีฐานอื่นแพร่กระจายสัญญาณมารบกวนจะทำให้เกิดการ overlap หรือสัญญาณซ้อนทับกัน ดังนั้นต้องตรวจสอบดูค่า PCI mod 3 ว่าใช้เทคนิคในการ mod ซกกันระหว่างสถานีฐานหรือไม่ ยกตัวอย่าง สถานีฐาน A มีค่า PCI 3 ตั้งอยู่ใกล้กับสถานีฐาน B มีค่า PCI 6 แพร่กระจายสัญญาณไปในทิศทางเดียวกัน จะทำให้พื้นที่ในบริเวณนั้นมีคุณภาพของสัญญาณแย่มาก เพราะสถานีฐานทั้งสองมีค่า mod 3 = 0 จากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณ ถ้ากรณีสถานีฐานเดี่ยวจะทำให้การปรับค่าสัญญาณง่ายเพราะการปรับปรงนั้น จะตรวจสอบเฉพาะค่า RSRP ซึ่งจะไม่มีการรบกวนอื่นมารบกวน แต่ถ้าหากเป็นกรณี blocking area สัญญาณที่แพร่กระจายออกไปติดอาคาร หรือภูเขา ทำให้ค่า RSRP ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานในพื้นที่หลังอาคาร หรือหลังภูเขา และถ้าเป็นกรณีที่สถานีฐานอยู่สูงโดยที่พื้นที่รอบๆเป็นเนินลาดชัน ทำให้สัญญาณที่แพร่กระจายออกมานั้นลอย ทำให้ค่า RSRP มีคุณภาพสัญญาณแย่มาก จึงจำเป็นต้องปรับปรุงแก้ไขสัญญาณด้วยวิธีการ down tilt จากนั้นจะอธิบายเกี่ยวกับกรณีที่สถานีฐานอยู่ติดกัน จะทำให้เกิดปัญหาคือค่า RSRP ของสัญญาณ overlap หรือสัญญาณซ้อนทับกัน โดยกรณีการวางแผนในการติดตั้งสถานีฐานใกล้เคียงกันนั้น เพื่อทำให้สัญญาณครอบคลุม และสามารถ Hand Over กันระหว่างสถานีฐานได้ ซึ่งจำเป็นต้องทำการ add neighbor หรือการทำให้สถานีฐานใกล้กันรู้จักกัน ซึ่งจะช่วยให้ Hand Over ได้ดี ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการ overlap หรือสัญญาณซ้อนทับกัน ซึ่งจะไม่ผลกระทบบกับค่า RSRP แต่จะมีผลกระทบบกับ ค่า SINR และ ค่า PCI ถ้าหากเกิดการรบกวนกันระหว่างสัญญาณสองสถานีฐานมาก ค่า

SINR จะแย่มาก ซึ่งถ้าหาก $\text{mod } 3$ ของทั้งสองสถานีฐานชนกันก็จะทำให้สัญญาณแย่อีก โดยที่จะเห็นค่าคุณภาพของสัญญาณเป็นสีเหลือง แต่ถ้า $\text{mod } 3$ ไม่ชนกันจะทำให้คุณภาพของสัญญาณไม่แย่มากโดยที่จะเห็นค่าคุณภาพของสัญญาณเป็นสีฟ้า ซึ่งจะส่งผลทำให้ ค่า PCI จะต้องเลือกจับบริเวณพื้นที่ที่ overlap หรือสัญญาณซ้อนทับกัน ซึ่งการที่โทรศัพท์ของผู้ใช้จะจับกับเซลล์ของสถานีฐานตัวใดนั้น ขึ้นอยู่กับค่า KPI ของแต่ละผู้ให้บริการ สำหรับตัวอย่างต่อไปนี้อธิบายเกี่ยวกับการเคลื่อนที่จากสถานีฐาน A และ B จะเห็นว่าเมื่อเคลื่อนที่ห่างจากสถานีฐาน A ค่า RSRP ของสัญญาณจะมีค่าอ่อนลงเรื่อยๆ และเมื่อเคลื่อนที่เข้าใกล้สถานีฐาน B ค่า RSRP ของสัญญาณจะมีค่าแรงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งถ้าอุปกรณ์ของผู้ใช้จับสัญญาณกับสถานี A อยู่แล้วสัญญาณโทรศัพท์จะอ่อนลงจนถึงค่า KPI ที่กำหนดไว้ จากนั้นอุปกรณ์ของผู้ใช้จะจับสัญญาณกับสถานีฐานที่มีคุณภาพของสัญญาณดีที่สุด จากความหมายของค่า SINR นั่นคือ ค่าคุณภาพของสัญญาณ และค่า CQI ก็คือค่าดัชนีที่บ่งบอกว่าคุณภาพของสัญญาณนั้นดีหรือไม่ โดยที่ค่า CQI จะแปรผันตรงกับ ค่า SINR



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการนี้ประสบความสำเร็จในการวางแผนออกแบบในการติดตั้งเสาอากาศบนสถานีฐาน และการเพิ่มพื้นที่ให้บริการของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งได้ทำการคิดค้นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในติดตั้งเสาอากาศบนสถานีฐาน หาดำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งเสาอากาศ รวมทั้งออกแบบทิศทางในการติดตั้งเสาอากาศ เพื่อให้สัญญาณแพร่กระจายไปยังทิศทางที่ต้องการได้ ทำการตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณหลังจากติดตั้ง โดยการออกแบบการติดตั้ง และคุณภาพของสัญญาณผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ เมื่อเปิดให้บริการ จากนั้นทำการกำหนดเส้นทางเพื่อเก็บค่าข้อมูลของสัญญาณบริเวณรอบสถานีฐาน เพื่อนำค่าที่ได้ไปปรับปรุงแก้ไขคุณภาพของสัญญาณที่อาจจะเกิดความผิดพลาดบางประการ เช่น การชนกันหรือการซ้อนทับกันของสัญญาณจากสถานีฐานสองสถานีฐานที่อยู่ใกล้เคียงกัน เป็นต้น เมื่อทำการปรับปรุงแก้ไขคุณภาพของสัญญาณเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงทำรายงานของเสาอากาศ และทำการคิดค้นเครื่องมือเพื่อช่วยในการคำนวณพื้นที่หน้าตัดของเสาอากาศเพื่อรับแรงลมให้ได้เกณฑ์ไม่เกินตามที่กำหนดไว้ และสามารถติดตั้งเสาอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นอันสิ้นสุดกระบวนการในการจัดทำโครงการเกี่ยวกับการวางแผนและการเพิ่มประสิทธิภาพความครอบคลุมในระบบการติดต่อสื่อสารระบบแอลทีอี

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวางแผนออกแบบการติดตั้งเสาอากาศบนสถานีฐานนั้น ในบางครั้งข้อมูลจากฐานข้อมูลอาจจะไม่ตรงกับรูปภาพหน้างาน จำเป็นต้องใช้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์อย่างมากในการสังเกตว่าเสาอากาศที่ติดตั้งอยู่บนสถานีฐานเป็นเสาอากาศประเภทใด และการเพิ่มพื้นที่การให้บริการของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีสถานีฐานห่างกันมากๆ หรือบริเวณพื้นที่ที่เป็นจุดอับของสัญญาณ เพื่อให้การแพร่กระจายของสัญญาณครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น แต่ถ้าหากพื้นที่ที่ไม่มีผู้คนอาศัยอยู่ เช่น บนเขารกร้าง และแม่น้ำที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ ก็ไม่มีความจำเป็นในการเพิ่มพื้นที่ให้บริการ แต่อาจจะใช้วิธีการอื่นเพื่อรองรับการใช้งานหากต้องการความครอบคลุมบริเวณพื้นที่ทั้งหมด โดยการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเสาอากาศ เช่น ใช้เสาอากาศที่มีกำลังส่งสูง เพิ่มจำนวนเซกเตอร์ ทำให้สามารถกระจายสัญญาณได้หลายทิศทาง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ทำความรู้จักกับ 4G LTE คืออะไร (1G, 2G, 3G คือ อะไร?), เข้าถึงจาก <https://news.siamphone.com/news-13123.html>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 20 สิงหาคม 2561]
- [2] LTE Network Architecture, เข้าถึงจาก https://www.tutorialspoint.com/lte/lte_network_architecture.htm. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 10 กันยายน 2561]
- [3] สำนักงาน กสทช ดร. ชูติเดช บุญโกสุมภ์ (ผู้อำนวยการสำนักรับเรื่องร้องเรียนและคุ้มครองผู้บริโภคในกิจการโทรคมนาคม), “โครงข่ายโทรศัพท์มือถือ” คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่อความปลอดภัยด้านสุขภาพของมนุษย์. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 12 กันยายน 2561]
- [4] Frank Rayal, CTO, “LTE in a Nutshell: The Physical Layer” Telesystem Innovations. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 1 ตุลาคม 2561]
- [5] What is RF Drive Test (Testing)? , เข้าถึงจาก <http://www.telecomhall.com/what-is-rf-drive-test-testing.aspx>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 2 ตุลาคม 2561]
- [6] What is Antenna Electrical and Mechanical Tilt (and How to use it)?, เข้าถึงจาก <http://www.telecomhall.com/what-is-antenna-electrical-and-mechanical-tilt-and-how-to-use-it.aspx>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 7 พฤศจิกายน 2561]
- [7] Rijja Memon, “4G Drive Test Parameters” Drive Test Parameters. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 12 พฤศจิกายน 2561]
- [8] Remote Radio Unit (RRU), เข้าถึงจาก <http://rashidtelecom.blogspot.com/2015/11/rru.html>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 พฤศจิกายน 2561]
- [9] Base Station Controller (BSC), เข้าถึงจาก <https://plus.google.com/104202605467721105786/posts/Z62ezPn2D6K>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 พฤศจิกายน 2561]
- [10] Base Band Unit (BBU), เข้าถึงจาก <https://www.zte.com.cn/global/products/wireless/Base-Station-Series/Baseband-Unit>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 พฤศจิกายน 2561]

- [11] Omni Directional Antenna, เข้าถึงจาก <https://www.invictuswireless.com/24-9OD-p/od24-9.htm>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 พฤศจิกายน 2561]
- [12] Omni Directional Pattern, เข้าถึงจาก <https://www.caworldwifi.com/5.8-GhZ-Omni-Directional-Antenna-with-12-dB-Gain.html>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 พฤศจิกายน 2561]
- [13] Directional or Omnidirectional: Which Antenna Is Best?, เข้าถึงจาก <https://www.wilsonproway.com/blog/directional-or-omnidirectional-which-antenna-is-best/>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 พฤศจิกายน 2561]
- [14] Directional Pattern, เข้าถึงจาก <http://www.l-com.com/item.aspx?id=22454>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 พฤศจิกายน 2561]
- [15] Directional Antenna, เข้าถึงจาก <https://www.aliexpress.com/item/OSHINVOY-wifi-outdoor-patch-antenna-12dBi-wifi-signal-boost-panel-antenna-high-gain-2-4G-patch/32833397942.html>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 พฤศจิกายน 2561]
- [16] Huawei Technology (Thailand), “TDD 2300 MHZ” 2018 TDD 2300 MHz Site Solution & Guideline. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 20 พฤศจิกายน 2561]
- [17] Circuit Switched Fallback, เข้าถึงจาก http://www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_CS_Fallback.html. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 20 พฤศจิกายน 2561]
- [18] Carrier Aggregation explained, เข้าถึงจาก <http://careermakersbest.blogspot.com/2012/12/carrier-aggregation-explained.html>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 20 พฤศจิกายน 2561]
- [19] CQI – Channel Quality Indicator, เข้าถึงจาก <https://ytd2525.wordpress.com/2014/02/02/cqi-channel-quality-indicator/>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 20 พฤศจิกายน 2561]
- [20] How to Calculate LTE Throughput, เข้าถึงจาก http://anisimoff.org/eng/lte_throughput.html. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 20 พฤศจิกายน 2561]

[21] LTE RSRQ to SINR (LTE Metrics including RSRP, RSRQ and SINR, เข้าถึงจาก <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/lte-rsrq-sinr/>. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 20 พฤศจิกายน 2561]

