



รายงานการวิจัย

การพัฒนาเครื่องมือที่หาค่าเหมาะสมทางวิทยุสำหรับเครือข่ายสามจีโดยใช้
ความรู้เชิงประจักษ์จากการทำไดร์ฟเทส

Development of Radio Optimization Tool for 3G Network Using
Empirical Knowledge from Drive Test

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการทำวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การพัฒนาเครื่องมือที่หาค่าเหมาะสมทางวิทยุสำหรับเครือข่ายสามจีโดยใช้
ความรู้เชิงประจักษ์จากการทำไดร์ฟเทส
Development of Radio Optimization Tool for 3G Network Using
Empirical Knowledge from Drive Test

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. พิระพงษ์ อุฑารสกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

เมษายน 2560

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการวิจัยนี้
ขอขอบคุณนักศึกษาในทีปรีษาของผู้วิจัยที่ช่วยเก็บผลการทดลอง นายจิระวุธ กิระจิ่งและขอขอบคุณ รอง
ศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อูฑารสกุล สำหรับคำแนะนำในเชิงวิชาการที่เป็นประโยชน์

ผู้วิจัย

เมษายน 2560



บทคัดย่อ

เทคโนโลยียุคที่สามหรือที่เรียกว่าระบบสามจีกำลังขยายการติดตั้งเครือข่ายในประเทศไทยอย่างต่อเนื่อง เพื่อรองรับการรับส่งข้อมูลแอปพลิเคชันรวมทั้งสามารถใช้บริการมัลติมีเดียได้เต็มที่และสมบูรณ์แบบขึ้นด้วย โดยปัญหาหลักที่ยังเกิดขึ้นนั้นคือ บางพื้นที่ที่มีคุณภาพของสัญญาณที่ต่ำกว่ามาตรฐาน ทั้งนี้เป็นเพราะระบบสามจีนี้ใช้ความถี่เดียวทุกพื้นที่ทำให้สัญญาณอาจจะกวนกันได้ตลอดเวลาและส่งผลกระทบต่อการลดลงของคุณภาพสัญญาณ นอกจากนี้จำนวนผู้ใช้บริการที่มีมากขึ้นต้องการใช้การรับและส่งข้อมูลมากขึ้นก็มีผลเช่นกัน จึงทำให้ผู้ให้บริการหาวิธีที่จะช่วยเพิ่มคุณภาพสัญญาณให้ดีขึ้น วิธีการตรวจสอบคุณภาพสัญญาณที่สะท้อนความเป็นจริงมากที่สุดคือการออกไปวัดสัญญาณจริงในพื้นที่ที่ต้องการตรวจสอบหรือที่เรียกว่าการทำไดรฟ์เทส จากนั้นจะนำข้อมูลที่วัดจริงมาวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุและทำการปรับเปลี่ยนการตั้งค่าทางวิทยุในทางปฏิบัติที่จะปรับคุณภาพสัญญาณในพื้นที่นั้นให้ดีขึ้นเรื่อยๆ อย่างไรก็ตามการทำการไดรฟ์เทสแต่ละครั้งเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง นอกจากนี้การปรับค่าทางวิทยุในทางปฏิบัตินั้นก็ยังไม่มีการรองรับที่ชัดเจนซึ่งทำในลักษณะลองผิดลองถูกจนสามารถแก้ปัญหาในพื้นที่นั้นได้

จากการสำรวจปริทรรศน์วรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่ายังไม่มีการวิจัยใดที่ศึกษาและแก้ปัญหานี้ถึงแม้ว่าจะมีบางงานวิจัยที่พยายามหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแต่ก็ไม่ได้ใช้ข้อมูลเชิงประจักษ์ร่วมด้วยทำให้ไม่สามารถนำมาใช้งานจริงได้ หรือมีบางงานวิจัยที่จะพยายามลดการทำไดรฟ์เทสลงแต่ก็ไม่สามารถดำเนินการได้จริง เพราะข้อมูลที่ใช้ไม่เชื่อมต่อกับลักษณะตำแหน่งของพื้นที่จริง ดังนั้นการทำการวิจัยเรื่องนี้จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ ซึ่งผลสำเร็จจากการวิจัยนี้จะช่วยให้ประหยัดทั้งเวลาและงบประมาณในการทำงาน รวมถึงปรับปรุงและแก้ปัญหาคุณภาพเครือข่ายสามจีซึ่งกำลังเป็นเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่หลักของประเทศไทย

Abstract

The Third Generation technology also known as 3G has been implementing throughout Thailand continuously in order to support any modern applications and full multimedia services. The main problem usually occurred is that the quality of signal is below standard in some locations. This is because the interference of 3G system is huge due to the use of same frequency band for all cell sites. Moreover, the increase of users demand more transmitting and receiving data. Hence, the service providers have to find the method to improve the quality of signal quality. One method to realize the signal quality is the real measurement on the area of tested cell, so called as drive test. The measured data will be analyzed in order to identify the cause of the problem. Then, the radio parameters will be re-configured to improve the signal quality. However, each drive test takes a lot of time and money. Moreover, how to set the radio parameters in practice does not have the exact solution. The conventional method like a trial and error method is still used.

From literature surveys, there is no any research to solve the mentioned problem. Some research try to find the optimal radio parameters but there is no empirical data involving in calculation. Therefore, the results cannot be used in practice. Some research try to reduce the number of drive test but it is in a conceptual state due to the lack of linkage between the user data and the real user locations. Hence, the proposed research is very interesting and the outcome can help to save both time and money. Furthermore, the proposed method can improve the signal quality of 3G network which currently is the main mobile network in Thailand.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูปภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	3
1.3 แนวทางการดำเนินการวิจัย.....	3
1.4 ผลสำเร็จของโครงการ.....	3
1.5 การสำรวจปริทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 กล่าวนำ.....	6
2.2 ความเป็นมาของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ยุคที่ 3.....	6
2.2.1 ระบบเคลื่อนที่ในยุค สามจี.....	6
2.2.2 ระบบ WCDMA.....	8
2.2.3 โครงสร้างของระบบ WCDMA.....	9
2.3 กล่าวท้ายบท.....	18
บทที่ 3 การออกแบบอัลกอริทึมและแบบจำลองเชิงประจักษ์.....	19
3.1 กล่าวนำ.....	19
3.2 ปัญหาหลักที่พบในพื้นที่.....	19
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการไต่รฟเทศ.....	20
3.4 แบบจำลองสายอากาศที่นำมาวิเคราะห์.....	23
3.5 แบบจำลองเชิงประจักษ์.....	25
3.6 ฝั่งงานสรุปการทำงานของอัลกอริทึม.....	31

3.7	กล่าวท้ายบท	33
บทที่ 4	การหาค่าเหมาะสมทางวิทยุและวิเคราะห์ผล	35
4.1	กล่าวนำ	35
4.2	ข้อตกลงในการจำลองผล	35
4.3	ผลการจำลองแบบ	35
4.4	การหาค่าเหมาะสมทางวิทยุ	40
4.4.1	การหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบ Single Sector	41
4.4.2	การหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบ Multi Sectors	42
4.5	การหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบเมื่อทำการเปลี่ยนความถี่และสายอากาศ	47
4.6	การพัฒนาเพื่อนำไปใช้จริง	53
4.7	ผลจำลองเมื่อเทียบกับผลจริง	55
4.7.1	ผลจำลอง อัตราส่วนของพลังงานที่รับได้ส่วนด้วยพลังงานทั้งหมด (Ec/No)	55
4.7.2	ผลจำลองความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้ (RSCP)	56
4.7.3	ผลจำลองความครอบคลุมของพื้นที่ (Coverage)	57
4.8	กล่าวท้ายบท	59
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ	61
5.1	สรุป	61
5.2	ปัญหาข้อเสนอแนะ	62
5.3	แนวทางการพัฒนาในอนาคต	62
	บรรณานุกรม	63
	ภาคผนวก ก การเผยแพร่ผลงานวิจัย	66
	ภาคผนวก ข บทความวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่	67
	ประวัติผู้วิจัย	74

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	โครงสร้างของระบบ WCDMA	10
รูปที่ 2.2	เปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างระบบ GSM กับ WCDMA	11
รูปที่ 2.3	ย่านความถี่ของระบบสามจีในประเทศไทย	13
รูปที่ 2.4	การลดทอนค่ามัธยฐานพื้นฐานระหว่างความถี่กับระยะทาง [Y. Okumura, 1968]	14
รูปที่ 2.5	การหาตัวประกอบ G_{AREA} สำหรับประเภทที่แตกต่างกันของภูมิประเทศ [Y.Okumura,1968].....	15
รูปที่ 2.6	ตัวอย่างกำลังสัญญาณที่วัดได้ของโอคูมูระ [Y. Okumura, 1968]	16
รูปที่ 2.7	ตัวแปร A_{exc} ที่ใช้ในการปรับตามความถี่และระยะทางในแบบจำลองของฮาดะ	17
รูปที่ 3.1	ตัวอย่างผลการไคร์ฟเทสพื้นที่ที่มีปัญหา.....	20
รูปที่ 3.2	ข้อมูลที่ได้จากการไคร์ฟเทส.....	21
รูปที่ 3.3	ข้อมูลที่ได้จากการไคร์ฟเทสเมื่อทำการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออก	22
รูปที่ 3.4	ข้อมูลที่ผ่านการคัดกรองโดยใช้อัลกอริทึม	22
รูปที่ 3.5	ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งของสถานีฐานและพารามิเตอร์ต่างๆ	23
รูปที่ 3.6	แบบจำลองสายอากาศที่นำมาวิเคราะห์หัดันที่ 1	24
รูปที่ 3.7	แบบจำลองสายอากาศที่นำมาวิเคราะห์หัดันที่ 2	24
รูปที่ 3.8	แบบจำลองรูปแบบการก่อดำคลื่นของสายอากาศ.....	25
รูปที่ 3.9	แบบจำลองรูปแบบทิศทางของการก่อดำคลื่นของสายอากาศ.....	26
รูปที่ 3.10	แบบจำลองการหาระยะทางระหว่างตำแหน่งของสถานีฐานและตำแหน่งของสัญญาณ	26
รูปที่ 3.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับพลังงานที่ได้รับในระดับที่มุมเชิงไฟฟ้า ต่างกัน	31
รูปที่ 3.12	ผังงานขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุ	33
รูปที่ 4.1	ผลที่ได้จากโปรแกรม Actix Analyzer	36
รูปที่ 4.2	ผลที่ได้จากการจำลองอัลกอริทึม	36
รูปที่ 4.3	ผลการจำลองค่าเมื่อไม่ได้ปรับกำลังส่ง.....	37
รูปที่ 4.4	ผลการจำลองค่าเมื่อปรับกำลังส่งเพิ่มขึ้น 3dB.....	38
รูปที่ 4.5	ผลการจำลองค่าเมื่อปรับมุมเชิงไฟฟ้า 1 องศา.....	39

รูปที่ 4.6 ผลการจำลองค่าเมื่อปรับมุมเชิงไฟฟ้า 6 องศา.....	39
รูปที่ 4.7 แบบจำลองการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบหนึ่งเซกเตอร์.....	42
รูปที่ 4.8 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึม (Case A).....	46
รูปที่ 4.9 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึม (Case E)	46
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับพลังงานกับรูปแบบที่ศึกษา	47
รูปที่ 4.11 แบบจำลองรูปแบบการก่อลำคลื่นของสายอากาศที่ $f = 1732MHz$	48
รูปที่ 4.12 แบบจำลองรูปแบบการก่อลำคลื่นของสายอากาศที่ $f = 1805MHz$	48
รูปที่ 4.13 แบบจำลองรูปแบบการก่อลำคลื่นของสายอากาศที่ $f = 1950MHz$	49
รูปที่ 4.14 แบบจำลองรูปแบบการก่อลำคลื่นของสายอากาศที่ $f = 2140MHz$	49
รูปที่ 4.15 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์(สายอากาศต้นที่1) $f = 1732MHz$	50
รูปที่ 4.16 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์(สายอากาศต้นที่2) $f = 1735MHz$	50
รูปที่ 4.17 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์(สายอากาศต้นที่1) $f = 1805MHz$	50
รูปที่ 4.18 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์(สายอากาศต้นที่2) $f = 1805MHz$	51
รูปที่ 4.19 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์(สายอากาศต้นที่1) $f = 1950MHz$	51
รูปที่ 4.20 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์(สายอากาศต้นที่2) $f = 1950MHz$	51
รูปที่ 4.21 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์(สายอากาศต้นที่1) $f = 2140MHz$	52
รูปที่ 4.22 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์(สายอากาศต้นที่2) $f = 2140MHz$	52
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับพลังงานกับรูปแบบที่ศึกษา	53
รูปที่ 4.24 อัลกอริทึมในรูปแบบของ GUI.....	53
รูปที่ 4.25 อัลกอริทึมในรูปแบบของ GUI เมื่อมีการโหลดข้อมูล.....	54
รูปที่ 4.26 อัลกอริทึมในรูปแบบของ GUI เมื่อมีการปรับพารามิเตอร์.....	54
รูปที่ 4.27 ผลการจำลองค่าก่อนปรับพารามิเตอร์จากการไคร์ฟเทส	55
รูปที่ 4.28 ผลการจำลองค่าหลังปรับพารามิเตอร์จากการไคร์ฟเทส.....	55
รูปที่ 4.29 ผลการจำลองค่าหลังปรับพารามิเตอร์จากการอัลกอริทึม	56
รูปที่ 4.30 ผลการจำลองค่าก่อนปรับพารามิเตอร์จากการไคร์ฟเทส	56
รูปที่ 4.31 ผลการจำลองค่าหลังปรับพารามิเตอร์จากการไคร์ฟเทส.....	57
รูปที่ 4.32 ผลการจำลองค่าหลังปรับพารามิเตอร์จากการอัลกอริทึม	57
รูปที่ 4.33 ผลการจำลองค่าก่อนปรับพารามิเตอร์จากการไคร์ฟเทส	58
รูปที่ 4.34 ผลการจำลองค่าหลังปรับพารามิเตอร์จากการไคร์ฟเทส.....	58

รูปที่ 4.35 ผลการจำลองค่าหลังปรับพารามิเตอร์จากการอัลกอริทึม	58
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความครอบคลุมของพื้นที่กับรูปแบบที่ศึกษา.....	59



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในปัจจุบันเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศไทยกำลังให้ความสำคัญกับระบบในยุคสามจีถึงแม้ว่าจะมีระบบในยุคสี่จีให้เริ่มทดลองแล้วก็ตาม ทั้งนี้เพราะสองเหตุผลคือประชากรส่วนใหญ่ประมาณสองในสามของประเทศยังคงใช้ระบบโทรศัพท์ในยุคสองจีอยู่เพราะรายได้น้อยและไม่มีความจำเป็นต้องใช้บริการที่มีอัตราการส่งข้อมูลสูง ชาวบ้านทั่วไปใช้โทรศัพท์เพื่อโทรคุยกันมากกว่าการเข้าถึงอินเทอร์เน็ต อย่างไรก็ตามเมื่อสัญญาณของความถี่ในยุคสองจีหมดลง และอุปกรณ์ในยุคสองจีเริ่มหายากขึ้น ประชากรกลุ่มนี้ก็จำเป็นต้องย้ายมาใช้บริการกับระบบในยุคสามจีทั้งหมด ทำให้ปัญหาที่กำลังมาถึงของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศไทยคือการปรับค่าที่เหมาะสมของเครือข่ายสามจีเพื่อรองรับปริมาณผู้ใช้บริการสามจีที่เพิ่มขึ้นในอนาคต เครื่องมือหนึ่งที่นิยมใช้ในการตรวจสอบสมรรถนะของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่คือการทดสอบภาคสนามที่ใช้การขับรถวัดสัญญาณไปตามเส้นทางต่างๆ หรือที่เรียกว่าการทำให้ไดรฟ์เทส (Drive Test) เพราะวิธีการนี้ผู้ใช้บริการเครือข่ายจะรับรู้คุณภาพและปัญหาของสัญญาณจากฝั่งของผู้ใช้บริการ โดยตรง และเป็นข้อมูลที่รวมผลกระทบของสิ่งแวดล้อมทุกอย่างที่เกิดขึ้นจริงเอาไว้เรียบร้อยแล้ว การทำให้ไดรฟ์เทสจึงมีความสำคัญมากแต่ก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลาในการดำเนินการสูงมากสำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในเครือข่ายสามจินั้นจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากการทำให้ไดรฟ์เทส เพื่อหาวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่ แต่ในปัจจุบันอาศัยการวิเคราะห์จากผู้มีประสบการณ์และการคาดคะเนตามหลักการ โดยยังไม่มีเครื่องมือหรือวิธีการคำนวณที่สามารถกำหนดหรือช่วยตัดสินใจในการปรับค่าต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นการทำงานในปัจจุบันคือการเดาว่าถ้าปรับค่าต่างๆ เช่น ปรับมุมกดของสายอากาศปรับกำลังส่งสัญญาณของสถานีฐาน แล้วปัญหาที่เกิดขึ้นน่าจะหายไป จากนั้นก็จะส่งทีมงานไปไดรฟ์เทสอีกครั้งเพื่อทดสอบแนวคิด ถ้ายังปัญหาแก้ไขไม่ได้ ก็จะดำเนินการเดาค่าต่างๆ แล้วปรับค่าใหม่แต่ก็ต้องส่งทีมไปไดรฟ์เทสอีกครั้ง ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะแก้ปัญหาได้ ซึ่งเห็นได้ว่าเสียค่าดำเนินการทำให้ไดรฟ์เทสหลายครั้งกว่าจะปรับค่าต่างๆ ได้ และการปรับค่านี้ยิ่งขึ้นกับประสบการณ์หรือความเชี่ยวชาญของผูทำงานด้วย ซึ่งไม่มีหลักการที่เชื่อถือได้แน่นอน ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงต้องการสร้างเครื่องมือที่สามารถนำผลการไดรฟ์เทสในครั้งแรกมาวิเคราะห์ผ่านแบบจำลองคณิตศาสตร์ในรูปแบบของความรู้เชิงประจักษ์เพื่อให้สามารถทดสอบและปรับค่าต่างๆ ได้ในแบบจำลอง เมื่อปรับแล้วก็จะเห็นผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

ทั้งหมดได้ทันที โดยที่ไม่ต้องออกไปใคร่ฟเทศ ทำให้สะดวก เชื่อถือได้และประหยัดทั้งงบประมาณและเวลาในการทำงาน และยังสามารถแก้ปัญหาได้ตรงประเด็นตามค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้อย่างรวดเร็ว

จากการสำรวจปริทรรศน์วรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดที่จะศึกษาและแก้ปัญหานี้ ถึงแม้ว่าจะมีบางงานวิจัยที่พยายามหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแต่ก็ไม่ได้ใช้ข้อมูลเชิงประจักษ์ร่วมด้วยทำให้ไม่สามารถนำมาใช้งานจริงได้ หรือมีบางงานวิจัยที่จะพยายามลดการทำใคร่ฟเทศลงแต่ก็ไม่สามารถดำเนินการได้จริงเพราะข้อมูลที่ใช้ไม่เชื่อมต่อกับลักษณะตำแหน่งของพื้นที่จริง ดังนั้นการทำวิจัยเรื่องนี้จึงเป็นเรื่องที่น่าจะให้ความสำคัญเร่งด่วนเพราะสามารถสร้างองค์ความรู้ทันกับการพัฒนาประเทศและเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในปัจจุบัน ทำให้เพิ่มโอกาสแข่งขันในระดับสากลมากขึ้น ซึ่งผลสำเร็จจากการวิจัยนี้จะช่วยให้ประหยัดทั้งเวลาและงบประมาณในการทำงาน รวมถึงปรับปรุงและแก้ปัญหาคุณภาพเครือข่ายสามจีซึ่งกำลังเป็นเครือข่ายหลักสำหรับการสื่อสารของประชากรในประเทศ ทำให้งานวิจัยนี้สอดคล้องกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 2 การสร้างศักยภาพและความสามารถในการพัฒนาทางเศรษฐกิจ กลยุทธ์การวิจัยที่ 7 เพิ่มสมรรถนะและขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร แผนงานวิจัยที่ 5 การวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุปกรณ์โทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศ และยังสอดคล้องกับแผนงานวิจัยกับยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) เรื่อง 4. ยุทธศาสตร์การปรับโครงสร้างเศรษฐกิจสู่การเติบโตอย่างมีคุณภาพและยั่งยืน หัวข้อ 4.2 การพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัย และนวัตกรรม

นอกจากนี้ผลสำเร็จของโครงการวิจัยยังเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ระบบสื่อสารยุคสามจีให้สูงขึ้น แก้ปัญหาในพื้นที่ที่คุณภาพสัญญาณต่ำ อันเป็นการยกระดับคุณภาพชีวิตของกลุ่มเป้าหมาย ด้วยการพัฒนาองค์ความรู้จากนักวิจัยในประเทศไทย จากการสำรวจวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่าเทคนิคที่เสนอในงานวิจัยนี้เป็นเรื่องใหม่ที่ยังไม่เคยมีงานวิจัยใดเสนอมาก่อน นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพัฒนาเทคนิคดังกล่าวในลักษณะเป็นการสร้างแบบจำลองที่อาศัยการวัดสัญญาณจริงเพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงประจักษ์ แล้วพัฒนาจนเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้งานได้จริง ถือว่าเป็นแนวทางในการพัฒนาที่นำไปสู่การสร้างฐานรากงานวิจัยของอุตสาหกรรมด้านเทคโนโลยีสารสนเทศเคลื่อนที่ของประเทศ จึงสอดคล้องกับกลุ่มเรื่องวิจัยที่ควรมุ่งเน้นตามนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) หัวข้อ 9. เทคโนโลยีใหม่และเทคโนโลยีที่สำคัญเพื่ออุตสาหกรรม และสอดคล้องแผนงานวิจัยกับยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติรายประเด็นที่ 8 ยุทธศาสตร์การวิจัยรายเทคโนโลยี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ความรู้ของการหาค่าที่เหมาะสมทางวิฤตในเครือข่ายสามจีจากการไคร์ฟเทส
2. เพื่อพัฒนาเครื่องมือเพื่อลดการไคร์ฟเทสสำหรับหาค่าที่เหมาะสมทางวิฤตด้วยความรู้เชิงประจักษ์

1.3 แนวทางการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลภาควิฤตของเครือข่ายสามจี ด้วยการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์ ณ ห้องปฏิบัติการ F4 ศูนย์เครื่องมือฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2. ศึกษาแบบจำลองเชิงประจักษ์ที่สามารถนำมาใช้ได้จริง โดยใช้การจำลองแบบด้วยโปรแกรม MATLAB ณ ห้องปฏิบัติการ F4 ศูนย์เครื่องมือฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
3. ทดสอบการรับส่งสัญญาณเพื่อนำข้อมูลชุดแรกมาปรับเข้ากับแบบจำลองเชิงประจักษ์ ด้วยโปรแกรม MATLAB
4. พัฒนาแบบจำลองให้เหมาะสมกับเครือข่ายสามจีในทางปฏิบัติ ณ ห้องปฏิบัติการ F4 ศูนย์เครื่องมือฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
5. ศึกษาการไคร์ฟเทสในเครือข่ายสามจี โดยพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาและทดสอบวัดสัญญาณจริง ณ พื้นที่บริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
6. เก็บผลการไคร์ฟเทสด้วยชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้น ณ พื้นที่บริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
7. วิเคราะห์ผลการทดสอบ และเปรียบเทียบกับแนวทางที่เสนอไว้ในงานวิจัยอื่นๆ
8. พัฒนา ปรับปรุง แก้ไข เพื่อให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้
9. เสนอบทความในงานประชุมวิชาการ
10. นำข้อเสนอแนะในงานประชุมวิชาการมาปรับปรุงงานวิจัย
11. สรุปผลสำเร็จของโครงการและทำรายงานโครงการ

1.4 ผลสำเร็จของโครงการ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือการเผยแพร่ผลงานวิจัยนี้ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 1 บทความ ซึ่งเป็นการนำองค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้เผยแพร่แก่นักวิจัยที่ทำงานใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถ

นำไปพัฒนาต่อยอดสำหรับงานวิจัยอื่นๆ ได้ ซึ่งหน่วยงานวิจัยทางโทรคมนาคมในประเทศไทยสามารถนำผลงานดังกล่าวไปใช้ได้

1.5 การสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยของ Gould, P. R., 2002 ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาทางด้านการออกแบบเครือข่ายวิทยุที่ต้องมีการปรับพารามิเตอร์สำหรับพื้นที่เขตในเมือง โดยได้สร้างแบบจำลองโมเดลที่ช่วยจัดการปริมาณทรัพยากรฟิสิกส์ของผู้ให้บริการที่กระจายในระบบเครือข่ายวิทยุ ซึ่งได้เน้นใช้โครงสร้างของระบบเซลล์ที่มีปัจจัยจะส่งผลต่อการวางแผนระบบเครือข่ายวิทยุ เมื่อสรุปโดยรวมแล้วปริทัศน์วรรณกรรมนี้ได้มุ่งเน้นความสำคัญเฉพาะการศึกษาพื้นที่เขตในเมืองและออกแบบมาใช้งานสำหรับไมโครเซลล์เท่านั้นและอาจส่งผลกระทบต่อมาโครเซลล์ด้วย

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยของ Liu, J., and K. P. Worrall, 2002 ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวางแผนระบบเครือข่ายวิทยุโดยมีการนำข้อมูลที่ได้จากการปรับมุมเชิงไฟฟ้ามาปรับปรุงการแฮนด์โอเวอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำซอฟต์แฮนด์ออฟ ซึ่งการทำซอฟต์แฮนด์ออฟนั้นจะมีช่วงเวลาในการตัดสินใจในการทำแฮนด์ออฟที่นานกว่าฮาร์ดแฮนด์ออฟจึงไม่มีปัญหาเรื่องสายหลุดเกิดขึ้น (Drop Call) เมื่อสรุปโดยรวมแล้วปริทัศน์วรรณกรรมนี้ได้มุ่งเน้นในการปรับมุมเชิงไฟฟ้าแล้วสังเกตว่าส่งผลกระทบต่อการทำซอฟต์แฮนด์ออฟมากขึ้นเพียงใด แต่ไม่มีการนำแบบจำลองเชิงประจักษ์มาใช้เป็นหลักอ้างอิงถึงข้อมูลที่แปรเปลี่ยนตามกัน

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยของ Omar, Nurfarhanah, Muhammad Ibrahim, Murizah Kassim, Ruhani Ab Rahman, Mat Ikram Yusof, and Mohd Zafran Abdul Aziz, 2011 ได้ศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลเชิงประจักษ์จากระบบ WCDMA สำหรับการเชื่อมโยงขึ้นเพื่อศึกษาในพื้นที่กลางแจ้งเท่านั้น โดยเฉพาะการเชื่อมโยงขึ้นจะมีการตัดและวิเคราะห์ในสถานที่และเวลาแตกต่างกันไป หลังจากนั้นได้สร้างแบบจำลองโมเดลที่สร้างความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ส่งออกไปกับกำลังงานที่มีการเข้ารหัส จากการวิเคราะห์ให้ผลว่าเมื่อลดกำลังงานที่ส่งออกไปจะส่งผลให้กำลังงานที่มีการเข้ารหัสมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ระยะทางมีเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้กำลังงานที่มีการเข้ารหัสมีค่าลดลง แต่ในอนาคตงานวิจัยนี้จะศึกษาในพื้นที่ในร่มหรือ สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนในเส้นทางต่างๆ ที่เกิดมาจากการปรากฏการณ์การกระเจิง การรวมกันของสัญญาณหลายวิถี หรือการผิวนิยามของสัญญาณ และในงานวิจัยนี้เพียงแต่พิสูจน์ให้เห็นผลกระทบระหว่างกำลังงานที่ส่งออกไปกับกำลังงานที่มีการเข้ารหัส แต่ไม่มีการนำข้อมูลเชิงประจักษ์เหล่านี้มาทำการปรับปรุงพื้นที่ให้ดียิ่งขึ้น

เมื่อสรุปการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมโดยรวมแล้ว งานวิจัยที่ได้ศึกษาข้างต้นนั้นได้มีการพิสูจน์หลายอย่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพบางอย่างเพียงเท่านั้น โดยไม่มีการนำผลที่ได้จากข้อมูลจริงมาใช้หาค่าพารามิเตอร์เพื่อนำไปปรับปรุงคุณภาพสัญญาณ จึงเป็นแนวคิดของงานวิจัยนี้ขึ้นมาว่าจะทำการหาค่าเหมาะสมทางวิทย์สำหรับเครือข่ายสามจี โดยใช้ความรู้เชิงประจักษ์จากการทำไคร์ฟเทศมาปรับปรุงคุณภาพสัญญาณให้ดียิ่งขึ้น



บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี และความรู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ซึ่งแบ่งเป็นทั้งหมด 4 ส่วน ส่วนแรกจะกล่าวถึงความเป็นมาของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ยุคที่ 3 ในส่วนที่สองจะกล่าวถึงความสำคัญของระบบเคลื่อนที่ในยุคที่ 3 สำหรับประเทศไทย ส่วนที่สามจะกล่าวถึงแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ ในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงการสรุปท้ายบท

2.2 ความเป็นมาของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ยุคที่ 3

ในปัจจุบันเครือข่ายไร้สายมีนโยบายในการจัดสรรแถบความถี่แบบคงที่ คือรัฐจะเป็นผู้กำหนดแถบความถี่ไร้สายให้กับผู้รับสัมปทานใช้ในระยะเวลา เนื่องจากความต้องการแถบความถี่มีมากขึ้น และแถบความถี่นั้นเป็นทรัพยากรที่มีจำนวนจำกัด ทำให้การขาดแคลนความถี่เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นแล้วในปัจจุบัน ในความเป็นจริงบางแถบความถี่ที่ถูกใช้ส่วนใหญ่จะถูกใช้เป็นเวลาเท่านั้น ดังได้แสดงในรูปที่ 2.1 เพราะฉะนั้นการใช้แถบความถี่ในปัจจุบันนั้นถือว่ายังไม่มีประสิทธิภาพ โดยระบบวิทยุรู้คิณั้นเป็นระบบที่มีไว้แก้ปัญหาคความหนาแน่นของการใช้แถบความถี่ที่ไม่เท่ากัน ซึ่งทำให้ใช้แถบความถี่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น [5]

2.2.1 ระบบเคลื่อนที่ในยุค สามจี

ระบบในยุค สามจี (Third Generation) นี้จะเป็นระบบโทรศัพท์ที่พัฒนาต่อมาจากเครือข่ายในยุค 2.5 จี/2.75จี ซึ่งระบบ สามจี ที่ได้พัฒนานี้เป็นแบบดิจิทัลแพ็คเกจ โดยเน้นการรองรับระบบมัลติมีเดียที่ให้ทุกคนเข้าถึงข้อมูลข่าวสารได้ทุกที่ ทุกเวลา ซึ่งให้อัตราความเร็วการเชื่อมต่อเครือข่าย 2 เมกะบิตต่อวินาที แต่หากมีการเคลื่อนที่อัตราความเร็วการเชื่อมต่อเครือข่ายอยู่ที่ 384 กิโลบิตต่อวินาที การรับ-ส่งข้อมูลของโทรศัพท์มือถือจะรองรับการประยุกต์ใช้งานทุกรูปแบบ ตั้งแต่การ โทรศัพท์แบบวีดีโอคอนเฟอร์เรนซ์ การเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต ถึงแม้ว่าในยุคของ 2.5จี จะให้บริการในเรื่องของการรับ-ส่งมุลแล้ว แต่ยังมี

ข้อจำกัดในเรื่องความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล ดังนั้นระบบ สามจี จึงได้ถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้บริการในเรื่องการรับ-ส่งข้อมูลที่หลากหลายและรวดเร็วขึ้น ด้วยความสามารถของเครือข่ายในยุคนี้ทำให้การใช้บริการด้านเสียง (Voice Call) นั้นสามารถใช้งานได้บนเครือข่ายของกรรับ-ส่งข้อมูล (Data Call) ซึ่งระบบที่กำลังเป็นที่นิยมอยู่คือ VOIP (Voice Over Internet Packet) โดยเครือข่ายในยุคนี้ใช้เทคนิคการใช้ช่องสัญญาณที่สำคัญหลักๆ ได้ 2 แบบดังนี้

2.2.1.1 มาตรฐาน CDMA2000

มาตรฐานนี้ถูกพัฒนาโดยองค์กร 3GPP2 จากมาตรฐานของ IS-95 ซึ่งใช้เทคนิคแบบหลายรหัส (Multicode) และหลายสัญญาณพาห้ (Multicarrier) มาตรฐานนี้เป็นการพัฒนาเครือข่าย CDMA ให้รองรับการสื่อสารในยุคสามจี โดยพัฒนาจาก CDMA2000 1x ไปเป็น CDMA 1x EV-DV มีศักยภาพเทียบเท่ากับมาตรฐาน W-CDMA ของค่ายยุโรป แต่ยังไม่มีการกำหนดการความพร้อมสำหรับการให้บริการเชิงพาณิชย์ที่ชัดเจน

2.2.1.2 มาตรฐาน UMTS

มาตรฐาน UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) เป็น มาตรฐาน ที่ ออกแบบมาสำหรับผู้ใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์ในยุค สามจี โดยที่มีพัฒนาการมาจากเครือข่าย GSM, GPRS และ EDGE โดยจะใช้เทคนิค W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) เพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานด้านการรับ-ส่งข้อมูลที่มีมากขึ้น เครือข่าย UMTS นั้นจะมีอัตราความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูงถึง 2 เมกะบิตต่อวินาที ซึ่งมากกว่าเครือข่าย EDGE ถึง 4 เท่า ในปัจจุบันมาตรฐานของ UMTS นั้นมีการเผยแพร่ออกมาแล้ว 6 มาตรฐานด้วยกัน โดยหน่วยงาน สามจีPP (3rd Generation Partnership Project) รับหน้าที่ในการออกแบบมาตรฐานต่างๆซึ่งประกอบไปด้วยดังนี้

- Release 99 เป็นมาตรฐานใช้งานที่เพิ่มเติมจากเครือข่าย GPRS และ EDGE โดยจะมีการเพิ่มเติมอุปกรณ์ในส่วนของ BSS (Base Station Subsystem) ซึ่งเป็นส่วนที่ดูแลการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการกับเครือข่ายของผู้ให้บริการ โดนกกลุ่มของอุปกรณ์ที่เพิ่มเติมขึ้นมาอันมีชื่อเรียกว่า UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)
- Release 4 เป็นมาตรฐานที่เพิ่มเติมในส่วนหลัก โดยจะมีการนำเครือข่ายแบบ ATM (Asynchronous Transfer Mode) และ IP ซึ่งเป็นการรับ-ส่งข้อมูลแบบเป็นกลุ่มข้อมูล เข้ามาใช้งานแทนเครือข่ายแบบสลับวงจร ที่ใช้งานอยู่ในเครือข่าย GSM ในปัจจุบัน
- Release 5 เป็นมาตรฐานที่เพิ่มเติมในส่วนหลักของเครือข่าย IMS (IP Multimedia Service) โดยการทำงานของ IMS จะช่วยให้การใช้งานแบบสื่อผสมในลักษณะของบุคคลถึงบุคคลมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

- Release 6 เป็นมาตรฐานที่ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงระบบมากนัก เพียงแต่เพิ่มความสามารถในการทำงานของการจดจำคำพูด (Speech Recognition), Wi-Fi / UMTS inter-working (การสื่อสารระหว่างเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายกับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่)
- Release 7 เป็นมาตรฐานที่ไม่ได้มีการเพิ่มความสามารถในการเข้ารหัสแบบ Enhanced L2 และใช้การกล้ำสัญญาณแบบ 64 QAM พร้อมทั้งมีทางเลือกสำหรับเทคนิคโมโม ที่รองรับ Voice over HSPA ทำให้มีความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่อง (CPC - Continuous Packet Connectivity) และมี FRLC (Flexible RLC)
- Release 8 ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงอะไรมากมายนักนอกจากเพิ่ม 2 เทคนิคได้แก่ DC-HSPA และ HSUPA 16QAM

สำหรับมาตรฐานที่กำหนดโดย ITU (International Telecommunication Union : IMT-2000/สามจี) นั้นแบ่งออกได้ 4 กลุ่มดังนี้

- UMTS พัฒนามาจากกลุ่ม สามจีPP มีเทคนิคอยู่ 2 อย่างคือ W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) และ HSPA (High Speed Packet Access) แต่ W-CDMA จะนิยมใช้มากกว่าใช้สามจี
- CDMA2000 พัฒนามาจากกลุ่ม สามจีPP2 เป็นระบบมาตรฐานที่กำหนดโดยสหรัฐอเมริกา
- TD-CDMA / TD-SCDMA (Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access) เป็นเครือข่ายอีกอย่างของ CDMA ที่ถูกนำมาใช้เป็นระบบสามจี โดยถูกพัฒนาแล้วทดลองใช้ในประเทศจีน
- DECT ถูกพัฒนามาจากกลุ่มประเทศยุโรปซึ่งเป็นตระกูลเดียวกับ Mobile WiMAX แต่ไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่าไรใน สามจี

2.2.2 ระบบ WCDMA

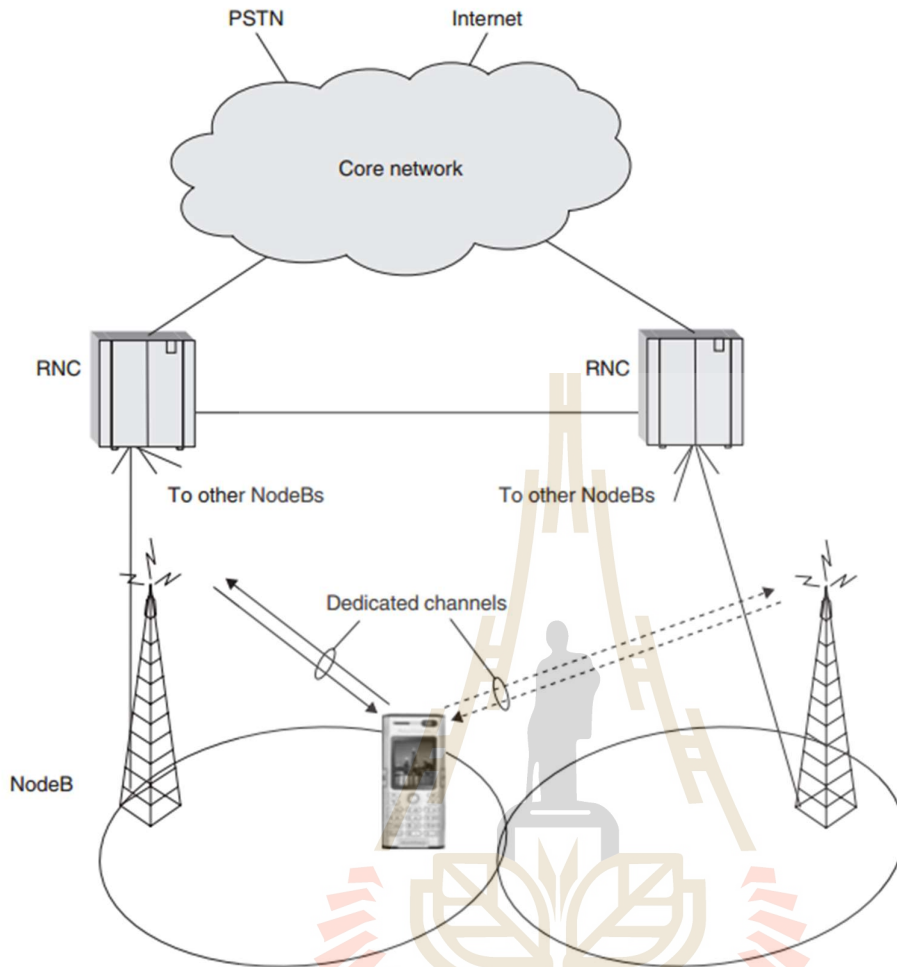
สำหรับระบบ WCDMA นั้นเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารระบบไร้สายในยุคที่ 3 มีประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่านโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์ไร้สายความเร็วสูง โดยมีประสิทธิภาพการทำงานเหนือกว่าเทคโนโลยีทั่วไป สำหรับ WCDMA ได้กำหนดให้ใช้ย่านความถี่ 2 จิกะเฮิรตซ์ มีความกว้างแถบ 60 เมกะเฮิรตซ์ ในช่วงช่วง 1920-1980 เมกะเฮิรตซ์สำหรับการเชื่อมโยงขึ้นและ 2110-2170 เมกะเฮิรตซ์ สำหรับการเชื่อมโยงลง โดยประสิทธิภาพในการสื่อสารรับส่งสัญญาณเสียงภาพข้อมูลและภาพวิดีโอด้วยความเร็วถึง 2 เมกะบิตต่อวินาที แต่สำหรับการให้บริการในปัจจุบันให้ความเร็วสูงสุดที่ 384

กิโลบิตต่อวินาที ถึงแม้ระบบ WCDMA จะพัฒนามาจากระบบ CDMA แต่ยังคงมีความแตกต่างกันอยู่บ้างเช่น ระบบ WCDMA ใช้แถบความถี่กว้างที่ 5 เมกะเฮิร์ตซ์ แต่ระบบ CDMA ใช้แถบความถี่กว้างเพียง 1.25 เมกะเฮิร์ตซ์

2.2.3 โครงสร้างของระบบ WCDMA

สำหรับระบบ WCDMA นั้นประกอบออกไปด้วย 3 ส่วนหลักๆคือ เครือข่ายหลัก (Core Network : CN) เครือข่ายวิทยุ (UMTS Terrestrial Radio Access Network : UTRAN) และ อุปกรณ์ของผู้ใช้บริการ (User Equipment : UE) ซึ่งหน้าที่หลักของเครือข่ายหลักนั้นเป็นการสลับเส้นทางการติดต่อ การกำหนดและควบคุมอุปกรณ์ในการติดต่อตลอดเส้นทาง การควบคุมปริมาณทราฟฟิกผู้ใช้บริการ นอกจากนี้ยังต้องดูแลฐานข้อมูลและการบริหารจัดการเครือข่าย สำหรับเครือข่ายวิทยุนี้ดูแลการติดต่อระหว่างผู้ใช้บริการกับเครือข่ายหลัก ซึ่งแบ่งอุปกรณ์เป็น 2 ส่วนนี้เรียกว่าตัวควบคุมเครือข่ายภาควิทยุ (Radio Network Controller : RNC) และ Node B ดังรูปที่ 2.1





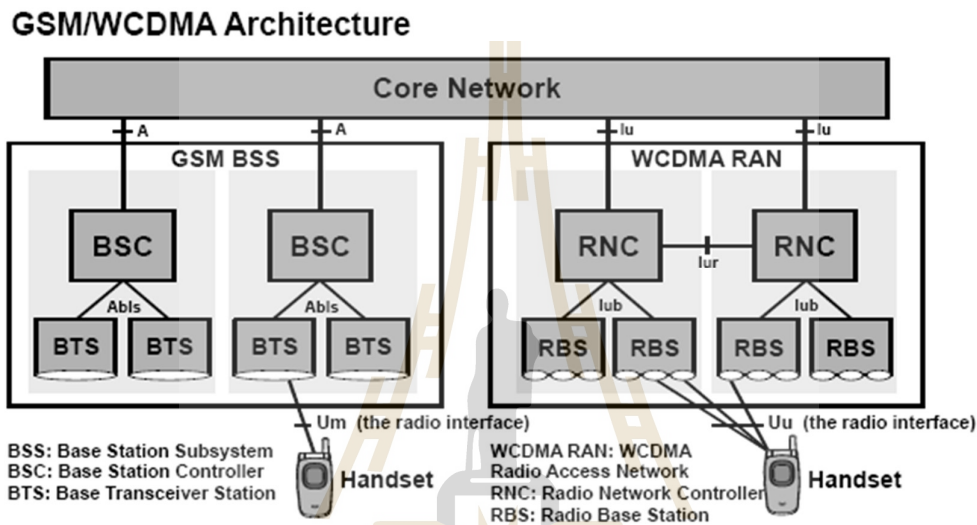
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบ WCDMA

[Eiril Dahlam, Stefan Parkvall, Johan Skold and Per Bening, 2007]

2.2.4 สถาปัตยกรรมของระบบ WCDMA

จากรูปที่ 2.2 ระบบ GSM BSS (GSM Base Station Subsystem) และ WCDMA RAN (WCDMA Radio Access Network) จะเป็นสื่อกลางในการเชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายหลักกับผู้ใช้บริการนอกจากนั้นแล้วระบบ GSM BSS และ WCDMA RAN อยู่ภายใต้โครงสร้างพื้นฐานของระบบเซลลูลาร์ จะเห็นได้ว่าระควบคุมสถานีฐาน (Base station Controller : BSC) จะเหมือนกันกับระบบควบคุมเครือข่าย (Radio Network Controller : RNC) และ สถานีฐานรับส่งสัญญาณ (Base Transceiver Station : BTS) จะเหมือนกันกับสถานีฐานวิทยุ (Radio Base Station : RBS) ในการเชื่อมต่อของระบบ WCDMA มีการพัฒนาจากระบบ GSM ซึ่งมีความแตกต่างในรูปแบบการให้บริการ โดยจะเห็นว่าระบบ GSM BSS จะมีการเชื่อมต่อระหว่าง

ผู้ให้บริการกับสถานีฐานรับส่งสัญญาณได้เพียงจุดๆเดียวและเชื่อมต่อผ่านระควบคุมสถานีฐานไปยังเครือข่ายหลัก ในส่วนของระบบ WCDMA จะมีการเชื่อมต่อระหว่างผู้ให้บริการกับสถานีฐานรับส่งสัญญาณได้หลายๆจุดและระหว่างระบบควบคุมเครือข่ายก็สามารถเชื่อมต่อถึงกันได้เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลปริมาณมหาศาล โดยแต่ละเส้นทางการเชื่อมต่อก็จะมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลที่สูงกว่าระบบ GSM เป็นอย่างมาก



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างระบบ GSM กับ WCDMA [ลักษณะมี ชูใจ, 2548]

2.3 ความสำคัญของระบบเคลื่อนที่ในยุคที่ 3 สำหรับประเทศไทย

ปัจจัยหลักของระบบเคลื่อนที่ในยุคที่ 3 คือระบบเดิมไม่เพียงพอต่อผู้ให้บริการในหลายๆด้าน รวมไปถึงปัจจัยที่ทำให้เทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของคนเรามากขึ้น บทบาทที่ชัดเจนที่สุดสำหรับประเทศนี้คือเพื่อนำไปใช้ประโยชน์เชิงลึก ไม่ว่าจะเป็น ด้านการศึกษา สาธารณสุข ธุรกิจ การดำเนินชีวิต การพัฒนาบุคลากร การยกระดับคุณภาพชีวิต สร้างความเท่าเทียมในการเข้าถึงแหล่งความรู้ ด้านของเศรษฐกิจ การพัฒนาประเทศ อื่นๆ รวมทั้งประโยชน์ ทั้งทางตรงและทางอ้อมต่างๆมากมาย ถ้ายกตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเลยคือในด้านของการศึกษาเนื่องจากในประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนา โรงเรียนที่ห่างไกลความเจริญยังมีอยู่มากการพัฒนาาระบบสามจี จะช่วยให้สามารถเรียนรู้ผ่านศูนย์การเรียนรู้กลาง ผ่าน

เว็บไซต์ การเรียนการสอนผ่านวิดีโอคอนเฟอเรนซ์ แต่ในขณะที่ในประเทศไทยได้มีการดำเนินการจัดสรรคลื่นความถี่ สำหรับการประกอบกิจการโทรศัพท์เคลื่อนที่สามจี ย่านความถี่ 1920-1980 เมกะเฮิร์ตซ์ และ ย่านความถี่ 2110-2170 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยที่ปรึกษา กทช. พิจารณาแบ่งแถบกว้างความถี่ 10 เมกะเฮิร์ตซ์ สำหรับ 3 ช่องด้วยวิธีการประมูล ซึ่งการจัดประมูลครั้งแรกยังไม่มียุทธศาสตร์ที่ชัดเจนมากนัก รวมถึงผิดเงื่อนไขตามกฎหมายจึงต้องยกเลิกและปิดตัวลง แล้วให้หน่วยงานจาก กสทช. เข้ามาดูแลแทน ต่อมา เมื่อวันที่ 7 ธันวาคม 2555 กสทช. ได้ออกใบอนุญาตคลื่นความถี่ 2100 เมกะเฮิร์ตซ์ เป็นระยะเวลา 15 ปี ให้กับ 3 ราย ได้แก่ บริษัท แอดวานซ์ ไวร์เลส เน็ทเวอร์ค จำกัด (AIS) เสนอราคาประมูลสูงสุด 14,625 ล้านบาท บริษัท ดีแทค เนทเวอร์ค จำกัด (DTAC) เสนอราคาประมูล 13,500 ล้านบาท บริษัท ทรูมูฟ จำกัด (Truemove) เสนอราคาประมูล 13,500 ล้านบาท โดยสามารถสรุปคลื่นความถี่ได้ดังนี้

- 1) บริษัท ดีแทค เนทเวอร์ค จำกัด (DTAC) ได้เลือกย่าน 1920 – 1935 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 2110 – 2135 เมกะเฮิร์ตซ์
- 2) บริษัท ทรูมูฟ จำกัด (Truemove) ได้เลือกย่าน 1935 – 1950 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 2125– 2140 เมกะเฮิร์ตซ์
- 3) บริษัท ดีแทค เนทเวอร์ค จำกัด ได้เลือกย่าน 1950 – 1965 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 2145 – 2155 เมกะเฮิร์ตซ์

โดยมีมติรับรองจาก กสทช. ให้ผลการประมูลในวันที่ 18 ตุลาคม 2555 โดย ทั้ง 3 ราย สามารถดำเนินการติดตั้งเสาสัญญาณ และเริ่มทดสอบคลื่นความถี่ย่าน 2100 เมกะเฮิร์ตซ์ ได้ทันที



รูปที่ 2.3 ย่านความถี่ของระบบสามจีในประเทศไทย
[<http://www.it24hrs.com/2012/result-thailand-3g-auction>]

2.4 แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ

เนื่องจากสัญญาณในระบบสื่อสารนั้นไม่สามารถกำหนดได้คงที่เพราะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ทำให้เกิดการเพี้ยนของสัญญาณ ดังนั้นแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุจึงเป็นเครื่องมือไว้สำหรับการศึกษาระบบสื่อสารเคลื่อนที่ เพราะการจะทำความเข้าใจถึงวิธีการหาแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในสถานการณ์ต่างได้นั้นจะทำได้สามารถลอกแบบสถานการณ์ หรือแก้ไขปัญหานั้นได้ โดยการอธิบายพฤติกรรมของสัญญาณในระบบสื่อสารเคลื่อนที่นั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาเพื่อสร้างความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆหรือที่เรียกว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) หรือการวัดผลจริงที่ได้จากการปฏิบัติแล้วหาค่าเฉลี่ยออกมาเรียกว่าแบบจำลองเชิงประจักษ์ (Empirical Model) โดยแบบจำลองที่ได้รับความนิยมเพื่อใช้ในการศึกษาในระบบสื่อสารเคลื่อนที่มีดังต่อไปนี้

2.4.2 แบบจำลองของโอคุมูระ

แบบจำลองของโอคุมูระ (Okumura Model) เป็นแบบจำลองเชิงประจักษ์ที่สร้างขึ้นมาในช่วงกลางปี 1960 ได้รับการพัฒนาจากแบบจำลองของลี ใช้วัดในย่านความถี่ 150 ถึง 1920 เมกะเฮิรตซ์ ในพื้นที่เมืองโตเกียว แบบจำลองนี้ได้รับความนิยมมากและถูกพิจารณาว่าเป็นหนึ่งในแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับระบบ

โทรศัพท์เคลื่อนที่ แม้ว่าค่าที่วัดได้นั้นจะเกิดขึ้นจากการวัดภายในประเทศญี่ปุ่นเท่านั้นแต่ก็สามารถขยายผลไปยังประเทศอื่นๆได้ ซึ่งแบบจำลองของโอคุมูระได้สันนิษฐานว่ามีสูญเสียพลังงานระหว่างกำลังงานที่ส่งกับกำลังงานที่รับได้ภายในเส้นทางนั้นได้ดังสมการที่ 2.1

$$L_{50}(dB) = L_F + A_{mu}(f, d) - G(h_{re}) - G(h_{te}) - G_{AREA} \quad (2.1)$$

เมื่อ

L_{50} = Median path loss between the TX and RX (50%)

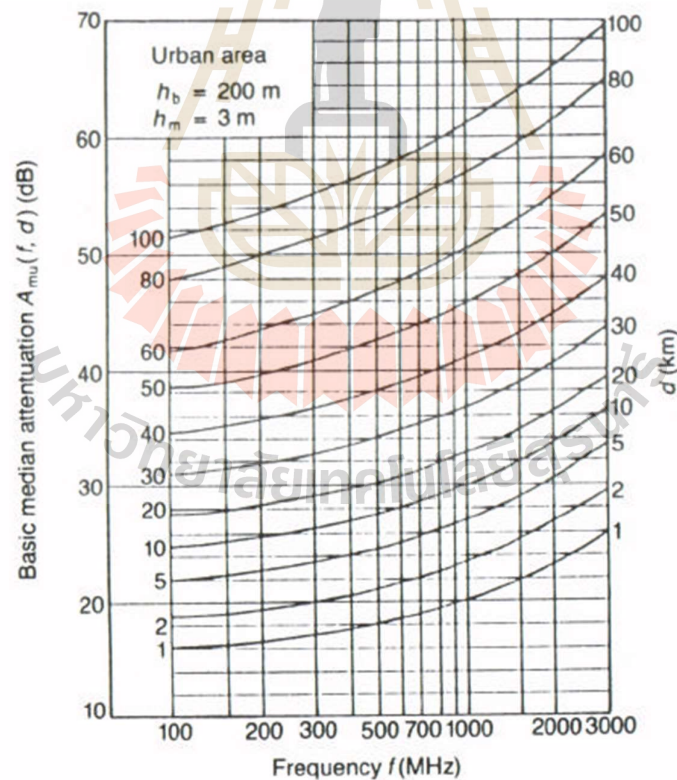
L_F = Free space path loss

$A_{mu}(f, d)$ = Median attenuation relative to free space

$G(h_{re})$ = Antenna height gain factors (receiver)

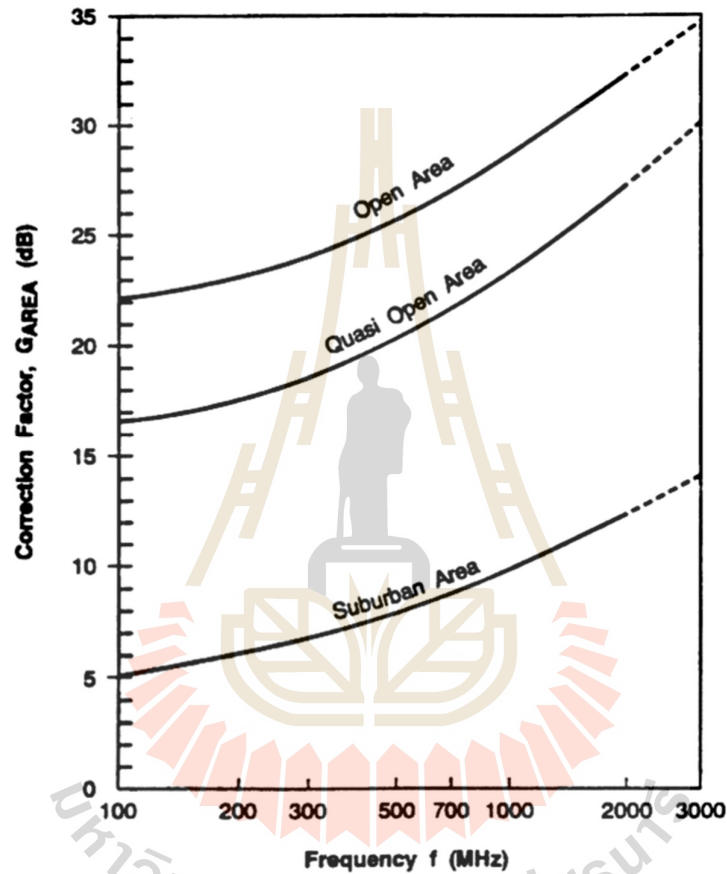
$G(h_{te})$ = Antenna height gain factors (transmitter)

G_{AREA} = Gain due to the type of environment



รูปที่ 2.4 การลดทอนค่ามัธยฐานพื้นฐานระหว่างความถี่กับระยะทาง [Y. Okumura, 1968]

ข้อจำกัดของแบบจำลองนี้คือเหมาะสำหรับพื้นที่โล่งแจ้ง ชานเมืองและในเมืองที่มีตึกสูงไม่มาก ไม่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ชนบทหรือภายในอาคารอย่างยิ่ง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานร่วมกันระหว่างการคาดการณ์และการวัดค่าสูญเสียในเส้นทางอยู่ที่ประมาณ 10-14 เดซิเบล โดยหาค่า $G(h_{re})$ และ $G(h_e)$ ได้จากสมการที่ 2.2, 2.3 และ 2.4



รูปที่ 2.5 การหาตัวประกอบ G_{AREA} สำหรับประเภทที่แตกต่างกันของภูมิประเทศ [Y.Okumura,1968]

$$G(h_{re}) = 20 \log \left(\frac{h_{re}}{200} \right) \quad 1000\text{m} > h_{re} > 30\text{m} \quad (2.2)$$

$$G(h_{re}) = 10 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right) \quad h_{re} \leq 3\text{m} \quad (2.3)$$

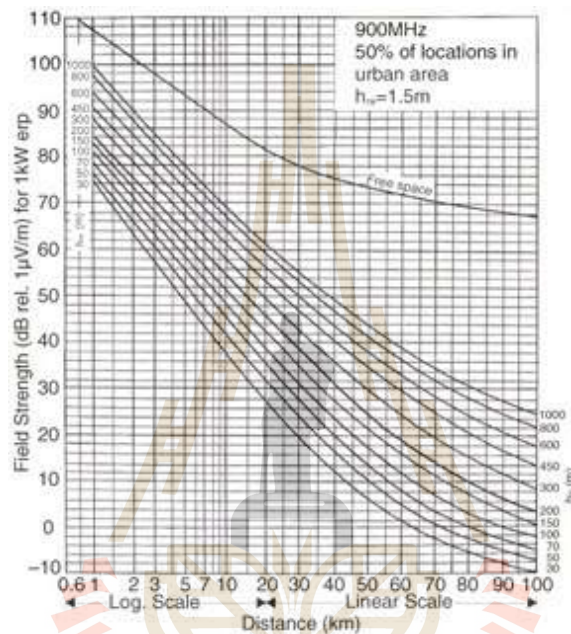
$$G(h_{re}) = 20 \log \left(\frac{h_{re}}{3} \right) \quad 10\text{m} > h_{re} > 3\text{m} \quad (2.4)$$

เมื่อ

h_{te} = Antenna height at base station

h_{re} = Antenna height of mobile station

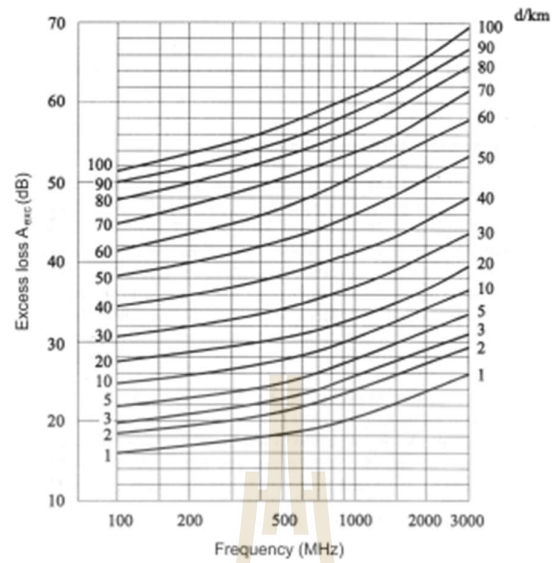
โดยค่าเฉลี่ยของการลดทอนในพื้นที่นั้นที่เป็นฟังก์ชันของระยะทางดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างกำลังสัญญาณที่วัดได้ของโอคุมูระ [Y. Okumura, 1968]

2.4.3 แบบจำลองของฮาดะ

แบบจำลองของฮาดะ (Hata Model) เป็นแบบจำลองที่อิงกับผลการวัดของโอคุมูระ โดยที่แบบจำลองนี้จะมีสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อมาอธิบายพารามิเตอร์ของกำลังสัญญาณในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ตามผลที่ได้จากการวัดของโอคุมูระ วิธีการสำหรับแบบจำลองของฮาดะนี้จึงเปิดกว้างสำหรับการสร้างแบบจำลองเฉพาะพื้นที่ โดยอาศัยการวัดบางส่วนเพื่อนำไปประกอบกับตัวแปรทางคณิตศาสตร์ก็จะทำให้เกิดแบบจำลองที่เหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ ได้ ยกตัวอย่างเช่น การปรับตัวแปรด้านความถี่ แบบจำลองของฮาดะจะใช้ตัวแปร A_{exc} ซึ่งเป็นค่าการลดทอนที่เกินจากอากาศว่างเปล่า มาเป็นตัวแปรที่ใช้ในการปรับตามความถี่ได้สูงสุดที่ 1.5 จิกะเฮิรตซ์ โดยที่แบบจำลองนี้จะสามารถนำไปใช้งานได้เพิ่มเติมก็ต่อเมื่อมีผลการวัดสัญญาณจริงในพื้นที่นั้นๆ มาประกอบเพื่อทำการประมาณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ



รูปที่ 2.7 ตัวแปร A_{exc} ที่ใช้ในการปรับตามความถี่และระยะทางในแบบจำลองของฮาดะ
[M. Hata, 1980]

แบบจำลองของฮาดะได้ใช้ข้อมูลจากแบบจำลองของโอคูมูระ มาใช้สำหรับสร้างแบบจำลองเชิง
ประจักษ์ของระบบโทรศัพท์มือถือได้ตั้งสมการที่ 2.5, 2.6 และ 2.7

Urban area
$$L_{dB} = A + B \log d - E \quad (2.5)$$

Suburban area
$$L_{dB} = A + B \log d - C \quad (2.6)$$

Open area
$$L_{dB} = A + B \log d - D \quad (2.7)$$

เมื่อ

$$A = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 h_b$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log h_b + \gamma$$

$$C = 2(\log(f_c / 28))^2 + 5.4$$

$$D = 4.78 \log(f_c / 28)^2 + 18.33 \log f_c + 40.94$$

$$E = 3.2(\log(11.75 h_m))^2 - 4.97 \quad \text{for large cities, } f \geq 300 \text{ MHz}$$

$$E = 8.29(\log(1.54 h_m))^2 - 1.1 \quad \text{for large cities, } f < 300 \text{ MHz}$$

$$E = (1.11 \log f_c - 0.7)h_m - (1.56 \log f_c - 0.8) \quad \text{for medium to small cities}$$

f_c = The carrier frequency

h_b = The antenna height at base station

h_m = The antenna height of mobile station

γ = The exponent path loss

2.3 กล่าวท้ายบท

ในเนื้อหาทั้งหมดของบทที่สองจะกล่าวถึงระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่อธิบายถึงหลักพื้นฐานของระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ว่าส่งผลกระทบต่ออย่างไรบางต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ รวมไปถึงส่วนของความเป็นมาของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ยุคที่ 3 ที่อธิบายถึงเทคโนโลยีที่ใช้ในการกล้าสัญญาณ หรือจะเป็นความถี่ที่ใช้ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของสัญญาณ โดยตรงและในส่วนของแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ ที่ช่วยหาจุดติดตั้งสถานีฐานและทำนายถึงคุณภาพสัญญาณในสภาพแวดล้อมต่างๆอีกด้วย โดยงานวิจัยนี้ได้ผนวกเอาความรู้ทางคณิตศาสตร์และแบบจำลองเชิงประจักษ์ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุหรือพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ช่วยให้คุณภาพของสัญญาณดีขึ้น

บทที่ 3 การออกแบบอัลกอริทึมและแบบจำลองเชิงประจักษ์

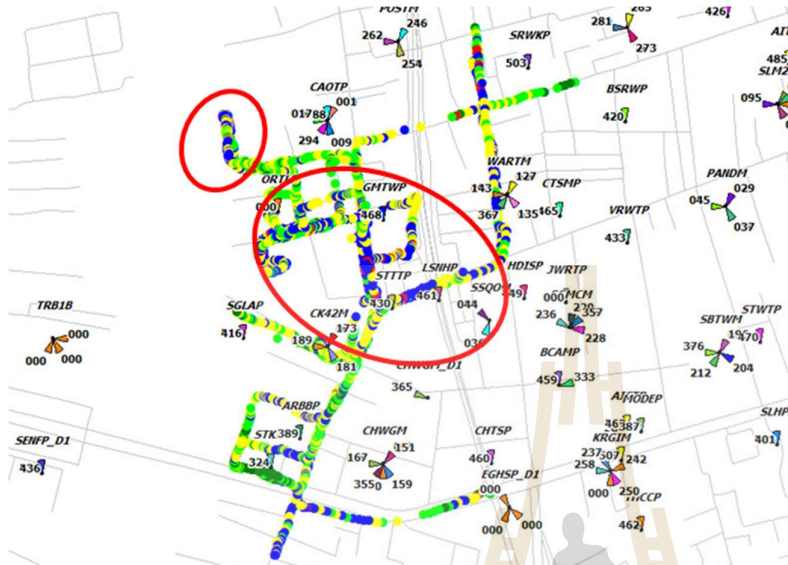
3.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วย 6 ส่วนด้วยกัน คือ ในส่วนแรกเป็นกล่าวนำเข้าสู่เนื้อหา ของปัญหาหลักที่พบในพื้นที่ที่ส่งผลกระทบต่อการใช้งาน ส่วนที่สองกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการไดรฟ์เทส ส่วนที่สามกล่าวถึงแบบจำลองสายอากาศที่นำมาวิเคราะห์และใช้งาน ส่วนที่ห้ากล่าวถึงแบบจำลองเชิงประจักษ์ ส่วนที่หกกล่าวถึงผลงานสรุปการทำงานของอัลกอริทึม และส่วนสุดท้ายคือสรุปท้ายบท

3.2 ปัญหาหลักที่พบในพื้นที่

ในปัญหาหลักๆที่ได้กล่าวไปข้างต้นในบทที่ 1 นั้น เพื่อแก้ปัญหาในสถานการณ์จริงเป็นเป้าหมายหลักของการวิจัยนี้จึงอาศัยการใช้ความรู้เชิงประจักษ์นำมาวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เก็บจากข้อมูลเครือข่ายโทรศัพท์มือถือในปัจจุบันซึ่งในประเทศไทยใช้เครือข่ายสามจี แต่ในขณะที่เครือข่าย 4จี เป็นเพียงระยะเริ่มต้น ถ้าพิจารณาจากรูปที่ 3.1 ตัวอย่างผลการไดรฟ์เทสพื้นที่ที่มีปัญหา ปัญหานี้มาจากผู้ใช้บริการที่เพิ่มมากขึ้นอย่างทวีคูณ แต่จำนวนผู้ให้บริการนั้นยังไม่สามารถขยายสถานีฐานให้มากพอที่จะรองรับผู้ใช้บริการในอนาคตได้นั่นเอง เครื่องมือหนึ่งที่น่าจะใช้ในการตรวจสอบสมรรถนะของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่คือการทดสอบภาคสนามที่ใช้การขับรถวัดสัญญาณไปตามเส้นทางต่างๆ หรือที่เรียกว่าการทำไดรฟ์เทส เพราะวิธีการนี้ผู้ใช้บริการเครือข่ายจะรับรู้คุณภาพและปัญหาของสัญญาณจากฝั่งของผู้ให้บริการโดยตรง และเป็นข้อมูลที่รวมผลกระทบของสิ่งแวดล้อมทุกอย่างที่เกิดขึ้นจริงเอาไว้เรียบร้อยแล้ว ในการวิเคราะห์จะใช้ผู้ที่มีประสบการณ์และการคาดคะเนตามหลักการโดยยังไม่มีเครื่องมือหรือวิธีการคำนวณที่สามารถกำหนดหรือช่วยตัดสินใจในการปรับค่าต่างๆ ซึ่งไม่มีหลักการที่เชื่อถือได้แน่นอน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการสร้างเครื่องมือที่สามารถนำผลการไดรฟ์เทสในครั้งแรกมาวิเคราะห์ผ่านแบบจำลองคณิตศาสตร์ในรูปแบบของความรู้เชิงประจักษ์เพื่อให้สามารถทดสอบและปรับค่าต่างๆ ได้ในแบบจำลองเมื่อปรับแล้วก็จะเห็นผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นทั้งหมดได้ทันที โดยที่ไม่ต้องออกไปไดรฟ์เทส ทำให้สะดวก เชื่อถือได้และประหยัดทั้ง

งบประมาณและเวลาในการทำงาน และยังสามารถแก้ปัญหาได้ตรงประเด็นตามค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างผลการไดรฟ์ทดสอบพื้นที่ที่มีปัญหา

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการไดรฟ์ทดสอบ

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการไดรฟ์ทดสอบนั้นจะมีข้อมูลมากมายมหาศาลแต่ข้อมูลที่เจาะจงที่ใช้ในการวิเคราะห์หลักๆมีเพียงไม่กี่พารามิเตอร์ยกตัวอย่างในรูปที่ 3.2 ข้อมูลที่ได้จากการไดรฟ์ทดสอบ กรอบสีแดงกรอบแรกบ่งบอกถึงช่วงระยะเวลาที่ทำการไดรฟ์ทดสอบ ในกรอบสีแดงส่วนที่สองนั้นแสดงถึงลักษณะของการเก็บข้อมูลว่าเป็นลักษณะแบบไหนเช่น ข้อความที่รับ-ส่งได้ สัญญาณจีพีเอส สัญญาณHSPDA หรือสัญญาณWCDMA และในกรอบสีแดงส่วนสุดท้ายจะอธิบายถึงตำแหน่งของสัญญาณที่ทำการไดรฟ์ทดสอบนั่นเองซึ่งจะบันทึกค่าเป็นแบบ Latitude และ Longitude

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Time	MS	Frame Num	Direction	Message Type	Message	Event	Alt-Latitude	Alt-Longitude	Alt-Speed	(Alt-ARFCN)
2	53:46.2	DC1	Not Valid		Diag Send			13.55154	100.7885		
3	53:46.2	DC1	Not Valid		Diag Send			13.55154	100.7885		
4	53:46.2	DC1	Not Valid		Diag Send			13.55154	100.7885		
5	53:46.2	DC1	Not Valid		Diag Send			13.55154	100.7885		
6	53:46.2	DC1	Not Valid		Diag Send			13.55154	100.7885		
7	53:46.3	DC1	Not Valid		Diag Send			13.55154	100.7885		
8	53:46.5	DC1	Not Valid		Diag Send			13.55154	100.7885		
9	53:46.5	DC1	Not Valid		Diag Send			13.55154	100.7885		
10	53:46.6	PS2			GPS Fix Data		GPS Position	13.55154	100.7885		
11	53:46.7	MS1	Not Valid		Dedicated	16651		13.55154	100.7885		
12	53:46.7	MS1	Not Valid		HSUPA Col	17417		13.55154	100.7885		
13	53:46.7	MS1	Not Valid		HSUPA L1/	17425		13.55154	100.7885		
14	53:46.7	MS1	Not Valid		HSUPA DL	17409		13.55154	100.7885		
15	53:46.7	MS1	Not Valid		HSDPA HS	17186		13.55154	100.7885		
16	53:46.7	MS1	Not Valid	UL	Active Set	4608		13.55154	100.7885		
17	53:46.7	MS1	Not Valid		HSDPA UL	17180		13.55154	100.7885		
18	53:46.8	MS1	Not Valid		HSDPA HS	17186		13.55154	100.7885		
19	53:46.8	PS2			GPS DOP Active	Satellites		13.55154	100.7885		
20	53:46.8	MS1	Not Valid		HSUPA E-C	17413		13.55154	100.7885		
21	53:46.8	MS1	Not Valid		HSUPA ET	17415		13.55154	100.7885		
22	53:46.8	MS1	Not Valid		HSDPA HS	17186		13.55154	100.7885		
23	53:46.8	MS1	Not Valid		WCDMA PI	16761		13.55154	100.7885		
24	53:46.8	MS1	Not Valid		HSDPA HS	17186		13.55154	100.7885		
25	53:46.9	MS1	Not Valid		WCDMA A	16758		13.55154	100.7885		
26	53:46.9	MS1	Not Valid		HSDPA HS	17186		13.55154	100.7885		

รูปที่ 3.2 ข้อมูลที่ได้จากการโทรศัพท์

หลังจากที่ได้ทราบถึงข้อมูลอันมหาศาลที่ได้จากการโทรศัพท์จึงทำการคัดส่วนที่ไม่สำคัญออกไปเพื่อง่ายต่อการพิจารณาข้อมูล สังเกตได้จากรูปที่ 3.3 ข้อมูลที่ได้จากการโทรศัพท์เมื่อทำการคัดส่วนที่ไม่ต้องการออก โดยกรอบสีแดงกรอบแรกจะให้เป็นลักษณะของข้อมูลที่ได้อธิบายไปข้างต้น ในส่วนกรอบสีแดงที่สองจะแทนด้วยตำแหน่งของสัญญาณที่ทำการโทรศัพท์ซึ่งจะบันทึกค่าเป็นแบบ Latitude และ Longitude และกรอบสีแดงส่วนสุดท้ายจะแทนด้วยพารามิเตอร์ที่สนใจซึ่งประกอบไปด้วยช่องแรกคือ ความแรงของคุณภาพสัญญาณ ณ จุดนั้นๆ (Received Signal Strength Indicator : RSSI) ตัวเลขจำเพาะของสถานีฐาน (Scamming Area Codes : SC) ความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Code Power : RSCP) และอัตราส่วนของพลังงานที่รับได้ส่วนด้วยพลังงานทั้งหมด (Energy per Chip Over the Noise : Ec/No)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Message Type	AI-Latitu	AI-Longi	UTRA	AI-AS S<	AI-AS U<	AI-AS CI <	AI-AS CI <	AI-AS S<	AI-AS CI <	AI-AS CI <
2	Diag Send Data Request	13.55154	100.7885								
3	Diag Send Data Respond Success	13.55154	100.7885								
4	Diag Send Data Request	13.55154	100.7885								
5	Diag Send Data Respond Success	13.55154	100.7885								
6	Diag Send Data Request	13.55154	100.7885								
7	Diag Send Data Respond Success	13.55154	100.7885								
8	Diag Send Data Request	13.55154	100.7885								
9	Diag Send Data Respond Success	13.55154	100.7885								
10	GPS Fix Data	13.55154	100.7885								
11	Dedicated Physical Channels Downlink	13.55154	100.7885		378	10737					
12	HSUPA Combined LI/MAC Log Packet	13.55154	100.7885		378	10737					
13	HSUPA LI/MAC Statistics Log Packet	13.55154	100.7885		378	10737					
14	HSUPA DL Configuration Log Packet	13.55154	100.7885		378	10737					
15	HSDPA HS Decode Status ver 4	13.55154	100.7885		378	10737					
16	Active Set Update Complete (UL-DCCH)	13.55154	100.7885		378	10737					
17	HSDPA UL HS-DPCCH Information Ver 2b	13.55154	100.7885		378	10737					
18	HSDPA HS Decode Status ver 4	13.55154	100.7885		378	10737					
19	GPS DOP Active Satellites	13.55154	100.7885								
20	HSUPA E-DPCH Log Packet	13.55154	100.7885		378	10737					
21	HSUPA ETFC Restricted Log Packet	13.55154	100.7885		378	10737					
22	HSDPA HS Decode Status ver 4	13.55154	100.7885		378	10737					
23	WCDMA PN Search Log Packet Edition 2	13.55154	100.7885	-55.2	378	10737	-58.19		9	-60.19	
24	HSDPA HS Decode Status ver 4	13.55154	100.7885	-55.2	378	10737	-58.19		9	-60.19	
25	WCDMA AGC Edition 2	13.55154	100.7885	-54.3	378	10737	-57.29		9	-59.29	
26	HSDPA HS Decode Status ver 4	13.55154	100.7885	-54.3	378	10737	-57.29		9	-59.29	
27	HSUPA Combined LI/MAC Log Packet	13.55154	100.7885	-54.3	378	10737	-57.29		9	-59.29	
28	HSUPA Combined LI/MAC Log Packet	13.55154	100.7885	-54.3	378	10737	-57.29		9	-59.29	
29	WCDMA PN Search Log Packet Edition 2	13.55154	100.7885	-52.2	378	10737	-55.19		9	-57.19	
30	HSDPA UL HS-DPCCH Information Ver 2b	13.55154	100.7885	-52.2	378	10737	-55.19		9	-57.19	

รูปที่ 3.3 ข้อมูลที่ได้จากการไดรฟ์ทดสอบเมื่อทำการตัดส่วนที่ไม่ต้องการออก

แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นในการไดรฟ์ทดสอบปรากฏว่าในหนึ่งตำแหน่งจะมีข้อมูลซ้ำกันประมาณ 10-15 ข้อมูลที่ซ้ำกันเนื่องจากซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการไดรฟ์ทดสอบนั้นบันทึกค่าทุกๆ 5 วินาที จึงทำให้ในหนึ่งตำแหน่งมีข้อมูลที่ซ้ำกัน ถ้านำมาวิเคราะห์ข้อมูลจะทำให้เสียเวลามากยิ่งขึ้นจึงมีการพัฒนาอัลกอริทึมบางอย่างเพื่อช่วยให้กรองข้อมูลที่ซ้ำกันออกไปให้เหลือเพียงตำแหน่งละหนึ่งข้อมูลเท่านั้นเอง ซึ่งการตัดข้อมูลที่ซ้ำกันออกไปไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลจึงได้ข้อมูลที่คัดกรองแล้วดังรูปที่ 3.4 ข้อมูลที่ผ่านการคัดกรองโดยใช้อัลกอริทึม

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	13.55154	100.7885								
2	13.55154	100.7885	-59.7	9	10737	-66.68	-6.98	378	-67.68	-7.98
3	13.55154	100.7885								
4	13.55154	100.7885	-59.7	9	10737	-66.68	-6.98	378	-67.68	-7.98
5	13.55154	100.7885								
6	13.55154	100.7884								
7	13.55155	100.7884	-59.7	9	10737	-66.68	-6.98	378	-67.68	-7.98
8	13.55155	100.7884	-57.9	9	10737	-64.38	-6.48	378	-66.88	-8.98
9	13.55155	100.7884	-57.9	9	10737	-64.38	-6.48	378	-66.88	-8.98
10	13.55155	100.7884								
11	13.55155	100.7884	-56.3	9	10737	-62.29	-5.99	378	-70.24	-13.94
12	13.55155	100.7884	-56.3	9	10737	-62.29	-5.99	378	-70.24	-13.94
13	13.55155	100.7884	-56.3	9	10737	-62.29	-5.99	378	-70.24	-13.94
14	13.55156	100.7884	-56.3	9	10737	-62.29	-5.99	378	-70.24	-13.94
15	13.55156	100.7884	-59.8	9	10737	-66.28	-6.48	378	-70.77	-10.97
16	13.55156	100.7884								
17	13.55156	100.7884	-59.8	9	10737	-66.28	-6.48	378	-70.77	-10.97
18	13.55156	100.7884	-58.6	378	10737	-66.08	-7.48	9	-66.58	-7.98
19	13.55156	100.7884	-58.6	378	10737	-66.08	-7.48	9	-66.58	-7.98

รูปที่ 3.4 ข้อมูลที่ผ่านการคัดกรองโดยใช้อัลกอริทึม

ในส่วนสุดท้ายคือเป็นการเก็บข้อมูลพื้นฐานของสถานีฐานที่อยู่รอบๆบริเวณที่มีการไดรฟ์ทดสอบโดยจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.5 ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งของสถานีฐานและพารามิเตอร์ต่างๆ สังเกตในกรอบสีแดง

กรอบแรกจะบอกถึงชื่อของสถานีฐานที่เป็นตัวย่อและกำกับเลขต่อท้ายเพื่อบอกว่าเซกเตอร์ไหน ส่วนในกรอบสีแดงกรอบที่สองนั้นจะบ่งบอกถึงเซกเตอร์แต่ละเซกเตอร์มีตัวเลขจำเพาะของสถานีฐานอะไรและมีความกว้างลำคลื่นทำให้อะไร ในกรอบสีแดงกรอบที่สามจะบอกถึงตำแหน่งของสถานีฐาน โดยแสดงค่าเป็นแบบ Latitude และ Longitude ในกรอบสี่จะบอกถึงลักษณะเสาของสายอากาศสูงจากภาคพื้นดินเท่าไรมีหน่วยเป็นเมตรและสายอากาศหันหน้าไปในทิศทางใดโดยเริ่มนับศูนย์องศาจากทิศเหนือแบบตามเข็มนาฬิกา ส่วนในกรอบสีแดงกรอบที่ห้าจะอธิบายถึงมุมเชิงกล (Mechanical Tilt) และมุมเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt) และในส่วนสุดท้ายจะบอกถึงยี่ห้อและรุ่นของสายอากาศที่ติดตั้ง

	B	C	Q	T	U	V	W	X	Y	Z	AB
1	CellName	SectorID	C1_BCCH	BeamWidth	LATITUDE	LONGITUDE	HEIGHT	Azimuth	TILT_M	TILT_E	ANTTYPE
2	MBP2MW11	1	93	30	13.55755	100.7632	37	20	4	3	HXHMDX0 B
3	MBP2MW12	2	85	30	13.55755	100.7632	37	120	2	3	HXHMDX0 B
4	MBP2MW13	3	77	30	13.55755	100.7632	37	220	4	2	HXHMDX0 B
5	MBP2MW16	6	283	30	13.55755	100.7632	37	80	4	3	HXHMDX0 B
6	MBP2MW17	7	346	30	13.55755	100.7632	37	180	1	3	X3-1721RB
7	MBP2MW18	8	354	30	13.55755	100.7632	37	280	4	1	X3-1721RB
8	MBP2MW21	1	93	30	13.55755	100.7632	37	20	4	3	HXHMDX0 B
9	MBP2MW22	2	85	30	13.55755	100.7632	37	120	4	3	HXHMDX0 B
10	MBP2MW23	3	77	30	13.55755	100.7632	37	220	4	2	HXHMDX0 B
11	MBP2MW26	6	283	30	13.55755	100.7632	37	80	4	3	HXHMDX0 B
12	MBP2MW27	7	346	30	13.55755	100.7632	37	180	4	3	X3-1721RB
13	MBP2MW28	8	354	30	13.55755	100.7632	37	280	4	1	X3-1721RB
14	MBP2MW31	1	93	30	13.55755	100.7632	37	20	4	3	HXHMDX0 B
15	MBP2MW32	2	85	30	13.55755	100.7632	37	120	4	3	HXHMDX0 B
16	MBP2MW33	3	77	30	13.55755	100.7632	37	220	4	2	HXHMDX0 B
17	MBP2MW36	6	283	30	13.55755	100.7632	37	80	4	3	HXHMDX0 B
18	MBP2MW37	7	346	30	13.55755	100.7632	37	180	4	3	X3-1721RB
19	MBP2MW38	8	354	30	13.55755	100.7632	37	280	4	1	X3-1721RB

รูปที่ 3.5 ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งของสถานีฐานและพารามิเตอร์ต่างๆ

3.4 แบบจำลองสายอากาศที่นำมาวิเคราะห์

การศึกษาแบบจำลองสายอากาศที่นำมาวิเคราะห์นั้นมียุทธศาสตร์หลายขนาดมากนัก แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดการเข้าถึงข้อมูลที่เป็นลิขสิทธิ์จึงไม่สามารถหารุ่นของสายอากาศในรูปที่ 3.5 ได้แต่ถึงอย่างไร จึงหาสายอากาศทดแทนที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันได้โดยอาศัยจากความกว้างลำคลื่น ความถี่ที่ใช้งานได้อัตราขยายของสายอากาศ และอัตราการปรับมุมเชิงไฟฟ้าเป็นหลัก



HBXX-3319DS-VTM | HBXX-3319DS-A2M
Andrew® Quad Antenna, 1710–2170 MHz, 33° horizontal beamwidth, RET compatible

Electrical Specifications

Frequency Band, MHz	1710–1880	1850–1990	1920–2170
Gain, dBi	20.4	20.6	20.8
Beamwidth, Horizontal, degrees	36	35	34
Beamwidth, Vertical, degrees	6.5	6.2	5.9
Beam Tilt, degrees	0–10	0–10	0–10
USLS (First Lobe), dB	15	15	15
Front-to-Back Ratio at 180°, dB	40	40	40
CPR at Boresight, dB	24	23	24
Isolation, dB	30	30	30
Isolation, Intersystem, dB	28	30	30
VSWR Return Loss, dB	1.5 14.0	1.5 14.0	1.5 14.0
PIM, 3rd Order, 2 x 20 W, dBc	-153	-153	-153
Input Power per Port, maximum, watts	300	300	300
Polarization	±45°	±45°	±45°
Impedance	50 ohm	50 ohm	50 ohm

รูปที่ 3.6 แบบจำลองสายอากาศที่นำมาวิเคราะห์หัดที่ 1



SBH-1D3319DS
Andrew® Antenna, 1710–2180 MHz, 1x remote electrical tilt, integrated Next Generation Actuator™

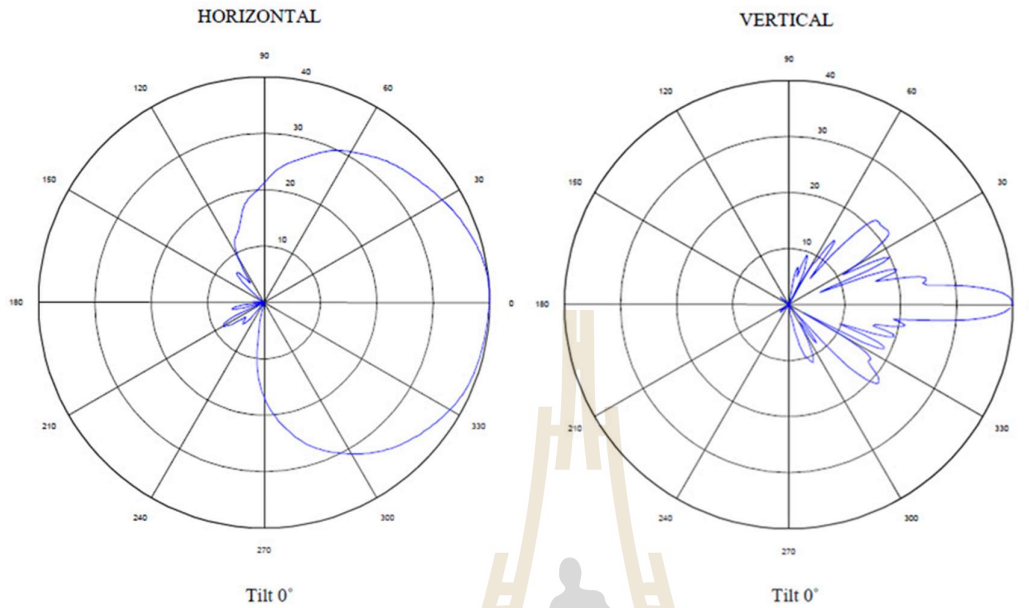
- Exceptional horizontal roll-off and front-to-back ratio for superior capacity efficiency
- Extended elevation tilt for maximum flexibility in urban core areas
- Internal next generation actuator eliminates field installation and defines new standards for reliability
- Significantly reduces operational expense by remote control of electrical tilt

Electrical Specifications

Frequency Band, MHz	1710–1880	1850–1990	1920–2180
Gain, dBi	20.5	20.7	20.7
Beamwidth, Horizontal, degrees	35	33	32
Beamwidth, Vertical, degrees	7.0	6.6	6.2
Beam Tilt, degrees	0–9	0–9	0–9
USLS by Beam Tilt, dB	0° 2° 4° 6° 8° 20 20 17 16 17	0° 2° 4° 6° 8° 20 20 17 17 17	0° 2° 4° 6° 8° 20 20 17 17 17
Front-to-Back Ratio at 180°, dB	35	36	37
Isolation, dB	30	30	30
VSWR Return Loss, dB	1.5 14.0	1.5 14.0	1.5 14.0
PIM, 3rd Order, 2 x 20 W, dBc	-153	-153	-153
Input Power per Port, maximum, watts	300	300	300
Polarization	±45°	±45°	±45°
Impedance	50 ohm	50 ohm	50 ohm

รูปที่ 3.7 แบบจำลองสายอากาศที่นำมาวิเคราะห์หัดที่ 2

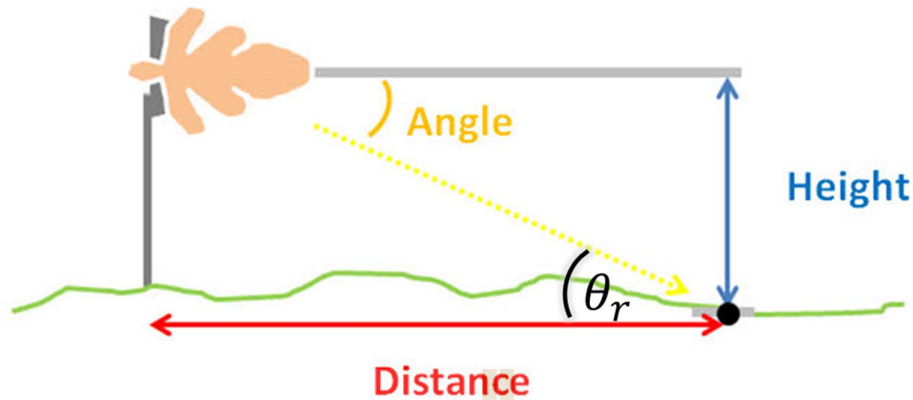
การวิเคราะห์แบบจำลองรูปแบบการก่อลำคลื่นของสายอากาศนั้นส่งผลต่อการปรับมุมเชิงไฟฟ้าโดยทิศทางศูนย์องศาจะให้กำลังงานที่สูงที่สุดเปรียบเสมือนหันทิศทางสายอากาศไปในตำแหน่งนั้นๆเพื่อให้ได้รับสัญญาณที่สูงที่สุดแต่ใน ขณะที่พื้นที่ใกล้เคียงที่ห่างออกไปอาจจะได้รับสัญญาณที่ต่ำลง หรืออีกนัยหนึ่งคือที่ระยะไกลจากสถานีฐานจะได้รับพลังงานที่น้อยลงแต่ที่ใกล้สถานีฐานจะได้รับพลังงานสูงสุดตามลักษณะของแบบจำลองรูปแบบการก่อลำคลื่นของสายอากาศทางด้านขวามือนั่นเอง



รูปที่ 3.8 แบบจำลองรูปแบบการก่อลาคลิ้นของสายอากาศ

3.5 แบบจำลองเชิงประจักษ์

การออกแบบแบบจำลองเชิงประจักษ์นี้เรามุ่งเน้นถึงการนำข้อมูลที่ได้จากการไคร์ฟเทศมาใช้กับรูปแบบสมการเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีรูปแบบแน่นอนและชัดเจน โดยกระบวนการแรกนั้นจะศึกษาเกี่ยวกับการปรับมุมเชิงกลและมุมเชิงไฟฟ้าว่าส่งผลกระทบต่อพื้นที่มากน้อยเพียงใดสามารถดูได้จากรูปที่ 3.9 แบบจำลองรูปแบบทิศทางของการก่อลาคลิ้นของสายอากาศ



รูปที่ 3.9 แบบจำลองรูปแบบทิศทางของการก่อดำกลั่นของสายอากาศ

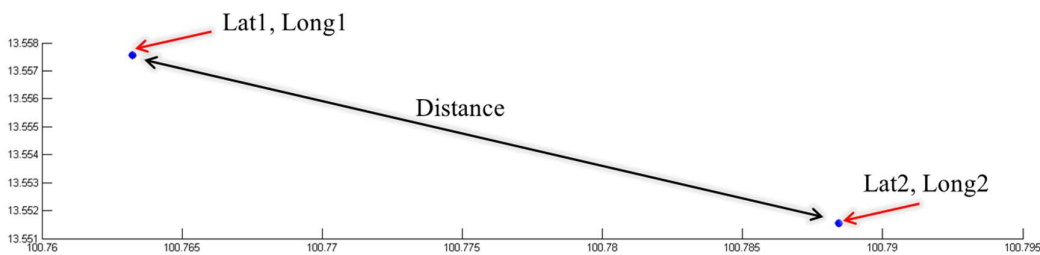
โดยการคำนวณหาระยะทางระหว่างตำแหน่งของสถานีฐานกับตำแหน่งของสัญญาณ (Distance : D) จะใช้สมการที่ (3.1) เมื่อให้ Latitude1 กับ Longitude1 แทนด้วยตำแหน่งของสถานีฐาน ให้ Latitude2 กับ Longitude2 แทนด้วยตำแหน่งของสัญญาณ และรัศมีของโลก (Earth Radius : R) ในที่นี้มีค่าประมาณ 6,371 กิโลเมตร ถ้าทำการยกตัวอย่างในการหาระยะทางระหว่างตำแหน่งสถานีฐานกับตำแหน่งของสัญญาณ โดยกำหนดค่าดังนี้

$$Latitude1 = 13.55150^\circ \quad Longitude1 = 100.78840^\circ$$

$$Latitude2 = 13.55755^\circ \quad Longitude2 = 100.76324^\circ$$

$$D = \cos^{-1}((\sin(lat1)\sin(lat2)) + (\cos(lat1)\cos(lat2)\cos(long2 - long1)))R \quad (3.1)$$

เมื่อแทนค่าที่ได้กำหนดเข้าไปในสมการที่ (3.1) จะสามารถหาระยะทางได้ มีค่าเท่ากับ 2.7915 กิโลเมตร โดยประมาณดังรูปที่ 3.10 แบบจำลองการหาระยะทางระหว่างตำแหน่งของสถานีฐานและตำแหน่งของสัญญาณ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหามุม θ_r ต่อไปนั่นเอง



รูปที่ 3.10 แบบจำลองการหาระยะทางระหว่างตำแหน่งของสถานีฐานและตำแหน่งของสัญญาณ

ต่อจากนั้นทำการคำนวณหามุม θ_r ได้จากสมการที่ (3.2) เมื่อเสาของสายอากาศสูงจากภาคพื้นดิน (h) เป็นระยะ 35 เมตร และ ระยะทางระหว่างตำแหน่งของสถานีฐานกับตำแหน่งของสัญญาณ (D) มีค่าเท่ากับ กิโลเมตร 2.7915 โดยจะได้มุมประมาณ $\theta_r = 0.7183^\circ$

$$\theta_r = \tan^{-1}\left(\frac{h}{D}\right) \quad (3.2)$$

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมุมเชิงกลและมุมเชิงไฟฟ้าย่อมส่งผลกระทบต่อแปรผันตามการอัตรายายของสายอากาศฝั่งส่ง (Transmitted Antenna Gain at Base Station : G_r) ซึ่งสามารถหาการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถหาได้ แต่เพื่อให้เห็นภาพถึงการเปลี่ยนแปลงของมุมเชิงกลและมุมเชิงไฟฟ้า เราจึงได้ทำการยกตัวอย่างการหาค่าที่เปลี่ยนแปลงดังต่อไปนี้

$$thata = mtilt_{new} + etilt_{new} - \theta_r \quad (3.3)$$

$mtilt_{new}$ คือ มุมเชิงกลหลังปรับเปลี่ยน

$etilt_{new}$ คือ มุมเชิงไฟฟ้าหลังปรับเปลี่ยน

กำหนดพารามิเตอร์ให้มีค่าดังต่อไปนี้ $mtilt_{new} = 4^\circ$, $etilt_{new} = 6^\circ$ และ $\theta_r = 0.7183^\circ$ ที่ได้จากสมการที่ (3.2) เมื่อแทนพารามิเตอร์ต่างๆลงในสมการที่ (3.3) เราจะได้ $thata = 9.7183^\circ$ แต่ทั้งนี้ทั้งนี้ค่าที่ได้ยังไม่สามารถนำไปใช้จริงได้เราต้องนำมาเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ในรูปที่ 3.7 แบบจำลองรูปแบบการก่อตัวคลื่นของสายอากาศ ซึ่งเราได้ทำการนำข้อมูลนั้นทำออกมาเป็นตารางเพื่อช่วยต่อการเปรียบเทียบดังตารางที่ 3.1 โดยเราจะใช้ตารางของมุมเชิงไฟฟ้าที่มีค่าเท่ากับ $etilt_{new} = 6^\circ$ เนื่องจากเราจะนำค่า $thata$ ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบในตารางแล้วจึงนำค่าที่เราเปรียบเทียบได้นั้นนำไปใช้ต่อ

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของแบบจำลองรูปแบบการก่อลำคลื่นของสายอากาศที่มีมุมเชิงไฟฟ้าเท่ากับ 6 องศา [CommScope Inc.]

HBXX-3817TB_06	
MAKE	ANDREW
FREQUENCY	1950
H_WIDTH	35
GAIN	17.22 dB
TILT	ELECTRICAL
VERTICAL	
0	9.51
1	6.2
2	3.78
3	2.03
4	0.86
5	0.19
6	0
7	0.29
8	1.08
9	2.42
10	4.43
11	7.31

ในแถวแรก HBXX-3817TB_06 คือชื่อรุ่นของสายอากาศโดยดูได้จากรูปที่ 3.6 ในส่วนแถวถัดมาคือชื่อผู้ผลิตสายอากาศนี้คือ Andrew® ถัดมาคือความถี่ที่ใช้งาน ความกว้างของลำคลื่น และอัตราขยายของสายอากาศ ตามลำดับ ซึ่งในการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ไม่สามารถใช้วิธีเทียบบัญญัติโดยตรงก็ได้เนื่องจากค่าในตารางไม่เป็นเชิงเส้น จึงต้องใช้วิธี Linear Interpolation มาหาแทนดังสมการที่ 3.4

$$\left(\frac{y - y_0}{y - y_1} \right) = \left(\frac{x - x_0}{x - x_1} \right) \quad (3.4)$$

โดยเราต้องการหาพารามิเตอร์ x_1 เราจึงย้ายข้างสมการเพื่อง่ายต่อการหาพารามิเตอร์จะได้ดังสมการที่ 3.5

$$x_1 = x - \left(\frac{(y - y_1)(x - x_0)}{y - y_0} \right) \quad (3.5)$$

เมื่อย้ายข้างสมการเสร็จจึงแทนค่า $y = 9.0000^\circ$, $y_0 = 10.0000^\circ$, $y_1 = 9.7183^\circ$, $x = 2.42dB$, $x_0 = 4.43dB$ และจะได้พารามิเตอร์ $x_1 = 3.86dB$ ซึ่งพารามิเตอร์นี้คือผลกระทบเนื่องจากการปรับเปลี่ยนมุมเชิงกลจาก 2 องศา ไปเป็น 3 องศา และมุมเชิงไฟฟ้าจาก 4 องศา ไปเป็น 6 องศาโดยพารามิเตอร์ x_1 นี้ก็คือพารามิเตอร์ G_t จึงได้ผลสรุปว่าอัตราขยายของสายอากาศฝั่งส่ง (G_t) แปรผันตามการเปลี่ยนแปลงมุมเชิงกลและมุมเชิงไฟฟ้าดังสมการที่ 3.6 ดังนี้

$$G_t \propto m_{tilt}, e_{tilt} \quad (3.6)$$

แบบจำลองเชิงประจักษ์ที่จะนำมาใช้ในบทความวิจัยนี้คือสมการ Friis transmission equation ดังสมการที่ 3.7

$$P_r(dBm) = P_t(dBm) + G_t(dBm) + G_r(dBm) + L_p(dBm) \quad (3.7)$$

เมื่อ

P_r = Received Power (RSCP)

P_t = Transmitted Power from Base Station

G_t = Transmitted Antenna Gain at Base Station

G_r = Received Antenna Gain at Mobile Station

L_p = Path Loss using Okumura-Hata model

$$L_p = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right) \quad (3.8)$$

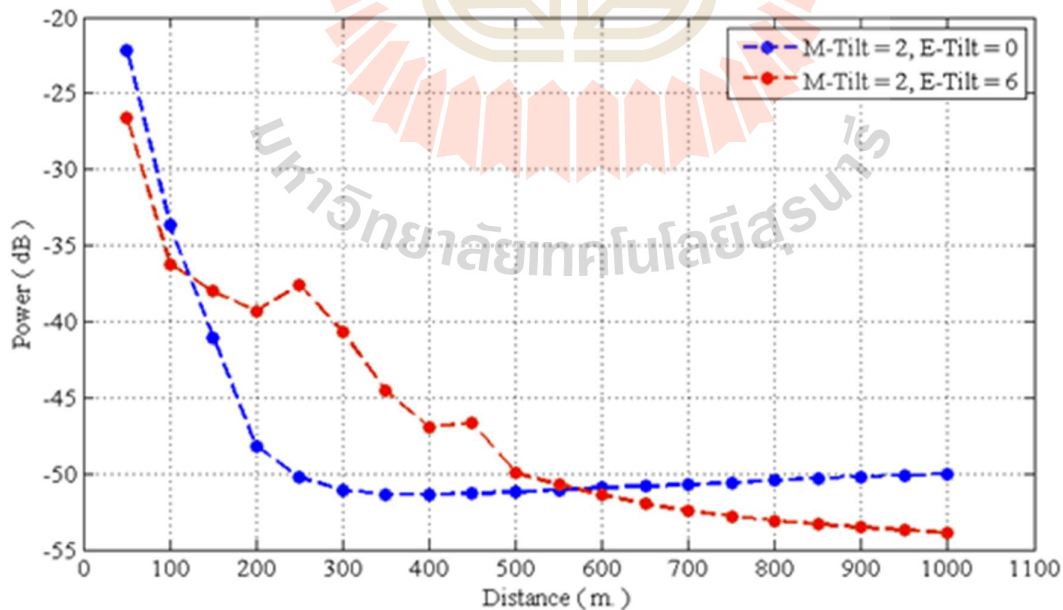
สังเกตจากสมการที่ 3.7 นั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการปรับเปลี่ยนมุมเชิงกลหรือมุมเชิงไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่ออัตราขยายของสายอากาศฝั่งส่ง (G_t) และอัตราขยายของสายอากาศฝั่งส่ง (G_r) ส่งผลต่อกำลังงานที่รับได้หรือ (P_r or RSCP) แต่การปรับเปลี่ยนนั้นจะไม่ได้ขึ้นอยู่กับระบบของโทรศัพท์มือถือที่ใช้ในการทำไครฟเทส หรือแม้กระทั่งกำลังงานที่ส่งออกไป (P_t) และสิ่งที่สำคัญที่สุดคือแบบจำลองของฮาตะ (L_p) แต่ในการวิเคราะห์สัญญาณเราใช้ที่ตำแหน่งเดียวไม่ได้มีการเคลื่อนย้ายทั้งก่อนและหลังปรับจึงทำให้แบบจำลองของฮาตะเปรียบเสมือนค่าคงที่ค่าหนึ่ง ถ้าดูจากความสัมพันธ์เหล่านี้จึงสรุปได้ว่า RSCP แปรผันตามการอัตราขยายของสายอากาศฝั่งส่ง (G_t) ดังสมการที่ 3.9

$$RSCP \propto G_t \quad (3.9)$$

เมื่อตัดพารามิเตอร์ค่าคงที่ออกไปจึงสรุปสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ดังสมการที่ 3.10

$$\Delta P_r = \Delta P_t + \Delta G_t \quad (3.10)$$

ในส่วนนี้ได้ทดลองสมมติฐานถึงการปรับเปลี่ยนมุมเชิงกลและมุมเชิงไฟฟ้าว่าส่งผลกระทบต่อพลังงานที่รับได้มากน้อยเพียงใด



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับพลังงานที่ได้รับในระดับที่มุมเชิงไฟฟ้าต่างกัน

สังเกตจากรูปที่ 3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับพลังงานที่ได้รับในระดับที่มุมเชิงไฟฟ้าต่างกัน จะเห็นได้ว่ากราฟเส้นสีน้ำเงินคือไม่มีการปรับเปลี่ยนมุมเชิงกลและมุมเชิงไฟฟ้าซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 องศา กับ 4 องศาตามลำดับ ที่ระยะใกล้สถานีฐานพลังงานที่ได้รับได้มีค่าที่สูงและลดลงมาเรื่อยๆตามระยะทางที่ไกลมากขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อมีการปรับเปลี่ยนมุมเชิงกลและมุมเชิงไฟฟ้ามาเป็น 2 องศา กับ 6 องศาตามลำดับ สังเกตตามกราฟเส้นสีแดงที่ระยะใกล้สถานีฐานพลังงานที่ได้รับได้มีค่าที่สูงและค่อยๆลดลงมา ในช่วงระยะ 200 ถึง 300 เมตร พลังงานที่ได้รับได้นั้นจะเพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการปรับเปลี่ยนมุมเชิงไฟฟ้าที่มีรูปแบบดังรูปภาพที่ 3.7 และหลังจากระยะ 300 เมตรเป็นต้นไปพลังงานที่ได้รับได้จะลดลงเรื่อยๆระยะทาง ซึ่งมีความสอดคล้องกับแบบจำลองของฮาดะ (Lp)

3.6 ฟังก์ชันการดำเนินงานของอัลกอริทึม

ในฟังก์ชันได้นำเสนอเกี่ยวกับกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุนี้เริ่มแรกด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้เช่นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โทรศัพท์มือถือ และซอฟต์แวร์สำหรับการไดรฟ์เทสในที่นี่คือโปรแกรม TEMS Investigation หลังจากที่ได้ไดรฟ์เทสเสร็จสิ้นจะทำการนำข้อมูลที่ได้ออกจากการไดรฟ์เทสมาวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ที่ใช้งานอยู่โดยพิจารณาพารามิเตอร์ที่สำคัญเป็นหลักอาทิเช่น Energy per Chip Over the Noise (E_c/N_o) และ Received Signal Code Power (RSCP) เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่แล้วจะทำการปรับเปลี่ยนมุมเชิงกลหรือมุมเชิงไฟฟ้าโดยเริ่มที่มุม 0 องศาไล่ไปจนถึง 10 องศา ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อ Transmitted Antenna Gain at Base Station (G_t) แต่การปรับเปลี่ยนมุมเชิงกลและมุมเชิงไฟฟ้าจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงต่อ Received Antenna Gain at Mobile Station (G_r) ตามสมการที่ 3.6 และสมการที่ 3.9

สำหรับสมการที่ 3.11 จะเป็นการหาค่าสัญญาณรบกวนเนื่องจากผลที่ได้จากการไดรฟ์เทสนั้นไม่สามารถวัดได้ แต่เรามีข้อมูลที่จำได้ที่สามารถคำนวณหาได้หลังจากที่หาค่าสัญญาณรบกวนได้แล้วเมื่อมีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อ RSCP จะทำให้ค่าของ ARSCP (Active set Received Signal Code Power) และ MRSCP (Monitor set Received Signal Code Power) มีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นจึงใช้ค่า ARSCP, MRSCP และค่าสัญญาณรบกวนที่ได้จากการคำนวณครั้งแรกกลับไปแทนในสมการที่ 3.11 เพื่อทำการหาค่าความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้ใหม่แล้วจึงนำไปแทนในสมการที่ 3.12 เพื่อหาค่าอัตราส่วนของพลังงานที่รับได้ส่วนด้วยพลังงานทั้งหมดใหม่

$$RSSI = \sum_{i=1}^3 ARSCP_i - \sum_{i=1}^3 MRSCP_i + Noise \quad (3.11)$$

เมื่อ

$ARSCP$ = Active set Received Signal Code Power

$MRSCP$ = Monitor set Received Signal Code Power

$Noise$ = Noise Power over Whole Bandwidth

$$Ec / No(dB) = RSCP(dBm) - RSSI(dBm) \quad (3.12)$$

หลังจากที่ทำการปรับเปลี่ยนแล้วจึงนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับก่อนทำไคร์ฟเทสเพื่อหาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุที่ดีที่สุด ในส่วนของการหาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุที่ดีที่สุดนั้นเราได้พิจารณาถึงพารามิเตอร์หลักๆ คือ ความครอบคลุมของพื้นที่ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งประกอบไปด้วยอีก สอง พารามิเตอร์ คือ อัตราส่วนของพลังงานที่รับได้ส่วนด้วยพลังงานทั้งหมด กับ ความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้ โดยดูได้จากสมการที่ 3.13 และสมการที่ 3.14

$$C(\%) = \left(\frac{100}{N} \right) \sum_{i=1}^N p_i \quad (3.13)$$

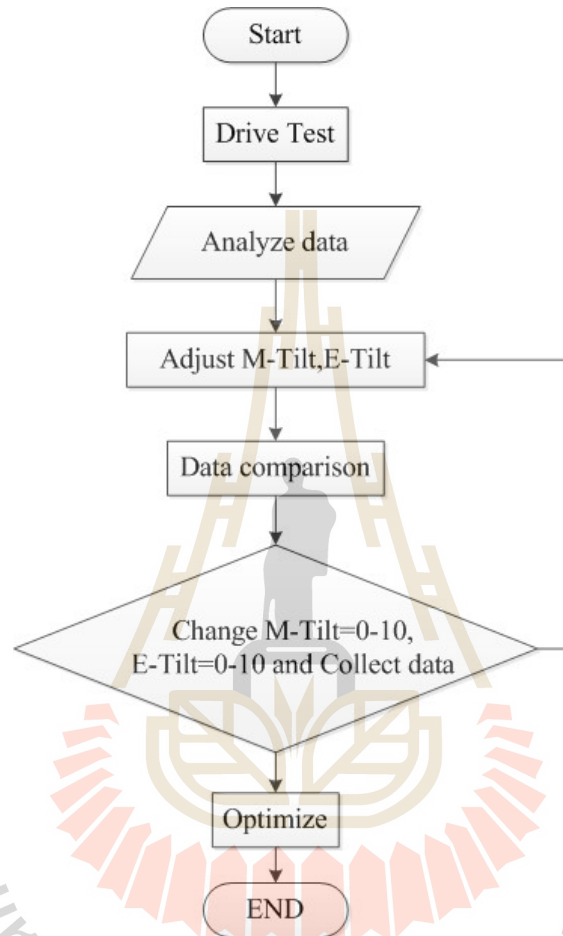
เมื่อ

$$p_i = \begin{cases} 1 & \text{if } RSCP_i > -85dBm \text{ and } Ec / No_i > -14dB \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (3.14)$$

หลังจากการปรับเปลี่ยนมุมเชิงกลและมุมเชิงไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปนั้นเราจะนำค่าทั้งหมดที่ทำการหามาวิเคราะห์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุที่ดีที่สุดได้จากสมการที่ 3.15

$$C_{opt} = \max_{0 \leq M - \text{tilt} \leq 10, 0 \leq E - \text{tilt} \leq 10} C \quad (3.15)$$

พารามิเตอร์ C_{opt} คือค่าความครอบคลุมของพื้นที่ที่สูงที่สุดตามค่า C ที่อยู่ในสมการที่ 3.13 นั้นเอง โดยกระบวนการทั้งหมดจะย่ออยู่ในรูปภาพที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ผังงานขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุ

3.7 กล่าวท้ายบท

ในบทนี้เราได้แสดงให้เห็นถึงการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่ได้จากการไต่รฟเทศถึงพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญต่อการวิเคราะห์ข้อมูลดังรูปที่ 3.2 - 3.5 อีกทั้งยังมีการพิจารณาถึงแบบจำลองสายอากาศที่นำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการไต่รฟเทศ เพื่ออ้างอิงถึงการประเมินหาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุ อีกทั้งยังใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในรูปแบบของความรู้เชิงประจักษ์เพื่อใช้คำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆที่เปลี่ยนไปเมื่อมีการ

เปลี่ยนแปลงมุมเชิงกลหรือมุมเชิงไฟฟ้าหรือแม้กระทั่งระดับพลังงาน พารามิเตอร์ที่สำคัญเหล่านี้ช่วยให้สามารถทดสอบและปรับค่าต่างๆ ได้ในแบบจำลอง เมื่อปรับแล้วก็จะเห็นผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นทั้งหมดได้ทันที โดยที่ไม่ต้องออกไปไดรฟ์ทดสอบ



บทที่ 4 การหาค่าเหมาะสมทางวิทย์และวิเคราะห์ผล

4.1 กล่าวนำ

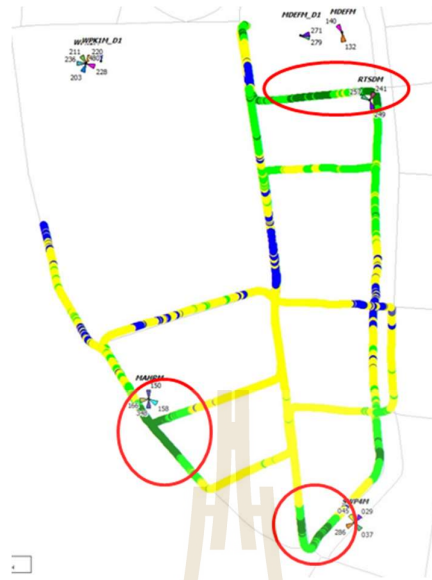
เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการนำเสนอการหาค่าเหมาะสมทางวิทย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพัฒนา ระบบให้ดียิ่งขึ้น และทำการวิเคราะห์สรุปผลที่ได้จากการทดลองในตอนสุดท้าย

4.2 ข้อตกลงในการจำลองผล

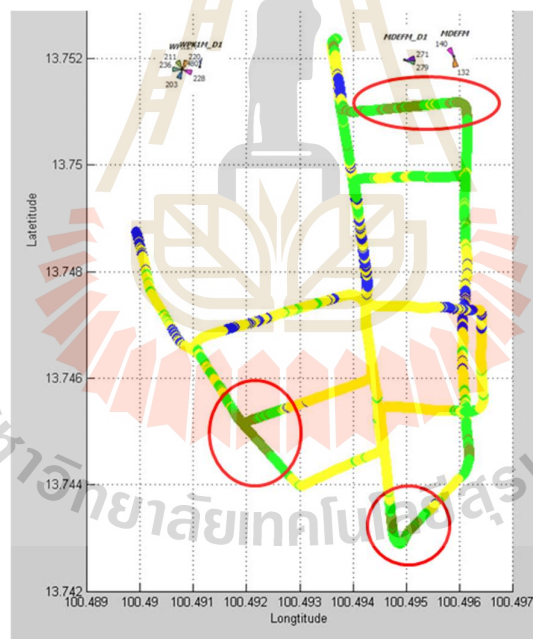
ในการจำลองจะใช้โปรแกรมแมทแล็บในการจำลอง ใช้โปรแกรม Actix Analyzer ในการวิเคราะห์ ข้อมูล ใช้ข้อมูลที่ได้จากการ ไร้ฟเทสเพียง 1 – 2 ตัวอย่าง และแบบจำลองสาขาอากาศที่นำมาวิเคราะห์มี จำนวน 2 ต้น

4.3 ผลการจำลองแบบ

ในการทดลองนี้เป็นการจำลองแบบเมื่อเทียบกับผลที่ได้จากการ ไร้ฟเทส สังเกตจากรูปที่ 4.1 ผลที่ได้ จากโปรแกรม Actix Analyzer กับ รูปที่ 4.2 ผลที่ได้จากการจำลองอัลกอริทึม ในพื้นที่วงกลมสีแดงเป็นการ บ่งบอกถึงสีที่ใช้ในการแสดงผลเพื่อให้ได้ผลที่มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด และยังง่ายต่อการวิเคราะห์ ข้อมูลเมื่อเทียบกับ โปรแกรมอื่นๆ



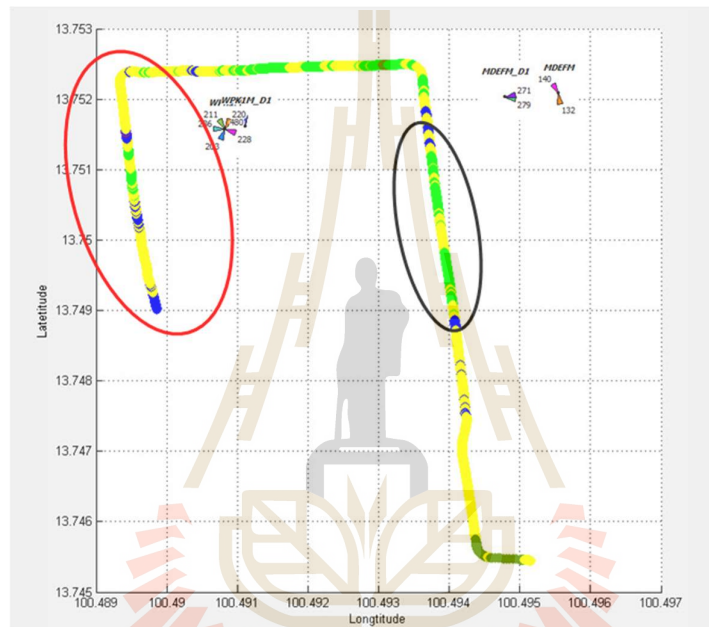
รูปที่ 4.1 ผลที่ได้จากโปรแกรม Actix Analyzer



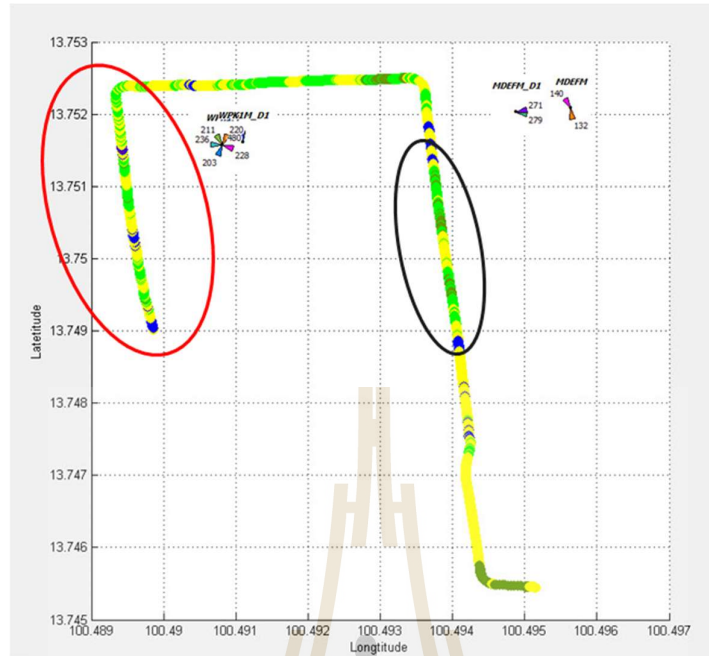
รูปที่ 4.2 ผลที่ได้จากการจำลองอัลกอริทึม

หลังจากที่ได้ทดลองผลจำลองแบบแล้วจึงได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์บางอย่างเพื่อดูถึงคุณภาพสัญญาณว่าเปลี่ยนไปอย่างไร ในรูปที่ 4.3 ผลการจำลองค่าเมื่อไม่ได้รับกำลังส่ง คือผลที่ยังไม่มีการ

ปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์กำลังงานที่ส่งออกไป (P_t) และเมื่อทำการปรับกำลังงานที่ส่งออกไปเพิ่มจากเดิมขึ้นมา 3dB สังเกตได้จากรูปที่ 4.4 ผลการจำลองค่าเมื่อปรับกำลังส่งเพิ่มขึ้น 3dB ซึ่งในพื้นที่วงกลมสีแดงบางส่วนจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองกลายเป็นสีเขียวและจากสีน้ำเงินกลายเป็นสีเหลือง เป็นผลมาจากพลังงานที่ส่งออกไปมีความแรงมากขึ้นทำให้พื้นที่บริเวณดังกล่าวได้รับสัญญาณที่ดียิ่งขึ้นตามไปด้วย แต่ในวงกลมสีดำอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงบ้างเหมือนกันอาจเป็นผลมาจากการสะท้อนของสัญญาณที่ตกกระทบมาจากตึก กระจก ปรางค์การกระจายการกระเจิง (Scattering) การรวมกันของสัญญาณหลายวิถี (Multipath) หรือปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler Effect)

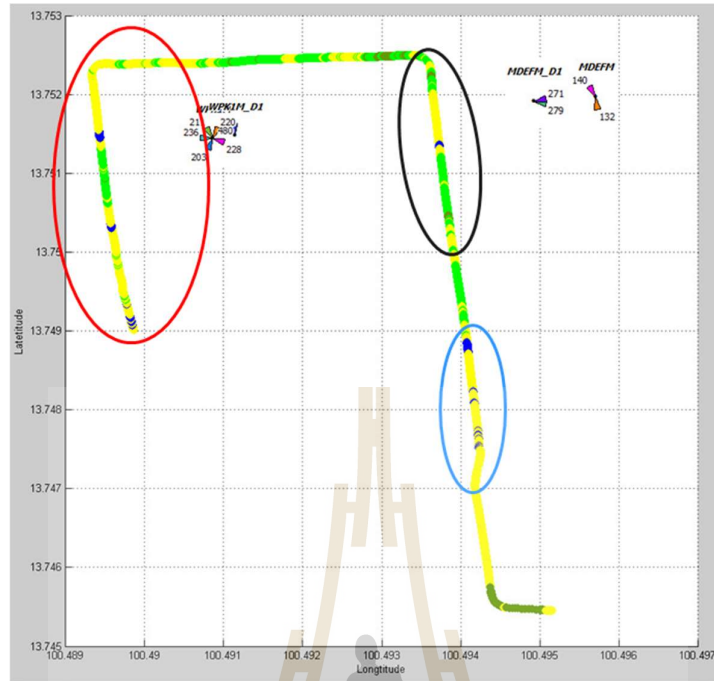


รูปที่ 4.3 ผลการจำลองค่าเมื่อไม่ได้ปรับกำลังส่ง

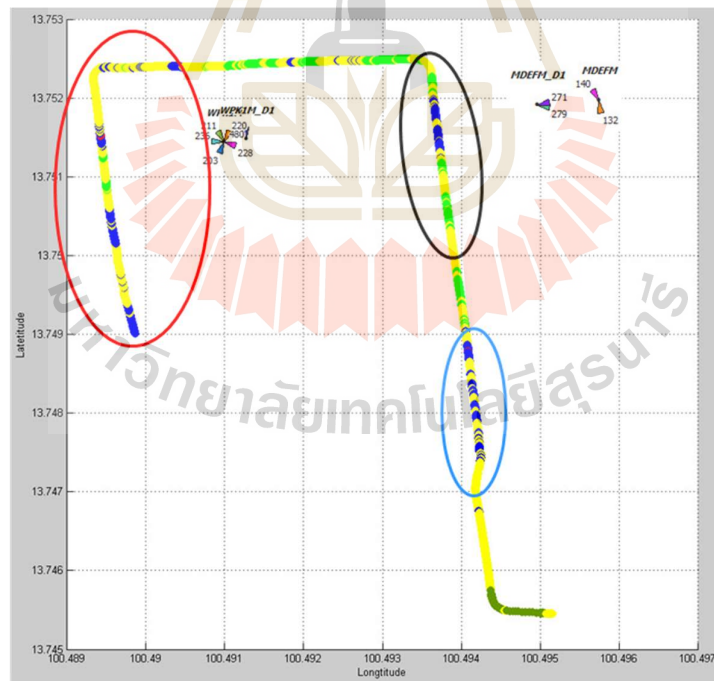


รูปที่ 4.4 ผลการจำลองค่าเมื่อปรับกำลังส่งเพิ่มขึ้น 3dB

ในการทดลองนี้ยังมีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์มุมเชิงไฟฟ้าเพื่อจะดูผลกระทบที่ส่งผลต่อพื้นที่มากน้อยหรือไม่ สังเกตได้จากรูปที่ 4.5 ผลการจำลองค่าเมื่อปรับมุมเชิงไฟฟ้า 1 องศา และรูปที่ 4.6 ผลการจำลองค่าเมื่อปรับมุมเชิงไฟฟ้า 6 องศา ในพื้นที่วงกลมสีแดง สีดำ และสีฟ้า จะมีการเปลี่ยนแปลงแย่ง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นเพื่อเป็นการพิสูจน์ถึงเมื่อปรับเปลี่ยนมุมเชิงไฟฟ้าแล้วมีการส่งผลกระทบต่อพื้นที่นั้นอย่างไรนั่นเอง



รูปที่ 4.5 ผลการจำลองค่าเมื่อปรับมุมเชิงไฟฟ้า 1 องศา



รูปที่ 4.6 ผลการจำลองค่าเมื่อปรับมุมเชิงไฟฟ้า 6 องศา

4.4 การหาค่าเหมาะสมทางวิทยุ

ในการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุขั้นก่อนอื่นต้องวิเคราะห์ถึงข้อมูลที่น่าสนใจในการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุซึ่งจะเรียงลำดับความสำคัญหลักๆ ได้ดังนี้

1) อัตราส่วนของพลังงานที่รับได้ส่วนด้วยพลังงานทั้งหมด (Energy per Chip Over the Noise : E_c/N_0) ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณในพื้นที่นั้นๆว่ามีคุณภาพดีหรือแย่โดยแบ่งออกได้เป็น 5 ระดับดังนี้

- สีแดงคือคุณภาพของสัญญาณที่มีปัญหามากไม่สามารถใช้งานได้โดยกำหนดค่าของ E_c/N_0 น้อยกว่า -18 dB
- สีน้ำเงินคือคุณภาพของสัญญาณที่สามารถใช้งานได้สลับกับมีปัญหาอยู่เป็นช่วงๆหรือนานกว่านั้นโดยกำหนดค่าของ E_c/N_0 มากกว่าหรือเท่ากับ -18 dB และน้อยกว่า -14 dB
- สีเหลืองคือคุณภาพของสัญญาณที่สามารถใช้งานได้แต่ยังคงมีปัญหาอยู่บ้างโดยกำหนดค่าของ E_c/N_0 มากกว่าหรือเท่ากับ -14 dB และน้อยกว่า
- 10 dB
- สีเขียวคือคุณภาพของสัญญาณที่สามารถใช้งานได้โดยกำหนดค่าของ E_c/N_0 มากกว่าหรือเท่ากับ -10 dB และน้อยกว่า -6 dB
- สีเขียวเข้มคือคุณภาพของสัญญาณที่สามารถใช้งานดีมากและให้ประสิทธิภาพดีที่สุดได้โดยกำหนดค่าของ E_c/N_0 มากกว่า -6 dB

2) ความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Code Power : RSCP) ซึ่งบ่งบอกว่า ณ ตำแหน่งนั้นๆสามารถรับพลังงานที่ได้มากเพียงพอต่อการเชื่อมต่อกับเครือข่ายโดยแบ่งออกได้เป็น 7 ระดับดังนี้

- สีแดงคือระดับพลังงานที่รับได้มีปัญหามากไม่สามารถใช้งานได้โดยกำหนดค่าของ RSCP น้อยกว่า -105 dB
- สีม่วงคือระดับพลังงานที่รับได้มีปัญหามากไม่สามารถใช้งานหรืออาจยังใช้งานได้อยู่บ้างโดยกำหนดค่าของ RSCP มากกว่าหรือเท่ากับ -105 dB และน้อยกว่า -92 dB
- สีน้ำเงินคือระดับพลังงานที่รับได้มีปัญหาหรืออาจยังใช้งานได้อยู่บ้างโดยกำหนดค่าของ RSCP มากกว่าหรือเท่ากับ -92 dB และน้อยกว่า -88 dB
- สีฟ้าคือระดับพลังงานที่รับได้มีปัญหาสลับกับใช้งานได้โดยกำหนดค่าของ RSCP มากกว่าหรือเท่ากับ -88 dB และน้อยกว่า -84 dB
- สีเหลืองคือระดับพลังงานที่รับได้สามารถใช้งานได้แต่อาจมีปัญหบ้างเล็กน้อยโดยกำหนดค่าของ RSCP มากกว่าหรือเท่ากับ -84 dB และน้อยกว่า -80 dB

- สีเขียวคือระดับพลังงานที่รับได้สามารถใช้งานดีได้โดยกำหนดค่าของ RSCP มากกว่าหรือเท่ากับ -80 dB และน้อยกว่า -76 dB
- สีเขียวเข้มคือระดับพลังงานที่รับได้สามารถใช้งานดีมากและให้ประสิทธิภาพดีที่สุดได้โดยกำหนดค่าของ RSCP มากกว่า -76 dB

3) ความครอบคลุมของพื้นที่ (Coverage) โดยจะวิเคราะห์ 2 พารามิเตอร์ไปควบคู่กันคืออัตราส่วนของพลังงานที่รับได้ส่วนด้วยพลังงานทั้งหมด กับความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับดังนี้

- สีแดงคืออัตราส่วนของพลังงานที่รับได้ส่วนด้วยพลังงานทั้งหมดน้อยกว่าหรือเท่ากับ -14 dB และความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ -85 dB
- สีนํ้าเงินคืออัตราส่วนของพลังงานที่รับได้ส่วนด้วยพลังงานทั้งหมดน้อยกว่าหรือเท่ากับ -14 dB และความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้มากกว่า -85 dB
- สีเหลืองคืออัตราส่วนของพลังงานที่รับได้ส่วนด้วยพลังงานทั้งหมดมากกว่า -14 dB และความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้น้อยกว่าหรือเท่ากับ -85 dB
- สีเขียวคืออัตราส่วนของพลังงานที่รับได้ส่วนด้วยพลังงานทั้งหมดมากกว่า -14 dB และความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้มากกว่า -85 dB

หลังจากที่เรียงลำดับความสำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว เราจึงจำแนกประเภทของการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุได้เป็น 2 กรณีดังนี้

4.4.1 การหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบ Single Sector

ในการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบเซกเตอร์เดียวนั้นจะทำการพิจารณาสายอากาศเพียงหนึ่งต้นเท่านั้นหรือหนึ่งเซกเตอร์ในที่นี้ใช้เซกเตอร์ที่ 346 เนื่องจากมีจำนวนตำแหน่งสัญญาณมากที่สุดดังตารางที่

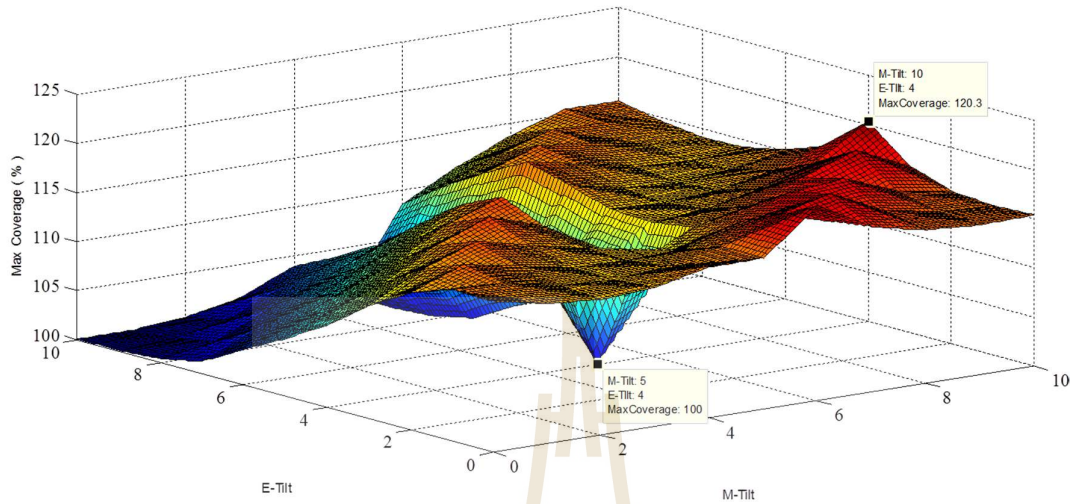
4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลก่อนทำการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบเซกเตอร์เดียว

SC	M-Tilt	E-Tilt	Coverage
346	5	4	19976

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลหลังทำการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบเซกเตอร์เดียว (Case A)

SC	M-Tilt	E-Tilt	Coverage
346	10	4	24266



รูปที่ 4.7 แบบจำลองการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบหนึ่งเซกเตอร์

จากรูปที่ 4.7 แบบจำลองการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบหนึ่งเซกเตอร์ สังเกตได้ว่าเราได้ทำการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุทุกค่าที่มีความเป็นไปได้ แล้วเลือกค่าที่มีมากที่สุดถ้าเทียบว่าก่อนปรับให้ประสิทธิภาพที่ 100% แต่หลังจากการปรับแล้วส่งผลมากถึง 120.3% เลยทีเดียว

4.4.2 การหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบ Multi Sectors

ในการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบหลายเซกเตอร์นั้น จะทำการพิจารณาสายอากาศเพียงหลายต้น โดยมีการแบ่งวิธีการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลหลังทำการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบหลายเซกเตอร์ (Case B)

SC	M-Tilt	E-Tilt	Coverage
9	4	4	20554
15	2	5	20554
17	10	4	20738
46	10	0	20835
85	10	3	22229

135	2	6	22229
257	10	4	22716
267	8	0	22722
275	10	4	22789
302	2	4	22789
310	8	0	22927
346	9	4	25686
378	4	8	25686

จากตารางที่ 4.3 เป็นการเรียงตัวเลขจำเพาะของสถานีฐาน (Scamming Area Codes : SC) จากน้อยไปหามาก พบว่าการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุจะใช้เวลาที่นานและไม่คงที่โดยดูได้จากคอลัมน์ Coverage บาง SC ที่เปลี่ยนแปลงไปแต่กลับไม่ส่งผลที่เพิ่มขึ้นหรือเท่าเดิมแต่เมื่อทำการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุใกล้ถึง SC สุดท้ายจะเห็นว่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดแล้วหลังจากนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกต่อไป

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลหลังทำการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบหลายเซกเตอร์ (Case C)

SC	M-Tilt	E-Tilt	Coverage
378	4	8	20554
346	9	4	24963
310	8	0	25079
302	8	0	25087
275	10	4	25110
267	8	0	25131
257	10	4	25279
135	10	4	25280
85	1	0	25553
46	10	0	25608
17	10	4	25694
15	2	5	25694
9	4	4	25694

จากตารางที่ 4.4 เป็นการเรียงตัวเลขจำเพาะของสถานีฐาน (Scamming Area Codes : SC) จากมากไปหาน้อย พบว่ามีความคล้ายคลึงกับกรณีของ Case B การหาค่าเหมาะสมทางวิทยุจะใช้เวลาที่นานและไม่คงที่ โดยดูได้จากคอลัมน์ Coverage บาง SC ที่เปลี่ยนแปลงไปแต่กลับไม่ส่งผลที่เพิ่มขึ้นหรือเท่าเดิมแต่เมื่อทำการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุใกล้ถึง SC สุดท้ายจะเห็นว่าเพิ่มขึ้นมามากที่สุดแล้วหลังจากนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกต่อไป

จากตารางที่ 4.5 เป็นการเรียงจำนวนตำแหน่งที่น้อยไปหามาก พบว่าตัวเลขจำเพาะของสถานีฐานที่มีจำนวนตำแหน่งน้อยจะไม่ส่งต่อการเปลี่ยนแปลงเลย โดยเริ่มเห็นการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ค่า SC = 275 เปลี่ยนแปลงจากเดิม 0.5313% ขยับขึ้นมาเป็น 1.4420% และยังเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนถึง SC = 85 และ SC = 346 ที่เพิ่มขึ้นอย่างมากเลยทีเดียวแต่ยังเสียเวลากับการวิเคราะห์ในส่วนที่ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลง

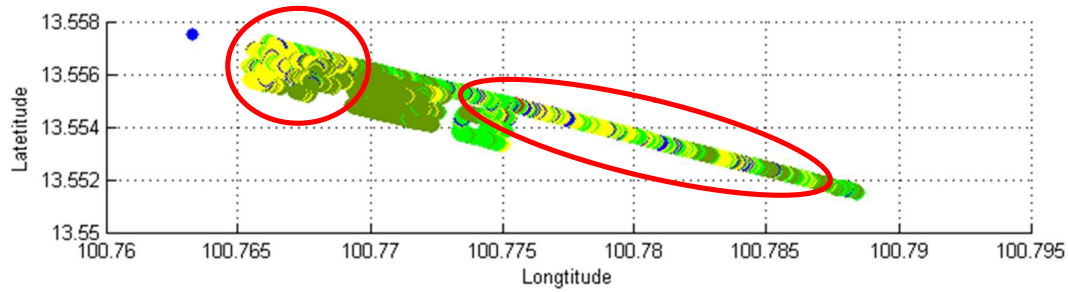
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลหลังทำการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบหลายเซกเตอร์ (Case D)

SC	M-Tilt	E-Tilt	Coverage	Percent (%)
15	2	5	20554	0.0072
302	8	0	20562	0.0072
135	10	4	20563	0.0398
267	8	0	20605	0.3108
9	4	4	20605	0.3903
378	4	8	20605	0.5313
275	10	4	20780	1.4420
46	10	0	20897	1.5469
257	10	4	21299	2.9636
310	8	0	21501	3.9720
17	10	4	21652	4.7056
85	10	3	22931	27.2796
346	9	4	25694	56.8036

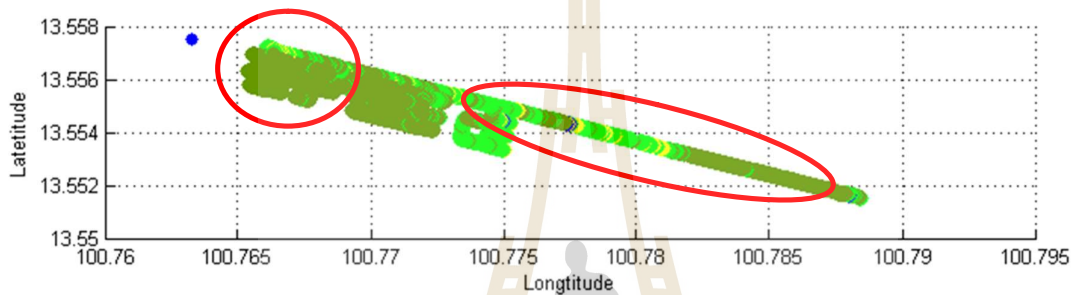
จากตารางที่ 4.6 เป็นการเรียงจำนวนตำแหน่งที่มากไปหาน้อย พบว่าตัวเลขจำเพาะของสถานีฐานที่มีจำนวนตำแหน่งมากจะส่งผลการเปลี่ยนแปลงอย่างมากแล้วค่อยๆลดลงมาจึงสามารถสรุปได้ว่า เราสามารถตัดการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนที่ไม่จำเป็นออกไปเพื่อความรวดเร็วมากยิ่งขึ้นในทีการทดลองจะทำการตัดส่วนที่เปอร์เซ็นต์ต่ำกว่า 1% ออกไปเนื่องจากเมื่อมีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่ SC = 275 แล้วหลังจากนั้นไม่ว่าจะปรับอย่างไรก็ไปส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงได้อีกทั้งยังใช้ในการประหยัดเวลาให้การคำนวณค่าเหมาะสมทางวิทยุอีกด้วย

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลหลังทำการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบหลายเซกเตอร์ (Case E)

SC	M-Tilt	E-Tilt	Coverage	Percent (%)
346	9	4	24963	56.8036
85	6	0	25267	27.2796
17	10	4	25372	4.7056
310	7	0	25465	3.9720
257	10	4	25644	2.9636
46	10	0	25686	1.5469
275	10	4	25696	1.4420
378	4	8	25696	0.5313
9	4	4	25696	0.3903
267	4	2	25696	0.3108
135	2	6	25696	0.0398
302	2	4	25696	0.0072
15	2	5	25696	0.0072

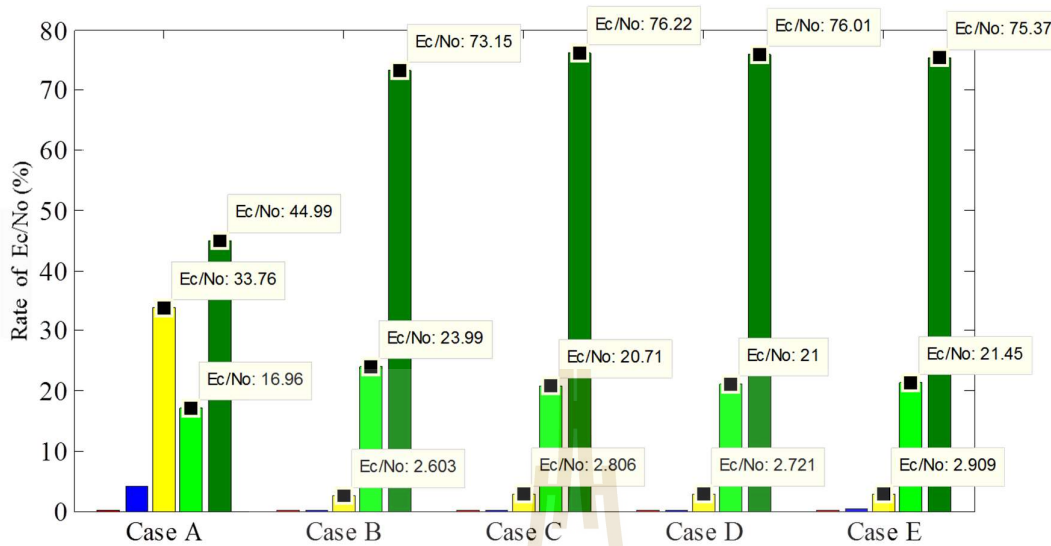


รูปที่ 4.8 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึม (Case A)



รูปที่ 4.9 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึม (Case E)

จากรูปที่ 4.8 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึม (Case A) คือการหาค่าเหมาะสมทางวิฤตแบบเซกเตอร์เดียว และรูปที่ 4.9 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึม (Case E) คือการหาค่าเหมาะสมทางวิฤตแบบหลายเซกเตอร์ เมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างสองรูปนี้สังเกตได้จากภายในวงกลมสีแดงนั้นพื้นที่ในรูปที่ 4.8 จะมีสีเหลืองเป็นส่วนใหญ่และมีสีน้ำเงิน สีเขียวกับสีเขียวยเข้มบ้างเล็กน้อย แต่ในรูปที่ 4.9 พื้นที่ที่เป็นสีเหลืองจะหายไปแล้วมาแทนที่ด้วยสีเขียวยเข้มแทนเป็นผลมาจากการปรับเปลี่ยนแบบหลายเซกเตอร์จะช่วยให้ปรับปรุงคุณภาพสัญญาณพื้นที่โดยรวมให้ดียิ่งขึ้นต่างกับแบบเซกเตอร์เดียวที่ไม่สามารถปรับปรุงคุณภาพสัญญาณพื้นที่โดยรวมได้ทั้งหมดเพราะขีดจำกัดในเรื่องของความกว้างของลำคลื่น จำนวนผู้ให้บริการ หรือปัญหาในพื้นที่เหล่านั้นเอง



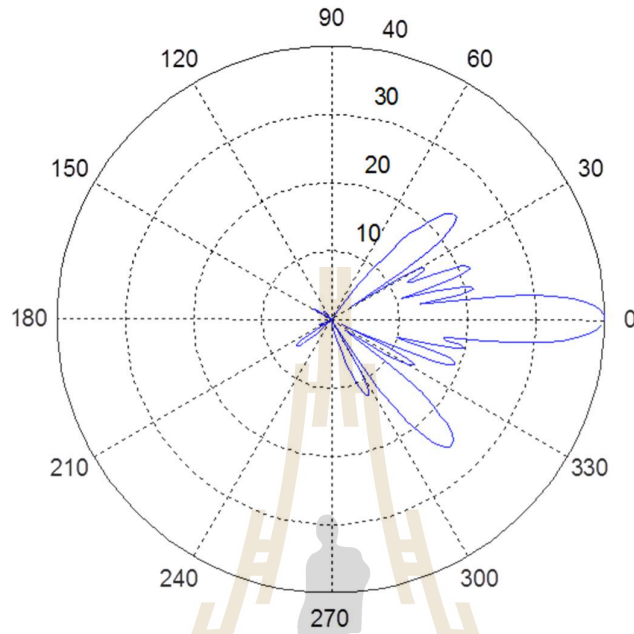
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับพลังงานกับรูปแบบที่ศึกษา

จากรูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับพลังงานกับรูปแบบที่ศึกษา เมื่อเทียบผลทั้งหมดในแต่ละกรณีที่ศึกษาการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบหลายเซกเตอร์จะให้คุณภาพสัญญาณที่ดีกว่าแบบเซกเตอร์เดียวแต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ในกรณีของ Case B กับ Case C และ Case D ใช้หลายขั้นตอนเพื่อกรองข้อมูลในการเรียงลำดับจึงใช้เวลานานพอสมควรถ้าต้องการจะหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแต่ใน Case E นั้นง่ายกว่ามากเพราะได้พิสูจน์แล้วว่าจำนวนตำแหน่งที่น้อยไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงจึงสามารถตัดส่วนที่ไม่จำเป็นออกและยังเลือกตัวเลขจำเพาะของสถานีฐานมาเพียงสองถึงสามตัวเลขเพื่อนำมาใช้ในการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุก็เพียงพอแล้ว

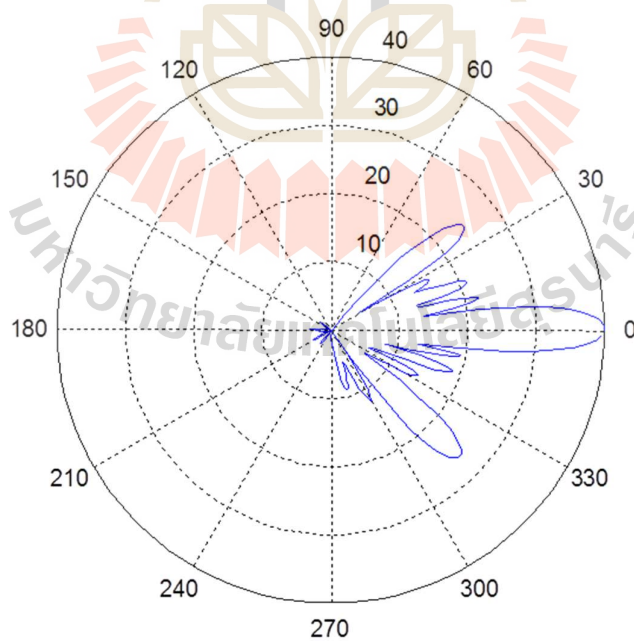
4.5 การหาค่าเหมาะสมทางวิทยุแบบเมื่อทำการเปลี่ยนความถี่และสายอากาศ

ในรูปที่ 4.11 – 4.14 จะเป็นแบบจำลองรูปแบบการก่อลำคลื่นของสายอากาศในรูปแบบที่ความถี่ต่างกันออกไปเนื่องจากความถี่ในประเทศไทยที่ใช้มีหลายย่านความถี่ในบทความนี้จึงพยายามหาความถี่ต่างๆ เพื่อนำมาช่วยวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อยืนยันความเป็นได้ของบทความเล่มนี้ เมื่อสังเกตดูที่ความถี่ 1732 MHz และ 1805 MHz ตรงช่วงมุม 30 องศา จะมี Side lobe มาให้เห็นเล็กน้อยเมื่อพิจารณาจากแบบจำลองทำให้เห็นว่าในขณะที่อยู่ใกล้บริเวณสถานีฐาน ทำไมยังไม่สามารถใช้งานบริการหรือรับสัญญาณได้เต็มที่ แต่ในช่วง

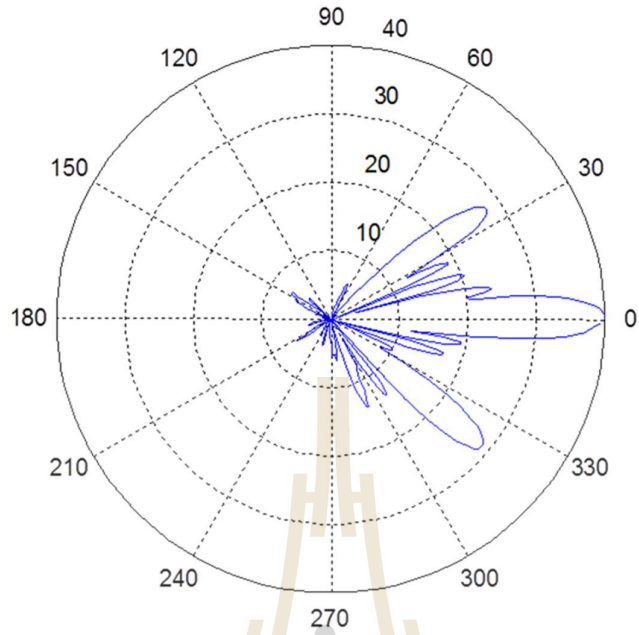
ความถี่ 1950 MHz และ 2140 MHz จะไม่มี Side lobe แล้วหัน null ไปแทนเพื่อทดแทนในส่วนที่หายไปจึงส่งผลให้บริเวณใกล้สถานีฐานได้รับสัญญาณที่เต็มที่มีมากยิ่งขึ้น



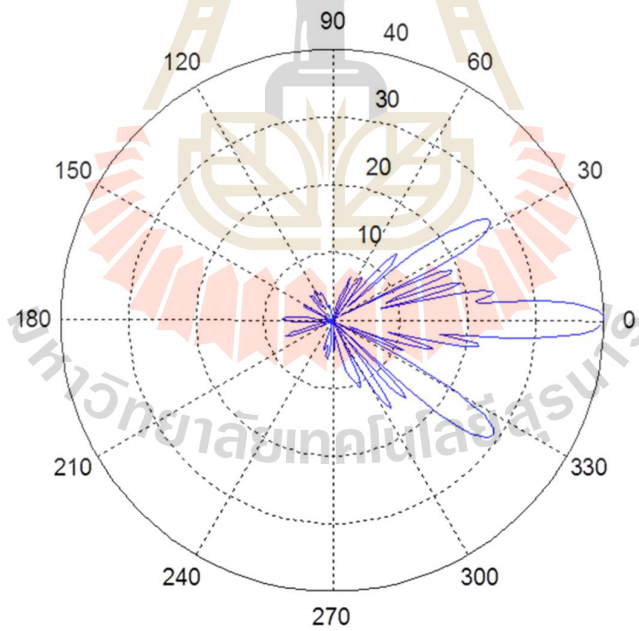
รูปที่ 4.11 แบบจำลองรูปแบบการก่อลำคลื่นของสายอากาศที่ $f = 1732\text{MHz}$



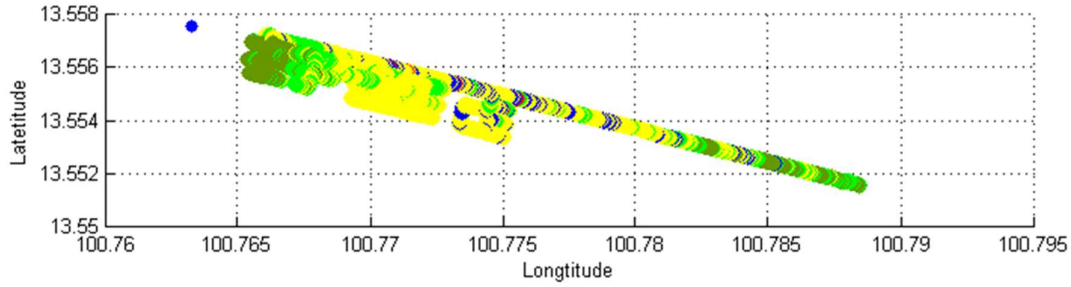
รูปที่ 4.12 แบบจำลองรูปแบบการก่อลำคลื่นของสายอากาศที่ $f = 1805\text{MHz}$



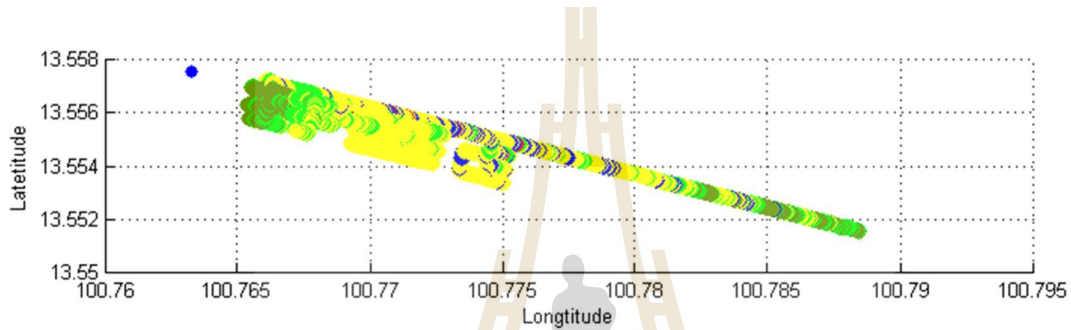
รูปที่ 4.13 แบบจำลองรูปแบบการก่อลำคลื่นของสายอากาศที่ $f = 1950 \text{ MHz}$



รูปที่ 4.14 แบบจำลองรูปแบบการก่อลำคลื่นของสายอากาศที่ $f = 2140 \text{ MHz}$

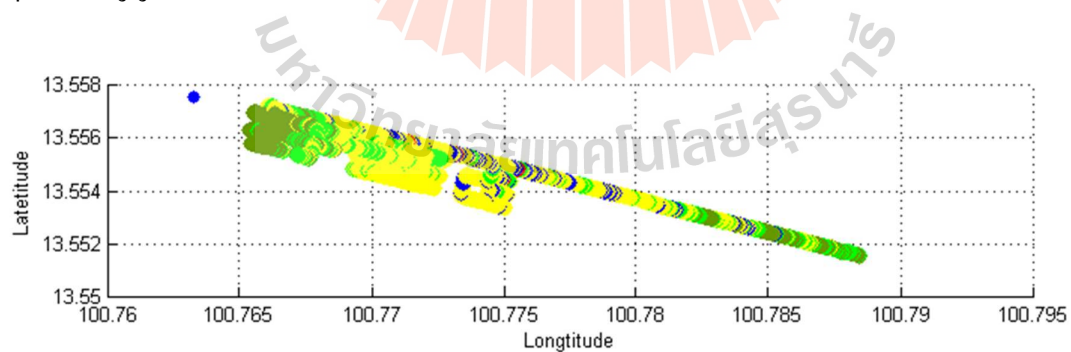


รูปที่ 4.15 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์(สายอากาศต้นที่1) $f = 1732MHz$

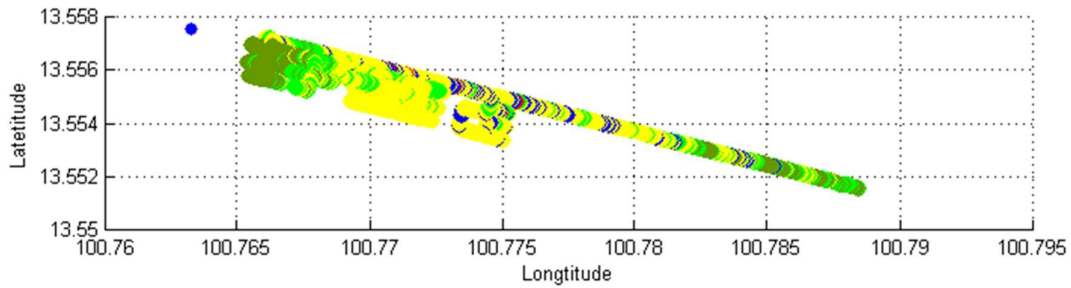


รูปที่ 4.16 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์(สายอากาศต้นที่2) $f = 1735MHz$

ในรูปที่ 4.15 – 4.16 จะเป็นการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ระหว่างสายอากาศสองต้นที่ความถี่เดียวกัน (ความถี่สายอากาศต้นที่สองไม่มีข้อมูลแบบจำลองรูปแบบการก่อลำคลื่นของสายอากาศที่ $f = 1732MHz$ จึงเปลี่ยนมาใช้ $f = 1735MHz$ แทน) สังเกตได้ว่าบริเวณพื้นที่ใกล้กับสถานีฐานของสายอากาศต้นที่หนึ่งมีคุณภาพสัญญาณที่ดีกว่าเล็กน้อยอาจเป็นมาจากอัตราขยายของสายอากาศต้นที่หนึ่งมากกว่าต้นที่สอง

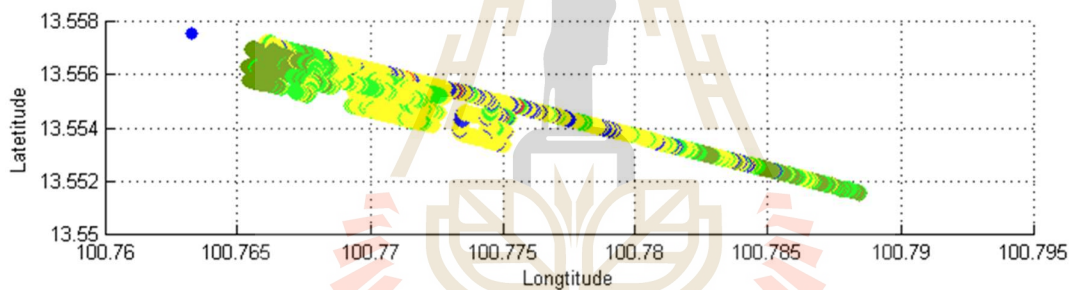


รูปที่ 4.17 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์(สายอากาศต้นที่1) $f = 1805MHz$

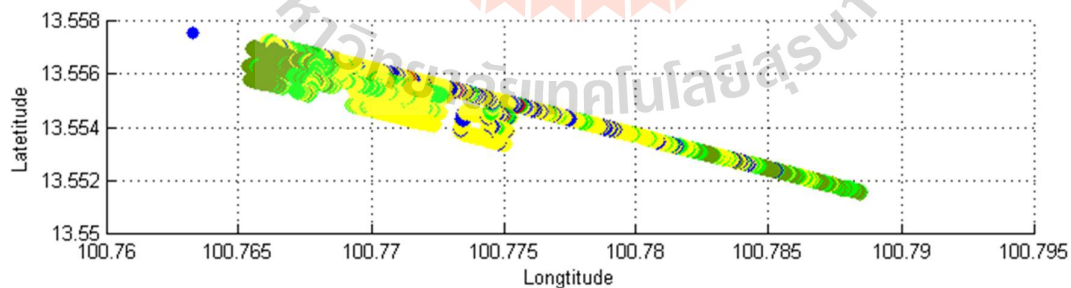


รูปที่ 4.18 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์(สายอากาศต้นที่2) $f = 1805MHz$

ในรูปที่ 4.17 – 4.18 จะเป็นการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ระหว่างสายอากาศสองต้นที่ความถี่เดียวกัน สังเกตได้ว่าบริเวณพื้นที่ใกล้กับสถานีฐานของทั้งสองรูปนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอาจเป็นเนื่องมาจากแบบจำลองรูปแบบการก่อลำคลื่นของสายอากาศของสายอากาศต้นที่สองมีค่าใกล้เคียงกับสายอากาศต้นที่หนึ่ง

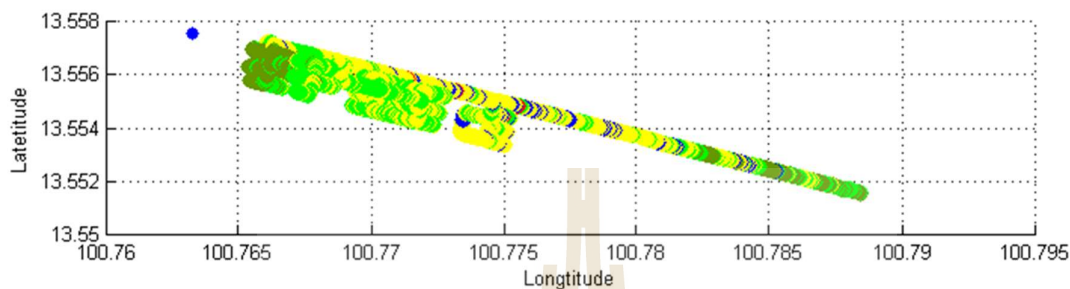


รูปที่ 4.19 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์(สายอากาศต้นที่1) $f = 1950MHz$

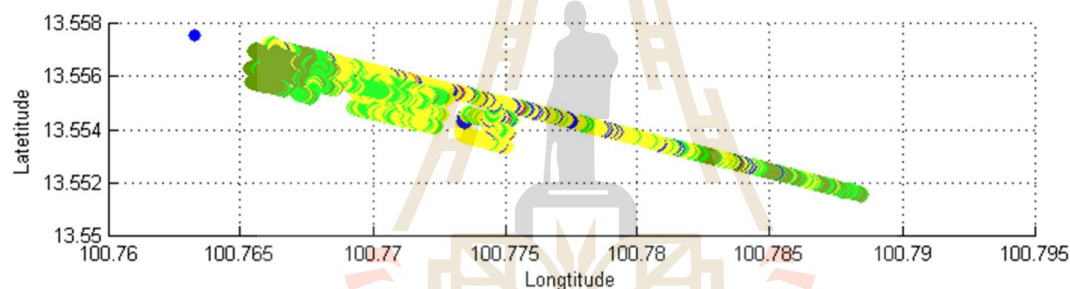


รูปที่ 4.20 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์(สายอากาศต้นที่2) $f = 1950MHz$

ในรูปที่ 4.19 – 4.20 จะเป็นการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ระหว่างสายอากาศสองต้นที่ความถี่เดียวกัน สังเกตได้ว่าบริเวณพื้นที่ใกล้กับสถานีฐานของทั้งสองรูปนี้มีความคล้ายคลึงเหมือนกัน การเปรียบเทียบรูปที่ 4.17 – 4.18

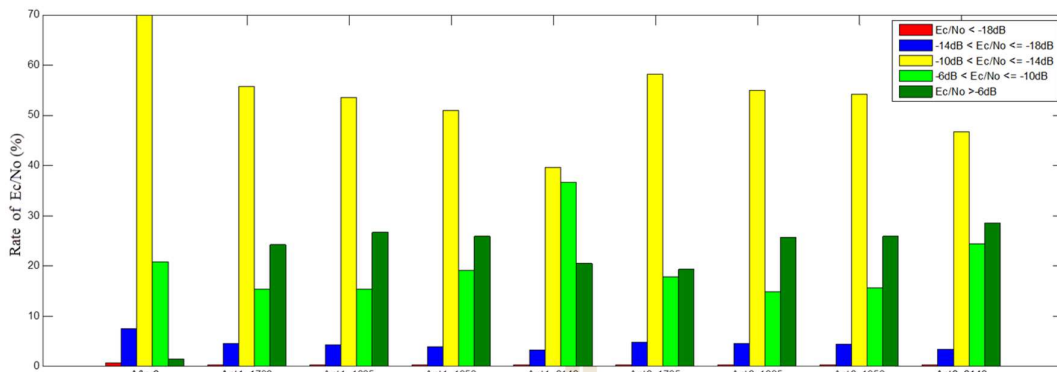


รูปที่ 4.21 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์ (สายอากาศต้นที่1) $f = 2140MHz$



รูปที่ 4.22 ผลการจำลองค่าจากอัลกอริทึมหลังปรับพารามิเตอร์ (สายอากาศต้นที่2) $f = 2140MHz$

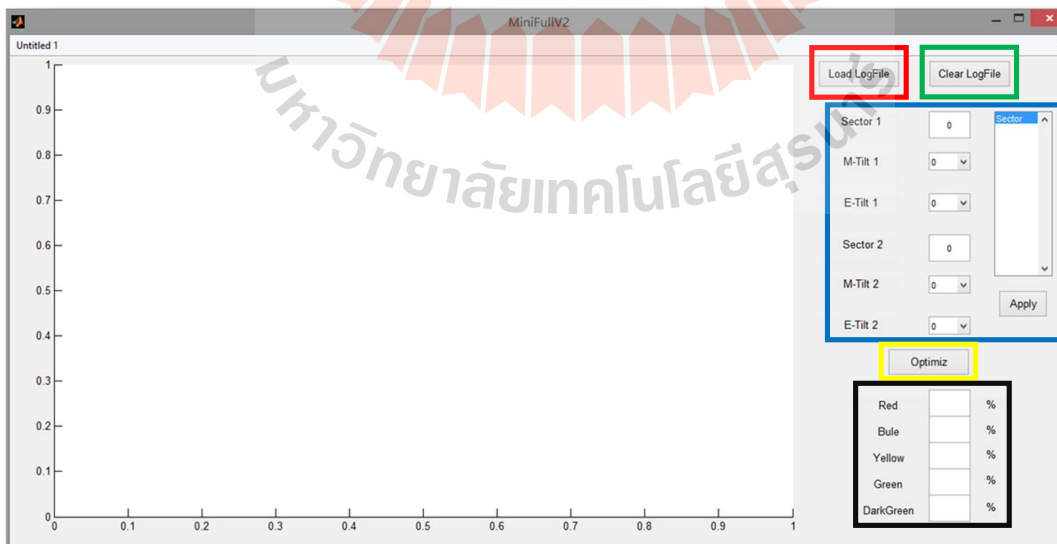
ในรูปที่ 4.21 – 4.22 จะเป็นการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ระหว่างสายอากาศสองต้นที่ความถี่เดียวกัน สังเกตได้ว่าบริเวณพื้นที่ใกล้กับสถานีฐานของสายอากาศต้นที่สองจะมีคุณภาพสัญญาณที่ดีกว่ารวมถึงที่ระยะทางไกลออกไปเป็นผลมาจากแบบจำลองรูปแบบการก่อคลื่นของสายอากาศของสายอากาศต้นที่สองมีอัตราขยายที่มากกว่าสายอากาศต้นที่หนึ่ง ถ้าวิเคราะห์โดยรวมดูได้จากรูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับพลังงานกับรูปแบบที่ศึกษา จะบอกถึงระดับพลังงานที่วัดได้ในพื้นที่ที่มีสีเหลืองลดลงและสีเขียวต่ำลงแต่เป็นผลที่ทำให้พื้นที่ที่มีสีเขียวเข้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับพลังงานกับรูปแบบที่ศึกษา

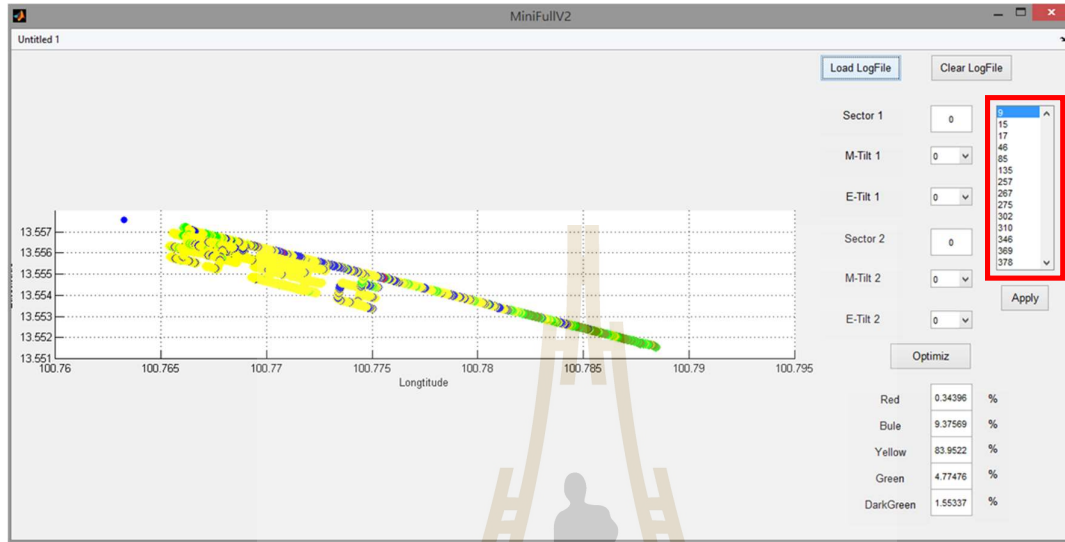
4.6 การพัฒนาเพื่อนำไปใช้จริง

ในบทนี้จะเป็นการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อนำไปใช้จริงเพื่อช่วยต่อการใช้งานสังเกตในรูปที่ 4.24 จะเป็นหน้าตาของโปรแกรม โดยจะมีหน้าต่างแสดงพื้นที่ กรอบสีแดงคือปุ่มโหลดข้อมูลที่ได้จากการ دریافت กรอบสีเขียวคือปุ่มเคลียร์ไฟล์ทั้งหมด โดยที่ไม่ต้องปิดโปรแกรมแล้วเปิดใหม่ กรอบสีน้ำเงินคือการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์มุมเชิงกล มุมเชิงไฟฟ้า และแสดงถึงตัวเลขจำเพาะของสถานีฐาน โดยในส่วนนี้เป็นการปรับด้วยตัวเอง กรอบสีเหลืองคือปุ่มที่ทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และกรอบดำคือส่วนแสดงผลว่าพื้นที่นั้นๆมีระดับคุณภาพเป็นอย่างไรซึ่งออกเป็นระดับตามหัวข้อที่ 4.4 การหาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุ



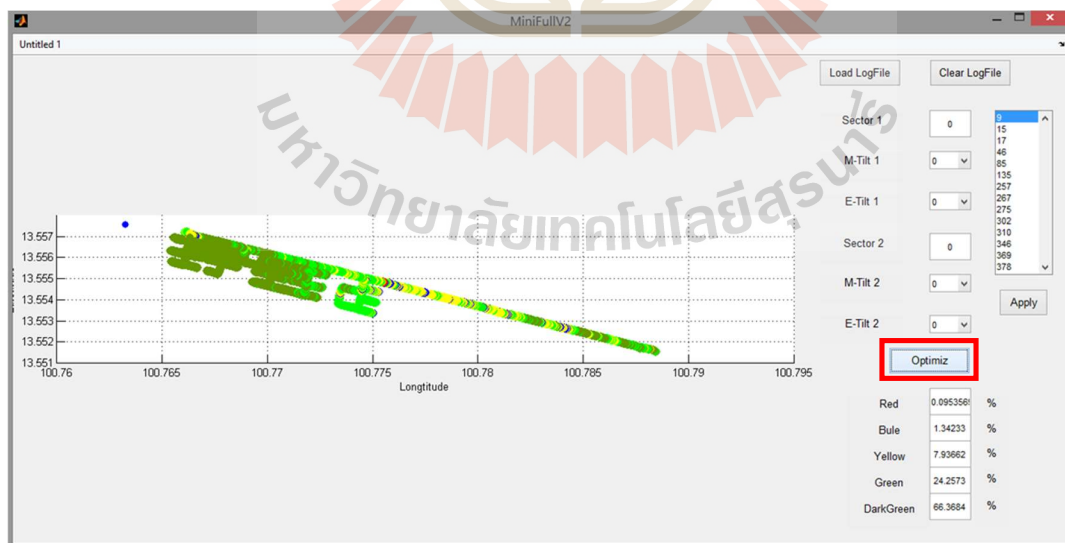
รูปที่ 4.24 อัลกอริทึมในรูปแบบของ GUI

รูปที่ 4.25 คือการโหลดข้อมูลที่ได้จากการไดรฟ์ทดสอบเข้าไปในโปรแกรม โปรแกรมจะแสดงในส่วน กรอบสี่เหลี่ยมว่าในพื้นที่นั้นมีตัวเลขจำเพาะของสถานีฐานอะไรบ้าง



รูปที่ 4.25 อัลกอริทึมในรูปแบบของ GUI เมื่อมีการโหลดข้อมูล

รูปที่ 4.26 คือการกดปุ่มในกรอบสี่เหลี่ยมเพื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุแล้วแสดงผลออกมาพร้อม ยังแสดงข้อมูลว่าในพื้นที่นั้นมีคุณภาพสัญญาณเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด

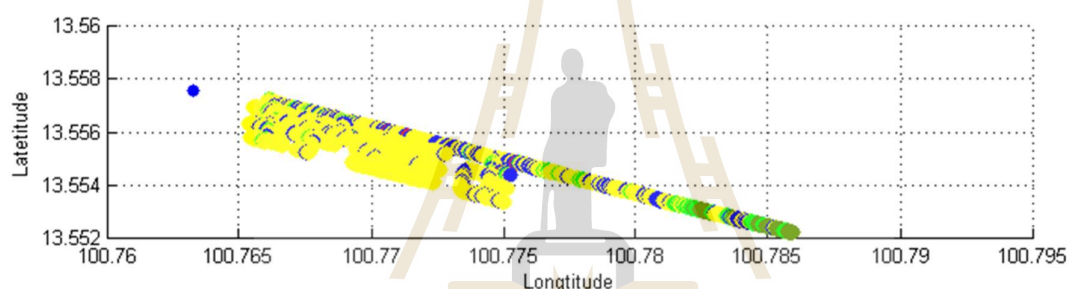


รูปที่ 4.26 อัลกอริทึมในรูปแบบของ GUI เมื่อมีการปรับพารามิเตอร์

4.7 ผลจำลองเมื่อเทียบกับผลจริง

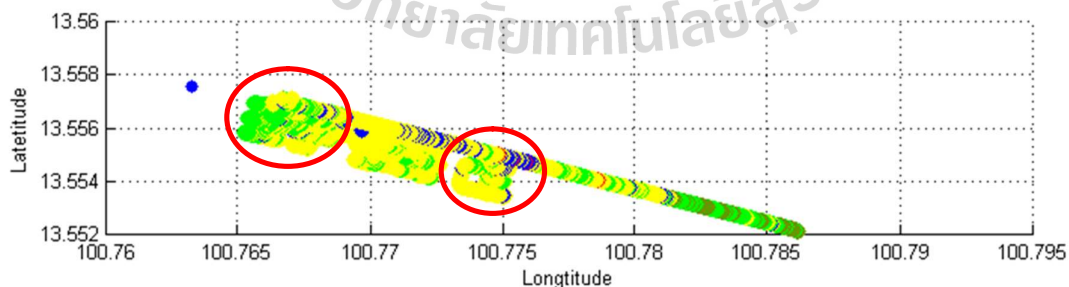
4.7.1 ผลจำลอง อัตราส่วนของพลังงานที่รับได้ส่วนด้วยพลังงานทั้งหมด (E_c/N_0)

ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของอัตราส่วนของพลังงานที่รับได้ส่วนด้วยพลังงานทั้งหมด (E_c/N_0) ในรูปที่ 4.27 เป็นข้อมูลก่อนปรับพารามิเตอร์โดยจุดสีน้ำเงินนี้แทนด้วยตำแหน่งของสถานีฐาน ในพื้นที่บริเวณนี้จะมีคุณภาพสัญญาณใช้งานได้สลับกับบางจุดที่มีปัญหาจึงได้ทำการปรับเปลี่ยนอยู่สองเซกเตอร์ โดยเซกเตอร์ 346 ได้ปรับมุมเชิงกลจาก 5 องศา เป็น 1 องศา และมุมเชิงไฟฟ้าจาก 4 องศา เป็น 5 องศา สำหรับเซกเตอร์ 85 ได้ปรับมุมเชิงกลจาก 5 องศา เป็น 2 องศา และมุมเชิงไฟฟ้าจาก 20 องศา เป็น 22 องศา (สำหรับสายอากาศต้นที่สองมุมเชิงไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 20 – 30 องศา)



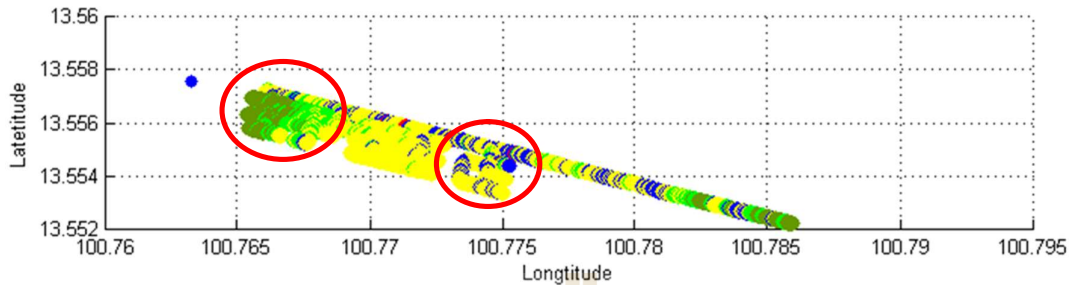
รูปที่ 4.27 ผลการจำลองค่าก่อนปรับพารามิเตอร์จากการไดรฟ์เทส

หลังจากการปรับมุมเชิงกลและมุมเชิงไฟฟ้าจะทำให้พื้นที่ที่อยู่ในกรอบสีแดงดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัดโดยเพิ่มขึ้นจากเดิมถึง 20.3864% ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ผลการจำลองค่าหลังปรับพารามิเตอร์จากการไดรฟ์เทส

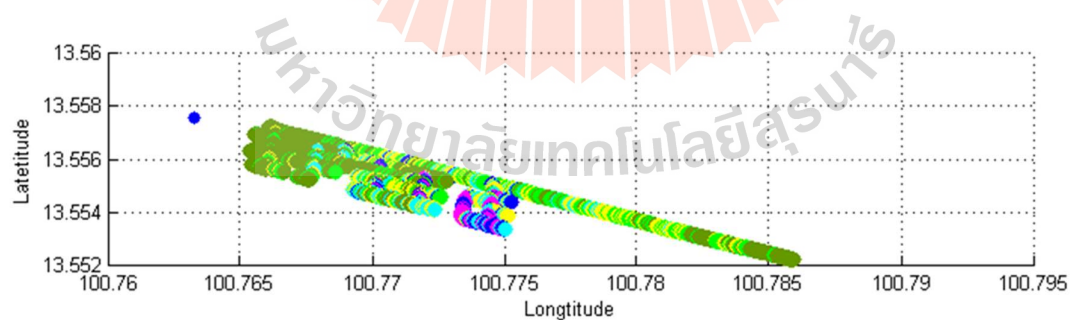
เมื่อทำการใช้อัลกอริทึมมาคำนวณหลังจากการปรับมุมเชิงกลและมุมเชิงไฟฟ้าจะทำให้พื้นที่ที่อยู่ในกรอบสีแดงดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเพิ่มขึ้นจากเดิมถึง 31.0593%



รูปที่ 4.29 ผลการจำลองค่าหลังปรับพารามิเตอร์จากการอัลกอริทึม

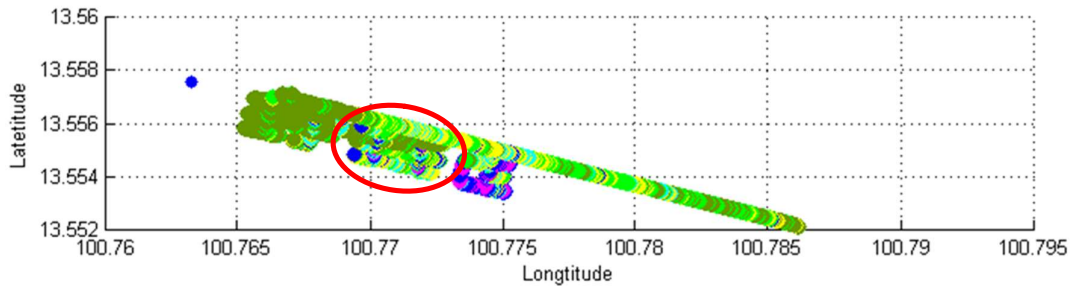
4.7.2 ผลจำลองความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้ (RSCP)

ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้ (RSCP) ในรูปที่ 4.30 เป็นข้อมูลก่อนปรับพารามิเตอร์โดยจุดสีน้ำเงินนี้แทนด้วยตำแหน่งของสถานีฐาน ในพื้นที่บริเวณนี้มีความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้ถือว่าค่อนข้างดีเลยทีเดียวแต่ในบริเวณที่ไกลออกไปยังพบว่ามีปัญหาต่อความแรงของคุณภาพสัญญาณที่ลดลงจึงได้ทำการปรับเปลี่ยนอยู่สองเซกเตอร์ โดยเซกเตอร์ 346 ได้ปรับมุมเชิงกลจาก 5 องศา เป็น 1 องศา และมุมเชิงไฟฟ้าจาก 4 องศา เป็น 5 องศา สำหรับเซกเตอร์ 85 ได้ปรับมุมเชิงกลจาก 5 องศา เป็น 2 องศา และมุมเชิงไฟฟ้าจาก 20 องศา เป็น 22 องศา (สำหรับสายอากาศต้นที่สองมุมเชิงไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 20 – 30 องศา)



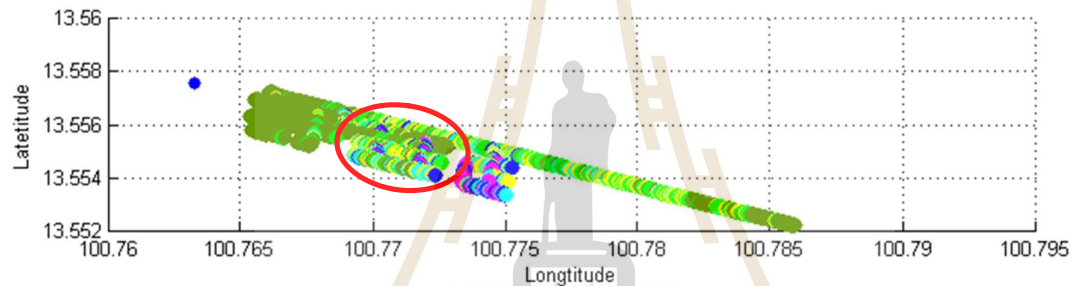
รูปที่ 4.30 ผลการจำลองค่าก่อนปรับพารามิเตอร์จากการไคร์ฟเทศ

หลังจากการปรับมุมเชิงกลและมุมเชิงไฟฟ้าจะทำให้พื้นที่ที่อยู่ในกรอบสีแดงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับก่อนปรับพารามิเตอร์ โดยเพิ่มขึ้นจากเดิม 3.0537% ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ผลการจำลองค่าหลังปรับพารามิเตอร์จากการไครฟ์เทส

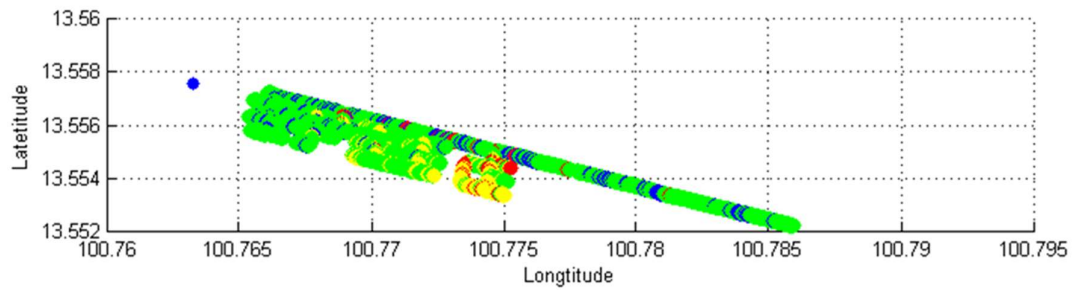
เมื่อทำการใช้อัลกอริทึมมาคำนวณหลังจากการปรับมุมเชิงกลและมุมเชิงไฟฟ้าจะทำให้พื้นที่ที่อยู่ในกรอบสีแดงดีขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับก่อนปรับพารามิเตอร์โดยเพิ่มขึ้นจากเดิมเพียง 2.4552% ดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 ผลการจำลองค่าหลังปรับพารามิเตอร์จากการอัลกอริทึม

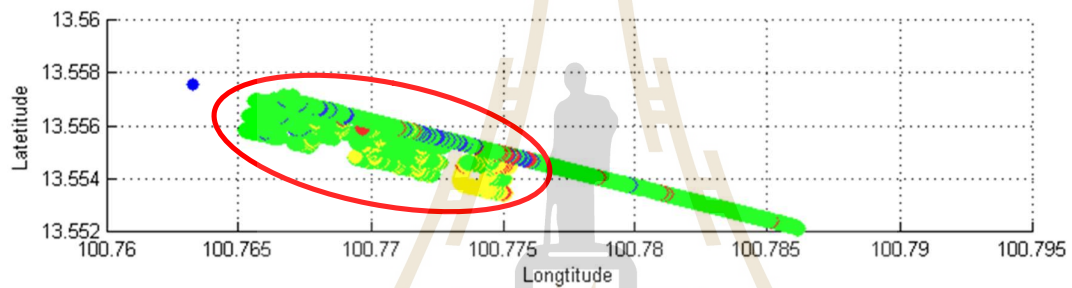
4.7.3 ผลจำลองความครอบคลุมของพื้นที่ (Coverage)

ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของความครอบคลุมของพื้นที่ (Coverage) ในรูปที่ 4.33 เป็นข้อมูลก่อนปรับพารามิเตอร์โดยจุดสีน้ำเงินนี้แทนด้วยตำแหน่งของสถานีฐาน ในการพิจารณาความครอบคลุมของพื้นที่ที่เราจะดูสองพารามิเตอร์หลักๆตามที่กล่าวไปในหัวข้อ 4.4 เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอยู่สองเซกเตอร์ โดยเซกเตอร์ 346 ได้ปรับมุมเชิงกลจาก 5 องศา เป็น 1 องศา และมุมเชิงไฟฟ้าจาก 4 องศา เป็น 5 องศา สำหรับเซกเตอร์ 85 ได้ปรับมุมเชิงกลจาก 5 องศา เป็น 2 องศา และมุมเชิงไฟฟ้าจาก 20 องศา เป็น 22 องศา (สำหรับสายอากาศต้นที่สองมุมเชิงไฟฟ้าเริ่มต้นที่ 20 – 30 องศา)



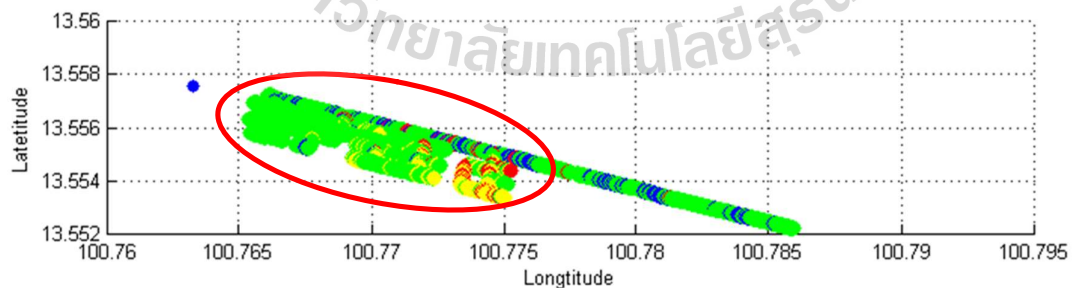
รูปที่ 4.33 ผลการจำลองค่าก่อนปรับพารามิเตอร์จากการไคร์ฟเทศ

หลังจากการปรับมุมเชิงกลและมุมเชิงไฟฟ้าจะทำให้พื้นที่ที่อยู่ในกรอบสีแดงดีขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับก่อนปรับพารามิเตอร์โดยเพิ่มขึ้นจากเดิม 4.3736% ดังรูปที่ 4.34

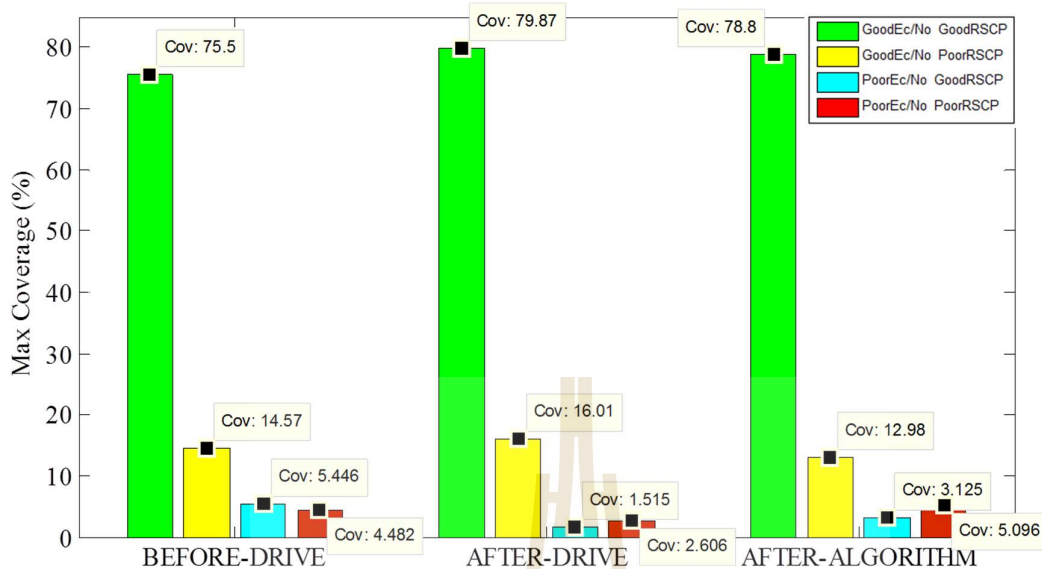


รูปที่ 4.34 ผลการจำลองค่าหลังปรับพารามิเตอร์จากการไคร์ฟเทศ

เมื่อทำการใช้อัลกอริทึมมาคำนวณหลังจากการปรับมุมเชิงกลและมุมเชิงไฟฟ้าจะทำให้พื้นที่ที่อยู่ในกรอบสีแดงดีขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับก่อนปรับพารามิเตอร์โดยเพิ่มขึ้นจากเดิมเพียง 3.3045% ดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.35 ผลการจำลองค่าหลังปรับพารามิเตอร์จากการอัลกอริทึม



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความครอบคลุมของพื้นที่กับรูปแบบที่ศึกษา

จากรูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความครอบคลุมของพื้นที่กับรูปแบบที่ศึกษา เมื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อมูลก่อนปรับพารามิเตอร์กับหลังปรับพารามิเตอร์ (จากการไต่รฟเทศ) จะเห็นได้ว่า ในแง่ของความครอบคลุมที่มีอัตราส่วนของพลังงานที่รับได้ส่วนด้วยพลังงานทั้งหมด กับความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้ ผ่านเกณฑ์ใน โชนสีเขียวเพิ่มขึ้นถึง 4.3736% โชนสีเหลืองเพิ่มขึ้นจากเดิม 1.4338% โชนสีน้ำเงินลดลงจากเดิม 3.9310% และ โชนสีแดงลดลงจากเดิม 1.8764% ในส่วนของการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อมูลก่อนปรับพารามิเตอร์กับหลังปรับพารามิเตอร์ (จากการอัลกอริทึม) โชนสีเขียวเพิ่มขึ้น 3.3045% โชนสีเหลืองลดลงจากเดิม 1.5984% โชนสีน้ำเงินลดลงจากเดิม 2.3211% และ โชนสีแดงเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.6137% ทั้งนี้เมื่อนำผลจำลองค่าหลังปรับพารามิเตอร์ (จากการไต่รฟเทศ) กับผลจำลองค่าหลังปรับพารามิเตอร์ (จากการอัลกอริทึม) จะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกันถึง 98.6615% (โดยเฉพาะสีเขียวคืออัตราส่วนของพลังงานที่รับได้ส่วนด้วยพลังงานทั้งหมดมากกว่า -14 dB และความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้มากกว่า -85 dB)

4.8 กล่าวท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้ได้ใช้โปรแกรมแมทแลบในการจำลองอัลกอริทึมมาเสนอผลการทดลองต่างๆ เพื่อนำมายืนยันประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการไคร์ฟเทสมาวิเคราะห์พร้อมยังคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อพัฒนาคุณภาพสัญญาณให้ดียิ่งขึ้น จากการทดลองพบว่าการคำนวณของอัลกอริทึมก่อนข้างมีประสิทธิภาพการทำงานที่สูง เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากหลังการไคร์ฟเทสแล้ว มีความคล้ายคลึงกันถึง 98.6615% โดยการทดลองนี้ใช้แบบจำลองสายอากาศที่มีคุณลักษณะต่างกันเพียงสองต้นเท่านั้น ซึ่งอัลกอริทึมที่นำเสนอนี้สามารถทดแทนการวิเคราะห์ข้อมูลได้พอสมควร โดยในบทความต่อไปจะเป็นการสรุปงานวิจัยทั้งหมด



บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ในปัจจุบันเทคโนโลยียุคที่สามหรือที่เรียกว่าระบบสามจี ได้มีการพัฒนาไปอย่างก้าวกระโดด และพยายามที่จะหาวิธีการรับการรับส่งข้อมูลแอปพลิเคชัน รวมทั้งบริการระบบเสียงที่ดีขึ้น พร้อมทั้งสามารถใช้บริการมัลติมีเดียได้เต็มที่และ สมบูรณ์แบบขึ้น เช่น วิทยุ ไอพอด การดาวน์โหลดเกมส์ การรับ - ส่งข้อความที่มีขนาดใหญ่ ประชุมทางไกลผ่านหน้าจออุปกรณ์สื่อสาร ดาวนั้โหลดเพลง ชมภาพยนตร์ระบบความชัดสูงแบบสั้นๆ ด้วยแต่ปัญหาหลักๆที่ยังเกิดขึ้นนี้คือ คุณภาพของสัญญาณที่ลดลงเนื่องจากการใช้ระบบที่มีการใช้ความถี่เดียวตลอด อาจจะกวนกัน ได้ตลอดเวลา ทำให้คุณภาพสัญญาณที่ได้นี้นั้นลดลง หรือผู้ใช้บริการที่มีมากขึ้นความต้องการใช้การรับ-ส่งข้อมูลมากขึ้นก็มีผลเช่นกัน ทั้งนี้ทางผู้ให้บริการจึงคิดหาวิธีที่จะช่วยเพิ่มคุณภาพสัญญาณให้มากขึ้นคือการตรวจสอบคุณภาพสัญญาณ ในที่นั้นๆแล้วกลับมาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อที่จะปรับคุณภาพสัญญาณในที่นั้นๆ

เนื่องด้วยปัจจุบันอาศัยการวิเคราะห์จากผู้มีประสบการณ์และการคาดคะเนตามหลักการ โดยยังไม่มีเครื่องมือหรือวิธีการคำนวณที่สามารถกำหนดหรือช่วยตัดสินใจในการปรับค่าต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นการทำงานในปัจจุบันคือการเดาถ้าปรับค่าต่างๆ เช่น ปรับมุมกดของสายอากาศ ปรับกำลังส่งสัญญาณของสถานีฐาน แล้วปัญหาที่เกิดขึ้นน่าจะหายไป จากนั้นก็จะส่งทีมงานไปไต่ถามเหตุผลอีกครั้งเพื่อทดสอบแนวคิด ถ้ายังปัญหายังแก้ไขไม่ได้ ก็จะดำเนินการเดาค่าต่างๆ แล้วปรับค่าใหม่แต่ก็ต้องส่งทีม ไปไต่ถามเหตุผลอีกครั้ง ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะแก้ปัญหาได้ และการปรับค่านี้อยู่ขึ้นกับประสบการณ์หรือความเชี่ยวชาญของผู้ทำงานด้วย ซึ่งไม่มีหลักการที่เชื่อถือได้แน่นอน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการสร้างเครื่องมือที่สามารถนำผลการไต่ถามเหตุผลครั้งแรกมาวิเคราะห์ผ่านแบบจำลองคณิตศาสตร์ในรูปแบบของความรู้เชิงประจักษ์เพื่อให้สามารถทดสอบและปรับค่าต่างๆ ได้ในแบบจำลอง เมื่อปรับแล้วก็จะเห็นผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นทั้งหมดได้ทันที โดยที่ไม่ต้องออกไปไต่ถามเหตุผล ทำให้สะดวก เชื่อถือได้และประหยัดทั้งงบประมาณและเวลาในการทำงาน และยังสามารถแก้ปัญหาได้ตรงประเด็นตามค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้อย่างรวดเร็ว

ผลการทดลองในบทที่ 4 ได้ใช้โปรแกรมแมทแลบในการจำลองอัลกอริทึมมาเสนอผลการทดลองต่างๆ เพื่อนำมายืนยันประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในการหาค่าเหมาะสมทางวิทยุว่ามีประสิทธิภาพมากน้อย

เพียงใดเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการ ไลร์ฟเทสมาวิเคราะห์พร้อมยังคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อพัฒนาคุณภาพสัญญาณให้ดียิ่งขึ้น

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุแบบหนึ่งเซกเตอร์ที่ดีที่สุดจะมีประสิทธิภาพมากกว่า 15.4061% เมื่อเทียบกับข้อมูลก่อนปรับพารามิเตอร์จากการไลร์ฟเทส และการหาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุแบบหลายเซกเตอร์ที่ดีที่สุดจะมีประสิทธิภาพมากกว่า 19.1083% เมื่อเทียบกับข้อมูลก่อนปรับพารามิเตอร์จากการไลร์ฟเทส ถึงอย่างนั้นการหาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุแบบหลายเซกเตอร์ที่มีจำนวนมากขึ้นจะทำให้การประมวลผลเวลามากขึ้นเช่นกัน

ในส่วนของหาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุนั้นจะใช้ตัวช่วยวิเคราะห์ในการตัดสินใจหลักๆอยู่ 3 ส่วน คือ อัตราส่วนของพลังงานที่รับได้ส่วนด้วยพลังงานทั้งหมด (Energy per Chip Over the Noise : E_c/No) ความแรงของคุณภาพสัญญาณที่รับได้ (Received Signal Code Power : RSCP) และความครอบคลุมของพื้นที่ (Coverage) ซึ่งจะวิเคราะห์ E_c/No กับ RSCP ไปควบคู่กันซึ่งหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจจะอยู่ในบทที่ 4

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการหาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณ โดยการให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดและไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการวิเคราะห์หรือปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ได้ในทันทีรวมถึงสามารถประหยัดทั้งงบประมาณและเวลาในการทำงานได้

5.2 ปัญหาข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบมาสำหรับระบบสามจี ซึ่งพารามิเตอร์ในระบบสามจีหากนำไปใช้กับระบบอื่นควรต้องเปลี่ยนพารามิเตอร์บางพารามิเตอร์เช่น ย่านความถี่ ความสูง ชนิดของสายอากาศและอุปกรณ์สำหรับการไลร์ฟเทสซึ่งในปัจจุบันราคาค่อนข้างสูงมากจึงยากต่อการเปลี่ยนแปลงระบบการไลร์ฟเทส

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

ระบบที่ได้ออกแบบนี้เป็นการจำลองจากสถานีฐานเพียง 1 สถานีหรือหลายสถานีฐาน แนวทางการพัฒนาต่อในอนาคตควรมีแบบจำลองของสายอากาศที่ใช้จริงมาทำการวิเคราะห์เพื่อที่จะทำให้ข้อมูลที่นำมาหาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น อีกทั้งถ้าหากมีข้อมูลในระบบอื่นอาทิเช่นระบบแอลทีอีก็สามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์บางตัวเพื่อใช้หาค่าที่เหมาะสมทางวิทยุได้ไม่มากก็น้อย

บรรณานุกรม

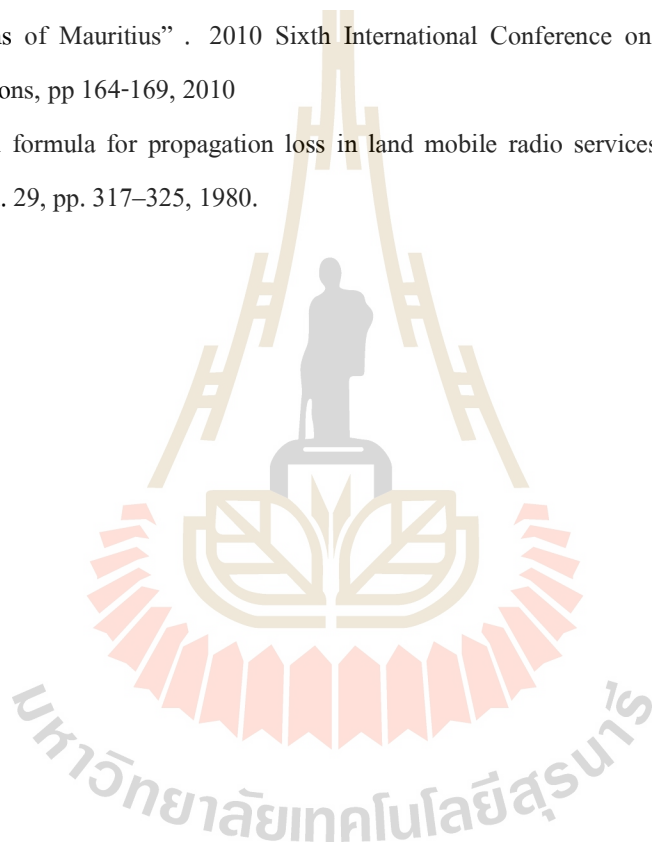
- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิระพงษ์ อุฑารสกุล. 2556. “ระบบสื่อสารเคลื่อนที่”. สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นางสาวลักขมี ชูใจ. 2548. “เทคโนโลยี WCDMA ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุค 3G”. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- William C.Y. Lee, “Mobile communications engineering”, 2nd Edition, McGraw-Hill, Singapore, 1998.
- Y. Okumura, “Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service”, Rev. Elec. Comm. Lab., No.9-10, pp. 825-873, 1968.
- M. Hata, “ Empirical Formula for Propagation Loss in Land-Mobile Radio Services” , IEEE Trans. Vehicular Technology, pp. 317-325, 1980.
- Josn S. Seybold, “Introduction to RF propagation”, John Wiley and Sons, 2005.
- Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold and Per Beming, “ 3G Evolution : HSPDA and LTE for Mobile Broadband”, Elsevier, USA, 2007
- V. Erceg, K.V.S. Hari M.S. Smith, D.S. Baum et al, “Channel Models for Fixed Wireless Applications”, IEEE 802.16.3 Task Group Contributions 2001, February 2001.
- Nguyen, Son, and Robert Akl. " Capacity and Throughput Optimization in Multi-Cell 3G WCDMA Networks". University of North Texas, 2005.
- Omar, Nurfarhanah, Muhammad Ibrahim, Murizah Kassim, Ruhani Ab Rahman, Mat Ikram Yusof, and Mohd Zafran Abdul Aziz. "An analysis of uplink transmit power for indoor and outdoor locations in WCDMA" . In Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE), 2011 IEEE International Conference on, pp. 519-528. IEEE, 2011.
- Bohanudin, S., Mahamod Ismail, and H. Hussain. "Simulation model and location accuracy for observed time difference of arrival (OTDOA) positioning technique in third generation system." Research and Development (SCORED), 2010 IEEE Student Conference on. IEEE, 2010.
- Meyer, Louis J., and P. E. Director. "Electrical and Mechanical Downtilt and their Effects on Horizontal Pattern Performance." CommScope, Inc (2010).

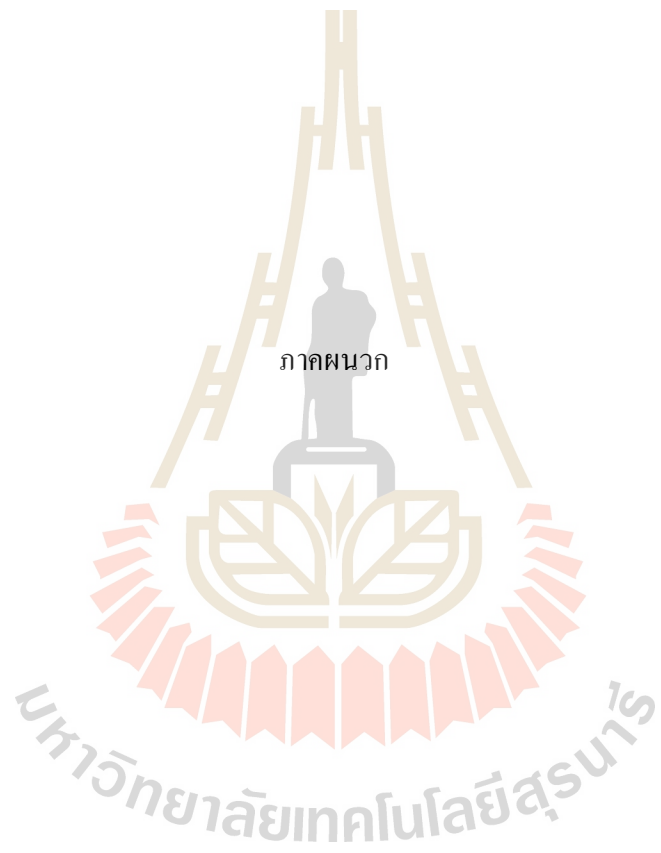
Ting, Stephanie Yeo Ken, and Tiong Teck Chai. "WCDMA Network Planning and Optimisation." In Telecommunication Technologies 2008 and 2008 2nd Malaysia Conference on Photonics. NCTT-MCP 2008. 6th National Conference on, pp. 317-322. IEEE, 2008.

Lee, Jeong Heon, Arjun Bhupathi Raju, and R. Michael Buehrer. "An analysis of uplink transmit power in WCDMA networks". Wireless and Microwave Technology Conference, 2009. WAMICON'09. IEEE 10th Annual. IEEE, 2009.

Armoogum Vinaye and Munnee Ramraj, "Path Loss Analysis for 3G Mobile Networks for Urban and Rural Regions of Mauritius" . 2010 Sixth International Conference on Wireless and Mobile Communications, pp 164-169, 2010

M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 29, pp. 317-325, 1980.



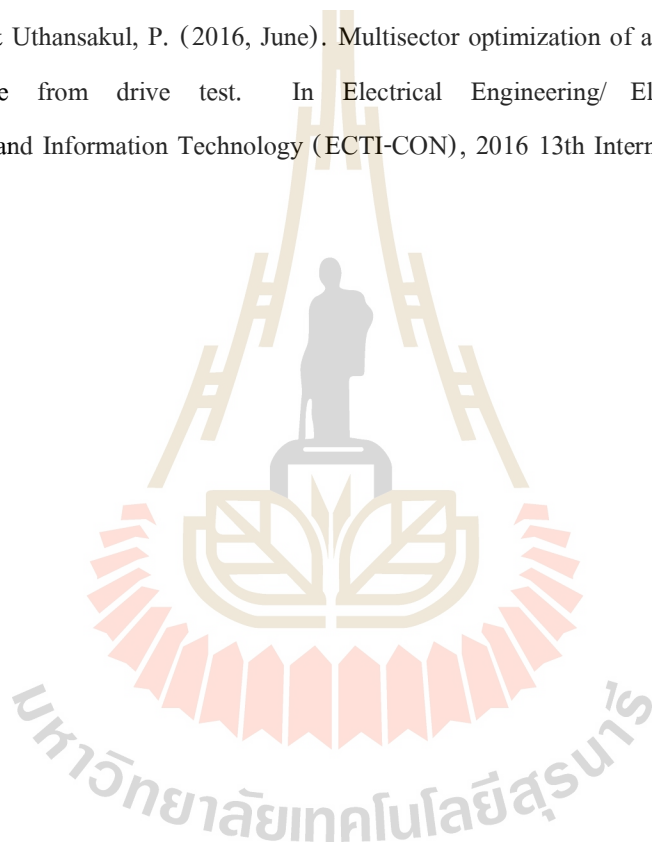


ภาคผนวก ก

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการนานาชาติ

Peerajing, J., & Uthansakul, P. (2016, June). Multisector optimization of antenna tilt angle based empirical knowledge from drive test. In Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2016 13th International Conference on (pp. 1-6). IEEE.



ภาคผนวก ข

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์



Multisector Optimization of Antenna Tilt Angle Based Empirical Knowledge from Drive Test

Jerawoot Peerajing and Peerapong Uthansakul
 School of Telecommunications Engineering, Institute of Engineers
 Suranaree University of Technology
 Email: M5740826@g.sut.ac.th and uthansakul@sut.ac.th

Abstract— It is the fact that the optimization of antenna tilt angle at base station is necessary for all cellular networks since 2G/3G to 4G/5G and beyond. This is because it is impossible to realize the true propagation fading with only simulation. After the installation of base station, there is a compulsory task to test the assumed performance using drive test. If it is not acceptable, the most common adjustment is to tilt the angle of antenna plane in order to improve the performance of coverage areas. In general, there is no specific method to optimize the tilt angle in practice. Most engineers use their experiences to adjust the tilt angle. Therefore, the drive test is performed again and again until the results are satisfied. This causes the expensive costs for drive test and it wastes a lot of time depending on the experiences of engineers. Moreover, the adjustment of antenna tilts from many sectors at the same time is also impossible because it is too complicated beyond the experiences of engineers. As a result, this paper proposes the new method to optimize the antenna tilt angle based on only one drive test. Based on empirical analysis, the optimization can be undertaken in simulation and the results are close to the drive test. This method also provides the solution for either single sector or multiple sectors. The results indicate the success of using the proposed method.

Keywords— Empirical Model, Optimization, Drive Test, Antenna Tilt Angle

I INTRODUCTION

The current cellular networks in Thailand have focused on 3G and 4G networks. The license for 4G frequency has just been granted since November 2015 for 1800MHz and December 2015 for 900MHz. Therefore, the installation of many 4G base stations is the next tasks for engineers. The current 3G networks have developed dramatically [1]. Although there are a lot of 3G base stations, but the signal quality is reduced due to the spread spectrum system that uses a single frequency for all cell sites. The service providers have to figure out a way to improve signal quality. This means to check the signal quality so often and then analyze the data in order to adjust the optimal setting for each base station [2]. The compulsory tool after installing the base station for either 3G or 4G networks is the drive test. This is because it provides the real performance matrices of the operating networks. All service providers need to confirm whether the signal quality is as good as their expected design or not.

In general, the definition of drive test has been developed into two terms, walk test and drive test. A walk test is the test that checks the signal quality inside buildings or narrow places which cannot use a vehicle. This method is suitable for buildings, shopping malls, hotels or small areas of the organizations. It does not require a lot of energy. For a drive test, it has to use a vehicle to move along when checking the signal quality on the road. Usually, it takes the long distances and long time, so it needs the energy sources for equipment. In this paper, the presented results are achieved only from drive test. However, please note that the proposed method can be implemented for both walk test and drive test.

After collecting the signal parameters, then it is the process to analyze data in order to verify whether the implemented base station can provide the signal quality as expected or not. If it is not, then the next method is to improve the design. The most common design parameters that have always been the first choices are transmitted power, antenna height and tilt angle of antenna. These parameters can offer a better signal quality only if they have been suitably adjusted. However, there is no any exact formula for calculating the optimal values for these parameters because the fading from propagation is varied from one scenario to the other scenario depending on the real environments. The best way to obtain a better signal quality is the trial and error method. The engineers will use their experience to guess the value of these parameters. After the design parameters have been adjusted, it is necessary to observe the signal quality again to see whether the new results are satisfied. Sometimes, this method consumes a lot of time until the satisfied outcome is agreed. Moreover, the more adjustments are needed, the more budget is required. The subject of the program is reserved for devices that are used to check the signal quality. The problem is the arrival of mobile telephony in the country [3]. The optimal adjustment is necessary for 3G and 4G network in order to accommodate the increased volume of users as well as the satisfaction of users. Although the drive test consumes both cost and time [4], but it is the only one tool in practice to find solutions on the problem area. From the past to the present, the adjustment will be analyzed from the experience of engineers without any basis or method of calculation tool that can determine the accurately optimal adjustments. On the other hand, the work of radio optimization is to guess if those

adjustments such as tuning the tilt angle of the antenna can fix the problems [5-6]. There are some works that try to reduce the number of drive test but those are almost impossible in practice [7] because the data is not connected with the appearance of a real scenario. Therefore, in this paper the new tool has been proposed by using the results from only one drive test in the first analyzed process. The empirical knowledge from the first drive test can be modeled through mathematical models. This model can be accurately matched with the real data because the various parameters are adjusted in the model. This model concerns each point of data test by matching parameters for specific location. Hence, it is not necessary to go out for drive test again. Based on the proposed model, now it can make the optimal calculation in computer simulation without any trial and errors. The authors have also proven the optimal results by performing the second drive test to confirm that the proposed solution is very reliable. The proposed work can save both time and money. Also the optimal solution can be obtained for single and multiple sectors in which it is rarely possible for engineers. The survey of recent literatures found no research to study and solve any problems the same as proposed in this paper.

II. METHODOLOGY

To solve the problem in real situation is the main goal of this paper. Hence, the empirical knowledge should be collected from the current cellular network. In Thailand, the 3G networks are fully operating while 4G networks are just the beginning stage. From this reason, the authors choose the results from 3G networks which are available and practical. Therefore, the rest of this paper will be grounded with 3G parameters and results. However, please note that the concept of the proposed method can be applied for either 3G or 4G networks.

1) *Drive Test* : Before performing the drive test, the engineers have to study the area in order to plan a drive route to collect the quality of signals. Next, the installation of the equipment for testing the quality of signals is performed including setting the test for quality of voice and data. After testing the quality of signals on the desired route, then all important parameters will be analyzed including Received Signal Strength Indicator (RSSI) which refers to the strength of the signal at that point, Received Signal Code Power (RSCP) which refers to the strength of the signal obtained for specific user code, Energy per Chip Over the Noise (E_c/N_o) which refers to the ratio of signal energy to noise density and Scrambling Area Codes (SC) which refers to the specific numbers of each base station. These parameters are the main indicators to judge whether the quality of signals is good or poor.

2) *Empirical Model* : For empirical models, there are many approaches to be considered for cellular networks. According to the work in [8], the Okumura-Hata model provides the best fit to the experimental results for 3G networks. Hence, this paper adopts the Okumura-Hata model

for explaining the propagation of measured data from drive test. The Okumura-Hata model is a fully empirical prediction method, based upon an extensive series of measurements made in and around Tokyo city between 200MHz and 3GHz [9]. The method involves dividing the prediction area into a series of clutter and terrain categories, namely open, suburban and urban. Okumura's predictions of median path loss are usually calculated using Hata's approximations as follows:

$$\text{Urban areas: } Lp(\text{dB}) = A + B \log R - E \quad (1)$$

$$\text{Suburban areas: } Lp(\text{dB}) = A + B \log R - C \quad (2)$$

$$\text{Open areas: } Lp(\text{dB}) = A + B \log R - D \quad (3)$$

where

$$A = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_b$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log h_b + \gamma$$

$$C = 2(\log(f_c / 28))^2 + 5.4$$

$$D = 4.78(\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c + 40.94$$

$$E = 3.2(\log(11.75 h_m))^2 - 4.97 \text{ for large cities, } f_c \geq 300\text{MHz}$$

$$E = 8.29(\log(1.54 h_m))^2 - 1.1 \text{ for large cities, } f_c < 300\text{MHz}$$

$$E = (1.1 \log f_c - 0.7) h_m - (1.56 \log f_c - 0.8) \text{ for medium to small cities, } f_c \text{ is the carrier frequency, } h_b \text{ is the antenna height at base station, } h_m \text{ is the antenna height of mobile station and } \gamma \text{ is the exponent path loss.}$$

Then the received power of each user can be expressed by the following

$$P_r(\text{dB}) = P_t(\text{dB}) + G_t(\text{dB}) + G_r(\text{dB}) + Lp(\text{dB}) \quad (4)$$

where

P_r = Received Power (RSCP)

P_t = Transmitted Power from Base Station

G_t = Transmitted Antenna Gain at Base Station

G_r = Received Antenna Gain at Mobile Station

Lp = Path Loss using Okumura-Hata model

3) *Analysis*: There is some relationship between main parameters as shown in equation (5). The calculation of E_c/N_o can be found from the received power (RSCP) and the strength of the signal (RSSI).

$$E_c / N_o(\text{dB}) = RSCP(\text{dB}) - RSSI(\text{dB}) \quad (5)$$

where

E_c/N_o = Energy per Chip Over the Noise Density

RSCP = Received Signal Code Power

RSSI = Received Signal Strength Indicator

Next, the other important relationship between main parameters is shown in equation (6). It can be noticed that in this equation the only one parameter that cannot be known from drive test is noise. However, if we know the Received Signal Strength Indicator (RSSI), Received Signal Code Power (RSCP) and Energy per Chip over the Noise (E_c/N_o), the noise power can be obtained. After finding noise, if engineers adjust any parameter at base station such as transmitted power or tilt

angle of antenna, it will make a change to the Active Set Received Signal Code Power (*ARSCP*) and Monitor Set Received Signal Code Power (*MRSCP*). After getting the new *ARSCP* and *MRSCP*, then the new *RSSI* can be re-calculated by using noise power from the first calculation. Then we will take the new *ARSCP* and new *RSSI* into equation (5), and then the new *Ec/No* can be obtained.

$$RSSI = \sum_{i=1}^3 ASRSCP_i - \sum_{i=1}^3 MRSCP_i + Noise \quad (6)$$

where

RSSI = Received Signal Strength Indicator
ARSCP = Active Set Received Signal Code Power
MRSCP = Monitor Set Received Signal Code Power
Noise = Noise Power over Whole Bandwidth

III. OPTIMIZATION

This section has presented the process of finding the optimum solution by using the first drive test. The diagram of proposed process is shown in Fig. 1.

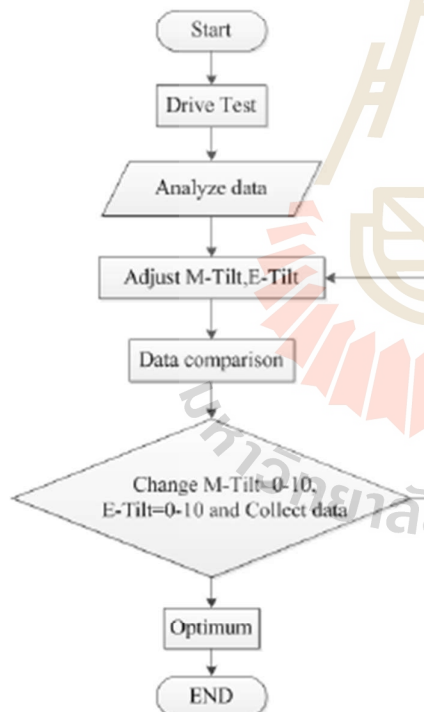


Fig. 1. Flowchart of the process optimization.

According to the Fig 1, the parameters to be adjusted in this paper are *M-tilt* and *E-tilt*. Both parameters are the tilt angle of antenna but in the different manner. *M-tilt* is the mechanical tilt that needs the real workers to rotate the plane of antenna installation on the tower of base station. It takes a lot of hard work and cost to adjust so it is not often to change after adjustment. For *E-tilt*, this is the tilt angle of radiation pattern forced by changing the different phase of each antenna element. Thus, *E-tilt* can be done by electrically controlling from the remote center. However, there are the limited ranges of tilt angle depending on the commercial products. In practice, both *M-tilt* and *E-tilt* are equally important to improve the performance of coverage areas and they are the first choices for engineers to optimize the network coverage. The other important parameter is the transmitted power of base station. It can directly make an impact to the coverage. Unfortunately, the real drive test in this paper has the results of only the unchangeable transmitted power. That is why the diagram presented in Fig. 1 demonstrates the change of only *M-tilt* and *E-tilt*. However, please note that the other parameters such as transmitted power can also be applied into the proposed concept.

Moreover, the proposed process of optimization can be used for both single sector and multiple sectors. The difference is on the adjustment of *M-tilt* and *E-tilt* which is required to do for all multiple sectors in the investigated areas. The proposed optimization cannot apply either the gradient approaches or the iterative approaches because the empirical model is tuned to fit each test point. It means that each location give the different characteristic of model. Therefore, it is impossible to find the specific formulas for all scenarios. It is not only non-linear relationship among parameters but also diverse solution from one sector to another sector. This paper chooses to vary all possible choices of *M-tilt* and *E-tilt* and then search for the best solution among all possibility. This is to confirm that it is the global optimization and no risk for real implementation.

The drive test in this paper is performed professionally with the kind help of real operators. All collected data are obtained by using mobile devices, notebook computers, mobile phones and commercial software. The illustration of drive test devices is presented in Fig 2.



Fig.2. Devices for drive test.

After finishing drive test, a lot of data from each test location is collected in computer. The example of data set is shown in Fig. 3 which can be seen that all necessary information is ready to be analyzed. The first column of data set presents the message types that have some kind of user information. The second and third columns are the location of test points that are active for all position on the desired route. The fourth column provides the Received Signal Strength Indicator (RSSI). The fifth, eighth and eleventh columns present the active set of the received scanning codes from any base stations around test points in descending order. The sixth, ninth and twelfth columns are the active set of the Received Signal Code Power (RSCP) corresponding to the scanning codes in the previous columns. The seventh, tenth and thirteenth columns are the Energy per Chip Over the Noise (Ec/No) of active sets in descending order. The fourteenth, fifteenth, sixteenth columns are the monitor set of receiver scanning codes from any base station. The followings are the value of monitor set including the Received Signal Code Power (RSCP) and the Energy per Chip Over the Noise (Ec/No), respectively.

Message Type	M-Altitude	M-Longitude	RSSI	M-SC1	M-RSCP1	M-EC/N1	M-SC2	M-RSCP2	M-EC/N2	Mon-SC1	Mon-RSCP1	Mon-EC/N1
MSDN #5 Decade 1	13.55133667	100.78846	-57.6	378	60.50	2.00	263	-75.87	14.07			
Recommended MMS	13.55133667	100.78846										
CR Serving System	13.55133667	100.78846	-57.6	378	60.50	2.00	263	-75.87	14.07			
MSDN #5 Decade 1	13.55133667	100.78846	-57.6	378	60.50	2.00	263	-75.87	14.07			
Msg Send Data Req	13.55133667	100.78846										
ZUCMO Status Resp	13.55133667	100.78846										
MSDN #5 Decade 1	13.55133667	100.78846	-57.6	378	60.50	2.00	263	-75.87	14.07			
MSDN L1/NAK Snd	13.55133667	100.78846	-57.6	378	60.50	2.00	263	-75.87	14.07			
MSDN Confirmed L1	13.55133667	100.78846	-57.6	378	60.50	2.00	263	-75.87	14.07			
MSDN #5 Decade 1	13.55133667	100.78846	-57.6	378	60.50	2.00	263	-75.87	14.07			
MSDN #5 Decade 1	13.55133667	100.78846	-57.6	378	60.50	2.00	263	-75.87	14.07			
Msg Send Data Req	13.55133667	100.78846										
MSDN #5 Decade 1	13.55133667	100.78846	-57.6	378	60.50	2.00	263	-75.87	14.07			
MSDN #5 Decade 1	13.55133667	100.78846	-57.6	378	60.50	2.00	263	-75.87	14.07			
MSDN #5 Decade 1	13.55133667	100.78846	-57.6	378	60.50	2.00	263	-75.87	14.07			
MSDN #5 Decade 1	13.55133667	100.78846	-57.6	378	60.50	2.00	263	-75.87	14.07			
Power Control Group	13.55133667	100.78846	-56.6	378	58.00	3.40	263	-78.42	13.82			
MSDN #5 Decade 1	13.55133667	100.78846	-56.6	378	58.00	3.40	263	-78.42	13.82			

Fig.3. Example of data from drive test.

After getting all data in computer, the next task is to develop the analyzing program to illustrate the drive test data and to calculate the optimal solution. The authors developed the program by using MATLAB GUI platform. The example of developed program is shown in Fig. 4. The data obtained from drive test has been illustrated in graphical presentation.

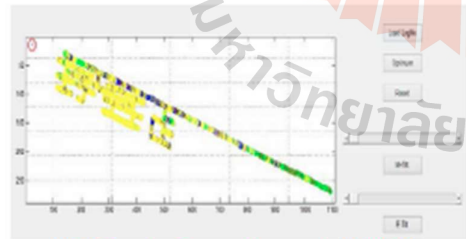


Fig.4. Example of proposed program in MATLAB.

The authors have already compared the own developed results with the commercial software. It is confirmed that the exact matching between own developed program and

commercial software is obtained. However, the commercial software does not have any optimization options as the proposed program.

The optimization process starts by changing the value of M -tilt and E -tilt from 0 to 10 degrees. This range is the limited range in practice. The computer simulation can calculate beyond this range but it is no point if the implementation cannot be performed. Every change of M -tilt and E -tilt will directly change the radiation pattern of antenna. As a result, the gain of transmitting antenna will be changed while the other parameters are fixed. The parameter G_t is varied by value of M -tilt and E -tilt as noted in equation (7).

$$G_t \propto M\text{-tilt}, E\text{-tilt} \quad (7)$$

The adjustments of M -tilt or E -tilt will directly affect Transmitted Antenna Gain (G_t) and then G_t will directly affect to the Received Signal Code Power (RSCP) according to the equation (4). It implies the relationship between RSCP and G_t noted in equation (8).

$$RSCP \propto G_t \quad (8)$$

After re-calculating the new RSCP, the authors collect the coverage area each time to be the key performance of the objective function. The best solution will provide the largest coverage. The definition of coverage in this paper is shown in equation (9). Note that the criteria of p_i that the value is greater than -85dB of RSCP and Ec/no greater than -14dB is come from the practical issue. It can be changed to any values depending on the service providers.

$$C(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=0}^N p_i \quad (9)$$

where

$$p_i = \begin{cases} 1 & \text{if } RSCP_i > -85\text{dB and } Ec/No_i > -14\text{dB} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

The objective function for optimizing the results can be expressed in equation (10).

$$C_{opt} = \max_{0 \leq M \leq 10, 0 \leq E \leq 10} C \quad (10)$$

This optimal coverage C_{opt} is the maximum coverage according to the criteria in (9).

IV. RESULTS AND DISCUSSIONS

This section has presented the results from optimization process. There are two cases including single sector and multiple sectors. Fig. 5 shows the data from the drive test which is before any adjustment. The data is analyzed to see whether the quality of signal in each location is good or bad.

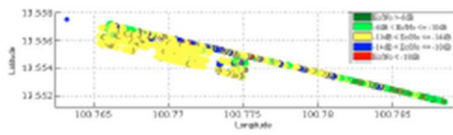


Fig. 5. Ec/No coverage from drive test.

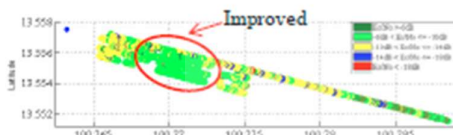


Fig. 6. Ec/No coverage from optimal single sector.

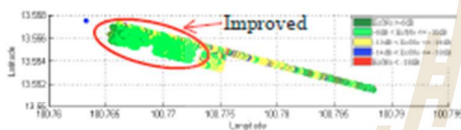


Fig. 7. Ec/No coverage from optimal multiple sectors.

In Fig. 5, the Ec/No coverage is presented by different color zones in which the red zone (terrible) is 0.34%, the blue zone (poor) is 9.38%, the yellow zone (medium) is 83.96%, the green zone (good) is 4.77% and the dark green zone (best) is 1.55%. The results from drive test show that the study area requires some adjustments because there are a lot of the terrible and poor qualities of signals.

For the case of single sector adjustment, the authors vary M -tilt and E -tilt at only one sector. The selected sector is in the center of red circle shown in Fig. 6. After optimization process, the optimal solution offers the red zone (terrible) at 0.18%, blue zone (poor) at 4.23%, yellow zone (medium) at 37.55%, green zone (good) at 52.47% and dark green zone (best) at 5.57%. It can be clearly seen that the coverage of signal quality is improved as shown in the circle area of Fig. 6.

For the case of multiple sectors, all sectors adjust M -tilt and E -tilt in order to find the best solution among all possible adjustments. The optimal coverage is shown in Fig. 7. The results show that the red zone (terrible) is 0.13%, the blue zone (poor) is 2.64%, the yellow zone (medium) is 21.42%, the green zone (good) is 64.73% and the dark green zone (best) is 11.08%. It is clearly seen that the optimal solution of multiple sectors is better than single sector. In order to illustrate the comparison between with and without optimization, the results are presented in Fig. 8. As seen in Fig. 8, the best zone gets a better improvement if more sectors are involved in the optimization process. The area of good and best zones covers more than 75% which is reliably high. The results have been already proven by performing the drive test again in order to confirm the proposed analysis.

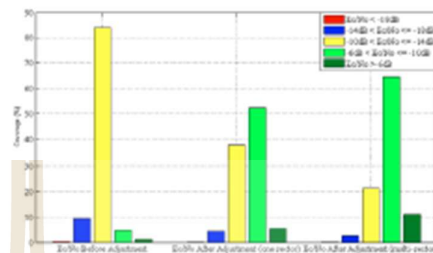


Fig. 8. Coverage comparison between optimization of only one sector and multiple sectors.

V. CONCLUSION

This paper presented a new method to find the optimization of antenna tilt angle for single and multiple sectors by using only one drive test. The improving quality of signals indicates the most effective and non-complicated method proposed in this paper. The good and best zones of original drive test are 6.32%. By applying single sector optimization, those zones are 58.04% which is much better than without adjustment. Moreover, those zones are 75.81% if multiple sectors are optimized. This indicates the success of using the proposed method in practice. The proposed method can save time and cost for any service providers. Also, it can be implemented for both 3G and 4G networks.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank Mr. Bunjong Yosapa and staffs of AIS company for kind cooperation. Also the appreciated thanks go to Mr. Kowit Jira and all staffs of ANTECH company for helpful resources of drive test.

REFERENCES

- [1] Narvesa, Son, and Robert Ald. "Capacity and Throughput Optimization in Multi-Cell 3G WCDMA Networks." University of North Texas, 2005.
- [2] Omer, Nurfarhanah, Muhammad Ibrahim, Mirzilah Kassim, Rubani Ab Rahman, Mat Karam Yusof, and Mohd Zafran Abdul Aziz. "An analysis of uplink transmit power for indoor and outdoor locations in WCDMA." In Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE), 2011 IEEE International Conference on, pp. 519-523. IEEE, 2011.
- [3] P. Uthanasakul. "Mobile Systems", The Center for Library Resources and Educational Media Suranaree University of Technology, Suranaree University of Technology, 2013.
- [4] Bohatadin, S., Mahmood Ismail, and H. Hussain. "Simulation model and location accuracy for observed time difference of arrival (OTDOA) positioning technique in third generation system." Research and Development (SCOR&D), 2010 IEEE Student Conference on, IEEE, 2010.
- [5] Ting, Stephanie Yoo Ken, and Tiong Teck Chai. "WCDMA Network Planning and Optimization." In Telecommunication Technologies 2008 and 2008 2nd Malaysia Conference on Photonics, NCTT-MCP 2008, 6th National Conference on, pp. 317-322. IEEE, 2008.
- [6] Meyer, Louis J., and P. E. Director. "Electrical and Mechanical Down-tilt and their Effects on Horizontal Pattern Performance." CommScope, Inc (2010).

- [7] Lee, Jeong Hoon, Arjun Biswapati Raju, and R. Michael Bushwr. "An analysis of uplink transmit power in WCDMA networks." *Wireless and Microwave Technology Conference, 2009. WAMICON'09. IEEE 10th Annual. IEEE*, 2009.
- [8] Armoogum Vinay and Muneer Ramji. "Path Loss Analysis for 3G Mobile Networks for Urban and Rural Regions of Mauritius." *2010 Sixth International Conference on Wireless and Mobile Communications*, pp 164-169, 2010
- [9] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio service", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 29, pp. 317-325, 1980.



ประวัติผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. พีระพงษ์ อุซารสกุล สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต และ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2539 และ 2541 จากนั้นเข้าทำงานใน ตำแหน่งวิศวกรระบบโทรคมนาคมที่องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย จนกระทั่ง พ.ศ. 2543 จึงได้ย้ายมา เป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และได้ลาศึกษาต่อระดับปริญญาเอกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 ณ University of Queensland, Australia เมื่อ พ.ศ. 2549 จึงได้กลับเข้ามาปฏิบัติหน้าที่อาจารย์ตามเดิม ผู้วิจัยมีเชี่ยวชาญในด้านระบบ MIMO, Information Theory, Signal Processing, Radio Wave Modelling, Mobile Communication, Advance Wireless Communication ปัจจุบันมีบทความวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ 30 บทความ ในวารสารวิชาการระดับชาติ 6 บทความ ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 115 บทความ หนังสือวิชาการ ในประเทศ 1 เล่มและต่างประเทศ 1 เล่ม มีลิขสิทธิ์ 1 รายการและ สิทธิบัตร 1 รายการ

รองศาสตราจารย์ ดร. พีระพงษ์ อุซารสกุล ได้รับรางวัล Young Scientist Travel Grant Award จากงานประชุมวิชาการนานาชาติ International Symposium on Antenna Propagation ปี พ.ศ. 2547 ณ ประเทศ ญี่ปุ่น และได้รับรางวัล Best Student Presentation Award จากงานประชุมวิชาการนานาชาติ Australian Symposium on Antenna ปี พ.ศ. 2548 ณ ประเทศออสเตรเลีย ในปี พ.ศ. 2553 รองศาสตราจารย์ ดร. พีระพงษ์ อุซารสกุล ได้รับรางวัลพนักงานดีเด่น ด้านการวิจัย สำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่ จากมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี และในปี พ.ศ. 2556 บทความที่เป็นผู้ประพันธ์หลักเรื่อง Low-profile beamforming MIMO systems for wireless communications ได้รับรางวัลประกาศนียบัตร ผู้นำเสนอผลงานวิจัยดีมากแบบ โปสเตอร์ ในงานการประชุมสุดยอดมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ครั้งที่ 2 (The Second Thailand National Research Universities Summit : NRU SUMMIT II) วันที่ 7-8 พฤษภาคม 2556 ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติ สิริวิที กรุงเทพมหานคร