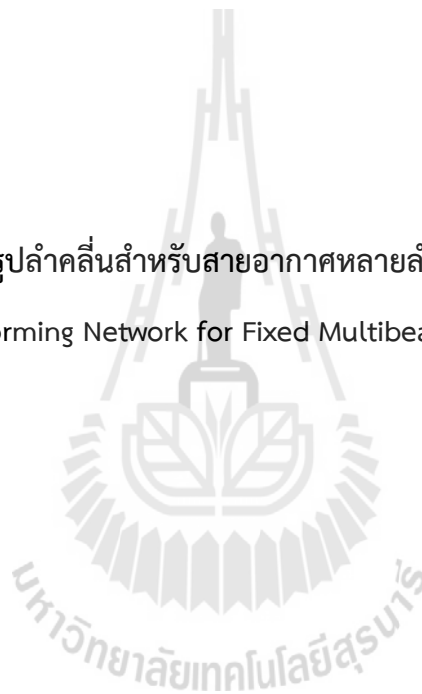




รายงานการวิจัย

การพัฒนาโครงข่ายก่อรูปลำคลื่นสำหรับสายอากาศหลายลำคลื่นแบบคงที่ในระบบแอลทีอี
Development of Beamforming Network for Fixed Multibeam Antennas in LTE Systems



ได้รับทุนอุดหนุนการทำวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การพัฒนาโครงข่ายก่อรูปลำคลื่นสำหรับสายอากาศหลายลำคลื่นแบบคงที่ในระบบแอลทีอี
Development of Beamforming Network for Fixed Multibeam Antennas in LTE Systems

ผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

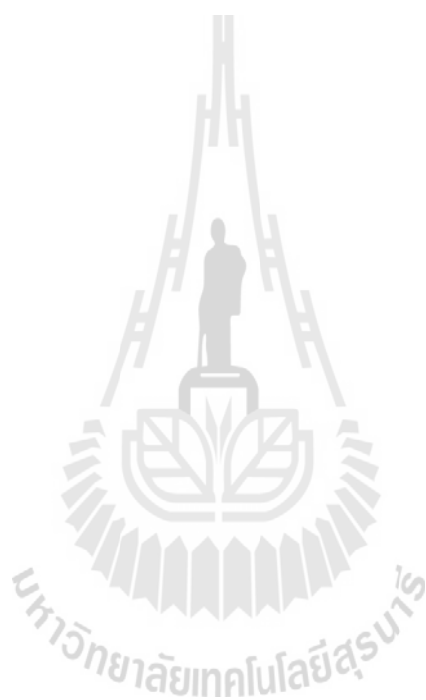
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

ตุลาคม 2559

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการวิจัยนี้



ผู้วิจัย
ตุลาคม 2559

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการติดต่อสื่อสารด้วยเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นเรื่องที่จำเป็นมาก โดยมีความต้องการทั้งในด้านของความเร็วในการรับส่งข้อมูลและจำนวนผู้ใช้บริการที่เพิ่มมากขึ้น วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จึงมีการพัฒนาเพื่อมารองรับให้เพียงพอต่อความต้องการการใช้งาน ดังนั้นเทคโนโลยีแอลทีอีกลายเป็นทางออกของความต้องการเหล่านี้ซึ่งต้องอาศัยการนำระบบโมโมมาเป็นส่วนหนึ่งในการรับส่งสัญญาณระหว่างผู้ส่งและผู้รับ โดยการประยุกต์ใช้ระบบโมโมนั้นมีหลายเทคนิคด้วยกันแต่เทคนิคที่สามารถนำมาใช้ในทางปฏิบัติได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากที่สุดคือระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญต่อการพัฒนางานในด้านระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นสำหรับเทคโนโลยีแอลทีอี

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมพบว่ามีการศึกษาและนำระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นมาใช้งานอยู่บ้าง โดยงานวิจัยส่วนใหญ่จะออกแบบมาเพื่อลดระดับพุงรองหรือพิจารณาผลกระทบการสูญเสียของสัญญาณและการจางหายของสัญญาณ ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้จะออกแบบให้มีลำคลื่นรอบทิศทางทำให้สัญญาณอาจเกิดการกวนกันหรือซ้อนทับกัน แต่ในทางปฏิบัติทั้งคุณลักษณะของสายอากาศและลักษณะทางกายภาพของสถานีฐานมีความแตกต่างจากข้อกำหนดในทางทฤษฎี ทำให้ยากต่อการออกแบบระบบโมโมหลายลำคลื่นที่นำมาใช้งานจริง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการออกแบบของระบบโมโมหลายลำคลื่นที่เหมาะสม โดยเน้นที่จำนวนลำคลื่น ขนาดความกว้างลำคลื่น และทิศทางที่เหมาะสม เพื่อสามารถนำไปใช้ร่วมกับเทคโนโลยีแอลทีอีในทางปฏิบัติได้

Abstract

Currently, the communication via mobile network is necessary for daily life. The development of mobile network continuously responds to the requirements of users, both higher data transmission speed and larger number of users. The LTE technology seems to be the solution for those requirements which has to employ with MIMO systems. There are many types of applying MIMO systems but the multibeam MIMO system offers the best efficiency and can be quickly implemented. That is why this research focuses on the developing of multibeam MIMO system on LTE technology.

From literatures, there are some researches working on multibeam MIMO system. Most of them focus on the reduction of minor lobe or investigate into the impact of signal loss due to fading channel. These works design multiple beams in any directions which can interfere or overlap each other. Moreover, the constraints in practical hardware of antennas and base station are different from theoretical work. Therefore, this research studies on the optimal design of multibeam MIMO system by focusing on practical parameters such as number of multiple beams, beamwidth and beam directions in order to apply with the LTE technology in practice.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	4
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 ทฤษฎี หลักการ ปรัชญาวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 กล่าวนำ.....	6
2.2 เทคโนโลยีแอลทีอี.....	6
2.3 สายอากาศแก่ง.....	7
2.4 พื้นฐานของระบบโมโม.....	9
2.5 หลักการทำงานของระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น (Multibeam MIMO).....	10
2.6 ระบบโมโมในเทคโนโลยีแอลทีอี.....	11
2.7 รูปแบบการแพร่กระจายของระบบแอลทีอี.....	15
2.8 ปรัชญาวิศวกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.9 สรุปท้ายบท.....	20

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 การออกแบบของระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีแอลทีอี.....	21
3.1 กล่าวนำ.....	21
3.2 การแบ่งเซกเตอร์ของสถานีฐาน.....	22
3.3 สายอากาศของระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น.....	22
3.4 จำนวนลำคลื่น.....	23
3.5 การแบ่งลำคลื่นภายในเซกเตอร์.....	23
3.6 การกระจายตัวของผู้ใช้.....	24
3.7 การออกแบบชุดถ่วงน้ำหนัก (weight).....	25
3.8 ความจุช่องสัญญาณของระบบที่นำเสนอในงานวิจัย.....	28
3.9 สรุปท้ายบท.....	30
4 การจำลองแบบในคอมพิวเตอร์และวิเคราะห์ผล.....	31
4.1 กล่าวนำ.....	31
4.2 ข้อตกลงในการจำลองผล.....	31
4.3 ผลการจำลองแบบเมื่อยังไม่เกิดความคลาดเคลื่อน.....	31
4.4 ผลการจำลองแบบของมุมที่ต่างกัน.....	32
4.5 ผลการจำลองแบบจากรูปแบบการแพร่กระจาย.....	33
4.6 ผลการจำลองแบบจากการเปรียบเทียบค่าผิดพลาดของตำแหน่งผู้ใช้.....	39
4.7 สรุปท้ายบท.....	42
5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	43
5.1 สรุปเนื้อหางานวิจัย.....	43
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	44
5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	44
รายการอ้างอิง.....	45
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	47

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างโทรศัพท์มือถือที่รองรับระบบ 4 จี (การรองรับอาจแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ).....	2
2.1 โหมดการรับส่งข้อมูลของเทคโนโลยีแอลทีอี.....	13
2.2 สรุปการเลือกสายอากาศแบบโซลาร์เซลล์.....	14
2.3 กำหนดความล่าช้าสำหรับรูปแบบช่องสัญญาณของ E-UTRA.....	15
2.4 แสดงค่ารูปแบบความล่าช้าจากการเดินเท้า.....	15
2.5 แสดงค่ารูปแบบความล่าช้าจากการใช้ยานพาหนะ.....	15
2.6 แสดงค่ารูปแบบความล่าช้าจากการทดสอบในเมือง.....	16
2.7 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้งานของ R. Imran, M. Shukair, (2013).....	19
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.1.....	31
4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.2.....	32
4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.4.....	34
4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.5.....	34
4.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.6.....	35
4.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.7.....	36
4.7 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.12.....	39
4.8 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.13.....	40
4.9 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.14.....	40
4.10 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.15.....	41

สารบัญญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ 4 จี แอลทีอีขั้นสูง.....	3
2.1	แบบจำลองสายอากาศแบบปรับลำคลื่น.....	7
2.2	แบบจำลองสายอากาศแบบปรับตัว.....	8
2.3	รูปแบบการส่งสัญญาณในระบบโมโม.....	9
2.4	เปรียบเทียบระบบโมโมปกติกับระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น.....	11
2.5	การประยุกต์ใช้สายอากาศแบบแอคทีฟ.....	13
2.6	การออกแบบสายอากาศของ Peng Chen; Wei Hong; (2009).....	16
2.7	การออกแบบสายอากาศของ Seki, H.; Tsutsui, M., (2007).....	17
2.8	วิธีการส่งบล็อกไปยังแต่ละลำคลื่น.....	17
2.9	การพล็อตแบบโพลลาของพลังงานที่ได้รับแบบ NLOS.....	18
2.10	การพล็อตแบบโพลลาของพลังงานที่ได้รับที่ความถี่ 73 จิกะเฮิรตซ์.....	18
2.11	ค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบ.....	19
3.1	แบบจำลองการแบ่งเขตเตอร์ของสถานีฐาน.....	22
3.2	ลักษณะทางกายภาพของสายอากาศโมโมแบบหลายลำคลื่น.....	22
3.3	จำลองแบบจำนวนลำคลื่น.....	23
3.4	จำลองแบบการแบ่งลำคลื่นภายในเขตเตอร์.....	23
3.5	แบบจำลองการกระจายตัวของผู้ใช้บริการ.....	24
3.6	ระบบสายอากาศแก่ง.....	25
3.7	ระบบการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับแบบเส้นจำนวน 4 ต้น.....	26
3.8	แบบจำลองช่องสัญญาณโมโมแบบปกติ.....	28
3.9	แบบจำลองช่องสัญญาณโมโมแบบหลายลำคลื่น.....	29
4.1	เปรียบเทียบประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณของรูปแบบการกระจายแบบ Uniform Distribution และ Gaussian Distribution.....	32
4.2	เปรียบเทียบประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางของลำคลื่น.....	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	รูปแบบการแพร่กระจายของระบบแอลทีอี.....	33
4.4	ผลการจำลองของสายอากาศแบบ 4x2.....	34
4.5	ผลการจำลองของสายอากาศแบบ 4x4.....	35
4.6	ผลการจำลองของสายอากาศแบบ 8x2.....	35
4.7	ผลการจำลองของสายอากาศแบบ 8x4.....	36
4.8	จุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 4x2.....	37
4.9	จุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 4x4.....	37
4.10	จุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 8x2.....	38
4.11	จุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 8x4.....	38
4.12	ความจุช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด สายอากาศแบบ 4x2.....	39
4.13	ความจุช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด สายอากาศแบบ 4x4.....	40
4.14	ความจุช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด สายอากาศแบบ 8x2.....	41
4.15	ความจุช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด สายอากาศแบบ 8x4.....	41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้มีการพัฒนาขึ้น โดยยุคแรกคือ 1 จี (1st Generation) เป็นการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบอนาล็อก คือการส่งสัญญาณด้วยเสียง (Voice) ได้อย่างเดียว ซึ่งคุณภาพของเสียงยังไม่คมชัด และยังมีปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนง่าย มีความเสี่ยงต่อการดักฟังสัญญาณอีกด้วย ในยุคถัดมาคือยุคที่ 2 จี (2nd Generation) ได้เปลี่ยนรูปแบบการส่งสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล ทำให้คุณภาพของเสียงคมชัดขึ้น และเป็นยุคที่สามารถใช้งานเกี่ยวกับการส่งข้อมูลได้ ซึ่งก็คือการส่งข้อมูลแบบ SMS (Short Message Service) และยังมีการพัฒนาให้มีการรองรับการสื่อสารข้อมูลที่มีอัตราเร็วสูงขึ้น ที่ทำให้เราสามารถรับส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต ด้วยมาตรฐาน GPRS (General Packet Radio Services) ที่มีความเร็วสูงสุด 115 Kbps ต่อมาในยุค 3 จี (3rd Generation) เป็นยุคที่มีความต้องการใช้งานความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่มากขึ้น สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ITU หรือ International Telecommunication Union ได้กำหนดให้นำคลื่นความถี่ย่าน 2100 MHz มาใช้เป็นการมาตรฐานในเทคโนโลยี 3 จี โดยพัฒนาบนพื้นฐานของมาตรฐาน IMT-2000 (International Mobile Telecommunications – 2000) มีดังนี้

1. สามารถรองรับบริการต่างๆ ได้แก่ การสื่อสารด้วยเสียง การรับส่งข้อมูล การเข้าถึงอินเทอร์เน็ตและมัลติมีเดีย จะต้องสามารถถ่ายโอนส่งต่อข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่นๆ ที่เชื่อมต่อกันได้
2. โครนข้ามข้ามแดน (Global Roaming) สามารถนำอุปกรณ์ไปใช้ได้ทั่วโลก
3. ความต่อเนื่องการสื่อสาร (Seamless Delivery Service) คือสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง ถึงแม้มีการเคลื่อนที่แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงของสถานีรับส่งสัญญาณ
4. อัตราความเร็วการรับส่งข้อมูล (Transmission Rate) การถ่ายโอนข้อมูลต่ำสุด 2 เมกะบิตต่อวินาที สำหรับผู้ใช้ที่อยู่กับที่หรือในขณะเดิน และความเร็ว 384 กิโลบิตต่อวินาที เมื่อผู้ใช้อยู่ในยานพาหนะที่กำลังวิ่ง

ซึ่งยังมีมาตรฐาน UMTS (Universal Mobile Telecommunications Services) ที่ออกแบบมาสำหรับผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ไปพัฒนาเข้าสู่มาตรฐานยุค 3 จี ซึ่งได้รับการพัฒนามาตรฐานโดยองค์กร 3GPP (Third Generation Partnership Project) มีเทคโนโลยีหลักที่มีการยอมรับใช้งานอย่างกว้างขวางทั่วโลกคือมาตรฐาน WCDMA (Wideband Code Division

Multiple Access) ซึ่งจะมีการพัฒนาต่อไปสู่มาตรฐาน HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) สามารถสื่อสารด้วยอัตราเร็วสูงถึง 14 เมกะบิตต่อวินาที เร็วกว่า 2.75 จี ประมาณ 36 เท่า

ในยุค 4 จี (4th Generation) ใช้มาตรฐานแอลทีอี (Long Term Evolution) ถือเป็นพัฒนาการอีกขั้นต่อจาก 3 จี โดยจุดประสงค์เพื่อช่วยลดข้อจำกัดในการรับส่งข้อมูลที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ให้มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงกว่า 3 จี โดยมีการกำหนดความเร็วในการส่งข้อมูลไว้ที่ 1 จิกะบิตต่อวินาที ขณะที่ใช้อยู่กับที่ และความเร็วอย่างน้อย 100 เมกะบิตต่อวินาที ขณะที่เคลื่อนที่ และในปัจจุบันระบบ 4 จี แอลทีอี ได้มีการติดตั้งแล้วในประเทศไทย ซึ่งมีผู้ให้บริการ 4 จี หลายหลายเครือข่ายที่นำเทคโนโลยีนี้มาทำการให้บริการแก่ผู้ใช้ มีการพัฒนาคลื่นเพื่อให้สามารถรองรับ 4 จี แอลทีอี ได้ถูกออกแบบมาให้มีความหลากหลายตามข้อจำกัดของแต่ละประเทศ ซึ่งโทรศัพท์มือถือที่ถูกผลิตออกมาแต่ละรุ่น ต้องสามารถรองรับการใช้งาน 4 จี ของแต่ละประเทศด้วย

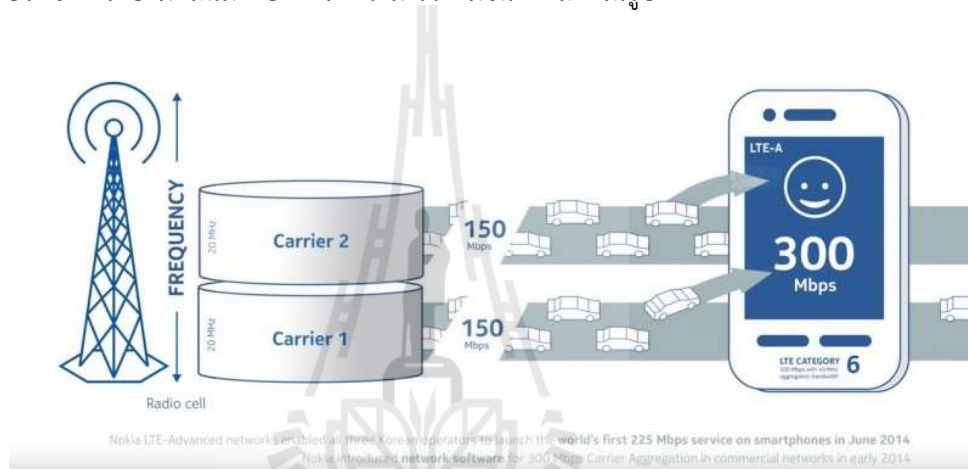
ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างโทรศัพท์มือถือที่รองรับระบบ 4 จี (การรองรับอาจแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ)

Samsung Galaxy S6	Band 1/2/3/4/5/7/8/12/17/18/19/20
Samsung Galaxy Note 5	Band 1/2/3/4/5/7/8/12/17/18/19/20/26
Samsung Galaxy A5/7(6)	Band 1/3/5/7/8/20/40
iPhone 6s	Band 1/2/3/4/5/7/8/12/13/17/18/19/20/25/26/28/29
iPhone 5s	Band 1/2/3/4/5/8/13/17/19/20/25
Microsoft Lumia 950	Band 1/2/3/4/5/7/8/12/17/20/28/38/40
Oppo R7s	Band 1/3/5/7/8/20/40

** Band 1(2100), 2(1900), 3(1800), 4(1700/2100), 5(850), 7(2600), 8(900), 12(700), 13(700), 17(700), 18(800), 19(800), 20(800), 25(1900), 26(850), 28(700), 29(700), 38(2600), 40(2300)

จะเห็นว่าตารางด้านบนจะเป็นย่านของคลื่นความถี่ที่ให้บริการของโทรศัพท์มือถือแตกต่างกันไป แต่ในประเทศไทยคลื่นที่ให้บริการ 4 จี แอลทีอี จะมีย่านความถี่ 900 1800 และ 2100

เมกะเฮิรตซ์ ฉะนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่เพิ่มมากขึ้นโดยสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการให้ได้จริงๆ ต้องมีเทคนิคในการทำงานที่หลากหลาย ซึ่งเทคนิคสายอากาศหลากหลาย (Multiple Antenna) จะเป็นเทคนิคที่จะช่วยให้การใช้งานในอนาคตมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ซึ่งเทคนิคนี้จะช่วยให้ระบบแอลทีเอไอ (LTE-A) ที่จะถูกนำมาใช้ในอนาคตได้ถูกพัฒนาให้เทคโนโลยีสายอากาศ (Antenna Technology) เข้ามามีส่วนที่ช่วยให้เทคนิคสายอากาศหลากหลาย สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อนำเทคโนโลยี 4 จี แอลทีเอไอ (LTE-A) มารวมเข้ากับ CA (Carrier Aggregation) ซึ่งเป็นการเอาคลื่นความถี่ที่ต่างกันหลายคลื่นมาทำงานร่วมกัน เช่น 900 เมกะเฮิรตซ์ กับ 1800 เมกะเฮิรตซ์ ทำให้ยังมีคลื่นมากยิ่งทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1.1 การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ 4 จี แอลทีเอไอ

ในส่วนของปริทัศน์วรรณกรรมนั้นยังไม่ได้มีการพูดถึงการออกแบบเทคนิคดังกล่าว ซึ่งในแง่ทางปฏิบัตินั้นยังมีเงื่อนไขอีกหลายอย่าง เช่น ทิศทางของลำคลื่นที่จะส่งสัญญาณ หรือขนาดของมุมที่จะให้สัญญาณสามารถครอบคลุมได้ ซึ่งมันไม่สามารถกระจายได้รอบทิศทาง 360 องศาเพราะในระบบเซลลูลาร์จะถูกแบ่งออกเป็นเซกเตอร์จำนวน 3 เซกเตอร์รอบทิศทาง เซกเตอร์ละ 120 องศา รวมถึงจำนวนสายอากาศที่ไม่สามารถติดตั้งได้ในจำนวนที่มากเกินไป โดยทั่วไปอยู่ที่ 4 หรือ 8 ตัว

เงื่อนไขเหล่านี้จึงเป็นตัวกำหนดค่าประสิทธิภาพของระบบแอลทีเอไอเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ซึ่งยังไม่มีใครคิดที่จะทำงานวิจัยในลักษณะนี้ ว่าถ้าหากทำจริง ติดตั้งจริงมันควรจะเป็นค่าเท่าใดที่เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวคิดที่จะทำการออกแบบเพื่อหาจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมของระบบโมเด็มแบบหลายลำคลื่นสำหรับเทคโนโลยีแอลทีเอไอ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบระบบโมเด็มแบบหลายลำคลื่นที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีแอลทีเอไอ

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 ระบบโมโม่แบบหลายลำคลื่น น่าจะมีจำนวนของลำคลื่นที่เหมาะสมของระบบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด
- 1.3.2 การวางตัวของมุมลำคลื่นที่ไม่เท่ากัน อาจมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ
- 1.3.3 ปัจจัยทางกายภาพของระบบแอลทีอี น่าจะมีผลต่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1.4.1 ใช้โปรแกรม MATLAB ในการสร้างแบบจำลอง
- 1.4.2 ใช้สายอากาศจำนวน 2, 4 และ 8 ต้น ในการจำลองผล

1.5 ขอบเขตการวิจัย

- 1.5.1 จำนวนสายอากาศที่ใช้วิเคราะห์ความเหมาะสม ต้องสามารถที่จะหาผลิตภัณฑ์ได้ในห้องทดลองทั่วไป
- 1.5.2 รูปแบบการแพร่กระจาย (Propagation model) ใช้ของระบบแอลทีอีเท่านั้น
- 1.5.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบจะใช้ความจุช่องสัญญาณเป็นหลัก

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน

1. สืบค้นบรรณานุกรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาแบบสายอากาศของระบบโมโม่ปกติและระบบโมโม่แบบหลายลำคลื่น
3. ศึกษาเกี่ยวกับมาตรฐานของระบบ LTE
4. ศึกษาการเขียนโปรแกรมจำลองผลโดยใช้ MATLAB
5. จำลองแบบในคอมพิวเตอร์โดยหาค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบโมโม่แบบหลายลำคลื่น
6. วิเคราะห์ผลโดยเปรียบเทียบกับงานที่ได้สืบค้นบรรณานุกรม

1.6.2 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย อาคารเครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

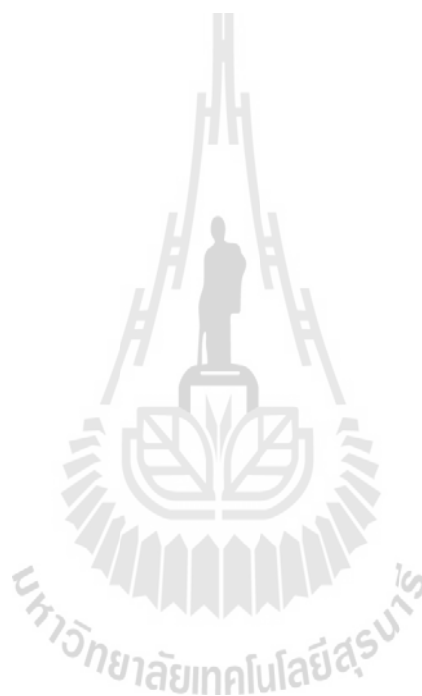
1.6.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

2. โปรแกรมแมทแลบ (MATLAB)

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ในการออกแบบระบบไมโครแบบหลายลำดับชั้น
- 1.7.2 สามารถออกแบบระบบไมโครแบบหลายลำดับชั้นที่เหมาะสม
- 1.7.3 สามารถนำระบบไมโครแบบหลายลำดับชั้นไปใช้ในเทคโนโลยีแอลทีอี



บทที่ 2

ทฤษฎี หลักการ และปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี หลักการ และปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งแบ่งเป็นทั้งหมด 9 ส่วน ส่วนแรกคือการกล่าวนำเข้าสู่เนื้อหา ส่วนที่สองจะเป็นเรื่องของเทคโนโลยีแอลทีอี ซึ่งเข้ามามีบทบาทในการสื่อสารยุคที่สี่ ในส่วนที่สามจะกล่าวถึงระบบสายอากาศแ่งโดยจะกล่าวถึงสายอากาศแบบปรับลำคลื่นและสายอากาศแบบปรับตัวที่จะนำมาใช้ในระบบโมโม ในส่วนที่สี่จะกล่าวถึงพื้นฐานของระบบโมโม และส่วนที่ห้าจะเกี่ยวกับระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น ส่วนที่หกส่วนที่เจ็ดจะกล่าวถึงรูปแบบการแพร่กระจายตัว ส่วนที่แปดจะกล่าวถึงปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงการสรุปท้ายบท

2.2 เทคโนโลยีแอลทีอี

เทคโนโลยีแอลทีอี เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกนำมาทดลองใช้ในยุค 4 จี โดยเกิดจากความร่วมมือของ 3 จีพีพี (3rd Generation Partnership Project) ที่มีการพัฒนาให้แอลทีอีมีความเร็วมากกว่ายุค 3 จี ถึง 10 เท่า โดยมีความสามารถในการส่งถ่ายข้อมูลและมัลติมีเดียสตรีมมิ่งที่มีความเร็วอย่างน้อย 100 เมกะบิตต่อวินาที และมีความเร็วสูงสุดถึง 1 จิกะบิตต่อวินาที นอกจากนี้เทคโนโลยีแอลทีอี แล้วยังมีอีก 2 เทคโนโลยีที่ถูกนำมาทดลองใช้เหมือนกันคือ UMB (Ultra Mobile Broadband) ที่พัฒนามาจากมาตรฐาน CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในยุค 3 จี และไวแมกซ์ (Worldwide Interoperability for Microwave Access) เป็นเทคโนโลยีบรอดแบนด์ไร้สายความเร็วสูง โดยพัฒนามาจากมาตรฐาน IEEE 802.16 (Institute of Electrical and Electronics Engineers) ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวกันกับไวไฟ (wireless fidelity) แต่มาตรฐานไวแมกซ์ สามารถส่งสัญญาณได้ไกลถึง 40 ไมล์ ด้วยความเร็ว 70 เมกะบิตต่อวินาที และมีความเร็วสูงสุด 100 เมกะบิตต่อวินาที ปัจจุบันนี้มี 2 เทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในยุค 4 จี คือ เทคโนโลยีแอลทีอี และไวแมกซ์ ซึ่งเกือบทุกประเทศทั่วโลกใช้เทคโนโลยี 4 จี แอลทีอี แต่มีเพียงบางประเทศเท่านั้นที่ใช้เทคโนโลยี 4 จี ไวแมกซ์ เช่น ประเทศญี่ปุ่น ไต้หวัน บังคลาเทศ เป็นต้น

ซึ่งในยุค 4 จี นี้ถือว่าเป็นยุคที่ถูกพัฒนาก้าวมาอีกขั้นโดยมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลมากกว่ายุค 3 จี ที่ช่วยตอบสนองการใช้งานผ่านอินเทอร์เน็ตไร้สายให้ดีขึ้น ทำให้สามารถรับส่งข้อมูล

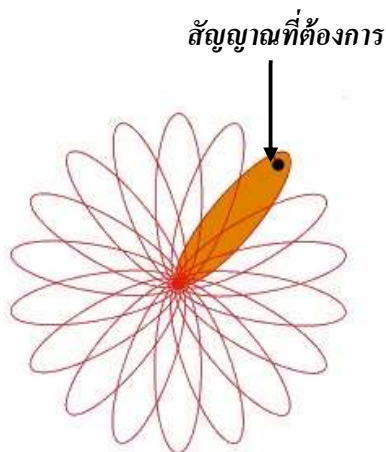
ได้รวดเร็วกว่าเดิม และสามารถใช้โปรแกรมมัลติมีเดียได้อย่างเต็มที่ เช่น การสนทนาผ่านโปรแกรมการประชุมทางไกลผ่านระบบวิดีโอ ในระดับความคมชัดสูง ดาวน์โหลดหนัง ฟังเพลง โดยไม่สะดุด และยังสามารถอัปโหลด - ดาวน์โหลดข้อมูลที่มีขนาดไฟล์ใหญ่ๆ ซึ่งใช้เวลาเพียงไม่นาน ซึ่งในเทคโนโลยีแอลทีอีได้นำระบบโมโม่เข้ามาใช้แม้ว่าโมโม่จะมีความซับซ้อนแต่ในแง่ของการประมวลผลและจำนวนของสายอากาศที่ต้องการจะช่วยให้สามารถปรับปรุงการรับส่งข้อมูลระยะไกลและประสิทธิภาพของสเปคตรัมดีขึ้น เป็นผลให้ระบบโมโม่ได้เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีแอลทีอี

2.3 สายอากาศเก่ง (Smart antennas)

สายอากาศเก่งประกอบด้วยสายอากาศหลายๆ ต้น จัดเรียงตัวกันในรูปแบบต่างๆ เป็นแถว ลำดับจึงสามารถหันพู่คลื่นหลักไปยังทิศทางที่ต้องการและลดสัญญาณแทรกสอด ซึ่งมีระบบประมวลผลที่จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบสื่อสารไร้สายมีค่าเพิ่มขึ้น เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดของช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัด ขณะที่จำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มมากขึ้น สายอากาศเก่งยังช่วยเพิ่มความจุช่องสัญญาณและประสิทธิภาพในการจัดการสเปคตรัม อีกทั้งยังขยายขอบเขตการครอบคลุมให้สามารถส่งข้อมูลได้อย่างทั่วถึง สายอากาศเก่งแบ่งออกได้ดังนี้

2.3.1 สายอากาศแบบปรับลำคลื่น (switched beam)

สายอากาศแบบปรับลำคลื่นสามารถระบุทิศทางแบบเจาะจง (Directional antenna) จะมีลักษณะลำคลื่นที่แคบและชี้ไปยังทิศทางที่ต้องการ ซึ่งสายอากาศแบบปรับตัวเป็นการนำสายอากาศชนิดระบุทิศทางมาจัดเรียงกันในรูปแบบแถวลำดับต่างๆ และระบบจะเลือกลำคลื่นเพื่อใช้ในการรับและส่งสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แบบจำลองสายอากาศแบบปรับลำคลื่น

การทำงานของสายอากาศแบบปรับลำคลื่นคือจะทำการตรวจหาทิศทางความแรงของสัญญาณ จากนั้นทำการเลือกลำคลื่นเพียงหนึ่งลำคลื่นเพื่อทำการก่อรูปลำคลื่นไปยังทิศทางของผู้ใช้บริการ เมื่อผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่ไปยังส่วนอื่นก็จะทำการเปลี่ยนย้ายไปยังลำคลื่นใหม่ สายอากาศแบบปรับตัวนี้มีความซับซ้อนน้อยและสามารถรับส่งสัญญาณได้รวดเร็วตามอัตราการเปลี่ยนลำคลื่น แต่การลดจำนวนสัญญาณแทรกสอดยังมีข้อจำกัด รวมไปถึงความไม่ชัดเจนของสัญญาณ การถูกบดบังสัญญาณ และสัญญาณแทรกสอดอาจมีความผิดพลาดในการเลือกสัญญาณได้

2.3.2 สายอากาศแบบปรับตัว (adaptive beamforming)

สายอากาศแบบปรับตัวได้ที่สามารถปรับลำคลื่นให้ชี้ไปในทิศทางที่ต้องการใดๆ ก็ได้ ซึ่งทางภาคส่งจะทำการถ่วงน้ำหนักสัญญาณของสายอากาศแต่ละต้น เพื่อก่อรูปลำคลื่นไปยังทิศทางนั้นๆ และในขณะเดียวกันก็จะหันจุดศูนย์ (null) ไปในทิศทางของสัญญาณแทรกสอด ดังแสดงในรูปที่ 2.2

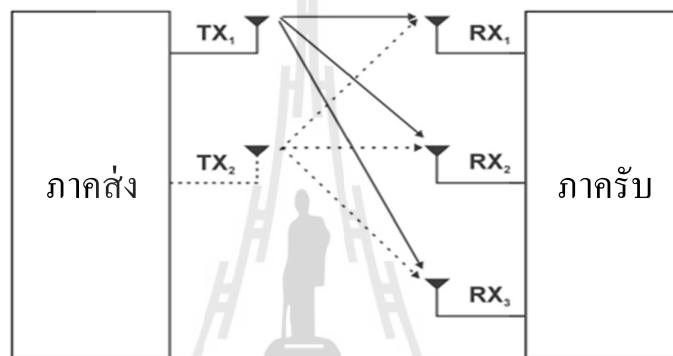


รูปที่ 2.2 แบบจำลองสายอากาศแบบปรับตัว

กระบวนการสายอากาศแบบปรับตัวจะมีความซับซ้อนมากกว่าสายอากาศแบบปรับลำคลื่น แต่จะได้ประสิทธิภาพดีกว่า และมีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดที่ดีด้วย สำหรับในงานวิจัยได้นำสายอากาศเก่งมาใช้ในระบบไมโม (Multiple Input Multiple Output) ซึ่งเป็นระบบที่ถูกพิจารณาให้บรรจุอยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 สามารถรองรับการส่งถ่ายข้อมูลด้วยความเร็วสูงถึง 100 เมกะบิตต่อวินาที ด้วยคุณสมบัติของไมโมจะช่วยปรับปรุงความสามารถของระบบเครือข่ายที่มีอยู่ตามมาตรฐาน รวมไปถึงระบบไมโมแบบหลายลำคลื่น (Multibeam MIMO) ที่ได้นำมาออกแบบเพื่อพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลเพิ่มมากขึ้น รวดเร็วและถูกต้อง ตามความต้องการของผู้ใช้บริการ

2.4 พื้นฐานของระบบโมโม

แนวคิดพื้นฐานของระบบโมโมจะใช้การแพร่กระจายสัญญาณแบบหลายทิศทางหรือเรียกว่า multipath ซึ่งจะมีอยู่ในการสื่อสารภาคพื้นดินและนำสัญญาณรบกวนที่เกิดจากเส้นทางเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ โดยเครื่องส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณจะมีมากกว่าหนึ่งสายอากาศและการใช้พลังงานในการประมวลผลทั้งสองด้านของการเชื่อมโยงสามารถที่จะใช้เส้นทางที่แตกต่างกันระหว่างสองฝั่งนั้นสามารถปรับปรุงอัตราการส่งข้อมูลของสัญญาณเสียง



รูปที่ 2.3 รูปแบบการส่งสัญญาณในระบบโมโม

โมโมได้ถูกนำมาใช้มากขึ้นในเทคโนโลยีที่ต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้นของระบบโทรศัพท์มือถือแบบไร้สาย ซึ่งการดำเนินการของระบบโมโมในเทคโนโลยีแอลทีอีจะแตกต่างกันไปตามอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานของช่องสัญญาณและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการเชื่อมโยงดังนี้

2.4.1 สายอากาศเดี่ยว (Single antenna)

เป็นรูปแบบของการส่งสัญญาณไร้สายที่ใช้ในการเชื่อมโยงพื้นฐานที่สุด การสตรีมข้อมูลเดี่ยวจะถูกส่งไปที่หนึ่งและได้รับเพียงสายอากาศเดี่ยวหรือสายอากาศที่มากกว่า นอกจากนี้ยังเรียกอีกชื่อว่า SISO (Single Input Single Output) หรือ SIMO (Single Input Multiple Output)

2.4.2 การส่งความหลากหลาย (Transmit diversity)

รูปแบบการสตรีมข้อมูลจะใช้แบบเดียวกันกับการส่งข้อมูลแบบหลายสายอากาศซึ่งเทคโนโลยีแอลทีอีจะสนับสนุนสายอากาศจำนวน 2 และ 4 ต้นของเทคนิคนี้ ซึ่งข้อมูลที่เป็นรหัสที่แตกต่างกันจะใช้รหัสที่ถูกบล็อกพื้นที่ความถี่ โหมดนี้จะให้การปรับปรุงในคุณภาพของสัญญาณที่รับแต่ไม่ได้ปรับปรุงอัตราการส่งข้อมูล ดังนั้นรูปแบบของโมโมนี้จะใช้ช่องสัญญาณทั่วไปเช่นเดียวกับช่องการควบคุมและการออกอากาศ

2.4.3 การรวมเชิงพื้นที่แบบวงเปิด (Open loop spatial multiplexing)

รูปแบบของโมโมนี้ใช้ภายในระบบแอลทีอีที่เกี่ยวข้องกับการส่งข้อมูลแบบสองสายซึ่งสามารถส่งผ่านสองสายอากาศหรือมากกว่านั้น แต่ระบบตอบรับจากอุปกรณ์ผู้ใช้จะไม่มีการส่งอันดับดัชนีการส่งจากผู้ใช้ แต่สามารถนำมาใช้โดยสถานีฐานจะเป็นตัวกำหนดจำนวนเลเยอร์ของพื้นที่

2.4.4 การรวมเชิงพื้นที่แบบวงปิด (Close loop spatial multiplexing)

รูปแบบนี้จะคล้ายกลับแบบวงเปิดแต่เป็นชื่อที่บ่งชี้ว่ามันตั้งขึ้นเพื่อวงปิด โดย PMI (Pre-coding Matrix Indicator) คือดัชนีที่จะถูกป้อนกลับจากอุปกรณ์ผู้ใช้ไปยังสถานีฐาน ซึ่งสามารถช่วยให้ส่งสัญญาณไปก่อนรหัสข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการส่งผ่านและเปิดใช้งานการรับข้อมูลการแยกที่แตกต่างกันได้ง่ายขึ้น

2.4.5 วงปิดที่มีการเข้ารหัสก่อน (Closed loop with pre-coding)

เป็นรูปแบบของโมโมอื่น ที่รหัสเดียวจะถูกส่งผ่านเลเยอร์เดียวเชิงพื้นที่ที่สามารถฟ้องเป็นโหมดย้อนกลับสำหรับการรวมเชิงพื้นที่แบบวงปิด

2.4.6 โมโมแบบหลายผู้ใช้ (Multi-User MIMO, MU-MIMO)

รูปแบบนี้สามารถกำหนดเป้าหมายการสตรีมของพื้นที่ที่แตกต่างกันกับผู้ใช้บริการ

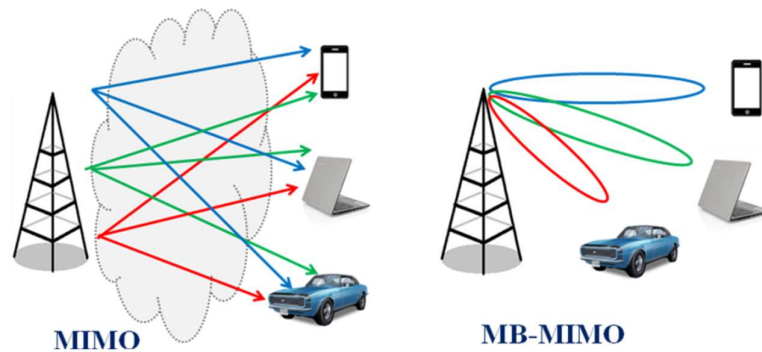
2.4.7 การก่อรูปลำคลื่น (Beam-forming)

รูปแบบนี้เป็นรูปแบบที่ซับซ้อนของโมโม ซึ่งแนวโน้มที่จะใช้อาร์เรย์เชิงเส้นที่จะช่วยให้สายอากาศส่งสัญญาณไปยังพื้นที่เฉพาะ สามารถช่วยลดสัญญาณรบกวนและเพิ่มกำลังการผลิตลำคลื่นไปยังทิศทางที่ผู้ใช้บริการต้องการ

2.5 หลักการทำงานของระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น (Multibeam MIMO)

ระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นได้ถูกพัฒนามาจากระบบโมโมแบบปกติ ซึ่งในระบบแบบปกตินั้นจะมีวิธีการที่ซับซ้อนกว่าระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น เนื่องจากต้องรู้ช่องสัญญาณที่จะใช้ในการส่งข้อมูล อีกทั้งการถ่วงน้ำหนัก (Weight) ในระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นที่ง่ายและส่งผลตอบสนองที่กระทบต่อระบบได้น้อยกว่าในระบบโมโมแบบปกติ

ระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นเป็นเทคนิคที่ช่วยให้การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบดีขึ้น ซึ่งแนวคิดของระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นคือเปลี่ยนจากการมองในด้านการวางตัวสายอากาศแถวลำดับ (Array) เป็นการมองผ่านการประมวลผลของมุมเป็นหลัก ซึ่งข้อมูลที่ส่งจากผู้ใช้บริการไปยังผู้ใช้บริการผ่านหลายลำคลื่น ทำให้โมโมแบบหลายลำคลื่นจะมีความจุช่องสัญญาณมากกว่าโมโมในระบบปกติ



รูปที่ 2.4 การเปรียบเทียบระบบโมโมปกติกับระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น

ในงานวิจัยได้นำระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นมาปรับใช้ให้เข้ากับเทคโนโลยี ซึ่งได้มีการนำมาใช้งานจริงในปัจจุบันในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ช่วยเพิ่มความจุช่องสัญญาณที่มีอยู่มากขึ้น โดยจะมีลำคลื่นที่เพิ่มขึ้นในแต่ละเซกเตอร์เพื่อรองรับจำนวนผู้ใช้บริการให้เพียงพอต่อความต้องการ

2.6 ระบบโมโมในเทคโนโลยีแอลทีอี

เทคโนโลยีแอลทีอีเป็นมาตรฐานของ 3GPP โดยใช้เทคนิค OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) ในฝั่งดาว์นลิงค์และเทคนิค SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) ในฝั่งอัปลิงค์ ซึ่งแอลทีอีจะสนับสนุนดังนี้

- ช่องสัญญาณที่หลากหลายที่มีขนาดแถบความถี่ 1, 4, 3, 5, 10, 15 และ 20 เมกะเฮิร์ตซ์ ร่วมกับการรวมคลื่นพาหะได้ถึง 100 เมกะเฮิร์ตซ์
- ย่านความถี่ที่ถูกกำหนดที่มากกว่า 40 แบนด์ที่เป็นตัวสนับสนุนให้กับสเปคตรัมจากความถี่ 450 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 3.8 จิกะเฮิร์ตซ์
- ใช้เทคนิคทั้งแบบ TDD (Time Division Duplexing) และ FDD (Frequency Division Duplexing)
- เทคโนโลยีสายอากาศแบบหลากหลายที่เกี่ยวข้องของโมโมและการก่อรูปลำคลื่นสำหรับสายอากาศ 8 ดาว์นลิงค์และสายอากาศ 4 อัปลิงค์

ข้อกำหนดเฉพาะครั้งแรกของแอลทีอีเป็นส่วนหนึ่งของ 3GPP รีลีส 8 ที่ซึ่งถูกละทิ้งตั้งแต่ปี 2008 ต่อมาได้ถูกพัฒนามาเป็นแอลทีอีขั้นสูง ซึ่งคุณลักษณะนี้พบได้ในรีลีส 10 และนอกเหนือจากนั้นคุณสมบัติของแอลทีอีขั้นสูงจะเป็นการรวมคลื่นพาหะเข้าด้วยกัน ซึ่งจะมี 8 เลเยอร์ในการส่งดาว์น

ลิงค์ และ 4 เลเยอร์สำหรับการส่งอพลิงค์ และเพิ่มประสิทธิภาพการประสานงานระหว่างเซลล์บริเวณรูปแบบรีลีส 10 เพิ่งจะถูกนำมาใช้งาน และมีการนำรีลีส 11 มาใช้เช่น การทำงานร่วมกันแบบหลายๆ จุด (CoMP) และการปรับปรุงเพิ่มเติมของ ICIC (feICIC) และในปี 2015 3GPP ได้ดำเนินการที่นำเอา รีลีส 12 มาใช้ซึ่งมีคุณสมบัติดังกล่าวเป็นรูปแบบช่องทางใหม่แบบสามมิติ งานระบบสายอากาศแบบ แอคทีฟ (AAS) และสายอากาศภาครับแบบ 8 ต้น 3GPP ได้เริ่มต้นการทำงานในคุณสมบัติรีลีส 13 ที่ ซึ่งควรรวมถึงระบบโมโมแบบเต็มมิติ (FD-MIMO) และการก่อรูปลำคลื่นแบบแนวตั้ง (V-BF)

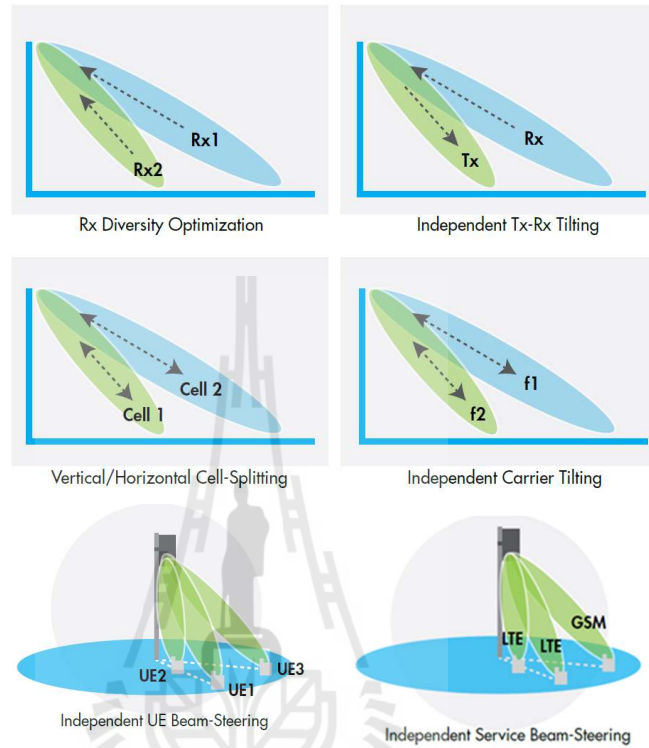
ระบบโมโมช่วยเพิ่มการส่งผ่านกระแสข้อมูลที่แตกต่างกันโดยใช้ทรัพยากรเดียวกันทั้งใน ความถี่และเวลา ระบบโมโมต้องการใช้ค่า SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio) ที่สูง และค่าความสัมพันธ์ที่ต่ำของแต่ละเส้นทาง ขึ้นอยู่กับความสามารถรับรู้ได้โดยสายอากาศหรือ สภาพแวดล้อม มีรูปแบบของโมโมที่หลากหลายเช่น โมโมแบบผู้ใช้เดี่ยว (SU-MIMO), โมโมแบบ หลายผู้ใช้ (MU-MIMO) และระบบโมโมแบบขนาดใหญ่

การก่อรูปลำคลื่นใช้อาร์เรย์ขององค์ประกอบสายอากาศที่ซึ่งมีมุมเฟสไม่ซ้ำกัน ในการก่อรูป ลำคลื่นต้องการเพื่อที่จะหันไปยังทิศทางที่ต้องการ สายอากาศที่ใช้โดยทั่วไปจะมีความเกี่ยวเนื่องกัน อย่างมาก ทั้งระยะขององค์ประกอบและตำแหน่งของสายอากาศ สายอากาศแบบพาสซีฟ สามารถ รองรับตัวก่อรูปลำคลื่นในแนวนอนได้ อีกทั้งระบบสายอากาศแบบแอคทีฟจะทำการรวมอาร์เรย์ที่ใช้ งานรับส่งสัญญาณและสัญญาณแบบพาสซีฟเป็นหนึ่งเดียวกัน สามารถสนับสนุนแบบสองมิติใน แนวราบ รวมถึงสามมิติทั้งแนวราบและแนวเอียงของการกำหนดสายอากาศอาร์เรย์ ซึ่งการทำงานที่ หลากหลายของระบบสายอากาศแบบแอคทีฟจะแสดงดังรูปที่ 2.5 โดยสถานีฐานสามารถจะนำคาน ไปใช้ในทิศทางแนวนอนและแนวตั้งสำหรับการดำเนินงานที่แตกต่างกัน ย่านความถี่ มาตรฐานของ เครื่องข่าย รวมไปถึงการเชื่อมต่อทั้งแบบดาวนลิงค์และอพลิงค์

การทำงานร่วมกันแบบหลายๆ จุด มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพเครือข่ายของ เซลล์และที่ขอบเขตเตอร์โดยการประสานงานหรือการส่งผ่านการรับสัญญาณจากเซลล์หลายๆ เซลล์ ให้สามารถป้องกันการกวนกันและเพิ่มความแรงของสัญญาณ ความเป็นไปได้ของเทคนิคการทำงาน ร่วมกันแบบหลายๆ จุดนี้ จะรวมการทำงานร่วมกันของอพลิงค์และการเลือกจุดแบบไดนามิกสำหรับ ดาวนลิงค์ การทำงานร่วมกันแบบหลายจุดระหว่างภายในไซต์นั้นจะต้องเพิ่มขึ้นอย่างมากในค่าความจุ ช่องสัญญาณในส่วนของภาคพื้น

โหมตการทำงานการรับส่งข้อมูลที่กำหนดสำหรับแอลทีอีมี 10 โหมตซึ่งจะแสดงในตารางที่ 2.1 โดยที่โหมต 3 ถึงโหมต 10 จะกลับไปใช้การส่งแบบหลากหลาย ส่วนโหมต 3 ถึงโหมต 5 และ โหมต 8 ถึงโหมต 10 มีรูปแบบบางส่วนของโมโม ในขณะที่โหมต 3, 4 และโหมต 7 ถึงโหมต 10 จะ เป็นรูปแบบบางอย่างของการก่อรูปลำคลื่น โหมต 9 และโหมต 10 จะครอบคลุมโมโมแบบผู้ใช้เดี่ยว

โมโม่แบบหลายผู้ใช้และการก่อรูปลำคลื่น ส่วนการทำงานร่วมกับแบบหลายจุดนั้นมีความเป็นไปได้ด้วยการรับส่งข้อมูลโหมด 9 แต่ประสิทธิภาพแบบหลายจุดจะมีการเพิ่มประสิทธิภาพในโหมด 10



รูปที่ 2.5 การประยุกต์ใช้สายอากาศแบบแอกทีฟ

ตารางที่ 2.1 โหมดการรับส่งข้อมูลของเทคโนโลยีแอลทีอี

3GPP release	3GPP release	Description	Max rank (TX streams)
8	Mode 1	Single-antenna port	1
	Mode 2	Transmit diversity	1
	Mode 3	Open-loop spatial multiplexing	4
	Mode 4	Closed-loop spatial multiplexing	4
	Mode 5	Multi-use MIMO	1
	Mode 6	Single layer close-loop spatial multiplexing	1
	Mode 7	Single-layer beamforming	1
9	Mode 8	Dual-layer beamforming	2
10	Mode 9	Multi-layer transmission	8
11	Mode 10	Multi-layer transmission	8

การปรับปรุงการครอบคลุมอพติงค์จะประสบความสำเร็จในเบื้องต้นโดยการเพิ่มจำนวนของสถานีฐานสายอากาศภาครับ ใช้เทคนิคที่คุ้นเคยเช่นอัตราการรวมสูงสุด (MRC) และการรวมกันของการปฏิเสธสัญญาณรบกวน (IRC) เช่นเทคนิคอพติงค์โมโมแบบหลายผู้ใช้ และอพติงค์การทำงานร่วมกันแบบหลายๆ จุด สามารถให้อัตราการส่งผ่านข้อมูลโดยไม่มีผลกระทบต่อภาคพื้นเมื่อใช้ระหว่างเซกเตอร์

การเลือกสายอากาศให้เหมาะสมกับเครือข่าย ด้วยเทคนิคที่หลากหลายของแอลทีอีที่สนับสนุนและความต้องการออกแบบสายอากาศมักจะแตกต่างกันอย่างมากเช่นเดียวกับการออกแบบเครือข่ายที่แตกต่างกันมันเป็นสิ่งที่ทำหายที่จะเลือกสายอากาศแบบเดียวเพื่อให้พอดีกับทุกสถานการณ์ เช่น หากใช้สายอากาศแบบผู้ใช้เดี่ยวเปรียบเทียบกับการใช้สายอากาศแบบหลายผู้ใช้ การที่จะก่อรูปค่าคลื่น แน่นอนว่าสายอากาศแบบหลายผู้ใช้นั้นจะสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพได้ดีกว่า ในตารางที่ 2.2 จะเป็นการสรุปการตั้งค่าทั่วไปสำหรับการเลือกสายอากาศของสถานีฐานแบบแมโครเพื่อใช้งานตามที่กำหนด ประกอบกับคลื่นความถี่ที่ต่ำกว่า 1 จิกะเฮิรตซ์ มีแนวโน้มที่จะใช้คอลัมน์เดียวของสายอากาศแบบไขว้ไขว้ เนื่องจากข้อจำกัดของขนาดที่เกิดจากการแบ่งเซกเตอร์เครือข่ายขณะที่สายอากาศที่ให้บริการช่วง 1-2 จิกะเฮิรตซ์ มักจะถูกจำกัดให้ไม่เกิน 2 คอลัมน์แบบไขว้ไขว้ การเลือกสายอากาศจึงเป็นการตัดสินใจที่สำคัญในการออกแบบเครือข่ายไร้สายแอลทีอีในปัจจุบัน เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้สายอากาศและนำไปใช้สำหรับสถานีฐาน

ตารางที่ 2.2 สรุปการเลือกสายอากาศแบบไขว้ไขว้

		Optimum application	Downlink (TM)	Uplink	SPR	VoLTE	CoMP	Coverage or capacity
Single-column	45° HBW	Dense site spacing, high traffic areas	MIMO (2 and 3 optimal; 4 and 6 limited)	MRC	Best	Risk	Inter-site	Capacity
	65° HBW	All sites, all speeds. Best all-around			Good	Good	Inter- and intra-site	Both
	85° HBW	Rural sites, coverage challenges			Poor	Better		Coverage
Two-column	0.7λ column spacing	Correlated/beamforming; cell edge DL throughput	MIMO, BF (2, 3, 4, 5 and 6)	MRC, IRC, MIMO	UL:Poor DL:Best	Good	Inter- and intra-site	Coverage
	1λ column spacing	Decorrelated/multi-layer; DL cell peak throughput; UL cell edge throughput	MIMO (2 and 3 optimal; 4 and 6 limited)	MRC, SU-MIMO	UL:Best DL:Poor	Best	Inter- and intra-site	Capacity
Four-column	0.5λ column spacing	Correlated/beamforming; DL cell edge throughput	BF, MIMO (8 optimal; 3, 4, 5, 6, 7 and 9 limited)	MRC, IRC, MIMO	UL:Poor DL:Best	Good	Reduced benefit	Both
	0.65λ column spacing	Best column pattern/uplink cell edge throughput	BF, MIMO (8 and 9 optimal; 3, 4, 5, 6 and 7 possible)	MRC, IRC, MIMO	UL:Best DL:Poor	Best	Reduced benefit	Both

2.7 รูปแบบการแพร่กระจายของระบบแอลทีอี

ในระบบแอลทีอีจะมีการแพร่กระจายสัญญาณที่ถูกกำหนดมา โดยค่าความล่าช้าจะเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมส่งผลให้เกิดค่าพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 2.3 ซึ่งมีจากต่ำไปหามาก ค่าน้อยที่สุดคือ EPA (Extended Pedestrian A) เป็นการทดสอบวัดค่าจากการเดินเท้า ต่อมาเป็นค่ากลางจะเป็นรูปแบบการใช้นานพาหนะในการทดสอบหรือเรียกว่า EVA (Extended Vehicular A model) ส่วนค่าที่มากคือรูปแบบในเมืองทั่วไป ETU (Extended Typical Urban model) และยังมีรูปแบบของเส้นความล่าช้าจะถูกกำหนดตามตาราง 2.4, 2.5 และ 2.6

ตารางที่ 2.3 กำหนดความล่าช้าสำหรับรูปแบบช่องสัญญาณของ E-UTRA

Model	Number of channel taps	Delay spread (r.m.s.)	Maximum excess tap delay (span)
Extended Pedestrian A (EPA)	7	45 ns	410 ns
Extended Vehicular A model (EVA)	9	357 ns	2510 ns
Extended Typical Urban model (ETU)	9	991 ns	5000 ns

ตารางที่ 2.4 แสดงค่ารูปแบบความล่าช้าจากการเดินเท้า

Excess tap delay [ns]	Relative power [dB]
0	0.0
30	-1.0
70	-2.0
90	-3.0
110	-8.0
190	-17.2
410	-20.8

ตารางที่ 2.5 แสดงค่ารูปแบบความล่าช้าจากการใช้นานพาหนะ

Excess tap delay [ns]	Relative power [dB]
0	0.0
30	-1.5
150	-1.4
310	-3.6
370	-0.6
710	-9.1
1090	-7.0
1730	-12.0
2510	-16.9

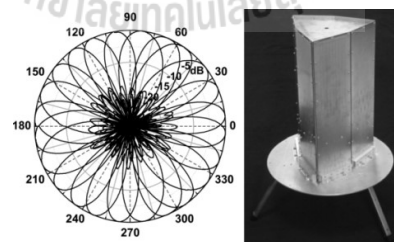
ตารางที่ 2.6 แสดงค่ารูปแบบความล่าช้าจากการทดสอบในเมือง

Excess tap delay [ns]	Relative power [dB]
0	-1.0
50	-1.0
120	-1.0
200	0.0
230	0.0
500	0.0
1600	-3.0
2300	-5.0
5000	-7.0

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบโดยนำค่าที่กำหนดจากรูปแบบความล่าช้าจากการเดินเท้า มาเป็นเงื่อนไขในการทดลอง เนื่องจากมีค่าความล่าช้าน้อยทำให้ระยะเวลาในการประมวลใช้เวลาไม่มาก และยังส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในระบบดีขึ้นตามไปด้วย

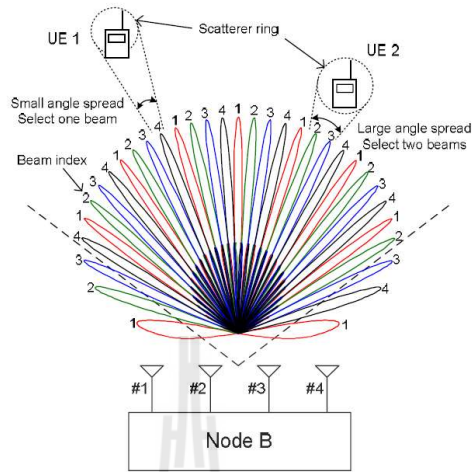
2.8 ปรีทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการสำรวจปรีทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยของ Peng Chen; Wei Hong; (2009) ได้ทำการศึกษาและออกแบบสายอากาศไมโมแบบหลายลำคลื่น ซึ่งก่อรูปลำคลื่นเรียงตัวรอบมุม 360 องศา แบ่งเป็นจำนวนลำคลื่น 24 ลำคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เพื่อให้มีพื้นที่ครอบคลุมรอบทิศทาง และยังออกแบบให้สามารถลดระดับพวงรอง (Side Lobe Level) แต่พบว่าหากมีจำนวนลำคลื่นมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนเนื่องจากการซ้อนทับกันของลำคลื่นได้



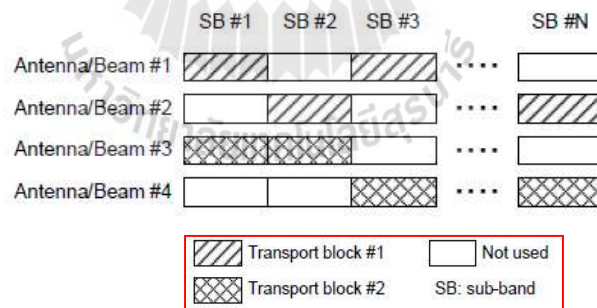
รูปที่ 2.6 การออกแบบสายอากาศของ Peng Chen; Wei Hong; (2009)

Seki, H.; Tsutsui, M., (2007) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อรองรับในระบบแอลทีอีในอนาคต โดยใช้ระบบไมโมแบบหลายลำคลื่นมาออกแบบเพื่อหาค่าความจุช่องสัญญาณและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเหนือกว่าระบบไมโมแบบปกติ ดังรูปที่ 2.7



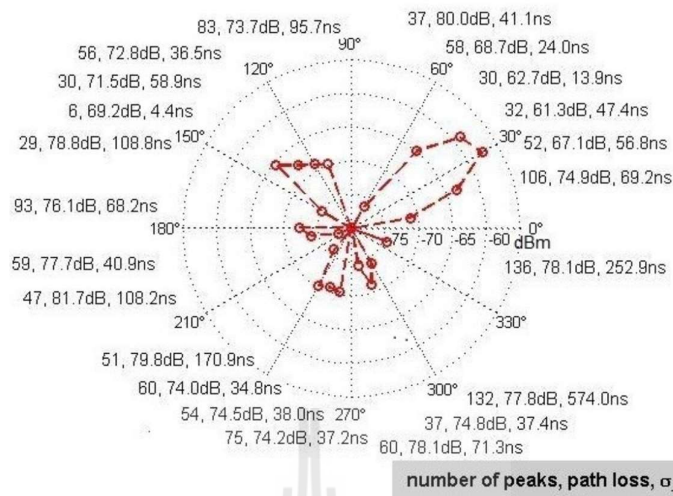
รูปที่ 2.7 การออกแบบสายอากาศของ Seki, H.; Tsutsui, M., (2007)

ในปริทัศน์วรรณกรรมนี้ จะมีความซับซ้อนของวิธีการเนื่องจากต้องรู้ช่องสัญญาณในการส่งผ่านข้อมูล ดังรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นแถบความถี่ย่อยที่ใช้ส่งบล็อกข้อมูลผ่านลำคลื่น ซึ่งแสดงวิธีที่มีประสิทธิภาพในการเลือกที่สายอากาศที่เหมาะสมต่อแถบความถี่ย่อย สำหรับการส่งข้อมูลและมีอัตราขยายเพียงพอ



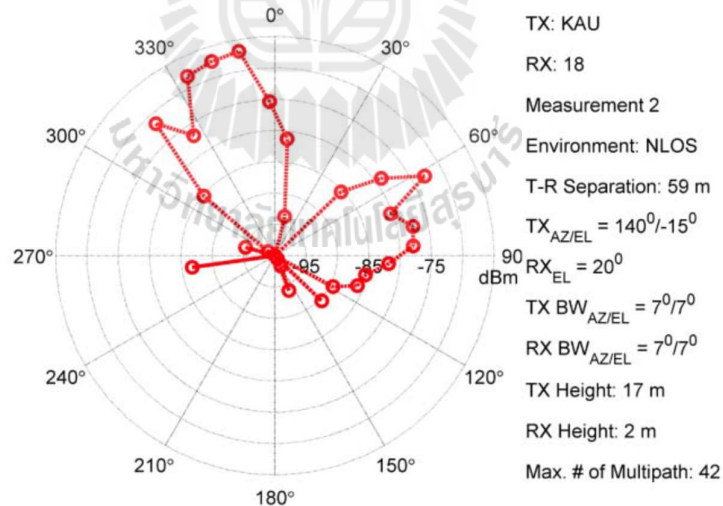
รูปที่ 2.8 วิธีการส่งบล็อกไปยังแต่ละลำคลื่น

Shu Sun; Rappaport, T.S., (2013) ในปริทัศน์วรรณกรรมได้ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของสายอากาศโมโนแบบหลายลำคลื่นเพื่อปรับปรุงคุณภาพการเชื่อมโยงในระบบโทรศัพท์มือถือด้วยคลื่นมิลลิเมตร โดยมีการออกแบบตามรูปที่ 2.9 ซึ่งผลสามารถปรับปรุงค่าการสูญเสียของสัญญาณ (Path loss) ที่จะสามารถส่งข้อมูลแบบไม่เป็นเส้นตรง หรือเรียกว่า NLOS (Non Line of Sight) ได้



รูปที่ 2.9 การพล็อตแบบโพลารของพลังงานที่ได้รับแบบ NLOS

ปริทัศน์วรรณกรรมของ Shu Sun; MacCartney, G.R.; (2014) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับคลื่นมิลลิเมตรที่นำมาใช้กับสายอากาศไมโมแบบหลายลำคลื่น เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสายอากาศนั้นมีอัตราขยายเพิ่มขึ้น และยังช่วยลดผลกระทบจากการจางหายของสัญญาณ (Shadow fading) แต่ในปริทัศน์วรรณกรรมยังเล็งไปถึงอนาคตและยังคงมียุ่งยากซับซ้อนรวมไปถึงพลังงานที่ใช้ยังมีความสิ้นเปลือง



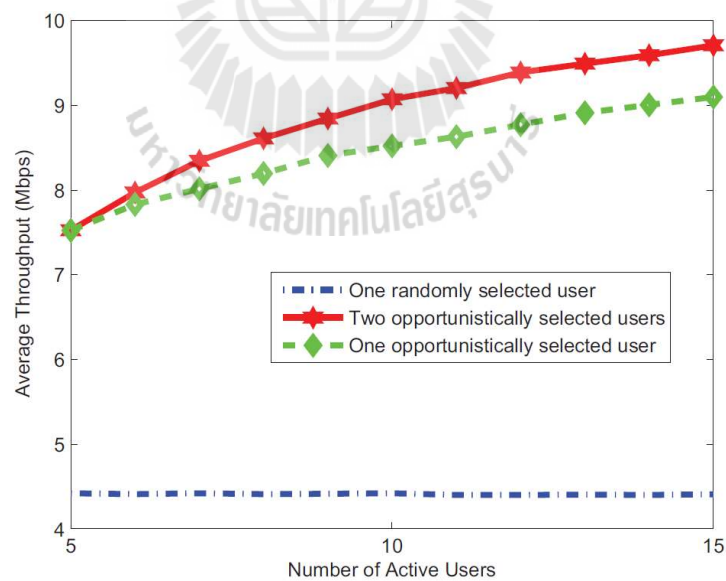
รูปที่ 2.10 การพล็อตแบบโพลารของพลังงานที่ได้รับที่ความถี่ 73 จิกะเฮิร์ตซ์

R. Imran, M. Shukair, (2013) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานที่จะใช้ประโยชน์จากระบบไมโมส่งผลให้เกิดการส่งสัญญาณพร้อมกันของผู้ให้บริการหลายคนผ่านการใช้งานที่มีความซับซ้อนลดลง ทำให้สามารถประหยัดพลังงานลงได้

ตารางที่ 2.7 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้งานของ R. Imran, M. Shukair, (2013)

Parameter	Single-user	Two-users
Bandwidth	5MHz	5MHz
Number of subcarriers	300	300
Number of (RBs)	25	25
Frame duration (T_F)	20ms	20ms
Transmitted power (P_t)	1W	1W
Max.size of transport block	6144	6144
Control signalling overhead	9.15%	25.37%
TCP-IP header	8 bytes	16 bytes
PDCP header	4 bytes	8 bytes
RLC header	2 bytes	4 bytes
MAC header	2 bytes	4 bytes
CRC	3 bytes	6 bytes
CQI	4 bits / 20ms	8 bits / 20ms
PMI-beam index	-	1 bit / 20ms / user
PMI-energy saving	-	1 bit / 20ms / user
ACK	1 bit / 4ms	1 bit / 4ms / user

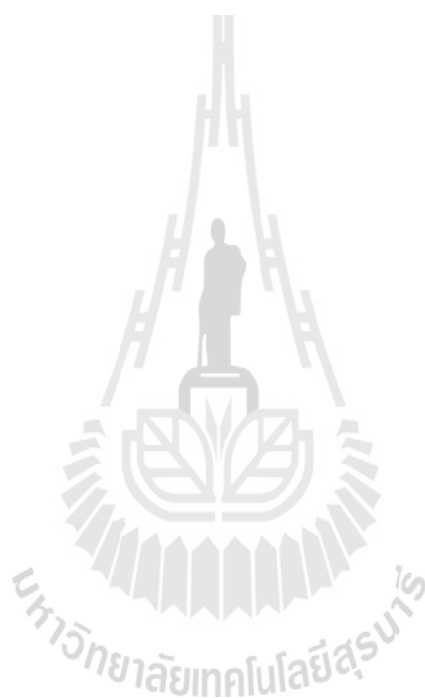
ในรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานผ่านสถานการณ์ที่มีจำนวนตัวแปรของผู้ใช้งานในระบบที่มีจำกัด ซึ่งผลที่ออกมาในงานวิจัยดังกล่าวมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.11 ค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

2.9 สรุปท้ายบท

สายอากาศเก่งเป็นการนำสายอากาศแถวลำดับมาวางเรียงตัวกันและมีระบบประมวลผลสัญญาณที่จะทำการถ่วงน้ำหนักสายอากาศและทำการก่อรูปลำคลื่น เพื่อหันพู่หลักไปยังทิศทางที่ต้องการและหันจุดศูนย์ไปในทิศทางของสัญญาณแทรกสอด ซึ่งสายอากาศเก่งจะถูกนำมาใช้ในระบบโมโมแบบปกติและระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เข้ากับเทคโนโลยีแอลทีอีได้



บทที่ 3

การออกแบบของระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นที่

เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีแอลทีอี

3.1 กล่าวนำ

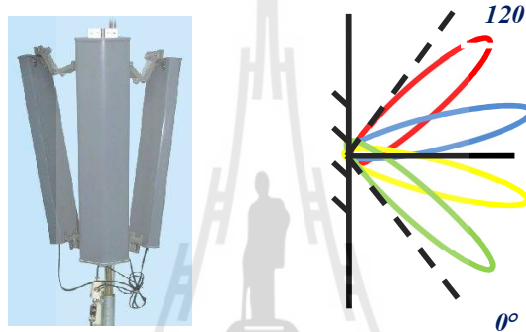
เนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วย 9 ส่วนด้วยกัน คือ ในส่วนแรกจะเป็นกล่าวนำเข้าสู่เนื้อหา ส่วนที่สองจะกล่าวถึงการแบ่งเขตเตอร์ของสถานีฐาน ส่วนที่สามกล่าวถึงสายอากาศที่ใช้ในระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น ส่วนที่สี่กล่าวถึงจำนวนคลื่นที่ใช้ในระบบ ส่วนที่ห้ากล่าวถึงการแบ่งลำคลื่นภายในเขตเตอร์ ส่วนที่หกจะเป็นการกระจายตัวของผู้ใช้บริการ ส่วนที่เจ็ดกล่าวถึงการออกแบบชุดถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในงานวิจัย ส่วนที่แปดจะกล่าวถึงความจุช่องสัญญาณของระบบที่จะนำเสนอและในส่วนสุดท้ายคือสรุปท้ายบท

ปัจจัยในการออกแบบทางปฏิบัติพิจารณาได้ดังนี้

- 1) การแบ่งเขตเตอร์ การออกแบบจะมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกับระบบเซลลูลาร์ในยุคก่อนๆ ซึ่งการแบ่งในลักษณะนี้จะช่วยให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ทั่วถึงรวมทั้งยังช่วยลดสัญญาณรบกวนที่เกิดในระบบเซลลูลาร์ได้
- 2) สายอากาศของโมโมแบบหลายลำคลื่น ในปัจจุบันได้มีบริษัทผลิตสายอากาศชนิดนี้ขึ้นมาวางจำหน่ายตามความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งจำนวนของลำคลื่นจะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของแต่ละรุ่นแต่ละยี่ห้อแตกต่างกันไป
- 3) จำนวนลำคลื่น จะเป็นตัวกำหนดจำนวนลำคลื่นของแต่ละเขตเตอร์ว่าเหมาะสมเพียงใด เพื่อให้สอดคล้องความต้องการของผู้ใช้บริการในพื้นที่นั้นๆ หากมีมากเกินไปก็จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวน หากมีน้อยเกินไปก็อาจจะทำให้พื้นที่ไม่ครอบคลุม
- 4) การแบ่งลำคลื่นภายในเขตเตอร์ เมื่อมีจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแล้วการแบ่งลำคลื่นภายในเขตเตอร์ที่มีขนาดเท่ากันและไม่เท่ากันจะส่งผลกระทบต่อระบบหรือไม่
- 5) การกระจายตัวของผู้ใช้ เป็นการสุ่มโดยใช้แบบจำลองเพื่อหาการกระจายตัวของผู้ใช้บริการเพื่อให้เข้ากับการออกแบบของระบบ

3.2 การแบ่งเซกเตอร์ของสถานีฐาน

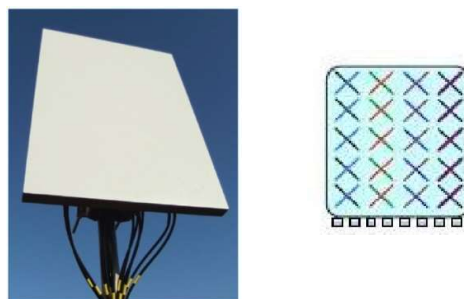
ในหนึ่งสถานีฐานจะมีอุปกรณ์ที่เป็นตัวส่งสัญญาณไปยังผู้ใช้บริการ นั่นคือสายอากาศ สายอากาศแต่ละตัวจะได้รับการประมวลผลจากระบบ และทำการก่อรูปลำคลื่นไปยังทิศทางนั้นๆ ซึ่ง ทิศทางของแต่ละสายอากาศจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ก็คือสายอากาศ ว่าลักษณะเฉพาะของสายอากาศจะ กำหนดค่าไว้ได้อย่างไร และสามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการใน 360 องศาได้อย่างเพียงพอ ขนาดของ แต่ละเซกเตอร์ที่มักนิยมใช้จะพิจารณาจาก 3 เดซิเบล บีมวิดธ์ซึ่งเป็นแถบความกว้างของลำคลื่นของ สายอากาศแบบทิศทาง ทั่วไปที่มีอยู่ก็เช่น 60 องศา 90 องศา และ 120 องศา ในงานวิจัยได้ กำหนดให้สายอากาศหนึ่งเซกเตอร์สามารถครอบคลุมได้ 120 องศา



รูปที่ 3.1 แบบจำลองการแบ่งเซกเตอร์ของสถานีฐาน

3.3 สายอากาศของระบบโมเด็มแบบหลายลำคลื่น

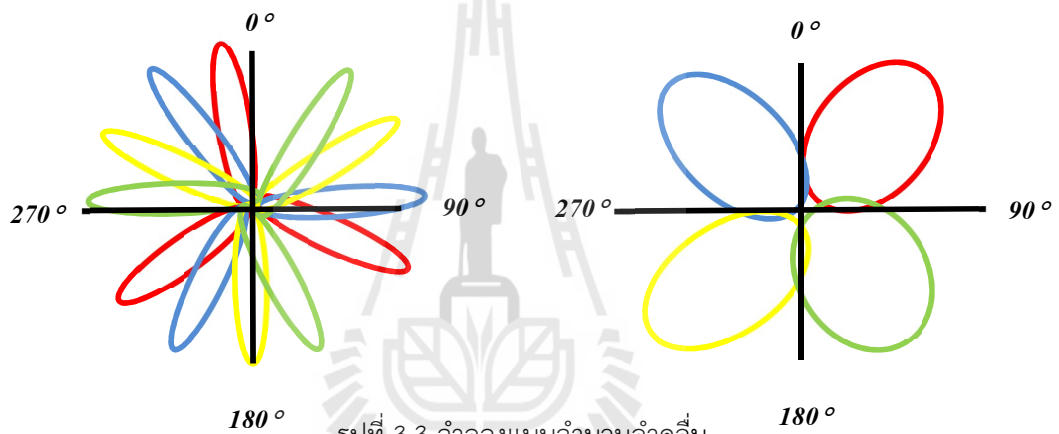
ในปัจจุบันมีการประดิษฐ์สายอากาศของระบบโมเด็มแบบหลายลำคลื่นขึ้นมาใช้ ซึ่งตัวอย่างดัง รูปที่ 3.2 เป็นสายอากาศที่ผลิตขึ้นมาใช้จริง และภายในสายอากาศเป็นการเรียงตัวของสายอากาศ แถวลำดับ เมื่อผ่านกระบวนการถ่วงน้ำหนัก สายอากาศก็จะก่อรูปลำคลื่นเพื่อส่งข้อมูลไปยัง ผู้ใช้บริการ ซึ่งสายอากาศในระบบนี้จะแตกต่างจากสายอากาศแบบเดิมคือ สายอากาศแบบเดิมจะก่อ รูปลำคลื่นได้เพียงครั้งละหนึ่งลำคลื่น แต่สายอากาศในระบบโมเด็มแบบหลายลำคลื่นนี้ จะสามารถก่อ รูปลำคลื่นได้พร้อมกันหลายลำคลื่น ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์นั้นๆ



รูปที่ 3.2 ลักษณะทางกายภาพของสายอากาศโมเด็มแบบหลายลำคลื่น

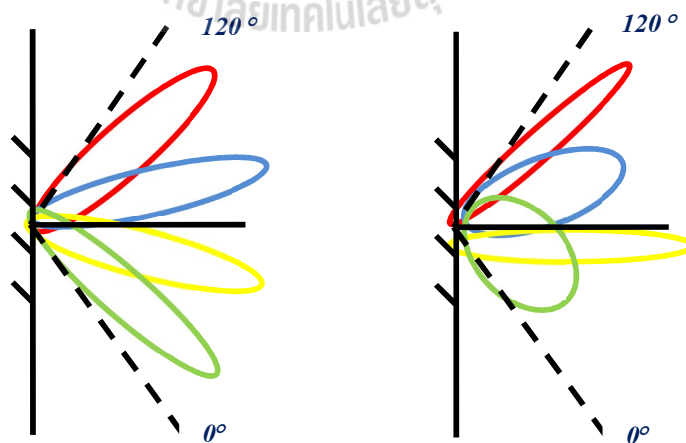
3.4 จำนวนลำคลื่น

การกำหนดจำนวนลำคลื่นให้สายอากาศแต่ละเซกเตอร์ ต้องดูความเหมาะสมจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความหนาแน่นของผู้ใช้บริการ ณ จุดนั้นๆ มีมากน้อยเพียงใด ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่มีสิ่งกีดขวางหรือไม่ หากยกตัวอย่างดังรูป 3.3 แสดงการเปรียบเทียบภายในมุม 360 องศาโดยให้ลำคลื่นครอบคลุมเต็มพื้นที่และมีขนาดที่ต่างกัน จะเห็นว่าจำนวนลำคลื่นที่มีจำนวนลำคลื่นมาก กับจำนวนลำคลื่นน้อย โดยบริเวณพื้นที่ครอบคลุมทั่วถึงตามต้องการ แต่จำนวนลำคลื่นที่มากลำคลื่นจะมีความกว้างของลำคลื่นน้อยกว่าทำให้ส่งข้อมูลไปได้ไกล ส่วนจำนวนลำคลื่นน้อยจะมีความกว้างลำคลื่นมากแต่ส่งข้อมูลได้ระยะใกล้ ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการหาจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในระบบโมเด็มแบบหลายลำคลื่น



รูปที่ 3.3 จำลองแบบจำนวนลำคลื่น

3.5 การแบ่งลำคลื่นภายในเซกเตอร์

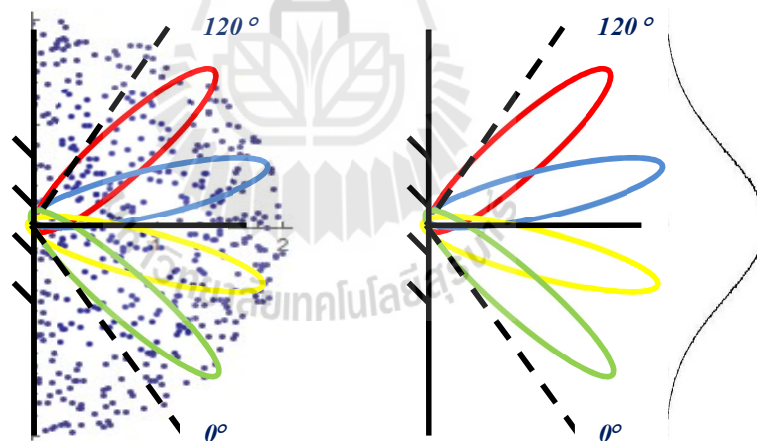


รูปที่ 3.4 จำลองแบบการแบ่งลำคลื่นภายในเซกเตอร์

ในงานวิจัยเมื่อได้ผลของจำนวนลำดับที่เหมาะสม ก็ได้ทำการออกแบบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบ โดยนำผลของมุม 120 องศา มาพิจารณาเปรียบเทียบว่าหากมีการแบ่งจำนวนลำดับที่เท่ากันและไม่เท่ากัน เมื่อทิศทางของลำดับเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อระบบอย่างไร โดยจะมีการนำผู้ใช้บริการ (User) มาประกอบด้วย ว่าหากมีการผิดพลาดเกิดขึ้นไปเล็กน้อยเพียงใดถึงจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ

3.6 การกระจายตัวของผู้ใช้

ในงานวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองการกระจายตัว 2 แบบ คือ Uniform Distribution และ Gaussian Distribution ดังแสดงในรูป 3.5 เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งแบบจำลอง Uniform Distribution (ซ้าย) เป็นการกระจายตัวของตัวแปรสุ่มซึ่งค่าแต่ละค่าของตัวแปรสุ่มมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดเท่า ๆ กัน และแบบจำลอง Gaussian Distribution (ขวา) เป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นของค่าของตัวแปรสุ่มที่เป็นค่าแบบต่อเนื่อง โดยที่ค่าของตัวแปรสุ่มมีแนวโน้มที่จะมีค่าอยู่ใกล้ๆกับค่าๆหนึ่ง กราฟแสดงค่าฟังก์ชันความหนาแน่น (probability density function) จะเป็นรูปคล้ายระฆังคว่ำ



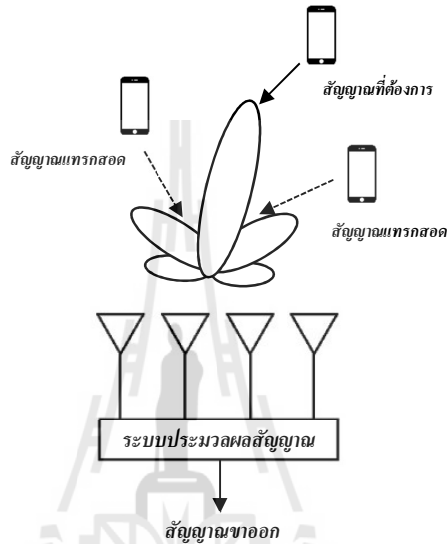
รูปที่ 3.5 แบบจำลองการกระจายตัวของผู้ใช้บริการ

สมรรถนะของงานวิจัยนี้ดูจากดังนี้

- 1) การออกแบบชุดวงน้ำหนก ในการก่อรูปลำดับนั้นชุดวงน้ำหนกต้องออกแบบเพื่อให้สามารถก่อรูปลำดับและหันลำดับไปยังทิศทางที่ต้องการเพื่อประสิทธิภาพที่ดีของระบบ
- 2) ค่าความจุช่องสัญญาณ จะเป็นตัววัดค่าประสิทธิภาพของระบบในงานวิจัยนี้ โดยเปรียบเทียบค่าความจุช่องสัญญาณระหว่างระบบโมเด็มแบบปกติและระบบโมเด็มแบบหลายลำดับ

3.7 การออกแบบชุดถ่วงน้ำหนัก (weight)

การถ่วงน้ำหนักหรือการก่อรูปลำคลื่นเป็นกระบวนการที่เกิดจากการทำงานของระบบสายอากาศแ่งดังแสดงในรูปที่ 3.6 ที่ประกอบไปด้วยสองส่วนหลัก ๆ คือ สายอากาศแ่งลำดับและระบบประมวลผลสัญญาณ (signal processing systems) ซึ่งในระบบประมวลผลสัญญาณจะทำหน้าที่ในการหาทิศทางของสัญญาณที่เข้ามา (DOA) และการคำนวณเพื่อก่อรูปลำคลื่น



รูปที่ 3.6 ระบบสายอากาศแ่ง

สำหรับโครงการวิจัยนี้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการพัฒนาอัลกอริทึม (algorithm) ของสายอากาศแ่งระบบก่อรูปลำคลื่นแบบปรับตัว ซึ่งระบบนี้สามารถลดสัญญาณแทรกสอดได้โดยการหันพู่หลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ โดยใช้สายอากาศแ่งลำดับเชิงเส้นเนื่องจากการคำนวณที่ซับซ้อนน้อยกว่าสายอากาศแ่งลำดับแบบระนาบและวงกลม มีองค์ประกอบของสายอากาศเท่ากับ 4 ต้น และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ d และกำหนดให้มีความห่างเท่ากับ $\lambda/2$ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 สมมติเป็นสายอากาศภาครับที่มีคลื่นเดินทางเข้ามาตกกระทบสายอากาศ และ θ คือมุมตกกระทบของสัญญาณที่เข้ามาตกกระทบสายอากาศแต่ละต้น D คือความต่างของระยะทางของสัญญาณที่เดินทางมาตกกระทบสายอากาศแต่ละต้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ $d \sin \theta$ จากรูปสัญญาณที่สายอากาศแต่ละต้นรับได้คือ

$$y_1 = w_1 A_d e^{-j(kd \sin \theta)(n-1)} = w_1 A_d \quad (3.1)$$

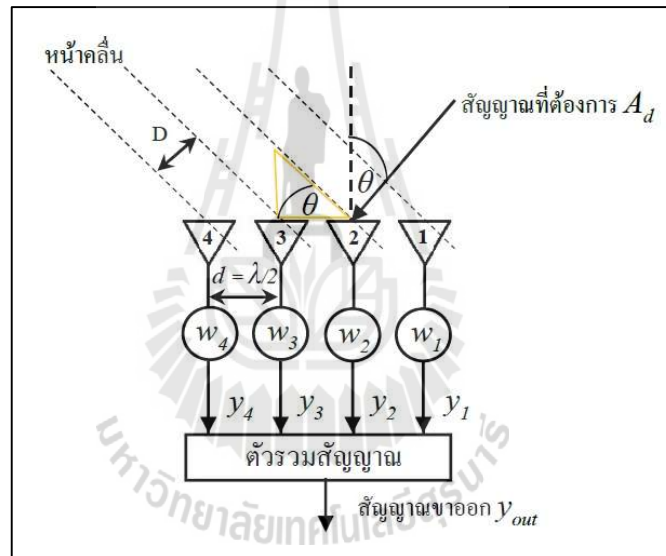
$$y_2 = w_2 A_d e^{-j(kd \sin \theta)(n-1)} = w_2 A_d e^{-j(kd \sin \theta)} \quad (3.2)$$

$$y_3 = w_3 A_d e^{-j(kd \sin \theta)(n-1)} = w_3 A_d e^{-j2(kd \sin \theta)} \quad (3.3)$$

$$y_4 = w_4 A_d e^{-j(kd \sin \theta)(n-1)} = w_4 A_d e^{-j3(kd \sin \theta)} \quad (3.4)$$

W_n คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักของสัญญาณและ A_d คือสัญญาณที่ต้องการที่เดินทางมาตกกระทบสายอากาศในมุม θ ดังนั้นสัญญาณขาออกหรือ y_{out} คือ

$$\begin{aligned} y_{out} &= y_1 + y_2 + y_3 + y_4 \\ &= w_1(A_d) + w_2(A_d e^{-j(kd \sin \theta)}) + w_3(A_d e^{-j2(kd \sin \theta)}) + w_4(A_d e^{-j3(kd \sin \theta)}) \end{aligned}$$



รูปที่ 3.7 ระบบการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับแบบเส้นจำนวน 4 ต้น

$$= A_d (w_1 + w_2 e^{-jkd \sin \theta} + w_3 e^{-j2(kd \sin \theta)} + w_4 e^{-j3(kd \sin \theta)}) \quad (3.5)$$

หลักการสำคัญของการก่อรูปลำคลื่นที่จะสามารถหันพู่หลักไปในทิศทางที่ต้องการได้ คือการปรับเฟสของสัญญาณที่รับเข้ามาด้วย W_n ที่เหมาะสม หรือในกรณีนี้เราต้องการปรับเฟสเพื่อให้ได้รับสัญญาณที่ต้องการสูงสุด ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก W_n คือ

$$w_1 = e^{j(0)} \quad (3.6)$$

$$w_2 = e^{j(kd \sin \theta)} \quad (3.7)$$

$$w_3 = e^{j2(kd \sin \theta)} \quad (3.8)$$

$$w_4 = e^{j3(kd \sin \theta)} \quad (3.9)$$

เมื่อแทนค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนักที่ได้จากสมการ (3.6) (3.7) (3.8) และ (3.9) ลงใน (3.5) เราจะได้สัญญาณขาออกที่ได้สัญญาณที่ต้องการสูงสุดดังนี้

$$y_{out} = A_d (e^{j(0)} + e^{-j(kd \sin \theta)} e^{j(kd \sin \theta)} + e^{-j2(kd \sin \theta)} e^{j2(kd \sin \theta)} + e^{-j3(kd \sin \theta)} e^{j3(kd \sin \theta)}) = 4A_d \quad (3.10)$$

สำหรับในงานวิจัยจะใช้ข้อมูลป้อนกลับของผู้ใช้ โดยภาคส่งจะส่งสัญญาณไปยังภาครับและภาครับจะทำการส่งข้อมูลตำแหน่งช่องสัญญาณกลับมา ทำให้ภาคส่งรู้ช่องสัญญาณแล้วทำการก่อรูปลำคลื่นและส่งข้อมูลไปยังภาครับ ในงานวิจัยได้ทำการสุ่มตำแหน่งของผู้ใช้ ซึ่งแทนได้ด้วยสมการดังนี้

$$\theta_u = \tan^{-1} \left(\frac{y_u}{x_u} \right) \quad (3.10)$$

เมื่อแทนสมการ (3.10) ลงในสมการค่าสัมประสิทธิ์การถ่วงน้ำหนัก w_n จะได้

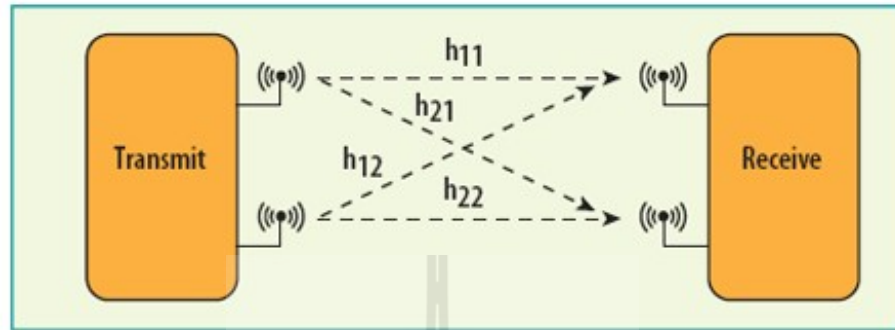
$$w_{n,u} = \sum_{n=1}^N e^{-j(n-1)(kd \sin \theta_u)} \quad u = 1, \dots, U \quad (3.11)$$

เมื่อ U คือจำนวนของผู้ใช้บริการที่ต้องการใช้ช่องสัญญาณ หากเขียนอยู่ในรูปเมทริกซ์จะได้ $N \times U$ ดังแสดงในสมการ (3.12) ซึ่ง N คือจำนวนสายอากาศแถวลำดับเชิงเส้น ส่วน U คือจำนวนลำคลื่นที่ต้องการก่อรูปเพื่อส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้

$$W = \begin{bmatrix} w_{(1,1)} & \dots & \dots & w_{(1,U)} \\ w_{(2,1)} & \dots & \dots & w_{(2,U)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{(N,1)} & \dots & \dots & w_{(N,U)} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

3.8 ความจุช่องสัญญาณของระบบที่นำเสนอในงานวิจัย

3.8.1 ช่องสัญญาณระบบไมโม



รูปที่ 3.8 แบบจำลองช่องสัญญาณไมโมแบบปกติ

จากรูปที่ 3.8 สามารถเขียนสมการของแบบจำลองช่องสัญญาณได้ดังนี้

$$y = Hx + n \quad (3.13)$$

เมื่อ x คือ ภาคส่ง
 y คือ ภาครับ
 H คือ เมทริกซ์ช่องสัญญาณ
 n คือ สัญญาณรบกวน

จากสมการ (3.13) สามารถแยกออกเป็นเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

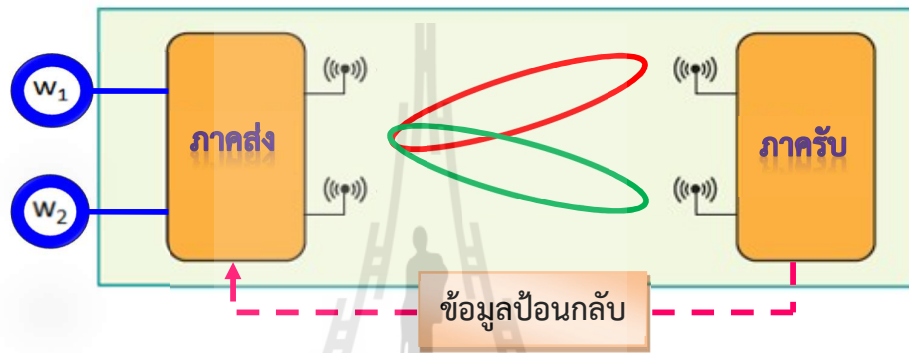
ในระบบไมโมจะเป็นการส่งข้อมูลไปยังภาคส่งโดยไม่สามารถรับรู้สถานะข้อมูลได้ ซึ่งจะมี ความจุช่องสัญญาณที่ใช้แสดงได้ดังนี้

$$C = B \log_2 \det \left[\mathbf{I} + \left(\frac{\rho}{Nt} \right) HH^* \right] \quad (3.15)$$

เมื่อ B คือ แบนด์วิดธ์

- \mathbf{I} คือ เมทริกซ์เอกลักษณ์ขนาด $N_r \times N_r$
 H คือ ช่องสัญญาณ ขนาด $N_r \times N_t$
 H^* คือ การทรานสโพสคอนจูเกตของเมทริกซ์ช่องสัญญาณ
 ρ คือ อัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน

3.82 ช่องสัญญาณระบบโมเด็มแบบหลายลำคลื่น



รูปที่ 3.9 แบบจำลองช่องสัญญาณโมเด็มแบบหลายลำคลื่น

จากรูป 3.9 สามารถแยกออกเป็นรูปสมการเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = [w_1 \quad w_2] \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

แบบจำลองความจุช่องสัญญาณของระบบโมเด็มแบบหลายลำคลื่น จะมีข้อมูลป้อนกลับจากภาครับมายังภาคส่ง และภาคส่งจะทำการถ่วงน้ำหนักเพื่อก่อรูปลำคลื่นไปยังทิศทางตำแหน่งของผู้ใช้ให้สามารถทำการรับส่งข้อมูลถึงกันได้ แสดงดังสมการ

$$C_{\text{MB}} = B \log_2 \det \left[\mathbf{I} + \left(\frac{\rho}{Nt} \right) (\mathbf{WH})(\mathbf{WH})^* \right] \quad (3.17)$$

- เมื่อ B คือแบนด์วิดธ์
 \mathbf{I} คือเมทริกซ์เอกลักษณ์มีขนาดเท่ากับ $N_r \times N_r$
 ρ คือ อัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน
 H คือเมทริกซ์ช่องสัญญาณ

W คือเมตริกซ์ชุดถ่วงน้ำหนัก

วิธีการเลือกลำคี่นที่เหมะสมสำหรับระบบโมโมแบบหลายลำคี่น จะเลือกจากการที่สัญญาณทางภาคส่งได้ทำการส่งสัญญาณไปยังภาครับ เมื่อภาครับได้รับสัญญาณที่ดีที่สุดตรงกับชุดลำคี่นนั้นก็จะทำการส่งข้อมูลป้อนกลับไปยังภาคส่ง แล้วภาคส่งก็จะส่งข้อมูลออกไปตามชุดลำคี่นนั้น โดยค่าพารามิเตอร์ที่เราจะใช้วัดในงานวิจัยนี้ คือค่าความจุช่องสัญญาณ (Capacity) จะเป็นตัวกำหนดจำนวนลำคี่นที่เหมะสม โดยดูได้จากเมื่อค่าสูงสุดของค่าความจุช่องสัญญาณ จะขึ้นอยู่กับจำนวนสายอากาศและจำนวนผู้ใช้บริการ สามารถเขียนเงื่อนไขได้ดังนี้

$$\text{Max } C = \{N, U\}$$

$$\text{ภายใต้เงื่อนไข } N = 2, 4 \text{ และ } 8$$

$$U = 2, 4, 6, 8 \text{ และ } 10$$

และการเลือกจำนวนลำคี่นจะได้จากค่าต่ำสุดของจำนวนลำคี่นที่มีค่า $C \geq C_{\text{Target}}$

3.9 สรุปท้ายบท

การออกแบบของระบบโมโมแบบหลายลำคี่น เพื่อหาจำนวนที่เหมะสมของลำคี่น โดยนำสายอากาศในระบบแอลทีอีทีใช้งานในภาคปฏิบัติมาร่วมใช้ในงานวิจัย และนำทฤษฎีการกระจายตัวมาร่วมใช้ประกอบการพิจารณา รวมถึงออกแบบการคิดค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อทำการก่อรูปลำคี่นและนำค่าของความจุช่องสัญญาณมาพิจารณาเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของระบบโดยออกแบบเพื่อจำลองผลเปรียบเทียบดูระบบโมโมแบบปกติกับระบบโมโมแบบหลายลำคี่น

บทที่ 4

การจำลองแบบในคอมพิวเตอร์และวิเคราะห์ผล

4.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการนำเสนอการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์เพื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพความจุของสัญญาณของระบบโมเดลหลายลำคลื่น เพื่อหาจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสม โดยที่มีการจำลองในหลายแบบ อาทิเช่น ผลการจำลองแบบจากการกระจายตัวของผู้ใช้ ผลการจำลองแบบของมุมที่ต่างกัน ผลการจำลองแบบจากรูปแบบการแพร่กระจาย ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนใช้ และผลการจำลองแบบจากการเปรียบเทียบค่าผิดพลาดของตำแหน่งผู้ใช้ ซึ่งผลที่ได้จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

4.2 ข้อตกลงในการจำลองผล

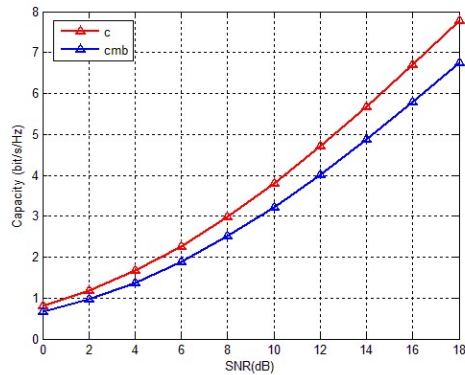
ในการจำลองจะใช้โปรแกรมแมทแลบในการจำลอง ใช้สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นทั้งภาคส่งและภาครับจำนวน 2 ต้น 4 ต้น และ 8 ต้น ระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $d = \lambda/2$ ความถี่ในย่าน 2.1 จิกะเฮิร์ตซ์ และทิศทางการเดินทางของคลื่นในแนวระดับสายตา (line of sight)

4.3 ผลการจำลองแบบจากการกระจายตัวของผู้ใช้

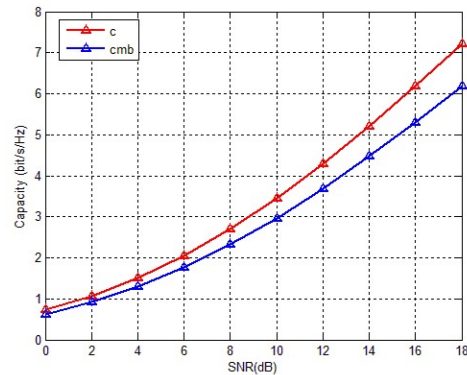
ในการจำลองได้ทำการจำลองผลโดยเลือกใช้รูปแบบการกระจายตัว 2 แบบ คือ Uniform Distribution ซึ่งเป็นรูปแบบการกระจายตัวรอบๆ สมมาตรกัน และ Gaussian Distribution เป็นรูปแบบการกระจายตัวที่มีสมดุคทั้งสองข้างคล้ายระฆังคว่ำ และได้ทำการเปรียบเทียบผลทั้งสองรูปแบบ และได้เลือกนำมาใช้พิจารณาในงานวิจัยนี้ ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.1

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	4 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคส่ง	2 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2 คน
รูปแบบที่ใช้ในการสุ่ม	Uniform/Gaussian Distribution
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง



(ก) การกระจายตัวแบบ Uniform



(ข) การกระจายตัวแบบ Gaussian

รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณของรูปแบบการกระจายแบบ Uniform Distribution และ Gaussian Distribution

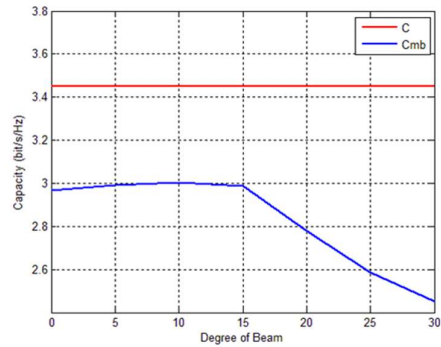
จากรูปที่ 4.1 แสดงผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณของรูปแบบการกระจายแบบ Uniform Distribution และ Gaussian Distribution โดยจำนวนผู้ใช้เท่ากัน และค่า SNR ที่เปลี่ยนแปลงเท่ากัน ดังในรูป 4.1(ก) และ (ข) พบว่ารูปแบบ Uniform Distribution มีประสิทธิภาพมากกว่ารูปแบบ Gaussian Distribution ดังนั้นในการจำลองผลในงานวิจัยนี้ ได้เลือกการกระจายตัวแบบ Uniform Distribution มาพิจารณาจำลองเพื่ออ้างอิง

4.4 ผลการจำลองแบบของมุมที่ต่างกัน

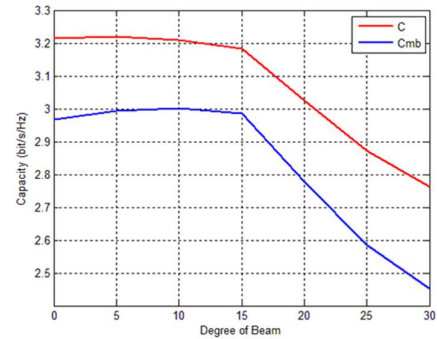
ในการออกแบบได้ทำการแบ่งมุมของลำคลื่นให้มีขนาดเท่ากันและไม่เท่ากันในส่วนของทิศทางลำคลื่น เพื่อหาขนาดและทิศทางที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการประกอบการพิจารณาความจุช่องสัญญาณ โดยเปลี่ยนแปลงทิศทางของลำคลื่นไปที่ละ 5 องศา จนถึง 30 องศา

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.2

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	4 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคส่ง	2 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2 คน
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง
การเปลี่ยนแปลงมุม	5-30 องศา



(ก) การกระจายตัวแบบ Uniform



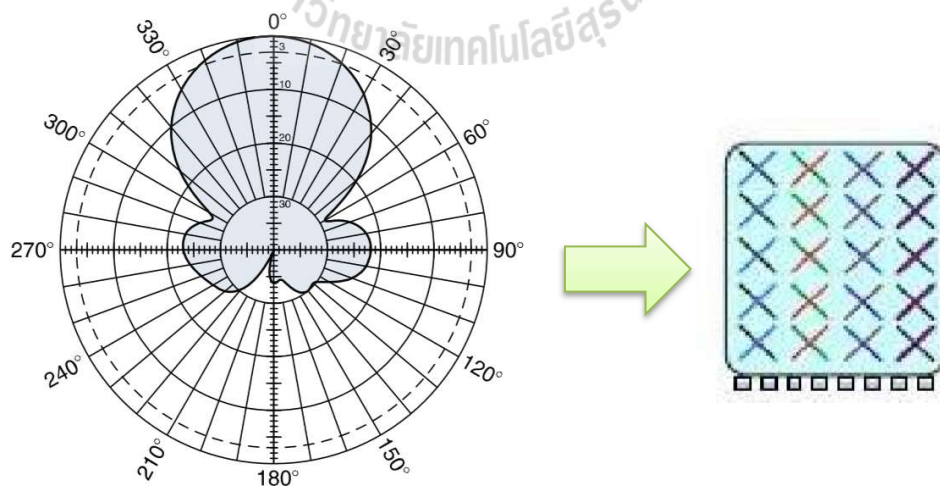
(ข) การกระจายตัวแบบ Gaussian

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางของลำคลื่น

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าผลของการจำลองนั้นเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งรูปแบบของการกระจายตัว (ก) และ (ข) เมื่อองศาเปลี่ยนแปลงที่ 15 องศาขึ้นไป จะมีค่าความจุช่องสัญญาณลดลง ซึ่งเป็นไปได้ว่าหากมีความเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 15 องศา ประสิทธิภาพของค่าความจุช่องสัญญาณจะยังไม่ส่งผลกระทบต่อระบบ

4.5 ผลการจำลองแบบจากรูปแบบการแพร่กระจาย

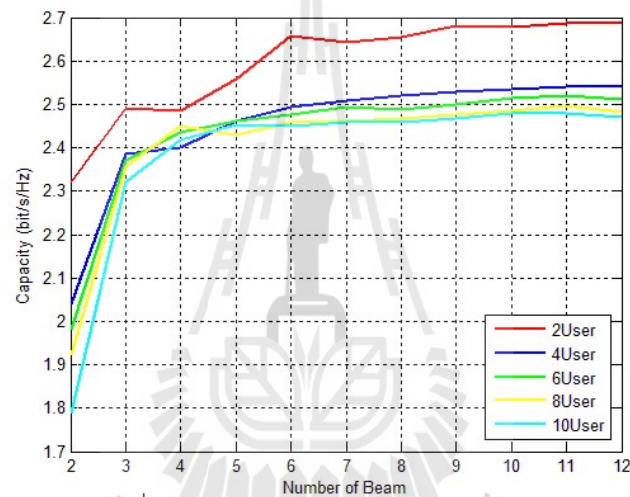
ในงานวิจัยได้นำรูปแบบการแพร่กระจายตัวของระบบแอลทีอีมาใช้ในการพิจารณา เพื่อใช้ในการอ้างอิงผลให้ใกล้เคียงกับการใช้งานในทางปฏิบัติมากที่สุด



รูปที่ 4.3 รูปแบบการแพร่กระจายของระบบแอลทีอี

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.4

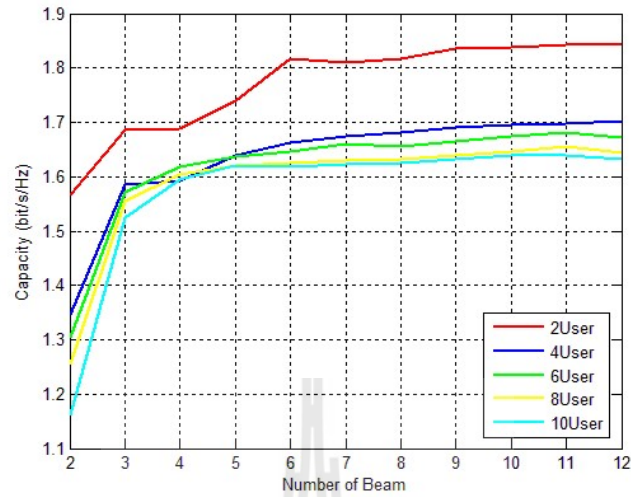
พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	4 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคส่ง	2 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2-10 คน
รูปแบบที่ใช้ในการสุ่ม	Uniform Distribution
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง



รูปที่ 4.4 ผลการจำลองของสายอากาศแบบ 4x2

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.5

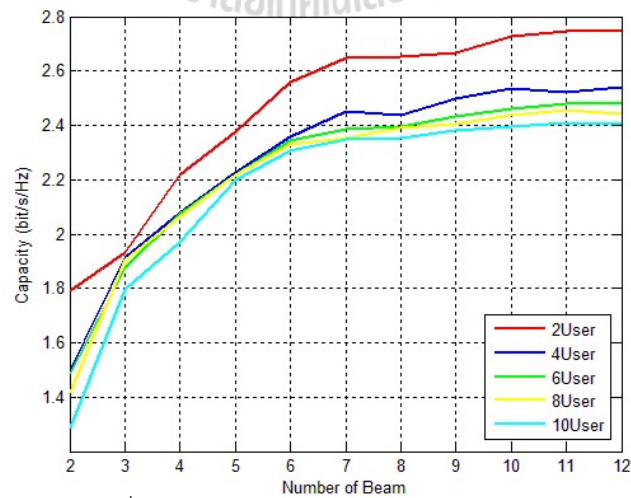
พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	4 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคส่ง	4 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2-10 คน
รูปแบบที่ใช้ในการสุ่ม	Uniform Distribution
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง



รูปที่ 4.5 ผลการจำลองของสายอากาศแบบ 4x4

ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.6

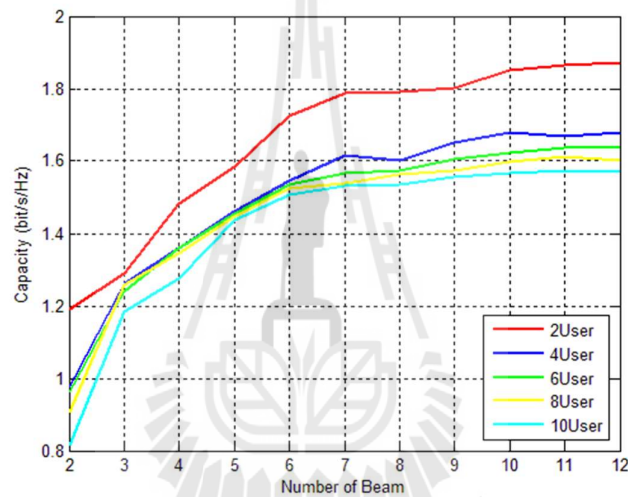
พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	8 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคส่ง	2 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2-10 คน
รูปแบบที่ใช้ในการสุ่ม	Uniform Distribution
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง



รูปที่ 4.6 ผลการจำลองของสายอากาศแบบ 8x2

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.7

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	8 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคส่ง	4 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2-10 คน
รูปแบบที่ใช้ในการสุ่ม	Uniform Distribution
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง

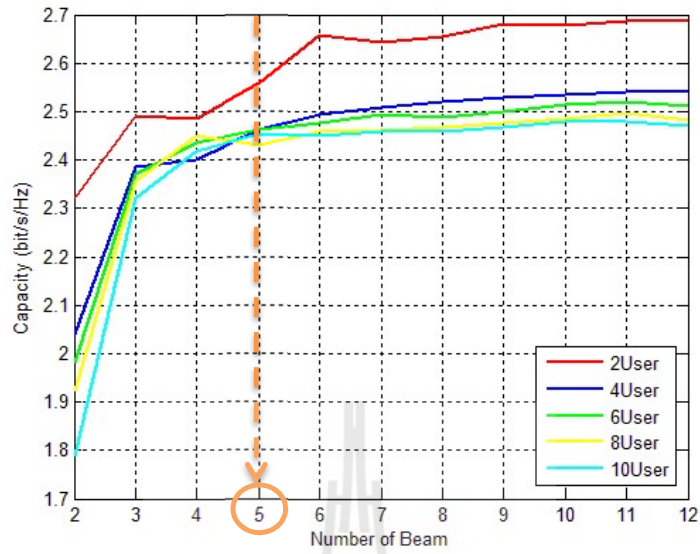


รูปที่ 4.7 ผลการจำลองของสายอากาศแบบ 8x4

จากรูปที่ 4.4 ถึง 4.7 จะเห็นได้ว่าผลเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนสายอากาศที่ใช้ รวมไปถึงจำนวนผู้ใช้งานด้วยเช่นกัน เมื่อจำนวนลำคลื่นเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพของความจุช่องสัญญาณก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่จะรู้ได้อย่างไรว่าลำคลื่นที่เหมาะสมจะอยู่ที่เท่าไร จึงได้ทำการคำนวณหาจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสม โดยนำค่าสูงสุดของความจุช่องสัญญาณจากผู้ใช้งาน มาแสดงดังสมการ

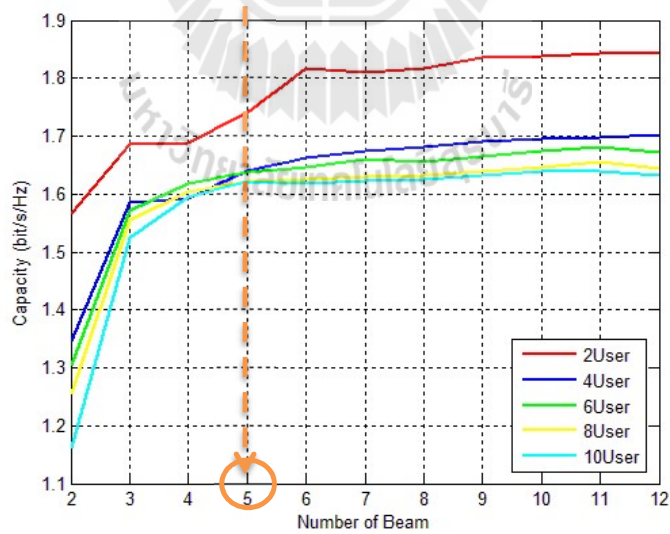
95 % ของค่าสูงสุด จุดที่เหมาะสม

ยกตัวอย่าง ดังในรูป 4.8 จุดสูงสุดของความจุช่องสัญญาณ คือ 2.68 บิตต่อวินาทีต่อเฮิรตซ์ เมื่อนำมาคำนวณหาค่า 95 % จะได้ค่าของจุดที่เหมาะสม คือ 2.55 บิตต่อวินาทีต่อเฮิรตซ์ จะเห็นว่าตรงกับจำนวน 5 ลำคลื่น ฉะนั้นจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานก็คือ 5 ลำคลื่น

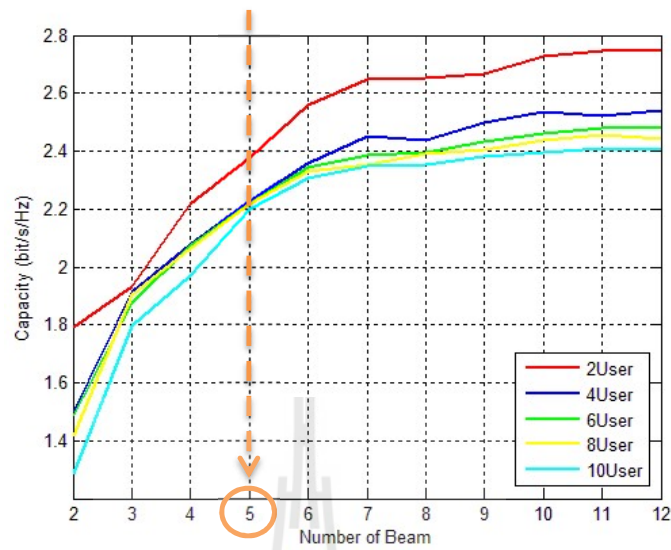


รูปที่ 4.8 จุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 4x2

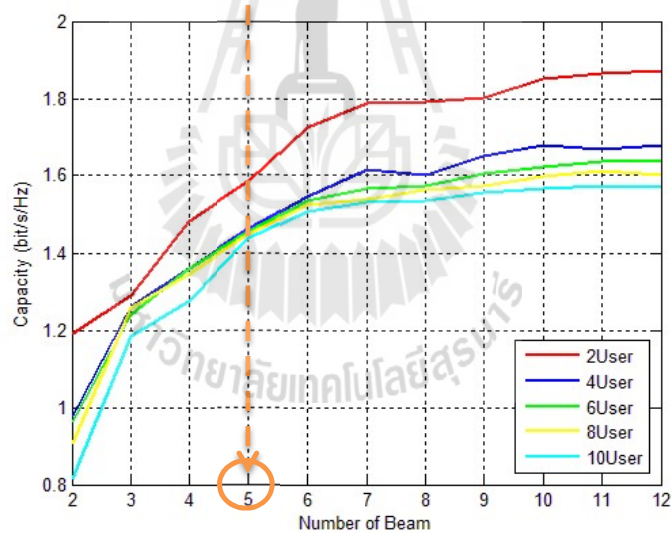
และในแบบอื่นๆ วิธีการคำนวณก็ใช้วิธีคิดเดียวกัน จะทำให้ได้จำนวนลำคลื่นที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.9 จุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 4x4



รูปที่ 4.10 จุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 8x2



รูปที่ 4.11 จุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 8x4

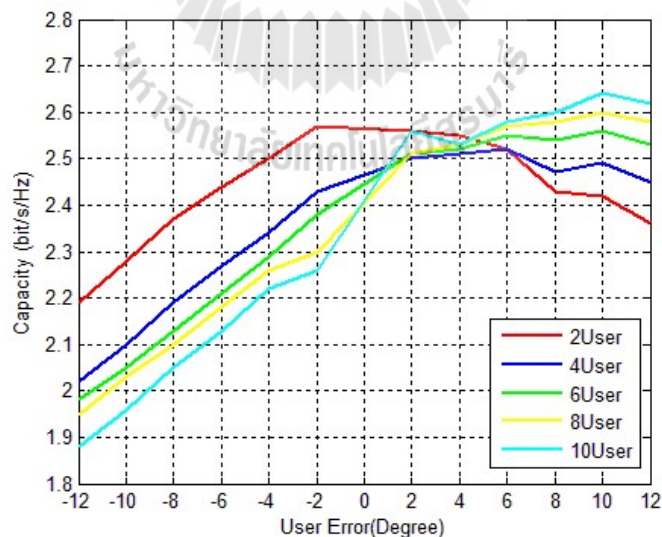
จากรูปที่ 4.8-4.11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการหาค่าดังสมการที่หาค่าความเหมาะสมนั้น จะได้จำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมอยู่ที่ 5 ลำคลื่น ถึงแม้ว่าหากจะใช้ที่มากกว่า 5 ลำคลื่นก็ได้แต่อาจจะส่งผลต่อการประมวลผลของระบบที่ล่าช้ากว่า แต่หากใช้น้อยกว่า 5 ลำคลื่นการที่จะรองรับจำนวนผู้ใช้งานก็จะลดลงตามไปด้วย ซึ่งจำนวนของสายอากาศต่างกันและความความจุของสัญญาณต่างกัน แต่ไม่ส่งผลต่อจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสม

4.6 ผลการจำลองแบบจากการเปรียบเทียบค่าผิดพลาดของตำแหน่งผู้ใช้

จากการทดลองที่แล้วจะเห็นว่าจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมคือ 5 ลำคลื่น แสดงว่าแต่ลำคลื่นมีความกว้างของลำคลื่นคือ 24 องศา เมื่อคิดขนาดของเซกเตอร์ เป็น 120 องศา เมื่อนำความผิดพลาดของตำแหน่งผู้ใช้มาประกอบ พารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงก็คืออัตราขยายของสายอากาศ ในงานวิจัยได้ทำการจำลองผลโดยนำค่าความผิดพลาดมีความคลาดเคลื่อนที่ละ 2 องศา จนไปถึงจุดที่คลาดเคลื่อนถึง 12 องศา จะแสดงให้เห็นผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.12

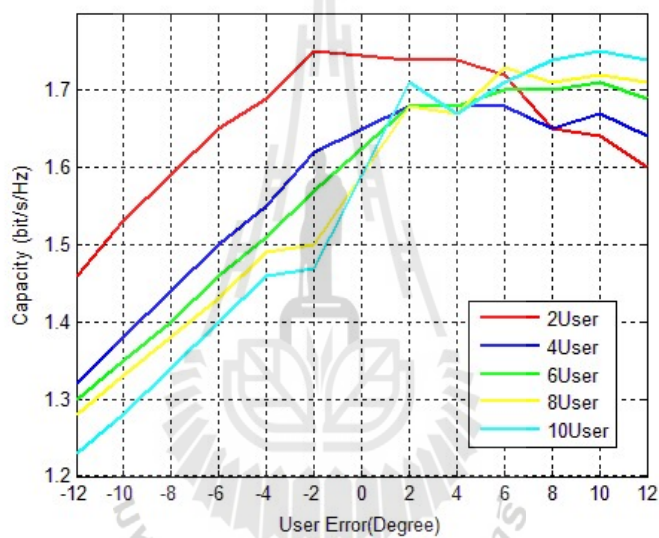
พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	4 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคส่ง	2 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2-10 คน
รูปแบบที่ใช้ในการสุ่ม	Uniform Distribution
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง
ตำแหน่งผิดพลาดของผู้ใช้	0-12 องศา



รูปที่ 4.12 ความจุช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด สายอากาศแบบ 4x2

ตารางที่ 4.8 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.13

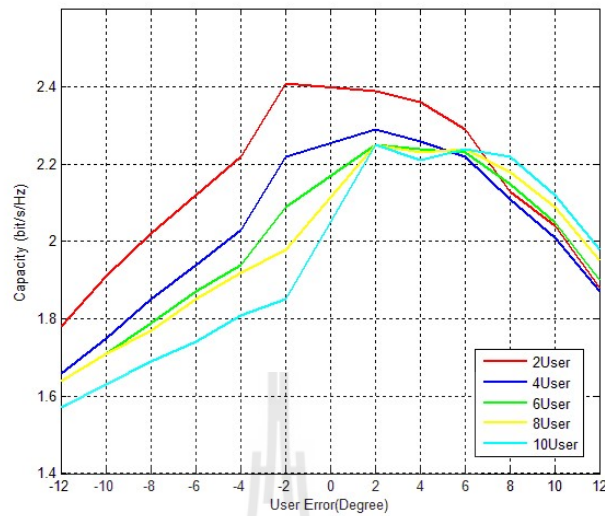
พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	4 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคส่ง	4 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2-10 คน
รูปแบบที่ใช้ในการสุ่ม	Uniform Distribution
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง
ตำแหน่งผิดพลาดของผู้ใช้	0-12 องศา



รูปที่ 4.13 ความจุช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด สายอากาศแบบ 4x4

ตารางที่ 4.9 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.14

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	8 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคส่ง	2 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2-10 คน
รูปแบบที่ใช้ในการสุ่ม	Uniform Distribution
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง
ตำแหน่งผิดพลาดของผู้ใช้	0-12 องศา

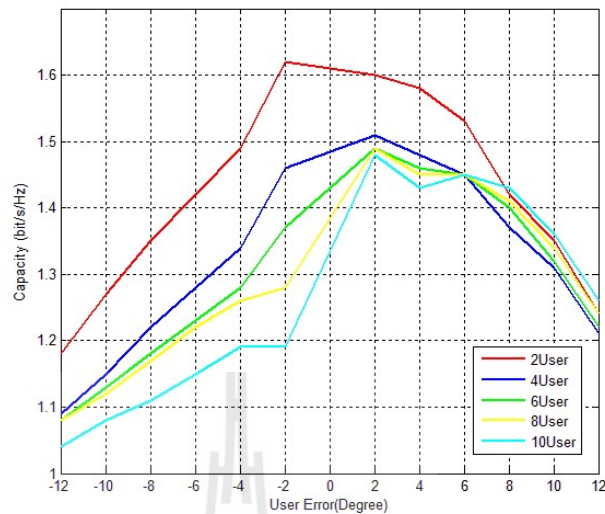


รูปที่ 4.14 ความจุช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด สายอากาศแบบ 8x2

ตารางที่ 4.10 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.15

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	8 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคส่ง	4 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2-10 คน
รูปแบบที่ใช้ในการสุ่ม	Uniform Distribution
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง
ตำแหน่งผิดพลาดของผู้ใช้	0-12 องศา

จากรูปที่ 4.12-4.15 เป็นการแสดงผลเพื่อให้เห็นค่าความจุช่องสัญญาณที่เกิดจากการผิดพลาดของตำแหน่งผู้ใช้บริการ จะเห็นว่าค่าความจุช่องสัญญาณสูงสุดจะอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา หากมีความคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง -2 ไปถึง -12 องศา ค่าความจุช่องสัญญาณจะลดลงเรื่อยๆ และหากผู้ใช้บริการสามารถจับค่าความแรงของสัญญาณของลำคลื่นอื่น ก็จะทำให้ผู้ใช้บริการรายนั้นหลุดออกจากลำคลื่นดังกล่าว และเช่นเดียวกับความคลาดเคลื่อนในตำแหน่ง +2 ไปถึง +12 ก็จะลดลงตามตำแหน่งที่ผิดพลาดไป



รูปที่ 4.15 ความจุช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด สายอากาศแบบ 8x4

4.7 สรุปท้ายบท

ในการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์นั้นใช้โปรแกรมแมทแลบในการจำลองผล มีการทดลองโดยเปลี่ยนจำนวนสายอากาศทั้งภาคส่งและภาครับ ซึ่งใช้สายอากาศแถวลำดับเนื่องจากไม่ซับซ้อน การจำลองผลได้เปรียบเทียบกับลักษณะการกระจายตัวแบบ Uniform Distribution และ Gaussian Distribution ในงานวิจัยได้เลือกการกระจายตัวแบบ Uniform มาใช้เป็นหลักและได้เห็นว่าการกราฟเป็นไปในทิศทางเดียวกันและง่ายต่อการใช้งาน จึงได้นำรูปแบบการแพร่กระจายในระบบแอลทีอีมาปรับใช้ให้เข้ากับงานวิจัยเพื่อหาจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสม ซึ่งจำนวนที่หาได้คือ 5 ลำคลื่น โดยคิดจาก 95 เปอร์เซ็นต์ของค่าสูงสุด และได้ทำการคำนวณตำแหน่งผิดพลาดของผู้ใช้งาน ค่าที่ได้ความจุช่องสัญญาณมากที่สุดจะอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา เมื่อคลาดเคลื่อนค่าความจุช่องสัญญาณจะลดลงตามตำแหน่งซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราขยายของจุดนั้น

บทที่ 5

สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหางานวิจัย

เทคโนโลยีแอลทีอี ได้ถูกพัฒนาให้มีความเร็วที่มากขึ้นกว่ายุค 3 จี โดยสามารถส่งผ่านข้อมูลและมัลติมีเดียสูงสุด 1 จิกะบิตต่อวินาที ทำให้การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการที่เพิ่มมากขึ้นและต้องการรับข้อมูลข่าวสารให้ทันทั่วทั้ง

สายอากาศเก่งแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ สายอากาศแบบปรับลำคลื่น กับสายอากาศแบบปรับตัวได้ ซึ่งสายอากาศทั้งสองแบบมีความแตกต่างกัน โดยสายอากาศแบบปรับลำคลื่นจะมีความซับซ้อนน้อยและสามารถรับส่งสัญญาณได้รวดเร็วแต่ยังมีข้อจำกัดของการลดจำนวนสัญญาณแทรกสอดและอาจมีความผิดพลาดในการเลือกสัญญาณเนื่องจากการถูกบดบังสัญญาณ ส่วนสายอากาศแบบปรับตัวได้ จะมีความซับซ้อนมากกว่าแต่จะได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าซึ่งจะสามารถหันลำคลื่นไปยังสัญญาณที่ต้องการและหันจุดศูนย์ (null) ไปยังสัญญาณที่แทรกสอด

ระบบโมโม่แบบหลายลำคลื่นถูกพัฒนามาจากระบบโมโม่แบบปกติ ซึ่งจะเป็นเทคนิคที่จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบให้ดีขึ้น ซึ่งจะเปลี่ยนจากการมองผ่านการวางตัวสายอากาศแถวลำดับ เป็นการมองผ่านการประมวลผลของมุมเป็นหลัก ซึ่งข้อมูลที่จะส่งไปยังผู้ให้บริการผ่านหลายลำคลื่นในเวลาเดียวกันจะทำให้มีความจุของสัญญาณเพิ่มมากขึ้น

ในการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมแมทแลบในการจำลองผล และมีการกำหนดจำนวนสายอากาศที่ใช้ในระบบทั้งภาคส่งและภาครับ ใช้เป็นระบบสายอากาศเชิงเส้นเนื่องจากมีความไม่ซับซ้อน องค์ประกอบของสายอากาศจะมี 2, 4, 8 องค์ประกอบที่เป็นสายอากาศแบบรอบทิศทาง อย่างไรก็ตามชนิดของสายอากาศมีผลต่อความกว้างลำคลื่นโดยรวม ในงานวิจัยนี้สายอากาศแต่ละต้นมีความห่างของสายอากาศ $d = \lambda / 2$ และใช้ย่านความถี่ 2.1 จิกะเฮิรตซ์ โดยจำลองผลเปรียบเทียบค่าความจุของสัญญาณของระบบโมโม่แบบปกติกับระบบโมโม่แบบหลายลำคลื่น จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมยังไม่มีบทความที่หาจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสม เพื่อนำมาใช้ในระบบแอลทีอี งานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบมาเพื่อดูประสิทธิภาพของระบบว่าถ้ามีจำนวนลำคลื่นน้อยเกินไปจะส่งผลให้การครอบคลุมพื้นที่และการรองรับจำนวนผู้ใช้บริการไม่เพียงพอ และหากจำนวนลำคลื่นมากเกินไปจะทำให้เวลาในการประมวลผลช้าลงเกิดการรบกวนกันของลำคลื่น และเมื่อได้ลำคลื่นที่เหมาะสมแล้วก็ได้จำลองผลว่ามีการปรับเปลี่ยนจำนวนสายอากาศจะส่งผลกระทบต่อค่า

ความจุช่องสัญญาณให้มีค่าน้อยลงหรือมากขึ้น รวมไปถึงการแบ่งมุมของลำคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางต่างๆ อีกทั้งยังจำลองผลโดยให้ตำแหน่งของผู้ใช้บริการเกิดความผิดพลาด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบมาเพื่อระบบแอลทีอี ซึ่งจะมีพารามิเตอร์ในระบบที่ยังแตกต่างจากระบบอื่น หากจะนำไปใช้ในระบบอื่นจะต้องมีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์เพื่อให้สอดคล้องกับระบบ เช่น ความถี่ของระบบนั้นๆ แบนวิดธ์ ฯลฯ

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

ระบบนี้ได้ทำการออกแบบจำลองจากสถานีฐานเพียง 1 สถานีเท่านั้น ในงานพัฒนาต่อยอดในอนาคตอาจจะจำลองกันระหว่างสถานีฐาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดกับระบบเครือข่ายไร้สายต่อไป



รายการอ้างอิง

- A. Gohil, H. Modi and S. K. Patel, **"5G technology of mobile communication: A survey,"** Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP), 2013 International Conference on, Gujarat, 2013, pp. 288-292.
- Tran Cao Quyen and Trinh Anh Vu, **"The application of a multibeam antenna for 4G,"** Advanced Technologies for Communications (ATC), 2012 International Conference on, Hanoi, 2012, pp. 227-230.
- P. Chen et al., **"A Multibeam Antenna Based on Substrate Integrated Waveguide Technology for MIMO Wireless Communications,"** in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 57, no. 6, pp. 1813-1821, June 2009.
- H. Seki and M. Tsutsui, **"Throughput Performance of Pre-coding MIMO Transmission with Multi-Beam Selection,"** 2007 IEEE International Conference on Communications, Glasgow, 2007, pp. 2785-2790.
- Shu Sun and T. S. Rappaport, **"Multi-beam antenna combining for 28 GHz cellular link improvement in urban environments,"** 2013 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Atlanta, GA, 2013, pp. 3754-3759.
- S. Sun, G. R. MacCartney, M. K. Samimi, S. Nie and T. S. Rappaport, **"Millimeter wave multi-beam antenna combining for 5G cellular link improvement in New York City,"** 2014 IEEE International Conference on Communications (ICC), Sydney, NSW, 2014, pp. 5468-5473.
- R. Imran, M. Shukair, N. Zorba, O. Kubbar and C. Verikoukis, **"A novel energy saving MIMO mechanism in LTE systems,"** 2013 IEEE International Conference on Communications (ICC), Budapest, 2013, pp. 2449-2453.
- Technical Specification 3GPP LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 10.3.0 Release 10)
- 4G Americas MIMO and Smart Antennas for Mobile Systems - July 2013

Ian Poole **LTE MIMO: Multiple Input Multiple Output Tutorial** แหล่งที่มาเข้าถึงได้จาก :

<http://www.radio-electronics.com/info/cellularcomms/lte-long-term-evolution/lte-mimo.php>

Gimme **4G LTE Technology** แหล่งที่มาเข้าถึงได้จาก : <http://droidsans.com/4g-thailand-future-present-frequencies>

Qichen Deng **Antenna Optimization in Long-Term Evolution Networks** Master of Science Thesis Stockholm, Sweden 2013

COBHAM **New multibeam antenna for Ultra-Fast MIMO** แหล่งที่มาเข้าถึงได้จาก :

<http://www.european-antennas.co.uk/news/2012/>



ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

K. Narongrit, P. Uthansakul and M. Uthansakul, "Performance analysis of MB-MIMO under 120 degree sector consideration for 5G communications," The 20th Asia-Pacific Conference on Communication (APCC2014), October 2014, Pattaya, Thailand.

