

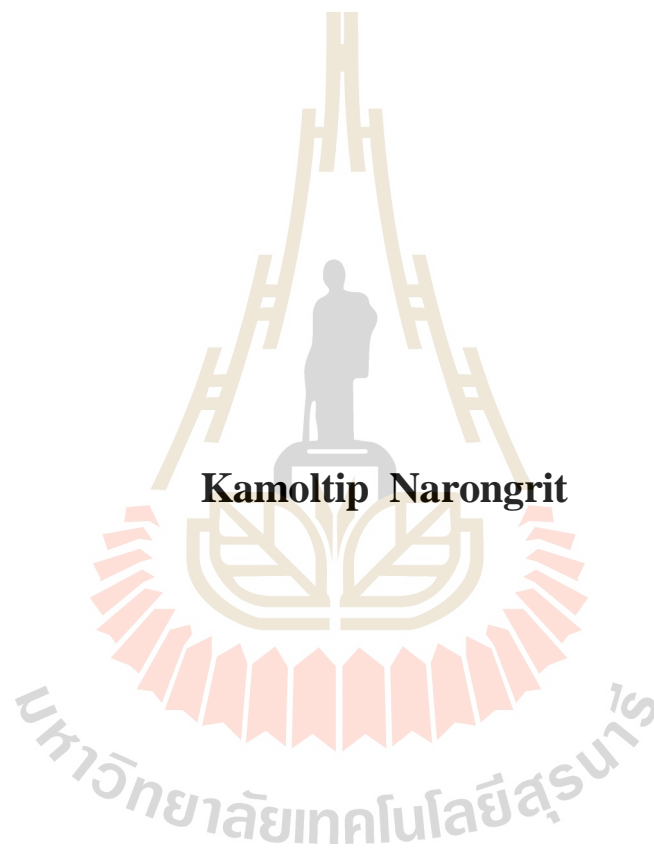
การออกแบบของระบบไมโครแบบหลายลำดับที่เหมาะสมสำหรับ
เทคโนโลยีแอลทีอี



นางสาวกมลทิพย์ ณรงค์ฤทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2558

**OPTIMAL DESIGN OF MULTIBEAM-MIMO SYSTEM
FOR LTE TECHNOLOGY**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Telecommunication Engineering**

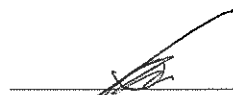
Suranaree University of Technology

Academic Year 2015

การออกแบบของระบบโมโนแบบหลายลำดับที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีแอลทีอี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร. วิภาวี หัตถกรรม)

ประธานกรรมการ



(รศ. ดร. พิระพงษ์ อุฑารสกุล)

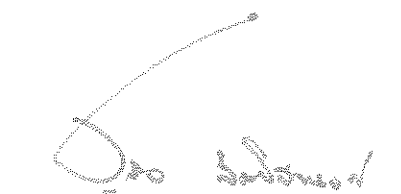
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผศ. ดร. ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ศ. ดร. ชุทธิง ลิ้มปิ๋จันงัก)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม



(รศ. ร.อ. ดร. กนต์จร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

กมลทิพย์ ณรงค์ฤทธิ์ : การออกแบบของระบบไมโมแบบหลายลำคลื่นที่เหมาะสมสำหรับ
เทคโนโลยีแอลทีอี (OPTIMAL DESIGN OF MULTIBEAM-MIMO SYSTEM FOR LTE
TECHNOLOGY) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฬารสกุล, หน้า 58

ในปัจจุบันการติดต่อสื่อสารด้วยเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นเรื่องที่สำคัญมาก โดยมีความต้องการทั้งในด้านของความเร็วในการรับส่งข้อมูลและจำนวนผู้ใช้บริการที่เพิ่มมากขึ้น วิศวกรรมการของระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่จึงมีการพัฒนาเพื่อรองรับให้เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน ดังนั้นเทคโนโลยีแอลทีอีกลายเป็นทางออกของความต้องการเหล่านี้ซึ่งต้องอาศัยการนำระบบไมโมมาเป็นส่วนหนึ่งในการรับส่งสัญญาณระหว่างผู้ส่งและผู้รับ โดยการประยุกต์ใช้ระบบไมโมนั้นมีหลายเทคนิคด้วยกันแต่เทคนิคที่สามารถนำมาใช้ในทางปฏิบัติได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากที่สุดคือระบบไมโมแบบหลายลำคลื่น งานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญต่อการพัฒนา งานในด้านระบบไมโมแบบหลายลำคลื่นสำหรับเทคโนโลยีแอลทีอี

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมพบว่ามีการศึกษาและนำระบบไมโมแบบหลายลำคลื่น มาใช้งานอยู่บ้าง โดยงานวิจัยส่วนใหญ่จะออกแบบมาเพื่อลดระดับพารามิเตอร์หรือพิจารณาผลกระทบ การสูญเสียของสัญญาณและการจางหายของสัญญาณ ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้จะออกแบบให้มีลำคลื่น รอบทิศทางทำให้สัญญาณอาจเกิดการกวนกันหรือซ้อนทับกัน แต่ในทางปฏิบัติทั้งคุณลักษณะของ สายอากาศและลักษณะทางกายภาพของสถานีฐานมีความแตกต่างจากข้อกำหนดในทางทฤษฎี ทำให้ยากต่อการออกแบบระบบไมโมหลายลำคลื่นที่นำมาใช้งานจริง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการ ออกแบบของระบบไมโมหลายลำคลื่นที่เหมาะสม โดยเน้นที่จำนวนลำคลื่น ขนาดความกว้างลำ คลื่นและทิศทางที่เหมาะสม เพื่อสามารถนำไปใช้ร่วมกับเทคโนโลยีแอลทีอีในทางปฏิบัติได้

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อนักศึกษา กมลทิพย์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา พีระพงษ์

KAMOLTIP NARONGRIT : OPTIMAL DESIGN OF MULTIBEAM-
MIMO SYSTEM FOR LTE TECHNOLOGY. THESIS ADVISOR : ASSOC.
PROF. PEERAPONG UTHANSAKUL, Ph.D., 58 PP.

MULTIBEAM MIMO/LTE TECHNOLOGY/ANTENNA/BEAMFORMING

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.


School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2015

Student's Signature



Advisor's Signature



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ และ อาจารย์เศรษฐวิทย์ ภูญาษา อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความรู้ด้านวิชาการและให้โอกาสในการศึกษา

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องบัณฑิตศึกษาทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ และขอบคุณ คุณวีรินทร์ อาจหาญ เลขานุการสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้คำปรึกษาและจัดการด้านเอกสารตลอดระยะเวลาการศึกษา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ให้การอบรมเลี้ยงดูและให้การสนับสนุนทางการศึกษาโดยเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดาและญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบันจนสำเร็จการศึกษาไปด้วยดี

กมลทิพย์ ณรงค์ฤทธิ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตของเรื่อง.....	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน.....	4
1.6.2 สถานที่ทำการวิจัย.....	4
1.6.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 ทฤษฎี หลักการ ปรัชญา แนวความคิดที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 กล่าวนำ.....	6
2.2 เทคโนโลยีแอลทีอี.....	6
2.3 สายอากาศแก่ง.....	7

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1	สายอากาศแบบปรับลำคลื่น..... 7
2.3.2	สายอากาศแบบปรับตัว..... 8
2.4	พื้นฐานของระบบโมโม..... 9
2.4.1	สายอากาศเดี่ยว (Single antenna)..... 9
2.4.2	การส่งความหลากหลาย (Transmit diversity)..... 10
2.4.3	การรวมเชิงพื้นที่แบบวงเปิด (Open loop spatial multiplexing)..... 10
2.4.4	การรวมเชิงพื้นที่แบบวงปิด (Close loop spatial multiplexing)..... 10
2.4.5	วงปิดที่มีการเข้ารหัสก่อน (Closed loop with pre-coding)..... 10
2.4.6	โมโมแบบหลายผู้ใช้ (Multi-User MIMO, MU-MIMO)..... 10
2.4.7	การก่อรูปลำคลื่น (Beam-forming)..... 10
2.5	หลักการทํางานของระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น (Multibeam MIMO)..... 11
2.6	ระบบโมโมในเทคโนโลยีแอลทีอี..... 12
2.7	รูปแบบการแพร่กระจายของระบบแอลทีอี..... 15
2.8	ปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง..... 17
2.9	สรุปท้ายบท..... 20
3	การออกแบบของระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีแอลทีอี..... 21
3.1	กล่าวนำ..... 21
3.2	การแบ่งเซลล์ของสถานีฐาน..... 22
3.3	สายอากาศของระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น..... 22
3.4	จำนวนลำคลื่น..... 24
3.5	การแบ่งลำคลื่นภายในเซลล์..... 23
3.6	การกระจายตัวของผู้ใช้..... 24
3.7	การออกแบบชุดถ่วงน้ำหนัก (weight)..... 25
3.8	ความจุช่องสัญญาณของระบบที่นำเสนอในงานวิจัย..... 29
3.9	สรุปท้ายบท..... 32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4	การจำลองแบบในคอมพิวเตอร์และวิเคราะห์ผล.....	33
4.1	กล่าวนำ.....	33
4.2	ข้อตกลงในการจำลองผล.....	33
4.3	ผลการจำลองแบบเมื่อยังไม่เกิดความคลาดเคลื่อน.....	33
4.4	ผลการจำลองแบบของมุมที่ต่างกัน.....	34
4.5	ผลการจำลองแบบจากรูปแบบการแพร่กระจาย.....	35
4.6	ผลการจำลองแบบจากการเปรียบเทียบค่าผิดพลาดของตำแหน่งผู้ใช้.....	41
4.7	สรุปท้ายบท.....	45
5	สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	47
5.1	สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์.....	47
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	48
5.3	แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	48
	รายการอ้างอิง.....	49
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	51
	ประวัติผู้เขียน.....	58

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงตัวอย่างโทรศัพท์มือถือที่รองรับระบบ 4G.....	2
2.1	โหมมการรับส่งข้อมูลของเทคโนโลยีแอลทีอี.....	14
2.2	สรุปการเลือกสายอากาศแบบโซลาร์เซลล์.....	16
2.3	กำหนดความถี่สำหรับรูปแบบช่องสัญญาณของ E-UTRA.....	16
2.4	แสดงค่ารูปแบบความถี่จากการเดินเท้า.....	16
2.5	แสดงค่ารูปแบบความถี่จากการใช้ยานพาหนะ.....	16
2.6	แสดงค่ารูปแบบความถี่จากการทดสอบในเมือง.....	16
2.7	แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้งานของ R. Imran, M. Shukair, (2013).....	19
4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.1.....	33
4.2	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.2.....	35
4.3	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.4.....	36
4.4	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.5.....	37
4.5	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.6.....	37
4.6	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.7.....	38
4.7	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.12.....	42
4.8	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.13.....	42
4.9	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.14.....	43
4.10	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปแบบที่ 4.15.....	44

สารบัญญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ 4 จี แอลทีอีขั้นสูง.....	3
2.1	แบบจำลองสายอากาศแบบปรับลำคลื่น.....	8
2.2	แบบจำลองสายอากาศแบบปรับตัว.....	8
2.3	รูปแบบการส่งสัญญาณในระบบ โมโม.....	9
2.4	เปรียบเทียบระบบ โมโมปกติกับระบบ โมโมแบบหลายลำคลื่น.....	11
2.5	การประยุกต์ใช้สายอากาศแบบแอคทีฟ.....	13
2.6	แสดงการออกแบบสายอากาศของ Peng Chen; Wei Hong; (2009).....	17
2.7	แสดงการออกแบบสายอากาศของ Seki, H.; Tsutsui, M., (2007).....	17
2.8	แสดงวิธีการส่งบล็อกไปยังแต่ละลำคลื่น.....	18
2.9	แสดงการพล็อตแบบโพลของพลังงานที่ได้รับแบบ NLOS.....	18
2.10	แสดงการพล็อตแบบโพลของพลังงานที่ได้รับที่ความถี่ 73 จิกะเฮิรตซ์.....	19
2.11	แสดงค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบ.....	20
3.1	แบบจำลองการแบ่งเขตเตอร์ของสถานีฐาน.....	22
3.2	ลักษณะทางกายภาพของสายอากาศ โมโมแบบหลายลำคลื่น.....	23
3.3	จำลองแบบจำนวนลำคลื่น.....	23
3.4	จำลองแบบการแบ่งลำคลื่นภายในเขตเตอร์.....	24
3.5	แบบจำลองการกระจายตัวของผู้ใช้บริการ.....	25
3.6	ระบบสายอากาศแก่ง.....	26
3.7	ระบบการก่อรูปลำคลื่นด้วยตัวเองเมื่อใช้สายอากาศแถวลำดับแบบเส้นจำนวน 4 ต้น.....	27
3.8	แบบจำลองช่องสัญญาณ โมโมแบบปกติ.....	29
3.9	แบบจำลองช่องสัญญาณ โมโมแบบหลายลำคลื่น.....	30
4.1	เปรียบเทียบประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณของรูปแบบการกระจายแบบ Uniform Distribution และ Gaussian Distribution.....	34
4.2	เปรียบเทียบประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางของลำคลื่น.....	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3	แสดงรูปแบบการแพร่กระจายของระบบแอลทีอี.....36
4.4	ผลการจำลองของสายอากาศแบบ 4x2.....36
4.5	ผลการจำลองของสายอากาศแบบ 4x4.....37
4.6	ผลการจำลองของสายอากาศแบบ 8x2.....38
4.7	ผลการจำลองของสายอากาศแบบ 8x4.....38
4.8	แสดงจุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 4x2.....39
4.9	แสดงจุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 4x4.....40
4.10	แสดงจุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 8x2.....40
4.11	แสดงจุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 8x4.....41
4.12	แสดงความจู่ช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด สายอากาศแบบ 4x2.....42
4.13	แสดงความจู่ช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด สายอากาศแบบ 4x4.....43
4.14	แสดงความจู่ช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด สายอากาศแบบ 8x2.....44
4.15	แสดงความจู่ช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด สายอากาศแบบ 8x4.....45

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

1G	=	First Generation
2G	=	Second Generation
3G	=	Third Generation
4G	=	Fourth Generation
5G	=	Fifth Generation
SMS	=	Short Message Service
GPRS	=	General Packet Radio Services
ITU	=	สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union)
IMT-2000	=	International Mobile Telecommunications 2000
UMTS	=	Universal Mobile Telecommunications System
3GPP	=	The 3rd Generation Partnership Project
WCDMA	=	Wideband Code Division Multiple Access
HSDPA	=	High-Speed Downlink Packet Access
LTE	=	Long Term Evolution
LTE-Advanced	=	Long Term Evolution Advanced
CA	=	Carrier Aggregation
UMB	=	Ultra Mobile Broadband
CDMA2000	=	Code Division Multiple Access 2000
Wimax	=	Worldwide Interoperability for Microwave Access
IEEE	=	Institute of Electrical and Electronics Engineers
Wi-Fi	=	wireless fidelity
MIMO	=	Multiple Input Multiple Output
SISO	=	Single Input Single Output
SIMO	=	Single Input Multiple Output
MB-MIMO	=	Multibeam MIMO

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

OFDMA	=	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
DL/UL	=	Down link/ Up link
SC-FDMA	=	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
TDD	=	Time Division Duplexing
FDD	=	Frequency Division Duplexing
CoMP	=	Coordinated Multipoint
feICIC	=	further enhanced Inter-cell Interference coordination
AAS	=	Active Antenna Systems
FD-MIMO	=	Full Dimension MIMO
V-BF	=	vertical beamforming
SINR	=	Signal to Interference plus Noise Ratio
SU-MIMO	=	Single User MIMO
MU-MIMO	=	Multi User MIMO
MRC	=	Maximum Ratio Combining
IRC	=	Interference rejection combining
NLOS	=	Non Line of Sight
E-UTRA	=	Evolved UMTS Terrestrial Radio Access
UE	=	User equipment
AF	=	ตัวประกอบแถวลำดับ (Array Factor)
S	=	ความต่างเฟสของสายอากาศแต่ละต้น
k	=	หมายเลขคลื่น (wave number) มีค่าเท่ากับ $2\pi / \lambda$
f	=	ความถี่
λ	=	ความยาวคลื่น
SNR	=	Signal to Noise Ratio

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) และยังมีพัฒนาให้มีการรองรับการสื่อสารข้อมูลที่มีอัตราเร็วสูงขึ้น 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 มาใช้เป็นที่มาของมาตรฐานในเทคโนโลยี 3 จี โดยพัฒนามาบนพื้นฐานของมาตรฐาน IMT-2000 (International Mobile Telecommunications – 2000) มีดังนี้

1. สามารถรองรับบริการต่างๆ ได้แก่ การสื่อสารด้วยเสียง การรับส่งข้อมูล การเข้าถึงอินเทอร์เน็ตและมัลติมีเดีย จะต้องสามารถถ่ายโอนส่งต่อข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่นๆ ที่เชื่อมต่อกันได้
2. โคร่งข่ายข้ามแดน (Global Roaming) สามารถนำอุปกรณ์ไปใช้ได้ทั่วโลก
3. ความต่อเนื่องการสื่อสาร (Seamless Delivery Service) คือสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง ถึงแม้มีการเคลื่อนที่แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงของสถานีรับส่งสัญญาณ
4. อัตราความเร็วการรับส่งข้อมูล (Transmission Rate) การถ่ายโอนข้อมูลต่ำสุด 2 เมกะบิตต่อวินาที สำหรับผู้ใช้ที่อยู่กับที่หรือในขณะที่เดิน 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 ขณะที่ผู้ใช้อยู่กับที่ และความเร็วอย่างน้อย 100 เมกะบิตต่อวินาที ขณะที่ผู้ใช้เคลื่อนที่ และในปัจจุบันระบบ 4 จี แอลทีอี ได้มีการติดตั้งแล้วในประเทศไทย ซึ่งมีผู้ให้บริการ 4 จี หลากหลายเครือข่ายที่นำเทคโนโลยีนี้มาทำการให้บริการแก่ผู้ใช้ มีการพัฒนาคลื่นเพื่อให้สามารถรองรับ 4 จี แอลทีอี ได้ถูกออกแบบมาให้มีความหลากหลายตามข้อจำกัดของแต่ละประเทศ ซึ่งโทรศัพท์มือถือที่ถูกผลิตออกมาแต่ละรุ่น ต้องสามารถรองรับการใช้งาน 4 จี ของแต่ละประเทศด้วย

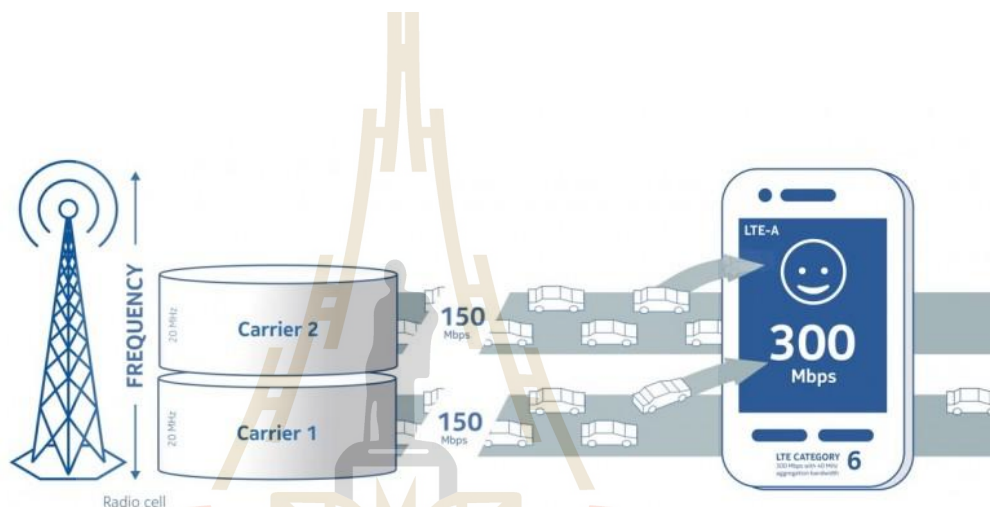
ตารางที่ 1.1 แสดงตัวอย่างโทรศัพท์มือถือที่รองรับระบบ 4 จี

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

* การรองรับอาจแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ

** 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)

จะเห็นว่าตารางด้านบนจะเป็นย่านของคลื่นความถี่ที่ให้บริการของโทรศัพท์มือถือแตกต่างกันไปในประเทศไทยคลื่นที่ให้บริการ 4 จี แอลทีอี จะมีย่านความถี่ 900, 1800 และ 2100



Nokia LTE-Advanced networks enabled all three Korean operators to launch the world's first 225 Mbps service on smartphones in June 2014
 Nokia introduced network software for 300 Mbps Carrier Aggregation in commercial networks in early 2014

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีแอลทีอี

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

1.3.1 ระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น 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 ต้องสามารถที่จะหาผลิตภัณฑ์ได้ในท้องตลาดทั่วไป

1.5.2 รูปแบบการแพร่กระจาย (Propagation model) ใช้ของระบบแอลทีอีเท่านั้น

1.5.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบจะใช้ความจุช่องสัญญาณเป็นหลัก

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน

1. สืบค้นปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาระบบสายอากาศของระบบโมโมปกติและระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น
3. ศึกษาเกี่ยวกับมาตรฐานของระบบ LTE
4. ศึกษาการเขียนโปรแกรมจำลองผลโดยใช้ MATLAB
5. จำลองแบบในคอมพิวเตอร์โดยหาค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น
6. วิเคราะห์ผล โดยเปรียบเทียบกับงานที่ได้สืบค้นปริทัศน์วรรณกรรม

1.6.2 สถานที่ทำการวิจัย

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

1.6.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. โปรแกรมแมทแลบ (MATLAB)

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ในการออกแบบระบบโมโม่แบบหลายลำคลื่น
- 1.7.2 สามารถออกแบบระบบโมโม่แบบหลายลำคลื่นที่เหมาะสม
- 1.7.3 สามารถนำระบบโมโม่แบบหลายลำคลื่นไปใช้ในเทคโนโลยีแอลทีอี



บทที่ 2

ทฤษฎี หลักการ และปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี หลักการ และปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ซึ่งแบ่งเป็นทั้งหมด 9 ส่วน ส่วนแรกคือการกล่าวนำเข้าสู่เนื้อหา ส่วนที่สองจะเป็นเรื่องของเทคโนโลยีแอลทีอี ซึ่งเข้ามามีบทบาทในการสื่อสารยุคที่สี่ ในส่วนที่สามจะกล่าวถึงระบบสายอากาศแ่งโดยจะกล่าวถึงสายอากาศแบบปรับค่าคลื่นและสายอากาศแบบปรับตัวที่จะนำมาใช้ในระบบโมโม ในส่วนที่สี่จะกล่าวถึงพื้นฐานของระบบโมโม และส่วนที่ห้าจะเกี่ยวกับระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น ส่วนที่หก ส่วนที่เจ็ดจะกล่าวถึงรูปแบบการแพร่กระจายตัว ส่วนที่แปดจะกล่าวถึงปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ในส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงการสรุปท้ายบท

2.2 เทคโนโลยีแอลทีอี

เทคโนโลยีแอลทีอี เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกนำมาทดลองใช้ในยุค 4 จี โดยเกิดจากความร่วมมือของ 3 GPP (3rd Generation Partnership Project) ที่มีการพัฒนาให้แอลทีอีมีความเร็วมากกว่ายุค 3 จี ถึง 10 เท่า โดยมีความสามารถในการส่งถ่ายข้อมูลและมัลติมีเดียสตรีมมิ่งที่มีความเร็วอย่างน้อย 100 เมกะบิตต่อวินาที และมีความเร็วสูงสุดถึง 1 จิกะบิตต่อวินาที นอกจากเทคโนโลยีแอลทีอี 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) ซึ่งเป็นมาตรฐานเดียวกับไวไฟ (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 บังกลาเทศ เป็นต้น

ซึ่งในยุค 4 จี นี้ถือว่าเป็นยุคที่ถูกพัฒนาก้าวมาอีกขั้นโดยมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลมากกว่ายุค 3 จี ที่ช่วยตอบสนองการใช้งานผ่านอินเทอร์เน็ตไร้สายให้ดีขึ้น ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้รวดเร็วกว่าเดิม และสามารถใส่โปรแกรมมัลติมีเดียได้อย่างเต็มที่ เช่น การสนทนาผ่านโปรแกรมการประชุมทางไกลผ่านระบบวิดีโอ ในระดับความคมชัดสูง, ดาวน์โหลดหนัง ฟังเพลง โดยไม่สะดุด และยังสามารถอัปโหลด - ดาวน์โหลดข้อมูลที่มีขนาดไฟล์ใหญ่ๆ ซึ่งใช้เวลาเพียงไม่นาน ซึ่งในเทคโนโลยีแอลทีอีได้นำระบบโมโมเข้ามาใช้แม้ว่าโมโมจะมีความซับซ้อนแต่ในแง่ของการประมวลผลและจำนวนของสายอากาศที่ต้องการจะช่วยให้สามารถปรับปรุงการรับส่งข้อมูลระยะไกลและประสิทธิภาพของสเปคตรัมดีขึ้นด้วย เป็นผลให้ระบบโมโมได้เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีแอลทีอี

2.3 สายอากาศเก่ง (Smart Antenna)

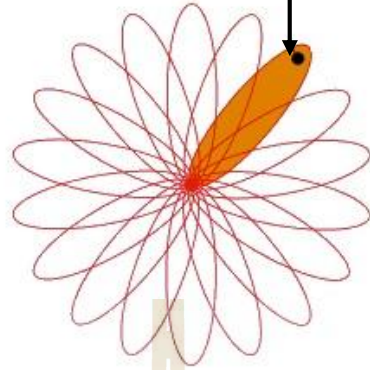
สายอากาศเก่งประกอบด้วยสายอากาศหลายๆ ต้น จัดเรียงตัวกันในรูปแบบต่างๆ เป็นแถว ลำดับจึงสามารถหันพู่คลื่นหลักไปยังทิศทางที่ต้องการและลดสัญญาณแทรกสอด ซึ่งมีระบบประมวลผลที่จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบสื่อสารไร้สายมีค่าเพิ่มขึ้น เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดของช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัด ขณะที่จำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มมากขึ้น สายอากาศเก่งยังช่วยเพิ่มความจุช่องสัญญาณและประสิทธิภาพในการจัดการสเปคตรัม อีกทั้งยังขยายขอบเขตการครอบคลุมให้สามารถส่งข้อมูลได้อย่างทั่วถึง สายอากาศเก่งแบ่งออกได้ดังนี้

2.3.1 สายอากาศแบบปรับลำคลื่น (Switched Beam)

สายอากาศแบบปรับลำคลื่นสามารถระบุทิศทางแบบเจาะจง (Directional Antenna) จะมีลักษณะลำคลื่นที่แคบและชี้ไปยังทิศทางที่ต้องการ ซึ่งสายอากาศแบบปรับตัวเป็นการนำสายอากาศชนิดระบุทิศทางมาจัดเรียงกันในรูปแบบแถวลำดับต่างๆ และระบบจะเลือกลำคลื่นเพื่อใช้ในการรับและส่งสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

การทำงานของสายอากาศแบบปรับลำคลื่นคือจะทำการตรวจหาทิศทางความแรงของสัญญาณ จากนั้นทำการเลือกลำคลื่นเพียงหนึ่งลำคลื่นเพื่อทำการก่อรูปลำคลื่นไปยังทิศทางของผู้ใช้บริการ เมื่อผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่ไปยังส่วนอื่นก็จะทำการเปลี่ยนย้ายไปยังลำคลื่นใหม่ สายอากาศแบบปรับตัวนี้มีความซับซ้อนน้อยและสามารถรับส่งสัญญาณได้รวดเร็วตามอัตราการเปลี่ยนลำคลื่น แต่การลดจำนวนสัญญาณแทรกสอดยังมีข้อจำกัด รวมไปถึงความไม่ชัดเจนของสัญญาณ การถูกบดบังสัญญาณและสัญญาณแทรกสอดอาจมีความผิดพลาดในการเลือกสัญญาณได้

สัญญาณที่ต้องการ



สัญญาณที่ต้องการ

สัญญาณแทรกสอด

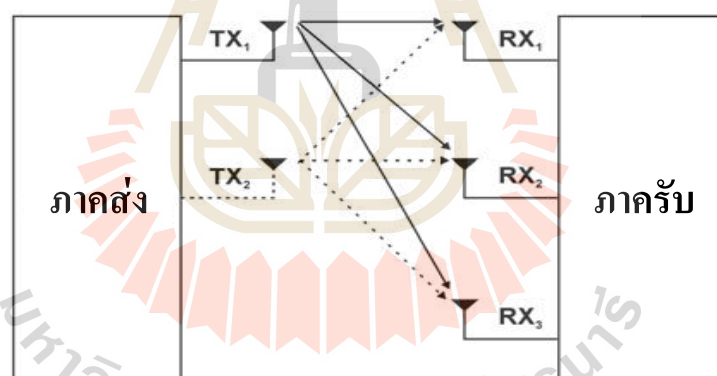


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

งานวิจัยได้นำสายอากาศเก่งมาใช้ในระบบไมโม (Multiple Input Multiple Output) ซึ่งเป็นระบบที่ถูกพิจารณาให้บรรจุอยู่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 สามารถรองรับการส่งถ่ายข้อมูลที่ความเร็วสูงถึง 100 เมกะบิตต่อวินาที ด้วยคุณสมบัติของไมโมจะช่วยปรับปรุงความสามารถของระบบเครือข่ายที่มีอยู่ตามมาตรฐาน รวมไปถึงระบบไมโมแบบหลายลำคลื่น (Multibeam MIMO) ที่ได้นำมาออกแบบเพื่อพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการส่งผ่านข้อมูลเพิ่มมากขึ้น รวดเร็วและถูกต้อง ตามความต้องการของผู้ใช้บริการ

2.4 พื้นฐานของระบบไมโม

แนวคิดพื้นฐานของระบบไมโมจะใช้การแพร่กระจายสัญญาณแบบหลายทิศทางหรือเรียกว่า multipath ซึ่งจะมีอยู่ในการสื่อสารภาคพื้นดินและนำสัญญาณรบกวนที่เกิดจากเส้นทางเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ โดยเครื่องส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณจะมีมากกว่าหนึ่งสายอากาศและการใช้พลังงานในการประมวลผลทั้งสองด้านของการเชื่อมโยงสามารถใช้เส้นทางที่แตกต่างกันระหว่างสองฝั่งนั้นสามารถปรับปรุงอัตราการส่งข้อมูลของสัญญาณเสียง



รูปที่ 2.3 รูปแบบการส่งสัญญาณในระบบไมโม

ไมโมได้ถูกนำมาใช้มากขึ้นในเทคโนโลยีที่ต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้นของระบบโทรศัพท์มือถือแบบไร้สาย ซึ่งการดำเนินการของระบบไมโมในเทคโนโลยีแอลทีอีจะแตกต่างกันไปตามอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานของช่องสัญญาณและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการเชื่อมโยงดังนี้

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)

รูปแบบการสตรีมข้อมูลจะใช้แบบเดียวกันกับการส่งข้อมูลแบบหลายสายอากาศ ซึ่งเทคโนโลยีแอลทีอีจะสนับสนุนสายอากาศจำนวน 2 และ 4 ต้นของเทคนิคนี้ ซึ่งข้อมูลที่เป็นรหัสที่แตกต่างกันจะใช้รหัสที่ถูกบล็อกพื้นที่ความถี่ โหมดนี้จะให้การปรับปรุงในคุณภาพของสัญญาณที่รับแต่ไม่ได้ปรับปรุงอัตราการส่งข้อมูล ดังนั้นรูปแบบของโมโมนี่จะใช้ช่องสัญญาณทั่วไป เช่นเดียวกับช่องการควบคุมและการออกอากาศ

2.4.3 การรวมเชิงพื้นที่แบบวงเปิด (Open Loop Spatial Multiplexing)

รูปแบบของโมโมนี่ใช้ภายในระบบแอลทีอีเกี่ยวข้องกับการส่งข้อมูลแบบสองสาย ซึ่งสามารถส่งผ่านสองสายอากาศหรือมากกว่านั้น แต่ระบบตอบรับจากอุปกรณ์ผู้ใช้จะไม่มีการส่งอันดับดัชนีการส่งจากผู้ใช้ แต่สามารถนำมาใช้โดยสถานีฐานจะเป็นตัวกำหนดจำนวนเลเยอร์ของพื้นที่

2.4.4 การรวมเชิงพื้นที่แบบวงปิด (Close Loop Spatial Multiplexing)

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

2.4.5 วงปิดที่มีการเข้ารหัสก่อน (Closed Loop with Pre-coding)

เป็นรูปแบบของโมโมอื่น ที่รหัสเดียวจะถูกส่งผ่านเลเยอร์เชิงพื้นที่ที่สามารถฟ้องเป็นโหมดย้อนกลับสำหรับการรวมเชิงพื้นที่แบบวงปิด

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

รูปแบบนี้สามารถกำหนดเป้าหมายการสตรีมของพื้นที่ที่แตกต่างกันกับผู้ใช้บริการ

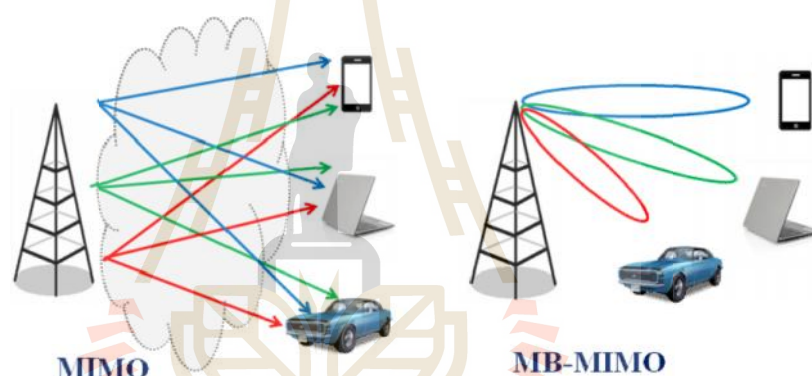
2.4.7 การก่อรูปลำคลื่น (Beamforming)

รูปแบบนี้เป็นรูปแบบที่ซับซ้อนของโมโม ซึ่งแนวโน้มที่จะใช้อาร์เรย์เชิงเส้นที่จะช่วยให้สายอากาศส่งสัญญาณไปยังพื้นที่เฉพาะ สามารถช่วยลดสัญญาณรบกวนและเพิ่มกำลังการผลิตลำคลื่นไปยังทิศทางที่ผู้ใช้บริการต้องการ

2.5 หลักการทำงานของระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น (Multibeam MIMO)

ระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นได้ถูกพัฒนามาจากระบบโมโมแบบปกติ ซึ่งในระบบแบบปกตินั้นจะมีวิธีการที่ซับซ้อนกว่าระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น เนื่องจากต้องรู้ช่องสัญญาณที่จะใช้ในการส่งข้อมูล อีกทั้งการถ่วงน้ำหนัก (Weight) ในระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นที่ง่ายและส่งผลตอบสนองที่กระทบต่อระบบได้น้อยกว่าในระบบโมโมแบบปกติ

ระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นเป็นเทคนิคที่ช่วยให้การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบดีขึ้น ซึ่งแนวคิดของระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นคือเปลี่ยนจากการมองในด้านการวางตัวสายอากาศแถวลำดับ (Array) เป็นการมองผ่านการประมวลผลของมุมเป็นหลัก ซึ่งข้อมูลที่ส่งจากผู้ให้บริการไปยังผู้ใช้บริการผ่านหลายลำคลื่น ทำให้โมโมแบบหลายลำคลื่นจะมีความจุช่องสัญญาณมากกว่าโมโมในระบบปกติ



รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบระบบโมโมปกติกับระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น

ในงานวิจัยได้นำระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นมาปรับใช้ให้เข้ากับเทคโนโลยี ซึ่งได้มีการนำมาใช้งานจริงในปัจจุบันในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ช่วยเพิ่มความจุช่องสัญญาณที่มีอยู่ให้มากขึ้น โดยจะมีลำคลื่นที่เพิ่มขึ้นในแต่ละเซกเตอร์เพื่อรองรับจำนวนผู้ใช้บริการให้เพียงพอต่อความต้องการ

2.6 ระบบโมโมในเทคโนโลยีแอลทีอี

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

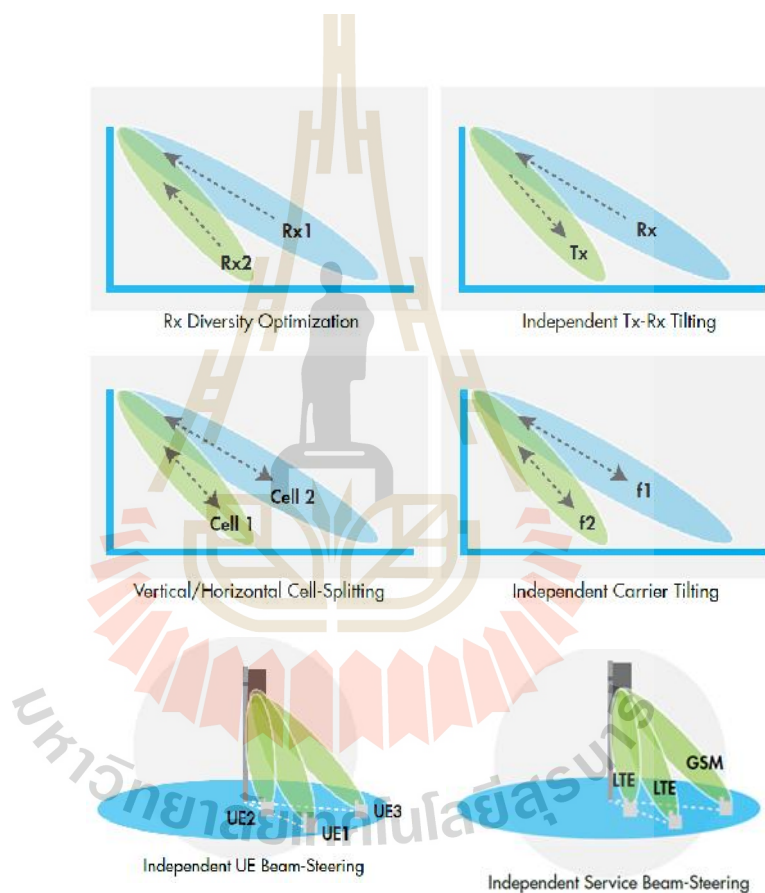
- ช่องสัญญาณที่หลากหลายที่มีขนาดแถบความถี่ 1, 4, 3, 5, 10, 15 และ 20 เมกะเฮิร์ตซ์ ร่วมกับการรวมคลื่นพาหะได้ถึง 100 เมกะเฮิร์ตซ์
- ย่านความถี่ที่ถูกกำหนดที่มากกว่า 40 แบนด์ที่เป็นตัวสนับสนุนให้กับสเปคตรัม จากความถี่ 450 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึง 3.8 จิกะเฮิร์ตซ์
- ใช้เทคนิคทั้งแบบ TDD (Time Division Duplexing) และ FDD (Frequency Division Duplexing)
- เทคโนโลยีสายอากาศแบบหลากหลายที่เกี่ยวข้องของโม โมและการก่อรูปลำคลื่น สำหรับสายอากาศ 8 ดาวน์โหลดลิงค์และสายอากาศ 4 อัปลิงค์

ข้อกำหนดเฉพาะครั้งแรกของแอลทีอีเป็นส่วนหนึ่งของ 3GPP รีลีส 8 ที่ซึ่งถูกละทิ้งเมื่อปี 2008 ต่อมาได้ถูกพัฒนามาเป็นแอลทีอีขั้นสูง ซึ่งคุณลักษณะนี้พบได้ในรีลีส 10 และนอกเหนือจากนั้นคุณสมบัติของแอลทีอีขั้นสูงจะเป็นการรวมคลื่นพาหะเข้าด้วยกัน ซึ่งจะมี 8 เลเยอร์ในการส่ง ดาวน์โหลดลิงค์ และ 4 เลเยอร์สำหรับการส่งอัปลิงค์ และเพิ่มประสิทธิภาพการประสานงานระหว่าง เซลล์รับกวน รูปแบบรีลีส 10 เพิ่งจะถูกนำมาใช้งาน และมีการนำรีลีส 11 มาใช้เช่น การทำงานร่วมกันแบบหลายๆ จุด (CoMP) และการปรับปรุงเพิ่มเติมของ ICIC (feICIC) และในปี 2015 3GPP ได้ดำเนินการที่นำเอารีลีส 12 มาใช้ซึ่งมีคุณสมบัติดังกล่าวเป็นรูปแบบช่องทางใหม่แบบสามมิติ งานระบบสายอากาศแบบแอลทีพี (AAS) และสายอากาศกรับแบบ 8 ต้น 3GPP ได้เริ่มต้นการทำงานในคุณสมบัติรีลีส 13 ที่ซึ่งควรรวมถึงระบบโมโมแบบเต็มมิติ (FD-MIMO) และการก่อรูปลำคลื่นแบบแนวตั้ง (V-BF)

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

การก่อรูปลำคลื่นใช้อาร์เรย์ขององค์ประกอบสายอากาศที่ซึ่งมีมุมเฟสไม่ซ้ำกัน ในการก่อรูปลำคลื่นต้องการเพื่อที่จะหัน ไปยังทิศทางที่ต้องการ สายอากาศที่ใช้โดยทั่วไปจะมีความเกี่ยวเนื่อง

กันอย่างมากรวมทั้งระยะขององค์ประกอบและตำแหน่งของสายอากาศ สายอากาศแบบพาสซีฟสามารถรองรับตัวก่อรูปลำคลื่นในแนวนอนได้ อีกทั้งระบบสายอากาศแบบแอคทีฟจะทำการรวมอาร์เรย์ที่ใช้งานรับส่งสัญญาณและสัญญาณแบบพาสซีฟเป็นหนึ่งเดียวกัน สามารถสนับสนุนแบบสองมิติในแนวราบ รวมถึงสามมิติทั้งแนวราบและแนวเอียงของการกำหนดสายอากาศอาร์เรย์ ซึ่งการทำงานที่หลากหลายของระบบสายอากาศแบบแอคทีฟจะแสดงดังรูปที่ 2.5 โดยสถานีฐานสามารถจะนำคานไปใช้ในทิศทางแนวนอนและแนวตั้งสำหรับการดำเนินงานที่แตกต่างกัน ย่านความถี่ มาตรฐานของเครือข่าย รวมไปถึงการเชื่อมต่อทั้งแบบควอนตัมลิติกส์และออปติคส์



รูปที่ 2.5 การประยุกต์ใช้สายอากาศแบบแอคทีฟ

การทำงานร่วมกันแบบหลายๆ จุด มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพเครือข่ายของเซลล์และที่ขอบเขตเตอร์โดยการประสานงานหรือการส่งผ่านการรับสัญญาณจากเซลล์หลายๆ เซลล์ ให้สามารถป้องกันการกวนกันและเพิ่มความแรงของสัญญาณ ความเป็นไปได้ของเทคนิคการทำงานร่วมกันแบบหลายๆ จุดนี้ จะรวมการทำงานร่วมกันของออปติคส์และการเลือกจุดแบบได

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-user 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

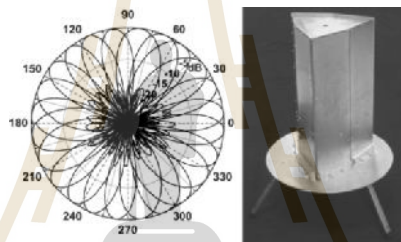
		Optimum application	Downlink (TM)	Uplink	SPR	VoLTE	CoMP	Coverage or capacity
Single-column	45° HBW	Dense site spacing, high traffic areas			Best	Risk	Inter-site	Capacity
	65° HBW	All sites, all speeds. Best all-around	MIMO (2 and 3 optimal; 4 and 6 limited)	MRC	Good	Good	Inter- and intra-site	Both
	85° 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

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

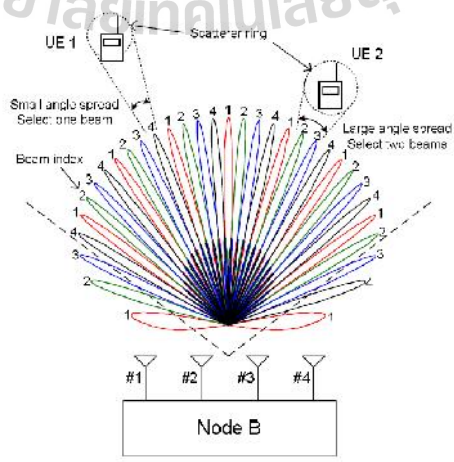
Excess tap delay [ns]	Relative power [dB]
0	0.0
30	-1.0
70	-2.0
90	-3.0
110	-8.0
190	-17.2
410	-20.8

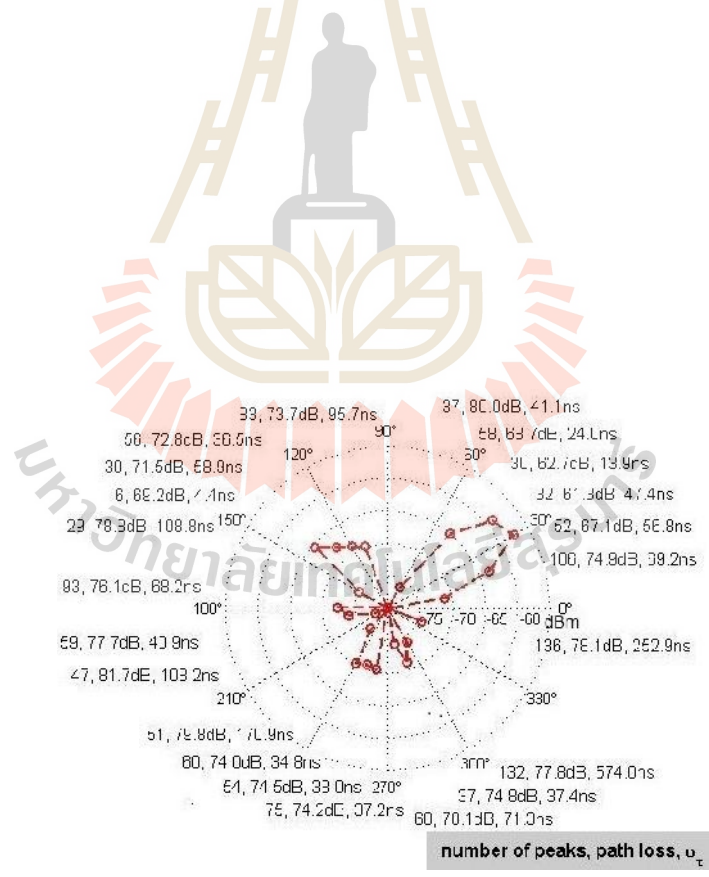
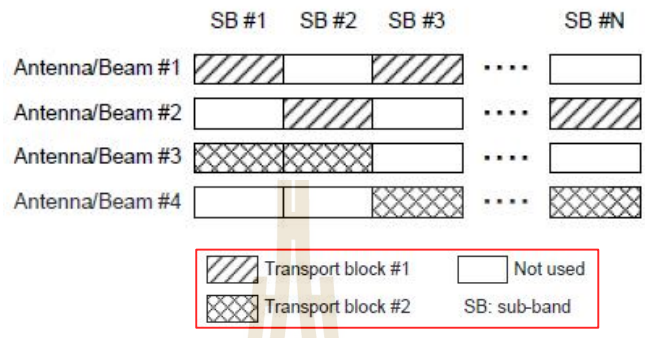
Excess tap delay [ns]	Relative power [dB]
0	0.0
30	-1.5
150	-1.4
310	-3.6
370	-0.6
710	-9.1
1090	-7.0
1730	-12.0
2510	-16.9

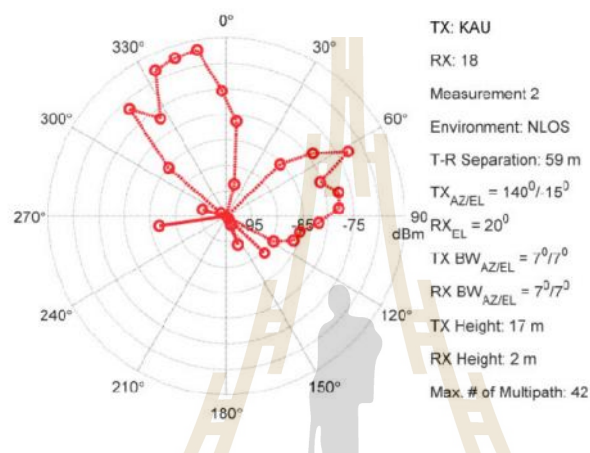
Excess tap delay [ns]	Relative power [dB]
0	-1.0
50	-1.0
120	-1.0
200	0.0
230	0.0
500	0.0
1600	-3.0
2300	-5.0
5000	-7.0



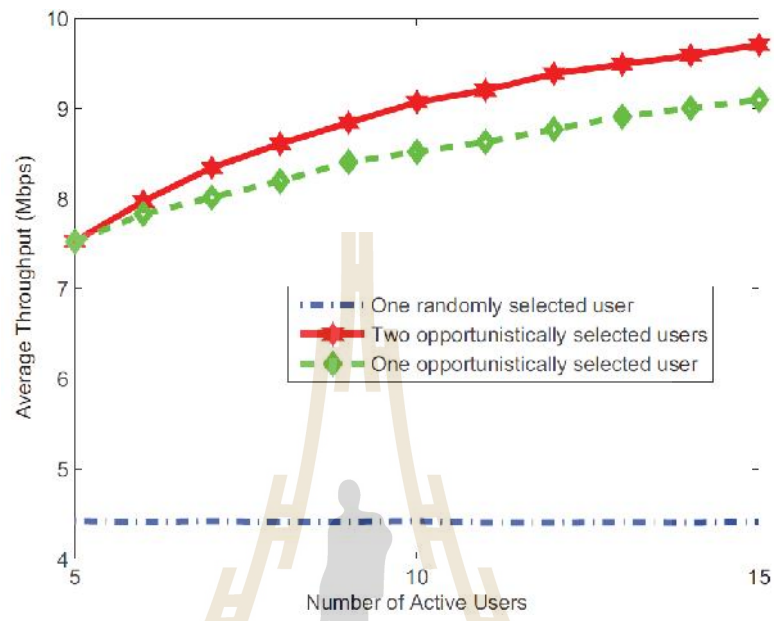
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี







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



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3

การออกแบบของระบบโมโม่แบบหลายลำคลื่นที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยี แอลทีอี

3.1 กล่าวนำ

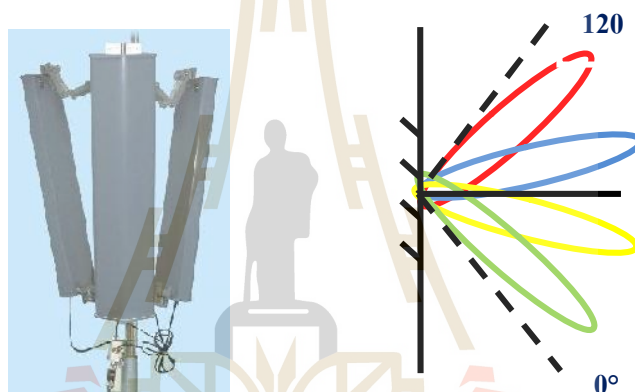
เนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วย 9 ส่วนด้วยกัน คือ ในส่วนแรกจะเป็นกล่าวนำเข้าสู่เนื้อหา ส่วนที่สองจะกล่าวถึงการแบ่งเซลล์ของสถานีฐาน ส่วนที่สามกล่าวถึงสายอากาศที่ใช้ในระบบ โมโม่แบบหลายลำคลื่น ส่วนที่สี่กล่าวถึงจำนวนคลื่นที่ใช้ในระบบ ส่วนที่ห้ากล่าวถึงการแบ่งลำ คลื่นภายในเซลล์ ส่วนที่หกจะเป็นการกระจายตัวของผู้ใช้บริการ ส่วนที่เจ็ดกล่าวถึงการ ออกแบบชุดถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในงานวิจัย ส่วนที่แปดจะกล่าวถึงความจุของสัญญาณของระบบที่จะ นำเสนอและในส่วนสุดท้ายคือสรุปท้ายบท

ปัจจัยในการออกแบบทางปฏิบัติพิจารณาได้ดังนี้

- 1) การแบ่งเซลล์ การออกแบบจะมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกับระบบเซลลูลาร์ในยุค ก่อนๆ ซึ่งการแบ่งในลักษณะนี้จะช่วยให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ทั่วถึงรวมทั้งยังช่วยลด สัญญาณรบกวนที่เกิดในระบบเซลลูลาร์ได้
- 2) สายอากาศของโมโม่แบบหลายลำคลื่น ในปัจจุบันได้มีบริษัทผลิตสายอากาศชนิด นี้ขึ้นมาวางจำหน่ายตามความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งจำนวนของลำคลื่นจะขึ้นอยู่กับ ลักษณะเฉพาะของแต่ละรุ่นแต่ระยะยี่ห้อแตกต่างกันไป
- 3) จำนวนลำคลื่น จะเป็นตัวกำหนดจำนวนลำคลื่นของแต่ละเซลล์ว่าเหมาะสม เพียงใด เพื่อให้สอดคล้องความต้องการของผู้ใช้บริการในพื้นที่นั้นๆ หากมีมากเกินไปก็จะทำให้เกิด สัญญาณรบกวน หากมีน้อยเกินไปก็อาจจะทำให้พื้นที่ไม่ครอบคลุม
- 4) การแบ่งลำคลื่นภายในเซลล์ เมื่อมีจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแล้วการแบ่งลำ คลื่นภายในเซลล์ที่มีขนาดเท่ากันและไม่เท่ากันจะส่งผลกระทบต่อระบบหรือไม่
- 5) การกระจายตัวของผู้ใช้ เป็นการสุ่มโดยใช้แบบจำลองเพื่อหาการกระจายตัวของ ผู้ใช้บริการเพื่อให้เข้ากับการออกแบบของระบบ

3.2 การแบ่งเขตเตอร์ของสถานีฐาน

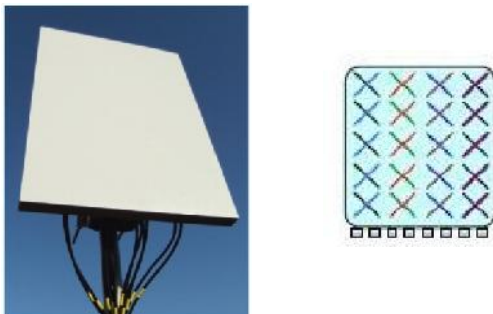
ในหนึ่งสถานีฐานจะมีอุปกรณ์ที่เป็นตัวส่งสัญญาณไปยังผู้ใช้บริการ นั่นคือสายอากาศ สายอากาศแต่ละตัวจะได้รับการประมวลผลจากระบบ และทำการก่อรูปลำคลื่นไปยังทิศทางนั้นๆ ซึ่งทิศทางของแต่ละสายอากาศจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ก็คือสายอากาศ ว่าลักษณะเฉพาะของสายอากาศ จะกำหนดค่าไว้อย่างไร และสามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการใน 360 องศาได้อย่างเพียงพอ ขนาดของแต่ละเขตเตอร์ที่มักนิยมใช้จะพิจารณาจาก 3 เดซิเบล บีมวิดธ์ซึ่งเป็นแถบความกว้างของลำคลื่นของสายอากาศแบบทิศทาง ท้าวๆไปที่มีอยู่ก็เช่น 60 องศา, 90 องศา และ 120 องศา ในงานวิจัยได้กำหนดให้สายอากาศหนึ่งเขตเตอร์สามารถครอบคลุมได้ 120 องศา



รูปที่ 3.1 แบบจำลองการแบ่งเขตเตอร์ของสถานีฐาน

3.3 สายอากาศของระบบไมโมแบบหลายลำคลื่น

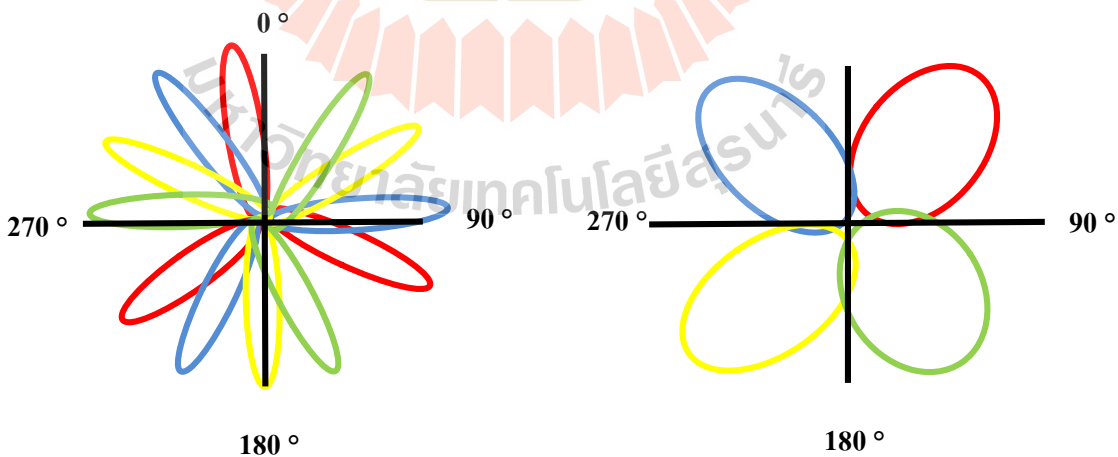
ในปัจจุบันมีการประดิษฐ์สายอากาศของระบบไมโมแบบหลายลำคลื่นขึ้นมาใช้ ซึ่งตัวอย่างดังรูปที่ 3.2 เป็นสายอากาศที่ผลิตขึ้นมาใช้จริง และภายในสายอากาศเป็นการเรียงตัวของสายอากาศแถวลำดับ เมื่อผ่านกระบวนการถ่วงน้ำหนัก สายอากาศก็จะก่อรูปลำคลื่นเพื่อส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้บริการ ซึ่งสายอากาศในระบบนี้จะแตกต่างจากสายอากาศแบบเดิมคือ สายอากาศแบบเดิมจะก่อรูปลำคลื่นได้เพียงครั้งละหนึ่งลำคลื่น แต่สายอากาศในระบบไมโมแบบหลายลำคลื่นนี้ จะสามารถก่อรูปลำคลื่นได้พร้อมกันหลายลำคลื่น ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์นั้นๆ



รูปที่ 3.2 ลักษณะทางกายภาพของสายอากาศไม โมแบบหลายลำคลื่น

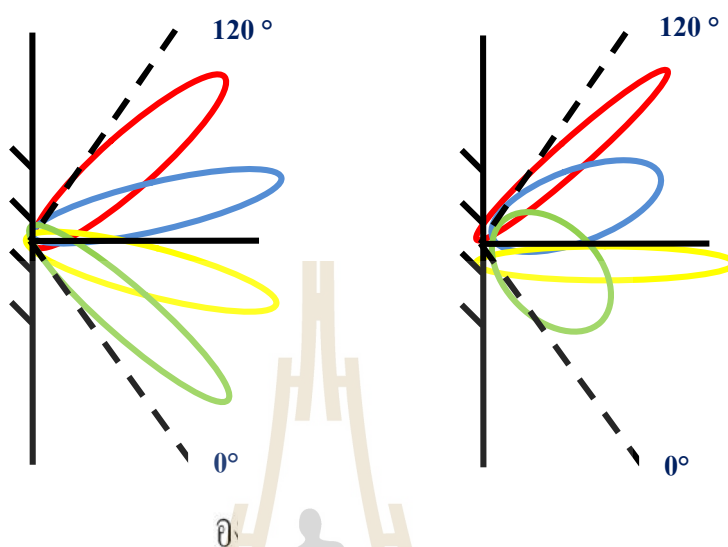
3.4 จำนวนลำคลื่น

การกำหนดจำนวนลำคลื่นให้สายอากาศแต่ละเซกเตอร์ ต้องดูความเหมาะสมจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความหนาแน่นของผู้ใช้บริการ ณ จุดนั้นๆ มีมากน้อยเพียงใด ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางหรือไม่ หากยกตัวอย่างดังรูป 3.3 แสดงการเปรียบเทียบภายในมุม 360 องศาโดยให้ลำคลื่นครอบคลุมเต็มพื้นที่และมีขนาดที่ต่างกัน จะเห็นว่าจำนวนลำคลื่นที่มีจำนวนลำคลื่นมากกับจำนวนลำคลื่นน้อย โดยบริเวณพื้นที่ที่ครอบคลุมทั่วถึงตามต้องการ แต่จำนวนลำคลื่นที่มากลำคลื่นจะมีความกว้างของลำคลื่นน้อยกว่าทำให้ส่งข้อมูลไปได้ไกล ส่วนจำนวนลำคลื่นน้อยจะมีความกว้างลำคลื่นมากแต่ส่งข้อมูลได้ระยะใกล้ ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการหาจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในระบบไม โมแบบหลายลำคลื่น



รูปที่ 3.3 จำลองแบบจำนวนลำคลื่น

3.5 การแบ่งลำคลื่นภายในเซกเตอร์

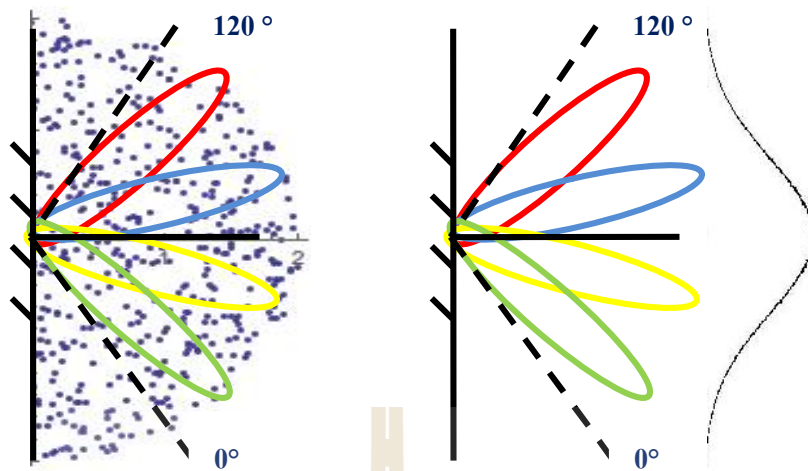


รูปที่ 3.4 จำลองแบบการแบ่งลำคลื่นภายในเซกเตอร์

ในงานวิจัยเมื่อได้ผลของจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสม ก็ได้ทำการออกแบบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบ โดยนำผลของมุม 120 องศา มาพิจารณาเปรียบเทียบว่าหากมีการแบ่งจำนวนลำคลื่นที่เท่ากันและไม่เท่ากัน เมื่อทิศทางของลำคลื่นเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อระบบอย่างไร โดยจะมีการนำผู้ใช้บริการ (User) มาประกอบด้วย ว่าหากมีการผิดพลาดเกิดขึ้นไปมากน้อยเพียงใด ถึงจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ

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



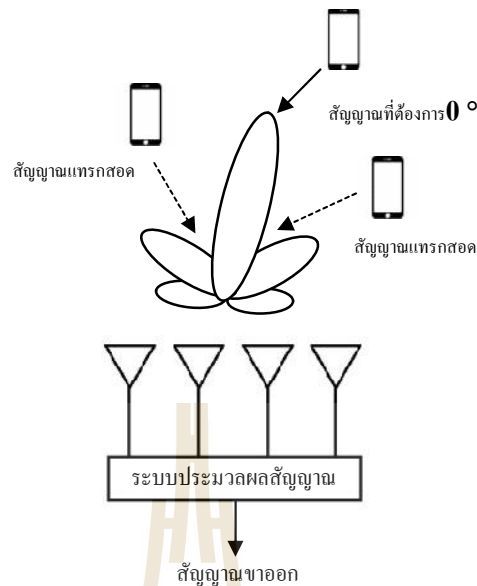
รูปที่ 3.5 แบบจำลองการกระจายตัวของผู้ใช้บริการ

สมรรถนะของงานวิจัยนี้ดูจากดังนี้

- 1) การออกแบบชุดถ่วงน้ำหนัก ในการก่อรูปลำคลื่นนั้นชุดถ่วงน้ำหนักต้องออกแบบเพื่อให้สามารถก่อรูปลำคลื่นและหันลำคลื่นไปยังทิศทางที่ต้องการเพื่อประสิทธิภาพที่ดีของระบบ
- 2) ค่าความจุช่องสัญญาณ จะเป็นตัววัดค่าประสิทธิภาพของระบบในงานวิจัยนี้ โดยเปรียบเทียบค่าความจุช่องสัญญาณระหว่างระบบโมโมแบบปกติและระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น

3.7 การออกแบบชุดถ่วงน้ำหนัก (weight)

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



รูปที่ 3.6 ระบบสายอากาศเก่ง

สำหรับโครงการวิจัยนี้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการพัฒนาอัลกอริทึม (algorithm) ของสายอากาศเก่งระบบก่อรูปลำคลื่นแบบปรับตัว ซึ่งระบบนี้สามารถลดสัญญาณแทรกสอดได้โดยการหันพหุหลักไปยังทิศทางของสัญญาณที่ต้องการได้ โดยใช้สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นเนื่องจากมีการคำนวณที่ซับซ้อนน้อยกว่าสายอากาศแถวลำดับแบบระนาบและวงกลม มีองค์ประกอบของสายอากาศเท่ากับ 4 ต้น และมีระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ d และกำหนดให้มีความห่างเท่ากับ $\lambda/2$ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 สมมติเป็นสายอากาศภาครับที่มีคลื่นเดินทางเข้ามาตกกระทบสายอากาศ และ n คือมุมตกกระทบของสัญญาณที่เข้ามาตกกระทบสายอากาศแต่ละต้น D คือความต่างของระยะทางของสัญญาณที่เดินทางมาตกกระทบสายอากาศแต่ละต้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ $d \sin \theta$ จากรูปสัญญาณที่สายอากาศแต่ละต้นรับได้คือ

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

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

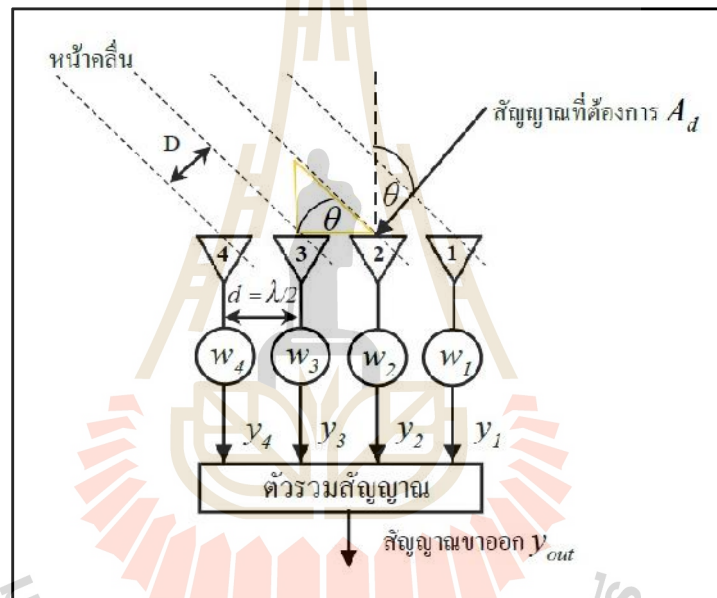
$$y_3 = w_3 A_d e^{-j(kd \sin \theta)(n-1)} = w_3 A_d e^{-j2(kd \sin \theta)} \quad (3.3)$$

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

"

$$y_{out} = y_1 + y_2 + y_3 + y_4$$

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



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

$$w_1 = e^{j(0)}$$

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

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

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

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 โดยภาคส่งจะส่งสัญญาณไปยังภาครับ และภาครับจะทำการส่งข้อมูลตำแหน่งช่องสัญญาณกลับมา ทำให้ภาคส่งรู้ช่องสัญญาณแล้วทำการก่อรูปลำคลื่นและส่งข้อมูลไปยังภาครับ ในงานวิจัยได้ทำการสุ่มตำแหน่งของผู้ใช้ ซึ่งแทนได้ด้วยสมการดังนี้

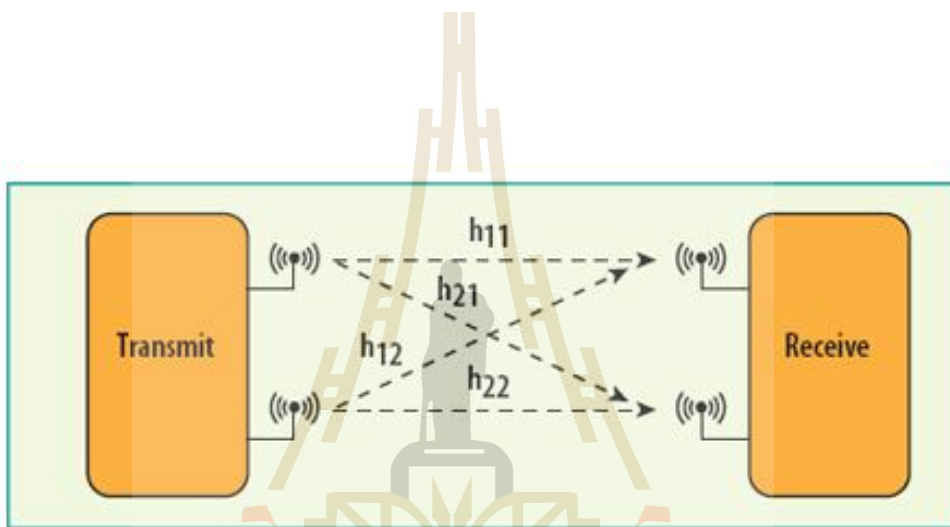
$$\theta_u = \tan^{-1} \left(\frac{y_u}{x_u} \right) \quad (3.10)$$

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

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



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

$$y = Hx + n$$

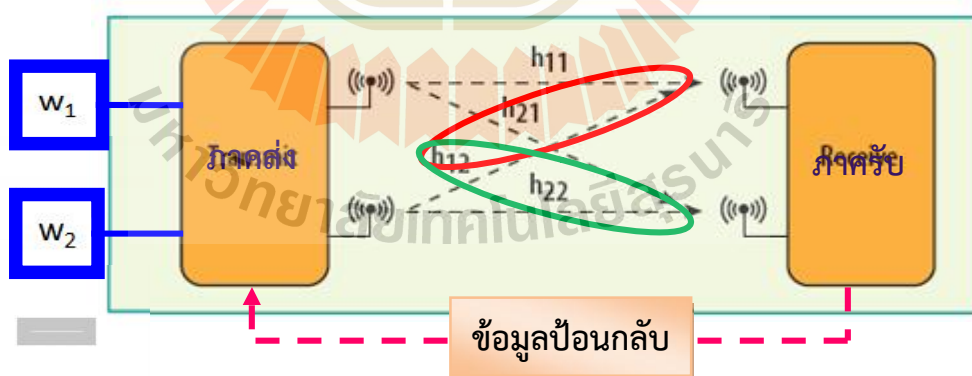
$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

ในระบบไมโมจะเป็นการส่งข้อมูลไปยังภาคส่งโดยไม่สามารถรับรู้สถานะข้อมูลได้ ซึ่งจะมีความจุช่องสัญญาณที่ใช้แสดงได้ดังนี้

$$C = B \log_2 \det \left[\mathbf{I} + \left(\frac{1}{N_t} \right) \mathbf{H} \mathbf{H}^* \right] \quad (3.15)$$

- เมื่อ B คือ แบนด์วิดท์
 \mathbf{I} คือ เมทริกซ์เอกลักษณ์ขนาด $N_r \times N_r$
 \mathbf{H} คือ ช่องสัญญาณ ขนาด $N_r \times N_t$
 \mathbf{H}^* คือ การทรานสโพสคอนจูเกตของเมทริกซ์ช่องสัญญาณ
 \dots คือ อัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน

3.82 ช่องสัญญาณระบบไมโมแบบหลายลำคลื่น



รูปที่ 3.9 แบบจำลองช่องสัญญาณ ไมโมแบบหลายลำคลื่น

จากรูป 3.9 สามารถแยกออกเป็นรูปสมการเมทริกซ์ได้ดังนี้

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

แบบจำลองความจุช่องสัญญาณของระบบโมโบบนหลายลำคลื่น จะมีข้อมูลป้อนกลับจากภาครับมายังภาคส่ง และภาคส่งจะทำการถ่วงน้ำหนักเพื่อก่อรูปลำคลื่นไปยังทิศทางตำแหน่งของผู้ใช้ ให้สามารถทำการรับส่งข้อมูลถึงกันได้ แสดงคังสมการ

$$C_{MB} = B \log_2 \det \left[\mathbf{I} + \left(\frac{1}{Nt} \right) (\mathbf{WH})(\mathbf{WH})^* \right] \quad (3.17)$$

เมื่อ	B	คือแบนด์วิดท์
	\mathbf{I}	คือเมทริกซ์เอกลักษณ์มีขนาดเท่ากับ $N_r \times N_r$,
	...	คือ อัตราส่วนสัญญาณที่รับได้ต่อสัญญาณรบกวน
	H	คือเมทริกซ์ช่องสัญญาณ
	W	คือเมทริกซ์ชุดถ่วงน้ำหนัก

วิธีการเลือกลำคลื่นที่เหมาะสมสำหรับระบบโมโบบนหลายลำคลื่น จะเลือกจากการที่สัญญาณทางภาคส่งได้ทำการส่งสัญญาณไปยังภาครับ เมื่อภาครับได้รับสัญญาณที่ดีที่สุดตรงกับชุดลำคลื่นนั้นก็จะทำการส่งข้อมูลป้อนกลับไปยังภาคส่ง แล้วภาคส่งก็จะส่งข้อมูลออกไปตามชุดลำคลื่นนั้น โดยค่าพารามิเตอร์ที่เราจะใช้วัดในงานวิจัยนี้ คือค่าความจุช่องสัญญาณ (Capacity) จะเป็นตัวกำหนดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสม โดยดูได้จากเมื่อค่าสูงสุดของค่าความจุช่องสัญญาณ จะขึ้นอยู่กับจำนวนสายอากาศและจำนวนผู้ใช้บริการ สามารถเขียนเงื่อนไขได้ดังนี้

$$\begin{aligned} & \text{Min } B && (3.18) \\ \text{Subject to } & C_{MB} \geq C_{\text{target}} \\ & N \in \{2,4,8\} \\ & U \in \{2,4,6,8,10\} \end{aligned}$$

โดยที่ N = จำนวนสายอากาศ
 U = จำนวนผู้ใช้บริการ
 C_{target} = ความจุช่องสัญญาณที่ต้องการ

3.9 สรุปท้ายบท

การออกแบบของระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น เพื่อหาจำนวนที่เหมาะสมของลำคลื่น โดยนำสายอากาศในระบบแอลทีอีที่ใช้งานในภาคปฏิบัติมาร่วมใช้ในงานวิจัย และนำทฤษฎีการกระจายตัวมาร่วมใช้ประกอบการพิจารณา รวมถึงออกแบบการคิดค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อทำการก่อรูปลำคลื่นและนำค่าของความจุช่องสัญญาณมาพิจารณาเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของระบบ โดยออกแบบเพื่อจำลองผลเปรียบเทียบกับระบบโมโมแบบปกติกับระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น



บทที่ 4

การจำลองแบบในคอมพิวเตอร์และวิเคราะห์ผล

4.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการนำเสนอการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์เพื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณของระบบโมโม่แบบหลายลำคลื่น เพื่อหาจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสม โดยที่มีการจำลองในหลายแบบ อาทิเช่น ผลการจำลองแบบจากการกระจายตัวของผู้ใช้ ผลการจำลองแบบของมุมที่ต่างกัน ผลการจำลองแบบจากรูปแบบการแพร่กระจาย ผลการจำลองแบบจากการเพิ่มจำนวนผู้ใช้ และผลการจำลองแบบจากการเปรียบเทียบค่าผิดพลาดของตำแหน่งผู้ใช้ ซึ่งผลที่ได้จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

4.2 ข้อตกลงในการจำลองผล

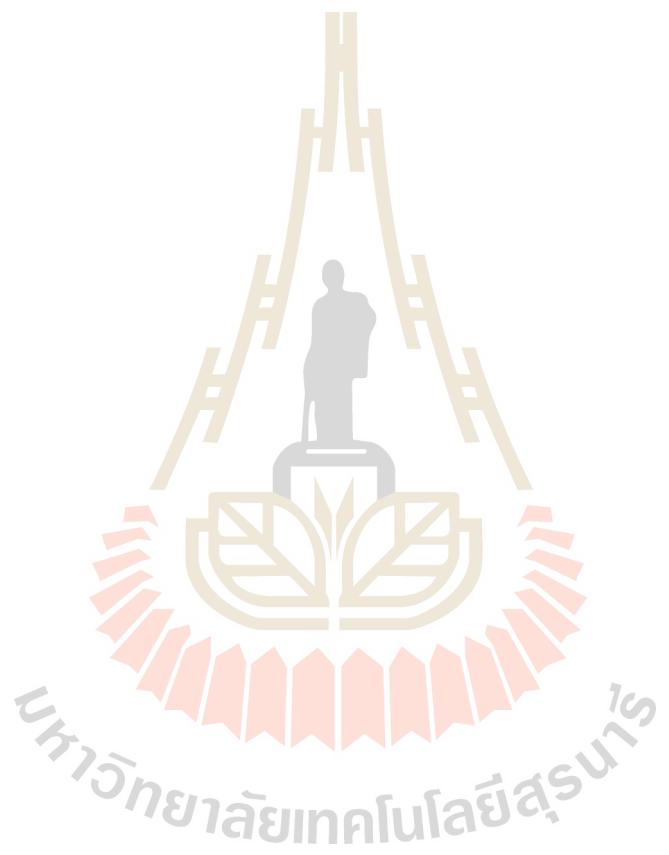
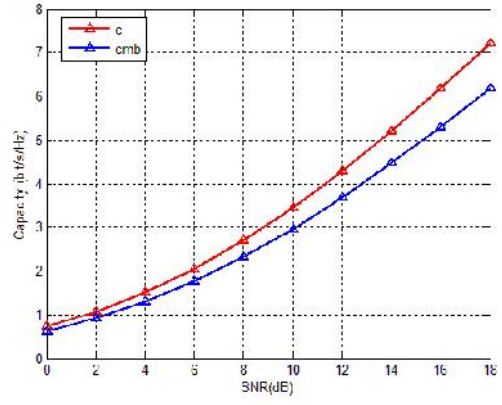
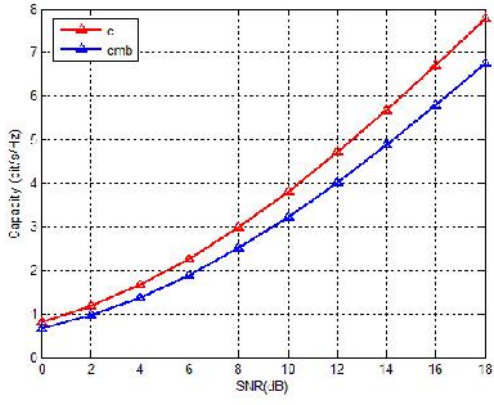
ในการจำลองจะใช้โปรแกรมแมทแล็บในการจำลอง ใช้สายอากาศแถวลำดับเชิงเส้นทั้งภาคส่งและภาครับจำนวน 2 ต้น, 4 ต้น และ 8 ต้น ระยะห่างระหว่างสายอากาศเท่ากับ $d = \lambda/2$ ความถี่ในย่าน 2.1 จิกะเฮิรตซ์ และทิศทางการเดินทางของคลื่นในแนวระดับสายตา (line of sight)

4.3 ผลการจำลองแบบจากการกระจายตัวของผู้ใช้

ในการจำลองได้ทำการจำลองผลโดยเลือกใช้รูปแบบการกระจายตัว 2 แบบ คือ Uniform Distribution ซึ่งเป็นรูปแบบการกระจายตัวรอบๆสม่ำเสมอ และ Gaussian Distribution เป็นรูปแบบการกระจายตัวที่มีสมมาตรทั้งสองข้างคล้ายระฆังคว่ำ และได้ทำการเปรียบเทียบผลทั้งสองรูปแบบ และได้เลือกนำมาใช้พิจารณาในงานวิจัยนี้ ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.1

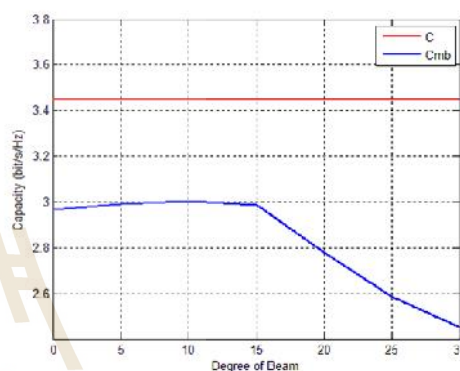
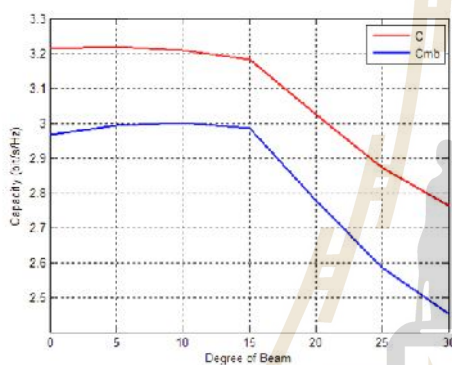
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.1

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



ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.2

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



(ก) การกระจายตัวแบบ Uniform

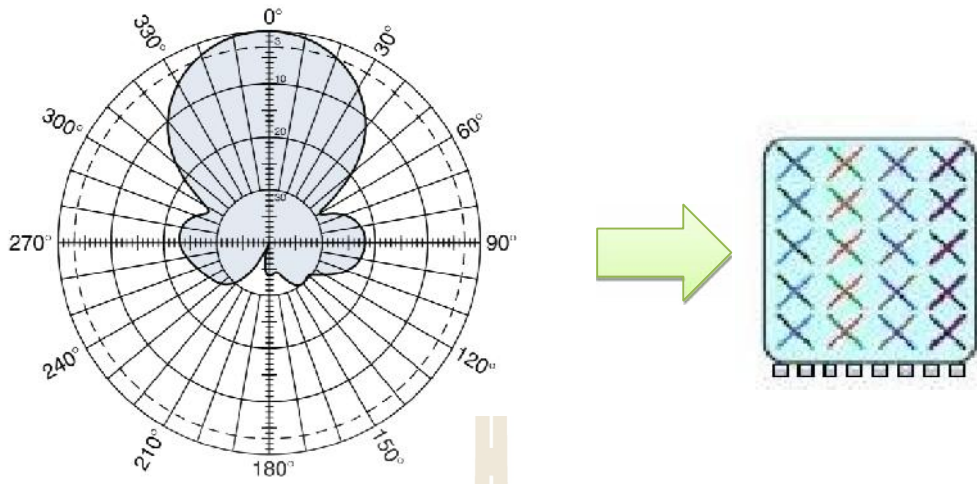
(ข) การกระจายตัวแบบ Gaussian

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพความจุช่องสัญญาณเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางของลำคลื่น

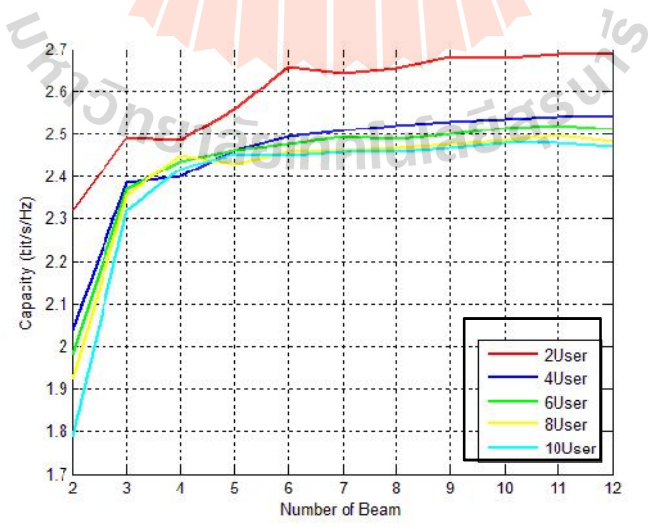
จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าผลของการจำลองนั้นเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งรูปแบบของการกระจายตัว (ก) และ (ข) เมื่อองศาเปลี่ยนแปลงที่ 15 องศาขึ้นไป จะมีค่าความจุช่องสัญญาณลดลงซึ่งเป็นไปได้ว่าหากมีความเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 15 องศา ประสิทธิภาพของค่าความจุช่องสัญญาณจะยังไม่ส่งผลกระทบต่อระบบ

4.5 ผลการจำลองแบบจากรูปแบบการแพร่กระจาย

ในงานวิจัยได้นำรูปแบบการแพร่กระจายตัวของระบบแอลทีอีมาใช้ในการพิจารณา เพื่อใช้ในการอ้างอิงผลให้ใกล้เคียงกับการใช้งานในทางปฏิบัติมากที่สุด

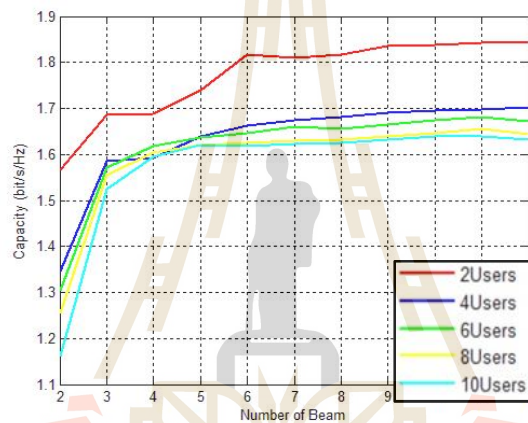


พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	4 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคส่ง	2 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2-10 คน
รูปแบบที่ใช้ในการสุ่ม	Uniform Distribution
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง



ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.5

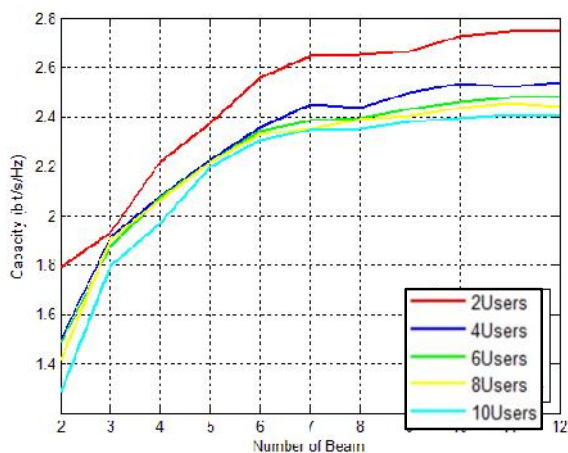
พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	4 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคลส่ง	4 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2-10 คน
รูปแบบที่ใช้ในการสุ่ม	Uniform Distribution
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง



รูปที่ 4.5 ผลการจำลองของสายอากาศแบบ 4x4

ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.6

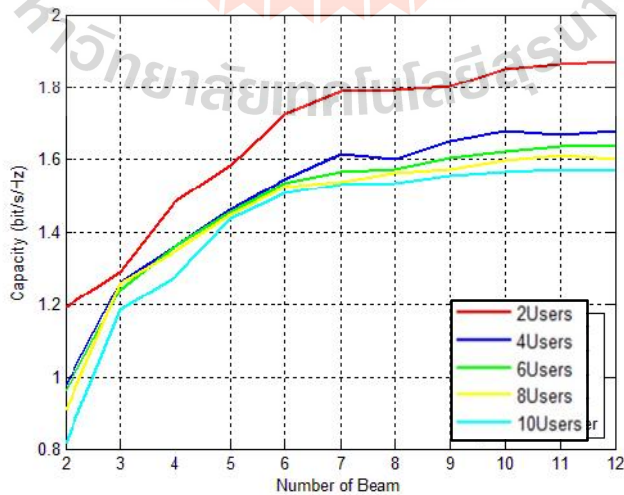
พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	8 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคลส่ง	2 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2-10 คน
รูปแบบที่ใช้ในการสุ่ม	Uniform Distribution
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง



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

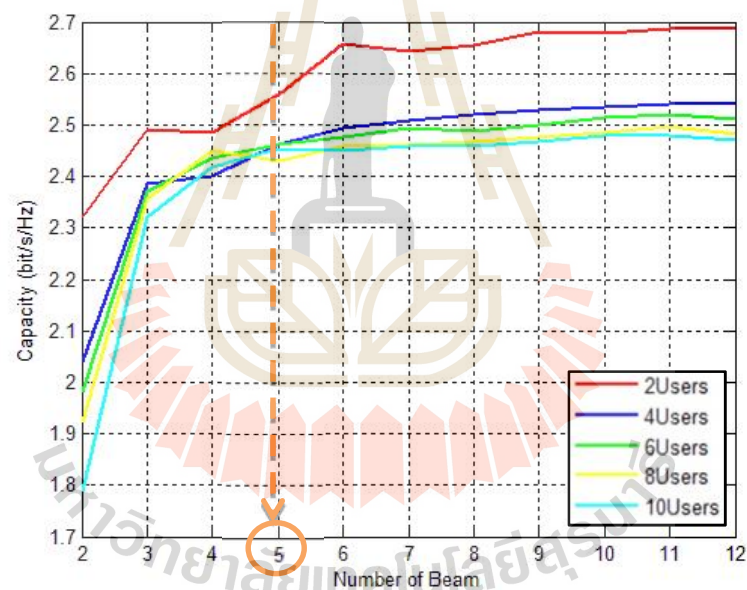


รูปที่ 4.7 ผลการจำลองของสายอากาศแบบ 8x4

จากรูปที่ 4.4 ถึง 4.7 จะเห็นได้ว่าผลเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนสายอากาศที่ใช้ รวมไปถึงจำนวนผู้ใช้งานด้วยเช่นกัน เมื่อจำนวนลำคลื่นเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพของความจุช่องสัญญาณก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่จะรู้ได้อย่างไรว่าลำคลื่นที่เหมาะสมจะอยู่ที่เท่าไร จึงได้ทำการคำนวณหาจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสม โดยนำค่าสูงสุดของความจุช่องสัญญาณจากผู้ใช้งาน มาแสดงดังสมการ

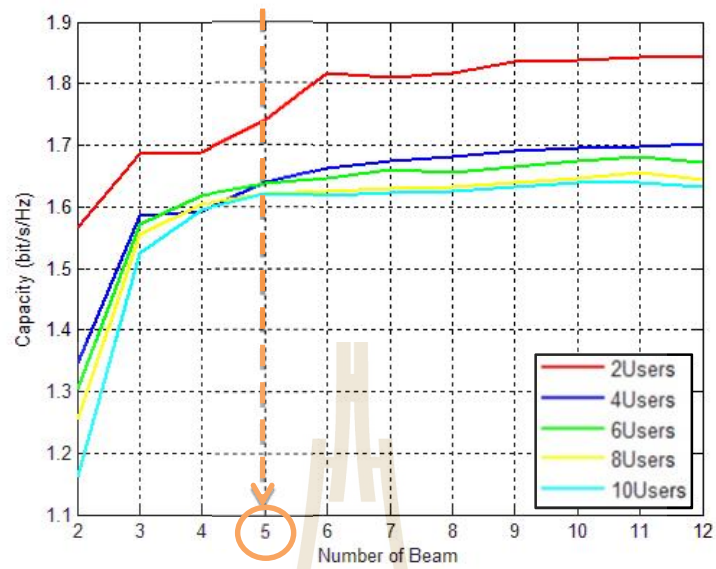
95 % ของค่าสูงสุด จุดที่เหมาะสม

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

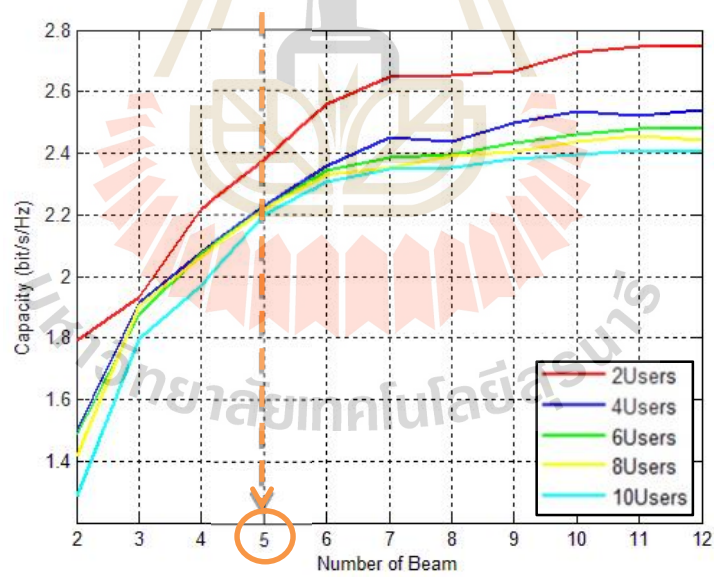


รูปที่ 4.8 แสดงจุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 4x2

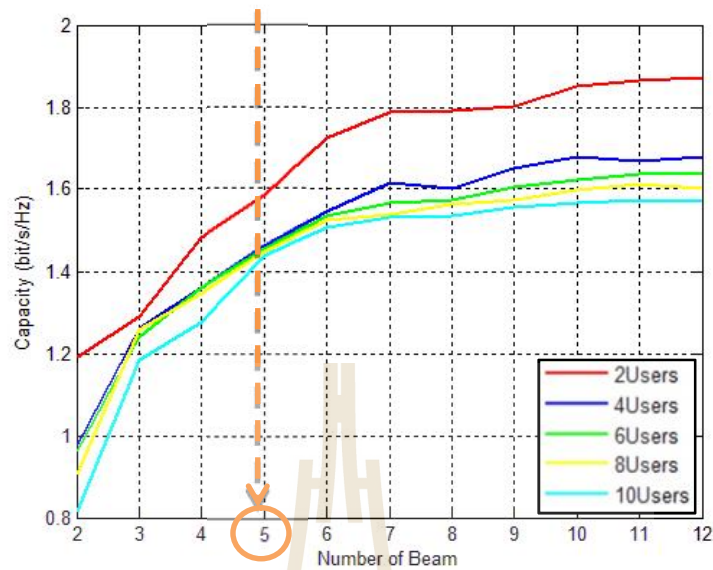
และในแบบอื่น ๆ วิธีการคำนวณก็ใช้วิธีคิดเดียวกัน จะทำให้ได้จำนวนลำคลื่นที่เหมาะสม ดังแสดงในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.9 แสดงจุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 4x4



รูปที่ 4.10 แสดงจุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 8x2



รูปที่ 4.11 แสดงจุดจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมแบบ 8x4

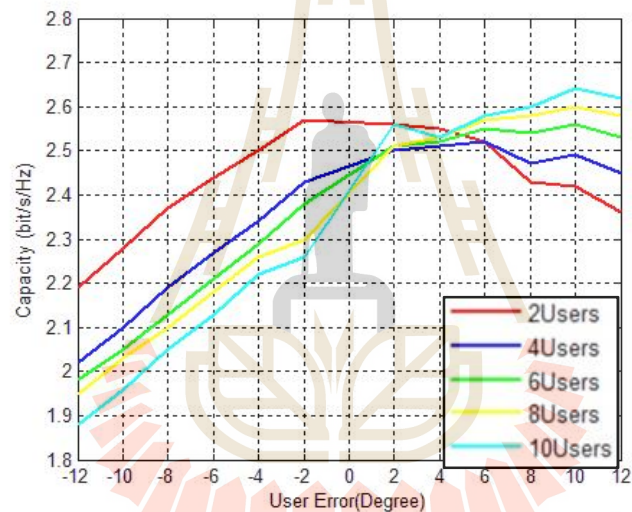
จากรูปที่ 4.8-4.11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการหาค่าดั่งสมการที่หาค่าความเหมาะสมนั้น จะได้จำนวนลำคลื่นที่เหมาะสมอยู่ที่ 5 ลำคลื่น ถึงแม้ว่าหากจะใช้ที่มากกว่า 5 ลำคลื่นก็ได้แต่อาจจะส่งผลต่อการประมวลผลของระบบที่ล่าช้ากว่า แต่หากใช้น้อยกว่า 5 ลำคลื่นการที่จะรองรับจำนวนผู้ใช้ก็จะลดลงตามไปด้วย ซึ่งจำนวนของสายอากาศต่างกันและความความจุช่องสัญญาณต่างกัน 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

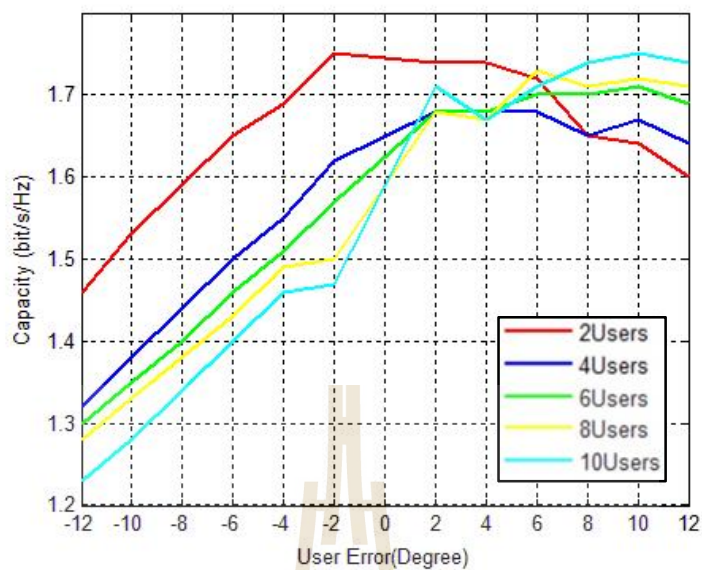
พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	4 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคลส่ง	2 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2-10 คน
รูปแบบที่ใช้ในการสุ่ม	Uniform Distribution
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง
ตำแหน่งผิดพลาดของผู้ใช้	0-12 องศา



รูปที่ 4.12 แสดงความจุช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด สายอากาศแบบ 4x2

ตารางที่ 4.8 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.13

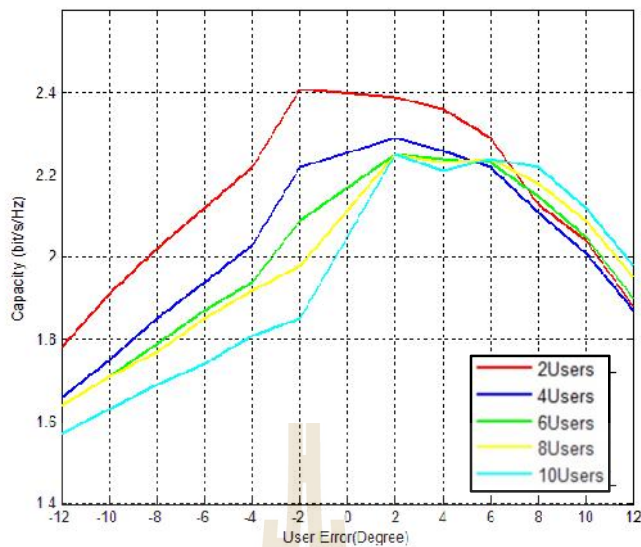
พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	4 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคลส่ง	4 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2-10 คน
รูปแบบที่ใช้ในการสุ่ม	Uniform Distribution
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง
ตำแหน่งผิดพลาดของผู้ใช้	0-12 องศา



รูปที่ 4.13 แสดงความจุช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด สายอากาศแบบ 4x4

ตารางที่ 4.9 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองผลในรูปที่ 4.14

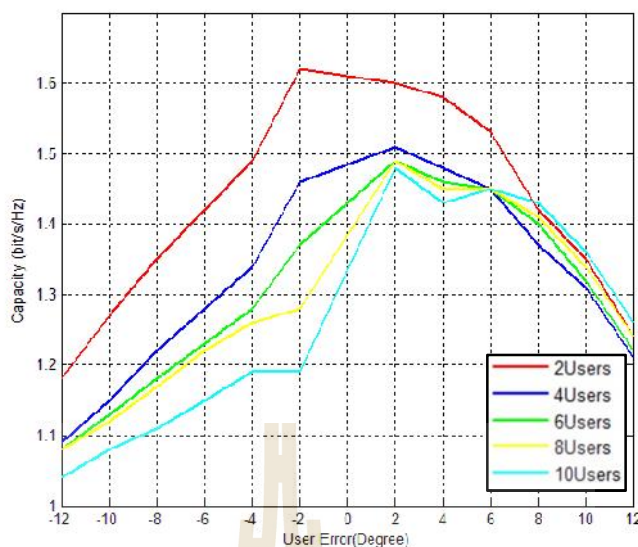
พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนสายอากาศภาครับ	8 ต้น
จำนวนสายอากาศภาคส่ง	2 ต้น
จำนวนผู้ใช้	2-10 คน
รูปแบบที่ใช้ในการสุ่ม	Uniform Distribution
จำนวนที่ใช้ในการสุ่ม	100 ครั้ง
ตำแหน่งผิดพลาดของผู้ใช้	0-12 องศา



รูปที่ 4.14 แสดงความจุช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด 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



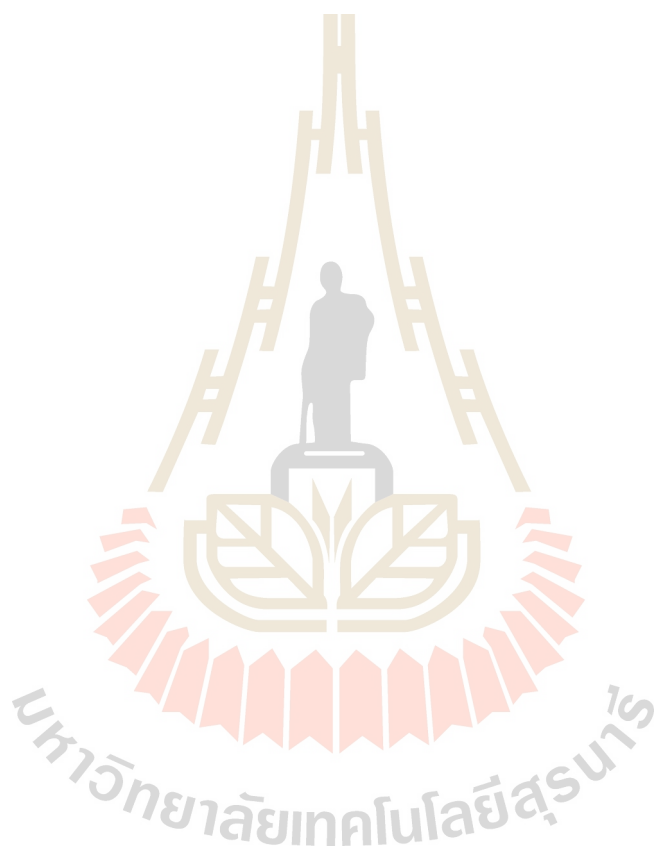
รูปที่ 4.15 แสดงความจุช่องสัญญาณเมื่อเกิดตำแหน่งผู้ใช้ผิดพลาด สายอากาศแบบ 8x4

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

4.7 สรุปท้ายบท

ในการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์นั้นใช้โปรแกรมแมทแลบในการจำลองผล มีการทดลอง โดยเปลี่ยนจำนวนสายอากาศทั้งภาคส่งและภาครับ ซึ่งใช้สายอากาศแถวลำดับเนื่องจากไม่ซับซ้อน การจำลองผลได้เปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวแบบ Uniform Distribution และ Gaussian Distribution ในงานวิจัยได้เลือกการกระจายตัวแบบ Uniform มาใช้เป็นหลักและได้เห็นว่าการวางของกราฟเป็นไปในทิศทางเดียวกันและง่ายต่อการใช้งาน จึงได้นำรูปแบบการแพร่กระจายในระบบ แอลทีอีมาปรับใช้ให้เข้ากับงานวิจัยเพื่อหาจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสม ซึ่งจำนวนที่หาได้คือ 5 ลำคลื่น โดยคิดจาก 95 เปอร์เซ็นต์ของค่าสูงสุด และได้ทำการคำนวณตำแหน่งผิดพลาดของผู้ใช้งาน

ค่าที่ได้ความจุช่องสัญญาณมากที่สุดจะอยู่ที่ตำแหน่ง 0 องศา เมื่อคลาดเคลื่อนค่าความจุช่องสัญญาณจะลดลงตามตำแหน่งซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราขยายของจุดนั้น



บทที่ 5

สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์

เทคโนโลยีแอลทีอี ได้ถูกพัฒนาให้มีความเร็วที่มากขึ้นกว่ายุค 3 จี โดยสามารถส่งผ่านข้อมูลและมัลติมีเดียสูงสุด 1 จิกะบิตต่อวินาที ทำให้การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการที่เพิ่มมากขึ้นและต้องการรับข้อมูลข่าวสารให้ทันทั่วถึง

สายอากาศแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ สายอากาศแบบปรับลำคลื่น กับสายอากาศแบบปรับตัวได้ ซึ่งสายอากาศทั้งสองแบบมีความแตกต่างกัน โดยสายอากาศแบบปรับลำคลื่นจะมีความซับซ้อนน้อยและสามารถรับส่งสัญญาณได้รวดเร็วแต่ยังมีข้อจำกัดของการลดจำนวนสัญญาณแทรกสอดและอาจมีความผิดพลาดในการเลือกสัญญาณเนื่องจากการถูกบดบังสัญญาณ ส่วนสายอากาศแบบปรับตัวได้ จะมีความซับซ้อนมากกว่าแต่จะได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าซึ่งจะสามารถหันลำคลื่นไปยังสัญญาณที่ต้องการและกันจุดศูนย์ (null) ไปยังสัญญาณที่แทรกสอด

ระบบโมโมแบบหลายลำคลื่นถูกพัฒนามาจากระบบโมโมแบบปกติ ซึ่งจะเป็นเทคนิคที่จะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบให้ดีขึ้น ซึ่งจะเปลี่ยนจากการมองผ่านการวางตัวสายอากาศแถวลำดับ เป็นการมองผ่านการประมวลผลของมุมเป็นหลัก ซึ่งข้อมูลที่จะส่งไปยังผู้ให้บริการผ่านหลายลำคลื่นในเวลาเดียวกันจะทำให้มีความจุช่องสัญญาณเพิ่มมากขึ้น

ในการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมแมทแลบในการจำลองผล และมีการกำหนดจำนวนสายอากาศที่ใช้ในระบบทั้งภาคส่งและภาครับ ใช้เป็นระบบสายอากาศเชิงเส้นเนื่องจากมีความไม่ซับซ้อน องค์ประกอบของสายอากาศจะมี 2, 4, 8 องค์ประกอบ เพื่อให้เปรียบเทียบผลต่างได้ชัดเจนและละเอียดขึ้น มีความห่างของสายอากาศ $d = \lambda / 2$ และใช้ย่านความถี่ 2.1 จิกะเฮิรตซ์ โดยจำลองผลเปรียบเทียบค่าความจุช่องสัญญาณของระบบโมโมแบบปกติกับระบบโมโมแบบหลายลำคลื่น จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมยังไม่พบความที่หาจำนวนลำคลื่นที่เหมาะสม เพื่อนำมาใช้ในระบบแอลทีอี งานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบมาเพื่อดูประสิทธิภาพของระบบว่าถ้ามีจำนวนลำคลื่นน้อยเกินไปจะส่งผลให้การครอบคลุมพื้นที่และการรองรับจำนวนผู้ใช้บริการไม่เพียงพอ และหากจำนวนลำคลื่นมากเกินไปจะทำให้เวลาในการประมวลผลช้าลงเกิดการรบกวนกันของลำคลื่น และเมื่อได้ลำคลื่นที่เหมาะสมแล้วก็ได้จำลองผลว่า

มีการปรับเปลี่ยนจำนวนสายอากาศจะส่งผลกระทบต่อค่าความจุช่องสัญญาณให้มีค่าน้อยลงหรือมากขึ้น รวมไปถึงการแบ่งมุมของลำคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางต่างๆ อีกทั้งยังจำลองผลโดยให้ตำแหน่งของผู้ใช้บริการเกิดความผิดพลาด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบมาเพื่อระบบแอลทีอี ซึ่งจะมีพารามิเตอร์ในระบบที่ยังแตกต่างจากระบบอื่น หากจะนำไปใช้ในระบบอื่นจะต้องมีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์เพื่อให้สอดคล้องกับระบบ เช่น ความถี่ของระบบนั้นๆ แบนวิดท์ ฯลฯ

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

ระบบนี้ได้ทำการออกแบบจำลองจากสถานีฐานเพียง 1 สถานีเท่านั้น ในงานพัฒนาต่อขุดในอนาคตอาจจะจำลองกันระหว่างสถานีฐาน 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

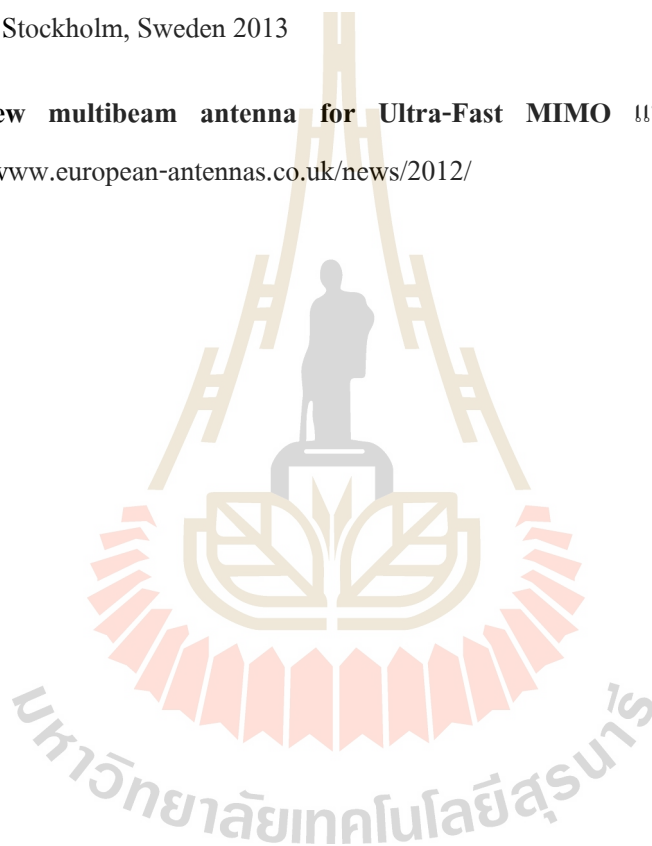
Ian Poole **LTE MIMO: Multiple Input Multiple Output Tutorial** แหล่งที่มาเข้าถึงได้จาก :

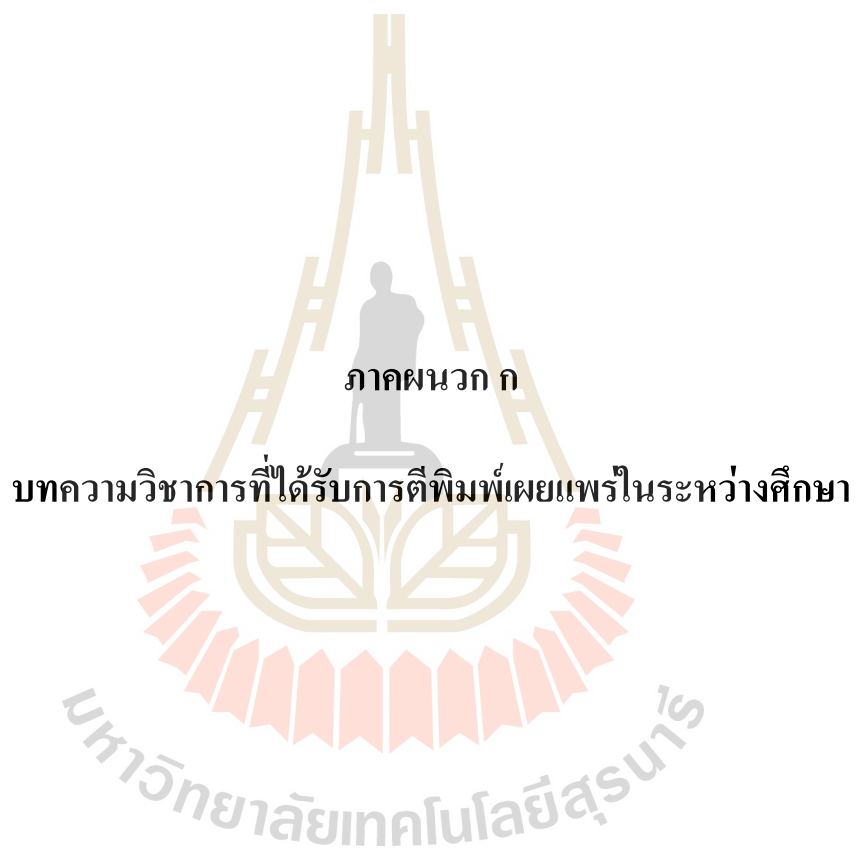
<http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/lte-mimo.php>

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

รายชื่อบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

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) , 1-3 October 2014, Pattaya, Thailand



Performance Analysis of MB-MIMO under 120 Degree Sector Consideration for 5G Communications

Kamoltip Narongrit, Peerapong Uthansakul and Monthippa Uthansakul
School of Telecommunication Engineering
Suranaree University of Technology
Muang, Nakhon Ratchasima, Thailand 30000
Email: M5640256@g.sut.ac.th, uthansakul@sut.ac.th, mtp@sut.ac.th

Abstract—The use of multiple antennas is another major element of any 5G cellular system because it will be possible to alter the beam direction to enable more direct communications and limit interference and increase overall cell capacity. Among techniques in the area of multiple antennas, MB-MIMO (Multi beam-Multiple Input Multiple Output) technique gains a lot of attention due to the performance improvement with the possibility of real implementation. However, in literature, the consideration of MB-MIMO technique does not concern the 120 degree sector. Even in 5G cellular, the practical installation of base station might still be 120 degree sector. Hence, this paper presents the performance analysis of MB-MIMO under 120 degree sector considerations. The simulation results indicate the interesting issue on number of optimum beams for MB-MIMO that the 120 degree sector considerations requires less beams than conventional cell. This can lead to the real implementation for 5G technology in the near future.

Keywords—MB-MIMO; 5G; Sectorization; Optimum beam

I. INTRODUCTION

As the different generations of cellular telecommunications have evolved, each one has brought its own improvements. In the first generation, 1G, these phones were analogue and were the first mobile or cellular phones to be used. Although revolutionary in their time they offered very low levels of spectrum efficiency and security. In the second generation, 2G, these were based around digital technology and offered much better spectrum efficiency, security and new features such as text messages and low data rate communications. For the third generation, 3G, the aim of this technology was to provide high speed data. The original technology was enhanced to allow data up to 14 Mbps and more. The fourth generation, 4G, was an all-IP based technology capable of providing data rates up to 1 Gbps. Any new 5th generation, 5G cellular technology needs to provide significant gains over previous systems to provide an adequate business case for mobile operators to invest in any new system.

Facilities that might be seen with 5G technology include far better levels of connectivity and coverage. The term World Wide Wireless Web, or WWW is being coined for this [1]. For 5G technology to be able to achieve this, new methods of connecting will be required as one of the main drawbacks with previous generations is lack of coverage, dropped calls and low performance at cell edges. 5G technology will need to address this. There are many new concepts that are being

investigated and developed for the new 5th generation mobile system. Some of these include pervasive networks, group cooperative relay, cognitive radio technology, wireless mesh network, vandermonde-subspace frequency division multiplexing for modulation and multiple antennas.

Pervasive networks being considered for 5G cellular systems is where a user can concurrently be connected to several wireless access technologies and seamlessly move between them. Group cooperative relay is a technique that is being considered to make the high data rates available over a wider area of the cell. Currently data rates fall towards the cell edge where interference levels are higher and signal levels lower. If cognitive radio technology was used for 5th generation, 5G cellular systems, then it would enable the user equipment / handset to look at the radio landscape in which it is located and choose the optimum radio access network, modulation scheme and other parameters to configure itself to gain the best connection and optimum performance. Wireless mesh networking and dynamic ad-hoc networking with the variety of different access schemes it will be possible to link to others nearby to provide ad-hoc wireless networks for much speedier data flows. Vandermonde-subspace frequency division multiplexing for modulation will be necessary to provide much more flexible and efficient forms of modulation for 5G cellular systems. This is one format being considered. Another major element of any 5G cellular system will be that of multiple antennas. Using these it will be possible to alter the beam direction to enable more direct communications and limit interference and increase overall cell capacity [2-4].

Among techniques in the area of multiple antennas, MB-MIMO (Multi beam-Multiple Input Multiple Output) technique gains a lot of attention due to the performance improvement with the possibility of real implementation [5]. The concept of MB-MIMO is the transformation of array to angle domain processing. The parallel data can be sent through multiple beams from transmitter to receiver which is basically better than conventional MIMO system due to the multiple choices of transmitting channels. Based on the best case scenario, the MB-MIMO offers more capacity than MIMO system.

In general, the performance of MB-MIMO depends on the beam direction which the works in literature assumed the range of 360 degree or 180 degree sector. This condition

cannot be true in practice even in the cellular system of 5G technology. The concept of 120 degree sector still provides more benefits in term of reducing co-channel interference. Hence, this paper presents the performance analysis of MB-MIMO under 120 degree sector considerations. The simulation results indicate the interesting issue on number of optimum beams for MB-MIMO that the 120 degree sector considerations requires less beams than conventional cell. This can lead to the real implementation for 5G technology in the near future.

The remainder of this paper is organized as follows. In Section II, the overview of MB-MIMO system is presented. In Section III, the discussion on 120 degree sector considerations is given. The simulation results are presented in Section IV and the conclusion is found in Section V.

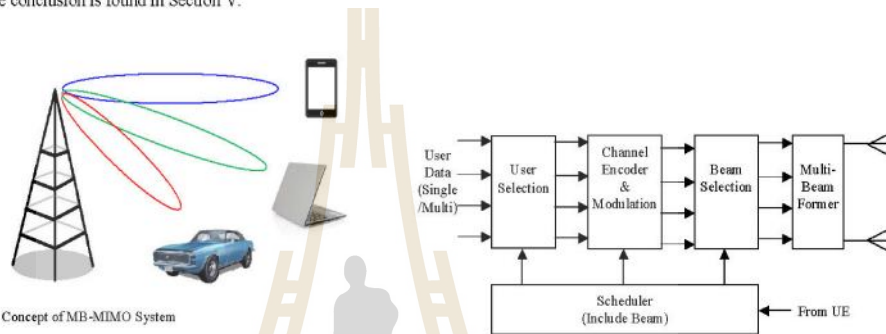


Fig. 1. Concept of MB-MIMO System

II. OVERVIEW OF MB-MIMO

A. Cellular System

Cellular system is a system of mobile phones which uses wireless communication as a key success. Frequencies are allocated to the various service areas such areas are called cell. The size of cells depends on the density of users. Cell provided by the base station which can be connected to the mobile station using MB-MIMO is illustrated in Figure 1. In practice, cell is divided into three sectors equally by using the directional antennas at base station. The division of sectors within the cell to divide 360 degree by the majority of the three sectors, each sector having an angle is 120 degree. From 2G to 5G cellular systems, the use of 120 degree sector is necessary in practice because it can reduce the significant co-channel interference. Hence, this paper focuses on the consideration of 120 degree sector for MB-MIMO.

B. Transmitter and receiver structure

The proposed structure is illustrated in Figure 2. Multibeam is used to send signals to transmit multiple streams and UE employed to receive the transmitted data [6]. Each functional part in the transmitter includes User selection (*Select user data to transmit*), Channel encoder and modulator (*Channel encoding, mapping and modulation*), Beam selection

(*Select beam for the data transmission*), Multibeam former (*Produce signal to form fixed multibeam*) and Scheduler feedback from UE, amount of data and QoS.

The functional part in the receiver includes MIMO or SIMO detector (*MMSE, MLD*), Tx beam measurement (*CQI are measured every TTI for ranking according to the measurement results*), Tx beam and stream decision which the best beam is selected and generate feedback signal involve number of selected beam and finally channel decoding.

MB-MIMO system is a closed-loop MIMO scheme that uses a simple combining transmission of multiple data stream and adaptive beam selection is based UE. The weight used at the transmitter are got to know the receiver which selected by UE and feedback of specifying index [7].

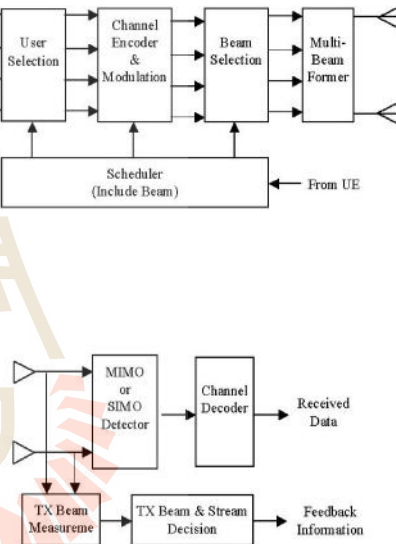


Fig. 2. BS Transmitter & UE Receiver

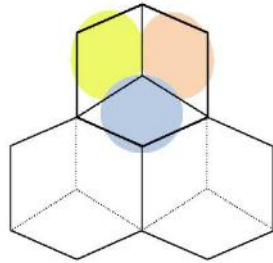


Fig. 3. 120 degree sectorization.

III. 120 DEGREE SECTOR CONSIDERATIONS

A. Structure of Cell

Figure 3. illustrates the model of the cell which is similar to a honeycomb with 360 degree. In practice, it is divided into cell sectors. Each sector is angle coverage of 120 degree [5]. Base station will cover sector cell from 1 sector to 3 sectors by using directional antennas. This system inevitably deploys since 3G, 4G until 5G.

B. To change 180 degree to 120 degree sector

If we replace angle covering from 180 degree to 120 degree sector, it will result in effective change of beam consideration of MB-MIMO. This is because the choices of beams allocating over region are changed. The difference of angle boundary involves into the capacity performance indirectly. Hence, it is interesting to investigate the performance in the next section.

C. Direction of beams

We divide angle by the direction of each angle depending on the number of beam to be determined which divided to cover degrees in boundary. For 120 degree sector, it has the narrow beam angle but result in far more coverage. On the other hand, in case of 180 degree sector, it may not cover more distance but it covers a wider angle.

IV. SIMULATION RESULT

In this work, we determine a number of antennas for result analysis of simulation and comparison capacity between conventional 180 degree and 120 degree in the practice. The measured capacity at SNR 10 dB of each antenna is investigated.

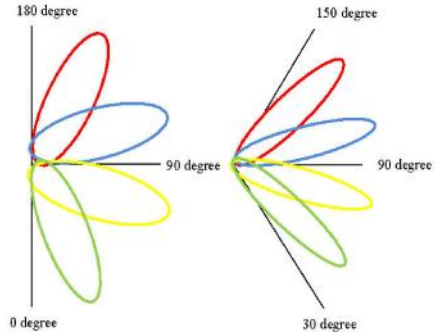


Fig. 4. Direction comparison of four beams with in 180 degree and 120 degree sectors.

The performance of the proposed beam design is analyzed by using simulated capacity of MIMO system as given by

$$C = \log_2 \det \left[\mathbf{I} + \left(\frac{\rho}{N_t} \right) \mathbf{H}\mathbf{H}^* \right] \text{ bps/Hz} \quad (1)$$

Where \mathbf{I} is identity matrix, ρ is SNR (*Signal-to-Noise Ratio*), N_t is number of transmitted antennas, \mathbf{H} is the channel matrix and $(\cdot)^*$ is hermitian operation.

A. 180 degree sector

Figure 5. shows the capacity of conventional 180 degree sector for 2 beams and Figure 6. shows the capacity of conventional 180 degree sector for 4 beams. The capacity is a function of the number of beams as well as the number of receiving antennas. Note that the notation of c means the capacity of MIMO system with perfect channel knowledge, the notation of c_{svd} means the capacity of MB-MIMO with perfect feedback channel, and the notation of c_{cbf} means the capacity of MB-MIMO with finite number of beams. It is clearly seen that the capacity performance of MB-MIMO is limited by the finite number of beams.

The capacity versus number of beams for 180 degree sector is also examined as shown in Figure 7. It can be noticed that the optimum beams can be achieved at 7 beams regardless of number of antennas.

B. 120 degree sector

Figure 8. shows the capacity of conventional 120 degree sector for 2 beams and Figure 9. shows the capacity of conventional 120 degree sector for 4 beams. The capacity is a function of the number of beams as well as the number of receiving antennas. The capacity versus number of beams for 120 degree sector is also examined as shown in Figure 10. It can be noticed that the optimum beams can be achieved at 4 beams regardless of number of antennas.

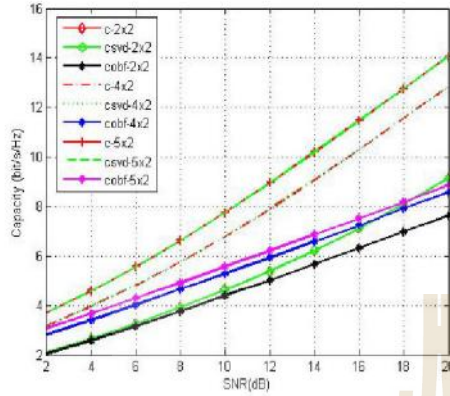


Fig. 5. Capacity of conventional 180 degree sector for 2 beams.

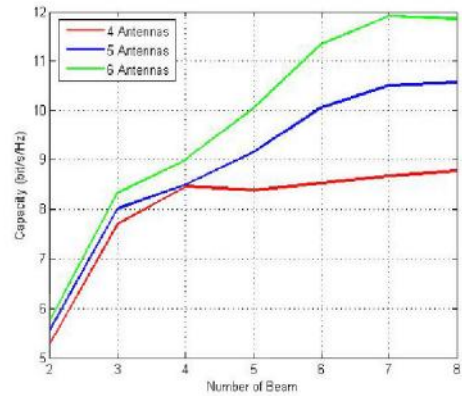


Fig. 7. Capacity versus number of beams for 180 degree sector.

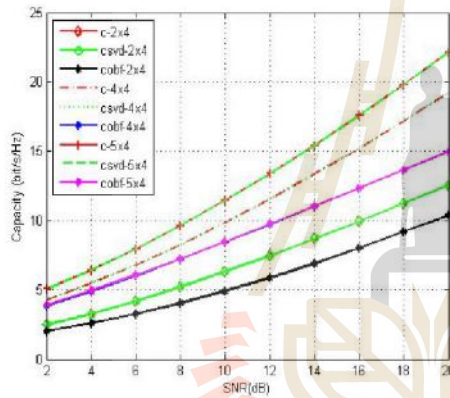


Fig. 6. Capacity of conventional 180 degree sector for 4 beams.

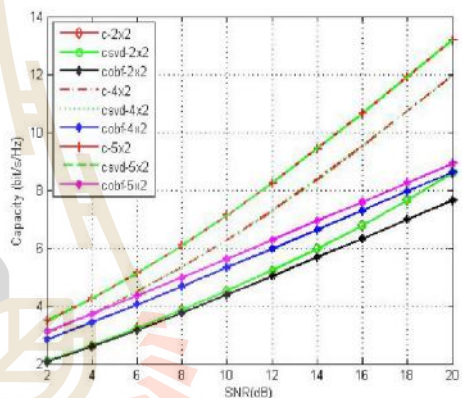


Fig. 8. Capacity of conventional 120 degree sector for 2 beams.

V. CONCLUSION

From all results, the capacity in the case 180 degree sector has better performance because of angle wide coverage. Moreover, it can be noticed that the optimum beams between 180 degree sector is larger than 120 degree sector. This investigation is very useful because the practical design for MB-MIMO can be limited by 4 beams instead of 7 beams. It can save a lot of processing time and some hardware requirements.

In this paper the MB-MIMO system which is the candidate for 5G technology is discussed. By comparison, between the conventional 180 degree sector and 120 degree sector in practice, the results revealed that the appropriate number of beams for 180 degree sector is 7 beams while for 120 degree sector is only 4 beams. This outcome is very helpful to design both software and hardware for MB-MIMO. It can save a lot of processing time if 4 beams used instead of 7 beams.

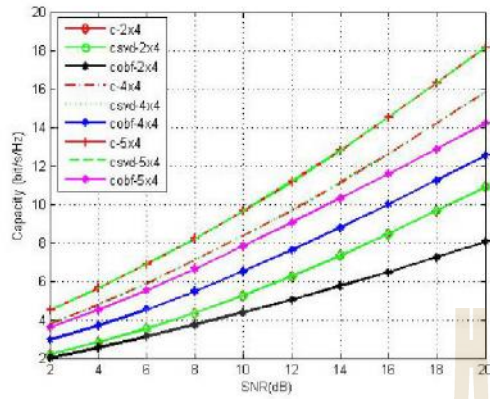


Fig. 9. Capacity of conventional 120 degree sector for 4 beams

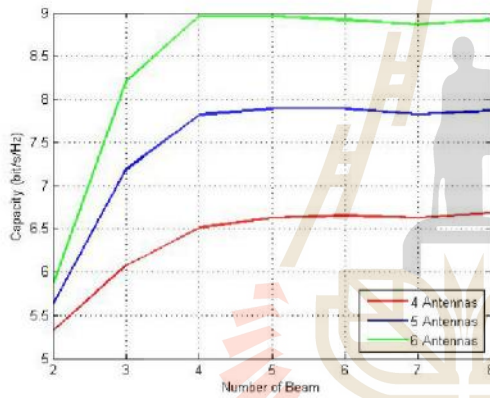


Fig. 10. Capacity versus number of beams for 120 degree sector.

REFERENCES

- [1] Gohil, A; Modi, H; Patel, S.K., "5G technology of mobile communication: A survey," Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP), 2013 International Conference on , vol., no., pp.288,292, 1-2 March 2013
- [2] P. Meerasri, P. Uthansakul, and M. Uthansakul, "Self-Interference Cancellation Based Mutual Coupling Model for Full-Duplex Single-Channel MIMO Systems," International Journal of Antennas and Propagations, vol. 2014, pp. 1-10, 2014.
- [3] A. Innok, P. Uthansakul, and M. Uthansakul, "Angular beamforming technique for MIMO beamforming system," International Journal of Antennas and Propagations, vol. 2012, pp. 1-13, 2012.
- [4] M. Uthansakul and P. Uthansakul, "Experiments on Low-Profile Beamforming MIMO System for WLAN Applications," IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 53, no. 6, pp. 56-69, December 2011.
- [5] Tran Cao Quyen; Trinh Anh Vu, "The application of a multibeam antenna for 4G," Advanced Technologies for Communications (ATC), 2012 International Conference on , vol., no., pp.227,230, 10-12 Oct. 2012
- [6] R1-051438, Fujitsu, "Multi-beam MIMO for EUTRA downlink," 3GPP RAN1 #43, Seoul, Korea, November 2005.
- [7] Seki, H.; Tsutsui, M., "Throughput Performance of Pre-coding MIMO Transmission with Multi-Beam Selection," Communications, 2007. ICC '07. IEEE International Conference on , vol., no., pp.2785,2790, 24-28 June 2007.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวกมลทิพย์ ฌรงศ์ฤทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531 ที่จังหวัด นครราชสีมา เริ่มศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่ 1- 6 โรงเรียนสุขานารี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย 2 จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรม โทคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2553 จากนั้นได้เข้า ทำงานที่บริษัท เออร์เนท จำกัด ตำแหน่ง วิศวกร RF (Radio Frequency Engineer) เป็นเวลา 1 ปี หลังจากนั้นปี 2555 ได้เข้าทำงานที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำแหน่งผู้ช่วยสอนและวิจัย

ปี พ.ศ. 2556 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยได้รับทุนสนับสนุนจากทุนการศึกษาแก่นักศึกษาระดับ บัณฑิตศึกษาที่คณาจารย์ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนภายนอก (OROG) และมีบทความทางวิชาการที่ ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติจำนวน 1 ฉบับ ดังนี้

- 1) 20th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC2014) ในหัวข้อ **“Performance Analysis of MB-MIMO under 120 Degree Sector Consideration for 5G Communications”** Pattaya, Thailand, 1-3 October 2014.