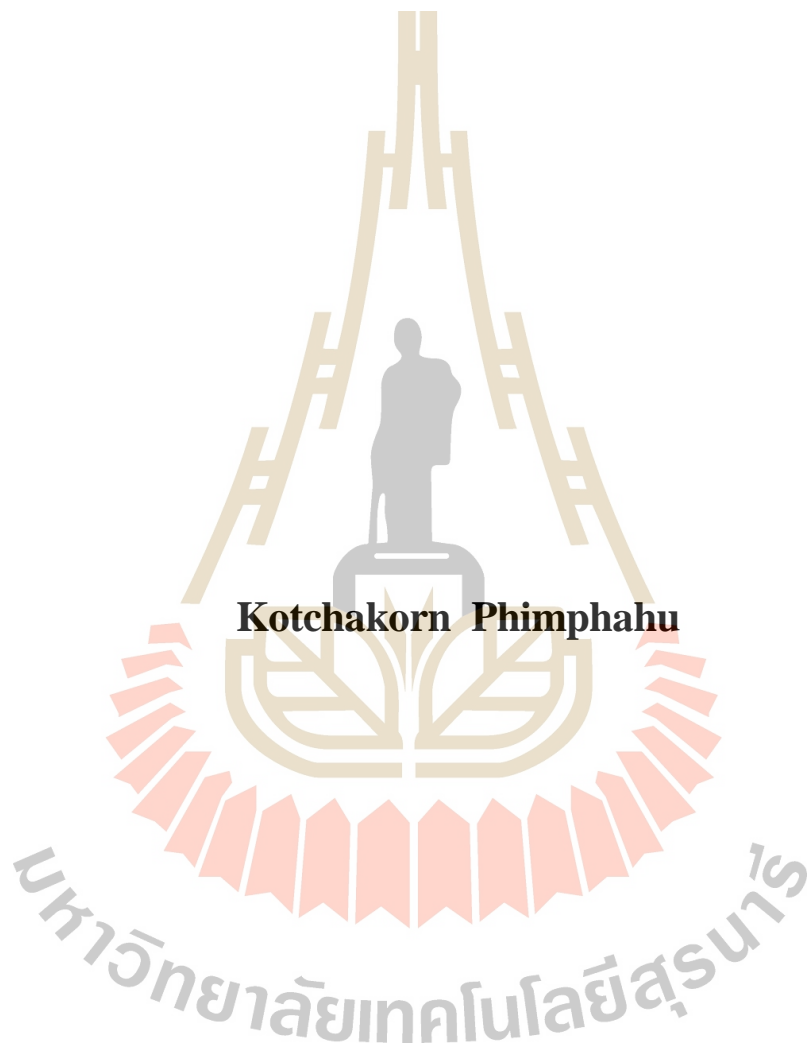


การวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่าย
เฟมโทเซลล์สี่จีภายในอาคารหลายชั้น



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2561

**RADIO RESOURCE PLANNING FOR 4G FEMTOCELL
NETWORKS IN MULTI-FLOOR BUILDINGS**



Kotchakorn Phimpahu

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

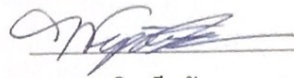
Suranaree University of Technology

Academic Year 2018

การวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายเฟมโทเซลล์จีภายในอาคารหลายชั้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



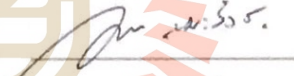
(ศ. ดร. วิภาวี หัตถกรรม)

ประธานกรรมการ



(รศ. ดร. มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล)

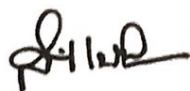
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ดร. กมล เขมะรังษี)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ศ. ดร. สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

KOTCHAKORN PHIMPHAHU : RADIO RESOURCE PLANNING FOR
4G FEMTOCELL NETWORKS IN MULTI-FLOOR BUILDINGS. THESIS
ADVISOR : ASSOC. PROF. MONTHIPPA UTHANSAKUL, Ph.D.,
118 PP.

4G-LTE FEMTOCELL NETWORK/RADIO RESOURCE ASSIGNMENT/
FREQUENCY ALLOCATION/INTER-CELL INTERFERENCE/LINEAR
PROGRAMMING

So far, the requirement of mobile data rate and ubiquitous network access for indoor environment has been increasing continuously. In order to satisfy the mentioned requirements, a 4G Long Term Evolution (LTE) offers Femtocell Base Stations (FBSs) which can improve not only indoor coverage but also the speed of data transmission. The FBS is a low-power home base station, which covers a small area. However, one of major challenges is an increase in Inter-Cell Interference (ICI) caused by the neighboring FBSs which share the same radio resources.

This research proposes a Linear Programming (LP) model to solve radio resource planning problem for 4G femtocell networks in multi-floor buildings. The objective of this research work is to maximize the number of Radio Resource Blocks (RRBs) assigned to each FBS. Moreover, the proposed technique can guarantee the quality of services in terms of Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR) and signal coverage.

The experimental results illustrate that the proposed technique can achieve 100% service coverage throughout the service area. Furthermore, the proposed

technique can guarantee the quality of services in terms of the SINR and can improve maximum downlink throughput at FBS up to 86.11%.



School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2018

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตินา พรหมมาก รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร.จิตพงษ์ เวชไชสงค์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ รองศาสตราจารย์ ดร.พิระพงษ์ อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ และ อาจารย์ ดร.เศรษฐวิทย์ ภูญาษา อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความรู้ด้านวิชาการและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องบัณฑิตศึกษาทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ และขอบคุณ คุณวิรัตน์ อางหาญ เลขานุการสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้คำปรึกษาและจัดการด้านเอกสารตลอดระยะเวลาการศึกษา

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

กชกร พิมพาหุ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	4
1.4 ข้อยกเว้นเบื้องต้น	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย	5
1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน	5
1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย	5
1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย	6
1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	6
1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล	6
1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	6
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ	7
1.8 นวัตกรรมของงานวิจัยนี้	7
1.9 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์	7

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2	ปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	9
2.1	กล่าวนำ	9
2.2	ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
2.3	โครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์	15
2.4	เทคโนโลยี OFDMA	16
2.5	การจัดสรรทรัพยากรคลื่นวิทยุในระบบแอลทีอี	17
2.6	แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร	18
2.7	การโปรแกรมเชิงเส้น	20
2.7.1	ข้อสมมุติฐานสำคัญในการโปรแกรมเชิงเส้น	21
2.7.2	รูปแบบมาตรฐานของการโปรแกรมเชิงเส้น	22
2.7.3	ส่วนประกอบของการโปรแกรมเชิงเส้นมาตรฐาน	23
2.7.4	คุณสมบัติของรูปแบบการโปรแกรมเชิงเส้น	23
2.7.5	การสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นจากปัญหา	24
2.7.6	ตัวอย่างการกำหนดปัญหา	24
2.8	การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยอัลกอริธึมซิมเพล็กซ์	28
2.8.1	ขั้นตอนของวิธีซิมเพล็กซ์	29
2.8.1.1	ขั้นตอนเริ่มต้น (initialization step)	29
2.8.1.2	ขั้นตอนที่ต้องกระทำซ้ำ (iteration step)	30
2.9	สรุปท้ายบท	36
3	เทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุ	
	สำหรับเครือข่ายเฟมโตเซลล์สี่จีภายในอาคารหลายชั้น	37
3.1	แนวคิดในการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุ	
	สำหรับเครือข่ายเฟมโตเซลล์สี่จีภายในอาคารหลายชั้น	37
3.2	การกำหนดปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น	38
3.3	การพัฒนาสมการคณิตศาสตร์	42
3.3.1	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของเฟสที่ 1	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2	สมการเงื่อนไขของเฟสที่ 1..... 45
3.3.3	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของเฟสที่ 2..... 45
3.3.4	สมการเงื่อนไขของเฟสที่ 2..... 46
3.4	โปรแกรมช่วยหาคำตอบสำหรับการโปรแกรมเชิงเส้น..... 48
3.5	สรุปท้ายบท..... 52
4	การทดลองและการวิเคราะห์ผล..... 53
4.1	การทดลองเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับสถานีฐาน เฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นด้วยเทคนิคที่นำเสนอ..... 53
4.1.1	ออกแบบการทดลอง..... 54
4.1.1.1	การทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1..... 55
4.1.1.2	การทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2..... 59
4.1.2	ผลการทดลอง..... 62
4.1.3	การวิเคราะห์ผล..... 66
4.1.3.1	พื้นที่ของอาคารทดลองที่ 1..... 66
4.1.3.2	พื้นที่ของอาคารทดลองที่ 2..... 71
4.2	การทดลองเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวางแผน ทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น เทคนิคที่นำเสนอเทียบกับเทคนิคแบบ Graph Coloring Assignment (GCA)..... 75
4.2.1	การเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ผล..... 76
4.2.1.1	พื้นที่อาคารทดลองที่ 1..... 76
4.2.1.2	พื้นที่อาคารทดลองที่ 2..... 83
4.3	สรุปท้ายบท..... 89
5	สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 90
5.1	สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์..... 90
5.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ..... 91
5.3	แนวทางการพัฒนาในอนาคต..... 92

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง.....	93
ภาคผนวก	96
ประวัติผู้เขียน.....	118



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	สรุปปรัทัศน์วรรณกรรม..... 14
2.2	แบบจำลองต่าง ๆ ที่ใช้งานในระบบแอลทีอี..... 18
2.3	ค่าความสูญเสียของสัญญาณทะลุผ่านกำแพงประเภทต่างๆ..... 19
2.4	กำไรที่ได้จากการขายสินค้าจากโรงงานผลิต..... 25
2.5	กำไรที่ได้จากการขายสินค้าของบริษัทไทยพัฒนา..... 27
2.6	ตารางซิมเพล็กซ์ของกำหนดการเชิงเส้น..... 30
2.7	ตัวแปรมูลฐานเข้า คือตัวแปร X_2 31
2.8	ตัวแปรมูลฐานออก คือตัวแปร S_2 31
2.9	สัมประสิทธิ์ของทุกตัวแปรในแถวหลักใหม่..... 32
2.10	ค่าตัวแปรมูลฐานใหม่..... 33
2.11	ตัวแปรเข้าคือ X_1 ตัวแปรออกคือ S_1 34
2.12	ตารางซิมเพล็กซ์ที่สมบูรณ์ของปัญหานี้..... 35
3.1	การแปลงสมการคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับวัตถุประสงค์ที่ 1 เป็นรูปแบบคำสั่งในโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio..... 51
3.2	การแปลงสมการคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับวัตถุประสงค์ที่ 2 เป็นรูปแบบคำสั่งในโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio..... 51
4.1	ตำแหน่งติดตั้งของสถานีฐานเฟม โดเซลล์ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1..... 57
4.2	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1..... 57
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการมอดูเลตและค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณ แทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขึ้นค่า..... 58
4.4	ตำแหน่งติดตั้งของสถานีฐานเฟม โดเซลล์ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2..... 61
4.5	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2..... 62
4.6	คำตอบของเฟสที่ 1 ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1..... 63
4.7	คำตอบของเฟสที่ 1 ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2..... 64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.8 คำตอบของเฟสที่ 2 ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1.....	65
4.9 คำตอบของเฟสที่ 2 ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2.....	65
4.10 สรุปผลประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้นำเสนอในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1.....	70
4.11 สรุปผลประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้นำเสนอในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2.....	74
4.12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1.....	82
4.13 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2.....	88



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีเฟม โดเซลล์..... 15
2.2	การผสมสัญญาณที่ตั้งฉากกัน..... 17
2.3	การจัดสรรทรัพยากรคลื่นวิทยุในระบบแอลทีอี..... 17
3.1	ขั้นตอนการทำงานของปัญหาการ โปรแกรมเชิงเส้นของเฟสที่ 1..... 40
3.2	ขั้นตอนการทำงานของปัญหาการ โปรแกรมเชิงเส้นของเฟสที่ 2..... 41
3.3	ส่วนประกอบของการ โปรแกรมเชิงเส้น..... 42
3.4	หน้าต่างโปรแกรม IBM ILOG CPLEX optimization studio..... 48
3.5	model file editing area..... 49
3.6	data file editing area..... 50
3.7	setting file editing area..... 50
4.1	แผนผังพื้นที่อาคารทดลองที่ 1..... 54
4.2	แผนผังพื้นที่อาคารทดลองที่ 2..... 54
4.3	พารามิเตอร์สำหรับการทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1..... 56
4.4	พารามิเตอร์สำหรับการทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2..... 59
4.5	ค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่สูงที่สุดของแต่ละสถานีฐานเฟม โดเซลล์ ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1..... 67
4.6	กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับ ที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1..... 68
4.7	กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณ แทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรง สัญญาณในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1..... 69
4.8	กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลด ที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1..... 70
4.9	ค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่สูงที่สุดของแต่ละสถานีฐานเฟม โดเซลล์ ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2..... 72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับ ที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1.....	72
4.11 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณ แทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนคาวาน์ลิงก์เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรง สัญญาณในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2.....	73
4.12 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าวิสัยสามารถคาวาน์ลิงก์เฉลี่ย ที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2.....	74
4.13 เทคนิคการระบายสีกราฟ.....	75
4.14 จำนวนบล็อกของทรัพยากรที่แต่ละสถานีฐานเฟม โดเซลล์ได้รับของเทคนิค ที่นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1.....	77
4.15 ค่าวิสัยสามารถคาวาน์ลิงก์ที่สูงที่สุดในแต่ละสถานีฐานเฟม โดเซลล์ ของเทคนิคที่นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1.....	77
4.16 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับที่จุดทดสอบ ความแรงสัญญาณของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1.....	78
4.17 ความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณที่ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ต่ออัตราส่วน สัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขั้นต่ำของเทคนิคที่ นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1.....	79
4.18 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด บวกสัญญาณรบกวนคาวาน์ลิงก์เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณของเทคนิคที่ นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1.....	80
4.19 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าวิสัยสามารถคาวาน์ลิงก์เฉลี่ยที่จุดทดสอบ ความแรงสัญญาณของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1.....	81
4.20 จำนวนบล็อกของทรัพยากรที่แต่ละสถานีฐานเฟม โดเซลล์ได้รับของเทคนิค ที่นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2.....	83

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21	ค่าวิสัยสามารถควาน์ลิงก์ที่สูงที่สุดในแต่ละสถานีฐานเฟมโทเซลล์ ของเทคนิคที่นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2..... 84
4.22	กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับที่จุดทดสอบ ความแรงสัญญาณของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2..... 85
4.23	ความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณที่ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ต่อค่าอัตราส่วน สัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขึ้นต่ำของเทคนิคที่ นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2..... 85
4.24	กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด บวกสัญญาณรบกวนควาน์ลิงก์เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณของเทคนิคที่ นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2..... 86
4.25	กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าวิสัยสามารถควาน์ลิงก์เฉลี่ยที่จุดทดสอบ ความแรงสัญญาณของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2..... 88

บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็นการกล่าวถึงความเป็นมาและเหตุจูงใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งประกอบด้วย ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย แนวทางการดำเนินงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันจำนวนผู้ใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (mobile networks) มีเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดปริมาณข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างหนาแน่น Cisco Visual Networking Index (2015) โดยปริมาณข้อมูลส่วนใหญ่เกิดจากผู้ให้บริการภายในอาคาร เช่น สำนักงาน ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น Zhang, J. and De la Roche, G. (2010) โดยความซับซ้อนของโครงสร้างภายในอาคารนั้นทำให้สัญญาณที่ถูกส่งมาจากสถานีฐานมาโครเซลล์ (macrocell) ถูกลดทอนลงอย่างมาก ทำให้ผู้ใช้บริการภายในอาคารอาจไม่สามารถรับสัญญาณจากสถานีฐานมาโครเซลล์ได้ ส่งผลให้เกิดบริเวณจุดอ่อนสัญญาณภายในอาคาร Vardhan, C. S., Ratnam, D. V., Bhagyasree, N., and Dattu, A. H. (2014) ดังนั้นในเทคโนโลยีสี่จีแอลทีอี (4G-Long Term Evolution : 4G-LTE) จึงได้นำเสนอเฟมโตเซลล์ (femtocell) เข้ามามีชีวิตอยู่ในอาคารเพื่อช่วยในกรณีปัญหานี้ Barbieri, A., et al. (2012) โดยเฟมโตเซลล์เป็นสถานีฐานขนาดเล็ก มีกำลังส่งต่ำ ครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณขนาดเล็ก Mahmud, S. A., Khan, G. M., Zafar, H., Ahmad, K., and Behtani, N. (2013) ทำงานด้วยย่านความถี่ที่หน่วยงานกำกับดูแลด้านกิจการ โทรคมนาคมของประเทศ (คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ : กสทช.) เป็นผู้กำหนด ซึ่งสถานีฐานเฟมโตเซลล์จะช่วยเพิ่มพื้นที่ครอบคลุมภายในอาคาร (indoor coverage) และเพิ่มวิสัยสามารถของระบบ (system throughput) อีกทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่าง ๆ ได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตามสถานีฐานเฟมโตเซลล์นั้นก็มีปัญหาในเรื่องของสัญญาณแทรกสอดระหว่างเซลล์ (Inter-Cell Interference : ICI) ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในเครือข่ายมีการใช้ความถี่ซ้ำ (frequency reuse) เนื่องจากมีความจำกัดของทรัพยากรคลื่นวิทยุ (radio resource) ที่สามารถนำมาใช้งานได้กับเทคโนโลยีสี่จีแอลทีอี ดังนั้นจึง

ต้องมีการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์อย่างเหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการการสื่อสารของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารให้ดียิ่งขึ้น

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรม งานวิจัยที่ผ่านมาได้นำเสนอเทคนิคต่าง ๆ เพื่อช่วยบรรเทาปัญหาสัญญาณแทรกสอดระหว่างเซลล์ (interference mitigation) ได้แก่ งานวิจัยของ Ahmed, A. U., Islam, M. T., and Ismail, M. (2014) ได้นำเสนอเทคนิคการจัดสรรทรัพยากรคลื่นวิทยุ (radio resource allocation) ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยเป็นการจัดสรรบล็อกของทรัพยากรคลื่นวิทยุ (radio resource block) ที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งบล็อกของทรัพยากรคลื่นวิทยุเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดในการส่งข้อมูลของระบบ OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) Holma, H., and Toskala, A. (2011) โดยในหนึ่งบล็อกของทรัพยากรคลื่นวิทยุจะประกอบไปด้วยคลื่นพาหะย่อย (subcarrier) หลาย ๆ คลื่นรวมอยู่ด้วยกัน

นอกจากนี้งานวิจัยที่ผ่านมาที่ช่วยแก้ปัญหาในเรื่องของสัญญาณแทรกสอดระหว่างเซลล์ที่สนใจเรื่องของการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ภายนอกอาคาร ได้แก่ งานวิจัยของ Selim, M. M., El-Khamy, M., and El-Sharkawy, M. (2012) ได้นำเสนอเทคนิคการจัดสรรความถี่ให้กับสถานีฐานมาโครเซลล์และสถานีฐานเฟมโตเซลล์ เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานมาโครเซลล์และสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยเปรียบเทียบเทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบต่าง ๆ ในด้านของวิสัยสามารถ (throughput) คุณภาพของการบริการ (Quality of Service : QoS) และความเท่าเทียมกัน (fairness) งานวิจัยของ Varghese, A., and Sudha, T. (2015) ได้นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่และการจัดสรรระดับกำลังส่งสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มวิสัยสามารถของทั้งระบบให้มีค่าสูงที่สุด ภายใต้เงื่อนไขการรับประกันคุณภาพของการบริการ และอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลของผู้ใช้บริการ รวมถึงการกำหนดกำลังส่งที่เหมาะสมให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ด้วย งานวิจัยของ Saeed, A., Katranaras, E., Dianati, M., and Imran, M. A. (2015) ได้นำเสนอเทคนิคการจัดสรรความถี่ให้กับช่องสัญญาณควบคุม (control channel) และช่องสัญญาณข้อมูล (data channel) สำหรับเครือข่ายเฮเทอโรเจนีอัส (Heterogeneous Networks : HetNets) โดยใช้วิธีสติคอัลกอริทึม (Heuristic algorithm) มาช่วยในการแก้ปัญหาเพื่อลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานมาโครเซลล์และสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มวิสัยสามารถรวมของผู้ใช้บริการในสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งระบบให้มีค่าสูงที่สุด ภายใต้เงื่อนไขการรับประกันคุณภาพของการบริการให้กับผู้ใช้บริการในสถานีฐานมาโครเซลล์ และงานวิจัยของ Estrada, R., Otrók, H., Dziong, Z., and Barada, H. (2013) ได้นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สำหรับเครือข่ายสถานีฐานมาโครเซลล์และสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (linear programming) ในการแก้ปัญหา โดยจะแบ่งขั้นตอนการ

ทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะเลือกสถานีฐานที่เหมาะสมกับผู้ใช้บริการแต่ละคน ส่วนขั้นตอนที่สองจะทำการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้แก่สถานีฐาน เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานมาโครเซลล์และสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มวิสัยสามารถของระบบให้มีค่าสูงที่สุด ภายใต้เงื่อนไขการรับประกันคุณภาพของการบริการ ส่วนงานวิจัยที่พิจารณาปัญหาการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ภายในอาคาร ได้แก่ งานวิจัยของ Ebrahim, A., Alsusa, E., and Baidas, M. W. (2016) ได้นำเสนอเทคนิคการจัดสรรความถี่สำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ซึ่งใช้อัลกอริทึมการค้นหาช่วยในการแก้ปัญหา โดยมีเป้าหมายเพื่อใช้ความจุช่องสัญญาณที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุดในแต่ละสถานีฐาน ภายใต้เงื่อนไขเพื่อลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างเซลล์จากสถานีฐานใกล้เคียง อีกทั้งต้องรับประกันคุณภาพของการบริการและวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการอีกด้วย งานวิจัยของ Liu, J., Wu, J., Chen, J., Wang, P., and Zhang, J (2012) ได้นำเสนอเทคนิคการจัดสรรทรัพยากรคลื่นวิทยุ สำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคาร 5 ชั้น โดยใช้ทฤษฎีปัญหาการระบายสีกราฟ (graph coloring problem) มาประยุกต์ใช้กับอัลกอริทึมการค้นหาเพื่อช่วยในการแก้ปัญหา ซึ่งจะสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด (interference graph) ขึ้นมาเพื่อเป็นตัวกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์แต่ละตัว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้บริการบริเวณขอบเซลล์ และงานวิจัยของ Liang, Y. S., et al. (2012) ได้นำเสนอเทคนิคการจัดสรรความถี่สำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยใช้อัลกอริทึมการค้นหาช่วยในการแก้ปัญหา โดยมีเป้าหมายเพื่อใช้จำนวนบล็อกของทรัพยากรที่มีอยู่ทั้งหมดให้เกิดประโยชน์สูงสุดในเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ภายใต้เงื่อนไขการรับประกันคุณภาพของการบริการในแต่ละการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้บริการกับสถานีฐานเฟมโตเซลล์

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สำหรับเครือข่ายไร้สายต่าง ๆ พบว่างานวิจัยที่ได้ศึกษามาแล้วนั้น ได้ให้ความสนใจพัฒนาและปรับปรุงเทคนิควิธีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สำหรับเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งแบบภายในอาคารและภายนอกอาคาร เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดและเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารในพื้นที่ให้บริการ แต่ยังไม่ได้พิจารณาในส่วนของการรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน (Signal to Interference plus Noise Ratio : SINR) และการรับประกันสัญญาณครอบคลุมภายในพื้นที่ให้บริการ อีกทั้งงานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่ได้พิจารณาถึงโครงสร้างที่ซับซ้อนภายในอาคารหลายชั้น ดังนั้นงานวิจัยที่นำเสนอนี้ จึงมุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น เพื่อเพิ่มวิสัยสามารถของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมถึงพิจารณาในส่วนของการ

การรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน และการรับประกันคุณภาพความแรงสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการใช้งานของผู้ใช้บริการภายในเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ให้มากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

พัฒนาเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น โดยใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- 1) เทคนิคที่พัฒนาขึ้นสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ได้
- 2) เทคนิคที่พัฒนาขึ้นสามารถรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน และรับประกันคุณภาพความแรงสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1) งานวิจัยนี้พิจารณาเครือข่ายบนเทคโนโลยีแอลทีอี
- 2) ตำแหน่งที่ตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารจะถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า
- 3) กำหนดให้กำลังส่ง (power transmission) ของสถานีฐานเฟมโตเซลล์แต่ละตัวมีค่าเท่ากัน
- 4) การวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณในพื้นที่ที่พิจารณา ใช้แบบจำลองการสูญเสียตามระยะทาง (path loss model) ตามมาตรฐานของ 3GPP (3rd Generation Partnership Project) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้กับเทคโนโลยีแอลทีอีสำหรับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ตั้งภายในอาคาร
- 5) การวัดค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน แทนด้วยจุดทดสอบสัญญาณซึ่งมีกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ (uniform)
- 6) สถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ใช้ความถี่ต่างกันจะไม่เกิดสัญญาณแทรกสอดระหว่างกัน

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของสถานีฐานเฟมโตเซลล์
- 2) ศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

- 3) พัฒนาเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น
- 4) วิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นที่พัฒนาขึ้นกับเทคนิคอื่น ๆ

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน

- 1) สํารวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น
- 3) ศึกษาและออกแบบจำลองเพื่อใช้ในการพัฒนาเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นในรูปแบบต่าง ๆ และวิเคราะห์ประเมินคุณภาพตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุของแบบจำลอง
- 4) ศึกษาการสร้างฟังก์ชันเป้าหมาย และเงื่อนไขของปัญหาให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์
- 5) สร้างฟังก์ชันเป้าหมาย และข้อจำกัดของปัญหาให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น เพื่อใช้ในการออกแบบเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น
- 6) ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นที่ได้พัฒนาขึ้นเทียบกับเทคนิคอื่น ๆ

1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) ศึกษาเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นแบบต่าง ๆ

- 3) จำลองเครือข่ายสถานีฐานเฟม โดเซลล์ และวิเคราะห์ประเมินคุณภาพตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุของแบบจำลอง
- 4) สร้างฟังก์ชันเป้าหมาย และข้อจำกัดของปัญหาให้อยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการ โปรแกรมเชิงเส้น เพื่อใช้ในการออกแบบเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น ซึ่งเป็นสมการสำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด
- 5) วิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นที่ได้พัฒนาขึ้นเทียบกับเทคนิคอื่น ๆ

1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการสื่อสาร โทรคมนาคม อาคารเครื่องมือ 11 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (personal computer)
- 2) โปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio
- 3) โปรแกรม MATLAB

1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) เก็บรวบรวมค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และใช้สร้างเป็นฐานข้อมูล
- 3) เก็บรวบรวมผลการทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะของเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น

1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองของเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น โดยเปรียบเทียบเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้นกับเทคนิคอื่น ๆ และสรุปผลออกมาในรูปของรูปภาพและ ข้อมูล ตาราง เปรียบเทียบตัวเลข

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.7.1 ได้เทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น โดยใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นในการออกแบบ
- 1.7.2 เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์

1.8 นวัตกรรมของงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น โดยใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นในการแก้ปัญหา ซึ่งการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุที่เหมาะสมนั้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ได้ กระบวนการทำงานสำหรับการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 2 เฟสการทำงาน โดยในเฟสแรกเป็นกระบวนการทำงานที่มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ทำให้ผลรวมค่าความแรงสัญญาณของผู้ใช้บริการภายในอาคารมีค่ามากที่สุด ส่วนในเฟสที่สองเป็นกระบวนการทำงานที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนบล็อกรของทรัพยากรคลื่นวิทยุที่มากที่สุดที่สามารถจัดสรรให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยจะจัดสรรให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ได้คำตอบจากเฟสแรกมาเป็นข้อมูลตั้งต้น โดยการจัดสรรบล็อกรของทรัพยากรคลื่นวิทยุที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะเป็นการจัดสรรที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้วิสัยสามารถของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารมีค่ามากที่สุด มีสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการและมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนที่มีประสิทธิภาพ

1.9 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย สมมติฐานของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับ และนวัตกรรมของงานวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

บทที่ 3 กล่าวถึงแนวคิดสำหรับการออกแบบการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น การกำหนดปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น

สำหรับการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทย์ สมการคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการวางแผน
ทรัพยากรคลื่นวิทย์ และ โปรแกรมช่วยหาคำตอบสำหรับการ โปรแกรมเชิงเส้น

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทย์สำหรับสถานี่ฐานเฟม
โตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นด้วยเทคนิคที่นำเสนอ การทดลองเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบ
ประสิทธิภาพการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทย์สำหรับสถานี่ฐานเฟม โตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น
ด้วยเทคนิคที่นำเสนอกับเทคนิคแบบ Graph Coloring Assignment (GCA)

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลของการวิจัย ปัญหาและข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา
ต่อในอนาคต



บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการสร้างเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่าย femto เซลล์ที่อยู่ในอาคารหลายชั้นให้มีประสิทธิภาพที่ดีนั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาในส่วนของปริทัศน์วรรณกรรม ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของเทคโนโลยี femto เซลล์ รวมถึงการจัดสรรทรัพยากรคลื่นวิทยุในเทคโนโลยีอัลทีอี เพื่อที่จะสามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้กับการออกแบบเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่าย femto เซลล์ที่อยู่ในอาคารหลายชั้นในวิทยานิพนธ์นี้ได้ ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ หัวข้อที่ 2.1 กล่าวนำ หัวข้อที่ 2.2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หัวข้อที่ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยี femto เซลล์ หัวข้อที่ 2.4 เทคโนโลยี OFDMA หัวข้อที่ 2.5 การจัดสรรทรัพยากรคลื่นวิทยุในระบบอัลทีอี หัวข้อที่ 2.6 แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร หัวข้อที่ 2.7 การโปรแกรมเชิงเส้น หัวข้อที่ 2.8 การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยอัลกอริธึมชิมเพล็กซ์ และ หัวข้อ 2.9 สรุปท้ายบท

2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยี femto เซลล์ (femtocell technology) ได้รับความนิยมและมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ขยายสัญญาณต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ขยายสัญญาณประเภทอื่น ๆ Nagashree, N., Rao, V., and Shanavas, I.H. (2013) และมีจุดเด่นด้านการขยายคุณภาพสัญญาณในพื้นที่ให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วยแก้ปัญหาคุณภาพสัญญาณบริเวณอาคารที่เป็นมุมอับสัญญาณที่สถานีฐานภายนอกไม่สามารถส่งสัญญาณมายังผู้ใช้งานได้ สำหรับโครงสร้างการทำงานของเทคโนโลยี femto เซลล์ประกอบไปด้วยสองส่วนหลัก คือ ส่วนของซุ่มสาย (core network) และ ส่วนของเครือข่าย femto เซลล์ (femtocell network) ซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อที่ 2.3 โดยเทคโนโลยี femto เซลล์เป็นเสมือนตัวกลางในการเชื่อมต่อแบบไร้สายระหว่างโทรศัพท์มือถือเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง โดยจะทำการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านตัวรับสัญญาณอินเทอร์เน็ต เพื่อให้สถานีฐาน femto เซลล์ได้ส่งสัญญาณไปยังผู้ใช้งานในพื้นที่ให้บริการต่อไป ดังนั้นการที่จะวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐาน femto เซลล์ให้เกิด

ประสิทธิภาพสูงสุด จึงจำเป็นต้องศึกษาและเข้าใจตั้งแต่กระบวนการทำงานพื้นฐานของเทคโนโลยี เฟมโตเซลล์ รวมถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสัญญาณภายในเครือข่าย

2.2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับการพิจารณาการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่าย เฟมโตเซลล์ที่อยู่ในอาคารหลายชั้นอย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องศึกษาทิศทางปรัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาโครงสร้าง หลักการทำงานของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ เพื่อเป็นความรู้และใช้เป็นแนวทางในการออกแบบสำหรับงานวิจัยต่อไปนี้ ซึ่งจากการศึกษาปรัศน์วรรณกรรมที่ผ่านมามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.2.1 งานวิจัยของ Mahmud, S. A., Khan, G. M., Zafar, H., Ahmad, K., and Behtani, N. (2013) เป็นงานวิจัยที่อธิบายโครงสร้างพื้นฐานและการทำงานของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่อธิบายโครงสร้างพื้นฐาน หลักการทำงาน และการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ทั้งต่อผู้ให้บริการเครือข่าย โทรศัพท์เคลื่อนที่และผู้ให้บริการ

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้ทำให้เกิดความเข้าใจหลักการทำงาน ข้อดี ข้อเสีย และปัญหาที่เกิดขึ้นของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาและออกแบบเครือข่ายเฟมโตเซลล์ต่อไป

2.2.2 งานวิจัยของ Selim, M. M., El-Khamy, M., and El-Sharkawy, M. (2012) เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานต่าง ๆ

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรความถี่ให้กับสถานีฐานมาโครเซลล์และสถานีฐานเฟมโตเซลล์ เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานมาโครเซลล์และสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยเปรียบเทียบเทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบต่าง ๆ ในด้านของวิสัยความสามารถ คุณภาพของการบริการ และความเท่าเทียมกันของค่าวิสัยความสามารถสำหรับผู้ให้บริการภายในพื้นที่ให้บริการ

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้ทำให้เห็นถึงแนวทางการแก้ปัญหาสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานมาโครเซลล์และสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ทำให้ได้เรียนรู้เทคนิคการจัดสรรความถี่ในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้

2.2.3 งานวิจัยของ Varghese, A., and Sudha, T. (2015) เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่และระดับกำลังส่งสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มวิสัยสามารถ

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่และการจัดสรรระดับกำลังส่งสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มวิสัยสามารถของทั้งระบบให้มีค่าสูงที่สุด ภายใต้เงื่อนไขการรับประกันคุณภาพของการบริการ และอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลของผู้ใช้บริการ รวมถึงการกำหนดกำลังส่งที่เหมาะสมให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ด้วย

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่ามีเป้าหมายเพื่อเพิ่มค่าวิสัยสามารถของทั้งระบบ ดังนั้นจึงได้อาณาเขตนี้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่จะนำเสนอ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังไม่ได้พิจารณาถึงการรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนในพื้นที่ให้บริการ

2.2.4 งานวิจัยของ Saeed, A., Katranaras, E., Dianati, M., and Imran, M. A. (2015) เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สำหรับเครือข่ายเฮเทอโรจีเนียส โดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึม

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรความถี่ให้กับช่องสัญญาณควบคุมและช่องสัญญาณข้อมูลสำหรับเครือข่ายเฮเทอโรจีเนียส โดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึมมาช่วยในการแก้ปัญหา เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานมาโครเซลล์และสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มวิสัยสามารถรวมของผู้ใช้บริการในสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งระบบให้มีค่าสูงที่สุด ภายใต้เงื่อนไขการรับประกันคุณภาพของการบริการให้กับผู้ให้บริการในสถานีฐานมาโครเซลล์

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้ทำให้ได้เรียนรู้วิธีการแก้ปัญหาอีกวิธีหนึ่ง นอกจากการใช้สมการคณิตศาสตร์ด้วยระเบียบวิธีการโปรแกรมเชิงเส้นในการหาคำตอบของปัญหาการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุ ยังมีวิธีการทางฮิวริสติกอัลกอริทึมที่สามารถหาคำตอบได้เช่นกัน โดยจะใช้ในกรณีที่ปัญหามีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนของอัลกอริทึมที่มากขึ้น ซึ่งทำให้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นไม่สามารถหาคำตอบในเวลาอันสั้นได้ แต่คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกอัลกอริทึมจะเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด (near optimal) แต่ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด (optimal) โดยในการหาคำตอบที่ดีที่สุดมีข้อจำกัดในเรื่องของทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งถ้าเป็นปัญหามีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมาก อาจจะใช้ระยะเวลาในการประมวลผลเป็นเดือนหรือปี จนไม่สามารถรอคำตอบที่ประมวลผลได้

2.2.5 งานวิจัยของ Estrada, R., Otrók, H., Dziong, Z., and Barada, H. (2013) เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สำหรับเครือข่ายสถานีฐานมาโครเซลล์และสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สำหรับเครือข่ายสถานีฐานมาโครเซลล์และสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นในการแก้ปัญหา โดยจะแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะเลือกสถานีฐานที่เหมาะสมกับผู้ใช้บริการแต่ละคน ส่วนขั้นตอนที่สองจะทำการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้แก่แต่ละสถานีฐาน เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานมาโครเซลล์และสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มวิสัยสามารถของระบบให้มีค่าสูงที่สุด ภายใต้เงื่อนไขการรับประกันคุณภาพของการบริการ

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าการออกแบบระบบสำหรับการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ด้วยการใช่วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นมาใช้ในการออกแบบนั้น สามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ ดังนั้นจึงนำเอาแนวคิดในการใช้สมการคณิตศาสตร์ด้วยการใช้แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นมาใช้ในการออกแบบ เพื่อแก้ปัญหาวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น

2.2.6 งานวิจัยของ Ebrahim, A., Alsusa, E., and Baidas, M. W. (2016) เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรความถี่สำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ภายใต้เงื่อนไขสัญญาณแทรกสอด

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรความถี่สำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ซึ่งใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึมมาช่วยในการแก้ปัญหา โดยมีเป้าหมายเพื่อใช้ความจุช่องสัญญาณที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุดในแต่ละสถานีฐาน ภายใต้เงื่อนไขเพื่อลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างเซลล์จากสถานีฐานใกล้เคียง อีกทั้งต้องรับประกันคุณภาพของการบริการและวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการอีกด้วย

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่างานวิจัยนี้ให้ความสำคัญกับการใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ดังนั้นจึงได้เอาแนวคิดนี้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่จะนำเสนอ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังไม่ได้พิจารณาถึงการรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนในพื้นที่ให้บริการ

2.2.7 งานวิจัยของ Liu, J., Wu, J., Chen, J., Wang, P., and Zhang, J (2012) เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคาร 5 ชั้น โดยใช้ทฤษฎีปัญหาการระบายสีกราฟมาประยุกต์ใช้กับฮิวริสติกอัลกอริทึมเพื่อช่วยในการแก้ไขปัญหา ซึ่งจะสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดขึ้นมาเพื่อเป็นตัวกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์แต่ละตัว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดของผู้ใช้บริการบริเวณขอบเซลล์

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้ทำให้เห็นแนวทางการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ด้วยวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึม ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาอีกวิธีหนึ่งนอกจากวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น

2.2.8 งานวิจัยของ Liang, Y. S., et al. (2012) เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรความถี่สำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยรับประกันคุณภาพของการบริการในแต่ละการเชื่อมต่อ

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรความถี่สำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยใช้ฮิวริสติกอัลกอริทึมมาช่วยในการแก้ปัญหา โดยมีเป้าหมายเพื่อใช้จำนวนบล็อกรายการที่มีอยู่ทั้งหมดให้เกิดประโยชน์สูงสุดในเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ภายใต้เงื่อนไขการรับประกันคุณภาพของการบริการในแต่ละการเชื่อมต่อระหว่างผู้บริการกับสถานีฐานเฟมโตเซลล์

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าการจัดสรรจำนวนบล็อกรายการที่มีอยู่ทั้งหมดเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นจึงได้อาณาความคิดนี้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่จะนำเสนอ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังไม่ได้พิจารณาถึงการรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน และการรับประกันสัญญาณครอบคลุมภายในพื้นที่ให้บริการ

2.2.9 งานวิจัยของ Uygungelen, S., Auer, G., and Bharucha, Z. (2011) เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรความถี่สำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรความถี่สำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยใช้ทฤษฎีปัญหาการระบายสีกราฟมาช่วยในการแก้ไขปัญหา โดยมีเป้าหมายเพื่อใช้ความจุของสัญญาณที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุดที่สูงสุดในแต่ละสถานีฐาน

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่างานวิจัยนี้ให้ความสำคัญกับการใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ดังนั้นจึงได้อาแนวคิดนี้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่จะนำเสนอ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังไม่ได้พิจารณาถึงการรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนในพื้นที่ให้บริการ

2.2.10 งานวิจัยของ Zeng, M., Chen, X., Zhang, X., Sang, L., and Yang, D. (2013) เป็นงานวิจัยที่เสนอเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สำหรับเครือข่ายเฮเทอโรจีเนียส ภายใต้เงื่อนไขสัญญาณแทรกสอด

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สำหรับเฮเทอโรจีเนียส เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานมาโครเซลล์และสถานีฐานพิโคเซลล์ โดยใช้ทฤษฎีปัญหาการระบายสีกราฟมาช่วยในการแก้ปัญหา โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มวิสัยความสามารถของทั้งระบบ

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่ามีเป้าหมายเพื่อเพิ่มค่าวิสัยความสามารถของทั้งระบบ ดังนั้นจึงได้อาแนวคิดนี้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่จะนำเสนอ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังไม่ได้พิจารณาถึงการรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนในพื้นที่ให้บริการ

ตารางที่ 2.1 สรุปเปรียบเทียบวรรณกรรม

วัตถุประสงค์	งานวิจัย									
	2.2.1	2.2.2	2.2.3	2.2.4	2.2.5	2.2.6	2.2.7	2.2.8	2.2.9	2.2.10
พื้นฐานเทคโนโลยีเฟม โดเซลล์	✓									
ใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น					✓					
ใช้อัลกอริทึม				✓		✓	✓	✓		
พิจารณากำลังส่งของเฟม โดเซลล์			✓							
พิจารณาวิสัยความสามารถของระบบ	✓		✓	✓	✓	✓				✓
พิจารณาสัญญาณแทรกสอดระหว่างเซลล์		✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓
พิจารณา resource block								✓		

2.3 โครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์

จากปัญหาด้านคุณภาพสัญญาณของผู้ใช้งานภายในอาคาร ในปัจจุบัน ทำให้เทคโนโลยีสี่จีแอลทีอีได้นำเสนอเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์เข้ามามีบทบาทในการช่วยแก้ปัญหา โดยการติดตั้งสถานีฐานขนาดเล็กภายในพื้นที่ประสบปัญหานั้น ๆ ซึ่งเฟมโตเซลล์จะช่วยแก้ปัญหาในด้านคุณภาพสัญญาณ ความแรงของสัญญาณ อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล รวมไปถึงพื้นที่สัญญาณครอบคลุม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบให้มากยิ่งขึ้น โดยเฟมโตเซลล์เป็นสถานีฐานขนาดเล็ก มีกำลังส่งต่ำ ครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณขนาดเล็ก Mahmud, S. A., Khan, G. M., Zafar, H., Ahmad, K., and Behttani, N. (2013) ทำงานด้วยย่านความถี่ที่หน่วยงานกำกับดูแลด้านกิจการโทรคมนาคมของประเทศ (คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ: กสทช.) เป็นผู้กำหนด นิยมนำไปใช้สำหรับติดตั้งภายในอาคารหรือบริเวณอับสัญญาณ เพื่อกระจายสัญญาณให้บริเวณนั้นมีคุณภาพสัญญาณที่ดีขึ้น

โดยเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์นั้นมีจุดเด่นในเรื่องของต้นทุนค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์และการดำเนินการต่าง ๆ ที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีแบบอื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพในการให้คุณภาพสัญญาณที่ใกล้เคียงกัน อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณทรานซิปให้สถานีฐานมาโครเซลล์ได้อีกด้วย Nagashree, N., Rao, V., and Shanavas, I.H. (2013) ดังนั้นผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ (mobile operator) จึงเลือกใช้เทคโนโลยีนี้ในการแก้ไขคุณภาพสัญญาณสำหรับผู้ใช้งานภายในอาคาร โดยสามารถสรุปโครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ดังรูปที่ 2.1

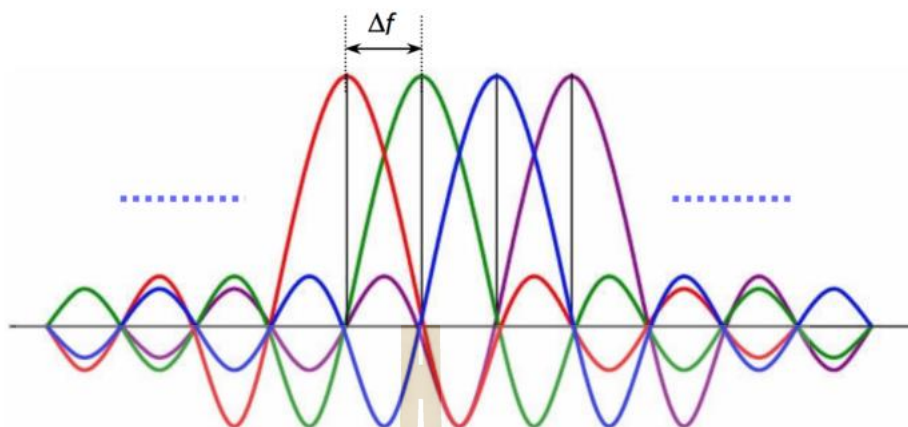


รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์

โครงสร้างและการทำงานของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์แสดงดังรูปที่ 2.1 โดยสามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนหลักๆ คือส่วนของชุมสาย (core network) และส่วนของเครือข่ายเฟมโตเซลล์ (femtocell network) โดยชุมสายเป็นเครือข่ายของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่ายทั้งหมด โดยหน้าที่หลัก ๆ ของชุมสายก็คือการสร้างเส้นทาง (route) ของข้อมูลจากอีกเครือข่ายหนึ่งไปยังอีกเครือข่ายหนึ่ง ซึ่งภายในประกอบไปด้วยผู้ให้บริการโทรศัพท์มือถือที่จะทำการเชื่อมต่อกับผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต เพื่อที่จะได้ใช้เครือข่ายอินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อไปยังส่วนที่สอง คือส่วนของเครือข่ายเฟมโตเซลล์ โดยสถานีฐานเฟมโตเซลล์จะเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านตัวรับสัญญาณอินเทอร์เน็ต (DSL router) เพื่อที่สถานีฐานเฟมโตเซลล์จะได้กระจายการส่งสัญญาณไปยังผู้ใช้งานภายในพื้นที่ให้บริการต่อไป โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะในส่วนที่สอง คือส่วนของเครือข่ายเฟมโตเซลล์ที่จะทำการติดตั้งภายในอาคาร โดยกำหนดให้อาคารนั้นมีการวางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงหรือบรอดแบนด์ที่ผ่านตามสายภายในอาคาร (fixed line) ที่ถูกติดตั้งอยู่แล้ว

2.4 เทคโนโลยี OFDMA

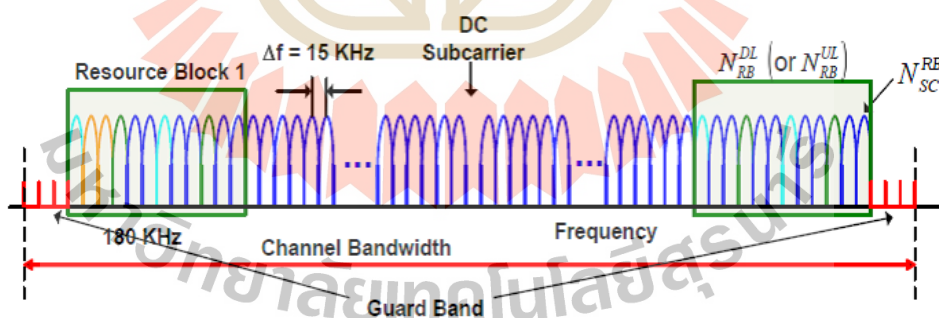
ในเทคโนโลยีแอลทีอีได้เลือกใช้เทคโนโลยี OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) มาใช้งานในด้านดาวน์โหลด (downlink) เนื่องจากสามารถใช้งานช่องสัญญาณความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเทคโนโลยี OFDMA นั้นพัฒนามาจากเทคโนโลยี OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ที่มีพื้นฐานของเทคโนโลยี FDM (Frequency Division Multiplexing) ซึ่งแบ่งช่องสัญญาณความถี่ออกจากกันเพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณความถี่ไม่มีการรบกวนกัน และทำการรับส่งข้อมูลได้อย่างราบรื่น โดยที่จะไม่ใช้แถบความถี่ค่อม (guard band) เพื่อแยกแต่ละช่องสัญญาณความถี่ออกจากกัน เพราะจะเป็นการสิ้นเปลืองช่องสัญญาณความถี่ได้ แต่จะใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าการทำให้เป็นอิสระต่อกัน หรือการทำให้ตั้งฉากต่อกัน (orthogonal) โดยสัญญาณที่ตั้งฉากต่อกันนั้นเมื่อผ่านการ โมดูเลชันทำให้เกิดสัญญาณแถบความถี่ข้าง (sideband) รอบข้างขึ้นนั้นจะไม่มีผลต่อช่องสัญญาณข้าง ๆ ซึ่งจะสังเกตได้จากความถี่กลางของช่องสัญญาณนั้นจะไม่มีสัญญาณรบกวนใด เนื่องจากช่องสัญญาณนั้นเป็นอิสระต่อกัน ดังรูปที่ 2.2 ดังนั้นทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้แถบความถี่ค่อมมาช่วยป้องกันสัญญาณรบกวน และไม่ทำให้สูญเสียช่องสัญญาณความถี่บางส่วนไปอย่างเปล่าประโยชน์ อีกทั้งยังช่วยให้การรับส่งสัญญาณเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และให้อัตราวิสัยสามารถที่สูงกว่าด้วย



รูปที่ 2.2 การผสมสัญญาณที่ตั้งฉากต่อกัน [revolutionwifi, 2015]

2.5 การจัดสรรทรัพยากรคลื่นวิทยุในระบบแอลทีอี

ในระบบแอลทีอีนั้น จะแบ่งทรัพยากรคลื่นวิทยุออกเป็นส่วนเล็ก ๆ เรียกว่า บล็อกของทรัพยากร (resource block) ซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดในการรับส่งข้อมูลของระบบแอลทีอี โดยในหนึ่งบล็อกของทรัพยากรจะประกอบไปด้วย 12 คลื่นพาหะย่อย (subcarrier) ซึ่งแต่ละคลื่นพาหะย่อยจะมีขนาดเท่ากับ 15 kHz จึงทำให้หนึ่งบล็อกของทรัพยากรมีขนาดเท่ากับ 180 kHz ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การจัดสรรทรัพยากรคลื่นวิทยุในระบบแอลทีอี [Ericsson., 2010]

โดยที่ Δf	= Subcarrier spacing
DC	= Direct Current subcarrier at center of frequency band
$N_{RB}^{DL} / N_{RB}^{UL}$	= Number of DL or UL Resource Blocks
N_{SC}^{RB}	= Number of subcarriers within a Resource Blocks

โดยจำนวนบล็อกของทรัพยากรในแต่ละแบนด์วิดท์จะมีจำนวนไม่เท่ากัน ดังแสดงได้ในตารางที่ 2.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะไม่สามารถใช้แบนด์วิดท์ได้เต็มแบนด์ เนื่องจากจะต้องแบ่งแบนด์วิดท์ไว้สำหรับแถบความถี่ค่อม (guard band) เป็นจำนวน 20 เปอร์เซ็นต์ของแบนด์วิดท์ทั้งหมด โดยจะแบ่งไว้ข้างละ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยในระบบแอลทีอีจะใช้แบนด์วิดท์ในช่วงระหว่าง 1.4 MHz ถึง 20 MHz

ตารางที่ 2.2 แบนด์วิดท์ต่าง ๆ ที่ใช้งานในระบบแอลทีอี [Ericsson., 2010]

Channel bandwidth (MHz)	1.4	3	5	10	15	20
Maximum occupied bandwidth (MHz)	1.08	2.7	4.5	9	13.5	18
Number of resource blocks	6	15	25	50	75	100
Number of subcarriers	72	180	300	600	900	1200
Guard band of each side (kHz)	160	150	250	500	750	1000

2.6 แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร

เนื่องจากภายในอาคารสำนักงาน บริษัท ห้างสรรพสินค้าต่าง ๆ ล้วนมีความซับซ้อนของการแพร่กระจายความแรงสัญญาณ จึงทำให้ไม่สามารถสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการอธิบายวิธีการสูญเสียในธรรมชาติที่มีความแตกต่างกันได้อย่างแม่นยำ โดยทั่วไปแล้วแบบจำลองที่ใช้กันนั้นจะได้ออกมาจากการวิเคราะห์ที่ซับซ้อน หรือได้จากการวัดจริง เนื่องจากสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากอุปกรณ์ภาคส่งนั้นจะต้องเคลื่อนที่ผ่านสิ่งแวดล้อมที่มีความหลากหลาย ซึ่งเป็นรูปแบบการแพร่กระจายสัญญาณที่ต้องผ่านสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ภายในอาคาร เช่น กำแพง ประตู ผนัง หรือแม้กระทั่งจำนวนชั้นภายในอาคาร ซึ่งอาจทำให้สัญญาณถูกลดทอน หรือเกิดการจางหายได้ ดังนั้นในการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น จึงจำเป็นต้องใช้แบบจำลองในการคำนวณค่าความแรงสัญญาณที่ภาครับรับได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคารจากงานวิจัยของ Vardhan, C. S., Ratnam, D. V., Bhagyasree, N., and Dattu, A. H. (2014) มาคำนวณหาค่าความแรงสัญญาณที่แต่ละจุดทดสอบสัญญาณได้รับจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยเป็นแบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคารตามมาตรฐานของหน่วยงาน 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) ซึ่งเป็นกลุ่มความร่วมมือระหว่างหน่วยงานมาตรฐานการสื่อสารโทรคมนาคม เพื่อกำหนดมาตรฐานกลางในการผลิตและพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับ 3G ซึ่งสามารถใช้ได้กับเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์สำหรับ

เครือข่ายสี่จีในสภาพแวดล้อมภายในอาคารหลายชั้นได้ ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2.1) ถึง (2.2) ดังนี้

$$P_r(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) - \text{Path Loss} \quad (2.1)$$

โดยที่ P_r = ค่าความแรงสัญญาณที่รับได้จากสถานีฐาน
 P_t = กำลังส่งสัญญาณของสถานีฐาน
 Path Loss = แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร

$$\text{Path Loss}(\text{dB}) = 40.7412 + 20\log_{10}(R) + 0.7d_{2D,\text{indoor}} + 18.3n \left(\frac{n+2}{n+1}\right)^{0.46} + qL_{iw} \quad (2.2)$$

โดยที่ R = ระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับ (เมตร)
 $d_{2D,\text{indoor}}$ = ความหนาของกำแพงภายในอาคาร (ในงานวิจัยนี้ กำหนด 0.18 เมตร)
 n = จำนวนชั้นของอาคารที่สัญญาณทะลุผ่าน
 q = จำนวนกำแพงภายในอาคารที่สัญญาณทะลุผ่าน
 L_{iw} = ค่าความสูญเสียของสัญญาณทะลุผ่านกำแพง

ตารางที่ 2.3 ค่าความสูญเสียของสัญญาณทะลุผ่านกำแพงประเภทต่าง ๆ

พารามิเตอร์	ค่า
คอนกรีต	5.31 dB
อิฐ	3.75 dB
พลาสติกบอร์ด	2.94 dB
ไม้	1.99 dB
กระจก	6.27 dB
คอนกรีตเสริมเหล็ก	18.3 dB

จากสมการแบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคารในสมการที่ (2.2) ประกอบไปด้วยการสูญเสียของสัญญาณที่เกิดขึ้นภายในอากาศ (free space path loss) การสูญเสียของสัญญาณเมื่อทะลุผ่านผนัง โดยจะเกิดการสูญเสียของสัญญาณเมื่อทะลุผ่านผนัง 0.7 dB ต่อ 1 เมตร โดยความหนาของกำแพงกำหนดเป็น 0.18 เมตร (พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร, 2522) การสูญเสียของ

สัญญาณเมื่อทะลุผ่านจำนวนชั้นของอาคาร โดยค่าพารามิเตอร์ในการทดลอง (empirical parameter) โดยทั่วไปกำหนดเป็น 0.46 และค่าการสูญเสียของสัญญาณเมื่อทะลุผ่านกำแพง โดยค่าพารามิเตอร์ ความสูญเสียของสัญญาณเมื่อทะลุผ่านกำแพงประเภทต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.3 Zulkefly, N. R., Rahman, T. A., Al-Samman, A. M., Mataria, A. M. S. and Leow, C. Y. (2015)

2.7 การโปรแกรมเชิงเส้น

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ อย่างกว้างขวางที่สุดอย่างหนึ่ง คือ การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming: LP) เพื่อใช้ในการออกแบบปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด (optimal solution) ของฟังก์ชันเป้าหมายเชิงเส้น (linear objective function) ที่สอดคล้องกับข้อจำกัดเชิงเส้นต่าง ๆ (linear constraints) จอร์จ บี ดานซิก (George B. Dantzig) นับว่าเป็นบิดาของการโปรแกรมเชิงเส้น เนื่องจากเป็นผู้ริเริ่มในการสร้างรูปแบบทั่วไปของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น และพัฒนาวิธีการอย่างมีระบบในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น ซึ่งมีการเริ่มนำมาใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2490 เป็นต้นมา จนถึงทุกวันนี้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดดังกล่าวยังคงมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยใช้อัลกอริทึมซิมเพล็กซ์ (simplex method) ในการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งปัจจุบันได้มีการใช้แบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นอย่างกว้างขวาง และโปรแกรมสำเร็จรูปก็มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่นเดียวกันทั้งในทางธุรกิจและอุตสาหกรรม รูปแบบทั่วไปของการโปรแกรมเชิงเส้นนั้น เป็นรูปแบบที่สามารถปรับใช้ได้กับปัญหาต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เนื่องจากฟังก์ชันเป้าหมาย อาจอยู่ในรูปกำไร ค่าใช้จ่าย จำนวนผลผลิตที่มากที่สุด เป็นต้น ส่วนข้อจำกัดอาจอยู่ในรูปของข้อจำกัดของทรัพยากรที่มีอยู่ ข้อจำกัดทางการตลาด ข้อจำกัดด้านคุณภาพ เป็นต้น จากหนังสือการโปรแกรมเชิงเส้น (ประกอบ จิรจิตติ 2535) ได้กล่าวถึง ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้การโปรแกรมเชิงเส้นดังนี้

1) ปัญหาทางด้านการผลิต (product mix problem) เป็นการพิจารณาปริมาณสินค้าที่จะทำการผลิต เพื่อใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด เช่น เครื่องจักร วัตถุดิบ แรงงาน ให้เป็นไปอย่างเหมาะสม เพื่อที่จะได้ผลตอบแทนสูงสุด

2) ปัญหาการผสมสาร (blending problem) เป็นการพิจารณาหาปริมาณสารหรือวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ที่จะนำมาผสมกัน หรือนำมาใช้ในการผลิตสินค้าประเภทต่าง ๆ ตามคุณสมบัติที่ได้กำหนดไว้ เพื่อที่จะได้มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด

3) ปัญหาการขนส่ง (transportation problem) เป็นการพิจารณาหาปริมาณสินค้าที่จะทำการขนส่งจากแหล่งผลิต ไปยังผู้บริโภค หรือปลายทางเพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด หรือส่งถึงปลายทางได้เร็วที่สุด

4) ปัญหาการมอบหมายงาน (assignment problem) เป็นการพิจารณาการมอบหมายงานที่จะต้องทำให้กับบุคลากรหรือเครื่องจักร เพื่อให้งานที่ได้รับมอบหมายแล้วเสร็จในเวลาเร็วที่สุดหรือเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

5) ปัญหาการลงทุน (investment project selection) เป็นการพิจารณาจัดสรรเงินลงทุนในการลงทุนต่าง ๆ เพื่อให้ได้รับผลตอบแทนสูงที่สุด

6) ปัญหาการเลือกสื่อโฆษณา (media selection) เป็นการพิจารณาเลือกสื่อโฆษณาชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ข้อมูลหรือข่าวสารที่ต้องการเผยแพร่ออกสู่เป้าหมายเป็นจำนวนมากที่สุด หรือเสียค่าใช้จ่ายในการโฆษณาน้อยที่สุด เป็นต้น

7) ปัญหาการตัดกระดาษ (trim loss problem) เป็นการพิจารณารูปแบบหรือวิธีการตัดกระดาษ (หรือสินค้าอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น การตัดผ้า การตัดแผ่นเหล็ก) เพื่อที่จะหารูปแบบการตัดกระดาษขนาดมาตรฐานที่มีอยู่ออกเป็นขนาดและปริมาณต่าง ๆ ตามความต้องการ เพื่อที่จะให้มีเศษ (ส่วนที่ใช้ประโยชน์ต่อไปไม่ได้) น้อยที่สุด

8) ปัญหาทางด้านการทหาร อาจนำเอาโปรแกรมเชิงเส้นมาใช้ในการพิจารณาวางแผนการส่งกำลังบำรุง การเลือกกำหนดจำนวนอาวุธยุทโธปกรณ์ การกำหนดยุทธศาสตร์ เป็นต้น

2.7.1 ข้อสมมุติฐานสำคัญในการโปรแกรมเชิงเส้น

1) ความเป็นสัดส่วน (proportionality) คือ ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตสินค้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนสินค้าที่ทำการผลิต เช่น ในการผลิตสินค้าชนิดหนึ่ง จะต้องใช้แรงงานในการผลิต 6 ชั่วโมงต่อหน่วย ดังนั้นหากทำการผลิตสินค้าชนิดนี้ 10 ชิ้น ก็จะต้องใช้แรงงานในการผลิตทั้งสิ้น 60 ชั่วโมง

2) การรวมกันได้ (additivity) หมายความว่า ปริมาณรวมของผลกำไรจะมีค่าเท่ากับผลรวมของกำไรของสินค้าแต่ละชนิด เช่น สินค้าชนิดที่หนึ่งมีกำไรเท่ากับ 10 บาทต่อหน่วย สินค้าชนิดที่สองมีกำไรเท่ากับ 15 บาทต่อหน่วย หากขายสินค้าชนิดที่หนึ่งได้เพียงชนิดเดียวจำนวน 10 ชิ้น จะได้กำไร 100 บาท (10×10) เป็นต้น

3) การแบ่งได้ (divisibility) หมายความว่า ค่าของตัวแปรตัดสินใจที่มีอยู่ในปัญหาเมื่อกำหนดคำตอบออกมาแล้ว จะมีค่าใด ๆ ก็ได้ เช่น อาจเป็นเลขจำนวนเต็ม เศษส่วน หรือทศนิยม ในกรณีที่คำตอบที่ออกมาเป็นเลขไบนารี คือ มีค่าที่เป็นไปได้สองค่า ได้แก่ ศูนย์กับหนึ่งก็จะต้องใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นไบนารีในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

4) การทราบค่า (deterministic) หมายความว่า เราจะทราบค่าต่าง ๆ ในปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นทุกค่า ยกเว้นค่าของตัวแปรตัดสินใจ เช่น ในการหาปริมาณการผลิตสินค้า เพื่อให้

ได้กำไรสูงสุดนั้น จะต้องทราบว่า สินค้าที่ผลิตแต่ละชนิดมีกำไรต่อหน่วยเท่าไร ใช้ทรัพยากรใดบ้าง ในการผลิต มีการใช้ทรัพยากรแต่ละชนิดในการผลิตสินค้าต่อหน่วยเท่าไร เป็นต้น

2.7.2 รูปแบบมาตรฐานของการโปรแกรมเชิงเส้น

รูปแบบมาตรฐานของการโปรแกรมเชิงเส้นมีสองลักษณะขึ้นอยู่กับลักษณะของ ปัญหาที่พิจารณานั้นเป็นปัญหาการหาค่าสูงสุด (maximization) หรือเป็นปัญหาการหาค่าต่ำสุด (minimization) ซึ่งแสดงดังสมการที่ (2.3) ถึง (2.5) ดังนี้

วัตถุประสงค์ หาค่าสูงสุดของ หรือหาค่าที่ต่ำที่สุด

$$z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (2.3)$$

ภายใต้ข้อจำกัด

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

...

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \quad (2.4)$$

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \geq 0 \quad (2.5)$$

โดยที่ x_j คือ ตัวแปรตัดสินใจ (decision variable) หรือ จำนวนหน่วยของกิจกรรมที่ j ที่ตัดสินใจทำ เช่น อาจหมายถึงจำนวนหน่วยของสินค้าที่ j ที่จะทำการผลิต $j = 1, 2, \dots, n$

c_j คือ ผลตอบแทน (profit) ที่ได้จากการตัดสินใจทำกิจกรรมที่ j ต่อหนึ่งหน่วย เช่น ในกรณีของการผลิตสินค้าจำนวน c_j จะหมายถึงกำไรที่ได้จากการจำหน่ายสินค้าชนิดที่ j หนึ่งหน่วย $j = 1, 2, \dots, n$

a_{ij} คือ จำนวนทรัพยากรชนิดที่ i ที่จะใช้ในการทำกิจกรรมที่ j หนึ่งหน่วย (resource consumption rate) $i = 1, 2, \dots, m$ และ $j = 1, 2, \dots, n$

b_i คือ จำนวนทรัพยากร (resource) ชนิดที่ i ที่มีอยู่เพื่อใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ $i = 1, 2, \dots, m$

ในแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นมาตรฐานนี้ เราต้องการที่จะหาค่าของตัวแปรตัดสินใจ x_j ต่าง ๆ ว่ามีค่าเท่ากับเท่าไรจึงจะทำให้ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายมีค่าสูงที่สุด หรือต่ำที่สุด โดยที่ตัวแปรตัดสินใจเหล่านี้จะต้องสอดคล้องกับข้อจำกัดในการใช้ทรัพยากรทั้ง m ข้อจำกัด คือ ใช้ทรัพยากรไม่เกินปริมาณทรัพยากรที่มีอยู่ และต้องมีค่ามากกว่า และไม่เป็นจำนวนลบ (non-negative) สำหรับค่า a_{ij}, b_i, c_j นั้นจะเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ทราบค่าอยู่แล้ว

2.7.3 ส่วนประกอบของการโปรแกรมเชิงเส้นมาตรฐาน

จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ สามส่วน ดังนี้

1) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุน กำไร เพื่อต้องการให้ได้มาซึ่งเป้าหมายที่ทำให้เกิดค่าสูงที่สุดหรือค่าต่ำที่สุด ดังสมการที่ (2.3)

2) สมการข้อจำกัดของปัญหาหรือเงื่อนไข (constraints) คือ ข้อจำกัดของปัญหาในด้านทรัพยากร หรือปัจจัยต่าง ๆ โดยแต่ละเงื่อนไขจะมีความสัมพันธ์ในรูปสมการเชิงเส้น (linear equation) หรืออสมการเชิงเส้น (linear inequality) ดังสมการที่ (2.4)

3) ตัวแปรตัดสินใจ เป็นตัวแปรที่ใส่เข้าไปในระบบและต้องการหาคำตอบ ดังสมการที่ (2.5)

2.7.4 คุณสมบัติของรูปแบบการโปรแกรมเชิงเส้น

1) สมการของตัวแปรตัดสินใจต้องเป็นสมการเชิงเส้น โดยที่ตัวแปรทุกตัวจะต้องมีกำลังเป็น 1 เท่านั้น นอกจากนี้ต้องเขียนอยู่ในรูปแบบของการบวก การลบกันของตัวแปรต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น $3x_1 + 5x_2$ เป็นสมการเชิงเส้น เพราะตัวแปรมีเลขชี้กำลังเป็น 1 และตัวแปรทุกตัวมีค่าเป็นจำนวนเต็ม

2) สมการวัตถุประสงค์ ต้องเป็นการระบุว่าต้องการหาค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุด โดยจะต้องแสดงถึงจุดประสงค์ในการตัดสินใจ เช่น ลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนให้น้อยที่สุด

3) สมการเงื่อนไข ต้องเป็นสมการหรืออสมการเชิงเส้นที่อยู่ในรูปน้อยกว่าเท่ากับ (\leq) มากกว่าเท่ากับ (\geq) หรือเท่ากับ ($=$) เท่านั้น โดยที่ค่าของตัวแปรตัดสินใจของทุกเทอมในสมการเงื่อนไข จะต้องมีหน่วยเดียวกัน

4) ข้อจำกัดของสัญลักษณ์ (sign restrictions) ถ้าต้องการกำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเป็นบวกจะกำหนดข้อจำกัดของสัญลักษณ์ได้ เช่น $x_1 \geq 0$ แต่หากว่า ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบหรือมีค่าเป็นศูนย์ จะเรียกว่า unrestricted in sign (urs)

2.7.5 การสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นจากปัญหา

ในการสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นจากปัญหาที่พิจารณาอยู่นั้น จะไม่สามารถกำหนดเป็นกฎเกณฑ์ตายตัวได้ ทั้งนี้เพราะปัญหาแต่ละปัญหานั้นมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างไรก็ตาม สามารถสรุปเป็นขั้นตอนทั่วไป ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การให้นิยามตัวแปรตัดสินใจ (x) ในแต่ละปัญหานั้นจะมีการนิยามตัวแปรตัดสินใจที่แตกต่างกันไปตามลักษณะเฉพาะของปัญหาต่าง ๆ เช่น ในการพิจารณาว่าจะเลือกปลูกผักชนิดใดบ้าง จำนวนกี่หน่วย อาจให้ x_1 เป็นตัวแปรตัดสินใจ โดยหมายถึง จำนวนหน่วยของผักชนิดที่ 1 ที่จะปลูก ในการพิจารณาว่าต้องใช้เหล็กชนิดใดบ้าง เพื่อให้ได้ชิ้นงานตามต้องการ อาจให้ x_i แทนค่าตัวแปรตัดสินใจ โดยหมายถึงการเลือกใช้เหล็กชนิดที่ i ที่จะใช้ในการสร้างชิ้นงานตามต้องการ ซึ่งในกรณีนี้ตัวแปรตัดสินใจจะเป็นตัวแปรที่มีมิติเดียว แต่บางครั้งในการออกแบบปัญหานั้นอาจใช้ตัวแปรตัดสินใจที่มากกว่าหนึ่งมิติ เช่น x_{ij} หมายถึง เหล็กชนิด i ที่จะเลือกใช้ในปีที่ j เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (z) หลังจากที่ได้กำหนดนิยามตัวแปรตัดสินใจแล้ว จะต้องทำการเขียนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในเทอมของตัวแปรตัดสินใจตามที่ได้กำหนดไว้ พร้อมทั้งระบุให้ชัดเจนว่า ฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้นต้องการหาค่าที่สูงที่สุด หรือค่าที่ต่ำที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดเงื่อนไขหรือข้อจำกัดของปัญหา คือการเขียนข้อจำกัดของปัญหาให้อยู่ในเทอมของตัวแปรตัดสินใจ เช่น ข้อจำกัดเกี่ยวกับทรัพยากรที่มีอยู่ หรือข้อจำกัดของสิ่งที่พิจารณา เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้น หลังจากที่ได้ออกแบบส่วนประกอบของการโปรแกรมเชิงเส้นแล้ว ขั้นตอนนี้จะเป็นการรวบรวมฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัด ต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เมื่อได้ทำการสร้างแบบจำลองการโปรแกรมเชิงเส้นแล้ว ก็จะต้องทำการตรวจสอบแบบจำลอง ค่าพารามิเตอร์ ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้นั้น ถูกต้องแล้วหรือไม่

2.7.6 ตัวอย่างการกำหนดปัญหา

ในการสร้างรูปแบบแทนระบบทางคณิตศาสตร์ของโปรแกรมเชิงเส้นจากปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันของเรานั้น ไม่สามารถกำหนดกฎเกณฑ์คงที่ได้ ทั้งนี้เพราะปัญหาแต่ละปัญหาที่เกิดขึ้นมีลักษณะรูปแบบของปัญหาไม่เหมือนกัน แต่สามารถสร้างรูปแบบแทนระบบ

สมการคณิตศาสตร์ของโปรแกรมเชิงเส้นได้ ดังนั้นเราจึงยกตัวอย่างการกำหนดปัญหาของโปรแกรมเชิงเส้นดังต่อไปนี้

2.7.6.1 ปัญหาการขนส่ง

บริษัทไทยพัฒนาอุตสาหกรรมมีโรงงานผลิตสินค้า 3 แห่ง โรงงานแต่ละแห่งมีกำลังผลิตสูงสุดเท่ากับ 4,000 6,000 และ 5,000 หน่วย ตามลำดับ สินค้าที่ผลิตจากโรงงานทั้งสามแห่งนี้ จะถูกจัดส่งต่อไปให้กับลูกค้าของบริษัทซึ่งมีอยู่ 4 รายด้วยกัน โรงงานใดตกลงที่จะขายสินค้า 5,000 ชิ้น ให้กับลูกค้ารายที่หนึ่ง 4,000 ชิ้น ให้กับลูกค้ารายที่สอง อย่างน้อย 2,000 ชิ้น ให้กับลูกค้ารายที่สาม ลูกค้ารายที่สามและลูกค้ารายที่สี่ต้องการซื้อสินค้าที่เหลือให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ หากกำไรที่บริษัทได้จากการขายสินค้าจากโรงงานผลิตแต่ละแห่งให้กับลูกค้าแต่ละรายเป็นไปตามตารางที่ 2.4 บริษัทควรจะขายสินค้าจากโรงงานใดให้กับลูกค้ารายใด ในจำนวนเท่าใด

ตารางที่ 2.4 กำไรที่ได้จากการขายสินค้าจากโรงงานผลิต

	ลูกค้ารายที่ 1	ลูกค้ารายที่ 2	ลูกค้ารายที่ 3	ลูกค้ารายที่ 4
โรงงานที่ 1	165	263	362	464
โรงงานที่ 2	168	267	365	462
โรงงานที่ 3	163	260	359	460

การสร้างปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น จากปัญหาข้างต้นนี้ ทำได้ดังนี้ คือ การกำหนดนิยามของตัวแปรตัดสินใจ ปัญหาการขนส่งที่กำหนดให้นี้ เราต้องการที่จะทราบว่า ควรจะส่งสินค้าจากโรงงานใดไปให้กับลูกค้าคนไหน ในปริมาณเท่าไร จึงจะทำให้บริษัทได้รับกำไรสูงสุด ดังนั้นเราจะกำหนดให้

ตัวแปรตัดสินใจ

x_{ij} ปริมาณสินค้าที่จะทำการขนส่งจากโรงงานที่ i ไปจำหน่ายให้กับลูกค้าคนที่ j โดยที่ $i = 1, 2, 3$ และ $j = 1, 2, 3, 4$

ตัวแปรค่าคงที่

c_{ij} กำไรการขายสินค้าจากโรงงานที่ i ไปจำหน่ายให้กับลูกค้าคนที่ j โดยที่ $i = 1, 2, 3$ และ $j = 1, 2, 3, 4$

กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ปัญหาการขนส่งนี้ บริษัทควรจะส่งสินค้าจากโรงงานใดไปให้กับลูกค้าคนไหน ในปริมาณเท่าไร จึงจะทำให้บริษัทได้รับกำไรสูงสุด สามารถสรุปเป็นสมการได้ดังนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ Maximize $z = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 C_{ij} \cdot x_{ij}$

กำหนดข้อจำกัดของปัญหา

สมการเงื่อนไขที่ 1 กำลังการผลิตของโรงงานที่ 1 สูงสุดเท่ากับ 4,000 หน่วย

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} \leq 4000$$

สมการเงื่อนไขที่ 2 กำลังการผลิตของโรงงานที่ 2 สูงสุดเท่ากับ 6,000 หน่วย

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \leq 6000$$

สมการเงื่อนไขที่ 3 กำลังการผลิตของโรงงานที่ 3 สูงสุดเท่ากับ 5,000 หน่วย

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} \leq 5000$$

สมการเงื่อนไขที่ 4 โรงงานได้ตกลงขายสินค้า 5,000 ชิ้นให้กับลูกค้ารายที่ 1

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} = 5000$$

สมการเงื่อนไขที่ 5 โรงงานได้ตกลงขายสินค้า 4,000 ชิ้นให้กับลูกค้ารายที่ 2

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} = 4000$$

สมการเงื่อนไขที่ 6 โรงงานได้ตกลงขายสินค้า 2,000 ชิ้นให้กับลูกค้ารายที่ 3

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} \geq 2000$$

กำหนดข้อจำกัดของตัวแปรตัดสินใจ ปริมาณสินค้าที่จะทำการขนส่งจะต้องมีค่า

ไม่ติดลบ

$$x_{ij} \geq 0$$

2.7.6.2 ปัญหาวางแผนการผลิต

บริษัทไทยพัฒนาอุตสาหกรรมทำการผลิตสินค้าออกจำหน่าย 3 ประเภทด้วยกันคือ ชุดทานอาหารชนิด 4 ที่นั่ง ชนิด 6 ที่นั่ง และชนิด 10 ที่นั่ง ในการผลิตชุดทานอาหารแต่ละชุดจะใช้เวลาในการจัดตั้งโต๊ะเก้าอี้ เวลาในการประกอบชุดทานอาหารเข้าด้วยกันและปริมาณวัตถุดิบ (ไม้) ต่างกันตามชนิดของชุดทานอาหารที่ผลิต ค่าไรที่บริษัทจะได้รับจากการจำหน่ายชุดทานอาหารแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.5 ทางบริษัทต้องการทราบว่าควรจะผลิตชุดอาหารชนิดใดบ้าง เป็นจำนวนเท่าไร จึงจะทำให้ได้กำไรสูงสุด อนึ่งทางแผนกการตลาดของบริษัทได้ให้ข้อมูลมาว่า จากการสำรวจตลาดคาดว่าปริมาณชุดทานอาหารชนิด 4 ที่นั่ง และ 6 ที่นั่ง คงจะจำหน่ายได้ไม่เกิน 40 ชุด และ 100 ชุด ตามลำดับ

ตารางที่ 2.5 กำไรที่ได้จากการขายสินค้าของบริษัทไทยพัฒนา

	ชุดทานอาหาร			
	4 ที่นั่ง	6 ที่นั่ง	10 ที่นั่ง	ปริมาณที่มี
เวลาในการจัดกลิ้งตบแต่งไม้ (ชม./ชุด)	4	5	10	2,000 ชม.
เวลาในการประกอบเข้าด้วยกัน (ชม./ชุด)	1	1	3	400 ชม.
ปริมาณไม้ที่ใช้ (ลบ.ฟ./ชุด)	1	1.5	3	500 ลบ.ฟ.
กำไรต่อหน่วย (บาท/ชุด)	2,000	2,800	6,000	

การสร้างปัญหาการ โปรแกรมเชิงเส้น จากปัญหาข้างต้นนี้ ทำได้ดังนี้ คือ การกำหนดนิยามของตัวแปรตัดสินใจ ในปัญหานี้ สิ่งที่เราต้องการทราบคือ จำนวนของชุดทานอาหารแต่ละชนิดที่บริษัทควรจะทำการผลิตให้

ตัวแปรตัดสินใจ

x_1 = จำนวนชุดทานอาหารชนิด 4 ที่นั่ง ที่ จะทำการผลิต

x_2 = จำนวนชุดทานอาหารชนิด 6 ที่นั่ง ที่ จะทำการผลิต

x_3 = จำนวนชุดทานอาหารชนิด 10 ที่นั่ง ที่ จะทำการผลิต

กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในปัญหานี้ เราต้องการจะหาค่าไรสูงสุด จากการจำหน่ายชุดทานอาหารแต่ละชนิดที่ผลิต

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ Maximize $z = 2000x_1 + 2800x_2 + 6000x_3$

กำหนดข้อจำกัดของปัญหา ในปัญหานี้มีข้อจำกัดอยู่สองประเภท คือ ข้อจำกัดเนื่องจากปริมาณทรัพยากรที่จำกัดและข้อจำกัดเนื่องมาจากการตลาด

สมการเงื่อนไขที่ 1 ข้อจำกัดจากเวลาที่ใช้ในการจัดกลิ้ง ตบแต่ง

$$4x_1 + 5x_2 + 10x_3 \leq 2000$$

สมการเงื่อนไขที่ 2 ข้อจำกัดจากเวลาในการประกอบชุดทานอาหาร

$$1x_1 + 1x_2 + 3x_3 \leq 400$$

สมการเงื่อนไขที่ 3 ข้อจำกัดจากปริมาณไม้ที่ใช้ในการผลิต

$$1x_1 + 1.5x_2 + 3x_3 \leq 500$$

สมการเงื่อนไขที่ 4 ข้อจำกัดจากการตลาดของชุดทานอาหารชนิด 4 ที่นั่ง

$$x_1 \leq 40$$

สมการเงื่อนไขที่ 5 ข้อจำกัดจากการตลาดของชุดทานอาหารชนิด 6 ที่นั่ง

$$x_2 \leq 100$$

ข้อจำกัดของตัวแปรตัดสินใจ ชุดทานอาหารที่จะทำการผลิตขาย จะต้องมีค่าไม่ติดลบ

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

2.7.6.3 ปัญหาการลงทุน

ชายคนหนึ่งมีเงินอยู่ 100,000 บาท กำลังพิจารณาว่าควรจะนำเงินจำนวนนี้ไปลงทุนในโครงการลงทุนสองโครงการอย่างไร ในช่วงเวลา 3 ปีนับจากนี้ไป เพื่อที่จะได้รับผลตอบแทนสูงสุด เงินทุกบาทที่ลงทุนในโครงการหนึ่งจะให้ผลตอบแทน 70 % โดยมีระยะเวลาการลงทุนครั้งละ 1 ปี ส่วนโครงการที่สอง ให้ผลตอบแทน 150 % แต่มีระยะเวลาการลงทุน 2 ปี ดังนั้นชายผู้นี้ควรจะลงทุนอย่างไร

ปัญหาการลงทุนนี้ เราต้องการหาว่า ชายผู้นี้ควรจะลงทุนอย่างไรจึงจะได้รับผลตอบแทนจากการลงทุนสูงสุด กำหนดให้

ตัวแปรตัดสินใจ x_{ij} จำนวนเงินที่ตัดสินใจลงทุนในโครงการที่ i ที่เวลา j ปี โดยที่ $i = 1, 2$ และ $j = 1, 2, 3$

ปัญหาการลงทุน สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ Maximize $z = 1.7x_{13} + 2.50x_{22}$

กำหนดข้อจำกัดของปัญหา

สมการเงื่อนไขที่ 1 ข้อจำกัดการลงทุนในปีที่ 1

$$x_{11} + x_{21} \leq 100000$$

สมการเงื่อนไขที่ 2 ข้อจำกัดการลงทุนในปีที่ 2

$$-1.7x_{11} + x_{12} + x_{22} \leq 0$$

สมการเงื่อนไขที่ 3 ข้อจำกัดการลงทุนในปีที่ 3

$$-1.7x_{12} - 2.5x_{21} + x_{13} \leq 0$$

ข้อจำกัดของตัวแปรตัดสินใจ จำนวนเงินที่ลงทุนจะต้องไม่ติดลบ

$$x_{ij} \geq 0$$

2.8 การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยอัลกอริธึมซิมเพล็กซ์

วิธีซิมเพล็กซ์ (simplex method) จากหนังสือการวิจัยดำเนินงาน (รองศาสตราจารย์สุทธิมา ชำนาญเวช 2009) กล่าวว่าเป็นวิธีการคำนวณที่สามารถใช้ในแก้ปัญหาการกำหนดการเชิงเส้นได้กว้างขวางมาก ซึ่งได้พัฒนาขึ้นโดย จอร์จ บี ดานซิก ซึ่งวิธีซิมเพล็กซ์เป็นวิธีการทางพีชคณิต ประกอบกับการคำนวณเมทริกซ์ (matrix) โดยใช้หลักการปรับเปลี่ยนตัวแปรอย่างมีหลักเกณฑ์

เพื่อให้มีผลต่อเป้าหมายของปัญหาและบรรลุผลตามเป้าหมายโดยเร็วที่สุด ดังนั้นอัลกอริทึมซิมเพล็กซ์จะเป็นวิธีการคำนวณที่มีลักษณะแบบย้อนทำซ้ำขั้นตอน นั่นคือ จะคำนวณซ้ำกันจนกว่าจะได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด

จากความคิดมูลฐานของวิธีซิมเพล็กซ์ คือ การแก้ปัญหาหระบบสมการโดยการกระทำซ้ำต่อเนื่องกันเริ่มจากคำตอบมูลฐานเริ่มต้นที่เป็นไปได้ แล้วเปลี่ยนตัวแปรมูลฐานใหม่ครั้งละ 1 ตัว โดยพิจารณาจากตัวแปรที่ไม่เป็นมูลฐาน เรียกตัวแปรมูลฐานใหม่นี้ว่า ตัวแปรมูลฐานเข้า (entering basic variable) สำหรับตัวแปรมูลฐานเดิมที่ถูกแทนที่ด้วยตัวแปรมูลฐานใหม่จะกำหนดให้เป็นตัวที่ไม่เป็นมูลฐาน เรียกตัวแปรนี้ว่า ตัวแปรมูลฐานออก (leaving basic variable)

การแก้ปัญหาโดยวิธีซิมเพล็กซ์จะต้องมีการสร้างรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน คือเปลี่ยนข้อจำกัดที่อยู่ในรูปอสมการให้เป็นสมการที่สมมูลกันตัวอย่างเช่น

$$\text{หาค่าสูงสุด} \quad Z = 3X_1 + 5X_2 \quad (2.6)$$

$$\text{ข้อจำกัด} \quad X_1 \leq 4 \quad (2.7)$$

$$2X_2 \leq 12 \quad (2.8)$$

$$3X_1 + 2X_2 \leq 18 \quad (2.9)$$

$$X_1, X_2 \geq 0 \quad (2.10)$$

เขียนข้อจำกัดให้อยู่ในรูปสมการข้อจำกัดที่สมมูลกันโดยใช้ตัวแปรขาด (slack variable) ดังนี้ให้ $S_1, S_2, S_3 \geq 0$ เป็นตัวแปรขาด สมการข้อจำกัดที่สมมูลกับข้อจำกัดคือ

$$X_1 + S_1 = 4 \quad (2.11)$$

$$2X_2 + S_2 = 12 \quad (2.12)$$

$$3X_1 + 2X_2 + S_3 = 18 \quad (2.13)$$

2.8.1 ขั้นตอนของวิธีซิมเพล็กซ์

2.8.1.1 ขั้นตอนเริ่มต้น (initialization step)

ให้ (X_1, X_2) เป็นตัวแปรไม่เป็นมูลฐานเริ่มต้นและมีค่าเป็น 0 (เพื่อรักษาข้อจำกัด $X_1 \geq 0$) ดังนั้นตัวแปรขาด (S_1, S_2, S_3) จะเป็นตัวแปรมูลฐานเริ่มต้น เพื่อความสะดวกในการหาคำตอบจึงสร้างรูปแบบของตารางวิธีซิมเพล็กซ์เพื่อบันทึกข้อมูลที่สำคัญดังต่อไปนี้

- 1) สัมประสิทธิ์ของตัวแปร

2) ค่าคงที่ทางขวามือของแต่ละสมการ

3) ตัวแปรมูลฐานที่ปรากฏในแต่ละสมการขณะที่ทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปร

จากตารางที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าแต่ละสมการข้อจำกัดจะมีตัวแปรมูลฐาน 1 ตัว และมีสัมประสิทธิ์เป็น +1 ตัวแปรมูลฐานแต่ละตัวมีค่าเท่ากับค่าคงที่ทางขวามือของสมการ ดังนั้นตัวแปรมูลฐานที่เป็นไปได้เริ่มต้น (initial basic feasible solution) จากตารางคือ $(X_1, X_2, S_1, S_2, S_3) = (0, 0, 4, 12, 18)$

ตารางที่ 2.6 ตารางสัมประสิทธิ์ของกำหนดการเชิงเส้น

ตัวแปร มูลฐาน	สมการ ที่	สัมประสิทธิ์ของ						ค่าคงที่ ขวามือ
		Z	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	
Z	0	1	-3	-5	0	0	0	0
S_1	1	0	1	0	1	0	0	4
S_2	2	0	0	2	0	1	0	12
S_3	3	0	3	2	0	0	1	18

2.8.1.2 ขั้นตอนที่ต้องกระทำซ้ำ (iteration step)

เมื่อได้คำตอบเริ่มต้นแล้ว ต่อไปต้องมีการปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้นเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสม โดยการเพิ่มค่าตัวแปรขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ตัวแปรมูลฐานเข้า (entering basic variable) ในกรณีปัญหาที่ต้องการหาค่าสูงสุดจะพิจารณาเลือกตัวแปรไม่เป็นมูลฐานที่มีสัมประสิทธิ์ในสมการ (0) ติดลบมากที่สุด เพราะเมื่อตัวแปรเพิ่มค่าจาก 0 เป็นค่าบวกจะทำให้เพิ่มค่า Z ได้เร็วที่สุด เช่น $Z - 3X_1 - 5X_2 = 0$ เริ่มต้นให้ $X_1 = X_2 = 0$ จะมีผลทำให้ $Z = 0$ เมื่อเพิ่มของตัวแปร X_1, X_2 จะมีผลทำให้ Z สูงขึ้น เช่น

ถ้าเพิ่มค่า X_1 โดยที่ $X_2 = 0$ จะมีผลทำให้ $Z = 3X_1$

ถ้าเพิ่มค่า X_2 โดยที่ $X_1 = 0$ จะมีผลทำให้ $Z = 5X_2$

การเพิ่มค่าตัวแปรใดจึงต้องดูค่าสัมประสิทธิ์ที่เป็นลบ เพราะเมื่อย้ายข้างจะเป็นบวก และจากสมการ (2.6) จะได้ว่า ต่อ 1 หน่วยที่เพิ่มค่า X_2 จะได้ค่า Z เพิ่มขึ้นเร็วกว่าเพิ่มค่า X_1 1 หน่วย ดังนั้นเพื่อให้ค่า Z ถึงจุดเป้าหมายเร็วที่สุดจึงเลือกตัวแปรเข้าที่มีสัมประสิทธิ์ติดลบมากที่สุด

จากตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์ของตัวแปร X_2 ติดลบมากที่สุดคือ -5 จึงเลือกเป็นตัวแปรมูลฐานเข้า คือเปลี่ยนจากตัวแปรที่ไม่เป็นมูลฐานเป็นตัวแปรมูลฐาน คอลัมน์ (column)

ที่อยู่ภายใต้ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ของในข้อจำกัดเรียกว่า คอลัมน์หลัก (pivot column) ดังตารางที่ 2.7 และถ้าสมการ (0) มีสัมประสิทธิ์ของตัวแปรเป็น 0 หรือเป็นบวก แสดงว่าไม่สามารถหาตัวแปรมูลฐานเข้าเพื่อเพิ่มค่า Z ได้ อีก

ขั้นตอนที่ 2 หาตัวแปรมูลฐานออก (leaving basic variable)

- 1) เลือกสัมประสิทธิ์ในคอลัมน์หลักที่มีค่ามากกว่า 0
- 2) หาค่าคงที่ทางขวามือด้วยสัมประสิทธิ์ในคอลัมน์หลักที่มีค่ามากกว่า 0 และอยู่ในแถวเดียวกัน
- 3) เลือกสมการที่ให้ผลหารน้อยที่สุด แถวที่ให้ผลหารน้อยที่สุดเรียกว่า แถวหลัก (pivot row) ค่าตัวเลขในแถวนั้นเรียกว่าเลขหลัก (pivot number)

ตารางที่ 2.7 ตัวแปรมูลฐานเข้า คือตัวแปร X_2

ตัวแปร มูลฐาน	สมการ ที่	สัมประสิทธิ์ของ						ค่าคงที่ ขวามือ
		Z	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	
Z	0	1	-3	-5	0	0	0	0
S_1	1	0	1	0	1	0	0	4
S_2	2	0	0	2	0	1	0	12
S_3	3	0	3	2	0	0	1	18

4) เลือกตัวแปรมูลฐานออกจากแถวนี้ คือตัวแปร S_2 ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ตัวแปรมูลฐานออก คือตัวแปร S_2

ตัวแปร มูลฐาน	สมการ ที่	สัมประสิทธิ์ของ						ค่าคงที่ ขวามือ
		Z	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	
Z	0	1	-3	-5	0	0	0	0
S_1	1	0	1	0	1	0	0	4
← S_2	2	0	0	2	0	1	0	12
S_3	3	0	3	2	0	0	1	18

ขั้นตอนที่ 3 หาคำตอบมูลฐานที่เป็นไปได้ใหม่โดยสร้างตารางใหม่ ดังนี้

- 1) ใน 3 คอลัมน์แรกยังคงเดิม ยกเว้น S_2 ในสมการ ซึ่งเป็นตัวแปรออกจะ ถูกแทนที่ด้วย X_2
- 2) สัมประสิทธิ์ของตัวแปรมูลฐานใหม่ในแถวหลักทำให้เป็น +1 โดยหาร แถวหลักด้วยเลขหลัก แสดงดังตารางที่ 2.9

สัมประสิทธิ์ของทุกตัวแปรในแถวหลักใหม่ = สัมประสิทธิ์เดิมในแถวหลัก / เลขหลัก

ตารางที่ 2.9 สัมประสิทธิ์ของทุกตัวแปรในแถวหลักใหม่

ตัวแปร มูลฐาน	สมการ ที่	สัมประสิทธิ์ของ						ค่าคงที่ ขวามือ
		Z	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	
Z	0							
S_1	1	0						
X_2	2	0	0	1	0	1/2	0	6
S_3	3	0						

ต่อไปทำให้สัมประสิทธิ์ของ X_2 ในแถวอื่น เป็น 0 ทั้งหมด ซึ่งทำได้โดยใช้สูตรดังนี้

แถวใหม่ = แถวเดิม - (สัมประสิทธิ์ในคอลัมน์หลัก x แถวหลักใหม่)

พิจารณาแถว (0) สัมประสิทธิ์ที่ตรงกับ X_2 คือ -5

แถว (0) ใหม่ = แถว (0) เดิม - [(-5) x แถวหลักใหม่]

	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	ค่าคงที่ขวามือ
แถว (0) เดิม	-3	-5	0	0	0	0
(-5) x แถวหลักใหม่	0	5	0	-5/2	0	-30
แถว (0) ใหม่	-3	0	0	5/2	0	30

พิจารณาแถว (3) สัมประสิทธิ์ในคอลัมน์หลักคือ 2

เอา 2 คูณเข้ากับแถวหลักใหม่ แล้วลบออกจากแถว (3) จะได้

	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	ค่าคงที่ขวามือ
แถว (3) เดิม	3	2	0	0	1	18
(2) x แถวหลักใหม่	0	2	0	1	0	12
แถว (3) ใหม่	3	0	0	-1	1	6

ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนตัวแปรเข้าและตัวแปรออก 1 ครั้งจะได้ตารางใหม่ ค่าของตัวแปรมูลฐานยังคงเท่ากับค่าคงที่ขวามือ ค่าตอบมูลฐานที่เป็นไปได้ ชุดใหม่ คือ $(X_1, X_2, S_1, S_2, S_3) = (0, 6, 4, 0, 6)$ ค่า $Z = 30$ แสดงดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ค่าตัวแปรมูลฐานใหม่

ตัวแปร มูลฐาน	สมการ ที่	สัมประสิทธิ์ของ					ค่าคงที่ ขวามือ	
		Z	X_1	X_2	S_1	S_2		S_3
Z	0	1	-3	0	0	5/2	0	30
S_1	1	0	1	0	1	0	0	4
X_2	2	0	0	1	0	1/2	0	6
S_3	3	0	3	0	0	-1	1	6

จากตารางจะเห็นได้ว่า X_2 เป็นตัวแปรมูลฐานเข้าซึ่งเพิ่มค่าจาก 0 เป็น 6 ขณะที่ S_2 เป็นตัวแปรมูลฐานออก ซึ่งลดค่าเป็น 0 การที่เลือกตัวแปรมูลฐานออกคือ S_2 ซึ่งได้จากแถวที่ให้ผลหารของค่าคงที่ขวามือ ซึ่งหารด้วยค่าสัมประสิทธิ์ในคอลัมน์หลักมีค่าน้อยที่สุดนั้น เพราะว่า ค่า X_1 ที่เพิ่มขึ้นนี้จะต้องสอดคล้องกับทุก ๆ ข้อจำกัด ถ้าเลือกตัวแปรมูลฐานออกจากแถวที่ให้ผลหารมากที่สุด จะได้ว่าตัวแปรที่เพิ่มค่าจะไม่สอดคล้องกับทุกข้อจำกัดเดิม ตัวอย่างเช่น ข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับ X_2 คือ

$$\begin{aligned} 2X_2 &\leq 12 \\ 3X_1 + 2X_2 &\leq 18 \end{aligned}$$

ถ้า $X_2 = 6$ จะได้ว่าเมื่อแทน $X_2 = 6, X_1 = 0$ ลงในสมการทั้งสองสมการยังคงเป็นจริง แต่ถ้าเลือก S_3 ในสมการ (3) เป็นตัวแปรออก เมื่อ X_2 เข้าแทนที่ S_3 จะต้องทำให้สัมประสิทธิ์ของ X_2 ในสมการ (3) เป็น +1 ค่าของ X_2 ที่เพิ่มขึ้นคือ ค่าคงที่ขวามือจะได้เท่ากับ 9 เมื่อแทน $X_2 = 9$ ลงในสมการ $2X_2 \leq 12$ จะได้ว่าไม่เป็นจริง ดังนั้นจึงต้องเลือกตัวแปรออกในแถวที่มีผลหารน้อยที่สุด เพื่อให้ค่าที่ได้ยังคงสอดคล้องกับข้อจำกัด

ขั้นตอนที่ 4 เมื่อได้คำตอบมูลฐานที่เป็นไปได้ชุดใหม่แล้ว ต่อไปตรวจสอบดูว่าคำตอบที่ได้เหมาะสมหรือไม่ จากสมการ (0) จะเห็นได้ว่ายังมีสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่เป็นลบคือสัมประสิทธิ์ของ X_1 เท่ากับ -3 แสดงว่ายังสามารถเพิ่มค่า Z ได้อีกโดยพิจารณาตัวแปรเข้าและตัวแปรออกใหม่ จะได้ว่าให้ X_1 เป็นตัวแปรเข้า S_3 เป็นตัวแปรออก ดังตารางที่ 2.11 เลขหลักคือ 3 ทำให้เลขหลักหรือสัมประสิทธิ์ของ X_1 ในแถว (3) หรือแถวหลักเป็น 1 โดยเอา 3 หารตลอด ได้สัมประสิทธิ์ของตัวแปรในแถวหลักใหม่คือ

	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	ค่าคงที่ขวามือ
แถวหลักใหม่	1	0	0	-1/3	-1/3	2

ตารางที่ 2.11 ตัวแปรเข้าคือ X_1 ตัวแปรออกคือ S_3

ตัวแปร มูลฐาน	สมการ ที่	สัมประสิทธิ์ของ						ค่าคงที่ ขวามือ
		Z	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	
Z	0	1	-3	0	0	5/2	0	30
S_1	1	0	1	0	1	0	0	4
X_2	2	0	0	1	0	1/2	0	6
S_3	3	0	3	0	0	-1	1	6

ต่อไปทำให้สัมประสิทธิ์ของ X_1 ในแถวอื่นเป็น 0 ทั้งหมดโดยใช้สูตรในสมการดังนี้

	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	ค่าคงที่ขวามือ
แถว (0) เดิม	-3	0	0	5/2	0	30
(-3) x แถวหลักใหม่	-3	0	0	1	-1	-6
แถว (0) ใหม่	0	0	0	3/2	1	36

	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	ค่าคงที่ขวามือ
แถว (1) เดิม	1	0	1	0	0	4
(1) x แถวหลักใหม่	1	0	0	-1/3	1/3	2
แถว (1) ใหม่	0	0	1	1/3	-1/3	2

แถว (2) ใหม่คือแถว (2) เดิม เพราะสัมประสิทธิ์ X_1 เป็น 0 อยู่แล้ว ดังนั้นจะได้ตารางใหม่ คำตอบ มูลฐานที่เป็นไปได้ชุดใหม่ คือ $(X_1, X_2, S_1, S_2, S_3) = (2, 6, 2, 0, 0)$ ค่า $Z = 36$ เมื่อคูณสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ไม่เป็นมูลฐานในสมการ (0) จะได้เห็นว่าสัมประสิทธิ์เป็นบวกทั้งหมด แสดงว่าการกระทำซ้ำนี้สิ้นสุดลง เพราะไม่สามารถหาตัวแปรเข้าและตัวแปรออกที่จะเพิ่มค่า Z ได้อีก ดังนั้นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหานี้คือ $X_1 = 2, X_2 = 6, Z = 36$ สำหรับตารางซิมเพล็กซ์ที่สมบูรณ์ของปัญหานี้แสดงดังตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 ตารางซิมเพล็กซ์ที่สมบูรณ์ของปัญหานี้

ตัวแปร มูลฐาน	สมการ ที่	สัมประสิทธิ์ของ						ค่าคงที่ ขวามือ
		Z	X_1	X_2	S_1	S_2	S_3	
Z	0	1	0	0	0	3/2	1	36
S_1	1	0	0	0	1	1/3	-1/3	2
X_2	2	0	0	1	0	1/2	0	6
X_1	3	0	1	0	0	-1/3	1/3	2

2.9 สรุปท้ายบท

ตามเนื้อหาข้างต้นที่กล่าวมาในบทนี้จะเห็นได้ว่า เทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาในเรื่องของคุณภาพสัญญาณ ความแรงของสัญญาณ อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล และพื้นที่สัญญาณครอบคลุม แต่เนื่องจากการใช้งานความถี่เดียวกันของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอดระหว่างเซลล์ขึ้น ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยทำการจัดสรรบล็อกรหัสของทรัพยากรซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดในการรับส่งข้อมูลของระบบแอลทีอีให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างเซลล์ ในขณะที่ใช้ทรัพยากรคลื่นวิทยุทั้งหมดที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งในบทนี้ยังได้กล่าวถึงการกำหนดปัญหาให้อยู่ในรูปแบบของการโปรแกรมเชิงเส้น รวมถึงอัลกอริทึมซิมเพล็กซ์ที่จะนำมาใช้หาคำตอบของการโปรแกรมเชิงเส้นในวิทยานิพนธ์นี้ โดยอัลกอริทึมซิมเพล็กซ์จะทำการคำนวณหาคำตอบซ้ำต่อเนื่อง จนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหาการกำหนดปัญหาเชิงเส้นได้โดยใช้กันอย่างแพร่หลาย



บทที่ 3

เทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่าย เฟมโตเซลล์จีภายในอาคารหลายชั้น

ในบทนี้นำเสนอเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายเฟมโตเซลล์จีภายในอาคารหลายชั้น โดยนำความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 มาเป็นแนวคิดในการออกแบบ ซึ่งเนื้อหาในบทนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุที่เหมาะสมที่สุด โดยดำเนินการแก้ไขปัญหาด้วยการใช้รูปแบบของการโปรแกรมเชิงเส้นซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อต่าง ๆ ได้แก่ หัวข้อที่ 3.1 แนวคิดในการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายเฟมโตเซลล์จีภายในอาคารหลายชั้น หัวข้อที่ 3.2 การกำหนดปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น หัวข้อที่ 3.3 การพัฒนาสมการคณิตศาสตร์ หัวข้อที่ 3.4 โปรแกรมช่วยหาคำตอบสำหรับการโปรแกรมเชิงเส้น และหัวข้อที่ 3.5 สรุปท้ายบท

3.1 แนวคิดในการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายเฟมโตเซลล์จีภายในอาคารหลายชั้น

ในปัจจุบันจำนวนผู้ใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มีเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องก่อให้เกิดปริมาณข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างหนาแน่น โดยปริมาณข้อมูลส่วนใหญ่เกิดจากผู้ใช้บริการภายในอาคาร ซึ่งความซับซ้อนของโครงสร้างภายในอาคารนั้นอาจจะทำให้ผู้ใช้บริการภายในอาคารไม่สามารถรับสัญญาณจากสถานีฐานมาโครเซลล์ที่อยู่ภายนอกอาคารได้ ส่งผลให้เกิดบริเวณจุดอับสัญญาณภายในอาคาร ดังนั้นในเทคโนโลยีจีแอลทีอีจึงได้นำเสนอเฟมโตเซลล์เข้ามาติดตั้งภายในอาคารเพื่อช่วยแก้ปัญหา อีกทั้งเฟมโตเซลล์ยังช่วยแก้ปัญหาในด้านคุณภาพสัญญาณ ความแรงของสัญญาณ และอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล โดยเฟมโตเซลล์เป็นสถานีฐานขนาดเล็ก มีกำลังส่งต่ำ ครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณขนาดเล็ก การทำงานของเฟมโตเซลล์เป็นเสมือนตัวกลางในการเชื่อมต่อแบบไร้สายระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงหรือบรอดแบนด์ที่ผ่านตามสายภายในอาคาร โดยสถานีฐานเฟมโตเซลล์จะเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านตัวรับสัญญาณอินเทอร์เน็ต (DSL router) เพื่อส่งสัญญาณไปยังผู้ใช้งานภายในพื้นที่ให้บริการต่อไป ซึ่งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ติดตั้งได้ง่าย ไม่มีอุปกรณ์ในการติดตั้งที่ซับซ้อนเมื่อเปรียบเทียบกับ การติดตั้งอุปกรณ์ขยายสัญญาณภายในอาคารแบบอื่น ๆ อย่างไรก็ตามสถานีฐานเฟมโตเซลล์นั้นมี

ปัญหาในเรื่องของสัญญาณแทรกสอดระหว่างเซลล์ ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในเครือข่ายมีการใช้ความถี่ซ้ำ เนื่องจากมีความจำกัดของทรัพยากรคลื่นวิทยุที่สามารถนำมาใช้งานได้กับเทคโนโลยีซีอีแอลทีอี ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์อย่างเหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการการสื่อสารของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารให้ดียิ่งขึ้น

จากการศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของอาคารในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคืออาคารแบบชั้นเดียวและอาคารแบบหลายชั้น ซึ่งอาคารโดยส่วนใหญ่จะเป็นอาคารแบบหลายชั้นซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่าอาคารแบบชั้นเดียว เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของพื้นที่ในแต่ละชั้นมีความซับซ้อนที่แตกต่างกัน โดยอาคารแบบหลายชั้นสามารถที่จะกำหนดพิกัดเป็น 3 มิติ (x, y, z) โดยที่ x คือ ความกว้างของอาคาร y คือ ความยาวของอาคาร z คือ ความสูงของอาคาร

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายเฟมโตเซลล์สี่จีภายในอาคารหลายชั้น เพื่อเพิ่มวิสัยสมารถของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมถึงพิจารณาในส่วนของการรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน และการรับประกันคุณภาพความแรงสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการใช้งานของผู้ใช้บริการภายในเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ให้มากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถนำเทคนิคนี้ไปใช้ในการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในอาคารประเภทชั้นเดียวและอาคารประเภทหลายชั้นได้อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้กับอาคารที่มีลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกันได้

3.2 การกำหนดปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น

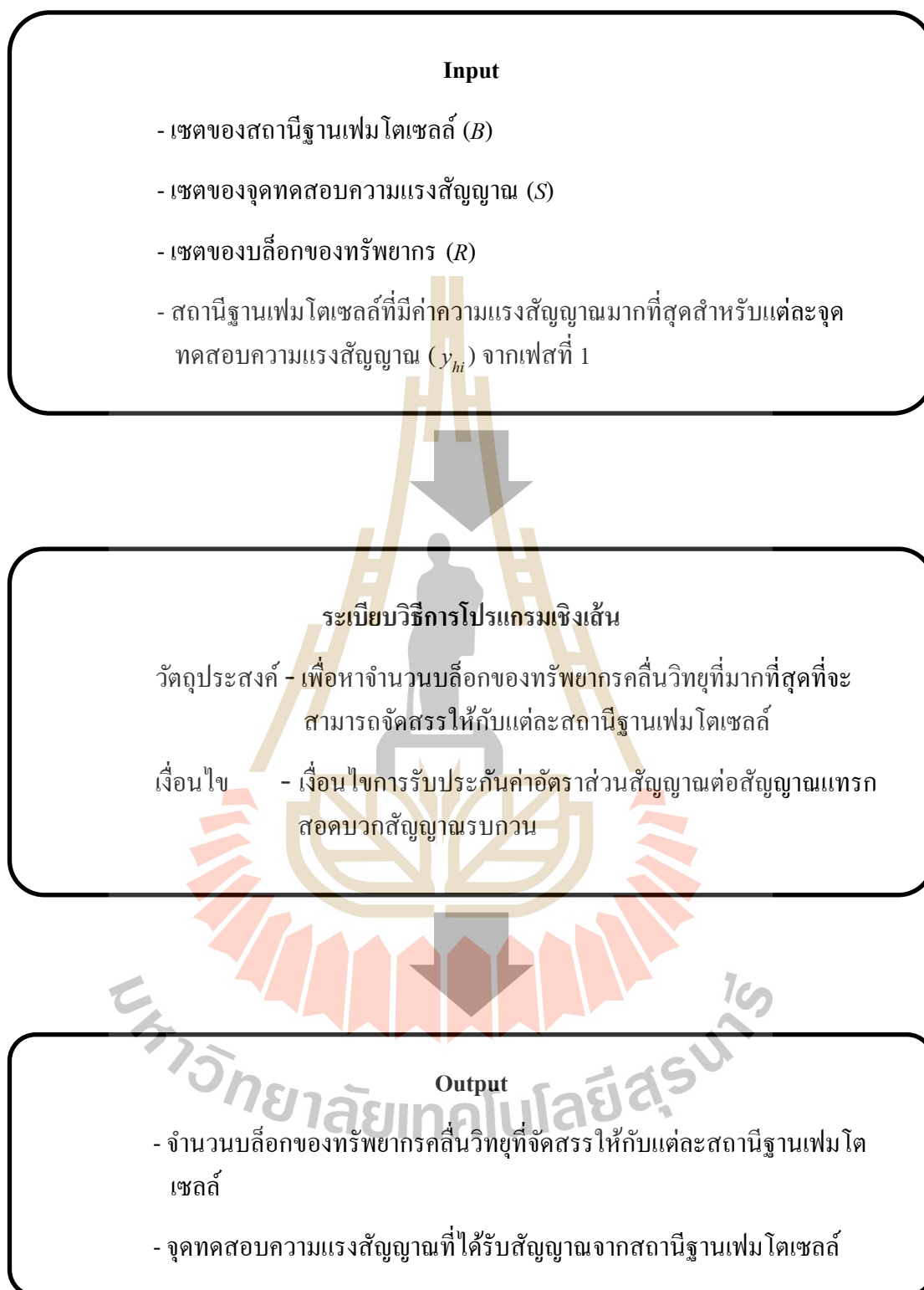
ในการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุของงานวิจัยในบทนี้ได้เลือกวิธีการกำหนดปัญหาเป็นการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming : LP) เป็นเทคนิคที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและเป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยดำเนินการ (operation research) ซึ่งได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนออกแบบเพื่อจัดสรรปัจจัย หรือทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้บรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการโปรแกรมเชิงเส้นนี้ประกอบไปด้วยสองส่วนที่สำคัญ คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) และสมการเงื่อนไข (constraint) โดยในงานวิจัยนี้มีเป้าหมาย คือต้องการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ซึ่งแบ่งการทำงานออกเป็น 2 เฟส โดยเฟสที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ทำให้ผลรวมค่าความแรงสัญญาณของผู้ใช้บริการภายในอาคารมีค่ามากที่สุด สำหรับเงื่อนไขนั้นก็จะเป็นอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญเพื่อให้การดำเนินงานวิจัยได้บรรลุเป้าหมายที่ต้องการ ซึ่งในเฟสที่ 1 มีเงื่อนไข

ในด้านการรับประกันคุณภาพความแรงสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ โดยการทำงานของ การโปรแกรมเชิงเส้นของเฟสที่ 1 แสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีข้อมูลอินพุตประกอบไปด้วย เซตของ สถานีฐานเฟมโตเซลล์ และเซตของจุดทดสอบความแรงสัญญาณ โดยเมื่อป้อนอินพุตเข้าไปใน กระบวนการหาคำตอบด้วยระเบียบวิธีการโปรแกรมเชิงเส้นแล้ว จะได้คำตอบของปัญหาที่ตั้งไว้ (เอาต์พุต) นั่นก็คือ สถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่มีค่าความแรงสัญญาณมากที่สุดสำหรับแต่ละจุดทดสอบ ความแรงสัญญาณ โดยคำตอบของปัญหาที่ตั้งไว้จากเฟสที่ 1 จะนำมาเป็นข้อมูลอินพุตให้กับเฟสที่ 2 ดังนั้นจึงเริ่มกระบวนการทำงานในเฟสที่ 2 ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนบล็อกรของ ทรัพยากรคลื่นวิทยุที่มากที่สุดที่จะสามารถจัดสรรให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยมีเงื่อนไข ในการรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน ซึ่งการทำงานของ การโปรแกรมเชิงเส้นของเฟสที่ 2 แสดงได้ดังรูปที่ 3.2 โดยมีข้อมูลอินพุตประกอบไปด้วย เซต ของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ เซตของจุดทดสอบความแรงสัญญาณ เซตของบล็อกรของทรัพยากร และ คำตอบของปัญหาจากเฟสที่ 1 ซึ่งเมื่อป้อนอินพุตเข้าไปในกระบวนการหาคำตอบด้วยระเบียบ วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นแล้ว จะได้คำตอบของปัญหาที่ตั้งไว้ (เอาต์พุต) นั่นก็คือ จำนวนบล็อกรของ ทรัพยากรคลื่นวิทยุที่จัดสรรให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ และจุดทดสอบความแรงสัญญาณที่ ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์

โดยเมื่อกำหนดปัญหาเหล่านี้เรียบร้อยแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2 จึงดำเนินการ พัฒนาปัญหาให้กลายเป็นความสัมพันธ์ของสมการคณิตศาสตร์ที่มีลักษณะเชิงเส้นตรง ที่เรียกว่า ซิมเพล็กซ์ (simplex) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาการ โปรแกรมเชิงเส้นที่มีประสิทธิภาพ และได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยมีหลักการของการหาคำตอบด้วยการทำงานแบบซ้ำ ๆ จนกระทั่งได้คำตอบที่ดีที่สุด ดังที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป



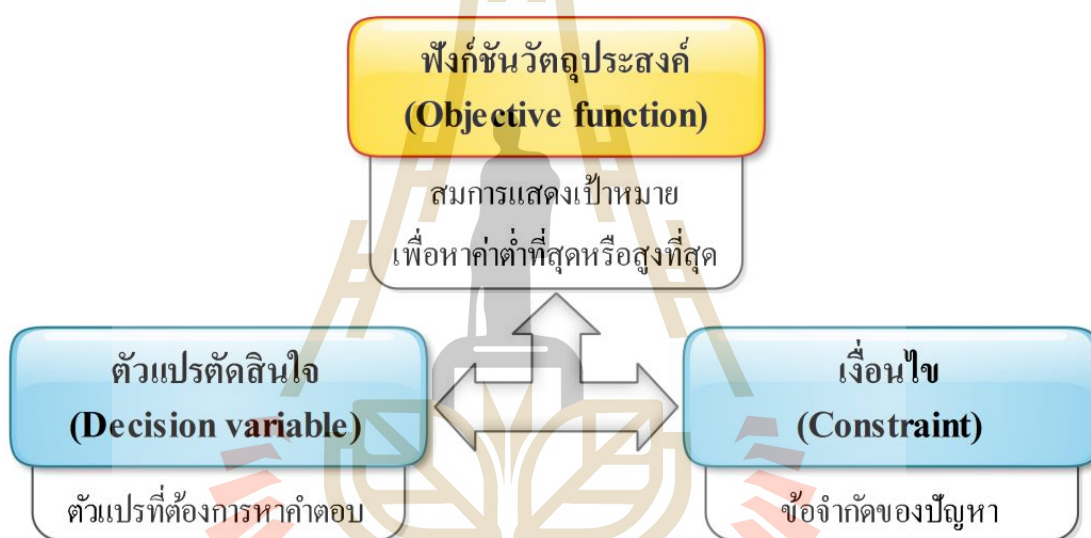
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นของเฟสที่ 1



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นของเฟสที่ 2

3.3 การพัฒนาสมการคณิตศาสตร์

การพัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายเฟมโตเซลล์สี่จีภายในอาคารหลายชั้น ได้พัฒนาสมการคณิตศาสตร์ภายใต้วิธีการกำหนดปัญหาแบบการโปรแกรมเชิงเส้น ซึ่งประกอบไปด้วยสามส่วนที่สำคัญคือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ สมการเงื่อนไข และตัวแปรตัดสินใจ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ สมการแสดงเป้าหมายเพื่อใช้ในการหาค่าที่ต่ำที่สุดหรือสูงที่สุด ส่วนสมการเงื่อนไขคือ สมการที่แสดงถึงข้อกำหนดหรือข้อจำกัดของปัญหานั้น ๆ และตัวแปรตัดสินใจคือ ตัวแปรที่ต้องการหาคำตอบเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ



รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของการโปรแกรมเชิงเส้น

การแก้ปัญหาด้วยการโปรแกรมเชิงเส้นในงานวิจัยนี้ กำหนดด้วยสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น โดยงานวิจัยนี้มีเป้าหมายคือ ต้องการจัดสรรทรัพยากรคลื่นวิทยุที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุดให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น เพื่อเพิ่มวิสัยความสามารถของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยในการออกแบบสมการคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นนั้น ได้แบ่งสมการคณิตศาสตร์ออกเป็นจำนวน 2 เฟส โดยในเฟสที่ 1 ของงานวิจัยนี้ มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือต้องการคัดเลือกสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ทำให้ผลรวมค่าความแรงสัญญาณของผู้ใช้บริการภายในอาคารมีค่ามากที่สุด และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของเฟสที่ 2 คือหาจำนวนบล็อกรหัสของทรัพยากรคลื่นวิทยุที่มาก

ที่สุดที่จะสามารถจัดสรรให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยในการออกแบบสมการคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้วัตถุประสงค์ตามที่ต้องการนั้น ต้องมีเงื่อนไขที่เป็นข้อจำกัดคือ เงื่อนไขการรับประกันคุณภาพความแรงสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ และเงื่อนไขการรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน ซึ่งการประยุกต์ใช้สมการคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมเชิงเส้นทำให้การออกแบบเครือข่ายนั้นทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยการนิยามตัวแปรต่าง ๆ ที่จะใช้ในสมการคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น ได้แบ่งตัวแปรออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มของตัวแปรเซต (set) กลุ่มของตัวแปรตัดสินใจ (decision variable) และกลุ่มของตัวแปรค่าคงที่ (constant parameter) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เซตของตัวแปร :

- B คือ เซตของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ (FBSs)
- S คือ เซตของจุดทดสอบความแรงสัญญาณ (STPs)
- R คือ เซตของบล็อกของทรัพยากร (RBs)

ตัวแปรตัดสินใจ :

- y_{hi} คือ ตัวแปรตัดสินใจที่เป็นไบนารี $\{0,1\}$ โดยมีค่าเป็น 1 ถ้าจุดทดสอบความแรงสัญญาณ h เลือกรับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ i และมีค่าเป็น 0 เมื่อจุดทดสอบความแรงสัญญาณ h ไม่เลือกรับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ i โดยที่ $h \in S$ และ $i \in B$
- α_{ik} คือ ตัวแปรตัดสินใจที่เป็นไบนารี $\{0,1\}$ โดยมีค่าเป็น 1 ถ้าสถานีฐานเฟมโตเซลล์ i เลือกใช้บล็อกของทรัพยากร k และมีค่าเป็น 0 เมื่อสถานีฐานเฟมโตเซลล์ i ไม่เลือกใช้บล็อกของทรัพยากร k โดยที่ $i \in B$ และ $k \in R$
- x_{ik}^h คือ ตัวแปรตัดสินใจที่เป็นไบนารี $\{0,1\}$ โดยมีค่าเป็น 1 ถ้าจุดทดสอบความแรงสัญญาณ h เลือกรับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ i ที่เลือกใช้บล็อกของทรัพยากร k และมีค่าเป็น 0 เมื่อจุดทดสอบความแรงสัญญาณ h เลือกรับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ i ที่ไม่ได้เลือกใช้บล็อกของทรัพยากร k โดยที่ $h \in S$, $i \in B$ และ $k \in R$

ตัวแปรค่าคงที่ :

- $P_r(h, i)$ คือ ค่าความแรงสัญญาณที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ h ได้รับความสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ i โดยที่ $h \in S$ และ $i \in B$
- $P_r(h, i, k)$ คือ ค่าความแรงสัญญาณที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ h ได้รับความสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ i ที่เลือกใช้บล็อกของทรัพยากร k โดยที่ $h \in S, i \in B$ และ $k \in R$
- y_{hi} คือ ตัวแปรไบนารี $\{0,1\}$ โดยมีค่าเป็น 1 ถ้าจุดทดสอบความแรงสัญญาณ h เลือกรับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ i และมีค่าเป็น 0 เมื่อจุดทดสอบความแรงสัญญาณ h ไม่เลือกรับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ i โดยที่ $h \in S$ และ $i \in B$
- P_{rt} คือ ค่าความแรงสัญญาณขั้นต่ำสำหรับจุดทดสอบความแรงสัญญาณ
- γ_t คือ ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขั้นต่ำสำหรับจุดทดสอบความแรงสัญญาณ
- N_{RB} คือ จำนวนบล็อกของทรัพยากรที่มีอยู่ทั้งหมด
- N_0 คือ สัญญาณรบกวนความร้อน (thermal noise)
- B คือ ความกว้างของช่องสัญญาณ
- M คือ ค่า 10^6

สำหรับการกำหนดปัญหาเป็นสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ กำหนดด้วยวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น โดยประกอบไปด้วยตัวแปรตัดสินใจที่เป็นจำนวนไบนารี ซึ่งเป็นตัวแปรตัดสินใจที่จะมีค่าเป็นตัวเลขได้เพียงสองค่าคือ 0 หรือ 1 เท่านั้น ส่วนฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการเงื่อนไขสามารถแสดงได้ดังนี้

3.3.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของเฟสที่ 1

จากเป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อต้องการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุดมากที่สุดให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น ในเฟสที่ 1 นั้นจึงต้องคัดเลือกสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่มีค่าความแรงสัญญาณมากที่สุดให้กับแต่ละผู้ใช้บริการภายในอาคารสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการคณิตศาสตร์ที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ทำให้ผลรวมค่าความแรงสัญญาณของผู้ใช้บริการภายในอาคารมีค่ามากที่สุด โดยสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\text{maximize } \sum_{h=1}^S \sum_{i=1}^B P_r(h, i) y_{hi} \quad (3.1)$$

3.3.2 สมการเงื่อนไขของเฟสที่ 1

สมการเงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบสมการคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุให้กับเครือข่ายเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นในเฟสที่ 1 นั้น ประกอบด้วยสมการเงื่อนไขการรับประกันคุณภาพความแรงสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ ซึ่งสมการเงื่อนไขนี้เป็นข้อจำกัดของปัญหาในการวิจัยที่จะทำให้ได้มาซึ่งวัตถุประสงค์ที่ต้องการประกอบด้วย 2 เงื่อนไขดังนี้

1) จุดทดสอบความแรงสัญญาณ h จะต้องเลือกรับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ i แค่ 1 สถานีฐานเท่านั้น

$$\sum_{i=1}^B y_{hi} = 1, \forall h \in S \quad (3.2)$$

2) ค่าความแรงสัญญาณของจุดทดสอบความแรงสัญญาณ h ที่รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ i จะต้องมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

$$y_{hi} (P_r(h, i) - P_{r\tau}) \geq 0, \forall h \in S, \forall i \in B \quad (3.3)$$

3.3.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของเฟสที่ 2

สำหรับวัตถุประสงค์ในเฟสที่ 2 ต้องการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น เพื่อเพิ่มวิสัยสามารถของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการคณิตศาสตร์ที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ ต้องการหาจำนวนบล็อกรของทรัพยากรคลื่นวิทยุที่มากที่สุดที่จะสามารถจัดสรรให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\text{maximize } \sum_{k=1}^R \sum_{i=1}^B \alpha_{ik} \quad (3.4)$$

3.3.4 สมการเงื่อนไขของเฟสที่ 2

ส่วนสมการเงื่อนไขในเฟสที่ 2 นั้น จะเป็นเงื่อนไขเกี่ยวกับรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน ซึ่งสมการเงื่อนไขนี้เป็นข้อจำกัดของปัญหาในการวิจัยที่จะทำให้ได้มาซึ่งวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ประกอบด้วย 6 เงื่อนไขดังนี้

1) สถานีฐานเฟม โดเซลล์ i จะต้องเลือกใช้บล็อกของทรัพยากร k อย่างน้อย 1 บล็อกของทรัพยากร

$$\sum_{k=1}^R \alpha_{ik} \geq 1, \forall i \in B \quad (3.5)$$

2) สถานีฐานเฟม โดเซลล์ i จะเลือกใช้บล็อกของทรัพยากร k ได้ไม่เกินกว่าจำนวนบล็อกของทรัพยากรที่มีอยู่ทั้งหมด

$$\sum_{k=1}^R \alpha_{ik} \leq N_{RB}, \forall i \in B \quad (3.6)$$

3) จุดทดสอบความแรงสัญญาณ h จะต้องได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟม โดเซลล์ i ที่เลือกใช้บล็อกของทรัพยากร k อย่างน้อย 1 สถานีฐาน

$$\sum_{k=1}^R \sum_{i=1}^B x_{ik}^h \geq 1, \forall h \in S \quad (3.7)$$

4) จุดทดสอบความแรงสัญญาณ h จะต้องเลือกรับสัญญาณจากสถานีฐานเฟม โดเซลล์ i ที่ได้คัดเลือกไว้แล้วจากเฟสที่ 1 เท่านั้น

$$x_{ik}^h \leq y_{hi}, \forall h \in S, \forall i \in B, \forall k \in R \quad (3.8)$$

5) จุดทดสอบความแรงสัญญาณ h จะเลือกรับสัญญาณจากสถานีฐานเฟม โดเซลล์ i ที่เลือกใช้บล็อกของทรัพยากร k ที่ถูกนำมาใช้เท่านั้น

$$x_{ik}^h \leq \alpha_{ik}, \forall h \in S, \forall i \in B, \forall k \in R \quad (3.9)$$

6) ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนของจุดทดสอบความแรงสัญญาณ h ที่รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโทเซลล์ i ที่เลือกใช้บิตของทรัพยากร k จะต้องมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

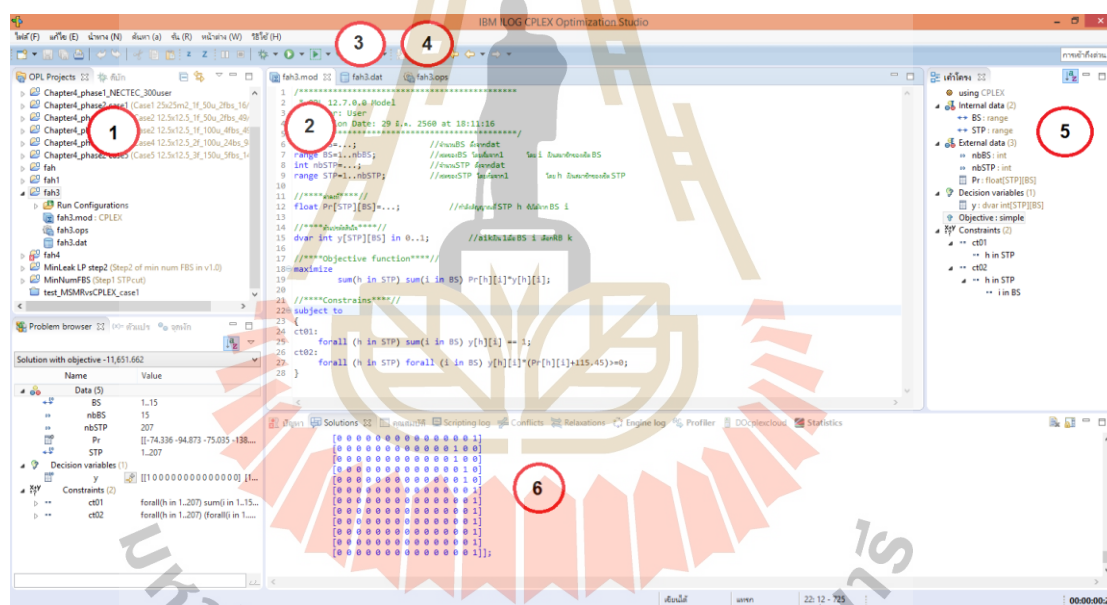
$$M * (1 - x_{ik}^h) + \alpha_{ik} 10^{\left(\frac{P_T(h,i,k)}{10}\right)} \geq \gamma_t N_0 B + \gamma_t \sum_{j=1, j \neq i}^B \alpha_{jk} 10^{\left(\frac{P_T(h,j,k)}{10}\right)}$$

$$, \forall h \in S, \forall i \in B, \forall k \in R \quad (3.10)$$



3.4 โปรแกรมช่วยหาคำตอบสำหรับการโปรแกรมเชิงเส้น

สำหรับการแก้ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาต่าง ๆ นั้น จำเป็นต้องใช้การประมวลผลทางคอมพิวเตอร์เพื่อความรวดเร็ว และได้คำตอบที่ถูกต้องแม่นยำ โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้โปรแกรม IBM ILOG CPLEX optimization studio เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้แก้ปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในงานวิจัยสำหรับการโปรแกรมเชิงเส้น โดยผู้วิจัยได้ทำการแปลงสมการคณิตศาสตร์ให้เป็นภาษาของโปรแกรม IBM ILOG CPLEX โดยโปรแกรมนี้ใช้อัลกอริทึมซิมเพล็กซ์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ในการแก้ปัญหของการโปรแกรมเชิงเส้นในการหาคำตอบที่ต้องการ หน้าต่างของโปรแกรม IBM ILOG CPLEX optimization studio จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.4 โดยอธิบายรายละเอียดตามหมายเลข 1-6



รูปที่ 3.4 หน้าต่างโปรแกรม IBM ILOG CPLEX optimization studio

1. หมายเลข 1 (OPL project) แสดงในส่วนของหน้าต่างไฟล์โครงการ (project) ที่ผู้ใช้สร้างไว้ในโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio สำหรับการแก้ปัญหาลักษณะต่าง ๆ โดยแต่ละโครงการ ประกอบไปด้วย 3 ไฟล์ คือ โมเดลไฟล์ (*.mod) คำสั่งไฟล์ (*.dat) และเซตคำสั่งไฟล์ (*.ops)

2. หมายเลข 2 (model file editing area) แสดงในส่วนของหน้าต่างสำหรับป้อนคำสั่งด้วยภาษาของโปรแกรมที่ผู้ใช้ต้องการคำนวณหาค่าที่ดีที่สุดของปัญหานั้น ๆ โดยคำสั่งเหล่านี้ผู้ใช้ต้อง

ทำการแปลงมาจากสมการคณิตศาสตร์ของกรโปรแกรมเชิงเส้น ซึ่งมีโครงสร้างหลักประกอบไปด้วย ตัวแปรตัดสินใจ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และสมการเงื่อนไข แสดงดังรูป 3.5

3. หมายเลข 3 (data file editing area) แสดงในส่วนของหน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลที่เป็นตัวแปรค่าคงที่ ตัวแปรในรูปของเมตริกซ์ (matrix) โดยข้อมูลเหล่านี้จะเป็นข้อมูลการนำเข้า (input) ที่ถูกเรียกใช้ในการคำนวณจากคำสั่งในส่วนของโมเดลไฟล์ แสดงดังรูปที่ 3.6

4. หมายเลข 4 (setting file editing area) แสดงในส่วนของหน้าต่างสำหรับการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา เช่น การจำกัดเวลา (time) ตั้งค่านหน่วยความจำ (memory) จำนวนการวนซ้ำ (iteration) และการตั้งค่าอัลกอริทึม (algorithm) ที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบ แสดงดังรูปที่ 3.7

5. หมายเลข 5 (outline view) แสดงในส่วนของหน้าต่างส่วนสรุปโดยย่อ (outline) ของโมเดลไฟล์ คำค่าไฟล์และเซตคั้งไฟล์เพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาและตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ในส่วนต่าง ๆ ของโครงการ

6. หมายเลข 6 (solution log area) แสดงในส่วนของหน้าต่างคำตอบที่โปรแกรมคำนวณได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุด (optimal solution) ของปัญหารวมไปถึงแสดงปัญหาที่พบในระหว่างการคำนวณหาคำตอบ



```

1  /***** *****/
2  * OPL 12.7.0.0 Model
3  * Author: User
4  * Creation Date: 29 ธ.ค. 2560 at 18:11:16
5  *****/
6  int nbBS=...;           //จำนวนBS ตั้งจากdat
7  range BS=1..nbBS;      //ขอบเขตBS โดยเริ่มจาก1 โดย i ขึ้นมาเรื่อยๆของBS
8  int nbSTP=...;         //จำนวนSTP ตั้งจากdat
9  range STP=1..nbSTP;    //ขอบเขตSTP โดยเริ่มจาก1 โดย h ขึ้นมาเรื่อยๆของSTP
10
11 *****/ *****/
12 float Pr[STP][BS]=...; //ค่าตั้งต้นของSTP h สำหรับBS i
13
14 *****/ *****/
15 dvar int y[STP][BS] in 0..1; //aikเป็น1ถ้าBS i เลือกRB k
16
17 *****/Objective function*****/
18 maximize
19     sum(h in STP) sum(i in BS) Pr[h][i]*y[h][i];
20
21 *****/Constraints*****/
22 subject to
23
24 ct01:
25     forall (h in STP) sum(i in BS) y[h][i] == 1;
26 ct02:
27     forall (h in STP) forall (i in BS) y[h][i]*(Pr[h][i]+115.45)>=0;
28 }

```

รูปที่ 3.5 model file editing area

```

1 /*****
2 * OPL 12.7.0.0 Data
3 * Author: User
4 * Creation Date: 29 E.S. 2560 at 18:11:16
5 *****/
6 nbBS=15;           // number of BS
7 nbSTP=207;        // number of Signal test point
8 Pr=[
9   [ -74.33639261  -94.87327426  -75.03541658  -138.7362202  -121.3730282  -77.08177654  -83.26083442  -85.1180033
10  [ -68.90366078  -103.8964471  -80.32780441  -144.5482914  -115.7980609  -76.96934029  -84.01984762  -85.1180033
11  [ -69.90035795  -128.354674  -78.11380033  -158.6180814  -113.7322569  -77.88969014  -84.8551419  -85.27861486
12  [ -62.83526364  -93.42929971  -79.0197133  -138.0908462  -98.77241573  -73.74039897  -81.85091672  -83.836316
13  [ -70.21329712  -121.023215  -78.99579677  -146.9182231  -123.2486917  -73.49396659  -82.86913145  -83.812811
14  [ -61.76297849  -111.4840837  -81.57644706  -155.1749642  -107.6818569  -75.32796172  -83.92904852  -84.01984762
15  [ -54.06416261  -97.14800597  -72.1479455  -137.4348933  -97.83801213  -69.68657695  -80.3123757  -82.30727735
16  [ -47.46287193  -103.8942999  -66.8036376  -148.7195349  -98.7724999  -69.03008761  -81.70027229  -82.27382566
17  [ -58.91798801  -108.2091998  -80.09306776  -152.3111872  -114.5718931  -72.9547152  -83.04134732  -82.566001
18  [ -58.08287193  -95.49790927  -72.61969679  -142.09114  -96.80431168  -69.03008761  -78.74056795  -80.467815
19  [ -53.86691994  -103.3455832  -70.19646593  -121.6747617  -105.5117496  -68.25638021  -80.61788401  -80.41984762
20  [ -63.84638117  -107.4236376  -78.3335695  -127.1480939  -106.0510599  -72.65770691  -82.27382566  -80.857015
21  [ -59.48798801  -88.77733454  -62.52600249  -109.0894061  -90.34282329  -72.9547152  -77.42317753  -78.174990
22  [ -61.47638117  -80.18333672  -64.80277867  -112.3313084  -101.5501205  -72.65770691  -79.80959844  -78.0818567
23  [ -69.40281116  -87.49357152  -76.1974701  -96.71022459  -107.5318965  -74.79828083  -81.73842611  -78.815670
24  [ -103.2030009  -43.223189  -67.4655832  -102.12224  -74.4836376  -81.0303445  -67.51977256  -80.61788401  -82.28221
25  [ -101.4625779  -46.05420499  -65.49790927  -103.3428458  -74.5179455  -79.36075392  -68.4225422  -78.74056795
26  [ -75.57779629  -59.33563291  -73.98360521  -104.4981933  -85.49845944  -77.70136091  -73.28622996  -76.7511
27  [ -68.94479793  -63.49291526  -66.91846398  -86.18820024  -94.36327426  -76.48800842  -76.87724726  -75.1180033
28  [ -68.80186859  -74.55190931  -64.34725397  -95.42177251  -95.13644706  -76.35885222  -79.50288713  -75.01984762
29  [ -77.62505612  -81.98356266  -81.82083325  -104.0050772  -98.35467398  -77.40260846  -81.54421408  -76.3815670
30  [ -104.3719948  -50.70164648  -66.62333672  -95.6348763  -72.56646593  -82.16501514  -70.85478542  -79.80959844
31  [ -78.98948803  -51.36213713  -64.08733454  -77.79480723  -72.61969679  -80.9399837  -71.29706234  -77.42317753

```

รูปที่ 3.6 data file editing area

รูปที่ 3.7 setting file editing area

คำสั่งของโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio ที่แสดงในตารางที่ 3.1 และในตารางที่ 3.2 นั้นเป็นการแปลงสมการคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นให้กลายเป็นภาษาของโปรแกรมเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุในเครือข่ายสถานีฐาน

เฟรมโตะเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการของเครือข่ายสถานีฐานเฟรมโตะเซลล์ ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบสามส่วน คือ ตัวแปรตัดสินใจ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการเงื่อนไข

ตารางที่ 3.1 การแปลงสมการคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับวัตถุประสงค์ที่ 1 เป็นรูปแบบคำสั่งในโปรแกรม IBM ILOG CPLEX optimization studio

สมการคณิตศาสตร์	คำสั่งในโปรแกรม ILOG OPL IDE
ตัวแปรตัดสินใจ	decision variable
y_{hi}	dvar int y[STP][BS] in 0..1;
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	objective function
สมการ (3.1)	maximize sum (h in STP) sum (i in BS) Pr[h][i] * y[h][i];
เงื่อนไข	subject to {
สมการ (3.2)	ct1: forall (h in STP) sum (i in BS) y[h][i] == 1;
สมการ (3.3)	ct2: forall (h in STP) forall (i in BS) y[h][i] * (Pr[h][i] - Prt) >= 0;
	}

ตารางที่ 3.2 การแปลงสมการคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับวัตถุประสงค์ที่ 2 เป็นรูปแบบคำสั่งในโปรแกรม IBM ILOG CPLEX optimization studio

สมการคณิตศาสตร์	คำสั่งในโปรแกรม ILOG OPL IDE
ตัวแปรตัดสินใจ	decision variable
α_{ik}	dvar int a[BS][RB] in 0..1;
x_{ik}^h	dvar int x[STP][BS][RB] in 0..1;
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	objective function
สมการ (3.4)	maximize sum (i in BS) sum (k in RB) a[i][k];
เงื่อนไข	subject to {
สมการ (3.5)	ct1: forall (i in BS) sum (k in RB) a[i][k] >= 1;
สมการ (3.6)	ct2: forall (i in BS) sum (k in RB) a[i][k] <= N _{RB} ;

ตารางที่ 3.2 การแปลงสมการคณิตศาสตร์ของการโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับวัตถุประสงค์ที่ 2 เป็นรูปแบบคำสั่งในโปรแกรม IBM ILOG CPLEX optimization studio (ต่อ)

สมการคณิตศาสตร์	คำสั่งในโปรแกรม ILOG OPL IDE
สมการ (3.7)	ct3: forall (h in STP) sum (i in BS) sum (k in RB) x[h][i][k] >= 1;
สมการ (3.8)	ct4: forall (h in STP) forall (i in BS) forall (k in RB) x[h][i][k] <= y[h][i];
สมการ (3.9)	ct5: forall (h in STP) forall (i in BS) forall (k in RB) x[h][i][k] <= a[i][k];
สมการ (3.10)	ct6: forall (h in STP) forall (i in BS) forall (k in RB) (Inf * (1 - x[h][i][k])) + (a[i][k] * (10^(Pr[h][i][k]/10))) >= (SINR _t * N ₀ * B) + (SINR _t * sum (j in BS : j != i) a[j][k] * (10^(Pr[h][j][k]/10)));
	}

3.5 สรุปท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้ได้พิจารณาถึงปัญหาการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่าย femto เซลล์สี่จีภายในอาคารหลายชั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการสื่อสารของเครือข่ายสถานีฐาน femto เซลล์ภายในอาคารให้ดียิ่งขึ้น โดยได้กล่าวถึงแนวคิด การกำหนดปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น อีกทั้งวิธีการแปลงการโปรแกรมเชิงเส้นเป็นสมการคณิตศาสตร์เพื่อนำไปประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ โดยเลือกใช้โปรแกรม IBM ILOG CPLEX optimization studio เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่าย femto เซลล์สี่จีภายในอาคารหลายชั้น

บทที่ 4

การทดลองและการวิเคราะห์ผล

จากเนื้อหาก่อนหน้านี้ ผู้วิจัยได้เสนอแนวคิดของงานวิจัยในการสร้างสมการคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น โดยกระบวนการทำงานการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุที่ได้เสนอในงานวิจัยนี้ จะประกอบไปด้วยการทำงานจำนวน 2 เฟส โดยการทำงานในเฟสที่ 1 จะเป็นกระบวนการในการหาคำตอบที่มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ทำให้ผลรวมค่าความแรงสัญญาณของผู้ใช้บริการภายในอาคารมีค่ามากที่สุด จากนั้นนำคำตอบที่ได้จากเฟสที่ 1 มาเป็นเงื่อนไขในการทำงานของเฟสที่ 2 ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนบล็อกรหัสของทรัพยากรคลื่นวิทยุที่มากที่สุดที่จะสามารถจัดสรรให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยคำตอบที่ได้สามารถรับประกันคุณภาพความแรงสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ และรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนของผู้ใช้งานในพื้นที่ให้บริการได้อีกด้วย

สำหรับเนื้อหาในบทนี้ จะแสดงผลการทดลองและวิเคราะห์ผล ซึ่งประกอบไปด้วย หัวข้อ

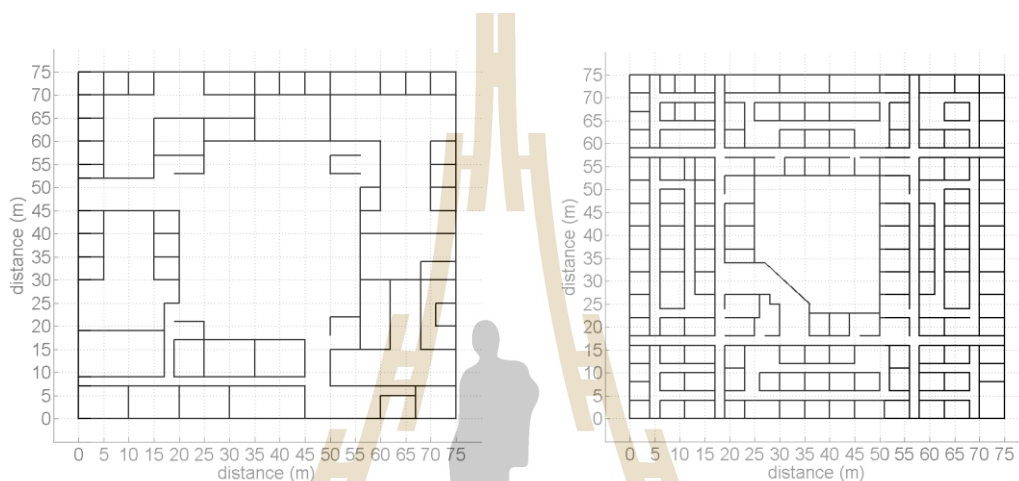
4.1 การทดลองเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นด้วยเทคนิคที่นำเสนอ หัวข้อ 4.2 การทดลองเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นด้วยเทคนิคที่นำเสนอกับเทคนิคแบบ Graph Coloring Assignment (GCA) และหัวข้อ 4.3 สรุปท้ายบท

4.1 การทดลองเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นด้วยเทคนิคที่นำเสนอ

ในหัวข้อนี้จะทำการทดลอง โดยใช้เทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นที่นำเสนอ เพื่อวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ให้เหมาะสมที่สุดภายในอาคารรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงประเมินประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้ในแต่ละพื้นที่ให้บริการ

4.1.1 ออกแบบการทดลอง

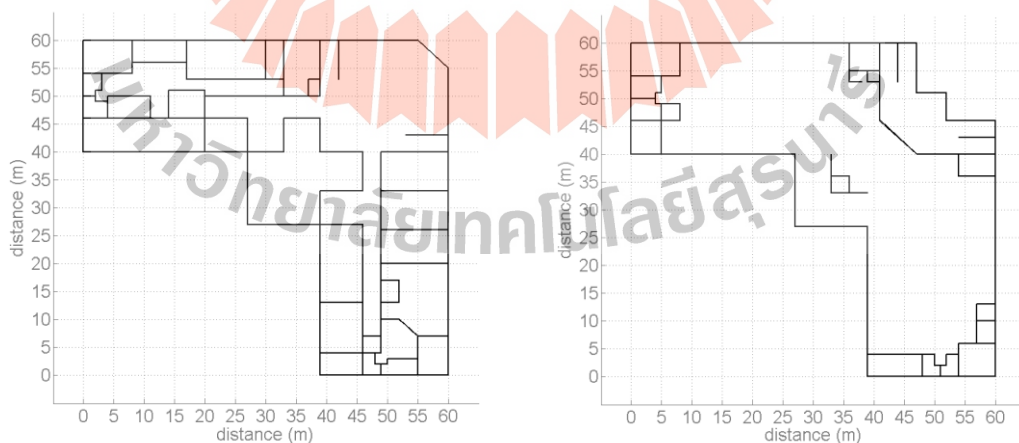
โดยในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองในพื้นที่อาคารจำนวน 2 รูปแบบด้วยกัน ซึ่งทั้ง 2 อาคารมีโครงสร้างภายในของอาคารที่แตกต่างกัน โดยแผนผังพื้นที่อาคารทดลองทั้ง 2 รูปแบบแสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดลองที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมของพื้นที่อาคาร ดังแสดงในหัวข้อที่ 4.1.1.1 และ 4.1.1.2



ก) ชั้นที่ 1

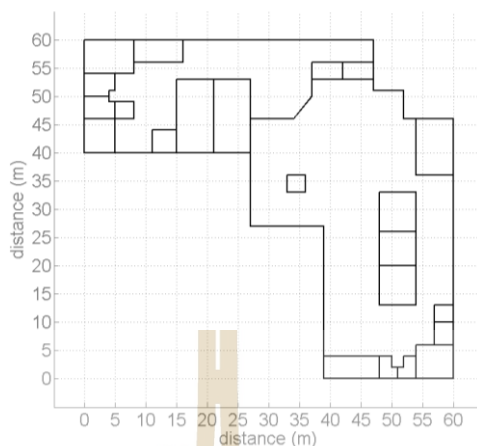
ข) ชั้นที่ 2

รูปที่ 4.1 แผนผังพื้นที่อาคารทดลองที่ 1



ก) ชั้นที่ 1

ข) ชั้นที่ 2

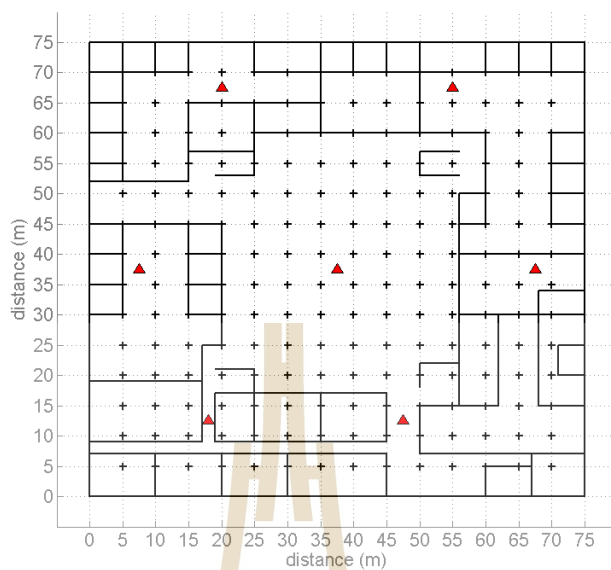


ค) ชั้นที่ 3

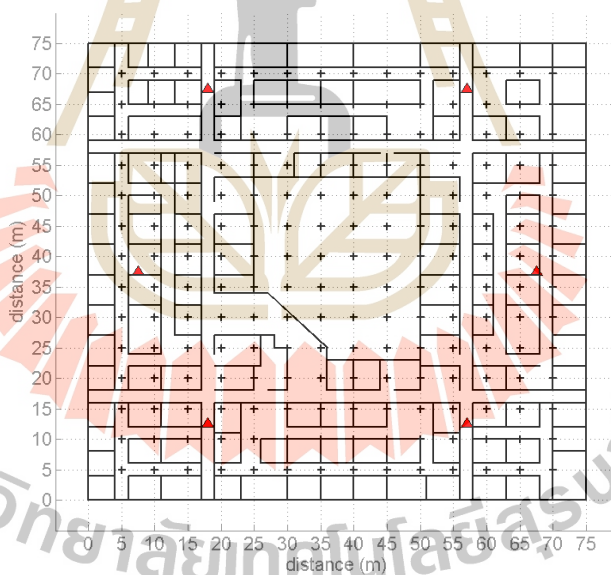
รูปที่ 4.2 แผนผังพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

4.1.1.1 การทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

พื้นที่อาคารทดลองที่ 1 เป็นอาคารขนาด 2 ชั้น โดยในแต่ละชั้นมีความกว้าง 75 เมตร ความยาว 75 เมตร ความสูง 3 เมตร ซึ่งลักษณะโครงสร้างของกำแพงมีความแตกต่างกันในแต่ละชั้น สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย จำนวนสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ติดตั้งภายในอาคารมีจำนวน 13 สถานีฐาน โดยชั้นที่ 1 มีจำนวน 7 สถานีฐาน และชั้นที่ 2 มีจำนวน 6 สถานีฐาน โดยมีตำแหน่งติดตั้งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์แสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ติดตั้งสูงจากพื้นอาคาร 2 เมตร และมีกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ (uniform) มีจุดทดสอบความแรงสัญญาณจำนวน 392 จุด โดยแต่ละชั้นมีจำนวนจุดทดสอบสัญญาณเป็นจำนวน 196 จุด ซึ่งแต่ละจุดมีระยะห่างเท่ากับ 5 เมตร (grid spacing $5 \times 5 \text{ m}^2$) รูปที่ 4.3 แสดงพารามิเตอร์สำหรับการทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1 เครื่องหมายสามเหลี่ยมสีแดงแทนสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ติดตั้งภายในอาคาร เครื่องหมายบวกสีดำแทนจุดทดสอบความแรงสัญญาณ โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1 แสดงในตารางที่ 4.2 (ETSI, 2011) ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการมอดูเลตและค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขึ้นค่าแสดงในตารางที่ 4.3 (Abdelhay, 2015)



ก) ชั้นที่ 1



ข) ชั้นที่ 2

รูปที่ 4.3 พารามิเตอร์สำหรับการทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งติดตั้งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

สถานีฐานเฟมโตเซลล์	ชั้น	x (เมตร)	y (เมตร)	z (เมตร)
1	1	7.5	37.5	2
2	1	18	12.5	2
3	1	20	67.5	2
4	1	37.5	37.5	2
5	1	47.5	12.5	2
6	1	55	67.5	2
7	1	67.5	37.5	2
8	2	7.5	37.5	5
9	2	18	12.5	5
10	2	18	67.5	5
11	2	57	12.5	5
12	2	57	67.5	5
13	2	67.5	37.5	5

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

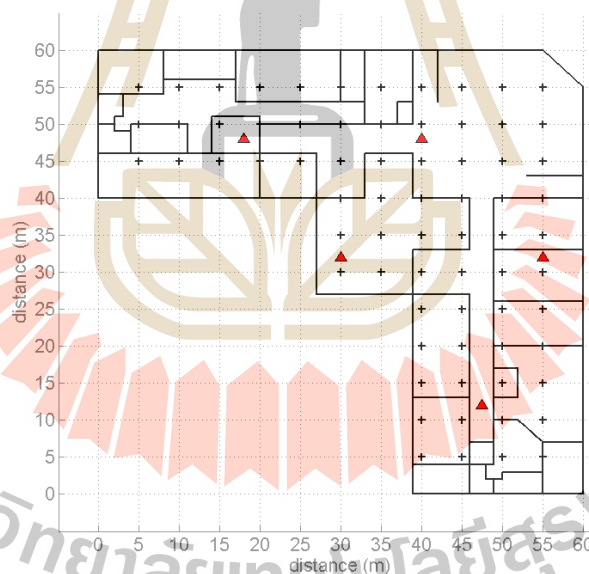
พารามิเตอร์	ค่า
กำลังส่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์	5 dBm
ประเภทสายอากาศ	แบบแพร์สัญญาณรอบทิศทาง
ความสูงของสถานีฐานเฟมโตเซลล์	2 เมตร
ความสูงของจุดทดสอบความแรงสัญญาณ	0.8 เมตร
ความถี่ของสัญญาณ	2.6 GHz
ความกว้างของช่องสัญญาณ	15 MHz
จำนวนบล็อกของทรัพยากร	75
จำนวนสถานีฐานเฟมโตเซลล์	13 สถานีฐาน
จำนวนจุดทดสอบความแรงสัญญาณ	392 จุด
สัญญาณรบกวนความร้อน	-174 dBm/Hz
ค่าความแรงสัญญาณขั้นต่ำสำหรับจุดทดสอบความแรงสัญญาณ	-115.45 dBm
ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขั้นต่ำสำหรับจุดทดสอบสัญญาณ	6 dB

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการมอดูเลตและค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด
บวกสัญญาณรบกวนขั้นต่ำ

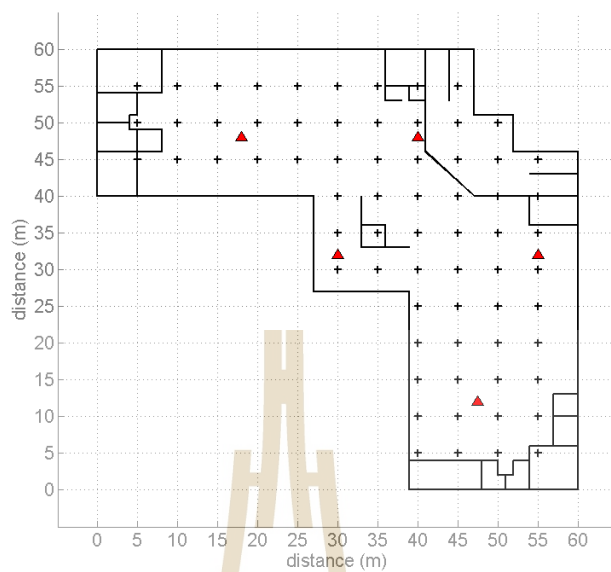
ลำดับที่	วิธีการมอดูเลต	ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวก สัญญาณรบกวนขั้นต่ำที่ควรได้รับ (dB)
1	QPSK 1/8	-6
2	QPSK 1/5	-4
3	QPSK 1/4	-2.1
4	QPSK 1/3	0
5	QPSK 1/2	2.1
6	QPSK 2/3	3.8
7	QPSK 4/5	6
8	16QAM 1/2	7.8
9	16QAM 2/3	9.9
10	16QAM 4/5	12.6
11	16QAM 2/3	15

4.1.1.2 การทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

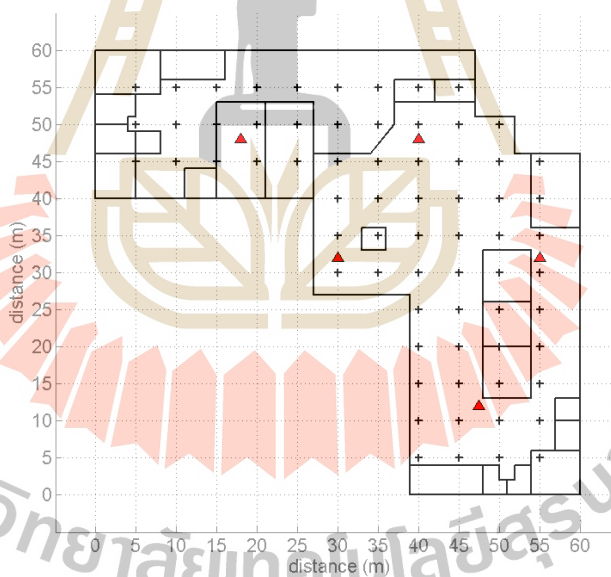
พื้นที่อาคารทดลองที่ 2 เป็นอาคารขนาด 3 ชั้น โดยในแต่ละชั้นมีความกว้าง 60 เมตร ความยาว 60 เมตร ความสูง 3 เมตร ซึ่งลักษณะโครงสร้างของกำแพงมีความแตกต่างกันในแต่ละชั้น สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย จำนวนสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ติดตั้งภายในอาคารมีจำนวน 15 สถานีฐาน โดยแต่ละชั้นมีจำนวนสถานีฐานเฟมโตเซลล์เป็นจำนวน 5 สถานีฐาน โดยมีตำแหน่งติดตั้งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์แสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ติดตั้งสูงจากพื้นอาคาร 2 เมตร และมีกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ มีจุดทดสอบความแรงสัญญาณจำนวน 207 จุด โดยชั้นที่ 1 มีจำนวน 71 จุด ชั้นที่ 2 มีจำนวน 68 จุด และชั้นที่ 3 มีจำนวน 68 จุด ซึ่งแต่ละจุดมีระยะห่างเท่ากับ 5 เมตร (grid spacing $5 \times 5 \text{ m}^2$) รูปที่ 4.4 แสดงพารามิเตอร์สำหรับการทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2 เครื่องหมายสามเหลี่ยมสีแดงแทนสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ติดตั้งภายในอาคาร เครื่องหมายบวกสีดำแทนจุดทดสอบความแรงสัญญาณ โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2 แสดงในตารางที่ 4.5



ก) ชั้นที่ 1



ข) ชั้นที่ 2



ค) ชั้นที่ 3

รูปที่ 4.4 พารามิเตอร์สำหรับการทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

ตารางที่ 4.4 ตำแหน่งติดตั้งของสถานีฐานเฟมโทเซลล์ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

สถานีฐานเฟมโทเซลล์	ชั้น	x (เมตร)	y (เมตร)	z (เมตร)
1	1	18	48	2
2	1	30	32	2
3	1	40	48	2
4	1	47.5	12	2
5	1	55	32	2
6	2	18	48	5
7	2	30	32	5
8	2	40	48	5
9	2	47.5	12	5
10	2	55	32	5
11	3	18	48	8
12	3	30	32	8
13	3	40	48	8
14	3	47.5	12	8
15	3	55	32	8

ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

พารามิเตอร์	ค่า
กำลังส่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์	5 dBm
ประเภทสายอากาศ	แบบแพร่สัญญาณรอบทิศทาง
ความสูงของสถานีฐานเฟมโตเซลล์	2 เมตร
ความสูงของจุดทดสอบความแรงสัญญาณ	0.8 เมตร
ความถี่ของสัญญาณ	2.6 GHz
ความกว้างของช่องสัญญาณ	15 MHz
จำนวนบล็อกของทรัพยากร	75
จำนวนสถานีฐานเฟมโตเซลล์	15 สถานีฐาน
จำนวนจุดทดสอบความแรงสัญญาณ	207 จุด
สัญญาณรบกวนความร้อน	-174 dBm/Hz
ค่าความแรงสัญญาณขั้นต่ำสำหรับจุดทดสอบความแรงสัญญาณ	-115.45 dBm
ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขั้นต่ำสำหรับจุดทดสอบสัญญาณ	6 dB

4.1.2 ผลการทดลอง

ในการหาคำตอบสมการคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ได้นำเสนอ โดยใช้โปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.7 ในการหาคำตอบ โดยใช้คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลรุ่น Intel® Core™ i7-6600 ความเร็วซีพียู 3.30 GHz หน่วยความจำ 16 GB ระบบปฏิบัติการ 64 บิต โดยจากสมการคณิตศาสตร์ได้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 เฟส โดยคำตอบของเฟสที่ 1 เป็นการคัดเลือกสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ให้ความแรงสัญญาณมากที่สุดสำหรับจุดทดสอบความแรงสัญญาณนั้น ๆ ซึ่งผลการทดลองในพื้นที่อาคารทดลองทั้ง 2 แบบ แสดงในตารางที่ 4.6 และ 4.7 ส่วนคำตอบของเฟสที่ 2 เป็นการหาจำนวนบล็อกของทรัพยากรที่แต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ได้รับ ซึ่งผลการทดลองในพื้นที่อาคารทดลองทั้ง 2 แบบ แสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.6 คำตอบของเฟสที่ 1 ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

สถานีฐาน เฟมโตเซลล์	จุดทดสอบความแรงสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์	จำนวน ทั้งหมด
1	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 32, 33, 34, 35, 36, 37	20
2	1, 2, 3, 16, 17, 29, 30, 31, 43, 44, 45, 46, 57, 58, 59, 72, 73, 256, 257, 270	20
3	11, 12, 13, 14, 25, 26, 27, 28, 40, 41, 42, 53, 54, 55, 56, 68, 69, 70, 83, 84, 97, 98, 263, 277, 279, 293	26
4	38, 39, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 259, 260, 261, 262, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 314, 315, 316, 317, 318, 328, 329, 330, 331, 332	95
5	85, 86, 87, 99, 100, 101, 113, 114, 115, 116, 117, 127, 128, 129, 130, 131, 141, 142, 143, 144, 156, 170, 171, 184, 185, 281, 295, 296, 297, 298, 309, 310, 311, 312, 313, 324, 327	37
6	111, 112, 124, 125, 126, 138, 139, 140, 151, 152, 153, 154, 165, 166, 167, 168, 179, 180, 181, 182, 192, 193, 194, 195, 196, 319, 333	27
7	158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 186, 187, 188, 189, 190, 191	20
8	200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 246, 258	24
9	15, 71, 197, 198, 199, 211, 212, 213, 225, 226, 227, 228, 229, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 253, 254, 255, 267, 268, 269, 282, 283, 284	29
10	208, 209, 210, 222, 223, 224, 236, 237, 238, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 264, 265, 266, 278, 280, 292, 294	22
11	155, 157, 169, 183, 323, 325, 326, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 351, 352, 353, 354, 355, 365, 366, 367, 379, 380, 381	25
12	306, 307, 308, 320, 321, 322, 334, 335, 336, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 362, 363, 364, 376, 377, 378, 390, 391, 392	25
13	344, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 382, 382, 384, 385, 386, 387, 388, 389	23

ตารางที่ 4.7 คำตอบของเฟสที่ 1 ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

สถานีฐาน เฟมโตเซลล์	จุดทดสอบความแรงสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์	จำนวน ทั้งหมด
1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	15
2	16, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 33, 34, 45	10
3	20, 25, 26, 27, 35, 36, 37, 38, 46, 47, 48, 49, 57, 58, 59, 60, 69, 70, 71	19
4	28, 29, 30, 31, 32, 39, 40, 41, 42, 50, 51, 52, 61, 62, 63	15
5	43, 44, 53, 54, 55, 56, 64, 65, 66, 67, 68	11
6	72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 98	16
7	87, 88, 89, 93, 94, 104	6
8	21, 90, 91, 92, 95, 96, 97, 105, 106, 107, 108, 109, 118, 119, 120, 129, 130, 139	18
9	99, 100, 101, 102, 103, 110, 111, 112, 113, 121, 122, 123, 124, 131, 132, 133, 134	17
10	114, 115, 116, 117, 125, 126, 127, 128, 135, 136, 137, 138	12
11	140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153	14
12	155, 156, 157, 158, 161, 162, 163, 172, 183	9
13	154, 159, 160, 164, 165, 166, 173, 174, 175, 176, 177, 184, 185, 186, 187, 188, 195, 197, 198	19
14	167, 168, 169, 170, 171, 178, 179, 180, 181, 182, 189, 190, 191, 192, 199, 200	16
15	193, 194, 196, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207	10

ตารางที่ 4.8 คำตอบของเฟสที่ 2 ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

สถานีฐานเฟมโตเซลล์	จำนวนบล็อกของทรัพยากร
1	71
2	71
3	71
4	71
5	71
6	71
7	71
8	72
9	72
10	72
11	72
12	71
13	72

ตารางที่ 4.9 คำตอบของเฟสที่ 2 ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

สถานีฐานเฟมโตเซลล์	จำนวนบล็อกของทรัพยากร
1	72
2	73
3	72
4	74
5	73
6	73
7	73
8	72
9	72
10	72
11	74
12	72
13	73
14	73
15	73

จากผลการทดลองสำหรับวัตถุประสงค์ในเฟสที่ 1 ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสถานีฐานเฟม โดเซลล์ที่ให้ความแรงสัญญาณมากที่สุดสำหรับแต่ละจุดทดสอบความแรงสัญญาณในพื้นที่อาคารทดลองทั้ง 2 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และ 4.7

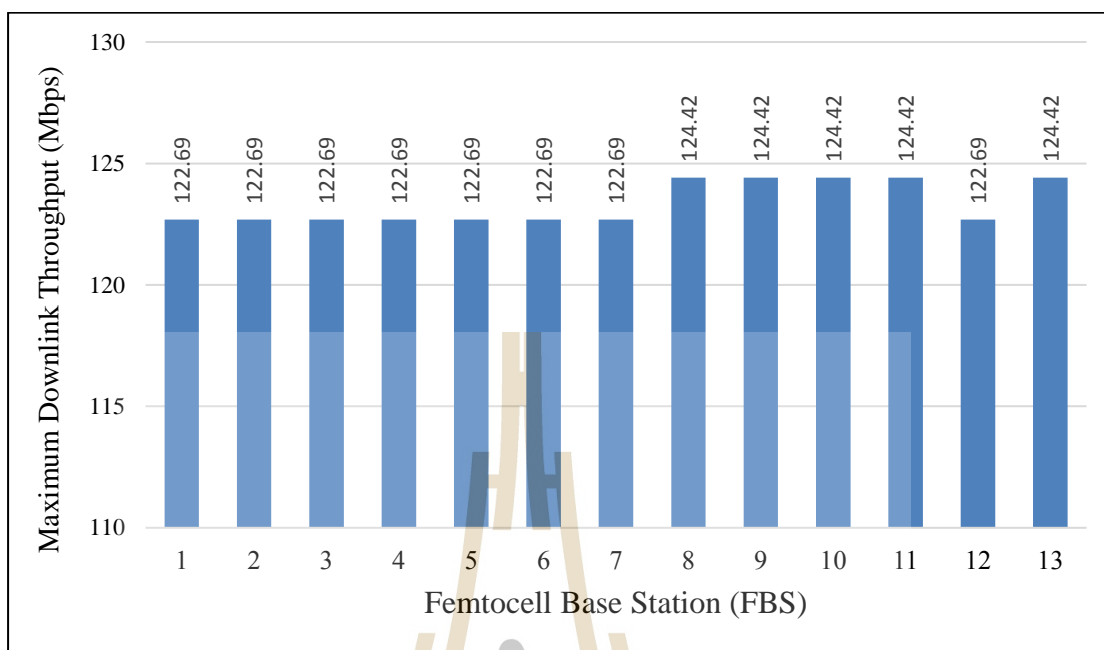
ส่วนผลการทดลองสำหรับวัตถุประสงค์ในเฟสที่ 2 ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนบล็อกของทรัพยากรที่แต่ละสถานีฐานเฟม โดเซลล์ได้รับ โดยผลการทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าสถานีฐานเฟม โดเซลล์ที่ได้รับจำนวนบล็อกของทรัพยากรมากที่สุด คือสถานีฐานเฟม โดเซลล์ที่ 8, 9, 10, 11 และ 13 ซึ่งได้รับบล็อกของทรัพยากรเป็นจำนวน 72 บล็อกของทรัพยากร ส่วนผลการทดลองในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าสถานีฐานเฟม โดเซลล์ที่ได้รับจำนวนบล็อกของทรัพยากรมากที่สุด คือสถานีฐานเฟม โดเซลล์ที่ 4 และ 11 ซึ่งได้รับบล็อกของทรัพยากรเป็นจำนวน 74 บล็อกของทรัพยากร

4.1.3 การวิเคราะห์ผล

ในหัวข้อนี้ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพผลของคำตอบที่ได้จากการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นด้วยสมการคณิตศาสตร์ที่ได้นำเสนอของพื้นที่อาคารทดลองทั้ง 2 แบบ โดยผลการทดลองประกอบไปด้วย ค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่สูงที่สุดของแต่ละสถานีฐานเฟม โดเซลล์ กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ และกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดเฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ

4.1.3.1 พื้นที่ของอาคารทดลองที่ 1

สำหรับพื้นที่อาคารทดลองที่ 1 ผลการทดลองที่จะนำมาประเมินผลประกอบด้วย ค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่สูงที่สุดของสถานีฐานเฟม โดเซลล์แต่ละสถานี โดยแสดงดังรูปที่ 4.5 จากรูปจะเห็นได้ว่าสถานีฐานเฟม โดเซลล์ที่มีค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่สูงที่สุด คือสถานีฐานเฟม โดเซลล์ที่ได้รับจำนวนบล็อกของทรัพยากรมากที่สุด ซึ่งได้แก่สถานีฐานเฟม โดเซลล์ที่ 8, 9, 10, 11 และ 13 โดยมีค่าเท่ากับ 124.42 Mbps



รูปที่ 4.5 ค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่สูงสุดของแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

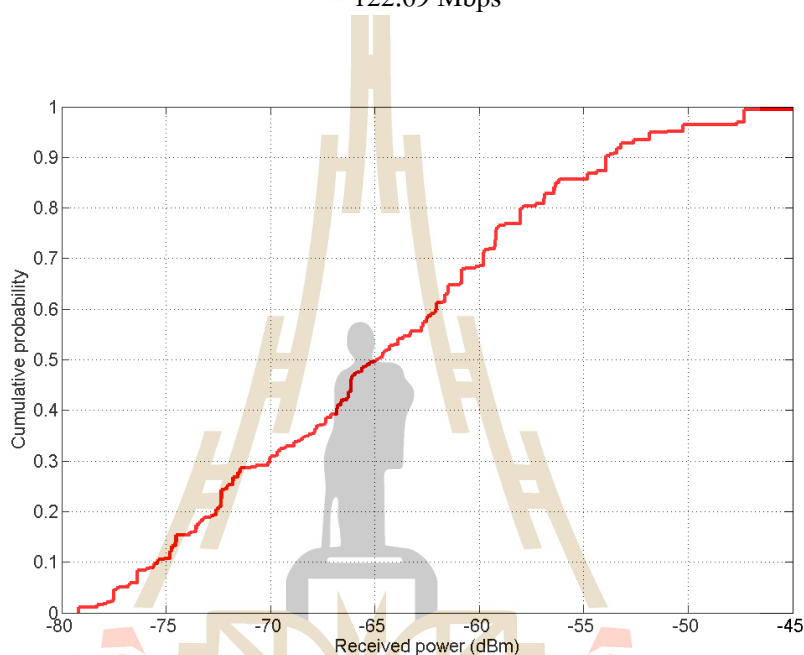
โดยในการคำนวณค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่สูงสุดของแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์นั้น สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4.1) โดยกำหนดให้สถานีฐานเฟมโตเซลล์ในงานวิจัยนี้ใช้สายอากาศแบบ 2×2 MIMO ใช้การมอดูเลต (modulation) แบบ 64QAM coding rate 1

$$\begin{aligned} \text{Maximum downlink throughput} &= \text{Number of resource block} \times \text{number of sub-carrier with one} \\ &\text{resource block} \times \text{number of symbols with a sub-frame} \times [1 - (\text{RS overhead} + \text{PDCCH} \\ &\text{overhead})] \times \text{modulation symbols efficiency} \times \text{MIMO} \times \text{number of sub-frame in one second} \\ &\times \text{coding rate} \end{aligned} \quad (4.1)$$

โดยที่	1 resource block	= 12 sub-carriers
	1 sub-frame	= 14 symbols
	RS overhead	= 2/21
	PDCCH overhead	= 1/21
	QPSK = 2 bits, 16QAM = 4 bits, 64QAM = 6 bits	

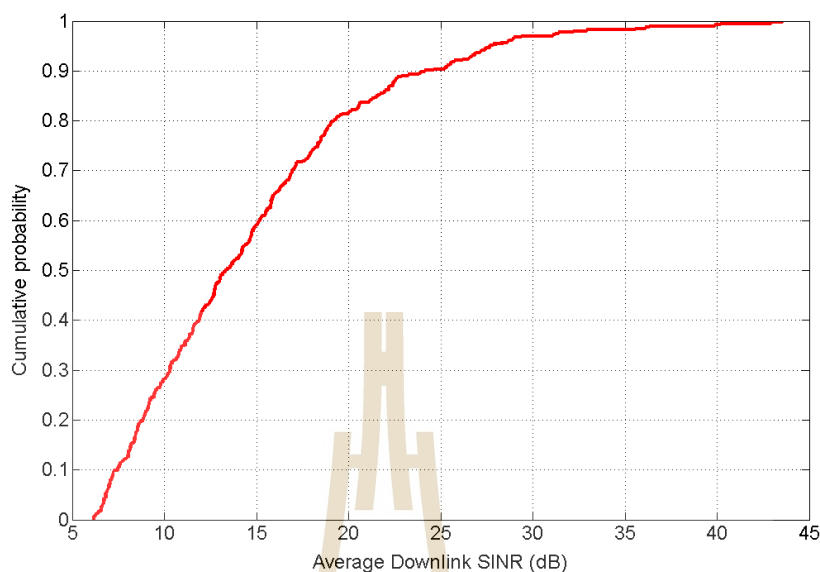
โดยยกตัวอย่างการคำนวณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ 1 ที่ได้รับจำนวน บล็อกของสถานีฐานเท่ากับ 71 บล็อกของทรัพยากร สามารถคำนวณค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่สูงที่สุดได้จากสมการที่ (4.1) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Maximum downlink throughput} &= 71 \times 12 \times 14 \times [1 - (2/21 + 1/21)] \times 6 \times 2 \times 1000 \times 1 \\ &= 122.69 \text{ Mbps} \end{aligned}$$



รูปที่ 4.6 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับที่จุดทดสอบสัญญาณในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

จากกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับที่จุดทดสอบสัญญาณในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.6 จะสังเกตได้ว่าค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับที่จุดทดสอบสัญญาณทั้งหมดมีค่าไม่ต่ำกว่า -79 dBm โดยมีค่ามากกว่า -115.45 dBm ซึ่งเป็นค่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ แสดงให้เห็นว่างานวิจัยนี้สามารถรับประกันคุณภาพสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

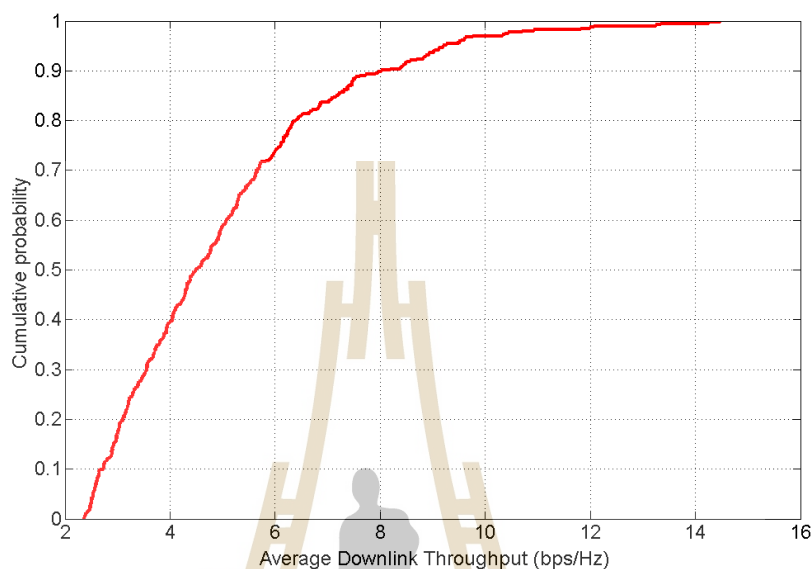


รูปที่ 4.7 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนควาน์ลิงก์เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

จากกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนควาน์ลิงก์เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 4.7 จะสังเกตได้ว่าค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนควาน์ลิงก์จะมีค่าไม่ต่ำกว่า 6 dB เนื่องจากงานวิจัยนี้มีสมการเงื่อนไขที่สามารถรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนของผู้ใช้ภายในพื้นที่ให้บริการได้ โดยที่ในงานวิจัยนี้กำหนดค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขั้นต่ำไว้ที่ 6 dB สำหรับจุดทดสอบความแรงสัญญาณ อีกทั้งเมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นที่ 0.3 แสดงให้เห็นว่า 70 เปอร์เซ็นต์ของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนทั้งหมดมีค่าไม่ต่ำกว่า 10 dB ซึ่งสามารถรองรับการมอดูเลตแบบ 16QAM 2/3 ได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากกราฟจะเห็นได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนเท่ากับ 14.80 dB และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนเท่ากับ 6.82 dB

ส่วนกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าวิสัยสามารถควาน์ลิงก์เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 4.8 โดยเมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นที่ 0.4 แสดงให้เห็นว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิสัยสามารถทั้งหมดมีค่าไม่ต่ำกว่า 4 bps/Hz นอกจากนี้จากกราฟจะเห็นได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของค่าวิสัยสามารถเท่ากับ 5.01 bps/Hz และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าวิสัยสามารถ

เท่ากับ 2.20 bps/Hz โดยสรุปผลประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้นำเสนอในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1 แสดงดังตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.8 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

ตารางที่ 4.10 สรุปผลประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้นำเสนอในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

ประสิทธิภาพ	ค่า
การรับประกันพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ	100 %
การรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน	100 %
ค่าเฉลี่ยของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	14.80 dB
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	6.82 dB
ค่าเฉลี่ยของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	5.01 bps/Hz
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	2.20 bps/Hz

โดยในการคำนวณค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนควมรบกวน และค่าวิสัยสามารถคำนวณถึงที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณนั้น สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4.2) และ (4.3)

$$SINR = \frac{S}{N_0 B + I} \quad (4.2)$$

โดยที่ S คือ สัญญาณที่พิจารณา

I คือ สัญญาณแทรกสอด

N_0 คือ สัญญาณรบกวนความร้อน

B คือ แบนด์วิดท์ (bandwidth)

$$throughput = \frac{C}{B} = \log_2(1 + SINR) \quad (4.3)$$

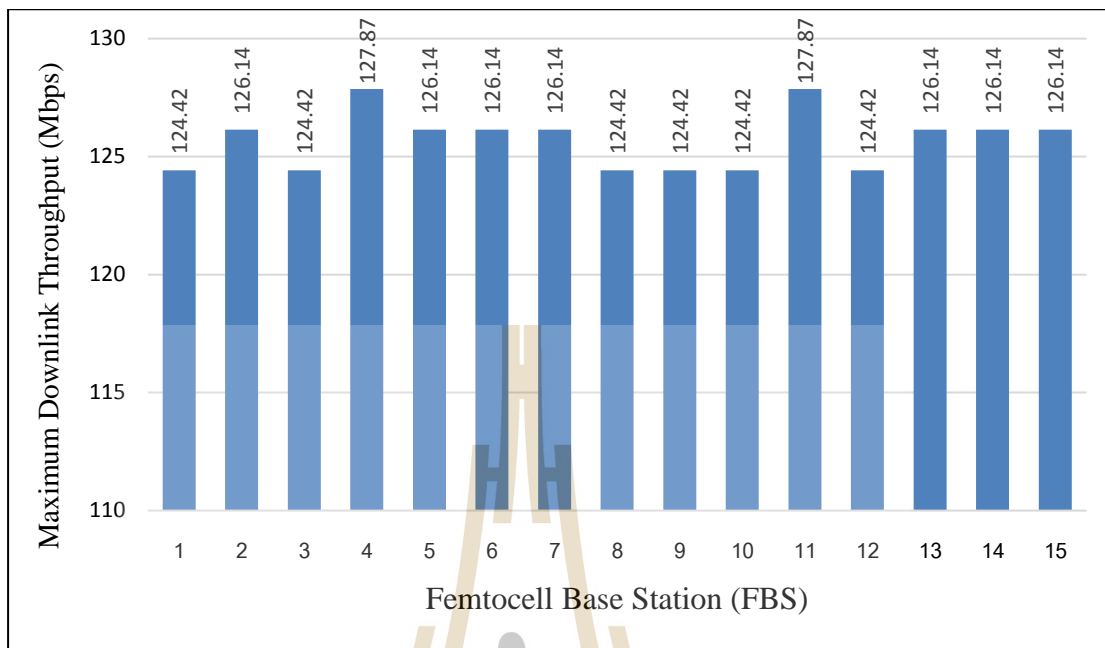
โดยที่ C คือ ความจุช่องสัญญาณ (capacity)

B คือ แบนด์วิดท์

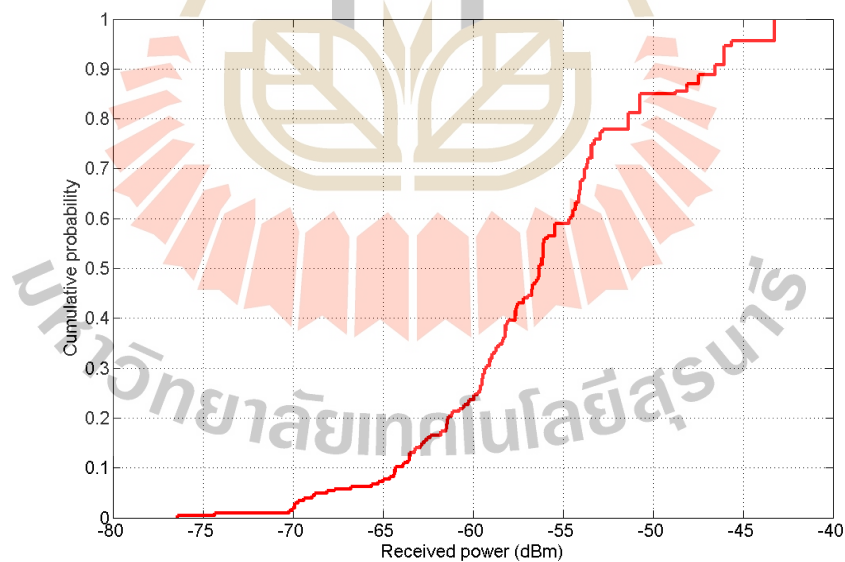
4.1.3.2 พื้นที่ของอาคารทดลองที่ 2

สำหรับพื้นที่อาคารทดลองที่ 2 ผลการทดลองที่จะนำมาประเมินผลประกอบด้วย ค่าวิสัยสามารถคำนวณถึงที่สูงที่สุดของสถานีฐานเฟมโตเซลล์แต่ละสถานีฐาน โดยแสดงดังรูปที่ 4.9 จากรูปจะเห็นได้ว่าสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่มีค่าวิสัยสามารถคำนวณถึงที่สูงที่สุด คือ สถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ได้รับจำนวนบล็อกของทรัพยากรมากที่สุด ซึ่งได้แก่สถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ 4 และ 11 โดยมีค่าเท่ากับ 127.87 Mbps

จากกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับที่จุดทดสอบสัญญาณในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.10 จะสังเกตได้ว่าค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับที่จุดทดสอบสัญญาณทั้งหมดมีค่าไม่ต่ำกว่า -76 dBm โดยมีค่ามากกว่า -115.45 dBm ซึ่งเป็นค่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ แสดงให้เห็นว่างานวิจัยนี้สามารถรับประกันคุณภาพสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการคิดเป็น 100 เปอร์เซนต์

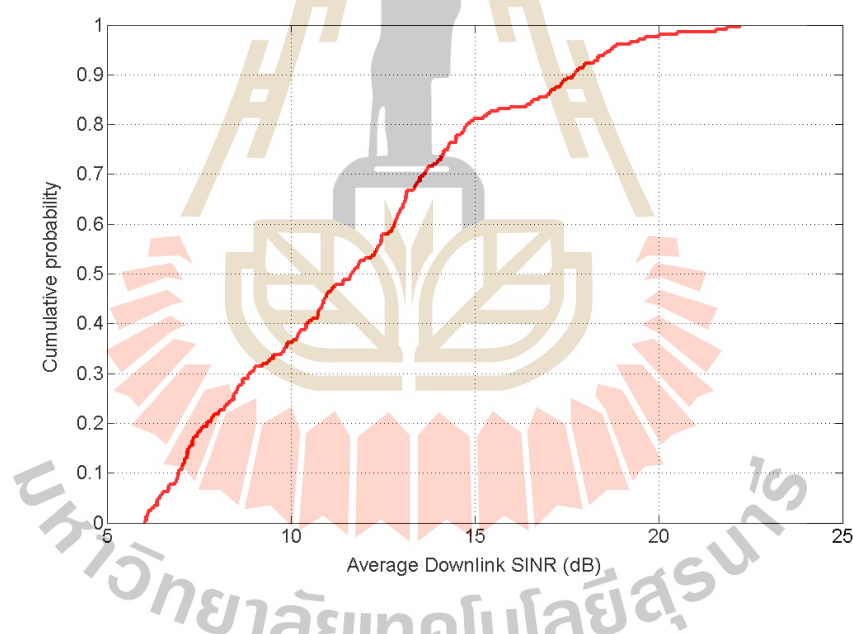


รูปที่ 4.9 ค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่สูงสุดของแต่ละสถานีฐานเฟม โดเซลล์
ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2



รูปที่ 4.10 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับที่จุดทดสอบสัญญาณ
ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

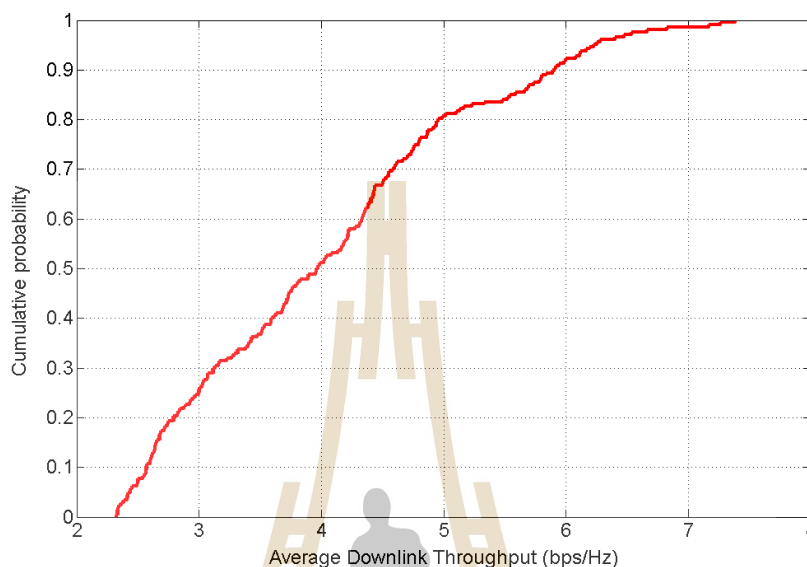
จากกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนค่านัลถึงที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 4.11 จะสังเกตได้ว่าค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนค่านัลถึงจะมีค่าไม่ต่ำกว่า 6 dB เนื่องจากงานวิจัยนี้มีสมการเงื่อนไขที่สามารถรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนของผู้ใช้ภายในพื้นที่ให้บริการได้ โดยที่ในงานวิจัยนี้กำหนดค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขั้นต่ำไว้ที่ 6 dB สำหรับจุดทดสอบความแรงสัญญาณ อีกทั้งเมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นที่ 0.3 แสดงให้เห็นว่า 70 เปอร์เซ็นต์ของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนทั้งหมดมีค่าไม่ต่ำกว่า 9 dB ซึ่งสามารถรองรับการมอดูเลตแบบ 16QAM 2/3 ได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากกราฟจะเห็นได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนเท่ากับ 11.82 dB และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนเท่ากับ 3.92 dB



รูปที่ 4.11 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนค่านัลถึงที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

ส่วนกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าวิสัยสามารถค่านัลถึงที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 4.12 โดยเมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นที่ 0.5 แสดงให้เห็นว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิสัยสามารถทั้งหมดมีค่าไม่ต่ำกว่า 4 bps/Hz นอกจากนี้จากกราฟจะเห็นได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของค่าวิสัยสามารถเท่ากับ 4.05 bps/Hz และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าวิสัย

สามารถเท่ากับ 1.22 bps/Hz โดยสรุปผลประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้นำเสนอในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.11



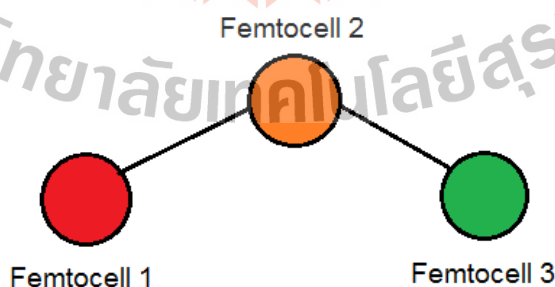
รูปที่ 4.12 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

ตารางที่ 4.11 สรุปผลประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้นำเสนอในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

ประสิทธิภาพ	ค่า
การรับประกันพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ	100 %
การรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน	100 %
ค่าเฉลี่ยของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	11.82 dB
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	3.92 dB
ค่าเฉลี่ยของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	4.05 bps/Hz
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	1.22 bps/Hz

4.2 การทดลองเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับสถานีฐาน femtocell ภายในอาคารหลายชั้นด้วยเทคนิคที่นำเสนอเกี่ยวกับเทคนิคแบบ Graph Coloring Assignment (GCA)

สำหรับการทดลองในหัวข้อนี้จะทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่าย femtocell ภายในอาคารหลายชั้นด้วยเทคนิคที่นำเสนอเกี่ยวกับเทคนิคแบบการระบายสีกราฟ (Graph Coloring Assignment : GCA) ซึ่งเป็นแนวคิดจากงานวิจัยของ Liu, J., Wu, J., Chen, J., Wang, P., and Zhang, J (2012) ที่ใช้วิธีดังกล่าวเพื่อจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐาน femtocell นอกจากนี้เทคนิคการระบายสีกราฟยังเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในด้านของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรความถี่ ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Uygungelen, S., Auer, G., and Bharucha, Z. (2011) และงานวิจัยของ Zeng, M., Chen, X., Zhang, X., Sang, L., and Yang, D. (2013) ได้นำเทคนิคการระบายสีกราฟไปประยุกต์ใช้เพื่อจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สำหรับเครือข่ายต่างๆ โดยในการประยุกต์ใช้เทคนิคการระบายสีกราฟเพื่อวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับสถานีฐาน femtocell นั้น จะต้องสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด (interference graph) ขึ้นมา เพื่อตรวจสอบว่าสถานีฐาน femtocell ใดมีสัญญาณแทรกสอดระหว่างกัน โดยเส้นกราฟที่เชื่อมกันระหว่างสถานีฐาน femtocell 2 สถานีนั้น แสดงให้เห็นว่าสถานีฐาน femtocell นั้นเกิดสัญญาณแทรกสอดระหว่างกัน จากนั้นเมื่อได้กราฟสัญญาณแทรกสอดแล้ว จึงนำมาหาจำนวนสีที่ต้องระบายในกราฟ โดยมีข้อกำหนดว่าสถานีฐาน femtocell ที่มีเส้นกราฟเชื่อมระหว่างกัน จะไม่สามารถระบายสีเดียวกันได้ โดยสีที่ระบายในกราฟแสดงถึงทรัพยากรคลื่นวิทยุที่จัดสรรให้กับแต่ละสถานีฐาน femtocell ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.13 โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองของพื้นที่อาคารทดลองทั้งสองแบบ จะเหมือนกับในหัวข้อที่ 4.1.1.1 และ 4.1.1.2



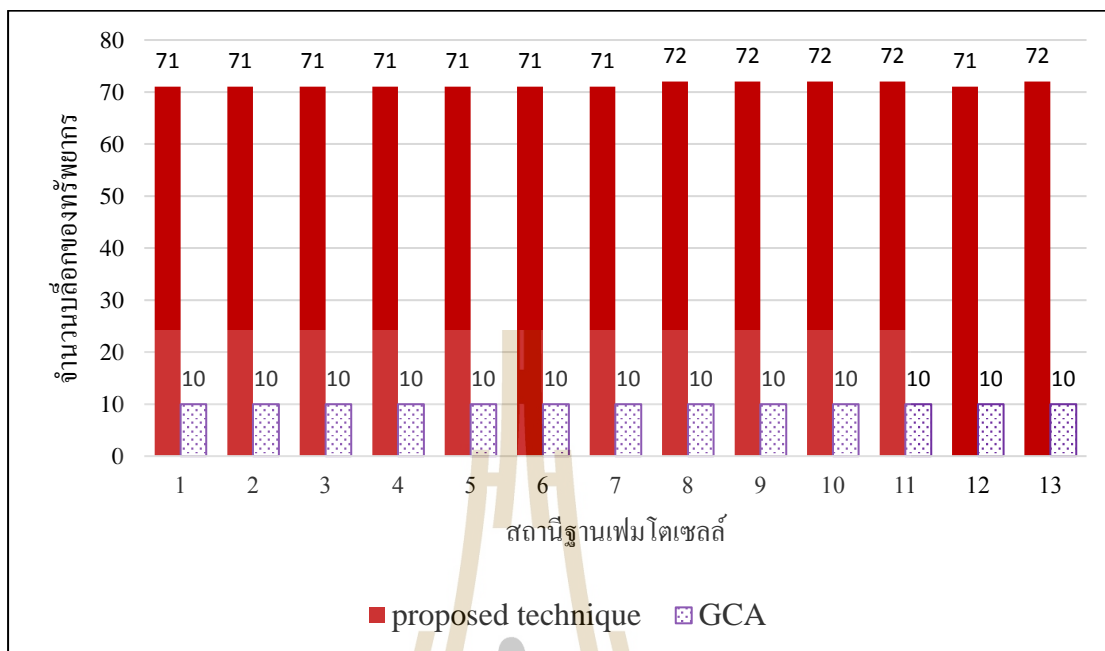
รูปที่ 4.13 เทคนิคการระบายสีกราฟ

4.2.1 การเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ผล

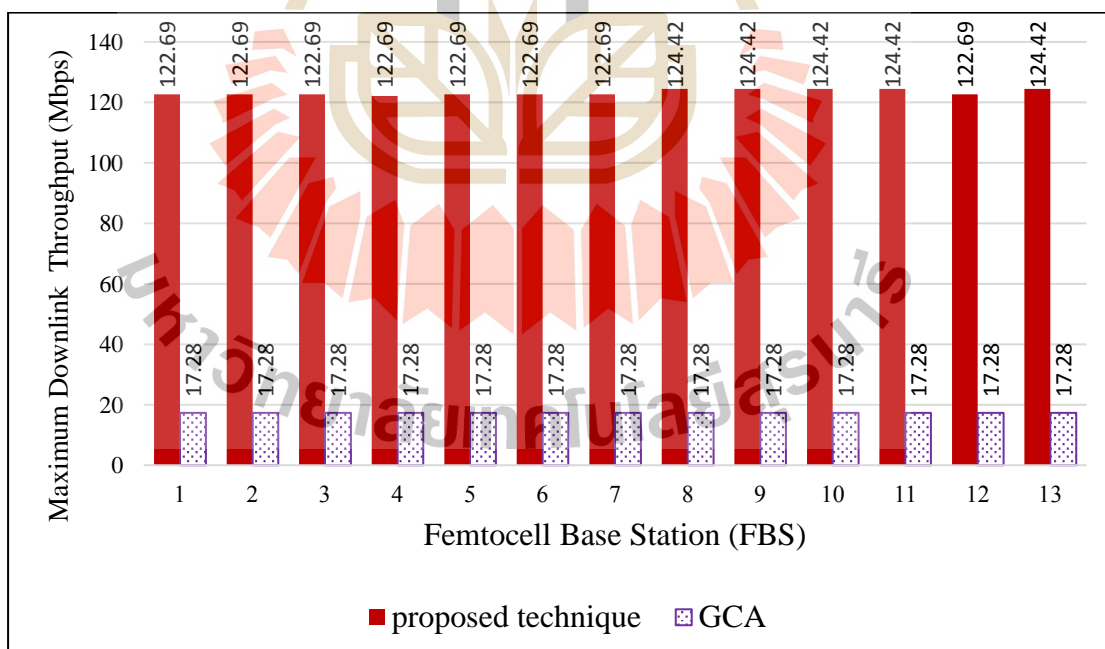
ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้ทำการประเมินประสิทธิภาพผลของคำตอบที่ได้จากการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์โดยใช้เทคนิค GCA และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพผลของคำตอบที่ได้กับเทคนิคที่ได้นำเสนอขึ้นตามหัวข้อที่ 4.2.1.1 และ 4.2.1.2 ของพื้นที่อาคารทดลองทั้ง 2 แบบ โดยผลที่ได้นำเสนอประกอบไปด้วย จำนวนบล็อกของทรัพยากรที่แต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ได้รับ ค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่สูงที่สุดของแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณที่ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ต่อค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขึ้นต่ำ กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ และกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ

4.2.1.1 พื้นที่อาคารทดลองที่ 1

รูปที่ 4.14 แสดงจำนวนบล็อกของทรัพยากรที่แต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ได้รับของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA จะเห็นได้ว่าสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิค GCA ได้รับจำนวนบล็อกของทรัพยากรในแต่ละสถานีเป็นจำนวน 10 บล็อกของทรัพยากรเท่า ๆ กัน เนื่องจากเทคนิค GCA ใช้วิธีการระบายสีกราฟในการจัดสรรบล็อกของทรัพยากรให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยในการทดลองนี้สถานีฐานเฟมโตเซลล์ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 เกิดการแทรกสอดกันเป็นจำนวนมาก ทำให้มีเส้นกราฟเชื่อมระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์เป็นจำนวนมาก จึงทำให้มีจำนวนสีที่ต้องระบายในกราฟมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจำนวนบล็อกของทรัพยากรทั้งหมดที่มีอยู่จึงถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม ๆ ตามจำนวนสีที่ระบายในกราฟ จึงทำให้แต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิค GCA ได้รับจำนวนบล็อกของทรัพยากรน้อยกว่าสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิคที่ได้นำเสนอนอกจากนี้เทคนิคที่ได้นำเสนอสามารถจัดสรรบล็อกของทรัพยากรให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ได้มากถึง 72 บล็อกของทรัพยากร คิดเป็น 96 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนบล็อกของทรัพยากรที่มีอยู่ทั้งหมด ส่วนเทคนิค GCA นั้นสามารถจัดสรรบล็อกของทรัพยากรให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์เป็นจำนวนแค่ 10 บล็อกของทรัพยากรเท่านั้น ซึ่งคิดเป็น 13.33 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนบล็อกของทรัพยากรที่มีอยู่ทั้งหมด

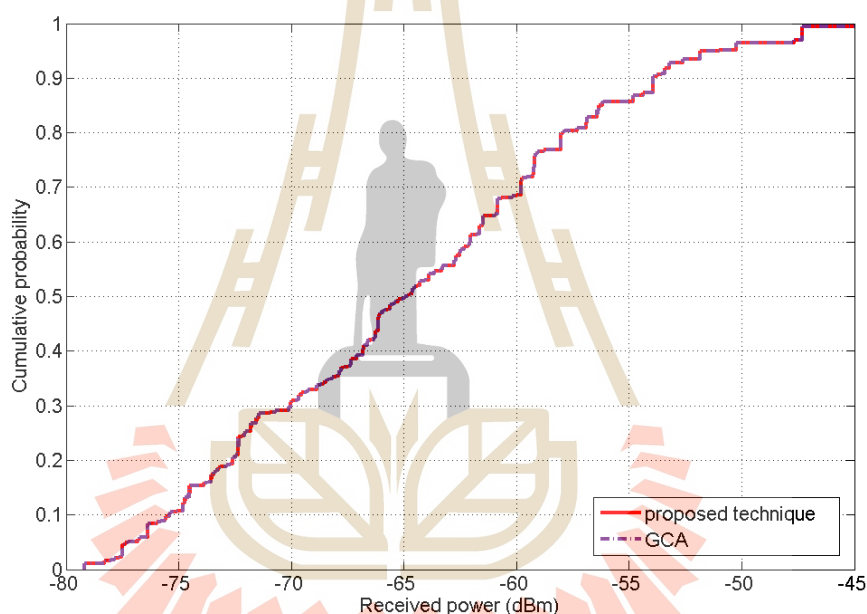


รูปที่ 4.14 จำนวนบล็อกของทรัพยากรที่แต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ได้รับของเทคนิคที่นำเสนอ และเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1



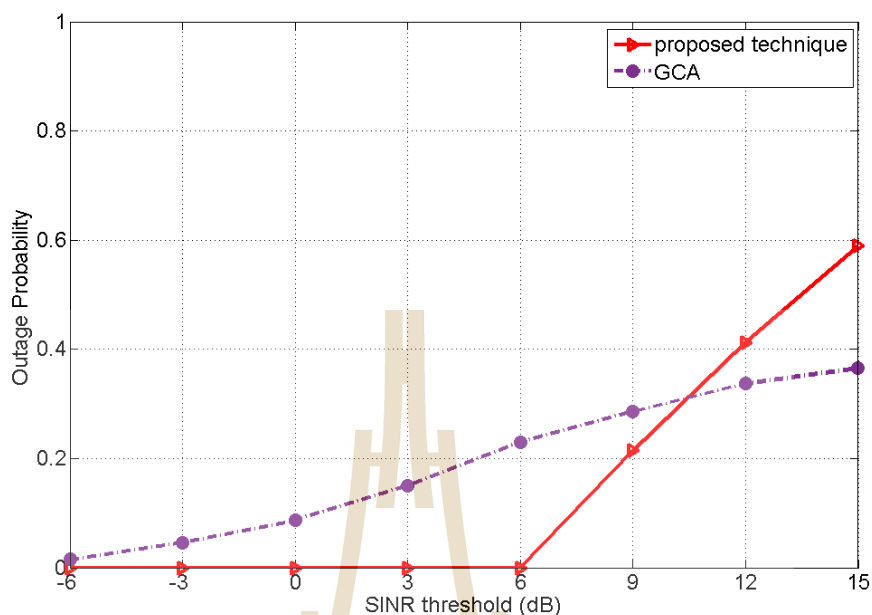
รูปที่ 4.15 ค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่สูงที่สุดในแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิคที่นำเสนอ และเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

รูปที่ 4.15 แสดงค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่สูงที่สุดในแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA จะเห็นได้ว่าสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิคที่ได้นำเสนอมีความวิสัยสามารถดาวน์โหลดมากกว่าสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิค GCA เนื่องจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิคที่ได้นำเสนอนั้นได้รับจำนวนบิตของทรัพยากรมากกว่าสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิค GCA ดังแสดงในรูปที่ 4.14 โดยสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิคที่ได้นำเสนอสามารถมีความวิสัยสามารถดาวน์โหลดสูงสุดถึง 124.42 Mbps ส่วนสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิค GCA มีความวิสัยสามารถแค่เพียง 17.28 Mbps ซึ่งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิคที่ได้นำเสนอมีความวิสัยสามารถดาวน์โหลดมากกว่าเทคนิค GCA คิดเป็น 86.11 เปอร์เซ็นต์



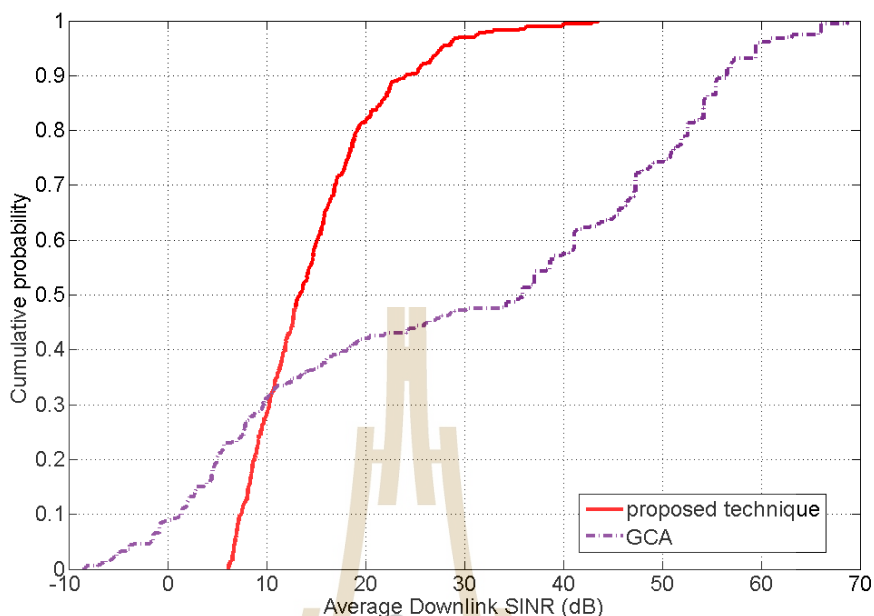
รูปที่ 4.16 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณของเทคนิคที่นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

รูปที่ 4.16 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณของเทคนิคที่นำเสนอและเทคนิค GCA จะเห็นได้ว่าค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับที่จุดทดสอบสัญญาณทั้งหมดของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA มีค่าไม่ต่ำกว่า -79 dBm โดยมีค่ามากกว่าค่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA สามารถรับประกันคุณภาพสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.17 ความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณที่ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ต่อค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขั้นต่ำของเทคนิคที่นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

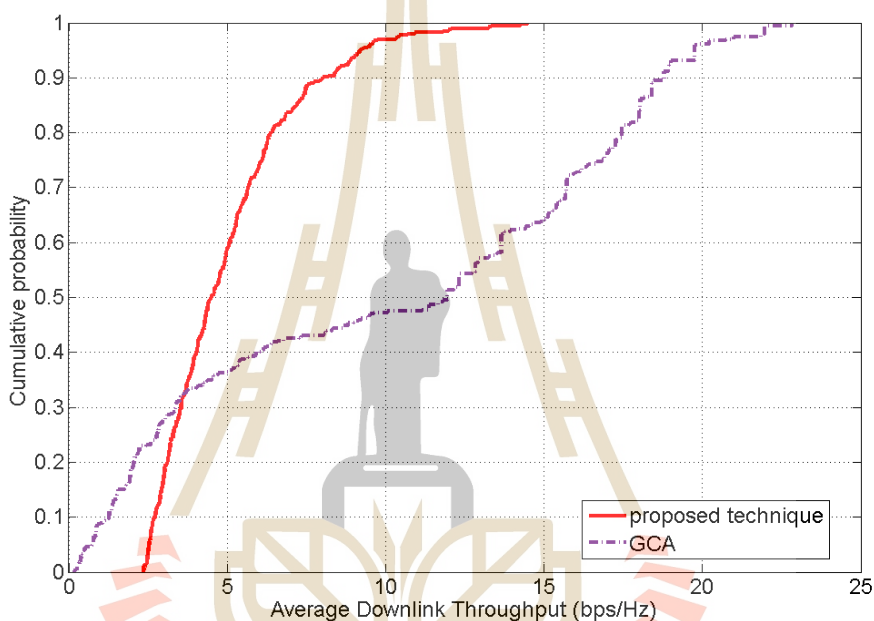
รูปที่ 4.17 แสดงความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณที่ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ต่อค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขั้นต่ำ โดยจะเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณที่ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ต่อค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขั้นต่ำตั้งแต่ -6 dB ถึง 15 dB โดยมีระยะห่างช่วงละ 3 dB โดยเมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนที่ 6 dB จะเห็นได้ว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอมีความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณที่ต่ำกว่า 6 dB มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากเทคนิคที่ได้นำเสนอมีการรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนของผู้ใช้บริการภายในอาคารต้องไม่ต่ำกว่า 6 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอสามารถรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนในพื้นที่ให้บริการคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเทคนิค GCA มีความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณที่ต่ำกว่า 6 dB มีค่าเท่ากับ 0.23 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทคนิค GCA สามารถรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนในพื้นที่ให้บริการได้เพียง 77 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.18 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนควมนี้ถึงก่เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณของเทคนิคที่น่าเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

รูปที่ 4.18 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนควมนี้ถึงก่เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณของเทคนิคที่น่าเสนอและเทคนิค GCA โดยค่าเฉลี่ยของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนควมนี้ถึงก่เฉลี่ยของเทคนิคที่ได้นำเสนอเท่ากับ 14.80 dB และเทคนิค GCA เท่ากับ 29.64 dB เห็นได้ว่าเทคนิค GCA มีค่าเฉลี่ยค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนควมนี้ถึงก่เฉลี่ยมากกว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอ เนื่องจากเทคนิค GCA ได้แบ่งบล็อกรของทรัพยากรที่มีอยู่ทั้งหมดออกเป็นหลาย ๆ กลุ่มเพื่อจัดสรรให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์แต่ละตัว จึงทำให้สถานีฐานเฟมโตเซลล์ใช้บล็อกรของทรัพยากรเดียวกันน้อยลง เป็นผลให้สัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่เกิดจากการใช้บล็อกรของทรัพยากรเดียวกันลดน้อยลง จึงทำให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนมีค่าสูงขึ้น แต่มีข้อเสียในเรื่องจำนวนบล็อกรของทรัพยากรที่จัดสรรให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์จะมีจำนวนน้อยกว่าถ้าเทียบกับเทคนิคที่ได้นำเสนอ โดยจากกราฟเมื่อพิจารณาที่ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนเท่ากับ 6 dB ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขั้นต่ำของงานวิจัยนี้ จะเห็นได้ว่าผู้ใช้บริการในเทคนิคที่ได้นำเสนอมีค่าอัตราส่วนสัญญาณ

ต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเทคนิค GCA มีเพียงแค่ 77 เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งเมื่อสังเกตจากกราฟพบว่าผู้ใช้บริการในเทคนิค GCA สามารถมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนสูงถึง 70 dB แต่ในงานวิจัยนี้ต้องการค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนที่มากกว่า 6 dB เท่านั้น จึงสรุปได้ว่าเทคนิค GCA มีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนที่สูงเกินความต้องการของผู้ใช้บริการภายในอาคาร



รูปที่ 4.19 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

รูปที่ 4.19 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA โดยค่าเฉลี่ยของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดของเทคนิคที่ได้นำเสนอเท่ากับ 5.01 bps/Hz และเทคนิค GCA เท่ากับ 10.10 bps/Hz จะเห็นได้ว่าเทคนิค GCA มีค่าเฉลี่ยของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่มากกว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอ เนื่องจากเทคนิค GCA มีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนที่มากกว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอ แต่เมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นที่ 0.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า 20 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิสัยสามารถทั้งหมดของเทคนิคที่ได้นำเสนอมีค่าไม่เกิน 3.2 bps/Hz และเทคนิค GCA มีค่าไม่เกิน 2 bps/Hz ซึ่งเทคนิคที่ได้นำเสนอมีโอกาสพบเจอมีค่าวิสัยสามารถที่สูงกว่าเทคนิค GCA โดย

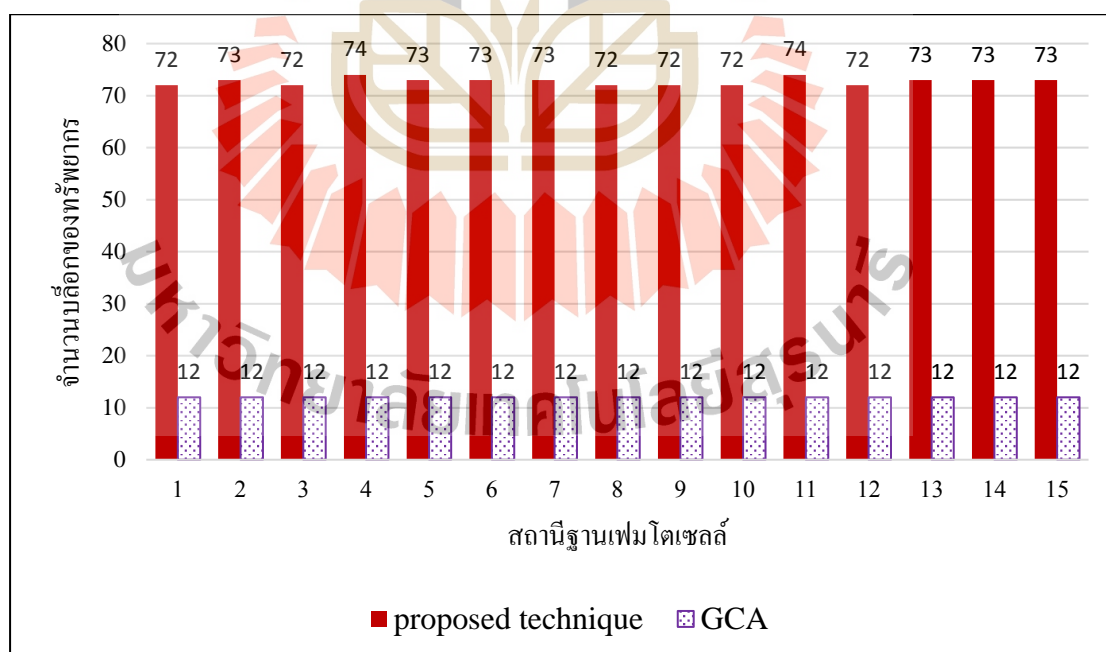
สรุปผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้นำเสนอเทียบกับเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 1

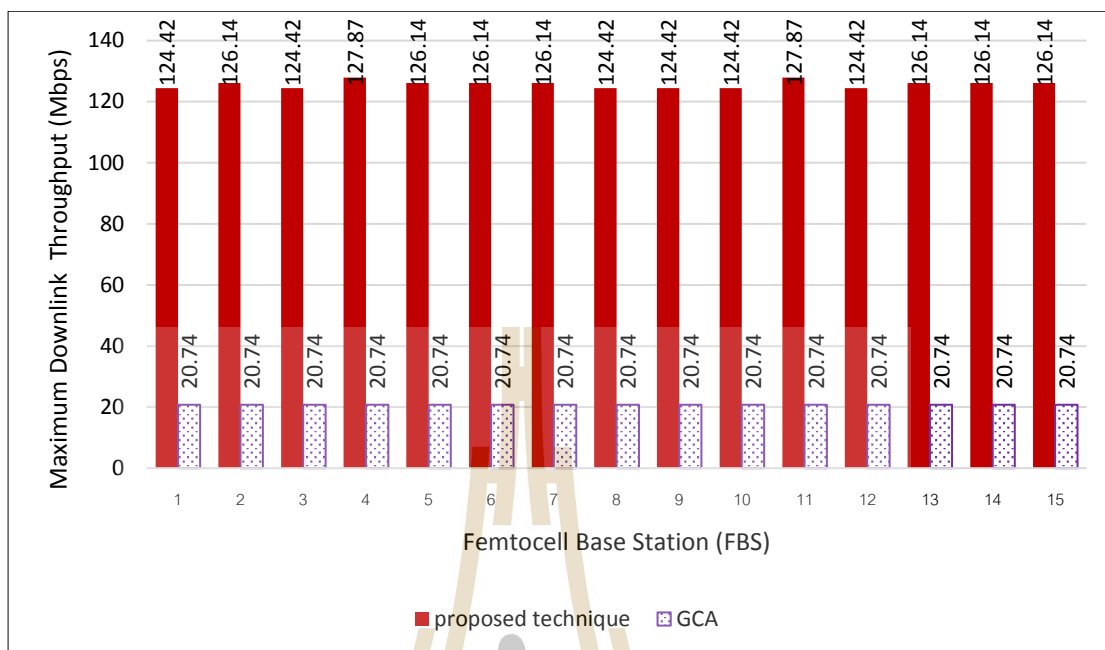
ประสิทธิภาพ	proposed technique	Graph Coloring Assignment (GCA)
การรับประกันพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ	100 %	100 %
การรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน	100 %	77%
ค่าเฉลี่ยของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนควมดับที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	14.80 dB	29.64 dB
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนควมดับที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	6.82 dB	22.20 dB
ค่าเฉลี่ยของค่าวิสัยสามารถควมดับที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	5.01 bps/Hz	10.10 bps/Hz
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าวิสัยสามารถควมดับที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	2.20 bps/Hz	7.04 bps/Hz

4.2.1.2 พื้นที่อาคารทดลองที่ 2

รูปที่ 4.20 แสดงจำนวนบล็อกของทรัพยากรที่แต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ได้รับของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA จะเห็นได้ว่าสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิค GCA ได้รับจำนวนบล็อกของทรัพยากรในแต่ละสถานีเป็นจำนวน 12 บล็อกของทรัพยากรเท่า ๆ กัน เนื่องจากเทคนิค GCA ใช้วิธีการระบายสีกราฟในการจัดสรรบล็อกของทรัพยากรให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยในการทดลองนี้สถานีฐานเฟมโตเซลล์ชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 เกิดการแทรกสอดกันเป็นจำนวนมาก ทำให้มีเส้นกราฟเชื่อมระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์เป็นจำนวนมาก จึงทำให้มีจำนวนสีที่ต้องระบายในกราฟมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจำนวนบล็อกของทรัพยากรทั้งหมดที่มีอยู่จึงถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม ๆ ตามจำนวนสีที่ระบายในกราฟ จึงทำให้แต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิค GCA ได้รับจำนวนบล็อกของทรัพยากรน้อยกว่าสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิคที่ได้นำเสนอ นอกจากนี้เทคนิคที่ได้นำเสนอสามารถจัดสรรบล็อกของทรัพยากรให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ได้มากถึง 74 บล็อกของทรัพยากร คิดเป็น 98.67 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนบล็อกของทรัพยากรที่มีอยู่ทั้งหมด ส่วนเทคนิค GCA นั้นสามารถจัดสรรบล็อกของทรัพยากรให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์เป็นจำนวนแค่ 12 บล็อกของทรัพยากรเท่านั้น ซึ่งคิดเป็น 16 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนบล็อกของทรัพยากรที่มีอยู่ทั้งหมด



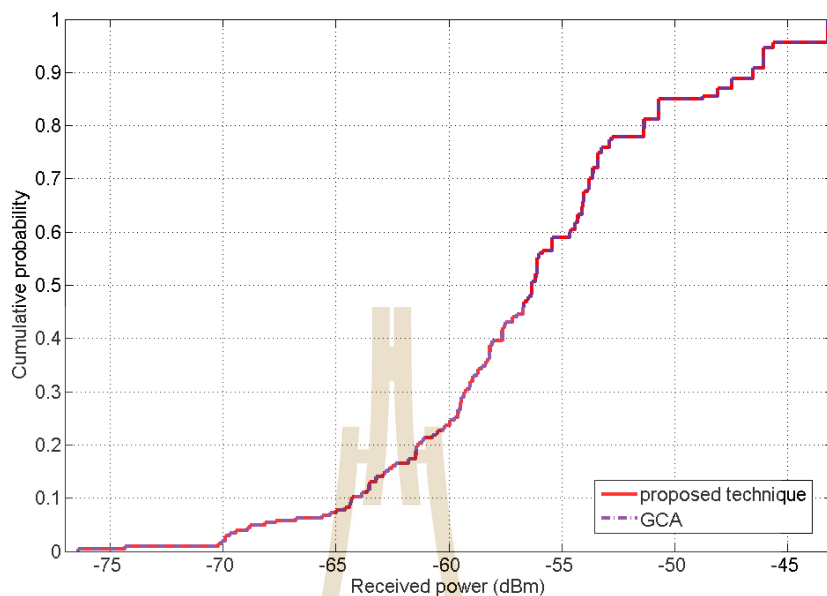
รูปที่ 4.20 จำนวนบล็อกของทรัพยากรที่แต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ได้รับของเทคนิคที่นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2



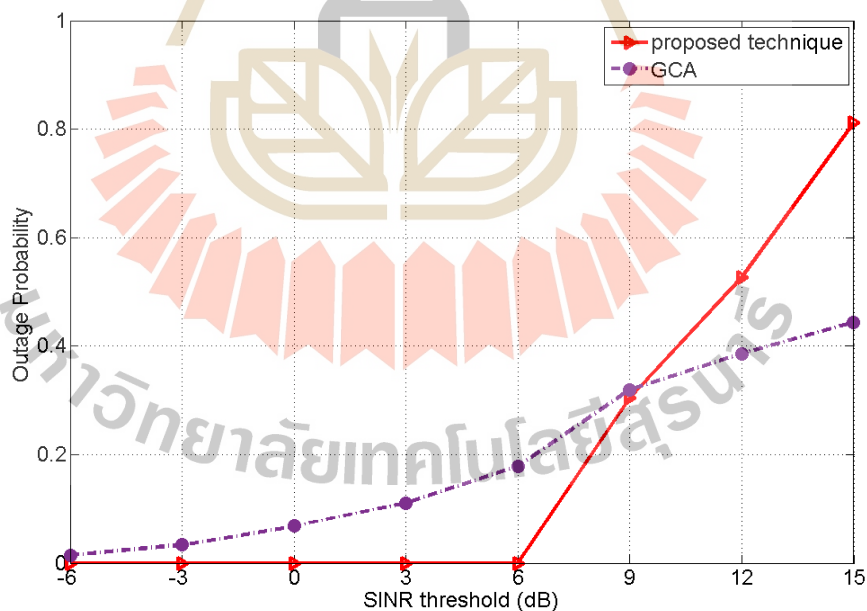
รูปที่ 4.21 ค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่สูงที่สุดในแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิคที่นำเสนอ และเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

รูปที่ 4.21 แสดงค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่สูงที่สุดในแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA จะเห็นได้ว่าสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิคที่ได้นำเสนอมีความสามารถดาวน์โหลดมากกว่าสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิค GCA เนื่องจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิคที่ได้นำเสนอนั้นได้รับจำนวนบล็อกรหัสของทรัพยากรมากกว่าสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิค GCA ดังแสดงในรูปที่ 4.20 โดยสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิคที่ได้นำเสนอสามารถมีค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดสูงสุดถึง 127.87 Mbps ส่วนสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิค GCA มีค่าวิสัยสามารถแค่ว่าเพียง 20.74 Mbps ซึ่งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเทคนิคที่ได้นำเสนอมีความสามารถดาวน์โหลดมากกว่าเทคนิค GCA คิดเป็น 83.78 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.22 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณของเทคนิคที่นำเสนอและเทคนิค GCA จะเห็นได้ว่าค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับที่จุดทดสอบสัญญาณทั้งหมดของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA มีค่าไม่ต่ำกว่า -76 dBm โดยมีค่ามากกว่าค่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA สามารถรับประกันคุณภาพสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์

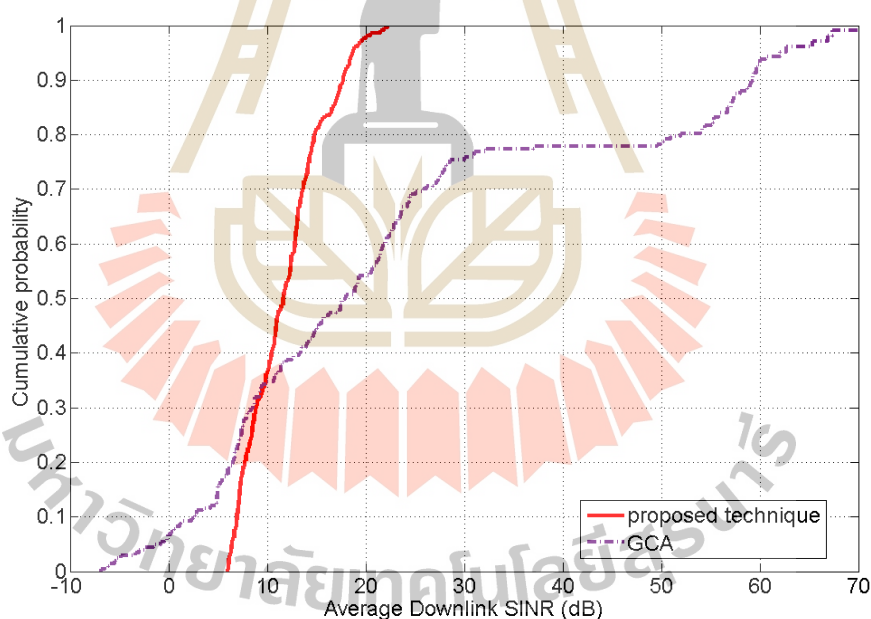


รูปที่ 4.22 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณของเทคนิคที่นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2



รูปที่ 4.23 ความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณที่ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ต่อค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขั้นต่ำของเทคนิคที่นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

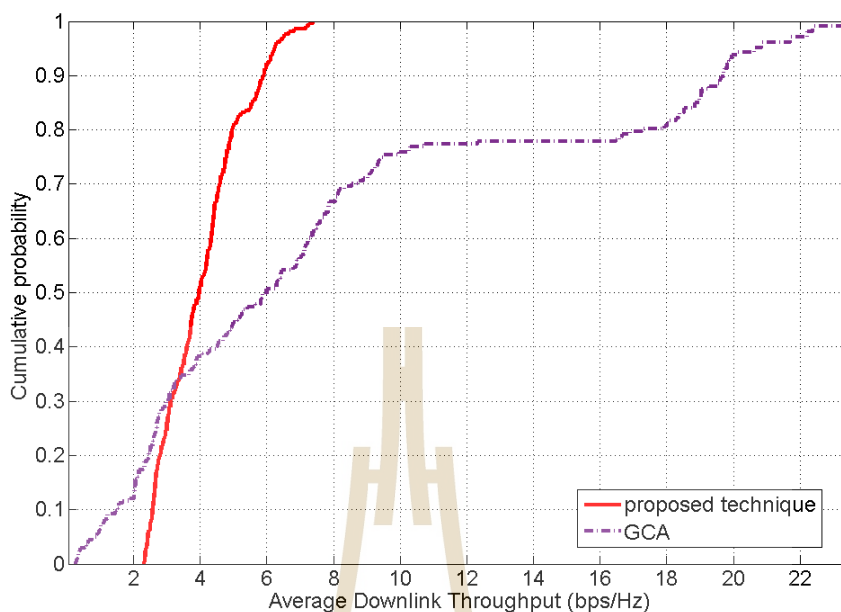
รูปที่ 4.23 แสดงความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณที่ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ต่อค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขึ้นต่ำ โดยจะเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณที่ต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ต่อค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขึ้นต่ำตั้งแต่ -6 dB ถึง 15 dB โดยมีระยะห่างช่วงละ 3 dB โดยเมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนที่ 6 dB จะเห็นได้ว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอมีความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณที่ต่ำกว่า 6 dB มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากเทคนิคที่ได้นำเสนอมีการรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนของผู้ใช้บริการภายในอาคารต้องไม่ต่ำกว่า 6 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอสามารถรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนในพื้นที่ให้บริการคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเทคนิค GCA มีความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณที่ต่ำกว่า 6 dB มีค่าเท่ากับ 0.18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทคนิค GCA สามารถรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนในพื้นที่ให้บริการได้เพียง 82 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.24 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนควาน์ลิงก์เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณของเทคนิคที่นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

รูปที่ 4.24 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนควมดาวน์ลิงก์เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณของเทคนิคที่นำเสนอและเทคนิค GCA โดยค่าเฉลี่ยของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนควมดาวน์ลิงก์ของเทคนิคที่ได้นำเสนอเท่ากับ 11.82 dB และเทคนิค GCA เท่ากับ 23.39 dB เห็นได้ว่าเทคนิค GCA มีค่าเฉลี่ยค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนควมดาวน์ลิงก์มากกว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอ เนื่องจากเทคนิค GCA ได้แบ่งบล็อกรหัสของทรัพยากรที่มีอยู่ทั้งหมดออกเป็นหลาย ๆ กลุ่มเพื่อจัดสรรให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์แต่ละตัว จึงทำให้สถานีเฟมโตเซลล์ใช้บล็อกรหัสของทรัพยากรเดียวกันน้อยลง เป็นผลให้สัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่เกิดจากการใช้บล็อกรหัสของทรัพยากรเดียวกันลดน้อยลง จึงทำให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนมีค่าสูงขึ้น แต่มีข้อเสียในเรื่องจำนวนบล็อกรหัสของทรัพยากรที่จัดสรรให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์จะมีจำนวนน้อยกว่าถ้าเทียบกับเทคนิคที่ได้นำเสนอ โดยจากกราฟเมื่อพิจารณาที่ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนเท่ากับ 6 dB ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขั้นต่ำของงานวิจัยนี้ จะเห็นได้ว่าผู้ใช้บริการในเทคนิคที่ได้นำเสนอมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้คิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเทคนิค GCA มีเพียงแค่ 82 เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งเมื่อสังเกตจากกราฟพบว่าผู้ใช้บริการในเทคนิค GCA สามารถมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนสูงถึง 70 dB แต่ในงานวิจัยนี้ต้องการค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนที่มากกว่า 6 dB เท่านั้น จึงสรุปได้ว่าเทคนิค GCA มีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนที่สูงเกินความต้องการของผู้ใช้บริการภายในอาคาร

รูปที่ 4.25 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าวิสัยสามารถควมดาวน์ลิงก์เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA โดยค่าเฉลี่ยของค่าวิสัยสามารถควมดาวน์ลิงก์ของเทคนิคที่ได้นำเสนอเท่ากับ 4.05 bps/Hz และเทคนิค GCA เท่ากับ 8.00 bps/Hz จะเห็นได้ว่าเทคนิค GCA มีค่าเฉลี่ยของค่าวิสัยสามารถควมดาวน์ลิงก์มากกว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอ เนื่องจากเทคนิค GCA มีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนที่มากกว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอ แต่เมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นที่ 0.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า 20 เปอร์เซ็นต์ของค่าวิสัยสามารถทั้งหมดของเทคนิคที่ได้นำเสนอมีค่าไม่เกิน 3.2 bps/Hz และเทคนิค GCA มีค่าไม่เกิน 2.4 bps/Hz ซึ่งเทคนิคที่ได้นำเสนอมีโอกาสพบเจอมีค่าวิสัยสามารถที่สูงกว่าเทคนิค GCA โดยสรุปผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้นำเสนอกับเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.13



รูปที่ 4.25 กราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่เฉลี่ยที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้นำเสนอและเทคนิค GCA ในพื้นที่อาคารทดลองที่ 2

ประสิทธิภาพ	proposed technique	Graph Coloring Assignment (GCA)
การรับประกันพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ	100 %	100 %
การรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน	100 %	82 %
ค่าเฉลี่ยของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	11.82 dB	23.39 dB
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	3.92 dB	21.02 dB
ค่าเฉลี่ยของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	4.05 bps/Hz	8.00 bps/Hz
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดที่จุดทดสอบความแรงสัญญาณ	1.22 bps/Hz	6.75 bps/Hz

4.3 สรุปท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้ได้นำเสนอผลการทดลองของเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลีนวิทย์ สำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นที่ได้พัฒนาขึ้น และแสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่นำเสนอกับเทคนิค GCA ในเรื่องของจำนวนบล็อกของทรัพยากรที่จัดสรรให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ การรับประกันคุณภาพความแรงสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ และการรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนของผู้ใช้งานในพื้นที่ให้บริการ ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่ได้นำเสนอนั้นสามารถจัดสรรจำนวนบล็อกของทรัพยากรให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ได้มากกว่าเทคนิค GCA อีกทั้งยังสามารถรับประกันคุณภาพความแรงสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ และสามารถรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนของผู้ใช้งานในพื้นที่ให้บริการได้อีกด้วย



บทที่ 5

สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์

จำนวนผู้ใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มีเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดปริมาณข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างหนาแน่น โดยปริมาณข้อมูลส่วนใหญ่เกิดจากผู้ใช้บริการภายในอาคาร เช่น สำนักงาน ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น ซึ่งความซับซ้อนของโครงสร้างภายในอาคารนั้นอาจทำให้ผู้ใช้บริการภายในอาคารไม่สามารถรับสัญญาณจากสถานีฐานมาโครเซลล์ที่อยู่ภายนอกอาคารได้ ส่งผลให้เกิดบริเวณจุดอับสัญญาณภายในอาคาร ดังนั้นในเทคโนโลยีสี่จีแอลทีโอจึงได้นำเสนอเพิ่มโตะเซลล์เข้ามาติดตั้งภายในอาคารเพื่อช่วยแก้ปัญหาอื่น อีกทั้งเพิ่มโตะเซลล์ยังช่วยแก้ปัญหาในด้านคุณภาพสัญญาณ ความแรงของสัญญาณ และอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล โดยเพิ่มโตะเซลล์เป็นสถานีฐานขนาดเล็ก มีกำลังส่งต่ำ ครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามสถานีฐานเพิ่มโตะเซลล์นั้นมีปัญหาในเรื่องของสัญญาณแทรกสอดระหว่างเซลล์ ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเพิ่มโตะเซลล์ในเครือข่ายมีการใช้ความถี่ซ้ำ เนื่องจากมีความจำกัดของทรัพยากรคลื่นวิทยุที่สามารถนำมาใช้งานได้กับเทคโนโลยีสี่จีแอลทีโอ

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเพิ่มโตะเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น โดยใช้เทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อสร้างสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการออกแบบเครือข่าย ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอนี้ได้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 เฟส โดยเฟสที่ 1 เป็นกระบวนการทำงานที่มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสถานีฐานเพิ่มโตะเซลล์ที่ทำให้ผลรวมค่าความแรงสัญญาณของผู้ใช้บริการภายในอาคารมีค่ามากที่สุด ส่วนเฟสที่ 2 เป็นกระบวนการทำงานที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนบล็อกรังของทรัพยากรคลื่นวิทยุที่มากที่สุดที่จะสามารถจัดสรรให้กับแต่ละสถานีฐานเพิ่มโตะเซลล์ โดยมีเงื่อนไขการรับประกันคุณภาพความแรงสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ และรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนของผู้ใช้งานในพื้นที่ให้บริการ นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้ทำการทดลองในพื้นที่ของอาคารรูปแบบต่าง ๆ และทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเพิ่มโตะเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นด้วยเทคนิคที่ได้นำเสนอกับเทคนิค GCA ซึ่งข้อดีของเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเพิ่มโตะเซลล์ที่ได้นำเสนอนี้คือ สามารถนำไปออกแบบวางแผนเครือข่ายใน

อาคารชั้นเดียวและอาคารหลายชั้นที่โครงสร้างทางกายภาพมีลักษณะแตกต่างกันได้ สามารถรับประกันคุณภาพความแรงสัญญาณให้ครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่ให้บริการ และสามารถรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนของผู้ใช้งานในพื้นที่ให้บริการทั้งหมดได้อีกด้วย อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิค GCA เทคนิคที่นำเสนอมีจำนวนบล็อกของทรัพยากรที่สามารถจัดสรรให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์มากกว่าเทคนิค GCA สูงถึง 82.67 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าวิสัยสามารถดาวน์โหลดในแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์มากกว่าเทคนิค GCA สูงถึง 86.11 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าเฉลี่ยของค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนดาวน์โหลดนั้น จะสังเกตได้ว่าเทคนิคที่นำเสนอมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าเทคนิค GCA แต่ผู้ให้บริการทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ของเทคนิคที่นำเสนอมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนดาวน์โหลดมากกว่า 6 dB ในทางกลับกันเทคนิค GCA มีผู้ให้บริการแค่ 77 เปอร์เซ็นต์ที่มีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนดาวน์โหลดมากกว่า 6 dB โดยงานวิจัยนี้ต้องการค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนดาวน์โหลดที่มากกว่า 6 dB เท่านั้น จึงสรุปได้ว่าเทคนิค GCA มีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนดาวน์โหลดที่สูงเกินความต้องการของผู้ให้บริการ และไม่สามารถรับประกันค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนดาวน์โหลดในพื้นที่ให้บริการได้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้นนั้นจะต้องมีความรู้พื้นฐานในงานวิจัยที่ศึกษา โดยจะต้องทราบถึงข้อจำกัด และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพความแรงสัญญาณภายในอาคาร ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้รูปแบบการแก้ปัญหาด้วยวิธีการโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้โปรแกรม IBM ILOG CPLEX optimization studio ซึ่งสามารถรับประกันการหาคำตอบที่ดีที่สุด หากปัญหาที่พิจารณาเป็นเครือข่ายขนาดใหญ่ที่มีตัวแปรอินพุตเป็นจำนวนมาก โปรแกรมอาจจะไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ หรืออาจใช้ระยะเวลาในการประมวลผลเพื่อหาคำตอบ ดังนั้นข้อจำกัดในงานวิจัยนี้ คือขนาดของเครือข่ายที่ประกอบไปด้วย จำนวนจุดทดสอบความแรงสัญญาณ จำนวนสถานีฐานเฟมโตเซลล์ และจำนวนบล็อกของทรัพยากร โดยในงานวิจัยนี้ใช้เวลาในการหาคำตอบเป็นเวลา 40 ชั่วโมง ซึ่งหากทดลองในเครือข่ายที่มีขนาดใหญ่กว่างานวิจัยที่ได้นำเสนอ อาจจะใช้เวลาในการหาคำตอบเป็นระยะเวลานาน จนอาจจะไม่สามารถรอได้ อาจใช้เวลาเป็นสัปดาห์ เดือน หรือปี จึงอาจจะต้องพัฒนาอัลกอริทึมอื่น ๆ ในการหาคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด เช่น การอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing: SA) อัลกอริทึมพันธุกรรม (Genetic

Algorithm: GA) และ กรีดีอัลกอริทึม (greedy algorithm) เพื่อให้สามารถหาคำตอบได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด นอกจากนี้การวางตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์อาจจะส่งผลถึงคุณภาพสัญญาณที่ได้รับภายในพื้นที่ให้บริการ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตำแหน่งของสถานีฐานเป็นแบบการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอภายในอาคาร อีกทั้งในงานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของการกำหนดค่าความแรงสัญญาณของผู้ใช้งานที่ควรได้รับเพียงค่าเดียว ซึ่งอาจจะไม่ครอบคลุมค่าความแรงสัญญาณที่ผู้ใช้งานต้องการเมื่อนำไปใช้งานจริง รวมถึงค่าความแรงสัญญาณที่นำมาใช้ในการคำนวณในงานวิจัยนี้เป็นค่าที่มาจากการจำลอง ไม่ใช่ค่าที่ได้จากการวัดจริง ซึ่งอาจมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ดังนั้นผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้ค่าจากการวัดจริงเพื่อลดความคลาดเคลื่อนลงได้

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารหลายชั้น โดยได้ใช้สมการคณิตศาสตร์ด้วยระเบียบวิธีการ โปรแกรมเชิงเส้นในการออกแบบปัญหาสำหรับการวางแผนทรัพยากรคลื่นวิทยุ ดังนั้นสำหรับการพัฒนาในอนาคตสามารถพิจารณาถึงปัจจัยอื่นที่ส่งผลกับคุณภาพของสัญญาณ เช่น ตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ระดับกำลังส่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ เป็นต้น นอกจากนี้อาจจะพิจารณาวัตถุประสงค์อื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ เช่น วัตถุประสงค์เพื่อหาค่าสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนที่มากที่สุดสำหรับผู้ให้บริการภายในอาคาร วัตถุประสงค์เพื่อหาค่าวิสัยความสามารถที่มากที่สุดสำหรับผู้ให้บริการภายในอาคาร เป็นต้น

รายการอ้างอิง

- ประกอบ จิริกิติ (2535). การโปรแกรมเชิงเส้น (**Linear Programming**). โครงการส่งเสริมเอกสาร
วิชาการ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- สุทธิมา ชำนาญเวช (2552). การวิจัยดำเนินงาน (**Operation Research**). วิทญพัฒน์. กรุงเทพฯ ฯ.
- สมาคมผู้ตรวจสอบและบริหารความปลอดภัยอาคาร (2543). กฎกระทรวง ฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543)
ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522.
- Abdelhay, E. H., Zaki, F. W., Kishk, S. S. and Moustafa, H. S. (2015). LTE-A multi-hop network
with zero link overflow utilizing OTFWC scheduling. **Int. Trans. Electr. Comput. Eng.
Syst.** 3 (1): 19-29.
- Ahmed, A. U., Islam, M. T., and Ismail, M. (2014). A review on femtocell and its diverse
interference mitigation techniques in heterogeneous network. **Wireless Personal
Communications.** 78 (1): 85-106.
- Barbieri, A., Damjanovic, A., Ji, T., Montojo, J., Wei, Y., Malladi, D., ... and Horn, G. (2012).
LTE femtocells: System design and performance analysis. **IEEE Journal on Selected
Areas in Communications.** 30 (3): 586-594.
- CISCO. (2015). Cisco Visual Networking Index, **Global Mobile Data Traffic Forecast Update.
2014 – 2019** (white paper).
- Ebrahim, A., Alsusa, E. and Baidas, M. W. (2016). An uncoordinated frequency allocation scheme
for future femtocell networks. In **Proceedings of the 2016 International on Wireless
Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)**; 5 Sept-9 Sept, 2016;
Paphos, Cyprus, p. 239-243.
- Ericsson. (2010). LTE: **Overview and Deployment Considerations80-W2691-1 Rev A.**
Copyright © 2010 QUALCOMM Incorporated. 102 pp.
- Estrada, R., Otrók, H., Dziong, Z. and Barada, H. (2013). Joint BS selection and resource allocation
model for OFDMA macro-femtocell networks incorporating mobility. In **Proceedings of
the 2013 International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless
Networking (MoWNeT)**; 19 Aug-21 Aug, 2013; Montreal, QC, Canada, p. 42-47.

- ETSI, L. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA). (2011). **User Equipment (UE) radio transmission and reception. ETSI TS, 136 (101).**
- Holma, H. and Toskala, A. (2011). **LTE for UMTS: Evolution to LTE-advanced. John Wiley & Sons, 576p.**
- Liu, J., Wu, J., Chen, J., Wang, P. and Zhang, J. (2012). Radio resource allocation in buildings with dense femtocell deployment. In **Proceedings of the 21st International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)**; 30 July-2 Aug, 2012; Munich, Germany, p. 1-5.
- Liang, Y. S., Chung, W. H., Yu, C. M., Zhang, H., Chung, C. H., Ho, C. H. and Kuo, S. Y. (2012). Resource block assignment for interference avoidance in femtocell networks. In **Proceedings of the 2012 IEEE on Vehicular Technology Conference (VTC Fall)**; 3 Sept-6 Sept, 2012; Quebec City, QC, Canada, p. 1-5.
- Mahmud, S. A., Khan, G. M., Zafar, H., Ahmad, K. and Behtani, N. (2013). A survey on femtocells: Benefits deployment models and proposed solutions. **Journal of Applied Research and Technology**. 11 (5): 733-754.
- Nagashree, N., Rao, V., and Shanavas, I.H. (2013). Femto Cells-a new generation cellular stations. **Universal Journal of Communications and Network**, p. 9-15.
- Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA). ที่มา: หลังข้อมูลเข้าถึงได้จาก : <http://www.revolutionwifi.net/revolutionwifi/2015/3/how-ofdm-subcarriers-work>
- Saeed, A., Katranaras, E., Dianati, M. and Imran, M. A. (2015). Control and data channel resource allocation in macro-femto Heterogeneous Networks. In **Proceedings of the 2015 International on Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)**; 24 Aug-28 Aug, 2015; Dubrovnik, Croatia, p. 1272-1276.
- Selim, M. M., El-Khamy, M., and El-Sharkawy, M. (2012). Enhanced frequency reuse schemes for interference management in LTE femtocell networks. In **Proceedings of the 2012 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)**; 28 Aug-31 Aug, 2012; Paris, France, p. 407-412.
- Uyungelen, S., Auer, G., and Bharucha, Z. (2011). Graph-based dynamic frequency reuse in femtocell networks. In **Proceedings of the 2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring)**; 15-18 May; Yokohama, Japan, p. 1-6

- Vardhan, C. S., Ratnam, D. V., Bhagyasree, N. and Dattu, A. H. (2014). Analysis of path loss models of 4G femtocells. In **Proceedings of the 2014 11th International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN)**; 11 Sept-13 Sept, 2014; Vijayawada, India, p. 1-6.
- Varghese, A. and Sudha, T. (2015). A resource allocation scheme for throughput maximization in OFDMA femtocell networks. In **Proceedings of the 2015 International Conference on Control Communication & Computing India (ICCC)**; 19 Nov-21 Nov, 2015; Trivandrum, India, p. 407-412.
- Zeng, M., Chen, X., Zhang, X., Sang, L., and Yang, D. (2013). A Novel Dynamic Interference Coordination Scheme in Macrocell-Picocell Heterogeneous Networks. In **Proceedings of the 2013 IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)**; 2-5 June; Dresden, Germany, p. 1-5
- Zhang, J., and De la Roche, G. (2011). **Femtocells: technologies and deployment**. John Wiley & Sons.
- Zulkefly, N. R., Rahman, T. A., Al-Samman, A. M., Mataria, A. M. and Leow, C. Y. (2015). Indoor path loss model for 4G wireless network at 2.6 GHz. In **Proceedings of the 2015 1st International Conference on Telematics and Future Generation Networks (TAFGEN)**; 26 May-28 May, 2015; Kuala Lumpur, Malaysia, p. 117-120.



ภาคผนวก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

กชกร พิมพาหุ, พีระสันต์ ทวีภาวิไล และ ชุตินา พรหมมาก (2016). **Joint Frequency Channel and Transmitted Power Assignment for WiMAX Networks by Using Binary Integer Linear Programming**, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39 (EECON-39) 2 – 4 พฤศจิกายน 2559 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Kotchakorn Phimpahu, Chitapong Wechtaisong, Monthippa Uthansakul and Chutima Prommak (2017). **Effects of Radio Resource Block Assignment for 4G-LTE Femtocell Networks in Multi-Floor Buildings**, in 11th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium, 13 - 14 March 2017, Vietnam

Kotchakorn Phimpahu, Chitapong Wechtaisong, Monthippa Uthansakul and Chutima Prommak (2018). **Radio Resource Block Assignment for 4G-LTE Femtocell Networks in Multi-Floor Buildings**, Suranaree Journal of Science and Technology (SJST), 25 (4): 395-404.



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การจัดสรรช่องสัญญาณความถี่และระดับของกำลังส่งสำหรับเครือข่ายไวแมกซ์โดยใช้การโปรแกรมเชิงเส้น
จำนวนเต็มไบนารี

Joint Frequency Channel and Transmitted Power Assignment for WiMAX Networks by Using Binary
Integer Linear Programming

กชกร พิมพ์พูน, วีระพันธ์ ทวีภาวิไล และ ชุตินา พรหมมา

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
M58407462@g.sut.ac.th, M5840755@g.sut.ac.th and cprommak@sut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการจัดสรรความถี่และกำหนดระดับของกำลังส่งให้กับสถานีฐานแต่ละสถานีในเครือข่ายไวแมกซ์โดยใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (Binary Integer Linear Programming) ในการแก้ปัญหา เนื่องจากหาค่าความถี่และความถี่เดียวกันและมีระดับกำลังส่งที่ไม่เหมาะสม จะทำให้เกิดสัญญาณแทรกสอด (Interference) ซึ่งส่งผลให้สัญญาณมีคุณภาพต่ำ โดยในบทความนี้นักวิจัยได้พัฒนาสมการคณิตศาสตร์สำหรับการกำหนดความถี่และระดับของกำลังส่งที่เหมาะสมที่สุดให้กับแต่ละสถานีฐาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนการรบกวนความถี่ในเครือข่ายให้น้อยที่สุดภายใต้เงื่อนไขการรับประกันคุณภาพของสัญญาณครอบคลุมในพื้นที่ให้บริการ โดยพิจารณาคุณภาพดังกล่าวจากค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน (Signal to Interference plus Noise Ratio : SINR) ที่จุดทดสอบสัญญาณ (Signal Test Point : STP) เพื่อให้ผู้ใช้บริการได้รับสัญญาณที่มีคุณภาพ

คำสำคัญ: เครือข่ายไวแมกซ์, วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม, การจัดสรรความถี่

Abstract

In this paper, we propose a novel technique to jointly assign the frequency channels and the transmitted power levels for the base stations in networks to improve the signal quality in the service areas of the WiMAX networks. The proposed technique is based on the Binary Integer Linear Programming (BILP) optimization model. Particularly, the proposed optimization model aims to minimize the number of frequency channels used in the WiMAX networks and takes into account the quality of signal coverage in the service area by evaluating a Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR) at the specified Signal Test Points (STPs).

Keywords: WiMAX networks, Frequency channel assignment, Transmitted power level assignment, Binary Integer Linear programming.

1. บทนำ

WiMAX (Wireless Interoperability for Microwave Access) คือระบบสื่อสารบรอดแบนด์ไร้สายอีกชนิดหนึ่งในปัจจุบันที่มีอัตราเร็วในการสื่อสารสูงและมีพื้นที่สัญญาณครอบคลุมกว้าง โดยมีการทำงานตามที่กำหนดในมาตรฐาน IEEE 802.16

จากการศึกษาวิธีที่สนับสนุนการรวมที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอแนวคิดที่ทำการศึกษาก็เกี่ยวกับการออกแบบเครือข่ายระบบไวแมกซ์โดย งานวิจัย [1] กล่าวถึงการใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารีสร้างสมการคณิตศาสตร์เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งสถานีฐานที่เหมาะสมที่สุดโดยมีการรับประกันพื้นที่สัญญาณครอบคลุมและอัตราเร็วในการให้บริการ งานวิจัย [2] กล่าวถึงการลดกำลังส่งที่มากที่สุดของผู้ให้บริการในขณะที่มีการรับประกันอัตราเร็วในการให้บริการ

ส่วนวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่นำเสนอคือการใช้งานจำนวนความถี่ให้น้อยที่สุดพร้อมกันกำหนดระดับของกำลังส่งของแต่ละสถานีฐานที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการวางแผนเครือข่ายไวแมกซ์ด้วยวิธีการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (Binary Integer Linear Programming) [3] ผู้วิจัยได้สร้างสมการคณิตศาสตร์ เพื่อกำหนดความถี่และระดับของกำลังส่งที่เหมาะสมที่สุดให้กับแต่ละสถานีฐานโดยรับประกันค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน (SINR) ที่จุดทดสอบสัญญาณ

บทความนี้มีลำดับการนำเสนอ ดังนี้ หัวข้อที่ 2 การจัดสรรความถี่และระดับของกำลังส่งสำหรับสถานีฐานไวแมกซ์ หัวข้อที่ 3 การทดลองและพารามิเตอร์ หัวข้อที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล และหัวข้อที่ 5 สรุปผลการทดลอง

2. การจัดสรรความถี่และกำลังส่งสำหรับสถานีฐานไว้มอกซ์

เนื้อหาในหัวข้อนี้เป็นกรณีการอธิบายการออกแบบเครือข่ายไว้มอกซ์ โดย ใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (Binary Integer Linear Programming) โดยหัวข้อ 2.1 อธิบายนิยามปัญหา หัวข้อ 2.2 อธิบาย สมการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี

2.1 การนิยามปัญหา

การวางแผนเครือข่ายไว้มอกซ์ที่พิจารณาในบทความนี้ เป็นการ จัดสรรความถี่และกำลังส่งให้กับสถานีฐานไว้มอกซ์ เพื่อเพิ่มค่าอัตราส่วน ของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน (Signal to Interference plus Noise Ratio : SINR) ซึ่งใช้สมการทางคณิตศาสตร์แบบ วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารีในการออกแบบ เพื่อกำหนด ความถี่และระดับกำลังส่งที่เหมาะสมที่สุดให้กับสถานีฐานไว้มอกซ์ โดย รับ ประกันค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณ รบกวนให้กับผู้ใช้บริการ

ในบทความนี้ได้รับประกันคุณภาพของสัญญาณ โดยพิจารณาการ อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน โดย กำหนดจุดทดสอบสัญญาณ (Signal Test Point : STP) เป็นตำแหน่งที่จะ ประเมินคุณภาพสัญญาณ เพื่อการรับประกันคุณภาพสัญญาณให้กับ ผู้ใช้บริการในเครือข่ายไว้มอกซ์

2.2 โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี

บทความนี้ได้มีนเสนอการจัดสรรความถี่และระดับของกำลังส่ง สำหรับสถานีฐานไว้มอกซ์ โดยใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี ในการ แก้ไขปัญหา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนความถี่ที่ จัดสรรให้แก่ละ สถานีฐานนี้ให้มากที่สุด ดังแสดงในสมการที่ (1) ส่วน เงิน ไชนันพิจารณาการครอบคลุมของสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ ดัง แสดงในสมการที่ (2) - (7) ซึ่งเป็นการประเมินค่า SINR ที่จุดทดสอบโดย จะต้องมากกว่าค่าขีดแบ่ง (Threshold) ตารางที่ 1 เป็นคำนิยามของตัวแปรที่ใช้ในสมการคณิตศาสตร์

$$\text{Minimize } \sum_{k=1}^N F_k \tag{1}$$

Subject to:

$$\sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^L \alpha_{ki}^l = 1, \forall i \in B \tag{2}$$

$$\alpha_{ki}^l \leq F_k, \forall i \in B, \forall k \in N, \forall l \in L \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^B \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^L x_{ki}^{hl} \geq 1, \forall h \in S \tag{4}$$

$$x_{ki}^{hl} \leq \alpha_{ki}^l, \forall h \in S, \forall i \in B, \forall k \in N, \forall l \in L \tag{5}$$

$$x_{ki}^{hl} (P_c(i, l) + 18 - P_c(h, i, k) - P_{r,i}) \geq 0, \forall h \in S, \forall i \in B, \forall k \in N, \forall l \in L \tag{6}$$

$$\text{Inf} * (1 - x_{ki}^{hl}) + x_{ki}^{hl} 10^{\frac{(P_c(i, l) + 18 - P_c(h, i, k))}{10}}$$

$$\geq \gamma_c N_0 B + \gamma_c \sum_{m=1}^B \sum_{n=1}^L \alpha_{kn}^m 10^{\frac{(P_c(a, m) + 18 - P_c(h, i, k))}{10}}, \forall h \in S, \forall i \in B, \forall k \in N, \forall l \in L \tag{7}$$

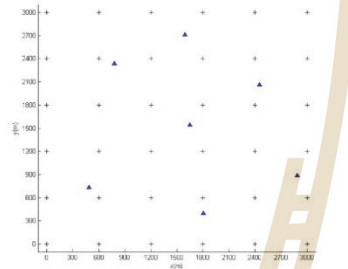
ตารางที่ 1 คำนิยามของตัวแปรที่ใช้ในสมการคณิตศาสตร์

เซตของตัวแปร	
N	เซตของจำนวนความถี่
B	เซตของจำนวนสถานีฐาน
S	เซตของจำนวนจุดทดสอบสัญญาณ
L	เซตของจำนวนกำลังส่งสำหรับสถานีฐาน
ตัวแปรตัดสินใจ	
F_k	ตัวแปรไบนารี {0,1} ถ้า $F_k = 1$ ความถี่ k ถูกนำมาใช้ แต่ถ้า $F_k = 0$ ความถี่ k ไม่ถูกนำมาใช้
α_{ki}^l	ตัวแปรไบนารี {0,1} ถ้า $\alpha_{ki}^l = 1$ หมายความว่ากำหนดให้สถานีฐาน i เลือกใช้ความถี่ k และใช้กำลังส่งระดับที่ l แต่ถ้า $\alpha_{ki}^l = 0$ หมายความว่าไม่กำหนดให้สถานีฐาน i เลือกใช้ความถี่ k และใช้กำลังส่งระดับที่ l
x_{ki}^{hl}	ตัวแปรไบนารี {0,1} ถ้า $x_{ki}^{hl} = 1$ หมายความว่ากำหนดให้จุดทดสอบสัญญาณ h ได้รับสัญญาณจากสถานีฐาน i ที่ความถี่ k และใช้กำลังส่งระดับที่ l แต่ถ้า $x_{ki}^{hl} = 0$ หมายความว่าไม่กำหนดให้จุดทดสอบสัญญาณ h ได้รับสัญญาณจากสถานีฐาน i ที่ความถี่ k และใช้กำลังส่งระดับที่ l
พารามิเตอร์ค่าคงที่	
$P_{r,i}$	ระดับสัญญาณขั้นต่ำที่ควรได้รับสำหรับการรับจุดทดสอบสัญญาณ (Received power threshold)
$P_c(i, l)$	กำลังส่งระดับที่ l ที่สถานีฐาน i เลือกใช้
$P_c(h, i, k)$	กำลังสัญญาณรบกวนระยะทางที่จุดทดสอบสัญญาณ h ที่ได้รับจากสถานีฐาน i ที่ใช้ความถี่ k
γ_c	ระดับอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขั้นต่ำที่ควรได้รับ (SINR threshold)
N_0	สัญญาณรบกวนความร้อน (Thermal noise)
B	ความกว้างของช่องสัญญาณ
Inf	ค่าอนันต์

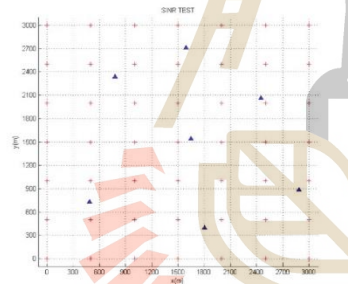
สมการเงื่อนไขที่ (2) เป็นการกำหนดให้แต่ละสถานีฐานต้องใช้จำนวนความถี่ 1 ความถี่และใช้กำลังส่ง 1 ระดับเท่านั้น สมการเงื่อนไขที่ (3) เป็นการกำหนดความถี่ที่ถูกจัดสรรให้กับสถานีฐานต้องเป็นความถี่ที่ถูกนำมาใช้เท่านั้น สมการเงื่อนไขที่ (4) เป็นการรับประกันว่าสถานีฐานให้สัญญาณครอบคลุมจุดทดสอบสัญญาณทั้งหมด สมการเงื่อนไขที่ (5) เป็นการกำหนดว่าจุดทดสอบสัญญาณจะต้องได้รับสัญญาณจากสถานีฐานที่ถูกจัดสรรความถี่และกำลังส่งที่ถูกนำมาใช้เท่านั้น สมการเงื่อนไขที่ (6) เป็นการรับประกันว่าจุดทดสอบสัญญาณ จะต้องได้รับสัญญาณที่มีกำลังมากกว่าระดับสัญญาณขั้นต่ำซึ่งกำหนดโดยค่าขีดแบ่ง $P_{r,i}$ สมการเงื่อนไขที่ (7) เป็นการตรวจสอบอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนที่จุดทดสอบสัญญาณ โดยจะต้องมีค่ามากกว่าค่าขีดแบ่ง γ_c ที่กำหนดไว้

3. การทดลองและพารามิเตอร์

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อศึกษาว่าจำนวนความถี่และระดับกำลังส่งที่แต่ละสถานีฐานไวแมกซ์เลือกใช้จะส่งผลอย่างไรต่อคุณภาพสัญญาณ โดยจะพิจารณาจากค่าส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนที่จุดทดสอบสัญญาณ (Signal Test Point : STP) ซึ่งแบบจำลองในการทดลองมี 2 รูปแบบ ในรูปแบบที่ 1 มีจุดทดสอบสัญญาณจำนวน 36 จุด แต่ละจุดทดสอบห่างกันเป็นระยะ 600 เมตร x 600 เมตรดังแสดงในรูปที่ 1 และในรูปแบบที่ 2 มีจุดทดสอบสัญญาณจำนวน 49 จุด แต่ละจุดทดสอบห่างกันเป็นระยะ 500 เมตร x 500 เมตร



รูปที่ 1 แบบจำลองที่ 1 กรณีมีจุดทดสอบสัญญาณ 36 จุด



รูปที่ 2 แบบจำลองที่ 2 กรณีมีจุดทดสอบสัญญาณ 49 จุด

ดังแสดงในรูปที่ 2 พื้นที่ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดกว้าง 3 กิโลเมตร ยาว 3 กิโลเมตร มีจำนวนสถานีฐานไวแมกซ์ 7 สถานี สายอากาศเป็นชนิดที่มีการแพร่กระจายพลังงานแบบรอบทิศทาง (omnidirectional pattern) และจุดทดสอบสัญญาณมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) ทั้ง 2 รูปแบบซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองพิจารณาตามมาตรฐาน WiMAX IEEE 802.16 ดังแสดงในตารางที่ 2 [4]

ในการคำนวณค่าการลดทอนกำลังของสัญญาณระหว่างสถานีฐานภาคส่ง (สถานีฐาน ไวแมกซ์) กับสถานีฐานภาครับ (จุดทดสอบสัญญาณ)

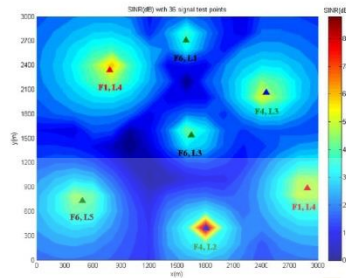
เราได้ใช้แบบจำลองการสูญเสียตามระยะทาง (Path Loss Model) ของมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด (Stanford University Interim model : SUI model) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ได้รับการแนะนำจาก IEEE 802.16 เพื่อใช้คำนวณค่าการสูญเสียกำลังตามระยะทางในคลื่นขั้วไมเวกซ์ [5]

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

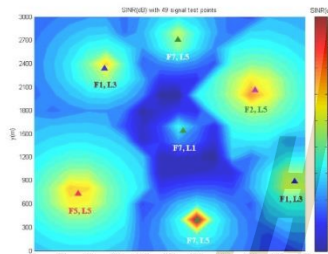
พารามิเตอร์	ค่า
ความสูงของสถานีฐาน	60 m
ความสูงของจุดทดสอบสัญญาณ	2 m
ความถี่ของสัญญาณพาห้	3.5 GHz
กำลังส่งของสถานีฐาน	31-39 dBm
ความกว้างของช่องสัญญาณ	3.5 MHz
ประเภทลักษณะของภูมิประเทศ	B
อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง	16 dBi
อัตราขยายของสายอากาศภาครับ	2 dBi
ระดับสัญญาณขั้นต่ำที่ควรได้รับสำหรับจุดทดสอบสัญญาณ	-91 dBm
ระดับอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนขั้นต่ำที่ควรได้รับ	16.4 dB
สัญญาณรบกวนความรบกวน (N ₀)	-174 dBm/Hz

4. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

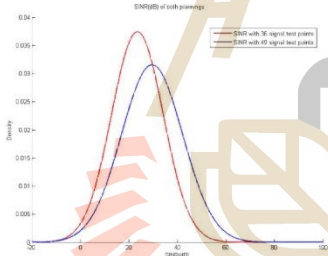
เมื่อหาในส่วนนี้นำเสนอผลการทดลอง ซึ่งดำเนินการด้วยโปรแกรมประยุกต์ IBM ILOG CPLEX Optimization Studio V12.4 ในการหาค่าตอบที่ดีที่สุดในการกำหนดความถี่และระดับกำลังส่งที่เหมาะสมที่สุดให้กับสำหรับสถานีฐานไวแมกซ์ รวมถึงแสดงผลข้อมูลและแสดงผลการต่างๆที่ได้จากการทดลอง รูปที่ 3 และรูปที่ 4 เป็นกราฟแสดงค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนภายใต้พื้นที่ที่มีจุดทดสอบสัญญาณ 36 จุดและ 49 จุดตามลำดับ ซึ่งจากรูปแสดงความถี่และกำลังส่งที่จัดสรรให้แก่แต่ละสถานีฐาน ส่วนรูปที่ 5 แสดงกราฟฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวน โดยในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลการใช้งานจำนวนความถี่ที่น้อยที่สุดพร้อมกับปรับระดับของกำลังส่งของแต่ละสถานีฐานให้เหมาะสม ซึ่งจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของรูปแบบที่ 2 มีแนวโน้มค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนที่จุดทดสอบสัญญาณที่มากกว่าเส้นกราฟของรูปแบบที่ 1 เนื่องจากรูปแบบที่ 2 มีการนำความถี่เดิมมาใช้ซ้ำน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 โดยสรุปผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองทั้ง 2 รูปแบบ ซึ่งประกอบด้วยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดบวกสัญญาณรบกวนที่จุดทดสอบสัญญาณดังแสดงในตารางที่ 6 และเวลาที่ใช้ในการหาค่าตอบของรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 เท่ากับ 30 นาที และ 11 ชั่วโมง ตามลำดับ



รูปที่ 3 SINR กรณีมีจุดทดสอบสัญญาณ 36 จุด



รูปที่ 4 SINR กรณีมีจุดทดสอบสัญญาณ 49 จุด



รูปที่ 5 เปรียบเทียบความหนาแน่นของปริมาณบ่งชี้ของจุดตรวจส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดจากสัญญาณรบกวนของทั้ง 2 รูปแบบ

ตารางที่ 6 ผลการทดลองทดลองเปรียบเทียบที่ระยะห่างแบบจำลองทั้ง 2 รูปแบบ

รูปแบบ	ค่าเฉลี่ย SINR	จำนวนบิตต่อวินาที	จำนวนความถี่ที่ใช้
1	23.4480 dB	10.6653	3
2	29.9073 dB	12.6481	4

5. สรุปผลการทดลอง

ในบทความนี้ได้นำเสนอวิธีการจัดสรรความถี่และกำลังส่งให้กับสถานีฐานแต่ละสถานีในเครือข่ายไอทีเอ็มทีโดยใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี จากการทดลองพบว่า ความถี่และระดับกำลังส่งที่ถูกจัดสรรให้กับสถานีฐานแต่ละสถานี และจำนวนจุดทดสอบสัญญาณที่

ใช้ในการวางแผนจัดสรรความถี่ มีผลต่อค่า SINR ของเครือข่าย โดยมีผลที่มีจำนวนจุดทดสอบสัญญาณเพิ่มขึ้น คุณภาพของสัญญาณครอบคลุมในพื้นที่ให้บริการมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นั่นคือค่าเฉลี่ยของค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดจากสัญญาณรบกวนจะเพิ่มขึ้น แต่จะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบเพิ่มขึ้น นั่นคือมีความซับซ้อนของปัญหาเพิ่มขึ้นนั่นเอง ดังนั้นในอนาคตผู้วิจัยจะพัฒนาเทคนิคที่สามารถหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับเครือข่ายขนาดใหญ่ โดยจะได้คำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพสัญญาณของผู้ใช้งาน เช่น ความจุของสัญญาณ และระดับการรบกวนของคลื่นของผู้ใช้งาน เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Prommak, Chutima, and Chitapong Wechtaison. "WiMAX network design for cost minimization and access data rate guarantee using multi-hop relay stations." International Journal of communications 4.2 (2010): pp. 39-46.
- [2] D. Yang, X. Fang and G. Xue, "Near-Optimal Relay Station Placement for Power Minimization in WiMAX Networks," Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011), 2011 IEEE, Houston, TX, USA, 2011, pp. 1-5.
- [3] Winston, Wayne L., and Jeffrey B. Goldberg. Operations research: applications and algorithms. Vol. 3. Belmont, CA: Duxbury press, 2004.
- [4] Ahson, Syed A., and Mohammad Ilyas, eds. WiMAX: technologies, performance analysis, and QoS. CRC press, 2007.
- [5] Ercceg, Vinko, et al. "Channel models for fixed wireless applications." In Technical report, IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, January 2001.



นายสาวกชกร พิมพ์ และนายพีระศักดิ์ ทวีกรวิไล สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาโทที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม งานวิจัยที่สนใจเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายสี่เซลล์ที่

ผศ.ดร.ชุดา พรหมมาก ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

EFFECTS OF RADIO RESOURCE BLOCK ASSIGNMENT FOR 4G-LTE FEMTOCELL NETWORKS IN MULTI-FLOOR BUILDINGS

Kotchakorn Phimpahau ⁽¹⁾, Chitapong Wechtaison ⁽²⁾, Monthippa Uthansakul ⁽¹⁾
and Chutima Prommak ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Suranaree University of Technology, Thailand

⁽²⁾ Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Thailand

Email: M5840762@g.sut.ac.th

ABSTRACT

The requirement of the indoor user data rate has been increasing continuously. As a promising solution, the Long Term Evolution (LTE) offers the indoor femtocell networks that can improve not only indoor coverage but also system throughput. However, the concern is the rising of the inter-cell interference (ICI) caused by the neighboring Femtocell Base Stations (FBSs) which use the same Radio Resource Blocks (RRBs). In this paper, we study the effects of the radio resource block assignment for the femtocell networks in multi-floor buildings. The experimental results show that different assignments of the radio resource blocks greatly affect the network performance of which we evaluate in terms of the signal to interference plus noise ratio (SINR) and the user network throughput.

KEYWORDS: 4G-LTE femtocell network, radio resource assignment, network throughput

1. INTRODUCTION

The requirement of data rate and ubiquitous wireless coverage have been increasing continuously. The survey shows that voice calls and data traffic occur mainly in the indoor environments (Zhang, et al. (2010)) such as home, enterprise and department store. Due to complexity of the building structure, the signal from the macro base stations is hard to reach the indoor users. As a promising solution, the 4G Long Term Evolution (LTE) offers the Femtocell Base Stations (FBSs) that can improve not the only indoor coverage but also the system throughput. The femtocell is a low-power home base station (Mahmud, et al. (2013)), which brings advantages to mobile operators due to its low infrastructure cost. To achieve high data rate, FBSs apply the frequency reuse approach in order to optimize the radio resource utilization. However, if the radio resource is assigned to FBSs in the building without carefully

planning, it could cause high inter-cell interference (ICI) and reduce the system throughput (Ahmed, et al. (2014)).

ICI is one of the important problems of the femtocell networks deployed in the multi-floor buildings. Some existing works in literature have considered this issue. For instance, (Pateromichelakis, et al. (2011)) analyzed the co-tier interference in femtocell base stations without interference mitigation techniques by considering some parameters such as the path loss model, the shadowing, and the wall penetration loss. (Kim, et al. (2010)) conducted the performance analysis of two-tier femtocells networks with co-channel femtocell deployment with the outage probability constraints. (Choi, et al. (2010)) presented the power control scheme for femtocell base stations to mitigate interference in terms of the capacity of the macrocell base station and the femtocell base station in both downlink and uplink. However, the previous works have not analyzed the effects of the Radio Resource Block (RRB) assignment for the 4G-LTE femtocell networks in the multi-floor buildings.

Consequently, this paper aim to investigate such effects on the ICI level in the service area. Specifically, we evaluate different assignments of RRBs in terms of the signal to interference plus noise ratio (SINR) and the network throughput.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 presents the detail for the experimental setup and the radio propagation model adopted in our study. Section 3 analyzes and evaluates the network performance. Finally, section 4 concludes the paper and discuss our future works.

2. EXPERIMENTAL SETUP

We conducted extensive experiments to analyze the network performance of the radio resource block assignment for the FBSs in a multi-floor building. Specifically, our experiments were setup in the two-story

building with each floor dimension 75m x 75m. Fig 1. and Fig 2. show the service area of the first and the second floor where seven and six FBSs are installed, respectively. The Signal Test Point (STPs) granularity of 5 meters is considered in the service areas to evaluate the received signal quality (represented by a plus symbol in Fig 1. and Fig 2.). There are 256 STPs on each floor.

Our experiment considered the femtocell network operating at the 15 MHz bandwidth in which there are 75 RRBs. We evaluate three cases of the radio resource planning in which 75 RRBs are divided into one, three and five RRB groups as shown in Table 1. Specially, we study five cases of the RRB assignment as described in Table 2. Each case deploys different number of RRB groups and different RRB assignment. The case 1 utilizes one RRB group where all FBSs are assigned with all 75 RRBs. In the case 2 and 4, the network bandwidth is divided into three RRB groups whereas in the case 3 and 5, five RRB groups are considered. In each case, each FBS in the network is assigned with RRB group as specified in Table 2. Table 3 presents the parameters of the FBSs used in our experiments (ETSI, L. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) (2011)).

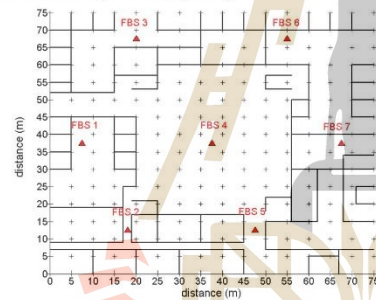
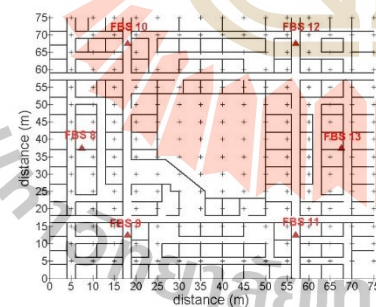
Fig 1. 1st floor of the buildingFig 2. 2nd floor of the building

Table 1. RRB utilization in our experiment

The number of RRB Groups	The number of the RRBs in each group
1	RRB1=1-75
3	RRB1=1-25, RRB2=26-50, RRB3=51-75
5	RRB1=1-15, RRB2=16-30, RRB3=31-45, RRB4=46-60, RRB5=61-75

Table 2. RRB assignment in each experiment case

Experiment Case	RRB group assigned for each FBS												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	1	3	2	1	3	2	2	1	3	1	3	2
3	2	1	3	4	1	3	5	2	1	3	4	5	5
4	2	1	1	3	2	2	1	3	2	2	3	1	3
5	1	3	2	4	1	5	5	4	3	5	2	1	3

Table 3. Parameters of the FBSs used in our experiments

Parameters	Values
Carrier frequency	2.6 GHz
Height of FBSs	2 m
Height of STPs	0.8 m
Transmitted Power	5 dBm
Bandwidth	15 MHz
Number of resource block	75

In order to compute the received signal strength at STPs, we use the path loss model which recommended by the 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project). The path loss model is given in Eq. (1) (Vardhan, et al. (2014)).

$$PL = 40.7412 + 20 \log_{10}(R) + 0.7 d_{2,d,indoor} + 18.3^{(n+2)/(n+1)+0.46} + q L_{iw} \quad (1)$$

where R is distance between STP and FBS. $d_{2,d,indoor}$ is a wall thickness. n is number of building floors. q is number of wall separation of STP and FBS. L_{iw} is building wall penetration loss.

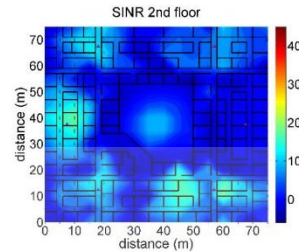
3. RESULTS AND ANALYSIS

For the evaluation of the radio resource planning in our study, we compare the network performance of five different RRB assignments in terms of the signal to interference plus noise ratio (SINR) and the user network throughput. Specially, the Shannon formula (Mogensen, et al. (2007)) is adopted to estimate the user network throughput in our study.

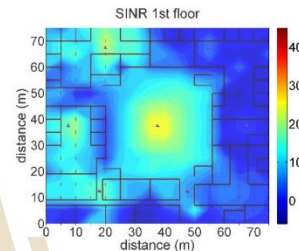
Fig 3-7 show the contour plot of SINR in the service area of five different RRB assignments. We can observe that the value of SINR is lowest in the case 1 (Fig 3) due

to high co-channel interference caused by the neighboring FBSs that operate at the same RRBs. For the case 2-5 in which the radio bandwidth is divided into groups of RRBs, the SINR quality is better than that of the case 1. Consider the case 2 and 4 in which the radio bandwidth is divided into three groups of RRBs. We can see that SINR of the case 4 (Fig 6) is better than that of the case 2 (Fig 4). The reason is that the RRB assignment of the case 4 is more suitable than that of the case 2 in the way that the same RRB group is assigned to non-adjacent FBSs. This results in lower the co-channel interference in the service area and in higher SINR quality. Next consider the case 3 and 5 in which the radio bandwidth is divided into five groups of RRBs. Similar to the case 2 and 4, SINR of the case 5 (Fig 7) is better than that of the case 3 (Fig 5) because in the case 5 the adjacent FBSs are assigned with different groups of RRBs. Additionally, we can observe that SINR of the case 5 is higher than that of the case 4 because the radio resource planning of the case 5 utilizes more number of the RRB groups than that of the case 4.

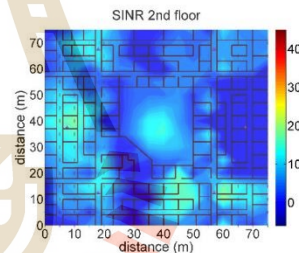
Last but not least, Fig 8 and Fig 9 show the CDF of SINR in the service area and the CDF of the user network throughput, respectively. We can observe that different radio resource planning and different RRB assignments greatly affect the network performances. In Fig 8, considering the cumulative probability 0.8, the case 2, 3, 4 and 5 can improve SINR up to 24.0 %, 51.28 %, 56.82 % and 65.46 % compared to the case 1, respectively. In Fig 9, considering the cumulative probability 0.8, the case 2, 3, 4 and 5 can increase the user network throughput up to 21.95 %, 50.77 %, 54.93 %, and 64.45 % compare to the case 1, respectively. Obviously, we can see that the SINR and the user throughput of the case 5 are higher than those of the other cases because the case 5 utilizes five groups of RRBs and the same RRB groups are carefully assigned to non-adjacent FBSs.



b. 2nd floor of case 1
Fig 3. SINR of case 1

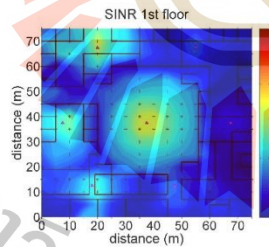


a. 1st floor of case 2

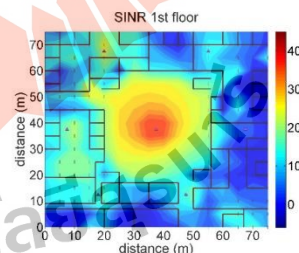


b. 2nd floor of case 2

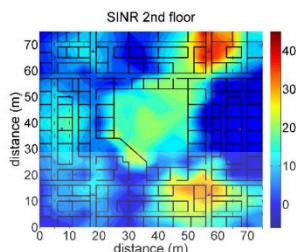
Fig 4. SINR of case 2



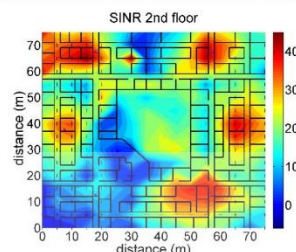
a. 1st floor of case 1



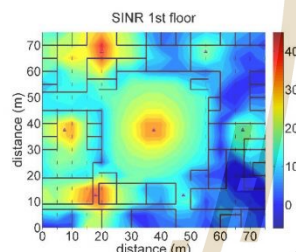
a. 1st floor of case 3



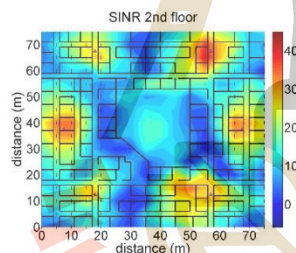
b. 2nd floor of case 3
Fig 5. SINR of case 3



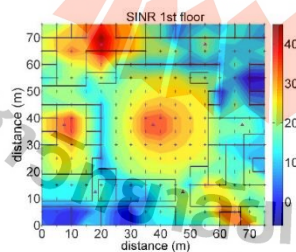
b. 2nd floor of case 5
Fig 7. SINR of case 5



a. 1st floor of case 4



b. 2nd floor of case 4
Fig 6. SINR of case 4



a. 1st floor of case 5

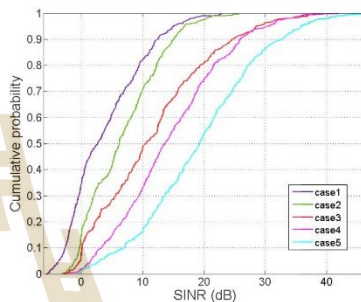


Fig 8. CDF of SINR

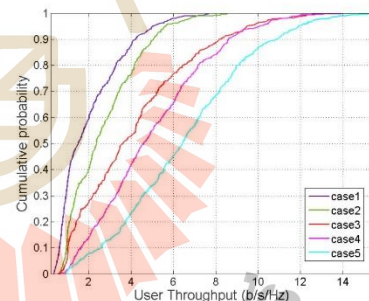


Fig 9. CDF of user throughput

4. CONCLUSIONS

In this paper, we present an analysis of the effects of the Radio Resource Block (RRB) assignment for the 4G-LTE femtocell networks in multi-floor buildings. The results from extensive numerical experiments show that co-channel interference between adjacent FBSs could

The 11th SEATUC Symposium

highly affect the network performance in terms of the signal to interference plus noise ratio (SINR) and the user network throughput. Specifically, the suitable radio resource planning and the careful RRB assignment could reduce the co-channel interference and increase the user network throughput up to 64.45 % compare to the case without the radio resource planning.

Our future work will investigate the radio resource planning techniques for the 4G-LTE femtocell networks in multi-floor buildings. We will incorporate the RRB assignment and the co-channel interference effects in the radio resource planning process.

5. ACKNOWLEDGMENT

This work was supported in part by Suranaree University of Technology, the Office of the Higher Education Commission under NRU project of Thailand and the National Research Council of Thailand (NRCT).

REFERENCES

Zhang, J., & De la Roche, G. (2010). Femtocells: technologies and deployment (pp. 1-13). New York: Wiley.

Mahmud, S. A., Khan, G. M., Zafar, H., Ahmad, K., & Behtani, N. (2013). A survey on femtocells: Benefits deployment models and proposed solutions. *Journal of applied research and technology*, 11(5), 733-754.

Ahmed, A. U., Islam, M. T., & Ismail, M. (2014). A review on femtocell and its diverse interference mitigation techniques in heterogeneous network. *Wireless Personal Communications*, 78(1), 85-106.

E. Pateromichelakis, M. Shariat, A. UI Quddus and R. Tafazolli, "On the analysis of co-tier interference in femtocells," 2011 IEEE 22nd International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Toronto, ON, 2011, pp. 122-126.

Y. Kim, S. Lee and D. Hong, "Performance Analysis of Two-Tier Femtocell Networks with Outage Constraints," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 9, no. 9, pp. 2695-2700, September 2010.

B. G. Choi, E. S. Cho, M. Y. Chung, K. y. Cheon and A. S. Park, "A femtocell power control scheme to mitigate interference using listening TDD frame," *The International Conference on Information Networking 2011 (ICOIN2011)*, Barcelona, 2011, pp. 241-244.

ETSI, L. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception, ETSI TS, 136(101), V10.3, 2011.

C.S. Vardhan, D. V. Ratnam, N. Bhagyasree and A. H. Dattu, *Analysis of path loss models of 4G femtocells*, 2014 Eleventh International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN), Vijayawada, pp. 1-6, 2014.

P. Mogensen et al., "LTE Capacity Compared to the Shannon Bound," 2007 IEEE 65th Vehicular Technology Conference - VTC2007-Spring, Dublin, 2007, pp. 1234-1238.

PHOTOS AND INFORMATION



Kotchakorn Phimpahu

received the B.Eng in telecommunication engineering from Suranaree University of Technology, Thailand in 2014. She is currently working on his M.Eng at the school of telecommunication engineering, faculty of engineering, Suranaree University of Technology. Her current interests include mobile wireless network design, optimization network performance.



Chitapong Wechtaison received B.Eng (2006) and M.Eng (2011) in Telecommunication Engineering from Suranaree University of Technology, Thailand. He received Ph.D. in Information and Communication Engineering, Functional Control Systems from Shibaura Institute of Technology, Japan in 2016. Currently he is a lecturer at the Faculty of Industrial Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Thailand



Monthippa Uthansakul received the BEng (1997) in Telecommunication Engineering from Suranaree University of Technology, Thailand; the MEng (1999) in Electrical Engineering from Chulalongkorn University, Thailand; and the PhD (2007) in Information Technology and Electrical Engineering from the University of Queensland, Australia. She received the Second Prize Young Scientist Award from the 16th International Conference on Microwaves, Radar, and Wireless Communications, Poland, in 2006.

The 11th SEATUC Symposium

Chutima Prommak received B.Eng (Hons) in Electrical Engineering from Khon Kaen University, Thailand in 1992. She received M.Sc. and Ph.D. in Telecommunications from University of Colorado at Boulder, CO, USA in 1998 and University of Pittsburgh, PA, USA in 2004 respectively.



RADIO RESOURCE BLOCK ASSIGNMENT FOR 4G-LTE FEMTOCELL NETWORKS IN MULTI-FLOOR BUILDINGS

Kotchakorn Phimpahu*, Monthippa Uthansakul, Chitapong Wechtaisong, and Chutima Prommak

Received: March 26, 2018; Revised: October 05, 2018; Accepted: October 12, 2018

Abstract

The requirement of a mobile data rate and ubiquitous network access for an indoor environment has been increasing continuously. A long term evolution allows femtocell base stations as a potential solution which can improve not only indoor coverage but also data rates. However, one of major challenges is the increase of inter-cell interference caused by the neighboring femtocell base stations that share the same radio resource blocks. In this paper, we formulate the optimization problem as a linear programming on radio resource block assignment for 4G-long term evolution femtocell networks in multi-floor buildings. We separate the problem formulation into 2 phases. The first phase aims to assign a user to the optimal femtocell base station in order to maximize a received signal strength for a user in the service area. Then, in the second phase, the objective is to maximize the number of the radio resource blocks that is assigned to each femtocell base station from the first phase's solution. Moreover, the proposed technique can guarantee the quality of services in terms of signal to interference plus noise ratio and signal coverage. The experimental results illustrate that the proposed technique can achieve 100% service coverage throughout the service area. Furthermore, the proposed technique can reduce the inter-cell interference and improve maximum downlink throughput by up to 86.11%.

Keywords: 4G-LTE femtocell network, radio resource assignment, inter-cell interference, linear programming

School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand. E-mail: M5840762@g.sut.ac.th, mtp@sut.ac.th, chitapong@sut.ac.th, cprommak@sut.ac.th

* Corresponding author

Suranaree J. Sci. Technol. 25(4):395-404

Introduction

The popularity of smartphones and tablets has increased widely in recent years due to the availability of mobile data rates and ubiquitous network access that has been increasing continuously. A survey has demonstrated that voice calls and data traffic mainly occur in the indoor environment (Zhang and de la Roche, 2011), such as the home, office, and department store. Due to severe wall penetration losses, the signal from the macro base stations has difficulty in reaching the indoor users. In order to satisfy the requirements of the indoor users, the 4G Long Term Evolution (LTE) offers the femtocell base stations (FBSs) that can improve not only indoor coverage but also data rates. The femtocell is a low-power home base station, which brings advantages to both mobile operators and mobile users, such as infrastructure costs, indoor coverage, and system throughput (Mahmud *et al.*, 2013).

In order to optimize the radio resource utilization, FBSs apply the frequency reuse approach to accomplish high data rates (Ahmed *et al.*, 2014). However, if the FBSs share the same radio resource in the building without careful planning, the FBS user will suffer severe inter-cell interference (ICI). A good approach to mitigate ICI in the femtocell network that uses orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) (Holma and Toskala, 2011) as a multiple-access technique is the assignment of a resource block. In addition, a resource block, which consists of several subcarriers, is the smallest radio resource unit of information for OFDMA transmission.

ICI is one of the important problems of femtocell networks. Some works in the literature have considered this issue. In Selim *et al.* (2012), the authors proposed soft and partial frequency reuse schemes for interference management in LTE femtocell networks considering some metrics such as throughput, quality of service, and fairness. In Liu *et al.* (2012), the authors presented a semi-static resource allocation scheme based on fractional frequency reuse using a heuristic algorithm which avoids interference on cell edge users for dense indoor femtocell deployments.

In order to improve the resource utilization in OFDMA networks, resource allocation schemes have been introduced. Saeed *et al.* (2015) presented a technique to solve control and the data channel resource allocation problem for OFDMA heterogeneous networks by using a linear binary integer programming heuristic algorithm in order to provide a high data rate for femtocell users while ensuring the certain level of quality of service for macrocell users. Estrada *et al.* (2013) proposed a joint base station selection and resource allocation model for macro-femtocell networks with interference mitigation that aims to maximize the network throughput by using linear programming. In Ebrahim *et al.* (2016), the authors presented the technique of a resource allocation for distributed and uncoordinated femtocell networks that maximizes cell capacity while avoiding inter-cell interference to neighboring cells. Varghese and Sudha (2015) conducted a joint subchannel and power allocation algorithm with throughput maximization for downlink of an OFDMA-based femtocell network by considering some constraints such as quality of service, data rate, and optimum power. In Liang *et al.* (2012), the authors presented a resource block assignment algorithm which avoids co-channel intercell interference and ensures service quality for femtocell networks by using a heuristic algorithm.

In a femtocell network, the signal to interference plus noise ratio (SINR) is important in defining the modulation technique for the user. However, the previous works have not considered the SINR requirement guarantee in an indoor scenario. Consequently, this paper aims to propose a radio resource block assignment for femtocell networks in multi-floor buildings. We formulate the optimization problem as the linear programming (LP) on radio resource block assignment. Our objective is to maximize the number of the radio resource blocks (RRBs) that is assigned to each FBS. To improve network performance, we consider the quality of services in terms of the signal coverage and the SINR requirement. Additionally, the user network throughput is also considered.

Method

We propose the LP (Winston and Goldberg, 2004) model to solve the radio resource block assignment problem (RRBAP) for 4G-LTE femtocell networks in multi-floor buildings. This work is divided into 2 phases. The first phase aims to assign a user to the optimal FBS in order to maximize the received signal strength for the user in the service area. Then, in the second phase, we aim to assign the total available RRB for all FBSs with an objective to maximize the number of the RRBs that is assigned to each FBS under the signal coverage and the SINR constraints. For the network performance analysis, we compare our technique with the graph coloring problem (GCP) technique presented in Liu *et al.* (2012).

RRBAP Technique

Phase 1: The Maximization of the Received Signal Strength Level

To improve the network performance, we need to find the optimal FBS that can provide

the maximum received signal strength for a signal test point (STP). Therefore, the objective of the first phase is to maximize the summation of the received signal strength at all STPs. This can be written as the objective function, as shown in Equation (1). Equations (2) and (3) are the model constraints. In addition, Table 1 shows the notation used in the model.

$$\text{Maximize } \sum_{h=1}^S \sum_{i=1}^B P_r(h, i) y_{hi} \quad (1)$$

Constraints:

$$\sum_{i=1}^B y_{hi} = 1 \quad , \forall h \in S \quad (2)$$

$$y_{hi} (P_r(h, i) - P_{rt}) \geq 0 \quad , \forall h \in S, \forall i \in B \quad (3)$$

Constraint (2) ensures that each h^{th} STP can have only 1 serving i^{th} FBS, but each i^{th} FBS can support multiple h^{th} STPs. Constraint (3) ensures that the received signal strength received at the h^{th} STP from the i^{th} FBS must be greater than the received signal strength threshold P_{rt} .

Table 1. Notations

Sets:	
B	A set of femtocell base stations (FBSs)
S	A set of signal test points (STPs)
R	A set of radio resource blocks (RRBs)
Decision variables:	
y_{hi}	A binary {0,1} variable that equals 1 if the STP h is assigned to FBS i , $h \in S$, and $i \in B$; 0 otherwise
α_{ik}	A binary {0,1} variable that equals 1 if the RRB k is assigned to FBS i , $k \in R$, and $i \in B$; 0 otherwise
x_{ik}^h	A binary {0,1} variable that equals 1 if RRB k is assigned to STP h in FBS i , $k \in R$, $h \in S$, and $i \in B$; 0 otherwise
Constant parameters:	
$P_r(h, i)$	The signal strength that a STP h receives from FBS i , $h \in S$, and $i \in B$
$P_r(h, i, k)$	The signal strength that a STP h receives from FBS i at RRB k , $h \in S$, $i \in B$, and $k \in R$
P_{rt}	The received signal strength threshold
γ_t	The SINR threshold
N_r	The number of RRBs
N_0	Thermal noise density
B	Bandwidth
Inf	Infinity

Phase 2: The Maximization of the Assigned RRBs

In order to mitigate ICI, the RRB may not be assigned to adjacent FBSs. Therefore, the goal of this phase is to explore the optimal assignment of the RRB for the FBSs from the first phase's solution. The objective of the second phase is to maximize the number of the RRBs that is assigned to each FBS. This can be written as the objective function, as shown in Equation (4).

$$\text{Maximize } \sum_{k=1}^R \sum_{i=1}^B \alpha_{ik} \quad (4)$$

Equational conditions can be divided into 3 sets of constraints, denoted as S1, S2, and S3. The S1 consists of the constraint that guarantees the upper bound of RRB assignment, as shown in Equation (5) while the S2 consists of constraints that ensure the signal coverage in the service area, as shown in Equations (6) to (8). In addition, the S3 consists of a constraint that ensures the SINR requirement in the service area, as shown in Equation (9).

Constraints:

S1: Upper Bound of RRB Assignment

$$1 \leq \sum_{k=1}^R \alpha_{ik} \leq N_r, \quad \forall i \in B \quad (5)$$

The constraint in Equation (5) ensures that the number of assigned k^{th} RRBs per i^{th} FBS must be at least 1 but no more than the maximum capacity of the RRB.

S2: Signal Coverage

$$\sum_{k=1}^R \sum_{i=1}^B x_{ik}^h \geq 1, \quad \forall h \in S \quad (6)$$

$$x_{ik}^h \leq y_{hi}, \quad \forall h \in S, \forall i \in B, \forall k \in R \quad (7)$$

$$x_{ik}^h \leq \alpha_{ik}, \quad \forall h \in S, \forall i \in B, \forall k \in R \quad (8)$$

The constraint in Equation (6) ensures that each h^{th} STP connects to at least 1 i^{th} FBS and receives at least 1 k^{th} RRB. The constraint in Equation (7) specifies that the h^{th} STP can connect to the i^{th} FBS if the i^{th} FBS is selected

in the first phase. The constraint in Equation (8) specifies that the h^{th} STP can connect to the i^{th} FBS if the i^{th} FBS is selected in the RRB assignment.

S3: SINR Requirement Guarantee

$$\begin{aligned} & \text{Inf} * (1 - x_{ik}^h) + \alpha_{ik} 10^{\left(\frac{P_r(h,i,k)}{10}\right)} \\ & \geq \gamma_t N_0 B + \gamma_t \sum_{\substack{\alpha=1 \\ \alpha \neq i}}^B \alpha_{\alpha k} 10^{\left(\frac{P_r(h,\alpha,k)}{10}\right)} \\ & , \forall h \in S, \forall i \in B, \forall k \in R \end{aligned} \quad (9)$$

The constraint in Equation (9) ensures that the SINR at the h^{th} STP from the i^{th} FBS at the k^{th} RRB must be greater than the SINR threshold γ_t .

GCP Technique

The graph coloring algorithm is a simple algorithm that finds the number of sub-bands for a femtocell in the in-building scenario. First, we construct the interference graph that can indicate the interference between 2 FBSs. In the interference graph, each node relates to a FBS and the edge connects 2 nodes representing the interference between 2 FBSs. Then, the graph coloring algorithm colors the nodes of the interference graph with the number of colors. Each node must choose a different color if there is an edge between them. As a result, it is expected that 2 FBSs that have an edge between them are not permitted to use the same sub-band in order to mitigate the ICI. However, the drawback of this technique is ineffective resource utilization.

Experimental Setup

In this section, we first explain the model of the building and parameters used in a numerical experiment. The path loss model used in this work will be discussed in Section B. Section C will introduce the SINR calculation used for the experimental results discussed in this work. Finally, the user throughput calculation will be discussed in Section C.

Description

Our experiments were set up in a 2-story building with each floor having dimensions of 75×75 m. Each floor has a different wall structure, as illustrated in Figures 1 and 2. The number of FBSs on the first and the second floor is 7 and 6, respectively. The STPs' granularity of 5 meters is considered in the service area to evaluate the received signal quality such as received signal strength, SINR, and user network throughput. There are a total of 392 STPs, with 196 STPs on each floor as represented by a plus symbol in Figures 1 and 2. Table 2 shows the parameters used in the numerical studies (European Telecommunications Standards Institute, 2011). Moreover, Table 3 presents the relationship between modulation techniques and the SINR threshold (Abdelhay *et al.*, 2015).

Path Loss Model

In order to compute the accurate received signal strength at STPs for the aforementioned building settings where the FBSs are deployed, we use the path loss model to calculate the attenuation of the signal. Therefore, this work uses the path loss model that has been recommended by the 3GPP (The 3rd Generation

Partnership Project) (Vardhan *et al.*, 2014). The path loss model is given in Equation (10).

$$PL = 40.7412 + 20\log_{10}(R) + 0.7d_{2d,indoor} + 18.5^{(n-2)(n+1)-0.4q} + qL_{nw} \quad (10)$$

where R is the distance between the STP and FBS, $d_{2d,indoor}$ is a wall thickness, n is the number of the building's floors, q is the number of wall separations of STP and FBS, and L_{nw} is the building wall penetration loss. Table 4 illustrates the typical value of wall loss (L_{nw}) (Zulkefly *et al.*, 2015).

SINR Calculation

Our goal is to ensure the SINR requirement while mitigating ICI in the service area. Furthermore, each STP is interfered by the neighboring FBSs which use the same RRBs. The downlink SINR of a STP from the i^{th} FBS at the k^{th} RRB is given by

$$SINR_{STP} = \frac{P_r(h,i,k)}{N_0B + \sum_{n \neq i}^{N_B} P_r(h,n,k)} \quad (11)$$

where $P_r(h, i, k)$ is the received signal strength of the h^{th} STP from the i^{th} FBS at the k^{th} RRB, N_0 is the thermal noise density, B is the bandwidth of each RRB, N_B is the number of

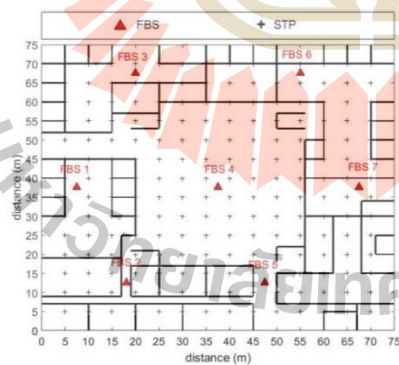


Figure 1. 1st floor of the building

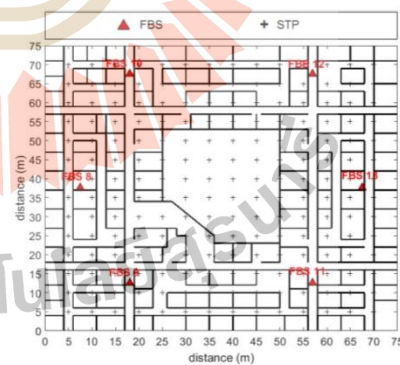


Figure 2. 2nd floor of the building

FBSs, and $P_r(h, a, k)$ is the received signal strength of the h^{th} STP from interfering the a^{th} FBS using the same k^{th} RRB. The received signal strength P_r is calculated from the formula as follows:

$$P_r \text{ (dBm)} = P_t \text{ (dBm)} - PL \text{ (dB)} \quad (12)$$

where P_t is the FBS transmission power in dBm and PL is the path loss in dB.

User Throughput Calculation

In our study, we evaluate the network performance in terms of the SINR and the user throughput. Therefore, the Shannon formula (Mogensen *et al.*, 2007) is adopted to estimate the user throughput in our study, as shown in Equation (13).

Table 2. Parameters used in numerical experiments

Parameters	Value
Height of FBSs	2 m
Height of STPs	0.8 m
Transmitted power	5 dBm
Carrier frequency	2.6 GHz
Antenna pattern	omnidirectional
Bandwidth	15 MHz
Number of RRBs	75
Thermal noise density	-174 dBm/Hz
SINR threshold	6 dB

Table 3. The relation between modulation techniques and SINR threshold

CQI	Modulation	Code rate	SINR threshold (dB)
1	QPSK	1/8	-6
2	QPSK	1/5	-4
3	QPSK	1/4	-2.1
4	QPSK	1/3	0
5	QPSK	1/2	2.1
6	QPSK	2/3	3.8
7	QPSK	4/5	6
8	16QAM	1/2	7.8
9	16QAM	2/3	9.9
10	16QAM	4/5	12.6
11	16QAM	2/3	15

Table 4. Relative permittivity of materials

Description	Value (dB)
Wood	1.99
Plasterboard	2.94
Brick	3.75
Concrete	5.31
Glass	6.27

and can guarantee the value of the SINR for all STPs that is greater than or equal to 6 dB. Moreover, the RRBAP technique can improve the service coverage by up to 19.14% compared to the GCP technique.

Figures 5 and 6 illustrate the cumulative distribution function (CDF) of the average downlink SINR and the CDF of the average downlink throughput at the STP, respectively. In Figure 5, considering the average downlink SINR 6 dB, the RRBAP technique can increase the average downlink SINR by up to 19.14% compared to the GCP technique. In order to achieve a 16-quadrature amplitude modulation (16QAM) modulation with a code rate of 2/3 that is the maximum modulation technique in Table 3, the SINR of the STP must be higher than or equal to 15 dB. We can observe that the number of STPs that can achieve 16QAM modulation with a code rate of 2/3 in the RRBAP technique and the GCP technique is 45% and 60% of all STPs, respectively. Although the GCP technique can obtain more numbers of STPs than the RRBAP technique by up to 15%, in this work the higher SINR may not be necessary

as we need the SINR of just 6 dB for a quadrature phase-shift keying (QPSK) modulation with a code rate of 4/5. In Figure 6, considering the cumulative probability 0.1, the average downlink throughput of the RRBAP technique (2.65 bps/Hz) is better than the GCP technique (1.25 bps/Hz).

Table 6 shows an average, a standard deviation (SD), and the guarantee service coverage of each technique. It can obviously be seen that the average of the average downlink SINR and the average downlink throughput from the GCP technique is greater than the RRBAP technique. Conversely, the standard deviation of the average downlink SINR and the average downlink throughput from the RRBAP technique is lower than the GCP technique. However, the GCP technique has the higher variance of the average downlink SINR and the average downlink throughput compared to our RRBAP technique. So, this leads to poor signal quality in some service areas. Furthermore, the RRBAP technique can provide 100% service coverage, which is higher than the GCP technique by up to 19.14%.

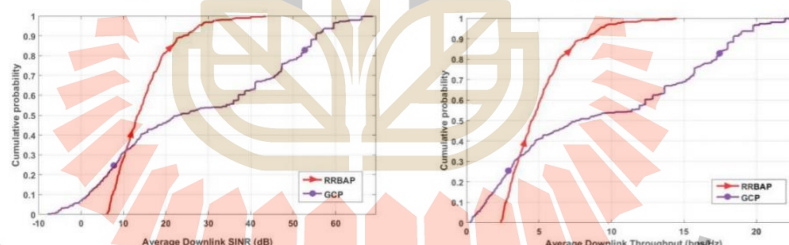


Figure 5. CDF of average downlink SINR at STP

Figure 6. CDF of average downlink throughput at STP

Table 6. Performance comparison of 2 techniques

Technique	Average downlink SINR (dB)		Average downlink throughput (Mbps)		Guarantee service coverage
	Average	SD	Average	SD	
RRBAP	14.80	6.82	5.01	2.19	100%
GCP	27.61	21.44	9.40	6.84	80.86%

Conclusions

In this paper, we have manipulated the ICI issue caused by the FBSs sharing the same RRBs. Furthermore, this issue degenerates the performance of mobile femtocell networks in an indoor environment. Therefore, we have proposed the radio resource block assignment for 4G-LTE femtocell networks in multi-floor buildings. We have formulated the problem as a LP problem. The objective is to maximize the number of the RRBs that is assigned to each FBS. In addition, our proposed technique can guarantee the quality of services in terms of the SINR and the signal coverage, and it can improve the user network throughput. Our experimental results have demonstrated that our proposed technique can solve the problem with constraints better than the GCP technique. Specifically, the proposed technique can achieve 100% service coverage throughout the service area. Moreover, this proposed technique can reduce the ICI and increase the maximum downlink throughput at FBS by up to 86.11% compared to the GCP technique.

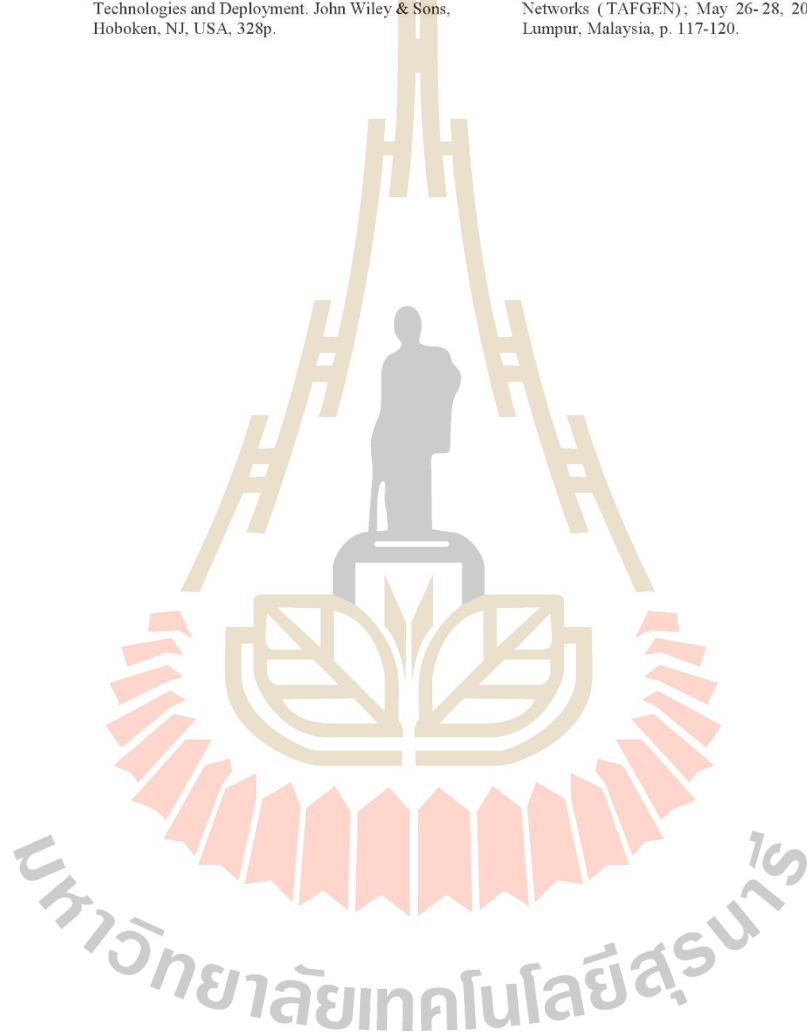
Acknowledgment

This work was supported by Suranaree University of Technology, Thailand.

References

- Abdelhay, E. H., Zaki, F. W., Kishk, S. S., and Moustafa, H. S. (2015). LTE-A multi-hop network with zero link overflow utilizing OTFWC scheduling. *International Transaction of Electrical and Computer Engineers System*, 3(1):19-29.
- Ahmed, A. U., Islam, M. T., and Ismail, M. (2014). A review on femtocell and its diverse interference mitigation techniques in heterogeneous network. *Wireless Pers. Commun.*, 78(1):85-106.
- Ebrahim, A., Alsusa, E., and Baidas, M. W. (2016). An uncoordinated frequency allocation scheme for future femtocell networks. *Proceedings of the 2016 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*; September 5-9, 2016, Paphos, Cyprus, p. 239-243.
- Estrada, R., Otrók, H., Dziong, Z., and Barada, H. (2013). Joint BS selection and resource allocation model for OFDMA macro-femtocell networks incorporating mobility. *Proceedings of the 2013 International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking (MoWNeT)*; August 19-21, 2013; Montreal, QC, Canada, p. 42-47.
- European Telecommunications Standards Institute. (2011). *Evolved Universal Terrestrial Radio Access, (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception. ETSI TS, 136(101):V10.3*. European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis Cedex, France, 235p.
- Holma, H. and Toskala, A. (2011). *LTE for UMTS: Evolution to LTE-Advanced*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 576p.
- Liang, Y. S., Chung, W. H., Yu, C. M., Zhang, H., Chung, C. H., Ho, C. H. and Kuo, S. Y. (2012). Resource block assignment for interference avoidance in femtocell networks. *Proceedings of the 2012 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*; September 3-6, 2012; Quebec City, QC, Canada, p. 1-5.
- Liu, J., Wu, J., Chen, J., Wang, P., and Zhang, J. (2012). Radio resource allocation in buildings with dense femtocell deployment. *Proceedings of the 21st International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)*; July 30 - Aug 2, 2012; Munich, Germany, p. 1-5.
- Mahmud, S. A., Khan, G. M., Zafar, H., Ahmad, K., and Behtani, N. (2013). A survey on femtocells: Benefits deployment models and proposed solutions in *J. Appl. Res. Technol.*, 11(5):733-754.
- Mogensen, P., Na, W., Kovács, I. Z., Frederiksen, F., Polkharival, A., Pedersen, K. I., and Kuusela, M. (2007). LTE capacity compared to the Shannon bound. *Proceedings of the 2007 IEEE 65th Vehicular Technology Conference - VTC2007-Spring*; April 22-25, 2007; Dublin, Ireland, p. 1.234-1.238.
- Saeed, A., Katranaras, E., Dianati, M., and Imran, M. A. (2015). Control and data channel resource allocation in macro-femto heterogeneous networks. *Proceedings of the 2015 International on Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*; August 24-28, 2015; Dubrovnik, Croatia, p. 1.272-1.276.
- Selim, M.M., El-Khany, M., and El-Sharkawy, M. (2012). Enhanced frequency reuse schemes for interference management in LTE femtocell networks. *Proceedings of the 2012 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)*; August 28-31, 2012; Paris, France, p. 326-330.
- Varghese, A. and Sudha, T. (2015). A resource allocation scheme for throughput maximization in OFDMA femtocell networks. *Proceedings of the 2015 International Conference on Control Communication & Computing India (ICCCI)*; November 19-21, 2015; Trivandrum, India, p. 407-412.
- Vardhan, C. S., Ratnam, D. V., Bhagyasree, N., and Dattu, A. H. (2014). Analysis of path loss models of 4G femtocells. *Proceedings of the 2014 11th International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN)*; September 11-13, 2014; Vijayawada, India, p. 1-6.

- Winston, W.L. and Goldberg, J.B. (2004). *Operations Research: Applications and Algorithms*. 4th ed. Thomson Brooks/ Cole, Belmont, CA, USA, 1440p.
- Zhang, J. and de la Roche, G. (2011). *Femtocells: Technologies and Deployment*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 328p.
- Zulkefly, N. R., Rahman, T. A., Al-Samman, A. M., Mataria, A.M., and Leow, C.Y. (2015). Indoor path loss model for 4G wireless network at 2.6 GHz. *Proceedings of the 2015 1st International Conference on Telematics and Future Generation Networks (TAFGEN)*; May 26-28, 2015; Kuala Lumpur, Malaysia, p. 117-120.



ประวัติผู้เขียน

นางสาวกชกร พิมพาหุ เกิดเมื่อวันที่ 24 พฤษภาคม พุทธศักราช 2536 ที่กรุงเทพมหานคร เริ่มศึกษาชั้นอนุบาลศึกษาปีที่ 1 – ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 จากโรงเรียนอัสสัมชัญนครราชสีมา และระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 – ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนมารีย์วิทยา นครราชสีมา จากนั้นจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีพุทธศักราช 2554 หลังจากสำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรีในปี พุทธศักราช 2558 เกียรตินิยมอันดับ 1 ได้มีความสนใจที่จะศึกษาต่อ ในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ด้านการออกแบบและวางแผนเครือข่าย จึงได้สมัครเข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุนสนับสนุนจากทุนกิตติบัตินิต

ระหว่างศึกษาได้เสนอบทความเข้าร่วมประชุมในงานประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39 (EECON-39) ณ โรงแรมเดอะริเจนท์ อะอัมบิซิเนสฮิลล์ หัวหิน จังหวัดเพชรบุรี วันที่ 2 - 4 พฤศจิกายน 2559 และงานประชุมวิชาการนานาชาติ 11th Southeast ASEAN Technical University Consortium Symposium ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีโฮจิมินห์ซิตี้ ประเทศเวียดนาม วันที่ 13 - 14 มีนาคม 2560 อีกทั้งได้ตีพิมพ์วารสารวิชาการระดับนานาชาติจำนวน 1 ฉบับ ในวารสาร Suranaree Journal of Science and Technology (SJST) โดยมีรายละเอียดดังภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี