

การสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่
ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น



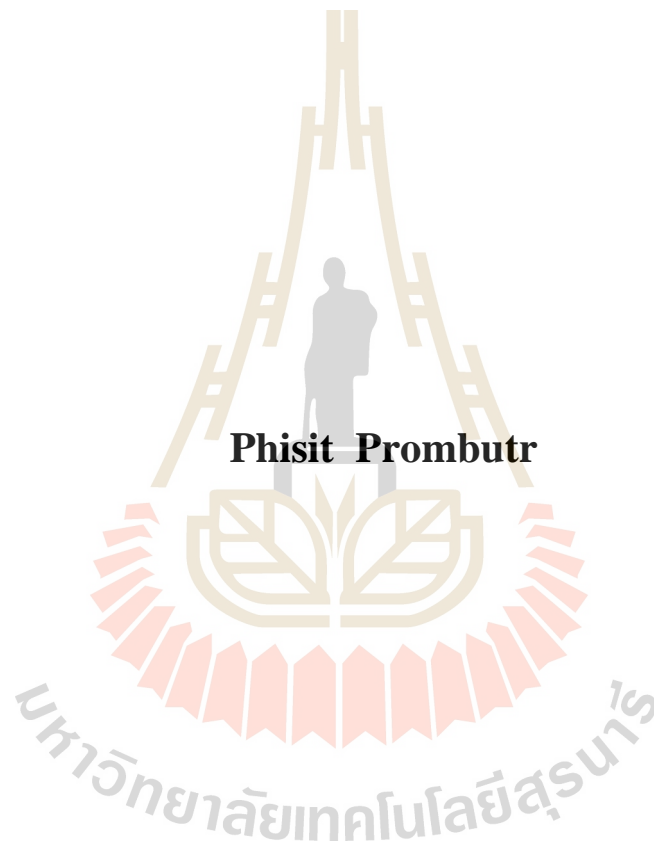
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2560

**CREATING INTERFERENCE GRAPH FOR
FREQUENCY CHANNEL ALLOCATION
OF INDOOR FEMTOCELL NETWORKS
IN MULTI-FLOOR BUILDINGS**



Phisit Prombutr

**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 2017

การสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่
ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็น ส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผศ. ดร. วิภาวี หัตถกรรม)

ประธานกรรมการ



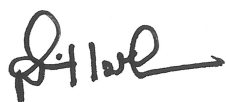
(รศ. ดร. มนต์ทิพย์ภา อุچارสกุล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



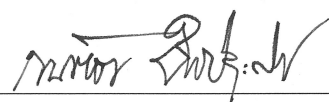
(ผศ. ดร. ปิยากรณ์ มีสวัสดิ์)

กรรมการ



(ศ. ดร. สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

พิธิษฐ์ พรหมบุตร : การสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณ
ความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น (CREATING
INTERFERENCE GRAPH FOR FREQUENCY CHANNEL ALLOCATION OF
INDOOR FEMTOCELL NETWORKS IN MULTI-FLOOR BUILDINGS) อาจารย์ที่
ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล, 184 หน้า.

การใช้งานเครื่องมือสื่อสารไร้สายในปัจจุบันนั้นมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เมื่อมีการใช้
งานมากขึ้น ส่งผลให้มีความต้องการใช้งานด้าน โมบายโทรศัพทมากขึ้น ความหนาแน่นของการใช้
งานในเครือข่ายการให้บริการก็เพิ่มสูงขึ้น จึงได้มีการนำเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์เข้ามาช่วยเพิ่ม
ประสิทธิภาพในการทำงานให้กับเครือข่าย โดยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในด้านของปริมาณความจุ
ของเครือข่ายการให้บริการและเพิ่มพื้นที่การครอบคลุมของสัญญาณให้กับเครือข่ายในพื้นที่การ
ให้บริการ เมื่อมีการใช้งานสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในพื้นที่การให้บริการ ปัญหาที่ตามมานั้นคือ
ปัญหาเกี่ยวกับการรบกวนกันของสัญญาณระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ดังนั้นการกำหนด
ช่องสัญญาณความถี่ด้วยวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ให้
เหมาะสม จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยลดสัญญาณรบกวนและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของ
เครือข่าย

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟม
โตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นด้วยการใช้เทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด ที่มีการ
พิจารณาถึงเงื่อนไขในการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ใน
เครือข่าย จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ถึงคุณภาพสัญญาณ พื้นที่การครอบคลุมของคุณภาพการ
ให้บริการในเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ทำการพิจารณาและแสดงการรบกวนกันของ
สัญญาณจากแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในพื้นที่การให้บริการ โดยการใช้โปรแกรม MATLAB
Simulink และ โปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization studio

ผลจากการคำนวณหาคำตอบของเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่พัฒนาขึ้นมา
ช่วยในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ส่งผลให้เครือข่ายสถานี
ฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น มีประสิทธิภาพในด้านของคุณภาพสัญญาณในพื้นที่
การให้บริการสูงขึ้น เมื่อมีการเปรียบเทียบกับเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดวิธีอื่น

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อนักศึกษา พิธิษฐ์ พรหมบุตร
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล

PHISIT PROMBUTR : CREATING INTERFERENCE GRAPH FOR
FREQUENCY CHANNEL ALLOCATION OF INDOOR FEMTOCELL
NETWORKS IN MULTI-FLOOR BUILDINGS. THESIS ADVISOR :
ASSOC. PROF. MONTHIPPA UTHANSAKUL, Ph.D., 184 PP.

FEMTOCELL NETWORKS/FREQUENCY CHANNEL ALLOCATION/
INTERFERENCE GRAPH

At present, wireless communication devices are extensively used. When they expand the popularity, the demand for mobile traffic increases. The utilization of the network service also significantly increases. Therefore, femtocell technology is added to increase the efficiency of the network operation. It improves the capacity of the network service and increases the signal coverage to the service area of the wireless network. When implementing femtocell base station in the service area, there is the problem of interference signals between femtocell base stations. Thus, the appropriate frequency channel determination by the frequency channel allocation is introduced to each femtocell base station. It is an important factor to reduce interference and maximize network performance.

This thesis proposes frequency channel allocation based on the interference graph creating technique for indoor femtocell networks in multifloor buildings with frequency channel allocation criteria consideration. The performance of network service is analyzed. There are the areas covered by the signal from femtocell base station and the interference signals from femtocell base station and signal quality in service areas. The proposed technique and analyzation are solved using MATLAB Simulink and IBM ILOG CPLEX Optimization Studio.

The results of the proposed creating interference graph technique can support frequency channel allocation to each femtocell base station. Moreover, the performance of the studied femtocell networks in terms of signal quality is increased, compared to other creating interference graph techniques in the literature review.



School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2017

Student's Signature สิริพงศ์ อรรณพวงษ์

Advisor's Signature Mr.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตินา พรหมมาก และรองศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกูล อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสทางการศึกษาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด และอาจารย์ ดร.ชิตพงศ์ เวชไชยสงค์ สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาที่ช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรคค์ รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกูล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา และอาจารย์ ดร.เศรษฐวิทย์ ภูฉายา อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่าน ที่ให้การอบรมเลี้ยงดูและให้การสนับสนุนทางการศึกษา โดยเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดาและญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบันจนสำเร็จการศึกษาไปได้ด้วยดี

พิสิษฐ์ พรหมบุตร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ต
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	4
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น	5
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย	5
1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน	5
1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย	6
1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย	7
1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	7
1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล	7
1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	7
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ	8
1.8 นวัตกรรมของงานวิจัยนี้	8
1.9 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์	8

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2	ปฏิศัณั้วรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 10
2.1	กล่าวนำ..... 10
2.2	ปฏิศัณั้วรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 11
2.3	โครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีเฟมโทเซลล์..... 15
2.4	แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร..... 16
2.5	มาตรฐานช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้ในเทคโนโลยี 4G-LTE..... 18
2.6	การจัดสรรช่องสัญญาณความถี่..... 20
3	การวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณของเครือข่ายเฟมโทเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น
	เมื่อใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดในขั้นตอนการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ 27
3.1	แนวคิดสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรความถี่ ภายในอาคารแบบหลายชั้น..... 27
3.2	การทดลองและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..... 28
3.2.1	รูปแบบการทดลองและพื้นที่ในการทดลอง..... 28
3.2.2	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..... 30
3.2.3	แบบจำลองการลดทอนสัญญาณ..... 30
3.2.4	การสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด..... 32
3.2.5	รูปแบบการซ้อนทับของพื้นที่..... 33
3.3	การวิเคราะห์ผลและประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพสัญญาณ ของเครือข่ายเฟมโทเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นเมื่อใช้ กราฟสัญญาณแทรกสอดในขั้นตอนการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่..... 34
3.3.1	กราฟสัญญาณแทรกสอด..... 34
3.3.2	กราฟแสดงการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่..... 37
3.3.3	กราฟแสดงคุณภาพสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ..... 40
3.3.4	กราฟแสดงฟังก์ชันหนาแน่นความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณ ในพื้นที่ให้บริการ..... 43
3.4	สรุปผลการทดลอง..... 46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4	เทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น	47
4.1	แนวคิดสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด	47
4.2	การกำหนดปัญหาในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด	49
4.3	โปรแกรมในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด	51
4.4	โปรแกรมช่วยหาคำตอบสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด	53
5	การทดลองและการวิเคราะห์ผล	55
5.1	การทดลองเพื่อสาธิตเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์	55
5.1.1	การออกแบบการทดลอง	56
5.1.2	การทดลองในพื้นที่การทดลองแบบอาคารวิชาการ 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	57
5.1.3	การทดลองในพื้นที่การทดลองแบบอาคารบรรณสาร 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	60
5.1.4	ผลการทดลอง	63
5.1.5	วิเคราะห์ผลการทดลอง	66
5.1.5.1	พื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1	66
5.1.5.2	พื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1	71
5.2	การทดลองเพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ด้วยกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยนำเสนอเกี่ยวกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน	76
5.2.1	การออกแบบการทดลอง	76
5.2.2	ผลการทดลอง	78

สารบัญ (ต่อ)

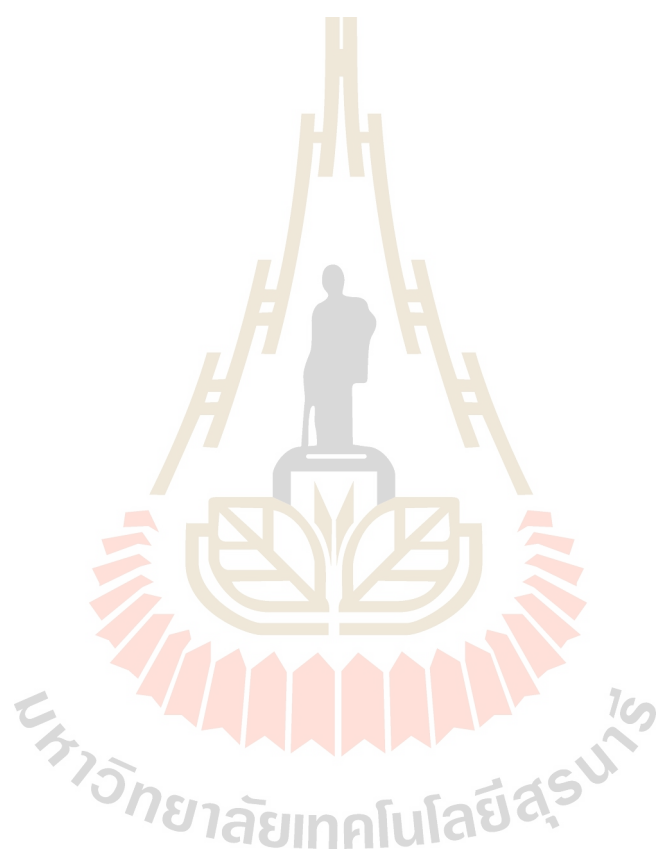
	หน้า
5.2.3 การเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล.....	90
5.2.3.1 พื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1.....	90
5.2.3.2 พื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1.....	101
5.3 การทดลองเพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดสรร ช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ด้วย กราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยนำเสนอเกี่ยวกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน.....	113
5.3.1 การออกแบบการทดลอง.....	113
5.3.2 ผลการทดลอง.....	115
5.3.3 การเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล.....	127
5.3.3.1 พื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1.....	127
5.3.3.2 พื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1.....	138
5.4 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกราฟสัญญาณแทรกสอด สำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ภายในอาคารแบบหลายชั้น จากทั้งสามเทคนิค.....	149
5.4.1 สรุปผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคต่างๆ ในกรณีของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	149
5.4.2 สรุปผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคต่างๆ ในกรณีของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.....	156
6 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	162
6.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	162
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	163
6.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	164
รายการอ้างอิง.....	165

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	168
ประวัติผู้เขียน.....	184



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ค่าพารามิเตอร์การสูญเสียของสัญญาณเมื่อทะลุผ่านกำแพงประเภทต่างๆ.....17
2.2	ตารางการใช้งานแบนด์และช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้ในเทคโนโลยี 4G-LTE.....19
2.3	ตารางแสดงคำนิยามของตัวแปรที่ใช้ในสมการคณิตศาสตร์.....24
3.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....30
3.2	สรุปผลของค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกราฟแสดงฟังก์ชันหนาแน่น ความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ แบ่งเป็นของแต่ละชั้น ของแต่ละกรณีทั้ง 6 กรณี.....44
3.3	สรุปผลของค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกราฟแสดงฟังก์ชันหนาแน่น ความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณในพื้นที่ให้บริการเป็นภาพรวม ของแต่ละกรณีทั้ง 6 กรณี.....45
5.1	ค่าพารามิเตอร์ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด ของพื้นที่การศึกษาแบบอาคารวิชาการ 1.....60
5.2	ค่าพารามิเตอร์ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด ของพื้นที่การศึกษาแบบอาคารบรรณสาร 1.....63
5.3	สรุปผลของกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ Overlap technique.....66
5.4	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด และสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1.....69
5.5	สรุปคุณภาพของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน ในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งของ สถานีฐานเฟม โดเซลล์ทั้ง 2 แบบ.....71
5.6	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด และสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1.....73
5.7	สรุปคุณภาพของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน ในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งของ สถานีฐานเฟม โดเซลล์ทั้ง 2 แบบ.....76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.8	ค่าพารามิเตอร์ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การศึกษา แบบอาคารวิชาการ 1	77
5.9	ค่าพารามิเตอร์ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การศึกษา แบบอาคารบรรณสาร 1	77
5.10	สรุปผลของกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด โดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน	90
5.11	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด และสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 18 สถานีฐาน	95
5.12	สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร (18 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user	96
5.13	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและ สัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 11 สถานีฐาน	101
5.14	สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) (11 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user	101
5.15	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด และสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 15 สถานีฐาน	106

สารบัญตาราง (ต่อ)

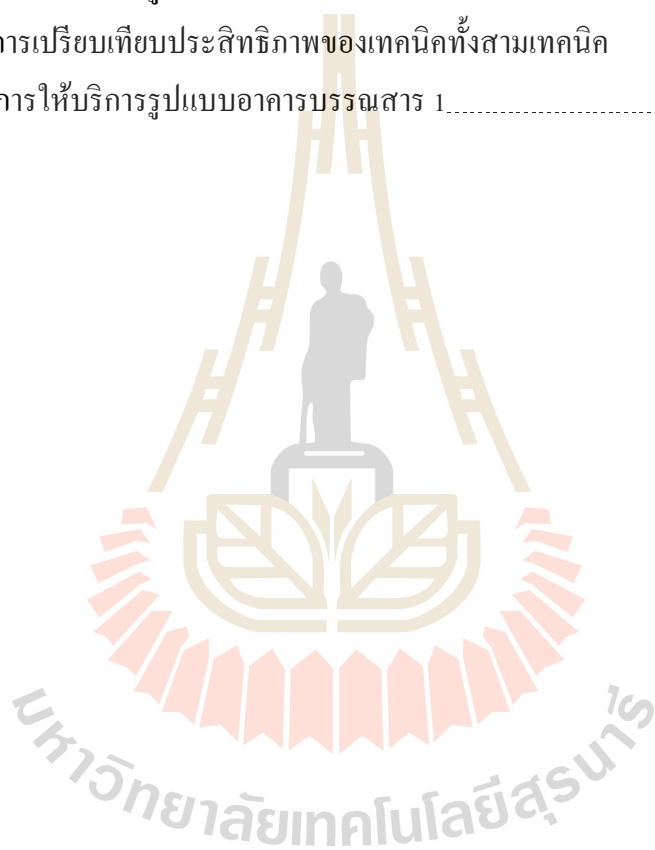
ตารางที่	หน้า	
5.16	สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 โดยกาหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(15 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user.....	107
5.17	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด และสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกาหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 7 สถานีฐาน.....	112
5.18	สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 โดยกาหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) (7 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user.....	112
5.19	ค่าพารามิเตอร์ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การศึกษาแบบอาคารวิชาการ 1.....	113
5.20	ค่าพารามิเตอร์ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การศึกษาแบบอาคารบรรณสาร 1.....	114
5.21	สรุปผลของกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน.....	126
5.22	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด และสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกาหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 18 สถานีฐาน.....	132
5.23	สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 โดยกาหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(18 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user.....	132

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.24 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด และสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้ำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 11 สถานีฐาน	137
5.25 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้ำ, 2559) (11 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user	138
5.26 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด และสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 15 สถานีฐาน	143
5.27 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(15 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user	144
5.28 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด และสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้ำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 7 สถานีฐาน	148
5.29 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (7 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user	149

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า	
5.30	สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคทั้งสามเทคนิค ในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1.....	155
5.31	สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคทั้งสามเทคนิค ในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1.....	161



สารบัญรูป

ตารางที่	หน้า
2.1	โครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีเฟม โดเซลล์..... 15
3.1	โครงสร้างของพื้นที่การทดลองแบบสองชั้น..... 29
3.2	โครงสร้างของพื้นที่การทดลองแบบสามชั้น..... 29
3.3	สถานีฐานเฟม โดเซลล์ 1 กับ 2..... 33
3.4	สถานีฐานเฟม โดเซลล์ 1 กับ 6..... 33
3.5	สถานีฐานเฟม โดเซลล์ 1 กับ 12..... 33
3.6	กราฟสัญญาณแทรกสอดกรณีที่ 1..... 34
3.7	กราฟสัญญาณแทรกสอดกรณีที่ 2..... 35
3.8	กราฟสัญญาณแทรกสอดกรณีที่ 3..... 35
3.9	กราฟสัญญาณแทรกสอดกรณีที่ 4..... 36
3.10	กราฟสัญญาณแทรกสอดกรณีที่ 5..... 36
3.11	กราฟสัญญาณแทรกสอดกรณีที่ 6..... 37
3.12	การกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟม โดเซลล์ในกรณีที่ 1..... 38
3.13	การกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟม โดเซลล์ในกรณีที่ 2..... 38
3.14	การกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟม โดเซลล์ในกรณีที่ 3..... 38
3.15	การกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟม โดเซลล์ในกรณีที่ 4..... 39
3.16	การกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟม โดเซลล์ในกรณีที่ 5..... 39
3.17	การกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟม โดเซลล์ในกรณีที่ 6..... 40
3.18	Contour plot of SINR กรณีที่ 1..... 41
3.19	Contour plot of SINR กรณีที่ 2..... 41
3.20	Contour plot of SINR กรณีที่ 3..... 41
3.21	Contour plot of SINR กรณีที่ 4..... 42
3.22	Contour plot of SINR กรณีที่ 5..... 42
3.23	Contour plot of SINR กรณีที่ 6..... 43

สารบัญรูป (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.24 กราฟเปรียบเทียบความหนาแน่นความน่าจะเป็นของอัตราส่วนสัญญาณ ต่อสัญญาณรบกวน จำนวน 6 กรณี.....	44
4.1 ขั้นตอนการทำงานของปัญหาในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด.....	50
4.2 ส่วนประกอบของปัญหาในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด.....	51
4.3 หน้าต่างของโปรแกรม MATLAB and Simulink.....	53
5.1 พื้นที่การทดลอง.....	57
5.2 ตำแหน่งของสถานีฐานเฟม โดเซลล์และจุดทดสอบสัญญาณบนพื้นที่การให้บริการ แบบอาคารวิชาการ 1.....	59
5.3 ตำแหน่งของสถานีฐานเฟม โดเซลล์และจุดทดสอบสัญญาณบนพื้นที่การให้บริการ แบบอาคารบรรณสาร 1.....	62
5.4 กราฟสัญญาณแทรกสอดในอาคารวิชาการ 1.....	64
5.5 กราฟสัญญาณแทรกสอดในอาคารบรรณสาร 1.....	64
5.6 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน ในอาคารวิชาการ 1.....	68
5.7 กราฟ C.D.F. แสดง SINR จาก Overlap technique ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(18 สถานีฐาน) และการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(11 สถานีฐาน).....	70
5.8 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน ในอาคารบรรณสาร 1.....	73
5.9 กราฟ C.D.F. แสดง SINR จาก Overlap technique ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(15 สถานีฐาน)และการกำหนด ตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) (7 สถานีฐาน).....	75
5.10 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟม โดเซลล์ 18 สถานีฐาน.....	81

สารบัญญรูป (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.11 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยการใช้สมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 11 สถานีฐาน.....	83
5.12 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 15 สถานีฐาน.....	85
5.13 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยการใช้สมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 7 สถานีฐาน.....	87
5.14 กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการ รูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดยติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 18 สถานีฐาน.....	88
5.15 กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการ รูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) โดยติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 11 สถานีฐาน.....	88
5.16 กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการ รูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดยติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 15 สถานีฐาน.....	89
5.17 กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการ รูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) โดยติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 7 สถานีฐาน.....	89
5.18 กราฟสัญญาณแทรกสอดที่สร้างขึ้นด้วยวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดจากงานวิจัย (Shiyan, Zh., et al. (2015)) ในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 และ อาคารบรรณสาร 1.....	89

สารบัญรูป (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.19 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในอาคารวิชาการ 1.....	93
5.20 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(18 สถานีฐาน).....	93
5.21 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(18 สถานีฐาน).....	94
5.22 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในอาคารวิชาการ 1.....	98
5.23 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้ำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟม โดเซลล์ 11 สถานีฐาน.....	99
5.24 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้ำ, 2559) (11 สถานีฐาน).....	100
5.25 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในอาคารบรรณสาร 1.....	104
5.26 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(15 สถานีฐาน).....	104

สารบัญรูป (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.27 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(15 สถานีฐาน).....	105
5.28 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน ในอาคารบรรณสาร 1.....	109
5.29 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้ำ, 2559) (7 สถานีฐาน).....	110
5.30 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้ำ, 2559) (7 สถานีฐาน).....	111
5.31 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 18 สถานีฐาน.....	117
5.32 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยใช้สมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้ำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 11 สถานีฐาน.....	119
5.33 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 15 สถานีฐาน.....	121
5.34 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยใช้สมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญค้ำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 7 สถานีฐาน.....	123

สารบัญญรูป (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.35	กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดยติดตั้งสถานีฐานเฟม โดเซลล์ 18 สถานีฐาน.....124
5.36	กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) โดยติดตั้งสถานีฐานเฟม โดเซลล์ 11 สถานีฐาน.....125
5.37	กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดยติดตั้งสถานีฐานเฟม โดเซลล์ 15 สถานีฐาน.....125
5.38	กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) โดยติดตั้งสถานีฐานเฟม โดเซลล์ 7 สถานีฐาน.....126
5.39	กราฟสัญญาณแทรกสอดที่สร้างขึ้นด้วยวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดจากงานวิจัย (Wei, J., et al. (2015)) ในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 และ อาคารบรรณสาร 1.....126
5.40	Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในอาคารวิชาการ 1.....129
5.41	กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(18 สถานีฐาน).....130
5.42	กราฟเปรียบเทียบ SINR กับ SINR threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(18 สถานีฐาน).....131

สารบัญรูป (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.43	Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน ในอาคารวิชาการ 1.....135
5.44	กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 11 สถานีฐาน.....135
5.45	กราฟเปรียบเทียบ SINR กับ SINR threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) (11 สถานีฐาน).....136
5.46	Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน ในอาคารบรรณสาร 1.....140
5.47	กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(15 สถานีฐาน)..141
5.48	กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(15 สถานีฐาน).....142
5.49	Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน ในอาคารบรรณสาร 1.....146
5.50	กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) (7 สถานีฐาน).....146

สารบัญรูป (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.51 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญกล้า, 2559) (7 สถานีฐาน).....	147
5.52 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ทั้งสามเทคนิคของอาคารวิชาการ 1 โดยกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(18 สถานีฐาน).....	151
5.53 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ทั้งสามเทคนิคของอาคารวิชาการ 1 โดยกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญกล้า, 2559) (11 สถานีฐาน).....	151
5.54 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบทั้งสามเทคนิค ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร (18 สถานีฐาน).....	154
5.55 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบทั้งสามเทคนิคของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญกล้า, 2559) (11 สถานีฐาน).....	154
5.56 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ทั้งสามเทคนิคของอาคารบรรณสาร 1 โดยกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร (15 สถานีฐาน).....	157
5.57 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ทั้งสามเทคนิคของอาคารบรรณสาร 1 โดยกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญกล้า, 2559) (7 สถานีฐาน).....	157
5.58 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบทั้งสามเทคนิค ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร (15 สถานีฐาน).....	160
5.59 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบทั้งสามเทคนิคของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญกล้า, 2559) (7 สถานีฐาน).....	160

บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาในบทนี้ กล่าวถึงความเป็นมาของปัญหาและเหตุจูงใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งประกอบด้วย ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย แนวทางในการดำเนินงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และส่วนสุดท้ายคือส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใช้เครื่องมือสื่อสารไร้สายในปัจจุบันนั้นมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายเป็นอย่างมาก โดยในปี พ.ศ. 2558 มีผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือทั่วโลกประมาณ 7300 ล้านหน่วย โดยมีผู้ที่ใช้งานในระบบ LTE(Long term evolution) อยู่ประมาณ 1000 ล้านหน่วย และได้มีการคาดการณ์ไว้ว่า ในปี พ.ศ.2564 จะมีผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น โดยมีผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือทั่วโลก 9100 ล้านหน่วย มีผู้ที่ใช้งานในระบบ LTE ประมาณ 4100 ล้านหน่วย เมื่อมีผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือเพิ่มมากขึ้น การใช้งานด้านโมบายทราฟฟิค (Mobile Traffic) ก็เพิ่มขึ้นตามจำนวนของผู้ใช้งาน ซึ่งจากการเปรียบเทียบการใช้งานโมบายทราฟฟิคในช่วงไตรมาสที่ 4 ของปีพ.ศ.2557 และ พ.ศ.2558 พบว่าการใช้งานโมบายทราฟฟิคมีการใช้งานมากขึ้นถึง 65% (Ericsson (2016)) จะเห็นได้ว่า เมื่อมีความต้องการในการใช้งานโมบายทราฟฟิคที่เพิ่มมากขึ้น ความหนาแน่นการใช้งานในเครือข่ายการให้บริการก็เพิ่มมากขึ้น จึงได้มีการนำเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการให้กับเครือข่าย โดยช่วยทางด้านการเพิ่มปริมาณความจุของเครือข่ายการให้บริการและเพิ่มพื้นที่การครอบคลุมของพื้นที่การให้บริการ แต่ปัญหาที่ตามมานั้นก็คือ ปัญหาเกี่ยวกับการรบกวนกันของสัญญาณระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์ (Goldsmith, A.,2004) ดังนั้นวิธีที่จะช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับการรบกวนกันของสัญญาณระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์ คือใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ในส่วนนี้จึงเป็นส่วนที่สำคัญที่ควรพิจารณา เพราะการรบกวนกันของสัญญาณระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสัญญาณและการทำงานของผู้ใช้งานภายในบริเวณพื้นที่การให้บริการ

ปัญหาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ เกิดขึ้นจากการที่สถานีฐานเฟมโตเซลล์แต่ละสถานีฐานในเครือข่ายพื้นที่การให้บริการนั้นมีการใช้ช่องสัญญาณความถี่เหมือนกัน ส่งผลทำให้

สัญญาณที่ส่งออกมาทำให้เกิดการรบกวนกัน วิธีที่จะแก้ปัญหานั้นคือการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ให้แตกต่างกัน แต่ถ้ากำหนดให้ทุกสถานีฐานเฟมโตเซลล์มีช่องสัญญาณความถี่ไม่ซ้ำกัน ก็จะทำให้สิ้นเปลืองช่องสัญญาณความถี่มากเกินไป ดังนั้นจึงต้องมีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่โดยการใช้อักรูปสัญญาณแทรกสอด (Interference graph) (Zhang, K., Wang, Y., Lin, C., Shen, X., and Wang, J., 2011) ขึ้นมาเพื่อทำการตรวจสอบว่าสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่อยู่ในเครือข่ายนั้นเกิดการรบกวนกันของสัญญาณระหว่างสถานีฐานหรือไม่ และได้นำเทคนิคการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่ (Frequency reuse) (Goldsmith, A., 2004) เพื่อช่วยให้ลดจำนวนการใช้ช่องสัญญาณความถี่ในเครือข่ายการให้บริการของสถานีฐานเฟมโตเซลล์นั้นๆ

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรม พบว่ามีงานวิจัยได้ให้ความสนใจในการศึกษาการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ในระบบเซลล์ลูลาร์ (Cellular systems) (Goldsmith, A., 2004) ซึ่งมีการพิจารณาสองแบบคือ การนำความถี่กลับมาใช้ใหม่แบบแบ่งรหัสและแบบแบ่งเวลาหรือแบบแบ่งความถี่ โดยการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่แบบแบ่งรหัส (Frequency reuse in code-division systems) ขอมรับการนำช่องสัญญาณกลับมาใช้ใหม่ในทุกๆเซลล์ ในแบบนี้จะมีสัญญาณรบกวนทั้งแบบสัญญาณรบกวนจากทุกผู้ใช้ในเซลล์เดียวกัน (Intracell interference) หรือทั้งจากผู้ใช้ในเซลล์อื่น (Intercell interference) ส่วนการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่แบบแบ่งเวลาหรือแบบแบ่งความถี่ (Frequency reuse in time-division systems or Frequency reuse in frequency-division systems) จะไม่มีสัญญาณรบกวนจากทุกๆผู้ใช้ในเซลล์เดียวกัน แต่จะมีสัญญาณรบกวนจากทุกๆเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน (Intercell (co-channel) interference) และจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมยังพบว่ามีหลายงานวิจัยได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการศึกษาการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่แบบภายนอกอาคาร ได้แก่ งานวิจัยของ Shi, J.r., and Zhu, Q. (2012) ศึกษาเกี่ยวกับ การลดสัญญาณรบกวนและการจัดสรรความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ โดยนำเสนออัลกอริทึมการระบายสีกราฟ (Graph colouring algorithm) สำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณ และมีการสร้างกราฟแสดงสัญญาณรบกวนของเฟมโตเซลล์ โดยวิธีที่นำเสนอสามารถปรับปรุงเฟมโตเซลล์ทรูพุท (Femtocell throughput) และ ทรูพุทรวม (Total throughput) ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยของ Selim, M. M., El-Khamy, M., and El-Sharkawy, M. (2012) ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่โดยการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ ซึ่งพิจารณาในเครือข่ายมาโครเซลล์-เฟมโตเซลล์แบบภายนอกอาคาร โดยได้มีการนำเสนอเทคนิคการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่แบบซอฟท์ (Soft frequency reuse) เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดภายในเครือข่าย โดยวิธีที่นำเสนอมานั้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมให้สูงขึ้น งานวิจัยของ Bouras, C., Kavourgias, G., Kokkinos, V., and Papazois, A. (2012)

ศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการลดสัญญาณแทรกสอดของสถานีฐานในเครือข่าย โดยมีการนำเสนอเทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดของสถานีฐาน ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มค่าของทราฟฟิค (Throughput) ให้กับเครือข่ายที่พิจารณาได้ดีขึ้น และจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมยังพบว่า มีหลายงานวิจัยได้ให้ความสนใจในการศึกษาการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่แบบภายในอาคาร ได้แก่ งานวิจัยของ Liu, J., Wu, J., Chen, J., Wang, P., and Zhang, J. (2012) ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น ซึ่งเกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยงานวิจัยได้นำเสนอวิธีการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่ (Fractional frequency reuse) เพื่อลดสัญญาณแทรกสอด และมีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่โดยใช้ ฮิวริสติก อัลกอริทึม เพื่อลดจำนวนช่องสัญญาณความถี่ที่จะใช้ในเครือข่ายที่พิจารณา เพื่อเพิ่มคุณภาพสัญญาณในเครือข่ายที่พิจารณาให้ดีขึ้น งานวิจัยของ Cao, G., Yang, D., An, R., Ye, X., Zheng, R., and Zhang X. (2011) ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานภายในอาคาร สำหรับการดาวน์โหลดในระบบ LTE โดยวิธีที่นำเสนอประกอบไปด้วย อัลกอริทึมในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่และการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่โดยมีการใช้กราฟสัญญาณแทรกสอด ซึ่งวิธีการที่นำเสนอ นั้นสามารถทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของสถานีฐานที่พิจารณาให้ดีขึ้น งานวิจัยของ Uygungelen, S., Auer, G., and Bharucha, Z. (2011) ศึกษาเกี่ยวกับการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่ในเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยใช้วิธีการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่แบบ Graph-based dynamic ที่เป็นอัลกอริทึมที่พัฒนามาจากทฤษฎีกราฟ (Graph theory) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์และหลีกเลี่ยงสัญญาณแทรกสอดของเครือข่ายที่พิจารณา และจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมยังพบว่า มีงานวิจัยได้ให้ความสนใจในการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพสัญญาณภายในอาคาร งานวิจัยของ Vardhan, C.S., Ratnam, D.V., Bhagyasree, N., and Datte, A.H. (2014) ศึกษาเกี่ยวกับพารามิเตอร์ต่างๆที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสัญญาณของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ซึ่งได้แก่ รูปแบบของการสูญเสียตามระยะทาง (Path loss models) สิ่งกีดขวางภายในอาคารระหว่างภาครับและภาคส่งของสถานีฐาน เป็นต้น ซึ่งที่กล่าวมาข้างต้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ที่จะนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่แบบภายในอาคาร

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ พบว่าจากงานวิจัยที่ได้ศึกษามานั้น มีงานวิจัยที่ได้ให้ความสนใจพัฒนาและปรับปรุงเทคนิคเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ทั้งแบบภายนอกอาคารและภายในอาคาร เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเครือข่ายที่พิจารณา โดยบางงานวิจัยจัดสรร

ช่องสัญญาณความถี่ด้วยเทคนิควิธีการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่และบางงานวิจัยใช้การจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ด้วยการใช้กราฟสัญญาณแทรกสอด ซึ่งผู้วิจัยได้สนใจนำแนวคิดมาปรับปรุงและพัฒนาการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่โดยการนำวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดมาปรับปรุง ดังนั้นงานวิจัยที่น่าเสนอนี้ จึงมุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาแนวทางการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ด้วยการใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น เพื่อที่จะลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์และลดจำนวนช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้ในเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่พิจารณา ทำให้คุณภาพสัญญาณของเครือข่ายที่พิจารณามีประสิทธิภาพสูงขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นที่เหมาะสมกับเครือข่ายในพื้นที่การให้บริการ
- 1.2.3 เพื่อวิเคราะห์ เปรียบเทียบและประเมินคุณภาพเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นที่ได้พัฒนาขึ้นมา

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 สถานีฐานเฟมโตเซลล์ ทำหน้าที่คล้ายกับอุปกรณ์ Access point
- 1.3.2 สถานีฐานเฟมโตเซลล์สามารถส่งสัญญาณข้ามชั้นได้
- 1.3.3 สถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่มีการเชื่อมต่อสัญญาณแทรกสอด (Interference Link) ระหว่างสถานีฐาน จะไม่สามารถใช้ช่องสัญญาณความถี่เดียวกันได้
- 1.3.4 กราฟสัญญาณแทรกสอด จะขึ้นอยู่กับพื้นที่การซ้อนทับของความแรงสัญญาณที่ส่งออกมาจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยมีการกำหนดค่าความแรงสัญญาณที่ซ้อนทับ เป็นเกณฑ์ในการเกิดสัญญาณแทรกสอดกันระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์
- 1.3.5 กราฟสัญญาณแทรกสอดส่งผลต่อจำนวนการใช้ช่องสัญญาณความถี่และส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในพื้นที่การให้บริการ

- 1.3.6 สภาพแวดล้อมภายในบริเวณพื้นที่การให้บริการ เช่น กำแพง สิ่งกีดขวางต่างๆภายในอาคาร จะส่งผลกระทบต่อความแรงสัญญาณที่ส่งออกมาจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ที่จะนำไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1.4.1 เครือข่ายที่ใช้พิจารณาในงานวิจัยนี้เป็นเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ทำงานบนระบบ 4G LTE
- 1.4.2 สถานีฐานเฟมโตเซลล์ในงานวิจัยนี้ถูกกำหนดตำแหน่งการติดตั้งไว้แล้ว
- 1.4.3 จุดทดสอบสัญญาณถูกกำหนดแบบกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอให้ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการซึ่งจุดทดสอบสัญญาณนั้น ใช้สำหรับวัดคุณภาพความแรงสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในพื้นที่ให้บริการ
- 1.4.4 การวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณในพื้นที่การให้บริการทำได้โดยการใช้แบบจำลองการสูญเสียตามระยะทาง (Path loss model) ตามมาตรฐานของ 3GPP (The third generation partnership project) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ในกับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคาร

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาโครงสร้าง หลักการทำงานและสถาปัตยกรรมพื้นฐานของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์
- 1.5.2 ศึกษาบริษัทผู้วางโครงข่ายและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิทยานิพนธ์
- 1.5.3 พัฒนาเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่เหมาะสมกับพื้นที่การให้บริการที่ได้ทำการทดลองให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
- 1.5.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณภาพของกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์จากเทคนิคที่ได้พัฒนากับเทคนิคอื่น

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน
- 1) สํารวจบริษัทผู้วางโครงข่ายและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

- 2) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น
- 3) ศึกษาเทคนิคสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น
- 4) ศึกษาการเขียนโปรแกรมสำหรับเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นเพื่อการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่เหมาะสมกับพื้นที่การให้บริการ
- 5) ศึกษาโปรแกรมสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นจากข้อ 4
- 6) พัฒนาโปรแกรมสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นที่ได้พัฒนาขึ้น
- 7) วิเคราะห์ เปรียบเทียบและประเมินคุณภาพของเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้นมา

1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) ศึกษาเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น
- 3) พัฒนาเทคนิคที่ใช้สำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น
- 4) ใช้โปรแกรมสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น

- 5) วิเคราะห์ เปรียบเทียบและประเมินคุณภาพของเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นมาเทียบกับเทคนิคอื่นๆ

1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการสื่อสารโทรคมนาคม อาคารเครื่องมือ 11 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)
- 2) โปรแกรม MATLAB
- 3) โปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio
- 4) โปรแกรม Microsoft Office (Word, Excel)

1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) เก็บรวบรวมผลการทดลองจากการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น โดยเทคนิคที่พัฒนาขึ้น กับเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดแบบอื่นๆ โดยเปรียบเทียบ มีอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด และสัญญาณรบกวนจากผลการทดลองของแต่ละเทคนิค

1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยกับเทคนิคอื่น และทำการสรุปผลออกมาในรูปแบบของรูปภาพและข้อมูลตารางเปรียบเทียบเชิงตัวเลข

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.7.1 เป็นแนวทางในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น และสามารถ

นำไปพัฒนาเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่เหมาะสมกับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์

1.7.2 กราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้จากการออกแบบและพัฒนาในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่เพื่อให้เกิดการใช้งานช่องสัญญาณความถี่ที่เหมาะสมกับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์

1.8 วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้ได้ทำการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น โดยการใช้กราฟสัญญาณแทรกสอด ซึ่งทำการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารที่ทำการพิจารณาให้เกิดความเหมาะสมที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยกระบวนการทำงานของการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ มีส่วนประกอบหลักๆ ได้แก่ การสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดและการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่เหมาะสม ซึ่งจากผลที่ได้จากการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์โดยใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้จากงานวิจัยนี้ จะเป็นการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ได้อย่างเหมาะสมที่สุด ที่สามารถทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการบริการให้กับพื้นที่การให้บริการที่พิจารณา และเพิ่มคุณภาพของสัญญาณสำหรับผู้ใช้งานในพื้นที่ให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.9 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 6 บท ดังนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำ โดยกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัยและข้อมูลเบื้องต้นของงานวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรม ที่ได้ทำการศึกษาและค้นคว้า ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานวิจัยและทฤษฎีเบื้องต้นต่างๆที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

บทที่ 3 กล่าวถึง การทดลองเบื้องต้นเพื่อการวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณของเครือข่ายเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นเมื่อใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดในขั้นตอนการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่

บทที่ 4 กล่าวถึงแนวคิดในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดเพื่อการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ

เงื่อนไขในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่และโปรแกรมในการช่วยการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์

บทที่ 5 กล่าวถึง การทดลองเพื่อสาธิตเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ การทดลองเพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ได้นำเสนอกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน และเปรียบเทียบกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน การสรุปผลของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นของทั้งสามเทคนิค

บทที่ 6 กล่าวถึงการสรุปผลการวิจัย ปัญหา ข้อเสนอแนะและแนวทางในการแก้ปัญหา



บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรม และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานที่สูงขึ้น จำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลในส่วนของปริทัศน์วรรณกรรม ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และทำความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ที่ใช้ในงานวิจัย รวมไปถึงโครงสร้างและการทำงานต่างๆของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ เพื่อเข้าใจถึงการทำงานเบื้องต้นในการทำงานของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ และทำความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ เพื่อนำไปเป็นแนวคิดในการออกแบบเทคนิควิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น ซึ่งเนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงหัวข้อต่างๆดังต่อไปนี้ หัวข้อที่ 2.1 กล่าวนำ หัวข้อที่ 2.2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หัวข้อที่ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีของเฟมโตเซลล์ หัวข้อที่ 2.4 แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร หัวข้อที่ 2.5 มาตรฐานช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้ในเทคโนโลยี 4G-LTE และ หัวข้อที่ 2.6 การจัดสรรช่องสัญญาณความถี่

2.1 กล่าวนำ

เทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ (Femtocell technology) มีการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เพราะค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์นั้นค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ขยายสัญญาณประเภทอื่น (Nagashree et al., 2013) โดยเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์นอกจากมีจุดเด่นในด้านของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่ต่ำแล้ว ยังมีจุดเด่นในด้านของการขยายสัญญาณในพื้นที่การให้บริการเพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องจุดอับของสัญญาณในพื้นที่การให้บริการ ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงขึ้น ซึ่งโครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์มีส่วนประกอบหลักๆคือ ส่วนชุมสาย (Core network) และ ส่วนเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ (Femtocell network) และหลักการทำงานของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ จะได้อธิบายในหัวข้อที่ 2.3 ดังนั้นการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเครือข่ายในบริเวณพื้นที่การให้บริการให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด จำเป็นต้องมีการศึกษาและทำความเข้าใจในโครงสร้างพื้นฐานและหลักการทำงานของ

เทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพสัญญาณในเครือข่ายที่ทำการพิจารณา โดยในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การออกแบบเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้เหมาะสม โดยการนำกราฟสัญญาณแทรกสอด (Interference graph) เข้ามาช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดีขึ้น

2.2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับการพิจารณาการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นนั้น จำเป็นที่จะต้องศึกษาปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อศึกษาโครงสร้างและการทำงานของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นและเป็นแนวทางในการออกแบบสำหรับในงานวิจัยนี้ ซึ่งจากการศึกษาปรัชญ่วรรณกรรมที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.2.1 งานวิจัยของ Shi, J.r., and Zhu, Q. (2012) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการบรรเทาหรือลดสัญญาณแทรกสอดการจัดสรรสเปกตรัมอย่างมีประสิทธิภาพ

ลักษณะงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการบรรเทาหรือลดทอนสัญญาณแทรกสอดระหว่าง Macrocell mobile station (mMSs) กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ และการจัดสรรสเปกตรัมอย่างมีประสิทธิภาพ โดยในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ด้วยการใช้ Graph colouring based clustering algorithm ภายใต้เงื่อนไขของเกณฑ์อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน (SINR) ของ mMSs โดยอัลกอริทึมจะทำการกำหนดช่องสัญญาณความถี่เพื่อใช้ในการกำหนดให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ตามโครงสร้างของกราฟสัญญาณแทรกสอด โดยแต่ละ Femtocell mobile station (fMS) จะถูกจัดสรรสเปกตรัมแบบไดนามิก งานวิจัยนี้ใช้อัลกอริทึมในการปรับปรุง Cluster เพื่อรับรอง SINR ของ mMSs และเพิ่มประสิทธิภาพทรูพุทของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถลด Outage probability ของ mMSs รวมไปถึงปรับปรุงทรูพุทรวมของเครือข่าย

ประเด็นที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษาวิจัยนี้ มีการนำเทคนิค Graph colouring based clustering algorithm มาใช้ในการจัดสรรสเปกตรัมหรือช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ และมีการนำกราฟสัญญาณแทรกสอดมาเป็นเงื่อนไขด้วย ซึ่งสามารถนำแนวคิดไปปรับปรุงและพัฒนาเทคนิควิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.2.2 งานวิจัยของ Selim, M. M., El-Khamy, M., and El-Sharkawy, M. (2012) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่โดยใช้วิธีการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่

ลักษณะของงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่าย Hybrid macrocell-femtocell แบบภายนอกอาคาร โดยการใช้เทคนิคการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดภายในเครือข่าย ซึ่งเทคนิคที่งานวิจัยนี้นำเสนอคือ การนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่แบบซอฟต์แวร์(Soft frequency reuse) และผลการทดลองที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่น ๆ ผ่านตัวชี้วัดต่างๆ เช่น ทROUGHPUT (Throughput) คุณภาพการบริการ(Quality of service) เป็นต้น ซึ่งจากผลการทดลองนั้นจะส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของเครือข่ายสูงขึ้น

ประเด็นที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัย พบมีการนำเทคนิคการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่ เพื่อใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานภายในเครือข่ายแบบภายนอกอาคาร โดยสามารถที่จะนำเทคนิคนี้ไปเป็นแนวคิดในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด เพื่อนำไปปรับใช้กับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ ซึ่งจะทำได้ประสิทธิภาพของเครือข่าย

2.2.3 งานวิจัยของ Bouras, C., Kavourgiyas, G., Kokkinos, V., and Papazois, A. (2012) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการลดสัญญาณแทรกสอดของสถานีฐานในเครือข่าย

ลักษณะของงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการลดสัญญาณแทรกสอดในเครือข่าย เพราะเกิดปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณระหว่างสถานีฐาน ส่งผลให้ความจุ (Capacity) และ THROUGHPUT (Throughput) ในเครือข่ายลดลง โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดของสถานีฐานและเพิ่มประสิทธิภาพของ THROUGHPUT ให้กับเครือข่าย

ประเด็นที่สามารถพัฒนาต่อคือ งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การลดสัญญาณแทรกสอดของเครือข่าย โดยการใช้เทคนิคการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่นั้นจะช่วยให้ได้ค่า THROUGHPUT ของเครือข่ายสูงขึ้น ซึ่งสามารถนำแนวคิดนี้ไปปรับใช้ในเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่โดยใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้แก่เครือข่ายที่พิจารณา

2.2.4 งานวิจัยของ Liu, J., Wu, J., Chen, J., Wang, P., and Zhang, J. (2012) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น

ลักษณะของงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ซึ่งเกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ส่งผลให้คุณภาพสัญญาณนั้นลดลง ในงานวิจัยนี้มีการนำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยใช้วิธีการนำช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่(Fractional frequency reuse) เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์ และมีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่โดยการใช้ Node-colouring heuristic algorithm เพื่อลดจำนวนการใช้งานของช่องสัญญาณความถี่ให้เหลือน้อยที่สุด จากการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่จะส่งผลให้คุณภาพสัญญาณมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ประเด็นที่สามารถพัฒนาต่อ จากการศึกษางานวิจัยนี้ มีการใช้เทคนิคการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดและการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยใช้ฮิวริสติก อัลกอริทึม อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ไม่ได้นำเสนอวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่จะนำไปปรับใช้เป็นเงื่อนไขสำคัญในการกำหนดการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ ซึ่งสามารถนำฮิวริสติก อัลกอริทึมมาปรับใช้ได้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายให้ดียิ่งขึ้น

2.2.5 งานวิจัยของ Cao, G., Yang, D., An, R., Ye, X., Zheng, R., and Zhang X. (2011). เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานภายในอาคาร

ลักษณะของงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐาน สำหรับการดาวน์โหลดในระบบ Long term evolution(LTE) ซึ่งประกอบไปด้วยอัลกอริทึมในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่และการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่ด้วยการใช้วิธีการกราฟสัญญาณแทรกสอด โดยในส่วนแรกเพื่อกำจัดสัญญาณแทรกสอดจากสถานีฐานข้างเคียง ซึ่งจากวิธีการที่งานวิจัยได้นำเสนอนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสถานีฐานให้ดียิ่งขึ้น

ประเด็นที่สามารถพัฒนาต่อ งานวิจัยนี้มีการนำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐาน ที่ประกอบไปด้วยการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่และการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่าย โดยสามารถนำแนวคิด

เบื้องต้นในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่โดยใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายให้ดีขึ้น

2.2.6 งานวิจัยของ Uygungelen, S., Auer, G., and Bharucha, Z. (2011) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่ในเครือข่ายสถานีฐานเฟมโทเซลล์

ลักษณะของงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่โดยการใช้วิธีที่เรียกว่า วิธีการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่แบบ Graph-based dynamic โดยวัตถุประสงค์ของเทคนิคนี้คือการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานแบบไดนามิก เพื่อที่จะปรับปรุงทรูพุทของผู้ใช้งานแต่ไม่ทำให้ทรูพุทรวมของเครือข่ายลดลง ซึ่งเทคนิคที่งานวิจัยนำเสนอ นั้นปรับปรุงหรือพัฒนามาจาก อัลกอริทึมการระบายสีกราฟ (Graph colouring algorithm) โดยเทคนิคดังกล่าวจะช่วยลดสัญญาณแทรกสอดภายในเครือข่าย

ประเด็นที่สามารถพัฒนาต่อ งานวิจัยนี้ใช้เทคนิค Graph-based dynamic frequency reuse เพื่อจัดสรรช่องสัญญาณความถี่และลดสัญญาณแทรกสอดภายในเครือข่าย โดยมีการใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดเข้ามาช่วยในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ ซึ่งในส่วนนี้สามารถนำเทคนิคนี้มาปรับปรุงและใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น ที่จะนำมาใช้ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดเพื่อการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.2.7 งานวิจัยของ Vardhan, C.S., Ratnam, D.V., Bhagyasree, N., and Dattu, A.H. (2014) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพสัญญาณของสถานีฐานเฟมโทเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น

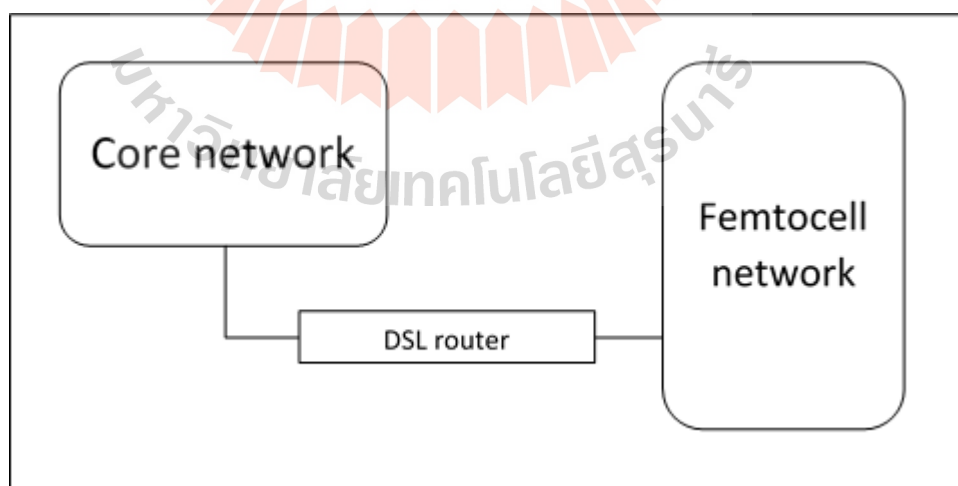
ลักษณะของงานวิจัย เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสัญญาณของสถานีฐานเฟมโทเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น โดยได้มีการพิจารณาถึงพารามิเตอร์ต่างๆที่จะส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง เช่น รูปแบบของการสูญเสียตามระยะทาง (Path loss models) จำนวนของสิ่งกีดขวางหรือกำแพงที่อยู่ระหว่างภาครับและภาคส่ง (Number of walls) ค่าของอัตราการสูญเสียของสิ่งกีดขวางหรือกำแพง (Wall penetration loss) รวมไปถึงระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง (Distances) เป็นต้น จากที่กล่าวมานั้นล้วนแต่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงานและส่งผลกระทบต่อคุณภาพสัญญาณของสถานีฐานเฟมโทเซลล์

ประเด็นที่สามารถพัฒนาต่อคืองานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นถึงปัจจัยต่างๆรวมไปถึงพารามิเตอร์ที่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสัญญาณของสถานีฐานเฟมโทเซลล์ และได้มีการแสดง

สมการรูปแบบของการสูญเสียตามระยะทาง ซึ่งสามารถนำไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ได้

2.3 โครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์

สถานีฐานเฟมโตเซลล์เป็นสถานีฐานขนาดเล็ก ที่มีการออกแบบเพื่อใช้ในที่พักอาศัย อาคารพาณิชย์หรือห้างสรรพสินค้า โดยสถานีฐานเฟมโตเซลล์จะเชื่อมต่อกับผู้ให้บริการเครือข่ายผ่าน ทางบรอดแบนด์ สถานีฐานเฟมโตเซลล์ช่วยขยายพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณในพื้นที่การให้บริการ โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นจุดอับสัญญาณ (Baseshankar et al., 2012) ซึ่งในปัจจุบันปัญหาด้านคุณภาพสัญญาณในพื้นที่การให้บริการภายในอาคาร จึงได้มีการนำเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์เข้ามาช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น อาทิเช่น ปัญหาด้านจุดอับของสัญญาณ ปัญหาสัญญาณในพื้นที่การให้บริการคุณภาพต่ำ เป็นต้น โดยได้มีการติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในพื้นที่การให้บริการ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน โดยการนำเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยี 4G-LTE จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของสถานีฐานเฟมโตเซลล์นั้นมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้น ในงานวิจัย (Kojima et al., 2014) มีการรวบรวมงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการทำงานร่วมกันระหว่างเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์กับเทคโนโลยี 4G-LTE และมีการแสดงข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการรับส่งข้อมูลของผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยโครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์สามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์

โครงสร้างพื้นฐานของเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์และหลักการทำงาน แสดงดังรูปที่ 2.1 แบ่งออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ส่วนชุมสาย(Core network) และส่วนเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์(Femtocell network) โดยส่วนชุมสายเป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่ายทั้งหมด หลักๆมีหน้าที่คือสร้างเส้นทางการส่งข้อมูลจากเครือข่ายหนึ่งไปยังเครือข่ายอื่น โดยส่วนประกอบภายในส่วนชุมสายนั้นประกอบไปด้วย ผู้ให้บริการด้านโทรศัพท์มือถือ (Mobile operator) ที่เชื่อมต่อกับผู้ให้บริการด้านอินเทอร์เน็ต(Internet service provider) เพื่อที่จะสามารถทำการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังส่วนเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ได้ และในส่วนเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ มีสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ทำการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยมีการเชื่อมต่อผ่านทางเคเบิลโมเด็มและสายชนิด Digital Subscriber Line (DSL) เพื่อให้สถานีฐานเฟมโตเซลล์สามารถทำการกระจายสัญญาณไปยังผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการ โดยในงานวิจัยของเราจะทำการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ที่เหมาะสมกับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ทำการพิจารณา เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้น

2.4 แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางในอาคาร

โครงสร้างภายในอาคารต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น อาคารพาณิชย์ อาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้าหรือโรงแรมต่างๆ ล้วนแต่มีความซับซ้อนของโครงสร้างภายในอาคารที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อความแรงสัญญาณภายในบริเวณอาคารที่ทำการพิจารณา ซึ่งจากความซับซ้อนนั้น ทำให้การที่จะสร้างแบบจำลองสำหรับอธิบายการสูญเสียที่แม่นยำนั้นไม่สามารถทำได้ โดยปกติแบบจำลองการสูญเสียจะได้จากการคำนวณวิเคราะห์และการวัดจริง เพราะสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากอุปกรณ์ในภาคส่งนั้น ถูกส่งผ่านสิ่งแวดล้อมต่างๆภายในอาคาร อาทิเช่น กำแพง ผนัง ไม้ ประตู กระจก เป็นต้น รวมไปถึงพื้นระหว่างชั้นภายในอาคาร โดยสิ่งกีดขวางที่กล่าวมาในข้างต้น ส่งผลให้สัญญาณนั้นถูกลดทอนลงไปในขั้นนั้นในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น จำเป็นต้องใช้แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางภายในอาคาร เพื่อเป็นข้อมูลตั้งต้นสำหรับการคำนวณค่าความแรงสัญญาณที่ภาครับได้รับจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางภายในอาคารจากงานวิจัยของ (Vardhan et al., 2014) นำมาใช้คำนวณหาค่าความแรงสัญญาณที่แต่ละจุดทดสอบสัญญาณ โดยแบบจำลองการสูญเสียนั้นเป็นแบบจำลองการสูญเสียตามมาตรฐานของหน่วยงาน The third generation partnership project(3GPP) โดยหน่วยงานนี้เป็นหน่วยงานที่ร่วมมือกันระหว่างหน่วยงานมาตรฐานการสื่อสาร

ของโทรคมนาคม เพื่อกำหนดมาตรฐานกลางในการผลิตและพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเครือข่าย 3G ซึ่งสามารถนำไปปรับใช้กับเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ที่ทำหน้าที่ในย่านเครือข่าย 4G-LTE ในสภาพแวดล้อมแบบภายในอาคาร ซึ่งอธิบายสมการการหาค่ากำลังภาครับ สมการที่(2.1) และสมการแบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางภายในอาคาร สมการที่ (2.2) ได้ดังนี้

$$P_r(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) - P_l(\text{dB}) \quad (2.1)$$

โดยที่

P_r	คือ ค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐาน
P_t	คือ กำลังส่งสัญญาณของสถานีฐาน (ในงานวิจัยนี้กำหนดเป็น 10 dBm)
P_l	คือ ค่าความสูญเสียจากแบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางภายในอาคาร

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

โดยที่

R	คือ ระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง (เมตร)
$d_{2D,indoor}$	คือ ค่าความหนาของผนังภายในอาคาร (ในงานวิจัยนี้กำหนดเป็น 0.18)
n	คือ จำนวนชั้นภายในอาคารที่สัญญาณทะลุผ่าน
q	คือ จำนวนกำแพงภายในอาคารที่สัญญาณทะลุผ่าน
L_{iw}	คือ ค่าความสูญเสียของสัญญาณที่ทะลุผ่านกำแพง

ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์การสูญเสียของสัญญาณเมื่อทะลุผ่านกำแพงประเภทต่างๆ

พารามิเตอร์	ค่าความสูญเสีย (dB)
คอนกรีตเสริมเหล็ก	18.3
คอนกรีต	5.31
กระจก	6.27
พลาสติกบอร์ด	2.94

จากสมการแบบจำลองการสูญเสียจากสิ่งกีดขวางภายในอาคาร สมการที่ (2.2) นั้นประกอบไปด้วย ค่าการสูญเสียของสัญญาณที่เกิดขึ้นภายใต้อากาศว่าง(Free space path loss) ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ภาคส่งและอุปกรณ์ภาครับ (มีหน่วยเป็นเมตร) ค่าการสูญเสียของสัญญาณเมื่อมีการทะลุผ่านผนัง(เกิดค่าสูญเสียของสัญญาณที่ 0.7 dB ต่อ 1 เมตร) โดยค่าความหนาของผนังกำหนดไว้ที่ 0.18 เมตร (พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร, 2522) ค่าการสูญเสียของสัญญาณเมื่อมีการทะลุผ่านชั้นของอาคาร โดยค่าพารามิเตอร์ในการทดลอง(Empirical parameter) กำหนดเป็น 0.46 (Namgeol et al.,2010) และค่าสูญเสียของสัญญาณเมื่อมีการทะลุผ่านกำแพง โดยค่าพารามิเตอร์ของกำแพงประเภทต่างๆ (Zulkefly et al., 2015) แสดงในตารางที่ 2.1

2.5 มาตรฐานช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้ในเทคโนโลยี 4G-LTE

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายเข้ามาสู่ในยุคของเทคโนโลยี 4G-LTE ส่งผลให้การสื่อสารแบบไร้สายมีประสิทธิภาพในการทำงานต่อผู้ใช้งานที่สูงขึ้น โดยเฉพาะในด้านของความเร็วในการรับและส่งข้อมูล ที่มีความเร็วมากขึ้นเมื่อเทียบกับเทคโนโลยี 3G ตามมาตรฐาน 3GPP โดยการทำงานทางเทคนิคของเทคโนโลยี 4G-LTE จะมีการใช้ส่งสัญญาณหรือการใช้ช่องสัญญาณความถี่ในสองลักษณะคือ แบบ FDD (Frequency division duplex) หรือ แบบ TDD (Time division duplex) และใน LTE มีการใช้เทคโนโลยี OFDMA(Orthogonal frequency division multiple access) ในการทำงานด้านความถี่ โดย OFDMA นั้นมาจากเทคโนโลยี OFDM(Orthogonal frequency division multiplex) มีพื้นฐานมาจาก FDM (Frequency division multiplex) เป็นการแบ่งช่องสัญญาณความถี่ออกจากกันเพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณไม่รบกวนกัน และทำการรับส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในเทคโนโลยี LTE มีหนึ่งวิธีการวางแผนเครือข่ายที่สำคัญนั้นคือการจัดสรร PCI(Physical cell identity) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากร โดยที่ PCI ในเครือข่าย LTE แต่ละไซต์จะมีการจัดสรร PCI ที่แตกต่างกันเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเครือข่าย

เทคโนโลยี LTE มีการปรับใช้งานแบนด์วิธตั้งแต่ 1.4 – 20 เมกะเฮิร์ตซ์ ความกว้างของช่องสัญญาณ (Channel bandwidth) จะแบ่งเป็น PRB(Physical resource block) ขนาดเล็ก ซึ่ง PRB นั้นเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของทรัพยากรคลื่นวิทยุ(Radio resource) ที่จะถูกจัดสรรให้กับผู้ใช้งาน ซึ่งจะมีการแบ่งแบนด์ (Band) และช่องสัญญาณความถี่ต่างๆในการใช้งาน ในแต่ละภูมิภาคหรือประเทศจะมีการใช้งานแบนด์และช่องสัญญาณความถี่ในเทคโนโลยี 4G-LTE ที่แตกต่างกัน ในปัจจุบันประเทศไทยมีการจัดสรรการใช้งานช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้ในเทคโนโลยี 4G-LTE ทั้งหมด 3 แบนด์ ได้แก่ 1) แบนด์ 1 ช่องสัญญาณความถี่ 2,100 เมกะเฮิร์ตซ์ แบ่งเป็น 12

ช่องสัญญาณความถี่ ความกว้างของช่องสัญญาณความถี่แต่ละช่องที่ 5 เมกะเฮิร์ตซ์ มีช่วงช่องสัญญาณความถี่รับของสถานีฐานที่ 1920 – 1980 เมกะเฮิร์ตซ์ และช่องสัญญาณความถี่ส่งของสถานีฐานที่ 2110 – 2170 เมกะเฮิร์ตซ์ (สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, 2555) บริษัทที่ให้บริการคือ AIS (ความกว้างของแบนด์วิธ 15 เมกะเฮิร์ตซ์), DTAC (ความกว้างของแบนด์วิธ 15 เมกะเฮิร์ตซ์) และ Truemove H (ความกว้างของแบนด์วิธ 15 เมกะเฮิร์ตซ์) 2) แบนด์ 3 ช่องสัญญาณความถี่ 1,800 เมกะเฮิร์ตซ์ แบ่งเป็น 15 ช่องสัญญาณความถี่ ความกว้างของช่องสัญญาณความถี่แต่ละช่องที่ 5 เมกะเฮิร์ตซ์ มีช่วงช่องสัญญาณความถี่รับของสถานีฐานที่ 1710 - 1785 เมกะเฮิร์ตซ์ และช่องสัญญาณความถี่ส่งของสถานีฐานที่ 1805 - 1880 เมกะเฮิร์ตซ์ (สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, 2558) บริษัทที่ให้บริการคือ AIS (ความกว้างของแบนด์วิธ 15 เมกะเฮิร์ตซ์), DTAC (ความกว้างของแบนด์วิธ 25 เมกะเฮิร์ตซ์) และ Truemove H (ความกว้างของแบนด์วิธ 15 เมกะเฮิร์ตซ์) และ 3) แบนด์ 8 ช่องสัญญาณความถี่ 900 เมกะเฮิร์ตซ์ แบ่งเป็น 4 ช่องสัญญาณความถี่ ความกว้างของช่องสัญญาณความถี่แต่ละช่องที่ 5 เมกะเฮิร์ตซ์ มีช่วงช่องสัญญาณความถี่รับของสถานีฐานที่ 895 - 915 เมกะเฮิร์ตซ์ และช่องสัญญาณความถี่ส่งของสถานีฐานที่ 940 - 960 เมกะเฮิร์ตซ์ (สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, 2555) บริษัทที่ให้บริการคือ AIS (ความกว้างของแบนด์วิธ 10 เมกะเฮิร์ตซ์) และ Truemove H (ความกว้างของแบนด์วิธ 10 เมกะเฮิร์ตซ์) ซึ่งสามารถสรุปตารางการใช้งานแบนด์และช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้ในเทคโนโลยี 4G-LTE (3GPP TS 36.101 14.5.0, 2017) ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 ตารางการใช้งานแบนด์และช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้ในเทคโนโลยี 4G-LTE

แบนด์(Band)	ช่องสัญญาณความถี่ (MHz)	Duplex mode
1	2100	FDD
2	1900	FDD
3	1800	FDD
4	1700	FDD
5	850	FDD
7	2600	FDD
8	900	FDD

แบนด์(Band)	ช่องสัญญาณความถี่ (MHz)	Duplex mode
13	700	FDD
17	700	FDD
20	800	FDD
25	1900	FDD
28	700	FDD
38	2600	TDD
39	1900	TDD
40	2300	TDD
41	2500	TDD

2.6 การจัดสรรช่องสัญญาณความถี่

การเจริญเติบโตและความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีของเครื่องมือสื่อสารไร้สาย ในปัจจุบันนั้นเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ความเหมาะสมในการใช้งานและแนวคิดใหม่ๆ ของอุตสาหกรรมด้านการสื่อสารถูกนำมาปรับใช้เพื่อให้เข้าถึงข้อมูลได้มากขึ้น เมื่อผู้ใช้งานมีมากขึ้น ความต้องการใช้งานด้านข้อมูลก็เพิ่มขึ้น จึงต้องมีการจัดสรรทรัพยากรช่องสัญญาณความถี่เพื่อการใช้งานช่องสัญญาณความถี่อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งปัญหาพื้นฐานของการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ มีหลายปัจจัยเช่น ปัญหาด้านสัญญาณแทรกสอดที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมที่ถูกพิจารณา เป็นต้น ดังนั้นการนำเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่มาใช้งานจึงเป็นส่วนสำคัญ(Katzela et al., 1996) โดยการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่หลักๆ แบ่งออกเป็นสามประเภทคือ 1.FCA (Fixed channel allocation) 2.DCA (Dynamic channel allocation) และ 3.HCA (Hybrid channel allocation)

1. FCA (Fixed channel allocation) เป็นการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานแบบคงที่ (Static) และไม่สามารถเปลี่ยนแปลงช่องสัญญาณความถี่ที่ถูกกำหนดลงไปในสถานีฐานได้ เพื่อให้การทำงานของ การจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้มีประสิทธิภาพนั้น โดยทั่วไปจะทำการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ในลักษณะที่เพิ่มช่องสัญญาณความถี่ที่นำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของระยะทางระหว่างเซลล์ขึ้นต่ำเป็นตัวกำหนดในการใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่ซ้ำกันได้ แต่ปัญหาของวิธี FCA คือปัญหาด้านทราฟฟิกในระบบที่เป็นแบบไม่สม่ำเสมอ(Non-Uniform) ซึ่งจะส่งผลทำให้วิธี FCA นั้นทำงานได้ประสิทธิภาพไม่เต็มที่

2. DCA (Dynamic channel allocation) วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่แบบไดนามิกนั้นต้องการจะลดปัญหาของ FCA ที่เกิดปัญหาเมื่อทราฟฟิกเป็นแบบไม่สม่ำเสมอ โดยวิธี DCA นั้น จะไม่มีการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับเซลล์แบบตายตัว แต่จะมีการแทนที่ด้วยรูปแบบเซตของกลุ่มทรัพยากรช่องสัญญาณความถี่ เมื่อใดก็ตามที่เซลล์ต้องการใช้งานช่องสัญญาณความถี่ ก็จะ มีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ตามเงื่อนไขของการจำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่ แต่ ปัญหาของวิธี DCA นั้นคือ ปัญหาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของการใช้วิธีการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ นั้นมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าวิธี FCA และวิธี DCA นั้นมีอัลกอริทึมที่ซับซ้อนทำให้อาจจะสิ้นเปลือง ทรัพยากรในการใช้งาน

3. HCA (Hybrid channel allocation) เป็นวิธีการที่เกิดจากการรวมวิธีกันระหว่าง FCA และ DCA วิธีของ HCA จำนวนช่องสัญญาณความถี่ทั้งหมดที่ใช้ได้นั้นจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มของแบบ คงที่ (Fixed) และกลุ่มของแบบไดนามิก (Dynamic) โดยในกลุ่มของแบบคงที่ จะบรรจุจำนวนของ ช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้กำหนดให้กับเซลล์ด้วยวิธี FCA สำหรับทุกกรณีที่ต้องการ สำหรับการ ใช้งานในแต่ละเซลล์ตามลำดับ และในกลุ่มที่สองคือกลุ่มของแบบไดนามิก มีการแบ่งช่องสัญญาณ ความถี่โดยผู้ใช้ทุกตัวในระบบเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น โดยขั้นตอนการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ใน กลุ่มของแบบไดนามิกนั้นจะเป็นไปตามวิธี DCA ซึ่งรูปแบบหลักของ HCA นั้น HCA ที่มีการ จัดลำดับช่องสัญญาณใหม่และเมื่อมีการเรียกใช้ไม่สามารถหาช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้งานได้ จะ เปลี่ยนแทนที่เป็นการถูกบล็อก โดยคิดความน่าจะเป็น Call blocking สำหรับ HCA นั้นหมายถึง ความน่าจะเป็นที่ว่าการเรียกใช้งานคู่สายนั้นมีสถานะไม่ว่างทั้งแบบคงที่และแบบไดนามิก

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำอัลกอริทึมในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่จากงานวิจัยของ (Liu, J et al., 2012) มาปรับใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ใน เครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ทำการพิจารณา โดยวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของ งานวิจัยนี้เป็นแบบ Semi-static frequency reuse ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการจัดสรรและมีการ กำหนดวิธีการแก้ปัญหาเป็นแบบวิธีการระบายสีกราฟ (Graph colouring problem) และแสดง pseudo code ของอัลกอริทึมจากงานวิจัยดังนี้

Pseudo-code of the Developed Heuristic Algorithm:

INPUT $G=(V,E)$

- 1 Compute Degree(v) for all v in V
- 2 Set uncoloredCells = V sorted in ascending order of Degree(v)
- 3 Set currentColor = 0
- 4 For each element in uncoloredCells:
 - 5 currentColor = currentColor + 1
 - 6 Set u =first element of uncoloredCells
 - 7 Set cellColor(u) = currentColor
 - 8 Set coloredCells = $\{u\}$
 - 9 Remove u from uncoloredCells
 - 10 For each v in uncoloredCells:
 - 11 If v is not adjacent to any cell in coloredWithCurrentColor:
 - 12 Set cellColor (v) = currentColor
 - 13 Add v to coloredCells
 - 14 Remove v from uncoloredCells
 - 15 End if
 - 16 End for
- 17 End for

โดยที่

V คือเซตของเซลล์ที่ให้บริการ (Set of serving cells)

E คือเซตของลิงก์ (Set of edges)

จากนั้นผู้วิจัยได้นำ pseudo code ของฮิวริสติก อัลกอริทึม มาพัฒนาเพื่อนำมาใช้งานในโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับการคำนวณ โดยการใช้โปรแกรม ILOG CPLEX ซึ่งมีสมการและตัวแปรดังนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\min \sum_{k=1}^N y_k \quad (2.3)$$

สมการเงื่อนไข

$$\sum_{k=1}^N x_{ik} = 1 \quad \forall i \in V, \forall k \in N \quad (2.4)$$

$$e_{ij}(x_{ik} + x_{jk}) \leq 1 \quad \forall i \in V, \forall j \in V, \forall k \in N \quad (2.5)$$

$$x_{ik} \leq y_k \quad \forall i \in V, \forall k \in N \quad (2.6)$$

$$x_{ik} \in \{0,1\} \quad (2.7)$$

$$y_k \in \{0,1\} \quad (2.8)$$

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงคำนิยามของตัวแปรที่ใช้ในสมการคณิตศาสตร์

ประเภทของตัวแปร	พารามิเตอร์	คำอธิบาย
เซตของตัวแปร	V	เซตของจำนวนสถานีฐานเฟมโตเซลล์
	N	เซตของจำนวนช่องสัญญาณความถี่
ตัวแปรตัดสินใจ	x_{ik}	ตัวแปรตัดสินใจที่ระบุการเลือกใช้ช่องสัญญาณความถี่ของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ มีค่าเป็น 1 เมื่อสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ i ใช้ช่องสัญญาณความถี่ k และมีค่าเป็น 0 เมื่อไม่มีการเลือกใช้ช่องสัญญาณความถี่ของสถานีฐานเฟมโตเซลล์
	y_k	ตัวแปรตัดสินใจที่ระบุการใช้ช่องสัญญาณความถี่ มีค่าเป็น 1 เมื่อช่องสัญญาณความถี่ k ถูกนำมาใช้ และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อช่องสัญญาณความถี่ k ไม่ถูกนำมาใช้
พารามิเตอร์ค่าคงที่	e_{ij}	ตัวแปรระบุเส้นทางจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ i ไปยังสถานีฐานเฟมโตเซลล์ j มีค่าเป็น 1 เมื่อทั้งสองสถานีฐานเฟมโตเซลล์มีสัญญาณรบกวนกัน และมีค่าเป็น 0 เมื่อทั้งสองสถานีฐานเฟมโตเซลล์ไม่มีสัญญาณรบกวนกัน

จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (2.3) เพื่อต้องการจำนวนช่องสัญญาณความถี่ที่น้อยที่สุดที่จัดสรรให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์และสมการที่ (2.4) – (2.8) เป็นสมการเงื่อนไข โดยสมการเงื่อนไขที่ (2.4) เป็นสมการเงื่อนไขสำหรับการกำหนดว่าสถานีฐานเฟมโตเซลล์ต้องมีการใช้ช่องสัญญาณความถี่อย่างน้อย 1 ช่องสัญญาณ โดยสถานีฐานเฟมโตเซลล์จะไม่มีการใช้ช่องสัญญาณความถี่ไม่ได้ สมการเงื่อนไขที่ (2.5) เป็นสมการเงื่อนไขสำหรับการกำหนดว่าสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่มีสัญญาณรบกวนกันจะต้องใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่แตกต่างกัน สมการเงื่อนไขที่ (2.6) เป็นสมการเงื่อนไขสำหรับการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ที่ถูกจัดสรรให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์นั้นจะต้องเป็นช่องสัญญาณความถี่ที่ถูกเลือกใช้งาน และสมการเงื่อนไขที่ (2.5) และ (2.6) เป็นสมการเงื่อนไขสำหรับการตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจว่าการเลือกใช้ช่องสัญญาณความถี่ของเฟมโตเซลล์ (x_{ik}) และการใช้ช่องสัญญาณความถี่ (y_k) ต้องเป็นตัวแปรประเภทไบนารี

ในส่วนขอเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณ ความถี่ที่นำมาเปรียบเทียบ อ้างอิงจากงานวิจัยของ Shiyan, Zh., Rong, H., Yue, Sh., Zhanjun, L. (2015) และ Mengxian, Z., Xiaohang, Ch., Xin, Zh., Lin, S., Dacheng, Y. (2013) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด โดยมีขั้นตอนการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดของทั้งสองงานวิจัยดังนี้

ขั้นตอนการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดของงานวิจัย Shiyan, Zh., Rong, H., Yue, Sh., Zhanjun, L. (2015) มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดตำแหน่งสถานีฐาน
2. กำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานแบบสุ่ม (3 จุดผู้ใช้งานต่อ 1 สถานีฐาน)
3. คำนวณหา SINR ระหว่างจุดผู้ใช้งานแบบสุ่มกับสถานีฐาน

$$SINR_k(i) = [P_i G_k(i)] - [P_j G_k(j) + N_0]$$

โดย P คือ กำลังงานภาคส่งของสถานีฐาน (Transmit power femtocell) (dBm)
 G คือ ค่าการขยายช่องสัญญาณ (Channel propagation model) ซึ่งหาค่าสูงสุดระหว่าง Minimum coupling loss (53 dB) หรือ Path loss (dB)
 N_0 คือ สัญญาณรบกวน (Noise) (dB/Hz)

4. เปรียบเทียบ SINR ของผู้ใช้งาน กับ SINR threshold ของผู้ใช้งาน ที่กำหนดไว้ 3 dB

ถ้า SINR ของผู้ใช้งานที่คำนวณมีค่า มากกว่า SINR threshold ของผู้ใช้งานหมายความว่า จะไม่เกิด Interference links แต่ถ้า SINR ของผู้ใช้งานที่คำนวณมีค่า น้อยกว่าหรือเท่ากับ SINR threshold ของผู้ใช้งานจะหมายถึงเกิด Interference links

โดยการกำหนด Interference links ระหว่างสถานีฐาน มีการกำหนดไว้ว่า จะเกิด Interference links ระหว่างสถานีฐาน ต่อเมื่อ ตำแหน่งผู้ใช้งานแบบสุ่มทั้ง 3 จุดของสถานีฐาน ถ้ามีจุดใดจุดหนึ่ง มี SINR น้อยกว่าหรือเท่ากับ SINR Threshold นั้นหมายความว่า เกิด Interference links ระหว่างสถานีฐาน แต่ถ้าตำแหน่งผู้ใช้งานทั้ง 3 จุด มี SINR มากกว่า SINR threshold นั้นหมายความว่า ไม่เกิด Interference links ระหว่างสถานีฐาน

และขั้นตอนของการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดตัวเปรียบเทียบตัวที่สอง นำมาจาก งานวิจัย Mengxian, Z., Xiaohang, Ch., Xin, Zh., Lin, S., Dacheng, Y. (2013) มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดตำแหน่งสถานีฐาน
2. กำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานแบบสุ่ม (4 จุดผู้ใช้งานต่อ 1 สถานีฐาน)
3. คำนวณหา $\eta_b(p)$ ระหว่างจุดผู้ใช้งานแบบสุ่มกับสถานีฐาน

$$\eta_b(p) = \frac{P_{tx} PL_{p,b(p)}}{P_{tx} PL_{d,b(p)}}$$

โดย P_{tx} คือ กำลังงานภาคส่งของสถานีฐาน (watt)

$PL_{p,b(p)}$ คือ ค่าความสูญเสียระหว่างสถานีฐานกับตำแหน่งผู้ใช้งาน (watt)

ซึ่งในการคำนวณนั้น จะมีการแปลงหน่วยจาก dBm เป็น Watt ด้วยสมการ

$$Watt = 10^{\left(\frac{dB-30}{10}\right)}$$

และแปลง Watt เป็น dB ด้วยสมการ

$$dB = 10 \log_{10}(Watt)$$

4. เปรียบเทียบ $\eta_b(p)$ ของผู้ใช้งาน กับ η threshold ของผู้ใช้งาน ที่กำหนดไว้ 5 dB

ถ้า $\eta_b(p)$ ของผู้ใช้งานที่คำนวณมีค่า มากกว่า η threshold ของผู้ใช้งานหมายความว่าไม่เกิด Interference links แต่ถ้า $\eta_b(p)$ ของผู้ใช้งานที่คำนวณมีค่า น้อยกว่าหรือเท่ากับ η threshold ของผู้ใช้งานจะหมายถึง เกิด Interference links

โดยการกำหนด Interference links ระหว่างสถานีฐาน มีการกำหนดไว้ว่า จะเกิด Interference links ระหว่างสถานีฐาน ต่อเมื่อ ตำแหน่งผู้ใช้งานแบบสุ่มทั้ง 4 จุดของสถานีฐาน ถ้ามีจุดใดจุดหนึ่ง มี $\eta_b(p)$ น้อยกว่าหรือเท่ากับ η Threshold นั้นหมายความว่า เกิด Interference links ระหว่างสถานีฐาน แต่ถ้าตำแหน่งผู้ใช้งานทั้ง 4 จุด มี $\eta_b(p)$ มากกว่า η threshold นั้นหมายความว่า ไม่เกิด Interference links ระหว่างสถานีฐาน

บทที่ 3

การวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณของเครือข่ายเฟมโตเซลล์ภายในอาคาร แบบหลายชั้นเมื่อใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดในขั้นตอนการจัดสรร ช่องสัญญาณความถี่

ในบทนี้นำเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณของเครือข่ายเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นเมื่อใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดในขั้นตอนการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยทฤษฎีและความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 เห็นได้ว่าการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่มีความสำคัญต่อคุณภาพสัญญาณ ดังนั้นเนื้อหาในบทนี้นำเสนอการวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณของเครือข่ายเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นเมื่อใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดในขั้นตอนการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยแบ่งหัวข้อย่อยเป็น 3 หัวข้อย่อย ได้แก่ 3.1 แนวคิดสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรความถี่ภายในอาคารแบบหลายชั้น 3.2 การทดลองและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 3.3 การวิเคราะห์ผลและประเมินประสิทธิภาพของสัญญาณของเครือข่ายเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นเมื่อใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดในขั้นตอนการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่

3.1 แนวคิดสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรความถี่ภายในอาคารแบบหลายชั้น

ในปัจจุบันการใช้เครื่องมือสื่อสารไร้สาย เช่น สมาร์ทโฟน โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต นั้นมีการใช้งานอย่างแพร่หลายเป็นอย่างมาก โดยในปี 2558 มีผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือทั่วโลก 7,300 ล้านยูนิทและการคาดการณ์ไว้ว่า ในปี 2564 จะมีผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น โดยเป็นผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือทั่วโลก 9,100 ล้านยูนิท เมื่อมีผู้ใช้งานมากขึ้น ความต้องการด้านการใช้งานข้อมูลที่เพิ่มขึ้น จึงได้มีการนำเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์เข้ามาช่วย เพื่อเพิ่มปริมาณความจุและเพิ่มพื้นที่การให้บริการ และปัญหาที่ตามมา นั่นก็คือ ปัญหาเกี่ยวกับการรบกวนกันของสัญญาณระหว่างเฟมโตเซลล์ ดังนั้นการลดปัญหาเกี่ยวกับการรบกวนกันของสัญญาณโดยใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้แต่ละเฟมโตเซลล์จึงเป็นส่วนที่สำคัญที่ควรพิจารณา

ปัญหาการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ เกิดขึ้นจากการที่เฟมโตเซลล์แต่ละเฟมโตเซลล์ในเครือข่ายใช้ความถี่เดียวกัน ทำให้สัญญาณที่ส่งออกมาเกิดการรบกวนกันขึ้น โดยวิธีที่แก้ไขปัญหานี้ นั่นก็คือ การกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละเฟมโตเซลล์ให้แตกต่างกัน แต่ถ้ากำหนดให้แต่ละเฟมโตเซลล์มีความถี่ที่แตกต่างกันหมดก็อาจจะสิ้นเปลืองช่องความถี่เกินไป ดังนั้นจึงต้องมีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด (Interference Graph) ของเฟมโตเซลล์ขึ้นมาเพื่อตรวจสอบว่า เฟมโตเซลล์นั้นเกิดสัญญาณรบกวนกันระหว่างเฟมโตเซลล์ และวิธีการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (Frequency Reuse) เพื่อช่วยให้สามารถลดการใช้จำนวนของช่องสัญญาณความถี่ เพื่อใช้ช่องสัญญาณความถี่ได้อย่างเหมาะสม

โดยหัวข้อนี้นำเสนอการวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณของเครือข่ายเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นเมื่อใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดในขั้นตอนการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยเป็นการทดลองเบื้องต้นเพื่อสังเกตและวิเคราะห์กราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้ ส่งผลต่อจำนวนช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้ในเครือข่ายเฟมโตเซลล์อย่างไร และส่งผลต่อพื้นที่การให้บริการอย่างไร โดยมีการพิจารณาคูณภาพสัญญาณในรูปของ SINR ของพื้นที่การให้บริการ

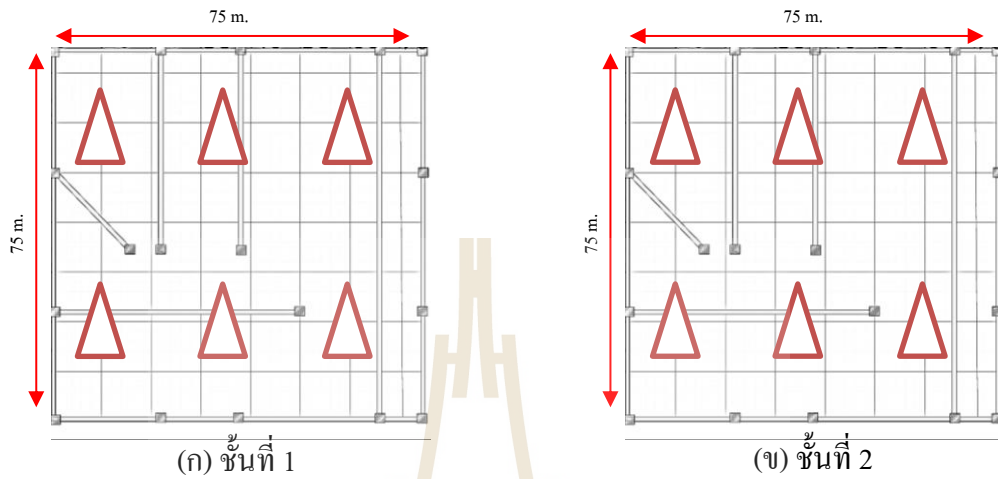
3.2 การทดลองและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ในหัวข้อนี้อธิบายการกำหนดรูปแบบการทดลอง รูปแบบของพื้นที่การทดลอง และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง โดยแบ่งเป็นหัวข้อย่อยๆ ดังนี้ 3.2.1 รูปแบบการทดลองและพื้นที่ในการทดลอง 3.2.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง 3.2.3 แบบจำลองการลดทอนสัญญาณ 3.2.4 การสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด 3.2.5 รูปแบบการซ้อนทับของพื้นที่

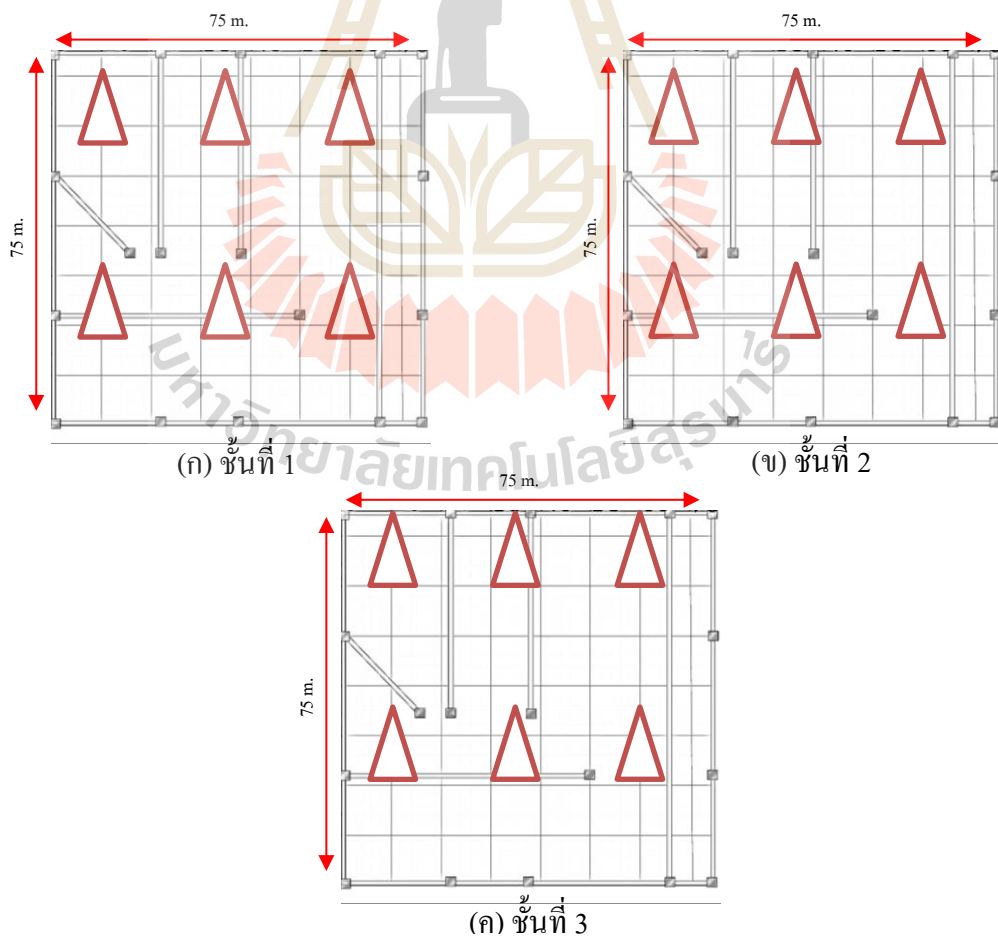
3.2.1 รูปแบบการทดลองและพื้นที่ในการทดลอง

ในเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโครงสร้างของพื้นที่การให้บริการขึ้นมา โดยมีเฟมโตเซลล์อยู่ 6 ตัว ในแต่ละชั้น และได้ออกแบบกรณีการทดลองออกเป็น 6 กรณี เพื่อศึกษาและสังเกตว่า แต่ละกรณีที่ทำกรทดลอง กราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้ออกเป็นแบบใด ส่งผลต่อการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่อย่างไร และส่งผลอย่างไรต่อประสิทธิภาพในพื้นที่ให้บริการ โดยพิจารณาประสิทธิภาพจากคุณภาพสัญญาณ SINR ในพื้นที่ให้บริการ การวิเคราะห์ความแรงของสัญญาณ จะวิเคราะห์ระหว่างจุดทดสอบสัญญาณ (Signal Test Point) กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ (Femtocell Base Stations) โดยการทดลองทั้ง 6 กรณีนั้นแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มแรกเป็นโครงสร้างพื้นที่การทดลองแบบสองชั้น ประกอบไปด้วยกรณีที่ 1,2,3 และ 4 แสดงในรูปที่ 3.1 ในแต่ละชั้นติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 6 สถานีฐาน และมีจุดทดสอบสัญญาณในแต่ละชั้นทั้งหมด

324 จุดทดสอบสัญญาณ และกลุ่มที่สองโครงสร้างพื้นที่การทดลองแบบสามชั้น ประกอบไปด้วย
 กรณีที่ 5 และ 6 แสดงในรูปที่ 3.2 ในแต่ละชั้นติดตั้งสถานีฐานเฟมโทเซลล์ 6 สถานีฐาน และมีจุด
 ทดสอบสัญญาณในแต่ละชั้นทั้งหมด 324 จุดทดสอบสัญญาณ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของพื้นที่การทดลองแบบสองชั้น



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของพื้นที่การทดลองแบบสามชั้น

ในการทำการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโครงสร้างพื้นที่การให้บริการ ให้มีตำแหน่งการติดตั้งสถานีฐานและจุดทดสอบสัญญาณเหมือนกันทุกชั้นและทุกกรณี โดยขนาดของพื้นที่การให้บริการ เป็นอาคารกว้าง 75 เมตร ยาว 75 เมตร และ สูง 3 เมตร และในรูปที่ 3.3 แสดงจุดทดสอบสัญญาณที่ใช้ในการทดลอง ในแต่ละชั้นมีจำนวนทั้งหมด 324 จุดทดสอบสัญญาณ มีรูปแบบการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ

3.2.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นในการต่อการจำลองความแรงสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ส่งมายังจุดทดสอบสัญญาณแต่ละจุด ตารางที่ 3.1 แสดงพารามิเตอร์ต่างที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ความถี่ของสัญญาณ	2.6 GHz
กำลังส่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์	20 dBm
ความกว้างของช่องสัญญาณ	20 MHz
พื้นที่การทดลอง	75 x 75 m
จำนวนของเฟมโตเซลล์	6 units/floor (total 18 units in 3 floors)
จำนวนของจุดทดสอบสัญญาณ	324 units/floor (total 972 units in 3 floors)
เกณฑ์ของกำลังภาครับ	- 75 dBm

3.2.3 แบบจำลองการลดทอนสัญญาณ

ในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายเฟมโตเซลล์นั้น มีจุดมุ่งหมายเพื่อการให้บริการแก่ผู้ใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความแรงสัญญาณของจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ นั้นเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่จะนำไปใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ ดังนั้นแบบจำลองการลดทอนสัญญาณ (Path-loss Model) มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการหาค่าสูญเสียของสัญญาณและนำไปใช้หาค่ากำลังภาครับของแต่ละจุดทดสอบสัญญาณ เพื่อเป็นข้อมูลนำไปใช้ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด

สมการที่ใช้ในการคำนวณหา กำลังงานภาครับ (Pr) ที่ได้จากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ณ ตำแหน่งใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$P_r(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) - P_l(\text{dB}) \quad (3.1)$$

โดยกำหนดให้

P_r คือกำลังงานภาครับ ณ จุดทดสอบสัญญาณ ที่ได้รับจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ณ ตำแหน่งใดๆ

P_t คือกำลังงานภาคส่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์

P_l คือกำลังงานลดทอนสัญญาณ ที่ได้จากแบบจำลองการลดทอนสัญญาณ

โดยแบบจำลองการลดทอนสัญญาณใช้มาตรฐานของ 3GPP (3rd Generation Partnership Project) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้กับเครือข่ายเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบจำลองการลดทอนสัญญาณนี้สามารถนำไปใช้กับเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นได้ สมการแสดงตามสมการที่ 2

$$P_l(\text{dB}) = 40.7412 + 20 \log_{10} R + 0.7d_{2D,\text{indoor}} + 18.3n \left(\frac{n+2}{n+1} \right)^{-0.46} + qL_{iw} \quad (3.2)$$

กำหนดให้

R คือระยะห่างระหว่างจุดทดสอบสัญญาณกับเฟมโตเซลล์(เมตร)

$d_{2D,\text{indoor}}$ คือความหนาของกำแพงภายในอาคาร กำหนดเป็น 0.18 เมตร

n คือจำนวนชั้นที่ทะลุผ่าน

q คือจำนวนกำแพงที่สัญญาณทะลุผ่าน

L_{iw} คือค่าสูญเสียของผนังกำแพงภายในอาคาร กำหนดเป็น 5 dB

3.2.4 การสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด

กราฟสัญญาณแทรกสอด คือ กราฟที่แสดงการรบกวนของสัญญาณระหว่างเฟมโตเซลล์ในเครือข่าย ซึ่งในขณะนั้นเฟมโตเซลล์ในเครือข่าย ใช้ช่องสัญญาณความถี่เดียวกันทุกเฟมโตเซลล์ โดยกราฟสัญญาณแทรกสอดประกอบไปด้วย โหนด (Node) และข่ายเชื่อมโยง (Links) ซึ่งแต่ละโหนด หมายถึงเฟมโตเซลล์ ส่วนข่ายเชื่อมโยง หมายถึงมีการรบกวนระหว่างเฟมโตเซลล์ที่ถูกรบกวนนั้นจึงเรียข่ายเชื่อมโยงนี้ว่า Interference Links โดยมีขั้นตอนการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดดังนี้

ขั้นตอนการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดมีดังต่อไปนี้

1. กำหนดพารามิเตอร์เบื้องต้นต่างๆที่ใช้ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด
2. กำหนดระยะระหว่างจุดทดสอบสัญญาณกับเฟมโตเซลล์
3. กำหนดหาค่าพลังงานภาครับที่จุดทดสอบสัญญาณ
4. กำหนดหา %Overlap ระหว่างเฟมโตเซลล์ จากสมการ

$$\%Overlap = \frac{Z}{(X - Z) + (Y - Z) + Z} \times 100$$

กำหนดให้

- X คือจำนวนของจุดทดสอบสัญญาณที่ความแรงของสัญญาณผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของเฟมโตเซลล์ a
- Y คือจำนวนของจุดทดสอบสัญญาณที่ความแรงของสัญญาณผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของเฟมโตเซลล์ b
- Z คือจำนวนของจุดทดสอบสัญญาณที่ความแรงของสัญญาณผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของเฟมโตเซลล์ทั้ง a และ เฟมโตเซลล์ b (เป็นการ intersection ระหว่างพื้นที่สี่เหลี่ยมของเฟมโตเซลล์ a และเฟมโตเซลล์ b)

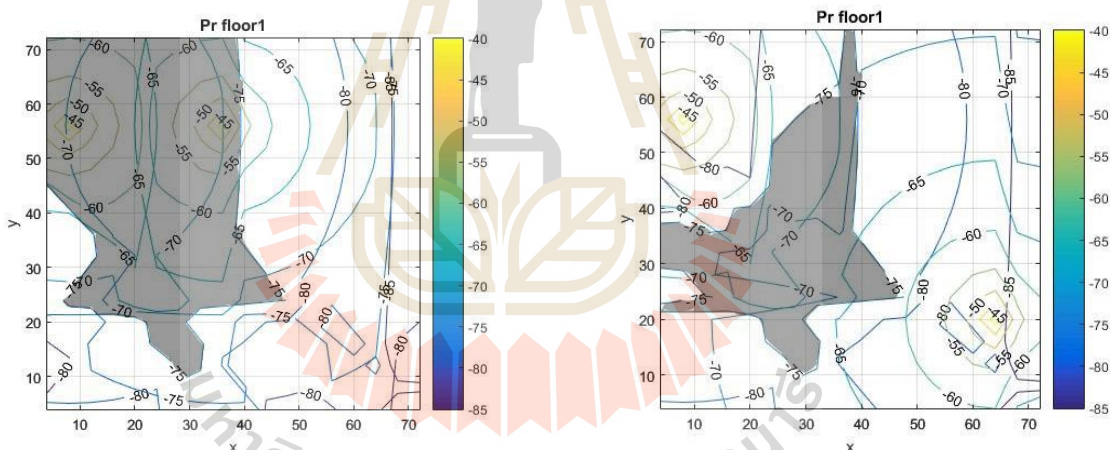
5. กำหนด %Overlap Threshold เพื่อเป็นเกณฑ์ในการกำหนดว่า เกิด Interference Links ระหว่างเฟมโตเซลล์ หรือไม่

โดยกำหนดว่า ถ้า %Overlap ที่ได้จากการคำนวณนั้น มากกว่า %Overlap Threshold หมายความว่า เกิด Interference links ระหว่างเฟมโตเซลล์ แต่ถ้า %Overlap ที่ได้จากการคำนวณน้อยกว่าหรือเท่ากับ %Overlap Threshold หมายความว่า ไม่เกิด Interference links ระหว่างเฟมโตเซลล์

3.2.5 รูปแบบการซ้อนทับของพื้นที่

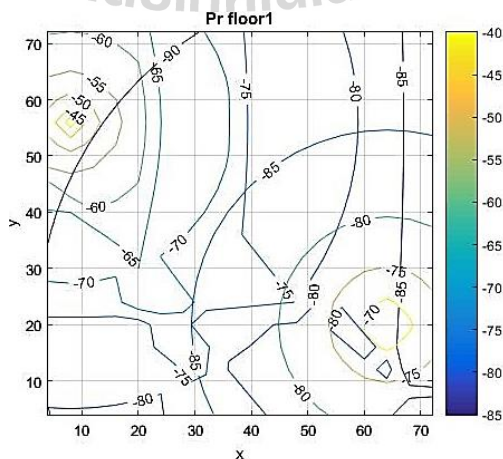
ในหัวข้อนี้ แสดงถึงรูปแบบของการซ้อนทับของพื้นที่ โดยรูปตัวอย่างที่แสดง ขึ้นมานั้น เป็นรูปจาก Contour Plot ของความแรงสัญญาณที่ได้จากสถานีฐานใดๆ มีการกำหนด กำลังส่งที่ 5 dBm โดยในรูปที่ 3.4 แสดงการซ้อนทับของพื้นที่ระหว่างเฟมโตเซลล์ที่ 1 กับเฟมโต เซลล์ที่ 2 รูปที่ 3.5 แสดงการซ้อนทับของพื้นที่ระหว่างเฟมโตเซลล์ที่ 1 กับเฟมโตเซลล์ที่ 6 และรูป ที่ 3.6 แสดงการซ้อนทับของพื้นที่ระหว่างเฟมโตเซลล์ที่ 1 กับเฟมโตเซลล์ที่ 12

จากสมการการคำนวณหา %Overlap จากสมการที่ (3) สามารถคำนวณค่า %Overlap ของตัวอย่างที่แสดงได้ดังนี้ ในรูปที่ 3.4 แสดงการซ้อนทับของพื้นที่ระหว่างเฟมโตเซลล์ ที่ 1 กับเฟมโตเซลล์ที่ 2 ซึ่งมี%Overlap อยู่ที่ 32.5% รูปที่ 3.5 แสดงการซ้อนทับของพื้นที่ระหว่าง เฟมโตเซลล์ที่ 1 กับเฟมโตเซลล์ที่ 6 ซึ่งมี%Overlap อยู่ที่ 15.927% และรูปที่ 3.6 แสดงการซ้อนทับ ของพื้นที่ระหว่างเฟมโตเซลล์ที่ 1 กับเฟมโตเซลล์ที่ 12 ซึ่งมี%Overlap อยู่ที่ 0% เมื่อได้ค่า%Overlap แล้วก็นำไปทำตามขั้นตอนการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดต่อไป



รูปที่ 3.3 เฟมโตเซลล์ 1 กับ 2

รูปที่ 3.4 เฟมโตเซลล์ 1 กับ 6



รูปที่ 3.5 เฟมโตเซลล์ 1 กับ 12

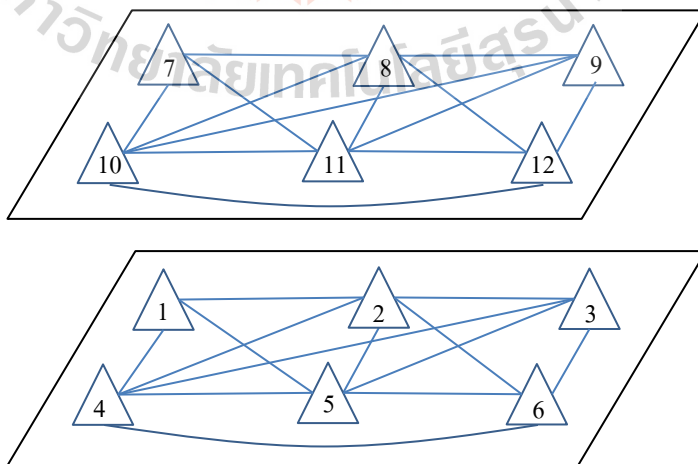
3.3 การวิเคราะห์ผลและประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพสัญญาณของเครือข่ายเฟมโทเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นเมื่อใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดในขั้นตอนการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่

ในหัวข้อนี้นำเสนอเกี่ยวกับผลการทดลอง โดยนำแบบจำลองการลดทอนสัญญาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้ จากส่วนที่ 3.2 มาทำการคำนวณด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ผลของการทดลอง การแสดงผลของข้อมูลที่ได้ แสดงภาพกราฟฟิคต่างๆที่ได้จากวิเคราะห์การจัดสรรช่องสัญญาณความถี่

จากการทำการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลและประเมินประสิทธิภาพของคุณภาพสัญญาณของเครือข่ายเฟมโทเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นเมื่อใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดในขั้นตอนการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยผลการทดลองนั้นประกอบไปด้วย 3.3.1 กราฟสัญญาณแทรกสอด 3.3.2 กราฟแสดงการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ 3.3.3 กราฟแสดงคุณภาพสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ 3.3.4 กราฟแสดงฟังก์ชันหนาแน่นความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ

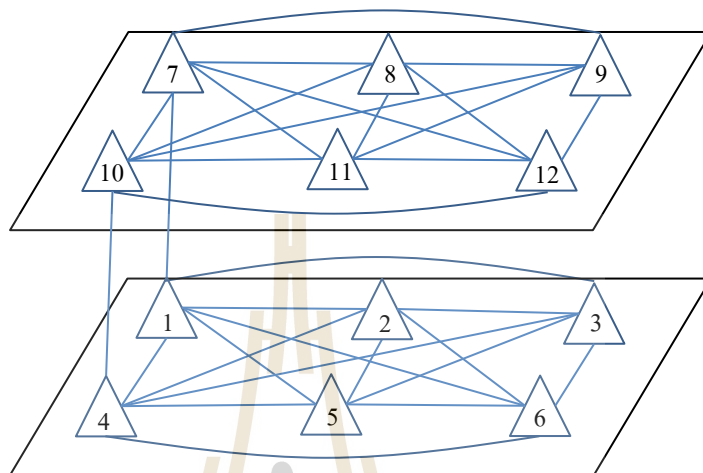
3.3.1 กราฟสัญญาณแทรกสอด

ผลการทดลองอย่างแรกคือกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้จากการขั้นตอนการกราฟสัญญาณแทรกสอด มี 6 กรณี แสดงดังรูป ดังต่อไปนี้ รูปที่ 3.6 แสดงถึงกราฟสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่ 1 กราฟสัญญาณแทรกสอดที่กำลังส่ง 5 dBm โครงสร้างของพื้นที่ให้บริการเป็นแบบสองชั้น กำหนดเกณฑ์ %Overlap ที่ 20% มี Interference Link 26 Links



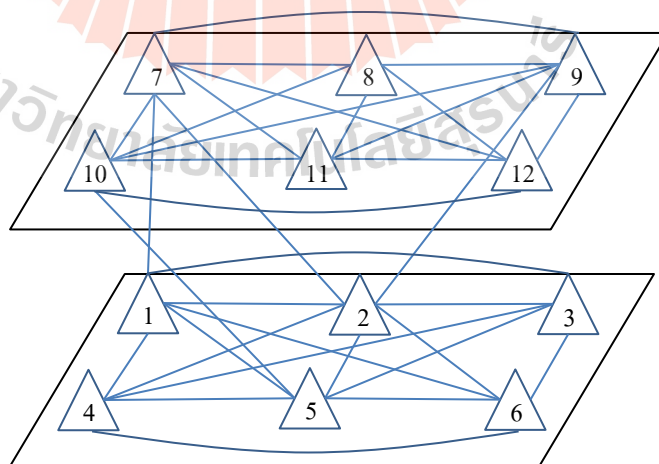
รูปที่ 3.6 กราฟสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่ 1

รูปที่ 3.7 แสดงถึงกราฟสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่ 2 กราฟสัญญาณแทรกสอดที่กำลังส่ง 5 dBm โครงสร้างของพื้นที่ให้บริการเป็นแบบสองชั้น กำหนดเกณฑ์ %Overlap ที่ 10% มี Interference Link 32 Links



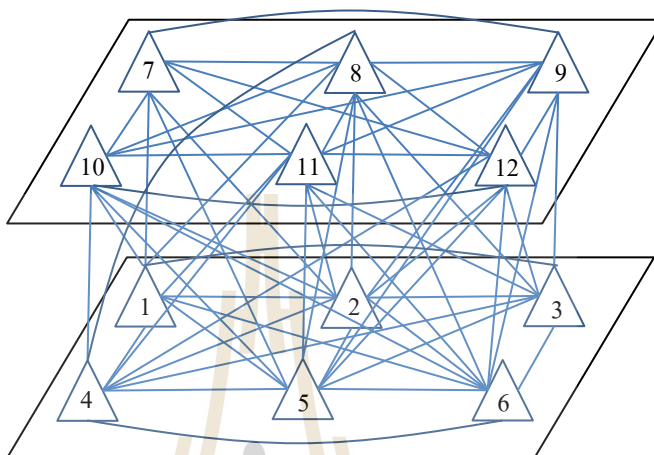
รูปที่ 3.7 กราฟสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่ 2

รูปที่ 3.8 แสดงถึงกราฟสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่ 3 กราฟสัญญาณแทรกสอดที่กำลังส่ง 10 dBm โครงสร้างของพื้นที่ให้บริการเป็นแบบสองชั้น เกณฑ์ %Overlap ที่ 20% มี Interference Link 34 Links



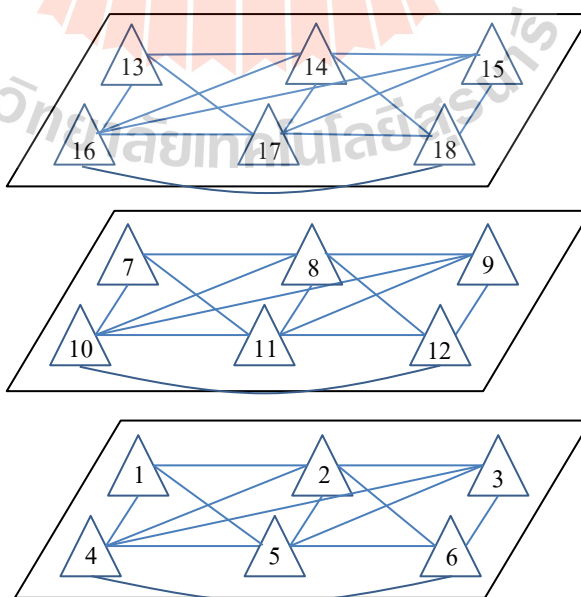
รูปที่ 3.8 กราฟสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่ 3

รูปที่ 3.9 แสดงถึงกราฟสัญญาณแทรกสอดในกรณีี่ 4 กราฟสัญญาณแทรกสอดที่กำลังส่ง 10 dBm โครงสร้างของพื้นที่ให้บริการเป็นแบบสองชั้น กำหนดเกณฑ์ %Overlap ที่ 10% มี Interference Link 59 Links



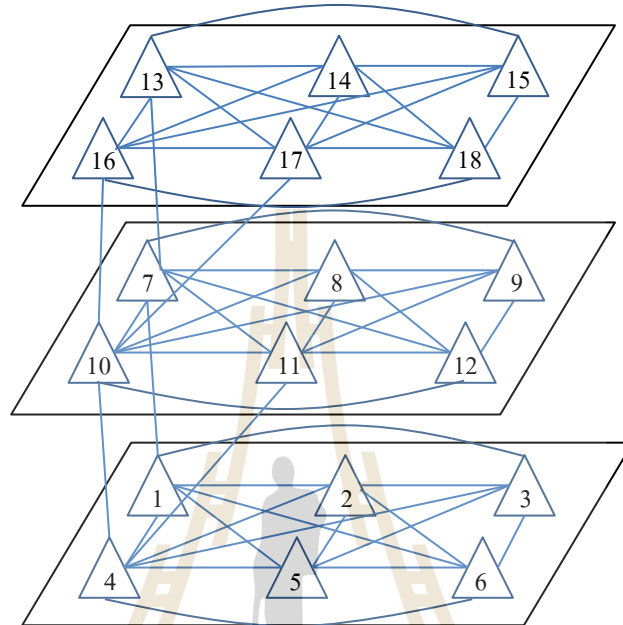
รูปที่ 3.9 กราฟสัญญาณแทรกสอดในกรณีี่ 4

รูปที่ 3.10 แสดงถึงกราฟสัญญาณแทรกสอดในกรณีี่ 5 กราฟสัญญาณแทรกสอดที่กำลังส่ง 5 dBm โครงสร้างของพื้นที่ให้บริการเป็นแบบสามชั้น กำหนดเกณฑ์ %Overlap ที่ 20% มี Interference Link 39 Links



รูปที่ 3.10 กราฟสัญญาณแทรกสอดในกรณีี่ 5

รูปที่ 3.11 แสดงถึงกราฟสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่มี 6 กราฟสัญญาณแทรกสอดที่กำลังส่ง 5 dBm โครงสร้างของพื้นที่ให้บริการเป็นแบบสามชั้น กำหนดเกณฑ์ %Overlap ที่ 10% มี Interference Link 51 Links

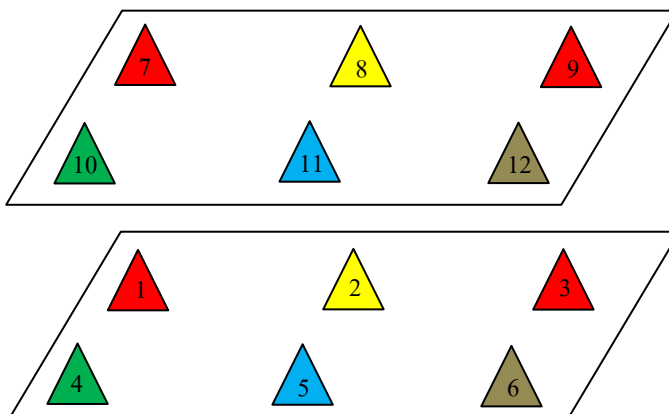


รูปที่ 3.11 กราฟสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่มี 6

จากกราฟสัญญาณแทรกสอดนั้นจะเห็นได้ว่า เมื่อมีการกำหนด %Overlap Threshold ลดต่ำลง จะส่งผลให้ กราฟสัญญาณรบกวนนั้นมี Interference Links มากขึ้น เนื่องจากค่า %Overlap ที่ได้จากการคำนวณนั้นผ่าน %Overlap Threshold มากขึ้น เมื่อได้กราฟสัญญาณแทรกสอดแล้วต่อไปก็จะนำไปจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ต่อไป

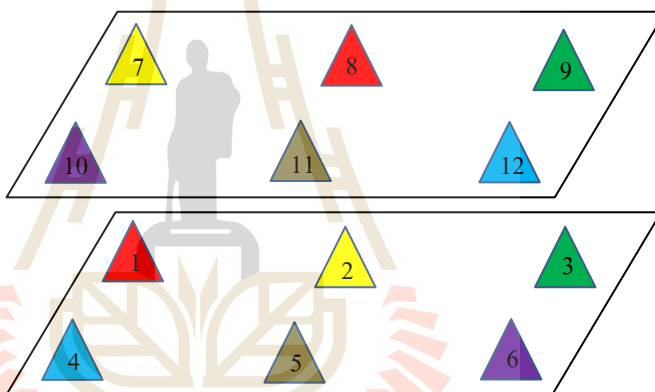
3.3.2 กราฟแสดงการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่

ผลการทดลองอย่างที่สองคือกราฟแสดงการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ที่ได้จากกราฟสัญญาณแทรกสอดจาก หัวข้อ 3.3.2 โดยใช้ เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่จากงานวิจัยของ Liu, J., Wu, J., Chen, J., Wang, P., and Zhang, J. (2012) โดยผลของกราฟแสดงการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ที่ได้จากกราฟสัญญาณแทรกสอดมี 6 กรณี ในกรณีที่ 1 แสดงในรูปที่ 3.12 แสดงถึงการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับเฟม โดเซลล์ในกรณีที่ 1 มีการใช้ช่องสัญญาณความถี่ในเครือข่ายทั้งหมด 5 ความถี่



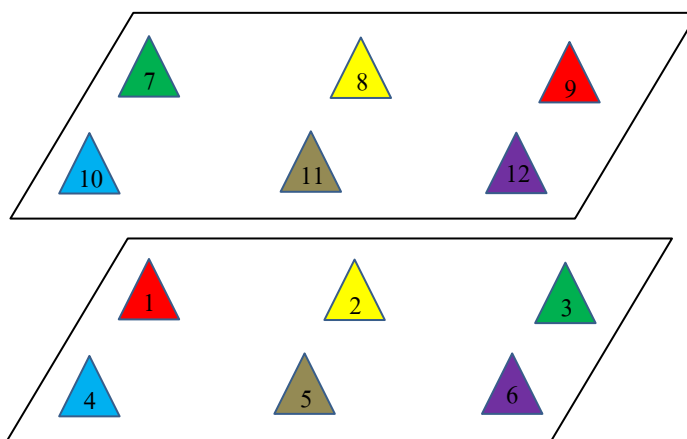
รูปที่ 3.12 การกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในกรณีที่ 1

ในกรณีที่ 2 แสดงในรูปที่ 3.13 แสดงถึงการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับเฟมโตเซลล์ในกรณีที่ 2 มีการใช้ช่องสัญญาณความถี่ในเครือข่ายทั้งหมด 6 ความถี่



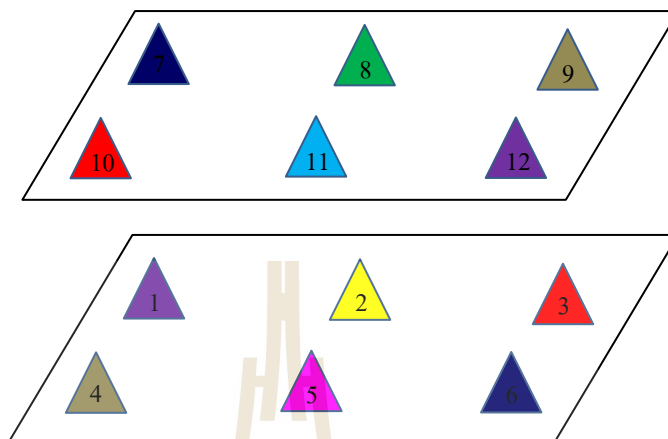
รูปที่ 3.13 การกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในกรณีที่ 2

ในกรณีที่ 3 แสดงในรูปที่ 3.14 แสดงถึงการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับเฟมโตเซลล์ในกรณีที่ 3 มีการใช้ช่องสัญญาณความถี่ในเครือข่ายทั้งหมด 6 ความถี่



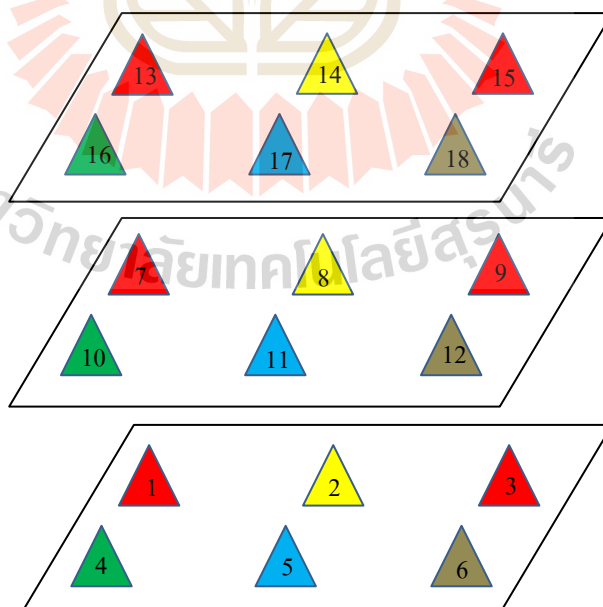
รูปที่ 3.14 การกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในกรณีที่ 3

ในกรณีที่ 4 แสดงในรูปที่ 3.15 แสดงถึงการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับเฟรมโตเซลล์
 ในกรณีที่ 4 มีการใช้ช่องสัญญาณความถี่ในเครือข่ายทั้งหมด 8 ความถี่



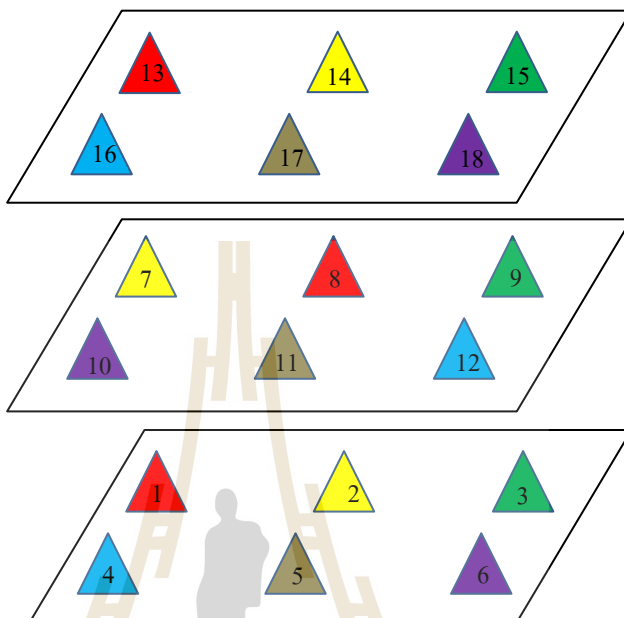
รูปที่ 3.15 การกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟรมโตเซลล์ในกรณีที่ 4

ในกรณีที่ 5 แสดงในรูปที่ 3.16 แสดงถึงการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับเฟรมโตเซลล์
 ในกรณีที่ 5 มีการใช้ช่องสัญญาณความถี่ในเครือข่ายทั้งหมด 5 ความถี่



รูปที่ 3.16 การกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟรมโตเซลล์ในกรณีที่ 5

ในกรณีที่ 6 แสดงในรูปที่ 3.17 แสดงถึงการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับเฟมโตเซลล์
ในกรณีที่ 6 มีการใช้ช่องสัญญาณความถี่ในเครือข่ายทั้งหมด 6 ความถี่

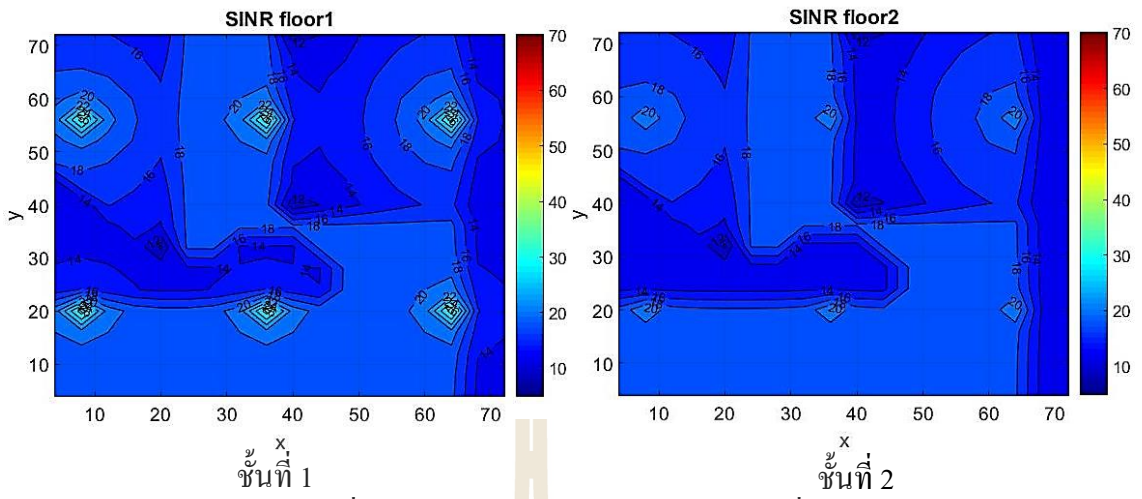


รูปที่ 3.17 การกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในกรณีที่ 6

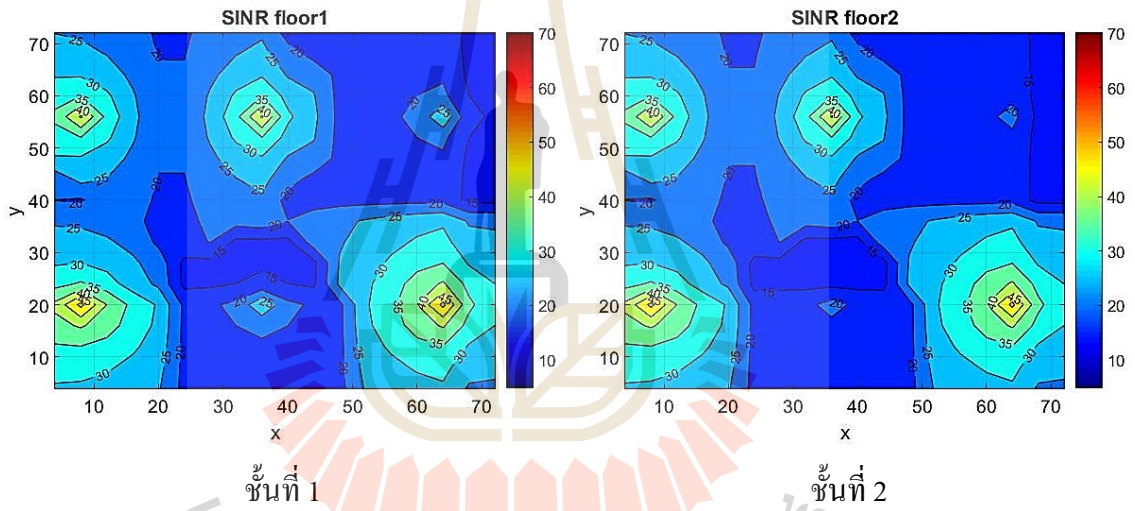
จากรูปแสดงกราฟของการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่พบว่า กรณีที่มีพารามิเตอร์เหมือนกันแต่แตกต่างกันที่ การกำหนด %Overlap Threshold จะส่งผลต่อจำนวนของการใช้งานช่องสัญญาณความถี่ในแต่ละกรณี

3.3.3 กราฟแสดงคุณภาพสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ

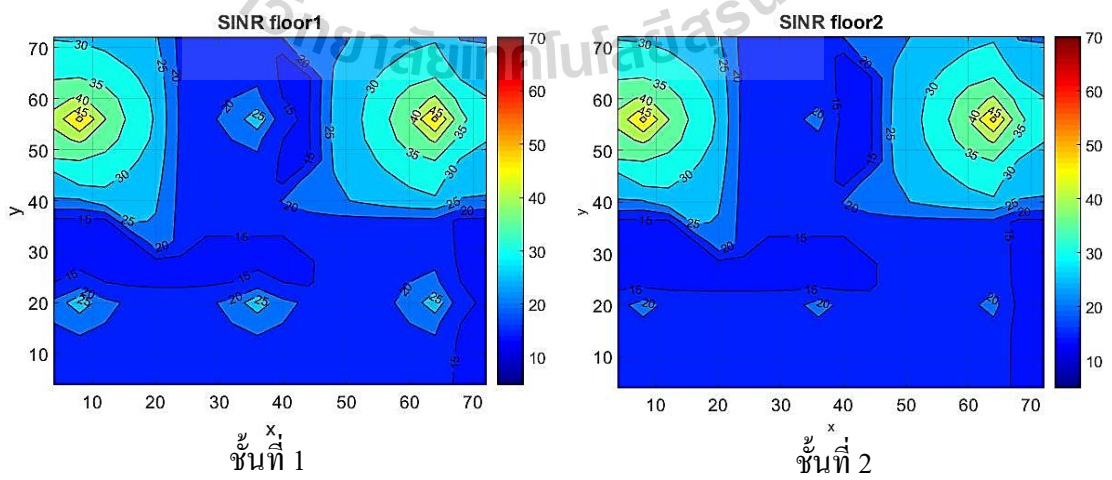
ผลการทดลองอย่างี่สาม คือ กราฟแสดงคุณภาพของสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ โดยแสดงให้เห็นถึงคุณภาพของสัญญาณของแต่ละจุดทดสอบสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ คุณภาพของสัญญาณแสดงอยู่ในรูปของ Signal to Noise Ratio (SINR) ซึ่งกราฟแสดงคุณภาพของสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ จะแสดงอยู่ในรูปของ Contour Plot โดยในกลุ่มแรกเป็นกรณีแบบโครงสร้างพื้นที่ให้บริการแบบสองชั้น แสดงดังรูปที่ 3.18 – รูปที่ 3.21 และในกลุ่มที่สองเป็นกรณีแบบโครงสร้างพื้นที่ให้บริการแบบสามชั้น แสดงดังรูปที่ 3.22 และ รูปที่ 3. 23



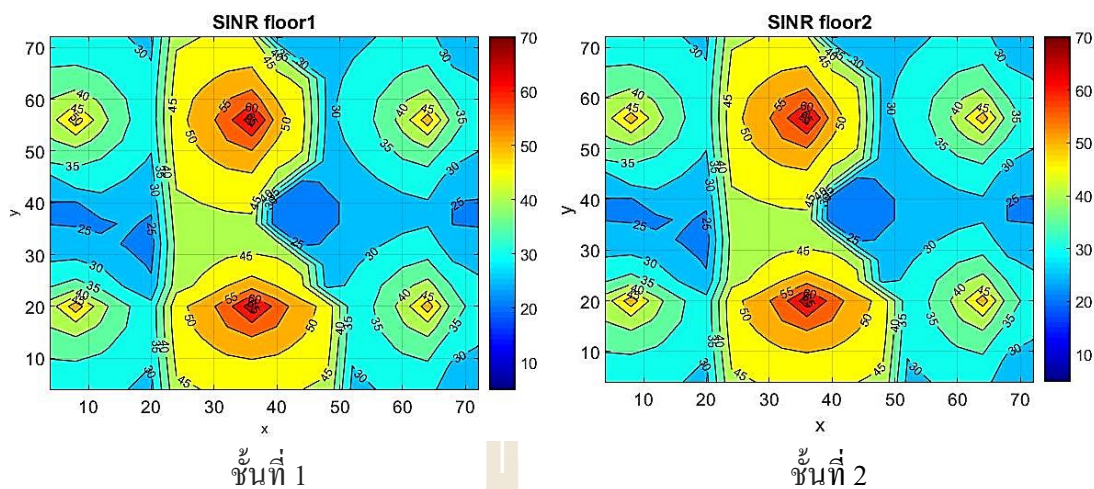
รูปที่ 3.18 Contour plot ของ SINR ในกรณีที่ 1



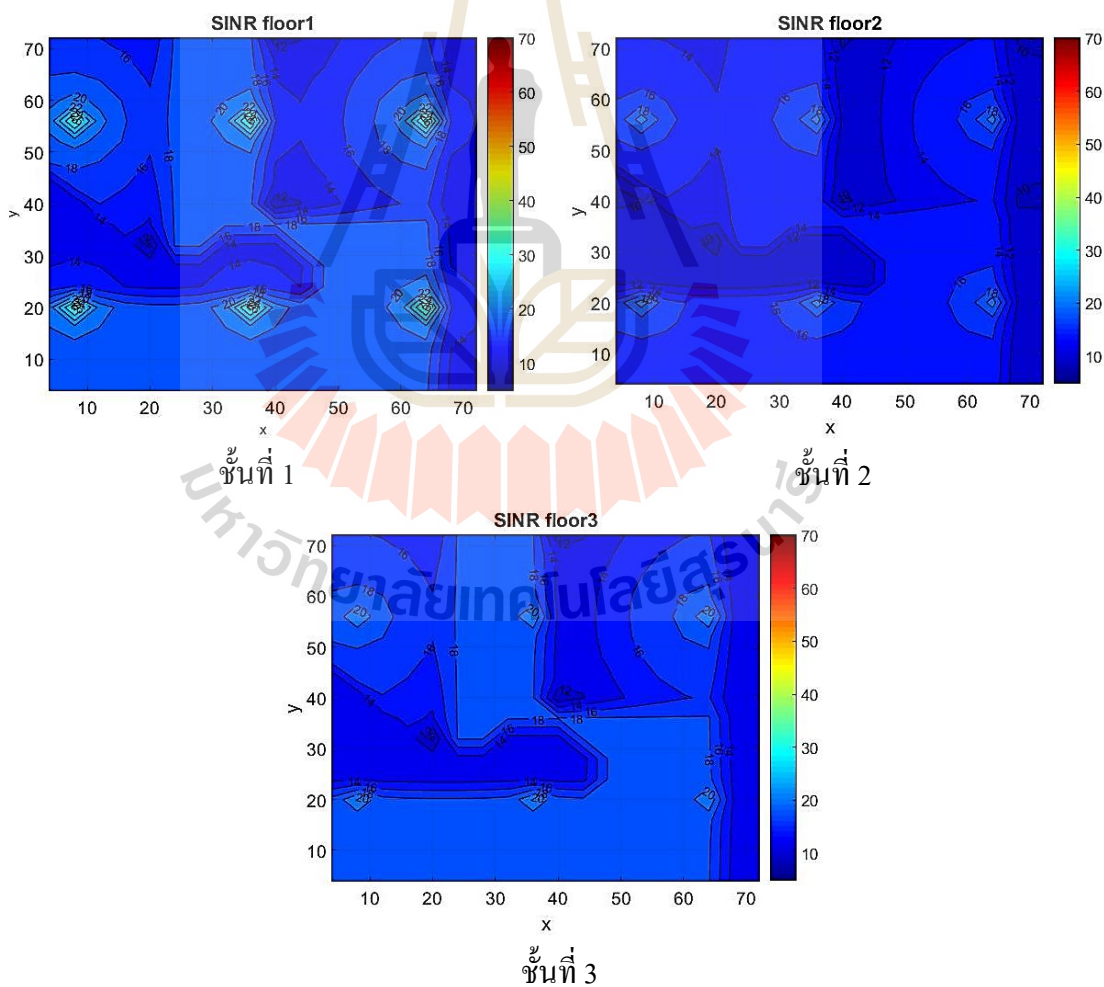
รูปที่ 3.19 Contour plot ของ SINR ในกรณีที่ 2



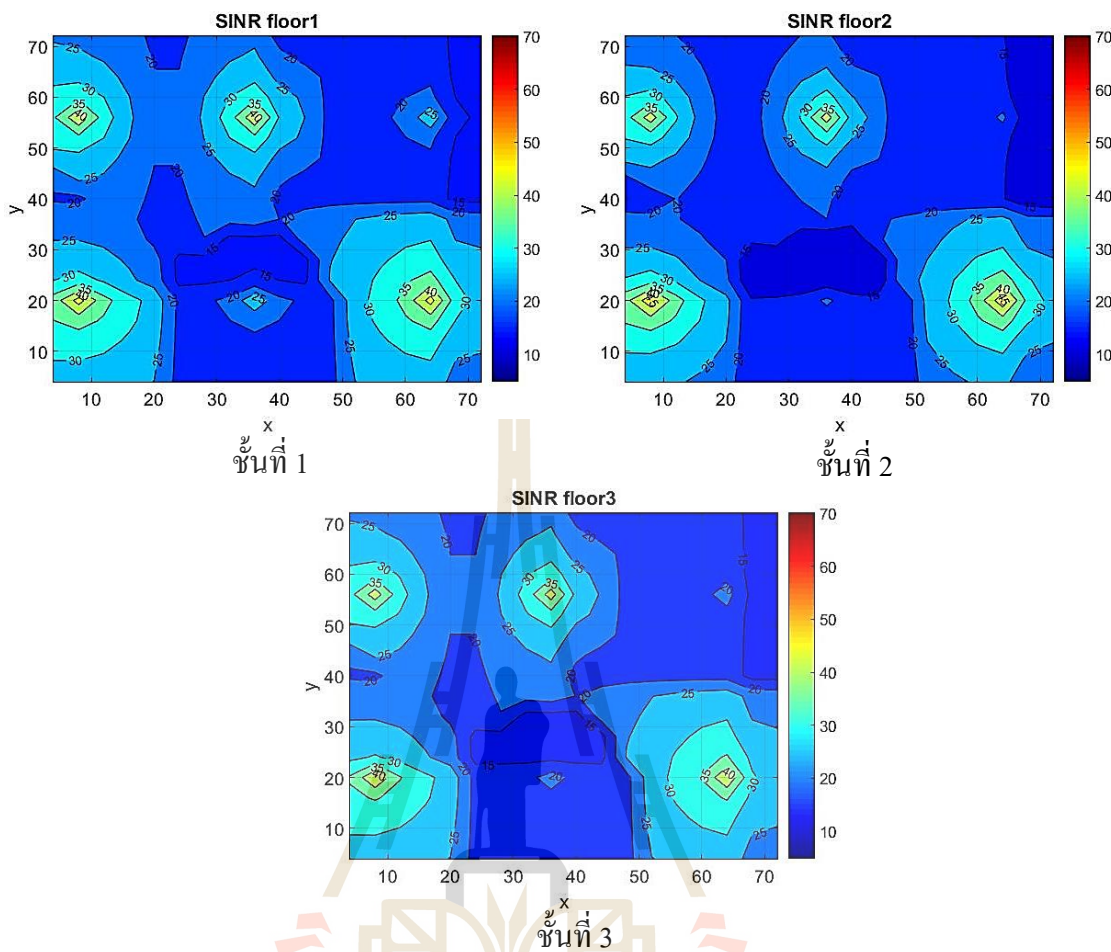
รูปที่ 3.20 Contour plot ของ SINR ในกรณีที่ 3



รูปที่ 3.21 Contour plot ของ SINR ในกรณีที่ 4



รูปที่ 3.22 Contour plot ของ SINR ในกรณีที่ 5



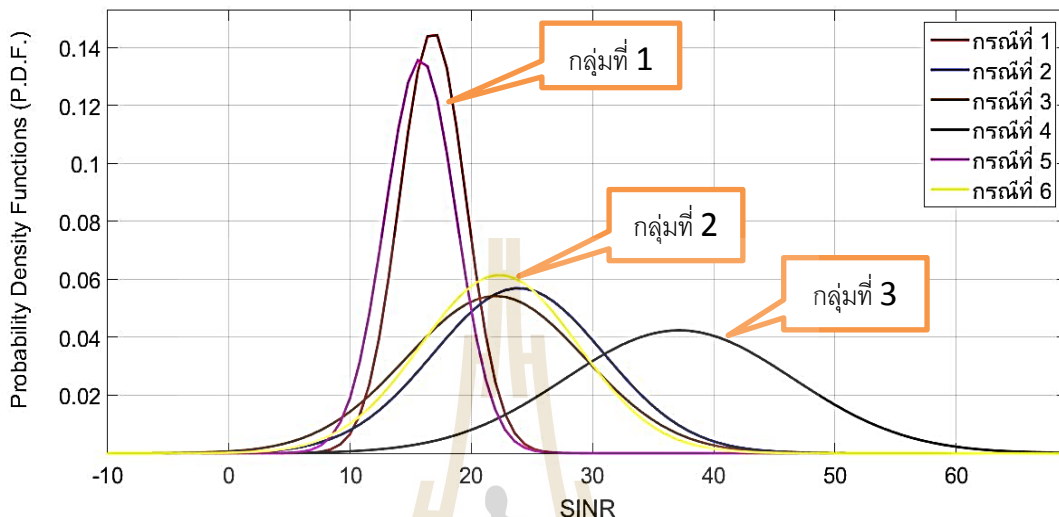
รูปที่ 3.23 Contour plot ของ SINR ในกรณีที่ 6

จาก Contour plot ของ SINR จากกรณีต่างๆที่ทำการทดลองพบว่า บริเวณที่มีค่า SINR ต่ำ เป็นเพราะ การใช้ความถี่ที่ซ้ำกันและตำแหน่งของเฟมโตเซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำกันมีตำแหน่งตรงกัน ทำให้เกิดการรบกวนมากขึ้น ส่งผลให้ ค่า SINR ต่ำ ส่วนบริเวณที่มีค่า SINR สูง เป็นเพราะ มีการใช้ความถี่ซ้ำน้อยหรือไม่มีการใช้ความถี่ซ้ำเลย หรือ มีการใช้ความถี่ซ้ำแต่ตำแหน่งที่ตั้งของเฟมโตเซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำกันอยู่คนละตำแหน่งกัน ทำให้เกิดการรบกวนน้อย ส่งผลให้ ค่า SINR สูง

3.3.4 กราฟแสดงฟังก์ชันหนาแน่นความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ

ผลการทดลองอย่างี่ 4 คือ กราฟแสดงฟังก์ชันหนาแน่นความน่าจะเป็นของ คุณภาพสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ โดยแสดงให้เห็นถึง แนวโน้มการกระจายตัวของคุณภาพ สัญญาณของแต่ละจุดทดสอบสัญญาณที่แสดงอยู่ในรูปของ Signal to Noise Ratio (SINR) แบ่งผล

ที่ได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็น กรณีที่ 1,5 กลุ่มที่ 2 เป็นกรณีที่ 2,3,6 และ กลุ่มที่ 3 เป็นกรณีที่ 4 แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.24 กราฟเปรียบเทียบความหนาแน่นความน่าจะเป็นของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน จำนวน 6 กรณี

ตารางที่ 3.2 สรุปผลของค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกราฟแสดงฟังก์ชันความหนาแน่นของคุณภาพสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ แบ่งเป็นของแต่ละชั้นของแต่ละกรณีทั้ง 6 กรณี

	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4		กรณีที่ 5			กรณีที่ 6		
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
ค่าเฉลี่ย	17.1	16.4	24.0	23.7	22.2	21.7	37.1	37.1	17.0	14.0	16.3	23.2	20.9	22.7
	6	5	4	4	5	4	5	3	7	0	5	6	2	7
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.98	2.43	6.92	7.10	7.26	7.46	9.42	9.42	2.99	2.43	2.43	6.14	7.04	6.03

ตารางที่ 3.3 สรุปผลของค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกราฟแสดงฟังก์ชันหนาแน่นความน่าจะเป็นของคุณภาพสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ เป็นภาพรวมของแต่ละกรณีทั้ง 6 กรณี

	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4	กรณีที่ 5	กรณีที่ 6
ค่าเฉลี่ย	16.80	23.89	22.00	37.14	15.81	22.32
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.74	7.01	7.36	9.41	2.93	6.49

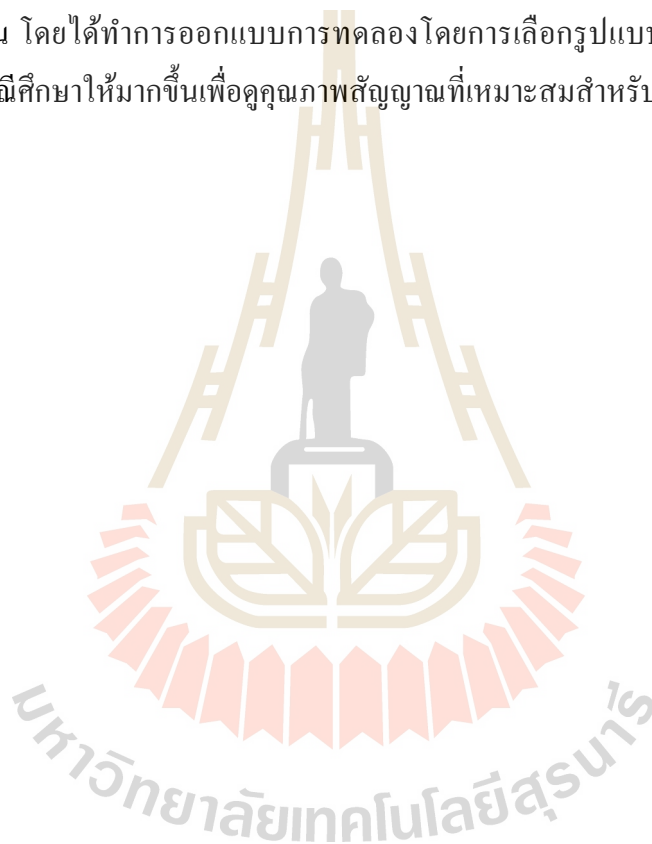
จากรูปที่ 3.24 และจากตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3 แบ่งผลการทดลองที่ได้ ออกเป็น 3 กลุ่ม โดยในกลุ่มที่ 1 มีกรณีที่ 1 และ 5 ใช้ช่องสัญญาณความถี่ทั้งหมด 5 ความถี่ สังเกตได้ว่า กราฟในกลุ่มนี้มี SINR อยู่ที่ประมาณ 15-16 dBm เหตุที่มีค่า SINR ประมาณนี้เพราะ มีเฟมโตเซลล์ที่มีการใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่ซ้ำกันอยู่จำนวนมาก ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่ซ้ำกัน และ เกิดจากตำแหน่งของเฟมโตเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่ซ้ำกันมีตำแหน่งที่ตรงกันในแนวตั้ง โดยในกลุ่มนี้ ค่า SINR ของกรณีที่ 1 มีค่าที่ดีกว่า กรณีที่ 5 เพราะกรณีที่ 5 นั้นเป็นแบบ 3 ชั้น ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนมากกว่ากรณีที่ 1 ที่เป็นแบบ 2 ชั้น

กลุ่มที่ 2 มีกรณีที่ 2 3 และ 6 ใช้ช่องสัญญาณความถี่ทั้งหมด 6 ความถี่สังเกตได้ว่า กราฟในกลุ่มนี้มี SINR อยู่ที่ประมาณ 22-23 dBm เหตุที่ได้ SINR ประมาณนี้เพราะ การใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่ซ้ำกันและตำแหน่งของเฟมโตเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่ซ้ำกัน แต่มีน้อยกว่าในกลุ่มแรก จึงทำให้เกิดสัญญาณรบกวนน้อยกว่า โดยกลุ่มนี้ ค่า SINR ของกรณีที่ 2 มีค่าดีกว่า กรณีที่ 3 และ 6 เพราะ กรณีที่ 2 มีเฟมโตเซลล์ที่มีตำแหน่งที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่ซ้ำกันน้อยกว่ากรณีที่ 3 และ มีจำนวนชั้นน้อยกว่า กรณีที่ 6 ที่เป็นแบบ 3 ชั้น ทำให้กรณีที่ 3 และ 6 มีสัญญาณรบกวนมากกว่ากรณีที่ 2

กลุ่มที่ 3 มีกรณีที่ 4 ใช้ช่องสัญญาณความถี่ทั้งหมด 8 ความถี่ มีค่า SINR อยู่ที่ประมาณ 37 dBm เหตุที่ได้ค่า SINR สูงกว่ากรณีอื่นๆ เพราะ กรณีที่ 4 นั้นมี interference link มาก ทำให้เกิดการรบกวนของสัญญาณนั้นต่ำและมีการใช้ความถี่ที่ซ้ำกันนั้นน้อย จึงส่งผลให้ได้ค่า SINR ที่สูง

3.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อกำหนดกรณีการทดลองที่แตกต่างกันที่การกำหนดเกณฑ์ %overlap จะส่งผลกระทบต่อกราฟสัญญาณแทรกสอดที่จะนำไปใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่าย Femto เซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น โดยถึงแม้ว่า จะมีกำลังงานภาคส่งจากสถานีฐาน Femto เซลล์เท่ากัน แต่การกำหนด %Overlap Threshold ต่างกัน ก็ส่งผลให้ได้ Interference Links ที่แตกต่างกัน ก็จะทำให้จำนวนการใช้ช่องสัญญาณความถี่แตกต่างกัน และจำนวนความถี่ที่ใช้งานก็จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสัญญาณในพื้นที่การให้บริการ ซึ่งจากงานที่ดำเนินการไปแล้วนั้น เป็นเพียงการทดลองเบื้องต้น โดยได้ทำการออกแบบการทดลองโดยการเลือกรูปแบบขึ้นมาเอง ในงานต่อไป ผู้วิจัยจะเพิ่มกรณีศึกษาให้มากขึ้นเพื่อคุณภาพสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่การให้บริการ



บทที่ 4

เทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณ ความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น

จากเนื้อหาที่ได้กล่าวถึงทฤษฎีและความรู้พื้นฐานต่างๆในบทที่ 2 และการทดลองเบื้องต้น เพื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณของเครือข่ายเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นเมื่อใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดในขั้นตอนการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์มีการนำมาประยุกต์ใช้งานแพร่หลายมากขึ้น ทั้งในอาคารสำนักงาน อาคารพาณิชย์ หรือห้างสรรพสินค้า และบริเวณที่เกิดจุดอับสัญญาณภายในอาคารต่างๆที่สถานีฐานจากภายนอกนั้นไม่สามารถกระจายสัญญาณเข้ามาถึงผู้ใช้งานในบริเวณภายในอาคารได้ เพื่อให้ได้คุณภาพของสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ดีขึ้น การใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่เพื่อกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในเครือข่าย จึงเป็นสิ่งที่จำเป็น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานต่อผู้ใช้งานในเครือข่าย โดยผู้วิจัยได้นำเสนอเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น เพื่อใช้ในการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเครือข่ายภายในอาคาร โดยเนื้อหาในบทนี้นำเสนอเกี่ยวกับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่เหมาะสมตามเงื่อนไข ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อหาดังต่อไปนี้ 4.1 แนวคิดสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด 4.2 การกำหนดปัญหาในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด 4.3 โปรแกรม(โค้ด)ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด 4.4 โปรแกรมช่วยหาคำตอบสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด

4.1 แนวคิดสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด

เทคโนโลยีเฟมโตเซลล์ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีในด้านการสื่อสารแบบไร้สายที่ใช้ในปัจจุบัน นั่นคือการใช้งานร่วมกับเทคโนโลยี 4G-LTE เพื่อเพิ่มอัตราเร็วในการส่งข้อมูลและช่วยเพิ่มคุณภาพของสัญญาณในบริเวณพื้นที่ที่อับสัญญาณภายในอาคาร โดยเทคโนโลยีเฟมโตเซลล์เป็นสถานีฐานขนาดเล็กที่มีกำลังส่งสัญญาณต่ำ ขอบเขตครอบคลุมของสัญญาณจะไม่กว้างมาก เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดเล็กถึงปานกลาง เช่น

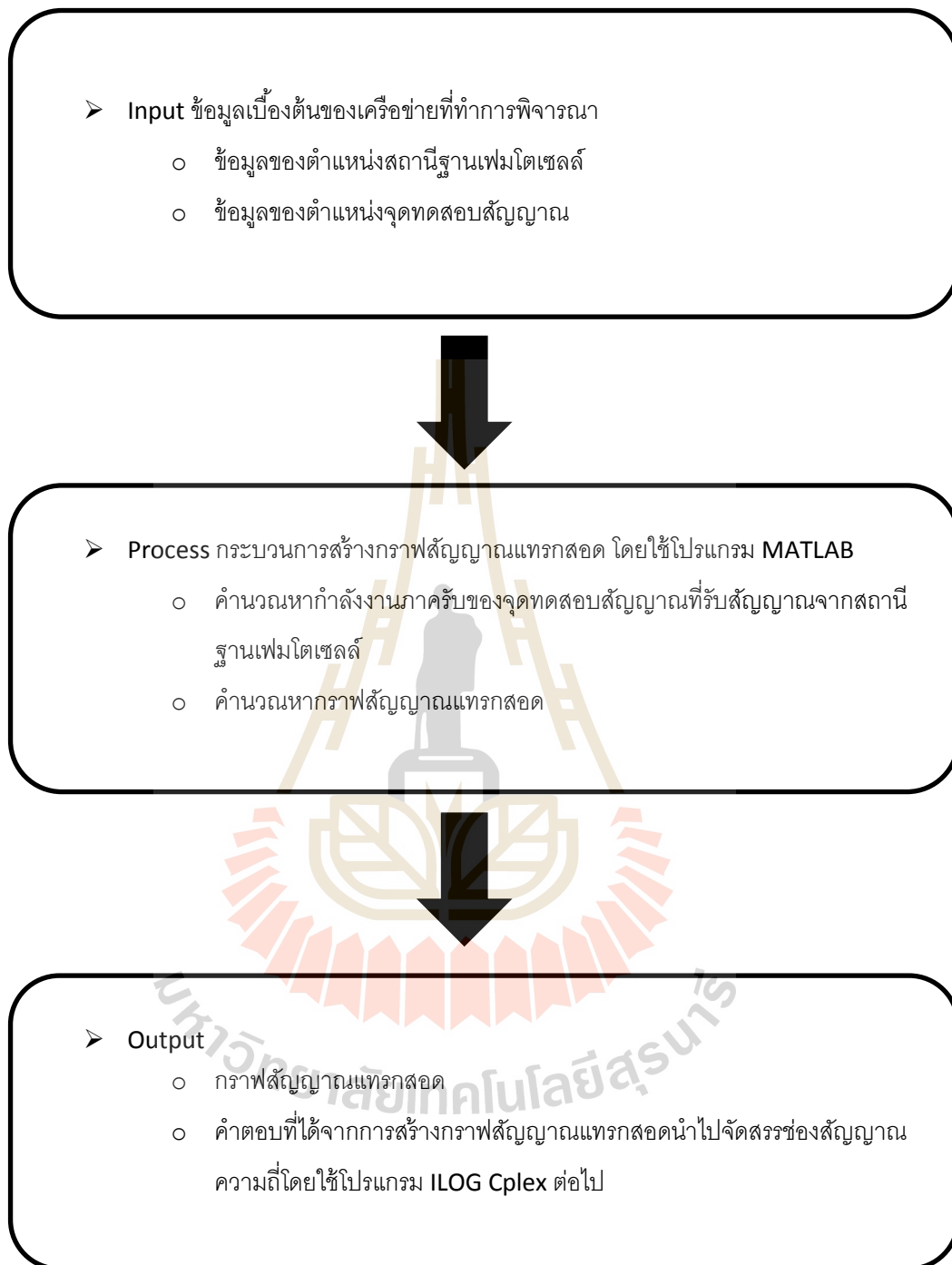
อาคารหรือสำนักงาน เป็นต้น การทำงานของสถานีฐานเฟมโตเซลล์นั้นเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านตัวรับสัญญาณอินเทอร์เน็ต(DSL router)และทำการกระจายสัญญาณให้กับผู้ใช้งาน อุปกรณ์สื่อสารไร้สายภายในอาคารหรือบริเวณพื้นที่การใช้งาน โดยแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในเครือข่ายถ้ามีการใช้ช่องสัญญาณความถี่เหมือนกัน จะส่งผลให้เกิดสัญญาณรบกวนระหว่างแต่ละสถานีฐาน ทำให้ได้คุณภาพสัญญาณต่ำกว่าที่ควร ดังนั้นการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์จึงมีความสำคัญอย่างมาก โดยมีวิธีที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและสมรรถนะในการทำงานนั้นคือ การจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ของเครือข่ายในพื้นที่การให้บริการที่พิจารณาอย่างเหมาะสม

จากหลายงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษา ให้ความสนใจเกี่ยวกับวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยวิธีการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่เช่นงานวิจัยของ Selim, M. M., El-Khamy, M., and El-Sharkawy, M. (2012) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่โดยใช้วิธีการนำช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่ และการกำหนดช่องสัญญาณความถี่โดยใช้อัลกอริทึมมาช่วยในการกำหนด เช่นงานวิจัยของ Liu, J., Wu, J., Chen, J., Wang, P., and Zhang, J. (2012) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ซึ่งเกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์ มีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่โดยใช้ Node-colouring heuristic algorithm เพื่อลดจำนวนการใช้งานของช่องสัญญาณความถี่ให้เหลือน้อยที่สุดเป็นต้น จากงานวิจัยหลายๆงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษานั้น ยังไม่มีการนำเสนอวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่จะช่วยในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น โดยเป็นการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ตามเงื่อนไขที่ได้จากกราฟสัญญาณแทรกสอด ซึ่งอาคารแบบหลายชั้นที่ทำการพิจารณา กำหนดพิกัดเป็นแบบสามมิติ(แกน X แกน Y แกน Z) โดยที่แกน X คือความกว้างของอาคาร แกน Y คือความยาวของอาคาร และแกน Z คือความสูงของอาคาร

วิทยานิพนธ์เล่มนี้แนะนำให้เสนอเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น โดยใช้กราฟสัญญาณแทรกสอด ซึ่งสามารถที่จะนำไปกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในเครือข่ายทั้งแบบชั้นเดียวและแบบหลายชั้น รวมไปถึงสามารถนำไปใช้กับเครือข่ายสถานีฐานที่มีลักษณะโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

4.2 การกำหนดปัญหาในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด

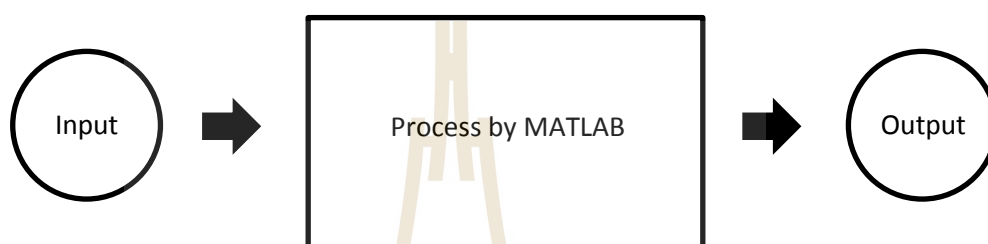
สำหรับการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในเครือข่ายของงานวิจัยบทนี้ ได้ใช้กราฟสัญญาณแทรกสอด (Interference graph) มาช่วยในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์อย่างเหมาะสม มีการใช้อัลกอริทึมในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่จากงานวิจัยของ Liu, J., Wu, J., Chen, J., Wang, P., and Zhang, J. (2012) ที่ได้ทำการอธิบายไว้ในบทที่ 2 ในงานวิจัยชิ้นนี้มีเป้าหมายคือการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้เหมาะสมกับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในเครือข่ายที่ทำการพิจารณาและใช้จำนวนของช่องสัญญาณความถี่ให้น้อยที่สุด ตามเงื่อนไขที่ได้จากกราฟสัญญาณแทรกสอด โดยขั้นตอนการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดนั้นแสดงดังรูปที่ 4.1 แสดงถึงคำตอบของปัญหาที่ตั้งไว้ (เอาต์พุต: Output) นั้นหมายความว่ากราฟสัญญาณแทรกสอดที่แสดงเงื่อนไขที่จะนำไปใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ด้วยอัลกอริทึม ซึ่งคำตอบที่ได้นั้นมาจากการนำข้อมูลอินพุต (Input) ต่างๆ ประกอบด้วย ข้อมูลของตำแหน่งสถานีฐานเฟมโตเซลล์และข้อมูลของตำแหน่งจุดทดสอบสัญญาณ ซึ่งจากข้อมูลอินพุตเหล่านี้ นำไปผ่านกระบวนการในการคำนวณเพื่อหาคำตอบด้วยโปรแกรมในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด หลังจากได้คำตอบของสัญญาณแทรกสอด จะนำคำตอบที่ได้ไปเป็นอินพุตในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในเครือข่ายที่ทำการพิจารณา เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทำงานของปัญหาในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด

4.3 โปรแกรมในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด

การเขียนโปรแกรมในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ใช้สำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นได้มีการเขียนชุดโปรแกรมคำสั่งโดยใช้โปรแกรม MATLAB มาช่วยคำนวณหาคำตอบของกราฟสัญญาณแทรกสอด โดยจะต้องเขียนชุดคำสั่งต่างๆที่ต้องการลงในโปรแกรม MATLAB เพื่อให้โปรแกรมทำการคำนวณหาคำตอบที่ต้องการออกมา โดยมีส่วนประกอบในการแก้ปัญหาดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบของปัญหาในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด

การแก้ปัญหในงานวิจัยนี้ กำหนดด้วยชุดโปรแกรมคำสั่งที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมาสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดเพื่อนำคำตอบที่ได้ไปเป็นเงื่อนไขในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อต้องการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟม โดเซลล์ภายในอาคารที่ได้ทำการพิจารณาให้เกิดความเหมาะสมที่สุดและใช้จำนวนช่องสัญญาณความถี่ให้น้อยที่สุด โดยในการออกแบบการสร้างช่องสัญญาณความถี่สำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟม โดเซลล์นั้น มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

พารามิเตอร์เบื้องต้น

- จำนวนและตำแหน่งของสถานีฐานเฟม โดเซลล์
- จำนวนและตำแหน่งของจุดทดสอบสัญญาณ
- พารามิเตอร์ตัวแปรค่าคงที่ต่างๆ

ขั้นตอนการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด มีดังต่อไปนี้

1. กำหนดพารามิเตอร์เบื้องต้นต่างๆที่ใช้ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด
2. คำนวณระยะระหว่างจุดทดสอบสัญญาณกับสถานีฐานเฟม โดเซลล์

3. คำนวณหาค่าพลังงานภาครับที่จุดทดสอบสัญญาณ

4. คำนวณหา %Overlap ระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยเป็นการเปรียบเทียบจุดทดสอบสัญญาณระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์สองสถานีฐาน จากสมการ

$$\%Overlap = \frac{Z}{(X-Z)+(Y-Z)+Z} \times 100$$

กำหนดให้

X คือจำนวนของจุดทดสอบสัญญาณที่ความแรงของสัญญาณผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ a

Y คือจำนวนของจุดทดสอบสัญญาณที่ความแรงของสัญญาณผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ b

Z คือจำนวนของจุดทดสอบสัญญาณที่ความแรงของสัญญาณผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้ง a และสถานีฐานเฟมโตเซลล์ b

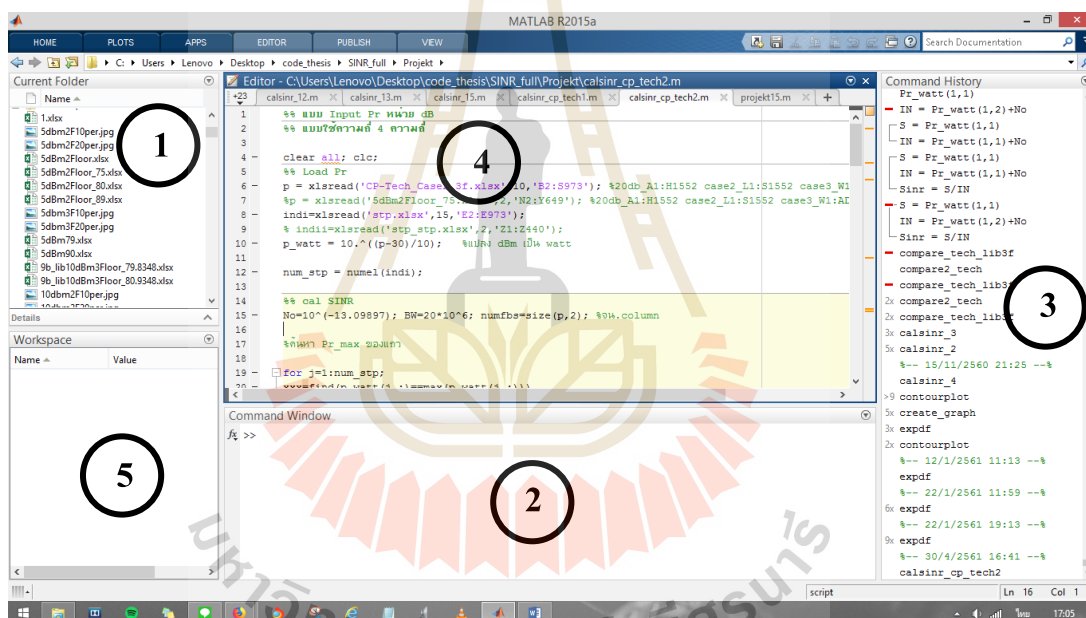
5. กำหนด %Overlap threshold เพื่อเป็นเกณฑ์ในการกำหนดว่า เกิด Interference Links ระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์ หรือไม่

โดยกำหนดว่า ถ้า %Overlap ที่ได้จากการคำนวณนั้น มากกว่า %Overlap threshold หมายความว่า เกิด Interference links ระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์ แต่ถ้า %Overlap ที่ได้จากการคำนวณน้อยกว่าหรือเท่ากับ %Overlap threshold หมายความว่า ไม่เกิด Interference links ระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์

หลังจากได้คำตอบจากปัญหาในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด ไปเป็นข้อมูลเงื่อนไขในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยได้นำวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่จากงานวิจัยของ Liu, J., Wu, J., Chen, J., Wang, P., and Zhang, J. (2012) ที่ได้มีการอธิบายไว้ในบทที่ 2 เพื่อได้คำตอบของการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในเครือข่ายที่ทำการพิจารณา

4.4 โปรแกรมช่วยหาคำตอบสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด

วิธีการแก้ปัญหาและหาคำตอบของการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด การที่จะให้ได้คำตอบที่เหมาะสม จำเป็นต้องใช้การประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อความสะดวก รวดเร็วในการทำงาน ได้คำตอบของปัญหาที่ถูกต้องและแม่นยำ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม MATLAB and Simulink เป็นซอฟต์แวร์ในการแก้ปัญหาและหาคำตอบของการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด ซึ่งโปรแกรม MATLAB เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการคำนวณ การเขียนโปรแกรมเขียนอัลกอริทึม สร้างแบบจำลอง รวมไปถึงการทำซิมูเลชันต่างๆ เพื่อให้ได้คำตอบที่ต้องการ หน้าต่างการทำงานของโปรแกรม MATLAB จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 4.3 โดยจะอธิบายรายละเอียดของหน้าต่างโปรแกรม MATLAB ตามหมายเลข 1 – 5 ดังนี้



รูปที่ 4.3 หน้าต่างของโปรแกรม MATLAB and Simulink

หมายเลขที่ 1 : Current directory folder

เป็นหน้าต่างที่ใช้แสดงไฟล์และตำแหน่งของการจัดเก็บที่กำลังเปิดการใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยหน้าต่างนี้เพื่อให้เข้าถึง m-file, md;-file หรือ mat-file ได้อย่างรวดเร็ว

หมายเลขที่ 2 : Command window

เป็นหน้าต่างที่ใช้แสดงพื้นที่ในการป้อนคำสั่งต่างๆที่ใช้ในการกำหนดค่าตัวแปร ป้อนคำสั่ง และรันโปรแกรมต่างๆ เพื่อให้โปรแกรม MATLAB คำนวณหาคำตอบ

หมายเลขที่ 3 : Command history

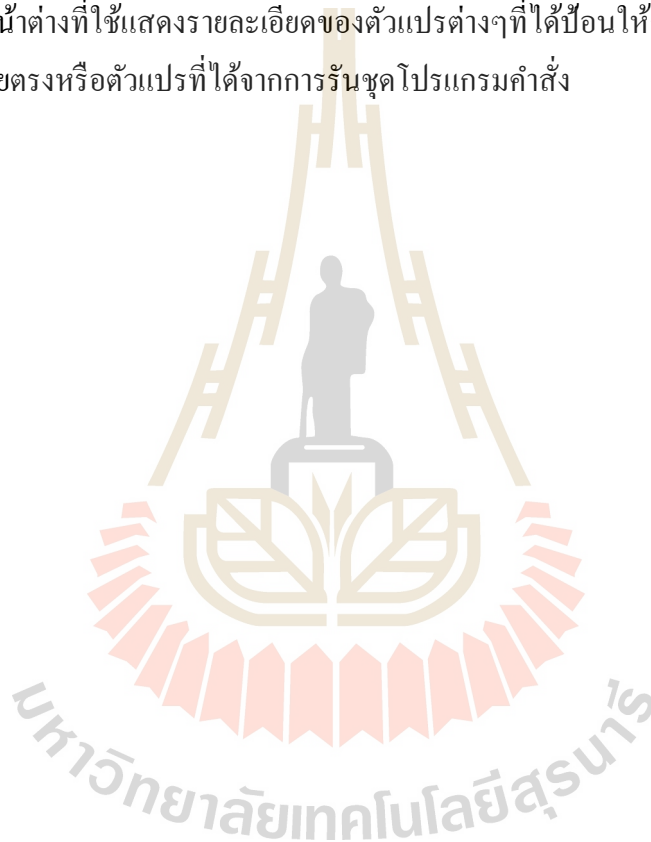
เป็นหน้าต่างที่แสดงถึงคำสั่งที่เคยใช้ใน Command window ทั้งหมด

หมายเลขที่ 4 : Editor

เป็นหน้าต่างที่ใช้แสดงชุดโปรแกรมคำสั่งที่ผู้ใช้ได้เขียนขึ้นมา โดยสามารถที่จะแก้ไขชุดคำสั่ง หรือเขียนชุดคำสั่งเข้าไปใหม่ได้ในหน้าต่างนี้ แล้วทำการรันโปรแกรมเพื่อให้โปรแกรม MATLAB ทำการคำนวณหาคำตอบจากชุดโปรแกรมคำสั่งที่ได้เขียนไว้

หมายเลขที่ 5 : Workspace

เป็นหน้าต่างที่ใช้แสดงรายละเอียดของตัวแปรต่างๆที่ได้ป้อนให้กับโปรแกรม ทั้งจากการป้อนตัวแปรโดยตรงหรือตัวแปรที่ได้จากการรันชุดโปรแกรมคำสั่ง



บทที่ 5

การทดลองและวิเคราะห์ผล

จากเนื้อหาในบทที่ 3 ได้มีการนำเสนอแนวคิดของงานวิจัยในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น โดยเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดนั้นเป็นเทคนิคในการช่วยการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยในงานวิจัย ผู้วิจัยได้มองเห็นถึงความสำคัญของการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ที่มีการกำหนดการวางตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ไว้ก่อนแล้ว แต่ยังไม่ได้มีการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีการนำเสนอแนวคิดสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับใช้ในการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ให้เหมาะสมที่สุด เพื่อที่จะส่งผลให้เครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีการศึกษาถึงข้อจำกัด เงื่อนไขและปัจจัยต่างๆ ในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ทั้งในด้านของทฤษฎีและการปฏิบัติจริง และหลังจากนั้นได้นำมาปรับปรุง เพิ่มเติมเงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ ที่จะจำเป็นต่อการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ เพื่อให้ได้กราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ดีที่สุด โดยกราฟสัญญาณแทรกสอดนั้นมีข้อดีคือ ช่วยให้มีประสิทธิภาพของสัญญาณที่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ดีขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อผู้ใช้บริการให้ได้รับประสิทธิภาพการให้บริการเพิ่มมากขึ้น โดยกระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ในงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วยการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดระหว่างสถานีฐานเฟมโตเซลล์และจากนั้นจะทำการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ที่ได้จากกราฟสัญญาณแทรกสอดให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ได้อย่างเหมาะสม (Liu, J. et al,2012) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในด้านของคุณภาพและครอบคลุมพื้นที่การให้บริการ

สำหรับเนื้อหาในบทนี้ จะแสดงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งจะประกอบไปด้วย 5.1)การทดลองเพื่อสาธิตเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 5.2)การทดลองเพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นด้วยเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอกับวิธีการสร้าง

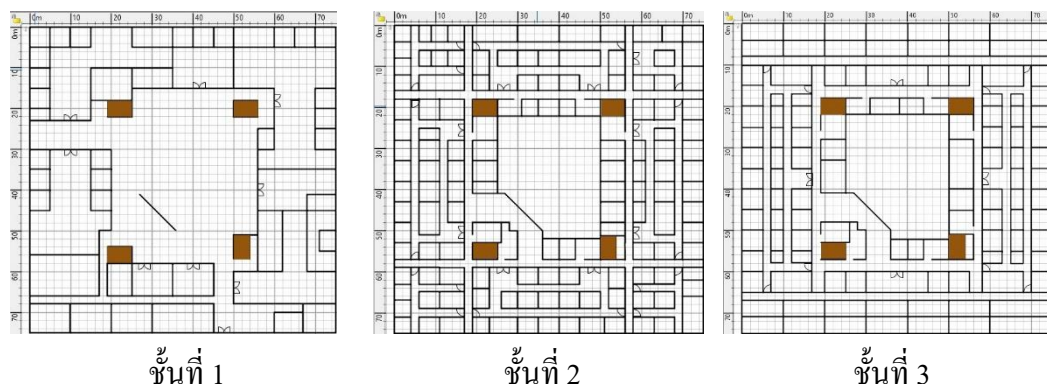
กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน 5.3) การทดลองเพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นด้วยเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอเกี่ยวกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน และ 5.4) สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นทั้งสามเทคนิค

5.1 การทดลองเพื่อสาธิตเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์

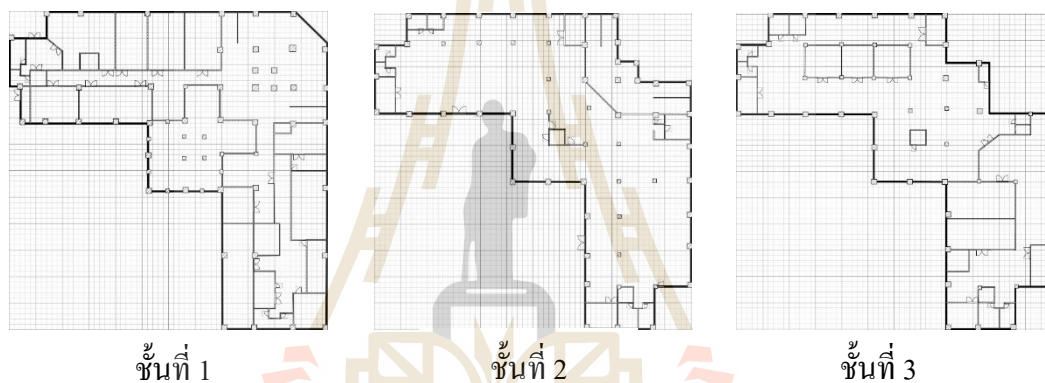
ในหัวข้อนี้ ได้ทำการทดลองเพื่อสาธิตการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับปัญหาการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ได้มีการอธิบายไว้ในบทที่ 3 โดยนำมาใช้ในการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในพื้นที่บริการแบบต่างๆ เพื่อที่จะหาคำตอบของจำนวนช่องสัญญาณความถี่ที่จะกำหนดให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ได้อย่างเหมาะสมและทำการประเมินประสิทธิภาพของสมรรถนะการทำงานของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ได้มีการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ที่มีรูปแบบของพื้นที่การให้บริการที่แตกต่างกัน

5.1.1 การออกแบบการทดลอง

ในหัวข้อการออกแบบการทดลอง ได้ทำการออกแบบพื้นที่การทดลองโดยกำหนดพื้นที่สำหรับการทดลองร่วมกับพื้นที่ของอาคารทั้ง 2 รูปแบบ แต่ละอาคารจะมีการกำหนดตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 2 แบบ และทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละรูปแบบอาคาร ได้แก่ 1) การทดลองในพื้นที่การทดลองแบบอาคารวิชาการ 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 2) การทดลองในพื้นที่การทดลองแบบอาคารบรรณสาร 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งได้แสดงรูปของพื้นที่การทดลองทั้ง 2 รูปแบบ ดังรูปที่ 5.1



(ก) พื้นที่การทดลองแบบอาคารวิชาการ 1



(ข) พื้นที่การทดลองแบบอาคารบรรณสาร 1

รูปที่ 5.1 พื้นที่การทดลอง

5.1.2 การทดลองในพื้นที่การทดลองแบบอาคารวิชาการ 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

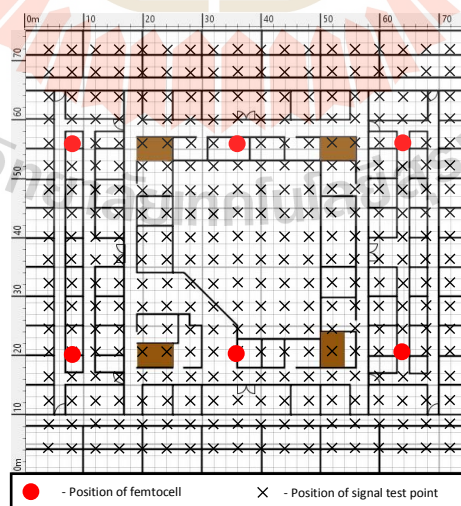
จากเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้นำเสนอไปนั้น ผู้วิจัยได้นำมาทดสอบกับพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่มีจำนวนชั้นในการทดลอง 3 ชั้น แต่ละชั้นมีขนาดความกว้าง 75 เมตร ความยาว 75 เมตรและความสูง 3 เมตร โดยลักษณะโครงสร้างของกำแพงจะมีความแตกต่างกันในแต่ละชั้น ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนั้นประกอบไปด้วยตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยจะกำหนดตำแหน่งของสถานีฐาน 2 แบบ คือ การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้ง 18 สถานีฐานและการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยใช้สมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญกล้า, 2559) ซึ่งทำการ

ติดตั้ง 11 สถานีฐาน ตำแหน่งของจุดทดสอบสัญญาณทั้งหมด 972 จุด แบ่งเป็น 324 จุดในแต่ละชั้น มีการกำหนดระยะห่างระหว่างจุดทดสอบสัญญาณเท่ากับ 4 เมตร กำหนดตำแหน่งการติดตั้งของ สถานีฐานเฟมโตเซลล์มีความสูงจากพื้น 2 เมตรและตำแหน่งของจุดทดสอบสัญญาณมีความสูงจาก พื้น 0.8 เมตร โดยในรูปที่ 5.2 แสดงตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์และจุดทดสอบสัญญาณ โดยเครื่องหมายวงกลมสีแดงแทนตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์และเครื่องหมายกากบาท แทนตำแหน่งของจุดทดสอบสัญญาณ และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในพื้นที่การให้บริการ จะแสดงในตารางที่ 5.1



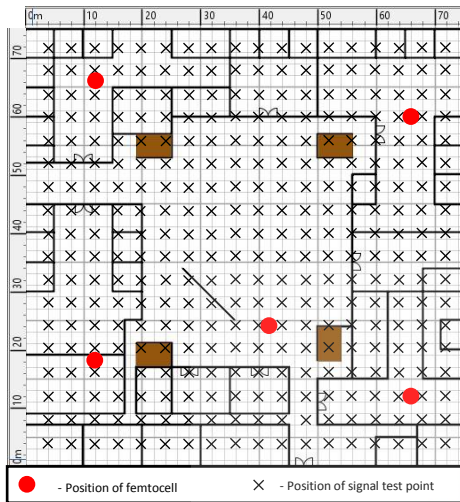
ชั้นที่ 1

ชั้นที่ 2

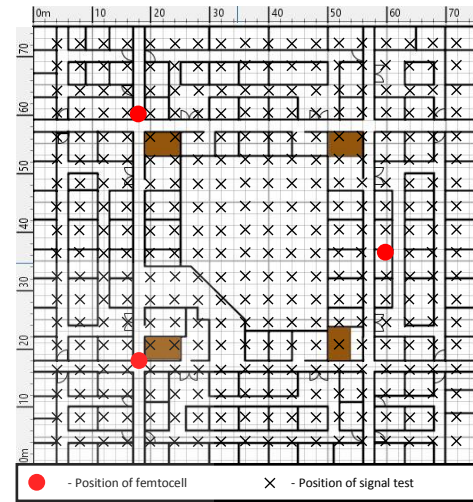


ชั้นที่ 3

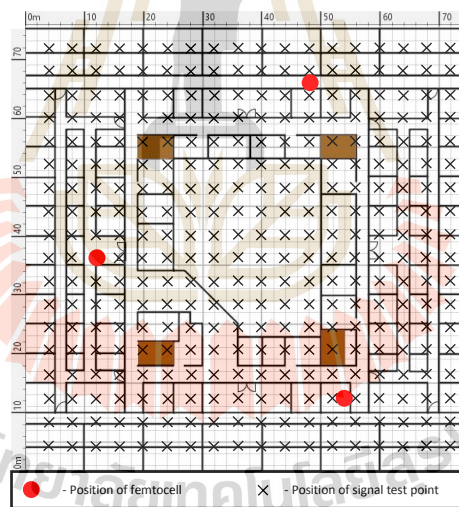
(ก) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 18 สถานีฐาน



ชั้นที่ 1



ชั้นที่ 2



ชั้นที่ 3

(ข) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน โดยการใช้สมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559)
ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 11 สถานีฐาน

รูปที่ 5.2 ตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์และจุดทดสอบสัญญาณบนพื้นที่การให้บริการแบบ

อาคารวิชาการ 1

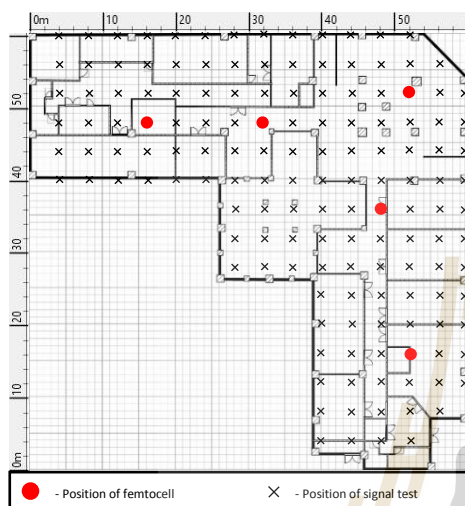
ตารางที่ 5.1 ตารางค่าพารามิเตอร์ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การศึกษาแบบอาคารวิชาการ 1

พารามิเตอร์	ค่า
ความถี่ของสัญญาณ	2.6 GHz
กำลังงานภาคส่งของสัญญาณ	10 dBm
ความกว้างของช่องสัญญาณ	20 MHz
ความสูงของสถานีฐาน	2 เมตร
ความสูงของจุดทดสอบสัญญาณ	0.8 เมตร
จำนวนของจุดทดสอบสัญญาณทั้งหมด	972 จุด
เกณฑ์กำลังงานภาครับ	-79.8348 dBm
เกณฑ์ของ %Overlap	20%
เกณฑ์ SINR	12.6 dB
จำนวนของสถานีฐาน	18 และ 11 สถานีฐาน

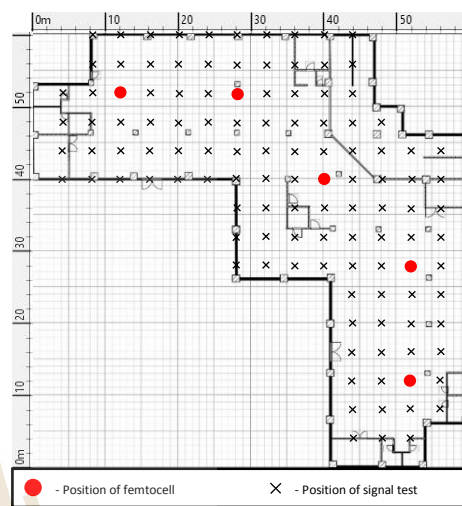
5.1.3 การทดลองในพื้นที่การทดลองแบบอาคารบรรณสาร 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้นำเสนอไปนั้น ผู้วิจัยได้นำมาทดสอบกับพื้นที่การทดลองแบบอาคารบรรณสาร 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่มีจำนวนชั้นในการทดลอง 3 ชั้น แต่ละชั้นมีขนาดความกว้าง 60 เมตร ความยาว 60 เมตรและความสูง 3 เมตร โดยลักษณะโครงสร้างของกำแพงจะมีความแตกต่างกันในแต่ละชั้น ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนั้นประกอบไปด้วยตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยจะกำหนดตำแหน่งของสถานีฐาน 2 แบบ คือ การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้ง 15 สถานีฐานและ การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยใช้สมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) ซึ่งทำการติดตั้ง 7 สถานีฐาน ตำแหน่งของจุดทดสอบสัญญาณ 398 จุด ในชั้นที่ 1 มีจุดทดสอบสัญญาณ 148 จุด ชั้นที่ 2 มีจุดทดสอบสัญญาณ 128 จุด และชั้นที่ 3 มีจุดทดสอบสัญญาณ 122 จุด มีการกำหนดระยะห่างระหว่างจุดทดสอบสัญญาณเท่ากับ 4 เมตร กำหนดตำแหน่งการติดตั้งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์มีความสูงจากพื้น 2 เมตรและตำแหน่งของจุดทดสอบสัญญาณมีความสูงจากพื้น 0.8 เมตร โดยในรูปที่ 5.3 แสดงตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์และจุดทดสอบสัญญาณ โดยเครื่องหมายวงกลม

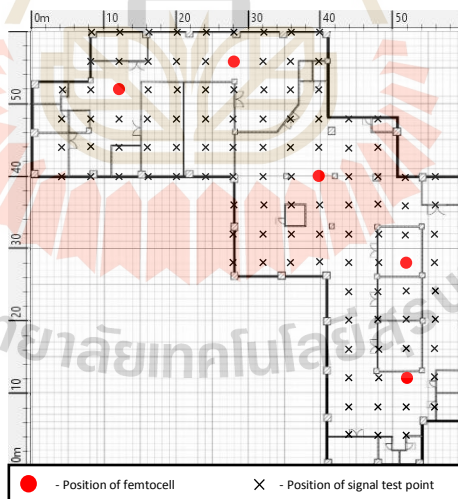
สีแดงแทนตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์และ เครื่องหมายกากบาทแทนตำแหน่งของจุดทดสอบสัญญาณและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในพื้นที่การให้บริการ จะแสดงในตารางที่ 5.2



ชั้นที่ 1

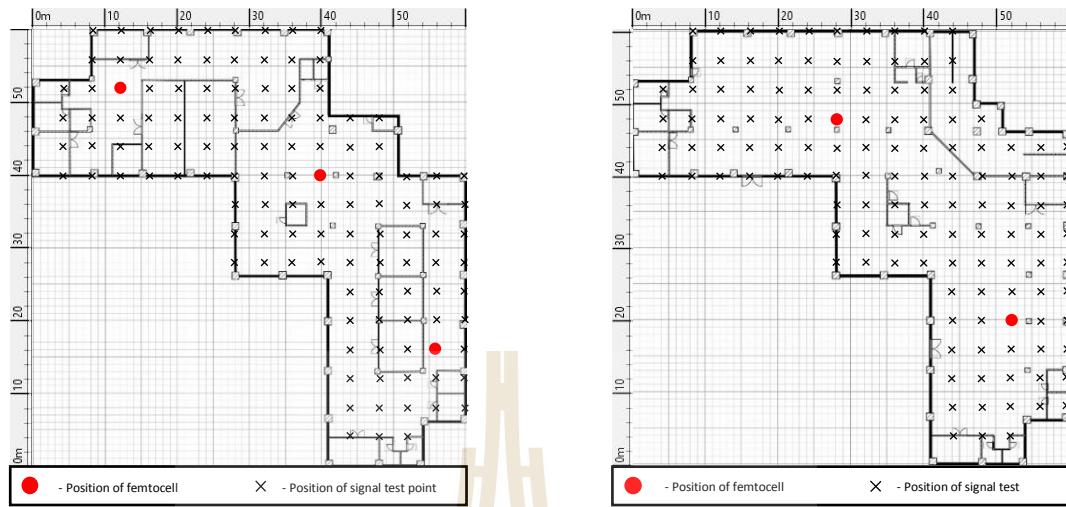


ชั้นที่ 2



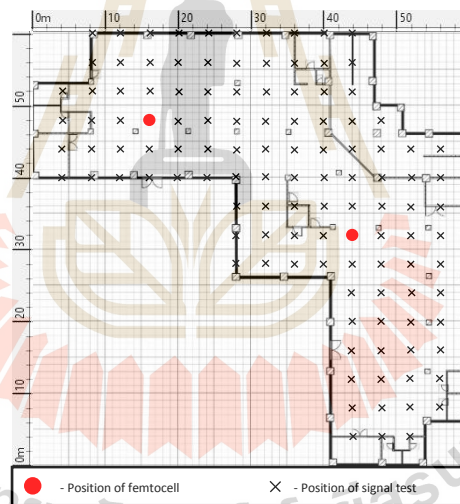
ชั้นที่ 3

(ก) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐาน
เฟมโตเซลล์ 15 สถานีฐาน



ชั้นที่ 1

ชั้นที่ 2



ชั้นที่ 3

(ข) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน โดยการใช้สมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้ำ, 2559)

ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 7 สถานีฐาน

รูปที่ 5.3 ตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์และจุดทดสอบสัญญาณบนพื้นที่การ

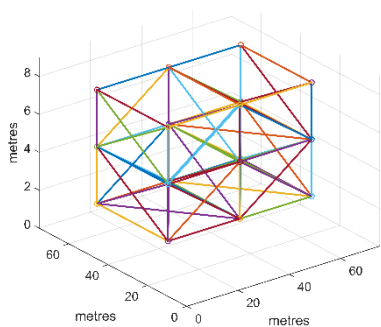
ให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1

ตารางที่ 5.2 ตารางค่าพารามิเตอร์ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การศึกษาแบบ
อาคารบรรณสาร 1

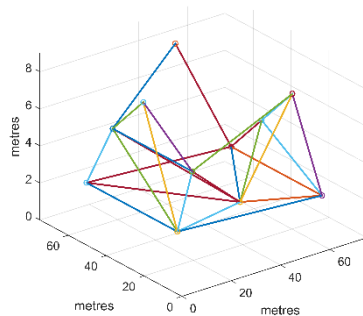
พารามิเตอร์	ค่า
ความถี่ของสัญญาณ	2.6 GHz
กำลังงานภาคส่งของสัญญาณ	10 dBm
ความกว้างของช่องสัญญาณ	20 MHz
ความสูงของสถานีฐาน	2 เมตร
ความสูงของจุดทดสอบสัญญาณ	0.8 เมตร
จำนวนของจุดทดสอบสัญญาณทั้งหมด	398 จุด
เกณฑ์กำลังงานภาครับ	-79.8348 dBm
เกณฑ์ของ %Overlap	20%
เกณฑ์ SINR	12.6 dB
จำนวนของสถานีฐาน	15 และ 7 สถานีฐาน

5.1.4 ผลการทดลอง

ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับปัญหาในการจัดสรรช่องสัญญาณ ความถี่ของเครือข่ายสถานีฐานเพิ่ม โดเซลล์ที่ได้นำเสนอไปนั้น ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Matlab Simulink R2015a โดยใช้คอมพิวเตอร์ Lenovo รุ่น Z40-70 Inter®Core™ i5-4210U ความเร็วของซีพียูที่ 1.70 GHz หน่วยความจำ 4.00 GB 64 บิต ในการประมวลผลเพื่อสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ที่เหมาะสม ซึ่งผลที่ได้จากการประมวลผลหากราฟสัญญาณแทรกสอด นั้นจะแสดงช่องสัญญาณความถี่ที่ถูกใช้ในเครือข่ายสถานีฐานเพิ่ม โดเซลล์ โดยผลการทดลองของอาคารวิชาการ 1 จะแสดงในรูปที่ 5.4 และผลการทดลองของอาคารบรรณสาร 1 แสดงในรูปที่ 5.5

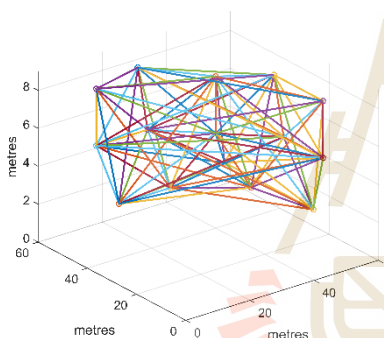


(ก) กำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดยติดตั้ง 18 สถานีฐาน

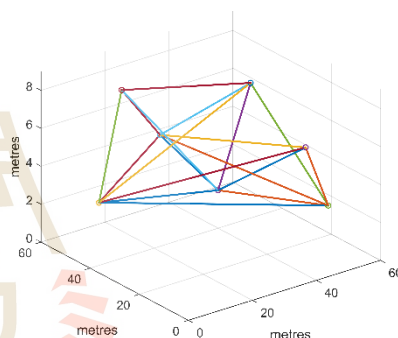


(ข) กำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยสมการคณิตศาสตร์ โดยติดตั้ง 11 สถานีฐาน

รูปที่ 5.4 กราฟสัญญาณแทรกสอดในอาคารวิชาการ 1



(ก) กำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดยติดตั้ง 15 สถานีฐาน



(ข) กำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยสมการคณิตศาสตร์ โดยติดตั้ง 7 สถานีฐาน

รูปที่ 5.5 กราฟสัญญาณแทรกสอดในอาคารบรรณสาร 1

จากผลการทดลองการสร้างกราฟสัญญาณเพื่อการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ โดยใช้โปรแกรม Matlab Simulink R2015a ในการหาคำตอบนั้น กราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้มาสำหรับพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 ดังรูปที่ 5.4 ในการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร คือกำหนดสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ 18 สถานีฐาน ต้องใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่น้อยที่สุดที่ 8 ช่องสัญญาณ และการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) โดยกำหนดสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ 11 สถานีฐาน ใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่น้อยที่สุดที่ 4 ช่องสัญญาณ

ในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ดังรูปที่ 5.5 ผลของกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้มานั้น ในการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร คือกำหนดสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ 15 สถานีฐาน ใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่น้อยที่สุดที่ 10 ช่องสัญญาณ และการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) โดยกำหนดสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ 7 สถานีฐาน ใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่น้อยที่สุดที่ 5 ช่องสัญญาณ

จากกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้มานั้น สังเกตได้ว่าจำนวนของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ติดตั้งในพื้นที่ให้บริการและเส้นเชื่อมระหว่างสถานีฐานที่เรียกว่า interference link จะส่งผลต่อจำนวนช่องสัญญาณความถี่ที่จะใช้งานในเครือข่าย โดยที่ interference link หมายความว่า สถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่มี interference link ระหว่างกัน จะไม่สามารถใช้ช่องสัญญาณความถี่เดียวกันได้ ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้มานั้น ในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตรที่ 18 สถานีฐาน มี interference link 77 links ใช้ช่องสัญญาณความถี่ 8 ช่องสัญญาณ ส่วนของการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยใช้สมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) ที่ 11 สถานีฐาน มี interference link 26 links ใช้ช่องสัญญาณความถี่ 4 ช่องสัญญาณ และในส่วนของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตรที่ 15 สถานีฐาน มี interference link 89 links ใช้ช่องสัญญาณความถี่ 10 ช่องสัญญาณ ส่วนของการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยใช้สมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) ที่ 7 สถานีฐาน มี interference link 18 links ใช้ช่องสัญญาณความถี่ 5 ช่องสัญญาณ โดยถ้า interference link ระหว่างแต่ละสถานีฐานมีจำนวนมาก ก็ส่งผลต่อจำนวนการใช้งานช่องสัญญาณความถี่ให้มีจำนวนมากขึ้น(ขึ้นอยู่กับจำนวนของสถานีฐานด้วย) เนื่องจากมีข้อจำกัดของการใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่ซ้ำกันจาก interference link จึงทำให้ใช้จำนวนช่องสัญญาณความถี่มากขึ้น และในทางกลับกันถ้า interference link ระหว่างแต่ละสถานีฐานมีจำนวนน้อย จำนวนการใช้งานช่องสัญญาณความถี่ก็จะน้อยลง ซึ่งจำนวนช่องสัญญาณความถี่ที่ถูกกำหนดให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในพื้นที่ให้บริการแบบต่าง ๆ นั้น จะส่งผลต่อการคำนวณหาอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน(SINR) ที่ต้องคำนวณในขั้นตอนต่อไป โดยได้ทำการสรุปผลของคำตอบที่ได้จากการทดลองลงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ตารางสรุปผลของกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ Overlap technique

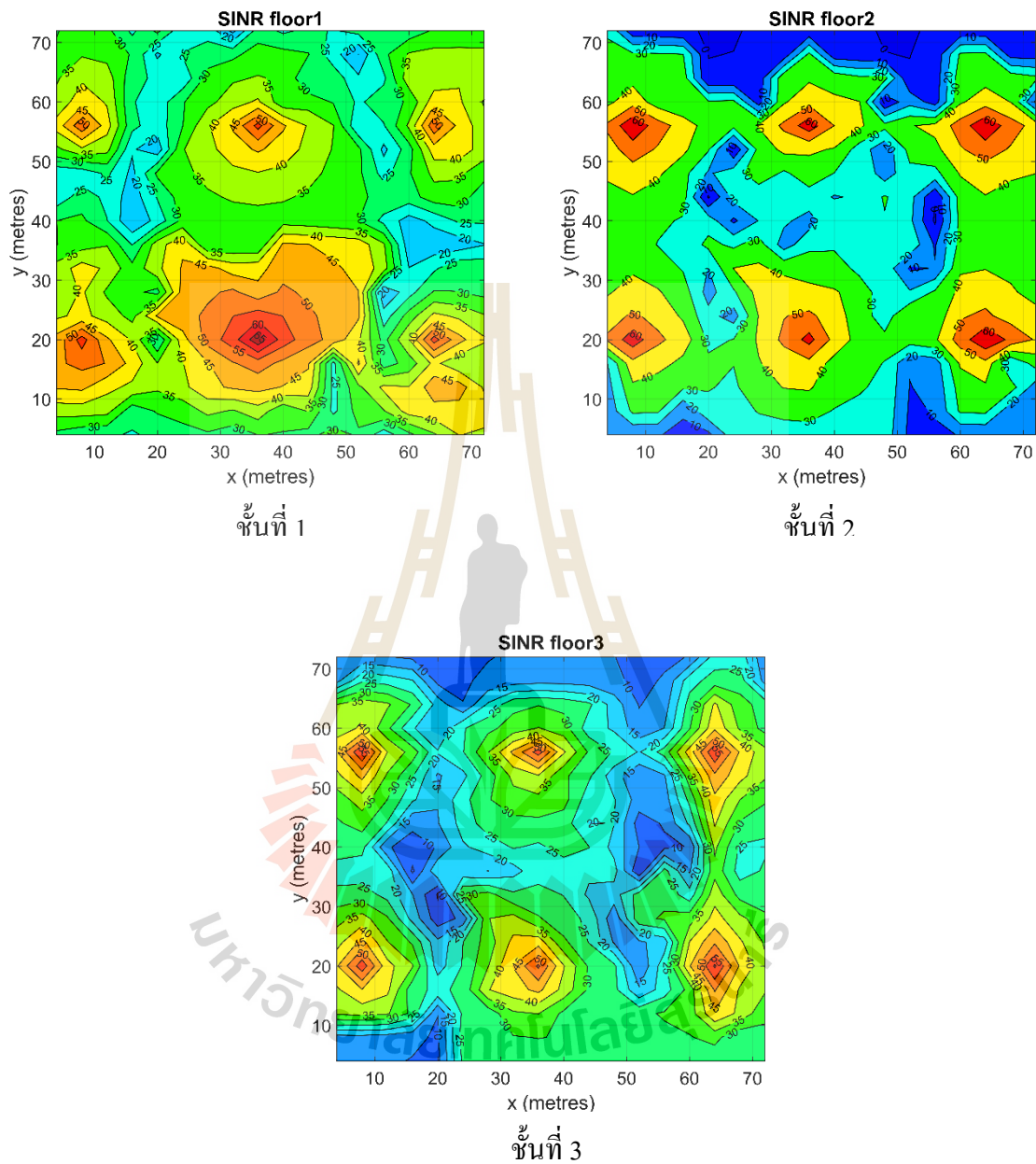
รูปแบบ อาคาร	การกำหนดตำแหน่ง สถานีฐาน	จำนวน สถานีฐาน	จำนวน interference links	จำนวน ช่องสัญญาณ
อาคาร วิชาการ 1	แบบสมมาตร	18	77	8
	แบบใช้สมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559)	11	26	4
อาคาร บรรณสาร 1	แบบสมมาตร	15	89	10
	แบบใช้สมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559)	7	18	5

5.1.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

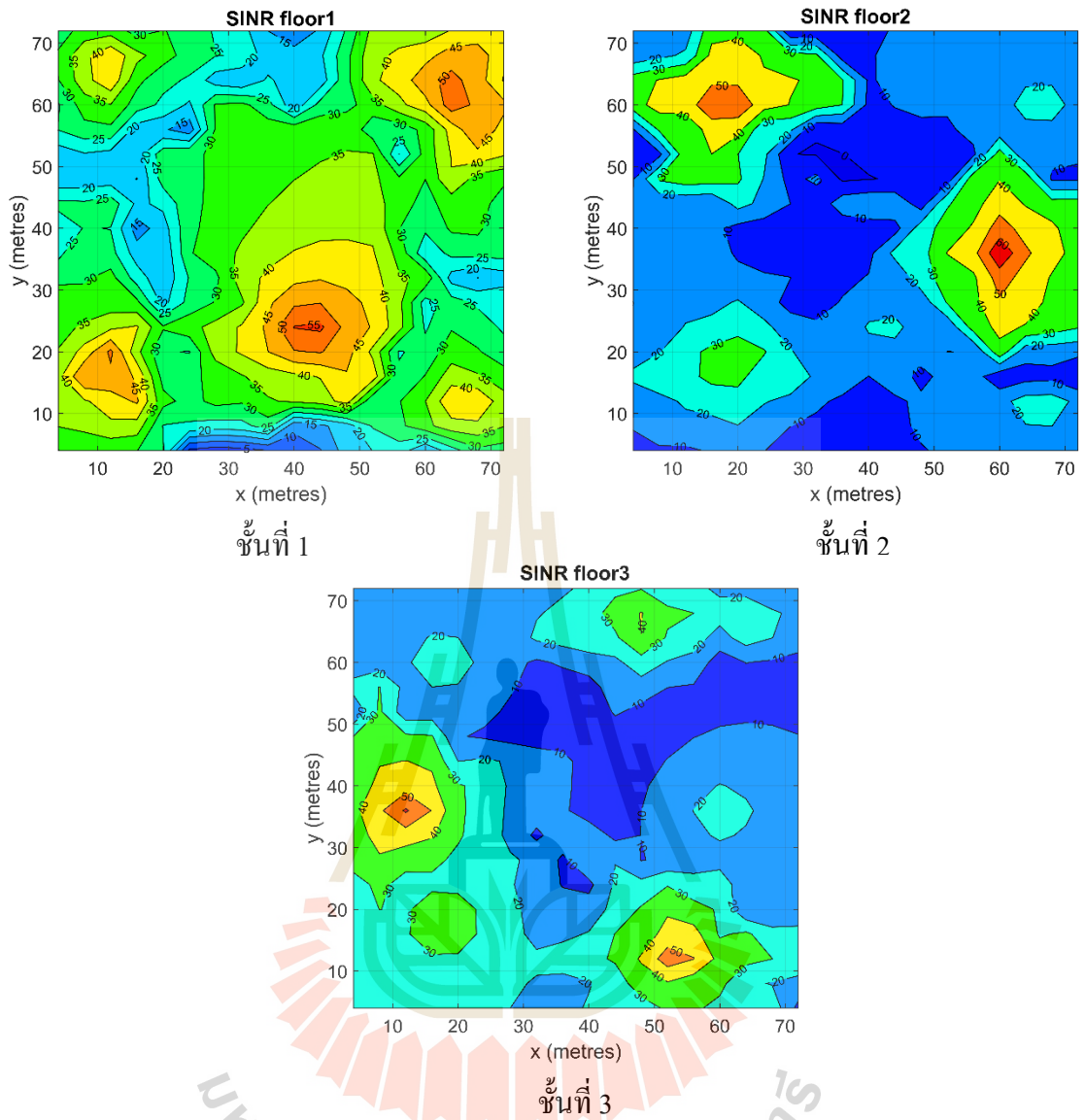
ในหัวข้อการวิเคราะห์ผลการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้นำเสนอไป นำมาทดลองในพื้นที่การให้บริการทั้งสองอาคาร โดยแต่ละแบบมีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 2 กรณี คือการกำหนดตำแหน่งแบบสมมาตรและการกำหนดตำแหน่งโดยใช้สมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) โดยผลการทดลองประกอบไปด้วย 1) กราฟแสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการ และ 2) กราฟแสดงฟังก์ชันแจกแจงสะสมของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการ

5.1.5.1 พื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1

การวิเคราะห์ผลการทดลอง ในผลการทดลองแรกคือ กราฟแสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการ โดยจะแสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนของแต่ละจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่โดยใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดแล้ว แสดงออกมาในรูปแบบของ Contour plot โดยผลของการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่โดยใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 แสดงดังรูปที่ 5.6



(ก) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐาน
เฟมโตเซลล์ 18 สถานีฐาน



(๗) กำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559)

ซึ่งติดตั้งสถานีฐาน 11 สถานีฐาน

รูปที่ 5.6 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน
ในอาคารวิชาการ 1

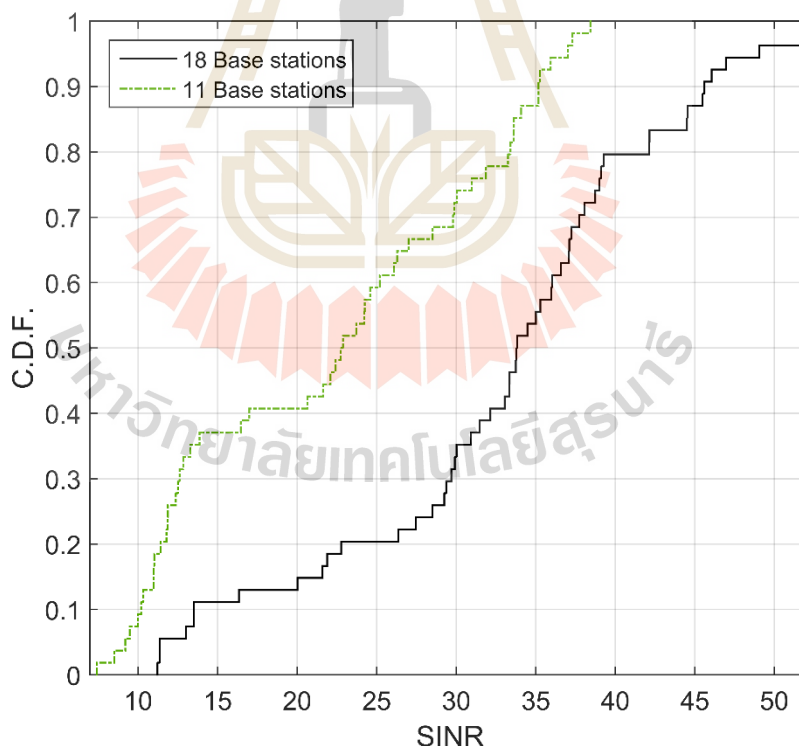
ตารางที่ 5.4 ตารางค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1

การกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน	จำนวนสถานีฐานเฟม โดเซลล์	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
แบบสมมาตร	18	ค่าเฉลี่ย (dB)	35.015	29.614	26.274
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	9.463	15.451	11.304
สมการคณิตศาสตร์	11	ค่าเฉลี่ยของ (dB)	31.517	19.271	20.599
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	9.733	13.368	10.451

ในรูปที่ 5.7 แสดงผลของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่จุดทดสอบสัญญาณได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟม โดเซลล์ พบว่า ในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ในการติดตั้งสถานีฐานเฟม โดเซลล์แบบสมมาตรที่มีการกำหนดตำแหน่งของสถานีฐานเฟม โดเซลล์ทั้งหมด 18 สถานีฐาน ในชั้นที่ 1 ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนเท่ากับ 35.015 dB มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.463 ในชั้นที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนเท่ากับ 29.614 dB มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 15.451 และชั้นที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนเท่ากับ 26.274 dB มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 11.304 โดยจะสังเกตได้ว่าการติดตั้งสถานีฐานเฟม โดเซลล์แบบสมมาตรที่มีการกำหนดสถานีฐานทั้งหมด 18 สถานีฐานนั้น ชั้นที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของ SINR สูงที่สุด เพราะจากการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟม โดเซลล์และ โครงสร้างของกำแพงภายในอาคารในชั้นที่ 1 มีความซับซ้อนน้อยกว่าชั้นอื่น จึงส่งผลให้ชั้นที่ 1 มีค่าเฉลี่ย SINR มากที่สุด และในแบบการติดตั้งสถานีฐานเฟม โดเซลล์โดยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ที่มีการกำหนดตำแหน่งของสถานีฐานเฟม โดเซลล์ทั้งหมด 11 สถานีฐาน ในชั้นที่ 1 ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนเท่ากับ 31.517 dB มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.733 ในชั้นที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนเท่ากับ 19.271 dB มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 13.368 และชั้นที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนเท่ากับ 20.599 dB มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.451 โดยจะสังเกตได้ว่าการแบบการติดตั้งสถานีฐานเฟม โดเซลล์โดยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ที่มีการกำหนดสถานีฐานทั้งหมด 11 สถานีฐานนั้น ชั้นที่ 1

มีค่าเฉลี่ยของ SINR สูงที่สุด เพราะในชั้นที่ 1 มีการติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์มากที่สุดและโครงสร้างของกำแพงภายในอาคารของชั้นที่ 1 มีความซับซ้อนน้อยกว่าชั้นอื่น จึงส่งผลให้ชั้นที่ 1 มีค่าเฉลี่ย SINR สูงที่สุด ซึ่งได้สรุปคุณภาพของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้ง 2 แบบ แสดงดังตารางที่ 5.4

ในผลการทดลองอย่างที่สอง คือกราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสม(C.D.F.) ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการ ซึ่งกราฟจะแสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นของระดับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนของแต่ละจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ในหัวข้อนี้ได้ทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ได้รับจากการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้ง 2 กรณี แสดงดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 กราฟ C.D.F. แสดง SINR จาก Overlap technique ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(18 สถานีฐาน)และการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน ด้วยสมการคณิตศาสตร์(11 สถานีฐาน)

จากรูปที่ 5.7 สังเกตได้ว่า ค่าของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนนั้น ในการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ที่มีการกำหนดสถานีฐานทั้งหมด 18 สถานีฐานนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 30.301 dB และการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) ที่มีการกำหนดสถานีฐานทั้งหมด 11 สถานีฐานนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 23.792 dB โดยถ้าพิจารณาที่โอกาสความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ 50 เปอร์เซนต์ นั้นหมายความว่า 50 เปอร์เซนต์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการทั้งสองรูปแบบการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน ซึ่งการกำหนดสถานีฐานที่ 18 สถานีฐาน จะมี SINR ไม่เกิน 33 dB และการกำหนดสถานีฐานที่ 11 สถานีฐานมี SINR ไม่เกิน 23 dB โดยสรุปผลประสิทธิภาพของเทคนิคที่นำเสนอในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ได้ดังตารางที่ 5.5

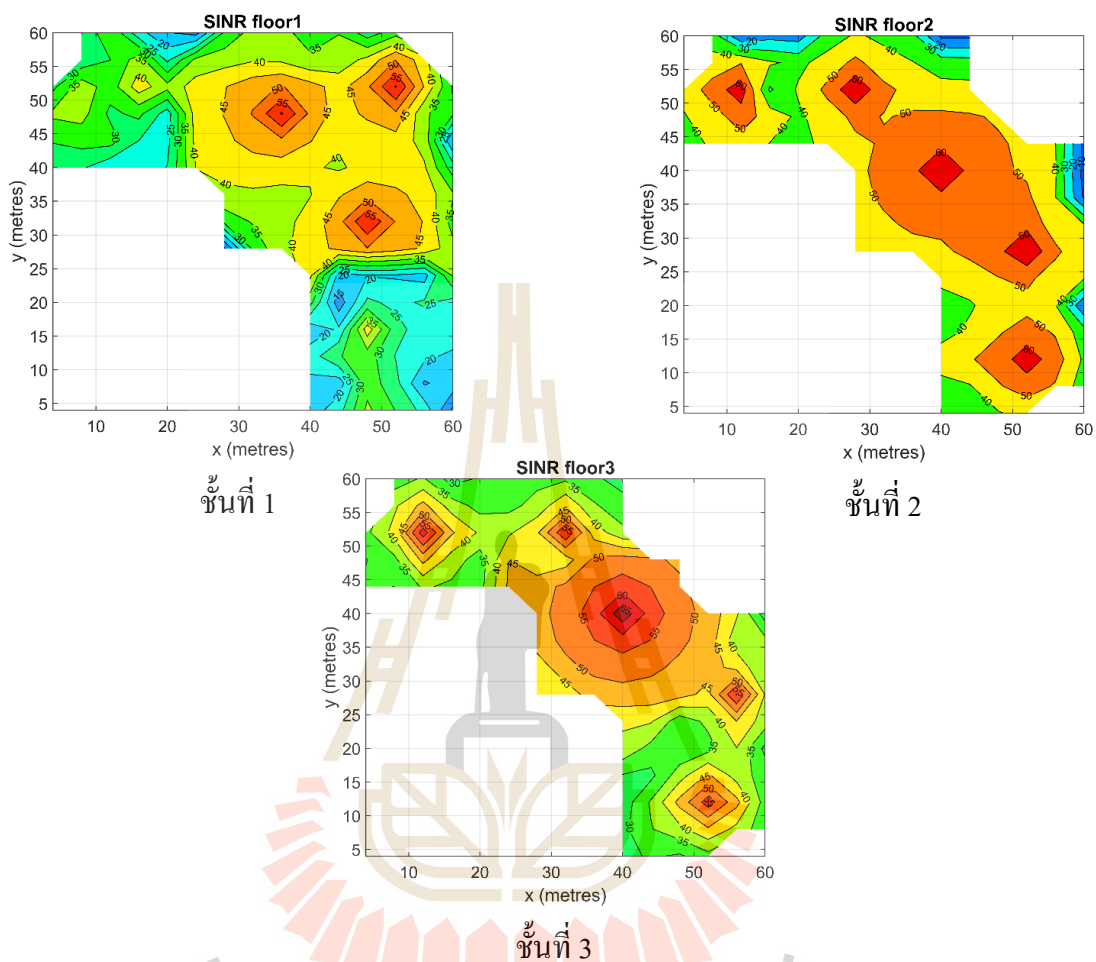
ตารางที่ 5.5 ตารางสรุปคุณภาพของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้ง 2 แบบ

จำนวนสถานีฐานเฟมโตเซลล์	พารามิเตอร์	ผล
18	จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ช่องสัญญาณ)	8
	ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	30.301
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	12.833
11	จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ช่องสัญญาณ)	4
	ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	23.792
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	12.547

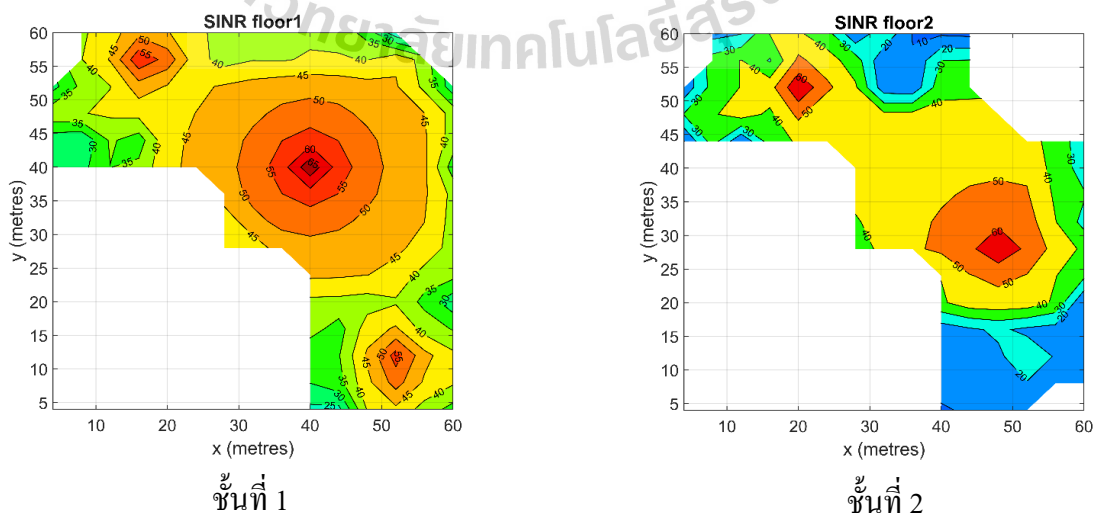
5.1.5.2 พื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1

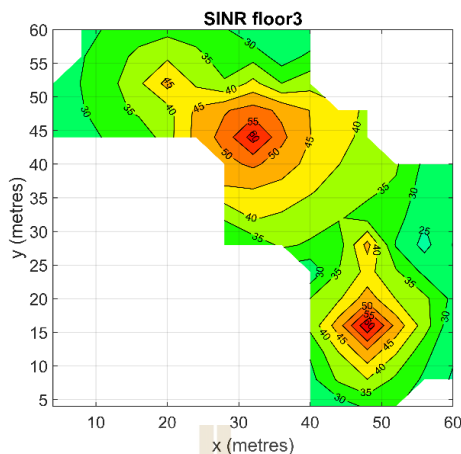
สำหรับการทดลองในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ในส่วนของการวิเคราะห์ผลการทดลอง ผลการทดลองแรกคือ กราฟแสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการ โดยจะแสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนของแต่ละจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่โดยใช้กราฟสัญญาณแทรกสอด

แล้ว แสดงออกมาในรูปของ Contour plot โดยผลของการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่โดยใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 แสดงดังรูปที่ 5.8



(ก) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 15 สถานีฐาน





ชั้นที่ 3

(ข) กำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งติดตั้งสถานีฐาน 7 สถานีฐาน

รูปที่ 5.8 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในอาคารบรรณสาร 1 (15 และ 7 สถานีฐาน)

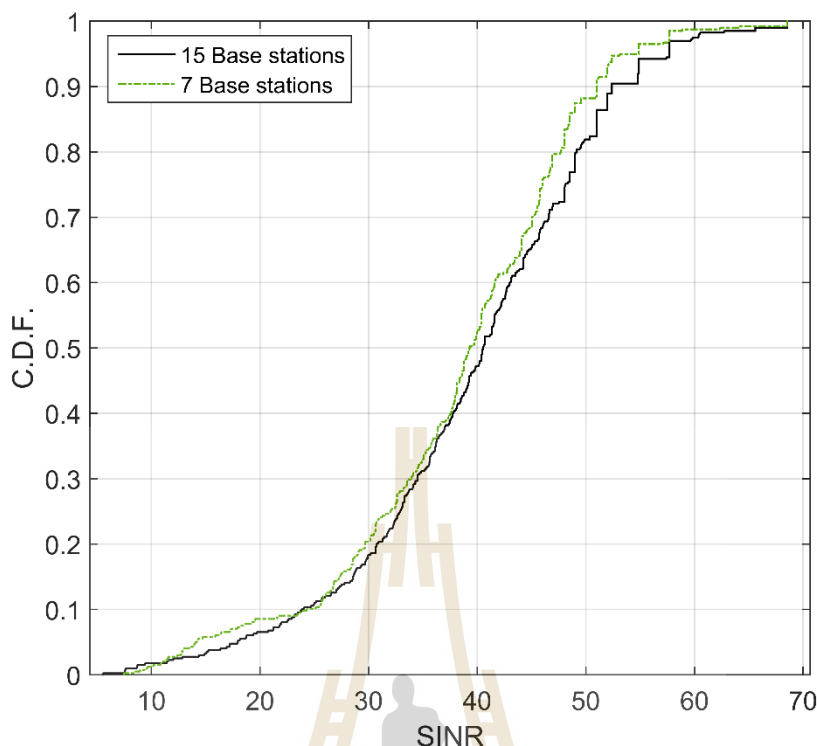
ตารางที่ 5.6 ตารางค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1

การกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน	จำนวนสถานีฐาน เฟมโตเซลล์	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
แบบสมมาตร	15	ค่าเฉลี่ย (dB)	34.438	44.162	41.546
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	10.868	12.261	9.220
สมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559)	7	ค่าเฉลี่ย (dB)	41.922	34.989	36.236
		ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.995	14.886	7.890

จากรูปที่ 5.7 แสดงผลของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่จุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ จะสังเกตได้ว่าในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ในรูปที่ 5.7(ก) การติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์แบบสมมาตรที่มีการกำหนดตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 15 สถานีฐาน ชั้นที่ 1

ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนเท่ากับ 34.438 dB มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.868 ในชั้นที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนเท่ากับ 44.162 dB มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 12.261 และชั้นที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนเท่ากับ 41.546 dB มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.220 โดยจะสังเกตได้ว่าการติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์แบบสมมาตรที่มีการกำหนดตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 15 สถานีฐานนั้น ในชั้นที่ 2 มีค่า SINR มากที่สุด เพราะว่าแต่ละสถานีฐานในชั้นที่ 2 ใช้ช่องสัญญาณความถี่ไม่ซ้ำกัน ทำให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณแต่ละสถานีฐานมีค่าต่ำ ส่งผลให้ค่า SINR มีค่าสูงกว่าชั้นอื่นและในรูปที่ 5.7(ข) การติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์โดยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ที่มีการกำหนดตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 7 สถานีฐาน ในชั้นที่ 1 ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนเท่ากับ 41.922 dB มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.995 ในชั้นที่ 2 มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนเท่ากับ 34.989 dB มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.886 และชั้นที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนเท่ากับ 36.236 dB มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 7.890 โดยจะสังเกตได้ว่าการติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์โดยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ที่มีการกำหนดตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 7 สถานีฐานนั้น ชั้นที่ 1 มีค่า SINR มากที่สุดในสามชั้น เพราะว่าชั้นที่ 1 มีการติดตั้งสถานีฐานมากกว่าชั้นอื่น และมีการใช้ช่องสัญญาณความถี่ไม่ซ้ำกัน ทำให้มีการรบกวนกันของสัญญาณต่ำ ส่งผลให้ค่า SINR มีค่าสูงกว่าชั้นอื่น ซึ่งได้สรุปคุณภาพของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้ง 2 แบบ แสดงดังตารางที่ 5.6

ในผลการทดลองอย่างที่สอง คือกราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (C.D.F.) ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการ ซึ่งกราฟจะแสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นของระดับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนของแต่ละจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ในหัวข้อนี้ได้ทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ได้รับจากการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้ง 2 แบบ แสดงดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.9 กราฟ C.D.F. แสดง SINR จาก Overlap technique ของอาคารบรรณสาร1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(15 สถานีฐาน)และการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (7 สถานีฐาน)

จากรูปที่ 5.9 สังเกตได้ว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนนั้น ในการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ที่มีการกำหนดสถานีฐานทั้งหมด 18 สถานีฐาน มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 39.744 dB และการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ที่มีการกำหนดสถานีฐานทั้งหมด 7 สถานีฐานนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 38.321 dB โดยถ้าพิจารณาที่โอกาสความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ 50 เปอร์เซนต์ นั้นหมายความว่า 50 เปอร์เซนต์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการทั้งสองรูปแบบการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน ซึ่งการกำหนดสถานีฐานที่ 15 สถานีฐาน จะมี SINR ไม่เกิน 41 dB และการกำหนดสถานีฐานที่ 7 สถานีฐานมี SINR ไม่เกิน 38 dB โดยสรุปผลประสิทธิภาพของเทคนิคที่นำเสนอในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ได้ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ตารางสรุปคุณภาพของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน ในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ทั้ง 2 แบบ

จำนวนสถานีฐานเฟมโตเซลล์	พารามิเตอร์	ผล
15	จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ช่องสัญญาณ)	10
	ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	39.744
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	11.642
7	จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ช่องสัญญาณ)	5
	ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	38.321
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	11.240

5.2 การทดลองเพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ด้วยกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยนำเสนอกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน

การทดลองในหัวข้อนี้ จะทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ด้วยกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยนำเสนอ ซึ่งได้นำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับกราฟสัญญาณแทรกสอดที่เป็นแนวคิดของงานวิจัยของ Shiyan, Zh., Rong, H., Yue, Sh., Zhanjun, L. (2015)

5.2.1 การออกแบบการทดลอง

ในหัวข้อการออกแบบการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 และรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 โดยใช้แนวคิดของวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน ที่เป็นการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด โดยพื้นที่การทดลองจะแสดงดังรูปที่ 5.2 และ 5.3 ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองของพื้นที่การให้บริการทั้ง 2 รูปแบบอาคาร จะแสดงดังตารางที่ 5.8 และตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.8 ตารางค่าพารามิเตอร์ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การศึกษาแบบ
อาคารวิชาการ 1

พารามิเตอร์	ค่า	
	Overlaps Technique	Creating interference graph by using SINR's user
ความถี่ของสัญญาณ	2.6 GHz	2.6 GHz
กำลังงานภาคส่งของสัญญาณ	10 dBm	10 dBm
ความกว้างของช่องสัญญาณ	20 MHz	20 MHz
ความสูงของสถานีฐาน	2 เมตร	2 เมตร
ความสูงของจุดทดสอบสัญญาณ	0.8 เมตร	0.8 เมตร
จำนวนของจุดทดสอบสัญญาณทั้งหมด	972 จุด	972 จุด
เกณฑ์กำลังงานภาครับ	-79.8348 dBm	-
เกณฑ์ของ %Overlap	20%	-
เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน	-	3 dBm
เกณฑ์ SINR	12.6 dB	12.6 dB
กำลังงานสูญเสียขั้นต่ำ	-	53 dB
จำนวนของสถานีฐาน	18 และ 11 สถานีฐาน	18 และ 11 สถานีฐาน
จำนวนของผู้ใช้งานต่อสถานีฐาน	-	3 ผู้ใช้ต่อ 1 สถานีฐาน
จำนวนของผู้ใช้งาน	-	54 และ 33 ผู้ใช้งาน

ตารางที่ 5.9 ตารางค่าพารามิเตอร์ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การศึกษาแบบ
อาคารบรรณสาร 1

พารามิเตอร์	ค่า	
	Overlaps Technique	Creating interference graph by using SINR's user
ความถี่ของสัญญาณ	2.6 GHz	2.6 GHz
กำลังงานภาคส่งของสัญญาณ	10 dBm	10 dBm

พารามิเตอร์	ค่า	
	Overlaps Technique	Creating interference graph by using SINR's user
ความกว้างของช่องสัญญาณ	20 MHz	20 MHz
ความสูงของสถานีฐาน	2 เมตร	2 เมตร
ความสูงของจุดทดสอบสัญญาณ	0.8 เมตร	0.8 เมตร
จำนวนของจุดทดสอบสัญญาณทั้งหมด	398 จุด	398 จุด
เกณฑ์กำลังงานภาครับ	-79.8348 dBm	-
เกณฑ์ของ %Overlap	20%	-
เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน	-	3 dBm
เกณฑ์ SINR	12.6 dB	12.6 dB
กำลังงานสูญเสียขั้นต่ำ	-	53 dB
จำนวนของสถานีฐาน	15 และ 7 สถานีฐาน	15 และ 7 สถานีฐาน
จำนวนของผู้ใช้งานต่อสถานีฐาน	-	3 ผู้ใช้ต่อ 1 สถานีฐาน
จำนวนของผู้ใช้งาน	-	45 และ 21 ผู้ใช้งาน

5.2.2 ผลการทดลอง

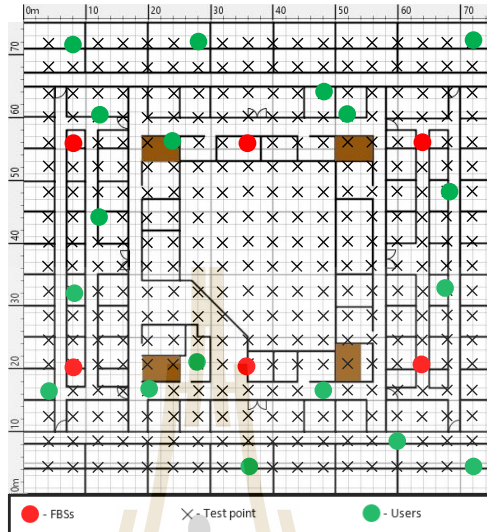
ในส่วนของการทดลองเพื่อหากราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์โดยใช้เทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Matlab Simulink R2015a โดยใช้คอมพิวเตอร์ Lenovo รุ่น Z40-70 Inter@Core™ i5-4210U ความเร็วของซีพียูที่ 1.70 GHz หน่วยความจำ 4.00 GB 64 บิต ในการประมวลผลเพื่อสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ที่เหมาะสมโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนช่องสัญญาณความถี่ที่ได้จากกราฟสัญญาณแทรกสอดที่น้อยที่สุด โดยผู้วิจัยได้ทำการสุ่มตำแหน่งของผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการ 2 ครั้ง แล้วนำผลของการกำหนดตำแหน่งในแต่ละครั้งมาเป็นข้อมูลตั้งต้นสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด ในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดยติดตั้งสถานีฐานทั้งหมด 18 สถานีฐาน กรณีตำแหน่งของ

ผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.10(ก) และกรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 แสดงดังรูปที่ 5.10(ข) และการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยใช้สมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) โดยติดตั้งสถานีฐานทั้งหมด 11 สถานีฐาน กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.11(ก) และกรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 แสดงดังรูปที่ 5.11(ข) ทางด้านของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดยติดตั้งสถานีฐานทั้งหมด 15 สถานีฐาน กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.12(ก) และกรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 แสดงดังรูปที่ 5.12(ข) และการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยใช้สมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) โดยติดตั้งสถานีฐานทั้งหมด 7 สถานีฐาน กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.13(ก) และกรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 แสดงดังรูปที่ 5.13(ข)



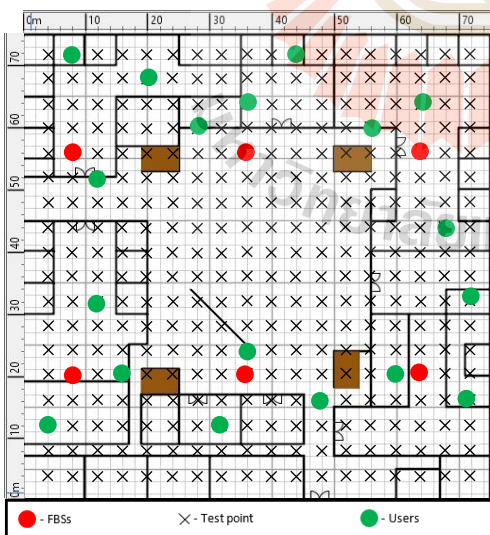
ชั้นที่ 1

ชั้นที่ 2

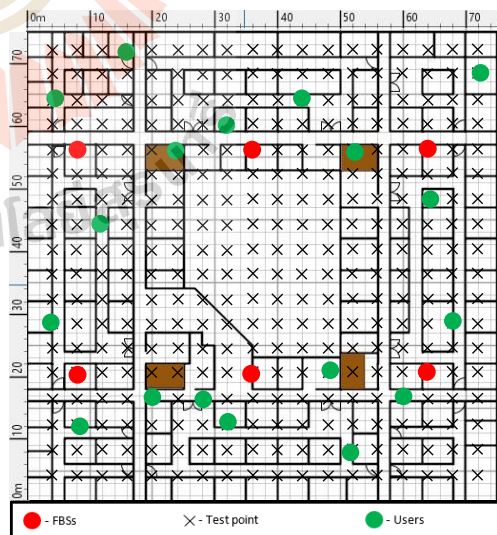


ชั้นที่ 3

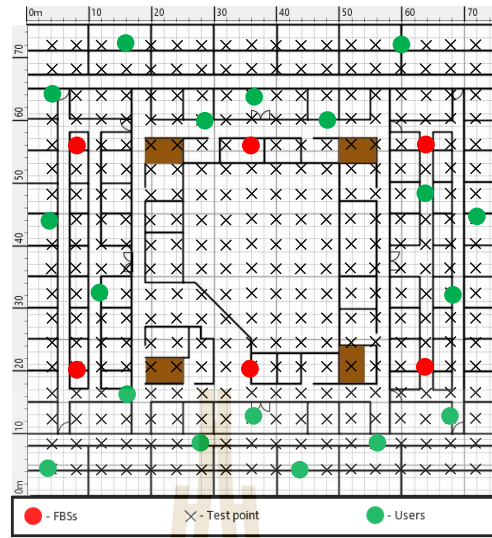
(ก) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



ชั้นที่ 1



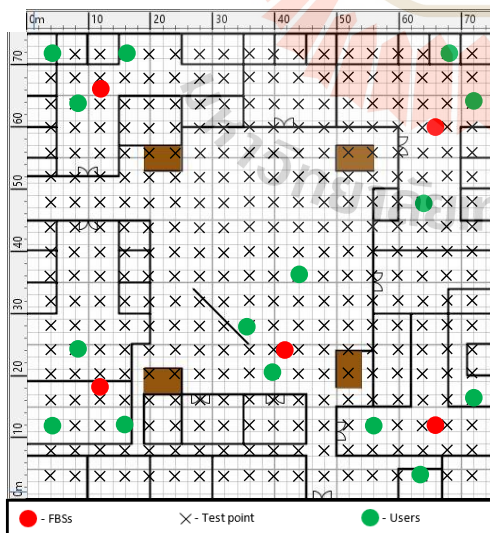
ชั้นที่ 2



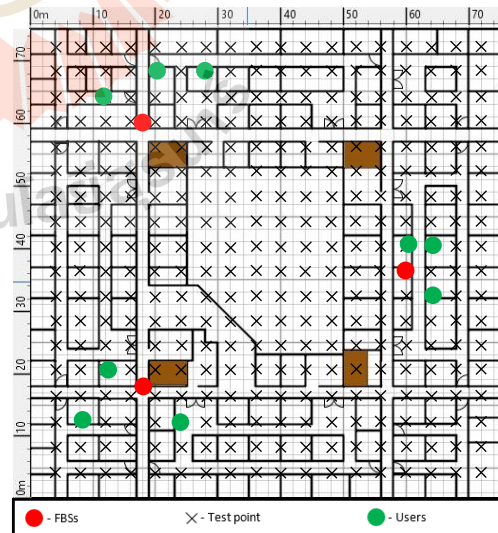
ชั้นที่ 3

(ข) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

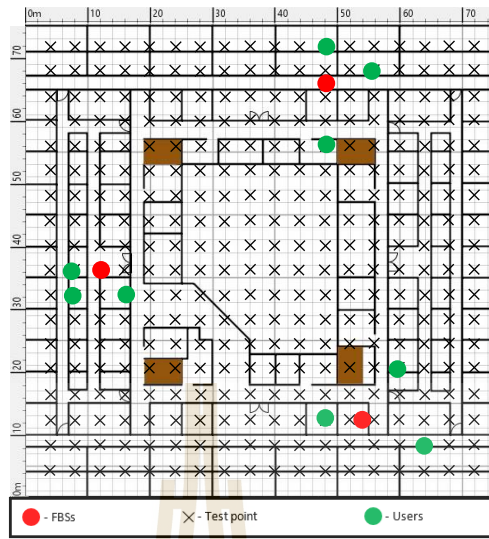
รูปที่ 5.10 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีกรกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเพิ่มโตเซลล์ 18 สถานีฐาน



ชั้นที่ 1

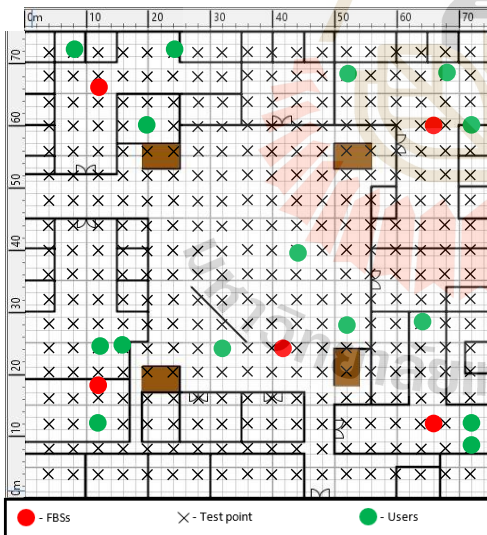


ชั้นที่ 2

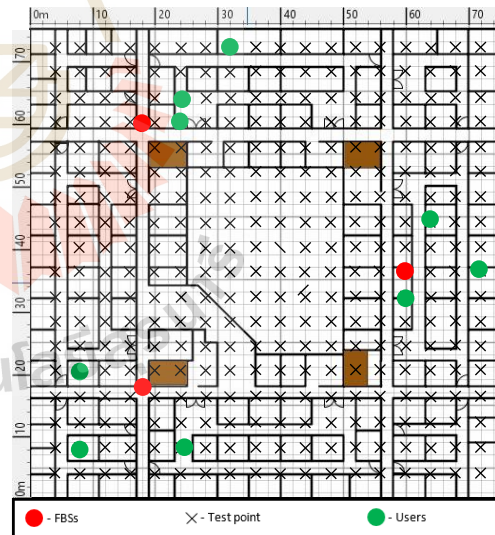


ชั้นที่ 3

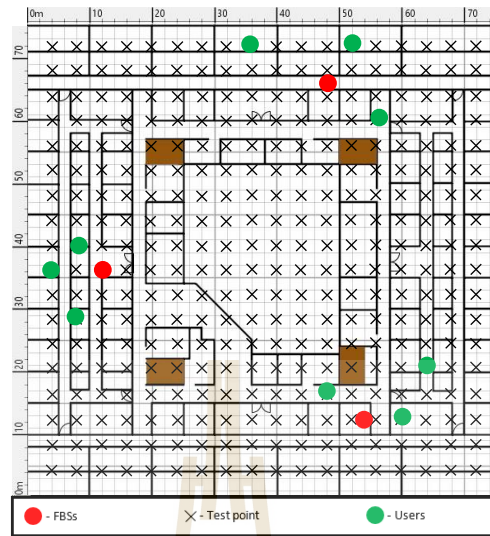
(ก) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



ชั้นที่ 1



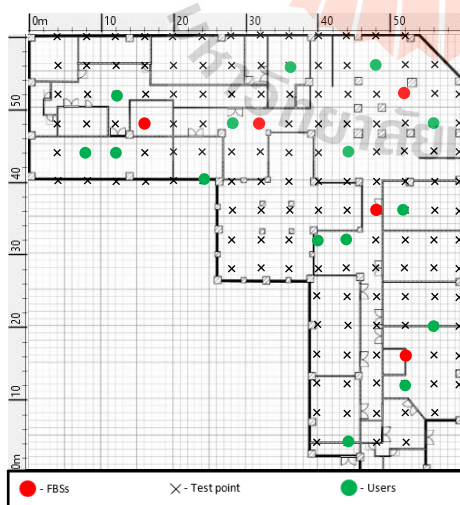
ชั้นที่ 2



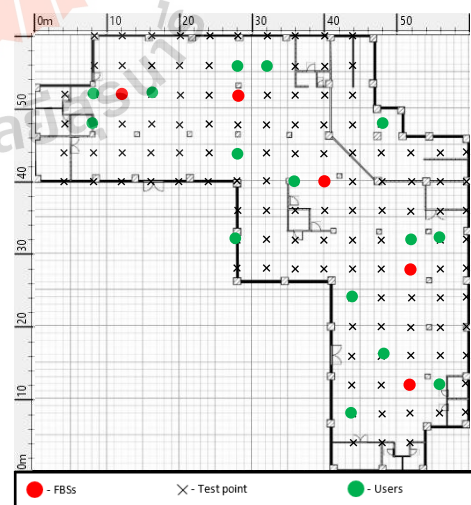
ชั้นที่ 3

(ข) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

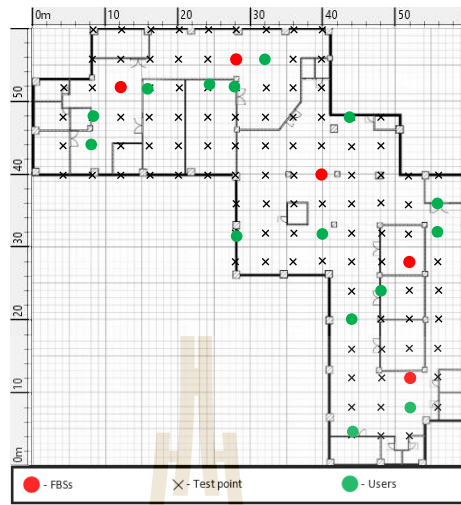
รูปที่ 5.11 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1
ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน โดยการใช้สมการคณิตศาสตร์ซึ่งติดตั้ง
สถานีฐานเฟมโตเซลล์ 11 สถานีฐาน



ชั้นที่ 1

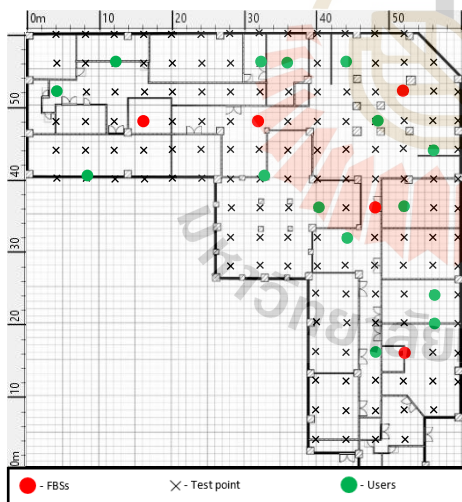


ชั้นที่ 2

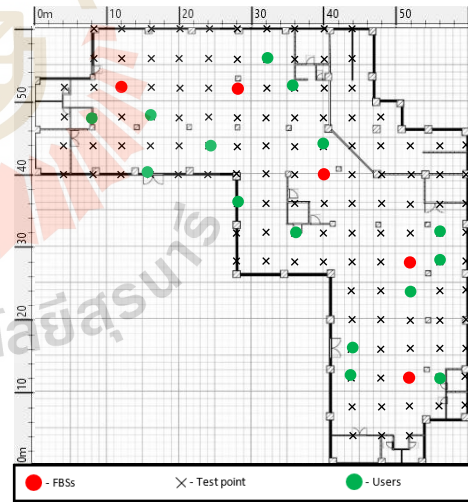


ชั้นที่ 3

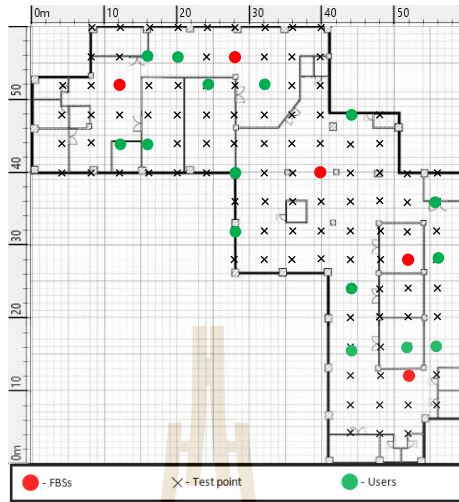
(ก) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



ชั้นที่ 1



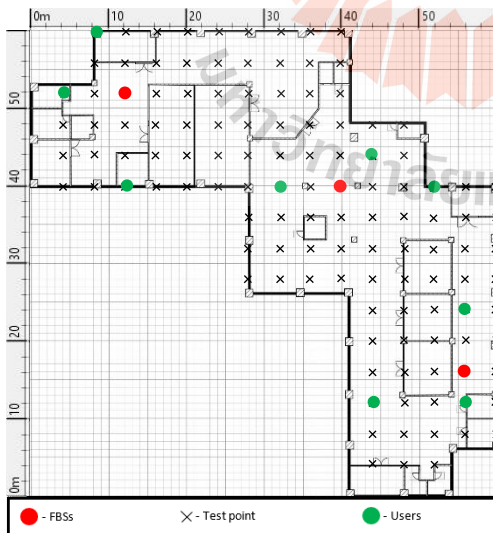
ชั้นที่ 2



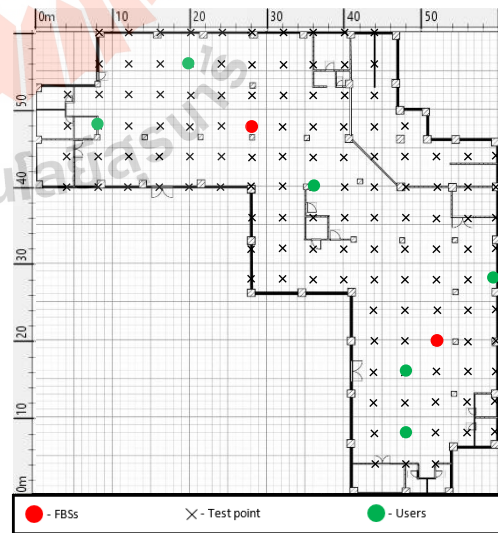
ชั้นที่ 3

(ข) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

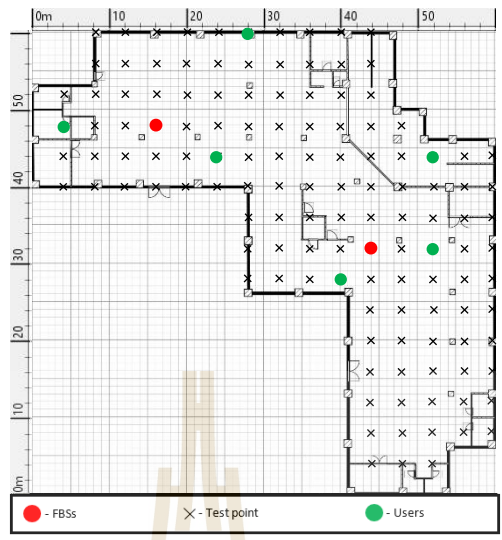
รูปที่ 5.12 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 15 สถานีฐาน



ชั้นที่ 1

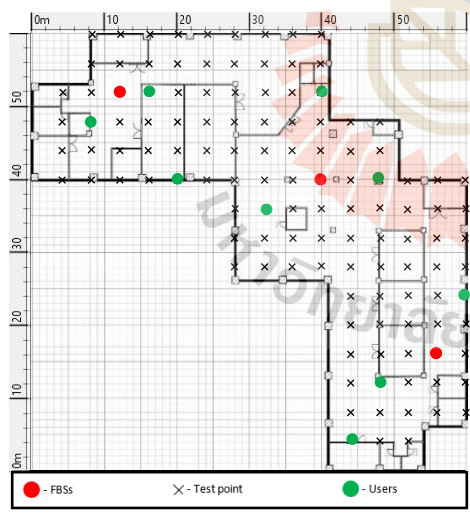


ชั้นที่ 2

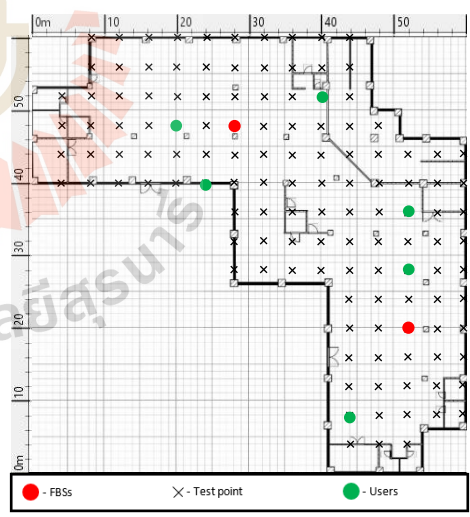


ชั้นที่ 3

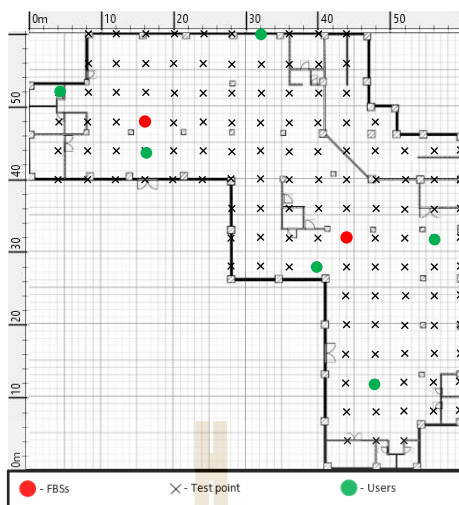
(ก) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



ชั้นที่ 1



ชั้นที่ 2



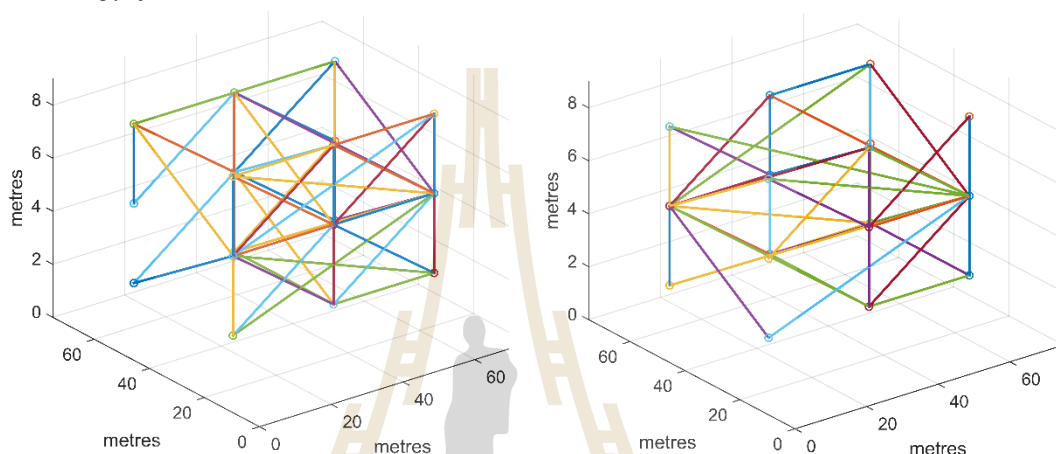
ชั้นที่ 3

(ข) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

รูปที่ 5.13 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1
ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน โดยการใช้สมการคณิตศาสตร์
ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 7 สถานีฐาน

โดยผลจากการทดลองคำตอบของกราฟสัญญาณแทรกสอดในพื้นที่การให้บริการ
รูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดยติดตั้งสถานีฐาน
ทั้งหมด 18 สถานีฐาน โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 ใช้ช่องสัญญาณความถี่ 4
ช่องสัญญาณ และกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 จะใช้ช่องสัญญาณความถี่ 4
ช่องสัญญาณ ในส่วนของการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน โดยสมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญ
ค้า, 2559) โดยติดตั้งสถานีฐานทั้งหมด 11 สถานีฐาน โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1
ใช้ช่องสัญญาณความถี่ 2 ช่องสัญญาณ และกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 จะใช้
ช่องสัญญาณความถี่ 2 ช่องสัญญาณ กราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การให้บริการรูปแบบ
อาคารวิชาการ 1 แสดงดังรูปที่ 5.14 และ 5.15 ในส่วนคำตอบของกราฟสัญญาณแทรกสอดในพื้นที่
การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดย
ติดตั้งสถานีฐานทั้งหมด 15 สถานี โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 ใช้ช่องสัญญาณ
ความถี่ 3 ช่องสัญญาณ และกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 จะใช้ช่องสัญญาณความถี่ 2

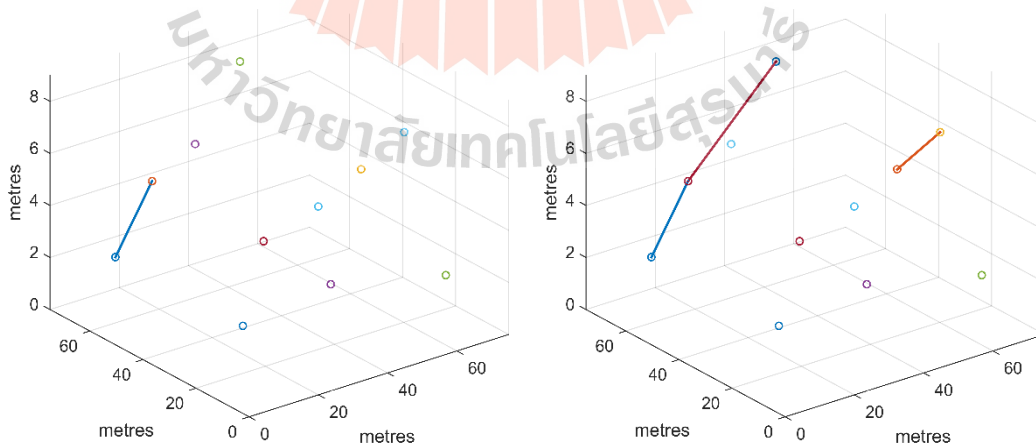
ช่องสัญญาณ และส่วนของการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยสมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญ ค้ำ, 2559) โดยติดตั้งสถานีฐานทั้งหมด 7 สถานีฐาน โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 จะใช้ช่องสัญญาณ ความถี่ 2 ช่องสัญญาณ และกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 จะใช้ช่องสัญญาณ ความถี่ 3 ช่องสัญญาณ ซึ่งกราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 แสดงดังรูปที่ 5.16 และ 5.17 โดยจะสรุปผลจำนวนช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้งานในตารางที่ 5.10



(ก) การสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานครั้งที่ 1

(ข) การสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานครั้งที่ 2

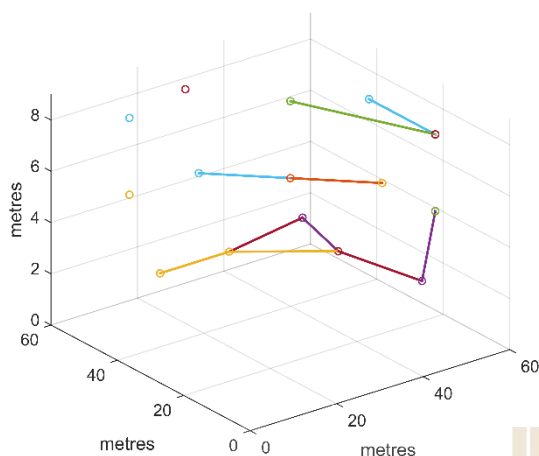
รูปที่ 5.14 กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร (18 สถานีฐาน)



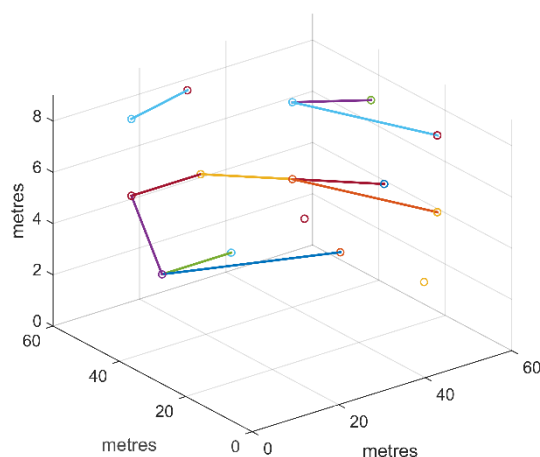
(ก) การสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานครั้งที่ 1

(ข) การสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานครั้งที่ 2

รูปที่ 5.15 กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (11 สถานีฐาน)

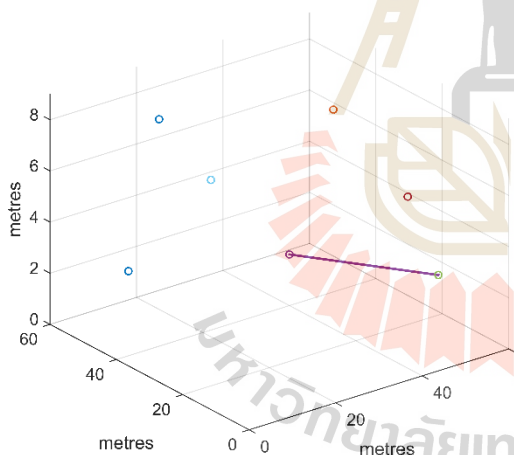


(ก) การสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานครั้งที่ 1

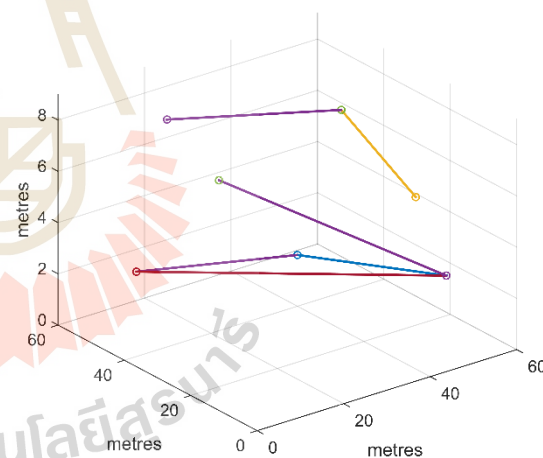


(ข) การสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานครั้งที่ 2

รูปที่ 5.16 กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร (15 สถานีฐาน)



(ก) การสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานครั้งที่ 1



(ข) การสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานครั้งที่ 2

รูปที่ 5.17 กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (7 สถานีฐาน)

รูปที่ 5.18 กราฟสัญญาณแทรกสอดที่สร้างขึ้นด้วยวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดจากงานวิจัย (Shiyan, Zh., et al. (2015)) ในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 และ อาคารบรรณสาร 1

ตารางที่ 5.10 ตารางสรุปผลของกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน

รูปแบบอาคาร	การกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน	จำนวนสถานีฐาน	การสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งาน	จำนวน interference links	จำนวนช่องสัญญาณความถี่
อาคารวิชาการ 1	แบบสมมาตร	18	กรณีที่ 1	52	4
			กรณีที่ 2	41	4
	สมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญค้ำ, 2559)	11	กรณีที่ 1	1	2
			กรณีที่ 2	3	2
อาคารบรรณสาร 1	แบบสมมาตร	15	กรณีที่ 1	10	3
			กรณีที่ 2	10	2
	สมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญค้ำ, 2559)	7	กรณีที่ 1	1	2
			กรณีที่ 2	6	3

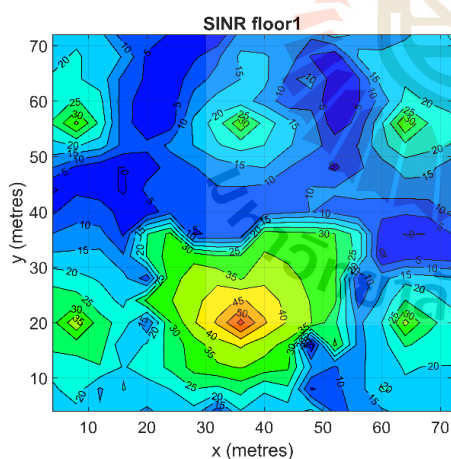
5.2.3 การเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

ในหัวข้อของการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลนี้ ผู้วิจัยได้ทำการประเมินประสิทธิภาพกราฟสัญญาณแทรกสอดที่คำนวณได้จากวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งานนั้น และทำการประเมินประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอตามหัวข้อ 4 ของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารทั้งสองอาคาร โดยผลที่ได้นำเสนอขึ้นประกอบไปด้วย 1) กราฟแสดงคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการ 2) กราฟแสดงฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมในพื้นที่การให้บริการในแต่ละเทคนิค และ 3) กราฟแสดงอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในพื้นที่การให้บริการในแต่ละเทคนิค

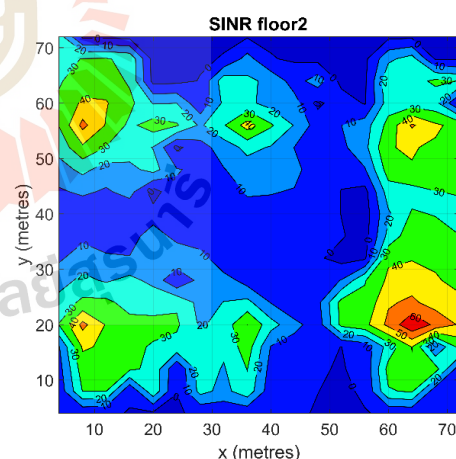
5.2.3.1 พื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1

ในส่วนของประสิทธิภาพของกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้จากวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน ในรูปที่ 5.19 แสดงกราฟคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การ

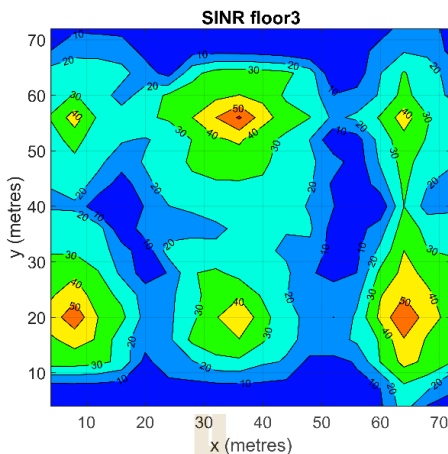
ให้บริการของแต่ละจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยแสดงออกมาในรูปของ Contour plot ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 18 สถานีฐาน โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 นั้น ในชั้นที่ 3 นั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR มากที่สุดเพราะในชั้นที่ 3 มีการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ติดกันภายในชั้นใช้งานช่องสัญญาณความถี่ที่ไม่ซ้ำกัน ทำให้เกิดการรบกวนกันของช่องสัญญาณความถี่นั้นต่ำกว่าชั้นอื่น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ย SINR ในชั้นที่ 3 มีค่ามากกว่าชั้นอื่น และในกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 นั้น ชั้นที่มีค่าเฉลี่ย SINR มากที่สุดคือชั้นที่ 3 เพราะจากการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ในชั้นนี้มีการใช้ช่องสัญญาณความถี่ 3 ช่องสัญญาณ โดยตำแหน่งการใช้งานช่องสัญญาณความถี่ระหว่างชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 มีตำแหน่งที่ไม่ตรงกัน ทำให้เกิดการรบกวนกันของช่องสัญญาณความถี่นั้นต่ำกว่าชั้นอื่น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ย SINR ในชั้นที่ 3 มีค่ามากกว่าชั้นอื่น ซึ่งได้สรุปผลการเปรียบเทียบคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งานดังตารางที่ 5.11



ชั้นที่ 1

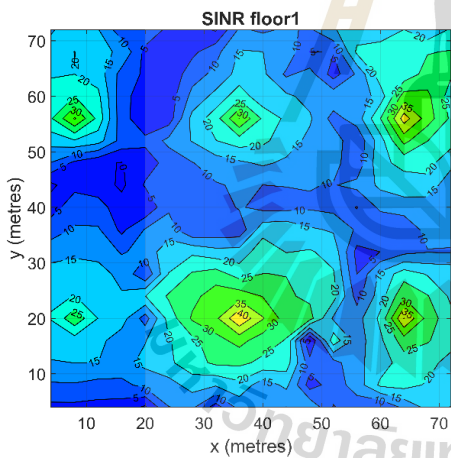


ชั้นที่ 2

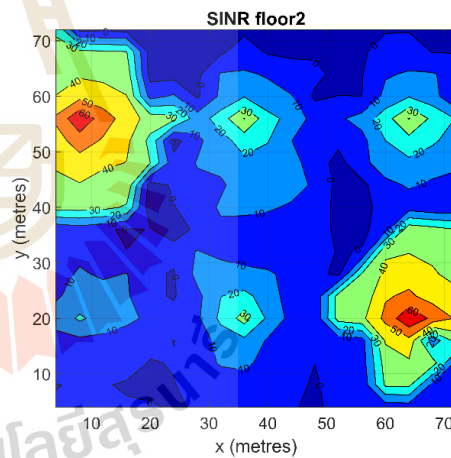


ชั้นที่ 3

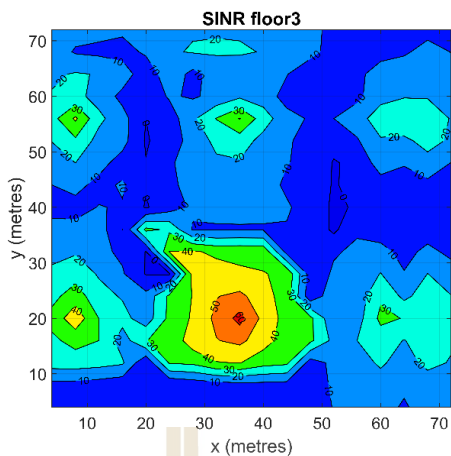
(ก) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 18 สถานีฐาน
กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



ชั้นที่ 1



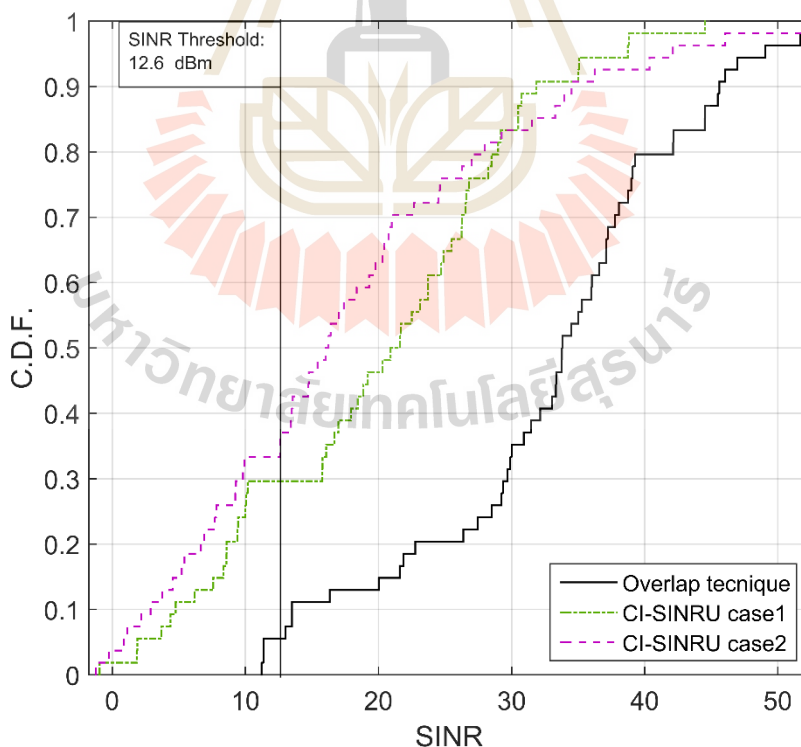
ชั้นที่ 2



ชั้นที่ 3

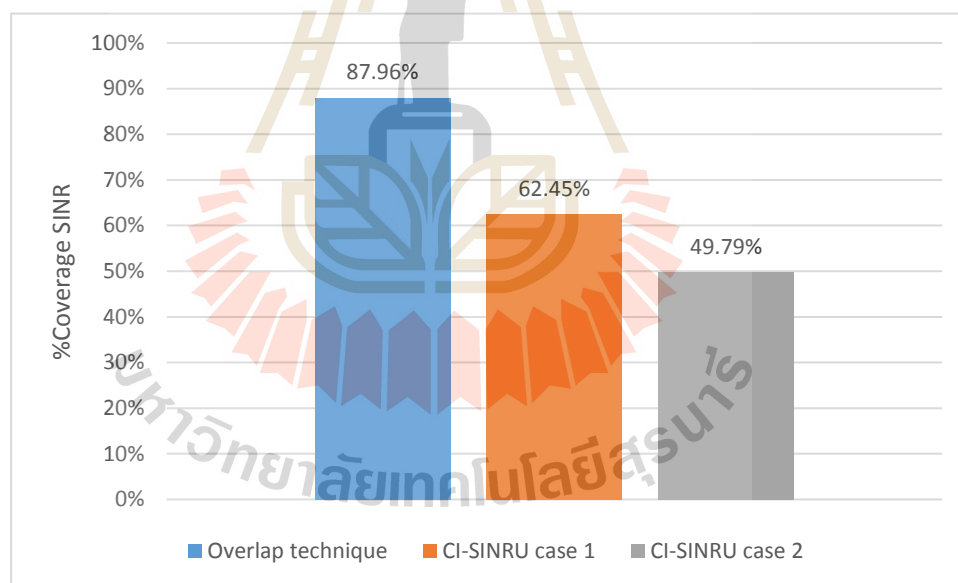
(ข) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟม โดเซลล์ 18 สถานีฐาน
กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

รูปที่ 5.19 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน
ในอาคารวิชาการ 1



รูปที่ 5.20 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating
interference graph by using SINR's user ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน
แบบสมมาตร(18 สถานีฐาน)

จากรูปที่ 5.20 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิคจะสังเกตได้ว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนนั้น ในการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ที่มีการกำหนดสถานีฐานทั้งหมด 18 สถานีฐาน วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 39.744 dB ในส่วนของวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองกรณีนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 18.413 dB และ 14.863 dB ตามลำดับ โดยถ้าพิจารณาที่โอกาสความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ 50 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการทั้งสองรูปแบบการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอ นั้น จะมี SINR ไม่เกิน 34 dB และวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน จากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณีนั้น จะมีค่า SINR ไม่เกิน 16 dB และ 22 dB ตามลำดับ



รูปที่ 5.21 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(18 สถานีฐาน)

จากรูปที่ 5.21 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิคกับเกณฑ์ของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดที่กำหนดไว้ที่ 12.6 dB โดยผลที่ได้จะคิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ความครอบคลุมของพื้นที่การให้บริการ จะสังเกตได้ว่า วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำเสนอ นั้น SINR ที่ผ่านเกณฑ์ SINR ที่กำหนดไว้ในพื้นที่การให้บริการสูงถึง 87.96% ในส่วนของวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองกรณี มีค่า SINR ที่ผ่านเกณฑ์ SINR ที่กำหนดไว้ในพื้นที่การให้บริการที่ 62.45% และ 49.79% ซึ่งสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ กับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งานในกรณีของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 แสดงในตารางที่ 5.11

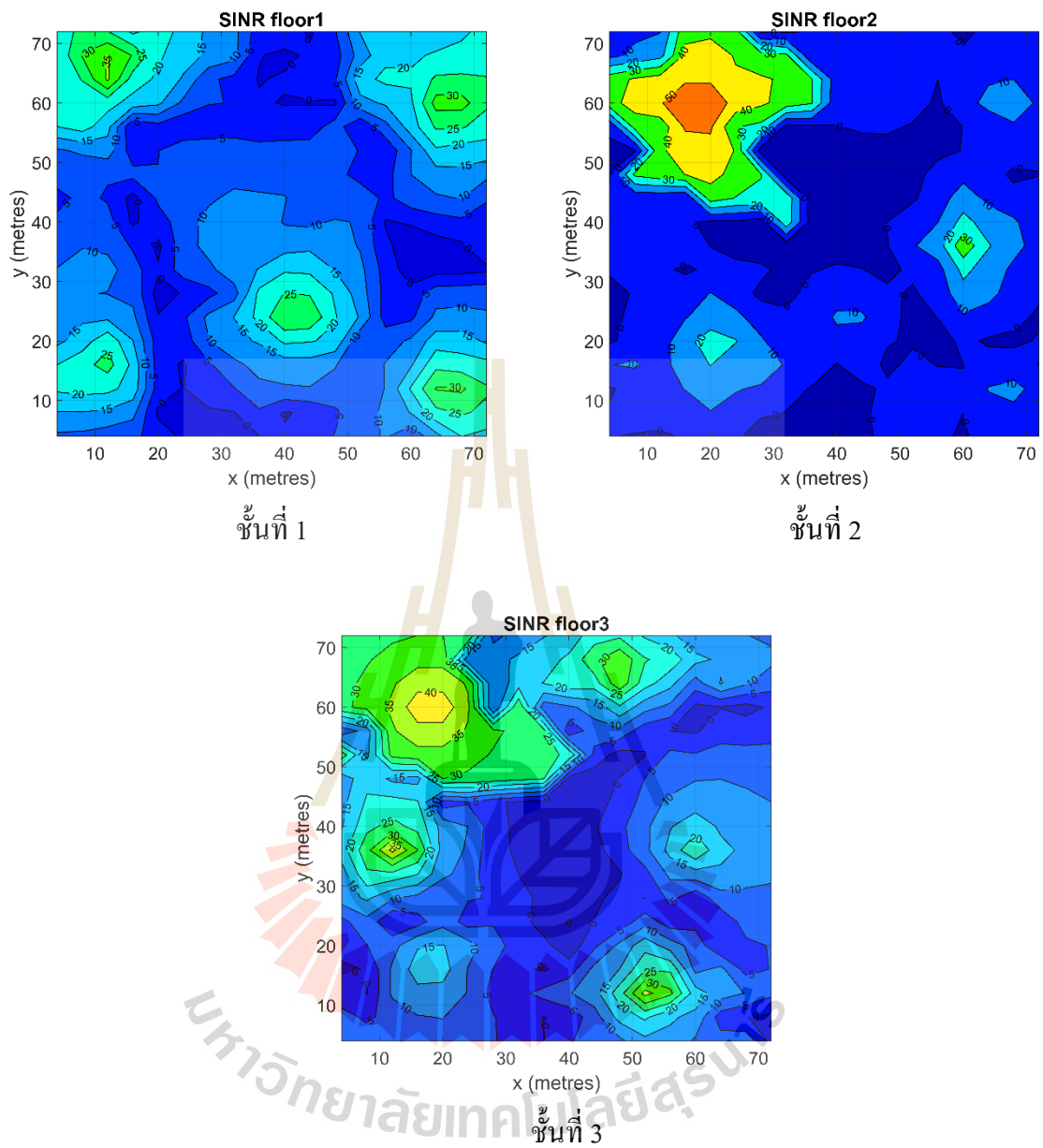
ตารางที่ 5.11 ตารางค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 18 สถานีฐาน

เทคนิค	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
Overlaps technique	ค่าเฉลี่ย (dB)	35.015	29.614	26.274
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	9.463	15.451	11.304
CI-SINRU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1	ค่าเฉลี่ย (dB)	17.338	16.371	21.531
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	10.797	15.612	12.568
CI-SINRU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย (dB)	15.158	13.351	16.080
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	8.392	16.026	12.132

ตารางที่ 5.12 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร (18 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user

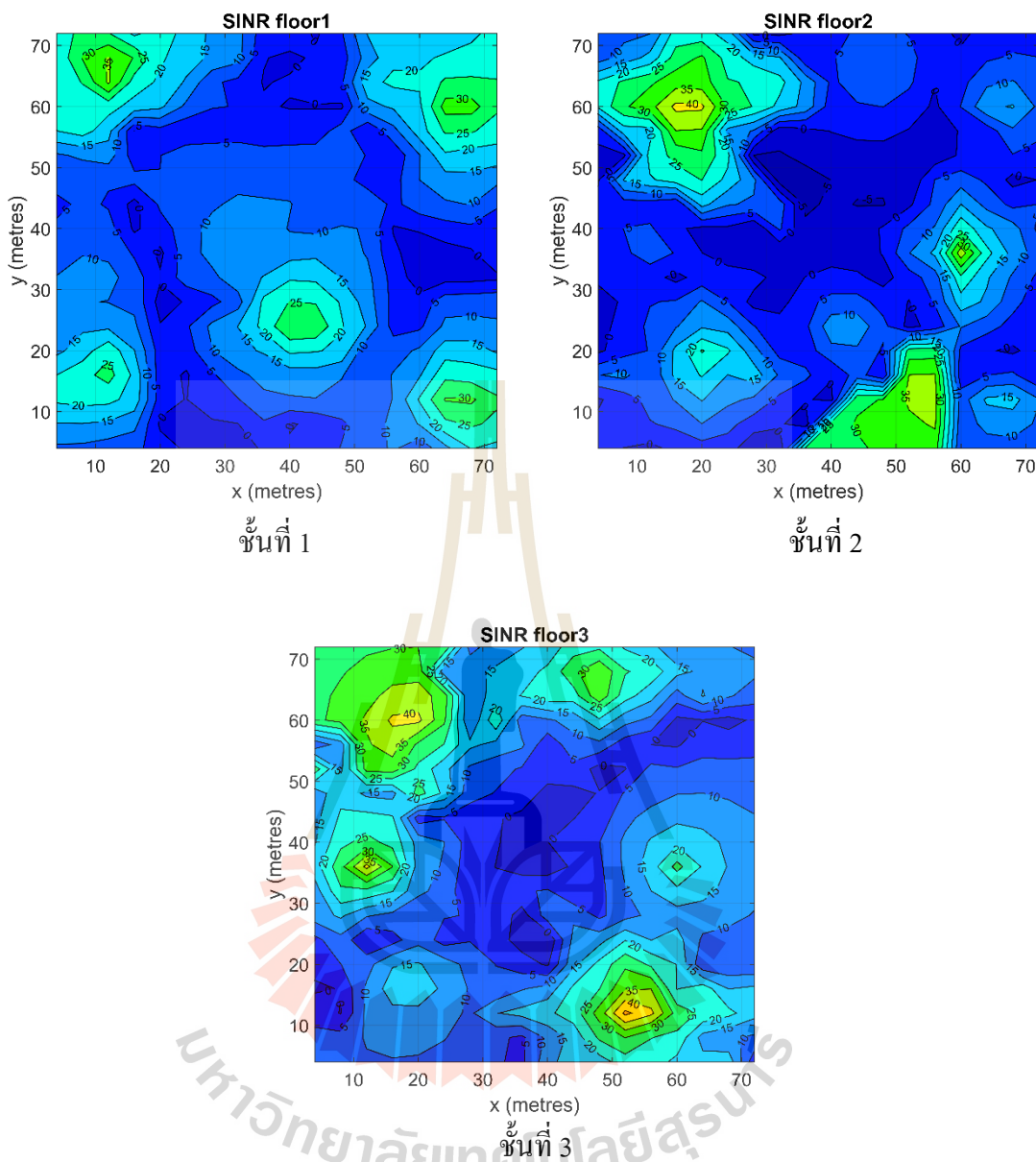
พารามิเตอร์	Overlaps technique	CI-SINRU กรณี ตำแหน่งผู้ใช้งาน จากการสุ่มครั้งที่ 1	CI-SINRU กรณี ตำแหน่งผู้ใช้งาน จากการสุ่มครั้งที่ 2
จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ความถี่)	8	4	4
ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	30.301	18.413	14.863
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	12.833	13.320	12.614
%Coverage SINR	87.96%	62.45%	49.79%

สำหรับการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 11 สถานีฐาน ในรูปที่ 5.22 แสดงกราฟคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการของแต่ละจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยแสดงออกมาในรูปของ Contour plot ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 11 สถานีฐาน โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 นั้น ในชั้นที่ 3 นั้นมีค่าเฉลี่ยของ SINR มากที่สุด เพราะความซับซ้อนของโครงสร้างพื้นที่การให้บริการในชั้นที่ 2 นั้นซับซ้อนมากกว่าในชั้นที่ 3 จึงส่งผลให้ความแรงของสัญญาณภายในชั้นที่ 2 มีความแรงของสัญญาณต่ำแต่กำลังสัญญาณครอบคลุมมายังชั้นที่ 3 มาก ส่งผลให้ชั้นที่ 3 มีค่า SINR มากที่สุด และในกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 นั้น ชั้นที่มีค่าเฉลี่ย SINR มากที่สุดคือชั้นที่ 3 เพราะความซับซ้อนของโครงสร้างพื้นที่การให้บริการและจำนวนของช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้ส่งผลให้ค่า SINR ในชั้นที่ 3 มีค่ามากที่สุด ซึ่งได้สรุปผลการเปรียบเทียบคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งานดังตารางที่ 5.13



(ก) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟม โดเซลล์

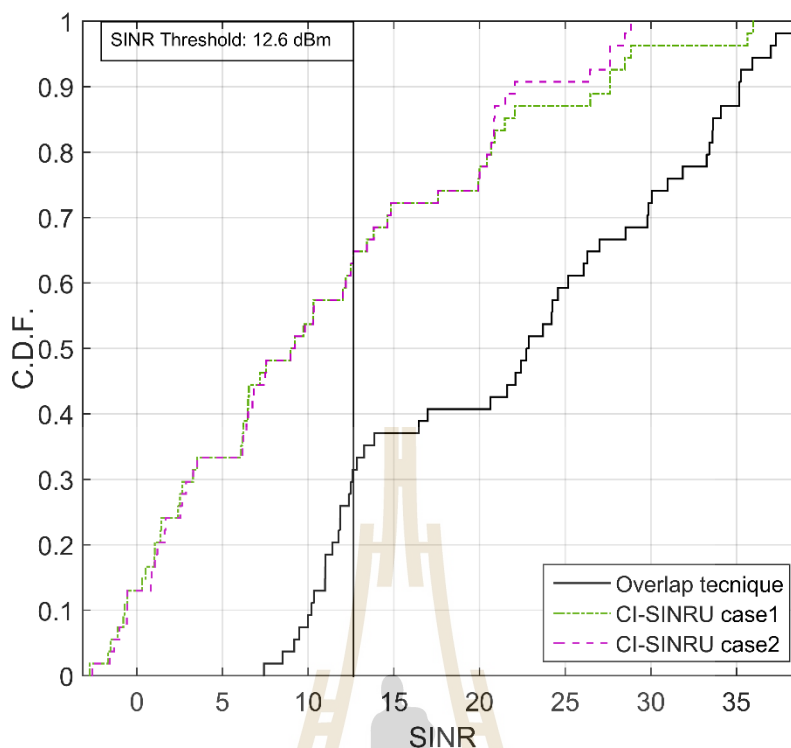
11 สถานีฐาน กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



(ข) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งคิดตั้งสถานีฐานเฟม โดเซลล์
11 สถานีฐาน กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

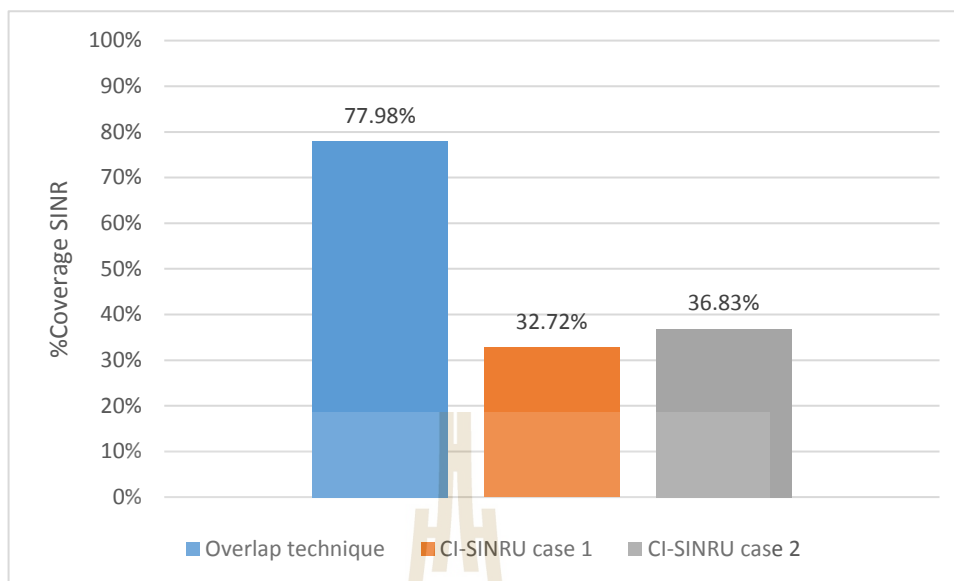
รูปที่ 5.22 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน

ในอาคารวิชาการ 1



รูปที่ 5.23 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน ด้วยสมการคณิตศาสตร์ (11 สถานีฐาน)

จากรูปที่ 5.23 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิค จะสังเกตได้ว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนนั้น ในการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ที่มีการกำหนด สถานีฐานเพิ่ม โดเซลล์ทั้งหมด 11 สถานีฐาน วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 23.792 dB ในส่วนของวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองกรณีนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 10.618 dB และ 11.086 dB ตามลำดับ โดยถ้าพิจารณาที่โอกาสความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ 50 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการทั้งสองรูปแบบการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอนั้น จะมี SINR ไม่เกิน 23 dB และวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน จากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณีนั้น จะมีค่า SINR ไม่เกิน 9 dB ทั้งสองกรณี



รูปที่ 5.24 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (11 สถานีฐาน)

จากรูปที่ 5.24 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิคกับเกณฑ์ของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดที่กำหนดไว้ โดยผลที่ได้จะคิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ครอบคลุมของพื้นที่การให้บริการ จะสังเกตได้ว่า วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำเสนอ นั้น SINR ที่ผ่านเกณฑ์ SINR ที่กำหนดไว้ในพื้นที่การให้บริการสูงถึง 77.98% ในส่วนของวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองกรณี มีค่า SINR ที่ผ่านเกณฑ์ SINR ที่กำหนดไว้ในพื้นที่การให้บริการที่ 32.72% และ 36.83% ซึ่งสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ กับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน ในกรณีของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 แสดงในตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ตารางค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเพมโตเซลล์ 11 สถานีฐาน

เทคนิค	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
Overlaps technique	ค่าเฉลี่ย (dB)	31.517	19.27	20.599
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	9.733	13.368	10.45
CI-SINRU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1	ค่าเฉลี่ย (dB)	11.011	8.640	12.202
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	8.408	14.101	11.033
CI-SINRU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย (dB)	11.026	8.594	13.636
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	8.412	10.734	10.252

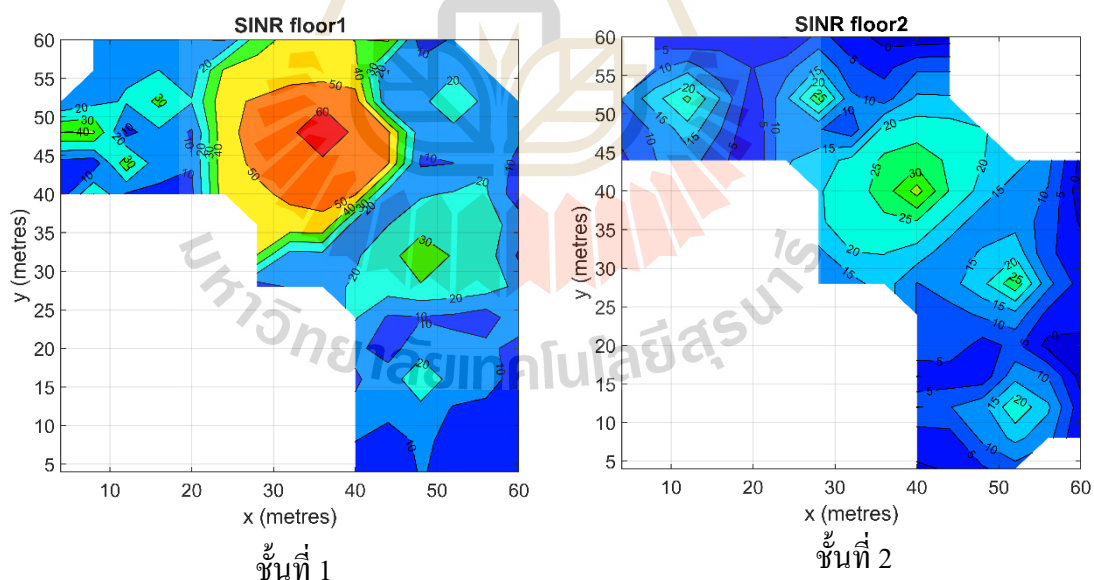
ตารางที่ 5.14 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) (11 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user

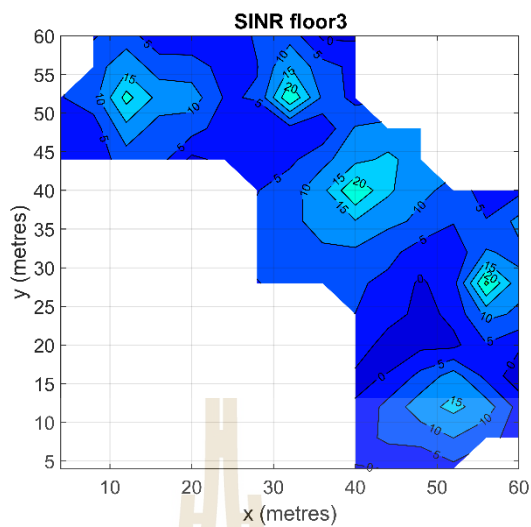
พารามิเตอร์	Overlaps technique	CI-SINRU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1	CI-SINRU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2
จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ความถี่)	4	2	2
ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	23.792	10.618	11.0855
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	12.547	11.504	10.0535
%Coverage SINR	77.98%	32.72%	36.83%

5.2.3.2 พื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1

ในส่วนของคุณภาพของกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้จากวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 5.25 แสดงกราฟคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การ

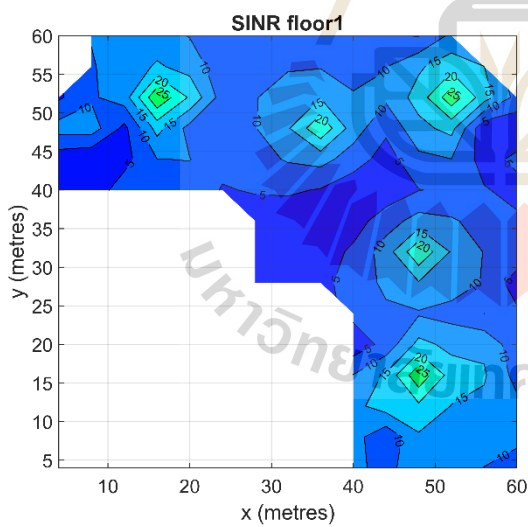
ให้บริการของแต่ละจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยแสดงออกมาในรูปแบบของ Contour plot ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 15 สถานีฐาน โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 นั้น ในชั้นที่ 1 นั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR มากที่สุดเพราะจากการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ พบว่าในชั้นที่ 1 นั้นมีการรบกวนจากช่องสัญญาณความถี่ในชั้นอื่นต่ำส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของ SINR ในชั้นที่ 1 มีค่ามากที่สุด และในกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 นั้น ชั้นที่มีค่าเฉลี่ย SINR มากที่สุดคือชั้นที่ 3 เพราะจากการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ พบว่าการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในชั้นที่ 3 มีตำแหน่งที่ไม่ซ้ำกับชั้นที่ 2 จึงส่งผลให้การรบกวนกันของสัญญาณนั้นลดลง นั่นทำให้ในชั้นที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของ SINR ดีกว่าชั้นอื่นๆ ซึ่งได้สรุปผลการเปรียบเทียบคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอเกี่ยวกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน ดังตารางที่ 5.15



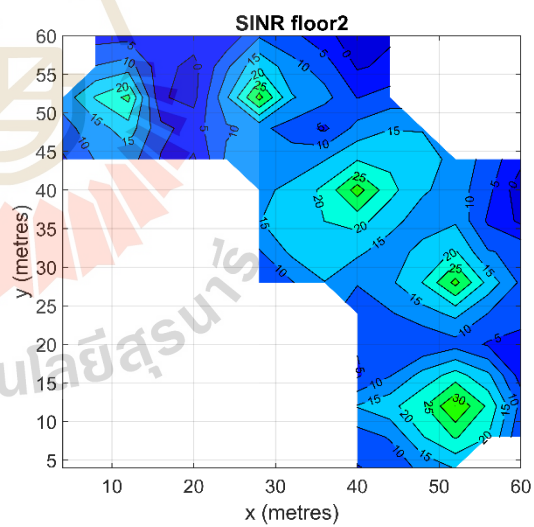


ชั้นที่ 3

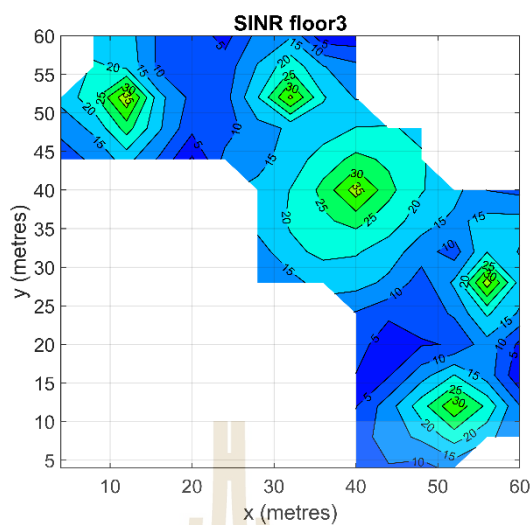
(ก) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 15
สถานีฐาน กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



ชั้นที่ 1



ชั้นที่ 2

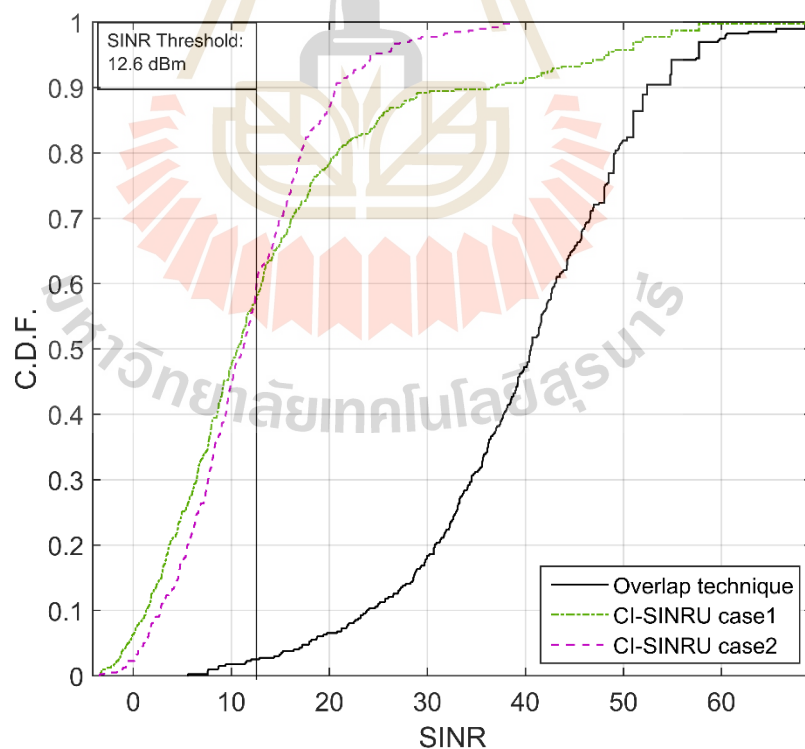


ชั้นที่ 3

(จ) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 15

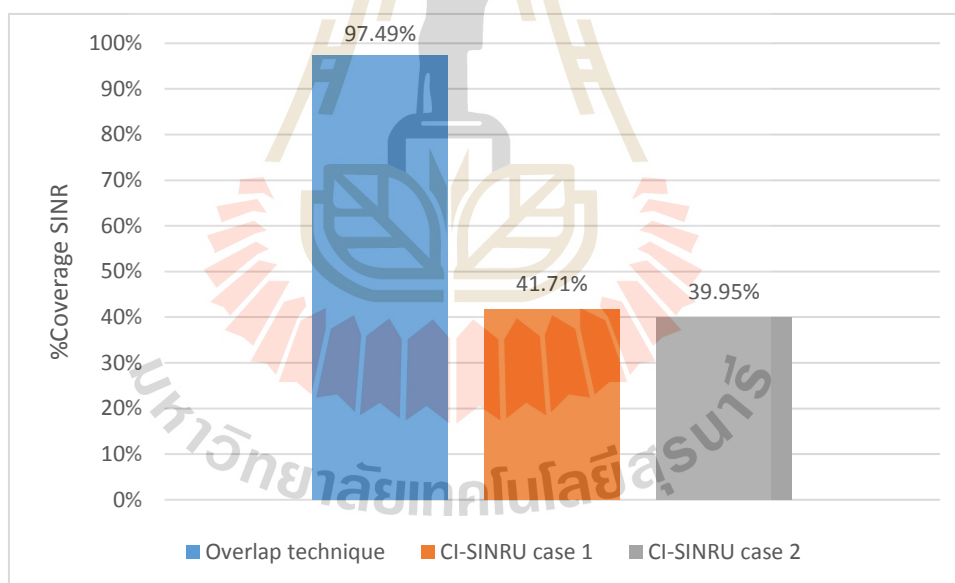
สถานีฐาน กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

รูปที่ 5.25 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในอาคารบรรณสาร 1



รูปที่ 5.26 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(15 สถานีฐาน)

จากรูปที่ 5.26 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิค จะสังเกตได้ว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนนั้น ในการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ที่มีการกำหนดสถานีฐานทั้งหมด 15 สถานีฐาน วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 39.744 dB ในส่วนของวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองกรณีนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 14.252 dB และ 11.784 dB ตามลำดับ โดยถ้าพิจารณาที่โอกาสความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ 50 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการทั้งสองรูปแบบการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอนั้น จะมี SINR ไม่เกิน 41 dB และวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน จากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณีนั้น จะมีค่า SINR ไม่เกิน 11 dB และ 12 dB ตามลำดับ



รูปที่ 5.27 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(15 สถานีฐาน)

ในรูปที่ 5.27 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิคกับเกณฑ์ของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดที่กำหนดไว้ โดยผลที่ได้จะคิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ความครอบคลุมของพื้นที่การให้บริการ จะสังเกตได้ว่า วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำเสนอ นั้น SINR ที่ผ่านเกณฑ์ SINR ที่กำหนดไว้ในพื้นที่การให้บริการสูงถึง 97.49% ในส่วนของวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองกรณี มีค่า SINR ที่ผ่านเกณฑ์ SINR ที่กำหนดไว้ในพื้นที่การให้บริการที่ 31.07% และ 35.49% ซึ่งสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนออีกกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งานในกรณีของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 แสดงในตารางที่ 5.15

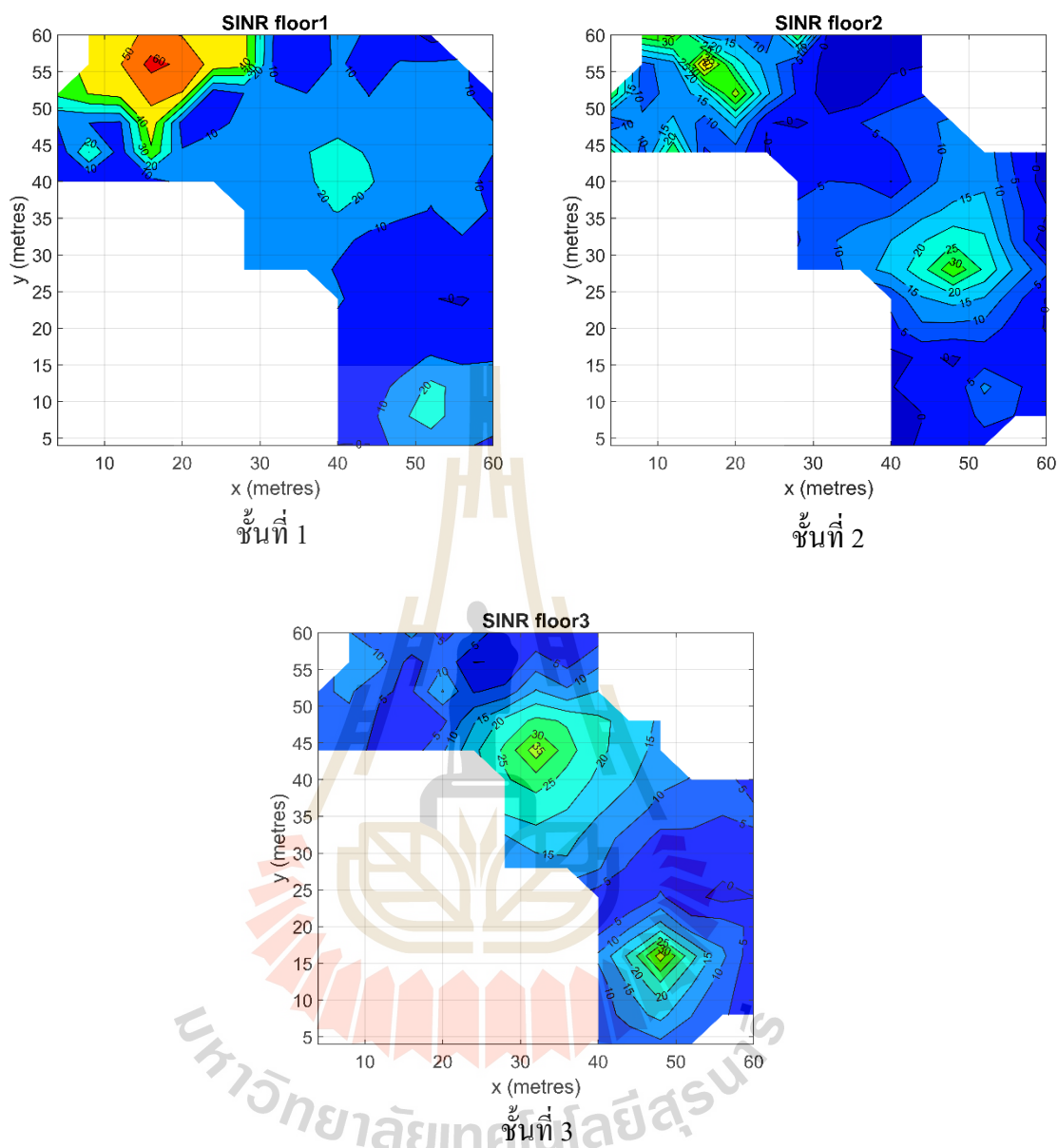
ตารางที่ 5.15 ตารางค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 15 สถานีฐาน

เทคนิค	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
Overlaps technique	ค่าเฉลี่ย (dB)	34.438	44.162	41.546
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	10.868	12.261	9.220
CI-SINRU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1	ค่าเฉลี่ย (dB)	23.329	11.113	6.535
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	16.755	8.512	5.698
CI-SINRU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย (dB)	9.486	11.394	14.982
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	5.619	7.720	7.827

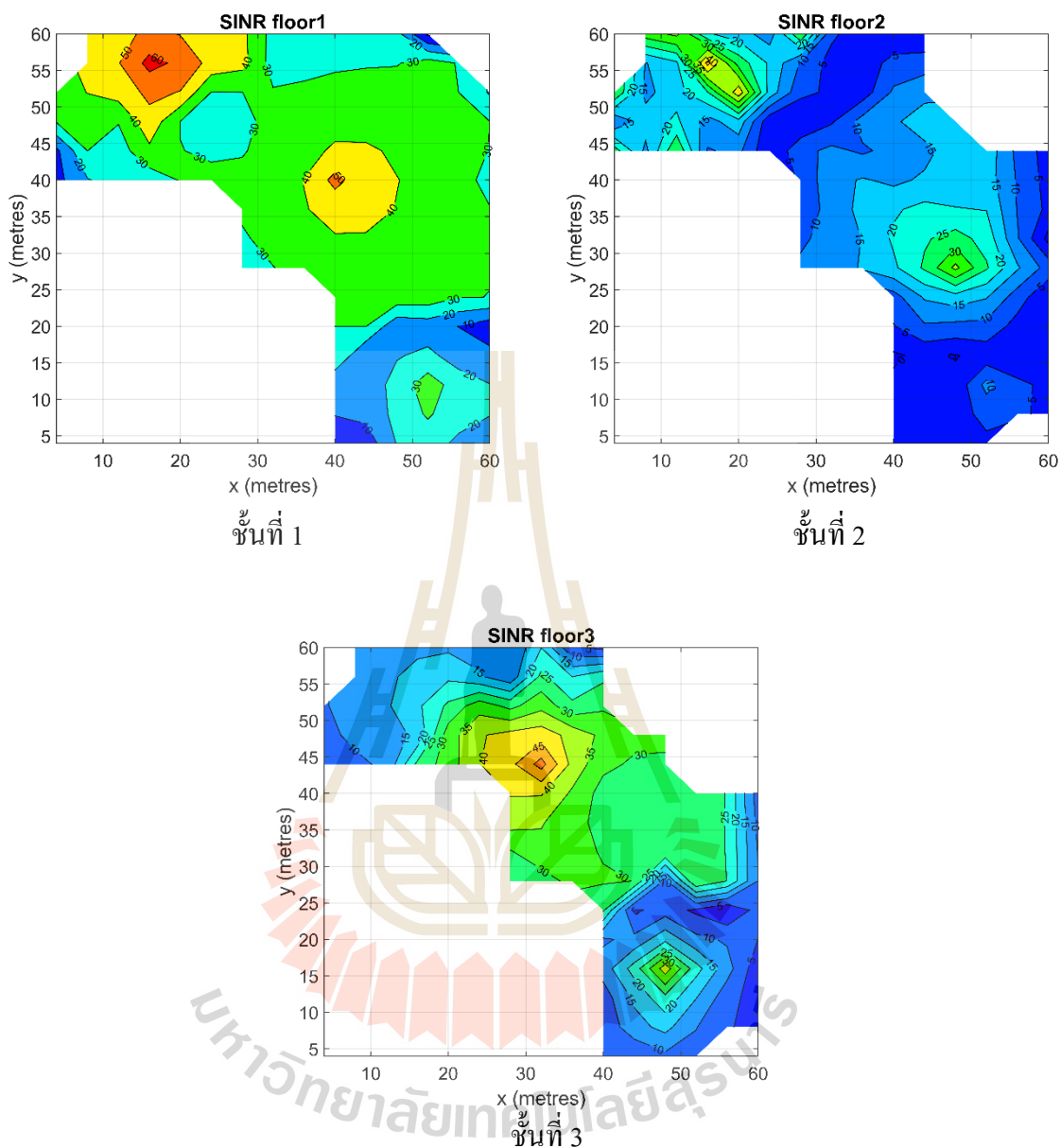
ตารางที่ 5.16 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(15 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user

พารามิเตอร์	Overlaps technique	CI-SINRU กรณี ตำแหน่งผู้ใช้งาน จากการสุ่มครั้งที่ 1	CI-SINRU กรณี ตำแหน่งผู้ใช้งาน จากการสุ่มครั้งที่ 2
จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ความถี่)	10	3	2
ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	39.744	14.252	11.784
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	11.642	13.755	7.388
%Coverage SINR	97.49%	41.71%	39.95%

สำหรับการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเพิ่ม โดเซลล์ทั้งหมด 7 สถานีฐาน ในรูปที่ 5.28 แสดงกราฟคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการของแต่ละจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเพิ่มโดเซลล์ที่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยแสดงออกมาในรูปของ Contour plot ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเพิ่มโดเซลล์ทั้งหมด 11 สถานีฐาน โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 นั้น ในชั้นที่ 1 นั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR มากที่สุดเพราะในชั้นที่ 1 มีการกำหนดสถานีฐานเพิ่มโดเซลล์มากที่สุดและมีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ภายในชั้นมีการรบกวนกันน้อย จึงส่งผลให้ ชั้นที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของ SINR มากที่สุดและในกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 นั้น ชั้นที่มีค่าเฉลี่ย SINR มากที่สุดคือชั้นที่ 1 เพราะในชั้นที่ 1 มีการกำหนดสถานีฐานเพิ่มโดเซลล์มากที่สุดและมีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ภายในชั้นมีการรบกวนกันน้อย จึงส่งผลให้ ชั้นที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของ SINR มากที่สุด ซึ่งได้สรุปผลการเปรียบเทียบคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ กับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน ดังตารางที่ 5.16

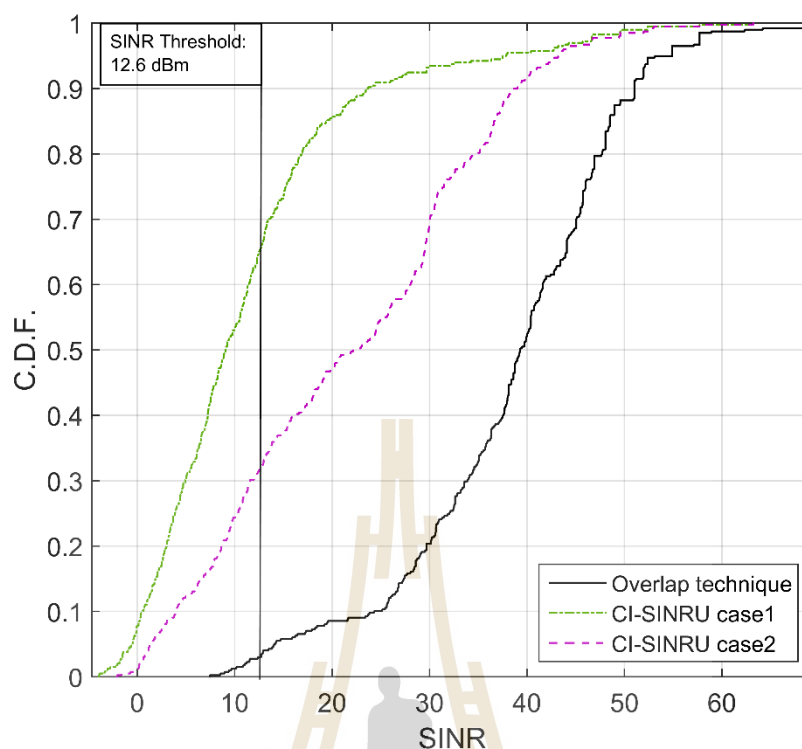


(ก) กำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งติดตั้งสถานีฐาน 7 สถานีฐาน
กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



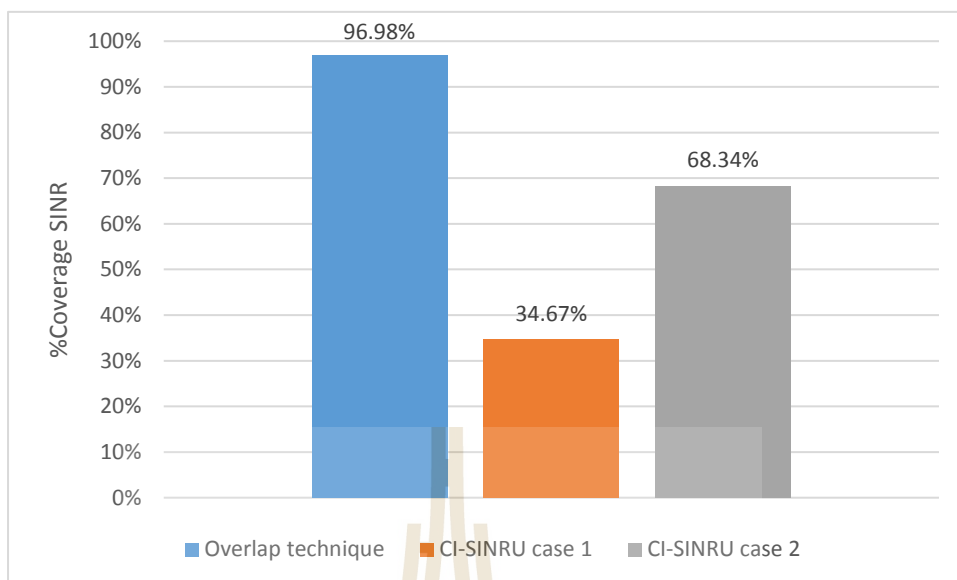
(ข) กำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งติดตั้งสถานีฐาน 7 สถานีฐาน
กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

รูปที่ 5.28 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณ
รบกวนในอาคารบรรณสาร 1



รูปที่ 5.29 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (7 สถานีฐาน)

จากรูปที่ 5.29 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิค จะสังเกตได้ว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนนั้น ในการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (ปรีชญา ชำนาญคำ, 2559) ที่มีการกำหนดสถานีฐานทั้งหมด 7 สถานีฐาน วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 27.407 dB ในส่วนของวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองกรณีนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 11.364 dB และ 11.380 dB ตามลำดับ โดยถ้าพิจารณาที่โอกาสความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ 50 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการทั้งสองรูปแบบการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอ นั้น จะมี SINR ไม่เกิน 24 dB และวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน จากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณีนั้น จะมีค่า SINR ไม่เกิน 6 dB และ 8 dB ตามลำดับ



รูปที่ 5.30 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (7 สถานีฐาน)

ในรูปที่ 5.30 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิคกับเกณฑ์ของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดที่กำหนดไว้ โดยผลที่ได้จะคิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ความครอบคลุมของพื้นที่การให้บริการ จะสังเกตได้ว่า วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำเสนอ นั้น SINR ที่ผ่านเกณฑ์ SINR ที่กำหนดไว้ในพื้นที่การให้บริการสูงถึง 96.98% ในส่วนของวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองกรณี มีค่า SINR ที่ผ่านเกณฑ์ SINR ที่กำหนดไว้ในพื้นที่การให้บริการที่ 34.67% และ 68.34% ซึ่งสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งานในกรณีของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 แสดงในตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 ตารางค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเพิ่มโตเซลล์ 7 สถานีฐาน

เทคนิค	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
Overlap technique	ค่าเฉลี่ย (dB)	41.922	34.989	36.236
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.995	14.886	7.890
CI-SINRU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1	ค่าเฉลี่ย (dB)	15.126	8.426	10.411
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	13.660	9.608	7.999
CI-SINRU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย (dB)	31.318	12.108	20.804
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	11.112	9.656	11.740

ตารางที่ 5.18 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) (7 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using SINR's user

พารามิเตอร์	Overlaps technique	CI-SINRU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1	CI-SINRU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2
จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ความถี่)	5	2	3
ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	38.321	11.526	21.917
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	11.240	11.244	13.487
%Coverage SINR	96.98%	34.67%	68.34%

5.3 การทดลองเพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ด้วยกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยนำเสนอกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน

การทดลองในหัวข้อนี้ จะทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ด้วยกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยนำเสนอ ซึ่งได้นำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับกราฟสัญญาณแทรกสอดที่เป็นแนวคิดของงานวิจัยของ Mengxian, Z., Xiaohang, Ch., Xin, Zh., Lin, S., Dacheng, Y. (2013)

5.3.1 การออกแบบการทดลอง

ในหัวข้อการออกแบบการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 และรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 โดยใช้แนวคิดของวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน โดยพื้นที่การทดลองจะแสดงดังรูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.3 ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองของพื้นที่การให้บริการทั้ง 2 รูปแบบอาคาร จะแสดงดังตารางที่ 5.18 และตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 ตารางค่าพารามิเตอร์ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การศึกษาแบบอาคารวิชาการ 1

พารามิเตอร์	ค่า	
	Overlap technique	Creating interference graph by using relationship between base station and user
ความถี่ของสัญญาณ	2.6 GHz	2.6 GHz
กำลังงานภาคส่งของสัญญาณ	10 dBm	10 dBm
ความกว้างของช่องสัญญาณ	20 MHz	20 MHz
ความสูงของสถานีฐาน	2 เมตร	2 เมตร
ความสูงของจุดทดสอบสัญญาณ	0.8 เมตร	0.8 เมตร
จำนวนของจุดทดสอบสัญญาณทั้งหมด	972 จุด	972 จุด

พารามิเตอร์	ค่า	
	Overlap technique	Creating interference graph by using relationship between base station and user
เกณฑ์กำลังงานภาครับ	-79.8348 dBm	-
เกณฑ์ของ %Overlap	20%	-
เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน	-	5 dBm
เกณฑ์ SINR	12.6 dB	12.6 dB
จำนวนของสถานีฐาน	18 และ 11 สถานีฐาน	18 และ 11 สถานีฐาน
จำนวนของผู้ใช้งานต่อสถานีฐาน	-	4 ผู้ใช้ต่อ 1 สถานีฐาน
จำนวนของผู้ใช้งาน	-	72 และ 44 ผู้ใช้งาน

ตารางที่ 5.20 ตารางค่าพารามิเตอร์ในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การศึกษาแบบอาคารบรรณสาร 1

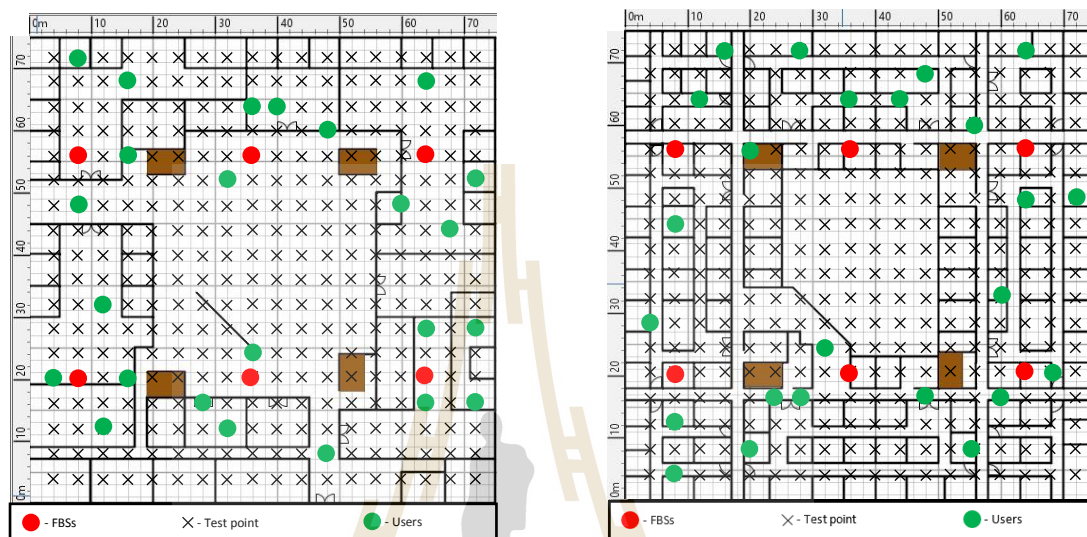
พารามิเตอร์	ค่า	
	Overlap technique	Creating interference graph by using relationship between base station and user
ความถี่ของสัญญาณ	2.6 GHz	2.6 GHz
กำลังงานภาคส่งของสัญญาณ	10 dBm	10 dBm
ความกว้างของช่องสัญญาณ	20 MHz	20 MHz
ความสูงของสถานีฐาน	2 เมตร	2 เมตร
ความสูงของจุดทดสอบสัญญาณ	0.8 เมตร	0.8 เมตร
จำนวนของจุดทดสอบสัญญาณทั้งหมด	398 จุด	398 จุด
เกณฑ์กำลังงานภาครับ	-79.8348 dBm	-
เกณฑ์ของ %Overlap	20%	-
เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน	-	5 dBm

พารามิเตอร์	ค่า	
	Overlap technique	Creating interference graph by using relationship between base station and user
เกณฑ์ SINR	12.6 dB	12.6 dB
จำนวนของสถานีฐาน	15 และ 7 สถานีฐาน	15 และ 7 สถานีฐาน
จำนวนของผู้ใช้งานต่อสถานีฐาน	-	4 ผู้ใช้ต่อ 1 สถานีฐาน
จำนวนของผู้ใช้งาน	-	60 และ 28 ผู้ใช้งาน

5.3.2 ผลการทดลอง

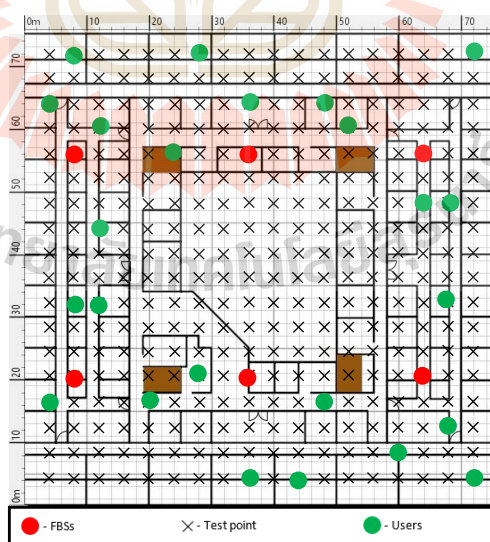
ในส่วนของการทดลองเพื่อสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์โดยใช้เทคนิควิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Matlab Simulink R2015a โดยใช้คอมพิวเตอร์ Lenovo รุ่น Z40-70 Inter@Core™ i5-4210U ความเร็วของซีพียูที่ 1.70 GHz หน่วยความจำ 4.00 GB 64 บิต ในการประมวลผลเพื่อสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนช่องสัญญาณความถี่ที่ได้จากกราฟสัญญาณแทรกสอดที่น้อยที่สุด โดยผู้วิจัยได้ทำการสุ่มตำแหน่งของผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการ 2 ครั้ง แล้วนำผลของการกำหนดตำแหน่งในแต่ละครั้งมาเป็นข้อมูลตั้งต้นสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด ในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดยติดตั้งสถานีฐานทั้งหมด 18 สถานีฐาน กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.31(ก) และกรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 แสดงดังรูปที่ 5.31(ข) และการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยใช้สมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) โดยติดตั้งสถานีฐานทั้งหมด 11 สถานีฐาน กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.32(ก) และกรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 แสดงดังรูปที่ 5.32(ข) ทางด้านของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดยติดตั้งสถานีฐานทั้งหมด 15 สถานีฐาน กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.33(ก) และกรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 แสดงดังรูปที่ 5.33(ข) และการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยใช้สมการคณิตศาสตร์

(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) โดยติดตั้งสถานีฐานทั้งหมด 7 สถานีฐาน กระจายตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5.34(ก) และกรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 แสดงดังรูปที่ 5.34(ข)



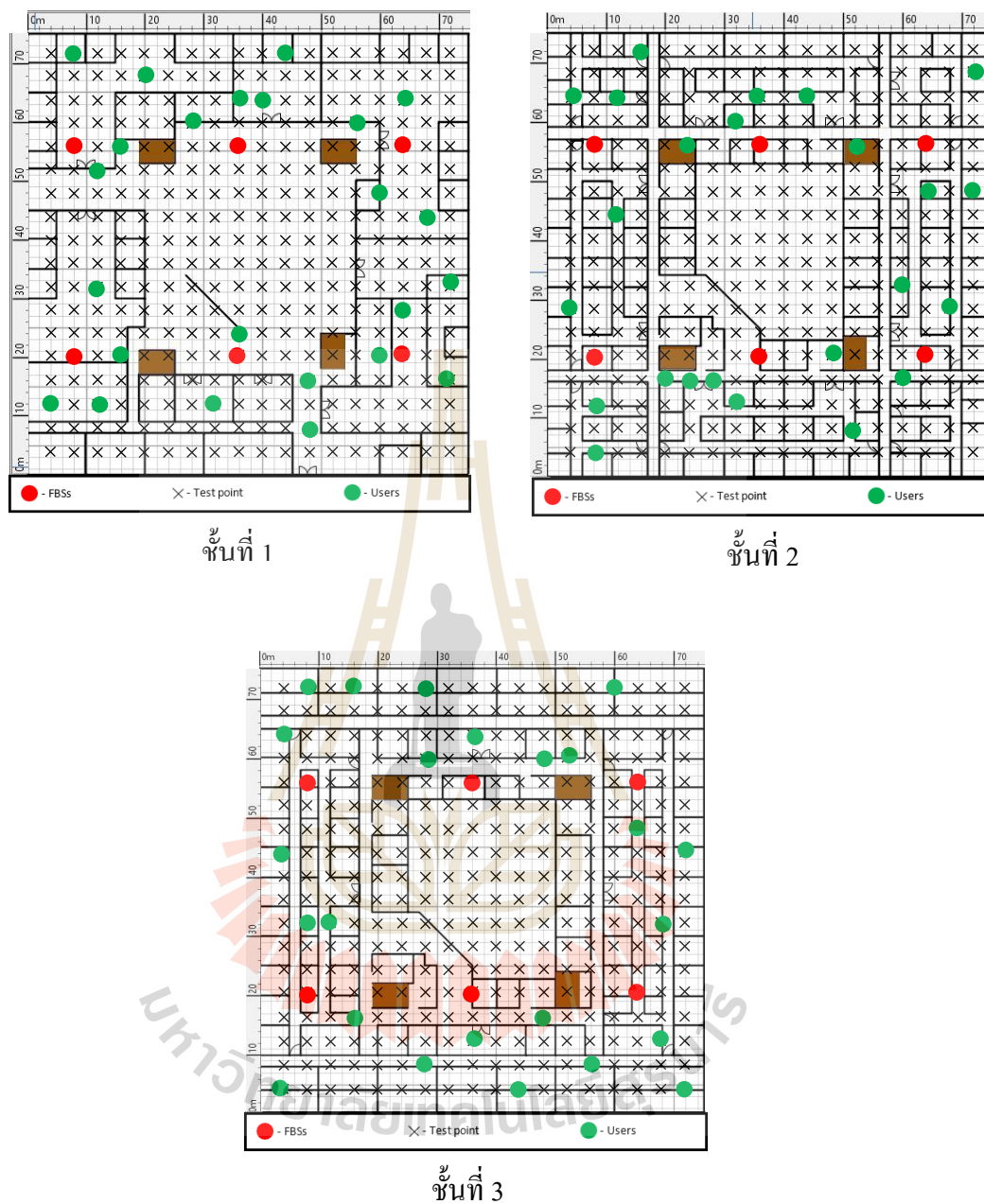
ชั้นที่ 1

ชั้นที่ 2



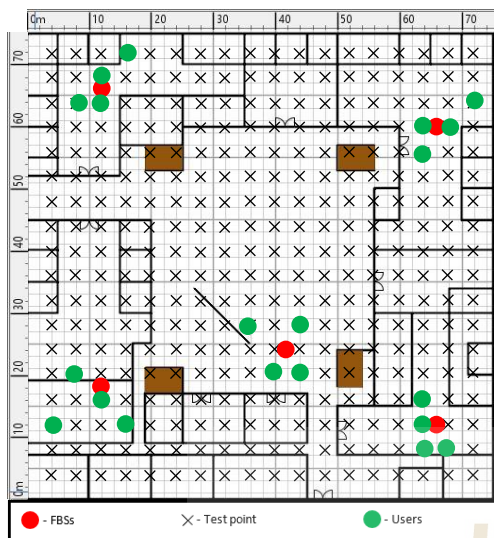
ชั้นที่ 3

(ก) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1

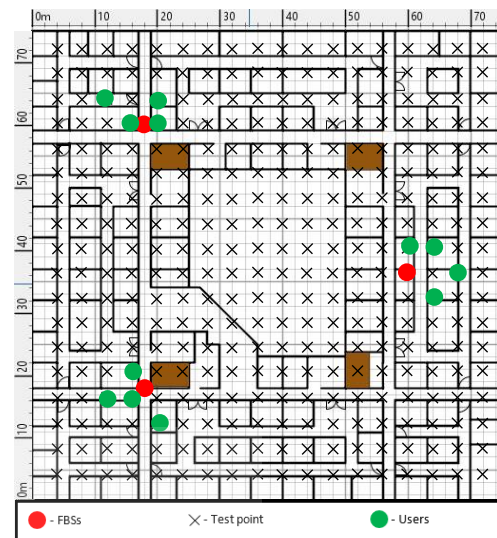


(ข) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

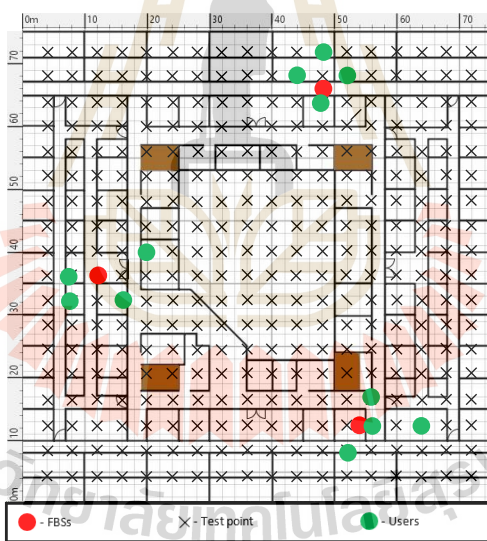
รูปที่ 5.31 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มี การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 18 สถานีฐาน



ชั้นที่ 1

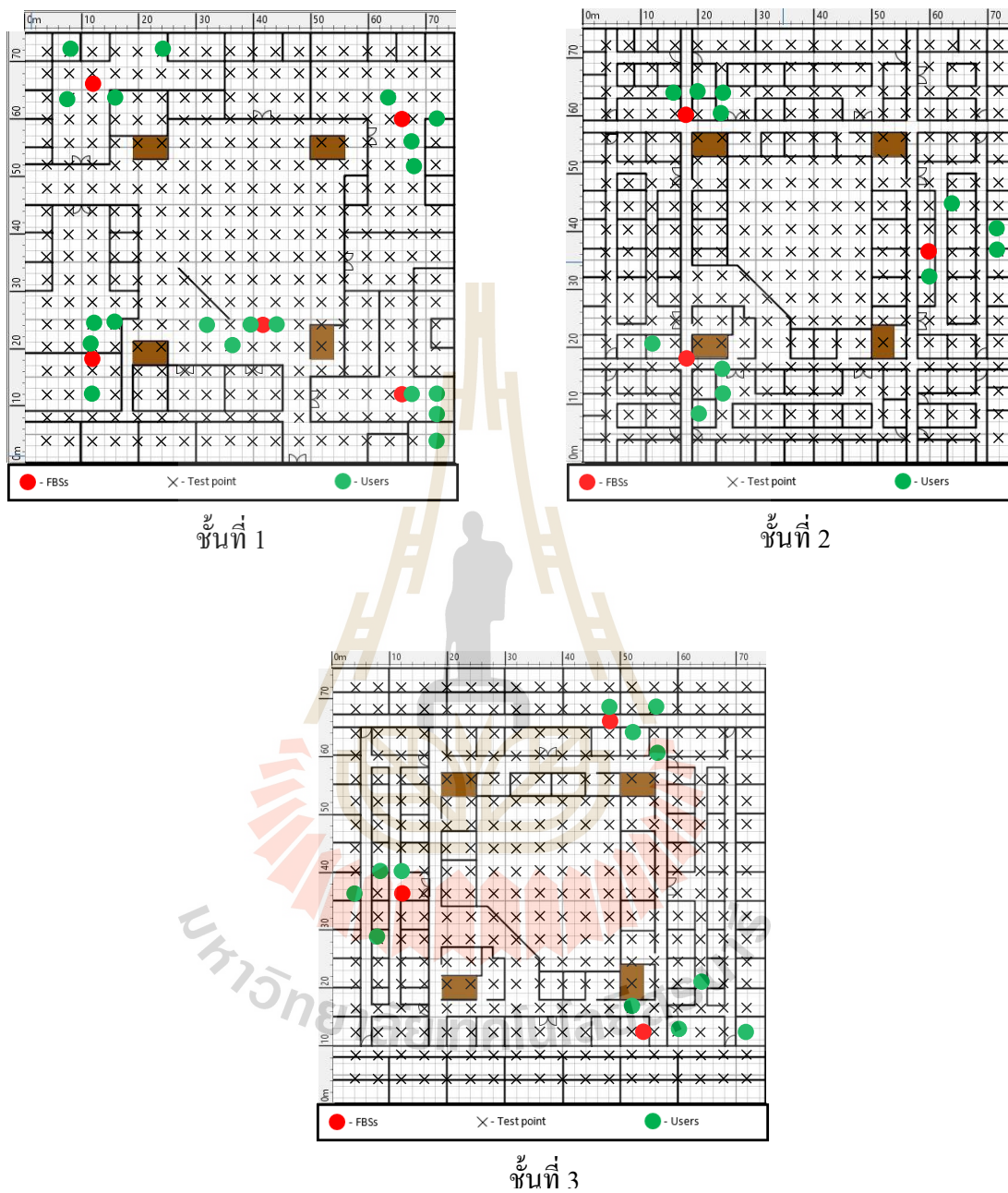


ชั้นที่ 2



ชั้นที่ 3

(ก) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1

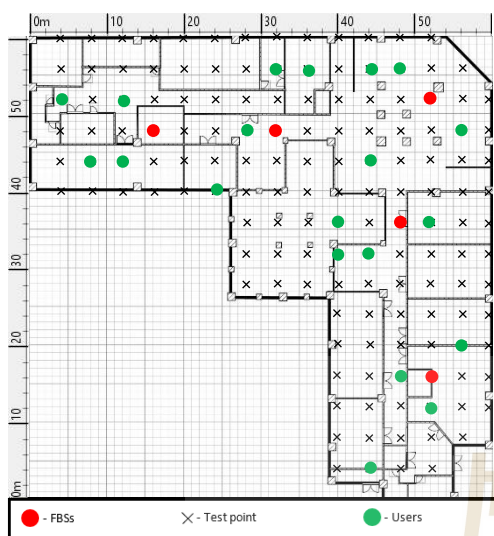


(ข) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

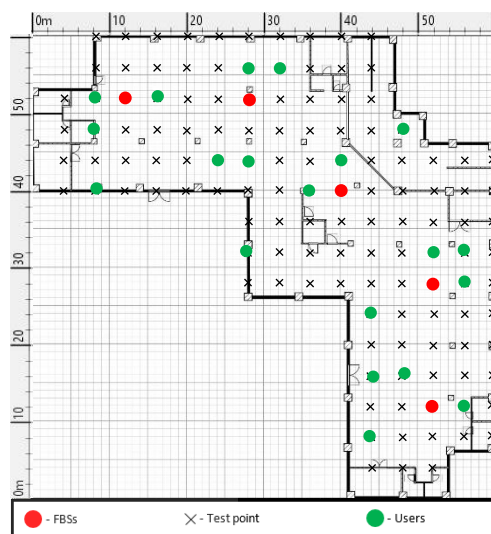
รูปที่ 5.32 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1

ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน โดยการใช้สมการคณิตศาสตร์

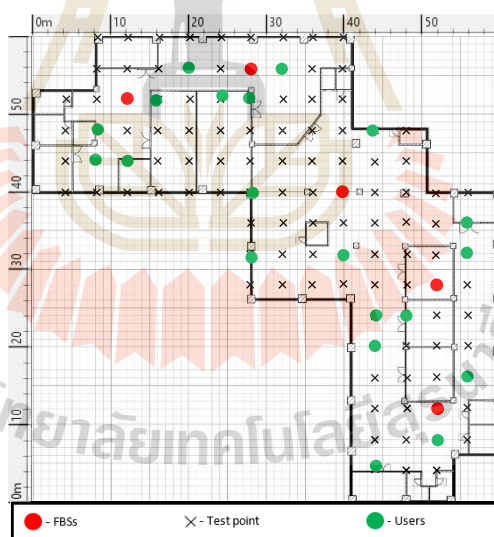
ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 11 สถานีฐาน



ชั้นที่ 1

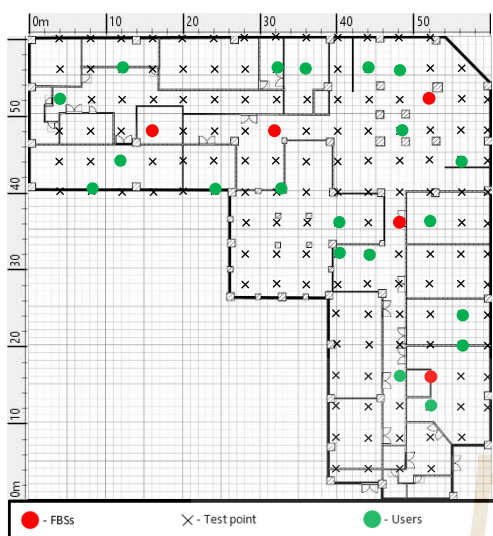


ชั้นที่ 2

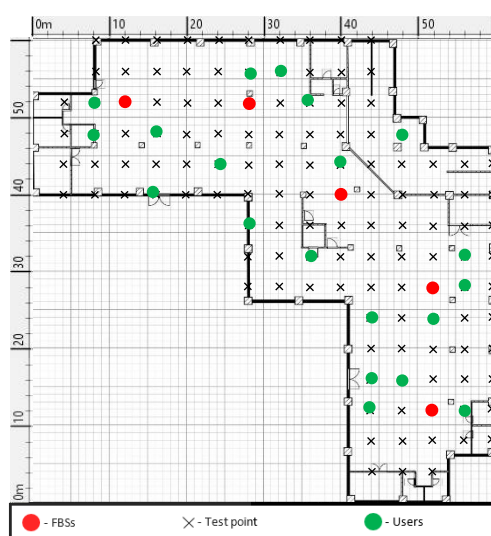


ชั้นที่ 3

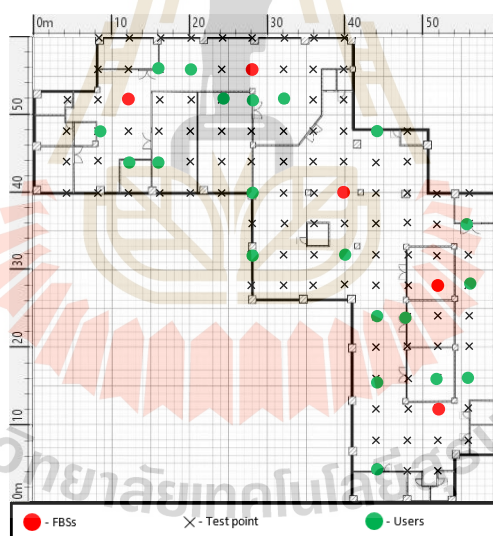
(ก) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



ชั้นที่ 1



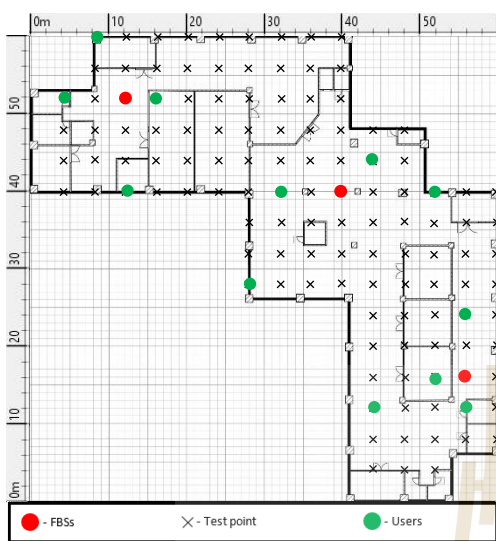
ชั้นที่ 2



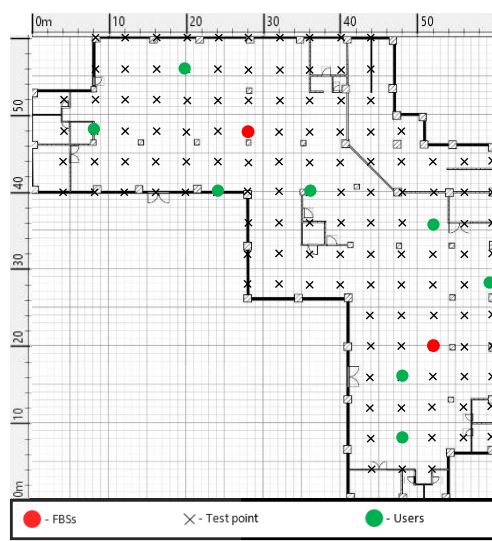
ชั้นที่ 3

(ข) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

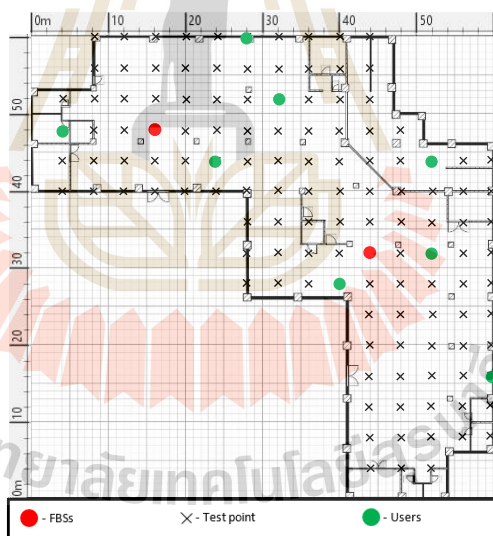
รูปที่ 5.33 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มี
การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 15 สถานีฐาน



ชั้นที่ 1

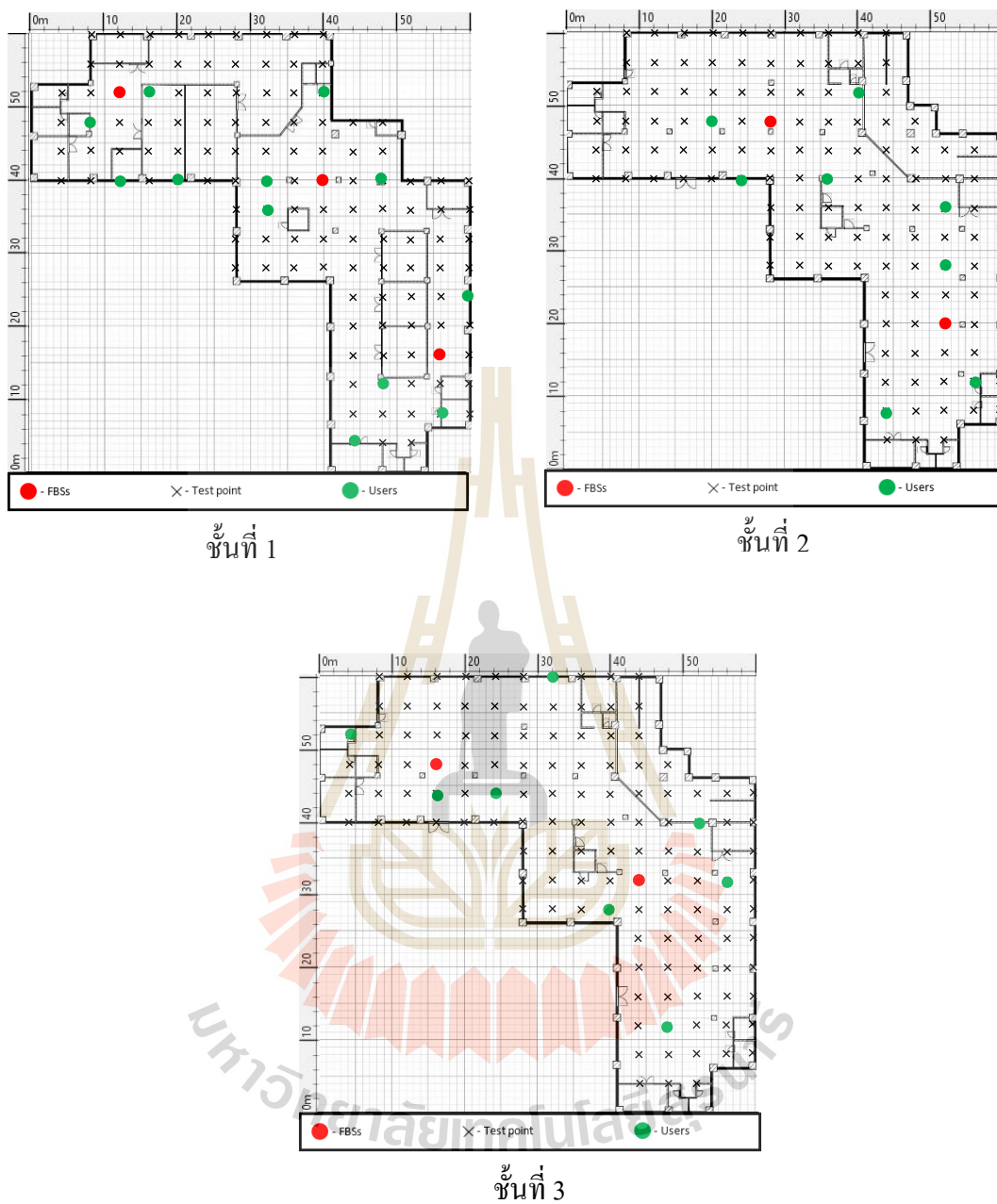


ชั้นที่ 2



ชั้นที่ 3

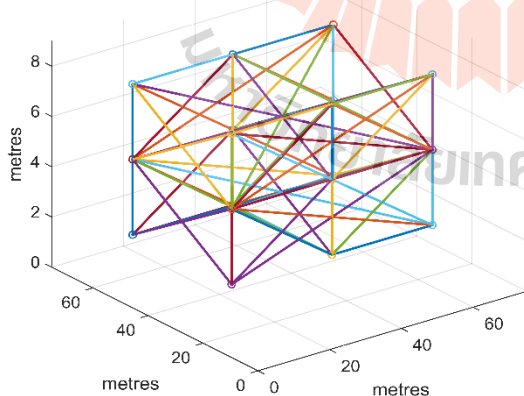
(ก) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



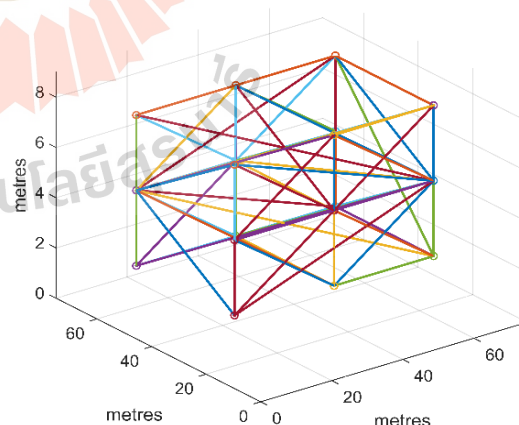
(ข) กรณีตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

รูปที่ 5.34 ตำแหน่งของผู้ใช้งานจากการสุ่มบนพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1
 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยใช้สมการคณิตศาสตร์
 ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 7 สถานีฐาน

โดยผลการทดลองคำตอบของกราฟสัญญาณแทรกสอดในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดยติดตั้งสถานีฐานทั้งหมด 18 สถานีฐาน โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 ใช้ช่องสัญญาณความถี่ 4 ช่องสัญญาณ และในกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 ใช้ช่องสัญญาณความถี่ 5 ช่องสัญญาณ ในส่วนของการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยสมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญ คำ, 2559) โดยติดตั้งสถานีฐานทั้งหมด 11 สถานีฐาน โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 ใช้ช่องสัญญาณความถี่ 3 ช่องสัญญาณ และในกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 ใช้ช่องสัญญาณความถี่ 2 ช่องสัญญาณ โดยกราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 แสดงดังรูปที่ 5.35 และรูปที่ 5.36 ในส่วนของกราฟสัญญาณแทรกสอดในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดยติดตั้งสถานีฐานทั้งหมด 15 สถานีฐาน โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 ใช้ช่องสัญญาณความถี่ 3 ช่องสัญญาณ ในกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 ใช้ช่องสัญญาณความถี่ 3 ช่องสัญญาณ และการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยสมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญ คำ, 2559) โดยติดตั้งสถานีฐานทั้งหมด 7 สถานีฐาน โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 ใช้ช่องสัญญาณความถี่ 3 ช่องสัญญาณ และในกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 ใช้ช่องสัญญาณความถี่ 3 ช่องสัญญาณ โดยกราฟสัญญาณแทรกสอดของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 แสดงดังรูปที่ 5.37 และรูปที่ 5.38

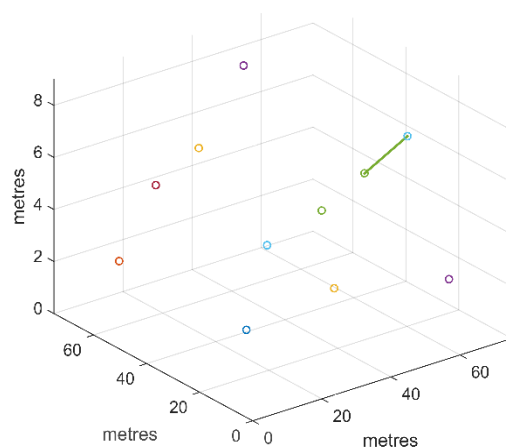
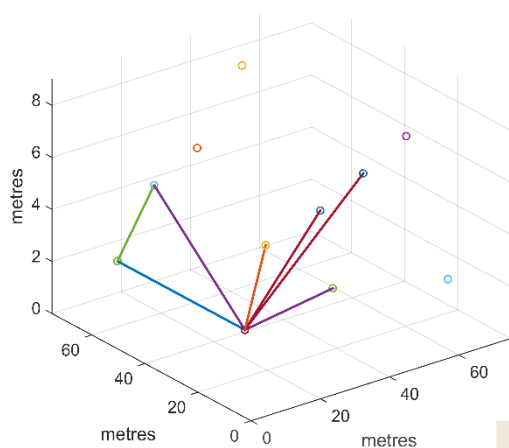


(ก) กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



(ข) กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

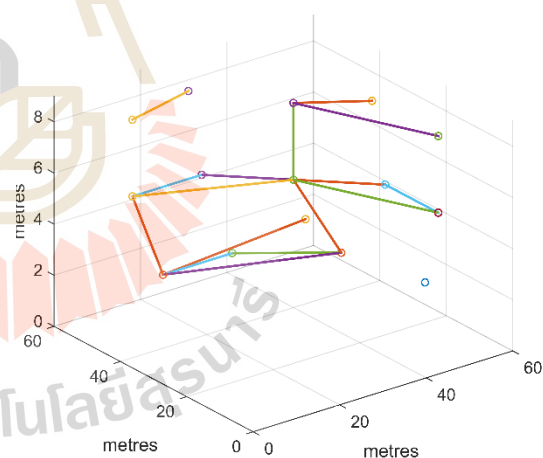
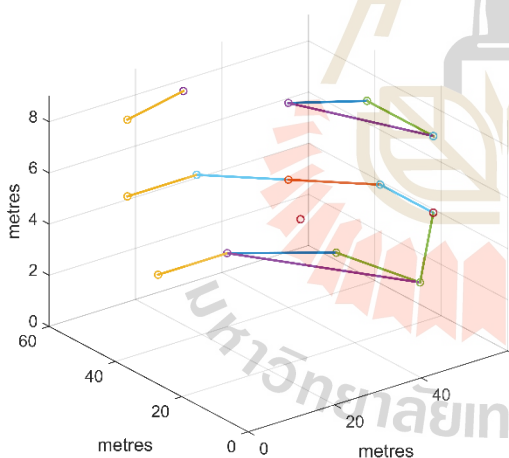
รูปที่ 5.35 กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดยติดตั้งสถานีฐานแฟมโตเซลล์ 18 สถานีฐาน



(ก) กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1

(ข) กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

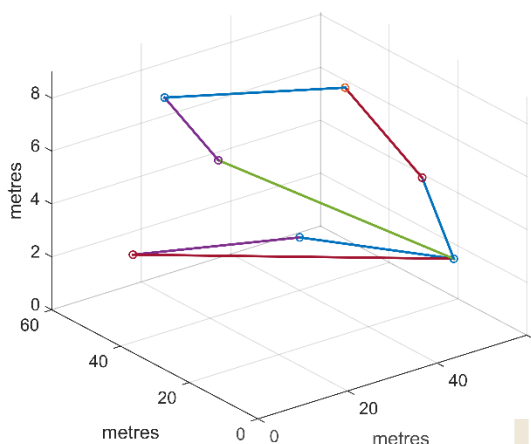
รูปที่ 5.36 กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ โดยติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 11 สถานีฐาน



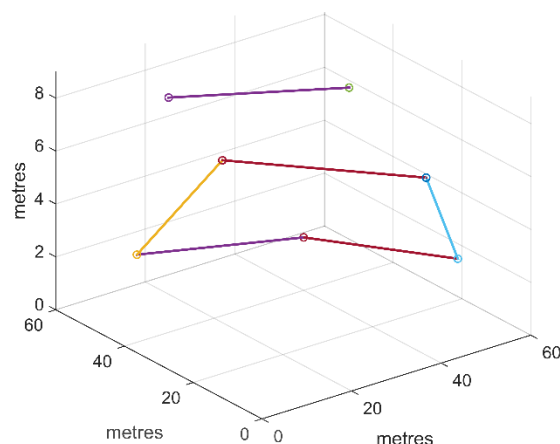
(ก) กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1

(ข) กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

รูปที่ 5.37 กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร โดยติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 15 สถานีฐาน



(ก) กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



(ข) กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

รูปที่ 5.38 กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานในพื้นที่
การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการ
คณิตศาสตร์โดยติดตั้งสถานีฐานเพมโตเซลล์ 7 สถานีฐาน

รูปที่ 5.39 กราฟสัญญาณแทรกสอดที่สร้างด้วยวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดจากงานวิจัย
(Mengxian, Z., et al. (2015)) ในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 และ อาคารบรรณสาร 1

ตารางที่ 5.21 ตารางสรุปผลของกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน

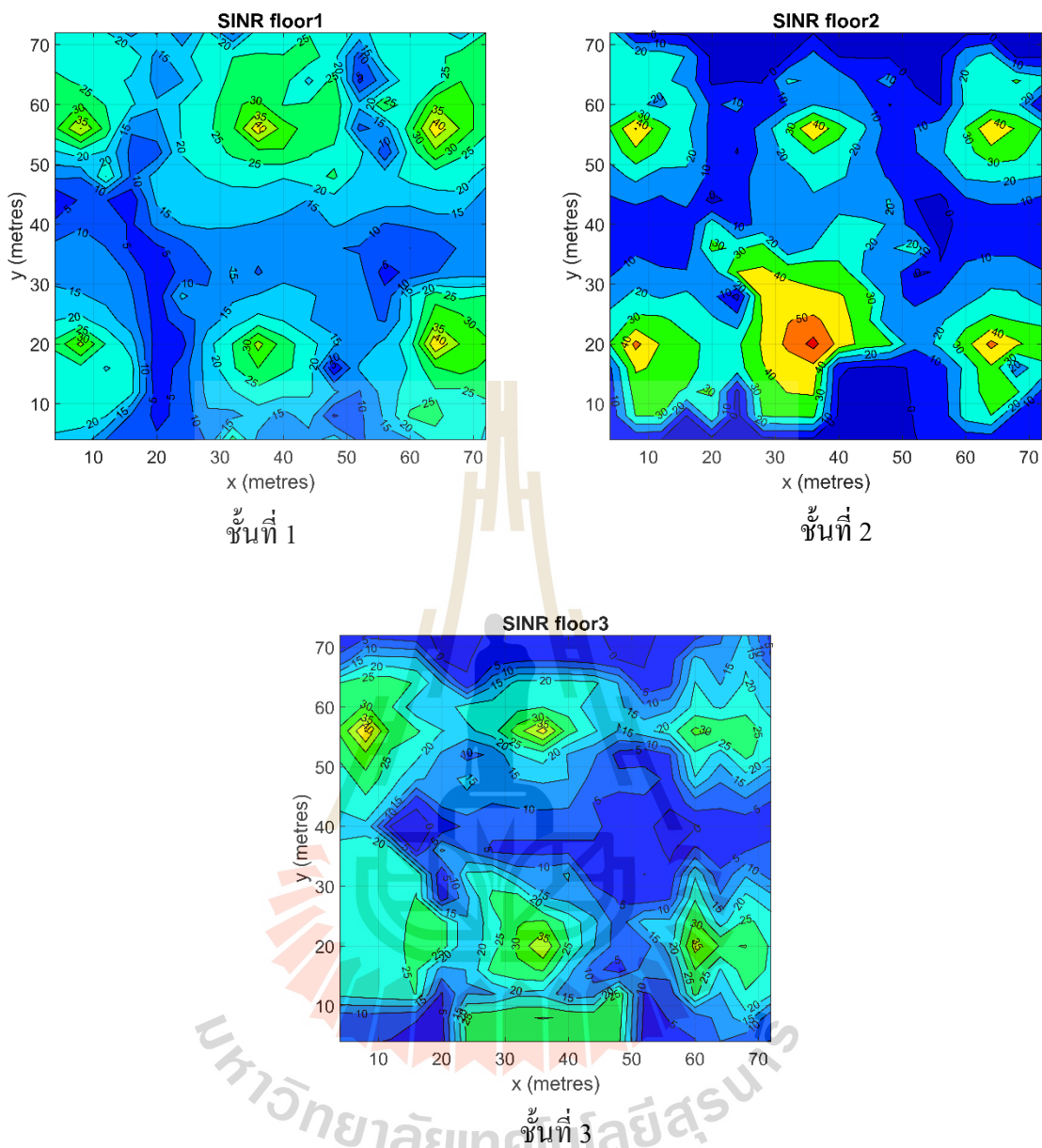
รูปแบบอาคาร	การกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน	จำนวนสถานีฐาน	การสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งาน	จำนวน interference links	จำนวนช่องสัญญาณความถี่
อาคารวิชาการ 1	แบบสมมาตร	18	กรณีที่ 1	71	4
			กรณีที่ 2	63	5
	สมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559)	11	กรณีที่ 1	7	3
			กรณีที่ 2	1	2
อาคารบรรณสาร 1	แบบสมมาตร	15	กรณีที่ 1	13	3
			กรณีที่ 2	16	3
	สมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559)	7	กรณีที่ 1	8	3
			กรณีที่ 2	6	3

5.3.3 การเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

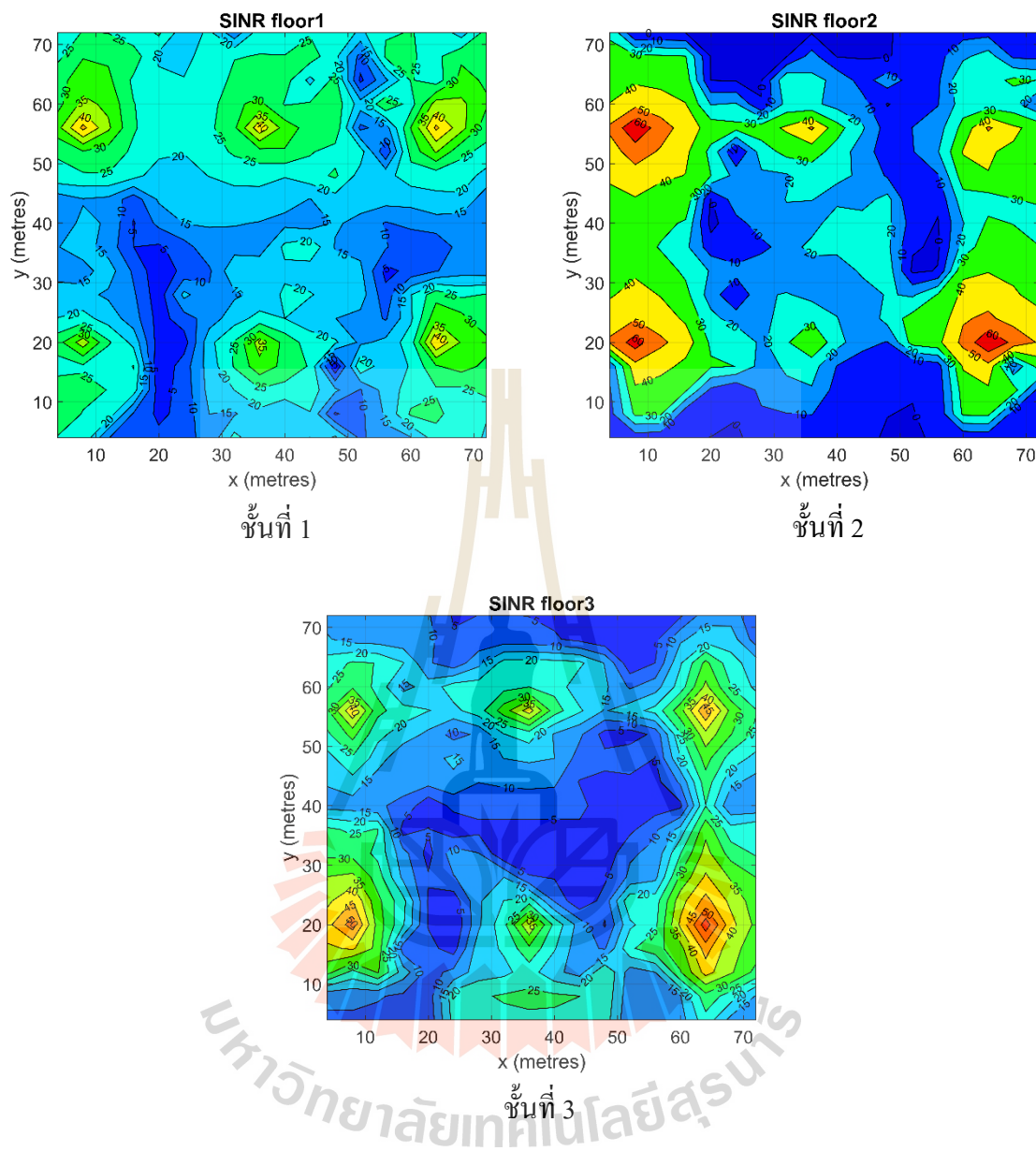
ในหัวข้อของการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลนี้ ผู้วิจัยได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของคำตอบจากกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้จากวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานนั้น และทำการประเมินประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอตามหัวข้อ 4 ของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารทั้ง 2 อาคาร โดยผลที่ได้ให้นำเสนอนั้นประกอบไปด้วย 1) กราฟแสดงคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการ 2) กราฟแสดงฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมในพื้นที่การให้บริการในแต่ละเทคนิค และ 3) กราฟแสดงอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในพื้นที่การให้บริการในแต่ละเทคนิค

5.3.3.1 พื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1

ในส่วนของคุณภาพของกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้จากวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน ในรูปที่ 5.40 แสดงกราฟคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการของแต่ละจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยแสดงออกมาในรูปของ Contour plot ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 18 สถานีฐาน โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 นั้น ในชั้นที่ 1 นั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR มากที่สุด เพราะจากการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในชั้นที่ 1 มีตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่ซ้ำกันน้อยกว่าชั้นอื่น จึงส่งผลให้ชั้นที่ 1 มีค่าเฉลี่ย SINR มากกว่าชั้นอื่น และในกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 นั้น ชั้นที่มีค่าเฉลี่ย SINR มากที่สุดคือชั้นที่ 2 เพราะจากการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในชั้นที่ 2 มีตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่ซ้ำที่มีตำแหน่งอยู่ติดกันน้อยกว่าชั้นอื่น จึงส่งผลให้ชั้นที่ 2 มีค่าเฉลี่ย SINR มากกว่าชั้นอื่น ซึ่งได้สรุปผลการเปรียบเทียบคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอเกี่ยวกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน ดังตารางที่ 5.21

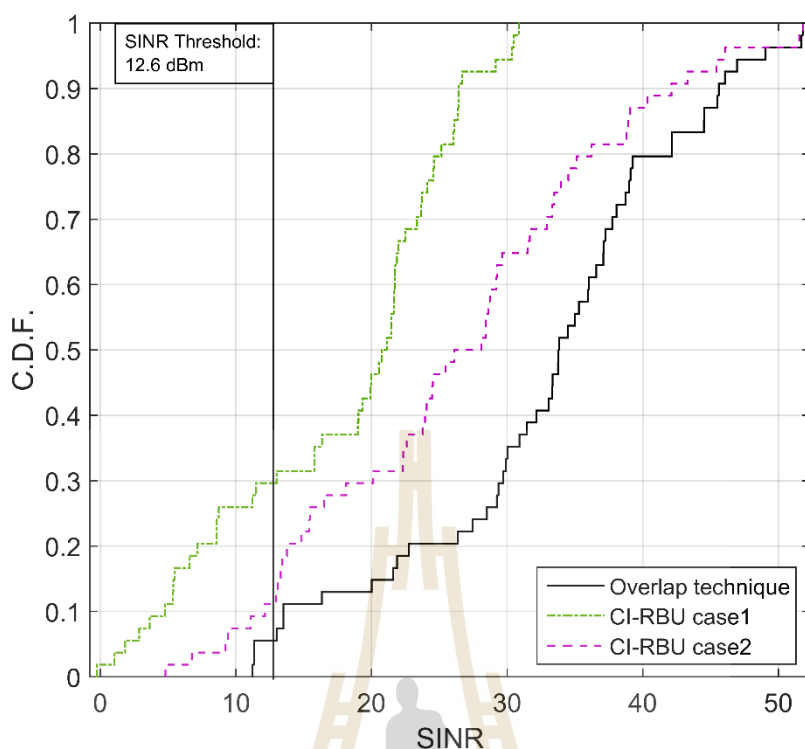


(ก) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 18 สถานีฐาน
กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



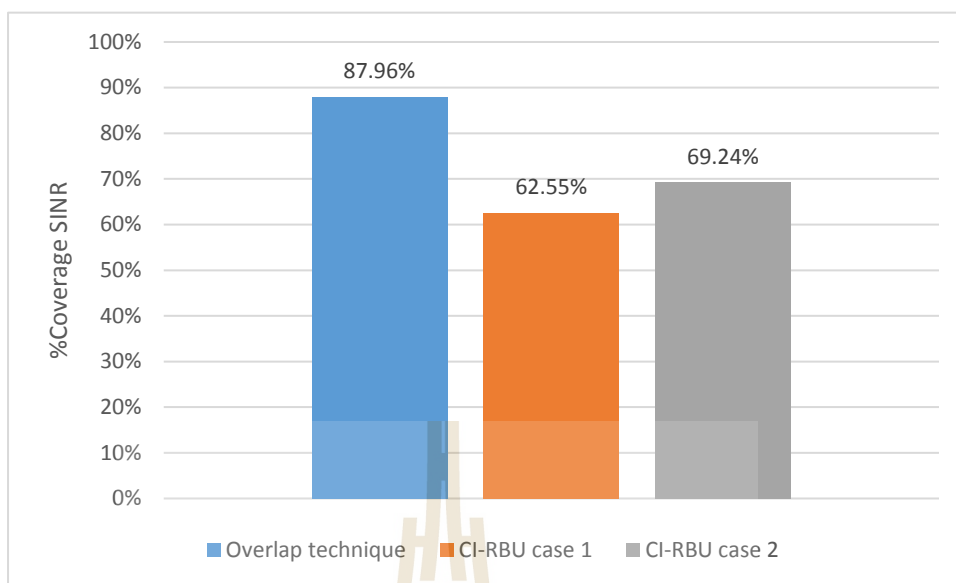
(จ) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 18 สถานีฐาน
กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

รูปที่ 5.40 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณ
รบกวนในอาคารวิชาการ 1



รูปที่ 5.41 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(18 สถานีฐาน)

จากรูปที่ 5.41 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิค จะสังเกตได้ว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนนั้น ในการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ที่มีการกำหนดสถานีฐานทั้งหมด 18 สถานีฐาน วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 30.301 dB ในส่วนของการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองกรณีนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 16.540 dB และ 19.633 dB ตามลำดับ โดยถ้าพิจารณาที่โอกาสความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ 50 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการทั้งสองรูปแบบการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอนั้น จะมี SINR ไม่เกิน 34 dB และวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน จากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณีนั้น จะมีค่า SINR ไม่เกิน 21 dB และ 28 dB ตามลำดับ



รูปที่ 5.42 กราฟเปรียบเทียบ SINR กับ SINR threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user ของอาคาร วิชากร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(18 สถานีฐาน)

จากรูปที่ 5.42 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิคกับเกณฑ์ของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดที่กำหนดไว้ โดยผลที่ได้จะคิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ความครอบคลุมของพื้นที่การให้บริการ จะสังเกตได้ว่า เทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้นำเสนอนั้นมีค่า SINR ที่ผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้ในพื้นที่การให้บริการสูงถึง 87.96% ส่วนเทคนิคตัวเปรียบเทียบทั้งสองกรณีนั้นมีค่า 62.55% และ 69.24% ตามลำดับ ซึ่งสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานในกรณีของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 แสดงในตารางที่ 5.22

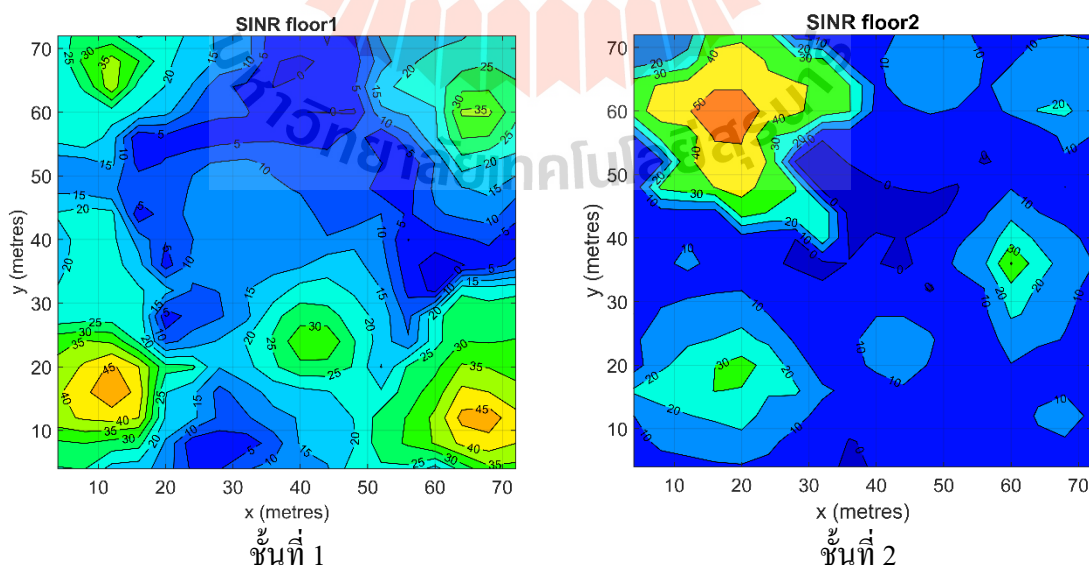
ตารางที่ 5.23 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(18 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user

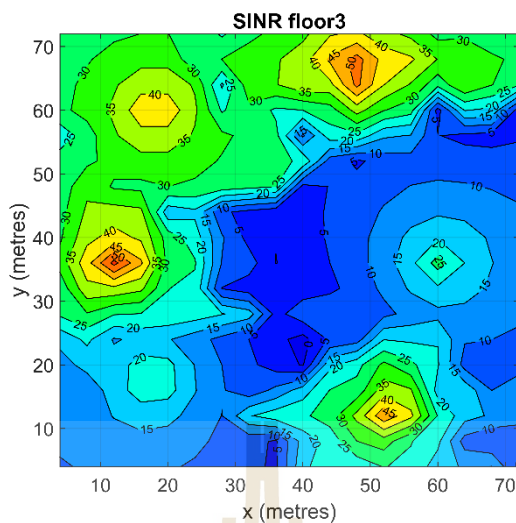
เทคนิค	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
Overlap technique	ค่าเฉลี่ย (dB)	35.015	29.614	26.274
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	9.463	15.451	11.304
CI-RBU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1	ค่าเฉลี่ย (dB)	18.205	16.527	14.888
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	8.231	14.943	10.131
CI-RBU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย (dB)	19.964	21.582	17.353
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	8.301	16.433	11.429

ตารางที่ 5.22 ตารางค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเพิ่มโตเซลล์ 18 สถานีฐาน

พารามิเตอร์	Overlaps technique	CI-RBU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1	CI-RBU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2
จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ความถี่)	8	4	5
ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	30.301	16.540	19.633
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	12.833	11.524	12.619
%Coverage SINR	87.96%	62.55%	69.24%

สำหรับการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 11 สถานีฐาน ในรูปที่ 5.43 แสดงกราฟคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการของแต่ละจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยแสดงออกมาในรูปของ Contour plot ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 11 สถานีฐาน โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 นั้น ในชั้นที่ 3 นั้นมีค่าเฉลี่ยของ SINR มากที่สุด เพราะในชั้นที่ 3 ได้รับกำลังสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโตเซลล์จากชั้นที่ 2 จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ย SINR ของชั้นที่ 3 มากกว่าชั้นอื่น และในกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 นั้น ชั้นที่มีค่าเฉลี่ย SINR มากที่สุดคือชั้นที่ 3 เพราะว่า จากการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ในชั้นที่ 3 มีการใช้ช่องสัญญาณความถี่ 2 ช่องสัญญาณ ทำให้มีการรบกวนกันของสัญญาณที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่ซ้ำกันน้อยกว่าชั้นอื่น จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ย SINR ในชั้นที่ 3 มีค่ามากกว่าชั้นอื่น ซึ่งได้สรุปผลการเปรียบเทียบคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอเกี่ยวกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้ดังตารางที่ 5.22

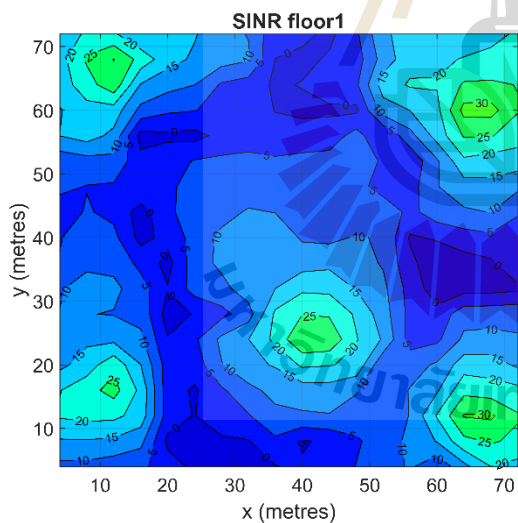




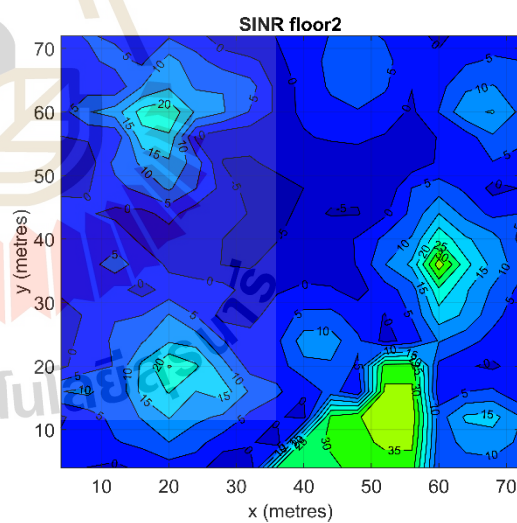
ชั้นที่ 3

(ก) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์

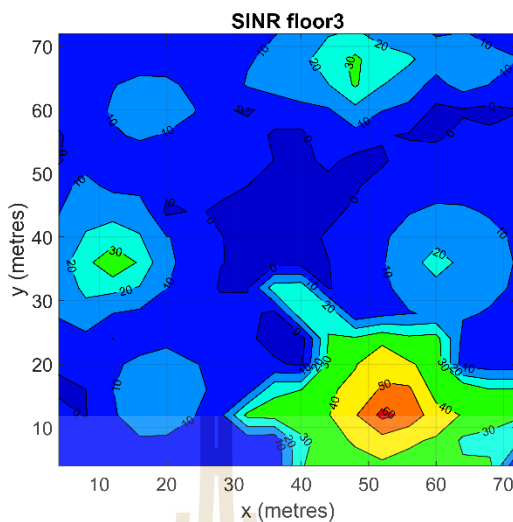
11 สถานีฐาน กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



ชั้นที่ 1



ชั้นที่ 2



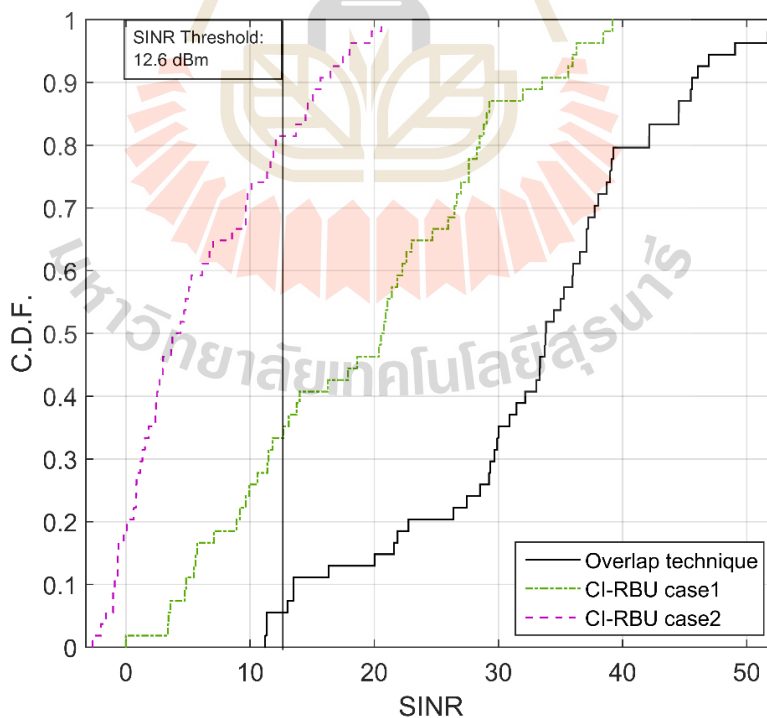
ชั้นที่ 3

(ข) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์

11 สถานีฐาน กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

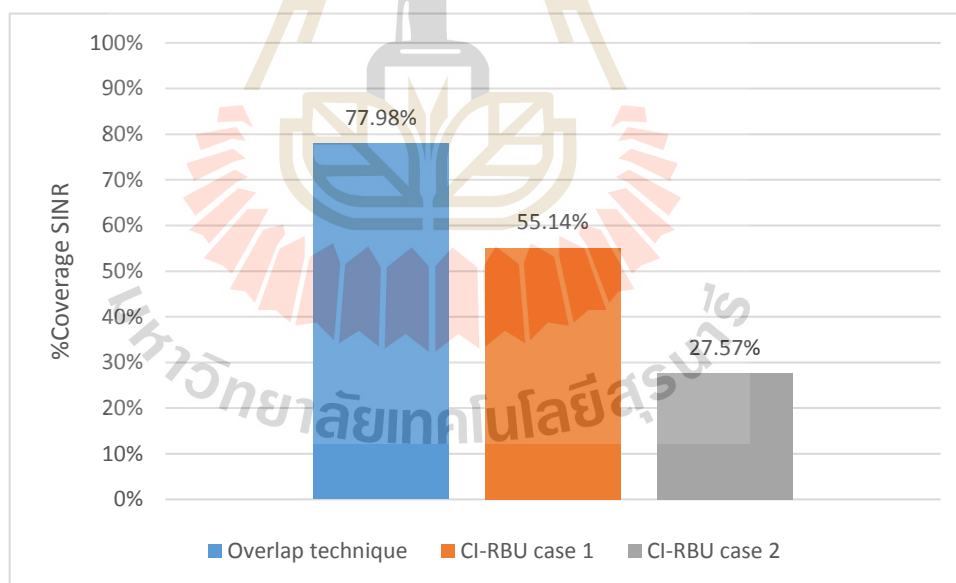
รูปที่ 5.43 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน

ในอาคารวิชาการ 1



รูปที่ 5.44 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 11 สถานีฐาน

จากรูปที่ 5.44 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิคจะสังเกตได้ว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนนั้น การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) ที่มีการกำหนดสถานีฐานเพิ่มโหนดเซลล์ทั้งหมด 11 สถานีฐาน วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 23.796 dB ในส่วนของวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองกรณีนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 17.073 dB และ 9.395 dB ตามลำดับ โดยถ้าพิจารณาที่โอกาสความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ 50 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการทั้งสองรูปแบบการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอนั้น จะมี SINR ไม่เกิน 33 dB และวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน จากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณีนั้น จะมีค่า SINR ไม่เกิน 21 dB และ 4 dB ตามลำดับ



รูปที่ 5.45 กราฟเปรียบเทียบ SINR กับ SINR threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (11 สถานีฐาน)

จากรูปที่ 5.45 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิคกับเกณฑ์ของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดที่กำหนดไว้ โดยผลที่ได้จะคิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ ความครอบคลุมของพื้นที่การให้บริการ จะสังเกตได้ว่า เทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้นำเสนอนั้นมีค่า SINR ที่ผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้ในพื้นที่การให้บริการสูงถึง 77.98% ส่วนเทคนิคตัวเปรียบเทียบทั้งสองกรณีนั้นมีค่า 55.14% และ 27.57% ตามลำดับ ซึ่งสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานในกรณีของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 แสดงในตารางที่ 5.24

ตารางที่ 5.24 ตารางค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเพมโตเซลล์ 11 สถานีฐาน

เทคนิค	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
Overlap technique	ค่าเฉลี่ย (dB)	31.517	19.271	20.599
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	9.733	13.368	10.451
CI-RBU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1	ค่าเฉลี่ย (dB)	17.763	13.099	20.356
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	11.267	13.001	11.929
CI-RBU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย (dB)	10.233	5.991	11.960
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	8.073	9.310	13.001

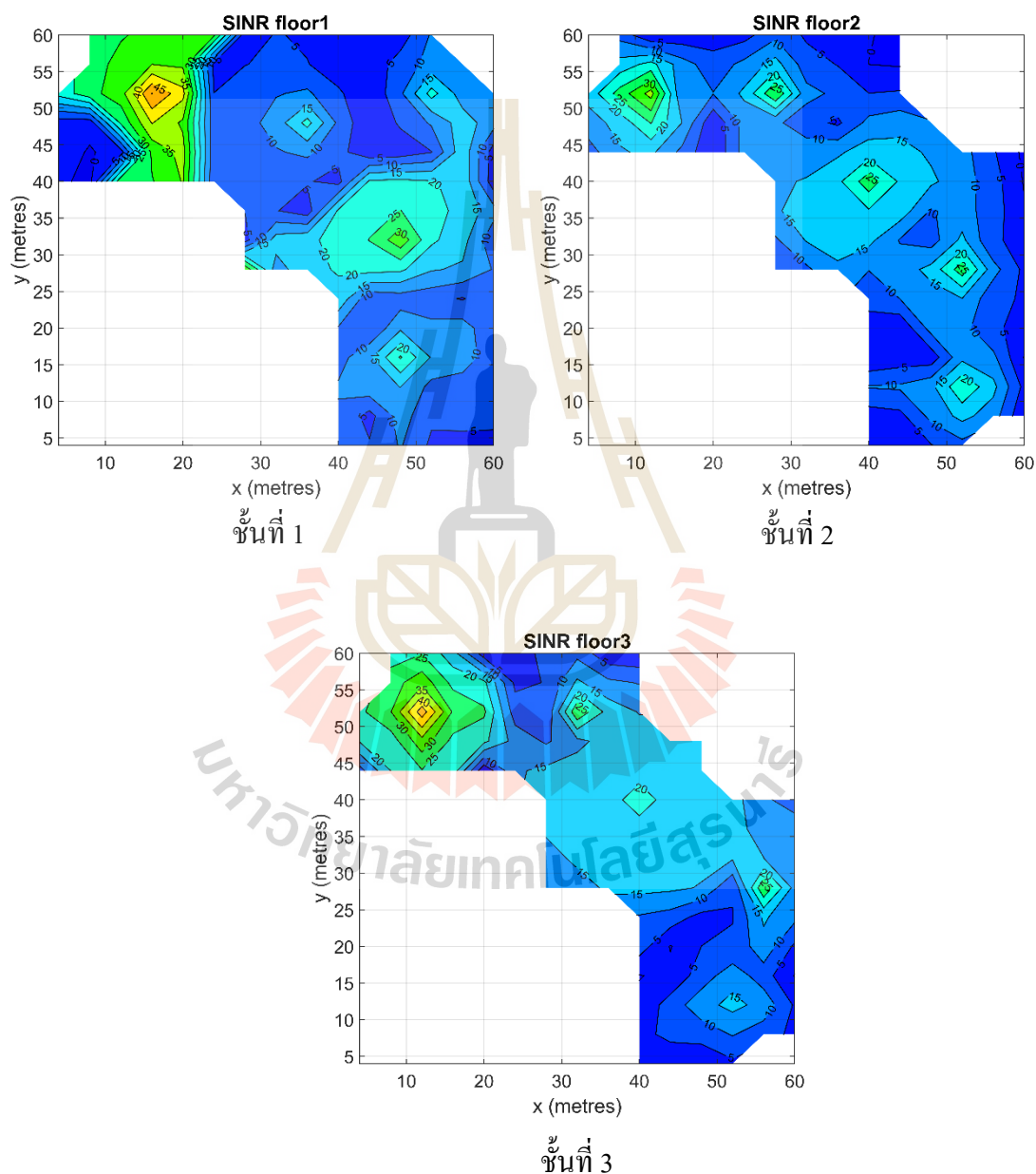
ตารางที่ 5.25 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคาร
วิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญกล้า, 2559)
(11 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship
between base station and user

พารามิเตอร์	Overlaps technique	CI-RBU กรณี ตำแหน่ง ผู้ใช้งานจาก การสุ่มครั้งที่ 1	CI-RBU กรณี ตำแหน่ง ผู้ใช้งานจาก การสุ่มครั้งที่ 2
จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ช่องสัญญาณ)	4	3	2
ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	23.796	17.073	9.395
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	12.547	12.443	10.632
%Coverage SINR	77.98%	55.14%	27.57%

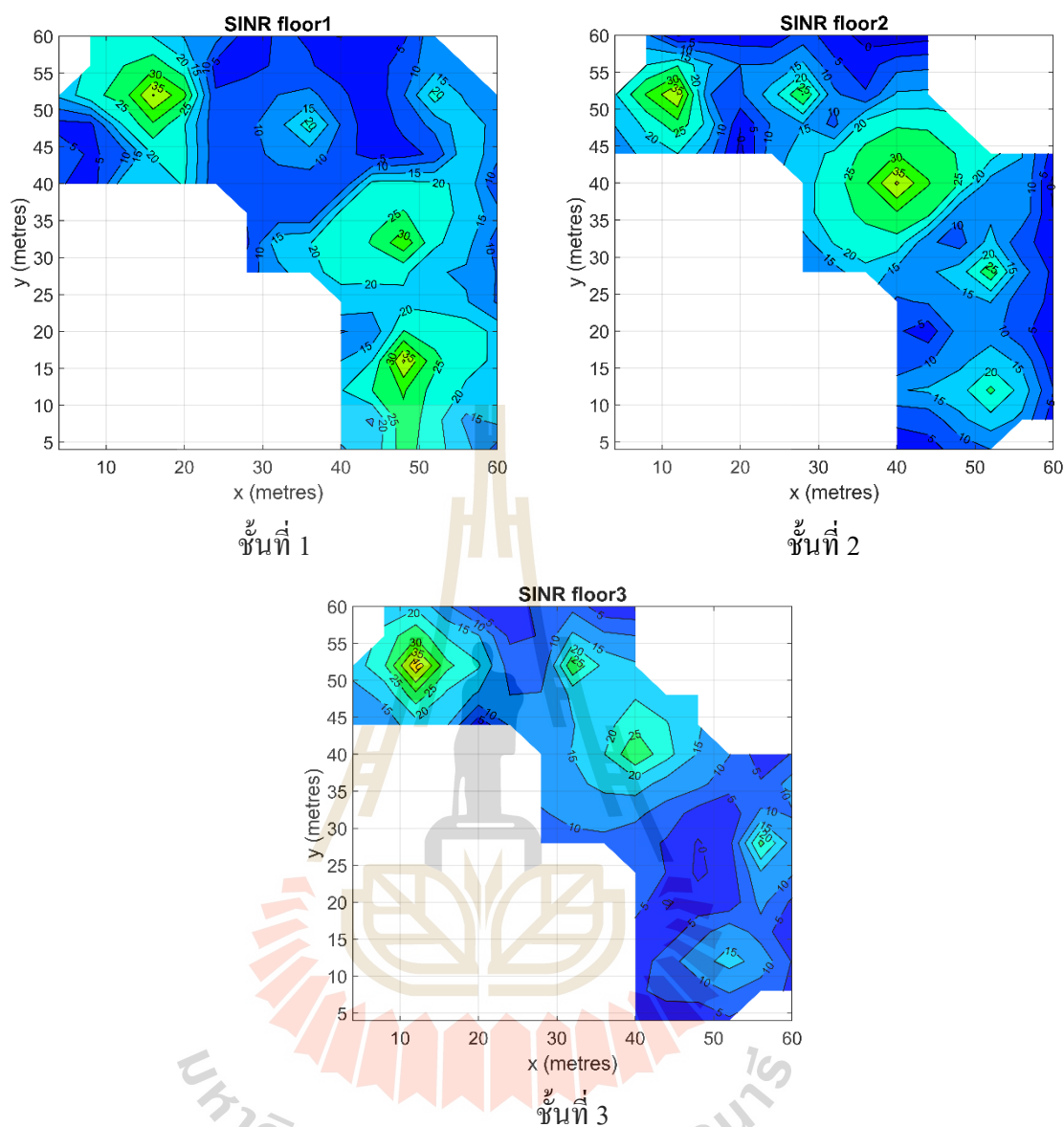
5.3.3.2 พื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1

ในส่วนของคุณภาพของกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้จากวิธีการ
สร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน ในรูปที่ 5.46
แสดงกราฟคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่
ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการของแต่ละจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟมโต
เซลล์ที่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยแสดงออกมาในรูปของ Contour plot ซึ่งจะสังเกต
ได้ว่า การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 15
สถานีฐาน โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 นั้น ในชั้นที่ 3 นั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR
มากที่สุดเพราะ จากการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ในชั้นที่ 3 มีการใช้ช่องสัญญาณความถี่ที่ซ้ำกัน
น้อยกว่าชั้นอื่นและตำแหน่งของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ใช้ความถี่ซ้ำกัน ไม่ได้อยู่ติดกัน จึงส่งผล
ให้ค่าเฉลี่ยของ SINR ภายในชั้นที่ 3 มีค่ามากกว่าชั้นอื่น และในกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่ม
ครั้งที่ 2 นั้น ชั้นที่มีค่าเฉลี่ย SINR มากที่สุดคือชั้นที่ 1 เพราะจากการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ใน
ชั้นที่ 1 สถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่มีการใช้ช่องสัญญาณความถี่ซ้ำกันนั้น ตำแหน่งไม่ได้อยู่ใกล้กัน ทำ
ให้มีการรบกวนของสัญญาณต่ำ จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของ SINR ในชั้นที่ 1 มีค่ามากกว่าชั้นอื่น ซึ่งได้

สรุปผลการเปรียบเทียบคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ กับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน ดังตารางที่ 5.25

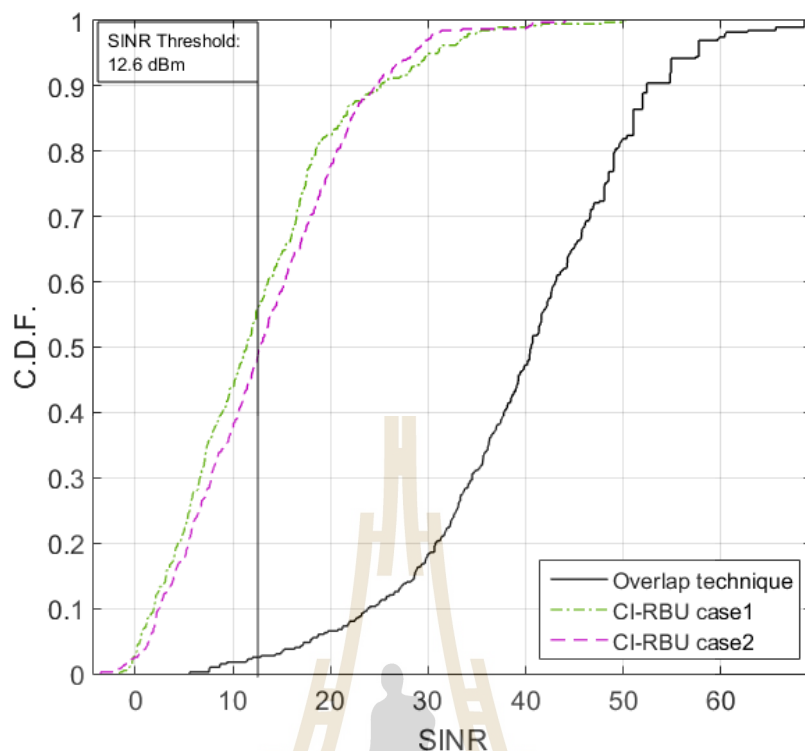


(ก) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 15 สถานีฐานกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



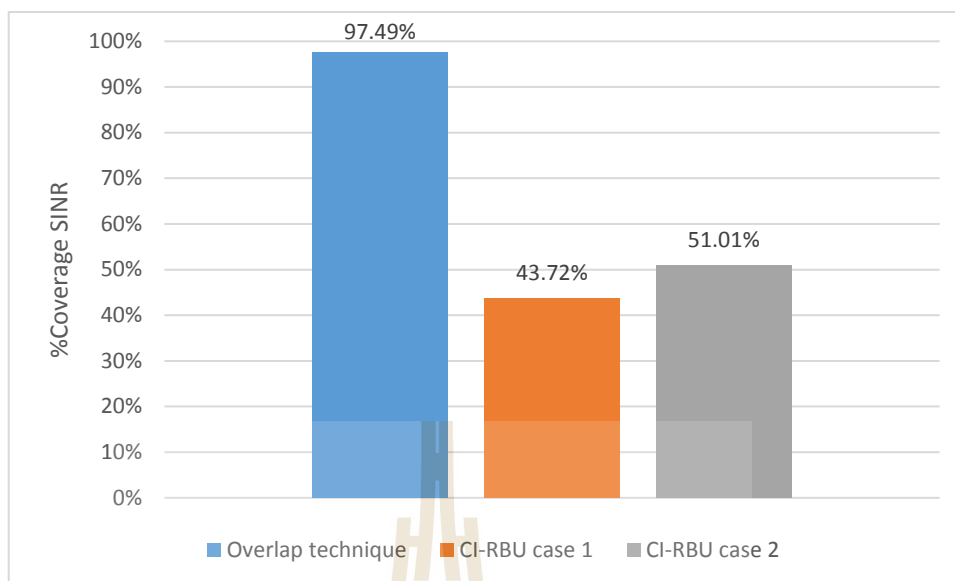
(ข) การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 15 สถานีฐาน
กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

รูปที่ 5.46 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณ
รบกวนในอาคารบรรณสาร 1



รูปที่ 5.47 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(15 สถานีฐาน)

จากรูปที่ 5.47 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิค จะสังเกตได้ว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนนั้น ในการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ที่มีการกำหนดสถานีฐานทั้งหมด 15 สถานีฐาน วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 39.744 dB ในส่วนของวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองกรณีนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 12.532 dB และ 13.426 dB ตามลำดับ โดยถ้าพิจารณาที่โอกาสความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ 50 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการทั้งสองรูปแบบการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอนั้น จะมี SINR ไม่เกิน 41 dB และวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน จากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณีนั้น จะมีค่า SINR ไม่เกิน 12 dB และ 14 dB ตามลำดับ



รูปที่ 5.48 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(15 สถานีฐาน)

ในรูปที่ 5.48 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิคกับเกณฑ์ของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดที่กำหนดไว้ที่ 12.6 dB โดยผลที่ได้จะคิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ความครอบคลุมของพื้นที่การให้บริการ จะสังเกตได้ว่า เทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้นำเสนอนั้นมีค่า SINR ที่ผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้ในพื้นที่การให้บริการสูงถึง 97.49% ส่วนเทคนิคตัวเปรียบเทียบทั้งสองกรณีนั้นมีค่า 43.72% และ 51.01% ตามลำดับ ซึ่งสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานในกรณีของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 แสดงในตารางที่ 5.26

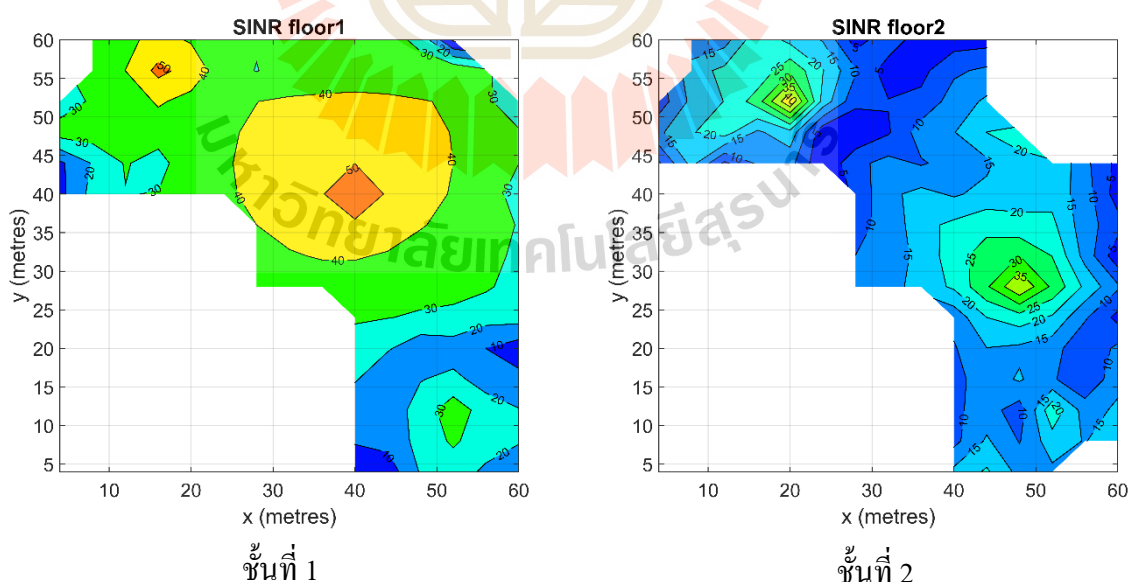
ตารางที่ 5.26 ตารางค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเพิ่มโตะเซลล์ 15 สถานีฐาน

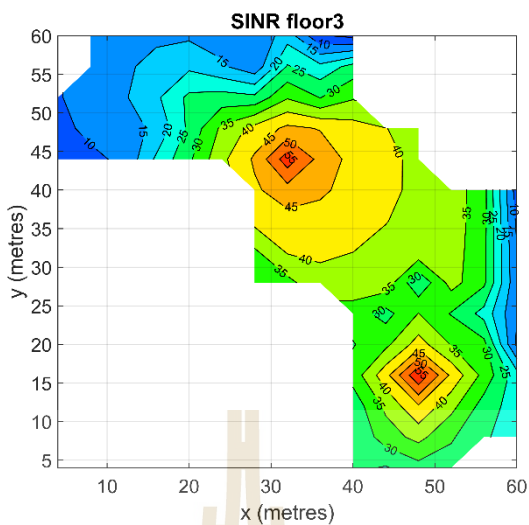
เทคนิค	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
Overlap technique	ค่าเฉลี่ย (dB)	34.438	44.162	41.546
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	10.868	12.261	9.220
CI-RBU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1	ค่าเฉลี่ย (dB)	13.419	10.378	13.717
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	10.709	7.2491	8.487
CI-RBU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย (dB)	14.812	13.817	11.334
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	8.353	9.153	7.807

ตารางที่ 5.27 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(15 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user

พารามิเตอร์	Overlaps technique	CI-RBU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1	CI-RBU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2
จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ช่องสัญญาณ)	10	3	3
ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	39.744	12.532	13.426
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	11.642	9.135	8.563
%Coverage SINR	97.49%	43.72%	51.01%

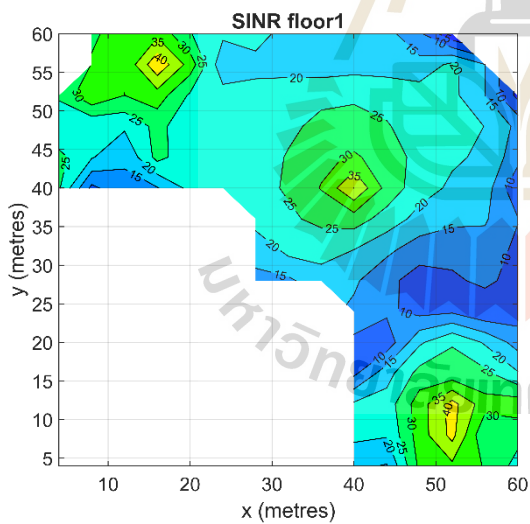
สำหรับการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟรมโตเซลล์ทั้งหมด 7 สถานีฐาน ในรูปที่ 5.49 แสดงกราฟคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการของแต่ละจุดทดสอบสัญญาณที่ได้รับสัญญาณจากสถานีฐานเฟรมโตเซลล์ที่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยแสดงออกมาในรูปของ Contour plot ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟรมโตเซลล์ทั้งหมด 7 สถานีฐาน โดยกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 นั้น ในชั้นที่ 1 นั้นมีค่าเฉลี่ยของ SINR มากที่สุดเพราะในชั้นที่ 1 มีการติดตั้งสถานีฐานเฟรมโตเซลล์มากกว่าชั้นอื่นและใช้ช่องสัญญาณความถี่ไม่ซ้ำกัน จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ย SINR ในชั้นที่ 1 มีค่ามากกว่าชั้นอื่น และในกรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 นั้น ชั้นที่มีค่าเฉลี่ย SINR มากที่สุดคือชั้นที่ 3 เพราะในชั้นที่ 3 สถานีฐานเฟรมโตเซลล์มีการใช้งานช่องสัญญาณความถี่ที่ไม่ซ้ำกันและตำแหน่งของช่องสัญญาณความถี่จากชั้นที่ 2 อยู่ไม่ตรงกับชั้นที่ 3 ทำให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณต่ำ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ย SINR ในชั้นที่ 3 มีค่ามากกว่าชั้นอื่น ซึ่งได้สรุปผลการเปรียบเทียบคุณภาพของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานดังตารางที่ 5.27



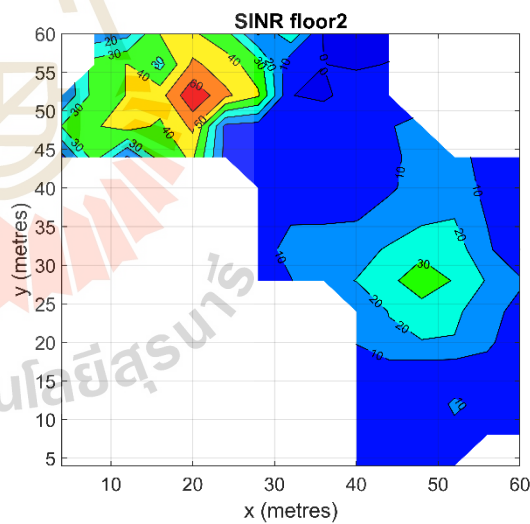


ชั้นที่ 3

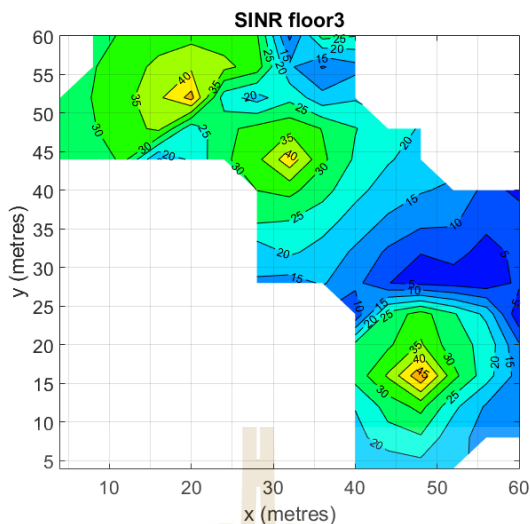
(ก) กำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งติดตั้งสถานีฐาน 7 สถานีฐาน
กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1



ชั้นที่ 1

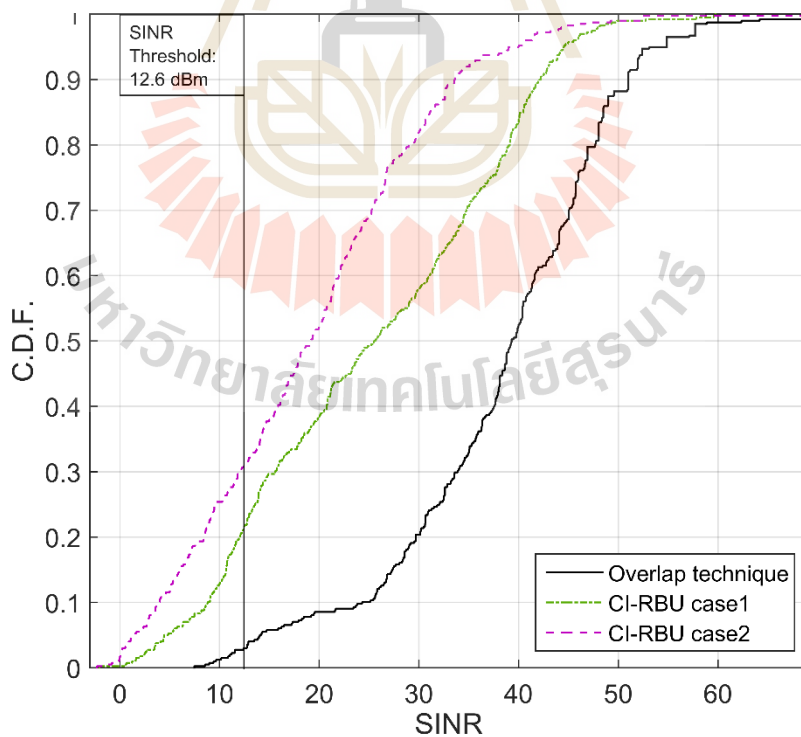


ชั้นที่ 2



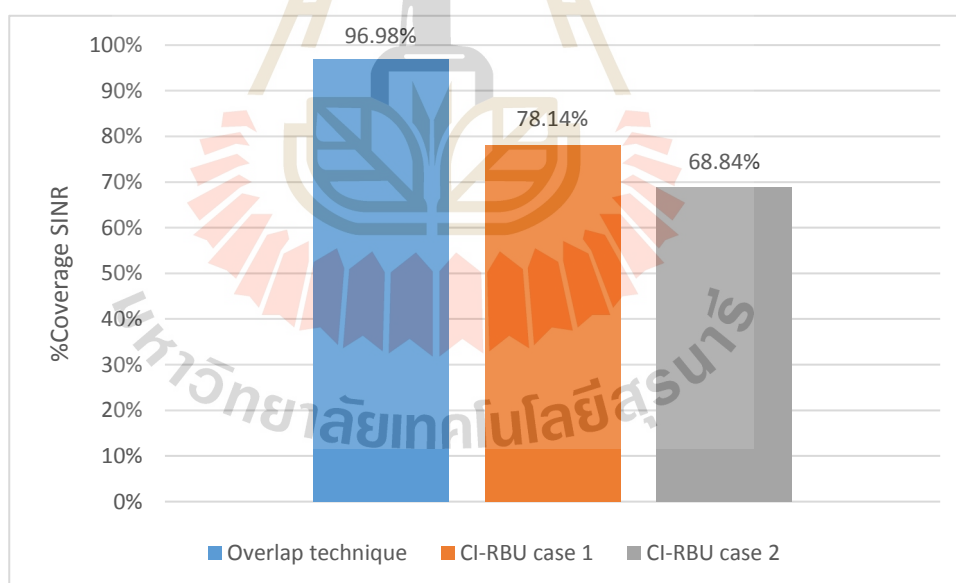
ชั้นที่ 3
 (ข) กำหนดตำแหน่งสถานีฐานโดยสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งติดตั้งสถานีฐาน 7 สถานีฐาน
 กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2

รูปที่ 5.49 Contour plot แสดงอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน
 ในอาคารบรรณสาร 1



รูปที่ 5.50 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบระหว่าง Overlap technique และ Creating
 interference graph by using relationship between base station and user ของอาคารบรรณสาร 1
 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (7 สถานีฐาน)

จากรูปที่ 5.50 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิคจะสังเกตได้ว่าค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนนั้น ในการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) ที่มีการกำหนดสถานีฐานทั้งหมด 7 สถานีฐาน วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 39.744 dB ในส่วนของวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองกรณีนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR ทั้งสามชั้นที่ 12.532 dB และ 13.426 dB ตามลำดับ โดยถ้าพิจารณาที่โอกาสความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ 50 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการทั้งสองรูปแบบการกำหนดตำแหน่งสถานีฐาน ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอนั้น จะมี SINR ไม่เกิน 39 dB และวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน จากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณีนั้น จะมีค่า SINR ไม่เกิน 25 dB และ 19 dB ตามลำดับ



รูปที่ 5.51 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (7 สถานีฐาน)

ในรูปที่ 5.51 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการทั้งสองเทคนิคกับเกณฑ์ของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดที่กำหนดไว้ที่ 12.6 dB โดยผลที่ได้จะคิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ความครอบคลุมของพื้นที่การให้บริการ จะสังเกตได้ว่า เทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้นำเสนอนั้นมีค่า SINR ที่ผ่านเกณฑ์ที่ตั้งไว้ในพื้นที่การให้บริการสูงถึง 96.98% ส่วนเทคนิคตัวเปรียบเทียบทั้งสองกรณี นั้นมีค่า 78.14% และ 68.84% ตามลำดับ ซึ่งสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ผู้วิจัยได้นำเสนอกับวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานในกรณีของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 แสดงในตารางที่ 5.28

ตารางที่ 5.28 ตารางค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญกล้า, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ 7 สถานีฐาน

เทคนิค	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3
Overlap technique	ค่าเฉลี่ย (dB)	41.922	34.989	36.236
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.995	14.886	7.890
CI-RBU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1	ค่าเฉลี่ย (dB)	32.205	14.155	29.204
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	11.087	7.681	12.545
CI-RBU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย (dB)	20.889	14.844	21.780
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.944	14.844	10.306

ตารางที่ 5.29 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในพื้นที่การให้บริการแบบอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (7 สถานีฐาน) ระหว่าง Overlap technique และ Creating interference graph by using relationship between base station and user

พารามิเตอร์	Overlaps technique	CI-RBU กรณี ตำแหน่ง ผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1	CI-RBU กรณี ตำแหน่ง ผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2
จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ช่องสัญญาณ)	5	3	3
ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	38.321	25.480	19.218
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	11.240	13.222	11.626
%Coverage SINR	96.98%	78.14%	68.84%

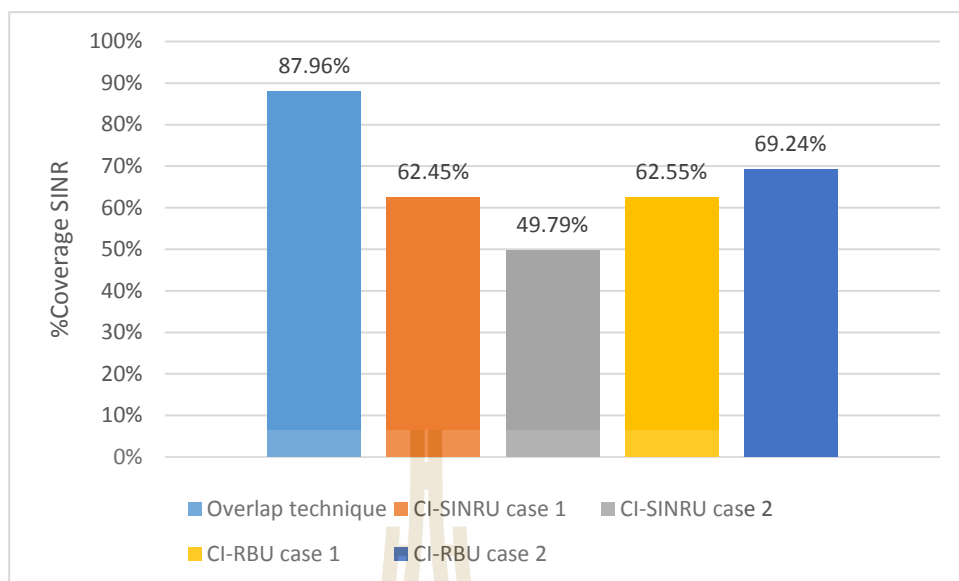
5.4 สรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ภายในอาคารแบบหลายชั้นจากทั้งสามเทคนิค

ในหัวข้อนี้ได้ทำการสรุปผลการทดลองการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ภายในอาคารแบบหลายชั้นจากทั้งสามเทคนิค ที่ผู้วิจัยได้นำเสนอในหัวข้อก่อนหน้านี้ ที่ได้ทดลองในพื้นที่การให้บริการทั้ง 2 รูปแบบอาคาร เพื่อทำความเข้าใจและทำให้สามารถมองภาพรวมได้เข้าใจมากขึ้น โดยจะแสดงผลออกมาเป็นหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

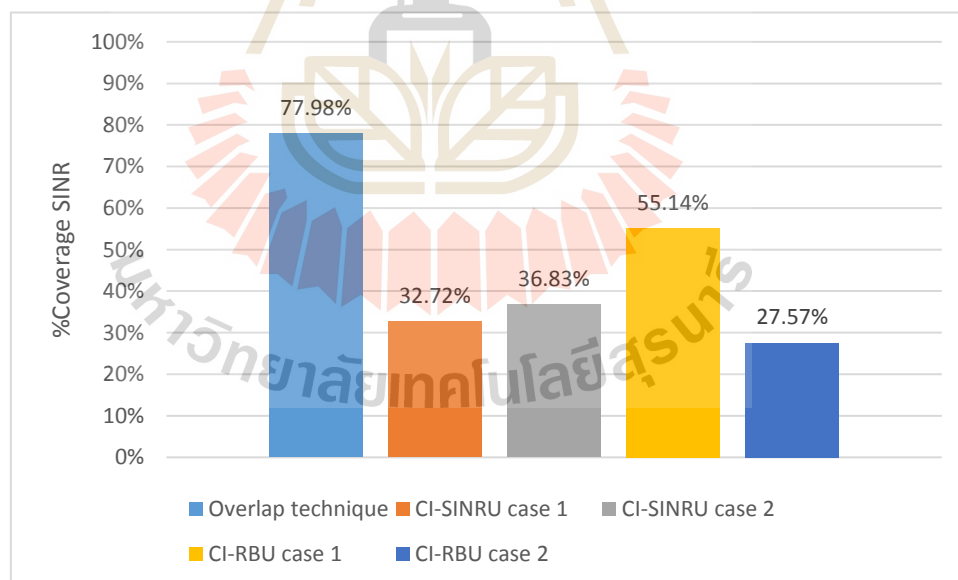
5.4.1 สรุปผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคต่างๆในกรณีของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากรูปที่ 5.52 และรูปที่ 5.53 แสดงกราฟของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการที่ผ่านเกณฑ์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ตั้งไว้โดยคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่การให้บริการที่เปรียบเทียบทั้งสามเทคนิค ซึ่งเทคนิคที่ให้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการที่ผ่านเกณฑ์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนมากที่สุดของพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ที่มีการติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 18 สถานีฐาน คือเทคนิคที่ได้นำเสนอมีค่าสูงถึง 87.96% รองลงมาคือวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์

ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 และเทคนิคที่มีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการที่ผ่านเกณฑ์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนน้อยที่สุดคือวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 และสำหรับการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเพิ่มโตเซลล์ทั้งหมด 11 สถานีฐาน เทคนิคที่ให้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการที่ผ่านเกณฑ์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนมากที่สุด คือเทคนิคที่ได้นำเสนอมีค่าสูงถึง 77.98% รองลงมาคือวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 และเทคนิคที่มีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการที่ผ่านเกณฑ์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนน้อยที่สุดคือวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 ซึ่งจากการเปรียบเทียบทั้งสามเทคนิค ในพื้นที่การทดลองรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร (18 สถานีฐาน) และการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) (11 สถานีฐาน) พบว่า วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้นมีค่า SINR ที่ผ่านเกณฑ์พื้นที่การให้บริการ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูงที่สุด นั้นหมายความว่า เทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยนำเสนอให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองเทคนิค



รูปที่ 5.52 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ทั้งสามเทคนิคของอาคารวิชาการ 1 โดยกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร(18 สถานีฐาน)



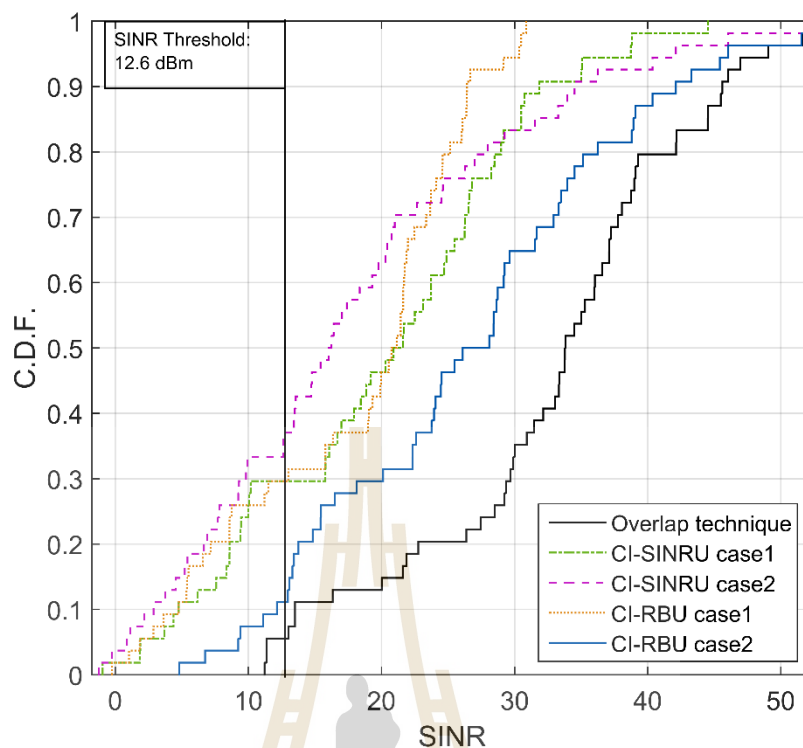
รูปที่ 5.53 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ทั้งสามเทคนิคของอาคารวิชาการ 1 โดยกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (11 สถานีฐาน)

ในรูปที่ 5.54 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 18 สถานีฐาน ของทั้งสามเทคนิค จะสังเกตได้ว่า เมื่อพิจารณาที่ภาพรวมทั้งสามเทคนิค แล้ว เทคนิคที่มีค่าเฉลี่ยของ SINR มีค่าสูงสุดคือ เทคนิคที่นำเสนอ โดยมีค่าเฉลี่ย SINR ที่ 30.301 dB รองลงมาคือ วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 มีค่าเฉลี่ย SINR ที่ 19.633 dB ส่วนเทคนิคที่มีค่าเฉลี่ย SINR น้อยที่สุดคือ วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 14.863 dB ซึ่งถ้าโอกาสความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ 50 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการ ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอ นั้นจะมี SINR ไม่เกิน 34 dB ส่วนวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน จากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณีนั้น จะมีค่า SINR ไม่เกิน 22 dB และ 16 dB ตามลำดับ และวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน จากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณีมีค่า SINR ไม่เกิน 21 dB และ 28 dB ตามลำดับ โดยจะแสดงตารางสรุปผลประสิทธิภาพของทั้งสามเทคนิค ในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 18 สถานีฐาน ดังตารางที่ 5.30

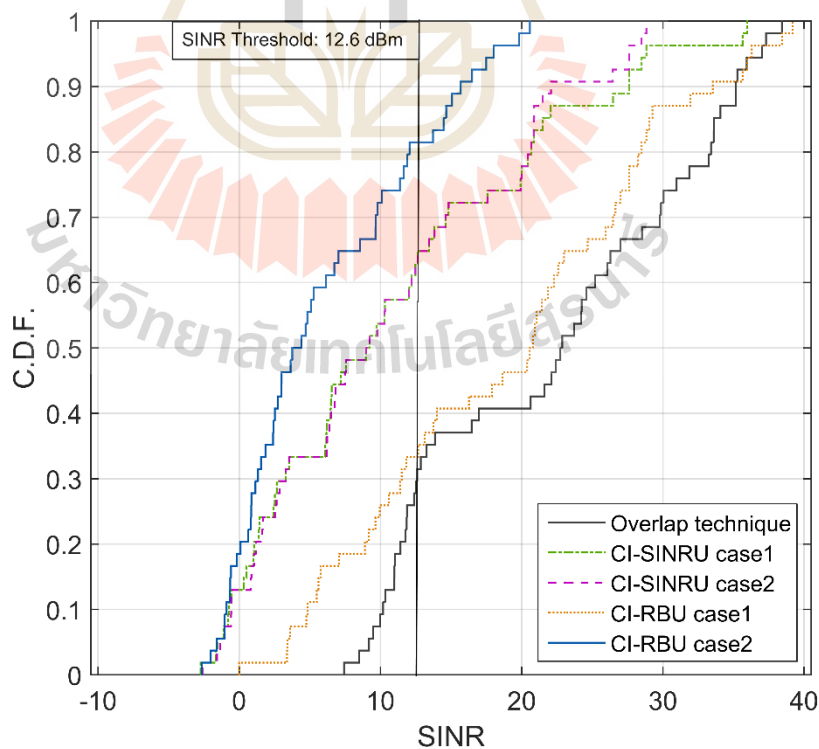
และรูปที่ 5.55 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 11 สถานีฐานของทั้งสามเทคนิค จะสังเกตได้ว่า เมื่อพิจารณาที่ภาพรวมทั้งสามเทคนิคแล้ว เทคนิคที่มีค่าเฉลี่ยของ SINR มีค่าสูงสุดคือ เทคนิคที่นำเสนอ โดยมีค่าเฉลี่ย SINR ที่ 23.792 dB รองลงมาคือ วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 มีค่าเฉลี่ย SINR ที่ 17.073 dB ส่วนเทคนิคที่มีค่าเฉลี่ย SINR น้อยที่สุดคือ วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 9.395 dB ซึ่งถ้าโอกาสความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ 50 เปอร์เซ็นต์ นั้นหมายความว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการ ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอ นั้นจะมี SINR ไม่เกิน 26 dB ส่วนวิธีการสร้างกราฟ

สัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน จากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณีนั้น จะมีค่า SINR ไม่เกิน 9 dB ทั้งสองกรณี และวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน จากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณีมีค่า SINR ไม่เกิน 21 dB และ 4 dB ตามลำดับ โดยจะแสดงตารางสรุปผลประสิทธิภาพของทั้งสามเทคนิค ในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 11 สถานีฐาน ดังตารางที่ 5.30

ในตารางที่ 5.30 วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR มากกว่าวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองเทคนิค เนื่องจาก วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ มีการตรวจพบเจอ Interference links ได้มากกว่าวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบ ทำให้ในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่จากวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยนำเสนอมีการใช้ช่องสัญญาณความถี่มากกว่าเทคนิคอื่น ส่งผลให้การรบกวนกันของสัญญาณที่มีช่องสัญญาณความถี่ที่ซ้ำกันมีค่าน้อยกว่าเทคนิคอื่น ทำให้ค่าเฉลี่ยของ SINR ที่ได้จากวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้นมาค่ามากกว่าวิธีอื่น และเมื่อทำการกำหนดเกณฑ์ของ SINR เพื่อหาว่าในพื้นที่การให้บริการมีจุดทดสอบสัญญาณที่ผ่านเกณฑ์ของ SINR คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่การให้บริการทั้งหมดได้ที่เปอร์เซ็นต์ จะพบว่า วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้น มี % Coverage ของ SINR มีค่ามากกว่าวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองเทคนิค เนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้และการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ทำให้การรบกวนกันของสัญญาณในพื้นที่การให้บริการมีค่าค่อนข้างต่ำ ทำให้ค่า SINR ภายในพื้นที่การให้บริการมีค่าค่อนข้างสูง



รูปที่ 5.54 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบทั้งสามเทคนิค ของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร (18 สถานีฐาน)



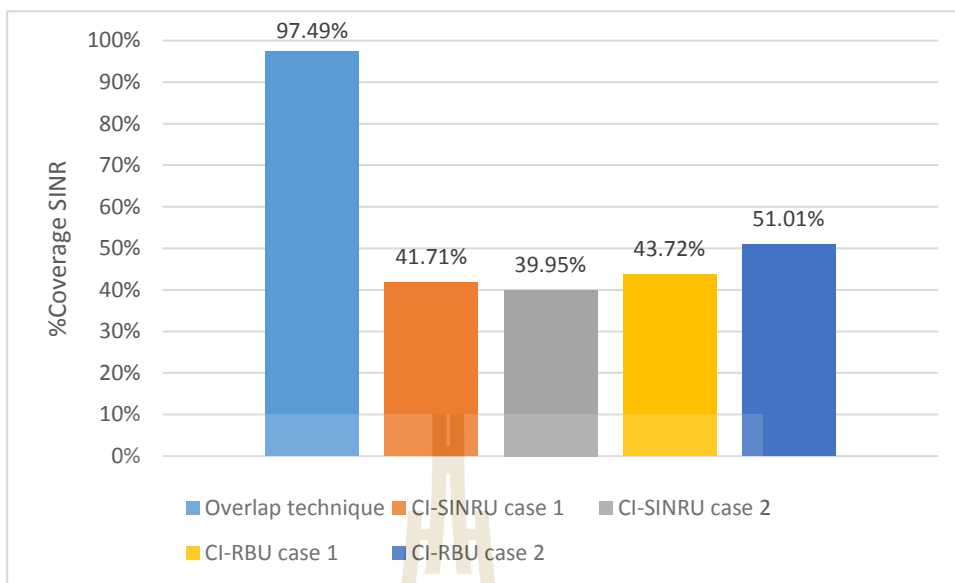
รูปที่ 5.55 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบทั้งสามเทคนิคของอาคารวิชาการ 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (11 สถานีฐาน)

ตารางที่ 5.30 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคทั้งสามเทคนิคในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารวิชาการ 1

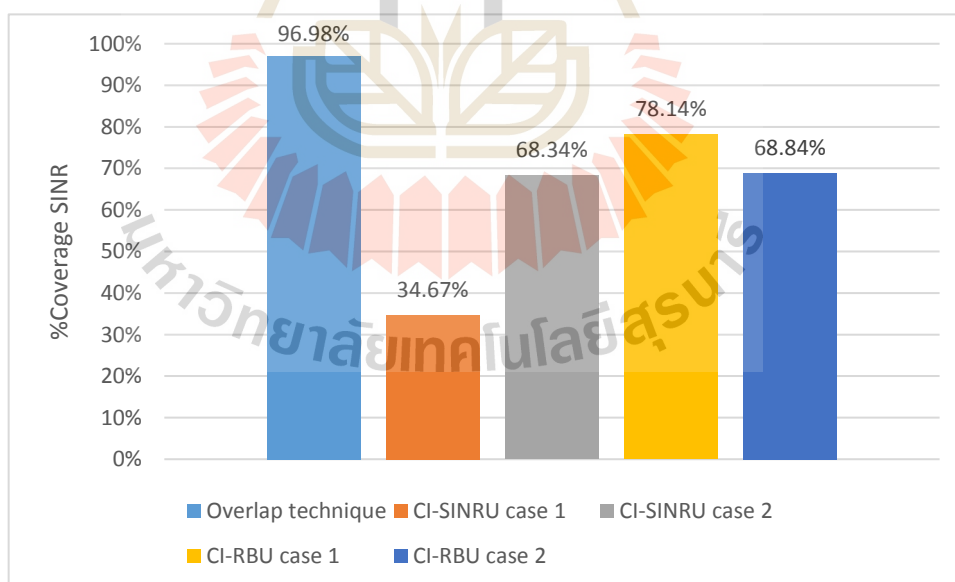
จำนวนสถานีฐานเฟรมโตเซลล์	พารามิเตอร์	Overlap technique	CI-SINRU กรณี ตำแหน่ง ผู้ใช้งาน จากการ สุ่มครั้งที่ 1	CI-SINRU กรณี ตำแหน่ง ผู้ใช้งาน จากการ สุ่มครั้งที่ 2	CI-RBU กรณี ตำแหน่ง ผู้ใช้งาน จากการ สุ่มครั้งที่ 1	CI_RBU กรณี ตำแหน่ง ผู้ใช้งาน จากการ สุ่มครั้งที่ 2
18 (แบบสมมาตร)	จำนวน Interference link (Links)	77	52	41	71	63
	จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ช่องสัญญาณ)	8	4	4	4	5
	ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	30.301	18.413	14.863	16.5399	19.633
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	12.833	13.320	12.614	11.5236	12.619
	%Coverage SINR	87.96%	62.45%	49.78%	62.55%	69.24%
11 (ใช้สมการคณิตศาสตร์)	จำนวน Interference link (Links)	26	1	3	7	1
	จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ช่องสัญญาณ)	4	2	2	3	2
	ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	23.792	10.618	11.086	17.073	9.395
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	12.547	11.504	10.054	12.443	10.632
	%Coverage SINR	77.98%	32.72%	36.83%	55.14%	27.572%

5.4.2 สรุปผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคต่างๆในกรณีของพื้นที่การให้บริการ รูปแบบอาคารบรรณสาร 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากรูปที่ 5.56 และรูปที่ 5.57 แสดงกราฟของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการที่ผ่านเกณฑ์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ตั้งไว้โดยคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่การให้บริการที่เปรียบเทียบทั้งสามเทคนิค ซึ่งเทคนิคที่ให้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการที่ผ่านเกณฑ์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนมากที่สุดพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ที่มีการติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 15 สถานีฐานคือเทคนิคที่ได้นำเสนอมีค่าสูงถึง 97.49% รองลงมาคือวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 และเทคนิคที่มีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการที่ผ่านเกณฑ์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนน้อยที่สุดคือวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 และสำหรับการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์(ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 7 สถานีฐาน เทคนิคที่ให้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการที่ผ่านเกณฑ์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนมากที่สุด คือเทคนิคที่ได้นำเสนอมีค่าสูงถึง 96.98% รองลงมาคือวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 และเทคนิคที่มีอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการที่ผ่านเกณฑ์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนน้อยที่สุดคือวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 ซึ่งจากการเปรียบเทียบทั้งสามเทคนิค ในพื้นที่การทดลองรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร (15 สถานีฐาน) และการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญค้า, 2559) (7 สถานีฐาน) พบว่า วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้นมีค่า SINR ที่ผ่านเกณฑ์พื้นที่การให้บริการ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์สูงที่สุด นั้นหมายความว่า เทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยนำเสนอให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองเทคนิค



รูปที่ 5.56 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ทั้งสามเทคนิคของอาคารบรรณสาร 1 โดยกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร (15 สถานีฐาน)



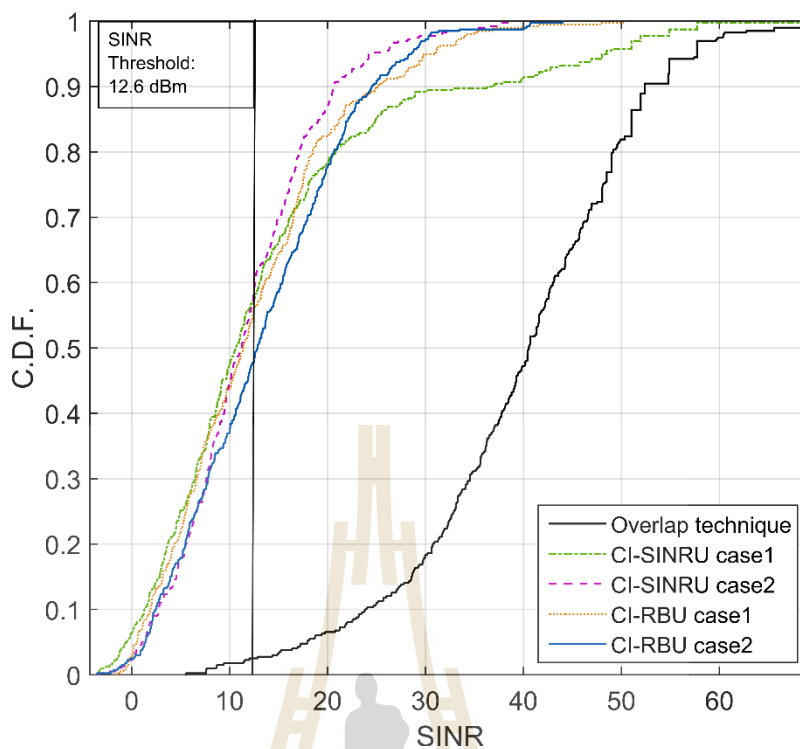
รูปที่ 5.57 กราฟเปรียบเทียบ %Coverage ที่มี SINR มากกว่า SINR Threshold ทั้งสามเทคนิคของอาคารบรรณสาร 1 โดยกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (7 สถานีฐาน)

จากรูปที่ 5.58 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 15 สถานีฐานของทั้งสามเทคนิค จะสังเกตได้ว่า เมื่อพิจารณาที่ภาพรวมทั้งสามเทคนิค แล้ว เทคนิคที่มีค่าเฉลี่ยของ SINR มีค่าสูงสุดคือ เทคนิคที่นำเสนอ โดยมีค่าเฉลี่ย SINR ที่ 39.744 dB รองลงมาคือ วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 มีค่าเฉลี่ย SINR ที่ 14.252 dB ส่วนเทคนิคที่มีค่าเฉลี่ย SINR น้อยที่สุดคือ วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.784 dB ซึ่งถ้าโอกาสความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ 50 เปอร์เซนต์ นั้นหมายความว่า 50 เปอร์เซนต์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการ ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอ นั้น จะมี SINR ไม่เกิน 41 dB ส่วนวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน จากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณีนั้น จะมีค่า SINR ไม่เกิน 11 dB และ 12 dB ตามลำดับ และวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน จากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณีมีค่า SINR ไม่เกิน 12 dB และ 13 dB ตามลำดับ โดยจะแสดงตารางสรุปผลประสิทธิภาพของทั้งสาม เทคนิค ในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่การกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 15 สถานีฐาน ดังตารางที่ 5.31

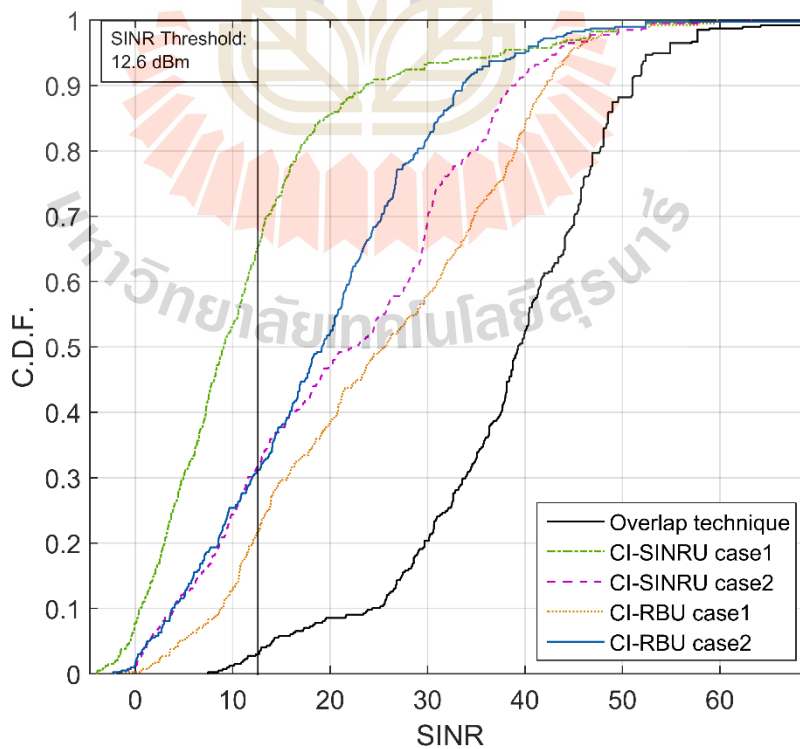
และจากรูปที่ 5.59 แสดงกราฟฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนที่ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชานาญค้ำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 7 สถานีฐานของทั้งสามเทคนิค จะสังเกตได้ว่า เมื่อพิจารณาที่ภาพรวมทั้งสามเทคนิคแล้ว เทคนิคที่มีค่าเฉลี่ยของ SINR มีค่าสูงสุดคือ เทคนิคที่นำเสนอ โดยมีค่าเฉลี่ย SINR ที่ 38.321 dB รองลงมาคือ วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 มีค่าเฉลี่ย SINR ที่ 25.480 dB ส่วนเทคนิคที่มีค่าเฉลี่ย SINR น้อยที่สุดคือ วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน ที่มีการกำหนดตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.526 dB ซึ่งถ้าโอกาสความน่าจะเป็นของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ 50 เปอร์เซนต์ นั้นหมายความว่า 50 เปอร์เซนต์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวนในพื้นที่การให้บริการ ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอ นั้น จะมี SINR ไม่เกิน 40 dB ส่วนวิธีการสร้างกราฟ

สัญญาณแทรกสอดโดยใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งาน จากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณีนั้น จะมีค่า SINR ไม่เกิน 9 dB และ 23 dB ตามลำดับ และวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งานจากการสุ่มตำแหน่งผู้ใช้งานทั้งสองกรณี มีค่า SINR ไม่เกิน 25 dB และ 19 dB ตามลำดับ โดยจะแสดงตารางสรุปผลประสิทธิภาพของทั้งสามเทคนิคในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1 ที่มีการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (ปรัชญา ชำนาญคำ, 2559) ซึ่งติดตั้งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ทั้งหมด 7 สถานีฐาน ดังตารางที่ 5.31

ในตารางที่ 5.31 วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้น มีค่าเฉลี่ยของ SINR มากกว่าวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองเทคนิค เนื่องจาก วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอ มีการตรวจพบเจอ Interference links ได้มากกว่าวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบ ทำให้ในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่จากวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยนำเสนอมีการใช้ช่องสัญญาณความถี่มากกว่าเทคนิคอื่น ส่งผลให้การรบกวนกันของสัญญาณที่มีช่องสัญญาณความถี่ที่ซ้ำกันมีค่าน้อยกว่าเทคนิคอื่น ทำให้ค่าเฉลี่ยของ SINR ที่ได้จากการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้นมาค่ามากกว่าวิธีอื่น และเมื่อทำการกำหนดเกณฑ์ของ SINR เพื่อหาว่าในพื้นที่การให้บริการมีจุดทดสอบสัญญาณที่ผ่านเกณฑ์ของ SINR คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่การให้บริการทั้งหมดได้กี่เปอร์เซ็นต์ จะพบว่า วิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้น มี % Coverage ของ SINR มีค่ามากกว่าวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองเทคนิค เนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้และการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ทำให้การรบกวนกันของสัญญาณในพื้นที่การให้บริการมีค่าค่อนข้างต่ำ ทำให้ค่า SINR ภายในพื้นที่การให้บริการมีค่าค่อนข้างสูง



รูปที่ 5.58 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบทั้งสามเทคนิค ของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานแบบสมมาตร (15 สถานีฐาน)



รูปที่ 5.59 กราฟ C.D.F. แสดง SINR เปรียบเทียบทั้งสามเทคนิคของอาคารบรรณสาร 1 โดยการกำหนดตำแหน่งสถานีฐานด้วยสมการคณิตศาสตร์ (7 สถานีฐาน)

ตารางที่ 5.31 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคทั้งสามเทคนิค ในพื้นที่การให้บริการรูปแบบอาคารบรรณสาร 1

จำนวนสถานีฐานเฟรมโตเซลล์	พารามิเตอร์	Overlap technique	CI-SINRU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1	CI-SINRU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2	CI-RBU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 1	CI_RBU กรณีตำแหน่งผู้ใช้งานจากการสุ่มครั้งที่ 2
15 (แบบสมมาตร)	จำนวน Interference link (Links)	89	10	10	13	16
	จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ช่องสัญญาณ)	10	3	2	3	3
	ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	39.744	14.252	11.784	12.532	13.426
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	11.642	13.755	7.388	9.135	8.563
	%Coverage SINR	97.49%	41.71%	39.95%	43.72%	51.01%
7 (ใช้สมการคณิตศาสตร์)	จำนวน Interference link (Links)	18	1	6	8	6
	จำนวนช่องสัญญาณความถี่ (ช่องสัญญาณ)	5	2	3	3	3
	ค่าเฉลี่ยของ SINR (dB)	38.321	11.526	21.917	25.480	19.218
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SINR	11.240	11.245	13.487	13.222	11.626
	%Coverage SINR	96.98%	34.67%	68.34%	78.14%	68.84%

บทที่ 6

สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์

ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีเฟมโทเซลล์เข้ามาใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ค่อนข้างต่ำและช่วยในการแก้ไขปัญหาการเกิดบริเวณจุดอับของสัญญาณในพื้นที่การให้บริการ ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงขึ้น ซึ่งสามารถทำงานในย่านความถี่ที่ให้บริการตามที่หน่วยงานที่ดูแลด้านการสื่อสารของประเทศกำหนด โดยสถานีฐานเฟมโทเซลล์นั้นเป็นสถานีฐานขนาดเล็ก เหมาะสำหรับใช้งานในที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน เป็นต้น โดยในพื้นที่การให้บริการจะมีการติดตั้งสถานีฐานเฟมโทเซลล์หลายตัวเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการและสัญญาณที่ส่งออกมาจากแต่ละสถานีฐานเฟมโทเซลล์อาจเกิดการรบกวนกันขึ้น ดังนั้นการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโทเซลล์จึงเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโทเซลล์จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสัญญาณในพื้นที่การให้บริการ

ในงานวิจัยนี้ ได้มองเห็นถึงความสำคัญต่อการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ของสถานีฐานเฟมโทเซลล์ภายในเครือข่ายให้เหมาะสมกับพื้นที่ให้บริการที่ทำการพิจารณา โดยจากการศึกษาเทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สำหรับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโทเซลล์ภายในอาคาร เพื่อลดสัญญาณแทรกสอดและเพิ่มคุณภาพสัญญาณให้กับเครือข่ายที่พิจารณา ซึ่งผู้วิจัยได้พัฒนาและปรับปรุงเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดเข้ามาช่วยในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโทเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น ซึ่งเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยนำเสนอได้นำมาพิจารณาพื้นที่การซ้อนทับ (Overlap area) ของสัญญาณที่ส่งออกมาจากแต่ละสถานีฐานเฟมโทเซลล์ โดยคำตอบที่ได้จากการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดไปช่วยในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐานเฟมโทเซลล์และในวิทยานิพนธ์นี้ยังได้ทำการทดลองเพื่อสาธิตเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโทเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นในรูปแบบจำลองพื้นที่การให้บริการแบบต่างๆ ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอเทียบกับเทคนิคการสร้าง

กราฟสัญญาณแทรกสอดโดยการใช้เกณฑ์ SINR ของผู้ใช้งานและเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างสถานีฐานและผู้ใช้งาน โดยเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้นให้ค่าเฉลี่ยของ SINR และ %Coverage ของ SINR สูงกว่าเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดทั้งสองเทคนิคที่นำมาเปรียบเทียบ ซึ่งเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น สามารถข้อดีหรือข้อได้เปรียบได้ดังนี้

- เทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น ที่ได้พัฒนาขึ้นมา นั้นสามารถนำไปใช้งานได้ทั้งพื้นที่การทดลองแบบชั้นเดียวและแบบหลายชั้น และยังสามารถนำไปใช้งานในเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่มีโครงสร้างของอาคารที่มีลักษณะโครงสร้างแตกต่างออกไปได้
- สามารถกำหนดช่องสัญญาณความถี่ที่เหมาะสมให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในพื้นที่การให้บริการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ ซึ่งการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์นั้น ได้เงื่อนไขมาจากกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ได้ทำการทดลองในพื้นที่บริการนั้นๆ
- เทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นที่ผู้วิจัยได้นำเสนอมี %Coverage ของ SINR ในพื้นที่การให้บริการสูงสุด เมื่อทำการเปรียบเทียบกับทั้งสองเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเปรียบเทียบในแต่ละพื้นที่การทดลอง

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

การออกแบบเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น นั้นจะต้องศึกษาและทราบถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานที่เกี่ยวข้องในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ต่างๆ เช่น ข้อจำกัดและเงื่อนไข พารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะส่งผลต่อการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดและการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ และทำการพัฒนาเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดแล้วนำคำตอบที่ได้จากการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดนำไปเป็นเงื่อนไขในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ จากนั้นทำการทดลองกับพื้นที่การทดลองทั้งสองแบบ เพื่อนำไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การออกแบบเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโต

เซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้นให้เหมาะสมที่สุด ซึ่งหากในเครือข่ายที่ทำการพิจารณานั้นมีตัวแปรอินพุตจำนวนมาก ก็อาจจะส่งผลทำให้โปรแกรมที่ใช้คำนวณสำหรับการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดใช้เวลานานมากในการประมวลผล ดังนั้นพารามิเตอร์ที่ทำการพิจารณาที่ประกอบไปด้วย จำนวนของสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่ติดตั้งในพื้นที่การให้บริการและจำนวนของจุดทดสอบสัญญาณในพื้นที่การให้บริการ จะส่งผลต่อระยะเวลาการทำงานของโปรแกรม ซึ่งหากมีการทดลองในพื้นที่การให้บริการที่มีขนาดใหญ่ ก็อาจจะจำเป็นต้องพัฒนาอัลกอริทึมอื่นขึ้นมาเพื่อเพิ่มความเร็วในการคำนวณของโปรแกรม และในการกำหนดการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ที่ได้จากเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่ผู้วิจัยนำเสนอ นั้น จำเป็นต้องใช้จำนวนช่องสัญญาณความถี่มากกว่าเทคนิคที่นำมาเปรียบเทียบ เนื่องจากคำตอบของกราฟสัญญาณแทรกสอดที่นำมาเป็นเงื่อนไขการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับสถานีฐาน

6.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายสถานีฐานเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น เพื่อกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละสถานีฐานเฟมโตเซลล์ในเครือข่ายที่ทำการพิจารณา ซึ่งสามารถนำไปเป็นแนวทางเพื่อใช้ในการพัฒนาหรือปรับปรุงเพื่อช่วยในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ โดยสามารถทำการพิจารณาตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่จะส่งผลต่อการคำนวณคุณภาพความแรงสัญญาณ ที่ใช้เป็นตัวแปรอินพุตในการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด เช่น การพิจารณาวัสดุพื้นผิวที่สัญญาณจะทะลุผ่านหรือการพิจารณาสัญญาณรบกวนจากภายนอกอาคารที่ทะลุผ่านเข้ามาในพื้นที่การให้บริการ

รายการอ้างอิง

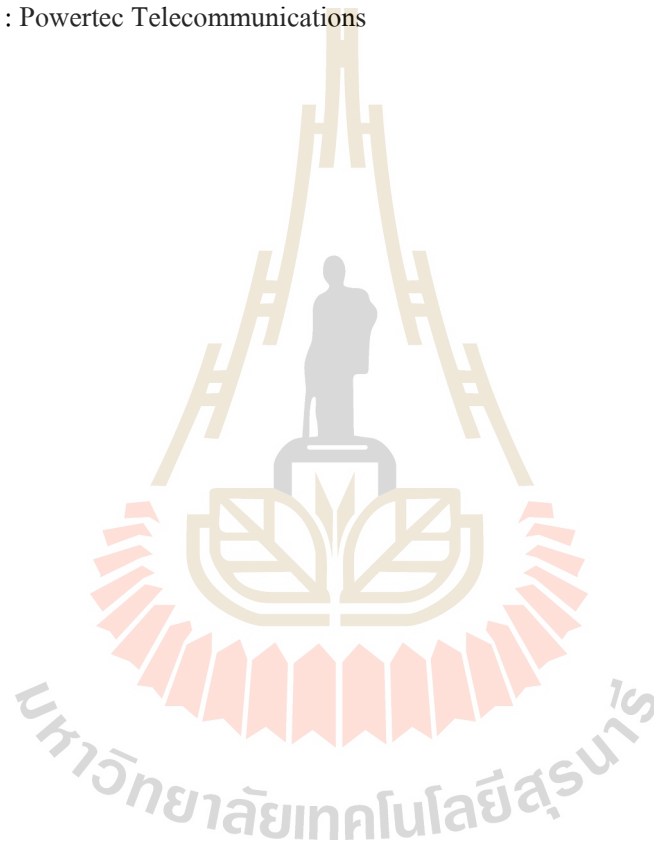
- Ericsson (2016). **Ericsson mobility report**. Sweden.
- Goldsmith, A.(2004). **Wireless communications**. Stanford University.
- Zhang, K., Wang, Y., Lin, C., Shen, X., and Wang. J. (2011). **Graph Based Interference Coordination Scheme in Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Access Femtocell Networks**, IET Communication, vol.5 Issue 17, pp. 2533-2541.
- Shi, J.r., and Zhu, Q. (2012). **Spectrum Allocation Based on Interference Management in Femtocell Networks**, Automatic Control and Artificial Intelligence (ACAI 2012), pp.1906-1909.
- Selim, M,M., El-Khamy, M., amd El-Sharkawy, M., (2012). **Enhanced frequency reuse schemes for interference management in LTE femtocell networks**, 2012 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS).
- Bouras, C., Kavourgias, G., Kokkinos, V., and Papazois, A. (2012). **Interference Management in LTE Femtocell Systems using An Adaptive Frequency Reuse Scheme**. Wireless Telecommunications Symposium (WTS), pp.1-7.
- Liu, J., Wu, J., Chen, J., Wang, P., and Zhang, J. (2012). **Radio Resource Allocation in Buildings with Dense Femtocell Deployment**, 21st International Conference on Computer Communication and Networks, pp.1-5.
- Cao, G., Yang, D., An, R., Ye, X., Zheng, R., and Zhang X. (2011). **An Adaptive Sub-band Allocation Scheme for Dense Femtocell Environment**, Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pp.102-107.
- Uyungelen, S., Auer, G., and Bharucha, Z. (2011). **Graph-Based Dynamic Frequency Reuse in Femtocell Networks**, 2011 IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring).
- Vardhan, C.S., Ratnam, D.V., Bhagyasree, N., and Dattu, A.H. (2014), **Analysis of path loss models of 4G femtocells**, Eleventh International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN), pp. 1-6.

- Nagashree, N., Rao, V., and Shanavas, I.H. (2013), **Femto Cells-A New Generation Cellular Stations**, Universal Journal of Communications and Network, pp. 9-15.
- Baseshankar, A., and Khapre, S. (2012), **Femtocells Technology**, National Conference on Innovative Paradigms in Engineering & Technology (NCIPET), pp. 7-11.
- Kojima, Y., Suga, J., Kawasaki, T., Okuda, M., and Takechi, R. (2014), **LTE-WiFi Link Aggregation at Femtocell Base Station**, World Telecommunications Congress, pp. 1-6., Information Communications and Signal Processing (ICICS) 9th, pp. 1-4
- สมาคมผู้ตรวจสอบและบริหารความปลอดภัยอาคาร (2543). **กฎกระทรวง ฉบับที่ 55 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522.**
- Zulkefly, N. R., Rahman, T. A., Al-Samman, A. M., Mataria, A. M. S. and Leow, C. Y. (2015), **Indoor path loss model for 4G wireless network at 2.6 GHz**, 1st International Conference on Telematics and Future Generation Networks (TAFGEN), pp. 117-120.
- สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (2555). **กิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (International Mobile Telecommunications - IMT) ย่านความถี่วิทยุ 1920-1980/2110-2170 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) และ ย่านความถี่วิทยุ 2010-2025 เมกะเฮิรตซ์ (MHz).**
- สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (2558). **กิจการโทรคมนาคมเคลื่อนที่สากล (International Mobile Telecommunications - IMT) ย่านความถี่ 895-915/940-960 เมกะเฮิรตซ์ (MHz).**
- 3GPP TS 36.101 14.5.0 (2017), **Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release 14)**, 3rd Generation Partnership Project, Tech. Rep.
- Katzela, I., and Naghshineh, M., (1996). **Channel assignment schemes for cellular mobile telecommunication systems: a comprehensive survey**, IEEE Personal Communications, vol.3 Issue 3.
- ปรัชญา ชำนาญกล้า. (2559). **การวางตำแหน่งสถานีฐานเฟมโตเซลล์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับเครือข่ายลิจิแอลที่อยู่ในอาคารหลายชั้น(วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์).** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา

Shiyan, Zh., Rong, H., Yue, Sh., Zhanjun, L. (2015), **Spectrum Allocation Based On Clustering In Femtocell Networks**, 11th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM 2015).

Mengxian, Z., Xiaohang, Ch., Xin, Zh., Lin, S., Dacheng, Y. (2013), **A Novel Dynamic Interference Coordination Scheme in Macrocell-Picocell Heterogeneous Networks**, IEEE 77th Vehicular Technology Conference (VTC Spring) .

Powertec Telecommunications Pty., (2014), **Mobile Network Guide Improving Mobile Signal**, australia : Powertec Telecommunications





ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

ปรัชญา ชำนาญคำ พิสิษฐ์ พรหมบุตร และ ชุตินา พรหมมาก (2015). **Frequency Allocation Techniques for Femtocell Networks in Building by Using Integer Linear Programming**, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38 (EECON-38) 18 - 20 พฤศจิกายน 2558 มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

พิสิษฐ์ พรหมบุตร และ ชุตินา พรหมมาก (2016). **Interference Graph for Frequency Channel Assignment of Femtocell Networks in Multi-floor Buildings**, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39 (EECON-39) 2 – 4 พฤศจิกายน 2559 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Phisit Prombutr Chitapong Wechtaisong and Chutima Prommak (2017). **The Study of Creating Interference Graph for Frequency Channel Allocation of Indoor Femtocell Networks In Multi-Floor Building**, in 11th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium, 13 - 14 March 2017 Vietnam

เทคนิคการจัดสรรความถี่สำหรับเครือข่าย femtocell ภายในอาคารโดยใช้การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม

Frequency allocation techniques for femtocell networks in building by using Integer linear programming

ปรัชญา ชำนาญกล้า, พิธิษฐ์ พรหมบุตร และชุตินา พรหมมาก

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

M5740796@g.sut.ac.th, M5740819@g.sut.ac.th and cprommak@sut.ac.th

CMI16

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการจัดสรรความถี่ให้กับ femtocell (femtocell) หรือสถานีฐานขนาดเล็ก โดยใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer linear Programming) ในการแก้ปัญหาในการทดลองเราได้ทำการจัดสรรความถี่ให้กับ femtocell ที่ถูกติดตั้งในสำนักงานและอาคารเมื่อเกิดสัญญาณรบกวนกันขึ้นระหว่างเซลล์ จึงได้ทำการวางแผนการใช้ความถี่โดยการนำความถี่เดิมกลับมาใช้ใหม่ (Frequency Reuse) เพื่อเป็นการประหยัดทรัพยากร ประหยัดค่าใช้จ่าย รวมถึงเป็นการใช้ทรัพยากรความถี่ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด จากผลการทดลองเทคนิคที่นำเสนอสามารถลดจำนวนความถี่ที่จัดสรรให้กับ femtocell ได้น้อยที่สุดอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: เครือข่าย femtocell, เทคนิคการจัดสรรความถี่, วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม

Abstract

In this paper, we propose frequency allocation for femtocell or small base station using integer linear programming to solve this problem. In the experiment, we allocated the frequency for femtocell in office and building, when interference occurs between cells. Hence we have frequency planning with frequency reuse method in order to conserve frequency resources, save cost and maximize bandwidth utilization. As a result, the proposed techniques can minimize the number of frequencies allocated to the femtocell effectively.

Keywords: Femtocell Networks, Frequency Allocation Techniques, Integer Linear Programming

1. บทนำ

ในปัจจุบันการใช้งานด้านโทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต สมาร์ทโฟน มีปริมาณการใช้ที่เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก จนจะเรียกได้ว่าเป็นยุคของอุปกรณ์สื่อสารจำพวกมือถือก็ได้ ซึ่งมีการคาดการณ์ว่าในปี 2014-2020 อัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปีของปริมาณการใช้งานโทรศัพท์มือถือจะสูงถึง 45% และจำนวนผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือแท็บเล็ตและเร้าเตอร์จะสูงถึง 4,000 ล้านคนทั่วโลก [1] เมื่อมีการใช้

งานที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความต้องการใช้งานข้อมูล ความหนาแน่นในการใช้งานของเครือข่ายก็จะมากขึ้นตามไปด้วย โดยเฉพาะในอาคารขนาดใหญ่และห้างสรรพสินค้าที่มีปริมาณผู้ใช้งานอย่างหนาแน่น femtocell จึงเข้ามามีบทบาทเพื่อเพิ่มปริมาณความจุให้เพียงพอต่อการใช้งาน

เมื่อมีการติดตั้ง femtocell ในพื้นที่ให้บริการเพิ่มมากขึ้น ปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวนระหว่างเซลล์ก็จะเกิดขึ้นตามมา ซึ่งปัญหานี้จะไม่เกิดขึ้นถ้าแต่ละ femtocell ใช้ความถี่ที่แตกต่างกัน แต่ด้วยปริมาณแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ที่จำกัด จึงต้องใช้เทคนิคการจัดสรรความถี่ด้วยการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (frequency reuse)

หลายงานวิจัยได้ให้ความสนใจศึกษาเกี่ยวกับจัดสรรความถี่ให้กับเครือข่าย เช่น ในงานวิจัยที่ [2] กล่าวถึงการจัดสรรทรัพยากรคลื่นวิทยุ (Radio resource) ให้กับ femtocell ในอาคาร 5 ชั้นด้วยวิธี Heuristic Algorithm งานวิจัยที่ [3] กล่าวถึงการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ให้กับเครือข่าย femtocell ด้วยวิธี Graph-Based Dynamic ซึ่งเป็นอัลกอริทึมหนึ่งที่เกิดขึ้นมาจากทฤษฎีกราฟ (graph theory)

บทความนี้ได้นำเสนอการจัดสรรความถี่ให้กับ femtocell โดยการจัดสรรจำนวนความถี่ที่น้อยที่สุดให้เพียงพอต่อการใช้งานในพื้นที่ให้บริการ และได้นำเสนอรูปแบบการแก้ปัญหาด้วยการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer linear programming) เพื่อแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนระหว่างเซลล์ ซึ่งองค์ประกอบของบทความมีลำดับการนำเสนอ ดังนี้ หัวข้อที่ 2 นำเสนอปัญหาการจัดสรรความถี่สำหรับเครือข่าย femtocell ภายในอาคาร หัวข้อที่ 3 นำเสนอปัญหาการระบายสีกราฟ (graph coloring problem) สำหรับการจัดสรรความถี่ของสัญญาณภายในอาคาร หัวข้อที่ 4 นำเสนอสมการคณิตศาสตร์ที่งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ หัวข้อที่ 5 แสดงผลการทดลองและการอภิปรายผล และ หัวข้อที่ 6 สรุปผลการทดลอง

2. ปัญหาการจัดสรรความถี่สำหรับเครือข่าย femtocell ภายในอาคาร

ในส่วนนี้จะนำเสนอปัญหาการจัดสรรความถี่สำหรับเครือข่าย femtocell ภายในอาคาร นั่นคือสัญญาณรบกวนระหว่างเซลล์ ซึ่งปัญหาดังกล่าวส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผู้ใช้บริการภายในอาคาร

เป็นอย่างมาก โดยนำเสนอเป็น 2 หัวข้อย่อยคือ 2.1 เทคโนโลยี เฟม โดเซล และ 2.2 สัญญาณรบกวนระหว่างเฟม โดเซล

2.1 เทคโนโลยีเฟมโดเซล

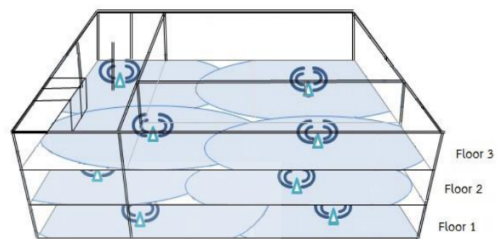
แม้ว่าผู้ให้บริการ (operator) จะมีการออกแบบติดตั้งสถานีฐานขนาดใหญ่ให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการมากที่สุด แต่ก็มักเกิดปัญหาในเขตที่ผู้ใช้งานมาระจุกตัวกันอยู่ เช่น ในเขตชุมชนเมืองใหญ่ๆ หรือในอาคารสูงที่มีผู้ใช้งานอย่างหนาแน่นก็มักจะเกิดการแย่งใช้ช่องสัญญาณกันหรือเกิดการรบกวนกันของสัญญาณ แนวคิดเรื่องการเพิ่มความถี่หรือเพิ่มโดเซล สำหรับเฟมโดเซล [4] นั่นคือ เสาส่งสัญญาณขนาดเล็ก ที่มีกำลังส่งสัญญาณที่ต่ำ ครอบคลุมพื้นที่ได้ไม่มาก (ประมาณ 10-30 เมตร) นิยมใช้ในอาคาร บ้านพักที่อยู่อาศัย หรือบริเวณอับสัญญาณของอาคารที่สถานีฐานภายนอกไม่สามารถส่งสัญญาณไปถึงผู้ใช้บริการ โดยเทคโนโลยีสัญญาณวิทยุเฟมโดเซล (femtocell radio) ที่ใช้กันในปัจจุบัน สามารถใช้งานร่วมกับมาตรฐาน 3G UMTS ได้ อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีวิทยุอื่นๆ ได้เริ่มมีการทดสอบกับเฟม โดเซลและอาจจะประสบความสำเร็จในอนาคตอันใกล้ โดยเทคโนโลยีวิทยุที่ใช้กันมากที่สุด เช่น Global System for Mobile Communications(GSM), Universal Mobile Telecommunication System (UMTS), High Speed Packet Access (HSPA), Code Division Multiple Access (CDMA), Long Term Evolution (LTE), WiMAX เป็นต้น

2.2 สัญญาณรบกวนระหว่างเฟมโดเซล

เมื่อมีการติดตั้งเฟมโดเซลในอาคารเพื่อกระจายสัญญาณ ปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นคือ สัญญาณรบกวน (interference) ซึ่งเกิดจากเฟมโดเซลที่อยู่บริเวณใกล้กันใช้งานความถี่เดียวกัน ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนกันขึ้น ซึ่งในงานวิจัย [5-7] แสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสัญญาณรบกวนระหว่างเฟมโดเซล เช่น ตำแหน่งที่ตั้งของเฟมโดเซล เป็นต้น ดังนั้นก่อนที่จะทำการติดตั้งจึงควรที่จะมีการวางแผน วิเคราะห์ลักษณะพื้นที่ให้บริการ ประเมินผลกระทบการส่งสัญญาณ คำนึงถึงโครงสร้างของอาคารและข้อมูลด้านวัสดุที่ใช้สร้างอาคารว่ามีผลต่อการส่งสัญญาณของเฟมโดเซลสักเล็กน้อยเพียงใด เพื่อประสิทธิภาพในการใช้งานที่ดีที่สุด เมื่อเกิดสัญญาณรบกวนระหว่างเฟมโดเซลขึ้น ซึ่งเป็นหนึ่งในความท้าทายที่ควรได้รับการแก้ไขสำหรับเฟมโดเซล

ในรูปที่ 1 แสดงตำแหน่งที่ตั้งเฟมโดเซลภายในอาคารที่มีสัญญาณรบกวนกัน แบบจำลองของอาคารนี้ ประกอบด้วยจำนวน 3 ชั้น แต่ละชั้นจะมีลักษณะคล้ายกันและมีเฟมโดเซลติดตั้งอยู่ ซึ่งแต่ละเฟมโดเซลสามารถจะเกิดสัญญาณรบกวนกันได้ถ้าใช้งานความถี่เดียวกัน ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณรบกวนในชั้นเดียวกัน หรือเกิดสัญญาณ

รบกวนระหว่างชั้น ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งติดตั้งของเฟมโดเซลและความถี่จัดสรรให้ในแต่ละเฟมโดเซล



รูปที่ 1 แสดงตำแหน่งที่ตั้งเฟมโดเซลภายในอาคาร 3 ชั้นที่เกิดสัญญาณรบกวนกัน

3. ปัญหาการระบายสีกราฟ (graph coloring problem) สำหรับการรบกวนกันของสัญญาณภายในอาคาร

ปัญหาการระบายสีกราฟ (graph coloring problem) [2] เป็นหนึ่งในปัญหาของทฤษฎีกราฟ (graph theory) โดยปัญหาการระบายสีกราฟ (graph coloring problem) เป็นปัญหาที่ต้องการให้แต่ละจุดของกราฟใช้สีน้อยที่สุด โดยแต่ละจุดที่มีการเชื่อมต่อกันจะต้องใช้สีที่แตกต่างกัน จากทฤษฎีกราฟ $G(V, E)$ กำหนดให้ V คือเซตของจำนวนเซต และ E คือเซตของจำนวนลิงค์ที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างเซต โดยเซต V ที่มีลิงค์ E เชื่อมต่อกันจะเลือกใช้สีที่แตกต่างกัน ซึ่งรูปแบบของทฤษฎีปัญหาการระบายสีกราฟนี้สามารถนำไปประยุกต์ร่วมกับการ โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม

การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม [8] เป็นการนำวิธีการทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งปัญหาเหล่านั้นจะถูกสร้างเป็น สมการคณิตศาสตร์ในรูปแบบของสมการเชิงเส้นจำนวนเต็ม เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของวัตถุประสงค์ที่กำหนดและอยู่ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดของปัญหา ซึ่งการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) เป็นสมการที่แสดงถึงวัตถุประสงค์ของปัญหาเพื่อใช้ในการหาค่าค่าตอบแทนสูงสุดหรือต่ำสุดของปัญหา ตัวแปรตัดสินใจ (decision variable) เป็นตัวแปรที่ใช้ในการเก็บคำตอบของปัญหา และสมการเงื่อนไข (constraint) เป็นสมการที่แสดงข้อจำกัดของปัญหา

4. สมการคณิตศาสตร์เพื่อการจัดสรรความถี่ให้แต่ละเฟมโดเซล

การติดตั้งเฟมโดเซลในพื้นที่ให้บริการมักจะเกิดปัญหาสัญญาณรบกวนกันระหว่างเซลล์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้งานของผู้ใช้บริการ และด้วยปริมาณความถี่ที่มีจำนวนจำกัด จึงต้องมีการนำความถี่เดิมกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นการวางแผนความถี่ (Frequency Planning) เพื่อกำหนดความถี่ที่เหมาะสมให้แต่ละเฟมโดเซล จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับประสิทธิภาพให้บริการ

บทความนี้ได้นำเสนอการจัดสรรความถี่สำหรับเครือข่ายเฟรมไอเซลล์ โดยใช้วิธีการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม ซึ่งเป็นสมการคณิตศาสตร์ในการแก้ไขปัญหา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนความถี่ที่จัดสรรให้แก่แต่ละเฟรมไอเซลล์ให้น้อยที่สุด ซึ่งแสดงสมการวัตถุประสงค์ในการเลือก (1) และสมการที่ (2-6) เป็นสมการเงื่อนไขและปัจจัยต่างๆ ในการเลือกใช้ความถี่ ซึ่งคำนิยามของตัวแปรที่ใช้ในสมการคณิตศาสตร์จะถูกแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคำนิยามของตัวแปรที่ใช้ในสมการคณิตศาสตร์

เขตของตัวแปร	
V	เขตของปริมาณเฟรมไอเซลล์
N	เขตของปริมาณความถี่
ตัวแปรตัดสินใจ	
x_k	ตัวแปรตัดสินใจที่ระบุการเลือกใช้ความถี่ของเฟรมไอเซลล์มีค่าเป็น 1 เมื่อเฟรมไอเซลล์ที่ i ใช้ความถี่ k และมีค่าเป็น 0 เมื่อไม่มีการเลือกใช้ความถี่ของเฟรมไอเซลล์
y_k	ตัวแปรตัดสินใจที่ระบุการใช้ความถี่ มีค่าเป็น 1 เมื่อความถี่ k ถูกนำมาใช้ และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อความถี่ k ไม่ถูกนำมาใช้
พารามิเตอร์ค่าคงที่	
e_{ij}	ตัวแปรระบุเส้นทางจากเฟรมไอเซลล์ i ไปยังเฟรมไอเซลล์ j มีค่าเป็น 1 เมื่อทั้งสองเฟรมไอเซลล์มีสัญญาณรบกวนกัน และมีค่าเป็น 0 เมื่อทั้งสองเฟรมไอเซลล์ไม่มีสัญญาณรบกวนกัน

Objective:

$$\min \sum_{k=1}^N y_k \quad (1) \text{ สัญญาณรบกวน}$$

Subject to:

$$\sum_{k=1}^N x_k = 1 \quad \forall i \in V, \forall k \in N \quad (2)$$

$$e_{ij}(x_k + x_j) \leq 1 \quad \forall i \in V, \forall j \in V, \forall k \in N \quad (3)$$

$$x_k \leq y_k \quad \forall i \in V, \forall k \in N \quad (4)$$

$$x_k \in \{0,1\} \quad (5)$$

$$y_k \in \{0,1\} \quad (6)$$

สมการเงื่อนไขที่ (2) เงื่อนไขสำหรับการกำหนดว่าเฟรมไอเซลล์ต้องมีการใช้ความถี่อย่างน้อย 1 ความถี่ โดยเฟรมไอเซลล์จะไม่มีการใช้ความถี่ไม่ได้ สมการเงื่อนไขที่ (3) เงื่อนไขสำหรับการกำหนดว่าเฟรมไอเซลล์ที่มีสัญญาณรบกวนกันจะต้องใช้ความถี่ที่แตกต่างกัน สมการเงื่อนไขที่ (4) เงื่อนไขสำหรับการกำหนดความถี่ที่ถูกจัดสรรให้กับเฟรมไอเซลล์จะต้องเป็นความถี่ที่ถูกเลือกใช้งาน สมการเงื่อนไขที่ (5) และ (6) เงื่อนไขสำหรับการตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจว่าการเลือกใช้ความถี่ของเฟรมไอเซลล์ (x_k) และการใช้ความถี่ (y_k) ต้องเป็นตัวแปรประเภทไบนารี

5. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

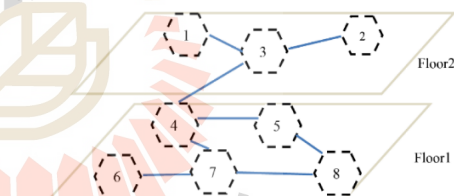
ในส่วนนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลอง ซึ่งดำเนินการด้วยโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio V12.2 เป็น

โปรแกรมที่ใช้สำหรับหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการวางแผนความถี่ให้กับเครือข่ายเฟรม ไอเซลล์ ในหัวข้อนี้แบ่งเป็นหัวข้อย่อยคือ 5.1 รูปแบบของการทดลองและ 5.2 ผลการทดลอง

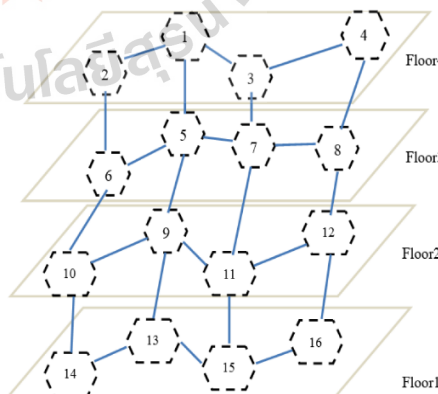
5.1 รูปแบบของการทดลอง

สำหรับรูปแบบของการทดลองมีทั้งหมด 4 รูปแบบ คือทำการทดลองเครือข่ายภายในอาคาร 2 ชั้น อาคาร 4 ชั้น อาคาร 6 ชั้นและอาคาร 10 ชั้นตามลำดับ มีส่วนประกอบที่แตกต่างกันในการทดลองคือ จำนวนของเฟรมไอเซลล์ และสัญญาณรบกวนระหว่างเซลล์ รวมถึงจำนวนชั้นของอาคาร ซึ่งแสดงตัวอย่างเครือข่ายของเฟรมไอเซลล์ในรูปที่ 2, 3 และ 4

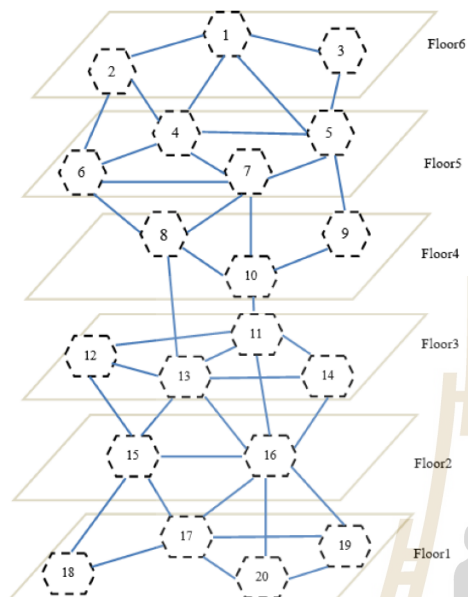
รูปที่ 2 แสดงแบบจำลองของเฟรมไอเซลล์ที่มีสัญญาณรบกวนกันภายในอาคาร 2 ชั้น ประกอบไปด้วยเฟรมไอเซลล์ทั้งหมด 8 เฟรมไอเซลล์ มีสัญญาณรบกวนกันทั้งหมด 8 สัญญาณรบกวน เส้นประสีฟ้าแสดงถึงตำแหน่งที่ตั้งของเฟรมไอเซลล์ ส่วนเส้นทึบสีฟ้าแสดงถึงสัญญาณรบกวนกัน ระหว่างเฟรม ไอเซลล์ ยกตัวอย่างเช่น เฟรม ไอเซลล์ที่ 3 มีสัญญาณรบกวนกับเฟรม ไอเซลล์ที่ 1 2 และ 4 เป็นต้น รูปที่ 3 แสดงแบบจำลองของเฟรม ไอเซลล์ที่มีสัญญาณรบกวนกันภายในอาคาร 4 ชั้น ประกอบไปด้วยเฟรมไอเซลล์ทั้งหมด 16 เฟรมไอเซลล์ มีสัญญาณรบกวนกันทั้งหมด 24 สัญญาณรบกวน และรูปที่ 4 แสดงแบบจำลองของเฟรมไอเซลล์ที่มีสัญญาณรบกวนกันภายในอาคาร 6 ชั้น ประกอบไปด้วยเฟรม ไอเซลล์ทั้งหมด 20 เฟรมไอเซลล์ มีสัญญาณรบกวนกันทั้งหมด 40



รูปที่ 2 แบบจำลองที่ 1 แสดงเฟรมไอเซลล์ที่มีสัญญาณรบกวนกันภายในอาคาร 2 ชั้น



รูปที่ 3 แบบจำลองที่ 2 แสดงเฟรมไอเซลล์ที่มีสัญญาณรบกวนกันภายในอาคาร 4 ชั้น



รูปที่ 4 แบบจำลองที่ 3 แสดงเฟมโตเซลล์ที่มีสัญญาณรบกวนกันภายในอาคาร 6 ชั้น

5.2 ผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองเพื่อลดจำนวนความถี่ที่จัดสรรให้แต่ละเฟมโตเซลล์ให้น้อยที่สุด โดยหาได้จากวัตถุประสงค์ในสมการที่ (1) และต้องเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดลงในสมการที่ (2-6) ซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลอง

แบบจำลอง	จำนวนของเฟมโตเซลล์	จำนวนของสัญญาณรบกวน	จำนวนของความถี่ที่ใช้
1	8	8	2
2	16	24	2
3	20	40	4
4	50	58	3

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าแบบจำลองที่ 1 2 และ 4 จำนวนของเฟมโตเซลล์กับจำนวนของสัญญาณรบกวนมีจำนวนที่ไม่ต่างกันมากนัก ซึ่งผลที่ได้แต่ละแบบจำลองจะใช้จำนวนของความถี่ในปริมาณที่น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ 3 ที่มีจำนวนเฟมโตเซลล์ 20 เฟมโตเซลล์ มีจำนวนสัญญาณรบกวน 40 สัญญาณรบกวน จะใช้ความถี่ทั้งหมดจำนวน 4 ความถี่ สังเกตว่าสัญญาณรบกวนมีจำนวนมากกว่าเฟมโตเซลล์ถึง 2 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจำนวนของความถี่ที่ใช้จะมีจำนวนมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับจำนวนของสัญญาณรบกวน ถ้าในเครือข่ายมีจำนวนสัญญาณรบกวนที่มาก จำนวนของความถี่ที่ใช้ก็มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น

สรุป

จากการทดลองเพื่อลดจำนวนความถี่ที่จัดสรรให้แต่ละเฟมโตเซลล์ให้น้อยที่สุดโดยใช้การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม ได้ทำการทดลองทั้งหมด 4 แบบจำลองที่มีจำนวนของเฟมโตเซลล์และจำนวนของสัญญาณรบกวนระหว่างที่แตกต่างกัน เมื่อนำไปทดสอบกับโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio V12.2 ผลลัพธ์ที่ได้จะให้คำตอบของจำนวนความถี่ที่ให้แต่ละเฟมโตเซลล์ที่น้อยที่สุด ซึ่งวิธีการที่นำเสนอในบทความนี้สามารถที่จะแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนกันระหว่างเฟมโตเซลล์ และทำการจัดสรรความถี่ให้กับเฟมโตเซลล์อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

[1] Ericsson, "Traffic and Market Data Report," June. 2015.
 [2] J. Liu, et al., "Radio resource allocation in buildings with dense femtocell deployment", 21st International Conference on Computer Communications and Networks, July 30 2012- Aug. 2 2012
 [3] S. Uygungelen, et al, "Graph-Based Dynamic Frequency Reuse in Femtocell Networks," IEEE VTC Spring 2011, July 2011.
 [4] Khaled Elleithy and Varun Rao, "Femto Cells: Current Status and Future Directions," International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN) Vol.3, No.1, March 2011.
 [5] V. Chandrasekhar, et al., "Femtocell Networks: a Survey," IEEE communications Magazine, vol.49, no. Sep. 2008, pp.59-67.
 [6] Jie Zhang, et al., "Femtocells: Technologies and Deployment," Wiley, Jan. 2010.
 [7] D. López-Pérez, et al, "Enhanced Inter-cell Interference Coordination Challenges in Heterogeneous Networks," IEEE Wireless Commu. Mag., vol. 18, no. 3, June 2011, pp. 22-30.
 [8] W.L. Winston, "Operations Research: Applications and Algorithms," 4th Ed., Thomson Brooks/Cole : USA, 2004, pp.49-55



นายปรัชญา ชำนาญคำ และนายพิธิษฐ์ พรหมบุตร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี พ.ศ.2555 และ 2556 ตามลำดับ ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาโทที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม งานวิจัยที่สนใจเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรความถี่ให้กับ

เครือข่ายเฟมโตเซลล์

กราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ ของเครือข่าย femto-cell ในอาคารแบบหลายชั้น

Interference Graph for Frequency Channel Assignment of Femtocell Networks in Multi-floor Buildings

พิศัญ พรหมบุตร และชุตินา พรหมมาก

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

M5740819@g.sut.ac.th and cprommak@sut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอกราฟสัญญาณแทรกสอดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่าย femto-cell ในอาคารแบบหลายชั้น โดยในการทดลอง เราได้กำหนดกรณีการทดลองที่แตกต่างกัน เพื่อสังเกตและวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณที่ได้รับจากการจัดสรรความถี่ ด้วยกราฟสัญญาณแทรกสอดที่พัฒนาขึ้น จากผลการทดลองพบว่า กราฟสัญญาณแทรกสอดมีผลต่อจำนวนช่องสัญญาณความถี่ที่ใช้ในเครือข่าย ดังนั้นการใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดที่เหมาะสมจึงเป็นอีกทางหนึ่งที่จะช่วยให้การจัดสรรช่องสัญญาณความถี่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: เครือข่าย femto-cell, กราฟสัญญาณแทรกสอด, การจัดสรรช่องสัญญาณความถี่

Abstract

This paper presents an interference graph for frequency channel assignment of femtocell networks in multi-floor buildings. Our experiments consider different sets of parameters to observe and analyze the signal quality in the service area after the frequency channel assignment that uses the proposed interference graph. The experiment results show that the interference graph affects the number of frequency channels deployed in the femtocell networks and consequently it affects the quality of signal in the buildings. Therefore, using the suitable interference graph could improve the performance of the frequency channel assignment.

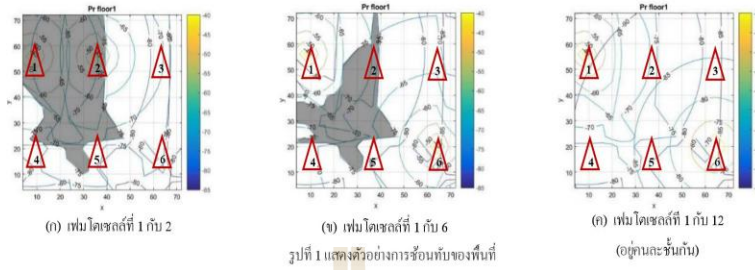
Keywords: Femtocell networks, Interference graph, Frequency channel assignment

1. บทนำ

ในปัจจุบันการใช้เครื่องมือสื่อสารไร้สาย เช่น สมาร์ทโฟน โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต นั้นมีการใช้งานอย่างแพร่หลายเป็นอย่างมาก โดยในปี 2558 มีผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือทั่วโลก 7,300 ล้านคนและการคาดการณ์ไว้ว่า ในปี 2564 จะมีผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น โดยเป็นผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือทั่วโลก 9,100 ล้านคน [1] เมื่อมีผู้ใช้งานมากขึ้น ความต้องการด้านการใช้งานข้อมูลก็เพิ่มขึ้น จึงได้มีการนำเทคโนโลยี femto-

cell เข้ามาช่วย เพื่อเพิ่มปริมาณความจุและเพิ่มพื้นที่การให้บริการ และปัญหาที่ตามมานั้นก็คือ ปัญหาเกี่ยวกับการรบกวนกันของสัญญาณระหว่าง femto-cell [2] ปัญหาการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ เกิดขึ้นจากการที่ femto-cell แต่ละ femto-cell ในเครือข่ายใช้ความถี่เดียวกัน ทำให้สัญญาณที่ส่งออกมาเกิดการรบกวนกันขึ้น โดยวิธีที่แก้ไขปัญหานี้ นั่นก็คือ การกำหนดช่องสัญญาณความถี่ให้กับแต่ละ femto-cell ให้แตกต่างกัน แต่ถ้ากำหนดให้แต่ละ femto-cell มีความถี่ที่แตกต่างกันหมดก็อาจจะสิ้นเปลืองช่องความถี่เกินไป ดังนั้นจึงต้องมีการสร้างกราฟแสดงสัญญาณแทรกสอด (Interference Graph) [7] ของ femto-cell ขึ้นมา เพื่อตรวจสอบการแทรกสอดกันระหว่าง femto-cell และวิธีการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (Frequency Reuse) [2] เพื่อช่วยให้สามารถลดการใช้จำนวนของช่องสัญญาณความถี่

จากการสำรวจบริษัทวิศวกรรมพบว่า มีหลายงานวิจัยได้ให้ความสนใจในการศึกษาการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่แบบภายนอกอาคาร ได้แก่ งานวิจัย [3] ศึกษาเกี่ยวกับ การลดสัญญาณแทรกสอดและการจัดสรรความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ โดยนำเสนออัลกอริทึมการระบายสีกราฟ (Graph Colouring Algorithm) สำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณ และการสร้างกราฟแสดงการรบกวนของ femto-cell โดยวิธีที่นำเสนอสามารถปรับปรุง femto-cell throughput (Femtocell Throughput) และ throughput รวม (Total Throughput) ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัย [4] กล่าวถึงเทคนิคการลดสัญญาณแทรกสอดในเครือข่ายและนำเสนอวิธีการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในด้านของ throughput และจากการสำรวจบริษัทวิศวกรรมยังพบว่า มีหลายงานวิจัยได้ให้ความสนใจในการศึกษาการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่แบบภายในอาคาร ได้แก่ งานวิจัย [5] ได้กล่าวถึงการจัดสรรทรัพยากรคลื่นวิทยุ (Radio Resource) ให้กับ femto-cell ในอาคาร 5 ชั้น ด้วยวิธีการฮิวริสติกอัลกอริทึม (Heuristic Algorithm) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนของความถี่ที่ถูกใช้งานให้น้อยที่สุด งานวิจัย [6] นำเสนอวิธีการจัดสรรความถี่โดยการปรับความถี่สำหรับระบบ LTE ซึ่งประกอบด้วยอัลกอริทึมการจัดสรรความถี่และอัลกอริทึมการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ โดยขึ้นอยู่กับกราฟแสดงการรบกวน โดยทุกงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษามานั้น ไม่มีงานวิจัยใดที่กล่าวถึงวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด



จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรช่องสัญญาณ ความถี่สำหรับเครือข่ายไร้สายต่างๆ พบว่างานวิจัยที่ผ่านมา นั้นได้ให้ความสำคัญพัฒนาและปรับปรุงเทคนิควิธีการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ สำหรับเครือข่ายเซลลูลาร์ทั้งแบบภายในอาคารและภายนอกอาคาร เพื่อลดระดับสัญญาณแทรกสอดและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสาร โดยที่ ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ภายในอาคาร แบบหลายชั้นคือการใช้กราฟสัญญาณแทรกสอด ดังนั้นงานวิจัยที่ นำเสนอนี้ จึงได้มุ่งเน้นการศึกษาและการพัฒนาแนวทางการสร้งกราฟ สัญญาณแทรกสอดเพื่อใช้สำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่สำหรับ เครือข่ายเฟมโตเซลล์ภายในอาคารแบบหลายชั้น เพื่อลดสัญญาณแทรก สอดระหว่างเฟมโตเซลล์และลดจำนวนความถี่ที่ใช้ในเครือข่ายเฟมโต เซลล์

2. การสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด

หัวข้อนี้นำเสนอการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด โดยกราฟ สัญญาณแทรกสอดคือกราฟที่ประกอบด้วยโหนด (Node) และขั้ว เชื่อมโยง (Links) ซึ่งแต่ละโหนด หมายถึงเฟมโตเซลล์ ส่วนขั้วเชื่อมโยง หมายถึงมีการรบกวนระหว่างเฟมโตเซลล์ที่ถูกเชื่อม นั้นจึงเรียกขั้ว เชื่อมโยงนี้ว่า Interference Links

2.1 ขั้นตอนการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด

ในขั้นตอนการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดเพื่อนำกราฟสัญญาณ แทรกสอดที่ได้ไปใช้ป็นอินพุตในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ มี ขั้นตอนดังนี้ 1.กำหนดพารามิเตอร์เบื้องต้นต่างๆที่ใช้ในการสร้างกราฟ สัญญาณแทรกสอด 2.คำนวณหาระยะระหว่างจุดทดสอบสัญญาณกับเฟม โตเซลล์ 3.คำนวณหาค่าเสถียรภาพของจุดทดสอบสัญญาณ 4.คำนวณหา %Overlap จากสมการ (1) 5.กำหนดเกณฑ์ %Overlap จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ ไปสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด

$$\left(\frac{z}{x+y}\right) \times 100 \tag{1}$$

จากสมการ (1) กำหนดให้ ตัวแปร x คือจำนวนของจุดทดสอบ สัญญาณที่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของเฟมโตเซลล์ A ตัวแปร y คือจำนวน ของจุดทดสอบสัญญาณที่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของเฟมโตเซลล์ B และ

ตัวแปร z คือจำนวนของจุดทดสอบสัญญาณที่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ของ เฟมโตเซลล์ A และ B

2.2 รูปแบบการทับซ้อนของพื้นที่

หัวข้อนี้แสดงตัวอย่างการซ้อนทับของพื้นที่ในขั้นตอนการสร้ง กราฟสัญญาณแทรกสอด โดยแสดงในรูปของคอนทัวร์พล็อต จากรูปที่ 1 พื้นที่สี่เหลี่ยมบริเวณที่เกิดการซ้อนทับของสัญญาณระหว่างเฟมโตเซลล์ สองเฟมโตเซลล์ โดยรูปที่ 1(ก) แสดงตัวอย่างของารซ้อนทับของ สัญญาณระหว่างเฟมโตเซลล์ที่ 1 และ 2 ซึ่งมีารซ้อนทับกัน 32.5% รูปที่ 1(ข) แสดงการซ้อนทับของเฟมโตเซลล์ที่ 1 และ 6 ซึ่งมีารซ้อนทับ กัน 15.927% และ รูปที่ 1(ค) แสดงการซ้อนทับของเฟมโตเซลล์ที่ 1 และ 12 มีซึ่งการซ้อนทับกัน 0%

3. การทดลองและวิเคราะห์ผล

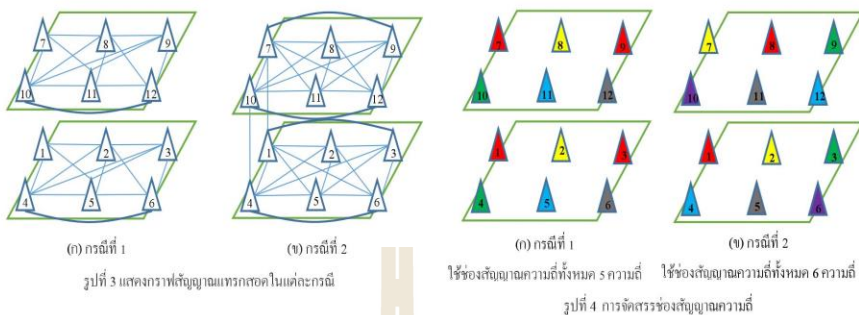
ในหัวข้อนี้ นำเสนอการทดลองและวิเคราะห์ผล โดยหัวข้อที่ 3.1 อธิบายแบบจำลองที่ใช้ในการประมาณการลดทอนสัญญาณ หัวข้อที่ 3.2 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง และหัวข้อที่ 3.3 นำเสนอผลการ ทดลอง

3.1 แบบจำลองการลดทอนสัญญาณ

แบบจำลองการลดทอนสัญญาณ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการหาค่า สูญเสียของสัญญาณและนำไปใช้หาค่าเสถียรภาพของแต่ละจุดทดสอบ สัญญาณ โดยแบบจำลองการลดทอนสัญญาณใช้มาตรฐานของ 3GPP (3rd Generation Partnership Project) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้กับเครือข่ายเฟม โตเซลล์ภายในอาคาร[8] มีสมการดังนี้

$$PL = 40.7412 + 20 \log_{10}(R) + 0.7d_{2D,indoor} + 18.3n \left(\frac{n+2}{n-1}\right)^{-0.46} + qL_w \tag{2}$$

จากสมการที่ (2) กำหนดให้ ตัวแปร R คือระยะห่างระหว่างจุด ทดสอบสัญญาณกับเฟมโตเซลล์(เมตร) ตัวแปร $d_{2D,indoor}$ คือความหนาของ กำแพงภายในอาคาร กำหนดเป็น 0.18 เมตร ตัวแปร n คือจำนวนชั้นที่ ทะลุผ่าน ตัวแปร q คือจำนวนกำแพงที่สัญญาณทะลุผ่าน และตัวแปร L_w คือค่าสูญเสียของผนังกำแพงภายในอาคาร กำหนดเป็น 5 dB

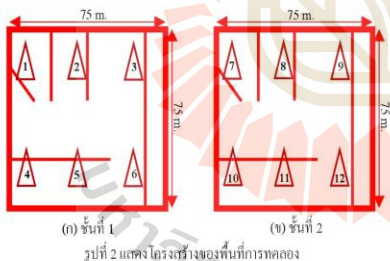


3.2 พารามิเตอร์ในการทดลอง

ในหัวข้อนี้อธิบายการกำหนดรูปแบบการทดลอง รูปแบบของพื้นที่การทดลองและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง โดยจากตารางที่ 1 แสดงถึงรูปแบบของการทดลองโดยแบ่งเป็น 2 กรณี ต่อมาในรูปที่ 2 แสดงพื้นที่การทดลอง มีโครงสร้างแต่ละชั้นดังรูปที่ 2(ก) เป็นโครงสร้างของชั้นที่ 1 และ รูปที่ 2(ข) เป็นโครงสร้างของชั้นที่ 2 และในตารางที่ 2 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 รูปแบบของการทดลอง

กรณี	กำลังส่ง	เกณฑ์ %Overlap	จำนวนชั้น
1	5 dBm	20%	2
2	5 dBm	10%	2



ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่า
ความถี่ของสัญญาณ	2.6 GHz
กำลังส่งของสถานีฐานแบบ โดเซลล์	20 dBm
ความกว้างของช่องสัญญาณ	20 MHz
พื้นที่การทดลอง	75 m x 75 m x 3 m
จำนวนของเพน โดเซลล์	6 units/floor
จำนวนของจุดทดสอบสัญญาณ	324 units/floor
เกณฑ์ของกำลังการรับ	-75 dBm

3.3 ผลการทดลอง

3.3.1 กราฟสัญญาณแทรกสอด

จากวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดที่อธิบายในหัวข้อ 2.1 เราจะได้กราฟสัญญาณแทรกสอดดังรูปที่ 3 โดยรูปที่ 3(ก) แสดงกราฟสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่ 1 ซึ่งมี Interference Links ทั้งหมด 26 Links และรูปที่ 3(ข) แสดงกราฟสัญญาณแทรกสอดในกรณีที่ 2 ซึ่งมี Interference Links ทั้งหมด 32 Links จากนั้นนำกราฟสัญญาณแทรกสอดไปใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ต่อไป

3.3.2 การจัดสรรช่องสัญญาณความถี่

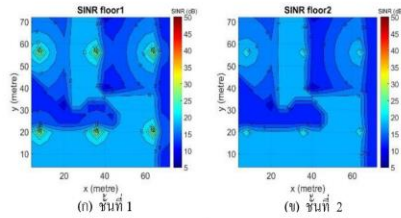
เมื่อได้กราฟสัญญาณแทรกสอดจากแต่ละกรณีดังกล่าวแล้วจึงนำมาใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเพน โดเซลล์ โดยใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่จากงานวิจัยที่ [5] จะได้ผลการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ดังแสดงในรูปที่ 4 กำหนดให้แต่ละสีแทนช่องสัญญาณความถี่ที่จัดสรรให้กับเพน โดเซลล์ รูปที่ 4(ก) แสดงการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ในกรณีที่ 1 ซึ่งใช้ช่องสัญญาณความถี่ทั้งหมด 5 ความถี่ (5 สี) และ รูปที่ 4(ข) แสดงการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ในกรณีที่ 2 ใช้ช่องสัญญาณความถี่ทั้งหมด 6 ความถี่ (6 สี)

3.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ

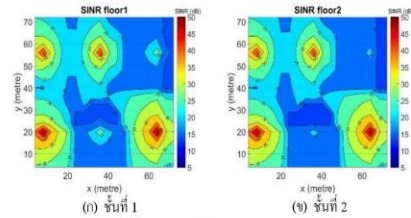
จากการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่โดยใช้กราฟสัญญาณแทรกสอดในแต่ละกรณีที่แตกต่างกัน แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพของสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ โดยดูจากค่า SINR (Signal to Interference Noise Ratio)

จากรูปที่ 5 แสดง Contour plot ของ SINR ของกรณีที่ 1 โดยรูปที่ 5(ก) แสดง Contour plot ของ SINR ในชั้นที่ 1 รูปที่ 5(ข) แสดง Contour plot ของ SINR ในชั้นที่ 2 ส่วนรูปที่ 6 แสดง Contour plot ของ SINR ของกรณีที่ 2

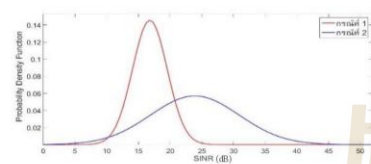
จากนั้นนำค่า SINR ที่ได้จากแต่ละกรณีมาพล็อต P.D.F. (Probability Density Function) ที่แสดงในรูปที่ 7 โดยเส้นสีแดงแสดงถึงกรณีที่ 1 และเส้นสีน้ำเงินแสดงถึงกรณีที่ 2



รูปที่ 5 แสดงคอนทัวร์พล็อตของ SINR ของกรณีที่ 1



รูปที่ 6 แสดงคอนทัวร์พล็อตของ SINR ของกรณีที่ 2



รูปที่ 7 กราฟที่แสดงฟังก์ชันความน่าจะเป็นของ SINR

ตารางที่ 3 ตารางผลการทดลอง

	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2	
	ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 1	ชั้น 2
ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด	17.16	16.45	24.04	23.74
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด	2.98	2.43	6.92	7.10
	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2	
ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด	16.80		23.89	
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด	2.74		7.01	

จากตารางที่ 3 สังเกตได้ว่า กรณีที่ 2 มีค่า SINR มากกว่ากรณีที่ 1 โดยกรณีที่ 2 มีค่าเฉลี่ย SINR อยู่ที่ประมาณ 23-24 dB ส่วนกรณีที่ 1 มีค่าเฉลี่ย SINR อยู่ที่ประมาณ 16-17 dB เป็นเพราะกรณีที่ 2 มี Interference Links มากกว่ากรณีที่ 1 ส่งผลให้มีการใช้จำนวนช่องสัญญาณความถี่มากกว่ากรณีที่ 1 นั่นก็หมายความว่าสัญญาณแทรกสอดของกรณีที่ 2 มีน้อยกว่ากรณีที่ 1 จึงทำให้ค่าเฉลี่ย SINR ของกรณีที่ 2 มีค่ามากกว่า

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ Interference Links ที่ได้มานั้นขึ้นอยู่กับ %Overlap Threshold ที่กำหนดไว้ เมื่อกำหนด %Overlap Threshold มีค่าน้อย ทำให้ได้ Interference Links จำนวนมากกว่าการกำหนด %Overlap Threshold ที่มีค่ามาก และ เมื่อ Interference Links มีจำนวนมาก จำนวนการใช้ช่องสัญญาณความถี่ก็จำนวนมากขึ้น ในด้านของ SINR ถ้าเครือข่ายมี Interference Links จำนวนมาก ส่งผลให้ค่า SINR ที่ได้นั้นดีขึ้น เนื่องจากการใช้จำนวนช่องสัญญาณที่มากขึ้น

4. สรุปผล

บทความนี้เสนอเทคนิคการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอด สำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ของเครือข่ายเฟมโตนัลภายใน

อาคารแบบหลายชั้น สังเกตได้ว่า เมื่อมีจำนวน Interference Links มาก ส่งผลให้มีการใช้จำนวนช่องสัญญาณความถี่มากขึ้น ซึ่งทำให้ค่า SINR ที่ได้นั้นสูงขึ้น และจากกราฟสัญญาณแทรกสอด พบว่า %Overlap Threshold นั้นจะส่งผลต่อจำนวนของ Interference Links ในกราฟด้วย จากวิธีการสร้างกราฟสัญญาณแทรกสอดนี้ สามารถนำไปใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณความถี่ให้กับเครือข่ายที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ได้ อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ericsson. "Ericsson Mobility Report", February 2016.
- [2] Andrea Goldsmith. (2004). "Wireless Communications".
- [3] Shi, J., and Zhu, Q. (2012). "Spectrum Allocation Based on Interference Management in Femtocell Networks", Automatic Control and Artificial Intelligence (ACAI 2012), pp.1906-1909.
- [4] Bouras, C., Kavourgiaris, G., Kokkinos, V., and Papazois, A. (2012). "Interference Management in LTE Femtocell Systems using An Adaptive Frequency Reuse Scheme". Wireless Telecommunications Symposium (WTS), pp.1-7.
- [5] Liu, J., Wu, J., Chen, J., Wang, P., and Zhang, J. (2012). "Radio Resource Allocation in Buildings with Dense Femtocell Deployment", 21st International Conference on Computer Communication and Networks, pp.1-5.
- [6] Cao, G., Yang, D., An, R., Ye, X., Zheng, R., and Zhang X. (2011). "An Adaptive Sub-band Allocation Scheme for Dense Femtocell Environment". Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pp.102-107.
- [7] Zhang, K., Wang, Y., Lin, C., Shen, X., and Wang, J. (2011). "Graph Based Interference Coordination Scheme in Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Access Femtocell Networks", IET Communication, vol.5 Issue 17, pp.2533-2541.
- [8] Sree Vardhan, C., Venkat Ratnam, D., and Hema Dattu. A. (2014). "Analysis of Path Loss Models of 4G Femtocell", Wireless and Optical Communications Networks (WOON), pp.1-6.

THE STUDY OF CREATING INTERFERENCE GRAPH FOR FREQUENCY CHANNEL ALLOCATION OF INDOOR FEMTOCELL NETWORKS IN MULTI-FLOOR BUILDING

Phisidd Prombutr⁽¹⁾, Chitapong Wechtaisong⁽²⁾, Chutima Prommak⁽¹⁾

⁽¹⁾Suranaree University of Technology, Thailand

⁽²⁾Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Thailand

Email: m5740819@g.sut.ac.th

ABSTRACT

This paper presents the process of creating the interference graph for frequency channel allocation of indoor femtocell networks in a multi-floors building. We proposed five steps in the interference graph creating process. The created interference graph is used as the main condition to deployed frequency channel allocation into each Femtocell Base Station (FBS). We set four experimental scenarios classified by FBS's transmit power and overlap threshold percentage for studying observing and analyzing the received signal in the study area. Experimental results obtained in this paper are presented in terms of the interference links from the proposed interference graph, frequency channel allocation from interference graph and contour plot of signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR). From the experimental results, we found that the number of interference links and determination of overlap threshold percentage affect the number of frequency channel and the value of SINR in the femtocell network. The proposed interference graph for frequency channel allocation can effectively improve the efficiency of femtocell networks.

KEYWORDS: *Femtocell networks, frequency channel allocation, interference graph.*

1. INTRODUCTION

At the present day, the use of wireless communication devices such as smartphone or tablet is very popular. The number of worldwide mobile phone users are 7,500 million units in 2016 and will increase to 8,900 million units in 2022 (Ericsson (2016)). The demand of data traffic is increased related to the popularity of mobile terminals. Therefore, mobile phone network operators introduced femtocell technology to increase capacity and coverage for their service area. However, there is the problem in terms of signal

interference between femtocells which affect the quality of signal in the mobile phone network.

The problem from the frequency channel assignment to femtocells can occur when femtocells are assigned the same frequency channel (Goldsmith (2004)). The signal transmitted from same-frequency-channel femtocells make interference signal to each other. From this problem, the service efficiency of the mobile phone network is seriously degraded. To avoid this problem, the network planner may define unique frequency channel to each femtocell inside networks. However, this ideal solution requires too many frequency channel for every femtocell in networks which waste the frequency resource. One from many optimal solutions is using the interference graph (Zhang, et al. (2011)) of femtocell networks. The interference graph determines interference among femtocells in the service area. Then, the frequency allocation is implemented considering frequency reuse method to reduce the number of frequency channels in the network.

From our literature review, we found that there are many researches focus on frequency channel allocation outside the building as follows; (Shi & Zhu (2012)) studied about reducing signal interference, improving performance of frequency allocation using graph colouring algorithm for frequency allocation and presented the interference graph of femtocell networks. This method can effectively improve femtocell throughput and total throughput. Research work (Bouras, et al. (2012)) proposed signal interference reduction technique in femtocell networks and presented frequency reuse method to improve throughput performance. In addition, there are several research works studied on the frequency channel allocation inside the building as follows; (Liu, et al. (2012)) mentioned the radio resource allocation for femtocell inside the five floors building using heuristic algorithm. The objective is minimizing

the number of used frequency channels. Research (Cao, et al. (2011)) presented frequency adjustment technique for LTE systems which consist of frequency allocation algorithm and frequency reuse algorithm with interference graph consideration.

From the existing research works related to frequency channel allocation for base stations in wireless network, they paid attention to technical development and improvement frequency channel allocation for indoor and outdoor cellular networks. Their objectives are reducing signal interference and improving communication performance without interference graph creation consideration. Therefore, our research focus on study and the development of creating interference graph for frequency channel allocation of indoor femtocell networks in a multi-floor building. Our technique aims to reduce the signal interference between femtocells and reduce the number of frequency channels used in femtocell networks.

The rest this paper is organized as follows; Section 2 mentions the path-loss model. The process of creating the interference graph is presented in Section 3. Experimental environment and results are explained in Section 4. We conclude this paper in Section 5.

2. PATH-LOSS MODEL

We used path-loss model to predict the loss of signal power. Then the loss of signal power was used to calculate received power at signal test points. Equation (1) and Table 1 explain the signal path-loss model which is defined by 3GPP standard and applied to indoor femtocell networks (Sree Vardhan, et al. (2014)).

$$PL = 40.7412 + 20 \log_{10}(R) + 0.7 d_{2D, indoor}^{(n+2)-0.46} + 18.3n^{(n+1)} + qL_{iw} \quad (1)$$

Table 1. Parameters used for signal path loss model.

Parameters	Definitions
R	Distances between femtocell and signal test point (m)
$d_{2D, indoor}$	The thickness of the walls inside the building. (0.18 m)
n	The number of penetrated through the floors.
q	The number of penetrated through the walls.
L_{iw}	The loss of the wall inside the building.

3. THE PROCESS OF INTERFERENCE GRAPH CREATING

Interference graph is a technique applied with frequency channel allocation to increase its efficiency. The interference graph consists of “nodes” and “links”. The link between nodes which indicate interference is called “interference links”.

Process of creating the interference graph is explained as follows

1. Define initial parameters
2. Calculate distances (d) between femtocell base station (FBS) and signal test point (STP)
3. Calculate received power (Pr) at STP
4. Calculate overlap percentage value between two FBSs, defined as FBS a and FBS b , by equation (1)

$$\%Overlap = \frac{Z}{(X - Z) + (Y - Z) + Z} \times 100 \quad (1)$$

Here, parameters X and Y denote the number of STPs which their Pr level is higher than the defined threshold and received from FBS a and FBS b respectively. Parameter Z represent the number of STPs which their Pr level received from both FBS a and FBS b simultaneously and higher than the defined threshold.

5. Define overlap percentage threshold for creating the interference graph.

The interference between two FBS occur if overlap percentage value more than the defined threshold value. In contrast, the interference do not occur if the percentage lower than the threshold.

4. EXPERIMENTAL ENVIRONMENT AND RESULTS

This section is divided into two subsections. Section 4.1 explains Experimental parameters. Experimental results is explained in Section 4.2.

4.1 Experimental Environment

This section explains about the experimental scenario setup, service area and initial parameters. For the serviced area, we used two floors building which shown in Figure 1. Figure 1(a) and Figure 1(b) show floor plan of 1st and 2nd floor in the study area respectively. The position of femtocells are placed in uniform pattern which are shown by triangle symbols. There were 6 FBS unit/floor. Table 2 presents initial parameters which are used in our experiments. Table 3 presents experimental scenarios. There are four cases which classify by transmit power and overlap threshold.

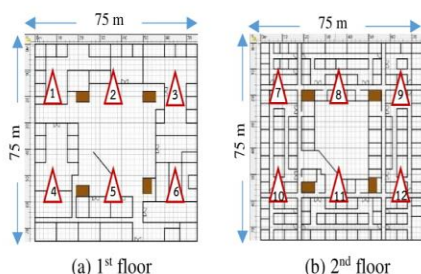


Fig.1 Service area using two floors building

Table 2. Initial parameters used for experimental

Parameters	Value
Signal frequency	2.6 GHz
Transmit power	20 dBm
Bandwidth	20 MHz
Service area	75 m x 75 m x 3 m
Number of FBS	6 units/floor
Number of signal test point	324 units/floor
Received power threshold	-75 dBm

Table 3. Experimental scenarios

Scenario	Transmit Power	%Overlap Threshold	Total floors
1	5 dBm	10%	2
2	5 dBm	20%	2
3	10 dBm	10%	2
4	10 dBm	20%	2

4.2 Experimental Results

4.2.1 Result of the Overlap Area

To calculate the overlap area, we firstly use path loss model in Section 2 and information of study area in Subsection 4.1 to calculate received signal P_r at each STP. Then, we calculated overlap area using equation (2) in Section 3.

Examples of contour plot for signal overlap area are shown in Figure 2. The received signal (P_r) which STPs received from FBSs is represented by color lines. The gray area represents the signal overlap area. Figure 2(a) presents the overlap area between 1st and 2nd FBS, which is 32.5%. Figure 2(b) presents 15.927% of the overlap area between 1st and 6th FBS. In figure 2(c), there is not overlap area between 1st and 12th FBS.

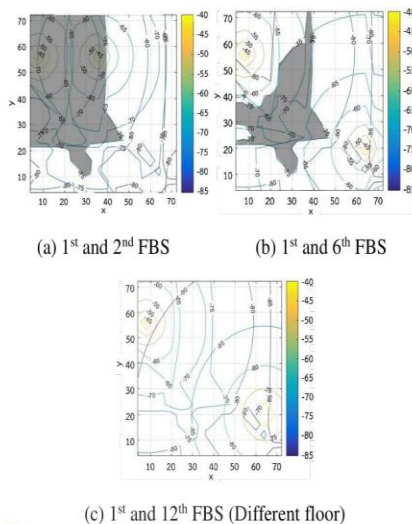
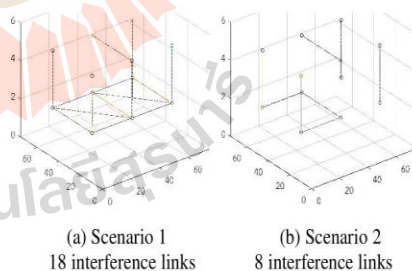


Fig. 2 Example of signal overlap area on the first floor which STPs receive signal power (P_r) from FBSs

4.2.2 Result of Created Interference Graph

From the process of creating the interference graph in Section 3, we got interference graph by each experimental scenario as follows. Figure 3(a), (b), (c) and (d) presents interference graph in experimental scenario 1, 2, 3 and 4 respectively. There are 18, 8, 34 and 19 interference links occur in scenario 1, 2, 3 and 4 respectively. From the interference graph, the number of interference links decrease with the increase of overlap percentage threshold.



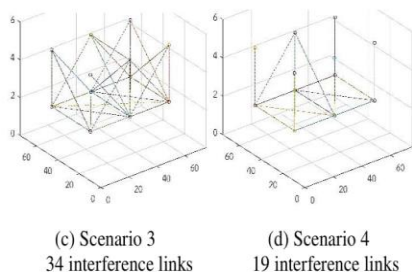


Fig.3 Created interference graph classified by experimental scenario

4.2.3 Result of Frequency Channel Allocation

From interference graph in Section 4.3, we operated frequency allocation for femtocell network by frequency channel allocation technique from (Liu, et al. (2012)). The results of frequency channel allocation is shown in Figure 4. Figure 4(a) presented frequency channel allocation for the first experimental scenario, there are 4 allocated frequency bands. The frequency channel allocation result for experimental scenario 2, 3 and 4 are 2, 5 and 4 allocated frequency bands which shown in Figure 4(b), (c) and (d) respectively.

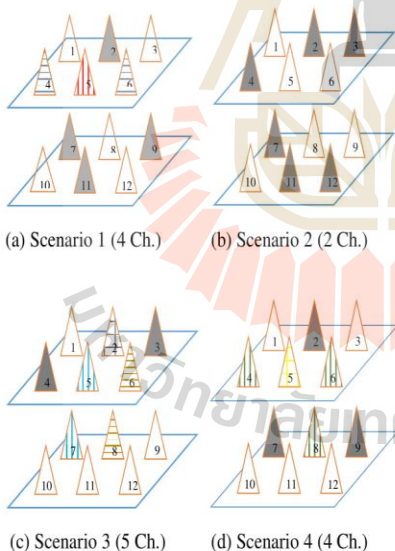


Fig.4 Frequency channel allocation

4.2.4 Results of Signal Quality in the Service Area.

From frequency channel allocation using interference graph, we analyzed signal quality in the service area. SINR (Signal to interference noise ratio) was used for represent signal performance.

Figure 5, 6, 7 and 8 present contour plot of SINR in experimental scenarios 1, 2, 3 and 4 respectively.

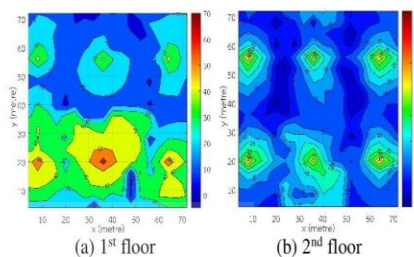


Fig.5 Contour plot of SINR from Scenario 1

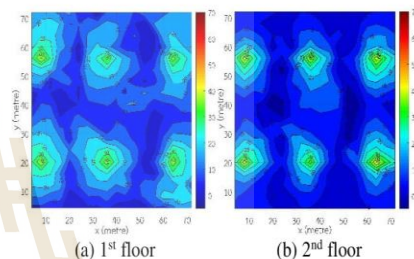


Fig.6 Contour plot of SINR from Scenario 2

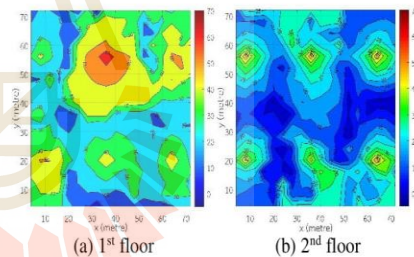


Fig.7 Contour plot of SINR from Scenario 3

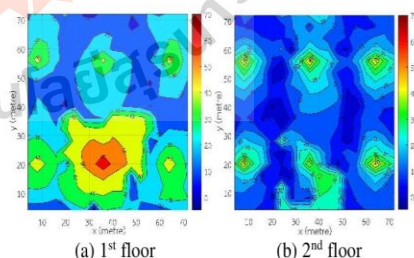


Fig.8 Contour plot of SINR from the Scenario 4

From Figure 5-8, we observed that Scenario 2 has low SINR level because there are a lot of duplicate frequency channels which lead a high interference signal. In the other hand, the other scenarios have high SINR because there have using a few of duplicate frequency

channels. There is low interference signal in these scenario.

For easier comparison, we plot SINR from frequency channel allocation in each experimental scenario using C.D.F. graph which illustrated in figure 9. The violet, green, black and red lines represent SINR of experimental scenario 1, 2, 3 and 4 respectively.

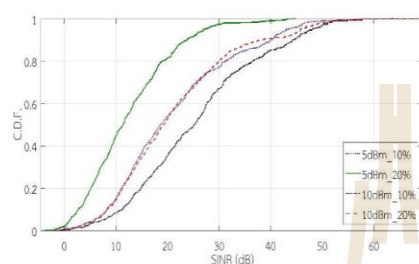


Fig.9 C.D.F graph of SINR

From Figure 9 and Table 4, we observed that scenario 3 has the highest average SINR compare to other scenarios. Scenario 1 and 4 have average level of SINR around 21 dB. Scenario 2 has the lowest SINR among every scenarios which is around 12 dB. In Scenario 3, its SINR is around 26 dB which is the highest. From our frequency channel allocation test, it indicates that the scenario 3 use low-frequency reuse which lead the low interference.

Table 4. Result of average SINR

Scenario	Transmit Power (dBm)	%Overlap Threshold	SINR value	1 st	2 nd	Total Bldg. (dB)
				floor (dB)	floor (dB)	
1	5	10	Avg.	27.09	15.34	21.22
			S.D.	11.75	8.39	11.76
2	5	20	Avg.	14.41	10.68	12.55
			S.D.	7.80	8.55	8.39
3	10	10	Avg.	32.56	19.05	25.81
			S.D.	11.32	9.24	12.32
4	10	20	Avg.	26.96	15.71	21.34
			S.D.	11.86	8.75	11.83

5. CONCLUSIONS

This paper presented the technique and the process of creating interference graph for frequency channel allocation of femtocell network in multi-floors building. We designed processes for interference graph creation including parameters definition, distance and received power from FBS to STP calculation, overlap percentage between FBS calculation and overlap percentage threshold definition. We set two floors building which had 12 installed FBSs for being the study area. After created interference graph, we operated frequency

allocation into each FBS in the study area. Our experimental results showed that the number of interference links from interference graph effect to the number of frequency channel and its impact to SINR of femtocell network. From created interference graphs, we found that selection and definition of overlap percentage threshold affect to the number interference links. Finally, our process of creating interference graph can help frequency channel allocation for other indoor femtocell networks efficiently.

REFERENCES

- Ericsson, Ericsson mobility report, 2016.
- Goldsmith A., Wireless communications, 2004.
- Shi, J.r., and Zhu, Q., Spectrum allocation based on interference management in femtocell networks, *Automatic Control and Artificial Intelligence*, pp. 1906-1909, 2012.
- Bouras, C., Kavourgias, G., Kokkinos, V., and Papazois, A., Interference management in lte femtocell systems using an adaptive frequency reuse scheme, *Wireless Telecommunications Symposium*, pp. 1-7, 2012.
- Liu, J., Wu, J., Chen, J., Wang, P., and Zhang, J., Radio resource allocation in buildings with dense femtocell deployment, *21st International Conference on Computer Communication and Networks*, pp. 1-5, 2012.
- Cao, G., Yang, D., An, R., Ye, X., Zheng, R., and Zhang X., An adaptive sub-band allocation scheme for dense femtocell environment, *Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 102-107, 2011
- Zhang, K., Wang, Y., Lin, C., Shen, X., and Wang, J., Graph based interference coordination scheme in orthogonal frequency-division multiplexing access femtocell networks, *IET Communication*, vol. 5, issue 17, pp. 2533-2541, 2011.
- Sree Vardhan, C., Venkat Ratnam, D., and Hema Dattu. A., Analysis of path loss models of 4g femtocell, *Wireless and Optical Communications Networks*, pp 1-6, 2014.

PHOTOS AND INFORMATION

	<p>Phisidd Prombutr received the B.E. (2013), degree in Telecommunication Engineering from Suranaree University of Technology, Thailand. Currently, he is pursuing his M.E. at Suranaree University of Technology. His research interest include femtocell network 4G-LTE technology and frequency channel allocation.</p>
	<p>Chitapong Wechtaisong received B.E. (2006) and M.E. (2011) in Telecommunication Engineering from Suranaree University of Technology, Thailand. He received Ph.D. in the field of 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.</p>
	<p>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. Currently she is an assistant professor in Suranaree University of Technology, Thailand.</p>

ประวัติผู้เขียน

นายพิสิษฐ์ พรหมบุตร เกิดเมื่อวันที่ 29 เดือนมีนาคม พุทธศักราช 2534 สำเร็จการศึกษา ระดับประถมศึกษาปีที่ 1 - 6 จากโรงเรียนเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ และระดับมัธยมศึกษา ปีที่ 1 - 6 แผนกวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนสุรวิทยาคาร จังหวัดสุรินทร์ จากนั้นได้เข้า ศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีพุทธศักราช 2552 หลังจากสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ในปีพุทธศักราช 2556 ได้มีความสนใจที่จะศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ด้านการออกแบบและวางแผนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ภายในอาคาร จึงได้สมัครเข้าศึกษาต่อใน สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ระหว่างศึกษาได้เสนอบทความเข้าร่วมประชุมในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38 (EECON-38) ณ โรงแรมวรินทร์ อโยธยา คอนเวนชั่น รีสอร์ท จังหวัดพระนครศรีอยุธยา วันที่ 18 - 20 พฤศจิกายน 2558 งานประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39 (EECON-39) ณ โรงแรมเดอะรีเจนท์ ชะอำบีช รีสอร์ท หัวหิน จังหวัดเพชรบุรี วันที่ 2 - 4 พฤศจิกายน 2559 และงานประชุมวิชาการนานาชาติ 11th Southeast ASEAN Technical University Consortium Symposium (SEATUC) ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีโฮจิมินห์ซิตี้ ประเทศเวียดนาม วันที่ 13 - 14 มีนาคม 2560 โดยมีรายละเอียดดังภาคผนวก ก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี