# การจัดสรรความถี่ที่ดีที่สุดสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย
# โดยใช้ไฮบริด เอสไออาร์ และ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

**นายบริบูรณ์ ดีกา**

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**

**สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม**

**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี**

**ปีการศึกษา 2550**

# OPTIMAL FREQUENCY ASSIGNMENT FOR WIRELESS LOCAL AREA NETWORK USING HYBRID SIR AND CSMA/CA

**Boriboon Deeka**

**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 2007**

**การจัดสรรความถี่ที่ดีที่สุดสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย**
**โดยใช้ไฮบริด เอสไออาร์ และ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

____________________________

(ผศ. ดร.รังสรรค์ ทองทา)
ประธานกรรมการ

____________________________

(ผศ. ดร.ชุติมา พรหมมาก)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

____________________________

(อ. ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล)
กรรมการ

____________________________

(ศ. ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

____________________________

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ขำพิศ)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

บริบูรณ์ ดีกา : การจัดสรรความถี่ที่ดีที่สุดสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยใช้ไฮบริด เอสไออาร์ และ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ (OPTIMAL FREQUENCY ASSIGNMENT FOR WIRELESS LOCAL AREA NETWORK USING HYBRID SIR AND CSMA/CA) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก, 80 หน้า

ปัจจุบัน โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้รับความนิยมมาก ในการนำมาประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากเป็นโครงข่ายที่ทำงานในย่านความถี่ที่ไม่ต้องขออนุญาตในการเข้าใช้งาน (License Free Spectrum) ซึ่งแพร่คลื่นในย่านความถี่ 2.4 GHz โดยแบ่งออกเป็น 11 ช่องความถี่ (Frequency Channel) และถ้าต้องการใช้งานช่องความถี่พร้อมกันสามช่องมีเพียงช่องที่ 1, 6, และ 11 เท่านั้นที่ย่านความถี่ไม่ซ้อนทับกัน ดังนั้นเมื่อนำโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายมาประยุกต์ใช้งานต้องลดการซ้อนทับของช่องความถี่ให้น้อยที่สุดเพราะทำให้การรบกวนกันระหว่างช่องความถี่น้อยที่สุดด้วย ปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาการจัดสรรความถี่ ทำให้เกิดการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ขึ้น

เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่มีใช้อยู่แล้วซึ่งพัฒนาจากโครงข่ายเซลลูลาร์และระบบวิทยุกระจายเสียงไม่สามารถนำมาใช้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้โดยตรง เนื่องจากลักษณะการแบ่งช่องความถี่และโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแตกต่างกัน ส่วนเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่พัฒนาจากโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายเองยังขาดการพิจารณาหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ หรือขาดการพิจารณาในส่วนของชั้นสื่อสารกายภาพ (Physical layer) ทำให้เทคนิคที่กล่าวมานี้ยังไม่สามารถจัดสรรช่องความถี่ให้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายให้มีประสิทธิภาพสูงสุดได้

ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาและวิเคราะห์เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่เหมาะสมให้กับจุดเข้าถึง (access point) ที่ใช้ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ในการพัฒนาเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ใช้การพิจารณาทั้งในส่วนของคุณภาพสัญญาณทางกายภาพและคำนึงถึงลักษณะการทำงานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ เพื่อลดการรบกวนกันระหว่างช่องความถี่ให้น้อยที่สุดและให้สัญญาณที่ใช้สื่อสารมีคุณภาพสูงสุด

การจำลองแบบเพื่อประเมินสมรรถนะของเทคนิคที่พัฒนาขึ้นแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการจำลองแบบเพื่อศึกษาผลกระทบของการถ่วงน้ำหนัก พบว่าเมื่อ $w_1 = w_2 = 0.5$ นั่นคือน้ำหนักของการพิจารณาโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ เท่ากับน้ำหนักของการพิจารณาคุณภาพของสัญญาณ จะให้สมรรถนะของโครงข่ายอยู่ในเกณฑ์ที่ดีทั้งในด้านปริมาณงานของระบบและด้านพื้นที่ครอบคลุม และส่วนที่สองเป็นการประเมินสมรรถนะของเทคนิคที่พัฒนาขึ้นด้วยการ

เปรียบเทียบกับเทคนิคอื่นคือ เทคนิคที่พิจารณาเฉพาะหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ และเทคนิคที่พิจารณาเฉพาะคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ โดยทำการจำลองแบบในสิ่งแวดล้อมสองแบบคือ เมื่อผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ และเมื่อผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบกลุ่ม พบว่าเทคนิคไฮบริดที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ทำให้ได้โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ให้ปริมาณงานทั้งหมดของระบบสูง และมีขอบเขตการให้บริการครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่า โดยเฉพาะเมื่อผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอเทคนิคไฮบริดให้โครงข่ายที่มีปริมาณงานมากกว่าที่ได้จากเทคนิคที่พิจารณาเฉพาะคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ 78% และให้พื้นที่ครอบคลุมมากกว่าเทคนิคที่พิจารณาเฉพาะโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ 58%

นอกจากนี้ได้นำเทคนิคการค้นหาคำตอบแบบแพทชิ่ง (patching) มาใช้ในเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริดทำให้สามารถลดความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่จากการใช้เทคนิคการค้นหาคำตอบแบบละเอียด (exhaustive search) และลดระยะเวลาในการหาคำตอบได้ 45 ชั่วโมงเมื่อโครงข่ายติดตั้งจุดเข้าถึง 6 เครื่อง

ดังนั้นเทคนิคแบบไฮบริดจึงเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสำหรับการจัดสรรช่องความถี่ให้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ลายมือชื่อนักศึกษา_______________________

ปีการศึกษา 2550 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_________________

BORIBOON DEEKA: OPTIMAL FREQUENCY ASSIGNMENT FOR WIRELESS LOCAL AREA NETWORK USING HYBRID SIR AND CSMA/CA. THESIS ADVISOR: ASST. PROF CHUTIMA PROMMAK, PhD., 80 PP.

FREQUENCY ASSIGNMENT/ WIRELESS LOCAL AREA NETWORK

Wireless Local Area Network (WLAN) systems based on the IEEE standard 802.11 are today growing worldwide. The WLANs operate in the unlicensed ISM frequency contribute to rapid wireless network development. The 802.11 standard divides the 2.4 GHz band into eleven channels, there are three channels whose bandwidths do not overlap each other. Those channels are 1, 6 and 11. From the limited number of channels exist in the available frequency spectrum for WLAN deployment requires that some channels are reused. The reuse of frequency channels in neighboring cells can cause interferences in the service area. In consequence, an efficient assignment of channels becomes necessary to avoid and minimize interference. So a major challenge in designing wireless networks is the frequency assignment problem.

Traditionally, the frequency channel assignment used in the cellular network design and radio broadcast system and it can not be directly applied to WLAN cause of the difference of frequency channel dividing and medium access protocol functionalities. And the existing frequency assignment used in WLAN does not consider CSMA/CA functionalities or does not consider the physical layer in order to the WLAN can not give the highest efficiency. This thesis develop the optimal frequency assignment for WLAN, this algorithm is a cross - layer approach, accounting the signal quality and the system

throughput. On the basis of the signal quality and the system throughput considerations, the problem of assigning the best frequency channel set to APs in WLANs to enhance the WLAN system performance.

The simulations have been performed to evaluate the performance of the proposed technique divided in to two phases. First, to study the effect of the weight factor, $w_1$ and $w_2$ and found that when $w_1 = w_2 = 0.5$, the resulting network has high system throughput and high percentage of coverage area. Finally, the simulation to evaluate the performance of developed technique, by compare with two other techniques, the throughput based technique and the signal quality based technique. Two environments are uniform distribution of user and group distribution of user. The simulation result show that the Hybrid technique gives good results in both coverage area and system throughput, especially in users have uniform distribution Hybrid technique give system throughput 78% over the technique consider only signal quality and Hybrid technique give coverage area 58% over the technique that consider only CSMA/CA.

Furthermore this thesis use patching algorithm to search the results. It can decrease complexity of Hybrid technique and time-using for searching result compare with exhaustive search technique. It can reduce searching time for 45 hours when six APs are installed. Hybrid technique has good performance and suitable for frequency assignment for WLAN.

School of Telecommunication Engineering Student’s Signature ___________________

Academic Year 2007 Advisor’s Signature___________________

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ผู้ช่วยอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้โอกาสในการศึกษา คำปรึกษาด้านวิชาการ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา หัวหน้าสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี อุสาหะ อาจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภา และอาจารย์ ปิยาภรณ์ กระฉอดนอก อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณประพล จาระตะคุ วิศวกรศูนย์เครื่องมือ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ และขอขอบคุณ พี่น้องบัณฑิตศึกษาทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ประสบความสำเร็จในชีวิต

บริบูรณ์ ดีกา

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ (ภาษาไทย) | ก |
| บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) | ค |
| กิตติกรรมประกาศ | จ |
| สารบัญ | ฉ |
| สารบัญตาราง | ฌ |
| สารบัญรูป | ญ |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ | ฏ |
| **บทที่** | |
| **1 บทนำ** | **1** |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 4 |
| 1.3 สมมติของการวิจัย | 4 |
| 1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น | 5 |
| 1.5 ขอบเขตของการวิจัย | 5 |
| 1.6 วิธีดำเนินการวิจัย | 5 |
| 1.6.1 ระเบียบวิธีวิจัย | 5 |
| 1.6.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล | 6 |
| 1.6.3 การวิเคราะห์ข้อมูล | 6 |
| 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 6 |
| 1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์ | 7 |
| **2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | **8** |
| 2.1 กล่าวนำ | 8 |
| 2.2 การจัดสรรช่องความถี่ในโครงข่ายเซลลูลาร์ | 9 |
| 2.3 การจัดสรรช่องความถี่ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย | 10 |
| 2.4 ลักษณะการครอบคลุมของสัญญาณในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย | 12 |

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


2.5 โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

2.6 การคำนวณปริมาณของระบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

2.7 สรุป

**3 เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่โดยใช้ไฮบริด เอสไออาร์ และ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ**

3.1 กล่าวนำ

3.2 คุณภาพสัญญาณ

3.2.1 ความแรงของสัญญาณ

3.2.2 เอสไออาร์

3.2.3 การคำนวณค่าของพื้นที่ครอบคลุม

3.3 การคำนวณปริมาณงานของระบบ

3.4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับระบบการจัดสรรช่องความถี่
โดยใช้ไฮบริดเอสไออาร์และซีเอสเอ็มอาร์/ซีเอ

3.5 เทคนิคการหาคำตอบ

3.6 การคำนวณความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่

3.7 สรุป

**4 การศึกษาผลกระทบของการถ่วงน้ำหนัก**

4.1 กล่าวนำ

4.2 การนิยามปัญหา

4.2.1 สิ่งแวดล้อมในการศึกษา

4.2.2 ลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการ

4.2.3 การประเมินเทคนิคการจัดสรรความถี่

4.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริด
เมื่อมีการเปลี่ยนค่าของชุดถ่วงน้ำหนัก

4.4 ความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริด

4.5 สรุป

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


**5 การศึกษาผลกระทบของลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการ**

5.1 กล่าวนำ

5.2 การนิยามปัญหา

5.2.1 การกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ

5.2.2 การกระจายตัวแบบกลุ่ม

5.2.3 การจำลองพื้นที่ให้บริการของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

5.2.4 พื้นที่ครอบคลุม

5.3 ผลการดำเนินการวิจัยเมื่อผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ

5.3.1 การศึกษาผลกระทบของจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้ในโครงข่าย

5.3.2 การศึกษาผลกระทบของความหนาแน่นของผู้ใช้บริการในโครงข่าย

5.4 ผลการดำเนินการวิจัยเมื่อผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบกลุ่ม

5.4.1 การศึกษาผลกระทบของจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้ในโครงข่าย

5.4.2 การศึกษาผลกระทบของความหนาแน่นของผู้ใช้บริการในโครงข่าย

5.5 การวิเคราะห์ความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่

5.6 สรุป

**6 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ**

6.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

6.3 งานวิจัยในอนาคต

รายการอ้างอิง

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก โครงสร้างเฟรมข้อมูลในชั้นสื่อสารข้อมูล

ภาคผนวก ข บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

ประวัติผู้เขียน

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**


2.1 แสดงปริมาณที่ใช้ในการคำนวณเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล

3.1 แสดงตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้และช่องความถี่ที่จัดสรรให้

4.1 เปรียบเทียบความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรความถี่แบบไฮบริด
ที่ใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบแพทชิ่งกับที่ใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบละเอียด

4.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้เมื่อใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบแพทชิ่ง
กับเมื่อใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบละเอียด

# สารบัญรูป

**รูปที่** **หน้า**


1.1 โครงข่านท้องถิ่นแบบไร้สายที่มีโครงข่ายแน่นอน

1.2 การแบ่งช่องความถี่สำหรับ IEEE 802.11b และ 802.11g

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์กรณีที่เซลล์ซ้อนทับกัน

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์กรณีที่เซลล์แยกกันโดยสมบูรณ์

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์กรณีที่เซลล์แยกกันไม่สมบูรณ์

2.4 การรบกวนเนื่องจาก ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

2.5 ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ที่ IEEE 802.11 นำมาใช้

2.6 แสดงการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

2.7 ช่วงเวลาในสภาวะต่าง ๆ เมื่อใช้กลไกการตรวจสอบ
สถานะตัวกลางแบบ RTS/CTS

3.1 ตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้ และจุดเข้าที่ต้องการติดตั้ง

3.2 การค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจุดเข้าถึงเครื่องแรก

3.3 การค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจุดเข้าถึงเครื่องสอง

4.1 แสดงแผนผังอาคารที่ใช้สำหรับการจำลองด้วยโปรแกรม

4.2 แสดงตำแหน่งของผู้ใช้บริการที่กระจายอยู่ภายในอาคาร
สำหรับการศึกษาผลกระทบของการถ่วงน้ำหนัก

4.3 ปริมาณงานและพื้นที่ครอบคลุมของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย
เมื่อใช้เทคนิคไฮบริด

4.4 ผลรวมปริมาณงานและพื้นที่ครอบคลุมของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย
เมื่อใช้เทคนิคไฮบริด

5.1 ตัวอย่างตำแหน่งผู้ใช้บริการการกระจายตัวแบบกลุ่ม

5.2 แสดงผังอาคารที่ใช้สำหรับการจำลองด้วยโปรแกรม

5.3 ปริมาณงานทั้งหมดของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึง

5.4 ขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึง

5.5 ปริมาณงานของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการ

# สารบัญรูป (ต่อ)

**รูปที่** **หน้า**

5.6 ขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการ
5.7 ปริมาณงานทั้งหมดของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึง
5.8 พื้นที่ครอบคลุมของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึง
5.9 ปริมาณงานของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการ
5.10 ขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการ

# คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

| | | |
|---|---|---|
| MT | = | Mobile Terminal หมายถึง ผู้ใช้บริการ |
| AP | = | Access Point หมายถึง จุดเข้าถึง |
| SIR | = | เอสไออาร์; Signal to Interference Ratio หมายถึง อัตราส่วนกำลังส่งต่อสัญญาณแทรกสอด |
| $S_g$ | = | Signal Strength ณ จุดทดสอบสัญญาณ $g$ $(dBm)$ |
| $P_{tx}$ | = | กำลังส่งของเครื่องส่ง (Transmitter) $(dBm)$ |
| $L$ | = | Path Loss ที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องส่ง กับ เครื่องรับ (Receiver) $(dB)$ |
| $L_0$ | = | Path Loss ณ ระยะ 1 เมตร $(dB)$ |
| $L_\alpha$ | = | ค่าลดทอนของสัญญาณโดยเฉลี่ย เนื่องจากการเคลื่อนที่ผ่านผนังห้อง $(dB)$ |
| $\alpha$ | = | Path Loss exponent $(dB)$ |
| $D$ | = | ระยะห่างระหว่างเครื่องส่ง กับ เครื่องรับ $(m)$ |
| $F_m$ | = | เฟดมาร์จิน (Fade margin) $(dB)$ |
| $SIR_g$ | = | เอสไออาร์ ณ จุดทดสอบสัญญาณ |
| $P_{hg}$ | = | กำลังสูงสุดที่รับได้จากเครื่องส่ง ณ จุดทดสอบสัญญาณ $(dBm)$ |
| $P_{Ig}$ | = | กำลังส่งที่รบกวน ณ จุดทดสอบสัญญาณ $(dBm)$ |
| $G$ | = | จำนวนจุดทดสอบสัญญาณทั้งหมด |
| $g$ | = | จุดทดสอบสัญญาณที่ทำการสังเกต |
| $c_g$ | = | มีค่าเป็น 1 เมื่อ Signal Strength > Signal Strength Threshold และ SIR > SIR Threshold มิฉะนั้นมีค่าเป็น 0 |
| $M$ | = | วัตถุประสงค์ในการออกแบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย |
| $THR_{total}$ | = | ปริมาณงานทั้งหมดในระบบ |
| $THR_i$ | = | ปริมาณงานของแต่ละผู้ใช้บริการ |
| $\%COV$ | = | เปอร์เซ็นต์บริเวณครอบคลุมสัญญาณจากพื้นที่ทั้งหมดที่ต้องการให้บริการสื่อสารผ่านโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย |
| $w_1$ | = | น้ำหนักของค่าปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย |

# คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

| | | |
|---|---|---|
| $w_2$ | = | น้ำหนักค่าปริมาณจุดทดสอบที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ |
| $L_{PLCPheader}$ | = | ความยาวข้อมูล ส่วนหัว (Header) ของเฟรมข้อมูล |
| $L_{PLCPpream}$ | = | ความยาวข้อมูล ส่วนพรีแอมเบิ้ล |
| $T_{pream}$ | = | เวลาที่ใช้ไปโดยพรีแอมเบิ้ล |
| $IFS$ | = | ช่องระหว่างเฟรม |
| $T_{SIFS}$ | = | ช่วงเวลาระหว่างเฟรม 10 $\mu s$ |
| $T_{DIFS}$ | = | ช่วงเวลาระหว่างเฟรม 50 $\mu s$ |
| $T_{slot}$ | = | ช่องเวลา |
| $\tau$ | = | ความน่าจะเป็นที่นับย้อนกลับถึงศูนย์ |
| $T_{RTS}$ | = | เวลาของข้อความสำหรับการร้องขอเข้าใช้ตัวกลาง |
| $T_{CTS}$ | = | เวลาของข้อความสำหรับการตอบรับให้ใช้ตัวกลางได้ |
| $T_{ACK}$ | = | เวลาของข้อความสำหรับการตอบรับเมื่อการสื่อสารสำเร็จ |
| $T_{MPDU-i}$ | = | เวลาทั้งหมดที่ใช้สำหรับการส่งแพ็กเกตข้อมูล |
| $L_{MACheader}$ | = | ความยาวข้อมูล ส่วนหัว (Header) ของเฟรมข้อมูล |
| $L_{FCS}$ | = | ความยาวข้อมูล ส่วนตรวจสอบความถูกต้องในการส่งข้อมูล |

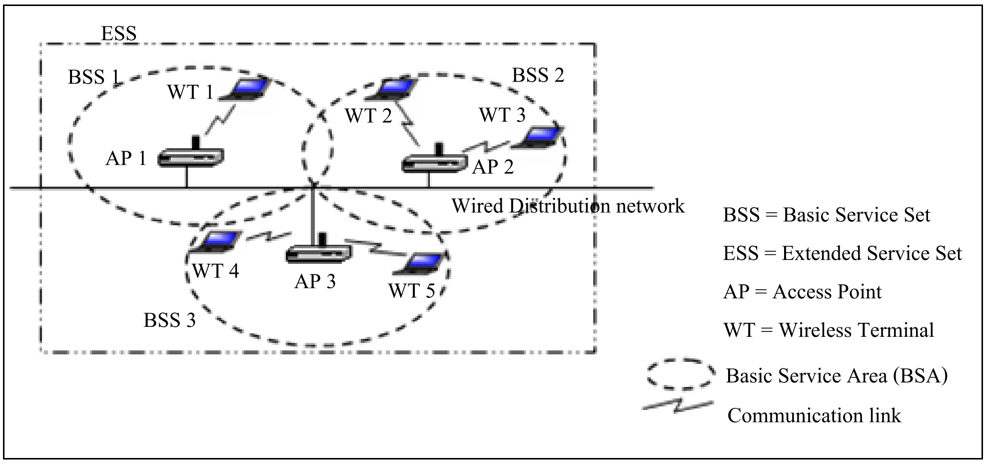
# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

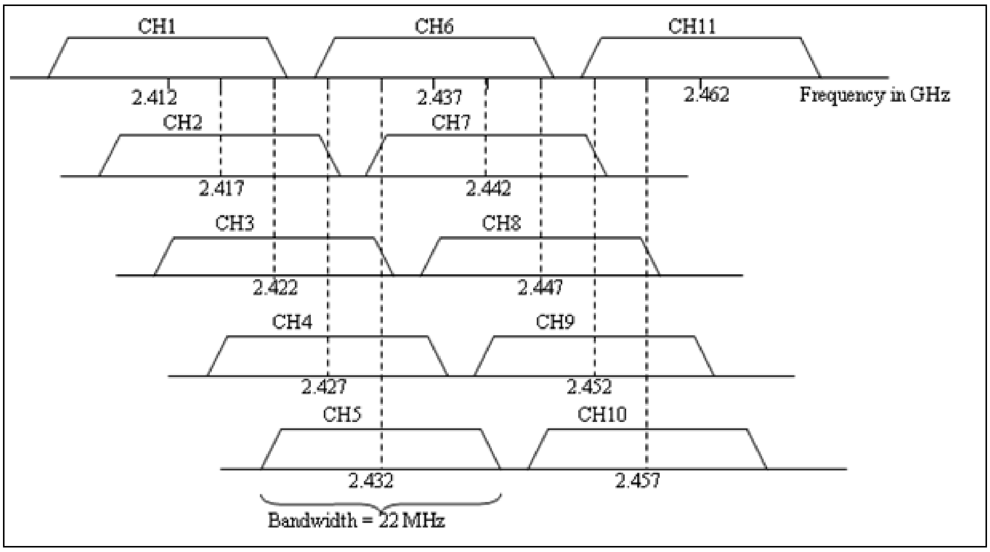
โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network หรือ WLAN) หมายถึง โครงข่ายที่คอมพิวเตอร์ทุกเครื่องในบริเวณนั้นใช้อุปกรณ์โมเด็มไร้สายและสายอากาศ เพื่อใช้ในการสื่อสารกับคอมพิวเตอร์เครื่องอื่น ซึ่งปัจจุบันโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายกำลังได้รับความนิยมมากในการนำมาประยุกต์ใช้งานทั้งในสำนักงาน สถานศึกษา และพื้นที่อื่น ๆ เช่น บริเวณที่พักผู้โดยสารภายในสนามบิน และห้างสรรพสินค้า เนื่องจากเป็นโครงข่ายที่ทำงานในย่านความถี่ที่ไม่ต้องขออนุญาตในการเข้าใช้งาน (License Free Spectrum) และไม่มีการติดตั้งสายนำสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ปลายทาง (wireless terminal) จึงทำให้สะดวกต่อการสร้างโครงข่ายให้สามารถใช้งานได้จริง และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการสร้างโครงข่ายได้ อีกทั้งเทคโนโลยีของโครงข่ายอำนวยให้เกิดความสะดวกในการใช้งาน เพราะอุปกรณ์ปลายทางสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ และยังสามารถใช้บริการในจุดที่สายส่งไม่สามารถเข้าถึงได้ (Rapaport, 1996) โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายมีลักษณะการเชื่อมต่อโครงข่าย (Network Topology) อยู่ 2 รูปแบบ คือ แบบไม่มีโครงข่ายที่แน่นอน (Ad-hoc network) และแบบที่มีโครงข่ายแน่นอน (Infrastructure Network) ลักษณะโดยทั่วไปของโครงข่ายประเภทที่มีโครงข่ายแน่นอนได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.1 คือ เป็นโครงข่ายที่มีจุดเข้าถึงเป็นตัวกระจายสัญญาณเพื่อรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ปลายทาง กลุ่มของอุปกรณ์ปลายทางที่ใช้จุดเข้าถึงร่วมกันจะเรียกว่า กลุ่มบริการพื้นฐาน (basic service set หรือ BSS) จากรูปจะมีกลุ่มบริการพื้นฐานสามกลุ่ม เมื่อเชื่อมจุดเข้าถึงของแต่ละกลุ่มบริการพื้นฐานด้วยโครงข่ายใช้สาย (wired distribution network) เกิดเป็นโครงข่ายใหม่ที่ใหญ่ขึ้นซึ่งเรียกว่า กลุ่มบริการขยาย (Extended Service Set หรือ ESS)

มาตรฐาน IEEE 802.11b และ 802.11g เป็นมาตรฐานสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากความล้ำสมัยของมาตรฐานและราคาถูก ในข้อกำหนดสำหรับการทำงานของชั้นการสื่อสารกายภาพ (physical layer) มาตรฐาน IEEE 802.11b (IEEE Std802.11b, 1999, 2000) และมาตรฐาน IEEE 802.11g (IEEE Std802.11g, 2003) ได้กำหนดให้อุปกรณ์ทำการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 11 Mbps และ 54 Mbps ตามลำดับ สำหรับประเทศไทยนั้นอนุญาตให้ใช้งานทั้งสองมาตราฐานดังกล่าวส่งสัญญาณที่ย่านความถี่ 2.4 GHz การจัดสรร

ช่องสัญญาณที่ย่านความถี่นี้ถูกแบ่งออกเป็น 11 ช่องความถี่ (frequency channel) ตามรูปที่ 1.2 แต่ละช่องมีแบนด์วิดท์ (bandwidth) 22 MHz ความถี่กลาง (center frequency) ของแต่ละช่องความถี่ห่างกัน 5 MHz จะสังเกตได้ว่าแบนด์วิดท์มีค่ามากกว่าความห่างระหว่างความถี่กลางของแต่ละช่องความถี่ที่อยู่ติดกัน (adjacent channel) ทำให้เกิดการซ้อนทับความถี่ของช่องความถี่ขึ้น แต่การซ้อนทับนี้จะไม่เกิดขึ้นเมื่อช่องความถี่ห่างกันมากกว่า 5 ช่อง นั่นคือจากทั้งหมด 11 ช่องจะมีเพียงแค่ 3 ช่องเท่านั้นที่ไม่มีการซ้อนทับความถี่ของช่องความถี่ ซึ่งได้แก่ ช่องที่ 1, 6 และ 11




รูปที่ 1.1 โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่มีโครงข่ายแน่นอน




รูปที่ 1.2 การแบ่งช่องความถี่สำหรับ IEEE 802.11b และ 802.11g

เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการให้บริการทั้งหมดจำเป็นต้องติดตั้งจุดเข้าถึงหลายจุด ทำให้บางเซลล์ถูกจัดสรรให้ใช้ช่องความถี่ซ้ำกันเป็นผลให้เกิดการรบกวนกันของเซลล์ที่ใช้ช่องความถี่เดียวกัน (co-channel interference) ดังนั้นวิธีการที่จะแก้ไขปัญหาการจัดสรรช่องความถี่ (Frequency Planning Problem หรือ FPP) ให้กับจุดเข้าถึงจึงมีความสำคัญมากในการออกแบบระบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

ปัญหาการจัดสรรช่องความถี่ได้มีผู้ให้ความสนใจศึกษาค้นคว้ากันมาก เช่น ในงานวิจัย (Indoumghar and Debreux, 2002) และ (Thiel, Hurley and Smith, 1997) ได้มีการศึกษากันในกรณีของโครงข่ายวิทยุกระจายเสียง (Radio Broadcasting Network) และ งานวิจัย (Sivarajan et al., 1989) และ (Thiel, Hurley and Smith, 1997) ให้ความสนใจในโครงข่ายเซลลูลาร์ (cellular network) โดยงานวิจัยดังกล่าวได้เสนอวิธีแก้ปัญหาการจัดสรรความถี่ในลักษณะของปัญหากราฟคัลเลอริ่ง (graph coloring problem) ซึ่งเป็นการกำหนดสีสำหรับจุดเข้าถึง โดยที่แต่ละสีนั้นแทนช่องความถี่ที่ถูกใช้ไปเพื่อไม่ให้เกิดการซ้อนทับความถี่ของช่องความถี่ ซึ่งการนำเสนอในลักษณะของปัญหากราฟคัลเลอริ่งนี้ได้มุ่งเน้นการศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดความถี่ให้กับจุดเข้าถึงแต่ละจุดบนโครงข่ายตามเงื่อนไขที่กำหนดโดยเมตริกซ์ระยะห่างของช่องความถี่ (channel separation matrix) (Hodge, Hurley and Smith, 2002) ซึ่งหมายถึงเมตริกซ์ที่แสดงถึงระยะห่างที่น้อยที่สุดระหว่างช่องความถี่ของจุดเข้าถึงสองจุดที่ส่งผลให้ภายในโครงข่ายไม่เกิดมีการรบกวนกันระหว่างสัญญาณที่แพร่จากจุดเข้าถึงที่อยู่ใกล้เคียงกัน แต่เทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยข้างต้นไม่สามารถที่จะนำมาใช้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้โดยตรง เนื่องจากหลักการส่งสัญญาณในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนั้นแตกต่างจากโครงข่ายทั้งสองประเภทดังนี้

ประเภทแรก คือ โครงข่ายวิทยุกระจายเสียงเป็นการส่งสัญญาณความถี่เดียวแพร่คลื่นออกอากาศอย่างต่อเนื่อง โดยความถี่ที่ใช้ในการส่งนั้นก็ขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้เป็นตัวพาห์ (carrier) และจะแพร่คลื่นออกมาตลอดเวลาที่สถานีฐานยังทำงาน ส่วนโครงข่ายเซลลูลาร์ได้มีการแบ่งช่องความถี่ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ช่องแพร่คลื่น (broadcast channel) และช่องความถี่ทราฟฟิก (traffic channel) โดยช่องแพร่คลื่นนี้ใช้ส่งข้อมูลแบบแพร่คลื่น (broadcast) จากสถานีฐาน (base transceiver station) ไปยังสถานีเคลื่อนที่ (mobile station) ทุกสถานีที่อยู่ในบริเวณนั้นตราบใดที่สถานีฐานยังทำงานอยู่จะมีการส่งสัญญาณในช่องแพร่คลื่นออกอากาศเสมอในช่องความถี่ทราฟฟิกนั้น หลังจากระบบทำการจัดสรรช่องความถี่ให้กับสถานีเคลื่อนที่แล้วสถานีเคลื่อนที่สามารถส่งสัญญาณออกมาเมื่อใดก็ได้ที่ต้องการส่งข้อมูล จะเห็นว่าการส่งสัญญาณในโครงข่ายวิทยุกระจายเสียงและโครงข่ายเซลลูลาร์ สถานีฐานแต่ละสถานีไม่คำนึงถึงการส่งสัญญาณของสถานีฐานอื่น ๆ ที่อาจอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน

ส่วนในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตราฐาน IEEE 802.11 ใช้ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ (CSMA/CA หรือ carrier sense multiple access with collision avoidance) เป็นเทคนิคควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง นั่นคือควบคุมและจัดระเบียบการส่งสัญญาณของสถานีฐาน หลักการทำงานของซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ คือ ถ้าเครื่องส่งตรวจพบว่ามีเครื่องส่งตัวอื่นกำลังส่งสัญญาณอยู่ นั่นคือช่องความถี่กำลังถูกใช้งานโดยเครื่องส่งเครื่องอื่นอยู่มันจะไม่ส่งสัญญาณออกไปจึงไม่เกิดการรบกวนกันทางกายภาพของสัญญาณโดยตรง ซึ่งต่างจากโครงข่ายวิทยุกระจายเสียง และโครงข่ายเซลลูลาร์ ดังนั้นวิธีการจัดสรรความถี่ที่ใช้กับโครงข่ายวิทยุกระจายเสียง และโครงข่ายเซลลูลาร์ซึ่งไม่ได้พิจารณาหลักการทำงานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการจัดสรรความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ซึ่งในงานวิจัย (Leung and Kim, 2003) ได้นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ได้นำหลักการทำงานของ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ มาพิจารณาร่วมกับการพิจารณาในชั้นสื่อสารกายภาพด้วย อย่างไรก็ดีในชั้นควบคุมการเข้าถึงตัวกลางได้พิจารณาเฉพาะการเกิดการรบกวนระหว่างจุดเข้าถึงเท่านั้น ส่วนงานวิจัย (Ling and Yeung, 2005) ได้พิจารณาการเกิดการรบกวนไว้ครบถ้วน แต่ในงานวิจัยนี้ก็ไม่ได้พิจารณาในส่วนของชั้นสื่อสารกายภาพทำให้ทั้งงานวิจัย (Leung and Kim, 2003) และ (Ling and Yeung, 2005) ยังไม่สามารถสร้างเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่มีสมรรถนะสูงสุดได้

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอ การพัฒนาและวิเคราะห์เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยพิจารณาทั้งในส่วนของชั้นสื่อสารกายภาพและคำนึงถึงลักษณะการทำงานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ เพื่อลดการรบกวนกันระหว่างช่องความถี่ให้น้อยที่สุดและให้สัญญาณที่ใช้สื่อสารมีคุณภาพสูงสุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาและวิเคราะห์เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ ที่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยพิจารณาทั้งในส่วนของชั้นสื่อสารกายภาพและคำนึงถึงลักษณะการทำงานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ เพื่อลดการรบกวนกันระหว่างช่องความถี่ให้น้อยที่สุดและให้สัญญาณที่ใช้สื่อสารมีคุณภาพสูงสุด

## 1.3 สมมติของการวิจัย

1.3.1 การจัดสรรความถี่ที่เหมาะสมให้กับจุดเข้าถึงภายในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ทำให้เกิดการรบกวนระหว่างตัวส่งสัญญาณภายในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายน้อยที่สุด

1.3.2 การจัดสรรความถี่โดยคำนึงถึงลักษณะการทำงานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ สามารถจัดสรรความถี่ที่เหมาะสมที่สุดให้กับจุดเข้าถึงภายในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้

1.3.3 การจัดสรรความถี่ที่เหมาะสมที่สุดให้กับจุดเข้าถึงภายในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายทำให้ค่าปริมาณงาน (throughput) ของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายสูงที่สุด

## 1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 พื้นที่ในการให้บริการโครงข่ายแบ่งออกเป็นเซลล์

1.4.2 โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายทำงานตามมาตราฐาน IEEE 802.11b, Infrastructure Network

1.4.3 เน้นการทำงานของโพรโทคอลแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ซึ่งมีการควบคุมแบบ Distributed coordination function (DCF)

1.4.4 จุดเข้าถึงแต่ละจุดได้รับการจัดสรรช่องความถี่หนึ่งช่อง

## 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ทำการพัฒนาและวิเคราะห์เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยพิจารณาทั้งในส่วนของชั้นสื่อสารกายภาพและคำนึงถึงลักษณะการทำงานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

1.5.2 วิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ โดยการพิจารณาจากปริมาณงานของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายและคุณภาพของสัญญาณครอบคลุมในบริเวณที่ต้องการให้บริการสื่อสารข้อมูล

1.5.3 สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองแบบเทคนิคการจัดสรรความถี่ เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่

1.5.4 ทำการจำลองแบบเพื่อเปรียบเทียบปริมาณงานของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ที่ถูกจัดสรรความถี่ด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับการจัดสรรความถี่ด้วยเทคนิคอื่น ๆ

## 1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 ระเบียบวิธีวิจัย

1) สำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

2) ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้จัดสรรความถี่ที่เหมาะสมให้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

3) พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการจัดสรรความถี่ที่เหมาะสมในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

4) กำหนดสภาวะแวดล้อมในการทดสอบแบบจำลอง และกำหนดรูปแบบการประเมินแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้จัดสรรความถี่ที่เหมาะสมให้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

5) สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องการ เช่น ปริมาณการรบกวนของตัวส่ง ปริมาณงาน และทำการนำเสนอ

6) วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจำลองการจัดสรรความถี่ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นและแบบจำลองอื่น

1.6.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) ข้อมูลที่ได้มาจากการโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งจำลองการจัดสรรความถี่ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2) เก็บผลการคำนวณเชิงตัวเลขจากการจำลองระบบ และจากวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนำผลจากการจำลองมาเปรียบเทียบ

1.6.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการเปรียบเทียบข้อมูลเชิงตัวเลขจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งจำลองการจัดสรรความถี่ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับวิธีอื่น

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

1.7.2 นำไปใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่เหมาะสม สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายแบบต่าง ๆ เช่น ในพื้นที่ครอบคลุมที่ครอบคลุมบริเวณหนึ่งชั้นหรือพื้นที่ครอบคลุมที่มีจุดเข้าถึงหลายจุด

1.7.3 โปรแกรมที่ได้จากการออกแบบและพัฒนาเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ สามารถนำไปใช้ในการศึกษาเพื่อพัฒนาเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ในระบบสื่อสารไร้สายต่อไป

## 1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งออกเป็น 6 บท ดังนี้คือ

**บทที่ 1** กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัยและบอกถึงข้อตกลงเบื้องต้นสำหรับทำการวิจัย

**บทที่ 2** กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่ถูกใช้ในงานวิจัยนี้

**บทที่ 3** กล่าวถึงเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายโดยใช้โดยใช้ไฮบริด เอสไออาร์ และ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

**บทที่ 4** เป็นการศึกษาผลกระทบของการถ่วงน้ำหนัก

**บทที่ 5** เป็นการศึกษาผลกระทบของการกระจายตัวของผู้ใช้บริการแบบต่าง ๆ

**บทที่ 6** สรุปงานวิจัยที่ทำมาทั้งหมด และมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัยที่สามารถทำได้ในอนาคต

# บทที่ 2
# ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 กล่าวนำ

เมื่อจุดเข้าถึง (access point) ได้ถูกติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่งที่ได้คัดเลือกไว้แล้ว จากนั้นช่องความถี่ถูกจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงเหล่านี้ ช่องความถี่ที่ใช้อยู่ในย่านไอเอสเอ็ม (ISM band หรือ Industrial, Scientific and Medical band) ซึ่งเป็นย่านความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ย่านความถี่นี้ถูกแบ่งออกเป็น 11 ช่องความถี่ ดังรูปที่ 1.2 ช่องความถี่สองช่องสามารถซ้อนทับกันได้บางส่วนเมื่อช่องความถี่ทั้งสองห่างกันน้อยกว่า 5 ช่อง เช่น ช่องความถี่ที่ 6 กับ ช่องความถี่ที่ 10 ซึ่งห่างกัน 4 ช่อง หรือการใช้ช่องความถี่เดียวกันซึ่งความห่างเป็นศูนย์ ดังนั้นจากทั้งหมด 11 ช่อง มีมากที่สุดเพียง 3 ช่องความถี่เท่านั้นที่ไม่มีการซ้อนทับความถี่ของช่องความถี่ ได้แก่ การเลือกใช้ช่องความถี่ที่ 1, 6 และ 11 ผลของการซ้อนทับความถี่ของช่องความถี่คือทำให้สัญญาณรบกวนกันได้

การรบกวนกันของสัญญาณมีผลทำให้ปริมาณงานโดยรวมของระบบ (total system throughput) ลดลง สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายขนาดเล็กที่มีจำนวนจุดเข้าถึงไม่มากนัก ทำให้สามารถจัดสรรช่องความถี่ให้กับจุดเข้าถึงโดยหลีกเลี่ยงการซ้อนทับกันของช่องความถี่ได้ แต่ถ้าโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายมีขนาดใหญ่มีจำนวนจุดเข้าถึงที่ถูกติดตั้งไว้เป็นจำนวนมาก และตำแหน่งของจุดเข้าถึงที่ถูกติดตั้งมีความซับซ้อน ทำให้ไม่สามารถหลีกเลียงการซ้อนทับกันของช่องความถี่ที่จัดสรรให้กับจุดเข้าถึงทั้งหมดได้ จึงเกิดมีงานวิจัยเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาการจัดสรรช่องความถี่ให้กับจุดเข้าถึงในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ได้มีการศึกษามาแล้วในระบบโครงข่ายเซลลูลาร์แต่มีข้อแตกต่างระหว่างโครงข่ายเซลลูลาร์กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย จึงไม่สามารถนำเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ในโครงข่ายเซลลูลาร์มาใช้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้ และได้มีการพัฒนาเทคนิคสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

ลักษณะอย่างหนึ่งของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายคือ เป็นโครงข่ายที่ให้ความสนใจเป็นพิเศษกับการชนกันของข้อมูล อันเนื่องมาจากการเข้าใช้ตัวกลาง (medium) ณ เวลาเดียวกัน (Pahlavan and Krishnamurthy, 2002) จึงได้มีการนำโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางมาใช้ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายเพื่อลดการชนกันของข้อมูล โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ

ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ เป็นโปรโตคอลที่ถูกนำมาใช้ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายโดย IEEE 802.11 ซึ่งโปรโตคอลนี้มีผลต่อปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายด้วย ดังนั้นในการพัฒนาเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายจึงจำเป็นต้องนำโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ มาพิจารณาด้วย

งานวิจัยของ (X.Ling and K.L.Yeung, 2005) เป็นงานวิจัยที่ได้พิจารณาหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ในการออกแบบเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย นอกจากนี้ยังได้นำเสนอเทคนิคการคำนวณปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ใช้โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการคำนวณปริมาณงานนี้มาใช้ด้วย

เนื้อหาในบทนี้เป็นการกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาการจัดสรรช่องความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ความรู้เบื้องต้นและเทคนิคที่เกี่ยวข้อง ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยเนื้อหาของบทนี้ประกอบด้วย **หัวข้อ 2.2** กล่าวถึงเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ในโครงข่ายเซลลูลาร์ **หัวข้อ 2.3** กล่าวถึงการจัดสรรช่องความถี่ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย **หัวข้อ 2.4** เป็นเนื้อหาเกี่ยวกับความรู้เบื้องต้นของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง แบบซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่ถูกนำมาใช้ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย **หัวข้อ 2.5** นำเสนอรายละเอียดของเทคนิคการคำนวณปริมาณงานที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ และ**หัวข้อ 2.6** เป็นบทสรุป

### 2.2 การจัดสรรช่องความถี่ในโครงข่ายเซลลูลาร์

เนื่องจากความถี่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นในโครงข่ายเซลลูลาร์จึงมีการจัดสรรช่องความถี่แบบนำความถี่เดิมกลับมาใช้อีก (frequency reuse) โดยกำหนดให้เซลล์ที่อยู่ติดกันใช้ความถี่ที่แตกต่างกัน และจะใช้ความถี่เดิมเมื่ออยู่คนละกลุ่มเซลล์ (Rapaport, 1996) เนื่องจากเซลล์ในโครงข่ายเซลลูลาร์มีคุณลักษณะหลายอย่างที่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายแบบ IEEE 802.11 เช่น ในโครงข่ายเซลลูลาร์แต่ละเซลล์มีพื้นที่ครอบคลุมเป็นบริเวณกว้าง และสถานีฐานต้องใช้กำลังส่งสูงเพื่อที่จะติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ นอกจากนี้โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ (CSMA/CA) ที่ใช้ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายก็ไม่ถูกนำมาใช้ในโครงข่ายเซลลูลาร์ แต่โครงข่ายเซลลูลาร์ได้มีการแบ่งช่องความถี่ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ช่องแพร่คลื่น (broadcast channel) และช่องความถี่ทราฟฟิก (traffic channel) โดยช่องแพร่คลื่นนี้ใช้ส่งข้อมูลแบบแพร่คลื่น (broadcast) จากสถานีฐาน (base transceiver station) ไปยังสถานีเคลื่อนที่ (mobile station) ทุกสถานีที่อยู่ในบริเวณนั้น ตราบใดที่สถานีฐานยังทำงานอยู่จะมีการส่งสัญญาณในช่องแพร่คลื่นออกอากาศเสมอ ส่วนช่องความถี่ทราฟฟิกนั้น

หลังจากระบบทำการจัดสรรช่องความถี่ให้กับสถานีเคลื่อนที่แล้วสถานีเคลื่อนที่สามารถส่งสัญญาณออกมาเมื่อใดก็ได้ที่ต้องการส่งข้อมูล จะเห็นว่าการส่งสัญญาณในเซลลูลาร์สถานีฐานแต่ละสถานีไม่คำนึงถึงการส่งสัญญาณของสถานีฐานอื่น ๆ ที่อาจอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน

ส่วนในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตราฐาน IEEE 802.11 ใช้ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอเป็นเทคนิคควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง มีหลักการทำงานคือ ถ้าเครื่องส่งตรวจพบว่ามีเครื่องส่งตัวอื่นกำลังส่งสัญญาณอยู่นั่นคือถึงช่องความถี่กำลังถูกใช้งานโดยเครื่องส่งเครื่องอื่นอยู่ เครื่องส่งนั้นจะไม่ส่งสัญญาณออกไปจึงทำให้ไม่เกิดการรบกวนกันทางกายภาพของสัญญาณโดยตรงซึ่งต่างจากโครงข่ายเซลลูลาร์ ดังนั้นวิธีการจัดสรรความถี่ที่ใช้กับโครงข่ายเซลลูลาร์ซึ่งไม่ได้พิจารณาหลักการทำงานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการจัดสรรความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

**2.3 การจัดสรรช่องความถี่ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย**

เนื่องจากมาตราฐาน IEEE 802.11 ได้แบ่งความถี่ย่าน 2.4 GHz ออกเป็น 11 ช่องความถี่ ซึ่งถ้าช่องความถี่ที่ห่างกันน้อยกว่า 5 ช่อง เช่น ช่องความถี่ที่ 3 กับ ช่องความถี่ที่ 7 หรือ ช่องความถี่ที่ 9 กับ ช่องความถี่ที่ 11 จะมีบางส่วนของย่านความถี่ที่ซ้อนทับกันดังแสดงในรูปที่ 1.2 และถ้านำไปจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงที่มีพื้นที่ครอบคลุมซ้อนทับกันจะทำให้สัญญาณรบกวนกันได้ การรบกวนของสัญญาณที่เกิดขึ้นทำให้สมรรถนะของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายลดลง นอกจากนี้การนำโปรโตคอลควบคุมการเข้าใช้ช่องความถี่แบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ มาใช้ก็มีผลต่อสมรรถนะของโครงข่ายเช่นกัน ดังนั้นเพื่อให้โครงข่ายสามารถให้บริการในสมรรถนะที่ดีจำเป็นต้องมีการวางแผนการจัดสรรช่องความถี่ให้กับจุดเข้าถึงแต่ละจุดในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย จากการศึกษาปริทัศน์และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรช่องความถี่ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายพบงานวิจัยที่พัฒนาเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ดังนี้

งานวิจัยของ Rodriguez (2000) พัฒนาเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายขึ้นจากสถานการณ์จริง โดยทำการจำลองแบบแบบลองผิดลองถูก (trial and error) โดยได้ทำการติดตั้งจุดเข้าถึงในสภาวะแวดล้อมแบบภายในอาคาร (indoor environment) มีเป้าหมายเพื่อให้สัญญาณที่รับได้ทั้งหมดมีกำลังสูงสุด งานวิจัยของ Mishra (2005) นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่คำนึงถึงการแทรกสอดที่เกิดขึ้นจริงในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยเป้าหมายคือพยายามให้การแทรกสอดที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้บริการมีน้อยที่สุด ซึ่งวัตถุประสงค์มีสองแบบคือ **แบบที่หนึ่ง** พยายามลดปริมาณการแทรกสอดที่สูงที่สุดในมีค่าน้อยที่สุด **แบบที่สอง** คือพยายามลดปริมาณของผลรวมของการแทรกสอดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบ เทคนิคที่เขานำเสนอ

แสดงให้เห็นว่าการจัดสรรช่องความถี่ที่ยอมให้มีการซ้อนทับช่องความถี่กันได้ทำให้การแทรกสอดที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยกว่าเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่ไม่อนุญาตให้เกิดการซ้อนทับช่องความถี่ งานวิจัยทั้งสองงานข้างต้นนำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายแต่ไม่ได้คำนึงถึงโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ มีหลักการทำงานคือ ถ้าเครื่องส่งตรวจพบว่าช่องความถี่ถูกใช้งานโดยเครื่องส่งเครื่องอื่นอยู่ เครื่องส่งนี้จะหน่วงการส่งผ่านเฟรมข้อมูลของตนออกไปทำให้ไม่เกิดการรบกวนกันทางกายภาพของสัญญาณโดยตรง จากลักษณะการทำงานเช่นนี้ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของโครงข่าย งานวิจัยส่วนหนึ่งที่ได้นำหลักการทำงานของโปรโตคอลซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ มาร่วมพิจารณาในการจัดสรรช่องความถี่มีดังนี้

ในปี 2002 Lee ได้ทำการจัดสรรช่องความถี่โดยพิจารณาที่ความสมดุลของภาระ (Load) ระหว่างจุดเข้าถึงโดยพยายามที่จะลดภาระที่จุดเข้าถึงที่มีภาระสูงสุดให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ อย่างไรก็ตามทั้งสองวิธีข้างต้นก็ไม่สามารถที่จะหาคำตอบได้เมื่อเกิดการรบกวนสัญญาณของเซลล์ที่ใช้ช่องความถี่เดียวกัน (co-channel Interference) สำหรับงานวิจัยของ Leung and Kim (2003) กล่าวถึงเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่นำเอาหลักการทำงานของซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ มาร่วมพิจารณาด้วย นอกจากนี้เทคนิคที่นำเสนอยังสามารถใช้งานช่องความถี่ที่ก่อให้เกิดการแทรกสอดสัญญาณได้ แต่ในชั้นควบคุมการเข้าถึงตัวกลางได้พิจารณาเฉพาะการรบกวนกันระหว่างจุดเข้าถึงเท่านั้นไม่ได้พิจารณาการรบกวนจากผู้ใช้บริการ งานวิจัยของ Ling and Yeung (2005) ต้องการที่จะรวมปัญหาสองปัญหาเข้าด้วยกันแล้วทำการแก้ไขปัญหาภายในครั้งเดียว ปัญหาที่ได้กำหนดขึ้นก็คือ ปัญหาด้านตำแหน่งที่จะติดตั้งจุดเข้าถึง และอีกปัญหาก็คือ ปัญหาการจัดสรรช่องความถี่ให้กับจุดเข้าถึงนั้น ๆ การแก้ปัญหาทำด้วยวัตถุประสงค์สองอย่างที่ต้องทำไปพร้อม ๆ กัน วัตถุประสงค์สองอย่างนั้นคือ ค่าปริมาณงานของระบบต้องสูงที่สุด และภาระของแต่ละจุดเข้าถึงจะต้องเท่า ๆ กัน โดยได้พิจารณาการรบกวนสัญญาณจากทุกกรณีทั้งจากจุดเข้าถึงและจากผู้ใช้บริการ นอกจากนี้เพื่อที่จะทำการประเมินและเปรียบเทียบเทคนิคที่ออกแบบกับวิธีการที่มีอยู่เขาได้นำเสนอวิธีการคำนวณปริมาณงาน ซึ่งวิธีการที่เขาได้นำเสนอนี้ได้คำนึงถึงการใช้ช่องความถี่เดียวกัน (co-channel) ของเซลล์ด้วย แต่งานวิจัยข้างต้นนี้ก็ไม่ได้พิจารณาในส่วนของชั้นสื่อสารกายภาพทำให้ไม่สามารถสร้างเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่มีสมรรถนะสูงสุดได้

จากเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่นำเสนอในงานวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทั้งเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ในโครงข่ายเซลลูลาร์ที่มีลักษณะเฉพาะของโครงข่ายเซลลูลาร์ซึ่งแตกต่างจากลักษณะของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย จึงไม่สามารถนำเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ของโครงข่ายเซลลูลาร์มาใช้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้ และเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ใน

โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่เคยมีนักวิจัยได้นำเสนอในงานวิจัยไว้แล้วต่างก็ยังไม่สามารถออกแบบระบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่มีสมรรถนะสูงได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่พิจารณาทั้งในส่วนของชั้นสื่อสารกายภาพและคำนึงถึงลักษณะการทำงานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจกับเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้น หัวข้อต่อไปนี้จึงได้นำเสนอความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับลักษณะการคลอบคลุมของสัญญาณและโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ตามลำดับ

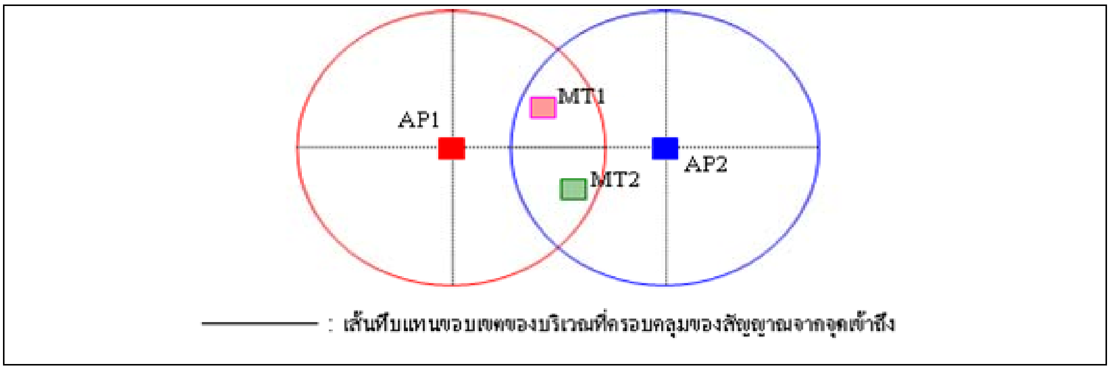
**2.4 ลักษณะการครอบคลุมของสัญญาณในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย**

ในหัวข้อนี้เป็นเนื้อหาเกี่ยวกับพื้นที่ครอบคลุมของจุดเข้าถึงในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย เมื่อพิจารณาพื้นที่ครอบคลุมที่เกิดจากจุดเข้าถึงสองจุดพบว่าสามารถแบ่งความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

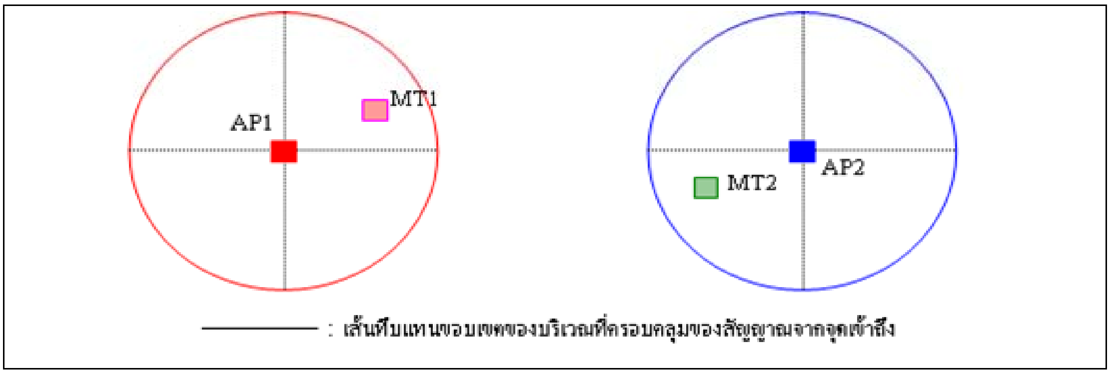
1) เซลล์ซ้อนทับกัน (overlapped cells) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จากรูปเส้นทึบแทนขอบเขตของบริเวณที่ครอบคลุมของสัญญาณจากจุดเข้าถึง และในกรณีนี้ผู้ใช้บริการ (MT1 และ MT2) สามารถรับสัญญาณจากทั้งสองจุดเข้าถึงทำให้เกิดการรบกวนกันได้ดังนี้ MT1 ซึ่งรับบริการจาก AP1 จะไม่สามารถส่งข้อมูลให้กับ AP1 ได้เมื่อ AP2 ทำงาน เช่นเดียวกับ MT2 ต้องหยุดทำงานเมื่อ AP1 เริ่มทำการส่งข้อมูล

2) เซลล์แยกกันโดยสมบูรณ์ (fully-separated cells) จากรูปที่ 2.2 พบว่าระยะห่างระหว่างจุดเข้าถึงทั้งสองมากพอที่จะทำให้ผู้ใช้บริการในเซลล์หนึ่งไม่สามารถรบกวนการส่งข้อมูลของเซลล์ข้างเคียงได้

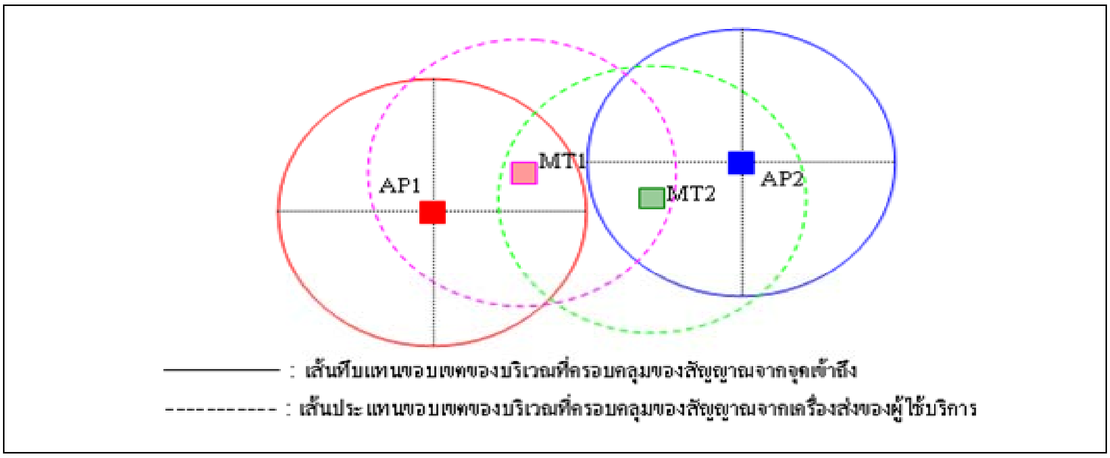
3) เซลล์แยกกันไม่สมบูรณ์ (incomplete-separated cells) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ทั้งสองเซลล์ถูกจัดวางแยกจากกันแต่ระยะห่างระหว่างทั้งสองจุดเข้าถึงไม่มากพอทำให้เกิดการรบกวนกันได้ เช่น MT1 ซึ่งรับบริการจากจุดเข้าถึง AP1 สามารถรับสัญญาณช่องเดียวกันจาก MT2 ที่รับบริการจาก AP2 ในกรณีนี้ขณะที่ MT2 ทำการส่งข้อมูลให้กับ AP2 อยู่นั้น MT1 จะไม่สามารถส่งข้อมูลให้กับ AP1 ได้เพราะทั้ง MT1 และ MT2 รบกวนซึ่งกันและกัน




รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์กรณีที่เซลล์ซ้อนทับกัน




รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์กรณีที่เซลล์แยกกันโดยสมบูรณ์




รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์กรณีที่เซลล์แยกกันไม่สมบูรณ์

จากความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ที่ได้อธิบายข้างต้น ทำให้เกิดการแข่งขันเพื่อเข้าใช้ตัวกลางทั้งที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เดียวกันและการแข่งขันกับผู้ใช้บริการรายอื่นจากเซลล์ข้างเคียงที่ใช้ช่องความถี่เดียวกัน การแข่งขันนี้ทำให้ตัวกลางเกิดสภาวะต่าง ๆ คือ เกิดการชนกันของสัญญาณ (channel collision) เมื่อมีผู้ใช้บริการมากกว่าหนึ่งรายต้องการส่งเฟรมข้อมูล หรือสภาวะที่ตัวกลางถูกจับจองเรียบร้อย (channel held หรือ channel busy) เมื่อผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในการร้องขอเข้าใช้ตัวกลาง แต่ถ้าไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเลยที่ต้องการเข้าใช้ตัวกลางก็จะเกิดสภาวะตัวกลางว่าง (channel idle)

การแข่งขันเพื่อเข้าใช้ตัวกลางดังกล่าวเกิดขึ้นได้ระหว่างผู้ใช้บริการที่อยู่ภายในเซลล์เดียวกันและการแข่งขันกับผู้ใช้บริการรายอื่นจากเซลล์ข้างเคียงที่ใช้ช่องความถี่เดียวกัน ซึ่งสามารถหน่วงการส่งเฟรมข้อมูลของผู้ใช้บริการได้ ลักษณะดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 4 กรณีดังนี้

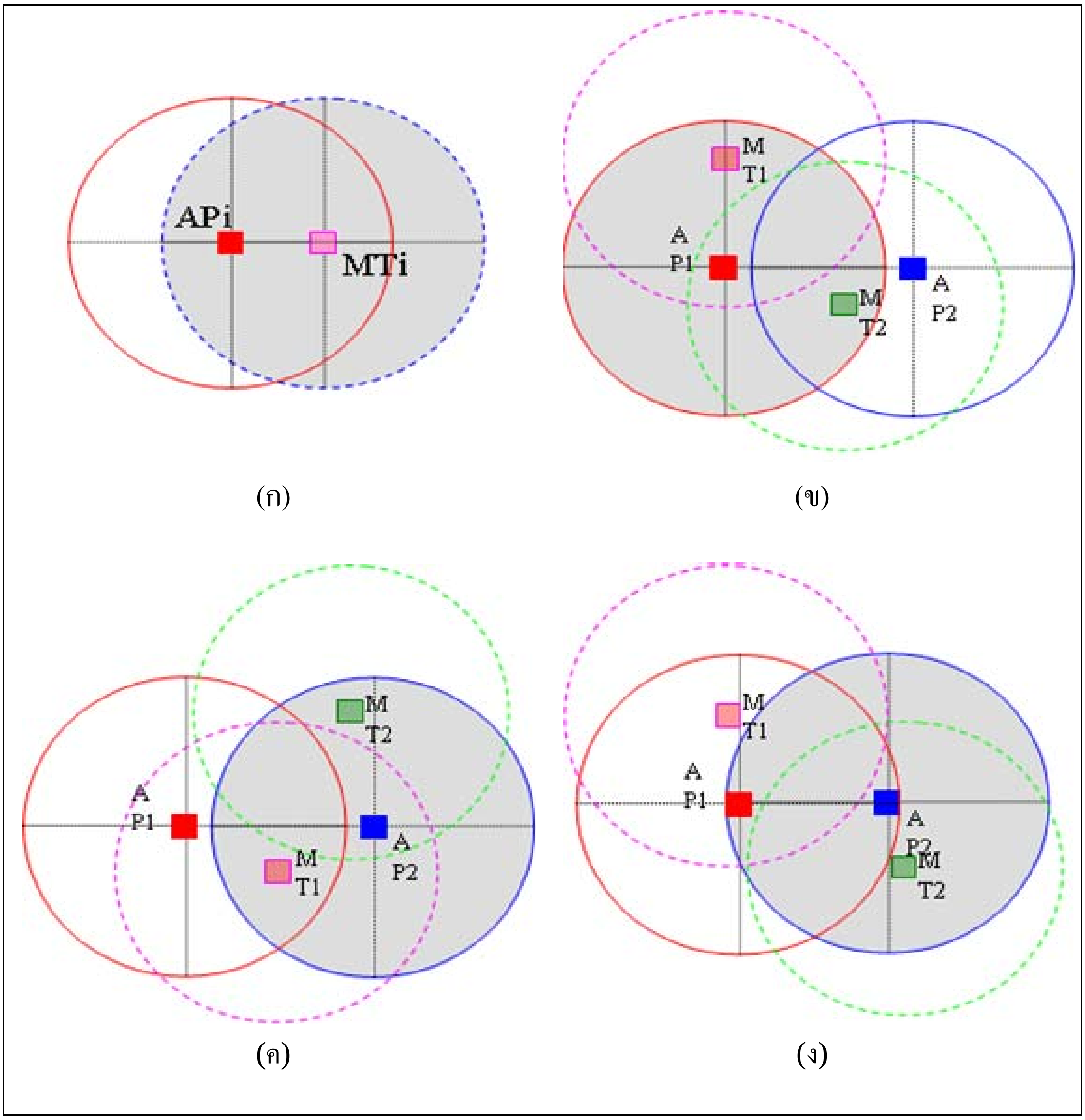
กำหนดให้ $MT_1$ เป็นผู้ใช้บริการรายที่ 1 ซึ่งรับการบริการจากจุดเข้าถึงหมายเลข 1 ( $AP_1$ ) และ $AP_2$ เป็นจุดเข้าถึงที่อยู่ข้างเคียงที่ใช้ช่องความถี่เดียวกันกับ $AP_1$ จากรูปพื้นที่แรเงาเป็นพื้นที่ที่ผู้ใช้บริการรายอื่นสามารถหน่วงการส่งเฟรมข้อมูลของ $MT$ ได้ถ้าเข้ามาอยู่ในบริเวณนี้ กำหนดให้บริเวณที่ล้อมรอบด้วยเส้นทึบเป็นบริเวณที่ $AP$ (จุดเข้าถึง) สามารถรับสัญญาณจากผู้ใช้บริการที่เข้ามาอยู่ในบริเวณนี้ได้ และบริเวณที่ล้อมรอบด้วยเส้นประเป็นบริเวณที่จุดเข้าถึงสามารถถูกรบกวนได้

**กรณีที่ 1** ผู้ใช้บริการที่อยู่ในระยะการแพร่คลื่นของ $MT1$ ถือว่าเป็นผู้ใช้บริการที่สามารถหน่วงการส่งเฟรมข้อมูลของ $MT1$ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4ก ซึ่งก็คือบริเวณที่แรเงาเนื่องจากผู้ใช้บริการรายใดก็ตามที่เข้ามาในบริเวณนี้ $MT1$ จะสามารถรับสัญญาณที่ส่งออกมาจากผู้ใช้บริการเหล่านั้นได้

**กรณีที่ 2** ผู้ใช้บริการที่อยู่ภายในบริเวณที่สามารถรบกวนสัญญาณของ $AP1$ ได้ถือว่าเป็นผู้ใช้บริการที่สามารถหน่วงการส่งเฟรมข้อมูลของ $MT1$ ได้ จากรูปที่ 2.4ข คือบริเวณที่แรเงาเป็นบริเวณที่ $AP1$ สามารถตรวจจับสัญญาณที่ส่งออกจากผู้ใช้บริการได้ เช่น $MT2$ อยู่ในบริเวณที่แรเงาและ $MT2$ สื่อสารกับ $AP2$ ที่ช่องความถี่เดียวกับ $AP1$ ในขณะที่ $MT2$ ส่งสัญญาณ $AP1$ ต้องหยุดการสื่อสารกับ $MT1$ นั่นคือ $MT2$ หน่วงการส่งเฟรมของ $MT1$

**กรณีที่ 3** จากรูปที่ 2.4ค $MT1$ อยู่ในระยะที่สามารถถูกรบกวนจาก $AP2$ ในขณะที่ $AP2$ สื่อสารกับผู้ใช้บริการที่อยู่ในความดูแลของตนเอง (เช่น $MT2$ อยู่ในบริเวณที่แรเงา) $MT1$ จะสามารถตรวจจับได้ว่าตัวกลางไม่ว่างทำให้ $MT1$ ไม่ทำการส่งสัญญาณใด ๆ จนกว่าการสื่อสารที่เกิดกับ $AP2$ จะสิ้นสุดลง ดังนั้นจึงถือว่าผู้ใช้บริการทุกรายที่อยู่ภายในความดูแลของ $AP2$ ถือว่าเป็นผู้ใช้บริการที่สามารถหน่วงการส่งเฟรมข้อมูลของ $MT1$ ได้

**กรณีที่ 4** จากรูปที่ 2.4ง *AP*1 กับ *AP*2 ถูกออกแบบให้ติดตั้งไว้ใกล้กันจนจุดเข้าถึงทั้งสองสามารถรบกวนซึ่งกันและกันได้โดยตรง (กรณีนี้แตกต่างจากกรณีที่ 3 ตรงที่ *AP*2 ไม่สามารถรบกวน *MT*1 ได้โดยตรง) ผู้ใช้บริการที่อยู่ในบริเวณที่แรเงา (เช่น *MT*2) ถือว่าเป็นผู้ใช้บริการที่สามารถหน่วงการส่งเฟรมข้อมูลของ *MT*1 ได้ นั่นคือเมื่อ *AP*1 ตรวจจับได้ว่ามีการสื่อสารเกิดขึ้นกับ *AP*2 แล้ว *AP*1 จะประมวลผลว่าตัวกลางไม่ว่างเพราะ *AP*1 สามารถรับสัญญาณที่เกิดจาก *AP*2 ได้ทำให้ *AP*1 ไม่รับหรือส่งข้อมูลใด ๆ กับผู้ใช้บริการทุกราย ดังนั้น *MT*1 จึงไม่สามารถสื่อสารกับ *AP*1 ได้ในช่วงเวลาที่มีการสื่อสารเกิดขึ้นกับ *AP*2

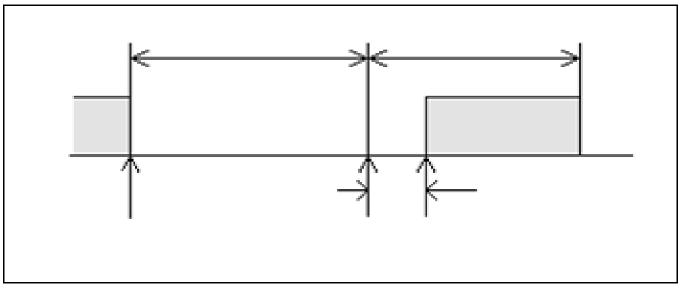



รูปที่ 2.4 การรบกวนเนื่องจาก ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

**2.5 โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ**

เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของเฟรมที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีการเข้าใช้งานช่องความถี่พร้อมกัน โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายมีหลักการในการเข้าใช้งานช่องความถี่คือตรวจสอบสถานะของช่องความถี่ก่อนทำการส่งผ่านเฟรมข้อมูล ถ้ามีผู้ใช้บริการรายอื่นกำลังส่งผ่านเฟรมข้อมูลในช่องความถี่จะต้องหน่วงการส่งผ่านเฟรมข้อมูลนี้ออกไปจนกว่าช่องความถี่ว่าง และโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบที่นำหลักการนี้มาใช้เราเรียกว่า โปรโตคอลซีเอสเอ็มเอ (carrier sense multiple access protocol) หรือโปรโตคอลฟังก่อนพูด (listen before talk protocol หรือ LBT protocol) (Pahlavan and Krishnamurthy, 2002)

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตราฐาน IEEE 802.11 ที่ใช้โปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ที่ใช้ใน IEEE 802.11 ได้แก่ ช่วงของการแข่งขัน (contention window หรือ CW), ช่องระหว่างเฟรม (inter frame space หรือ IFS) และตัวนับเวลาย้อนกลับ (back-off counter)



รูปที่ 2.5 ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ที่ IEEE 802.11 นำมาใช้

ช่วงของการแข่งขัน (CW) เป็นช่วงเวลาสำหรับการแข่งขันเพื่อเข้าใช้ช่องความถี่ระหว่างเครื่องส่งที่สื่อสารโดยใช้ช่องความถี่เดียวกัน และเป็นช่วงเวลาสำหรับการส่งผ่านเฟรมข้อมูลหลังจากที่เครื่องส่งได้รับอนุญาตให้เข้าใช้ช่องความถี่แล้ว

ช่องระหว่างเฟรม (IFS) เป็นช่วงเวลาที่ถูกกำหนดขึ้นสำหรับการหน่วงเวลาเพื่อให้กลไกสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ช่องระหว่างเฟรมถูกนำมาใช้ในโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ โดยถูกวางไว้ระหว่างช่วงของการแข่งขันสองช่อง นอกจากนี้ช่องระหว่างเฟรมยังแบ่งย่อยได้อีกสามชนิดซึ่งแตกต่างกันที่ขนาดของช่วงเวลา แต่สำหรับการอธิบายหลักการทำงานของโปรโตคอลซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ การอธิบายจะเข้าใจได้ดีเมื่อไม่สนใจชนิดของช่องระหว่างเฟรม ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงไม่ขอกล่าวถึงรายละเอียดของชนิดย่อยของช่องระหว่างเฟรม

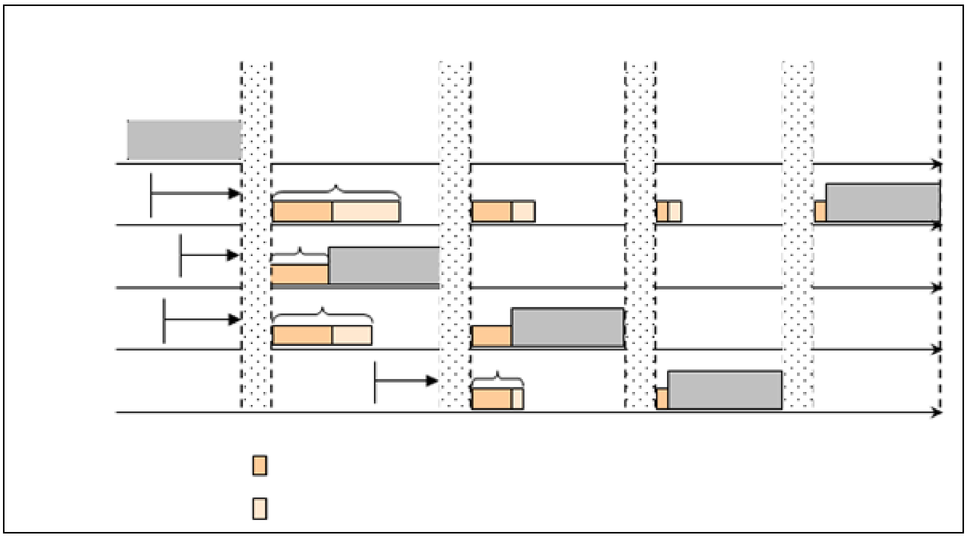
ส่วนตัวนับเวลาย้อนกลับทำหน้าที่ควบคุมตำแหน่งเวลาที่ต้องส่งเฟรมข้อมูล โดยเฟรมข้อมูลจะถูกส่งทันทีเมื่อการนับเวลาย้อนกลับสิ้นสุดลง ซึ่งขนาดเวลาที่ต้องนับย้อนกลับได้จากการสุ่มเมื่อเครื่องส่งมีความต้องการที่จะเข้าใช้ตัวกลางแต่ขณะนั้นตัวกลางยังถูกใช้งานด้วยเครื่องส่งตัวอื่นขณะที่อยู่ระหว่างการนับเวลาย้อนกลับ ถ้าตัวกลางถูกใช้งานด้วยเครื่องส่งใดก็ตามตัวนับเวลาย้อนกลับจะหยุดนับทันที และจะเริ่มต้นนับใหม่เมื่อสิ้นสุดการใช้งานตัวกลาง

กลไกการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ สามารถอธิบายให้เข้าใจได้ดีด้วยการใช้ตัวอย่างการทำงาน ดังนั้นจึงได้อธิบายกลไกการทำงานของโปรโตคอลด้วยตัวอย่างเหตุการณ์ในรูปที่ 2.6 จากรูปผู้ใช้บริการทั้งห้าราย ได้แก่ สถานี A, B, C, D และ E สื่อสารกับจุดเข้าถึงตัวเดียวกันจึงใช้ช่องความถี่เดียวกันแต่ต้องผลัดกันใช้ การที่สถานีใดจะได้ส่งนั้นควบคุมโดย CSMA/CA ดังต่อไปนี้

รูปที่ 2.6 ในขณะที่สถานี A กำลังส่งเฟรมข้อมูลอยู่สถานี B, C และ D มีความประสงค์จะส่งข้อมูลจึงทำการตรวจสอบตัวกลางและพบว่ามีการส่งสัญญาณใช้งานตัวกลางอยู่ทั้ง 3 สถานี จึงทำการสุ่มค่าเวลาย้อนกลับ (back-off time) ของตัวเองไว้ ซึ่งค่าเวลาย้อนกลับดังกล่าวอาจไม่เท่ากัน ในตัวอย่างนี้ สถานี C ได้ค่าเวลาย้อนกลับสั้นที่สุด (เท่ากับ $t_C$) ส่วนสถานี D และ B ได้ค่าเวลาย้อนกลับ $t_D$ และ $t_B$ ตามลำดับ เมื่อสถานี A ส่งข้อมูลเสร็จ สถานี B, C และ D จะรออีกเป็นเวลาเท่ากับช่วง IFS ก่อนจะเริ่มนับถอยหลังเป็นเวลาเท่ากับเวลาย้อนกลับที่สุ่มไว้ เนื่องจากสถานี C มีค่าเวลาย้อนกลับสั้นที่สุด (เท่ากับ $t_C$) จึงทำการนับย้อนกลับเสร็จก่อนสถานี B และ D ดังนั้น สถานี C จึงทำการส่งเฟรมของตัวเองออกไปได้ (Frame2) เมื่อสถานี C เริ่มส่งสัญญาณ สถานี B และ D จะหยุดการนับถอยหลังของตัวเอง และรอจนกว่าสถานี C ส่งเฟรมเสร็จและรอเวลา IFS ($t_2$) จึงทำการนับย้อนกลับต่อ ในขณะที่สถานี C กำลังส่งสัญญาณอยู่นั้นสถานี E ต้องการส่งข้อมูลและทำการตรวจสอบตัวกลาง ปรากฏว่าตัวกลางไม่ว่างสถานี E ก็จะทำการสุ่มเวลาย้อนกลับได้ค่าเท่ากับ $t_E$ และสถานี E จะเริ่มทำการนับถอยหลังที่เวลา $t_2$ เช่นกัน เนื่องจากสถานี D มีค่าเวลาย้อนกลับสั้นกว่าสถานี E และ B ดังนั้นจึงทำการนับถอยหลังเสร็จก่อนทำให้สถานี D ส่งเฟรมข้อมูลออกไป (Frame3) การทำงานจะเป็นไปในรูปแบบนี้ ดังนั้นสถานีต่อไปที่จะส่งข้อมูลคือ สถานี E (ส่ง Frame4) และสถานี B (ส่ง Frame5) ตามลำดับ

กลไกการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วข้างต้นส่งผลกระทบต่อปริมาณงานทั้งหมดของระบบ เนื่องจากขณะที่ตัวกลางถูกใช้งานด้วยผู้ใช้บริการรายหนึ่ง ผู้ใช้บริการรายอื่น ๆ ต้องหยุดรอจนกว่าการสื่อสารนั้นสิ้นสุดลงจึงสามารถเข้าแข่งขันเพื่อเข้าใช้ตัวกลางได้ ดังนั้นในการคำนวณปริมาณงานทั้งหมดของระบบจึงจำเป็นต้องพิจารณาหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ เพื่อให้ปริมาณงานทั้งหมดของระบบที่คำนวณได้มีค่า

ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ซึ่งเทคนิคการคำนวณหาปริมาณงานทั้งหมดของระบบที่พิจารณาหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ได้มีงานวิจัยของ X.Ling และ K.L.Yeung นำเสนอไว้ตามที่อธิบายในหัวข้อ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

## 2.6 การคำนวณปริมาณงานของระบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

ในการวิเคราะห์คุณภาพการให้บริการของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายสามารถพิจารณาจากปริมาณงานของระบบทั้งหมด ซึ่งเป็นค่าที่แสดงปริมาณข้อมูลสื่อสารระหว่างผู้ใช้บริการกับจุดเข้าถึงในโครงข่าย (Henty and Rapaport, 2001) ในการวัดปริมาณงานของระบบสามารถจัดตั้งระบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายขึ้นเพื่อทำการวัดปริมาณงานของระบบได้ โดยระบบประกอบด้วยจุดเข้าถึงและผู้ใช้บริการซึ่งอาจเป็นคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะหรือแบบพกพาก็ได้ ข้อมูลถูกส่งเข้าไปในระบบด้วยโปรแกรมกำเนิดข้อมูลที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้บริการ และทำการตรวจวัดปริมาณข้อมูลที่รับส่งได้ด้วยการใช้ซอฟแวร์ (Garg and Kappes, 2003), (Alexander, 2005) ปัญหาที่เกิดขึ้นในการวัดปริมาณจากระบบจริงที่จัดตั้งขึ้นคือ ไม่สามารถควบคุมสิ่งแวดล้อมทั้งหมดได้ เช่น สภาพอากาศ คลื่นรบกวน และชนิดของวัสดุที่เป็นอาคารและผนังห้อง นอกจากนี้ยังมีปัญหาด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ เช่น จำนวนอุปกรณ์ที่ต้องการมากเกินกว่าที่จะจัดให้มีได้ หรือชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ไม่เหมือนกันซึ่งมีผลต่อปริมาณงานที่วัดได้เช่นกัน (Henty and Rapaport, 2001) ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการคำนวณ

Fr

Station A

Station B

ปริมาณงานของระบบ ซึ่งได้ค่าที่ใกล้เคียงและสอดคล้องกับค่าที่วัดได้จริง (Bianchi, 2000), (Ling and Yeung, 2005) เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการอธิบายสมการคณิตศาสตร์ดังกล่าว

สมการคำนวณปริมาณงานของระบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนำเสนอโดย Ling and Yeung ได้พัฒนามาจากเทคนิคการคำนวณหาปริมาณงานจากงานวิจัยของ Bianchi (2000) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปริมาณงานของระบบที่ใช้จุดเข้าถึงเดียวโดยใช้หลักการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลของผู้ใช้บริการในโครงข่าย ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างเวลาที่ผู้ใช้บริการครอบครองตัวกลางต่อเวลาทั้งหมดในกระบวนการส่งเฟรมข้อมูล จากนั้นนำไปคูณกับอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลและอัตราส่วนเวลาของข้อมูลที่ต้องการส่งจริงต่อเวลาของเฟรมข้อมูล

จากงานวิจัยของ Bianchi ซึ่งเป็นการคำนวณปริมาณงานในระบบที่เซลล์เดียว Ling and Yeung ได้นำแนวคิดนี้มาพัฒนาเพื่อให้สามารถคำนวณปริมาณงานรวมของระบบที่มีหลายเซลล์ได้ โดยเริ่มที่การพิจารณา $P_{tr}$ ซึ่งเป็นความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการอย่างน้อยหนึ่งรายทำการส่งเฟรมข้อมูลในช่องเวลา (slot time) ที่กำลังสังเกต และ $P_s$ เป็นความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลสามารถจับจองตัวกลางได้สำเร็จ สามารถคำนวณหาค่าได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$P_{tr} = 1 - \left(1 - \tau\right)^n \tag{2.1}$$

$$P_s = \frac{n\tau\left(1-\tau\right)^{n-1}}{P_{tr}} \tag{2.2}$$

เมื่อ $n$ คือ จำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดในเซลล์

$\tau$ คือ ความน่าจะเป็นที่ ตัวนับเวลาย้อนกลับ (back-off counter) นับย้อนกลับไปถึงศูนย์

จากค่าความน่าจะเป็นทั้งสองค่าข้างต้น ดังนั้นการส่งผ่านข้อมูลจะประสบความสำเร็จด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ $P_{tr}P_s$ ให้แทนด้วย $P_{succ}$ และเมื่อ $P_{tr}$ เป็นความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการอย่างน้อยหนึ่งรายทำการส่งเฟรมข้อมูล ดังนั้นความน่าจะเป็นที่ไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเลยเข้าใช้ช่องความถี่หรือความน่าจะเป็นที่ช่องความถี่ว่าง (channel idle) แทนด้วย $P_{idle}$ จึงมีค่าเป็น $1-P_{tr}$ และสามารถสรุปเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_{succ} = P_{tr}P_s \tag{2.3}$$

$$P_{idle} = 1 - P_{tr} \tag{2.4}$$

เมื่อ

$P_{idle}$ เป็นความน่าจะเป็นที่ช่องความถี่ว่าง

$P_{succ}$ เป็นความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลสำเร็จ

$P_{tr}$ เป็นความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการอย่างน้อยหนึ่งรายทำการส่งเฟรมข้อมูลในช่องเวลาที่กำลังสังเกต

$P_s$ เป็นความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลสามารถจับจองตัวกลางได้สำเร็จ

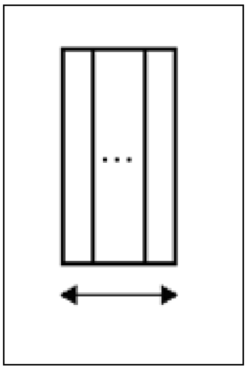
และตามมารตฐาน IEEE 802.11b แล้วขนาดของช่องเวลา (slot time) มีค่าเท่ากับ 20 $\mu s$ ทำให้ช่วงเวลาที่ช่องความถี่ว่างมีขนาดเท่ากับจำนวนเท่าของขนาดของช่องเวลา (เช่น 20 $\mu s$ , 40 $\mu s$ หรือ 60 $\mu s$ เป็นต้น) ดังแสดงในรูปที่ 2.7ก

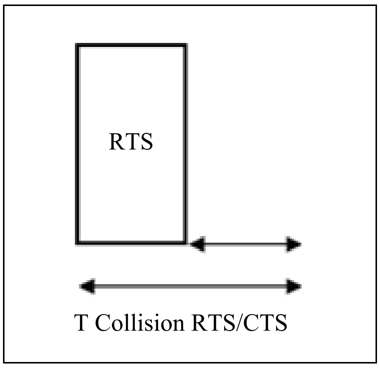
นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณาความน่าจะเป็นที่จะเกิดการชนกันของข้อมูล ( $P_{coll}$ ) ได้จาก $P_{tr}$ และ $P_s$ เมื่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดการชนกันของข้อมูลเป็นความน่าจะเป็นที่มีการส่งข้อมูลจากผู้ใช้บริการแต่การส่งข้อมูลนี้ไม่ประสบความสำเร็จ นั่นคือ $P_{coll}$ มีค่าเท่ากับ $P_{tr}(1-P_s)$ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_{coll} = P_{tr}(1 - P_s) \tag{2.5}$$

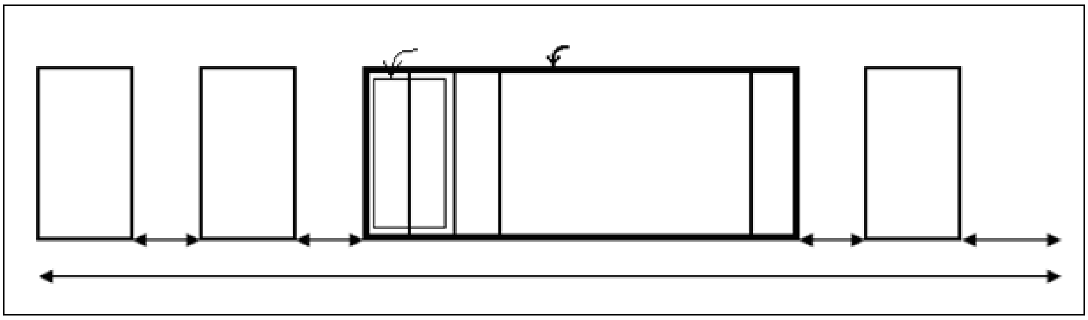
การชนกันของข้อมูล (collision) จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีข้อมูลสอง (หรือมากกว่าสอง) ชุดถูกส่งผ่านภายในช่องความถี่เดียวกันในเวลาเดียวกัน ในกรณีที่โปรโตคอลควบคุมการเข้าใช้ช่องความถี่แบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ที่ใช้ในระบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย 802.11b เพิ่มกลไกในการตรวจสอบสถานะตัวกลางแบบ RTS/CTS การชนกันของข้อมูลที่ส่งออกไปจะเกิดขึ้นบนเฟรมร้องขอเข้าใช้ตัวกลาง (RTS frame) เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.7ข จากรูปการชนกันของข้อมูลถูกตรวจพบได้ในทันทีโดยสถานีที่ทำการส่งเฟรมร้องขอเข้าใช้ช่องความถี่ (RTS frame) แต่ไม่ได้รับเฟรมตอบรับให้เข้าใช้ช่องความถี่ (CTS frame) จากสถานีเป้าหมายหลังจากที่รอเป็นเวลาเท่ากับ DIFS จึงตัดสินว่าเกิดการชนกันของข้อมูลขึ้น ดังนั้นจากรูปที่ 2.7ข จึงสามารถคำนวณหาเวลาที่เกิดการชนกันของข้อมูลได้ดังสมการต่อไปนี้

$$T_{coll} = T_{RTS} + T_{DIFS} \tag{2.6}$$






(ก) ช่วงเวลาที่ช่องความถี่ว่าง (ข) ช่วงเวลาที่เกิดการชนกันของสัญญาณ



(ค) ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลสำเร็จ

รูปที่ 2.7 ช่วงเวลาในสภาวะต่าง ๆ เมื่อใช้กลไกการตรวจสอบสถานะตัวกลางแบบ RTS/CTS

แต่ถ้าขั้นตอนการร้องขอเข้าใช้ช่องความถี่ประสบความสำเร็จการส่งเฟรมข้อมูลก็จะเริ่มต้นขึ้นจากรูปที่ 2.7ค แสดงช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในขั้นตอนการส่งเฟรมข้อมูลของผู้ใช้บริการรายที่ $i$ เมื่อใช้กลไกการตรวจสอบสถานะช่องความถี่แบบ RTS/CTS โดยเริ่มตั้งแต่การขอเข้าใช้ช่องความถี่จนเสร็จสิ้นการส่งเฟรม โดยเฟรมที่ใช้ในการส่งประกอบด้วยส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1) ส่วนหัวของชั้นสื่อสารกายภาพ (physical header หรือ PHY header)
2) ส่วนหัวของชั้นควบคุมการเข้าใช้ตัวกลาง (medium access control header หรือ MAC header)
3) ส่วนข้อมูลจริงที่ต้องการส่ง (data)
4) ส่วนตรวจสอบความถูกต้องในการส่งข้อมูล (frame check sequence หรือ FCS)

ซึ่งสามารถนำมาคำนวณเวลาทั้งหมดที่ใช้ในขั้นตอนการส่งเฟรมตั้งแต่เริ่มต้นร้องขอเข้าใช้ช่องความถี่จนสามารถส่งเฟรมได้สำเร็จ ดังนี้

$$T_i = T_{RTS} + T_{CTS} + T_{pream} + T_{PLCPheader} + T_{MPDU-i} + T_{ACK} + T_{DIFS} + 3T_{SIFS} \tag{2.7}$$

เมื่อ

$$T_{PLCPheader} = \frac{L_{PLCPheader}}{1Mbps} \tag{2.8}$$

$$T_{MPDU-i} = \frac{L_{MACheader} + L_{data-i} + L_{FCS}}{Datarate_i} \tag{2.9}$$

โดยที่

| | |
|---|---|
| $T_i$ | เป็นช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการส่งข้อมูลของผู้ใช้บริการรายที่ $i$ |
| $T_{DIFS}$ | เป็นช่วงเวลาระหว่างเฟรม (interframe space) |
| $T_{SIFS}$ | เป็นช่วงเวลาระหว่างเฟรม (interframe space) |
| $T_{RTS}$ | เป็นข้อความสำหรับการทำแฮนด์เชค (Hand checking message) |
| $T_{CTS}$ | เป็นข้อความสำหรับการทำแฮนด์เชค (Hand checking message) |
| $T_{ACK}$ | เป็นข้อความสำหรับการทำแฮนด์เชค (Hand checking message) |
| $T_{pream}$ | เป็นเวลาที่ใช้ไปโดยพรีแอมเบิ้ล (Preamble) |
| $T_{MPDU-i}$ | เป็นเวลาทั้งหมดที่ใช้สำหรับการส่งแพ็กเกตข้อมูล (Data packet) |
| $L_{PLCPheader}$ | เป็นส่วนหัว (Header) ของเฟรม |
| $L_{MACheader}$ | เป็นส่วนหัว (Header) ของเฟรม |
| $L_{FCS}$ | เป็นส่วนตรวจสอบความถูกต้องในการส่งข้อมูล |
| $L_{data-i}$ | เป็นขนาดของข้อมูลที่ต้องการส่ง |
| $Datarate_i$ | มีค่าเป็น 11, 5.5, 2 หรือ 1 ขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณที่รับได้ |

ค่าของช่วงเวลาต่าง ๆ ข้างต้นถูกกำหนดไว้โดยมาตราฐาน IEEE 802.11b (IEEE Std802.11b, 1999, 2000) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณที่ใช้ในการคำนวณเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล

| สัญลักษณ์ | ปริมาณ |
|---|---|
| $T_{SIFS}$ | 10 $\mu s$ |
| $T_{DIFS}$ | 50 $\mu s$ |
| $T_{RTS}$ | $L_{RTS} / Datarate = 20 bytes / Datarate$ |
| $T_{CTS}$ | $L_{CTS} / Datarate = 14 bytes / Datarate$ |
| $T_{ACK}$ | $L_{ACK} / Datarate = 14 bytes / Datarate$ |
| $T_{pream} + L_{PLCPheader}$ | 192 $\mu s$ |
| $L_{MACheader}$ | 30 bytes |
| $L_{FCS}$ | 4 bytes |

จากความสามารถในการหน่วงการส่งเฟรมข้อมูลดังอธิบายไว้แล้วข้างต้น สามารถหาปริมาณงานของผู้ใช้บริการแต่ละราย ($THR_i$) ได้ดังนี้

$$THR_i = Datarate_i \times \Pr_i \times Efficiency_i \tag{2.10}$$

$$\Pr_i = \frac{\dfrac{P_{succ}}{1+\sum_j rsn_{ij}} T_i}{\dfrac{P_{succ}}{1+\sum_j rsn_i}\left[T_i + \sum_j \left(rsn_{ij} * T_j\right)\right] + P_{idle} * T_{slot} + P_{coll} * T_{coll}} \tag{2.11}$$

$$Efficiency_i = \frac{L_{data-i} / Datarate_i}{T_i} \tag{2.12}$$

เมื่อ

$\Pr_i$ เป็นความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการรายที่ $i$ เข้าใช้ตัวกลางได้

$Rsn_{ij}$ มีค่าเป็น 1 ถ้า $MT_j$ สามารถรบกวน $MT_i$ ได้ มิฉะนั้นจะมีค่าเป็นศูนย์

$Efficiency_i$ เป็นอัตราส่วนของเวลาที่ถูกใช้สำหรับส่งเฟรมข้อมูลต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการส่งเฟรมข้อมูล

โดยมีสมมติฐานว่าผู้ใช้บริการจะต้องมีข้อมูลที่ต้องการส่งตลอดเวลา นั่นคือผู้ใช้บริการทุกรายจะสร้างเฟรมส่งเข้าไปยังช่องความถี่เพื่อร้องขอเข้าใช้ช่องความถี่เสมอเมื่อตรวจพบว่าช่องความถี่ว่างสำหรับการใช้งาน และยังสังเกตได้ว่าการมีผู้ที่สามารถหน่วงการส่งเฟรมเป็นจำนวนมากทำให้การจับจองช่องความถี่สำเร็จเป็นไปได้ยาก โดยสามารถดูได้จากสมการที่ 2.11

เมื่อสามารถคำนวณหาปริมาณงานของผู้ใช้บริการแต่ละรายได้แล้ว จึงสามารถคำนวณค่าปริมาณงานรวมของระบบ ($THR_{total}$) ได้ โดยการรวมเอาปริมาณงานของผู้ใช้บริการแต่ละรายเข้าด้วยกัน ดังสมการต่อไปนี้

$$THR_{total} = \sum_{i} THR_{i} \tag{2.13}$$

## 2.7 สรุป

โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตราฐาน IEEE802.11b ได้ใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่สำหรับการสื่อสาร โดยย่านความถี่นี้ได้ถูกแบ่งออกเป็น 11 ช่องความถี่ และจากทั้งหมด 11 ช่องความถี่นี้ มีมากที่สุดเพียง 3 ช่องความถี่เท่านั้นที่ไม่มีการซ้อนทับความถี่ของช่องความถี่ ซึ่งได้แก่ ช่องความถี่ที่ 1, 6 และ 11 ทำให้การจัดสรรช่องความถี่ให้กับจุดเข้าถึงในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายมีข้อจำกัดด้านทรัพยากรความถี่ จึงได้มีงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายเพื่อให้โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายสามารถให้บริการได้สมรรถนะสูงที่สุด

จากการศึกษาปริทัศน์และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่ใช้ในโครงข่ายเซลลูลาร์ไม่สามารถนำมาใช้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้เนื่องจากความแตกต่างของโครงข่าย ส่วนงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ได้สำรวจในปริทัศน์และวรรณกรรมพบว่า ไม่มีงานวิจัยใดเลยที่พิจารณาทั้งในส่วนของชั้นสื่อสารกายภาพและคำนึงถึงลักษณะการทำงานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ พร้อมกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่พิจารณาทั้งในส่วนของชั้นสื่อสารกายภาพและคำนึงถึงลักษณะการทำงานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ โดยรายละเอียดของเทคนิคนี้กล่าวไว้ในบทที่ 3

# บทที่ 3
# เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่โดยใช้ไฮบริด เอสไออาร์ และซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

## 3.1 กล่าวนำ

โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ใช้ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ (CSMA/CA หรือ carrier sense multiple access with collision avoidance) เป็นโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางนั่นคือควบคุมและจัดระเบียบการรับและส่งสัญญาณของสถานี ส่วนความแรงของสัญญาณที่รับได้ (signal strength) เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการส่งข้อมูล ซึ่งทั้งโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ และความแรงของสัญญาณที่รับได้ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบ งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่พิจารณาทั้งโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ และคุณภาพของสัญญาณ (signal quality) ที่รับได้

ดังนั้นในบทนี้จึงได้กล่าวถึงรายละเอียดของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่พัฒนาขึ้น โดยแบ่งเนื้อหาดังนี้ **หัวข้อ 3.2** กล่าวถึงส่วนสำคัญส่วนแรกที่เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่พัฒนาขึ้นพิจารณานั่นคือ การพิจารณาคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ และ**หัวข้อ 3.3** กล่าวถึงส่วนสำคัญส่วนที่สองที่พิจารณาคือ การพิจารณาหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ โดยพิจารณาในแง่ของปริมาณงานของระบบ **หัวข้อ 3.4** เป็นรายละเอียดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) ส่วนเนื้อหาใน**หัวข้อ 3.5** เป็นการอธิบายเทคนิคการหาคำตอบ (searching technique) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ **หัวข้อ 3.6** เป็นเนื้อหาเกี่ยวกับความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ และ**หัวข้อ 3.7** เป็นสรุปเนื้อหาที่ได้กล่าวไปในบทนี้

## 3.2 คุณภาพสัญญาณ

เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาคุณภาพของสัญญาณที่สื่อสารระหว่างจุดเข้าถึงกับผู้ใช้บริการและหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ สำหรับการพิจารณาคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ทำการพิจารณาจากสองปริมาณคือ 1) ความแรงของสัญญาณ (signal strength) และ 2) เอสไออาร์ (SIR)

โดยวิธีการคำนวณหาความแรงของสัญญาณที่รับได้มีรายละเอียดดังนี้

**3.2.1 ความแรงของสัญญาณ**

การคำนวณความแรงของสัญญาณที่รับได้สำหรับเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่นำเสนองานวิจัยนี้ คำนวณโดยใช้ Free Space Loss Model (Rapaport, 1996) ดังนี้

$$S_g = P_{tx} - L \quad (3.1)$$

$$L = L_o + 10 \times \alpha \times \log(D) + L_a + F_m \quad (3.2)$$

โดยที่

$S_g$ คือ Signal Strength ณ จุดทดสอบสัญญาณ $g$ $(dBm)$

$P_{tx}$ คือ กำลังส่งของเครื่องส่ง (transmitter) $(dBm)$

$L$ คือ การสูญเสียเชิงวิถี (path loss) ที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องส่ง กับ เครื่องรับ (receiver) $(dB)$

$L_0$ คือ การสูญเสียเชิงวิถี ณ ระยะ 1 เมตร $(dB)$

$L_a$ คือ ค่าลดทอนของสัญญาณโดยเฉลี่ย เนื่องจากการเคลื่อนที่ผ่านผนังห้อง $(dB)$

$\alpha$ คือ เอกซ์โพเนนท์การสูญเสียเชิงวิถี (path loss exponent) $(dB)$

$D$ คือ ระยะห่างระหว่างเครื่องส่ง กับ เครื่องรับ $(m)$

$F_m$ คือ เฟดมาร์จิน (fade margin) $(dB)$

เมื่อเราสามารถหาความแรงของสัญญาณได้แล้ว ก็สามารถกำหนดอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลได้เพราะการกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลกำหนดจากระดับความแรงของสัญญาณ ระดับความแรงของสัญญาณที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (Ling, 2005) มีดังนี้

1) $S_g$ มากกว่า –75 dBm สามารถรับส่งข้อมูลที่อัตราเร็ว 11 Mbps

2) $S_g$ มากกว่า –79 dBm แต่น้อยกว่า –75 dBm สามารถรับส่งข้อมูลที่อัตราเร็ว 5.5 Mbps

3) $S_g$ มากกว่า –81 dBm แต่น้อยกว่า –79 dBm สามารถรับส่งข้อมูลที่อัตราเร็ว 2 Mbps

4) $S_g$ มากกว่า –84 dBm แต่น้อยกว่า –81 dBm สามารถรับส่งข้อมูลที่อัตราเร็ว 1 Mbps

5) มากกว่า –94 dBm แต่น้อยกว่า –84 dBm ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้แต่ยังสามารถตรวจจับคลื่นสัญญาณได้

6) น้อยกว่า –94 dBm ไม่สามารถรับและส่งข้อมูลได้ และไม่สามารถตรวจจับคลื่นสัญญาณ

คุณภาพของสัญญาณที่พิจารณาไปแล้วข้างต้นคือ คุณภาพสัญญาณในแง่ของความแรงของสัญญาณที่รับได้ และคุณภาพของสัญญาณที่พิจารณาอีกแง่คือ ค่าเอสไออาร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**3.2.2 เอสไออาร์**

ค่าเอสไออาร์ถูกนำไปใช้ร่วมกับค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ สำหรับการตัดสินว่า ณ จุดที่ทดสอบสัญญาณนั้นสามารถรับบริการจากจุดเข้าถึงได้หรือไม่ โดย ณ จุดทดสอบนั้นสามารถรับบริการจากจุดเข้าถึงได้เมื่อค่าเอสไออาร์สูงกว่าจุดเริ่มเปลี่ยนเอสไออาร์ (SIR threshold = 10 dB) (Ling and Yeung, 2005) และค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้มากกว่าจุดเริ่มเปลี่ยนความแรงของสัญญาณ (Signal Strength Threshold = -84 dBm) (Ling and Yeung, 2005) การหาเอสไออาร์ (SIR) ณ จุดทดสอบสัญญาณสามารถหาได้โดยใช้สมการ 3.3 ดังต่อไปนี้

$$SIR_g = P_{hg} - P_{Ig} \tag{3.3}$$

โดยที่

$SIR_g$ คือ เอสไออาร์ ณ จุดทดสอบสัญญาณ g $(dB)$

$P_{hg}$ คือ กำลังสูงสุดที่รับได้จากเครื่องส่ง ณ จุดทดสอบสัญญาณ g $(dBm)$

$P_{Ig}$ คือ กำลังส่งที่รบกวน ณ จุดทดสอบสัญญาณ g $(dBm)$

เมื่อสามารถคำนวณค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ (หัวข้อ 3.2.1) และค่าเอสไออาร์ ณ จุดทดสอบสัญญาณได้ ก็สามารถตัดสินได้ว่า ณ จุดนั้นสามารถให้บริการได้หรือไม่ และสามารถให้บริการได้โดยใช้อัตราเร็วในการสื่อสารที่ระดับใด ดังนั้นจึงสามารถนำค่าทั้งสองนี้มาคำนวณหาค่าของพื้นที่ครอบคลุมได้ดังนี้

**3.2.3 การคำนวณค่าของพื้นที่ครอบคลุม**

การคำนวณพื้นที่ครอบคลุมจากบริเวณที่ต้องการให้บริการสำหรับงานวิจัยนี้ เริ่มจากกำหนดจุดทดสอบสัญญาณ (signal test point) ขึ้นภายในบริเวณที่ศึกษา ให้เป็นตำแหน่งที่จะทำการคำนวณค่าความแรงของสัญญาณ (signal strength) และค่าเอสไออาร์ (SIR) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณที่ตำแหน่งนั้นว่าสามารถที่จะให้บริการแก่ผู้ใช้บริการได้หรือไม่ พื้นที่ครอบคลุมสามารถคำนวณโดยการนับจำนวนจุดทดสอบที่สามารถสื่อสารข้อมูลกับจุดเข้าถึงได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$COV = \sum_{g=1}^{G} c_g \tag{3.4}$$

$$\%COV = \frac{\sum_{g=1}^{G} c_g}{G} \times 100 \tag{3.5}$$

โดยที่

| | |
|---|---|
| $COV$ | คือ พื้นที่ครอบคลุมของโครงข่าย |
| $\%COV$ | คือ เปอร์เซ็นต์พื้นที่ครอบคลุมของโครงข่าย |
| $G$ | คือ จำนวนจุดทดสอบสัญญาณทั้งหมด |
| $g$ | คือ จุดทดสอบสัญญาณที่ทำการสังเกต โดย g = 1, 2, 3, …, G |
| $c_g$ | มีค่าเป็น 1 เมื่อ $S_g$ มากกว่า จุดเริ่มเปลี่ยนความแรงของสัญญาณ และ $SIR_g$ มากกว่า จุดเริ่มเปลี่ยนเอสไออาร์ มิฉะนั้นมีค่าเป็น 0 |

ดังนั้นจึงสามารถสร้างวัตถุประสงค์สำหรับปัญหาการจัดสรรช่องความถี่จากสมการ (3.4) ด้วยการพยายามให้พื้นที่ครอบคลุมของโครงข่ายมีค่าสูงที่สุดได้ดังนี้

$$\max COV = \max \sum_{g=1}^{G} c_g \tag{3.6}$$

สำหรับเนื้อหาของหัวข้อที่ 3.2 ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นเป็นเนื้อหาเกี่ยวกับส่วนแรกที่เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้พิจารณา คือในส่วนของคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ ส่วนสำคัญส่วนที่สองที่เทคนิคนี้ได้พิจารณาคือ การพิจารณาหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ออกมาในรูปของปริมาณงานของระบบ นั่นคือวิธีการในการคำนวณค่าปริมาณงานของระบบเป็นวิธีที่คำนึงถึงหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ซึ่งได้กล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการคำนวณไว้แล้วในหัวข้อ 2.5 และวิธีการคำนวณค่าปริมาณงานนี้ได้นำมาใช้กับเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ด้วย

## 3.3 การคำนวณปริมาณงานของระบบ

การคำนวณปริมาณของระบบซึ่งพิจารณาหลักการทำงานของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ที่นำเสนอโดย Ling and Yeung ได้นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยรายละเอียดของวิธีการคำนวณได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.5

ในสมการ 3.7 สามารถหาปริมาณงานของระบบได้โดยคิดจากผลรวมของปริมาณงานของผู้ใช้บริการแต่ละราย

$$THR_{total} = \sum_{i=1}^{U} THR_i \tag{3.7}$$

โดยที่

$THR_{total}$ คือ ปริมาณงานทั้งหมดในระบบ ( $Mbps$ )

$THR_i$ คือ ปริมาณงานของผู้ใช้บริการ i = 1, 2, 3, …, U ( $Mbps$ )

$U$ คือ จำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมด

ดังนั้นจึงสามารถสร้างวัตถุประสงค์สำหรับปัญหาการจัดสรรช่องความถี่จากสมการ 3.7 ด้วยการพยายามให้ปริมาณงานของระบบมีค่าสูงที่สุดได้ดังนี้

$$\max THR_{total} = \max \sum_{i=1}^{U} THR_i \tag{3.8}$$

วัตถุประสงค์สำหรับปัญหาการจัดสรรช่องความถี่ทั้งสองที่สร้างขึ้นในสมการ 3.6 และ 3.8 เป็นการสร้างวัตถุประสงค์สำหรับปัญหาการจัดสรรช่องความถี่ที่พิจารณาคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ และพิจารณาหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ตามลำดับ เมื่อนำวัตถุประสงค์ทั้งสองมาพิจารณาพร้อมกันจะได้เป็นวัตถุประสงค์สำหรับปัญหาการจัดสรรช่องความถี่ที่พิจารณาทั้งคุณภาพของสัญญาณที่รับได้และหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ซึ่งรายละเอียดการสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์นี้มีดังต่อไปนี้

## 3.4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการจัดสรรช่องความถี่โดยใช้ไฮบริดเอสไออาร์และซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นเทคนิคที่พิจารณาทั้งคุณภาพของสัญญาณที่รับได้และพิจารณาหลักการทำงานของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ จากหัวข้อ 3.2 สามารถสร้างวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาการจัดสรรช่องความถี่ด้วยการพิจารณาคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ และในหัวข้อ 3.3 สามารถสร้างวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาการจัดสรรช่องความถี่ด้วยการพิจารณาหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอได้ ดังนั้นจึงสามารถสร้างวัตถุประสงค์สำหรับแก้ปัญหาการจัดสรรช่องความถี่ด้วยการพิจารณาทั้งคุณภาพของสัญญาณที่รับได้และหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอได้ ดังสมการที่ 3.9

$$M = \max(w_1 \times THR_{total} + w_2 \times COV) \tag{3.9}$$

โดยที่

$M$ คือ วัตถุประสงค์ในการออกแบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

$THR_{total}$ คือ ค่าปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ($Mbps$)

$COV$ คือ พื้นที่ครอบคลุมของโครงข่าย

$w_1$ คือ ตัวถ่วงน้ำหนักของค่าปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

$w_2$ คือ ตัวถ่วงน้ำหนักของพื้นที่ครอบคลุมของโครงข่าย

$w_1 + w_2 = 1$

จากสมการที่ 3.9 ค่า $M$ เป็นค่าที่ประกอบด้วยปริมาณงานทั้งหมดของระบบและปริมาณจุดทดสอบที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ โดยปริมาณจุดทดสอบที่สามารถรับส่งข้อมูลได้เป็นปริมาณที่แสดงถึงพื้นที่ครอบคลุม ความสำคัญของปริมาณทั้งสองนี้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของ $w_1$ และ $w_2$ โดยที่ตัวถ่วงน้ำหนัก $w_1$ เป็นตัวกำหนดความสำคัญของปริมาณงานทั้งหมดของระบบ ส่วนตัวถ่วงน้ำหนัก $w_2$ นั้นกำหนดความสำคัญของขอบเขตพื้นที่ครอบคลุม เช่น กำหนดให้น้ำหนักของ $w_1 = 1$ และ $w_2 = 0$ แสดงว่าการออกแบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนี้พิจารณาเพียงปริมาณงานของระบบเท่านั้น หรือกำหนดให้น้ำหนักของ $w_1 = 0.5$ และ $w_2 = 0.5$ แสดงให้เห็นว่ามีการให้ความสำคัญของทั้งสองปริมาณเท่ากัน

เพื่อให้ $M$ มีค่าสูงที่สุดช่องความถี่ต้องถูกจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงด้วยความเหมาะสม ซึ่งส่งผลถึงสมรรถนะของระบบอันได้แก่ปริมาณงานและพื้นที่ครอบคลุม

จากสมการ 3.9 เป็นการนำปริมาณสองปริมาณซึ่งหน่วยแตกต่างกันมารวมกัน เนื่องจากสมการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลรวมที่ได้มาเก็บไว้สำหรับการเปรียบเทียบเท่านั้น และจากสมการ 3.9 ทั้งสองปริมาณเดิมแล้วมีขนาดแตกต่างกันมากเพราะว่าปริมาณงานของระบบมีขนาดโตในระดับล้านหน่วยแต่พื้นที่ครอบคลุมมีขนาดเล็กในระดับหลักร้อยเท่านั้น ถ้าไม่ได้รับการแก้ไขจะทำให้เกิดปัญหาด้านความแตกต่างของน้ำหนักของสองปริมาณนี้ซึ่งส่งผลต่อค่า $M$ ที่ได้ซึ่งเป็นปริมาณที่มีปริมาณส่วนใหญ่มาจากปริมาณงานของระบบส่วนปริมาณที่มาจากพื้นที่ครอบคลุมมีเป็นส่วนน้อยมากทำให้เสมือนเป็นการพิจารณาเฉพาะปริมาณงานของระบบเท่านั้น การแก้ไขปัญหานี้ทำได้โดยการทำให้ทั้งสองปริมาณมีหน่วยเดียวกัน ซึ่งจากผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่าปริมาณงานของระบบอยู่ในช่วง 1-15 ล้านหน่วย ส่วนปริมาณพื้นที่ครอบคลุมเดิมอยู่ในช่วง 100-300 หน่วย ดังนั้นจึงทำการปรับให้เป็นหน่วยเดียวกันด้วยการคูณ 100000 เข้ากับปริมาณพื้นที่ครอบคลุมก่อนการคูณด้วย $w_2$ หลังจากการคูณด้วย 100000 เข้ากับปริมาณพื้นที่ครอบคลุมทำให้หน่วยที่ได้เป็น 1-3 ล้านทำให้ลดผลกระทบจากความแตกต่างของปริมาณทั้งสองลงได้

## 3.5 เทคนิคการหาคำตอบ

จากวัตถุประสงค์ที่ออกแบบไว้ในสมการ 3.9 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวัตถุประสงค์นี้สามารถหาได้จากเทคนิคการหาคำตอบแบบละเอียด (exhaustive searching) ถ้าจำนวนตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้ในโครงข่ายมีจำนวนมาก เทคนิคการหาคำตอบแบบละเอียดจะมีความซับซ้อนสูงมาก เช่น

กำหนดให้

$N_o$ เป็นจำนวนตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้และ

$N_a$ เป็นจำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องการติดตั้ง

เมื่อจุดเข้าถึงถูกติดตั้งไม่ซ้ำตำแหน่งกัน ดังนั้นจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้สำหรับตำแหน่งที่ติดตั้งจุดเข้าถึงมีค่าเป็น $C_{N_a}^{N_o}$ และถ้าจำนวนช่องความถี่ที่สามารถจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงที่ถูกติดตั้งแล้วมี 3 ช่องคือ ช่องความถี่ที่ 1, 6 และ 11 จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับการจัดสรรช่องความถี่ให้กับจุดเข้าถึงที่ถูกติดตั้งแล้วมีค่าเป็น $C_{N_a}^{N_o} \times 3^{N_a}$ จะพบว่าเมื่อจำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องติดตั้งมีจำนวนมาก คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดมีค่าสูงมากทำให้เทคนิคการหาคำตอบแบบนี้ไม่เหมาะในการนำมาใช้สำหรับงานวิจัยนี้ ดังนั้นจึงใช้เทคนิคการหาคำตอบที่ประหยัดเวลา ลดความซับซ้อน และยังคงสามารถหาคำตอบได้ใกล้เคียงกับเทคนิคการหาคำตอบแบบละเอียด

เทคนิคการหาคำตอบนี้นำเสนอไว้ในงานวิจัยของ Ling and Yeung ซึ่งเทคนิคการหาคำตอบที่ทั้งสองท่านได้นำเสนอเรียกว่า ขั้นตอนวิธีแพทชิ่ง (patching algorithm) (Ling and Yeung, 2005) ขั้นตอนวิธีแพทชิ่ง มีหลักการทำงานดังนี้

กำหนดให้

$LS$ เป็นเซตของตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้

$N_o$ เป็นจำนวนตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้และ

$CS$ เซตของช่องความถี่ที่ให้จัดสรรได้

โดยที่

$$LS = \left\{ Location_1, Location_2, Location_3, ..., Location_{N_o} \right\} \tag{3.10}$$

$$CS = \left\{ 1,6,11 \right\} \tag{3.11}$$

ขั้นตอนวิธีแพทชิ่ง เริ่มต้นด้วยการค้นหาตำแหน่งสำหรับติดตั้งจุดเข้าถึงจุดแรกและช่องความถี่ที่จะจัดสรรให้ โดยตำแหน่งที่จะติดตั้งจุดเข้าถึงจุดแรกคัดเลือกจาก $LS$ ซึ่งมีจำนวนสมาชิก $N_o$ ตัว ส่วนการคัดเลือกช่องความถี่จะคัดเลือกจาก $CS$ ซึ่งมีจำนวนสมาชิก 3 ตัว การตัดสินใจในการเลือกตำแหน่งและช่องความถี่พิจารณาจากวัตถุประสงค์ของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่ใช้ โดยตำแหน่งที่ติดตั้งจุดเข้าถึงจุดแรกและช่องความถี่ที่จัดสรรให้ แล้วทำให้วัตถุประสงค์ของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่มีค่าสูงที่สุด ตำแหน่งและช่องความถี่นั้นจะถูกเลือกไว้สำหรับจุดเข้าถึงจุด

แรก และ $LS$ จะถูกปรับปรุงใหม่ด้วยการลบตำแหน่งที่ใช้แล้วออกไป ดังนั้นการเลือกตำแหน่งสำหรับติดตั้งจุดเข้าถึงจุดที่สอง ต้องคัดเลือกจากตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้ที่เหลืออยู่ $N_o - 1$ จุด เมื่อ $N_o$ คือจำนวนตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้ แต่สำหรับ $CS$ จะไม่มีการปรับปรุงเพราะเป็นเซตของช่องความถี่ที่สามารถจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงที่ติดตั้งไว้แล้วโดยสามารถใช้ช่องความถี่ซ้ำกันได้ในลำดับต่อไป ขั้นตอนวิธีแพทชิ่ง จะทำการค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่สำหรับจุดเข้าถึงจุดที่สองด้วยวิธีการเดียวกันกับการค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่สำหรับจุดเข้าถึงจุดแรก แตกต่างกันที่ เซตของตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้มีขนาดเล็กลงเนื่องจากได้ตัดตำแหน่งที่ติดตั้งจุดเข้าถึงจุดแรกออกไป ส่วน $CS$ ยังคงเหมือนเดิม และเมื่อได้ตำแหน่งและช่องความถี่สำหรับจุดเข้าถึงจุดที่สองที่ทำให้วัตถุประสงค์ของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่มีค่าสูงที่สุดแล้วก็จะทำการค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่สำหรับจุดเข้าถึงจุดต่อไป กระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำจนกว่าจุดเข้าถึงทุกตัวที่กำหนดไว้ถูกติดตั้งและจัดสรรช่องความถี่ครบเรียบร้อย

ขั้นตอนการหาคำตอบสามารถอธิบายเป็นผังการทำงาน (Pseudo-Code) ดังนี้

```
k = 1;
while(k ≤ the number of of APs plan to place){
    i = the 1st AP candidate in the candidate set;
    while(i < the last AP candidate in the candidate set){
        place AP, temporary;
        j = 1;
        while(j ≤ J){
            assign channel j to AP_i temporarity;
            calculate the OF for the current k placed APs, record it as OF_ij;
            j++;
        }
        i = next;
    }
    pickup the largest OF_ij;
    AP_i is placed and channel j is assigned to it temporarity;
    update candidate set;
    k++;
}
converge on the local optimum.
```

## 3.6 การคำนวนความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่

ความซับซ้อนของเทคนิควิธีเป็นส่วนสำคัญที่ต้องได้รับการพิจารณา เนื่องจากความซับซ้อนของเทคนิควิธีบ่งชี้ถึงสมรรถนะของเทคนิควิธีนั้น ถ้าเทคนิคการค้นหาคำตอบสองเทคนิคที่ให้คำตอบไม่แตกต่างกันและเทคนิคแรกมีความซับซ้อนมากกว่าแล้วเทคนิคแรกเป็นเทคนิคที่มีสมรรถนะต่ำกว่า

เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้เทคนิคการหาคำตอบแบบขั้นตอนวิธีแพทชิ่ง ซึ่งเป็นเทคนิคการหาคำตอบที่ถูกนำมาใช้เพื่อลดความซับซ้อนของวิธีการค้นหาคำตอบและลดระยะเวลาในการค้นหาคำตอบ

ความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ในวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาจากจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ที่เทคนิคได้เข้าไปตรวจสอบ จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ที่เทคนิคต้องเข้าไปตรวจสอบสัมพันธ์กับจำนวนช่องความถี่ทั้งหมดที่สามารถจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงได้ และจำนวนจุดเข้าถึงที่มีอยู่ในระบบ

กำหนดให้

$LS$ เป็นเซตของตำแหน่งที่สามารถเลือกใช้ในการติดตั้งจุดเข้าถึงได้

$N_o$ เป็นจำนวนตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงที่สามารถเลือกได้

$N_a$ เป็นจำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องการติดตั้ง

$CS$ เซตของช่องความถี่ที่ให้จัดสรรได้

$N_c$ เป็นจำนวนช่องความถี่ที่สามารถจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงได้

โดยที่

$$LS = \left\{ Location_1, Location_2, Location_3, ..., Location_{N_o} \right\} \tag{3.12}$$

$$CS = \{1,6,11\} \tag{3.13}$$

จากข้อกำหนดข้างต้น ในบริเวณที่ต้องการให้บริการโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายมีตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้ทั้งหมด $N_o$ จุดแต่ต้องการติดตั้งจุดเข้าถึงเพียง $N_a$ จุด นั่นคือ $N_a \le N_o$ โดยเมื่อติดตั้งจุดเข้าถึงแล้วสามารถจัดสรรช่องความถี่ให้กับจุดเข้าถึงได้โดยเลือกจากเซตของช่องความถี่ที่สามารถจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงได้ ซึ่งมีจำนวนสมาชิกหรือจำนวนช่องความถี่ $N_c$ ช่อง

ถ้าใช้วิธีการหาคำตอบแบบละเอียดแล้วคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดคือ

$$\text{คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด} = C_{N_a}^{N_o} \times N_c^{N_a} \tag{3.14}$$

แต่ถ้าใช้ขั้นตอนวิธีแพทชิ่งสามารถคำนวนหาจำนวนคำตอบที่ต้องเข้าไปตรวจสอบเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ดังนี้

ให้จำนวนคำตอบที่ต้องเข้าไปตรวจสอบเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการติดตั้งจุดเข้าถึงตัวที่ $n$ แทนด้วย $NofA_{APn}$ เช่น ในการติดตั้งจุดเข้าถึงตัวแรกจำนวนคำตอบที่ต้องเข้าไปตรวจสอบเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดแทนด้วย $NofA_{AP1}$ เป็นต้น ดังนั้นจำนวนคำตอบที่ต้องเข้าไปตรวจสอบเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดเมื่อติดตั้งจุดเข้าถึงครบ $N_a$ เครื่องคือ $\sum_{n=1}^{N_a} NofA_{APn}$ จากขั้นตอนวิธีแพทชิงพบว่า

$$NofA_{AP1} = N_c \cdot C_1^{N_o} \tag{3.15}$$

$$NofA_{AP2} = N_c \cdot C_1^{N_o - 1} \tag{3.16}$$

$$NofA_{APN_a} = N_c \cdot C_1^{N_o - N_a + 1} \tag{3.17}$$

ดังนั้น

$$\sum_{n=1}^{N_a} NofA_{APn} = NofA_{AP1} + NofA_{AP2} + NofA_{AP3} + \ldots + NofA_{APN_a} \tag{3.18}$$

$$\sum_{n=1}^{N_a} NofA_{APn} = N_c \cdot C_1^{N_o} + N_c \cdot C_1^{N_o - 1} + N_c \cdot C_1^{N_o - 2} + \ldots + N_c \cdot C_1^{N_o - (N_a - 1)} \tag{3.19}$$

$$\sum_{n=1}^{N_a} NofA_{APn} = N_c \cdot \left[ C_1^{N_o} + C_1^{N_o - 1} + C_1^{N_o - 2} + \ldots + C_1^{N_o - N_a + 1} \right] \tag{3.20}$$

$$\sum_{n=1}^{N_a} NofA_{APn} = N_c \cdot \left[ N_o + \left( N_o - 1 \right) + \left( N_o - 2 \right) + \ldots + \left( N_o - (N_a - 1) \right) \right] \tag{3.21}$$

$$\sum_{n=1}^{N_a} NofA_{APn} = N_c \cdot \left[ N_o \cdot N_a - \left( 1 + 2 + 3 + \ldots + (N_a - 1) \right) \right] \tag{3.22}$$

$$\sum_{n=1}^{N_a} NofA_{APn} = N_c \cdot \left[ N_o \cdot N_a - \left( \frac{N_a^{\ 2} - N_a}{2} \right) \right] \tag{3.23}$$

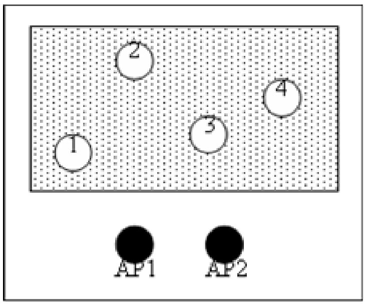
เพื่อแสดงเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ได้กำหนดสิ่งแวดล้อมตัวอย่างขนาดเล็ก ดังนี้

1) บริเวณที่ต้องการให้บริการโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายมีตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้ 4 ตำแหน่ง โดยสามารถเลือกติดตั้งจุดเข้าถึงตามตำแหน่งเหล่านี้ได้อย่างอิสระ ($N_0 = 4$)

2) เพื่อให้บริการโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายในบริเวณที่ต้องการนี้ต้องติดตั้งจุดเข้าถึงจำนวน 2 เครื่อง ($N_a = 2$)

3) ช่องความถี่ที่อนุญาตให้จัดสรรให้กับจุดเข้าถึงที่ติดตั้งแล้ว ได้แก่ ช่องความถี่ที่ 1, 6 และ 11 รวมทั้งสิ้นจำนวน 3 ช่อง ($N_c = 3$)

จากข้อมูลข้างต้นสามารถแสดงเป็นภาพได้ดังรูปที่ 3.1




รูปที่ 3.1 ตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้ และจุดเข้าถึงที่ต้องการติดตั้ง

จากสิ่งแวดล้อมที่กำหนดในข้อ 2 ต้องการติดตั้งจุดเข้าถึงจำนวน 2 เครื่อง คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้และช่องความถี่ที่จัดสรรให้

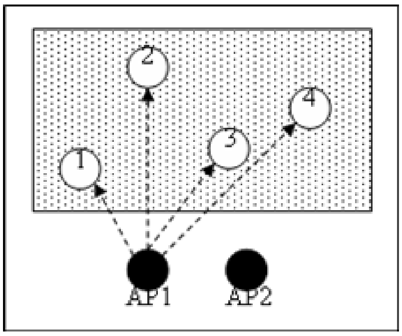
| จุดติดตั้ง | ช่องความถี่ที่จัดสรร | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,2 | 1,1 | 1,6 | 1,11 | 6,1 | 6,6 | 6,11 | 11,1 | 11,6 | 11,11 |
| 1,3 | 1,1 | 1,6 | 1,11 | 6,1 | 6,6 | 6,11 | 11,1 | 11,6 | 11,11 |
| 1,4 | 1,1 | 1,6 | 1,11 | 6,1 | 6,6 | 6,11 | 11,1 | 11,6 | 11,11 |
| 2,3 | 1,1 | 1,6 | 1,11 | 6,1 | 6,6 | 6,11 | 11,1 | 11,6 | 11,11 |
| 2,4 | 1,1 | 1,6 | 1,11 | 6,1 | 6,6 | 6,11 | 11,1 | 11,6 | 11,11 |
| 3,4 | 1,1 | 1,6 | 1,11 | 6,1 | 6,6 | 6,11 | 11,1 | 11,6 | 11,11 |

จากตารางข้างต้นนี้จะเห็นว่ามีคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 54 คำตอบ และถ้าคำนวณจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยใช้สมการที่ 3.14 สามารถให้จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดเท่ากันดังแสดงต่อไปนี้

จากสมการ 3.14 จะได้

จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด $= C_2^4 \times 3^2 = 54$ คำตอบ

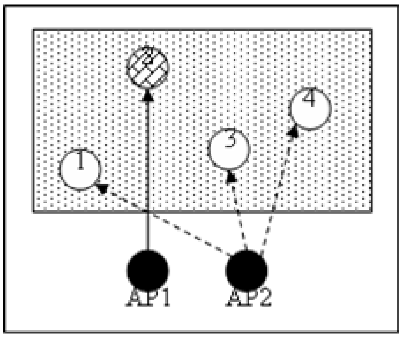
แต่ถ้าใช้ขั้นตอนวิธีแพทชิงในการค้นหาคำตอบจะมีจำนวนคำตอบที่ต้องเข้าไปตรวจสอบเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดดังนี้




รูปที่ 3.2 การค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจุดเข้าถึงเครื่องแรก

ขั้นตอนแรกเป็นการค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจุดเข้าถึงเครื่องแรกที่จะถูกติดตั้ง ซึ่งตำแหน่งที่สามารถเลือกได้มีทั้งหมด 4 ตำแหน่ง และแต่ละตำแหน่งที่ทดลองติดตั้งสามารถเลือกจัดสรรช่องความถี่ให้ได้หนึ่งช่องจากทั้งหมดสามช่องดังนั้นคำตอบที่ต้องเข้าตรวจสอบมีทั้งหมด $4 \times 3 = 12$ คำตอบสำหรับขั้นตอนนี้ และกำหนดให้ตำแหน่งและช่องความถี่ที่เหมาะสมที่สุดคือ ตำแหน่งที่ 2 ช่องความถี่ที่ 1

ขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนสุดท้ายเนื่องจากต้องการติดตั้งจุดเข้าถึงเพียงสองเครื่องเท่านั้น ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการหาตำแหน่งและช่องความถี่ที่เหมาะสมสำหรับจุดเข้าถึงเครื่องที่สอง โดยตำแหน่งที่สามารถเลือกติดตั้งจุดเข้าถึงได้ต้องมีจำนวนลดลงหนึ่งตำแหน่งเพราะไม่คิดตำแหน่งที่สองซึ่งติดตั้งจุดเข้าถึงเครื่องแรกไปแล้ว ดังนั้นตำแหน่งที่สามารถเลือกได้มีทั้งหมด 3 ตำแหน่ง และแต่ละตำแหน่งที่ทดลองติดตั้งสามารถเลือกจัดสรรช่องความถี่ให้ได้หนึ่งช่องจากทั้งหมดสามช่อง ดังนั้นคำตอบที่ต้องเข้าตรวจสอบมีทั้งหมด $3 \times 3 = 9$ คำตอบสำหรับขั้นตอนนี้ ดังแสดงในรูปที่ 3.3




รูปที่ 3.3 การค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจุดเข้าถึงเครื่องที่สอง

เมื่อรวมกับจำนวนคำตอบจากขั้นตอนแรกแล้วจะได้ทั้งหมด 21 คำตอบ

ถ้าคำนวนจำนวนคำตอบที่ต้องเข้าตรวจสอบทั้งหมดโดยใช้สมการที่ 3.23 จะได้ดังนี้

$$\text{คำตอบที่ต้องเข้าตรวจสอบมีทั้งหมด} = 3 \times \left[ 4 \times 2 - \frac{\left(2^2 - 2\right)}{2} \right] = 21 \text{ คำตอบ}$$

จากสิ่งแวดล้อมและข้อกำหนดข้างต้นแสดงตัวอย่างการติดตั้งจุดเข้าถึงในบริเวณที่ต้องการให้บริการโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายและการจัดสรรช่องความถี่ให้กับจุดเข้าถึงเหล่านี้ จากตัวอย่างได้แสดงให้เห็นถึงการใช้สมการคำนวณหาจำนวนครั้งที่เทคนิควิธีได้เข้าไปตรวจสอบเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างถูกต้อง โดยได้ทำการเปรียบเทียบกับวิธีการนับจากจำนวนสมาชิกในตารางแสดงจำนวนคำตอบที่เทคนิควิธีได้เข้าไปตรวจสอบ และเปรียบเทียบกับแผนภาพแสดงจำนวนครั้งที่เทคนิควิธีได้เข้าไปตรวจสอบ สำหรับเทคนิควิธีการค้นหาคำตอบแบบละเอียดและแบบขั้นตอนวิธีแพทชิงตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบแสดงให้ทราบว่าสามารถใช้สมการคำนวณหาจำนวนครั้งที่เทคนิควิธีได้เข้าไปตรวจสอบหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ โดยมีสองเทคนิควิธีที่ได้สร้างสมการไว้แล้วคือ เทคนิควิธีค้นหาคำตอบแบบละเอียดและเทคนิควิธีแบบแพทชิง

## 3.7 สรุป

การออกแบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย เพื่อสามารถให้บริการได้ทุกจุดในพื้นที่ที่ต้องการ จำเป็นต้องมีการติดตั้งจุดเข้าถึงหลายจุด อาจส่งผลให้บางเซลล์ถูกจัดสรรให้ใช้ช่องความถี่เดียวกันหรือเกิดย่านความถี่ซ้อนทับกัน ทำให้เซลล์เหล่านี้เกิดการรบกวนสัญญาณกันได้ และส่งผลให้สมรรถนะของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายลดต่ำลง ดังนั้นบทนี้จึงได้นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่โดยใช้ไฮบริด เอสไออาร์ และซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ เพื่อให้โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ออกแบบสามารถให้บริการได้อย่างทั่วถึง และสามารถสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้บริการได้มากที่สุด แต่การจัดสรรช่องความถี่โดยใช้เทคนิคแบบไฮบริดนั้นขึ้นอยู่กับชุดของค่าถ่วงน้ำหนัก ดังนั้นในบทต่อไปจึงเป็นการศึกษาถึงผลกระทบของการถ่วงน้ำหนักต่อสมรรถนะของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

# บทที่ 4
# การศึกษาผลกระทบของการถ่วงน้ำหนัก

## 4.1 กล่าวนำ

เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริด เอสไออาร์ และซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ มีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องกำหนดก่อนนำไปใช้ในการจัดสรรช่องความถี่ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย คือ พารามิเตอร์สำหรับ ชุดถ่วงน้ำหนัก $w_1$ และ $w_2$ โดยที่ $w_1$ เป็นตัวถ่วงน้ำหนักของปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่ายที่คำนึงถึงหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ส่วน $w_2$ เป็นตัวถ่วงน้ำหนักของพื้นที่ครอบคลุมของโครงข่ายซึ่งพิจารณาจากคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ ในบทนี้ทำการศึกษาผลกระทบของการถ่วงน้ำหนักต่อสมรรถนะของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย เพื่อให้สามารถกำหนด ชุดถ่วงน้ำหนัก $w_1$ และ $w_2$ สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้

## 4.2 การนิยามปัญหา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณาปัญหาการจัดสรรช่องความถี่ให้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย เพื่อให้โครงข่ายสามารถให้บริการสื่อสารข้อมูลได้อย่างทั่วถึง และสามารถสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้บริการได้มากที่สุด โดยในการจัดสรรช่องความถี่ให้กับจุดเข้าถึงมีสมการวัตถุประสงค์ (objective function) ดังนี้

$$\max M = w_1 \times THR_{total} + w_2 \times COV \tag{4.1}$$

โดยที่

| | |
|---|---|
| $M$ | คือ วัตถุประสงค์ในการออกแบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย |
| $THR_{total}$ | คือ ค่าปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย |
| $COV$ | คือ ค่าปริมาณจุดทดสอบที่สามารถรับและส่งข้อมูลได้ |
| $w_1$ | คือ น้ำหนักของค่าปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย |
| $w_2$ | คือ น้ำหนักค่าปริมาณจุดทดสอบที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ |

$w_1 + w_2 = 1$

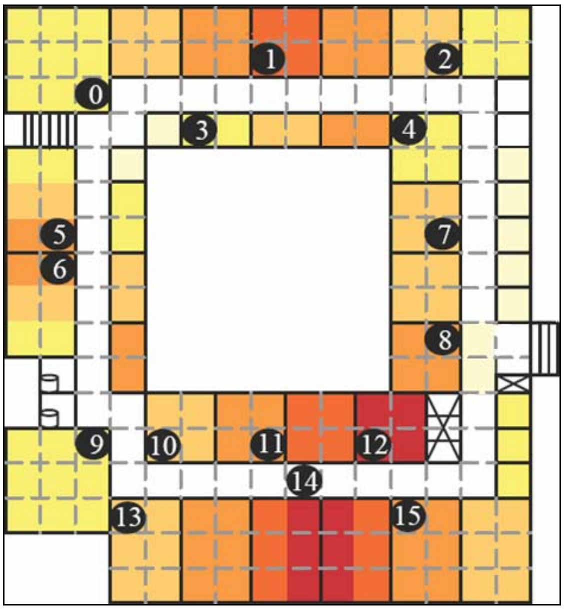
ค่า $M$ เป็นค่าที่ประกอบด้วยปริมาณงานทั้งหมดของระบบและจำนวนจุดทดสอบที่สามารถรับและส่งข้อมูลได้ โดยจำนวนจุดทดสอบที่สามารถรับและส่งข้อมูลได้เป็นจำนวนที่แสดงถึงพื้นที่ครอบคลุม ความสำคัญของปริมาณทั้งสองขึ้นอยู่กับน้ำหนักของ $w_1$ และ $w_2$ โดยที่น้ำหนัก $w_1$ เป็นตัวกำหนดความสำคัญของปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่าย ส่วนน้ำหนัก $w_2$ นั้นกำหนดความสำคัญของขอบเขตพื้นที่ครอบคลุม เช่น กำหนดให้น้ำหนักของ $w_1 = 0.5$ และ $w_2 = 0.5$ แสดงให้เห็นว่ามีการให้ความสำคัญของทั้งสองปริมาณเท่ากัน

ชุดถ่วงน้ำหนัก $w_1$ และ $w_2$ ดังกล่าวมีผลต่อการจัดสรรช่องความถี่ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายด้วยเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริด เอสไออาร์ และซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ การกำหนดค่าให้กับชุดถ่วงน้ำหนัก $w_1$ และ $w_2$ ได้เหมาะสมส่งผลให้โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายมีสมรรถนะที่สูงขึ้นได้ ดังนั้นในบทนี้จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบของการถ่วงน้ำหนัก โดยมีสิ่งแวดล้อมในการศึกษาดังนี้

**4.2.1 สิ่งแวดล้อมในการศึกษา**

การศึกษาผลกระทบของชุดถ่วงน้ำหนักได้กำหนดสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกับที่ใช้ในงานวิจัยเรื่อง Joint Access Point Placement and Channel Assignment for 802.11 Wireless LANs, (Ling and Yeung, 2005) ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นบริเวณภายในอาคารชั้นเดียว พื้นที่ของอาคารถูกแบ่งออกเป็นตารางขนาด 5×5 เมตร$^2$ เพื่อใช้สำหรับกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละตาราง และเนื่องจากอาคารมีขนาดกว้าง 75 เมตร ยาว 85 เมตร ทำให้เกิดเส้นแบ่งตามแนวตั้ง 16 เส้น และ เส้นแบ่งตามแนวนอน 18 เส้น ทำให้เกิดจุดตัดเส้นทั้งหมด 288 จุด ซึ่งใช้สำหรับการคำณวนพื้นที่ครอบคลุม

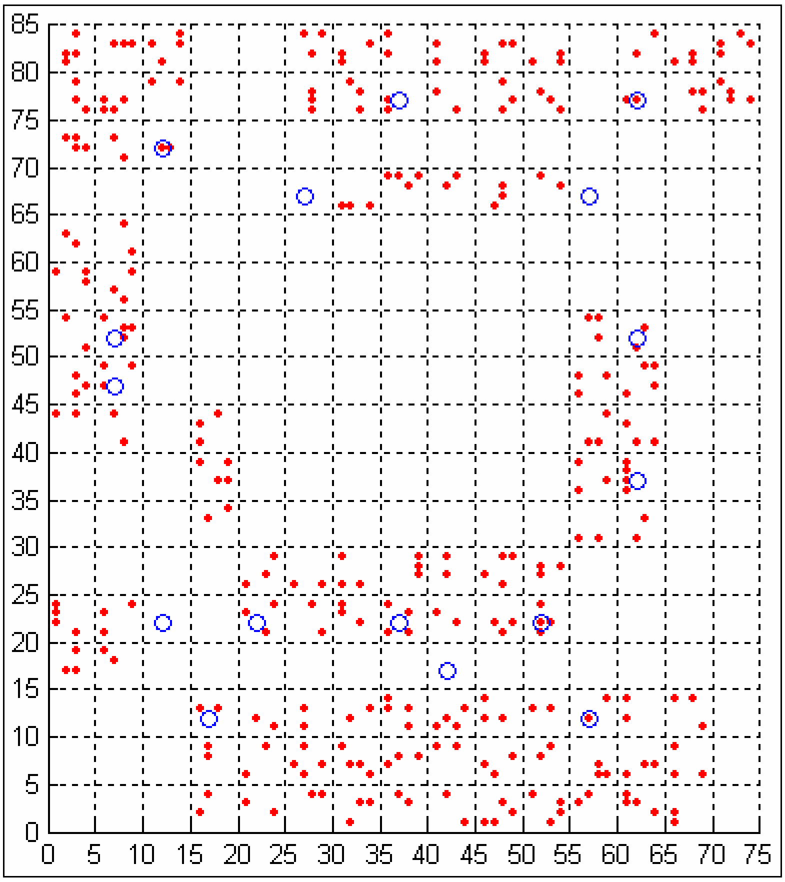
นอกจากนี้ภายในอาคารได้กำหนดตำแหน่งสำหรับเลือกติดตั้งจุดเข้าถึงทั้งหมด 16 ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ตำแหน่งที่ 0 จนถึงตำแหน่งที่ 15 ส่วนช่องความถี่สำหรับจัดสรรให้กับแต่ละจุดเข้าถึงมีให้เลือกใช้ทั้งหมด 3 ช่อง ได้แก่ ช่องความถี่ที่ 1, 6 และ 11 ซึ่งเป็นช่องความถี่ที่ไม่ซ้อนทับกัน โดยจุดเข้าถึงแต่ละตัวถูกจัดสรรให้ใช้ช่องความถี่ได้เพียงช่องเดียว




รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังอาคารที่ใช้สำหรับการจำลองด้วยโปรแกรม

**4.2.2 ลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการ**

ในบทนี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของการถ่วงน้ำหนัก ดังนั้นในการจำลองแบบจะทำการเปลี่ยนค่าของตัวถ่วงน้ำหนัก $w_1$ และ $w_2$ ตามความสัมพันธ์ $w_1 + w_2 = 1$ โดยประเมินสมรรถนะของระบบด้วยการสังเกตปริมาณงานและพื้นที่ครอบคลุมของโครงข่าย โดยในการจำลองแบบเพื่อศึกษาผลกระทบของการถ่วงน้ำหนักในบทนี้ ลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการในโครงข่ายเป็นแบบกลุ่ม การกระจายตัวในลักษณะนี้ผู้ใช้จะกระจุกตัวอยู่ ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่งจนสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มได้การกระจายตัวของผู้ใช้บริการในลักษณะนี้สามารถพบได้ตามอาคารใหญ่ทั่วไป เช่น อาคารผู้โดยสารสนามบิน อาคารที่สร้างขึ้นเพื่อให้สามารถจัดนิทรรศการ หรือการประชุม เป็นต้น ตำแหน่งของผู้ใช้บริการภายในอาคารที่ใช้ทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของการถ่วงน้ำหนักแสดงดังรูปที่ 4.2 จากรูปจำนวนผู้ใช้บริการที่อยู่ภายในอาคารมีทั้งสิ้น 477 ราย




รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งของผู้ใช้บริการที่กระจายอยู่ภายในอาคาร สำหรับการศึกษาผลกระทบของการถ่วงน้ำหนัก

### 4.2.3 การประเมินเทคนิคการจัดสรรความถี่

ในบทนี้ได้นำเทคนิคการจัดสรรความถี่แบบไฮบริด เอสไออาร์ และซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ มาศึกษาผลกระทบของการถ่วงน้ำหนักต่อโครงข่าย เพื่อค้นหา ค่าของตัวถ่วงน้ำหนัก $w_1$ และ $w_2$ ด้วยการจำลองแบบใช้เทคนิคการจัดสรรความถี่แบบไฮบริด เอสไออาร์ และซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ จัดสรรช่องความถี่ให้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย แล้วทำการประเมินว่าค่าของตัวถ่วงน้ำหนัก $w_1$ และ $w_2$ ค่าใดเหมาะสมที่สุด

ในการประเมินว่าค่าของตัวถ่วงน้ำหนัก $w_1$ และ $w_2$ ค่าใดเหมาะสมที่สุดจะประเมินจากสมรรถนะของโครงข่าย ได้แก่ ปริมาณงานของโครงข่าย และพื้นที่ครอบคลุมของโครงข่าย โดยรายละเอียดในการคำนวณได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 และ 4 ดังนี้

จากหัวข้อ 2.5 และหัวข้อ 4.3 ปริมาณงานของโครงข่าย สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$THR_{total} = \sum_{i=1}^{U} THR_i \tag{4.2}$$

โดยที่

$THR_{total}$ คือ ปริมาณงานทั้งหมดในระบบ

$THR_i$ คือ ปริมาณงานของแต่ละผู้ใช้บริการ

$U$ คือ จำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดในโครงข่าย

ส่วนวิธีการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมจากบริเวณที่ต้องการให้บริการสำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดจุดทดสอบสัญญาณ (signal test point) ขึ้นภายในบริเวณที่ศึกษา ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะทำการคำนวณค่าความแรงของสัญญาณ (signal strength) และค่าเอสไออาร์ (SIR) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณที่ตำแหน่งนั้น จากรูปที่ 4.1 จุดทดสอบทั้งหมดมี 252 จุด (ไม่นับรวมบริเวณกลางอาคาร) การคำนวณเปอร์เซ็นต์บริเวณครอบคลุมสัญญาณแสดงดังสมการ 4.2

$$\%COV = \frac{\sum_{g=1}^{G} c_g}{G} \times 100 \tag{4.3}$$

โดยที่

$\%COV$ คือ เปอร์เซ็นต์บริเวณครอบคลุมสัญญาณจากพื้นที่ทั้งหมดที่ต้องการให้บริการสื่อสารผ่านโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

$G$ คือ จำนวนจุดทดสอบสัญญาณทั้งหมด (252 จุด)

$g$ คือ จุดทดสอบสัญญาณที่ทำการสังเกต

$c_g$ มีค่าเป็น 1 เมื่อความแรงของสัญญาณที่รับได้ ณ จุดทดสอบสัญญาณ ($S_g$) มากกว่าจุดเริ่มเปลี่ยนความแรงของสัญญาณ และค่าเอสไออาร์ ณ จุดทดสอบสัญญาณ ($SIR_g$) มากกว่าจุดเริ่มเปลี่ยนเอสไออาร์มิฉะนั้นมีค่าเป็น 0

ค่าความแรงของสัญญาณ (signal strength) ที่จุดทดสอบสัญญาณต่าง ๆ สำหรับงานวิจัยนี้คำนวณด้วยสมการที่ 4.4 ซึ่งใช้ Free Space Loss Model (Rappaport, 1996) สำหรับการคำนวณระดับการลดทอนของสัญญาณ เนื่องจากการเดินทางของสัญญาณจากเครื่องส่งสัญญาณ

มายังจุดรับสัญญาณ และได้มีการพิจารณาการลดทอนของสัญญาณ เนื่องจากการเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง เช่น กำแพง หรือผนังห้อง โดยใช้ตัวแปร $L_a$ นอกจากนี้ยังได้พิจารณาคุณสมบัติการแกว่งของสัญญาณโดยการคิดค่าเฟดมาจิน (fade margin หรือ $F_m$) ในสมการที่ 4.5 ด้วย

$$S_g = P_{tx} - L \tag{4.4}$$

$$L = L_o + 10 \times \alpha \times \log(D) + L_a + F_m \tag{4.5}$$

โดยที่

| | |
|---|---|
| $S_g$ | คือ Signal Strength ณ จุดทดสอบสัญญาณ $g$ $(dBm)$ |
| $P_{tx}$ | คือ กำลังส่งของเครื่องส่ง (transmitter) $(dBm)$ |
| $L$ | คือ การสูญเสียเชิงวิถี (path loss) ที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องส่ง กับ เครื่องรับ (receiver) $(dB)$ |
| $L_0$ | คือ การสูญเสียเชิงวิถี ณ ระยะ 1 เมตร $(dB)$ |
| $L_a$ | คือ ค่าลดทอนของสัญญาณโดยเฉลี่ย เนื่องจากการเคลื่อนที่ผ่านผนังห้อง $(dB)$ |
| $\alpha$ | คือ เอกซ์โพเนนท์ (path loss exponent) $(dB)$ |
| $D$ | คือ ระยะห่างระหว่างเครื่องส่ง กับ เครื่องรับ $(m)$ |
| $F_m$ | คือ เฟดมาร์จิน (fade margin) $(dB)$ |

สำหรับการหาเอสไออาร์ (SIR) ณ จุดทดสอบสัญญาณสามารถหาได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

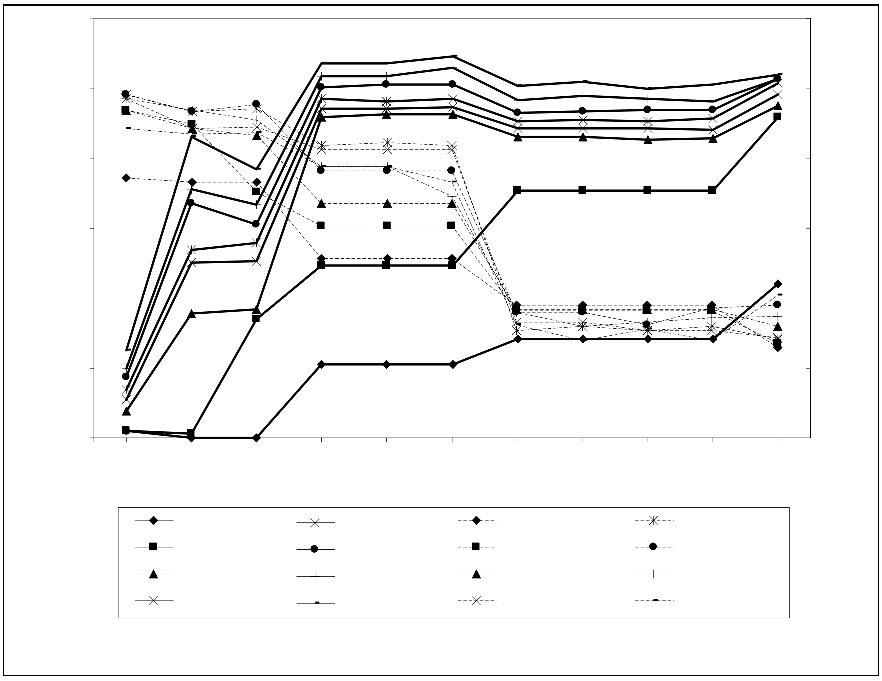
$$SIR_g = P_{hg} - P_{Ig} \tag{4.6}$$

โดยที่

| | |
|---|---|
| $SIR_g$ | คือ เอสไออาร์ ณ จุดทดสอบสัญญาณ $(dB)$ |
| $P_{hg}$ | คือ กำลังสูงสุดที่รับได้จากเครื่องส่ง ณ จุดทดสอบสัญญาณ $(dBm)$ |
| $P_{Ig}$ | คือ กำลังส่งที่รบกวน ณ จุดทดสอบสัญญาณ $(dBm)$ |

## 4.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริด เมื่อมีการเปลี่ยนค่าของชุดถ่วงน้ำหนัก

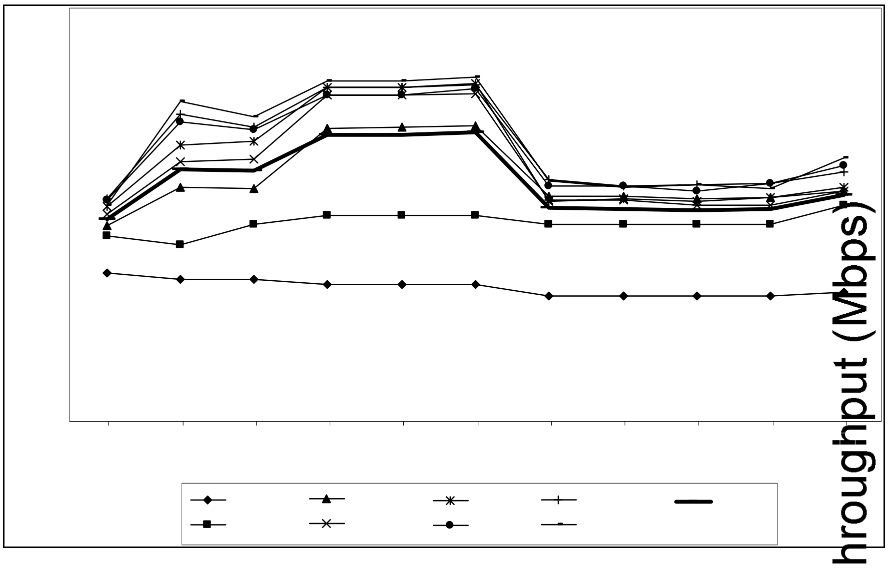
ในหัวข้อนี้ได้ศึกษาการทำงานของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริด เมื่อมีการทดลองเปลี่ยนค่าของชุดถ่วงน้ำหนัก $\left(w_1, w_2\right)$ โดยกำหนดการศึกษาที่จำนวนจุดเข้าถึงที่ถูกติดตั้งคงที่ 3, 4, 5, …, 10 จุด และเปลี่ยนแปลงค่าของชุดถ่วงน้ำหนักตามความสัมพันธ์ $w_1 + w_2 = 1$ ผลการจำลองแบบแสดงดังรูปที่ 4.3 จากรูปแกน $x$ แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณ $w_1$ ซึ่งเป็นน้ำหนักที่ให้ความสำคัญกับการทำงานของซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ซึ่งส่งผลกระทบต่อปริมาณงานทั้งหมดของระบบโดยตรง ดังนั้นเมื่อ $w_1$ มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นความสำคัญของปริมาณงานในการตัดสินใจเลือกตำแหน่งเพื่อติดตั้งจุดเข้าถึงและการเลือกช่องสัญญาณที่จัดสรรให้กับจุดเข้าถึงนั้นก็เพิ่มมากขึ้นด้วย ทำให้ผลการจำลองแบบที่ได้ในรูปที่ 4.3 ปริมาณงานทั้งหมดของระบบมีค่าสูงขึ้นเมื่อ $w_1$ มีปริมาณมากขึ้น ในทางกลับกันตามความสัมพันธ์ $w_1 + w_2 = 1$ เมื่อ $w_1$ เพิ่มมากขึ้น $w_2$ มีค่าลดลงทำให้ความสำคัญของขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมสำหรับการออกแบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายลดลงไป จึงทำให้ขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมทั้งหมดของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายลดลงเมื่อ $w_1$ เพิ่มมากขึ้น จากผลการจำลองแบบในรูปที่ 4.4 สังเกตได้ว่าเมื่อกำหนดชุดถ่วงน้ำหนัก $w_1 = 0.5$ และ $w_2 = 0.5$ สำหรับสมการวัตถุประสงค์ของการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริดจะทำให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานของโครงข่ายที่อยู่ในเกณฑ์ดีทั้งในแง่ของปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่ายและพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณ



12.00

รูปที่ 4.3 ปริมาณงานและพื้นที่ครอบคลุมของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายเมื่อใช้เทคนิคไฮบริด

10.00




รูปที่ 4.4 ผลรวมปริมาณงานและพื้นที่ครอบคลุมของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย
เมื่อใช้เทคนิคไฮบริด

2.00

0.00

## 4.4 ความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริด

เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริดนี้ใช้เทคนิคการหาคำตอบแบบขั้นตอนวิธีแพทชิ่ง ซึ่งเป็นเทคนิคการหาคำตอบที่ถูกนำมาใช้เพื่อลดความซับซ้อนของวิธีการค้นหาคำตอบและลดระยะเวลาในการค้นหาคำตอบ

ความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริดที่ใช้วิธีแพทชิ่งในการค้นหาคำตอบพิจารณาจากจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ที่เทคนิคได้เข้าไปตรวจสอบ จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ที่เทคนิคต้องเข้าไปตรวจสอบสัมพันธ์กับจำนวนช่องความถี่ทั้งหมดที่สามารถจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงได้ และ จำนวนจุดเข้าถึงที่มีอยู่ในระบบ สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ 3.23 ในบทที่ 3 ดังนี้

$$\sum_{n=1}^{N_a} NofA_{APn} = N_c \cdot \left[ N_o \cdot N_a - \left( \frac{N_a^{\,2} - N_a}{2} \right) \right] \quad (4.7)$$

เมื่อ

$N_o$ คือ จำนวนตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงที่สามารถเลือกได้

$N_a$ คือ จำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องการติดตั้ง

$N_c$ คือ จำนวนช่องความถี่ที่สามารถจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงได้

$NofA_{APn}$ คือ จำนวนคำตอบที่ต้องเข้าไปตรวจสอบเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการติดตั้งจุดเข้าถึงตัวที่ $n$

ในบทที่ 4 ทำการศึกษาผลกระทบของการถ่วงน้ำหนักด้วยการสังเกตประสิทธิภาพการทำงานของโครงข่าย ณ ตำแหน่งชุดน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปตามความสัมพันธ์ $w_1 + w_2 = 1$ ในการสังเกตได้กำหนดสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันคือจำนวนจุดเข้าถึงที่ถูกติดตั้งไว้แล้วเริ่มตั้งแต่ 3 เครื่อง จนถึง 10 เครื่อง ( $N_a = 3-10$ )แต่ทุกครั้งตำแหน่งที่สามารถเลือกติดตั้งจุดเข้าถึงได้มีทั้งหมด 16 จุด ( $N_o = 16$ ) และจำนวนช่องความถี่ที่สามารถจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงมีทั้งหมด 3 ช่องความถี่คือ 1, 6 และ 11 ( $N_c = 3$ ) จากสมการคำนวนความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่ 4.7 จำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องการติดตั้งมีความสัมพันธ์กับความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ในลักษณะแปรผันโดยตรง กล่าวคือเมื่อจำนวนจุดเข้าถึงที่ถูกติดตั้งในโครงข่ายมากขึ้นความซับซ้อนของการค้นหาคำตอบสูงขึ้นด้วย แต่เมื่อนำความซับซ้อนของเทคนิคการ

จัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริดนี้มาเปรียบเทียบกับเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่ใช้วิธีการหาคำตอบแบบละเอียดซึ่งสามารถคำนวนได้โดยใช้สมการที่ 3.14 ดังนี้

$$\text{คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด} = C_{N_a}^{N_o} \times N_c^{N_a} \quad (4.8)$$

พบว่าวิธีการค้นหาคำตอบแบบแพทชิ่งสามารถลดความซับซ้อนในการแก้ปัญหาการจัดสรรช่องความถี่สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้อย่างดี ดังตารางที่ 4.1 และในตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของโครงข่ายที่ได้เมื่อใช้เทคนิคการค้นหาคำตอบแบบแพทชิ่งมีค่าใกล้เคียงกับประสิทธิภาพของโครงข่ายที่ได้จากการใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบละเอียด

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริดที่ใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบแพทชิ่งกับที่ใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบละเอียด

| **จำนวนจุดเข้าถึง** | **ความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริด** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **การค้นหาคำตอบแบบแพทชิ่ง** | | **การค้นหาคำตอบแบบละเอียด** | | **เวลาที่ลดลง (เท่า)** |
| | จำนวนคำตอบที่ตรวจสอบ | เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ | จำนวนคำตอบที่ตรวจสอบ | เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ | |
| 3 | 135 | 4.96 วินาที | 15,120 | 7 นาที 24.67 วินาที | 89.7 |
| 4 | 174 | 6.05 วินาที | 147,420 | 1 ชั่วโมง | 595.0 |
| 5 | 210 | 7.04 วินาที | 1,061,424 | 8 ชั่วโมง | 4090.9 |
| 6 | 243 | 8.36 วินาที | 5,837,832 | 45 ชั่วโมง | 19378.0 |
| 7 | 273 | 9.55 วินาที | 25,019,280 | - | |
| 8 | 300 | 10.64 วินาที | 84,440,070 | - | |
| 9 | 324 | 11.16 วินาที | 225,173,520 | - | |
| 10 | 345 | 11.95 วินาที | 472,864,392 | - | |

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้เมื่อใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบแพทชิ่งกับเมื่อใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบละเอียด

| **จำนวนจุดเข้าถึง** | **ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริด (ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในสมการที่ 3.9)*** | | |
|---|---|---|---|
| | **การค้นหาคำตอบแบบแพทชิ่ง** | **การค้นหาคำตอบแบบละเอียด** | **%ความแตกต่าง** |
| 3 | 4391400.00 | 4642500.00 | 5.4 |
| 4 | 9183090.00 | 9584110.00 | 4.2 |
| 5 | 9421720.00 | 9657620.00 | 2.4 |
| 6 | 9617700.00 | 9882300.00 | 2.7 |
| 7 | 10019700.00 | - | |
| 8 | 10457200.00 | - | |
| 9 | 10751300.00 | - | |
| 10 | 11189300.00 | - | |

**หมายเหตุ :** ประกอบด้วยปริมาณงานทั้งหมดของระบบและปริมาณจุดทดสอบที่สามารถรับส่งข้อมูลได้

## 4.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงผลกระทบของการถ่วงน้ำหนักเมื่อมีการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริด โดยการเปลี่ยนแปลงค่าของชุดถ่วงน้ำหนักตามความสัมพันธ์ $w_1 + w_2 = 1$ พบว่าปริมาณงานทั้งหมดของระบบมีค่าสูงขึ้นเมื่อ $w_1$ มีปริมาณมากขึ้น ในทางกลับกันตามความสัมพันธ์ $w_1 + w_2 = 1$ เมื่อ $w_1$ เพิ่มมากขึ้น $w_2$ มีค่าลดลงทำให้ความสำคัญของขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมสำหรับการออกแบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายลดลงไป จึงทำให้ขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมทั้งหมดของระบบลดลงเมื่อ $w_1$ เพิ่มมากขึ้น จากผลการเมื่อกำหนดชุดถ่วงน้ำหนักสำหรับสมการวัตถุประสงค์ของการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริดให้ $w_1 = 0.5$ และ $w_2 = 0.5$ ทดลองพบว่าประสิทธิภาพการทำงานของโครงข่ายทั้งด้านปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่ายและด้านพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณอยู่ในเกณฑ์ดี และจากการคำนวณความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่พบว่าเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริดสามารถลดความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ได้อย่างดี บทถัดไปได้ทำการศึกษาสมรรถนะของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายเมื่อผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบต่าง ๆ

# บทที่ 5
# การศึกษาผลกระทบของลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการ

## 5.1 กล่าวนำ

สำหรับมาตรฐาน IEEE 802.11b ผู้ใช้บริการเข้าใช้ตัวกลางด้วยโปรโตคอลควบคุมแบบซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ซึ่งเป็นการเข้าใช้ตัวกลางแบบสุ่ม (random access) ซึ่งเป็นการเข้าใช้ตัวกลางที่ไม่ได้กำหนดลำดับการเข้าใช้ตัวกลางของผู้ใช้บริการอย่างแน่ชัด ดังนั้นในช่วงเวลาหนึ่งโอกาสของผู้ใช้บริการรายอื่นจะลดน้อยลงเมื่อมีผู้ใช้บริการรายหนึ่งจับจองตัวกลางเป็นเวลานาน สาเหตุที่ต้องเข้าใช้ตัวกลางเป็นเวลานานเพราะว่าขนาดของแพ็กเก็ตที่ต้องการส่งมีขนาดใหญ่ แต่ถ้าในกรณีที่กำหนดให้ขนาดของแพ็กเก็ตที่ต้องการส่งเท่ากันทั้งหมดแล้ว สาเหตุที่ยังคงทำให้เกิดการจับจองตัวกลางเป็นเวลานานในการส่งแพ็กเก็ตขนาดเท่าเดิมคืออัตราเร็วในการส่งข้อมูลต่ำ การส่งข้อมูลในอัตราเร็วต่ำทำให้ปริมาณงานที่ได้ต่ำด้วย ดังนั้นนอกจากผู้ใช้บริการที่อยู่ในโครงข่ายที่ส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วต่ำจะทำให้ปริมาณงานของผู้ใช้บริการเองต่ำแล้วยังส่งผลให้ปริมาณงานของผู้ใช้บริการรายอื่นที่อยู่ในโครงข่ายเดียวกันลดลงอีกด้วย เนื่องด้วยโอกาสที่จะได้เข้าใช้ตัวกลางลดลงด้วยสาเหตุดังกล่าว ซึ่งทั้งหมดนี้ส่งผลให้ปริมาณงานรวมของโครงข่ายลดลง

นอกจากการมีผู้ใช้บริการจำนวนหนึ่งในโครงข่ายที่มีอัตราเร็วในการส่งข้อมูลที่ต่ำ ซึ่งเป็นสาเหตุให้ปริมาณงานรวมของโครงข่ายลดลงได้แล้ว จำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าใช้บริการในแต่ละจุดเข้าถึงก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่ายลดลงได้ เพราะเมื่อผู้ใช้บริการมีจำนวนมากขึ้นทำให้ต้องมีการรอเข้าใช้ตัวกลางนานขึ้น ดังนั้นการกระจายตัวของผู้ใช้บริการในโครงข่ายจึงมีผลต่อปริมาณงานรวมของโครงข่าย การจำลองแบบในบทนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการต่อปริมาณงานรวมของโครงข่าย โดยในการดำเนินการจำลองแบบได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการและจำลองการทำงานของโครงข่าย โดยในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะการกระจายของผู้ใช้บริการ 2 แบบ คือ (1) ผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ และ (2) ผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบกลุ่ม

เนื้อหาของบทนี้จะประกอบด้วย **หัวข้อ 5.2** กล่าวถึงการนิยามปัญหาและรายละเอียดการดำเนินการวิจัย และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของโครงข่ายและการกระจายตัวของผู้ใช้บริการ **หัวข้อ 5.3** แสดงผลการจำลองแบบและการวิเคราะห์สมรรถนะของโครงข่าย

ท้องถิ่นไร้สาย ในกรณีที่ผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ **หัวข้อ 5.4** แสดงผลการจำลองแบบและการวิเคราะห์สมรรถนะของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย ในกรณีที่ผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบกลุ่ม และ**หัวข้อ 5.5** เป็นบทสรุป

## 5.2 การนิยามปัญหา

ในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ผู้ใช้บริการมีลักษณะการกระจายตัวสองแบบคือ การกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ และการกระจายตัวแบบกลุ่ม ซึ่งการกระจายตัวของผู้ใช้บริการทั้งสองแบบทำให้เกิดความต้องการเข้าใช้บริการโครงข่ายที่แตกต่างกันคือ ผู้ใช้บริการที่มีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ ความต้องการเข้าใช้บริการโครงข่ายกระจายอยู่ทั่วไปในบริเวณที่ศึกษา ไม่กระจุกตัว ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือสามารถแบ่งเป็นกลุ่มได้ชัดเจนดังเช่น กรณีที่ผู้บริการมีการกระจายตัวแบบกลุ่ม

เพื่อศึกษาสมรรถนะของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ ในสถานการณ์ที่ผู้ใช้บริการมีลักษณะการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ และการกระจายตัวแบบกลุ่ม ได้นำเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริด เทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่พิจารณาเฉพาะหลักการทำงานของซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ (CSMA/CA) เพียงอย่างเดียว และเทคนิคที่พิจารณาเฉพาะขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมเท่านั้น มาเปรียบเทียบกัน โดยสังเกตจากปริมาณงานทั้งหมดของระบบ และขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมที่สามารถให้บริการได้

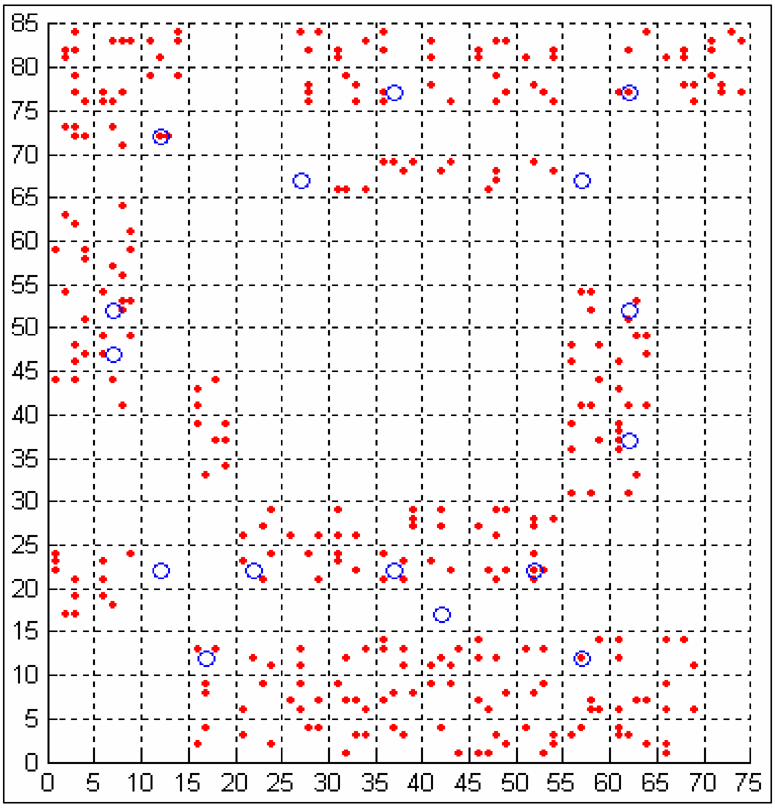
### 5.2.1 การกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ

ลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการเช่นนี้ สามารถพบได้ในอาคารที่แบ่งพื้นที่ใช้สอยภายในอาคารเป็นสัดส่วน ขนาดห้องใกล้เคียงกัน มีจำนวนผู้อยู่อาศัยค่อนข้างคงที่ เช่น อาคารสำนักงานที่มีพนักงานจำนวนมากซึ่งพบเห็นได้ตามเมืองใหญ่ อาคารห้องพัก และบริเวณบ้านพักอาศัย เป็นต้น การกระจายตัวของผู้ใช้บริการในลักษณะนี้ทำให้ความต้องการเข้าใช้บริการจากผู้ใช้บริการ กระจายอยู่ในโครงข่ายไม่กระจุกตัวอยู่ ณ บริเวณใดโดยเฉพาะ

### 5.2.2 การกระจายตัวแบบกลุ่ม

ลักษณะการกระจายตัวแบบกลุ่มเป็นลักษณะที่ตำแหน่งของผู้ใช้บริการสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มได้อย่างน้อยสองกลุ่ม ซึ่งแตกต่างจากการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอที่ไม่สามารถแบ่งกลุ่มผู้ใช้บริการได้ ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 5.1 ลักษณะการกระจายตัวแบบกลุ่มสามารถพบได้ตามอาคารใหญ่ทั่วไป เช่น อาคารผู้โดยสารสนามบินซึ่งมักจะจัดบริเวณให้ผู้ใช้บริการสนามบินอยู่เป็นจุด เช่นบริเวณรอรับผู้โดยสารขาเข้า บริเวณรอขึ้นเครื่องของผู้โดยสารขาออก บริเวณร้านอาหาร และบริเวณร้านขายของปลอดภาษี เป็นต้น อาคารที่สร้างขึ้นเพื่อให้สามารถจัด

นิทรรศการ หรือการประชุม อาคารประเภทนี้จะมีห้องเป็นสัดส่วนซึ่งแยกกลุ่มผู้ใช้บริการให้อาศัยอยู่คนละบริเวณ ทำให้เกิดเป็นลักษณะกลุ่มขึ้น และในห้องสมุดซึ่งมีการจัดให้ผู้ใช้บริการอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร เช่น ห้องวิชาการ ห้องชมภาพยนตร์ บริเวณอ่านหนังสือ ซึ่งทำให้ผู้ใช้บริการมีลักษณะการกระจายตัวแบบกลุ่มได้เช่นกัน

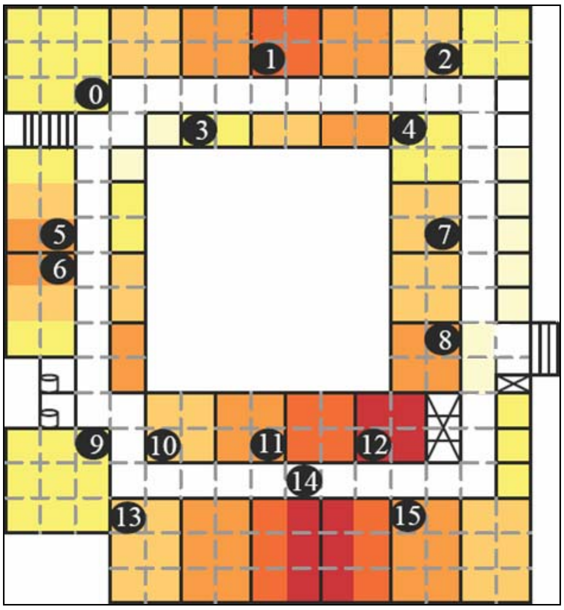



รูปที่ 5.1 ตำแหน่งผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบกลุ่ม

**5.2.3 การจำลองพื้นที่ให้บริการของโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย**

ในการวิจัยนี้ได้พิจารณาลักษณะพื้นที่ครอบคลุมของโครงข่ายเช่นเดียวกับที่ใช้ในงานวิจัยเรื่อง Joint Access Point Placement and Channel Assignment for 802.11 Wireless LANs, (Ling, Yeung, 2005) ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งเป็นบริเวณภายในอาคารชั้นเดียว พื้นที่ของอาคารถูกแบ่งออกเป็นตารางขนาด 5×5 เมตร$^2$ เพื่อใช้สำหรับกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละตาราง เนื่องจากอาคารมีขนาดกว้าง 75 เมตร ยาว 85 เมตร ทำให้เกิดเส้นแบ่งตามแนวตั้ง 16 เส้น และเส้นแบ่งตามแนวนอน 18 เส้น ทำให้เกิดจุดตัดเส้นทั้งหมด 288 จุด ซึ่งใช้สำหรับการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมโดยได้อธิบายในหัวข้อต่อไป

ภายในพื้นที่ครอบคลุมดังกล่าว ตำแหน่งที่สามารถใช้ในการติดตั้งจุดเข้าถึง มีทั้งหมด 16 ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ตำแหน่งที่ 0 จนถึงตำแหน่งที่ 16 ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ผู้ออกแบบโครงข่ายสามารถเลือกติดตั้งจุดเข้าถึงที่ตำแหน่งดังกล่าว และทำการกำหนดช่องความถี่ให้กับจุดเข้าถึงที่ติดตั้งแล้ว โดยเลือกใช้ช่องความถี่ที่ไม่ซ้อนทับกันนั่นคือ ช่องความถี่ 1, 6 หรือ 11 โดยจุดเข้าถึงแต่ละเครื่องถูกจัดสรรให้ใช้ช่องความถี่เพียงช่องเดียว




รูปที่ 5.2 แสดงแผนผังอาคารที่ใช้สำหรับการจำลองด้วยโปรแกรม

### 5.2.4 พื้นที่ครอบคลุม

วิธีการประเมินจุดทดสอบสัญญาณว่าอยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของโครงข่ายหรือไม่ ได้แสดงวิธีการคิดไว้ในหัวข้อ 4.2.3 ซึ่งมีสมการหาพื้นที่ครอบคลุมดังนี้

$$\%COV = \frac{\sum_{g=1}^{G} c_g}{G} \times 100 \qquad (5.1)$$

โดยที่

$\%COV$ คือ เปอร์เซ็นต์บริเวณครอบคลุมสัญญาณจากพื้นที่ทั้งหมดที่ต้องการให้บริการสื่อสารผ่านโครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย

$G$ คือ จำนวนจุดทดสอบสัญญาณทั้งหมด (252 จุด)

$g$ คือ จุดทดสอบสัญญาณที่ทำการสังเกต

$c_g$ มีค่าเป็น 1 เมื่อความแรงของสัญญาณที่จุด $g$ ($S_g$) มากกว่า จุดเริ่มเปลี่ยนความแรงของสัญญาณ และเอสไออาร์ที่จุด $g$ ($SIR_g$) มากกว่า จุดเริ่มเปลี่ยนเอสไออาร์ มิฉะนั้นมีค่าเป็น 0

## 5.3 ผลการดำเนินการวิจัยเมื่อผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ

การดำเนินการวิจัยในหัวข้อนี้เพื่อศึกษาผลกระทบของการกระจายตัวของผู้ใช้บริการเมื่อผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ โดยในการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้สร้างการกระจายตัวของผู้ใช้บริการให้เป็นแบบสม่ำเสมอด้วยการกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละตารางให้มีจำนวนเท่ากัน จากรูปที่ 5.2 บริเวณที่ใช้ศึกษาเป็นอาคารขนาดกว้าง 75 เมตร ยาว 85 เมตร สามารถแบ่งออกเป็นตารางขนาด $5\times5$ เมตร$^2$ ได้ทั้งหมด 215 ตาราง บริเวณภายในตัวอาคารแบ่งออกเป็นบริเวณทางเดิน บันได และห้องขนาดต่าง ๆ บริเวณเหล่านี้เป็นบริเวณที่ผู้ใช้บริการอาศัยอยู่ได้ ส่วนบริเวณกลางอาคารเป็นบริเวณที่ไม่สามารถเข้าไปใช้งานได้ทำให้เหลือตารางที่ผู้ใช้บริการสามารถเข้าไปอาศัยได้ 162 ตาราง ซึ่งเป็นจำนวนตารางที่ต้องกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการให้ และในการกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการให้กับแต่ละตารางเหล่านี้ได้กำหนดให้มีจำนวนเท่ากันเพื่อให้เกิดเป็นลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการแบบสม่ำเสมอ

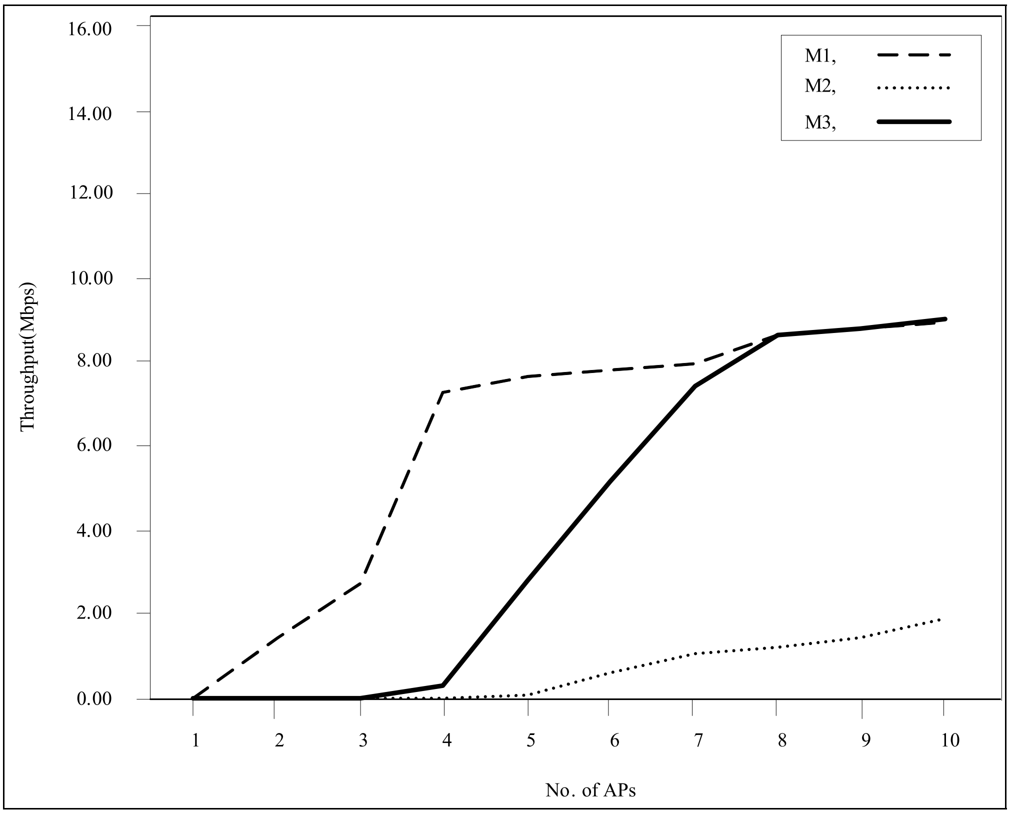
สำหรับการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการในโครงข่ายให้มากขึ้นแต่ยังคงลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบสม่ำเสมอสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละตารางให้มากขึ้นและจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละตารางเท่ากันเพื่อยังคงลักษณะการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ เช่น กำหนดจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละตารางเท่ากับ 1 ราย ถ้าต้องการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการในโครงข่ายสามารถทำได้โดยกำหนดให้จำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละตารางเท่ากับ $x$ ราย โดยที่ $x$ เป็นจำนวนนับที่มีค่ามากกว่า 1

เมื่อกำหนดการกระจายตัวของผู้ใช้บริการในโครงข่ายให้เป็นแบบกระจายตัวสม่ำเสมอแล้ว ใน**หัวข้อ 5.3.1** ได้ทำการศึกษาผลกระทบของจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้ในโครงข่ายที่มีผู้ใช้บริการกระจายตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ และใน**หัวข้อ 5.3.2** ได้ทำการศึกษาต่อถึงผลกระทบของจำนวนผู้ใช้บริการที่อยู่ในโครงข่ายโดยผู้ใช้บริการมีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

**5.3.1 การศึกษาผลกระทบของจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้ในโครงข่าย**

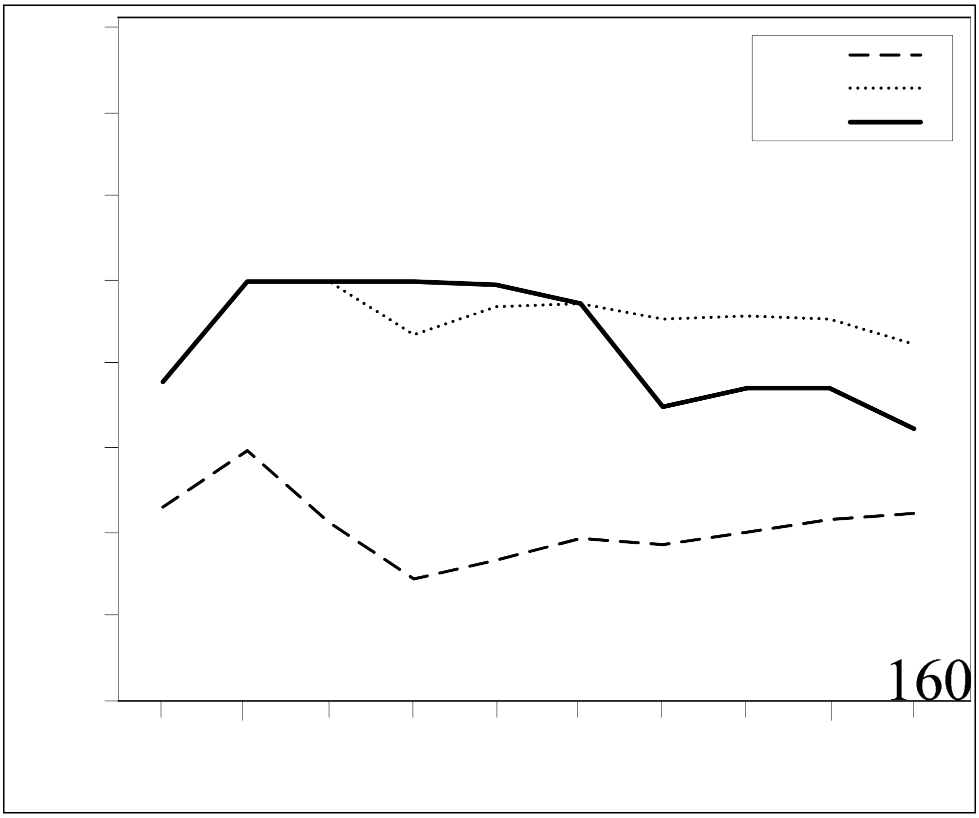
ในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย เมื่อมีการติดตั้งจุดเข้าถึงเพิ่มขึ้น โดยทำการเปรียบเทียบเทคนิคการจัดสรรความถี่ 3 เทคนิคคือ (1) เทคนิคที่พิจารณาการทำงานของซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ CSMA/CA (M1) (2) เทคนิคที่พิจารณาขอบเขตพื้นที่ครอบคลุม (M2) และ (3) เทคนิคแบบไฮบริด (M3) ด้วยการสังเกตสมรรถนะของระบบจากตัวชี้วัดที่สำคัญได้แก่ ปริมาณงานทั้งหมดของระบบ และขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมได้

ผลการจำลองแบบในรูปที่ 5.3 สามารถสังเกตได้ว่าเมื่อจำนวนจุดเข้าถึงที่ติดตั้งเพิ่มขึ้น ปริมาณงานทั้งหมดของระบบมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากจุดเข้าถึงแต่ละจุดที่เพิ่มเข้ามาในระบบช่วยลดภาระให้กับจุดเข้าถึงเดิมที่ให้บริการแก่ผู้ใช้บริการจำนวนมาก การมีผู้ใช้บริการจำนวนมากอยู่ในความดูแลของแต่ละจุดเข้าถึงนั่นคือจำนวนผู้ใช้บริการที่ต้องการใช้ตัวกลาง (Medium) มากขึ้นทำให้โอกาสที่ผู้ใช้บริการแต่ละรายสามารถรับและส่งข้อมูลกับจุดเข้าถึงได้ลดลง ส่งผลให้ปริมาณทั้งหมดของระบบลดลงได้ จึงเป็นการดีที่มีจุดเข้าถึงถูกติดตั้งเพิ่มขึ้นเพราะช่วยแบ่งปันภาระการให้บริการแก่ผู้ใช้บริการได้ และทำให้ปริมาณงานรวมของระบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และจากรูปที่ 5.4 สามารถสังเกตได้ว่าพื้นที่ครอบคลุมมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนจุดเข้าถึงที่ติดตั้งเพิ่มมากขึ้น สาเหตุเนื่องมาจากบริเวณที่จำลองขึ้นสำหรับการจำลองแบบครั้งนี้มีขนาดเล็กทำให้การเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึงไม่ได้เพิ่มพื้นที่ครอบคลุม แต่กลับทำให้เกิดการรบกวนกันระหว่างจุดเข้าถึงที่ใช้ช่องความถี่เดียวกัน ช่องความถี่ที่อนุญาตให้ใช้ในการจำลองแบบนี้มีสามช่องเท่านั้นคือ 1, 6 และ 11 ดังนั้นเมื่อจุดเข้าถึงที่ติดตั้งมากกว่าสามจุดการจัดสรรช่องความถี่เริ่มซ้ำทำให้คุณภาพของสัญญาณแย่ลง เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนจากจุดเข้าถึงที่ใช้ช่องความถี่เดียวกันทำให้บริเวณครอบคลุมสัญญาณที่สามารถใช้บริการโครงข่ายได้มีขนาดลดลง




รูปที่ 5.3 ปริมาณงานทั้งหมดของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึง

เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิค โดยจำนวนจุดเข้าถึงที่ถูกติดตั้งเพิ่มขึ้น พบว่าเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริด (M3) สามารถให้สมรรถนะที่ดีได้ทั้งในด้านของปริมาณงาน และขอบเขตพื้นที่ครอบคลุม สังเกตได้จากเมื่อมีจำนวนจุดเข้าถึงที่ถูกติดตั้ง 5 ตัว การใช้เทคนิค M3 จะส่งผลให้มีขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมมากกว่าการใช้เทคนิค M1 ถึง 58% และการใช้เทคนิค M3 จะส่งผลให้ปริมาณงานทั้งหมดของระบบสูงกว่าการใช้เทคนิค M2 78% เนื่องจากเทคนิค M1 นั้นพิจารณาเฉพาะการทำงานของซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ (CSMA/CA) เพียงอย่างเดียว ส่งผลให้ปริมาณงานทั้งหมดของระบบสูงกว่าการใช้เทคนิค M3 และ M2 (สังเกตว่าปริมาณงานของระบบที่ได้จากเทคนิค M1 และ M3 มีค่าใกล้เคียงกันมากเมื่อจุดเข้าถึงที่ใช้ในโครงข่ายมากกว่า 7 เครื่อง) พิจารณาขอบเขตพื้นที่ครอบคลุม เครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค M1 นั้นได้พื้นที่ครอบคลุมน้อยกว่า M3 และ M2 ในกรณีเครือข่ายออกแบบด้วยเทคนิค M2 ซึ่งเป็นเทคนิคที่พิจารณาเฉพาะคุณภาพของสัญญาณเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้ปริมาณงานทั้งหมดของระบบต่ำกว่าการใช้เทคนิค M3 และ M1

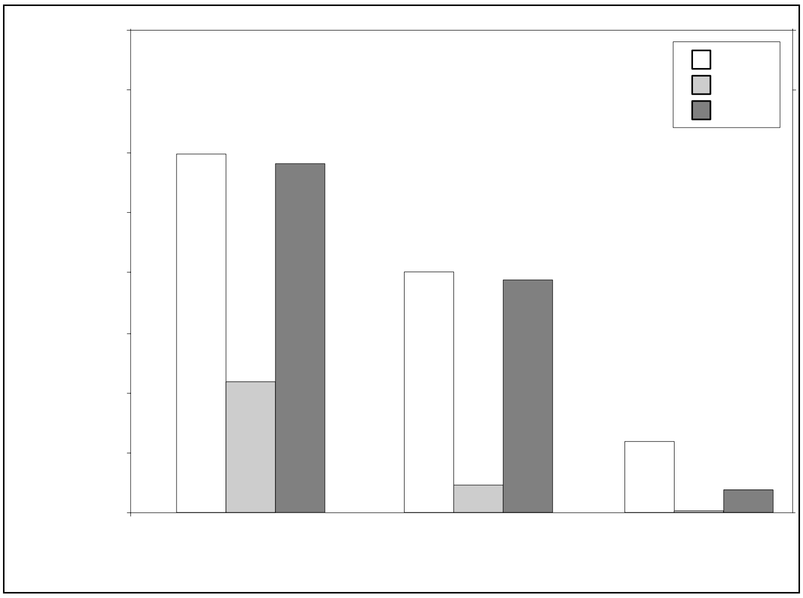



รูปที่ 5.4 ขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึง

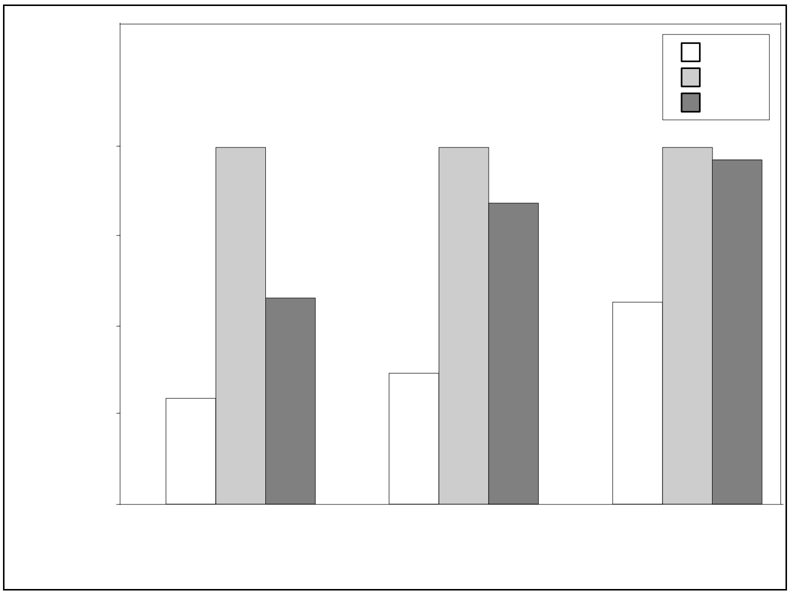
**5.3.2 การศึกษาผลกระทบของความหนาแน่นของผู้ใช้บริการในโครงข่าย**

ในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่มีความหนาแน่นของผู้ใช้บริการต่าง ๆ กัน ลักษณะพื้นที่ในการจำลองแบบใช้ลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5.2 ในกรณีนี้ใช้จำนวนจุดเข้าถึงจำนวน 7 เครื่อง เนื่องจากเป็นจำนวนที่ปริมาณงานและพื้นที่ครอบคลุมเริ่มมีค่าคงที่และมีความแตกต่างชัดเจนระหว่างแต่ละเทคนิคที่นำมาพิจารณาดังแสดงในรูปที่ 5.3 และ 5.4 โดยทำการเปรียบเทียบเทคนิคการจัดสรรความถี่ 3 เทคนิคคือ (1) เทคนิคที่พิจารณาการทำงานของซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ CSMA/CA (M1) (2) เทคนิคที่พิจารณาพื้นที่ครอบคลุม (M2) และ (3) เทคนิคแบบไฮบริด (M3) ด้วยการสังเกตสมรรถนะของระบบจากตัวชี้วัดที่สำคัญได้แก่ ปริมาณงานทั้งหมดของระบบ และขอบเขตพื้นที่ครอบคลุม และมีการกำหนดสถานการณ์ที่เพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการในระบบมีระดับสูงขึ้น การเพิ่มระดับจำนวนผู้ใช้บริการทำได้โดยการกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการในตารางขนาด 5×5 เมตร$^2$ บริเวณภายในอาคารให้มีจำนวนสูงขึ้น โดยจำนวนผู้ใช้บริการระดับ Low นั้นจะมีจำนวนผู้ใช้บริการใน

แต่ละตารางได้ 1 ราย ซึ่งเป็นการจำลองสถานการณ์ที่มีผู้ใช้บริการจำนวนน้อย เช่น ในวันหยุดหรือช่วงเวลาเช้าตรู่และช่วงเวลากลางคืน



รูปที่ 5.5 ปริมาณงานของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการ



รูปที่ 5.6 ขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการ

16 14 12 10 put(Mbps) 8

สำหรับจำนวนผู้ใช้บริการระดับ Mid นั้นจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละตารางมีได้ 4 ราย แทนสถานการณ์ในช่วงเวลาทำงานปกติ และจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละตารางเท่ากับ 8 รายสำหรับจำนวนผู้ใช้บริการระดับ High ซึ่งสถานการณ์นี้พบได้ในช่วงเวลาที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมากเป็นพิเศษ เช่น มีการจัดนิทรรศการหรือ มีงานประชุมที่มีผู้เข้าร่วมจำนวนมาก ผลการจำลองแบบแสดงดังรูปที่ 5.5 และ 5.6

การวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคที่นำเสนอ (M3) ในสถานการณ์ที่เพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการในระบบใช้การวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเทคนิค M1 และ M2 โดยวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคจากปริมาณงานทั้งหมดของระบบ และขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมที่ครอบคลุม จากผลการจำลองแบบเทคนิค M3 ยังคงสามารถให้สมรรถนะที่ดีกว่าเทคนิค M1 และ M2 เมื่อปริมาณผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น แม้ว่าเทคนิค M1 ให้โครงข่ายที่มีปริมาณงานทั้งหมดของระบบสูงแต่พื้นที่ครอบคลุมน้อยกว่าเทคนิค M3 ถึง 45% เนื่องจากเทคนิค M3 เป็นเทคนิคที่คำนึงถึงคุณภาพของสัญญาณที่รับได้จึงทำให้พื้นที่ครอบคลุมสูงกว่าเทคนิค M1 และสำหรับเทคนิค M2 ปริมาณงานทั้งหมดของระบบมีค่าน้อยกว่าที่ได้จากเทคนิค M3 ถึง 80% เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการอยู่ที่ระดับ High เนื่องจากเทคนิค M2 เป็นเทคนิคที่ไม่ได้พิจารณาหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอที่ควบคุมการส่งสัญญาณของผู้ใช้บริการในโครงข่าย ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณงานของโครงข่ายทำให้เทคนิค M2 ให้ปริมาณงานของระบบต่ำ

## 5.4 ผลการดำเนินการวิจัยเมื่อผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบกลุ่ม

สำหรับหัวข้อนี้เป็นการดำเนินการวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบของการกระจายตัวของผู้ใช้บริการที่มีลักษณะการกระจายตัวแบบกลุ่ม ซึ่งในการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมสามารถสร้างโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบกลุ่มได้โดยการกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการในตารางไม่เท่ากันจนเกิดมีลักษณะกระจุกตัวเป็นกลุ่มดังแสดงในรูปที่ 5.1 จากรูปจะสามารถสังเกตได้ว่าตำแหน่งของผู้ใช้บริการที่อยู่ภายในอาคารสามารถจัดเป็นกลุ่ม ๆ ได้

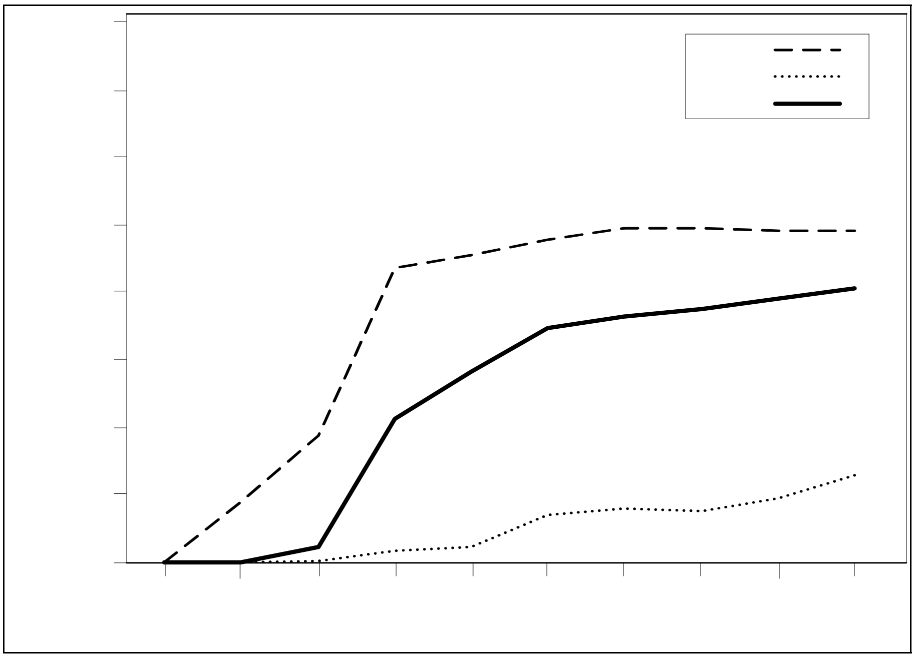
เมื่อกำหนดการกระจายตัวของผู้ใช้บริการในโครงข่ายให้มีลักษณะกระจายตัวแบบกลุ่มแล้วได้ทำการจำลองแบบใน**หัวข้อ 5.4.1** เพื่อศึกษาผลกระทบของจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้ในโครงข่ายที่มีผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบกลุ่ม และใน**หัวข้อ 5.3.2** ได้ทำการศึกษาต่อถึงผลกระทบของจำนวนผู้ใช้บริการที่อยู่ในโครงข่ายโดยผู้ใช้บริการมีกระจายตัวแบบกลุ่ม

**5.4.1 การศึกษาผลกระทบของจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้ในโครงข่าย**

ในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายเมื่อมีการติดตั้งจุดเข้าถึงเพิ่มขึ้น และผู้ใช้บริการมีกระจายตัวแบบกลุ่ม โดยทำการเปรียบเทียบเทคนิคการจัดสรรความถี่ 3 เทคนิคคือ (1) เทคนิคที่พิจารณาการทำงานของซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ CSMA/CA (M1) (2) เทคนิคที่พิจารณาพื้นที่ครอบคลุม (M2) และ (3) เทคนิคแบบไฮบริด (M3) ด้วยการสังเกตสมรรถนะของระบบจากตัวชี้วัดที่สำคัญได้แก่ ปริมาณงานทั้งหมดของระบบ และขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมได้

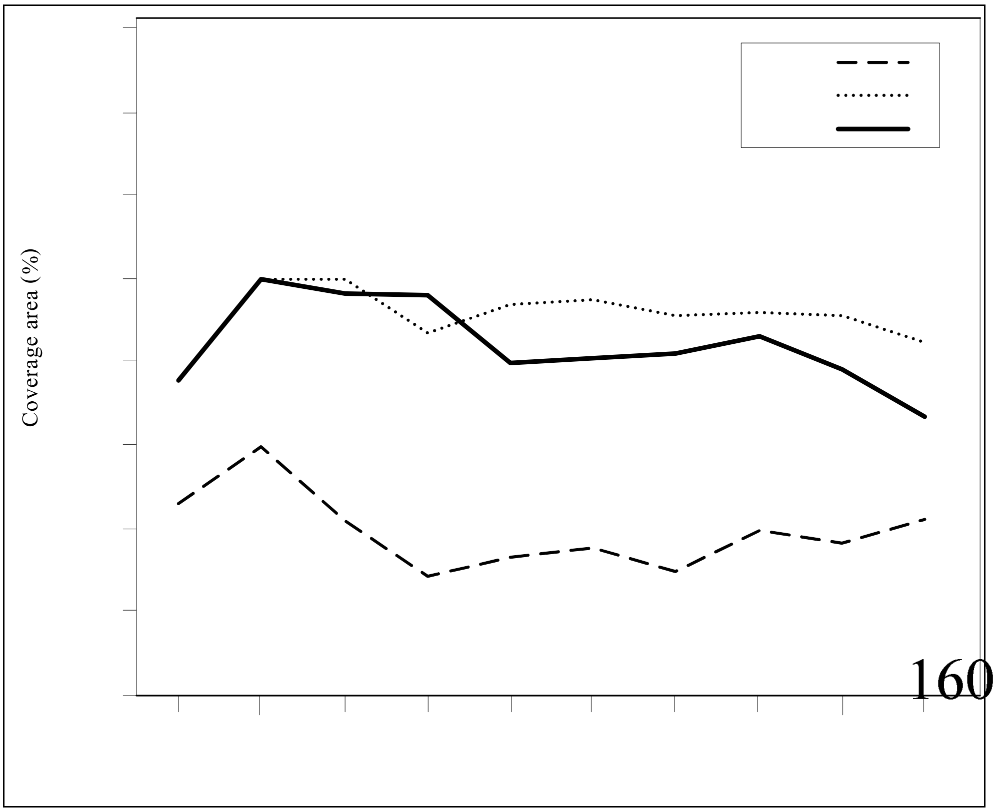
จากผลการจำลองแบบในรูปที่ 5.7 พบว่าเมื่อจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้เพิ่มขึ้นปริมาณงานของโครงข่ายมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากจุดเข้าถึงแต่ละจุดที่เพิ่มเข้ามาในระบบช่วยลดภาระให้กับจุดเข้าถึงเดิมที่ให้บริการแก่ผู้ใช้บริการจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบใน**หัวข้อ 5.3.1** ซึ่งเป็นการจำลองแบบเมื่อผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ พบว่ามีแนวโน้มของปริมาณงานทั้งหมดของระบบ (เมื่อจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้ในโครงข่ายมากขึ้น) เหมือนกัน แต่ปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบกลุ่มมีค่ามากกว่าโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ เนื่องจากเมื่อผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบกลุ่มแล้วจะทำให้สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้ตรงกลุ่มของผู้ใช้บริการนั่นคือผู้ใช้บริการสามารถรับส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่สูงกว่าส่งผลให้ปริมาณงานที่ได้จากโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการแบบกลุ่มสูงกว่าโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการกระจายตัวสม่ำเสมอ

จากรูปที่ 5.8 สามารถสังเกตได้ว่าพื้นที่ครอบคลุมมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนจุดเข้าถึงที่ติดตั้งเพิ่มมากขึ้น สาเหตุเนื่องมาจากบริเวณที่จำลองขึ้นสำหรับการจำลองแบบครั้งนี้มีขนาดเล็กทำให้การเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึงไม่ได้เพิ่มพื้นที่ครอบคลุมอย่างชัดเจน แต่กลับทำให้เกิดการรบกวนกันระหว่างจุดเข้าถึงที่ใช้ช่องความถี่เดียวกัน ช่องความถี่ที่อนุญาตให้ใช้ในการจำลองแบบนี้มีสามช่องคือ 1, 6 และ 11 โดยที่แต่ละช่องความถี่จะไม่ซ้อนทับกัน ดังนั้นเมื่อจุดเข้าถึงที่ติดตั้งมากกว่าสามจุดการจัดสรรช่องความถี่เริ่มซ้ำ ทำให้พื้นที่ครอบคลุมที่ครอบคลุมได้ลดลงได้ และแนวโน้มของผลการจำลองแบบในหัวข้อนี้ เหมือนกับผลการจำลองแบบที่ได้จากโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ **(หัวข้อ 5.3.1)** แต่เมื่อพิจารณาโดยรายละเอียดพบว่าพื้นที่ครอบคลุมของโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอมากกว่าพื้นที่ครอบคลุมที่ได้จากโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบกลุ่ม เนื่องจากในโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบกลุ่มการเลือกตำแหน่งสำหรับติดตั้งจุดเข้าถึงต้องเลือกจุดที่สามารถให้บริการผู้ใช้บริการได้มากที่สุด ดังนั้นเมื่อผู้ใช้บริการมีลักษณะที่กระจุกตัวเป็นกลุ่มทำให้จุดเข้าถึงถูกติดตั้งในลักษณะเป็นกลุ่มด้วยทำให้ครอบคลุมพื้นที่ได้ไม่ทั่วถึง ส่งผลให้พื้นที่คลอบคลุมของโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบกลุ่มน้อยกว่าโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ




รูปที่ 5.7 ปริมาณงานทั้งหมดของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึง

เปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละเทคนิคเมื่อจำนวนจุดเข้าถึงที่ถูกติดตั้งเพิ่มขึ้น พบว่าเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริด (M3) สามารถให้สมรรถนะที่ดีทั้งในด้านของปริมาณงาน และพื้นที่ครอบคลุม การใช้เทคนิค M3 จะส่งผลให้พื้นครอบคลุมมากกว่าการใช้เทคนิค M1 และการใช้เทคนิค M3 จะส่งผลให้ปริมาณงานทั้งหมดของระบบสูงกว่าการใช้เทคนิค M2 เนื่องจากเทคนิค M1 นั้นพิจารณาเฉพาะการทำงานของซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ (CSMA/CA) เพียงอย่างเดียวไม่ได้พิจารณาคุณภาพของสัญญาณ ส่งผลให้พื้นที่ครอบคลุมลดต่ำกว่า M3 และ M2 และเทคนิค M2 นั้นพิจารณาเฉพาะคุณภาพของสัญญาณเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้ปริมาณงานทั้งหมดของระบบต่ำกว่าการใช้เทคนิค M3 และ M1




รูปที่ 5.8 พื้นที่ครอบคลุมของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนจุดเข้าถึง

**5.4.2 การศึกษาผลกระทบของความหนาแน่นของผู้ใช้บริการในโครงข่าย**

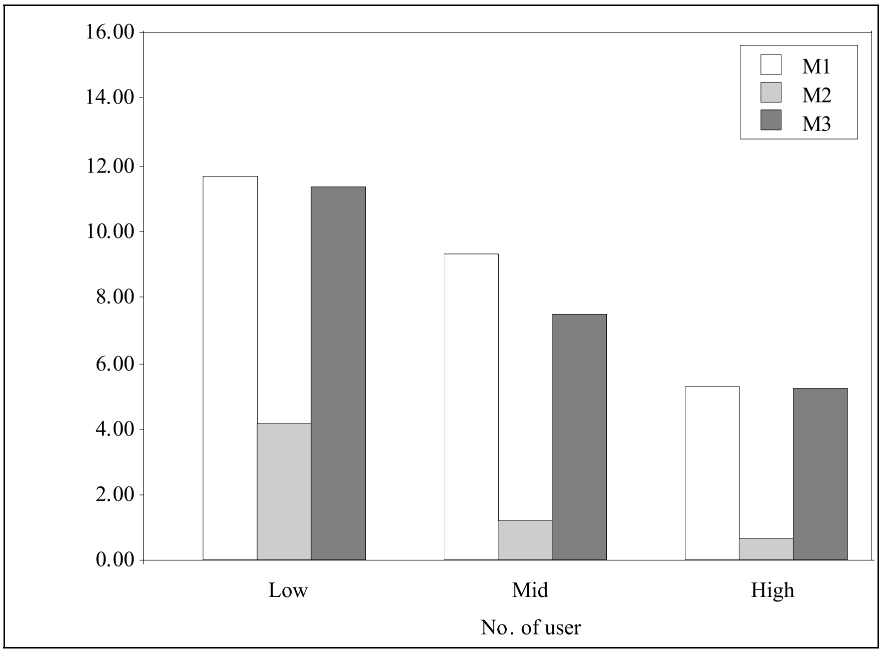
ในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของผู้ใช้บริการในโครงข่าย โดยทำการเปรียบเทียบเทคนิคการจัดสรรความถี่ 3 เทคนิคคือ (1) เทคนิคที่พิจารณาการทำงานของซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ CSMA/CA (M1) (2) เทคนิคที่พิจารณาพื้นที่ครอบคลุม (M2) และ (3) เทคนิคแบบไฮบริด (M3) ด้วยการสังเกตสมรรถนะของระบบจากตัวชี้วัดที่สำคัญได้แก่ ปริมาณงานทั้งหมดของระบบ และขอบเขตพื้นที่ครอบคลุม

ในการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ใช้จำนวนจุดเข้าถึงจำนวน 7 เครื่อง ซึ่งจากผลการจำลองแบบใน**หัวข้อ 5.4.1** แสดงให้เห็นว่าจำนวนนี้เป็นจำนวนที่ปริมาณงานและพื้นที่ครอบคลุมเริ่มคงที่และมีค่าแตกต่างกันชัดเจน การเพิ่มความหนาแน่นของผู้ใช้บริการในระบบให้มีระดับสูงขึ้นและมีลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการเป็นแบบกลุ่ม การเพิ่มระดับความหนาแน่นของผู้ใช้บริการทำได้โดยการกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการในตารางขนาด $5 \times 5\ m^2$ บริเวณภายในอาคารให้มีจำนวนสูงขึ้นแต่ยังคงลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการให้เป็น

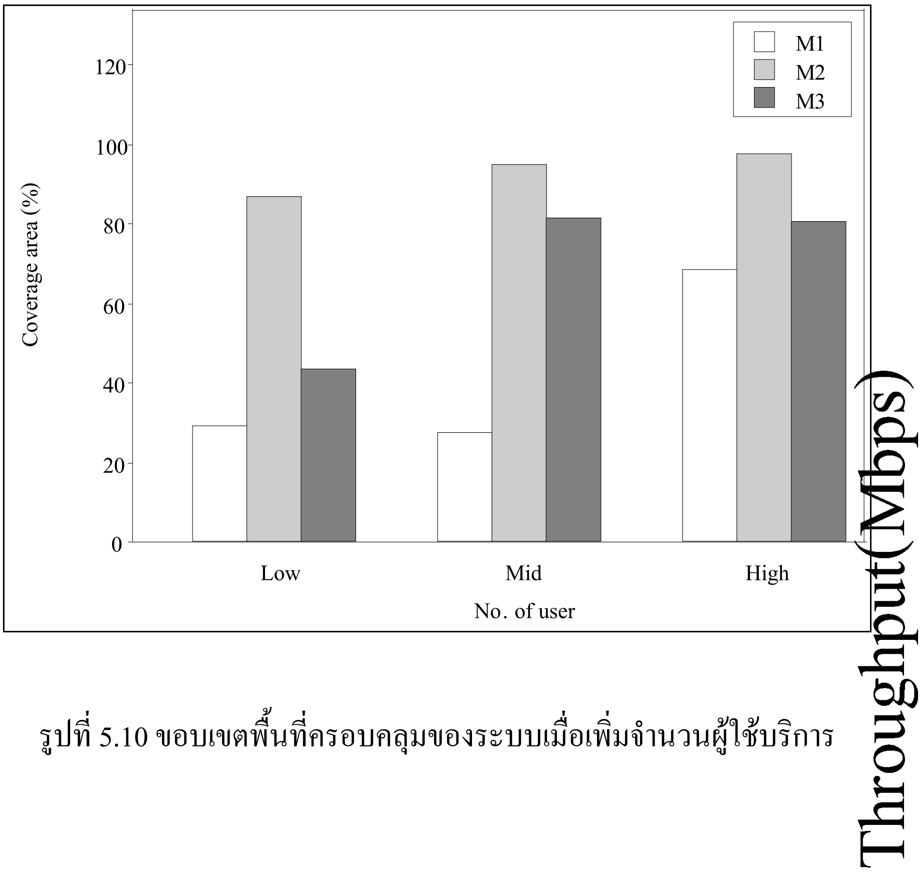
แบบกลุ่ม โดยจำนวนผู้ใช้บริการระดับ Low นั้นจะมีจำนวนผู้ใช้บริการลดลง 50% จากระดับ Mid ซึ่งจำนวนผู้ใช้บริการในระดับ Mid มีจำนวน 477 ราย ซึ่งเป็นจำนวนผู้ใช้บริการจำนวนเดียวกันกับการทดลองใน**หัวข้อ 5.4.2** การเปลี่ยนระดับความหนาแน่นของผู้ใช้บริการให้เป็นระดับ Low ทำได้โดยลดจำนวนผู้ใช้บริการลง 50% ณ ตารางเดิมเพื่อให้คงลักษณะการกระจายตัวแบบกลุ่มไว้เช่นกัน สำหรับการเปลี่ยนความหนาแน่นจากระดับ Mid เป็นระดับ High ทำได้โดยเปลี่ยนจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น 50% โดยใช้ตารางเดิมเพื่อคงลักษณะการกระจายตัวแบบกลุ่มไว้ ผลการจำลองแบบจากโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบกลุ่มแสดงดังรูปที่ 5.9 และ 5.10

จากรูปที่ 5.9 พบว่าแนวโน้มของปริมาณงานของระบบลดลงเมื่อความหนาแน่นของผู้ใช้บริการในโครงข่ายสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มมากขึ้นทำให้โอกาสในการส่งข้อมูลสำเร็จต่ำส่งผลให้ปริมาณงานทั้งหมดของระบบต่ำด้วย นอกจากนี้ยังสังเกตได้อีกว่าเทคนิค M2 ให้ปริมาณของระบบต่ำที่สุด เนื่องจากเทคนิค M2 เป็นเทคนิคที่พิจารณาเฉพาะคุณภาพของสัญญาณไม่พิจารณาปริมาณงานของระบบ ส่วนเทคนิค M1 และ M3 ให้ปริมาณของระบบใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบที่ได้จากโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ (**หัวข้อ 5.3.2**) พบว่ามีแนวโน้มลดลงเช่นกันแต่ปริมาณงานที่ได้จากโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอน้อยกว่าปริมาณงานที่ได้จากโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบกลุ่ม โดยเฉพาะเมื่อความหนาแน่นของผู้ใช้บริการอยู่ที่ระดับ High เนื่องจากโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบกลุ่มมีลักษณะที่ผู้ใช้กระจุกตัวเป็นกลุ่มทำให้จุดเข้าถึงสามารถให้บริการผู้ใช้บริการเหล่านี้ได้ดีโดยเฉพาะเมื่อจุดเข้าถึงถูกติดตั้งไว้ตรงกลุ่มพอดี ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้บริการทั้งกลุ่มสามารถสื่อสารข้อมูลได้ในอัตราเร็วสูงส่งผลให้ปริมาณงานของระบบสูงขึ้นด้วย

สำหรับผลการจำลองแบบในรูปที่ 5.10 พบว่าเมื่อความหนาแน่นของผู้ใช้บริการเพิ่มมากขึ้นแนวโน้วของพื้นที่ครอบคลุมเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเหมือนกันกับผลการจำลองแบบที่ได้จากโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มมากขึ้นซึ่งกระจายอยู่ตามจุดต่าง ๆ ภายในอาคาร ทำให้จุดเข้าถึงต้องถูกติดตั้ง ณ ตำแหน่งที่สามารถให้บริการผู้ใช้บริการเหล่านั้นได้ ทำให้พื้นที่ครอบคลุมเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองแบบในรูปที่ 5.10 กับผลการจำลองแบบในรูป 5.6 พบว่าเมื่อความหนาแน่นของผู้ใช้บริการในโครงข่ายสูงขึ้นการกระจายตัวของผู้ใช้บริการแบบสม่ำเสมอส่งผลให้พื้นที่คลอบคลุมสูงกว่าเนื่องจากเมื่อความหนาแน่นเพิ่มสูงขึ้น ในโครงข่ายที่ผู้ใช้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอจะมีผู้ใช้กระจายตัวอยู่ทั่วไปในอาคาร ทำให้จุดเข้าถึงต้องถูกติดตั้งในลักษณะที่กระจายออกไปเพื่อให้ครอบคลุมผู้ใช้บริการเหล่านั้นส่งผลให้โครงข่ายสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้น




รูปที่ 5.9 ปริมาณงานของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการ




รูปที่ 5.10 ขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมของระบบเมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการ

จากผลการจำลองแบบในรูปที่ 5.9 และ 5.10 เทคนิค M3 ยังคงสามารถให้สมรรถนะที่ดีกว่าเทคนิค M1 และ M2 เมื่อความหนาแน่นของผู้ใช้บริการสูงขึ้น แม้ว่าเทคนิค M1 ให้โครงข่ายที่มีปริมาณงานทั้งหมดของระบบสูงกว่าเทคนิค M3 เพียงเล็กน้อย (8% โดยเฉลี่ยทั้ง 3 ระดับความหนาแน่นของผู้ใช้บริการ) แต่พื้นที่ครอบคลุมน้อยกว่าเทคนิค M3 ถึง 25% โดยเฉลี่ยทั้งสามระดับความหนาแน่นของผู้ใช้บริการ และสำหรับเทคนิค M2 ปริมาณงานทั้งหมดของระบบมีค่าน้อยกว่าที่ได้จากเทคนิค M3 มากถึง 70% โดยเฉลี่ยทั้งสามระดับความหนาแน่นของผู้ใช้บริการ แม้ว่าจะให้พื้นที่ครอบคลุมมากที่สุดก็ตาม

## 5.5 การวิเคราะห์ความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่

เมื่อพิจารณาความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ทั้ง 3 เทคนิคที่นำมาเปรียบเทียบกันในงานวิจัยนี้คือ (1) เทคนิคที่พิจารณาการทำงานของซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ CSMA/CA (M1) (2) เทคนิคที่พิจารณาพื้นที่ครอบคลุม (M2) และ (3) เทคนิคแบบไฮบริด (M3) ปรากฏว่าความซับซ้อนของวิธีการค้นหาคำตอบของทั้ง 3 เทคนิคมีค่าเท่ากัน เนื่องจากในการค้นหาคำตอบของทั้ง 3 เทคนิค ใช้วิธีการแบบแพทชิ่งเหมือนกันซึ่งมีความซับซ้อนตามสมการที่ 4.7

ในขณะที่ความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ทั้ง 3 เทคนิคมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่เทคนิคไฮบริดที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ทำให้ได้โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ให้ปริมาณงานทั้งหมดของระบบสูง และมีขอบเขตการให้บริการครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่า ดังนั้นเทคนิคแบบไฮบริดจึงเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสำหรับการจัดสรรช่องความถี่ให้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

## 5.6 สรุป

เนื้อหาของบทนี้เป็นการดำเนินการวิจัย เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะของโครงข่ายเมื่อผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบกลุ่มและเมื่อผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ โดยทำการเปรียบเทียบเทคนิคการจัดสรรความถี่ 3 เทคนิคคือ (1) เทคนิคที่พิจารณาการทำงานของซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ CSMA/CA (M1) (2) เทคนิคที่พิจารณาพื้นที่ครอบคลุม (M2) และ (3) เทคนิคแบบไฮบริด (M3) ด้วยการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบจากตัวชี้วัดที่สำคัญได้แก่ ปริมาณงานทั้งหมดของระบบ และขอบเขตพื้นที่ครอบคลุม

การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบพิจารณาใน 2 กรณีคือ (1) เมื่อจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้ในโครงข่ายเพิ่มขึ้น และ (2) เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาสมรรถนะของระบบพบว่าเมื่อใช้เทคนิค M3 ออกแบบ ระบบสามารถให้ปริมาณงานทั้งหมดของระบบที่สูงขณะที่ขอบเขต

การให้บริการยังคงครอบคลุมพื้นที่ได้มาก ส่วนเทคนิค M1 สามารถให้ปริมาณงานทั้งหมดของระบบสูงแต่ขอบเขตการให้บริการครอบคลุมพื้นที่ได้น้อย เทคนิค M2 เป็นเทคนิคที่ขอบเขตการให้บริการครอบคลุมพื้นได้มากที่สุดแต่ปริมาณงานทั้งหมดของระบบน้อยมาก ดังนั้นเทคนิค M3 จึงเป็นเทคนิคที่เหมาะสมทั้งในกรณีที่ผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอและกรณีผู้ใช้บริการกระจายตัวแบบกลุ่ม

เมื่อเปรียบเทียบความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรความถี่ทั้ง 3 เทคนิคดังกล่าวจะเห็นว่ามีความซับซ้อนไม่แตกต่างกัน แต่เทคนิคไฮบริดที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ทำให้ได้โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ให้ปริมาณงานทั้งหมดของระบบสูง และมีขอบเขตการให้บริการครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่า ดังนั้นเทคนิคแบบไฮบริดจึงเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสำหรับการจัดสรรช่องความถี่ให้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

# บทที่ 6
# สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 6.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายให้สามารถบริการแก่ผู้ใช้บริการได้ดีขึ้นทั้งในด้านปริมาณงานทั้งหมดของระบบและพื้นที่ครอบคลุม โดยได้นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่พิจารณาทั้งหลักการทำงานของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ และพิจารณาชั้นสื่อสารกายภาพพร้อมกัน

เพื่อบรรลุตามวัตถุประสงค์ การดำเนินวิจัยเริ่มจากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่ได้พัฒนาขึ้นในโครงข่ายเซลลูลาร์และระบบวิทยุกระจายเสียงไม่สามารถนำมาใช้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้โดยตรง ส่วนเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่พัฒนาขึ้นในโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายเองยังไม่สามารถจัดสรรช่องความถี่ให้โครงข่ายมีสมรรถนะสูงสุดได้ เนื่องจากในการออกแบบเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ไม่ได้พิจารณาคุณลักษณะของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายอย่างครบถ้วน

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้พัฒนาเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่สำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่พิจารณาทั้งหลักการทำงานของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ และพิจารณาชั้นสื่อสารกายภาพพร้อมกัน เนื่องจากทั้งสองส่วนนี้เป็นลักษณะเฉพาะของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยนำสองส่วนดังกล่าวมาสร้างเป็นสมการวัตถุประสงค์ดังนี้

$$M = \max(w_1 \times THR_{total} + w_2 \times COV) \qquad (6.1)$$

เมื่อ $THR_{total}$ คือ ปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้จากการพิจารณาหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ $COV$ คือ พื้นที่ครอบคลุมของโครงข่ายได้จากการพิจารณาชั้นสื่อสารกายภาพ ส่วน $w_1$ เป็นตัวถ่วงน้ำหนักของค่าปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายและ $w_2$ เป็นตัวถ่วงน้ำหนักของพื้นที่ครอบคลุมของโครงข่ายผลจากการจำลองแบบพบว่าเมื่อ $w_1 = w_2 = 0.5$ นั่นคือน้ำหนักของการพิจารณาโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ เท่ากับน้ำหนักของการพิจารณาคุณภาพของสัญญาณแล้วเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริดจะให้

สมรรถนะของโครงข่ายอยู่ในเกณฑ์ที่ดีทั้งในด้านปริมาณงานของระบบและด้านพื้นที่ครอบคลุม และจากการเปรียบเทียบกับเทคนิคอื่นคือ เทคนิคที่พิจารณาเฉพาะหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ และเทคนิคที่พิจารณาเฉพาะคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ พบว่าเทคนิคไฮบริดที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ทำให้ได้โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ให้ปริมาณงานทั้งหมดของระบบสูง และมีขอบเขตการให้บริการครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่า โดยเฉพาะเมื่อผู้ใช้บริการมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอเทคนิคไฮบริดให้โครงข่ายที่มีปริมาณงานมากกว่าที่ได้จากเทคนิคที่พิจารณาเฉพาะคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ 78% และให้พื้นที่ครอบคลุมมากกว่าเทคนิคที่พิจารณาเฉพาะโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ 58%

นอกจากนี้ได้นำเทคนิคการค้นหาคำตอบแบบแพทชิ่ง (Patching) มาใช้ในเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริดทำให้สามารถลดความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่จากการใช้เทคนิคการค้นหาคำตอบแบบละเอียด (exhaustive search) ได้ และลดระยะเวลาในการหาคำตอบได้ 45 ชั่วโมงเมื่อโครงข่ายติดตั้งจุดเข้าถึง 6 เครื่อง

ดังนั้นเทคนิคแบบไฮบริดจึงเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสำหรับการจัดสรรช่องความถี่ให้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

## 6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการตัดสินใจว่าจุดที่ทำการทดสอบสัญญาณนั้นสามารถสื่อสารข้อมูลกับจุดเข้าถึงได้หรือไม่นั้น ต้องทราบค่าของสองปริมาณคือ ค่าความแรงของสัญญาณ กับ ค่าเอสไออาร์ ในการหาค่าของทั้งสองปริมาณนี้จำเป็นต้องทราบค่าพลังงานที่สูญเสียไป ซึ่งเกิดจากปัจจัยหลายปัจจัยทำให้ไม่สามารถทราบค่าพลังงานที่สูญเสียไปอย่างแท้จริงได้ อีกประการเมื่อบริเวณที่ใช้ศึกษามีโครงสร้างที่ซับซ้อน เช่น มีกำแพงจำนวนมาก วางในแนวแตกต่างกัน และวัสดุที่ใช้ทำกำแพงมีความหลากหลาย เหล่านี้ล้วนทำให้การคำนวณค่าพลังงานที่สูญเสียไปมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น จำเป็นต้องใช้เทคนิคในการคำนวณที่มีความเชื่อมั่นได้ว่าสามารถให้ค่าที่ใกล้เคียง เช่น การใช้ซอฟแวร์ที่ได้รับการรับรองและเชื่อถือได้เพื่อช่วยในการคำนวณ

จากสมการที่ 3.9 เป็นสมการวัตถุประสงค์ที่มีผลกระทบจากความแตกต่างเชิงขนาดของปริมาณงานและพื้นที่ครอบคลุม ซึ่งนำมารวมกันเพื่อลดผลกระทบนี้นอกจากวิธีการที่ได้นำเสนอในหัวข้อ 3.4 แล้ว ยังสามารถใช้วิธีการประมาณค่าในช่วง (Interpolate) ได้เช่นกัน

## 6.3 งานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่ดีที่สุดสำหรับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับสิ่งแวดล้อมที่เป็นสองมิติ เช่น อาคารที่มีเพียงชั้นเดียว ดังนั้นสามารถพัฒนาให้เทคนิคนี้สามารถใช้กับสิ่งแวดล้อมที่เป็นสามมิติได้

โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11b เป็นแบบที่นิยมใช้ และมาตรฐานนี้ได้รับการพัฒนาต่อให้สามารถสื่อสารข้อมูลในอัตราเร็วที่สูงขึ้น ซึ่งได้ตั้งเป็นมาตรฐานใหม่ คือ IEEE 802.11g ซึ่งสามารถใช้พื้นฐานความรู้จากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้กับโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11g

งานวิจัยนี้ได้กำหนดจุดที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้ซึ่งในสถานการณ์จริงจุดเหล่านี้ได้มาจากการสำรวจ เมื่อจุดเข้าถึงถูกติดตั้ง ณ จุดนี้แล้วได้รับจัดสรรช่องความถี่หนึ่งช่องสำหรับส่งสัญญาณ กำลังส่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะถูกกำหนดไว้คงที่ที่ 20 *dBm* ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตจะสามารถให้กำลังส่งเป็นตัวแปรที่ต้องหาคำตอบเพื่อให้ได้กำลังส่งที่เหมาะสมสำหรับแต่ละจุดเข้าถึง ซึ่งสามารถทำให้โครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายมีสมรรถนะสูงขึ้นได้

นอกจากนี้การพัฒนางานวิจัยสามารถทำได้โดยการใช้เทคนิคการคำนวณค่าพลังงานที่สูญเสียไปที่เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อมเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าพลังงานที่สูญเสียจริง

# รายการอ้างอิง


T.S.Rapaport (1996). **Wireless Communications**, Second edition: Prentice-Hall.

IEEEStd802.11b (1999, 2000). Supplement To IEEE Standard For Information Technology-Telecommunications And Information Exchange Between Systems-Local And Metropolitan Area Networks Specific Requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) And Physical Layer (PHY) Specifications: Higher-speed Physical Layer Extension In The 2.4 GHz Band. (pp. i-90)

IEEEStd802.11g (2003). Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: **Higher Speed Physical Layer (PHY) Extension to IEEE 802.11b.**

R.C.Rodriguez, G.R.Mateus and A.A.F.Loureiro (2000). On the design and capacity planning of a wireless local area network. **IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium 2000.**

L.Indoumghar and P.Debreux (2002). New modeling approach to the frequency assignment problem in broadcasting. **IEEE Transaction, Broadcasting, volume 48. No. 4**. (pp 293-298)

S.U. Thiel, S. Hurley, and D.H. Smith (1997). Frequency assignment algorithms. **Dept. of Computer science, University of Wales Cardiff, UK, Ref. RCCM 070**.

L.E.Hodge, S.Hurley, and D.H.Smith (2002). Higher order constraint techniques for the frequency assignment problem. **Cardiff University, Cardiff, Wales, U.K.**

Y.Lee, K.Kim, and Y.Choi (2002). Optimization of AP placement and channel assignment in wireless LANs. **The 27$^{th}$ Annual IEEE Conference on Local Computer Networks**.

Kin K. Leung and Byoung-Jo "J" Kim (2003). Frequency Assignment for IEEE 802.11 Wireless Networks. **Vehicular Technology Conference, 2003 Volume 3.** (pp. 1422 -1426)

X.Ling and K.L.Yeung (2005). Joint Access Point Placement and Channel Assignment for 802.11 Wireless LANs. **Wireless Communications and Networking Conference.**

G.Bianchi (2000). Performance analysis of IEEE 802.11 distributed coordination function**. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18**. (pp. 535-547)

B.E.Henty and T.S.Rapaport (2001). Throughput Measurements and Empirical Prediction Models for IEEE 802.11b Wireless LAN (WLAN) Installations. **Dept. of Electrical and Computer Engineering. Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University.**

A.Mishra, S.Banerjee, and W.Arbaugh (2005). Weighted coloring based channel assignment for WLANs. **ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review archive.**

K. Pahlavan and P. Krishnamurthy (2002). Principle of Wireless Networks. Prentice Hall PTR.

S. Garg and M. Kappes (2003). An Experimental Study of Throughput for UDP and VoIP Traffic in IEEE 802.11b Networks. **IEEE Wireless Communications and Networking (WCNC).**

Alexander L. Wijesinha, Yeong-tae Song, Mahesh Krishnan, Vijita Mathur, Jin Ahn, and Vijay Shyamasundar (2005). Throughput Measurement for UDP Traffic in an IEEE 802.11g WLAN. **the Sixth International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing and First ACIS International Workshop on Self-Assembling Wireless Networks (SNPD/SAWN'05).**

# ภาคผนวก ก

# โครงสร้างเฟรมข้อมูลในชั้นสื่อสารข้อมูล

## โครงสร้างเฟรมข้อมูลในชั้นสื่อสารข้อมูล

ส่วนประกอบหลัก ๆ ของเฟรมตามมาตรฐาน IEEE 802.11 แสดงดังรูปที่ ก-1

| Preamble | PLCP Header | MAC Data | FCS |
|---|---|---|---|

รูปที่ ก-1 ส่วนประกอบหลักของเฟรมใน 802.11

โดยที่

**Preamble** เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับชั้นสื่อสารกายภาพ (physical layer) ประกอบด้วย

1) Synch ขนาด 80 บิต ใช้สำหรับการเลือกคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ให้มีคุณภาพดีที่สุดและการซิงค์โครไนซ์กับเวลาไทมิงของแพ็กเกตที่รับได้

2) SFD (start frame delimiter) ขนาด 16 บิต ใช้สำหรับกำหนดไทมิงของเฟรม

**PLCP Header** ส่วนนี้จะถูกรับส่งด้วยอัตราเร็ว 1 Mbps เสมอ ซึ่งด้านในบรรจุข้อมูลสำหรับตรรกะ และถูกใช้โดยชั้นสื่อสารกายภาพในการดีโค้ด (decode) เฟรม ส่วนของ PLCP Header ประกอบด้วย

1) PLCP_PDU Length Word ซึ่งแสดงจำนวนไบท์ (byte) ที่บรรจุในแพ็กเกตส่วนนี้มีประโยชน์กับชั้นสื่อสารกายภาพในการตรวจสอบการสิ้นสุดแพ็กเกต

2) PLCP Signal Field แสดงอัตราเร็วในการส่งข้อมูล

3) Header Error Check Field เป็นข้อมูลขนาด 16 บิต สำหรับการตรวจสอบข้อผิดพลาดและการแก้ไขในการรับส่งข้อมูลโดยใช้ ซีอาร์ซี (CRC หรือ cyclic redundancy check)

**MAC Data** ส่วนประกอบของ MAC Data แสดงดังรูปที่ ก-2 (1)

**FSC** มีขนาด 32 บิต ซึ่งบรรจุข้อมูลสำหรับการตรวจสอบข้อผิดพลาดและการแก้ไขในการรับส่งข้อมูล โดย ซีอาร์ซี (CRC หรือ cyclic redundancy check)

| Octet | 2 | 2 | 6 | 6 | 6 | 2 | 6 | 0-2312 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Frame control | Duration/ ID | Address 1 | Address 2 | Address 3 | Sequence control | Address 4 | Frame body | CRC |

MAC Header

(1) MAC Data

| B0 B1 | B2 B3 | B4 B7 | B8 | B9 | B10 | B11 | B12 | B13 | B14 | B15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Protocol Version | Type | Subtype | To DS | From DS | More Flag | Retry | Pwr Mgt | More Data | WEP | Oder |
| bits 2 | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

(2) Frame control

รูปที่ ก-2 IEEE 802.11 MAC Frame format

จากรูปที่ ก-2 (1)

**Frame control** เป็นตัวบ่งชี้ชนิดของเฟรม และให้ข้อมูลเกี่ยวกับการควบคุม ดังแสดงในรูปที่ ก-2 (2)

**Protocol version** มีขนาด 2 บิตเท่ากันในทุกรุ่นของมาตรฐาน 802.11 ใช้สำหรับบอกรุ่นของโปรโตคอล และรุ่นที่ใช้อยู่ในปัจจุบันแทนด้วย 0

**Type** บอกชนิดของเฟรมว่าเป็นเฟรมควบคุม (control) เฟรมจัดการ (management) หรือ เฟรมข้อมูล (data)

**Subtype** เป็นส่วนบ่งบอกหน้าที่ของชนิดเฟรมนั้น ซึ่งรายละเอียดแสดงดังตารางที่ ก-2

**To DS** ถูกจัดให้เป็น 1 สำหรับเฟรมที่ถูกส่งไปยังระบบกระจาย (distribution system)

**From DS** ถูกจัดให้เป็น 1 สำหรับเฟรมที่ส่งมาจากระบบกระจาย

**More fragment** ถูกจัดให้เป็น 1 เมื่อมีส่วนของเฟรมตามมาอีก

**Retry** บิตนี้เป็นตัวบ่งชี้ว่าส่วนนี้เป็นส่วนที่ถูกส่งใหม่เนื่องจากแพ็กเกตตอบรับสูญหายไป

**Power management** ถูกจัดให้เป็น 1 เมื่อสถานีที่ส่งอยู่ใน Sleep mode

**More data** เป็นตัวบ่งชี้ว่าสถานีมีข้อมูลที่จะส่งอีก

**WEP** บิตนี้เป็นตัวบ่งบอกว่าเฟรมนี้ถูกเข้ารหัสแบบใด

**Order** บ่งชี้ว่าเฟรมถูกส่งด้วย Strictly-oriented ซึ่งบอกให้สถานีรับทราบว่าต้องประมวลผลตามลำดับ

**Duration/ID** ส่วนนี้มี 2 ความหมายขึ้นอยู่กับชนิดของเฟรม ถ้าเป็นเฟรมเกี่ยวกับ Power save Poll Massage จะเป็นส่วนที่บอก Station ID ความหมายที่สองเมื่อเป็นเฟรมชนิดอื่นส่วนนี้มีไว้สำหรับบอกช่วงเวลาใช้ในการคำนวณ NAV (network allocation vector)

**Address** เป็นส่วนที่ใช้สำหรับบอกตำแหน่งของผู้ส่งและผู้รับ

**Sequence control** ใช้สำหรับการแยกเฟรมและการรวมเฟรมกลับ

**Frame body** บรรจุ MSDU หรือส่วนย่อยของ MSDU (MAC unit data service)

ตารางที่ ก-1 สัญลักษณ์และคำอธิบาย

| สัญลักษณ์ | คำอธิบาย |
|---|---|
| FCS | Frame Check Sequence |
| MSS | Maximum Segment Size |
| MTU | Maximum Transmission Unit |
| SNAP | Sub Network Access Protocol |
| LLC | Logical Link Control |
| MPDU | MAC Protocol Data Unit |
| PLCP | Physical Layer Convergence Protocol |
| PSDU | PLCP Service Data Unit (SDU) |
| PPDU | PLCP Protocol Data Unit (PLCP + MPDU) |

ตารางที่ ก-2

| Type value | Type description | Subtype value | Subtype description |
|---|---|---|---|
| 00 | Management | 0000 | Association request |
| 00 | Management | 0001 | Association response |
| 00 | Management | 0010 | Reassociation request |
| 00 | Management | 0011 | Reassociation response |
| 00 | Management | 0100 | Probe request |
| 00 | Management | 0101 | Probe response |
| 00 | Management | 1000 | Beacon |
| 00 | Management | 1001 | Announcement traffic indication message |
| 00 | Management | 1010 | Dissociation |
| 00 | Management | 1011 | Authentication |
| 00 | Management | 1100 | Deauthentication |
| 01 | Control | 1010 | Power save poll |
| 01 | Control | 1011 | Request to send |
| 01 | Control | 1100 | Clear to send |
| 01 | Control | 1101 | Acknowledgement |
| 01 | Control | 1110 | Contention-Free (CF)-End |
| 01 | Control | 1111 | CF-End + CF-Ack |
| 10 | Data | 0000 | Data |
| 10 | Data | 0001 | Data + CF-Ack |
| 10 | Data | 0010 | Data + CF-Poll |
| 10 | Data | 0011 | Data + CF-Ack + CF-Poll |
| 10 | Data | 0100 | Null function (no data) |
| 10 | Data | 0101 | CF-Ack (no data) |
| 10 | Data | 0110 | CF-Poll (no data) |
| 10 | Data | 0111 | CF-Ack + CF-Poll (no data) |

# ภาคผนวก ข

# บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

## บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

บริบูรณ์ ดีกา และ ชุติมา พรหมมาก (2548) การวิเคราะห์เวลาประวิงในการจองช่องสัญญาณของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางสำหรับระบบการสื่อสารไร้สายความเร็วสูง **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 (EECON-28)** มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ หน้า 71-74

ชุติมา พรหมมาก และ บริบูรณ์ ดีกา (2548) On The Analysis of the Optimal Frequency Planning for Wireless Local Area Networks **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 4 (PEC-4)**

Prommak, C. and Deeka, B. (2007) Optimal Frequency Channel Assignment for WLANs Using Hybrid SIR and CSMA/CA Considerations **ECTI-CON-2007** Mhefalaung University of Thailand.

# ประวัติผู้เขียน

นายบริบูรณ์ ดีกา เกิดเมื่อวันที่ 18 สิงหาคม พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดนครราชสีมา เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนวัดสองพี่น้อง อ.ชุมพวง จ.นครราชสีมา, ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนสาหร่ายวิทยาคม อ.ชุมพวง จ.นครราชสีมา, ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย อ.เมือง จ.นครราชสีมา จากนั้นได้รับโควต้าจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีให้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิศวกรรมศาสตร์ เมื่อสำเร็จการศึกษา ได้เข้าทำงานที่บริษัทเนสิก (ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่งวิศวกร มีหน้าที่รับผิดชอบการทดสอบอุปกรณ์นำสัญญาณในระบบโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ และได้ลาออกเพื่อศึกษาต่อในระดับปริญญาโทในสาขาวิชาเดิมหลังจากทำงานได้ครบ 2 ปี ขณะกำลังศึกษาระดับปริญญาโทได้รับเงินอุดหนุนจากกองทุนวิจัยและพัฒนาเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2549 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และเป็นผู้ช่วยสอนประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม จำนวน 2 รายวิชา ได้แก่ วิชาปฏิบัติการโทรคมนาคม 1 และ วิชาปฏิบัติการโทรคมนาคม 2 เป็นระยะเวลา 2 ปี ระหว่างศึกษาได้มีผลงานทางวิชาการที่ตีพิมพ์เผยแพร่ดังนี้ บทความเรื่อง ***การวิเคราะห์เวลาประวิงในการจองช่องสัญญาณของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางสำหรับระบบการสื่อสารไร้สายความเร็วสูง*** ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 (EECON-28) จัดโดยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, บทความเรื่อง ***On The Analysis of the Optimal Frequency Planning for Wireless Local Area Networks*** เสนอในงานการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ ครั้งที่ 4 (PEC-4) จัดโดยมหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ และบทความเรื่อง ***Optimal Frequency Channel Assignment for WLANs Using Hybrid SIR and CSMA/CA Considerations*** นำเสนอในงาน ECTI-CON-2007 ซึ่งจัดโดย มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ปัจจุบันเป็นอาจารย์สอนที่มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์