รหัสโครงการ SUT7-709-48-12-98

รายงานการวิจัย

การออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่รับประกันคุณภาพการให้บริการ
(Quality-of-Service Network Planning for Wireless LANs)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุติมา พรหมมาก

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2548

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กรกฎาคม 2551

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ช่วยให้งานวิจัยนี้เสร็จลุล่วงด้วยดี ขอบคุณศูนย์คอมพิวเตอร์และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้อำนวยความสะดวกในการวิจัย และขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในการให้ทุนสนับสนุนการวิจัย และให้งบประมาณในการเสนอผลงานวิจัย ณ ศารประชุมวิชาการนานาชาติ

ผู้วิจัย

กรกฎาคม 2551

บทคัดย่อ

เนื่องจากเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายประเภทที่มีโครงสร้างเครือข่ายแน่นอนได้รับความนิยมและมีการนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย จึงจำเป็นต้องมีวิธีการวางแผนเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีคุณภาพการให้บริการการสื่อสารข้อมูลสูง งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการวางแผนเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายวิธีใหม่ที่พิจารณาคุณภาพการให้บริการที่สำคัญสองประเด็นด้วยกันคือ คุณภาพของสัญญาณภายในพื้นที่ที่ต้องการให้บริการและปริมาณงานของระบบ วิธีการวางแผนเครือข่ายที่นำเสนอเป็นวิธีแบบไฮบริดที่พิจารณาหน้าที่การทำงานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายในชั้นกายภาพ (physical layer) และชั้นการเชื่อมโยงข้อมูล (data link layer) โดยได้มีการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่สามารถให้บริการสื่อสารด้วยคุณภาพสัญญาณครอบคลุมในเครือข่ายที่ดีที่สุดและมีปริมาณงานของระบบสูงที่สุด สมการคณิตศาสตร์ที่นำเสนอนี้แยกพิจารณาผลจากปัจจัยในชั้นกายภาพและชั้นการเชื่อมโยงข้อมูล โดยทำการเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับปัจจัยทั้งสอง จากการทดลองวางแผนเครือข่ายและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้บริการสื่อสารข้อมูลพบว่าวิธีการวางแผนเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่พิจารณาทั้งปัจจัยในชั้นกายภาพและชั้นการเชื่อมโยงข้อมูลสามารถเพิ่มคุณภาพการให้บริการสื่อสารข้อมูลของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายได้ เราพบว่าคุณภาพของสัญญาณครอบคลุมภายในพื้นที่ให้บริการเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยชั้นกายภาพ (w_2) ส่วนปริมาณงานของระบบนั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยชั้นการเชื่อมโยงข้อมูล (w_1) เมื่อจุดเข้าถึงที่ใช้ในเครือข่ายมีจำนวนน้อย (3 หรือ 4 เครื่อง) แต่เมื่อใช้จำนวนจุดเข้าถึงมากกว่า 4 เครื่อง ปริมาณงานของระบบจะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าถ่วงน้ำหนัก w_1 แต่เครือข่ายจะได้ปริมาณงานของระบบสูงสุดเมื่อ w_1 มีค่าระหว่าง 0.3 ถึง 0.5 นอกจากนี้เรายังพบว่าค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อให้ได้ปริมาณงานของระบบสูงโดยที่ไม่กระทบต่อคุณภาพด้านสัญญาณครอบคลุมมากนักคือ $w_1 = 0.4$ และ $w_2 = 0.6$ จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าวิธีการวางแผนเครือข่ายที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ทำให้ได้เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีประสิทธิภาพการให้บริการสูงกว่าวิธีการอื่น กล่าวคือวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถเพิ่มคุณภาพการในให้บริการเครือข่ายทั้งในด้านของคุณภาพสัญญาณครอบคลุมในเครือข่ายและเพิ่มปริมาณงานของระบบด้วย ในขณะที่การวางแผนเครือข่ายวิธีอื่นจะปรับปรุงคุณภาพเครือข่ายด้านใดด้านหนึ่ง แต่จะส่งผลกระทบทำให้คุณภาพเครือข่ายอีกด้านหนึ่งลดลง ดังนั้นวิธีการวางแผนเครือข่ายที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัยนี้สามารถช่วยให้การออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและได้เครือข่ายที่มีคุณภาพการให้บริการสูงด้วย

Abstract

With the continued growth and the expansion of the infrastructure-based Wireless Local Area Network (WLAN) deployments, efficient network planning methods are required so that the resulting WLANs can provide high Quality of Services (QoS). This research presents a new network planning for WLANs that considers two important QoS metrics, including the radio signal quality in the target service areas and the system throughput. The proposed method is a hybrid approach, accounting the physical layer and the data link layer functionalities of the WLANs in the network planning method. Specifically, we developed a mathematical model to determine a WLAN configuration that optimizes the network QoS in term of the radio signal coverage and the system throughput. The proposed model separates the physical layer considerations and the data link layer contributions in order to differently change the weights of the two characteristics of WLANs. We conducted numerical experiments and sensitivity analysis to analyze the improvement of the network performance and the jointed impact of the physical and the data link layer functionalities on the QoS of WLANs. We found that the radio signal quality is proportional to its associated weight factor (w_2). The system throughput is, however, proportional to the value of its associated weight factor (w_1) when using a few APs (3 and 4 APs). This relationship does not hold in the case of using more than 4 APs in which the network design yields the highest throughput when w_1 is in the range from 0.3 to 0.5. Furthermore, we found that the appropriate value of the weight factors in order to achieve high system throughput without scarifying the radio signal quality is w_1 = 0.4 and w_2 = 0.6. Extensive numerical analysis shows that the proposed network planning model outperforms other methods, i.e. the proposed model can enhance both QoSs of WLANs, whereas the signal quality based model results in low system throughput and the throughput based model results in poor radio signal coverage. Therefore, the proposed method can be useful in the WLAN planning process and can help the network planners in determining the efficient WLAN configuration that can provide high network QoS.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ .....ก
บทคัดย่อ .....ข
Abstract .....ค
สารบัญ .....ง
สารบัญตาราง .....จ
สารบัญภาพ .....ฉ
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....3
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย 3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....3
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวกับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย
2.1 มาตรฐานและย่านความถี่ใช้งานสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....4
2.2 โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ.....6
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของจุดเข้าถึงกับ
การทำงานของโปรโตคอลซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ.....9
2.4 การคำนวณปริมาณงานของระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย.....11
บทที่ 3 เทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการสูงสุด
3.1 การนิยามปัญหาและสมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย..18
3.1.1 การพิจารณาคุณภาพการให้บริการในด้านของปริมาณงานรวม
ของระบบ.....19
3.1.2 การพิจารณาคุณภาพของสัญญาณในพื้นที่ของเครือข่าย.....20
3.1.2.1 ความแรงของสัญญาณ.....20
3.1.2.2 เอสไออาร์.....21
3.1.2.3 การคำนวณค่าของพื้นที่ครอบคลุม.....22

หน้า

3.1.3 สมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการสูงสุด.....23
3.2 วิธีการหาคำตอบให้กับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการสูงสุด.....24
3.3 การประเมินความซับซ้อนของวิธีการหาคำตอบ.....26
บทที่ 4 การทดลองและการวิเคราะห์ผลของการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย
4.1 การทดลองและการวิเคราะห์ผลกระทบของค่าถ่วงน้ำหนัก.....33
4.2 การเปรียบเทียบเทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....36
4.3 การวิเคราะห์ความซับซ้อนของเทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....41
บทที่ 5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....43
บรรณานุกรม.....44
ภาคผนวก
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....47
ประวัติผู้วิจัย.....48

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณที่ใช้ในการคำนวณเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล.....16
ตารางที่ 3.1 แสดงตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้และช่องความถี่ที่จัดสรรให้ 30
ตารางที่ 4.1 ปริมาณงานเฉลี่ยของผู้ใช้บริการเมื่อจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้ในเครือข่ายมี 7 เครื่อง.....38
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความซับซ้อนของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริด
ที่ใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบแพทชิ่งกับที่ใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบละเอียด.....41
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้เมื่อใช้วิธีการค้นหาคำตอบ
แบบแพทชิ่งกับเมื่อใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบละเอียด.....42

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 เครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่มีเครือข่ายแน่นอน.....5
รูปที่ 2.2 การแบ่งช่องความถี่สำหรับ IEEE 802.11b และ 802.11g.....5
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของการส่งข้อมูลตามโปรโตคอลซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ.....7
รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ.....9
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์กรณีที่เซลล์ซ้อนทับกัน.....10
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์กรณีที่เซลล์แยกกันโดยสมบูรณ์.....10
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์กรณีที่เซลล์แยกกันไม่สมบูรณ์.....11
รูปที่ 2.8 ช่วงเวลาในสภาวะต่างๆเมื่อใช้กลไกการตรวจสอบสถานะตัวกลางแบบ RTS/CTS.....14
รูปที่ 3.1 ตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้ และจุดเข้าถึงที่ต้องการติดตั้ง.....29
รูปที่ 3.2 การค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจุดเข้าถึงเครื่องแรก.....30
รูปที่ 3.3 การค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจุดเข้าถึงเครื่องที่สอง.....31
รูปที่ 4.1 บริเวณพื้นที่ให้บริการสำหรับการทดลองออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....34
รูปที่ 4.2 ลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการในพื้นที่ให้บริการเครือข่าย.....34
รูปที่ 4.3 พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ออกแบบด้วยการใช้ w_j ค่าต่างๆ....35
รูปที่ 4.4 ปริมาณงานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ออกแบบด้วยการใช้ w_j ค่าต่างๆ.....36
รูปที่ 4.5 ปริมาณงานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเมื่อใช้จำนวนจุดเข้าถึงต่างๆ.....37
รูปที่ 4.6 พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเมื่อใช้จำนวนจุดเข้าถึงต่างๆ.....37
รูปที่ 4.7 ปริมาณงานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....39
รูปที่ 4.8 พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....40
รูปที่ 4.9 ผลการทดลองหลังจากแก้สมการเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดกรณีใช้จุดเข้าถึงจำนวน 7 เครื่อง..41

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network หรือ WLAN) เป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ซึ่งเข้ามามีบทบาทในการสื่อสารข้อมูลอย่างมากในปัจจุบันนี้และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง[1, 2] เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายได้ทำการเชื่อมโยงเครื่องคอมพิวเตอร์ ตลอดจนอุปกรณ์สื่อสารอื่นๆ โดยไม่ต้องมีการเดินสายสัญญาณ แต่จะใช้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมต่อ เรียกว่า จุดเข้าถึง (Access Point) และอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณไร้สาย (wireless transceiver) ซึ่งถูกติดตั้งที่เครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องเพื่อส่งสัญญาณไปยังจุดเข้าถึง นอกจากนี้จุดเข้าถึงยังเป็นจุดที่เชื่อมต่อเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายเข้ากับเครือข่ายท้องถิ่นแบบมีสายและอำนวยให้สามารถเชื่อมต่อและแลกเปลี่ยนข้อมูลสู่เครือข่ายภายนอกรวม ถึงอินเตอร์เนตด้วย

ในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย สิ่งที่ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดคือ จำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องใช้ติดตั้งในพื้นที่ให้บริการ นอกจากนั้นยังต้องกำหนดตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม รวมถึงค่าตัวแปรต่างๆ ของจุดเข้าถึงแต่ละเครื่อง อันได้แก่ ความแรงของสัญญาณที่ส่งออกมา (transmitted power) และช่องความถี่ของสัญญาณ (frequency channel) ซึ่งจะต้องเลือกอย่างเหมาะสม เพื่อให้เครือข่ายสามารถให้บริการสื่อสารข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพนั่นคือมีสัญญาณครอบคลุมอาณาบริเวณที่ต้องการอย่างทั่วถึง และความแรงของสัญญาณเพียงพอที่จะทำให้การรับสัญญาณข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง แต่ก็ไม่แรงเกินไปจนทำให้เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนขึ้นระหว่างจุดเข้าถึงที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่เดียวกัน [3] นอกจากนั้นเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบและติดตั้งควรมีความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลข่าวสารเพื่อบริการเครื่องคอมพิวเตอร์ภายในเครือ-ข่ายอย่างมีประสิทธิภาพ[4] นั่นคือในเครือข่ายประเภทนี้ ถ้าติดตั้งจำนวนจุดเข้าถึงน้อยเกินไป อาจทำให้สัญญาณครอบคลุมไม่ทั่วถึง และ/หรือ ขนาดความจุของเครือข่ายไม่เพียงพอที่จะรองรับปริมาณข้อมูลข่าวสารในเครือข่ายได้ แต่หากว่าเครือข่ายใช้จำนวนจุดเข้าถึงมากเกินไป หรือมีการกำหนดตำแหน่งติดตั้งและค่าตัวแปรที่ไม่เหมาะสมก็อาจส่งผลให้สัญญาณรบกวนในเครือข่ายสูงจนเป็นอุปสรรคต่อระบบรับส่งสัญญาณแบบไร้สายได้ ดังนั้นในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายควรทำด้วยความระมัดระวังโดยต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆที่สามารถส่งผลกระทบถึงการให้บริการของเครือข่าย นั่นคือความแรงของสัญญาณ ระดับของสัญญาณรบกวน และความจุของเครือข่ายเพื่อรองรับปริมาณงานสื่อสารข้อมูลในเครือข่าย [4]

ในระยะแรกวิธีการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายมุ่งสนใจเรื่องการหาตำแหน่งสำหรับติดตั้งจุดเข้าถึงเพื่อให้มีสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการอย่างทั่วถึง (signal coverage-based network design) [3] โดยทำการสุ่มตำแหน่งของจุดเข้าถึงตามความสะดวกในการติดตั้ง (opportunistic approaches) [5, 6] วิธีนี้เหมาะกับกรณีที่พื้นที่ให้บริการของเครือข่ายที่มีขนาดเล็ก และมุ่งรองรับข้อมูลข่าวสารแบบไม่ต้องการการรับรองคุณภาพการให้บริการ (best effort service) เช่น อีเมล (e-mail) และ การถ่ายโอนแฟ้ม (file transfer) เป็นต้น หากพิจารณาการออกแบบเครือข่ายสำหรับพื้นที่ให้บริการขนาดใหญ่ซึ่งอาจครอบคลุมเนื้อที่จำนวนหลายชั้นในตัวอาคารหรือครอบคลุมทั้งตัวอาคาร การออกแบบวิธีนี้จะไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากต้องทำการลองผิดลองถูก (trial and error) เพื่อกำหนดตำแหน่งสำหรับติดตั้งจุดเข้าถึง และหาค่าตัวแปรต่างๆ ที่เหมาะสมให้กับจุดเข้าถึงจำนวนหลายๆเครื่อง ผลลัพธ์ของเครือข่ายที่ได้อาจไม่สามารถรับรองคุณภาพของสัญญาณภายในบริเวณที่ต้องการจะให้บริการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายได้

ต่อมาได้มีการนำเสนอวิธีการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนเครือข่ายที่ดีที่สุด (optimization network planning approaches) [7-11] วิธีนี้เป็นการออกแบบโดยอัตโนมัติ ซึ่งทำโดยการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่รวบรวมปัจจัยที่พิจารณาในการออกแบบเข้าในสมการ และทำการแก้สมการเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดซึ่งคำตอบที่ได้ในที่นี้ก็คือ จำนวนจุดเข้าถึง และค่าตัวแปรต่างๆ นั่นคือ ตำแหน่งที่ตั้ง ความแรงสัญญาณ และช่องสัญญาณความถี่ของแต่ละจุดเข้าถึง การออกแบบวิธีนี้เหมาะสำหรับการออกแบบเครือข่ายในกรณีที่มีพื้นที่การให้บริการขนาดใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามการออกแบบโดยใช้วิธีทางคณิตศาตร์ในการวางแผนเครือข่ายที่ดีที่สุด ส่วนใหญ่มุ่งเน้นปัจจัยเรื่องของสัญญาณครอบคลุมพื้นที่เท่านั้น ซึ่งเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบวิธีนี้อาจไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการรองรับการใช้งานสื่อสารข้อมูลประเภทเสียง และภาพเคลื่อนไหว (sound and video applications) เนื่องจากในวิธีการออกแบบดังกล่าวไม่ได้คำนึงถึงปริมาณงาน (Throughput) ที่สื่อสารผ่านระบบเครือข่าย ดังนั้นเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยวิธีดังกล่าวจึงไม่สามารถรับประกันได้ว่าเครือข่ายจะมีคุณภาพการให้บริการ (Quaity of Service, QoS) อยู่ในระดับสูงพอหรือไม่

โครงการที่นำเสนอนี้มุ่งพัฒนาวิธีการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อให้เครือข่ายที่ได้มีคุณภาพการให้บริการสื่อสารข้อมูลสูง โดยได้พัฒนาวิธีการทางคณิตศาสตร์วิธีใหม่ที่นอกจากจะพิจารณาเรื่องของสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการแล้วยังเพิ่มการพิจารณาปริมาณงานที่สื่อสารผ่านระบบเครือข่ายลงในสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อการออกแบบและวางแผนเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ดีที่สุดด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- เพื่อพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบและวางแผนเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ดีที่สุด (optimization WLAN design and planning)
- เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบโดยวิธีที่พัฒนาขึ้น และ คุณภาพการสื่อสารข้อมูลของเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบโดยวิธีอื่นๆ
- เพื่อศึกษาปัจจัยอื่นๆ ซึ่งมีอิทธิพลต่อโครงสร้างของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและคุณภาพของการให้บริการในเครือข่าย เช่น ความหนาแน่นและลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการภายในเครือข่าย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยในการออกแบบเครือข่ายจะมุ่งเน้นการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการ นอกจากนั้นจะทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับแบบจำลองดังกล่าวด้วย

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีคุณภาพการให้บริการสื่อสารข้อมูลสูง ซึ่งจะคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความแรงของสัญญาณที่เพียงพอ ระดับของสัญญาณรบกวนภายในเครือข่าย รวมถึงปริมาณงานที่สื่อสารผ่านระบบเครือข่าย และลักษณะการกระจายตัวและความหนาแน่นของผู้ใช้บริการในเครือข่าย
2. เขียนโปรแกรมเพื่อหาคำตอบให้แก่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นในข้อที่ 1
3. ทดลองโดยใช้โปรแกรมจากข้อ 2 เพื่อออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ในกรณีต่างๆ เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปัจจัยที่ส่งผลต่อโครงสร้างและคุณภาพการให้บริการของเครือข่าย

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ: จะได้วิธีการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบอัตโนมัติ โดยเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบสามารถให้บริการสื่อสารข้อมูลมีมีคุณภาพการให้บริการสูง

หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ : องค์กรของรัฐหรือเอกชนต่างๆ ซึ่งมีความสนใจในการออกแบบและวางแผนเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่มีคุณภาพการให้บริการสื่อสารข้อมูลสูง

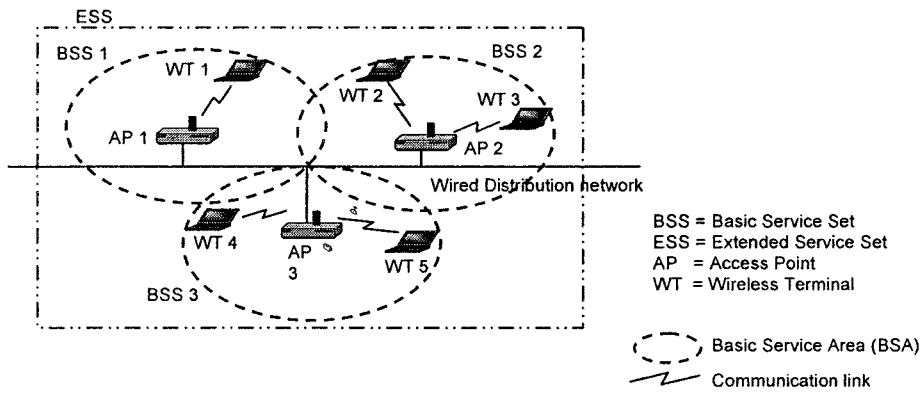
บทที่ 2
ทฤษฎีเกี่ยวกับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network หรือ WLAN) เป็นเครือข่ายที่ไม่ต้องมีการเดินสายสัญญาณระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ ตลอดจนอุปกรณ์สื่อสารอื่นๆในเครือข่าย เนื้อหาในบทนี้อธิบายโครงสร้างและมาตรฐานที่ใช้ควบคุมการสื่อสารในเครือข่าย ตลอดจนวิธีการคำนวณปริมาณงานของระบบซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการวัดคุณภาพการให้บริการของเครือข่าย

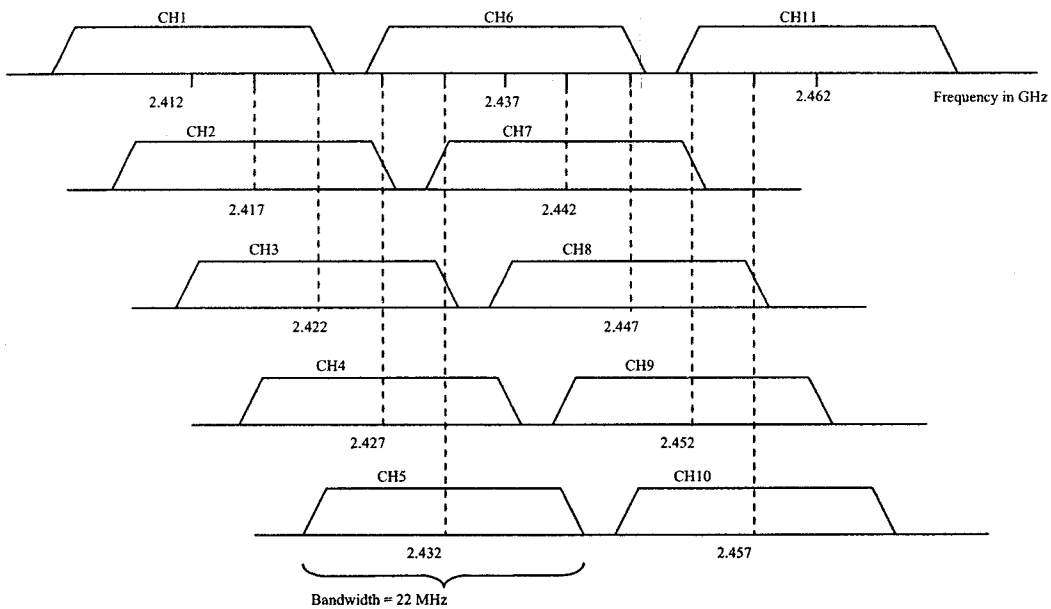
2.1 มาตรฐานและย่านความถี่ใช้งานสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายมีลักษณะการเชื่อมต่อเครือข่าย (Network Topology) อยู่ 2 รูปแบบ คือ แบบไม่มีเครือข่ายที่แน่นอน (Ad-hoc network) และแบบที่มีเครือข่ายแน่นอน (Infrastructure Network) ลักษณะโดยทั่วไปของเครือข่ายประเภทที่มีเครือข่ายแน่นอนได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 คือ เป็นเครือข่ายที่มีจุดเข้าถึงเป็นตัวกระจายสัญญาณ เพื่อรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ปลายทาง กลุ่มของอุปกรณ์ปลายทางที่ใช้จุดเข้าถึงร่วมกันเรียกว่า กลุ่มบริการพื้นฐาน (basic service set หรือ BSS) ในรูปที่ 2.1 มีกลุ่มบริการพื้นฐานสามกลุ่ม เมื่อเชื่อมจุดเข้าถึงของแต่ละกลุ่มบริการพื้นฐานด้วยเครือข่ายใช้สาย (wired distribution network) เกิดเป็นเครือข่ายขนาดใหญ่เรียกว่า กลุ่มบริการขยาย (Extended Service Set หรือ ESS)

มาตรฐาน IEEE 802.11b [12] และ 802.11g [13] เป็นมาตรฐานสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายและเป็นมาตรฐานที่ใช้งานในประเทศไทย มาตรฐานดังกล่าววางข้อกำหนดสำหรับการทำงานของชั้นการสื่อสารกายภาพ (physical layer) โดยกำหนดให้อุปกรณ์ทำการรับส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 11 Mbps และ 54 Mbps ตามลำดับ และทั้งสองมาตรฐานส่งสัญญาณที่ย่านความถี่ 2.4 GHz การแบ่งช่องสัญญาณที่ย่านความถี่นี้แบ่งออกเป็น 11 ช่องความถี่ (frequency channel) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 แต่ละช่องมีแบนด์วิดท์ 22 MHz และความถี่กลาง (center frequency) ของแต่ละช่องความถี่ห่างกัน 5 MHz สังเกตได้ว่า แบนด์วิดท์มีค่ามากกว่าความห่างระหว่างความถี่กลางของแต่ละช่องความถี่ที่อยู่ติดกัน (adjacent channel) ทำให้เกิดการซ้อนทับความถี่ของช่องความถี่ขึ้น แต่การซ้อนทับนี้จะไม่เกิดขึ้นเมื่อช่องความถี่ห่างกันมากกว่า 5 ช่อง นั่นคือจากทั้งหมด 11 ช่องจะมีเพียงแค่ 3 ช่องเท่านั้นที่ไม่มีการซ้อนทับความถี่ของช่องความถี่ ได้แก่ ช่องที่ 1, 6, และ 11 ซึ่งเป็นช่องความถี่ที่นิยมใช้งานในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย



รูปที่ 2.1เครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่มีเครือข่ายแน่นอน



รูปที่ 2.2 การแบ่งช่องความถี่สำหรับ IEEE 802.11b และ 802.11g

ในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อให้มีสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการให้บริการขนาดใหญ่อาจจำเป็นต้องติดตั้งจุดเข้าถึงจำนวนหลายเครื่อง การเลือกช่องความถี่ใช้งานให้กับจุดเข้าถึงแต่ละเครื่องที่ติดตั้งอยู่ในบริเวณเดียวกันหรือบริเวณใกล้เคียงกันต้องระวังไม่ใช้ช่องความถี่เดียวกัน เพราะจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนกันได้ ดังนั้นหากต้องติดตั้งจุดเข้าถึงในพื้นที่ให้บริการมากกว่า 3

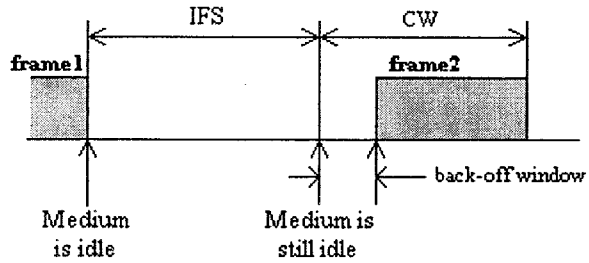
เครื่อง ก็จำเป็นจะต้องใช้ช่องความถี่ซ้ำกัน ดังนั้นในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อให้ได้เครือข่ายที่มีคุณภาพการให้บริการที่ดี ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดจำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องใช้ติดตั้งในพื้นที่ให้บริการ และกำหนดตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม รวมถึงเลือกใช้ช่องความถี่ของจุดเข้าถึงอย่างเหมาะสม เพื่อให้เครือข่ายสามารถให้บริการสื่อสารข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ นั่นคือมีสัญญาณครอบคลุมอาณาบริเวณที่ต้องการอย่างทั่วถึงและความแรงของสัญญาณเพียงพอที่จะทำให้การรับสัญญาณเป็นไปอย่างถูกต้อง แต่ก็ไม่แรงจนทำให้เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนขึ้นระหว่างจุดเข้าถึงที่ใช้ช่องสัญญาณความถี่เดียวกัน นอกจากนั้นเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบและติดตั้งควรมีความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลข่าวสาร เพื่อบริการเครื่องคอมพิวเตอร์ภายในเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

การสื่อสารของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเป็นการสื่อสารที่จุดเข้าถึงและอุปกรณ์สื่อสารภายในกลุ่มบริการพื้นฐานเดียวกันร่วมกันใช้ตัวกลางนั่นคือส่งสัญญาณที่ช่องความถี่เดียวกัน ซึ่งเป็นช่องความถี่ที่กำหนดให้จุดเข้าถึงของกลุ่มบริการพื้นฐานนั้น ดังนั้น ณ เวลาหนึ่งถ้าจุดเข้าถึงกำลังส่งสัญญาณอยู่ เครื่องผู้ใช้อื่นๆในกลุ่มบริการพื้นฐานนั้นจะไม่สามารถส่งสัญญาณออกมาได้ หรือหากว่ามีเครื่องผู้ใช้เครื่องหนึ่งกำลังส่งสัญญาณอยู่ เครื่องผู้ใช้อื่นๆ รวมทั้งจุดเข้าถึงจะไม่สามารถส่งสัญญาณออกมาได้ นั่นคือ ณ เวลาหนึ่งจะมีสายอากาศเดียวเท่านั้นภายในกลุ่มบริการพื้นฐานที่สามารถส่งสัญญาณออกมาได้ที่ช่องความถี่ของจุดเข้าถึงของกลุ่มบริการพื้นฐานนั้น ดังนั้นจึงต้องมีกลไกในการควบคุมการส่งสัญญาณของจุดเข้าถึงและเครื่องผู้ใช้ในเครือข่าย

ในหัวข้อนี้จะได้อธิบายหลักการทำงานของกลไกดังกล่าวซึ่งเรียกว่า โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (Medium Access Control, MAC) สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายใช้โปรโตคอลแบบซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ (CSMA/CA, Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance) [14] ซึ่งมีหลักการในการเข้าใช้งานช่องความถี่คือตรวจสอบสถานะของช่องความถี่ก่อนทำการส่งผ่านเฟรมข้อมูล ถ้ามีผู้ใช้บริการรายอื่นกำลังส่งผ่านเฟรมข้อมูลในช่องความถี่จะต้องหน่วงการส่งผ่านเฟรมข้อมูลนี้ออกไปจนกว่าช่องความถี่จะว่าง

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายตามมาตราฐาน IEEE 802.11 ที่ใช้โปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.3 และมีส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่ ช่วงของการแข่งขัน (contention window หรือ CW), ช่องระหว่างเฟรม (inter frame space หรือ IFS) และตัวนับเวลาย้อนกลับ (back-off counter)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของการส่งข้อมูลตามโปรโตคอลซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

ช่วงของการแข่งขัน (CW) เป็นช่วงเวลาสำหรับการแข่งขันเพื่อเข้าใช้ช่องความถี่ระหว่างเครื่องส่งที่สื่อสารโดยใช้ช่องความถี่เดียวกัน และเป็นช่วงเวลาสำหรับการส่งผ่านเฟรมข้อมูล หลังจากที่เครื่องส่งได้รับอนุญาตให้เข้าใช้ช่องความถี่แล้ว

ช่องระหว่างเฟรม (IFS) เป็นช่วงเวลาที่ถูกกำหนดขึ้นสำหรับการหน่วงเวลา เพื่อให้กลไกสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ช่องระหว่างเฟรมถูกนำมาใช้ในโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ โดยถูกวางไว้ระหว่างช่วงของการแข่งขันสองช่อง นอกจากนี้ช่องระหว่างเฟรมยังแบ่งย่อยได้อีกสามชนิดซึ่งแตกต่างกันที่ขนาดของช่วงเวลา แต่สำหรับการอธิบายหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ การอธิบายจะเข้าใจได้ดีเมื่อไม่สนใจชนิดของช่องระหว่างเฟรม ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงไม่ขอกล่าวถึงรายละเอียดของชนิดย่อยของช่องระหว่างเฟรม

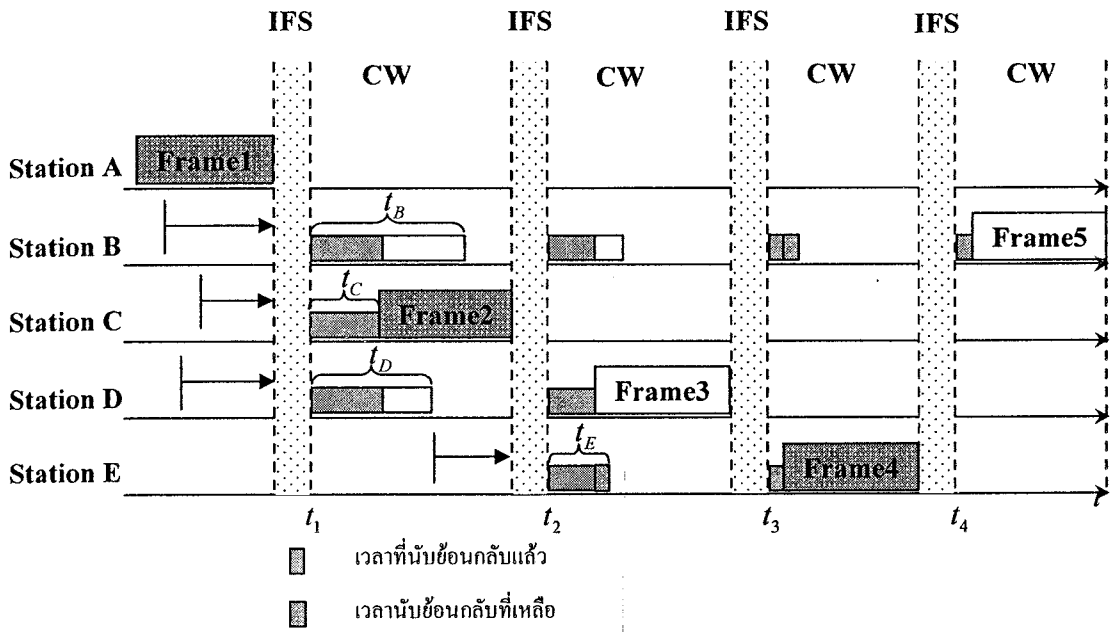
ส่วนตัวนับเวลาย้อนกลับทำหน้าที่ควบคุมตำแหน่งเวลาที่ต้องส่งเฟรมข้อมูล โดยเฟรมข้อมูลจะถูกส่งทันทีเมื่อการนับเวลาย้อนกลับสิ้นสุดลง ซึ่งขนาดเวลาที่ต้องนับย้อนกลับได้จากการสุ่มเมื่อเครื่องส่งมีความต้องการที่จะเข้าใช้ตัวกลางแต่ขณะนั้นตัวกลางยังถูกใช้งานด้วยเครื่องส่งตัวอื่น ขณะที่อยู่ระหว่างการนับเวลาย้อนกลับ ถ้าตัวกลางถูกใช้งานด้วยเครื่องส่งใดก็ตาม ตัวนับเวลาย้อนกลับจะหยุดนับทันที และจะเริ่มต้นนับใหม่เมื่อสิ้นสุดการใช้งานตัวกลาง

กลไกการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ สามารถอธิบายให้เข้าใจได้ดีด้วยการใช้ตัวอย่างการทำงาน ดังนั้นจึงได้อธิบายกลไกการทำงานของโปรโตคอลด้วยตัวอย่างเหตุการณ์ในรูปที่ 2.4 จากรูป ผู้ใช้บริการทั้งห้ารายได้แก่ สถานี A, B, C, D และ E สื่อสารกับจุดเข้าถึงตัวเดียวกันจึงใช้ช่องความถี่เดียวกัน แต่ต้องผลัดกันใช้ การที่สถานีใดจะได้ส่งนั้นควบคุมโดย CSMA/CA ดังต่อไปนี้

รูปที่ 2.4 ในขณะที่สถานี A กำลังส่งเฟรมข้อมูลอยู่ สถานี B, C และ D มีความประสงค์จะส่งข้อมูลจึงทำการตรวจสอบตัวกลางและพบว่ามีการส่งสัญญาณใช้งานตัวกลางอยู่ทั้ง 3 สถานี จึงทำการสุ่มค่าเวลาย้อนกลับ (Back-off time) ของตัวเองไว้ ซึ่งค่าเวลาย้อนกลับดังกล่าวอาจไม่เท่ากัน ในตัวอย่างนี้สถานี 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 จะหยุดการนับถอยหลังของตัวเองและรอจนกว่าสถานี C ส่งเฟรมเสร็จและรอเวลา IFS (t_2) จึงทำการนับย้อนกลับต่อ ในขณะที่สถานี C กำลังส่งสัญญาณอยู่นั้นสถานี E ต้องการส่งข้อมูลและทำการตรวจสอบตัวกลาง ปรากฏว่าตัวกลางไม่ว่าง สถานี E ก็จะทำการสุ่มเวลาย้อนกลับ ได้ค่าเท่ากับ t_E และสถานี E จะเริ่มทำการนับถอยหลังที่เวลา t_2 เช่นกัน เนื่องจากสถานี D มีค่าเวลาย้อนกลับสั้นกว่าสถานี E และ B ดังนั้นจึงทำการนับถอยหลังเสร็จก่อน ทำให้สถานี D ส่งเฟรมข้อมูลออกไป (Frame3) การทำงานจะเป็นไปในรูปแบบนี้ ดังนั้นสถานีต่อไปที่จะส่งข้อมูลคือ สถานี E (ส่ง Frame4) และสถานี B (ส่ง Frame5) ตามลำดับ

กลไกการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วข้างต้นส่งผลกระทบต่อปริมาณงานทั้งหมดของระบบ เนื่องจาก ขณะที่ตัวกลางถูกใช้งานด้วยผู้ใช้บริการรายหนึ่ง ผู้ใช้บริการรายอื่นๆ ต้องหยุดรอจนกว่าการสื่อสารนั้นสิ้นสุดลงจึงสามารถเข้าแข่งขันเพื่อเข้าใช้ตัวกลางได้ ดังนั้นในการคำนวณปริมาณงานทั้งหมดของระบบจึงจำเป็นต้องพิจารณาหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ เพื่อให้ปริมาณงานทั้งหมดของระบบที่คำนวณได้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ซึ่งเทคนิคการคำนวณหาปริมาณงานทั้งหมดของระบบที่พิจารณาหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ได้มีงานวิจัยของ X.Ling และ K.L.Yeung [15] นำเสนอไว้ตามที่อธิบายในหัวข้อ 2.4

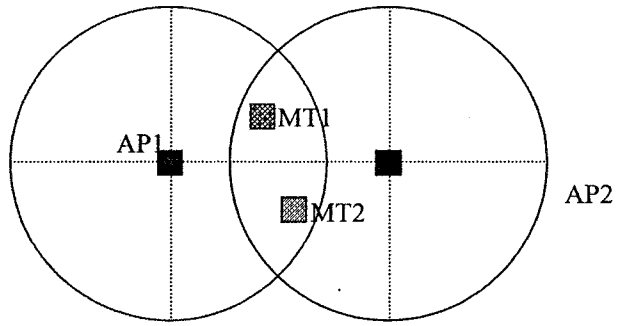


รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของจุดเข้าถึงกับการทำงานของโปรโตคอลซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ

การสื่อสารภายในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเป็นการแพร่สัญญาณจากสายอากาศของจุดเข้าถึงและสายอากาศของเครื่องคอมพิวเตอร์ผู้ใช้ภายในเครือข่าย ในที่นี้กำหนดให้ เซลล์คือพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณที่แพร่จากสายอากาศของจุดเข้าถึง ในหัวข้อนี้เป็นการอธิบายลักษณะการแพร่สัญญาณและความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์กับการทำงานของโปรโตคอลซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ซึ่งสามารถแบ่งความสัมพันธ์ได้ดังนี้

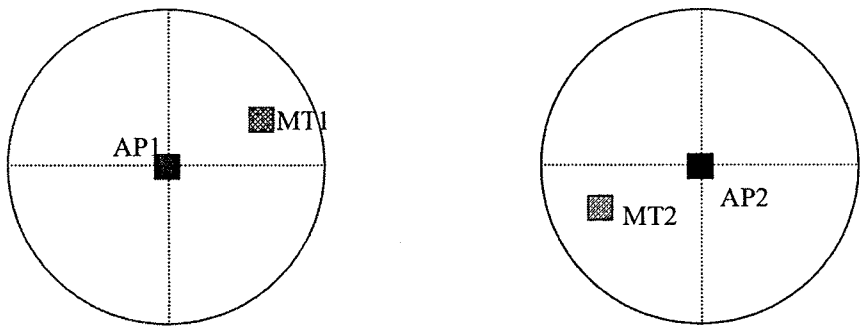
1) เซลล์ซ้อนทับกัน (overlapped cells) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งเส้นทึบแทนขอบเขตของบริเวณที่ครอบคลุมของสัญญาณจากจุดเข้าถึง และในกรณีนี้ผู้ใช้บริการ (MT1 และ MT2) สามารถรับสัญญาณจากจุดเข้าถึงทั้งสอง (AP1 และ AP2) ถ้า MT1 เชื่อมต่อกับ AP1 ส่วน MT2 เชื่อมต่อกับ AP2 และจุดเข้าถึงทั้งสองใช้งานที่ความถี่เดียวกัน จะทำให้เกิดการรบกวนกันได้ดังนี้คือ ในขณะที่ AP2 ส่งสัญญาณ MT1 จะไม่สามารถส่งข้อมูลให้กับ AP1 ได้ และในขณะที่ AP1 ส่งสัญญาณ MT2 จะไม่สามารถส่งข้อมูลให้กับ AP 2 ได้ ตามหลักการทำงานของโปรโตคอลซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ในกรณีนี้การส่งสัญญาณของ AP1 จะยับยั้งหรือหน่วงการส่งข้อมูลของ MT2 ได้ ส่วนการส่งสัญญาณของ AP2 ก็ยับยั้งการส่งข้อมูลของ MT1 ได้



——— : เส้นทึบแทนขอบเขตของบริเวณที่ครอบคลุมของสัญญาณจากจุดเข้าถึง

รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์กรณีที่เซลล์ซ้อนทับกัน

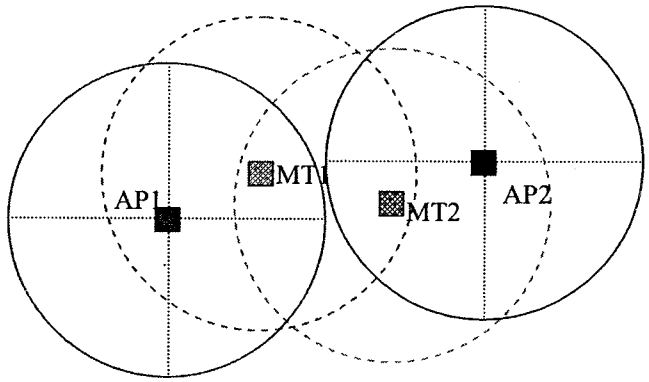
2) เซลล์แยกกันโดยสมบูรณ์ (fully-separated cells) จากรูปที่ 2.4 พบว่าระยะห่างระหว่างจุดเข้าถึงทั้งสองมากพอที่จะทำให้ผู้ใช้บริการในเซลล์หนึ่งไม่สามารถรบกวนการส่งข้อมูลของเซลล์ข้างเคียงได้



——— : เส้นทึบแทนขอบเขตของบริเวณที่ครอบคลุมของสัญญาณจากจุดเข้าถึง

รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์กรณีที่เซลล์แยกกันโดยสมบูรณ์

3) เซลล์แยกกันไม่สมบูรณ์ (incomplete-separated cells) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 นั้น ทั้งสองเซลล์ถูกจัดวางแยกจากกันแต่ระยะห่างระหว่างทั้งสองจุดเข้าถึงไม่มากพอ ทำให้เกิดการรบกวนกันได้ ในตัวอย่างนี้ MT1 รับบริการจาก AP1 ส่วน MT2 รับบริการจาก AP2 เมื่อ MT1 และ MT2 อยู่ในบริเวณใกล้กัน จะสามารถรับสัญญาณกันได้ ดังนั้นถ้าจุดเข้าถึงทั้งสองใช้งานที่ช่องความถี่เดียวกัน เมื่อ MT1 หรือ MT2 ส่งสัญญาณออกมา ก็จะไปยับยั้งการส่งข้อมูลของอีกเครื่องได้ตามหลักการทำงานของโปรโตคอลซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ



———— : เส้นทึบแทนขอบเขตของบริเวณที่ครอบคลุมของสัญญาณจากจุดเข้าถึง

---------- : เส้นประแทนขอบเขตของบริเวณที่ครอบคลุมของสัญญาณจากเครื่องส่งของผู้ใช้บริการ

รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์กรณีที่เซลล์แยกกันไม่สมบูรณ์

จากความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ที่ได้อธิบายข้างต้น จะเห็นว่ามีการยับยั้งหรือหน่วงเวลาการส่งสัญญาณระหว่างอุปกรณ์สื่อสารได้ ถ้ามีจุดเข้าถึงที่ใช้งานช่องความถี่เดียวกันมากกว่าหนึ่งเครื่องติดตั้งในบริเวณใกล้กัน รวมถึงการที่เครื่องผู้ใช้ในเครือข่ายที่ใช้งานช่องความถี่เดียวกันอยู่ในบริเวณใกล้กัน ปรากฏการณ์นี้ส่งผลต่อปริมาณงานของระบบ (system throughput) กล่าวคือ ลักษณะการจัดสรรช่องความถี่ให้กับจุดเข้าถึงมีผลต่อการเกิดการยับยั้งหรือหน่วงเวลาของการส่งสัญญาณของอุปกรณ์สื่อสารในเครือข่าย ซึ่งอาจทำให้ปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านระบบลดลงได้

2.4 การคำนวณปริมาณงานของระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

ในการวิเคราะห์คุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย สามารถพิจารณาจากปริมาณงานของระบบทั้งหมด ซึ่งเป็นค่าที่แสดงปริมาณข้อมูลสื่อสารระหว่างผู้ใช้บริการกับจุดเข้าถึงในเครือข่าย [16] ในการวัดปริมาณงานของระบบสามารถจัดตั้งระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายขึ้นเพื่อทำการวัดปริมาณงานของระบบได้ โดยระบบประกอบด้วยจุดเข้าถึงและผู้ใช้บริการซึ่งอาจเป็นคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะหรือแบบพกพาก็ได้ ข้อมูลถูกส่งเข้าไปในระบบด้วยโปรแกรมกำเนิดข้อมูลที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้บริการ และทำการตรวจวัดปริมาณข้อมูลที่รับส่งได้ด้วยการใช้ซอฟแวร์ [17, 18] ปัญหาที่เกิดขึ้นในการวัดปริมาณจากระบบจริงที่จัดตั้งขึ้นคือ ไม่สามารถควบคุมสิ่งแวดล้อมทั้งหมดได้เช่น สภาพอากาศ คลื่นรบกวน และ ชนิดของวัสดุที่เป็นอาคารและผนังห้อง นอกจากนี้ยังมีปัญหาด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ เช่น จำนวนอุปกรณ์ที่ต้องการมากเกินกว่าที่จะจัดให้มีได้ หรือชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ไม่เหมือนกันซึ่งมีผลต่อปริมาณงานที่วัดได้เช่นกัน [16] ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์

เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณงานของระบบ ซึ่งได้ค่าที่ใกล้เคียงและสอดคล้องกับค่าที่วัดได้จริง [15, 19] เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการอธิบายสมการคณิตศาสตร์ดังกล่าว

สมการคำนวณปริมาณงานของระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนำเสนอโดย X.Ling และ K.L.Yeung [15] ได้พัฒนามาจากเทคนิคการคำนวณหาปริมาณงานจากงานวิจัยของ G.Bianchi [19] ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปริมาณงานของระบบที่ใช้จุดเข้าถึงเดียว โดยใช้หลักการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลของผู้ใช้บริการในเครือข่าย ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างเวลาที่ผู้ใช้บริการครอบครองตัวกลางต่อเวลาทั้งหมดในกระบวนการส่งเฟรมข้อมูล จากนั้นนำไปคูณกับอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลและอัตราส่วนเวลาของข้อมูลที่ต้องการส่งจริงต่อเวลาของเฟรมข้อมูล

จากงานวิจัยของ G.Bianchi ซึ่งเป็นการคำนวณปริมาณงานในระบบที่เซลล์เดียว X.Ling และ K.L.Yeung ได้นำแนวคิดนี้มาพัฒนาเพื่อให้สามารถคำนวณปริมาณงานรวมของระบบที่มีหลายเซลล์ได้ โดยเริ่มที่การพิจารณา P_{tr} ซึ่งเป็นความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการอย่างน้อยหนึ่งรายทำการส่งเฟรมข้อมูลในช่องเวลา (slot time) ที่กำลังสังเกต และ P_s เป็นความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลสามารถจับจองตัวกลางได้สำเร็จ สามารถคำนวณหาค่าได้ตามสมการดังต่อไปนี้

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

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

เมื่อ

n คือจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดในเซลล์

τ คือความน่าจะเป็นที่ ตัวนับเวลาย้อนกลับ (back-off counter) นับย้อนกลับไปถึงศูนย์

จากค่าความน่าจะเป็นทั้งสองค่าข้างต้น ดังนั้นการส่งผ่านข้อมูลจะประสบความสำเร็จด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ $P_{tr}P_s$ ให้แทนด้วย P_{succ} และเมื่อ P_{tr} เป็นความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการอย่างน้อยหนึ่งรายทำการส่งเฟรมข้อมูล ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่ไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเลยเข้าใช้ช่องความถี่หรือความน่าจะเป็นที่ช่องความถี่ว่าง (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 เป็น ความน่าจะเป็นที่การส่งข้อมูลสามารถจับจองตัวกลางได้สำเร็จ

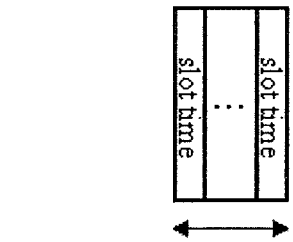
และตามมาตรฐาน IEEE 802.11b แล้วขนาดของช่องเวลา (slot time) มีค่าเท่ากับ 20 μs ทำให้ช่วงเวลาที่ช่องความถี่ว่างมีขนาดเท่ากับจำนวนเท่าของขนาดของช่องเวลา (เช่น 20 μs , 40 μs หรือ 60 μs เป็นต้น) ดังแสดงในรูปที่ 2.8a

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

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

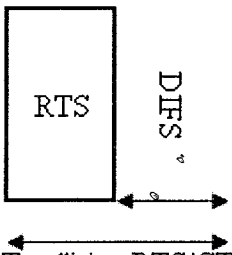
การชนกันของข้อมูล (collision) จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีข้อมูลสอง (หรือมากกว่าสอง) ชุดถูกส่งผ่านภายในช่องความถี่เดียวกันในเวลาเดียวกัน ในกรณีที่โปรโตคอลควบคุมการเข้าใช้ช่องความถี่แบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ที่ใช้ในระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย 802.11b เพิ่มกลไกในการตรวจสอบสถานะตัวกลางแบบ RTS/CTS การชนกันของข้อมูลที่ส่งออกไปจะเกิดขึ้นบนเฟรมร้องขอเข้าใช้ตัวกลาง (RTS frame) เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8b จากรูปการชนกันของข้อมูลถูกตรวจพบได้ในทันทีโดยสถานีที่ทำการส่งเฟรมร้องขอเข้าใช้ช่องความถี่ (RTS frame) แต่ไม่ได้รับเฟรมตอบรับให้เข้าใช้ช่องความถี่ (CTS frame) จากสถานีเป้าหมาย หลังจากที่รอเป็นเวลาเท่ากับ DIFS จึงตัดสินว่าเกิดการชนกันของข้อมูลขึ้น ดังนั้นจากรูปที่ 2.8b จึงสามารถคำนวณหาเวลาที่เกิดการชนกันของข้อมูลได้ดังสมการต่อไปนี้

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



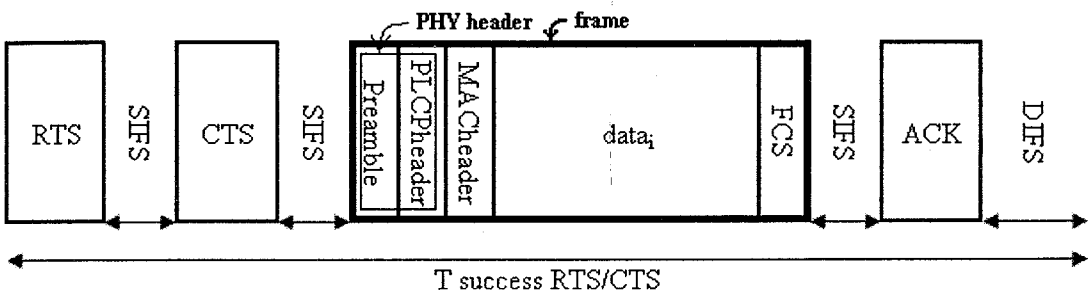
T channel idle

(a) ช่วงเวลาที่ช่องความถี่ว่าง



T collision RTS/CTS

(b) ช่วงเวลาที่เกิดการชนกันของสัญญาณ



T success RTS/CTS

(c) ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลสำเร็จ

รูปที่ 2.8 ช่วงเวลาในสภาวะต่างๆเมื่อใช้กลไกการตรวจสอบสถานะตัวกลางแบบ RTS/CTS

แต่ถ้าขั้นตอนการร้องขอเข้าใช้ช่องความถี่ประสบความสำเร็จการส่งเฟรมข้อมูลก็จะเริ่มต้นขึ้น จากรูปที่ 2.8c แสดงช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในขั้นตอนการส่งเฟรมข้อมูลของผู้ใช้บริการรายที่ i เมื่อใช้กลไกการตรวจสอบสถานะช่องความถี่แบบ RTS/CTS โดยเริ่มตั้งแต่การขอเข้าใช้ช่องความถี่จนเสร็จสิ้นการส่งเฟรม โดยเฟรมที่ใช้ในการส่งประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ 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

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

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} และ T_{SIFS}	เป็นช่วงเวลาระหว่างเฟรม (interframe space)
T_{RTS} , T_{CTS} และ T_{ACK}	เป็นข้อความสำหรับการทำแฮนด์เชค (Hand checking message)
T_{pream}	เป็นเวลาที่ใช้ไปโดยพรีแอมเบิ้ล (Preamble)
T_{MPDU-i}	เป็นเวลาทั้งหมดที่ใช้สำหรับการส่งแพ็กเกตข้อมูล (Data packet)
$L_{PLCPheader}$, $L_{MACheader}$	เป็นส่วนหัว (Header) ของเฟรม
L_{FCS}	เป็นส่วนตรวจสอบความถูกต้องในการส่งข้อมูล
L_{data-i}	เป็นขนาดของข้อมูลที่ต้องการส่ง

$Datarate_i$ มีค่าเป็น 11, 5.5, 2, หรือ 1 ขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณที่รับได้

ค่าของช่วงเวลาต่างๆข้างต้นถูกกำหนดไว้โดยมาตราฐาน IEEE 802.11b [12] ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณที่ใช้ในการคำนวณเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล

สัญลักษณ์	ปริมาณ
T_{SIFS}	10 μs
T_{DIFS}	50 μs
T_{RTS}	$L_{RTS} / Datarate = 20bytes / Datarate$
T_{CTS}	$L_{CTS} / Datarate = 14bytes / Datarate$
T_{ACK}	$L_{ACK} / Datarate = 14bytes / Datarate$
$T_{pream} + T_{PLCPheader}$	192 μs
$L_{MACheader}$	30 bytes
L_{FCS}	4 bytes
L_{data-i}	1500 bytes

จากความสามารถในการหน่วงการส่งเฟรมข้อมูล ดังอธิบายไว้แล้วข้างต้น สามารถหาปริมาณงานของผู้ใช้บริการแต่ละราย (THR_i) ได้ดังนี้

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

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

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

เมื่อ

$\Pr_i$ เป็นความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการรายที่ i เข้าใช้ตัวกลางได้

rsn_{ij} มีค่าเป็น 1 ถ้า MT_j สามารถรบกวน MT_i ได้ มิฉะนั้นจะมีค่าเป็นศูนย์

$Efficiency_i$ เป็นอัตราส่วนของเวลาที่ถูกใช้สำหรับส่งเฟรมข้อมูลต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการส่งเฟรมข้อมูล

โดยมีสมมติฐานว่า ผู้ใช้บริการจะต้องมีข้อมูลที่ต้องการส่งตลอดเวลา นั่นคือผู้ใช้บริการทุกรายจะสร้างเฟรมส่งเข้าไปยังช่องความถี่เพื่อร้องขอเข้าใช้ช่องความถี่เสมอเมื่อตรวจพบว่าช่องความถี่ว่างสำหรับการใช้งาน และยังสังเกตได้ว่า การมีผู้ที่สามารถหน่วงการส่งเฟรมเป็นจำนวนมากทำให้การจับจองช่องความถี่สำเร็จเป็นไปได้ยาก โดยสามารถดูได้จากสมการที่ (2.11)

เมื่อสามารถคำนวณหาปริมาณงานของผู้ใช้บริการแต่ละรายได้แล้ว จึงสามารถคำนวณค่าปริมาณงานรวมของระบบ (THR_{total}) ได้ โดยการรวมเอาปริมาณงานของผู้ใช้บริการแต่ละรายเข้าด้วยกัน ดังสมการต่อไปนี้

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

บทที่ 3
เทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการสูงสุด

คุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายขึ้นอยู่กับคุณภาพของสัญญาณภายในพื้นที่ให้บริการ และปริมาณงานที่เครือข่ายสามารถรองรับได้ นั่นคือจะต้องมีสัญญาณครอบคลุมอาณาบริเวณที่ต้องการอย่างทั่วถึงและความแรงของสัญญาณมากพอที่จะทำให้การรับสัญญาณเป็นไปอย่างถูกต้อง แต่ก็ไม่แรงจนทำให้เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนขึ้นระหว่างจุดเข้าถึงที่ใช้ช่องความถี่เดียวกัน นอกจากนั้นเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบและติดตั้งควรมีความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลข่าวสารเพื่อให้บริการเครื่องคอมพิวเตอร์ภายในเครือข่ายอย่างมีคุณภาพ นั่นคือในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ถ้าติดตั้งจำนวนจุดเข้าถึงน้อยเกินไป อาจทำให้สัญญาณครอบคลุมไม่ทั่วถึง และขนาดความจุของเครือข่ายไม่เพียงพอที่จะรองรับปริมาณข้อมูลข่าวสารในเครือข่ายได้ แต่หากว่าเครือข่ายใช้จำนวนจุดเข้าถึงมากเกินไป หรือมีการกำหนดตำแหน่งติดตั้งและค่าตัวแปรที่ไม่เหมาะสมก็อาจส่งผลให้สัญญาณรบกวนในเครือข่ายสูงจนเป็นอุปสรรคต่อระบบรับส่งสัญญาณแบบไร้สายได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการสูงสุดทั้งในด้านของคุณภาพของสัญญาณและปริมาณงานที่เครือข่ายสามารถรองรับได้

เนื้อหาในบทนี้เป็นการอธิบายเทคนิคการออกแบบเครือข่ายดังกล่าว โดยหัวข้อ 3.1 เป็นการนิยามปัญหาการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและอธิบายประเด็นที่พิจารณาในการออกแบบเครือข่าย และหัวข้อ 3.2 นำเสนอสมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการสูงสุด สุดท้ายในหัวข้อ 3.3 ได้อธิบายวิธีการประเมินความซับซ้อนของวิธีการหาคำตอบให้กับปัญหาการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

3.1 การนิยามปัญหาและสมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

ในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย สิ่งที่ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดคือ จำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องใช้ติดตั้งในพื้นที่ให้บริการ นอกจากนั้นยังต้องกำหนดตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม รวมถึงช่องความถี่ (frequency channel) ของจุดเข้าถึงแต่ละเครื่องด้วย ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะต้องเลือกอย่างเหมาะสมเพื่อให้เครือข่ายสามารถให้บริการสื่อสารข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ และมีคุณภาพการให้บริการสูงสุด

สมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาคุณภาพของเครือข่ายทั้งสองด้านคือคุณภาพการให้บริการในด้านของปริมาณงานรวมของระบบและคุณภาพของสัญญาณในพื้นที่ของเครือข่าย

3.1.1 การพิจารณาคุณภาพการให้บริการในด้านของปริมาณงานรวมของระบบ

ปริมาณงานรวมของระบบ (system throughput) เป็นค่าที่สำคัญค่าหนึ่งที่ใช้วัดคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย [20] จากหลักการทำงานของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ สรุปได้ว่าปริมาณงานของจุดเข้าถึงจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนเครื่องผู้ใช้ที่เชื่อมต่อหรือสื่อสารผ่านจุดเข้าถึงนั้น และขึ้นอยู่กับช่องความถี่ที่ใช้งานในกลุ่มบริการพื้นฐานที่อยู่ข้างเคียง (neighbor BSSs) เนื่องจากเครื่องผู้ใช้ที่อยู่ในกลุ่มบริการพื้นฐานที่อยู่ข้างเคียงสามารถหน่วงการส่งข้อมูลของเครื่องผู้ใช้อื่นที่ส่งข้อมูลที่ช่องความถี่เดียวกันได้ตามหลักการทำงานของโปรโตคอลการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ดังนั้นในการจัดสรรช่องความถี่และการเลือกตำแหน่งติดตั้งสำหรับจุดเข้าถึงจะต้องคำนึงถึงเรื่องของปริมาณงานของระบบด้วย

วิธีการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายในงานวิจัยนี้พิจารณาเรื่องของปริมาณงานของระบบโดยการใช้สมการการคำนวณปริมาณงานของระบบที่พิจารณาหลักการทำงานของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบ ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ที่นำเสนอโดย X.Ling และ K.L.Yeung [15] ซึ่งรายละเอียดของวิธีการคำนวณได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 2.4 สมการ (3.1) เป็นการคำนวณหาปริมาณงานของระบบโดยคิดจากผลรวมของปริมาณงานของเครื่องผู้ใช้แต่ละรายที่อยู่ในเครือข่าย

$$THR_{total} = \sum_{i=1}^{U} THR_i \qquad (3.1)$$

โดยที่

THR_{total}	คือปริมาณงานทั้งหมดในระบบ (*Mbps*)
THR_i	คือปริมาณงานของผู้ใช้บริการ i = 1, 2, 3, …, U (*Mbps*)
U	คือเซทของผู้ใช้บริการทั้งหมด

3.1.2 การพิจารณาคุณภาพของสัญญาณในพื้นที่ของเครือข่าย

ในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจำเป็นต้องพิจารณาคุณภาพของสัญญาณในแง่ของความแรงของสัญญาณและระดับของสัญญาณรบกวนในพื้นที่ของเครือข่ายเนื่องจาก ความสามารถในการรับส่งข้อมูล รวมถึงอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับคุณภาพของสัญญาณดังกล่าว วิธีการออกแบบเครือข่ายไร้สายที่นำเสนอในงานวิจัยนี้พิจารณาคุณภาพของสัญญาณโดยมีวัตถุประสงค์ให้เครือข่ายที่ได้มีบริเวณที่สัญญาณครอบคลุมได้ทั่วถึงมากที่สุด การประเมินบริเวณที่สัญญาณครอบคลุมพิจารณาจากค่าความแรงของสัญญาณ (signal strength) และ ค่าเอสไออาร์ หรืออัตราส่วนกำลังส่งต่อสัญญาณแทรกสอด (Signal to Interference Ratio, SIR) โดยการกำหนดจุดทดสอบ (Signal Test Point STP) ซึ่งเป็นจุดที่จะทำการประเมินคุณภาพสัญญาณ ซึ่งถ้าได้ค่าสูงกว่าค่าขีดแบ่ง (threshold) ที่กำหนดไว้ก็แสดงว่าจุดนั้นสามารถรับสัญญาณได้ และสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ระดับอัตราเร็วของการรับส่งข้อมูล ณ ระดับความแรงสัญญาณนั้นๆ

ต่อไปนี้จะได้อธิบายถึงวิธีการประเมินค่าความแรงของสัญญาณ และอัตราส่วนกำลังส่งต่อสัญญาณแทรกสอด (ค่าเอสไออาร์)

3.1.2.1 ความแรงของสัญญาณ

การคำนวณความแรงของสัญญาณที่รับได้สำหรับเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่นำเสนองานวิจัยนี้ คำนวณโดยใช้แบบจำลองการลดทอนสัญญาณแบบ Partition dependent model [21] ที่ทำการพิจารณาการลดทอนสัญญาณผ่านสิ่งกีดขวางในการคำนวณค่าการสูญเสียเชิงวิถีที่เกิดขึ้นระหว่างที่สัญญาณแพร่จากสายอากาศภาคส่งมายังสายอากาศภาครับ สมการต่อไปนี้แสดงการคำนวณค่าความแรงของสัญญาณ และการคำนวณค่าการสูญเสียเชิงวิถี

$$S_g = P_{tx} - L \tag{3.2}$$

$$L = L_o + 10 \times \alpha \times \log(D) + L_a + F_m \tag{3.3}$$

โดยที่

S_g คือSignal Strength ณ จุดทดสอบสัญญาณ g (dBm)

P_{tx} คือกำลังส่งของเครื่องส่ง (transmitter) (dBm)

L คือการสูญเสียเชิงวิถี (path loss) ที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องส่ง กับ เครื่องรับ (receiver) (dB)

L_0 คือการสูญเสียเชิงวิถี ณ ระยะ 1 เมตร (dB)

L_a คือค่าลดทอนของสัญญาณ โดยเฉลี่ย เนื่องจากสัญญาณเดินทางผ่านผนังห้อง (dB)

α คือเอกซ์โพเนนท์การสูญเสียเชิงวิถี (path loss exponent) (dB)

D คือระยะห่างระหว่างเครื่องส่ง กับ เครื่องรับ (m)

F_m คือเฟดมาร์จิน (fade margin) (dB)

เมื่อเราสามารถหาความแรงของสัญญาณได้แล้ว ก็สามารถกำหนดอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลได้เพราะการกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลกำหนดจากระดับความแรงของสัญญาณ ระดับความแรงของสัญญาณที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล [15] 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 ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้ แต่ยังสามารถตรวจจับคลื่นสัญญาณได้

6) น้อยกว่า –94 dBm ไม่สามารถรับและส่งข้อมูลได้ และไม่สามารถตรวจจับคลื่นสัญญาณได้

คุณภาพของสัญญาณที่พิจารณาไปแล้วข้างต้นคือ คุณภาพสัญญาณในแง่ของความแรงของสัญญาณที่รับได้ และคุณภาพของสัญญาณที่พิจารณาอีกแง่คือ ค่าเอสไออาร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.2.2 เอสไออาร์

เอสไออาร์ คือค่าอัตราส่วนกำลังส่งต่อสัญญาณแทรกสอด โดยที่สัญญาณแทรกสอดหมายถึงสัญญาณจากจุดเข้าถึงอื่นๆที่ใช้ช่องความถี่เดียวกันกับจุดเข้าถึงหลัก การคำนวณค่าเอสไออาร์ ณ จุดทดสอบสัญญาณ g (SIR_g) แสดงในสมการ (3.4)

$$SIR_g = P_{hg} - P_{lg} \tag{3.4}$$

โดยที่

SIR_g คือเอสไออาร์ ณ จุดทดสอบสัญญาณ g (dB)

P_{hg} คือกำลังสูงสุดที่รับได้จากเครื่องส่ง ณ จุดทดสอบสัญญาณ g (dBm)

P_{lg} คือกำลังส่งที่รบกวน ณ จุดทดสอบสัญญาณ g (dBm)

3.1.2.3 การคำนวณค่าของพื้นที่ครอบคลุม

การคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายสำหรับงานวิจัยนี้ เริ่มจากกำหนดจุดทดสอบสัญญาณ (signal test point) ขึ้นภายในบริเวณที่ศึกษา ให้เป็นตำแหน่งที่จะทำการคำนวณค่าความแรงของสัญญาณ และค่าเอสไออาร์ เพื่อประเมินคุณภาพของสัญญาณที่ตำแหน่งนั้นว่าสามารถที่จะให้บริการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายได้หรือไม่ โดย ณ จุดทดสอบนั้น จะสามารถรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายได้เมื่อ ค่าเอสไออาร์สูงกว่าค่าขีดแบ่งเอสไออาร์ (SIR threshold = 10 dB) (Ling and Yeung, 2005) และค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้มากกว่าค่าขีดแบ่งความแรงของสัญญาณ (Signal Strength Threshold = -84 dBm) [15]

พื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายสามารถคำนวณโดยการนับจำนวนจุดทดสอบที่สามารถสื่อสารข้อมูลกับจุดเข้าถึงได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$COV = \sum_{g=1}^{G} c_g \tag{3.5}$$

$$\%COV = \frac{\sum_{g=1}^{G} c_g}{G} \times 100 \tag{3.6}$$

โดยที่

COV คือพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

$\%COV$ คือเปอร์เซ็นต์พื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

G คือจำนวนจุดทดสอบสัญญาณทั้งหมด

g คือจุดทดสอบสัญญาณที่ทำการสังเกต โดย g = 1, 2, 3, ..., G

c_g มีค่าเป็น 1 เมื่อ S_g มากกว่า จุดเริ่มเปลี่ยนความแรงของสัญญาณ และ SIR_g มากกว่า จุดเริ่มเปลี่ยนเอสไออาร์ มิฉะนั้นมีค่าเป็น 0

3.1.3 สมการคณิตศาสตร์สำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการสูงสุด

เทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการสูงสุดที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นคุณภาพของเครือข่ายทั้งในด้านของคุณภาพของสัญญาณครอบคลุมและปริมาณงานรวมของระบบ ในด้านของคุณภาพสัญญาณนั้นวัดได้จากขนาดของพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของเครือข่ายที่ได้จากการพิจารณาความแรงของสัญญาณ รวมทั้งระดับของสัญญาณรบกวนในเครือข่ายโดยใช้สมการ (3.5) และ (3.6) ส่วนในด้านของปริมาณงานรวมของระบบนั้นคำนวณได้จากสมการที่ (3.1) ซึ่งได้พิจารณาผลกระทบของความหนาแน่นของเครื่องผู้ใช้ในเครือข่าย ตลอดจนหลักการทำงานของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบซีเอสเอ็มเอ/ซีเอด้วย ดังนั้นเราจึงได้สมการคณิตศาสตร์ที่ใช้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) สำหรับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการสูงสุดดังนี้

$$M = \max(w_1 \times THR_{total} + w_2 \times COV) \tag{3.7}$$

โดยที่

M คือวัตถุประสงค์ในการออกแบบโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

THR_{total} คือค่าปริมาณงานทั้งหมดของโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ($Mbps$)

COV คือพื้นที่ครอบคลุมของโครงข่าย

w_1 คือตัวถ่วงน้ำหนักของค่าปริมาณงานรวมของระบบ

w_2 คือตัวถ่วงน้ำหนักของพื้นที่ครอบคลุมของเครือข่าย

และกำหนดให้ $w_1 + w_2 = 1$

จากสมการที่ (3.7) 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 มีค่าสูงที่สุด ช่องความถี่ต้องถูกจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงด้วยความเหมาะสม ซึ่งส่งผลถึงสมรรถนะของระบบอันได้แก่ปริมาณงานและพื้นที่ครอบคลุม

สมการ (3.7) เป็นการนำปริมาณสองปริมาณซึ่งหน่วยแตกต่างกันมารวมกัน เนื่องจากสมการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลรวมที่ได้มาเก็บไว้สำหรับการเปรียบเทียบเท่านั้น และจากสมการ (3.7) ทั้งสองปริมาณเดิมแล้วมีขนาดแตกต่างกันมากเพราะว่าปริมาณงานของระบบมีขนาดโตในระดับล้านหน่วยแต่พื้นที่ครอบคลุมมีขนาดเล็กในระดับหลักร้อยเท่านั้น ถ้าไม่ได้รับการแก้ไขจะทำให้เกิดปัญหาด้านความแตกต่างของน้ำหนักของสองปริมาณนี้ซึ่งส่งผลต่อค่า M ที่ได้ซึ่งเป็นปริมาณที่มีปริมาณส่วนใหญ่มาจากปริมาณงานของระบบส่วนปริมาณที่มาจากพื้นที่ครอบคลุมมีเป็นส่วนน้อยมากทำให้เสมือนเป็นการพิจารณาเฉพาะปริมาณงานของระบบเท่านั้น การแก้ไขปัญหานี้ทำได้โดยการทำให้ทั้งสองปริมาณมีหน่วยเดียวกัน ซึ่งจากผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่าปริมาณงานของระบบอยู่ในช่วง 1-15 ล้านหน่วย ส่วนปริมาณพื้นที่ครอบคลุมเดิมอยู่ในช่วง 100-300 หน่วย ดังนั้นจึงทำการปรับให้เป็นหน่วยเดียวกันด้วยการคูณ 100000 เข้ากับปริมาณพื้นที่ครอบคลุมก่อนการคูณด้วย w_2 หลังจากการคูณด้วย 100000 เข้ากับปริมาณพื้นที่ครอบคลุมทำให้หน่วยที่ได้เป็น 1-3 ล้านทำให้ลดผลกระทบจากความแตกต่างของปริมาณทั้งสองลงได้

3.2 วิธีการหาคำตอบให้กับการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการสูงสุด

จากวัตถุประสงค์ที่ออกแบบไว้ในสมการ (3.7) คำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวัตถุประสงค์นี้สามารถหาได้จากเทคนิคการหาคำตอบแบบละเอียด (exhaustive searching) ถ้าจำนวนตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้ในเครือข่ายมีจำนวนมาก เทคนิคการหาคำตอบแบบละเอียด จะมีความซับซ้อนสูงมาก เช่น

กำหนดให้

N_o เป็นจำนวนตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้และ

N_a เป็นจำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องการติดตั้ง

เมื่อจุดเข้าถึงถูกติดตั้งไม่ซ้ำตำแหน่งกัน ดังนั้นจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้สำหรับตำแหน่งที่ติดตั้งจุดเข้าถึงมีค่าเป็น $C_{N_a}^{N_o}$ และถ้าจำนวนช่องความถี่ที่สามารถจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงที่ถูกติดตั้งแล้วมี 3 ช่องคือ ช่องความถี่ที่ 1, 6 และ 11 แล้ว จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับการจัดสรรช่อง

ความถี่ให้กับจุดเข้าถึงที่ถูกติดตั้งแล้วมีค่าเป็น $C_{N_o}^{N_o} \times 3^{N_o}$ จะพบว่าเมื่อจำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องติดตั้งมีจำนวนมาก คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดมีค่าสูงมาก ทำให้เทคนิคการหาคำตอบแบบนี้ไม่เหมาะในการนำมาใช้สำหรับงานวิจัยนี้ ดังนั้นจึงใช้เทคนิคการหาคำตอบที่ประหยัดเวลา ลดความซับซ้อน และยังคงสามารถหาคำตอบได้ใกล้เคียงกับเทคนิคการหาคำตอบแบบละเอียด

เทคนิคการหาคำตอบนี้นำเสนอไว้ในงานวิจัยของ X.Ling และ K.L.Yeung ซึ่งเทคนิคการหาคำตอบที่ทั้งสองท่านได้นำเสนอเรียกว่า ขั้นตอนวิธีแพทชิ่ง (patching algorithm) [15] ขั้นตอนวิธีแพทชิ่งมีหลักการทำงานดังนี้

กำหนดให้

LS เป็นเซตของตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้

N_o เป็นจำนวนตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้และ

CS เซตของช่องความถี่ที่ให้จัดสรรได้

โดยที่

$$LS = \left\{ Location_1, Location_2, Location_3, ..., Location_{N_o} \right\} \tag{3.8}$$

$$CS = \{1,6,11\} \tag{3.9}$$

ขั้นตอนวิธีแพทชิ่ง เริ่มต้นด้วยการค้นหาตำแหน่งสำหรับติดตั้งจุดเข้าถึงจุดแรกและช่องความถี่ที่จะจัดสรรให้ โดยตำแหน่งที่จะติดตั้งจุดเข้าถึงจุดแรกคัดเลือกจาก LS ซึ่งมีจำนวนสมาชิก N_o ตัว ส่วนการคัดเลือกช่องความถี่จะคัดเลือกจาก CS ซึ่งมีจำนวนสมาชิก 3 ตัว การตัดสินใจในการเลือกตำแหน่งและช่องความถี่พิจารณาจากวัตถุประสงค์ของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่ที่ใช้ โดยตำแหน่งที่ติดตั้งจุดเข้าถึงจุดแรกและช่องความถี่ที่จัดสรรให้ แล้วทำให้วัตถุประสงค์ของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่มีค่าสูงที่สุด ตำแหน่งและช่องความถี่นั้นจะถูกเลือกไว้สำหรับจุดเข้าถึงจุดแรก และ LS จะถูกปรับปรุงใหม่ด้วยการลบตำแหน่งที่ใช้แล้วออกไป ดังนั้นการเลือกตำแหน่งสำหรับติดตั้งจุดเข้าถึงจุดที่สอง ต้องคัดเลือกจากตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้ที่เหลืออยู่ $N_o - 1$ จุด เมื่อ N_o คือจำนวนตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้ แต่สำหรับ CS จะไม่มีการปรับปรุงเพราะเป็นเซตของช่องความถี่ที่สามารถ

จัดสรรให้กับจุดเข้าถึงที่ติดตั้งไว้แล้วโดยสามารถใช้ช่องความถี่ซ้ำกันได้ ในลำดับต่อไป ขั้นตอนวิธีแพท ชึ่ง จะทำการค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่สำหรับจุดเข้าถึงจุดที่สองด้วยวิธีการเดียวกันกับการค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่สำหรับจุดเข้าถึงจุดแรก แตกต่างกันที่ เซตของตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้มีขนาดเล็กลงเนื่องจากได้ตัดตำแหน่งที่ติดตั้งจุดเข้าถึงจุดแรกออกไป ส่วน *CS* ยังคงเหมือนเดิม และเมื่อได้ตำแหน่งและช่องความถี่สำหรับจุดเข้าถึงจุดที่สองที่ทำให้วัตถุประสงค์ของเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่มีค่าสูงที่สุดแล้ว ก็จะทำการค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่สำหรับจุดเข้าถึงจุดต่อไป 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.
```

3.3 การประเมินความซับซ้อนของวิธีการหาคำตอบ

ความซับซ้อนของวิธีการหาคำตอบเป็นส่วนสำคัญที่ต้องได้รับการพิจารณา เนื่องจากความซับซ้อนของวิธีการหาคำตอบส่งผลถึงระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการออกแบบ

เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย สำหรับการออกแบบเครือข่ายที่กำหนดจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้ในเครือข่าย คำตอบของปัญหาการออกแบบในที่นี้คือ ตำแหน่งการติดตั้งจุดเข้าถึง และช่องความถี่ใช้งานสำหรับจุดเข้าถึง

การหาคำตอบให้กับปัญหาการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการสูงสุดของวิจัยนี้ ใช้วิธีการหาคำตอบแบบขั้นตอนวิธีแพทชิ่ง ซึ่งเป็นเทคนิคการหาคำตอบที่ถูกนำมาใช้เพื่อลดความซับซ้อนของวิธีการค้นหาคำตอบ และลดระยะเวลาในการค้นหาคำตอบ

ความซับซ้อนของวิธีการหาคำตอบดังกล่าวพิจารณาจากจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ที่เข้าไปตรวจสอบ จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ที่เทคนิคต้องเข้าไปตรวจสอบสัมพันธ์กับ จำนวนช่องความถี่ทั้งหมดที่สามารถจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงได้ จำนวนตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงที่สามารถเลือกได้ และจำนวนจุดเข้าถึงที่มีอยู่ในระบบ

กำหนดให้

LS เป็นเซตของตำแหน่งที่สามารถเลือกใช้ในการติดตั้งจุดเข้าถึงได้

N_o เป็นจำนวนตำแหน่งติดตั้งจุดเข้าถึงที่สามารถเลือกได้

N_a เป็นจำนวนจุดเข้าถึงที่ต้องการติดตั้ง

CS เซตของช่องความถี่ที่ให้จัดสรรได้

N_c เป็นจำนวนช่องความถี่ที่สามารถจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงได้

โดยที่

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

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

จากข้อกำหนดข้างต้น ในบริเวณที่ต้องการให้บริการเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายมีตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้ทั้งหมด N_o จุดแต่ต้องการติดตั้งจุดเข้าถึงเพียง N_a จุด นั่นคือ $N_a \leq N_o$ โดยเมื่อติดตั้งจุดเข้าถึงแล้วสามารถจัดสรรช่องความถี่ให้กับจุดเข้าถึงได้โดยเลือกจากเซตของช่องความถี่ที่สามารถจัดสรรให้กับจุดเข้าถึงได้ ซึ่งมีจำนวนสมาชิกหรือจำนวนช่องความถี่ N_c ช่อง

ถ้าใช้วิธีการหาคำตอบแบบละเอียดแล้วคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดคือ

$$\text{คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด} = C_{N_a}^{N_o} \times N_c^{N_a} \tag{3.12}$$

แต่ถ้าใช้ขั้นตอนวิธีแพทชิ่งสามารถคำนวนหาจำนวนคำตอบที่ต้องเข้าไปตรวจสอบเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ดังนี้

ให้จำนวนคำตอบที่ต้องเข้าไปตรวจสอบเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการติดตั้งจุดเข้าถึงตัวที่ n แทนด้วย $NofA_{APn}$ เช่น ในการติดตั้งจุดเข้าถึงตัวแรก จำนวนคำตอบที่ต้องเข้าไปตรวจสอบเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดแทนด้วย $NofA_{AP1}$ เป็นต้น ดังนั้น จำนวนคำตอบที่ต้องเข้าไปตรวจสอบเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดเมื่อติดตั้งจุดเข้าถึงครบ N_a เครื่องคือ $\sum_{n=1}^{N_a} NofA_{APn}$ จากขั้นตอนวิธีแพทชิงพบว่า

$$NofA_{AP1} = N_c \cdot C_1^{N_o} \tag{3.13}$$

$$NofA_{AP2} = N_c \cdot C_1^{N_o-1} \tag{3.14}$$

$$NofA_{APN_a} = N_c \cdot C_1^{N_o-N_a+1} \tag{3.15}$$

ดังนั้น

$$\sum_{n=1}^{N_a} NofA_{APn} = NofA_{AP1} + NofA_{AP2} + NofA_{AP3} + \ldots + NofA_{APN_a} \tag{3.16}$$

$$\sum_{n=1}^{N_a} NofA_{APn} = N_c \cdot C_1^{N_o} + N_c \cdot C_1^{N_o-1} + N_c \cdot C_1^{N_o-2} + \ldots + N_c \cdot C_1^{N_o-(N_a-1)} \tag{3.17}$$

$$\sum_{n=1}^{N_a} NofA_{APn} = N_c \cdot \left[C_1^{N_o} + C_1^{N_o-1} + C_1^{N_o-2} + \ldots + C_1^{N_o-N_a+1} \right] \tag{3.18}$$

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

$$\sum_{n=1}^{N_a} NofA_{APn} = N_c \cdot \left[N_o \cdot N_a - \left(1+2+3+...+(N_a-1)\right) \right] \tag{3.20}$$

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

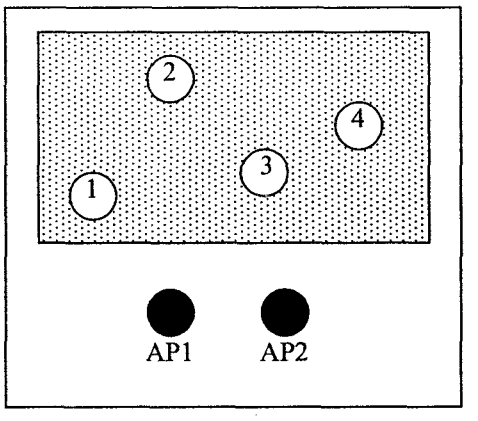
เพื่อแสดงการเปรียบเทียบความซับซ้อนของวิธีการค้นหาคำตอบ ได้กำหนดสิ่งแวดล้อมตัวอย่างขนาดเล็ก ดังนี้

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

2. เพื่อให้บริการโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายในบริเวณที่ต้องการนี้ ต้องติดตั้งจุดเข้าถึงจำนวน 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

จากสิ่งแวดล้อมที่กำหนด ในข้อ 2 ต้องการติดตั้งจุดเข้าถึงจำนวน 2 เครื่อง คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงตำแหน่งที่สามารถติดตั้งจุดเข้าถึงได้และช่องความถี่ที่จัดสรรให้

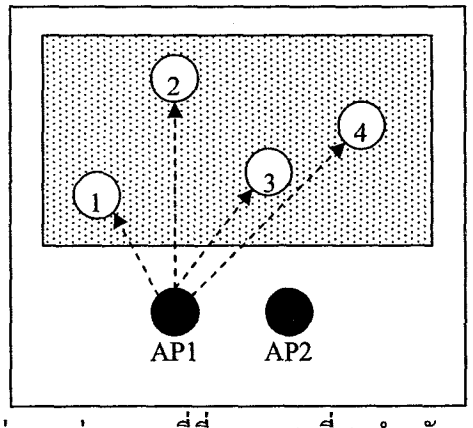
จุดติดตั้ง	ช่องความถี่ที่จัดสรร								
1,2	1,1	1,6	1,11	6,1	6,6	6,11	11,1	11,6	11,11
1,3	1,1	1,6	1,11	6,1	6,6	6,11	11,1	11,6	11,11
1,4	1,1	1,6	1,11	6,1	6,6	6,11	11,1	11,6	11,11
2,3	1,1	1,6	1,11	6,1	6,6	6,11	11,1	11,6	11,11
2,4	1,1	1,6	1,11	6,1	6,6	6,11	11,1	11,6	11,11
3,4	1,1	1,6	1,11	6,1	6,6	6,11	11,1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

จากตารางข้างต้นนี้จะเห็นว่ามีคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 54 คำตอบ และถ้าคำนวณจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยใช้สมการที่ (3.12) สามารถให้จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดเท่ากันดังแสดงต่อไปนี้

จากสมการ (3.12) จะได้

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

แต่ถ้าใช้ขั้นตอนวิธีแพทชิงในการค้นหาคำตอบจะมีจำนวนคำตอบที่ต้องเข้าไปตรวจสอบเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดดังนี้

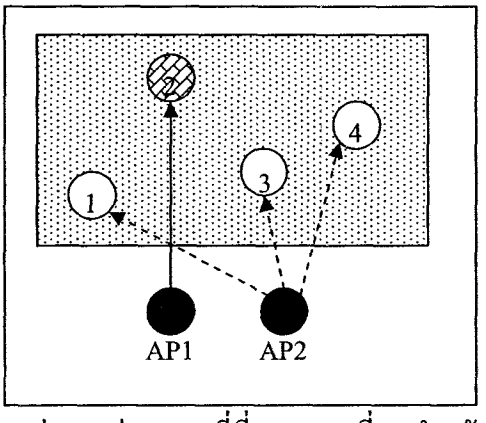


รูปที่ 3.2 การค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจุดเข้าถึงเครื่องแรก

ขั้นตอนแรกเป็นการค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจุดเข้าถึงเครื่องแรกที่จะถูกติดตั้ง ซึ่งตำแหน่งที่สามารถเลือกได้มีทั้งหมด 4 ตำแหน่ง และแต่ละตำแหน่งที่ทดลองติดตั้งสามารถเลือกจัดสรรช่องความถี่ให้ได้หนึ่งช่องจากทั้งหมดสามช่องดังนั้นคำตอบที่ต้องเข้าตรวจสอบมี

ทั้งหมด $4\times3=12$ คำตอบสำหรับขั้นตอนนี้ และกำหนดให้ตำแหน่งและช่องความถี่ที่เหมาะสมที่สุดคือ ตำแหน่งที่ 2 ช่องความถี่ที่ 1

ขั้นตอนที่สอง เป็นขั้นตอนสุดท้ายเนื่องจากต้องการติดตั้งจุดเข้าถึงเพียงสองเครื่องเท่านั้น ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการหาตำแหน่งและช่องความถี่ที่เหมาะสมสำหรับจุดเข้าถึงเครื่องที่สอง โดยตำแหน่งที่สามารถเลือกติดตั้งจุดเข้าถึงได้ต้องมีจำนวนลดลงหนึ่งตำแหน่งเพราะไม่คิดตำแหน่งที่สองซึ่งติดตั้งจุดเข้าถึงเครื่องแรกไปแล้ว ดังนั้นตำแหน่งที่สามารถเลือกได้มีทั้งหมด 3 ตำแหน่ง และแต่ละตำแหน่งที่ทดลองติดตั้งสามารถเลือกจัดสรรช่องความถี่ให้ได้หนึ่งช่องจากทั้งหมดสามช่องดังนั้นคำตอบที่ต้องเข้าตรวจสอบมีทั้งหมด $3\times3=9$ คำตอบสำหรับขั้นตอนนี้ ดังแสดงในรูปที่



รูปที่ 3.3 การค้นหาตำแหน่งและช่องความถี่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจุดเข้าถึงเครื่องที่สอง

เมื่อรวมกับจำนวนคำตอบจากขั้นตอนแรกแล้วจะได้ทั้งหมด 21 คำตอบ
ถ้าคำนวนจำนวนคำตอบที่ต้องเข้าตรวจสอบทั้งหมดโดยใช้สมการที่ (3.21) จะได้ดังนี้

$$\text{คำตอบที่ต้องเข้าตรวจสอบมีทั้งหมด } =3\times\left[4\times2-\frac{\left(2^2-2\right)}{2}\right]=21 \text{ คำตอบ}$$

จากสิ่งแวดล้อมและข้อกำหนดข้างต้นแสดงตัวอย่างการติดตั้งจุดเข้าถึงในบริเวณที่ต้องการให้บริการโครงข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายและการจัดสรรช่องความถี่ให้กับจุดเข้าถึงเหล่านี้ จากตัวอย่างได้แสดงให้เห็นถึงการใช้สมการคำนวณหาจำนวนครั้งที่เทคนิควิธีได้เข้าไปตรวจสอบเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างถูกต้อง โดยได้ทำการเปรียบเทียบกับวิธีการนับจากจำนวนสมาชิกในตารางแสดง

จำนวนคำตอบที่เทคนิควิธีได้เข้าไปตรวจสอบ และเปรียบเทียบกับแผนภาพแสดงจำนวนครั้งที่เทคนิควิธีได้เข้าไปตรวจสอบ สำหรับเทคนิควิธีการค้นหาคำตอบแบบละเอียดและแบบขั้นตอนวิธีแพทชิงตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบแสดงให้ทราบว่าสามารถใช้สมการคำนวณหาจำนวนครั้งที่เทคนิควิธีได้เข้าไปตรวจสอบหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ โดยมีสองเทคนิควิธีที่ได้สร้างสมการไว้แล้วคือเทคนิควิธีค้นหาคำตอบแบบละเอียดและเทคนิควิธีแบบแพทชิง

บทที่ 4

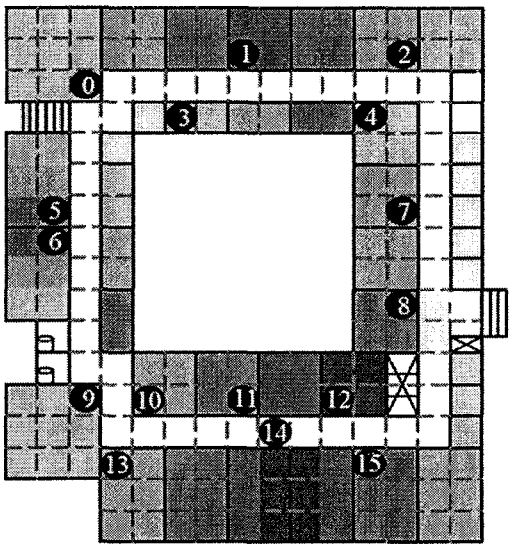
การทดลองและการวิเคราะห์ผลของการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

4.1 การทดลองและการวิเคราะห์ผลกระทบของค่าถ่วงน้ำหนัก

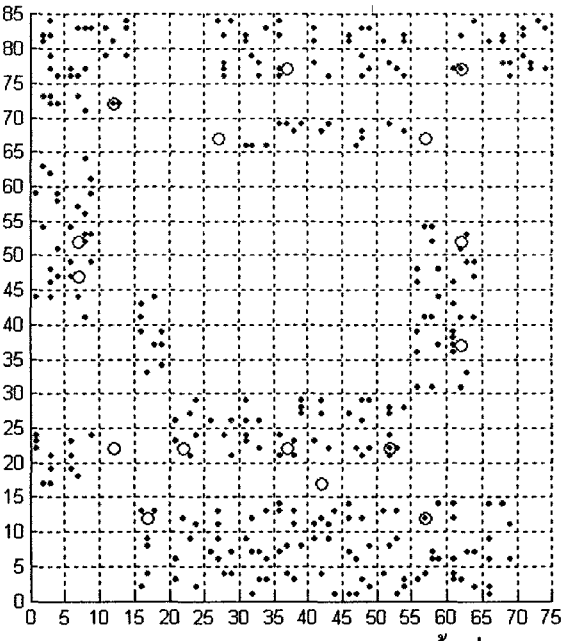
เทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการสูงสุดที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องกำหนดค่าก่อนนำไปใช้ในการออกแบบเครือข่ายคือ พารามิเตอร์สำหรับตัวถ่วงน้ำหนัก w_1 และ w_2 โดยที่ w_1 เป็นตัวถ่วงน้ำหนักของปริมาณงานทั้งหมดของเครือข่ายที่คำนึงถึงหลักการทำงานของโปรโตคอล ซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ ส่วน w_2 เป็นตัวถ่วงน้ำหนักของพื้นที่ครอบคลุมของเครือข่ายซึ่งพิจารณาจากคุณภาพของสัญญาณที่รับได้ ในหัวข้อนี้ทำการศึกษาผลกระทบของค่าของตัวถ่วงน้ำหนักต่อคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ได้จากการออกแบบ

สิ่งแวดล้อมในการศึกษาผลกระทบของค่าถ่วงน้ำหนัก เราพิจารณาการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายในบริเวณพื้นที่ให้บริการดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นสิ่งแวดล้อมเดียวกับที่ใช้ในงานวิจัย (Ling, Yeung, 2005) ซึ่งเป็นพื้นที่ภายในอาคารชั้นเดียวขนาดกว้าง 75 เมตร ยาว 85 เมตร พื้นที่ดังกล่าวถูกแบ่งออกเป็นตารางขนาด 5×5 ตารางเมตร โดยมีเส้นแบ่งตามแนวกว้าง 16 เส้นและเส้นแบ่งตามแนวยาว 18 เส้น ทำให้เกิดจุดตัดเส้นทั้งหมด 288 จุด ซึ่งเป็นจุดที่ใช้ทดสอบคุณภาพของสัญญาณเพื่อใช้ในการประเมินพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ นอกจากนี้ ภายในพื้นที่ให้บริการได้กำหนดตำแหน่งสำหรับเลือกติดตั้งจุดเข้าถึงทั้งหมด 16 ตำแหน่ง คือ ตั้งแต่ตำแหน่งที่ 0 จนถึงตำแหน่งที่ 15 ส่วนช่องความถี่สำหรับจัดสรรให้กับแต่ละจุดเข้าถึงมีให้เลือกใช้ทั้งหมด 3 ช่อง ได้แก่ ช่องความถี่ที่ 1, 6 และ 11 ซึ่งเป็นช่องความถี่ที่ไม่ซ้อนทับกัน โดยจุดเข้าถึงแต่ละตัวถูกจัดสรรให้ใช้ช่องความถี่ได้เพียงช่องเดียว

ลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการในพื้นที่ให้บริการของรูปที่ 4.1 มีลักษณะการกระจายตัวเป็นแบบกลุ่ม กล่าวคือผู้ใช้บริการจะรวมตัวอยู่ ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่งมีลักษณะเป็นกลุ่มๆ การกระจายตัวของผู้ใช้บริการในลักษณะนี้สามารถพบได้ตามอาคารใหญ่ทั่วไป เช่น อาคารผู้โดยสารสนามบิน อาคารที่สร้างขึ้นเพื่อให้สามารถจัดนิทรรศการ หรือการประชุม เป็นต้น ตำแหน่งของผู้ใช้บริการภายในอาคารที่ใช้ทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของการถ่วงน้ำหนักแสดงดังรูปที่ 4.2 จากรูปจำนวนผู้ใช้บริการที่อยู่ภายในอาคารมีทั้งสิ้น 478 ราย



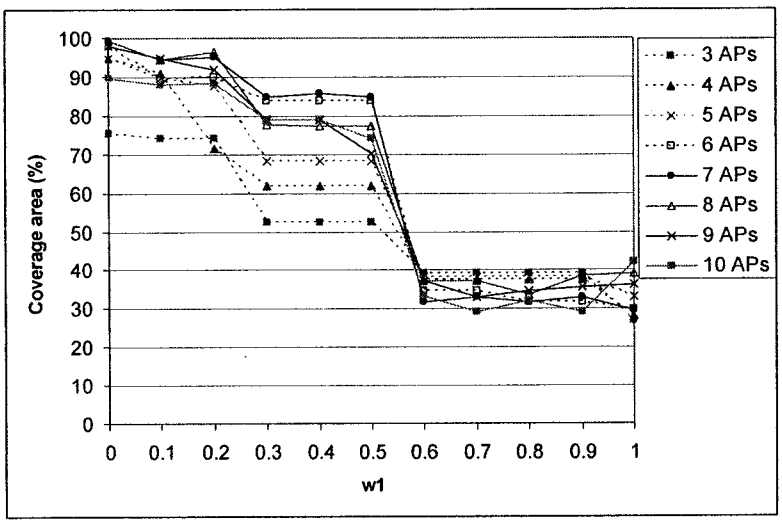
รูปที่ 4.1 บริเวณพื้นที่ให้บริการสำหรับการทดลองออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย



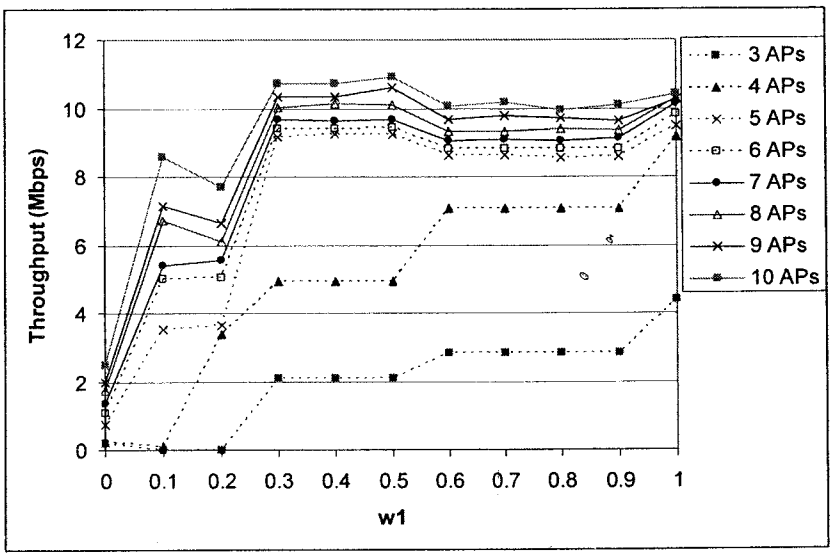
รูปที่ 4.2 ลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการในพื้นที่ให้บริการเครือข่าย

การทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของค่าถ่วงน้ำหนักในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายทำโดยทดลองเปลี่ยนค่าของชุดถ่วงน้ำหนัก w_1 และ w_2 โดยที่ $w_1 = 0.1, 0.2, \ldots, 1.0$ และ $w_2 = 1 - w_1$ และกำหนดจำนวนจุดเข้าถึงในการออกแบบแต่ละครั้งมีค่าแตกต่างกัน (3 เครื่อง ถึง 10 เครื่อง)

รูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายในแง่ของคุณภาพของสัญญาณในพื้นที่ของเครือข่าย และปริมาณงานรวมของระบบที่ได้จากการออกแบบตามลำดับ จากรูปที่ 4.3 สังเกตได้ว่าเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีสัญญาณครอบคลุมแปรผันตามค่าของ w_2 นั่นคือเมื่อ w_2 ที่ใช้ในการออกแบบเครือข่ายมีค่าน้อยลง (w_1 มีค่ามากขึ้น) เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีสัญญาณครอบคลุมก็จะมีค่าลดลงด้วย เครือข่ายที่ได้จากการออกแบบจะมีเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่มีสัญญาณครอบคลุมสูงสุดเมื่อ $w_2 = 1$ (นั่นคือ $w_1 = 0$) ไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้ในเครือข่าย รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณงานของระบบกับค่าถ่วงน้ำหนัก w_1 จากรูปสังเกตได้ว่าเมื่อใช้จำนวนจุเข้าถึงไม่มากในเครือข่าย (3 เครื่องหรือ 4 เครื่อง) ปริมาณงานของระบบจะแปรผันตามค่าของ w_1 แต่ในกรณีที่ใช้จุดเข้าถึงมากกว่า 4 เครื่อง เครือข่ายที่ได้จากการออกแบบจะมีปริมาณงานของระบบสูงเมื่อใช้ค่า w_1 = 0.3-0.5 ในการออกแบบปริมาณงานของระบบลดลงเมื่อค่าของ w_1 มากกว่า 0.5 เหตุผลเนื่องมาจากว่า การใช้จุดเข้าถึงจำนวนหลายเครื่องทำให้มีโอกาสที่จะใช้ช่องความถี่ซ้ำกันได้มากขึ้น ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนในเครือข่ายมากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของสัญญาณในเครือข่าย และส่งผลกระทบต่ออัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลของผู้ใช้และปริมาณงานของระบบด้วย ดังนั้นในการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจึงจำเป็นต้องกำหนดค่าของตัวถ่วงน้ำหนักให้เหมาะสมเพื่อให้เครือข่ายที่ได้จากการออกแบบมีคุณภาพการให้บริการดีทั้งในด้านของปริมาณงานของระบบและในด้านของพื้นที่สัญญาณครอบคลุม จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 สังเกตได้ว่าเมื่อ w_1 = 0.4 และ w_2 = 0.6 เครือข่ายที่ได้จากการออกแบบมีคุณภาพการให้บริการสูงทั้งในด้านของปริมาณงานของระบบและในด้านของพื้นที่สัญญาณครอบคลุม ดังนั้นเราจึงเลือกใช้ค่าถ่วงน้ำหนักดังกล่าวในการออกแบบเครือข่ายในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 4.3 พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ออกแบบด้วยการใช้ w_1 ค่าต่างๆ



รูปที่ 4.4 ปริมาณงานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ออกแบบด้วยการใช้ w_1 ค่าต่างๆ

4.2 การเปรียบเทียบเทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

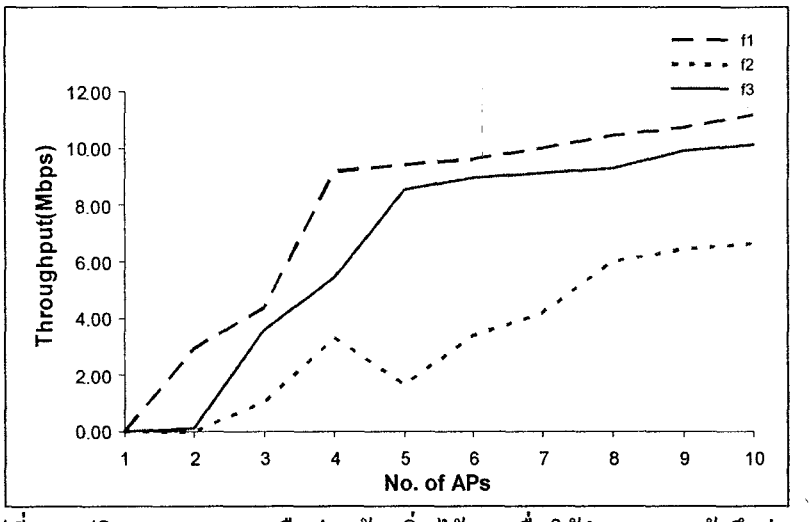
ในหัวข้อนี้ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้จากการออกแบบด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้กับประสิทธิภาพของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้จากการออกแบบด้วยเทคนิคอื่นๆ โดยเทคนิคอื่นที่นำมาเปรียบเทียบในที่นี้คือ เทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้ที่พิจารณาเฉพาะหลักการทำงานของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ เพื่อให้ได้ปริมาณงานรวมของระบบสูงที่สุด [15] และเทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่พิจารณาเฉพาะคุณภาพของสัญญาณและมีวัตถุประสงค์ให้พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณในเครือข่ายมากที่สุด [7-11]

กำหนดให้สัญลักษณ์ f_1 แทนเทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้ที่พิจารณาเฉพาะหลักการทำงานของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ เพื่อให้ได้ปริมาณงานรวมของระบบสูงที่สุด, f_2 แทนเทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่พิจารณาเฉพาะคุณภาพของสัญญาณ และมีวัตถุประสงค์ให้พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณในเครือข่ายมากที่สุด และ f_3 แทนเทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการสูงสุดที่นำเสนอในงานวิจัยนี้

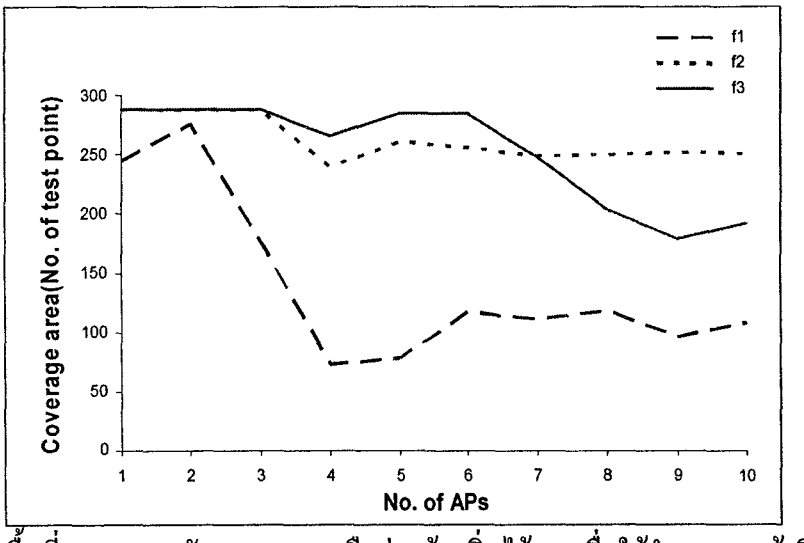
การทดลองออกแบบเครือข่ายรวมถึงการศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายในหัวข้อนี้ทำโดยพิจารณาพื้นที่ให้บริการและลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.1 สำหรับเทคนิค f_3 ใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก $w_1 = 0.4$ และ $w_2 = 0.6$ ส่วนการหาคำตอบในการออกแบบเครือข่ายนั้นใช้วิธีแพทชิ่ง (patching algorithm) ดังกล่าวแล้วในบทที่ 3 คุณภาพการให้บริการของ

เครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยเทคนิคทั้งสามดังกล่าวถูกเปรียบเทียบในแง่ของปริมาณงานรวมของระบบและพื้นที่สัญญาณครอบคลุม เมื่อจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้ต่างกันตั้งแต่ 1 เครื่อง ถึง 10 เครื่อง

รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_3 มีคุณภาพการให้บริการสูงทั้งในด้านปริมาณงานรวมของระบบและพื้นที่สัญญาณครอบคลุม จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_3 ให้ปริมาณงานรวมของระบบสูงกว่าปริมาณงานรวมของระบบที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_2 มาก และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณงานรวมของระบบที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_1 ก็น้อยกว่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_1 มีพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณต่ำที่สุด ในขณะที่เครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_2 และ f_3 ให้พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณที่สูงกว่ามาก



รูปที่ 4.5 ปริมาณงานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเมื่อใช้จำนวนจุดเข้าถึงต่างๆ



รูปที่ 4.6 พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเมื่อใช้จำนวนจุดเข้าถึงต่างๆ

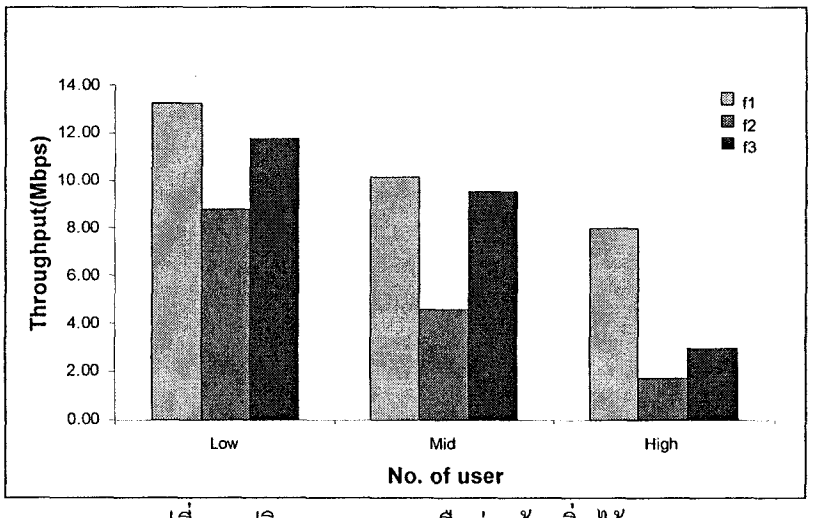
ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนผู้ใช้บริการในเครือข่ายที่มีปริมาณงานเฉลี่ยที่ค่าต่างๆ ซึ่งสังเกตได้ว่าผู้ใช้บริการมากกว่า 50% ในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_1 ไม่สามารถทำการรับส่งข้อมูลได้ (นั่นคือมีปริมาณงานเฉลี่ยเป็นศูนย์) เนื่องจากว่าเทคนิค f_1 พิจารณาเฉพาะหลักการทำงานของโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ เพื่อให้ได้ปริมาณงานรวมของระบบสูงที่สุด โดยไม่พิจารณาคุณภาพของสัญญาณในเครือข่ายทำให้เครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยเทคนิคนี้มีสัญญาณครอบคลุมไม่ทั่วถึง ผู้ใช้บริการบางคนอาจอยู่ในบริเวณที่สัญญาณไม่ดีพอที่จะทำการรับส่งข้อมูลได้ ในขณะที่ 9.43 % ของจำนวนผู้ใช้บริการอยู่ในบริเวณที่สัญญาณดีกว่ามากทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ที่อัตราเร็วสูงกว่าและมีปริมาณงานเฉลี่ยสูงถึง 50 – 100 kbps ในทางตรงกันข้ามเมื่อพิจารณาเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยเทคนิค f_2 จะเห็นว่า 99% ของจำนวนผู้ใช้บริการในเครือข่ายสามารถทำการรับส่งข้อมูลได้ นั่นคือคุณภาพของสัญญาณในเครือข่ายดีพอและครอบคลุมอย่างทั่วถึงทุกบริเวณ เนื่องจากว่าเทคนิค f_2 พิจารณาคุณภาพของสัญญาณ และมีวัตถุประสงค์ให้พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณในเครือข่ายมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม

ตารางที่ 4.1 ปริมาณงานเฉลี่ยของผู้ใช้บริการเมื่อจำนวนจุดเข้าถึงที่ใช้ในเครือข่ายมี 7 เครื่อง

ปริมาณงานเฉลี่ย (bps)	เปอร์เซ็นของผู้ใช้บริการที่ได้ปริมาณงานเฉลี่ยที่ค่าต่างๆ (%)		
	f_1 model	f_2 model	f_3 model
0	50.10	0.84	8.60
0-10	11.11	24.00	22.29
10-50	10.90	0.00	0.00
50-100	0.00	0.00	0.00
100-500	0.00	27.67	24.01
500-1000	0.00	26.12	18.66
1000-5000	10.27	10.37	8.97
5K-10K	8.18	9.53	8.05
10K-50K	0.00	1.47	0.00
50K-100K	9.43	0.00	9.43
100K-500K	0.00	0.00	0.00

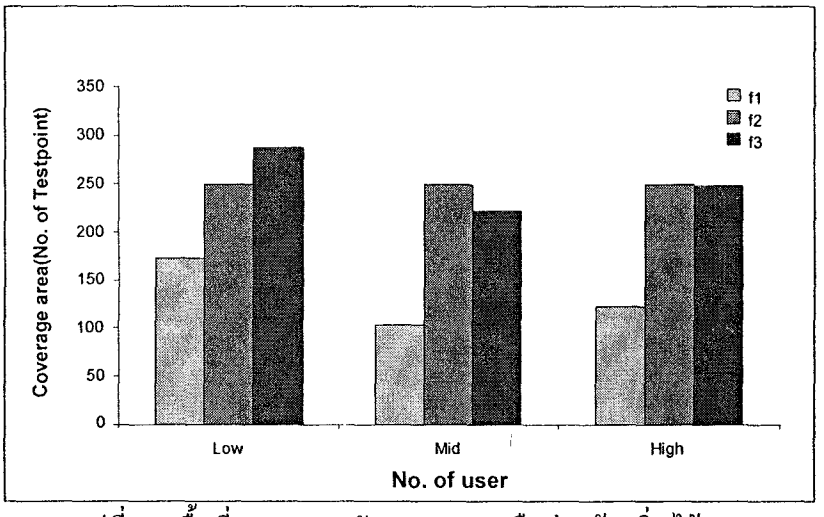
เมื่อพิจารณาปริมาณงานเฉลี่ยของผู้ใช้บริการในเครือข่ายจะเห็นว่า 90% ของจำนวนผู้ใช้บริการมีปริมาณงานเฉลี่ยต่ำกว่า 5 kbps เหตุที่ปริมาณงานเฉลี่ยของผู้ใช้บริการในเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_2 มีค่าต่ำเพราะว่าเทคนิค f_2 ไม่ได้พิจารณาลักษณะการยับยั้งการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องผู้ใช้ที่รับส่งข้อมูลที่ช่องความถี่เดียวกันตามหลักการทำงานของโปรโตคอลซีเอสเอ็มเอ/ซีเอ เมื่อพิจารณาเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบด้วยเทคนิค f_3 จะเห็นว่าจำนวนผู้ใช้บริการในเครือข่ายมากกว่า 90% สามารถทำการรับส่งข้อมูลได้ โดยที่จำนวนผู้ใช้บริการมากกว่า 17.5% มีปริมาณงานเฉลี่ยสูงกว่า 5 kbps และ 9.43% ของจำนวนผู้ใช้บริการสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่อัตราเร็วสูงและมีปริมาณงานเฉลี่ยที่ระดับ 50 – 100 kbps

รูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้จากการออกแบบด้วยเทคนิคทั้งสาม เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของผู้ใช้บริการในเครือข่ายที่ระดับต่างๆ สามระดับ คือ ความหนาแน่นระดับต่ำ (low) ความหนาแน่นระดับกลาง (middle) และความหนาแน่นระดับสูง (high) โดยที่ในการออกแบบและจำลองระบบเครือข่ายใช้สิ่งแวดล้อมบริเวณให้บริการเดียวกันกับที่กำหนดในหัวข้อที่ 4.1 โดยกำหนดให้ลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการในรูปที่ 4.2 เป็นความหนาแน่นของผู้ใช้บริการในระดับกลาง ส่วนความหนาแน่นของผู้ใช้บริการในระดับต่ำนั้นกำหนดให้มีความหนาแน่นเป็นครึ่งหนึ่งของความหนาแน่นระดับกลาง และความหนาแน่นในระดับสูงนั้นกำหนดให้มีความหนาแน่นเป็นสองเท่าของความหนาแน่นระดับกลาง จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 สังเกตได้ว่าที่ทุกระดับความหนาแน่นของผู้ใช้บริการ เครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_3 ให้ค่าปริมาณงานรวมของระบบสูงกว่าเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_2 และถึงแม้ว่าเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_1 จะให้ปริมาณงานรวมของระบบสูงกว่าเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_3 แต่เครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_3



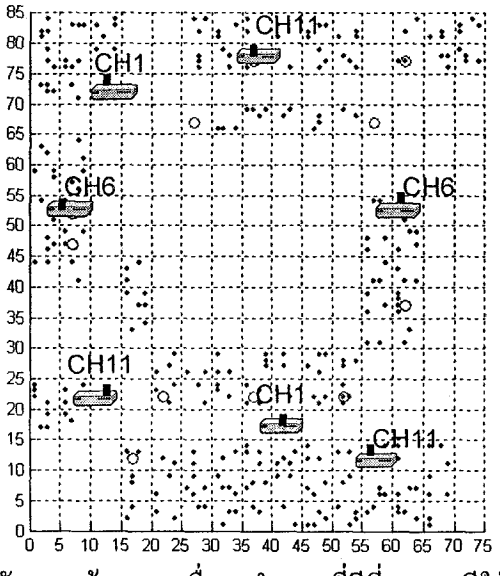
รูปที่ 4.7 ปริมาณงานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

มีคุณภาพของสัญญาณครอบคลุมดีกว่าเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_1 จากรูปที่ 4.8 พิจารณากรณีที่ความหนาแน่นของผู้ใช้บริการระดับสูง พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณในเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_1 น้อยกว่าพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณในเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิค f_3 ถึง 50%



รูปที่ 4.8 พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดลองหลังจากแก้สมการเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด ในกรณีที่ผู้ใช้บริการมีลักษณะการกระจายตัวดังแสดงในรูปที่ 4.2 (ความหนาแน่นของผู้ใช้บริการจัดอยู่ในระดับกลาง) และใช้จุดเข้าถึงจำนวน 7 เครื่อง รูปที่ 4.9 แสดงตำแหน่งจุดเข้าถึงที่ได้เลือกจากตำแหน่งที่เป็นได้ทั้งหมด พร้อมทั้งได้แสดงช่องสัญญาณความถี่ของจุดเข้าถึงที่ได้เลือกใช้เพื่อลดสัญญาณรบกวนในพื้นที่ให้บริการด้วย



รูปที่ 4.9 ผลการทดลองหลังจากแก้สมการเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด กรณีใช้จุดเข้าถึงจำนวน 7 เครื่อง

4.3 การวิเคราะห์ความซับซ้อนของเทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

เทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อคุณภาพการให้บริการสูงสุดที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการหาคำตอบแบบขั้นตอนวิธีแพทชิ่ง ซึ่งเป็นเทคนิคการหาคำตอบที่ถูกนำมาใช้เพื่อลดความซับซ้อนของวิธีการค้นหาคำตอบ และลดระยะเวลาในการค้นหาคำตอบ ดังกล่าวแล้วในบทที่ 3

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความซับซ้อนในการค้นหาคำตอบระหว่างวิธีแพทชิ่งและวิธีการหาคำตอบแบบละเอียดในแง่ของจำนวนคำตอบที่ตรวจสอบทั้งหมดและเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ ซึ่งสรุปได้ว่าการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยการใช้วิธีแพทชิ่งในการหาคำตอบมีความซับซ้อนน้อยกว่าการใช้วิธีการหาคำตอบแบบละเอียด โดยที่วิธีแพทชิ่งมีจำนวนคำตอบที่ต้องตรวจสอบน้อยกว่า และใช้เวลาในการค้นหาคำตอบน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของเครือข่ายที่ได้จากการค้นหาคำตอบด้วยวิธีแพทชิ่งกับวิธีการหาคำตอบแบบละเอียดพบว่าเครือข่ายที่ได้จากวิธีการหาคำตอบทั้งสองวิธีมีคุณภาพการให้บริการที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งสังเกตได้ว่าเครือข่ายที่ได้จากวิธีหาคำตอบแบบละเอียดมีคุณภาพดีกว่าเครือข่ายที่ได้จากวิธีหาคำตอบแบบแพทชิ่งไม่เกิน 3 % เมื่อใช้จุดเข้าถึงในเครือข่ายตั้งแต่ 5 เครื่องขึ้นไป

ตารางที่ 4.2 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	N/A	N/A
8	300	10.64 วินาที	84,440,070	N/A	N/A
9	324	11.16 วินาที	225,173,520	N/A	N/A
10	345	11.95 วินาที	472,864,392	N/A	N/A

หมายเหตุ N/A หมายถึง กระบวนการค้นหาคำตอบได้หยุดลงก่อนที่จะได้คำตอบ เพราะใช้เวลาเกิน 72 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้เมื่อใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบแพทชิ่งกับเมื่อใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบละเอียด

จำนวนจุดเข้าถึง	ประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากเทคนิคการจัดสรรช่องความถี่แบบไฮบริด (ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในสมการที่ 3.7)		
	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	N/A	N/A
8	10457200.00	N/A	N/A
9	10751300.00	N/A	N/A
10	11189300.00	N/A	N/A

หมายเหตุ N/A หมายถึง กระบวนการค้นหาคำตอบได้หยุดลงก่อนที่จะได้คำตอบ เพราะใช้เวลาเกิน 72 ชั่วโมง

บทที่ 5
สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยที่นำเสนอนี้ได้ทำการพัฒนาเทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อให้ได้คุณภาพการให้บริการสูงที่สุด โดยได้ทำการพัฒนาสมการคณิตศาสตร์วิธีใหม่ที่นอกจากจะพิจารณาเรื่องของสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ให้บริการแล้วยังเพิ่มการพิจารณาปริมาณงานที่สื่อสารผ่านระบบเครือข่ายลงในสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อการออกแบบและวางแผนเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ดีที่สุดด้วย

เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบโดยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นกับคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของเครือข่ายที่ได้จากการออกแบบโดยเทคนิคอื่นพบว่า เทคนิคการออกแบบที่พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้ทำให้ได้เครือข่ายที่มีคุณภาพการให้บริการดีทั้งในด้านปริมาณงานรวมของระบบและคุณภาพของสัญญาณครอบคลุมในพื้นที่ของเครือข่าย จากการวิเคราะห์ผลกระทบของลักษณะความหนาแน่นและการกระจายตัวของผู้ใช้บริการต่อการใช้เทคนิคการออกแบบที่พัฒนาขึ้นพบว่าเครือข่ายที่ออกแบบด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพการให้บริการที่ดีแม้ว่าความหนาแน่นและลักษณะการกระจายตัวของผู้ใช้บริการในเครือข่ายจะเปลี่ยนไป

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้นำวิธีแพทชิ่ง (Patching) มาใช้ในการค้นหาคำตอบสำหรับการออกแบบเครือข่ายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ซึ่งสามารถลดความซับซ้อนในการค้นหาคำตอบได้ โดยใช้เวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดเพียง 8.36 วินาที สำหรับเครือข่ายที่ใช้จุดเข้าถึง 6 เครื่อง เปรียบเทียบกับวิธีการหาคำตอบแบบละเอียด (exhuastive search) ที่ใช้เวลาในการหาคำตอบถึง 45 ชั่วโมง

เทคนิคการออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ รวมถึงการใช้วิธีแพทชิ่งในการหาคำตอบ ช่วยให้การออกแบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเป็นไปอย่างรวดเร็ว และได้เครือข่ายที่มีคุณภาพการให้บริการสูง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่มีความสนใจในการออกแบบและวางแผนเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายต่อไป

บรรณานุกรม

[1] Frost & Sullivan. (2001). World wireless LAN markets. Technical report. New York.

[2] A. Sikora. (2003). Wireless personal and local area networks. John wiley & sons: England.

[3] A. Hills. (2001). Large-scale wireless LAN design. IEEE Communication Magazine. vol. 39. pp. 98-104.

[4] J. Kabara, P. Krishnamurthy, and D. Tipper. (2002). Capacity based network planning for wireless data networks. IST Mobile Communications Summit.

[5] M. Unbehaun and J. Zander. (2001). Infrastructure density and frequency reuse for user-deployed wireless LAN systems at 17 GHz in an office environment. IEEE Internationl Conference on Communications. pp. 2535-2539.

[6] B. J. Bennington and C. R. Bartel. (2001). Wireless Andrew: Building a high speed, campus-wide wireless data network. Mobile networks and applications. vol. 6. pp. 9-22.

[7] M. D. Adickes, R. E. Billo, B. A. Norman, S. Banerjee, B. O. NNaji, and J. Rajgopal. (1999). Optimization of indoor wireless communication network layouts. Technical Report. 99-5. Dept. of Industrial Engineering, University of Pittsburgh.

[8] H. R. Anderson and J. P. McGeehan. (1994). Optimizing microcell base station locations using simulated annealing techniques. Vehicular Technology Conference, IEEE. vol. 2. pp. 858-862.

[9] H. D. Sherali, C. M. Pendyala, and T. S. Rappaport. (1996). Optimal location of transmitters for micro-cellular radio communication system design. IEEE Journal on selected areas in communications. vol. 14. pp. 662-673.

[10] D. Stamatelos and A. Ephremides. (1996). Spectral efficiency and optimal base placement for indoor wireless networks. IEEE Journal on selected areas in communications. vol. 14. pp. 651-661.

[11] R. C. Rodrigues, G. R. Mateus' and A. A. F. Loureiro. (2000). On the design and capacity planning of a wireless local area network. IEEE Conference on Network Operations and Management Symposium. pp. 335-348.

[12] 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.

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

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

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

[16] 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.

[17] 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).

[18] 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).

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

[20] H. Zhai, X. Chen, and Y. Fang. (Nov 2005). How well can the IEEE 802.11 wireless LAN support quality of service?, IEEE Trans on wireless communications. vol. 4. pp. 3084-3094.

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

ภาคผนวก

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระดับนานาชาติ

1. C. Prommak and B. Deeka "Optimal Frequency Channel Assignment for WLANs Using Hybrid SIR and CSMA/CA Considerations", Proc. The 2007 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI) International Conference, Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand, May 9-12, 2007, vol. 1, pp. 809-812.

2. C. Prommak and B. Deeka "Network Design for Quality of Services in Wireless Local Area Networks: a Cross-layer Approach for Optimal Access Point Placement and Frequency Channel Assignment", Proc. The 2007 International Conference of Wireless Networks, London, U.K., July 2-4, 2007, pp. 1471-1475.

3. C. Prommak and B. Deeka "Cross-layer Network Design for Quality of Services in Wireless Local Area Networks: Optimal Access Point Placement and Frequency Channel Assignment", IAENG International Journal of Computer Science, 2007, vol. 35 issue 1, pp. 149-153.

ประวัติผู้วิจัย

ดร. ชุติมา พรหมมาก สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (เกียรตินิยม) จาก มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อ พ.ศ. 2535 ปริญญาโท (Telecommunication Engineering) จาก University of Colorado at Boulder เมื่อ ค.ศ. 1998 และปริญญาเอก (Telecommunication Engineering) จาก University of Pittsburgh เมื่อ ค.ศ. 2004 ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สนใจงานวิจัยเรื่อง Wireless network design, Optical network design, Network optimization และ Heuristic approaches for network design