รหัสโครงการ SUT7-709-51-12-46

รายงานการวิจัย

การจัดสมดุลโหลดแบบพลวัตสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายเพื่อปรับปรุงสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ

(Dynamic Load Balancing for Wireless LANs for Efficient Learning Environment Improvement)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุติมา พรหมมาก

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2551

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กุมภาพันธ์ 2553

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุกท่านที่ได้ช่วยให้งานวิจัยนี้เสร็จลุล่วงด้วยดี ขอบคุณศูนย์คอมพิวเตอร์และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้อำนวยความสะดวกในการวิจัย ขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในการให้ทุนสนับสนุนการวิจัย และให้งบประมาณในการนำเสนอผลงานวิจัย ณ การประชุมวิชาการนานาชาติ

ผู้วิจัย

พฤษภาคม 2553

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการจัดสมดุลโหลดสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยได้ทำการพัฒนาเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริด (Hybrid Approach, HA) ซึ่งเป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นต่อประเภทการประยุกต์ใช้บริการสื่อสารข้อมูลในเครือข่าย โดยได้นำเสนอเทคนิคการจัดสมดุลโหลดดังกล่าวในรูปของสมการคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ที่พิจารณาการประยุกต์ใช้งานประเภทมัลติมีเดียและข้อมูลธรรมดา

เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของเครือข่ายที่ใช้เทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พัฒนาขึ้นกับคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของเครือข่ายที่ใช้เทคนิคการจัดสมดุลโหลดวิธีอื่นพบว่าเทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้ทำให้ประสิทธิภาพการสื่อสารของผู้ใช้บริการในเครือข่ายสูงขึ้นทั้งในด้านของเปอร์เซ็นต์การเข้าใช้งานเครือข่าย และอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถสื่อสารกับจุดเข้าถึงได้อย่างเหมาะสมกับประเภทการประยุกต์ใช้งาน กล่าวคือเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ HA สามารถกระจายโหลดระหว่างจุดเข้าถึงในเครือข่ายได้ดี ทำให้การปฏิเสธการเข้าใช้บริการมีค่าน้อยกว่าเทคนิคอื่นถึง 10% นอกจากนี้เทคนิค HA ยังสามารถเชื่อมต่อผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดียที่อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่สูง โดยจำนวนผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดียที่สามารถเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดมีมากกว่า 50% ของจำนวนผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดียทั้งหมด ในขณะที่เทคนิคอื่นอยู่ที่ 25%

จากการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ HA ที่มีการจัดการแบนด์วิดท์ ซึ่งได้ทำการพิจารณาเทคนิคการจัดการแบนด์วิดท์ 3 วิธีคือ เทคนิคที่ใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้อย่างสมบูรณ์ (Complete Sharing, CS) เทคนิคที่แบ่งแบนด์วิดท์กันอย่างแน่นอน (Complete Partitioning, CP) และเทคนิคที่ใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้บางส่วน (Partial Sharing, PS) พบว่าเทคนิคการจัดการแบนด์วิดท์แบบ CS และ PS ทำให้เปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการมีค่าน้อยกว่าการใช้เทคนิค CP เฉลี่ยถึง 10% นอกจากนี้ยังพบว่าเทคนิค PS เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับเครือข่ายที่ต้องการให้ความสำคัญกับการใช้งานประเภทมัลติมีเดีย เนื่องจากเทคนิค PS สามารถปรับสัดส่วนแบนด์วิดท์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานประเภทมัลติมีเดียได้ โดยสามารถทำให้เปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการของการใช้งานประเภทมัลติมีเดียลดลงได้ถึง 6% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เทคนิค CS

Abstract

This research presents a study and development of load balancing techniques for Wireless Local Area Networks (WLANs). We develop a novel hybrid load balancing scheme (Hybrid Approach, HA) that can maintain load balancing among access points in the networks and can satisfy the quality of service requirements of the multimedia traffic applications. The proposed model is mathematically described as a linear programming model that considers not only the best effort traffic but also the multimedia traffic.

Simulation study and analysis were conducted in order to demonstrate the performance of the proposed hybrid load balancing scheme. Simulation results shows that the proposed scheme outperforms the other schemes in term of the percentage of blocking and the quality of the data transfer rate providing to the multimedia and real-time applications. Compared to other schemes, the propose scheme can reduce the blocking percentage up to 10%. Additionally, more than 50% of multimedia users can communicate at highest physical data rate whereas the other schemes yield only 25%.

Furthermore, this research presents an analysis of effects of using different bandwidth management techniques on the network performances of the WLANs that use HA load balancing scheme. In particular, we study three bandwidth management schemes, namely Complete Sharing (CS), Complete Partitioning (CP), and Partial Sharing (PS). Performances of these schemes are evaluated by simulation experiments in term of percentage of network association blocking. Our results show that the CS and PS scheme can provide relatively low blocking percentage in various network traffic scenarios; there blocking percentage is less than that of the CP scheme up to 10%. Moreover, the PS scheme can enhance quality of services of the multimedia traffic by reducing the blocking percentage up to 6% compared to that of the CS scheme.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ .....ก
บทคัดย่อ .....ข
Abstract .....ค
สารบัญ .....ง
สารบัญภาพ .....ฉ
สารบัญตาราง .....ช
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย 2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและปริทัศน์วรรณกรรม
2.1 รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 4
2.2 ขั้นตอนการ Authentication และ Association 6
2.3 หลักการเข้าใช้ช่องสัญญาณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้ 7
2.3.1 PCF (Point Coordination Function) 7
2.3.2 DCF (Distributed Coordination Function) 8
2.3.3 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) 10
2.4 คุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย 13
2.5 การวัดคุณภาพในการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย 16
บทที่ 3 เทคนิคการจัดสมดุลโหลดสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย
3.1 การทำงานของระบบการจัดการโหลด 18
3.2 การนิยามปัญหาและสมการคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสมดุลโหลด 19
3.2.1 เทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พิจารณาความแรงของสัญญาณสูงสุดก่อน (Maximum Signal Strength First) 20
3.2.2 เทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พิจารณาโหลดน้อยที่สุดก่อน (Minimum Load First) 22

หน้า

3.2.3 เทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริด (Hybrid Approach).....23
3.3 เทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริดที่มีการจัดการแบนด์วิดท์.....26
3.3.1 เทคนิคที่ใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้อย่างสมบูรณ์ (Complete Sharing).....26
3.3.2 เทคนิคที่แบ่งแบนด์วิดท์กันอย่างแน่นอน (Complete Partitioning).....26
3.3.3 และเทคนิคที่ใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้บางส่วน (Partial Sharing).....27
บทที่ 4 การทดลองและการวิเคราะห์เทคนิคการจัดสมดุลโหลด
4.1 การจำลองการทำงานของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....28
4.1.1 การจำลองพฤติกรรมการเข้าใช้บริการ.....28
4.1.2 การควบคุมปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึง.....29
4.2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการจัดสมดุลโหลดวิธีต่างๆ.....31
4.3 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการจัดการแบนด์วิดท์สำหรับการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริด.....37
4.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น.....41
บทที่ 5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....42
บรรณานุกรม.....44
ภาคผนวก
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....46
ประวัติผู้วิจัย.....47

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบแอดฮอค.....5
รูปที่ 2.2 เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐาน.....6
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงของสถานีไร้สาย.....7
รูปที่ 2.4 หลักการเข้าใช้ช่องสัญญาณตามมาตรฐาน IEEE 802.11.....7
รูปที่ 2.5 กลไก RTS/CTS Handshake.....10
รูปที่ 2.6 การจัดแถวคอยตามกลุ่มการเข้าใช้ช่องสัญญาณ.....12
รูปที่ 2.7 ขนาดของช่องว่างระหว่างเฟรมและขนาดของช่องเวลาการแข่งขัน.....12
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการทำงานของการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ EDCA.....13
รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของระบบการจัดสมดุลโหลด.....18
รูปที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ MSF.....20
รูปที่ 3.3 แผนภาพการทำงานของเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ MLF.....23
รูปที่ 3.3 แผนภาพการทำงานของเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ HA.....24
รูปที่ 4.1 เวลาระหว่างการเข้าใช้บริการ และเวลาการใช้บริการ.....29
รูปที่ 4.2 รูปแบบการจำลองระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....31
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการ.....32
รูปที่ 4.4 ปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึงเมื่อใช้เทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ MSF.....34
รูปที่ 4.5 ปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึงเมื่อใช้เทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ MLF.....34
รูปที่ 4.6 ปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึงเมื่อใช้เทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ HA.....35
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบจำนวน sessions ผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดีย (system offered load = 0.4) ...36
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบจำนวน sessions ผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดีย (system offered load = 1.0) ...36
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการ.....38
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการเมื่อใช้เทคนิค CP และ PS.....40

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การกำหนดค่าความสำคัญของระดับชั้นการให้บริการ.....11
ตารางที่ 3.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในสมการคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิคการจัดสมดุลโหลด 19
ตารางที่ 4.1 ตัวแปรสำหรับการจัดการแบนด์วิดท์ 38
ตารางที่ 4.2 ตัวแปรสำหรับการทดลองจัดการแบนด์วิดท์.....40

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายได้รับความนิยมเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมากสำหรับการใช้งานเพื่อเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ ตลอดจนอุปกรณ์สื่อสารไร้สายอื่นๆ เข้ากับระบบเครือข่ายโดยไม่จำเป็นต้องวางสายนำสัญญาณ โดยได้มีการประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายภายในหน่วยงาน องค์กร และสถานศึกษาต่างๆ ตลอดจนในพื้นที่ทั่วไป เช่น ที่พักผู้โดยสารของท่าอากาศยานและสถานีขนส่ง สวนสาธารณะ โรงแรม ร้านกาแฟ ห้องสมุด สถานที่จัดการประชุม และแสดงสินค้าต่างๆ เป็นต้น ซึ่งลักษณะการใช้งานโดยทั่วไป ผู้ใช้ส่วนใหญ่ในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย จะทำการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เพื่อใช้งานสื่อสารข้อมูลต่างๆ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ (applications) มัลติมีเดียที่มีภาพและเสียงเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการฟังเพลง ชมภาพยนตร์ รวมถึงการศึกษาทางไกลระบบออนไลน์ และเครือข่ายการเรียนรู้ไร้พรมแดน ซึ่งอำนวยให้นักเรียนนักศึกษา สามารถเชื่อมต่อกับแหล่งรวมข้อมูลความรู้และข่าวสาร ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว เนื่องจากเป็นการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย ที่สามารถเชื่อมต่อเพื่อเข้าใช้บริการสื่อสารได้โดยไม่จำกัดเวลาการให้บริการ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณข้อมูลของโปรแกรมประยุกต์มัลติมีเดียต่างๆดังกล่าวจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งต้องการแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลสูง

โครงสร้างของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เป็นโครงสร้างแบบ Infrastructure ซึ่งมีการใช้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมต่อ ที่เรียกว่า จุดเข้าถึง (Access Point) และอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณไร้สาย ซึ่งถูกติดตั้งที่เครื่องผู้ใช้ (user terminals) เพื่อส่งสัญญาณไปยังจุดเข้าถึง โดยจุดเข้าถึงเป็นจุดที่เชื่อมต่อเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายเข้ากับเครือข่ายท้องถิ่นแบบมีสาย และอำนวยให้สามารถรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภายในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย และเครือข่ายภายนอกรวมถึงเครือข่ายอินเตอร์เน็ตด้วย ในการที่เครื่องผู้ใช้จะเลือกเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงเครื่องใดภายในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายนั้น จะทำการตัดสินใจเลือกจากค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากจุดเข้าถึง โดยจะเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่มีค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้มากที่สุด กล่าวคือ แม้ว่าจะมีจุดเข้าถึงเครื่องอื่นๆ ติดตั้งไว้ภายในบริเวณใกล้เคียง แต่เครื่องผู้ใช้ก็เชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่มีค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้มากที่สุด

เนื่องจากจุดเข้าถึงแต่ละเครื่องมีข้อจำกัดของแบนด์วิดท์ในการรับส่งข้อมูล ดังนั้นถ้าหาก ณ เวลาหนึ่งมีเครื่องผู้ใช้งานจำนวนมาก ทำการรับ-ส่งข้อมูลผ่านจุดเข้าถึงเพียงเครื่องใดเครื่องหนึ่ง จะทำให้เกิดการช่วงชิงการใช้แบนด์วิดท์ในการรับส่งข้อมูล ทำให้คุณภาพของการสื่อสารข้อมูลลดลง จนบางครั้งอาจไม่สามารถให้บริการสื่อสารข้อมูลมัลติมีเดียได้ ในขณะที่จุดเข้าถึงเครื่องอื่นๆ ในบริเวณใกล้เคียงมีการใช้งานแบนด์วิดท์ที่ต่ำกว่ามาก ในสภาวะดังกล่าวปริมาณของโหลดการสื่อสารบนจุดเข้าถึงแต่ละเครื่องในเครือข่ายจะไม่เท่ากัน ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายต่ำ

โครงการที่นำเสนอนี้มุ่งพัฒนาวิธีการจัดสมดุลโหลดระหว่างจุดเข้าถึงแต่ละเครื่องภายในเครือข่าย เพื่อแก้ปัญหาการช่วงชิงการใช้แบนด์วิดท์ในการรับส่งข้อมูลที่จุดเข้าถึงเพียงเครื่องใดเครื่องหนึ่ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการสื่อสารข้อมูลภายในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาเทคนิคการจัดสมดุลโหลดสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการสื่อสารข้อมูลภายในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย
2. กำหนดวิธีการและออกแบบเกณฑ์การจัดสมดุลโหลดที่มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะและปริมาณข้อมูลการสื่อสารในเครือข่าย
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการให้บริการสื่อสารข้อมูลมัลติมีเดียภายในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่ใช้การจัดสมดุลโหลดโดยวิธีที่พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาและพัฒนาเทคนิคการการจัดสมดุลโหลดระหว่างจุดเข้าถึงภายในเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่มีโครงสร้างเครือข่ายแบบ Infrastructure เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการสื่อสารข้อมูลภายในเครือข่าย นอกจากนี้ยังได้ทำการพัฒนาโปรแกรมที่สามารถจำลองการทำงานของเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่มีโครงสร้างเครือข่ายแบบ Infrastructure ซึ่งสามารถทำการปรับเปลี่ยนสภาวะโหลดภายในเครือข่ายได้ เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ และทดสอบเทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พัฒนาขึ้น

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาและสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลโหลด
2. พัฒนาโปรแกรมที่ทำการจำลองการทำงานของเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่มีโครงสร้างเครือข่ายแบบ Infrastructure โดยสามารถทำการปรับเปลี่ยนสภาวะโหลดภายในเครือข่ายได้

3. ออกแบบกรอบวิธี และเกณฑ์การจัดสมดุลโหลด
4. พัฒนาโปรแกรมวิธีการจัดสมดุลโหลดของเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย
5. ทดสอบและวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณงานภายในเครือข่ายต่อประสิทธิภาพการให้บริการสื่อสารข้อมูลของเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สายที่มีการใช้เทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับการใช้เทคนิคอื่นๆ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ : ได้เทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ซึ่งเป็นองค์ความรู้ในการวิจัยและประยุกต์ใช้ต่อไป นอกจากนี้ยังได้บทความวิจัยที่มีคุณค่าทางวิชาการต่อวงการศึกษาและวิจัย

หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ : สถาบันการศึกษาและหน่วยงานวิจัยที่มีความสนใจในวิธีการแก้ปัญหาการจัดสมดุลโหลดสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย รวมถึงหน่วยงานเอกชนหรือบริษัทที่ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและปริทัศน์วรรณกรรม

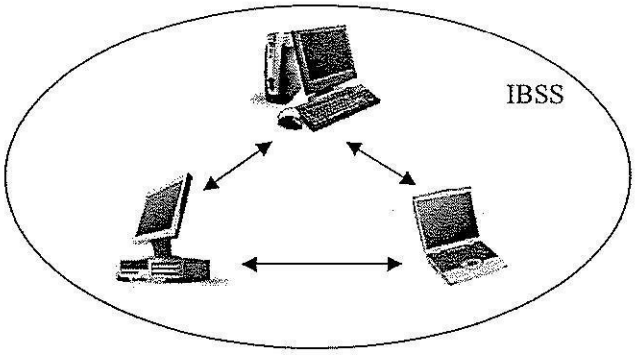
เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและหลักการทำงานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยดังนี้ หัวข้อ 2.1 กล่าวถึงรูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 หัวข้อ 2.2 กล่าวถึงขั้นตอนการ Authentication และ Association ซึ่งเป็นขั้นตอนการร้องขอเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงก่อนจะเข้าใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย หัวข้อ 2.3 กล่าวถึงหลักการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ Point Coordination Function, Distributed Coordination Function และ Enhanced Distributed Channel Access หัวข้อ 2.4 กล่าวถึงคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย และหัวข้อ 2.5 กล่าวถึงการวัดคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

2.1 รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 ได้แบ่งรูปแบบการเชื่อมต่อของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายออก เป็น 2 ประเภท คือ เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบแอดฮอค (Ad hoc Network) และเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure Network) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบแอดฮอค

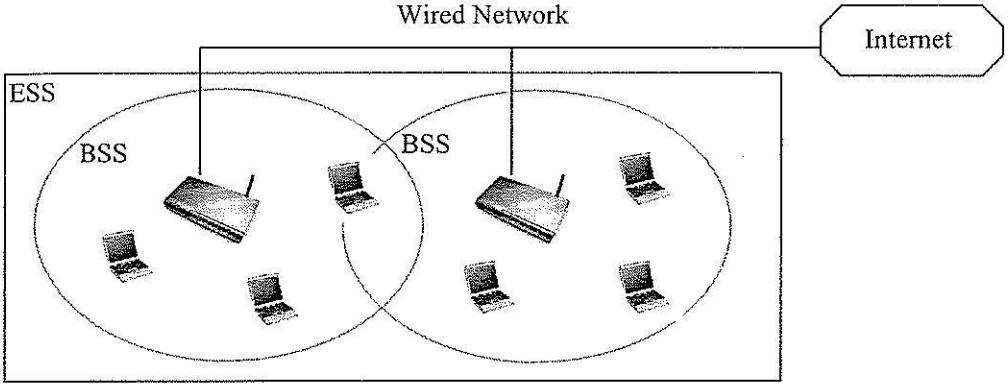
เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบแอดฮอคเป็นเครือข่ายที่ผู้ใช้บริการสามารถสร้างการเชื่อมต่อระหว่างสถานีไร้สายได้เอง เมื่อผู้ใช้บริการต้องการติดต่อสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลกับสถานีไร้สายอื่น ๆ ผู้ใช้บริการสามารถส่งข้อมูลระหว่างสถานีไร้สายได้อย่างอิสระโดยไม่ถูกควบคุมจากศูนย์กลางหรือจุดเข้าถึง เหมาะสำหรับการนำมาใช้งานนอกสถานที่หรือบริเวณที่ไม่มีจุดเข้าถึงรองรับ แต่การเชื่อมต่อในลักษณะนี้เป็นการสร้างเครือข่ายขนาดเล็ก มีลักษณะการทำงานแบบจุดต่อจุดและใช้คลื่นวิทยุในการรับส่งข้อมูลเท่านั้น จึงทำให้มีข้อจำกัดในการรับส่งข้อมูลที่สามารถทำได้ในระยะใกล้ในบริเวณของเครือข่าย (Independent Basic Service Set: IBSS) เดียวกัน ไม่สามารถรับส่งข้อมูลกับเครือข่ายอื่น ๆ ได้ เนื่องจากกำลังในการส่งสัญญาณยังสามารถส่งได้ในระยะทางสูงสุดประมาณ 100 เมตรเท่านั้น ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบแอดฮอค

2.1.2 เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐาน

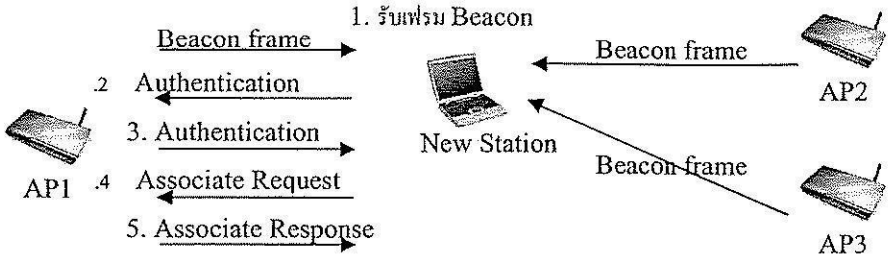
เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐานเป็นเครือข่ายที่ผู้ใช้บริการต้องทำการสื่อสารผ่านจุดเข้าถึงที่ใช้เป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูล เพื่อติดต่อสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลกับสถานีภายในเครือข่ายเดียวกันหรือเครือข่ายอื่น ๆ การเชื่อมต่อในลักษณะนี้เป็นการสร้างเครือข่ายขนาดใหญ่ โดยจุดเข้าถึงจะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายแบบไร้สายและเครือข่ายแบบใช้สาย ดังรูปที่ 2.2 บริเวณของเครือข่ายที่มีจุดเข้าถึงเพียง 1 ตัว สถานีไร้สายที่อยู่ในรัศมีการส่งสัญญาณของจุดเข้าถึงเดียวกันนั้นจะต้องรับส่งข้อมูลผ่านจุดเข้าถึงดังกล่าวเท่านั้น (Basic Service Set: BSS) ซึ่งจุดเข้าถึง 1 ตัว จะสามารถให้บริการได้ประมาณ 15-50 สถานีขึ้นอยู่กับความสามารถของจุดเข้าถึงนั้น ๆ หากบริเวณของเครือข่ายประกอบด้วย BSS มากกว่า 1 BSS เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน (Extended Service Set: ESS) สถานีไร้สายสามารถเคลื่อนย้ายจาก BSS หนึ่งไปอยู่ในอีก BSS ได้หรือสามารถทำการติดต่อสื่อสารเพื่อโอนย้ายการให้บริการได้ แต่อย่างไรก็ตามสถานีไร้สายต้องทำการรับส่งข้อมูลผ่านจุดเข้าถึงตัวที่ตนเองกำลังเชื่อมต่ออยู่เท่านั้น การส่งต่อข้อมูลที่ได้รับจากสถานีไร้สายต้นทางไปยังจุดหมายปลายทางหรือส่งต่อข้อมูลที่ได้รับจากเครือข่ายอื่นมายังสถานีไร้สายจะเป็นหน้าที่ของจุดเข้าถึงเพียงผู้เดียว โดยการเชื่อมต่อจุดเข้าถึงเข้ากับเครือข่ายอื่น ๆ จะใช้สายสัญญาณในการติดต่อทำให้รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายลักษณะนี้มีความสามารถในการรับส่งข้อมูลได้ไกลกว่าเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบแอดฮอค เหมาะสำหรับการนำไปขยายเครือข่ายหรือใช้ร่วมกับเครือข่ายแบบใช้สายที่มีอยู่แล้วเนื่องจากมีโครงสร้างที่แน่นอน



รูปที่ 2.2 เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐาน

2.2 ขั้นตอนการ Authentication และ Association

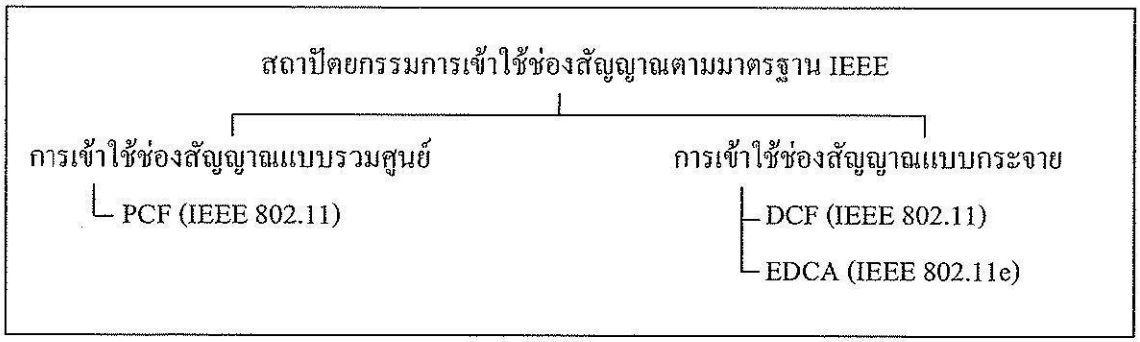
การเข้าใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐานจะมีจุดเข้าถึงเป็นจุดศูนย์กลางในการให้บริการรับส่งข้อมูล ก่อนที่ผู้ใช้บริการหรือสถานีไร้สายจะทำการรับส่งข้อมูลกับจุดเข้าถึงจะต้องทำการร้องขอเพื่อเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงก่อน ซึ่งสถานีไร้สายจะสามารถเลือกเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่สามารถรับสัญญาณได้เพียงตัวเดียวเท่านั้น ถึงแม้ว่าสถานีไร้สายอาจจะได้รับสัญญาณจากจุดเข้าถึงมากกว่า 1 ตัวก็ตาม ขั้นตอนในการเชื่อมต่อระหว่างสถานีไร้สายกับจุดเข้าถึงมีรายละเอียดดังนี้ เมื่อสถานีไร้สายใหม่ที่ต้องการทำการเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึง สถานีไร้สายจะตรวจสอบช่องสัญญาณทั้งหมดจากเฟรมบีคอน (Beacon) ซึ่งจุดเข้าถึงจะส่งออกมาให้กับสถานีไร้สายทั้งหมดที่อยู่ในบริเวณขอบเขตของสัญญาณของตนเอง เฟรมบีคอนนั้นจะประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ของการทำงานแบบรวมศูนย์ เช่น ชื่อของจุดเข้าถึง (Service Set Identification: SSID) ข้อมูลเกี่ยวกับช่องสัญญาณ ข้อมูลเกี่ยวกับการประสานเวลาเป็นต้น จากนั้นสถานีไร้สายจะทำ การเลือกจุดเข้าถึงที่สามารถรับความแรงของสัญญาณได้สูงที่สุดเพื่อทำการเข้าใช้งานเครือข่าย ดังรูปที่ 2.3 สมมติว่าสถานีไร้สายสามารถรับสัญญาณจากจุดเข้าถึงหมายเลข 1 (AP1) ได้สูงที่สุด สถานีไร้สายจะทำการส่งเฟรม Authentication Request ไปยัง AP1 เพื่อพิสูจน์ตัวตน เมื่อ AP1 ได้รับเฟรมดังกล่าว AP1 ก็จะส่งเฟรม Authentication Response กลับมายังสถานีไร้สาย หากได้รับการยอมรับจาก AP1 สถานีไร้สายหรือทำการพิสูจน์ตัวตนผ่าน ก็จะทำการส่งเฟรม Associate Request เพื่อขอเชื่อมต่อกับ AP1 และรอรับเฟรม Associate Response ที่ AP1 จะส่งกลับมา ถ้า AP1 อนุญาตให้สถานีไร้สายเชื่อมต่อด้วยก็จะสามารถรับส่งขอมูลผ่าน AP1 ได้ทันที



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงของสถานีไร้สาย

2.3 หลักการเข้าใช้ช่องสัญญาณของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

การเข้าใช้ช่องสัญญาณที่เป็นสื่อกลางในการรับส่งข้อมูลของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน IEEE แบ่งออกเป็น 2 แบบตามลักษณะการทำงาน คือ การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบรวมศูนย์ซึ่งจะมีศูนย์กลางเป็นตัวควบคุมการตัดสินใจการเข้าใช้ช่องสัญญาณให้กับสถานีไร้สายและการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบกระจายที่ขึ้นกับว่าสถานีไร้สายนั้นจะสามารถแย่งเข้าใช้ช่องสัญญาณได้สำเร็จหรือไม่ มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.4 หลักการเข้าใช้ช่องสัญญาณตามมาตรฐาน IEEE 802.11

2.3.1 การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ PCF (Point Coordination Function)

PCF (Point Coordination Function) เป็นวิธีการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบรวมศูนย์ที่มีการควบคุมอยู่ที่ศูนย์กลางหรือจุดเข้าถึงเท่านั้น ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานคือสถานีที่ต้องการส่งข้อมูลจะทำการลงทะเบียนกับจุดเข้าถึงที่เลือกไว้ภายในช่วงของการทำงานแบบแข่งขัน จุดเข้าถึงจะทำหน้าที่เก็บรายชื่อของสถานีทั้งหมดที่ลงทะเบียนและจะเลือกให้บริการรับส่งข้อมูลจากรายชื่อที่ได้ลงทะเบียนไว้ตามลำดับก่อนหลัง สถานีที่ถูกเลือกนั้นจะสามารถทำการส่งข้อมูลได้ครั้ง 1 เฟรมต่อการโพล (Polling) หนึ่งครั้ง เมื่อการส่งข้อมูลสำเร็จสถานีปลายทางจะส่งเฟรมตอบรับกลับมายังสถานีต้นทาง หากสถานีต้นทางไม่ได้

รับเฟรมตอบรับจากสถานีปลายทางแสดงว่าเกิดการชนกันของเฟรมข้อมูลหรือข้อมูลสูญหายทำให้ข้อมูลนั้น ๆ ไม่สามารถส่งถึงปลายทางได้ สถานีต้นทางต้องทำการส่งข้อมูลไปใหม่อีกครั้ง ในการส่งข้อมูลซ้ำนั้นสถานีต้นทางไม่สามารถส่งข้อมูลออกไปได้ทันที แต่จะสามารถส่งข้อมูลซ้ำได้ก็ต่อเมื่อครบรอบการเลือกในครั้งถัดไปเมื่อมีการแข่งขันกันใหม่อีกครั้ง การติดต่อสื่อสารในลักษณะนี้จะไม่เกิดการชนกันของข้อมูล เนื่องจากมีการให้บริการตามลำดับและมีการตั้งค่า NAV ไว้ แต่ไม่สามารถใช้งานในเครือข่ายที่ไม่มีจุดเข้าถึงได้และต้องเสียแบนด์วิดท์ส่วนหนึ่งไว้สำหรับเฟรมโพล

2.3.2 การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ DCF (Distributed Coordination Function)

DCF (Distributed Coordination Function) เป็นวิธีการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบกระจายขึ้นกับว่าสถานีไร้สายจะสามารถแย่งเข้าใช้ช่องสัญญาณได้สำเร็จหรือไม่ ไม่จำเป็นต้องใช้จุดเข้าถึงในการควบคุมการให้บริการเหมือนกับวิธี PCF ในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้กลไกการทำงานที่เรียกว่า CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ซึ่งเป็นกลไกการหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล โดยจะมีการตรวจสอบช่องสัญญาณก่อนว่าขณะนั้นมีสถานีอื่นทำการรับส่งสัญญาณข้อมูลอยู่หรือไม่ หากมีการใช้งานช่องสัญญาณอยู่สถานีจะรอจนกว่าช่องสัญญาณจะว่าง เมื่อช่องสัญญาณว่างระยะหนึ่ง (DCF Inter Frame Space: DIFS) แล้วสถานีจะเริ่มสุ่มเวลาการเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Random Back-Off) ต่อไปอีกระยะหนึ่ง สถานีที่สุ่มได้ค่าระยะเวลาในการรอน้อยกว่าก็จะได้เข้าใช้งานช่องสัญญาณก่อน ดังนั้นโอกาสที่สถานีจะได้ทำ การรับส่งข้อมูลกับจุดเข้าถึงจะขึ้นอยู่กับการสุ่มเวลารอในการสุ่มเวลา Back-Off จะส่งผลให้ขนาดของช่องเวลาการแข่งขัน (Contention Windows: CW) มากน้อยขึ้นอยู่กับการชนกันของสัญญาณ ซึ่งจะมีขนาดของ CW มีค่าเท่ากับ 0 ถึง 2^{K}-1 โดยที่ K คือ จำนวนครั้งของการชนกันของสัญญาณ บางครั้งในการสุ่มเวลาอาจจะกำหนดให้สถานีมากกว่าหนึ่งสถานีส่งข้อมูลในเวลาพร้อม ๆ กัน ทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลได้ แต่ก็มีโอกาสเกิดเหตุการณ์นี้ได้น้อยมาก ปัญหาการชนกันของข้อมูลโดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นจากสถานีใน BSS อาจไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานีใน BSS อื่นที่ทำการส่งข้อมูลอยู่หรือเรียกกันว่าโหนดซ่อนเร้น (Hidden Node Problem) ซึ่งหากเกิดการชนกันของข้อมูลขึ้นสถานีจะต้องทำการส่งสัญญาณข้อมูลเดิมอีกครั้งทำให้เสียเวลาและทรัพยากรในการส่งข้อมูลเดิมซ้ำ

เนื่องจากในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายนั้นไม่สามารถตรวจสอบการชนกันของข้อมูลได้เหมือนเครือข่ายมีสาย ซึ่งเครือข่ายแบบมีสายจะตรวจสอบการชนกันของข้อมูลได้โดยการตรวจวัดระดับแรงดันของสัญญาณในสายสัญญาณว่ามีค่าสูงกว่าปกติหรือไม่ หากสูงกว่าปกติแสดงว่าเกิดการชนกันของข้อมูล ถึงแม้ว่าเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจะมีวิธีการตรวจสอบการชนกันของข้อมูลทางกายภาพได้แต่ก็ต้องมี

ค่าใช้จ่ายสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีราคาสูง เนื่องจากจะต้องใช้อุปกรณ์รับส่งสัญญาณที่สามารถรับและส่งสัญญาณในเวลาเดียวกันได้ (Full Duplex) และวิธีการนี้ก็ไม่สามารถแก้ไขปัญหาโหนดซ้อนเร้นได้ ดังนั้นเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจึงใช้ตรวจสอบการชนกันของสัญญาณโดยการรอฟังสัญญาณตอบรับจากสถานีปลายทาง หากสถานีต้นทางได้รับเฟรมตอบรับจากสถานีปลายทางแสดงว่าการส่งข้อมูลสำเร็จ แต่ถ้าไม่ได้รับการตอบรับเกินเวลาที่กำหนดหรือได้รับข้อมูลอื่นที่ไม่ใช่เฟรมตอบรับจะถือว่าเกิดการชนกันของสัญญาณ และแก้ไขปัญหาโหนดซ้อนเร้นด้วยกระบวนการลดปัญหาการชนกันของสัญญาณที่เรียกว่า RTS/CTS Handshake ซึ่งเป็นกลไกที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำมาใช้กับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยเฉพาะ ซึ่งขั้นตอนการทำงานร่วมกับ CSMA/CA มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เมื่อสถานีที่ต้องการส่งข้อมูลได้รับสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณแล้ว สถานีจะตรวจสอบช่องสัญญาณจนช่องสัญญาณว่างเป็นระยะเวลา DIFS จากนั้นสถานีจะเริ่มสุ่มเวลา Back-Off ต่อไปอีกระยะหนึ่ง

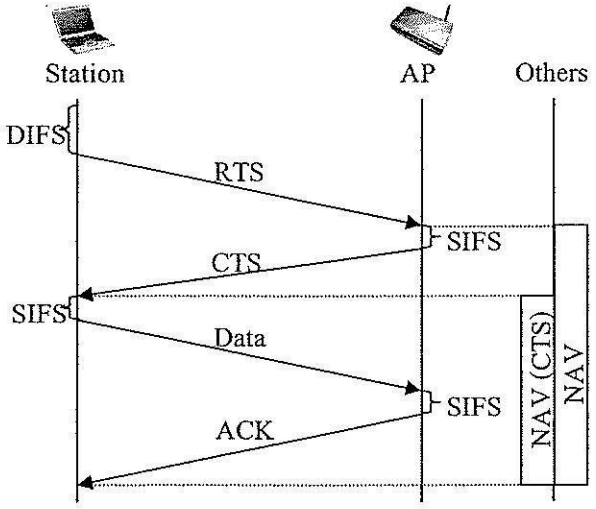
ขั้นตอนที่ 2 เมื่อได้ส่งข้อมูลสถานีต้นทางจะทำการส่งเฟรมร้องขอ (Request to Send หรือ RTS) เพื่อจองช่องสัญญาณก่อนที่จะส่งข้อมูลออกไป ซึ่งเฟรม RTS เป็นเฟรมสั้น ๆ ที่ประกอบไปด้วยระยะเวลาที่คาดว่าสถานีจะใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ (Duration ID) รวมถึงที่อยู่ ของสถานีผู้ส่งและผู้รับ ทุก ๆ สถานีใน BSS เดียวกันจะทราบถึงว่าช่วงเวลาที่ระบุไว้ใน Duration ID ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ช่องสัญญาณถูกใช้งานอยู่และสถานีอื่น ๆ ที่ยังไม่ได้รับสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณจะตั้งค่าเวกเตอร์แสดงสถานะของเครือข่าย (Network Allocation Vector: NAV) ให้เท่ากับค่า Duration ID ของเฟรม RTS และจะทำการเริ่มสุ่มเวลาเข้าใช้ช่องสัญญาณต่อไปเมื่อหมดเวลาที่ตั้งไว้

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อจุดเข้าถึงได้รับสัญญาณ RTS ก็จะตอบรับกลับมาด้วยการส่งเฟรมตอบรับ (Clear to Send หรือ CTS) ซึ่งเฟรม CTS ประกอบไปด้วยระยะเวลาที่คาดว่าสถานีที่กำลังทำการส่งข้อมูลนั้นจะใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ สถานีอื่น ๆ ที่ยังไม่ได้รับสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณจะตั้งค่า NAV ให้เท่ากับค่า Duration ID ของเฟรม CTS และจะทำการเริ่มสุ่มเวลาเข้าใช้ช่องสัญญาณต่อไปเมื่อหมดเวลาที่ตั้งไว้

ขั้นตอนที่ 4 หากสถานีต้นทางได้รับเฟรม CTS จึงสามารถเริ่มทำการส่งข้อมูลกับจุดเข้าถึงได้ ถ้าหากไม่ได้รับเฟรม CTS ตามเวลาที่กำหนดไว้หรือได้รับข้อมูลอื่นที่ไม่ใช่เฟรม CTS ถือว่าสถานีต้นทางไม่สามารถทำการส่งข้อมูลออกไปได้ หากส่งข้อมูลออกไปจะเกิดการชนกันของสัญญาณ

ขั้นตอนที่ 5 สถานีต้นทางรอการตอบรับ (Acknowledge: ACK) จากจุดเข้าถึง เพื่อให้ทราบว่าการส่งข้อมูลไม่เกิดการผิดพลาด ถ้าไม่ได้รับ ACK หรือได้รับข้อมูลอื่นที่ไม่ใช่เฟรม ACK ถือว่าเกิดการ

ผิดพลาดในการส่งหรือมีการชนกันของสัญญาณ สถานีต้นทางต้องทำการสุ่มเวลาเข้าใช้ช่องสัญญาณใหม่ตั้งแต่แรกเพื่อส่งข้อมูลเดิมอีกครั้ง



รูปที่ 2.5 กลไก RTS/CTS Handshake

2.3.3 การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)

EDCA เป็นการปรับปรุงหลักการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบกระจายที่มีการแข่งขันเพื่อเข้าใช้ช่องสัญญาณภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11e โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้การทำงานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายสามารถรองรับการรับส่งข้อมูลประเภทมัลติมีเดีย โดยให้ค่าหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นน้อยและมีปริมาณงานที่ได้สูง การแข่งขันเพื่อเข้าใช้ช่องสัญญาณในวิธีนี้ จะมีการกำหนดลำดับความสำคัญของข้อมูลแต่ละประเภทไม่เท่ากัน โดยโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในการแข่งขันจะขึ้นอยู่กับกลุ่มที่จัดลำดับความสำคัญ สถานีที่รับส่งข้อมูลที่มีลำดับความสำคัญมากกว่าก็จะมีโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในการแข่งขันมากกว่าสถานีที่รับส่งข้อมูลที่มีลำดับความสำคัญน้อยกว่า

การจัดลำดับกลุ่มการเข้าใช้ช่องสัญญาณ เบื้องต้นในชั้นการประยุกต์ใช้งาน (Application Layer) จะทำการกำหนดความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการ (User Priority: UP) ซึ่งจะแบ่งค่าความสำคัญออกเป็น 8 ค่า คือตั้งแต่ค่า 0 ถึง 7 โดยค่า 0 มีค่าความสำคัญของข้อมูลต่ำที่สุดและเรียงลำดับไปถึงค่า 7 ที่มีค่าความสำคัญของข้อมูลมากที่สุด ค่าความสำคัญนี้ผู้ให้บริการจะใช้กำหนดระดับความสำคัญให้กับประเภทข้อมูลหรือระดับความสำคัญของผู้ใช้บริการก็ได้ หลังจากได้กำหนดค่าความสำคัญแล้วค่านี้จะถูกส่งมาพร้อมกับข้อมูลไปยังชั้น MAC เมื่อชั้น MAC ได้รับค่าดังกล่าวจะนำมาจัดกลุ่มการเข้าใช้

ช่องสัญญาณ)Access Category: AC) อีกครั้งหนึ่ง โดยแบ่งกลุ่มการเข้าใช้ช่องสัญญาณออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

- กลุ่ม AC_BK (background) เป็นกลุ่มผู้ใช้บริการที่มีระดับความสำคัญต่ำที่สุดหรือมีโอกาสประสบความสำเร็จในการแข่งขันต่ำที่สุด ผู้ใช้บริการกลุ่มนี้จะมีโอกาสส่งข้อมูลได้ก็ต่อเมื่อไม่มีผู้ใช้บริการกลุ่มอื่นทำการส่งข้อมูล
- กลุ่ม AC_BE (best effort) เป็นกลุ่มผู้ใช้บริการที่มีระดับความสำคัญต่ำ สำหรับข้อมูลที่ความล่าช้าไม่ส่งผลกระทบกับข้อมูล เช่น File Transfer Protocol: FTP
- กลุ่ม AC_VI (video) เป็นกลุ่มผู้ใช้บริการที่มีระดับความสำคัญสูง สำหรับข้อมูลที่ความล่าช้าส่งผลกระทบกับข้อมูลและไม่สามารถรอนานได้ เช่น วีดีโอ
- กลุ่ม AC_VO (voice) เป็นกลุ่มผู้ใช้บริการที่มีระดับความสำคัญสูงที่สุด สำหรับข้อมูลที่ความล่าช้าส่งผลกระทบกับข้อมูลและไม่สามารถรอได้ หากไม่สามารถส่งข้อมูลได้ตามเวลาที่ต้องการข้อมูลนั้นก็จะไม่มีประโยชน์เลย เช่น การส่งข้อมูลเสียงผ่านเครือข่าย (Voice over IP: VOIP)

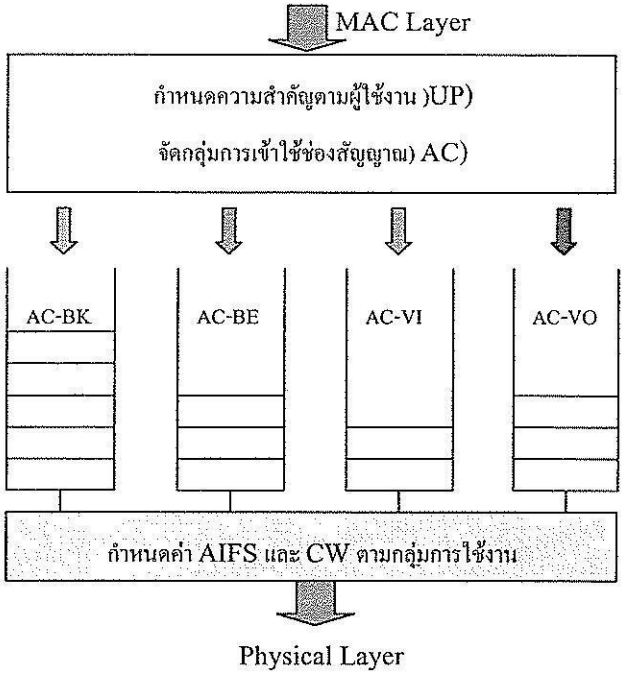
ตารางที่ 2.1 การกำหนดค่าความสำคัญของระดับชั้นการให้บริการ

ลำดับความสำคัญ	ชั้นการให้บริการ	
	Application Layer	MAC Layer
	ค่าความสำคัญตามผู้ใช้งาน)UP)	กลุ่มการเข้าใชช่องสัญญาณ)AC)
ต่ำที่สุด	0	AC_BK
ต่ำ	1 และ 2	AC_BE
สูง	3,4 และ 5	AC_VI
สูงที่สุด	6 และ 7	AC_VO

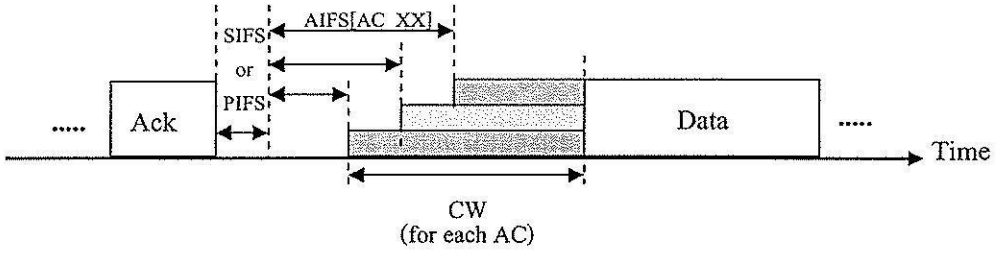
เมื่อแบ่งกลุ่มการเข้าใช้ช่องสัญญาณแล้วจากนั้นก็จะเข้าสู่แถวคอยตามกลุ่มที่จัดไว้ การใช้งานที่ถูกแบ่งให้อยู่กลุ่มเดียวกันจะเข้าแถวเดียวกัน ซึ่งมีการเรียงลำดับเพื่อทำการแข่งขันแบบเข้าก่อนออกก่อน (First IN First Out: FIFO)

การกำหนดขนาดของช่องว่างระหว่างเฟรม (Inter Frame Space: IFS) และขนาดของช่องเวลาการแข่งขัน (Contention Window: CW) จะขึ้นอยู่กับระดับกลุ่มการเข้าใช้ช่องสัญญาณที่ถูกแบ่งไว้ตั้งแต่

แรก ทั้งสองค่านี้จะทำให้ในแต่ละกลุ่มมีโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในการแข่งขันไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 2.6



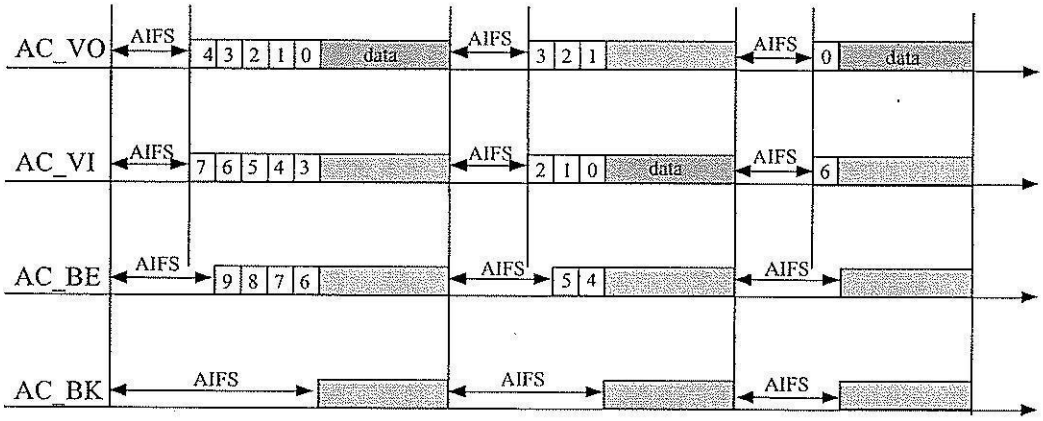
รูปที่ 2.6 การจัดแถวคอยตามกลุ่มการเข้าใช้ช่องสัญญาณ



รูปที่ 2.7 ขนาดของช่องว่างระหว่างเฟรมและขนาดของช่องเวลาการแข่งขัน

กลุ่มการเข้าใช้ช่องสัญญาณที่มีขนาดของช่องว่างระหว่างเฟรมและช่องเวลาการแข่งขันสั้นจะมีโอกาสในการเข้าใช้ช่องสัญญาณมากกว่ากลุ่มที่มีขนาดของช่องว่างระหว่างเฟรมและช่องเวลาการแข่งขันมาก รูปที่ 2.7 เป็นตัวอย่างการทำงานของการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ EDCA เห็นได้ว่าผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญสูง AC_VO จะได้รับการให้บริการก่อน เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเฟรม

ระยะสั้นและขนาดของช่องเวลาการแข่งขันมีเวลา Back-Off เพียง 4 หน่วยเวลาจึงได้ส่งข้อมูลเป็นอันดับแรก ในขณะที่ผู้ใช้บริการที่มีลำดับต่ำ AC_BK ต้องรอเป็นเวลานาน เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเฟรมและขนาดของช่องเวลาการแข่งขันยาว ดังนั้นหากมีผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่าจำนวนมากจะทำให้ผู้ใช้บริการลำดับต่ำมีโอกาสประสบความสำเร็จในการแข่งขันน้อยลงหรือหมดเวลาในการรอ



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการทำงานของการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ EDCA

2.4 คุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

คุณภาพการให้บริการหรือ Quality of Service: QoS หมายถึง การบริการใด ๆ ที่เป็นไปอย่างมีคุณภาพทั้งด้านการให้บริการและเทคนิคที่ใช้ในการปฏิบัติงาน ซึ่งแนวความคิดนี้เป็นแนวทางปฏิบัติที่กว้าง โดยทั่วไปคุณภาพการให้บริการจะเป็นตัวรับประกันว่าบริการที่ผู้ใช้บริการได้รับนั้นต้องเป็นบริการที่ดีสามารถสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้บริการได้อย่างสูงสุด สำหรับการติดต่อสื่อสารเริ่มมีการเขียนข้อเสนอแนะ คำอธิบาย หลักการและวิธีการต่าง ๆ เกี่ยวกับการให้บริการไว้เป็นอักษรเมื่อปี 2527 ผู้ผลิตและผู้ให้บริการได้ให้ความใส่ใจในการพัฒนาการทำงานในทุกส่วนของกระบวนการการสื่อสาร มีการค้นคว้าวิจัยไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาทางด้านอุปกรณ์รับส่งสัญญาณไร้สาย วิธีการส่งสัญญาณรวมทั้งการปรับปรุงการทำงานในแต่ละระดับชั้นการสื่อสารบนเครือข่าย เช่น วิธีการเลือกเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึง วิธีการเลือกเส้นทางที่ดีที่สุด เป็นต้น ความสามารถของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายถูกพัฒนาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ มีการใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายรับส่งข้อมูลหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานทั่วไปหรือการใช้งานที่ต้องการคุณภาพสูง ซึ่งข้อมูลแต่ละประเภทมีความต้องการด้านคุณภาพการให้บริการต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น การใช้งานประเภทจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่ต้องการคุณภาพการให้บริการที่สูง เพราะมีเพียงข้อมูลตัวอักษรหรือภาพนิ่งที่ความเร็วและเวลาในการรับส่งข้อมูลไม่ส่งผลกระทบต่อ

คุณภาพของข้อมูลมากนัก ต่างจากข้อมูลประเภทวิดีโอที่ประกอบด้วยสัญญาณเสียงและภาพเคลื่อนไหว เพื่อให้ได้คุณภาพข้อมูลที่ดีตรงตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ต้องมีการส่งสัญญาณเสียงให้สอดคล้องกับสัญญาณภาพและมีความต่อเนื่องไม่ขาดตอน ความล่าช้าในการส่งข้อมูลจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูลเป็นอย่างยิ่ง

แนวทางการแก้ไขปัญหาบนเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการที่แตกต่างกัน ส่วนใหญ่จะได้รับการพัฒนาในส่วนของขั้นตอนการรับส่งข้อมูลภายในเครือข่าย เนื่องจากการแก้ไขโดยการปรับเปลี่ยนทางด้านกายภาพของระบบเครือข่ายได้โดยตรงคงเป็นไปได้ยากเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายที่สูง งานวิจัยส่วนใหญ่ได้ทำการพัฒนาปรับปรุงการทำงาน ชั้น MAC layer ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.11e ซึ่งการพัฒนาการทำงานในชั้นนี้จะทำให้นำไปใช้กับอุปกรณ์ไร้สายทั่วไปได้ เช่น ในงานวิจัย [9] Choi et. al. ได้ทำการพิจารณาและปรับปรุงการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ EDCA โดยทำการศึกษาและวิจัยโครงสร้างของการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ EDCA ทำการเปรียบเทียบวิธีการที่มีและไม่มีการปรับปรุงการจัดลำดับความสำคัญ โดยการกำหนดระยะเวลาการแข่งขันกันเข้าใช้งานเครือข่ายที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีที่มีการจัดลำดับความสำคัญนั้นจะส่งผลดีต่อข้อมูลที่มีความสำคัญมากกว่า ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับความต้องการของข้อมูลแต่ละประเภท แต่งานวิจัย [9] ไม่ได้คำนึงถึงผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญต่ำ หากมีผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญสูงจำนวนมาก จะทำให้ผู้ใช้บริการลำดับต่ำกว่ามีโอกาสได้รับบริการน้อยลง

ในงานวิจัย [10] Daher R. and Tavangarian D. ได้ทำการพิจารณาการเพิ่มปริมาณงานโดยรวมของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายด้วยการจัดสมดุลโหลด และได้เสนอวิธีการเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงของสถานีตามค่าความแรงของสัญญาณที่รับและทำการย้ายโหลดที่อยู่บริเวณพื้นที่ซ้อนทับเพื่อให้เกิดความสมดุลโหลดระหว่างจุดเข้าถึง โดยการตัดสินใจทำการย้ายโหลดด้วยการเปรียบเทียบน้ำหนักเฉลี่ยของทราฟฟิกบนจุดเข้าถึงและจุดเข้าถึงที่ทำการย้ายไปเพื่อเชื่อมต่อใหม่จะต้องสามารถรองรับบริการได้เหมาะสมกับประเภทของการประยุกต์ใช้งาน แต่วิธีการจัดสมดุลโหลดใน [10] ไม่ได้ทำการจัดสมดุลโหลดแบบที่ตอบสนองต่อความแตกต่างของประเภทการประยุกต์ใช้งาน

ในงานวิจัย [11] Chen X et. al. ได้ทำการพิจารณาปัญหาความล่าช้าในการรับส่งข้อมูล สำหรับข้อมูลที่ต้องการการรับส่งตามเวลาจริงบนเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยได้ทำการศึกษาและวิจัยถึงค่าเฉลี่ยการหน่วงเวลาสำหรับข้อมูลแต่ละประเภท ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นจะทำให้มีการหน่วงเวลาในการรับส่งข้อมูลเพิ่มขึ้น และใช้วิธีการควบคุมการเข้าใช้บริการเครือข่ายและอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล เพื่อลดการหน่วงเวลาให้กับข้อมูลที่ต้องการการรับส่งตามเวลาจริง ในกรณีที่เครือข่ายสามารถรองรับการให้บริการผู้ใช้บริการได้ (Unsaturated) แต่ในงานวิจัย [11] ไม่ได้ทำการศึกษาในกรณี

ที่มีผู้ใช้บริการจำนวนมาก และไม่ได้คำนึงถึงจำนวนผู้ใช้บริการที่ถูกปฏิเสธการเชื่อมต่อกับเครือข่ายที่เกิดขึ้น

ในงานวิจัย [12] Liu J. and Niu Z. ได้ทำการพิจารณาการรักษาความต่อเนื่องในการให้บริการถึงแม้ว่าสถานีจะทำการเปลี่ยนจุดการเชื่อมต่อ (Handoff) และได้ศึกษาการเข้าใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายและให้ความสำคัญกับข้อมูลประเภทที่ใช้งานตามเวลาจริง สามารถรับประกันค่าหน่วงเวลา การสูญหายของข้อมูลและรักษาความต่อเนื่องในการให้บริการโดยการควบคุมการใช้ช่องสัญญาณ แต่งานวิจัย [12] ยังไม่สามารถควบคุมจำนวนผู้เข้าใช้บริการแต่ละประเภทได้ หากมีจำนวนผู้ใช้บริการรับส่งข้อมูล best effort มากขึ้นจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูลประเภทที่ใช้งานตามเวลาจริง

ในงานวิจัย [13] Ekici, O. and Yongacoglu, A. ได้ทำการพิจารณาวิธีการคาดเดาสถานการณ์โหลดล่วงหน้าเพื่อช่วยเพิ่มคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย งานวิจัยนี้ได้ทำการคาดการณ์ล่วงหน้าถึงสถานการณ์โหลดที่จะเกิดขึ้น โดยคำนวณเวลาในการรับส่งข้อมูลและผลกระทบที่เกิดขึ้น เช่น สิ่งรบกวนและการลดทอน เพื่อนำผลที่ได้มาตัดสินใจในการเลือกเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่เหมาะสมให้กับสถานีไร้สาย แต่สำหรับวิธีการดังกล่าว เครือข่ายต้องมีความสามารถในการคำนวณเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ จึงทำให้ต้องใช้เวลานานในการตัดสินใจเลือกเชื่อมต่อกับเครือข่าย

ในงานวิจัย [21] และ [22] ได้นำเสนอการจัดสมดุลโหลดในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้วิธีการปรับขนาดครอบคลุมสัญญาณของจุดเข้าถึง โดยพิจารณาจากสภาวะโหลดของจุดเข้าถึงนั้นๆ และจุดเข้าถึงในบริเวณใกล้เคียง กล่าวคือถ้าปริมาณโหลดของจุดเข้าถึงสูง ก็จะทำการลดความแรงสัญญาณของจุดเข้าถึง ทำให้พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณลดลง ส่งผลให้จำนวนสถานีผู้ใช้บริการที่เชื่อมต่อลดลงไปด้วย โดยงานวิจัย [21] E. Garcia et. al. ได้ใช้วิธีการบริหารจัดการกำลังส่งสัญญาณของจุดเข้าถึงแบบกระจายศูนย์ ส่วนงานวิจัย [22] L. Yun et. al. ได้ใช้วิธีการแบบรวมศูนย์ แต่งานวิจัยทั้งสองนี้ไม่ได้พิจารณาถึงประเภทการประยุกต์ใช้งานของผู้ใช้บริการในเครือข่าย

ในงานวิจัย [23] T. Scully and K. N. Brown ได้นำเสนอการจัดสมดุลโหลดในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยใช้เจเนติคอัลกอริทึมในการกำหนดการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้บริการกับจุดเข้าถึง งานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะกรณีที่จำนวนผู้ใช้บริการในเครือข่ายคงที่ ไม่มีการเข้าหรือออกจากเครือข่าย

จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมที่ผ่านมาที่เกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการการสื่อสารข้อมูลของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย งานวิจัยต่าง ๆ นั้นได้พัฒนาวิธีการต่าง ๆ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้กับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกันไปตามความต้องการของการทำงานและจุดประสงค์ของงานวิจัย แต่การใช้บริการเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และยังมีความหลากหลายของการให้บริการมากขึ้น ซึ่งการทำงานของระบบเครือข่ายที่มีอยู่เดิม

นั้นยังไม่ได้ให้การสนับสนุนตรงจุดนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการค้นคว้าและพัฒนาวิธีการเพื่อสนับสนุนการรับส่งของมูลประเภทมัลติมีเดียผ่านเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไป

2.5 การวัดคุณภาพในการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

ผู้ผลิตอุปกรณ์เครือข่ายรายใหญ่อย่างบริษัท CISCO เป็นบริษัทที่มีความสามารถในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ บนเครือข่ายการสื่อสาร ซึ่งมีแนวความคิดว่าการศึกษาค้นคว้าเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่นำมาใช้งานบนเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายนั้นสิ่งสำคัญคือต้องมีการรับประกันคุณภาพการให้บริการเพื่อสร้างความพึงพอใจสูงสุดให้กับผู้ใช้บริการ สิ่งที่นำมาเป็นตัวชี้วัดการให้บริการนอกจากการที่ระบบเครือข่ายต้องมีความสามารถในการให้บริการได้ตลอดเวลาแล้ว (Availability) ยังมีตัวชี้วัดต่าง ๆ ที่นำมาพิจารณารวมด้วย [14] ตัวชี้วัดคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้โดยทั่วไป เช่น

การสูญหายของแพ็กเกต (Packet Loss) พบในงานวิจัย [9] และ [12] พารามิเตอร์นี้บ่งบอกถึงการเกิดข้อผิดพลาดภายในระบบเครือข่ายหรือในกรณีที่อุปกรณ์บนเครือข่ายไม่สามารถรองรับบริการการรับส่งข้อมูลได้เป็นสาเหตุให้แพ็กเกตของข้อมูลบางส่วน ไม่ได้รับการส่งไปยังปลายทาง ทำให้เกิดความล่าช้าในการรับข้อมูลที่ปลายทางเนื่องจากสถานีต้นทางจะต้องทำการส่งข้อมูลนั้นใหม่อีกครั้ง

การหน่วงเวลา (Delay) พบในงานวิจัย [10] และ [11] พารามิเตอร์นี้บ่งบอกถึงเวลาที่เกิดจากการเดินทางของข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวิธีการและเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการรับส่งข้อมูลของระบบเครือข่าย รวมถึงความสามารถของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารด้วย การหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นอาจจะรวมถึงค่าความแปรปรวนที่เรียกว่า เวลา Jitter ซึ่งเป็นเวลาในการตรวจสอบลำดับของข้อมูล เนื่องจากในการส่งข้อมูลออกไป 1 ข้อมูลนั้นไม่สามารถทำการส่งข้อมูลทั้งหมดได้ภายในการส่งครั้งเดียว ข้อมูลที่จะส่งไปยังปลายทางจะถูกแบ่งเป็นแพ็กเกตหลาย ๆ แพ็ตเกตและทำการส่งไปครั้งละหนึ่งแพ็ตเกตเมื่อถึงปลายทางก็จะนำแพ็กเกตเหล่านั้นมารวมกันเป็นข้อมูลอีกครั้ง แต่ในการเคลื่อนที่จากต้นทางไปยังปลายทางของ แพ็ตเกตแต่ละแพ็ตเกตจะมีการใช้ระยะเวลาต่างกัน ข้อมูลที่ถูกส่งไปก่อนอาจถึงจุดหมายปลายทางทีหลัง ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบลำดับของแพ็กเกตที่ปลายทางเพื่อเรียงลำดับข้อมูลให้ถูกต้องและเพื่อให้การรับส่งข้อมูลบนเครือข่ายเป็นไปตามเป้าหมายจึงมีการกำหนดค่าการหน่วงเวลาไว้ในระดับที่รับได้ ไม่ส่งผลกระทบต่อข้อมูลบนเครือข่ายและเหมาะสมกับความต้องการของข้อมูลแต่ละประเภท

อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (Data rate) พบในงานวิจัย [9] และ [11] พารามิเตอร์นี้บ่งบอกถึงความสามารถในการรับส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางได้ หน่วยเป็นบิตต่อวินาที สามารถบ่งบอกถึงปริมาณงาน (Throughput) คือ ถ้าสามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางด้วยอัตราเร็วสูงก็จะมีปริมาณงานที่เกิดขึ้นมาก สำหรับการรับส่งข้อมูลในแต่ละประเภทการให้บริการนั้นมีความต้องการอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่เหมาะสม เพื่อทำให้การรับส่งข้อมูลเป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการ

การปฏิเสธการเข้าใช้บริการ (Blocking) พบในงานวิจัย [7] พารามิเตอร์นี้บ่งบอกถึงความสามารถในการรองรับบริการของเครือข่าย การที่เครือข่ายสามารถตอบสนองผู้ใช้บริการได้มากโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการรับส่งข้อมูลจะสร้างความ พึงพอใจให้กับผู้ใช้บริการได้เป็นอย่างดี แต่โดยปกติแล้วการทำงานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจำเป็นต้องมีการกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการที่เชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงไว้ เนื่องจากการทำงานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ผู้ใช้บริการต้องร่วมกันใช้ช่องสัญญาณความถี่เดียวกันในการรับส่งข้อมูล หากมีผู้ใช้บริการจำนวนมากจะทำให้การส่งข้อมูลล่าช้า สร้างความไม่พอใจให้กับผู้ใช้บริการ ดังนั้นเมื่อจุดเข้าถึงรองรับการรับส่งข้อมูลเต็มพิกัดที่กำหนดไว้แล้วก็จะทำการปฏิเสธผู้เข้าใช้รายใหม่ที่ เข้ามายังเครือข่ายทันที

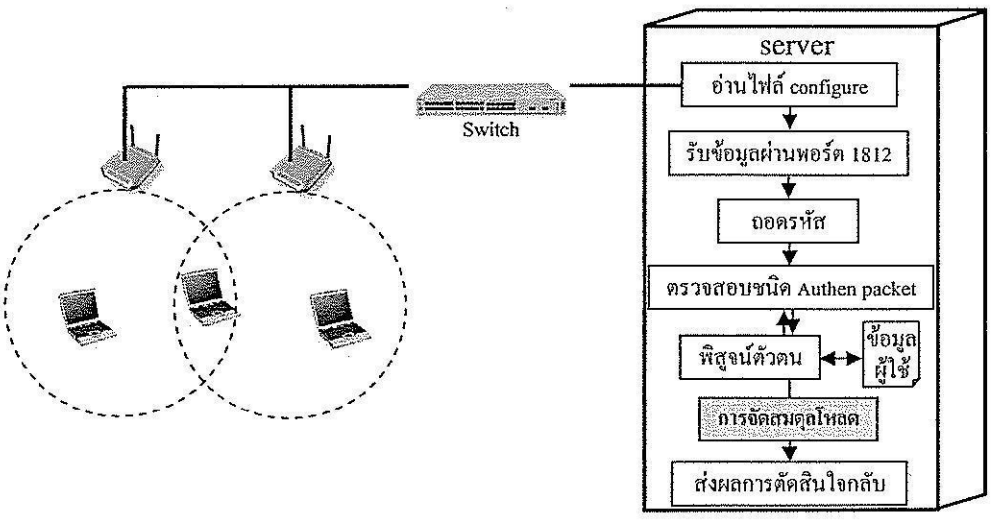
แต่อย่างไรก็ตามตัวชี้วัดที่ใช้ในการบ่งบอกถึงคุณภาพการให้บริการเป็นเพียงแนวความคิดและแนวทางในการปฏิบัติเท่านั้นไม่สามารถให้คำจำกัดความที่แน่นอนได้ ดังนั้นในการประเมินคุณภาพการให้บริการบนเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจึงมีตัวชี้วัดอีกหลายตัวที่ใช้ในการรับประกันคุณภาพการให้บริการ เช่น การเกิดการชนกันของข้อมูล ความคับคั่งของทราฟฟิกและการใช้พลังงาน เป็นต้น ดังนั้นการเลือกพารามิเตอร์ที่นำมาเป็นตัวชี้วัดคุณภาพการให้บริการจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและจุดประสงค์ของงาน งานวิจัยนี้ได้พัฒนาอัลกอริทึมแบบใหม่ที่มีจุดประสงค์ให้การประยุกต์ใช้งานมัลติมีเดียรับส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุดและไม่ส่งผลกระทบต่อการปฏิเสธการใช้บริการโดยรวม จึงใช้เปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการและอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลเป็นพารามิเตอร์เปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่น

บทที่ 3
เทคนิคการจัดสมดุลโหลดสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

เนื้อหาในบทนี้เป็นการอธิบายเทคนิคการจัดสมดุลโหลดสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้พัฒนาขึ้น โดยหัวข้อ 3.1 อธิบายการทำงานของระบบการจัดการโหลด และหัวข้อ 3.2 อธิบายเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบพื้นฐานและเทคนิคที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ และหัวข้อสุดท้าย 3.3 อธิบายเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบที่มีการจัดการแบนด์วิดท์

3.1 การทำงานของระบบการจัดการโหลด

งานวิจัยนี้พิจารณาระบบการจัดการโหลดสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) ซึ่งมีเซอร์ฟเวอร์ทำหน้าที่บริหารจัดการโหลดของจุดเข้าถึง ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยที่เซอร์ฟเวอร์จะทำหน้าที่จัดการระบบต่างๆ รวมทั้งการจัดสมดุลโหลดระหว่างจุดเข้าถึงทุกตัวที่อยู่ในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ถ้าหากมีสถานีไร้สายใหม่เข้ามายังเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เซอร์ฟเวอร์จะเริ่มกระบวนการการทำงาน โดยขั้นแรกจะทำการประมวลผลเบื้องต้นต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเช่น การพิสูจน์ตัวตน เป็นต้น จากนั้นจะรอรับข้อมูลจากผู้ใช้บริการผ่านพอร์ต 1812 และนำข้อมูลมาทำการตรวจสอบว่าเป็นข้อมูลชนิดใด หากพบว่าเป็นข้อมูลสำหรับการร้องขอการเชื่อมต่อกับเครือข่ายก็จะทำการพิสูจน์ตัวตน



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของระบบการจัดสมดุลโหลด

ของผู้ใช้บริการจากข้อมูลที่ผู้ใช้บริการส่งมา เช่น ชื่อผู้ใช้ รหัสผ่าน เป็นต้น หากได้รับการยอมรับจะส่งผลที่ได้ผ่านจุดเข้าถึงกลับไปยังสถานีไร้สาย โดยที่ขั้นตอนการจัดสมดุลโหลดจะทำงานหลังจากมีการพิสูจน์ตัวตนเรียบร้อยแล้ว

3.2 การนิยามปัญหาและสมการคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสมดุลโหลด

ในหัวข้อนี้จะได้อธิบายเทคนิคการจัดสมดุลโหลดสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยสองเทคนิคแรกจะกล่าวถึง เทคนิคพื้นฐานที่ใช้ในการจัดสมดุลโหลด นั่นคือ หัวข้อที่ 3.2.1 อธิบายเทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พิจารณาความแรงของสัญญาณสูงสุดก่อน (Maximum Signal Strength First) และหัวข้อที่ 3.2.2 อธิบายเทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พิจารณาโหลดน้อยที่สุดก่อน (Minimum Load First) ส่วนในหัวข้อที่ 3.2.3 อธิบายเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริด (Hybrid Approach) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

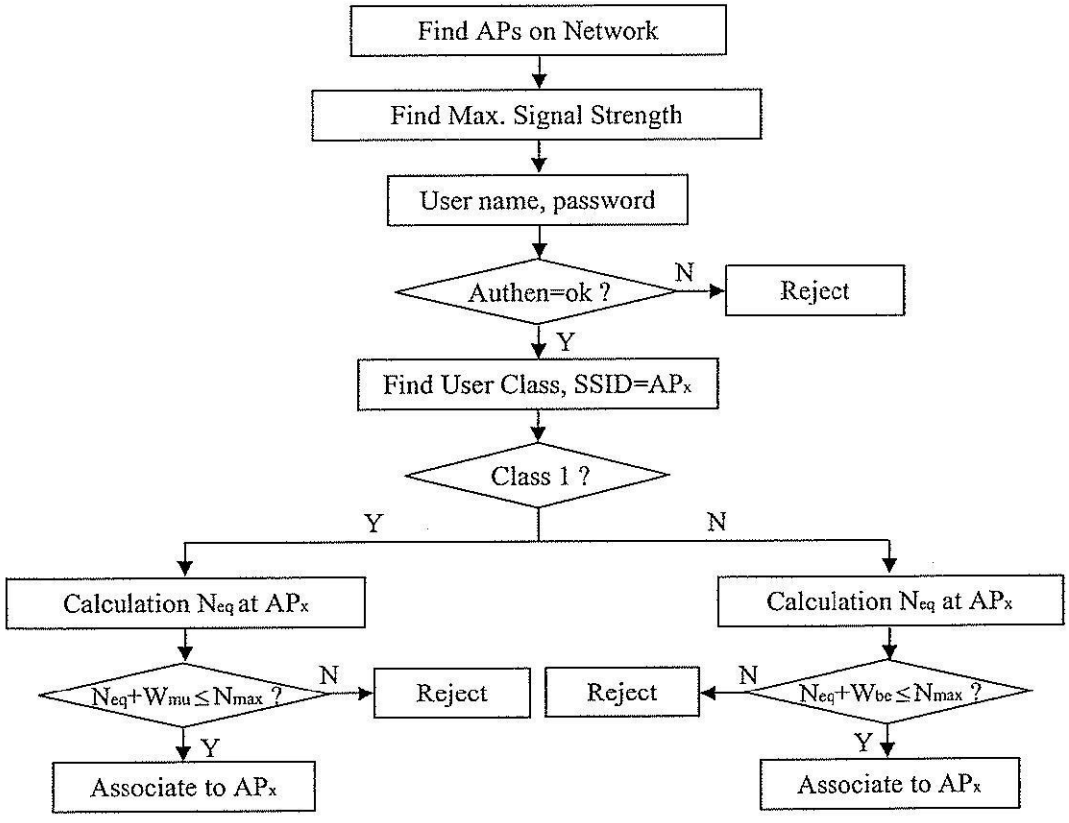
ตารางที่ 3.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในสมการคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิคการจัดสมดุลโหลด

สัญลักษณ์	คำนิยาม
N_{max}	ขีดจำกัดที่ควบคุมปริมาณโหลดของจุดเข้าถึงเพื่อรับประกันคุณภาพการให้บริการ
w_i	ค่าถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้บริการ i
s_{ij}	ความแรงสัญญาณที่ผู้ใช้บริการ i ได้รับจากจุดเข้าถึง j
s_{th}	ค่าขีดจำกัดของความแรงสัญญาณ
r_{ij}	อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการ i สามารถสื่อสารกับจุดเข้าถึง j ได้
r_{max}	อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดที่สามารถสื่อสารกับจุดเข้าถึงได้
J	เซทของจุดเข้าถึงในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย
I	เซทของผู้ใช้บริการที่ขอใช้บริการเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย
I_1	เซทของผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดีย
I_2	เซทของผู้ใช้บริการข้อมูลธรรมดา (best effort)
x_{ij}	ตัวแปรไบนารี {0, 1} ถ้ามีค่าเป็น 1 หมายความว่าผู้ใช้บริการ i เชื่อมต่อกับจุดเข้าถึง j แต่ถ้ามีค่าเป็น 0 หมายความว่าผู้ใช้บริการ i ไม่ได้เชื่อมต่อกับจุดเข้าถึง j

3.2.1 เทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พิจารณาความแรงของสัญญาณสูงสุดก่อน (Maximum Signal Strength First)

เทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พิจารณาความแรงของสัญญาณสูงสุดก่อน (Maximum Signal Strength First, MSF) เป็นวิธีการควบคุมการเชื่อมต่อของสถานีไร้สายกับจุดเข้าถึงที่พิจารณาจากความแรงของสัญญาณที่รับได้จากจุดเข้าถึงเป็นหลัก โดยจะทำการเชื่อมต่อสถานีไร้สายกับจุดเข้าถึงที่ให้ความแรงสัญญาณสูงสุด ซึ่งจะส่งผลให้อัตราการรับส่งข้อมูลของผู้ใช้บริการมีค่าสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในสภาพแวดล้อมนั้น ๆ

รูปที่ 3.2 แสดงแผนภาพการทำงานของเทคนิคการจัดสมดุลโหลดวิธีนี้ กล่าวคือ เมื่อสถานีไร้สายต้องการจะเชื่อมต่อกับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแบบโครงสร้างพื้นฐานเพื่อรับส่งข้อมูลผ่านจุดเข้าถึง สถานีไร้สายจะตรวจสอบช่องสัญญาณทั้งหมดโดยคอยฟังสัญญาณจากเฟรมบีคอนที่จุดเข้าถึงทุกตัวภายในเครือข่ายจะทำการส่งออกมาเป็นระยะแบบกระจาย (Broadcast) จากนั้นสถานีไร้สายนำข้อมูลที่ได้มาพิจารณาเลือกจุดเข้าถึงที่มีความแรงของสัญญาณสูงที่สุดเพื่อเข้าร่วมเครือข่าย ในที่นี้สมมติให้ AP_x



รูปที่ 3.2 แผนภาพการทำงานของเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ MSF

เป็นจุดเข้าถึงที่สถานีไร้สายได้รับความแรงของสัญญาณสูงที่สุด เมื่อได้จุดเข้าถึงที่ต้องการแล้วสถานีไร้สายจะส่งเฟรม Authentication Request ผ่านจุดเข้าถึงนั้น ๆ ไปยังเซอร์ฟเวอร์ ซึ่งเซอร์ฟเวอร์จะทำหน้าที่พิสูจน์การมีตัวตนของสถานีไร้สายและส่ง Authentication Response กลับมายังสถานีไร้สาย หากถูกปฏิเสธสถานีไร้สายจะต้องทำการขอเชื่อมต่อใหม่อีกครั้ง แต่ถ้าหากได้รับการยอมรับสถานีไร้สายจะทำการส่ง Association Request เพื่อทำการร้องขอเชื่อมต่อกับ AP_x ที่ได้เลือกไว้ตั้งแต่แรก หลังจากนั้นจุดเข้าถึงที่ถูกเลือกจะส่ง Associate Response กลับมายังสถานีไร้สาย ถ้าได้รับอนุญาตก็จะสามารถทำการรับส่งข้อมูลผ่านจุดเข้าถึงที่ทำการร้องขอได้ทันที แต่ถ้าไม่ได้รับการยอมรับก็จะถูกปฏิเสธโดยการส่งไฟล์ Association Reject กลับมายังสถานีไร้สาย

สมการคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสมดุลโหลดแบบ MSF สามารถเขียนในรูปของโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้ความแรงสัญญาณที่ผู้ใช้บริการได้รับมีค่าสูงสุด และมีเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

วัตถุประสงค์

$$Maximize \quad \sum_{\substack{j \in J \\ j \neq 0}} \sum_{i \in I} x_{ij} s_{ij} \tag{3.1}$$

เงื่อนไข

$$\sum_{i \in I} w_i x_{ij} \leq N_{\max} \quad , \forall j \in J, j \neq 0 \tag{3.2}$$

$$x_{ij}\left(s_{ij} - s_{th}\right) \geq 0 \quad , \forall i \in I, \forall j \in J, j \neq 0 \tag{3.3}$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1 \quad , \forall i \in I \tag{3.4}$$

เงื่อนไขที่ (3.2) ควบคุมปริมาณโหลดของจุดเข้าถึงเพื่อรับประกันคุณภาพการให้บริการ โดยกำหนดค่าขีดจำกัดไว้ที่ N_{max} กล่าวคือเซอร์ฟเวอร์ที่ควบคุมการเชื่อมต่อจะทำการปฏิเสธการเข้าใช้บริการ (Blocking) หากปริมาณโหลดของจุดเข้าถึงมีค่ามากกว่า N_{max} เงื่อนไขที่ (3.3) กำหนดเรื่องความแรงสัญญาณขั้นต่ำ (s_{th}) ที่ผู้ใช้บริการต้องได้รับจากจุดเข้าถึงที่เชื่อมต่อด้วย เพื่อรับประกันว่าผู้ใช้บริการสามารถรับส่งข้อมูลผ่านจุดเข้าถึงได้ และสุดท้าย เงื่อนไขที่ (3.4) กำหนดว่าผู้ใช้บริการสามารถทำการเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงในเครือข่ายหนึ่งเครื่องเท่านั้น

(หมายเหตุ – การกำหนดค่า N_{max} และ w_i ได้อธิบายไว้ในบทที่ 4 หัวข้อที่ 4.1.2)

3.2.2 เทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พิจารณาโหลดน้อยที่สุดก่อน (Minimum Load First)

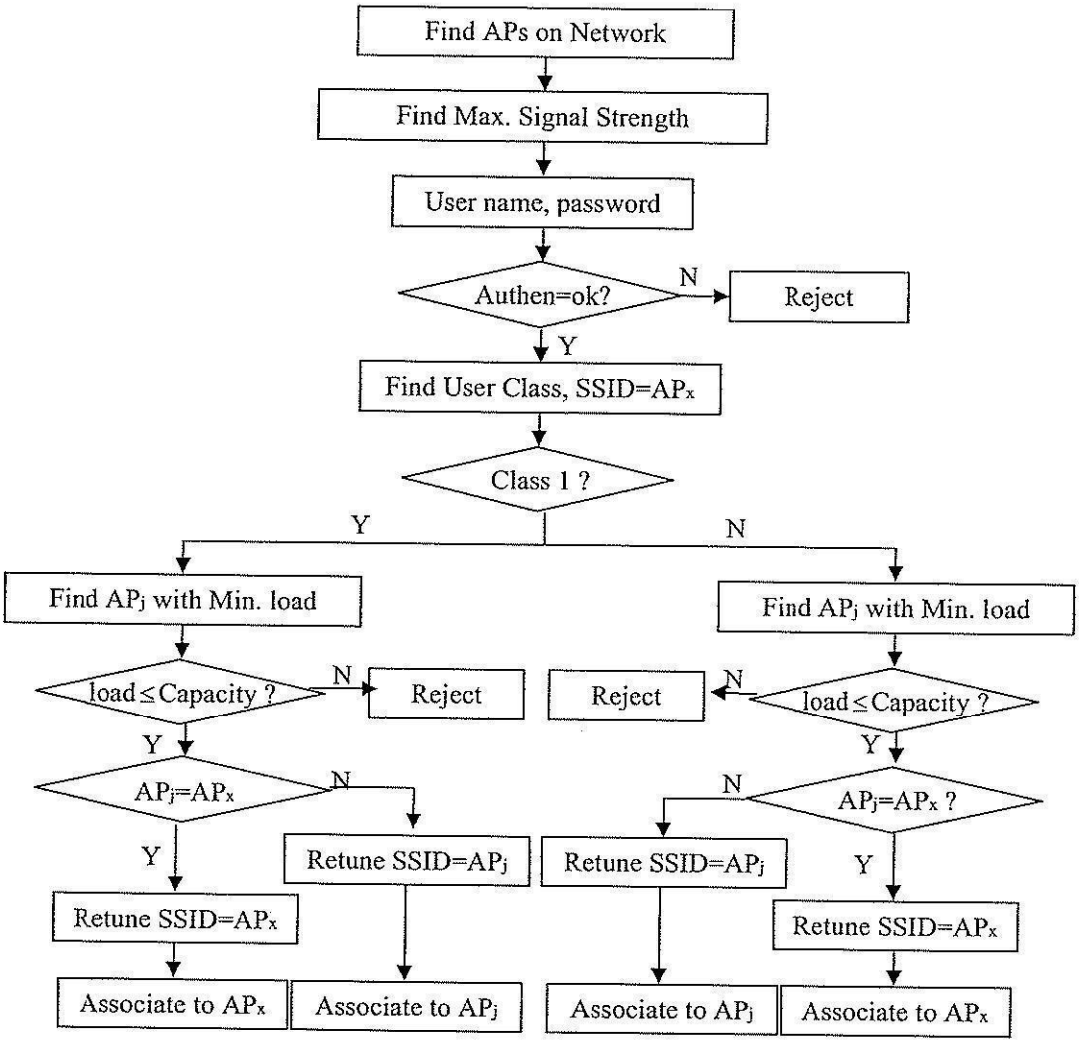
เทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พิจารณาโหลดน้อยที่สุดก่อน (Minimum Load First, MLF) เป็นวิธีการควบคุมการเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงของสถานีไร้สายที่พิจารณาจากปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึงเป็นหลัก สถานีไร้สายจะถูกจัดสรรให้ทำการเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่ตรวจสอบแล้วว่าในขณะนั้นรองรับปริมาณโหลดจำนวนน้อยที่สุด ซึ่งเป็นหลักการในการกระจายโหลดให้กับจุดเข้าถึงตัวอื่นที่อยู่ในพื้นที่ที่สามารถให้บริการกับผู้ใช้บริการได้ โดยไม่คำนึงถึงความแรงของสัญญาณที่รับได้จากจุดเข้าถึงเพียงอย่างเดียว

รูปที่ 3.3 แสดงแผนภาพการทำงานของเทคนิคการจัดสมดุลโหลดวิธีนี้ ซึ่งการทำงานเริ่มแรกยังคงเหมือนกับการติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยทั่วไปที่สถานีไร้สายจะเลือกจุดเข้าถึงที่มีความแรงของสัญญาณสูงที่สุด จากนั้นระบบการจัดสมดุลโหลดจะทำงานหลังจากมีการพิสูจน์ตัวตนเรียบร้อยแล้ว ถ้าหากตรวจสอบตัวตนแล้วไม่ผ่านสถานีไร้สายจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้บริการเครือข่ายทันทีโดยไม่ผ่านโมดูลการจัดสมดุลโหลด แต่ถ้าตรวจสอบตัวตนผ่านระบบจะจัดส่งข้อมูลไปยังโมดูลการจัดสมดุลโหลด เพื่อหาจุดเข้าถึงที่สถานีไร้สายสามารถรับสัญญาณได้และคำนวณโหลดบนจุดเข้าถึงแต่ละตัวเพื่อเลือกจุดเข้าถึงที่มีโหลดปริมาณน้อยที่สุดในขณะนั้น ซึ่งจุดเข้าถึงนั้นจะต้องมีปริมาณแบนด์วิดท์ไม่ต่ำกว่าค่า Threshold ที่กำหนดไว้ด้วย หลังจากทำการพิจารณาหาจุดเข้าถึงที่เหมาะสมจากข้อมูลที่มีอยู่แล้ว ระบบการจัดสมดุลโหลดจะทำการเปรียบเทียบจุดเข้าถึงที่เซอร์ฟเวอร์เลือกไว้กับจุดเข้าถึงที่สถานีไร้สายร้องขอการเชื่อมต่อเข้ามา หากจุดเข้าถึงที่สถานีไร้สายเลือกตั้งแต่ต้นเป็นจุดเข้าถึงตัวเดียวกับที่ได้จากการจัดสมดุลโหลด เซอร์ฟเวอร์จะให้โมดูลพิสูจน์ตัวตนส่งค่า SSID (Service Set Identifier) ที่ตรงกับค่า SSID บนจุดเข้าถึงไปยังสถานีไร้สาย แต่ถ้าเป็นจุดเข้าถึงคนละตัวกัน โมดูลพิสูจน์ตัวตนจะส่งค่า SSID ของจุดเข้าถึงที่ต้องการให้สถานีไร้สายเชื่อมต่อกลับไป สถานีไร้สายก็จะทำการ Association กับจุดเข้าถึงที่ระบบการจัดสมดุลโหลดเลือกให้

สมการคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสมดุลโหลดแบบ MLF สามารถเขียนในรูปของโปรแกรมเชิงเส้นที่มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้จำนวนผู้ใช้บริการที่เครือข่ายสามารถรองรับได้มีค่าสูงสุด ซึ่งเขียนในรูปของผลรวมของค่า x_{ij} ดังสมการที่ (3.5) โดยที่เงื่อนไขของโปรแกรมเชิงเส้นนี้เหมือนกับเงื่อนไขที่ (3.2) – (3.4) ของการจัดสมดุลโหลดแบบ MSF

วัตถุประสงค์

$$Maximize \quad \sum_{\substack{j \in J \\ j \neq 0}} \sum_{i \in I} x_{ij} \qquad (3.5)$$



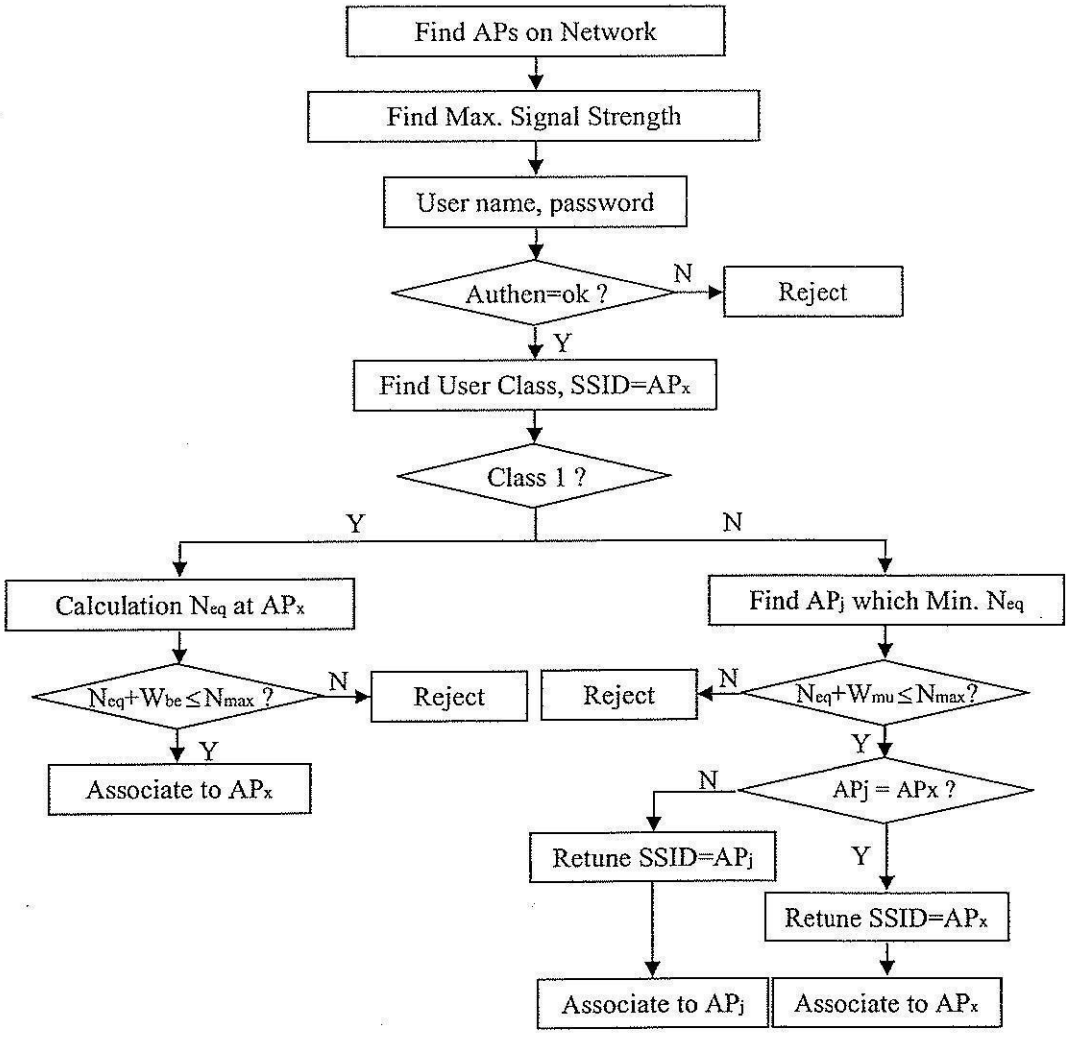
รูปที่ 3.3 แผนภาพการทำงานของเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ MLF

3.2.3 เทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริด (Hybrid Approach)

เทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริด (Hybrid Approach, HA) เป็นเทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เพื่อสนับสนุนการทำงานของโปรโตคอล EDCA เพื่อให้สถานีไร้สายสามารถทำการเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่อัตราเร็วที่เหมาะสมกับความต้องการของโปรแกรมประยุกต์ (applications) แต่ละประเภท โดยมีจุดประสงค์ให้อัตราเร็วในการรับส่งของโปรแกรมประยุกต์ประเภทมัลติมีเดียสูงขึ้น และกระจายโหลดให้กับจุดเข้าถึงภายในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย วิธีการนี้นอกจากจะทำการตัดสินใจเลือกเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงจากระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับให้เหมาะสมกับความต้องการของ

ข้อมูลแต่ละประเภทแล้ว ยังทำการจัดสมดุลโหลดระหว่างจุดเข้าถึงในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายอีกด้วย

รูปที่ 3.4 แสดงแผนภาพการทำงานของเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริด โดยกระบวนการจัดสมดุลโหลดจะเริ่มทำงานหลังจากผู้ใช้บริการผ่านการพิสูจน์ตัวตนแล้ว ต่อจากนั้นจะนำชื่อและที่อยู่ของผู้ใช้บริการจากโมดูลพิสูจน์ตัวตนมาทำการค้นหาข้อมูลประเภทของการประยุกต์ใช้งาน (user type) เพื่อนำไปแยกลำดับความสำคัญ สำหรับผู้ใช้บริการประเภทที่ 1 (class 1) ที่มีการใช้บริการที่ต้องการอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงและจะตัดสินใจเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงตามระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับสูงสุด ส่วนผู้ใช้บริการประเภทที่ 2 (class 2) ที่มีการใช้บริการที่การหน่วงเวลาไม่ส่งผลกระทบ



รูปที่ 3.4 แผนภาพการทำงานของเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ HA

ต่อการรับส่งข้อมูล จะทำการตัดสินใจเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงตามปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึงเพื่อเป็นการกระจายการเชื่อมต่อไปยังจุดเข้าถึงใกล้เคียงภายในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เมื่อทำการแยกลำดับความสำคัญแล้วหากเป็นผู้ใช้บริการประเภทที่ 1 จะอนุญาตให้ทำการเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่สถานีไร้สายส่ง Association Request ไว้ ซึ่งเป็นจุดเข้าถึงตัวที่สถานีไร้สายได้รับความแรงสัญญาณสูงที่สุด หลังจากนั้นจุดเข้าถึงที่ถูกเลือกจะส่ง Associate Response กลับมายังสถานีไร้สาย ถ้าได้รับอนุญาตก็จะสามารถทำการรับส่งข้อมูลผ่านจุดเข้าถึงที่ทำการร้องขอได้ทันที แต่ถ้าไม่ได้รับการยอมรับก็จะถูกปฏิเสธโดยการส่งไฟล์ Authentication Reject กลับมายังสถานีไร้สาย สำหรับผู้ใช้บริการประเภทที่ 2 จะเข้าสู่กระบวนการคำนวณโหลดเพื่อเลือกจุดเข้าถึงที่เหมาะสมที่สุด หลังจากทำการพิจารณาหาจุดเข้าถึงที่เหมาะสมจากข้อมูลที่มีอยู่เสร็จเรียบร้อยแล้ว ระบบการจัดการโหลดจะพิจารณาเปรียบเทียบ SSID ของจุดเข้าถึงที่เซอร์ฟเวอร์เลือกไว้กับ SSID ของจุดเข้าถึงที่สถานีไร้สายร้องขอการเชื่อมต่อเข้ามา หากจุดเข้าถึงที่สถานีไร้สายเลือกตั้งแต่ต้นเป็นจุดเข้าถึงตัวเดียวกับที่ระบบจัดสมดุลโหลดเลือก เซอร์ฟเวอร์จะให้โมดูลพิสูจน์ตัวตนส่งค่า SSID ที่ตรงกับค่า SSID บนจุดเข้าถึงไปยังสถานีไร้สายหรือหากต้องการย้ายสถานีไร้สายไปเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงอื่นที่เซอร์ฟเวอร์ได้เลือกไว้ โมดูลพิสูจน์ตัวตนจะตั้งค่า SSID ของจุดเข้าถึงอื่น ซึ่งไม่ตรงกับค่า SSID ที่สถานีไร้สายร้องขอ จุดเข้าถึงดังกล่าวจะส่ง Disassociate ไปยังสถานีไร้สายแทน Association Reject เพื่อให้สถานีไร้สายย้ายการเชื่อมต่อไปยังจุดเข้าถึงที่เซอร์ฟเวอร์เลือก

สมการคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสมดุลโหลดแบบ HA สามารถเขียนในรูปของโปรแกรมเชิงเส้นที่มีวัตถุประสงค์ดังสมการที่ (3.6) ซึ่งเป็นผลรวมของฟังก์ชัน f_1 และ f_2 โดยที่ f_1 คือ normalized function ที่วัดระดับอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลของผู้ใช้บริการมัลติมีเดีย และ f_2 คือ normalized function ที่วัดจำนวนของผู้ใช้บริการข้อมูลธรรมดาที่สามารถเชื่อมต่อเข้ารับบริการจากเครือข่ายได้ เงื่อนไขของโปรแกรมเชิงเส้นนี้เหมือนกับเงื่อนไขที่ (3.2) – (3.4) ของการจัดสมดุลโหลดแบบ MSF

วัตถุประสงค์

$$Maximize \quad f_1 + f_2 \tag{3.6}$$

โดยที่

$$f_1 = \left(\sum_{\substack{j \in J \\ j \neq 0}} \sum_{i \in I_1} \frac{x_{ij} r_{ij}}{r_{\max}} \right) \Big/ |I_1| \tag{3.7}$$

และ

$$f_2 = \left(\sum_{\substack{j \in J \\ j \neq 0}} \sum_{i \in I_2} x_{ij} \right) \Big/ |I_2| \tag{3.8}$$

3.3 เทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริดที่มีการจัดการแบนด์วิดท์

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริการสื่อสารข้อมูลของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาใช้เทคนิคการจัดการแบนด์วิดท์ร่วมกับการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริด เพื่อควบคุมการเข้าใช้งานแบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัดของจุดเข้าถึง และได้พัฒนาสมการคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับเทคนิคการจัดการแบนด์วิดท์ 3 เทคนิค คือ เทคนิคที่ใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้อย่างสมบูรณ์ เทคนิคที่แบ่งแบนด์วิดท์กันอย่างแน่นอน และเทคนิคที่ใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้บางส่วน

3.3.1 เทคนิคที่ใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้อย่างสมบูรณ์ (Complete Sharing)

เทคนิคที่ใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้อย่างสมบูรณ์ (Complete Sharing, CS) เป็นเทคนิคที่อนุญาตให้การประยุกต์ใช้งานสื่อสารข้อมูลทุกประเภทสามารถใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้อย่างเท่าเทียมกัน ตามลำดับการขอเชื่อมต่อ (First In First Out) แต่มีเงื่อนไขในเรื่องของการควบคุมปริมาณโหลดของจุดเข้าถึงเพื่อรับประกันคุณภาพการให้บริการ โดยกำหนดค่าขีดจำกัดไว้ที่ N_{max} ซึ่งสามารถเขียนในรูปของอสมการที่ (3.9)

$$\sum_{i \in I} w_i x_{ij} \leq N_{\max} \quad , \forall j \in J, j \neq 0 \qquad (3.9)$$

3.3.2 เทคนิคที่แบ่งแบนด์วิดท์กันอย่างแน่นอน (Complete Partitioning)

เทคนิคที่แบ่งแบนด์วิดท์กันอย่างแน่นอน (Complete Partitioning, CP) เป็นการจัดการแบนด์วิดท์ที่มีการกำหนดสัดส่วนแบนด์วิดท์ให้สำหรับทราฟฟิกแต่ละประเภทโดยเฉพาะ โดยได้กำหนดขีดจำกัดแบนด์วิดท์สำหรับทราฟฟิกประเภทมัลติมีเดียไว้ที่ b_1 ซึ่งสามารถเขียนในรูปของอสมการที่ (3.10) และได้กำหนดขีดจำกัดแบนด์วิดท์สำหรับทราฟฟิกประเภท best effort ไว้ที่ b_2 ซึ่งสามารถเขียนในรูปของอสมการที่ (3.11) นอกจากนี้ยังมีเงื่อนไขในเรื่องของการควบคุมปริมาณโหลดของจุดเข้าถึง โดยกำหนดว่าแบนด์วิดท์รวม b_1+b_2 ต้องมีค่าไม่เกินขีดจำกัด N_{max} ซึ่งสามารถเขียนในรูปของอสมการที่ (3.12)

$$\sum_{i \in I_1} w_i x_{ij} \leq b_1 \quad , \forall j \in J, j \neq 0 \qquad (3.10)$$

$$\sum_{i \in I_2} w_i x_{ij} \leq b_2 \quad , \forall j \in J, j \neq 0 \qquad (3.11)$$

$$b_1 + b_2 \leq N_{\max} \qquad (3.12)$$

3.3.3 เทคนิคที่ใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้บางส่วน (Partial Sharing)

เทคนิคที่ใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้บางส่วน (Partial Sharing, PS) เป็นการจัดการแบนด์วิทด์ที่มีการกำหนดแบนด์วิดท์สำหรับทราฟฟิกทุกชนิดสามารถเข้าใช้ร่วมกันได้ ตามลำดับการขอเข้าเชื่อมต่อ (First In First Out) โดยได้กำหนดขีดจำกัดของแบนด์วิดท์ส่วนนี้ไว้ที่ b_s ซึ่งสามารถเขียนในรูปของอสมการที่ (3.13) และได้กำหนดแบนด์วิดท์อีกส่วนหนึ่งไว้สำหรับทราฟฟิกประเภทมัลติมีเดียเท่านั้น โดยได้กำหนดขีดจำกัดของแบนด์วิดท์ส่วนนี้ไว้ที่ b_1 ดังที่เขียนในรูปของอสมการที่ (3.14) นอกจากนี้ยังมีเงื่อนไขในเรื่องของการควบคุมปริมาณโหลดของจุดเข้าถึง โดยกำหนดว่าแบนด์วิดท์รวม b_1+b_s ต้องมีค่าไม่เกินขีดจำกัด N_{max} ซึ่งสามารถเขียนในรูปของอสมการที่ (3.15)

$$\sum_{i\in I_1} w_i x_{ij} + \sum_{i\in I_2} w_i x_{ij} \le b_s \qquad , \forall j \in J, j \neq 0 \qquad (3.13)$$

$$\sum_{i\in I_1} w_i x_{ij} \le b_1 \qquad , \forall j \in J, j \neq 0 \qquad (3.14)$$

$$b_1 + b_s \le N_{\max} \qquad (3.15)$$

บทที่ 4
การทดลองและการวิเคราะห์เทคนิคการจัดสมดุลโหลด

เนื้อหาในบทนี้เป็นการอธิบายวิธีการทดลองและการวิเคราะห์ผลของการจัดสมดุลโหลดสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้นกับเทคนิคอื่นๆ โดยหัวข้อ 4.1 อธิบายการจำลองการทำงานของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้ในการทดลองของงานวิจัยนี้ หัวข้อ 4.2 เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการจัดสมดุลโหลดวิธีต่างๆ และหัวข้อ 4.3 เสนอการทดลองเพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการจัดการแบนด์วิดท์สำหรับการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริด

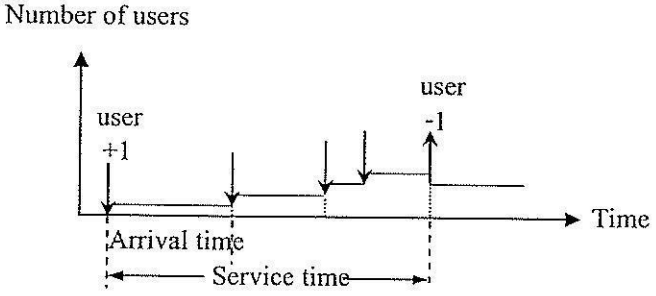
4.1 การจำลองการทำงานของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงของสถานีในสถานการณ์ต่างๆ ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในเครือข่าย และนำผลที่ได้จากการศึกษามาเปรียบเทียบผลของการจัดสมดุลโหลดด้วยเทคนิคแบบต่างๆ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองระบบเครือข่ายด้วยโปรแกรม CSIM [16] ซึ่งเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการจำลองระบบการทำงานด้วยภาษาซี

4.1.1 การจำลองพฤติกรรมการเข้าใช้บริการ

การให้บริการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ผู้ให้บริการไม่สามารถทราบล่วงหน้าได้ว่าผู้ใช้บริการจะเข้ามาใช้งานเครือข่ายเมื่อใดและจะใช้เวลาอยู่ภายในเครือข่ายนานเท่าใด งานวิจัยของ [2] จึงได้ศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมต่อกับเครือข่ายของสถานีไร้สายในช่วงเวลา 8.00-18.00 น .โดยเก็บค่าเฉลี่ยของผู้ใช้บริการในแต่ละชั่วโมง พบว่าวันหนึ่งๆ ในแต่ละชั่วโมงจะมีผู้เข้ามาใช้บริการหรือจำนวนการใช้บริการ (sessions) บนเครือข่ายไม่เท่ากันทำให้เครือข่ายต้องรองรับการให้บริการที่มีการเปลี่ยนแปลงของผู้ใช้บริการตลอดเวลา แต่อย่างไรผู้ให้บริการก็สามารถประมาณการจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละวันได้ อาจจะเก็บข้อมูลจากการใช้งานที่ผ่านมาหรือจากจำนวนผู้ใช้บริการที่ลงทะเบียนไว้ ดังนั้นเพื่อให้การจำลองการทำงานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้ในการทดลองของงานวิจัยใกล้เคียงกับการใช้งานเครือข่ายจริง จึงได้ใช้วิธีการของ Poisson Process ในการจำลองผู้ใช้บริการที่เข้ามาใช้งานเครือข่าย โดยได้นำความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเข้ามาของผู้ใช้บริการเฉลี่ย (Average arrival rate: λ) และเวลาการใช้บริการเฉลี่ย (Average service time: $1/\mu$) มาเป็นตัวแปรในการกำหนดปริมาณการใช้

บริการบนเครือข่าย โดยค่าที่นำมาใช้ในการจำลองจะอยู่ในรูปแบบของเวลาเฉลี่ยระหว่างการเข้าใช้บริการ (Average arrival time: $1/\lambda$) และเวลาการใช้บริการเฉลี่ย (Average service time: $1/\mu$) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เวลาระหว่างการเข้าใช้บริการ และเวลาการใช้บริการ

ปริมาณโหลดของระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (System offered load) ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเข้ามาของผู้ใช้บริการเฉลี่ย และเวลาการใช้บริการเฉลี่ย ดังสมการ 4.1 [18]

$$\text{System offered load} = \frac{\lambda}{\mu} \tag{4.1}$$

โดยที่ λ คือ อัตราการเข้ามาของผู้ใช้บริการเฉลี่ย มีหน่วยเป็น users/ unit time

$1/\mu$ คือ เวลาการใช้บริการเฉลี่ย มีหน่วยเป็น service times/ user

4.1.2 การควบคุมปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึง

ในปัจจุบันการรับส่งข้อมูลบนเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายมีความหลากหลายมากขึ้น โดยได้มีการประยุกต์ใช้งานประเภทมัลติมีเดียแบบต่างๆ เช่น ข้อมูลเสียงและภาพเคลื่อนไหว การที่จะให้บริการการสื่อสารสำหรับการประยุกต์ใช้งานประเภทนี้อย่างมีคุณภาพ เครือข่ายจะต้องสามารถรับประกันแบนด์วิดท์การให้บริการ หรือสามารถรับประกันปริมาณงานเฉลี่ยแก่ผู้ใช้งานเครือข่ายได้

งานวิจัย [19] ได้พบว่าผู้ให้บริการเครือข่ายต้องสามารถรับประกันปริมาณงานเฉลี่ยที่เหมาะสมกับข้อมูลแต่ละประเภทตามวัตถุประสงค์ของการใช้บริการ เช่น เครือข่ายต้องสามารถรับประกันปริมาณงานเฉลี่ยที่ 380 Kbps สำหรับผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดีย และที่ 100 Kbps สำหรับผู้ใช้บริการข้อมูลธรรมดา (best effort) แต่เนื่องจากแบนด์วิดท์ในการสื่อสารผ่านจุดเข้าถึงมีอยู่อย่างจำกัดจึงจำเป็นต้องมี

การกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการที่สามารถเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงแต่ละตัวได้ เพื่อไม่ให้มีปริมาณงาน หรือโหลดมากเกินไป จนทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการการประยุกต์ใช้งานประเภทต่างๆ

จากการทดสอบความสามารถของจุดเข้าถึงในการรองรับปริมาณโหลด [19] โดยกำหนดให้ผู้ใช้บริการทั้งหมดเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึง 1 เครื่อง เพื่อทำการรับส่งข้อมูลประเภทเดียวกัน โดยทดลองการใช้บริการประเภท best effort และกำหนดให้ผู้ใช้บริการแต่ละคนทำการเชื่อมต่อ 1 session พบว่าจุดเข้าถึงเครื่องหนึ่งสามารถรองรับบริการผู้ใช้บริการข้อมูล best effort ได้สูงสุด 60 sessions โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการ ดังนั้นในการควบคุมปริมาณโหลดของจุดเข้าถึงเพื่อรับประกันคุณภาพการให้บริการจึงได้กำหนดจำนวน sessions ผู้ใช้บริการสูงสุดของจุดเข้าถึงหรือขีดจำกัดของจุดเข้าถึง (N_{max}) ไว้ที่ 60

ในกรณีที่การใช้บริการบนเครือข่ายมีการรับส่งข้อมูลมากกว่าหนึ่งประเภท เช่นมีผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดีย และผู้ใช้บริการข้อมูลธรรมดา (best effort) จึงได้มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักให้เหมาะสมกับประเภทของการประยุกต์ใช้งาน โดยค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละประเภทการใช้งานจะถูกกำหนดตามสัดส่วนของค่าเฉลี่ยปริมาณงานที่ประเภทข้อมูลนั้นต้องการ ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาการประยุกต์ใช้งาน 2 ประเภท คือ การใช้งานมัลติมีเดีย ซึ่งมีความต้องการการรับประกันปริมาณงานเฉลี่ยที่ 380 Kbps และการใช้งานข้อมูลธรรมดา (best effort) ซึ่งมีความต้องการการรับประกันปริมาณงานเฉลี่ยที่ 100 Kbps [19]

ดังนั้นในการคำนวณปริมาณโหลดของจุดเข้าถึงเพื่อใช้ในการควบคุมการเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงจึงได้กำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดีย เท่ากับ 3.8 และข้อมูลธรรมดาเท่ากับ 1 ซึ่งปริมาณโหลดของจุดเข้าถึงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.2 ซึ่งกำหนดค่าขีดจำกัดไว้ที่ N_{max}

$$N_{eq} = (N_m \times w_m) + (N_b \times w_b) \qquad (4.2)$$

โดยที่ N_{eq} คือ ปริมาณโหลดของจุดเข้าถึง (จำนวนผู้ใช้บริการเสมือน)

N_m คือ จำนวนผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดีย

N_b คือ จำนวนผู้ใช้บริการข้อมูลธรรมดา

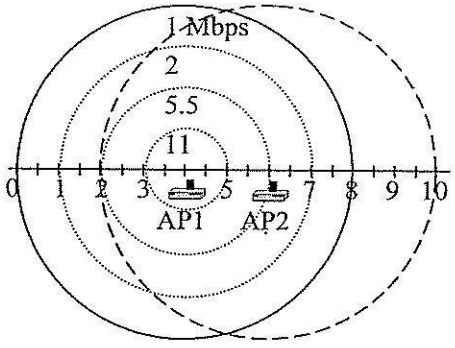
w_m คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดีย

w_b คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้บริการข้อมูลธรรมดา

4.2 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการจัดสมดุลโหลดวิธีต่างๆ

หัวข้อนี้ทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพเทคนิคการจัดสมดุลโหลด 3 วิธีที่ได้อธิบายในบทที่ 3 คือเทคนิคที่พิจารณาความแรงของสัญญาณสูงสุดก่อน (Maximum Signal Strength First, MSF) เทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พิจารณาโหลดน้อยที่สุดก่อน (Minimum Load First, MLF) และเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริด (Hybrid Approach, HA) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยทำการเปรียบเทียบกันที่เปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการ (Blocking percentage) และอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถสื่อสารกับจุดเข้าถึงได้ รวมถึงการสังเกตปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึงซึ่งวัดจากจำนวน sessions ที่เชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่เวลาต่างๆ

ในการทดลองได้ทำการจำลองระบบเครือข่ายที่มีลักษณะโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งประกอบด้วยจุดเข้าถึง 2 เครื่องคือ จุดเข้าถึงที่ 1 (AP1) และจุดเข้าถึงที่ 2 (AP2) โดยจำลองให้พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของจุดเข้าถึงทั้งสองมีการซ้อนทับกัน 75% โดยกำหนดให้พื้นที่ A คือพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของจุดเข้าถึงที่ 1 ส่วนพื้นที่ B คือพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของจุดเข้าถึงที่ 2 การจำลองระบบดังกล่าวได้กำหนดระยะการส่งสัญญาณให้เป็นไปตามการทำงานของชั้นกายภาพตามมาตรฐาน IEEE 802.11b ที่มีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (data rate) แบ่งเป็น 4ระดับ คือ 11 Mbps, 5 Mbps, 2 Mbps และ 1 Mbps แบ่งตามระดับความแรงของสัญญาณ -75 dBm, -79 dBm, -81 dBm และ -84 dBm ตามลำดับ [17]

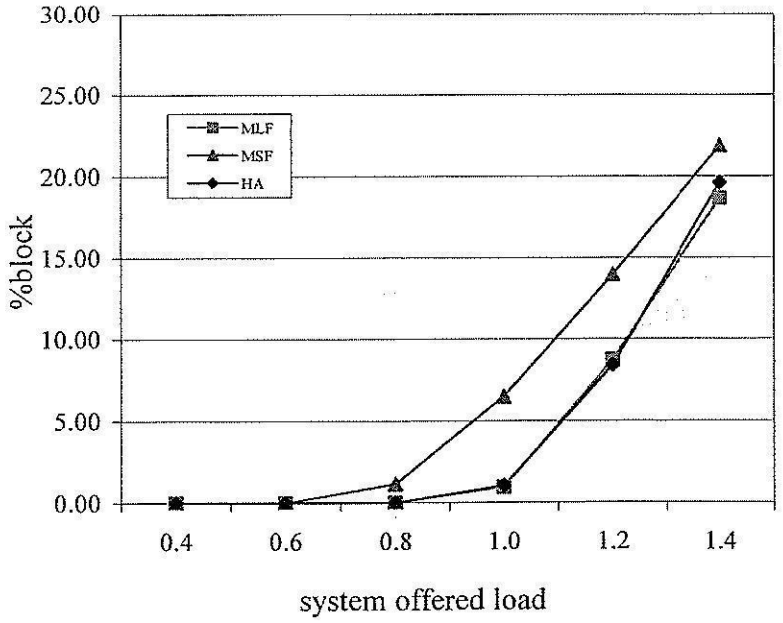


รูปที่ 4.2 รูปแบบการจำลองระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

ในการทดลองได้ใช้วิธีการของ Poisson Process เพื่อจำลองการเข้ามาใช้งานเครือข่ายของผู้ใช้บริการซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดียและผู้ใช้บริการประเภท best effort โดยทำการ

จำลองระบบที่มีปริมาณโหลดของระบบ (System offered load) ที่ 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 และ 1.4 สำหรับระบบที่ System offered load = 0.4 นั้นได้จำลองอัตราการเข้ามาของผู้ใช้บริการเฉลี่ย (λ) เท่ากับ 4 และอัตราการให้บริการเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 10 ส่วนการจำลองระบบที่มี System offered load สูงขึ้นนั้นทำได้โดยเพิ่มค่า λ และให้ค่าของ μ คงที่ ส่วนการกระจายตัวของผู้ใช้บริการได้จำลองให้อยู่ภายในบริเวณครอบคลุมสัญญาณของจุดเข้าถึงทั้งสองโดยมีการกำหนดตำแหน่งแบบ Uniform-random

รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการ (Blocking percentage) ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการจำลองระบบที่ System offered load ค่าต่าง ๆ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเมื่อ System offered load มีค่าสูงกว่า 0.6 ค่าของเปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการจากการใช้เทคนิค MSF จะมีค่าสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการที่เกิดขึ้นเมื่อใช้เทคนิค MLF และ HA ตัวอย่างเช่นการจำลองระบบที่ System offered load = 0.8 เมื่อใช้เทคนิค MSF จะเกิดการปฏิเสธการเข้าใช้บริการ 2% ในขณะที่เทคนิค MLF และ HA ไม่เกิดการปฏิเสธการเข้าใช้บริการ

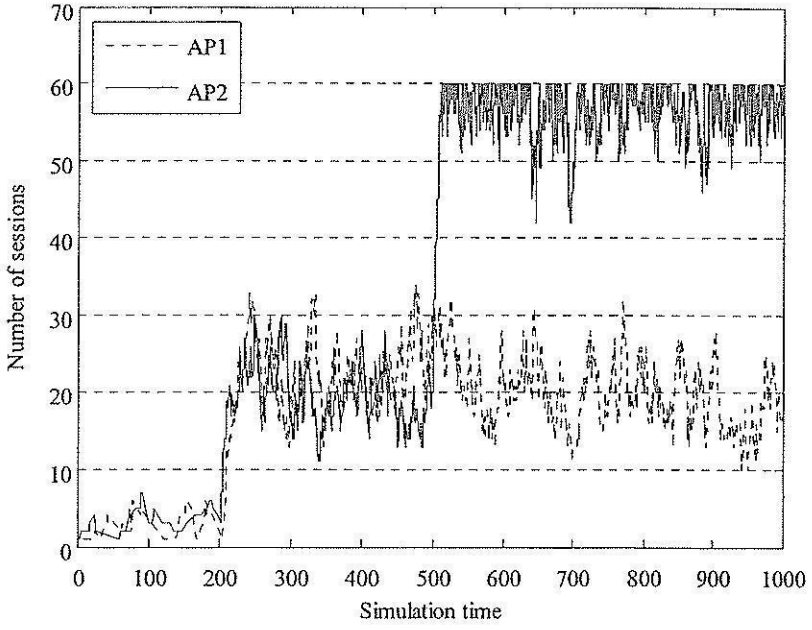


รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการ

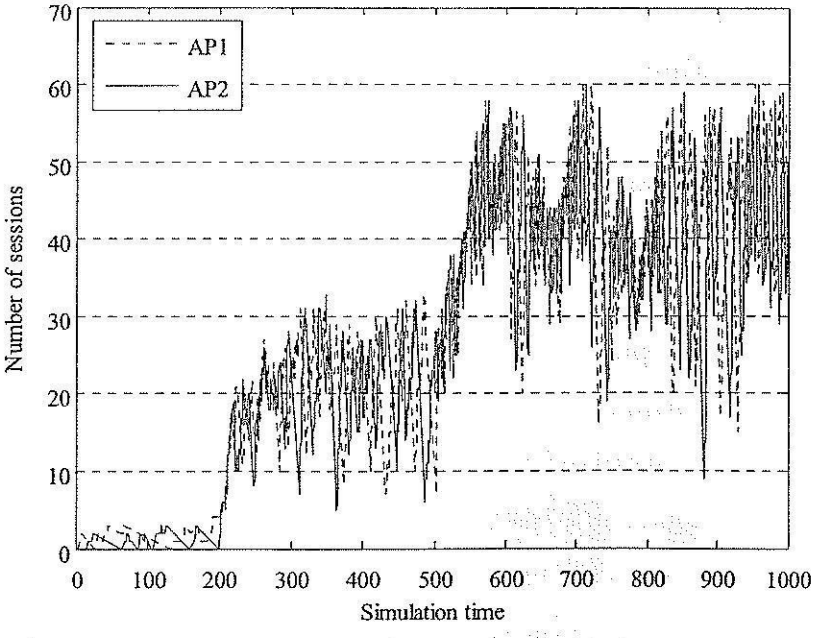
รูปที่ 4.4 – 4.6 แสดงปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึงทั้งสองวัดจากจำนวน sessions ที่เชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่เวลา simulation time ที่ 0 – 1000 โดยในรูปที่ 4.4 แสดงผลที่เกิดขึ้นเมื่อใช้เทคนิค MSF ซึ่งจะเห็นว่าในช่วงเวลาที่ 0-200 ซึ่งกำหนดให้ System offered load = 0.4 และมีการกระจายตัวของผู้ใช้บริการในพื้นที่ครอบคลุมของจุดเข้าถึงทั้งสองเท่ากัน ทำให้ปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึงทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับในช่วงเวลาที่ 200 – 500 ได้ทำการเพิ่ม System offered load เป็น 0.6 ทำให้ปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึงทั้งสองเพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงเวลาที่ 500 – 1000 ได้ทำการเพิ่มอัตราการเข้าใช้บริการในพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของจุดเข้าถึงที่ 2 โดยให้ System offered load = 0.8 ทำให้ปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึงที่ 2 มีค่าสูงขึ้นจนถึงขีดจำกัดของจำนวน sessions ของจุดเข้าถึง (N_{max}) ซึ่งกำหนดไว้ที่ 60 จึงทำให้เกิดการปฏิเสธการขอเชื่อมต่อที่จุดเข้าถึงที่ 2 เพราะไม่มีการแบ่งโหลดไปให้จุดเข้าถึงที่ 1 ในขณะที่เทคนิค MLF และ HA สามารถแบ่งโหลดไปให้จุดเข้าถึงที่ 1 ได้ทำให้สามารถลดความคับคั่งของจุดเข้าถึงที่ 2 ส่งผลให้ปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึงมีค่าน้อยกว่าขีดจำกัด N_{max} ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ ทำให้ไม่เกิดการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการ

เมื่อทำการทดลองจำลองระบบที่ System offered load เพิ่มขึ้นเป็น 1.0, 1.2 และ 1.4 ปรากฏว่าเกิดการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการ ไม่ว่าจะใช้เทคนิคการจัดสมดุลโหลดวิธีใด ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เนื่องจากปริมาณโหลดของระบบสูงกว่าขีดจำกัดของจุดเข้าถึง ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเทคนิค HA ทำให้เกิดค่าเปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้เมื่อใช้เทคนิค MLF ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการปฏิเสธการเข้าใช้บริการที่เกิดขึ้นเมื่อใช้เทคนิค MSF เนื่องจากเทคนิค MLF และ HA ได้ทำการแบ่งโหลดไปยังจุเข้าถึงใกล้เคียง ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถรองรับโหลดได้ทั้งหมด แต่ก็ทำให้เกิดการปฏิเสธการเข้าใช้บริการที่น้อยกว่ากรณีที่ใช้เทคนิค MSF

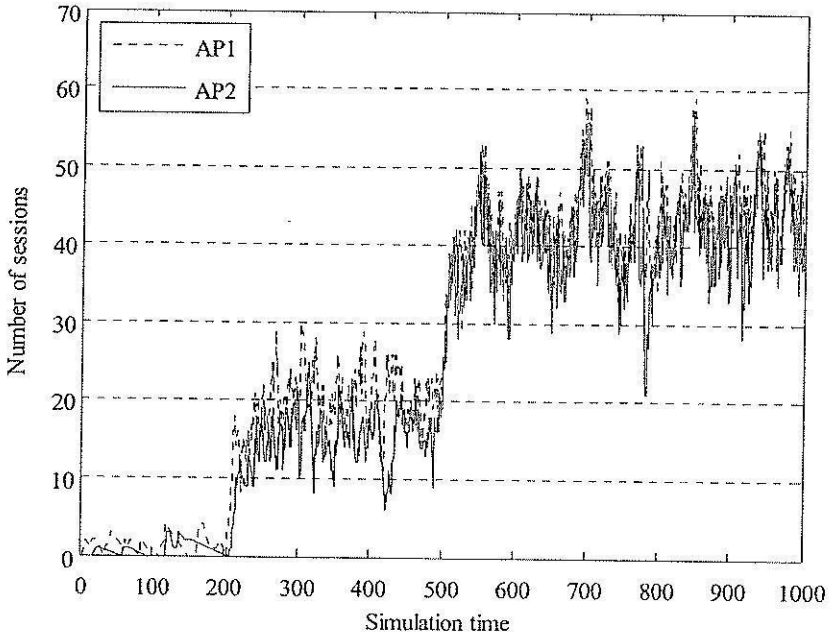
เหตุผลเนื่องจากว่าเทคนิค MSF จะทำการเชื่อมต่อผู้ใช้บริการกับจุดเข้าถึงที่ให้สัญญาณแรงที่สุด โดยไม่เลือกจุดเข้าถึงอื่นที่มีความแรงสัญญาณรองลงมา ทำให้ปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึงบางเครื่องในเครือข่ายอาจสูงจนถึงขีดจำกัดและไม่สามารถรองรับผู้ใช้บริการได้เพิ่มอีก ซึ่งต่างจากเทคนิค MLF ที่ทำการเชื่อมต่อผู้ใช้บริการโดยเลือกจุดเข้าถึงที่มีโหลดน้อยที่สุดก่อน โดยที่จุดเข้าถึงนั้นต้องสามารถให้สัญญาณที่แรงพอที่จะทำการสื่อสารกับสถานีผู้ใช้บริการได้ จึงทำให้เกิดการกระจายโหลดระหว่างจุดเข้าถึง ส่วนเทคนิค HA นั้นจะทำการเชื่อมต่อผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดียเข้ากับจุดเข้าถึงที่ให้สัญญาณแรงที่สุดเพื่อที่จะสามารถทำการสื่อสารได้ในอัตราเร็วบิตสูง แต่ถ้าเป็นผู้ใช้บริการประเภท best effort เทคนิค HA จะทำการเชื่อมต่อเข้ากับจุดเข้าถึงที่มีโหลดน้อยที่สุด เพื่อให้เกิดความสมดุลโหลดระหว่างจุดเข้าถึงในเครือข่าย ซึ่งจากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าเทคนิค HA ทำให้เกิดอัตราการปฏิเสธการเข้าใช้บริการที่ใกล้เคียงกับเทคนิค MLF ซึ่งน้อยกว่าค่าที่ได้เมื่อใช้เทคนิค MSF



รูปที่ 4.4 ปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึงเมื่อใช้เทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ MSF



รูปที่ 4.5 ปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึงเมื่อใช้เทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ MLF

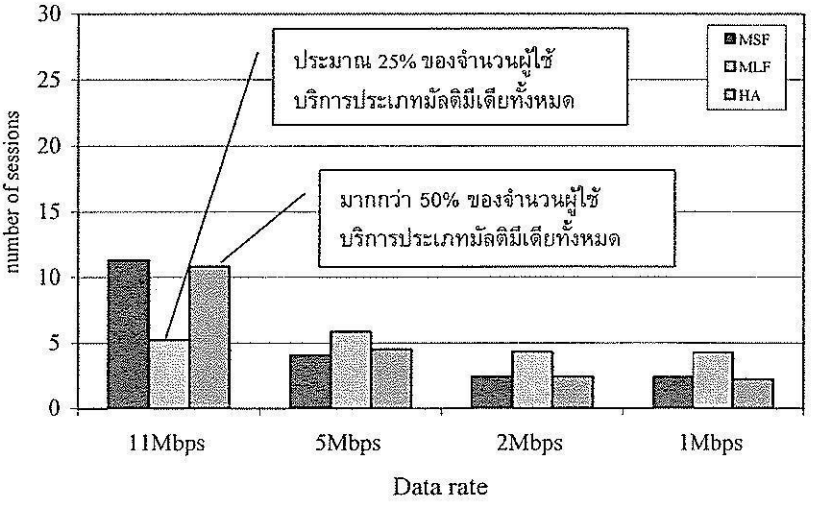


รูปที่ 4.6 ปริมาณโหลดบนจุดเข้าถึงเมื่อใช้เทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ HA

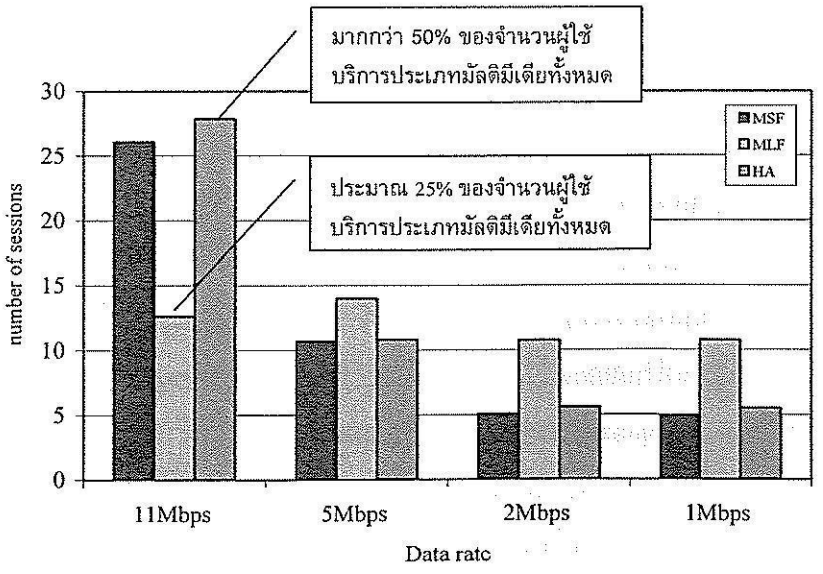
เมื่อพิจารณาในเรื่องของอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถสื่อสารกับจุดเข้าถึงได้ เทคนิค HA สามารถให้อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่สูงกับผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดียได้ดีเหมือนกับเทคนิค MSF ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (กรณี system offered load = 0.4) และรูปที่ 4.8 (กรณี system offered load = 1.0) เป็นการเปรียบเทียบจำนวน sessions ผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดียที่อัตราเร็วต่างๆ จะเห็นว่าเมื่อใช้เทคนิค HA จำนวนผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดียที่อัตราเร็วสูงอยู่ในระดับใกล้เคียงกับเทคนิค MSF ซึ่งสูงกว่าเทคนิค MLF นั่นคือ เมื่อใช้เทคนิค HA หรือ MSF จำนวนผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดียที่สามารถเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดมีมากกว่า 50% ของจำนวนผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดียทั้งหมด ในขณะที่เทคนิค MLF อยู่ที่ประมาณ 25%

จากการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเทคนิคการจัดสมดุลโหลดทั้งสามวิธี จะเห็นว่าเทคนิค MSF ทำให้เกิดการปฏิเสธการเข้าใช้บริการของระบบในระดับที่สูง ถึงแม้ว่าจะสามารถให้บริการผู้ใช้ประเภทมัลติมีเดียที่อัตราเร็วการรับส่งข้อมูลที่ระดับสูงได้ ส่วนเทคนิค MLF แม้ว่าจะสามารถทำการกระจายโหลดระหว่างจุดเข้าถึงในเครือข่าย ส่งผลให้ลดการปฏิเสธการเข้าใช้บริการของระบบลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิค MSF แต่ก็ไม่สามารถให้บริการผู้ใช้ประเภทมัลติมีเดียที่อัตราเร็วการรับส่งข้อมูลระดับสูงได้ สำหรับเทคนิค HA นั้นสามารถลดการปฏิเสธการเข้าใช้บริการของระบบได้เช่นเดียวกับ

เทคนิค MLF และยังสามารถรับประกันอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่สูงกับผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดีย ได้เช่นเดียวกับเทคนิค MSF อีกด้วย



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบจำนวน sessions ผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดีย (กรณี system offered load = 0.4)



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบจำนวน sessions ผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดีย (กรณี system offered load = 1.0)

4.3 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการจัดการแบนด์วิดท์สำหรับการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริด

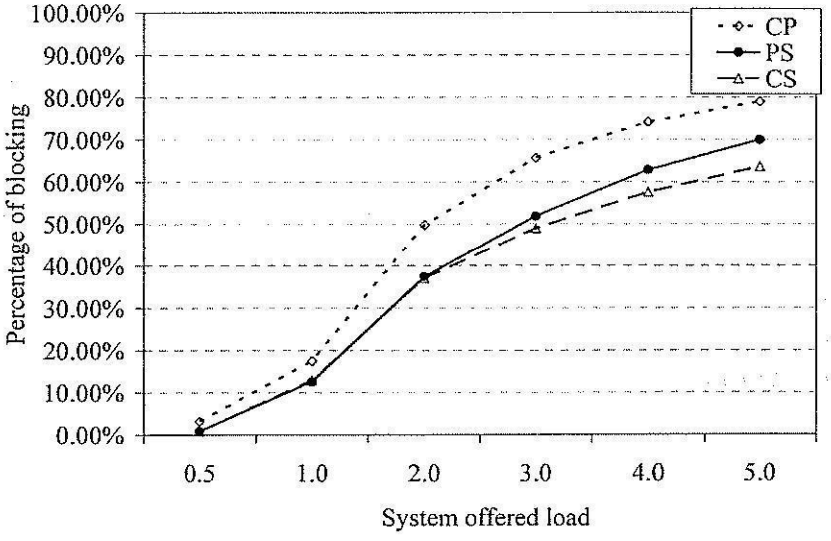
หัวข้อนี้ทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริดที่มีการจัดการแบนด์วิดท์ ซึ่งพิจารณาเทคนิคการจัดการแบนด์วิดท์ 3 วิธีที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 คือ เทคนิคที่ใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้อย่างสมบูรณ์ (Complete Sharing, CS) เทคนิคที่แบ่งแบนด์วิดท์กันอย่างแน่นอน (Complete Partitioning, CP) และเทคนิคที่ใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้บางส่วน (Partial Sharing, PS) โดยทำการเปรียบเทียบกันที่เปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการ (Blocking percentage)

สำหรับการทดลองนี้ได้ทำการจำลองระบบเครือข่ายที่มีลักษณะโครงสร้างเช่นเดียวกับรูปที่ 4.2 ซึ่งใช้ในการทดลองของหัวข้อที่ 4.2 โดยได้ใช้วิธีการของ Poisson Process เพื่อจำลองการเข้ามาใช้งานเครือข่ายของผู้ใช้บริการซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดียและผู้ใช้บริการประเภท best effort โดยทำการจำลองระบบที่มีปริมาณโหลดของระบบ (System offered load) ที่ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 สำหรับระบบที่ System offered load = 0.5 นั้นได้จำลองอัตราการเข้ามาของผู้ใช้บริการเฉลี่ย (λ) เท่ากับ 5 และอัตราการให้บริการเฉลี่ย (μ) เท่ากับ 10 ส่วนการจำลองระบบที่มี System offered load สูงขึ้นนั้นทำได้โดยเพิ่มค่า λ และให้ค่าของ μ คงที่ ส่วนการกระจายตัวของผู้ใช้บริการได้จำลองให้อยู่ภายในบริเวณครอบคลุมสัญญาณของจุดเข้าถึงทั้งสองโดยมีการกำหนดตำแหน่งแบบ Uniform-random และได้ทำการจำลองระบบเครือข่ายที่มีผู้ใช้ประเภทมัติมีเดียจำนวน 40% ของจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดในเครือข่าย ส่วนตัวแปรที่ใช้สำหรับการจัดการแบนด์วิดท์แต่ละวิธีกำหนดให้มีค่าดังแสดงในตารางที่ 4.1

รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการ (Blocking percentage) ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการจำลองระบบที่ System offered load ค่าต่าง ๆ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเทคนิคการจัดการแบนด์วิดท์แบบ CP ทำให้เกิดการปฏิเสธการเข้าใช้บริการสูงกว่าเทคนิค CS และ PS ที่ทุกค่าของ System offered load เหตุผลเนื่องจากว่า เทคนิค CP ทำการกำหนดแบนด์วิดท์ไว้สำหรับทราฟฟิกแต่ละประเภทโดยเฉพาะ ทำให้ทราฟฟิกที่ขอเชื่อมต่อไม่สามารถเข้าใช้แบนด์วิดท์ที่ว่างอยู่ซึ่งเป็นแบนด์วิดท์ที่กำหนดให้ทราฟฟิกอื่นได้ นอกจากนี้ผลการทดลองในรูปที่ 4.9 ยังแสดงให้เห็นว่าที่ System offered load ไม่เกิน 2.0 เทคนิค PS ให้ผลที่ใกล้เคียงกับเทคนิค CS แต่เมื่อ System offered load มีค่ามากกว่า 2.0 ค่าของเปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการจากการใช้เทคนิค PS จะมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้เทคนิค CS

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรสำหรับการจัดการแบนด์วิดท์

เทคนิค	แบนด์วิดท์สำหรับการใช้งานประเภทมัลติมีเดีย (b_1)	แบนด์วิดท์สำหรับการใช้งานประเภท best effort (b_2)	แบนด์วิดท์สำหรับการใช้งานทั้งสองประเภท (b_S)
CP	70%	30%	-
CS	-	-	100%
PS	30%	-	70%



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการ

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองอีกชุดหนึ่งเพื่อศึกษาผลกระทบของสัดส่วนแบนด์วิดท์ที่กำหนดสำหรับเทคนิค CP และ PS เพื่อทำการเปรียบเทียบกับเทคนิค CS ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้อย่างสมบูรณ์ โดยจะสังเกตที่เปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการ (Blocking percentage) ที่เกิดขึ้น โดยในการทดลองนี้ได้ทำการกำหนดสัดส่วนของแบนด์วิดท์ของเทคนิค CP และ PS ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งสำหรับเทคนิค CP นั้นได้ทำการกำหนดสัดส่วนของแบนด์วิดท์สำหรับการใช้งานประเภทมัลติมีเดีย (b_1) และแบนด์วิดท์สำหรับการใช้งานประเภท best effort (b_2) สำหรับเทคนิค PS นั้นได้ทำการกำหนดสัดส่วนของแบนด์วิดท์สำหรับการใช้งานประเภทมัลติมีเดีย (b_1) และแบนด์วิดท์สำหรับการใช้งานทั้งสองประเภท (b_S) ตามที่ระบุในตารางที่ 4.2 ในการทดลองนี้ได้ทำการจำลองระบบที่ System offered load

= 1.5 โดยมีผู้ใช้ประเภทมัลติมีเดียจำนวน 40% ของจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดในเครือข่าย และได้จำลองให้การกระจายตัวของผู้ใช้บริการอยู่ภายในบริเวณครอบคลุมสัญญาณของจุดเข้าถึงทั้งสองโดยมีการกำหนดตำแหน่งแบบ Uniform-random

จากการทดลองเมื่อใช้เทคนิค CS ในการจัดการแบนด์วิดท์ ทำให้ระบบเกิดการปฏิเสธการเข้าใช้บริการ 55.77% สำหรับการใช้งานประเภทมัลติมีเดีย และ 7.57% สำหรับการใช้งานประเภท best effort ส่วนการทดลองที่ใช้เทคนิค CP และ PS นั้นผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปลี่ยนค่าสัดส่วนแบนด์วิดท์ทั้ง 5 กรณีตามที่กำหนดในตารางที่ 4.2 จากรูปที่ 4.10 จะสังเกตได้ว่าเทคนิค CP ทำให้เกิดการปฏิเสธการเข้าใช้บริการของการใช้งานประเภทมัลติมีเดียสูงกว่าเทคนิค PS ในทุกกรณี โดยมีค่าสูงสุดที่ 95% ในกรณีที่ 1 และมีค่าน้อยสุดที่ 53% ในกรณีที่ 5 ขณะที่เทคนิค PS ทำให้เกิดการปฏิเสธการเข้าใช้บริการของการใช้งานประเภทมัลติมีเดียสูงสุดที่ 55.77% ในกรณีที่ 1 และต่ำสุดที่ 50% ในกรณีที่ 5 สำหรับการใช้งานประเภท best effort นั้น เทคนิค PS ทำให้เกิดการปฏิเสธการเข้าใช้บริการสูงกว่าเทคนิค CP เล็กน้อย กล่าวคือ สำหรับกรณีที่ 1 ถึง 4 เทคนิค CP ไม่ทำให้เกิดการปฏิเสธการเข้าใช้บริการเลย ส่วนในกรณีที่ 5 นั้น เทคนิค CP ทำให้เกิดการปฏิเสธการเข้าใช้บริการ 20% สำหรับเทคนิค PS นั้น ในกรณีที่ 1 ถึง 3 ทำให้เกิดการปฏิเสธการเข้าใช้บริการ 7.57% และเพิ่มขึ้นเป็น 10% และ 22% ในกรณีที่ 4 และ กรณีที่ 5 ตามลำดับ

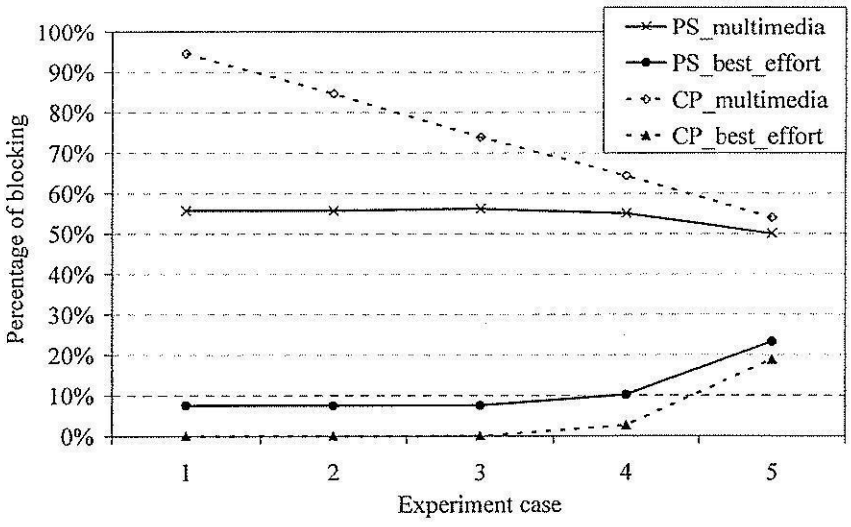
เมื่อเปรียบเทียบเทคนิค CS กับเทคนิค PS จะเห็นว่าเทคนิค PS ให้ผลที่ใกล้เคียงกับเทคนิค CS หากกำหนดสัดส่วนระหว่าง b_t และ b_s ที่เหมาะสม เช่นในกรณีที่ 1 ถึง 3 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันทั้งในเรื่องของเปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการของการใช้งานประเภทมัลติมีเดียที่ 55.77% และการใช้งานประเภท best effort ที่ 7.57%

จากผลการศึกษาเทคนิคการจัดการแบนด์วิดท์สำหรับการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริดทั้งสามวิธี จะเห็นว่าเทคนิค CS เป็นเทคนิคที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสามารถจัดสรรแบนด์วิทด์ให้กับการใช้งานประเภทมัลติมีเดียและ best effort ได้อย่างเหมาะสม ทำให้เปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการของการใช้งานประเภทมัลติมีเดียและ best effort มีค่าน้อย แต่อย่างไรก็ตามเทคนิค PS เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับการให้บริการที่ต้องการให้ความสำคัญกับการใช้งานประเภทมัลติมีเดียมากกว่า เนื่องจากเทคนิค PS สามารถปรับสัดส่วนแบนด์วิดท์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานประเภทมัลติมีเดียได้ โดยการเพิ่ม b_t และลด b_s ดังที่เห็นได้จากผลการทดลองในกรณีที่ 4 ซึ่งทำการกำหนด b_t เท่ากับ 60% และ b_s เท่ากับ 40% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เทคนิค CS จะเห็นว่าเทคนิค PS ทำให้เปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการ

เข้าใช้บริการของการใช้งานประเภทมัลติมีเดียลดลง 6% แต่ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการของการใช้งานประเภท best effort เพิ่มขึ้นประมาณ 10%

ตารางที่ 4.2 ตัวแปรสำหรับการทดลองจัดการแบนด์วิดท์

กรณีที่	CP (b_1, b_2)	PS (b_1, b_S)
1	10%, 90%	10%, 90%
2	20%, 80%	20%, 80%
3	30%, 70%	30%, 70%
4	40%, 60%	40%, 60%
5	60%, 40%	60%, 40%



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการเมื่อใช้เทคนิค CP และ PS

4.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

เมื่อเปรียบเทียบเทคนิคการจัดสมดุลโหลดสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นในช่วงปี 2008 – 2009 จะเห็นว่า เทคนิค HA ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ สามารถทำการจัดสมดุลโหลดได้ผลในลักษณะเดียวกับผลที่นำเสนอในงานวิจัย [21] – [23] กล่าวคือ มีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าเทคนิคที่พิจารณาความแรงสัญญาณสูงที่สุด (MSF) และดีกว่าเทคนิคที่พิจารณาปริมาณโหลดน้อยที่สุด (MLF) แต่ในงานวิจัย [21] – [23] ไม่ได้พิจารณาผลกระทบต่อประสิทธิภาพการสื่อสารของการประยุกต์ใช้งานประเภทมัลติมีเดีย ดังที่นำเสนอหัวข้อที่ 4.2 ของงานวิจัยนี้ นอกจากนี้งานวิจัย [21] – [23] ยังไม่ได้พิจารณาเรื่องการจัดการแบนด์วิดท์ของจุดเข้าถึงร่วมกับเทคนิคการจัดสมดุลโหลด ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการสื่อสารของผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดียเช่นกัน ตามที่ได้นำเสนอในหัวข้อที่ 4.3 ของงานวิจัยนี้

บทที่ 5
สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยที่นำเสนอนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการจัดสมดุลโหลดสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย โดยได้ทำการพัฒนาเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบไฮบริด (Hybrid Approach, HA) ซึ่งเป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นต่อประเภทการประยุกต์ใช้บริการสื่อสารข้อมูลในเครือข่าย โดยได้นำเสนอเทคนิคการจัดสมดุลโหลดดังกล่าวในรูปของสมการคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ที่พิจารณาการประยุกต์ใช้งานประเภทมัลติมีเดียและประเภท best effort

เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของเครือข่ายที่ใช้เทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พัฒนาขึ้นกับคุณภาพการสื่อสารข้อมูลของเครือข่ายที่ใช้เทคนิคการจัดสมดุลโหลดวิธีอื่นพบว่า เทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้ทำให้ประสิทธิภาพการสื่อสารของผู้ใช้บริการในเครือข่ายสูงขึ้นทั้งในด้านของเปอร์เซ็นต์การเข้าใช้งานเครือข่าย และอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ผู้ใช้บริการสามารถสื่อสารกับจุดเข้าถึงได้อย่างเหมาะสมกับประเภทการประยุกต์ใช้งาน กล่าวคือเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ HA สามารถกระจายโหลดระหว่างจุดเข้าถึงในเครือข่ายได้ดีเช่นเดียวกับเทคนิคการจัดสมดุลโหลดที่พิจารณาโหลดน้อยที่สุดก่อน (Minimum Load First, MLF) ส่งผลให้การปฏิเสธการเข้าใช้บริการมีค่าน้อยกว่ากรณีที่ใช้เทคนิคที่พิจารณาความแรงของสัญญาณสูงสุดก่อน (Maximum Signal Strength First, MSF) ได้ถึง 10% นอกจากนี้เทคนิค HA ยังสามารถรับประกันการเชื่อมต่อผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดียที่อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่สูงในระดับเดียวกับเทคนิค MSF กล่าวคือ เมื่อใช้เทคนิค HA จำนวนผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดียที่สามารถเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดมีมากกว่า 50% ของจำนวนผู้ใช้บริการประเภทมัลติมีเดียทั้งหมด ในขณะที่เทคนิค MLF อยู่ที่ 25%

นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเทคนิคการจัดสมดุลโหลดแบบ HA ที่มีการจัดการแบนด์วิดท์ ซึ่งได้ทำการพิจารณาเทคนิคการจัดการแบนด์วิดท์ 3 วิธี คือ เทคนิคที่ใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้อย่างสมบูรณ์ (Complete Sharing, CS) เทคนิคที่แบ่งแบนด์วิดท์กันอย่างแน่นอน (Complete Partitioning, CP) และเทคนิคที่ใช้แบนด์วิดท์ร่วมกันได้บางส่วน (Partial Sharing, PS) สรุปได้ว่าเทคนิคการจัดการแบนด์วิดท์แบบ CS และ PS ทำให้เปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการมีค่าน้อยกว่าการใช้เทคนิค CP เฉลี่ยถึง 10% นอกจากนี้ยังพบว่าเทคนิค PS เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับเครือข่ายที่ต้องการให้ความสำคัญกับการใช้งานประเภทมัลติมีเดีย เนื่องจากเทคนิค PS

สามารถปรับสัดส่วนแบนด์วิดท์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานประเภทมัลติมีเดียได้ โดยสามารถทำให้เปอร์เซ็นต์การปฏิเสธการเข้าใช้บริการของการใช้งานประเภทมัลติมีเดียลดลงได้ถึง 6% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เทคนิค CS

เทคนิคการจัดสมดุลโหลดสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ได้พัฒนาและศึกษาในงานวิจัยนี้ รวมถึงผลการศึกษาเรื่องการจัดการแบนด์วิดท์ จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้งานสำหรับหน่วยงานที่ดูแลการให้บริการเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายได้ต่อไป นอกจากนี้องค์ความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้ยังมีคุณค่าทางวิชาการต่อวงการศึกษาและวิจัยที่มีความสนใจในวิธีการแก้ปัญหาการจัดสมดุลโหลดสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย ซึ่งงานวิจัยในอนาคตจะทำการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการจัดการแบนด์วิดท์ที่สามารถปรับสัดส่วนของแบนด์วิดท์ตามสภาวะโหลดและประเภทการประยุกต์ใช้งานของผู้ใช้บริการได้อย่างอัตโนมัติ เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดสมดุลโหลดของเครือข่ายให้สูงมากขึ้น

บรรณานุกรม

[1] Rapaport T.S. Wireless Communications, Second edition: B.M.Goodwin, 1996

[2] Balachandran A., Voelker G.M., Bahl P., and Rangan P.V., "Characterizing user behavior and networkperformance in a public wireless LAN", ACM SIGMETRICS international conference on measurement and modelling of computer systems, June 15-19 2002.

[3] Lee K.Y., Cho K.S., and Lee B.S., "A Congestion Control Algorithm in IEEE 802.11 Wireless LAN for Throughput Enhancements", Consumer Electronics, pp 1-2, 2007.

[4] Papanikos I. and Logothetis M., "A Study on Dynamic Load Balance for IEEE 802.11b Wireless LAN", COMCON, 2001.

[5] Jabri I., Soudani A., Krommenacker N., and Divoux T., "An Appoach for Load Distribution and Resource Sharing in IEEE 802.11 Networks", Wireless and Mobile Communications, pp 63-68, July 2006.

[6] Bahl P.V., Hajiaghayi M.T., Mirrokni S.V., Qiu L., and Saberi A., "Cell Breathing in Wireless LANs: Algorithms and Evaluation" IEEE Transactions on mobile computing, vol. 6, No. 2, February 2006.

[7] Cheng J.C., Chen T.C., Zhang T., and Berg van den E., "Effective AP Selection and Load Balancing in IEEE 802.11 Wireless LANs", IEEE GLOBECOM, 2006.

[8] Wireless LAN Market 2007-2008. [Online]. Available http://www.electronics.ca/reports/wireless_networking/wlan.html

[9] Choi S., Prado del J., Shankar S., and Mangold S., "IEEE 802.11e contention-based channel access (EDCF) performance evaluation", Proc. IEEE ICC'03, pp.1151–1156, Anchorage, Alaska, USA, May 2003.

[10] Daher R. and Tavangarian D., "QoS-Oriented Load Balancing for WLANs", Operator-Assisted (Wireless Mesh) Community Networks, 2006.

[11] Chen X., Zhai H., Tian X., and Fang Y., "Supporting QoS in IEEE 802.11e Wireless LANs", IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 5, No. 8, pp. 2217-2227, August 2006.

[12] Liu J. and Niu Z., "A Dynamic Admission Control Scheme for QoS Supporting in IEEE 802.11e EDCA", in Proc WCNC, pp. 3700-3705, 2007.

[13] Ekici, O. and Yongacoglu, A., "Predictive Association Algorithm for IEEE 802.11 WLANs", ICTTA '06, 2nd, Vol. 2, pp. 2394-2399, 2006.

[14] Ferguson P. and Huston G., "Quality of Service: Delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks", New York: John Wiley & Sons, 1998.

[15] Wireless QoS Deployment Schemes: Voice over Wireless LAN 4.1 Design Guide. [Online] Available http://www.cisco.com/en/US/docs/internetworking/technology/handbook/QoS.html

[16] Mesquite Software Inc., program CSIM., [Online] Available http://www.mesquite.com

[17] Basalamah A., Sugimoto H., and Sato T., "Rate Adaptive Reliable Multicast MAC Protocol for WLANs", Proceedings of Vehicular Technology Conference (VTC), Spring IEEE 63rd, pp 1220-1216, 2006.

[18] Leon-Garcia A. "Probability and Random Processes for Electrical Engineering", Second edition, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., USA, 1994

[19] Tartarelli S. and Nunzi G., "QoS Management and Congestion Control in Wireless Hotspots", Network Operation and Management Symposium, pp. 95-105, 2006.

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

[21] E. Garcia, R. Vidal and J. Paradells, "Cooperative Load Balancing in IEEE 802.11 Networks with Cell Breathing", IEEE Symposium on Computers and Communications, pp. 1133 – 1140, 2008.

[22] L. Yun, J. Hong, L. Xi and C. Daojin, "A Novel Load Balancing Algorithm in IEEE 802.11 Wireless LANs with Cell Breathing", in Proc. of the 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, pp. 1 – 4, 2009.

[23] T. Scully and K. N. Brown, "Wireless LAN Load Balancing with Genetic Algorithms", Knowledge-Based Systems, vol. 22, pp. 529-534, 2009.

ภาคผนวก

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระดับนานาชาติ

1. C. Prommak and A. Jantaweetip, "On the Analysis of Bandwidth Management for Hybrid Load Balancing Scheme in WLANs", Proc of the 2009 International Conference on Mobile, Ubiquitous and Pervasive Computing (ICMUPC), Paris, France, June 24-26, 2009, pp. 227-231.

2. C. Prommak and A. Jantaweetip "Hybrid Association Control Scheme and Load Balancing in Wireless LANs", Proc. of the 2008 International Conference on Communication Systems and Computer Networks (CSCN), Heidelberg, Germany, vol. 33, Sept 24-26, 2008, pp. 196-199.

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