การควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับการแฮนด์ออฟอย่างเร็วในโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่

นางสาวณัฐต์ศุภางค์ ปิตะคาพันธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547
ISBN 974-53-1478-1
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CALL ADMISSION CONTROL AND BANDWIDTH ALLOCATION FOR FAST HANDOFF IN MOBILE WIRELESS INTERNET NETWORKS

Miss Nutsupang Pitakapan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1478-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับการแฮนด์ออฟอย่างเร็วในโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่
โดย	นางสาวณัฐต์ศุภางค์ ปิตะคาพันธ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

……กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล)

……กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณัฐต์ศุภางค์ ปิตะคาพันธ์: การควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับการแฮนด์ออฟอย่างเร็วในโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ (CALL ADMISSION CONTROL AND BANDWIDTH ALLOCATION FOR FAST HANDOFF IN MOBILE WIRELESS INTERNET NETWORKS) อ. ที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล, 64 หน้า. ISBN 974-53-1478-1.

การพัฒนาโครงข่ายไร้สายเคลื่อนที่ให้อยู่บนพื้นฐานของโครงข่ายอินเทอร์เนตเพื่อรองรับการรับส่งไอพีแพ็กเกตที่อัตราข้อมูลที่สูงขึ้น ทำให้โครงข่ายไร้สายถูกจัดอยู่ในสถาปัตยกรรมแบบไมโคร/พิโคเซลลูลาร์ ส่งผลให้การเรียกมีอัตราการแฮนด์ออฟที่มากขึ้น การแฮนด์ออฟในโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ต้องเร็วพอที่จะหลีกเลี่ยงการสูญเสียแพ็กเกตที่ไวต่อการประวิงเวลา แบบแผนการลงทะเบียนภูมิภาคได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนการแฮนด์ออฟอย่างเร็วในโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอการจัดสรรทรัพยากรของระบบให้กับการเรียกในโครงข่ายการลงทะเบียนภูมิภาคและสามารถสนับสนุนการแฮนด์ออฟอย่างเร็วในโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ด้วย

แบบแผนการจัดสรรทรัพยากรที่เสนอ แบ่งเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนของการควบคุมการตอบรับการเรียก และส่วนของการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้แก่ทราฟฟิกประเภท streaming แบบปรับตัวได้ แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอขึ้นประกอบไปด้วยการทำงานที่ 2 ระดับชั้น ได้แก่ ที่เกตเวย์ของโดเมนการลงทะเบียนที่มีค่าจุดเริ่มเปลี่ยนเพื่อตอบรับการเรียกใหม่ที่เกิดขึ้นในโดเมนการลงทะเบียน และที่เกตเวย์ของเซลล์วิทยุที่ใช้วิธีการจัดสรรล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดมาให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ และสามารถรับประกันความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้ ผลการทดสอบสมรรถนะของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอพบว่าแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอสามารถรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้ และยังสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อม และปริมาณทราฟฟิกที่เปลี่ยนแปลง แบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัวทำให้ระบบสามารถลดความคับคั่งในโครงข่ายและรองรับการเรียกได้เพิ่มขึ้นด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2547

4470698021: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: CALL ADMISSION CONTROL (CAC) / BANDWIDTH ALLOCATION/ FAST HANDOFF/ MOBILE INTERNET NETWORKS

NUTSUPANG PITAKAPAN: CALL ADMISSION CONTROL AND BANDWIDTH ALLOCATION FOR FAST HANDOFF IN MOBILE WIRELESS INTERNET NETWORKS. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. WATIT BENJAPOLAKUL D.ENG., 64 pp. ISBN 974-53-1478-1.

Development of mobile wireless networks based on internet networks provides higher data rate transmission. The system architecture becomes micro/picocellular, in which handoff rate is increased. In mobile wireless internet networks, call must handoff fast enough to alleviate the loss of delay-sensitive data. Regional registration is a famous solution for fast location updating scheme. Then, this thesis proposes fast resource allocation in regional registration which can also support fast handoff.

The proposed resource allocation scheme includes Call Admission Control (CAC) function and adaptive bandwidth allocation for streaming traffic class. In the proposed CAC scheme, there are 2 layers of CAC: Gateway Foreign Agent (GFA) at domain level and Regional Foreign Agent (RFA) at radio cell level. The key behind this idea is a threshold that is set to admit a new call at GFA cooperating with Measurement-based Pre-assignment (MPr) algorithm for handoff prioritization at RFA where handoff call dropping probability can be guaranteed for users by the proposed CAC scheme. Simulations are conducted to validate the performance of handoff call dropping probability and show that the proposed CAC scheme is flexible in employing in any traffic load condition and any network environment.

Moreover, adaptive bandwidth allocation provides more admitted calls in domain level. The congestion can be reduced and the handoff call dropping probability can be decreased by adjusting effective bandwidth of calls.

Department Electrical Engineering Student's Signature……

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature……

Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออนุเคราะห์อย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล และคณะกรรมการทุกท่านในการให้คำแนะนำ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล และคณะกรรมการทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ในทุกเรื่อง จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา และทุน AUN/SEED-Net Collaborative Research Project ที่ได้เอื้อเฟื้อให้ใช้คอมพิวเตอร์ในงานวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณพี่ๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยทุกๆ คน รวมถึงเพื่อนๆ และคนรอบตัวของผู้วิจัยทุกๆ คน สำหรับความช่วยเหลือและแรงบันดาลใจที่ดีตลอดระยะเวลาของการทำงานวิจัย

สุดท้ายผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวที่ให้กำลังใจและการสนับสนุนโดยตลอดแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฎ

บัญชีคำศัพท์ ..... ฒ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 2

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

1.3 แนวคิดที่นำเสนอ 5

1.4 วัตถุประสงค์ 5

1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 5

1.6 ขั้นตอนและวิธีในการดำเนินงาน 6

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 โครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ 7

2.2 Mobile IP 8

2.3 โครงข่ายการลงทะเบียนภูมิภาค 9

2.4 การวัดสมรรถนะของการให้บริการ 10

2.4.1 คุณภาพของการให้บริการในโครงข่ายอินเทอร์เนต 10

2.4.2 เกรดของการให้บริการในโครงข่ายไร้สาย 12

2.5 วิธีการจัดหาคุณภาพของการให้บริการในโครงข่ายอินเทอร์เนต 12

2.5.1 IntServ (Integrated Service) 12

2.5.2 DiffServ (Differentiated Service) 13

2.6 แบบแผนการให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ 13

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3 แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่เสนอ 15
3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา 15
3.2 แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ 17
3.2.1 วิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ระดับโดเมนการลงทะเบียน 17
3.2.2 วิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ระดับเซลล์วิทยุ 18
3.3 แบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่นำเสนอ 21
3.4 ขั้นตอนการควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่นำเสนอ 23
4 ผลการจำลองแบบและการวิเคราะห์ผล 25
4.1 สมมติฐานในการจำลองแบบ 25
4.2 ผลการจำลองแบบของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 27
4.2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก ที่มีการให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากแฮนด์ออฟที่เซลล์วิทยุ กับแบบแผนที่ไม่มีการให้ลำดับความสำคัญ 27
4.2.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก ที่ใช้วิธีการจัดสรรล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดกับแบบแผน ที่ใช้ช่องสัญญาณกัน 30
4.2.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่มีการใช้วิธีการจัดสรรล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดที่มี/ไม่มีจุดเริ่มเปลี่ยนสำหรับการตอบรับการเรียกใหม่ 34
4.3 ผลการจำลองแบบของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ ในสภาวะจำลองแบบเหมือนจริง 40
4.4 ผลการจำลองแบบของแบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่ได้รับการตอบรับแล้ว 46
5 สรุปและข้อเสนอแนะ 49
5.1 สรุปผลการวิจัย 49
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต 51

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

รายการอ้างอิง 52
ภาคผนวก 54
ภาคผนวก ก 55
ภาคผนวก ข 60
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 64

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 การจัดการบัฟเฟอร์ของบริการแบบประกัน 22
ตารางที่ 4.1 จำนวนการเรียกที่รองรับบริการแบบประกันแบบปรับตัว 46
ตารางที่ ก.1 จำนวนการเรียกที่โดเมนรองรับได้จากการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัว 58

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การจัดโครงข่ายตามแนวคิดของโครงข่ายการลงทะเบียนภูมิภาค 9

รูปที่ 3.1 โครงข่ายการลงทะเบียนภูมิภาคซึ่งมี
การจัดหาคุณภาพของบริการเป็นแบบ DiffServ 16

รูปที่ 3.2 การจัดสรรช่องสัญญาณของวิธีการสำรองช่องสัญญาณล่วงหน้าแบบพลวัต 19

รูปที่ 3.3 แบบจำลองการเปลี่ยนสถานะในพูลการสำรอง 20

รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่นำเสนอ 23

รูปที่ 4.1 การจัดเรียงกลุ่มเซลล์วิทยุที่ใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของแบบแผนที่เสนอขึ้น 26

รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ
ระหว่างแบบแผนที่สำรองช่องสัญญาณกันเท่ากับ 1 และ 2 การเรียกกับ
แบบแผนที่ไม่มีการให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ 27

รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่
ระหว่างแบบแผนที่สำรองช่องสัญญาณกันเท่ากับ 1 และ 2 การเรียกกับ
แบบแผนที่ไม่มีการให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ 28

รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระหว่าง
แบบแผนที่สำรองช่องสัญญาณกันเท่ากับ 1 และ 2 การเรียกกับ
แบบแผนที่ไม่มีการให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ 29

รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ
ระหว่างแบบแผนที่ใช้วิธีช่องสัญญาณกัน
และวิธีการจัดสรรล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดด้วยการรับประกัน
ค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.2 30

รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่
ระหว่างแบบแผนที่ใช้วิธีช่องสัญญาณกัน
และวิธีการจัดสรรล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดด้วยการรับประกัน
ค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.2 31

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบ
ระหว่างแบบแผนที่ใช้วิธีช่องสัญญาณกัน
และวิธีการจัดสรรล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดด้วยการรับประกัน
ค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.2 31
รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ
ของแบบแผนที่นำวิธีจัดสรรล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัด
ที่รับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกต่างๆ กัน 33
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ
ของแบบแผนที่เสนอขึ้นกับแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรล่วงหน้า
บนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียวระบบต้องการรับประกัน
ค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.1 35
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่
ของแบบแผนที่เสนอขึ้นกับแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรล่วงหน้า
บนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียวระบบต้องการรับประกัน
ค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.1 35
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบ
ของแบบแผนที่เสนอขึ้นกับแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรล่วงหน้า
บนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียวระบบต้องการรับประกัน
ค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.1 36
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ
ของแบบแผนที่เสนอขึ้นกับแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรล่วงหน้า
บนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียวระบบต้องการรับประกัน
โดยค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.05 37
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่
ของแบบแผนที่เสนอขึ้นกับแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรล่วงหน้า
บนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียวระบบต้องการรับประกัน
โดยค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.05 38

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบ
ของแบบแผนที่เสนอขึ้นกับแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรล่วงหน้า
บนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียวระบบต้องการรับประกัน
โดยค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.05 38
รูปที่ 4.15 สภาวะแวดล้อมของการจำลองแบบเหมือนจริงของโดเมนการลงทะเบียน 40
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ
ของแบบแผนที่ใช้ช่องสัญญาณกันสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ
1 การเรียกระหว่างสภาวะของการจำลองแบบที่ต่างกัน 42
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ
ของแบบแผนที่เสนอขึ้นระหว่างสภาวะของการจำลองแบบที่ต่างกัน 42
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่
ของแบบแผนที่ใช้ช่องสัญญาณกันสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ
1 การเรียกระหว่างสภาวะของการจำลองแบบที่ต่างกัน 43
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่
ของแบบแผนที่เสนอขึ้นระหว่างสภาวะของการจำลองแบบที่ต่างกัน 43
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบการใช้ทรัพยากรระบบของแบบแผนที่ใช้ช่องสัญญาณกัน
สำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ 1 การเรียก
ระหว่างสภาวะในการจำลองแบบที่ต่างกัน 44
รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบการใช้ทรัพยากรระบบของแบบแผนที่เสนอขึ้น
ระหว่างสภาวะในการจำลองแบบที่ต่างกัน 44
รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ
ของแบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัวได้
ที่การให้บริการด้วยระดับคุณภาพของให้บริการต่างๆ 3 ระดับ 47
รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่
ของแบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัวได้
ที่การให้บริการด้วยระดับคุณภาพของให้บริการต่างๆ 3 ระดับ 47

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบ
ของแบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัวได้
ที่การให้บริการด้วยระดับคุณภาพของให้บริการต่างๆ 3 ระดับ 48
รูปที่ ก.1 ไดอะแกรมการเปลี่ยนสถานะของช่องสัญญาณในเซลล์วิทยุ 56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัญชีคำศัพท์

กระบวนการเริ่มการแฮนด์ออฟ	Handoff Initiation Process
การเข้ารหัสแบบ MPEG	Moving Picture Expert Group coding
การเข้ารหัสแบบปรับตัว	Adaptive Coding
การควบคุมการตอบรับการเรียกแบบเร็ว	Fast Call Admission Control
การแจกแจงแบบปัวส์ซง	Poisson Distribution
การแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียล	Exponential Distribution
การใช้ความถี่ซ้ำ	Frequency Reuse
การใช้ประโยชน์ทรัพยากร	Resource Utilization
การเซตอัป	Setup
การดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ	Handoff Call Dropping
การตอบรับการเรียก	Call Admission
การบล็อกการเรียกใหม่	New Call Blocking
การประวิงเวลา	Delay
การปล่อย	Release
การเรียก	Call
การแลกเปลี่ยน	Transaction
การแฮนด์ออฟอย่างเร็ว	Fast handoff
เกตเวย์	Gateway
เกรดของการให้บริการ	Grade of Service
ข้อตกลงในระดับบริการ	Service Level Agreement
ข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น	Uplink
ข่ายเชื่อมโยงขาลง	Downlink
ความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียก-ที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ	Handoff Call Dropping Probability
ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่	New Call Blocking Probability
ความน่าจะเป็นของการสิ้นสุดการต่อถึงกัน-แบบบังคับ	Connection Forced Termination Probability
ความน่าจะเป็นของการสูญเสีย	Loss Probability
ความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟ	Handoff probability
ความน่าจะเป็นในสถานะคงที่	Steady State Probability

ค่าเฉลี่ย	Mean
ค่าถ่วงน้ำหนักการแฮนด์ออฟ	Handoff weight
คุณภาพของบริการ	Quality of Service ย่อว่า QoS
โครงข่ายการลงทะเบียนภูมิภาค	Regional Registration Networks
โครงข่ายไร้สายเคลื่อนที่	Mobile Wireless Networks
โครงข่ายเซลลูลาร์ไอพี	Cellular IP networks
โครงข่ายบ้าน	Home Networks
โครงข่ายแบบประจำที่	Fixed-Network
โครงข่ายภายนอก	Foreign Agent Networks
โครงข่ายอินเทอร์เนตเคลื่อนที่	Mobile Internet networks
จุดรหัส	Code Point
จุดเริ่มเปลี่ยน	Threshold
ช่องสัญญาณกันแบบปรับตัว	Adaptive Guard Channel
ชั้นบริการ	Service class
ซิกแนลลิง	Signaling
โดเมนการลงทะเบียน	Registration Domain
ไดอะแกรมการเปลี่ยนสถานะ	State Diagram
ตัวควบคุมการตอบรับ	Admission Controller
ตัวแทน	Agent
ทราฟฟิก	Traffic
ที่อยู่ที่ได้รับการดูแล	Care Of Address
ที่อยู่ไอพี	IP Address
ที่อยู่ไอพีชั่วคราว	Foreign Agent IP Address
ที่อยู่ไอพีบ้าน	Home IP Address
โทโพโลยี	Topology
โนด	Node
โนดเคลื่อนที่	Mobile Node
โนดที่ต้องการติดต่อกับโนดเคลื่อนที่	Correspondent Node
บริการแพ็กเกตข้อมูล	Data Packet Service
บริการแบบประกัน	Assured Service
บริการแบบพยายามส่ง	Best-Effort Service
บริการแบบพิเศษ	Premium Service

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บริการอินเทอร์เนตเคลื่อนที่	Mobile Internet Service
บัฟเฟอร์ที่แบ่งเป็นส่วนได้	Partitioned Buffer
แบนด์วิดท์	Bandwidth
แบนด์วิดท์ประสิทธิผล	Effective Bandwidth
แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก-ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการแบ่งส่วนแบบไม่ยืดหยุ่น	Rigid Division – Based Call Admission Control Scheme
แบบแผนการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัด	Measurement-based Pre-assignment ย่อว่า MPr
แบบแผนการกำหนดทรัพยากร	Resource Allocation Scheme
แบบแผนการปรับข้อมูลตำแหน่งและสภาพเคลื่อนที่	Location/Mobility Update Scheme
แบบแผนช่องสัญญาณกัน	Guard Channel Scheme
แบบแผนช่องสัญญาณกันแบบส่วนย่อย	Fractional Guard Channel Scheme
แบบแผนแบบจำกัดจำนวน	Bounding Scheme
แบบแผนลำดับความสำคัญแบบตัด	Cutoff Priority Scheme
แบบแผนลำดับความสำคัญแบบแถวคอย	Queuing Priority Scheme
แบบรูป	Pattern
เปอร์เซนต์ของเวลาที่ใช้สอยได้	Percentage of Time Available
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์	E-mail
ผนึกข้อมูล	Encapsulate
พูลการสำรอง	Reservation Pool
โพรโทคอลทีซีพี/ไอพี	TCP/IP Protocol
มัลติมีเดีย	Multimedia
ไมโครหรือพิโคเซลลูลาร์	Micro/Picocellular
ไม่เป็นอนันต์	Non Infinity
ระดับการเรียก	Call Level
ระดับแพ็กเกต	Packet Level
ระบบโทรศัพท์วิทยุเคลื่อนที่เซลลูลาร์	Cellular Mobile Radio Telephone System
ระบบสื่อสารยุคที่ 3	Third Generation Communication System
เราเตอร์	Router
เราเตอร์แกนกลาง	Core Router

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เราเตอร์ขอบ	Edge Router
ลำดับความสำคัญ	Priority
ลำดับชั้น	Hierarchical
เวลาเฉลี่ยก่อนเกิดความล้มเหลว	Mean Time To Failure ย่อว่า MTTF
เวลาเฉลี่ยของการซ่อมแซม	Mean Time To Repair ย่อว่า MTTR
เวลาเฉลี่ยระหว่างความล้มเหลว	Mean Time Between Failures ย่อว่า MTBF
เวลาตอบสนอง	Response Time
เวลาแฝง	Latency
เวลายึดช่องสัญญาณ	Channel Holding Time
เวลาให้บริการการเรียก	Call Service Time
สถานีฐาน	Base Station
สเปกตรัมความถี่	Frequency Spectrum
สมรรถนะ	Performance
สายเคเบิลเส้นใยแสง	Optical Fiber Cable
สูตรการสูญเสียของเออร์แลง	Erlang Loss's Formula
หน่วยควบคุมอัตราการตอบรับท้องถิ่น	Local Admission Rate Controller ย่อว่า LARC
หน่วยจัดสรรแบนด์วิดท์	Bandwidth Broker
โหลด	Load
อัตราการสูญเสียแพ็กเกต	Packet Loss Rate
อัตราการออกจากระบบโดยธรรมชาติ	Natural Departure Rate
อัตราการออกจากระบบที่แท้จริง	Actual Departure Rate
อัตราข้อมูลในระดับของการประยุกต์ใช้งาน	Application-Level Data Rate
อัตราข้อมูลในระดับของระบบ	System-Level Data Rate
อัตราบิตผิดพลาดแปรค่าได้	Variable Bit Error Rate
อัตราบิตผิดพลาด	Bit Error Rate ย่อว่า BER
อัตราเฟรมวิดีโอ	Video Frame Rate
เอกพันธุ์	Homogenous
ไอพีแพ็กเกต	IP Packet
แฮนด์ออฟ	Handoff

บทที่ 1
บทนำ

ระบบการสื่อสารยุคที่ 3 (third generation communication system) ได้รับการกำหนดให้สามารถจัดหาบริการอินเทอร์เนตเคลื่อนที่ (mobility Internet service) และบริการข้อมูลแบบแพ็กเกต (data packet service) ส่งผลให้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ (cellular mobile radio telephone system) ต้องสามารถรองรับการรับส่งไอพีแพ็กเกต (IP packet) ได้ ดังนั้นโครงข่ายของเซลลูลาร์จึงมีแนวโน้มที่จะตั้งอยู่บนพื้นฐานของโครงข่ายอินเทอร์เนตเป็นโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ (mobile wireless Internet networks) หรือโครงข่ายไอพีเซลลูลาร์ (cellular IP networks) ซึ่งสามารถให้บริการได้หลากหลายขึ้น โดย UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) ได้กำหนดให้โครงข่ายอินเทอร์เนตเคลื่อนที่ในยุคที่ 3 สามารถรองรับบริการมัลติมีเดีย (multimedia) ด้วยชั้นบริการ (service class) 4 ชั้น ซึ่งจัดส่งในรูปของไอพีแพ็กเกต (IP packet) ที่มีลักษณะของ ทราฟฟิก (traffic) ที่แตกต่างกัน ดังนี้ [1], [2]

1. ชั้น conversation (low-delay data)

ชั้น conversation เป็นบริการแบบ connection oriented โดยมีค่าการประวิงประมาณ 20-50 ms และอัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate หรือ BER) ต่ำกว่า 10^{-3} เช่น เสียง, โทรศัพท์ภาพ เป็นต้น

2. ชั้น streaming (low-delay data)

ชั้น streaming เป็นบริการแบบ connection oriented ที่มีอัตราบิตแปรค่าได้ (Variable Bit Rate หรือ VBR) โดยมีค่าการประวิงประมาณ 50 ms, อัตราบิตข้อมูลสูงสุด 64/144/384/2048 kbps และมีค่า BER ต่ำกว่า 10^{-6} เช่น วิดีโอ เป็นต้น

3. ชั้น interactive (long constrained delay)

ชั้น interactive เป็นบริการแบบ connectionless โดยมีค่าการประวิงมากที่สุดประมาณ 300 ms และมีค่า BER ต่ำกว่า 10^{-6} เช่น อินเทอร์เนต, เกมโครงข่าย (network game) เป็นต้น

4. ชั้น background (unconstrained delay data)

ชั้น background เป็นบริการแบบ connectionless ซึ่งไม่คำนึงถึงค่าการประวิง โดยมีค่า BER ต่ำกว่า 10^{-8} เช่น ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail), SMS (Short Message Service) เป็นต้น

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่เกิดจากการขยายความสามารถของโครงข่ายอินเทอร์เนต โดยให้โนด (node) ของอินเทอร์เนตสามารถใช้งานได้เหมือนสถานีเคลื่อนที่ในโครงข่ายเซลลูลาร์ได้ โดยทั่วไปแล้วโครงข่ายอินเทอร์เนตมีโพรโทคอลทีซีพี/ไอพี (TCP/IP) เป็นโพรโทคอลที่ใช้ในการสื่อสาร ([3], [4]) ซึ่งโพรโทคอลทีซีพี/ไอพีเพียงอย่างเดียวไม่สามารถสนับสนุนการใช้งานแบบเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นจึงเกิดการวิจัยแบบแผนโพรโทคอลเพื่อรองรับการเคลื่อนที่ของโนดของอินเทอร์เนต ได้แก่ Mobile IP ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่กำหนดการทำงานในระดับชั้นโครงข่ายที่มีลักษณะเด่นแตกต่างจากโพรโทคอลทีซีพี/ไอพี คือ กำหนดให้โนดอินเทอร์เนตมีที่อยู่ไอพี (IP address) 2 หมายเลข ได้แก่ ที่อยู่ไอพีถาวรหรือที่อยู่บ้าน (home IP address) และที่อยู่ไอพีชั่วคราว (foreign agent IP address) ที่ได้จากโครงข่ายปัจจุบันที่โนดอินเทอร์เนตเคลื่อนที่ไปอยู่ โดยมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อให้โครงข่ายบ้าน (home network) ซึ่งเป็นโครงข่ายที่โนดเคลื่อนที่จดทะเบียนใช้งานสามารถรับส่งข่าวสารกับโนดเคลื่อนที่ได้ตรงกับตำแหน่งปัจจุบันที่โนดเคลื่อนที่อยู่ [5]

Mobile IP ได้กำหนดให้โนดเคลื่อนที่ต้องส่งข้อมูลปรับตำแหน่งที่อยู่ให้กับโครงข่ายบ้านทุกครั้งที่โนดเคลื่อนที่แฮนด์ออฟข้ามโครงข่ายภายนอก (foreign agent) ซึ่งในที่นี้การแฮนด์ออฟ (handoff) หมายถึงการที่การสื่อสารระหว่างโนดเคลื่อนที่กับสถานีฐาน (base station) แห่งหนึ่งถูกส่งมอบไปยังสถานีฐานอีกแห่งหนึ่งในระหว่างที่การเรียก (call) ยังไม่สิ้นสุด ข้อมูลการปรับตำแหน่งจะมีหมายเลขไอพีชั่วคราวบรรจุอยู่ด้วยเพื่อให้โครงข่ายบ้านจัดส่งแพ็กเกตข้อมูลมายังโครงข่ายภายนอกที่โนดเคลื่อนที่อยู่ในปัจจุบันได้อย่างถูกต้อง โนดเคลื่อนที่ไม่สามารถรับส่งแพ็กเกตข้อมูลได้จนกว่าการเซตอัป (set up) การต่อกับโครงข่ายบ้านจะเรียบร้อย [6], [7] ทำให้เกิดการประวิงเวลาในการส่งแพ็กเกตขึ้น ส่งผลกระทบต่อทราฟฟิกในชั้นบริการ conversation และชั้นบริการ streaming ที่ทนต่อการประวิงเวลาที่จำกัดอาจทำให้เกิดการสูญเสียแพ็กเกตและการสิ้นสุดการติดต่อของบริการทั้งสองได้ ดังนั้นทราฟฟิกของชั้นบริการทั้งสองจำเป็นต้องมีการแฮนด์ออฟที่เร็วพอเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียแพ็กเกต

การสนับสนุนการแฮนด์ออฟอย่างเร็ว (fast handoff) เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับโครงข่ายอินเทอร์เนตเคลื่อนที่ ระบบจะต้องมีแบบแผนการปรับข้อมูลตำแหน่งและสภาพเคลื่อนที่ (location/mobility update scheme) และแบบแผนการจัดสรรทรัพยากร (resource allocation scheme) ที่สามารถรองรับการแฮนด์ออฟอย่างเร็วนี้ ส่วนในกรณีที่โนดเคลื่อนที่แฮนด์ออฟบ่อยขึ้นจะส่งผลให้ต้องเซตอัปการติดต่อกับโครงข่ายบ้านบ่อยขึ้น ทำให้เกิดการส่งซิกแนลลิง (signaling) ในระบบมากขึ้นด้วย [8]

นอกจากนี้การรับส่งบริการมัลติมีเดียต้องการอัตราข้อมูลที่สูงขึ้น ส่งผลให้ต้องขยายการใช้งานของแบนด์วิดท์ (bandwidth) ซึ่งเป็นทรัพยากรของระบบที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงเกิดการใช้ความถี่

ซ้ำ (frequency reuse) ขึ้น โดยการใช้ความถี่ซ้ำในโครงข่ายอินเทอร์เนตเคลื่อนที่ได้รับการจัดให้อยู่ในรูปของสถาปัตยกรรมแบบไมโครหรือพิโคเซลลูลาร์ (micro/picocellular) สภาพแวดล้อมแบบนี้ทำให้มีอัตราการแฮนด์ออฟเพิ่มมากขึ้น [9] จากมุมมองของผู้ใช้งานมองว่าการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ (handoff call dropping) เป็นสิ่งที่ยอมรับไม่ได้มากกว่าการบล็อกการเรียกใหม่ (new call blocking) เพราะฉะนั้นในการตอบรับการเรียก (call admission) จึงมีการให้ลำดับความสำคัญ (priority) ของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟมากกว่าการเรียกใหม่ [10] ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการแฮนด์ออฟถือเป็นส่วนประกอบสำคัญในการสื่อสารอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ ซึ่งต้องมีการจัดการที่เหมาะสมเพื่อรักษาสภาพการต่อ , ลดช่วงเวลาของการขัดจังหวะการรับส่งบริการที่ดำเนินอยู่ และต้องมีการจัดสรรทรัพยากรที่สามารถรองรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์-ออฟที่เกิดขึ้นบ่อยได้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการจัดสรรทรัพยากรที่เหมาะสมกับโครงข่ายอินเทอร์เนตเคลื่อนที่ที่มีการนำแบบแผนการปรับตำแหน่งที่อยู่อย่างเร็วมาใช้ เนื่องจากแบบแผนการปรับตำแหน่งที่อยู่อย่างเร็วสามารถสนับสนุนการแฮนด์ออฟอย่างเร็วได้ โดยการจัดสรรทรัพยากรในวิทยานิพนธ์นี้ จะหมายถึง กระบวนการควบคุมการตอบรับการเรียก และกระบวนการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้แก่การเรียกที่ได้รับการตอบรับแล้ว นอกจากนี้ยังเน้นถึงการสนับสนุนและการให้ความสำคัญของการแฮนด์ออฟอย่างเร็วด้วย เป้าหมายสำคัญของงานวิจัย คือ เพื่อหาวิธีการจัดสรรทรัพยากรของโครงข่ายที่มีอยู่อย่างจำกัดมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเหมาะสมกับปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามายังระบบ พร้อมทั้งสามารถสนับสนุนการแฮนด์ออฟอย่างเร็วได้ แบบแผนการจัดสรรทรัพยากรที่เหมาะสมต้องสามารถลดความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้ ดังงานวิจัยที่ได้เคยมีมาในหัวข้อต่อไป

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Yu Cheng และ Weihua Zhuang ([8], [11]) เสนอการจัดสรรทรัพยากรของโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่บนพื้นฐานของโดเมนการลงทะเบียน (registration domain) ร่วมกับการควบคุมการตอบรับการเรียกแบบเร็ว (fast call admission control) พร้อมการจัดหาคุณภาพของบริการ (Quality of Service) ด้วยสถาปัตยกรรมแบบ DiffServ และเสนอการใช้สเปกตรัมความถี่ (frequency spectrum) ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงที่สุด โดยให้แบนด์วิดท์ของทราฟฟิกชนิด streaming สามารถปรับตัวได้ตามสภาวะการเรียกของโครงข่ายในขณะนั้น และนำแนวคิดของช่องสัญญาณกัน (guard channel) มาใช้ประกอบ ซึ่งจะมีการสำรองแบนด์วิดท์สำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ ผลของงานวิจัยสามารถสรุปได้ว่าการใช้ช่องสัญญาณกันทำให้ความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ (handoff call dropping probability) ในเซลล์ต่ำลง เมื่อพิจารณาเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ใช้ช่องสัญญาณกัน

เนื่องจากโครงข่ายไร้สายเคลื่อนที่เป็นโครงข่ายขนาดไมโครหรือพิโคเซลล์ ที่มีอัตราการแฮนด์ออฟมาก ดังนั้นแนวคิดของช่องสัญญาณกัน [12] ที่มีการสำรองแบนด์วิดท์ด้วยจำนวนคงที่ค่าหนึ่งจึงไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างเหมาะสมกับการเรียกในสภาวะโครงข่ายจริง ดังนั้นการสำรองช่องสัญญาณสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟแบบปรับตัว จึงเป็นแนวทางของวิทยานิพนธ์นี้ที่จะนำเสนอเพิ่มเติมลงไปในโครงข่ายแบบโดเมนการลงทะเบียน ซึ่งงานวิจัยที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการสำรองทรัพยากรสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟแบบปรับตัว ได้แก่

งานวิจัยของ Oliver T. W. Yu และ Victor C. M. Leung [13] ได้เสนอวิธีการหาช่องสัญญาณกันแบบปรับตัว (adaptive guard channel) ตามสภาวะของเซลล์ ซึ่งการหาช่องสัญญาณกันที่เหมาะสมทำได้โดยใช้ข่าวสารของเซลล์ที่สถานีเคลื่อนที่อยู่ในปัจจุบันและเซลล์ข้างเคียงมาคำนวณ ได้แก่ จำนวนของสถานีเคลื่อนที่ที่ทำงานอยู่ในเซลล์ข้างเคียง, กระบวนการเริ่มการแฮนด์ออฟ (handoff initiation process), แบบรูป (pattern) การเคลื่อนที่ของสถานีเคลื่อนที่ในรูปของความเร็วและทิศทาง, ขนาดของเซลล์ และระยะเวลาของการเรียกที่กำลังดำเนินอยู่ วิธีช่องสัญญาณกันแบบปรับตัวตามงานวิจัยนี้ พบว่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่ได้มีค่าต่ำกว่าวิธีการใช้ช่องสัญญาณกันแบบคงที่ แต่การใช้ข่าวสารจากสถานีข้างเคียงเพื่อนำมาคำนวณเป็นการเพิ่มซิกแนลลิง (signaling) แก่ระบบ โดยเฉพาะการนำมาใช้ในโครงข่ายที่มีการแบ่งเซลล์ให้มีขนาดเล็ก ซึ่งสถานีเคลื่อนที่ใช้เวลาอยู่ในเซลล์แต่ละเซลล์สั้นจึงเกิดการแฮนด์ออฟที่บ่อยขึ้น ทำให้การใช้วิธีนี้มีความซับซ้อนในการคำนวณและไม่สามารถทำงานได้ทัน

งานวิจัยของ Xiaoyuan Luo และคณะ [14], [15] ได้เสนอแบบแผนการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัด (Measurement-based Pre-assignment; MPr) เพื่อจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในโครงข่ายมัลติมีเดีย แบบแผนนี้จะมีการวัดปริมาณการเรียกของเซลล์วิทยุในช่วงเวลาหนึ่ง ได้แก่ จำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่เข้ามายังเซลล์วิทยุ และจำนวนการเรียกใหม่และการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่ได้รับการตอบรับจากเซลล์วิทยุ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาคำนวณหาช่องสัญญาณที่ต้องการสำรองสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเพื่อรักษาค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟไม่ให้เกินค่าที่รับประกันไว้กับผู้ใช้งาน จากงานวิจัยพบว่าการสำรองและการจัดสรรช่องสัญญาณตามแบบแผนการจัดสรรล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดเป็นวิธีการให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่สามารถรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟให้กับผู้ใช้บริการได้

1.3 แนวคิดที่นำเสนอ

วิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์ของโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ โดยจัดโครงข่ายอยู่ในรูปของโดเมนการลงทะเบียนแบบ DiffServ [8], [11] ซึ่งสามารถให้บริการแบบปรับตัวได้แก่ทราฟฟิกชั้น streaming

การควบคุมการตอบรับการเรียกในโดเมนการลงทะเบียนจะมีค่าจุดเปลี่ยนเพื่อตอบรับการเรียกใหม่ และมีการเพิ่มลำดับความสำคัญแก่การเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟโดยนำแบบแผนการจัดสรรล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดมาประยุกต์ใช้ [14], [15] ซึ่งการนำข่าวสารของสถานีฐานมาคำนวณหาค่าจำนวนช่องสัญญาณที่ต้องการสำรอง เพื่อรองรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเป็นวิธีที่ใช้เวลาการประมวลผลสั้นและไม่เพิ่มซิกแนลลิงแก่ระบบเนื่องจากการคำนวณช่องสัญญาณที่ต้องการสำรองสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟใช้การเก็บข้อมูลจำนวนการเรียกที่เกิดจากแฮนด์ออฟที่เข้ามายังเซลล์ และการเรียกที่ได้รับการตอบรับจากหน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกจากเซลล์ นอกจากนี้ยังสามารถจัดหาคุณภาพของการให้บริการในระดับการเรียก (Quality of Service) ด้วยการรับประกันความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ

การให้บริการแบบปรับตัวได้ของงานวิจัยนี้ คือ การจัดสรรแบนด์วิดท์ของโดเมนการลงทะเบียนให้แก่ทราฟฟิกชั้น streaming ที่สามารถปรับแบนด์วิดท์ได้ตามสภาวะการเรียกในโครงข่าย เพื่อช่วยให้ระบบสามารถลดความคับคั่งในโครงข่าย

1.4 วัตถุประสงค์

ออกแบบวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์แก่การเรียกที่ได้รับการตอบรับแล้วให้เหมาะสมกับปริมาณทราฟฟิกที่กำลังดำเนินอยู่ในโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ที่สนับสนุนการแฮนด์ออฟอย่างเร็ว พร้อมทั้งรับประกันระดับของการให้บริการแก่การเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ

1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการควบคุมการตอบรับการเรียก และการจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับจัดการบริการทราฟฟิกชั้น streaming ในโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ที่มีการนำโดเมนการลงทะเบียนมาใช้ และนำวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณตามแบบแผนการจัดสรรล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดมาใช้เพื่อให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟสูงกว่า

การเรียกใหม่ พร้อมทั้งรับประกันคุณภาพของบริการในระดับการเรียกด้วยการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ สมรรถนะของระบบสามารถวัดได้จากความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ (new call blocking probability), ความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ และค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรของระบบ (resource utilization) โดยเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่มีผู้เสนอไว้แล้ว

1.6 ขั้นตอนและวิธีในการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องและพื้นฐานความรู้ที่จะใช้ในการวิจัย
2. ศึกษาลักษณะของระบบโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ซึ่งสนับสนุนการแฮนด์ออฟอย่างเร็วได้ และลักษณะของทราฟฟิกที่ให้บริการในระบบ
3. ออกแบบแบบแผนการสรรทรัพยากรของระบบโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่
4. เขียนโปรแกรมทดสอบแบบแผนการจัดสรรตามวิธีที่ได้นำเสนอและแบบแผนที่ได้มีการเสนอมาก่อนหน้า
5. วิเคราะห์และประเมินผล เปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่ได้นำเสนอและวิธีก่อนหน้า
6. สรุป วิจารณ์ และรวบรวมข้อมูลทั้งหมด พร้อมทั้งจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

วิทยานิพนธ์นี้เสนอแบบแผนการจัดสรรทรัพยากรที่เหมาะสมให้กับโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ ในส่วนของการควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับการเรียกที่ได้รับการตอบรับอย่างเหมาะสมให้กับสภาวะทราฟฟิกในโครงข่ายขณะนั้น วิธีที่นำเสนอจะไม่เพิ่มซิกแนลลิงใดๆ ให้กับระบบเนื่องจากช่องสัญญาณที่สำรองสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของเซลล์วิทยุใดๆ คำนวณได้จากข้อมูลที่เก็บ ณ เซลล์วิทยุนั้น และยังทำให้ระบบมีสมรรถนะดีขึ้น เพราะสามารถรับประกันคุณภาพของบริการในระดับการเรียกของระบบได้ นอกจากนี้แบบแผนที่นำเสนอยังง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบสื่อสารอินเทอร์เนตเคลื่อนที่จริงอีกด้วย

บทที่ 2
ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอแบบแผนการจัดสรรทรัพยากรในโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่เพื่อสนับสนุนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟอย่างเร็ว และพิจารณาให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟสูงกว่าการเรียกใหม่ ดังนั้นในบทนี้ซึ่งว่าด้วยทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยจะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะและการทำงานของโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ โพรโทคอลที่ใช้ในโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ ในที่นี้จะอ้างอิง Mobile IP ซึ่งเป็นแบบแผนการสนับสนุนบริการเคลื่อนที่ในโครงข่ายอินเทอร์เนตที่มีชื่อเสียง การสนับสนุนการแฮนด์ออฟอย่างเร็วใช้แบบแผนการปรับตำแหน่งข้อมูลอย่างเร็วด้วยแนวคิดของโครงข่ายการลงทะเบียนภูมิภาค (regional registration networks) การวัดสมรรถนะ (performance) ของระบบโครงข่ายไร้สายเคลื่อนที่ รวมไปถึงวิธีการจัดหาคุณภาพของการให้บริการในโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ และสุดท้ายกล่าวถึงแบบแผนการให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ

2.1 โครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่

การสื่อสารผ่านโครงข่ายอินเทอร์เนตมีผู้นิยมใช้งานเป็นจำนวนมาก ทั้งเพื่อส่งไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อสืบค้นข้อมูล หรือเพื่อความบันเทิง โครงข่ายอินเทอร์เนตมีรูปแบบการทำงานภายใต้โพรโทคอลเดียวกัน คือ การใช้โพรโทคอลทีซีพี/ไอพีในโครงข่ายอินเทอร์เนตโครงข่ายหนึ่งประกอบไปด้วยโนดหรือคอมพิวเตอร์จำนวนมากต่อเข้ากับโครงข่ายด้วยเราเตอร์ (router) และโครงข่ายแต่ละโครงข่ายสามารถติดต่อกันได้โดยผ่านเกตเวย์ (gateway) โนดแต่ละโนดต้องมีที่อยู่ไอพีที่ไม่ซ้ำกับเครื่องอื่น เพื่อเป็นตัวชี้ในการรับส่งข้อมูลแบบแพ็กเกต [2], [3]

โครงข่ายอินเทอร์เนตในสมัยก่อนมีลักษณะเป็นโครงข่ายแบบประจำที่ (fixed-network) คือผู้ใช้งานเข้าสู่โครงข่ายจากคอมพิวเตอร์ที่ต่อ (connect) ทางกายภาพกับโครงข่ายด้วยสายสัญญาณทองแดง หรือสายเคเบิลเส้นใยแสง (optical fiber cable) ด้วยความนิยมในการใช้งานโครงข่ายอินเทอร์เนตที่มากขึ้น จึงได้มีการรวมเอาโครงข่ายอินเทอร์เนตเข้ากับโครงข่ายไร้สาย เพื่อขยายขอบเขตการใช้งานให้สามารถใช้งานอินเทอร์เนตได้ทุกที่ทุกเวลา โทรศัพท์เคลื่อนที่จึงไม่ได้ใช้เพื่อการสนทนาเพียงอย่างเดียว แต่สามารถรับส่งข้อมูลไอพีแพ็กเกตได้ด้วย โครงข่ายไร้สายจึงกลายเป็นโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ที่ผู้ใช้งานสามารถติดต่อกับโครงข่ายอินเทอร์เนตได้ในทุกสถานที่ที่สามารถรับสัญญาณจากโครงข่ายไร้สายเคลื่อนที่ (mobile wireless networks)

โดยพื้นฐานโครงข่ายไร้สายเคลื่อนที่มีการแบ่งพื้นที่ให้บริการออกเป็นเซลล์วิทยุย่อยๆ มี Mobile Switching Center (MSC) ทำหน้าที่จัดการและจัดสรรช่องสัญญาณให้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในการรวมโครงข่ายอินเทอร์เนตซึ่งคิดค้นมาเพื่อการใช้งานแบบอยู่กับที่เข้ากับโครงข่ายไร้สายเคลื่อนที่ โทรศัพท์เคลื่อนที่จะถูกมองเป็นโนดเคลื่อนที่ (mobile node) ซึ่งสามารถรับส่งไอพีแพ็กเกตได้ ในระยะแรกได้เกิดปัญหาของการติดต่อขึ้น เนื่องจากที่อยู่ไอพีที่ใช้สำหรับรับส่งข้อมูลเพียงหมายเลขเดียว ไม่สามารถทำให้ผู้ใช้ได้รับบริการที่ต่อเนื่องขณะเคลื่อนที่ได้ จึงเกิดการคิดค้นโพรโทคอลการสื่อสารข้อมูลที่สนับสนุนการเคลื่อนที่ของโนดได้

2.2 Mobile IP ([5] - [7])

Mobile IP เป็นโพรโทคอลที่ถูกคิดค้นขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการใช้บริการเคลื่อนที่ของโพรโทคอลทีซีพี/ไอพี ซึ่งได้เสนอให้โนดเคลื่อนที่แต่ละโนดมีที่อยู่ไอพีสองหมายเลข ได้แก่ ที่อยู่บ้านซึ่งเป็นที่อยู่ถาวรของโนดเคลื่อนที่ที่ได้รับจากโครงข่ายที่โนดเคลื่อนที่จดทะเบียนใช้บริการ หรือเรียกว่า โครงข่ายบ้าน และที่อยู่ที่ได้รับการดูแล (care of address) ซึ่งเป็นที่อยู่ชั่วคราวที่ได้รับจากโครงข่ายภายนอก (foreign network) ที่โนดเคลื่อนที่ติดต่อชั่วคราวเมื่อเคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้าน ในโครงข่ายหนึ่งโครงข่ายจะมีตัวแทน (agent) ติดต่อกับโครงข่ายอื่น การสนับสนุนบริการรับส่งข้อมูลเคลื่อนที่ของ Mobile IP สามารถอธิบายได้ดังนี้

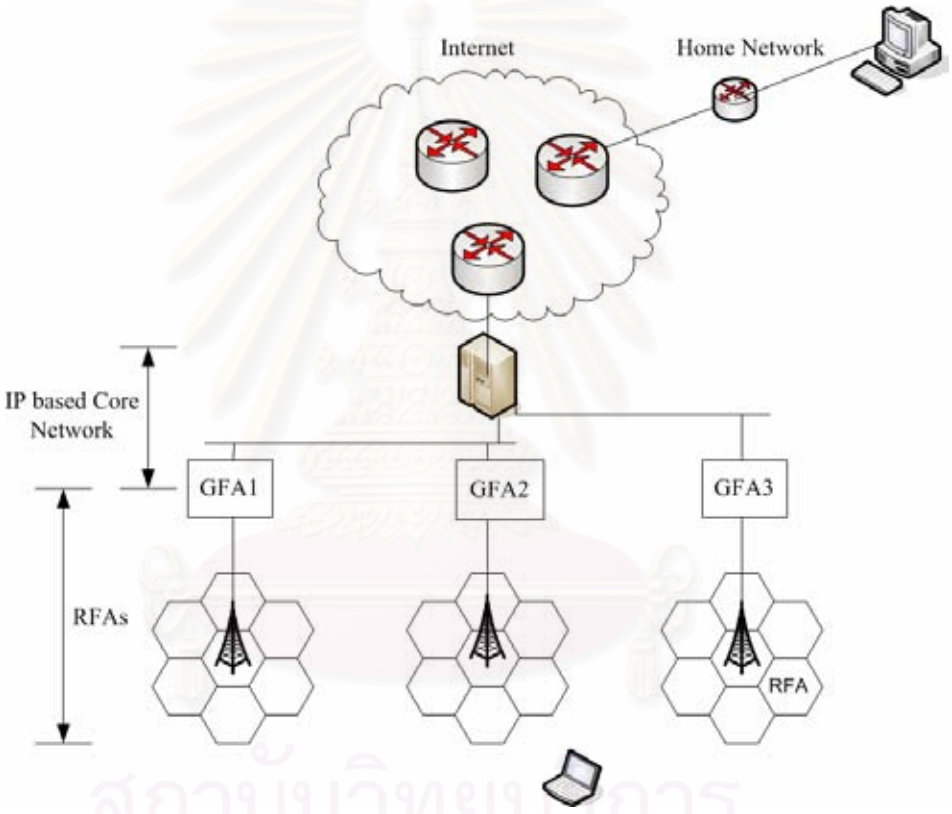
เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนออกจากโครงข่ายบ้านเข้าสู่โครงข่ายภายนอก โนดเคลื่อนที่ต้องลงทะเบียนแจ้งหมายเลขไอพีชั่วคราวที่ได้รับจากโครงข่ายภายนอกให้กับโครงข่ายบ้าน โดยผ่านตัวแทนภายนอก (foreign agent) ไปยังตัวแทนบ้าน (home agent) เพื่อให้ตัวแทนบ้านรู้ที่อยู่ปัจจุบันของโนดเคลื่อนที่ เมื่อตัวแทนบ้านรับคำขอลงทะเบียนแล้ว ตัวแทนบ้านจะสื่อสารกับโนดเคลื่อนที่ด้วยหมายเลขไอพีชั่วคราว ดังนั้นโนดที่ต้องการติดต่อกับโนดเคลื่อนที่ (correspondent node) ซึ่งรับรู้เพียงที่อยู่บ้านซึ่งเป็นที่อยู่ไอพีถาวรเท่านั้น ก็จะสามารถติดต่อกับโนดเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากข้อมูลที่ส่งไปหาโนดเคลื่อนที่จะถูกส่งไปยังโครงข่ายบ้านก่อน จากนั้นตัวแทนบ้านจะผนึกข้อมูล (encapsulate) ส่งไปยังที่อยู่ชั่วคราวที่โนดเคลื่อนที่แจ้งมา

อย่างไรก็ตามการนำ Mobile IP มาใช้ในระบบโครงข่ายไร้สายเคลื่อนที่จะทำให้ระบบมีทราฟฟิกของสัญญาณซิกแนลลิงมากขึ้นเนื่องจากการทำงานของระบบต้องเพิ่มขั้นตอนในการปรับสภาพตำแหน่งของการเคลื่อนที่ เพราะเมื่อโนดเคลื่อนที่ข้ามโครงข่าย หรือ เซลล์วิทยุ หรือที่เรียกว่าแฮนด์ออฟข้ามโครงข่ายทุกครั้ง โนดเคลื่อนที่จะลงทะเบียนแจ้งหมายเลขไอพีชั่วคราวที่ได้รับจากโครงข่ายภายนอกที่อยู่ในปัจจุบันให้กับโครงข่ายบ้าน จึงไม่เป็นที่ยอมรับในการนำมาใช้ส่งข้อมูลแบบเวลาจริง เนื่องจากอาจจะทำให้สูญเสียแพ็กเกตบางประเภทที่ทนต่อค่าประวิงเวลาได้อย่างจำกัด เนื่องจากต้องรอกระบวนการลงทะเบียนกับโครงข่ายบ้านก่อนจึงจะดำเนินการส่งต่อได้

ดังนั้นโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่จึงต้องการการแฮนด์ออฟอย่างเร็วที่ไวพอ เพื่อไม่ทำให้เกิดการสูญเสียแพ็กเกตที่ไวต่อการประวิงเวลาเหล่านั้น

2.3 โครงข่ายการลงทะเบียนภูมิภาค [16]

โครงข่ายการลงทะเบียนภูมิภาคถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสนับสนุนการแฮนด์ออฟอย่างเร็วของโนดเคลื่อนที่ในโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ โดยมีลักษณะของการจัดโครงข่ายเป็นโทโพโลยี (topology) แบบลำดับชั้น (hierarchical) ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การจัดโครงข่ายตามแนวคิดของโครงข่ายการลงทะเบียนภูมิภาค

การจัดโครงข่ายแบบลำดับชั้นประกอบไปด้วยชั้นการทำงาน 2 ระดับ ได้แก่ระดับสูงสุดได้แก่ เกตเวย์ตัวแทนภายนอก (Gateway Foreign Agent: GFA) ที่ประกอบไปด้วยกลุ่มของตัวแทนภายนอกภูมิภาค (Regional Foreign Agent: RFA) ที่อยู่ในเซลล์วิทยุหลายเซลล์ที่มีพื้นที่ติดต่อกันเป็นระดับล่าง เกตเวย์ตัวแทนภายนอกทำหน้าที่เป็นเราเตอร์ขอบให้กับโครงข่ายบ้านติดต่อกับเกตเวย์ตัวแทนภายนอกอื่น เกตเวย์ตัวแทนหนึ่งตัวและกลุ่มของตัวแทนภายนอกประจำภาครวมเรียกว่าโดเมนการลงทะเบียนหนึ่งโดเมน

เมื่อโนดเคลื่อนที่แฮนด์ออฟข้ามโดเมนการลงทะเบียน โนดเคลื่อนที่จะต้องลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านโดยแจ้งที่อยู่ไอพีที่ได้รับจากเกตเวย์ตัวแทนภายนอกใช้เป็นที่อยู่ที่ได้รับการดูแลเพื่อติดต่อกับโครงข่ายบ้าน หลังจากลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านแล้ว ถ้าโนดเคลื่อนที่แฮนด์ออฟข้ามเซลล์จากตัวแทนภายนอกประจำภาคหนึ่งไปยังอีกตัวแทนหนึ่งซึ่งอยู่ในโดเมนการลงทะเบียนเดียวกัน โนดเคลื่อนที่ไม่จำเป็นต้องลงทะเบียนแจ้งการปรับตำแหน่งกับตัวแทนบ้านอีก เพียงแต่ส่งการปรับตำแหน่งที่อยู่ไปยังเกตเวย์ตัวแทนภายนอกเท่านั้น เมื่อมีแพ็กเกตจากโครงข่ายบ้านมายังโนดเคลื่อนที่ แพ็กเกตจะถูกส่งมาที่เกตเวย์ตัวแทนภายนอก จากนั้นเกตเวย์ตัวแทนภายนอกจะทำหน้าที่จัดส่งแพ็กเกตไปยังตัวแทนภายนอกที่โนดเคลื่อนที่ติดต่ออยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นจากคุณสมบัติของการจัดการปรับตำแหน่งข้อมูลของโนดเคลื่อนที่อย่างเร็ว จึงทำให้โดเมนการลงทะเบียนเป็นแบบแผนการจัดกลุ่มเซลล์ที่สนับสนุนการแฮนด์ออฟอย่างเร็วได้ และยังส่งผลดีต่อการลดปริมาณการส่งสัญญาณซิกแนลลิงในโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ได้

2.4 การวัดสมรรถนะของการให้บริการ

การวัดสมรรถนะของการให้บริการเป็นเครื่องมือบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของระบบการให้บริการ คุณภาพของการให้บริการจะเป็นเครื่องมือวัดความสามารถในการให้บริการของระบบอินเทอร์เนต ซึ่งสมรรถนะของการให้บริการอินเทอร์เนตนิยมวัดในระดับแพ็กเกต (packet level) โครงข่ายไร้สายใช้เกรดของการให้บริการ (Grade of Service: GoS) หรือ อัตราการเรียกไม่ติด เป็นเครื่องมือวัดสมรรถนะของระบบโครงข่าย ซึ่งเป็นการวัดคุณภาพของการให้บริการในระดับการเรียก (call level) ดังนั้นคุณภาพของการให้บริการของโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่จึงสามารถวัดได้จากคุณภาพของการให้บริการโครงข่ายอินเทอร์เนตกับชั้นของบริการโครงข่ายไร้สาย ดังต่อไปนี้

2.4.1 คุณภาพของการให้บริการในโครงข่ายอินเทอร์เนต

คุณภาพของการให้บริการในโครงข่ายอินเทอร์เนต คือ คุณภาพของการรับส่งแพ็กเกตข้อมูลในระดับชั้นโครงข่ายซึ่งสามารถวัดได้จาก [17]

- ค่าประวิงเวลา (delay) หมายถึง เวลาที่ข้อความหนึ่งข้อความจะถูกส่ง
- เวลาตอบสนอง (response time) หมายถึง เวลาทั้งหมดนับตั้งแต่การร้องขอการส่งจนถึงเวลาที่ใช้เพื่อตอบผู้รับ
- Jitter หมายถึง ค่าแปรผันของการประวิงเวลา หรือของเวลาตอบสนอง

- อัตราข้อมูลในระดับของระบบ (system-level data rate) หมายถึง แบนด์วิดท์ที่ต้องการ หรือ แบนด์วิดท์ที่ใช้สอย ซึ่งชี้วัดในรูปของบิตหรือไบต์ในหนึ่งวินาที
- อัตราข้อมูลในระดับของการประยุกต์ใช้งาน (application-level data rate) หมายถึง แบนด์วิดท์ที่ต้องการ หรือ แบนด์วิดท์ที่ใช้สอย ในหน่วยของการประยุกต์ใช้งาน เช่น อัตราเฟรมวิดีโอ (video frame rate)
- อัตราการติดต่อ (transaction) หมายถึง จำนวนของการปฏิบัติงานที่ร้องขอหรือกระทำต่อหนึ่งวินาที
- เวลาเฉลี่ยก่อนเกิดความล้มเหลว (Mean Time To Failure: MTTF) หมายถึง เวลาที่ใช้งานได้ก่อนเกิดความล้มเหลว
- เวลาเฉลี่ยของการซ่อมแซม (Mean Time To Repair: MTTR) หมายถึง เวลาตั้งแต่เกิดความล้มเหลวจนเริ่มการปฏิบัติการต่อไปได้
- เวลาเฉลี่ยระหว่างความล้มเหลว (Mean Time Between Failures: MTBF) โดย MTBF = MTTF+MTTR
- เปอร์เซนต์ของเวลาที่ใช้สอยได้ (percentage of time available) หมายถึง ความใช้สอยได้ของการเข้าถึงข่ายเชื่อมโยงจากผู้ใช้ถึงผู้ให้บริการ
- อัตราการสูญเสียแพ็กเกต (packet loss rate) หมายถึง สัดส่วนของจำนวนแพ็กเกตที่ไม่ได้ถูกรับ อันเนื่องมาจากความคับคั่งในโครงข่าย ฯลฯ กับจำนวนแพ็กเกตที่ส่งทั้งหมด
- อัตราความผิดพลาดบิต (bit error rate) หมายถึง สัดส่วนของจำนวนแพ็กเกตที่ได้รับอย่างผิดพลาดในระบบการส่งในโครงข่าย กับจำนวนแพ็กเกตที่ส่งทั้งหมด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.2 เกรดของการให้บริการในโครงข่ายไร้สาย [18]

สมรรถนะของการให้บริการโครงข่ายไร้สายที่นิยมวัดจากเกรดของการให้บริการ ได้แก่

- ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ หมายถึง สัดส่วนของจำนวนการเรียกใหม่ที่ถูกบล็อกเนื่องมาจากระบบไม่มีทรัพยากรเพียงพอที่จะให้บริการการเรียกใหม่เทียบกับจำนวนการเรียกใหม่ทั้งหมดที่เข้ามายังระบบ
- ความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ หมายถึง สัดส่วนของจำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่ถูกดร็อปเนื่องจากระบบไม่มีทรัพยากรเพียงพอที่จะรองรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้เทียบกับจำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบ
- ความน่าจะเป็นของการสิ้นสุดการต่อถึงกันแบบบังคับ (connection force termination probability) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่การต่อถึงกันสายหนึ่งถูกบังคับให้สิ้นสุดการใช้งานระบบที่จุดใดจุดหนึ่ง

2.5 วิธีการจัดหาคุณภาพของการให้บริการโครงข่ายอินเทอร์เนต

โครงข่ายอินเทอร์เนตสามารถจัดหาคุณภาพของการให้บริการได้ 2 วิธี ได้แก่ IntServ และ DiffServ ดังต่อไปนี้ [17]

2.5.1 IntServ (Integrated Service)

วิธีนี้ใช้ RSVP (Resource Reservation Protocol) สำหรับส่งซิกแนลลิงเพื่อจัดสรรทรัพยากรในโนดแต่ละโนดตลอดเส้นทางการไหลของทราฟฟิก ดังนั้นเมื่อสถานีเคลื่อนที่เปลี่ยนจุดติดต่อใหม่ จำเป็นต้องมีการจองทรัพยากรตลอดเส้นทางการไหลของทราฟฟิกใหม่ ทำให้เกิดเวลาแฝง (latency) ในระบบ เนื่องจากจำเป็นต้องส่งซิกแนลลิงเพื่อจองทรัพยากรในเส้นทางทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนจุดติดต่อ ดังนั้น IntServ จึงไม่เหมาะสมกับโครงข่ายที่ใช้การแฮนด์ออฟอย่างเร็ว นอกจากนี้ซิกแนลลิงที่เพิ่มขึ้นยังเป็นการลดการใช้ประโยชน์ของแบนด์วิดท์อีกด้วย

2.5.2 DiffServ (Differentiated Service)

การจัดหาคุณภาพของการให้บริการแบบ DiffServ คือ แพ็กเกตของทราฟฟิกได้รับการทำเครื่องหมายจุดรหัส (code point) ในเฮดเดอร์ แพ็กเกตที่มีจุดรหัสแบบเดียวกันจะได้รับบริการใน

การจัดส่งแพ็กเกตจากเราเตอร์หรือสวิตซ์ที่เหมือนกัน ในโดเมน DiffServ ทราฟฟิกได้รับการบริการ 3 แบบ ได้แก่ บริการแบบพิเศษ (premium service) บริการแบบประกัน (assured service) และบริการแบบพยายามส่ง (best-effort service) ระบบให้บริการทราฟฟิกแต่ละแบบด้วยพฤติกรรมการไหลของแพ็กเกตใน hop ที่แตกต่างกัน เรียกว่ามี Per Hop Behavior (PHB) ที่ต่างกัน ดังนี้

ในบริการแบบพิเศษ PHB มีลักษณะการสูญเสียและเวลาแฝงต่ำ มีการรับประกันแบนด์วิดท์ตลอดเวลาส่งในโดเมน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคุณลักษณะของทราฟฟิกในชั้นบริการของระบบสื่อสารยุคที่ 3 ซึ่งกำหนดโดย UMTS [1], [20] บริการแบบพิเศษนี้จะสามารถรองรับทราฟฟิกชั้นบริการ ได้แก่ ทราฟฟิกเสียงพูด ได้

ในบริการแบบประกัน PHB มีลักษณะในการให้บริการได้หลายระดับ โดยแพ็กเกตในระดับของบริการที่ต่างกันจะมีความน่าจะเป็นของการสูญเสีย (loss probability) ต่างกัน หน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกทำหน้าที่จัดหาความจุให้แก่บริการในแต่ละระดับ ซึ่งบริการชนิดนี้สามารถนำไปให้บริการแก่บริการของทราฟฟิกของ UMTS ในชั้น streaming ได้ เช่น ทราฟฟิกของ audio/video streaming

บริการแบบพยายามส่ง ให้บริการแก่ทราฟฟิกที่นอกเหนือจากบริการ 2 ประเภทข้างต้น โดยนำมาให้บริการแก่ทราฟฟิกชั้น interactive เช่น web browsing และชั้น background เช่น ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์

2.6 แบบแผนการให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ

การเรียกที่เข้ามาในโครงข่ายไร้สายประกอบด้วยการเรียกที่เกิดจากการเรียกใหม่และการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ จากมุมมองของผู้ใช้งานมองว่าการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเป็นสิ่งที่ยอมรับไม่ได้มากกว่าการบล็อกการเรียกใหม่ ดังนั้นในการตอบรับการเรียกจึงมีการให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟมากกว่าการเรียกใหม่ แบบแผนที่ใช้ในการให้ลำดับความสำคัญมีหลายแบบแผนด้วยกันแต่สามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 แบบแผน ดังนี้ [21]

1. แบบแผนช่องสัญญาณกัน (guard channel scheme)

ลักษณะของแบบแผนนี้ คือ ช่องสัญญาณบางช่องจะถูกกันไว้สำหรับการเรียกที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่าการเรียกที่เข้ามาในระบบขณะนั้น ซึ่งแบ่งออกเป็นแบบแผนย่อยๆ ได้ 4 แบบแผน คือ

1.1 แบบแผนลำดับความสำคัญแบบตัด (cutoff priority scheme)

แบบแผนนี้เป็นการกันช่องสัญญาณไว้ให้กับการเรียกที่ขึ้นกับลำดับความสำคัญ โดยการเรียกที่มีลำดับความสำคัญสูงๆ จะได้รับการกันช่องสัญญาณไว้ให้การเรียกนั้นใช้งานได้

มากกว่าการเรียกที่มีลำดับความสำคัญรองลงมา เมื่อช่องสัญญาณเหล่านี้ถูกยกเลิกก็จะกลับมาเป็นช่องสัญญาณทั่วไป

1.2 แบบแผนช่องสัญญาณกันแบบส่วนย่อย (fractional guard channel scheme)

การเรียกจะได้รับการตอบรับด้วยความน่าจะเป็นที่คงที่ขึ้นกับลำดับความสำคัญ โดยการเรียกที่มีลำดับความสำคัญสูงก็จะมีโอกาสที่จะได้รับการตอบรับสูงกว่าการเรียกที่มีลำดับความสำคัญรองลงมา และโอกาสในการตอบรับขึ้นกับจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้งานอยู่ในขณะนั้น พบว่าแบบแผนนี้ใช้ได้ทั่วไปมากกว่าแบบแผนลำดับความสำคัญแบบตัด

1.3 แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ตั้งบนพื้นฐานของการแบ่งส่วนแบบไม่ยืดหยุ่น (rigid division – based call admission control scheme)

แบบแผนนี้เป็นการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นกลุ่มๆ ตามลำดับความสำคัญของการเรียกและเมื่อช่องสัญญาณนั้นถูกยกเลิกก็จะกลับมาเป็นช่องสัญญาณในกลุ่มเดิม

1.4 แบบแผนแบบแผนจำกัดจำนวน (bounding scheme)

แบบแผนนี้จำกัดจำนวนการเรียกที่จะได้รับการตอบรับเข้าไปในระบบ โดยการเรียกที่มีลำดับความสำคัญสูงจะมีจำนวนการเรียกที่จะได้รับการตอบรับเข้าไปในระบบมากกว่าการเรียกที่มีลำดับความสำคัญรองลงมา

2. แบบแผนลำดับความสำคัญแบบแถวคอย (queuing priority scheme)

การเรียกจะได้รับการตอบรับเมื่อมีช่องสัญญาณว่างพอที่จะตอบรับ แต่ถ้าช่องสัญญาณไม่พอการเรียกจะต้องเข้าแถวคอยไว้ เมื่อมีช่องสัญญาณว่างการเรียกที่เข้าแถวคอยก็จะได้รับการตอบรับ โดยการเรียกที่มีลำดับความสำคัญต่ำจะถูกบล็อกมากกว่าการเรียกที่มีลำดับความสำคัญสูงโดยไม่มีการเข้าแถวคอย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่เสนอ

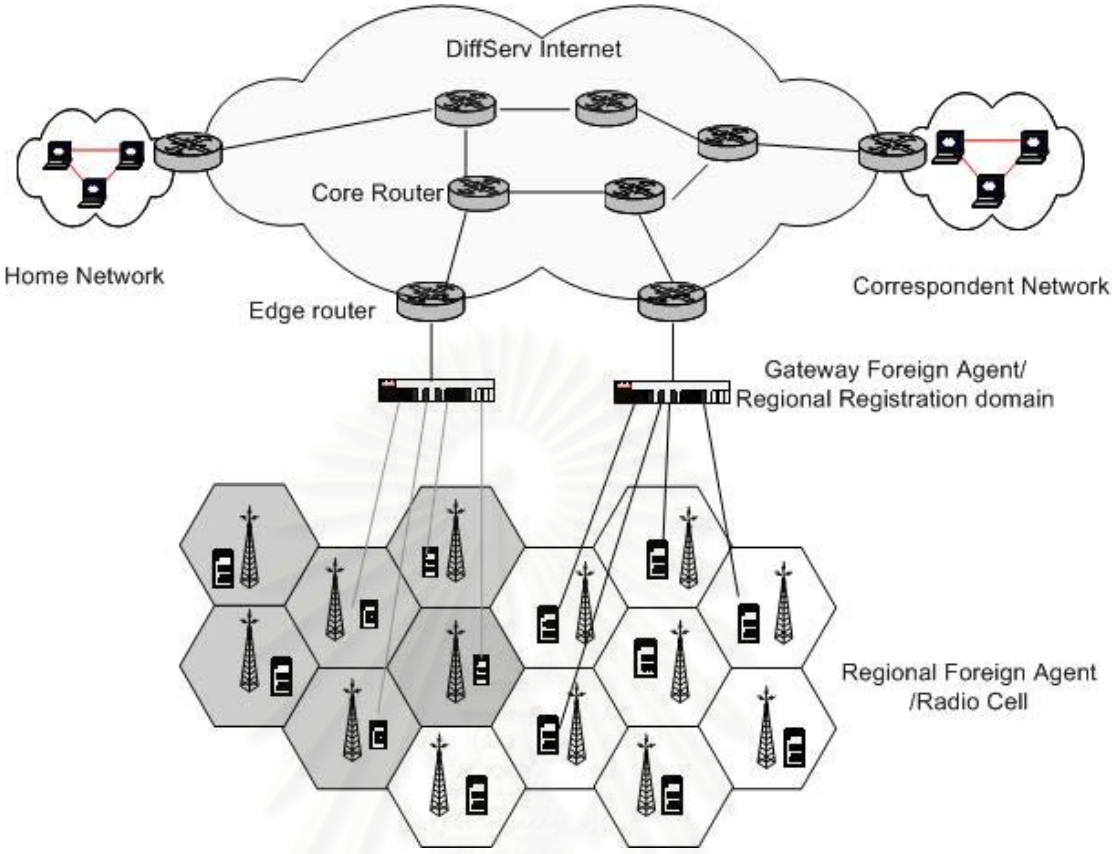
วิทยานิพนธ์นี้เสนอแบบแผนการจัดสรรทรัพยากรเพื่อสนับสนุนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟอย่างเร็วของโนดเคลื่อนที่ในโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ แบบแผนที่ออกแบบขึ้นสามารถแบ่งส่วนการทำงานแยกกันเป็น 2 ส่วน ได้แก่ แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกของโครงข่าย และแบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้แก่การเรียกที่ได้รับการตอบรับจากโครงข่าย โดยทั้งหมดได้รับการออกแบบเพื่อใช้งานร่วมกับแบบแผนการปรับข้อมูลตำแหน่งอย่างเร็วบนแนวคิดของโครงข่ายการลงทะเบียนภูมิภาคได้

แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกของโนดเคลื่อนที่ที่ออกแบบขึ้นพิจารณาลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟมากกว่าการเรียกใหม่ เพราะคำนึงจากมุมมองของผู้ใช้งาน ในกรณีที่โครงข่ายไม่มีทรัพยากรเพียงพอที่จะรองรับการเรียก การดร็อปการเรียกที่กำลังดำเนินอยู่เนื่องจากการแฮนด์ออฟเป็นสิ่งที่ผู้ใช้งานไม่พึงปรารถนามากกว่าการบล็อกการเรียกใหม่ การให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่นำมาใช้วิทยานิพนธ์นี้เป็นแนวคิดที่สามารถรับประกันระดับการให้บริการแก่ผู้ใช้งานด้วยการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ นอกจากนี้ในส่วนของแบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้แก่การเรียกของโนดเคลื่อนที่ประเภทบริการแบบประกัน ซึ่งมีทราฟฟิกเป็นแบบ streaming จะมีลักษณะแบบปรับตัวได้ โดยสามารถปรับแบนด์วิดท์ที่ให้บริการได้ตามสภาวะความคับคั่งของทราฟฟิกในโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่

3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองของโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ซึ่งใช้ในการศึกษาเป็นโครงข่ายการลงทะเบียนภูมิภาคซึ่งมีการจัดหาคุณภาพของการให้บริการแบบ DiffServ โครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่จึงประกอบไปด้วยโดเมนการลงทะเบียนหลายโดเมน และในโดเมนการลงทะเบียนหนึ่งโดเมนมีการจัดกลุ่มของเซลล์วิทยุที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน

เนื่องจากโครงข่ายมีการจัดหาคุณภาพของการให้บริการแบบ DiffServ จึงเพิ่มหน้าที่การทำงานของโครงข่าย DiffServ เข้าไปในโครงข่ายด้วย [8] ดังรูปที่ 3.1 เราเตอร์ทุกตัวภายในโครงข่ายเป็นเราเตอร์ DiffServ และแบ่งเป็น 2 แบบ ตามหน้าที่การทำงาน ได้แก่ เราเตอร์แกนกลาง (core router) และเราเตอร์ขอบ (edge router)



รูปที่ 3.1 โครงข่ายการลงทะเบียนภูมิภาคซึ่งมีการจัดหาคุณภาพของบริการเป็นแบบ DiffServ

ในระดับโครงข่ายมีเราเตอร์แกนกลาง ทำหน้าที่ประมวลผลชุดของแพ็กเกตที่มาจากเราเตอร์ขอบด้วยอัตราเร็วสูง เราเตอร์ขอบทำหน้าที่แบ่งทราฟฟิก โดยดูจากเฮดเดอร์ TCP/IP และจัดการการไหลให้กับทราฟฟิกตามลักษณะที่กำหนดไว้ในข้อตกลงในระดับบริการ (Service Level Agreement)

ในระดับโดเมนการลงทะเบียนมีเราเตอร์ขอบที่ต่อกับเกตเวย์ตัวแทนภายนอกของโครงข่ายและหน่วยจัดสรรแบนด์วิดท์ (bandwidth broker) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการตอบรับการเรียกและจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับการเรียกในโดเมนการลงทะเบียน

ในภูมิภาคมีเกตเวย์ภูมิภาคที่มีหน่วยควบคุมอัตราการตอบรับท้องถิ่น (Local Admission Rate Controller; LARC) ทำหน้าที่จัดการควบคุมการตอบรับและจัดสรรแบนด์วิดท์ในเซลล์วิทยุแต่ละเซลล์ ซึ่งเป็นการควบคุมทั้งข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (uplink) และข่ายเชื่อมโยงขาลง (downlink) โดยหน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นทำหน้าที่ตรวจสอบจำนวนแพ็กเกตในแถวคอย เพื่อทราบถึงปริมาณโหลดของโครงข่ายในขณะนั้น

ตัวควบคุมการตอบรับ (admission controller) ของโครงข่ายถูกสร้างขึ้นภายใต้สมมติฐานที่ว่า การเรียกในชั้นบริการเดียวกันมีลักษณะทราฟฟิกแบบเดียวกัน และการให้บริการของทราฟฟิกแต่ละชั้นบริการที่เข้ามาในโดเมนจะแบ่งแยกเป็นสัดส่วนตามชั้นบริการของทราฟฟิก ประเภทของบริการที่ใช้ในการจำลองแบบ คือ บริการแบบประกัน ซึ่งรองรับทราฟฟิกของชั้น streaming ที่เป็นทราฟฟิกที่ไม่ต้องการบริการแบบเวลาจริงที่เข้มงวดในการจัดส่ง แต่ต้องการการรับประกันอัตราส่งที่ต่ำที่สุด ซึ่งทราฟฟิกชั้นนี้ ได้แก่ ข้อมูลของแฟ้มข้อมูลวิดีโอหรือออดิโอ ข้อมูลเหล่านี้ได้รับการเข้ารหัสแบบปรับตัว (adaptive coding) เช่น การเข้ารหัสแบบ MPEG (Moving Picture Expert Group coding) การเข้ารหัสแบบปรับตัว หมายถึง การเข้ารหัสข่าวสารเป็นแบบลำดับชั้น ประกอบไปด้วย ชั้นพื้นฐานที่บรรจุข่าวสารพื้นฐาน และชั้นขยายที่มีข่าวสารเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มรายละเอียดแก่ข้อมูล เมื่อโครงข่ายอยู่ในสภาวะคับคั่ง เช่น มีผู้ใช้ในโครงข่ายมาก บริการแบบประกันสามารถลดการใช้ทรัพยากรของระบบได้ โดยการลดแบนด์วิดท์ลงเพื่อส่งข่าวสารเฉพาะชั้นพื้นฐาน ซึ่งจะได้รับคุณภาพของบริการที่ต่ำลง แต่ทำให้ผู้ใช้รายอื่นสามารถเข้าถึงระบบได้

ทรัพยากรของระบบในวิทยานิพนธ์ หมายถึง จำนวนช่องสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ การเรียกหนึ่งการเรียกใช้จำนวนช่องสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุจำนวนหนึ่ง ดังนั้นการลดแบนด์วิดท์ของการเรียก จึงหมายถึง การลดจำนวนช่องสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุของการเรียกลงนั่นเอง

3.2 แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ

แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ออกแบบขึ้นเพื่อใช้กับโครงข่ายการลงทะเบียนภูมิภาค ประกอบไปด้วยวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ระดับชั้น 2 ระดับชั้น คือ ที่ชั้นเกตเวย์ของโดเมนการลงทะเบียนที่มีหน่วยจัดสรรแบนด์วิดท์ทำหน้าที่ตอบรับการเรียกที่เข้ามายังโดเมน และที่ชั้นเกตเวย์ของเซลล์วิทยุที่มีหน่วย หน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นทำหน้าที่ตอบรับการเรียกที่เข้ามายังเซลล์ ดังต่อไปนี้

3.2.1 วิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ระดับโดเมนการลงทะเบียน

การควบคุมการตอบรับการเรียกที่โดเมนการลงทะเบียนเป็นหน้าที่ของหน่วยจัดสรรแบนด์วิดท์ เมื่อมีโนดเคลื่อนที่เข้ามายังโดเมนการลงทะเบียนครั้งแรก นอกจากจะต้องลงทะเบียนผ่าน เกตเวย์ตัวแทนภายนอกของโดเมนการลงทะเบียนไปยังโครงข่ายบ้านแล้ว เมื่อโนดเคลื่อนที่ต้องการขอใช้ช่องสัญญาณเพื่อรับส่งแพ็กเกต โนดเคลื่อนที่ต้องร้องขอการตอบรับการเรียกจากหน่วยจัดสรรแบนด์วิดท์ก่อน แล้วจึงจะได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณให้

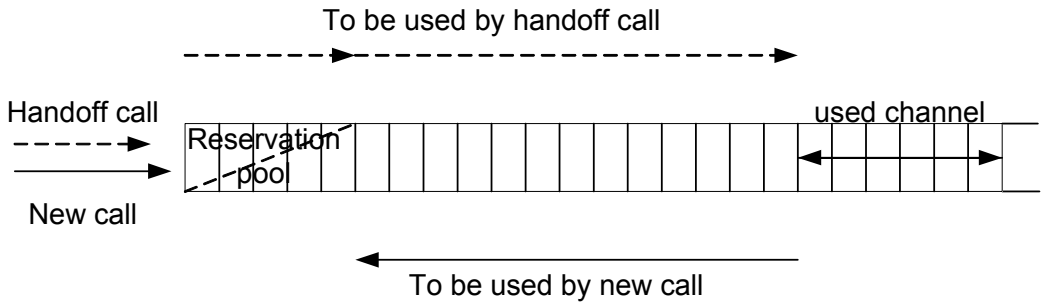
ในกระบวนการควบคุมการตอบรับการเรียก ณ ระดับโดเมนการลงทะเบียนจะมีการพิจารณาค่าจุดเริ่มเปลี่ยน (threshold) ที่กำหนดไว้สำหรับรับการเรียกใหม่ [8], [11] เพื่อลดความคับคั่งของโดเมนในกรณีที่มีการเรียกที่ต้องการแฮนด์ออฟข้ามเซลล์วิทยุภายในโดเมน กล่าวคือ เมื่อมีการเรียกใหม่ที่เกิดขึ้นในโดเมนการลงทะเบียน หน่วยจัดสรรแบนด์วิดท์จะตอบรับการเรียกใหม่ก็ต่อเมื่อจำนวนช่องสัญญาณในโครงข่าย ณ ปัจจุบัน รวมกับจำนวนช่องสัญญาณที่มีการเรียกที่กำลังดำเนินการอยู่ ยังไม่เกินค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ตั้งไว้ หลังจากที่โนดเคลื่อนที่ได้รับการตอบรับการเรียกจากหน่วยจัดสรรแบนด์วิดท์แล้ว เมื่อโนดเคลื่อนที่แฮนด์ออฟการเรียกจากเกตเวย์ตัวแทนภายนอกหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่ง โนดเคลื่อนที่นี้ไม่จำเป็นต้องร้องขอการตอบรับการเรียกจากหน่วยจัดสรรแบนด์วิดท์อีก

3.2.2 วิธีการควบคุมการเรียกที่ระดับเซลล์วิทยุ

การควบคุมการตอบรับการเรียกที่เซลล์วิทยุเป็นหน้าที่ของหน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นที่อยู่ในเกตเวย์ของเซลล์วิทยุแต่ละเซลล์ หน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกในเซลล์วิทยุนี้จะทำงานอย่างเป็นอิสระต่อกันในเซลล์แต่ละเซลล์ การควบคุมการตอบรับการเรียกในระดับเซลล์วิทยุที่ออกแบบขึ้นจะมีการให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟสูงกว่าการเรียกใหม่ด้วยการนำวิธีการสำรองช่องสัญญาณล่วงหน้าแบบพลวัตที่ได้มีการนำเสนอเพื่อใช้กับระบบสื่อสารยุคที่ 2 สำหรับ ทราฟฟิกการสนทนามาใช้ [14], [15]

วิธีการสำรองช่องสัญญาณล่วงหน้า คือ วิธีการให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่มีเกิดจากการแฮนด์ออฟแบบที่ระบบสามารถรับประกันระดับของการให้บริการแก่ผู้ใช้งานโนดเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากเซลล์วิทยุจะมีการเก็บข้อมูลอัตราการมาถึงของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟอย่างต่อเนื่อง และนำมาคำนวณหาจำนวนช่องสัญญาณที่ต้องการสำรอง ซึ่งจำนวนช่องสัญญาณที่สำรองไว้เป็นค่าที่ทำให้ระบบสามารถรักษาค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์-ออฟได้ตรงตามค่าที่รับประกันไว้กับผู้ใช้ เมื่อได้จำนวนช่องสัญญาณที่ต้องการสำรองแล้ว หน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นจะสำรองช่องสัญญาณให้ตรงกับจำนวนที่ต้องการ

วิธีการสำรองช่องสัญญาณล่วงหน้า พิจารณาให้ช่องสัญญาณที่ต้องการสำรองให้กับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟทั้งหมดถูกเก็บอยู่ในพูลการสำรอง (reservation pool) การจัดสรรช่องสัญญาณในพูลการสำรองแสดงได้ในรูปที่ 3.2

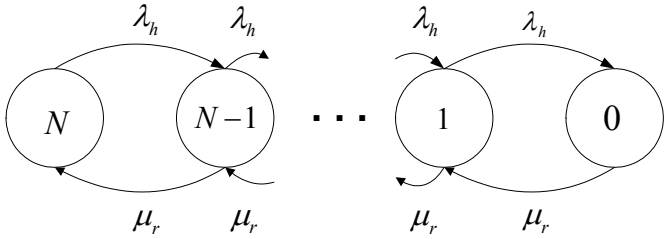


รูปที่ 3.2 การจัดสรรช่องสัญญาณของวิธีการสำรองช่องสัญญาณล่วงหน้าแบบพลวัต

จากรูปที่ 3.2 การจัดสรรช่องสัญญาณของพูลการสำรอง เริ่มจากการสำรองช่องสัญญาณสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟให้ได้กับค่าที่คำนวณได้จากสมการแบบจำลองของพูลการสำรอง การเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่เข้ามาจะเข้าใช้ช่องสัญญาณที่อยู่ในพูลก่อน ถ้าพูลการสำรองถูกเข้าใช้หมดแล้วการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่เข้ามาหลังจากนี้จะเข้าใช้ช่องสัญญาณภายนอกร่วมกับการเรียกใหม่ การเรียกใหม่ที่เข้ามาจะได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณให้ถ้าช่องสัญญาณภายนอกพูลยังสามารถให้บริการได้

กรณีที่เลวร้ายที่สุดสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ คือ กรณีที่ช่องสัญญาณสำรองในพูลการสำรองและช่องสัญญาณภายนอกพูลการสำรองถูกใช้จนหมด ในกรณีนี้การเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟจะถูกดร็อป เนื่องจากสถานีฐานไม่มีทรัพยากรเพียงพอสำหรับรองรับการเรียก ซึ่งความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกสามารถรับประกันได้ด้วยการสำรองช่องสัญญาณที่เหมาะสม ซึ่งสามารถคำนวณจากแบบจำลองของวิธีการสำรองช่องสัญญาณล่วงหน้าแบบพลวัต [5] ดังนี้

แบบจำลองสมมุติให้การเรียกใหม่และการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟมีการแจกแจงของการมาถึงเป็นแบบปัวส์ซง (poisson distribution) ด้วยอัตราเฉลี่ย λ_n และ λ_h ตามลำดับ เวลาการใช้บริการของการเรียก (call service time) มีการแจกแจงเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential distribution) ที่มีค่าเฉลี่ย $1/\mu_r$ พิจารณาให้ช่องสัญญาณในพูลการสำรองเป็น token เมื่อมีการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเข้ามายังเซลล์การเรียกจะร้องขอเข้าใช้ช่องสัญญาณหรือร้องขอ token จากหน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่น ถ้า token ในพูลยังมีเหลืออยู่ หน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นจะจัดสรร token ให้กับการเรียกนั้นไป และ token จะถูกส่งคืนกลับมาเมื่อมีการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟไปเซลล์วิทยุอื่นหรือสิ้นสุดการใช้งาน แบบจำลองวิเคราะห์ให้การปล่อย (release) token เป็นแบบสุ่มด้วยอัตราเฉลี่ยของการปล่อยเท่ากับ μ_r หมายถึงอัตราเฉลี่ยของการเรียกทั้งหมดที่สิ้นสุดการเรียกซึ่งเป็นผลรวมของการเรียกใหม่กับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ และมีค่าเท่ากับอัตราการตอบรับการเรียกของเซลล์หรือ λ_a



รูปที่ 3.3 แบบจำลองการเปลี่ยนสถานะในพูลการสำรอง

จากรูปที่ 3.3 ให้จำนวน token ที่ต้องการสำรองในพูลการสำรองมีจำนวนเท่ากับ N token การให้บริการ token ในพูลการสำรองมีลักษณะเป็นแบบจำลองแถวคอย $M/M/1$ มีสถานะที่เป็นไปได้ของ token ที่ถูกสำรองเท่ากับ $N+1$ สถานะ เริ่มจากสถานะที่ N คือสถานะที่พูลการสำรองมี token ให้บริการแก่การเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟจำนวน N token สถานะที่ $N-1$ คือ สถานะที่พูลการสำรองมีการเรียกใช้ token อยู่ 1 token ไปจนสถานะที่ 0 คือสถานะที่ token N token ถูกใช้ทั้งหมด จากแบบจำลองสถานะนี้สามารถแทนการเปลี่ยนแปลงสถานะได้ ตามสมการที่ (3.1) ถึงสมการที่ (3.3) ดังนี้

$$\mu_r P_0 = \lambda_h P_1 \tag{3.1}$$

$$\mu_r P_j + \lambda_h P_j = \mu_r P_{j-1} + \lambda_h P_{j+1}; j = 1, 2, ..., N-1 \tag{3.2}$$

$$\lambda_h P_N = \mu_r P_{N-1} \tag{3.3}$$

กำหนดให้ x เป็นจำนวนของ token ในพูลการสำรองที่ยังไม่ถูกใช้ ค่าความน่าจะเป็นในสถานะคงที่ (steady state probability) ซึ่งมี token ที่ยังไม่ถูกใช้อยู่จำนวน j token หรือ P_j แสดงได้ในสมการที่ (3.4)

$$P[x = j] = \frac{(1-\rho)\rho^j}{1-\rho^{N+1}};\ \rho = \mu_r/\lambda_h = \lambda_a/\lambda_h \tag{3.4}$$

กรณีที่เลวร้ายที่สุดของการให้บริการกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ คือ กรณีที่ token ในพูลการสำรองถูกใช้หมดและไม่มีเหลือสำหรับให้บริการการเรียก ซึ่งตรงกับสถานะที่ $P[x=0]$ ดังนั้นระบบสามารถรับประกันระดับของบริการด้วยค่าความน่าจะเป็นของการ

ดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่รับประกันให้แก่ผู้ใช้งาน หรือ P_{CDP} ได้ โดยกำหนดให้ $P[x=0]$ มีค่าน้อยกว่า P_{CDP} ที่ต้องการ ซึ่งจะหาได้จากสมการที่ (3.5)

$$P[x=0]=\frac{1-\rho}{1-\rho^{N+1}};\leq P_{\mathrm{CDP}} \tag{3.5}$$

จำนวน token (N_{MPr}) ที่ต้องการสำรองไว้ในพูลการสำรอง เพื่อให้ระบบสามารถรับประกันระดับของการบริการด้วยค่า P_{CDP} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.6)

$$N_{\mathrm{MPr}}\geq \ln\frac{P_{\mathrm{CDP}}+\rho-1}{P_{\mathrm{CDP}}}\Big/\ln\rho \tag{3.6}$$

3.3 แบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่เสนอ

หลังจากการเรียกได้รับการตอบรับการเรียกจากส่วนควบคุมการตอบรับการเรียกจากโดเมนการลงทะเบียนและเซลล์แล้ว การเรียกนั้นจะได้รับการจัดสรรแบนด์วิดท์จากระบบโดยหน่วยจัดสรรแบนด์วิดท์ วิทยานิพนธ์นี้พิจารณาการจัดสรรแบนด์วิดท์ในหน่วยของช่องสัญญาณที่จัดสรรให้กับการเรียก ซึ่งการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับการเรียกของบริการแบบประกันสามารถปรับตัวได้ตามสภาวะในโครงข่าย เนื่องจากบริการแบบประกันมีหน้าที่รองรับทราฟฟิกของชั้น streaming ซึ่งเป็นทราฟฟิกที่ไม่ต้องการบริการแบบเวลาจริงที่เข้มงวดในการจัดส่ง แต่ต้องการการรับประกันอัตราส่งที่ต่ำที่สุด ข้อมูลของทราฟฟิกชั้นนี้ได้รับการเข้ารหัสแบบปรับตัว ซึ่งเป็นการเข้ารหัสข่าวสารแบบลำดับชั้น ประกอบไปด้วย ชั้นพื้นฐานที่บรรจุข่าวสารพื้นฐาน และชั้นขยายที่มีข่าวสารเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มรายละเอียดแก่ข้อมูล เมื่อโครงข่ายอยู่ในสภาวะคับคั่ง เช่น มีผู้ใช้ในโครงข่ายมาก บริการแบบประกันสามารถลดการใช้ทรัพยากรของระบบได้ โดยการลดแบนด์วิดท์ลงเพื่อส่งข่าวสารเฉพาะชั้นพื้นฐาน ซึ่งจะได้รับคุณภาพของบริการต่ำลง แต่ทำให้ผู้ใช้รายอื่นสามารถเข้าถึงระบบได้

การบริการแบบประกันแบบปรับตัวใช้บัฟเฟอร์ที่แบ่งเป็นส่วนได้ (partitioned buffer) มาให้บริการ หน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่น ทำหน้าที่จัดการควบคุมการตอบรับและจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัวในเซลล์ โดย หน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่น ตรวจสอบจำนวนแพ็กเกตในแถวคอย เพื่อทราบถึงปริมาณโหลดของโครงข่ายในขณะนั้น จากนั้นจึงจัดสรรแบนด์วิดท์ประสิทธิผล (effective bandwidth) ให้แก่การเรียก ซึ่งเป็นค่าความจุช่องสัญญาณที่ต่ำที่สุดที่ให้ค่าการสูญเสียแพ็กเกตตามที่รับประกันไว้ ค่าแบนด์วิดท์ประสิทธิผลสามารถคำนวณได้ตามเอกสารอ้างอิง [24]

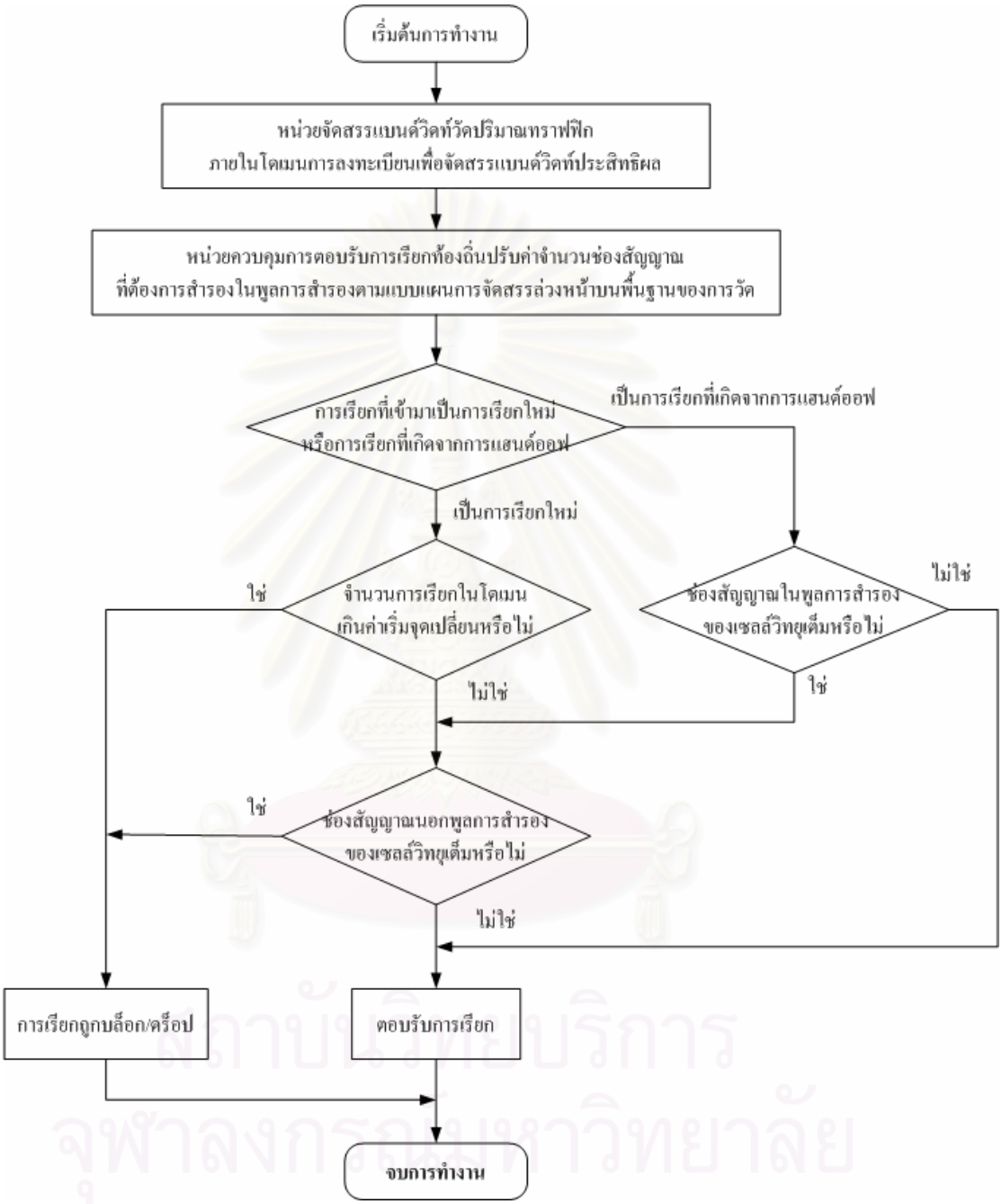
สมมุติให้ทราฟฟิกชั้น streaming ได้รับการเข้ารหัสเป็น 3 ลำดับชั้น [3] คือ L_1, L_2, L_3 แพ็กเกตมีความน่าจะเป็นของการสูญเสีย (loss probability) เป็น $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ โดยที่ $\varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3$ การให้บริการมีระดับคุณภาพของบริการ 3 ระดับ คือ ระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ โดยมีค่าแบนด์วิดท์ประสิทธิผลของระดับคุณภาพของบริการ เป็น e_1, e_2, e_3 ตามลำดับ ให้แพ็กเกตที่เข้าแถวคอยในบัฟเฟอร์มีค่าเท่ากับ X และบัฟเฟอร์มีขนาดเท่ากับ B การแบ่งส่วนของบัฟเฟอร์เพื่อเป็นค่าเริ่มเปลี่ยนในการตัดสินใจให้บริการแพ็กเกตของลำดับชั้นแต่ละชั้น มีรูปลักษณ์ของบัฟเฟอร์เป็น $[0, B]$, $[0, B_1, B]$ และ $[0, B_1^{'}, B_2^{'}, B]$ เพื่อให้บริการที่ระดับคุณภาพของบริการเป็นระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ ตามลำดับ การจัดการบัฟเฟอร์ของบริการแบบประกันในการปรับตัวตามโหลดของโครงข่าย สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การจัดการบัฟเฟอร์ของบริการแบบประกัน

ปริมาณโหลดในโครงข่าย	ระดับคุณภาพของบริการ	แบนด์วิดท์ประสิทธิผล	การจัดการบัฟเฟอร์
ต่ำ	สูง	e_1	รับแพ็กเกต L_1, L_2, L_3 เมื่อ $X \le B$ ด้วย ε_1
กลาง	กลาง	e_2	รับแพ็กเกต L_1 เมื่อ $X \le B$ ด้วย ε_1 รับแพ็กเกต L_2, L_3 เมื่อ $X \le B_1$ ด้วย ε_2
สูง	ต่ำ	e_3	รับแพ็กเกต L_1 เมื่อ $X \le B$ ด้วย ε_1 รับแพ็กเกต L_2 เมื่อ $X \le B_1^{'}$ ด้วย ε_2 รับแพ็กเกต L_3 เมื่อ $X \le B_2^{'}$ ด้วย ε_3

จากตารางที่ 3.1 เมื่อทราฟฟิกในระบบมีจำนวนไม่มาก การเรียกใหม่และการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟจะได้รับการตอบรับด้วยแบนด์วิดท์ประสิทธิผลเท่ากับ e_1 ซึ่งมีลักษณะของการจัดการตามตารางที่ 3.1 ต่อมาเมื่อทราฟฟิกโหลดเพิ่มขึ้น หน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นจะลดการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับการเรียกใหม่และการเรียกที่เกิดการจากแฮนด์ออฟด้วยแบนด์วิดท์ประสิทธิผลเท่ากับ e_2 และเมื่อ ทราฟฟิกโหลดเพิ่มขึ้นอีก หน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นจะลดการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับการเรียกใหม่และการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟด้วยแบนด์วิดท์ประสิทธิผลเท่ากับ e_3 ในขณะเดียวกันถ้าการเรียกมีการแฮนด์ออฟไปยังเซลล์ข้างเคียงหรือสิ้นสุดการเรียกในเซลล์ทำให้ทรัพยากรเพียงพอที่จะจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับการเรียกแต่ละการเรียกด้วยแบนด์วิดท์ประสิทธิผลเท่ากับ e_{i-1} และเพียงพอที่จะรับการเรียกใหม่ประมาณ 2-3 การเรียกด้วยแบนด์วิดท์ประสิทธิผลเท่ากับ e_{i-1} แล้ว หน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นจะเพิ่มแบนด์วิดท์ประสิทธิผลให้กับการเรียกทั้งหมดที่อยู่ในเซลล์

3.4 ขั้นตอนการควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่นำเสนอ



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่นำเสนอ

แบบแผนการจัดสรรทรัพยากรที่นำเสนอสำหรับโครงข่ายการลงทะเบียนภูมิภาค สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์ดังรูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำงานของแบบแผนการจัดสรรทรัพยากร แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของการควบคุมการตอบรับการเรียก และส่วนของการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัว ที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

เริ่มจากหน่วยจัดสรรแบนด์วิดท์ของโดเมนการลงทะเบียนตรวจสอบสภาวะทราฟฟิกในโครงข่ายเพื่อที่จะหาแบนด์วิดท์ประสิทธิผลที่จัดสรรให้กับการเรียก เมื่อมีการเรียกเข้ามายังโดเมนการลงทะเบียนเป็นครั้งแรก การเรียกจะร้องขอการตอบรับการเรียกจากหน่วยจัดสรรแบนด์วิดท์ ถ้าการเรียกที่เข้ามาเป็นการเรียกใหม่ หน่วยจัดสรรแบนด์วิดท์จะตอบรับการเรียกก็ต่อเมื่อจำนวนการเรียกที่อยู่ในโดเมนการลงทะเบียนยังไม่เกินค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ใช้ตอบรับการเรียกใหม่ จากนั้นการเรียกใหม่จึงร้องขอการตอบรับการเรียกจากหน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นของเซลล์วิทยุ ซึ่งถ้าหน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นพบว่าช่องสัญญาณนอกพูลการสำรองยังคงว่างอยู่ หน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นจึงจะตอบรับการเรียกใหม่นั้น

กรณีที่การเรียกเข้ามายังโดเมนการลงทะเบียนเป็นการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ การเรียกจะได้รับการตอบรับ ถ้าช่องสัญญาณในเซลล์วิทยุยังว่างอยู่ ซึ่งหน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นจัดสรรช่องสัญญาณให้แก่การเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟโดยให้เข้าใช้ช่องสัญญาณในพูลการสำรองก่อน ถ้าช่องสัญญาณในพูลการสำรองถูกใช้จนหมดแล้วจึงให้การเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเข้าใช้ช่องสัญญาณนอกพูลการสำรองร่วมกับการเรียกใหม่

เซลล์วิทยุจะต้องมีการเก็บค่าจำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่ต้องการเข้าใช้ช่องสัญญาณของเซลล์ และจำนวนการเรียกที่เซลล์วิทยุตอบรับ เพื่อใช้สำหรับคำนวณหาจำนวนช่องสัญญาณที่ต้องการสำรองสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในพูลการสำรองตามสมการที่ (3.6) เพื่อรักษาค่าความน่าจะเป็นในการดร็อปการเรียกไม่ให้เกินค่าที่รับประกันไว้กับผู้ใช้บริการ ซึ่งการปรับจำนวนช่องสัญญาณที่สำรองไว้ในพูลการสำรองจะถูกปรับเป็นช่วงๆ เพื่อให้หน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นสามารถสำรองช่องสัญญาณได้เหมาะสมกับสภาวะทราฟฟิกปัจจุบันในเซลล์วิทยุ

หลังจากได้รับการตอบรับจากหน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกแล้ว การเรียกจะได้รับการจัดสรรแบนด์วิดท์ประสิทธิผลให้ตามสภาวะทราฟฟิกในโครงข่ายขณะนั้น ซึ่งเป็นจำนวนช่องสัญญาณจำนวนหนึ่ง เมื่อการเรียกแฮนด์ออฟข้ามเซลล์วิทยุในโครงข่าย การเรียกนั้นไม่จำเป็นต้องร้องขอการตอบรับการเรียกจากหน่วยจัดสรรแบนด์วิดท์ของโดเมนการลงทะเบียน แต่ต้องร้องขอการตอบรับการเรียกจากหน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นของเซลล์วิทยุเซลล์ใหม่ที่การเรียกกำลังจะย้ายเข้าไปอยู่

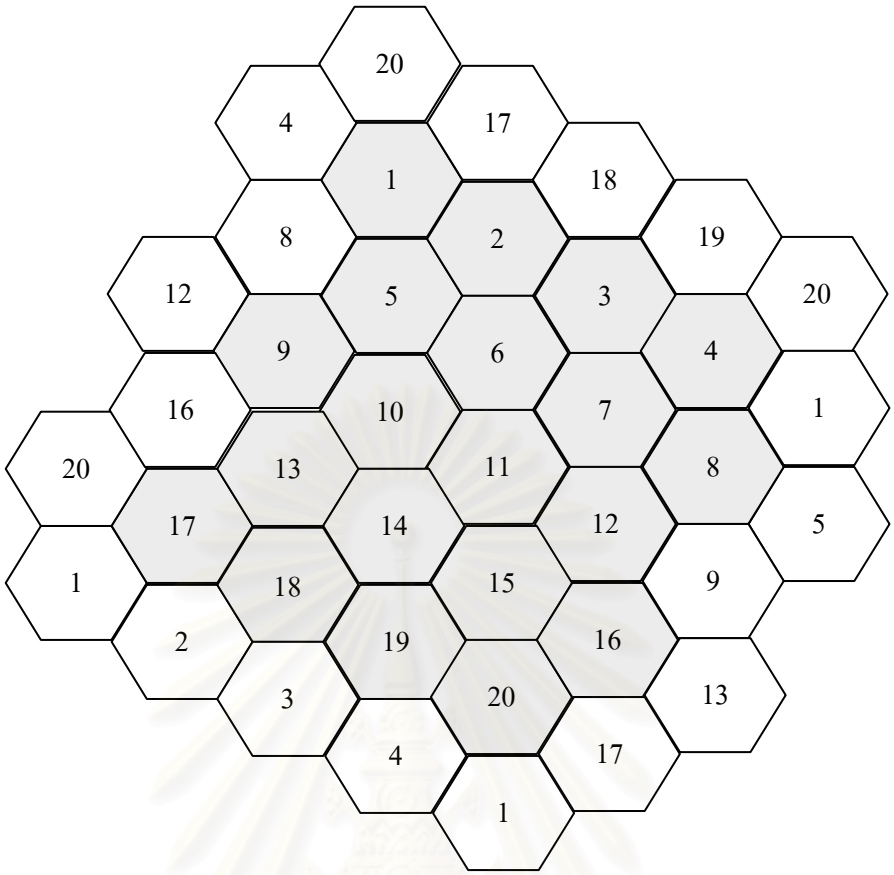
บทที่ 4
ผลการจำลองแบบและการวิเคราะห์ผล

บทนี้อธิบายการจำลองแบบ เพื่อหาสมรรถนะระบบของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่นำเสนอ สมรรถนะที่ใช้ในการเปรียบเทียบ คือ ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่, ค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ และค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากร โดยเทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ (new call arrival rate) ของผู้ใช้ พร้อมทั้งวิเคราะห์และสรุปผลในการจำลองแบบแต่ละชนิด

4.1 สมมติฐานในการจำลองแบบ

การวิเคราะห์สมรรถนะต่าง ๆ ของระบบสามารถวิเคราะห์ได้จากสภาวะในการจำลองแบบที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. ประเภทของบริการที่นำมาใช้ในการจำลองแบบเป็นบริการแบบประกันที่ให้บริการกับทราฟฟิกชั้น streaming
2. สมมติให้การมาถึงของการเรียกมีการแจกแจงแบบปัวส์ซงและมีการแจกแจงของตำแหน่งในพื้นที่ครอบคลุมเป็นแบบยูนิฟอร์ม (uniform)
3. เวลายึดช่องสัญญาณ (channel holding time) และเวลาของการใช้บริการ (service time) ของการเรียกมีการแจกแจงเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 150 และ 300 วินาที ตามลำดับ
4. แบบจำลองของโครงข่ายลงทะเบียนภูมิภาควิเคราะห์จากโดเมนการลงทะเบียน 1 โดเมน ประกอบไปด้วยเซลล์วิทยุ 20 เซลล์ มีการจัดเรียงตัวของเซลล์วิทยุดังรูปที่ 4.1 เพื่อหลีกเลี่ยงเซลล์ที่ขอบโดเมนซึ่งมีลักษณะไม่เป็นอนันต์ (non infinity) จึงนำวิธีการวิเคราะห์โครงข่ายเซลลูลาร์ของ [24] ที่มีการจัดเรียงกลุ่มเซลล์เป็นแบบ wrap around [24] มาใช้ ซึ่งพิจารณาให้การเรียกที่ต้องการแฮนด์ออฟออกจากเซลล์วิทยุที่ขอบโดเมนให้ข้ามไปปยังเซลล์ที่อยู่ตรงข้าม
5. การเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบแผนที่สร้างขึ้นจะเปรียบเทียบที่อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ที่ต่างกัน มีหน่วยเป็นจำนวนของการเรียกต่อ 1 เซลล์วิทยุต่อ 1 หน่วยเวลา ในที่นี้ 1 หน่วยเวลาเท่ากับ 600 วินาที กำหนดให้อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ของเซลล์วิทยุทุกเซลล์ในโดเมนการลงทะเบียนมีค่าเท่ากันทุกเซลล์
6. จำนวนกลุ่มตัวอย่างใช้ในการทดสอบเท่ากับ 300,000 การเรียกใหม่ ต่อการทดสอบที่อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่หนึ่งค่า



รูปที่ 4.1 การจัดเรียงกลุ่มเซลล์วิทยุที่ใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของแบบแผนที่เสนอขึ้น

7. ความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟ (handoff probability) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่จะการเรียก 1 การเรียกจะแฮนด์ออฟไปยังเซลล์วิทยุข้างเคียงมีค่าเท่ากันทุกเซลล์ ในสภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการจำลองแบบของหัวข้อ 4.2 ได้สมมุติความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟไปยังเซลล์ข้างเคียง 7 เซลล์มีค่าเท่ากัน ในหัวข้อ 4.3 ได้ทดสอบสมรรถนะของแบบแผนที่ออกแบบกับสภาวะแวดล้อมที่เหมือนจริงมากขึ้น โดยให้ความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟของการเรียกไปยังเซลล์ข้างเคียงมีค่าไม่เท่ากันทุกเซลล์

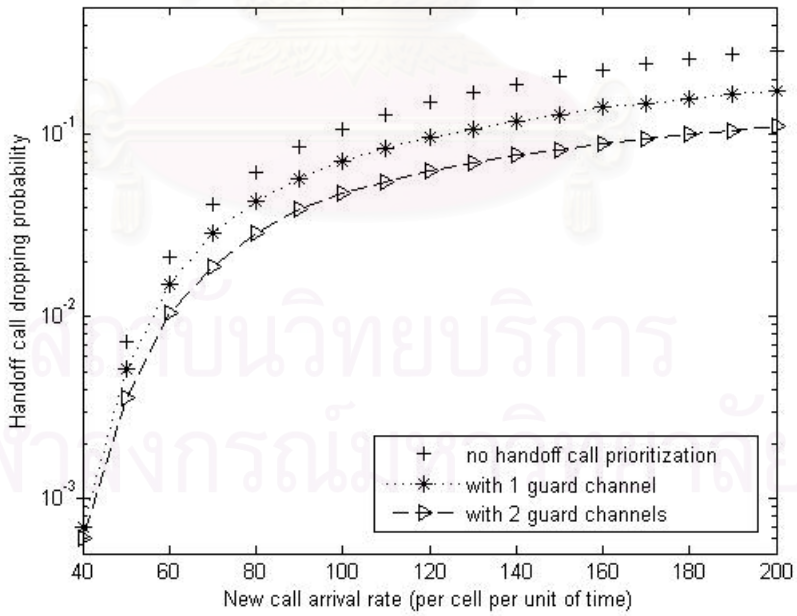
8. การวิเคราะห์สมรรถนะของแบบแผนการตอบรับการเรียกที่นำเสนอในหัวข้อที่ 4.2 พิจารณาให้การเรียกทุกการเรียกใช้แบนด์วิดท์ประสิทธิผลที่เท่ากันตลอดช่วงเวลายึดช่องสัญญาณ แต่ในหัวข้อที่ 4.4 พิจารณาให้การเรียก 1 การเรียกสามารถปรับลดหรือเพิ่มแบนด์วิดท์ประสิทธิผลได้ตลอดเวลาของยึดช่องสัญญาณ

9. แบนด์วิดท์ประสิทธิผลที่ระบบจัดสรรให้แก่การเรียก ในที่นี้จะหมายถึงจำนวนของช่องสัญญาณจำนวนหนึ่ง

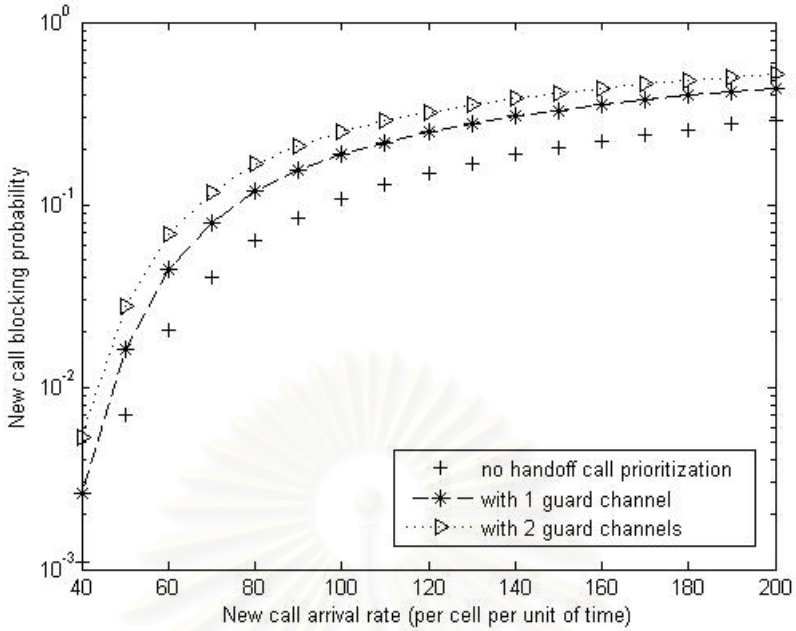
4.2 ผลการจำลองแบบของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก

4.2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่มีการให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากแฮนด์ออฟที่เซลล์วิทยุกับแบบแผนที่ไม่มีการให้ลำดับความสำคัญ

แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกของระบบสื่อสารไร้สายส่วนมากถูกสร้างขึ้นเพื่อควบคุมการตอบรับการเรียกที่เซลล์วิทยุ งานวิจัยส่วนมากนิยมให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟมากกว่าการเรียกใหม่ด้วยวิธีการใช้ช่องสัญญาณกัน ช่องสัญญาณจำนวนหนึ่งจะถูกสำรองไว้แต่ต้นเพื่อให้การเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเข้าใช้เมื่อช่องสัญญาณส่วนนอกเหนือจากนี้ถูกใช้จนหมด เมื่อนำวิธีการใช้ช่องสัญญาณกันมาให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในเซลล์วิทยุของโดเมนการลงทะเบียน รูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ซึ่งเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกของโดเมนการลงทะเบียนที่มีการสำรองช่องสัญญาณกันให้กับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 1 และ 2 การเรียกกับแบบแผนไม่มีการนำวิธีการให้ลำดับความสำคัญมาใช้



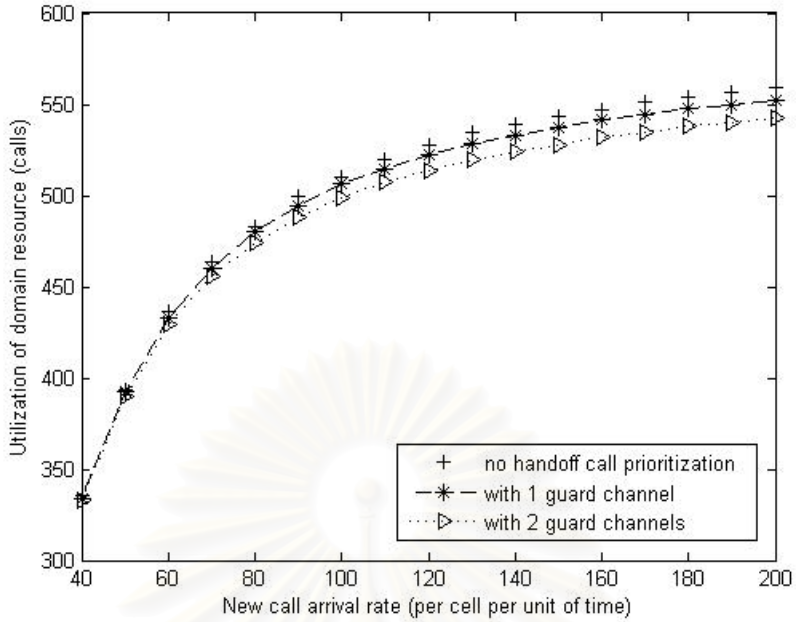
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟระหว่างแบบแผนที่สำรองช่องสัญญาณกันเท่ากับ 1 และ 2 การเรียกกับแบบแผนที่ไม่มีการให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ระหว่างแบบแผนที่สำรองช่องสัญญาณกันเท่ากับ 1 และ 2 การเรียกกับแบบแผนที่ไม่มีการให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ

จากรูปที่ 4.2 พบว่าแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่นำวิธีช่องสัญญาณกันมาใช้มีค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟต่ำกว่าแบบแผนที่ไม่มีการให้ลำดับความสำคัญของการเรียกเลย แบบแผนที่มีช่องสัญญาณกันสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ 2 การเรียก มีค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกต่ำกว่าแบบแผนที่มีช่องสัญญาณกันสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ 1 การเรียก

การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ของแบบแผนควบคุมการตอบรับการเรียกทั้ง 3 แบบ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.3 พบว่าแบบแผนที่ไม่มีการให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟจะมีค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ เนื่องจากลำดับความสำคัญของการเรียกทั้ง 2 ชนิดเท่ากัน เมื่อมีการสำรองช่องสัญญาณสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟทำให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่สูงขึ้น ยิ่งมีการสำรองช่องสัญญาณสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟมากขึ้น จะยิ่งทำให้ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกสูงมากขึ้นดังจะเห็นได้จากค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ของแบบแผนที่สำรองช่องสัญญาณกันสำหรับการเรียกแฮนด์ออฟเท่ากับ 2 การเรียกจะมีค่าสูงกว่าแบบแผนที่สำรองช่องสัญญาณกันเท่ากับ 1 การเรียกตลอดทุกช่วงอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบระหว่างแบบแผนที่สำรองช่องสัญญาณกันเท่ากับ 1 และ 2 การเรียกกับแบบแผนที่ไม่มีการให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ

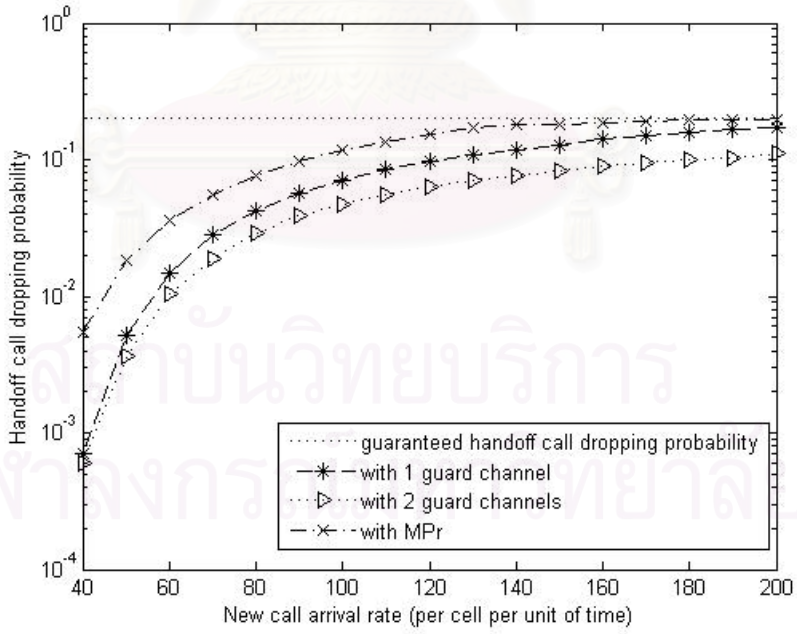
รูปที่ 4.4 พิจารณาถึงค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบ พบว่าแบบแผนที่นำวิธีช่องสัญญาณกันมาใช้มีค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรต่ำลง จะเห็นได้ว่าแบบแผนที่ไม่มีการให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟสามารถใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบได้มากที่สุดประมาณ 559 การเรียก แต่แบบแผนที่มีการสำรองช่องสัญญาณกันสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 1 และ 2 การเรียก มีค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบได้มากที่สุดประมาณ 552 และ 542 การเรียก ตามลำดับ เนื่องจากการสำรองช่องสัญญาณกันทำให้ช่องสัญญาณบางส่วนถูกใช้งานได้จำกัด เพราะต้องสำรองไว้สำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่านั้น

แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่นำวิธีการช่องสัญญาณกันมาใช้แสดงให้เห็นว่าระบบจะให้บริการการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟด้วยลำดับความสำคัญที่สูงกว่าการเรียกใหม่เท่านั้น จาก [14], [15] ได้เสนอวิธีการให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟด้วยวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัด (MPr) ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหนือกว่าวิธีการใช้ช่องสัญญาณกันตรงที่ระบบสามารถรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟให้กับผู้ใช้บริการได้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดมาให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในการควบคุมการตอบรับการเรียกของเซลล์วิทยุในโดเมนการลงทะเบียน

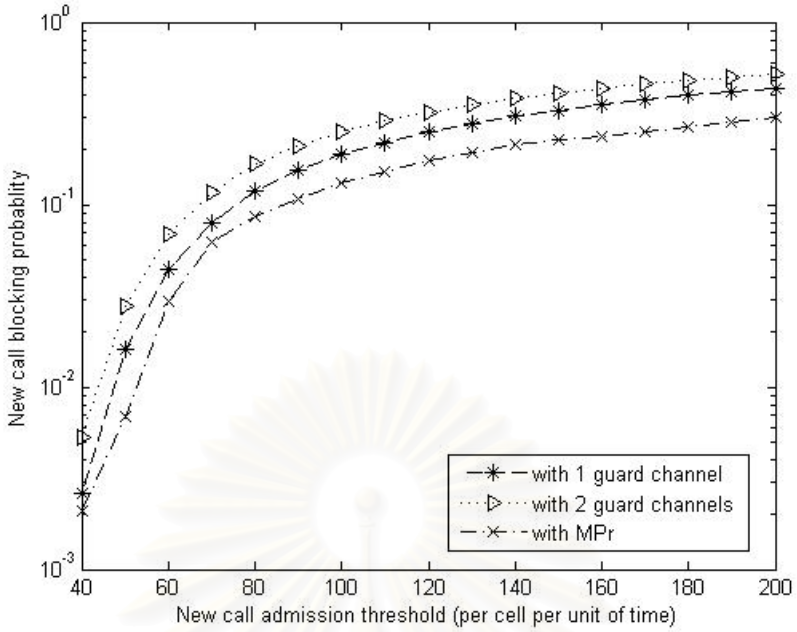
4.2.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดกับแบบแผนที่ใช้วิธีช่องสัญญาณกัน

แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดมีการสำรองช่องสัญญาณสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (3.6) โดยอาศัยการวัดข้อมูลทางสถิติในเซลล์วิทยุแต่ละเซลล์ ได้แก่ จำนวนการเรียกแฮนด์ออฟที่เข้ามายังเซลล์ และจำนวนการเรียกที่เซลล์วิทยุนั้นๆ สามารถรองรับได้ ภายในช่วงเวลาหนึ่งๆ หลังจากคำนวณช่องสัญญาณที่ต้องสำรองแล้ว หน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นของเซลล์วิทยุจะสำรองและจัดสรรช่องสัญญาณให้แก่การเรียกตามวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัด เพื่อรักษาความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของระบบให้น้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นที่รับประกันไว้กับผู้ใช้บริการ

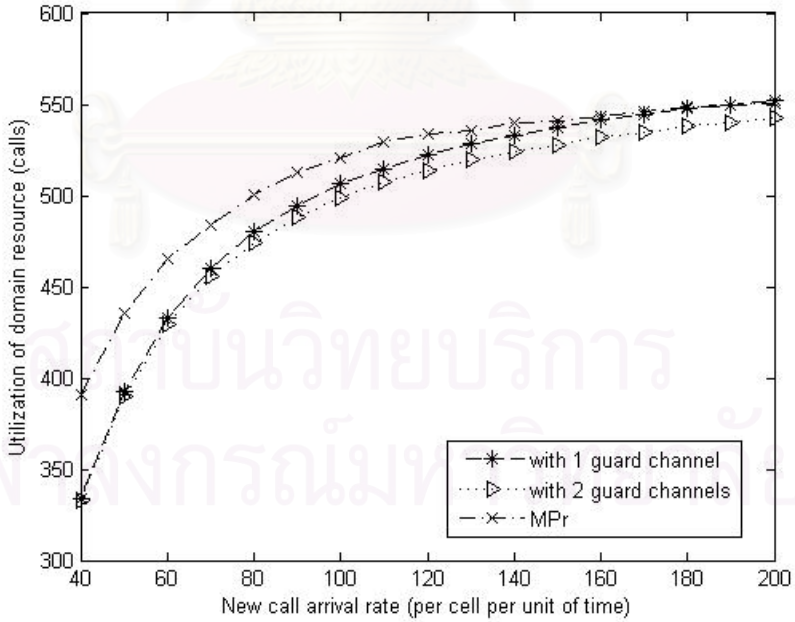
ค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ, ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ และค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบที่เปรียบเทียบระหว่างแบบแผนที่ใช้วิธีช่องสัญญาณกันกับแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดแสดงอยู่ในรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ กำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่ระบบรับประกันแก่ผู้ใช้ไม่เกิน 0.2



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟระหว่างแบบแผนที่ใช้วิธีช่องสัญญาณกัน และวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดด้วยการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.2



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ระหว่างแบบแผนที่ใช้วิธีช่องสัญญาณกัน และวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดด้วยการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟท่ากับ 0.2



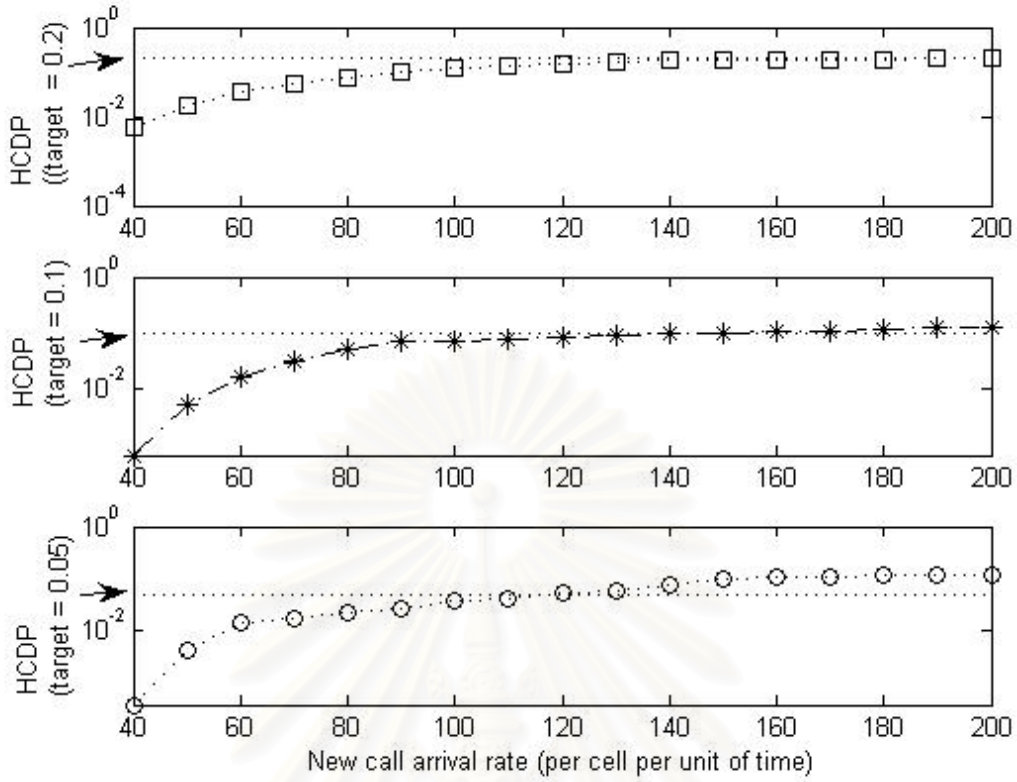
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบระหว่างแบบแผนที่ใช้วิธีช่องสัญญาณกันและวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดด้วยการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.2

แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดที่ต้องการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.2 นั้นสามารถรับประกันความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟอย่างที่ต้องการได้ตลอดทุกช่วงของอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.5 ซึ่งแบบแผนที่ใช้วิธีช่องสัญญาณกันที่มีการสำรองช่องสัญญาณสำหรับการแฮนด์ออฟ 1 และ 2 การเรียกก็มีค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟต่ำกว่า 0.2 เช่นกัน

เมื่อพิจารณาถึงค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ในรูปที่ 4.6 พบว่าค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ของแบบแผนที่ใช้วิธีการสำรองช่องสัญญาณล่วงหน้าแบบพลวัตมีความใกล้เคียงกับแบบแผนสำรองช่องสัญญาณกันสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ สำรองช่องสัญญาณล่วงหน้ามีค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบมากกว่าแบบแผนที่ใช้วิธีช่องสัญญาณกันตลอดทุกอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ โดยจะมีค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบที่ดีกว่าวิธีช่องสัญญาณกันอย่างมากในช่วงอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ที่มีค่าต่ำ

แม้ว่าแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดมีค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟสูงกว่าแบบแผนที่ใช้วิธีช่องสัญญาณกัน แต่แบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดยังคงสามารถรักษาค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟให้ไม่เกินค่าความน่าจะเป็นที่รับประกันไว้ได้ นอกจากนี้แบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดมีค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรของระบบได้คุ้มค่ากว่าแบบแผนที่ใช้วิธีช่องสัญญาณกัน

ดังนั้นแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดมาใช้ในการให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในเซลล์วิทยุ เนื่องจากเมื่อระบบต้องการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่รับประกันให้แก่ผู้ใช้ วิธีช่องสัญญาณกันที่กำหนดช่องสัญญาณคงที่จำนวนหนึ่งไว้แต่แรกจะไม่สามารถปรับตัวเพื่อรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกได้ การสำรองช่องสัญญาณกันที่น้อยเกินไปจะทำให้ระบบไม่สามารถรับประกันความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกได้ แต่การสำรองช่องสัญญาณที่มากเกินไปจะทำให้เป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่แบนด์วิดท์ของการเรียกสามารถปรับตัวได้ ซึ่งการเรียกแต่ละการเรียกจะใช้ช่องสัญญาณจำนวนไม่เท่ากันขึ้นกับสภาวะความคับคั่งของโครงข่ายในขณะนั้น



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของแบบแผนที่นำวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดที่รับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกต่างๆ กัน (HCDP: Handoff Call Dropping Probability)

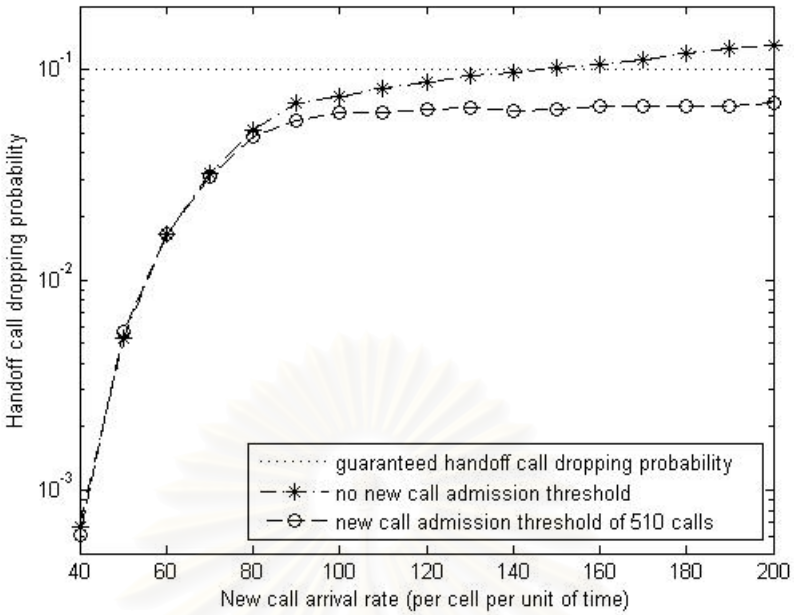
รูปที่ 4.8 แสดงถึงค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของระบบ เมื่อนำวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดมาใช้ควบคุมการตอบรับการเรียกในเซลล์วิทยุ โดยเปรียบเทียบ ณ เงื่อนไขของการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่ 0.2, 0.1 และ 0.05 ตามลำดับ (ในรูปที่ 4.8 จะเป็น HCDP (target = 0.2), HCDP (target = 0.1) และ HCDP (target = 0.05) ตามลำดับ) เมื่อระบบต้องการคุณภาพของการให้บริการที่ดีขึ้นด้วยการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่มีค่าต่ำลง การทำงานของวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดไม่สามารถรับประกันคุณภาพได้ตลอดช่วงอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ ซึ่งมีผลกับการรับประกันคุณภาพของบริการในช่วงที่อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ที่ค่าสูง กล่าวคือ เมื่อมีทราฟิกโหลดที่เข้าสู่ระบบสูงมากๆ กล่าวคือ ช่วงที่ระบบมีผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมาก พบว่าวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดไม่สามารถรักษาค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่รับประกันไว้แต่แรก เนื่องจากช่องสัญญาณในเซลล์วิทยุโดยรวมถูกใช้ไปหมดแล้ว

4.2.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่มีการใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดที่มี/ไม่มีจุดเริ่มเปลี่ยนในการตอบรับการเรียกใหม่

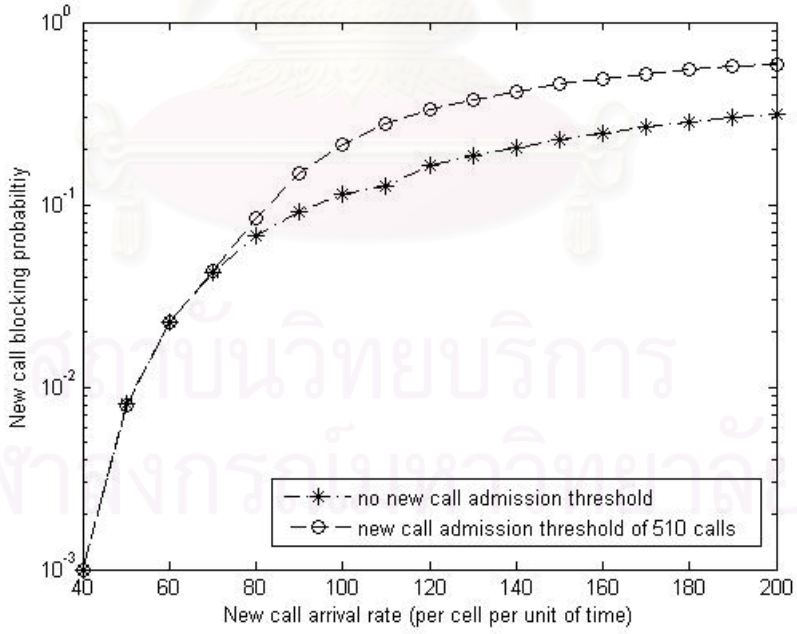
การใช้แบบแผนการตอบรับการเรียกด้วยวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดในโครงข่ายของการลงทะเบียนที่ต้องการค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟต่ำ ไม่สามารถรักษาค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในช่วงทราฟฟิกโหลดสูงของระบบให้ต่ำกว่าค่าที่รับประกันไว้ วิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอให้มีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ระดับชั้นของโดเมนการลงทะเบียนเพื่อช่วยการทำงานของส่วนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ระดับเซลล์วิทยุ ให้ระบบสามารถรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกได้ตลอดทุกช่วงอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ โดยหน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกที่ระดับชั้นของโดเมนจะมีการตั้งจุดเริ่มเปลี่ยนเพื่อตอบรับการเรียกเข้าใหม่ที่เข้ามายังโดเมนเพื่อจำกัดอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ที่เข้ามายังเซลล์วิทยุ

ถ้าจำนวนการเรียกที่ดำเนินอยู่ในโดเมนการลงทะเบียนมีค่าต่ำกว่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ตั้งไว้ เมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามา การเรียกใหม่จะได้รับการตอบรับการเรียกเพื่อเข้าใช้ทรัพยากรระบบ แต่ถ้าจำนวนการเรียกทั้งหมดในโดเมนการลงทะเบียนมีค่าเท่ากับจุดเริ่มเปลี่ยนที่ตั้งไว้ การเรียกใหม่ที่เกิดขึ้นภายหลังจะถูกบล็อกโดยหน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกของโดเมน แต่ถ้ามีการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟต้องการข้ามเซลล์วิทยุของโดเมนการลงทะเบียน การเรียกที่เกิดการแฮนด์ออฟจะไม่ถูกดร็อปถ้าจำนวนการเรียกทั้งหมดในโดเมนการลงทะเบินไม่เกินจำนวนการเรียกที่โดเมนสามารถรองรับได้

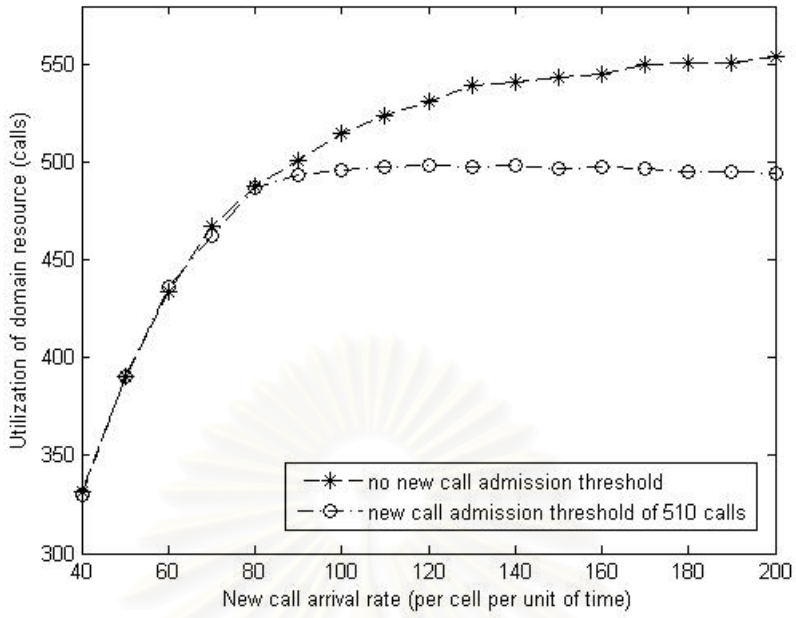
แบบแผนการตอบรับการเรียกที่วิทยานิพนธ์นี้เสนอขึ้นเพื่อใช้กับโครงข่ายลงทะเบียนภูมิภาคเกิดจากการตั้งจุดเริ่มเปลี่ยนที่หน่วยการควบคุมการตอบรับการเรียกของโดเมนการลงทะเบียนเพื่อตอบรับการเรียกใหม่ ประกอบกับการใช้วิธีการการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดในหน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกของเซลล์วิทยุ สมรรถนะของแบบแผนที่เสนอขึ้นสามารถทดสอบได้โดย กำหนดให้มีการตั้งจุดเริ่มเปลี่ยนในการตอบรับการเรียกใหม่ที่โดเมนเท่ากับ 510 การเรียก และใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดมาให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ และต้องการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟไม่เกิน 0.1 นำมาเปรียบเทียบกับแบบแผนควบคุมการตอบรับการเรียกที่มีเพียงการใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดที่เซลล์วิทยุเพียงอย่างเดียว ความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ, ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ และการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบ แสดงอยู่ในรูปที่ 4.9, 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของแบบแผนที่เสนอกับแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียว ระบบต้องการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.1



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ของแบบแผนที่เสนอกับแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียว ระบบต้องการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.1



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบของแบบแผนที่เสนอขึ้นกับแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียว ระบบต้องการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.1

จากรูปที่ 4.9, 4.10 และ 4.11 จะเห็นได้ว่าที่อัตราการมาถึงของเรียกใหม่ที่เข้ามายังเซลล์วิทยุต่ำกว่า 80 การเรียกต่อหน่วยเวลา แบบแผนที่มีการใช้จุดเริ่มเปลี่ยนร่วมกับวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดกับแบบแผนวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดอย่างเดียวจะมีสมรรถนะของระบบทั้งค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ และค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรที่ใกล้เคียงกัน

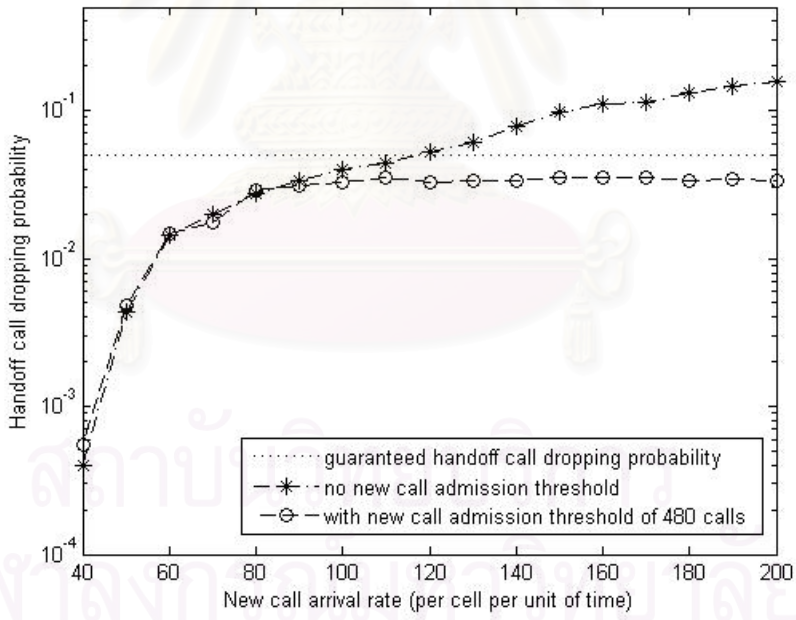
จากรูปที่ 4.9 เมื่อระบบเริ่มมีอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ที่มากขึ้น แบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียวไม่สามารถรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้เมื่อมีอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่เข้ายังเซลล์วิทยุมากกว่า 160 การเรียกต่อหน่วยเวลา ดังนั้นจึงได้มีการตั้งค่าจุดเริ่มเปลี่ยนเพื่อรับการเรียกใหม่ที่ 510 การเรียก พบว่าระบบสามารถรักษาความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟไว้ให้ต่ำกว่าค่าที่รับประกันไว้

ในทางกลับกันจากรูปที่ 4.10 เมื่อพิจารณาถึงค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ พบว่าเมื่อระบบมีอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ที่เข้ามายังเซลล์วิทยุมากกว่า 80 การเรียกต่อ

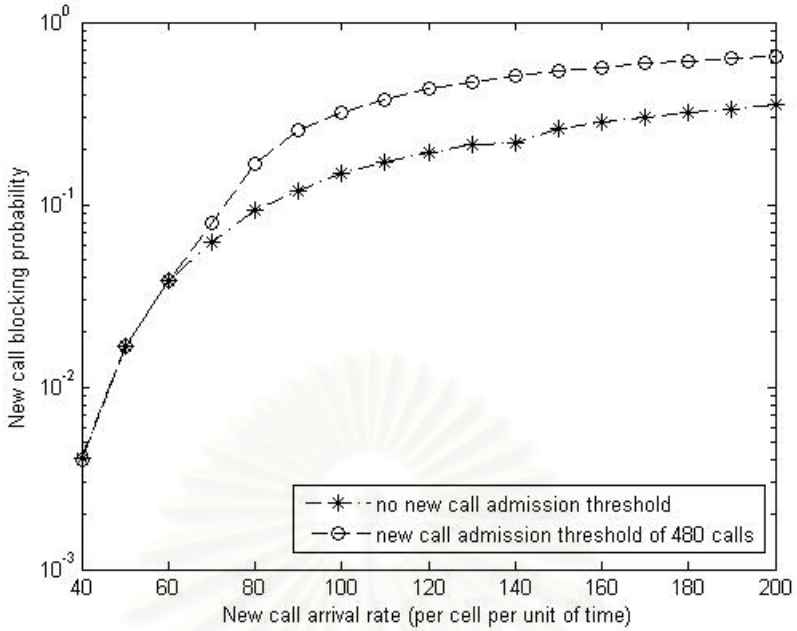
หน่วยเวลา แบบแผนที่เสนอจะมีค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ที่สูงกว่าแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียว

นอกจากนี้ค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบของแบบแผนที่เสนอจะถูกจำกัดให้ไม่เกินจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดขึ้น ดังนั้นค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบในรูปที่ 4.11 ที่อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่มากกว่า 80 การเรียกต่อหน่วยเวลาของแบบแผนที่เสนอจึงมีค่าต่ำกว่าแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีค่าการใช้ประโยชน์ไม่เกินค่าจุดเริ่มเปลี่ยน คือ 510 การเรียก

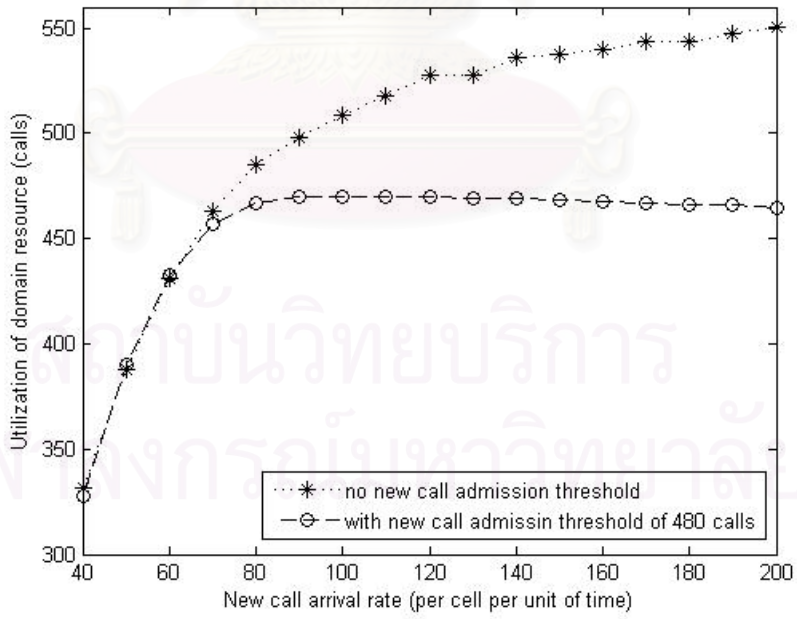
ในทำนองเดียวกันได้ทดสอบนำแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอมาใช้กับโดเมนการลงทะเบียนที่มีการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.05 โดยที่หน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกของโดเมนมีจุดเริ่มเปลี่ยนของการตอบรับการเรียกใหม่เท่ากับ 480 การเรียก สมรรถนะของระบบ ได้แก่ ความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียก และการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบ แสดงในรูปที่ 4.12, 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของแบบแผนที่เสนอกับแบบแผนที่มีวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียว ระบบต้องการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.05



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ของแบบแผนที่เสนอกับแบบแผนที่มีวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียว ระบบต้องการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.05



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบของแบบแผนที่เสนอกับแบบแผนที่มีวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียว ระบบต้องการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.05

จากรูปที่ 4.12 พบว่าแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอสามารถรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้ตลอดทุกช่วงอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียวจะไม่สามารถคงค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้เมื่อระบบมีอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ยังเซลล์วิทยุมากกว่า 120 การเรียกต่อหน่วยเวลา

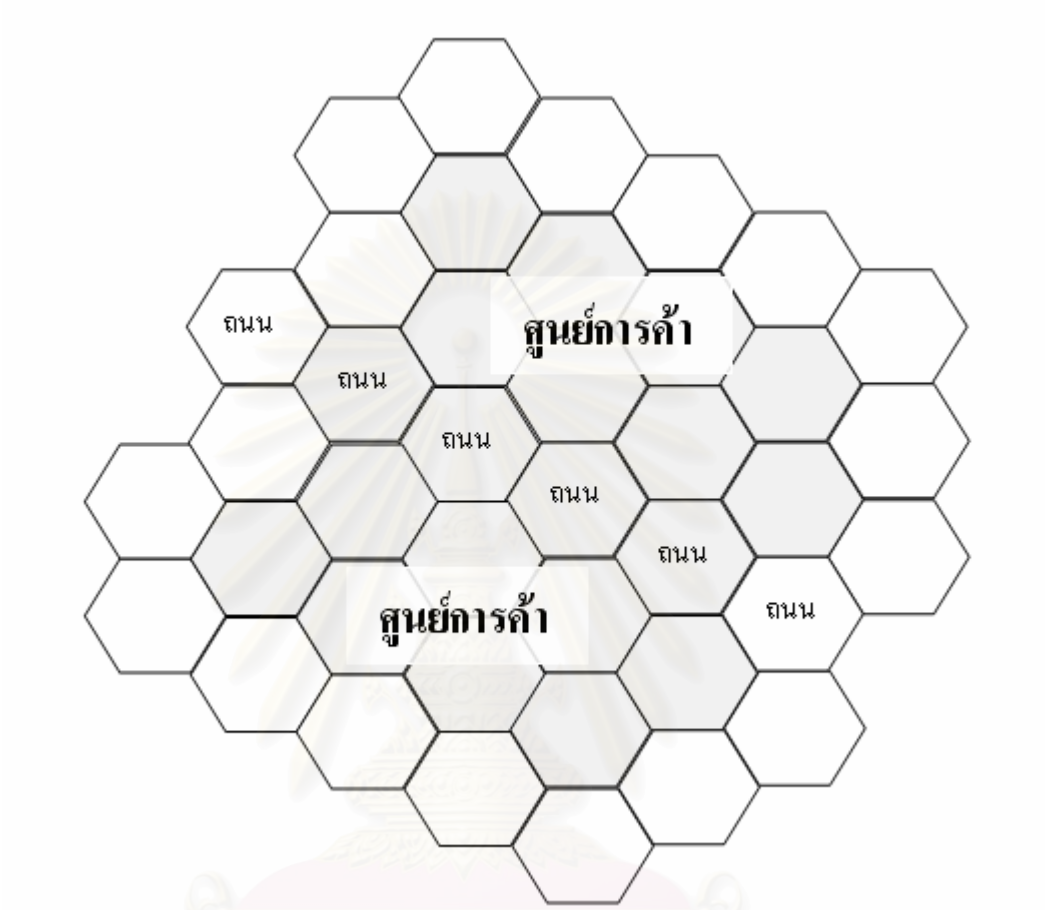
ในรูปที่ 4.13 พบว่าค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ของแบบแผนที่นำเสนอมีค่าสูงกว่าแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดที่อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ที่เข้ามายังเซลล์วิทยุสูงกว่า 60 การเรียกต่อหน่วยเวลา

ในรูปที่ 4.14 ซึ่งแสดงถึงค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบ เห็นได้ว่าค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรของแบบแผนที่เสนอมีค่าต่ำกว่าแบบแผนที่ใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดที่อัตราการมาถึงของการเรียกที่มากกว่า 70 การเรียกต่อเซลล์ต่อหน่วยเวลา และเข้าสู่ค่า 460 การเรียกโดยประมาณ เนื่องจากมีการจำกัดจำนวนการเรียกในโดเมนไม่ให้เกิน 480 การเรียก จึงทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรมีค่าต่ำลง

การตั้งค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่โดเมนการลงทะเบียนควบคุมปริมาณการเรียกที่เข้ามายังโดเมนการลงทะเบียน จึงทำให้หน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกท้องถิ่นที่เซลล์วิทยุสามารถให้บริการการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟด้วยการรักษาค่าความน่าจะเป็นของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่ไม่ให้เกินค่าที่รับประกันไว้ได้ แต่อย่างไรก็ตามการตั้งค่าจุดเปลี่ยนจะทำให้ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่สูงขึ้น และมีค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบที่ต่ำลง เนื่องจากการตั้งค่าจุดเริ่มเปลี่ยนเป็นการจำกัดปริมาณการเรียกใหม่ที่สามารถเข้ามายังระบบได้ ดังนั้นการใช้ประโยชน์ทรัพยากรของระบบของแบบแผนที่มีการตั้งค่าจุดเริ่มเปลี่ยนในการควบคุมตอบรับการเรียกที่โดเมนการลงทะเบียนจะไม่เกินค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ตั้งไว้

การเพิ่มสมรรถนะของระบบในการให้ลำดับกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟทำให้ระบบมีค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟลดลง กล่าวคือการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟจะถูกดร็อปน้อยลง แต่การให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟจะไปลดสมรรถนะส่วนอื่นของระบบ ระบบจะตอบรับการเรียกใหม่ได้น้อยลง หรือการสำรองช่องสัญญาณสำหรับการแฮนด์ออฟจะเป็นการจำกัดการใช้งานทรัพยากรของระบบ ดังนั้นในการให้ความสำคัญของการแฮนด์ออฟจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงการใช้ประโยชน์ทรัพยากรที่ลดลงของระบบ พร้อมกับการให้บริการการเรียกใหม่ที่น้อยลงด้วย

4.3 ผลการจำลองแบบของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอในสภาวะจำลองแบบเหมือนจริง



รูปที่ 4.15 สภาวะแวดล้อมของการจำลองแบบเหมือนจริงของโดเมนการลงทะเบียน

สภาวะของการจำลองแบบที่ในรูปที่ 4.15 สร้างจากสิ่งแวดล้อมที่เหมือนจริงมากขึ้น กล่าวคือ ให้โดเมนการลงทะเบียนเป็นโดเมนการลงทะเบียนของกลุ่มเซลล์วิทยุที่มีศูนย์การค้าที่มีถนนคั่นกลาง การใช้งานส่วนมากของผู้ใช้งานที่อยู่ในเซลล์วิทยุของศูนย์การค้ามีโอกาสที่จะแฮนด์ออฟข้ามเซลล์ในศูนย์การค้ามากกว่าที่จะแฮนด์ออฟเข้ามายังถนน ส่วนผู้ใช้งานที่อยู่ในเซลล์วิทยุในช่วงที่เป็นถนนมีโอกาสที่จะแฮนด์ออฟข้ามเซลล์ไปยังเซลล์ที่อยู่ในถนนมากกว่าที่จะแฮนด์ออฟเข้ามายังศูนย์การค้า

เดิมในหัวข้อที่ 4.2 ความน่าจะเป็นในการแฮนด์ออฟข้ามเซลล์วิทยุไปยังเซลล์ข้างเคียงจะมีค่าเท่ากันทุกเซลล์ การจำลองแบบที่เหมือนจริงในหัวข้อนี้ให้ค่าความน่าจะเป็นของการเรียกที่จะแฮนด์ออฟไปยังเซลล์วิทยุข้างเคียงมีค่าไม่เท่ากันทุกเซลล์ เพื่อให้ได้สภาวะของแบบจำลองเหมือน

จริงมากขึ้น [13] ซึ่งจึงมีการเพิ่มการถ่วงน้ำหนักของการแฮนด์ออฟ (handoff weighting) ให้กับความน่าจะเป็นของการเรียกที่จะแฮนด์ออฟจากเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง เป็นดังนี้

ศูนย์การค้า - ศูนย์การค้า	0.1667
ถนน - ถนน	0.2
ศูนย์การค้า – ถนน	0.05
ถนน - ศูนย์การค้า	0.05

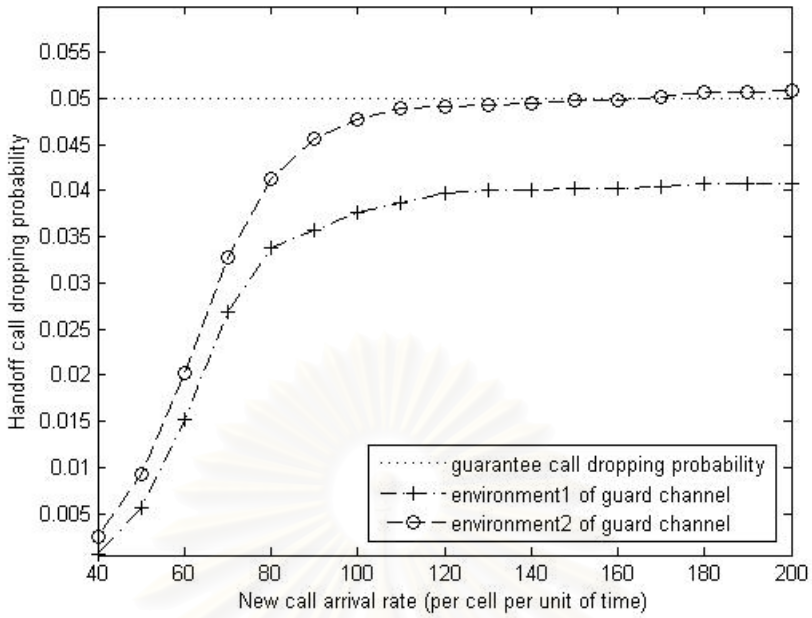
การวัดสมรรถนะของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอและแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกอื่น ภายใต้สภาวะแวดล้อมเหมือนจริง แสดงอยู่ในรูปที่ 4.16 ถึง 4.21 โดยสภาพแวดล้อมที่ 1 หมายถึง สภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการจำลองแบบมีค่าความน่าจะเป็นของการเรียกที่แฮนด์ออฟข้ามเซลล์วิทยุเท่ากันทุกเซลล์ สภาพแวดล้อมที่ 2 หมายถึง สภาวะแวดล้อมที่ใช้ในการจำลองแบบมีการถ่วงน้ำหนักการแฮนด์ออฟข้ามเซลล์วิทยุที่ไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 4.15

รูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 แสดงถึงความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของแบบแผนที่เสนอกับแบบแผนที่ใช้ช่องสัญญาณกัน โดยเทียบกันระหว่างการจำลองภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ 1 และ 2

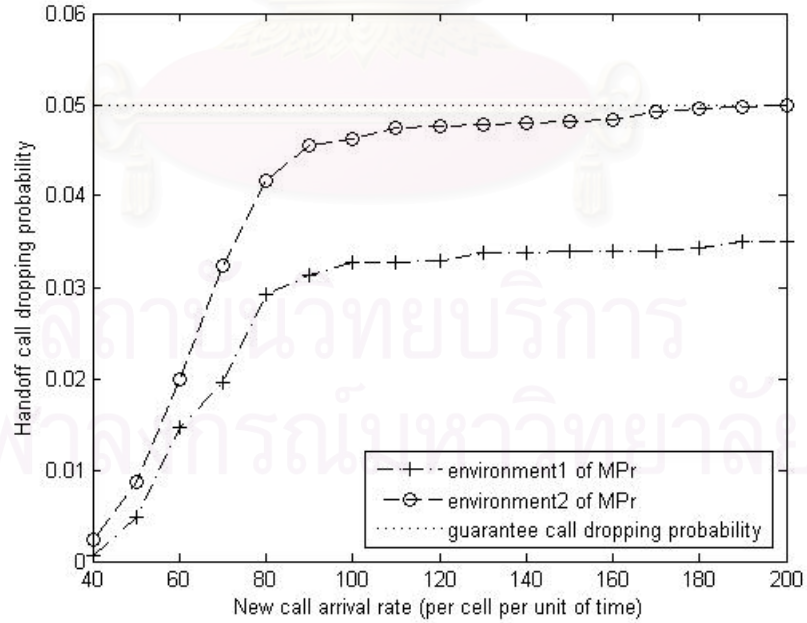
รูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 แสดงถึงความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ของแบบแผนที่เสนอกับแบบแผนที่ใช้ช่องสัญญาณกัน โดยเทียบกันระหว่างการจำลองภายใต้สิ่งแวดล้อมที่ 1 และ 2

รูปที่ 4.20 และ 4.21 แสดงถึงการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบของแบบแผนที่เสนอกับแบบแผนที่ใช้ช่องสัญญาณกัน โดยเทียบกันระหว่างการจำลองภายใต้สภาวะแวดล้อมที่ 1 และ 2

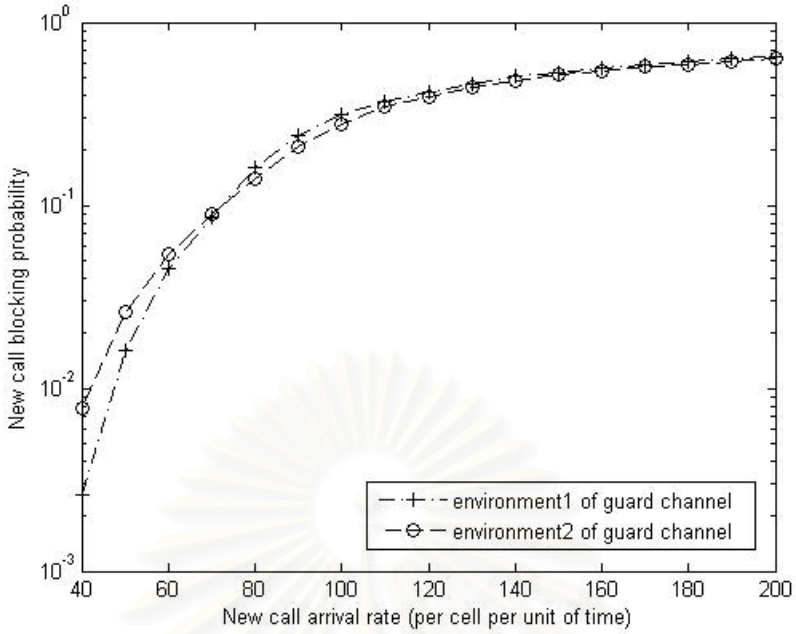
แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอขึ้นมีจุดเริ่มเปลี่ยนสำหรับตอบรับการเรียกใหม่เท่ากับ 480 การเรียก และใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดมาให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในเซลล์ ซึ่งจะถูกวัดสมรรถนะเปรียบเทียบกับแบบแผนที่มีจุดเริ่มเปลี่ยนสำหรับตอบรับการเรียกใหม่เท่ากับ 480 การเรียกเท่ากัน แต่ใช้วิธีช่องสัญญาณกันสำหรับสำรองช่องสัญญาณสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 1 การเรียก สมมุติให้ระบบต้องการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟให้แก่ผู้ใช้ไม่เกิน 0.05



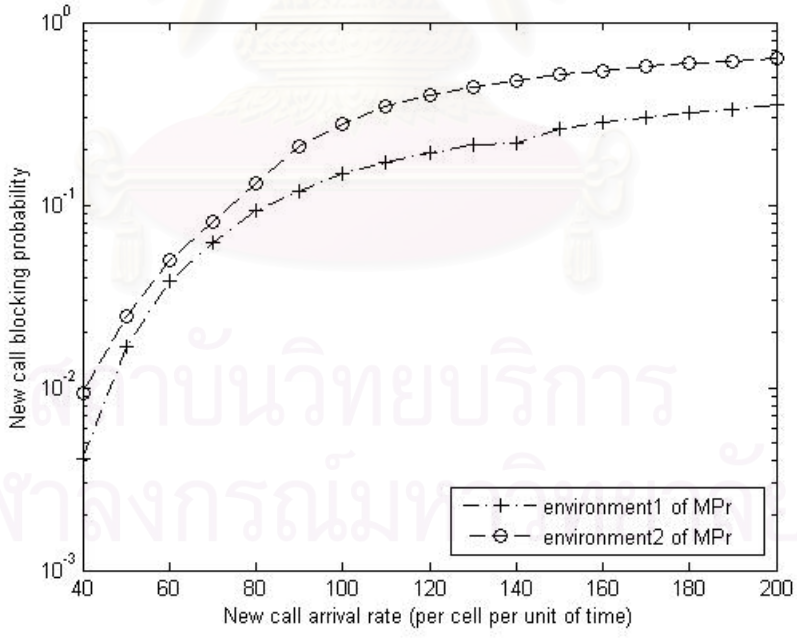
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของแบบแผนที่ใช้ช่องสัญญาณกันสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ 1 การเรียก ระหว่างสภาวะของการจำลองแบบที่ต่างกัน



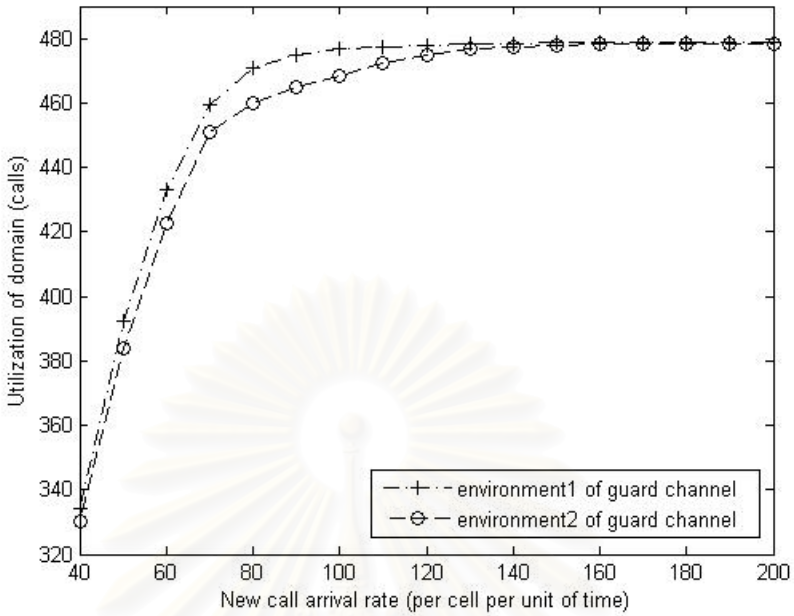
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของแบบแผนที่เสนอขึ้นระหว่างสภาวะในการจำลองแบบที่ต่างกัน



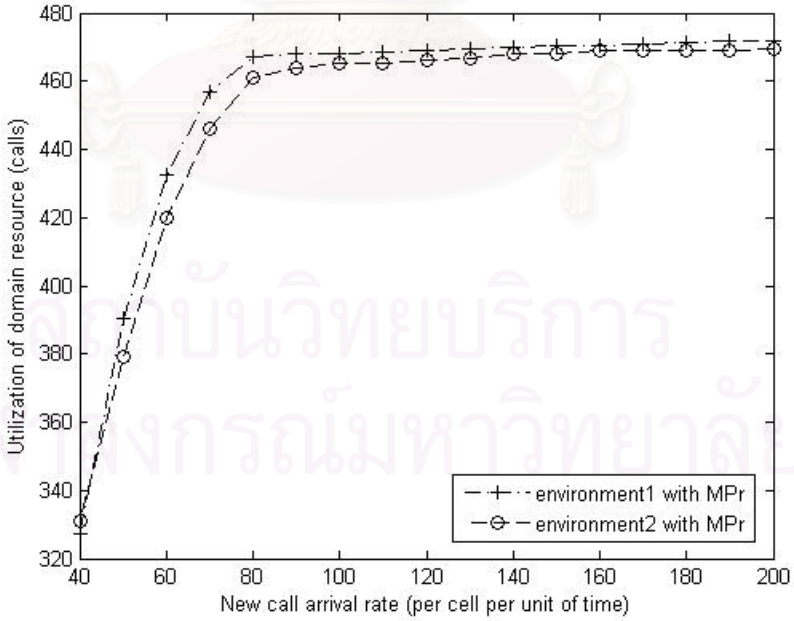
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ของแบบแผนที่ใช้ช่องสัญญาณกันสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ 1 การเรียกระหว่างสภาวะในการจำลองแบบที่ต่างกัน



รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ของแบบแผนที่เสนอขึ้นระหว่างสภาวะในการจำลองแบบที่ต่างกัน



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบการใช้ทรัพยากรระบบของแบบแผนที่ใช้ช่องสัญญาณกันสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ 1 การเรียกระหว่างสภาวะในการจำลองแบบที่ต่างกัน



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบการใช้ทรัพยากรระบบของแบบแผนที่เสนอขึ้นระหว่างสภาวะในการจำลองแบบที่ต่างกัน

จากรูปที่ 4.16 ณ สภาวะแวดล้อมในการจำลองแบบเดิมพบว่าแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ใช้วิธีช่องสัญญาณกันพร้อมทั้งมีการตั้งจุดเริ่มเปลี่ยนสำหรับตอบรับการเรียกใหม่ สามารถรักษาค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้ ต่อมาเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมในการจำลองแบบให้เหมือนจริงมากขึ้นพบว่าแบบแผนนี้ไม่สามารถรักษาค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟตามที่รับประกันไว้ จะเห็นได้จากค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่อัตราเรียกใหม่ที่เข้ามายังเซลล์วิทยุมีค่าสูงกว่า 160 การเรียกต่อหน่วยวินาทีขึ้นไป เมื่อพิจารณาแบบแผนที่นำเสนอซึ่งใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดร่วมกับการตั้งจุดเริ่มเปลี่ยนในการตอบรับการเรียกจากรูปที่ 4.17 พบว่าแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอสามารถรักษาค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่รับประกันไว้ได้แม้ว่าสภาวะแวดล้อมในการจำลองแบบจะเปลี่ยนไป

ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ของแบบแผนที่ใช้วิธีช่องสัญญาณกันมีค่าใกล้เคียงกันในสภาวะแวดล้อมการจำลองแบบทั้ง 2 สถานะดังรูปที่ 4.18 เมื่อพิจารณาแบบแผนที่นำเสนอในรูปที่ 4.19 พบว่าค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ของสภาวะแวดล้อมที่ 2 มีค่าสูงกว่าของสภาวะที่ 1 มาก เนื่องมาวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดเพิ่มช่องสัญญาณที่สำรองสำหรับการแฮนด์ออฟให้มากขึ้นเพื่อรักษาค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ ไม่ให้เกินค่าที่รับประกันไว้ ซึ่งจะทำให้ช่องสัญญาณบางส่วนถูกกันไว้ให้กับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟมากขึ้น เป็นผลให้การเรียกใหม่ถูกบล็อกมากขึ้นเช่นกัน

เมื่อพิจาณาถึงค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบจากรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.21 พบว่าแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกทั้งสองแบบแผนมีการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบใกล้เคียงเดิมแม้ว่าสภาวะแวดล้อมในการจำลองแบบจะเปลี่ยนไป

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่นำเสนอสามารถปรับตัวให้เข้ากับปริมาณทราฟฟิกและสภาวะแวดล้อมของโครงข่ายที่เปลี่ยนไป ซึ่งยังคงสามารถรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟไว้ได้

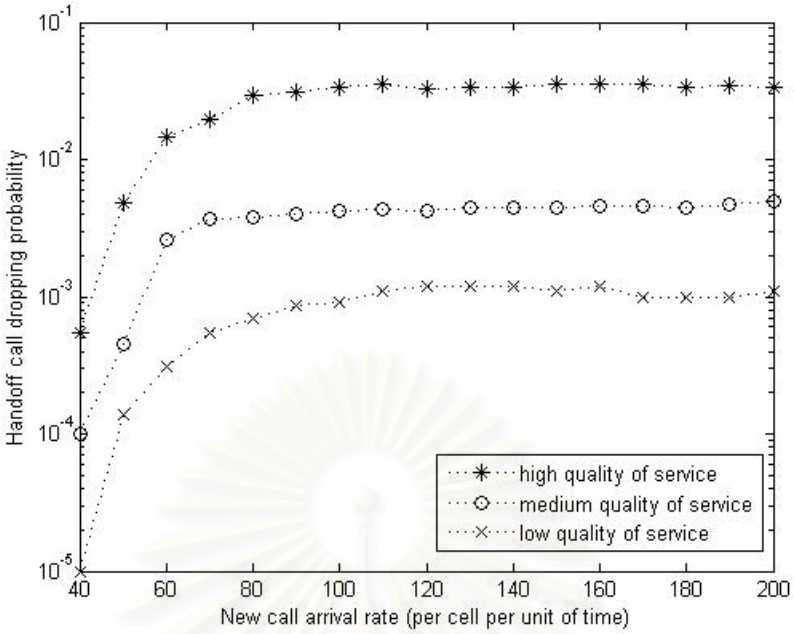
4.4 ผลการจำลองแบบของแบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับการเรียกที่ได้รับการตอบรับแล้ว

หลังจากที่การเรียกได้รับการตอบรับจากหน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกทั้งในระดับชั้นเกตเวย์ของโดเมนการลงทะเบียน และในระดับชั้นเกตเวย์ของเซลล์วิทยุแล้ว หน่วยจัดสรรแบนด์วิดท์ของโดเมนการลงทะเบียนและ หน่วยควบคุมอัตราการตอบรับท้องถิ่นที่อยู่ในเซลล์วิทยุแต่ละเซลล์จะจัดสรรแบนด์วิดท์ประสิทธิผลให้กับการเรียกนั้นตามสภาวะทราฟฟิกในโครงข่าย การจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัวจะทำให้โดเมนสามารถรองรับการเรียกได้เพิ่มขึ้นเมื่อทราฟฟิกในโครงข่ายมากขึ้น ตารางที่ 4.1 แสดงถึงจำนวนการเรียกที่โดเมนรองรับได้เนื่องจากสามารถจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัวได้ อ้างอิงจากตารางที่ตารางที่ ก.1 ในภาคผนวก ก ในสภาวะการจำลองแบบกำหนดให้การเรียก 1 การเรียกสามารถได้รับการจัดสรรแบนด์วิดท์ประสิทธิผลและระดับของคุณภาพของการให้บริการได้ 3 ค่า ขึ้นกับปริมาณทราฟฟิกโหลดในโดเมนขณะนั้นๆ

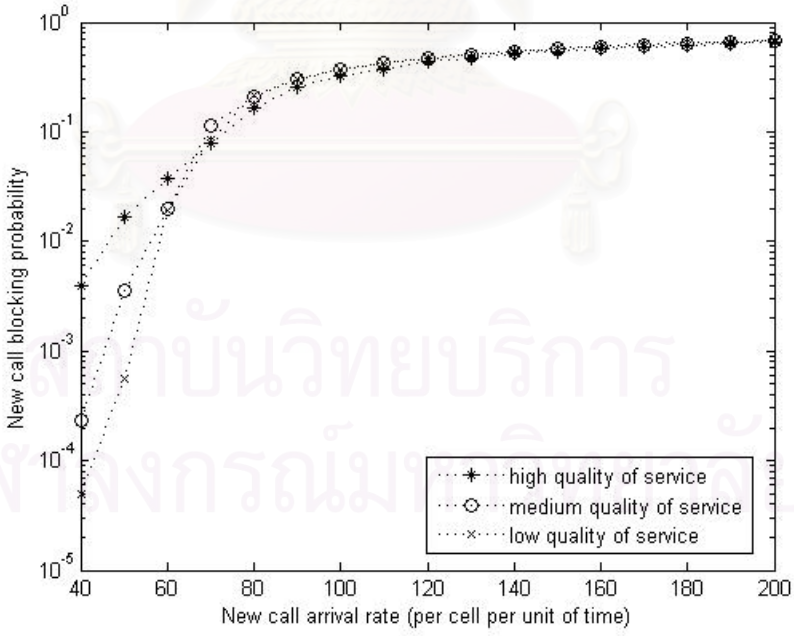
ตารางที่ 4.1 จำนวนการเรียกที่รองรับบริการแบบประกันแบบปรับตัว

คุณภาพของการให้บริการ	ปริมาณทราฟฟิกโหลดในโดเมน	แบนด์วิดท์ประสิทธิผล (แพ็กเกต/วินาที)	จำนวนการเรียกที่เซลล์รองรับได้ (การเรียก)	จำนวนการเรียกที่โดเมนรองรับได้ (การเรียก)
สูง	ต่ำ	142.45	30	600
กลาง	กลาง	119.85	35	700
ต่ำ	สูง	112.65	38	760

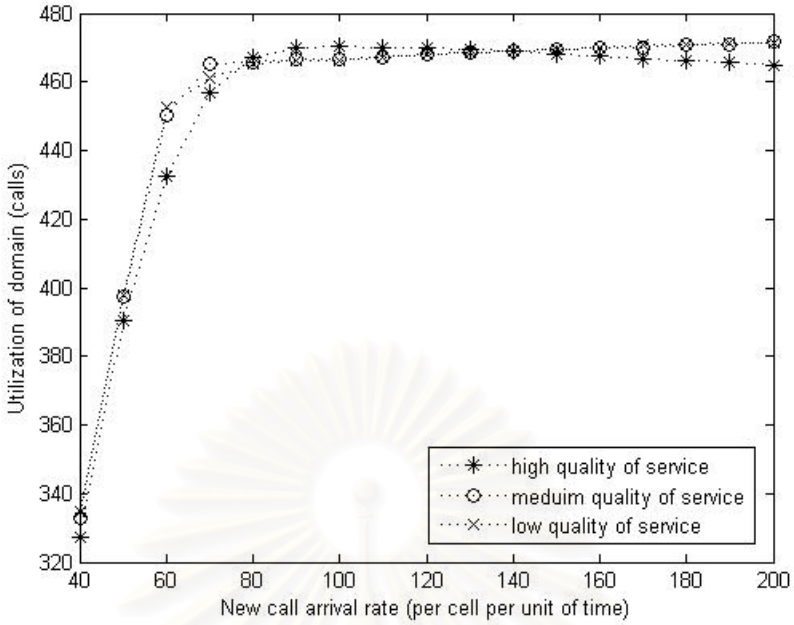
เมื่อนำแบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัวตามตารางที่ 4.1 มาให้บริการในโดเมนการลงทะเบียนที่มีการตั้งจุดเริ่มเปลี่ยนเท่ากับ 480 การเรียก และใช้วิธีการสำรองช่องสัญญาณล่วงหน้าแบบพลวัตมาให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟสูงกว่าลำดับความสำคัญของการเรียกใหม่ ซึ่งมีการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ 0.05 สามารถวัดสมรรถนะของแบบแผนได้จากค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ, ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ และค่าการใช้ทรัพยากรของระบบ ดังรูปที่ 4.15, 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของแบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัวได้ ที่การให้บริการด้วยระดับคุณภาพของให้บริการต่างๆ 3 ระดับ



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ของแบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัวได้ ที่การให้บริการด้วยระดับคุณภาพของให้บริการต่างๆ 3 ระดับ



รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรของแบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัวได้ ที่การให้บริการด้วยระดับคุณภาพของให้บริการต่างๆ 3 ระดับ

จากรูปที่ 4.22 เมื่อพิจารณาถึงค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟพบว่าการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัว สามารถช่วยลดความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้ ซึ่งระบบยังสามารถคงค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ และค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบได้เท่าเดิมดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.23 และ 4.24 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการลดคุณภาพของการให้บริการของระบบลงทำให้ระบบสามารถรองรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้เพิ่มขึ้น โดยที่ค่าความน่าจะเป็นของการใช้งานประโยชน์ทรัพยากรและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกยังใกล้เคียงกับค่าเดิม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การจัดโครงข่ายอินเทอร์เนตไร้สายเคลื่อนที่ให้อยู่ในรูปของโครงข่ายลงทะเบียนภูมิภาค สามารถสนับสนุนการแฮนด์ออฟอย่างเร็วได้ ระบบควรมีการจัดสรรทรัพยากรให้แก่การเรียกอย่างเร็วเพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของโครงข่ายลงทะเบียนภูมิภาค โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอแบบแผนการจัดสรรทรัพยากรให้แก่การเรียกในโครงข่ายลงทะเบียนภูมิภาคที่ประกอบไปด้วยแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้แก่การเรียกที่ได้รับการจัดสรรทรัพยากรไปแล้ว

แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกในโครงข่ายลงทะเบียนภูมิภาคที่เสนอขึ้นประกอบไปด้วยวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ 2 ระดับชั้น คือ ที่ชั้นเกตเวย์ของโดเมนการลงทะเบียน และที่ชั้นเกตเวย์ของเซลล์วิทยุ โดยการควบคุมการตอบรับการเรียกของเกตเวย์โดเมนการลงทะเบียนจะมีค่าจุดเริ่มเปลี่ยนเพื่อใช้ในการตอบรับการเรียกใหม่ที่เข้ามา เนื่องจากต้องการจำกัดปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามายังโดเมนการลงทะเบียน และเพื่อสนับสนุนการทำงานของวิธีการตอบรับการเรียกของเกตเวย์ในเซลล์วิทยุ โดเมนจะตอบรับการเรียกใหม่ก็ต่อเมื่อจำนวนการเรียกทั้งหมดในโดเมนการลงทะเบียนไม่เกินค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ตั้งไว้ตั้งแต่แรก สำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟจะได้รับการปฏิเสธก็ต่อเมื่อช่องสัญญาณของเซลล์วิทยุที่การเรียกต้องการจะแฮนด์ออฟเข้ามาถูกใช้จนหมด

เกตเวย์ที่เซลล์วิทยุจะมีการให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟด้วยวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัด โดยวิธีนี้จะเป็นวิธีการให้ลำดับความสำคัญที่สามารถรับประกันคุณภาพของการให้บริการของระบบด้วยการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายต่อการนำไปใช้งานในระบบจริง เพราะจำนวนช่องสัญญาณที่เซลล์วิทยุต้องสำรองเพื่อรักษาคุณภาพของการให้บริการคำนวณได้จากการวัดข้อมูลทางสถิติในเซลล์วิทยุนั้นๆ ได้แก่ จำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่เข้ามายังเซลล์วิทยุ และจำนวนการเรียกที่เซลล์วิทยุตอบรับให้ใช้บริการได้ ณ ช่วงเวลาหนึ่งๆ การเก็บข้อมูลทางสถิติเกี่ยวกับจำนวนการเรียกเหล่านี้ทำให้ทราบถึงสภาวะทราฟฟิกที่เกิดขึ้นอยู่ในปัจจุบัน และนำไปคำนวณหาจำนวนช่องสัญญาณเพื่อรองรับทราฟฟิกเหล่านั้น

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้เสนอแบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้แก่การเรียกที่ได้รับการตอบรับแล้ว พิจารณาการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้แก่ทราฟฟิกประเภทบริการ streaming ซึ่งข้อมูลของทราฟฟิกในชั้นนี้ได้รับการเข้ารหัสแบบปรับตัว กล่าวคือ คุณภาพของการให้บริการของ

ทราฟฟิกประเภทนี้สามารถปรับได้ตามสภาวะปริมาณทราฟฟิกที่กำลังดำเนินอยู่ในโครงข่าย กล่าวคือ ถ้าโครงข่ายมีปริมาณทราฟฟิกที่คับคั่ง โครงข่ายสามารถลดแบนด์วิดท์ประสิทธิผลให้แก่การเรียก การลดแบนด์วิดท์ลงส่งผลให้คุณภาพของบริการที่ให้แก่การเรียกต่ำลงด้วย แต่จะเพิ่มจำนวนการเรียกที่ระบบสามารถตอบรับได้เพิ่มมากขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาผลการจำลองระบบเมื่อใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่เสนอดังในบทที่ 4 พบว่าแนวคิดข้างต้นเป็นจริง โดยผลที่สรุปได้เป็นดังนี้

แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอสามารถรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้ เนื่องมาจากการทำงานที่สนับสนุนกันของหน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกของโดเมนการลงทะเบียนและหน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกของเซลล์วิทยุ กล่าวคือ หน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกที่เซลล์วิทยุใช้วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดที่สามารถรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้มาจัดสรรช่องสัญญาณในเซลล์วิทยุ และให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ เมื่อเทียบกับวิธีช่องสัญญาณกันที่มีการสำรองช่องสัญญาณสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟด้วยจำนวนที่คงที่ พบว่าการใช้ช่องสัญญาณกันจะทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบมีค่าต่ำกว่าวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัด และยังพบว่าวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดสามารถทำงานได้ดีในช่วงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามายังระบบเป็นปริมาณไม่มากเกิน ถ้าปริมาณทราฟฟิกในโดเมนการลงทะเบียนมีความคับคั่งมาก วิธีจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัดเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้ โดยเฉพาะในกรณีที่ระบบต้องการรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่ต่ำมาก

ดังนั้นในส่วนของหน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกที่โดเมนจึงมีการตั้งค่าจุดเริ่มเปลี่ยนในการตอบรับการเรียกใหม่ เพื่อลดความคับคั่งของปริมาณทราฟฟิกในโดเมนลงทะเบียนได้ และช่วยให้หน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกของเซลล์วิทยุสามารถรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้ตรงกับค่าที่ตั้งไว้ กล่าวคือ การออกแบบแบบแผนการตอบรับการเรียกของโครงข่ายลงทะเบียนภูมิภาค จะมีค่าจุดเริ่มเปลี่ยนสำหรับตอบรับการเรียกใหม่ในระดับของโดเมนการลงทะเบียน เพื่อใช้ควบคุมปริมาณทราฟฟิกที่เข้าสู่โครงข่ายทำงานร่วมกับหน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกในระดับของเซลล์ที่จะทำหน้าที่รักษาความน่า จะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่รับประกันไว้

นอกจากนี้เมื่อทดสอบสมรรถนะของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอขึ้นในสภาพแวดล้อมเหมือนจริง พบว่าแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอขึ้นสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป และยังสามารถรักษาค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการ

เรียกให้ต่ำกว่าค่าที่รับประกันไว้แก่ผู้ใช้บริการได้ ดังนั้นแบบแผนที่นำเสนอสามารถนำไปใช้งานในโครงข่ายไร้สายเคลื่อนที่จริงได้

แบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัวที่เสนอทำให้ระบบสามารถรองรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้เพิ่มขึ้น โดยค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่และค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรระบบยังคงมีค่าใกล้เคียงเดิม ทำให้เห็นว่าแบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัวสามารถลดความคับคั่งของทราฟฟิกในโครงข่ายได้ เนื่องจากการปรับลดแบนด์วิดท์ประสิทธิผลที่ให้แก่การเรียกในโดเมน จะทำให้โดเมนนำแบนด์วิดท์ส่วนที่เหลือไปให้บริการการเรียกได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามคุณภาพของการให้บริการแก่การเรียกภายในโดเมนระบบก็จะถูกลดลงไปด้วย เนื่องจากแบนด์วิดท์ประสิทธิผลที่ใช้บริการลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่มีการตั้งค่าจุดเริ่มเปลี่ยนเพื่อตอบรับการเรียกใหม่ ซึ่งค่าที่ตั้งจะเป็นค่าที่สนับสนุนการทำงานของวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัด เพื่อให้ระบบสามารถรับประกันค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ตั้งขึ้นควรจะได้รับวิเคราะห์โดยสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อที่ระบบสามารถคำนวณหาค่าจุดเริ่มเปลี่ยนในการตอบรับการเรียกใหม่ตามสภาวะปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามายังโครงข่ายในปัจจุบันได้

นอกจากนี้ การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบที่ออกแบบขึ้นนั้น พิจารณาถึงการให้บริการแก่การเรียกของทราฟฟิกประเภทประกันแบบปรับตัวเพียงอย่างเดียว ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตอาจนำแบบแผนที่ออกแบบไปใช้กับโครงข่ายมัลติมีเดียที่มีการใช้ช่องสัญญาณร่วมกันระหว่างบริการหลายๆ ประเภท และพิจารณาถึงคุณภาพของการให้บริการในรูปอื่นๆ ด้วย เช่น คุณภาพของการให้บริการในระดับของการสูญเสียของแพ็กเกต เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. Dixit, S., Yile Guo, and Antoniou, Z. Resource management and quality of service in third generation wireless networks. IEEE Communication Magazine 39 (February 2001): 125-133.
2. Dixit, S., and Prasad, R. Wireless IP and building the mobile internet. United State of America: Artech House, 2003.
3. สุรศักดิ์ สงวนพงษ์. สถาปัตยกรรมและโปรโตคอลทีซีพี/ไอพี. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2545.
4. เกรียงศักดิ์ หงษ์ชุมเพ. มาตรฐานอินเตอร์เน็ตและโปรโตคอล. กรุงเทพฯ: สามย่าน.COM, 2544.
5. Wisely, D., Eardly, P., and Burness, L. IP for 3G networking technologies for mobile communications. England: John Wiley & Sons, Ltd, 2002.
6. Perkins, C. IP Mobility Support. RFC: 2002. (October 2002)
7. Solomon, D. J. Mobile IP. United State of America: Prentice Hall, 1998.
8. Cheng, Y. and Zhuang, W. DiffServ resource allocation for fast handoff in wireless mobile internet. IEEE Communication Magazine (May 2002): 130-136.
9. J. H. Lee, T. Jung, S. Yoon, S. Youm, and C. Kang, "An Adaptive Resource Allocation Mechanism Including Fast and Reliable Handoff in IP-Based 3Gwireless Networks," IEEE Commun. Mag., December 2000, pp.42-48.
10. Zhang, T. Berg, E. V. D., Chennikara J., Agrawal P., Chen J., and Kodama, T. Local predictive resource reservation for handoff in multimedia wireless IP networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communication 19 (October 2001): 1931-1941.
11. Cheng, Y., and Zhuang, W. A DiffServ resource allocation scheme supporting fast handoff in IP-based wireless networks. Proceeding 3G Wireless 2002 (May 2002)
12. Hong, D. and Rappaport, S., S. Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone system with prioritizes and non-prioritizes handoff procedures. IEEE Transactions on Vehicular Technology 3 (August 1986): 77-92.
13. Yu, O. T. W., and Lueng, V. C. M. Adaptive resource allocation for prioritized call admission over an ATM-based wireless PCN. IEEE Journal on Selected Areas in Communication 15, 7 (September 1997): 1208-1225.

14. Luo, X., Thng, I. and Zhuang, W., A dynamic pre-reservation scheme for handoffs with GoS guarantee in mobile network. IEEE International Symposium Computers Communication (July 1999): 404-408.

15. Luo, X., Li, B., Thng, I. L. J., Lin, Y. B., and Chlamtac, I. An adaptive measured-based preassingment scheme with connection-level QoS support for mobile networks. IEEE Transaction on Wireless Communications 1 (July 2002): 521-530.

16. Silva, P. D., and Sirisena, H. A mobility management protocol for IP-based cellular networks. IEEE Wireless Communications 9 (June 2002): 31-37.

17. Jha, S., and Hassan, M. Engineering Internet QoS. United Kingdom: Artech House, 2002.

18. Mark, J. W. and Zhuang, W. Wireless communication and networking. United State of America: Prentice Hall, 2003.

19. Braden, C., and S. Integrated services in the Internet architecture. RFC: 1633. (July 1994).

20. Zander J. and Kim S., Radio resource management for wireless networks. United Kingdom: Artech House, 2002.

21. Fang, Y., and Zang, Y. Call admission control schemes and performance analysis in wireless mobile networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology 51 (March 2002): 371-382.

22. Naghshineh M., and Acampora, A., S., Desing and control of micro-cellular networks with QoS provision for real time traffic. IEEE 3rd international conference personal communications (1994): 376-381.

23. Fang, Y., and Zhang, Y. Call admission control schemes and performance analysis in wireless mobile networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology 51 (March 2002): 371-381.

24. Kovvuri, S., Pandey, V., Ghosal, D., Mukherjee, B., and Sarkar, D. A call admission control (CAC) algorithm for providing guaranteed QoS in cellular networks. International journal of wireless information networks 10 (August 2003): 73-85.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่เสนอ

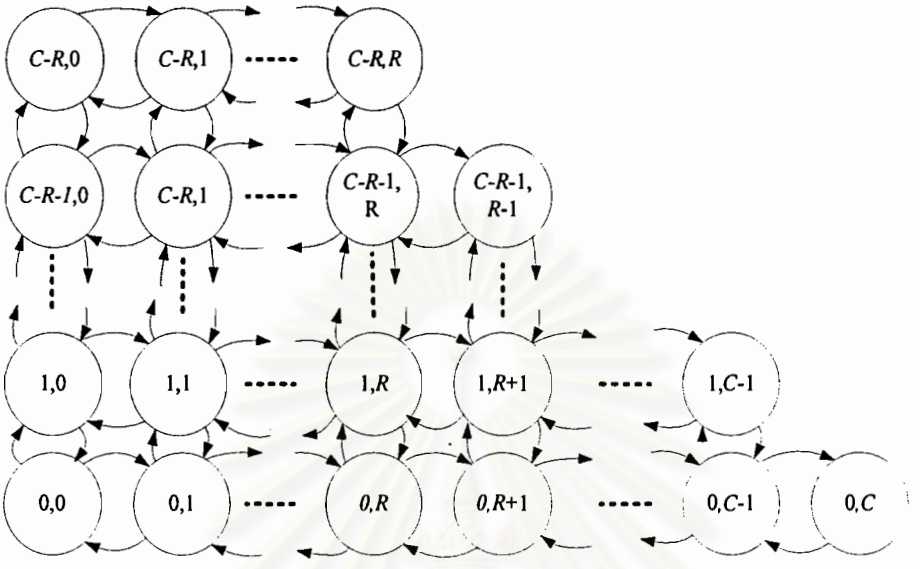
แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ออกแบบขึ้นเพื่อใช้กับโครงข่ายการลงทะเบียนภูมิภาค ประกอบไปด้วยวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่โดเมนการลงทะเบียนและที่เซลล์วิทยุ วิธีการควบคุมการตอบรับที่โดเมนการลงทะเบียนถูกสร้างขึ้นภายใต้สมมติฐานที่ว่า การมาถึงของการเรียกใหม่สามารถจำลองได้ด้วยการแจกแจงแบบปัวส์ซงที่มีค่าเฉลี่ย (mean) เท่ากับ λ เวลาการให้บริการการเรียก (call service time) มีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1/\mu$ หน่วยเวลา อัตราการออกจากระบบที่แท้จริง (actual departure rate) เท่ากับ μ_e ซึ่งจะมีค่ามากกว่าอัตราการออกจากระบบโดยธรรมชาติ (natural departure rate) μ เนื่องจากมีการเรียกบางส่วนถูกดร็อปไปขณะแฮนด์ออฟ ดังสมการที่ (ก.1)

$$\mu_e = \mu + hP_h \qquad \text{(ก.1)}$$

เวลายึดช่องสัญญาณในเซลล์ 1 เซลล์ของการเรียก (channel holding time) มีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ $1/h$ โดยที่ h เป็นอัตราการแฮนด์ออฟ ซึ่งสมมุติให้เซลล์ทุกเซลล์มีอัตราการแฮนด์ออฟที่เท่ากัน กล่าวคือ อัตราการแฮนด์ออฟจากเซลล์หนึ่งไปยังเซลล์อีกเซลล์หนึ่งมีค่าเท่ากันกับอัตราการมาถึงของการแฮนด์ออฟ ทำให้ระบบที่พิจารณาเป็นระบบแบบสภาวะเอกพันธุ์ (homogenous) ส่งผลให้สามารถวิเคราะห์แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก โดยพิจารณาจากเซลล์วิทยุหนึ่งเซลล์เป็นตัวแทนของเซลล์วิทยุทั้งหมดได้ ดังต่อไปนี้

กำหนดให้โดเมนการลงทะเบียน 1 โดเมนมีจำนวนเซลล์วิทยุภายในโดเมนเท่ากับ m เซลล์ และมีค่าเริ่มเปลี่ยนสำหรับรับการเรียกใหม่เท่ากับ N_{domain} การเรียก การบล็อกการเรียกใหม่ที่โดเมนการลงทะเบียน จะเกิดขึ้นเมื่อการเรียกภายในโดเมนการลงทะเบียนเกินกว่าค่าเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ได้สามารถคำนวณจากสูตรการสูญเสียของเออร์แลง (Erlang loss's formula) ซึ่งโหลด (load) ของระบบ คือ โหลดการเรียกที่เข้าสู่โดเมนมีค่าเท่ากับ $m\lambda/\mu_e$ ดังนั้นความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ที่โดเมนการลงทะเบียน ($P_{Bdomain}$) หาได้จากสมการที่ (ก.2)

$$P_{Bdomain} = \left(\frac{\left(m\lambda/\mu_e\right)^{N_{domain}}}{N_{domain}!} \right) \Bigg/ \sum_{i=0}^{N_{domain}} \frac{\left(m\lambda/\mu_e\right)^{i}}{i!} \qquad \text{(ก.2)}$$



รูปที่ ก.1 ไดอะแกรมการเปลี่ยนสถานะของช่องสัญญาณในเซลล์วิทยุ

หลังจากผ่านหน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกของโดเมนการลงทะเบียนทำให้ค่าเฉลี่ยของการมาถึงของการเรียกใหม่ที่เข้าสู่เซลล์วิทยุ (λ_e) มีค่าเท่ากับ $\lambda(1-P_{Bdomain})$ กำหนดให้เซลล์วิทยุ 1 เซลล์ สามารถรองรับการเรียกได้ C การเรียก โหลดที่เข้ามาแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ โหลดที่เกิดจากการเรียกใหม่ที่ไม่โดนบล็อกจากโดเมนการลงทะเบียน (ρ_n) มีค่าเท่ากับ λ_e/μ_e และโหลดที่เกิดจากการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟข้ามเซลล์ (ρ_h) มีค่าเท่ากับ $\left(h/(h+\mu)\right)\lambda_e/\mu_e$ การวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นในการบล็อกการเรียกใหม่และการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟสามารถจำลองได้จากไดอะแกรมการเปลี่ยนสถานะ (state diagram) [23] ดังรูปที่ ก.1

หน่วยควบคุมการตอบรับท้องถิ่นของเซลล์วิทยุมีจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับการเรียกด้วยแบบแผนการจัดสรรช่องสัญญาณล่วงหน้าบนพื้นฐานของการวัด ซึ่งมีการให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟด้วยการสำรองช่องสัญญาณล่วงหน้าสำหรับให้บริการกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ R การเรียก ซึ่งคำนวณหาค่า R ได้จากสมการที่ (ก.2)

การเรียกใหม่จะถูกบล็อกเมื่อจำนวนช่องสัญญาณภายนอกพูลการสำรองถูกใช้จนหมด ส่วนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟจะถูกดร็อปเมื่อช่องสัญญาณทั้งหมดในเซลล์วิทยุถูกใช้จนหมด กำหนดให้ (n_1, n_2) คือ สถานะของการเรียกในเซลล์วิทยุที่มีการเรียกใหม่เท่ากับ n_1 การเรียก และมีการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ n_2 การเรียก

ดังนั้นสถานะของการเรียกทั้งหมดสามารถเกิดขึ้นได้ภายใต้เซต S ซึ่งเท่ากับ $S=\{(n_1,n_2 \mid 0 \le n_1 \le C-R, n_1+n_2 \le C\}$ โดยให้ $P(n_1,n_2)$ เป็นความน่าจะเป็นที่จะเกิดจำนวนการเรียกใหม่และการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ n_1 และ n_2 ตามลำดับ ดังสมการที่ (ก.3)

$$P(n_1,n_2)=\frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!}\cdot\frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!}\cdot P(0,0) \qquad \text{(ก.3)}$$

โดยที่ $\rho_n=\lambda_e/\mu_e$ และ $\rho_h=(h/\mu+h)\lambda_e/\mu_e$ และ $P(0,0)$ หาได้จากสมการที่ (ก.4)

$$P(0,0)=\left[\sum_{n_1=0}^{C-R}\frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!}\sum_{n_2=0}^{C-n_1}\frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!}\right]^{-1} \qquad \text{(ก.4)}$$

จากไดอะแกรมการเปลี่ยนสถานะของการเรียกในรูปที่ ก.1 ทำให้สามารถวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ (P_{nb}) และความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ (P_{hd}) ที่เซลล์วิทยุได้ดังสมการที่ (ก.1) และ (ก.2) ตามลำดับ

$$P_{nb}=\frac{\sum_{n_2=0}^{R}\frac{\rho_n^{C-R}}{(C-R)!}\cdot\frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!}+\sum_{n_1=0}^{C-R+1}\frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!}\cdot\frac{\rho_h^{C-n_1}}{(C-n_1)!}}{P(0,0)} \qquad \text{(ก.5)}$$

$$P_{hd}=\frac{\sum_{n_1=0}^{C-R}\left(\frac{\rho_n}{n_1!}\right)^{n_1}\cdot\frac{\rho_h^{C-n_1}}{(C-n_2)!}}{P(0,0)} \qquad \text{(ก.6)}$$

แบบแผนการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัวได้ที่เสนอขึ้น ทำให้ระบบสามารถรองรับการเรียกได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากลดแบนด์วิดท์ประสิทธิผลที่จัดสรรให้แก่การเรียกในระบบ ระบบมีการจัดสรรแบนด์วิดท์ประสิทธิผลได้ 3 ระดับ เป็น e_1,e_2,e_3 สำหรับสภาวะทราฟฟิกในระบบต่ำ ปานกลาง และสูง ตามลำดับดังตารางที่ 3.1 การปรับค่าแบนด์วิดท์ประสิทธิผลของการเรียกส่งผลให้ระบบสามารถรองรับการเรียกได้เพิ่มขึ้นซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 จำนวนการเรียกที่โดเมนรองรับได้จากการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัว

แบนด์วิดท์ประสิทธิผล (แพ็กเกต/วินาที)	จำนวนการเรียกที่เซลล์รองรับได้ (การเรียก)	จำนวนการเรียกที่โดเมนรองรับได้ (การเรียก)
e_1	C	mCe_1
e_2	Ce_1/e_2	mCe_1/e_2
e_3	Ce_1/e_3	mCe_1/e_3

จากตารางที่ ก.1 เซลล์วิทยุ 1 เซลล์สามารถรองรับการเรียกของบริการแบบประกันได้ C การเรียก ด้วยแบนด์วิดท์ประสิทธิผล e_1 ดังนั้นความจุของเซลล์มีค่าเท่ากับ Ce_1 แพ็กเกตต่อวินาที โดยที่ตัวควบคุมการตอบรับการเรียกของโดเมนการลงทะเบียนจะสามารถรองรับการเรียกได้จำนวน mCe_1 การเรียก

เมื่อมีการเรียกเข้าเพิ่มมากขึ้น เซลล์ปรับแบนด์วิดท์ประสิทธิผลให้กับการเรียกแบบประกันให้มีค่าเท่ากับ e_2 ทำให้เซลล์สามารถรับโหลดเพิ่มเป็น Ce_1/e_2 การเรียก โดเมนรองรับการเรียกได้จำนวน mCe_1/e_2 การเรียก

เมื่อมีการเรียกเข้าเพิ่มมากขึ้นอีก เซลล์ปรับแบนด์วิดท์ประสิทธิผลให้กับการเรียกแบบประกันให้มีค่าเท่ากับ e_3 ทำให้เซลล์สามารถรับโหลดเพิ่มเป็น Ce_1/e_3 การเรียก โดเมนรองรับการเรียกได้จำนวน mCe_1/e_3 การเรียก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

บทความทางวิชาการที่ได้นำเสนอใน IEEE 61st Semiannual Vehicular Technology Conference (VTC 2005- Spring) จัดประชุมที่ Clarion Hotel เมือง Stockholm ประเทศสวีเดน โดย IEEE Vehicular Technology Society ในระหว่างวันที่ 30-31 พฤษภาคม และ 1 มิถุนายน 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Call Admission Control Scheme with GoS Guarantee for Wireless IP-based Networks

Nutsupang Pitakapan and Watit Benjapolakul
Department of Electrical Engineering,
Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand
E-mail : nutsupang.p@student.chula.ac.th, watit.b@eng.chula.ac.th

***Abstract*— This paper focuses on Call Admission Control (CAC) algorithms in the Regional Registration networks. We propose a novel CAC scheme to take into account two layers: Gateway Foreign Agent (GFA) and Regional Foreign Agent (RFA). The key behind this idea is a threshold that is set to admit a new call in GFA, cooperating with a dynamic channel allocation algorithm in RFA. Explicit advantages of this scheme are not only reduced congestion in the hierarchical network structure, but also guaranteed Grade of Service (GoS) in terms of handoff call dropping probability. Simulations are conducted to validate level of target handoff call dropping probability. In practical aspect, the simplification of implementation is achieved by the proposed scheme.**

Keywords–Call Admission Control; Grade of Service; Handoff Prioritization; Wireless IP-based Networks

I. INTRODUCTION

The exploitation of IP-based mobility in wireless networks has drawn a lot of considerable attention. Several works have proposed the location update schemes and mobility update schemes to be a solution for seamless transparent host migration in the mobile Internet [1]. Among many mobility update schemes, there is Mobile IP, a famous mobility management protocol for network layer.

In Mobile IP, when a mobile node moves to a new foreign network, which is a new radio cell. Mobile node has to register itself with the new foreign agent which sends location update data signaling to the home network. Mobile node has to wait until the location update process is completed then it goes on connection with its correspondent node [2]. Thus, delay in transferring IP packets between mobile node and its correspondent node occurs and causes packet the loss in case of delay sensitive data packets, e.g. real time application's packets. Not only packet loss is occurred from location update process, but also lots of signaling are transferred in the system in case mobile nodes handoff frequently.

Packet loss problem can be alleviated by fast handoff. Regional Registrations emerged as a well-known fast location update scheme that can support fast handoff and reduce signaling in wireless IP-based networks [3]. Such an IETF internet draft concept introduces a hierarchical network structure that minimizes packet loss and handoff latency. This networks structure includes two layers whose upper and lower layers are Gateway Foreign Agent (GFA) and Regional Foreign Agents (RFAs) respectively [4].

A significant advantage of the hierarchical network structure is that a mobile node does not necessarily send location update data to its home agent when the mobile node handoffs across adjacent radio cells but still be in the same Regional Registration. Thus, mobile node can handoff fast in Registration Regional Networks.

Nevertheless, location and mobility update schemes would be inefficient if there are not any network resources for serving mobile node's calls. On the contrary, appropriate resource allocation can improve the efficiency of Regional Registrations. Call Admission Control (CAC), one of the network resource allocation tasks [5], functions to consider and admit call set up request. CAC ensures network integrity by restricting access to the networks to avoid overload and congestion and to ensure that Quality of Service (QoS) requirements of all ongoing connections are satisfied [6].

Normally, call set up can be categorized into two types; new call and handoff call. From the mobile user's view, in the worst case; blocking a new call is more acceptable than dropping an ongoing call. Therefore, there is a need to consider that the priority of handoff call is higher than that of new call in the expected CAC schemes.

Handoff prioritizing schemes are usually done at radio cell level. For example, traditional famous handoff prioritizing method uses guard channel which reserves a fixed number of radio cell channels for handoff calls to make handoff call dropping probability lower than new call blocking probability [7]. However, static reservation is not efficient to the varying traffic conditions of wireless system.

Thus, a number of recent handoff prioritizing schemes are dynamic channel allocation that can dynamically reserve channels based on the current traffic condition [8], [9], [10], [11]. Some of the dynamic channel allocation schemes require traffic information exchanges among adjacent radio cells that may lead to high complexity and computation in the system [8], [9].

In Regional Registration network, a lot of location update information is transferred within and between networks. Thus, the appropriated CAC scheme with handoff prioritization for Regional Registration network should not increase signaling load of system. Then a new CAC scheme is proposed herein by constituting two layers: GFA and RFA, whose functions of call set up and allocating channels are in Regional Registration network level and radio cell level, respectively.

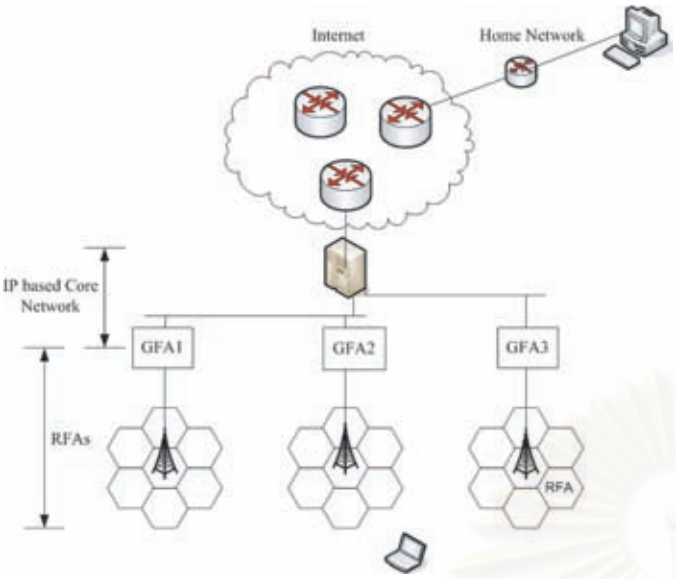


Fig. 1. The structure of Regional Registration network

Taking into account the handoff prioritization, the motivation of this paper stems from employing dynamic channel allocation algorithm [11] in RFAs. We adopt Measurement-based Pre-assignment (MPr) to allocate channels in radio cell based on each radio cell estimation. MPr provides Grade of Service (GoS) guarantee for mobile users by using the pre-reservation channels to serve handoff calls. Combining with setting up a threshold in GFA [12], admits new calls of Regional Registration domain to maintain GoS for all traffic conditions. Simulation results verify that the proposed CAC scheme indeed provides the desired handoff call dropping probability.

This paper is organized as follows. First, we introduce system architecture of Regional Registration network. The proposed CAC scheme in Regional Registration network, composed of CAC at GFA level and at RFA level, is then proposed. Then simulations are shown the performance of system which is measured in terms of handoff call dropping/new call blocking probability and utilization are shown by simulation results. Finally, we present conclusion and future work.

II. System Architecture

System architecture, illustrated in Fig. 1, is based on Regional Registration network which is arranged in form of hierarchical topology. There are two layers where Gateway Foreign Agent (GFA) is the highest level with many Regional Foreign Agents (RFAs) below it. A GFA functions as border router between Registration domains. In the same Registration domain, mobile nodes use IP address of Registration domain to contact with their home networks. When mobile nodes handoff and change their connecting RFAs but still be in the same Registration domain, they send location update information to GFA only. So, this can reduce location update signaling between Registration domain and also support fast handoff to mobile nodes.

III. Proposed Call Admission Control Scheme

In a systematic way, we propose CAC scheme in the Registration domain. The proposed CAC scheme includes two associated CAC algorithms in GFA and RFAs. In a Registration domain, there is a GFA functioning as call admission controller in the domain. Each radio cell has an RFA functioning as call admission controller in the cell. The procedure of GFA and RFA CAC alogorithms can be summarized as follows,

A. Call Admission Control at GFA

At GFA, there are steps for admission of new call described as follows:

- If mobile node accesses to Registration domain for the first time, it needs to set up a connection and register to GFA.
- The mobile node has to wait for the admission from GFA.
- After admitted, the mobile node can use network resource and handoff within Registration area without requesting admission from GFA.

A threshold for admitting new call at GFA must be set. New call request will be rejected if the total call in Registration domain exceeds the threshold. The main objective of employing the threshold is to reduce congestion in network because some channels are reserved to be available to handoff calls between RFAs [12]. Maintaining GoS for mobile users in heavy traffic load in the Registration domain makes CAC mechanism of RFA unable to provide target guarantee handoff call dropping probability. So new call admission threshold is brought to solve this problem.

B. Call Admission Control at RFA

RFAs have their own CAC mechanisms separately. The CAC algorithm called Measurement-based Pre-assignment (MPr) [11] is employed in RFAs to allocate channels and prioritize handoff call. MPr is a dynamic channel allocation algorithm in which radio cell measures local statistical data continuously. That are the incoming handoff call rate and departure call rate. Then the CAC mechanism calculates the number of MPr reserved channels (N) that have to be reserve for a handoff calls using from Equation (1),

$$N \geq \frac{\ln\left(\frac{CDP_{GoS}+(\mu_r/\lambda_h)-1}{CDP_{GoS}}\right)-1}{\ln(\mu_r/\lambda_h)} \quad (1)$$

where N represents the number of channels, which are reserved to satisfy guaranteed handoff call dropping probability denoted by CDP_{GoS}. Incoming handoff rate and call departure rate are represented by λ_h and μ_r, respectively. The derivation of (1) can be found in [11], by considering channels in pre-reservation pool as $M/M/1$ queue system.

After obtaining the number of MPr channels which keep handoff call dropping probability below the target guaranteed handoff call dropping probability level, an incoming handoff call is assigned to a pre-reservation channel if it is available. But if pre-reservation channels in pre-reservation pool are depleted, handoff call will compete for an available channel

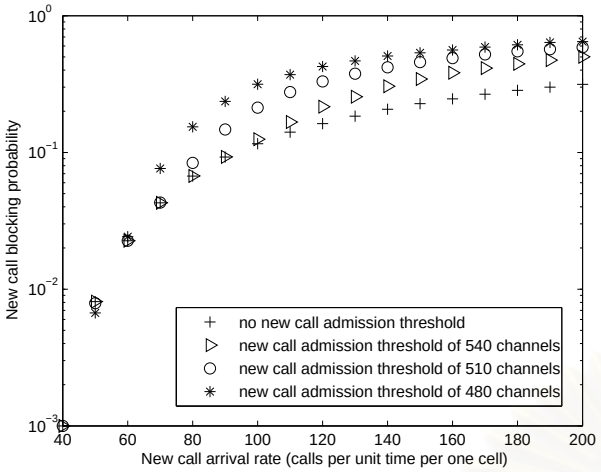


Fig. 2. New call blocking probability versus new call arrival rate with target handoff call dropping probability of 0.1

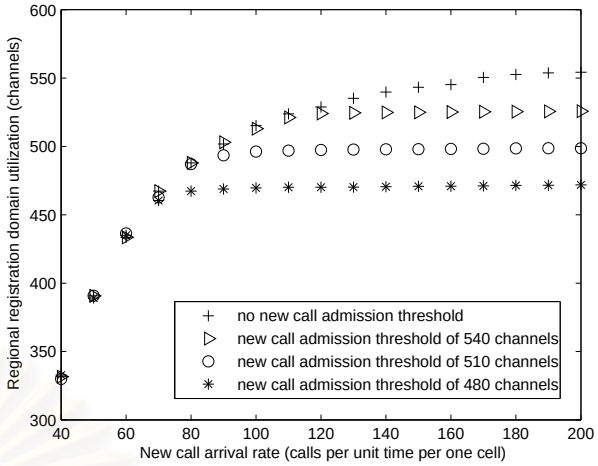


Fig. 4. Utilization of Regional Registration domain versus new call arrival rate with target handoff call dropping probability of 0.1

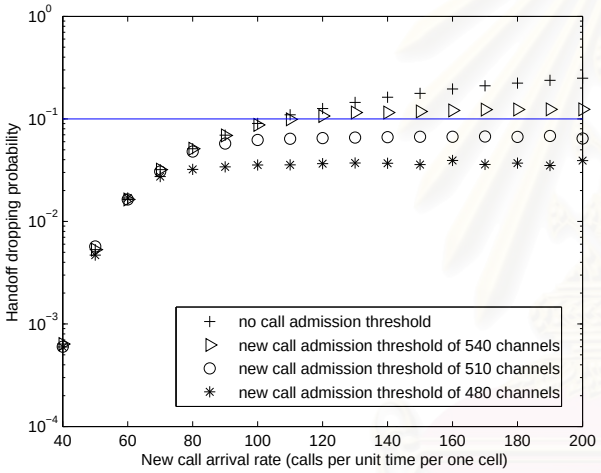


Fig. 3. Handoff call dropping probability versus new call arrival rate with target handoff call dropping probability of 0.1

outside the pre-reservation pool. However, incoming new call cannot employ available channel in pre-reservation pool. New number of pre-reservation channels is re-computed periodically.

IV. Simulation Result

In this section, simulation results are presented to evaluate the proposed scheme. Performance of proposed CAC scheme can be evaluated from new call blocking, handoff call dropping probability, and utilization by increasing new call traffic load that enters the system. We use single type of traffic in simulation which one mobile node uses one fixed channel. Our simulation study, we consider hexagonal cells and use wrap around topology to eliminate the boundary effect. Default parameter values are made under the following assumptions:

Number of RFAs/ 1 GFA	20
Number of channels/1 RFA	30
Number of simulated calls	300,000
Mean call service time	0.5 unit time
Mean channel holding time in 1 RFA	0.15 unit time
Pre-reservation pool calculation period	0.01 unit time
1 time unit	600 seconds

For comparison, we present the simulation results of the proposed CAC scheme using MPr algorithm to reserve channel for handoff call dynamically without and with new call admission thresholds of 540, 510 and 480 channels (10, 15, and 20 percent of the total capacity of Registration domain), respectively in Fig. 2 and Fig. 3. The target guaranteed handoff call dropping probability is set to 0.1.

We found that when new call arrival rate is increased, new call blocking and handoff call dropping probability is increased too. In heavy traffic load, some of handoff call dropping probability curves cannot maintain guaranteed handoff call dropping probability because MPr algorithm cannot function well in this situation but this can be served by setting appropriate new call admission threshold. However, when we consider utilization of Registration domain in Fig. 4 we found that utilization of network is decreased when we decrease new call admission threshold.

Comparing the proposed CAC scheme that using new call admission threshold equal to 480 channels with/without using MPr algorithm as handoff prioritization at RFA level is shown in Fig. 5. We found that MPr algorithm can guarantee handoff call dropping probability of 0.05 for mobile users overall traffic load. Network utilization are presented in Fig. 6, when we set a same new call admission threshold, the proposed CAC scheme give utilization of domain close to CAC scheme without using MPr algorithm at RFA.

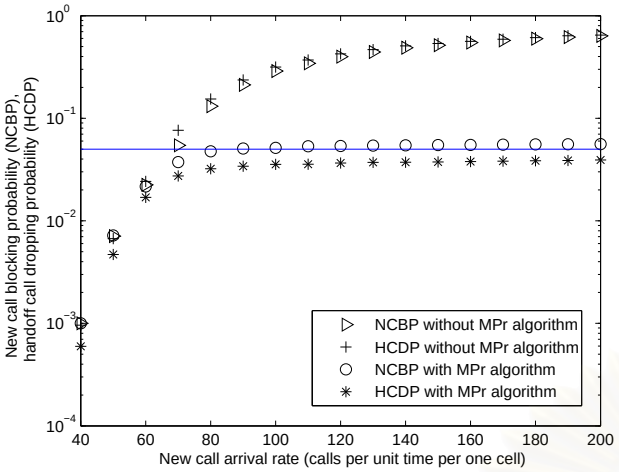


Fig. 5. New call blocking/handoff call dropping probabilities versus new call arrival rate with target handoff call dropping probability of 0.05

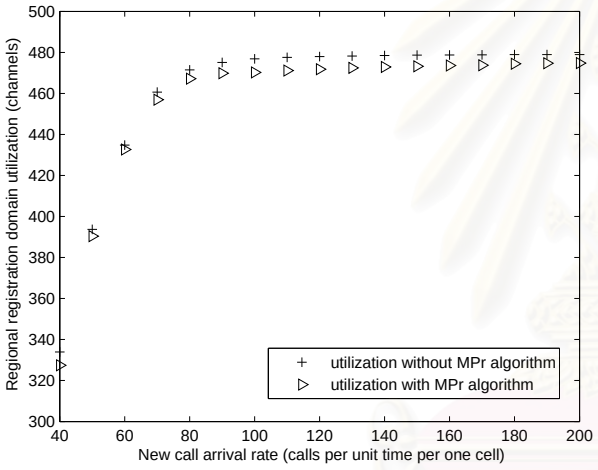


Fig. 6. Utilization of Regional Registration domain versus new call arrival rate with target handoff call dropping probability of 0.05

V. Conclusion

In this paper, a new CAC scheme based on two layers: Gateway Foreign Agent (GFA) and Regional Foreign Agent (RFA) has been proposed to carry out the fast handoff required in wireless IP-based networks. At GFA, we set a threshold for admit new calls that enter into a Registration domain. At RFAs, Measurement-based Pre-assignment (MPr), dynamic channel allocation with handoff prioritization, is employed. Two of advantages are affordable herein. The first advantage is to provide a guaranteed GoS in term of handoff call dropping probability. Additionally, implementation of the proposed CAC scheme in practical wireless IP-based networks is very simple. However, for the future work, appropriate new call admission threshold should be considered in details. In addition, the proposed CAC scheme in this paper should also be applied in multi-traffic environment.

Acknowledgment

The authors are very grateful to Thesis Supporting Fund (2004) of Chulalongkorn University, Thailand for financial support of this work.

References

[1] F. M. Chiussi, D. A. Khotimsky, and S. Krishnan, “Mobility management in third-generation all-IP networks,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, Iss. 9, pp. 124–135, Sep. 2002.

[2] C. E. Perkins, ed., “Mobile networking through mobile IP,” *IEEE Internet Computing*, vol. 2, Iss. 1, pp. 58–69, Jan.-Feb. 1998.

[3] E. Gustafsson, A. Jonsson, and C. E. Perkins, “Mobile IP regional registration,” Internet draft (work in progress), draft-ietf-mobileip-reg-tunnel-04.txt, March 2001.

[4] P. De Silva, and H. Sirisena, “Mobile networking through mobile IP,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 9, Iss. 3, pp. 31–37, Jun. 2002.

[5] J. H. Lee and C. H. Kang, “An adaptive resource allocation mechanism including fast and reliable handoff in IP-based 3G wireless networks,” *IEEE Personal Communications*, vol. 7, Iss. 6, pp. 42–47, Dec. 2000.

[6] J. W. Mark and W. Zhuang, “Wireless Communications and Networking,” *Prentice Hall*, 2003

[7] D. Hong and S. Rappaport,“Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone system with prioritized and non-prioritized handoff procedures,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 35, no. 3, pp. 77–92, Aug. 1986.

[8] O. T. W. Yu and V. C. M. Lueng, “Adaptive resource rllocation for prioritized call admission over an ATM-based wireless PCN,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 15, no. 7, pp. 1208–1225, Sep. 1997.

[9] B. M. Epstein and M. Schwartz, “Predictive QoS-based admission for muilitclass traffic in cellular wireless networks,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 3, pp. 523–534, Mar. 2000.

[10] S. Kovvuri, V. Pandey, D. Ghosal, and D. Sarkar, “A Call-Admission Control (CAC) algorithm for providing guaranteed QoS in cellular networks,” *International Journal of Wireless Information Networks*, vol. 10, no. 2, pp. 73–85, Apr. 2003.

[11] X. Luo, B. Li, I. L. J. Thng, Y. B. Lin, and I. Chlamtac, “An adaptive measured-based preassignment scheme with connection-level QoS support for mobile networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 1, Iss. 3, pp. 521–530, Jul. 2002.

[12] Y. Cheng and W. Zhuang, “DiffServ resource allocation for fast handoff in wireless mobile Internet,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, Iss. 5, pp. 130–136, May 2002.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวณัฐต์ศุภางค์ ปิตะคาพันธ์ เกิดวันที่ 5 ธันวาคม พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร เข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2540 สำเร็จการศึกษาได้รับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะด้านโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2544

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย