การพัฒนาแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ร่วมกับการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ให้ความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเพื่อการจัดสรรคุณภาพของการให้บริการในโครงข่ายสื่อประสมไร้สาย

นางสาวสุภาพรรณ ศรีสัจจัง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2973-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT ON INTEGRATION OF BANDWIDTH DEGRADATION SCHEME AND HANDOFF CALL PRIORITY BASED CALL ADMISSION CONTROL FOR QOS PROVISIONING IN WIRELESS MULTIMEDIA NETWORKS

Miss Supapan Srisatjang

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2006
ISBN 974-14-2973-8
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ร่วมกับการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ให้ความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเพื่อการจัดสรรคุณภาพของการให้บริการในโครงข่ายสื่อประสมไร้สาย
โดย	นางสาวสุภาพรรณ ศรีสัจจัง
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

.....กรรมการ

(อาจารย์ สุวิทย์ นาคพีระยุทธ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุภาพรรณ ศรีสัจจัง: การพัฒนาแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ร่วมกับการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ให้ความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเพื่อการจัดสรรคุณภาพของการให้บริการในโครงข่ายสื่อประสมไร้สาย (DEVELOPMENT ON INTEGRATION OF BANDWIDTH DEGRADATION SCHEME AND HANDOFF CALL PRIORITY BASED CALL ADMISSION CONTROL FOR QOS PROVISIONING IN WIRELESS MULTIMEDIA NETWORKS) อ. ที่ปรึกษา: ผศ. ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร, 77 หน้า. ISBN: 974-14-2973-8.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการพัฒนาแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ร่วมกับการควบคุมการตอบรับการเรียกสำหรับโครงข่ายสื่อประสมไร้สาย แบบแผนที่เสนอคำนึงถึงมุมมองทั้งในด้านผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการโดยการปรับลดแบนด์วิดท์การเรียกในระบบทำให้เกิดรายได้สูญเสียเนื่องจากพฤติกรรมของผู้ใช้ที่ตอบสนองต่อการได้รับคุณภาพของการให้บริการลดลงจากที่คาดหวังว่าจะได้รับในขณะที่ระบบรองรับการเรียกได้มากขึ้น ระบบจึงต้องทำการเลือกตอบรับการเรียกที่ทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุดที่พิจารณาให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ ด้วยการแยกบัฟเฟอร์และถ่วงน้ำหนักการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่ที่แตกต่างกัน เพื่อกระจายปริมาณทราฟฟิกต่อการพิจารณาให้น้อยลงขณะระบบไม่มีแบนด์วิดท์เหลือพอ เพื่อลดความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ และทำการจัดสรรแบนด์วิดท์อย่างยุติธรรมภายในระดับการให้บริการเดียวกันระหว่างการเรียกที่ร้องขอการบริการกับการเรียกในระบบ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทดสอบสมรรถนะของแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ โดยการเปรียบเทียบแบบแผนที่เสนอกับแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกของงานวิจัยในอดีต พบว่าแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอสามารถลดค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ได้ต่ำกว่าและสามารถรองรับการเรียกได้มากขึ้น ในขณะที่ระบบมีการใช้งานแบนด์วิดท์สูง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2549

4570749521: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: CALL ADMISSION CONTROL (CAC) / BANDWIDTH DEGRADATION/ HANDOFF CALL PRIORITY / WIRELESS MULTIMEDIA NETWORKS

SUPAPAN SRISATJANG: DEVELOPMENT ON INTEGRATION OF BANDWIDTH DEGRADATION SCHEME AND HANDOFF CALL PRIORITY BASED CALL ADMISSION CONTROL FOR QOS PROVISIONING IN WIRELESS MULTIMEDIA NETWOKRS. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. CHAIYACHET SAIVICHIT, Ph.D., 77 pp. ISBN: 974-14-2973-8.

This thesis proposes the development on bandwidth degradation scheme and call admission control which considers in both the aspect of service provider and user. The bandwidth degradation scheme decreases the quality of service according to user utility of each service class as service provider can increase carried traffic. With conflict goal, net revenue is calculated to find the optimal call admission control and bandwidth degradation scheme which gives handoff priority more than new call to reduce handoff call dropping probability by buffering call with a typical short time and also allocates fairly bandwidth between new incoming calls and existing calls in sense of equivalent quantity of bandwidth.

The performance of proposed scheme is compared with the past research which does not consider handoff call and has the limitation of bandwidth degradation scheme with degrading only one channel per admission and degradation consideration. The proposed scheme can accommodate more traffic and also decrease handoff call dropping probability together with new call blocking probability as high bandwidth usage.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering Student's Signature Supapan Srisatjang

Field of Study Electrical Engineering Advisor's Signature

Academic Year 2006

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออนุเคราะห์อย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ ผศ. ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร และคณะกรรมการทุกท่านในการให้คำแนะนำ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร และคณะกรรมการทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ในทุกเรื่อง จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณเพื่อนๆ และคนรอบตัวของผู้วิจัยทุกๆ คนสำหรับแรงบันดาลใจและแรงกระตุ้นที่ดีตลอดระยะเวลาของการทำงานวิจัย รวมถึงพี่ๆที่ทำงานสำหรับความกรุณา และขอขอบพระคุณอย่างยิ่ง ท่านอาจารย์ที่ได้อบรมสั่งสอนทั้งในวิชาเรียนและในการสัมมนาที่ช่วยขัดเกลาความคิด ทักษะและกระบวนการวิจัยให้เกิดขึ้นรวมถึงสถานศึกษาและห้องปฏิบัติการวิจัย ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวที่ให้กำลังใจและการสนับสนุนโดยตลอดแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

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 6

2.1 โครงข่ายไร้สาย 6

2.2 การวัดสมรรถนะของการให้บริการ 7

2.3 วิธีการจัดหาคุณภาพของการให้บริการในโครงข่ายไร้สาย 8

2.3.1 แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 8

2.3.1 อัลกอริทึมการปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์ 9

2.4 แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่พิจารณารายได้สุทธิของระบบ 10

2.5 การคำนวณหารายได้ของระบบ 11

2.5.1 ระบบแบบสถิต 11

2.5.2 ระบบแบบพลวัต 15

2.6 การประมาณรายได้สูญเสียที่เกิดจากการลดจำนวนช่องสัญญาณ 16

2.7 ปัญหาที่พบจากงานวิจัยในอดีต 18

2.6 สรุป 18

3 แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ 19
3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา 19
3.2 การคำนวณหารายได้สูญเสียจากการลดจำนวนช่องสัญญาณ 21
3.3 แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่เสนอ 22
3.3.1 ระบบแบบสถิต 22
3.3.2 ระบบแบบพลวัต 26
3.4 การควบคุมการตอบรับที่นำเสนอ 27
3.4.1 การให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟโดยการถ่วงน้ำหนัก 27
3.4.2 การพิจารณานโยบายการตอบรับและการลดจำนวนช่องสัญญาณด้วยอุปสงค์ผู้ใช้เป็นช่วงเวลาที่แตกต่างกันระหว่างการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่ 29
3.5 การแก้ไขปัญหาการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีsimulated annealing 30
3.6 ขั้นตอนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่นำเสนอ 34
4 ผลการจำลองแบบและการวิเคราะห์ผล 36
4.1 การจำลองสถานการณ์สำหรับระบบสถิต 36
4.1.1 การเปรียบแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่เสนอกับแบบแผนในงานวิจัย [1] สำหรับระบบสถิต 38
4.2 การจำลองสถานการณ์สำหรับระบบพลวัต 41
4.2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับที่มีการให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากแฮนด์ออฟโดยการถ่วงน้ำหนัก 43
4.2.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอที่มีการให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากแฮนด์ออฟโดยการแยกบัฟเฟอร์การเรียก 44
4.2.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกแบบต่างๆ 46
4.2.4 การพิจารณาความซับซ้อนของแบบแผนจากระยะเวลาที่ใช้ 68
4.3 สรุป 70
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 71
5.1 บทสรุป 71
5.2 ข้อเสนอแนะ 72

รายการอ้างอิง 73
ภาคผนวก 75
ก การตรวจสอบความถูกต้องในการแก้ไขปัญหาการหาค่าความเหมาะสม 76
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 77

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ความซับซ้อนของปัญหาการหาค่าความเหมาะสม 31
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของการเรียกที่ให้บริการ 37

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกในโครงข่ายเซลลูลาร์ 8

รูปที่ 2.2 ข้อแลกเปลี่ยนระหว่างความพึงพอใช้ผู้ใช้กับคุณภาพของการให้บริการที่ถูกลด 10

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างของการปรับลดแบนด์วิดท์ในโครงข่ายสื่อประสมไร้สาย 11

รูปที่ 2.4 แบบจำลองฟังก์ชันอรรถประโยชน์ผู้ใช้ 16

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธี simulated annealing 33

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ 35

รูปที่ 4.1 อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ตามเวลาของวัน 37

รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ในการพิจารณาการตอบรับการเรียก ในแต่ละเปอร์เซ็นต์การใช้งานแบนด์วิดท์ เมื่ออัตราของรายได้กับรายได้สูญเสียจากการลดแบนด์วิดท์เป็น 0.5 และ 2 สำหรับแบบแผนในงานวิจัย [1] 38

รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ในการพิจารณาการตอบรับการเรียก ในแต่ละเปอร์เซ็นต์การใช้งานแบนด์วิดท์ เมื่ออัตราของรายได้กับรายได้สูญเสียจากการลดแบนด์วิดท์เป็น 0.5 และ 2 สำหรับแบบแผนที่เสนอ 39

รูปที่ 4.4 รายได้สุทธิสูงสุดที่ระบบได้รับ ในแต่ละอัตราของรายได้กับรายได้สูญเสียจากการลดแบนด์วิดท์ ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ 40

รูปที่ 4.5 การจัดเรียงตัวของเซลล์ที่ใช้ในการทดสอบ 41

รูปที่ 4.6 ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ในแต่ละอัตราของการถ่วงน้ำหนักของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่ 43

รูปที่ 4.7 ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในแต่ละอัตราของการถ่วงน้ำหนักของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่ 44

รูปที่ 4.8 ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ในแต่ละอัตราของระยะเวลาการรอคอยในบัฟเฟอร์ของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่ 45

รูปที่ 4.9 ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ ในแต่ละอัตราของระยะเวลาการรอคอยในบัฟเฟอร์ของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่ 45

รูปที่ 4.10 ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 47

รูปที่ 4.11 ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 47
รูปที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 1 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัว ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 48
รูปที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์การดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 1 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัว ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 49
รูปที่ 4.14 เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัว ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 49
รูปที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์การดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัว ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 50
รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัวในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 50
รูปที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์การดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัว ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 51
รูปที่ 4.18 เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัว ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 51
รูปที่ 4.19 เปอร์เซ็นต์การดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัวในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 52
รูปที่ 4.20 เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัวในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 52
รูปที่ 4.21 เปอร์เซ็นต์การดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัว ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 53

รูปที่ 4.22 ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 1ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 54
รูปที่ 4.23 ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 1 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 54
รูปที่ 4.24 ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 55
รูปที่ 4.25 ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 55
รูปที่ 4.26 ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 56
รูปที่ 4.27 ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 56
รูปที่ 4.28 ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 57
รูปที่ 4.29 ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 57
รูปที่ 4.30 ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 58
รูปที่ 4.31 ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 58
รูปที่ 4.32 สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 1 หน่วยแบนด์วิดท์ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ 60
รูปที่ 4.33 สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์ในระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ 61
รูปที่ 4.34 สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์ในระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ 62

รูปที่ 4.35 สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์ในระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ 63
รูปที่ 4.36 สัดส่วนโดยเฉลี่ยของระยะเวลาขณะใช้งานของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ที่ได้รับแบนด์วิดท์ ณ ระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ 64
รูปที่ 4.37 สัดส่วนโดยเฉลี่ยของระยะเวลาขณะใช้งานของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ที่ได้รับแบนด์วิดท์ ณ ระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ 64
รูปที่ 4.38 สัดส่วนโดยเฉลี่ยของระยะเวลาขณะใช้งานของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ที่ได้รับแบนด์วิดท์ ณ ระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ 65
รูปที่ 4.39 สัดส่วนโดยเฉลี่ยของระยะเวลาขณะใช้งานของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ที่ได้รับแบนด์วิดท์ ณ ระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ 65
รูปที่ 4.40 รายได้สุทธิสูงสุดที่ระบบได้รับสำหรับแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ในงานวิจัย [1] ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ 66
รูปที่ 4.41 รายได้สุทธิสูงสุดที่ระบบได้รับสำหรับแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับที่เสนอในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ 67
รูปที่ 4.42 ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก 69

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

เทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารได้เจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกเหนือไปจากการติดต่อสื่อสารด้านเสียงด้วยโทรศัพท์ไร้สายแล้ว อุปกรณ์สื่อสารดิจิทัลอื่นอย่างเช่น คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค ผู้ช่วยดิจิทัลส่วนบุคคล (PDA) และอุปกรณ์ลูกข่ายเคลื่อนที่ในยุคที่สาม (3G mobile terminal) กำลังมีบทบาทสำคัญและถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในการติดต่อสื่อสาร ดังนั้นทราฟฟิกส่วนมากในโครงข่ายไร้สายความเร็วสูงในยุคถัดไปที่จะเกิดขึ้นจึงมาจากการประยุกต์การใช้งานสื่อประสมทั้งทราฟฟิกประเภทเสียง วิดีโอ และข้อมูล อันได้แก่ วิดีโอตามความต้องการ เกมส์ เวบเบราซิง เป็นต้น ซึ่งทราฟฟิกสื่อประสมเหล่านี้มีความต้องการแบนด์วิดท์ปริมาณมากกว่าทราฟฟิกประเภทเสียง จึงต้องการโครงข่ายที่สามารถรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง และมีความน่าเชื่อถือ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารที่ก้าวหน้าผู้ใช้มีแนวโน้มที่จะใช้งานบนอุปกรณ์ที่พกพาและสามารถนำไปใช้งานที่ไหนก็ได้ ดังนั้นโครงข่ายจึงต้องสามารถรับส่งข้อมูลที่เกิดจากทราฟฟิกสื่อประสมและรับประกันคุณภาพของการให้บริการให้แก่ผู้ใช้ได้ ซึ่งส่วนใหญ่ข้อกำหนดคุณภาพของการให้บริการสำหรับทราฟฟิกสื่อประสมบ่งบอกได้จากแบนด์วิดท์ ความประวิงเวลา และความน่าเชื่อถือ แต่เนื่องจากโครงข่ายไร้สายมีลักษณะที่แตกต่างจากโครงข่ายมีสาย คือ คุณลักษณะของข่ายเชื่อมโยงที่มีอัตรารับส่งต่ำกว่าและอัตราความผิดพลาดบิตข้อมูลสูงกว่า รวมถึงความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ของผู้ใช้งาน จึงมีความซับซ้อนสูงกว่า โดยทั่วไปแล้วการจัดสรรคุณภาพของการให้บริการในโครงข่ายไร้สายสามารถทำได้ 2 ส่วน ดังนี้

- การบริหารจัดการทรัพยากรวิทยุ เป็นการรับประกันพารามิเตอร์คุณภาพของการให้บริการ อันได้แก่ แบนด์วิดท์ ความประวิงเวลา ความน่าเชื่อถือ โดยการบริหารจัดการทรัพยากรวิทยุถูกนำมาใช้ใน 2 ระดับ คือ ระดับมหภาค (macro level) เกี่ยวข้องกับการควบคุมการตอบรับ การแบ่งแยกทราฟฟิก การจัดสรรแบนด์วิดท์ที่ทำการบริหารทรัพยากรในระดับเซสชัน ส่วนระดับจุลภาค (micro level) เกี่ยวข้องกับการกลไกในระดับการควบคุมการเข้าถึงสื่อกลาง (media access control layer) และการจัดเรียงแพ็กเกต (packet scheduling) ในระดับช่องสัญญาณ ซึ่งถูกใช้เพื่อควบคุมคุณภาพของการให้บริการด้านความประวิงเวลา

และการแปรผันของความประวิงเวลา (jitter) นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับกลไกในระดับกายภาพ คือ การเข้ารหัสช่องสัญญาณและการควบคุมกำลังงาน

- การบริหารจัดการด้านการเคลื่อนที่ เป็นการจัดการเกี่ยวกับการแฮนด์ออฟ การลงทะเบียนตำแหน่งที่ตั้ง การโรมมิ่ง เป็นต้น

ถึงแม้ว่าโครงข่ายไร้สายในยุคที่สามจะสามารถให้อัตราข้อมูลที่สูงก็ตาม ปัญหาในด้านปริมาณแบนด์วิดท์ที่มีจำกัดก็จะยังคงเกิดขึ้นกับบริการสื่อประสมแบบเวลาจริง [1]

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัย [2], [3] เสนอการจัดสรรทรัพยากรแบนด์วิดท์ด้วยการจองแบนด์วิดท์เพื่อให้คุณภาพของการให้บริการสำหรับโครงข่ายสื่อประสมไร้สาย แต่การจองแบนด์วิดท์ทำให้แบนด์วิดท์ไม่ได้ใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีงานวิจัยต่างๆที่นำเสนอการจัดสรรทรัพยากรแบนด์วิดท์เพื่อให้ได้รับคุณภาพของการให้บริการและทำให้แบนด์วิดท์ถูกใช้ประโยชน์สูงสุดสำหรับการเรียกสื่อประสมในโครงข่ายไร้สาย โดยอัลกอริทึมที่ถูกนำมาใช้ ได้แก่ การควบคุมการตอบรับการเรียก และอัลกอริทึมการปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์ (bandwidth adaptation algorithm)

อัลกอริทึมการปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์ที่มีการนำเสนอสามารถแบ่งเป็น 2 แนวทาง ดังนี้

1. การปรับลดปริมาณแบนด์วิดท์ของการเรียกแบบชั่วคราว [4]-[6]
2. การปรับลดปริมาณแบนด์วิดท์ของการเรียกแบบถาวร [1], [7]-[10]

ในงานวิจัย [4] เสนอแบบแผนการยืมแบนด์วิดท์แบบชั่วคราวและการควบคุมการตอบรับที่เสนออัตราของช่วงเวลาที่ถูกลดแบนด์วิดท์ (degradation period ratio) เป็นพารามิเตอร์คุณภาพของการให้บริการอีกตัวหนึ่งสำหรับโครงข่าย และรับประกันคุณภาพของการให้บริการของค่าความน่าจะเป็นที่เซลล์ทำการลดแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อใดๆต่ำกว่าระดับที่คาดหวัง (target bandwidth) ด้วยการหาความน่าจะเป็นที่การเรียกแบบแฮนด์ออฟจะเข้ามาในสถานีฐานที่พิจารณาแล้วทำให้การเชื่อมต่อต้องถูกลดแบนด์วิดท์จนต่ำกว่าระดับที่คาดหวัง ซึ่งทำการพิจารณาการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายใน 1 มิติ และระบบมีระดับของการให้บริการเพียงระดับเดียวเท่านั้น ส่วนงานวิจัย [5], [6] เสนอแบบแผนการยืมแบนด์วิดท์แบบชั่วคราวจากการเชื่อมต่อทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ เพื่อจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับการเรียกทุกการเรียกที่ร้องขอการบริการเมื่อระบบมีแบนด์วิดท์เหลืออยู่ไม่พอ โดยงานวิจัย [5] พิจารณาการยืมแบนด์วิดท์อย่างยุติธรรมในลักษณะของสัดส่วนความทนทานต่อการสูญเสียแบนด์วิดท์ของแต่ละการเชื่อมต่อ ส่วนงานวิจัย [6] เสนอการจัดสรรแบนด์วิดท์อย่างยุติธรรมแบบแมกซ์มิน (max-min fairness) ร่วมกับแบบแผนการยืมแบนด์วิดท์

ในงานวิจัย [7] เสนอแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่ให้ความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟมากกว่า โดยถ้าระบบมีแบนด์วิดท์เหลืออยู่ไม่พอที่จะรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ การลดแบนด์วิดท์จะเกิดขึ้นเพื่อรองรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่านั้น ส่วนการเรียกใหม่จะถูกบล็อกทันทีถ้าไม่มีแบนด์วิดท์เหลือพอ

อย่างไรก็ตามงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมาเสนอแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์สำหรับโครงข่ายสื่อประสมไร้สายไม่ได้พิจารณาเงื่อนไขว่าควรจะลดแบนด์วิดท์อย่างไร และเป็นปริมาณเท่าใดจึงเหมาะสม แต่ทำการปรับลดแบนด์วิดท์เมื่อใดก็ตามที่มีแบนด์วิดท์ให้ยืมหรือสามารถปรับลดจากการเรียกในระบบได้ ดังนั้นในงานวิจัย [1], [8]-[10] จึงพิจารณาเงื่อนไขที่สำคัญในการปรับลดแบนด์วิดท์ คือ พฤติกรรมของผู้ใช้ที่ตอบสนองหรือเกิดจากการถูกลดแบนด์วิดท์ โดยเสนอแบบแผนการลดจำนวนช่องสัญญาณกับการควบคุมการตอบรับการเรียกที่พิจารณาถึงข้อดีข้อเสียระหว่างปริมาณการเรียกที่รองรับได้มากขึ้น ในขณะที่การลดจำนวนช่องสัญญาณจะทำให้ผู้ใช้เกิดความพึงพอใจลดลง โดยหารายได้ที่สูญเสียไปเนื่องจากพฤติกรรมของผู้ใช้ที่ตอบสนองต่อการถูกลดจำนวนช่องสัญญาณและหานโยบายการตอบรับและนโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณที่เหมาะสมที่สุด (optimal) ที่ทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุด ในงานวิจัย [8],[10] พิจารณาระบบที่ให้ลำดับความสำคัญในระดับของการให้บริการที่แตกต่างกัน โดยให้ความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ และไม่ได้ทำการลดแบนด์วิดท์ให้กับการเรียกที่ร้องขอที่ใช้แบนด์วิดท์จากการลดมาจากการเรียกอื่นในระบบ ส่วน [1], [9] ไม่ได้พิจารณาคุณภาพของการให้บริการที่สำคัญมากตัวหนึ่งสำหรับโครงข่ายไร้สาย คือ ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ และยังพิจารณาในระบบที่ไม่สอดคล้องกับฟังก์ชันอรรถประโยชน์ผู้ใช้ (user utility function) ในแต่ละระดับของการให้บริการของการเรียกที่ใช้พิจารณาในการหารายได้ที่สูญเสียจากการลดจำนวนช่องสัญญาณนัก กล่าวคือ ถ้าเดิมการเรียกอยู่ในระดับของการให้บริการที่ i ซึ่งต้องการช่องสัญญาณจำนวน i ช่องสัญญาณ แล้วต่อมาการเรียกนี้ถูกลดช่องสัญญาณไป 1 ช่องสัญญาณ ระดับของการให้บริการของการเรียกนี้จะเปลี่ยนเป็น $i-1$ ทันที นั่นหมายถึงว่า สำหรับระดับของการให้บริการเดียวกันสามารถมีการเรียกหลากหลายประเภทอยู่รวมกัน ทั้งๆที่คุณลักษณะของการเรียกแต่ละประเภทและความต้องการคุณภาพของการให้บริการอาจแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงแต่กลับใช้แบบจำลองความพึงพอใจหรืออรรถประโยชน์ผู้ใช้เดียวกันสำหรับระดับของการให้บริการนั้นๆ นอกจากนี้ใน [1],[8]-[10] ไม่ได้พิจารณาถึงการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่ควรจะได้รับอย่างยุติธรรมระหว่างการเรียกที่ร้องขอการบริการกับการเรียกในระบบที่ถูกลดแบนด์วิดท์ เพื่อนำแบนด์วิดท์มารองรับการเรียกมีร้องขอการบริการ

1.3 แนวคิดที่นำเสนอ

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกโดยพิจารณาผลต่างของรายได้ที่ได้รับกับรายได้สูญเสียที่เกิดจากการลดแบนด์วิดท์ไม่สอดคล้องกับอรรถประโยชน์ผู้ใช้ที่แท้จริง อีกทั้งยังไม่ได้ให้ความสำคัญกับการเรียกแบบแฮนด์ออฟและไม่ได้คำนึงถึงการจัดสรรแบนด์วิดท์อย่างยุติธรรมสำหรับการเรียกในระบบและการเรียกที่ร้องขอการบริการ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาและปรับปรุงแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ใน [1], [9] ด้วยการพิจารณาระบบที่การเรียกในแต่ละระดับของการให้บริการมีลักษณะทราฟฟิก ความต้องการคุณภาพของการให้บริการ และจำนวนช่องสัญญาณที่คาดหวัง (expected number of channels) เดียวกันซึ่งสอดคล้องกับอรรถประโยชน์ผู้ใช้ และพิจารณาการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟด้วยการบัฟเฟอร์การเรียกที่ร้องขอการบริการ โดยการเรียกใหม่ที่อยู่ในบัฟเฟอร์จะถูกพิจารณาเป็นลำดับถัดมาหลังจากพิจารณาการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟแล้ว รวมถึงพิจารณาความยุติธรรมในการจัดสรรจำนวนช่องสัญญาณของการเรียกที่เข้ามาใหม่กับการเรียกในระบบภายในระดับของการให้บริการเดียวกันในลักษณะที่การเรียกที่ร้องขอการบริการ และใช้ช่องสัญญาณที่ได้มาจากการลดจำนวนช่องสัญญาณของการเชื่อมต่อในระบบควรได้รับจำนวนช่องสัญญาณที่เท่ากับจำนวนช่องสัญญาณของการเรียกในระบบ ณ ปัจจุบันได้รับ

1.4 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ร่วมกับการควบคุมการตอบรับการเรียกที่พิจารณารายได้สุทธิสูงสุดของระบบด้วยอรรถประโยชน์ผู้ใช้ที่สอดคล้องกับคุณภาพของการให้บริการ และสามารถจัดสรรคุณภาพของการให้บริการที่สำคัญสำหรับโครงข่ายสื่อประสมไร้สาย ซึ่งก็คือ ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ (new call blocking probability) และความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ (handoff call dropping probability) รวมถึงการปรับลดแบนด์วิดท์ตามระดับแบนด์วิดท์ที่รับประกัน และพิจารณาความยุติธรรมในการจัดสรรและการถูกลดแบนด์วิดท์ของการเรียกในระดับของการให้บริการเดียวกัน

1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ออกแบบการปรับลดช่องสัญญาณสำหรับการเรียกสื่อประสมในโครงข่ายไร้สายร่วมกับการควบคุมการตอบรับการเรียก โดยพิจารณารายได้สุทธิสูงสุดที่ระบบได้รับ ซึ่งให้ลำดับความสำคัญ

กับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟสูงกว่าการเรียกใหม่ และมีความยุติธรรมในการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับการเรียกภายในระดับของการให้บริการเดียวกัน

2. พัฒนานโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณทีละมากกว่าหนึ่งช่องสัญญาณเพื่อให้ระบบสามารถรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ และมีความยืดหยุ่นมากขึ้นสอดคล้องกับระดับแบนด์วิดท์ที่รับประกัน

3. ทดสอบประสิทธิภาพของการปรับลดช่องสัญญาณและการควบคุมการตอบรับที่เสนอกับการปรับลดช่องสัญญาณที่ลดช่องสัญญาณเพียงหนึ่งช่องสัญญาณและไม่ได้ให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกแบบแฮนด์ออฟ โดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์

1.6 ขั้นตอนและวิธีในการดำเนินงาน

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งความรู้และทฤษฎีพื้นฐานที่ต้องใช้ในวิทยานิพนธ์
2. ศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาการหาค่าความเหมาะสม
3. ออกแบบการปรับลดช่องสัญญาณและการควบคุมการตอบรับการเรียก
4. เขียนโปรแกรมทดสอบแบบแผนการจัดสรรตามวิธีที่ได้นำเสนอและแบบแผนที่ได้มีการเสนอมาก่อนหน้า
5. วิเคราะห์และประเมินผล เปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่ได้นำเสนอและวิธีก่อนหน้า
6. สรุป วิจารณ์ และรวบรวมข้อมูลทั้งหมด พร้อมทั้งจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

วิทยานิพนธ์นี้เสนอแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกและการปรับลดแบนด์วิดท์ที่พิจารณารายได้สุทธิสูงสุดของระบบ สำหรับโครงข่ายไร้สายสื่อประสมที่ให้ความสำคัญกับการเรียกแบบแฮนด์ออฟสูงกว่าการเรียกใหม่ โดยวิธีที่นำเสนอพิจารณาการปรับลดแบนด์วิดท์ตามระดับแบนด์วิดท์ใดๆ ที่ระบบรับประกัน เพื่อที่จะรองรับการเรียกใหม่และการเรียกแบบแฮนด์ออฟ โดยในมุมมองของผู้ให้บริการสามารถได้รับรายได้สุทธิสูงสุด และในมุมมองของผู้ใช้บริการสามารถได้รับคุณภาพของการให้บริการ คือ ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟต่ำลง อีกทั้งในการถูกปรับลดแบนด์วิดท์มีการพิจารณาสอดคล้องตามอรรถประโยชน์ผู้ใช้และยังทำอย่างยุติธรรมสำหรับการเรียกในระดับของการให้บริการเดียวกัน

บทที่ 2
ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกในโครงข่ายไร้สายที่รองรับทราฟฟิกสื่อประสมเพื่อสนับสนุนการเรียกที่เกิดจากการประยุกต์ใช้งานประเภทสื่อประสมที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยพิจารณาให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟสูงกว่าการเรียกใหม่และจัดสรรแบนด์วิดท์อย่างยุติธรรมสำหรับการเรียกภายในระดับการให้บริการเดียวกัน ดังนั้นในบทนี้ซึ่งว่าด้วยทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยจะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะและการทำงานของโครงข่ายไร้สาย การวัดสมรรถนะของการให้บริการ รวมไปถึงวิธีในการจัดสรรคุณภาพของการให้บริการ แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่พิจารณารายได้สุทธิของระบบ และสุดท้ายกล่าวถึงปัญหาที่พบจากงานวิจัยในอดีต

2.1 โครงข่ายไร้สาย

โครงข่ายไร้สายประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ สถานีฐาน (base station) ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณและควบคุมการทำงานของเครื่องลูกข่าย ศูนย์กลางหน่วยสวิตชิ่งหน่วยเคลื่อนที่ (mobile switching center) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของสถานีฐานและอาจเชื่อมโยงไปยังโครงข่ายอื่น และเครื่องลูกข่าย (mobile unit) ทำหน้าที่สร้างและรับทราฟฟิกโดยสามารถติดต่อถึงกันผ่านข่ายเชื่อมโยงวิทยุจากสถานีฐาน เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค ผู้ช่วยดิจิทัลส่วนบุคคล เทอร์มินัลเคลื่อนที่ยุคที่สาม เป็นต้น ทราฟฟิกในโครงข่ายไร้สายจึงสามารถมีทั้งทราฟฟิกเสียง วิดีโอและข้อมูล ซึ่งเกิดขึ้นจากการประยุกต์ใช้งานสื่อประสมที่มีความต้องการคุณภาพของการให้บริการที่แตกต่างกัน เนื่องจากคุณลักษณะของทราฟฟิกสื่อประสมที่ปรับเปลี่ยนได้นี่เอง ประกอบกับการนำเทคนิคการเข้ารหัสเลเยอร์ด้วยการเข้ารหัสเป็นลำดับขั้น (adjustable rate codec/hierarchical coding) [11],[12] มาใช้ทำให้โครงข่ายสามารถดึงแบนด์วิดท์ส่วนหนึ่งจากการเรียกที่ใช้งานอยู่มารองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ โดยที่คุณภาพของการให้บริการไม่ต่ำกว่าระดับที่รับประกัน ดังนั้นโครงข่ายไร้สายที่รองรับทราฟฟิกสื่อประสมจึงต้องสามารถจัดสรรทรัพยากรและทำการควบคุมการตอบรับแบบพลวัตได้ การแบ่งชั้นประเภททราฟฟิกเป็นระดับการให้บริการโดยการจัดสรรจำนวนช่องสัญญาณและใช้นโยบายการบริหารจัดการทรัพยากรที่แตกต่างกันจึงเกิดขึ้น สำหรับระบบที่รองรับการใช้หลายช่องสัญญาณต่อการเรียก ได้แก่ มาตรฐาน HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) และ GPRS (General Packet Radio Service) สำหรับระบบ

GSM เป็นต้น อย่างไรก็ตาม GPRS กำหนดเพียงจำนวนช่องสัญญาณสูงสุดสำหรับแต่ละระดับการให้บริการเท่านั้นและยังไม่กำหนดชัดเจนว่า เมื่อมีการเรียกใหม่ร้องขอการบริการในขณะระบบมีแบนด์วิดท์เหลือไม่พอ ระบบจะสามารถลดช่องสัญญาณจากการเรียกอื่นมาใช้รองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ หรือจะบล็อกการเรียกที่ร้องขอการบริการ และแม้ว่าระบบทำการตอบรับการเรียกใหม่นั้นเข้ามาก็ตามระบบจะลดจำนวนช่องสัญญาณจากการเรียกที่ใช้งานอยู่อย่างไรและการเรียกใหม่ไหนที่ระบบควรตอบรับเข้ามา ซึ่งสิ่งเหล่านี้ยังคงเป็นปัญหาสำหรับระบบ GPRS และยังคงเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาสำหรับโครงข่ายไร้สายในยุคถัดไปอื่นๆอย่าง UMTS ด้วยเช่นกัน [1]

ดังนั้นเพื่อให้ระบบสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้มากขึ้นสำหรับโครงข่ายไร้สายที่รองรับการเรียกสื่อประสม อัลกอริทึมการปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์จึงถูกพัฒนาขึ้น

2.2 การวัดสมรรถนะของการให้บริการ

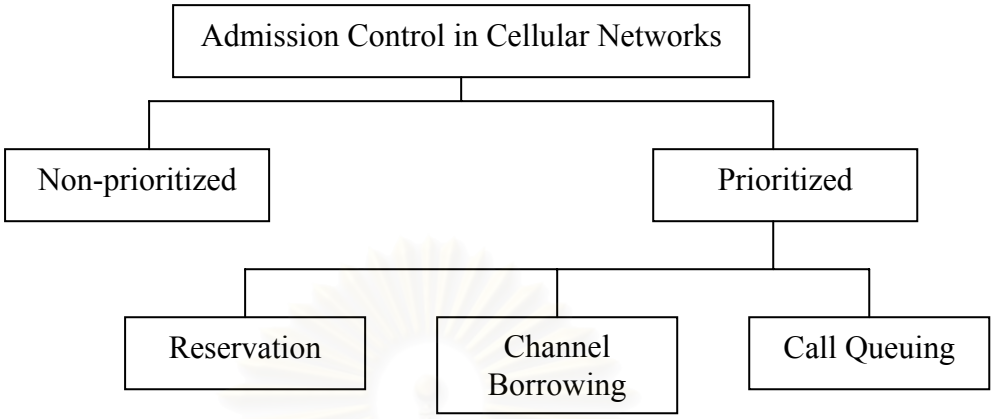
สมรรถนะของการให้บริการสำหรับโครงข่ายไร้สายเซลลูลาร์สามารถบ่งบอกได้จากคุณภาพของการให้บริการ ซึ่งเป็นข้อตกลงกันระหว่างผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการ โดยคุณภาพของการให้บริการในระดับการเรียก (call-level QoS) ได้แก่

- ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ (new call blocking probability) หมายถึง สัดส่วนของจำนวนการเรียกใหม่ที่ถูกบล็อกเนื่องมาจากระบบไม่มีทรัพยากรเพียงพอที่จะให้บริการการเรียกใหม่เทียบกับจำนวนการเรียกใหม่ทั้งหมดที่เข้ามายังระบบ
- ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ (handoff call dropping probability) หมายถึง สัดส่วนของจำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่ถูกดร็อปเนื่องจากระบบไม่มีทรัพยากรเพียงพอที่จะรองรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้เทียบกับจำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบ

2.3 วิธีการจัดสรรคุณภาพของการให้บริการ

เนื่องจากคุณสมบัติของทราฟฟิกสื่อประสมที่ปรับตัวได้ การจัดสรรคุณภาพของการให้บริการที่ต้องใช้ควบคู่ไปกับกระบวนการควบคุมการตอบรับการเรียก คือ อัลกอริทึมการปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์ จากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา สามารถแบ่งประเภทของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก [13] และอัลกอริทึมการปรับลดแบนด์วิดท์ในโครงข่ายเซลลูลาร์ ดังนี้

2.3.1 แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก



รูปที่ 2.1 แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกในโครงข่ายเซลลูลาร์

การควบคุมการตอบรับการเรียกเป็นเทคนิคอย่างหนึ่งในการจัดสรรคุณภาพของการให้บริการด้วยการจำกัดการเข้าใช้ทรัพยากรในระบบ เพื่อให้ระบบสามารถรับประกันคุณภาพของการให้บริการของการเรียกตามที่ตกลงไว้กับผู้ใช้ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นแบบแผนที่ให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและแบบที่ไม่ให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ ส่วนใหญ่แล้วแบบแผนการตอบรับการเรียกจะให้ความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเนื่องจากการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟส่งผลต่อความพอใจในการใช้งานของผู้ใช้มากกว่าการบล็อกการเรียกใหม่ โดยแบบแผนการตอบรับการเรียกที่ให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟสามารถแบ่งออกเป็น

-แบบแผนการจองช่องสัญญาณ เป็นแบบแผนที่มีการจองช่องสัญญาณส่วนหนึ่งไว้สำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่านั้น โดยจำนวนช่องสัญญาณที่จองอาจเป็นแบบคงที่หรือแบบปรับเปลี่ยนได้

-แบบแผนการยืมช่องสัญญาณ เป็นแบบแผนที่พิจารณาการยืมช่องสัญญาณจากเซลล์ข้างเคียงเมื่อเซลล์ไม่มีช่องสัญญาณเหลือ โดยช่องสัญญาณที่ยืมมาจะต้องไม่กวนช่องสัญญาณที่ใช้งานอยู่และจะไม่ถูกนำมาใช้อีกโดยเซลล์อื่น

-แบบแผนการเข้าคิวการเรียก เป็นแบบแผนที่ทำการเข้าคิวการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเมื่อเซลล์ไม่มีช่องสัญญาณเหลือ เพื่อรอการตอบรับเมื่อมีช่องสัญญาณว่าง ซึ่งแบบแผนนี้สามารถลดความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟลงได้ในขณะที่ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่จะมีค่าสูงขึ้น

2.3.2 อัลกอริทึมการปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์

- การปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์ของการเรียกแบบถาวร

อัลกอริทึมนี้จะทำการลดแบนด์วิดท์จากการเรียกที่มีอยู่ระบบ เมื่อไม่มีแบนด์วิดท์เหลือพอเพื่อใช้รองรับการเรียกที่เข้ามาใหม่ในระบบ ถึงแม้การเรียกที่ใช้แบนด์วิดท์จากการลดแบนด์วิดท์ของการเรียกอื่นจะสิ้นสุดการใช้งานแล้วก็ตามแบนด์วิดท์ส่วนนี้ก็จะไม่ถูกจัดสรรคืนให้กับการเรียกที่ถูกลดแบนด์วิดท์มา แต่จะเก็บแบนด์วิดท์นี้ไว้เป็นส่วนกลางเพื่อรองรับการเรียกอื่นต่อไป อัลกอริทึมนี้จึงมีข้อดีตรงที่ไม่ใช้โอเวอร์เฮดในการติดต่อสื่อสาร (signaling overhead) ระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่ายมากนัก แต่การลดแบนด์วิดท์ของการเรียกในระบบลงอาจทำให้เกิดการสูญเสียแพ็กเกต (packet loss) หรือค่าประวิงเวลา (end-to-end delay) สูงขึ้นจนผู้ใช้อาจยอมรับไม่ได้

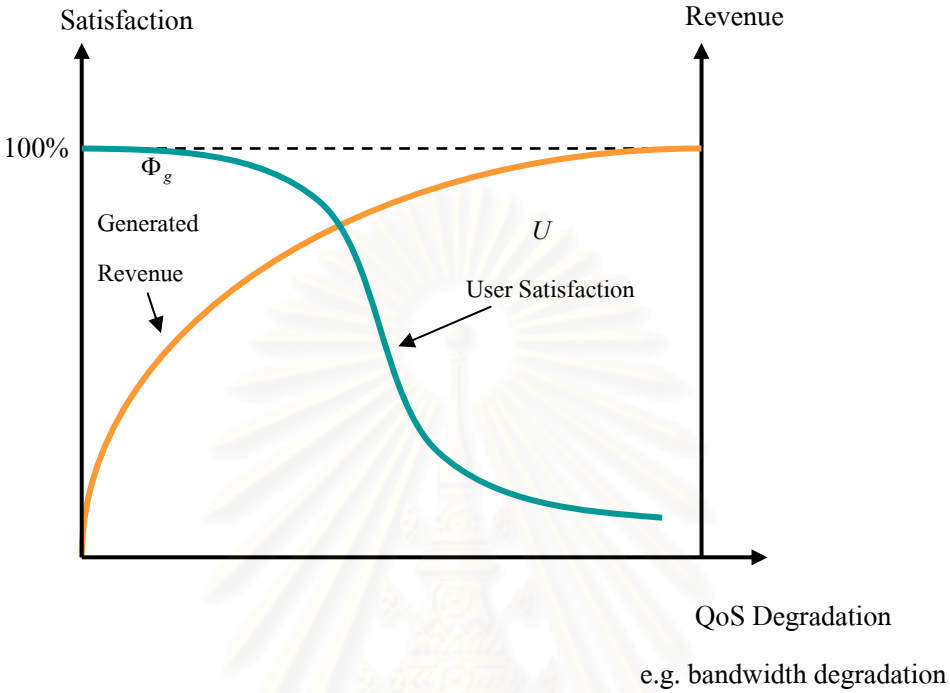
- การปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์ของการเรียกแบบชั่วคราว

อัลกอริทึมนี้ต่างจากอัลกอริทึมแรกตรงที่เมื่อการเรียกที่ใช้แบนด์วิดท์จากการลดแบนด์วิดท์ของการเรียกอื่นสิ้นสุดการใช้งานแล้วแบนด์วิดท์ส่วนนี้ก็จะถูกจัดสรรคืนให้กับการเรียกที่ถูกลดแบนด์วิดท์มา ดังนั้นอัลกอริทึมนี้จึงต้องใช้โอเวอร์เฮดในการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่ายมากกว่าอัลกอริทึมแรก แต่สามารถให้คุณภาพการให้บริการที่ดีกว่าอัลกอริทึมแรกถ้าระยะเวลาในการถูกลดแบนด์วิดท์และปริมาณแบนด์วิดท์ที่ถูกลดไม่มากเกินจนทำให้การสูญเสียแพ็กเกตหรือค่าประวิงเวลาสูงขึ้นจนผู้ใช้ยอมรับไม่ได้

2.4 แบบแผนการลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยการพิจารณารายได้สุทธิของระบบ

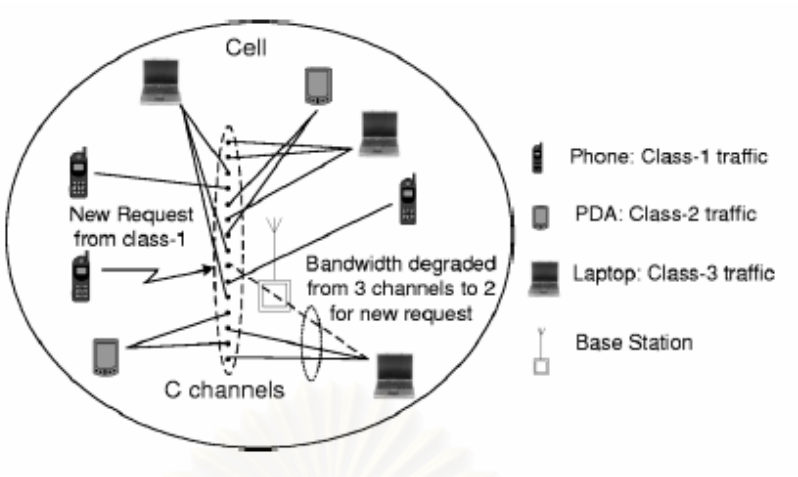
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่พิจารณารายได้สุทธิสูงสุดของระบบมาใช้ในการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก ซึ่งเป็นแบบแผนที่นำมาใช้ในการพัฒนาแบบแผนการลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดย S.K.Das และคณะ [1]ได้เสนอแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ร่วมกับการควบคุมการตอบรับการเรียกที่พิจารณาผลกระทบจากพฤติกรรมของผู้ใช้ที่เกิดจากการถูกลดแบนด์วิดท์ ด้วยการคำนวณหารายได้ที่ผู้ให้บริการต้องสูญเสียไปเนื่องจากพฤติกรรมของผู้ใช้ที่ตอบสนองต่อการถูกปรับลดแบนด์วิดท์ หลักการของงานวิจัยนี้ คือ เนื่องจากการปรับลดแบนด์วิดท์ย่อมส่งผลต่อคุณภาพของการให้บริการ

และความพึงพอใจของผู้ใช้ในบริการแสดงดังรูปที่ 2.2 ดังนั้นการพิจารณาถึงความพึงพอใจของผู้ใช้ซึ่งสัมพันธ์กับคุณภาพของการให้บริการจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควรคำนึงถึงในการปรับลดแบนด์วิดท์



รูปที่ 2.2 ข้อแลกเปลี่ยน (tradeoff) ระหว่างการลดคุณภาพของการให้บริการกับความพึงพอใจผู้ใช้

เมื่อพิจารณาระบบที่สามารถรองรับระดับการให้บริการของการเรียกแบบเวลาจริงจำนวน K ระดับการให้บริการ ในภาวะปกติ (normal mode) การเรียกในระดับการให้บริการที่ i สำหรับ $1 \le i \le K$ ใช้จำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ i ช่องสัญญาณ และการเรียกที่อยู่ในระดับการให้บริการ $2 \le i \le K$ สามารถเลือกทำงานในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณได้ (degradable mode) หรือไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ (non-degradable mode) โดยการเรียกที่ทำงานในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณจะถูกลดจำนวนช่องสัญญาณทีละ 1 ช่องสัญญาณ เมื่อระบบไม่มีช่องสัญญาณเหลือพอที่จะรองรับการเรียกที่เข้ามาใหม่ และระดับการให้บริการของการเรียกนี้จะถูกเปลี่ยนระดับการให้บริการเป็นระดับการให้บริการที่ $i-1$ ตามจำนวนช่องสัญญาณที่ได้รับ ณ ปัจจุบัน แสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการถูกลดแบนด์วิดท์ของการเรียกภายในเซลล์

เมื่อไม่มีช่องสัญญาณเหลืออยู่ในระบบพอที่จะรองรับการเรียกได้ สถานีฐานจะต้องทำการลดจำนวนช่องสัญญาณจากการเรียกที่กำลังใช้งานอยู่ในระบบ โดยทำการพิจารณานโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณ $D_{bw} = [y_2, y_3, ..., y_K]$ เป็นช่วงเวลาในการลดจำนวนช่องสัญญาณเพื่อรองรับการเรียกใหม่ที่ร้องขอการบริการ

2.5 การคำนวณหารายได้ของระบบ

2.5.1 ระบบแบบสถิต

สมมติให้สัดส่วนของการเรียกแบบเวลาจริง $(\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_K)$ ที่มีในระบบขณะอิ่มตัวหรือขณะที่ไม่มีช่องสัญญาณเหลืออยู่เลย (saturated system) เป็นลักษณะสถิต (static) เนื่องจากนโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณเกิดขึ้นภายในช่วงเวลาสั้นๆขณะหนึ่ง (ในระดับวินาที) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการเรียกไม่ว่าจะเป็นการเรียกที่เข้ามาใหม่หรือการเรียกที่เสร็จสิ้นการใช้งานจะเกิดขึ้นในระยะเวลาที่ยาวนานกว่า (ในระดับนาที) จึงกล่าวได้ว่าสัดส่วนของการเรียกที่มีอยู่ในระบบไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเป็นแบบสถิตนั่นเอง

จากสัดส่วนของการเรียกแบบเวลาจริง $(\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_K)$ สามารถหาจำนวนของการเรียกในระดับการให้การบริการที่ i ขณะระบบอิ่มตัวหรือภาวะก่อนเกิดการลดช่องสัญญาณ ดังสมการ

$$X_i = \frac{\alpha_i C}{\sum_{j=1}^{K} j\alpha_j} \tag{2.1}$$

สมมติให้สัดส่วนของการเรียกที่เข้ามาใหม่ที่ถูกตอบรับและใช้ช่องสัญญาณจากนโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณในระบบเป็น $(\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_K)$ เป็นแบบสถิตที่มีสัดส่วนเดียวกับสัดส่วนของการเรียกที่มีในระบบขณะอิ่มตัว ในที่นี้จะแสดงการหาจำนวนการเรียกในกรณีที่ระบบอิ่มตัวและมีเฉพาะการเรียกในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณเท่านั้นยกเว้นระดับการให้บริการที่ 1 ซึ่งเราสามารถหาจำนวนการเรียกที่เพิ่งถูกตอบรับสำหรับระดับการให้บริการที่ i ได้ดังสมการ (2.3)

$$N_a \alpha_1 + \sum_{j=2}^{K} N_a \alpha_j (j-1) = \sum_{j=2}^{K} y_j \tag{2.2}$$

$$\alpha_i N_a = \alpha_i \left[\frac{\sum_{j=2}^{K} y_j}{\alpha_1 + \sum_{j=2}^{K} (j-1)\alpha_j} \right]; 1 \le i \le K \tag{2.3}$$

จากสมการ (2.3) สามารถหาจำนวนการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ทั้งหมดที่ถูกตอบรับเข้ามาในระบบ ดังสมการ

$$N_i \left(X_i ; y_2, y_3, ..., y_K \right) = X_i + \frac{\alpha_i \sum_{j=2}^{K} y_j}{\alpha_1 + \sum_{j=2}^{K} (j-1)\alpha_j}; 1 \le i \le K \tag{2.4}$$

X_i คือ จำนวนการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ขณะระบบอิ่มตัว

ดังนั้นรายได้ทั้งหมดที่ได้จากการเรียกที่มีอยู่ในระบบที่มีการใช้นโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณ Φ_g แสดงดังสมการ

$$\Phi_g = \sum_{i=1}^{K} C_g(i) N_i (X_i ; y_2, y_3, ..., y_K) \tag{2.5}$$

$C_g(i)$ คือ รายได้ที่ได้จากการเรียกแต่ละการเรียกในระดับการให้บริการที่ i

ส่วนจำนวนการเรียกของระดับการให้บริการที่ i ทั้งหมดที่ถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ เป็นดังนี้

$$N_{d,i} \left(y_2, y_3, ..., y_K \right) = y_i + \frac{\alpha_i \sum_{j=2}^{K} y_j}{\alpha_1 + \sum_{j=2}^{K} (j-1)\alpha_j}; 2 \le i \le K \tag{2.6}$$

y_i คือ จำนวนการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่ถูกลดจำนวนช่องสัญญาณตามนโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณ D_{bw} เพื่อรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ

ในที่นี้สมมติว่าการเรียกแต่ละการเรียกภายในระดับการให้บริการเดียวกันเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นรายได้สูญเสียจากการลดจำนวนช่องสัญญาณจึงเท่ากันทุกการเรียกที่อยู่ในระดับการให้บริการเดียวกัน และคำนวณรายได้สูญเสียจากการลดจำนวนช่องสัญญาณของการเรียกระดับการให้บริการที่ i เป็นค่าโดยเฉลี่ย ดังนั้นรายได้ทั้งหมดที่สูญเสียไปเนื่องจากการลดจำนวนช่องสัญญาณ Φ_d สามารถแสดงดังสมการ

$$\Phi_d = \sum_{i=2}^{K} \left(\frac{C_d(i)}{2} \right) N_{d,i}(y_2, y_3, ..., y_K)(N_{d,i}(y_2, y_3, ..., y_K) + 1) \tag{2.7}$$

$C_d(i)$ คือ รายได้ที่ระบบสูญเสียไปเนื่องจากการลดจำนวนช่องสัญญาณของแต่ละการเรียกในระดับการให้บริการที่ i

ฉะนั้นรายได้สุทธิที่ระบบได้รับจากการใช้นโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณ คือ

$$\Phi(y_2, y_3, ..., y_K) = \Phi_g - \Phi_d \tag{2.8}$$

แทนสมการ (2.4), (2.5), (2.6) และ (2.7) ลงในสมการ (2.8) จะได้

$$\begin{aligned} \Phi = & \sum_{i=1}^{K} (X_i + \frac{\alpha_i \sum_{j=2}^{K} y_j}{\alpha_1 + \sum_{j=2}^{K} (j-1)\alpha_j}) C_g(i) \\ & - \sum_{i=2}^{K} \frac{C_d(i)}{2} (y_i + \frac{\alpha_i \sum_{j=2}^{K} y_j}{\alpha_1 + \sum_{j=2}^{K} (j-1)\alpha_j})(y_i + \frac{\alpha_i \sum_{j=2}^{K} y_j}{\alpha_1 + \sum_{j=2}^{K} (j-1)\alpha_j} + 1) \end{aligned} \tag{2.9}$$

ภายใต้เงื่อนไขค่าไม่เป็นลบและข้อจำกัด คือ

$y_i \le X_i; 2 \le i \le K$

ในการหานโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณที่เหมาะสมที่สุด $D_{bw}^* = [y_2, y_3, ..., y_K]$ ที่ทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิ $\Phi(y_2, y_3, ..., y_K)$ สูงสุดภายใต้ข้อจำกัดที่ $y_i \le X_i; 2 \le i \le K$ ซึ่งเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมใน $K-1$ มิติ

หรือกรณีระบบมีทั้งการเรียกที่ทำงานในภาวะที่สามารถถูกลดและไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ ฟังก์ชันรายได้สุทธิแสดงดังสมการ (2.10) และจะเห็นว่าเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมใน $2(K-1)$ มิติ

$$\Phi = \left(X_1 + \frac{\alpha_1 \sum_{j=2}^{K} y_{jn}}{\sum_{j=1}^{K} j\alpha_j} \right) C_g(1) + \sum_{i=2}^{K} \left(X_i + \frac{\alpha_i \sum_{j=2}^{K} y_{jn}}{\sum_{j=1}^{K} j\alpha_j} + \frac{\alpha_i' \sum_{j=2}^{K} y_{jd}}{\sum_{j=2}^{K} (j-1)\alpha_j'} \right) C_g(i) - \sum_{i=2}^{K} \frac{C_d(i)}{2} \left(y_i + \frac{\alpha_i' \sum_{j=2}^{K} y_{jd}}{\sum_{j=2}^{K} (j-1)\alpha_j'} \right) \left(y_i + \frac{\alpha_i' \sum_{j=2}^{K} y_{jd}}{\sum_{j=2}^{K} (j-1)\alpha_j'} + 1 \right) \quad (2.10)$$

ภายใต้เงื่อนไขค่าไม่เป็นลบและข้อจำกัด คือ

1) $y_i = y_{in} + y_{id}$

2) $y_i \le \delta_i X_i; 2 \le i \le K$

δ_i คือ สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดช่องสัญญาณ

α_i, α_i' คือ สัดส่วนของจำนวนการเรียกที่ถูกตอบรับที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดช่องสัญญาณและภาวะที่สามารถถูกลดช่องสัญญาณตามลำดับ

y_{in}, y_{id} คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดมาจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ซึ่งถูกใช้โดยการเรียกที่เพิ่งถูกตอบรับที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดช่องสัญญาณและภาวะที่สามารถถูกลดช่องสัญญาณตามลำดับ

2.5.2 ระบบแบบพลวัต

จากหัวข้อที่แล้วที่สมมติให้สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการต่างๆมีสัดส่วนแบบสถิตเดียวกับสัดส่วนของการเรียกที่เข้ามาใหม่ ในหัวข้อนี้จะลดหย่อนข้อสมมติที่กล่าวมา ด้วยการพิจารณาการเรียกทั้งหมดที่เข้ามาภายในช่วงเวลารวมกันเป็นกลุ่ม เรียก เวคเตอร์อุปสงค์ (demand vector) เพื่อพิจารณาหานโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณและนโยบายการตอบรับเข้าสู่ระบบด้วยฟังก์ชันรายได้สุทธิสูงสุด

กำหนดให้ $D = [n_1, n_2, ..., n_K]$ คือ เวคเตอร์อุปสงค์ โดย n_i แทนจำนวนการเรียกที่เข้ามาใหม่ในระดับการให้บริการที่ i ที่ร้องขอการบริการ ซึ่งการลดจำนวนช่องสัญญาณจะไม่เกิดขึ้น

เมื่อจำนวนช่องสัญญาณที่เหลืออยู่ในระบบมีเพียงพอที่จะรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้

$$C - \sum_{i=1}^{K} iX_i \geq \sum_{i=1}^{K} in_i \tag{2.14}$$

C คือ จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดในระบบ

ถ้าการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับการเรียกที่ร้องขอการบริการทั้งหมดจะต้องทำการลดจำนวนช่องสัญญาณจากการเรียกที่มีอยู่ในระบบร่วมด้วย ระบบจึงต้องหา 1) เวคเตอร์การตอบรับ $A = [a_1, a_2, ..., a_K]$ โดย a_i แทนจำนวนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่จะถูกตอบรับเข้ามาในระบบ 2) เวคเตอร์ $\Gamma = [\gamma_2, \gamma_3, ..., \gamma_K]$ โดย γ_i แทน สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่เข้ามาใหม่และจะถูกตอบรับในภาวะถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ และ 3) จำนวนการเรียกในระบบที่ถูกลดจำนวนช่องสัญญาณในแต่ละระดับการให้บริการ $D_{bw} = [y_2, y_3, ..., y_K]$ ดังนั้นในการหานโยบายการตอบรับและการลดจำนวนช่องสัญญาณที่เหมาะสมที่สุด คือ การหาผลเฉลยปัญหา $S = \{A, D_{bw}, \Gamma\}$ ที่ให้ค่าฟังก์ชันรายได้สุทธิที่มากที่สุด โดยฟังก์ชันรายได้สุทธิแสดงดังสมการ

$$\Phi = \sum_{i=1}^{K} a_i C_g(i) - \sum_{i=2}^{K} \frac{C_d(i)}{2} \left(y_i + a_i \gamma_i\right)\left(y_i + a_i \gamma_i + 1\right) \tag{2.15}$$

ภายใต้เงื่อนไขค่าไม่เป็นลบและข้อจำกัด คือ

1) $a_1 + \sum_{i=2}^{K} \{a_i \gamma_i (i-1) + a_i (1-\gamma_i) i\} \leq C - \sum_{i=1}^{K} iX_i + \sum_{i=2}^{K} y_i$

2) $y_i \leq X_i$

3) $a_i \leq n_i$

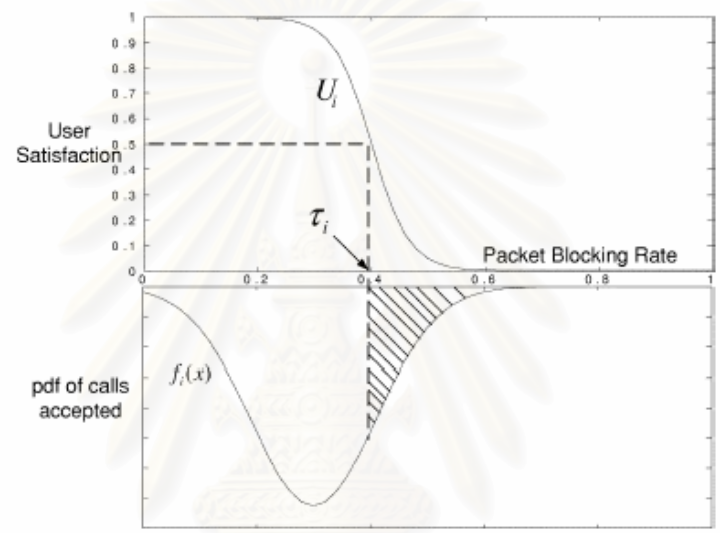
4) $\gamma_i \leq 1$

จะเห็นว่าสมการ (2.15) เป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ข้อจำกัดที่มี $3K-2$ มิติ โดยเวคเตอร์ของผลเฉลยปัญหา S ประกอบไปด้วยนโยบายการตอบรับและนโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์อย่างสูงสุดในส่วนของรายได้สุทธิที่ระบบได้รับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6 การประมาณรายได้สูญเสียที่เกิดจากการลดจำนวนช่องสัญญาณ

จากมุมมองในด้านผู้ให้บริการ รายได้ที่สูญเสียจากการลดจำนวนช่องสัญญาณเกิดขึ้นจากพฤติกรรมของผู้ใช้ที่ตอบสนองต่อการถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ โดยผู้ใช้อาจเลือกที่จะออกจากระบบของผู้ให้บริการ (churning) ดังนั้นผู้ให้บริการจะต้องสูญเสียรายได้ส่วนหนึ่งเพื่อที่จะดึงผู้ใช้รายใหม่ให้เข้ามาในระบบ จากข้อสมมติที่กล่าวมา การคำนวณหารายได้สูญเสียจากการลดจำนวนช่องสัญญาณ $C_d(i)$ ด้วยวิธีการหาแบบออฟไลน์ (off-line) ทำได้ ดังนี้



รูปที่ 2.4 แบบจำลองฟังก์ชันอรรถประโยชน์ผู้ใช้ (ภาพบน)
ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (ภาพล่าง)

ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ผู้ใช้ (user utility function) ในระดับการให้บริการที่ i แสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่แทนพารามิเตอร์คุณภาพของการให้บริการเพียง 1 พารามิเตอร์ คือ อัตราการบล็อกแพ็กเกตโดยเฉลี่ย เป็นดังสมการ

$$U_i(B_i) = \frac{1}{1+e^{-\omega_i(\varphi_i - B_i)}} \tag{2.11}$$

B_i คือ อัตราการบล็อกแพ็กเกตโดยเฉลี่ย

ω_i, φ_i คือ พารามิเตอร์ในการกำหนดศูนย์กลางและรูปร่างของกราฟอรรถประโยชน์ผู้ใช้ตามลำดับ

สำหรับการเรียกในระดับการให้บริการที่ i กำหนดให้ผู้ใช้จะไม่พึงพอใจเมื่อค่าอรรถประโยชน์ผู้ใช้ต่ำกว่า 0.5 ดังนั้นจึงสามารถหาอัตราการบล็อกแพ็กเกตโดยเฉลี่ยที่ระดับเปลี่ยนแปลง (threshold) หรือระดับสูงสุดที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ (τ_i) ได้ จากนั้นจะคำนวณหาจำนวนการเรียกที่ไม่พึงพอใจ $C_{us,i}$ ดังสมการ (2.12) โดยกำหนด $f_i(x)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (probability density function,pdf) ของการเรียกที่ถูกตอบรับในระดับการให้บริการที่ i ณ อัตราการบล็อกแพ็กเกตโดยเฉลี่ยใดๆที่มีการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) แสดงดังรูปที่ 2.4

$$C_{us,i} = H\int_{\tau_i}^{b_i^{\max}} f_i(x)dx \tag{2.12}$$

H คือ จำนวนการเรียกเข้าระหว่างชั่วโมงเร่งด่วน

$b_i^{\max}$ คือ อัตราการบล็อกแพ็กเกตสูงสุดของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i สามารถรับได้

$f_i(x)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการเรียกที่ถูกตอบรับในระดับการให้บริการที่ i ณ ระดับอัตราการบล็อกแพ็กเกตต่างๆ

ดังนั้นสามารถหารายได้ที่ต้องสูญเสียโดยเฉลี่ยต่อการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ซึ่งเกิดจากการลดจำนวนช่องสัญญาณลงได้จาก

$$C_d(i) = \frac{\theta_i \cdot C_{ch,i}}{C_{us,i} \cdot E \cdot M} \tag{2.13}$$

E คือ จำนวนชั่วโมงเร่งด่วนต่อวัน

M คือ จำนวนวันในแต่ละเดือน

θ_i คือ จำนวนผู้ใช้ในระดับการให้บริการ i โดยเฉลี่ยที่ออกจากระบบเนื่องจากการถูกลดจำนวนช่องสัญญาณในแต่ละเดือน

$C_{ch,i}$ คือ รายได้ที่ผู้ให้บริการสูญเสียไป เนื่องจากระบบต้องเสียรายจ่ายส่วนหนึ่งเพื่อดึงผู้ใช้รายใหม่ในระดับการให้บริการที่ i ต่อผู้ใช้จำนวน 1 รายกลับสู่ระบบ

2.7 ปัญหาที่พบจากงานวิจัยในอดีต

จากงานวิจัยในอดีตที่กล่าวถึงในหัวข้อที่ผ่านมา จะเห็นว่ากระบวนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับทำการพิจารณาผลต่างของรายได้ที่ได้รับจากการตอบรับการเรียกและรายได้สูญเสียที่เกิดจากการลดแบนด์วิดท์โดยคำนวณจากฟังก์ชันอรรถประโยชน์ผู้ใช้ของการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการและระดับการให้บริการเปลี่ยนแปลงตามจำนวนแบนด์วิดท์ที่ได้รับ ดังนั้นภายในระดับการให้บริการเดียวกัน สามารถมีการเรียกหลายลักษณะทราฟฟิกและหลายความต้องการคุณภาพของการให้บริการ (อัตราการบล็อกแพ็กเกตสูงสุดที่ยอมรับได้ จำนวนช่องสัญญาณที่ร้องขอ) ในขณะที่ใช้ฟังก์ชันอรรถประโยชน์แบบเดียวกัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับความต้องการคุณภาพของการให้บริการของการเรียกที่ต้องการแท้จริงในแต่ละระดับการให้บริการ และเป็นการให้ความสำคัญในด้านผู้ให้บริการเป็นหลัก อีกทั้งไม่ได้พิจารณาการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ รวมถึงความยุติธรรมในการจัดสรรแบนด์วิดท์ภายในระดับการให้บริการเดียวกันระหว่างการเรียกที่ร้องขอการบริการกับการเรียกในระบบและข้อจำกัดของแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่ทำได้สูงสุดเพียง 1 ช่องสัญญาณต่อการพิจารณาปรับลดแต่ละครั้ง

2.8 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงถึงทฤษฎีและแนวคิดพื้นฐานโดยเริ่มจากลักษณะของโครงข่ายไร้สายที่รองรับทราฟฟิกสื่อประสม วิธีวัดสมรรถนะโครงข่ายไร้สายที่นิยมใช้ วิธีการจัดสรรคุณภาพของการให้บริการ อันได้แก่ การควบคุมการตอบรับการเรียกและอัลกอริทึมการปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์ จากนั้นได้กล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่พิจารณารายได้สุทธิสูงสุดของระบบในการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกพร้อมทั้งกล่าวถึงปัญหาของงานวิจัยที่ผ่านมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับที่เสนอ

ในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่นำฟังก์ชันรายได้สุทธิของระบบมาพิจารณาหาผลต่างระหว่างรายได้ที่ได้จากการควบคุมตอบรับการเรียกและรายได้สูญเสียที่เกิดจากการปรับลดแบนด์วิดท์ เพื่อรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการได้มากขึ้นในขณะที่ระบบไม่มีแบนด์วิดท์เหลือพอด้วยการลดแบนด์วิดท์จากการเรียกในระบบ อย่างไรก็ตามระดับการให้บริการของการเรียกสามารถเปลี่ยนแปลงตามระดับแบนด์วิดท์ที่ได้รับ ดังนั้นการเรียกที่ร้องขอในระดับการให้บริการหนึ่งๆ จึงมีระดับการให้บริการได้หลายระดับซึ่งไม่สอดคล้องกับอรรถประโยชน์ผู้ใช้ที่ต้องการอย่างแท้จริงและมีข้อจำกัดดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมา

จากการคำนึงถึงมุมมองของผู้ใช้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่พิจารณาอรรถประโยชน์ผู้ใช้ตามคุณภาพของการให้บริการของการเรียกตามระดับการให้บริการที่ร้องขอโดยสัมพันธ์กับจำนวนช่องสัญญาณที่คาดหวังว่าจะได้รับและอัตราการบล็อกแพ็กเกตสูงสุดที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ยังให้ความสำคัญกับการเรียกแบบแฮนด์ออฟและมีการจัดสรรแบนด์วิดท์อย่างยุติธรรมภายในระดับการให้บริการสำหรับการเรียกที่ร้องขอการบริการและการเรียกที่ใช้งานอยู่ในระบบ โดยเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่เสนอ การควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ การแก้ไขปัญหาการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธี simulated annealing และสุดท้ายจะสรุปขั้นตอนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ

3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

ทำการพิจารณาในระบบ TDMA อย่าง GPRS ซึ่งในทางปฏิบัติ ระบบไร้สายจะกำหนดปริมาณแบนด์วิดท์เป็นจำนวนเท่าของขนาดช่องสัญญาณหนึ่งช่องสัญญาณที่มีขนาดคงตัว ดังนั้นในที่นี้ แบนด์วิดท์จึงหมายถึงช่องสัญญาณ โดยพิจารณาระบบที่ให้ลำดับความสำคัญของการเรียกแบบเวลาจริงสูงกว่าการเรียกแบบไม่ใช่เวลาจริง ซึ่งสามารถดึงช่องสัญญาณ (preemption) จากการเรียกแบบไม่ใช่เวลาจริงมาใช้ได้ถ้าไม่มีช่องสัญญาณเหลืออยู่ในระบบเลยโดยไม่ต้องพิจารณาถึงความพึงพอใจของผู้ใช้ เนื่องจากการเรียกแบบไม่ใช่เวลาจริงไม่มีการรับประกันจำนวนช่องสัญญาณ ส่วนการเรียกแบบเวลาจริงจะมีระดับจำนวนช่องสัญญาณที่ระบบรับประกันว่าต้องให้ไม่ต่ำกว่าระดับที่กำหนด ฉะนั้นเราจึงสนใจการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับการเรียกแบบเวลาจริงเป็นหลัก

พิจารณาระบบที่สามารถรองรับการเรียกได้หลายระดับการให้บริการและแบ่งระดับการให้บริการของการเรียกแบบเวลาจริงออกเป็นจำนวน K ระดับการให้บริการตามลักษณะทราฟฟิกและจำนวนช่องสัญญาณที่ร้องขอหรือคาดหวัง โดยการให้บริการแต่ละระดับการให้บริการบ่งบอกถึงแบนด์วิดท์สูงสุด แบนด์วิดท์ที่รับประกันและคุณภาพของการให้บริการ (อัตราการบล็อกแพ็กเก็ตสูงสุดที่สามารถยอมรับได้) สอดคล้องกับอรรถประโยชน์ผู้ใช้ของการเรียก และการเรียกในระดับการให้บริการที่ i สำหรับ $1 \le i \le K$ ในภาวะปกติหรือภาวะที่ไม่ถูกลดช่องสัญญาณใช้จำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ i ช่องสัญญาณ โดยการเรียกที่อยู่ในระดับการให้บริการ $2 \le i \le K$ สามารถแบ่งเป็นการเรียกที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณหรือการเรียกที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ ซึ่งการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ มีฟังก์ชันอรรถประโยชน์ผู้ใช้ ซึ่งบ่งบอกความพึงพอใจผู้ใช้ของการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการที่มีความต้องการคุณภาพของการให้บริการ คือ อัตราการบล็อกแพ็กเกตสูงสุดที่ยอมรับได้ ณ ระดับจำนวนช่องสัญญาณที่คาดหวัง (expected number of channels) เดียวกัน

ในการพิจารณานโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณแต่ละครั้ง การเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณสามารถถูกปรับลดช่องสัญญาณได้ทีละ 1 ช่องสัญญาณหรือมากกว่าโดยไม่เกินระดับที่รับประกันไปให้กับส่วนกลางเพื่อที่ระบบจะนำไปใช้ในการรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ ดังนั้นระดับจำนวนช่องสัญญาณของการเรียกที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณที่เป็นไปได้ คือ $(i, i-1, ..., i-L_{th,i})$ โดย $i-l$ คือ จำนวนช่องสัญญาณของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่ได้รับ ซึ่ง l คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลด และ $L_{th,i}$ คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดได้มากสุดสำหรับระดับการให้บริการที่ i ซึ่ง $i-L_{th,i}$ คือ ระดับจำนวนช่องสัญญาณที่ระบบรับประกันคุณภาพของการให้บริการ (จำนวนช่องสัญญาณที่รับประกัน) ที่ไม่ต่ำไปกว่าระดับนี้ และให้ $(x_{id,0}, x_{id,1}, ..., x_{id,L_{th,i}})$ คือ จำนวนการเรียกที่ทำงานในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณในแต่ละระดับจำนวนช่องสัญญาณของระดับการให้บริการที่ i ที่มีอยู่ในระบบขณะนั้น โดย $x_{id,l}$ คือ จำนวนการเรียกที่ทำงานในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณของระดับการให้บริการที่ i ที่มีอยู่ในระบบขณะนั้นที่มีระดับจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ

ส่วนการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่อยู่ในภาวะไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณจะไม่ถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ รวมถึงการเรียกในระดับการให้บริการที่ 1 ด้วย และมีระดับจำนวนสัญญาณเพียงระดับเดียว คือ i ช่องสัญญาณ และ x_{in} คือ จำนวนการเรียกที่ทำงานในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดช่องสัญญาณของระดับการให้บริการที่ i ที่มีอยู่ในระบบขณะนั้น

3.2 การคำนวณหารายได้สูญเสียจากการลดจำนวนช่องสัญญาณ

รายได้สูญเสียเนื่องจากการลดจำนวนช่องสัญญาณ $C_d(i)$ สามารถคำนวณหาได้ในทำนองเดียวกับบทที่ 2 เรื่องการประมาณรายได้สูญเสียจากการลดจำนวนช่องสัญญาณ จากปัญหาของงานวิจัยในอดีตที่คำนวณรายได้สูญเสียที่เกิดจากการลดจำนวนช่องสัญญาณของแต่ละระดับการให้บริการตามช่องสัญญาณที่การเรียกนั้นได้รับ ซึ่งไม่สอดคล้องกับอรรถประโยชน์ผู้ใช้และคุณภาพของการให้บริการที่การเรียกนั้นๆต้องการ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้แบบจำลองอรรถประโยชน์ผู้ใช้สำหรับการเรียกในระดับการให้บริการเดียวกันมีลักษณะทราฟฟิก ระดับจำนวนช่องสัญญาณที่คาดหวัง และความต้องการคุณภาพของการให้บริการเดียวกัน คือ อัตราการบล็อกแพ็กเกตสูงสุดที่ยอมรับได้ โดยสามารถคำนวณหาจำนวนผู้ใช้ที่ไม่พึงพอใจสำหรับการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ดังสมการ

$$C_{us,i} = H_i \int_{\tau_i}^{b_i^{\max}} f_i(x)dx \tag{3.1}$$

H_i คือ จำนวนการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่เข้ามาในระบบระหว่างชั่วโมงเร่งด่วน

$b_i^{\max}$ คือ อัตราการบล็อกแพ็กเกตสูงสุดของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ได้รับ

τ_i คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนของอัตราการบล็อกแพ็กเกตที่ทำให้ผู้ใช้ไม่พึงพอใจหรืออัตราการบล็อกแพ็กเกตสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i

$f_i(x)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่ถูกตอบรับกับอัตราการบล็อกแพ็กเกตที่ได้รับ

ดังนั้นรายได้สูญเสียโดยเฉลี่ยที่เกิดจากการลดจำนวนช่องสัญญาณจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่ได้รับจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ แสดงดังสมการ (3.2)

$$C_{d,l}(i) = \frac{\theta_{i,l} \cdot C_{ch,i,l}}{C_{us,i} \cdot E \cdot M} \tag{3.2}$$

E คือ จำนวนชั่วโมงเร่งด่วนต่อวัน

M คือ จำนวนวันในแต่ละเดือน

$\theta_{i,l}$ คือ จำนวนผู้ใช้ในระดับการให้บริการที่ i ที่ได้รับจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณโดยเฉลี่ยที่ออกจากระบบในแต่ละเดือน

$C_{ch,i,l}$ คือ รายได้ที่ระบบสูญเสียเนื่องจากพฤติกรรมของผู้ใช้ที่ตอบสนองต่อการถูกลดจำนวนช่องสัญญาณต่อผู้ใช้ในระดับการให้บริการที่ i ที่ได้รับจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ

ดังนั้นจะเห็นว่าฟังก์ชันอรรถประโยชน์ผู้ใช้สำหรับระดับการให้บริการที่ i จะใช้กับการเรียกที่มีความต้องการคุณภาพของการให้บริการเดียวกันเท่านั้น เนื่องจากการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการย่อมมีคุณลักษณะและความต้องการคุณภาพของการให้บริการเช่นเดิม ถึงแม้จะถูกลดช่องสัญญาณที่ใช้งานอยู่ก็ตาม

3.3 ระบบแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่เสนอ

เราสามารถแบ่งการพิจารณาตามลักษณะของระบบออกเป็น 2 ระบบ คือ

3.3.1 ระบบแบบสถิต

เป็นระบบที่มีสัดส่วนของการเรียกที่ร้องขอการบริการในแต่ละระดับการให้บริการด้วยอัตราคงที่ จึงพิจารณาเพียงนโยบายการลดช่องสัญญาณเท่านั้น เนื่องจากข้อสมมติระบบแบบสถิตสัดส่วนของการเรียกที่จะตอบรับในแต่ละระดับการให้บริการเราทราบแล้ว โดยกำหนดให้สัดส่วนของการเรียกใหม่ในแต่ละระดับการให้บริการที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณเป็น $(\alpha_{1n}^{nw},\alpha_{2n}^{nw},...,\alpha_{Kn}^{nw})$ และการเรียกที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณเป็น $(\alpha_{2d}^{nw},\alpha_{3d}^{nw},...,\alpha_{Kd}^{nw})$ และให้สัดส่วนของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในแต่ละระดับการให้บริการที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณเป็น $(\alpha_{1n}^{h},\alpha_{2n}^{h},...,\alpha_{Kn}^{h})$ และการเรียกที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณเป็น $(\alpha_{2d}^{h},\alpha_{3d}^{h},...,\alpha_{Kd}^{h})$

- กรณีระบบมีเฉพาะการเรียกที่สามารถถูกลดช่องสัญญาณได้ทุกการเรียก

เมื่อระบบไม่มีช่องสัญญาณเหลือที่จะรองรับการเรียกทั้งหมดที่ร้องขอการบริการ และการเรียกตั้งแต่ระดับการให้บริการที่ 2 สามารถทำงานในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณได้ทุกการเรียก เราสามารถหาจำนวนการเรียกที่ถูกตอบรับได้สำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและการเรียกใหม่ ในทำนองเดียวกับสมการ (2.2) แสดงดังสมการ (3.3) และ (3.4) ตามลำดับ

$$N_a^h(\alpha_1^h + \sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_i^h) = \sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{i,l}^h$$

$$N_a^h = \frac{\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{i,l}^h}{\alpha_1^h + \sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_i^h} \tag{3.3}$$

$$N_a^{nw}(\alpha_1^{nw} + \sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_i^{nw}) = \sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{i,l}^{nw}$$

$$N_a^{nw} = \frac{\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{i,l}^{nw}}{\alpha_1^{nw} + \sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_i^{nw}} \tag{3.4}$$

$y_{i,l}^h$ คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดมาจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่มีจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ ซึ่งถูกใช้โดยการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ

$y_{i,l}^{nw}$ คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดมาจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่มีจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ ซึ่งถูกใช้โดยการเรียกใหม่

z_i คือ จำนวนช่องสัญญาณสูงสุดที่ถูกลด ณ ปัจจุบันของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ซึ่งสามารถหาได้ ดังสมการ

$$z_i = \max\{l : x_{id,l} \neq 0\}; 0 \leq l \leq L_{th,i} \tag{3.5}$$

- กรณีระบบมีทั้งการเรียกที่สามารถถูกลดช่องสัญญาณได้และไม่สามารถถูกลดช่องสัญญาณได้

เมื่อระบบไม่มีช่องสัญญาณเหลือที่จะรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการและการเรียกตั้งแต่ระดับการให้บริการที่ 2 สามารถเลือกทำงานในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณหรือภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ ดังนั้นเราสามารถหาจำนวนการเรียกที่ถูกตอบรับและทำงานในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ N_{an} ได้ ดังนี้

$$N_{an}^h \sum_{i=1}^{K} i\alpha_{in}^h = \sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{in,l}^h$$

$$N_{an}^h = \frac{\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{in,l}^h}{\sum_{i=1}^{K} i\alpha_{in}^h} \tag{3.6}$$

$$N_{an}^{nw} \sum_{i=1}^{K} i\alpha_{in}^{nw} = \sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{in,l}^{nw}$$

$$N_{an}^{nw} = \frac{\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{in,l}^{nw}}{\sum_{i=1}^{K} i\alpha_{in}^{nw}} \tag{3.7}$$

$$N_{an} = N_{an}^h + N_{an}^{nw} \tag{3.8}$$

$y_{in,l}^{h}$ คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่มีระดับช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ ซึ่งถูกใช้โดยการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ

$y_{in,l}^{nw}$ คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่มีระดับช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ ซึ่งถูกใช้โดยการเรียกใหม่ที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ

ส่วนจำนวนการเรียกที่ถูกตอบรับและอยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ N_{ad} แสดงดังสมการ

$$N_{ad}^{h}\sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_{id}^{h}=\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{id,l}^{h}$$
$$N_{ad}^{h}=\frac{\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{id,l}^{h}}{\sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_{id}^{h}} \tag{3.9}$$

$$N_{ad}^{nw}\sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_{id}^{nw}=\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{id,l}^{nw}$$
$$N_{ad}^{nw}=\frac{\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{id,l}^{nw}}{\sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_{id}^{nw}} \tag{3.10}$$

$$N_{ad}=N_{ad}^{h}+N_{ad}^{nw} \tag{3.11}$$

$y_{id,l}^{h}$ คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่มีระดับช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ ซึ่งถูกใช้โดยการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ

$y_{id,l}^{nw}$ คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่มีระดับช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ ซึ่งถูกใช้โดยการเรียกใหม่ที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ

ในทำนองเดียวกับสมการ (2.4) เราสามารถหาจำนวนการเรียกของระดับการให้บริการที่ i ทั้งหมดที่อยู่ในภาวะไม่สามารถถูกลดช่องสัญญาณและสามารถถูกลดช่องสัญญาณในระบบและที่ตอบรับเข้ามา ดังสมการ

$$N_{in}\left(X_{in};Y_{in}\right)=x_{in}+\alpha_{in}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jn,l}^{h}}{\sum_{j=1}^{K}j\alpha_{jn}^{h}}\right)+\alpha_{in}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jn,l}^{nw}}{\sum_{j=1}^{K}j\alpha_{jn}^{nw}}\right);1\le i\le K \quad (3.12)$$

$$N_{id}\left(X_{id};Y_{id}\right)=\sum_{l=0}^{L_{th,i}}x_{id,l}+\alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{h}}\right)+\alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{nw}}\right);2\le i\le K \quad (3.13)$$

และจำนวนการเรียกของระดับการให้บริการที่ i ทั้งหมดในระบบและการเรียกที่ถูกตอบรับที่ถูกลดจำนวนช่องสัญญาณเป็นดังสมการ

$$N_{i}'(Y_{id};Y_{in})=y_{id}+y_{in}+\alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{h}}\right)+\alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{nw}}\right);2\le i\le K \quad (3.14)$$

จากสมการ (3.5), (3.6) แทนลงในสมการ (3.7) ฉะนั้นรายได้สุทธิที่ระบบได้รับจากการใช้นโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณสามารถหาได้ แสดงดังสมการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\Phi\left(Y_{id}^{h};Y_{id}^{nw};Y_{in}^{h};Y_{in}^{nw}\right)=\sum_{i=1}^{K}C_{gn}(i)\left(x_{in}+\alpha_{in}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jn,l}^{h}}{\sum_{j=1}^{K}j\alpha_{jn}^{h}}\right)+\alpha_{in}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jn,l}^{nw}}{\sum_{j=1}^{K}j\alpha_{jn}^{nw}}\right)\right)$$

$$+\sum_{i=2}^{K}C_{gd}(i)\left(\sum_{l=0}^{L_{th,i}}x_{id,l}+\alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{h}}\right)+\alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{nw}}\right)\right)$$

$$-\frac{1}{2}\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}C_{d,l}(i)\left(y_{id,l}+y_{in,l}+\alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{h}}\right)+\alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{nw}}\right)\right)$$

$$\times\left(1+y_{id,l}+y_{in,l}+\alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{h}}\right)+\alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{nw}}\right)\right) \quad (3.15)$$

ภายใต้เงื่อนไขค่าไม่เป็นลบและข้อจำกัด สำหรับ $2\le i\le K$ และ $0\le l\le L_{th,i}-1$ คือ

1) $y_{id,l}=y_{id,l}^{h}+y_{id,l}^{nw}$

2) $y_{in,l}=y_{in,l}^{h}+y_{in,l}^{nw}$

3) $y_{in,l}+y_{id,l}\le x_{id,l}$

4) $\sum_{i=1}^{K}ix_{in}+\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}}(i-l)x_{id,l}-\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{in,l}\le C$

$C_{gn}(i)$ คือ รายได้ที่ได้รับจากแต่ละการเรียกในระดับการเรียกที่ i ที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ

$C_{gd}(i)$ คือ รายได้ที่ได้รับจากแต่ละการเรียกในระดับการเรียกที่ i ที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ

$C_{d,l}(i)$ คือ รายได้ที่สูญเสียไปเนื่องจากการลดจำนวนช่องสัญญาณแต่ละการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่มีจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ

3.3.2 ระบบแบบพลวัต

เป็นระบบที่มีสัดส่วนของการเรียกที่ร้องขอการบริการในแต่ละระดับการให้บริการเป็นแบบไม่คงที่ ดังนั้นระบบจึงต้องทำการพิจารณาการควบคุมการตอบรับการเรียกและการปรับลดแบนด์วิดท์ร่วมกัน โดยให้ r_{in}^{h},r_{id}^{h} คือ จำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในระดับการให้บริการที่ i ที่ร้องขอการบริการที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณและภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณตามลำดับ และ r_{in}^{nw}, r_{id}^{nw} คือ จำนวนการเรียกใหม่ในระดับการให้บริการที่ i ที่ร้องขอการบริการที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณและภาวะที่

สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณตามลำดับ ส่วน a_{in}^{h}, a_{id}^{h} คือ จำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในระดับการให้บริการที่ i ที่ถูกตอบรับในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณและภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณตามลำดับ และ a_{in}^{nw}, a_{id}^{nw} คือ จำนวนการเรียกใหม่ในระดับการให้บริการที่ i ที่ถูกตอบรับในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณและภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณตามลำดับ ซึ่งรายได้สุทธิที่ระบบได้รับจากการใช้นโยบายการควบคุมการตอบรับการเรียกร่วมกับการลดจำนวนช่องสัญญาณสามารถคำนวณหาได้ ดังสมการ

$$\Phi(A_{id}^{h};A_{id}^{nw};A_{in}^{h};A_{in}^{nw};Y)=\sum_{i=1}^{K}C_{gn}(i)\left(x_{in}+a_{in}^{h}+a_{in}^{nw}\right)+\sum_{i=2}^{K}C_{gd}(i)\left(\sum_{l=0}^{L_{th,i}}x_{id,l}+a_{id}^{h}+a_{id}^{nw}\right)$$
$$-\frac{1}{2}\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}C_{d,l}(i)\left(y_{i,l}+a_{id}^{h}+a_{id}^{nw}\right)\left(y_{i,l}+a_{id}^{h}+a_{id}^{nw}+1\right) \tag{3.16}$$

ภายใต้เงื่อนไขค่าไม่เป็นลบและข้อจำกัด คือ

1) $y_{i,l}\le x_{id,l}(\forall i,l \mid 2\le i\le K,0\le l\le L_{th,i}-1)$

2) $\sum_{i=2}^{K}(a_{id}^{h}+a_{id}^{nw})(i-z_i)+\sum_{i=1}^{K}(a_{in}^{h}+a_{in}^{nw})i\le C-\sum_{i=1}^{K}ix_{in}-\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}}(i-l)x_{id,l}+\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{i,l}$

3) $a_{id}^{h}\le r_{i\,id}^{h};2\le i\le K$

4) $a_{in}^{h}\le r_{in}^{h};1\le i\le K$

5) $a_{id}^{nw}\le r_{id}^{nw};2\le i\le K$

6) $a_{in}^{nw}\le r_{in}^{nw};1\le i\le K$

3.4 การควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ

3.4.1 การให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟโดยการถ่วงน้ำหนัก

เนื่องจากเราให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟมีความสำคัญสูงกว่าการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ จึงกำหนดพารามิเตอร์ เพื่อบ่งบอกความสำคัญของการเรียกเข้าที่แตกต่างกัน โดยกำหนด w^{h},w^{nw} คือ ลำดับความสำคัญถ่วงน้ำหนัก (weighted priority) สำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและสำหรับการเรียกใหม่ [8] ตามลำดับ ดังนั้นรายได้สุทธิเสมือน (virtual net revenue) ที่ระบบได้รับเป็นดังสมการ

- กรณีระบบแบบสถิต

$$\Phi\left(Y_{id}^{h};Y_{id}^{nw};Y_{in}^{h};Y_{in}^{nw}\right)=\sum_{i=1}^{K}C_{gn}(i)\left(x_{in}+w^{h}\alpha_{in}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jn,l}^{h}}{\sum_{j=1}^{K}j\alpha_{jn}^{h}}\right)+w^{nw}\alpha_{in}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jn,l}^{nw}}{\sum_{j=1}^{K}j\alpha_{jn}^{nw}}\right)\right)$$

$$+\sum_{i=2}^{K}C_{gd}(i)\left(\sum_{l=0}^{L_{th,i}}x_{id,l}+w^{h}\alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{h}}\right)+w^{nw}\alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{nw}}\right)\right)$$

$$-\frac{1}{2}\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}C_{d,l}(i)\left(y_{id,l}+y_{in,l}+w^{h}\alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{h}}\right)+w^{nw}\alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{nw}}\right)\right)$$

$$\times\left(1+y_{id,l}+y_{in,l}+w^{h}\alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{h}}\right)+w^{nw}\alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{nw}}\right)\right) \quad (3.17)$$

ภายใต้เงื่อนไขค่าไม่เป็นลบและข้อจำกัดสำหรับ $2\le i\le K$ และ $0\le l\le L_{th,i}-1$ คือ

1) $y_{id,l}=y_{id,l}^{h}+y_{id,l}^{nw}$

2) $y_{in,l}=y_{in,l}^{h}+y_{in,l}^{nw}$

3) $y_{in,l}+y_{id,l}\le x_{id,l}$

4) $\sum_{i=1}^{K}ix_{in}+\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}}(i-l)x_{id,l}-\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{in,l}\le C$

- กรณีระบบพลวัต

จากสมการ (3.16) เราสามารถหา

1) เวคเตอร์การตอบรับสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ

$A_n^h=[a_{1n}^h,a_{2n}^h,...,a_{Kn}^h]$ และ $A_d^h=[a_{2d}^h,a_{3d}^h,...,a_{Kd}^h]$

2) เวคเตอร์การตอบรับสำหรับการเรียกใหม่

$A_n^{nw}=[a_{1n}^{nw},a_{2n}^{nw},...,a_{Kn}^{nw}]$ และ $A_d^{nw}=[a_{2d}^{nw},a_{3d}^{nw},...,a_{Kd}^{nw}]$

3) จำนวนการเรียกที่ถูกลดจำนวนช่องสัญญาณในแต่ละระดับของการให้บริการ

$Y=[y_{2,0},y_{2,L_{th,2}-1},y_{3,0},y_{3,1},...,y_{3,L_{th,3}-1},...,y_{K,L_{th,K}-1}]$

ดังนั้นในการหานโยบายการตอบรับและนโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณที่เหมาะสมที่สุด คือ การหาผลเฉลยปัญหา $S=\{A_n^h,A_d^h,A_n^{nw},A_d^{nw},Y\}$ ที่ให้ค่าฟังก์ชันรายได้สุทธิเสมือนของระบบมากที่สุดที่ให้ความสำคัญระหว่างการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่แตกต่างกัน โดยฟังก์ชันรายได้สุทธิเสมือนของระบบแสดงดังสมการ

$$\Phi\left(A_{id}^{h};A_{id}^{nw};A_{in}^{h};A_{in}^{nw};Y\right)=\sum_{i=1}^{K}C_{gn}(i)\left(x_{in}+w^{h}a_{in}^{h}+w^{nw}a_{in}^{nw}\right)$$
$$+\sum_{i=2}^{K}C_{gd}(i)\left(\sum_{l=0}^{L_{th,i}}x_{id,l}+w^{h}a_{id}^{h}+w^{nw}a_{id}^{nw}\right)$$
$$-\frac{1}{2}\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}C_{d,l}(i)\left(y_{i,l}+w^{h}a_{id}^{h}+w^{nw}a_{id}^{nw}\right)\left(y_{i,l}+w^{h}a_{id}^{h}+w^{nw}a_{id}^{nw}+1\right) \quad (3.18)$$

ภายใต้เงื่อนไขค่าไม่เป็นลบและข้อจำกัด คือ

1) $y_{i,l}\le x_{id,l}(\forall i,l\mid 2\le i\le K,0\le l\le L_{th,i}-1)$

2) $\sum_{i=2}^{K}(a_{id}^{h}+a_{id}^{nw})(i-z_i)+\sum_{i=1}^{K}(a_{in}^{h}+a_{in}^{nw})i\le C-\sum_{i=1}^{K}ix_{in}-\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}}(i-l)x_{id,l}+\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{i,l}$

3) $a_{id}^{h}\le r_{i}^{h}{}_{id};2\le i\le K$

4) $a_{in}^{h}\le r_{in}^{h};1\le i\le K$

5) $a_{id}^{nw}\le r_{id}^{nw};2\le i\le K$

6) $a_{in}^{nw}\le r_{in}^{nw};1\le i\le K$

3.4.2 การพิจารณานโยบายการตอบรับและการลดจำนวนช่องสัญญาณด้วยอุปสงค์ผู้ใช้เป็นช่วงเวลาที่แตกต่างกันระหว่างการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่

เงื่อนไขที่ทำให้นโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณเกิดขึ้น คือ จำนวนช่องสัญญาณของการเรียกที่ร้องขอการบริการมากกว่าจำนวนช่องสัญญาณที่เหลืออยู่ในระบบ แสดงดังสมการ

$$C-\sum_{i=1}^{K}ix_{in}+\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}}(i-l)x_{id,l}<\sum_{i=1}^{K}ir_i \quad (3.19)$$

$R=(r_1,r_2,...,r_K)$ คือ จำนวนการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการที่ร้องขอการบริการ

เมื่อไม่มีช่องสัญญาณเหลืออยู่ในระบบพอที่จะรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการได้ สถานีฐานจะต้องทำการลดจำนวนช่องสัญญาณจากการเชื่อมต่อที่มีอยู่ในระบบ โดยการเรียกที่เข้ามาในระบบ ณ เวลา t ใดๆจะถูกเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ ซึ่งแยกบัฟเฟอร์เป็น 2 บัฟเฟอร์สำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและการเรียกใหม่ เพื่อพิจารณานโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณเป็นช่วงเวลาในการรอคอย (waiting time) สำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ T_h หน่วยเวลา เพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดจากผู้ใช้ที่เคลื่อนที่กลับเซลล์เดิม ซึ่งมีผลต่อจำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ (ping pong effect) และพิจารณาการตอบรับการเรียกร่วมกับการลดแบนด์วิดท์ที่

ทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุด โดยพิจารณาช่วงเวลาในการรอคอยสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่สั้น ส่วนช่วงเวลาในการเข้าแถวคอยสำหรับการเรียกใหม่ T_{nw} หน่วยเวลาจะถูกพิจารณานโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณด้วยช่วงเวลาในการรอคอยที่นานกว่า โดยให้ความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟมากกว่า ซึ่งเราสามารถแบ่งเหตุการณ์ในการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

- ช่วงเวลา $[t, t+T_h]$ หรือ $[t, t+T_{nw}]$

เมื่อครบระยะเวลาในการรอคอยของแต่ละเหตุการณ์ ระบบจะต้องพิจารณานโยบายการตอบรับสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟหรือการเรียกใหม่ และนโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณ เพื่อหาจำนวนการเรียกที่ถูกตอบรับในแต่ละระดับการให้บริการที่เหมาะสมที่สุด ไปพร้อมๆกับการหาจำนวนการเชื่อมต่อในแต่ระดับการให้บริการที่ต้องถูกลดช่องสัญญาณว่าเป็นเท่าใดจึงทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุด โดยการหาค่าสูงสุดของสมการ (3.18)

- ช่วงเวลา$[t, t+T_h]$ ซ้อนทับกับ $[t', t'+T_{nw}]$

ระยะเวลาสิ้นสุดในการรอคอยของแต่ละเหตุการณ์ในทั้งสองบัฟเฟอร์เกิดขึ้นพร้อมกัน กรณีนี้ระบบจะต้องพิจารณานโยบายการตอบรับที่ให้ความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนัก [8] ที่มากกว่าการเรียกใหม่และนโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณร่วมกัน เพื่อหาจำนวนการเรียกที่ถูกตอบรับในแต่ละระดับการให้บริการที่เหมาะสมที่สุดไปพร้อมๆกับการหาจำนวนการเชื่อมต่อในแต่ระดับการให้บริการที่ต้องถูกลดจำนวนช่องสัญญาณว่าเป็นเท่าใดจึงทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุด โดยการหาค่าสูงสุดของสมการ (3.18)

3.5 การแก้ไขปัญหาการหาค่าเหมาะสม

จากฟังก์ชันรายได้สุทธิที่แสดงในหัวข้อที่ผ่านมา เราสามารถแสดงความซับซ้อนของปัญหาในรูปแบบของจำนวนของตัวแปรผลเฉลยที่ต้องการหาและจำนวนข้อจำกัดที่ใช้ในการแก้ปัญหา ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความซับซ้อนของปัญหา

ลักษณะระบบ	ผลเฉลยปัญหาที่ต้องการหา	จำนวนตัวแปร	จำนวนข้อจำกัด	หมายเหตุ
แบบสถิต	การเรียกที่ถูกลดช่องสัญญาณและถูกใช้โดยการเรียกใหม่	$2(K-1)$	$3K-2$	ระบบทำการลดช่องสัญญาณทีละ 1 ช่องสัญญาณต่อการพิจารณานโยบาย
	การเรียกที่ถูกลดช่องสัญญาณและถูกใช้โดยการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและการเรียกใหม่ (ที่เสนอ)	$4\sum_{i=2}^{K} L_{th,i}$	$5\sum_{i=2}^{K} L_{th,i}+1$	ระบบทำการลดช่องสัญญาณทีละมากกว่า 1 ช่องสัญญาณต่อการพิจารณานโยบาย
		$2K(K-1)$	$\frac{5K}{2}(K-1)+1$	และเมื่อกำหนดระดับจำนวนช่องสัญญาณที่สามารถลดได้สูงสุดเท่ากับ $i-1$ สำหรับระดับการให้บริการที่ 2 ขึ้นไป
แบบพลวัต	การเรียกใหม่และการเรียกที่ถูกลดช่องสัญญาณ	$3K-2$	$6K-3$	ระบบทำการลดช่องสัญญาณทีละ 1 ช่องสัญญาณต่อการพิจารณานโยบาย
	การเรียกใหม่การเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและการเรียกที่ถูกลดช่องสัญญาณ(ที่เสนอ)	$4K-2+\sum_{i=2}^{K} L_{th,i}$	$8K-4+2\sum_{i=2}^{K} L_{th,i}+1$	ระบบทำการลดช่องสัญญาณทีละมากกว่า 1 ช่องสัญญาณต่อการพิจารณานโยบาย
		$\frac{K}{2}(K+7)-2$	$K(K+7)-3$	และเมื่อกำหนดระดับจำนวนช่องสัญญาณที่สามารถลดได้สูงสุดเท่ากับ $i-1$ สำหรับระดับการให้บริการที่ 2 ขึ้นไป

K คือ จำนวนของระดับการให้บริการ

$L_{th,i}$ คือ จำนวนของระดับการลดแบนด์วิดท์ของระดับการให้บริการที่ i ใดๆ

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าระดับความซับซ้อนของปัญหาเพิ่มจากเชิงเส้นเป็นกำลังสองของจำนวนระดับการให้บริการ ซึ่งในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่มีความซับซ้อนของปัญหาประกอบกับความไม่เป็นอิสระต่อกันของสมการข้อจำกัดนั้นวิธีการที่เป็นไปได้ คือ วิธีการแก้ไขปัญหาการหาค่าเหมาะสมแบบฮิวริสติก (heuristic) โดยเลือกใช้แนวคิดการแก้ไขปัญหาการหาค่าความเหมาะสมด้วยวิธี simulated annealing [8], [10] มาใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสม

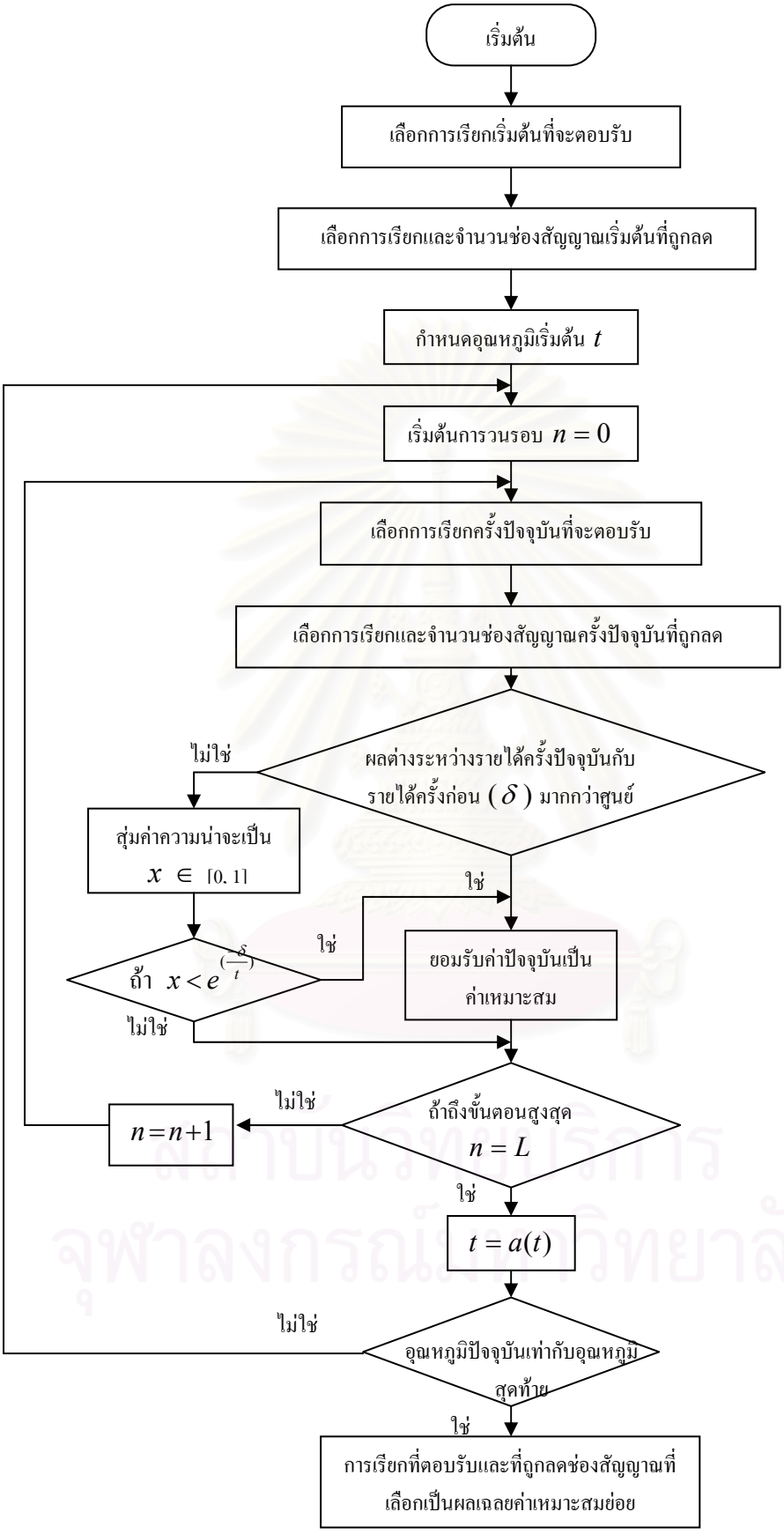
แนวคิดหลักของวิธีนี้มาจากการจำลองการเย็นตัวลงของวัสดุในอ่างความร้อนซึ่งหลักการนี้ถูกนำมาใช้ในการการหาค่าความเหมาะสมสำหรับฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง พารามิเตอร์หลักที่ใช้ คือ อุณหภูมิ และปัจจัยการเย็นตัว (cooling factor)โดยขณะที่ทำการหาค่าอัลกอริทึม พารามิเตอร์อุณหภูมิจะถูกลดค่าลงเป็นช่วงๆด้วยค่าปัจจัยการเย็นตัวจนกระทั่งถึงอุณหภูมิสุดท้าย (final temperature) ในแต่ละช่วง ตัวแปรจะถูกเลือกโดยการสุ่มและเปลี่ยนค่าไปเรื่อยๆ ในขณะที่ตัวแปรที่สุ่มเลือกมานั้นจะต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัดและเงื่อนไข (constraint) ถ้าตัวแปรที่เลือกให้ผลเฉลยปัญหาที่ดีกว่าครั้งก่อนหน้า อัลกอริทึมจะยอมรับค่านี้แต่ถ้าไม่ใช่จะทำการสุ่มค่าในการยอมรับด้วยความน่าจะเป็นค่าหนึ่ง ณ อุณหภูมิปัจจุบันที่ทำการพิจารณา

การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธี simulated annealing สามารถสรุปเป็นขั้นตอน ดังรูปที่ 3.1 โดยเริ่มต้นจากทำการกำหนดการเรียกเริ่มต้นที่จะถูกตอบรับ และหาการเรียกในระบบรวมถึงจำนวนแบนด์วิดท์ที่ต้องถูกลดสอดคล้องกับจำนวนแบนด์วิดท์ที่ต้องใช้ในการตอบรับการเรียก แล้วคำนวณหารายได้สุทธิและกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้น t

เริ่มต้นการวนรอบ $n = 0$ ในแต่ละรอบจะเลือกการเรียกที่จะตอบรับและการเรียกที่ถูกลดแบนด์วิดท์โดยการสุ่มเทียมหรือกึ่งสุ่ม (pseudo-random or semi-random) เนื่องจากความพึ่งพิงกันหรือความไม่เป็นอิสระของตัวแปร ดังนี้

- ตอบรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ และลดแบนด์วิดท์จากการเรียกในระบบโดยการสุ่ม
- ตอบรับการเรียกใหม่ และลดแบนด์วิดท์จากการเรียกในระบบโดยการสุ่ม
- ยกเลิกการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่เพิ่งตอบรับมาจากการสุ่มตอบรับ
- ยกเลิกการเรียกใหม่ที่เพิ่งตอบรับมาจากการสุ่มตอบรับ
- ปรับเปลี่ยนการเรียกในระบบที่ถูกลดแบนด์วิดท์โดยสอดคล้องกับแบนด์วิดท์ที่ต้องใช้

เมื่อทำการสุ่มเลือกเสร็จ ทำการคำนวณหารายได้สุทธิครั้งปัจจุบันเทียบกับรายได้สุทธิครั้งก่อนหน้า ถ้าผลต่าง δ ที่ได้มากกว่าศูนย์ ทำการยอมรับค่าปัจจุบันเป็นค่าเหมาะสม แต่ถ้าผลต่างน้อยกว่าศูนย์ ให้ทำการสุ่มค่าความน่าจะเป็นตั้งแต่ 0 ถึง 1 เทียบกับ $e^{-\delta/t}$ ถ้าค่าที่สุ่มน้อยกว่าจึงยอมรับเป็นค่าเหมาะสม จากนั้นทำการวนรอบเพิ่มเป็น $n+1$ จนกระทั่งครบ L รอบ จึงลดอุณหภูมิ t ลงตามสมการ $a(t)$ ซึ่งอาจเป็นฟังก์ชันลดแบบเชิงเส้น $(t \leftarrow (t-\alpha); 0 < \alpha < t)$ หรือ



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธี simulated annealing

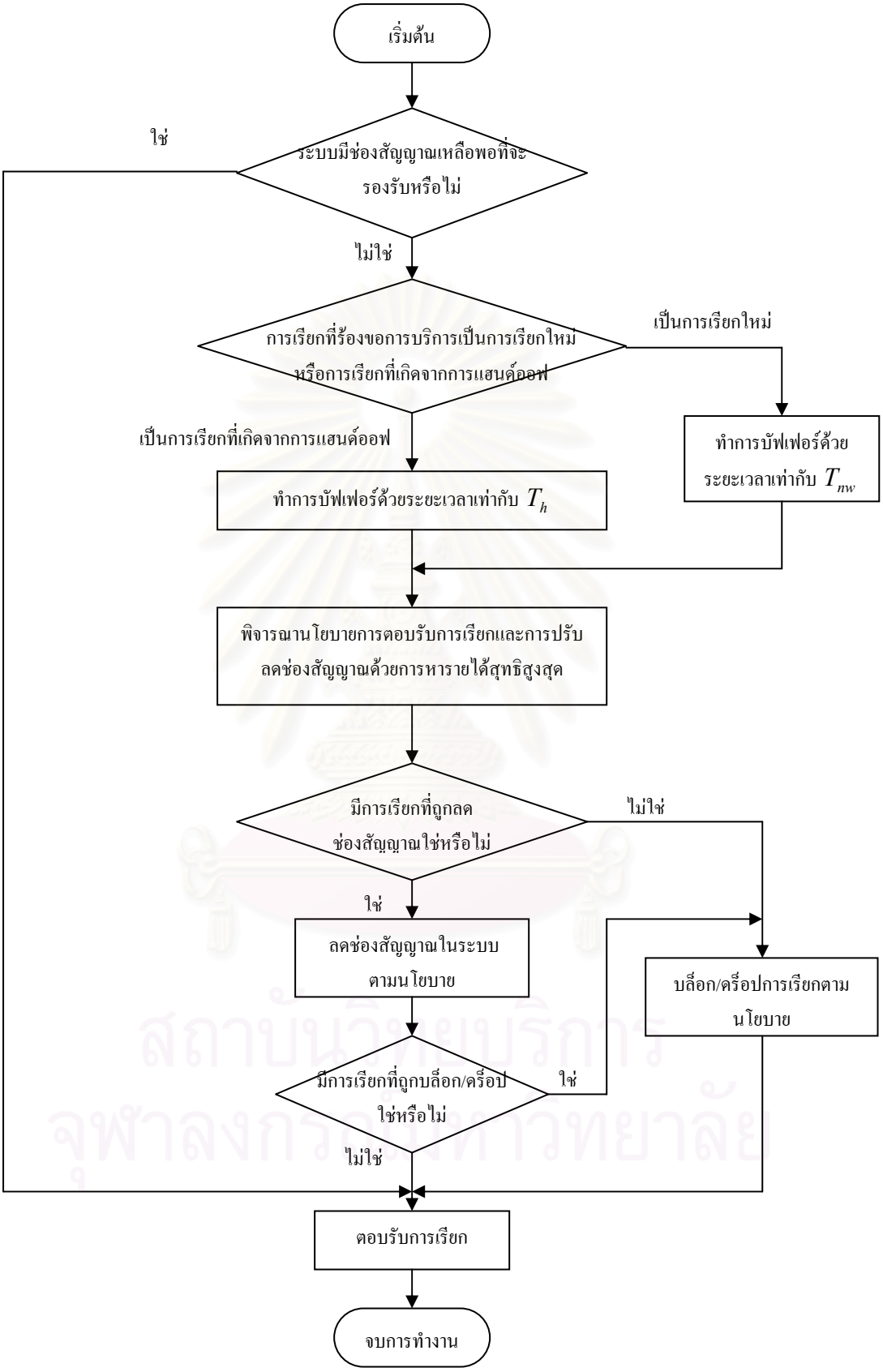
แบบเรขาคณิต $(t \leftarrow \alpha t; 0 < \alpha < t)$ แล้วเริ่มตั้งต้นการวนรอบ $n = 0$ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่กำหนด T_f ซึ่งค่าสุดท้ายที่ได้ คือ ผลเฉลยค่าเหมาะสมย่อย (sub-optimal solution)

3.6 ขั้นตอนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ

แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอสามารถสรุปเป็นขั้นตอนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก ดังรูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานเริ่มต้นเมื่อมีการเรียกที่ร้องขอการบริการ ถ้าระบบมีช่องสัญญาณเหลือพอที่จะรองรับการเรียกนั้น ระบบจะทำการตอบรับการเรียกแต่ถ้าระบบไม่มีช่องสัญญาณเหลือพอ ระบบจะต้องพิจารณานโยบายการปรับลดแบนด์วิดท์ในระบบเพื่อทำการตอบรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ ซึ่งการเรียกจะต้องรอคอยในบัฟเฟอร์ด้วยระยะเวลาหนึ่ง โดยระบบจะแยกบัฟเฟอร์ในการรอคอยสำหรับการเรียกใหม่และการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟออกจากกันด้วยระยะเวลาในการรอคอยของทั้งสองบัฟเฟอร์แตกต่างกันจนกระทั่งครบระยะเวลาการรอคอย T_{nw} หน่วยเวลาสำหรับการเรียกใหม่และ T_h หน่วยเวลาสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ

โดยในช่วงเวลาที่มีการบัฟเฟอร์การเรียก ระบบจะต้องเก็บค่าจำนวนการเรียกใหม่และการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในแต่ละระดับการให้บริการ และเมื่อครบระยะเวลาการรอคอยในบัฟเฟอร์ระบบจะต้องหาจำนวนการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการและในแต่ละระดับช่องสัญญาณที่มีอยู่ในระบบ เพื่อหาจำนวนช่องสัญญาณที่สามารถปรับลดได้และระดับช่องสัญญาณปัจจุบันที่การเรียกในแต่ละระดับการให้บริการได้รับ จากนั้นระบบจะพิจารณากระบวนการการควบคุมการตอบรับด้วยการเลือกการเรียกจากการเรียกที่ร้องขอการบริการทั้งหมดในบัฟเฟอร์ที่ครบระยะเวลาการรอคอยที่ทำให้ผลต่างระหว่างรายได้และรายได้สูญเสียจากการพิจารณาการปรับลดแบนด์วิดท์จากการเรียกที่ทำให้ระบบได้รับค่ารายได้สุทธิสูงสุด

เมื่อระบบคำนวณหานโยบายการปรับลดแบนด์วิดท์และการตอบรับการเรียกได้แล้ว จะทำการปรับลดแบนด์วิดท์จากการเรียกในระบบตามนโยบายการปรับลดแบนด์วิดท์ และทำการตอบรับการเรียกที่ร้องขอการบริการตามนโยบายการตอบรับการเรียกด้วยการจัดสรรแบนด์วิดท์ตามระดับจำนวนช่องสัญญาณที่เท่ากับการเรียกในระดับการให้บริการเดียวกันในระบบ ซึ่งได้แบนด์วิดท์ส่วนนี้มาจากนโยบายการปรับลดแบนด์วิดท์



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ

บทที่ 4
ผลการจำลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้ทำการหาสมรรถนะของแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ สมรรถนะที่ใช้ในการเปรียบเทียบ คือ ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ และค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ โดยหัวข้อในการทดสอบ มีดังนี้ การจำลองสถานการณ์สำหรับระบบสถิตของแบบแผนที่เสนอเทียบกับแบบแผนในงานวิจัย [1] เพื่อพิจารณาลักษณะแบบแผนที่พิจารณารายได้สุทธิ การจำลองสถานการณ์สำหรับระบบพลวัตของแบบแผนที่เสนอ เพื่อพิจารณาสมรรถนะของแบบแผนและลักษณะที่น่าสนใจของแบบแผน พร้อมทั้งวิเคราะห์และสรุปผลในการทดสอบแบบแผนแต่ละแบบ

4.1 การจำลองสถานการณ์สำหรับระบบสถิต

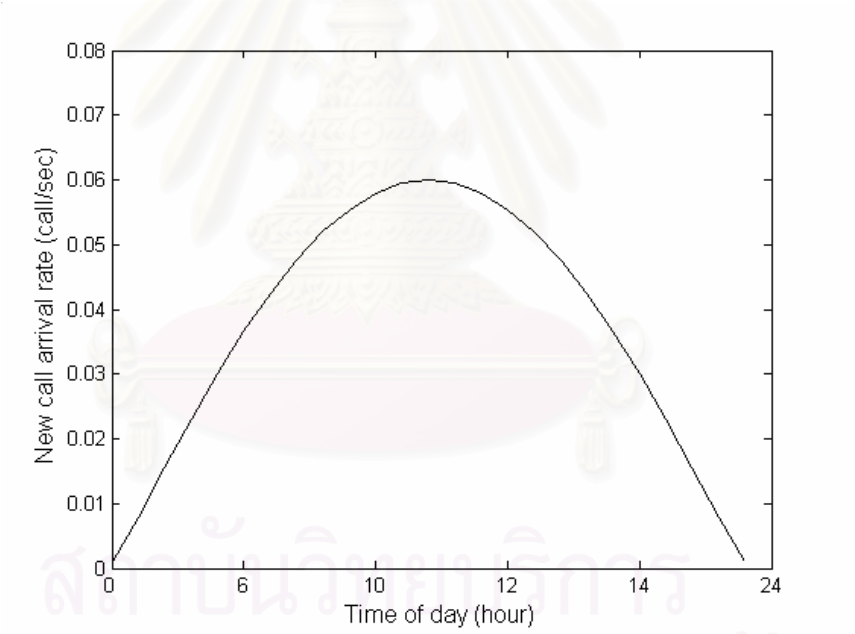
ในหัวข้อนี้ทำการทดสอบแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับที่เสนอในสถานการณ์เดียวกับการจำลองสถานการณ์ในงานวิจัย [1] ซึ่งพิจารณาระบบแบบสถิตด้วยการพิจารณาการตอบรับการเรียกเป็นช่วงเวลาและสมมติให้การเกิดเรียกใหม่มีสัดส่วนของแต่ละระดับการให้บริการแบบคงที่ โดยการวิเคราะห์สมรรถนะต่าง ๆ ของระบบมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

1. พิจารณาเซลล์ 1 เซลล์ที่มีความจุแบนด์วิดท์เท่ากับ 50 หน่วยแบนด์วิดท์ ในที่นี้หน่วยแบนด์วิดท์เท่ากับจำนวนช่องสัญญาณ
2. เวลาในการใช้บริการ (channel holding time) มีการกระจายแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 180 วินาที
3. ทราฟฟิกที่ผู้ใช้ส่งสามารถมีได้ 5 ระดับการให้บริการ โดยการเรียกทุกการเรียกยกเว้นระดับการให้บริการระดับหนึ่งสามารถยอมให้มีการลดระดับจำนวนช่องสัญญาณต่ำกว่าระดับจำนวนช่องสัญญาณที่คาดหวังว่าจะได้รับได้หนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ และทำการลดระดับการให้บริการลงตามจำนวนช่องสัญญาณที่ได้รับสำหรับงานวิจัย [1] ส่วนแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่เสนอสามารถยอมให้มีการลดระดับจำนวนช่องสัญญาณต่ำกว่าระดับจำนวนช่องสัญญาณที่คาดหวังว่าจะได้รับ โดยแต่ละระดับการให้บริการมีการรับประกันจำนวนช่องสัญญาณที่ได้รับอย่างน้อยที่สุดไว้เพื่อรับประกันคุณภาพของการให้บริการตามที่การเรียกร้องขอ และไม่ลดระดับการให้บริการลงตามจำนวนช่องสัญญาณที่ได้รับ โดยสัดส่วนในแต่ละระดับของการให้บริการและรายละเอียดของแต่ละแบบแผน แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของการเรียกที่ให้บริการ

ระดับการให้บริการที่	แบนด์วิดท์ที่ร้องขอ (ช่องสัญญาณ)	สัดส่วนของการเรียก	แบนด์วิดท์ที่รับประกัน/รายได้ที่ได้รับ			
			แบบที่ 1		แบบที่ 2	
1	1	0.5	1	5	1	5
2	2	0.2	1	10	1	7.5
3	3	0.1	2	15	1	12.5
4	4	0.1	3	20	2	17.5
5	5	0.1	4	25	2	22.5

4. สมมติให้การมาถึงของการเรียกใหม่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซง และมีอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา แสดงดังรูปที่ 4.1 และเวลาที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์เท่ากับ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.1 อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ตามเวลาของวัน

5. พิจารณาระบบแบบสถิตด้วยการพิจารณาการตอบรับการเรียกเป็นช่วงเวลาในระดับ 10 วินาที

6. รูปแบบของแบบแผนที่ทำการทดสอบ แบ่งออกเป็น

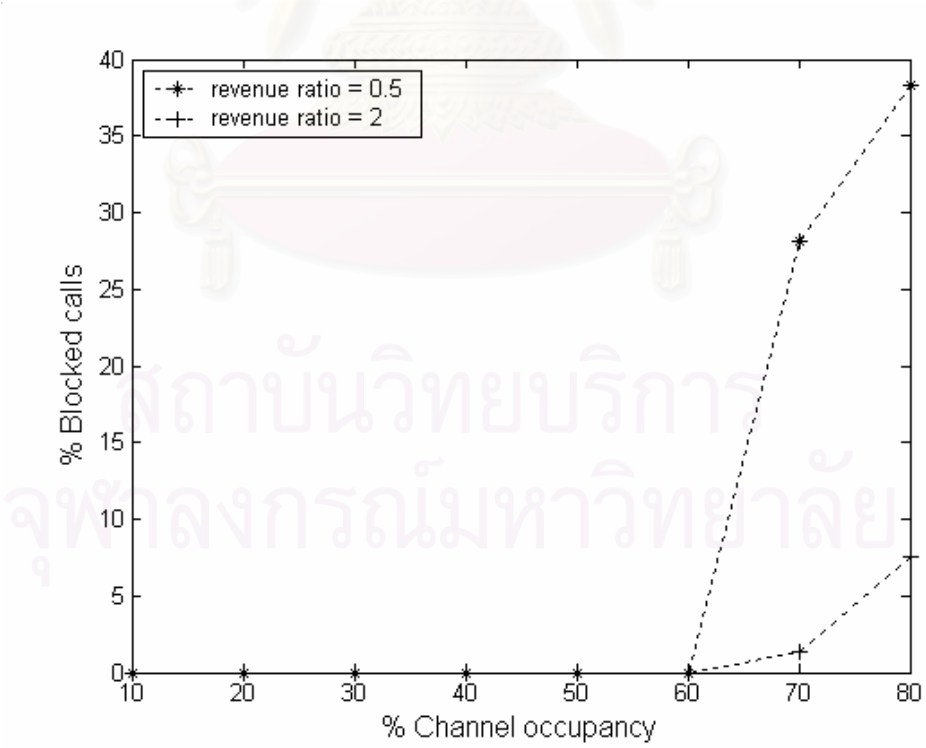
- Maxonedeg คือ แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ตามงานวิจัย [1] ซึ่งสามารถลดแบนด์วิดท์ได้หนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ต่อการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการในการพิจารณานโยบาย

ในการปรับลดแบนด์วิดท์ โดยใช้รูปแบบการรับประกันแบนด์วิดท์แบบที่ 1 ตามตารางที่ 4.1

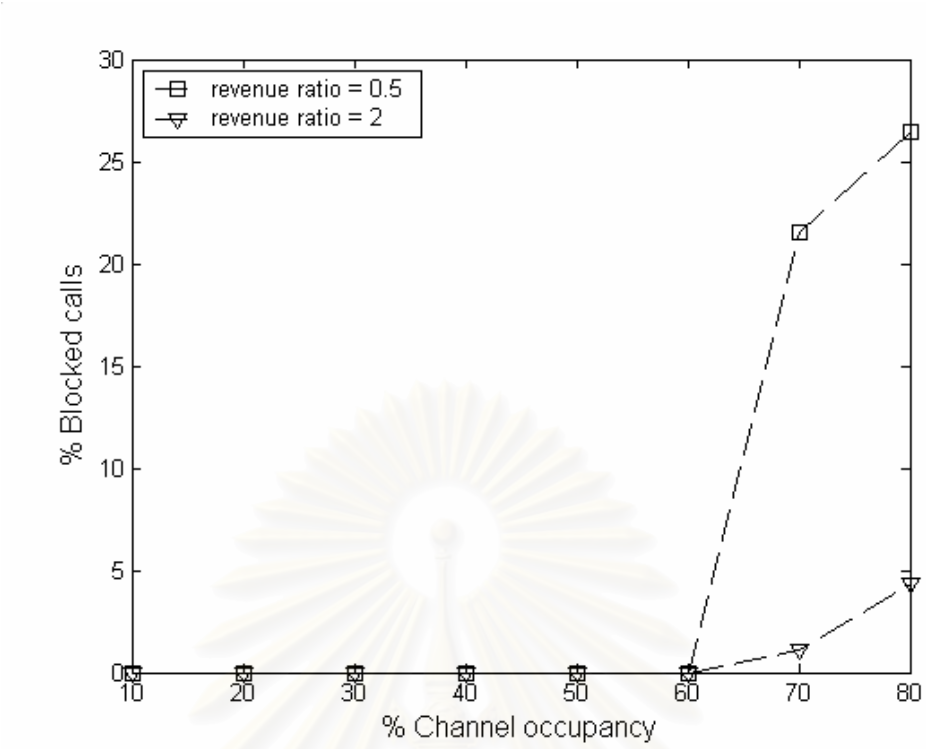
- Moreonedeg คือ แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่เสนอ ซึ่งสามารถลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ต่อการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการตามระดับแบนด์วิดท์ที่ระบบรับประกันและต่อการพิจารณานโยบายในการปรับลดแบนด์วิดท์ตามรูปแบบการรับประกันแบนด์วิดท์แบบที่ 2

4.1.1 การเปรียบเทียบแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่เสนอกับแบบแผนในงานวิจัย [1] สำหรับระบบสถิต

รูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกในแต่ละเปอร์เซ็นต์การใช้งานแบนด์วิดท์ เมื่ออัตราของรายได้กับรายได้สูญเสียจาการลดแบนด์วิดท์เป็น 0.5 และ 2 พบว่า เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกลดลงเมื่อเพิ่มอัตราของรายได้กับรายได้สูญเสียจาการลดแบนด์วิดท์ เนื่องจากค่ารายได้เท่าเดิมแต่ค่ารายได้สูญเสียจากกลดแบนด์วิดท์ลดลง ดังนั้นระบบจึงสามารถเลือกการเรียกที่จะลดแบนด์วิดท์ได้



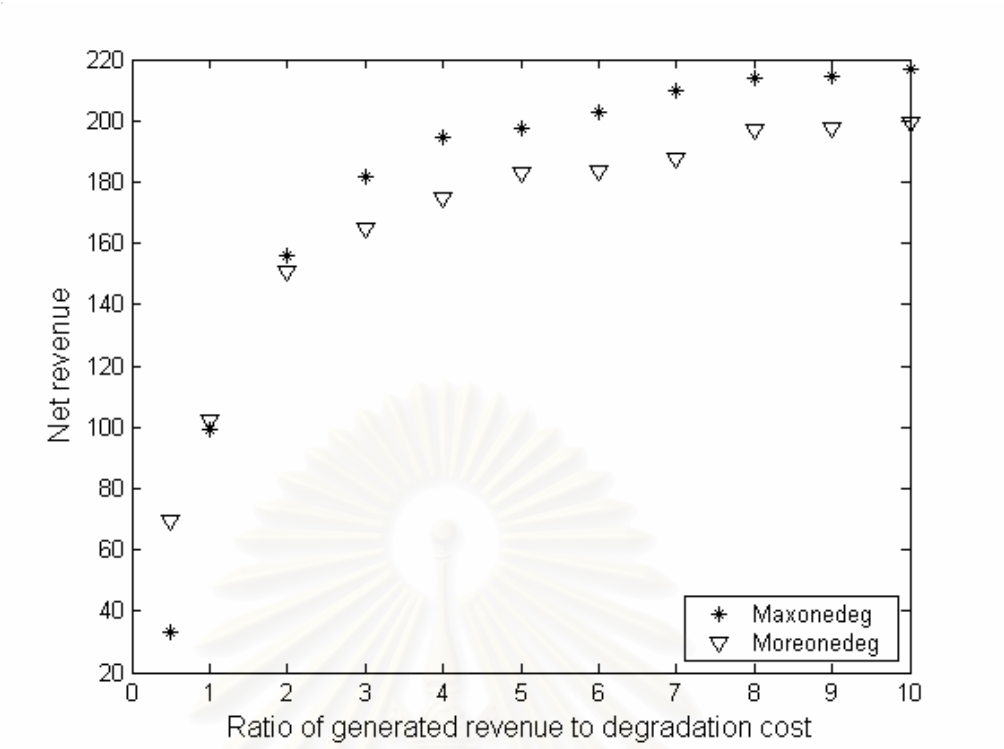
รูปที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ในการพิจารณาการตอบรับการเรียก ในแต่ละเปอร์เซ็นต์การใช้งานแบนด์วิดท์ เมื่ออัตราของรายได้กับรายได้สูญเสียจาการลดแบนด์วิดท์เป็น 0.5 และ 2 สำหรับแบบแผนในงานวิจัย [1]



รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ในการพิจารณาการตอบรับการเรียก ในแต่ละเปอร์เซ็นต์การใช้งานแบนด์วิดท์ เมื่ออัตราของรายได้กับรายได้สูญเสียจากการลดแบนด์วิดท์เป็น 0.5 และ 2 สำหรับแบบแผนที่เสนอ

มากขึ้น โดยยังได้รับรายได้สุทธิสูงสุดเมื่อเทียบกับการที่มีค่ารายได้สูญเสียจากการลดแบนด์วิดท์ที่สูงกว่า ซึ่งระบบได้รับรายได้สูญเสียเมื่อต้องลดแบนด์วิดท์มากกว่ารายได้ที่ได้รับจากการตอบรับจึงทำการบล็อกการเรียกแทนที่จะตอบรับ จึงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกในการพิจารณาการตอบรับการเรียกลดลง

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ของแบบแผนที่เสนอกับแบบแผนในงานวิจัย [1] พบว่า แบบแผนที่เสนอให้เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่น้อยกว่า เนื่องจากแบบแผนที่เสนอสามารถลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าแบบแผนในงานวิจัย [1] จึงสามารถรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการได้มากขึ้น ส่งผลให้โอกาสที่จะบล็อกการเรียกใหม่ลดลง



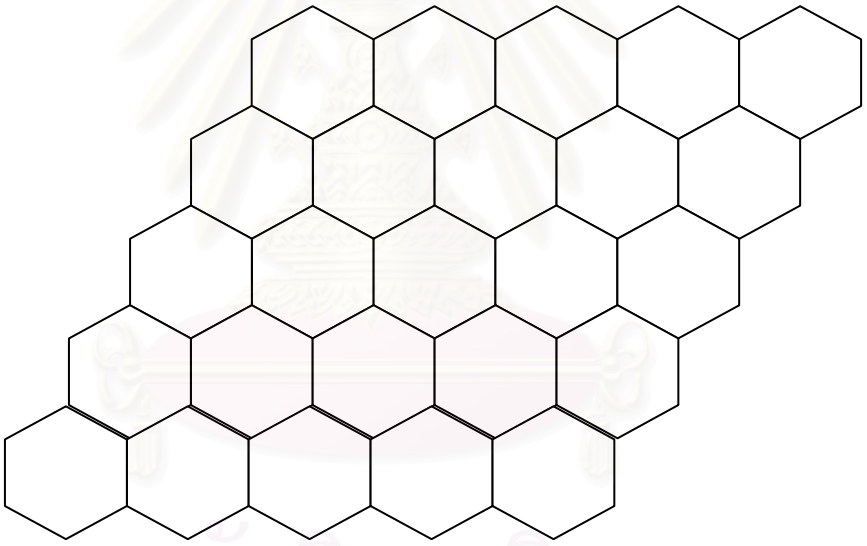
รูปที่ 4.4 รายได้สุทธิสูงสุดที่ระบบได้รับ ในแต่ละอัตราของรายได้กับรายได้สูญเสียจาการลดแบนด์วิดท์ ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์

รูปที่ 4.4 แสดงรายได้สุทธิสูงสุดที่ระบบได้รับ ในแต่ละอัตราของรายได้กับรายได้สูญเสียจากการลดแบนด์วิดท์ ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์พบว่า แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุดน้อยกว่าแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์เพียงหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ เนื่องจากค่ารายได้และรายได้สูญเสียของการเรียกไม่ลดลงเมื่อถูกลดแบนด์วิดท์ในขณะที่แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์เพียงหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์จะใช้ค่ารายได้และรายได้สูญเสียของการเรียกลดลงตามการลดระดับการให้บริการลงเมื่อถูกลดแบนด์วิดท์ ซึ่งรายได้ส่วนใหญ่ที่ระบบได้รับมาจากการเรียกในระบบ แต่การพิจารณาการตอบรับเกิดขึ้นเป็นช่วงเวลาในระดับหลายสิบวินาที ระบบจึงมีปริมาณทราฟฟิกลดลง และมีแบนด์วิดท์เหลือมากขึ้น ดังนั้นการลดปริมาณแบนด์วิดท์การเรียกในระบบจึงน้อยลง ส่งผลต่อรายได้สุทธิในการตอบรับการเรียกและการปรับลดแบนด์วิดท์สำหรับแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์มีค่าน้อยกว่า เพราะใช้ค่ารายได้ที่ได้จากการตอบรับการเรียกที่น้อยกว่าแบบแผนที่ลดแบนด์วิดท์เพียงหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์

4.2 การจำลองสถานการณ์สำหรับระบบพลวัต

ในหัวข้อนี้ทำการทดสอบแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับที่เสนอในระบบพลวัต ซึ่งระบบต้องทำการหานโยบายการตอบรับการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการที่ให้รายได้สุทธิสูงสุดแก่ระบบ โดยการวิเคราะห์สมรรถนะต่าง ๆ ของระบบสามารถวิเคราะห์ได้จากสภาวะในการจำลองแบบที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. แบบจำลองของโครงข่ายประกอบไปด้วยเซลล์ 25 เซลล์ มีการจัดเรียงตัวของเซลล์ดังรูปที่ 4.5 เพื่อหลีกเลี่ยงการลดจำนวนลงของผู้ใช้บริการภายในโครงข่าย สมมติให้การเรียกที่ต้องการแฮนด์ออฟออกจากเซลล์ที่ขอบโครงข่ายให้ข้ามไปยังเซลล์ที่อยู่ตรงข้าม (wrap around) แต่ละเซลล์มีความจุแบนด์วิดท์เท่ากับ 50 หน่วยแบนด์วิดท์ ในที่นี้หน่วยแบนด์วิดท์เท่ากับจำนวนช่องสัญญาณ



รูปที่ 4.5 การจัดเรียงตัวของเซลล์ที่ใช้ในการทดสอบ

2. เวลาในการใช้บริการ (channel holding time) และเวลาในการครองเซลล์ (cell dwell time) มีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 180 วินาที และ 150 วินาที ตามลำดับ

3. ทราฟฟิกที่ผู้ใช้ส่งสามารถมีได้ 5 ระดับการให้บริการ โดยการเรียกทุกการเรียกยกเว้นระดับการให้บริการที่ 1 สามารถยอมให้มีการลดระดับจำนวนช่องสัญญาณต่ำกว่าระดับจำนวนช่องสัญญาณที่คาดหวังว่าจะได้รับ โดยแต่ละระดับการให้บริการมีการรับประกันจำนวนช่องสัญญาณที่ได้รับอย่างน้อยที่สุดไว้ เพื่อรับประกันคุณภาพของการให้บริการที่การเรียกร้องขอหรือคาดหวัง ตามตารางที่ 4.1

4. การเริ่มขอใช้บริการใหม่เกิดขึ้นด้วยความน่าจะเป็นที่เท่าๆกันทุกเซลล์

5. ความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟ (handoff probability) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่จะการเรียก 1 การเรียกจะแฮนด์ออฟไปยังเซลล์ข้างเคียงมีค่าเท่ากันทุกเซลล์

6. สมมติให้การเกิดการเรียกใหม่มีการแจกแจงแบบปัวส์ซง และมีอัตราการเกิดการเรียกใหม่เป็นแบบคงที่และเวลาที่ทำการจำลองสถานการณ์เท่ากับ 1 ชั่วโมง

7. รูปแบบของแบบแผนที่ทำการทดสอบ แบ่งออกเป็น

- Maxonedeg คือ แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ตามงานวิจัย [1] ซึ่งสามารถลดแบนด์วิดท์ได้หนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ต่อการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการในการพิจารณานโยบายในการปรับลดแบนด์วิดท์ โดยใช้รูปแบบการรับประกันแบนด์วิดท์แบบที่ 1 ตามตารางที่ 4.1
- Moreonedeg คือ แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่เสนอ ซึ่งสามารถลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ต่อการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการตามระดับแบนด์วิดท์ที่ระบบรับประกันและต่อการพิจารณานโยบายในการปรับลดแบนด์วิดท์ตามรูปแบบการรับประกันแบนด์วิดท์แบบที่ 2 ตามตารางที่ 4.1 โดยการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอพิจารณาให้ความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟด้วยวิธีการบัฟเฟอร์การเรียกไว้ในระบบ แทนด้วย DiffBuffer ส่วนวิธีการให้ลำดับความสำคัญด้วยการถ่วงน้ำหนัก ในงานวิจัย [8] เสนอไว้ แทนด้วย Weight ตามลำดับ

8. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสม มีดังนี้

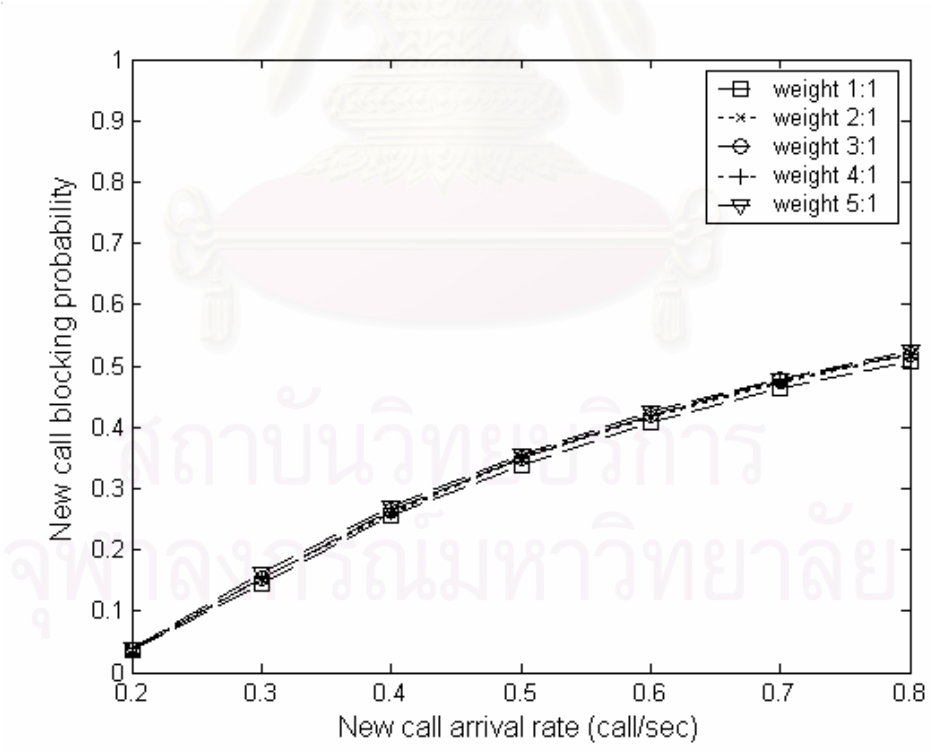
- จำนวนรอบในแต่ละอุณหภูมิ (L) เท่ากับ 90 รอบ
- ฟังก์ชันควบคุมการลดอุณหภูมิแบบเรขาคณิตด้วยค่าปัจจัยควบคุมอุณหภูมิ (α) เท่ากับ 0.8 และอุณหภูมิตั้งต้น (t_0) เท่ากับ 10,000
- เงื่อนไขในการหยุดการหาค่าเหมาะสม คือ จำนวนรอบที่ปรับปรุงค่าเหมาะสมเท่ากับ 100 รอบ หรือจำนวนรอบที่ไม่ปรับปรุงค่าเหมาะสมเท่ากับ 50 รอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

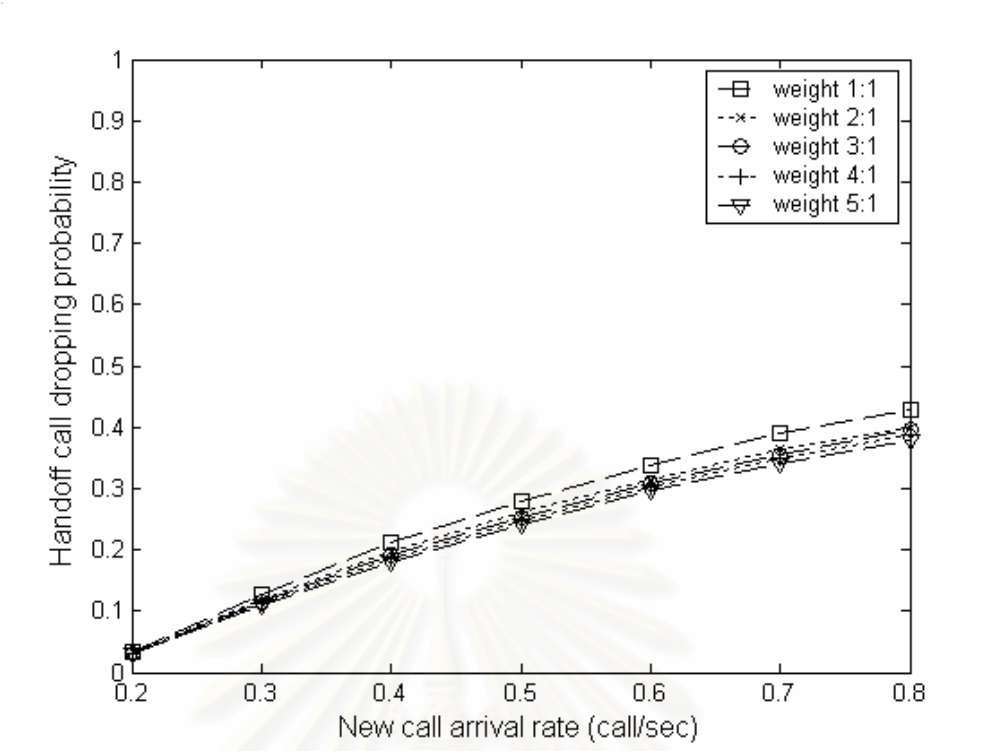
4.2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอที่มีการให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากแฮนด์ออฟโดยการถ่วงน้ำหนัก

- การพิจารณาให้ลำดับความสำคัญถ่วงน้ำหนักกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 แสดงความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในแต่ละอัตราของการถ่วงน้ำหนักของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่พบว่า ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่สูงขึ้น ในขณะที่ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟลดลง เมื่อเพิ่มค่าถ่วงน้ำหนักให้กับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟสูงกว่าค่าถ่วงน้ำหนักการเรียกใหม่ เนื่องจากรายได้ที่เกิดจากการตอบรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟจะสูงกว่าการตอบรับการเรียกใหม่ จึงทำให้ระบบพิจารณาการตอบรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟมากกว่าที่จะตอบรับการเรียกใหม่



รูปที่ 4.6 ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ในแต่ละอัตราของการถ่วงน้ำหนักของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่

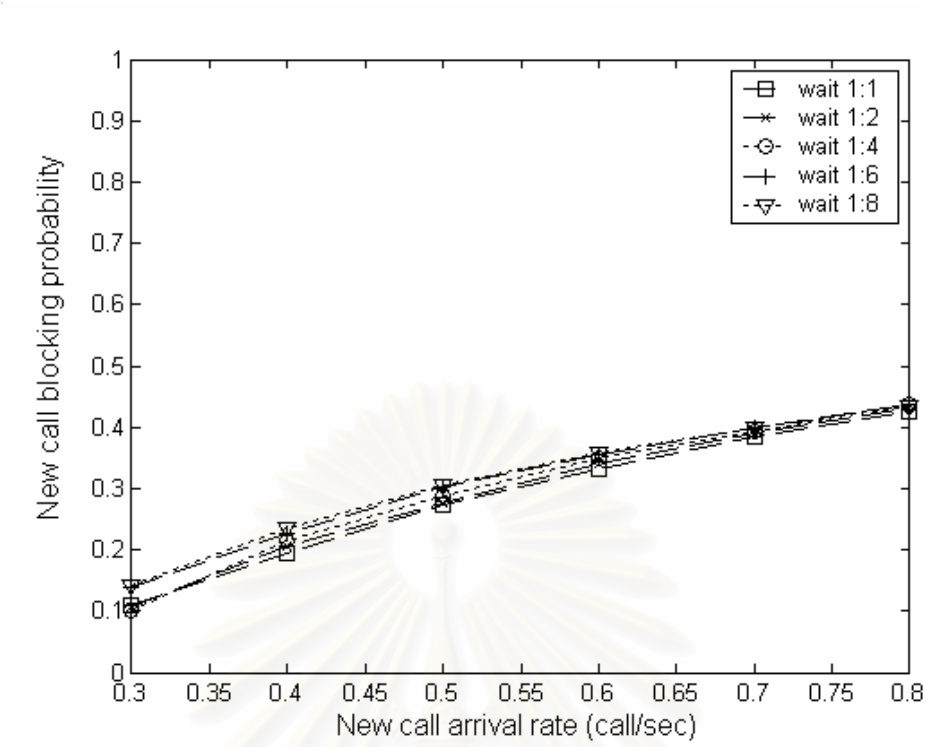


รูปที่ 4.7 ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในแต่ละอัตราของการถ่วงน้ำหนักของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่

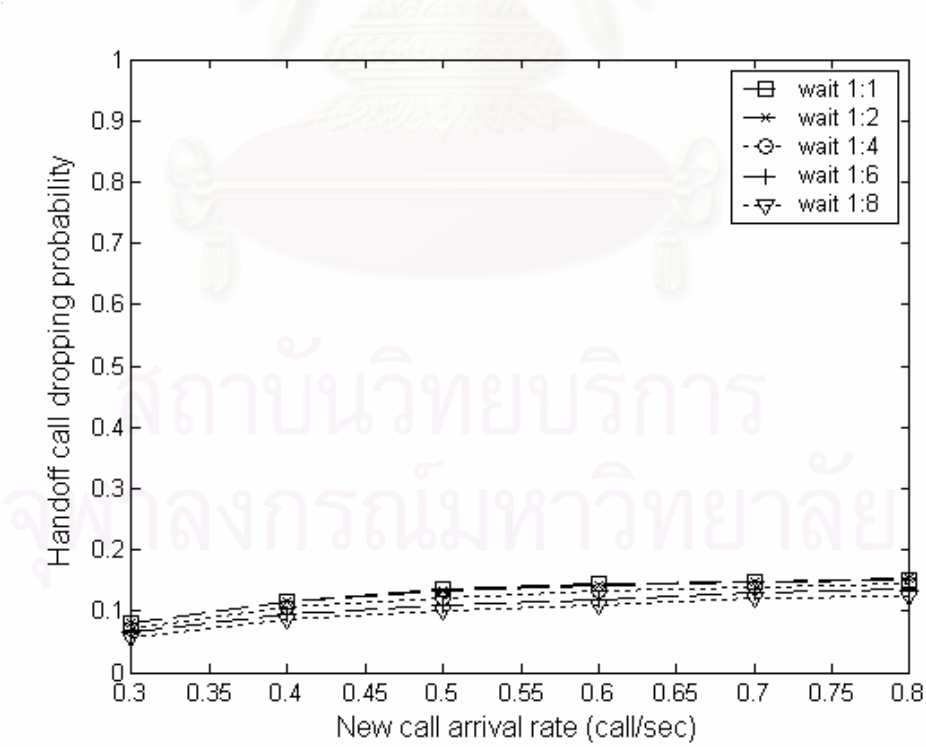
4.2.2 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอที่มีการให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากแฮนด์ออฟโดยการแยกบัฟเฟอร์การเรียก

- การพิจารณาระยะเวลาการรอคอยในบัฟเฟอร์สำหรับการเรียกที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 แสดงความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ และความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในแต่ละอัตราของระยะเวลาการรอคอยในบัฟเฟอร์ของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาการรอคอยในบัฟเฟอร์ให้กับการเรียกใหม่ยาวนานกว่าการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ ค่าความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่สูงขึ้น ในขณะที่ค่าความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟลดลง และสามารถลดค่าความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้มากกว่าเมื่อเทียบกับแบบแผนที่ถ่วงน้ำหนัก เนื่องจากความถี่ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟจะสูงกว่าและจำนวนการเรียกที่ต้องพิจารณา (ที่รอคอยในบัฟเฟอร์)ในการตอบรับจะน้อยกว่าจำนวนการเรียกในบัฟเฟอร์สำหรับการเรียกใหม่ ดังนั้นการตอบรับการเรียกในขณะที่ระบบไม่มีแบนด์วิดท์พอซึ่งต้องทำการลดแบนด์วิดท์จากการเรียกในระบบ ในขณะที่จำนวนแบนด์วิดท์



รูปที่ 4.8 ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ในแต่ละอัตราของระยะเวลาการรอคอยในบัพเฟอร์ของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่



รูปที่ 4.9 ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ ในแต่ละอัตราของระยะเวลาการรอคอยในบัพเฟอร์ของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่

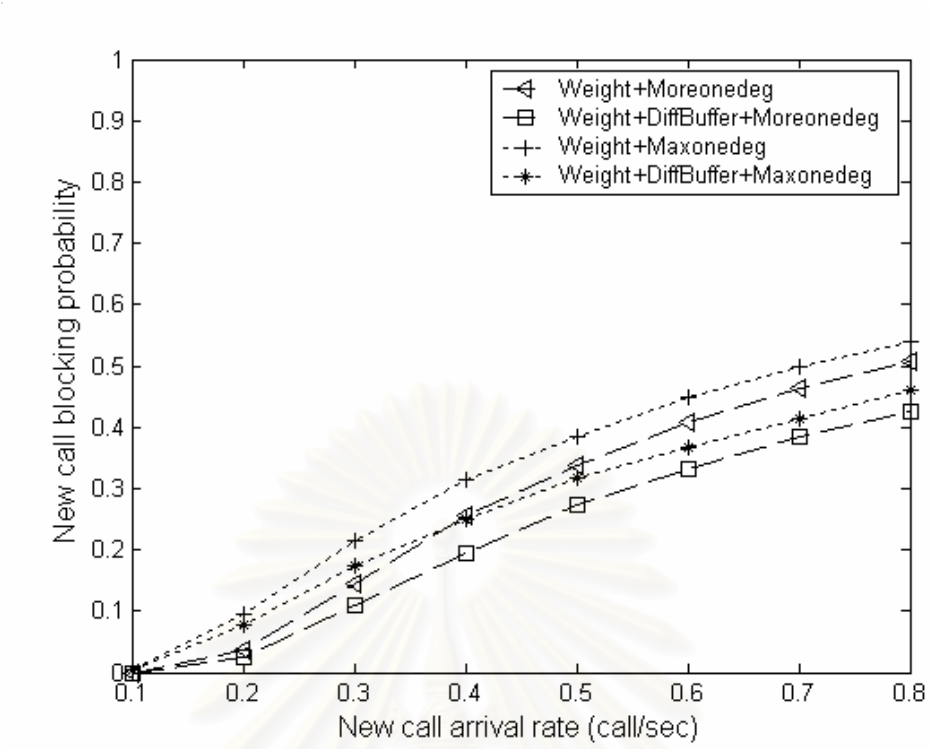
ทั้งหมดที่ร้องขอน้อยกว่า โอกาสที่ระบบจะตอบรับจำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้สูงกว่าการตอบรับในบัฟเฟอร์สำหรับการเรียกใหม่จึงเป็นไปได้มากกว่า เนื่องจากแบนด์วิดท์ที่สามารถลดได้ในระบบมีจำกัดและโอกาสจะลดแบนด์วิดท์มาได้มากเพียงใดยังขึ้นอยู่กับจำนวนการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการที่มีค่ารายได้สูญเสียน้อยๆ

4.2.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกแบบต่างๆ

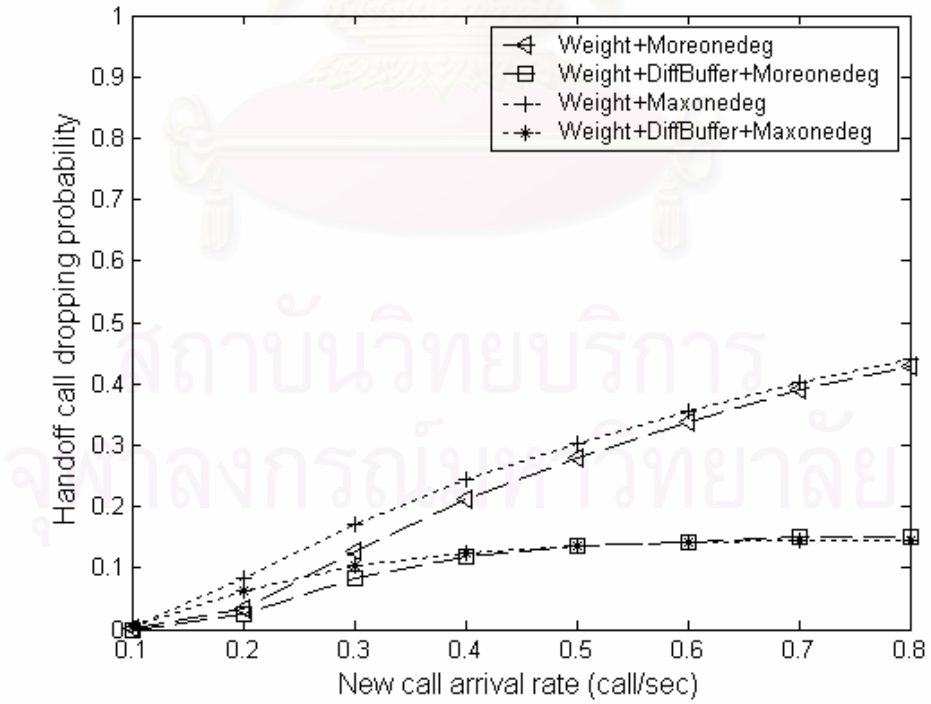
ในหัวข้อนี้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และควบคุมการตอบรับที่เสนอ ซึ่งพารามิเตอร์ในการให้ลำดับความสำคัญการเรียกที่แตกต่างกัน ได้แก่ ค่าถ่วงน้ำหนักการเรียก และระยะเวลาการรอคอยในบัฟเฟอร์กำหนดค่าเป็น 1 ทั้งหมด เพื่อพิจาณาสมรรถนะต่างๆของแบบแผนโดยไม่คำนึงการให้ความสำคัญของการเรียกที่แตกต่างกัน

- การพิจารณาพารามิเตอร์คุณภาพของการให้บริการพื้นฐานที่ได้รับ

รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 แสดงความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกพบว่า แบบแผนที่ใช้การควบคุมการตอบรับการเรียกที่แยกบัฟเฟอร์ในการรอคอยให้ค่าความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ และค่าความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟต่ำกว่าแบบแผนที่ใช้การควบคุมการตอบรับการเรียกที่ไม่แยกบัฟเฟอร์อย่างเห็นได้ชัด ไม่ว่าจะใช้แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์แบบใด เนื่องจากขณะระบบมีการใช้งานสูง (แบนด์วิดท์ไม่มีเหลือพอในการรองรับการเรียก) การแยกบัฟเฟอร์เป็นการกระจายปริมาณโหลดทราฟฟิก (การเรียก) ต่อการพิจารณาของระบบซึ่งจะทำให้จำนวนการเรียกที่ระบบต้องพิจารณามีจำนวนลดลงเมื่อเทียบกับการไม่แยกบัฟเฟอร์ โอกาสที่ระบบจะสามารถจัดหาแบนด์วิดท์ด้วยการลดแบนด์วิดท์จากการเรียกในระบบที่มีจำกัดมารองรับความต้องการได้จึงสูงกว่า ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟจึงต่ำกว่าแบบแผนที่ไม่แยกบัฟเฟอร์

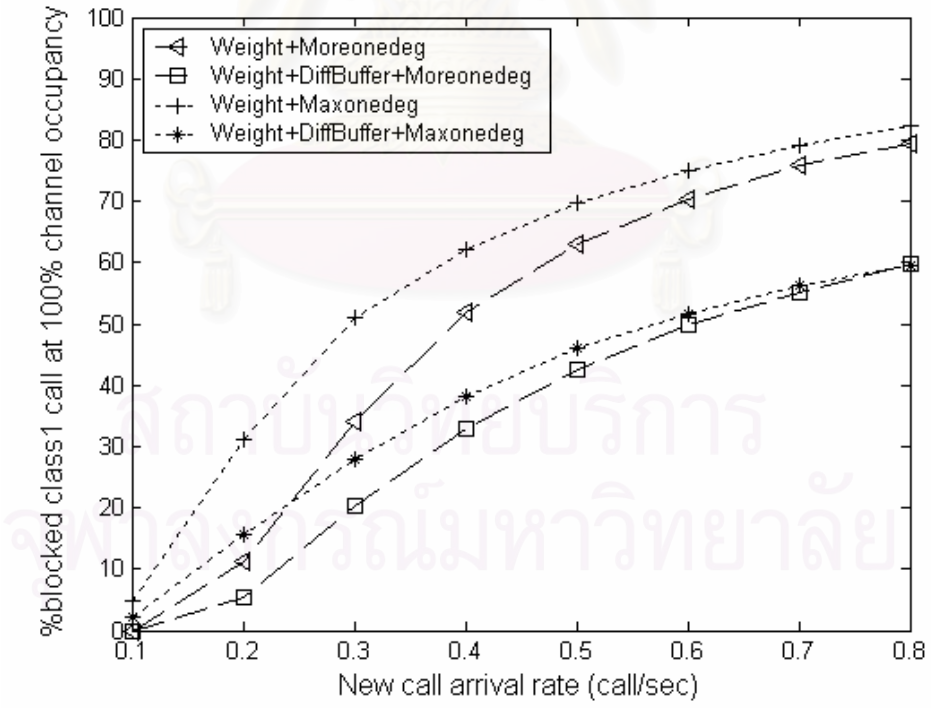


รูปที่ 4.10 ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก

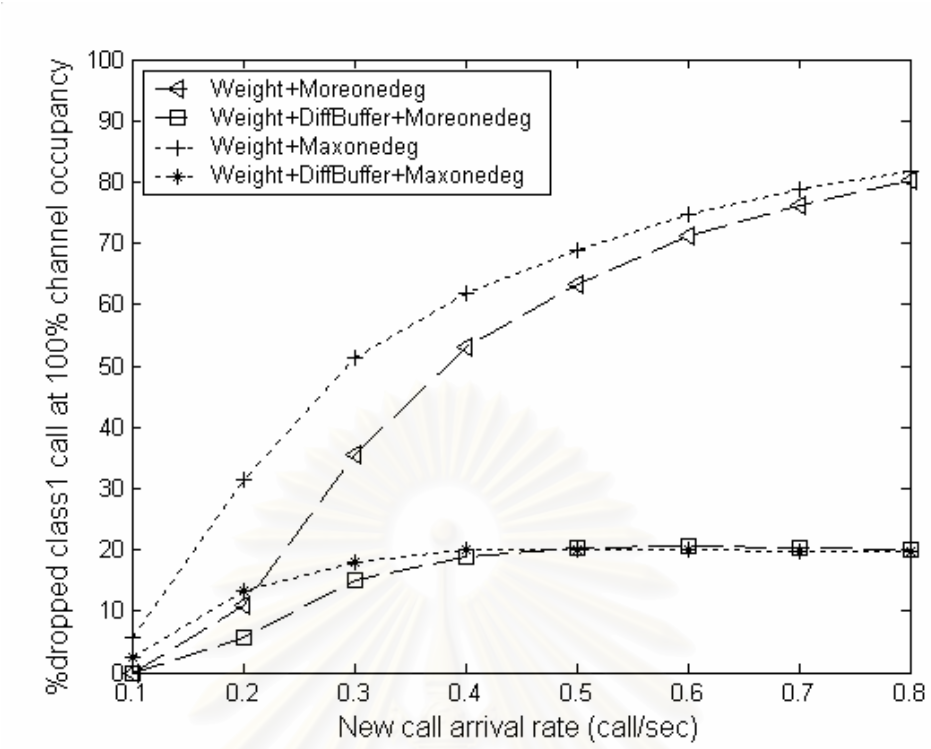


รูปที่ 4.11 ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก

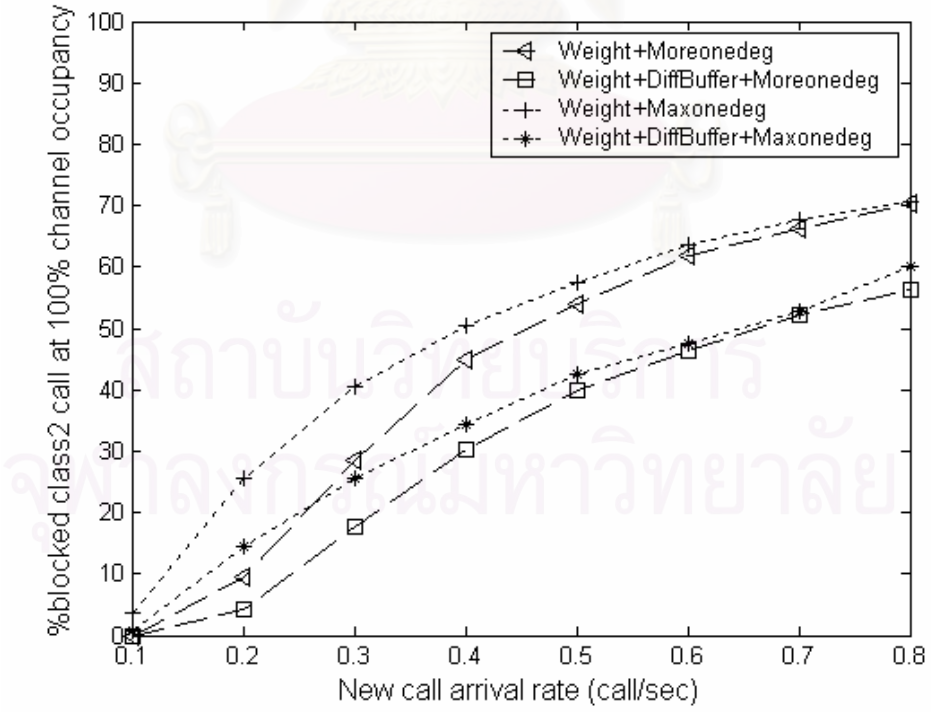
ในขณะเดียวกันเมื่อใช้แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่ลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์จะให้ค่าความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่และค่าความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟต่ำกว่าแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่ลดแบนด์วิดท์ได้เพียงหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ เนื่องจากระบบสามารถลดปริมาณแบนด์วิดท์เพื่อมารองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการได้มากกว่านั่นเอง แต่เมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่เพิ่มขึ้นจนถึง 0.39 การเรียกต่อวินาที สำหรับความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่และ 0.25 การเรียกต่อวินาที สำหรับความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ เฉพาะแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่ลดแบนด์วิดท์ได้เพียงหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ที่แยกบัฟเฟอร์จะให้ค่าความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟต่ำกว่าแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่ลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ที่ไม่แยกบัฟเฟอร์ เนื่องจากปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามามีความหนาแน่นสูงถึงแม้ว่าระบบจะสามารถลดแบนด์วิดท์ได้มากขึ้นก็ไม่สามารถรองรับความต้องการการใช้งานได้ ดังนั้นการกระจายปริมาณทราฟฟิกต่อการพิจารณาการตอบรับการเรียกด้วยการแยกบัฟเฟอร์จะช่วยให้ระบบสามารถจัดหาแบนด์วิดท์มารองรับความต้องการการใช้งานที่น้อยลงจากเดิม ณ ขณะเวลาที่ทำการพิจารณาได้



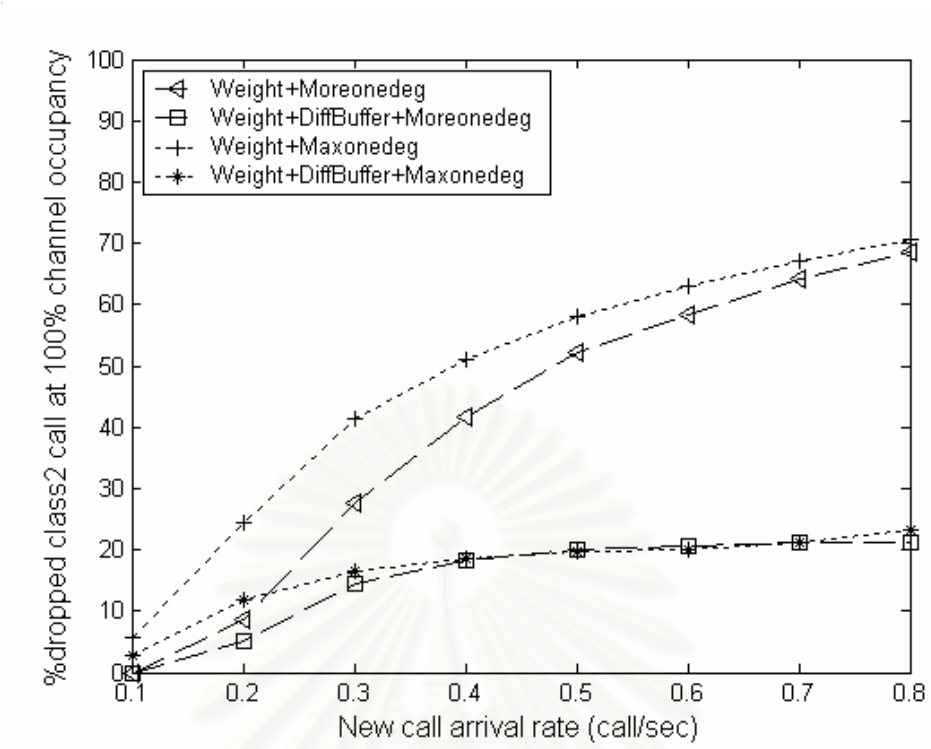
รูปที่ 4.12 เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 1 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัว ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



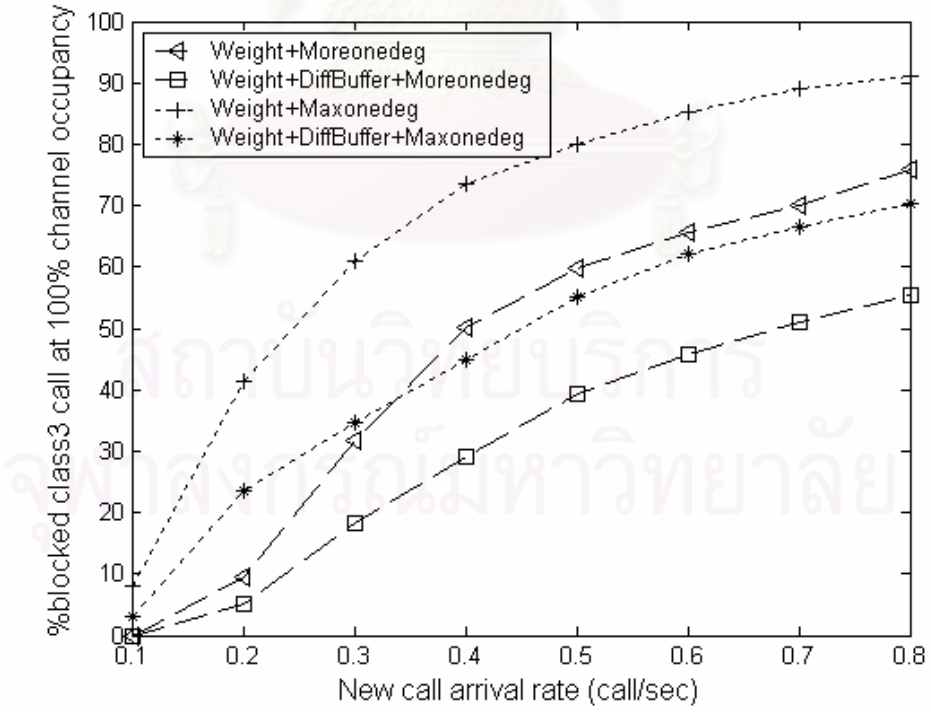
รูปที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์การดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 1 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัว ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



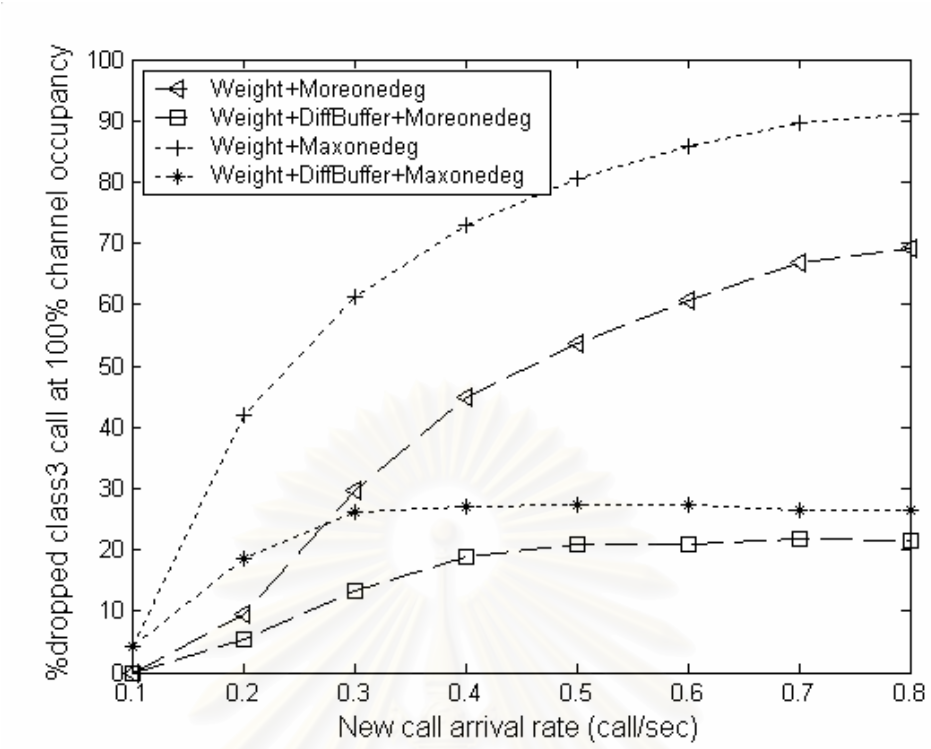
รูปที่ 4.14 เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัว ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



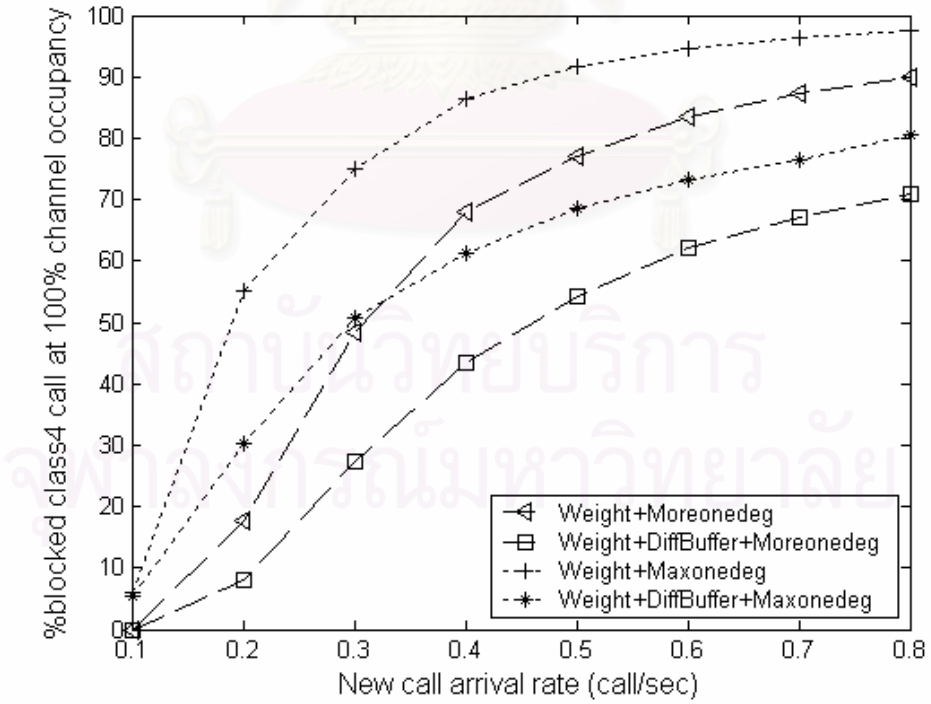
รูปที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์การดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัว ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



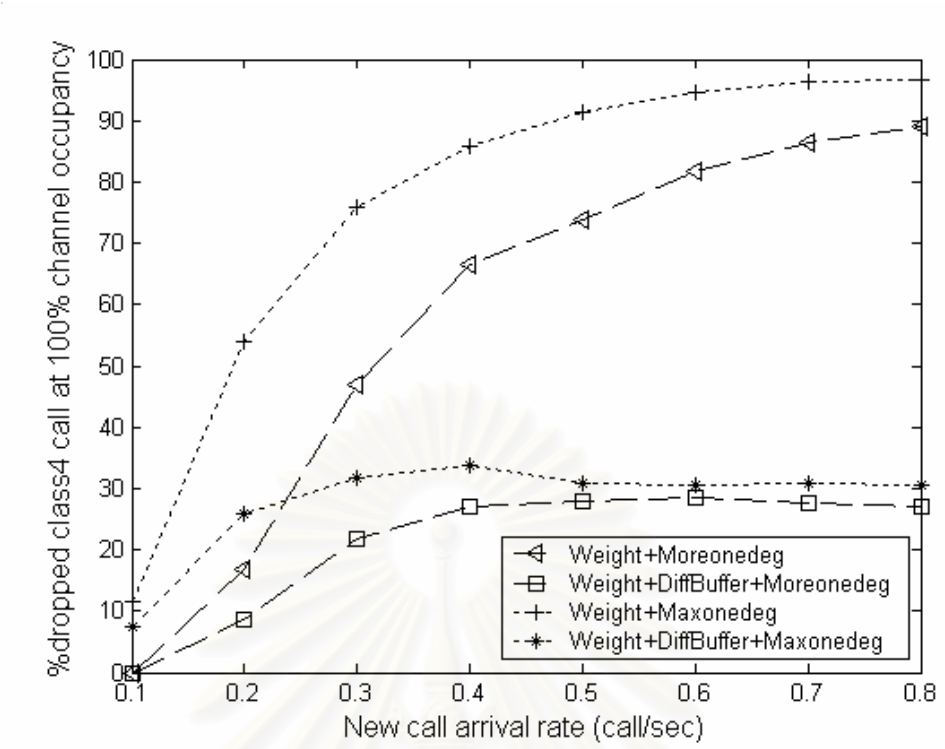
รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัวในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



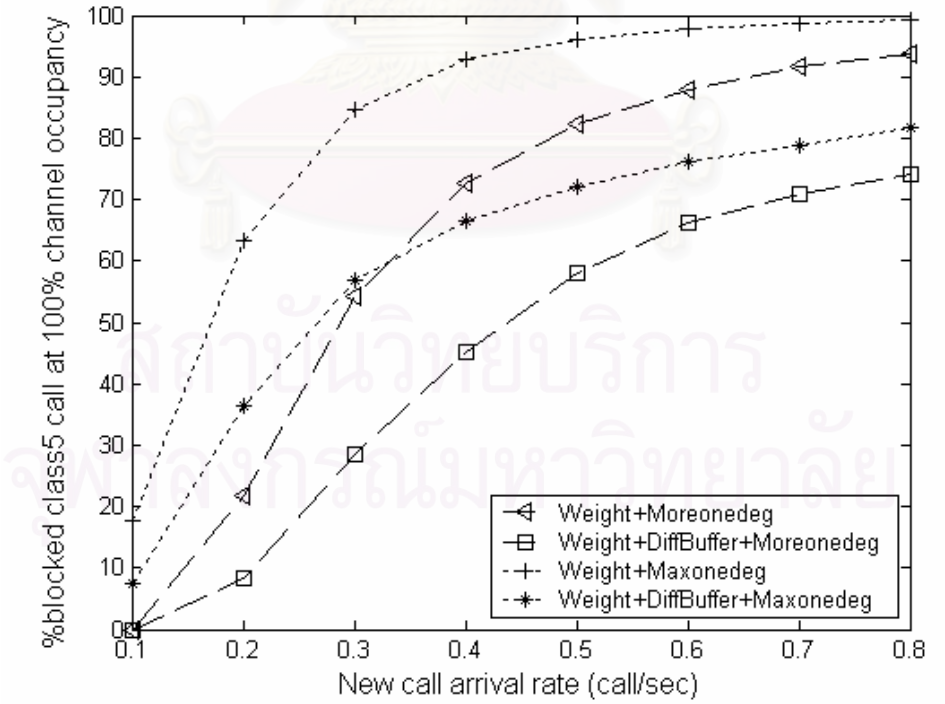
รูปที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์การดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัว ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



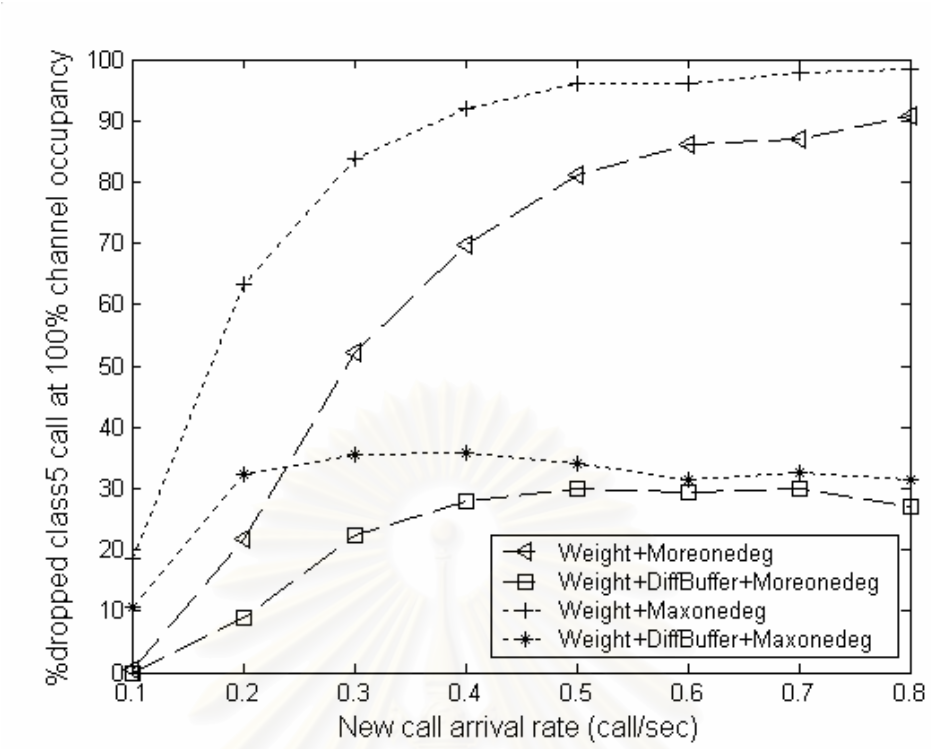
รูปที่ 4.18 เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัว ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



รูปที่ 4.19 เปอร์เซ็นต์การดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัวในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก

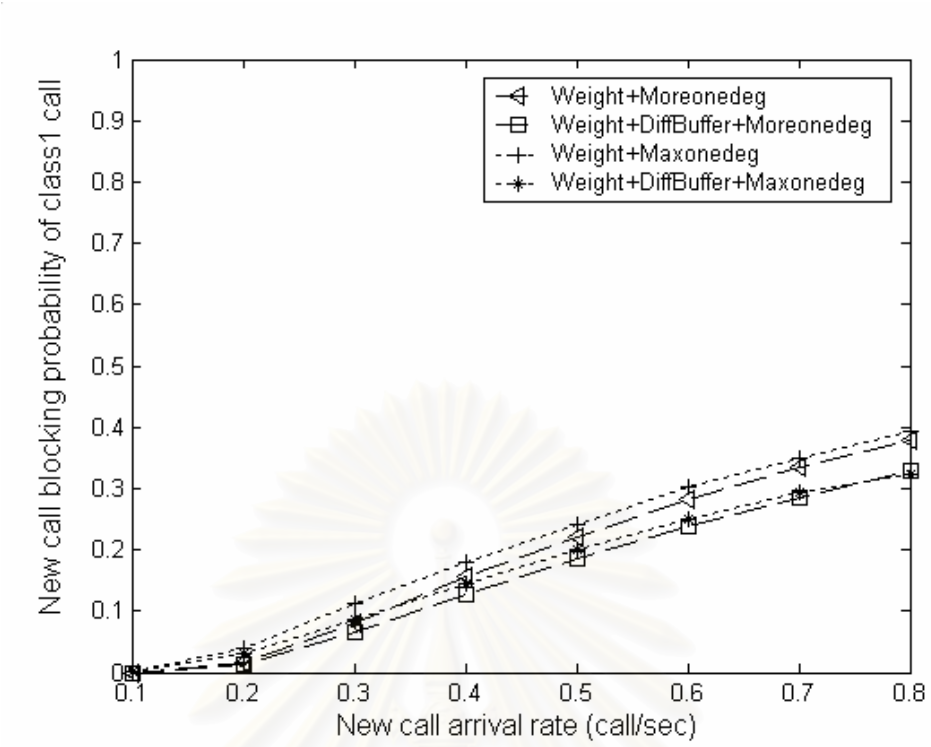


รูปที่ 4.20 เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัวในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก

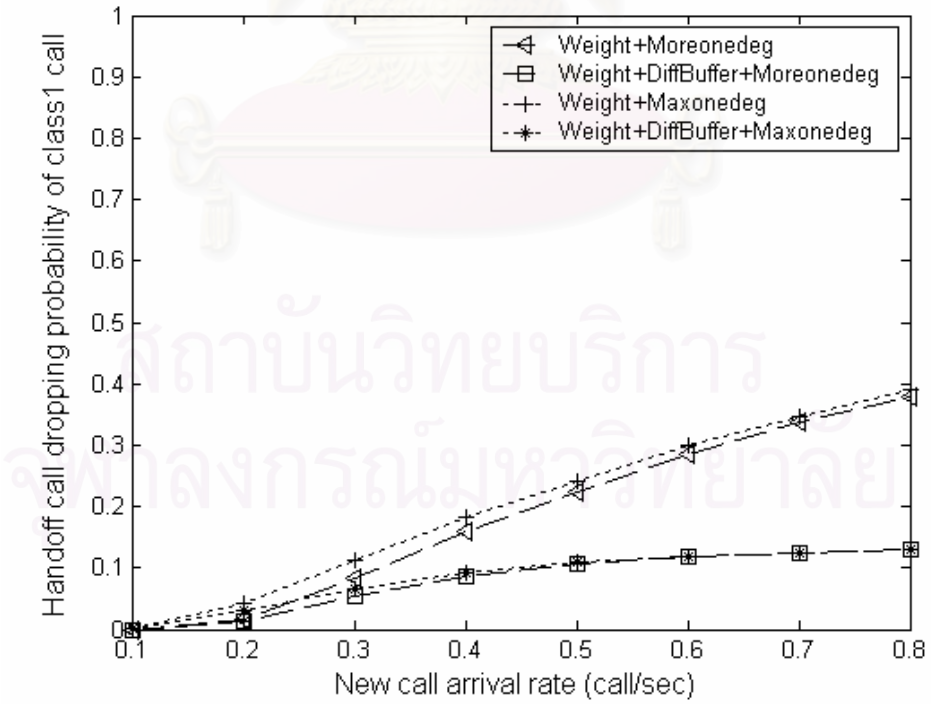


รูปที่ 4.21 เปอร์เซ็นต์การดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัว ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก

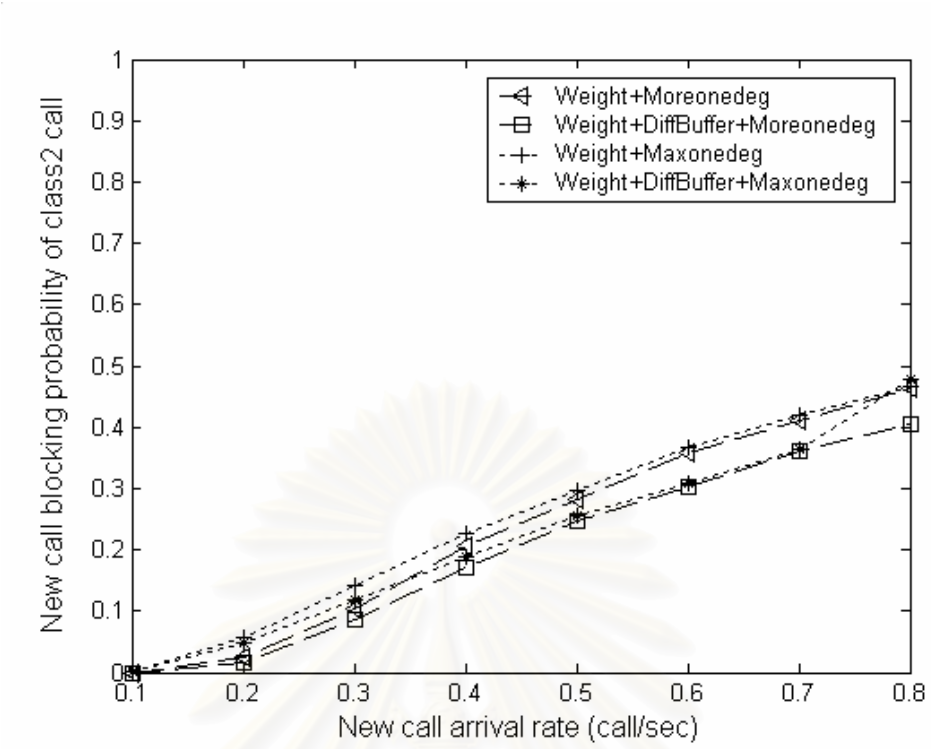
รูปที่ 4. 12 ถึงรูปที่ 4.21 แสดงเปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่และเปอร์เซ็นต์การดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในการพิจารณาการตอบรับการเรียกขณะระบบอิ่มตัวของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกพบว่า ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกและการปรับลดแบนด์วิดท์ขณะระบบอิ่มตัว เปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่และเปอร์เซ็นต์การดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 มีค่าสูงสุด เนื่องจากมีความต้องการแบนด์วิดท์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการเรียกในระดับการให้บริการอื่นซึ่งมีความต้องการแบนด์วิดท์น้อยกว่าตามระดับการให้บริการ โดยเปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่และเปอร์เซ็นต์การดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 1 มีค่าต่ำสุด เนื่องจากโอกาสที่ระบบจะสามารถลดแบนด์วิดท์ตามความต้องการแบนด์วิดท์ที่น้อยมีความเป็นไปได้สูงกว่าการลดแบนด์วิดท์ปริมาณมาก



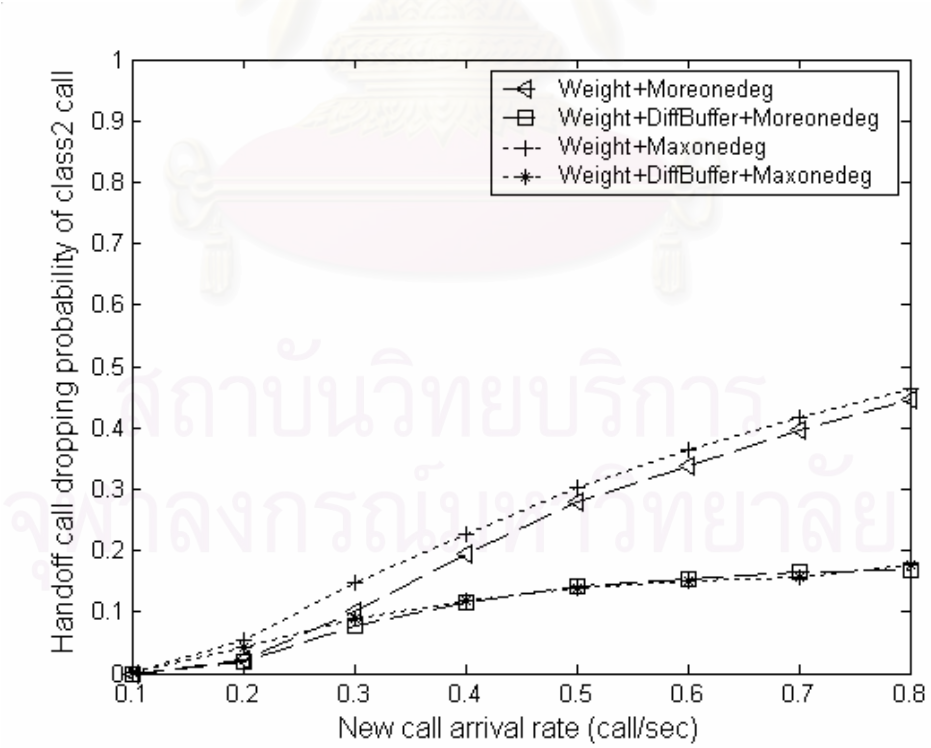
รูปที่ 4.22 ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 1ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



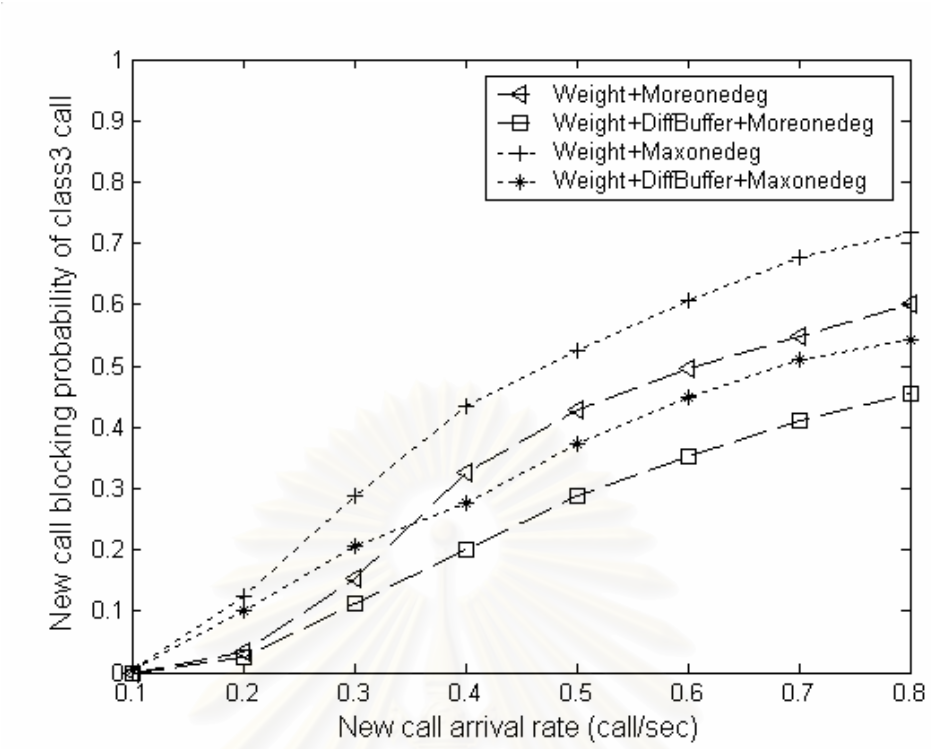
รูปที่ 4.23 ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 1 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



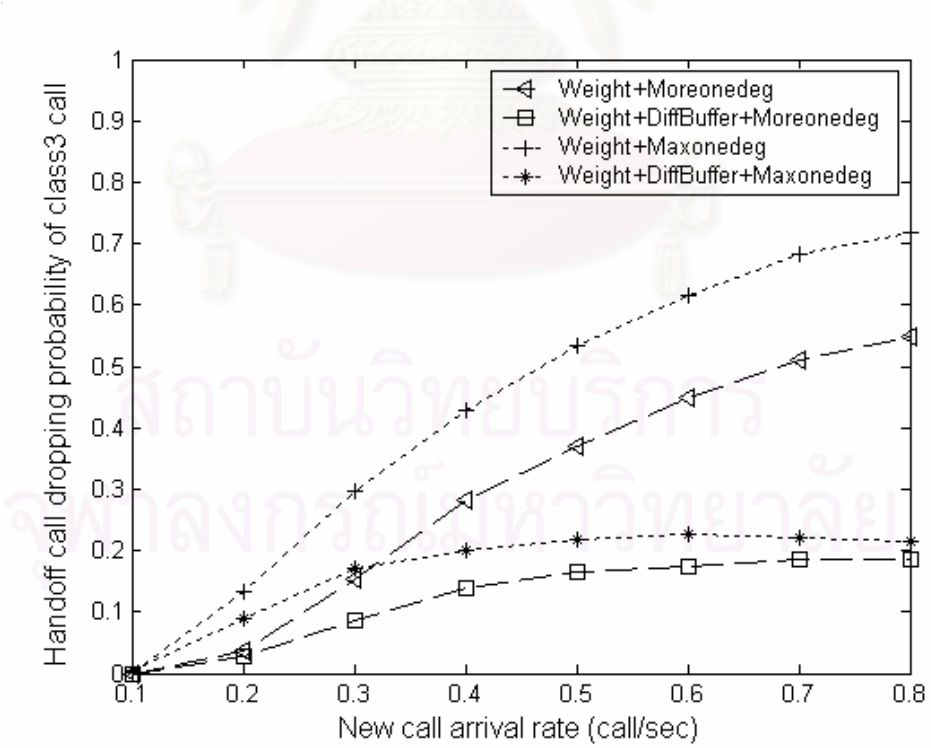
รูปที่ 4.24 ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



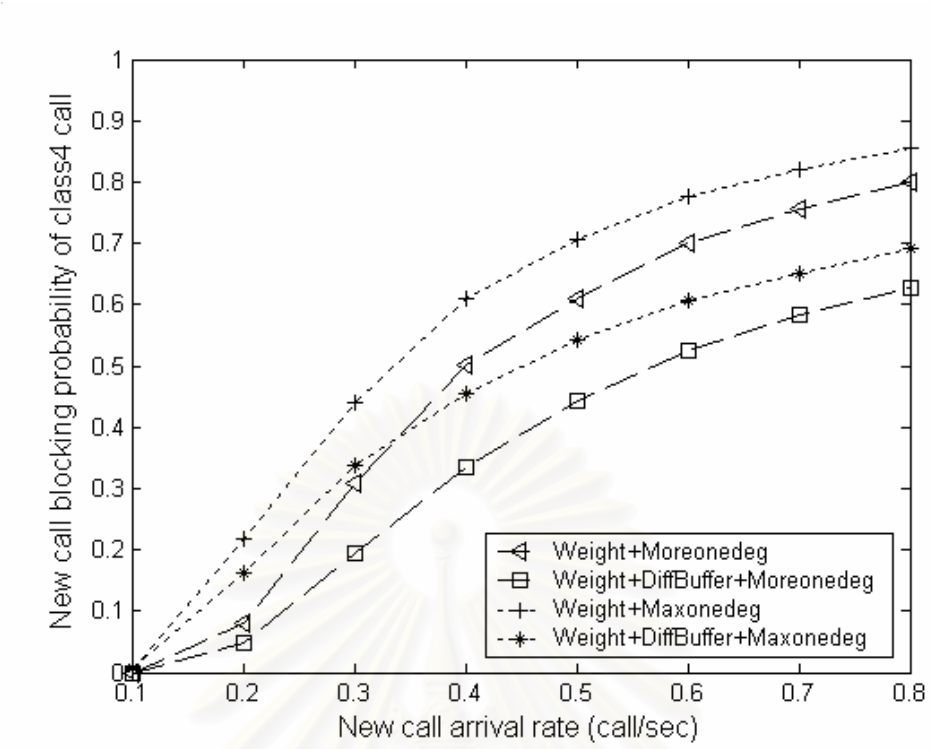
รูปที่ 4.25 ค่าความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



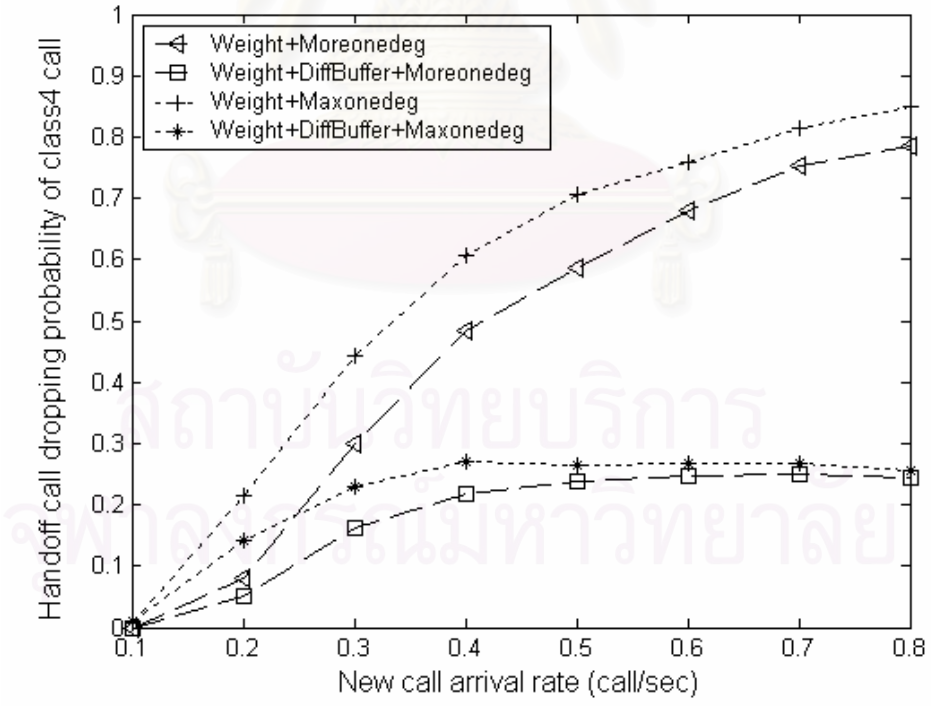
รูปที่ 4.26 ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



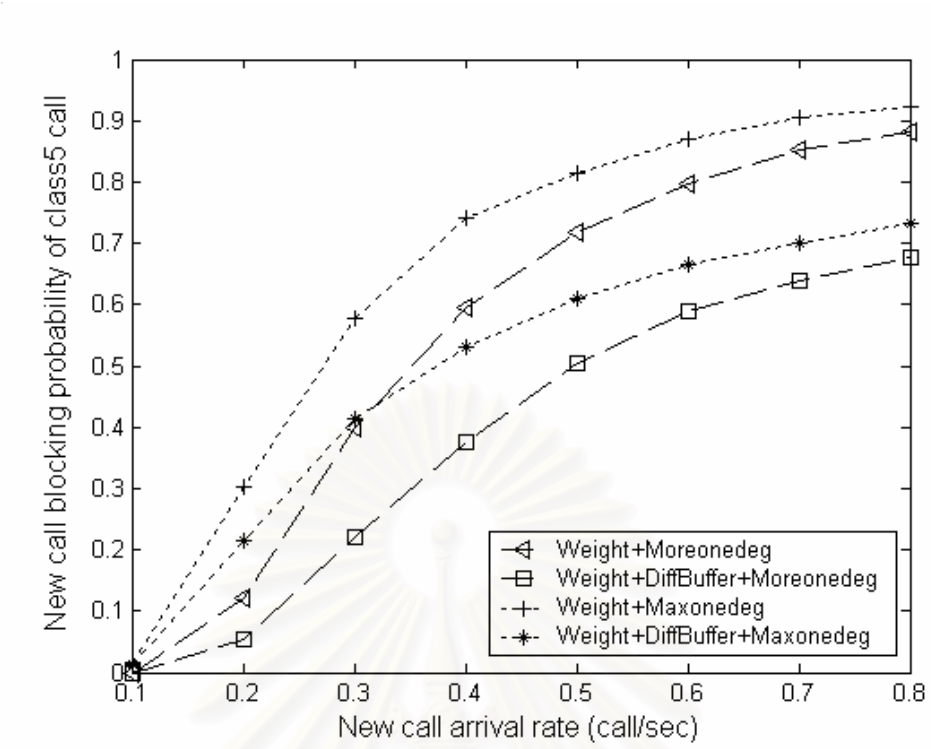
รูปที่ 4.27 ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



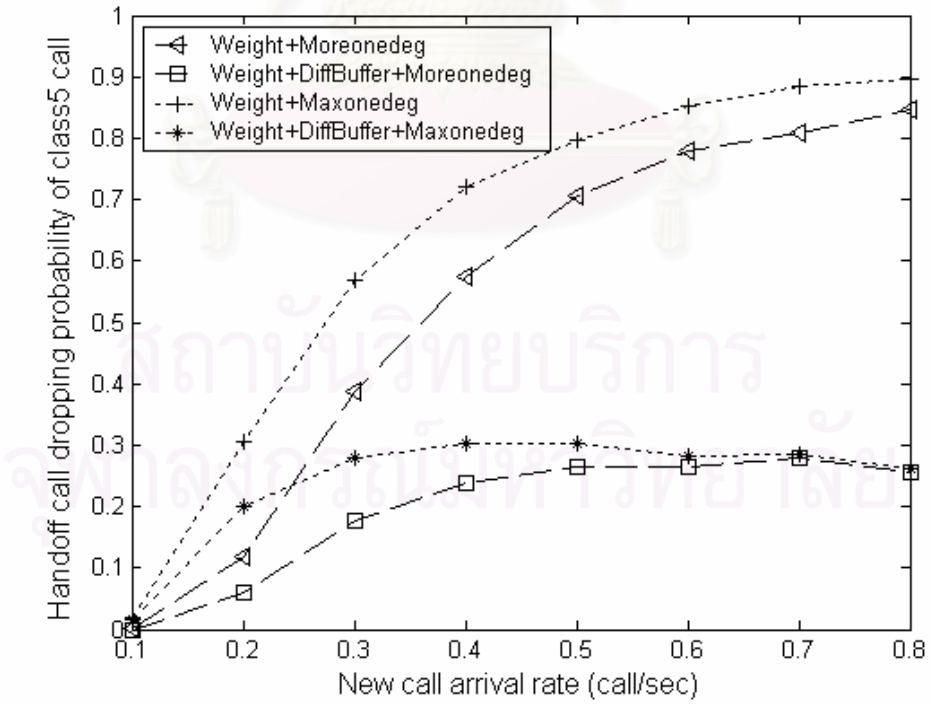
รูปที่ 4.28 ค่าความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



รูปที่ 4.29 ค่าความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



รูปที่ 4.30 ค่าความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก



รูปที่ 4.31 ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก

รูปที่ 4.22 ถึงรูปที่ 4.31 แสดงความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ และความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในระดับการให้บริการที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกพบว่า ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 มีค่าสูงสุด เนื่องจากมีความต้องการแบนด์วิดท์สูงที่สุดเมื่อเทียบกับการเรียกในระดับการให้บริการอื่นซึ่งมีความต้องการแบนด์วิดท์น้อยลงตามระดับการให้บริการ โอกาสที่ระบบจะสามารถลดแบนด์วิดท์ปริมาณมากในขณะระบบมีการใช้งานสูงจึงเป็นไปได้น้อยกว่า จึงส่งผลให้การเรียกถูกบล็อกหรือดร็อปสูงกว่า ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกใหม่และเปอร์เซ็นต์การดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในการพิจารณาการตอบรับการเรียกและการปรับลดแบนด์วิดท์ขณะระบบอิ่มตัว

- การพิจารณาการถูกลดแบนด์วิดท์

เนื่องจากแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์จะทำให้การเรียกหนึ่งๆในแต่ละระดับการให้บริการ อาจได้รับจำนวนแบนด์วิดท์ได้หลายระดับ จึงทำการพิจารณาความน่าจะเป็นที่การเรียกในระดับการให้บริการใดๆถูกลดแบนด์วิดท์ไปยังระดับต่างๆ และสัดส่วนของเวลาขณะใช้งานโดยเฉลี่ย ณ ระดับแบนด์วิดท์ต่างๆที่ได้รับเทียบกับเวลาในการใช้บริการของการเรียกในระดับการให้บริการใดๆ ซึ่งสามารถคำนวณหาได้ดังนี้

-สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่ได้รับแบนด์วิดท์เท่ากับ $i-l$ หน่วยแบนด์วิดท์ คือ

$$p_{id,l} = \frac{N_{id,l}}{N_{id}} \tag{4.1}$$

$N_{id,l}$ คือ จำนวนการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่ได้รับแบนด์วิดท์เท่ากับ $i-l$

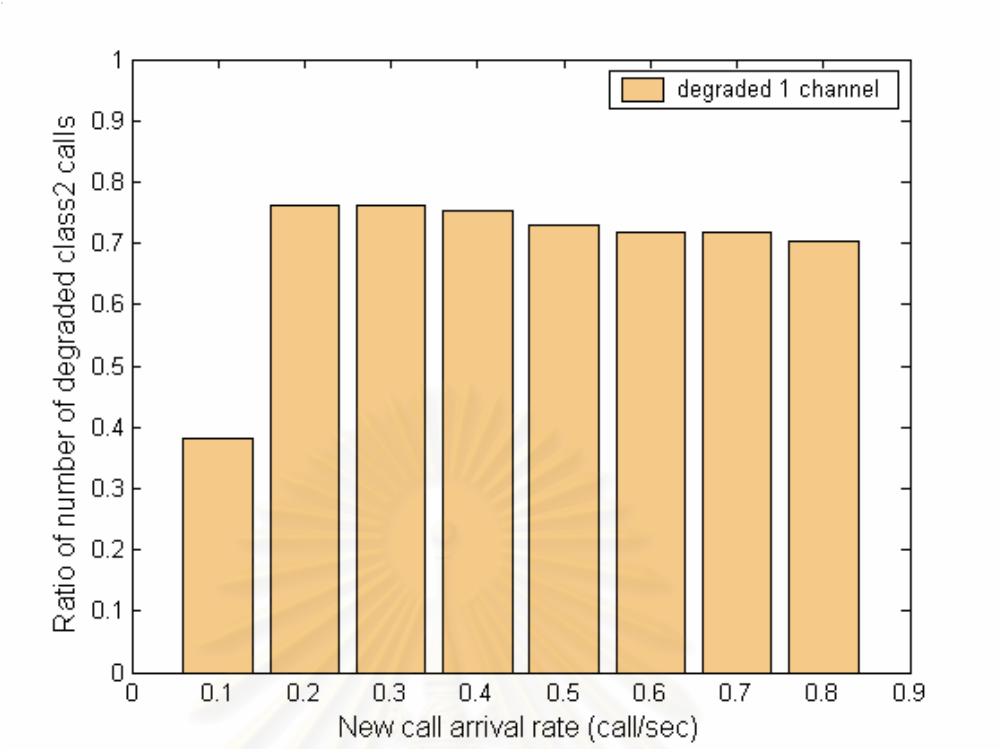
N_{id} คือ จำนวนการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ทั้งหมดที่ถูกตอบรับ

-สัดส่วนโดยเฉลี่ยของระยะเวลาขณะใช้งานที่ได้รับแบนด์วิดท์เท่ากับ $i-l$ หน่วยแบนด์วิดท์เทียบกับระยะเวลาในการใช้บริการของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i คือ

$$T_{id,l} = \frac{1}{N_{id}} \sum_{j=1}^{N_{id}} \frac{t_{id,l}(j)}{t_{id}(j)} \tag{4.2}$$

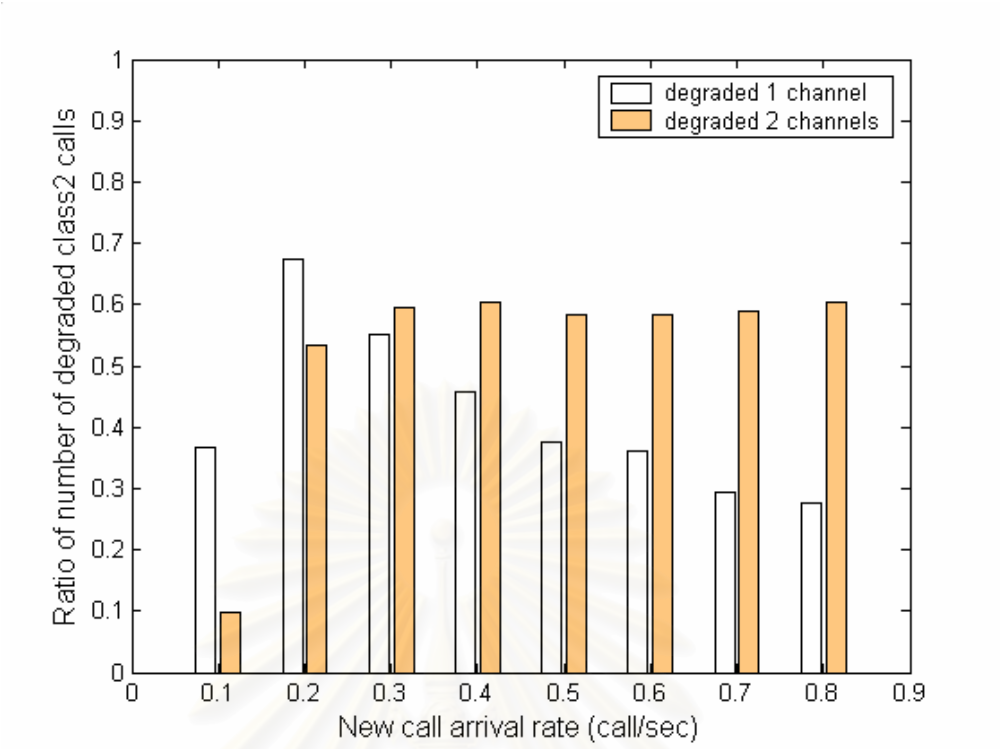
$t_{id,l}(j)$ คือ ระยะเวลาของการเรียก j ที่ได้รับแบนด์วิดท์เท่ากับ $i-l$

$t_{id}(j)$ คือ เวลาในการใช้บริการของการเรียก j ในระดับการให้บริการที่ i



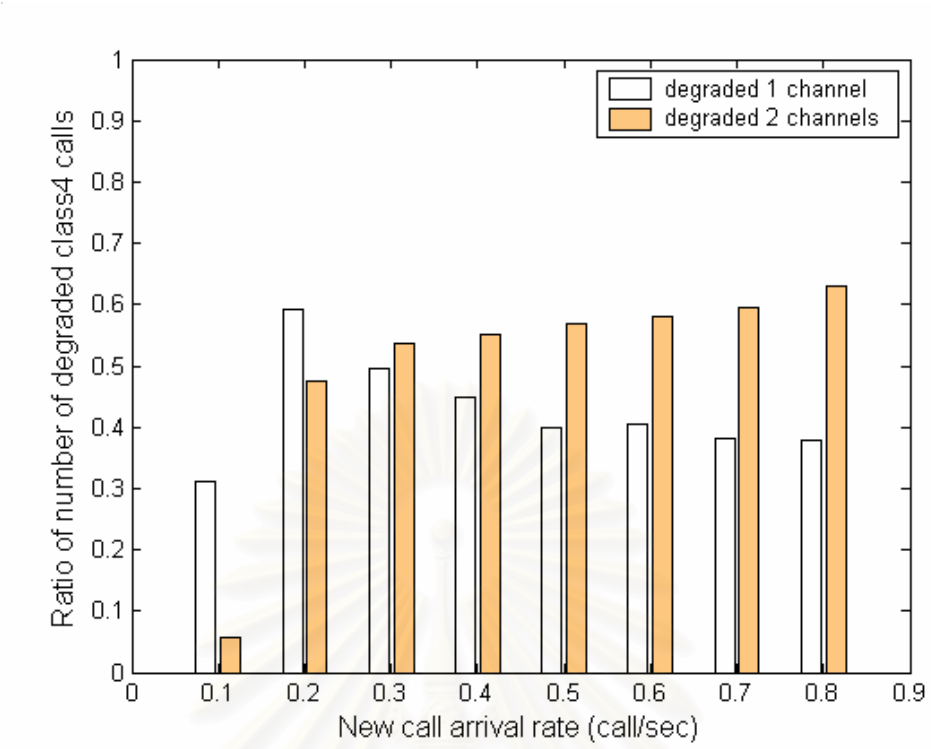
รูปที่ 4.32 สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 1 หน่วยแบนด์วิดท์ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่

รูปที่ 4.32 แสดงสัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ในการถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 1 หน่วยแบนด์วิดท์ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่พบว่า เมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่เพิ่มขึ้น สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 1 หน่วยแบนด์วิดท์เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณทราฟฟิกในระบบสูงขึ้น โอกาสที่การเรียกในระบบจะถูกลดแบนด์วิดท์เนื่องจากมีแบนด์วิดท์เหลือไม่พอรองรับการเรียกที่ร้องขอจึงมากขึ้น และสัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 1 หน่วยแบนด์วิดท์เริ่มคงที่เมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่เท่ากับ 0.2 การเรียกต่อวินาที เนื่องจากระบบมีปริมาณทราฟฟิกสูงอยู่แล้วและยังมีทราฟฟิกเพิ่มขึ้นอีก ในขณะที่ระบบไม่สามารถลดแบนด์วิดท์จากการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ได้มากกว่านี้แล้ว



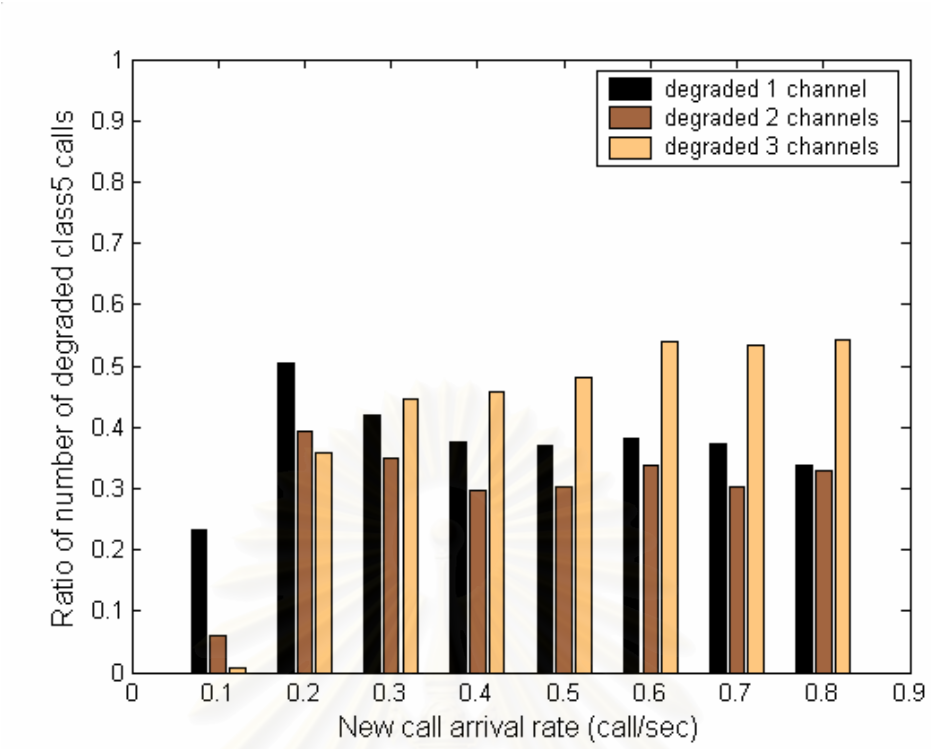
รูปที่ 4.33 สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์ในระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่

รูปที่ 4.33 แสดงสัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์ในระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่พบว่า เมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่เพิ่มขึ้นจนถึง 0.2 การเรียกต่อวินาที สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 1 หน่วยแบนด์วิดท์เพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าการถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 2 หน่วยแบนด์วิดท์ เนื่องจากปริมาณทราฟฟิกในระบบสูงขึ้นและการลดแบนด์วิดท์ 1 หน่วยแบนด์วิดท์ยังเพียงพอต่อความต้องการ โอกาสที่การเรียกในระบบจะถูกลดแบนด์วิดท์เนื่องจากมีแบนด์วิดท์เหลือไม่พอรองรับการเรียกที่ร้องขอจึงมากขึ้น และสัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ในการถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 1 หน่วยแบนด์วิดท์เริ่มลดลงเมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่มากกว่า 0.2 การเรียกต่อวินาที เนื่องจากระบบมีปริมาณทราฟฟิกสูงอยู่แล้วและยังมีปริมาณทราฟฟิกเพิ่มขึ้นอีก การลดแบนด์วิดท์ 1 หน่วยแบนด์วิดท์เริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการและระบบยังสามารถลดแบนด์วิดท์จากการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ลงได้อีก สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 2 หน่วยแบนด์วิดท์จึงมากกว่าสัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 1 หน่วยแบนด์วิดท์



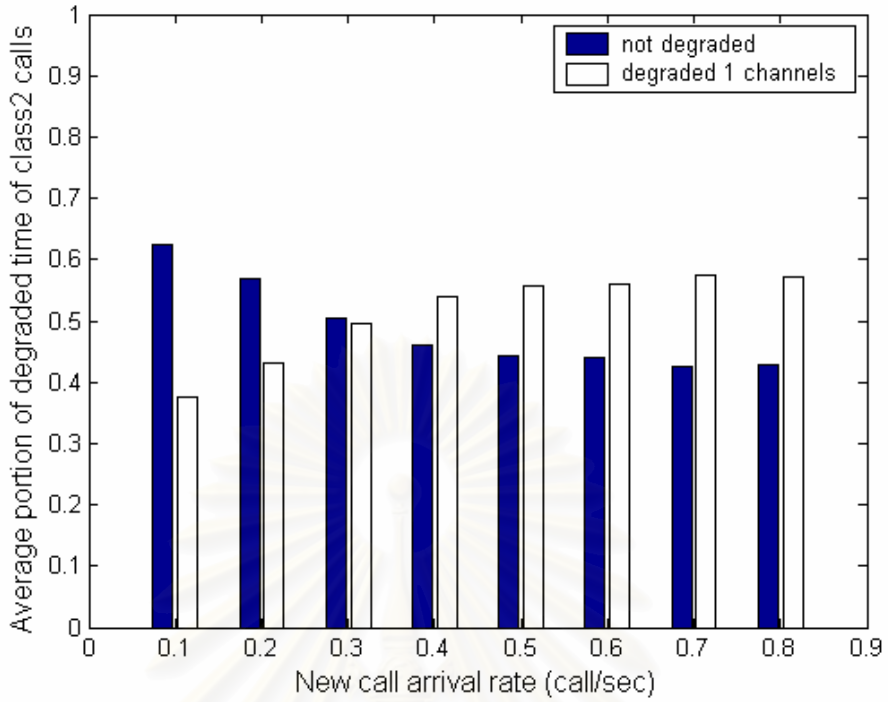
รูปที่ 4.34 สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์ในระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่

รูปที่ 4.34 แสดงสัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์ในระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่พบว่า เมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่เพิ่มขึ้นจนถึง 0.2 การเรียกต่อวินาที สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 1 หน่วยแบนด์วิดท์เพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าการถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 2 หน่วยแบนด์วิดท์ เนื่องจากปริมาณทราฟฟิกในระบบสูงขึ้นและการลดแบนด์วิดท์ 1 หน่วยแบนด์วิดท์ยังเพียงพอต่อความต้องการ โอกาสที่การเรียกในระบบจะถูกลดแบนด์วิดท์เนื่องจากมีแบนด์วิดท์เหลือไม่พอรองรับการเรียกที่ร้องขอจึงมากขึ้น และสัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ในการถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 1 หน่วยแบนด์วิดท์เริ่มลดลงเมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่มากกว่า 0.2 การเรียกต่อวินาที เนื่องจากระบบมีปริมาณทราฟฟิกสูงอยู่แล้วและยังมีปริมาณทราฟฟิกเพิ่มขึ้นอีก การลดแบนด์วิดท์ 1 หน่วยแบนด์วิดท์เริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการและระบบยังสามารถลดแบนด์วิดท์จากการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ลงได้อีก สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 2 หน่วยแบนด์วิดท์จึงเพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าสัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 1 หน่วยแบนด์วิดท์

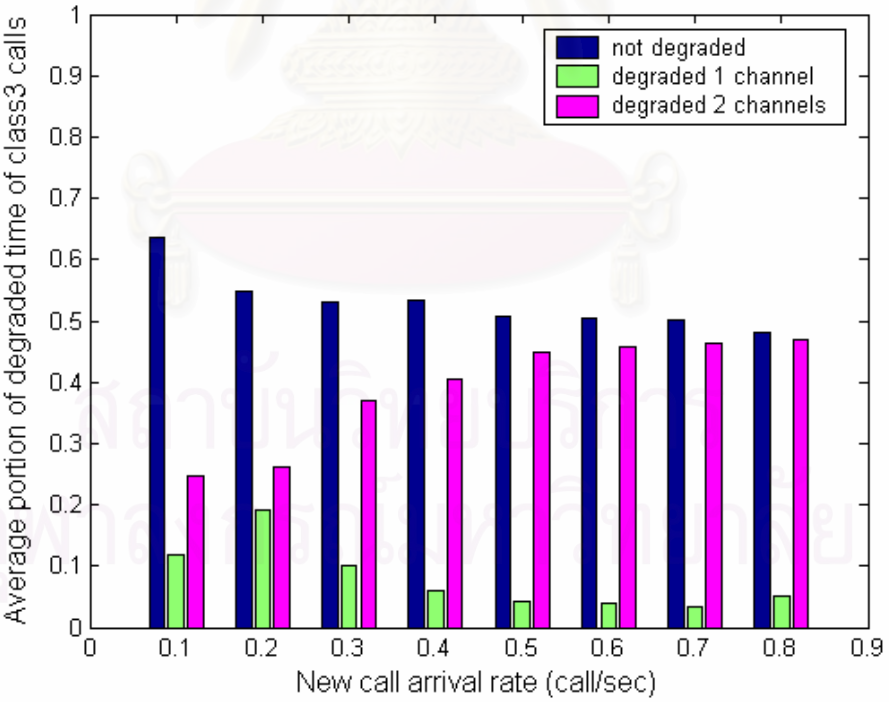


รูปที่ 4.35 สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์ในระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่

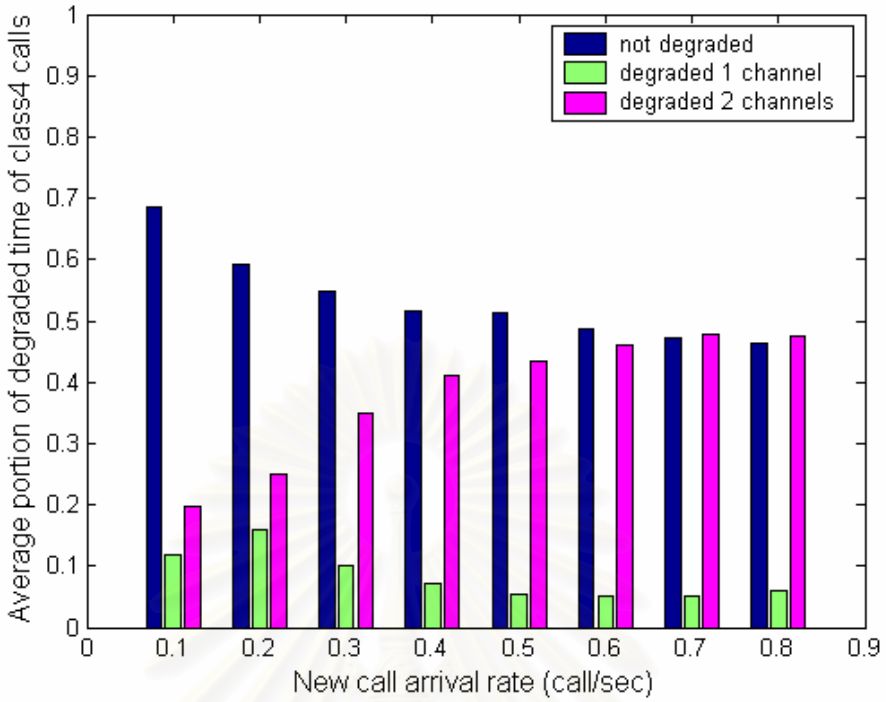
รูปที่ 4.35 แสดงสัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์ในระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่พบว่า เมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่เพิ่มขึ้นจนถึง 0.2 การเรียกต่อวินาที สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 1 หน่วยแบนด์วิดท์เพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าการถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 2 และ 3 หน่วยแบนด์วิดท์ เนื่องจากปริมาณทราฟฟิกในระบบสูงขึ้นและการลดแบนด์วิดท์ 1 หน่วยแบนด์วิดท์ยังเพียงพอต่อความต้องการ โอกาสที่การเรียกในระบบจะถูกลดแบนด์วิดท์เนื่องจากมีแบนด์วิดท์เหลือไม่พอรองรับการเรียกที่ร้องขอจึงมากขึ้น และสัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ในการถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 1 หน่วยแบนด์วิดท์เริ่มลดลงเมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่มากกว่า 0.2 การเรียกต่อวินาที เนื่องจากระบบมีปริมาณทราฟฟิกสูงอยู่แล้วและยังมีปริมาณทราฟฟิกเพิ่มขึ้นอีก การลดแบนด์วิดท์ 1 และ 2 หน่วยแบนด์วิดท์เริ่มไม่เพียงพอต่อความต้องการและระบบยังสามารถลดแบนด์วิดท์จากการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ลงได้อีก สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 3 หน่วยแบนด์วิดท์จึงเพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าสัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ที่ถูกลดแบนด์วิดท์จำนวน 1 และ 2 หน่วยแบนด์วิดท์



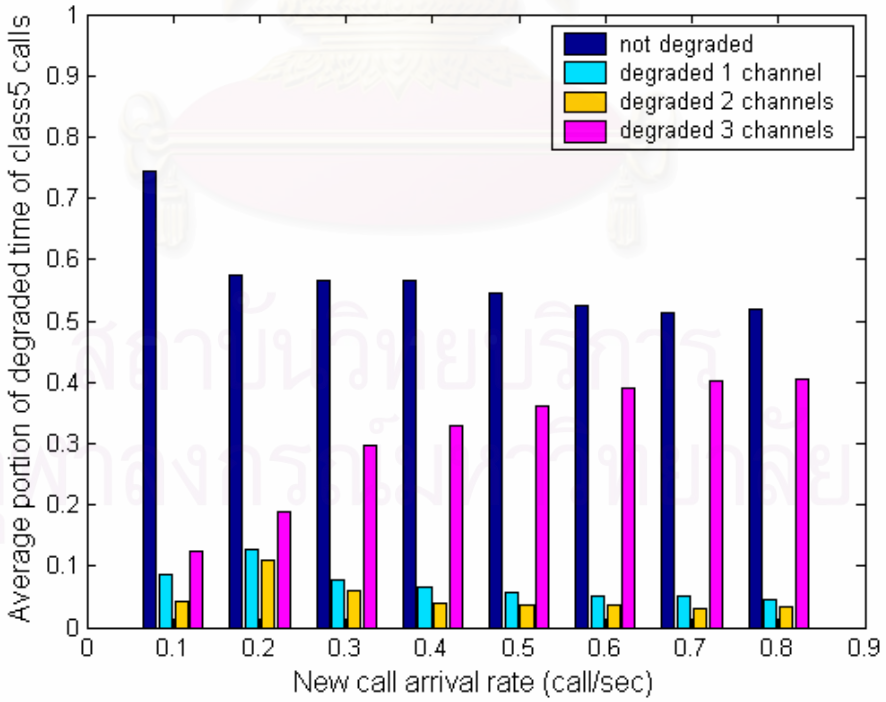
รูปที่ 4.36 สัดส่วนโดยเฉลี่ยของระยะเวลาขณะใช้งานของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2 ที่ได้รับแบนด์วิดท์ ณ ระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่



รูปที่ 4.37 สัดส่วนโดยเฉลี่ยของระยะเวลาขณะใช้งานของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 3 ที่ได้รับแบนด์วิดท์ ณ ระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่



รูปที่ 4.38 สัดส่วนโดยเฉลี่ยของระยะเวลาขณะใช้งานของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 4 ที่ได้รับแบนด์วิดท์ ณ ระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่

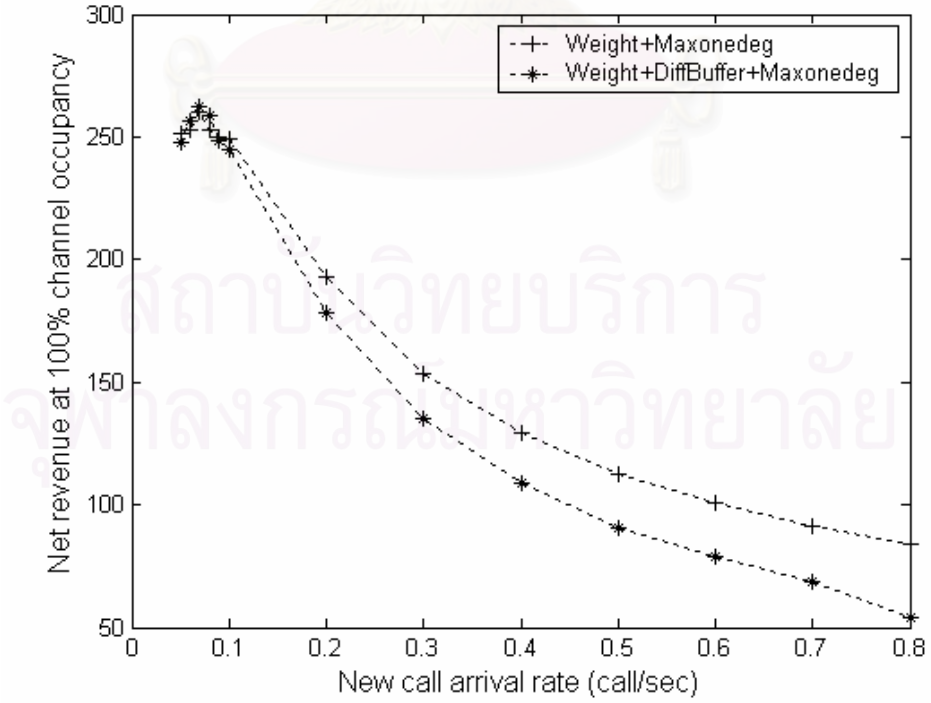


รูปที่ 4.39 สัดส่วนโดยเฉลี่ยของระยะเวลาขณะใช้งานของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 5 ที่ได้รับแบนด์วิดท์ ณ ระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่

รูปที่ 4.36, 4.37, 4.38 และรูปที่ 4.39 แสดงสัดส่วนโดยเฉลี่ยของระยะเวลาขณะใช้งานของการเรียกในระดับการให้บริการที่ 2, 3, 4 และ 5 ที่ได้รับแบนด์วิดท์ ณ ระดับต่างๆ ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่พบว่า สัดส่วนโดยเฉลี่ยของระยะเวลาขณะใช้งานของการเรียกที่ไม่ถูกลดแบนด์วิดท์ลดลงเมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่เพิ่มขึ้น ในขณะที่สัดส่วนโดยเฉลี่ยของระยะเวลาขณะใช้งานของการเรียกที่ถูกลดแบนด์วิดท์เพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบมีปริมาณทราฟฟิกสูงขึ้น โอกาสที่การเรียกในระบบถูกลดแบนด์วิดท์เพิ่มขึ้น ดังนั้นระยะเวลาของการเรียกในระบบได้รับแบนด์วิดท์ตามที่ร้องขอโดยไม่ถูกลดแบนด์วิดท์จึงลดลง และในทางตรงกันข้ามระยะเวลาของการเรียกในระบบได้รับแบนด์วิดท์น้อยกว่าที่ร้องขอจึงเพิ่มขึ้น

- การพิจารณารายได้สุทธิสูงสุดที่ระบบได้รับ

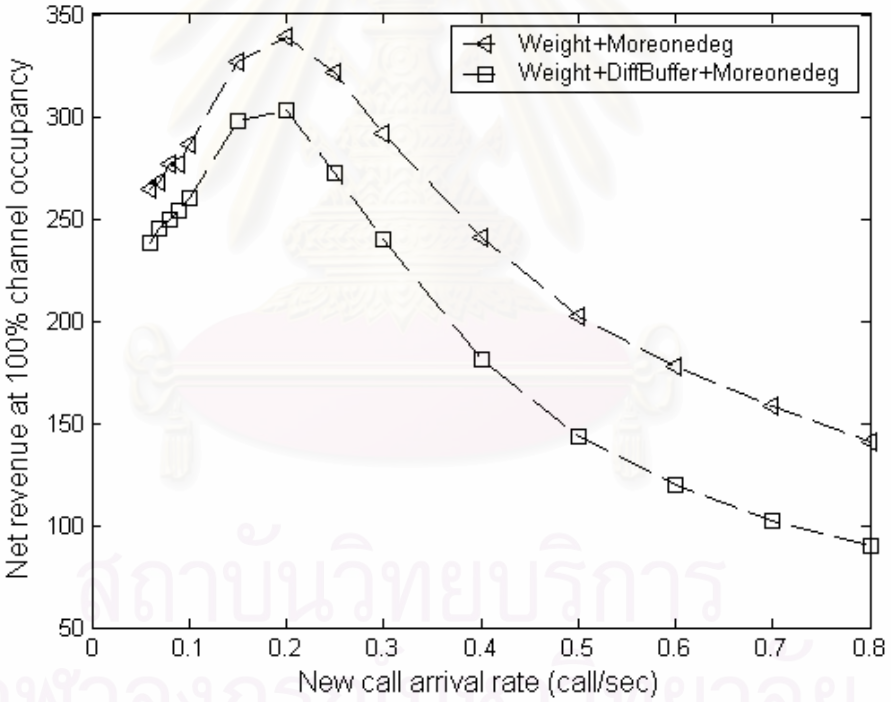
รูปที่ 4.40 แสดงรายได้สุทธิสูงสุดที่ระบบได้รับสำหรับแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ได้หนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่พบว่า รายได้สุทธิสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการมาถึงเพิ่มมากขึ้น จนเมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่เท่ากับ 0.07 การเรียกต่อวินาที ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุดที่มีค่าสูงที่สุด และรายได้สุทธิสูงสุดเริ่มลดลงเมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่มากกว่า 0.07 การเรียกต่อวินาที เนื่องจากที่อัตราการมาถึงของ



รูปที่ 4.40 รายได้สุทธิสูงสุดที่ระบบได้รับสำหรับแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ในงานวิจัย [1] ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่

การเรียกใหม่เท่ากับ 0.07 การเรียกต่อวินาที ปริมาณทราฟฟิกในระบบที่ถูกลดแบนด์วิดท์ยังไม่มาก ระบบสามารถเลือกลดแบนด์วิดท์จากการเรียกที่มีค่ารายได้สูญเสียน้อยๆมารองรับการเรียกที่มีค่ารายได้สูง จึงทำให้ระบบยังได้รับรายได้สุทธิสูงสุดที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่มากกว่า 0.07 การเรียกต่อวินาที ปริมาณทราฟฟิกในระบบส่วนใหญ่ถูกลดแบนด์วิดท์ ระบบจึงอาจเลือกลดแบนด์วิดท์จากการเรียกที่มีค่ารายได้สูญเสียที่สูงขึ้นมารองรับการเรียกที่มีค่ารายได้สูงโดยยอมที่จะได้รับรายได้สุทธิสูงสุดที่ลดลง เพื่อรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ

รูปที่ 4.41 แสดงรายได้สุทธิสูงสุดที่ระบบได้รับสำหรับแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่พบว่า รายได้สุทธิสูงสุดมีแนวโน้มเช่นเดียวกับแบบแผนแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ได้หนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ แต่อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ที่ทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุดที่มากที่สุด คือ 0.2 การเรียกต่อวินาที



รูปที่ 4.41 รายได้สุทธิสูงสุดที่ระบบได้รับสำหรับแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับที่เสนอในแต่ละอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ที่ทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุดที่มากที่สุด พบว่า แบบแผนแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ได้หนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์มีอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับแบบแผนที่เสนอที่สามารถปรับลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ เนื่องจากแบบแผนแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ได้หนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์สามารถลด

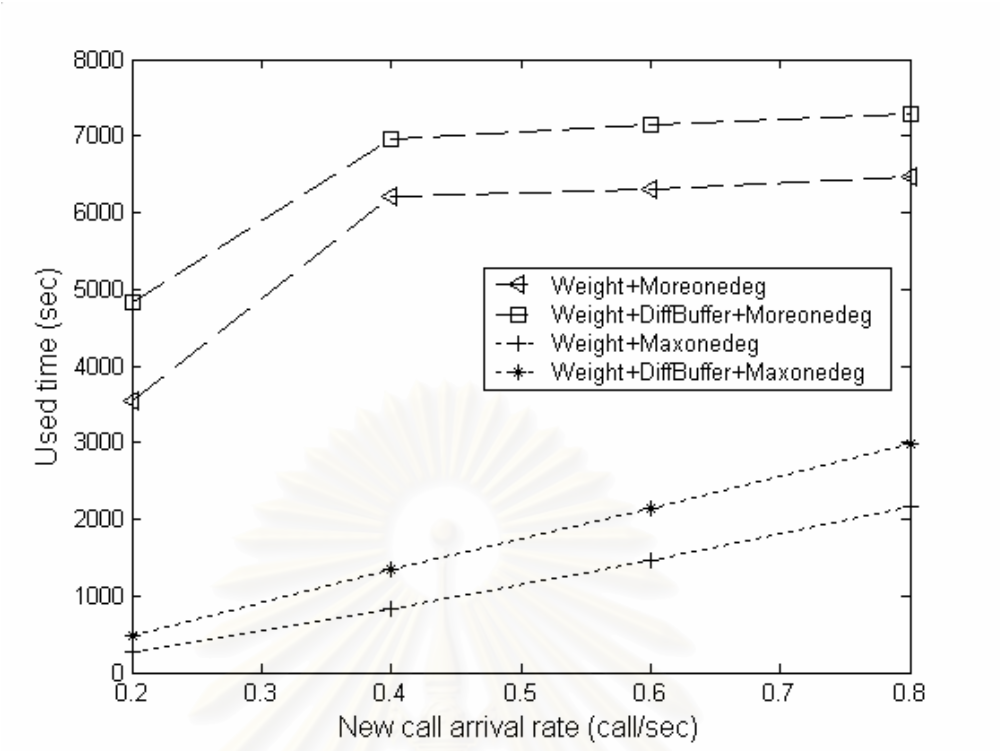
แบนด์วิดท์เพื่อรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการได้น้อยกว่าแบบแผนแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์นั่นเอง

เมื่อเปรียบเทียบค่ารายได้สุทธิสูงสุดของแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ทั้งสองแบบพบว่า แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุดสูงกว่าแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์เพียงหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ เนื่องจากค่ารายได้และรายได้สูญเสียของการเรียกไม่ลดลงเมื่อถูกลดแบนด์วิดท์ในขณะที่แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์เพียงหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์จะใช้ค่ารายได้และรายได้สูญเสียของการเรียกลดลงตามการลดระดับการให้บริการลงเมื่อถูกลดแบนด์วิดท์ ซึ่งรายได้ส่วนใหญ่ที่ระบบได้รับมาจากการเรียกในระบบ ดังนั้นการลดแบนด์วิดท์การเรียกในระบบซึ่งมีผลต่อการพิจารณารายได้สุทธิในการตอบรับการเรียกและการปรับลดแบนด์วิดท์สำหรับแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์จึงมีค่ามากกว่า เพราะการพิจารณาจะเกิดขึ้นเมื่อระบบมีการใช้งานแบนด์วิดท์สูง (ไม่มีแบนด์วิดท์เหลือพอที่จะรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ)

เมื่อเปรียบเทียบแบบแผนการควบคุมการตอบรับทั้งสองแบบพบว่า แบบแผนการควบคุมการตอบรับโดยการถ่วงน้ำหนักการเรียกให้ค่ารายได้สุทธิสูงสุดมากกว่าการบัฟเฟอร์การเรียก เนื่องจากปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามาขณะที่ทำการพิจารณาการตอบรับการเรียกสำหรับแบบแผนการควบคุมการตอบรับโดยการถ่วงน้ำหนักการเรียกมีมากกว่าแบบแผนการแยกบัฟเฟอร์การเรียก ดังนั้นโอกาสที่ระบบจะสามารถเลือกตอบรับการเรียกที่ให้ค่ารายได้สุทธิสูงสุดจึงมากกว่า

4.2.4 การพิจารณาความซับซ้อนของแบบแผนจากระยะเวลาที่ใช้

จากความซับซ้อนที่เพิ่มมากขึ้นสำหรับแบบแผนที่ปรับลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ในการแก้ไขปัญหาการหาค่าความเหมาะสมเพื่อหานโยบายการตอบรับการเรียกและการปรับลดแบนด์วิดท์ที่ทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุด จึงทำการพิจารณาความซับซ้อนของแบบแผนจากระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้สำหรับแบบแผนแต่ละแบบ



รูปที่ 4.42 ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก

รูปที่ 4.42 แสดงระยะเวลาที่ใช้สำหรับแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกแบบต่างๆ พบว่า แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ใช้ระยะเวลามากกว่าแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ได้เพียงหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ เนื่องจากความซับซ้อนของปัญหาที่มากกว่า และการควบคุมการตอบรับการเรียกโดยการแยกบัฟเฟอร์ในการรอคอยใช้เวลามากกว่าการควบคุมการตอบรับการเรียกโดยการถ่วงน้ำหนัก เนื่องจากวิธีการแยกบัฟเฟอร์ในการรอคอยทำให้ความถี่ในการพิจารณาการตอบรับการเรียกเพิ่มขึ้น จึงทำให้ใช้ระยะเวลามากกว่าวิธีการถ่วงน้ำหนัก

4.3 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงการทดสอบแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ จากผลการทดสอบในระบบสถิตที่ระบบทราบสัดส่วนการเรียกที่จะตอบรับเมื่อรายได้สูญเสียจากการลดแบนด์วิดท์น้อยลงแบบแผนที่เสนอสามารถลดเปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกลงได้เช่นเดียวกับแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์เพียงหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ในงานวิจัย [1] และสามารถลดเปอร์เซ็นต์การบล็อกการเรียกได้มากกว่าแบบแผนในงานวิจัย [1] ส่วนในระบบพลวัตการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอให้ความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟโดยการถ่วงน้ำหนักและการแยกบัฟเฟอร์ในการรอคอยด้วยระยะเวลารอคอยที่ต่างกันสามารถลดความน่าเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟลง แต่การแยกบัฟเฟอร์ในการรอคอยการเรียกให้ผลที่เหนือกว่า เนื่องจากโอกาสที่ระบบสามารถหาแบนด์วิดท์มารองรับความต้องการมีความเป็นไปได้สูงกว่า จากผลการทดสอบแบบแผนแบบต่างๆสามารถสรุปว่าแบบแผนที่เสนอให้สามารถปรับลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ร่วมกับการพิจารณาการควบคุมการตอบรับการเรียกโดยการแยกบัฟเฟอร์ในการรอคอยทำให้ความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ต่ำที่สุดในขณะที่ระบบมีการใช้งานแบนด์วิดท์สูง แต่อย่างไรก็ตามความซับซ้อนของแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ที่สูงขึ้นทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการแก้ปัญหามากขึ้น และรายได้สุทธิสำหรับการควบคุมการตอบรับการเรียกโดยการแยกบัฟเฟอร์ในการรอคอยที่ระบบได้รับมีค่าน้อยกว่าการควบคุมการตอบรับการเรียกโดยการถ่วงน้ำหนัก เนื่องจากโอกาสที่ระบบจะสามารถเลือกตอบรับการเรียกที่ให้ค่ารายได้สุทธิสูงสุดจากปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามาขณะที่ทำการพิจารณาการตอบรับการเรียกสำหรับแบบแผนการควบคุมการตอบรับโดยการถ่วงน้ำหนักการเรียกมีมากกว่าแบบแผนควบคุมการตอบรับโดยการการแยกบัฟเฟอร์การเรียก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่พิจารณาการควบคุมการตอบรับการเรียกจากผลต่างระหว่างรายได้ที่ได้จากการตอบรับการเรียกกับรายได้สูญเสียเนื่องจากการลดแบนด์วิดท์การเรียกที่ทำให้ระบบได้รับสูงสุด โดยรายได้สูญเสียจากการลดแบนด์วิดท์เกิดจากพฤติกรรมของผู้ใช้ที่ตอบสนองต่อคุณภาพของการให้บริการที่ลดลงจากการถูกลดแบนด์วิดท์ แต่จากการศึกษาแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ดังกล่าวพบว่า รายได้สูญเสียจากการลดแบนด์วิดท์ที่ใช้ไม่สอดคล้องกับคุณภาพของการให้บริการที่ผู้ใช้ต้องการหรือคาดหวัง เนื่องจากการลดระดับการให้บริการลงเมื่อการเรียกถูกลดแบนด์วิดท์ทำให้รายได้สูญเสียลดลงตามระดับการให้บริการทั้งๆที่การเรียกนั้นมีลักษณะและความต้องการคุณภาพของการให้บริการเช่นเดิม รวมถึงการพิจารณาการลดแบนด์วิดท์เพียงหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์และการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับการเรียกที่ร้องขอการบริการไม่ยุติธรรมกับการเรียกในระบบที่ถูกลดแบนด์วิดท์

แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอขึ้น ประกอบไปด้วยการปรับลดแบนด์วิดท์ที่สามารถลดได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ตามระดับแบนด์วิดท์ที่ระบบรับประกัน ด้วยการพิจารณาระบบในรูปแบบทั่วไปมากขึ้นที่มีการเรียกใหม่และการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟซึ่งมีระดับแบนด์วิดท์ได้หลายระดับเนื่องจากการถูกลดแบนด์วิดท์ ทำการเสนอการพิจารณารายได้สูญเสียจากการลดแบนด์วิดท์ตามความต้องการคุณภาพของการให้บริการของผู้ใช้ อันได้แก่ แบนด์วิดท์ที่คาดหวังว่าจะได้รับ และอัตราการบล็อกแพ็กเกตสูงสุดที่ผู้ใช้ยอมรับได้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการควบคุมการตอบรับการเรียกที่มีการให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟด้วยวิธีการรอคอยในบัฟเฟอร์ที่แยกต่างหากกับการเรียกใหม่และวิธีการถ่วงน้ำหนักความสำคัญ โดยวิธีการแยกบัฟเฟอร์ในการรอคอยนี้จะเป็นวิธีการให้ลำดับความสำคัญที่สามารถลดค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้และมีข้อดีหลายประการ เนื่องจากแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์จะถูกพิจารณาเมื่อระบบไม่มีแบนด์วิดท์เหลือพอ การบัฟเฟอร์การเรียกด้วยระยะเวลาเพียงสั้นๆก็ทำให้ระบบมีปริมาณทราฟฟิกที่มากในการพิจารณาเลือกตอบรับการเรียกที่ให้รายได้สูงสุดแก่ระบบ อีกทั้งยังลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่แฮนด์ออฟข้ามเซลล์ (ping pong effect)

เมื่อพิจารณาผลการจำลองระบบเมื่อใช้แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอดังในบทที่ 4 พบว่าแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่เสนอมีความ

ซับซ้อนเพิ่มขึ้น เห็นได้จากระยะเวลาที่ใช้มากขึ้น แต่สามารถรองรับการเรียกได้มากกว่าอันเนื่องมาจากความยืดหยุ่นของแบบแผนที่เสนอให้สามารถลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่า และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอให้แยกบัฟเฟอร์ในการรอคอยทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุดลดลงเมื่อเทียบกับวิธีการถ่วงน้ำหนัก แต่อย่างไรก็ตามการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอให้แยกบัฟเฟอร์สามารถลดค่าความน่าจะเป็นของการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและค่าความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ได้ต่ำกว่าแบบแผนที่ไม่แยกบัฟเฟอร์ในทุกค่าคุณภาพของการให้บริการ นอกจากนี้ยังพิจารณาพารามิเตอร์ที่เกิดจากการถูกลดแบนด์วิดท์ได้มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ คือ สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการใดๆ ถูกลดแบนด์วิดท์ไปยังระดับต่างๆ และสัดส่วนโดยเฉลี่ยของระยะเวลาการใช้งาน ณ ระดับแบนด์วิดท์ต่างๆที่ได้รับเทียบกับเวลาในการใช้บริการของการเรียกในระดับการให้บริการใดๆ เพื่อแสดงให้เห็นว่าแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่เสนอส่งผลต่อการเรียกที่ถูกลดแบนด์วิดท์ในด้านแบนด์วิดท์ที่ได้รับและระยะเวลาที่ถูกลดแบนด์วิดท์

5.2 ข้อเสนอแนะ

หัวข้อที่ควรศึกษาและวิจัยต่อไปในอนาคต คือ

1. การควบคุมหรือจำกัดปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามาระบบ

แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถให้รายได้สุทธิสูงสุดที่มากที่สุดของระบบ ณ อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ค่าหนึ่ง ดังนั้นการพิจารณาวิธีในการควบคุมปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามาในระบบ เช่น การใช้อัตรารายได้แบบไม่คงที่สัมพันธ์กับปริมาณทราฟฟิก ซึ่งส่งผลต่อการตัดสินใจของผู้ใช้ในการใช้บริการขณะระบบมีปริมาณทราฟฟิกสูง เพื่อให้ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุดที่มากที่สุดและผู้ใช้สามารถได้รับคุณภาพของการให้บริการ

2. การแยกพารามิเตอร์การถ่วงน้ำหนักการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการที่แตกต่างกัน

แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณาการถ่วงน้ำหนักระหว่างการเรียกเท่านั้น ดังนั้นการพิจารณาการเรียกที่อยู่ต่างระดับการให้บริการร่วมด้วยน่าจะส่งผลต่อการตอบรับปริมาณทราฟฟิกในแต่ละระดับการให้บริการแตกต่างกัน

3. การพิจารณาถึงคุณภาพของการให้บริการในรูปแบบอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการถูกลดแบนด์วิดท์ เช่น ระยะเวลาการถูกลดแบนด์วิดท์ในระดับต่างๆ ความน่าจะเป็นในการได้รับแบนด์วิดท์ ณ ระดับต่างๆ เป็นต้น

รายการอ้างอิง

[1] S.K.Das, S.K.Sen, K.Basu, and H.Lin. A Framework for Bandwidth Degradation and Call Admission Control Schemes for Multiclass Traffic in Next-Generation Wireless Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications 21 (December 2003).

[2] C.Oliviera, J.Kim, and T.Suda. An Adaptive Bandwidth Reservation Scheme for High Speed Multimedia Wireless Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications 16 (August 1998): 858-874.

[3] S.Kim, and P.Varshney. An Adaptive Bandwidth Reservation Algorithm for QoS Sensitive Multimedia Cellular Networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology 53 (May 2004).

[4] T.Kwon, Y.Choi, C.Bisdikian, and M.Naghshineh. QoS Provisioning in Wireless/Mobile Multimedia Networks using an Adaptive Framework. Wireless Networks 9 (January 2003): 51-59.

[5] M.Elkadi, S.Olariu, and H.Abdel-Waneb. A Rate-based Borrowing Scheme for QoS Provisioning in Multimedia Wireless Networks. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems 13 (February 2002): 156-166.

[6] A.Malla, M.El-Kadi, S.Olariu, and P.Todorova. A Fair Resource Allocation Protocol for Multimedia Wireless Networks. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems 14 (January 2003).

[7] W.Zhuang, B.Bensaou, and K.C.Chua. Adaptive Quality of Service Handoff Priority Scheme for Mobile Multimedia Networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology 49 (March 2000).

[8] G.Zaruba, I.Chlamtac, and S.K.Das. An Integrated Admission-Degradation Framework for Optimizing Real-time Call Mix in Wireless Cellular Networks. Proceedings of the 3rd ACM International Workshop on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems (August 2000): 44-51.

[9] S.K.Sen, S.K.Das, K.Basu, and J.Jawanda. Quality of Service Degradation Strategies in Multimedia Wireless Networks. Proceeding IEEE Vehicular Technology Conference (May 1998): 1884-1888.

[10] G.V.Zuruba, I.Chlamtac, and S.K.Das. A Prioritized Real-Time Wireless Call Degradation Framework for Optimal Call Mix Selection. Mobile Networks and Applications 25 (2002): 1153-1161.

[11] S.K.Das, R.Jayaram, N.K.Kakani, and S.K.Sen. Call Admission and Control for Quality-of-Service (QoS) Provisioning in Next Generation Wireless Networks. ACM/Baltzer Journal on Wireless Networks (2000) .

[12] Y.Xiao, C.L.P. Chen, and Y.Wang. Quality of Service and Call Admission Control for Adaptive Multimedia Services in Wireless/Mobile Networks. Proceedings of National Aerospace and Electronics Conference (NAECON) (October 2000): 214-220.

[13] M.Ghaderi, and R.Boutaba. Call Admission Control in Mobile Cellular Networks. Comprehensive Survey .

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
การตรวจสอบความถูกต้องในการแก้ไขปัญหาการหาค่าเหมาะสม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการแก้ไขปัญหาการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธี simulated annealing ด้วยการใช้กระบวนการเลือกการตอบรับและการปรับลดแบนด์วิดท์แบบกึ่งสุ่มหรือแบบสุ่มเทียม (semi-random or pseudo-random) เพื่อตรวจสอบว่าค่าเหมาะสมที่ได้รับนั้นให้ค่าเหมาะสมย่อยจริง ในภาคผนวก ก นี้ จึงทำการหาผลเฉลยของปัญหาที่เป็นไปได้ทั้งหมด แล้วสุ่มค่าจากเซตของผลเฉลยที่เป็นไปได้ทั้งหมดทำการหาค่าเหมาะสมตามกระบวนการของ simulated annealing โดยทำการตรวจสอบกับแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์มากกว่าหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับด้วยวิธีการแยกบัฟเฟอร์ตามสมมติฐานและแบบจำลองสถานการณ์สำหรับระบบพลวัตในบทที่ 4 จากการทดสอบผลการทดสอบเป็นดังตาราง

ตาราง ก.1 ความแตกต่างของรายได้สุทธิสูงสุดระหว่างวิธีที่ใช้กับวิธีสุ่มจากผลเฉลยทั้งหมด

อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ (การเรียกต่อวินาที)	รายได้สุทธิสูงสุด		%ความแตกต่างของวิธีที่ใช้เทียบกับการสุ่มจากผลเฉลยทั้งหมด
	กระบวนการเลือกตัวแปรแบบสุ่มเทียม (วิธีที่ใช้)	กระบวนการสุ่มค่าจากเซตของผลเฉลยที่เป็นไปได้ทั้งหมด	
0.2	302.6396	303.4927	0.2811
0.4	181.4237	184.0508	1.4274
0.6	120.1239	127.3239	5.6549
0.8	90.0548	97.2767	7.4241

จากตาราง ก.1 พบว่า กระบวนการเลือกการตอบรับและการปรับลดแบนด์วิดท์แบบสุ่มเทียมที่ใช้ในการหาค่าเหมาะสมให้ผลเฉลยค่าเหมาะสม (รายได้สุทธิสูงสุด) ที่แตกต่างจากกระบวนการสุ่มค่าจากเซตของผลเฉลยที่เป็นไปได้ทั้งหมดไม่มากนัก

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุภาพรรณ ศรีสัจจัง เกิดเมื่อวันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ. 2524 ณ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเบญจมเทพอุทิศ จังหวัดเพชรบุรี จากนั้นเข้าศึกษาในระดับอุดมศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2545

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย