


การปรับปรุงแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่  
เซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอทีรองรับทราฟฟิกเสียงและข้อมูลรวมกัน



นางสาวณัฏฐรี เหล่าวิเศษกุล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0378-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF CALL ADMISSION CONTROL SCHEMES IN CDMA CELLULAR MOBILE  
COMMUNICATION SYSTEM SUPPORTING AN INTEGRATED VOICE/DATA TRAFFIC



Miss Nattaree Hlaovisetkul

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0378-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสาร  
เคลื่อนที่เซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอที่รองรับทราฟฟิกเสียงและข้อมูลรวมกัน

โดย

นางสาวณัฐรี เหล่าวิเศษกุล

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล.

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ บัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคล)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณัฐวี เหล่าพิเศษกุล : การปรับปรุงแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอที่รองรับทราฟฟิกเสียงและข้อมูลรวมกัน (Improvement of Call Admission Control Schemes in CDMA Cellular Mobile Communication System Supporting an Integrated Voice/Data Traffic) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล, 104 หน้า. ISBN 974-03-0378-1.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการปรับปรุงแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก (Call Admission Control หรือ CAC) ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์ซีดีเอ็มเอที่รองรับทราฟฟิกเสียงและข้อมูลรวมกัน ระบบนี้จะรับประกันคุณภาพของบริการ (Quality of Service หรือ QoS) ของการเรียกที่เข้ามาใหม่และยังคงทำให้การเรียกของทราฟฟิกเสียงที่กำลังดำเนินอยู่ในระบบมีคุณภาพเช่นเดิมโดยการปรับอัตราข้อมูลและกำลังของทราฟฟิกข้อมูล แบบแผนที่เสนอมี 2 แบบแผนด้วยกัน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)) และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด (แบบแผนที่เสนอ (2)) จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมจะได้รับการแปรค่าเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในช่วง 0-79% ทั้งกรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 หรือ 2400 bps

จากผลการจำลองแบบ พบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) และ (2) ให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงต่ำกว่าของแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลังซึ่งเป็นแบบแผน 2 แบบแผนที่ได้มีผู้เสนอไว้แล้ว โดยในแบบแผนที่เสนอ (2) กรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps ให้ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงต่ำกว่ากรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมไม่ว่าจะมีค่าเท่าใดก็ตามจะให้ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่เท่ากัน และพบว่าแบบแผนที่เสนอทั้ง 2 มีประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณที่ดีกว่า คือสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลได้มากกว่า อย่างไรก็ตาม แบบแผนที่เสนอ (1) และ (2) มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังมีการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลมากกว่าแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง เนื่องจากการลดทั้งอัตราข้อมูลและกำลังของทราฟฟิกข้อมูลในแบบแผนที่เสนอ (1) และมีการลดอัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูลถึง 3 ครั้งในแบบแผนที่เสนอ (2) โดยที่ความเข้มทราฟฟิกเท่ากับ 1 แบบแผนที่เสนอ (1) มีอัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงเท่ากับ 7.4 และ 5.1 dB เมื่อเทียบกับของแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และของแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง ตามลำดับ ส่วนแบบแผนที่เสนอ (2) มีอัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงเท่ากับ 7 และ 2.7 dB เมื่อเทียบกับของแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ ในกรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps ตามลำดับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....

ปีการศึกษา.....2544.....

ลายมือชื่อนิสิต ณัฐวี เหล่าพิเศษกุล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

## 4270311021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : Call Admission Control / CDMA / Voice / Data

NATTAREE HLAOVISETKUL : Improvement of Call Admission Control Schemes in CDMA Cellular Mobile Communication System Supporting an Integrated Voice/Data Traffic. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DR. WATIT BENJAPOLAKUL, 104 pp. ISBN 974-03-0378-1.

This thesis proposes two improved schemes of call admission control (CAC) in a CDMA cellular mobile communication system supporting an integrated voice/data traffic. The system guarantees the contracted QoS of admitted new voice calls while the quality of existing voice calls is not degraded by adjusting data rate and power of data calls. There are two proposed schemes. The first scheme is the combination of variable rate based and power control based CAC scheme, and the second scheme is the variable rate based CAC scheme with 3 thresholds. The additional threshold is varied to obtain the optimum value in the range of 0-79% of the maximum capacity of the system for both the admitted new data calls with the rate of 1200 and 2400 bps.

The simulation results show that the first and second proposed schemes give lower blocking probability of new voice calls than the variable rate based and the power control based CACs proposed by other researches. In the second proposed scheme, the 1200-bps-rate admitted new data calls give lower blocking probability of new voice calls than the 2400-bps-rate admitted new data calls. The various values of the additional threshold give the same blocking probability of new voice calls. Both of the proposed schemes have better channel usage efficiency that can support a higher number of voice users and data users. Nevertheless, the delay of data calls of the proposed schemes is greater compared with those of the variable rate based and the power control based CACs. This is due to both data rate and power of data calls reduction in the first proposed scheme and 3-stepped data rate reduction of data calls in the second proposed scheme. At full load, the first proposed scheme gives a blocking-probability decrement ratio of 7.4 and 5.1 dB compared to those of the variable rate based and the power control based CACs, respectively. In the second proposed scheme, the 1200-bps-rate admitted new data calls and the 2400-bps-rate admitted new data calls give a blocking-probability decrement ratio of 7 and 2.7 dB compared to that of the variable rate based CAC, respectively.

Department .....Electrical Engineering.....  
Field of study .....Electrical Engineering.....  
Academic year .....2001.....

Student's signature .....  
Advisor's signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดเวลาในการทำงานวิจัยด้วยดีมาตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นอกจากนี้ขอขอบคุณพี่ๆ โดยเฉพาะพี่บงการ หอมนาน และเพื่อนๆ ห้องปฏิบัติการ ไทรคมนาคม และห้องปฏิบัติการวิจัยกรรมวิธีสัญญาณดิจิทัลที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ และกำลังใจตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย รวมถึงห้องปฏิบัติการไทรคมนาคม ซึ่งเป็นสถานที่ทำงานวิจัยตลอดจนอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณ องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยที่ได้สนับสนุนให้ทุนอุดหนุนในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและคุณน้าที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ฎ
บัญชีคำศัพท์.....	ท
บทที่	
1	บทนำ.....1
1.1	ความรู้เบื้องต้นของระบบ CDMA.....2
1.2	Call Admission Control.....4
1.3	ปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อนำแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก มาใช้ในระบบ CDMA ที่รองรับทราฟฟิกเสียงและข้อมูลรวมกัน.....8
1.4	แบบแผนที่มีผู้เสนอเพื่อแก้ปัญหาเมื่อนำแบบแผนการควบคุม การตอบรับการเรียกมาใช้ในระบบ CDMA ที่รองรับ ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลรวมกัน.....8
1.5	แนวคิดที่นำเสนอ.....9
1.6	วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....9
1.7	ขอบเขตของงานวิจัย.....9
1.8	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....10
1.9	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ.....10
1.10	ภาพรวมของวิทยานิพนธ์.....11
2	แบบจำลองระบบ.....12
2.1	นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้อง.....12
2.2	แบบจำลองระบบ.....13
2.3	แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก.....15

## สารบัญ (ต่อ)

๗

บทที่	หน้า
2.4	การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุม การตอบรับการเรียก.....18
3	การปรับปรุงแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก.....21
3.1	แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และการควบคุมกำลัง.....21
3.2	แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด.....23
4	ผลการจำลองแบบ.....25
4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในแต่ละการจำลองแบบ.....25
4.2	สมมติฐานในการจำลองแบบ.....27
4.3	ผลการจำลองแบบ.....28
4.3.1	แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)).....28
4.3.1.1	ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิคเสียงที่ ความเข้มกราฟฟิคต่างๆ.....28
4.3.1.1.1	วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ.....30
4.3.1.2	ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ.....32
4.3.1.2.1	วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ.....39
4.3.1.3	แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้กราฟฟิคเสียง และข้อมูล.....41
4.3.1.3.1	วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ.....45
4.3.1.4	การประวิงของกราฟฟิคข้อมูล.....47
4.3.1.4.1	วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ.....48
4.3.2	แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด (แบบแผนที่เสนอ (2)).....50

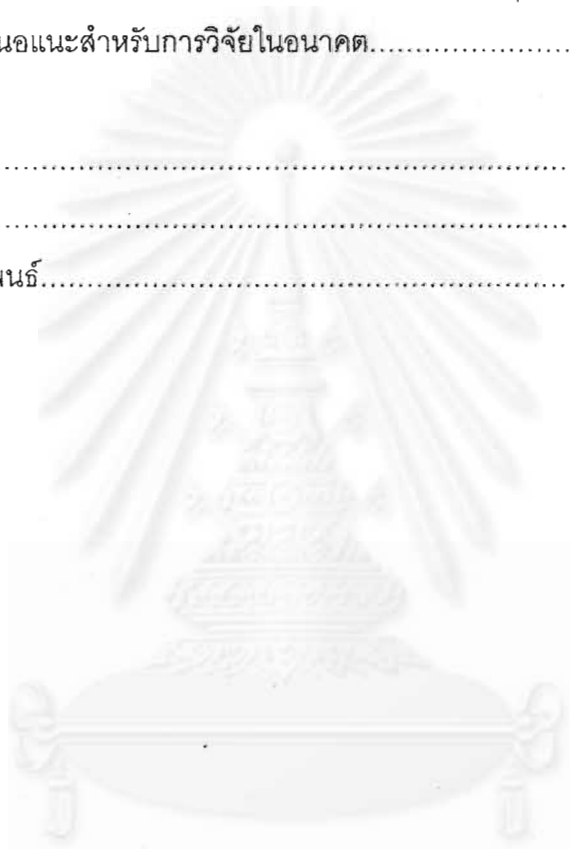


4.3.2.1	ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	50
4.3.2.1.1	กรณีการเรียกของโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้ามาใหม่ ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps.....	50
4.3.2.1.2	กรณีการเรียกของโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้ามาใหม่ ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps.....	54
4.3.2.1.3	วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ.....	57
4.3.2.2	ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ.....	60
4.3.2.2.1	กรณีการเรียกของโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้ามาใหม่ ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps.....	60
4.3.2.2.2	กรณีการเรียกของโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้ามาใหม่ ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps.....	63
4.3.2.2.3	วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ.....	66
4.3.2.3	แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ และข้อมูล.....	69
4.3.2.3.1	กรณีการเรียกของโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้ามาใหม่ ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps.....	69
4.3.2.3.2	กรณีการเรียกของโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้ามาใหม่ ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps.....	72
4.3.2.3.3	วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ.....	75
4.3.2.4	การประวิงของโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	77
4.3.2.4.1	กรณีการเรียกของโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้ามาใหม่ ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps.....	77
4.3.2.4.2	กรณีการเรียกของโทรศัพท์เคลื่อนที่เข้ามาใหม่ ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps.....	78
4.3.2.4.3	วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ.....	79
4.4	การเปรียบเทียบผลการจำลองแบบของแบบแผนที่เสนอ (1) และแบบแผนที่เสนอ (2).....	82

บทที่

หน้า

5	สรุปผล	
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	90
5.2	ความซับซ้อนของแบบแผนที่น่าเสนอเมื่อนำไปประยุกต์ใช้.....	92
5.3	ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต.....	94
	รายการอ้างอิง.....	95
	ภาคผนวก.....	97
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	104



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	การเข้าถึงหลายทางแบบ (a) FDMA (b) TDMA (c) CDMA.....	1
รูปที่ 1.2	กลไกการควบคุมการตอบรับการเรียก.....	4
รูปที่ 2.1	จุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2 ของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก.....	16
รูปที่ 2.2	อัลกอริทึมการทำงานของแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้.....	17
รูปที่ 2.3	อัลกอริทึมการทำงานของแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง.....	19
รูปที่ 2.4	อัลกอริทึมการทำงานของการตอบรับการเรียก ที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก.....	20
รูปที่ 3.1	อัลกอริทึมการทำงานของแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)).....	22
รูปที่ 3.2	อัลกอริทึมการทำงานของแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด (แบบแผนที่เสนอ (2)).....	24
รูปที่ 4.1	แบบจำลองของสถานีฐานจำนวน 1 สถานี.....	27
รูปที่ 4.2	ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสี่ยงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1).....	29
รูปที่ 4.3	ส่วนขยายในช่วงความเข้มทราฟฟิก 0.7-1 ของกราฟรูปที่ 4.2.....	29
รูปที่ 4.4	อัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสี่ยง เมื่อใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกแบบต่าง ๆ โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก.....	30
รูปที่ 4.5	อัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสี่ยง เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้.....	31

รูปที่ 4.6	อัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงเมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง.....	31
รูปที่ 4.7	จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้.....	32
รูปที่ 4.8	จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง.....	33
รูปที่ 4.9	จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)).....	35
รูปที่ 4.10	จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1).....	36
รูปที่ 4.11	จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1).....	37
รูปที่ 4.12	จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1).....	38
รูปที่ 4.13	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ เมื่อใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกแบบต่าง ๆ โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก.....	39

รูปที่ 4.14	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ เมื่อใช้แบบแผน ที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูล ที่แปรค่าได้.....	40
รูปที่ 4.15	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ เมื่อใช้แบบแผน ที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุม กำลัง.....	40
รูปที่ 4.16	แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อ ใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และ แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้ง อยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐาน ของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1).....	42
รูปที่ 4.17	แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อ ใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และ แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้ง อยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐาน ของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1).....	43
รูปที่ 4.18	แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิก ต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการ เรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บน พื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1).....	44
รูปที่ 4.19	เปอร์เซ็นต์การลดลงของแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและ ข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกแบบต่าง ๆ โดยเทียบกับ การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก.....	45
รูปที่ 4.20	เปอร์เซ็นต์การลดลงของแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและ ข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บน พื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้.....	46

รูปที่ 4.21	เปอร์เซ็นต์การลดลงของแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกเสียงและข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง.....	46
รูปที่ 4.22	การประวิงของกราฟฟิกข้อมูลที่ความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1).....	48
รูปที่ 4.23	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของการประวิงของกราฟฟิกข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้.....	49
รูปที่ 4.24	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของการประวิงของกราฟฟิกข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง.....	49
รูปที่ 4.25	ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่ความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ.....	51
รูปที่ 4.26	ส่วนเพิ่มเติมของรูปที่ 4.25 ในช่วงความเข้มกราฟฟิก 0.3-1.....	52
รูปที่ 4.27	ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ค่าต่าง ๆ.....	53
รูปที่ 4.28	ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่ความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ.....	55

## สารบัญรูป (ต่อ)

ค

หน้า

รูปที่ 4.29	ส่วนเพิ่มเติมของรูปที่ 4.28 ในช่วงความเข้มทราฟฟิก 0.3-1.....	56
รูปที่ 4.30	ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ค่าต่าง ๆ.....	56
รูปที่ 4.31	ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้.....	58
รูปที่ 4.32	อัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียง เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก.....	58
รูปที่ 4.33	อัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียง เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้.....	59
รูปที่ 4.34	จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ.....	60
รูปที่ 4.35	จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ.....	61
รูปที่ 4.36	จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ.....	63

รูปที่ 4.37	จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ.....	64
รูปที่ 4.38	จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ.....	65
รูปที่ 4.39	จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ.....	66
รูปที่ 4.40	ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้.....	67
รูปที่ 4.41	ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้.....	68
รูปที่ 4.42	แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ.....	69
รูปที่ 4.43	แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ.....	70



รูปที่ 4.44	แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้ม กราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้า มาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่ม เปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ.....	71
รูปที่ 4.45	แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกเสียงที่มีความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อ ใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับ ด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม ค่าต่าง ๆ.....	72
รูปที่ 4.46	แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อ ใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับ ด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม ค่าต่าง ๆ.....	73
รูปที่ 4.47	แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้ม กราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูล ที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบ ระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ.....	74
รูปที่ 4.48	แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกเสียงและข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนที่ เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุม การตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูล ที่แปรค่าได้.....	76
รูปที่ 4.49	แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกเสียงและข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนที่ เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุม การตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูล ที่แปรค่าได้.....	76

รูปที่ 4.50	การประวิงของกราฟฟิกข้อมูลที่ความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผน ที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วย อัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม ค่าต่าง ๆ.....	78
รูปที่ 4.51	การประวิงของกราฟฟิกข้อมูลที่ความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผน ที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วย อัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม ค่าต่าง ๆ.....	79
รูปที่ 4.52	การประวิงของกราฟฟิกข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของ กราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดย เทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับ การเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูล ที่แปรค่าได้.....	80
รูปที่ 4.53	การประวิงของกราฟฟิกข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของ กราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดย เทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับ การเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูล ที่แปรค่าได้.....	81
รูปที่ 4.54	ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่ความเข้มกราฟฟิก ต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps.....	83
รูปที่ 4.55	ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับ แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับ ด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps.....	85

รูปที่ 4.56      แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้ทราฟฟิกเสียง และข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps.....87

รูปที่ 4.57      การประวิง (Delay) ของทราฟฟิกข้อมูลที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps.....89



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บัญชีคำศัพท์

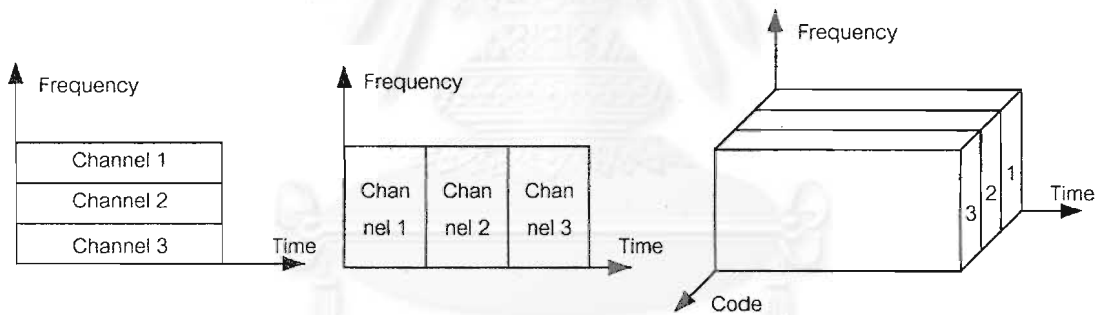
การกระโดดเปลี่ยนความถี่	Frequency Hopping ย่อว่า FH
การควบคุมกำลัง	Power Control
การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่	Spread Spectrum Modulation
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่	Frequency Division Multiple Access ย่อว่า FDMA
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา	Time Division Multiple Access ย่อว่า TDMA
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส	Code Division Multiple Access ย่อว่า CDMA
ระบบสื่อสารยุคที่ 3	Third Generation Communication Systems
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัสชนิดไดเรกต์ซีควเन्ซ์	Direct Sequence-Code Division Multiple Access ย่อว่า DS-CDMA
ชิป	Chip
รหัสแผ่	Spreading Code
การควบคุมการตอบรับการเรียก	Call Admission Control ย่อว่า CAC
ชั้นของบริการ	Grade of Service ย่อว่า GoS
อัตราการบล็อก	Blocking Rate
คุณภาพของบริการ	Quality of Service ย่อว่า QoS
ความน่าจะเป็นของการบล็อก	Blocking Probability
ลำดับความสำคัญ	Priority
การเรียกที่เข้ามาใหม่	New Call
สถานีฐาน	Base Station ย่อว่า BS
จุดเริ่มเปลี่ยน	Threshold
ความจุเออร์แลง	Erlang Capacity
การควบคุมการตอบรับการเรียก - ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของกำลังที่ส่ง	Transmitted Power based Call Admission Control ย่อว่า TPCAC

อัตราส่วนคลื่นพาห้ต่อสัญญาณแทรกสอด	Carrier to Interference Ratio ย่อว่า CIR
การควบคุมการตอบรับการเรียก - ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของกำลังที่รับได้	Received Power based Call Admission Control ย่อว่า RPCAC
การควบคุมการตอบรับการเรียก - ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของจำนวนผู้ใช้	User Number based CAC
การควบคุมการตอบรับการเรียก - ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของระดับสัญญาณแทรกสอด	Interference based CAC
การประวิง	Delay
อัตราบิตผิดพลาด	Bit Error Rate ย่อว่า BER
การควบคุมการตอบรับการเรียก - ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้	Variable Rate based CAC
การควบคุมการตอบรับการเรียก - ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง	Power Control based CAC
การควบคุมการตอบรับการเรียก - ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการทำนาย	Predictive Call Admission Control ย่อว่า PCAC
การควบคุมการตอบรับการเรียกที่ตั้งอยู่ - บนพื้นฐานของกราฟฟิกชั่วขณะและการทำนาย	Momentary and Predictive Call Admission Control ย่อว่า MPCAC
สถานีเคลื่อนที่	Mobile Station ย่อว่า MS
สถานีฐานแบบรอบทิศทาง	Omnni-Directional BS
แฟกเตอร์การลด	Reducing Factor
เวลายึดช่องสัญญาณ	Holding Time
อัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่น - สเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนสำหรับ- การเรียกของกราฟฟิกเสียง	$E_{b,v}/N_0$
อัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่น - สเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนสำหรับ- การเรียกของกราฟฟิกข้อมูล	$E_{b,d}/N_0$
ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ	Channel Usage Efficiency

## บทที่ 1

### บทนำ

การเข้าถึงหลายทางในระบบการสื่อสารเป็นกระบวนการซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้มากกว่า 1 คนสามารถใช้ช่องสัญญาณสื่อสารร่วมกันได้ วิธีการเข้าถึงหลายทางที่นิยมในอดีตนั้นได้แก่ การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access หรือ FDMA) และการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access หรือ TDMA) ในวิธีการทั้งสองนี้ผู้ใช้แต่ละคนในระบบถูกให้แยกใช้ในช่องสัญญาณที่คนละความถี่ หรือความถี่เดียวกันแต่คนละเวลาดังรูปที่ 1.1(a) และ 1.1(b) ตามลำดับ ทรัพยากรทางความถี่ที่มีอยู่อย่างจำกัดซึ่งทำให้ความจุช่องสัญญาณถูกจำกัดและส่งผลให้วิธีการเข้าถึงหลายทางในอดีตทั้ง 2 วิธีมีข้อจำกัด รวมทั้งความต้องการความจุของระบบที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีการพัฒนารูปแบบของการเข้าถึงหลายทางชนิดใหม่ขึ้นมา วิธีการเข้าถึงหลายทางวิธีหนึ่งที่ได้รับคามสนใจอย่างมากคือการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access) ซึ่งนิยมเรียกโดยย่อว่า CDMA เป็นระบบที่ผู้ใช้ทุกคนสามารถเข้าถึงช่องสัญญาณที่ความถี่และเวลาในการส่งเดียวกันได้แต่จะถูกแยกด้วยรหัสเฉพาะของแต่ละคน ดังรูปที่ 1.1(c)



รูปที่ 1.1 การเข้าถึงหลายทางแบบ (a) FDMA (b) TDMA (c) CDMA

เนื่องจากในระบบสื่อสารยุคที่ 3 (Third Generation Communication Systems) มีความต้องการรองรับการให้บริการได้หลายชนิด เช่น เสียง (Voice) ภาพ (Image) รวมถึงวิดีโอ (Video) และสามารถส่งได้หลายอัตราตั้งแต่น้อยกว่า 64 Kbps จนถึง 2 Mbps โดยต้องเพิ่มความจุช่องสัญญาณของโครงข่ายให้มากกว่าโครงข่ายเซลลูลาร์เดิม ดังนั้นในระบบโทรคมนาคมยุคที่ 3 จึงให้ความสนใจและหันมาพัฒนาระบบ CDMA

ในบทนี้ผู้วิจัยจะแนะนำความรู้เบื้องต้นโดยสังเขปของระบบ CDMA และปัญหาต่างๆ ของระบบ CDMA จากนั้นจะกล่าวถึงการใช่แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และปัญหา

ต่างๆ ที่เกิดขึ้น อันเป็นที่มาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงแนวทาง, วัตถุประสงค์, ขอบเขตของวิทยานิพนธ์, ขั้นตอนการดำเนินงาน, ภาพรวมของเนื้อหาในแต่ละบทของวิทยานิพนธ์

## 1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ CDMA

แรกเริ่มระบบ CDMA ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้ประโยชน์ในด้านการรักษาความปลอดภัยของการสื่อสารทางทหารของกองทัพสหรัฐอเมริกาในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยเป็นเทคโนโลยีที่เรียกว่า การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ (Spread Spectrum หรือ SS) คือข้อมูลที่มีความกว้างแถบต่ำจะถูกนำมาแผ่ออกเป็นข้อมูลที่มีความกว้างแถบกว้าง วิธีการนี้มีความทนทานต่อการถูกรบกวนโดยสัญญาณความกว้างแถบแคบ และการถูกดักจับจากทางฝ่ายตรงกันข้าม การมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท [1, 2, 3, 4] ได้แก่

- 1) แบบการกระโดดเปลี่ยนความถี่ (Frequency Hopping) ในวิธีนี้ช่วงความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารจะถูกแบ่งออกเป็น  $N$  ช่อง และในระหว่างการส่งบิตข้อมูลของผู้ใช้จะมีการกระโดดไปมาของสัญญาณในช่องความถี่  $N$  ช่องนั้น โดยแบบแผนของการกระโดดจะเป็นไปตามรหัสที่กำหนด วิธีกระโดดเปลี่ยนความถี่แบ่งได้ 2 ประเภท คือ
  - ก. การกระโดดอย่างรวดเร็ว (fast hopping) คือ กระโดด 2 ครั้งหรือมากกว่าในการส่งบิตข้อมูลแต่ละบิต
  - ข. การกระโดดอย่างช้า (slow hopping) คือ ส่งบิตข้อมูล 2 บิตหรือมากกว่าในการกระโดดแต่ละครั้ง
- 2) แบบจัดลำดับเข้าถึงโดยตรง (Direct Sequence) ในวิธีนี้ข้อมูลแต่ละบิตจะถูกแทนที่ด้วยรหัสซึ่งเป็นบิตจำนวนมากจำนวนหนึ่ง และเรียกหนึ่งบิตของรหัสนี้ว่าชิป (chip)

ในยุคต่อมาเทคโนโลยีการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่ได้ถูกพิจารณาถึงประสิทธิภาพที่โดดเด่นในเชิงพาณิชย์ และถูกพัฒนาเป็นวิธีการเข้าถึงหลายทาง โดยเรียกว่าระบบ CDMA เพื่อใช้ในระบบการสื่อสารที่มีผู้ใช้จำนวนมาก แทนที่วิธีการเข้าถึงหลายทางในอดีต ระบบ CDMA ที่สามารถนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันอยู่บนพื้นฐานของการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่แบบจัดลำดับเข้าถึงโดยตรง หรือที่เรียกกันว่า DS-SS-CDMA (Direct Sequence-SS-CDMA)

ผู้ใช้ทุกคนในระบบ DS-SS-CDMA จะส่งสัญญาณออกมาในความกว้างแถบและเวลาเดียวกัน โดยสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนจะถูกแบ่งแยกออกจากกันด้วยชุดรหัสเฉพาะสำหรับแต่ละผู้ใช้

ที่เรียกกันว่าลำดับลายมือชื่อ (Signature Sequence) หรือรหัสแผ่ (Spreading Code) ทางด้านส่งผู้ใช้แต่ละคนจะแทนข้อมูลแต่ละบิตด้วยรหัสแผ่ดังกล่าวตามหลักการของการมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่แบบจัดลำดับเข้าถึงโดยตรง หลังจากนั้นผู้ใช้แต่ละคนก็จะส่งสัญญาณที่ถูกมอดูเลตแล้วออกไปในช่องสัญญาณ ดังนั้นในช่องสัญญาณจะประกอบด้วยสัญญาณของผู้ใช้แต่ละคนที่ปะปนกันจนไม่สามารถเข้าใจได้ สำหรับทางด้านรับนั้น ข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนจะถูกแบ่งแยกออกจากกันโดยใช้รหัสแผ่ที่ผู้ใช้แต่ละคนใช้ในตอนมอดูเลตแบบสเปกตรัมแผ่

ผู้ที่ริเริ่มเสนอระบบ DS-CDMA มาใช้ในเชิงพาณิชย์สำหรับการสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นครั้งแรก คือ บริษัท QUALCOMM ของประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1989 บริษัท QUALCOMM ได้เสนอให้ระบบ DS-CDMA เป็นมาตรฐานสำหรับจุดต่อร่วมทางอากาศ (Air-Interface) สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 2 อย่างไรก็ตาม เนื่องจากระบบ DS-CDMA เป็นระบบใหม่ ในช่วงแรกระบบ DS-CDMA จึงยังไม่ได้รับการยอมรับเท่าที่ควร บริษัท QUALCOMM ได้ใช้เวลาถึง 4 ปีเพื่อสาธิตระบบ DS-CDMA ในที่ต่างๆ ทั่วโลก รวมทั้งค้นคว้าวิจัยวิธีแก้ไขปัญหาดังกล่าว ของระบบ DS-CDMA จนระบบ DS-CDMA เป็นที่ยอมรับ และในที่สุด Telecommunications Industry Association (TIA) ก็ได้ยอมรับให้ระบบ DS-CDMA เป็นมาตรฐานของจุดต่อร่วมทางอากาศ สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัลเซลลูลาร์ (digital cellular) ยุคที่ 2 เมื่อวันที่ 16 มิถุนายน ค.ศ. 1993 มาตรฐานนี้มีชื่อเรียกว่า มาตรฐาน IS-95 (Interim Standard-95) ซึ่งกำหนดให้ช่องสัญญาณแต่ละช่องมีความกว้างแถบเป็น 1.228 MHz และเป็นมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

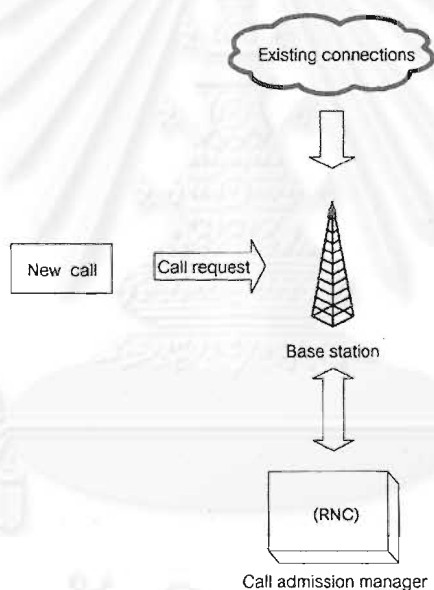
ในอนาคตอันใกล้จะเป็นยุคของการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3 (มาตรฐาน UMTS ของยุโรป และมาตรฐาน IMT-2000 ของนานาชาติ) การสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3 นี้จะมีความต้องการทางด้านความจุเพิ่มขึ้น และต้องการบริการที่หลากหลายมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นตามไปด้วย ขีดจำกัดของการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยความถี่ และการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งแยกด้วยเวลา ทำให้วิธีการเข้าถึงหลายทางเหล่านี้ไม่สามารถรองรับความต้องการเหล่านั้นได้ ระบบ DS-CDMA จึงมีบทบาทสำคัญต่อการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3 มาตรฐานของจุดต่อร่วมทางอากาศในระบบ CDMA สำหรับการสื่อสารไร้สายในยุคที่ 3 ซึ่งอยู่ในระหว่างการพัฒนา มีอยู่มาตรฐานหลักด้วยกัน 2 มาตรฐาน คือมาตรฐาน WCDMA (Wideband CDMA) ของยุโรปและญี่ปุ่น และมาตรฐาน Wideband cdmaOne (หรือในอีกชื่อหนึ่งคือ cdma2000) ของอเมริกาเหนือ มาตรฐานเหล่านี้กำหนดให้แต่ละช่องสัญญาณมีความกว้างแถบตั้งแต่ 5 MHz ขึ้นไป ดังนั้นในกรณีมาตรฐาน IS-95 ซึ่งมีความกว้างแถบเพียง 1.228 MHz จึงถูกเรียกว่าเป็น CDMA แถบแคบ (Narrowband CDMA) และมาตรฐานใหม่เหล่านี้ถูกเรียกว่าเป็น CDMA แถบกว้าง (Wideband CDMA) [5, 6, 7]



## 1.2 Call Admission Control

เนื่องจากในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ CDMA ความจุจะถูกจำกัดจากสัญญาณแทรกสอด ดังนั้นการควบคุมการตอบรับการเรียก (Call Admission Control หรือ CAC) จะต้องรับประกันทั้งชั้นของบริการ (Grade of Service หรือ GoS) ได้แก่ อัตราการบล็อก (Blocking Rate) และคุณภาพของบริการ (Quality of Service หรือ QoS) [8, 9] ของโทรภาพพิกเสียงในกรณีที่มีระบบรองรับทั้งโทรภาพพิกเสียงและข้อมูลรวมกัน เนื่องจากระบบจะต้องให้ลำดับความสำคัญ (Priority) แก่โทรภาพพิกเสียงมากกว่าโทรภาพพิกข้อมูล โดยการควบคุมจำนวนผู้ใช้ในระบบ

การควบคุมการตอบรับการเรียกจะต้องอาศัยคุณลักษณะของระบบและผู้ใช้เพื่อจัดการกับทรัพยากรที่มีอยู่ โดยการพิจารณาความจุของระบบที่มีอยู่และการรองรับการร้องขอของการเรียกที่เข้ามาใหม่ ในขณะเดียวกันก็ต้องสามารถรับประกัน QoS ของการเรียกที่มีอยู่ [10, 11] ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 กลไกการควบคุมการตอบรับการเรียก

จากรูปที่ 1.2 จะเห็นได้ว่าการเรียกที่เข้ามาใหม่ (New Call) จะถูกตอบรับโดยสถานีฐาน (Base Station หรือ BS) หลังจากมีการจัดการทรัพยากรที่ Radio Network Controller (RNC) โดยการพิจารณาความจุที่เหลืออยู่ว่าจะตอบรับหรือบล็อกการเรียกที่เข้ามาใหม่

แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่มีประสิทธิภาพจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

[8]

1. จะต้องมีเสถียรภาพในการให้ QoS คือ ระบบจะต้องมีสมรรถนะตามที่ต้องการอย่างต่อเนื่อง

2. สามารถดัดแปลงเข้ากับเงื่อนไขต่างๆ ได้ เนื่องจากผู้ใช้แต่ละคนมีเงื่อนไขในการใช้ระบบที่แตกต่างกัน ดังนั้นระบบควรจะสามารถดัดแปลงให้เข้ากับเงื่อนไขต่างๆ ได้
3. สามารถจัดรูปแบบใหม่และขยายสำหรับบริการใหม่ได้
4. ง่ายต่อการออกแบบและใช้เวลาประมวลผลน้อย

ในระบบ CDMA สามารถพิจารณาปัญหา CAC ได้เป็น 2 ปัญหาหลัก [8] ดังนี้

1. การกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ที่เหมาะสมเพื่อรับประกัน GoS/QoS
2. การทำให้ความจุเออร์แลง (Erlang Capacity คือ ค่าเฉลี่ยของทราฟฟิกโหลดในเทอมของค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้ที่ร้องขอบริการแล้วมีค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกตามที่ต้องการ) ของแต่ละเซลล์ให้มีความมากที่สุด

ในการอธิบายอัลกอริทึม CAC โดยทั่วไปจะพิจารณาแยกตามความหมาย [12] ได้ดังนี้

#### 1. อัลกอริทึม Interactive หรือ Non-Interactive

- ในอัลกอริทึม Interactive การเรียกที่เข้ามาใหม่จะมีการกระทำระหว่างกันกับระบบ และมีการพิจารณาว่าระบบมีผลกระทบอย่างไรถ้าตอบรับการเรียกที่เข้ามาใหม่ ซึ่งจะใช้เวลาประมวลผลมาก

- อัลกอริทึม Non-Interactive สามารถตัดสินใจได้ในทันทีว่าจะตอบรับการเรียกที่เข้ามาใหม่หรือไม่ เช่น CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของกำลังที่รับได้จะตอบรับการเรียกที่เข้ามาใหม่เมื่อกำลังที่รับได้ทั้งหมดที่สถานีฐานยังไม่เกินจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนด ซึ่งจะใช้เวลาประมวลผลน้อย

#### 2. อัลกอริทึม Distributed หรือ Non-Distributed

- อัลกอริทึม Distributed จะพิจารณาสถานะของสถานีฐานอื่นๆ ก่อนที่จะตอบรับการเรียกที่เข้ามาใหม่ ซึ่งจะใช้เวลาประมวลผลมาก

- ในอัลกอริทึม Non-Distributed การตอบรับการเรียกที่เข้ามาใหม่จะพิจารณาสถานะของสถานีฐานที่การเรียกใหม่จะเข้ามาเท่านั้น ซึ่งจะใช้เวลาประมวลผลน้อย

#### 3. อัลกอริทึม Predictive หรือ Non-Predictive

- อัลกอริทึม Predictive มีการทำนายเงื่อนไขของทราฟฟิกในอนาคต ซึ่งจะใช้เวลาประมวลผลมาก

- อัลกอริทึม Non-Predictive ไม่มีการทำนายเงื่อนไขของทราฟฟิกในอนาคต ซึ่งจะใช้เวลาประมวลผลน้อย

Ching Yao Huang [13] เสนอแนวความคิดว่า ระบบต้องการแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกสำหรับการร้องขอการเรียกที่เข้ามาใหม่ เพื่อให้การเรียกที่กำลังดำเนินอยู่ในระบบยังคงมีคุณภาพของการต่อ (Connection) ที่ยอมรับได้

CAC ที่พิจารณาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของกำลังที่ส่ง (Transmitted Power based Call Admission Control หรือ TPCAC) จะบล็อกการเรียกที่เข้ามาใหม่เมื่อเป็นผู้ใช้ที่ส่งด้วยกำลังที่มากที่สุด และจะตอบรับการเรียกถ้าการเรียกนั้นสามารถทำให้การเรียกที่กำลังดำเนินอยู่มีค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณแทรกสอด (Carrier to Interference Ratio หรือ CIR) ที่ยอมรับได้ CAC ชนิดนี้เป็นอัลกอริทึม Interactive ใช้เวลาประมวลผลมาก

2. CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของกำลังที่รับได้ (Received Power based Call Admission Control หรือ RPCAC) จะบล็อกการเรียกที่เข้ามาใหม่เมื่อกำลังที่รับได้ทั้งหมดที่สถานีฐานเกินจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนด CAC ชนิดนี้เป็นอัลกอริทึมแบบ Non-Interactive และ Non-Distributed ใช้เวลาประมวลผลน้อย มีการทำงานที่ไม่ซับซ้อน แต่ถ้าค่ากำลังที่รับได้ที่สถานีฐานแกว่งมากจะทำให้ CAC ชนิดนี้ทำงานได้ไม่ดีเท่าที่ควร

Ishikawa และ Umeda เสนอว่า CAC สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด [8] คือ

1. CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของจำนวนผู้ใช้ (User Number based CAC) จะบล็อกการเรียกที่เข้ามาใหม่ถ้าจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดในระบบเกินจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนด CAC ชนิดนี้เป็นอัลกอริทึม Non-Interactive ใช้เวลาประมวลผลน้อย ซึ่งจุดดีในส่วนนี้ได้นำไปกำหนดสถานะของจุดเริ่มเปลี่ยนในแบบแผนที่เสนอ

2. CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของระดับสัญญาณแทรกสอด (Interference based CAC) จะบล็อกการเรียกที่เข้ามาใหม่ถ้าระดับสัญญาณแทรกสอดเกินจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนด CAC ชนิดนี้เป็นอัลกอริทึม Interactive ใช้เวลาประมวลผลมาก รวมทั้งในระบบที่รองรับทราฟฟิกเสียงและข้อมูล สัญญาณแทรกสอดจากทราฟฟิกแต่ละชนิดจะมีผลต่อกันทำให้ระบบมีความซับซ้อนสูงเมื่อนำระดับสัญญาณแทรกสอดไปกำหนดสถานะจุดเริ่มเปลี่ยน

Hwa-Young Um และ Soon-Yong Lim [14] เสนอแนวความคิดว่า ในการส่งทราฟฟิกเสียงและข้อมูลผ่านระบบ CDMA ระบบจะมีความต้องการ QoS ที่แตกต่างกันสำหรับทราฟฟิกต่างชนิดกัน เช่น ทราฟฟิกเสียงต้องการความเป็นเวลาจริง แต่ทนต่อความผิดพลาดได้สูงถึง  $10^{-3}$  ในขณะที่ทราฟฟิกข้อมูลสามารถทนการประวิง (Delay) ได้ แต่ต้องการอัตราบิตผิดพลาด (Bit

Error Rate หรือ BER) ที่ต่ำ คือ  $10^{-5}$  อย่างไรก็ตาม ระบบจะต้องให้ลำดับความสำคัญแก่ทราฟฟิกเสียงมากกว่าทราฟฟิกข้อมูล [15, 16]

แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่อยู่บนพื้นฐานของคุณภาพของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลในระบบ CDMA กำหนดการตอบรับการร้องขอของการเรียกที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของ QoS และทรัพยากรโครงข่ายที่กำหนด ซึ่งระบบจะรับประกันว่าการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่ถูกตอบรับจะมี QoS ตามที่กำหนด และไม่ทำให้การเรียกของทราฟฟิกเสียงที่กำลังดำเนินอยู่ในระบบมีคุณภาพลดลง

แบบแผนที่ [14] เสนอ คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ (Variable Rate based CAC) และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง (Power Control based CAC) ซึ่งทั้ง 2 แบบแผนใช้กลไกของจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ 2 ค่า เพื่อให้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลมี QoS ตามที่กำหนด CAC ทั้ง 2 แบบแผนนี้เป็นอัลกอริทึม Non-Interactive และ Non-Distributed ใช้เวลาประมวลผลน้อย รวมทั้งมีการปรับอัตราข้อมูลและควบคุมกำลังของทราฟฟิกข้อมูล ทำให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกลดลง

Gunnar Holmgren [15] เสนอแนวความคิดว่า เมื่อระบบมีความคับคั่ง การตอบรับการเรียกจะทำให้สายเชื่อมโยงของการเรียกที่กำลังดำเนินอยู่ในระบบมีคุณภาพลดลงและเกิดการดรอปการเรียก สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก ซึ่งจะบล็อกการเรียกที่เข้ามาใหม่

CAC ที่พิจารณาสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของกำลังที่รับได้ (Received Power based Call Admission Control หรือ RPCAC) จะบล็อกการเรียกที่เข้ามาใหม่เมื่อกำลังที่รับได้ที่สถานีสถานสูงเกินไป CAC ชนิดนี้เป็นอัลกอริทึม Non-Interactive และ Non-Distributed ใช้เวลาประมวลผลน้อย มีการทำงานที่ไม่ซับซ้อน แต่ถ้าค่ากำลังที่รับได้ที่สถานีสถานสูงเกินไปจะทำให้ CAC ชนิดนี้ทำงานได้ไม่ดีเท่าที่ควร

2. CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการทำนาย (Predictive Call Admission Control หรือ PCAC) จะทำนายสถานการณ์ทราฟฟิกในอนาคตอันใกล้ในเทอมของแบนด์วิดท์สมมูล (Equivalent Bandwidth) และจะบล็อกการเรียกที่เข้ามาใหม่ถ้าความต้องการแบนด์วิดท์สมมูลและแบนด์วิดท์สมมูลที่ถูกใช้ไปสูงกว่าค่าที่ทำนาย CAC ชนิดนี้เป็นอัลกอริทึม Predictive ใช้เวลาประมวลผลมาก

3. CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของทราฟฟิกชั่วขณะและการทำนาย (Momentary and Predictive Call Admission Control หรือ MPCAC) เกิดจากการรวมกันระหว่าง RPCAC กับ

PCAC โดยอันดับแรก PCAC จะตรวจสอบเงื่อนไขโทรฟฟิกในอนาคตอันใกล้ว่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้หรือไม่ หลังจากนั้น RPCAC พิจารณาว่าจะตอบรับหรือบล็อกการเรียกที่เข้ามาใหม่ CAC ชนิดนี้เป็นอัลกอริทึม Non-Interactive Non-Distributed และ Predictive ใช้เวลาประมวลผลมาก เพราะต้องพิจารณาเงื่อนไขของการควบคุมการตอบรับการเรียกถึง 2 ขั้นตอน

### 1.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อนำแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกมาใช้ในระบบ CDMA ที่รองรับโทรฟฟิกเสียงและข้อมูลรวมกัน

เนื่องจากการส่งโทรฟฟิกเสียงและข้อมูลผ่านระบบ CDMA ระบบจะมีความต้องการ QoS ที่แตกต่างกันสำหรับโทรฟฟิกต่างชนิดกัน เช่น โทรฟฟิกเสียงต้องการความเป็นเวลาจริง แต่ทนต่อความผิดพลาดได้สูงถึง  $10^{-3}$  ในขณะที่โทรฟฟิกข้อมูลสามารถทนการประวิงได้ แต่ต้องการอัตราบิตผิดพลาดที่ต่ำ คือ  $10^{-5}$  ดังนั้นผู้ใช้โทรฟฟิกข้อมูลจะต้องมีระดับกำลังการส่งที่สูงกว่าผู้ใช้โทรฟฟิกเสียงเพื่อจะได้มีอัตราบิตผิดพลาดที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ระบบจะต้องให้ลำดับความสำคัญแก่โทรฟฟิกเสียงมากกว่าโทรฟฟิกข้อมูล ดังนั้นเมื่อนำแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้พิจารณาให้ลำดับความสำคัญแก่โทรฟฟิกเสียงมากกว่าโทรฟฟิกข้อมูลมาใช้ จะทำให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรฟฟิกเสียงมีค่าสูงขึ้น

### 1.4 แบบแผนที่มีผู้เสนอเพื่อแก้ปัญหาเมื่อนำแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกมาใช้ในระบบ CDMA ที่รองรับโทรฟฟิกเสียงและข้อมูลรวมกัน

ได้กล่าวในหัวข้อที่ 1.3 แล้วว่าแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้พิจารณาให้ลำดับความสำคัญแก่โทรฟฟิกเสียงมากกว่าโทรฟฟิกข้อมูล จะทำให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรฟฟิกเสียงมีค่าสูงขึ้น ดังนั้น Hwa-Young Um และ Soon-Yong Lim [14] ได้เสนอแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ (Variable Rate based CAC) และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง (Power Control based CAC) ซึ่งทั้ง 2 แบบแผนใช้กลไกของจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ 2 ค่า เพื่อให้โทรฟฟิกเสียงและข้อมูลมี QoS ตามที่กำหนด และเป็นการให้ลำดับความสำคัญแก่โทรฟฟิกเสียงมากกว่าโทรฟฟิกข้อมูล รวมทั้งมีการปรับอัตราข้อมูลหรือควบคุมกำลังของโทรฟฟิกข้อมูลซึ่งจะทำให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรฟฟิกเสียงลดลง อย่างไรก็ตามการปรับอัตราข้อมูลหรือควบคุมกำลังของโทรฟฟิกข้อมูลเพียงอย่างเดียวหนึ่ง ไม่น่าจะทำให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรฟฟิกเสียงลดลงมากนัก เมื่อเทียบกับกรณีที่มีทั้งการปรับอัตราข้อมูลและควบคุมกำลังของโทรฟฟิกข้อมูล หรือการปรับอัตราข้อมูลของโทรฟฟิกข้อมูล เมื่อมีการเพิ่ม

จุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด ที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เนื่องจากการปรับทั้งอัตราข้อมูลและควบคุมกำลังของทราฟฟิกข้อมูล หรือการปรับอัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูล เมื่อมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด เป็นการให้ลำดับความสำคัญแก่ทราฟฟิกเสียงมากขึ้น และลดลำดับความสำคัญของทราฟฟิกข้อมูลให้น้อยลงจากการปรับอัตราข้อมูลหรือควบคุมกำลังของทราฟฟิกข้อมูลเพียงอย่างเดียว โดยทราฟฟิกข้อมูลจะมีทั้งอัตราข้อมูลและกำลังที่ลดลง หรืออัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูลจะมีการปรับให้ลดลงหลายระดับมากขึ้นกว่าเดิม ซึ่งจะส่งผลให้แบนด์วิดท์ของระบบที่สามารถใช้สอยได้มีมากขึ้น จึงตอบรับการเรียกของทราฟฟิกเสียงได้มากขึ้น หรือมีค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงลดลงนั่นเอง

### 1.5 แนวคิดที่น่าเสนอ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และการควบคุมกำลัง และ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด

### 1.6 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อปรับปรุงแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่รับประกันคุณภาพของบริการ (QoS) ที่เข้ามาใหม่และยังคงทำให้ทราฟฟิกเสียงที่กำลังดำเนินอยู่ในระบบมีคุณภาพเช่นเดิมโดยการปรับอัตราข้อมูลและควบคุมกำลังของทราฟฟิกข้อมูล ซึ่งจะทำให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียก (Blocking Probability) ของทราฟฟิกเสียงลดลงรวมทั้งต้องการให้เวลาการประมวลผลน้อยลงจากแบบแผนที่มีผู้เสนอไว้แล้ว

### 1.7 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะปรับปรุงแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบ CDMA ที่รองรับทราฟฟิกเสียงและข้อมูลรวมกัน โดยจะใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด

พารามิเตอร์และสภาวะที่ใช้ในการจำลองแบบ ได้แก่

1. สมมติให้การมาถึงของการเรียกของทราฟฟิกเสียงและทราฟฟิกข้อมูลมีการแจกแจงแบบปัวส์ซง (Poisson) และมีการแจกแจงของตำแหน่งแบบยูนิฟอร์ม (แบบคาร์ทีเซียน) ในพื้นที่ครอบคลุม
2. เวลาขีตช่องสัญญาณ (Holding time) มีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 100 และ 200 วินาที สำหรับทราฟฟิกเสียงและทราฟฟิกข้อมูลตามลำดับ
3. อัตราข้อมูลของผู้ใช้ทราฟฟิกเสียง มีค่า 9.6 kbps
4. อัตราข้อมูลของผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูล มีค่า 9.6, 4.8, 2.4, 1.2 kbps
5. Voice Activity และ Data Activity มีค่า 0.375 และ 1 ตามลำดับ
6. อัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนสำหรับการเรียกของทราฟฟิกเสียง ( $E_{b,v}/N_0$ ) มีค่า 7 dB
7. อัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนสำหรับการเรียกของทราฟฟิกข้อมูล ( $E_{b,d}/N_0$ ) มีค่า 5, 10, 12 dB

### 1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถปรับปรุงสมรรถนะระบบ CDMA ให้สูงขึ้นโดยการรับประกัน QoS ของการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่มีอยู่และที่เข้ามาใหม่จากการใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่นำเสนอ รวมทั้งสามารถนำแบบแผนที่เสนอไปประยุกต์ใช้ในระบบจริงได้ นอกจากนั้นยังเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

### 1.9 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

1. ศึกษาองค์ประกอบต่าง ๆ และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกของระบบเซลลูลาร์ CDMA ตามมาตรฐาน IS-95
2. ศึกษาข้อดีและข้อเสียของแต่ละแบบแผนที่ผู้เสนอได้
3. เขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบแบบจำลองของระบบเซลลูลาร์ CDMA ตามมาตรฐาน IS-95 และแบบแผน CAC ใน [14] แล้วเก็บค่าทางสถิติเพื่อใช้อ้างอิงกับแบบแผนที่เสนอ
4. เขียนโปรแกรมตามแบบแผนที่เสนอ
5. ตรวจสอบและปรับปรุงแบบแผนที่เสนอ
6. ประเมินและสรุปผลการวิจัย
7. เขียนวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

## 1.10 ภาพรวมของวิทยานิพนธ์

สำหรับเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 5 บท คือ

บทที่ 1 บทนำ มีเนื้อหาเกี่ยวกับความเป็นมา ความรู้เบื้องต้นของระบบ CDMA ปัญหาที่เกิดขึ้นในการปรับปรุงแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่นำมาใช้ในระบบที่รองรับทราฟฟิกเสียงและข้อมูลรวมกัน แนวคิดในการแก้ปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และสุดท้ายขั้นตอนวิธีการดำเนินการ

บทที่ 2 แบบจำลองระบบ อธิบายถึงความหมายศัพท์ที่เกี่ยวข้องในการจำลองแบบเพื่อให้สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายและรวดเร็ว ผลกระทบของทราฟฟิกข้อมูลที่มีต่อทราฟฟิกเสียง ผลกระทบของทราฟฟิกเสียงที่มีต่อทราฟฟิกข้อมูล การจำลองแบบ และสุดท้ายกล่าวถึงอัลกอริทึมการทำงานของแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และอัลกอริทึมการทำงานของการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่นำเสนอ

บทที่ 3 การปรับปรุงแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงเหตุผลพร้อมทั้งแนวคิดในการปรับปรุงแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก

บทที่ 4 ผลการจำลองแบบ บทนี้แสดงถึงผลการวิจัยพร้อมทั้งการวิเคราะห์ผลที่ได้โดยเปรียบเทียบสมรรถนะด้วยค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียง, ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ, แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูล และการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลของแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง อัลกอริทึมการทำงานของการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่นำเสนอทั้ง 2 แบบแผน

ในบทสุดท้าย บทที่ 5 บทสรุป ทำการสรุปผลการวิจัย ความซับซ้อนของแบบแผนที่นำเสนอเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับทำการวิจัยต่อไปในอนาคต



## บทที่ 2

### แบบจำลองระบบ

บทนี้อธิบายความหมายศัพท์ที่เกี่ยวข้องในการจำลองแบบเพื่อสามารถทำความเข้าใจได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น และกล่าวถึงการจำลองแบบที่รองรับกราฟฟิกเสียงและข้อมูลรวมกันของระบบ CDMA โดยจะพิจารณาผลกระทบของกราฟฟิกข้อมูลที่มีต่อกราฟฟิกเสียง และผลกระทบของกราฟฟิกเสียงที่มีต่อกราฟฟิกข้อมูล และอธิบายถึงอัลกอริทึมการทำงานของแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลังและอัลกอริทึมการทำงานของกรตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่นำเสนอ

#### 2.1 นิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Voice Activity มีค่าเท่ากับ ช่วงเวลาที่มีการพูด / ช่วงเวลาที่พิจารณาทั้งหมด

2.1.2 Data Activity มีค่าเท่ากับ ช่วงเวลาที่มีการส่งข้อมูล / ช่วงเวลาที่พิจารณาทั้งหมด

2.1.3 ผู้ใช้กราฟฟิกเสียง (Voice User) หมายถึง ผู้ใช้ที่ทำการส่งกราฟฟิกเสียงที่อัตราข้อมูล 9600 bps

2.1.4 ผู้ใช้กราฟฟิกข้อมูล (Data User) หมายถึง ผู้ใช้ที่ทำการส่งกราฟฟิกข้อมูลที่อัตราข้อมูล 9600, 4800, 2400 หรือ 1200 bps

2.1.5 อัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนของกราฟฟิกเสียงและข้อมูล ( $\frac{E_b}{N_0}$ )

โดยที่  $E_b$  คือ พลังงานเฉลี่ยต่อบิต

$N_0$  คือ ความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวน

หมายเหตุ หลังจากนี้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเรียก  $\frac{E_b}{N_0}$  ว่ากำลังของกราฟฟิกเสียงและข้อมูล

2.1.6 ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียก (Blocking Probability) เกิดจากผู้ใช้โทรภาพฟีกเสียงไม่มีช่องสัญญาณที่จะส่งโทรภาพฟีก

## 2.2 แบบจำลองระบบ

เนื่องจากระบบ CDMA ที่พิจารณามีสถานีเคลื่อนที่ (Mobile Station หรือ MS) เป็นจำนวนมากสื่อสารกับสถานีฐาน 1 สถานี โดยสถานีเคลื่อนที่ที่สามารถร้องขอการเรียกที่เป็นโทรภาพฟีกเสียงและข้อมูลซึ่งต้องการ QoS ที่ต่างกัน ด้วยเหตุนี้จึงต้องแสดงพลังงานเฉลี่ยต่อบิตของแต่ละบิตในแพ็กเกต (Packet) ด้วย  $E_{b,v}$  และ  $E_{b,d}$  สำหรับโทรภาพฟีกเสียงและข้อมูลตามลำดับ เป็นผลให้ต้องศึกษาผลกระทบของโทรภาพฟีกข้อมูลที่มีต่อโทรภาพฟีกเสียง และผลกระทบของโทรภาพฟีกเสียงที่มีต่อโทรภาพฟีกข้อมูล [14]

### 2.2.1 ผลกระทบของโทรภาพฟีกข้อมูลที่มีต่อโทรภาพฟีกเสียง

เราจะพิจารณาค่าอัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนรวมกับพลังงานของสัญญาณแทรกสอดสำหรับผู้ใช้ที่เป็นโทรภาพฟีกเสียงที่พิจารณา โดยมีจำนวนผู้ใช้ที่เป็นโทรภาพฟีกเสียงที่กำลังดำเนินอยู่ในระบบ เท่ากับ  $N_v$  และจำนวนผู้ใช้อื่นที่เป็นโทรภาพฟีกข้อมูลที่มาแทรกสอด เท่ากับ  $N_d$  ดังนั้นกำลังที่รับได้ที่สถานีฐานทั้งหมด (C) เป็นไปตามสมการที่ (2-1)

$$C = N_0W + \sum_{i=1}^{N_v} V_i P_{v,i} + \sum_{i=1}^{N_d} E[R_{d,i}] P_{d,i} \quad (2-1)$$

เมื่อ  $W$  คือ แบนด์วิดท์

$N_0W$  คือ กำลังสัญญาณรบกวนในแบนด์วิดท์  $W$

$V_i$  คือ Voice Activity ของผู้ใช้โทรภาพฟีกเสียงคนที่  $i$

$P_{v,i}$  คือ กำลังที่รับได้ที่สถานีฐานจากผู้ใช้โทรภาพฟีกเสียงคนที่  $i$

$P_{d,i}$  คือ กำลังที่รับได้ที่สถานีฐานจากผู้ใช้โทรภาพฟีกข้อมูลคนที่  $i$

$R_{d,i}$  คือ อัตราข้อมูลของผู้ใช้โทรภาพฟีกข้อมูลคนที่  $i$

$E[R_{d,i}]$  คือ ค่าเฉลี่ยของอัตราข้อมูลของผู้ใช้โทรภาพฟีกข้อมูลคนที่  $i$

อัตราส่วนกำลังที่รับได้ต่อกำลังของสัญญาณรบกวน ( $Z$ ) มีค่าดังสมการที่ (2-2)

$$Z = \frac{C}{N_0W} = 1 + \sum_{i=1}^{N_v} V_i \frac{P_{v,i}}{N_0W} + \sum_{i=1}^{N_d} \frac{E[R_{d,i}] P_{d,i}}{N_0W} \quad (2-2)$$

นอกจากนี้อัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนรวมกับพลังงานของสัญญาณแทรกสอดสำหรับผู้ใช้ที่เป็นทราฟฟิกเสียงที่พิจารณา สามารถหาได้จากสมการที่ (2-3)

$$\left( \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_v = \frac{\frac{E_{b,v0}}{N_0}}{1 + \frac{1}{G_v} \sum_{i=1}^{N_v-1} \alpha_{v,i} \frac{E_{b,vi}}{N_0} + \frac{1}{G_d} \sum_{i=1}^{N_d} \alpha_{d,i} \frac{E_{b,di}}{N_0} + I_{other-cell}} \quad (2-3)$$

เมื่อ  $I_0$  คือ การแทรกสอดทั้งหมด

$I_{other-cell}$  คือ การแทรกสอดที่มาจากเซลล์อื่น

$$G_v = W/E[R_v]$$

$$G_d = W/E[R_d]$$

$E_{b,v0}$  คือ พลังงานเฉลี่ยต่อบิตของผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงคนที่กำลังพิจารณา

$E_{b,vi}$  คือ พลังงานเฉลี่ยต่อบิตของผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงคนที่  $i$

$E_{b,di}$  คือ พลังงานเฉลี่ยต่อบิตของผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลคนที่  $i$

$\alpha_{v,i}$  คือ Voice Activity ของผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงคนที่  $i$

$\alpha_{d,i}$  คือ Data Activity ของผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลคนที่  $i$

สมมติให้มีการควบคุมกำลังอย่างสมบูรณ์ จึงสามารถละพจน์  $I_{other-cell}$  และทำให้พลังงานเฉลี่ยต่อบิตของผู้ใช้แต่ละคนสำหรับทราฟฟิกแต่ละชนิดมีค่าเท่ากัน ทำให้สมการที่ (2-3) อยู่ในรูปสมการที่ (2-4)

$$\left( \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_v = \frac{\frac{E_{b,v}}{N_0}}{1 + \frac{1}{G_v} \alpha_v \frac{E_{b,v}}{N_0} (N_v - 1) + \frac{1}{G_d} \alpha_d \frac{E_{b,d}}{N_0} N_d} \quad (2-4)$$

จากสมการที่ (2-4) สรุปได้ว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อมีจำนวนผู้ใช้ที่เป็นทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่กำลังดำเนินอยู่ในระบบมากขึ้น จะทำให้อัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนรวมกับพลังงานของสัญญาณแทรกสอดสำหรับผู้ใช้ที่เป็นทราฟฟิกเสียงที่พิจารณามีค่าลดลง

### 2.2.2 ผลกระทบของทราฟฟิกเสียงที่มีต่อทราฟฟิกข้อมูล

เราจะพิจารณาค่าอัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนรวมกับพลังงานของสัญญาณแทรกสอดสำหรับผู้ใช้ที่เป็นทราฟฟิกข้อมูลที่พิจารณา โดยมีจำนวนผู้ใช้ที่เป็นทราฟฟิกข้อมูลที่กำลังดำเนินอยู่ในระบบ เท่ากับ  $N_d$  และ

จำนวนผู้ใช้คนอื่นที่รับได้ต่อกำลังของสัญญาณรบกวน เท่ากับ  $N_v$  ดังนั้นกำลังที่รับได้ที่สถานีฐานทั้งหมด ( $C$ ) เป็นไปตามสมการที่ (2-5)

$$C = N_0W + \sum_{i=1}^{N_v} v_i P_{v,i} + \sum_{i=1}^{N_d} E[R_{d,i}] P_{d,i} \quad (2-5)$$

อัตราส่วนกำลังที่รับได้ต่อกำลังของสัญญาณรบกวน ( $Z$ ) มีค่าดังสมการที่ (2-6)

$$Z = \frac{C}{N_0W} = 1 + \sum_{i=1}^{N_v} v_i \frac{P_{v,i}}{N_0W} + \sum_{i=1}^{N_d} \frac{E[R_{d,i}] P_{d,i}}{N_0W} \quad (2-6)$$

นอกจากนี้อัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนรวมกับพลังงานของสัญญาณแทรกสอดสำหรับผู้ที่ใช้ที่เป็นทราฟฟิกข้อมูลที่พิจารณา สามารถหาได้จากสมการที่ (2-7)

$$\left( \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_d = \frac{\frac{E_{b,d0}}{N_0}}{1 + \frac{1}{G_v} \sum_{i=1}^{N_v} \alpha_{v,i} \frac{E_{b,vi}}{N_0} + \frac{1}{G_d} \sum_{i=1}^{N_d-1} \alpha_{d,i} \frac{E_{b,di}}{N_0} + I_{other-cell}} \quad (2-7)$$

สมมติให้มีการควบคุมกำลังอย่างสมบูรณ์ จึงสามารถละพจน์  $I_{other-cell}$  และทำให้พลังงานเฉลี่ยต่อบิตของผู้ใช้แต่ละคนสำหรับทราฟฟิกแต่ละชนิดมีค่าเท่ากัน ทำให้สมการที่ (2-7) อยู่ในรูปสมการที่ (2-8)

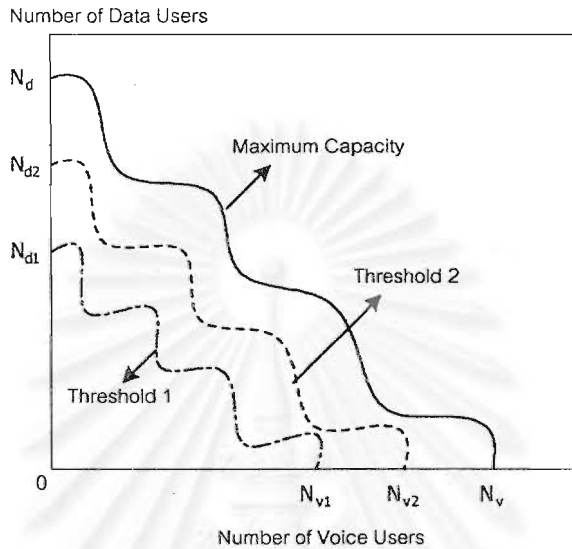
$$\left( \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_d = \frac{\frac{E_{b,d}}{N_0}}{1 + \frac{1}{G_v} \alpha_v \frac{E_{b,v}}{N_0} N_v + \frac{1}{G_d} \alpha_d \frac{E_{b,d}}{N_0} (N_d - 1)} \quad (2-8)$$

จากสมการที่ (2-8) สรุปได้ว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อมีจำนวนผู้ใช้ที่เป็นทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่กำลังดำเนินอยู่ในระบบมากขึ้น จะทำให้อัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนรวมกับพลังงานของสัญญาณแทรกสอดสำหรับผู้ที่ใช้ที่เป็นทราฟฟิกข้อมูลที่พิจารณามีค่าลดลง

### 2.3 แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก (CAC) [14]

แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก [14] มีการตั้งจุดเริ่มเปลี่ยน (กำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความจุที่มากที่สุดของระบบ) สำหรับทราฟฟิกเสียงและทราฟฟิกข้อมูลเพื่อให้ได้ค่า QoS ที่ต้องการตามชนิดของทราฟฟิก โดยจุดมุ่งหมายของจุดเริ่มเปลี่ยน คือเพื่อให้แน่ใจว่าผู้ใช้ในระบบมีค่า QoS ตามที่กำหนดและลดความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงซึ่งเป็นการให้ลำดับความสำคัญแก่การเรียกของทราฟฟิกเสียง คือเมื่อระบบเกินจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 (New-Call Threshold) จะอนุญาตให้การเรียกของทราฟฟิกเสียงเท่านั้นที่เข้าสู่ระบบ ส่วนการ

เรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่จะถูกปฏิเสธ จุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ถูกกำหนดตามคุณลักษณะของโครงข่ายนั้น ๆ โดยจะมีค่าไม่เกินความจุที่มากที่สุดของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

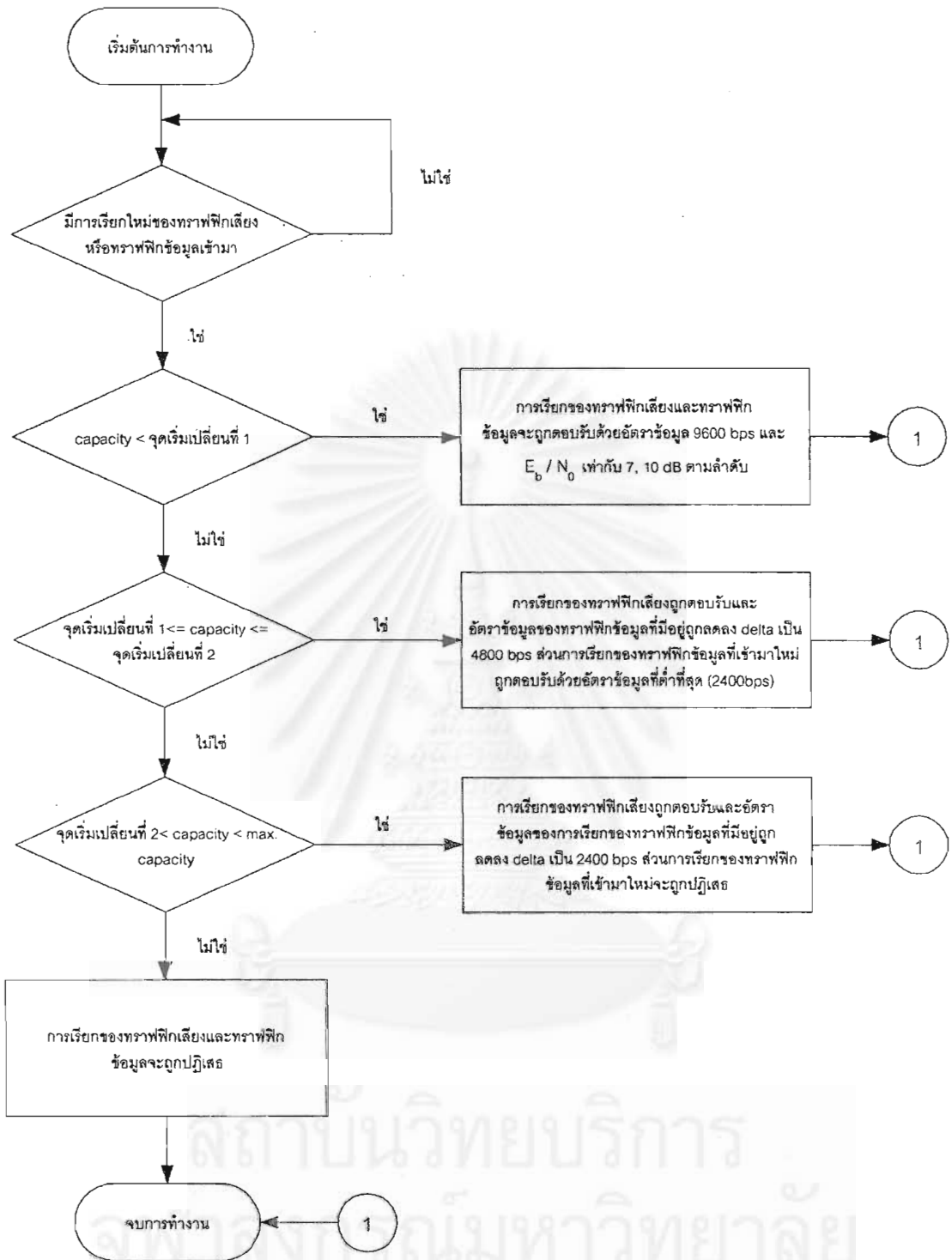


รูปที่ 2.1 จุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2 ของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก

### 2.3.1 แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ (Variable Rate based CAC)

จุดมุ่งหมายของจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 คือเพื่อให้แน่ใจว่าผู้ใช้โทรภาพฟิกเสียงในระบบมีค่า QoS ตามที่กำหนดโดยการลดอัตราข้อมูลของโทรภาพฟิกข้อมูลเมื่อสถานะของระบบเกินจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และจุดมุ่งหมายของจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 คือลดความน่าจะเป็นของการบล็อกรการเรียกของโทรภาพฟิกเสียง ซึ่งเป็นการให้ลำดับความสำคัญแก่การเรียกของโทรภาพฟิกเสียงโดยปฏิเสธการเรียกของโทรภาพฟิกข้อมูลเมื่อความจุของระบบเกือบเต็ม

การทำงานของแบบแผนนี้สรุปได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 อัลกอริทึมการทำงานของแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้

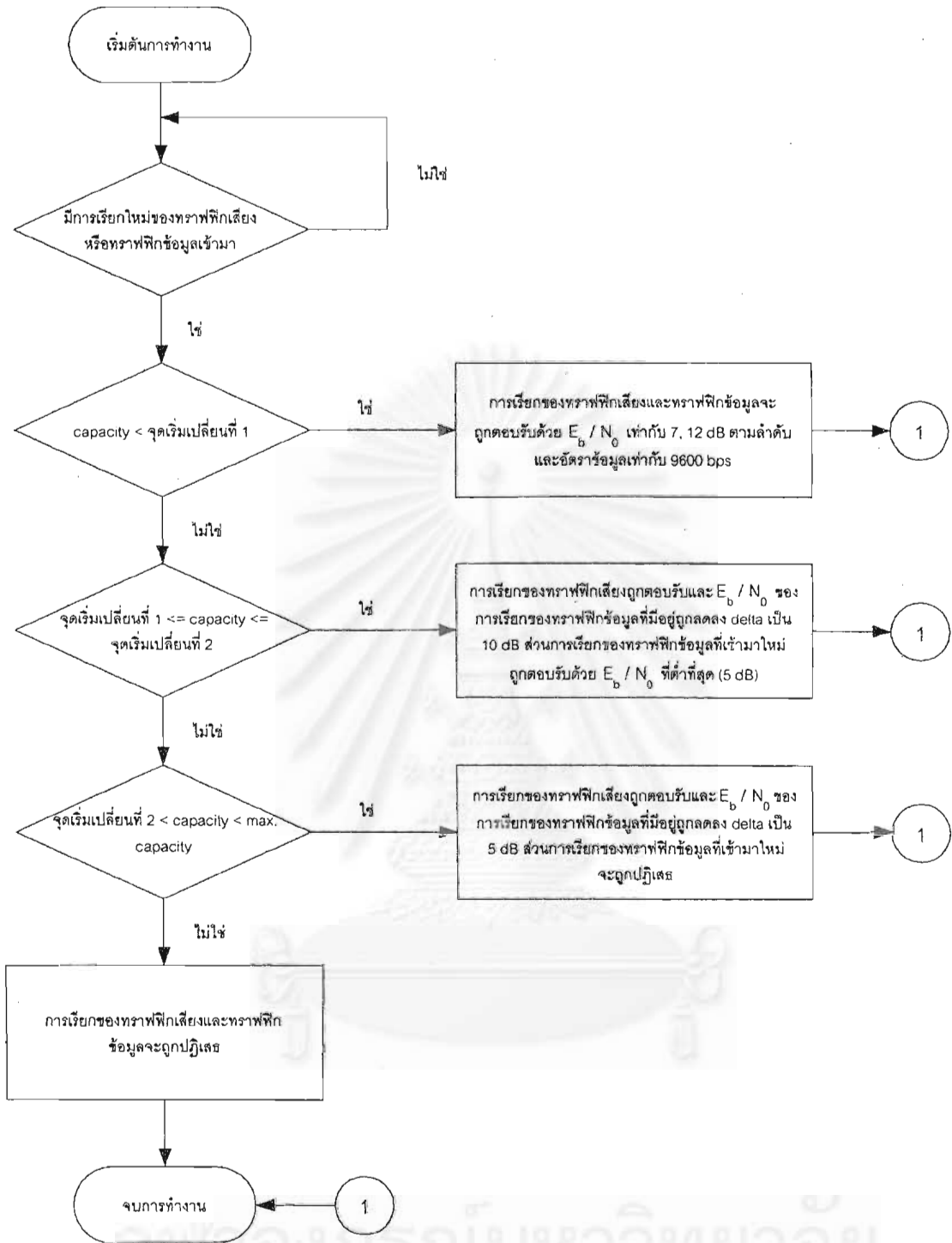
### 2.3.2 แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง (Power Control based CAC)

จุดมุ่งหมายของจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 คือเพื่อให้แน่ใจว่าสมรรถนะของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบมีค่า QoS ตามที่กำหนดโดยการลดกำลังของโทรศัพท์ข้อมูล ( $E_{b,d}/N_0$ ) เมื่อสถานะของระบบเกินจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และจุดมุ่งหมายของจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 คือลดความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งเป็นการให้ลำดับความสำคัญแก่การเรียกของโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยปฏิเสธการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลเมื่อความจุของระบบเกือบเต็ม

การทำงานของแบบแผนนี้สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.3

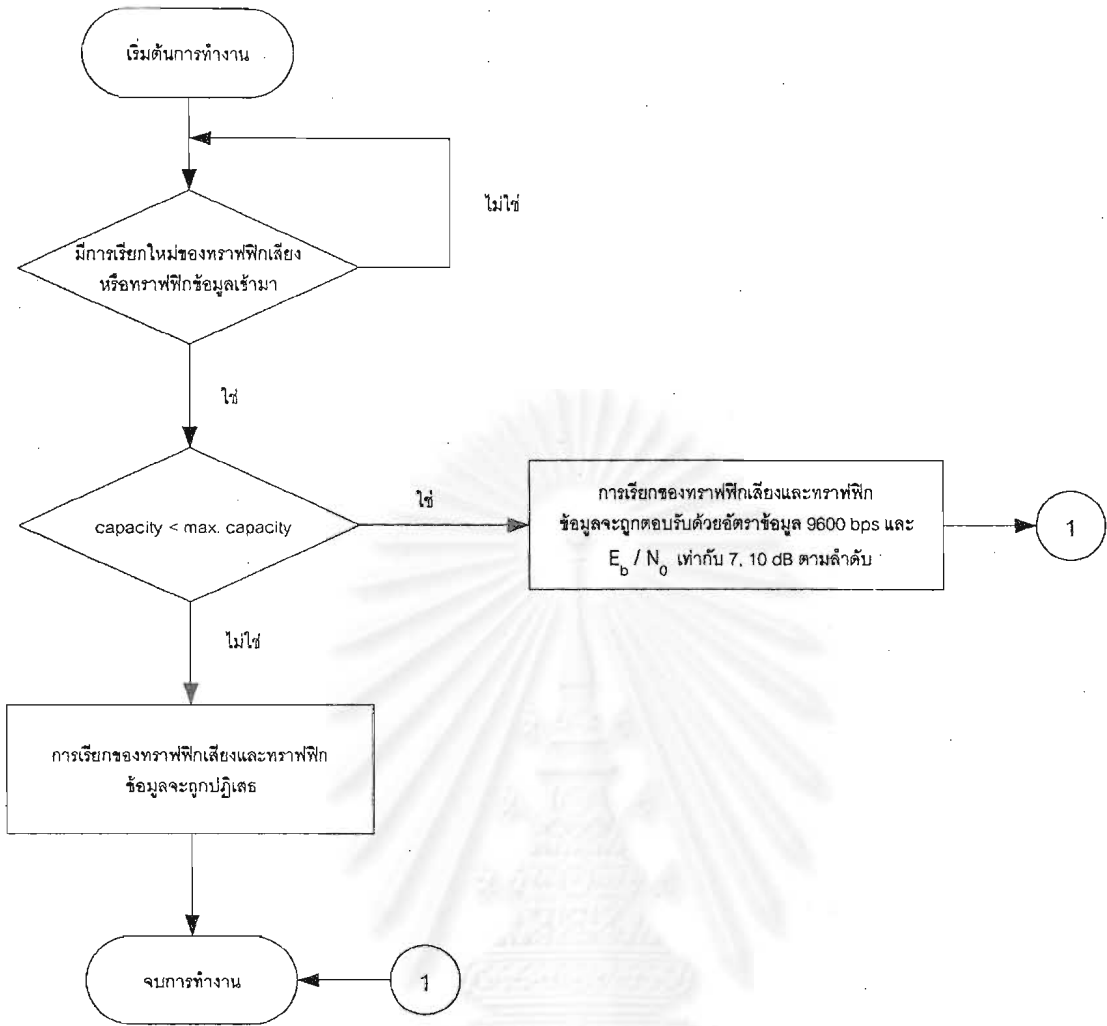
### 2.4 การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก

การทำงานของการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 อัลกอริทึมการทำงานของแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง





รูปที่ 2.4 อัลกอริทึมการทำงานของ การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับ การเรียก

### บทที่ 3

#### การปรับปรุงแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก

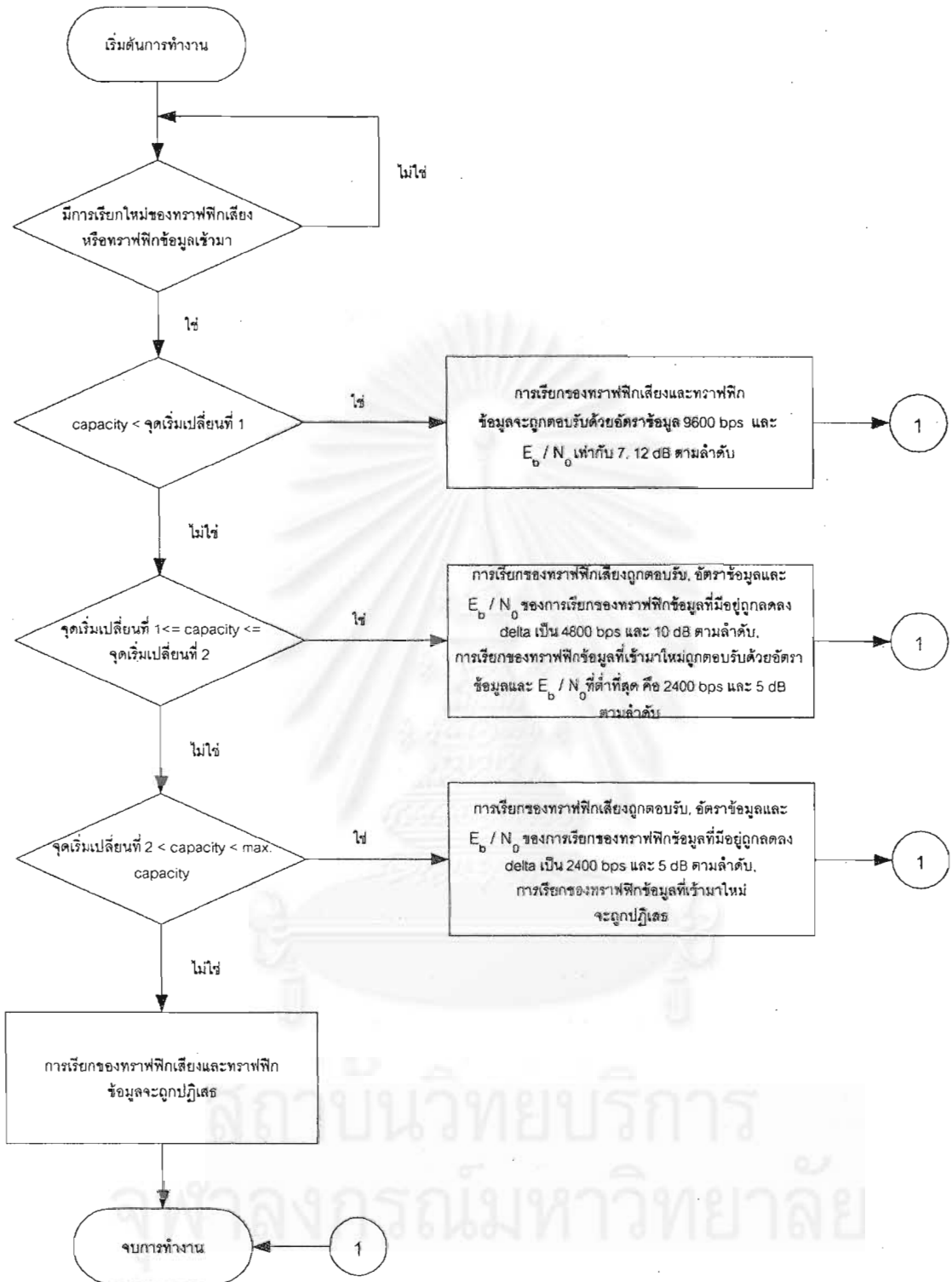
เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงแบบแผนที่นำเสนอ 2 แบบแผนด้วยกัน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด

##### 3.1 แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง

จุดมุ่งหมายของจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 คือเพื่อให้แน่ใจว่าผู้ใช้โทรศัพท์เสี่ยงในระบบมีค่า QoS ตามที่กำหนดโดยการลดอัตราข้อมูลและกำลังของโทรศัพท์ข้อมูลเมื่อสถานะของระบบเกินจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และจุดมุ่งหมายของจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 คือลดความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสี่ยงซึ่งเป็นการให้ลำดับความสำคัญแก่การเรียกของโทรศัพท์เสี่ยงโดยปฏิเสธการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลเมื่อความจุของระบบเกือบเต็ม CAC แบบแผนนี้เป็นอัลกอริทึม Non-Interactive, Non-Distributed และ Non-Predictive ซึ่งจะใช้เวลาประมวลผลน้อยกว่าอัลกอริทึม Interactive, Distributed และ Predictive ในแบบแผนที่มีผู้เสนอไว้แล้ว รวมทั้งมีการทำงานที่ไม่ซับซ้อน

เหตุผลที่เสนอแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง เนื่องจากคาดว่าจะทำให้ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสี่ยงลดลงจากแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง ทั้งนี้เนื่องมาจากได้มีการให้ลำดับความสำคัญแก่โทรศัพท์เสี่ยงมากขึ้น และลดลำดับความสำคัญของโทรศัพท์ข้อมูลให้น้อยลงจากการปรับอัตราข้อมูลหรือควบคุมกำลังของโทรศัพท์ข้อมูลเพียงอย่างเดียวใดอย่างหนึ่ง โดยโทรศัพท์ข้อมูลจะมีการปรับทั้งอัตราข้อมูลและกำลังให้ลดลง ซึ่งจะทำให้ความจุของระบบรองรับการเรียกได้มากขึ้น เนื่องจากมีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้มากขึ้น จึงน่าจะส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสี่ยงลดต่ำลง

การทำงานของแบบแผนนี้สรุปได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 อัลกอริทึมการทำงานของแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1))

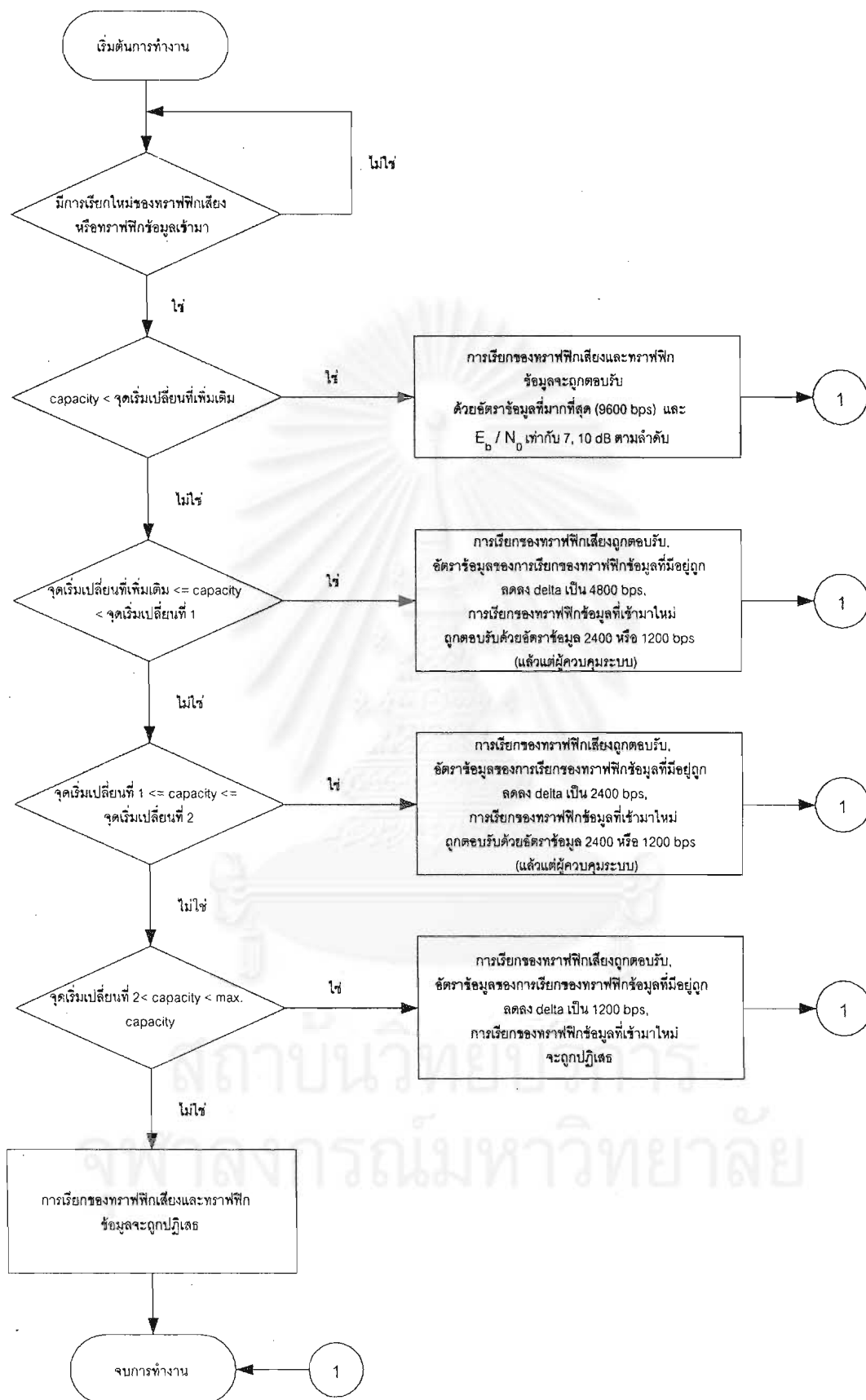
### 3.2 แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด

จุดมุ่งหมายของจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม (สามารถแปรค่าเพื่อหาจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดในช่วง 0-79%) คือเพื่อให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสียงที่เข้ามาใหม่มีค่าลดลงโดยการลดอัตราข้อมูลของโทรศัพท์ข้อมูลเมื่อสถานะของระบบเกินค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม และจุดมุ่งหมายของจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 คือเพื่อให้แน่ใจว่าผู้ใช้โทรศัพท์เสียงในระบบมีค่า QoS ตามที่กำหนดโดยการลดอัตราข้อมูลของโทรศัพท์ข้อมูลเมื่อสถานะของระบบเกินค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 ส่วนจุดมุ่งหมายของจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 คือลดความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสียง ซึ่งเป็นการให้ลำดับความสำคัญแก่การเรียกของโทรศัพท์เสียงโดยปฏิเสธการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลเมื่อความจุของระบบเกือบเต็ม CAC แบบแผนนี้เป็นอัลกอริทึม Non-Interactive, Non-Distributed และ Non-Predictive ซึ่งจะใช้เวลาประมวลผลน้อยกว่าอัลกอริทึม Interactive, Distributed และ Predictive ในแบบแผนที่มีผู้เสนอไว้แล้ว รวมทั้งมีการทำงานที่ไม่ซับซ้อน

เหตุผลที่เสนอแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด เนื่องจากคาดว่าจะทำให้ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสียงลดลงจากแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากแบบแผนที่เสนอนี้มีการลดอัตราข้อมูลของการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูล 3 ชั้น คือ จาก 9600 เป็น 4800, 4800 เป็น 2400 และ 2400 เป็น 1200 bps ตามลำดับ ทำให้แบนด์วิธของระบบที่สามารถใช้สอยได้มีมากกว่ากรณีของการใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ ซึ่งมีการลดอัตราข้อมูลเพียง 2 ชั้น คือ จาก 9600 เป็น 4800 และ 4800 เป็น 2400 bps ตามลำดับ เพราะในแบบแผนที่เสนอ โทรศัพท์ข้อมูลจะใช้แบนด์วิธของระบบน้อยลงส่งผลให้แบนด์วิธของระบบที่สามารถใช้สอยได้มีมากกว่า จึงทำให้การเรียกของโทรศัพท์เสียงมีค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกที่ต่ำกว่านั่นเอง

การทำงานของแบบแผนนี้สรุปได้ดังรูปที่ 3.2

ในรูปที่ 3.2 เมื่อความจุของระบบมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม แต่น้อยกว่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 การเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลที่เข้ามาใหม่จะถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 หรือ 1200 bps เพียงค่าใดค่าหนึ่งแล้วแต่ผู้ควบคุมระบบ และเมื่อความจุของระบบมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 การเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลที่เข้ามาใหม่จะถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูลค่าเดียวกับค่าข้างต้นที่ผู้ควบคุมระบบได้เลือกไว้



รูปที่ 3.2 อัลกอริทึมการทำงานของแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด (แบบแผนที่เสนอ (2))

## บทที่ 4

### ผลการจำลองแบบ

บทนี้แบ่งออกเป็นหัวข้อใหญ่ 3 หัวข้อ คือ หัวข้อแรก อธิบายพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองแบบ หัวข้อที่สองกล่าวถึงสมมติฐานที่ใช้ในการจำลองแบบสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ และหัวข้อสุดท้ายเปรียบเทียบผลของความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียก (Blocking Probability) กับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ (Channel Usage Efficiency) ซึ่งพิจารณาจากจำนวนผู้ใช้ที่เป็นกราฟฟิกเสียงและข้อมูลรวมทั้งหมดที่ระบบสามารถรองรับได้ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้กราฟฟิกเสียงและข้อมูล และการประวิง (Delay) ของกราฟฟิกข้อมูล โดยเทียบกับความเข้มของกราฟฟิกของผู้ใช้เสียงและข้อมูลรวมกัน (พิจารณาเป็นเออร์แลง (Erlang) ของกราฟฟิกของผู้ใช้เสียงและข้อมูลรวมกัน) พร้อมทั้งวิเคราะห์และสรุปผลในแต่ละการจำลองแบบ

#### 4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบแต่ละกรณี

4.1.1 อัตราส่วนพลังงานเฉลี่ยต่อบิตต่อความหนาแน่นสเปกตรัมกำลังของสัญญาณรบกวนสำหรับการเรียกของกราฟฟิกเสียงและกราฟฟิกข้อมูล ( $E_{b,v}/N_0$ ) และ ( $E_{b,d}/N_0$ )

สำหรับค่า  $\frac{E_b}{N_0}$  ที่ใช้ในการจำลองแบบ หมายถึง ค่า  $\frac{E_b}{N_0 + I_0}$  เพราะสัญญาณแทรกสอดที่พิจารณาเกิดจากผู้ที่ใช้ที่เป็นกราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่อยู่ในเซลล์เท่านั้น ในวิทยานิพนธ์นี้จะเรียก  $\frac{E_b}{N_0}$  ว่ากำลังของกราฟฟิกเสียงและข้อมูล ซึ่งมีนิยามดังสมการที่ (4-1) และ

(4-2) ตามลำดับ

$$\left( \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_v = \frac{\frac{E_{b,v}}{N_0}}{1 + \frac{1}{G_v} \alpha_v \frac{E_{b,v}}{N_0} (N_v - 1) + \frac{1}{G_d} \alpha_d \frac{E_{b,d}}{N_0} N_d} \quad (4-1)$$

$$\left( \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_d = \frac{\frac{E_{b,d}}{N_0}}{1 + \frac{1}{G_v} \alpha_v \frac{E_{b,v}}{N_0} N_v + \frac{1}{G_d} \alpha_d \frac{E_{b,d}}{N_0} (N_d - 1)} \quad (4-2)$$

การจำลองแบบในวิทยานิพนธ์นี้ ได้สมมติให้การควบคุมกำลัง (Power Control) เป็นแบบสมบูรณ์ เพราะฉะนั้น  $E_b/N_0$  มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง จึงไม่ได้มีการแสดงการเปรียบเทียบในผลการจำลองแบบ

#### 4.1.2 ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียก (Blocking Probability)

โดยทั่วไปค่าที่ใช้ประเมินสมรรถนะของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่พิจารณา คือ ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียก ซึ่งเกิดจากผู้โทรฟฟีกเสียงไม่มีช่องสัญญาณที่จะส่งโทรฟฟีก

#### 4.1.3 ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ (Channel Usage Efficiency)

พิจารณาจากจำนวนผู้ใช้โทรฟฟีกเสียงและข้อมูลรวมทั้งหมดที่ระบบสามารถรองรับได้

#### 4.1.4 แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้โทรฟฟีกเสียงและข้อมูล

พิจารณาจากแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้โทรฟฟีกเสียงและข้อมูลรวมทั้งหมด

#### 4.1.5 การประวิง (Delay) ของโทรฟฟีกข้อมูล

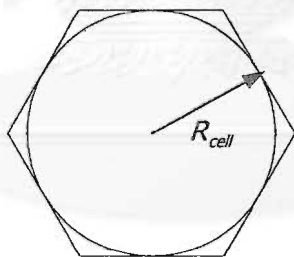
พิจารณาจากเวลาที่โทรฟฟีกข้อมูลทั้งหมดต้องใช้เพิ่มขึ้นจากกรณีส่งด้วยอัตราข้อมูล 9600 bps โดยการคำนวณจะพิจารณาปริมาณโทรฟฟีกข้อมูลทั้งหมดหักออกด้วยปริมาณโทรฟฟีกข้อมูลที่ส่งได้ (อัตราข้อมูล x เวลา 1 รอบ) ในแต่ละรอบของการประมวลผลในการจำลองแบบ (ช่วงห่างระหว่างการเรียกที่เข้ามาใหม่) แล้วทำการบวกเวลาทั้งหมดที่โทรฟฟีกข้อมูลนั้นใช้ในการส่ง ลบกับเวลาที่ใช้ในการส่งปริมาณโทรฟฟีกข้อมูลทั้งหมดด้วยอัตราข้อมูล 9600 bps ของผู้ใช้โทรฟฟีกข้อมูลทั้งหมด แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของผู้ใช้โทรฟฟีกข้อมูลทั้งหมดก็จะได้การประวิงของโทรฟฟีกข้อมูล

## 4.2 สมมติฐานในการจำลองแบบ

ขอบเขตของการจำลองแบบในวิทยานิพนธ์นี้ พิจารณาให้พื้นที่ครอบคลุมที่ใช้มีสถานีฐานแบบรอบทิศทาง (Omni-Directional BS) จำนวน 1 สถานี ที่มีรัศมีของเซลล์ ( $R_{cell}$ ) เท่ากับ 3000 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1 สมมติให้

1. จำนวนช่องสัญญาณทราฟฟิกมี 70 ช่องต่อเซลล์
2. การควบคุมกำลัง (Power Control) เป็นแบบสมบูรณ์
3. ไม่คิดเฟดดิ้งแบบเรย์ลี (Rayleigh Fading)
4. ความจุช่องสัญญาณมีค่า 1.25 Mbps
5. จุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 (จุดเริ่มต้นของการควบคุมการตอบรับการเรียก) มีค่า 80%
6. จุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 (จุดเริ่มต้นอันดับที่ 2 ของการควบคุมการตอบรับการเรียก) มีค่า 90%
7.  $\Delta$  (แฟกเตอร์การลด) มีค่า 50%
8. จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม จะแปรค่าเพื่อหาจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดในช่วง 0-79%

การสมมติข้างต้นเนื่องจากการประเมินสมรรถนะของแบบแผนที่เสนอโดยตรง ไม่มีผลกระทบจากการควบคุมกำลังและเฟดดิ้งแบบเรย์ลี



รูปที่ 4.1 แบบจำลองของสถานีฐานจำนวน 1 สถานี

### แบบจำลองการแพร่กระจายสัญญาณ (Propagation model)

เมื่อสถานีเคลื่อนที่อยู่ห่างจาก BS เป็นระยะทาง  $r$  เมตร การลดทอนในวิถี  $\alpha$  คำนวณได้จากสมการที่ (4-3) [10]

$$\alpha(r, \zeta) = r^\mu 10^{\zeta/10} \quad (4-3)$$

โดยที่  $\zeta$  เป็นการลดทอนเนื่องจากการบัง (shadowing) มีหน่วยเป็นเดซิเบล ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) เท่ากับ 8 เดซิเบล และ  $\mu$  เป็น Path Loss Exponent มีค่าเท่ากับ 4 ในสภาวะแวดล้อมที่เป็น Suburban



### 4.3 ผลการจำลองแบบ

#### 4.3.1 แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1))

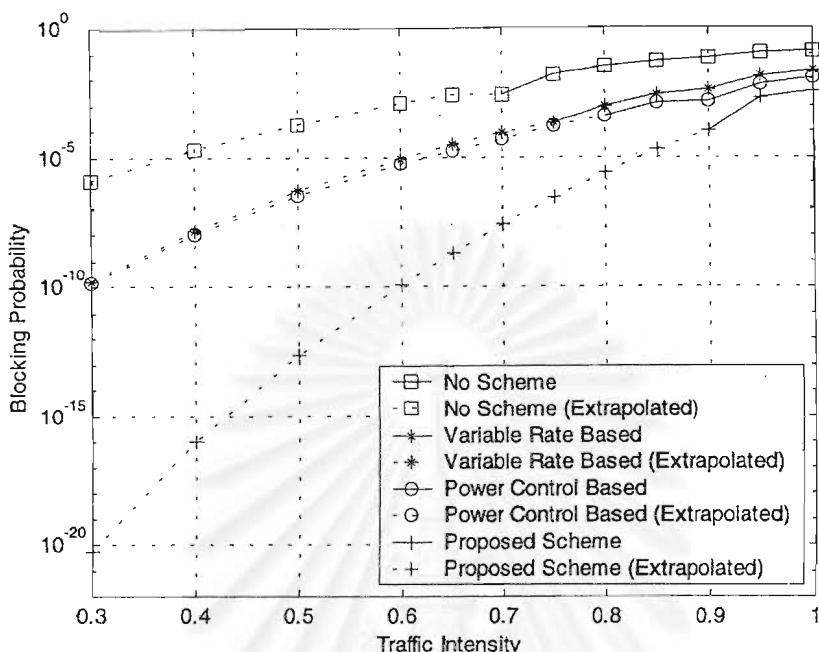
##### 4.3.1.1 ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสี่ยงที่ความเข้มโทรศัพท์ต่าง ๆ

รูปที่ 4.2 แสดงค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสี่ยงที่ความเข้มโทรศัพท์ต่าง ๆ และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)) ผลที่ได้พบว่าแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1) มีค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสี่ยงที่ความเข้มโทรศัพท์ต่าง ๆ ต่ำกว่าการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก เนื่องจากการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก ไม่ได้พิจารณาให้ลำดับความสำคัญแก่โทรศัพท์เสี่ยงมากกว่าโทรศัพท์ข้อมูล ในขณะที่แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลังและแบบแผนที่เสนอ (1) ซึ่งทั้ง 3 แบบแผนนี้ใช้กลไกของจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ 2 ค่า เพื่อให้โทรศัพท์เสี่ยงและข้อมูลมี QoS ตามที่กำหนด และเป็นการให้ลำดับความสำคัญแก่โทรศัพท์เสี่ยงมากกว่าโทรศัพท์ข้อมูล โดยแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง จะมีการปรับอัตราข้อมูลหรือควบคุมกำลังของโทรศัพท์ข้อมูลตามลำดับ ซึ่งจะทำให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสี่ยงลดลง อย่างไรก็ตามแบบแผนที่เสนอ (1) มีค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสี่ยงต่ำที่สุด เนื่องจากมีการให้ลำดับความสำคัญแก่โทรศัพท์เสี่ยงมากขึ้น และลดลำดับความสำคัญของโทรศัพท์ข้อมูลให้น้อยลงจากการปรับอัตราข้อมูลหรือควบคุมกำลังของโทรศัพท์ข้อมูลเพียงอย่างเดียว โดยโทรศัพท์ข้อมูลจะมีการปรับทั้งอัตราข้อมูลและกำลังให้ลดลง ซึ่งจะทำให้ความจุของระบบรองรับการเรียกได้มากขึ้น เนื่องจากมีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสี่ยงลดต่ำลง

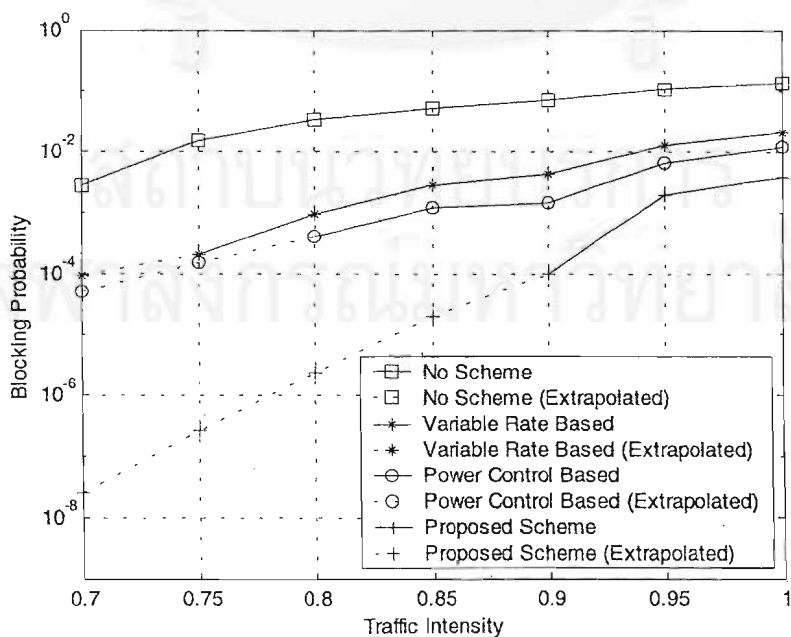
จากรูปที่ 4.2 กราฟส่วนที่เป็นเส้นประได้จากวิธีการ Extrapolation เพราะการจำลองแบบจะใช้เวลานานมาก

รูปที่ 4.3 พิจารณากรณีที่ความเข้มโทรศัพท์สูง ๆ พบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) มีค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสี่ยงต่ำกว่าแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของ

อัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลังเกือบ 10 เท่า และต่ำกว่าการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกเกือบ 100 เท่า



รูปที่ 4.2 ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสี่ยงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1)



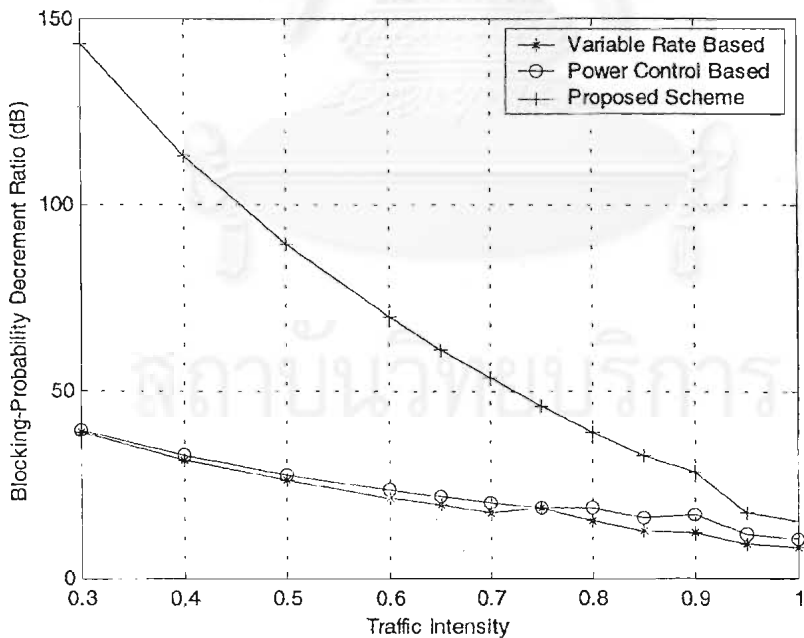
รูปที่ 4.3 ส่วนขยายในช่วงความเข้มทราฟฟิก 0.7-1 ของกราฟรูปที่ 4.2

#### 4.3.1.1.1 วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ

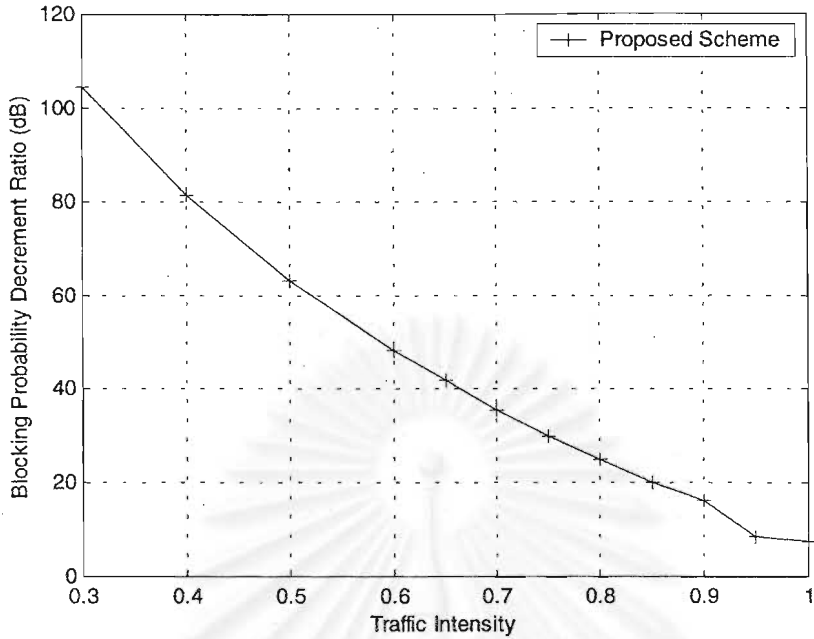
จากผลการจำลองแบบกรณีทีวัดค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน สามารถวิเคราะห์อัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงเมื่อใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก ดังรูปที่ 4.4 และแบบแผนที่เสนอ (1) เทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) ให้อัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงมากที่สุด รองลงมาเป็นแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ ตามลำดับ

อัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงคำนวณได้จาก

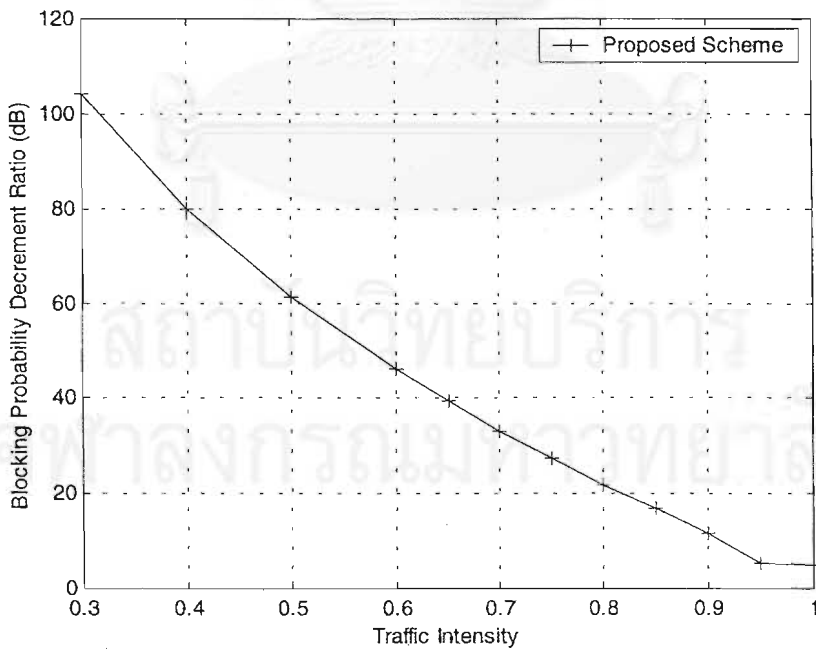
$10 \cdot \log$  (ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงของแบบแผนที่พิจารณา/  
ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงของแบบแผนที่จะเปรียบเทียบกับ)



รูปที่ 4.4 อัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียง เมื่อใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกแบบต่าง ๆ โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก



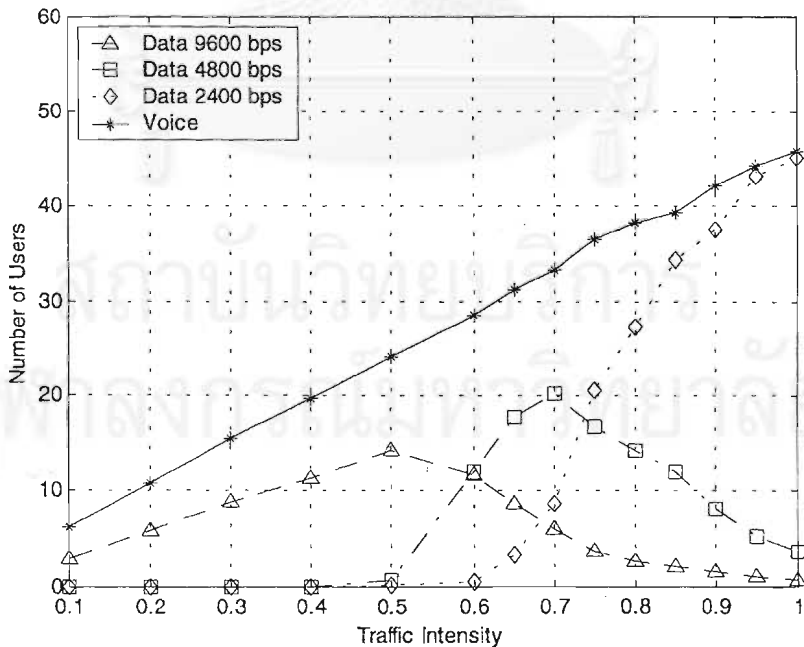
รูปที่ 4.5 อัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงเมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้



รูปที่ 4.6 อัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงเมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง

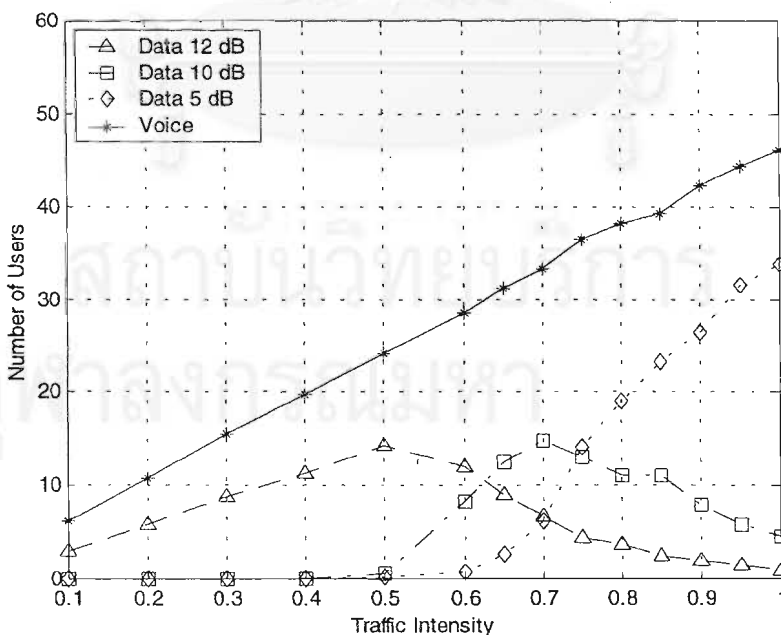
#### 4.3.1.2 ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ (Channel Usage Efficiency)

รูปที่ 4.7 แสดงจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มโทรฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ โดยการเรียกของโทรฟฟิกเสียงและโทรฟฟิกข้อมูลมีกำลังเท่ากับ 7 และ 10 dB ตามลำดับ จากรูป พบว่าในช่วงความเข้มโทรฟฟิก 0.1-0.5 ความจุของระบบน้อยกว่า 80% ของความจุที่มากที่สุด ทำให้จำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกเสียงและจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกข้อมูลที่มีอัตราข้อมูล 9600 bps ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงความเข้มโทรฟฟิก 0.5-0.7 ความจุของระบบมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 80% และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 90% ของความจุที่มากที่สุด จำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกเสียงยังคงค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ส่วนจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกข้อมูลที่มีอัตราข้อมูล 9600 bps ค่อย ๆ ลดลง และจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกข้อมูลที่มีอัตราข้อมูล 4800 bps ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราข้อมูลของโทรฟฟิกข้อมูลที่มีอยู่ถูกลดลงจาก 9600 เป็น 4800 bps และที่ความเข้มโทรฟฟิกเท่ากับ 0.6 จำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกข้อมูลที่มีอัตราข้อมูล 2400 bps ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเรียกของโทรฟฟิกที่เข้ามาใหม่จะถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูลที่ต่ำที่สุด คือ 2400 bps ส่วนในช่วงความเข้มโทรฟฟิก 0.7-1 ความจุของระบบมีค่ามากกว่า 90% ของความจุที่มากที่สุด จำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกเสียงยังคงค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ส่วนจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกข้อมูลที่มีอัตราข้อมูล 4800 bps ค่อย ๆ ลดลง และจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกข้อมูลที่มีอัตราข้อมูล 2400 bps ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราข้อมูลของโทรฟฟิกข้อมูลที่มีอยู่ถูกลดลงจาก 4800 เป็น 2400 bps



รูปที่ 4.7 จำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มโทรฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้

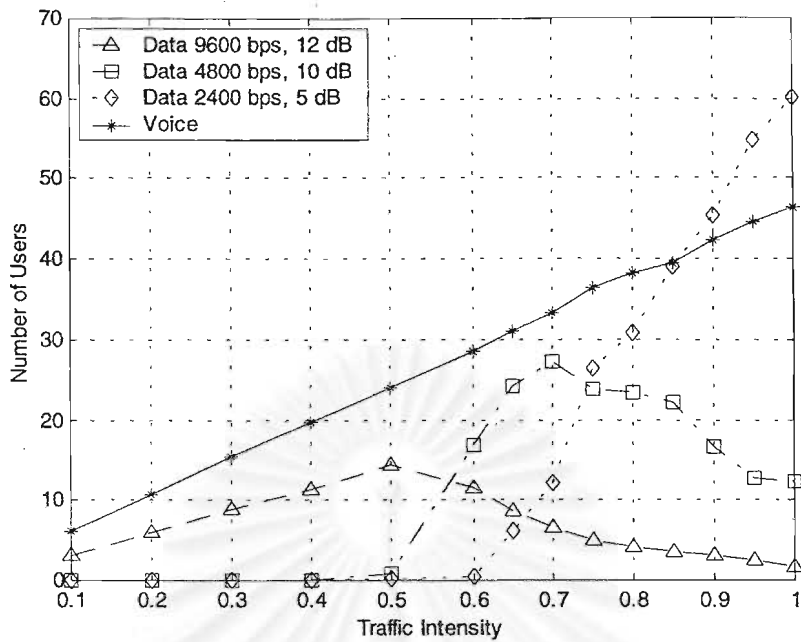
รูปที่ 4.8 แสดงจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มโทรฟฟิต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง โดยการเรียกของโทรฟฟิเสียงและโทรฟฟิข้อมูลมีอัตราข้อมูลเท่ากับ 9600 bps และกำลังมีค่า 7 dB สำหรับการเรียกของโทรฟฟิเสียง และ 5, 10 และ 12 dB สำหรับการเรียกของโทรฟฟิข้อมูล จากรูป พบว่าในช่วงความเข้มโทรฟฟิ 0.1-0.5 ความจุของระบบน้อยกว่า 80% ของความจุที่มากที่สุด ทำให้จำนวนผู้ใช้โทรฟฟิเสียง และจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิข้อมูลที่มีกำลังเท่ากับ 12 dB ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงความเข้มโทรฟฟิ 0.5-0.7 ความจุของระบบมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 80% และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 90% ของความจุที่มากที่สุด จำนวนผู้ใช้โทรฟฟิเสียงยังคง ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ส่วนจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิข้อมูลที่มีกำลังเท่ากับ 12 dB ค่อย ๆ ลดลง และจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิข้อมูลที่มีกำลังเท่ากับ 10 dB ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากกำลังของโทรฟฟิข้อมูลที่มีอยู่ถูกลดลงจาก 12 เป็น 10 dB และที่ความเข้มโทรฟฟิเท่ากับ 0.6 จำนวนผู้ใช้โทรฟฟิข้อมูลที่มีกำลังเท่ากับ 5 dB ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเรียกของโทรฟฟิที่เข้ามาใหม่จะถูกตอบรับด้วยกำลังที่ต่ำที่สุด คือ 5 dB ส่วนในช่วงความเข้มโทรฟฟิ 0.7-1 ความจุของระบบมีค่ามากกว่า 90% ของความจุที่มากที่สุด จำนวนผู้ใช้โทรฟฟิเสียงยังคง ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ส่วนจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิข้อมูลที่มีกำลังเท่ากับ 10 dB ค่อย ๆ ลดลง และจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิข้อมูลที่มีกำลังเท่ากับ 5 dB ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากกำลังของโทรฟฟิข้อมูลที่มีอยู่ถูกลดลงจาก 10 เป็น 5 dB



รูปที่ 4.8 จำนวนผู้ใช้โทรฟฟิเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มโทรฟฟิต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง

รูปที่ 4.9 แสดงจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์เสียงและข้อมูลที่มีความเข้มโทรศัพท์ต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)) โดยการเรียกของโทรศัพท์เสียงมีอัตราข้อมูล เท่ากับ 9600 bps และกำลังมีค่า 7 dB ส่วนการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลมีอัตราข้อมูล เท่ากับ 9600, 4800 และ 2400 bps และกำลังมีค่า 12, 10 และ 5 dB จากรูป พบว่าในช่วงความเข้มโทรศัพท์ 0.1-0.5 ความจุของระบบน้อยกว่า 80% ของความจุที่มากที่สุด ทำให้จำนวนผู้ใช้โทรศัพท์เสียงและจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์ข้อมูลที่มีอัตราข้อมูล 9600 bps และกำลังเท่ากับ 12 dB ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ส่วนในช่วงความเข้มโทรศัพท์ 0.5-0.7 ความจุของระบบมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 80% และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 90% ของความจุที่มากที่สุด จำนวนผู้ใช้โทรศัพท์เสียงยังคงค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ส่วนจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์ข้อมูลที่มีอัตราข้อมูล 9600 bps และกำลังเท่ากับ 12 dB ค่อย ๆ ลดลง และจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์ข้อมูลที่มีอัตราข้อมูล 4800 bps และกำลังเท่ากับ 10 dB ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราข้อมูลและกำลังของโทรศัพท์ข้อมูลที่มีอยู่ถูกลดลงจาก 9600 เป็น 4800 bps และ 12 เป็น 10 dB ตามลำดับ และที่ความเข้มโทรศัพท์เท่ากับ 0.6 จำนวนผู้ใช้โทรศัพท์ข้อมูลที่มีอัตราข้อมูล 2400 bps และกำลังเท่ากับ 5 dB ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเรียกของโทรศัพท์ที่เข้ามาใหม่จะถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูลและกำลังที่ต่ำที่สุด คือ 2400 bps และ 5 dB ตามลำดับ ส่วนในช่วงความเข้มโทรศัพท์ 0.7-1 ความจุของระบบมีค่ามากกว่า 90% ของความจุที่มากที่สุด จำนวนผู้ใช้โทรศัพท์เสียงยังคงค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ส่วนจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์ข้อมูลที่มีอัตราข้อมูล 4800 bps และกำลังเท่ากับ 10 dB ค่อย ๆ ลดลง และจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์ข้อมูลที่มีอัตราข้อมูล 2400 bps และกำลังเท่ากับ 5 dB ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราข้อมูลและกำลังของโทรศัพท์ข้อมูลที่มีอยู่ถูกลดลงจาก 4800 เป็น 2400 bps และ 10 เป็น 5 dB ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

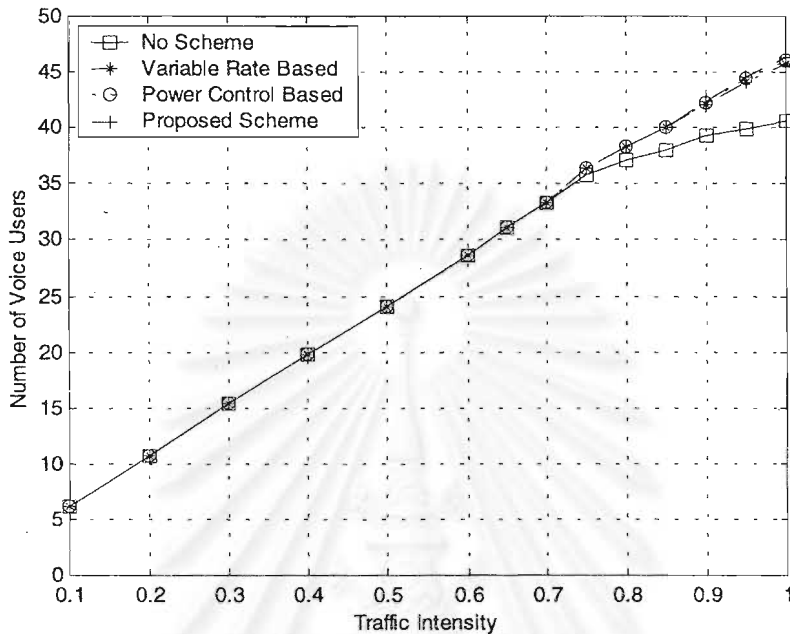


รูปที่ 4.9 จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1))

รูปที่ 4.10 แสดงจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)) ผลที่ได้พบว่าแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1) มีจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน แต่สูงกว่าการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก เนื่องจากแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1) ได้กำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 เพื่อลดความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียง ซึ่งเป็นการให้ลำดับความสำคัญแก่การเรียกของทราฟฟิกเสียงมากกว่าทราฟฟิกข้อมูลโดยปฏิเสธการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลเมื่อความจุของระบบเกือบเต็ม ซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 พบว่าที่ความเข้มทราฟฟิกเท่ากับ 0.7 ความจุของระบบมีค่ามากกว่า 90% ของความจุที่มากที่สุด ระบบจะปฏิเสธการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลซึ่งจะทำให้ความจุของระบบสามารถรองรับการเรียกได้มากขึ้นเนื่องจากมีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้มากขึ้น จึงส่งผลให้จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงที่ความ



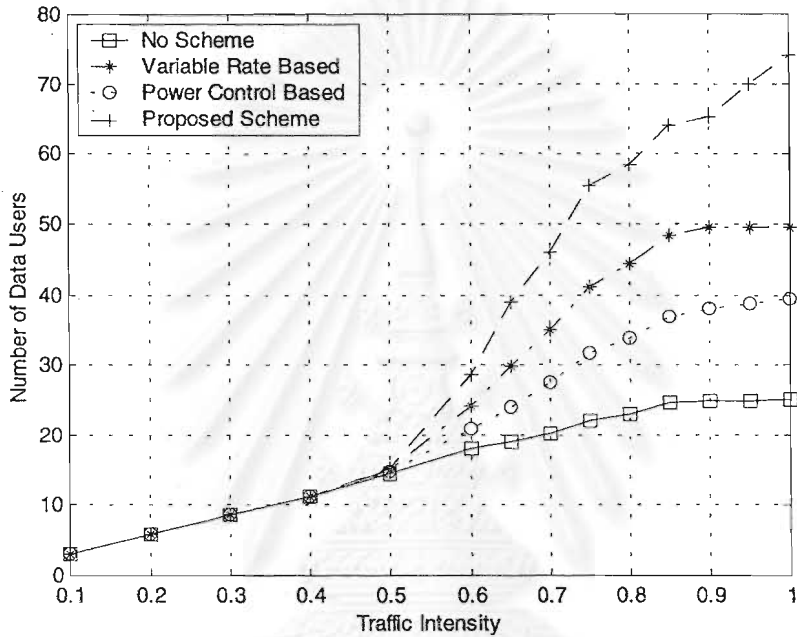
เข้มทรพฟีกเท่ากับ 0.7 ของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกทั้ง 3 แบบแผน เริ่มมีค่ามากกว่าการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก



รูปที่ 4.10 จำนวนผู้ใช้ทรพฟีกเสียงที่ความเข้มทรพฟีกต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1)

รูปที่ 4.11 แสดงจำนวนผู้ใช้ทรพฟีกข้อมูลที่ความเข้มทรพฟีกต่าง ๆ และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)) ผลที่ได้พบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) มีจำนวนผู้ใช้ทรพฟีกข้อมูลที่ความเข้มทรพฟีกต่าง ๆ สูงที่สุด รองลงมาเป็นแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก ตามลำดับ จากรูป พบว่าจำนวนผู้ใช้ทรพฟีกข้อมูลของการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน เริ่มมีค่าแตกต่างกันที่ความเข้มทรพฟีกเท่ากับ 0.5 เนื่องจากที่ความเข้มทรพฟีกค่านี้

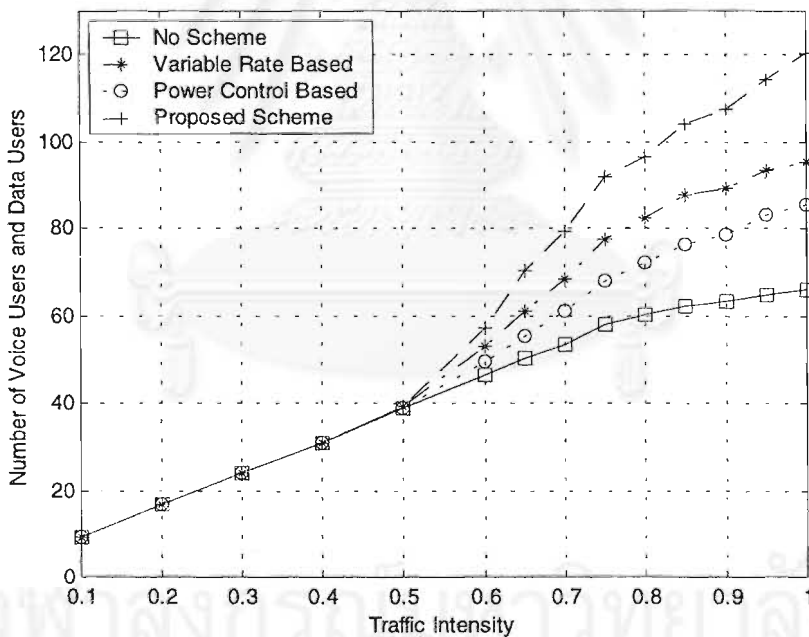
ความจุของระบบมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 80% และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 90% ของความจุที่มากที่สุด ซึ่งจะเริ่มมีการลดอัตราข้อมูล หรือลดกำลัง หรือลดทั้งอัตราข้อมูลและกำลังของทรานซิมิเตอร์ข้อมูลในแต่ละแบบแผนตามลำดับ ทำให้การเรียกใหม่ของทรานซิมิเตอร์ข้อมูลสามารถเข้าถึงระบบได้มากขึ้น กล่าวคือมีจำนวนผู้ใช้ทรานซิมิเตอร์ข้อมูลในระบบมากขึ้น หรือระบบรองรับผู้ใช้ทรานซิมิเตอร์ข้อมูลได้มากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 4.11 จำนวนผู้ใช้ทรานซิมิเตอร์ข้อมูลที่มีความเข้มทรานซิมิเตอร์ต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1)

รูปที่ 4.12 แสดงจำนวนผู้ใช้ทรานซิมิเตอร์เสียงและข้อมูลที่มีความเข้มทรานซิมิเตอร์ต่าง ๆ และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)) ผลที่ได้พบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) มีจำนวนผู้ใช้ทรานซิมิเตอร์เสียงและข้อมูลที่มีความเข้มทรานซิมิเตอร์ต่าง ๆ สูงที่สุด รองลงมาเป็นแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการ

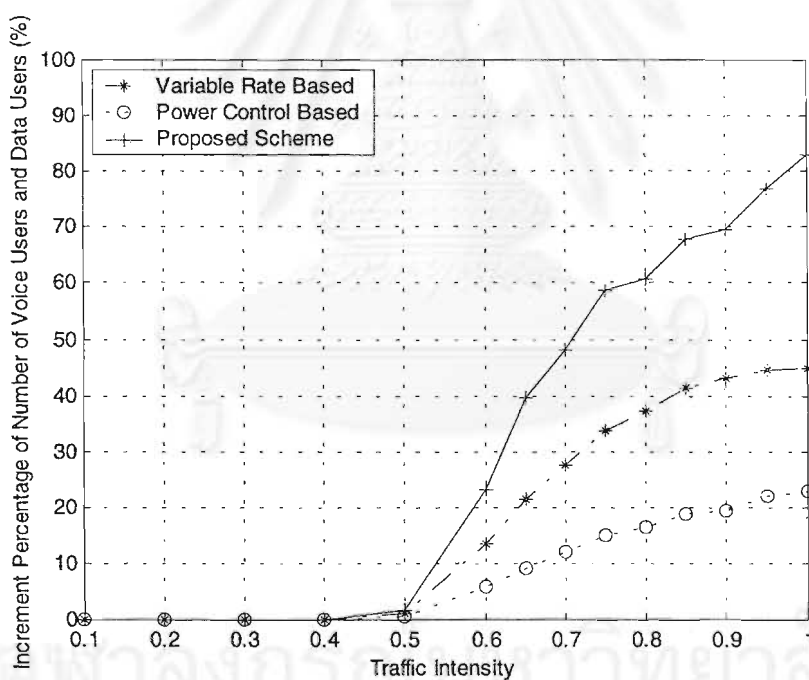
ควบคุมการตอบรับการเรียก ตามลำดับ จากรูป พบว่าจำนวนผู้ใช้โทรภาพฟิกเสียงและข้อมูลของการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน เริ่มมีค่าแตกต่างกันที่ความเข้มโทรภาพฟิก เท่ากับ 0.5 เนื่องจากที่ความเข้มโทรภาพฟิกค่านี้ ความจุของระบบมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 80% และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 90% ของความจุที่มากที่สุด ซึ่งจะเริ่มมีการลดอัตราข้อมูล หรือลดกำลัง หรือลดทั้งอัตราข้อมูลและกำลังของโทรภาพฟิกข้อมูลในแต่ละแบบแผนตามลำดับ ทำให้การเรียกใหม่ของโทรภาพฟิกข้อมูลสามารถเข้าถึงระบบได้มากขึ้น กล่าวคือมีจำนวนผู้ใช้โทรภาพฟิกข้อมูลในระบบมากขึ้น หรือระบบรองรับผู้ใช้โทรภาพฟิกข้อมูลได้มากขึ้นนั่นเอง ส่วนจำนวนผู้ใช้โทรภาพฟิกเสียงของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกทั้ง 3 แบบแผน แตกต่างจากการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกเพียงเล็กน้อย จึงไม่ค่อยมีผลต่อจำนวนผู้ใช้โทรภาพฟิกเสียงและข้อมูลมากนัก ทำให้ลักษณะกราฟรูปนี้คล้ายกับกราฟแสดงจำนวนผู้ใช้โทรภาพฟิกข้อมูลที่มีความเข้มโทรภาพฟิกต่าง ๆ ในรูปที่ 4.11



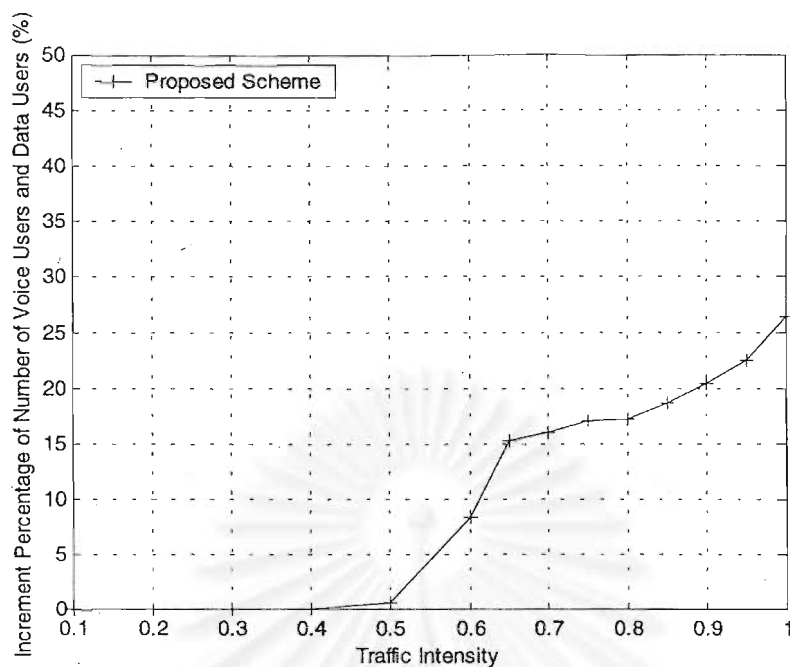
รูปที่ 4.12 จำนวนผู้ใช้โทรภาพฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มโทรภาพฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1)

#### 4.3.1.2.1 วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ

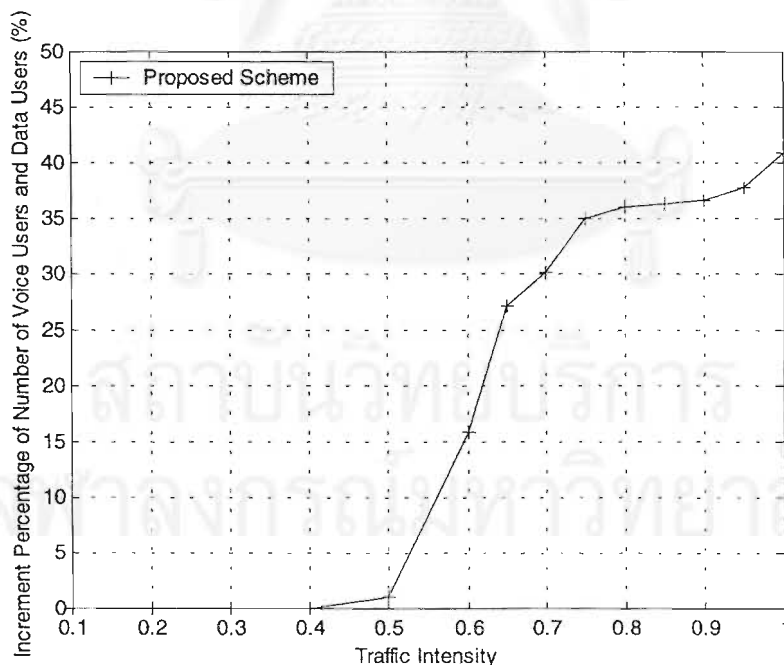
จากผลการจำลองแบบกรณีศึกษาที่พิจารณาประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณจากจำนวนผู้ใช้ที่ทราบพิกัดเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มทราบพิกัดต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน สามารถวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ เมื่อใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก ดังรูปที่ 4.13 และแบบแผนที่เสนอ (1) เทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณสูงที่สุด รองลงมาเป็นแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ เมื่อใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกแบบต่าง ๆ โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก



รูปที่ 4.14 เปรอ์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้

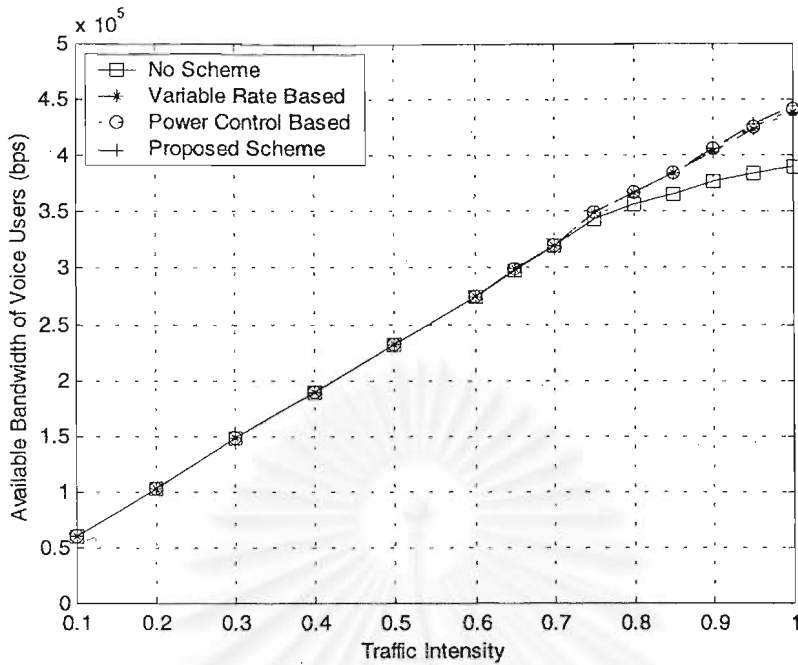


รูปที่ 4.15 เปรอ์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง

#### 4.3.1.3 แบบวัดวัดที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้โทรภาพพิกเสียงและข้อมูล

รูปที่ 4.16 แสดงแบบวัดวัดที่สามารถใช้สอยได้ของโทรภาพพิกเสียงที่ความเข้มโทรภาพพิกต่าง ๆ และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)) ผลที่ได้พบว่าแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1) มีแบบวัดวัดที่สามารถใช้สอยได้ของโทรภาพพิกเสียงที่ความเข้มโทรภาพพิกต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน แต่สูงกว่าการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก เนื่องจากแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1) ได้กำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 เพื่อลดความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรภาพพิกเสียง ซึ่งเป็นการให้ลำดับความสำคัญแก่การเรียกของโทรภาพพิกเสียงมากกว่าโทรภาพพิกข้อมูลโดยปฏิเสธการเรียกของโทรภาพพิกข้อมูลเมื่อความจุของระบบเกือบเต็ม ซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 พบว่าที่ความเข้มโทรภาพพิกเท่ากับ 0.7 ความจุของระบบมีค่ามากกว่า 90% ของความจุที่มากที่สุด ระบบจะปฏิเสธการเรียกของโทรภาพพิกข้อมูลซึ่งจะทำให้ความจุของระบบสามารถรองรับการเรียกได้มากขึ้นเนื่องจากมีแบบวัดวัดที่สามารถใช้สอยได้มากขึ้น จึงส่งผลให้แบบวัดวัดของโทรภาพพิกเสียงที่สามารถใช้สอยได้ที่ความเข้มโทรภาพพิกเท่ากับ 0.7 ของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกทั้ง 3 แบบแผน เริ่มมีค่ามากกว่าของการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และสังเกตได้ว่ากราฟแสดงแบบวัดวัดที่สามารถใช้สอยได้ของโทรภาพพิกเสียงที่ความเข้มโทรภาพพิกต่าง ๆ มีลักษณะเดียวกันกับกราฟแสดงจำนวนผู้ใช้โทรภาพพิกเสียงที่ความเข้มโทรภาพพิกต่าง ๆ ในรูปที่ 4.10

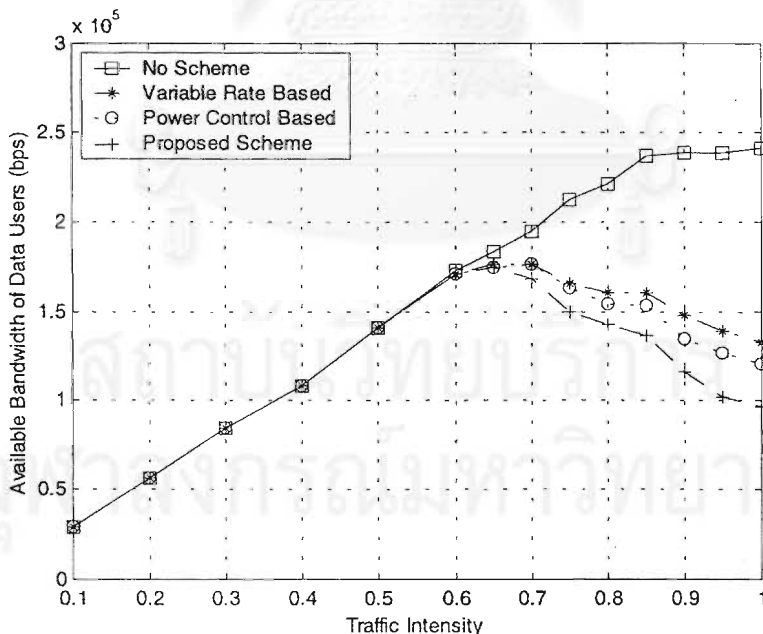
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.16 แสดงแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกเสียงที่ความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1)

รูปที่ 4.17 แสดงแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกข้อมูลที่ความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)) ผลที่ได้พบว่า การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกทั้ง 3 แบบแผน มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกข้อมูลเท่ากันและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงความเข้มกราฟฟิก 0.1-0.5 ส่วนในช่วงความเข้มกราฟฟิก 0.5-0.6 แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกทั้ง 3 แบบแผน เริ่มมีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกข้อมูลน้อยกว่าการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกเพียงเล็กน้อย แต่แบนด์วิดท์ของกราฟฟิกข้อมูลยังมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความเข้มกราฟฟิก เท่ากับ 0.5 อัตราข้อมูล หรือ กำลัง หรือทั้งอัตราข้อมูลและกำลังที่สูงที่สุดของกราฟฟิกข้อมูลเริ่มมีการปรับลดลง ในแต่ละแบบแผน ดังรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ ส่วนในช่วงความเข้มกราฟฟิก 0.6-1 แบบแผนการควบคุมการตอบรับการ

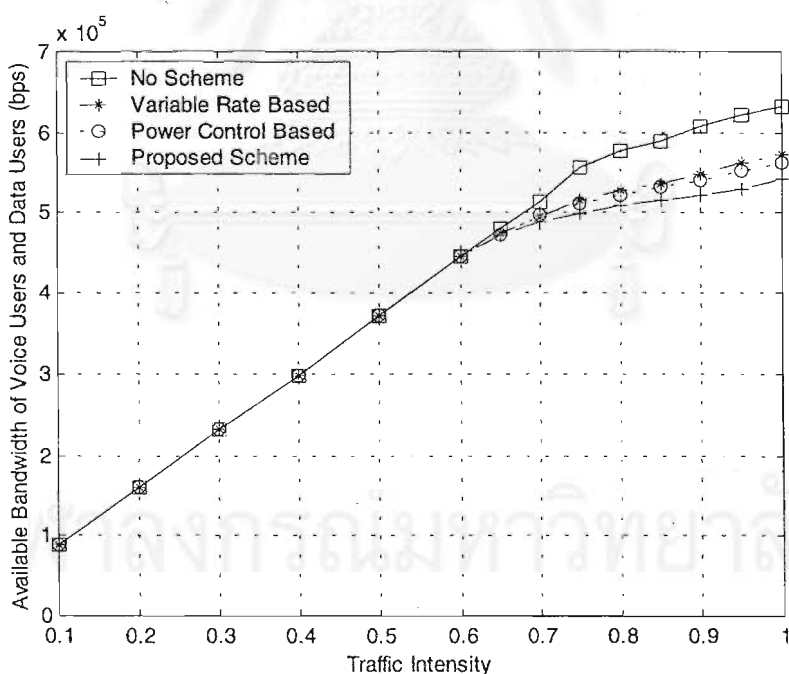
เรียกทั้ง 3 แบบแผนเริ่มมีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลน้อยกว่าการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และมีแนวโน้มที่ลดลงเนื่องจากที่ความเข้มทราฟฟิก 0.6 อัตราข้อมูล หรือ กำลัง หรือทั้งอัตราข้อมูลและกำลังที่ต่ำที่สุดของทราฟฟิกข้อมูลเริ่มเข้าสู่ระบบ เพราะความจุของระบบมากกว่าหรือเท่ากับ 80% และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 90% ของความจุที่มากที่สุด ทำให้การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล หรือ กำลัง หรือทั้งอัตราข้อมูลและกำลังที่ต่ำที่สุด ในแต่ละแบบแผน ดังรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ จากรูปนี้พบว่าแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลของแบบแผนที่เสนอ (1) มีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง เนื่องจากแบบแผนที่เสนอ (1) มีการปรับทั้งอัตราข้อมูลและกำลังของทราฟฟิกข้อมูล โดยเฉพาะในช่วงความเข้มทราฟฟิก 0.6-1 ผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลส่วนใหญ่มีอัตราข้อมูล 4800 bps, กำลังเท่ากับ 10 dB และอัตราข้อมูล 2400 bps, กำลังเท่ากับ 5 dB ดังรูปที่ 4.9 ทำให้การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลต้องใช้เวลาในการส่งนานขึ้นเนื่องจากมีอัตราข้อมูลและกำลังที่ต่ำ ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลในระบบมากขึ้นก็ตามดังรูปที่ 4.11 แต่เนื่องจากผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลแต่ละคนมีอัตราข้อมูลและกำลังที่ต่ำ เป็นผลให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลในช่วงความเข้มทราฟฟิก 0.6-1 ของแบบแผนที่เสนอ (1) ต่ำกว่าแบบแผนอื่นและมีแนวโน้มที่ลดลง



รูปที่ 4.17 แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1)



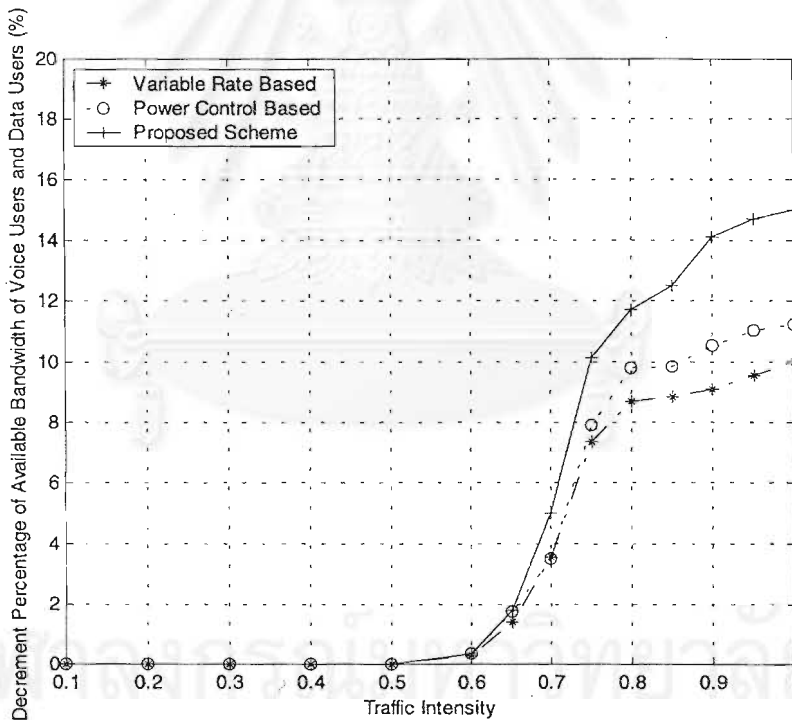
รูปที่ 4.18 แสดงแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)) ผลที่ได้พบว่า การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกทั้ง 3 แบบแผน มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลเท่ากันและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงความเข้มทราฟฟิก 0.1-0.6 ส่วนในช่วงความเข้มทราฟฟิก 0.6-1 แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกทั้ง 3 แบบแผนเริ่มมีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลน้อยกว่าการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก เนื่องจากผลของแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลที่ลดลงในแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกทั้ง 3 แบบแผน ดังรูปที่ 4.17 แต่แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลยังคงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงที่เพิ่มขึ้นในแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกทั้ง 3 แบบแผน ดังรูปที่ 4.16



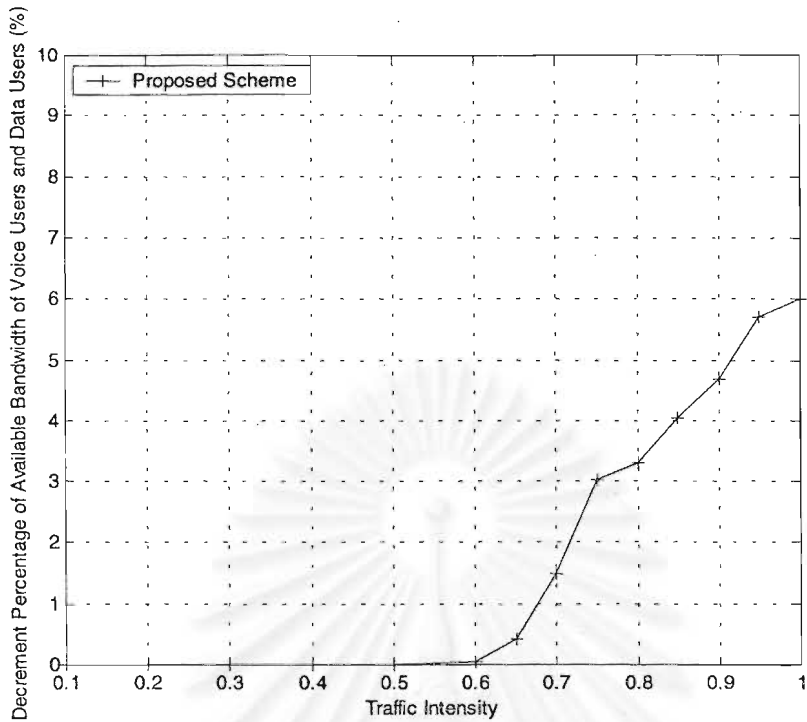
รูปที่ 4.18 แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1)

#### 4.3.1.3.1 วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ

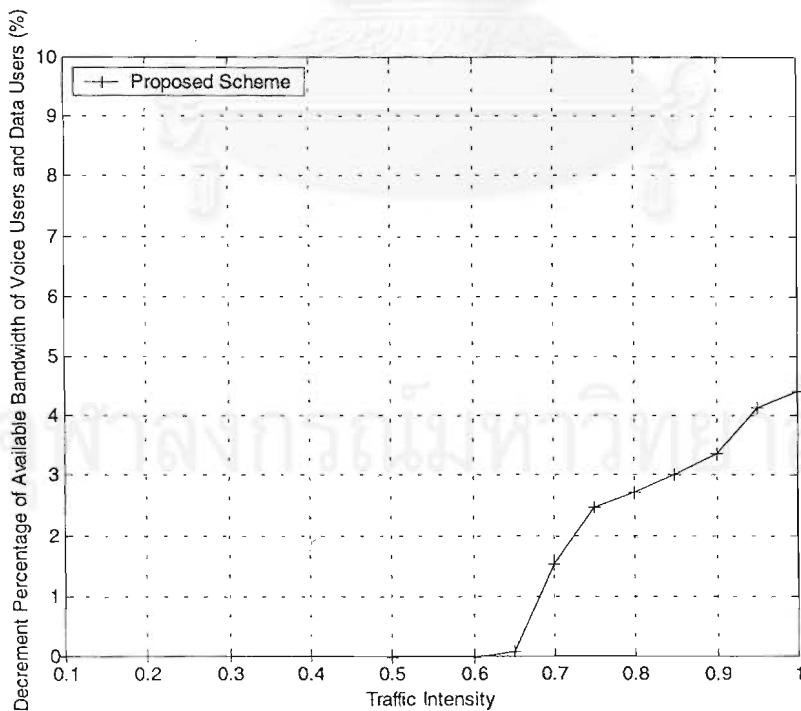
จากผลการจำลองแบบกรณีที่พิจารณาแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน สามารถวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การลดลงของแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก ดังรูปที่ 4.19 และแบบแผนที่เสนอ (1) เทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง ดังรูปที่ 4.20 และ 4.21 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลสูงที่สุด รองลงมาเป็นแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 เปอร์เซ็นต์การลดลงของแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกแบบต่าง ๆ โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก



รูปที่ 4.20 เปรอ์เซ็นต์การลดลงของแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลเมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้

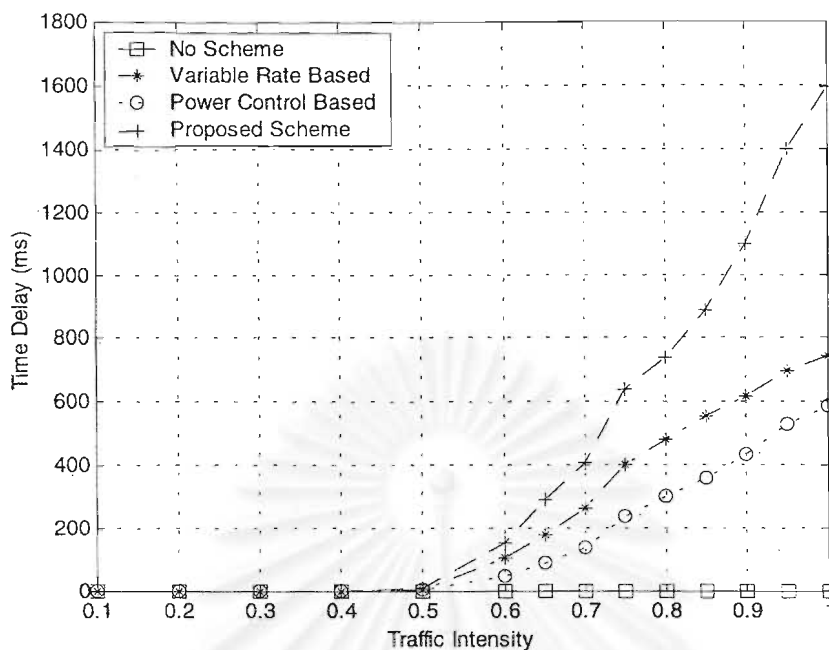


รูปที่ 4.21 เปรอ์เซ็นต์การลดลงของแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลเมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง

#### 4.3.1.4 การประวิง (Delay) ของทราฟฟิกข้อมูล

รูปที่ 4.22 แสดงการประวิง (Delay) ของทราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)) ผลที่ได้พบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) มีการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลสูงที่สุด รองลงมาเป็นแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก ตามลำดับ จากรูป พบว่าในช่วงความเข้มทราฟฟิก 0.1-0.5 การประวิงของทราฟฟิกข้อมูลของการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน มีค่าเป็น 0 เนื่องจากยังไม่มีการลดอัตราข้อมูล หรือลดกำลัง หรือลดทั้งอัตราข้อมูลและกำลังของทราฟฟิกข้อมูล ในแต่ละแบบแผนตามลำดับ โดยการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลเริ่มมีค่าแตกต่างกันที่ความเข้มทราฟฟิกเท่ากับ 0.5 เป็นต้นไป เนื่องจากที่ความเข้มทราฟฟิกค่านี้ ความจุของระบบมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 80% และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 90% ของความจุที่มากที่สุด ซึ่งจะเริ่มมีการลดอัตราข้อมูล หรือลดกำลัง หรือลดทั้งอัตราข้อมูลและกำลังของทราฟฟิกข้อมูล ในแต่ละแบบแผนตามลำดับ ทำให้การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลต้องใช้เวลาในการส่งนานขึ้น โดยเฉพาะแบบแผนที่เสนอ (1) จะมีการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลที่สูงที่สุด เนื่องจากมีการปรับลดทั้งอัตราข้อมูลและกำลังของทราฟฟิกข้อมูล (การลดกำลังเป็นการลดอัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูลเพื่อให้ทราฟฟิกข้อมูลมี QoS เหมือนเดิมตามที่กำหนด) ซึ่งจะยิ่งทำให้การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลต้องใช้เวลาในการส่งนานยิ่งขึ้น

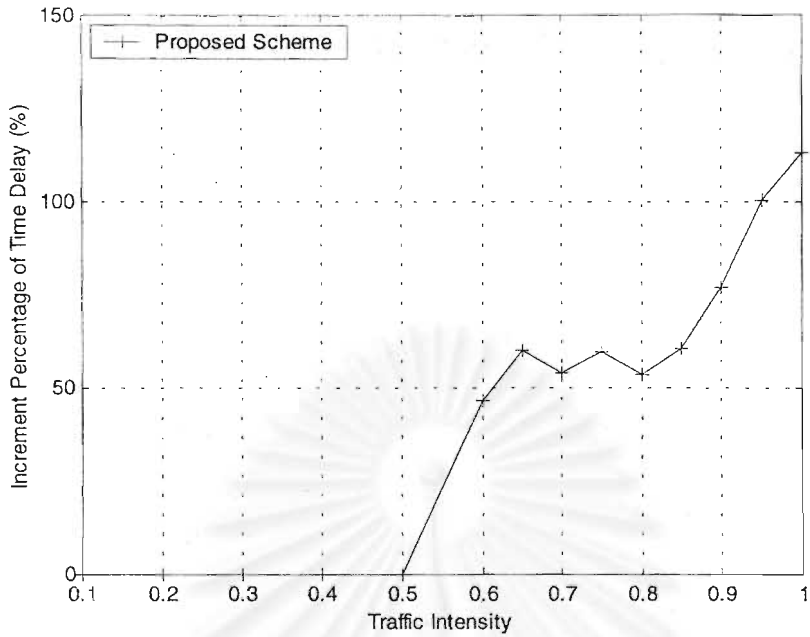
จุฬา



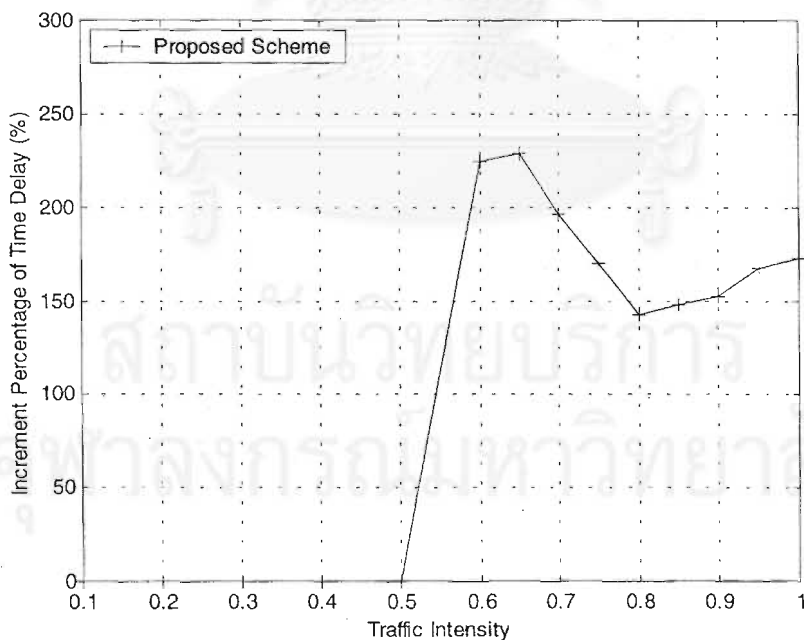
รูปที่ 4.22 การประวิงของทราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน คือ แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และแบบแผนที่เสนอ (1)

#### 4.3.1.4.1 วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ

จากผลการจำลองแบบกรณีทีพิจารณาการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้การตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก 3 แบบแผน สามารถวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของการประวิงของทราฟฟิกข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง ดังรูปที่ 4.23 และ 4.24 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลมากที่สุด รองลงมาเป็นแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง ตามลำดับ



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของการประวิงของกราฟฟิกข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้



รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของการประวิงของกราฟฟิกข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง

### 4.3.2 แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด (แบบแผนที่เสนอ (2))

#### 4.3.2.1 ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียง

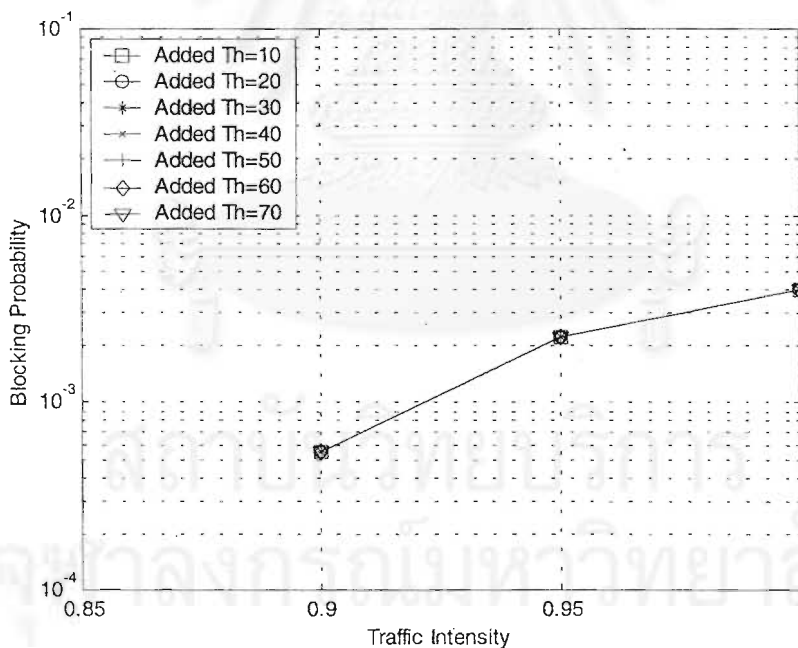
##### 4.3.2.1.1 กรณีการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps

รูปที่ 4.25 แสดงค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่ความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ มีค่าเท่ากัน เนื่องจากการลดอัตราข้อมูลของกราฟฟิกข้อมูลที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ จะมีผลทำให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้กว้างเมื่อความจุของระบบมีค่าถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ซึ่งถ้าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมมีค่าต่ำ ๆ จะทำให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้กว้างตั้งแต่ที่ค่าความเข้มกราฟฟิกต่ำ ๆ และถ้าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมมีค่าสูงขึ้น จะทำให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้กว้างที่ค่าความเข้มกราฟฟิกที่สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในช่วงความเข้มกราฟฟิกต่ำ ๆ การเรียกของกราฟฟิกเสียงมีไม่มากนัก จึงไม่มีการบล็อกเกิดขึ้น ดังนั้นไม่ว่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมจะมีค่าเท่าใด ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงก็ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากได้มีการให้ลำดับความสำคัญแก่กราฟฟิกเสียงมากกว่ากราฟฟิกข้อมูลโดยปฏิเสธการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลเมื่อความจุของระบบเกือบเต็ม ซึ่งเป็นการลดค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียง โดยการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ไว้แล้ว

รูปที่ 4.26 แสดงค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่ความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps ซึ่งเพิ่มเติมจากรูปที่ 4.25 โดยกราฟส่วนที่เป็นเส้นประได้จากวิธีการ Extrapolation เพราะการจำลองแบบจะใช้เวลาที่นานมาก

รูปที่ 4.27 แสดงค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ค่าต่าง ๆ (เหตุผลที่เลือกแปรค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 เพราะจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียง โดยจะศึกษาว่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 มีผลต่อจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมหรือไม่) ผลที่ได้พบว่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ มีค่าเท่ากัน แม้จะมีการแปรค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 โดยที่ความเข้มกราฟฟิกและที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ค่าหนึ่ง จะมีค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ เท่ากัน จากรูป พบว่าการกำหนดจุดเริ่ม

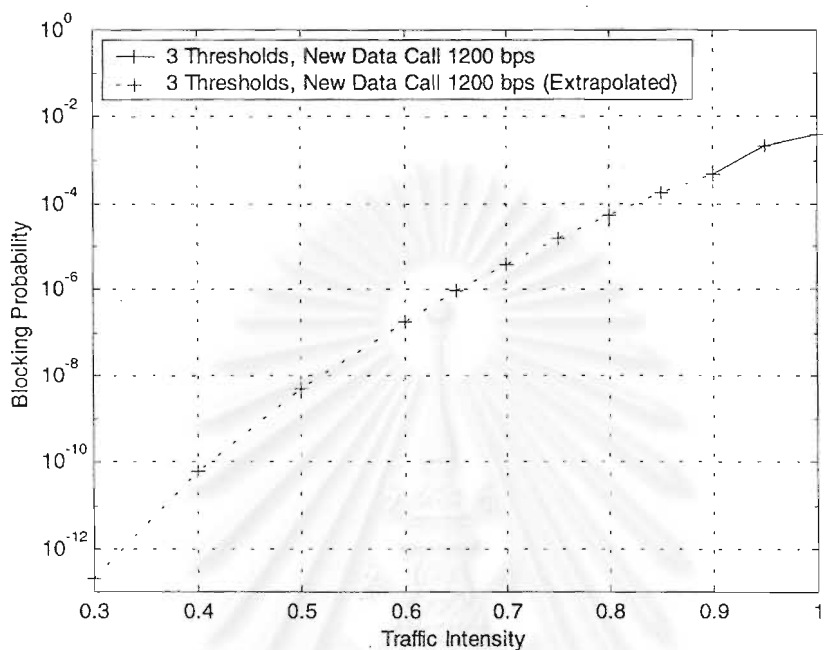
เปลี่ยนที่ 2 ที่มีค่าต่ำกว่า จะทำให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงมีค่าต่ำกว่าเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีที่ความเข้มทราฟฟิกมีค่าสูง ทั้งนี้เนื่องมาจากจุดมุ่งหมายของจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 คือลดความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงซึ่งเป็นการให้ลำดับความสำคัญแก่การเรียกของทราฟฟิกเสียงโดยปฏิเสธการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลเมื่อความจุของระบบเกือบเต็ม คือความจุของระบบมีค่าถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ดังนั้นการกำหนดค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ให้มีค่าต่ำ จะทำให้การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลถูกปฏิเสธตั้งแต่ที่ค่าความเข้มทราฟฟิกที่ต่ำกว่า ซึ่งส่งผลให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของระบบว่าง จึงรองรับการเรียกของทราฟฟิกเสียงได้มากขึ้น ซึ่งก็คือมีค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกน้อยลงนั่นเอง แต่การลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียง เมื่อกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ที่ค่าต่ำกว่าเห็นได้ไม่ชัดเจนมากนัก เนื่องจากการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่ถูกปฏิเสธมีอัตราข้อมูล 1200 bps ซึ่งเป็นอัตราข้อมูลที่ต่ำ จึงมีผลต่อแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ไม่มาก ทำให้ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงเมื่อกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ที่ค่าต่ำกว่า ลดลงไม่มากนัก



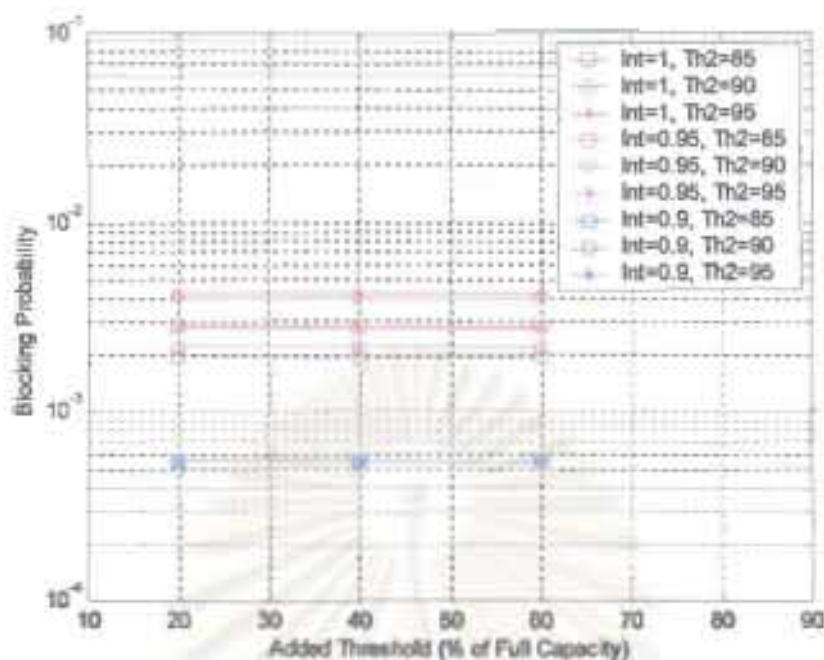
รูปที่ 4.25 ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ



จากรูปที่ 4.25 และทุก ๆ รูปหลังจากนี้ คำว่า Added Th หมายถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ซึ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความจุที่มากที่สุดของระบบ



รูปที่ 4.26 ส่วนเพิ่มเติมของรูปที่ 4.25 ในช่วงความเข้มทราฟฟิก 0.3-1



รูปที่ 4.27 ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสียงที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ค่าต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.27 Int=1, Th2=85 หมายถึงความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสียงที่ความเข้มโทรศัพท์เท่ากับ 1 และจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 มีค่า 85% โดย Int หมายถึงค่าความเข้มโทรศัพท์ ส่วน Th2 หมายถึงค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 และสัญลักษณ์นี้จะใช้ในรูปที่ 4.30 ด้วย โดยมีความหมายเดียวกัน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

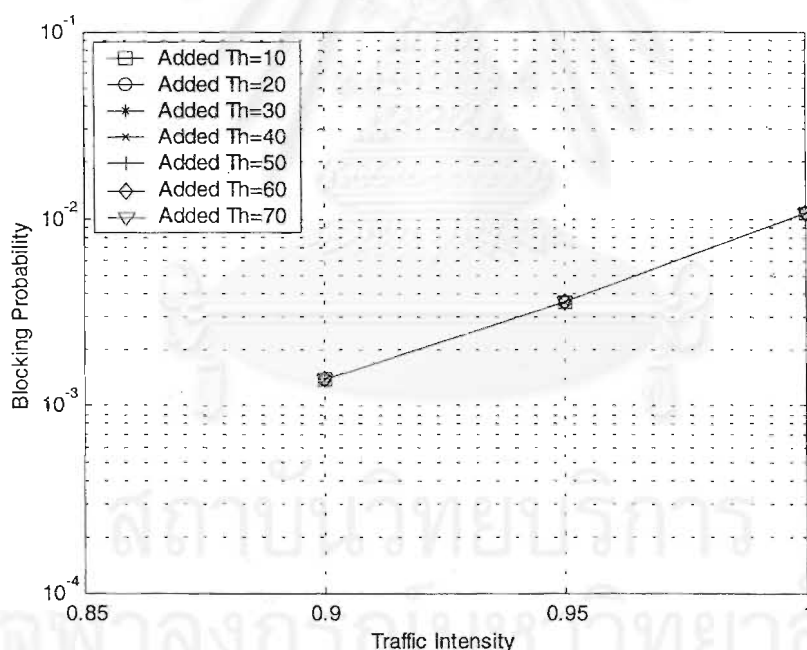
#### 4.3.2.1.2 กรณีการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps

รูปที่ 4.28 แสดงค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่ความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ มีค่าเท่ากัน เนื่องจากการลดอัตราข้อมูลของกราฟฟิกข้อมูลที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ จะมีผลทำให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ว่างเมื่อความจุของระบบมีค่าถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ซึ่งถ้าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมมีค่าต่ำ ๆ จะทำให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ว่างตั้งแต่ที่ค่าความเข้มกราฟฟิกต่ำ ๆ และถ้าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมมีค่าสูงขึ้น จะทำให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ว่างที่ค่าความเข้มกราฟฟิกที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามในช่วงความเข้มกราฟฟิกต่ำ ๆ การเรียกของกราฟฟิกเสียงมีไม่มากนัก จึงไม่มีการบล็อกเกิดขึ้น ดังนั้นไม่ว่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมจะมีค่าเท่าใด ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงก็ไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากได้มีการให้ลำดับความสำคัญแก่กราฟฟิกเสียงมากกว่ากราฟฟิกข้อมูลโดยปฏิเสธการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลเมื่อความจุของระบบเกือบเต็ม ซึ่งเป็นการลดค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียง โดยการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ไว้แล้ว

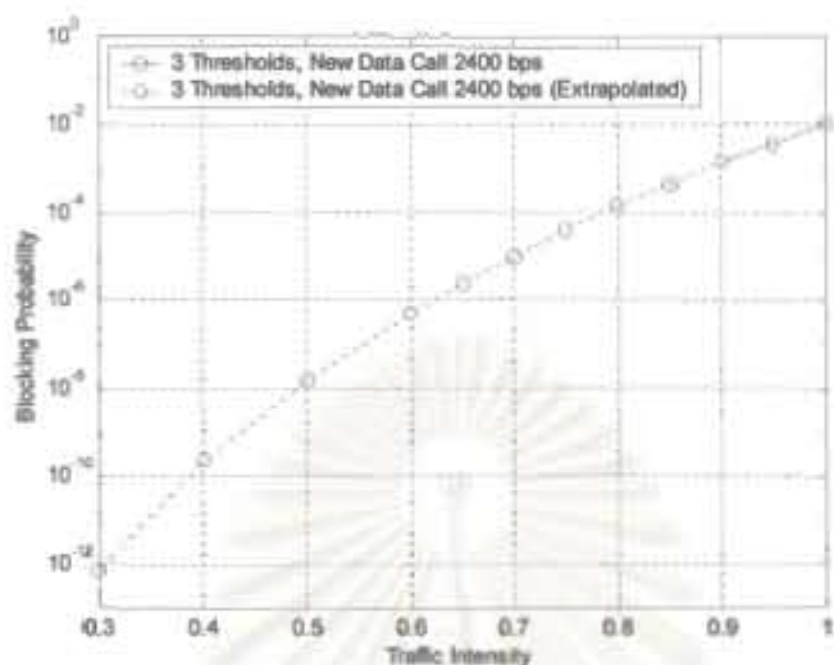
รูปที่ 4.29 แสดงค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่ความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps ซึ่งเพิ่มเติมจากรูปที่ 4.28 โดยกราฟส่วนที่เป็นเส้นประได้จากวิธีการ Extrapolation เพราะการจำลองแบบจะใช้เวลานานมาก

รูปที่ 4.30 แสดงค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ค่าต่าง ๆ (เหตุผลที่เลือกแปรค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 เพราะจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียง โดยจะศึกษาว่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 มีผลต่อจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมหรือไม่) ผลที่ได้พบว่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ มีค่าเท่ากัน แม้จะมีการแปรค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 โดยที่ความเข้มกราฟฟิกและที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ค่าหนึ่ง จะมีค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ เท่ากัน จากรูป พบว่าการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ให้มีค่าต่ำกว่า จะทำให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงมีค่าต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดค่าความน่าจะเป็นของการบล็อก

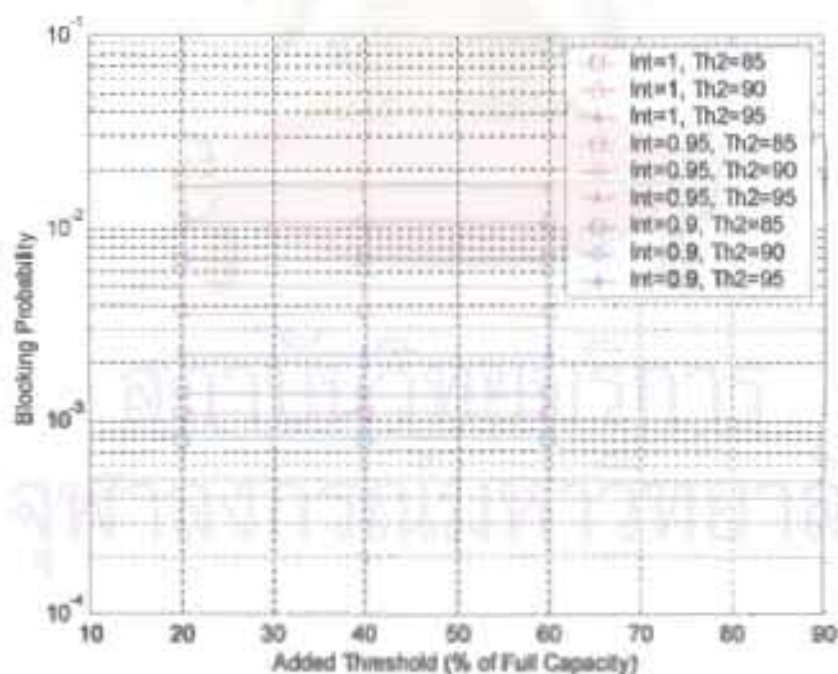
การเรียกของทราฟฟิกเสียงซึ่งเป็นการให้ลำดับความสำคัญแก่การเรียกของทราฟฟิกเสียงโดยปฏิบัติการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลเมื่อความจุของระบบเกือบเต็ม กล่าวคือความจุของระบบมีค่าถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ดังนั้นการกำหนดค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ให้มีค่าต่ำ จะทำให้การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลถูกปฏิเสธตั้งแต่ที่ค่าความเข้มทราฟฟิกต่ำกว่า ซึ่งส่งผลให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของระบบว่าง จึงรองรับการเรียกของทราฟฟิกเสียงได้มากขึ้น ซึ่งก็คือมีค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกน้อยลงนั่นเอง อย่างไรก็ตาม การลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียง เมื่อกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ที่ค่าต่ำกว่าเห็นได้ชัดเจนมากกว่ากรณีที่การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps (รูปที่ 4.27) เนื่องจากการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่ถูกปฏิเสธมีอัตราข้อมูล 2400 bps ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่ากรณี 1200 bps ถึง 2 เท่า จึงมีผลต่อแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้มากกว่า ทำให้ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียง เมื่อกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ที่ค่าต่ำกว่า ลดลงมากกว่ากรณีรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.28 ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ



รูปที่ 4.29 ส่วนเพิ่มเติมของรูปที่ 4.28 ในช่วงความเข้มทราฟฟิก 0.3-1

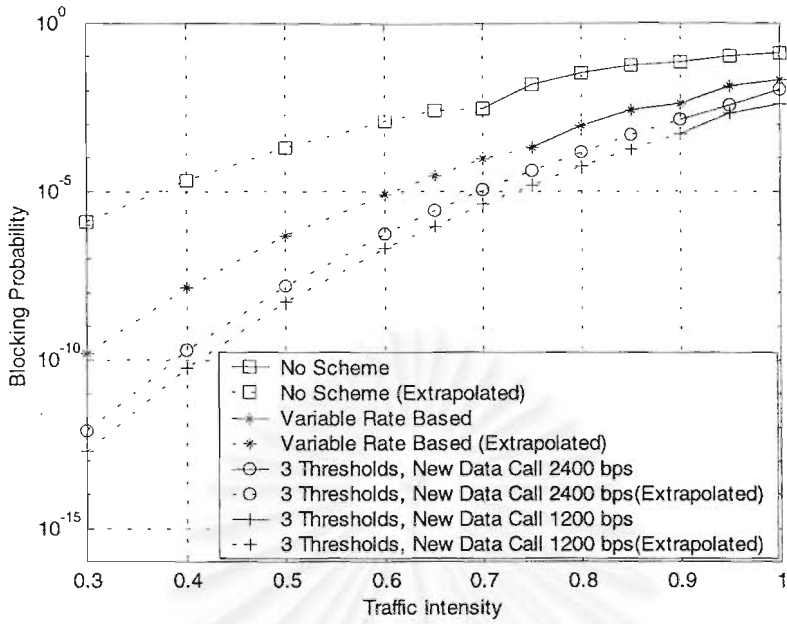


รูปที่ 4.30 ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่จุดเริ่มเบสลิ้นที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเบสลิ้นที่ 2 ค่าต่าง ๆ

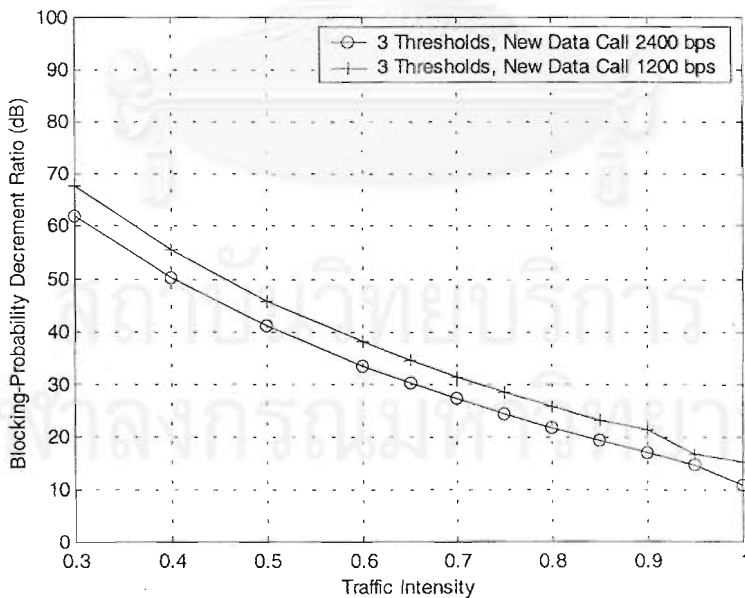
#### 4.3.2.1.3 วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ

จากผลการจำลองแบบกรณีที่วัดค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps สามารถเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงเมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด (แบบแผนที่เสนอ (2)) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ ดังรูปที่ 4.31 และสามารถวิเคราะห์อัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงเมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก ดังรูปที่ 4.32 และเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ ดังรูปที่ 4.33

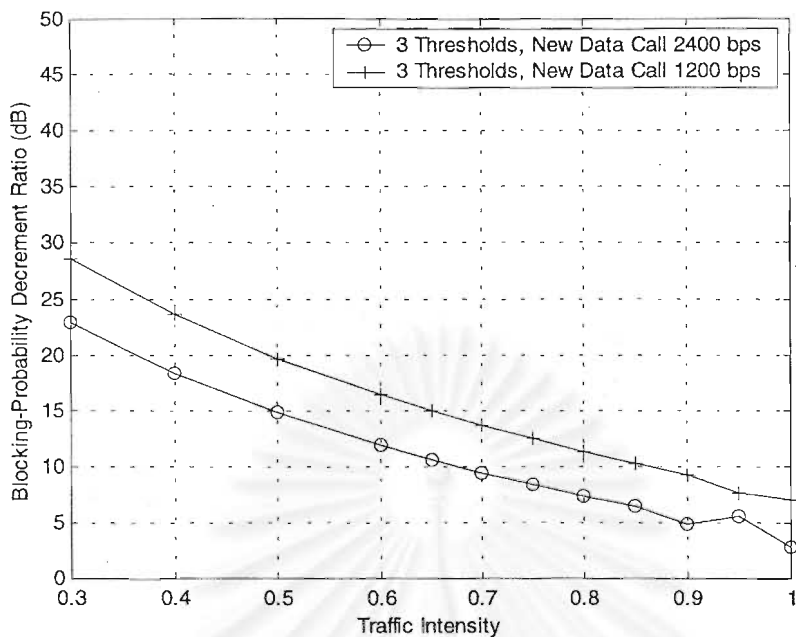
จากรูปที่ 4.31, 4.32 และ 4.33 พบว่าแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps ให้อัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงมากที่สุด รองลงมาเป็นแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก ตามลำดับ เนื่องจากแบบแผนที่เสนอ (2) มีการลดอัตราข้อมูล 3 ชั้น คือ จาก 9600 เป็น 4800, 4800 เป็น 2400 และ 2400 เป็น 1200 bps ตามลำดับ ทำให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของระบบว่างมากกว่าการใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ ซึ่งมีการลดอัตราข้อมูลเพียง 2 ชั้น คือ จาก 9600 เป็น 4800 และ 4800 เป็น 2400 bps ตามลำดับ เพราะในแบบแผนที่เสนอ (2) ทราฟฟิกข้อมูลจะใช้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของระบบน้อยกว่า ทำให้การเรียกของทราฟฟิกเสียงมีค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกที่ต่ำกว่านั่นเอง ส่วนแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps มีอัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงมากกว่ากรณีที่การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps เนื่องจากการตอบรับการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps จะทำให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของระบบถูกใช้ไปมากกว่าการตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps จึงทำให้การเรียกของทราฟฟิกเสียงมีความน่าจะเป็นของการบล็อกมากขึ้น



รูปที่ 4.31 ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้



รูปที่ 4.32 อัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียง เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก



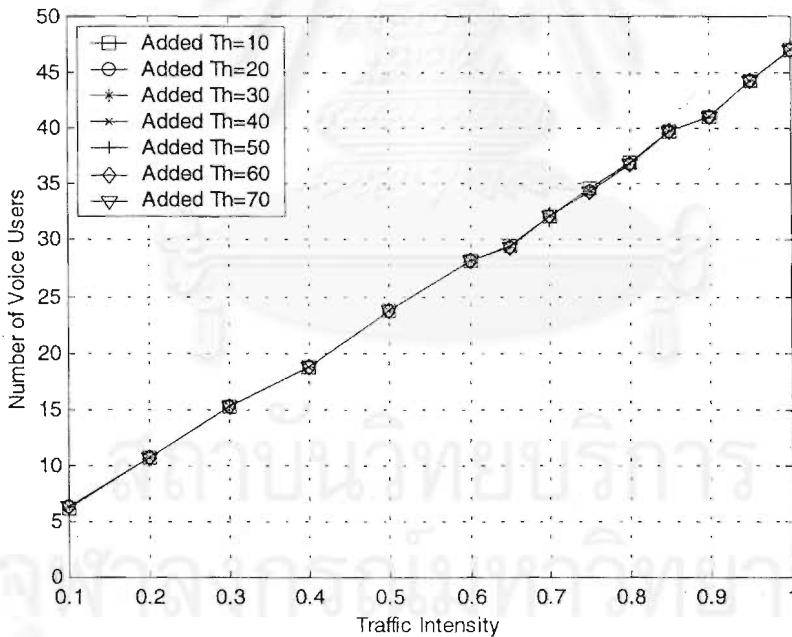
รูปที่ 4.33 อัตราส่วนการลดลงของค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์มือถือ  
เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของโทรศัพท์มือถือที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตรา  
ข้อมูล 1200 และ 2400 bps โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปร  
ค่าได้



#### 4.3.2.2 ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ (Channel Usage Efficiency)

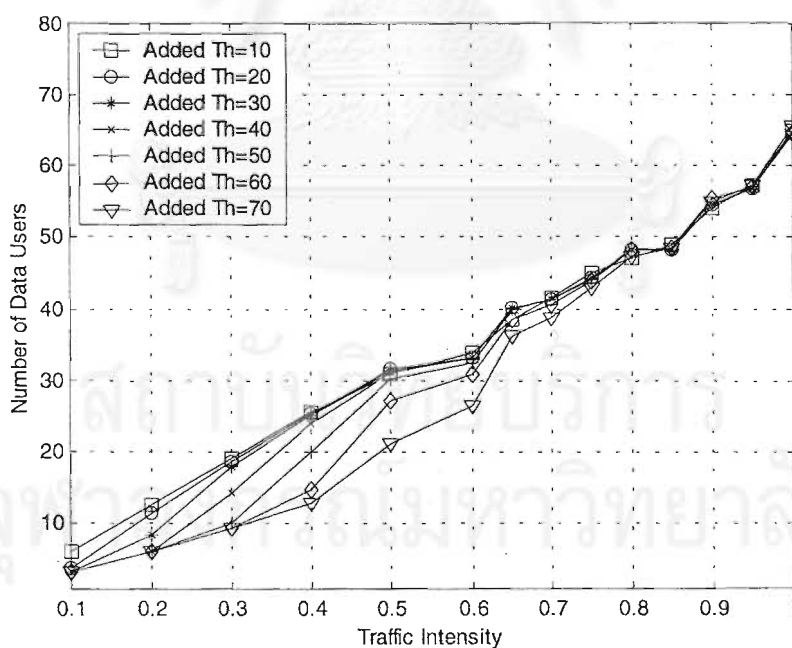
##### 4.3.2.2.1 กรณีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps

รูปที่ 4.34 แสดงจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ มีค่าเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจากจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ในช่วง 0-79% คือเปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุดที่ไม่ถึง 80% ซึ่งในช่วงความจุของระบบค่านี้ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของระบบยังว่างอยู่ ดังนั้นการลดอัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูลจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าใดก็ตามจะไม่มีผลต่อจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียง เพราะอย่างไรก็ตามเมื่อความจุของระบบเกือบเต็ม คือที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ทราฟฟิกข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดจะต้องลดอัตราข้อมูลเป็น 1200 bps ทำให้มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ว่างพอที่จะรองรับจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียง



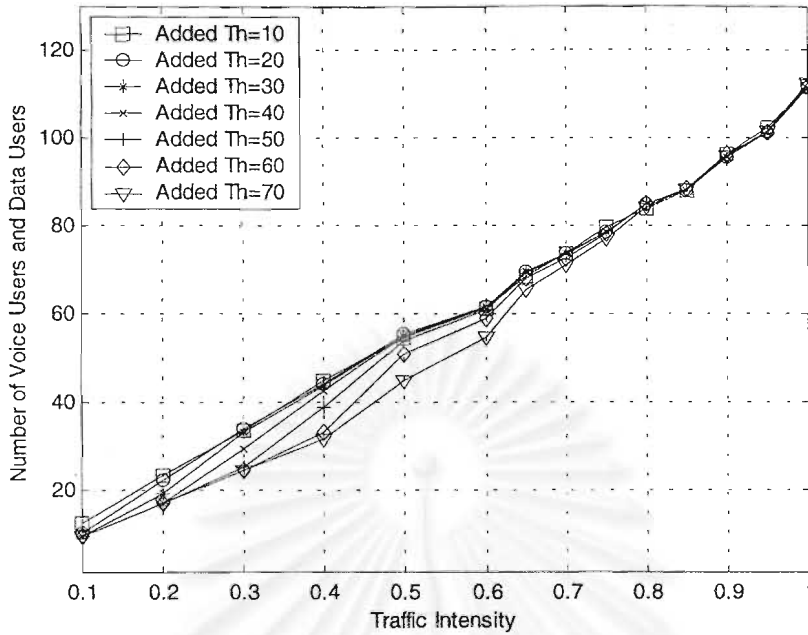
รูปที่ 4.34 จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ

รูปที่ 4.35 แสดงจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เลข (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าในช่วงความเข้มทราฟฟิกต่ำ ๆ ที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลมีค่าแตกต่างกัน โดยที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำกว่าจะมีจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลสูงกว่า เนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำ ๆ จะทำให้มีการลดอัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูลที่มีความจุของระบบค่าต่ำ ๆ ส่งผลให้ทราฟฟิกข้อมูลมีอัตราข้อมูล เท่ากับ 4800 bps ตั้งแต่ที่ความเข้มทราฟฟิกต่ำ ๆ ซึ่งจะทำให้การเรียกใหม่ของทราฟฟิกข้อมูลสามารถเข้าถึงระบบได้มากขึ้น กล่าวคือมีจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลในระบบมากขึ้น หรือระบบรองรับผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลได้มากขึ้นนั่นเอง ส่วนในช่วงความเข้มทราฟฟิกสูง ๆ จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกันที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ เพราะที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ได้กำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2 ไว้ที่ค่าเดียวกัน คือ 80% และ 90% ของความจุที่มากที่สุด ตามลำดับ เมื่อความจุของระบบมีค่าเท่ากับจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2 การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลในระบบทั้งหมดจะมีอัตราข้อมูลลดลงเป็น 2400 และ 1200 bps ตามลำดับ



รูปที่ 4.35 จำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เลข (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ

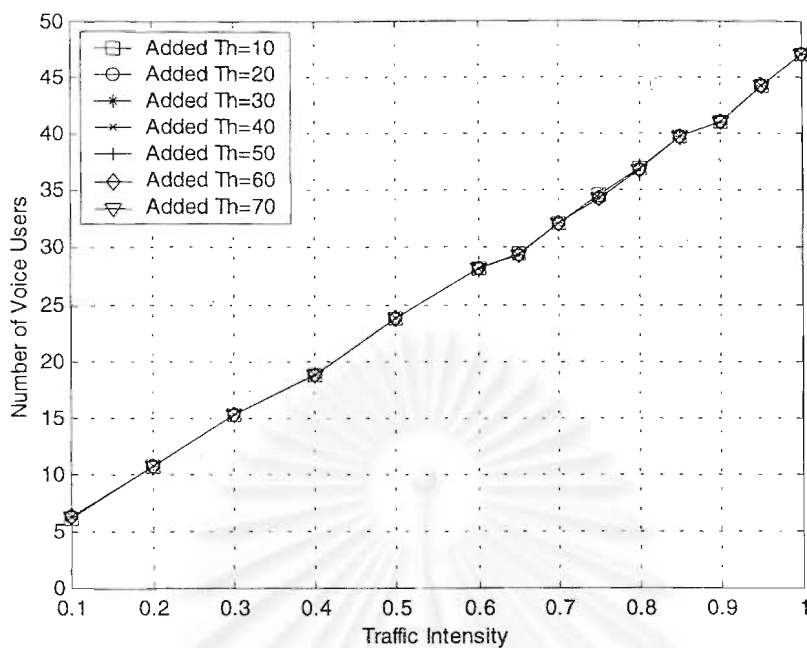
รูปที่ 4.36 แสดงจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ความเข้มโทรฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของโทรฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้แสดงว่าในช่วงความเข้มโทรฟฟิกต่ำ ๆ ที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ จำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกเสียงและข้อมูลมีค่าแตกต่างกัน โดยที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำกว่าจะมีจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกเสียงและข้อมูลสูงกว่า เนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำ ๆ จะทำให้มีการลดอัตราข้อมูลของโทรฟฟิกข้อมูลที่ความจุของระบบค่าต่ำ ๆ ส่งผลให้โทรฟฟิกข้อมูลมีอัตราข้อมูล เท่ากับ 4800 bps ตั้งแต่ที่ความเข้มโทรฟฟิกต่ำ ๆ ซึ่งจะทำให้การเรียกใหม่ของโทรฟฟิกข้อมูลสามารถเข้าถึงระบบได้มากขึ้น กล่าวคือมีจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกข้อมูลในระบบมากขึ้น หรือระบบรองรับผู้ใช้โทรฟฟิกข้อมูลได้มากขึ้นนั่นเอง ส่วนในช่วงความเข้มโทรฟฟิกสูง ๆ จำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกเสียงและข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกันที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ เพราะที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ได้กำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2 ไว้ที่ค่าเดียวกัน คือ 80% และ 90% ของความจุที่มากที่สุด ตามลำดับ เมื่อความจุของระบบมีค่าเท่ากับจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2 การเรียกของโทรฟฟิกข้อมูลในระบบทั้งหมดจะมีอัตราข้อมูลลดลงเป็น 2400 และ 1200 bps ตามลำดับ อย่างไรก็ตามที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ มีจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกเสียงที่ความเข้มโทรฟฟิกต่าง ๆ เท่ากัน จึงทำให้ลักษณะของกราฟที่แสดงจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ความเข้มโทรฟฟิกต่าง ๆ คล้ายกับกราฟแสดงจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกข้อมูลที่ความเข้มโทรฟฟิกต่าง ๆ ในรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.36 จำนวนผู้ใช้โทรภาพฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มโทรภาพฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เส้นอ (2) เมื่อการเรียกของโทรภาพฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ

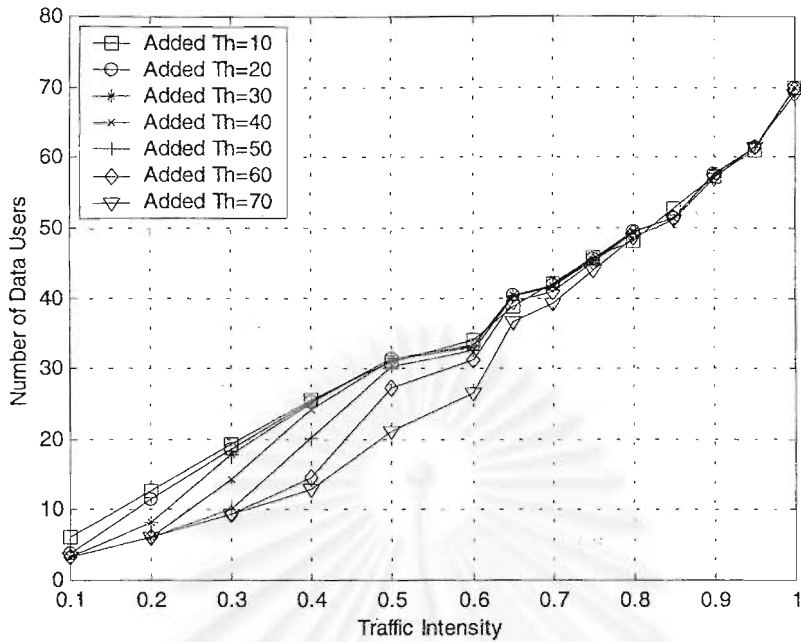
#### 4.3.2.2.2 กรณีการเรียกของโทรภาพฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps

รูปที่ 4.37 แสดงจำนวนผู้ใช้โทรภาพฟิกเสียงที่ความเข้มโทรภาพฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เส้นอ (2) เมื่อการเรียกของโทรภาพฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ จำนวนผู้ใช้โทรภาพฟิกเสียงที่ความเข้มโทรภาพฟิกต่าง ๆ มีค่าเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจากจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ในช่วง 0-79% คือ เปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุดที่ไม่ถึง 80% ซึ่งในช่วงความจุของระบบค่านี้ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของระบบยังว่างอยู่ ดังนั้นการลดอัตราข้อมูลของโทรภาพฟิกข้อมูลที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าใดก็ตามจะไม่มีผลต่อจำนวนผู้ใช้โทรภาพฟิกเสียง เพราะอย่างไรก็ตามเมื่อความจุของระบบเกือบเต็ม คือที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 โทรภาพฟิกข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดจะต้องลดอัตราข้อมูลเป็น 1200 bps ทำให้มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ว่างพอที่จะรองรับจำนวนผู้ใช้โทรภาพฟิกเสียง



รูปที่ 4.37 จำนวนผู้ใช้โทรศัพท์เสียงที่ความเข้มโทรศัพท์ต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ

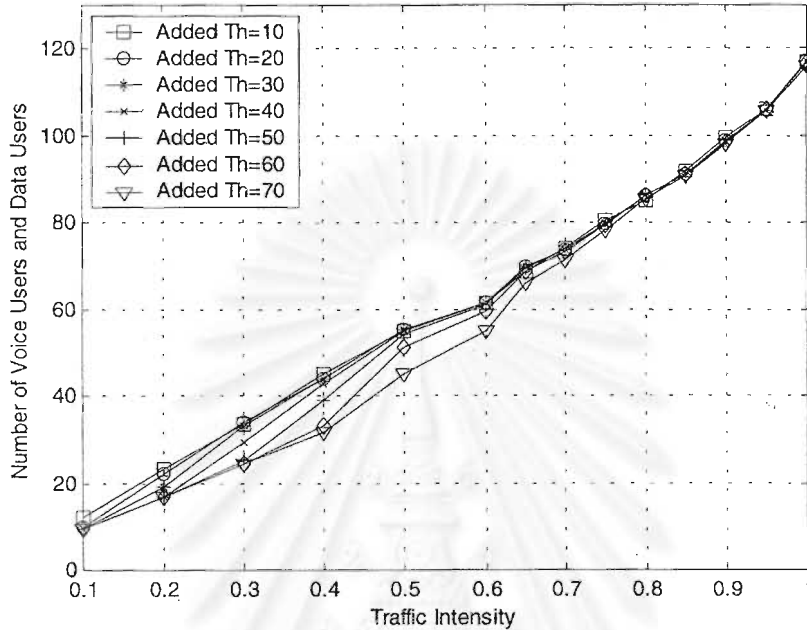
รูปที่ 4.38 แสดงจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์ข้อมูลที่ความเข้มโทรศัพท์ต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าในช่วงความเข้มโทรศัพท์ต่ำ ๆ ที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ จำนวนผู้ใช้โทรศัพท์ข้อมูลมีค่าแตกต่างกัน โดยที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำกว่าจะมีจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์ข้อมูลสูงกว่า เนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำ ๆ จะทำให้มีการลดอัตราข้อมูลของโทรศัพท์ข้อมูลที่ความจุของระบบค่าต่ำ ๆ ส่งผลให้โทรศัพท์ข้อมูลมีอัตราข้อมูล เท่ากับ 4800 bps ตั้งแต่ที่ความเข้มโทรศัพท์ต่ำ ๆ ซึ่งจะทำให้การเรียกใหม่ของโทรศัพท์ข้อมูลสามารถเข้าถึงระบบได้มากขึ้น กล่าวคือมีจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์ข้อมูลในระบบมากขึ้น หรือระบบรองรับผู้ใช้โทรศัพท์ข้อมูลได้มากขึ้นนั่นเอง ส่วนในช่วงความเข้มโทรศัพท์สูง ๆ จำนวนผู้ใช้โทรศัพท์ข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกันที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ เพราะที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ได้กำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2 ไว้ที่ค่าเดียวกันคือ 80% และ 90% ของความจุที่มากที่สุด ตามลำดับ เมื่อความจุของระบบมีค่าเท่ากับจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2 การเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลในระบบทั้งหมดจะมีอัตราข้อมูลลดลงเป็น 2400 และ 1200 bps ตามลำดับ



รูปที่ 4.38 จำนวนผู้ใช้ที่กราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ

รูปที่ 4.39 แสดงจำนวนผู้ใช้ที่กราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าในช่วงความเข้มกราฟฟิกต่ำ ๆ ที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ จำนวนผู้ใช้ที่กราฟฟิกเสียงและข้อมูลมีค่าแตกต่างกัน โดยที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำกว่าจะมีจำนวนผู้ใช้ที่กราฟฟิกเสียงและข้อมูลสูงกว่า เนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำ ๆ จะทำให้มีการลดอัตราข้อมูลของกราฟฟิกข้อมูลที่มีความจุของระบบค่าต่ำ ๆ ส่งผลให้กราฟฟิกข้อมูลมีอัตราข้อมูล เท่ากับ 4800 bps ตั้งแต่ที่ความเข้มกราฟฟิกต่ำ ๆ ซึ่งจะทำให้การเรียกใหม่ของกราฟฟิกข้อมูลสามารถเข้าถึงระบบได้มากขึ้น กล่าวคือมีจำนวนผู้ใช้ที่กราฟฟิกข้อมูลในระบบมากขึ้น หรือระบบรองรับผู้ใช้ที่กราฟฟิกข้อมูลได้มากขึ้นนั่นเอง ส่วนในช่วงความเข้มกราฟฟิกสูง ๆ จำนวนผู้ใช้ที่กราฟฟิกเสียงและข้อมูลมีค่าใกล้เคียงกันที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ เพราะที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ได้กำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2 ไว้ที่ค่าเดียวกัน คือ 80% และ 90% ของความจุที่มากที่สุด ตามลำดับ เมื่อความจุของระบบมีค่าเท่ากับจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2 การเรียกของกราฟฟิกข้อมูลในระบบทั้งหมดจะมีอัตราข้อมูลลดลงเป็น 2400 และ 1200 bps ตามลำดับ อย่างไรก็ตามที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ มีจำนวนผู้ใช้ที่กราฟฟิกเสียงที่มีความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เท่ากัน จึงทำให้

ลักษณะของกราฟที่แสดงจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มโทรฟฟิกต่าง ๆ คล้ายกับกราฟแสดงจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มโทรฟฟิกต่าง ๆ ในรูปที่ 4.38

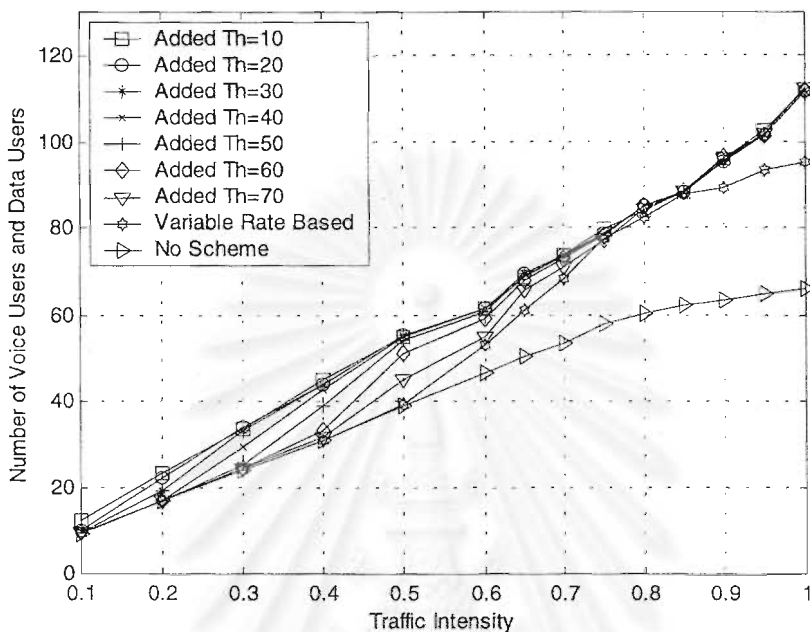


รูปที่ 4.39 จำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มโทรฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของโทรฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ

#### 4.3.2.2.3 วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ

จากผลการจำลองแบบกรณีทีพิจารณาประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณจากจำนวนผู้ใช้โทรฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มโทรฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของโทรฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณเมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด (แบบแผนที่เสนอ (2)) เมื่อการเรียกของโทรฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ ดังรูปที่ 4.40 และรูปที่ 4.41 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของโทรฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps มีประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณใกล้เคียงกันและดีที่สุด รองลงมาเป็นแบบแผน CAC ที่ตั้ง

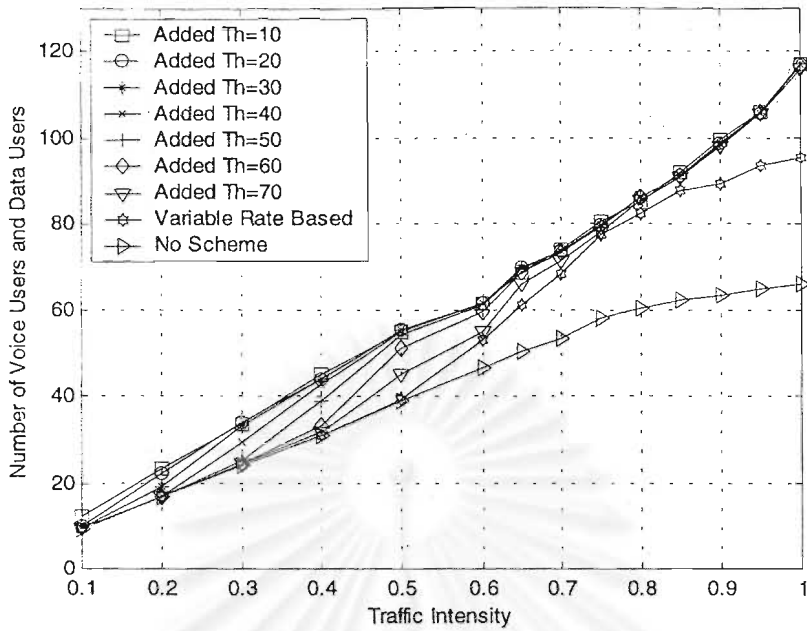
อยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก ตามลำดับ



รูปที่ 4.40 ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



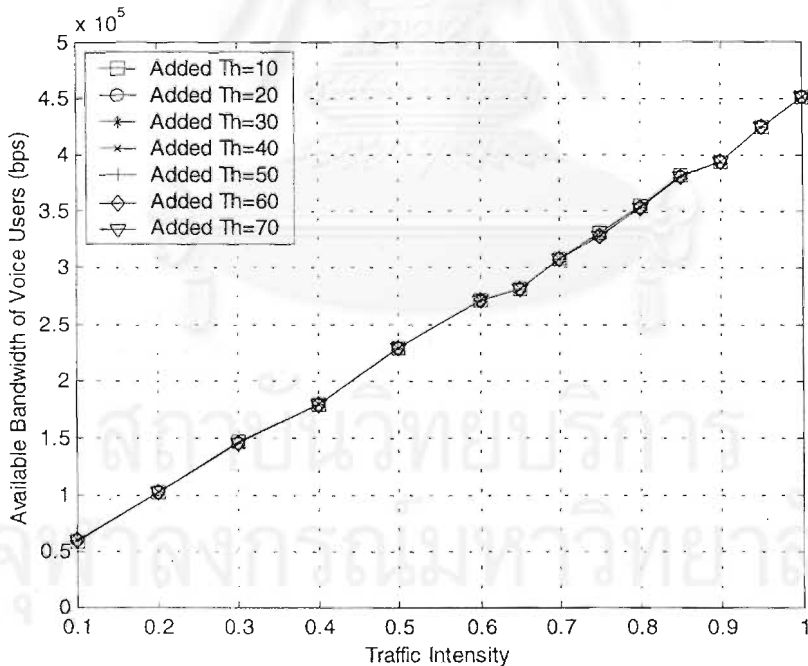


รูปที่ 4.41 ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลเข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้

#### 4.3.2.3 แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้โทรศัพท์เสียงและข้อมูล

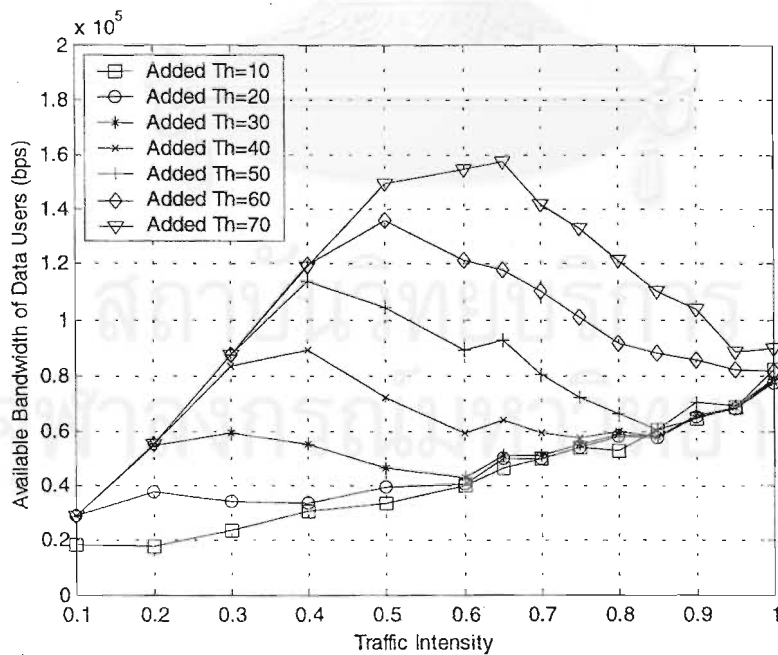
##### 4.3.2.3.1 กรณีการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps

รูปที่ 4.42 แสดงแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของโทรศัพท์เสียงที่ความเข้มโทรศัพท์ต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของโทรศัพท์เสียงที่ความเข้มโทรศัพท์ต่าง ๆ มีค่าเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจากจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ในช่วง 0-79% คือ เปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุดที่ไม่ถึง 80% ซึ่งในช่วงความจุของระบบค่านี้ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของระบบยังว่างอยู่ ดังนั้นการลดอัตราข้อมูลของโทรศัพท์ข้อมูลที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าใดก็ตามจะไม่มีผลต่อแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของโทรศัพท์เสียง เพราะอย่างไรก็ตามเมื่อความจุของระบบเกือบเต็ม คือที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 โทรศัพท์ข้อมูลที่เข้ามาใหม่จะต้องลดอัตราข้อมูลเป็น 1200 bps ทำให้ระบบมีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ว่างพอที่จะรองรับแบนด์วิดท์ของโทรศัพท์เสียง



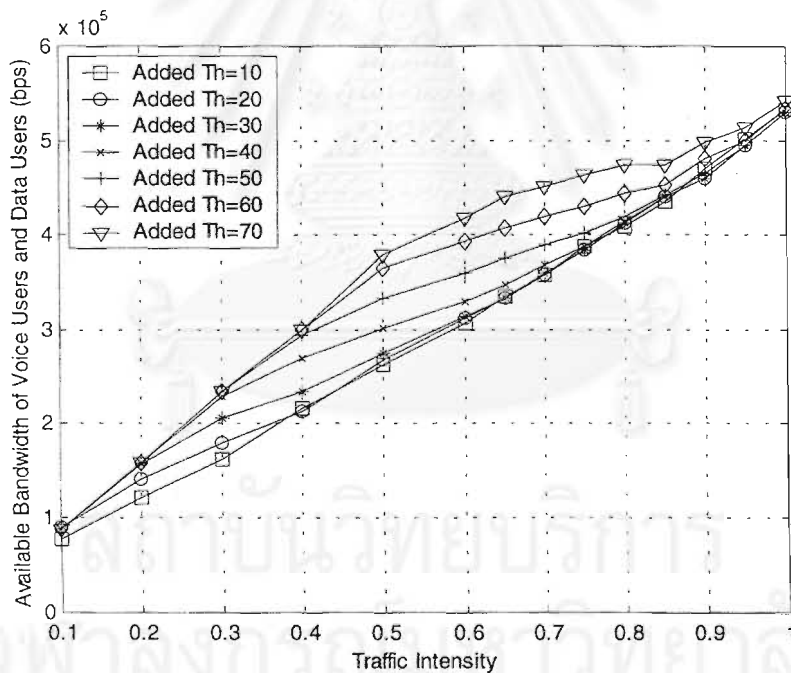
รูปที่ 4.42 แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของโทรศัพท์เสียงที่ความเข้มโทรศัพท์ต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ

รูปที่ 4.43 แสดงแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลมีค่าแตกต่างกัน โดยที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำกว่าจะมีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลต่ำกว่า เนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำ ๆ จะทำให้มีการลดอัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูลทีเปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุดค่าต่ำ ๆ ส่งผลให้ทราฟฟิกข้อมูลมีอัตราข้อมูล เท่ากับ 4800 bps ตั้งแต่ที่ความเข้มทราฟฟิกต่ำ ๆ ซึ่งจะทำให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลมีค่าต่ำ โดยแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่ความจุของระบบยังมีค่าไม่ถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม แต่เมื่อความจุของระบบมีค่าถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลจะมีแนวโน้มที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากมีการลดอัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูลจาก 9600 เป็น 4800 bps จากรูปจะสังเกตได้ว่าแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าสูงกว่า จะมีค่าลดลงที่ความเข้มทราฟฟิกที่สูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามที่ความเข้มทราฟฟิก เท่ากับ 1 แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากไม่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลเข้ามาใหม่ และการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่มีอยู่ในระบบทั้งหมดจะมีอัตราข้อมูล เท่ากับ 1200 bps



รูปที่ 4.43 แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ

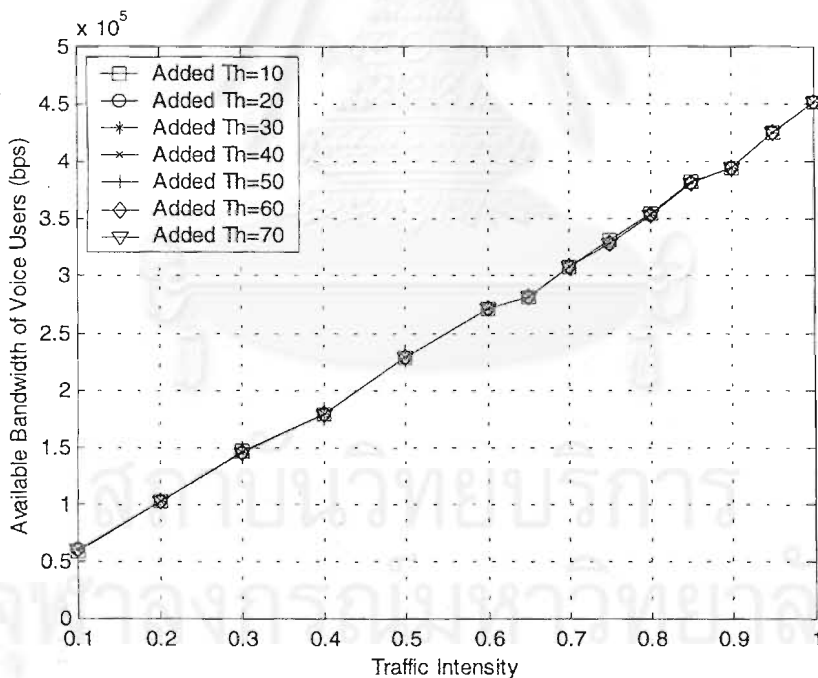
รูปที่ 4.44 แสดงแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลมีค่าแตกต่างกัน โดยที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำกว่าจะมีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลต่ำกว่า เนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำ ๆ จะทำให้มีการลดอัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูลที่เปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุดค่าต่ำ ๆ ส่งผลให้ทราฟฟิกข้อมูลมีอัตราข้อมูล เท่ากับ 4800 bps ตั้งแต่ที่ความเข้มทราฟฟิกต่ำ ๆ ซึ่งจะทำให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลมีค่าต่ำจึงส่งผลให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลมีค่าต่ำ โดยแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 4.44 แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ

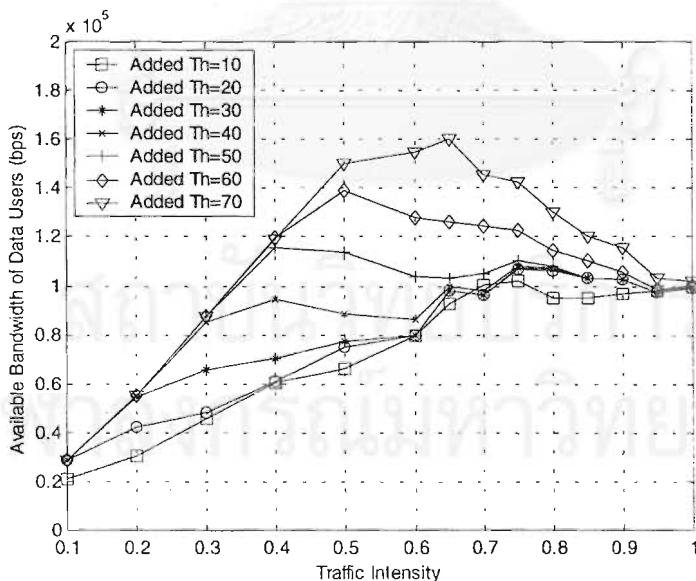
#### 4.3.2.3.2 กรณีการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps

รูปที่ 4.45 แสดงแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกเสียงที่ความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกเสียงที่ความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ มีค่าเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจากจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ในช่วง 0-79% คือเปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุดที่ไม่ถึง 80% ซึ่งในช่วงความจุของระบบค่านี้นั้นแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของระบบยังว่างอยู่ ดังนั้นการลดอัตราข้อมูลของกราฟฟิกข้อมูลที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าใดก็ตามจะไม่มีผลต่อแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกเสียง เพราะเมื่อความจุของระบบเกือบเต็ม คือที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 กราฟฟิกข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดจะต้องลดอัตราข้อมูลเป็น 1200 bps ทำให้ระบบมีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ว่างพอที่จะรองรับแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกเสียง



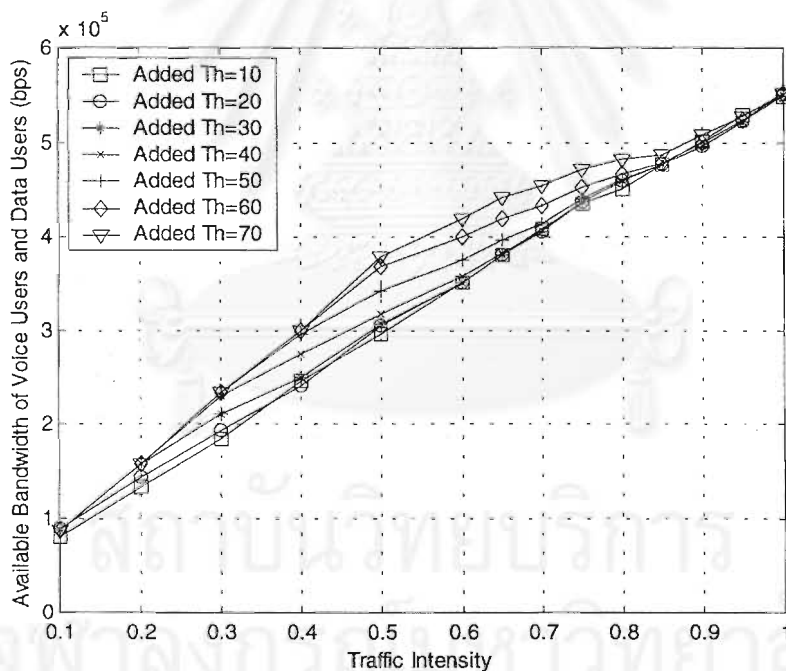
รูปที่ 4.45 แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของกราฟฟิกเสียงที่ความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ

รูปที่ 4.46 แสดงแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลเข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลมีค่าแตกต่างกัน โดยที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำกว่าจะมีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลต่ำกว่า เนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำ ๆ จะทำให้มีการลดอัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูลทีเปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุดค่าต่ำ ๆ ส่งผลให้ทราฟฟิกข้อมูลมีอัตราข้อมูล เท่ากับ 4800 bps ตั้งแต่ที่ความเข้มทราฟฟิกต่ำ ๆ ซึ่งจะทำให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลมีค่าต่ำ โดยแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่ความจุของระบบยังมีค่าไม่ถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม แต่เมื่อความจุของระบบมีค่าถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลจะมีแนวโน้มที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากมีการลดอัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูลจาก 9600 เป็น 4800 bps จากรูปจะสังเกตได้ว่าแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าสูงกว่า จะมีค่าลดลงที่ความเข้มทราฟฟิกที่สูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามที่ความเข้มทราฟฟิก เท่ากับ 1 แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการไม่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลเข้ามาใหม่และการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่มีอยู่ในระบบทั้งหมดจะมีอัตราข้อมูล เท่ากับ 1200 bps



รูปที่ 4.46 แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลเข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ

รูปที่ 4.47 แสดงแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลมีค่าแตกต่างกัน โดยที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำกว่าจะมีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลต่ำกว่า เนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำ ๆ จะทำให้มีการลดอัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูลที่เปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุดค่าต่ำ ๆ ส่งผลให้ทราฟฟิกข้อมูลมีอัตราข้อมูล เท่ากับ 4800 bps ตั้งแต่ที่ความเข้มทราฟฟิกต่ำ ๆ ซึ่งจะทำให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกข้อมูลมีค่าต่ำ จึงส่งผลให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลมีค่าต่ำ โดยแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 4.47 แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ

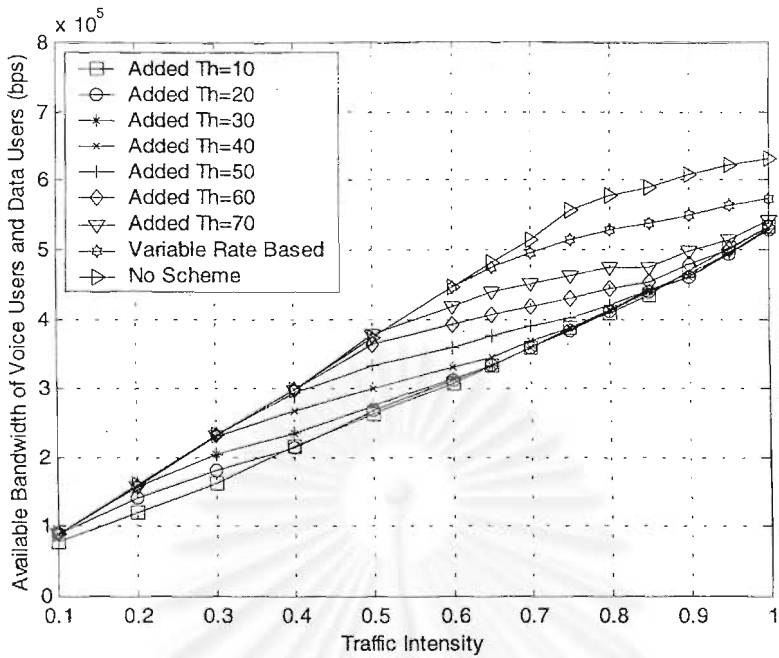
#### 4.3.2.3.3 วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ

จากผลการจำลองแบบกรณีทีที่พิจารณาแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps สามารถเปรียบเทียบแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลเมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด (แบบแผนที่เสนอ (2)) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ ดังรูปที่ 4.48 และรูปที่ 4.49 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าแบบแผนที่เสนอ (2) มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่ต่ำที่สุด รองลงมาเป็นแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก ตามลำดับ

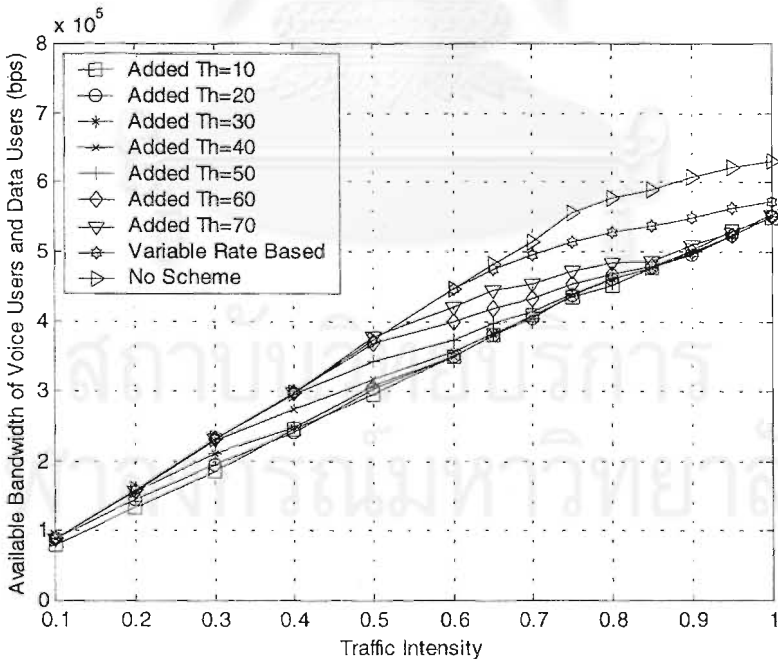
จากรูปที่ 4.44, 4.47, 4.48 และ 4.49 พบว่าที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมมีค่าต่ำ ๆ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลของแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps ต่ำกว่ากรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps เล็กน้อย เนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมให้มีค่าต่ำ จะทำให้การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่อยู่ในระบบส่วนใหญ่มีอัตราข้อมูล เท่ากับ 4800 bps ตั้งแต่ที่ความเข้มทราฟฟิกต่ำ ๆ ซึ่งส่งผลให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลมีค่าต่ำ โดยถ้าการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps ก็จะทำให้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลมากกว่ากรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps เพิ่มขึ้น อย่างเห็นได้ชัด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.48 แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้



รูปที่ 4.49 แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของทราฟฟิกเสียงและข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้

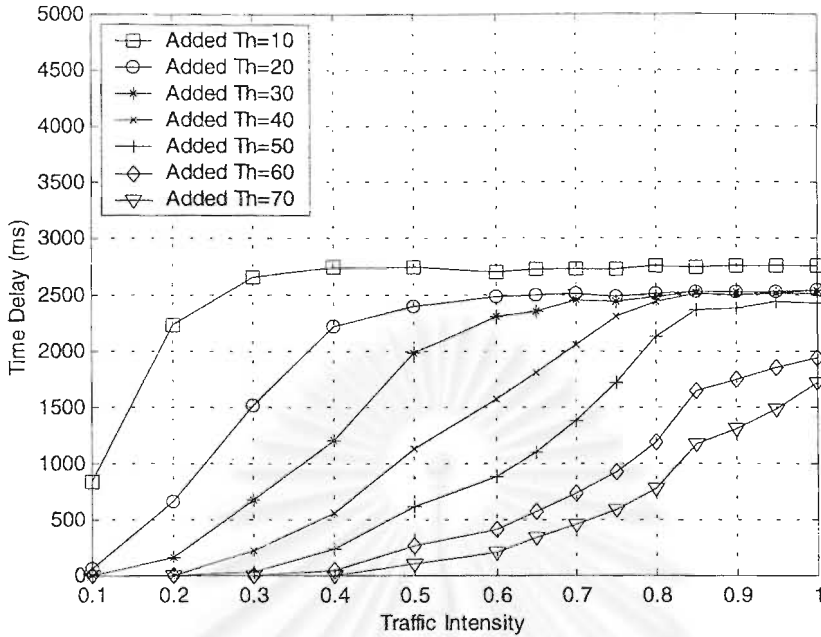
#### 4.3.2.4 การประวิง (Delay) ของทราฟฟิกข้อมูล

##### 4.3.2.4.1 กรณีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps

รูปที่ 4.50 แสดงการประวิง (Delay) ของทราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ การประวิงของทราฟฟิกข้อมูลมีค่าแตกต่างกัน โดยที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำกว่า จะมีการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลสูงกว่า เนื่องจากโดยทั่วไปการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลจะเกิดขึ้นเมื่อมีการลดอัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูล ซึ่งการลดอัตราข้อมูลขั้นแรกจะเริ่มเมื่อความจุของระบบมีค่าเท่ากับจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม ดังนั้นการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำ ๆ จะทำให้ทราฟฟิกข้อมูลถูกลดอัตราข้อมูลเป็น 4800 bps ตั้งแต่ที่ความเข้มทราฟฟิกต่ำ ๆ และการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่จะถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps ซึ่งจะมีผลทำให้ทราฟฟิกข้อมูลที่มีอยู่ในระบบส่วนใหญ่มีอัตราข้อมูล เท่ากับ 4800 และ 1200 bps แทนที่จะเป็น 9600 bps จึงทำให้การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลต้องใช้เวลาในการส่งนานขึ้น ซึ่งก็คือมีการประวิงที่มากขึ้นนั่นเอง และจากรูป พบว่าเมื่อความเข้มทราฟฟิกมีค่าสูงขึ้น การประวิงของทราฟฟิกข้อมูลจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความจุของระบบมีค่าถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2 จะมีการลดอัตราข้อมูลลงเป็น 2400 และ 1200 bps ตามลำดับ ทำให้การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลยังต้องใช้เวลาในการส่งนานขึ้น ซึ่งก็คือมีการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลเพิ่มขึ้นนั่นเอง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

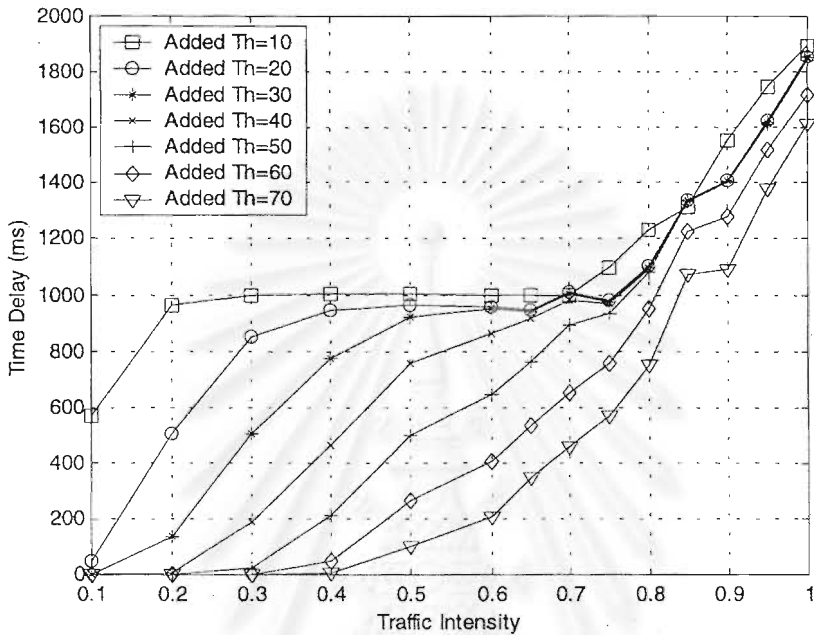


รูปที่ 4.50 การประวิงของทราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ

#### 4.3.2.4.2 กรณีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps

รูปที่ 4.51 แสดงการประวิง (Delay) ของทราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps และแสดงการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ การประวิงของทราฟฟิกข้อมูลมีค่าแตกต่างกัน โดยที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำกว่า จะมีการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลสูงกว่า เนื่องจากโดยทั่วไปการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลจะเกิดขึ้นเมื่อมีการลดอัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูล ซึ่งการลดอัตราข้อมูลชั้นแรกจะเริ่มเมื่อความจุของระบบมีค่าเท่ากับจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม ดังนั้นการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่ำ ๆ จะทำให้ทราฟฟิกข้อมูลถูกลดอัตราข้อมูลเป็น 4800 bps ตั้งแต่ที่ความเข้มทราฟฟิกต่ำ ๆ และการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่จะถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps ซึ่งจะมีผลทำให้ทราฟฟิกข้อมูลที่มีอยู่ในระบบส่วนใหญ่มีอัตราข้อมูลเท่ากับ 4800 และ 2400 bps แทนที่จะเป็น 9600 bps จึงทำให้การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลต้องใช้เวลาในการส่งนานขึ้น ซึ่งก็คือมีการประวิงที่มากขึ้นนั่นเอง และจากรูปพบว่า เมื่อความเข้มทราฟฟิกมีค่าสูงขึ้น การประวิงของทราฟฟิกข้อมูลจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความจุของระบบมีค่าถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2

จะมีการลดอัตราข้อมูลลงเป็น 2400 และ 1200 bps ตามลำดับ ทำให้การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลยังต้องใช้เวลาในการส่งนานขึ้น ซึ่งก็คือมีการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลเพิ่มขึ้นนั่นเอง

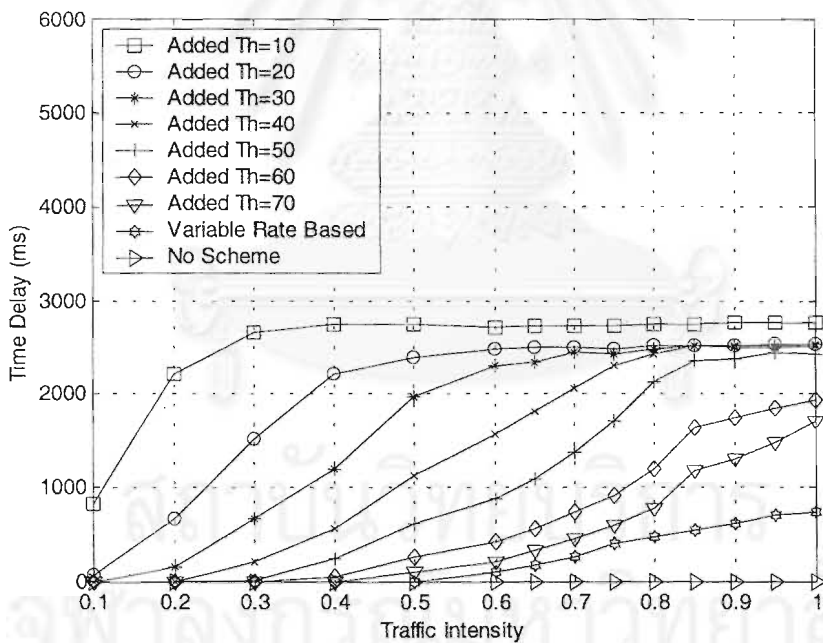


รูปที่ 4.51 การประวิงของทราฟฟิกข้อมูลที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมค่าต่าง ๆ

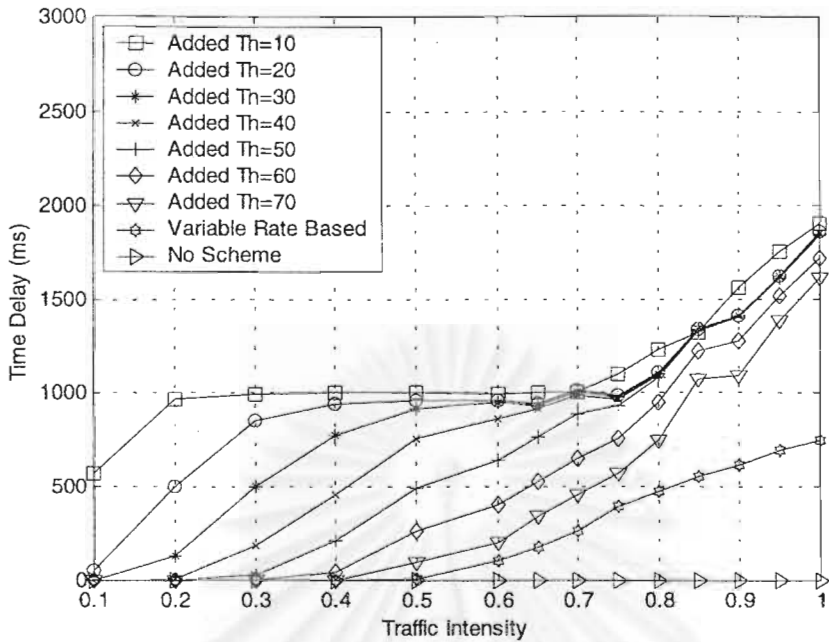
#### 4.3.2.4.3 วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองแบบ

จากผลการจำลองแบบกรณีทีพิจารณาการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลทีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลทีเข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps สามารถเปรียบเทียบการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลเมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลทีแปรค่าได้โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด (แบบแผนที่เสนอ (2)) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลทีเข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกทีไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลทีแปรค่าได้ ดังรูปที่ 4.52 และรูปที่ 4.53 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลทีเข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps มีการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลสูงทีสุด รองลงมาเป็นแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลทีเข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400

bps แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากแบบแผนที่เสนอ (2) มีการลดอัตราข้อมูล 3 ชั้น คือจาก 9600 เป็น 4800, 4800 เป็น 2400 และ 2400 เป็น 1200 bps ที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม จุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ทำให้การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลส่วนใหญ่ในระบบมีอัตราข้อมูลที่ต่ำกว่าเมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ ซึ่งมีการลดอัตราข้อมูลเพียง 2 ชั้น คือจาก 9600 เป็น 4800 และ 4800 เป็น 2400 bps ที่จุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จึงทำให้มีการประวิงมากกว่า ส่วนแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps มีการประวิงสูงกว่าเมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps เพราะการตอบรับการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ด้วยอัตราข้อมูลที่ต่ำกว่าจะทำให้การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลนั้นต้องใช้เวลาในการส่งข้อมูลนานขึ้น จึงส่งผลให้มีค่าการประวิงที่สูงขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 4.52 การประวิงของทราฟฟิกข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้



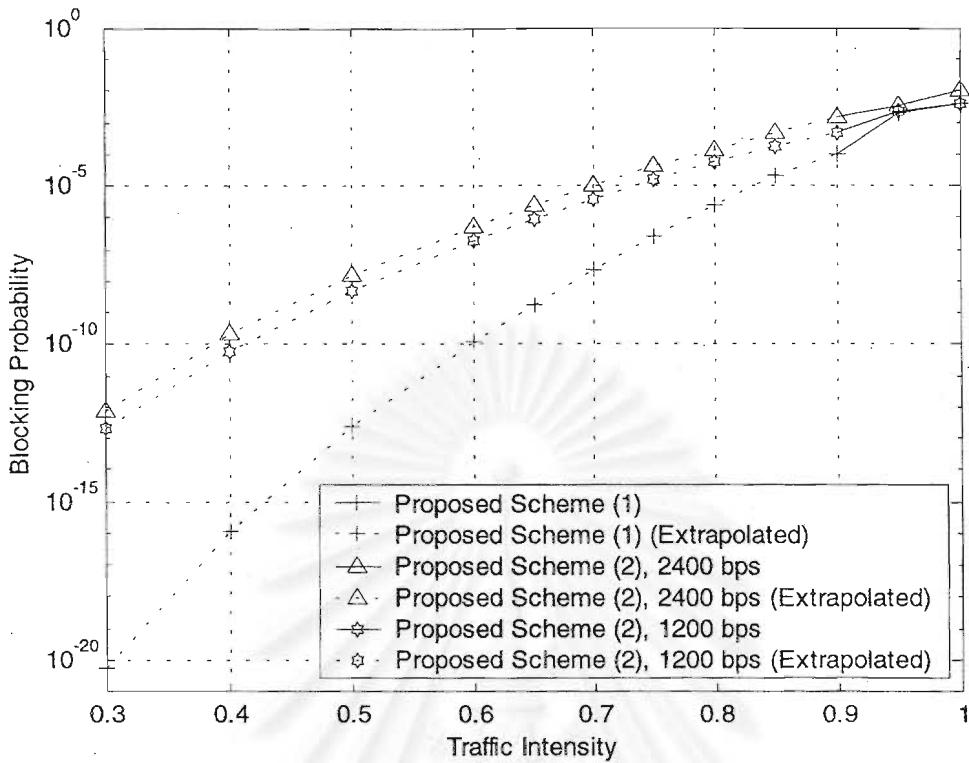
รูปที่ 4.53 การประวิงของทราฟฟิกข้อมูล เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยเทียบกับการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้

#### 4.4 การเปรียบเทียบผลการจำลองแบบของแบบแผนที่เสนอ (1) และแบบแผนที่เสนอ (2)

##### 4.4.1 ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ

รูปที่ 4.54 แสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่ความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด (แบบแผนที่เสนอ (2)) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps พบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) มีความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงต่ำที่สุด รองลงมาเป็นแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps และแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากแบบแผนที่เสนอ (1) มีการลดทั้งอัตราข้อมูลและกำลังของทราฟฟิกข้อมูลจาก 9600 bps, 12 dB เป็น 4800 bps, 10dB และจาก 4800 bps, 10 dB เป็น 2400 bps, 5 dB เมื่อความจุของระบบมีค่าถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งถ้าพิจารณาเป็นการลดแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ลดลง 93.75% เมื่อความจุของระบบมีค่าถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ส่วนแบบแผนที่เสนอ (2) จะมีการลดอัตราข้อมูล 3 ชั้น คือ จาก 9600 เป็น 4800, 4800 เป็น 2400 และ 2400 เป็น 1200 bps ตามลำดับ ถ้าพิจารณาเป็นการลดแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ลดลง 87.5% เมื่อความจุของระบบมีค่าถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ซึ่งพบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของระบบว่างมากกว่าแบบแผนที่เสนอ (2) เนื่องจากในแบบแผนที่เสนอ (1) ทราฟฟิกข้อมูลจะใช้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของระบบน้อยกว่า ทำให้การเรียกของทราฟฟิกเสียงมีค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกที่ต่ำกว่านั่นเอง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



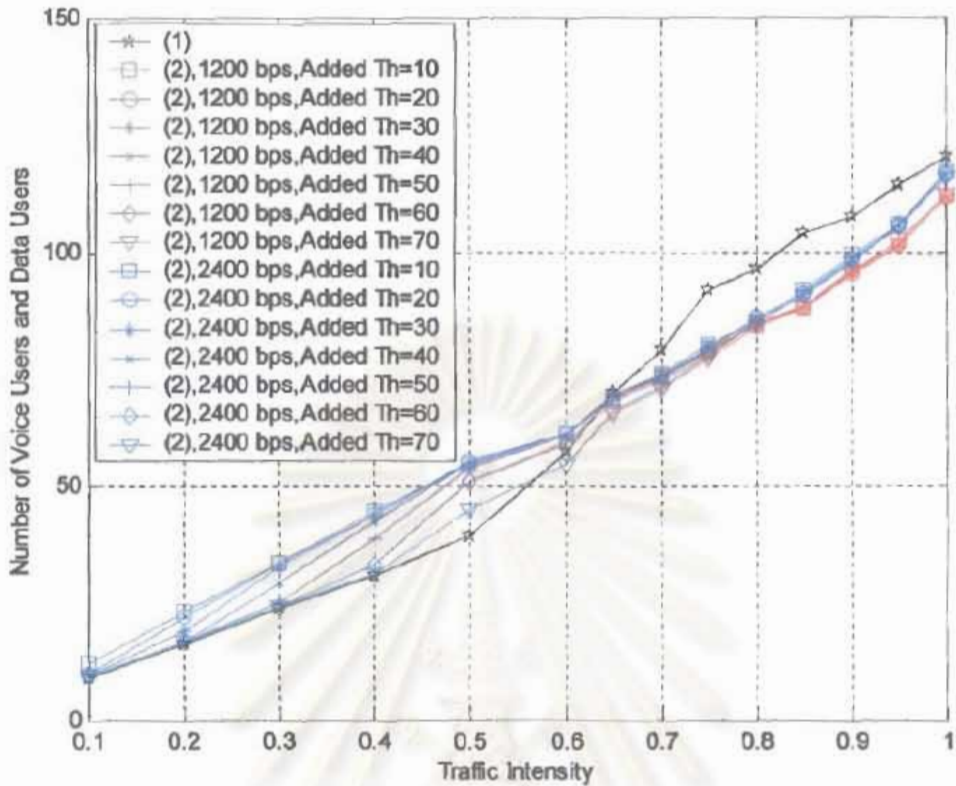
รูปที่ 4.54 ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของโทรศัพท์เสียงที่ความเข้มโทรศัพท์ต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของโทรศัพท์ ข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps

จากรูปที่ 4.54 Proposed Scheme (2), 2400 bps หมายถึงแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps โดยตัวเลขที่มีหน่วย bps บอกถึงการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูลที่ bps



#### 4.4.2 ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ (Channel Usage Efficiency)

รูปที่ 4.55 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณจากจำนวนผู้ใช้ ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มทราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของ อัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด (แบบแผนที่ เสนอ (2)) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps ซึ่งพบว่าในช่วงความเข้มทราฟฟิกสูง ๆ (ความเข้มทราฟฟิกอยู่ในช่วง 0.65-1) แบบแผนที่เสนอ (1) มีประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณที่ดีที่สุด รองลงมาเป็นแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps และ แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากในแบบแผนที่เสนอ (1) ทราฟฟิกข้อมูลจะใช้แบนด์วิดท์ที่สามารถ ใช้สอยได้ของระบบน้อยกว่า ทำให้แบบแผนที่เสนอ (1) มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของระบบ ว่างมากกว่าแบบแผนที่เสนอ (2) ซึ่งจะทำให้การเรียกใหม่สามารถเข้าถึงระบบได้มากขึ้น กล่าวคือ มีจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลในระบบมากขึ้น หรือระบบรองรับผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและ ข้อมูลได้มากขึ้นนั่นเอง ส่วนในช่วงความเข้มทราฟฟิกต่ำ (ความเข้มทราฟฟิกอยู่ในช่วง 0.1-0.65) แบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps มีประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณที่ดีใกล้เคียงกัน รองลงมาเป็นแบบแผนที่เสนอ (1) ทั้งนี้เนื่องมาจากในช่วงความเข้มทราฟฟิกต่ำ ความจุของระบบมีค่าไม่เกินจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ซึ่งถ้าพิจารณาว่าเป็นการลดแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ลดลง 62.5% ในแบบแผนที่เสนอ (1) และลดลง 75% ในแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อความจุของระบบมีค่า ถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 ซึ่งพบว่าแบบแผนที่เสนอ (2) มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของระบบว่าง มากกว่าแบบแผนที่เสนอ (1) เนื่องจากในแบบแผนที่เสนอ (2) ทราฟฟิกข้อมูลจะใช้แบนด์วิดท์ที่ สามารถใช้สอยได้ของระบบน้อยกว่า ซึ่งจะทำให้การเรียกใหม่สามารถเข้าถึงระบบได้มากขึ้น กล่าวคือมีจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลในระบบมากขึ้น หรือระบบรองรับผู้ใช้ทราฟฟิกเสียง และข้อมูลได้มากขึ้นนั่นเอง

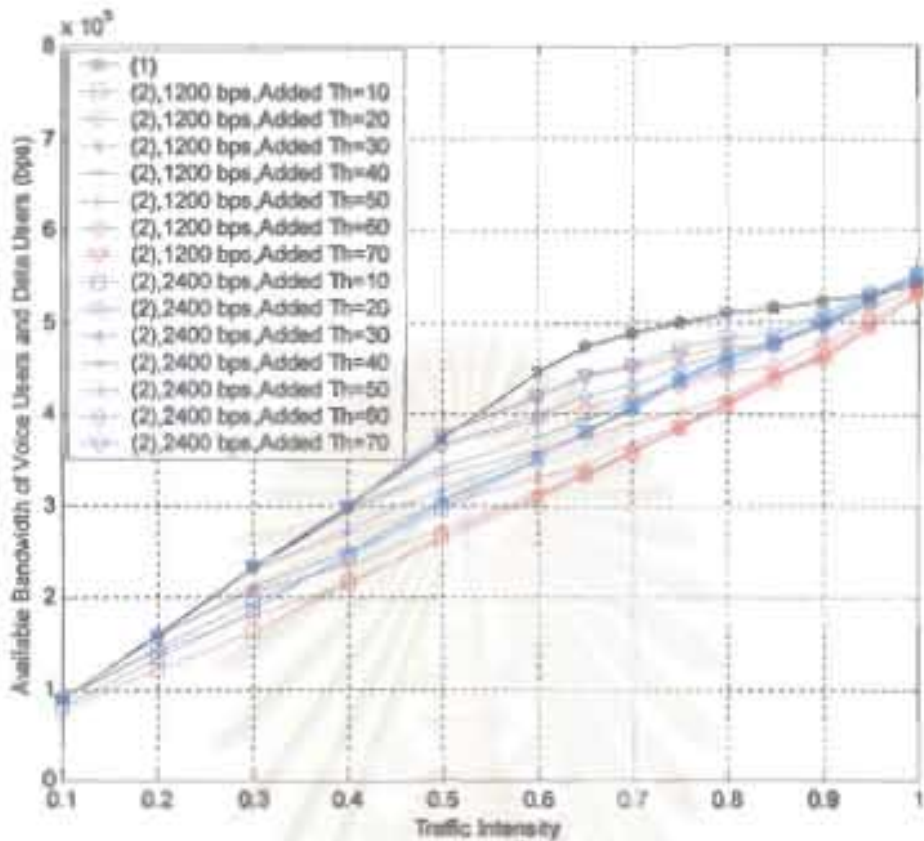


รูปที่ 4.55 ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps

รูปที่ 4.55 (1) แสดงแบบแผนที่เสนอ (1) ส่วน (2), 1200 bps, Added Th=10 หมายถึงแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps และมีค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมเท่ากับ 10% ของความจุที่มากที่สุดของระบบ โดยตัวเลขที่มีหน่วย bps บอกถึงการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูลกี่ bps และ Added Th บอกค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติม ซึ่งใช้ในรูปที่ 4.56 และ 4.57 ด้วย

#### 4.4.3 แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่และข้อมูล

รูปที่ 4.56 แสดงการเปรียบเทียบแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่และข้อมูลที่มีความเข้มโทรศัพท์ต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด (แบบแผนที่เสนอ (2)) เมื่อการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps ซึ่งพบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่และข้อมูลมากที่สุด รองลงมาเป็นแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps และแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของโทรศัพท์ข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากในช่วงความเข้มโทรศัพท์สูง ๆ แบบแผนที่เสนอ (1) มีจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่และข้อมูลในระบบมากกว่าแบบแผนที่เสนอ (2) มาก จึงทำให้แบบแผนที่เสนอ (1) มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่และข้อมูลมากที่สุด ถึงแม้ว่าโทรศัพท์ข้อมูลจะใช้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้น้อยกว่าก็ตาม ส่วนในช่วงความเข้มโทรศัพท์ต่ำ ๆ แบบแผนที่เสนอ (1) มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่และข้อมูลใกล้เคียงกับแบบแผนที่เสนอ (2) เนื่องจากในแบบแผนที่เสนอ (1) ถึงแม้ว่าโทรศัพท์ข้อมูลจะใช้แบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของระบบมากกว่าแต่มีจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่และข้อมูลน้อยกว่า จึงทำให้แบบแผนที่เสนอ (1) มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่และข้อมูลใกล้เคียงกับแบบแผนที่เสนอ (2)

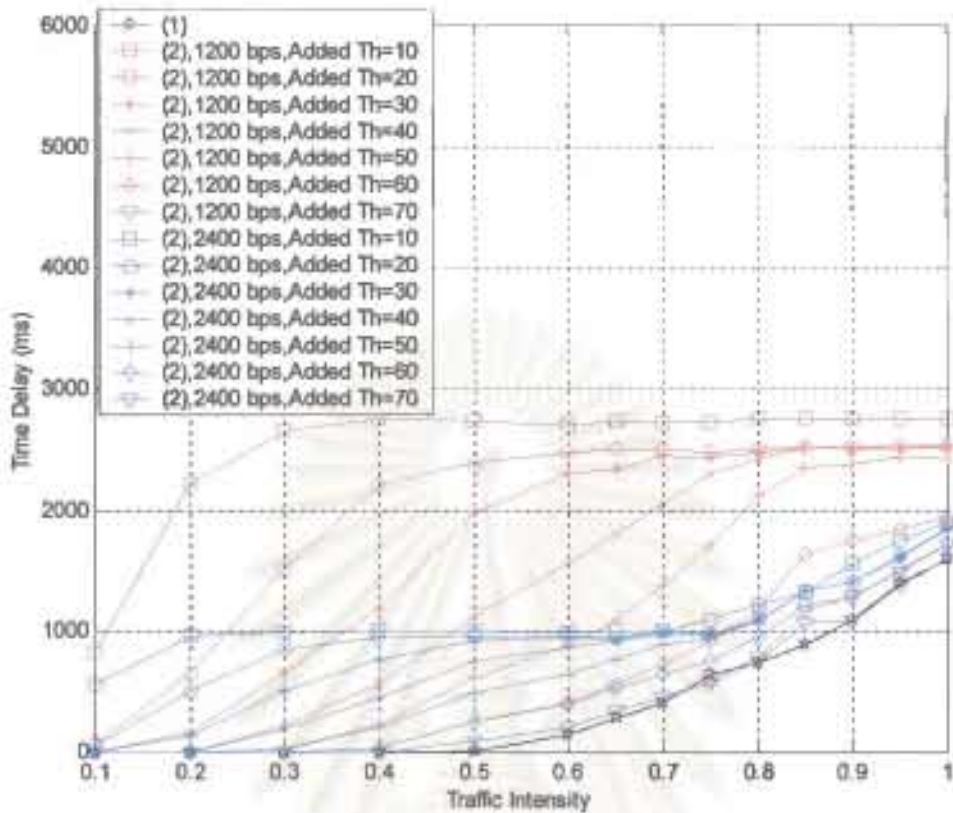


รูปที่ 4.56 แบบคิวคิที่สามารถใช้โดยได้ของผู้ใช้กราฟิกเสียงและข้อมูลที่มีความเข้มกราฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอ (1) โดยเทียบกับแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps

สถาบันวิจัยบริการ  
จฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.4.4 การประวิง (Delay) ของกราฟฟิกข้อมูล

รูปที่ 4.57 แสดงการเปรียบเทียบการประวิง (Delay) ของกราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้และความควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)) โดยเทียบกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด (แบบแผนที่เสนอ (2)) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps ซึ่งพบว่าแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps มีการประวิงของกราฟฟิกข้อมูลสูงที่สุด รองลงมาเป็นแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps และแบบแผนที่เสนอ (1) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากแบบแผนที่เสนอ (1) มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้กราฟฟิกเสียงและข้อมูลมากที่สุด จึงส่งผลให้กราฟฟิกข้อมูลส่งข้อมูลได้มากกว่า จึงมีการประวิงของกราฟฟิกข้อมูลต่ำที่สุด แต่ก็ต่ำกว่าแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps เพียงเล็กน้อยในช่วงความเข้มกราฟฟิกสูงมาก ๆ เนื่องจากในช่วงความเข้มกราฟฟิกสูงมาก ๆ แบบแผนที่เสนอ (1) มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้กราฟฟิกเสียงและข้อมูลใกล้เคียงกับแบบแผนที่เสนอ (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps



รูปที่ 4.57 การประวิง (Delay) ของกราฟฟิกข้อมูลที่มีความเข้มกราฟฟิกต่าง ๆ เมื่อใช้แบบแผนที่เสนอส (1) โดยเทียบกับแบบแผนที่เสนอส (2) เมื่อการเรียกของกราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากในการส่งทราฟฟิกเสียงและข้อมูลผ่านระบบ CDMA ทราฟฟิกต่างชนิดกันจะมีความต้องการ QoS ที่แตกต่างกัน เช่น ทราฟฟิกเสียงต้องการความเป็นเวลาจริง แต่ทนต่อความผิดพลาดได้สูงถึง  $10^{-3}$  ในขณะที่ทราฟฟิกข้อมูลสามารถทนการประวิงได้ แต่ต้องการอัตราบิดผิดพลาดที่ต่ำ คือ  $10^{-5}$  ดังนั้นผู้ใช้ทราฟฟิกข้อมูลจะต้องมีระดับกำลังการส่งที่สูงกว่าผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงเพื่อจะได้มีอัตราบิดผิดพลาดที่ต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ระบบจะต้องให้ลำดับความสำคัญกับทราฟฟิกเสียงมากกว่าทราฟฟิกข้อมูล ดังนั้นเมื่อนำแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้พิจารณาให้ลำดับความสำคัญแก่ทราฟฟิกเสียงมากกว่าทราฟฟิกข้อมูลมาใช้ จะทำให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงมีค่าสูงขึ้น จึงได้มีผู้เสนอแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ (Variable Rate based CAC) และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง (Power Control based CAC) [14] ซึ่งทั้ง 2 แบบแผนใช้กลไกของจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ 2 ค่า เพื่อให้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลมี QoS ตามที่กำหนด และเป็น การให้ลำดับความสำคัญแก่ทราฟฟิกเสียงมากกว่าทราฟฟิกข้อมูล รวมทั้งมีการปรับอัตราข้อมูลหรือควบคุมกำลังของทราฟฟิกข้อมูลซึ่งจะทำให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงลดลง อย่างไรก็ตามการปรับอัตราข้อมูลหรือควบคุมกำลังของทราฟฟิกข้อมูลเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง ไม่น่าจะทำให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงลดลงมากนัก

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่เสนอ (1)) และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ โดยมีการเพิ่มจุดเริ่มเปลี่ยนเป็น 3 จุด (แบบแผนที่เสนอ (2)) โดยจุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมจะแปรค่าเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในช่วง 0-79% กรณีที่การเรียกของทราฟฟิกข้อมูลเข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 หรือ 2400 bps

จากผลการจำลองแบบ พบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) และแบบแผนที่เสนอ (2) ทั้งกรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลเข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps ให้ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงต่ำกว่าแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก โดยแบบแผนที่เสนอ (2) กรณีที่มีการ

เรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps ให้ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงต่ำกว่ากรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps จุดเริ่มเปลี่ยนที่เพิ่มเติมไม่ว่าจะมีค่าเท่าใดก็ตามจะให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่เท่ากัน

จากผลการจำลองแบบเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณ (Channel Usage Efficiency) จากจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลรวมทั้งหมดที่ระบบสามารถรองรับได้ พบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) และแบบแผนที่เสนอ (2) ทั้งกรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps มีประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณที่ดีกว่าแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก โดยแบบแผนที่เสนอ (2) กรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps มีประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณที่ดีใกล้เคียงกัน

จากผลการจำลองแบบเพื่อพิจารณาแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูล พบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) และแบบแผนที่เสนอ (2) ทั้งกรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลต่ำกว่าแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก โดยแบบแผนที่เสนอ (2) กรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลต่ำกว่ากรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps

จากผลการจำลองแบบเพื่อพิจารณาการประวิง (Delay) ของทราฟฟิกข้อมูล พบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) และแบบแผนที่เสนอ (2) ทั้งกรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps มีการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลสูงกว่าแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง และการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก โดยแบบแผนที่เสนอ (2) กรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 bps มีการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลสูงกว่ากรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 2400 bps

จากผลการจำลองแบบ พบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) และแบบแผนที่เสนอ (2) ทั้งกรณีที่มีการเรียกของทราฟฟิกข้อมูลที่เข้ามาใหม่ถูกตอบรับด้วยอัตราข้อมูล 1200 และ 2400 bps เป็นการ



ปรับปรุงแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่รับประกันคุณภาพของบริการ (QoS) ที่เข้ามาใหม่และยังคงทำให้ทราฟฟิกเสียงที่กำลังดำเนินอยู่ในระบบมีคุณภาพเช่นเดิมโดยการปรับอัตราข้อมูลและควบคุมกำลังของทราฟฟิกข้อมูล ซึ่งทำให้ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียก (Blocking Probability) ของทราฟฟิกเสียงลดลงรวมทั้งใช้เวลาการประมวลผลน้อยลงจากแบบแผนที่มีผู้เสนอไว้แล้ว

จากการเปรียบเทียบผลการจำลองแบบของแบบแผนที่เสนอ (1) และแบบแผนที่เสนอ (2) พบว่าในช่วงความเข้มทราฟฟิกสูง ๆ แบบแผนที่เสนอ (1) มีความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงต่ำกว่า, มีประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณดีกว่า คือสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลได้มากกว่า, มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลมากกว่า และมีการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลต่ำกว่าแบบแผนที่เสนอ (2) ส่วนในช่วงความเข้มทราฟฟิกต่ำ ๆ แบบแผนที่เสนอ (1) มีความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงต่ำกว่า, มีประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณด้อยกว่า คือสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลได้น้อยกว่า, มีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลใกล้เคียงกัน และมีการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลต่ำกว่าแบบแผนที่เสนอ (2) เพราะฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่าแบบแผนที่เสนอ (1) สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้ดีกว่าแบบแผนที่เสนอ (2) นอกจากนี้ยังมีความซับซ้อนเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ไม่มากนัก

จากการพิจารณาผลการจำลองแบบของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกแบบแผนต่าง ๆ พบว่าแบบแผนที่เสนอ (1) และแบบแผนที่เสนอ (2) มีข้อเสีย คือมีการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลสูงกว่าและมีแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้สอยได้ของผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลน้อยกว่าแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้, แบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง (แบบแผนที่ [14] เสนอ) และการตอบรับการเรียกที่ไม่ได้ใช้แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก อย่างไรก็ตาม ข้อดีของแบบแผนที่เสนอ (1) และแบบแผนที่เสนอ (2) มีมากกว่า คือมีความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกเสียงที่ต่ำกว่ามาก และมีประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณที่ดีกว่า คือสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ทราฟฟิกเสียงและข้อมูลได้มากกว่า ส่วนการประวิงของทราฟฟิกข้อมูลที่สูงขึ้นของแบบแผนที่เสนอทั้ง 2 ไม่ได้เป็นปัญหาเพราะทราฟฟิกข้อมูลสามารถทนการประวิงได้

## 5.2 ความซับซ้อนของแบบแผนที่เสนอเมื่อนำไปประยุกต์ใช้

การควบคุมการตอบรับการเรียกจะต้องอาศัยคุณลักษณะของระบบและผู้ใช้เพื่อจัดการกับทรัพยากรที่มีอยู่ โดยการพิจารณาความจุของระบบที่มีอยู่และการรองรับการร้องขอของการเรียกของทราฟฟิกเสียงและข้อมูลที่เข้ามาใหม่ ในขณะเดียวกันก็ต้องสามารถรับประกัน QoS ของ

การเรียกของทราฟฟิกเสียงที่มีอยู่และที่เข้ามาใหม่ในกรณีที่ระบบรองรับทั้งทราฟฟิกเสียงและข้อมูลรวมกัน เนื่องจากระบบจะต้องให้ลำดับความสำคัญแก่ทราฟฟิกเสียงมากกว่าทราฟฟิกข้อมูล โดยการเรียกที่เข้ามาใหม่จะถูกรับโดยสถานีฐานหลังจากมีการจัดการทรัพยากรที่ Radio Network Controller (RNC) ซึ่งจะพิจารณาความจุที่เหลืออยู่ว่าจะตอบรับหรือบล็อกการเรียกที่เข้ามาใหม่ โดยในแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง จะพิจารณาความจุของระบบว่าเป็นที่เปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุด ถ้ามีค่าถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 ก็จะลดอัตราข้อมูล หรือลดกำลังของทราฟฟิกข้อมูล และถ้ามีค่าถึงจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 2 ก็จะลดอัตราข้อมูล หรือลดกำลังและปฏิเสธการเรียกของทราฟฟิกข้อมูล ในแต่ละแบบแผนตามลำดับ ซึ่งขั้นตอนการทำงานประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักเมื่อมีการเรียกใหม่ของทราฟฟิกเสียงหรือข้อมูลเข้ามา คือ ขั้นแรกพิจารณาความจุของระบบว่าเป็นที่เปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุด และขั้นที่สองจะตัดสินใจว่าจะตอบรับหรือปฏิเสธการเรียกที่เข้ามาใหม่ และปรับอัตราข้อมูลหรือควบคุมกำลังของทราฟฟิกข้อมูล 2 ชั้น (เนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยน 2 จุด) ตามแต่ละแบบแผน

แบบแผนที่เสนอ (1) มีขั้นตอนการทำงาน 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นแรกพิจารณาความจุของระบบว่าเป็นที่เปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุด และขั้นที่สองจะตัดสินใจว่าจะตอบรับหรือปฏิเสธการเรียกที่เข้ามาใหม่ และปรับอัตราข้อมูลและควบคุมกำลังของทราฟฟิกข้อมูล 2 ชั้น (เนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยน 2 จุด) ซึ่งใช้หลักการเดียวกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง เพียงแต่เพิ่มการทำงานในส่วนที่จะต้องปรับทั้งอัตราข้อมูลและควบคุมกำลังของทราฟฟิกข้อมูล แต่ขั้นตอนการทำงานยังคงเป็น 2 ขั้นตอน ดังนั้นความซับซ้อนจึงเพิ่มไม่มากนักจากแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ และแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมกำลัง

แบบแผนที่เสนอ (2) มีขั้นตอนการทำงาน 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นแรกพิจารณาความจุของระบบว่าเป็นที่เปอร์เซ็นต์ของความจุที่มากที่สุด และขั้นที่สองจะตัดสินใจว่าจะตอบรับหรือปฏิเสธการเรียกที่เข้ามาใหม่ และทำการปรับอัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูล 3 ชั้น (เนื่องจากการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยน 3 จุด) ซึ่งใช้หลักการเดียวกับแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้ เพียงแต่เพิ่มการทำงานในส่วนที่จะต้องปรับอัตราข้อมูลของทราฟฟิกข้อมูลเป็น 3 ชั้น แต่ขั้นตอนการทำงานยังคงเป็น 2 ขั้นตอนหลัก ดังนั้นความซับซ้อนจึงเพิ่มไม่มากนักจากแบบแผน CAC ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของอัตราข้อมูลที่แปรค่าได้

### 5.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

งานที่ควรได้รับการศึกษาหรือพัฒนาต่อไปจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือ

1. ศึกษาแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอในสภาวะแวดล้อมอื่นๆ เช่น พิจารณาให้พื้นที่ครอบคลุมที่ใช้มีสถานี่ฐานจำนวน 19 สถานี หรือพิจารณาการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟด้วย
2. แปรค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่ 1 และ 2 เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด
3. ศึกษาผลที่มีต่อค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของกราฟฟิกเสียงของแบบแผนที่เสนอ เมื่อเปลี่ยนอัตราการเข้ามาใหม่ของการเรียกของกราฟฟิกข้อมูล
4. นำแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอไปประยุกต์ใช้งานกับระบบสื่อสารในยุคที่ 3



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

1. T. Ojanpera and R. Prasad. Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communications. London: Artech House, 1996.
2. S. G. Glisic and P. A. Leppanen. Code Division Multiple Access Communications. Oulo: Kluwer Academic Publishers, 1995.
3. J. G. Proakis. Digital Communication. New York: McGraw-Hill, 1995.
4. พงษ์ศักดิ์ สุลัมพันธ์ไพบูลย์. เรื่อนำรู้การสื่อสารดาวเทียม. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2539.
5. E. Dahkman, B. Gudmundson, M. Nilsson and J. Skold. UMTS/IMT-2000 based on Wideband CDMA. IEEE Communications Magazine (September 1998): 70-80.
6. D. N. Knisely, S. Kumar, S. Laha and S. Nanda. Evolution of Wireless Data Services: IS-95 to cdma2000. IEEE Communications Magazine (October 1998): 140-149.
7. E. Dahlman, P. Beming, F. Ovesjo, M. Persson and C. Roobol. WCDMA-The Radio Interface for Future Mobile Multimedia Communications. IEEE Transaction on Vehicular Technology. 47, 4 (November 1998): 1105-1118.
8. Y. Ishikawa and N. Umeda. Capacity Design and Performance of Call Admission Control in Cellular CDMA Systems. IEEE Journal on Selected Area in Communications. 15, 8 (October 1997): 1627-1635.
9. N. Dimitriou and R. Tafazolli. Resource Management Issues for UMTS. 3G Mobile Communication Technologies Conference Publication. 471 IEE (2000): 401-405.
10. N. Dimitriou and R. Tafazolli. Quality of Service for Multimedia CDMA. IEEE Communications Magazine (July 2000): 88-94.
11. N. Dimitriou, G. Sfikas and R. Tafazolli. Call Admission Policies for UMTS. Vehicular Technology Conference Proceedings IEEE VTC 51<sup>st</sup>. 2 (2000): 1420-1424.
12. S. Sun and W. A. Krzymien. Call Admission Policies and Capacity Analysis of a Multi-Service CDMA Personal Communication System with Continuous and

- Discontinuous Transmission. Vehicular Technology Conference IEEE VTC 48<sup>th</sup> 1 (1998): 218-223.
13. C. Y. Huang. Radio Resource Management in Power Controlled CDMA Systems. Doctoral Dissertation. Department of Electrical Engineering Graduate School The State University of New Jersey, 1996.
14. H. Y. Um and S. Y. Lim. Call Admission Control Schemes for DS-CDMA Cellular System Supporting an Integrated Voice/Data Traffic. ISCC Proceeding Third IEEE Symposium (1998): 365-369.
15. G. Holmgren. Call Admission Control in a DS-CDMA Multiple Service System. Master Thesis. Sweden: Royal Institute of Technology, 1999.
16. R. F. Chang and S. W. Wang. QOS-based Call Admission Control for Integrated Voice and Data in CDMA Systems. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications IEEE 7<sup>th</sup> International Symposium (1996): 623-627.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว

บทความทางวิชาการจากงานประชุมทางวิชาการ The 6<sup>th</sup> CDMA International Conference ซึ่งจัดขึ้นในวันที่ 30 ตุลาคม - 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2544 ที่ Sheraton Walker Hill Hotel & Tower, กรุงโซล ประเทศเกาหลีใต้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# IMPROVEMENT OF CALL ADMISSION CONTROL SCHEMES FOR INTEGRATED VOICE AND DATA TRAFFIC IN CDMA CELLULAR MOBILE COMMUNICATION SYSTEM

N. Hlaovisetkul, B. Homnan and W. Benjapolakul  
 Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,  
 Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.

Phone: 66 2218 6902, Fax: 66 2218 6912, E-mail: watit@ee.eng.chula.ac.th

## Abstract

This article proposes an improved scheme for Call Admission Control (CAC) for integrated voice and data traffic in CDMA cellular mobile communication system. The combination of variable rate based and power control based CAC schemes is proposed. The scheme guarantees the contracted QoS of admitted voice calls while the quality of existing voice calls is not degraded. The proposed scheme shows better performance than the separated variable rate based and power control based CAC schemes, in terms of decreasing blocking probability of new voice calls.

**Keywords:** Call Admission Control, CDMA

## 1. Introduction

Since the limit of CDMA capacity is determined by the interference generated at the Base Station (BS), CAC must guarantee both the Grade of Service (GoS) and the Quality of Service (QoS) of voice traffic [1, 2]. The objective of CAC scheme is to regulate the operation of a network in such a way that it ensures the QoS of the existing connections, at the same time accommodates the new connection requests. This is done by considering characteristics of the system and user to define and manage the available resources.

The call admission procedure is depicted in Figure 1. A new call request is received by the BS. Before the system either admits or blocks the new call, it conducts resource management at the Radio Network Controller (RNC) using data for calculating the residual capacity [3, 4].

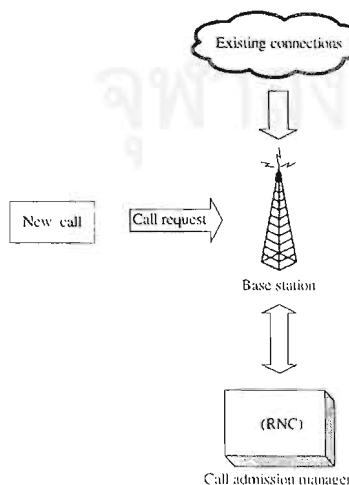


Figure 1. CAC mechanism

There are two problems for CAC in CDMA system: 1) maximizing erlang capacity of each cell and 2) setting an effective threshold in order to guarantee the GoS/QoS.

The CAC schemes are usually characterized by means of being [5]:

- Interactive or non-interactive: The interactive algorithms, which use longer processing time, monitor/predict how the system will be affected if the user is admitted after letting the new user interact with the system. The non-interactive algorithms, which use shorter processing time, make an immediate decision either to admit or block a request to the system.

- Distributed or non-distributed: The distributed algorithms, which use longer processing time, use status information of the other BSs to consider the request. The non-distributed algorithms, which use shorter processing time, use status information of only its own BS.

- Predictive or non-predictive: The predictive algorithms, which use longer processing time, make a prediction on future traffic conditions. The non-predictive algorithms, which use shorter processing time, do not have future traffic conditions.

Hwa-Young Um and Soon-Yong Lim [6] proposed variable rate based and power control based CAC schemes for reducing blocking probability of new voice calls by adjusting rate and power of data calls, respectively. These two schemes are non-interactive, non-distributed and non-predictive algorithms which use shorter processing time. The proposed scheme extend from [6] combines these two schemes, adjusting both rate and power of data calls.

The remainder of this paper is organized as follows. The system model for integrated voice/data services is described; an impact of voice on data and an impact of data on voice are implemented in Section 2. The combination of variable rate based and power control based CAC schemes is proposed in Section 3. Simulation results are presented in Section 4. Finally, the conclusions are given in Section 5.

## 2. System Model [6]

The system consists of one cell containing an omnidirectional BS. The Mobile Station (MS) can request voice calls as well as data calls. Each traffic requires different QoS [7], consequently, the impact of voice on data must be considered and vice versa.

### 2.1 Impact of voice on data



Let  $N_d$  be the number of active data users and  $N_v$  be the number of active voice users as the interferers, the total received power ( $C$ ) at BS can be shown below

$$C = N_0W + \sum_{i=1}^{N_v} v_i P_{v,i} + \sum_{i=1}^{N_d} E[R_{d,i}] P_{d,i} \quad (1)$$

where  $N_0$ ,  $W$ ,  $N_0W$ ,  $v_i$ ,  $P_{v,i}$ ,  $P_{d,i}$ ,  $R_{d,i}$  and  $E[R_{d,i}]$  are background noise power spectral density, bandwidth, background noise power in bandwidth  $W$ , voice activity of the  $i^{\text{th}}$  voice user, received power of the  $i^{\text{th}}$  voice user, received power of the  $i^{\text{th}}$  data user, rate of the  $i^{\text{th}}$  data user and the expectation of rate of the  $i^{\text{th}}$  data user, respectively. The received power relative to the background noise is expressed as

$$Z = \frac{C}{N_0W} = 1 + \sum_{i=1}^{N_v} v_i \frac{P_{v,i}}{N_0W} + \sum_{i=1}^{N_d} \frac{E[R_{d,i}] P_{d,i}}{N_0W} \quad (2)$$

Moreover, the signal-to-noise plus interference ratio is obtained as

$$\left( \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_d = \frac{E_{b,d}/N_0}{1 + \frac{1}{G_v} \alpha_v \frac{E_{b,v}}{N_0} N_v + \frac{1}{G_d} \alpha_d \frac{E_{b,d}}{N_0} (N_d - 1)} \quad (3)$$

where  $G_v = W/E[R_v]$ ,  $G_d = W/E[R_d]$  and  $I_0$ ,  $E_{b,v}$ ,  $E_{b,d}$ ,  $\alpha_v$ ,  $\alpha_d$  are total interference, received bit energy due to each bit in a packet for voice, received bit energy due to each bit in a packet for data, voice activity and data activity, respectively.

**2.2 Impact of data on voice**

Let  $N_v$  be the number of active voice users and  $N_d$  be the number of active data users as the interferers, the total received power ( $C$ ) at BS can be shown below

$$C = N_0W + \sum_{i=1}^{N_v} v_i P_{v,i} + \sum_{i=1}^{N_d} E[R_{d,i}] P_{d,i} \quad (4)$$

The received power relative to the background noise is expressed as

$$Z = \frac{C}{N_0W} = 1 + \sum_{i=1}^{N_v} v_i \frac{P_{v,i}}{N_0W} + \sum_{i=1}^{N_d} \frac{E[R_{d,i}] P_{d,i}}{N_0W} \quad (5)$$

Moreover, the signal-to-noise plus interference ratio is obtained as

$$\left( \frac{E_b}{N_0 + I_0} \right)_v = \frac{E_{b,v}/N_0}{1 + \frac{1}{G_v} \alpha_v \frac{E_{b,v}}{N_0} (N_v - 1) + \frac{1}{G_d} \alpha_d \frac{E_{b,d}}{N_0} N_d} \quad (6)$$

By Equations (3) and (6), it can be concluded that if  $N_v$  and  $N_d$  increase, the signal-to-noise plus interference ratio will decrease.

In [6], the CAC schemes are based on threshold mechanism by setting two thresholds. The first threshold guarantees specific QoS of users in the system. The second threshold makes the blocking probability of voice calls lower, which gives highest priority to voice calls. Both of these threshold values depend on the maximum capacity of the network.

**1. Variable rate based CAC**

The first threshold ensures the voice users in the system to preserve their given QoS. This is done by reducing the data rate when the capacity of system exceeds this threshold. The second threshold makes the blocking probability of voice calls lower. The first priority is served to voice calls by rejecting the data calls when the capacity of system exceeds this threshold.

The algorithm of this scheme is summarized in Figure 2.

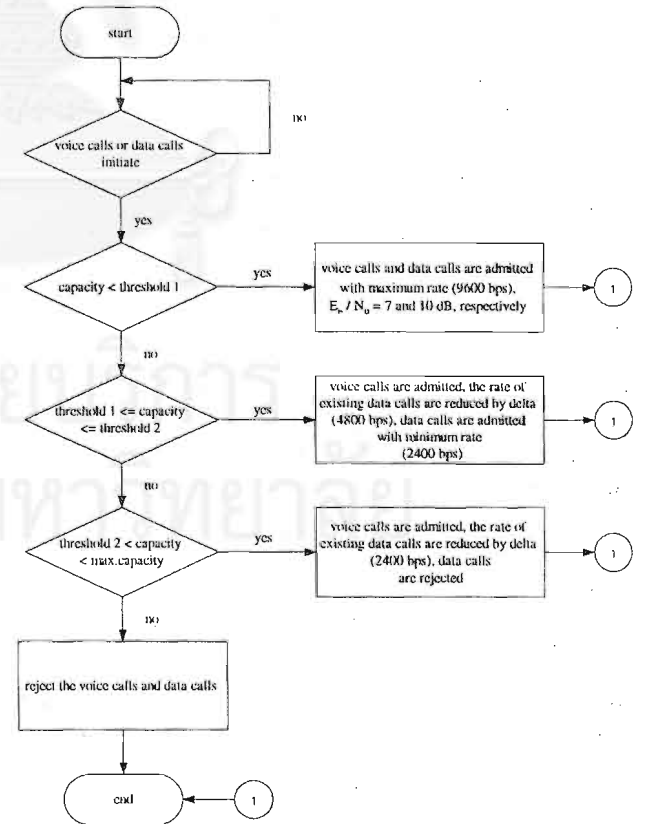


Figure 2. Variable rate based CAC flow diagram

**2. Power control based CAC**

The first threshold ensures the voice users in the system to preserve their given QoS. This is done by reducing the data power when the capacity of system exceeds this threshold. The second threshold makes the blocking probability of voice calls lower. The first priority is served to voice calls by rejecting the data calls when the capacity of system exceeds this threshold.

The algorithm of this scheme is summarized in Figure 3.

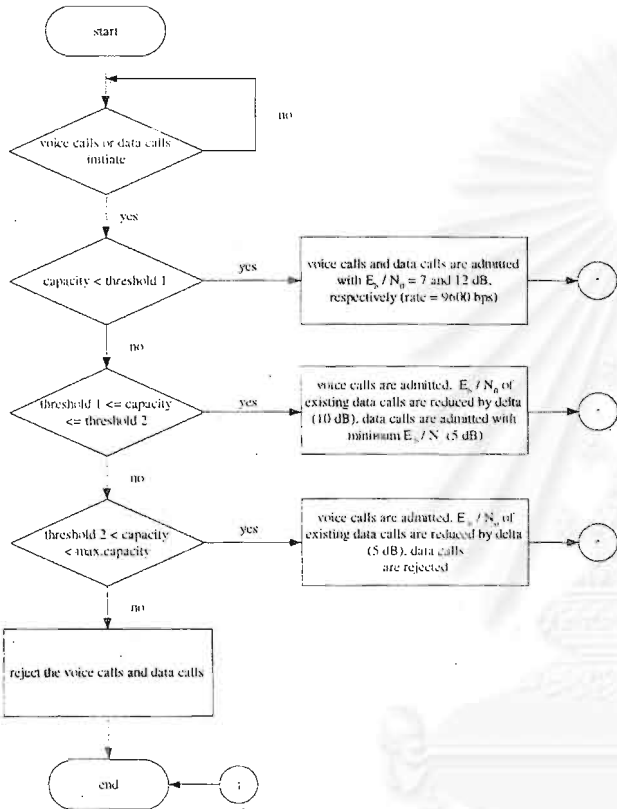


Figure 3. Power control based CAC flow diagram

**3. Proposed Scheme**

The combination of variable rate based and power control based CAC schemes is actually a combination of variable rate based CAC and power control based CAC. The first threshold ensures the voice users in the system to preserve their given QoS. This is done by reducing both the data rate and data power when the capacity of system exceeds this threshold. The second threshold makes the blocking probability of voice calls lower. The first priority is served to voice calls by rejecting the data calls when the capacity of system exceeds this threshold.

The first and second threshold values are set to be 80% and 90% of maximum capacity, respectively, in order to compare the results with those of the schemes in [6]. After that, both of these threshold values will be optimized to obtain the lowest blocking probability of new voice calls.

The algorithm of this scheme is summarized in Figure 4.

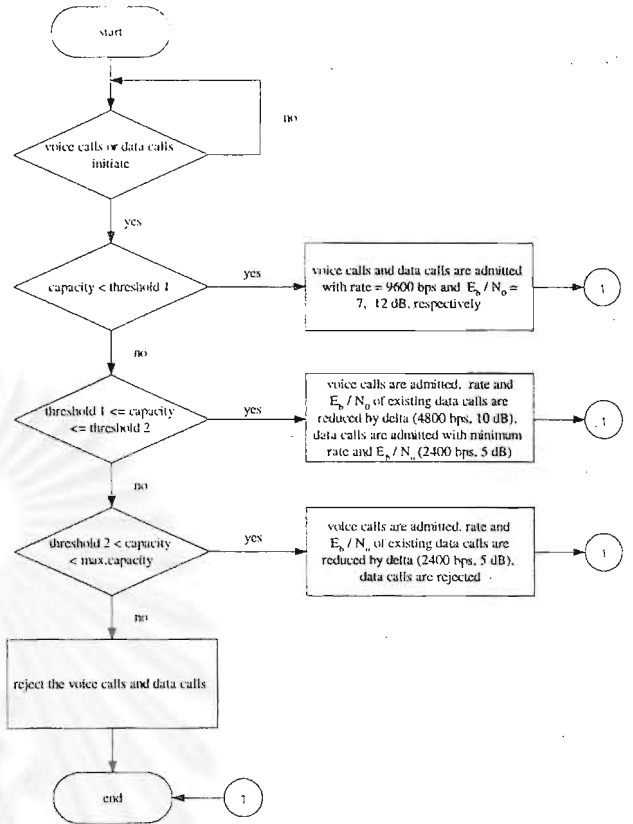


Figure 4. Flow diagram of the proposed scheme

**4. Simulation Results**

The performance of the proposed scheme is evaluated by considering blocking probability of new voice calls and time delay of data calls. All parameter values for simulation are the same as those in [6].

The number of voice and data users as a function of traffic intensity when applying the proposed scheme are plotted in Figure 5. From this figure, in 0.1-0.5 traffic intensity range where the capacity of the system is less than 80% of the maximum capacity, the data rate and  $E_b/N_0$  of data users are 9600 bps and 12 dB, respectively and the number of voice and data users gradually increase.

In 0.5-0.7 traffic intensity range where the capacity in the system is between 80% of the maximum capacity and 90% of the maximum capacity, the number of data users at data rate of 9600 bps and  $E_b/N_0$  of 12 dB gradually decrease while the number of data users at data rate of 4800 bps and  $E_b/N_0$  of 10 dB gradually increase. This is because data rate and  $E_b/N_0$  of most data users are being changed from 9600 to 4800 bps and 12 to 10 dB, respectively. At traffic intensity of 0.6, there is a steep increase in the number of data users at data rate of 2400 bps and  $E_b/N_0$  of 5 dB since new data calls are admitted with minimum data rate and  $E_b/N_0$ .

In 0.7-1 traffic intensity range where the capacity in the system is more than 90% of the maximum capacity,

the number of data users at data rate of 4800 bps and  $E_b/N_0$  of 10 dB decrease abruptly while the number of data users at data rate of 2400 bps and  $E_b/N_0$  of 5 dB increase sharply. This is because data rate and  $E_b/N_0$  of most data users are being changed from 4800 to 2400 bps and 10 to 5 dB, respectively.

7 for voice calls and  $E_b/N_0$  are 5, 10, 12 dB for data calls. From this figure, the changing of the number of data users is similar to that of Figure 6, but at traffic intensity of 1, the number of data users at  $E_b/N_0$  of 5 dB is lower than the number of data users at data rate of 2400 bps.

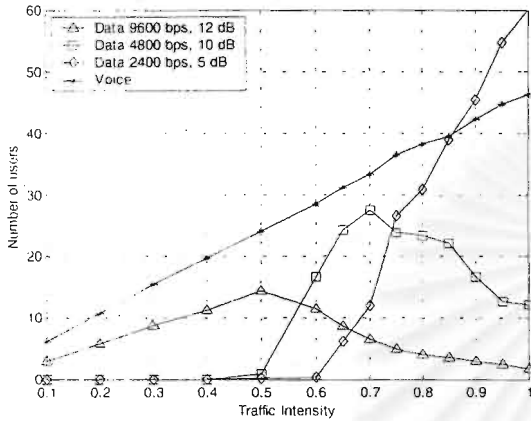


Figure 5. The number of voice and data users as a function of traffic intensity (the proposed scheme)

The number of voice and data users as a function of traffic intensity when applying the variable rate based CAC scheme are plotted in Figure 6, where  $E_b/N_0$  are 7 and 10 dB for voice and data calls, respectively. From this figure, the changing of the number of data users is similar to that of Figure 5, but at traffic intensity of 1, the number of data users at data rate of 2400 bps is lower than the number of data users at data rate of 2400 bps and  $E_b/N_0$  of 5 dB.

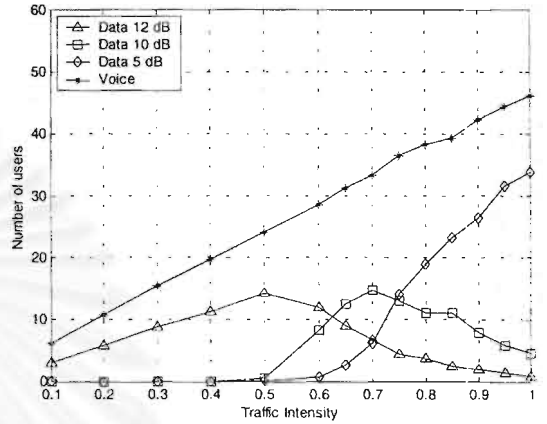


Figure 7. The number of voice and data users as a function of traffic intensity (power control based CAC scheme)

Blocking probability of new voice calls as a function of traffic intensity is plotted in Figure 8. The dotted lines are obtained by an extrapolation approach because the simulation is extremely time-consuming. In this figure, the better results are obviously noticeable when the proposed CAC scheme is adopted. The new-voice-call blocking probability of the proposed scheme is much lower than those of variable rate based and power control based CAC schemes because both the data rate and data power of existing data calls are sacrificed for new voice calls.

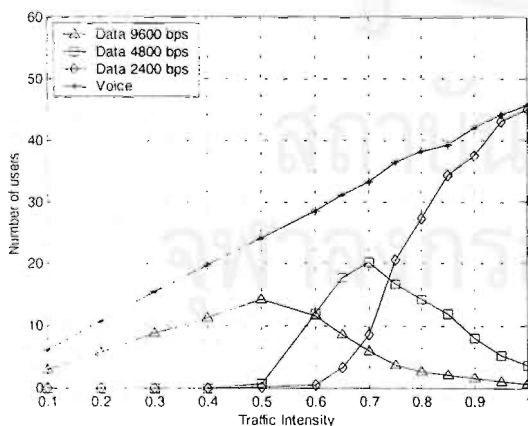


Figure 6. The number of voice and data users as a function of traffic intensity (variable rate based CAC scheme)

The number of voice and data users as a function of traffic intensity when applying the power control based CAC scheme are plotted in Figure 7, where  $E_b/N_0$  are

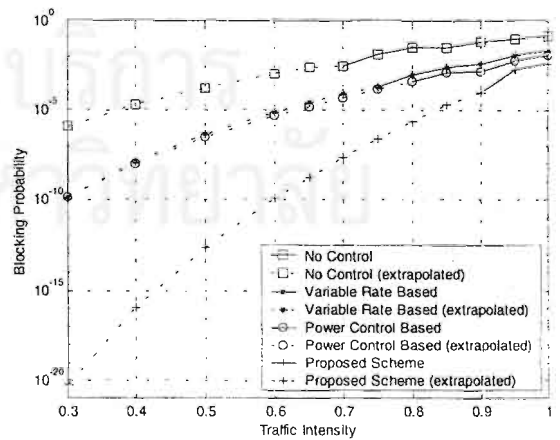


Figure 8. Blocking probability of new voice calls as a function of traffic intensity

Time delay of data calls as a function of traffic intensity is plotted in Figure 9. In this figure, time delay of data calls grows longer when the proposed scheme is operated since the power and the data rate of existing data calls are sacrificed for new voice calls. At traffic intensity of 0.5, time delay of data calls of all schemes gradually increase. In the proposed scheme, the first priority is served to voice calls by rejecting the data calls when the system capacity is almost full.

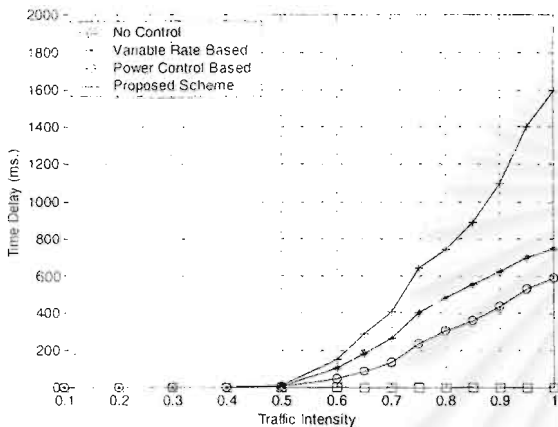


Figure 9. Time delay of data calls as a function of traffic intensity

## 5. Conclusions

A QoS-based CAC scheme supporting different QoS requirements for integrated voice and data traffic in CDMA cellular mobile communication system is proposed. The data users are assigned with a higher transmission power level over voice users to achieve a lower bit error rate in normal traffic state. Nevertheless, higher priority is given to voice users over data users in heavy traffic state. In particular, the proposed scheme can noticeably reduce the blocking probability of new voice calls when compared to variable rate based CAC and power control based CAC schemes. According to simulation results, the proposed scheme gives good voice transmission performance, with little effect on data quality.

## References

- [1] Y. Ishikawa and N. Umeda, "Capacity Design and Performance of Call Admission Control in Cellular CDMA Systems". IEEE Journal on Selected Area in Communications. Vol. 15, No. 8, October 1997, pp. 1627-1635.
- [2] N. Dimitriou and R. Tafazolli, "Resource Management Issues for UMTS", 3G Mobile Communication Technologies, Conference Publication. No. 471. IEE, 2000, pp. 401-405.
- [3] N. Dimitriou and R. Tafazolli, "Quality of Service for Multimedia CDMA", IEEE Communications Magazine. July 2000, pp. 88-94.

- [4] N. Dimitriou, G. Sfikas and R. Tafazolli, "Call Admission Policies for UMTS", Vehicular Technology Conference Proceedings, IEEE VTC 51<sup>st</sup>, Vol. 2, 2000, pp. 1420-1424.
- [5] G. Holmgren, "Call Admission Control in a DS-CDMA Multiple Service System", Master Thesis, Royal Institute of Technology, Sweden, 1999.
- [6] H. Y. Um and S. Y. Lim, "Call Admission Control Schemes for DS-CDMA Cellular System Supporting an Integrated Voice/Data Traffic", ISCC Proceeding Third IEEE Symposium, 1998, pp. 365-369.
- [7] R. F. Chang and S. W. Wang, "QoS-based Call Admission Control for Integrated Voice and Data in CDMA Systems", Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, IEEE 7<sup>th</sup> International Symposium, 1996, pp. 623-627.

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวณัฐฐรี เหล่าวิเศษกุล เกิดวันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2521 ที่ภูเก็ท เข้ารับการ  
ศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2538 สำเร็จ  
การศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ในปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรม  
ไฟฟ้าที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2542



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย