

การวิเคราะห์และปรับแก้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกกฎปฏิเสธซึ่งได้จากการวัด  
แบบมีการรบกวนในโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่



นายวีรยุทธ หมายหาทรัพย์

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

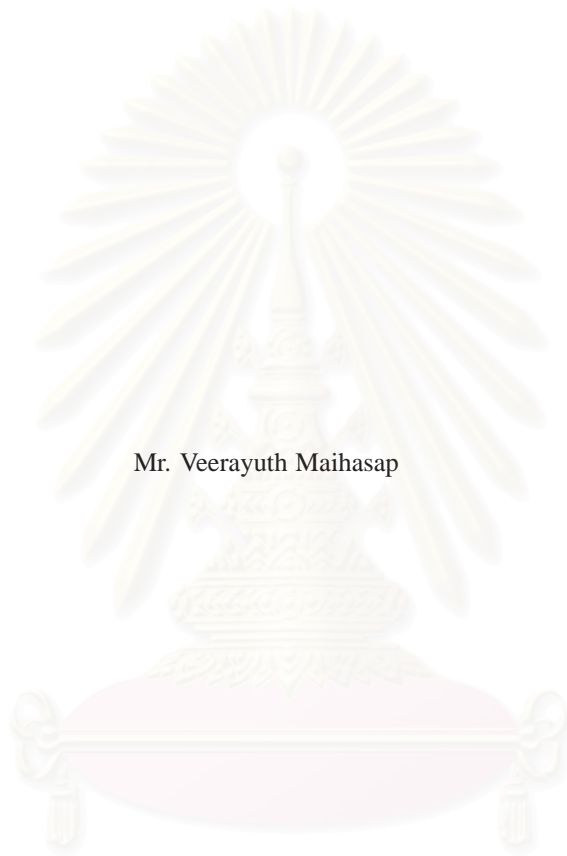
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYSIS AND CORRECTION OF CALL BLOCKING PROBABILITY FROM  
INTRUSIVE MEASUREMENT IN MOBILE PHONE NETWORK



Mr. Veerayuth Maihasap

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering  
Department of Electrical Engineering  
Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2008  
Copyright of Chulalongkorn University



วิรัช หมายหาทรัพย์: การวิเคราะห์และปรับแก้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งได้จากการวัดแบบมีการรบกวนในโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (ANALYSIS AND CORRECTION OF CALL BLOCKING PROBABILITY FROM INTRUSIVE MEASUREMENT IN MOBILE PHONE NETWORK), อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เซาว์นติศ อัครกุล, 63 หน้า

การควบคุมคุณภาพการให้บริการบนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการ หรือตามข้อบังคับของผู้กำกับดูแล ส่งผลให้ต้องทำการตรวจสอบค่าคุณภาพการให้บริการที่ผู้ให้บริการได้รับ การวัดคุณภาพการให้บริการแบบมีการรบกวนเป็นวิธีการหนึ่งที่มีจุดเด่นคือ ผู้ที่ทำการวัดด้วยวิธีดังกล่าวไม่จำเป็นต้องเป็นเจ้าของโครงข่ายหรือผู้ให้บริการ ดังนั้นสามารถทำได้โดยองค์กรอิสระ ผู้กำกับดูแล หรือผู้ให้บริการรายอื่น เนื่องด้วยการวัดคุณภาพการให้บริการด้วยวิธีนี้เป็น การเพิ่มกราฟฟิกเข้าไปรบกวนระบบ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดข้อสงสัยในความถูกต้องของผลการวัดคุณภาพการให้บริการ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ศึกษาปัญหาดังกล่าว โดยค่าคุณภาพการให้บริการที่สนใจคือ ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ ซึ่งได้จากวิธีการวัดแบบมีการรบกวน การวิเคราะห์ค่าคุณภาพที่วัดได้นั้นกระทำได้ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาตัวคูณปรับแก้ ซึ่งได้ศึกษา 2 ระบบด้วยกัน ได้แก่ ระบบที่ไม่มีกั้นช่องสัญญาณ และระบบที่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับกราฟฟิกชนิดแฮนด์โอเวอร์ด้วยนโยบายขีดแบ่ง ในที่นี้ได้จำลองระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยโมเดล CTMC การตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ตัวคูณปรับแก้ทางคณิตศาสตร์ ทำโดยเปรียบเทียบกับผลการทดสอบด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ตัวคูณปรับแก้ที่ได้จากผลการจำลองระบบมีค่าเท่ากับ 1 เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในทั้ง 2 กรณี นอกจากนี้ยังได้ทดสอบผลการวัดคุณภาพการให้บริการแบบมีการรบกวนระบบด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในกรณีที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้นใน 3 กรณีศึกษา ได้แก่ กรณีศึกษาที่กราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีลักษณะการเข้าใช้บริการที่กำหนดแน่นอน กรณีศึกษาที่ระบบมีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับกราฟฟิกชนิดแฮนด์โอเวอร์ด้วยนโยบายจองช่องสัญญาณ และกรณีศึกษาที่ระบบผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ ผลจากการวิเคราะห์ทางแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สามารถสรุปได้ว่าตัวคูณปรับแก้มีค่าเท่ากับ 1 ในทุกกรณีที่ศึกษายกเว้น กรณีที่ทดสอบกับระบบที่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับกราฟฟิกชนิดแฮนด์โอเวอร์ด้วยนโยบายจองช่องสัญญาณ ตัวคูณปรับแก้มีค่าน้อยกว่า 1 เนื่องจากค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธที่วัดได้มีค่ามากเกินกว่าความเป็นจริง แต่ด้วยตัวคูณปรับแก้นี้ทำให้ค่าคุณภาพการให้บริการที่วัดได้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ภาควิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา ..... 2551

ลายมือชื่อนิสิต *Seyu Kaeunpui*  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก *Sanan*

##5070618821: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: QUALITY OF SERVICE (QoS) / ACTIVE MEASUREMENT/ INTRUSIVE MEASUREMENT / CALL BLOCKING PROBABILITY / CORRECTIVE FACTOR / THRESHOLD POLICY / CHANNEL RESERVATION POLICY

VEERAYUTH MAIHASAP : ANALYSIS AND CORRECTION OF CALL BLOCKING PROBABILITY FROM INTRUSIVE MEASUREMENT IN MOBILE PHONE NETWORK.  
ADVISOR: CHAODIT ASWAKUL, Ph.D., 63 pp.

In order to control Quality of Service (QoS) in cellular networks corresponding to bidding agreement between a service provider and customers or regulatory commitment, first one is necessary to measure QoS of the system. An intrusive measurement is a useful technique which does not require any internal information of the measured network, but needs to inject the traffic into the measured system. It therefore can be done by anyone (e.g. regulator, individual organization, other service providers, etc.). Since such added traffic might affect the true QoS value, this thesis has addressed the problem of improving call-based QoS measurement accuracy with the focus on call blocking probability as monitored via the intrusive measurement or test drives in cellular networks. The analysis of accuracy improvement is performed via mathematical derivation for a corrective factor in two cases—non-guard-channels for handover-traffic and having guard-channels for handover-traffic with threshold policy. The cellular-system has been modeled as continuous time Markov chains. The verification is shown by comparing the results from mathematical analysis with the simulation results in both cases. The results show that analysis provides good agreement with the simulation. In addition, this thesis has considered more natural system models, in which the intrusive traffic is assumed as an on-off injected traffic model with deterministic state sojourn time, the system has guard-channels for handover traffic with channel reservation policy, and users in the system can cross the cell. This thesis shows the study results of these cases via simulation method. Through these studied cases, we can conclude that the corrective factors are equal to 1 in every studied case, except in the case of the channel reservation system with guard-channels for handover traffic, where the corrective factor is less than 1. With the derived corrective factors, QoS measurement can be accurately measured and regulated.

**Department:** Electrical Engineering  
**Field of Study:** Electrical Engineering  
**Academic year:** 2008

**Student's Signature**  
**Advisor's Signature**

*Veerayuth*  
*Chaodit*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ เนื่องด้วยความช่วยเหลือของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เซวณัติศ อัครกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร ซึ่งได้กรุณาให้ความรู้ พร้อมทั้งสละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ รวมทั้งได้มอบหมายงานที่เป็นประโยชน์ ที่ทำให้นิสิตมีแนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนความเมตตาและความใส่ใจต่อผู้ทำวิจัยมาตลอดผู้วิจัยจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทับทิม อ่างแก้ว ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ สุวิทย์ นาคพิระยุทธ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภูมิพัฒน์ แสงอุดมเลิศ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบและให้คำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในสาขาไฟฟ้าสื่อสาร ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้ อันเป็นพื้นฐานในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ รุ่นพี่ รุ่นน้องในห้องปฏิบัติการวิจัยโทรคมนาคม โดยเฉพาะ Network Research Group (NRG) ที่ให้กำลังใจและคำปรึกษา จนผู้วิจัยได้ทำวิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ กลุ่ม CoreGame และพวกสำหรับกำลังใจและความบันเทิงตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ คุณภัทรชาติ โกมลภิติ สำหรับคำแนะนำอันมีประโยชน์ และ ข้าพเจ้าขอขอบคุณเป็นพิเศษสำหรับคุณพี่กิลกา สุขสมบูรณ์ หัวหน้ากลุ่ม CoreGame ของข้าพเจ้า สำหรับข้อมูลอันเป็นประโยชน์และคำแนะนำในการแก้ไขปัญหานั้นมีประโยชน์อย่างยิ่งตลอดมา

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทรัพยากรต่าง ๆ ในการศึกษา ค้นคว้าและวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจและกำลังทรัพย์ตลอดเวลา รวมทั้งให้โอกาสผู้วิจัยได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโทมาบัดนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ .....	3
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ .....	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน .....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
<b>2 ทฤษฎีและความรู้พื้นฐาน.....</b>	<b>4</b>
2.1 การวัดคุณภาพการให้บริการ .....	4
2.2 การวัดคุณภาพการให้บริการขณะเคลื่อนที่ .....	5
2.3 วิธีการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ .....	7
2.3.1 สูตรของเออร์แลง .....	7
2.3.2 ความคับคั่งเชิงเวลาและความคับคั่งเชิงการเรียก .....	8
2.4 การกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ .....	9
2.4.1 นโยบายซีดแบ่ง .....	10
2.4.2 นโยบายการจองช่องสัญญาณ .....	12
2.5 ช่วงเวลาครอบครองช่องสัญญาณ .....	13
<b>3 การวิเคราะห์ตัวคูณปรับแก้.....</b>	<b>17</b>
3.1 กรณีไม่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ .....	17
3.2 กรณีมีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ด้วยนโยบายซีดแบ่ง .....	21
<b>4 การจำลองระบบ.....</b>	<b>27</b>

บทที่	หน้า
4.1 กรณีไม่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์	27
4.2 กรณีที่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ด้วยนโยบายขีดแบ่ง	30
4.3 กรณีที่ทราบพิกจกจากเครื่องมือวัดมีการกำหนดแบบแผนการเข้าใช้บริการที่แน่นอน	34
4.4 กรณีที่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ด้วยนโยบายการจองช่องสัญญาณ	37
4.5 กรณีที่ผู้ใช้ในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์	41
<b>5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ</b>	<b>46</b>
5.1 บทสรุป	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	47
<b>รายการอ้างอิง</b>	<b>48</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>50</b>
ภาคผนวก ก การพิสูจน์ค่าความคับคั่งเชิงเวลาของระบบที่มีการวัดแบบมีการรบกวนเมื่อไม่มี การกันช่องสัญญาณ	51
ภาคผนวก ข การพิสูจน์ค่าความคับคั่งเชิงเวลาของระบบที่มีการวัดแบบมีการรบกวนเมื่อมีการ กันช่องสัญญาณด้วยนโยบายขีดแบ่ง	54
ภาคผนวก ค บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่	57
<b>ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์</b>	<b>63</b>

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

หน้า

4.1 ตารางสรุปตัวคูณปรับแก้ในกรณีศึกษาต่าง ๆ .....	45
---	----



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญญภาพ

	หน้า
2.1 การแบ่งประเภทการวัดคุณภาพการให้บริการ . . . . .	4
2.2 การทดสอบคุณภาพการให้บริการขณะเคลื่อนที่บนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ . . . . .	6
2.3 ระบบอ้างอิงสำหรับระบบที่มีความจุจำกัดและไม่มีบัฟเฟอร์ . . . . .	7
2.4 แผนภาพแสดงสถานะของระบบที่มีความจุจำกัดและไม่มีบัฟเฟอร์ . . . . .	8
2.5 แผนภาพจำลองการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ . . . . .	10
2.6 ระบบอ้างอิงสำหรับระบบที่มีการทำแฮนด์โอเวอร์ . . . . .	10
2.7 แผนภาพแสดงสถานะของระบบที่มีนโยบายขีดแบ่ง . . . . .	15
2.8 แผนภาพแสดงสถานะของระบบที่มีนโยบายการจองช่องสัญญาณ . . . . .	15
2.9 แผนภาพจำลองการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อผู้ทำการเรียกใช้บริการและสิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์เดียว . . . . .	16
2.10 แผนภาพจำลองการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อผู้ทำการเรียกใช้บริการ และไม่สามารถสิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์เดียว . . . . .	16
3.1 รูปแบบอ้างอิงของระบบที่มีทราฟฟิกปกติเท่านั้นโดยไม่มีทราฟฟิกของเครื่องมือวัด . . . . .	17
3.2 รูปแบบอ้างอิงของระบบที่มีทราฟฟิกปกติและทราฟฟิกของเครื่องมือวัด . . . . .	18
3.3 แผนภาพสถานะของระบบที่มีทราฟฟิกปกติเท่านั้นโดยไม่มีทราฟฟิกของเครื่องมือวัด . . . . .	19
3.4 แผนภาพสถานะของระบบที่มีทราฟฟิกปกติและทราฟฟิกของเครื่องมือวัด . . . . .	19
3.5 รูปแบบอ้างอิงของระบบระบบที่มีทราฟฟิกปกติ แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกและทราฟฟิกของเครื่องมือวัด . . . . .	21
3.6 แผนภาพแสดงสถานะของระบบระบบที่มีทราฟฟิกปกติ แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกและทราฟฟิกของเครื่องมือวัด เมื่อทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดไม่มีการใช้ช่องสัญญาณ . . . . .	25
3.7 แผนภาพแสดงสถานะของระบบระบบที่มีทราฟฟิกปกติ แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกและทราฟฟิกของเครื่องมือวัด เมื่อทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีการใช้ช่องสัญญาณ . . . . .	26
4.1 การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบในกรณีไม่มีการกันช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกขอใช้บริการของทราฟฟิกปกติ . . . . .	28
4.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบในกรณีไม่มีการกันช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกขอใช้บริการของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัด . . . . .	28
4.3 การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบในกรณีไม่มีการกันช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนจำนวนช่องสัญญาณในระบบ . . . . .	29
4.4 การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายขีดแบ่ง เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกขอใช้บริการของทราฟฟิกปกติ . . . . .	31



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวัน เนื่องด้วยความสะดวกที่ได้จากความยืดหยุ่นของสถานที่ใช้งาน และการใช้งานขณะเคลื่อนที่ ตลอดจนพื้นที่ให้บริการที่ครอบคลุมอย่างกว้างขวาง ยิ่งกว่านั้นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายยังได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถรองรับรูปแบบของบริการที่หลากหลายพร้อมทั้งปริมาณทราฟฟิกที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบันและในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ หนึ่งในเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบันจนเสมือนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการดำรงชีวิตของมนุษย์ คือการสื่อสารผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เนื่องจากความสะดวกในการใช้งาน ความครอบคลุมของสัญญาณเครือข่าย และอัตราค่าใช้บริการที่ค่อนข้างต่ำเข้าถึงได้ จนทำให้ปริมาณผู้ใช้โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องด้วยเหตุผลดังกล่าวย่อมส่งผลให้ปริมาณทราฟฟิกที่สื่อสารบนโครงข่ายเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ให้บริการอยู่ ณ ปัจจุบันมีขนาดความจุ (capacity) จำกัด ดังนั้นถ้ามีความต้องการใช้โครงข่ายมากเกินไปที่ขนาดความจุของโครงข่ายจะสามารถรองรับได้ ย่อมส่งผลให้โครงข่ายไม่สามารถตอบสนองการให้บริการได้อย่างมีคุณภาพ

คุณภาพการให้บริการ (Quality of Service, QoS) เป็นตัวชี้วัดระดับคุณภาพการให้บริการในโครงข่ายที่ใช้บริการได้รับ ซึ่งถูกกำหนดเป็นพารามิเตอร์คุณภาพการให้บริการ (QoS parameters) ตัวอย่างเช่น ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ (call blocking probability), การประเมินคุณภาพเสียงพูดที่ได้รับ (Perceptual Evaluation of Speech Quality, PESQ), ความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกยกเลิก (call dropping) เป็นต้น เพื่อแสดงถึงประสิทธิภาพของโครงข่ายที่รองรับการให้บริการ และใช้เป็นตัวกำหนดมาตรฐานขั้นต่ำสำหรับความพึงพอใจของผู้ใช้บริการต่อบริการที่ได้รับ ซึ่งค่าดังกล่าวจะถูกใช้ในการทำข้อตกลงทางการค้าระหว่างผู้ให้บริการและผู้ให้บริการ (Service Level Agreement, SLA) เพื่อกำหนดระดับคุณภาพการให้บริการที่ผู้ให้บริการพึงได้รับจากผู้ให้บริการ ส่งผลให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการวัดตรวจสอบคุณภาพการให้บริการ และควบคุมค่าคุณภาพการให้บริการให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ระหว่างผู้ให้บริการและผู้ให้บริการ

ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ (call blocking probability) เป็นหนึ่งในพารามิเตอร์คุณภาพการให้บริการที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่มีต่อบริการโดยตรง ซึ่งแสดงถึงโอกาสที่การร้องขอใช้บริการถูกปฏิเสธ เนื่องจากโครงข่ายมีความจุไม่เพียงพอที่จะรองรับการเรียกขอใช้บริการดังกล่าว ส่งผลให้ผู้ให้บริการไม่สามารถใช้บริการดังกล่าวได้ งานวิจัยที่ผ่านมาได้วิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการวัดความคับคั่งของการเรียก (call congestion) ของค่าที่ได้จากการวัดกับค่าทางทฤษฎี โดยงาน

วิจัย [1] ได้ทำการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนบนโครงข่ายโทรศัพท์แบบอยู่กับที่เมื่อทราฟฟิกขาเข้าเป็นแบบเอกพันธ์ (homogeneous input) และงานวิจัย [2] ทำการวิเคราะห์เมื่อทราฟฟิกขาเข้าเป็นแบบวิวิธพันธุ์ (heterogeneous input) บนโครงข่าย ISDN แต่ทว่างานวิจัยทั้งสองเป็นการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการวัดที่ไม่มีการรบกวนระบบ (non-intrusive measurement) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจากอุปกรณ์ภายในโครงข่าย และมีความจำเป็นต้องทราบข้อมูลภายในโครงข่าย เช่น ความจุของโครงข่าย (capacity) และปริมาณทราฟฟิกที่ต้องการใช้โครงข่าย เป็นต้น ส่งผลให้สามารถทำได้ในวงจำกัดเฉพาะเจ้าของโครงข่ายและบริการเท่านั้น การวัดอีกรูปแบบหนึ่งที่มีความน่าสนใจคือการวัดแบบมีการรบกวน (intrusive measurement) เพราะเป็นการวัดอีกรูปแบบที่ไม่เฉพาะเจ้าของโครงข่ายบริการเท่านั้นที่สามารถทำได้ ซึ่งการวัดแบบมีการรบกวนนี้เป็นการวัดค่าคุณภาพการให้บริการจากทราฟฟิกที่สร้างขึ้นเพื่อจำลองการใช้งานของผู้ใช้บริการทั่วไป และเนื่องจากการสร้างทราฟฟิกส่งผลให้ค่าคุณภาพการให้บริการที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน

งานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการวัดแบบมีการรบกวนมีวัตถุประสงค์ เพื่อพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าคุณภาพการให้บริการ และพัฒนาปรับปรุงเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวัด ในระดับของแพ็คเก็ตบนเส้นทางจากต้นทางถึงปลายทาง (end-to-end path) [3] และ [4], บนโครงข่ายหลัก (core network) [5] บนโครงข่ายพื้นฐานสำหรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์ (multicast-based infrastructure) [6] และได้มีความพยายามที่จะลดการรบกวนระบบเนื่องจากทราฟฟิกที่สร้างโดยเครื่องมือวัด โดยการพิจารณาดำเนินการติดตั้งเครื่องมือวัด บนโครงข่าย IP-telephony [7] นอกจากนี้งานวิจัย [3], [5] ได้แสดงการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ซึ่งสามารถอธิบายถึงการประมาณค่าคุณภาพการให้บริการโดยวิธีการวัดแบบมีการรบกวนมีการพิจารณาเสนอวิธีการประมาณเวลาประวิงเฉลี่ย (mean delay) โดยเสนอกระบวนการวัดใหม่ซึ่งเป็นการรวมทั้งการวัดแบบมีการรบกวนและไม่มีการรบกวน เพื่อสามารถวัดคุณภาพการให้บริการตามที่ใช้บริการแต่ละรายจะได้รับจริง ไม่ว่าจะเป็นผู้ใช้ทั่วไป องค์กร หรือตามแต่ละโปรแกรมประยุกต์ (application) ได้ และการประมาณค่าเวลาประวิงเฉลี่ยของแพ็คเก็ตแถวคอย (queue packet) [5], [6] ได้มีความพยายามวิเคราะห์การวัดแบบมีการรบกวนเพิ่มมากขึ้น โดยจะให้ความสนใจถึงการวัดในระดับของแพ็คเก็ตบนเส้นทางจากต้นทางถึงปลายทาง บนโครงข่ายหลัก และบนโครงข่ายพื้นฐานสำหรับทราฟฟิกแบบมัลติคาสต์

งานวิจัยที่ได้กล่าวถึงในข้างต้น มีการวิเคราะห์ถึงความคลาดเคลื่อนในการวัดความค้ำคั่งของการเรียก ด้วยวิธีการวัดแบบไม่มีการรบกวนเท่านั้น และทั้งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งหาก มีการศึกษาความคลาดเคลื่อนในการวัดค่าความค้ำคั่งของการเรียกด้วยวิธีการแบบมีการรบกวน พร้อมทั้ง ทำการวิเคราะห์เพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการวัดด้วยวิธีแบบมีการรบกวน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งศึกษาการวัดความค้ำคั่งของการเรียกโดยใช้วิธีการวัด พารามิเตอร์คุณภาพการให้บริการคือ ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ การศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้มุ่งปรับปรุงความถูกต้องในการวัดแบบมีการรบกวน โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์พิจารณาหาตัวคูณปรับแก้ (corrective factor) เพื่อแก้ไขค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธที่วัดได้ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อปรับปรุงวิธีวัดคุณภาพการให้บริการบนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งได้จากการวัดแบบมีการรบกวน (intrusive measurement) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ ในการปรับแก้ให้ค่าคุณภาพการให้บริการที่วัดได้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

## 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. เสนอการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการวัดความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธด้วยวิธีการวัดแบบมีการรบกวน ออกมาในรูปแบบของตัวคูณปรับแก้ ทั้งในกรณีที่ระบบมี และไม่มีกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์
2. เขียนโปรแกรมทำการจำลองระบบ เพื่อทดสอบถึงระยะเวลาการใช้บริการของโทรศัพท์บนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งมีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง ต่อการนำไปใช้จริงซึ่งมีระยะเวลาการใช้บริการของโทรศัพท์บนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งระยะเวลาการใช้บริการมีการกระจายตัวแบบไฮเปอร์เออร์แลง และลักษณะของกราฟฟิกจากเครื่องมีวัดที่มีแบบแผนการเรียกใช้บริการที่กำหนดแน่นอน (deterministic) รวมถึงทำการวิเคราะห์ผลกระทบจากการที่ระบบมีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ ด้วยโปรแกรมจำลองระบบที่พัฒนาขึ้น

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งความรู้และทฤษฎีพื้นฐานที่จำเป็นต้องใช้
2. ทำการวิเคราะห์และกำหนดรูปแบบของปัญหา
3. พิจารณาหาตัวคูณปรับแก้ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำมาปรับแก้ค่าความน่าจะเป็นที่ได้จากการวัดให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น
4. เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองระบบ เพื่อที่วิเคราะห์ความถูกต้องอันเนื่องมาจากการประยุกต์ใช้ตัวคูณปรับแก้
5. สรุปวิเคราะห์ผลที่ได้ และรวบรวมข้อมูลทั้งหมดพร้อมทั้งจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ค่าตัวคูณปรับแก้โดยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ โดยที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทดสอบคุณภาพการให้บริการขณะเคลื่อนที่ซึ่งเป็นหนึ่งในการวัดแบบรบกวน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการปรับแก้ค่า ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ ที่ได้จากการวัดด้วยวิธีดังกล่าว มีค่าที่ถูกต้องเสมือนในกรณีที่ไม่ได้ทำการวัด

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและความรู้พื้นฐาน

### 2.1 การวัดคุณภาพการให้บริการ

การวัดคุณภาพการให้บริการ (QoS measurement) เป็นที่นิยมกันโดยทั่วไป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความพึงพอใจของผู้ใช้บริการต่อบริการที่ได้รับ และตรวจสอบว่าค่าคุณภาพการให้บริการเป็นไปตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ ซึ่งการวัดคุณภาพการให้บริการสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท [8], [9] ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1: การแบ่งประเภทการวัดคุณภาพการให้บริการ

1. การวัดเชิงนามธรรม (subjective measurement) เป็นการประเมินเชิงจิตวิทยาถึงความคาดหวังของผู้ใช้บริการต่อบริการที่ได้รับและความพึงพอใจในคุณภาพการให้บริการที่ผู้ใช้ได้รับ เพื่อให้สามารถวัดและเปรียบเทียบได้ การออกสำรวจเพื่อรับความคิดเห็นและความพึงพอใจของการใช้บริการ โดยอาจต้องอาศัยตัวชี้วัดที่สามารถช่วยประเมินค่าคุณภาพการให้บริการในเชิงปริมาณ เช่น Mean Opinion Score (MOS)
2. การวัดเชิงวัตถุวิสัย (objective measurement) เป็นการประเมินถึงประสิทธิภาพของโครงข่ายที่รองรับบริการเหล่านั้นโดยอาศัยพารามิเตอร์ของโครงข่ายที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งแสดงคุณลักษณะของโครงข่ายที่แตกต่างกันออกไปเช่น ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ, ความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกยกเลิก หรือ ระยะเวลาในการเชื่อมต่อการเรียก (call setup time) เป็นต้น ซึ่งสามารถทำการวัดในเชิงปริมาณโดยเครื่องมือวัดที่เหมาะสม และการวัดแบบนี้สามารถทำได้บนทราฟฟิกจริงหรือบนทราฟฟิกที่มีการสร้างขึ้น ซึ่งการวัดแบบวัตถุวิสัยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

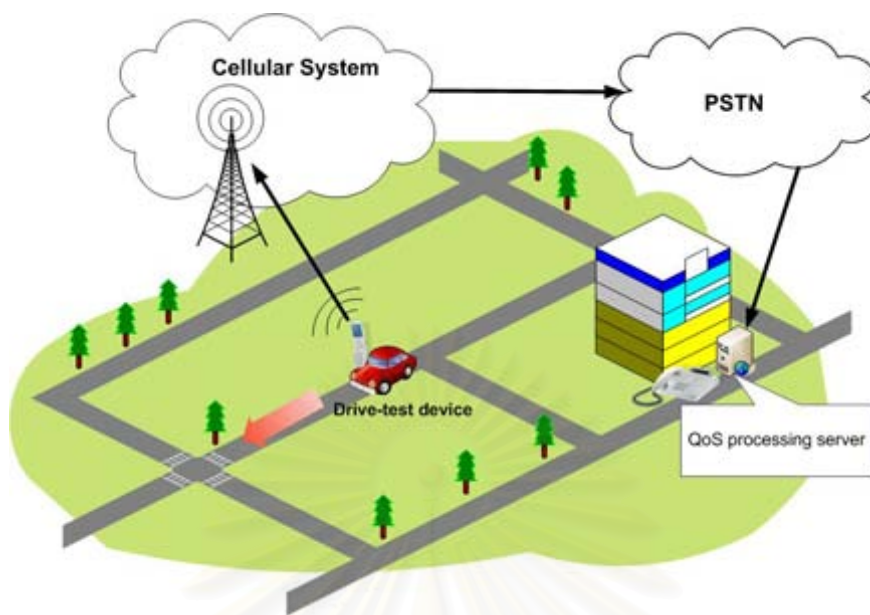
- การวัดแบบไม่รบกวน (non-intrusive measurement) หรืออาจถูกเรียกว่าการวัดแบบพาสซีฟ (passive measurement) ตามลักษณะของอุปกรณ์ตรวจวัด (probe) ที่ไม่มีการสร้างทราฟฟิกเข้าสู่ระบบ การวัดแบบนี้จะทำการวัดบนทราฟฟิกจริงของผู้ใช้บริการ โดยมีการนำอุปกรณ์ไปติดตั้งเพิ่มเติมในโครงข่าย ณ จุดเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายย่อยในโครงข่าย หรือจุดรวมของทราฟฟิกในโครงข่าย เช่น เกตเวย์ระหว่างประเทศ (international gateway) โดยที่อุปกรณ์ดังกล่าวต้องไม่เข้าไปแทรกแซงหรือรบกวนทราฟฟิกและเครื่องมือใดๆของผู้ใช้บริการในโครงข่าย หรือสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ทางสถิติจากข้อมูลของอุปกรณ์ในโครงข่าย เพื่อวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์คุณภาพการให้บริการที่ต้องการ เนื่องจากมีความจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ภายในโครงข่ายหรืออาศัยข้อมูลจากภายในโครงข่ายมาทำการวิเคราะห์นั่นเอง ส่งผลให้ผู้ที่สามารถทำการวัดด้วยวิธีนี้ได้จะอยู่ในวงจำกัดเฉพาะเจ้าของโครงข่ายและบริการ [10] หรือผู้ได้รับอนุญาตจากเจ้าของโครงข่ายและบริการเท่านั้น
- การวัดแบบรบกวน (intrusive measurement) หรืออาจถูกเรียกว่าการวัดแบบแอ็คทีฟ (active measurement) ตามลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีการสร้างทราฟฟิกเข้าสู่ระบบ การวัดแบบนี้จะทำการวิเคราะห์บนทราฟฟิกเสมือนที่ถูกสร้างขึ้น (artificially generated traffic) ส่งผลให้สามารถวัดค่าคุณภาพการให้บริการได้เหมือนกับที่ผู้ใช้บริการได้รับจริง และยังสามารถทำการวัดพารามิเตอร์คุณภาพการให้บริการที่หลากหลาย เพราะสามารถปรับเปลี่ยนทราฟฟิกที่สร้างขึ้นให้เหมาะสมกับพารามิเตอร์ที่ต้องการวัดได้ ดังนั้นพารามิเตอร์บนโครงข่ายส่วนใหญ่สามารถทำการวัดด้วยวิธีนี้ได้ การวัดด้วยวิธีการนี้ไม่มีความจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมหรืออาศัยข้อมูลภายในโครงข่ายซึ่งส่งผลให้ไม่ว่า ผู้ให้บริการ ผู้รับบริการ หรือผู้กำกับดูแลก็สามารถดำเนินการได้ แต่ทว่าเนื่องจากการสร้างทราฟฟิกเข้าสู่ระบบ ย่อมอาจส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์คุณภาพการให้บริการที่วัดได้ มีความคลาดเคลื่อนไปจากระดับคุณภาพบริการที่ผู้ใช้ตามปกติจะได้รับ

## 2.2 การวัดคุณภาพการให้บริการขณะเคลื่อนที่

การวัดคุณภาพการให้บริการขณะเคลื่อนที่ (drive-test) เป็นหนึ่งในการวัดแบบมีการรบกวนระบบ ที่ได้รับความนิยมอย่างสูงในปัจจุบัน [11] - [12] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดคุณภาพการให้บริการของบริการทางเสียงผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ตามผู้ใช้บริการได้รับในสถานที่และเวลาที่เฉพาะเจาะจง การวัดแบบนี้สามารถทำได้โดย การขับยานพาหนะที่ทำการติดตั้งเครื่องมือวัด และระบบบอกตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (Global Positioning System, GPS) เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งที่ทำการวัด และในระหว่างที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ เครื่องมือวัดจะทำการเรียกขอใช้บริการทางเสียงผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังโทรศัพท์พื้นฐานแบบอยู่กับที่ซึ่งจัดเตรียมไว้เฉพาะสำหรับการวัด [13] ดังรูปที่ 2.2

จากนั้นอุปกรณ์วัดจะบันทึกพารามิเตอร์ที่ได้รับจากให้บริการจากระบบ เช่น จำนวนครั้งที่เรียกสำเร็จ (successful calls) จำนวนครั้งที่การเรียกถูกปฏิเสธ (blocked calls) จำนวนครั้งที่การให้บริการถูกยกเลิก (dropped calls) ความแรงของสัญญาณ รวมถึงมีการเปรียบเทียบคุณภาพเสียงที่ได้





รูปที่ 2.2: การทดสอบคุณภาพการให้บริการขณะเคลื่อนที่บนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

รับจากบริการเทียบกับคุณภาพเสียงต้นฉบับ จากนั้นเครื่องมือวัดจะทำการส่งข้อมูลเหล่านี้ ผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในรูปแบบของข้อมูลไปยังเครื่องบริการ (server) ซึ่งทำงานด้านการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อรวบรวม และนำเสนอค่าคุณภาพการให้บริการออกมาในเชิงปริมาณ

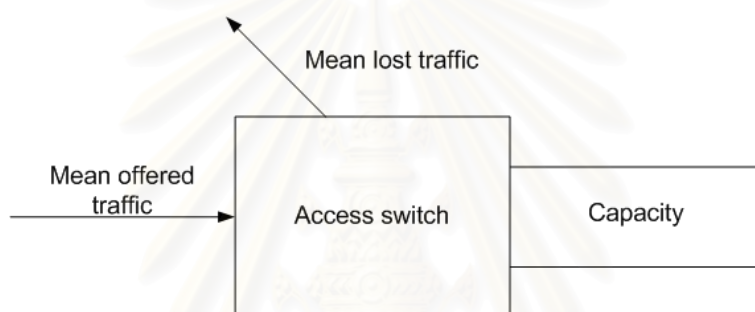
การวัดแบบนี้เป็นการวัดในระดับของการเรียกขอใช้บริการ ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ทุกยุค หรือในเทคโนโลยีไร้สายอื่น ๆ ที่อยู่ในระดับของการเรียกใช้บริการด้านเสียง ตัวอย่างพารามิเตอร์คุณภาพการให้บริการ ที่สามารถทำการวัดได้โดยการวัดคุณภาพการให้บริการขณะเคลื่อนที่มีดังนี้

- ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ (call blocking probability) หมายถึง โอกาสที่การเรียกขอใช้บริการจะถูกปฏิเสธ ซึ่งสามารถวัดและคำนวณได้โดย อัตราส่วนระหว่างจำนวนครั้งที่ถูกปฏิเสธการให้บริการต่อจำนวนครั้งการขอใช้บริการทั้งหมด
- การประเมินคุณภาพเสียงพูดที่ได้รับ (Perceptual Evaluation of Speech Quality, PESQ) สามารถวัดได้โดยการเปรียบเทียบคุณภาพเสียงต้นฉบับกับคุณภาพเสียงที่ผู้ใช้บริการได้รับ โดยพิจารณาถึงคุณภาพของเสียงที่ลดลงเป็นสำคัญ โดยอาจจะด้วยหลากหลายสาเหตุ เช่น เวลาประวิง (delay) ความเปลี่ยนแปลงของเวลาประวิง (jitter) หรือเสียงรบกวน (noise) เป็นต้น
- ระยะเวลาในการเชื่อมต่อการเรียก (call setup time) หมายถึง ระยะเวลาตั้งแต่ทำการเรียกขอใช้บริการจนได้รับบริการ
- ความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกยกเลิก (call dropping probability) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่การใช้บริการจะสิ้นสุดลงอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ย่อยในโครงข่าย
- ความแรงของสัญญาณ (signal strength) เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงประสิทธิภาพของโครงข่าย ในระดับกายภาพโดยหมายถึงระดับของสัญญาณที่ผู้ใช้บริการจะได้รับ

## 2.3 วิธีการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ

### 2.3.1 สูตรของเออร์แลง

ในทางวิศวกรรมโทรคมนาคม ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ ถือได้ว่าเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ชี้วัดคุณภาพการให้บริการที่สำคัญ โดยเฉพาะในระบบที่โครงสร้างสามารถตัดสินใจตอบรับหรือปฏิเสธการเรียกตามเงื่อนไขของระบบที่มีความจุจำกัด ในทางทฤษฎีการคำนวณความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธนั้นสามารถทำได้โดย สูตรของเออร์แลง (Erlang's loss formula) ดังสรุประบบที่พิจารณาได้ในรูปที่ 2.3 ระบบอ้างอิงในที่นี้ประกอบด้วยสวิตช์หนึ่งตัวทำหน้าที่ตอบรับหรือปฏิเสธการเรียกขอใช้บริการของโทรคมนาคมจากผู้ใช้งาน ซึ่งต้องการเชื่อมต่อเข้าสู่โครงข่ายที่มีความจุของสัญญาณจำกัด ทั้งนี้โทรคมนาคมที่ทำการเรียกขอใช้บริการจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้โครงข่ายก็ต่อเมื่อช่องสัญญาณในโครงข่ายถูกใช้เต็ม

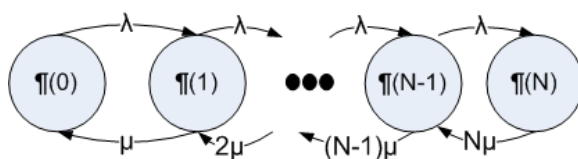


รูปที่ 2.3: ระบบอ้างอิงสำหรับระบบที่มีความจุจำกัดและไม่มีบัฟเฟอร์

สูตรของเออร์แลงมีพื้นฐานการวิเคราะห์โดยใช้ Continuous Time Markov Chain (CTMC) ซึ่งมีการกำหนดให้ปริมาณโทรคมนาคมที่มีความต้องการเข้าใช้โครงข่ายมีกระบวนการเข้าใช้บริการเป็นแบบปัวส์ซอง (Poisson distribution process) การเรียกที่ได้รับการเชื่อมต่อจะมีระยะเวลาการให้บริการ (holding time) ที่มีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง (exponential) สัญกรณ์ (notations) ที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

$\rho$	$\lambda/\mu$ ปริมาณโทรคมนาคมที่ต้องการใช้ระบบ (เออร์แลง)
$\lambda$	อัตราการเข้ามาขอใช้ระบบ
$1/\mu$	ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ย
$\pi(n)$	ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะ $n$ ที่สภาวะอยู่ตัว (steady state)
$n$	จำนวนช่องสัญญาณที่กำลังถูกใช้
$N$	จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดของระบบ
$B$	ความน่าจะเป็นที่การเรียกขอใช้บริการถูกปฏิเสธ

จากระบบอ้างอิงสามารถพิจารณาแผนภาพสถานะ (state diagram) ได้ดังรูปที่ 2.4 โดยมีนิยามว่าระบบอยู่ในสถานะ  $n$  สำหรับค่า  $n = 0, 1, \dots, N$  เมื่อมีช่องสัญญาณ  $n$  ช่องสัญญาณกำลังถูกใช้งาน จากรูปที่ 2.4 สามารถพิจารณาหาความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะใดๆ ด้วย local balance equation ซึ่งจะได้ว่า



รูปที่ 2.4: แผนภาพแสดงสถานะของระบบที่มีความจุจำกัดและไม่มีบัฟเฟอร์

ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะ  $n$  (นั่นคือ มีผู้ใช้  $n$  คน อยู่ในระบบ) สามารถคำนวณได้จาก [14]

$$\pi(n) = \frac{\rho^n}{n!} \frac{1}{\sum_{t=0}^N \frac{\rho^t}{t!}}$$

และเมื่อระบบอยู่ที่สถานะ  $(N)$  จะได้

$$\pi(N) = \frac{\rho^N}{N!} \frac{1}{\sum_{t=0}^N \frac{\rho^t}{t!}}$$

พบว่าระบบอยู่ในสถานะอิมตัว ไม่สามารถรองรับการขอใช้บริการได้อีก จนกระทั่งมีทราฟฟิกออกจากระบบ หรือสิ้นสุดการให้บริการ

### 2.3.2 ความคับคั่งเชิงเวลาและความคับคั่งเชิงการเรียก

จากสูตรของเออร์แลง  $\pi(N)$  คือความน่าจะเป็นที่เมื่อทำการสำรวจช่องสัญญาณ ณ เวลาใดๆ พบว่าช่องสัญญาณนั้นอยู่ในสภาวะอิมตัว (saturation) เนื่องจากมีการใช้ช่องสัญญาณเต็มความจุที่มี ส่งผลให้ไม่สามารถรองรับการให้บริการได้อีก และจากคุณสมบัติเออร์โกดิก (ergodic property) ซึ่งจะได้ว่า  $\pi(N)$  เป็นสัดส่วนของเวลาที่ช่องสัญญาณจะอยู่ในสถานะอิมตัว ดังนั้น  $\pi(N)$  คือความคับคั่งเชิงเวลา (time congestion,  $B_T$ )

แต่โดยทั่วไปแล้วในทางปฏิบัติความคับคั่งเชิงการเรียก (call congestion,  $B_C$ ) หรืออัตราส่วนของการเรียกที่ไม่สามารถเข้าใช้บริการได้เนื่องจากระบบอยู่ในสถานะอิมตัว ต่อการจำนวนการเรียกใช้การทั้งหมด ซึ่งค่าดังกล่าวได้รับความสนใจจากทั้งผู้ให้บริการ ผู้กำกับดูแล และผู้ใช้บริการมากกว่าความคับคั่งเชิงเวลา เมื่อทราฟฟิกที่เข้ามาขอใช้บริการที่มีลักษณะเป็นบิวส์ซิง ซึ่งลักษณะที่สำคัญของการเรียกใช้บริการแบบบิวส์ซิงคือ การเรียกขอใช้บริการนั้นไม่ขึ้นกับสถานะของช่องสัญญาณ ดังนั้นจะได้ว่าเมื่อพิจารณาความคับคั่งเชิงเวลา

$$B_C = \frac{B_T T \lambda}{\sum_n \pi(n) T \lambda}$$

เมื่อ  $T$  มีค่ามาก

$$B_C = \frac{B_T \lambda}{\sum_n \pi(n) \lambda} \quad (2.1)$$

$$(2.2)$$

และเมื่อ  $\lambda \neq 0$

$$\begin{aligned} &= \frac{\pi(N)}{\sum_n \pi(n)} \\ &= \frac{\frac{\rho^N}{N!}}{\sum_{t=0}^N \frac{\rho^t}{t!}} \\ &= \frac{1 + \frac{\rho^1}{1!} + \dots + \frac{\rho^{N-1}}{(N-1)!} + \frac{\rho^N}{N!}}{\sum_{t=0}^N \frac{\rho^t}{t!}} \\ &= \frac{\frac{\rho^N}{N!}}{\sum_{t=0}^N \frac{\rho^t}{t!}} \end{aligned}$$

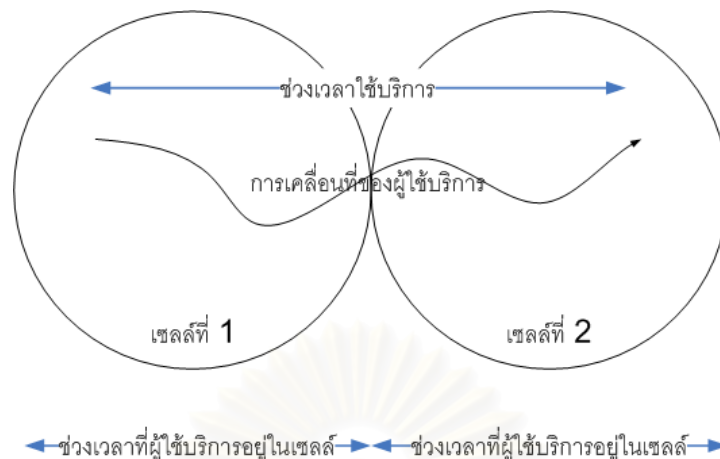
ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า

$$\pi(N) = B_T = B_C$$

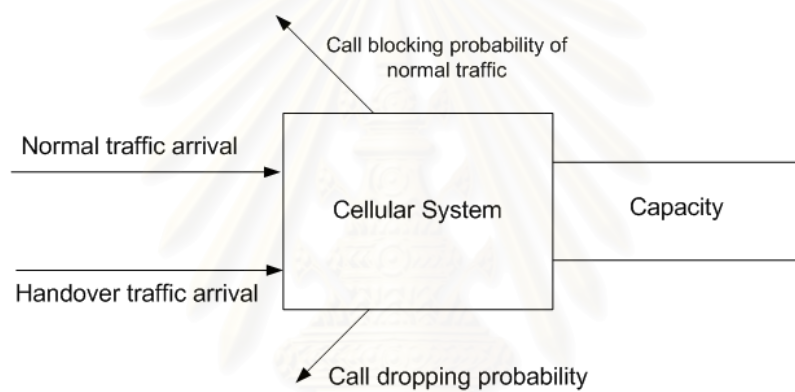
## 2.4 การกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์

โดยทั่วไปแล้วเพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้อย่างกว้างขวางและทั่วถึง ดังนั้นโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะถูกแบ่งออกเป็นเซลล์ย่อย ๆ โดยที่แต่ละเซลล์จะมีจำนวนช่องสัญญาณจำกัดซึ่งทำหน้าที่รองรับการเรียกขอใช้บริการจากผู้ใช้บริการที่อยู่ภายในเซลล์ ดังนั้นในทางปฏิบัติแล้วผู้ใช้บริการโครงข่ายจะมีการเคลื่อนที่ในขณะที่กำลังใช้บริการช่องสัญญาณอยู่ดังรูปที่ 2.5 เมื่อผู้ใช้บริการมีการใช้บริการเป็นเวลานานกว่าเวลาที่ผู้ใช้บริการนั้นอยู่ในเซลล์ของตน จะส่งผลให้ระบบจะต้องมีการทำแฮนด์โอเวอร์เพื่อทำการขอใช้ช่องสัญญาณของเซลล์ที่อยู่ถัดไป

เมื่อทำการพิจารณาโดยมุมมองของเซลล์ที่ 2 สามารถพิจารณาได้ดังรูปที่ 2.6 โดยเสมือนมีกราฟฟิกที่ต้องการใช้บริการช่องสัญญาณสองชนิดด้วยกันคือ กราฟฟิกที่เกิดจากการทำแฮนด์โอเวอร์และกราฟฟิกที่เกิดจากผู้ใช้บริการปกติ เมื่อกราฟฟิกที่เกิดจากการทำแฮนด์โอเวอร์ไม่สามารถขอใช้บริการได้จะทำให้การให้บริการของผู้ใช้บริการนั้นสิ้นสุดลง และเมื่อไม่สามารถเข้าใช้บริการได้ ส่งผลให้การให้บริการสิ้นสุดลงในขณะที่ผู้ใช้บริการกำลังใช้บริการอยู่ส่งผลทางด้านความรู้สึกแก่ผู้ใช้บริการมากกว่าในกรณีที่ถูกปฏิเสธการให้บริการตั้งแต่เริ่มทำการขอใช้บริการ ดังนั้นจะมีการให้ความสำคัญแก่กราฟฟิกที่มีการทำแฮนด์โอเวอร์มากกว่ากราฟฟิกใหม่ที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ โดยการกันช่องสัญญาณไว้สำหรับการ



รูปที่ 2.5: แผนภาพจำลองการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์



รูปที่ 2.6: ระบบอ้างอิงสำหรับระบบที่มีการทำแฮนด์โอเวอร์

ทำแฮนด์โอเวอร์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้ความสนใจกับวิธีการกันช่องสัญญาณเพื่อให้ความสำคัญแก่แฮนด์โอเวอร์กราฟิก 2 วิธีด้วยกันคือ นโยบายการจองช่องสัญญาณ (channel reservation policy) และนโยบายขีดแบ่ง (threshold policy)

#### 2.4.1 นโยบายขีดแบ่ง

นโยบายขีดแบ่งหรือ threshold policy เป็นอีกนโยบายที่ให้ความสำคัญกับแฮนด์โอเวอร์กราฟิกมากกว่ากราฟิกปกติเช่นกัน ทว่าต่างกับนโยบายการจองช่องสัญญาณ โดยเมื่อในระบบมีจำนวนช่องสัญญาณ  $N$  ช่องสัญญาณ และได้ทำการสำรองช่องสัญญาณไว้สำหรับแฮนด์โอเวอร์กราฟิกเป็นจำนวน  $j$  ช่องสัญญาณ โดยกราฟิกปกติที่ทำการขอเรียกใช้บริการ (การเรียกใช้บริการที่ทำการเรียกภายในเซลล์นั้น) จะสามารถเข้าใช้บริการได้ก็ต่อเมื่อ มีจำนวนช่องสัญญาณที่ถูกใช้โดยกราฟิกปกตินั้นน้อยกว่า  $N - j$  ช่องสัญญาณ (เฉพาะการเรียกใช้บริการที่เกิดขึ้นภายในเซลล์เท่านั้น) แต่ทว่ากราฟิกใหม่ที่เกิดจากการทำแฮนด์โอเวอร์จะสามารถเข้าใช้บริการได้ทั้ง  $N$  ช่องสัญญาณ [16]

เพื่อทำการวิเคราะห์ถึงความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ และค่าความน่าจะเป็นที่สายหลุดเนื่องจากการทำแฮนด์โอเวอร์ด้วย CTMC จึงมีการกำหนดให้กราฟิก ที่มีความต้องการเข้าใช้โครงข่ายมี

กระบวนการเข้าใช้บริการเป็นแบบปัวส์ซอง (Poisson process) การเรียกที่ได้รับการเชื่อมต่อจะมีระยะเวลาการใช้บริการ (holding time) ที่มีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง (exponential) สัญลักษณ์ (notations) ที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

$\rho_n = \lambda_n / \mu_n$	ปริมาณทราฟฟิกใหม่ที่ต้องการใช้ระบบ (เออร์แลง)
$\rho_h = \lambda_h / \mu_h$	ปริมาณแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกที่ต้องการใช้ระบบ (เออร์แลง)
$\lambda_n$	อัตราการเข้ามาขอใช้ระบบของทราฟฟิกใหม่
$\lambda_h$	อัตราการเข้ามาขอใช้ระบบของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก
$1/\mu_n$	ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ยของทราฟฟิกใหม่
$1/\mu_h$	ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ย ของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก
$\pi(n, q)$	ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ในสถานะที่มีทราฟฟิกปกติอยู่ในระบบ $n$ ช่องสัญญาณ และมีแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก $q$ ช่องสัญญาณ ที่สภาวะอยู่ตัว (steady state)
$N$	จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดของระบบ
$j$	จำนวนช่องสัญญาณที่กันไว้สำหรับแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก
$B_n$	ความน่าจะเป็นที่การเรียกขอใช้บริการถูกปฏิเสธ
$B_h$	ความน่าจะเป็นที่สายหลุดเนื่องจากการทำแฮนด์โอเวอร์

สามารถพิจารณาแผนภาพสถานะ ได้ดังรูปที่ 2.7 โดยมีนิยามว่าระบบอยู่ในสถานะ  $(n, q)$  สำหรับค่า  $n = 0, 1, \dots, N - j$  และ สำหรับค่า  $q = 0, 1, \dots, N$  เมื่อมีช่องสัญญาณ  $n$  ช่องสัญญาณกำลังถูกใช้งานด้วยทราฟฟิกปกติ และ  $q$  ช่องสัญญาณกำลังถูกใช้งานด้วยแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก และสามารถพิจารณาหาความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะ  $(n, q)$  ใดๆ ด้วย local balance equation จะได้ว่าความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะ  $(n, q)$

$$\pi(n, q) = \frac{\rho_n^n \rho_h^q}{n! q!} \frac{1}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_n^{n_1} \rho_h^{n_2}}{n_1! n_2!}}$$

จากข้อกำหนดนโยบายขีดแบ่งที่กำหนดว่าทราฟฟิกปกติจะใช้ช่องสัญญาณได้แค่  $N - j$  ช่องสัญญาณ และแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก ใช้ได้ทั้ง  $N$  ช่องสัญญาณ ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การเรียกจากทราฟฟิกปกติถูกปฏิเสธ ( $B_n$ )

$$B_n = \frac{\frac{\rho_n^{N-j}}{(N-j)!} \sum_{r=0}^j \frac{\rho_h^r}{r!} + \sum_{s=j+1}^N \frac{\rho_n^{N-s}}{(N-s)!} \frac{\rho_h^s}{(s!)}}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_n^{n_1} \rho_h^{n_2}}{n_1! n_2!}} \quad (2.3)$$

และความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการถูกยกเลิกเนื่องจากการทำแฮนด์โอเวอร์ ( $B_h$ )

$$B_h = \frac{\sum_{s=j}^N \frac{\rho_n^{N-s}}{(N-s)!} \frac{\rho_h^s}{(s!)}}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_n^{n_1} \rho_h^{n_2}}{n_1! n_2!}} \quad (2.4)$$

## 2.4.2 นโยบายการจองช่องสัญญาณ

นโยบายการจองช่องสัญญาณ (channel reservation policy) จะให้ความสำคัญกับการเรียกขอใช้บริการจากแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิก มากกว่าการเรียกขอใช้บริการจากทราฟฟิกปกติ โดยสมมุติว่าในระบบมีจำนวนช่องสัญญาณ  $N$  ช่องสัญญาณและได้ทำการสำรองไว้สำหรับแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกเป็นจำนวน  $j$  ช่องสัญญาณ โดยจะได้ว่าทราฟฟิกปกติที่ทำการขอเรียกใช้บริการผ่านโครงข่าย (การเรียกใช้บริการที่ทำการเรียกภายในเซลล์นั้น) จะสามารถเข้าใช้บริการได้ก็ต่อเมื่อ มีจำนวนช่องสัญญาณที่ถูกใช้ทั้งหมดน้อยกว่า  $N - j$  ช่องสัญญาณ (โดยไม่พิจารณาว่าทราฟฟิกใดใช้บริการอยู่บ้าง) แต่ทว่าทราฟฟิกใหม่ที่เกิดจากการทำแชนด์โอเวอร์จะสามารถเข้าใช้บริการได้ทั้ง  $N$  ช่องสัญญาณ [15]

เพื่อทำการวิเคราะห์ถึงความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ และค่าความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกยกเลิก เนื่องจากการทำแชนด์โอเวอร์ด้วย CTMC ซึ่งมีการกำหนดให้ปริมาณทราฟฟิก ที่มีความต้องการเข้าใช้โครงข่ายมีกระบวนการเข้าใช้บริการเป็นแบบบิวส์ซอง (Poisson process) การเรียกที่ได้รับการเชื่อมต่อจะมีระยะเวลาการให้บริการ (holding time) ที่มีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง (exponential) สัญกรณ์ (notations) ที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

- $\lambda_n$  อัตราการเข้ามาขอใช้ระบบของทราฟฟิกใหม่
- $\lambda_h$  อัตราการเข้ามาขอใช้ระบบของแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิก
- $1/\mu$  ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ยของทราฟฟิกปกติและแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิก
- $\pi(n)$  ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ในสถานะที่มีจำนวนช่องสัญญาณถูกใช้  $n$  ช่องสัญญาณ
- $N$  จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดของระบบ
- $j$  จำนวนช่องสัญญาณที่กันไว้สำหรับแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิก
- $B_n$  ความน่าจะเป็นที่การเรียกขอใช้บริการถูกปฏิเสธ
- $B_h$  ความน่าจะเป็นที่สายหลุดเนื่องจากการทำแชนด์โอเวอร์

และกำหนดให้  $\lambda = \lambda_n + \lambda_h$  เมื่อ  $\lambda_h = \alpha\lambda$  ดังนั้นสามารถพิจารณาแผนภาพสถานะ ได้ดังรูปที่ 2.8 โดยมีนิยามว่าระบบอยู่ในสถานะ  $(n)$  สำหรับค่า  $n = 0, 1, \dots, N$  เมื่อมีช่องสัญญาณ  $n$  ช่องสัญญาณกำลังถูกใช้งาน

จากรูปที่ 2.8 สามารถพิจารณาหาความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะใดๆ ด้วย local balance equation ซึ่งจะได้ว่าความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะ  $n$  (นั่นคือ มีผู้ใช้  $n$  คน อยู่ในระบบ)

$$\pi(n) = \begin{cases} \frac{\frac{\rho^n}{n!}}{\sum_{t=0}^{N-j} \frac{\rho^t}{t!} + \sum_{t=N-j+1}^N \frac{\rho^t \alpha^{t-(N-j)}}{t!}}; & 0 \leq n \leq (N-j) \\ \frac{\frac{\rho^n \alpha^{n-(N-j)}}{n!}}{\sum_{t=0}^{N-j} \frac{\rho^t}{t!} + \sum_{t=N-j+1}^N \frac{\rho^t \alpha^{t-(N-j)}}{t!}}; & (N-j) \leq n \leq N \end{cases}$$

เมื่อ  $\rho = \lambda/\mu$  และโดยนโยบายการจองช่องสัญญาณ การเรียกใช้บริการของทราฟฟิกปกติภายในเซลล์จะ

ไม่สามารถเข้าใช้บริการช่องสัญญาณได้เมื่อมีจำนวนช่องสัญญาณที่ถูกใช้งานเกิน  $N - j$  ช่องสัญญาณ ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่ความน่าจะเป็นที่การเรียกขอใช้บริการถูกปฏิเสธสำหรับกราฟฟิกปกติ ( $B_n$ )

$$B_n = \frac{\sum_{r=N-j}^N \frac{\rho^r \alpha^{r-(N-j)}}{r!}}{\sum_{t=0}^{N-j} \frac{\rho^t}{t!} + \sum_{t=N-j+1}^N \frac{\rho^t \alpha^{t-(N-j)}}{t!}}$$

และเนื่องจากแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกสามารถใช้งานช่องสัญญาณได้ทั้ง  $N$  ช่องสัญญาณ ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกยกเลิกเนื่องจากการทำแฮนด์โอเวอร์ ( $B_h$ )

$$B_h = \frac{\frac{\rho^N \alpha^j}{N!}}{\sum_{t=0}^{N-j} \frac{\rho^t}{t!} + \sum_{t=N-j+1}^N \frac{\rho^t \alpha^{t-(N-j)}}{t!}}$$

## 2.5 ช่วงเวลาครอบครองช่องสัญญาณ

ช่วงเวลาครอบครองช่องสัญญาณ (Channel holding time) คือ ช่วงเวลาที่ผู้ใช้บริการครอบครองช่องสัญญาณหลังจากการเรียกสามารถเข้าใช้บริการจากช่องสัญญาณได้ โดยทั่วไปแล้วเมื่อผู้ใช้บริการไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ ได้ว่าช่วงเวลาครอบครองช่องสัญญาณจะมีค่าเท่ากับช่วงเวลาให้บริการ (Call holding time) แต่เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ พบว่าช่วงเวลาครอบครองช่องสัญญาณนั้นขึ้นกับ ช่วงเวลาให้บริการ และเวลาที่ผู้บริการให้อยู่ในเซลล์ (Cell residence time) โดยช่วงเวลาให้บริการหมายถึง ช่วงเวลาทั้งหมดที่ผู้ใช้บริการใช้บริการจากโครงข่าย นับตั้งแต่เริ่มใช้บริการจนถึงสิ้นสุดการใช้บริการ โดยที่อาจจะมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์หรือไม่ข้ามผ่านก็ได้ ส่วนช่วงเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์ คือช่วงเวลานับตั้งแต่ผู้ใช้บริการเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ จนกระทั่งเคลื่อนที่ออกจากเซลล์นั้น และถ้าผู้ใช้บริการทำการเรียกใช้บริการโครงข่าย ผู้ใช้บริการต้องใช้บริการผ่านช่องสัญญาณของเซลล์ดังกล่าว และเมื่อผู้ใช้บริการต้องการเคลื่อนที่ข้ามผ่านโครงข่าย ต้องมีการทำแฮนด์โอเวอร์เพื่อเข้าใช้ช่องสัญญาณจากเซลล์ที่ติดกันซึ่งผู้ใช้บริการต้องการเคลื่อนที่ข้ามผ่านไป

จากรูปที่ 2.9 สามารถพิจารณาได้ว่าเมื่อผู้ใช้บริการภายในระบบไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ กล่าวคือมีการเริ่มต้นใช้บริการและสิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์เดียว ดังนั้นช่วงเวลาครอบครองช่องสัญญาณมีค่าเท่ากับช่วงเวลาการใช้บริการ แต่หากผู้ใช้บริการมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ดังรูปที่ 2.10 หากทำการพิจารณาโดยมุมมองของเซลล์ที่ 1 สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ผู้ใช้ในระบบทำการเรียกใช้บริการ ณ เวลาใดๆ และไม่สามารถสิ้นสุดการใช้บริการได้ภายในเซลล์ที่ 1 ส่งผลให้ช่วงเวลาที่ผู้ใช้บริการครอบครองช่องสัญญาณของเซลล์ที่ 1 เท่ากับช่วงเวลาคงเหลือที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์ กล่าวคือ ช่วงเวลาระหว่างที่ผู้ใช้บริการทำการเรียกใช้บริการภายในเซลล์ที่ 1 จนกระทั่ง ผู้ใช้บริการรายนั้นเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ที่ 1 และถ้าผู้ใช้การรายดังกล่าวสามารถเข้ามาใช้บริการจากเซลล์ที่ 2 ได้ และไม่สามารถสิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์ที่ 2 เมื่อทำการพิจารณาในมุมมองของเซลล์ที่ 2 พบว่าช่วงเวลาที่ผู้ใช้บริการ



รายดังกล่าวครอบคลุมช่องสัญญาณของเซลล์ที่ 2 เท่ากับ ช่วงเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์ที่ 2 และ หากทำการพิจารณาช่วงเวลาที่ผู้ใช้บริการรายดังกล่าวครอบคลุมช่องสัญญาณของเซลล์ 3 พบว่า ช่วงเวลาครอบคลุมช่องสัญญาณของเซลล์ที่ 3 มีค่าเท่ากับ ช่วงเวลาใช้บริการคงเหลือ กล่าวคือ ช่วงเวลาตั้งแต่ผู้ใช้บริการรายดังกล่าวเริ่มใช้บริการช่องสัญญาณของเซลล์ที่ 3 จนกระทั่งผู้ใช้บริการดังกล่าว สิ้นสุดการใช้บริการ และจากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถพิจารณา ช่วงเวลาครอบคลุมช่องสัญญาณทั้งหมด สำหรับกราฟฟิกปกติ และแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิก ได้ดังสมการที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ [18]

$$S_n = \min(X, Y_r) \quad (2.5)$$

$$S_h = \min(X_r, Y) \quad (2.6)$$

เมื่อ

$S_n$  ช่วงเวลาครอบคลุมช่องสัญญาณของกราฟฟิกปกติ  
 $S_h$  ช่วงเวลาครอบคลุมช่องสัญญาณของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิก  
 $X$  ช่วงเวลาการใช้บริการ  
 $X_r$  ช่วงเวลาการใช้บริการคงเหลือ  
 $Y$  ช่วงเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์  
 $Y_r$  ช่วงเวลาคงเหลือที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์

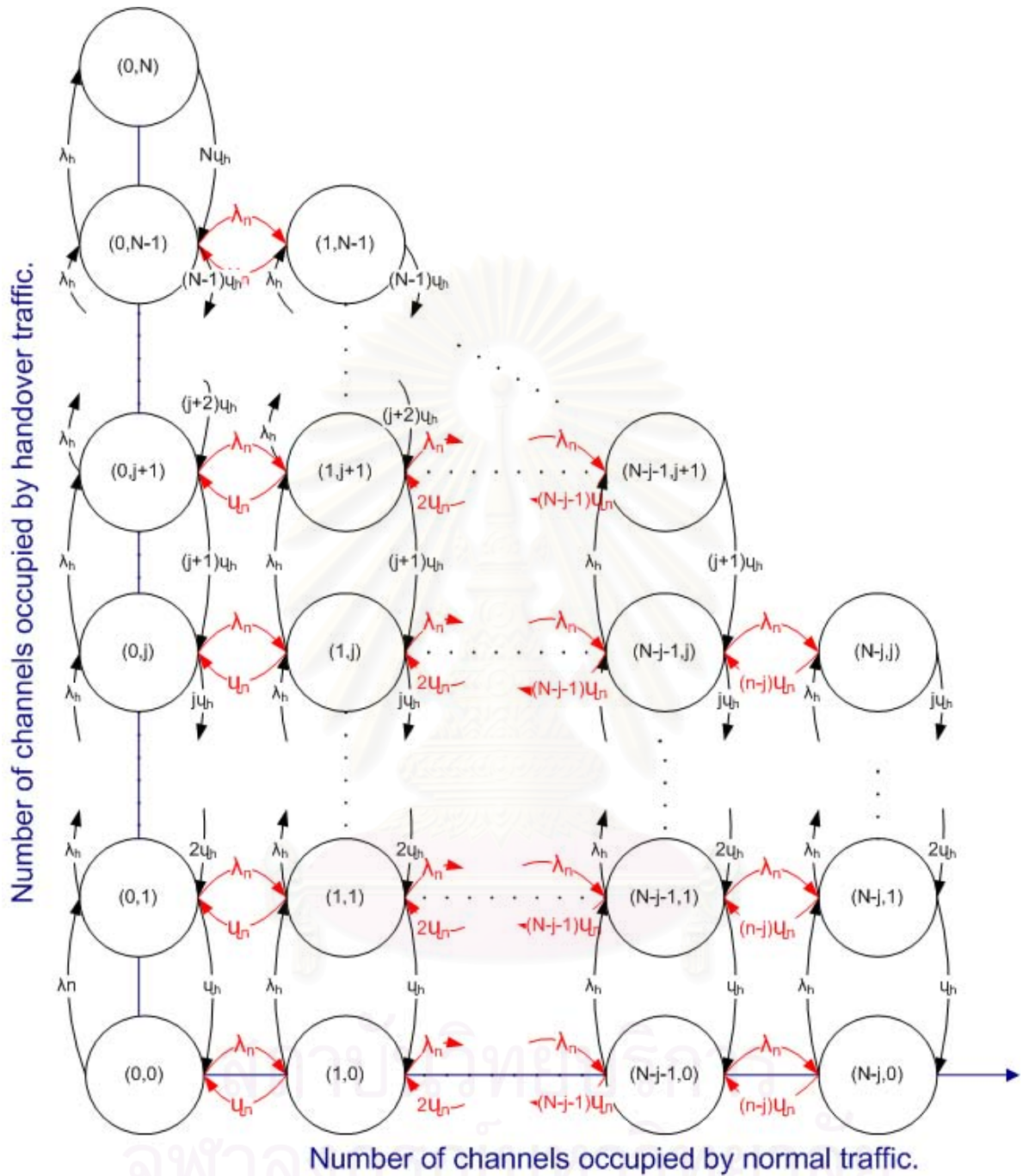
ในการพิจารณาช่วงเวลาใช้บริการ และช่วงเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์ นั้นหากกำหนดให้มีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลังที่เป็นอิสระต่อกันจะ ส่งผลให้ช่วงเวลาครอบคลุมช่องสัญญาณมีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง อย่างไรก็ตามได้มีการทดสอบและพบว่า ช่วงเวลาครอบคลุมช่องสัญญาณในโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ไม่ได้มีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง [21] พร้อมทั้งยังเสนอว่า การกระจายตัวแบบเออร์แลงให้ค่าการประมาณที่ดีกว่า นับเป็นจุดเริ่มให้เกิดความสนใจเกี่ยวกับการประมาณค่าช่วงเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์ด้วยการกระจายตัวของข้อมูลแบบต่าง ๆ ที่ไม่ใช่การกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง และสำหรับวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การกระจายตัวแบบไฮเปอร์เออร์แลง (hyper-Erlang distribution) เป็นการกระจายตัวสำหรับช่วงเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์ [18]

การกระจายตัวของข้อมูลแบบไฮเปอร์เออร์แลงมีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (probability density function) ดังนี้ [20]

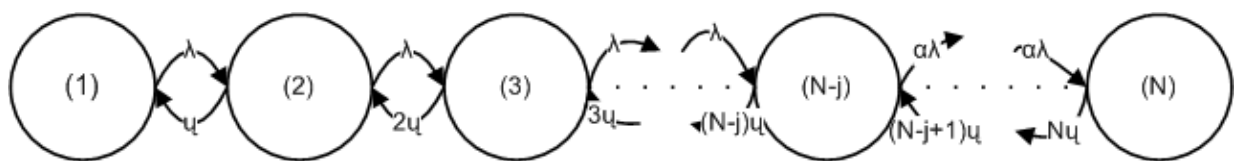
$$f_{he}(t) = \sum_{i=1}^M \alpha_i \frac{(\gamma_i t)^{m_i-1}}{(m_i-1)!} \gamma_i e^{-\gamma_i t} \quad (2.7)$$

เมื่อ  $t \geq 0$ ,  $\alpha_i \geq 0$ ,  $\sum_{i=1}^M \alpha_i = 1$  และมีค่าเฉลี่ยเป็น

$$E[X] = \sum_{i=1}^M \frac{\alpha_i m_i}{\gamma_i}$$



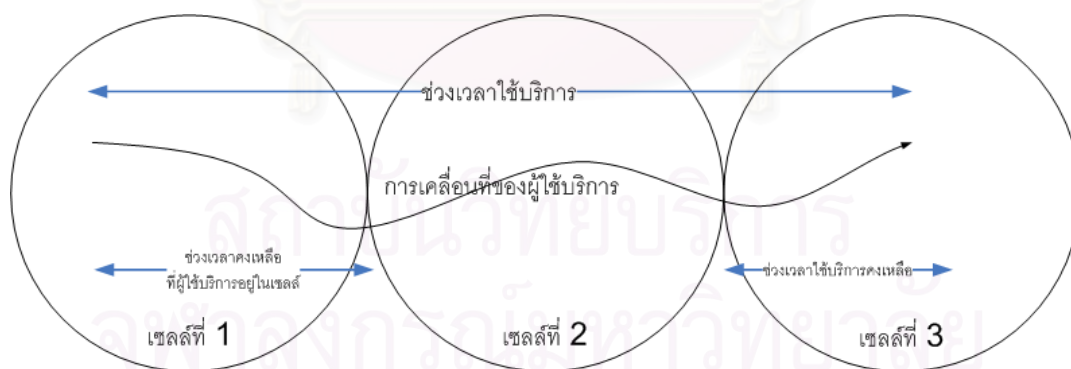
รูปที่ 2.7: แผนภาพแสดงสถานะของระบบที่มีนโยบายขีดแบ่ง



รูปที่ 2.8: แผนภาพแสดงสถานะของระบบที่มีนโยบายการจองช่องสัญญาณ



รูปที่ 2.9: แผนภาพจำลองการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อผู้ใช้ทำการเรียกใช้บริการและสิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์เดียว



รูปที่ 2.10: แผนภาพจำลองการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อผู้ใช้ทำการเรียกใช้บริการ และไม่สามารถสิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์เดียว

## บทที่ 3

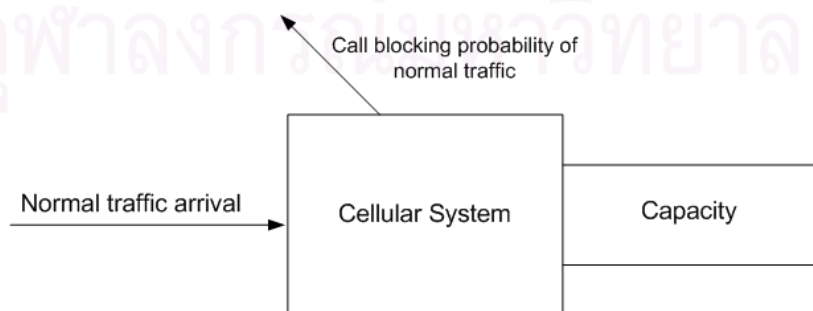
### การวิเคราะห์ตัวคูณปรับแก้

การวัดค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธด้วยวิธีการวัดคุณภาพการให้บริการแบบระบบวน นั้น มีกราฟฟิก จากเครื่องมือวัดเข้าสู่ระบบเพิ่มเติมนอกเหนือจากปริมาณกราฟฟิกที่ถูกสร้างโดยผู้ใช้บริการปกติ โดยส่งผลให้มีปริมาณกราฟฟิกต้องการเข้าใช้บริการจากระบบมากเกินไปจนกว่าความเป็นจริง ดังนั้น อาจส่งผลให้ค่าคุณภาพการให้บริการที่วัดได้โดยวิธีการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อน นอกจากนั้นการวัดคุณภาพการให้บริการด้วยวิธีนี้ ค่าคุณภาพการให้บริการที่วัดได้เสมือนเป็นค่าคุณภาพการให้บริการของผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวมิใช่ค่าเฉลี่ยที่ผู้ใช้บริการทั้งหมดได้รับ

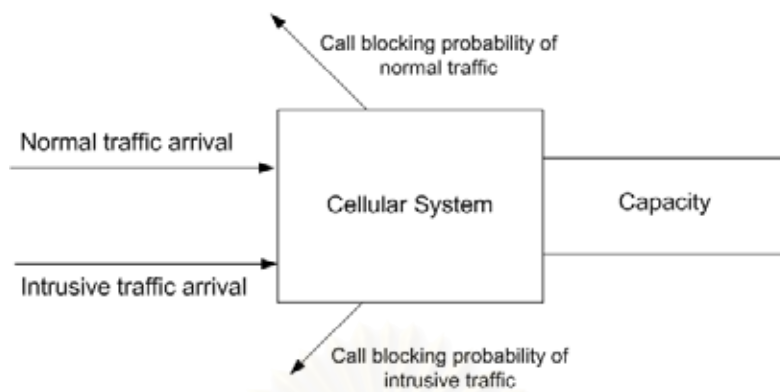
ในบทนี้จึงมุ่งนำเสนอการวิเคราะห์ตัวคูณปรับแก้ (corrective factor) สำหรับค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธที่สามารถวัดได้โดยเครื่องมือวัด เพื่อปรับแก้ให้ค่าดังกล่าวสามารถประมาณ ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติในระบบที่ไม่มีการระบบวนนั้น ให้มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น ทั้งในกรณีที่ระบบไม่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ และกรณีที่ระบบมีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์

#### 3.1 กรณีไม่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์

การวัดค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธด้วยวิธีการวัดแบบมีการระบบวนนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติในระบบที่ไม่มีการวัด ซึ่งสามารถพิจารณารูปแบบอ้างอิงได้ดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 สำหรับระบบโครงข่ายที่มีการวัด กราฟฟิกที่มีความต้องการใช้บริการสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ กราฟฟิกจากผู้ใช้ปกติ (normal offered traffic) และกราฟฟิกที่สร้างขึ้นโดยเครื่องมือวัด (intrusive offered traffic) ซึ่งกราฟฟิกทั้งสองชนิดนั้นต้องใช้ช่องสัญญาณของโครงข่ายที่มีจำนวนจำกัดร่วมกัน เมื่อไม่มีจำนวนช่องสัญญาณเพียงพอสำหรับการเรียกใช้บริการจากกราฟฟิกนั้น ๆ การเรียกดังกล่าวก็จะถูกปฏิเสธ



รูปที่ 3.1: รูปแบบอ้างอิงของระบบที่มีกราฟฟิกปกติเท่านั้นโดยไม่มีกราฟฟิกของเครื่องมือวัด



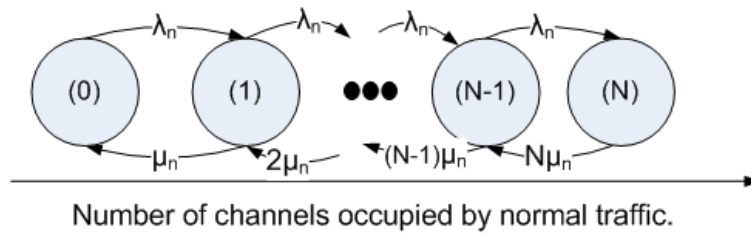
รูปที่ 3.2: รูปแบบอ้างอิงของระบบที่มีทราฟฟิกปกติและทราฟฟิกของเครื่องมือวัด

เพื่อพิจารณาปัญหาแบบ CTMC เช่นเดียวกับสูตรของเออร์แลง ในที่นี้จึงกำหนดให้โครงข่ายมีลักษณะเป็นระบบที่มีความจุจำกัดและไม่มีบัฟเฟอร์ กำหนดให้ทราฟฟิกจากผู้ใช้บริการทั่วไป มีกระบวนการเข้าใช้บริการเป็นแบบปัวส์ซอง (Poisson process) การเรียกที่ได้รับการเชื่อมต่อมีระยะเวลาการใช้บริการ (holding time) ที่มีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง (exponential) และให้ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดเป็นลักษณะเป็นแบบเปิดปิด (On/Off model) [19] ซึ่งเวลาคงสถานะ (state sojourn time) มีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง และนอกจากนั้นกำหนดให้ทำการวัดแบบการทดสอบคุณภาพการให้บริการขณะเคลื่อนที่นั้นมีอุปกรณ์ทำการวัดเพียงหนึ่งชุด เพื่อให้ปริมาณทราฟฟิกที่ถูกสร้างโดยเครื่องมือวัดไม่มากเกินไป กำหนดสัญกรณ์ (notation) สำหรับการวิเคราะห์ตามรูปแบบอ้างอิงในรูปที่ 3.2 ดังต่อไปนี้

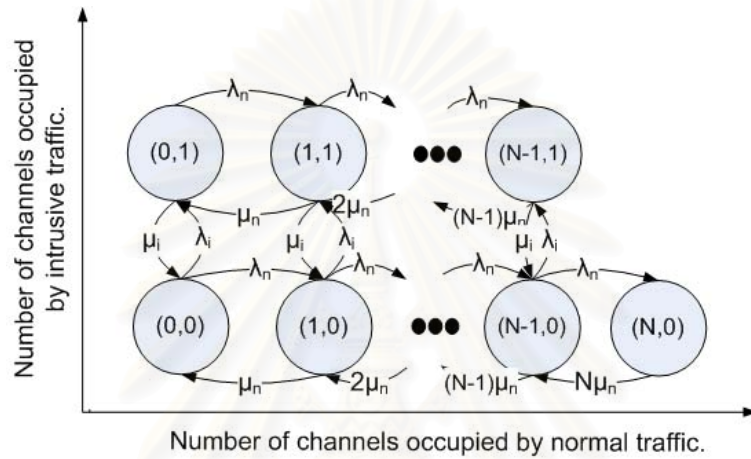
$\lambda_n$	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของการเรียกปกติที่ต้องการใช้บริการ
$\lambda_i$	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของการเรียกจากเครื่องมือวัด
$1/\mu_n$	เวลาเฉลี่ยในการใช้บริการของการเรียกปกติที่ต้องการใช้บริการ
$1/\mu_i$	เวลาเฉลี่ยในการใช้บริการของการเรียกจากเครื่องมือวัด
$\rho_n = \lambda_n/\mu_n$	ปริมาณทราฟฟิกปกติที่ต้องการใช้บริการ (เออร์แลง)
$N$	จำนวนช่องสัญญาณมากที่สุดที่ทราฟฟิกปกติที่ต้องการใช้บริการสามารถเข้าใช้งานได้
$M$	จำนวนช่องสัญญาณมากที่สุดที่ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดเข้าใช้งานได้ ซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ 1
$\pi(n)$	ความน่าจะเป็นในสถานะอยู่ตัวที่มีช่องสัญญาณถูกใช้งานจำนวน $n$ ช่อง สำหรับระบบรูปที่ 3.1
$\pi(n, m)$	ความน่าจะเป็นในสถานะอยู่ตัวที่มีทราฟฟิกปกติใช้ช่องสัญญาณจำนวน $n$ ช่องสัญญาณ และทราฟฟิก จากการวัดใช้ช่องสัญญาณเป็นจำนวน $m$ ช่องสัญญาณสำหรับระบบในรูปที่ 3.2

จากรูปแบบอ้างอิงตามรูปที่ 3.1 และ 3.2 จะสามารถเขียนแผนภาพการเปลี่ยนสถานะของ CTMC ได้ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

จากแผนภาพแสดงสถานะในรูปที่ 3.3 เนื่องจากเป็นกรณีที่ประกอบด้วยทราฟฟิกจากผู้ใช้งานจริงเท่านั้น จึงพิจารณาให้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติในระบบไม่ได้ทำการวัด ( $B_C$ ) ซึ่ง



รูปที่ 3.3: แผนภาพสถานะของระบบที่มีทราฟฟิกปกติเท่านั้นโดยไม่มีทราฟฟิกของเครื่องมี้อัด



รูปที่ 3.4: แผนภาพสถานะของระบบที่มีทราฟฟิกปกติและทราฟฟิกของเครื่องมี้อัด

เป็นค่าที่ต้องการวัด และจากสูตรของเออร์แลง ได้ว่า

$$\pi(N) = B_C = \frac{\rho_n^N}{N!} \cdot \frac{1}{\sum_{t=0}^N \frac{\rho_n^t}{t!}} \tag{3.1}$$

จาก (3.1) หากต้องการประเมินค่า  $\pi(N)$  จะพบว่า  $N$  และ  $\rho_n$  ไม่สามารถทราบค่าได้ ดังนั้นจึงประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติในระบบไม่ได้ทำการวัด จากค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งวัดได้จากเครื่องมี้อัด ( $B_{Ci}$ )

$$B_C = \psi B_{Ci} \tag{3.2}$$

เมื่อ  $\psi$  คือตัวคูณปรับแก้

แผนภาพสถานะรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่า ความคับคั่งเชิงเวลาของทราฟฟิกปกติในระบบที่มีการวัด ( $B_{Tn}$ ) เท่ากับ  $\pi(N, 0) + \pi(N - 1, 1)$  และเนื่องจากสำหรับทราฟฟิกปกติการขอเข้าใช้บริการมีลักษณะเป็นปัวส์ซงซึ่งการขอเข้าใช้บริการจะไม่ขึ้นอยู่กับสถานะของระบบดังนั้นค่าความคับคั่งเชิงการเรียก ( $B_{Cn}$ ) หรือค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติในระบบที่มีการวัด  $B_{Cn} = B_{Tn} = \pi(N, 0) + \pi(N - 1, 1)$  นอกจากนี้การมีเครื่องมี้อัดเพียงหนึ่งชุดส่งผลให้ทราฟฟิกจากเครื่องมี้อัดสามารถใช้ช่องสัญญาณได้หนึ่งช่องสัญญาณเท่านั้น เมื่อระบบที่มีทราฟฟิกปกติและทราฟฟิกของเครื่องมี้อัดอยู่ในสถานะ

$(N - 1, 1)$  จะไม่สามารถมีการเรียกขอเข้าใช้ระบบจากเครื่องมือวัดได้อีก ดังนั้นความคับคั่งเชิงเวลาของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัด ( $B_{Ti}$ ) เท่ากับ  $\pi(N, 0)$  และโดยใช้ local balance equation จะได้ว่า (แสดงการพิสูจน์ในภาคผนวก ก.)

$$B_{Ti} = \pi(N, 0) = \frac{\frac{\rho_n^N}{N!}}{\sum_{n_1=0}^N \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} + \rho_i \sum_{n_2=0}^{N-1} \frac{\rho_n^{n_2}}{n_2!}}$$

เมื่อ  $\rho_i = \lambda_i / \mu_i$  อย่างไรก็ตามการเข้ามาขอใช้บริการของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดซึ่งขึ้นอยู่กับสถานะของระบบส่งผลให้ค่าความคับคั่งเชิงการเรียกอาจไม่เท่ากับค่าความคับคั่งเชิงเวลา โดยค่าความคับคั่งเชิงการเรียกสามารถหาได้จาก อัตราส่วนของจำนวนการเรียกใช้บริการที่เข้ามาในขณะที่ระบบอยู่ในสถานะอยู่ตัวต่อจำนวนการเรียกทั้งหมด จากสมการที่ (2.1)

$$B_{Ci} = \frac{B_{Ti} \lambda_i}{\sum_{(n,m)} \pi(n, m) \lambda_i 1(m=0)}$$

แต่จากรูปที่ 3.4 เห็นได้ว่า เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ทราฟฟิกในเครื่องมือวัดมีการใช้ช่องสัญญาณ เครื่องมือวัดจะไม่สามารถทำการเรียกใช้บริการได้อีก เนื่องจากการมีเครื่องมือวัดเพียงหนึ่งชุด

$$\begin{aligned} B_{Ci} &= \frac{B_{Ti} \lambda_i}{\sum_n \pi(n, 0) \lambda_i} \\ &= \frac{B_{Ti}}{\sum_n \pi(n, 0)} \\ &= \frac{\frac{\rho_n^N}{N!}}{\sum_{n_1=0}^N \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} + \rho_i \sum_{n_2=0}^{N-1} \frac{\rho_n^{n_2}}{n_2!}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\sum_{i=0}^N \frac{\rho_n^i}{i!}}{\sum_{n_1=0}^N \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} + \rho_i \sum_{n_2=0}^{N-1} \frac{\rho_n^{n_2}}{n_2!}} \\ B_{Ci} &= \frac{\frac{\rho_n^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{\rho_n^i}{i!}} \end{aligned} \quad (3.3)$$

จากสมการ (3.1) และ (3.3) พบว่าเมื่อพิจารณาตัวคูณปรับแก้ดังสมการ (3.2) ได้ว่าในกรณีดังกล่าว ตัวคูณปรับแก้มีค่าเท่ากับ 1 นั่นคือ ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งวัดได้จากเครื่องมือวัดนั้นสามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธในกรณีที่ไม่ได้ทำการวัดได้อย่างถูกต้อง

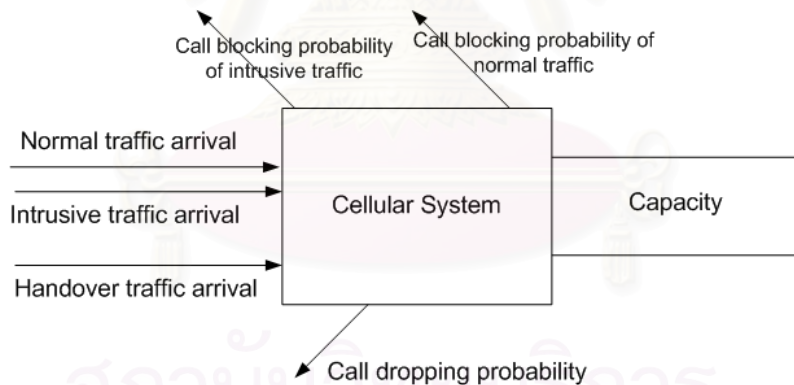
### 3.2 กรณีที่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ด้วยนโยบายขีดแบ่ง

พิจารณาระบบที่มีการให้ความสำคัญกับทราฟฟิกที่มาจากการทำแฮนด์โอเวอร์มากกว่าทราฟฟิกปกติ ที่ทำการเรียกใช้บริการช่องสัญญาณภายในเซลล์นั้นโดยใช้นโยบายขีดแบ่ง กำหนดให้ระบบมี  $N$  ช่องสัญญาณและจองไว้  $j$  ช่องสัญญาณสำหรับแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก จะได้ว่าทราฟฟิกปกติที่ทำการเรียกใช้บริการภายในเซลล์นั้นสามารถใช้ช่องสัญญาณได้  $N-j$  ช่องสัญญาณ แต่ทว่าแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกสามารถเข้าใช้บริการจากช่องสัญญาณได้ทั้ง  $N$  ช่องสัญญาณ ระบบนี้สามารถวิเคราะห์ได้โดยมีรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.3 โดยจากสมการ (2.2) พบว่าเมื่อต้องการประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธในระบบที่ไม่ได้ทำการวัด ( $B_n$ ) ไม่สามารถประมาณค่าได้โดยตรง เพราะเนื่องจากตัวแปรที่ไม่ทราบค่า ดังนั้นจึงประมาณจากความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธจากเครื่องมือวัด ( $B_{Ci}$ )

$$B_n = \psi B_{Ci} \quad (3.4)$$

เมื่อ  $\psi$  คือตัวคูณปรับแก้

รูปที่ 3.5 แสดงแบบจำลองของระบบที่มีการวัดคุณภาพการให้บริการแบบรอบวง ในกรณีที่เครื่องมือวัดไม่มีการเคลื่อนที่ จะสามารถพิจารณาทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดเสมือนทราฟฟิกที่ทำการเรียกใช้บริการใหม่ภายในเซลล์นั้น ดังนั้นทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดสามารถเข้าใช้บริการได้  $N-j$  ช่องสัญญาณ เช่นเดียวกับทราฟฟิกปกติ



รูปที่ 3.5: รูปแบบอ้างอิงของระบบระบบที่มีทราฟฟิกปกติ แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกและทราฟฟิกของเครื่องมือวัด

เพื่อพิจารณาปัญหาแบบ CTMC เช่นเดียวกับกรณีไม่มีการกันช่องสัญญาณ ในที่นี้จึงกำหนดให้โครงข่ายมีลักษณะเป็นระบบที่มีความจุจำกัดและไม่มีบัฟเฟอร์ กำหนดให้ทราฟฟิกจากผู้ใช้บริการทั่วไปมีกระบวนการเข้าใช้บริการเป็นแบบปัวส์ซอง การเรียกที่ได้รับการเชื่อมต่อจะมีระยะเวลาการให้บริการที่มีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง และให้ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดเป็นลักษณะเป็นแบบเปิดปิด ซึ่งเวลาคงสถานะมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง นอกจากนี้กำหนดให้มีอุปกรณ์ทำการวัดเพียงหนึ่งชุด และมีการกำหนดสัญกรณ์ (notation) สำหรับการวิเคราะห์ตามรูปแบบอ้างอิงในรูปที่ 3.5 ดังต่อไปนี้



$\lambda_n$	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของการเรียกปกติที่ต้องการใช้บริการ
$\lambda_h$	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของการเรียกจากแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิก
$\lambda_i$	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของการเรียกจากเครื่องมือวัด
$1/\mu_n$	เวลาเฉลี่ยในการใช้บริการของการเรียกปกติที่ต้องการใช้บริการ
$1/\mu_h$	เวลาเฉลี่ยในการใช้บริการของการเรียกจากแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิก
$1/\mu_i$	เวลาเฉลี่ยในการใช้บริการของการเรียกจากเครื่องมือวัด
$\rho_n = \lambda_n/\mu_n$	ปริมาณกราฟฟิกปกติที่ต้องการใช้บริการ (เออร์แลง)
$\rho_h = \lambda_h/\mu_h$	ปริมาณกราฟฟิกจากเครื่องมือวัดที่ต้องการใช้บริการ (เออร์แลง)
$\pi(n, q)$	ความน่าจะเป็นในสถานะอยู่ตัวที่มีกราฟฟิกปกติ ใช้ช่องสัญญาณจำนวน $n$ ช่องสัญญาณ และแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิก จากการวัดใช้ช่องสัญญาณเป็นจำนวน $q$ ช่องสัญญาณ
$\pi(n, q, m)$	ความน่าจะเป็นในสถานะอยู่ตัวที่มีกราฟฟิกปกติ ใช้ช่องสัญญาณจำนวน $n$ ช่องสัญญาณ จากแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกใช้ช่องสัญญาณเป็นจำนวน $q$ ช่องสัญญาณ และจากเครื่องมือวัด $m$ ช่องสัญญาณ

สามารถพิจารณาแผนภาพสถานะ (state diagram) ได้ดังรูปที่ 3.6 และ 3.7 โดยมีนิยามว่าระบบอยู่ในสถานะ  $(n, q, m)$  สำหรับค่า  $n = 0, 1, \dots, N - j$  สำหรับค่า  $q = 0, 1, \dots, N$  และ  $m = 0, 1$  เมื่อมีช่องสัญญาณ  $n$  ช่องสัญญาณกำลังถูกใช้งานด้วยกราฟฟิกปกติ  $q$  ช่องสัญญาณกำลังถูกใช้งานด้วยแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิก และ  $m$  ช่องสัญญาณกำลังถูกใช้งานด้วยกราฟฟิกจากเครื่องมือวัด สามารถพิจารณาหาความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะ  $(n, q, m)$  ใดๆ ด้วย local balance equation จะได้ว่าความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะ  $(n, q, m)$  (ซึ่งแสดงการพิสูจน์ไว้ในภาคผนวก ข.)

$$\pi(n, q, m) = \frac{\frac{\rho_n^n \rho_h^q \rho_i^m}{n! q! m!}}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_{n_1}^{n_1} \rho_{n_2}^{n_2}}{n_1! n_2!} + \rho_i \sum_{n_1=0}^{N-j-1} \sum_{n_2=0}^{N-n_1-1} \frac{\rho_{n_1}^{n_1} \rho_{n_2}^{n_2}}{n_1! n_2!}}$$

เมื่อ  $\rho_i = \lambda_i/\mu_i$  และเนื่องจากแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกและกราฟฟิกปกติ มีอัตราการเรียกใช้บริการไม่ขึ้นกับสถานะของระบบ ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธสำหรับแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิก ( $B_{Ch}$ ) และค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของกราฟฟิกปกติ ( $B_{Cn}$ )

$$B_{Ch} = \frac{\sum_{s=j}^N \frac{\rho_n^{N-s} \rho_h^s}{(N-s)! s!} + \rho_i \sum_{s=j}^{N-1} \frac{\rho_n^{N-s-1} \rho_h^s}{(N-s-1)! s!}}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_{n_1}^{n_1} \rho_{n_2}^{n_2}}{n_1! n_2!} + \rho_i \sum_{n_1=0}^{N-j-1} \sum_{n_2=0}^{N-n_1-1} \frac{\rho_{n_1}^{n_1} \rho_{n_2}^{n_2}}{n_1! n_2!}}$$

$$B_{Cn} = \frac{\frac{\rho_n^{N-j}}{(N-j)!} \sum_{r=0}^j \frac{\rho_h^r}{r!} + \sum_{s=j+1}^N \frac{\rho_n^{N-s} \rho_h^s}{(N-s)! s!} + \rho_i \left[ \frac{\rho_n^{N-j-1}}{(N-j-1)!} \sum_{r=0}^j \frac{\rho_h^r}{r!} + \sum_{s=j+1}^{N-1} \frac{\rho_n^{N-s-1} \rho_h^s}{(N-s-1)! s!} \right]}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_{n_1}^{n_1} \rho_{n_2}^{n_2}}{n_1! n_2!} + \rho_i \sum_{n_1=0}^{N-j-1} \sum_{n_2=0}^{N-n_1-1} \frac{\rho_{n_1}^{n_1} \rho_{n_2}^{n_2}}{n_1! n_2!}}$$

และความคับคั่งทางเวลาสำหรับเครื่องมือวัด  $B_{Ti}$

$$B_{Ti} = \frac{\frac{\rho_n^{N-j}}{(N-j)!} \sum_{r=0}^j \frac{\rho_h^r}{r!} + \sum_{s=j+1}^N \frac{\rho_n^{N-s}}{(N-s)!} \frac{\rho_h^s}{s!}}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!} + \rho_i \sum_{n_1=0}^{N-j-1} \sum_{n_2=0}^{N-n_1-1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!}}$$

สำหรับทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีอัตราการเข้าใช้บริการขึ้นอยู่กับสถานะของระบบกล่าวคือ เมื่อการเรียกจากเครื่องมือวัดสามารถเข้าใช้บริการของช่องสัญญาณได้แล้ว พบว่าเครื่องมือวัดจะไม่สามารถเรียกเข้าใช้บริการได้ จนกระทั่งการเรียกใช้บริการนั้นสิ้นสุดลงทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการมีอุปกรณ์วัดเพียง 1 ชุด ดังนั้นสามารถพิจารณาหาค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธสำหรับทราฟฟิกจากเครื่องมือวัด ( $B_{Ci}$ ) จาก

$$B_{Ci} = \frac{B_{Ti} \lambda_i}{\sum_{(n,q,m)} \pi(n,q,m) \lambda_i 1(m=0)}$$

แต่จากรูปที่ 3.4 เห็นได้ว่า เมื่อระบบอยู่ในสถานะที่ทราฟฟิกในเครื่องมือวัดมีการใช้ช่องสัญญาณ เครื่องมือวัดจะไม่สามารถทำการเรียกใช้บริการได้อีก เนื่องจากการมีเครื่องมือวัดเพียงหนึ่งชุด

$$B_{Ti} = \frac{\frac{\rho_n^{N-j}}{(N-j)!} \sum_{r=0}^j \frac{\rho_h^r}{r!} + \sum_{s=j+1}^N \frac{\rho_n^{N-s}}{(N-s)!} \frac{\rho_h^s}{s!}}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!} + \rho_i \sum_{n_1=0}^{N-j-1} \sum_{n_2=0}^{N-n_1-1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!}}$$

$$= \frac{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!}}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!} + \rho_i \sum_{n_1=0}^{N-j-1} \sum_{n_2=0}^{N-n_1-1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!}}$$

$$= \frac{\frac{\rho_n^{N-j}}{(N-j)!} \sum_{r=0}^j \frac{\rho_h^r}{r!} + \sum_{s=j+1}^N \frac{\rho_n^{N-s}}{(N-s)!} \frac{\rho_h^s}{s!}}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!}}$$

ดังนั้น

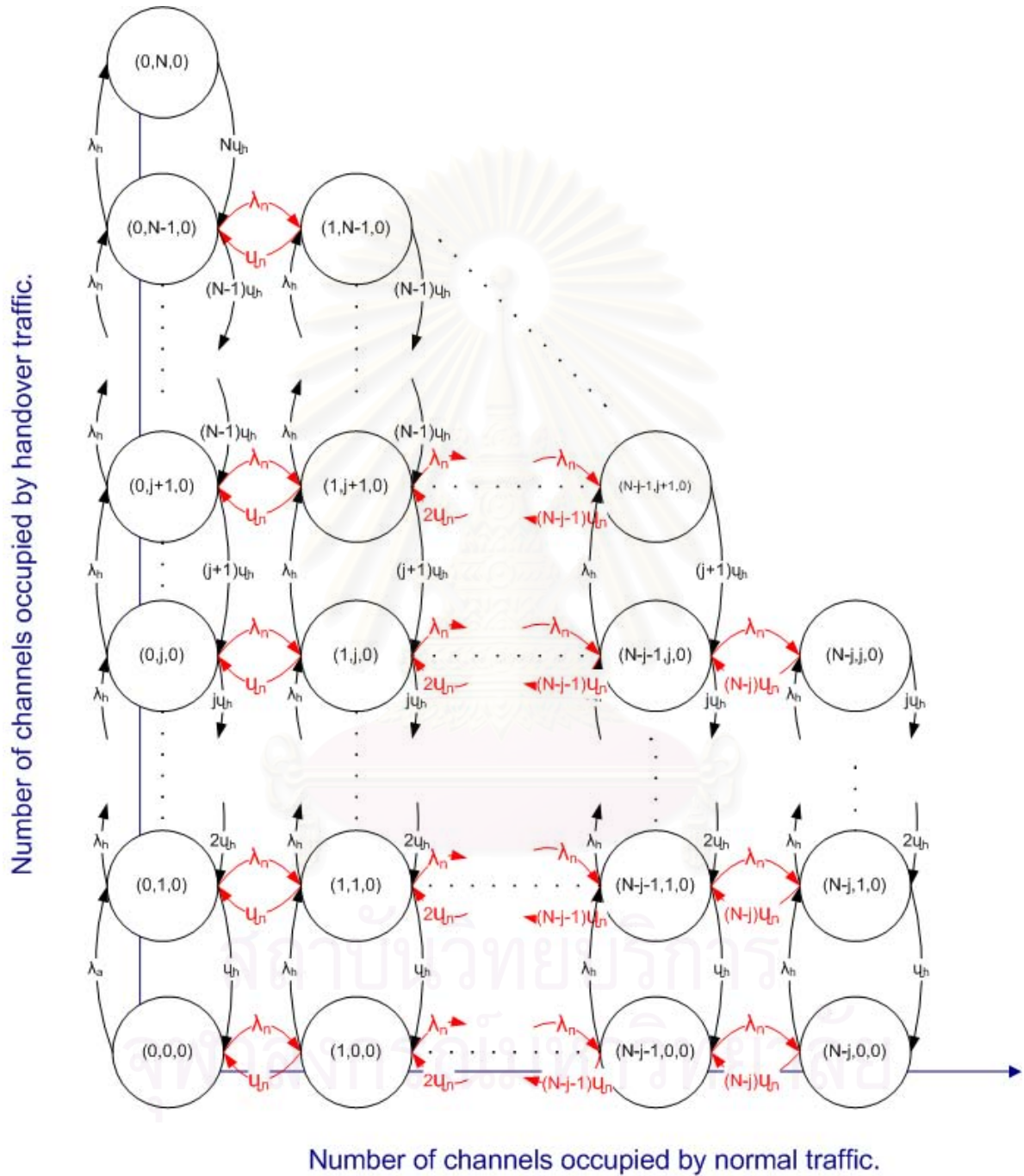
$$B_{Ci} = \frac{\frac{\rho_n^{N-j}}{(N-j)!} \sum_{r=0}^j \frac{\rho_h^r}{r!} + \sum_{s=j+1}^N \frac{\rho_n^{N-s}}{(N-s)!} \frac{\rho_h^s}{s!}}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!}} \quad (3.5)$$

จากสมการ (2.2) และ (3.5) พบว่าเมื่อพิจารณาตัวคูณปรับแก้ดังสมการ (3.4) ได้ว่าในกรณีดังกล่าวตัวคูณปรับแก้มีค่าเท่ากับ 1

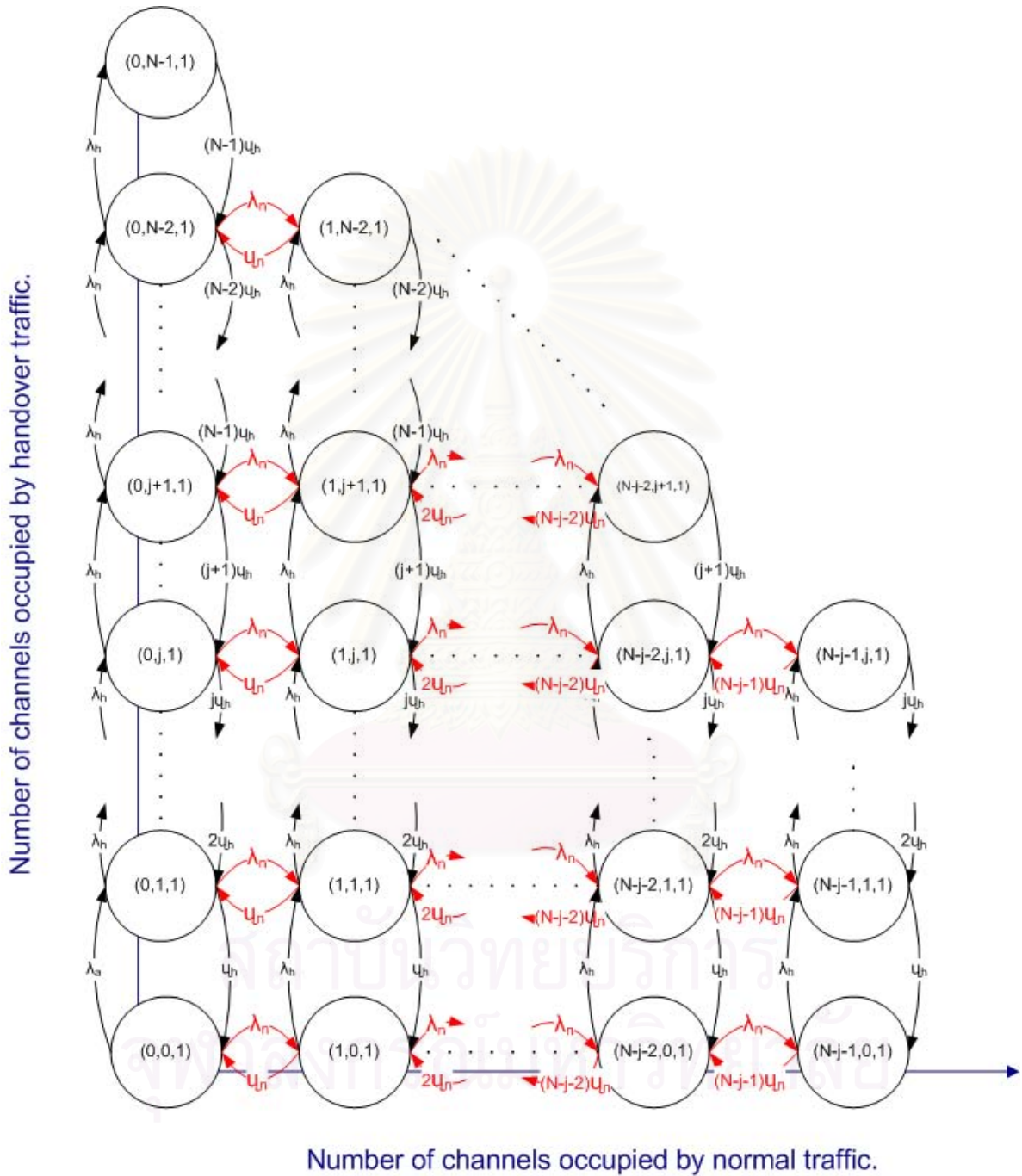
จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ทั้งในกรณีที่ระบบไม่มีการกั้นช่องสัญญาณ และในกรณีที่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ด้วยนโยบายขีดแบ่งพบว่า ตัวคูณปรับแก้มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นหมายความว่า ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งวัดได้โดยการวัดแบบมีการรบกวนนั้น สามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติในระบบที่ไม่ได้ทำการวัดได้ ทั้งนี้อยู่บนสมมุติฐานที่ว่าโครงข่ายมีลักษณะเป็นระบบที่มีความจุจำกัดและไม่มีบัฟเฟอร์ ทราฟฟิกจากผู้ให้บริการทั่วไปมีกระบวนการเข้าใช้บริการเป็นแบบปัวซอง การเรียกที่ได้รับการเชื่อมต่อจะมีระยะเวลาการให้บริการที่มีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง และให้ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดเพียงหนึ่งชุดที่มีลักษณะเป็นแบบเปิดปิด ซึ่งเวลาคงสถานะมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง ในบทที่ 4 จะวิเคราะห์ในกรณีซึ่งปฏิบัติมากยิ่งขึ้น คือ เมื่อทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีลักษณะการเข้าใช้บริการที่กำหนดแน่นอน เมื่อระบบมีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับทราฟฟิกชนิดแฮนด์โอเวอร์ด้วยนโยบายจองช่องสัญญาณ และเมื่อผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6: แผนภาพแสดงสถานะของระบบระบบที่มีทราฟฟิกปกติ แชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกและทราฟฟิกของเครื่องมือวัด เมื่อทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดไม่มีการใช้ช่องสัญญาณ



รูปที่ 3.7: แผนภาพแสดงสถานะของระบบที่มีกราฟฟิกปกติ แชนด์โอเวอร์กราฟฟิกและกราฟฟิกของเครื่องมือวัด เมื่อกราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีการใช้ช่องสัญญาณ

## บทที่ 4

### การจำลองระบบ

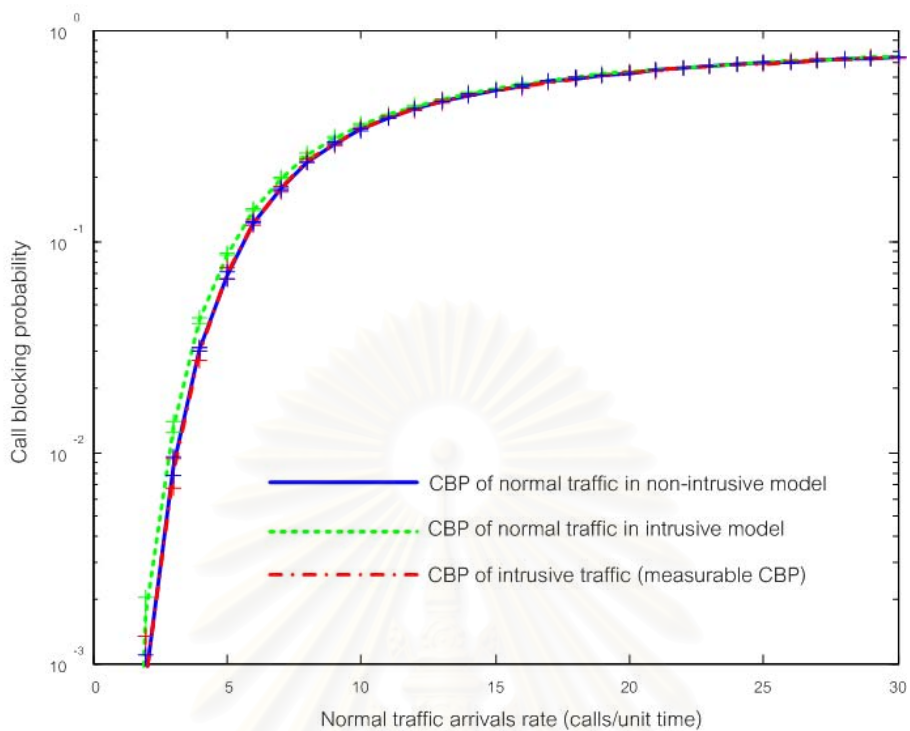
บทที่ 3 ได้แสดงการวิเคราะห์ตัวคูณปรับแก้เพื่อปรับแก้ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธที่ได้จากการวัดแบบการรบกวน ให้มีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ทั่วไปในกรณีที่ระบบไม่ได้ทำการวัดทั้งในกรณีที่ไม่มีกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ และกรณีที่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ด้วยนโยบายขีดแบ่ง ดังนั้นการจำลองระบบทางคอมพิวเตอร์ โดยจำลองการเข้าใช้บริการโครงข่ายของทราฟฟิกชนิดต่าง ๆ ตามอัตราการเรียกใช้บริการและช่วงเวลาใช้ครอบครองช่องสัญญาณเฉลี่ยในแต่ละกรณีศึกษา ด้วยโปรแกรม MATLAB บนสองวัตถุประสงค์ คือ เพื่อยืนยันความถูกต้องของการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในบทที่ 3 และเพื่อทำการศึกษาความสามารถในการนำไปใช้ของตัวคูณปรับแก้เมื่อมีปัจจัยอื่นในระบบ ดังกรณีเหล่านี้

- กรณีที่ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีการกำหนดแบบแผนการเข้าใช้บริการที่แน่นอน
- กรณีที่ระบบมีการกั้นช่องสัญญาณด้วยนโยบายการจองช่องสัญญาณ
- กรณีที่ผู้ใช้ในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์

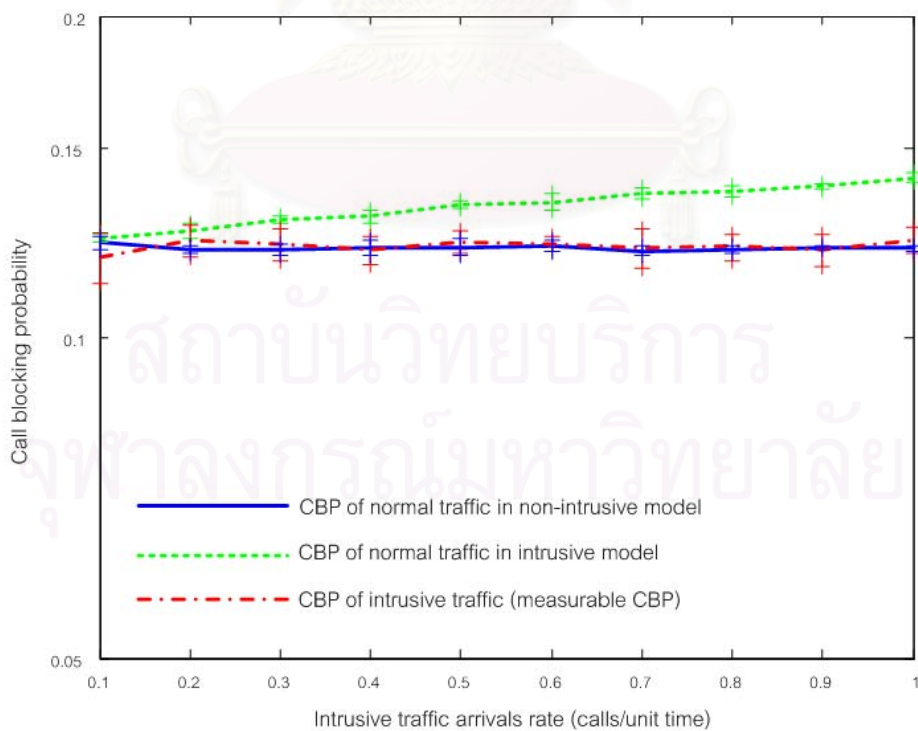
#### 4.1 กรณีไม่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์

การจำลองระบบในกรณีนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันความถูกต้องของการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ระบบไม่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ในหัวข้อที่ 3.1 ดังนั้นจึงจำลองระบบทางคอมพิวเตอร์มีข้อกำหนดเดียวกันกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ดังนี้ ทราฟฟิกปกติมีกระบวนการเข้าใช้บริการเป็นแบบปัวซอง และการเรียกที่ได้รับการเชื่อมต่อจะมีระยะเวลาการให้บริการที่มีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีลักษณะเป็นแบบเปิดปิด กล่าวคือเมื่อทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดสามารถเข้าใช้บริการจากช่องสัญญาณได้แล้ว จะไม่สามารถทำการเรียกใช้บริการได้อีก จนกระทั่งสิ้นสุดการครอบครองช่องสัญญาณซึ่งเวลาคงสถานะมีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง และการเรียกขอใช้บริการถูกปฏิเสธเกิดจากไม่มีจำนวนช่องสัญญาณเพียงพอที่จะให้บริการเท่านั้น ซึ่งได้ผลการจำลองระบบดังต่อไปนี้

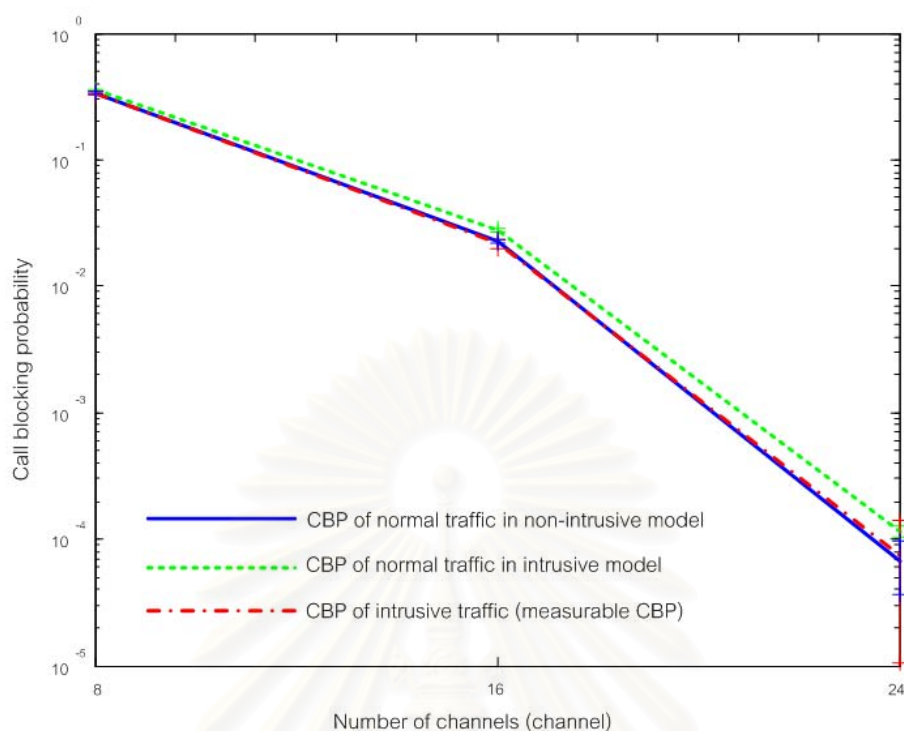
ในรูปที่ 4.1 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกชนิดต่าง ๆ บนระบบที่ไม่มีกั้นการวัดและมีการวัด เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกปกติ โดยกำหนดอัตราการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีค่าเท่ากับ 1 การเรียกต่อนาที เวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกปกติและทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดใช้บริการเท่ากับ 1 และ 0.5 นาที ตามลำดับ บนระบบที่มีความจุ 8 ช่องสัญญาณ ได้ว่าเมื่อระบบมีการวัดแบบมีการรบกวน ค่าความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกปฏิเสธที่วัดได้จากอุปกรณ์วัด จะมีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติใน



รูปที่ 4.1: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบในกรณีไม่มีการกันช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกขอใช้บริการของกราฟฟิกปกติ



รูปที่ 4.2: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบในกรณีไม่มีการกันช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกขอใช้บริการของกราฟฟิกจากเครื่องมือวัด



รูปที่ 4.3: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบในกรณีไม่มีการกันช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนจำนวนช่องสัญญาณในระบบ

กรณีที่ไม่มีการวัดตลอดการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกใช้บริการเฉลี่ยของผู้ใช้ปกติ แต่ผลจากการรบกวนของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัด ส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติในระบบที่มีการวัดสูงขึ้น นั่นคือเมื่อระบบมีการวัดแบบมีการรบกวนเกิดขึ้น จะส่งผลให้ผู้ใช้ปกติในระบบได้รับผลกระทบจากการที่มีปริมาณทราฟฟิกในระบบมากกว่าในกรณีที่ไม่ได้ทำการวัด

รูปที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกชนิดต่าง ๆ บนระบบที่ไม่มีการวัดและมีการวัด เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัด โดยกำหนดอัตราการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกปกติ 6 การเรียกต่อนาที เวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกปกติและทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดใช้บริการเท่ากับ 1 และ 0.5 นาที ตามลำดับ บนระบบที่มีความจุ 8 ช่องสัญญาณ แสดงให้เห็นว่าค่าความน่าจะเป็นที่การขอใช้บริการถูกปฏิเสธที่วัดได้จากอุปกรณ์วัด สามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติในกรณีที่ไม่ได้ทำการวัดได้ โดยไม่ขึ้นกับอัตราการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัด แต่เมื่ออัตราการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีปริมาณเพิ่มขึ้น จะส่งผลกระทบต่อค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติในระบบที่มีการวัดมากขึ้นเท่านั้น

รูปที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกชนิดต่าง ๆ บนระบบที่ไม่มีการวัดและมีการวัด เมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดความจุของระบบโดยกำหนดอัตราการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกปกติและทราฟฟิกจากเครื่องมือวัด 6 และ 1 การเรียกต่อนาทีตามลำดับ เวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกปกติและทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดใช้บริการเท่ากับ 1 และ 0.5 นาที ตามลำดับ สามารถ



วิเคราะห์ได้ว่าเมื่อปริมาณช่องสัญญาณเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธมีค่าลดลงสำหรับกราฟฟิกทุกประเภท ทั้งบนระบบที่มีการวัดและระบบที่ไม่มีการวัด นอกจากนี้เมื่อปริมาณช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นยังพบว่า ไม่ว่าช่องสัญญาณจะมีขนาดเท่าใด ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธที่วัดได้จากเครื่องมือวัดยังมีค่าเท่ากับ ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติในระบบที่ไม่ได้ทำการวัด

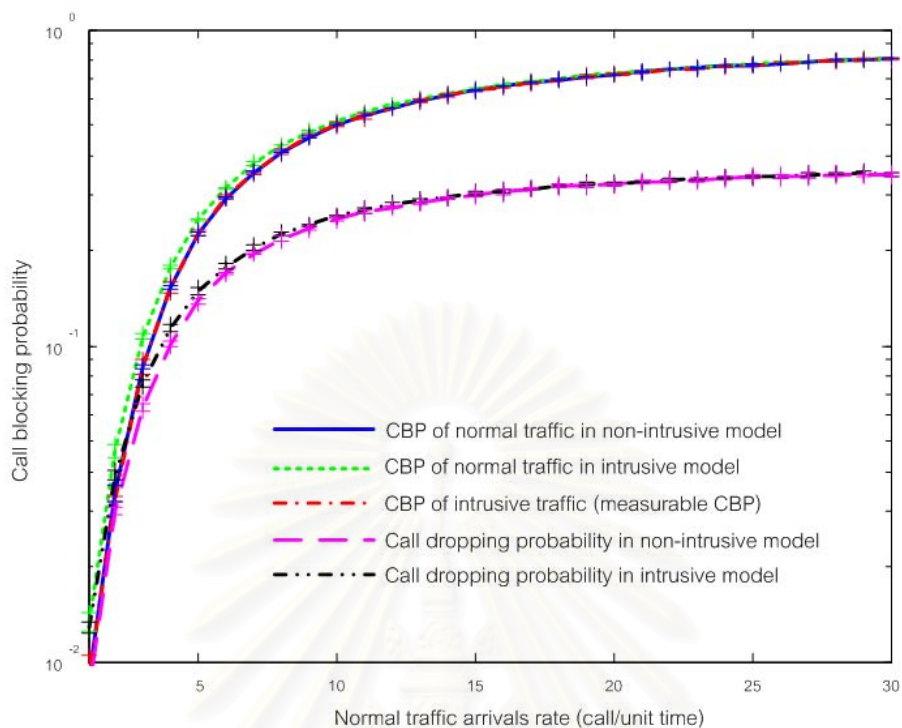
ดังนั้นจากรูปที่ 4.1–4.3 สามารถสรุปได้ว่า ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งวัดได้โดยเครื่องมือวัดสามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติในระบบที่ไม่มีการวัดได้ ดังนั้นหากพิจารณาตัวคูณปรับแก้ในกรณีดังกล่าวแล้ว พบว่าแต่คูณปรับแก้ควรมีค่าเท่ากับ 1 เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อที่ 3.1

## 4.2 กรณีมีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ด้วยนโยบายขีดแบ่ง

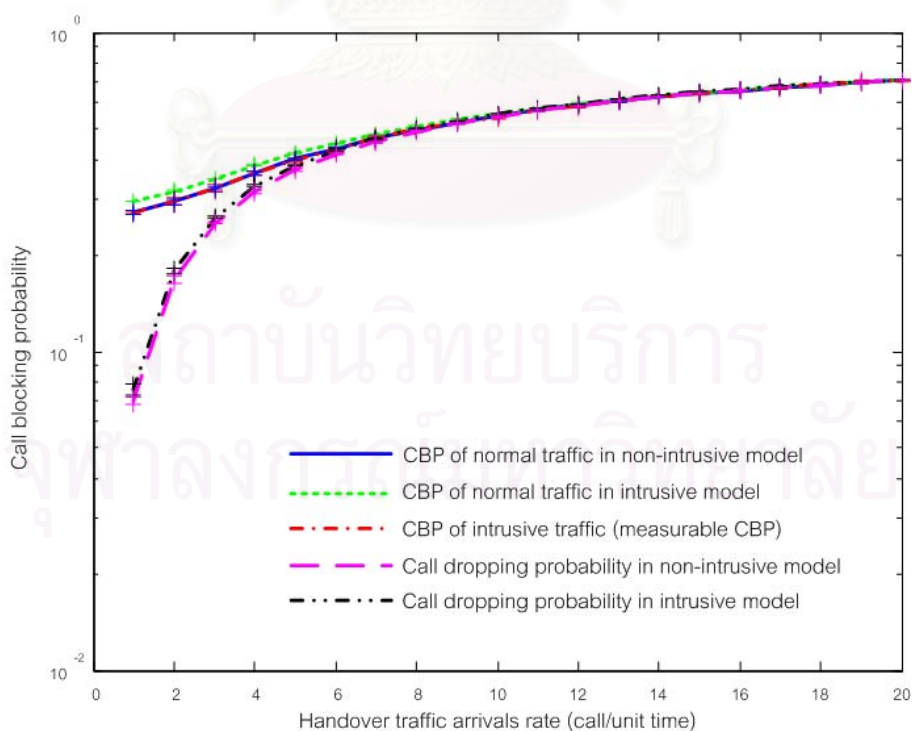
การจำลองระบบในกรณีนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันความถูกต้องการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ระบบมีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ด้วยนโยบายขีดแบ่งในหัวข้อที่ 3.2 ดังนั้นจึงจำลองระบบโดยมีข้อกำหนดเดียวกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อที่ 3.2 ดังนี้ กราฟฟิกปกติและแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกมีกระบวนการเข้าใช้บริการเป็นแบบปั๊มของ การเรียกที่ได้รับการเชื่อมต่อจะมีระยะเวลาการให้บริการที่มีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง ในขณะที่กราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีลักษณะเป็นโมเดลเปิดปิด กล่าวคือเมื่อกราฟฟิกจากเครื่องมือวัดสามารถเข้าใช้บริการจากช่องสัญญาณได้แล้วจะไม่สามารถทำการเรียกใช้บริการได้อีกจนกระทั่งสิ้นสุดการครอบครองช่องสัญญาณ ซึ่งเวลาคงสถานะมีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง บนระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณคงที่ซึ่งมีการใช้นโยบายขีดแบ่งการกันช่องสัญญาณไว้เป็นค่าคงที่ และการเรียกขอใช้บริการจะถูกปฏิเสธเนื่องจากไม่มีจำนวนช่องสัญญาณเพียงพอที่จะให้บริการเท่านั้น

ผลการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของกราฟฟิกต่าง ๆ ในระบบทั้งที่มีการวัด และไม่มีการวัด โดยทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกใช้บริการ เฉลี่ยของกราฟฟิกปกติ บนระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ 8 และทำการกันช่องสัญญาณไว้ 2 ช่องสัญญาณด้วยนโยบายขีดแบ่ง ดังรูปที่ 4.4 โดยอัตราการเรียกใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิก และกราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีค่าคงที่ เท่ากับ 2 และ 1 การเรียกต่อหน้าที่ตามลำดับ เวลาเฉลี่ยที่กราฟฟิกปกติและแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกใช้บริการเท่ากับ 1 นาที และเวลาเฉลี่ยที่กราฟฟิกจากเครื่องมือวัดใช้บริการเท่ากับ 0.5 นาที สามารถพิจารณาได้ว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของกราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีค่าเท่ากับ ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของกราฟฟิกปกติบนระบบที่ไม่ได้ทำการวัด ตลอดทุกช่วงอัตราการเรียกใช้บริการของผู้ใช้ปกติ นอกจากนี้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของกราฟฟิกปกติบนระบบที่มีการวัดมีค่าสูงกว่าบนระบบที่ไม่มีการวัด และค่าความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกยกเลิก เนื่องจากการทำแฮนด์โอเวอร์ไม่สำเร็จบนระบบที่มีการวัด มีค่าสูงกว่าบนระบบที่ไม่มีการวัดเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากได้รับผลกระทบจากการที่มีกราฟฟิกจากเครื่องมือวัดในระบบ

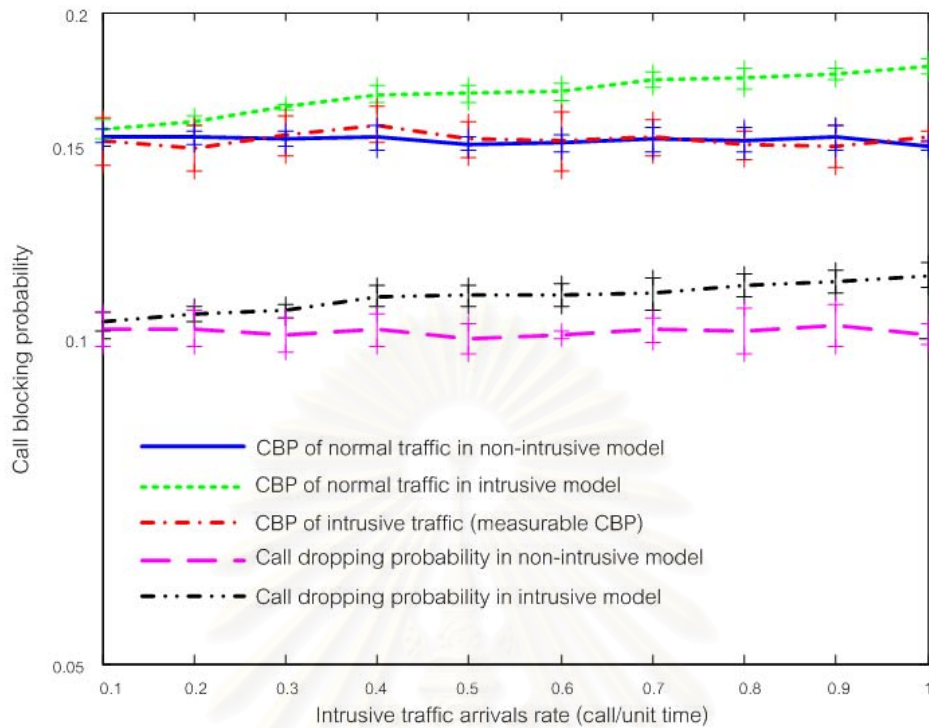
รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของกราฟฟิกต่าง ๆ ใน



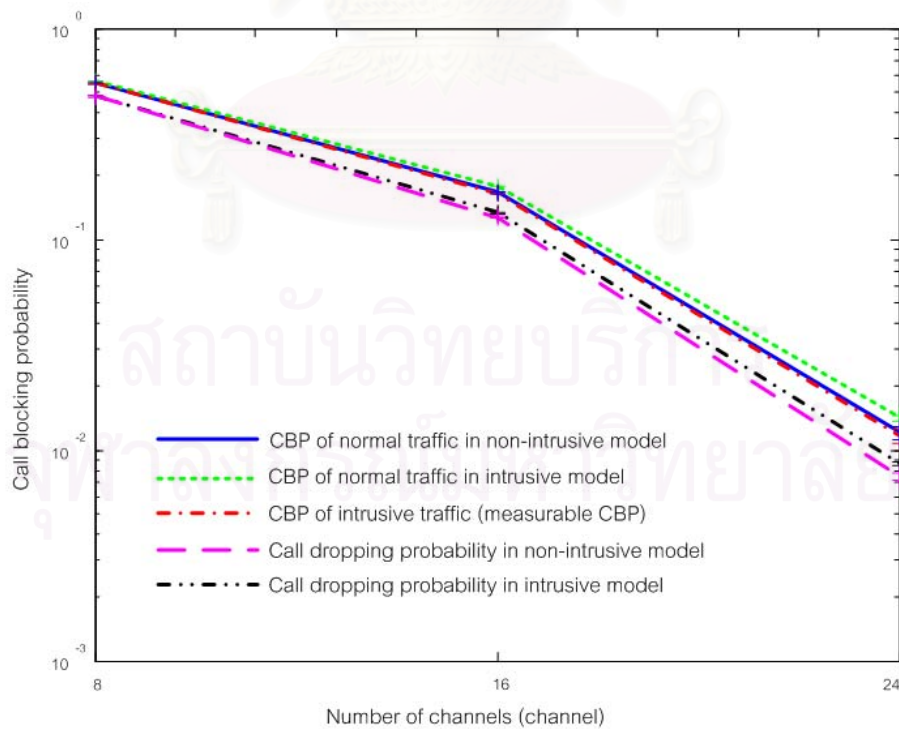
รูปที่ 4.4: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายขีดแบ่ง เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกขอใช้บริการของกราฟฟิกปกติ



รูปที่ 4.5: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายขีดแบ่ง เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกขอใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิก



รูปที่ 4.6: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายขีดแบ่ง เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกขอใช้บริการของโทรศัพท์จากเครื่องมือวัด



รูปที่ 4.7: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายขีดแบ่ง เมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดช่องสัญญาณ

ระบบทั้งที่ไม่มีการวัดและมีการวัด เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการใช้บริการของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัด บนระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ 8 และทำการกันช่องสัญญาณไว้ 2 ช่องสัญญาณ ด้วยนโยบายขีดแบ่ง โดยอัตราการใช้บริการของทราฟฟิกปกติ และแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกเท่ากับ 4 และ 2 การเรียกต่อหน้าที่ตามลำดับ เวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกปกติและแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกใช้บริการเท่ากับ 1 นาที และเวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดใช้บริการเท่ากับ 0.5 นาที พิจารณาได้ว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธที่วัดโดยเครื่องมือวัดมีค่าเท่ากับ ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติบนระบบที่ไม่ได้ทำการวัด นอกจากนั้นทั้งค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติ และค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกบนระบบที่มีการวัดจะมีค่าสูงขึ้น เมื่ออัตราการใช้บริการของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากการมีทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดเข้ามาใช้ช่องสัญญาณเพิ่มมากขึ้น

รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกต่าง ๆ ในระบบทั้งที่ไม่มีการวัดและมีการวัด เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกบนระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ 8 และทำการกันช่องสัญญาณไว้ 2 ช่องสัญญาณด้วยนโยบายขีดแบ่ง โดยอัตราการใช้บริการของทราฟฟิกปกติ และทราฟฟิกจากเครื่องมือวัด เท่ากับ 4 และ 1 การเรียกต่อหน้าที่ตามลำดับ เวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกปกติและแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกใช้บริการเท่ากับ 1 นาที และเวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดใช้บริการเท่ากับ 0.5 นาที พิจารณาได้ว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธที่ได้จากเครื่องมือวัดยังคงมีค่าเท่ากับ ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติบนระบบที่ไม่มีการวัดเช่นกัน

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดความจุของระบบดังรูปที่ 4.7 โดยกำหนดให้อัตราการใช้บริการของทราฟฟิกปกติ แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก และทราฟฟิกจากเครื่องมือวัด เท่ากับ 4, 2 และ 1 การเรียกต่อหน้าที่ตามลำดับ เวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกปกติและแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกใช้บริการเท่ากับ 1 นาที และเวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดใช้บริการเท่ากับ 0.5 นาที เมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายขีดแบ่งไว้ร้อยละ 25 ของขนาดความจุ จากผลการเปรียบเทียบพิจารณาได้ว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธที่ได้จากเครื่องมือวัดยังคงมีค่าเท่ากับ ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติบนระบบที่ไม่ได้ทำการวัด

จากรูปที่ 4.4-4.7 สามารถสรุปได้ว่าเมื่อระบบมีจำนวนช่องสัญญาณคงที่และมีการกันช่องสัญญาณไว้เป็นจำนวนคงที่ด้วยนโยบายขีดแบ่ง ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติบนระบบที่ไม่ได้ทำการวัดในทุกกรณี นอกจากนั้นค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธทั้งของทราฟฟิกปกติและแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก บนระบบที่มีการวัดจะมีค่าสูงกว่ากรณีบนระบบที่ไม่ได้ทำการวัด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดส่งผลให้ปริมาณทราฟฟิกโดยรวมในระบบที่มีการวัดมีค่าสูงกว่าปริมาณทราฟฟิกโดยรวมของระบบที่ไม่ได้ทำการวัด ส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกทั้งสองชนิดสูงขึ้น นอกจากนั้นค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก มีค่าน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นของทราฟฟิกปกติ และทราฟฟิกจากเครื่องมือวัด ทั้งนี้เป็นผลมาจากใช้นโยบายขีดแบ่งการกันช่องสัญญาณ

ไว้ กล่าวคือในการจำลองระบบมีการกันช่องสัญญาณไว้ร้อยละ 25 ของจำนวนช่องสัญญาณทั้งหมด นั่นคือ แชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกสามารถเข้าใช้บริการจากช่องสัญญาณได้ทั้งหมด แต่ทราฟฟิกจากเครื่องมีวัดสามารถเข้าใช้บริการจากช่องสัญญาณได้เพียงร้อยละ 75 ของจำนวนช่องสัญญาณทั้งหมด เป็นเหตุให้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกทั้งสองประเภทมีค่าสูงกว่าความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกยกเลิกของแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิก หากทำการพิจารณาตัวคูณปรับแก้พบว่า ตัวคูณปรับแก้ในกรณีดังกล่าวควรที่ค่าเท่ากับ 1 เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อที่ 3.2

### 4.3 กรณีที่ทราฟฟิกจากเครื่องมีวัดมีการกำหนดแบบแผนการเข้าใช้บริการที่แน่นอน

เนื่องจากในทางปฏิบัติ การทดสอบคุณภาพการให้บริการขณะเคลื่อนที่การเรียกใช้บริการจากเครื่องมีวัดเพื่อทำการวัดคุณภาพการให้บริการนั้นจะมีลักษณะการเรียกใช้บริการที่มีการกำหนดแน่นอน กล่าวคือ ทราฟฟิกจากเครื่องมีวัดนั้นมีการกำหนดช่วงเวลาในการใช้ช่องสัญญาณที่แน่นอน และเมื่อสิ้นสุดการใช้บริการจากช่องสัญญาณแล้วจะต้องทำการเว้นก่อนที่จะทำการเรียกใช้บริการในครั้งต่อไป เป็นช่วงเวลาที่ถูกกำหนดไว้อย่างแน่นอนอีกเช่นกัน

ดังนั้นการจำลองระบบนี้อยู่บนข้อกำหนดที่ว่าทราฟฟิกปกติ และแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกมีการเข้าใช้บริการเป็นแบบพัลส์ชอง และการเรียกที่ได้รับการเชื่อมต่อจะมีระยะเวลาการให้บริการที่มีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง ในขณะที่ทราฟฟิกจากเครื่องมีวัดจะมีกระบวนการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบแผนที่แน่นอน และมีช่วงเวลาการใช้ช่องสัญญาณเป็นค่าคงที่ รวมถึงเมื่อสิ้นสุดการให้บริการจากช่องสัญญาณแล้วจะต้องทำการเว้นก่อนทำการเรียกครั้งต่อไปเป็นค่าคงที่เช่นกัน

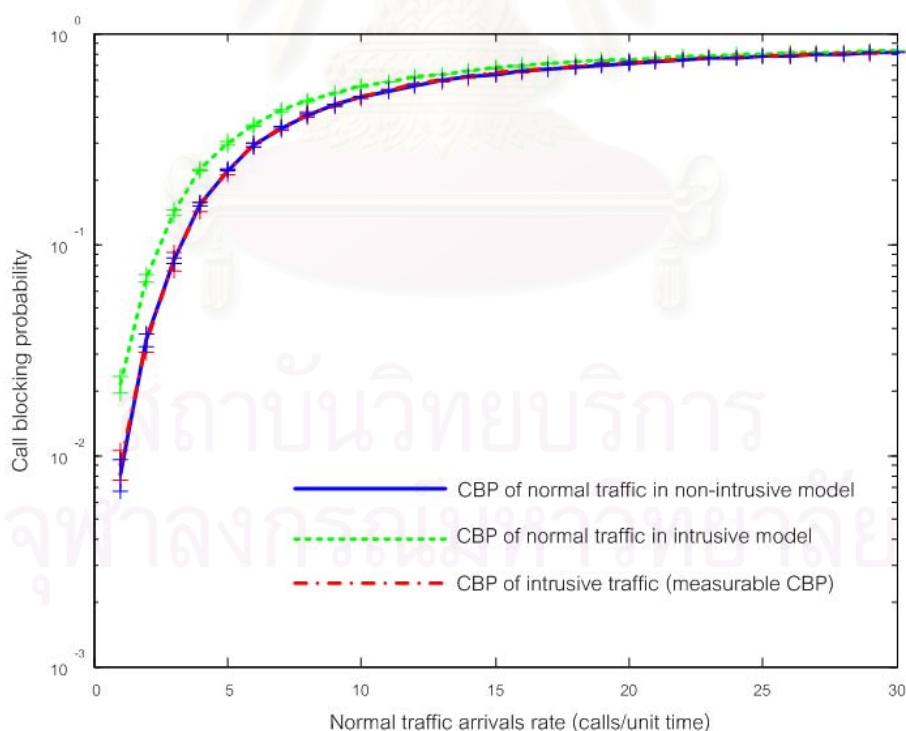
รูปที่ 4.8 แสดงผลกระทบอันเนื่องจากการปรับเปลี่ยนอัตราการใช้บริการของทราฟฟิกปกติบนระบบที่ไม่มีแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิก และการกันช่องสัญญาณสำหรับแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิก จำนวนช่องสัญญาณในระบบเท่ากับ 8 เมื่อทราฟฟิกจากเครื่องมีวัดมีช่วงเวลาใช้ช่องสัญญาณเท่ากับ 2 นาที และพัก 15 วินาที และช่วงเวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกปกติใช้บริการเท่ากับ 1 นาที จากผลการจำลองระบบได้ว่า แม้ว่าทราฟฟิกจากเครื่องมีวัดจะมีการกำหนดแบบแผนการเข้าใช้บริการที่แน่นอน ลักษณะการเข้าใช้บริการไม่ได้มีลักษณะเป็นพัลส์ชอง และช่วงเวลาการให้บริการจากช่องสัญญาณไม่มีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง ค่าความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกปฏิเสธ ซึ่งสามารถวัดได้จากเครื่องมีวัดนั้น ยังคงสามารถทำการประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติ บนระบบที่ไม่ได้ทำการวัดได้ แม้กระทั่งอัตราการใช้บริการของทราฟฟิกจากเครื่องมีวัดจะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทั้งระบบสูงขึ้นเท่านั้น

รูปที่ 4.9 แสดงผลของการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาใช้ช่องสัญญาณของทราฟฟิกจากเครื่องมีวัดเมื่อระบบที่ไม่มีแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกและการกันช่องสัญญาณสำหรับแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิก จำนวนช่องสัญญาณในระบบเท่ากับ 8 อัตราการใช้บริการจากทราฟฟิกปกติมีค่าเท่ากับ 6 การเรียกต่อนาที ช่วงเวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกปกติใช้บริการเท่ากับ 1 นาที และช่วงการพักก่อนที่ทำการเรียกใช้บริการครั้งต่อไปของทราฟฟิกจากเครื่องมีวัด เท่ากับ 15 วินาที จากผลการจำลองระบบดังกล่าวพบว่าถึงแม้จะมีการปรับเปลี่ยนช่วงใช้ช่องสัญญาณของทราฟฟิกจากเครื่องมีวัด ค่าความน่าจะเป็นที่

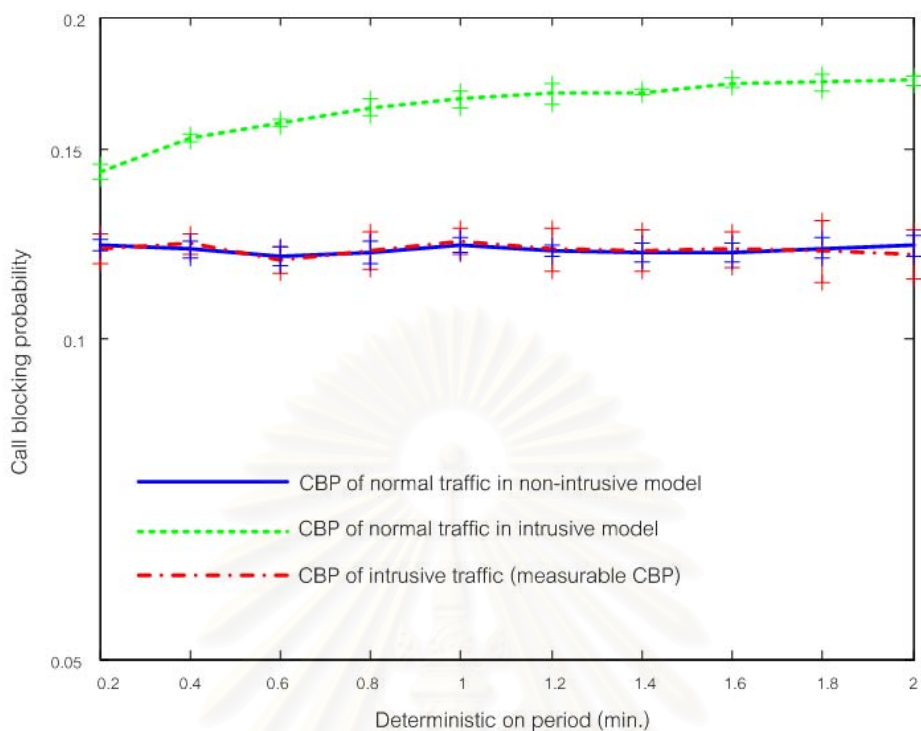
การเรียกถูกปฏิเสธที่สามารถวัดได้จากเครื่องมือวัด ยังสามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติในระบบที่ไม่ได้ทำการวัดได้ แต่เมื่อเวลาใช้บริการของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีค่าเพิ่มขึ้น หมายถึงเวลาที่ช่องสัญญาณ นั้นถูกครอบครอง ไม่สามารถรองรับการเรียกใช้บริการจากทราฟฟิกอื่นๆเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติในระบบที่มีการวัดมีความสูงขึ้นด้วย

จากรูปที่ 4.10 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงจำนวนช่องสัญญาณ เมื่ออัตราการให้บริการเฉลี่ยของทราฟฟิกปกติเท่ากับ 6 การเรียกต่อนาที ช่วงเวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกปกติใช้บริการเท่ากับ 1 นาที และช่วงเวลากการใช้ช่องสัญญาณของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดเท่ากับ 2 นาที และพัก 15 วินาที จากผลการจำลองระบบพบว่าเมื่อจำนวนช่องสัญญาณเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกทุกประเภทในระบบมีความลดต่ำลง แต่ทว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งวัดได้จากเครื่องมือวัด ยังคงสามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติในระบบที่ไม่ได้ทำการวัดได้เช่นกัน

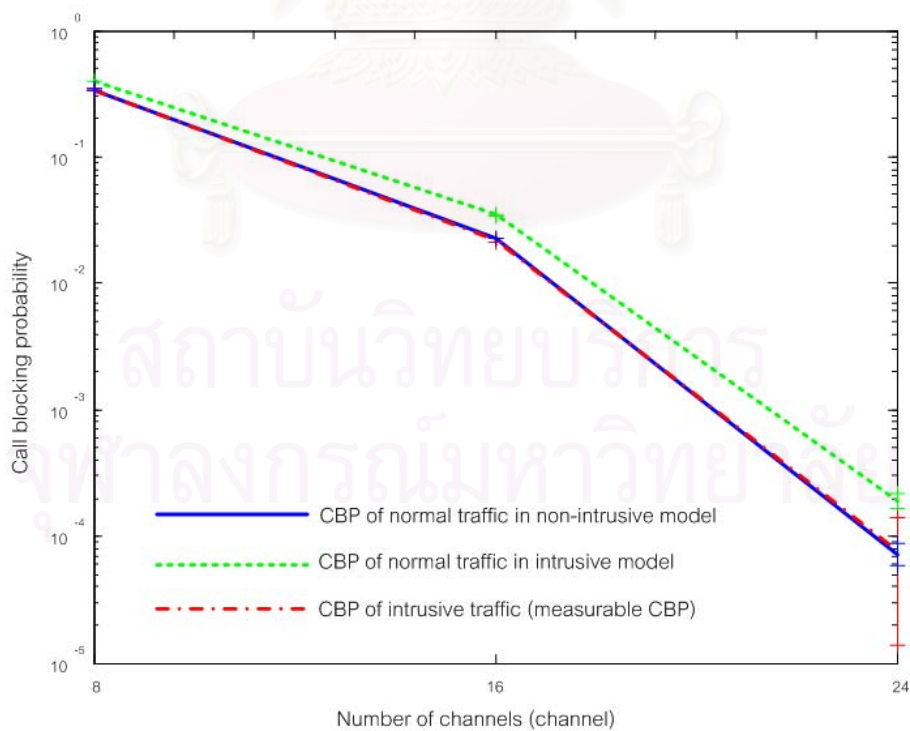
จากรูปที่ 4.8-4.10 สามารถสรุปได้ว่า ถึงทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดจะมีลักษณะการเข้าใช้บริการเป็นแบบแผนที่กำหนดแน่นอน ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งวัดได้จากเครื่องมือวัด ก็ยังสามารถ ประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติ ระบบที่ไม่ได้ทำการวัดได้ ดังนั้นหากพิจารณาตัวคูณปรับแก้สำหรับกรณีดังกล่าวแล้ว พบว่าค่าตัวคูณปรับแก้ควรที่จะมีค่าเท่ากับ 1



รูปที่ 4.8: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อระบบทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดการกำหนดช่วงเวลาที่แน่นอน เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกขอใช้บริการ



รูปที่ 4.9: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อระบบทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดการกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสม เมื่อทำการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาให้บริการ



รูปที่ 4.10: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อระบบทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดการกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสม เมื่อทำการปรับเปลี่ยนจำนวนช่องสัญญาณ

#### 4.4 กรณีมีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ด้วยนโยบายการจองช่องสัญญาณ

การจำลองระบบนี้อยู่บนข้อกำหนดที่ว่าทราฟฟิกปกติมีกระบวนการเข้าใช้บริการเป็นแบบบัลลิ่งของ และการเรียกที่ได้รับการเชื่อมต่อจะมีระยะเวลาการให้บริการที่มีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง ในขณะที่ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีลักษณะเป็นโมเดลเปิดปิด กล่าวคือเมื่อทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดสามารถเข้าใช้บริการจากช่องสัญญาณได้แล้วจะไม่สามารถทำการเรียกใช้บริการได้อีก จนกระทั่งสิ้นสุดการครอบครอง ช่องสัญญาณ ซึ่งเวลาคงสถานะมีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง ลักษณะการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกปกติมีลักษณะเป็นบัลลิ่ง และช่วงเวลากการใช้ช่องสัญญาณมีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง บนระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณคงที่ และมีการการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายการจองช่องสัญญาณ

รูปที่ 4.11 แสดงผลของการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกปกติ บนระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณคงที่ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 8 และมีการการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายการจองช่องสัญญาณไว้ 2 ช่องสัญญาณ เมื่อทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีอัตราการเรียกใช้บริการเท่ากับ 1 การเรียกต่อหน้าที่ อัตราการเรียกใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกเท่ากับ 2 การเรียกต่อหน้าที่ เวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกปกติและแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกใช้บริการเท่ากับ 1 นาที และเวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดใช้บริการเท่ากับ 0.5 นาที จากผลการจำลองระบบดังกล่าว พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกปกติ พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธที่สามารถวัดได้โดยเครื่องมือวัดมีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติบนระบบที่ไม่ทำการวัดได้ และมีเข้าใกล้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติบนระบบที่มีการวัด ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติเมื่อไม่ได้ทำการวัด เพราะปริมาณทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดส่งผลให้มีปริมาณ ทราฟฟิกรวมที่มีความต้องการใช้บริการจากระบบมีค่าสูงขึ้น

รูปที่ 4.12 แสดงผลของการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก บนระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณคงที่ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 8 และมีการการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายการจองช่องสัญญาณไว้ 2 ช่องสัญญาณ เมื่อทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีอัตราการเรียกใช้บริการเท่ากับ 1 การเรียกต่อหน้าที่ อัตราการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกปกติเท่ากับ 4 การเรียกต่อหน้าที่ เวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกปกติและแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกใช้บริการเท่ากับ 1 นาที และเวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดใช้บริการเท่ากับ 0.5 นาที จากผลการจำลองระบบ พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งวัดได้โดยเครื่องมือวัด ไม่สามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติเมื่อไม่ได้ทำการวัดได้ แต่หว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งวัดได้นั้น เข้าใกล้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติบนระบบที่มีการวัด ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าความน่าจะเป็นของทราฟฟิกปกติบนระบบที่ไม่ได้ทำการวัด

รูปที่ 4.13 แสดงผลของการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัด บนระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณคงที่ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 8 และมีการการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายการจองช่องสัญญาณไว้ 2 ช่องสัญญาณ เมื่อแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกมีอัตราการเรียกใช้บริการเท่ากับ 2 การเรียกต่อหน้าที่ อัตราการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกปกติเท่ากับ 4 การเรียกต่อหน้าที่ เวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกปกติและแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกใช้บริการเท่ากับ 1 นาที และเวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดใช้บริการ

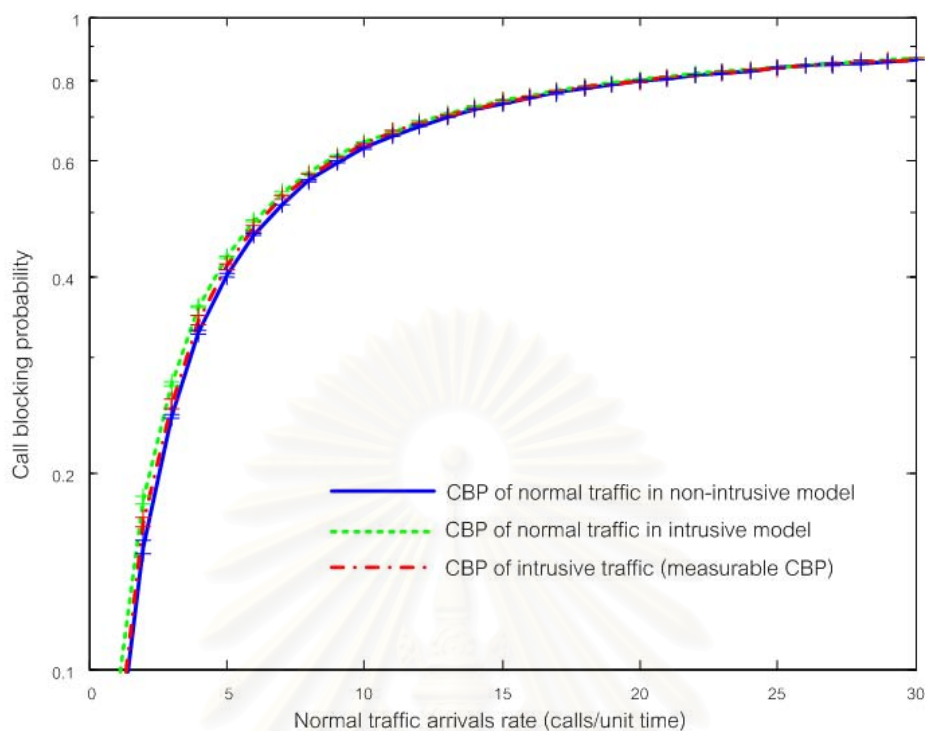


เท่ากับ 0.5 นาที จากผลการจำลองระบบ พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งวัดได้โดยเครื่องมือวัด ไม่สามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติเมื่อไม่ได้ทำการวัดได้ แต่ทว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งวัดได้นั้น เข้าใกล้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติบนระบบที่มีการวัด ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าความน่าจะเป็นของทราฟฟิกปกติบนระบบที่ไม่ได้ทำการวัดเช่นเดียวกับผลการจำลองระบบก่อนหน้านี

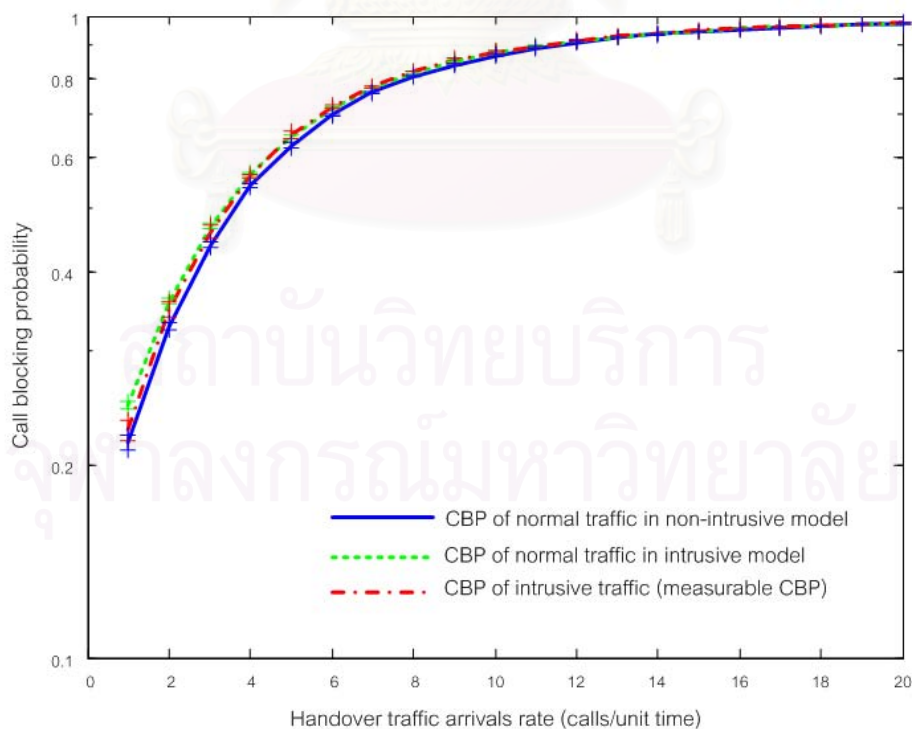
รูปที่ 4.14 แสดงผลของการปรับเปลี่ยนจำนวนช่องสัญญาณของระบบ และมีการการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายการจองช่องสัญญาณซึ่งกันไว้ร้อยละ 25 ของจำนวนช่องสัญญาณ เมื่ออัตราการเรียกใช้บริการของทราฟฟิก ปกติเท่ากับ 4 การเรียกต่อนาที อัตราการเรียกใช้บริการของแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกปกติเท่ากับ 2 การเรียกต่อนาทีอัตราการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีค่าเท่ากับ 1 การเรียกต่อนาที เวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกปกติและแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกใช้บริการเท่ากับ 1 นาที และเวลาเฉลี่ยที่ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดใช้บริการเท่ากับ 0.5 นาที จากผลการจำลองระบบ พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งวัดได้โดยเครื่องมือวัด ไม่สามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติเมื่อไม่ได้ทำการวัดได้ แต่ทว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งวัดได้นั้น เข้าใกล้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติบนระบบที่มีการวัด ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าความน่าจะเป็นของทราฟฟิกปกติบนระบบที่ไม่ได้ทำการวัด

รูปที่ 4.11- 4.14 สามารถสรุปได้ว่า เมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายการจองช่องสัญญาณ ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธที่วัดได้จากเครื่องมือวัด ไม่สามารถประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติเมื่อไม่ได้ทำการวัดได้ แต่ทว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งวัดได้นั้น ใกล้เคียงค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติบนระบบที่มีการวัด ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าความน่าจะเป็นของทราฟฟิกปกติบนระบบที่ไม่ได้ทำการวัด ส่งผลให้เมื่อทำการพิจารณาตัวคูณปรับแก้ได้ว่าค่าตัวคูณปรับแก้ควรมีค่าน้อยกว่า 1

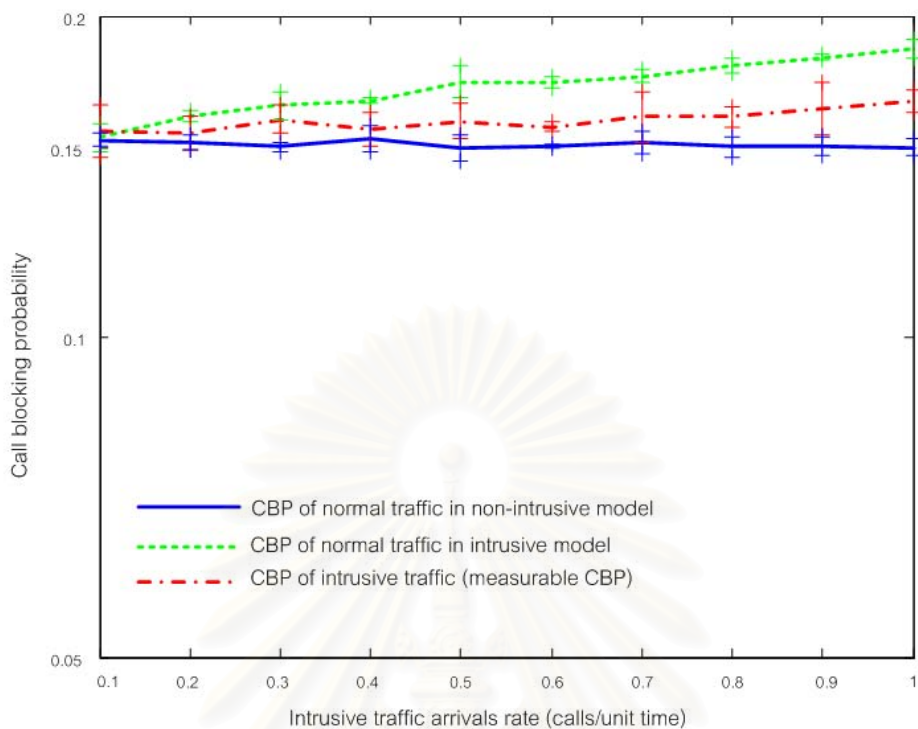
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



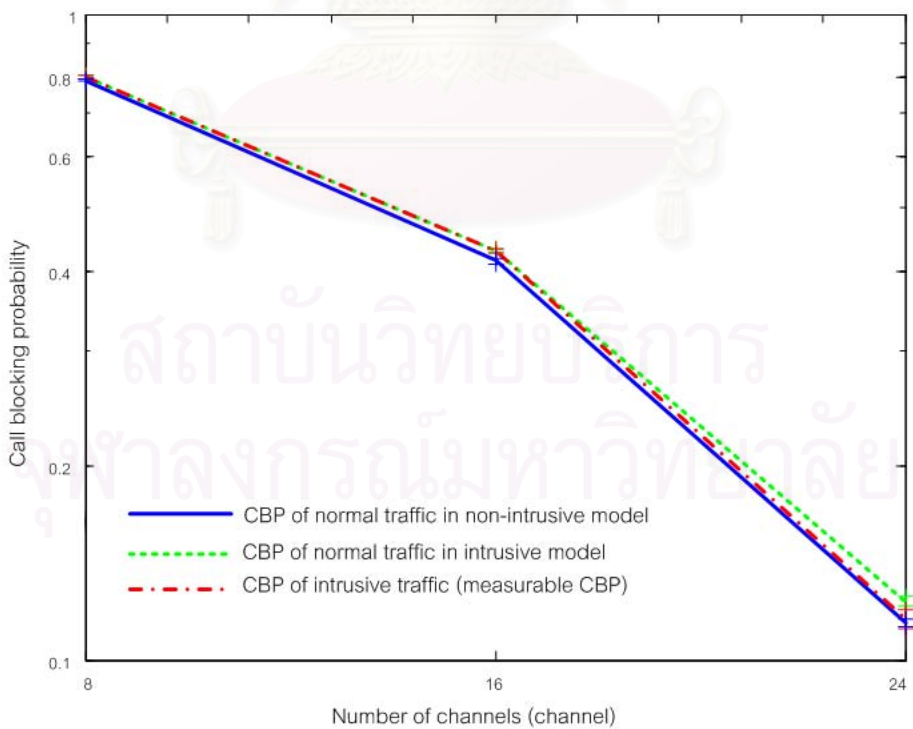
รูปที่ 4.11: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายการจองช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกปกติ



รูปที่ 4.12: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายการจองช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก



รูปที่ 4.13: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายการจองช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์จากเครื่องมือวัด



รูปที่ 4.14: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายการจองช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดช่องสัญญาณ

#### 4.5 กรณีที่ผู้ใช้ในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์

การจำลองระบบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความสามารถในการนำตัวคูณปรับแก้ไปใช้ เมื่อระบบมีช่วงเวลาครอบครองช่องสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากผู้ใช้ในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ โดยที่ช่วงเวลาครอบครองช่องสัญญาณจะมีความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์ และช่วงเวลาใช้บริการตามสมการ (2.3) สำหรับกราฟฟิกปกติที่ทำการเรียกใช้บริการภายในเซลล์นั้นและตามสมการ (2.4) สำหรับแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิก

ดังนั้นการจำลองระบบนี้ ทำการจำลองระบบอยู่บนข้อกำหนดที่ว่ากราฟฟิกจากผู้ใช้บริการปกติ และแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกมีการเรียกใช้บริการแบบบิวส์ของ และมีช่วงเวลาครอบครองช่องสัญญาณเช่นเดียวกับ [17] ซึ่งกำหนดให้ช่วงเวลาใช้บริการมีการกระจายตัวแบบไฮเปอร์เออร์แลง ( $M=2$ ,  $\alpha_1=0.1$ ,  $\alpha_2=0.9$ ,  $m_1 = 1$ ,  $m_2 = 1$ ,  $\gamma_1=5/2$ ,  $\gamma_2=3/2$ ) ซึ่งมีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นตามสมการ (2.5) และช่วงเวลาที่ใช้บริการอยู่ในเซลล์มีการกระจายตัวแบบแกมมา (*scale parameter*=4, *shape parameter*=4/1.5) โดยอุปกรณ์วัดมีเพียงหนึ่งชุดซึ่งไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ และมีลักษณะการเข้าใช้บริการที่กำหนดไว้แน่นอน รวมทั้งช่วงเวลาครอบครองช่องสัญญาณและช่วงเวลาที่เว้นก่อนทำการเรียกครั้งต่อไปเป็นค่าคงที่ซึ่งกำหนดไว้แน่นอน บนระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณคงที่และมีการกันช่องสัญญาณสำหรับแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกด้วยนโยบายขีดแบ่งเป็นจำนวนคงที่ โดยที่การให้เรียกถูกปฏิเสธจะเกิดขึ้นเนื่องจากไม่มีจำนวนช่องสัญญาณเพียงพอที่จะให้บริการกราฟฟิกนั้น ๆ เท่านั้น

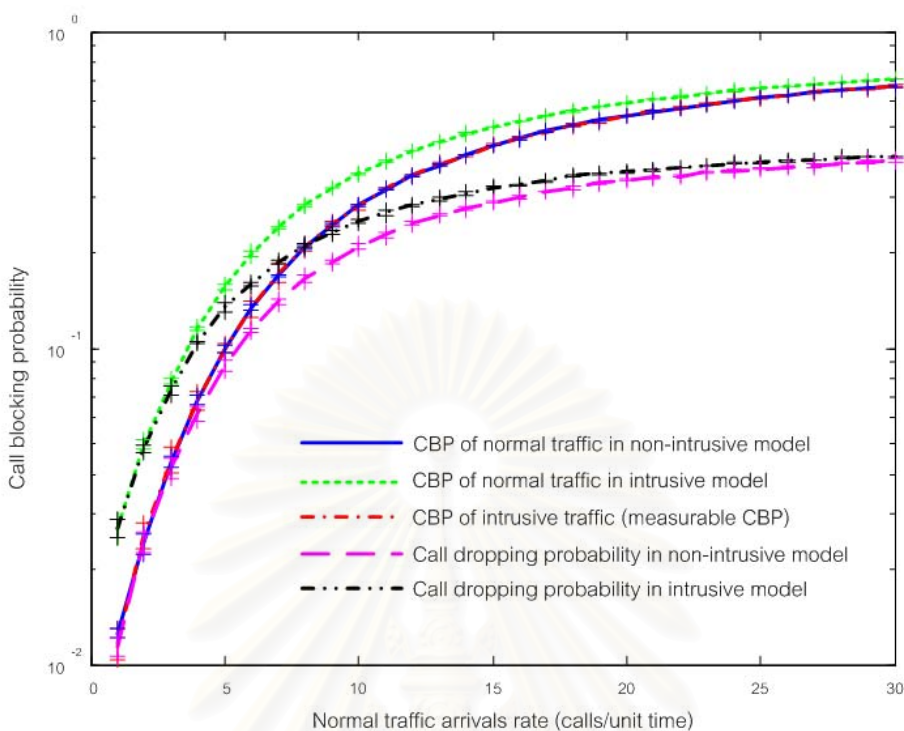
รูปที่ 4.15 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของกราฟฟิกประเภทต่างๆ ในระบบที่มีขนาด 8 ช่องสัญญาณและทำการกันช่องสัญญาณสำหรับแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกด้วยนโยบายขีดแบ่งไว้ 2 ช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกใช้บริการของกราฟฟิกปกติ และอัตราการเรียกใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกเท่ากับ 2 การเรียกต่อนาที และเวลาเฉลี่ยที่กราฟฟิกปกติและแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกใช้บริการเท่ากับ 1 นาที นอกจากนั้น กำหนดให้กราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีแบบแผนการเข้าใช้บริการที่แน่นอน โดยมีช่วงเวลาใช้บริการ 2 นาที และพัก 15 วินาทีจากผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่า ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งสามารถวัดได้โดยเครื่องมือวัดนั้นมีค่าเท่ากับ ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติบนระบบที่ไม่ได้ทำการวัดตลอดทุกช่วงการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกใช้บริการของกราฟฟิกปกติ

รูปที่ 4.16 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของกราฟฟิกประเภทต่างๆ ในระบบที่มีขนาด 8 ช่องสัญญาณและทำการกันช่องสัญญาณสำหรับแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกด้วยนโยบายขีดแบ่งไว้ 2 ช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิก เมื่ออัตราการเรียกใช้บริการกราฟฟิกปกติเท่ากับ 4 การเรียกต่อนาที เวลาเฉลี่ยที่กราฟฟิกปกติใช้บริการเท่ากับ 1 นาที และเวลาเฉลี่ยที่แฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกใช้บริการเท่ากับ 1 นาที และกราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีแบบแผนการเข้าใช้บริการที่แน่นอน โดยมีช่วงเวลาใช้บริการ 2 นาที และพัก 15 วินาทีจากผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่า ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งสามารถวัดได้โดยเครื่องมือวัดนั้นมีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติบนระบบที่ไม่ได้ทำการวัด

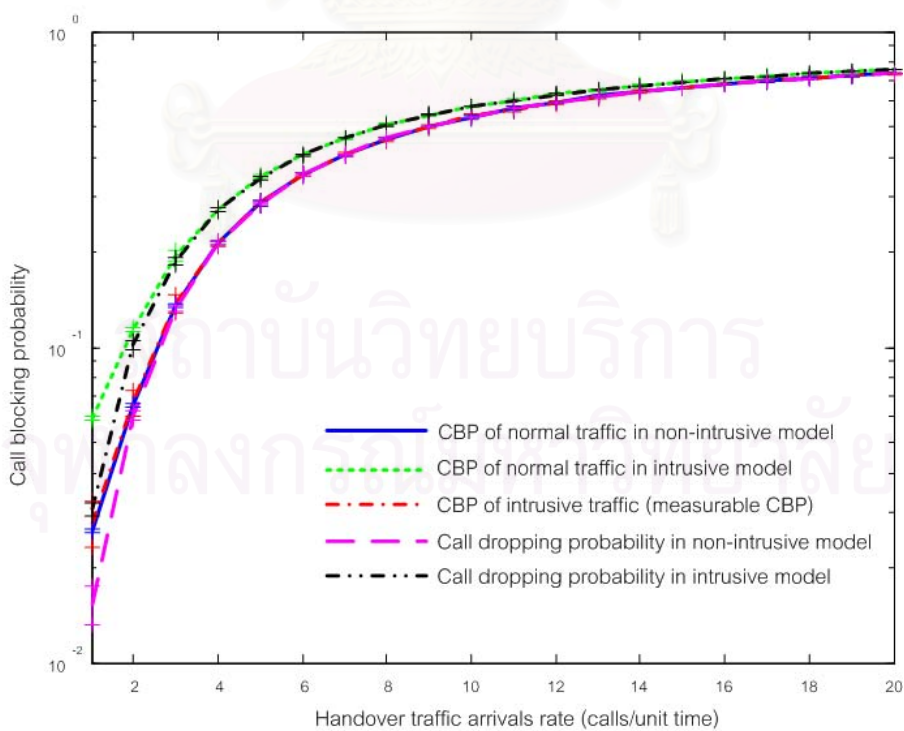
รูปที่ 4.17 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของโทรศัพท์ประเภทต่างๆ ในระบบที่มีขนาด 8 ช่องสัญญาณและทำการกันช่องสัญญาณสำหรับแชนด์โอเวอร์โทรศัพท์ด้วยนโยบาย ชิดแบ่งไว้ 2 ช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาให้บริการของโทรศัพท์จากเครื่องมือวัด โดยที่ช่วงเวลาพักเท่ากับ 15 วินาทีเมื่ออัตราการเรียกใช้บริการโทรศัพท์ปกติเท่ากับ 4 การเรียก ต่อนาที แชนด์โอเวอร์โทรศัพท์มีอัตราการเรียกใช้บริการเท่ากับ 2 การเรียกต่อนาที เวลาเฉลี่ย ที่โทรศัพท์ปกติและแชนด์โอเวอร์โทรศัพท์ใช้บริการเท่ากับ 1 นาทีจากผลการจำลองระบบแสดงให้เห็น ว่า ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งสามารถวัดได้โดยเครื่องมือวัดนั้นมีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติในระบบที่ไม่ได้ทำการวัด

รูปที่ 4.18 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของโทรศัพท์ประเภทต่างๆ ในระบบเมื่อมีการปรับเปลี่ยนขนาดช่องสัญญาณ และการกันช่องสัญญาณสำหรับแชนด์โอเวอร์โทรศัพท์ ด้วยนโยบายชิดแบ่งไว้ร้อยละ 25 ของจำนวนช่องสัญญาณ เมื่ออัตราการเรียกใช้บริการโทรศัพท์ปกติเท่ากับ 4 การเรียกต่อนาที แชนด์โอเวอร์โทรศัพท์มีอัตราการเรียกใช้บริการ 2 การเรียกต่อนาที เวลาเฉลี่ย ที่โทรศัพท์ปกติและแชนด์โอเวอร์โทรศัพท์ใช้บริการเท่ากับ 1 นาที และโทรศัพท์จากเครื่องมือวัดมีแบบ แผนการเข้าใช้บริการที่แน่นอน โดยมีช่วงเวลาให้บริการ 2 นาที และพัก 15 วินาทีจากผลการจำลองระบบ แสดงให้เห็นว่า ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งสามารถวัดได้โดยเครื่องมือวัดนั้นมีค่าเท่ากับค่า ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติในระบบที่ไม่ได้ทำการวัด

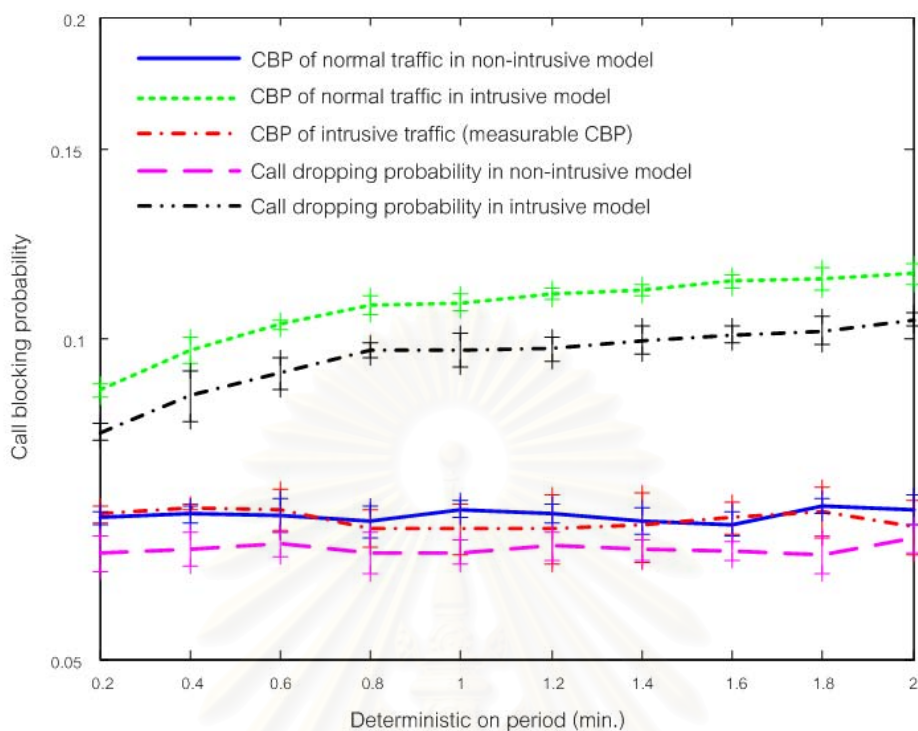
จากรูปที่ 4.15-4.18 สามารถสรุปได้ว่า เมื่อผู้ใช้ในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ โดย มีการกำหนดให้ช่วงเวลาให้บริการมีการกระจายตัวแบบไฮเปอร์เออร์แลง และเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ใน เซลล์มีการกระจายตัวแบบแกมมา พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งวัดได้จากเครื่องมือวัด มีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของโทรศัพท์ปกติในกรณีที่ไม่ได้ทำการวัด ดังนั้นเมื่อ พิจารณาตัวคูณปรับแก้สำหรับกรณีดังกล่าวแล้ว ตัวคูณปรับแก้ควรมีค่าเท่ากับ 1



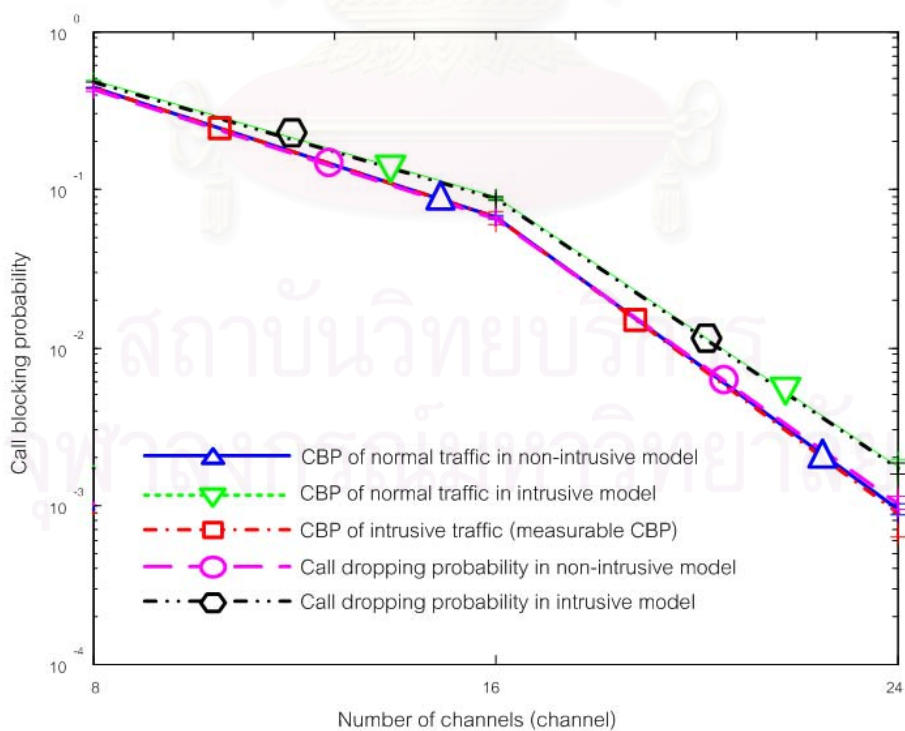
รูปที่ 4.15: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อผู้ใช้ในระบบมีการเคลื่อนที่ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกขอใช้บริการของกราฟฟิกปกติ



รูปที่ 4.16: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อผู้ใช้ในระบบมีการเคลื่อนที่ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกขอใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิก



รูปที่ 4.17: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อผู้ใช้ในระบบมีการเคลื่อนที่ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนช่วงเวลาครอบครองช่องสัญญาณของโทรศัพท์จากเครื่องมือวัด



รูปที่ 4.18: การเปรียบเทียบผลการจำลองระบบเมื่อผู้ใช้ในระบบมีการเคลื่อนที่ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียกขอใช้บริการของแอสดีโอเวอร์โทรศัพท์

จากการวิเคราะห์ด้วยตัวคูณปรับแก้ในทุกกรณีศึกษา สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ตัวคูณปรับแก้ทั้งในกรณีการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ และค่าทางสถิติของตัวคูณปรับแก้ที่ได้จากการจำลองระบบในแต่ละกรณีศึกษา ได้ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ในการวิเคราะห์ตัวคูณปรับแก้ด้วยการจำลองระบบในกรณีศึกษาพบว่า ตัวคูณปรับแก้มีค่าเท่ากับ 1 ยกเว้นในกรณีที่ระบบมีการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายจองช่องสัญญาณ ซึ่งจะมีค่าตัวคูณปรับแก้้น้อยกว่า 1

ตารางที่ 4.1: ตารางสรุปตัวคูณปรับแก้ในกรณีศึกษาต่าง ๆ

กรณีศึกษา	การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์	การวิเคราะห์ด้วยการจำลองระบบ		
		ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด	ค่าน้อยที่สุด
กรณีระบบไม่มีการกันช่องสัญญาณ	1	0.9995	1.0070	0.9816
กรณีระบบมีการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายขีดแบ่ง	1	1.0000	1.0048	0.9885
กรณีเครื่องมือวัดมีการกำหนดลักษณะการใช้บริการที่แน่นอน	-	1.0023	1.0261	0.9980
กรณีระบบมีการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายจองช่องสัญญาณ	-	0.9784	0.9998	0.9033
กรณีที่ผู้ใช้ในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์	-	0.9993	1.0183	0.9800



## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทสรุป

การควบคุมคุณภาพการให้บริการบนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการ หรือตามข้อบังคับของผู้กำกับดูแล สิ่งที่ต้องทำเป็นอันดับแรกคือ การตรวจสอบค่าคุณภาพการให้บริการที่ผู้ให้บริการได้รับจริง การวัดคุณภาพการให้บริการแบบมีการรบกวนเป็นวิธีการหนึ่งที่มีจุดเด่นคือ ผู้ที่ทำการวัดด้วยวิธีดังกล่าวไม่จำเป็นต้องเป็นเจ้าของโครงข่ายหรือผู้ให้บริการ ดังนั้นทำให้การวัดคุณภาพการให้บริการด้วยวิธีนี้สามารถทำได้โดยองค์กรอิสระ ผู้กำกับดูแล หรือผู้ให้บริการรายอื่น เนื่องด้วยการวัดคุณภาพการให้บริการด้วยวิธีนี้เป็นการเพิ่มทราฟฟิกเข้าไปรบกวนระบบการใช้งานจริง ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดข้อสงสัยในความถูกต้องของผลการวัดคุณภาพการให้บริการ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ศึกษาปัญหาดังกล่าว เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนระบบและปรับแก้ให้ผลการวัดคุณภาพการให้บริการที่ได้จากการวัดแบบมีการรบกวนให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ค่าคุณภาพการให้บริการที่สนใจคือ ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ ซึ่งได้ทำการวัดผ่านวิธีการวัดแบบมีการรบกวน หรือการวัดคุณภาพการให้บริการขณะเคลื่อนที่ โดยทำการวิเคราะห์ตัวคุณปรับแก้ เพื่อนำมาปรับแก้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งทำการวัดด้วยวิธีการวัดแบบมีการรบกวน ให้มีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธที่ผู้ใช้ปกติได้รับ ในกรณีที่ระบบไม่ได้ทำการวัดด้วยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งวิเคราะห์ความสามารถในการนำไปใช้จริงด้วยการจำลองระบบทางคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์ตัวคุณปรับแก้ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ทำการวิเคราะห์ในสองกรณีคือ กรณีที่ระบบไม่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ และกรณีที่ระบบมีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ด้วยนโยบายชัดเจน และจากการวิเคราะห์พบว่าทั้งสองกรณีมีตัวคุณปรับแก้เท่ากับ 1 กล่าวคือค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธซึ่งสามารถวัดได้โดยเครื่องมือวัด ซึ่งมีการกำหนดให้มีลักษณะเป็นโมเดลเปิดปิด และมีเครื่องมือวัดเพียง 1 ชุด สามารถทำการวัดและประมาณค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ในกรณีที่ระบบไม่มีการวัดได้ ทั้งนี้โดยมีสมมุติฐานหลักคือโครงข่ายมีลักษณะเป็นระบบที่มีความจุจำกัดและไม่บีบเฟอ์ ทราฟฟิกจากผู้ให้บริการทั่วไปในระบบมีกระบวนการเข้าใช้บริการเป็นแบบปัวซอง การเรียกที่ได้รับการเชื่อมต่อจะมีระยะเวลาการให้บริการที่มีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง และให้ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดเพียงหนึ่งชุดที่มีลักษณะเป็นแบบเปิดปิด ซึ่งเวลาคงสถานะมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง

การจำลองระบบมีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันความถูกต้องของการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ทั้งสองกรณี และทำการศึกษาความสามารถในการใช้งานของตัวคุณปรับแก้ ในกรณีที่ทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดมีลักษณะการให้บริการที่กำหนดแน่นอน กรณีที่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกด้วยนโยบาย

การจองช่องสัญญาณ และกรณีที่ช่วงเวลากการใช้ช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผู้ใช้ในระบบมีการเคลื่อนที่ จากผลการจำลองระบบพบว่าตัวคูณปรับแก้มีค่าเท่ากับ 1 ยกเว้นในกรณีที่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกด้วยนโยบายการจองช่องสัญญาณซึ่งตัวคูณปรับแก้มีค่าน้อยกว่า 1

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ได้นำเสนอการวิเคราะห์ตัวคูณปรับแก้ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยพบว่าค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัด (ความคับคั่งเชิงเวลา) มีค่าน้อยกว่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกปกติเมื่อไม่ได้ทำการวัด ส่งผลให้ตัวคูณปรับแก้มีค่ามากกว่า 1 แต่อย่างไรก็ตามพบว่า เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัด (คับคั่งเชิงการเรียก) พบว่ามีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธเมื่อไม่ได้ทำการวัด ดังนั้นเมื่อทำการพิจารณาตัวคูณปรับแก้ พบว่าควรมีค่าเท่ากับ 1 ยกเว้นกรณีเมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณสำหรับแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกด้วยนโยบายการจองช่องสัญญาณ ดังนั้นวิธีที่แตกต่างกันในการวัดและแปลความหมายค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ เพื่อแสดงถึงระดับความคับคั่งและคุณภาพการให้บริการบนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ย่อมส่งผลให้การแปลความหมายเมื่อนำไปใช้ในทางปฏิบัติเปลี่ยนแปลงไปด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษาระบบที่มีการวัดค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธแบบมีการรวบรวมพบว่า เมื่อระบบมีการวัด ส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของผู้ใช้ปกติในระบบที่มีการวัด มีค่าสูงกว่าในกรณีที่ไม่ได้ทำการวัด ซึ่งเป็นผลมากจากการที่มีปริมาณทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดเพิ่มเข้ามาในระบบ ดังนั้นควรมีการควบคุมคุณภาพการให้บริการให้มีค่าไม่เกินมาตรฐานในขณะที่ทำการวัดด้วย เพื่อไม่ให้ผู้ใช้ทั่วไปได้รับผลกระทบมากเกินไปจากการมีปริมาณทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดเพิ่มเข้ามาในระบบ
2. จากการศึกษาแบบที่มีการวัดค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธแบบมีการรวบรวมด้วยวิธีการจำลองระบบพบว่า เมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณสำหรับแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกแล้ว ตัวคูณปรับแก้ควรมีค่าน้อยกว่า 1 ดังนั้นหากมีการศึกษาถึงตัวคูณปรับแก้บนข้อกำหนดดังกล่าวเพิ่มเติมด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง
3. เนื่องจากการเปลี่ยนของเทคโนโลยีส่งผลให้ในอนาคตการให้บริการทางเสียง จะมีการสื่อสารข้อมูลบนโครงข่ายที่มีการสื่อสารแบบแพ็คเก็ต ดังนั้นหากมีการศึกษาถึงการวัดคุณภาพการให้บริการในระดับของการให้บริการทางเสียง บนโครงข่ายที่มีการสื่อสารข้อมูลเป็นแบบแพ็คเก็ตต่อไป จะส่งผลประโยชน์อย่างยิ่งในอนาคต

## รายการอ้างอิง

- [1] Kosten, L.; Manning, J. R. and Stuart, A. On the Accuracy of Measurements of Probabilities of Loss in Telephone Systems. Journal of the Royal Statistical Society. 11 (1949): 54–67.
- [2] Saito, H. Analysis of Measured Loss Probability and Grade-of-Service in ISDNs. Computer Networks and ISDN Systems 15, 2 (1988): 87–96.
- [3] Ishibashi, K.; Kanazawa, T. and Aida, M. A scalable and Lightweight QoS Monitoring Technique Combining Passive and Active Approaches-On the Mathematical Formulation of Compact Monitor. Proceedings of IEEE Infocom Conference (2003): 125–133.
- [4] Summers, J.; Barons, P.; Suffield, N. and Ron, A. Improving Accuracy in End-to-End Packet Loss Measurement. Proceedings of ACM SIGCOMM (2005): 157–168.
- [5] Sharma, V. and Suma, M. B. Estimating Traffic Parameter in Internet via Active Measurement for QoS and Congestion Control. Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference, 25–29 November (2007): 2527–2531.
- [6] Caceres, R.; Duffield, N. G.; Horowitz, J and Bu, T. Multicast Based Inference of Network Internal Characteristic: Accuracy of Packet Loss Estimation. Proceedings of IEEE Infocom conference (1999): 371–379.
- [7] Karacali, B. and Rao, B. Network Instrumentation for End-to-End Measurement. Proceedings of IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network (2001): 314–322.
- [8] ITU-T Rec. E.800 Terms and Difinitions Related to the Quality of Telecommunication Service. Blue Book (1988).
- [9] Quality of Service and Network Performance Handbook. International Telecommunication Union (ITU) (2004).
- [10] Bartlett, G.; Heidemann, J. and Papadopoulos, C. Understanding Passive and Active Service Discovery. USC/Information Sciences Institute (2007).
- [11] TEMS DriveTester GSM: Instantly Isolate Network Trouble Spots. Ericsson (2005).
- [12] GSM Network Optimazation : Motorola Lifecycle Services. Motorola, INC. (2003).
- [13] Martin, D. E. Cellular Communication Drive Test System and Method. US Patent:7,353,019 (2006).

- [14] Kelly, F. P. Loss Networks. Annals of Applied Probability 1, 3 (1991): 319–378.
- [15] Ramjee, R.; Towsley, D. and Nagarajan, R. On Optimal Call Admission Control in Cellular Networks. Wireless Network 3, 1 (1997): 29–41.
- [16] Ni, J.; Tsang, D. H. K.; Tatikonda, S. and Bensaou, B. Threshold and Reservation Based Call Admission Control Policies for Multiservice Resource-Sharing Systems. Proceedings of IEEE Infocom Conference (2005): 773–783.
- [17] Yep, K. and Jun, C. H. Teletraffic Analysis of Cellular Communication Systems with General Mobility Based on Hyper-Erlang Characterization. Computer & Industrial Engineering 42 (2002): 507–520 .
- [18] Fang, Y.; Chlamtac, I. and Lin, Y. B. Modeling PCS Networks Under General Call Holding Time and Cell Residence Time Distributions. IEEE/ACM Transactions on Networking 5, 6 (1997): 893–906.
- [19] Pitts, J. M. and Schormans, J. A. Intruduction to IP and ATM Design and Performance 2 nd. Ed: Wiley, (2000).
- [20] Yep, K. and Jun, C. H. Modeling and Analysis of Hierarchical Cellular Networks With General Distributions of Call and Cell Residence Times. IEEE Transactions on Vehicular Technology 51, 6 (2002): 1361–1374.
- [21] Fang, Y.; Chlamtac, I. and Lin, Y. B. Channel Occupancy Times and Handoff Rate for Mobile Computing and PCS Networks. IEEE transactions on Computers 47, 6 (1998): 679–692 .



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

### การพิสูจน์ค่าความคับคั่งเชิงเวลาของระบบที่มีการวัดแบบมีการรบกวน เมื่อไม่มีการกั้นช่องสัญญาณ

จากแผนภาพแสดงสถานะของของระบบที่มีกราฟฟิกปกติและกราฟฟิกของเครื่องมือวัดในรูปที่ 3.4 เมื่อระบบอยู่ในสถานะอยู่ตัวสามารถเขียนความน่าจะเป็นที่ระบบอยู่ในสถานะ  $(n, m)$  ได้ ๆ ด้วย local balance equation ได้ดังนี้

$$\pi(0, 0)\lambda_n = \pi(1, 0)\mu_n$$

$$\pi(0, 0)\lambda_i = \pi(0, 1)\mu_i$$

$$\pi(0, 1)\lambda_n = \pi(1, 1)\mu_n$$

$$\pi(1, 0)\lambda_n = \pi(2, 0)2\mu_n$$

$$\pi(1, 0)\lambda_i = \pi(1, 1)\mu_i$$

$$\pi(1, 1)\lambda_n = \pi(2, 1)2\mu_n$$

$$\pi(2, 0)\lambda_n = \pi(3, 0)3\mu_n$$

$$\pi(2, 0)\lambda_i = \pi(2, 1)\mu_i$$

$$\pi(2, 1)\lambda_n = \pi(3, 1)3\mu_n$$

⋮

$$\pi(N-1, 0)\lambda_i = \pi(N-1, 1)\rho_i$$

$$\pi(N-1, 0)\lambda_i = \pi(N, 0)N\rho_i$$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากความสัมพันธ์ด้านบน เมื่อทำการแทนค่าความสัมพันธ์ของ  $\pi(n, m)$  ในรูปของ  $\pi(0, 0)$  ได้ว่า

$$\begin{aligned}\pi(0, 1) &= \pi(0, 0)\rho_i \\ \pi(1, 1) &= \pi(0, 0)\rho_i\rho_n \\ \pi(2, 0) &= \pi(0, 0)\frac{\rho_n^2}{2} \\ \pi(2, 1) &= \pi(0, 0)\rho_i\frac{\rho_n^2}{2} \\ \pi(3, 0) &= \pi(0, 0)\frac{\rho_n^3}{3} \\ \pi(3, 1) &= \pi(0, 0)\rho_i\frac{\rho_n^3}{3} \\ &\vdots \\ \pi(N-1, 1) &= \pi(0, 0)\rho_i\frac{\rho_n^{(N-1)}}{(N-1)!} \\ \pi(N, 0) &= \pi(0, 0)\frac{\rho_n^N}{N!}\end{aligned}$$

โดย normalization condition

$$\begin{aligned}\sum_{\forall n, m} \pi(n, m) &= 1 \\ \pi(0, 0) + \pi(0, 1) + \pi(1, 0) + \pi(1, 1) + \dots + \pi(N-1, 0) + \pi(N-1, 1) + \pi(N, 0) &= 1 \\ \pi(0, 0) + \pi(0, 0)\rho_i + \pi(0, 0)\rho_n + \pi(0, 0)\rho_i\rho_n + \dots + \pi(0, 0)\frac{\rho_n^{(N-1)}}{(N-1)!} + \pi(0, 0)\rho_i\frac{\rho_n^{(N-1)}}{(N-1)!} + \pi(0, 0)\frac{\rho_n^N}{N!} &= 1 \\ \pi(0, 0) \left[ \rho_i + \rho_n + \rho_i\rho_n + \dots + \frac{\rho_n^{(N-1)}}{(N-1)!} + \rho_i\frac{\rho_n^{(N-1)}}{(N-1)!} + \frac{\rho_n^N}{N!} \right] &= 1 \\ \pi(0, 0) &= \sum_{n_1=0}^N \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} + \rho_i \sum_{n_2=0}^{N-1} \frac{\rho_n^{n_2}}{n_2!}\end{aligned}$$

ดังนั้น  $\pi(n, m)$  ที่สถานะ  $n$  และ  $m$  คือ

$$\pi(n, m) = \frac{\frac{\rho_n^n \rho_i^m}{n! m!}}{\sum_{n_1=0}^N \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} + \rho_i \sum_{n_2=0}^{N-1} \frac{\rho_n^{n_2}}{n_2!}}$$

เนื่องจากค่าความคับคั่งเชิงเวลาของทราฟฟิกปกติในระบบที่มีการวัดมีค่าเท่ากับ  $\pi(N-1, 1) + \pi(N, 0)$

$$B_{Tn} = \frac{\frac{\rho_n^{N-1}}{(N-1)!}\rho_i + \frac{\rho_n^N}{N!}}{\sum_{n_1=0}^N \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} + \rho_i \sum_{n_2=0}^{N-1} \frac{\rho_n^{n_2}}{n_2!}}$$

และค่าความคับคั่งเชิงเวลาของทราฟฟิกจากเครื่องมือวัดในระบบที่มีการวัดมีค่าเท่ากับ  $\pi(N - 1, 1)$

$$B_{Ti} = \frac{\frac{\rho_n^{N-1}}{(N-1)!} \rho_i}{\sum_{n_1=0}^N \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} + \rho_i \sum_{n_2=0}^{N-1} \frac{\rho_n^{n_2}}{n_2!}}$$



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวก ข

### การพิสูจน์ค่าความคับคั่งเชิงเวลาของระบบที่มีการวัดแบบมีการรบกวน เมื่อมีการกันช่องสัญญาณด้วยนโยบายขีดแบ่ง

จากแผนภาพแสดงสถานะของระบบระบบที่มีทราฟฟิกปกติ แชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกและทราฟฟิกของ  
เครื่องมือวัดในรูปที่ 3.6 และ 3.7 เมื่อระบบอยู่ในสถานะอยู่ตัวสามารถเขียน local balance equation สำหรับ  
ความน่าจะเป็นที่ระบบอยู่ในสถานะ  $(n, q, m)$  ได้ ๑

$$\pi(0, 0, 0)\lambda_h = \pi(0, 1, 0)\mu_h$$

$$\pi(0, 0, 0)\lambda_i = \pi(0, 0, 1)\mu_i$$

$$\pi(0, 0, 0)\lambda_n = \pi(1, 0, 0)\mu_n$$

$$\pi(0, 1, 0)\lambda_h = \pi(0, 2, 0)2\mu_h$$

$$\pi(0, 1, 0)\lambda_i = \pi(0, 1, 1)\mu_i$$

$$\pi(0, 1, 0)\lambda_n = \pi(1, 1, 0)\mu_n$$

$$\pi(1, 0, 0)\lambda_h = \pi(1, 1, 0)\mu_h$$

$$\pi(1, 0, 0)\lambda_i = \pi(0, 1, 1)\mu_i$$

$$\pi(1, 0, 0)\lambda_n = \pi(2, 0, 0)2\mu_n$$

⋮

$$\pi(N - j - 1, j, 0)\lambda_h = \pi(N - j - 1, j + 1, 0)(N - j - 1)\mu_h$$

$$\pi(N - j - 1, j, 0)\lambda_i = \pi(N - j - 1, j, 1)\mu_i$$

$$\pi(N - j - 1, j, 0)\lambda_n = \pi(N - j, j, 0)(N - j)\mu_n$$

สภามหาวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากความสัมพันธ์ด้านบน เมื่อทำการแทนค่าความสัมพันธ์ของ  $\pi(n, q, m)$  ใด ๆ ในรูปของ  $\pi(0, 0, 0)$  ได้ว่า

$$\begin{aligned}
 \pi(0, 1, 0) &= \pi(0, 0, 0)\rho_h \\
 \pi(1, 0, 0) &= \pi(0, 0, 0)\rho_n \\
 \pi(0, 0, 1) &= \pi(0, 0, 0)\rho_i \\
 \pi(1, 1, 0) &= \pi(0, 0, 0)\rho_h\rho_n \\
 \pi(0, 1, 1) &= \pi(0, 0, 0)\rho_n\rho_i \\
 \pi(1, 0, 1) &= \pi(0, 0, 0)\rho_h\rho_i \\
 \pi(1, 1, 1) &= \pi(0, 0, 0)\rho_h\rho_n\rho_i \\
 \pi(0, 2, 0) &= \pi(0, 0, 0)\frac{\rho_h^2}{2!} \\
 \pi(2, 0, 0) &= \pi(0, 0, 0)\frac{\rho_n^2}{2!} \\
 \pi(2, 0, 1) &= \pi(0, 0, 0)\rho_n\rho_i \\
 \pi(0, 2, 1) &= \pi(0, 0, 0)\rho_h\rho_i \\
 &\vdots \\
 \pi(N-j-1, j, 0) &= \pi(0, 0, 0)\frac{\rho_h^j}{j!}\frac{\rho_i^{N-j-1}}{(N-j-1)!} \\
 \pi(N-j-1, j+1, 0) &= \pi(0, 0, 0)\frac{\rho_h^{j+1}}{(j+1)!}\frac{\rho_i^{N-j-1}}{(N-j-1)!} \\
 \pi(N-j, j, 0) &= \pi(0, 0, 0)\frac{\rho_h^j}{j!}\frac{\rho_i^{N-j}}{(N-j)!} \\
 \pi(N-j-1, j, 1) &= \pi(0, 0, 0)\frac{\rho_h^j}{j!}\frac{\rho_i^{N-j-1}}{(N-j-1)!}\rho_i
 \end{aligned}$$

จาก normalization condition

$$\sum_{\forall n, q, m} \pi(n, q, m) = 1$$

แทนค่า  $\pi(n, q, m)$  ใด ๆ จากนั้นจัดรูปให้อยู่ในรูป  $\pi(0, 0, 0)$

$$\begin{aligned}
 \pi(0, 0, 0) \left[ \sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!} + \rho_i \sum_{n_1=0}^{N-j-1} \sum_{n_2=0}^{N-n_1-1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!} \right] &= 1 \\
 \pi(0, 0, 0) &= \frac{1}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!} + \rho_i \sum_{n_1=0}^{N-j-1} \sum_{n_2=0}^{N-n_1-1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!}}
 \end{aligned}$$

ได้ว่าความน่าจะเป็นในสถานะอยู่ตัวที่มีทราฟฟิกปกติใช้ช่องสัญญาณจำนวน  $n$  ช่องสัญญาณ จากแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิก  $q$  ช่องสัญญาณ และทราฟฟิกจากการวัดใช้ช่องสัญญาณเป็นจำนวน  $m$  ช่องสัญญาณ

$$\pi(n, q, m) = \frac{\frac{\rho_n^n \rho_h^q \rho_i^m}{n! q! m!}}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!} + \rho_i \sum_{n_1=0}^{N-j-1} \sum_{n_2=0}^{N-n_1-1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!}}$$

เมื่อพิจารณาแผนภาพแสดงสถานะของระบบที่มีทรานฟฟิกปกติ แชนด์โอเวอร์ทรานฟฟิกและทรานฟฟิกของ  
เครื่องมือวัดในรูปที่ 3.6 และ 3.7 พบว่าสำหรับแชนด์โอเวอร์ทรานฟฟิก ได้ว่าความคับคั่งเชิงเวลาคือ  
 $\pi(0, N, 0), \pi(1, N-1, 0), \dots, \pi(N-j, j, 0), \pi(N-1, 0, 1), \pi(N-2, 1, 1), \dots, \pi(N-j-1, j, 1)$  ดังนั้น

$$B_{Th} = \frac{\sum_{s=j}^N \frac{\rho_n^{N-s}}{(N-s)!} \frac{\rho_h^s}{s!} + \rho_i \sum_{s=j}^{N-1} \frac{\rho_n^{N-s-1}}{(N-s-1)!} \frac{\rho_h^s}{s!}}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!} + \rho_i \sum_{n_1=0}^{N-j-1} \sum_{n_2=0}^{N-n_1-1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!}}$$

สำหรับทรานฟฟิกปกติ ได้ว่าความคับคั่งเชิงเวลาคือ  $\pi(0, N, 0), \pi(1, N-1, 0), \dots, \pi(N-j, j, 0), \pi(N-j, j-1, 0), \dots, \pi(N-j, 0, 0), \pi(0, N-1, 1), \pi(1, N-2, 1), \dots, \pi(N-j-1, j, 1), \pi(N-j-1, j-1, 1), \dots, \pi(N-j-1, 0, 1)$  ดังนั้น

$$B_{Tn} = \frac{\frac{\rho_n^{N-j}}{(N-j)!} \sum_{r=0}^j \frac{\rho_h^r}{r!} + \sum_{s=j+1}^N \frac{\rho_n^{N-s}}{(N-s)!} \frac{\rho_h^s}{s!} + \rho_i \left[ \frac{\rho_n^{N-j-1}}{(N-j-1)!} \sum_{r=0}^j \frac{\rho_h^r}{r!} + \sum_{s=j+1}^{N-1} \frac{\rho_n^{N-s-1}}{(N-s)!} \frac{\rho_h^s}{s!} \right]}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!} + \rho_i \sum_{n_1=0}^{N-j-1} \sum_{n_2=0}^{N-n_1-1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!}}$$

และสำหรับทรานฟฟิกจากเครื่องมือวัด ได้ว่าความคับคั่งเชิงเวลาคือ  $\pi(0, N, 0), \pi(1, N-1, 0), \dots, \pi(N-j, j, 0), \pi(N-j, j-1, 0), \dots, \pi(N-j, 0, 0)$  ดังนั้น

$$B_{Ti} = \frac{\frac{\rho_n^{N-j}}{(N-j)!} \sum_{r=0}^j \frac{\rho_h^r}{r!} + \sum_{s=j+1}^N \frac{\rho_n^{N-s}}{(N-s)!} \frac{\rho_h^s}{s!}}{\sum_{n_1=0}^{N-j} \sum_{n_2=0}^{N-n_1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!} + \rho_i \sum_{n_1=0}^{N-j-1} \sum_{n_2=0}^{N-n_1-1} \frac{\rho_n^{n_1}}{n_1!} \frac{\rho_h^{n_2}}{n_2!}}$$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

## บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

Maihasap, V.; Suksomboon, K. and Aswakul, C. Mathematical Analysis for Corrective Performance Evaluation of Call Based QoS in Active Measurement. 8th International Conference on ITS Telecommunications, 22–24 October (2008): 259–263.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# Mathematical Analysis for Corrective Performance Evaluation of Call Based QoS in Active Measurement

Veerayuth Maihasap, Kalika Suksomboon and Chaodit Aswakul

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,

Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

veeryuth.m@gmail.com, kmitmink@yahoo.com and chaodit.a@chula.ac.th

**Abstract**—In this paper, we addressed the problem of improving call-based QoS measurement accuracy with the focus on call blocking probability as monitored via the active measurement or test drives in cellular-type networks. The system has been modelled as continuous time Markov chains with necessary assumption of Poisson traffics for both actual load and injected or intrusive load. With a product-form solution, a convenient formula has been derived to map the value of call blocking probability as seen by the intrusive traffic to the true value of call blocking probability of actual traffic in the non-intrusive system. With the derived corrective factor, QoS measurement can be accurately measured and regulated. Consequently, the cellular-type networks so widely used for wide-area, mobile communication platforms of ITS can be better engineered and hopefully become a dependable foundation for ongoing as well as future ITS developments.

## I. INTRODUCTION

Recently, Intelligent Transportation Systems (ITS) have been deployed in several metropolitan areas, such as New York City, London, Tokyo and Bangkok, for providing roadway information, reporting traveling time and avoiding traffic congestion. Important ITS functions, including Variable Message Signs (VMS), Highway Advisory Radio, CCTV and automatic vehicle detections, together provide comprehensive transport information for traffic congestion analysis [1]. The road-traffic information between vehicles and ITS road-side equipments or the informed messages which are sent to motorists from an ITS information center are nowadays facilitated by wireless network technologies, e.g. Wi-Fi, mobile ad hoc network and cellular-type networks. Due to wide coverage area and mobility support of cellular-type networks, most of those information are directly reported in data messages and calls [2]. Growing popularity of ITS applications may therefore result in the increase of both data and call traffics. And hence, the perceived quality of service (QoS) may be affected.

In order to promote mutual benefits between ITS and cellular-type networks, the level of QoS in the cellular-type networks must be maintained. Therefore, cellular-type network providers need to pay attention to their network QoS, e.g. jitter, delay, Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ), call dropping probability and call blocking probability. Any attempts to provoke a good level of QoS for these cellular-type systems, so widely used for wide-area, mobile communication platforms of ITS, can undeniably

make such systems become a dependable foundation for ongoing as well as future ITS developments. To control the QoS, first one needs to measure it. In this regard, one can categorize the QoS measurement into passive measurement and active measurement [3]. A passive measurement is the system monitoring technique that utilises long-term statistics, typically using internal system log files to analyse key performance indices of the system. This technique requires background knowledge of signalling and the data collection from all relevant network units. In contrast to the passive measurement, an active measurement does not require any internal information of the measured network. Moreover, with the active measurement technique, network engineers can perform self-monitoring of one's own system as well as the other provider's systems by injecting the generated traffic into the measured system. For this reason, the active measurement is also referred to as "intrusive measurement".

In conventional practices of active measurement, the system performance is estimated by the measured QoS as perceived by the injected traffic only. The challenge is how the results can be interpreted. There have been many works on accuracy of active measurement e.g., [3], [4], [5], [6], [7]. These previous works focus on the packet measurement from end-to-end paths, [3], [4] and [5] in the core network, and [6] in multicast-based infrastructure, while [7] attempts to minimize probing overhead from active measurement in IP telephony by adjusting the placement of measurement devices. However, relatively few have proposed an in-depth mathematical model that could enlighten the system properties of the performance estimation in active measurement. In particular, the work in [3] has attempted to estimate the mean delay by combining the passive and active monitoring while [5] has presented a mathematical analysis to estimate mean delay in packet queue. These mathematical approaches nevertheless are not applicable in the active measurement at the time scale of call dynamics, which is of our interest.

This paper focuses on the problem of the system performance in the call level, as a complement to previous packet-level analyses. The analysis at this call level is in fact highly critical because of the very scarce resources via wireless channels. Further, the impact of an injected test call traffic to the overall system state is marginally higher than an injected test packet. For this reason, it is most likely that the measured QoS parameter from the test call traffic would deviate much

from the actual value that one wants to estimate. And without proper interpretation, one may get the wrong perception of system QoS. In fact, as to be shown in this paper, the measurable QoS provides only the underestimation of the actual value, contrasting to the belief that the injected traffic could cause an overestimation. Therefore, the objective of this work is to find an analytical approach to correct such errors. In particular, based on a standard system assumption with a product-form solution, we herein derive a formula that can be used to map from the value perceived by the test traffic to the actual value as normally experienced in the system without the test traffic. All analysis is aimed at the estimation of call blocking probability, i.e., in the time scale of call dynamics.

The rest of this paper is organized as follows. Section II presents the active measurement methodology. Then, the mathematical analysis is proposed in Section III. The numerical results are shown to verify the accuracy of the active measurement in Section IV. In Section V, the paper is concluded.

## II. ACTIVE MEASUREMENT METHODOLOGY

In this paper, we focus on the call-level active measurement which is practically used in cellular system and referred to as *drive test*. A drive-test is carried out by driving a car equipped with the measurement devices including Global Positioning System (GPS) to identify the testing location as shown in Fig. 1. The measurement device generates traffic into the cellular system by making a call via the cellular network to the dedicated port in Public Switching Telephone Network (PSTN). Then, the processing server equipped with the telephone line accepts the call and processes the system QoS of the generated traffic such as call blocking probability, delay, delay variation, PESQ, call dropping and call setup time. An Active measurement is often used to test the network QoS in the locations with low signal strength or low network performance.

However, the direct interpretation of results from the active measurement may be incorrect because of two reasons. First, obtained QoS is only intrusive traffic monitoring, which is generated by measurement devices. Second, intrusive traffic increases the overall offered traffic to be higher than usual and hence the overall QoS level may be shifted. In this paper, a mathematical analysis is proposed to correct the measurable QoS to be the actual values without intrusive measurement.

## III. PROPOSED MATHEMATICAL ANALYSIS

### A. System Analysis

As an early investigation, in this paper, let us model the cellular system without a channel reservation and customer retrials. Without channel reservation to give higher priority to hand-off calls, both new and hand-off call arrivals may be considered as a single stream of calls. An arriving call is blocked only when the system capacity is fully occupied, i.e., all the channels have been seized when the call arrives. And once blocked, the call is immediately lost, i.e., no buffering effect due to call retrial or redial behaviors. Fig. 2 represents

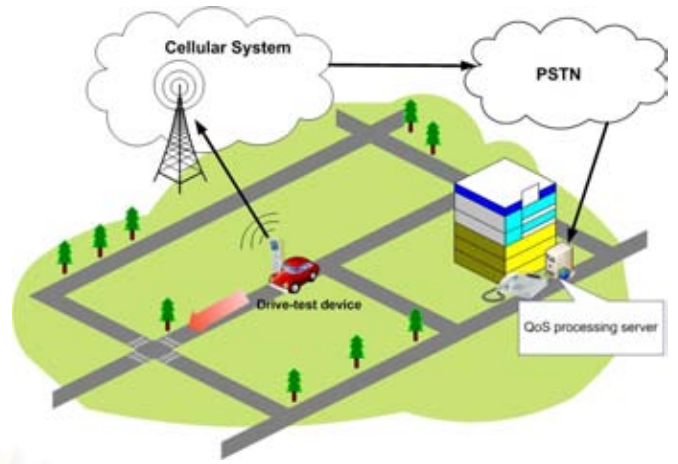


Fig. 1. Drive-test architecture in cellular system

the model of normal cellular system, and Fig. 3 illustrates the model of active measurement.

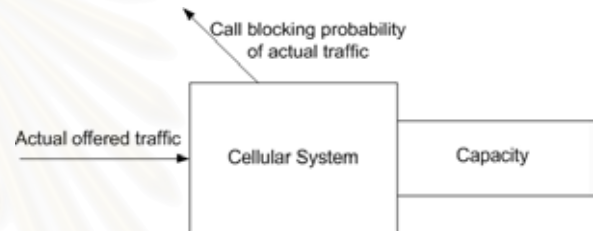


Fig. 2. Cellular system without intrusive measurement.

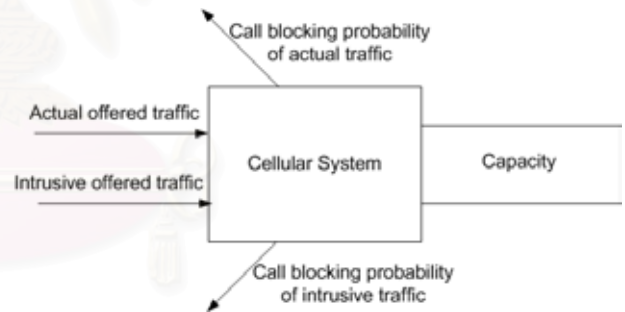


Fig. 3. Cellular system with intrusive measurement.

In Figs. 2 and 3, the proposed analysis assumes the knowledge of only the parameters including intrusive offered traffic and call blocking probability of intrusive traffic. All the other parameters are treated as unknown, namely, actual offered traffic, call blocking probability of actual traffic and the system capacity. Such assumption is very minimal and makes the analysis applicable to the drive test of not only one's own system, but also any other systems of which knowledge is limited. From Figs. 2 and 3, the aim of analysis can be stated as how to map from the call blocking probability of intrusive traffic in Fig. 3 to the call blocking probability of actual traffic in Fig. 2, given the same value settings of actual offered traffic and system capacity in both figures.

## B. Mathematical Formulation

First, consider the state diagrams of non-intrusive and intrusive systems under the assumption of one measurement device. The device generates traffic as an ON/OFF Poisson source with exponentially distributed holding time. The state diagrams of the non-intrusive system is shown in Fig. 4, and the intrusive system is shown in Fig. 5, where necessary traffic conditions have been assumed to construct the system state model as continuous time Markov chains (CTMCs). Throughout analysis, the follow notations are adopted:

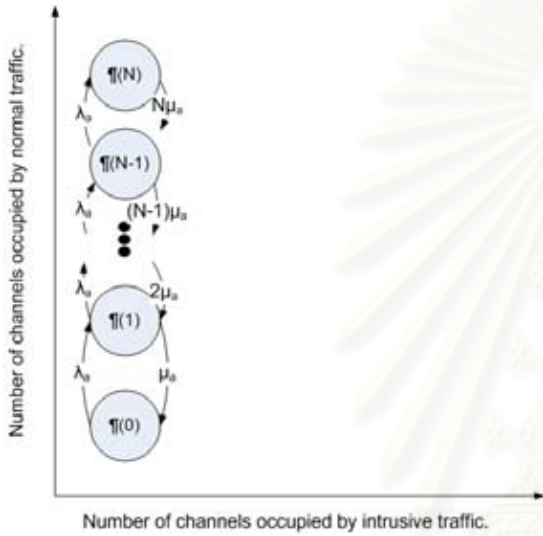


Fig. 4. State diagram of non-intrusive model.

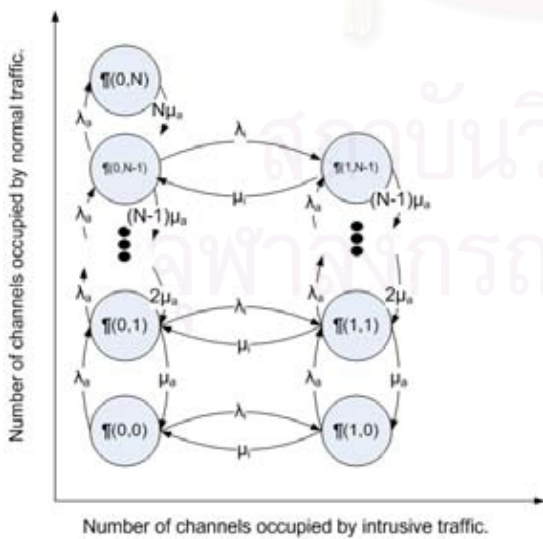


Fig. 5. State diagram of measurement system with one measurement unit.

$\lambda_a$	Poisson arrival rate of actual traffic.
$\lambda_i$	Poisson arrival rate of intrusive traffic.
$1/\mu_a$	mean holding time of actual traffic.
$1/\mu_i$	mean holding time of intrusive traffic.
$\rho_a = \lambda_a/\mu_a$	actual offered traffic (Erlangs).
$\rho_i = \lambda_i/\mu_i$	intrusive offered traffic (Erlangs).
$N$	maximum number of channels occupied by actual traffic.
$M$	maximum number of channels occupied by intrusive traffic (here $M$ is set to 1 due to only one test drive unit).
$\pi(n)$	steady state probability of having $n$ busy channels for the non-intrusive model.
$\pi(m, n)$	steady state probability of having $m$ busy channels of actual traffic and $n$ busy channels of intrusive traffic for the intrusive model.

As we can easily seen in Fig. 4,  $\pi(N)$  is the call blocking probability of an actual traffic in non-intrusive system. and hence the *true* value that we want to estimate in the active measurement via the intrusive system. From the Erlang loss formula [8],

$$\pi(N) = \frac{\frac{\rho_a^N}{N!}}{\sum_{t=0}^N \frac{\rho_a^t}{t!}}. \quad (1)$$

From (1), both  $\rho_a$  and  $N$  are assumed unknown to the drive tester. In Fig. 5, note importantly that only one channel can be occupied by the intrusive traffic. And since we assume that there is only one measurement device to generate the intrusive traffic, there is no further call arrival from the measurement device when the system state is  $(1, N-1)$ . Consequently, the obtained call blocking probability of intrusive traffic in Fig. 5 becomes  $\pi(0, N)$ , while the call blocking probability of actual traffic in Fig. 5 is increased to  $\pi(0, N) + \pi(1, N-1)$ . For this measurable call blocking probability  $\pi(0, N)$ , solving the local balance equations straightforwardly for the CTMC of Fig. 5 gives

$$\pi(0, N) = \frac{\frac{\rho_a^N}{N!}}{\sum_{t=0}^N \frac{\rho_a^t}{t!} + \rho_i \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\rho_a^k}{k!}}.$$

One now wants to relate  $\pi(N)$  and  $\pi(0, N)$  by first writing

$$\pi(0, N) = \frac{\frac{\rho_a^N}{N!}}{\sum_{t=0}^N \frac{\rho_a^t}{t!} + \rho_i \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\rho_a^k}{k!}} \left( \frac{\sum_{t=0}^N \frac{\rho_a^t}{t!}}{\sum_{t=0}^N \frac{\rho_a^t}{t!}} \right). \quad (2)$$

Substituting  $\pi_N$  from (1) into (2), one can obtain

$$\pi(0, N) = \pi(N) \left( \frac{\sum_{t=0}^N \frac{\rho_a^t}{t!}}{\sum_{t=0}^N \frac{\rho_a^t}{t!} + \rho_i \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\rho_a^k}{k!}} \right). \quad (3)$$

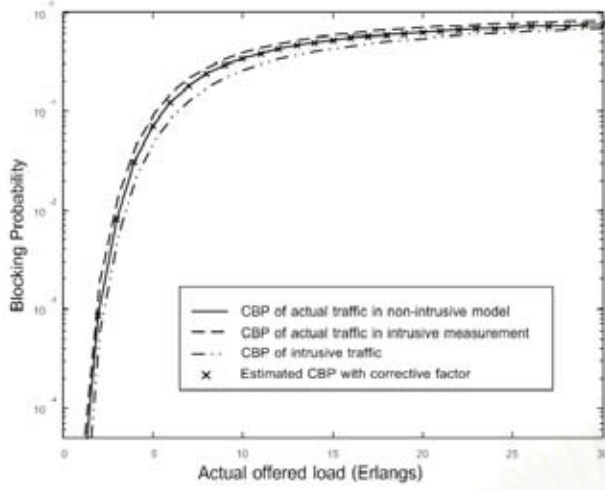


Fig. 6. Numerical result when system capacity is 8 channels and intrusive offered traffic is 0.5 Erlangs with the corrective factor.

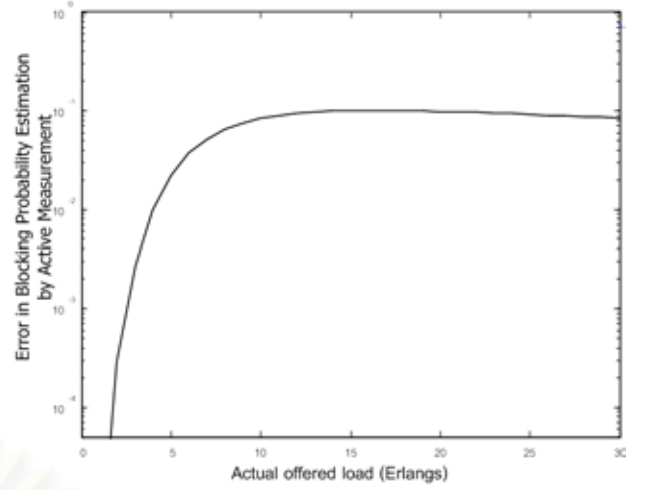


Fig. 7. Error characteristic of the active measurement without the corrective factor.

Consider the term  $\frac{\sum_{t=0}^N \frac{\rho_a^t}{t!} + \rho_i \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\rho_a^k}{k!}}{\sum_{t=0}^N \frac{\rho_a^t}{t!}}$  in (3).

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{t=0}^N \frac{\rho_a^t}{t!} + \rho_i \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\rho_a^k}{k!}}{\sum_{t=0}^N \frac{\rho_a^t}{t!}} &= \left( \frac{1 + \rho_a + \frac{\rho_a^2}{2!} + \dots + \frac{\rho_a^N}{N!}}{\sum_{t=0}^n \frac{\rho_a^t}{t!}} \right) \\ &+ \left( \frac{\rho_i + \rho_i \rho_a + \rho_i \frac{\rho_a^2}{2!} + \dots + \rho_i \frac{\rho_a^{(N-1)}}{(N-1)!}}{\sum_{t=0}^n \frac{\rho_a^t}{t!}} \right) \\ &= \frac{\sum_{t=0}^N \frac{\rho_a^t}{t!} + \rho_i \sum_{t=0}^N \frac{\rho_a^t}{t!} - \rho_i \frac{\rho_a^N}{N!}}{\sum_{t=0}^n \frac{\rho_a^t}{t!}} \\ &= 1 + \rho_i - \rho_i \pi(N). \end{aligned} \quad (4)$$

Then, substituting (4) into (3) yields

$$\pi(0, N) = \frac{\pi(N)}{1 + \rho_i - \rho_i \pi(N)}$$

Hence,

$$\pi(N) = \left( \frac{\rho_i + 1}{1 + \pi(0, N) \rho_i} \right) \pi(0, N). \quad (5)$$

Finally, we can define  $\left( \frac{\rho_i + 1}{1 + \pi(0, N) \rho_i} \right)$  as the wanted corrective factor, which is greater than one for all possible case. Therefore, it can also be concluded that the measurable call blocking probability from drive-test is *underestimated*.

#### IV. NUMERICAL RESULT

Numerical analysis in this section is used to exemplify the previous mathematical analysis. MATLAB programs has been constructed for two models: the model in Fig. 2 which represents a single class system, and the model in Fig. 3 which represents a two dimensional system. The total channel capacity of the two models is set to be 8 channels. The obtained results of call blocking probability (CBP) are shown in Figs. 6 and 7.

Figs. 6 and 7 confirm our mathematical analysis in the following important points. Firstly, for intrusive model of call blocking probability measurement, with one measurement device as typically done in practice, the call blocking probability as seen by the injected (intrusive) traffic *underestimates* the true value of call blocking probability despite the increase of overall offered load due to injected traffic. Secondly, Fig. 7 depicts that such errors are significant especially with moderate to heavy loading conditions. And finally, the derived formula for corrective factor can be used accurately to map from the obtained call blocking probability value of active measurement to the true value of call blocking probability before the intrusive traffic has been injected. And since only minimal assumptions have been used in obtaining this corrective formula, one may expect such analysis to be a useful tool in practice

#### V. CONCLUSIONS

In this paper, we addressed the problem of improving call-based QoS measurement accuracy with the focus on call blocking probability as monitored via the active measurement or test drives in cellular-type networks. At this early stage of investigations, the system has been modelled as continuous time Markov chains with necessary assumption of Poisson traffics for both actual load and injected or intrusive load. With a product-form solution, a convenient formula has been derived to map the value of call blocking probability as seen by the intrusive traffic to the true value of call blocking



probability of actual traffic in the non-intrusive system. With the derived corrective factor, conventional interpretation of active measurement would surprisingly result in only *lower bound* which underestimates the true value of call blocking probability in the system, which renders its value inapplicable to many important engineering practices such as for system dimensioning or benchmarking. To complete our investigations on active measurement issues, we currently investigate the effect of assumptions used in the current analysis, namely, the channel reservation as well as the call hand-off or retrial models and future worthy results will be presented in forthcoming papers.

#### REFERENCES

- [1] Charles R. Berger, Intelligent Transportation System provide operational benefits for New York metropolitan area roadways: A system engineering approach, in *Proceedings of IEEE LISAT conferences*, 2007, pp.1-8.
- [2] ITU-R, Handbook on Land Mobile (including Wireless Access): Intelligent Transport System, Vol.4, 2007.
- [3] K. Ishibashi, T. Kanazawa, and M. Aida, A scalable and lightweight QoS monitoring technique combining passive and active approaches- On the mathematical formulation of compact monitor, in *Proceedings of IEEE Infocom conferences*, 2003, pp.125-133.
- [4] J. Summers, P. Barons, N. Suffield and A. Ron, Improving accuracy in end-to-end packet loss measurement, in *Proceedings of ACM SIGCOMM*, 2005, pp. 157-168
- [5] V. Sharma and M.B Suma, Estimating traffic parameter in Internet via active measurement for QoS and congestion control, in *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference*, 2001, pp.2527-2531.
- [6] R. Caceres, N.G Duffield, J. Horowitz and T. Bu., Multicast based inference of network internal characteristic: Accuracy of packet loss estimation, in *Proceedings of IEEE Infocom conferences*, 1999, pp.371-379.
- [7] B. Karacali and B.Rao, Network instrumentation for End-to-End measurement, in *Proceedings of IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management*, pp.314-322, 2001.
- [8] F. P. Kelly, *Loss Networks*, Annals of Applied Probability, Vol.1, no.3, 1991, pp. 319-378.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวีรยุทธ หมายหาทรัพย์ เกิดเมื่อวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ. 2527 จังหวัดกรุงเทพมหานคร เป็นบุตรของนายชัชวาลย์ และนางกัลยา หมายหาทรัพย์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตในปีการศึกษาถัดมา ณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สังกัดห้องปฏิบัติการวิจัยโทรคมนาคม



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย