

การควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยแรงจูงใจจากค่าบริการแบบพลวัตสำหรับทราฟฟิกที่มีการ
เคลื่อนที่ในโครงข่ายเซลลูลาร์



นางสาว ฉัตรขวัญ พงษ์มาลา

ศูนย์วิทยพัทยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CALL ADMISSION CONTROL WITH DYNAMIC PRICING INCENTIVES FOR MOBILE
TRAFFIC IN CELLULAR NETWORK



Miss. Chatkwan Pongmala

ศูนย์วิทยทรัพยากร
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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยแรงจูงใจจากค่าบริการ
แบบพลวัตสำหรับกราฟฟิกที่มีการเคลื่อนที่ในโครงข่าย
เซลลูลาร์

โดย

นางสาวฉัตรขวัญ พงษ์มาลา

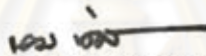
สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

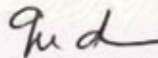
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยเชษฐ สหายวิจิตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศhirัตวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทับทิม อ่างแก้ว)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยเชษฐ สหายวิจิตร)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เขาวนิตศ อิศวกุล)



..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภูมิพัฒน์ แสงอุดมเลิศ)

ฉัตรขวัญ พงษ์มาลา : การควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยแรงจูงใจจากค่าบริการแบบพลวัตสำหรับทราฟฟิกที่มีการเคลื่อนที่ในโครงข่ายเซลลูลาร์. (CALL ADMISSION CONTROL WITH DYNAMIC PRICING INCENTIVES FOR MOBILE TRAFFIC IN CELLULAR NETWORK) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ชัยเชษฐ์ สายวิจิตรม, 84 หน้า.

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้มีการพัฒนาเพื่อให้สามารถรองรับการให้บริการที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ความต้องการใช้บริการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่จากปัญหาทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงทำให้เกิดปัญหาด้านความคับคั่งของโครงข่าย เพื่อแก้ปัญหานี้ได้ต้องมีประสิทธิภาพจึงได้นำการควบคุมการตอบรับการเรียกมาใช้ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัต เพื่อใช้ในการสร้างแรงจูงใจและจัดสรรการใช้บริการในโครงข่าย นอกจากการนำค่าบริการแบบพลวัตมาประยุกต์ใช้ในการลดความคับคั่งในระบบแล้ว ยังได้พิจารณาถึงการคิดค่าบริการสำหรับทราฟฟิกที่มีการเคลื่อนที่อีกด้วย โดยทราฟฟิกที่มีการเคลื่อนที่นั้นจะถูกคิดค่าบริการขึ้นกับปริมาณทราฟฟิกในเซลล์ที่เคลื่อนข้ามผ่าน โดยได้นำการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์ถึงค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธ ค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกถูกยกเลิก ค่าความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป ค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่และแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก ในที่นี้ได้จำลองระบบด้วยโมเดล CTMC การตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ทำได้โดยการจำลองระบบทางคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการนำค่าบริการแบบพลวัตมาประยุกต์ใช้สามารถลดความคับคั่งของระบบได้ แต่ผู้ให้บริการบางส่วนออกจากระบบไปเนื่องจากไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนไป ซึ่งส่งผลต่อค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่ และจากการจำลองระบบ การคิดค่าบริการของทราฟฟิกที่มีการเคลื่อนที่แบบใหม่เทียบกับแบบทั่วไปที่ขึ้นกับเซลล์เริ่มต้นนั้น ค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกนั้นจะมีค่ามากกว่าเมื่อผู้ให้บริการเคลื่อนที่ไปยังเซลล์ที่มีปริมาณทราฟฟิกมากและขึ้นกับการตั้งค่าบริการ

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต.....ฉัตรขวัญ พงษ์มาลา.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2553.....

5170267221 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : CALL ADMISSION CONTROL / DYNAMIC PRICING / NEW CALL
BLOCKING PROBABILITY / EXPECTED REVENUE / GUARD CHANNEL SCHEME

CHATKWAN PONGMALA: CALL ADMISSION CONTROL WITH DYNAMIC
PRICING INCENTIVES FOR MOBILE TRAFFIC IN CELLULAR NETWORK.

ADVISOR: ASST. PROF. CHAIYACHET SAIVICHIT, Ph.D., 84 pp.

Nowadays, mobile wireless communication has been developed to support various services that cause the rapid growth in demand of the services. However, the cellular network has the problem about limitation of the resource that will lead to the network congestion problem. Integration between Call Admission Control (CAC) and dynamic pricing is used to solve this problem for efficiency. Since, dynamic pricing and CAC can provide incentives to users to regulate their demand and manage the resource. Besides applying dynamic pricing to reduce the network congestion, this thesis also considers about pricing for moving users. Moving users will be computed the price depend on the cells that they move pass. The analysis is performed via mathematical derivation for new call blocking probability, handover call dropping probability, probability of new call that gives up because of changing price and the expected revenue. The cellular system has been models as continuous time Markov chains. The verification is shown by comparing the results from mathematical analysis with the simulation results. The results show that dynamic pricing can reduce the network congestion but it has some new users that leave the system because of changing price and it affects the expected revenue of new users and handover users. The simulation results of new pricing scheme for moving users show that expected revenue of handover calls will be higher than the conventional scheme (depend on starting cells) if they move to the dense cells and depend on price.

Department : ... Electrical Engineering Student's Signature ชัตกวัน พงษ์มลา
Field of Study : ... Electrical Engineering Advisor's Signature ชัยเชต แซวิชิต
Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ เนื่องด้วยความช่วยเหลือของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยเชษฐ สหายวิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เขาวนดิศ อัสวกุล ที่ได้กรุณาให้ความรู้พื้นฐานที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ทั้งทางตรงและทางอ้อม พร้อมทั้งสละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำและแนวทางต่างๆที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ที่ซึ่งทำให้นิสิตมีแนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์และเป็นแรงผลักดันให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี ตลอดจนความเมตตาและความใส่ใจต่อผู้ทำวิจัยมาตลอด ผู้วิจัยจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ นอกจากนี้ยังขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทับทิม อ่างแก้ว ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภูมิพัฒน์ แสงอุดมเลิศ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบและให้คำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้อันเป็นพื้นฐานในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากความรู้และคำชี้แนะที่ได้รับจากคณาจารย์ทั้งหลายแล้ว ขอขอบคุณความช่วยเหลือต่างๆที่ได้รับจากรุ่นพี่ เพื่อนๆและรุ่นน้องทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยโทรคมนาคม โดยเฉพาะ Network Research Group (NRG) ที่ได้ให้กำลังใจและคำปรึกษา จนผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้ได้เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณ นายภัทรชาติ โกมลภิติ สำหรับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นพิเศษสำหรับ นางสาวกณิกา สุขสมบูรณ์ ที่ให้คำปรึกษา ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ คำแนะนำและคำชี้แนะในการแก้ไขปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตลอดมา รวมถึง นายวีรยุทธ หมายหาทรัพย์ ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยโทรคมนาคม ภาควิชาไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โครงการ SP2 GE12 โครงการนำร่องเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีควบคุมอัจฉริยะสำหรับ Green society และ TRIDI ตามโครงการ Center of Excellence in Lightwave and High-Speed Communications ซึ่งดำเนินการโดยภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทรัพยากรต่างๆในการศึกษา ค้นคว้าและวิจัย

ท้ายที่สุดวิทยานิพนธ์นี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้จนเสร็จสมบูรณ์ถ้าขาดผู้มีอุปการะคุณที่สำคัญอย่างยิ่ง ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่สาว ที่เป็นกำลังใจและกำลังทรัพย์ เป็นผู้สนับสนุนและเชื่อมั่นผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่	
1.บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	3
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2.ทฤษฎีและความรู้พื้นฐาน.....	6
2.1 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ.....	6
2.2 ความคับคั่งเชิงเวลาและความคับคั่งเชิงการเรียก.....	8
2.3 การกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์.....	9
2.4 การเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัต.....	12
2.5 รายได้.....	14
2.6 ระยะเวลาครอบครองสัญญาณ.....	14
3.ทฤษฎีและความรู้พื้นฐาน.....	17
3.1 การเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัต.....	17
3.2 กรณีที่ไม่มีแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก.....	19
3.3 กรณีที่มีการทำแฮนด์โอเวอร์.....	23
3.3.1 กรณีที่ไม่มีกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์.....	23
3.3.2 กรณีที่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์.....	27
3.4 กรณีที่ผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์.....	30
4.การจำลองระบบ.....	36

4.1 กรณีที่ไม่มีแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิก.....	36
4.2 กรณีที่มีการทำแฮนด์โอเวอร์.....	42
4.3 กรณีที่ผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์.....	53
5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 บทสรุป.....	69
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	71
รายการอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก.....	75
ภาคผนวก ก การพิสูจน์ค่าความคับคั่งเชิงเวลาของระบบเมื่อไม่มีแฮนด์โอเวอร์ กราฟฟิก.....	76
ภาคผนวก ข บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่.....	79
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	84

สารบัญญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1: ระบบอ้างอิงสำหรับระบบที่มีความจุจำกัดและไม่มีบัฟเฟอร์	6
รูปที่ 2.2: ระบบอ้างอิงแผนภาพสถานะของระบบที่มีความจุจำกัดและไม่มีบัฟเฟอร์.....	7
รูปที่ 2.3: การเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์	9
รูปที่ 2.4: ระบบที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์.....	10
รูปที่ 2.5: การกั้นช่องสัญญาณสำหรับแฮนด์โอเวอร์.....	10
รูปที่ 2.6: ระบบอ้างอิงแผนภาพสถานะของระบบที่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับแฮนด์โอเวอร์ .	11
รูปที่ 2.7: แผนภาพจำลองการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อผู้ใช้บริการเริ่มต้นใช้บริการและสิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์เดียว.....	16
รูปที่ 2.8: แผนภาพจำลองการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อผู้ใช้บริการเริ่มต้นใช้บริการและไม่สามารถสิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์เดียว	16
รูปที่ 3.1: การประมาณการคิดค่าบริการด้วยฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง.....	18
รูปที่ 3.2: การประมาณการคิดค่าบริการด้วยฟังก์ชันแบบแยก	18
รูปที่ 3.3: แผนภาพแสดงปริมาณการเข้าใช้บริการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ.....	19
รูปที่ 3.4: แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อสถานะของระบบมีการเปลี่ยนแปลง	19
รูปที่ 3.5: ระบบอ้างอิงแผนภาพสถานะของระบบเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคับคั่งที่สถานะ i	21
รูปที่ 3.6: ระบบอ้างอิงแผนภาพสถานะของระบบที่มีทราฟฟิกปกติและแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกโดยระบบจะเข้าสู่ภาวะคับคั่งเมื่อจำนวนช่องสัญญาณถูกใช้งาน i ช่องสัญญาณ.....	25

รูปที่ 3.7: ระบบอ้างอิงแผนภาพสถานะของระบบที่มีทราฟฟิกปกติและแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกโดยระบบจะเข้าสู่ภาวะคับคั่งเมื่อจำนวนช่องสัญญาณถูกใช้งาน i ช่องสัญญาณ..... 28

รูปที่ 3.8: ระบบโครงข่ายที่ผู้ใช้บริการมีการเคลื่อนที่ 30

รูปที่ 3.9: ระบบอ้างอิงแผนภาพสถานะของระบบที่มีทราฟฟิกปกติและแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกโดยระบบจะเข้าสู่ภาวะคับคั่งเมื่อจำนวนช่องสัญญาณถูกใช้งาน i ช่องสัญญาณ..... 33

รูปที่ 4.1: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธเมื่อระบบไม่มีแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่..... 38

รูปที่ 4.2: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อระบบไม่มีแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ 38

รูปที่ 4.3: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่เมื่อระบบไม่มีแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ 39

รูปที่ 4.4: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธเมื่อระบบไม่มีแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ 40

รูปที่ 4.5: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อระบบไม่มีแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ..... 41

รูปที่ 4.6: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่เมื่อระบบไม่มีแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ 41

รูปที่ 4.7: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธเมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ 45

รูปที่ 4.8: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกถูกยกเลิกเมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ 45

รูปที่ 4.9: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่กราฟฟิสิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของกราฟฟิสิกใหม่.....	46
รูปที่ 4.10: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของกราฟฟิสิกใหม่เมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของกราฟฟิสิกใหม่	46
รูปที่ 4.11: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิสิกเมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของกราฟฟิสิกใหม่	47
รูปที่ 4.12: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของกราฟฟิสิกใหม่ถูกปฏิเสธเมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ	50
รูปที่ 4.13: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์กราฟฟิสิกถูกยกเลิกเมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ	50
รูปที่ 4.14: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่กราฟฟิสิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ	51
รูปที่ 4.15: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของกราฟฟิสิกใหม่เมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ	51
รูปที่ 4.16: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของกราฟฟิสิกใหม่เมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ	52
รูปที่ 4.17: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของกราฟฟิสิกใหม่ถูกปฏิเสธเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของกราฟฟิสิกใหม่	56
รูปที่ 4.18: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์กราฟฟิสิกถูกยกเลิกเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของกราฟฟิสิกใหม่	56

- รูปที่ 4.19: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ 57
- รูปที่ 4.20: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่ เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ ... 57
- รูปที่ 4.21: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิก เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ 58
- รูปที่ 4.22: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ 60
- รูปที่ 4.23: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่แอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกถูกยกเลิกเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ 61
- รูปที่ 4.24: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ 61
- รูปที่ 4.25: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่ เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ 62
- รูปที่ 4.26: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิก เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ 62
- รูปที่ 4.27: แบบจำลองการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ กรณี 2 เซลล์ 64
- รูปที่ 4.28: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบที่หนึ่งในเซลล์ที่ 2 เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบ 65
- รูปที่ 4.29: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบที่หนึ่งในเซลล์ที่ 2 เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ 66

รูปที่ 4.30: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์กราฟิกแบบที่หนึ่งในเซลล์ที่
2 เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ..... 68



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการใช้บริการของผู้ใช้บริการได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น จึงทำให้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสื่อสารผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เนื่องด้วยความสามารถในการรองรับบริการที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ความต้องการใช้บริการโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง แต่เนื่องจากการสื่อสารผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ณ ปัจจุบัน ยังมีปัญหาด้านความจุ (capacity) ของช่องสัญญาณที่มีอย่างจำกัด ดังนั้นการจัดสรรช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง

จากปัญหาด้านความจุของช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัดของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น ส่งผลทำให้เกิดปัญหาความคับคั่ง (call congestion) ของโครงข่าย ซึ่งวิธีหนึ่งที่ได้รับคานิยมในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือการนำการควบคุมการตอบรับเรียก (Call Admission Control, CAC) มาใช้ควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณ โดยการควบคุมการตอบรับเรียกจะทำหน้าที่อนุญาตหรือปฏิเสธการเข้าใช้บริการของผู้ใช้บริการเพื่อจำกัดจำนวนผู้ให้บริการในโครงข่าย ซึ่งทำให้สามารถลดความคับคั่งของโครงข่าย อีกทั้งยังสามารถรับประกันคุณภาพการให้บริการ (Quality of Service, QoS) ให้แก่ผู้ให้บริการได้อีกด้วย [1] - [4], [13] โดยทั่วไปแล้วพารามิเตอร์ที่ใช้ในการบ่งบอกระดับคุณภาพการให้บริการและความคับคั่งของโครงข่าย ได้แก่ ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ (call blocking probability) และ ความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกยกเลิก (call dropping probability)

เนื่องจากโดยทั่วไปผู้ให้บริการมีความสามารถในการเคลื่อนที่ส่งผลให้การควบคุมการตอบรับมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เมื่อผู้ให้บริการไม่สามารถสิ้นสุดการให้บริการได้ในเซลล์เริ่มต้น การสื่อสารจึงต้องกระทำข้ามผ่านเซลล์ ดังนั้นเมื่อผู้ให้บริการเคลื่อนที่ไปยังเซลล์ข้างเคียงระบบจึงต้องทำการเรียกขอใช้ช่องสัญญาณใหม่ในเซลล์นั้น ๆ โดยแต่ละเซลล์ที่ต้องการเคลื่อนที่ผ่านไปนั้นอาจมีความจุของสัญญาณไม่เพียงพอสำหรับให้บริการ ทำให้ไม่สามารถเข้าใช้บริการได้ ซึ่งส่งผลให้บริการถูกยกเลิก โดยที่การถูกยกเลิกการให้บริการนั้นส่งผลทางด้านความรู้สึกต่อผู้ให้บริการมากกว่าการเรียกถูกปฏิเสธ ดังนั้นระบบจึงให้ความสำคัญแก่ผู้ให้บริการที่เกิดจากการ

ทำแฮนด์โอเวอร์ (handover call) มากกว่าผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ (new call) โดยได้นำวิธีการกันช่องสัญญาณ (guard channel scheme) มาใช้สำหรับการควบคุมการตอบรับเรียก [2], [3], [13]

อย่างไรก็ตามในการใช้การควบคุมการตอบรับเรียกเพียงอย่างเดียวไม่สามารถสร้างสิ่งจูงใจให้ผู้ใช้บริการเลือกที่จะเข้าใช้หรือปฏิเสธการใช้บริการ ดังนั้นจึงได้มีการนำค่าบริการ (price) มาใช้เพื่อใช้ในการตัดสินใจในการเลือกเข้าใช้บริการ [5], [15], [17], [18] รวมถึงนำมาใช้ในการจัดสรรทรัพยากรและควบคุมความคับคั่งของโครงข่าย [10] ที่ผ่านมามีงานวิจัยนำการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัต (dynamic pricing) [16] มาใช้ร่วมกับการควบคุมการตอบรับเรียก [4] - [9], [14] ซึ่งค่าบริการจะขึ้นกับปริมาณทรัพยากรในโครงข่ายในขณะนั้น

งานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการลดความคับคั่งโดยใช้การเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและการควบคุมการตอบรับเรียกนั้น ในงานวิจัย [4], [9] มีการคำนวณหาอัตราการเข้าใช้บริการที่เหมาะสมที่สุด (optimal arrival rate) ซึ่งสามารถทำให้ค่าอรรถประโยชน์ (utility) มีค่าสูงสุด ถ้าอัตราการเข้าใช้บริการใหม่มีค่าน้อยกว่าอัตราการเข้าใช้บริการที่เหมาะสมที่สุด ระบบก็จะคิดค่าบริการด้วยค่าบริการเริ่มต้น (initial price) แต่ถ้าอัตราการเข้าใช้บริการใหม่มีค่ามากกว่าอัตราการเข้าใช้บริการที่เหมาะสมที่สุด ระบบก็จะคิดค่าบริการโดยขึ้นกับปริมาณทรัพยากรที่อยู่ในระบบในขณะนั้น ซึ่งวิธีนี้สามารถลดความคับคั่งของระบบ โดยยังสามารถรับรองคุณภาพการให้บริการ (QoS) ให้แก่ผู้ใช้บริการได้อีกด้วย แต่เพื่อให้เหมาะสมกับโครงข่ายในอนาคตที่สามารถรองรับการให้บริการที่หลากหลาย ในงานวิจัย [7] จึงออกแบบมาเพื่อลดความคับคั่งของโครงข่าย โดยมีการคำนวณหาอัตราการเข้าใช้บริการที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสามารถทำให้สภาพพร้อมใช้งานของแบนด์วิดท์ (available bandwidth) มีค่าสูงสุด และมีลักษณะการคิดบริการเหมือนงานวิจัย [4] อีกทั้งผู้ใช้บริการต้องการใช้ช่องสัญญาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับบริการ ซึ่งในงานวิจัยนี้สามารถลดความคับคั่งของระบบได้และสามารถรับรองคุณภาพการให้บริการสำหรับบริการประเภทต่างๆได้อีกด้วย เมื่อพิจารณาถึงการเคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการ งานวิจัย [6] สามารถลดความคับคั่งของระบบโดยมีการนำวิธีการกันช่องสัญญาณ (guard channel scheme) มาใช้ โดยมีวิธีคิดค่าบริการเหมือนงานวิจัย [4] และในงานวิจัยนี้จะมีการพิจารณาเปรียบเทียบในกรณีที่ในระบบมีลักษณะการแจกแจงของทรัพยากรเป็นแบบเอกรูป (uniform) เหมือนกันทุกเซลล์ และในกรณีที่ลักษณะการแจกแจงของทรัพยากรในระบบเป็นแบบไม่เอกรูป (non-uniform) ซึ่งหมายความว่าในแต่ละเซลล์มีปริมาณทรัพยากรไม่เท่ากัน โดยงานวิจัยนี้กล่าวว่าในระบบที่มีการแจกแจงทรัพยากรแบบไม่เอกรูปสามารถรองรับปริมาณทรัพยากรได้มากกว่าระบบที่มีการแจกแจงทรัพยากรเป็นแบบเอกรูป อีกทั้งยังสามารถลดความคับคั่งของระบบได้ นอกจากนี้ งานวิจัย [8] ได้ทำการวิเคราะห์สมรรถนะ (performance) เมื่อมีการนำการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตมาใช้ ในระบบที่มี

บริการหลายรูปแบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเอาการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ โดยค่าบริการจะคงที่จนถึงสถานะหนึ่ง แล้วจึงมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัต ซึ่งค่าบริการนั้นจะขึ้นกับระดับความคับคั่งในระบบ แต่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงผู้ใช้บริการที่มีการทำแฮนด์โอเวอร์ เนื่องจากผู้ใช้บริการมีความสามารถในการเคลื่อนที่ จึงจำเป็นที่ต้องพิจารณาผู้ใช้บริการที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ด้วย

จากงานวิจัยที่กล่าวมา จะพบว่าค่าบริการของผู้ใช้บริการที่มีการทำแฮนด์โอเวอร์นั้นจะขึ้นกับเซลล์ที่เริ่มต้นการใช้บริการ แต่ผู้ใช้บริการที่เคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์นั้นจะทำให้ปริมาณทราฟฟิกในเซลล์ที่ข้ามผ่านเพิ่มสูงขึ้นซึ่งส่งผลให้ผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่นั้นต้องเสียค่าบริการที่สูงขึ้น จึงทำให้ไม่ยุติธรรมต่อผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ในเซลล์นั้นๆ จากปัญหาดังกล่าว ได้ก่อให้เกิดแนวทางการศึกษาของวิทยานิพนธ์นี้ที่นอกจากต้องการลดความคับคั่งของระบบโดยการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและการควบคุมการตอบรับเรียกแล้วยังคำนึงถึงการคิดค่าบริการสำหรับผู้ใช้บริการที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ โดยการคิดค่าบริการสำหรับผู้ใช้บริการที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์นั้น จะไม่คิดค่าบริการขึ้นกับปริมาณทราฟฟิกในเซลล์เริ่มต้นเท่านั้น แต่จะคิดค่าบริการขึ้นกับปริมาณทราฟฟิกในแต่ละเซลล์ที่ผู้ใช้บริการเคลื่อนที่ข้ามผ่านด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เสนอวิธีคิดค่าบริการแบบพลวัต (dynamic pricing) ของการใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์ โดยคำนึงถึงกรณีที่ผู้ใช้บริการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ที่มีความแตกต่างของระดับความคับคั่งเพื่อควบคุมการเข้าใช้บริการโครงข่ายเซลลูลาร์ โดยให้ค่าบริการเป็นเครื่องมือสร้างแรงจูงใจ (incentive) ในการเข้าใช้หรือปฏิเสธการใช้บริการ ซึ่งสามารถควบคุมระดับความคับคั่ง (congestion) ของทราฟฟิกในโครงข่ายได้

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. เสนอแนวทางการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัต (dynamic pricing) และการควบคุมการตอบรับเรียก (call admission control) เพื่อควบคุมการเข้าใช้บริการในระบบ โดยพิจารณาบริการเสียง (voice service) เพียงบริการเดียว
2. เสนอวิธีการคิดค่าบริการสำหรับผู้ใช้บริการที่มีเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ และผู้ใช้บริการที่ไม่มีเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ โดยกำหนดให้เส้นทางเคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการนั้นคงที่

3. วิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ เมื่อมีทราฟฟิกที่ต้องการเข้าใช้บริการใหม่และแอสนด์โอเวอร์ทราฟฟิกในพื้นที่บริการเซลล์เดียว โดยมีการนำการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตมาใช้ ซึ่งค่าบริการสำหรับทราฟฟิกที่ต้องการเข้าใช้บริการใหม่นั้นจะขึ้นกับสถานะของระบบ โดยพิจารณาบริการเสียงเพียงบริการเดียว
4. ทดสอบและวัดสมรรถนะของวิธีการคิดค่าบริการที่เสนอด้วยวิธีจำลองระบบทางคอมพิวเตอร์ เมื่อค่าบริการสำหรับทราฟฟิกที่ต้องการเข้าใช้บริการใหม่นั้นขึ้นกับสถานะของระบบ โดยทดสอบหาค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ (call blocking probability) ค่าความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกยกเลิก (call dropping probability) และรายได้ (revenue) โดยมีทราฟฟิกที่ต้องการเข้าใช้บริการใหม่ในระบบมีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Distribution Process) และระยะเวลาการใช้บริการ (holding time) มีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (exponential distribution) ระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์ (dwell time) มีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (exponential distribution) และแอสนด์โอเวอร์ทราฟฟิกที่ต้องการเข้าใช้บริการในระบบมีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Distribution Process) และมีระยะเวลาการใช้บริการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (exponential distribution) โดยจะไม่คำนึงถึงการเรียกขอใช้บริการใหม่ (retrial call)

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งความรู้และทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง
2. วิเคราะห์และกำหนดรูปแบบของปัญหา
3. พิจารณาหารูปแบบฟังก์ชันค่าขอ (demand function) ที่เหมาะสม
4. เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองระบบ เพื่อวิเคราะห์การลดความคับคั่งของระบบ โดยนำเอาการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและการควบคุมการตอบรับเรียกมาใช้ รวมถึงการคิดค่าบริการสำหรับผู้ใช้บริการที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์
5. สรุปวิเคราะห์ผลที่ได้ และรวบรวมข้อมูลทั้งหมดพร้อมทั้งจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและการควบคุมการตอบรับเรียกในงานวิจัยนี้มาใช้ในการลดความคับคั่งในโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำให้สามารถจัดสรรช่องสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งการคิดค่าบริการมีความเหมาะสมกับลักษณะการใช้บริการมากยิ่งขึ้น



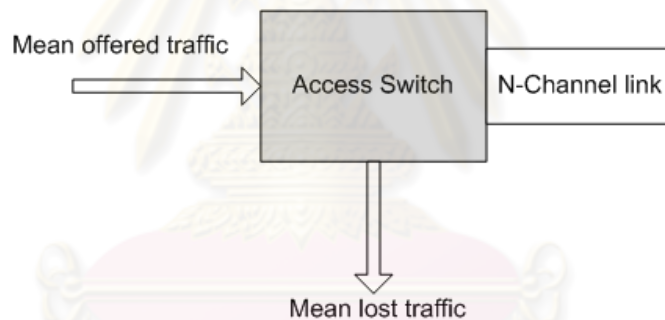
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้พื้นฐาน

2.1 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ

ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ ถือเป็นพารามิเตอร์ตัวชี้วัดชนิดหนึ่ง que แสดงถึง ความคืบคั้งของโครงข่าย โดยถ้าโครงข่ายมีความคืบคั้งสูง ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธก็จะมีค่าสูงด้วย ซึ่งในทางทฤษฎีนั้น มีการนำเอา สูตรของเออร์แลง (Erlang's loss formula) [11], [21] มาใช้ในการหาความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ ดังรูปที่ 2.1 จากรูป ระบบอ้างอิงประกอบด้วย สวิตช์ซึ่งทำหน้าที่อนุญาตหรือปฏิเสธการเรียกขอใช้บริการของโทรศัพท์จากผู้ใช้บริการ โดยจะขึ้นอยู่กับความจุของสัญญาณของโครงข่ายในขณะนั้น เนื่องจากโครงข่ายมีความจุของช่องสัญญาณที่จำกัด โทรศัพท์ที่เข้าใหม่จะถูกปฏิเสธเมื่อไม่มีจำนวนช่องสัญญาณเพียงพอที่จะรองรับการเข้าใช้บริการนั้น ๆ



รูปที่ 2.1: ระบบอ้างอิงสำหรับระบบที่มีความจุจำกัดและไม่มีบัฟเฟอร์

สูตรของเออร์แลง มีหลักการพื้นฐานในการคิดวิเคราะห์แบบ Continuous Time Markov Chain (CTMC) โดยกำหนดให้ โทรศัพท์ที่เข้าใช้งานในระบบมีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson distribution process) และระยะเวลาการให้บริการ (holding time) มีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (exponential distribution) โดยมีสัญกรณ์ (notations) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ ปริมาณโทรศัพท์ที่ต้องการใช้ระบบ (เออร์แลง)

λ อัตราการเข้ามาขอใช้ระบบ

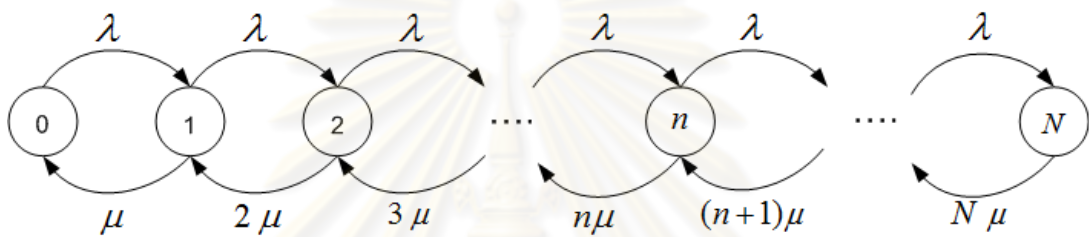
$\frac{1}{\mu}$ ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ย

n จำนวนช่องสัญญาณที่กำลังถูกใช้บริการ

N จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดของระบบ

B	ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ
$\pi(n)$	ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่สถานะ n ที่สภาวะอยู่ตัว (steady state)

จากรูปที่ 2.2 ระบบข้างอิงสามารถพิจารณาจากแผนภาพสถานะ (state diagram) โดยระบบจะอยู่ในสถานะ n เมื่อช่องสัญญาณจำนวน n ช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการ สำหรับ $n = 0, 1, 2, \dots, N$ และสามารถพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะใดๆโดยใช้ local balance equation



รูปที่ 2.2: ระบบข้างอิงแผนภาพสถานะของระบบที่มีความจุจำกัดและไม่มีบัฟเฟอร์

ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อระบบอยู่ในสถานะ n ค่าความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะ n สามารถคำนวณได้จาก [11], [21]

$$\pi(n) = \frac{\rho^n}{n!} \sum_{j=0}^N \frac{\rho^j}{j!} \quad (2.1)$$

เมื่อระบบอยู่ในสถานะ N แสดงว่าระบบมีการใช้ช่องสัญญาณทั้งหมด และไม่สามารถรองรับการเข้าใช้บริการได้อีก จนกว่าจะมีการเรียกสิ้นสุดการใช้บริการ โดยเมื่อการเรียกอยู่ในสถานะ N จะมีความน่าจะเป็นที่ระบบอยู่ในสถานะ N คือ

$$\pi(N) = \frac{\rho^N}{N!} \sum_{j=0}^N \frac{\rho^j}{j!} \quad (2.2)$$

ดังนั้นเมื่อระบบอยู่ในสถานะอิ่มตัวที่ซึ่งไม่สามารถรองรับการเข้าใช้บริการได้อีก หรืออยู่ในสถานะ N นั้น ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ $B = \pi(N)$

2.2 ความคับคั่งเชิงเวลาและความคับคั่งเชิงการเรียก

จากสูตรของเออร์แลง $\pi(N)$ คือค่าความน่าจะเป็นที่เมื่อทำการสำรวจช่องสัญญาณ ณ เวลาใดๆพบว่าช่องสัญญาณนั้นอยู่ในสถานะอิ่มตัว (saturation) เนื่องจากมีการใช้ช่องสัญญาณเต็มความจุที่มี ส่งผลให้ไม่สามารถรองรับการให้บริการได้อีก และจากคุณสมบัติเออร์โกดิก (ergodic property) ซึ่งจะได้ว่า $\pi(N)$ เป็นสัดส่วนทางเวลาที่ช่องสัญญาณจะอยู่ในสถานะอิ่มตัว ดังนั้น $\pi(N)$ คือความคับคั่งเชิงเวลา (time congestion, B_T) [27]

โดยทั่วไปแล้วในทางปฏิบัติ ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธที่ได้รับความสนใจคือ ความคับคั่งเชิงการเรียก (call congestion, B_C) หรือ อัตราส่วนของการเรียกที่ไม่สามารถเข้าใช้บริการได้เนื่องจากระบบอยู่ในสถานะอิ่มตัว ต่อจำนวนการเรียกใช้บริการทั้งหมด ดังนั้นจะได้ว่า เมื่อทำการพิจารณาความคับคั่งเชิงการเรียก

$$B_C = \frac{B_T \lambda}{\sum_n \pi(n) \lambda} \quad (2.3)$$

เมื่อ $\lambda \neq 0$ จะได้

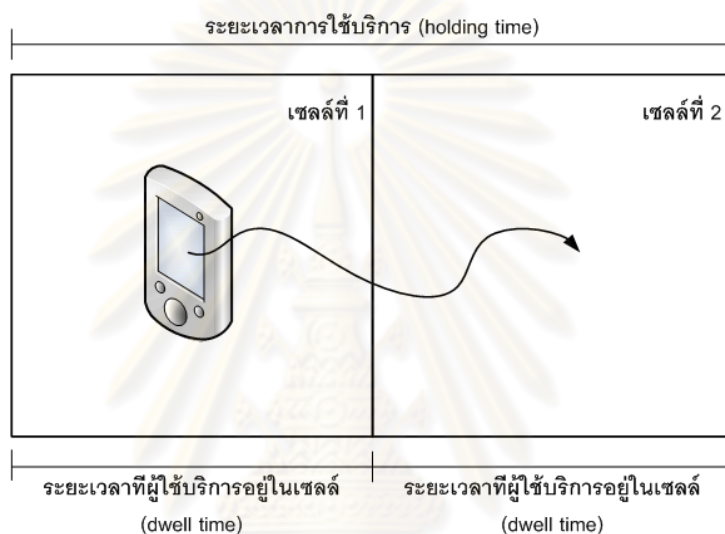
$$\begin{aligned} B_C &= \frac{B_T}{\sum_n \pi(n)} \\ &= \frac{\pi(N)}{\sum_n \pi(n)} \\ &= \frac{\frac{\rho^N}{N!}}{\frac{\rho^N}{N!} + \frac{\rho^{N-1}}{(N-1)!} + \dots + \frac{\rho^2}{2!} + 1 + \frac{\rho}{1} + \frac{\rho^0}{0!}} \\ &= \frac{\rho^N}{\sum_{j=0}^N \frac{\rho^j}{j!}} \end{aligned} \quad (2.4)$$

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า

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

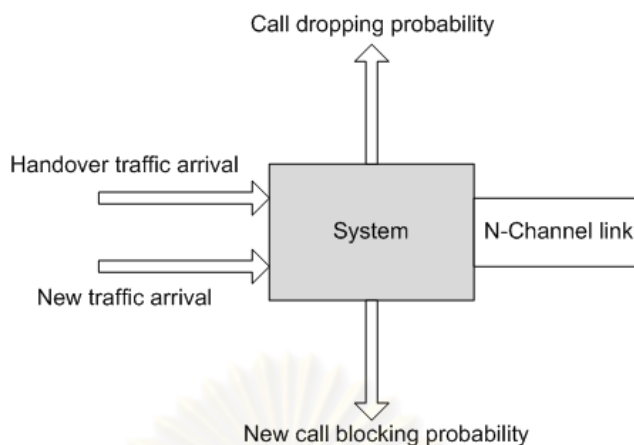
2.3 การกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ (Guard channel scheme)

เนื่องจากโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นสามารถให้บริการครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง จึงทำให้โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ประกอบด้วยเซลล์ย่อย ๆ หลายเซลล์ โดยแต่ละเซลล์มีความจุช่องสัญญาณที่จำกัดซึ่งทำหน้าที่รองรับการเรียกขอใช้บริการจากผู้ให้บริการที่อยู่ภายในเซลล์ และจากรูปที่ 2.3 การที่ผู้ใช้บริการมีระยะเวลาการใช้บริการ (holding time) นานกว่าระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์ (dwell time) ของตน จึงทำให้ผู้ใช้บริการเกิดการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์



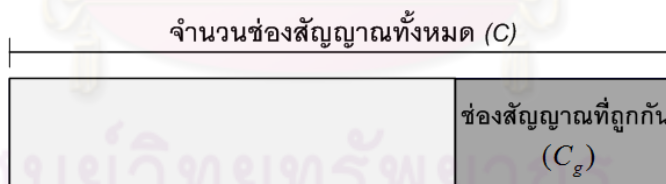
รูปที่ 2.3: การเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์

เมื่อพิจารณาในขณะที่ผู้ใช้บริการต้องการเข้าใช้บริการในเซลล์ที่ 2 ดังรูปที่ 2.4 จะพบว่าระบบมีผู้ต้องการใช้บริการ 2 ประเภท คือ ผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ (new call) และผู้ใช้บริการที่เกิดจากการทำแฮนด์โอเวอร์ (handover call) เมื่อระบบมีจำนวนช่องสัญญาณไม่เพียงพอสำหรับผู้ใช้บริการที่เกิดจากการทำแฮนด์โอเวอร์ก็จะทำให้เกิดการยกเลิกการให้บริการ (call dropped) ในขณะที่สำหรับผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ ก็จะทำให้เกิดการปฏิเสธการเรียกใช้บริการ (call blocked) แต่เนื่องจากการยกเลิกการให้บริการสำหรับผู้ใช้บริการที่มีการใช้บริการอยู่นั้นจะส่งผลทางด้านจิตใจมากกว่าการถูกปฏิเสธการเข้าใช้บริการตั้งแต่เริ่มต้นขอใช้บริการ จึงทำให้ผู้ใช้บริการที่เกิดจากการทำแฮนด์โอเวอร์นั้นถูกให้ความสำคัญมากกว่าผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ จึงมีการนำเอาการควบคุมการตอบรับการเรียกมาใช้ โดยทั่วไปวิธีที่ใช้เพื่อควบคุมการตอบรับการเรียกคือวิธีการกันช่องสัญญาณสำหรับแฮนด์โอเวอร์ (guard channel scheme) ซึ่งนำมาใช้ในการจัดสรรควบคุมความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธและความน่าจะเป็นในการยกเลิกการให้บริการ



รูปที่ 2.4: ระบบที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาการกันช่องสัญญาณสำหรับแชนด์โอเวอร์ (guard channel scheme) ซึ่งในแต่ละเซลล์จะมีการกันช่องสัญญาณ (guard channel) สำหรับผู้ใช้บริการที่เกิดจากการทำแชนด์โอเวอร์เท่านั้น ส่วนช่องสัญญาณที่เหลือนั้นจะใช้ร่วมกันระหว่างผู้ใช้บริการที่เกิดจากการทำแชนด์โอเวอร์และผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ ดังรูปที่ 2.5 โดยสมมติว่าในแต่ละเซลล์มีจำนวนช่องสัญญาณทั้งหมด C ช่องสัญญาณ และมีการกันช่องสัญญาณจำนวน C_g ช่องสัญญาณไว้สำหรับผู้ใช้บริการที่เกิดจากการทำแชนด์โอเวอร์เท่านั้น ส่วนช่องสัญญาณจำนวน $C - C_g$ ช่องสัญญาณที่เหลือนั้น สำหรับผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่และผู้ใช้บริการที่เกิดจากการทำแชนด์โอเวอร์ [3], [19]



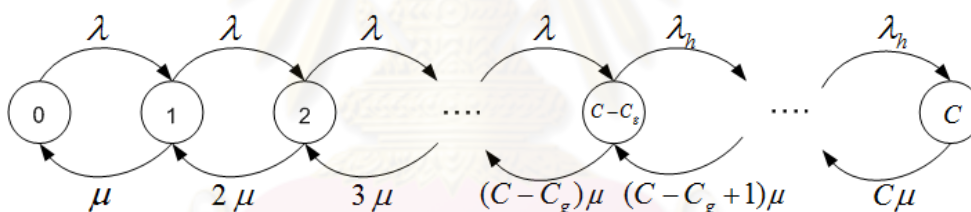
รูปที่ 2.5: การกันช่องสัญญาณสำหรับแชนด์โอเวอร์

เพื่อทำการวิเคราะห์ถึงความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธและความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกยกเลิกเนื่องจากการทำแชนด์โอเวอร์นั้น ได้นำเอา CTMC มาใช้ในการวิเคราะห์ โดยกำหนดให้ ทราฟฟิกที่เข้าใช้บริการในระบบมีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Distribution Process) และระยะเวลาการใช้บริการ (holding time) มีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (exponential distribution) โดยมีสัญกรณ์ (notations) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- λ_n อัตราการเข้ามาขอใช้ระบบของทราฟฟิกใหม่
- λ_h อัตราการเข้ามาขอใช้ระบบของแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิก

- $\frac{1}{\mu}$ ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ยของโทรศัพท์ใหม่และแฮนด์โอเวอร์
โทรศัพท์
- n จำนวนช่องสัญญาณที่กำลังถูกใช้
- C จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดของระบบ
- C_g จำนวนช่องสัญญาณที่กันไว้สำหรับแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์
- B_N ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธ
- B_H ความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการถูกยกเลิก
- $\pi(n)$ ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่สถานะที่มีจำนวนช่องสัญญาณถูกใช้ n
ช่องสัญญาณ

กำหนดให้ $\lambda = \lambda_n + \lambda_n$ ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากแผนภาพสถานะดังรูปที่ 2.6 โดยระบบจะอยู่ในสถานะ n เมื่อช่องสัญญาณ n กำลังถูกใช้งาน สำหรับ $n = 0, 1, 2, \dots, C$ และสามารถพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะใดๆ ด้วย local balance equation



รูปที่ 2.6:ระบบอ้างอิงแผนภาพสถานะของระบบที่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับแฮนด์โอเวอร์

เมื่อ $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ และ $\hat{\rho} = \frac{\lambda_n}{\mu}$ จะได้ค่าความน่าจะเป็นที่ระบบอยู่ที่สถานะ n (นั่นคือ มีผู้ใช้บริการ n คนอยู่ในระบบ) ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\pi(n) = \begin{cases} \frac{\rho^n}{n!} \left[\frac{1}{\sum_{j=0}^{C-C_g} \frac{\rho^j}{j!} + \rho^{(C-C_g)} \left(\sum_{k=1}^{C_g} \frac{\hat{\rho}^k}{(C-C_g+k)!} \right)} \right] & ; 0 \leq n \leq C-C_g \\ \frac{(\rho^{(C-C_g)}) (\hat{\rho}^{n-(C-C_g)})}{n!} \left[\frac{1}{\sum_{j=0}^{C-C_g} \frac{\rho^j}{j!} + \rho^{(C-C_g)} \left(\sum_{k=1}^{C_g} \frac{\hat{\rho}^k}{(C-C_g+k)!} \right)} \right] & ; C-C_g \leq n \leq C \end{cases} \quad (2.5)$$

ในการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ปกติภายในเซลล์นั้นจะไม่สามารถเข้าใช้บริการได้เมื่อจำนวนช่องสัญญาณถูกใช้บริการเกิน $C-C_g$ ช่องสัญญาณ ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธ (B_N)

$$B_N = \frac{\sum_{n=C-C_g}^C \frac{(\rho^{(C-C_g)}) (\hat{\rho}^{n-(C-C_g)})}{n!}}{\sum_{j=0}^{C-C_g} \frac{\rho^j}{j!} + \rho^{(C-C_g)} \left(\sum_{k=1}^{C_g} \frac{\hat{\rho}^k}{(C-C_g+k)!} \right)} \quad (2.6)$$

สำหรับแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์นั้นสามารถใช้บริการช่องสัญญาณภายในเซลล์ได้ทั้งหมด N ช่องสัญญาณ ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการถูกยกเลิกเนื่องจากการทำแฮนด์โอเวอร์ (B_H)

$$B_H = \frac{(\rho^{(C-C_g)}) (\hat{\rho}^{C_g})}{C!} \left[\sum_{j=0}^{C-C_g} \frac{\rho^j}{j!} + \rho^{(C-C_g)} \left(\sum_{k=1}^{C_g} \frac{\hat{\rho}^k}{(C-C_g+k)!} \right) \right] \quad (2.7)$$

2.4 การเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัต

ในการควบคุมความคับคั่งของระบบนั้นได้นำวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกมาใช้ในการควบคุมการตอบรับการเรียกนั้นสามารถใช้ในการควบคุมการเข้าใช้บริการของผู้ใช้บริการได้ แต่ก็ยังไม่สามารถสร้างสิ่งจูงใจให้แก่ผู้ใช้บริการในการตัดสินใจเข้าใช้บริการ จึงได้มีการนำ

ค่าบริการ (price) มาใช้เพื่อเป็นสิ่งจูงใจแก่ผู้ใช้บริการร่วมกับการควบคุมการตอบรับการเรียก โดย การเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัต (dynamic pricing) [5], [6], [8] นั้นเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับการ คิดค่าบริการ ซึ่งการคิดบริการที่เหมาะสมต่อสถานะของระบบนั้นๆสามารถนำมาใช้เพื่อลด ความคับคั่งและจัดการทรัพยากรของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการคิดค่าบริการจะ ขึ้นกับปริมาณทราฟฟิกในระบบขณะนั้น เมื่อในระบบมีปริมาณทราฟฟิกหนาแน่น ค่าบริการก็จะ เพิ่มสูงขึ้น ในทางกลับกันเมื่อในระบบมีปริมาณทราฟฟิกต่ำ ค่าบริการก็จะต่ำลงเช่นกัน จึงทำให้ ในขณะที่ระบบเริ่มเข้าสู่ภาวะคับคั่ง ทราฟฟิกในระบบมีปริมาณมากค่าบริการสำหรับบริการ ณ ขณะนั้นจึงสูงขึ้นด้วย ส่งผลให้ผู้ใช้บริการบางส่วนที่ไม่ยอมรับค่าบริการจึงตัดสินใจไม่เข้าใช้บริการ ดังนั้นปริมาณการเข้าใช้บริการของผู้ใช้บริการอาจจะมีผลมาจากค่าบริการ

ในการคิดค่าบริการนั้นได้นำ ฟังก์ชันค่าขอ (demand function) มาใช้ เนื่องจาก ฟังก์ชัน ค่าขอ นั้นสามารถนำมาใช้เพื่อแสดงถึง การยอมรับค่าบริการ (willingness-to-pay) ของ ผู้ใช้บริการ โดยฟังก์ชันค่าขอจะแสดงถึงการตอบสนองของผู้ใช้บริการต่อค่าบริการที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งหมายความว่า เมื่อค่าบริการมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ปริมาณการเข้าใช้บริการ เปลี่ยนแปลงด้วย ดังนั้น ฟังก์ชันค่าขอจึงสามารถนำมาใช้เพื่อแทนปริมาณการเข้าใช้บริการของ ผู้ใช้บริการในระบบ โดยได้มีงานวิจัยได้กล่าวถึงฟังก์ชันค่าขอไว้หลายแบบ [7], [4] โดยใน วิทยานิพนธ์นี้ได้ยกตัวอย่างฟังก์ชันค่าขอตาม [4] ดังสมการที่ (2.8) เนื่องจากฟังก์ชันค่าขอนี้ สามารถใช้กับระบบที่มีบริการหลากหลายและผู้ใช้บริการมีลำดับความสำคัญแตกต่างกัน อีกทั้ง ยังมีการกำหนดค่าบริการเริ่มต้น โดยเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคับคั่ง ค่าบริการจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบ กับค่าบริการเริ่มต้น จึงทำให้ปริมาณการเข้าใช้บริการในระบบลดลง ซึ่งปริมาณการเข้าใช้บริการ ในระบบจะลดลงมากน้อยเพียงใด สาเหตุส่วนหนึ่งจึงขึ้นอยู่กับค่าบริการที่เพิ่มขึ้น

$$q = e^{-\left(\frac{p_h - 1}{p_0}\right)^2} ; p_h \geq p_0 \quad (2.8)$$

โดยมีสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

- p_0 ค่าบริการเริ่มต้น (ต่อหนึ่งหน่วยเวลา)
- p_h ค่าบริการเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคับคั่ง (ต่อหนึ่งหน่วยเวลา)
- q ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจะยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนไปเป็น p_h

จากฟังก์ชันค่าขอในสมการที่ (2.8) สามารถนำมาจัดรูปใหม่เพื่อใช้ในการหาค่าบริการที่ เปลี่ยนแปลงไปเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคับคั่ง ดังสมการที่ (2.9) เมื่อทราฟฟิกในระบบมีปริมาณมาก แสดงว่าปริมาณที่ระบบสามารถรองรับการเข้าบริการเพิ่มขึ้นได้อีกนั้นจะมีค่าน้อย ส่งผลให้ระบบ

ต้องเพิ่มค่าบริการเพื่อลดจำนวนผู้เข้ามาใช้บริการเพื่อลดสภาวะความคับคั่งในระบบ ดังนั้นระบบจึงต้องรู้ว่าสามารถรองรับปริมาณผู้ใช้บริการได้อีกเท่าไร เพื่อนำมาคำนวณหาค่าบริการที่จะส่งผลให้ผู้เข้าใช้บริการใหม่มีจำนวนลดลงตามที่ระบบต้องการ

$$p_h = p_0 + \frac{p_0 \sqrt{-4 \ln(q)}}{2} \quad (2.9)$$

2.5 รายได้

การเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตนั้นนอกจากจะมีผลต่อการลดความคับคั่งในระบบแล้ว ยังมีผลต่อรายได้ (revenue, R) ของระบบอีกด้วย ซึ่งค่าบริการนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.9) และเนื่องจากระบบมีการนำการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตมาประยุกต์ใช้จึงทำให้ค่าบริการขึ้นกับสถานะของระบบ ในกรณีนี้ค่าคาดหวังของรายได้ (expected revenue, $E[R]$) ของระบบ สามารถหาได้จาก

$$E[R] = \sum_{n \neq N} \frac{\lambda(n) p(n) \pi(n)}{\mu} \quad (2.10)$$

โดยมีสัญกรณ์ดังต่อไปนี้

- $\lambda(n)$ อัตราเฉลี่ยการเข้ามาขอให้บริการเมื่อระบบอยู่ในสถานะ n
- $\frac{1}{\mu}$ ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ย
- $p(n)$ ค่าบริการเมื่อระบบอยู่ในสถานะ n (ต่อหนึ่งหน่วยเวลา)
- $\pi(n)$ ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่สถานะที่มีจำนวนช่องสัญญาณถูกใช้ n ช่องสัญญาณ

2.6 ระยะเวลาครอบครองช่องสัญญาณ

ระยะเวลาครอบครองช่องสัญญาณ (channel holding time) [22] คือ ระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการครอบครองช่องสัญญาณหลังจากผู้ใช้บริการสามารถเข้าใช้บริการช่องสัญญาณได้ โดยทั่วไปแล้วเมื่อผู้ใช้บริการไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ ระยะเวลาครอบครองช่องสัญญาณจะมีค่าเท่ากับระยะเวลาการให้บริการ (call holding time) แต่เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ พบว่าระยะเวลาครอบครองช่องสัญญาณนั้นจะขึ้นกับระยะเวลาการให้บริการ และระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์ (cell dwell time) โดยระยะเวลาการให้บริการคือระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการเริ่มต้นใช้บริการจนถึงสิ้นสุดการใช้บริการ โดยที่อาจมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์หรือไม่ข้ามผ่านก็ได้

ส่วนระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์ คือระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์จนกระทั่งเคลื่อนที่ออกจากเซลล์นั้น เมื่อผู้ใช้บริการต้องการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ ต้องมีการทำแฮนด์โอเวอร์เพื่อเข้าใช้ช่องสัญญาณจากเซลล์ที่อยู่ติดกันที่ซึ่งผู้ใช้บริการต้องการเคลื่อนที่ข้ามผ่านไป

จากรูปที่ 2.7 พิจารณาในกรณีที่ใช้บริการในระบบไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ กล่าวคือมีการเริ่มต้นและสิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์เดียว ดังนั้นระยะเวลาครอบครองสัญญาณจึงเท่ากับระยะเวลาการใช้บริการ แต่เมื่อผู้ใช้บริการมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ ดังรูปที่ 2.8 จะพบว่าเมื่อพิจารณาในมุมมองของเซลล์ที่ 1 ผู้ใช้บริการทำการเรียกใช้บริการ ณ เวลาใดๆ และไม่สามารถสิ้นสุดการใช้บริการได้ภายในเซลล์ที่ 1 ส่งผลให้ระยะเวลาครอบครองช่องสัญญาณของเซลล์ที่ 1 นั้นมีค่าเท่ากับระยะเวลาดังกล่าวที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์ ซึ่งก็คือระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการเรียกใช้บริการภายในเซลล์ที่ 1 จนกระทั่งผู้ใช้บริการรายนั้นเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ที่ 1 ไป และถ้าผู้ใช้บริการรายดังกล่าวสามารถเข้ามาใช้บริการจากเซลล์ที่ 2 ได้ เมื่อพิจารณาจากมุมมองของเซลล์ที่ 2 จะพบว่า ระยะเวลาครอบครองช่องสัญญาณของเซลล์ที่ 2 นั้นจะเท่ากับระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ภายในเซลล์ที่ 2 และเมื่อผู้ใช้บริการออกจากเซลล์ที่ 2 เคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ไปยังเซลล์ที่ 3 ถ้าผู้ใช้บริการรายนั้นสามารถเข้าใช้บริการภายในเซลล์ที่ 3 ได้ เมื่อพิจารณาในมุมมองของเซลล์ที่ 3 จะพบว่า ระยะเวลาครอบครองสัญญาณจะเท่ากับระยะเวลาการใช้บริการคงเหลือ กล่าวคือ ระยะเวลาตั้งแต่ผู้ใช้บริการเข้าใช้บริการในเซลล์ที่ 3 จนกระทั่งสิ้นสุดการใช้บริการ และจากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำมาพิจารณาระยะเวลาครอบครองสัญญาณทั้งหมดของทราฟฟิกใหม่และแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก ได้ดังสมการที่ (2.11) และ (2.12) ตามลำดับ [23]

$$S_n = \min(X, Y_r) \quad (2.11)$$

$$S_n = \min(X_r, Y) \quad (2.12)$$

เมื่อ

S_n ระยะเวลาครอบครองสัญญาณของทราฟฟิกใหม่

S_n ระยะเวลาครอบครองสัญญาณของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก

X ระยะเวลาการใช้บริการ

X_r ระยะเวลาการใช้บริการคงเหลือ

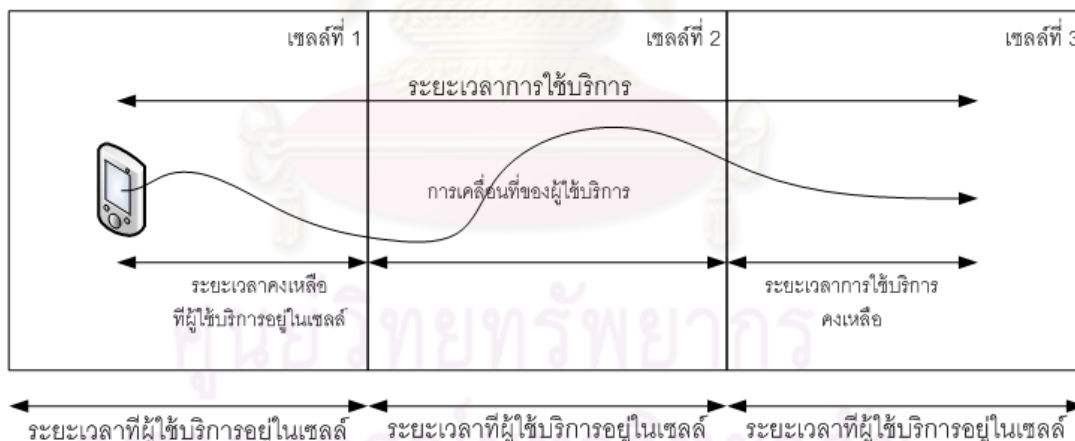
Y ระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์

Y_r ระยะเวลาคงเหลือที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์

ในการพิจารณาระยะเวลาการใช้บริการและระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์นั้น หากกำหนดให้มีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลังที่เป็นอิสระต่อกัน จะส่งผลให้ระยะเวลาครอบครองสัญญาณมีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง



รูปที่ 2.7: แผนภาพจำลองการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อผู้ใช้บริการเริ่มต้นใช้บริการและสิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์เดียว



รูปที่ 2.8: แผนภาพจำลองการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อผู้ใช้บริการเริ่มต้นใช้บริการและไม่สามารถสิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์เดียว

บทที่ 3

วิธีการที่เสนอ

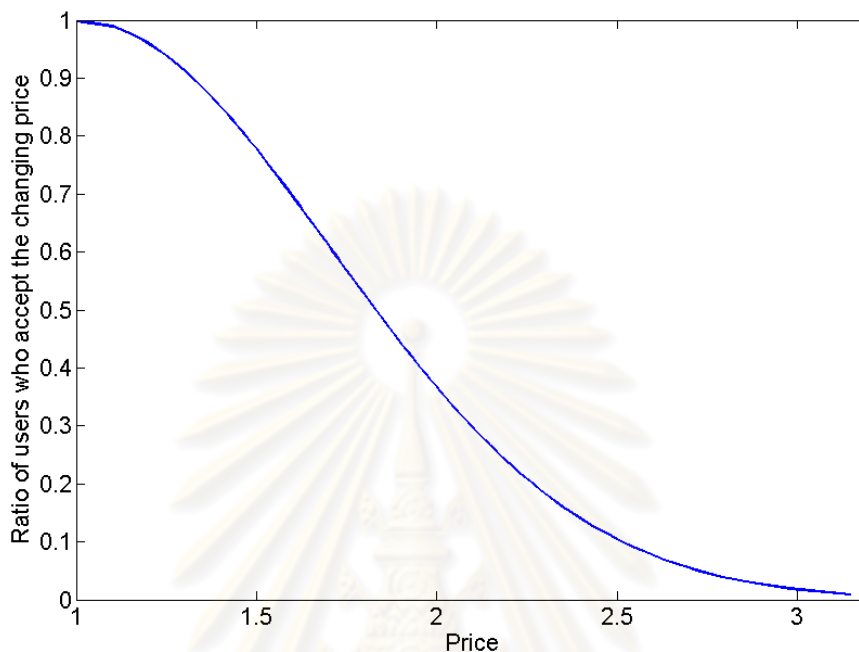
จากการศึกษาพบว่า ในช่วงเวลาคับคั่งนั้น ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธจะมีค่าสูง ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงแนวทางของวิทยานิพนธ์ที่เสนอ ซึ่งจะมุ่งเน้นในการลดความคับคั่งของ ทราฟฟิก โดยการนำการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตมาใช้เป็นสิ่งจูงใจสำหรับการเข้าใช้ บริการของผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วผู้ให้บริการที่เคลื่อนที่ข้าม ผ่านเซลล์นั้น จะถูกคิดค่าบริการขึ้นกับปริมาณทราฟฟิก ณ เซลล์ที่เริ่มต้นใช้บริการ แต่ผู้ให้บริการ ที่มีการแฮนด์โอเวอร์ไปยังเซลล์อื่นนั้น จะทำให้ปริมาณทราฟฟิกในเซลล์ที่เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปนั้นมี ปริมาณทราฟฟิกเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าบริการสำหรับผู้ให้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ในเซลล์ นั้นๆสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้ไม่ยุติธรรมกับผู้ให้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ จากปัญหาดังกล่าว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นอกจากมีการนำการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและการควบคุมการ ตอรับเรียกมาใช้เพื่อลดความคับคั่งของโครงข่ายแล้ว ยังคำนึงถึงการคิดค่าบริการสำหรับผู้ให้บริการที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ด้วย

3.1 การเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัต

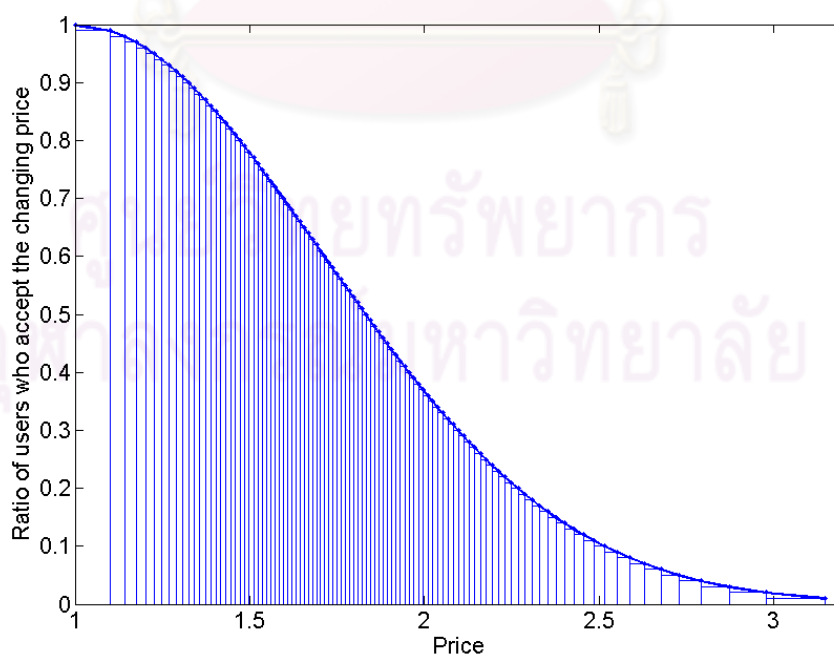
โดยทั่วไปแล้ว ในการเข้าใช้บริการในระบบนั้นผู้ให้บริการแต่ละบุคคลจะมีความเป็นอิสระ ต่อกันซึ่งสามารถก่อให้เกิดสภาวะคับคั่งในระบบได้ ในการหลีกเลี่ยงปัญหานี้จึงได้มีการนำเอา ค่าบริการมาใช้ [17], [18] เพราะนอกจากค่าบริการสามารถช่วยในการจัดการทรัพยากรได้แล้ว ยัง สามารถนำมาพิจารณาถึงทางด้านเศรษฐศาสตร์ได้อีกด้วย โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการ เปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตมาใช้เพื่อควบคุมปริมาณการเข้าใช้บริการเมื่อระบบอยู่ใน สภาวะต่างๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตนั้นเป็นการสร้างสิ่งจูงใจในการเข้าใช้ หรือปฏิเสธการใช้บริการให้แก่ผู้ให้บริการ โดยกำหนดให้ค่าบริการมีการเปลี่ยนแปลงตาม ปริมาณทราฟฟิกในระบบ เมื่อระบบมีปริมาณทราฟฟิกหนาแน่น ค่าบริการจะเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ ปริมาณการเข้าใช้บริการของผู้ใช้บริการลดลง

จากฟังก์ชันค่าขอในสมการที่ (2.8) เมื่อนำมาแสดงเป็นแผนภาพ จะได้ตัวอย่างแผนภาพ แสดงปริมาณการเข้าใช้บริการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ ดังรูปที่ 3.1 เมื่อกำหนดให้ ค่าบริการเริ่มต้นเท่ากับ 1 โดยจะพบว่าเมื่อค่าบริการสูงขึ้น อัตราการเข้าใช้บริการโครงข่ายจะ ลดลงอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปวิเคราะห์ กำหนดให้อัตราการเข้าใช้บริการโครงข่าย

เป็นฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง (continuous function) เนื่องจากฟังก์ชันแบบต่อเนื่องนั้นสามารถประมาณด้วยฟังก์ชันแบบแยก (discrete function) ในช่วงการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก ดังรูปที่ 3.2 ดังนั้นในงานวิทยานิพนธ์นี้จึงนำฟังก์ชันแบบแยกมาใช้ในการพิจารณา



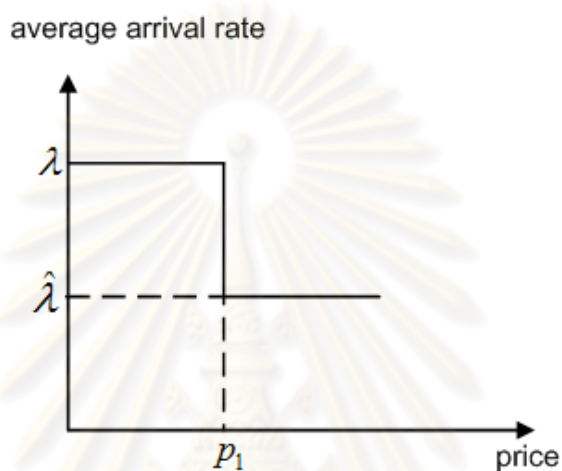
รูปที่ 3.1: การประมาณการคิดค่าบริการด้วยฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 3.2: การประมาณการคิดค่าบริการด้วยฟังก์ชันแบบแยก

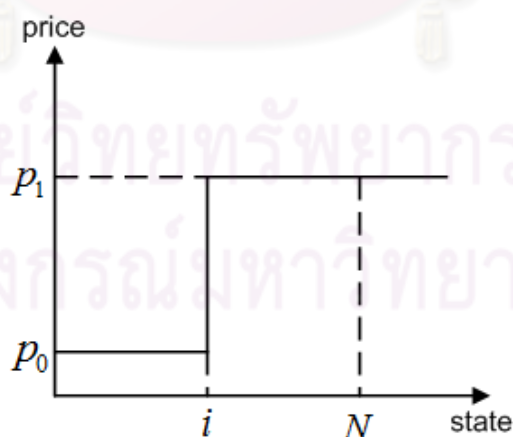
3.2 กรณีที่ไม่มีแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก

ในกรณีนี้จะศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นเมื่อระบบมีเฉพาะทราฟฟิกใหม่และมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเพียงค่าเดียวดังรูปที่ 3.3 จากรูปจะพบว่าค่าบริการมีผลต่ออัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการในโครงข่าย โดยผู้ให้บริการจะเข้าใช้บริการด้วยอัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการเท่ากับ λ จนกระทั่งค่าบริการขึ้นสูงถึง p_1 อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการจะลดลงเหลือ $\hat{\lambda}$



รูปที่ 3.3: แผนภาพแสดงปริมาณการเข้าใช้บริการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ

โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงค่าบริการขึ้นกับสถานะของระบบ สำหรับกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเพียงครั้งเดียว ค่าบริการจะเปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4: แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อสถานะของระบบมีการเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 3.4 จะพบว่าค่าบริการเริ่มต้นที่ p_0 เมื่อในระบบมีปริมาณการเข้าบริการน้อย จนกระทั่งเมื่อระบบมีทราฟฟิกใหม่เข้ามาใช้บริการมากขึ้นจนสถานะเปลี่ยนเป็นสถานะ i ดังรูปที่ 3.5 ค่าบริการจึงจะเพิ่มขึ้นเป็น p_1

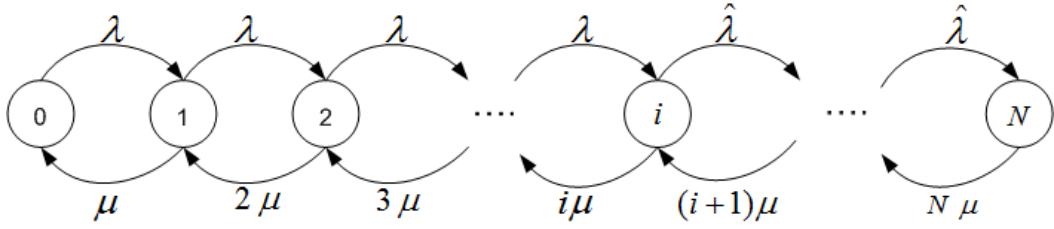
ในกรณีนี้ที่กล่าวถึงนี้ไม่ได้พิจารณาถึงทราฟฟิกที่เกิดจากการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อพิจารณา ปัญหาแบบ CTMC เช่นเดียวกับสูตรของเออร์แลง โดยจะกำหนดให้ ทราฟฟิกที่เข้าใช้งานในระบบ มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Distribution Process) และระยะเวลาการให้บริการ (holding time) มีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (Exponential distribution) และกำหนดให้โครงข่าย เป็นระบบที่มีความจุจำกัดและไม่มีบัฟเฟอร์ โดยมีสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$	ปริมาณทราฟฟิกใหม่ที่ต้องการให้บริการ (เออร์แลง)
$\hat{\rho} = \frac{\hat{\lambda}}{\mu}$	ปริมาณทราฟฟิกใหม่ที่ต้องการให้บริการ (เออร์แลง) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่ง
λ	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของทราฟฟิกใหม่
$\hat{\lambda}$	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ เมื่อระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคับคั่ง
$\frac{1}{\mu}$	ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ยของทราฟฟิกใหม่
n	จำนวนช่องสัญญาณที่กำลังถูกให้บริการ
N	จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดในระบบ
B_N	ความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธ
$\pi(n)$	ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่สถานะ n ที่สภาวะอยู่ตัว (steady state)
q	ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจะยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนไปเป็น
p_i	
i	สถานะที่ระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ

โดยจะกำหนดให้ระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการที่สถานะ i ที่ซึ่งทำให้อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการลดลงเป็น $\hat{\lambda}$ [5], [8], [19] เนื่องจากเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่งส่งผลให้ระบบสามารถรองรับปริมาณการเข้าใช้บริการได้ลดลง ดังนั้นเมื่อทำให้ค่าบริการสูงขึ้น ก็จะส่งผลให้ปริมาณการเข้าใช้บริการในระบบลดลง ดังนั้นอัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่งจึงหาได้จาก

$$\hat{\lambda} = q\lambda \quad (3.1)$$

ดังนั้นแผนภาพการเปลี่ยนแปลงสถานะของ CTMC แสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5: ระบบอ้างอิงแผนภาพสถานะของระบบเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคับคั่งที่สถานะ i

จาก local balance equation จะได้ว่าความน่าจะเป็นที่ระบบอยู่สถานะ n ดังนี้ (แสดงการพิสูจน์ในภาคผนวก ก.)

$$\pi(n) = \begin{cases} \frac{\rho^n}{n!} \left[\frac{1}{\sum_{j=0}^i \frac{\rho^j}{j!} + \rho^i \left(\sum_{k=1}^{N-i} \frac{\hat{\rho}^k}{(i+k)!} \right)} \right] & ; 0 \leq n \leq i \\ \frac{(\rho^i)(\hat{\rho}^{n-i})}{n!} \left[\frac{1}{\sum_{j=0}^i \frac{\rho^j}{j!} + \rho^i \left(\sum_{k=1}^{N-i} \frac{\hat{\rho}^k}{(i+k)!} \right)} \right] & ; i < n \leq N \end{cases} \quad (3.2)$$

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธ (new call blocking probability, B_N) คือ

$$B_N = \pi(N) = \frac{(\rho^i)(\hat{\rho}^{N-i})}{N!} \left[\frac{1}{\sum_{j=0}^i \frac{\rho^j}{j!} + \rho^i \left(\sum_{k=1}^{N-i} \frac{\hat{\rho}^k}{(i+k)!} \right)} \right] \quad (3.3)$$

จากแผนภาพสถานะรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่า ความคับคั่งเชิงเวลาของโทรศัพท์ในระบบ (B_T) เท่ากับ $\pi(N)$ และความคับคั่งเชิงการเรียก (B_C) สามารถหาได้จากอัตราส่วนของการเรียกที่ไม่สามารถเข้าใช้บริการได้ เนื่องจากระบบอยู่ในสถานะอิมิตัว ต่อจำนวนการเรียกใช้บริการทั้งหมด จากสมการที่ (2.3) จะได้

$$\begin{aligned}
B_C &= \frac{\pi(N)\hat{\lambda}}{\sum_{n=0}^{i-1} \pi(n)\lambda + \sum_{n=i}^N \pi(n)\hat{\lambda}} \\
&= \frac{\frac{(\rho^i)(\hat{\rho}^{N-i})}{N!} \left[\frac{1}{\sum_{j=0}^i \frac{\rho^j}{j!} + \rho^i \left(\sum_{k=1}^{N-i} \frac{\hat{\rho}^k}{(i+k)!} \right)} \right] \hat{\lambda}}{\left(1 + \rho + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^{i-1}}{(i-1)!} \right) \lambda + \left(\frac{\rho^i}{i!} + \frac{(\rho^i)(\hat{\rho})}{(i+1)!} + \dots + \frac{(\rho^i)(\hat{\rho}^{N-i})}{N!} \right) \hat{\lambda}} \\
&= \frac{\frac{(\rho^i)(\hat{\rho}^{N-i})}{N!} \hat{\lambda}}{\lambda \left(\sum_{j=0}^{i-1} \frac{\rho^j}{j!} \right) + \hat{\lambda} \rho^i \left(\sum_{k=0}^{N-i} \frac{(\hat{\rho}^k)}{(i+k)!} \right)} \tag{3.4}
\end{aligned}$$

เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะค้ำคั่ง ส่งผลให้ระบบเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เพื่อลดความค้ำคั่งในระบบ จึงทำให้มีผู้ใช้บริการส่วนหนึ่งที่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลง(เพิ่มขึ้น) ออกจากระบบไป ดังนั้น ค่าความน่าจะเป็นที่โทรศัพท์ใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป (probability of new call that gives up because of changing price, B_G) สามารถหาได้จาก อัตราส่วนของผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ที่ไม่ยอมรับค่าบริการต่อผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ทั้งหมด

$$\begin{aligned}
B_G &= \frac{\sum_{n=i}^N (1-q)\lambda\pi(n)}{\sum_{n=0}^N \lambda\pi(n)} \\
&= \frac{(1-q)\lambda\pi(i) + (1-q)\lambda\pi(i+1) + \dots + (1-q)\lambda\pi(N)}{\sum_{n=0}^N \lambda\pi(n)} \\
&= \frac{(1-q)\pi(i) + (1-q)\pi(i+1) + \dots + (1-q)\pi(N)}{\sum_{n=0}^N \pi(n)} \\
&= \frac{(1-q)\pi(i) + (1-q)\pi(i+1) + \dots + (1-q)\pi(N)}{1}
\end{aligned}$$

$$B_G = \sum_{n=i}^N (1-q)\pi(n) \quad (3.5)$$

ในกรณีนี้ค่าคาดหวังของรายได้ของโทรฟฟิโกใหม่ในระบบ (expected revenue of new calls, $E[R_N]$) สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} E[R_N] &= \sum_{n \neq N} \frac{\lambda(n)p(n)\pi(n)}{\mu} \\ &= \sum_{n=0}^{i-1} \frac{\lambda p(n)\pi(n)}{\mu} + \sum_{n=i}^{N-1} \frac{\hat{\lambda} p(n)\pi(n)}{\mu} \end{aligned} \quad (3.6)$$

3.3 กรณีที่มีการทำแฮนด์โอเวอร์

3.3.1 กรณีที่ไม่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์

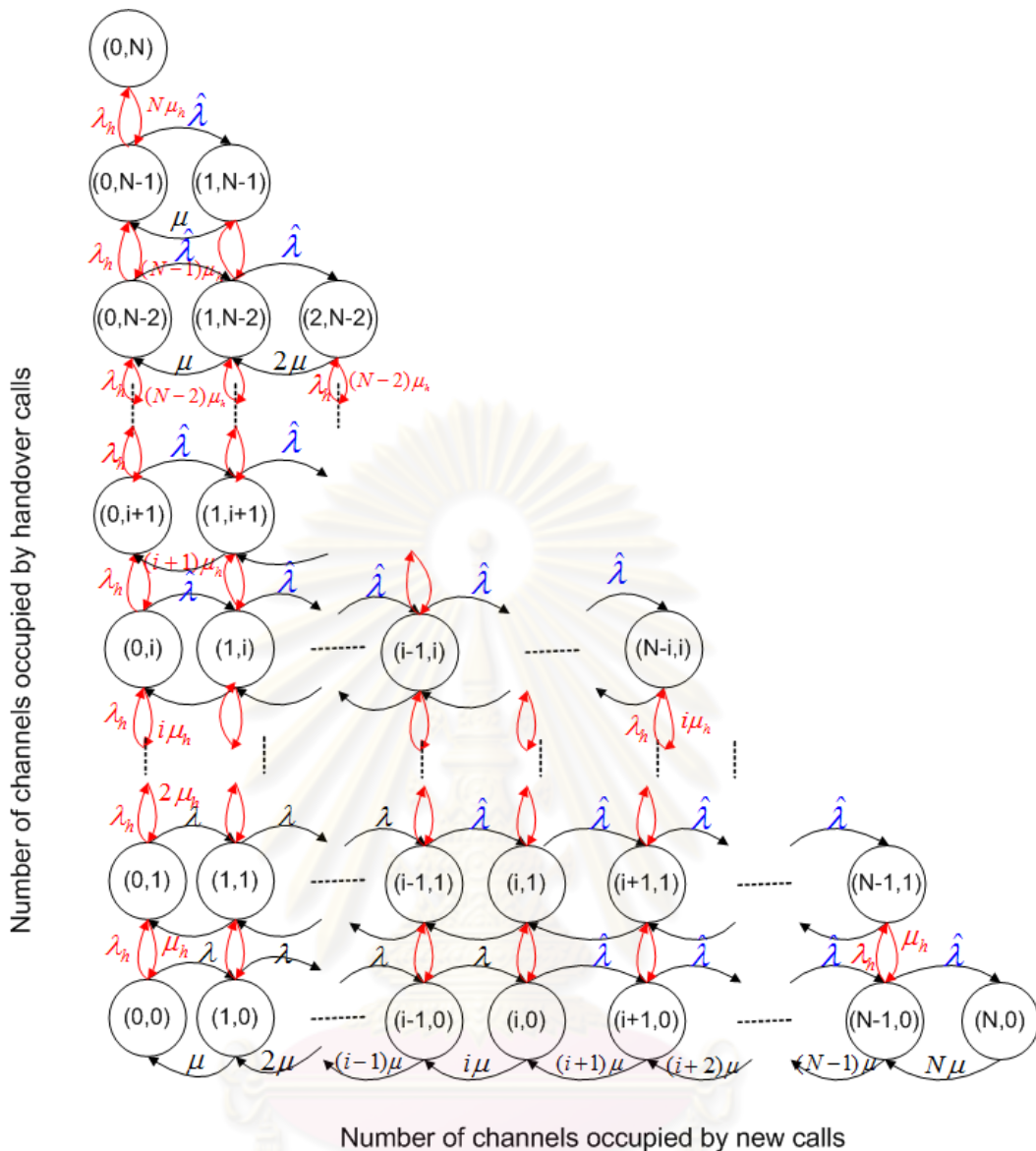
ในกรณีนี้จะพิจารณาถึงโทรฟฟิโกที่เกิดจากการทำแฮนด์โอเวอร์ แต่ไม่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อพิจารณาปัญหาแบบ CTMC เช่นเดียวกับสูตรของเออร์แลง โดยจะกำหนดให้ โทรฟฟิโกที่เข้าใช้บริการใหม่และโทรฟฟิโกที่เกิดจากแฮนด์โอเวอร์มีการแจกแจงแบบปัวส์ซงของ (Poisson Distribution Process) ระยะเวลาการให้บริการของโทรฟฟิโกใหม่และแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิโกมีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (Exponential distribution) และกำหนดให้โครงข่ายเป็นระบบที่มีความจุจำกัดและไม่มีบัฟเฟอร์ โดยมีสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

$\rho_n = \frac{\lambda}{\mu}$	ปริมาณโทรฟฟิโกใหม่ที่ต้องการใช้บริการ (เออร์แลง)
$\hat{\rho}_n = \frac{\hat{\lambda}}{\mu}$	ปริมาณโทรฟฟิโกใหม่ที่ต้องการใช้บริการ (เออร์แลง) เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคับคั่ง
$\rho_h = \frac{\lambda_h}{\mu_h}$	ปริมาณแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิโกที่ต้องการใช้บริการ (เออร์แลง)
λ	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของโทรฟฟิโกใหม่
$\hat{\lambda}$	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของโทรฟฟิโกใหม่ เมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคับคั่ง
λ_h	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิโก
$\frac{1}{\mu}$	ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ยของโทรฟฟิโกใหม่

$\frac{1}{\mu_h}$	ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ยของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก
N	จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดในระบบ
$\pi(n, m)$	ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ในสถานะอยู่ตัว ที่มีทราฟฟิกใหม่ใช้ช่องสัญญาณจำนวน n ช่องสัญญาณและแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกใช้ช่องสัญญาณจำนวน m ช่องสัญญาณ
q	ความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่จะยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนไปเป็น p_1

ในกรณีนี้กำหนดให้ระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีจำนวนช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการ i ช่องสัญญาณ ส่งผลให้อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ลดลงเป็น $\lambda = q\lambda$ ซึ่งสามารถพิจารณาแผนภาพสถานะ (state diagram) ได้ดังรูปที่ 3.6 โดยมีนิยามว่าระบบอยู่ในสถานะ (n, m) เมื่อในระบบมี n ช่องสัญญาณ กำลังถูกใช้บริการสำหรับทราฟฟิกใหม่ และ m ช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการสำหรับแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก สำหรับค่า $n = 0, 1, \dots, N$ และ $m = 0, 1, \dots, N$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6: ระบบอ้างอิงแผนภาพสถานะของระบบที่มีกราฟฟิกปกติและแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกโดยระบบจะเข้าสู่ภาวะคับคั่งเมื่อจำนวนช่องสัญญาณถูกใช้งาน i ช่องสัญญาณ

เราสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ในสถานะ (n, m) ได้โดยใช้ global balance equation ดังนั้นจะได้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของกราฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธ (new call blocking probability, B_N) และค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกถูกยกเลิก (handover call dropping probability, B_H) คือ

$$B_N = B_H = \sum_{n=0}^N \pi(n, N - n) \tag{3.7}$$

จากแผนภาพสถานะรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่า ความคับคั่งเชิงเวลาของกราฟฟิกในระบบ (B_T) เท่ากับ $\sum_{n=0}^N \pi(n, N - n)$ และความคับคั่งเชิงการเรียก (B_C) นั้นสามารถหาได้จาก

อัตราส่วนของการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ที่ไม่สามารถเข้าใช้บริการได้ เนื่องจากระบบอยู่ในสถานะอิ่มตัว ต่อจำนวนการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ทั้งหมด จากสมการที่ (2.3) จะได้ว่า

$$B_C = \frac{B_N \hat{\lambda}}{\sum_{m=0}^{i-1} \sum_{n=0}^{i-1-m} \pi(n, m) \lambda + \left[\sum_{m=0}^i \sum_{n=i-m}^{N-m} \pi(n, m) + \sum_{m=i+1}^N \sum_{n=0}^{N-m} \pi(n, m) \right] \hat{\lambda}} \quad (3.8)$$

เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่ง ส่งผลให้ระบบเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เพื่อลดความคับคั่งในระบบ จึงทำให้มีผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ส่วนหนึ่งไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงออกจากระบบไป ดังนั้น ค่าความน่าจะเป็นที่โทรศัพท์ใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป (probability of new call that gives up because of changing price, B_C) สามารถหาได้จากอัตราส่วนของการเรียกใช้บริการต่อโทรศัพท์ใหม่ที่ต้องการใช้บริการทั้งหมด

$$B_C = \sum_{m=0}^i \sum_{n=i-m}^{N-m} (1-q) \pi(n, m) + \sum_{m=i+1}^N \sum_{n=0}^{N-m} (1-q) \pi(n, m) \quad (3.9)$$

และค่าคาดหวังของรายได้ของโทรศัพท์ใหม่ (expected revenue of new calls, $E[R_N]$) สามารถหาได้จาก

$$E[R_N] = \sum_{m=0}^{i-1} \sum_{n=0}^{i-1-m} \left(\frac{\lambda p(n, m) \pi(n, m)}{\mu} \right) + \sum_{m=0}^i \sum_{n=i-m}^{N-1-m} \left(\frac{\hat{\lambda} p(n, m) \pi(n, m)}{\mu} \right) + \sum_{m=i+1}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1-m} \left(\frac{\hat{\lambda} p(n, m) \pi(n, m)}{\mu} \right) \quad (3.10)$$

ในการคำนวณค่าบริการสำหรับแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์นั้น ค่าบริการจะขึ้นกับปริมาณโทรศัพท์ในระบบขณะนั้นๆ และจะไม่เกิดการไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการยกเลิกการให้บริการในขณะที่กำลังใช้บริการอยู่นั้นจะส่งผลทางด้านจิตใจมากกว่าการปฏิเสธการให้บริการตั้งแต่เริ่มต้นการให้บริการ ในวิทยานิพนธ์นี้จึงกำหนดให้แฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงเสมอ ดังนั้นค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ (expected revenue of handover calls, $E[R_H]$) สามารถหาได้จาก

$$E[R_H] = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1-m} \left(\frac{\lambda_h p(n, m) \pi(n, m)}{\mu_h} \right) \quad (3.11)$$

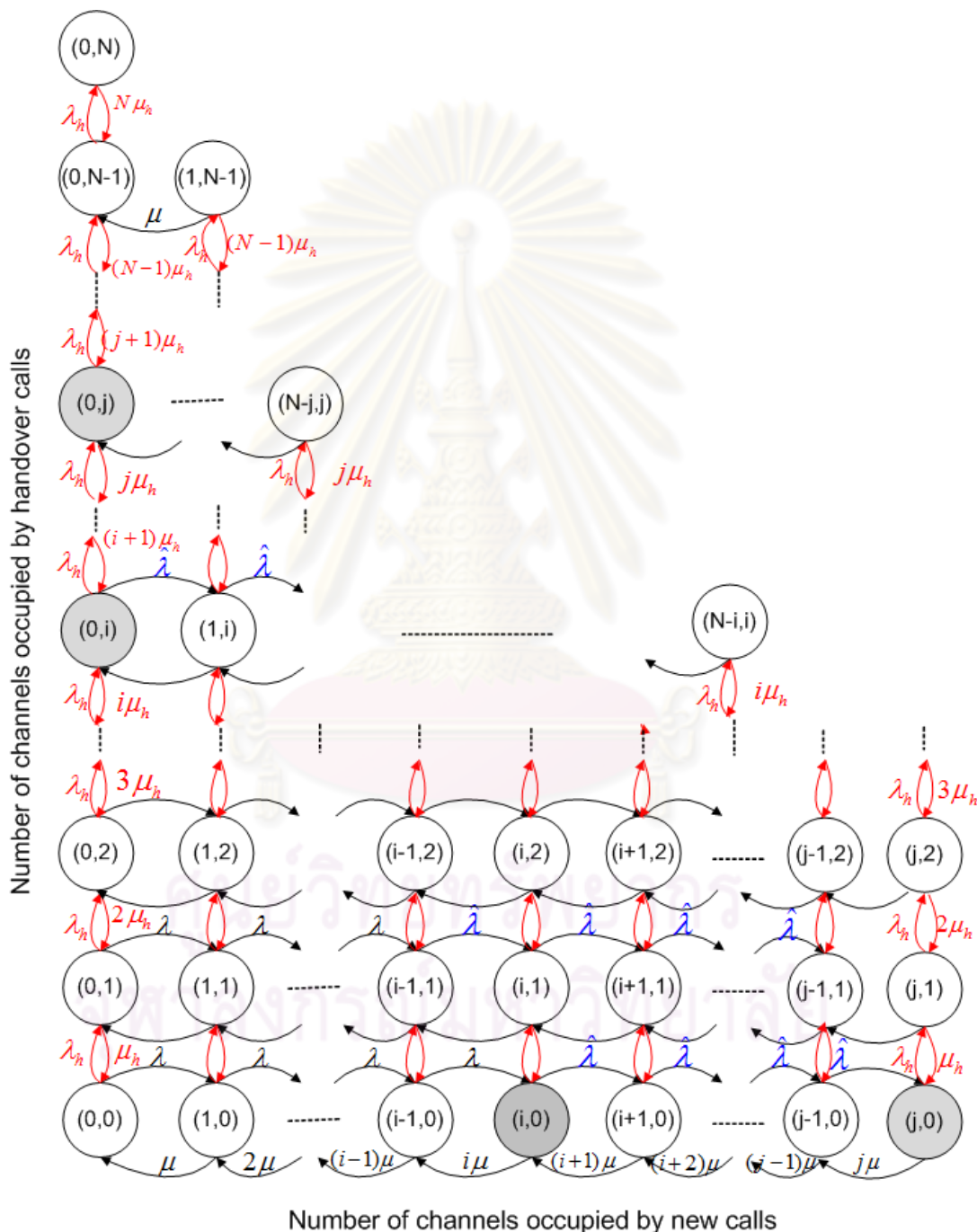
3.3.2 กรณีที่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์

ในกรณีนี้จะพิจารณาถึงทราฟฟิกที่เกิดจากการทำแฮนด์โอเวอร์ และมีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อพิจารณาปัญหาแบบ CTMC เช่นเดียวกับสูตรของเออร์แลง โดยจะกำหนดให้ ทราฟฟิกที่เข้าใช้บริการใหม่และทราฟฟิกที่เกิดจากแฮนด์โอเวอร์มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson Distribution Process) ระยะเวลาการให้บริการของทราฟฟิกใหม่และแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกมีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (Exponential distribution) และกำหนดให้โครงข่ายเป็นระบบที่มีความจุจำกัดและไม่มีบัฟเฟอร์ โดยมีสัญกรณ์ดังต่อไปนี้

$\rho_n = \frac{\lambda}{\mu}$	ปริมาณทราฟฟิกใหม่ที่ต้องการใช้บริการ (เออร์แลง)
$\hat{\rho}_n = \frac{\hat{\lambda}}{\mu}$	ปริมาณทราฟฟิกใหม่ที่ต้องการใช้บริการ (เออร์แลง) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่ง
$\rho_h = \frac{\lambda_h}{\mu_h}$	ปริมาณแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกที่ต้องการใช้บริการ (เออร์แลง)
λ	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของทราฟฟิกใหม่
$\hat{\lambda}$	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่ง
λ_h	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก
$\frac{1}{\mu}$	ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ยของทราฟฟิกใหม่
$\frac{1}{\mu_h}$	ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ยของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก
N	จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดในระบบ
$\pi(n, m)$	ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ในสถานะอยู่ตัว ที่มีทราฟฟิกใหม่ใช้ช่องสัญญาณจำนวน n ช่องสัญญาณและแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกใช้ช่องสัญญาณจำนวน m ช่องสัญญาณ
q	ความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่จะยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนไปเป็น p_1

ในกรณีนี้กำหนดให้ระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีจำนวนช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการ i ช่องสัญญาณ ส่งผลให้อัตราเฉลี่ยของทราฟฟิกใหม่ลดลงเป็น $\hat{\lambda} = q\lambda$ โดยระบบมีช่องสัญญาณทั้งหมด N ช่องสัญญาณ และได้ทำการจองช่องสัญญาณไว้สำหรับแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกเท่านั้นจำนวน $(N - j)$ ช่องสัญญาณ และส่วนช่องสัญญาณที่เหลือนั้นจะใช้ร่วมกัน

ระหว่างผู้ใช้บริการที่เกิดจากการทำแฮนด์โอเวอร์และผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ ซึ่งสามารถพิจารณาแผนภาพสถานะ (state diagram) ได้ดังรูปที่ 3.7 โดยมีนิยามว่าระบบอยู่ในสถานะ (n, m) เมื่อในระบบมี n ช่องสัญญาณ กำลังถูกใช้บริการสำหรับผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ และ m ช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการสำหรับผู้ใช้บริการที่เกิดจากการทำแฮนด์โอเวอร์ สำหรับค่า $n = 0, 1, \dots, N - j$ และ $m = 0, 1, \dots, N$



รูปที่ 3.7: ระบบอ้างอิงแผนภาพสถานะของระบบที่มีกราฟฟิกปกติและแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกโดยระบบจะเข้าสู่ภาวะคับคั่งเมื่อจำนวนช่องสัญญาณถูกใช้งาน i ช่องสัญญาณ

เราสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ในสถานะ (n, m) ได้โดยใช้ global balance equation ดังนั้นจะได้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธ (new call blocking probability, B_N) และค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ถูกยกเลิก (handover call dropping probability, B_H) คือ

$$B_N = \sum_{m=0}^{j-i-1} \sum_{n=j-m}^j \pi(n, m) + \sum_{m=j-i}^j \sum_{n=j-m}^{N-m} \pi(n, m) + \sum_{m=j+1}^N \sum_{n=0}^{N-m} \pi(n, m) \quad (3.12)$$

$$B_H = \sum_{n=0}^j \pi(n, N-n) \quad (3.13)$$

จากแผนภาพสถานะรูปที่ 3.7 แสดงให้เห็นว่า ความคับคั่งเชิงเวลาของโทรศัพท์ในระบบ (B_T) เท่ากับ B_N และความคับคั่งเชิงการเรียก (B_C) นั้นสามารถหาได้จากอัตราส่วนของการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ที่ไม่สามารถเข้าใช้บริการได้ เนื่องจากระบบอยู่ในสถานะอิ่มตัว ต่อจำนวนการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ทั้งหมด จากสมการที่ (2.3) จะได้

$$B_C = \frac{B_N \hat{\lambda}}{\left[\sum_{m=0}^{i-1} \sum_{n=0}^{i-1-m} \pi(n, m) \lambda \right] + \left[\sum_{m=0}^{j-i} \sum_{n=i-m}^j \pi(n, m) + \sum_{m=j-i+1}^i \sum_{n=i-m}^{N-m} \pi(n, m) + \sum_{m=i+1}^N \sum_{n=0}^{N-m} \pi(n, m) \right] \hat{\lambda}} \quad (3.14)$$

เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่ง จะส่งผลให้ระบบเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เพื่อลดความคับคั่งในระบบ จึงทำให้มีผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ส่วนหนึ่งไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปออกจากระบบ ดังนั้น ค่าความน่าจะเป็นที่โทรศัพท์ใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป (probability of new call that gives up because of changing price, B_G) คือ

$$B_G = \sum_{m=0}^{j-i} \sum_{n=i-m}^j (1-q) \pi(n, m) + \sum_{m=j-i+1}^i \sum_{n=i-m}^{N-m} (1-q) \pi(n, m) + \sum_{m=i+1}^N \sum_{n=0}^{N-m} (1-q) \pi(n, m) \quad (3.15)$$

และค่าคาดหวังของรายได้ของโทรศัพท์ใหม่ (expected revenue of new calls, $E[R_N]$) สามารถหาได้จาก

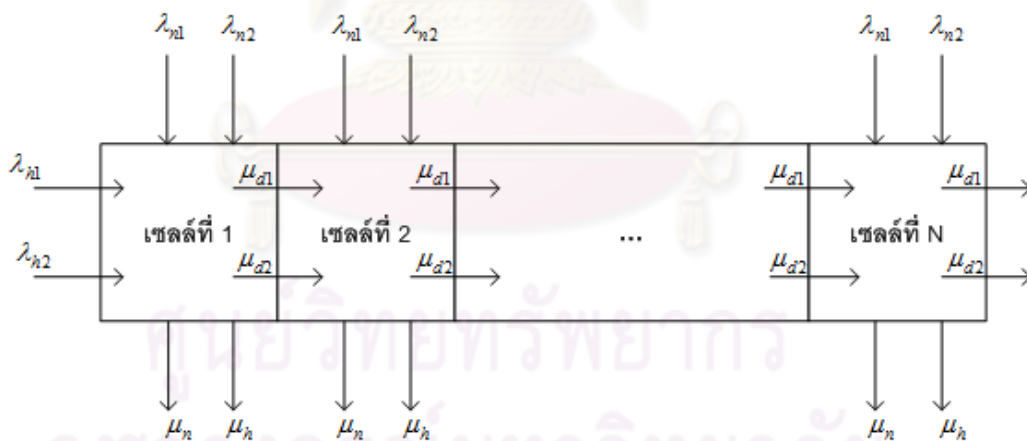
$$E[R_N] = \sum_{m=0}^{i-1} \sum_{n=0}^{i-1-m} \left(\frac{\lambda p(n, m) \pi(n, m)}{\mu} \right) + \sum_{m=0}^i \sum_{n=i-m}^{j-1-m} \left(\frac{\hat{\lambda} p(n, m) \pi(n, m)}{\mu} \right) + \sum_{m=i+1}^{j-1} \sum_{n=0}^{j-1-m} \left(\frac{\hat{\lambda} p(n, m) \pi(n, m)}{\mu} \right) \quad (3.16)$$

เนื่องจากกำหนดให้แอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกยอมรับค่าบริการเมื่อระบบอยู่ในสถานะใดๆ เสมอ จึงไม่มีแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกยกเลิกการใช้บริการเพราะค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น ค่าคาดหวังของรายได้ของแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิก (expected revenue of handover calls, $E[R_H]$) สามารถหาได้จาก

$$E[R_H] = \sum_{m=0}^{j-1} \sum_{n=0}^{j-1-m} \left(\frac{\lambda_h p(n, m) \pi(n, m)}{\mu_h} \right) + \sum_{m=0}^{j-i-1} \sum_{n=j-m}^j \left(\frac{\lambda_h p(n, m) \pi(n, m)}{\mu_h} \right) + \sum_{m=j-i}^j \sum_{n=j-m}^{N-1-m} \left(\frac{\lambda_h p(n, m) \pi(n, m)}{\mu_h} \right) + \sum_{m=j+1}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1-m} \left(\frac{\lambda_h p(n, m) \pi(n, m)}{\mu_h} \right) \quad (3.17)$$

3.4 กรณีที่ผู้ให้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์

ในหัวข้อนี้จะพิจารณาถึงระบบที่ผู้ให้บริการมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ โดยทั่วไปแล้ว เมื่อผู้ให้บริการไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ ช่วงเวลาในการครอบครองสัญญาณจะมีค่าเท่ากับ ช่วงเวลาใช้บริการ (call holding time) แต่เมื่อผู้ให้บริการมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ดังรูปที่ 2.3 จะพบว่า ผู้ให้บริการมีช่วงเวลาใช้บริการมากกว่าช่วงเวลาที่อยู่เซลล์ (cell dwell time) ดังนั้นเมื่อผู้ให้บริการต้องการเคลื่อนที่ข้ามผ่านโครงข่ายไปยังเซลล์ที่อยู่ติดกัน จึงต้องมีการ ทำแอสต์โอเวอร์เพื่อขอใช้บริการในเซลล์ที่ต้องการเคลื่อนที่ข้ามผ่านไป



รูปที่ 3.8: ระบบโครงข่ายที่ผู้ให้บริการมีการเคลื่อนที่

จากรูปที่ 3.8 วิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้ระบบโครงข่ายที่สนใจมีลักษณะเป็นแบบ 1 มิติ (1 dimension) [24] มีการเคลื่อนที่ในแนวเดียว ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับสภาพแวดล้อมที่เป็น ถนน ทางด่วน รถไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งระบบจะแบ่งออกเป็น N เซลล์ แต่ในที่นี้พิจารณาเฉพาะกรณีที่ระบบอยู่ในสถานะ homogeneous in statistical equilibrium ซึ่งแต่ละเซลล์จะอยู่ในสถานะเดียวกัน จึงทำให้สามารถวิเคราะห์การทำงานของระบบได้โดยพิจารณาเพียงเซลล์เดียว โดยทั่วไป

แล้วจะพิจารณาการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ดังหัวข้อที่ 2.6 แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะกำหนดให้แต่ละเซลล์ประกอบด้วยทราฟฟิกทั้งหมด 4 แบบ คือ

1. ทราฟฟิกที่เข้าใช้บริการใหม่ที่สิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์โดยไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์
2. ทราฟฟิกที่เข้าใช้บริการใหม่ที่จะมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ไปยังเซลล์ข้างเคียง
3. แชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกที่สิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์โดยไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์

4. แชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกที่จะมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ไปยังเซลล์ข้างเคียง

โดยแต่ละเซลล์นั้นจะมีการพิจารณาปัญหาแบบ CTMC ซึ่งจะกำหนดให้ ทราฟฟิกที่เข้าใช้บริการใหม่และทราฟฟิกที่เกิดจากแชนด์โอเวอร์มีการแจกแจงแบบปัวซอง (Poisson Distribution Process) ระยะเวลาการใช้บริการ (holding time) มีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (Exponential distribution) และระยะเวลาที่อยู่ในเซลล์ (cell dwell time) มีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง โดยทราฟฟิกแต่ละประเภทมีความเป็นอิสระต่อกัน (independent) และกำหนดให้โครงข่ายเป็นระบบที่มีความจุจำกัดและไม่บีบเฟอร์ โดยมีสัญกรณ์ดังต่อไปนี้

λ_{n1}	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของทราฟฟิกใหม่แบบที่ 1
λ_{n2}	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของทราฟฟิกใหม่แบบที่ 2
λ_{h1}	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบที่ 3
λ_{h2}	อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบที่ 4
$\frac{1}{\mu_n}$	ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ยของทราฟฟิกใหม่แบบที่ 1
$\frac{1}{\mu_h}$	ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ยของแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบที่ 3
$\frac{1}{\mu_{d1}}$	ระยะเวลาที่ทราฟฟิกใหม่แบบที่ 2 อยู่ในเซลล์เฉลี่ย
$\frac{1}{\mu_{d2}}$	ระยะเวลาที่แชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบที่ 4 อยู่ในเซลล์เฉลี่ย
N	จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดในระบบ
j	จำนวนช่องสัญญาณที่ใช้ร่วมกันระหว่างทราฟฟิกใหม่และแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิก
$N - j$	จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกกันไว้สำหรับแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิก

q ความน่าจะเป็นที่โทราฟฟิโกใหม่จะยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนไปเป็น p_1

ทำการแทนสถานะของระบบด้วย

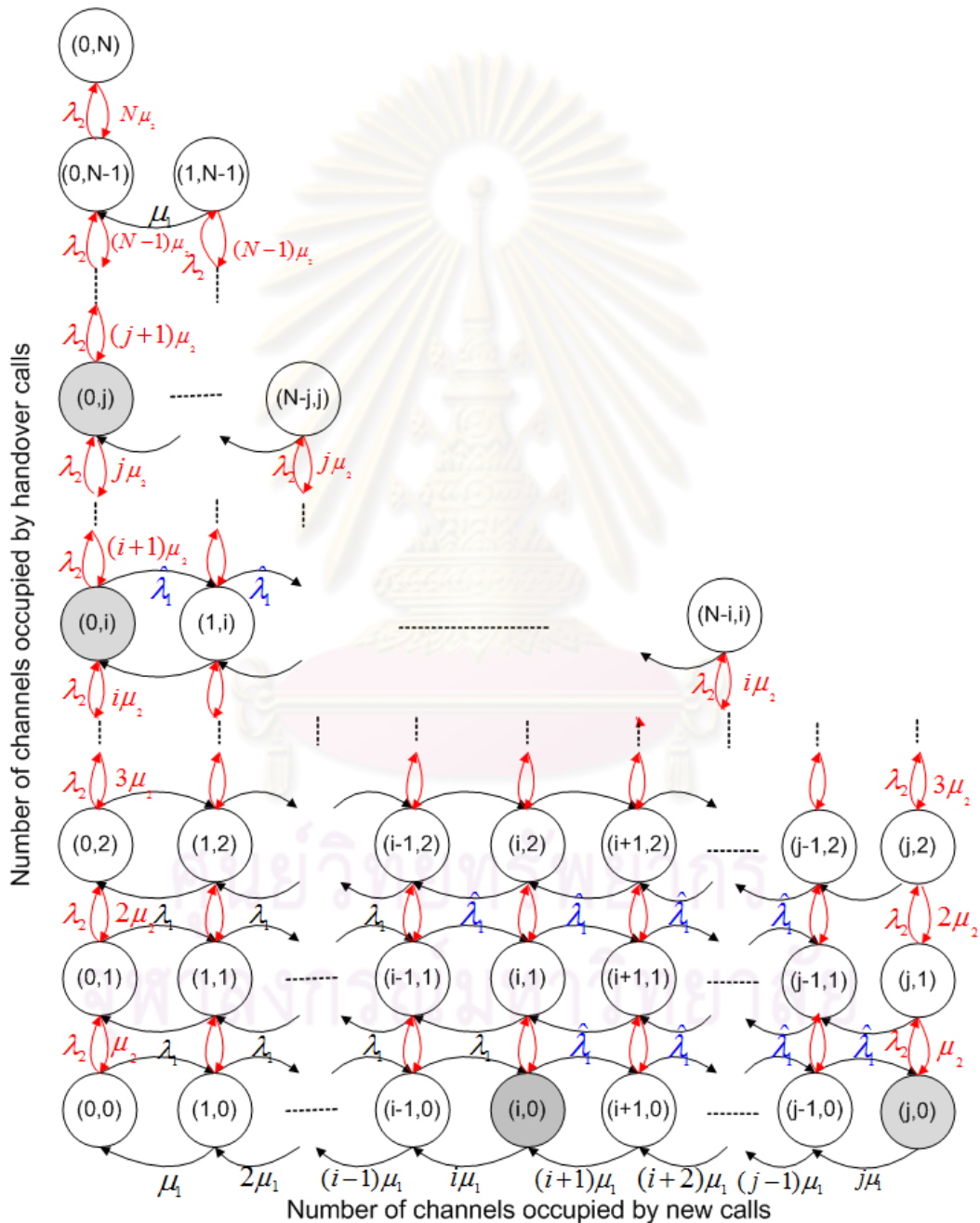
$$S = \{(n_1, n_2, n_3, n_4) | 0 \leq n_1 + n_2 \leq (N - j), 0 \leq n_1 + n_2 + n_3 + n_4 \leq N\}$$

โดย n_1, n_2, n_3, n_4 แทนจำนวนของผู้ใช้บริการแบบที่ 1-4 ในระบบ และ กำหนดให้ $r(n_1, n_2, n_3, n_4; \bar{n}_1, \bar{n}_2, \bar{n}_3, \bar{n}_4)$ แทนอัตราการเปลี่ยนสถานะ (transition rate) จากสถานะ $r(n_1, n_2, n_3, n_4)$ ไปยังสถานะ $r(\bar{n}_1, \bar{n}_2, \bar{n}_3, \bar{n}_4)$ ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} r((n_1, n_2, n_3, n_4); (n_1 - 1, n_2, n_3, n_4)) &= n_1 \mu_n && ; (0 \leq n_1 + n_2 \leq (N - j), 0 \leq n_1 + n_2 + n_3 + n_4 \leq N) \\ r((n_1, n_2, n_3, n_4); (n_1 + 1, n_2, n_3, n_4)) &= \lambda_{n_1} && ; (0 \leq n_1 + n_2 \leq (N - j), 0 \leq n_1 + n_2 + n_3 + n_4 < i) \\ r((n_1, n_2, n_3, n_4); (n_1 + 1, n_2, n_3, n_4)) &= \hat{\lambda}_{n_1} && ; (0 \leq n_1 + n_2 \leq (N - j), i \leq n_1 + n_2 + n_3 + n_4 \leq N) \\ r((n_1, n_2, n_3, n_4); (n_1, n_2 - 1, n_3, n_4)) &= n_2 \mu_{d1} && ; (0 \leq n_1 + n_2 \leq (N - j), 0 \leq n_1 + n_2 + n_3 + n_4 \leq N) \\ r((n_1, n_2, n_3, n_4); (n_1, n_2 + 1, n_3, n_4)) &= \lambda_{n_2} && ; (0 \leq n_1 + n_2 \leq (N - j), 0 \leq n_1 + n_2 + n_3 + n_4 < i) \\ r((n_1, n_2, n_3, n_4); (n_1, n_2 + 1, n_3, n_4)) &= \hat{\lambda}_{n_2} && ; (0 \leq n_1 + n_2 \leq (N - j), i \leq n_1 + n_2 + n_3 + n_4 \leq N) \\ r((n_1, n_2, n_3, n_4); (n_1, n_2, n_3 - 1, n_4)) &= n_3 \mu_h && ; (0 \leq n_1 + n_2 \leq (N - j), 0 \leq n_1 + n_2 + n_3 + n_4 \leq N) \\ r((n_1, n_2, n_3, n_4); (n_1, n_2, n_3 + 1, n_4)) &= \lambda_{n_3} && ; (0 \leq n_1 + n_2 \leq (N - j), 0 \leq n_1 + n_2 + n_3 + n_4 \leq N) \\ r((n_1, n_2, n_3, n_4); (n_1, n_2, n_3, n_4 - 1)) &= n_4 \mu_{d2} && ; (0 \leq n_1 + n_2 \leq (N - j), 0 \leq n_1 + n_2 + n_3 + n_4 \leq N) \\ r((n_1, n_2, n_3, n_4); (n_1, n_2, n_3, n_4 + 1)) &= \lambda_{n_4} && ; (0 \leq n_1 + n_2 \leq (N - j), 0 \leq n_1 + n_2 + n_3 + n_4 \leq N) \end{aligned}$$

จาก global balance equation จึงทำให้สามารถหาความน่าจะเป็นเมื่อระบบอยู่ในสถานะต่างๆ เนื่องจากในการแก้สมการนั้นจะมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นเมื่อระบบมีขนาดใหญ่ เพื่อให้ง่ายต่อการคิดคำนวณ และสามารถนำไปใช้ได้กับกรณีต่างๆไป (generalized) ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้จะลดจำนวนมิติของระบบลง จาก 4 มิติ เหลือเพียง 2 มิติ [19] , [25], [26] ดังรูปที่ 3.9 โดยมีนิยามว่าระบบอยู่ในสถานะ (n, m) เมื่อในระบบมี n ช่องสัญญาณ กำลังถูกใช้บริการ สำหรับผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ประกอบด้วย ผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่แบบที่ 1 และ 2 และมี m ช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการสำหรับผู้ใช้บริการที่เกิดจากการทำแฮนด์โอเวอร์ประกอบด้วย ผู้ใช้บริการที่เกิดจากการทำแฮนด์โอเวอร์แบบที่ 3 และ 4 สำหรับค่า $n = 0, 1, \dots, N - j$ และ $m = 0, 1, \dots, N$ กำหนดให้อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของโทราฟฟิโกใหม่ $\lambda_1 = \lambda_{n_1} + \lambda_{n_2}$ และอัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์โทราฟฟิโก $\lambda_2 = \lambda_{n_3} + \lambda_{n_4}$ จากคุณสมบัติไร้ความจำของการแจกแจงแบบเลขชี้กำลัง (memoryless property) ดังนั้นอัตราเฉลี่ย

ของการออกจากการใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ คือ $\mu_1 = \mu_n + \mu_{d1}$ และอัตราเฉลี่ยของการออกจากการใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ คือ $\mu_2 = \mu_n + \mu_{d2}$ [25], [26] โดยกำหนดให้ระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีจำนวนช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการ i ช่องสัญญาณ ส่งผลให้อัตราเฉลี่ยของการเข้าใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ลดลงเป็น $\hat{\lambda}_i = q\lambda_i$ ซึ่งสามารถพิจารณาแผนภาพสถานะ (state diagram) ได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9: ระบบอ้างอิงแผนภาพสถานะของระบบที่มีโทรศัพท์ปกติและแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์โดยระบบจะเข้าสู่ภาวะดับตั้งเมื่อจำนวนช่องสัญญาณถูกใช้งาน i ช่องสัญญาณ

เราสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ในสถานะ (n, m) ได้โดยใช้ global balance equation ดังนั้นจะได้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธ (new call blocking probability, B_N) และค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ถูกยกเลิก (handover call dropping probability, B_H) คือ

$$B_N = \sum_{m=0}^{j-i-1} \sum_{n=j-m}^j \pi(n, m) + \sum_{m=j-i}^j \sum_{n=j-m}^{N-m} \pi(n, m) + \sum_{m=j+1}^N \sum_{n=0}^{N-m} \pi(n, m) \quad (3.18)$$

$$B_H = \sum_{n=0}^j \pi(n, N-n) \quad (3.19)$$

จากแผนภาพสถานะรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่า ความคับคั่งเชิงเวลาของโทรศัพท์ในระบบ (B_T) เท่ากับ B_N และความคับคั่งเชิงการเรียก (B_C) นั้นสามารถหาได้จากอัตราส่วนของการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ที่ไม่สามารถเข้าใช้บริการได้ เนื่องจากระบบอยู่ในสถานะอิ่มตัว ต่อจำนวนการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ทั้งหมด จากสมการที่ (2.3)

$$B_C = \frac{B_N \hat{\lambda}_1}{\left[\sum_{m=0}^{i-1} \sum_{n=0}^{i-1-m} \pi(n, m) \lambda_1 \right] + \left[\sum_{m=0}^{j-i} \sum_{n=i-m}^j \pi(n, m) + \sum_{m=j-i+1}^i \sum_{n=i-m}^{N-m} \pi(n, m) + \sum_{m=i+1}^N \sum_{n=0}^{N-m} \pi(n, m) \right] \hat{\lambda}_1} \quad (3.20)$$

เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่ง ส่งผลให้ระบบเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เพื่อลดความคับคั่งในระบบ จึงทำให้มีผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ส่วนหนึ่งที่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงออกจากระบบไป ดังนั้น ค่าความน่าจะเป็นที่โทรศัพท์ใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป (probability of new call that gives up because of changing price, B_G) สามารถหาได้จาก

$$B_G = \sum_{m=0}^{j-i} \sum_{n=i-m}^j (1-q)\pi(n, m) + \sum_{m=j-i+1}^i \sum_{n=i-m}^{N-m} (1-q)\pi(n, m) + \sum_{m=i+1}^N \sum_{n=0}^{N-m} (1-q)\pi(n, m) \quad (3.21)$$

และค่าคาดหวังของรายได้ของโทรศัพท์ใหม่ (expected revenue of new calls, $E[R_N]$) สามารถหาได้จาก

$$E[R_N] = \sum_{m=0}^{i-1} \sum_{n=0}^{i-1-m} \left(\frac{\lambda_1 p(n, m) \pi(n, m)}{\mu_1} \right) + \sum_{m=0}^i \sum_{n=i-m}^{j-1-m} \left(\frac{\hat{\lambda}_1 p(n, m) \pi(n, m)}{\mu_1} \right) + \sum_{m=i+1}^{j-1} \sum_{n=0}^{j-1-m} \left(\frac{\hat{\lambda}_1 p(n, m) \pi(n, m)}{\mu_1} \right) \quad (3.22)$$

เนื่องจากกำหนดให้แฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ไม่ยกเลิกการให้บริการเพราะค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้แฮนด์โอเวอร์ยอมรับค่าบริการเมื่อระบบอยู่ที่สถานะใดๆเสมอ ดังนั้นค่า

คาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิก (expected revenue of handover calls, $E[R_H]$) สามารถหาได้จาก

$$E[R_H] = \sum_{m=0}^{j-1} \sum_{n=0}^{j-1-m} \left(\frac{\lambda_2 p(n, m) \pi(n, m)}{\mu_2} \right) + \sum_{m=0}^{j-i-1} \sum_{n=j-m}^j \left(\frac{\lambda_2 p(n, m) \pi(n, m)}{\mu_2} \right) + \sum_{m=j-i}^j \sum_{n=j-m}^{N-1-m} \left(\frac{\lambda_2 p(n, m) \pi(n, m)}{\mu_2} \right) + \sum_{m=j+1}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1-m} \left(\frac{\lambda_2 p(n, m) \pi(n, m)}{\mu_2} \right) \quad (3.23)$$

เนื่องจากผู้ใช้บริการที่มีระยะเวลาการใช้บริการมากกว่าระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์ จะมีการเคลื่อนที่ไปยังเซลล์อื่น โดยผู้ใช้บริการที่มีการเคลื่อนที่ไปยังเซลล์อื่นนั้นจะไปเพิ่มปริมาณโทรฟฟิกในเซลล์ที่เคลื่อนที่ผ่าน ซึ่งส่งผลให้ผู้ใช้บริการที่ขอเข้าใช้บริการใหม่ในเซลล์นั้น อาจต้องชำระค่าบริการสูงขึ้น แต่ในขณะที่ผู้ใช้บริการที่เกิดจากการทำแฮนด์โอเวอร์มานั้นชำระค่าบริการขึ้นอยู่กับเซลล์เริ่มต้นการใช้บริการเท่านั้น ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงต้องการศึกษาเกี่ยวกับการคิดค่าบริการสำหรับผู้ใช้บริการที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์โดยในการคิดค่าบริการนั้นจะขึ้นกับเซลล์ที่เคลื่อนที่ข้ามผ่านไปไม่ได้ขึ้นอยู่กับเซลล์ที่เริ่มต้นใช้บริการเท่านั้น โดยจะทำการวิเคราะห์ในบทที่ 4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การจำลองระบบ

บทที่ 3 ได้แสดงการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธ ค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ถูกยกเลิก ค่าความน่าจะเป็นที่โทรศัพท์ใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปและค่าคาดหวังของรายได้ เมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตเมื่อระบบอยู่ในสถานะคับคั่ง ทั้ง 4 กรณีคือ

- กรณีที่ไม่มีแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์
- กรณีที่มีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อไม่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์
- กรณีที่มีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อมีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์
- กรณีที่ผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์

ดังนั้นการจำลองระบบทางคอมพิวเตอร์ โดยการจำลองการเข้าใช้บริการโครงข่ายด้วยโทรศัพท์ชนิดต่าง ๆ ตามอัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการและระยะเวลาการให้บริการเฉลี่ยตามแต่ละกรณีที่ศึกษา ด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อยืนยันความถูกต้องของการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในบทที่ 3 และเพื่อศึกษาถึงกรณีที่ผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ โดยการคิดค่าบริการสำหรับ แฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ขึ้นกับเซลล์ที่เคลื่อนที่ข้ามผ่าน

4.1 กรณีไม่มีแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์

การจำลองระบบในกรณีนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันความถูกต้องของการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ระบบไม่มีแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ในหัวข้อที่ 3.2 ดังนั้นจึงได้จำลองระบบทางคอมพิวเตอร์ที่มีข้อกำหนดเดียวกันกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ดังนี้ โทรศัพท์ใหม่มีการเข้าใช้บริการเป็นแบบปัวซอง และระยะเวลาการให้บริการมีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง การเรียกขอใช้บริการจะถูกปฏิเสธเมื่อระบบไม่มีจำนวนช่องสัญญาณเพียงพอที่จะรองรับการเข้าใช้บริการเท่านั้น ซึ่งได้ผลจากการจำลองระบบดังต่อไปนี้

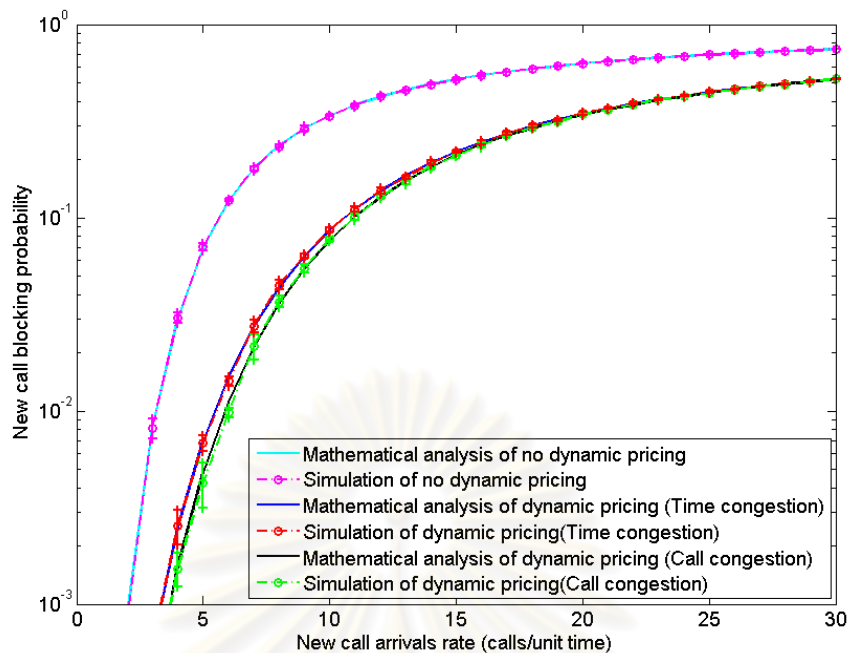
ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้ กำหนดระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ยของโทรศัพท์ใหม่มีค่าเท่ากับ 1 นาที บนระบบที่มีความจุ 8 ช่องสัญญาณ และมีค่าบริการเริ่มต้นเท่ากับ 1 หน่วยต่อนาที โดยระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีจำนวนช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการ 4 ช่องสัญญาณ จากสมการที่ (2.9) ค่าบริการจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.83 หน่วยต่อ

นาที่เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่ง โดยค่าบริการที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์

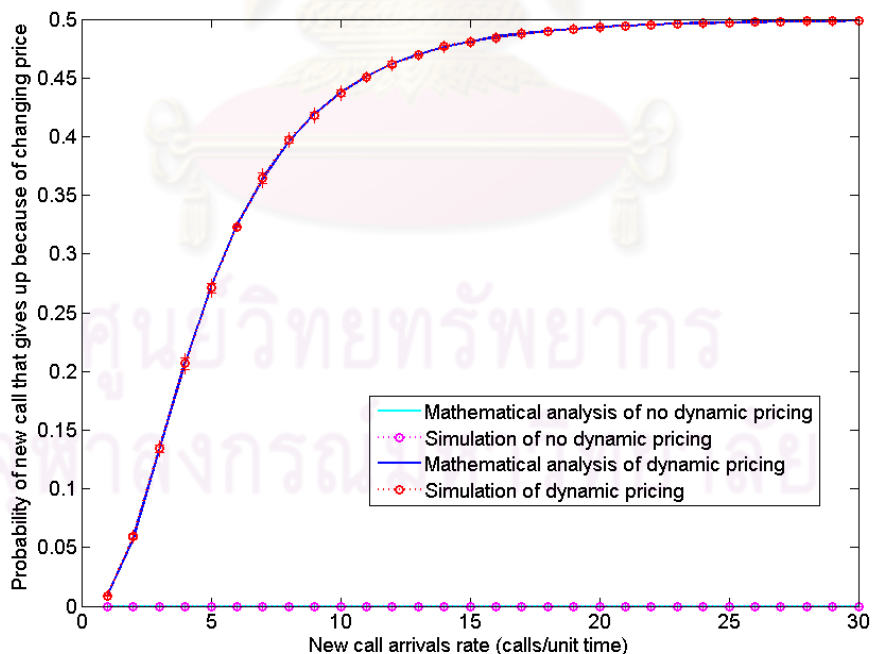
ในรูปที่ 4.1 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ ถูกปฏิเสธบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการจะมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เนื่องจากเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่ง ค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้โทรศัพท์ใหม่ที่ต้องการเข้าใช้บริการมีจำนวนลดลง ส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธมีค่าลดลง จึงสามารถลดความคับคั่งของระบบได้ และเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตค่าความคับคั่งเชิงเวลา (time congestion) จะมีค่ามากกว่าค่าความคับคั่งเชิงการเรียก (call congestion)

ในรูปที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่โทรศัพท์ใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ ค่าความน่าจะเป็นที่โทรศัพท์ใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีโทรศัพท์ใหม่เข้าใช้บริการมากขึ้น ส่งผลให้การเข้าสู่สภาวะคับคั่งค่อยๆเร็วขึ้น ค่าบริการจึงเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น ดังนั้นผู้ใช้บริการที่เข้ามาขอใช้บริการใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงจึงเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่เพิ่มขึ้นแต่จะไม่เกิน 0.5 เพราะกำหนดให้เมื่อเข้าสู่สภาวะคับคั่ง ค่าบริการที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการของโทรศัพท์ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์

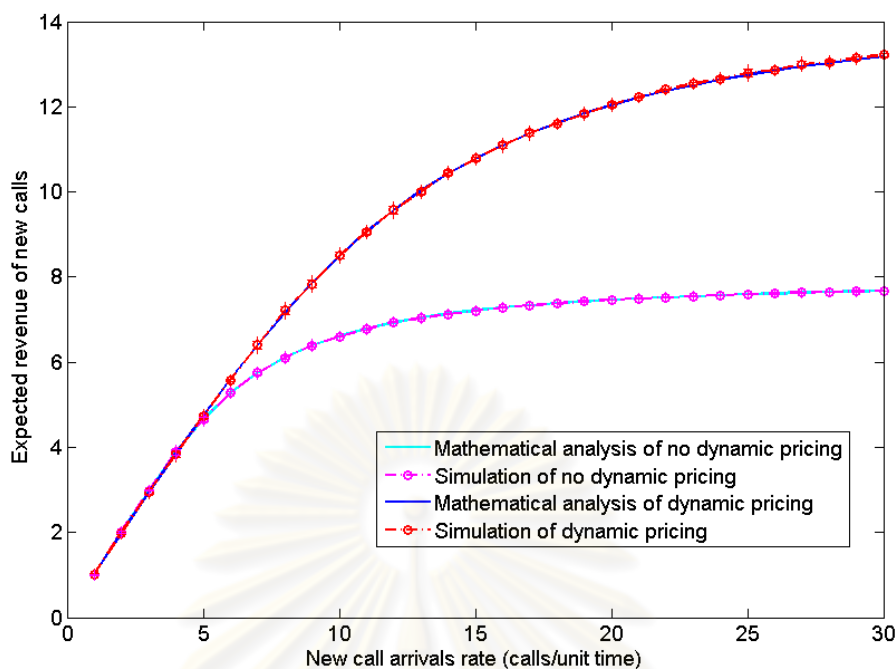
ในรูปที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของโทรศัพท์ใหม่บนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ ค่าคาดหวังของรายได้ของโทรศัพท์ใหม่จะมีค่ามากขึ้นเมื่ออัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่เพิ่มขึ้น และค่าคาดหวังของรายได้ของโทรศัพท์ใหม่บนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เนื่องจากเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่ง ค่าบริการมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นเพื่อลดความคับคั่งของระบบ โดยผู้ใช้บริการที่เข้าใช้บริการนั้นเป็นประเภทที่ยอมรับค่าบริการที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้รายได้คาดหวังของโทรศัพท์ใหม่ในระบบมากขึ้น



รูปที่ 4.1: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธเมื่อระบบไม่มีแชนด์โอเวอร์โทรศัพท์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่



รูปที่ 4.2: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่โทรศัพท์ใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อระบบไม่มีแชนด์โอเวอร์โทรศัพท์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่



รูปที่ 4.3: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของโทรศัพท์ใหม่เมื่อระบบไม่มีแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่

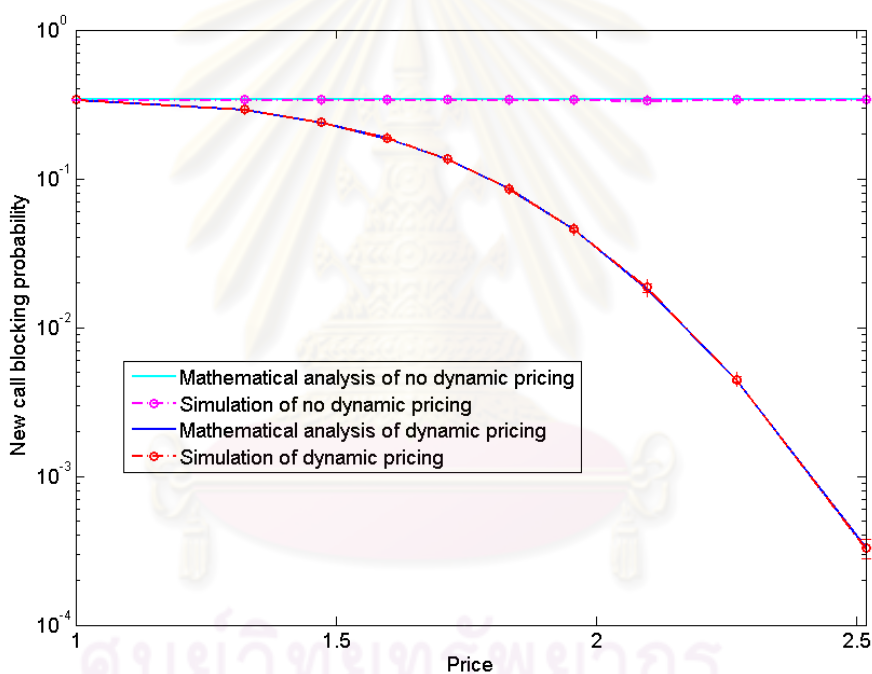
ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้ กำหนดให้อัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่เท่ากับ 10 การเรียกต่อนาที ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ยของโทรศัพท์ใหม่มีค่าเท่ากับ 1 นาที บนระบบที่มีความจุ 8 ช่องสัญญาณ และมีค่าบริการเริ่มต้นเท่ากับ 1 หน่วยต่อนาที โดยระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีจำนวนช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการ 4 ช่องสัญญาณ

ในรูปที่ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการจะมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เนื่องจากเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคับคั่ง ค่าบริการที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้โทรศัพท์ใหม่ที่ต้องการเข้าใช้บริการมีจำนวนลดลง ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธมีค่าลดลง เมื่อค่าบริการยิ่งเพิ่มสูงขึ้น ผู้ใช้บริการที่ยอมรับค่าบริการยังมีจำนวนลดน้อยลง ส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธมีค่าลดลงเมื่อค่าบริการสูงขึ้น

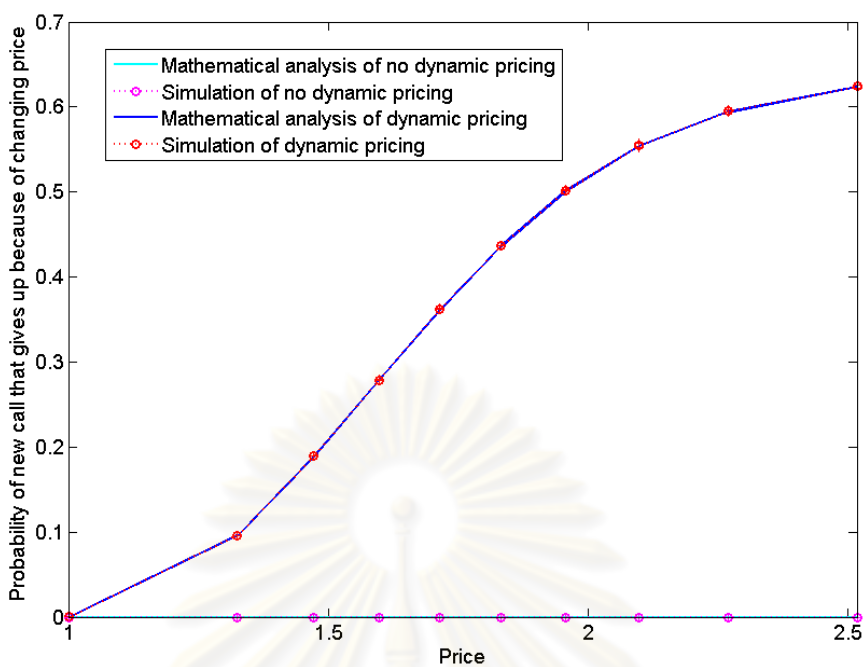
ในรูปที่ 4.5 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่โทรศัพท์ใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและระบบที่ไม่มีการ

เปลี่ยนแปลงค่าบริการ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ ค่าความน่าจะเป็นที่โทรฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีค่ามากขึ้นเมื่อค่าบริการเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากค่าบริการเพิ่มมากขึ้น ทำให้ผู้ใช้บริการไม่ยอมรับค่าบริการมีจำนวนมากขึ้น

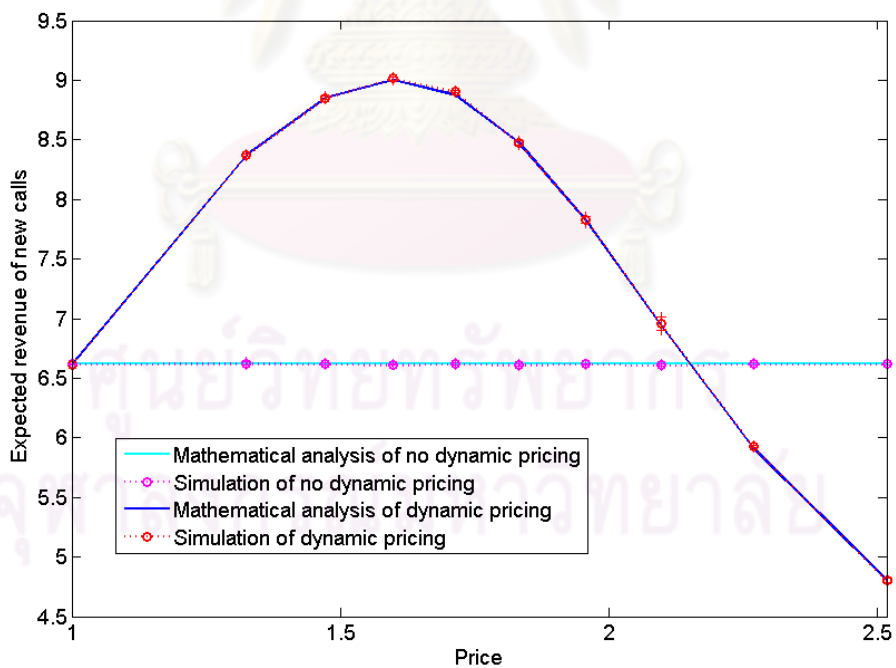
ในรูปที่ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของโทรฟฟิกใหม่บนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ ค่าคาดหวังของรายได้ของโทรฟฟิกใหม่จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อค่าบริการเพิ่มขึ้น จนค่าบริการเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่งและเมื่อค่าบริการเพิ่มขึ้นมากกว่าค่านี้ค่าคาดหวังของรายได้ของโทรฟฟิกใหม่จะค่อยๆลดลง เนื่องจากการเพิ่มค่าบริการจะส่งผลให้ผู้ใช้บริการไม่ยอมรับค่าบริการมีปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้เมื่อค่าบริการเพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง ค่าคาดหวังของรายได้จะค่อยๆลดลงเรื่อยๆจนอาจจะน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ



รูปที่ 4.4: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธเมื่อระบบไม่มีแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิก เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ



รูปที่ 4.5: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่โทราฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อระบบไม่มีแอสต์โอเวอร์โทราฟฟิก เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ



รูปที่ 4.6: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของโทราฟฟิกใหม่เมื่อระบบไม่มีแอสต์โอเวอร์โทราฟฟิก เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ

ดังนั้นจากรูปที่ 4.1-4.6 สรุปได้ว่า ในระบบที่นำการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตมาใช้สามารถลดความคับคั่งของระบบได้ อีกทั้งสามารถเพิ่มค่าคาดหวังของรายได้ของโทรฟฟิกใหม่ในระบบได้อีกด้วย แต่ต้องขึ้นกับการตั้งค่าบริการ โดยค่าที่ได้ต่าง ๆ นั้น พบว่ามีค่าเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อที่ 3.2

4.2 กรณีที่มีการทำแฮนด์โอเวอร์

การจำลองระบบในกรณีนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันความถูกต้องการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ทั้งในกรณีที่ไม่มีกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ในหัวข้อที่ 3.3.1 และ กรณีที่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ในหัวข้อที่ 3.3.2 ดังนั้นจึงจำลองระบบทางคอมพิวเตอร์ที่มีข้อกำหนดเดียวกันกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ดังนี้ โทรฟฟิกใหม่และแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกมีการเข้าใช้บริการเป็นแบบปัวส์ซอง และระยะเวลาการให้บริการมีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง การเรียกขอใช้บริการจะถูกปฏิเสธเมื่อระบบไม่มีจำนวนช่องสัญญาณเพียงพอที่จะรองรับการเข้าใช้บริการเท่านั้น ซึ่งได้ผลจากการจำลองระบบดังต่อไปนี้

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้ กำหนดให้อัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกเท่ากับ 2 การเรียกต่อนาที ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ยของโทรฟฟิกใหม่มีค่าเท่ากับ 1 นาที และระยะเวลาการให้บริการเฉลี่ยของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกเท่ากับ 0.5 นาที บนระบบที่มีความจุ 8 ช่องสัญญาณและมีการกั้นช่องสัญญาณไว้ 2 ช่องสัญญาณ ค่าบริการเริ่มต้นเท่ากับ 1 หน่วยต่อนาที โดยระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีจำนวนช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการ 4 ช่องสัญญาณ จากสมการที่ (2.9) ค่าบริการจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.83 หน่วยต่อนาทีเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่ง โดยค่าบริการที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ แต่อัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกจะไม่ลดลง

ในรูปที่ 4.7 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์และระบบที่ไม่มีกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่ โดยค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธในระบบที่มีการกั้นช่องสัญญาณจะมีค่ามากกว่าระบบที่ไม่มีกั้นช่องสัญญาณ เนื่องจากเมื่อมีการกั้นช่องสัญญาณทำให้โทรฟฟิกใหม่มีจำนวนช่องสัญญาณที่สามารถใช้บริการได้น้อยลง จึงทำให้ความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของ

โทราฟฟิคมใหม่ในระบบที่มีการกั้นช่องสัญญาณมีค่ามากกว่าระบบที่ไม่มีการกั้นช่องสัญญาณ และเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตค่าความคับคั่งเชิงเวลา (time congestion) จะมีค่ามากกว่าค่าความคับคั่งเชิงการเรียก (call congestion)

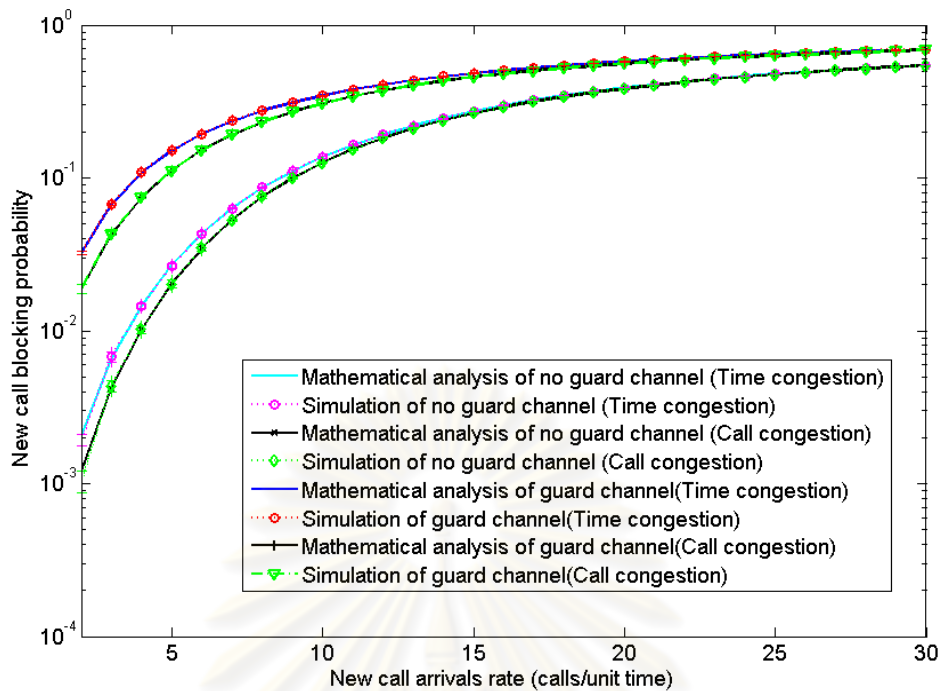
ในรูปที่ 4.8 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์โทราฟฟิคมถูกยกเลิกบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์และระบบที่ไม่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทราฟฟิคมใหม่ โดยค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์โทราฟฟิคมถูกยกเลิกในระบบที่มีการกั้นช่องสัญญาณจะมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการกั้นช่องสัญญาณ เนื่องจากเมื่อมีการกั้นช่องสัญญาณทำให้มีช่องสัญญาณส่วนหนึ่งไว้สำหรับแฮนด์โอเวอร์โทราฟฟิคมโดยเฉพาะไม่ต้องใช้ร่วมกับโทราฟฟิคมใหม่เหมือนในระบบที่ไม่มีการกั้นช่องสัญญาณ จึงทำให้แฮนด์โอเวอร์โทราฟฟิคมมีโอกาสในการใช้บริการช่องสัญญาณได้มากกว่า ส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์โทราฟฟิคมถูกยกเลิกในระบบที่มีการกั้นช่องสัญญาณมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการกั้นช่องสัญญาณ

ในรูปที่ 4.9 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่โทราฟฟิคมใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์และระบบที่ไม่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทราฟฟิคมใหม่ โดยค่าความน่าจะเป็นที่โทราฟฟิคมใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบที่มีการกั้นช่องสัญญาณจะมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการกั้นช่องสัญญาณ เนื่องจากเมื่อมีการกั้นช่องสัญญาณ โทราฟฟิคมใหม่สามารถใช้บริการช่องสัญญาณได้น้อยลง ดังนั้น ค่าความน่าจะเป็นที่โทราฟฟิคมใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงจึงมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการกั้นช่องสัญญาณ และค่าความน่าจะเป็นที่โทราฟฟิคมใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทราฟฟิคมใหม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีโทราฟฟิคมใหม่เข้าใช้บริการมากขึ้นแต่อัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์โทราฟฟิคมมีค่าคงที่ ส่งผลให้เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่ง ค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงทำให้โทราฟฟิคมใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการค่อยๆเพิ่มมากขึ้น ค่าความน่าจะเป็นที่โทราฟฟิคมใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปจึงค่อยๆเพิ่มขึ้น

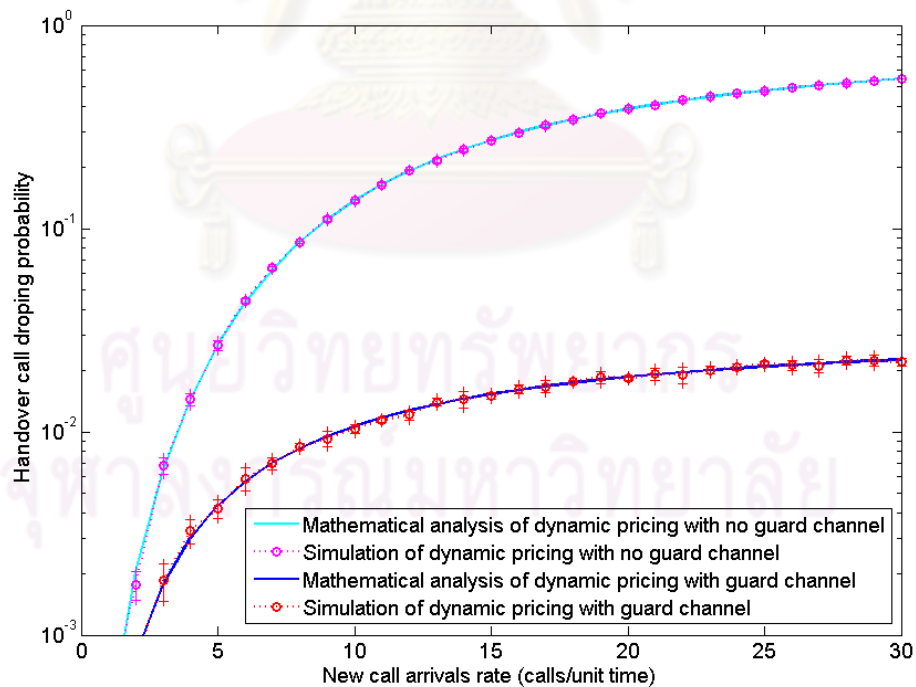
ในรูปที่ 4.10 เป็นการเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของโทราฟฟิคมใหม่บนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์และระบบที่ไม่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทราฟฟิคมใหม่ ค่าคาดหวังของรายได้ของโทราฟฟิคมใหม่ในระบบที่มีการกั้นช่องสัญญาณจะมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการกั้นช่องสัญญาณ เนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณที่

สามารถใช้บริการได้มีจำนวนน้อยกว่า ส่งผลให้กราฟฟิกลงใหม่สามารถเข้าใช้บริการได้น้อยกว่า รายได้คาดหวังของกราฟฟิกลงใหม่จึงน้อยกว่าด้วย แต่รายได้คาดหวังของกราฟฟิกลงใหม่จะมีค่ามากขึ้นเมื่ออัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของกราฟฟิกลงใหม่เพิ่มขึ้น

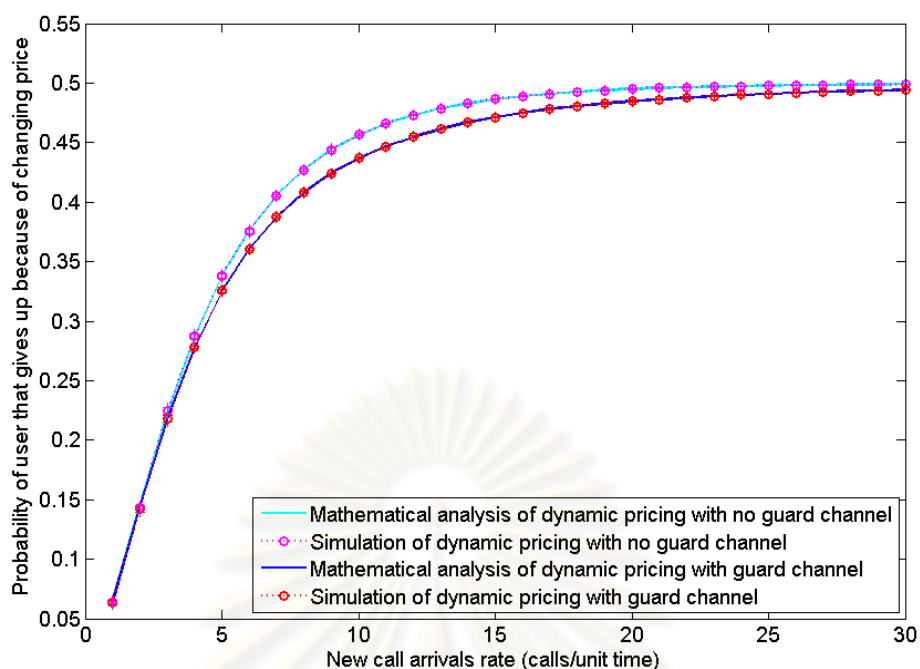
ในรูปที่ 4.11 เป็นการเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกลงบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์และระบบที่ไม่มีมีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของกราฟฟิกลงใหม่ เนื่องจากการยกเลิกการให้บริการหรือการยกเลิกการให้บริการของผู้ใช้บริการที่มีการใช้บริการอยู่นั้นจะส่งผลทางด้านจิตใจมากกว่าการถูกปฏิเสธการเข้าใช้บริการตั้งแต่เริ่มต้นขอใช้บริการใหม่ ดังนั้นแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกลงจึงไม่มีการยกเลิกการให้บริการเนื่องจากค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น โดยแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกลงจะถูกคิดค่าบริการขึ้นอยู่กับปริมาณกราฟฟิกลงในระบบขณะนั้นๆ หมายความว่า ณ สภาวะคับคั่ง ค่าบริการของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกลงก็จะเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ไม่มีแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกลงออกจากระบบเนื่องจากค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป กรณีที่ระบบที่ไม่มีมีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ ในช่วงที่อัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของกราฟฟิกลงใหม่มีปริมาณน้อย รายได้คาดหวังของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกลงมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการมากขึ้นเรื่อยๆ รายได้คาดหวังของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกลงจะค่อยๆลดลง เนื่องจากกราฟฟิกลงใหม่มีอัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่แฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกลงมีอัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการคงที่ จึงทำให้แฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกลงเข้าใช้บริการช่องสัญญาณได้น้อยลง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกรณีที่ระบบมีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ในระบบที่มีการกันช่องสัญญาณนั้นทำให้แฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกลงสามารถเข้าใช้บริการได้มากกว่าระบบที่ไม่มีมีการกันช่องสัญญาณ ส่งผลให้รายได้คาดหวังของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกลงในระบบที่มีการกันช่องสัญญาณมีค่ามากกว่าในระบบที่ไม่มีมีการกันช่องสัญญาณ



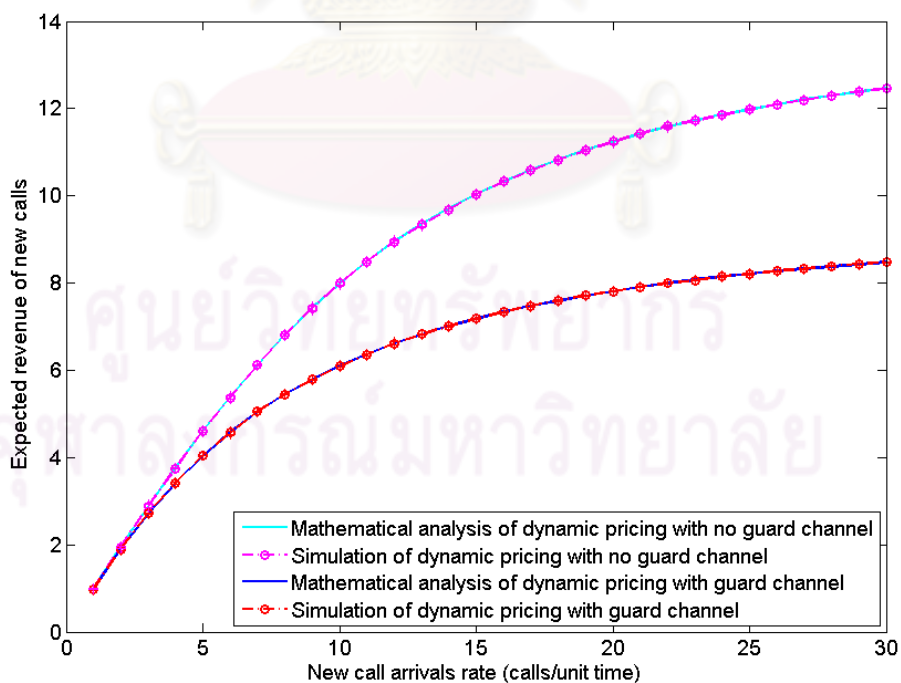
รูปที่ 4.7: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธเมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่



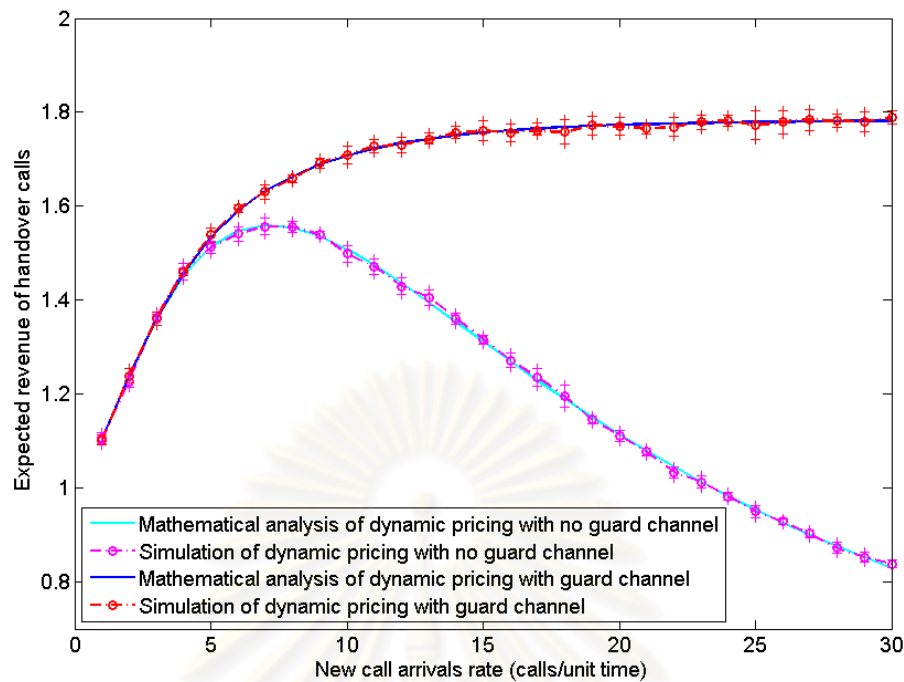
รูปที่ 4.8: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ถูกยกเลิกเมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่



รูปที่ 4.9: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่โทรศัพท์ใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่



รูปที่ 4.10: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของโทรศัพท์ใหม่เมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่



รูปที่ 4.11: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกเมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้ กำหนดให้อัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่และแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกเท่ากับ 10 และ 5 การเรียกต่อนาที ตามลำดับ ระยะเวลาการขอใช้บริการเฉลี่ยของโทรฟฟิกใหม่และแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกมีค่าเท่ากับ 1 และ 0.5 นาที ตามลำดับ บนระบบที่มีความจุ 8 ช่องสัญญาณและมีการกันช่องสัญญาณจำนวน 2 ช่องสัญญาณ มีค่าบริการเริ่มต้นเท่ากับ 1 หน่วยต่อนาที โดยระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีจำนวนช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการ 4 ช่องสัญญาณ

ในรูปที่ 4.12 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ และเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธบนระบบที่ไม่มีการกันช่องสัญญาณและระบบที่มีการกันช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการจะมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เนื่องจากเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่ง ค่าบริการที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้โทรฟฟิกใหม่ที่ต้องการเข้าใช้บริการมีจำนวนลดลง ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธจึงมีค่าน้อยกว่าและค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธในระบบมีการกันช่องสัญญาณจะมีค่ามากกว่าระบบที่ไม่มีการกันช่องสัญญาณ

และเนื่องจากเมื่อมีการกันช่องสัญญาณทำให้ทราฟฟิกใหม่มีจำนวนช่องสัญญาณไว้ให้บริการน้อยลง อีกทั้งเมื่อค่าบริการเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ ทราฟฟิกใหม่ที่ต้องการเข้าใช้บริการมีจำนวนลดลง จึงทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธในระบบที่มีการกันช่องสัญญาณมีค่ามากกว่าระบบที่ไม่มีการกันช่องสัญญาณและเมื่อค่าบริการยิ่งเพิ่มสูงขึ้น ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธจึงมีค่าลดลง

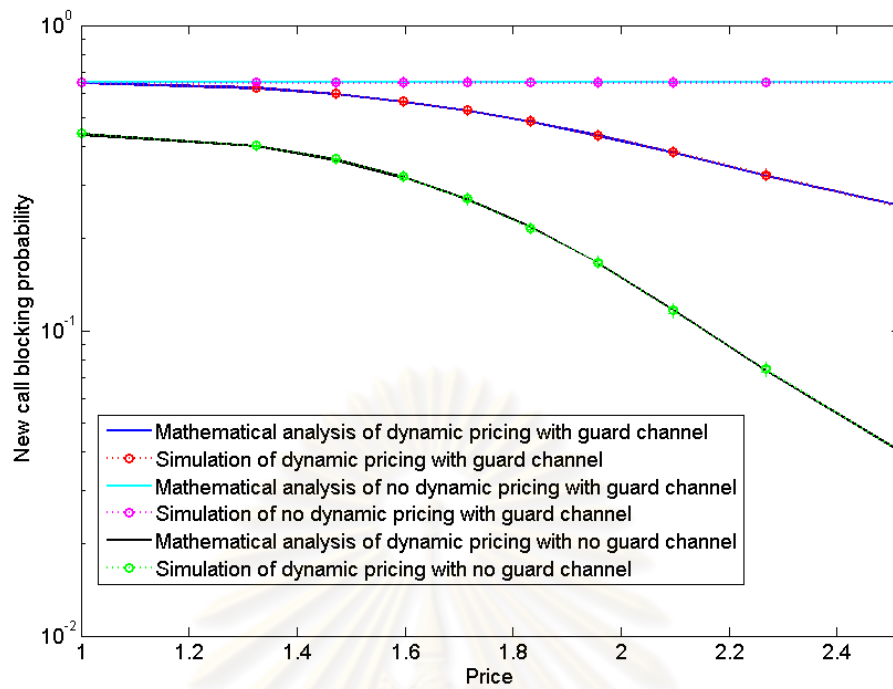
ในรูปที่ 4.13 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกถูกยกเลิกบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ และเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกถูกยกเลิกบนระบบที่ไม่มีการกันช่องสัญญาณและระบบที่มีการกันช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ ค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกถูกยกเลิกเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการจะมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เนื่องจากเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคับคั่ง ค่าบริการที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ทราฟฟิกใหม่ที่ต้องการเข้าใช้บริการมีจำนวนลดลง สามารถลดความคับคั่งของระบบได้ นอกจากค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธมีค่าลดลงแล้วยังส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกถูกยกเลิกลดลงด้วย โดยค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกถูกยกเลิกในระบบที่มีการกันช่องสัญญาณจะมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการกันช่องสัญญาณ เนื่องจากเมื่อมีการกันช่องสัญญาณทำให้มีช่องสัญญาณส่วนหนึ่งไว้สำหรับแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก โดยเฉพาะไม่ต้องใช้ร่วมกับทราฟฟิกใหม่เหมือนในระบบที่ไม่มีการกันช่องสัญญาณ จึงทำให้แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกมีโอกาสในการใช้บริการช่องสัญญาณได้มากกว่า ส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกถูกยกเลิกในระบบที่มีการกันช่องสัญญาณมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการกันช่องสัญญาณ

ในรูปที่ 4.14 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ และเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปบนระบบที่ไม่มีการกันช่องสัญญาณและระบบที่มีการกันช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ ค่าความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีค่ามากขึ้นเมื่อค่าบริการเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อค่าบริการที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าใช้บริการใหม่ปฏิเสธไม่ยอมรับค่าบริการที่เพิ่มขึ้นมีจำนวนมากขึ้น ค่าบริการยิ่งสูง การไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงจึงสูงตาม และค่าความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบที่มีการกันช่องสัญญาณจะมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการกันช่องสัญญาณ เนื่องจากเมื่อ

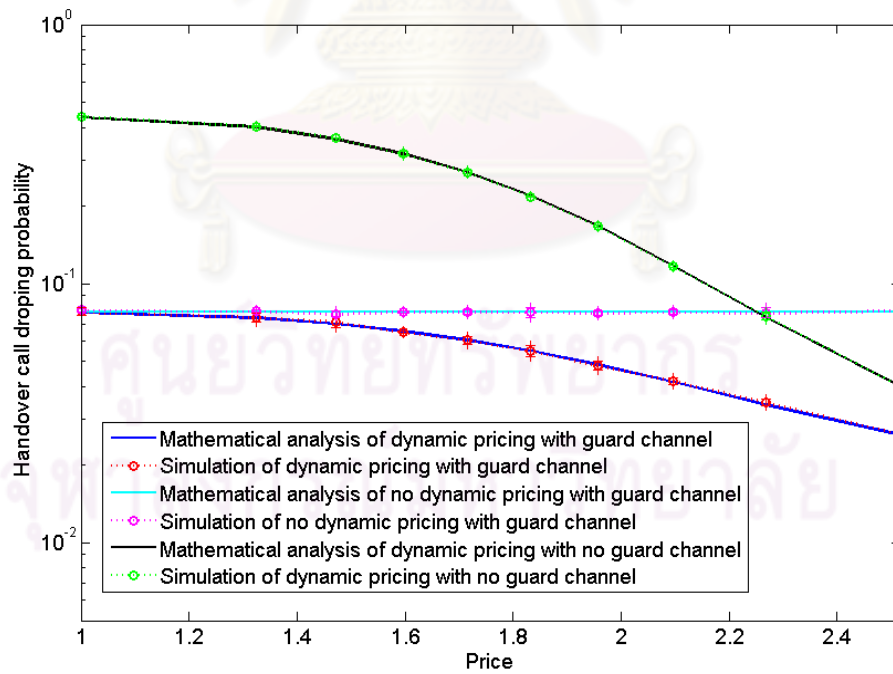
มีการกันช่องสัญญาณ ทราฟฟิกใหม่สามารถใช้บริการช่องสัญญาณได้น้อยลง ดังนั้น ค่าความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการจึงมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการกันช่องสัญญาณ

ในรูปที่ 4.15 เป็นการเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่ บนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ และเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่บนระบบที่ไม่มีการกันช่องสัญญาณและระบบที่มีการกันช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ ค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อค่าบริการเพิ่มขึ้น จนค่าบริการเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่งและเมื่อค่าบริการเพิ่มขึ้นมากกว่าค่านี้ค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่จะค่อยๆลดลง เนื่องจากการเพิ่มค่าบริการจะส่งผลให้ผู้ใช้บริการไม่ยอมรับค่าบริการมีปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้เมื่อค่าบริการเพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง ค่าคาดหวังของรายได้จะค่อยๆลดลงเรื่อยๆจนอาจจะน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ และรายได้คาดหวังของทราฟฟิกใหม่ในระบบที่มีการกันช่องสัญญาณจะมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการกันช่องสัญญาณ เนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณที่สามารถใช้บริการได้มีจำนวนน้อยกว่า ส่งผลให้ทราฟฟิกใหม่สามารถเข้าใช้บริการได้น้อยกว่า ค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่จึงน้อยกว่าด้วย

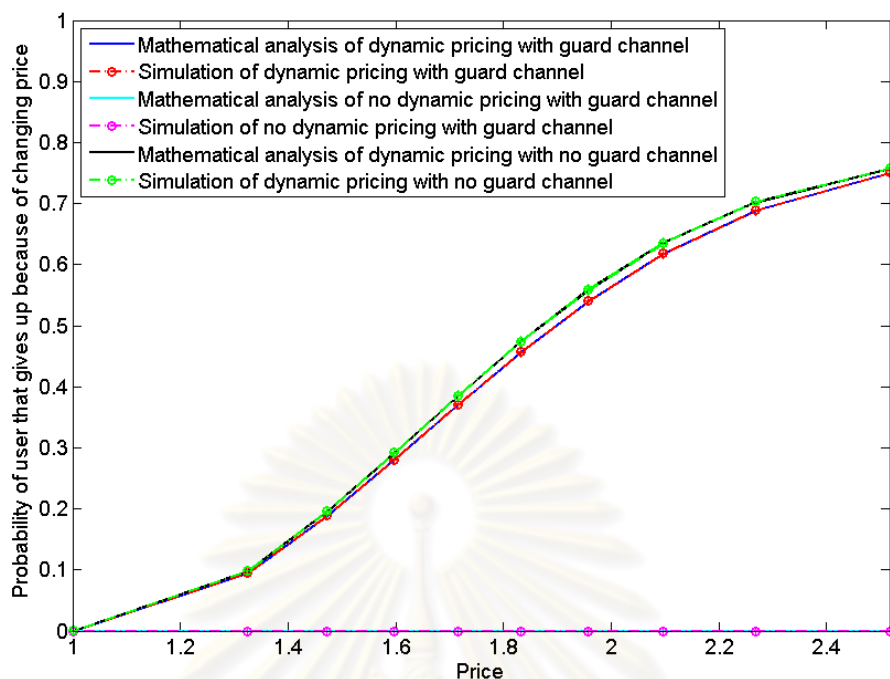
ในรูปที่ 4.16 เป็นการเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก บนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตและระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ และเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกบนระบบที่ไม่มีการกันช่องสัญญาณและระบบที่มีการกันช่องสัญญาณ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ ค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากการยกเลิกการให้บริการสำหรับแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกนั้นจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อจำนวนช่องสัญญาณในระบบเต็มเท่านั้น แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกจะไม่ยกเลิกการให้บริการเนื่องจากค่าบริการที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งค่าบริการของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกขึ้นกับสถานะในระบบ จึงทำให้รายได้คาดหวังของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกมีค่ามากขึ้นเมื่อค่าบริการเพิ่มขึ้น เนื่องจากในระบบที่มีการกันช่องสัญญาณทำให้แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกสามารถเข้าใช้บริการได้มากกว่าระบบที่ไม่มีการกันช่องสัญญาณ ส่งผลให้รายได้คาดหวังของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกในระบบที่มีการกันช่องสัญญาณมีค่ามากกว่าในระบบที่ไม่มีการกันช่องสัญญาณ



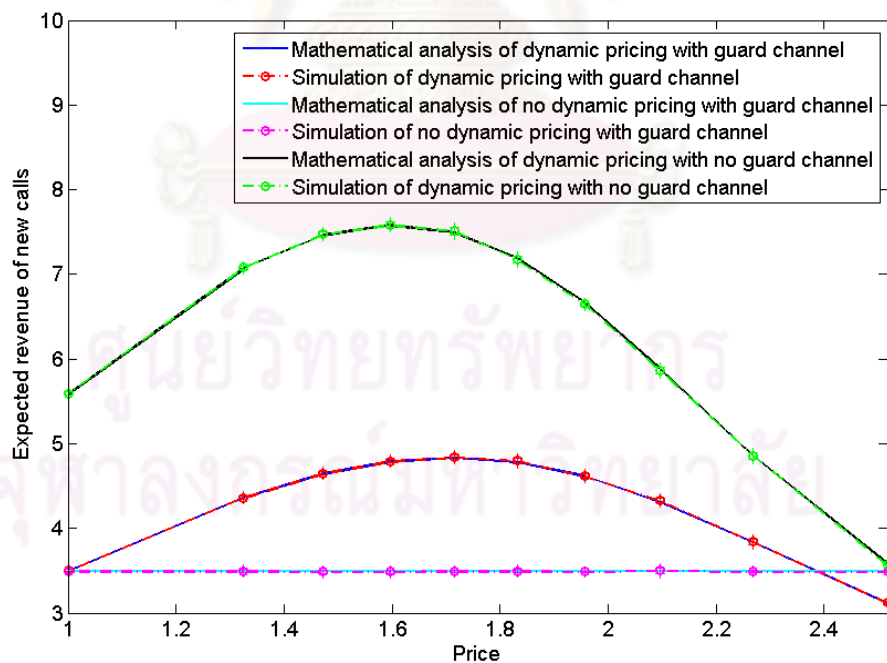
รูปที่ 4.12: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธเมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ



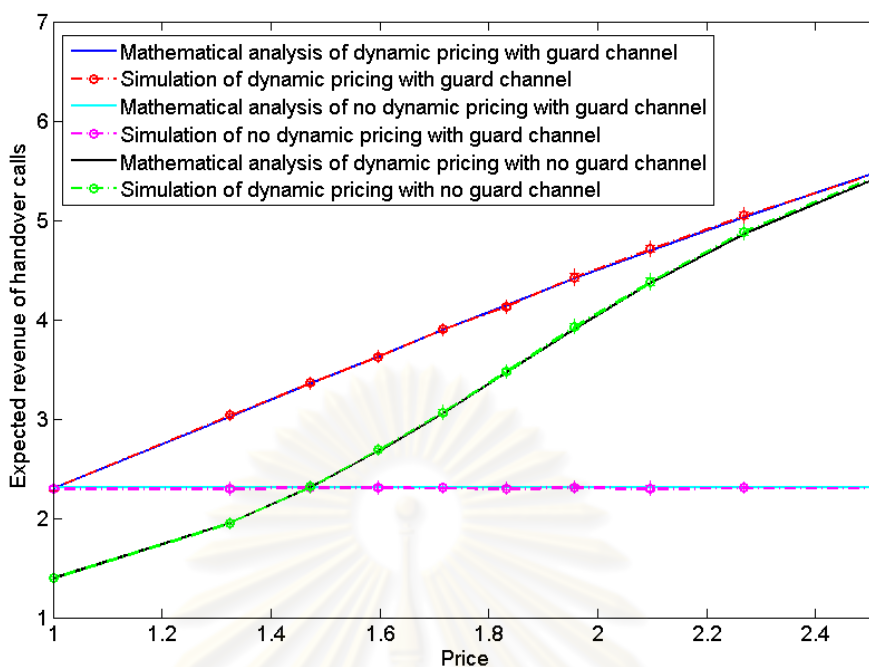
รูปที่ 4.13: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ถูกยกเลิกเมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ



รูปที่ 4.14: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่โทรศัพท์ใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ



รูปที่ 4.15: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของโทรศัพท์ใหม่เมื่อระบบมีการทำแฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ



รูปที่ 4.16: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของโทรศัพท์ใหม่เมื่อระบบมีการทำ
แฮนด์โอเวอร์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ

ดังนั้นจากรูปที่ 4.7- 4.16 สรุปได้ว่า ในระบบที่นำการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตมาใช้สามารถลดค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธ และค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ถูกยกเลิกได้ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มค่าคาดหวังของรายได้ของโทรศัพท์ใหม่ในระบบได้อีกด้วย แต่ต้องขึ้นกับการตั้งค่าบริการและยังสามารถเพิ่มค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ได้ แต่ก็ส่งผลให้มีโทรศัพท์ใหม่ส่วนหนึ่งออกจากระบบเนื่องจากค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป และการกั้นช่องสัญญาณสำหรับแฮนด์โอเวอร์นั้นมีผลต่อค่าสมรรถนะต่างๆในระบบ โดยระบบที่มีการกั้นช่องสัญญาณนั้นจะทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธของโทรศัพท์ใหม่มีค่ามากกว่าระบบที่ไม่มีกั้นช่องสัญญาณซึ่งทำให้ค่าคาดหวังของรายได้ของโทรศัพท์ใหม่ลดลง แต่การกั้นช่องสัญญาณจะทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกยกเลิกของแฮนด์โอเวอร์ลดลงซึ่งส่งผลให้ค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์เพิ่มขึ้น การกั้นช่องสัญญาณจึงเหมาะกับระบบที่ให้ความสำคัญกับแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์มากกว่าโทรศัพท์ใหม่ โดยค่าที่ได้ต่างๆนั้น พบว่ามีค่าเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อที่ 3.3.1 และ 3.3.2

4.3 กรณีที่ผู้ให้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์

การจำลองระบบในกรณีนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันความถูกต้องการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ผู้ให้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ในหัวข้อที่ 3.4 ดังนั้นจึงจำลองระบบทางคอมพิวเตอร์ที่มีข้อกำหนดเดียวกันกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ดังนี้ ทราฟฟิกใหม่ประกอบด้วยทราฟฟิกใหม่สองแบบคือ ทราฟฟิกใหม่ที่สิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์โดยไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์และทราฟฟิกใหม่ที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ไปยังเซลล์ข้างเคียง แชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกประกอบด้วยแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกสองแบบคือ แชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกที่สิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์โดยไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์และแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ไปยังเซลล์ข้างเคียง โดยทราฟฟิกใหม่และแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกมีการเข้าใช้บริการเป็นแบบปัวซอง ระยะเวลาการใช้บริการและระยะเวลาที่อยู่ในเซลล์เฉลี่ยมีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง การเรียกขอใช้บริการจะถูกปฏิเสธเมื่อระบบไม่มีจำนวนช่องสัญญาณเพียงพอที่จะรองรับการเข้าใช้บริการเท่านั้น ซึ่งได้ผลจากการจำลองระบบดังต่อไปนี้

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้ กำหนดให้อัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการของแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกทั้งสองแบบเท่ากับ 2 และ 2 การเรียกต่อนาที ตามลำดับ ระยะเวลาการใช้บริการเฉลี่ยของทราฟฟิกใหม่แบบที่ 1 เท่ากับ 1 นาที และระยะเวลาที่ทราฟฟิกใหม่แบบที่ 2 อยู่ในเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 1 นาที ระยะเวลาการใช้บริการเฉลี่ยของแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบที่ 3 เท่ากับ 0.5 นาที ระยะเวลาที่แชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบที่ 4 อยู่ในเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 0.5 นาที บนระบบที่มีความจุ 8 ช่องสัญญาณและมีการกันช่องสัญญาณไว้ 2 ช่องสัญญาณ ค่าบริการเริ่มต้นเท่ากับ 1 หน่วยต่อนาที โดยระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีจำนวนช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการ 4 ช่องสัญญาณ จากสมการที่ (2.9) ค่าบริการจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.83 หน่วยต่อนาทีเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่ง โดยค่าบริการที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ แต่อัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของแชนด์โอเวอร์ทราฟฟิกทั้งสองแบบจะไม่ลดลง

ในรูปที่ 4.17 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแชนด์โอเวอร์และระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เมื่อผู้ให้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบด้วยอัตราเฉลี่ยที่เท่ากัน ($\lambda_{n1} = \lambda_{n2}$) ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธ เมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการจะมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ค่าบริการ เนื่องจากเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคับคั่ง ค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ทราฟฟิกใหม่ที่ต้องการเข้าใช้บริการมีจำนวนลดลง ส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธมีค่าลดลง จึงสามารถลดความคับคั่งของระบบได้ และเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตค่าความคับคั่งเชิงเวลา (time congestion) จะมีค่ามากกว่าค่าความคับคั่งเชิงการเรียก (call congestion)

ในรูปที่ 4.18 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกถูกยกเลิกบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์และระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบด้วยอัตราเฉลี่ยที่เท่ากัน ($\lambda_{n1} = \lambda_{n2}$) ค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกถูกยกเลิกในระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการจะมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เนื่องจากเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคับคั่ง ค่าบริการที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ทราฟฟิกใหม่ที่ต้องการเข้าใช้บริการมีจำนวนลดลง ซึ่งนอกจากความน่าจะเป็นที่การเรียกถูกปฏิเสธมีค่าลดลงแล้วยังส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกถูกยกเลิกลดลงด้วย

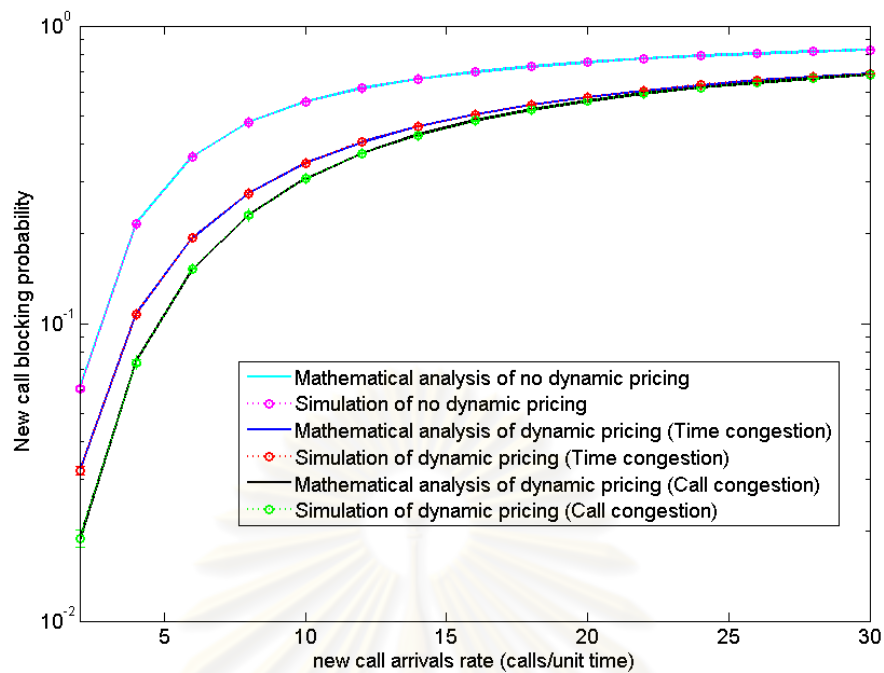
ในรูปที่ 4.19 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป บนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์และระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบด้วยอัตราเฉลี่ยที่เท่ากัน ($\lambda_{n1} = \lambda_{n2}$) ค่าความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปของทราฟฟิกใหม่จะมีค่ามากขึ้นเมื่ออัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่มีค่ามากขึ้น เนื่องจากมีทราฟฟิกใหม่เข้ามาใช้บริการมากขึ้น ส่งผลให้การเข้าสู่สภาวะคับคั่งของระบบค่อยๆ เร็วขึ้น ค่าบริการจึงค่อยๆ เปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ผู้ใช้บริการไม่ยอมรับค่าบริการจึงเพิ่มมากขึ้นเมื่ออัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่เพิ่มขึ้น

ในรูปที่ 4.20 เป็นการเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่บนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์และระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบด้วยอัตราเฉลี่ยที่เท่ากัน ($\lambda_{n1} = \lambda_{n2}$) ค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่จะมีค่ามากขึ้นเมื่ออัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่เพิ่มขึ้น และค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่ในระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

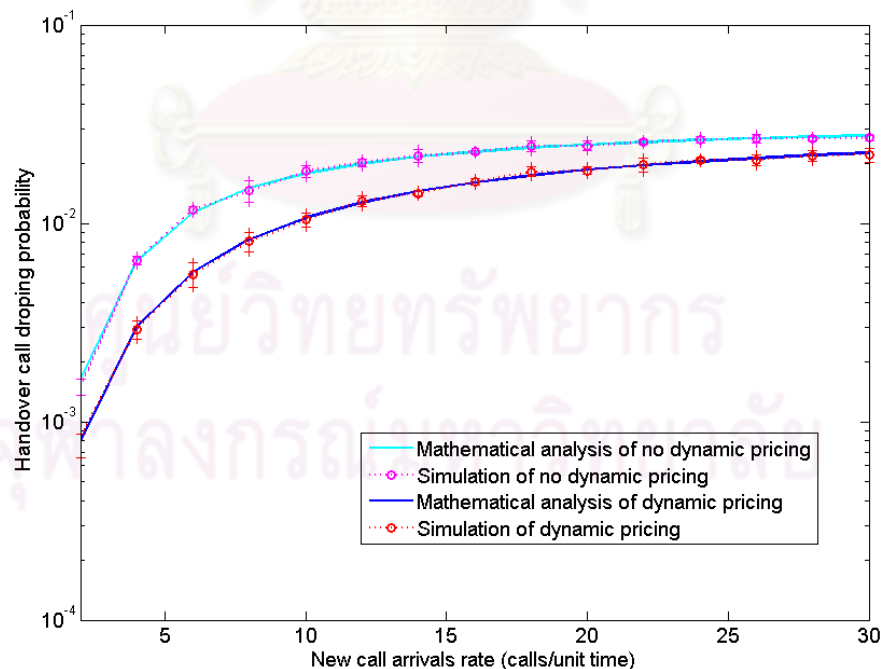
ค่าบริการ เนื่องจากเมื่อมีปริมาณทราฟฟิกในระบบจำนวนมาก ทำให้ระบบเข้าสู่ภาวะคับคั่งซึ่งค่าบริการจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นเพื่อลดความคับคั่งของระบบ ดังนั้นจึงมีทราฟฟิกใหม่บางส่วนที่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงออกจากระบบไป ในขณะที่ระบบอยู่ในภาวะคับคั่งนั้นทำให้ทราฟฟิกใหม่ในระบบขณะนั้นเป็นประเภทที่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้น ทำให้รายได้คาดหวังของทราฟฟิกใหม่ในระบบมีค่าสูงขึ้นและมากกว่าระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ

ในรูปที่ 4.21 เป็นการเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์และระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบด้วยอัตราเฉลี่ยที่เท่ากัน ($\lambda_{n1} = \lambda_{n2}$) เนื่องจากการยกเลิกการให้บริการหรือการยกเลิกการให้บริการของผู้ใช้บริการที่มีการใช้บริการอยู่นั้นจะส่งผลทางด้านจิตใจมากกว่าการถูกปฏิเสธการเข้าใช้บริการ ตั้งแต่เริ่มต้นขอใช้บริการใหม่ ดังนั้นแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกจึงไม่ยกเลิกการให้บริการเนื่องจากค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกจะถูกคิดค่าบริการขึ้นอยู่กับปริมาณทราฟฟิกในระบบขณะนั้นๆ หมายความว่า ณ สภาวะคับคั่ง ค่าบริการของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกก็จะเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ไม่มีแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกออกจากระบบเนื่องจากค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงรายได้คาดหวังของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกในระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตจึงมีค่ามากกว่าระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เนื่องจากระบบมีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์จึงทำให้รายได้คาดหวังของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการเพิ่มขึ้น

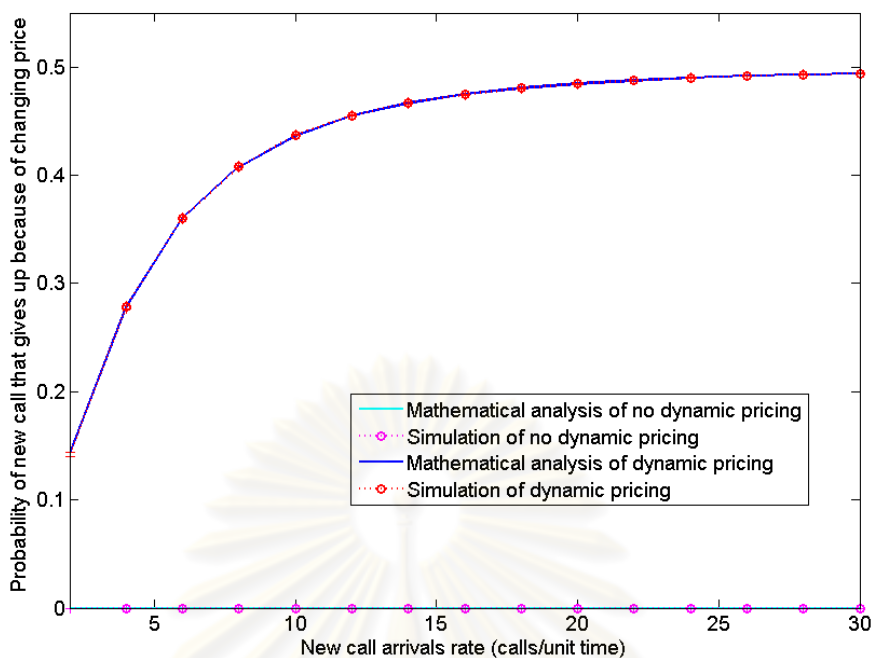
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



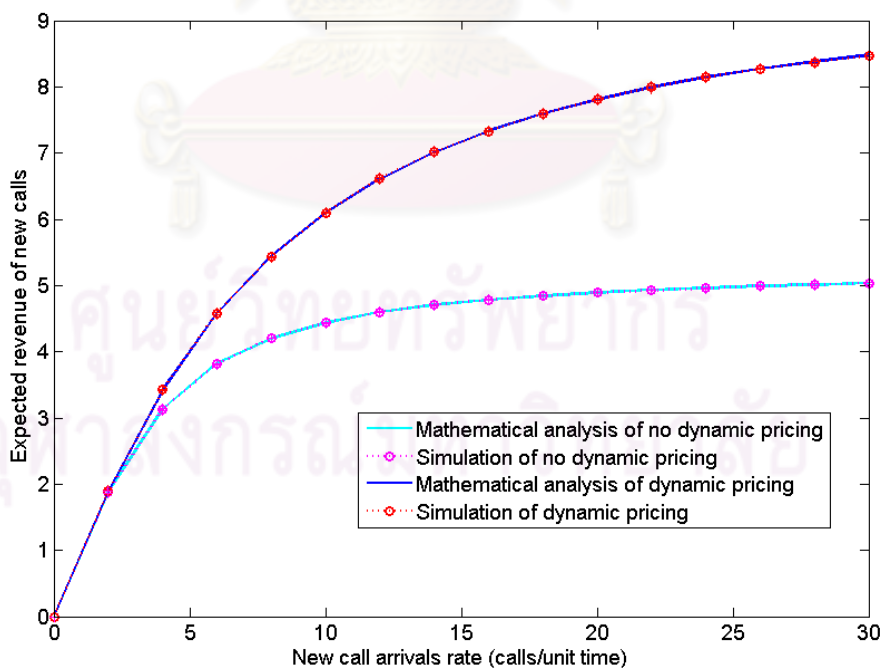
รูปที่ 4.17: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่



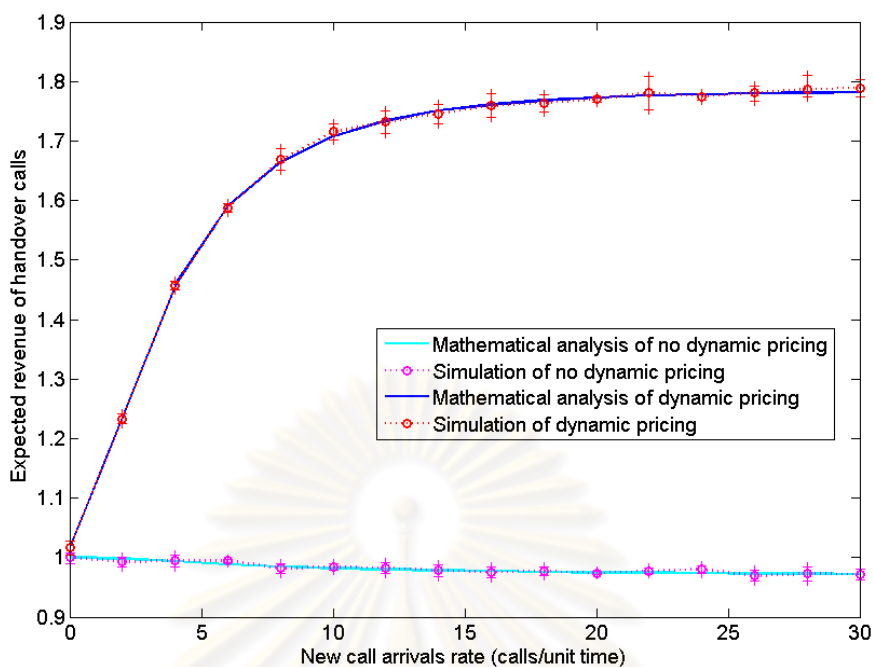
รูปที่ 4.18: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ถูกยกเลิกเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่



รูปที่ 4.19: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่



รูปที่ 4.20: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่ เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่



รูปที่ 4.21: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิก เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้ กำหนดให้อัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบคือ โทรฟฟิกใหม่ที่สิ้นสุดการให้บริการภายในเซลล์โดยไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์และโทรฟฟิกใหม่ที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ไปยังเซลล์ข้างเคียงเท่ากับ 5 และ 5 การเรียกต่อหน้าที่ ตามลำดับ และอัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกทั้งสองแบบคือ แฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกที่สิ้นสุดการให้บริการภายในเซลล์โดยไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์และแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ไปยังเซลล์ข้างเคียงเท่ากับ 2 และ 2 การเรียกต่อหน้าที่ ตามลำดับ ระยะเวลาการให้บริการเฉลี่ยของโทรฟฟิกใหม่แบบที่ 1 เท่ากับ 1 นาที และระยะเวลาที่โทรฟฟิกใหม่แบบที่ 2 อยู่ในเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 1 นาที ระยะเวลาการให้บริการเฉลี่ยของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกแบบที่ 3 เท่ากับ 0.5 นาที และระยะเวลาที่แฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกแบบที่ 4 อยู่ในเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 0.5 นาที บนระบบที่มีความจุ 8 ช่องสัญญาณและมีการกันช่องสัญญาณ 2 ช่องสัญญาณ โดยระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีจำนวนช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการ 4 ช่องสัญญาณ มีค่าบริการเริ่มต้นเท่ากับ 1 หน่วยต่อหน้าที่

ในรูปที่ 4.22 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์และระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่

ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์มือถือถูกปฏิเสธเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการจะมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เนื่องจากเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคับคั่ง ค่าบริการที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้โทรศัพท์มือถือที่ต้องการเข้าใช้บริการมีจำนวนลดลง ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการถูกปฏิเสธมีค่าลดลง เมื่อค่าบริการยิ่งเพิ่มสูงขึ้น ผู้ใช้บริการที่ยอมรับค่าบริการยิ่งมีจำนวนลดลง ส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์มือถือถูกปฏิเสธมีค่าลดลงเมื่อค่าบริการสูงขึ้น

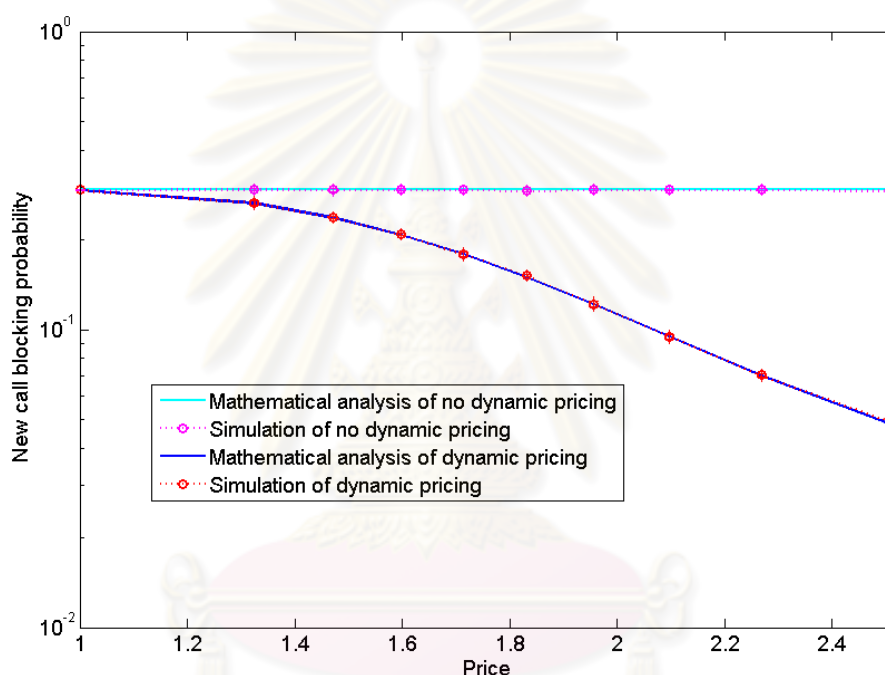
ในรูปที่ 4.23 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ถูกยกเลิกของบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์และระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ ค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ถูกยกเลิกเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการจะมีค่าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ เนื่องจากเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะคับคั่ง ค่าบริการที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้โทรศัพท์มือถือที่ต้องการเข้าใช้บริการมีจำนวนลดลง นอกจากความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการถูกปฏิเสธมีค่าลดลงแล้วยังส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ถูกยกเลิกลดลงด้วย

ในรูปที่ 4.24 เป็นการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่โทรศัพท์มือถือไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปของโทรศัพท์มือถือ บนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์และระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ เนื่องจากเมื่อค่าบริการที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าใช้บริการใหม่ปฏิเสธไม่ยอมรับค่าบริการที่เพิ่มขึ้นมีจำนวนมากขึ้น ค่าบริการยิ่งสูง การไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงของโทรศัพท์มือถือจึงสูงตาม

ในรูปที่ 4.25 เป็นการเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของโทรศัพท์มือถือบนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์และระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ ค่าคาดหวังของรายได้ของโทรศัพท์มือถือจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าบริการเพิ่มขึ้นจนเมื่อค่าบริการเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง ค่าคาดหวังของรายได้ของโทรศัพท์มือถือจะค่อยๆลดลง เนื่องจากเมื่อมีการเพิ่มค่าบริการถึงค่าหนึ่งจะส่งผลให้ผู้ใช้บริการปฏิเสธการเข้าใช้บริการมากขึ้นจนทำให้รายได้คาดหวังของโทรศัพท์มือถือค่อยๆลดลง และลดลงเรื่อยๆจนอาจจะน้อยกว่าระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ

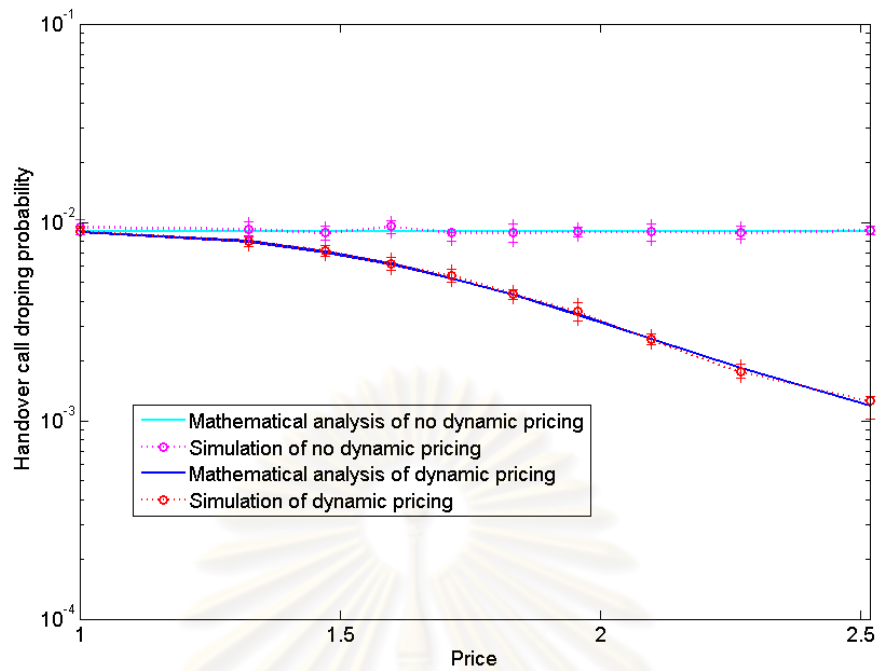
ในรูปที่ 4.26 เป็นการเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์บนระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการกันช่องสัญญาณสำหรับการทำ

แฮนด์โอเวอร์และระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ ค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์ใหม่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์จะถูกยกเลิกการใช้บริการก็ต่อเมื่อจำนวนช่องสัญญาณในระบบเต็มเท่านั้น ไม่มีการยกเลิกการใช้บริการเนื่องจากค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป และจากค่าความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกยกเลิกของแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์มีค่าน้อยลงเมื่อค่าบริการมีค่ามากขึ้น จึงทำให้รายได้คาดหวังของแฮนด์โอเวอร์โทรศัพท์มีค่ามากขึ้นเมื่อค่าบริการเพิ่มขึ้น

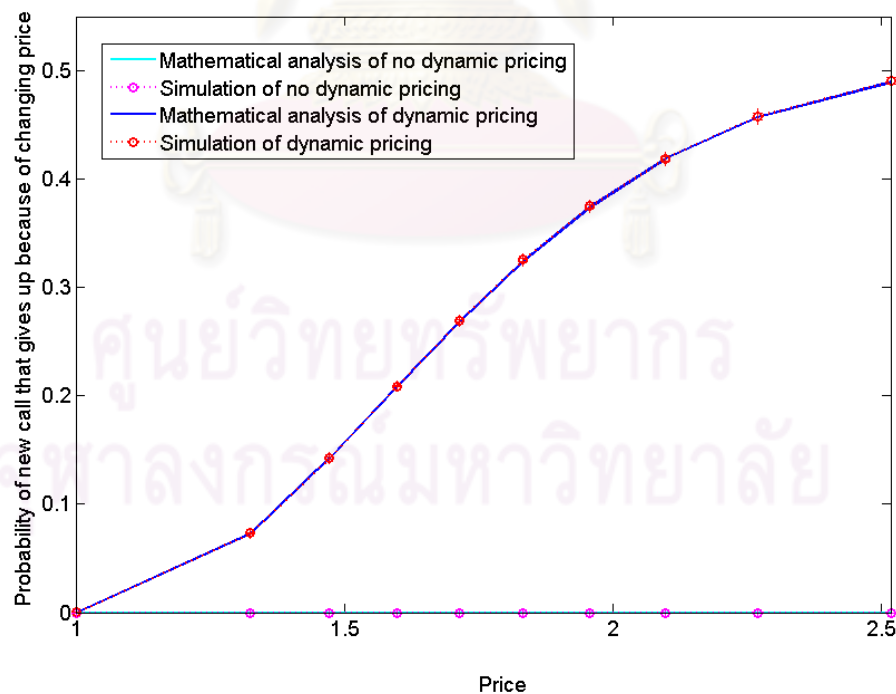


รูปที่ 4.22: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของโทรศัพท์ใหม่ถูกปฏิเสธเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ

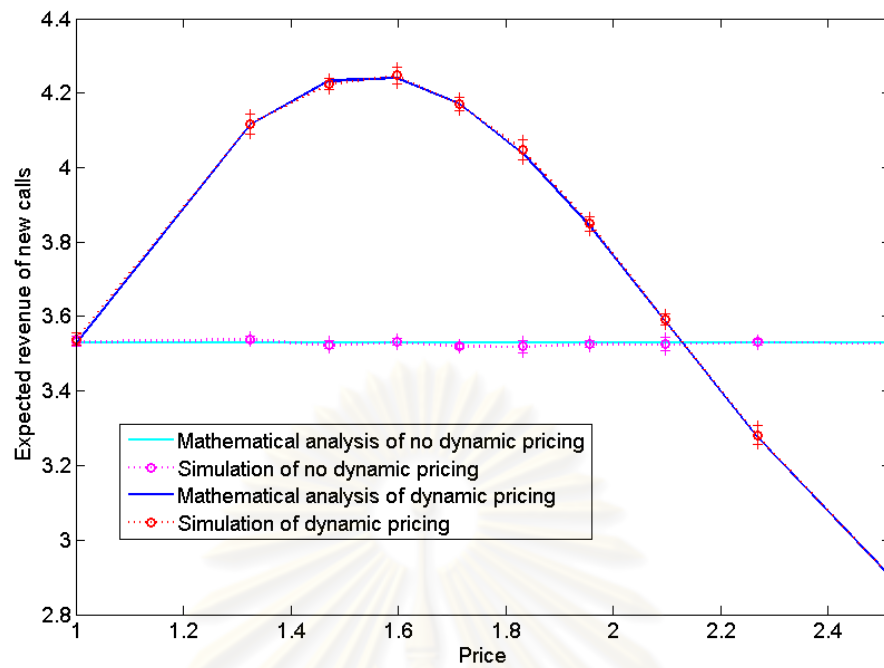
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



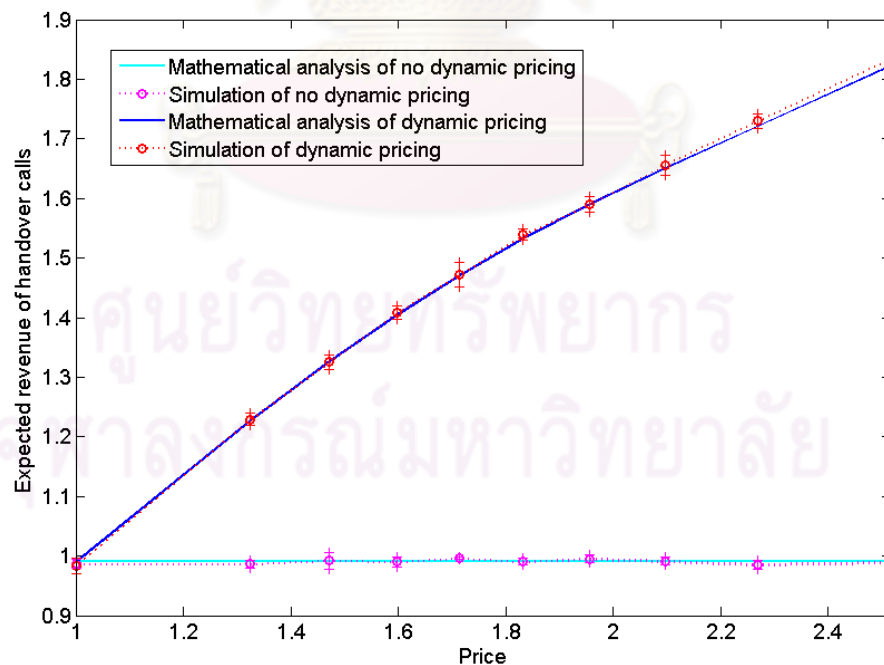
รูปที่ 4.23: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์โทรหาฟิสิกถูกยกเลิกเมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ



รูปที่ 4.24: การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นที่โทรหาฟิสิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ



รูปที่ 4.25: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของกราฟฟิกรใหม่ เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ

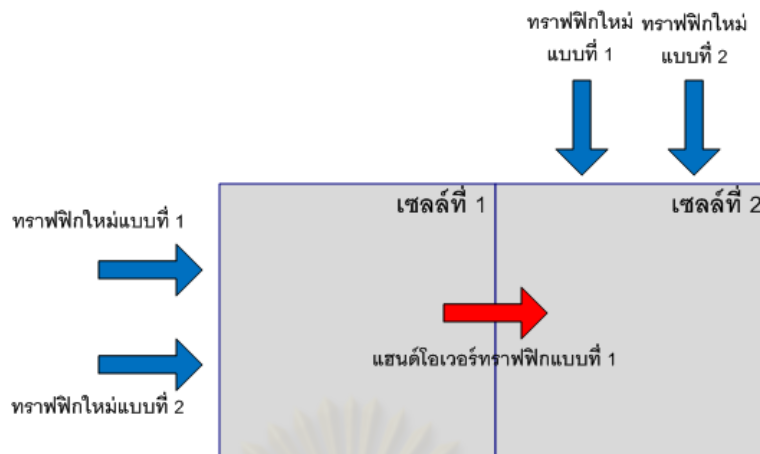


รูปที่ 4.26: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกร เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ

ดังนั้นจากรูปที่ 4.17- 4.26 สรุปได้ว่า เมื่อนำหัวข้อที่ 3.4 มาใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ ในกรณีที่ผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์นั้น ระบบที่นำการเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตมาใช้สามารถลดค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธและค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกถูกยกเลิกได้ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่ในระบบได้อีกด้วย แต่ต้องขึ้นกับการตั้งค่าบริการและยังสามารถเพิ่มค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกได้ แต่ก็ส่งผลให้มีทราฟฟิกใหม่ส่วนหนึ่งออกจากระบบเนื่องจากค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป โดยค่าที่ได้ต่าง ๆ นั้น พบว่ามีค่าเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อที่ 3.3.1 และ 3.3.2

เนื่องจากผู้ใช้บริการที่มีระยะเวลาการใช้บริการมากกว่าระยะเวลาที่ผู้ใช้บริการอยู่ในเซลล์ จะมีการเคลื่อนที่ไปยังเซลล์อื่น โดยผู้ใช้บริการที่มีการเคลื่อนที่ไปยังเซลล์อื่นนั้นจะไปเพิ่มปริมาณทราฟฟิกในเซลล์ที่เคลื่อนที่ผ่าน ซึ่งส่งผลให้ผู้ใช้บริการที่ขอเข้าใช้บริการใหม่ในเซลล์นั้น อาจต้องชำระค่าบริการสูงขึ้น แต่ในขณะที่ผู้ใช้บริการที่เกิดจากการทำแฮนด์โอเวอร์มานั้นจะถูกคิดค่าบริการขึ้นอยู่กับเซลล์เริ่มต้นการใช้บริการเท่านั้น ดังนั้นหัวข้อนี้จึงต้องการศึกษาเกี่ยวกับการคิดค่าบริการสำหรับผู้ใช้บริการที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์โดยในการคิดค่าบริการนั้นจะขึ้นกับเซลล์ที่เคลื่อนที่ข้ามผ่านไปไม่ได้ขึ้นอยู่กับเซลล์ที่เริ่มต้นใช้บริการเท่านั้น

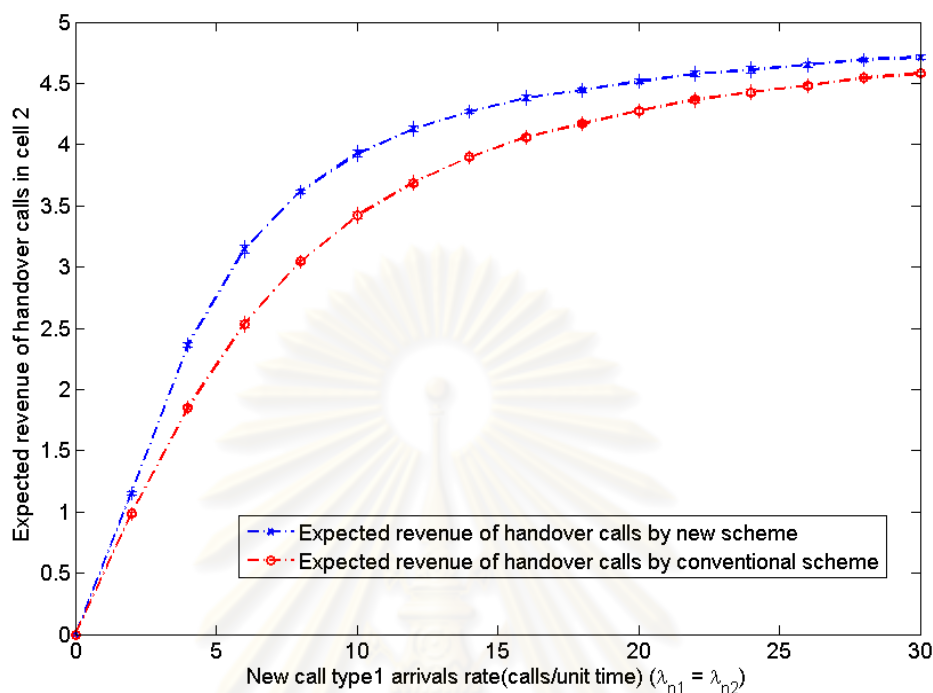
การจำลองระบบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงการคิดค่าบริการสำหรับแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกที่มีการคิดค่าบริการขึ้นกับเซลล์ที่เคลื่อนที่ข้ามผ่าน เมื่อพิจารณาระบบที่ประกอบด้วยเซลล์จำนวน 2 เซลล์ โดยกำหนดให้ในเซลล์ที่ 1 นั้นมีทราฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบเข้ามาใช้บริการเท่านั้นคือทราฟฟิกใหม่ที่สิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์โดยไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์และทราฟฟิกใหม่ที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ไปยังเซลล์ข้างเคียง โดยทราฟฟิกใหม่แบบแรกจะสิ้นสุดการใช้บริการในเซลล์ที่ 1 และทราฟฟิกใหม่แบบที่สองจะมีเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ไปยังเซลล์ที่ 2 และสิ้นสุดการใช้บริการภายในเซลล์ที่ 2 สำหรับเซลล์ที่ 2 นั้นจะประกอบไปด้วยทราฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบและแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกที่เคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์มาจากเซลล์ที่ 1 และสิ้นสุดการใช้บริการในเซลล์ที่ 2 ต้องการเข้าใช้บริการของสัญญาณ ดังรูปที่ 4.27 โดยทั่วไปแล้วแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกจะถูกคิดค่าบริการขึ้นกับเซลล์ที่เริ่มต้นใช้บริการซึ่งก็คือเซลล์ที่ 1 แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอวิธีคิดค่าบริการสำหรับแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบใหม่ โดยค่าบริการสำหรับแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกจะขึ้นกับเซลล์ที่เคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ซึ่งก็คือเซลล์ที่ 2 ในการจำลองระบบนี้ต้องการศึกษาผลของค่าคาดหวังของรายได้ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.27: แบบจำลองการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ กรณี 2 เซลล์

ในรูปที่ 4.28 เป็นการเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบที่หนึ่งในเซลล์ที่ 2 ที่เกิดจากทราฟฟิกใหม่แบบที่สองในเซลล์ที่ 1 บนระบบที่มีการคิดค่าบริการสำหรับแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกขึ้นกับเซลล์ที่เคลื่อนที่ข้ามผ่านและระบบที่มีการคิดค่าบริการสำหรับแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกขึ้นกับเซลล์เริ่มต้น โดยทั้งสองเซลล์ได้มีการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบคือ ทราฟฟิกใหม่ที่สิ้นสุดการให้บริการภายในเซลล์โดยไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์และทราฟฟิกใหม่ที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ไปยังเซลล์ข้างเคียงด้วยอัตราเฉลี่ยที่เท่ากัน ($\lambda_{n1} = \lambda_{n2}$) บนระบบที่แต่ละเซลล์มีความจุ 8 ช่องสัญญาณและมีการกันช่องสัญญาณไว้ 2 ช่องสัญญาณ โดยในเซลล์ที่ 1 นั้นไม่มีแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกทั้งสองแบบเข้าใช้บริการ และในเซลล์ที่ 2 อัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบที่หนึ่งนั้นขึ้นกับทราฟฟิกใหม่แบบที่สองจากเซลล์ที่ 1 และไม่มีแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบที่สองระยะเวลาการให้บริการเฉลี่ยของทราฟฟิกใหม่แบบที่ 1 เท่ากับ 1 นาที และระยะเวลาที่ทราฟฟิกใหม่แบบที่ 2 อยู่ในเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 1 นาที ระยะเวลาการให้บริการเฉลี่ยของแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบที่ 3 เท่ากับ 0.5 นาที และระยะเวลาที่แอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบที่ 4 อยู่ในเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 0.5 นาที โดยระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีจำนวนช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการ 4 ช่องสัญญาณ ค่าบริการเริ่มต้นเท่ากับ 1 หน่วยต่อนาที จากสมการที่ (2.9) ค่าบริการจะเพิ่มขึ้นเป็น 1.83 หน่วยต่อนาทีเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคับคั่ง โดยค่าบริการที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ แต่อัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกทั้งสองแบบจะไม่ลดลง ค่าคาดหวังของรายได้ของแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบที่หนึ่งในเซลล์ที่ 2 นั้นเมื่อคิดค่าบริการแบบใหม่ซึ่งขึ้นกับเซลล์ที่เคลื่อนที่ข้ามผ่าน ค่าที่ได้จะมากกว่าการคิดค่าบริการแบบทั่วไปซึ่งขึ้นกับเซลล์เริ่มต้นให้บริการ เนื่องจากในกรณีนี้กำหนดให้ทั้งสองเซลล์มีอัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบที่เท่ากัน แต่ในเซลล์ที่สองนั้นยังมีแอสต์โอเวอร์ทราฟฟิกแบบที่หนึ่งเข้าใช้บริการด้วย ซึ่งทำให้

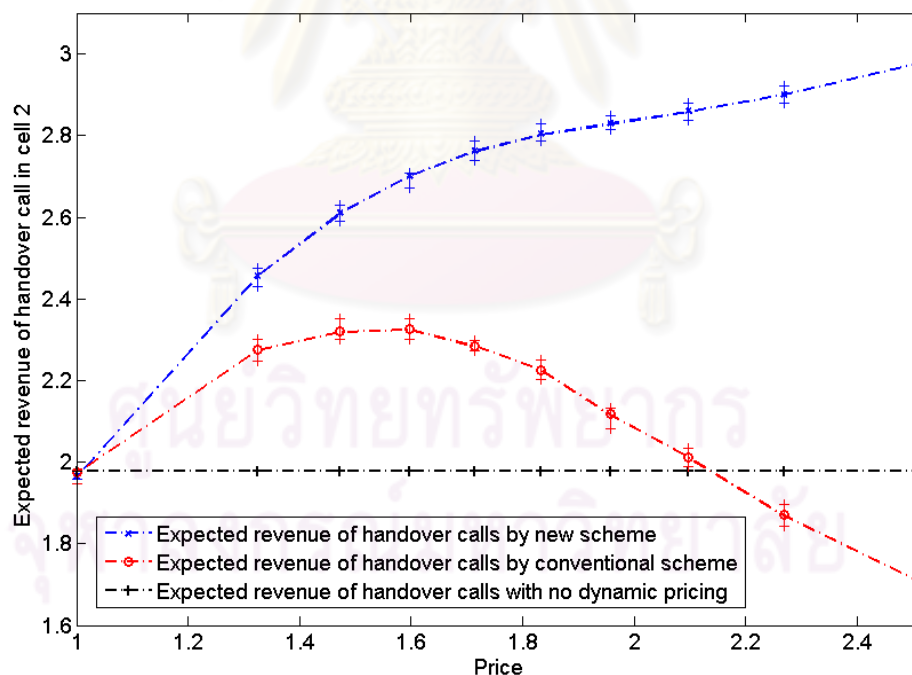
เซลล์ที่สองนั้นเข้าสู่ภาวะคับคั่งได้เร็วกว่า จึงทำให้การคิดค่าบริการที่ขึ้นกับเซลล์ที่สองนั้นจึงมีค่ามากกว่าการคิดค่าบริการที่ขึ้นกับเซลล์ที่หนึ่ง



รูปที่ 4.28: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกแบบที่หนึ่งในเซลล์ที่ 2 เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอัตราเฉลี่ยการเข้าใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบ

ในรูปที่ 4.29 เป็นการเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกแบบที่หนึ่งในเซลล์ที่ 2 ที่เกิดจากโทรฟฟิกใหม่แบบที่สองในเซลล์ที่ 1 บนระบบที่มีการคิดค่าบริการสำหรับแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกขึ้นกับเซลล์ที่เคลื่อนที่ข้ามผ่านและระบบที่มีการคิดค่าบริการสำหรับแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกขึ้นกับเซลล์เริ่มต้น โดยทั้งสองเซลล์ทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ บนระบบที่แต่ละเซลล์มีความจุ 8 ช่องสัญญาณและมีการกันช่องสัญญาณไว้จำนวน 2 ช่องสัญญาณ โดยในเซลล์ที่ 1 อัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบคือ โทรฟฟิกใหม่ที่สิ้นสุดการให้บริการภายในเซลล์โดยไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์และโทรฟฟิกใหม่ที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ไปยังเซลล์ข้างเคียงเท่ากับ 5 และ 5 การเรียกต่อนาที ตามลำดับ และไม่มีแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกทั้งสองแบบเข้าใช้บริการ สำหรับเซลล์ที่ 2 อัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของโทรฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบนั้นเท่ากับ 5 และ 5 การเรียกต่อนาที ตามลำดับ และอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกแบบที่หนึ่งนั้นขึ้นกับโทรฟฟิกใหม่แบบที่สองจากเซลล์ที่ 1 และไม่มีแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกแบบที่สอง ระยะเวลาการให้บริการเฉลี่ยของโทรฟฟิกใหม่แบบที่ 1 เท่ากับ 1 นาที และระยะเวลาที่โทรฟฟิกใหม่แบบที่ 2 อยู่ในเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 1 นาที ระยะเวลาการให้บริการเฉลี่ยของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกแบบที่ 3 เท่ากับ 0.5 นาที และระยะเวลาที่แฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิก

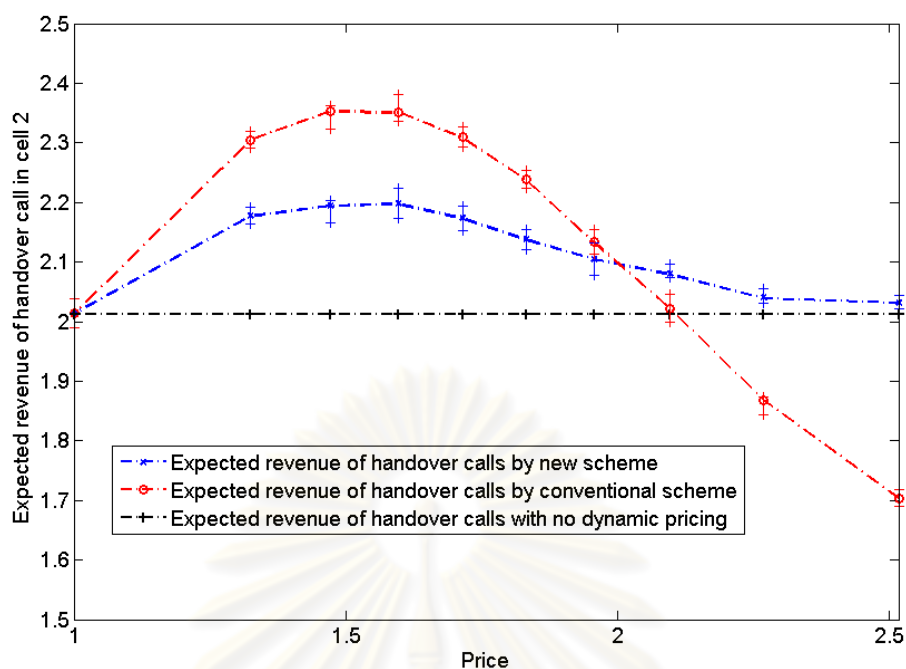
แบบที่ 4 อยู่ในเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 0.5 นาที โดยระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีจำนวนช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการ 4 ช่องสัญญาณ ค่าบริการเริ่มต้นคือ 1 หน่วยต่อนาที ค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกแบบที่หนึ่งในเซลล์ที่ 2 นั้นเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าบริการ ค่าคาดหวังของรายได้เมื่อคิดค่าบริการแบบใหม่นั้นมีค่ามากกว่าการคิดค่าบริการแบบทั่วไป เนื่องจากในกรณีนี้กำหนดให้เซลล์ที่สองมีปริมาณการเข้าใช้บริการของกราฟฟิกใหม่เท่ากับเซลล์ที่หนึ่ง แต่ในเซลล์ที่สองนั้นมีแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกแบบที่หนึ่งที่มาจากเซลล์ที่หนึ่งด้วย ซึ่งทำให้ปริมาณกราฟฟิกในเซลล์ที่สองเข้ามาใช้บริการมากกว่าเซลล์ที่หนึ่ง ระบบจึงเข้าสู่สภาวะคับคั่งได้เร็วกว่า จึงทำให้การคิดค่าบริการแบบใหม่มีค่าคาดหวังของรายได้มากกว่า สำหรับการคิดค่าบริการแบบทั่วไปนั้น ค่าบริการของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกจะขึ้นกับเซลล์ที่เริ่มต้นใช้บริการ จึงทำให้ค่าคาดหวังของรายได้ขึ้นกับกราฟฟิกใหม่ในเซลล์ที่หนึ่ง ดังนั้นเมื่อค่าบริการเพิ่มสูงขึ้น ค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกแบบที่หนึ่งในเซลล์ที่ 2 ที่เกิดจากกราฟฟิกใหม่แบบที่สองในเซลล์ที่ 1 จะมีค่าค่อยๆเพิ่มขึ้น จนกระทั่งค่าบริการเพิ่มสูงจนถึงค่าหนึ่ง ค่าคาดหวังของรายได้จะค่อยๆลดลง เนื่องจากกราฟฟิกใหม่ที่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปออกจากระบบไปมีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆจนทำให้ค่าคาดหวังของรายได้ค่อยๆลดลง



รูปที่ 4.29: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกแบบที่หนึ่งในเซลล์ที่ 2 เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ

ในรูปที่ 4.30 เป็นการเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกแบบที่หนึ่งในเซลล์ที่ 2 ที่เกิดจากกราฟฟิกใหม่แบบที่สองในเซลล์ที่ 1 บนระบบที่มีการคิดค่าบริการ

สำหรับแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกขึ้นกับเซลล์ที่เคลื่อนที่ข้ามผ่านและระบบที่มีการคิดค่าบริการสำหรับแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกขึ้นกับเซลล์เริ่มต้น โดยทั้งสองเซลล์ทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ บนระบบที่แต่ละเซลล์มีความจุ 8 ช่องสัญญาณและมีการกันช่องสัญญาณไว้จำนวน 2 ช่องสัญญาณ โดยในเซลล์ที่ 1 อัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของกราฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบคือ กราฟฟิกใหม่ที่สิ้นสุดการให้บริการภายในเซลล์โดยไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์และกราฟฟิกใหม่ที่มีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ไปยังเซลล์ข้างเคียงเท่ากับ 5 และ 5 การเรียกต่อนาที ตามลำดับ และไม่มีแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกทั้งสองแบบเข้าให้บริการ สำหรับเซลล์ที่ 2 อัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของกราฟฟิกใหม่ทั้งสองแบบนี้เท่ากับ 1 และ 1 การเรียกต่อนาที ตามลำดับ และอัตราเฉลี่ยการเรียกใช้บริการของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกแบบนี้หนึ่งนั้นขึ้นกับกราฟฟิกใหม่แบบที่สองจากเซลล์ที่ 1 และไม่มีแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกแบบที่สอง ระยะเวลาการให้บริการเฉลี่ยของกราฟฟิกใหม่แบบที่ 1 เท่ากับ 1 นาที และระยะเวลาที่กราฟฟิกใหม่แบบที่ 2 อยู่ในเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 1 นาที ระยะเวลาการให้บริการเฉลี่ยของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกแบบที่ 3 เท่ากับ 0.5 นาที และระยะเวลาที่แฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกแบบที่ 4 อยู่ในเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 0.5 นาที โดยระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการเมื่อระบบมีจำนวนช่องสัญญาณกำลังถูกใช้บริการ 4 ช่องสัญญาณ ค่าบริการเริ่มต้นคือ 1 หน่วยต่อนาที ค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกแบบนี้หนึ่งในเซลล์ที่ 2 นั้นเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าบริการ ค่าคาดหวังของรายได้เมื่อคิดค่าบริการแบบใหม่นั้นอาจมีค่าน้อยกว่าหรือมากกว่าการคิดค่าบริการแบบทั่วไป เนื่องจากในกรณีนี้กำหนดให้เซลล์ที่สองมีปริมาณการเข้าใช้บริการน้อยกว่าในเซลล์ที่หนึ่งซึ่งทำให้การคิดค่าบริการแบบใหม่น่าจะมีค่าคาดหวังของรายได้น้อยกว่าแต่เมื่อค่าบริการมีค่ามากขึ้นการคิดค่าบริการแบบใหม่ก็อาจทำให้ค่าคาดหวังของรายได้มีค่ามากกว่าการคิดค่าบริการแบบทั่วไปได้



รูปที่ 4.30: การเปรียบเทียบค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกแบบที่หนึ่งในเซลล์ที่ 2 เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าบริการ

ดังนั้นจากรูปที่ 4.28- 4.30 สรุปได้ว่า การคิดค่าบริการแบบใหม่ที่ซึ่งค่าบริการของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกขึ้นกับเซลล์ที่เคลื่อนที่ข้ามผ่านนั้น อาจจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าการคิดค่าบริการแบบทั่วไปที่คิดค่าบริการของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกขึ้นกับเซลล์ที่เริ่มต้นใช้บริการ โดยจะขึ้นกับปริมาณโทรฟฟิกในเซลล์ที่จะเคลื่อนที่ไปและการตั้งค่าบริการ ถึงแม้ว่าจะเคลื่อนที่ไปยังเซลล์ที่มีปริมาณโทรฟฟิกน้อยแต่ถ้า ณ ขณะนั้นระบบมีการตั้งค่าบริการไว้สูง วิธีแบบใหม่ก็อาจจะมีค่ามากกว่าวิธีทั่วไป

จากการวิเคราะห์ในทุกกรณีศึกษา สามารถสรุปได้ว่า การนำค่าบริการแบบพลวัตมาใช้ นั้น สามารถลดความคับคั่งในระบบได้ แต่เนื่องจากมีโทรฟฟิกใหม่ส่วนหนึ่งที่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปได้ออกจากระบบไป จึงส่งผลต่อค่าคาดหวังของรายได้ของโทรฟฟิกใหม่ของระบบ ที่ซึ่งอาจมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าเมื่อเทียบกับระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ แต่เนื่องจากแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกไม่มีการยกเลิกการใช้บริการเนื่องจากค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้ค่ารายได้คาดหวังของแฮนด์โอเวอร์โทรฟฟิกมีค่ามากกว่าระบบที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าบริการ และเมื่อผู้ใช้บริการมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ การคิดค่าบริการสำหรับแฮนด์โอเวอร์แบบใหม่นั้นอาจจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าการคิดแบบทั่วไปขึ้นกับลักษณะเซลล์ที่เคลื่อนที่ผ่านไปและการตั้งค่าบริการ

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยแรงจูงใจจากค่าบริการแบบพลวัตสำหรับทราฟฟิกที่มีการเคลื่อนที่ในโครงข่ายเซลลูลาร์ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมสถานะคับคั่งในระบบ เนื่องจากในปัจจุบันระบบสื่อสารโทรคมนาคมได้พัฒนาเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ความต้องการใช้บริการของผู้บริโภคมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่จากปัญหาของทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นการจัดสรรทรัพยากรให้มีการใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง โดยค่าพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการบ่งบอกระดับคุณภาพการให้บริการและความคับคั่งของระบบคือ ค่าความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกปฏิเสธและค่าความน่าจะเป็นที่การให้บริการถูกยกเลิก ในการนำการคิดค่าบริการแบบพลวัตมาประยุกต์ใช้นั้น ค่าบริการจะขึ้นกับปริมาณทราฟฟิกในเซลล์ ณ ขณะนั้นๆ ถ้า ณ ขณะนั้นในเซลล์มีปริมาณทราฟฟิกมาก ค่าบริการก็จะเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้ผู้ใช้บริการส่วนหนึ่งไม่ยอมรับค่าบริการและออกจากระบบไป จึงสามารถลดความคับคั่งของระบบได้ นอกจากการนำค่าบริการแบบพลวัตมาประยุกต์ใช้ในการลดความคับคั่งในระบบแล้ว ยังได้พิจารณาถึงการคิดค่าบริการสำหรับทราฟฟิกที่มีการเคลื่อนที่อีกด้วย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วทราฟฟิกที่มีการเคลื่อนที่นั้นจะมีการถูกคิดค่าบริการขึ้นกับเซลล์ที่เริ่มต้นการให้บริการ แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทราฟฟิกที่มีการเคลื่อนที่นั้นจะถูกคิดค่าบริการขึ้นกับปริมาณทราฟฟิกในเซลล์ที่เคลื่อนข้ามผ่าน โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์มาใช้เพื่อวิเคราะห์ถึงค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของทราฟฟิกใหม่ถูกปฏิเสธ ค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิกถูกยกเลิก ค่าความน่าจะเป็นที่ทราฟฟิกใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไป ค่าคาดหวังของรายได้ของทราฟฟิกใหม่ และค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก พร้อมทั้งวิเคราะห์ความสามารถในการนำไปใช้จริงด้วยการจำลองระบบทางคอมพิวเตอร์

นอกจากนี้ เราได้ทำการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ทำการวิเคราะห์ใน 4 กรณี คือ กรณีที่ไม่มีแฮนด์โอเวอร์ทราฟฟิก กรณีที่มีการทำแฮนด์โอเวอร์โดยไม่มีกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ กรณีที่มีการทำแฮนด์โอเวอร์โดยมีการกั้นช่องสัญญาณสำหรับการทำแฮนด์โอเวอร์ และกรณีที่ผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ และจาก

การวิเคราะห์พบว่าระบบที่นำค่าบริการแบบพลวัตมาประยุกต์ใช้นั้นสามารถลดค่าความน่าจะเป็นที่การเรียกใช้บริการของกราฟฟิกรูปใหม่ถูกปฏิเสธและค่าความน่าจะเป็นที่แฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกถูกยกเลิกได้ ถึงแม้ว่าค่าบริการแบบพลวัตจะสามารถลดความคับคั่งในระบบได้แต่ผู้ใช้บริการที่เข้าใช้บริการใหม่ส่วนหนึ่งได้ออกจากระบบไปเนื่องจากไม่ยอมรับค่าบริการที่สูงขึ้น ซึ่งค่าความน่าจะเป็นที่กราฟฟิกรูปใหม่ไม่ยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผู้ใช้บริการมีปริมาณมากขึ้นหรือเมื่อค่าบริการมีค่าสูงขึ้น ซึ่งส่งผลต่อค่าคาดหวังของรายได้ของกราฟฟิกรูปใหม่ ค่าคาดหวังของรายได้ของกราฟฟิกรูปใหม่นั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น ณ ค่าบริการหนึ่ง แต่เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าบริการจะพบว่าค่าบริการจะมีผลต่อค่าคาดหวังของรายได้ของกราฟฟิกรูปใหม่ ซึ่งอาจทำให้ได้ค่าที่มากกว่าหรือน้อยกว่าระบบที่ไม่ได้ใช้ค่าบริการแบบพลวัต และเนื่องจากในกรณีของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกนั้นจะไม่มีกรยกเลิกการใช้บริการเมื่อค่าบริการมีการเปลี่ยนแปลงจึงทำให้ค่ารายได้คาดหวังของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกเพิ่มขึ้นเมื่อค่าบริการเพิ่มขึ้น เพราะการยกเลิกการใช้บริการขณะใช้บริการอยู่นั้นจะส่งผลทางด้านความรู้สึกต่อผู้ใช้บริการมากกว่าการปฏิเสธการเรียกใช้บริการตั้งแต่เริ่มต้น ทั้งนี้โดยมีสมมติฐานหลักคือโครงข่ายเป็นระบบที่มีความจุจำกัดและไม่มีบัฟเฟอร์ โดยกราฟฟิกรูปใหม่และแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกมีการเข้าใช้บริการเป็นแบบปัวซอง และระยะเวลาการใช้บริการมีการกระจายตัวแบบเลขชี้กำลัง

การจำลองระบบมีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันความถูกต้องของการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ทั้ง 4 กรณี และศึกษาการคิดค่าบริการสำหรับแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกในกรณีที่ผู้ใช้บริการมีการเคลื่อนที่ข้ามผ่านเซลล์ โดยการคิดค่าบริการสำหรับแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกตามที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอนั้น จะพบว่าค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกแบบใหม่ (ขึ้นกับเซลล์ที่เคลื่อนที่ข้ามผ่าน) นั้นจะมากกว่าหรือน้อยกว่าแบบทั่วไป (ขึ้นกับเซลล์เริ่มต้น) ขึ้นกับปริมาณกราฟฟิกในเซลล์ขณะนั้น ถ้าแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกเคลื่อนที่ไปยังเซลล์ที่มีปริมาณกราฟฟิกมาก ค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกในการคิดค่าบริการแบบใหม่นั้นก็จะมีค่ามากกว่าการคิดค่าบริการแบบทั่วไป และมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ถ้าแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกเคลื่อนที่ไปยังเซลล์ที่มีปริมาณกราฟฟิกน้อย ค่าคาดหวังของรายได้ของแฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกที่มีการคิดค่าบริการแบบใหม่นั้นก็อาจจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าการคิดค่าบริการแบบทั่วไป เพราะนอกจากจะขึ้นกับปริมาณกราฟฟิกในเซลล์ที่เคลื่อนที่ผ่านไปแล้วยังขึ้นกับการตั้งค่าบริการอีกด้วย เนื่องจากว่าในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้แฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกยอมรับค่าบริการที่เปลี่ยนแปลงเสมอ โดยไม่ได้พิจารณาถึงกรณีที่แฮนด์โอเวอร์กราฟฟิกไม่ยอมรับค่าบริการที่สูงขึ้น จึงทำให้ผลที่ได้นั้นบางครั้งไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงในทางปฏิบัติ

5.2 ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยแรงจูงใจจากค่าบริการแบบพลวัตสำหรับทราฟฟิกที่มีการเคลื่อนที่ในโครงข่ายเซลลูลาร์ แต่จากการศึกษาและทดสอบพบว่ายังมีประเด็นหรือปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมความคับคั่งในระบบโครงข่าย จึงสรุปเป็นข้อเสนอแนะและสำหรับงานวิจัยในอนาคตดังนี้

1. นอกจากนโยบาย (policy) การเปลี่ยนแปลงค่าบริการแบบพลวัตที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงหนึ่งระดับ และค่าบริการสำหรับแบนด์โอเวอร์ทราฟฟิก งานวิจัยในอนาคตอาจนำนโยบายแบบอื่นมาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้น
2. นอกเหนือจากฟังก์ชันค่าขอที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว ยังมีฟังก์ชันค่าขออีกหลายรูปแบบซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นได้ และนอกจากจะพิจารณาถึงรายได้ที่เกิดขึ้น ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาถึงต้นทุน (cost) ได้อีกด้วย
3. เนื่องจากในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณาผู้ใช้บริการเคลื่อนที่เพียงสองเซลล์เท่านั้น ดังนั้นเพื่อในการศึกษาต่อไปอาจพิจารณาในกรณีที่มีการเคลื่อนที่มากกว่าสองเซลล์

รายการอ้างอิง

- [1] Chang, C.J.; Su, T.T., and Chiang, Y.Y. Analysis of a Cutoff Priority Cellular Radio System with Finite Queuing and Reneging/Dropping. Proceedings of IEEE/ACM Transactions on Networking 2, 2 (April 1994): 166-175.
- [2] Abdallah, M.M.; El-Hadidi, M.T., and El-Sayed. Effect of User Mobility on the QoS Parameters for Guard Channel Policy. Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference 3 (September 1999): 1503-1507.
- [3] Hou, J.; Fang, Y., and Akansu, A.N. Mobility-based Channel Reservation Scheme for Wireless Mobile Networks. Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2 (September 2000): 527-531.
- [4] Hou, J.; Fang, Y., and Papavassiliou, S. Integration of Pricing with Call Admission Control to Meet QoS Requirements in Cellular Networks. Proceedings of IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems 13, 9 (September 2002): 898-920.
- [5] Yaipairoj, S., and Harmantzis, F.C. Dynamic Pricing with Alternatives for Mobile Networks. Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2 (March 2004): 671-676.
- [6] Al-kishrewo, O.A., and Mousa, M.M. Integration of Dynamic Pricing with Guard Channel Scheme for Uniform and Non-uniform Cellular Network Traffic. International RF and Microwave Conference (September 2006): 363-366.
- [7] Manthari, B.; Nasser, N.; Ali, N.A., and Hassanein, H. Efficient Bandwidth Management in Broadband Wireless Systems Using CAC-based Dynamic Pricing. Proceedings of IEEE the 33th Local Computer Networks Conference (October 2008): 484-491.
- [8] Yaipairoj, S., and Harmantzis, F.C. A Dynamic Pricing Model for Data Services in GPRS Networks. Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference Workshops (November 2004): 453-458.
- [9] Manaffar, M.; Bakhshi, H., and Pilevari, M. A New Dynamic Pricing Scheme with Call Admission Control to Reduce Network Congestion. Proceedings of the 22nd

- International Conference on Advanced Information Networking and Applications – Workshops (2008): 347-352.
- [10] Cocchi, R.; Shenker, S.; Estrin, D., and Zhang, L. Pricing in computer networks: motivation, formulation, and Example. Proceedings of IEEE/ACM Transactions on Networking 1, 6 (December 1993): 614-627.
- [11] Kleinrock, L. Queuing System Volume I: Theory. Wiley-Interscience Publication, 1975
- [12] Liu, H.H. Guard Channel Sharing Strategies in Integrated Voice/Data Mobile Networks. Proceedings of the 18th International Conference on Advanced Information Networking and Application 2 (March 2004): 79-82.
- [13] Fang, Y., and Zhang, Y. Call Admission Control Schemes and Performance Analysis in Wireless Mobile Networks. Proceedings of IEEE Transactions on Vehicular Technology 51, 2 (March 2002): 371-382.
- [14] Lazaris, A., and Koutsakis, P. Pricing-based Call Admission Control for Wireless MPEG-4 Traffic. Computer Communications 32, 17 (November 2009): 1781-1789.
- [15] Yilmaz, O., and Chen, I.R. Utilization in Call Admission Control for Pricing Optimization of Multiple Service Classes in Wireless Cellular Networks. Computer Communications 32, 2 (February 2009): 317-323.
- [16] Zachariadis, G., and Barria, J.A. Dynamic Pricing and Resource Allocation Using Revenue Management for Multiservice Networks. Proceedings of IEEE Transactions on Network and Service Management 5, 4 (December 2008): 215-226.
- [17] Wang, Q., and Brown, T.X. Pricing versus Admission Control in Multi-class Loss Networks. Proceedings of IEEE the 40th Annual Conference on Information Sciences and Systems (March 2006): 265-270.
- [18] Paschalidis, I.C., and Liu, Y. Pricing in Multiservice Loss Networks: Static Pricing, Asymptotic Optimality, and Demand Substitution Effects. Proceedings of IEEE Transactions on Networking 10, 3 (2002): 425-438.
- [19] Hong, D., and Rappaport, S.S. Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures. Proceedings of IEEE Transactions on Vehicular Technology 35, 3 (August 1986): 77-92.

- [20] Tonguz, O.K., and Yanmaz, E. The Mathematical Theory of Dynamic Load Balancing in Cellular Networks. Proceeding of IEEE Transactions on Mobile Computing 7, 12 (December 2008): 1504-1518.
- [21] Kelly, F.P. Loss Networks. Annals of Applied Probability 1, 3 (1991): 319-378.
- [22] Veerayuth Maihasap. Analysis and Correction of Call Blocking Probability from Intrusive Measurement in Mobile Phone Network. Master's Thesis, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 2008.
- [23] Fang, Y.; Chlamtac, I., and Lin, Y.B. Modeling PCS Networks Under General Call Holding Time and Cell Residence Time Distributions. Proceeding of IEEE/ACM Transactions on Networking 5, 6 (1997); 893-906.
- [24] Choi, J.; Kwon, T.; Choi, Y., and Naghshineh, M. Call Admission Control for Multimedia Services in Mobile Cellular Networks: A Markov Decision Approach. Proceeding of the 5th IEEE Symposium on Computers and Communications (2000); 594-599.
- [25] Marson, M.A.; De Carolis, G., and Leonardi, E. Efficient Estimation of Call Blocking Probabilities in Cellular Mobile Telephony Networks with Customer Retrials. Proceeding of IEEE Journal on Selected Areas in Communications 19, 2 (February 2001); 332-346.
- [26] Tzeng, S.S. Call Admission Control Policies in Cellular Wireless Networks with Spectrum Renting. Computer Communication 32, 18 (December 2009): 1905-1913.
- [27] ITU-D Study Group 2. Teletraffic Engineering. Handbook (2005).



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การพิสูจน์ค่าความคับคั่งเชิงเวลาของระบบ เมื่อระบบไม่มีแฮนด์โอเวอร์ ทราฟฟิก

จากแผนภาพแสดงสถานะของระบบที่มีทราฟฟิกใหม่ในรูปที่ 3.5 เมื่อระบบอยู่ในสถานะ
อยู่ตัวสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่ระบบอยู่ในสถานะ n ได้ๆ ด้วย local balance equation ได้
ดังนี้

$$\pi(0)\lambda = \pi(1)\mu$$

$$\pi(1)\lambda = \pi(2)2\mu$$

$$\pi(2)\lambda = \pi(3)3\mu$$

$$\pi(3)\lambda = \pi(4)4\mu$$

⋮

$$\pi(i-1)\lambda = \pi(i)i\mu$$

$$\pi(i)\lambda = \pi(i+1)(i+1)\mu$$

$$\pi(i+1)\lambda = \pi(i+2)(i+2)\mu$$

⋮

$$\pi(N-2)\lambda = \pi(N-1)(N-1)\mu$$

$$\pi(N-1)\lambda = \pi(N)N\mu$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

$$\begin{aligned}\pi(1) &= \pi(0)\rho \\ \pi(2) &= \pi(0)\frac{\rho^2}{2!} \\ \pi(3) &= \pi(0)\frac{\rho^3}{3!} \\ \pi(4) &= \pi(0)\frac{\rho^4}{4!} \\ &\vdots \\ \pi(i) &= \pi(0)\frac{\rho^i}{i!} \\ \pi(i+1) &= \pi(0)\hat{\rho}\frac{\rho^i}{i!} \\ \pi(i+2) &= \pi(0)\frac{\hat{\rho}^2}{2!}\frac{\rho^i}{i!} \\ &\vdots \\ \pi(N-1) &= \pi(0)\frac{\hat{\rho}^{(N-i-1)}}{(N-i-1)!}\frac{\rho^i}{i!} \\ \pi(N) &= \pi(0)\frac{\hat{\rho}^{(N-i)}}{(N-i)!}\frac{\rho^i}{i!}\end{aligned}$$

โดย normalization condition

$$\begin{aligned}\sum_{\forall n} \pi(n) &= 1 \\ \pi(0) + \pi(1) + \pi(2) + \pi(3) + \dots + \pi(i-1) + \pi(i) + \dots + \pi(N-1) + \pi(N) &= 1 \\ \pi(0)\left[1 + \rho + \frac{\rho^2}{2!} + \frac{\rho^3}{3!} + \dots + \frac{\rho^{(i-1)}}{(i-1)!} + \frac{\rho^i}{i!} + \hat{\rho}\frac{\rho^i}{i!} + \frac{\hat{\rho}^2}{2!}\frac{\rho^i}{i!} + \dots + \frac{\hat{\rho}^{(N-i-1)}}{(N-i-1)!}\frac{\rho^i}{i!} + \frac{\hat{\rho}^{(N-i)}}{(N-i)!}\frac{\rho^i}{i!}\right] &= 1 \\ \pi(0) &= \frac{1}{\sum_{j=0}^i \frac{\rho^j}{j!} + \rho^i \left(\sum_{k=1}^{N-i} \frac{\hat{\rho}^k}{(i+k)!} \right)}\end{aligned}$$

ดังนั้น $\pi(n)$ ที่สถานะ n คือ

$$\pi(n) = \begin{cases} \frac{\rho^n}{n!} \left[\frac{1}{\sum_{j=0}^i \frac{\rho^j}{j!} + \rho^i \left(\sum_{k=1}^{N-i} \frac{\hat{\rho}^k}{(i+k)!} \right)} \right] & ; 0 \leq n \leq i \\ \frac{(\rho^i)(\hat{\rho}^{n-i})}{n!} \left[\frac{1}{\sum_{j=0}^i \frac{\rho^j}{j!} + \rho^i \left(\sum_{k=1}^{N-i} \frac{\hat{\rho}^k}{(i+k)!} \right)} \right] & ; i \leq n \leq N \end{cases}$$

ดังนั้นค่าความคับคั่งเชิงเวลาของทราฟฟิกใหม่มีค่าเท่ากับ

$$B_T = \pi(N) = \frac{(\rho^i)(\hat{\rho}^{N-i})}{N!} \left[\frac{1}{\sum_{j=0}^i \frac{\rho^j}{j!} + \rho^i \left(\sum_{k=1}^{N-i} \frac{\hat{\rho}^k}{(i+k)!} \right)} \right]$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

Pongmala, C., and Saivichit, C. Analytical Approach for Performance Evaluation of Pricing Incentives Based Call Admission Control in Cellular Network. 2010 International Symposium on Computer, Communication, Control and Automation 1, (May 2010): 430-433.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Analytical Approach for Performance Evaluation of Pricing Incentives Based Call Admission Control in Cellular Network

Chatkwan Pongmala and Chaiyachet Saivichit
 Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering
 Chulalongkorn University
 Bangkok 10330, Thailand
 e-mail: chatkwanp@gmail.com and chaiyachet.s@chula.ac.th

Abstract— In this paper, we investigate the effects of pricing incentives in order to control the number of users requested access in cellular system. The system has been modeled as continuous time Markov chains with Poisson traffic for both new and handover calls. With mathematical results, formulations have been derived to show the values of new call blocking probability, probability of new calls are given up because of changing price and the total revenue. The results explain that by setting a suitable price it not only can reduce new call blocking probability but also can increase the total revenue in the system. Although, some calls have given up because of changing price.

Keywords— call admission control; pricing; handover

I. INTRODUCTION

Nowadays, wireless mobile network has been developed to provide various multimedia services to users with mobility in mind. As the demand of mobile services has been continually increasing over the limited resources, efficient resource allocation has become very important issue. Without proper planning, this could cause the network congestion problem. Using Call Admission Control (CAC) is a well-known strategy to control the number of users and can also provide Quality of Service (QoS) to users [1], [2], [3]. Normally, call blocking probability and call dropping probability are used to indicate the level of congestion and QoS. Since, handover calls have higher priority than new calls, guard channel scheme is normally used to apply for call admission control [1], [3].

However, call admission control cannot provide incentives information to users to accept or reject calls. Pricing is used as a decision indicator [4], [5] including traffic management and congestion control. Integration between call admission control and dynamic pricing is discussed in the literature [2], [6], [7], [8]. In dynamic pricing, network provider charged the price based on the amount of traffic in the system. In [2], [6], [8], they dynamically computed the optimal arrival rate to maximize total utility. The initial price is charged to users, when the new call arrival rate is less than the optimal arrival rate. Otherwise, dynamic pricing will be charged to users who accept the price. This scheme is proposed to reduce network congestion. However, it cannot provide incentives to users when the network is underutilized and every call consumes equivalent amount of resource. This may not be suitable for the next generation network which

can support several services. The work in [6] compares the difference between uniform and non uniform cellular network traffic. However, the same amount of bandwidth is consumed by every call. It is not suitable for the network that carries multiple types of services. In [8], each user consumes various bandwidths depending on services. In [7], this paper analyzed the performance when the price is changed dynamically based on the amount of load. The price is constant until the amount of load reaches the threshold point and the dynamic pricing will then be applies. However, this paper does not consider handover users. Because of the mobility of the mobile users, it is necessary to extend the study to cover handover calls.

From the literature, the price of handover traffic is computed at the call originating cell. Nevertheless, this traffic will contribute to the increasing load in the cells that handover call move passed. Therefore, the new calls in these cells have to pay high price and it is unfair for new calls. In this paper, we focus on the problem of reducing network congestion and analyzing that pricing incentives and how handover calls has effects over the performance of single cell system.

The rest of this paper is organized as following: the proposed scheme is presented in section 2. Then, the numerical results are shown in section 3. In section 4, the paper is concluded.

II. PROPOSED MODEL

A. System Model

In our proposed model, the system will dynamically change the price when traffic in the system is high to reach a setting state. When this event occurs, the system will inform the current price to users. Incoming calls are blocked when the system capacity is fully seized and some arriving calls may give up due to the current price is too high. As an early work, we model the cellular network with no guard channel. We assume that the capacity of the system is N channels. New and handover call arrivals are modeled as Poisson process with rate λ and λ_h , the holding times are exponential distribution with mean $1/\mu$ and $1/\mu_h$. The system has no buffer and no retrial calls.

B. Dynamic Pricing

Dynamic pricing is one of the methods that price setting depends on the load in the system. When the load is high, the price will increase and decrease when the load

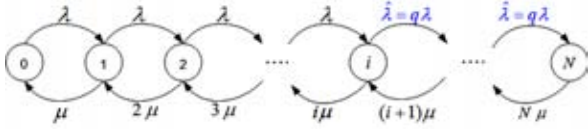


Figure 1. 1-dimensional state diagram of the system that changes price when occupied channels equal to i

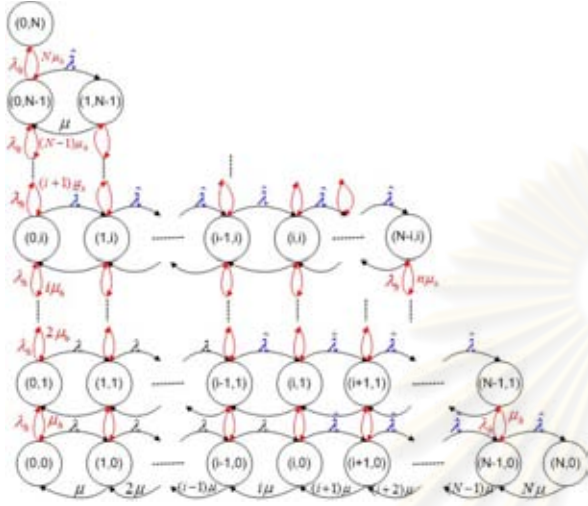


Figure 2. 2-dimensional state diagram of the system that changes price when occupied channels equal to i

becomes lower. Some users do not accept the price, so the numbers of users who are willing to accept the price will affect the number of calls in the system. Demand function is applied to represent “willingness-to-pay”. There is various demands function in the literature [2], [8]. This paper [2] uses demand function as following:

$$p_n = p_0 + \frac{p_0 \sqrt{-4 \ln(q)}}{2} \quad (1)$$

where, q is the percentage of users who accept the changing price (or percentage of users in the system), p_0 is an initial price and p_n is the new price. When the traffic load in the system is high, the system will limit the number of users in the system to alleviate network congestion by using pricing scheme. After the system sets the percentage of users in the system (q), then the system will compute the price (p_n).

C. State Balance Equations

The state diagram of the system with no handover calls and handover calls is shown in Fig.1 and Fig.2, respectively, where Continuous Time Markov Chains (CTMCs) have assumed to be the system state model.

In Fig.1, we consider only new call arrivals and assume that price will be changed when the occupied channels equal to i . The system wants to reduce new call arrivals to $\hat{\lambda} = q \times \lambda$. From local balance equation, we obtain probability that the system is in state n at steady state as follow:

$$\pi(n) = \begin{cases} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} \pi(0) & ; 0 \leq n \leq i \\ \frac{(\lambda/\mu)^i (\hat{\lambda}/\mu)^{n-i}}{n!} \pi(0) & ; i < n \leq N \end{cases} \quad (2)$$

where

$$\pi(0) = \frac{1}{\sum_{j=0}^i \frac{(\lambda/\mu)^j}{j!} + (\lambda/\mu)^i \left(\sum_{k=1}^{N-i} \frac{(\hat{\lambda}/\mu)^k}{(i+k)!} \right)} \quad (3)$$

From (2), when the system has N busy channels, new call blocking probability (B) is given by

$$B = \pi(N) = \frac{(\lambda/\mu)^i (\hat{\lambda}/\mu)^{N-i}}{N!} \pi(0) \quad (4)$$

Then, probability of users that give up calls because of the changing price is defined as the ratio of the number of users that will not accept the new price to the total users that originally want to make calls. Because $(1-q)$ is probability that the users will not accept the changing price, we can obtain the probability of given up calls (B_G) as follow:

$$B_G = (1-q) \sum_{n=i}^N \pi(n) \quad (5)$$

In Fig.2, we consider both new calls and handover calls with no guard channels. When used channels equal to i , then the system will change the price. So, the new call arrival rates will be limited to $\hat{\lambda} = q \times \lambda$

From local balance equation, we obtain the new call blocking probabilities (B_N) and handover call dropping probability (B_H) as follow:

$$B_N = B_H = \sum_{n=0}^N \pi(n, N-n) \quad (6)$$

Then, the probability of new calls that give up because of changing price (B_G) is given by

$$B_G = \sum_{n=0}^N \sum_{m=i-n}^{N-n} (1-q) \times \pi(n, m) \quad (7)$$

D. Call and Time Congestion

Probabilities in (4) and (6) are probabilities that the system is saturated or the ratio of time that the system is saturated because of the ergodic property. These are called time congestion (B_T). Practically, the system want to find the proportion of arriving calls that will be blocked when the system is saturated. Therefore, it is called call congestion (B_C). Considering call congestion as follow:

$$B_C = \frac{B_T \times \lambda \times T}{\sum_{n=0}^N \pi(n) \times \lambda \times T} = \frac{B \times \hat{\lambda}}{\sum_{n=0}^{i-1} \pi(n) \times \lambda + \sum_{n=i}^N \pi(n) \times \hat{\lambda}} \quad (8)$$

We obtain (8) for one-dimensional system model and two-dimensional system model is given by

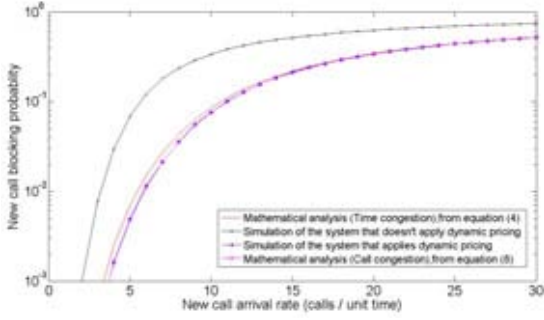


Figure 3. Numerical result of the system that changes price when occupied channels equal to 4.

$$B_c = \frac{B_n \times \hat{\lambda}}{\sum_{n=0}^{i-1} \sum_{m=i-n}^{N-n} \pi(n, m) \times \lambda + \sum_{n=i}^N \sum_{m=i-n}^{N-n} \pi(n, m) \times \hat{\lambda}} \quad (9)$$

III. NUMERICAL RESULT

In this section, we use numerical result to illustrate the previous mathematical analysis by using MATLAB program. In this paper, we assume that the system is single cell and capacity of the system is 8 channels. In the first scenario, we consider one dimensional system or only new calls. We set $1/\mu = 1$ unit time, $q = 0.5$ and initial price (p_0) is 1 per unit time. When the occupied channels (i) is 4, then the price will be changed. The results of new call blocking probability; probability of calls that will give up because of changing price and total revenue; are shown in Fig.3, Fig.4 and Fig. 5, respectively.

In Fig. 3, the new call blocking probability of the system that applies dynamic pricing is less than the result obtained from the system that doesn't apply dynamic pricing. For our proposed scheme, the new call blocking probabilities from simulation are less than mathematical analysis. It is because simulation results are call congestion but mathematical results are time congestion. This can be further supported by equation (8).

In Fig. 4, when the system sets probability of accepted price equal to 1. It means that no users give up because of price. So, the probability of given up calls because of changing price is zero. On the other hand, if the system sets probability of accepted price equal to 0.5, the probability of given up call will increase when the new call arrival rate increase but it will not exceed 0.5. Although, some users give up because of changing price but the total revenue of our proposed scheme is higher than the traditional scheme as shown in Fig. 5.

For second scenario, two-dimensional system, we consider both new and handover calls. We set $1/\mu_h = 1/\mu = 1$ unit time, $\lambda_h = 2$ calls/ unit time, $q = 0.5$ and initial price (p_0) is 1 per unit time. In Fig. 6, our scheme can reduce new call blocking probability compared with the traditional scheme.

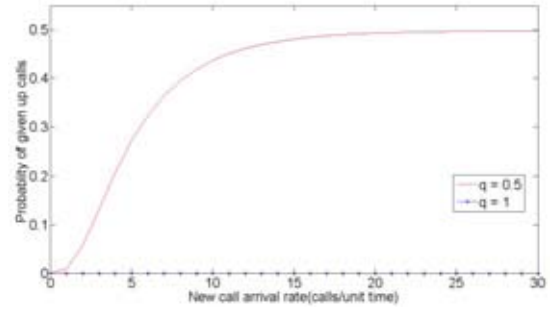


Figure 4. Probability of given up calls when probabilities of accepted price are 1 and 0.5.

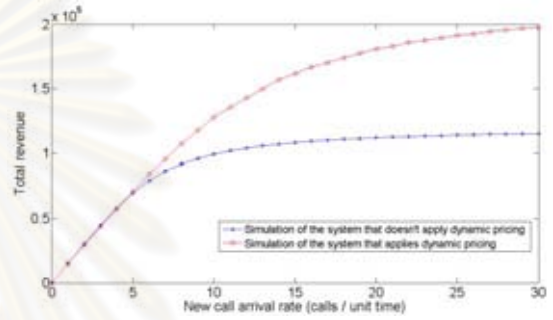


Figure 5. Total revenue of the system

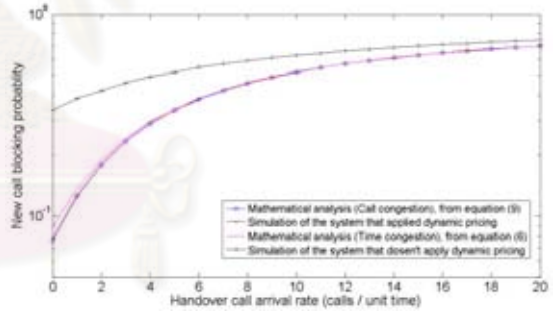


Figure 6. New call blocking probability when new call arrival rate is 10 calls/unit time

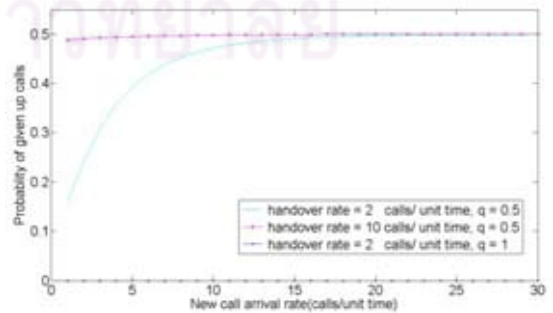


Figure 7. Probability of given up calls when probabilities of accepted price are 1 and 0.5, handover rates are 2 and 10 calls/unit time



ต้นฉบับไม่มีหน้า 83

NO PAGE 83 IN ORIGINAL

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวฉัตรขวัญ พงษ์มาลา เกิดเมื่อวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2529 จังหวัด กรุงเทพมหานคร เป็นบุตรของ นายฉัตรชัย พงษ์มาลา และนางจุไรรัตน์ พงษ์มาลา สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตใน ปีการศึกษาถัดมา ณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สังกัดห้องปฏิบัติการวิจัยโทรคมนาคม



ศูนย์วิทยพัชร์พยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย