

การศึกษาวิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกทางแบบพลวัตสำหรับโครงข่ายที่ให้บริการหลายประเภท



นายสุพิกิจ โสติดิยานนท์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

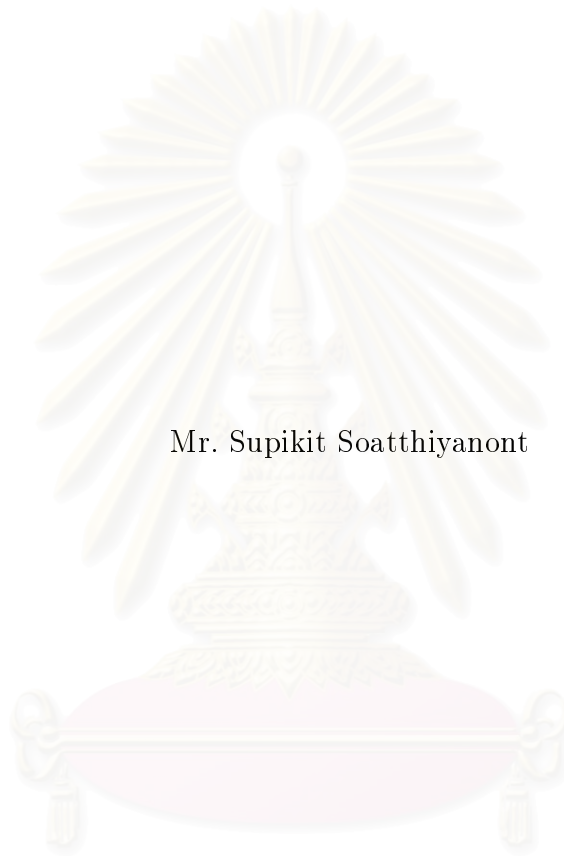
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN: 974-17-4555-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STUDY OF REROUTING STRATEGIES FOR DYNAMIC ALTERNATIVE
ROUTING IN MULTIPLE-SERVICE NETWORKS



Mr. Supikit Soatthiyant

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Academic Year 2005

ISBN: 974-17-4555-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาวิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกทางแบบพลวัตสำหรับโครง
ข่ายที่ให้บริการหลายประเภท
โดย นายสุพิทิจ โสติดิยานนท์
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวนดิศ อัครกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวนดิศ อัครกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุพิกิจ สโตดิยานนท์ : การศึกษาวิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกทางแบบพลวัตสำหรับ
โครงข่ายที่ให้บริการหลายประเภท (STUDY OF REROUTING STRATEGIES FOR
DYNAMIC ALTERNATIVE ROUTING IN MULTIPLE-SERVICE NETWORKS)

อ.ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์จิต อัสวกุล, 53 หน้า. ISBN: 974-17-4555-9.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกทางแบบพลวัตสำหรับโครงข่ายที่รองรับ
การให้บริการหลายประเภท โดยมีแนวคิด คือ การให้การเรียกที่ใช้เส้นทางเมื่อเลือกให้กลับมาใช้เส้นทางตรง
เนื่องจากการเรียกที่ใช้เส้นทางเมื่อเลือกใช้ทรัพยากรของโครงข่ายมากกว่าเส้นทางตรง ทำให้ประหยัดทรัพยากร
ของโครงข่ายและโครงข่ายสามารถรองรับการเรียกได้มากขึ้น วิธีการจัดเส้นทางใหม่ที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับ
นี้มี 4 วิธี คือ 1) การจัดเส้นทางใหม่แบบสุ่มเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย (ARR) 2) การจัด
เส้นทางใหม่โดยเลือกความจุของข่ายเชื่อมโยงที่มีค่าเหลือมากที่สุดเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย (ALR)
3) การจัดเส้นทางใหม่แบบสุ่มเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่าย (DRR) 4) การจัดเส้นทางใหม่โดยเลือกความ
จุของข่ายเชื่อมโยงที่มีค่าเหลือน้อยที่สุดเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่าย (DBR) การวิเคราะห์สมรรถนะของวิธี
ที่เสนอจะเปรียบเทียบกับวิธีการตัดสินใจแบบพลวัต โดยพิจารณาจากอัตราารรับที่ได้ของโครงข่ายและต้นทุนที่
เกิดจากการจัดเส้นทางใหม่ รูปแบบที่ทำการทดสอบประกอบด้วยกรณีอัตราเฉลี่ยของการเข้ามาของการเรียกไม่
ขึ้นกับเวลา กรณีอัตราเฉลี่ยของการเข้ามาของการเรียกขึ้นกับเวลา กรณีโครงข่ายที่ข่ายเชื่อมโยงมีการเสียหาย
โดยที่ข่ายเชื่อมโยงนั้นไม่มีการซ่อมแซม ผลการทดสอบพบว่า 1) เมื่อปริมาณทราฟฟิกที่เข้าสู่โครงข่ายมีค่า
ปกติการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกทางแบบพลวัตให้อัตราารรับเฉลี่ยของโครงข่ายที่ดีกว่า การเลือกทาง
แบบพลวัต แต่เมื่อปริมาณทราฟฟิกที่เข้าสู่โครงข่ายมีค่าน้อยหรือมากจนเกินไป การจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับ
การเลือกทางแบบพลวัตให้อัตราารรับเฉลี่ยของโครงข่ายที่ใกล้เคียงกับการเลือกทางแบบพลวัต เนื่องจากเมื่อ
ปริมาณทราฟฟิกมีค่าน้อยหรือมากจนเกินไปจะมีจำนวนการเรียกที่ใช้เส้นทางเมื่อเลือกน้อย 2) เมื่อทำการ
เปรียบเทียบวิธีการจัดเส้นทางใหม่โดยพิจารณานโยบายการจัดเส้นทางใหม่พบว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่เมื่อพิจารณา
กรณีมีการเรียกใหม่เข้ามาให้อัตราารรับเฉลี่ยของโครงข่ายมากกว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่เมื่อพิจารณากรณีมีการ
เรียกออกจากโครงข่าย เนื่องจากวิธีการจัดเส้นทางใหม่กรณีมีการเรียกใหม่เข้ามาเกิดจำนวนการจัดเส้นทางใหม่
มากกว่ากรณีมีการเรียกออกจากโครงข่าย 3) เมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการจัดเส้นทางใหม่โดยพิจารณาการ
เลือกการเรียกที่จะทำการจัดเส้นทางใหม่พบว่าเมื่อเลือกการเรียกแบบสุ่ม (ARR, DRR) และเลือกการเรียก
แบบขึ้นกับปริมาณทราฟฟิกในข่ายเชื่อมโยง (ALR, DBR) พบว่าอัตราารรับเฉลี่ยของโครงข่ายมีค่าใกล้เคียง
กัน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มความซับซ้อนของการเลือกการเรียกโดยพิจารณาปริมาณทราฟฟิกในข่ายเชื่อมโยง

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต สุพิกิจ สโตดิยานนท์

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา



ปีการศึกษา 2548

447 07230 21 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: REROUTING/ DYNAMIC ALTERNATIVE ROUTING / MULTIPLE-SERVICE NETWORKS.

SUPIKIT SOATTHIYANONT : STUDY OF REROUTING STRATEGIES FOR DYNAMIC ALTERNATIVE ROUTING IN MULTIPLE-SERVICE NETWORKS. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. CHAODIT ASWAKUL, Ph.D., 53 pp. ISBN: 974-17-4555-9.

This thesis proposes new rerouting strategies for dynamic alternative routing (DAR) in the connection-oriented, full-mesh network supporting multiple services. The main idea is to reroute the ongoing connections on their two-link alternative route back to their one-link direct routes. By doing so, the network resource consumption can be reduced and more connections can be additionally facilitated. In this thesis, four rerouting strategies have been investigated, namely, (i) arrival triggering random rerouting (ARR), (ii) arrival triggering least-loaded rerouting (ALR), (iii) departure triggering random rerouting (DRR) and (iv) departure triggering busiest rerouting (DBR). By using the discrete-event simulation technique, the performance of proposed rerouting strategies has been evaluated in comparison with that of conventional DAR. The performance measures of interest include both the total mean revenue rate obtainable from the whole network and the cost of implementing each type of the rerouting strategies. Further, the tested scenarios include both the practical network with stationary and time-varying rate of call arrivals, and with the possibility of link failures. The reported numerical results suggest three findings. Firstly, upon a normal range of loading conditions, all the proposed rerouting strategies can help improve the obtainable revenue for the network running DAR. However, such improvement becomes less significant when the network load is too light or too high, because only few alternative routes exist under such loadings. Secondly, about the triggering policy for rerouting, it is here found that the arrival triggering can achieve higher network revenue than the departure triggering at the expense of more rerouting attempts incurred. Finally, regarding the rerouting call selection method, the obtained results suggest that both random rerouting (ARR, DRR) and load-dependent rerouting (ALR, DBR) can perform equally well. Hence, there is no need for network overheads to update the loading conditions along all rerouted paths.

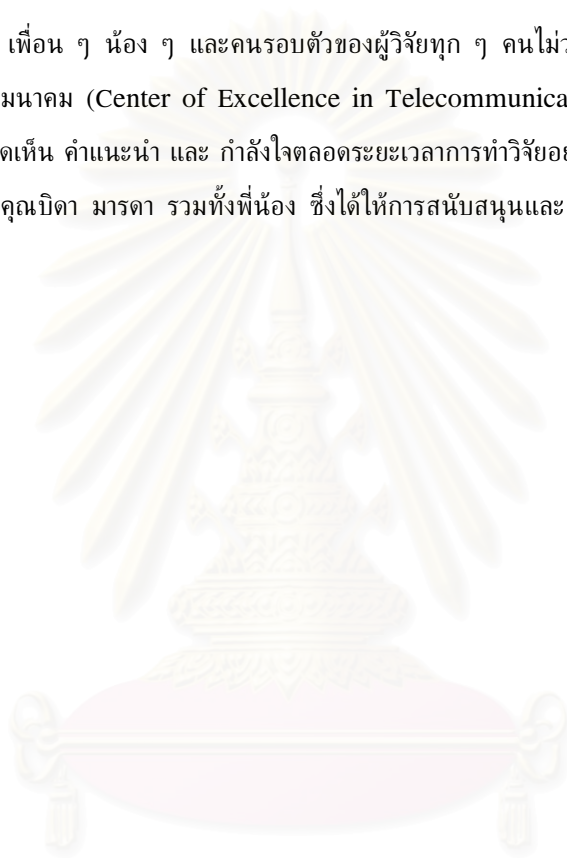
Department	Electrical Engineering	Student's signature 
Field of study	Electrical Engineering	Advisor's signature 
Academic year	2005		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของ ผศ.ดร.เชาวน์ดิศ อัสวกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดช่วงเวลาในการทำวิจัย ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ และคนรอบตัวของผู้วิจัยทุก ๆ คนไม่ว่าจะเป็นที่อยู่ภายในศูนย์เชี่ยวชาญเทคโนโลยีระบบโทรคมนาคม (Center of Excellence in Telecommunication System) หรือที่ได้ก็ตามที่มีส่วนช่วยเหลือให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำ และ กำลังใจตลอดระยะเวลาการทำวิจัยอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา รวมทั้งพี่น้อง ซึ่งได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพ	ฌ
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์	2
1.3 ขั้นตอนดำเนินงาน	2
1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ทฤษฎีพื้นฐาน	4
2.1 การจัดเส้นทางในโครงข่าย	4
2.1.1 การจัดเส้นทางใหม่	4
2.1.2 การจัดเส้นทางแบบพลวัต	6
2.2 ประเภทของการให้บริการ	7
2.3 การวัดสมรรถนะในโครงข่ายสูญเสีย	8
2.3.1 การวัดสมรรถนะในระดับของเซลล์หรือแพ็คเกจ	8
2.3.2 การวัดสมรรถนะในระดับการเรียก	8
2.4 ฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล	8
2.5 การควบคุมการตอบรับการเรียก	11
2.5.1 นโยบายการใช้ทรัพยากรร่วมกันอย่างสมบูรณ์	11
2.5.2 นโยบายการจองทรัพยากร	11
3 วิธีการจัดเส้นทางที่เสนอ	12
3.1 การจัดเส้นทางใหม่แบบสุ่มเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย	13
3.2 การจัดเส้นทางใหม่โดยเลือกความจุของข่ายเชื่อมโยงที่มีค่าเหลือมากที่สุดเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย	13
3.3 การจัดเส้นทางใหม่แบบสุ่มเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่าย	14

3.4	การจัดเส้นทางใหม่โดยเลือกความจุของข่ายเชื่อมโยงที่มีค่าเหลือน้อยที่สุดเมื่อมีการเรียกออก จากโครงข่าย	14
4	แบบจำลองระบบและผลการทดสอบ	19
4.1	แบบจำลองระบบ	19
4.2	กรณีโครงข่ายรองรับลักษณะของกราฟฟิกต่างกัน	20
4.3	กรณีโครงข่ายที่รองรับปริมาณกราฟฟิกที่มีค่าไม่คงที่	27
4.4	กรณีข่ายเชื่อมโยงของโครงข่ายเกิดความเสียหาย	34
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	41
5.1	บทสรุป	41
5.2	ข้อเสนอแนะ	42
	รายการอ้างอิง	44
	ภาคผนวก	46
ก	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดเส้นทางใหม่กรณีมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่ายและกรณีมี การเรียกออกจากโครงข่าย	47
	บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว	48
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	53

สารบัญญภาพ

รูปที่ 2.1	การจัดเส้นทางแบบพลวัตสำหรับโครงข่ายที่ให้บริการหลายประเภท	7
รูปที่ 2.2	ฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูลของสมการ $G(n) = \alpha n + \beta\sqrt{n}$	10
รูปที่ 2.3	ความต้องการแบนด์วิดท์ของแต่ละการเชื่อมต่อของฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล $G(n) = \alpha n + \beta\sqrt{n}$	10
รูปที่ 3.1	วิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกเส้นทางแบบพลวัตโดยพิจารณากรณี ARR	15
รูปที่ 3.2	วิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกเส้นทางแบบพลวัตโดยพิจารณากรณี ALR	16
รูปที่ 3.3	วิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกเส้นทางแบบพลวัตโดยพิจารณากรณี DRR	17
รูปที่ 3.4	วิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกเส้นทางแบบพลวัตโดยพิจารณากรณี DBR	18
รูปที่ 4.1	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 1, \beta = 14.1421$) กรณี ARR	21
รูปที่ 4.2	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 1, \beta = 14.1421$) กรณี ALR	21
รูปที่ 4.3	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 1, \beta = 14.1421$) กรณี DRR	22
รูปที่ 4.4	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 1, \beta = 14.1421$) กรณี DBR	22
รูปที่ 4.5	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 2, \beta = 7.0711$) กรณี ARR	23
รูปที่ 4.6	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 2, \beta = 7.0711$) กรณี ALR	23
รูปที่ 4.7	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 2, \beta = 7.0711$) กรณี DRR	24
รูปที่ 4.8	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 2, \beta = 7.0711$) กรณี DBR	24
รูปที่ 4.9	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบ ต่าง ๆ ($\alpha = 1, \beta = 14.1421$)	25
รูปที่ 4.10	เปอร์เซ็นต์จำนวนการจัดเส้นทางใหม่ในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ ($\alpha = 1, \beta = 14.1421$)	25

รูปที่ 4.11	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ ($\alpha = 2, \beta = 7.0711$)	26
รูปที่ 4.12	เปอร์เซ็นต์จำนวนการจัดเส้นทางใหม่ในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ ($\alpha = 2, \beta = 7.0711$)	26
รูปที่ 4.13	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง กรณี ARR	28
รูปที่ 4.14	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง กรณี ALR	29
รูปที่ 4.15	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง กรณี DRR	29
รูปที่ 4.16	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง กรณี DBR	30
รูปที่ 4.17	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงและทราฟฟิกมีค่าไม่คงที่ กรณี ARR	30
รูปที่ 4.18	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงและทราฟฟิกมีค่าไม่คงที่ กรณี ALR	31
รูปที่ 4.19	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงและทราฟฟิกมีค่าไม่คงที่ กรณี DRR	31
รูปที่ 4.20	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงและทราฟฟิกมีค่าไม่คงที่ กรณี DBR	32
รูปที่ 4.21	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง	32
รูปที่ 4.22	เปอร์เซ็นต์จำนวนการจัดเส้นทางใหม่ในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง	33
รูปที่ 4.23	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงและทราฟฟิกมีค่าไม่คงที่	33
รูปที่ 4.24	เปอร์เซ็นต์จำนวนการจัดเส้นทางใหม่ในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงและทราฟฟิกมีค่าไม่คงที่	34
รูปที่ 4.25	โครงข่ายแบบไม่สมมาตรที่ทำการทดสอบ	35
รูปที่ 4.26	ปริมาณ ท รา ฟฟิ ก ที่ เข้า สู่ แต่ละ ข่าย เชื่อมโยง ของ บริการ แต่ละ ประเภท ใน โครงข่าย แบบ ไม่สมมาตรที่ทำการทดสอบ	35
รูปที่ 4.27	ความจุของแต่ละข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายแบบไม่สมมาตรที่ทำการทดสอบ	36
รูปที่ 4.28	โครงข่ายกรณีข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหาย	37
รูปที่ 4.29	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อโครงข่ายเกิดความเสียหาย กรณี ARR	38
รูปที่ 4.30	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อโครงข่ายเกิดความเสียหาย กรณี ALR	38
รูปที่ 4.31	อัตราารยรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อโครงข่ายเกิดความเสียหาย กรณี DRR	39

รูปที่ 4.32 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อโครงข่ายเกิดความเสียหาย กรณี DBR 39

รูปที่ 4.33 เปอร์เซนต์การเพิ่มขึ้นของอัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบ
ต่าง ๆ เมื่อโครงข่ายเกิดความเสียหาย 40

รูปที่ 4.34 เปอร์เซนต์จำนวนการจัดเส้นทางใหม่ในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ เมื่อ
โครงข่ายเกิดความเสียหาย 40

รูปที่ ก.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดเส้นทางใหม่กรณีมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่ายและ
กรณีมีการเรียกออกจากโครงข่าย 47



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบการสื่อสารโทรคมนาคมนับวันยิ่งมีบทบาทสำคัญในวิถีการดำเนินชีวิตของมนุษย์มากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีการสื่อสารได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่มีการใช้งานในรูปแบบที่หลากหลาย ดังจะเห็นได้จากการส่งข้อมูลได้มีการพัฒนาจากระบบแอนะล็อก ตัวอย่างเช่น ระบบโทรศัพท์ที่มีข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้งานที่สามารถรองรับปริมาณการใช้งานได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น มาเป็นระบบดิจิทัล ตัวอย่างเช่น ระบบโครงข่าย ISDN (Integrated Services Digital Network) ซึ่งสามารถบริการส่งข้อมูลได้ทั้งข้อมูลภาพ ข้อมูลเสียง และข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ แต่การให้บริการในรูปแบบต่าง ๆ เหล่านี้กลับถูกจำกัดความเร็วในการส่งข้อมูลด้วยอัตราส่งเพียง 64 kbps ทำให้ไม่เพียงพอต่อการส่งข้อมูลที่มีปริมาณมาก ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบโครงข่ายชนิดใหม่สำหรับรองรับบริการการส่งข้อมูลทุกชนิด โครงข่ายชนิดใหม่ก็คือ B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network) ซึ่งโครงข่ายนี้มีด้วยกันในหลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น โครงข่าย ATM (Asynchronous Transfer Mode) และ โครงข่าย Ipng (Internet Next Generation) เพื่อให้โครงข่ายข้อมูลสามารถรองรับบริการที่หลากหลายและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องมีการจัดเส้นทางในการส่งข้อมูลในโครงข่ายอย่างเหมาะสม เพื่อควบคุมความคับคั่งของโครงข่ายโดยที่ยังสามารถรักษาระดับคุณภาพของการให้บริการ (Quality of Service QoS) ให้เป็นไปตามที่ผู้ใช้งานหรือตามข้อตกลงที่ผู้ใช้บริการรับประกันไว้ในเบื้องต้น

การจัดเส้นทางเป็นกลไกที่ใช้ควบคุมความคับคั่งในโครงข่ายทั่ว ๆ ไป เช่น โครงข่าย ATM โครงข่าย GSM หรือโครงข่าย IPV6 เป็นต้น หากพิจารณาโครงข่ายที่ให้บริการแบบต้องการสร้างการเชื่อมต่อ (connection-oriented) ก่อนที่ผู้ใช้จะส่งข้อมูลข้ามโครงข่ายได้จะต้องได้รับอนุญาตให้มีการเชื่อมต่อ และจะสร้างการเชื่อมต่อให้ทันทีเมื่อได้รับอนุญาตเรียบร้อยแล้ว ส่วนการส่งข้อมูลบนโครงข่ายขึ้นอยู่กับวิธีการจัดเส้นทางของโครงข่ายนั้น ๆ

ในการจัดเส้นทางในการส่งข้อมูลบนโครงข่ายโดยทั่วไปใช้วิธีการส่งข้อมูลไปยังเส้นทางที่สั้นที่สุด ในกรณีที่เส้นทางที่สั้นที่สุดเกิดความคับคั่งข้อมูลจะถูกส่งไปเส้นทางเพื่อเลือก (Alternate path) ซึ่งการเลือกเส้นทางเพื่อเลือกขึ้นอยู่กับวิธีการจัดเส้นทางของแต่ละโครงข่าย [1] แต่การใช้เส้นทางเพื่อเลือกจะใช้ทรัพยากรของโครงข่ายมากกว่าการใช้เส้นทางตรง จากงานวิจัย [2], [3], [4] พบว่าการใช้เส้นทางเพื่อเลือกโดยไม่พิจารณาถึงความเหมาะสมให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายลดลงและโครงข่ายไม่มีเสถียรภาพ ประเด็นหนึ่งที่เป็นที่สนใจในงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดเส้นทางเพื่อเลือก คือ การพิจารณาเส้นทางเพื่อเลือกที่เหมาะสมสำหรับการเรียกกลับ (overflow call) โดยมีแนวคิดคือ การทำให้ปริมาณทราฟฟิกสมดุลท่ามกลางเส้นทางเพื่อเลือกให้มากที่สุด และ ต้องไม่ทำให้โครงข่ายเกิดความคับคั่งด้วย ในงานวิจัย [5], [6], [7] ได้เสนอวิธีการจัดเส้นทางใหม่ (rerouting) โดยประยุกต์ใช้กับวิธีการจัดเส้นทางเพื่อเลือกแบบ Least Loaded Routing (LLR) ในโครงข่ายแบบสวิตซ์วงจร หลักการของวิธีการจัด

เส้นทางใหม่ คือ การเรียกบนเส้นทางเพื่อเลือกสามารถกลับไปเส้นทางตรง หรือเส้นทางเพื่อเลือกเส้นทางอื่นที่มีความคับคั่งน้อยกว่า พบว่าการจัดเส้นทางเพื่อเลือกแบบ LLR ที่ประยุกต์ใช้วิธีการจัดเส้นทางใหม่ ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่ากรณีที่ใช้ การจัดเส้นทางเพื่อเลือกแบบ LLR อย่างเดียว และโครงข่ายยังคงมีเสถียรภาพ

เนื่องจากโครงข่ายในปัจจุบันมีทราฟฟิกหลายประเภท ทำให้ระดับ QoS และคุณลักษณะของทราฟฟิก แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันไปในบริการแต่ละประเภท เพื่อให้มีการใช้โครงข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องมีการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับบริการที่เข้ามาได้อย่างเหมาะสม การพิจารณาวิธีการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับแต่ละการเชื่อมต่อสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การจัดสรรไม่เชิงสถิติ (non-statistical allocation) และการจัดสรรเชิงสถิติ (statistical allocation) วิธีการจัดสรรไม่เชิงสถิตินี้เป็นวิธีที่พิจารณาตัดสินใจจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับเชื่อมต่อใหม่ด้วยค่าบิตข้อมูลสูงสุด ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายต่อการตัดสินใจเลือกตอบรับ หรือปฏิเสธการเชื่อมต่อที่เข้ามาใหม่ แต่ในขณะที่เดียวกันจะทำให้สูญเสียแบนด์วิดท์ไปบางส่วนเมื่อการเชื่อมต่ออื่น ๆ ไม่ได้ส่งข้อมูลที่อัตราบิตข้อมูลสูงสุด จึงเป็นผลให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแบนด์วิดท์ที่มีอยู่ได้เต็มที่ แต่ในวิธีการจัดสรรเชิงสถิติ หรือการมัลติเพล็กซ์เชิงสถิติ (statistical multiplexing) เป็นวิธีการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้แต่ละการเชื่อมต่อต่ำกว่าอัตราบิตข้อมูลสูงสุด แต่สูงกว่าอัตราบิตข้อมูลเฉลี่ย เพราะสังเกตว่าการส่งข้อมูลไม่ได้ส่งที่อัตราบิตสูงสุดตลอดเวลา ดังนั้นด้วยวิธีนี้ทำให้สามารถจัดสรรแบนด์วิดท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีแรก งานวิจัยต่อ ๆ มา [8] จึงได้พิจารณาการจัดสรรแบนด์วิดท์โดยการวิเคราะห์การใช้แบนด์วิดท์ของทราฟฟิกด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์เชิงสถิติ และประมาณค่าแบนด์วิดท์ที่ทราฟฟิกแต่ละชนิดต้องการใช้จริงให้สอดคล้องกับปริมาณข้อมูลที่ส่งจริงด้วยแบนด์วิดท์ประสิทธิผล (effective bandwidth function) หรือ ฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล (equivalent bandwidth function) เพื่อให้การจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิกแต่ละชนิดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วขึ้น

งานวิจัย [9] ได้เสนอฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผลในรูปของฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นมาพิจารณาร่วมกับการจัดเส้นทางเพื่อเลือกแบบ Dynamic Alternative Routing (DAR) ซึ่งให้ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการจัดสรรแบนด์วิดท์ด้วยค่าอัตราบิตข้อมูลสูงสุด ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอการจัดเส้นทางใหม่ โดยนำฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผลในรูปของฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นมาพิจารณาร่วมกับการจัดเส้นทางเพื่อเลือกแบบ DAR เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับโครงข่าย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์

เพื่อเสนอวิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกทางแบบพลวัตสำหรับโครงข่ายที่รองรับบริการหลายประเภท โดยพิจารณาประสิทธิภาพของโครงข่ายจากรายรับที่ได้จากโครงข่าย

1.3 ขั้นตอนดำเนินงาน

1. ศึกษา ค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งความรู้และทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย
2. ศึกษาอัลกอริทึมการจัดเส้นทางแบบเพื่อเลือกและการจัดเส้นทางใหม่

3. กำหนดรูปแบบ และแบบจำลองที่ต้องการศึกษา
4. เขียนโปรแกรมทดสอบวิธีที่ได้เสนอ
5. วิเคราะห์ และประเมินผลการจำลอง และเปรียบเทียบกับวิธี [9]
6. สรุป วิเคราะห์ และรวบรวมข้อมูลทั้งหมด พร้อมทั้งจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. พิจารณาโครงข่ายแบบเชื่อมต่อเต็มที่
2. ศึกษาวิธีการจัดเส้นทางใหม่วิธีต่าง ๆ ดังนี้
 - การจัดเส้นทางใหม่แบบสุ่ม เมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย (Arrival Triggering Random Rerouting : ARR)
 - การจัดเส้นทางใหม่โดยเลือกความจุของข่ายเชื่อมโยงที่มีค่าเหลือมากที่สุดเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย (Arrival Triggering Least-loaded Rerouting : ALR)
 - การจัดเส้นทางใหม่แบบสุ่ม เมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่าย (Departure Triggering Random Rerouting : DRR)
 - การจัดเส้นทางใหม่โดยเลือกความจุของข่ายเชื่อมโยงที่มีค่าเหลือน้อยที่สุดเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่าย (Departure Triggering Busiest Rerouting : DBR)
3. พิจารณารายรับที่ได้จากโครงข่าย ในกรณีที่ใช้การเลือกทางแบบพลวัต [9] เปรียบเทียบกับการเลือกทางแบบพลวัตที่มีการเลือก เส้นทางใหม่ ซึ่งเสนอในงานวิจัยนี้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถปรับปรุงให้ระบบการให้บริการเชื่อมต่อโทรคมนาคมโครงข่ายมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ทำให้รายได้ที่โครงข่ายจะได้รับมีค่าเพิ่มขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 การจัดเส้นทางในโครงข่าย

โครงข่ายที่ให้บริการแบบต้องการสร้างการเชื่อมต่อ (connection-oriented) ก่อนที่ผู้ใช้จะส่งข้อมูลข้ามโครงข่ายได้จะต้องได้รับอนุญาตให้มีการเชื่อมต่อ และจะสร้างการเชื่อมต่อให้ทันทีเมื่อได้รับอนุญาตเรียบร้อยแล้ว การเรียกจะถูกปฏิเสธถ้าโครงข่ายมีทรัพยากรไม่เพียงพอที่จะรองรับการเรียกนั้นโดยพิจารณาถึงระดับคุณภาพของการให้บริการด้วย โดยทั่วไปการเรียกที่เข้ามาใหม่จะถูกส่งข้อมูลไปยังปลายทางโดยใช้เส้นทางที่สั้นที่สุด ในกรณีที่เส้นทางที่สั้นที่สุดเกิดความคับคั่งข้อมูลจะถูกส่งไปเส้นทางเพื่อเลือก (Alternate path) ทำให้ความน่าจะเป็นในการบล็อกของโครงข่ายลดลง แต่การใช้เส้นทางเพื่อเลือกจะใช้ทรัพยากรของโครงข่ายมากกว่าการใช้เส้นทางตรง ถ้าไม่ควบคุมการใช้เส้นทางเพื่อเลือกจะทำให้โครงข่ายไม่มีเสถียรภาพ วิธีการที่สามารถแก้ปัญหานี้มีหลายวิธีเช่น นโยบายการจองทรวงค์ วิธีนี้การควบคุมการตอบรับการเรียกจะยอมให้การเรียกแต่ละชนิดเข้ามาใช้แบนด์วิดท์ของโครงข่ายได้ตรงเท่าที่แบนด์วิดท์ของโครงข่ายมีค่ามากกว่าค่า TR ที่กำหนด โดยที่ TR คือ ค่าพารามิเตอร์การจองช่องสัญญาณ และ วิธีการจัดเส้นทางใหม่ มีหลักการคือ การเรียกบนเส้นทางเพื่อเลือกสามารถกลับไปเส้นทางตรงหรือเส้นทางเพื่อเลือกเส้นทางอื่นที่มีความคับคั่งน้อยกว่า ซึ่งวิธีการจัดเส้นทางใหม่เป็นแนวคิดหลักของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

2.1.1 การจัดเส้นทางใหม่

การจัดเส้นทางใหม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงข่ายได้หลายรูปแบบ [7], [10], [11] ในงานวิจัย [6] ได้กล่าวถึงองค์ประกอบที่ทำให้การจัดเส้นทางใหม่มีรูปแบบต่าง ๆ กันซึ่งประกอบด้วย alternate path selection, triggering policy, rerouting path selection method, rerouting call selection method, levels of rerouting และ orders of rerouting

1. The Alternate Path Selection Method

การเลือกเส้นทางเพื่อเลือก (alternate path) เกิดขึ้นเมื่อการเรียกในเส้นทางตรง (direct path) ถูกบล็อก ตัวอย่างของวิธีการเลือกเส้นทางเพื่อเลือก เช่น Random Alternate Routing (RAR) และ Least-Loaded Alternate Routing (LLR) ในการเลือกเส้นทางเพื่อเลือกแบบ RAR ถ้าการเรียกที่ไปเส้นทางตรงถูกบล็อกเส้นทางเพื่อเลือกจะถูกเลือกแบบสุ่ม ในการเลือกเส้นทางเพื่อเลือกแบบ LLR ถ้าการเรียกที่ไปเส้นทางตรงถูกบล็อก เส้นทางเพื่อเลือกจะถูกเลือกโดยดูจากเส้นทางเพื่อเลือกที่ชายเชื่อมต่อมีจำนวนสายผ่านว่างมากที่สุด แต่ถ้ามีเส้นทางเพื่อเลือกมากกว่าหนึ่งเส้นทางจะทำการเลือกเส้นทางเพื่อเลือกเหล่านั้นแบบสุ่ม

2. Triggering Policy

Triggering Policy คือการพิจารณาการจัดเส้นทางใหม่ภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ เช่น เมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย เมื่อการเรียกออกจากโครงข่าย หรือพิจารณาทั้ง 2 กรณี

กรณีเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย(arrival triggering policy) กระบวนการจัดเส้นทางใหม่เกิดขึ้นเมื่อการเรียกที่ไปเส้นทางตรงถูกบล็อก ถ้าการจัดเส้นทางใหม่ไม่สำเร็จ ขั้นตอนต่อไปทำการใช้วิธีการเลือกเส้นทางเพื่อเลือก (Alternate Path Selection Method) ถ้าวิธีการเลือกเส้นทางเพื่อเลือกไม่สำเร็จ การเรียกนั้นถูกบล็อก

กรณีเมื่อการเรียกออกจากโครงข่าย (departure triggering policy) กระบวนการจัดเส้นทางใหม่เกิดขึ้นเมื่อการเรียกสิ้นสุดลง (connection release) โดยทำการเลือกการเรียกกลับมาใช้เส้นทางตรงในข่ายเชื่อมโยง

กรณีที่มีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่ายและเมื่อการเรียกออกจากโครงข่าย (mixed triggering policy) กระบวนการจัดเส้นทางใหม่เกิดขึ้นเมื่อการเรียกที่ไปเส้นทางตรงถูกบล็อกและเมื่อการเรียกสิ้นสุดลง

3. The Rerouting Path Selection Method

เมื่อการเรียกต้องทำการเลือกเส้นทาง การจัดเส้นทางใหม่ การเลือกเส้นทางนั้นมีได้หลายวิธีคือ กลับไปเส้นทางตรง ไปเส้นทางเพื่อเลือกเส้นทางอื่น หรือกลับไปเส้นทางตรงถ้าเส้นทางตรงเต็มให้ไปเส้นทางเพื่อเลือก

4. The Rerouting Call Selection Method

การพิจารณาเลือกการเรียกที่ทำการจัดเส้นทางใหม่ สามารถเลือกการเรียกเพื่อทำการจัดเส้นทางใหม่ได้หลายวิธี เช่น random และ busiest-first

กรณี random พิจารณากรณีเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย การเรียกเพื่อเลือกถูกเลือกแบบสุ่มจากการเรียกเพื่อเลือกทั้งหมดบนเส้นทางตรงนั้น พิจารณากรณีเมื่อการเรียกออกจากโครงข่าย การเรียกนั้นถูกเลือกแบบสุ่มจากการเรียกทั้งหมดของคู่โหนดนั้น ๆ

กรณี busiest-first พิจารณากรณีเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย การเรียกเพื่อเลือกพิจารณาจากการเรียกเพื่อเลือกนั้นกลับไปใช้เส้นทางตรงแล้วจำนวนสายผ่านว่างมีจำนวนเหลือมากที่สุด ถ้ามีการเรียกเพื่อเลือกมากกว่าหนึ่งการเรียกเพื่อเลือกที่ให้ผลเท่ากันให้เลือกการเรียกเพื่อเลือกนั้นแบบสุ่ม พิจารณากรณีเมื่อการเรียกออกจากโครงข่าย การเรียกนั้นพิจารณาจากเส้นทางเพื่อเลือกที่มีจำนวนวงจรวางน้อยที่สุด ถ้ามีการเรียกนั้นมากกว่าหนึ่งการเรียกนั้นที่ให้ผลเท่ากันให้เลือกการเรียกนั้นนั้นแบบสุ่ม

5. Level of Rerouting

เนื่องจากโครงข่ายในระบบเป็นโครงข่ายเป็นเชื่อมต่อเต็มที่ ทำให้การเรียกเพื่อเลือกใช้ข่ายเชื่อมโยงจำนวน 2 ข่ายเชื่อมโยงเท่านั้น เมื่อมีการจัดเส้นทางใหม่ทำให้ในแต่ละข่ายเชื่อมโยงมีวงจรว่างเพิ่มขึ้น 1 วงจร ทำให้กระบวนการจัดเส้นทางใหม่สามารถเกิดขึ้นได้อีกในแต่ละข่ายเชื่อมโยงนั้น

6. Orders of Rerouting

พิจารณารณณ์เมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่ายแต่ไม่สามารถเลือกการเรียกเพื่อเลือกนั้นให้กลับเส้นทางตรงของตัวเองได้ เส้นทางตรงของการเรียกเพื่อเลือกนั้นสามารถเลือกเส้นทางเพื่อเลือกบนเส้นทางตรงนั้นเพื่อให้กลับไปเส้นทางตรงของตัวเองได้

โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกองค์ประกอบเหล่านี้ดังนี้

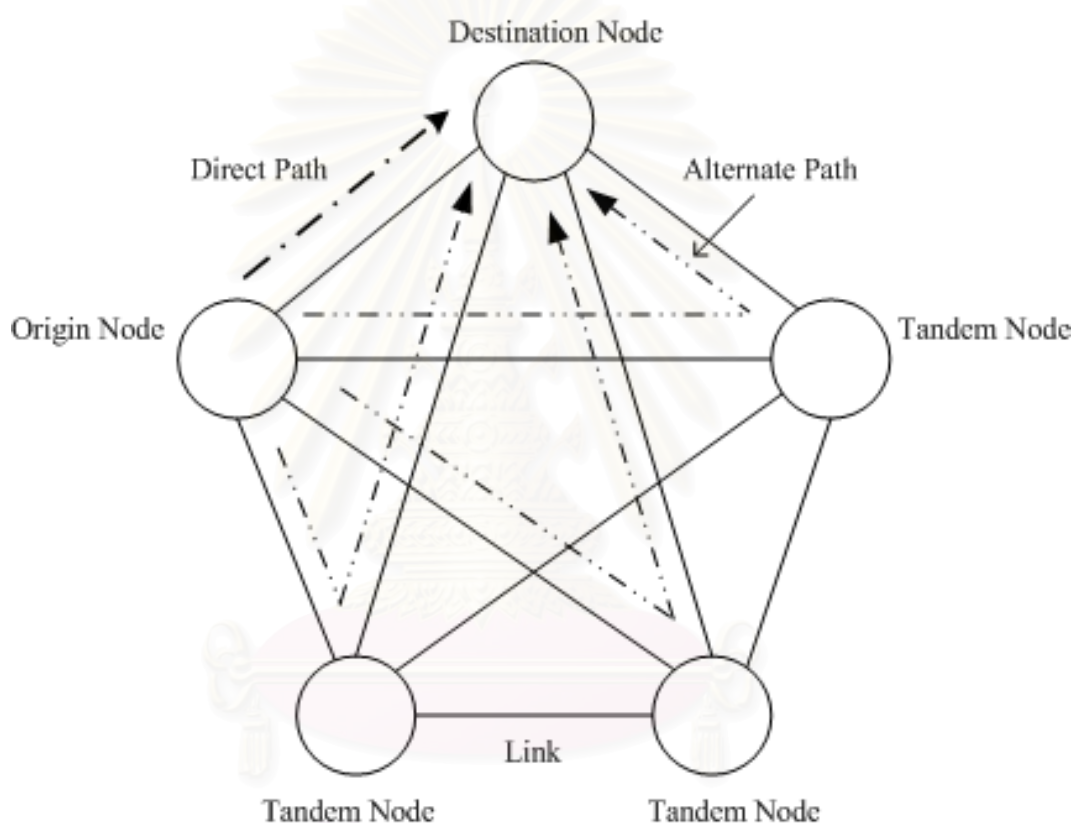
- alternate path selecton method แบบ DAR
- triggering policy แบบ arrival triggering และ departure triggering
- rerouting path selection method แบบ กลับไปใช้เส้นทางตรงเท่านั้น
- rerouting call selection method แบบ random และ least-loaded
- level of rerouting ไม่นำมาพิจารณา
- orders of rerouting ไม่นำมาพิจารณา

2.1.2 การจัดเส้นทางแบบพลวัต

การเลือกทางแบบพลวัต (Dynamic Alternate Routing (DAR)) ได้ออกแบบมาสำหรับโครงข่ายแบบเชื่อมต่อเต็มที่ (fully connected network) [12], [13] เส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างคูโหนดใดๆ คือ ข่ายเชื่อมโยงที่เชื่อมโดยตรงระหว่างคูโหนดนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า เส้นทางตรง จากโครงสร้างแบบเชื่อมต่อกันหมด วิธีการของการจัดเส้นทางของการเลือกทางแบบพลวัตในโครงข่ายที่ให้บริการหลายประเภทมีดังนี้

- แต่ละคู่ของโหนดต้นทางและโหนดปลายทางจะมีโหนดที่อยู่ระหว่างกลาง (Tandem Node) ที่กำหนดให้เป็นเส้นทางเพื่อเลือกที่มี 2 ข่ายเชื่อมโยงสำหรับบริการแต่ละประเภท
- การเรียกที่เข้ามาใหม่ในแต่ละคูโหนดจะเลือกเส้นทางตรงระหว่างคูโหนดนั้น ๆ ทุกครั้งที่เป็นไปได้
- ถ้าการเรียกที่เข้ามาใหม่ถูกบล็อกจากเส้นทางตรงจะใช้เส้นทางเพื่อเลือกแทนโดยผ่านทาง โหนดที่อยู่ระหว่างกลางสำหรับบริการประเภทนี้
- ถ้าการเรียกถูกบล็อกจากการเรียกเพื่อเลือก การเรียกนั้นจะสูญหายและโหนดที่อยู่ระหว่างกลางจะถูกเลือกอย่างสุ่มจากทุกๆ โหนดยกเว้นโหนดต้นทางและโหนดปลายทางสำหรับบริการประเภทนี้เท่านั้น

- เมื่อการเรียกได้รับการยอมรับไม่ว่าจะเป็นเส้นทางตรงหรือเส้นทางเพื่อเลือกโหนดที่อยู่ระหว่างกลางจะไม่เปลี่ยน
- การเรียกของบริการที่กำหนดให้ไม่ขึ้นกับกับโหนดระหว่างกลางของบริการประเภทอื่น
- การเรียกของเส้นทางเพื่อเลือกจะถูกบล็อกถ้ามีขั้วเชื่อมโยงใดในเส้นทางนั้นถูกบล็อก โดยที่เส้นทางเพื่อเลือกจะมีขั้วเชื่อมโยงได้แค่ 2 ขั้วเชื่อมโยงเท่านั้น



รูปที่ 2.1 การจัดเส้นทางแบบพลวัตสำหรับโครงข่ายที่ให้บริการหลายประเภท

2.2 ประเภทของการให้บริการ

การแบ่งประเภทของการให้บริการในโครงข่ายโดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ บริการที่มีการรับประกันคุณภาพ (capacity-guaranteed service) และ บริการพยายามส่ง (best-effort service)

- บริการที่มีการรับประกันคุณภาพ คือ การให้บริการที่มีการจองช่องสัญญาณก่อนที่จะมีการส่งข้อมูล เช่น การส่งข้อมูลวิดีโอที่ไม่ถูกบีบอัด

- บริการพยายามส่ง คือ การให้บริการที่ไม่จำเป็นต้องจองช่องสัญญาณก่อนที่จะมีการส่งข้อมูลแต่สามารถส่งข้อมูลโดยใช้ความจุของช่องสัญญาณที่เหลืออยู่ เช่น การส่งไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-Mail) การส่งไฟล์ข้อมูล (file transfer)

2.3 การวัดสมรรถนะในโครงข่ายสูญเสีย

การวัดสมรรถนะของการจัดเส้นทางในโครงข่ายสูญเสีย สามารถวัดได้จากค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกของทราฟฟิกแต่ละชนิด หรือรายรับที่ได้รับจากการเรียกที่ได้รับการตอบรับ โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระดับคือ

2.3.1 การวัดสมรรถนะในระดับของเซลล์หรือแพ็กเกต

ค่าที่ใช้วัดสมรรถนะในระดับนี้ได้แก่ ค่าอัตราส่วนการสูญหายของแพ็กเกต (packet loss ratio) ค่าเวลาประวิงสูงสุดของการส่งแพ็กเกต (maximum packet transfer delay) และ ค่าการเปลี่ยนแปลงเวลาประวิงของแพ็กเกต (packet delay variation) เป็นต้น การกำหนดค่าของพารามิเตอร์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับประเภทของบริการ เช่น การกำหนดให้บริการประเภทวิดีโอ คุณภาพสูง มีค่าอัตราส่วนการสูญหายของแพ็กเกตระหว่าง 10^{-9} และ 10^{-12} ในขณะที่บริการประเภทเสียงมีค่าอัตราส่วนการสูญหายของแพ็กเกตระหว่าง 10^{-4} และ 10^{-6} [14]

2.3.2 การวัดสมรรถนะในระดับการเรียก

ค่าที่ใช้วัดสมรรถนะในระดับนี้ ได้แก่ ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อก ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกของการเรียกที่ยอมรับได้ขึ้นอยู่กับขนาดของแบนด์วิดท์ที่ต้องการตามชนิดของการเรียก [15] เช่น ค่าความน่าจะเป็นในการบล็อกของการเรียกที่ต้องการแบนด์วิดท์น้อยจะต้องมีค่าน้อยกว่า 10^{-3} คือ ต้องการแบนด์วิดท์น้อยกว่า 0.4 Mbps บนข่ายเชื่อมโยงขนาด 150 Mbps ส่วนในการเรียกชนิดที่ต้องการแบนด์วิดท์ขนาดกลางต้องมีค่าความน่าจะเป็นในการบล็อกของการเรียกน้อยกว่า 10^{-2} คือ แบนด์วิดท์มีค่าตั้งแต่ 0.4 Mbps ถึง 4 Mbps บนข่ายเชื่อมโยงขนาด 150 Mbps และ ในการเรียกที่ต้องการแบนด์วิดท์สูงต้องมีค่าความน่าจะเป็นในการบล็อกของการเรียกไม่เกิน 10^{-1} คือ ต้องการแบนด์วิดท์มากกว่า 4 Mbps บนข่ายเชื่อมโยงขนาด 150 Mbps โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกพิจารณาดัชนีชี้วัดในระดับการเรียก

2.4 ฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล

ในอดีตการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิกที่เข้ามาในโครงข่ายเป็นไปในลักษณะที่ง่ายต่อการตัดสินใจ โดยจะพิจารณาเพียงพารามิเตอร์อัตราบิตข้อมูลสูงสุด (Peak Bit Rate : PBR) และ จัดสรรแบนด์วิดท์ให้เป็นไปตามอัตราบิตข้อมูลสูงสุดโดยตลอด แต่เนื่องจากความเป็นจริงในการส่งข้อมูลบางชนิดจะไม่ส่งที่อัตราบิตสูงสุดตลอดเวลา เช่น ข้อมูลวิดีโอที่ถูกบีบอัด และ แหล่งจ่ายข้อมูลต้นทางอาจไม่จ่ายข้อมูลตลอดเวลาที่ครอบครองวงจร ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะพิจารณาจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิกตามค่า PBR ประกอบกับเทคโนโลยีสวิตช์ได้รับการ

พัฒนาให้มีศักยภาพเพียงพอที่จะรองรับการบริการจากแหล่งข้อมูลหลายแหล่ง เมื่อมีแหล่งจ่ายข้อมูลชนิดเดียวกัน หลายแหล่งโครงข่ายจะนำข้อมูลที่ส่งมามีลติเพล็กซ์เข้าด้วยกัน ก่อนจะส่งไปในโครงข่ายเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการส่งสูงขึ้น ดังนั้นในการจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับแต่ละการเรียกจึงได้รับการปรับปรุงให้พิจารณาอัตราบิตข้อมูลในเชิงสถิติ โดยใน [9] ได้เสนอการพิจารณาแบนด์วิดท์ที่ใช้จริงด้วยแบนด์วิดท์สมมูลจากวิธีการประมาณค่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งานด้วย on-off fluid flow model ซึ่งจะพิจารณาการส่งข้อมูลของแหล่งจ่ายด้วยพารามิเตอร์ในการส่งข้อมูล ดังนี้ คือ อัตราบิตสูงสุด ช่วงเวลาที่แหล่งจ่ายทำงาน ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาเบิรสต์ (mean burst period) และ ค่าความน่าจะเป็นของบัฟเฟอร์ล้น (buffer overflow probability) ซึ่งเป็นผลทำให้ข้อมูลสูญหาย

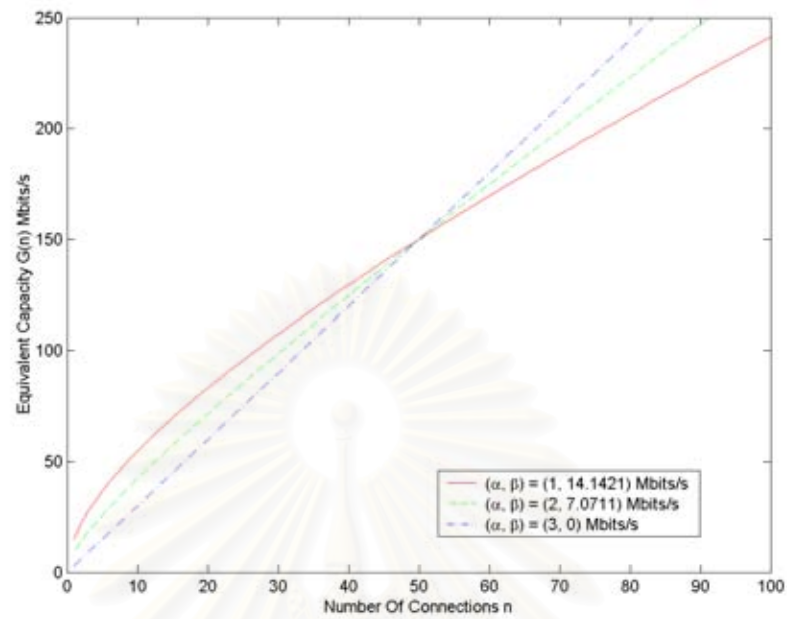
เนื่องจากลักษณะการส่งข้อมูลสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ด้วยกันคือ ข้อมูลที่มีอัตราบิตคงที่ (Constant Bit Rate : CBR) และข้อมูลที่มีอัตราบิตไม่คงที่ (Variable Bit Rate : VBR) กำหนดให้ฟังก์ชันความจุสมมูลแทนด้วย $G(.)$ และให้ n เป็นจำนวนการเชื่อมต่อในขณะนั้น อัตราการส่งข้อมูลคงที่ที่อัตราบิตข้อมูลสูงสุด (PCR) แทนด้วย R_p ดังนั้นการส่งข้อมูลชนิดนี้จะต้องการแบนด์วิดท์ในการส่งมีค่า $G(n) = R_p n$ แต่ข้อมูลที่ต้องการส่งมีอัตราบิตไม่คงที่จะให้อัตราส่งข้อมูลแทนด้วย R_e ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง อัตราบิตข้อมูลเฉลี่ย และ อัตราบิตข้อมูลสูงสุด ดังนั้นสำหรับฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผลของข้อมูลที่มีอัตราบิตไม่คงที่จะมีลักษณะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นที่ลดลงเมื่อจำนวนการเชื่อมต่อเพิ่มขึ้น ใน [9] นำฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผลในรูปของฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นมาพิจารณา

$$G(n) = \alpha n + \beta \sqrt{n} \quad (2.1)$$

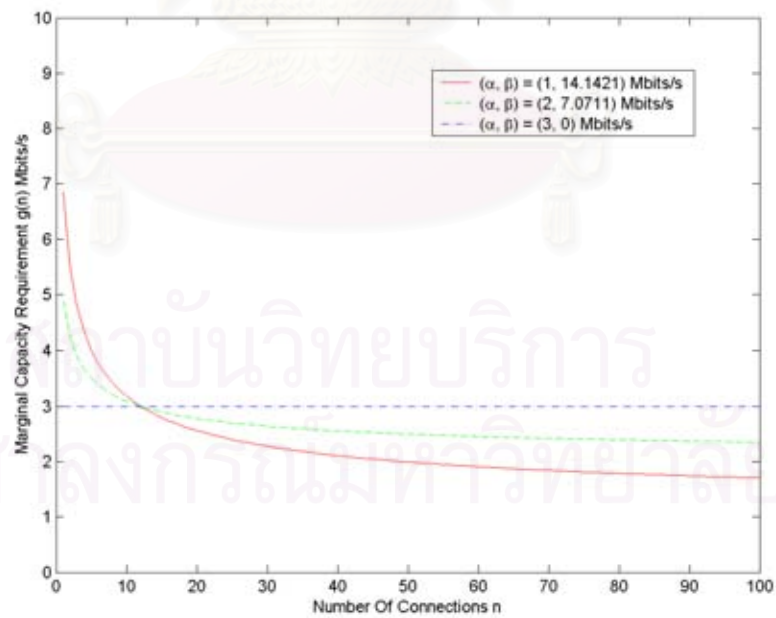
การปรับเปลี่ยนค่าความไม่เป็นเชิงเส้นสามารถทำได้โดยเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ α และ β ในสมการ (2.1) และค่าพารามิเตอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ทั้งสองนั้นสามารถคำนวณให้สอดคล้องกับข้อมูลที่ต้องการส่งจริง จากสมการ (2.1) จะสังเกตได้ว่าค่าความต้องการแบนด์วิดท์มีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนการเชื่อมต่อเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าต้องการวิเคราะห์ค่าความต้องการแบนด์วิดท์ของแต่ละการเชื่อมต่อสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการ (2.2)

$$g(n) = G(n + 1) - G(n) \quad (2.2)$$

เนื่องจากการวิเคราะห์ฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ตามสมการ (2.1) และ (2.2) ทำให้สามารถครอบคลุมลักษณะของกราฟฟังก์ชันข้อมูลที่มีอัตราบิตคงที่ และ ข้อมูลที่มีอัตราบิตไม่คงที่ ประกอบกับความสะดวกในการปรับเปลี่ยนรูปแบบของกราฟฟังก์ชันที่ต้องการพิจารณาได้เพียงการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์เพียง 2 ตัว ดังนั้นในโครงร่างวิทยานิพนธ์นี้จะวิเคราะห์กราฟฟังก์ชันที่เข้ามาในข่ายเชื่อมโยงเป็นไปตามสมการ (2.1) และจะพิจารณาการวัดสมรรถนะของโครงข่ายในระดับการเรียกเท่านั้น



รูปที่ 2.2 ฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูลของสมการ $G(n) = \alpha n + \beta\sqrt{n}$



รูปที่ 2.3 ความต้องการแบนด์วิดท์ของแต่ละการเชื่อมต่อของฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล

$$G(n) = \alpha n + \beta\sqrt{n}$$

2.5 การควบคุมการตอบรับการเรียก

การควบคุมการตอบรับการเรียกเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในโครงข่าย ซึ่งคอยควบคุมความคับคั่งในโครงข่าย โดยทำหน้าที่สร้างการเชื่อมต่อการเรียกหนึ่ง ๆ ให้ทันทีที่การเรียกนั้นได้รับการตอบรับให้เข้ามาในข่ายเชื่อมโยงได้ แต่เมื่อการเรียกนั้น ๆ ได้รับการปฏิเสธจะสูญเสียทันที โดยทั่วไปแล้วการตอบรับการเรียกขึ้นอยู่กับปริมาณความจุ หรือ แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงว่าสามารถรองรับการให้บริการนั้นได้หรือไม่ และประกอบกับวิธีการตัดสินใจที่ใช้ในการควบคุมการตอบรับการเรียก ตัวอย่างวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียก เช่น

2.5.1 นโยบายการใช้ทรัพยากรร่วมกันอย่างสมบูรณ์

วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกโดยใช้นโยบายการใช้ทรัพยากรร่วมกันอย่างสมบูรณ์ (Complete sharing policy) มีแนวคิดดังนี้ เมื่อมีการเรียกใหม่ที่เข้ามาขอใช้ข่ายเชื่อมโยงโดยให้การเรียกแต่ละชนิดเข้ามาใช้แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงอย่างเต็มที่ เมื่อมีแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงในขณะนั้นเหลือเพียงพอกับปริมาณความต้องการของการเรียก จึงทำให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้ และคำนวณค่าการบล็อกของการเรียกของทราฟฟิกแต่ละประเภท เช่น สามารถคำนวณโดยตรงได้จากค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกของ Erlang

2.5.2 นโยบายการจองทรัพยากร

วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกโดยใช้นโยบายการจองทรัพยากร (Trunk reservation policy) เป็นวิธีที่ได้รับการปรับปรุงให้แก่ปัญหาการกีดกันการเข้าใช้โครงข่ายจากผู้ใช้งานกลุ่ม โดยจะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ค่าพารามิเตอร์การจองช่องสัญญาณ TR ในวิธีนี้การควบคุมการตอบรับการเรียกจะยอมให้การเรียกแต่ละชนิดเข้ามาใช้แบนด์วิดท์ของโครงข่ายได้ตราบนาทีที่แบนด์วิดท์ของโครงข่ายมีค่ามากกว่าค่า TR ที่กำหนด

บทที่ 3

วิธีการจัดเส้นทางที่เสนอ

ในอดีตวิธีการจัดเส้นทางในโครงข่ายสูญเสียมักจะพิจารณาแค่บริการเพียงชนิดเดียว เช่นบริการโทรศัพท์ [16], [17] แต่ในปัจจุบันได้มีการบริการที่หลากหลายมากขึ้น จึงได้มีงานวิจัยหลายงานที่ศึกษาวิธีการจัดเส้นทางในโครงข่ายสูญเสียที่รองรับบริการหลายชนิด [18], [19], [20] แต่อย่างไรก็ตามยังมีงานวิจัยจำนวนน้อยที่พิจารณาแบนด์วิดท์ในรูปแบบด์วิดท์สมมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้น

วิธีการจัดเส้นทางที่ใช้ได้ดีในโครงข่ายสูญเสียทั่วไปอาจจะไม่เหมาะสมกับแบนด์วิดท์สมมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ตัวอย่างเช่น วิธีการกระจายการเชื่อมต่อทุก ๆ เส้นทางที่เป็นไปได้ระหว่างโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง (LLR [20], [21]) อาจจะไม่มีประสิทธิภาพในแบนด์วิดท์สมมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากแบนด์วิดท์สมมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้นมีความต้องการแบนด์วิดท์ที่ลดลงเมื่อจำนวนการเชื่อมต่อเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการรวมการเชื่อมต่อให้ไปบางเส้นทาง (sequential routing [18]) ก็อาจไม่เหมาะสมเนื่องจากทำให้เส้นทางนั้นเกิดความคับคั่งและถ้าเส้นทางนั้นเกิดการเสียหายจะมีผลกระทบกับโครงข่ายมาก ดังนั้นวิธีการจัดเส้นทางที่เหมาะสมกับแบนด์วิดท์สมมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้นควรมีความสมดุลระหว่างการกระจายและการรวมการเชื่อมต่อในโครงข่าย วิธีการจัดเส้นทางแบบ DAR [12], [13] เป็นทางเลือกหนึ่งเนื่องจากวิธีการนี้เส้นทางเพื่อเลือกจะใช้เส้นทางเดิมระหว่างคู่โหนดต้นทางและปลายทางจนกว่าเส้นทางเพื่อเลือกจะไปไม่ได้ก็จะเลือกเส้นทางเพื่อเลือกเส้นทางอื่นแบบสุ่ม เริ่มแรกวิธีการจัดเส้นทางแบบ DAR คิดขึ้นมาสำหรับโครงข่ายโทรศัพท์ ซึ่งมีบริการชนิดเดียวและพิจารณาค่าแบนด์วิดท์ในรูปแบบแบนด์วิดท์สมมูล งานวิจัย [7] ได้นำวิธี DAR มาประยุกต์ใช้กับโครงข่ายที่ให้บริการหลายชนิดและพิจารณาค่าแบนด์วิดท์ในรูปแบบแบนด์วิดท์สมมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยพิจารณาโครงข่ายแบบเชื่อมต่อเต็มที่ให้บริการหลายประเภท ซึ่งให้รายรับที่ได้จากโครงข่ายดีกว่าวิธีการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบอัตราส่งสูงสุด ในงานวิจัย [4], [5], [6] ได้เสนอวิธีการจัดเส้นทางใหม่ และประยุกต์ใช้กับวิธีการ least-loaded routing แต่พิจารณาบริการประเภทเดียวและพิจารณาโครงข่ายแบบสวิตช์วงจรเชื่อมต่อเต็มที่ ซึ่งให้ค่าความน่าจะเป็นในการบล็อกที่ดีกว่าวิธีการจัดเส้นทางโดยใช้ least-loaded routing เพียงอย่างเดียว เนื่องจากโครงข่ายในปัจจุบันต้องรองรับบริการหลายประเภท และมีทรัพยากรจำกัด โดยที่การตัดสินใจเลือกเส้นทางที่มีความสำคัญจะอยู่บนโครงข่ายหลัก (core network) ซึ่งมีลักษณะเชื่อมต่อแบบเต็มที่ จึงมีแนวความคิดที่จะนำวิธีการในงานวิจัย [9] มาประยุกต์ใช้กับวิธีการจัดเส้นทางใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับโครงข่าย โดยได้ทำการพิจารณาการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกเส้นทางแบบพลวัตโดยพิจารณากรณีต่าง ๆ ดังนี้

- การจัดเส้นทางใหม่แบบสุ่ม เมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย (Arrival Triggering Random Rerouting: ARR)
- การจัดเส้นทางใหม่โดยเลือกความจุของสายเชื่อมโยงที่มีค่าเหลือมากที่สุดเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย (Arrival Triggering Least-loaded Rerouting: ALR)

- การจัดเส้นทางใหม่แบบสุ่ม เมื่อ มีการเรียกออกจากโครงข่าย (Departure Triggering Random Rerouting: DRR)
- การจัดเส้นทางใหม่โดยเลือกความจุของข่ายเชื่อมโยงที่มีค่าเหลือน้อยที่สุดเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่าย (Departure Triggering Busiest Rerouting: DBR)

3.1 การจัดเส้นทางใหม่แบบสุ่มเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย

Arrival Triggering Random Rerouting (ARR) มีหลักการทำงานดังนี้คือ

- การเรียกที่เข้ามาใหม่ในแต่ละคูโหนดจะเลือกเส้นทางตรงระหว่างคูโหนดนั้น ๆ ทุกครั้งที่เป็นไปได้
- ถ้าการเรียกถูกบล็อก เส้นทางเพื่อเลือกบนเส้นทางตรงนั้นจะถูกเลือกแบบสุ่ม
- ทำการตรวจสอบว่าการเรียกเพื่อเลือกที่ทำการเลือกนั้นสามารถกลับไปยังเส้นทางตรงของตนเองได้หรือไม่ ถ้าได้ก็ทำการจัดเส้นทางใหม่ ถ้าไม่ได้ก็ทำการเลือกการเรียกเพื่อเลือกอื่นแบบสุ่ม
- ทำการตรวจสอบว่าการเรียกใหม่สามารถไปเส้นทางตรงได้หรือไม่ ถ้าได้ก็ทำการส่งการเรียกไปยังเส้นทางตรง ถ้าไม่ได้ก็ทำการตรวจสอบว่ายังมีเส้นทางเพื่อเลือกให้ทำการจัดเส้นทางอีกหรือไม่ ถ้ามีก็ทำการทำการจัดเส้นทางใหม่ ถ้าไม่มีก็ทำการจัดเส้นทางแบบพลวัต
- ทำการจัดเส้นทางแบบพลวัต

3.2 การจัดเส้นทางใหม่โดยเลือกความจุของข่ายเชื่อมโยงที่มีค่าเหลือมากที่สุดเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย

Arrival Triggering Least-loaded Rerouting (ALR) มีหลักการทำงานดังนี้คือ

- การเรียกที่เข้ามาใหม่ในแต่ละคูโหนดจะเลือกเส้นทางตรงระหว่างคูโหนดนั้น ๆ ทุกครั้งที่เป็นไปได้
- ถ้าการเรียกถูกบล็อก เส้นทางเพื่อเลือกบนเส้นทางตรงนั้นจะถูกเลือกจากความจุของข่ายเชื่อมโยงของเส้นทางตรงของเส้นทางเพื่อเลือกนั้นที่มีค่าความจุเหลือมากที่สุด
- ทำการตรวจสอบว่าการเรียกเพื่อเลือกที่ทำการเลือกนั้นสามารถกลับไปยังเส้นทางตรงของตนเองได้หรือไม่ ถ้าได้ก็ทำการจัดเส้นทางใหม่ ถ้าไม่ได้ก็ทำการเลือกการเรียกเพื่อเลือกอื่นที่ความจุของข่ายเชื่อมโยงของเส้นทางตรงของเส้นทางเพื่อเลือกนั้นมีค่าเหลือมากที่สุด
- ทำการตรวจสอบว่าการเรียกใหม่สามารถไปเส้นทางตรงได้หรือไม่ ถ้าได้ก็ทำการส่งการเรียกไปยังเส้นทางตรง ถ้าไม่ได้ก็ทำการตรวจสอบว่ายังมีเส้นทางเพื่อเลือกให้ทำการจัดเส้นทางอีกหรือไม่ ถ้ามีก็ทำการทำการจัดเส้นทางใหม่ ถ้าไม่มีก็ทำการจัดเส้นทางแบบพลวัต

- ทำการจัดเส้นทางแบบพลวัต

3.3 การจัดเส้นทางใหม่แบบสุ่มเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่าย

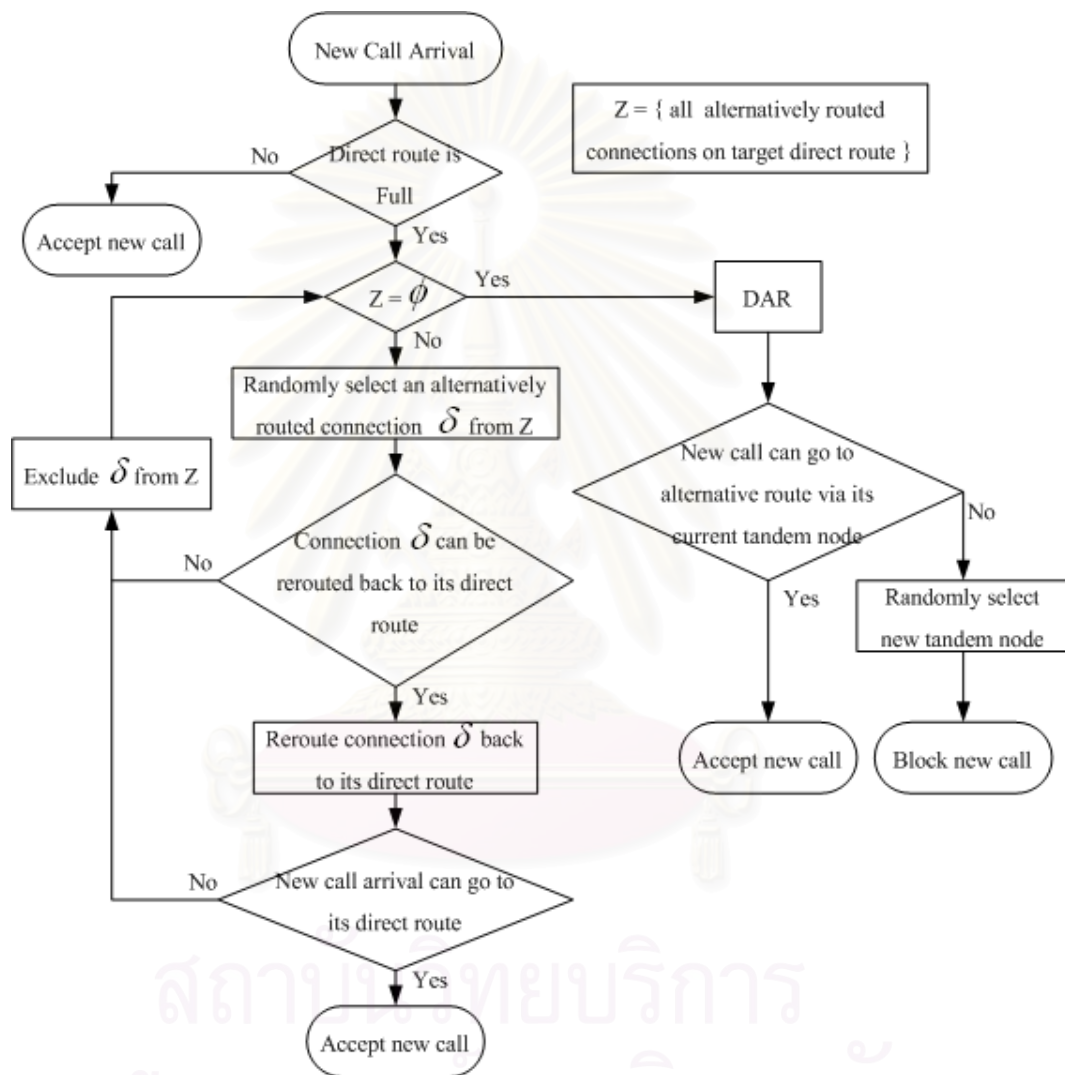
Departure Triggering Random Rerouting (DRR) มีหลักการทำงานดังนี้คือ

- การเรียกที่เข้ามาใหม่ในแต่ละคูโหนดจะเลือกเส้นทางตรงระหว่างคูโหนดนั้น ๆ ทุกครั้งที่เป็นไปได้
- ถ้าการเรียกสิ้นสุดลง ทำการเลือกการเรียกกลับแบบสุ่มให้กลับมาใช้เส้นทางตรงเดิม
- ถ้าการเรียกถูกบล็อก ทำการจัดเส้นทางแบบพลวัต

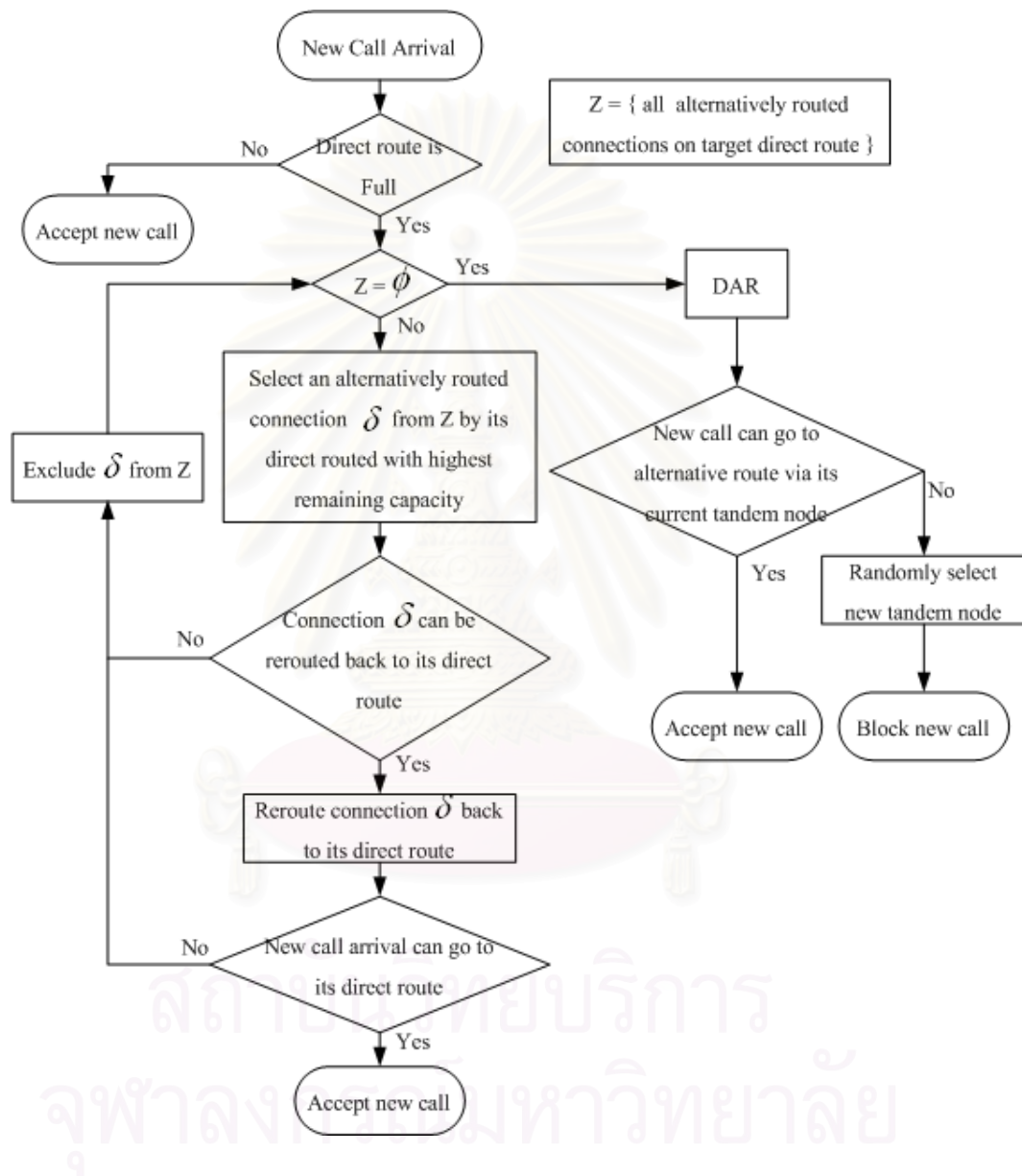
3.4 การจัดเส้นทางใหม่โดยเลือกความจุของข่ายเชื่อมโยงที่มีค่าเหลือน้อยที่สุดเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่าย

Departure Triggering Busiest Rerouting (DBR) มีหลักการทำงานดังนี้คือ

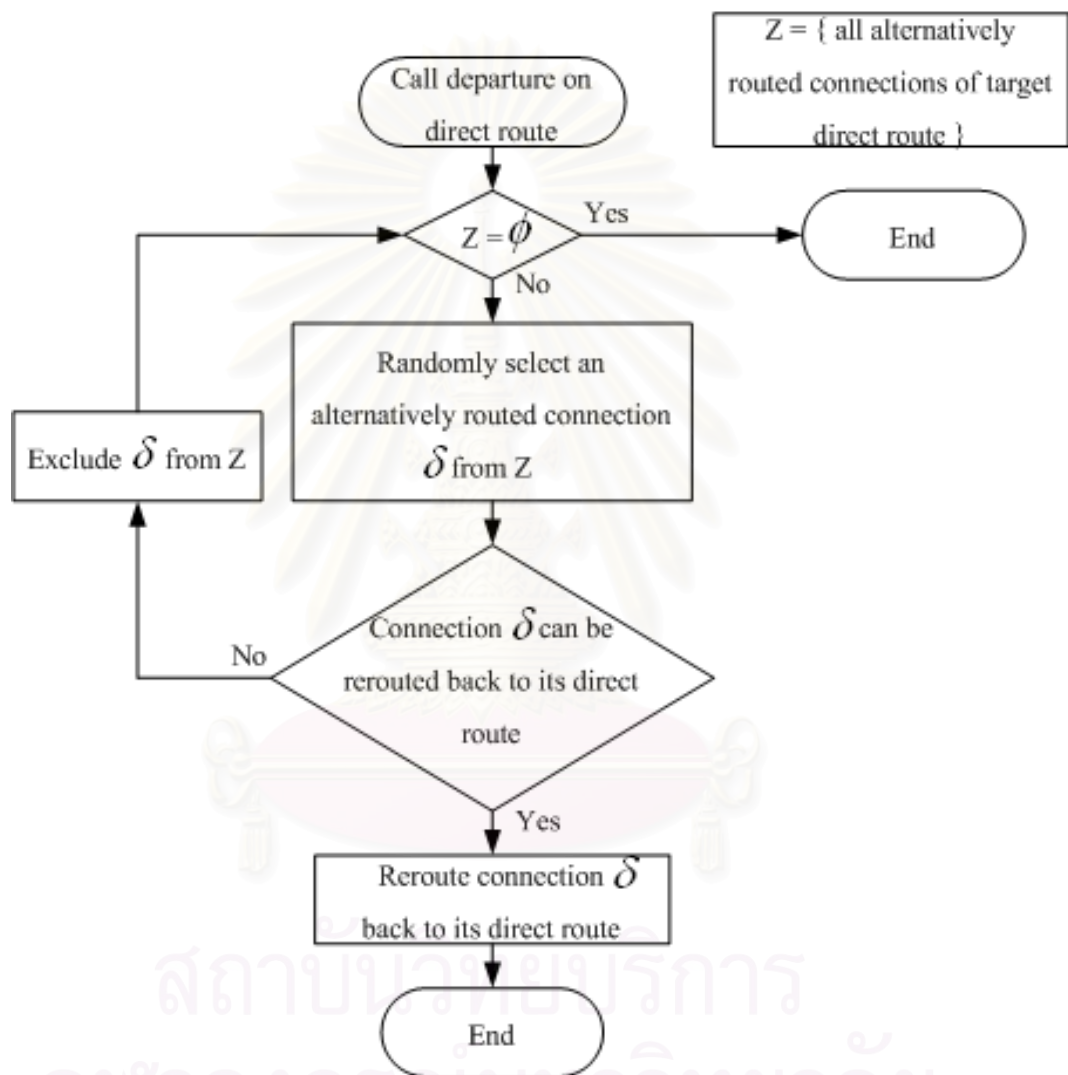
- การเรียกที่เข้ามาใหม่ในแต่ละคูโหนดจะเลือกเส้นทางตรงระหว่างคูโหนดนั้น ๆ ทุกครั้งที่เป็นไปได้
- ถ้าการเรียกสิ้นสุดลง ทำการเลือกการเรียกกลับโดยพิจารณาจากการเรียกกลับที่มีความจุของข่ายเชื่อมโยงเหลือน้อยที่สุดให้กลับมาใช้เส้นทางตรงเดิม
- ถ้าการเรียกถูกบล็อก ทำการจัดเส้นทางแบบพลวัต



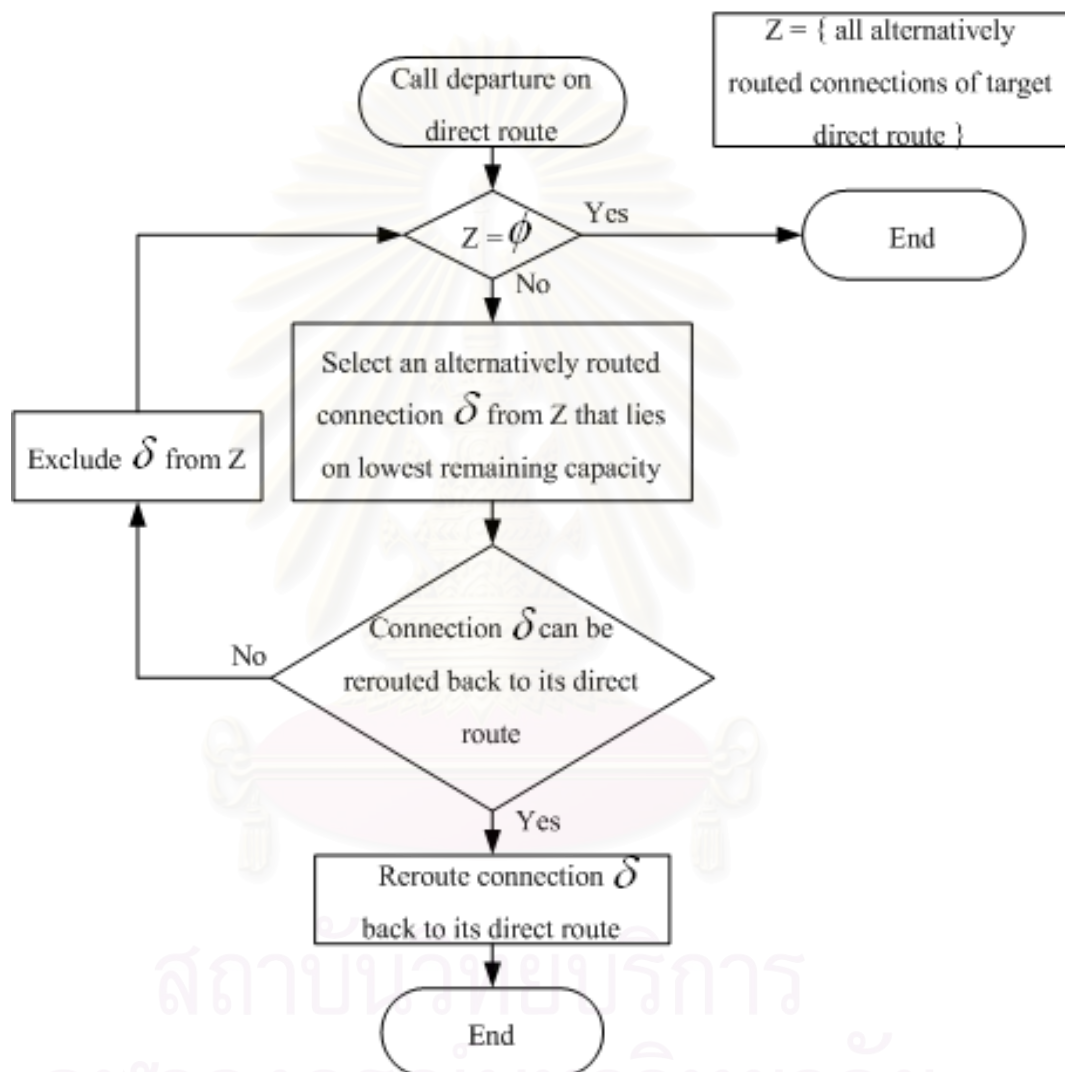
รูปที่ 3.1 วิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกเส้นทางแบบพลวัตโดยพิจารณากรณี ARR



รูปที่ 3.2 วิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกเส้นทางแบบพลวัตโดยพิจารณากรณี ALR



รูปที่ 3.3 วิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกเส้นทางแบบพลวัตโดยพิจารณากรณี DRR



รูปที่ 3.4 วิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกเส้นทางแบบพลวัตโดยพิจารณากรณี DBR

บทที่ 4

แบบจำลองระบบและผลการทดสอบ

4.1 แบบจำลองระบบ

ระบบที่ใช้ประกอบการพิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นโครงข่ายแบบเชื่อมต่อเต็มที่มีจำนวน 5 โหนด โดยมีสมมติฐานดังนี้

1. การเข้ามาของทราฟฟิกมีลักษณะเป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซง ซึ่งเข้ามาด้วยอัตราค่าเฉลี่ย λ_i และให้บริการด้วยอัตราค่าเฉลี่ย μ_i เมื่อ i แทนชนิดของทราฟฟิก

2. กำหนดให้ทราฟฟิกที่ใช้พิจารณามีเพียง 3 ชนิด พิจารณาการจัดสรรแบนด์วิดท์ด้วยค่าแบนด์วิดท์ประสิทธิภาพเป็นไปตามสมการ (2.1) และ (2.2) โดยมีค่า ดังนี้

ทราฟฟิกประเภทที่ 1 มีค่า $G_1(n) = n + 14.1421\sqrt{n}$ Mbps

ทราฟฟิกประเภทที่ 2 มีค่า $G_2(n) = 2n + 7.0711\sqrt{n}$ Mbps

ทราฟฟิกประเภทที่ 3 มีค่า $G_3(n) = 3n$ Mbps

3. ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของโครงข่าย ใช้ค่าอัตราการรับเฉลี่ยของโครงข่าย (W)

กำหนดให้อัตราการรับของแต่ละการเรียกของแต่ละบริการ (r_s) มีค่าดังนี้

บริการแบบประกันคุณภาพ ประเภทที่ 1 มีค่า $r_1 = 15.1421$ หน่วย/วินาที/จำนวนการเชื่อมต่อ

บริการแบบประกันคุณภาพ ประเภทที่ 2 มีค่า $r_2 = 9.0711$ หน่วย/วินาที/จำนวนการเชื่อมต่อ

บริการแบบประกันคุณภาพ ประเภทที่ 3 มีค่า $r_3 = 3$ หน่วย/วินาที/จำนวนการเชื่อมต่อ

บริการแบบพยายามส่ง $r_0 = 1$ หน่วย/วินาที/หน่วยความจุ

โดยที่ $s = 1, \dots, S$ คือประเภทของบริการแบบประกันคุณภาพ

$s = 0$ คือบริการแบบพยายามส่ง

กำหนดให้ $W_{uv}(s)$ คือ อัตราการรับเฉลี่ยของบริการแบบประกันคุณภาพที่ s ระหว่างโหนดต้นทาง u และโหนดปลายทาง v โดยที่ $s = 1, \dots, S$ และกำหนดให้ $W_{uv}(0)$ คือ อัตราการรับเฉลี่ยของบริการแบบพยายามส่งสามารถคำนวณ $W_{uv}(s)$ และ $W_{uv}(0)$ ได้ดังสมการ (4.1) และ (4.2)

$$W_{uv}(s) = r_s \times \bar{N}_{uv}(s) \quad (4.1)$$

$$W(0) = r_0 \times (C_{uv} - U_{uv}) \quad (4.2)$$

โดยที่ r_s คือ อัตราารายรับสำหรับบริการแบบประกันคุณภาพที่ s

r_0 คือ อัตราารายรับสำหรับบริการแบบพยายามส่ง

$\bar{N}_{uv}(s)$ คือ จำนวนการเชื่อมต่อโดยเฉลี่ยของบริการแบบประกันคุณภาพที่ s บนคูโหนด uv

C_{uv} คือ ความจุของข่ายเชื่อมโยง uv

U_{uv} คือ ความจุเฉลี่ยที่ใช้โดยบริการแบบประกันคุณภาพบนข่ายเชื่อมโยง uv

อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งโครงข่ายของบริการแต่ละประเภทสามารถคำนวณได้จากสมการ (4.3)

$$W_{net}(s) = \sum_{u,v} W_{uv}(s) \quad (4.3)$$

โดยที่ $s = 0, 1, 2, \dots, S$

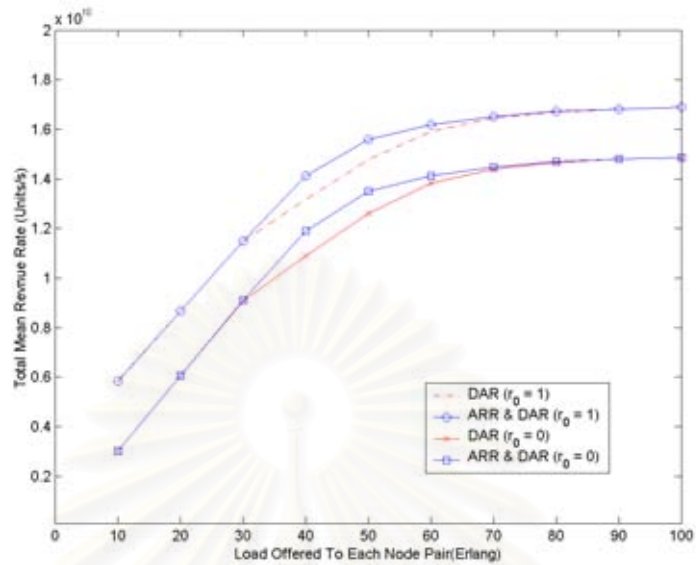
อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดสำหรับทั้งโครงข่าย W คำนวณตามสมการ (4.4)

$$W = \sum_{s=0}^S W_{net}(s) \quad (4.4)$$

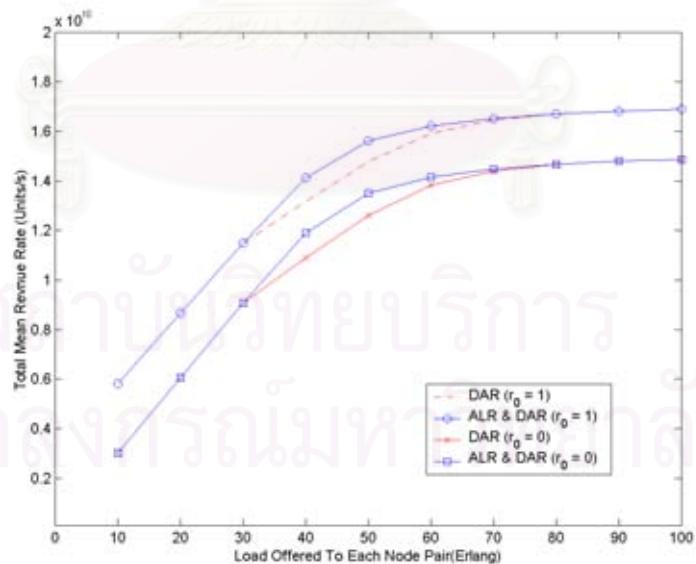
4.2 กรณีโครงข่ายรองรับลักษณะของกราฟฟิกต่างกัน

ในส่วนนี้จะพิจารณาเป็น 2 กรณีย่อยโดยที่บริการแบบประกันคุณภาพมีค่าแบนด์วิดท์ประสิทธิภาพผลแบบไม่เป็นเชิงเส้นต่างกัน กรณีแรก ค่าแบนด์วิดท์ประสิทธิภาพผลแบบไม่เป็นเชิงเส้นมีค่า $G_1(n) = n + 14.1421\sqrt{n}$ กรณีที่สอง ค่าแบนด์วิดท์ประสิทธิภาพผลแบบไม่เป็นเชิงเส้นมีค่า $G_2(n) = 2n + 7.0711\sqrt{n}$ กำหนดให้ค่าความจุของแต่ละข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายมีขนาดคงที่เท่ากับ 150 Mbps และใช้นโยบายการใช้ทรัพยากรร่วมกันอย่างสมบูรณ์

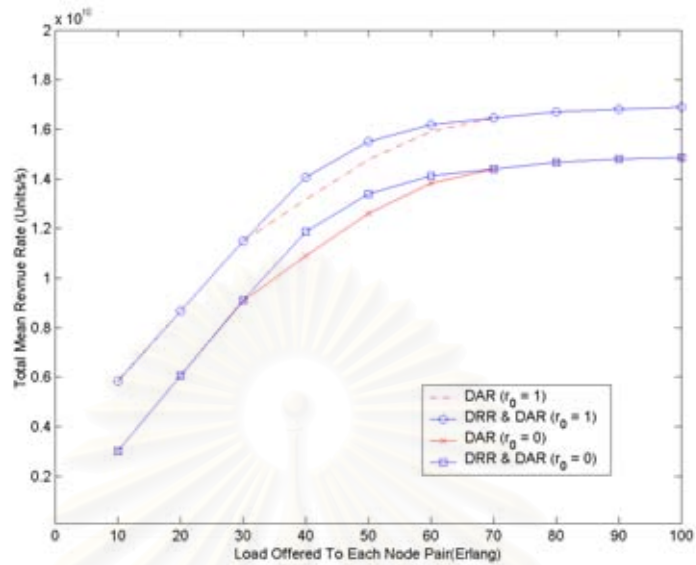
จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.4 ซึ่งแบนด์วิดท์ประสิทธิภาพผลแบบไม่เป็นเชิงเส้นมีค่า $G_1(n) = n + 14.1421\sqrt{n}$ แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณกราฟฟิกที่เข้าสู่แต่ละข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายมีค่าน้อย (10 Erlang ถึง 30 Erlang) อัตราารายรับเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างวิธีการจัดเส้นทางแบบ DAR และวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบต่าง ๆ ร่วมกับวิธีการจัดเส้นทางแบบ DAR เนื่องจากเมื่อกราฟฟิกมีค่าน้อยโครงข่ายยังไม่เกิดความคับคั่งทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้เส้นทางเพื่อเลือกทำให้ไม่เกิดการจัดเส้นทางแบบ DAR และ การจัดเส้นทางใหม่ ส่วนกรณีปริมาณกราฟฟิกที่เข้าสู่แต่ละข่ายเชื่อมโยงมีค่ามาก (70 Erlang ถึง 100 Erlang) อัตราารายรับเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างวิธีการจัดเส้นทางแบบ DAR และวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบต่าง ๆ ร่วมกับวิธีการจัดเส้นทางแบบ DAR เนื่องจากเมื่อปริมาณกราฟฟิกมีค่ามาก ทำให้โครงข่ายเกิดความคับคั่งทำให้ไม่สามารถใช้กระบวนการจัดเส้นทางใหม่ได้ จากรูปที่ 4.5 ถึง 4.8 ซึ่งแบนด์วิดท์ประสิทธิภาพผลแบบไม่เป็นเชิงเส้นมีค่า $G_2(n) = 2n + 7.0711\sqrt{n}$ แสดงให้เห็นว่าเมื่อ



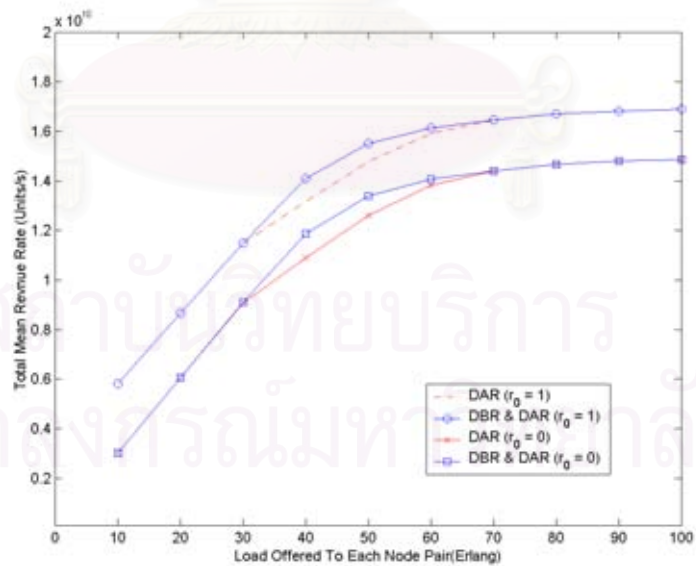
รูปที่ 4.1 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 1, \beta = 14.1421$)
กรณี ARR



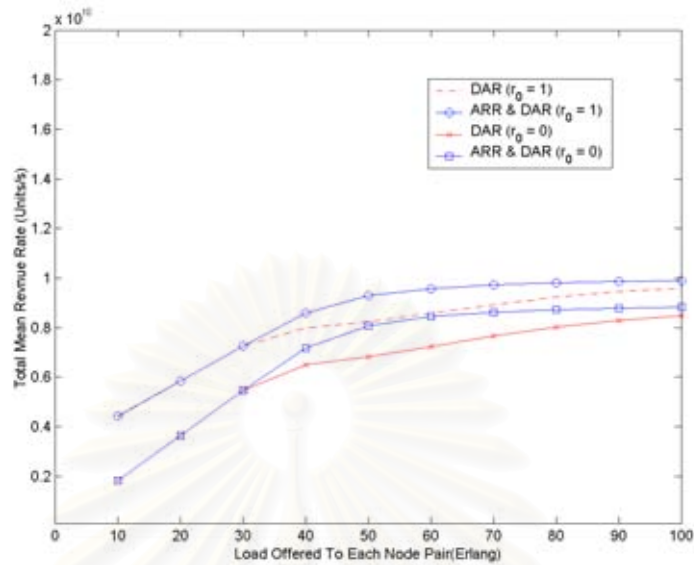
รูปที่ 4.2 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 1, \beta = 14.1421$)
กรณี ALR



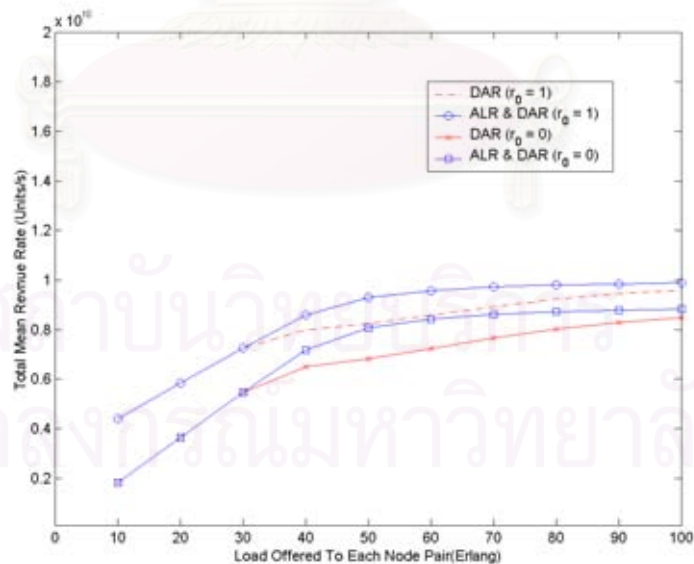
รูปที่ 4.3 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 1, \beta = 14.1421$)
กรณี DRR



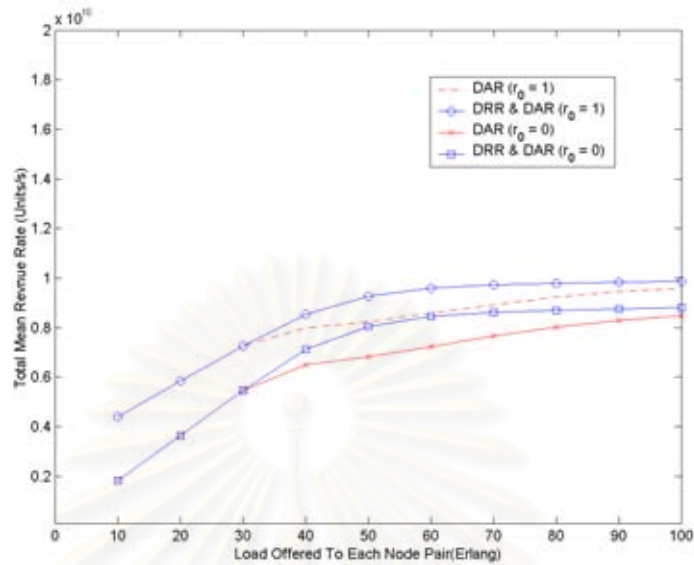
รูปที่ 4.4 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 1, \beta = 14.1421$)
กรณี DBR



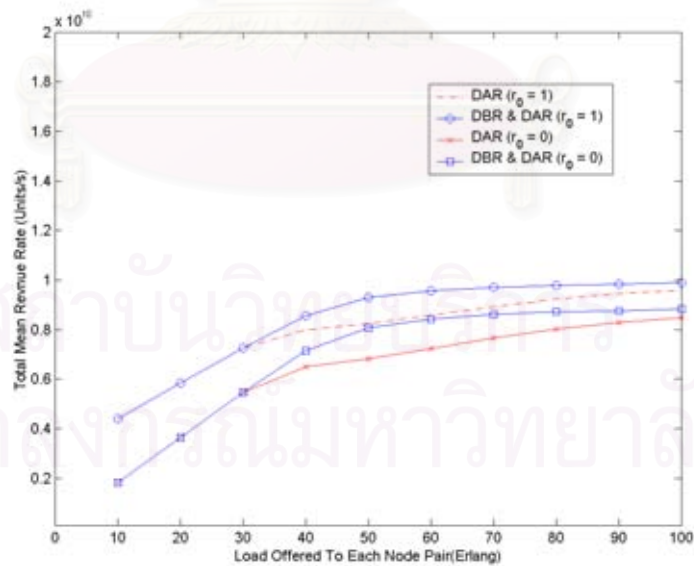
รูปที่ 4.5 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 2$, $\beta = 7.0711$)
กรณี ARR



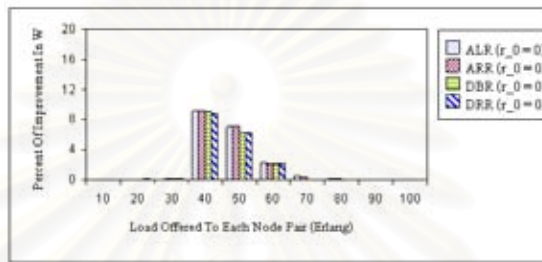
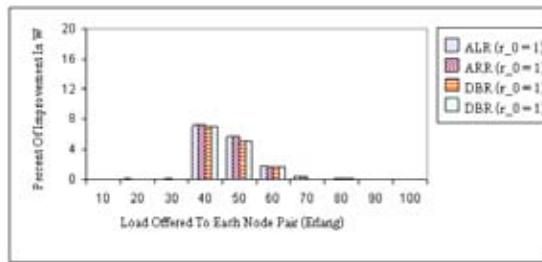
รูปที่ 4.6 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 2$, $\beta = 7.0711$)
กรณี ALR



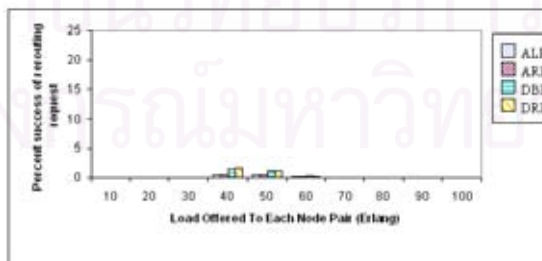
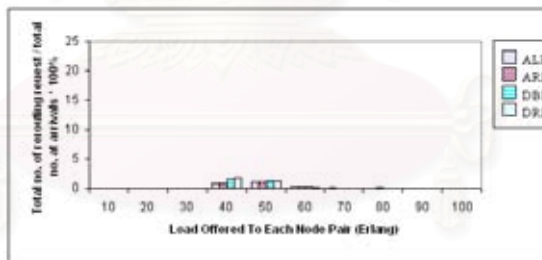
รูปที่ 4.7 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 2$, $\beta = 7.0711$)
กรณี DRR



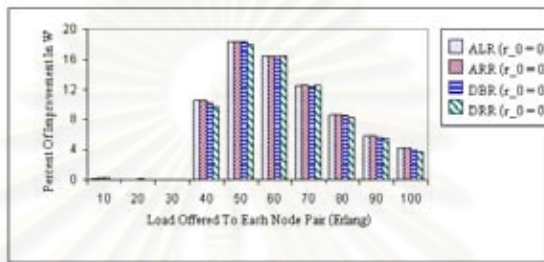
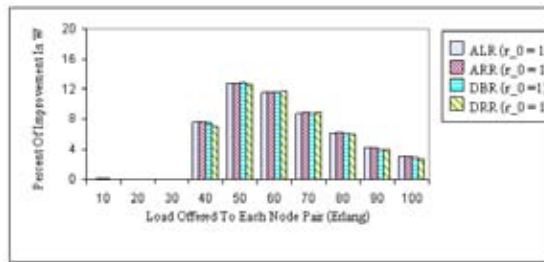
รูปที่ 4.8 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามา ($\alpha = 2$, $\beta = 7.0711$)
กรณี DBR



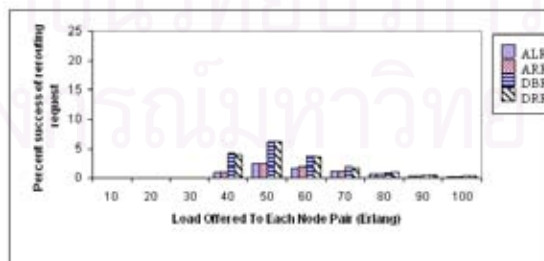
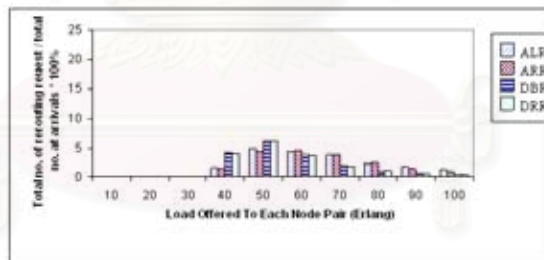
รูปที่ 4.9 เปอร์เซนต์การเพิ่มขึ้นของอัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ ($\alpha = 1, \beta = 14.1421$)



รูปที่ 4.10 เปอร์เซนต์จำนวนการจัดเส้นทางใหม่ในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ ($\alpha = 1, \beta = 14.1421$)



รูปที่ 4.11 เปอร์เซนต์การเพิ่มขึ้นของอัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ ($\alpha = 2, \beta = 7.0711$)



รูปที่ 4.12 เปอร์เซนต์จำนวนการจัดเส้นทางใหม่ในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ ($\alpha = 2, \beta = 7.0711$)

ปริมาณทราฟฟิกที่เข้าสู่แต่ละข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายมีค่าน้อย (10 Erlang ถึง 30 Erlang) อัตราารายรับเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างวิธีการจัดเส้นทางแบบ DAR และวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบต่าง ๆ ร่วมกับวิธีการจัดเส้นทางแบบ DAR เนื่องจากเมื่อทราฟฟิกมีค่าน้อยโครงข่ายยังไม่เกิดความคับคั่งทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้เส้นทางเพื่อเลือกทำให้ไม่เกิดการจัดเส้นทางแบบ DAR และ การจัดเส้นทางใหม่ แต่กรณีแบนด์วิดท์ประสิทธิผลแบบไม่เป็นเชิงเส้นมีค่า $G_2(n) = 2n + 7.0711\sqrt{n}$ เมื่อเพิ่มปริมาณทราฟฟิกที่เข้าสู่แต่ละข่ายเชื่อมโยงถึง 100 Erlang ก็ยังคงให้อัตราารายรับเฉลี่ยมากกว่าวิธีการจัดเส้นทางแบบ DAR อย่างเดียวเนื่องจากแบนด์วิดท์ประสิทธิผลแบบไม่เป็นเชิงเส้นกรณีนี้ต้องการแบนด์วิดท์ให้กับแต่ละการเชื่อมต่อน้อยกว่าแบนด์วิดท์ประสิทธิผลแบบไม่เป็นเชิงเส้นกรณีแรก ทำให้ช่วงของปริมาณทราฟฟิกที่เข้าสู่แต่ละข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายแล้วทำให้โครงข่ายเกิดความคับคั่งมีค่าต่างกัน

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของระบบเมื่อใช้การจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับทางเลือกแบบต่าง ๆ กำหนดอัตราขยายดังนี้

$$\eta = \frac{W_{rerouting\&DAR} - W_{DAR}}{W_{DAR}} \times 100\% \quad (4.5)$$

จากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบ ARR และ ALR ให้อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายที่ใกล้เคียงกันแต่ให้อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายที่ต่ำกว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบ DRR และ DBR จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบ DRR และ DBR มีกระบวนการจัดเส้นทางใหม่มากกว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบ ALR และ ARR แต่วิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบ DRR และ DBR ก็สามารถจัดเส้นทางใหม่ได้สำเร็จมากกว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบ ALR และ ARR เนื่องจากระบบที่ใช้ทดสอบมีบริการประเภทเดียวกรณีที่มีการเรียกออกจากโครงข่ายและข่ายเชื่อมโยงนั้นมีเส้นทางเพื่อเลือกทำให้เส้นทางเพื่อเลือกนั้นสามารถกลับมาเส้นทางตรงได้ทุกครั้ง แต่กรณีที่การเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่ายไม่สามารถทำให้การเพื่อเลือกนั้นกลับไปใช้เส้นทางตรงได้ทุกครั้ง เนื่องจากเส้นทางตรงนั้นอาจไม่มีเส้นทางเพื่อเลือกหรือเส้นทางเพื่อเลือกที่อยู่บนเส้นทางตรงนั้นไม่สามารถกลับไปเส้นทางตรงของตัวเองได้ จากรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบต่าง ๆ ให้อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายใกล้เคียงกัน แต่เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายมากกว่ากรณีแบนด์วิดท์ประสิทธิผลแบบไม่เป็นเชิงเส้นมีค่า $G_1(n) = n + 14.1421\sqrt{n}$ เนื่องจากแบนด์วิดท์ประสิทธิผลแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่มีค่า $G_2(n) = 2n + 7.0711\sqrt{n}$ ทำให้โครงข่ายเกิดการจัดเส้นทางใหม่ได้มากกว่าโดยเปรียบเทียบได้จากรูปที่ 4.10 และ 4.12

4.3 กรณีโครงข่ายที่รองรับปริมาณทราฟฟิกที่มีค่าไม่คงที่

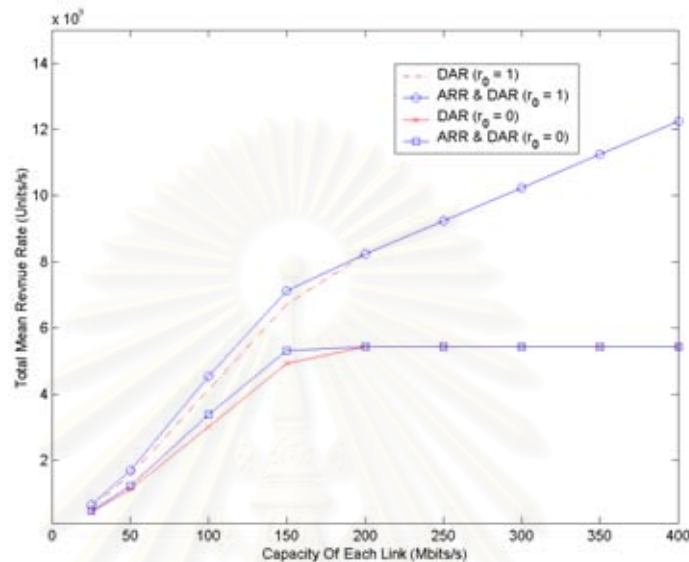
ในส่วนนี้พิจารณาโครงข่ายที่ให้บริการแบบประกันคุณภาพที่มีบริการ 3 ประเภทโดยมีค่าแบนด์วิดท์ประสิทธิผลดังนี้

ทราฟฟิกประเภทที่ 1 มีค่า $G_1(n) = n + 14.1421\sqrt{n}$ Mbps

ทราฟฟิกประเภทที่ 2 มีค่า $G_2(n) = 2n + 7.0711\sqrt{n}$ Mbps

ทราฟฟิกประเภทที่ 3 มีค่า $G_3(n) = 3n$ Mbps

กำหนดให้ปริมาณทราฟฟิกที่เข้าสู่แต่ละข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายมีค่าคงที่เท่ากับ 10 Erlang และใช้นโยบายการใช้ทรัพยากรร่วมกันอย่างสมบูรณ์ เมื่อทำการเปลี่ยนค่าความจุของแต่ละข่ายเชื่อมโยงได้ผลตามรูปที่ 4.13 ถึง 4.16

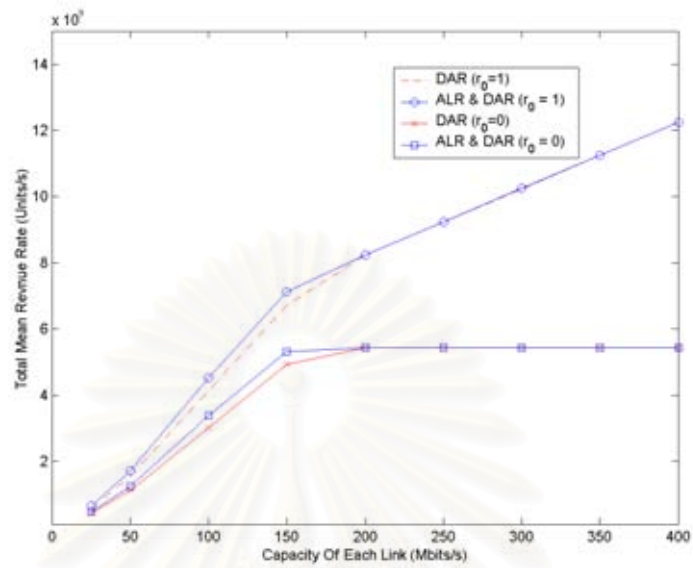


รูปที่ 4.13 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง กรณี ARR

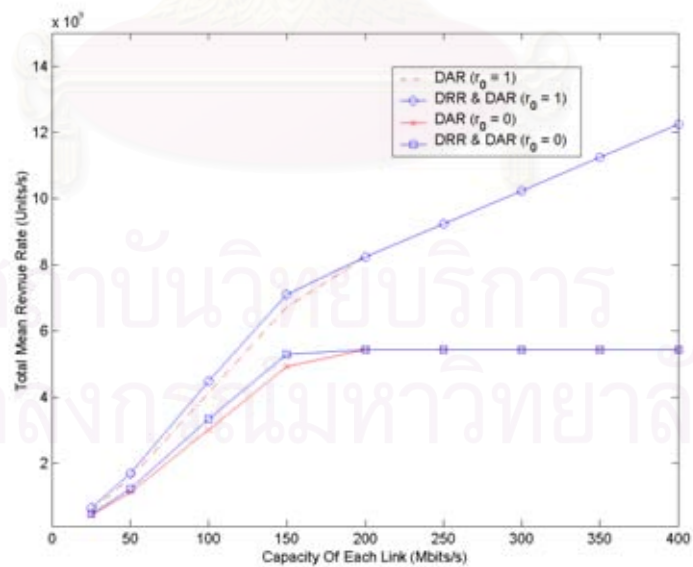
จากรูปที่ 4.13 ถึง 4.16 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความจุของข่ายเชื่อมโยงมีค่ามากอัตราารายรับเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างวิธีการจัดเส้นทางแบบ DAR และวิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับวิธีการจัดเส้นทางแบบ DAR เนื่องจากความจุของแต่ละข่ายเชื่อมโยงสามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกระหว่างคู่โหนดใด ๆ ได้เพียงพอทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบ DAR และการจัดเส้นทางใหม่ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.22 และจากรูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบ ARR และ ALR ให้อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายที่ใกล้เคียงกันแต่ให้อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายที่ต่ำกว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบ DRR และ DBR และเมื่อไม่พิจารณาบริการแบบพยายามส่งเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายมากกว่ากรณีพิจารณาบริการแบบพยายามส่ง เนื่องจากเมื่อมีการจัดเส้นทางใหม่ทำให้ข่ายเชื่อมโยงสามารถรองรับจำนวนการเชื่อมต่อของแต่ละบริการได้มากขึ้นให้อัตราารายรับเฉลี่ยของบริการแบบพยายามส่งที่ได้จากโครงข่ายมีค่าลดลง

กำหนดให้อัตราเฉลี่ยของการเข้ามาของการเรียกแบบขึ้นกับเวลา และใช้นโยบายการใช้ทรัพยากรร่วมกันอย่างสมบูรณ์ เมื่อทำการเปลี่ยนค่าความจุของแต่ละข่ายเชื่อมโยงได้ผลตามรูปที่ 4.17 ถึง 4.20

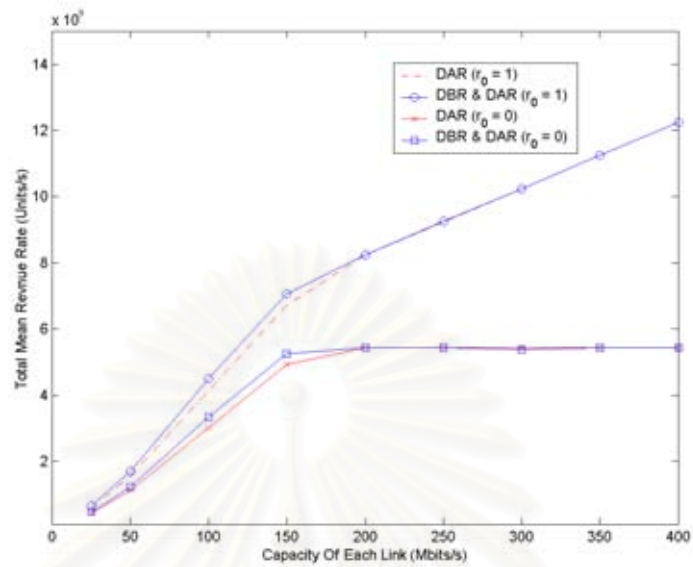
จาก รูปที่ 4.17 ถึง 4.20 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความจุของข่ายเชื่อมโยงมีค่ามากอัตราารายรับเฉลี่ยมีค่าใกล้เคียงกันระหว่างวิธีการจัดเส้นทางแบบ DAR และวิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับวิธีการจัดเส้นทางแบบ DAR เนื่องจากความจุของแต่ละข่ายเชื่อมโยงสามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกระหว่างคู่โหนดใด ๆ ได้เพียงพอทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบ DAR และการจัดเส้นทางใหม่ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.24 และจากรูปที่ 4.23 แสดง



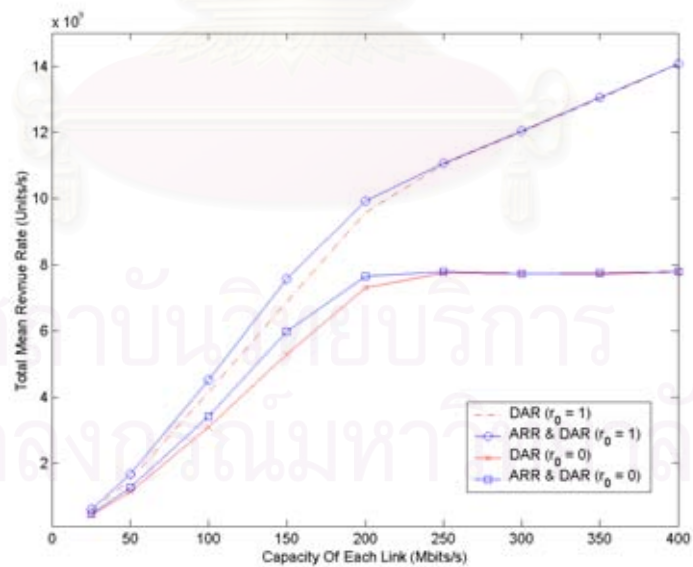
รูปที่ 4.14 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง กรณี ALR



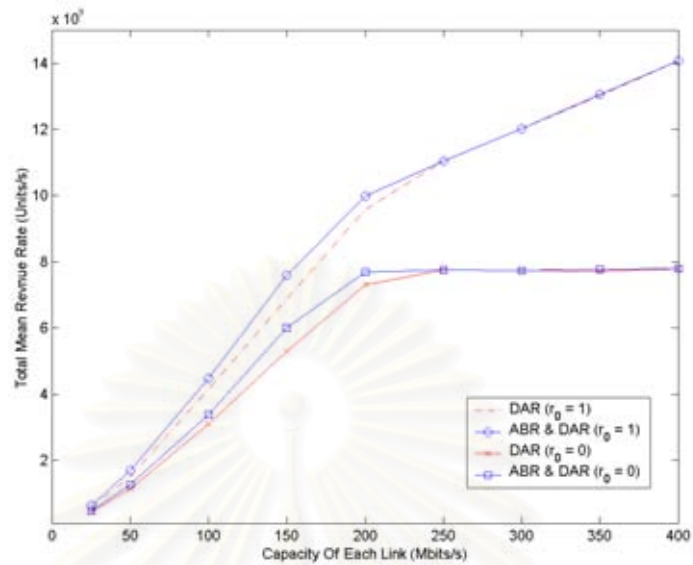
รูปที่ 4.15 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง กรณี DRR



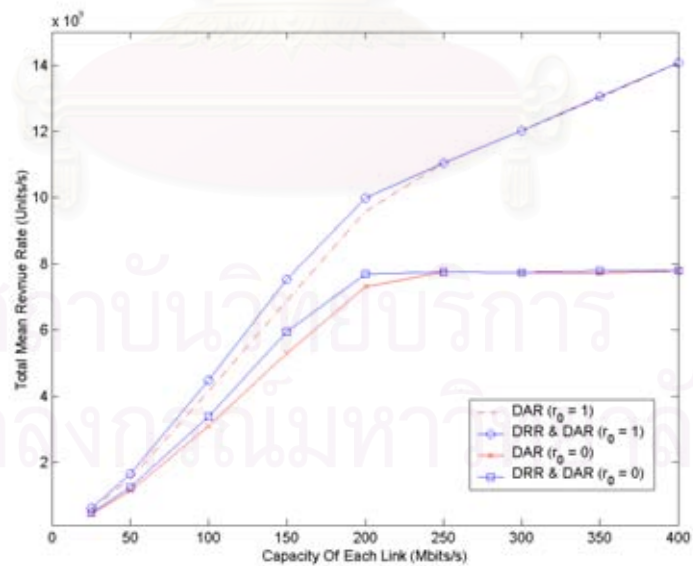
รูปที่ 4.16 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง กรณี DBR



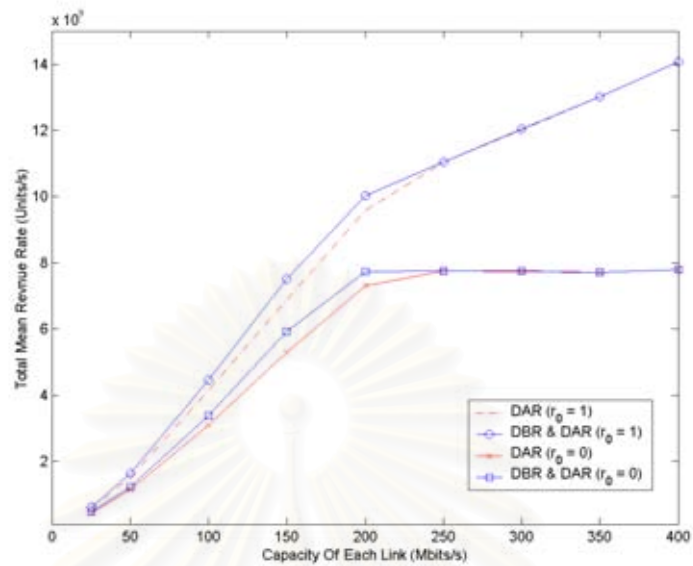
รูปที่ 4.17 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงและทราฟฟิกมีค่าไม่คงที่ กรณี ARR



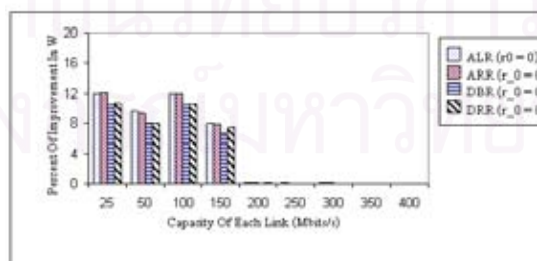
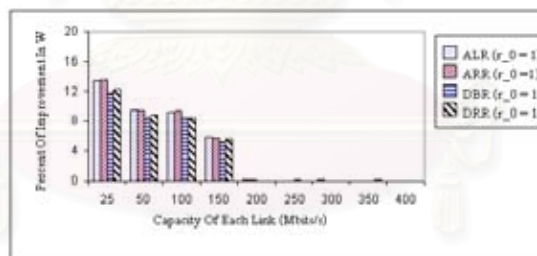
รูปที่ 4.18 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงและทราฟฟิกมีค่าไม่คงที่ กรณี ALR



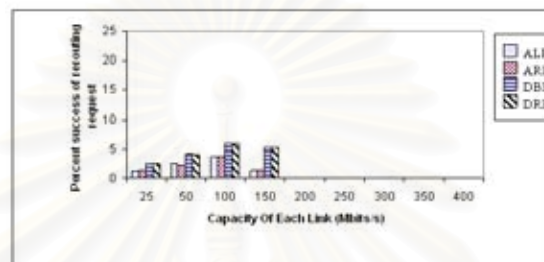
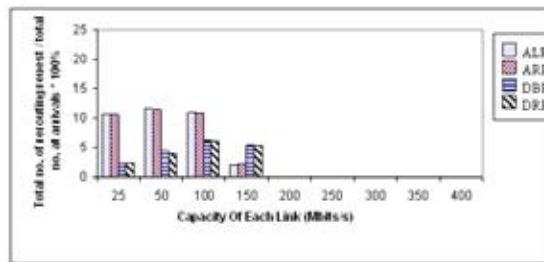
รูปที่ 4.19 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงและทราฟฟิกมีค่าไม่คงที่ กรณี DRR



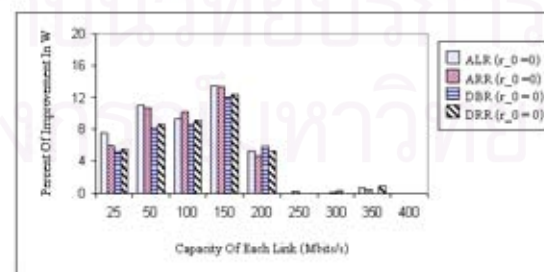
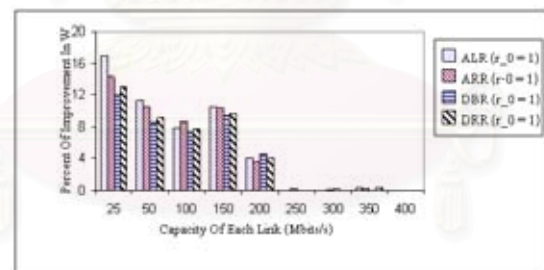
รูปที่ 4.20 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของสายเชื่อมโยงและทราฟฟิกมีค่าไม่คงที่ กรณี DBR



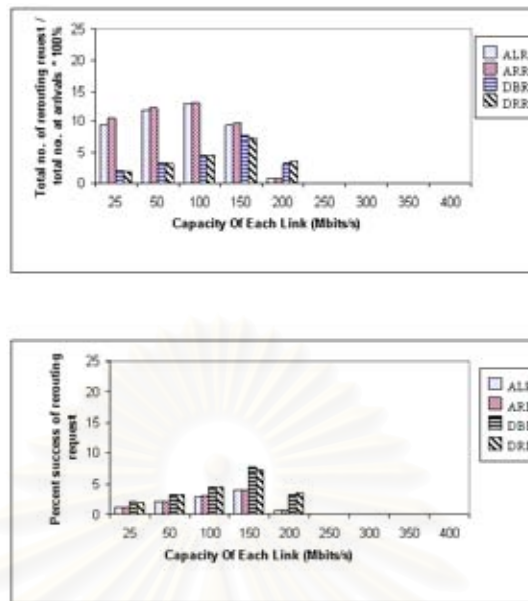
รูปที่ 4.21 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของสายเชื่อมโยง



รูปที่ 4.22 เปอร์เซนต์จำนวนการจัดเส้นทางใหม่ในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง



รูปที่ 4.23 เปอร์เซนต์การเพิ่มขึ้นของอัตราารับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงและทราฟฟิกมีค่าไม่คงที่

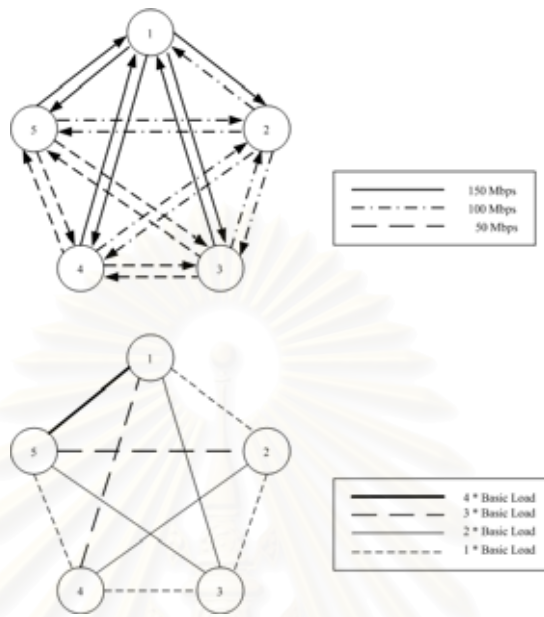


รูปที่ 4.24 เปอร์เซนต์จำนวนการจัดเส้นทางใหม่ในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงและกราฟฟิกมีค่าไม่คงที่

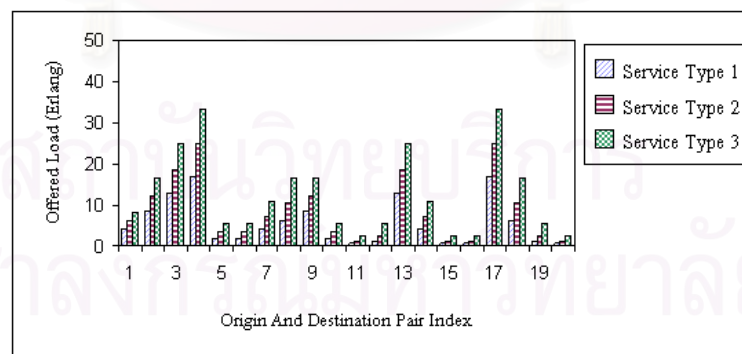
ให้เห็นว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบ ARR และ ALR ให้อัตราการรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายที่ใกล้เคียงกันแต่ให้อัตราการรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายที่ดีกว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบ DRR และ DBR และเมื่อไม่พิจารณาบริการแบบพยายามส่งเปอร์เซนต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายมากกว่ากรณีพิจารณาบริการแบบพยายามส่ง เนื่องจากเมื่อมีการจัดเส้นทางใหม่ทำให้ข่ายเชื่อมโยงสามารถรองรับจำนวนการเชื่อมต่อของแต่ละบริการได้มากขึ้นทำให้อัตราการรับเฉลี่ยของบริการแบบพยายามส่งที่ได้จากโครงข่ายมีค่าลดลง เปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 4.21 และ 4.23 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณกราฟฟิกที่เข้าสู่แต่ละข่ายเชื่อมโยงมีค่าไม่คงที่ให้อัตราการรับเฉลี่ยทั้งหมดมากกว่าเมื่อกรณีกราฟฟิกที่เข้าสู่แต่ละข่ายเชื่อมโยงมีค่าคงที่

4.4 กรณีข่ายเชื่อมโยงของโครงข่ายเกิดความเสียหาย

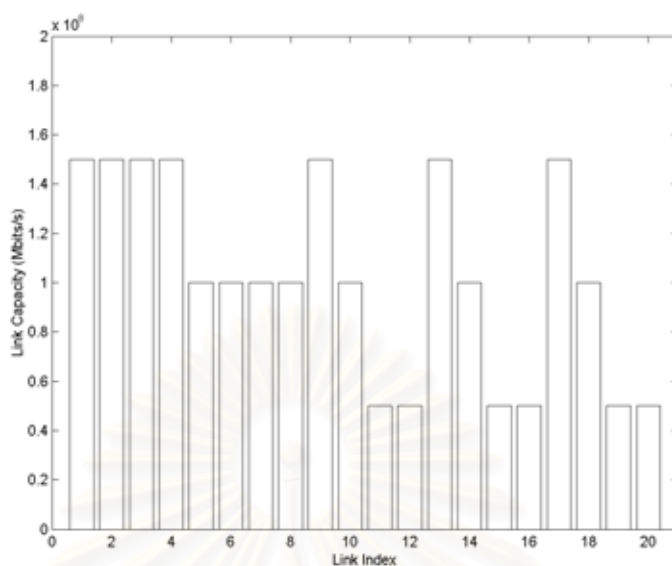
กำหนดให้โครงข่ายที่ทำการทดสอบและปริมาณกราฟฟิกที่เข้ามาของบริการแต่ละประเภทในแต่ละข่ายเชื่อมโยงมีค่าดังรูปที่ 4.25 ถึง 4.27 โดยที่ $index = 1, 2, 3, \dots, 20$ คือคูโหนด (1,2), (1,3), (1,4), ..., (5,4) ตามลำดับ และให้ข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายเสียครั้งละหนึ่งข่ายเชื่อมโยง โดยที่ข่ายเชื่อมโยงที่เสียหายไม่มีการซ่อมแซม ถ้าให้ลำดับของข่ายเชื่อมโยงที่เสียหายมีลำดับดังนี้ (1, 5), (5, 1), (2, 5), (3, 5), (1, 4), (5, 2), (5, 3), (4, 1), (2, 4), (3, 4), (4, 2), และ (4, 3) หลังจากข่ายเชื่อมโยง 12 ข่ายเชื่อมโยงเสียหายทำให้โครงข่ายเดิมถูกแบ่งเป็น 2 โครงข่ายย่อย โครงข่ายย่อยโครงข่ายแรกประกอบด้วยโหนด 1, 2 และ 3 โครงข่ายย่อยโครงข่ายที่สองประกอบด้วยโหนด 4 และ 5 รูปที่ 4.28 แสดงโครงข่ายที่มีข่ายเชื่อมโยงเสียหายทั้ง 12 โครงข่าย แบบจำลองระบบอ้างอิงจากงานวิจัย [9]



รูปที่ 4.25 โครงข่ายแบบไม่สมมาตรที่ทำการทดสอบ

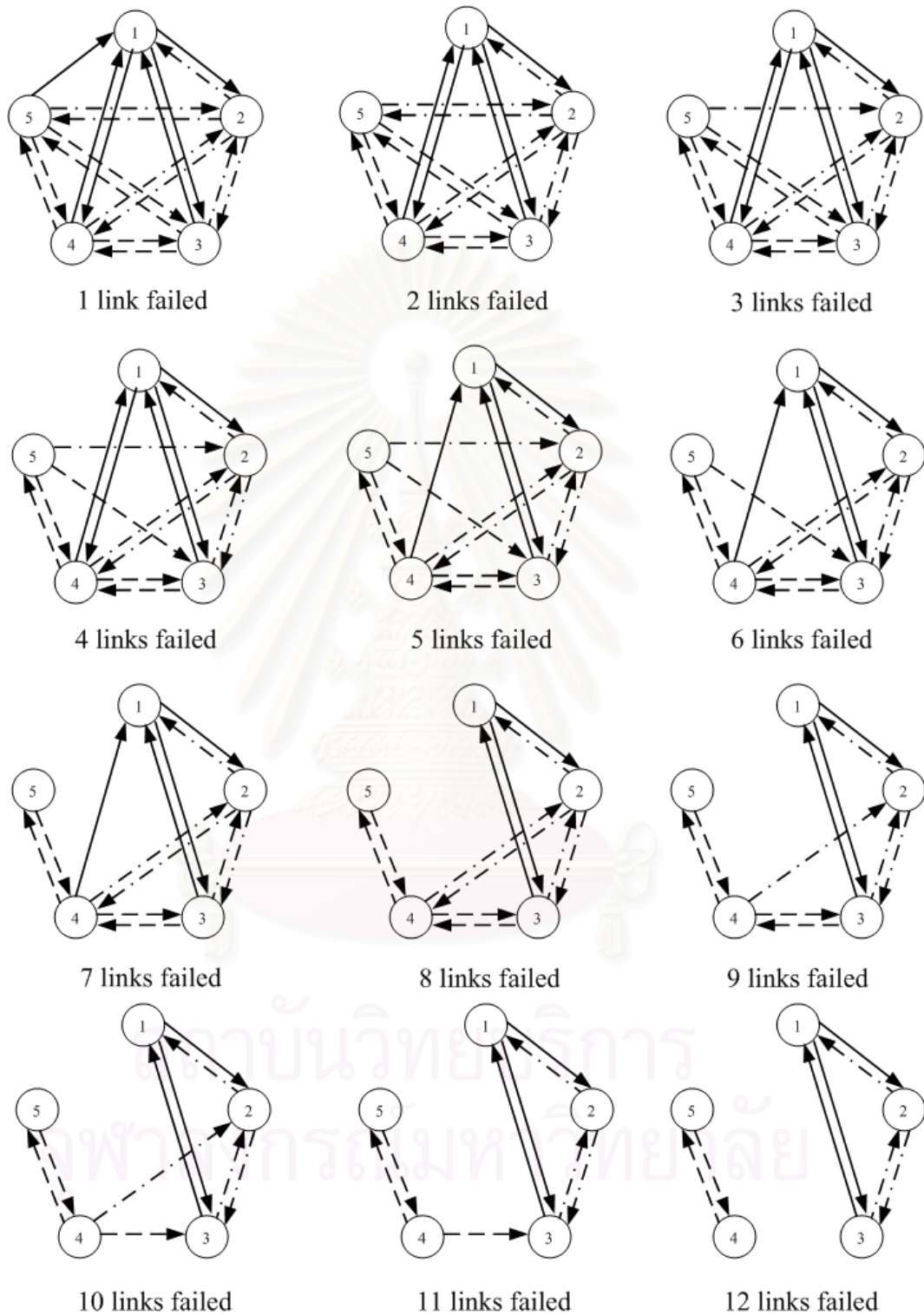


รูปที่ 4.26 ปริมาณ ทราฟฟิกที่เข้าสู่แต่ละ ข่าย เชื่อมโยง ของ บริการแต่ละ ประเภท ใน โครงข่ายแบบ ไม่สมมาตรที่ทำการทดสอบ

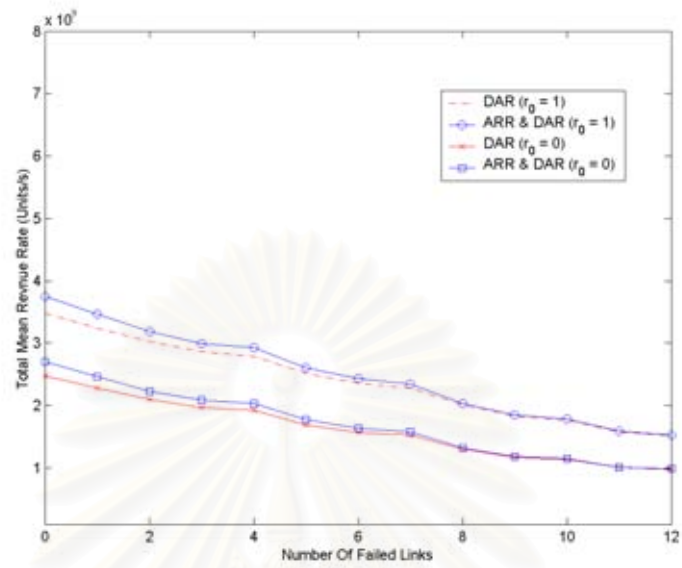


รูปที่ 4.27 ความจุของแต่ละข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายแบบไม่สมมาตรที่ทำการทดสอบ

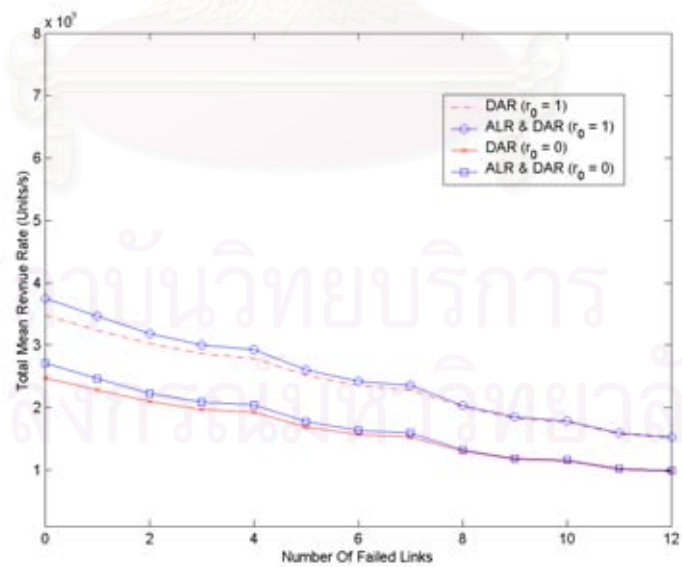
จากรูปที่ 4.29 ถึง 4.32 แสดงให้เห็นว่ากรณีที่โครงข่ายเกิดความเสียหายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับวิธีการเลือกทางแบบพลวัตให้อัตราการรับเฉลี่ยทั้งหมดที่ดีกว่าวิธีการเลือกทางแบบพลวัตเพียงอย่างเดียว จากรูปที่ 4.33 แสดงให้เห็นว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบ ARR และ ALR ให้อัตราการรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายที่ใกล้เคียงกันแต่ให้อัตราการรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายที่ดีกว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบ DRR และ DBR และเมื่อไม่พิจารณาบริการแบบพยายามส่งเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการรับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายมากกว่ากรณีพิจารณาบริการแบบพยายามส่ง เนื่องจากเมื่อมีการจัดเส้นทางใหม่ทำให้ข่ายเชื่อมโยงสามารถรองรับจำนวนการเชื่อมต่อของแต่ละบริการได้มากขึ้นทำให้อัตราการรับเฉลี่ยของบริการแบบพยายามส่งที่ได้จากโครงข่ายมีค่าลดลง



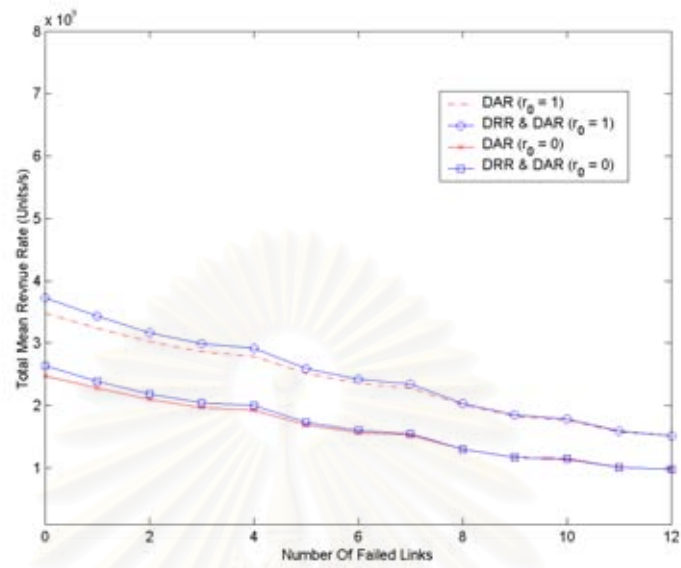
รูปที่ 4.28 โครงข่ายกรณีข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหาย



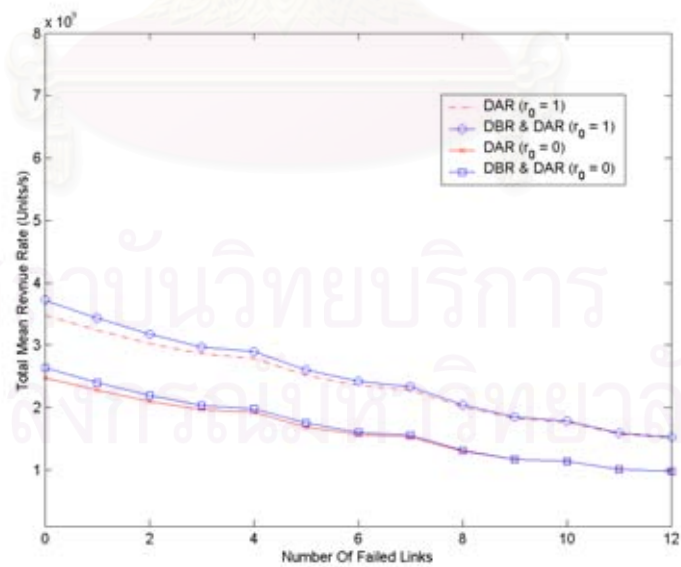
รูปที่ 4.29 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อโครงข่ายเกิดความเสียหาย กรณี ARR



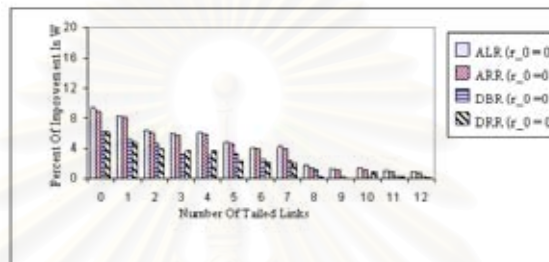
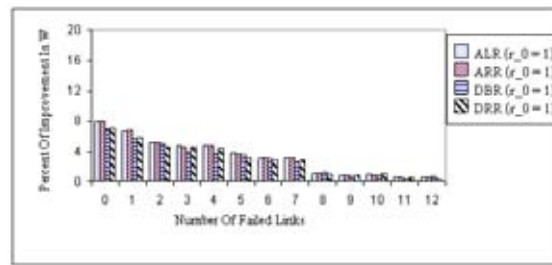
รูปที่ 4.30 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อโครงข่ายเกิดความเสียหาย กรณี ALR



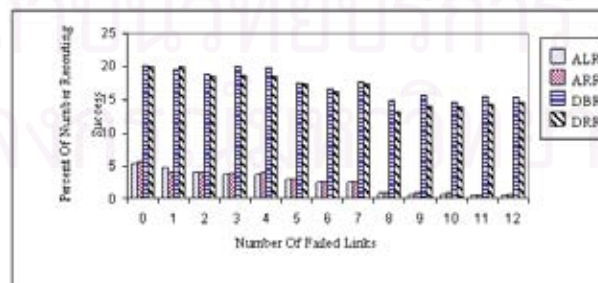
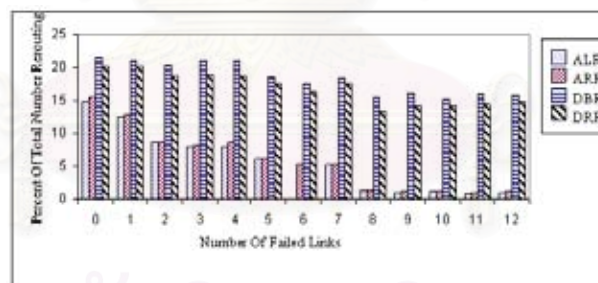
รูปที่ 4.31 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อโครงข่ายเกิดความเสียหาย กรณี DRR



รูปที่ 4.32 อัตราารายรับเฉลี่ยทั้งหมดเมื่อโครงข่ายเกิดความเสียหาย กรณี DBR



รูปที่ 4.33 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราารับเฉลี่ยทั้งหมดในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ เมื่อโครงข่ายเกิดความเสียหาย



รูปที่ 4.34 เปอร์เซ็นต์จำนวนการจัดเส้นทางใหม่ในโครงข่ายเมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ เมื่อโครงข่ายเกิดความเสียหาย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางบนโครงข่ายโทรคมนาคมที่ให้บริการหลายประเภท โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอแนวคิดใหม่เชิงประยุกต์ คือ การใช้การจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกทางแบบพลวัต หลักการของการจัดเส้นทางใหม่ คือ การเรียกบนเส้นทางเพื่อเลือกสามารถกลับไปเส้นทางตรง หรือเส้นทางเพื่อเลือกอื่นที่มีความคับคั่งน้อยกว่า ข้อดีของหลักการจัดเส้นทางใหม่ คือ ทำให้ประหยัดทรัพยากรในโครงข่าย เนื่องจาก การเรียกที่ใช้เส้นทางเพื่อเลือกใช้ทรัพยากรของโครงข่ายมากกว่าเส้นทางตรง วิธีการจัดเส้นทางใหม่มีด้วยกันหลายวิธี ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้ คือ การเลือกเส้นทางเพื่อเลือก เช่น เลือกเส้นทางเพื่อเลือกแบบพลวัต เลือกเส้นทางเพื่อเลือกโดยพิจารณาจากข่ายเชื่อมโยงที่มีความจุเหลือมากที่สุด เป็นต้น การพิจารณากรณีการเกิดการจัดเส้นทางใหม่ เช่น พิจารณาการเกิดการจัดเส้นทางใหม่เมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามา โดยที่เมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาแล้ว การเรียกนั้นไม่สามารถไปเส้นทางตรงของตัวเองได้ก็จะมีการจัดเส้นทางใหม่เกิดขึ้น พิจารณาการเกิดการจัดเส้นทางใหม่เมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่าย โดยเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่ายให้ทำการเลือกการเรียกเพื่อเลือกของคูโหนดที่มีการเรียกออกจากโครงข่ายให้กลับมาเส้นทางตรงของตัวเอง เป็นต้น การเลือกการเรียกที่จะทำการจัดเส้นทางใหม่ เช่น เลือกการเรียกแบบสุ่ม เลือกการเรียกโดยพิจารณาจากความจุของข่ายเชื่อมโยง เป็นต้น วิธีการจัดเส้นทางใหม่ที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีด้วยกัน 4 วิธีได้แก่

1. การจัดเส้นทางใหม่แบบสุ่มเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย (Arrival Triggering Random Rerouting)
2. การจัดเส้นทางใหม่โดยเลือกความจุของข่ายเชื่อมโยงมีค่าเหลือมากที่สุดเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย (Arrival Triggering Least-Loaded Rerouting)
3. การจัดเส้นทางใหม่แบบสุ่มเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่าย (Departure Triggering Random Rerouting)
4. การจัดเส้นทางใหม่โดยเลือกความจุของข่ายเชื่อมโยงมีค่าเหลือมากที่สุดเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่าย (Departure Triggering Busiest Rerouting)

การจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกทางแบบพลวัตแต่ละวิธีถูกเปรียบเทียบเกี่ยวกับวิธีการเลือกทางแบบพลวัตโดยใช้ อัตราารายรับเฉลี่ยของโครงข่ายเป็นตัววัดประสิทธิผล จากผลที่ได้รับในการจำลองโครงข่ายด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกทางแบบพลวัตให้อัตราารายรับเฉลี่ยของโครงข่ายมากกว่าการเลือกทางแบบพลวัตในช่วงที่การเข้ามาของการเรียกมีค่าปกติไม่มากหรือน้อยจนเกินไป เนื่องจากกรณีที่มีการเข้ามาของการเรียก

มีค่าน้อยการจัดเส้นทางในโครงข่ายไม่จำเป็นต้องใช้เส้นทางเพื่อเลือกจึงทำให้ไม่มีการจัดเส้นทางใหม่เกิดขึ้น ส่วนกรณีที่มีการเข้ามาของการเรียกมีค่ามากทำให้โครงข่ายไม่สามารถจัดเส้นทางใหม่ได้เนื่องจากข่ายเชื่อมโยงแต่ละข่ายเชื่อมโยงไม่สามารถรองรับการเรียกตรงของแต่ละคู่โหนดได้เพียงพออยู่แล้ว และจากการทดสอบกับกรณีโครงข่ายที่มีการเข้ามาของการเรียกเป็นรูปไซน์ และกรณีโครงข่ายที่ข่ายเชื่อมโยงมีการเสียหายและข่ายเชื่อมโยงที่เสียหายนั้นไม่มีการซ่อมแซมพบว่าการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการเลือกทางแบบพลวัตวิธีการต่าง ๆ ยังคงให้อัตราการรับเฉลี่ยของโครงข่ายมากกว่าวิธีการเลือกทางแบบพลวัต

เมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการจัดเส้นทางต่าง ๆ ที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ พบว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่เมื่อพิจารณากรณีมีการเรียกใหม่เข้ามาให้อัตราการรับเฉลี่ยของโครงข่ายมากกว่าวิธีการจัดเส้นทางใหม่เมื่อพิจารณากรณีเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่าย เนื่องจากการจัดเส้นทางใหม่เมื่อพิจารณากรณีมีการเรียกออกจากโครงข่าย มีกรณีที่ทำให้เมื่อทำการจัดเส้นทางใหม่แล้วทำให้การเรียกที่เข้ามาใหม่ของคู่โหนดนั้นถูกบล็อก เมื่อทำการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางใหม่แบบสุ่มเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่ายกับการจัดเส้นทางใหม่โดยเลือกความจุของข่ายเชื่อมโยงมีค่าเหลือมากที่สุดเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่ายพบว่าอัตราการรับเฉลี่ยที่ได้จากโครงข่ายที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางใหม่แบบสุ่มเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่ายกับการจัดเส้นทางใหม่โดยเลือกความจุของข่ายเชื่อมโยงมีค่าเหลือมากที่สุดเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่ายพบว่าอัตราการรับเฉลี่ยที่ได้จากโครงข่ายที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

หัวข้อที่ควรศึกษาและวิจัยต่อไปในอนาคตคือ

1. พิจารณาด้านทุนที่เกิดจากการจัดเส้นทางใหม่

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เน้นที่การหาอัตราการรับเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของโครงข่ายโดยไม่ได้คำนึงถึงต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการจัดเส้นทางใหม่ เช่น การประวิงเวลาที่เกิดจากการจัดเส้นทางใหม่ ความซับซ้อนที่เกิดขึ้นจากวิธีการจัดเส้นทางใหม่ งานวิจัยในอนาคตจึงควรนำค่าเหล่านี้มาพิจารณาด้วย

2. พิจารณาระดับความสำคัญของการให้บริการแต่ละประเภท

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาโครงข่ายที่ให้บริการหลายประเภท แต่เมื่อมีการจัดเส้นทางใหม่ไม่ได้คำนึงถึงลำดับความสำคัญของทราฟฟิกแต่ละประเภท งานวิจัยขั้นต่อไปจึงกำหนดลำดับความสำคัญของทราฟฟิกแต่ละประเภทเพื่อให้การวัดประสิทธิภาพผลเหมาะสมกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

3. ศึกษาวิธีการจัดเส้นทางใหม่วิธีการอื่น ๆ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการจัดเส้นทางใหม่ 4 วิธี แต่วิธีการจัดเส้นทางใหม่มีด้วยกันหลายวิธี ดังนั้นงานวิจัยขั้นต่อไปสามารถทำการศึกษาวิธีการจัดเส้นทางใหม่วิธีการอื่น ๆ

4. พิจารณาโครงข่ายที่ไม่ได้เชื่อมต่อแบบเต็มที่

ระบบจำลองที่ทำการทดสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นโครงข่ายที่เชื่อมต่อเต็มที่ ในทางปฏิบัติโครงข่ายไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อแบบเต็มที่ทุกโครงข่าย ดังนั้นงานวิจัยขั้นต่อไปจึงควรทำการทดสอบการจัดเส้นทางใหม่กับโครงข่ายที่มีรูปแบบอื่น ๆ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

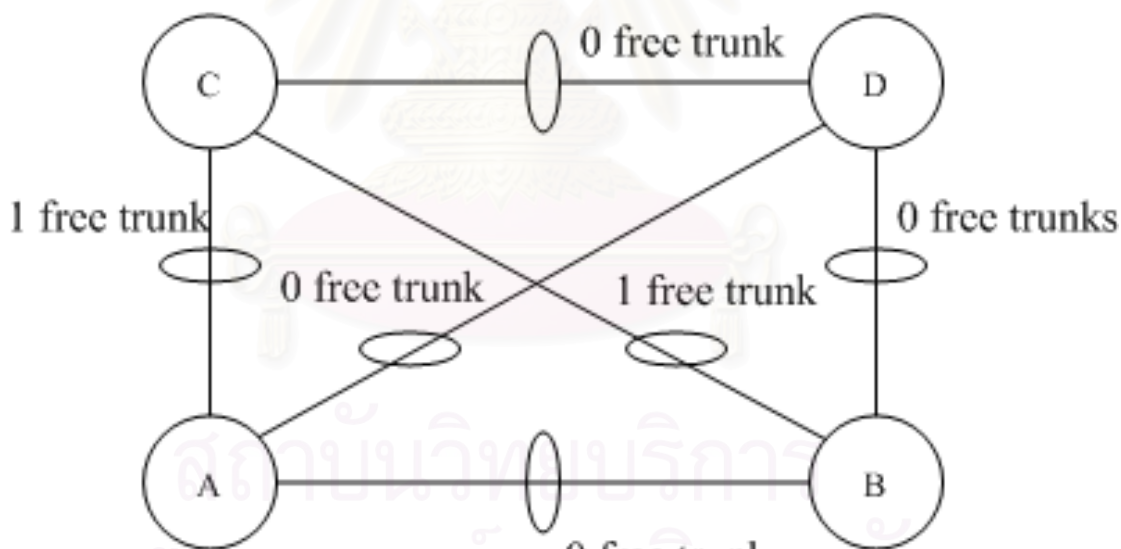
1. D. Bertsekas and R. Gallager. Data Networks. 2nd ed. New Jersey: Prentice hall. (1992).
2. M. Schwartz. Telecommunication Network: Protocols, Modeling and Analysis. Reading, MA: Addison Wesley. (1988)
3. J. M. Akinpelu. The overload performance of engineered networks with nonhierarchical and hierarchical routing. AT & T Bell Labs Technical Journal. 63 (1984): 1261-1281.
4. R. S. Krupp. Stabilization of alternate routing networks. Proceeding in International Communications Conference. Philadelphia. PA. (June 1982): 31.2.1-31.2.5.
5. E. W. M. Wong, A. K. M. Chan, and T. S. P. Yum. Re-routing in circuit switched networks. Proceeding in IEEE Infocom 97. (1997):1375-1381.
6. E. W. M. Wong, T.-S. P. Yum, and A. K. M. Chan. A taxonomy of re-routing in circuit- switched networks. IEEE Communications Magazine. 37 (Nov. 1999): 116-122.
7. E. W. M. Wong, A. K. M. Chan, and T. S. P. Yum. Analysis of rerouting in circuit-switched networks. IEEE/ACM Transactions on Networking. 8 (June 2000): 419-427.
8. R. Guerin, H. Ahmadi and M. Naghshineh. Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high-speed networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. SAC-9 (September 1991): 68-981.
9. C. Aswakul. Performance analysis of routing in ATM networks with non-linear equivalent capacity functions. PhD Thesis, Imperial College of Science, Technology and Medicine. University of London. UK. (September 2000).
10. M. H. Ackroyd. Call repacking in connecting networks. IEEE Transactions Communications. COM-27 (Mar. 1979): 589-591.
11. R. Cohen. Smooth intentional rerouting and its applications in ATM networks. Proceeding IEEE Infocom '94. (1994): 1490-97.
12. R. J. Gibbens. Dynamic Routing in Circuit-Switched Networks: the Dynamic Alternative Routing Strategy, Phd Thesis. University of Cambridge U.K. (1988).
13. R. J. Gibbens and F.P. Kelly. Dynamic routing in fully connected networks. IMA Journal of Mathematical Control Information. 7 (1990): 77-111.

14. J. Roberts, U. Mocci. And J. Virtamo (Eds.). Broadband Network Teletraffic: Final Report of Action COST242. Berlin: Springer-Verlag. (1996).
15. M. Ritter and P. Tran-Gia. COST 242 Interim Report: Multi-rate Models for Dimensioning and Performance Evaluation of ATM Networks, Technical Report. University of Wurzburg. (June 1994).
16. A. Girard. Routing and Dimensioning in Circuit-Switched Networks. Massachusetts: Addison-Wesley. (1990).
17. F.P. Kelly. Loss Networks. The Annals of Applied Probability. 1 (1991): 319-378
18. A. G. Greenberg and R. Srikant. Computational techniques for accurate performance evaluation of multirate multihop communication networks. IEEE/ACM Transactions on Networking, 5 (April 1997): 266-277.
19. D. Mitra, J. A. Morrison, and K. G. Ramakrishnan. ATM network design and optimization: a multirate loss network framework. IEEE/ACM Transactions on Networking. 4 (August 1996): 531-543.
20. K.W. Ross. Multiservice Loss Models for Broadband Telecommunications Networks. London: Springer-Verlang. (1995).
21. S. Gupta, K. W. Ross, and M. E. Zarki. On routing in ATM networks. In M. Streenstrup, ed. Routing in Communications Networks. USA: Prentice Hall. (1995): 49-74.

ภาคผนวก ก

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดเส้นทางใหม่กรณีมีการเรียกใหม่เข้ามาใน โครงข่ายและกรณีมีการเรียกออกจากโครงข่าย

จากรูป ก.1 เมื่อมีการเรียกตรงของข่ายเชื่อมโยง AC ออกจากโครงข่ายทำให้ข่ายเชื่อมโยง AC มีช่องสัญญาณว่าง และมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่ายโดยมีโหนดต้นทาง A และ โหนดปลายทาง B กำหนดให้การเรียกบนข่ายเชื่อมโยง AB มีแต่การเรียกตรงเท่านั้น พิจารณาการจัดเส้นทางใหม่กรณีมีการเรียกออกจากโครงข่าย การเรียกเพื่อเลือก ADC จะถูกทำการจัดเส้นทางใหม่ให้กับไปใช้เส้นทางตรงของตัวเองคือข่ายเชื่อมโยง AC ทำให้การเรียกใหม่ที่เข้าสู่ข่ายเชื่อมโยง AB ถูกบล็อกเนื่องจากทั้งเส้นทางตรงและเส้นทางเพื่อเลือกของข่ายเชื่อมโยง AB ไม่มีช่องสัญญาณว่าง แต่ถ้าพิจารณาการจัดเส้นทางใหม่กรณีมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย จะไม่มีการทำการจัดเส้นทางใหม่เมื่อมีการเรียกออกจากข่ายเชื่อมโยง AC ดังนั้นการเรียกใหม่เข้ามาในข่ายเชื่อมโยง AB สามารถเข้าสู่โครงข่ายได้โดยใช้ข่ายเชื่อมโยง ACB จากตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่าการจัดเส้นทางใหม่ของการเรียก ADC ทำให้การเรียกใหม่ถูกบล็อก



รูปที่ ก.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดเส้นทางใหม่กรณีมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่ายและกรณีมีการเรียกออกจากโครงข่าย

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว

- [1] S. Soatthiyanont C. Aswakul. “Study of Rerouting Strategy for Dynamic Alternative Routing in Symmetric Multiple-Service Networks.” Proceeding in 1st ECTI Annual Conference (ECTI-CON2004). Pattaya, Thailand, 13-14 May 2004.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Study of Rerouting Strategy for Dynamic Alternative Routing in Symmetric Multiple-Service Networks

S. Soatthyanont and C. Aswakul

Telecommunication System Research Laboratory
 Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering
 Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand 10330
 Phone +662-218-6908 Fax +662-218-6912
 E-mail: supikit.s@student.chula.ac.th, chaodit.a@chula.ac.th

ABSTRACT

This paper presents a study of rerouting strategy with dynamic alternative routing (DAR) in symmetric multiple-service networks. The main idea is to randomly rerouting the ongoing connections on their alternative routes back to their direct routes upon a sign of link congestion, e.g. when a new call arrival cannot have sufficient link capacity on its direct route for an admission. By doing so, the network performance is expected to be improved because the alternative route typically requires more network resources per connection than the direct route. The reported numerical results suggest that the total mean revenue rate of network as obtainable from the rerouting extension of DAR is relatively indifferent from the conventional DAR for the scenarios of single capacity-guaranteed service. However, in the investigated network with three capacity-guaranteed services, up to 12% of revenue improvement has been shown plausible, especially when the network trunk reservation is small.

Keywords: Rerouting, Dynamic Alternative Routing, Multiple-Service Networks.

1. INTRODUCTION

The basic idea of dynamic routing is to increase the network throughput by routing calls to their alternative route when the direct route is blocked. However, routing calls on alternative routes uses more network resources. Therefore, if alternative routes are not controlled, then they could lead to the decrease of network throughput and even network instability [1-3]. Trunk reservation and call repacking (also called rerouting) are two possible solutions to this problem. Previous studies on rerouting can be found in [4-6].

In recent years, various approaches to dynamic routing have been developed. Dynamic alternative routing (DAR) is one promising method originally proposed for a fully connected telephone core network with only one service [7]. The nature of DAR is to fill an alternative route between each node pair with as many connections as possible before a blocking occurs on that alternative route, and hence a packing feature. In response to the blocking, a new alternative route is randomly chosen (for future uses) from the whole set of alternative routes between the node pair, and hence a learning mechanism, which allows a spreading feature. Furthermore, DAR enjoys the advantages of implementation simplicity since DAR is decentralized and requires only local information to make routing decisions. In [8], this conventional DAR has been

extended so that it can be applied to the scenarios of multiple services each with a monotone increasing and concave equivalent capacity to capture the cell-scale or packet-scale statistical multiplexing effect. Due to the benefits of DAR [8], the aim of this paper is to investigate how DAR performance can be further improved by the additional capability of rerouting strategy.

In order to address rerouting extension of DAR, this paper simplifies the problem by exploiting the network symmetry. The symmetric features are here comprised of (1) a fully connected network structure, (2) an identical traffic load for every origin-destination node pair and (3) an identical capacity for every link.

2. EXTENSION OF DYNAMIC ALTERNATIVE ROUTING

2.1 Routing Operation

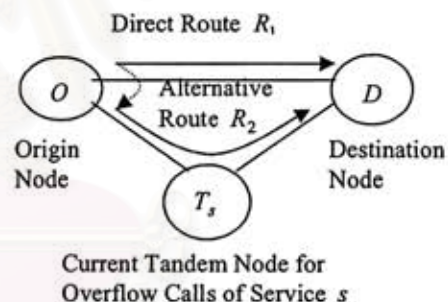


Fig. 1 Diagram of DAR operation when service- s calls arrival at a node pair.

Fig. 1 depicts a diagram showing the routing operation of DAR with multiple services as naturally extended from the conventional DAR [8]. Within a fully connected network, each pair of origin node O and destination node D has a current tandem node T_s assigned to each service s . A new call of service s arriving at the node pair is routed on the direct route R_1 (via the direct link between the node pair) whenever possible. If the new call is blocked from its direct route, then a two-link alternative route R_2 will be tried via the current tandem node associated with the call's service type. If the call is also blocked from any of the links on the alternative route, then the call is lost and a new tandem node is randomly selected for this service from the set of all nodes excluding the call's origin and destination. The current tandem node remains

unchanged if the call is admitted. Note that call routing of a given service does not depend on the current tandem nodes of other services and no alternative routes with more than two links are allowed.

2.2 Connection Admission Control Operation

To define Connection Admission Control (CAC) operation, suppose that each link, with the capacity C , is used by S (capacity-guaranteed) services and R routes. For $s = 1, \dots, S$ and $r = 1, \dots, R$ let $n_{s,r}$ denote the number of ongoing connections of service s on route r and define $G_s(n_{s,r})$ as the amount of link capacity required by the $n_{s,r}$ connections. Regarding the non-linear equivalent capacity, in order to produce numerical results throughout this paper, the equivalent capacity function of the form $G_s(n) = \alpha n + \beta \sqrt{n}$ is adopted. This form of function, derived from the stationary approximation (or the Gaussian traffic model) in [9], allows us to vary the non-linearity in equivalent capacity by changing two parameters α and β . That is, function $G(n)$ should be less (more) non-linear with higher value of $\alpha(\beta)$. Based on the dynamic service separation with dynamic route separation [10] and the trunk reservation policy [11], CAC operation is defined as follows.

CAC Policy Definition: Calls of service s on route r are blocked from accessing a given link on the route if and only if

$$C - \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R G_s(n_{s,r}) < TR_{s,r}, \quad (1)$$

where $TR_{s,r}$ is the trunk reservation parameter assigned by that link for service- s calls using route r .

The trunk reservation parameter can be assigned in various ways. For instance, to allow calls a full-capacity access on each link on their direct route r , $TR_{s,r}$ can be set to $G_s(n_{s,r} + 1) - G_s(n_{s,r})$. Further, to put some restriction to the link access of calls on their alternative route, $TR_{s,r}$ can be set to a constant greater than $G_s(1)$. Note that $TR_{s,r}$ can depend on the number of ongoing connections $n_{s,r}$ if $G_s(\cdot)$ is nonlinear (although we write here $TR_{s,r}$ rather than $TR_{s,r}(n_{s,r})$ for notational convenience).

2.3 Rerouting Strategy

The purpose of rerouting is to redistribute network load to free up more capacity for calls on their direct route. For example in Fig. 1, after the completion of ongoing connections on link OD has freed up enough link capacity, a connection on the alternative route OT_sD can be rerouted back to link OD . Consequently, rerouting is expected to increase the remaining capacity on all alternatively routed links (links OT_s and T_sD) and the network throughput can be improved.

Rerouting can be implemented in many ways, depending on the triggering mechanisms for rerouting [6]. In this paper, a simple rule has been adopted as

follows. A new call is routed on its direct route R_1 whenever possible. If the new call is blocked from its direct route R_1 , then enough alternatively routed connections on the direct route R_1 will be chosen *randomly* and rerouted back to their direct routes to free up space for the new call. However, if not enough link capacity can be freed up from the rerouting, then the new call will resort to being alternatively routed via its current tandem node by the DAR operation. The rerouting operation can be summarized in Fig. 2

3. NUMERICAL RESULTS

Numerical results in this section are aimed at evaluating the performance of rerouting extension of DAR herein proposed and the conventional DAR [8] in two CAC scenarios based on either the nonlinear equivalent capacity or the standard peak-rate assignment. It is interesting to compare the network performance from both CAC scenarios because, while the equivalent-capacity CAC may be capable of accepting more connections for capacity-guaranteed services, the peak-rate CAC should be able to accept more connections for the best-effort services.

The system performance is here measured in terms of lower and upper bounds of the obtainable mean revenue rate (the long-run average rate at which the revenues are obtained with the unit in, say, Baht per second) [8]. The mean revenue rate from capacity-guaranteed service s can be calculated from the revenue rate of service s being multiplied by the average number of ongoing connections of service s . The mean revenue rate from best-effort services can be calculated from the revenue rate of best effort service being multiplied by the average capacity that is not utilized by any capacity-guaranteed services. Finally, summing the mean revenue rates from all the services results in the total mean revenue rate. The same settings of revenue rates as in [8] are here adopted.

Our performance study is based on a discrete event computer simulation of a five node fully connected symmetric network. Mean of the exponentially distributed holding times of (capacity-guaranteed) service- s calls = 1 (time unit) for each s .

3.1 Scenarios of Single Capacity-Guaranteed Service

This subsection considers two scenarios each with a different capacity-guaranteed service. The settings and results can be found in Fig. 3 for a peaky source scenario and in Fig. 4 for a smooth source scenario. Peakedness of a cell or packet stream is defined as the ratio of peak rate over average rate. Here, the peakedness is then equal to $(\alpha + \beta)/\alpha$. Note that the values of $(\alpha, \beta) = (3, 0)$, $(2, 7.0711)$ and $(1, 14.1421)$ have been chosen in this and the next subsections such that the equivalent capacity function of every service passes through both points (0 connection, 0 Mbits/s) and (50 connections, 150 Mbps) while the level of nonlinearity is varied. In Fig. 3 and 4 trunk reservation is set to $G_1(n+1) - G_1(n)$ for direct route and 30 Mbits/s for alternative route. Capacity of each link is 150 Mbits/s.

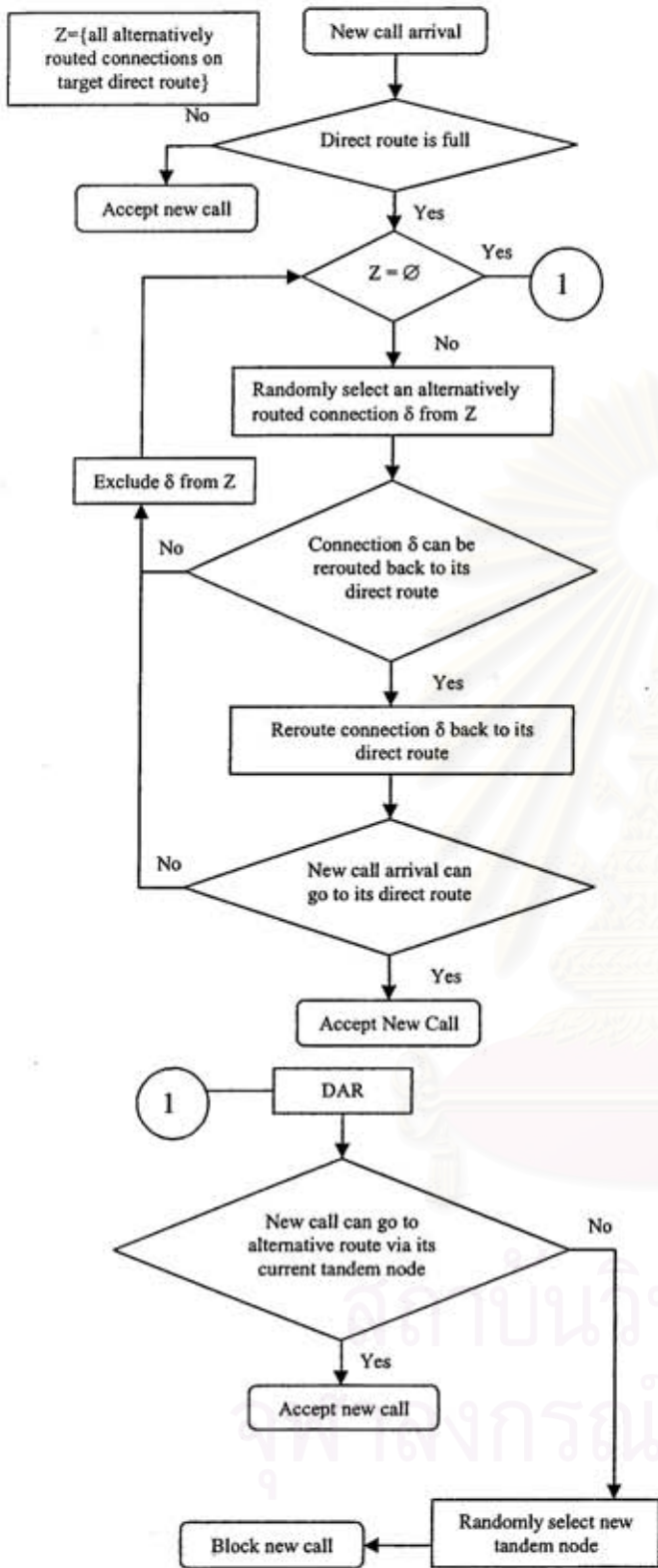


Fig. 2 Diagram for arrival triggering and random rerouting call selection method

Figs. 3 and 4 shows that the total mean revenue rate from the rerouting extension of DAR and the conventional DAR are relatively indifferent. In

particular, up to 2.9% and 1.3% of revenue improvement can be expected from the peaky source scenario of Fig. 3 and the smooth source scenario of Fig. 4, respectively.

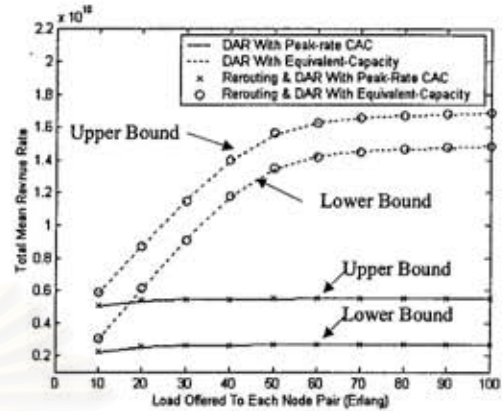


Fig.3 Peaky source scenario ($G_1(n) = n + 14.1421\sqrt{n}$)

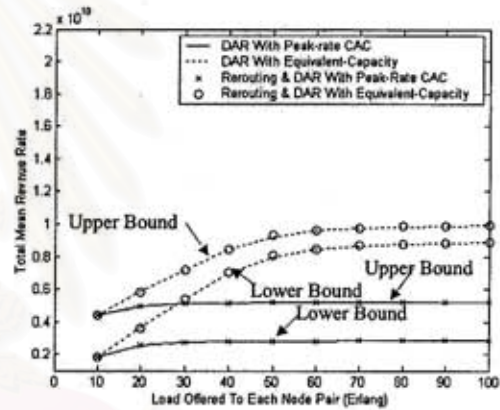


Fig. 4 Smooth source scenario ($G_1(n) = 2n + 7.0711\sqrt{n}$)

3.2 Scenarios of Three Capacity-Guaranteed Services

This subsection considers two more scenarios each with three capacity-guaranteed services. The settings and results of both scenarios are depicted in Figs. 5 and 6 with the offered load of 10 Erlangs for each service. In Fig. 5, trunk reservation is set to $G_s(n+1) - G_s(n)$. In Fig. 6, the capacity of each link is 150 Mbits/s.

In Fig. 5, the effect of link capacity is studied. It shows that the rerouting extension of DAR can increase the total mean revenue rate of DAR by up to 12%.

In Fig. 6, the effect of trunk reservation is examined. All directly routed calls are allowed the full-capacity access on every link and alternatively routed calls are equally varied from 20 up to 60 Mbits/s. From Fig. 6, it shows that the rerouting extension of DAR can increase revenue of DAR by up to 9% especially when the network has insufficient trunk reservation.

Note also that the revenue is improved more for the scenarios of three capacity-guaranteed services than for those of single capacity-guaranteed services. This is due to the nonlinearity in equivalent capacity. In

particular, the more services, the less statistical multiplexing gain within the alternatively routed calls of each service on each route. Hence, if rerouting can reduce such unnecessarily inefficient capacity usage on the alternative routes, then higher revenue improvement can be expected.

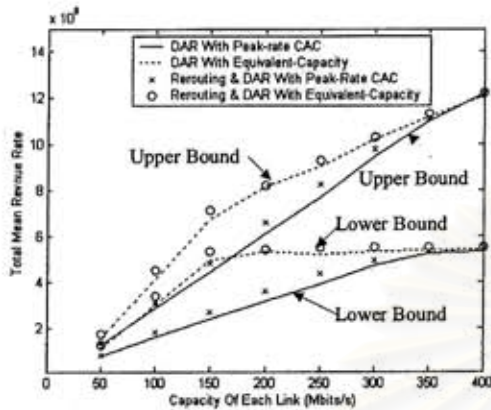


Fig. 5 Scenario of three capacity-guaranteed services

$$(G_1(n) = n + 14.1421\sqrt{n}, G_2(n) = 2n + 7.0711\sqrt{n}, G_3(n) = 3n)$$

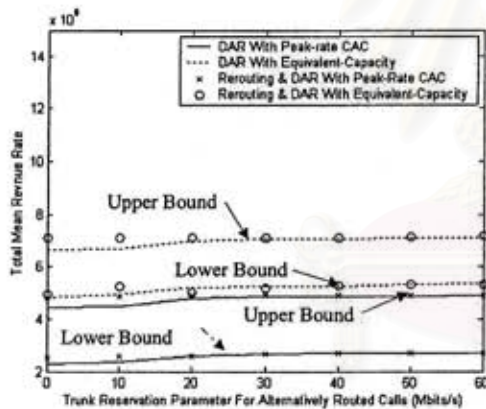


Fig. 6 Scenario of three capacity-guaranteed services

$$(G_1(n) = n + 14.1421\sqrt{n}, G_2(n) = 2n + 7.0711\sqrt{n}, G_3(n) = 3n)$$

4. CONCLUSIONS

In this paper, routing problems have been addressed in symmetric networks. An emphasis is placed on how to increase revenue from dynamic alternative routing with nonlinear equivalent capacity in multiple-service networks by a rerouting strategy. This paper uses the arrival triggering and random rerouting call selection method. Numerical results show that the performance obtainable from the rerouting extension of DAR herein proposed and the conventional DAR [8] are relatively indifferent for

single capacity-guaranteed service. However, up to 12% of revenue improvement has been here deemed possible when the network has to accommodate three capacity-guaranteed services especially when the trunk has not been sufficiently reserved for alternatively routed calls.

In this paper, the call arrival rates are time-invariant so DAR alone is efficient enough to manage call blocking problems. In the future, it is worth investigating the scenarios of non-stationary call arrival process and how rerouting implementations may improve DAR performance in those practical scenarios with asymmetric network structure.

REFERENCES

- [1] M. Schwartz, *Telecommunication Network: Protocols, Modeling and Analysis*. Reading, MA: Addison Wesley, 1988.
- [2] J. M. Akinpelu, "The overload performance of engineered networks with nonhierarchical and hierarchical routing," *AT&T Bell Labs Tech. J.*, vol. 63, pp. 1261-1281. 1984.
- [3] R. S. Krupp, "Stabilization of alternate routing networks," in *Proc. Int. Communications Conf.*, Philadelphia, PA, June 1982, pp. 31.2.1-31.2.5.
- [4] M. H. Ackroyd, "Call repacking in connecting networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-27, pp. 589-591, Mar. 1979.
- [5] R. Cohen, "Smooth intentional rerouting and its applications in ATM networks," *Proc. IEEE Infocom '94*, 1994, pp. 1490-97.
- [6] E. W. M. Wong, T.-S. P. Yum, and A. K. M. Chan, "A taxonomy of re-routing in circuit-switched networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 37, pp. 116-122, Nov. 1999.
- [7] R. J. Gibbens, *Dynamic Routing in Circuit-Switched Networks: the Dynamic Alternative Routing Strategy*, PhD Thesis, Univ. Cambridge, U.K., 1988.
- [8] C. Aswakul and J. Barria, "Performance analysis of ATM routing with nonlinear equivalent capacity: symmetric case," *IEEE International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN) 2001*, 15-17 October 2001, Arizona, USA.
- [9] R. Guerin, H. Ahmadi, and M. Naghshineh, "Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high-speed networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-9, pp. 968-981, Sept. 1991.
- [10] K. W. Ross, *Multiservice Loss Models for Broadband Telecommunications Networks*, London: Springer-Verlag, 1995.
- [11] J. W. Roberts, "Teletraffic models for the Telecom I integrated services network," *Proc. 10th Int. Teletraffic Conference*, 1983, paper 1.1-2.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

สุพิกิจ โสติดิยานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2522 ณ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2540 และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2544 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย