การจัดเส้นทางบนพื้นฐานของการคิดราคาในโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย

นางสาวฉัตรขวัญ วรรณศิริ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN: 974-17-3888-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHARGING-BASED ROUTING IN MULTI-OPERATOR NETWORK

Miss Chatkwan Wannasiri

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Academic Year 2005

ISBN: 974-17-3888-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดเส้นทางและการคิดราคาบนโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย
โดย	นางสาวฉัตรขวัญ วรรณศิริ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล)

..... กรรมการ

(อาจารย์ สุวิทย์ นาคพีระยุทธ)

..... กรรมการ

(ดร.พีรเดช ณ น่าน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฉัตรชวัญ วรรณศิริ : การจัดเส้นทางบนพื้นฐานของการคิดราคาในโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย (CHARGING-BASED ROUTING IN MULTI-OPERATOR NETWORK) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล, 69 หน้า. ISBN: 974-17-3888-9.

วิทยานิพนธ์นี้พิจารณาการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางที่ดีที่สุดบนโครงข่ายโทรคมนาคมที่มีผู้ให้บริการหลายรายโดยที่แต่ละรายมีหน้าที่รับผิดชอบในการจัดการทรัพยากรโครงข่ายของตนเอง และเชื่อมต่อกับผู้ให้บริการรายอื่นผ่านทางจุดเชื่อมต่อ วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์นี้คือ เพื่อวิเคราะห์กลยุทธ์ในการจัดเส้นทางซึ่งอนุญาตให้โครงข่ายที่พิจารณาเป็นหลักได้ผลตอบแทนสูงสุดตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ที่กำหนด บนโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย งานวิทยานิพนธ์นี้ยังได้นำเสนอกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง 4 แบบร่วมกับการพิจารณาฟังก์ชันต้นทุนซึ่งคิดทั้งต้นทุนที่เกิดภายในโครงข่ายและต้นทุนในการส่งทราฟฟิกไปยังโครงข่ายอื่นด้วย กลยุทธ์ดังกล่าวประกอบด้วย 1. การจัดเส้นทางโดยไม่คิดค่าเชื่อมต่อโครงข่าย 2. การจัดเส้นทางโดยพิจารณาจากต้นทุน 3. การจัดเส้นทางโดยพิจารณาจากการใช้ทรัพยากรโครงข่าย และ 4 . การประยุกต์จัดเส้นทางแบบพลวัตด้วยวิธีใหม่

ในตอนท้ายของงานวิทยานิพนธ์ได้แสดงตัวอย่างการจำลองโครงข่ายเพื่อพิจารณาลักษณะของกลยุทธ์การจัดเส้นทางทั้ง 4 แบบโดยใช้การจำลองแบบเหตุการณ์เต็มหน่วย วิเคราะห์เปรียบเทียบดัชนีชี้วัดผลการจำลองโครงข่ายทั้งในมุมมองของวิศวกรรมศาสตร์ และ ในมุมมองของด้านธุรกิจ (ตัวอย่างเช่น ความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการ ค่าอรรถประโยชน์ของโครงข่าย ค่าเฉลี่ยของต้นทุน ค่าเฉลี่ยของรายได้ และ กำไรที่ได้รับ) พบว่า การจัดเส้นทางแบบพลวัตใช้ได้ดีในขณะที่ปริมาณโหลดอยู่ในช่วงปกติตัวอย่างเช่นค่าความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.2-0.4 แต่ในทางตรงกันข้ามหากว่าปริมาณโหลดสูงกว่าปกติมากหรือความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการของเข้าใช้บริการมากกว่า 0.4 ขึ้นไป การจัดเส้นทางโดยไม่คิดค่าเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายจะให้ผลประโยชน์สูงสุดซึ่งหมายความว่าในกรณีนี้ผู้ให้บริการรายใหญ่ที่ต้องการผลกำไรสูงสุดจะกีดกันไม่ให้ผู้ให้บริการรายอื่นมาเชื่อมต่อโครงข่ายหรือระงับสัญญาณการเชื่อมต่อ ซึ่งหากปล่อยให้กลไกตลาดดำเนินไปในลักษณะนี้จะส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคจึงควรที่จะมีหน่วยงานมากำกับดูแลเพื่อให้กิจการโทรคมนาคมมีความชัดเจนและเป็นธรรมต่อผู้บริโภคมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า **ลายมือชื่อนิสิต** .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** .....

ปีการศึกษา 2548

457 02609 21 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: MULTI-OPERATOR NETWORK / INTERCONNECTION/ INTERCONNECTION CHARGE/ ROUTING/NETWORK COST/ PROFIT.

CHATKWAN WANNASIRI : CHARGING-BASED ROUTING IN MULTI-OPERATOR NETWORK. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. CHAODIT ASWAKUL, Ph.D., 69 pp. ISBN: 974-17-3888-9.

This paper is concerned with the analysis of optimal routing problem in the heterogeneous environment of telecommunication networks, where more than one operator is responsible for all the network controls. The objective is to evaluate candidate routing algorithms which allow a given network to optimize specified objective functions. Based on the framework of interconnection, four routing algorithms are proposed, namely, (i) shortest path routing with no interconnection charge, (ii) cost-based shortest path routing with interconnection charge, (iii) resource-based shortest path routing with interconnection charge and (iv) novel generalization of dynamic alternative routing with interconnection charge.

Discrete-event simulation of practical network scenarios are given to show how these routing algorithms perform comparatively in terms of both engineering grade-of-service indicators and business measures (i.e. call blocking, network utilization as well as mean values of servicing cost, network revenue and obtainable profit). The obtained results suggest that the dynamic alternative routing with interconnection charge is the most preferable routing algorithm under a wide range of normal loadings, i.e. call blocking probability not greater than 0.2-0.4. In contrast, under abnormally overloaded conditions with call blocking probability greater than 0.4, it is found that the shortest path routing with no interconnection charge gives the maximum profit. This finding means that operators with more connectivity can reject any connection from other operators to gain their maximum profit. If this market mechanism continues to proceed,then it will adversely effect customers. In this case,a telecommunication regulator is needed to control clearity and equity of telecommunication market.

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

กิตติกรรมประกาศ

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

ขอบคุณโครงการเสริมสร้างความเชื่อมโยงระหว่างภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและภาคเอกชนทางด้านการวิจัยและพัฒนา (Cooperation Project Between Department of Electrical Engineering and Private Sector for Research and Development) ปี พ.ศ. 2546 ที่ช่วยสนับสนุนเงินทุนสำหรับการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและคณะกรรมการ คณะบุคคล เพื่อน พี่น้องทั้งในศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะด้านเทคโนโลยีโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งเป็นสถานที่ทำการวิจัย รวมถึงเพื่อน พี่น้อง ต่างสถาบัน ที่มีส่วนช่วยเหลือให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำและกำลังใจตลอดระยะเวลาการทำวิจัยอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณภัทริน ลีลารัศมี สำหรับความช่วยเหลือด้านโปรแกรมเบื้องต้น คุณกฤช แก่นราษฎร์ สำหรับ การช่วยทดสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดของโปรแกรมจำลองโครงข่ายตลอดจนดูแลฐานข้อมูลผลของการจำลองโครงข่ายเป็นอย่างดี คุณอัครเดช บุคคลประเสริฐ สำหรับการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ด้วย LaTeXและ คุณมนไท เศรษฐโภคิน สำหรับความช่วยเหลือด้านภาษาต่างประเทศ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา รวมทั้งพี่น้อง ซึ่งได้ให้การสนับสนุน ตรวจทานวิทยานิพนธ์และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย . . . . . ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ . . . . . จ

กิตติกรรมประกาศ . . . . . ฉ

สารบัญ . . . . . ช

สารบัญตาราง . . . . . ฌ

สารบัญภาพ . . . . . ญ

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.1.1 ความเป็นมา 1

1.1.2 ความสำคัญของปัญหาและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 3

1.1.3 สิ่งที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์ 6

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์ 7

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน 7

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์ 8

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

2 โครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย 9

2.1 ความหมายของโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย 9

2.2 ความแตกต่างของการจัดการบนโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการรายเดียวกับโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย 10

2.3 นิยามความหมายของศัพท์เทคนิคที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ 10

2.4 ลักษณะของโครงข่ายที่พิจารณา 11

2.5 ลักษณะการขอเข้าใช้บริการบนโครงข่ายและทราฟฟิกบนโครงข่าย 12

2.6 การวัดประสิทธิผลบนโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย 12

3 โครงสร้างของการคิดต้นทุนบนโครงข่าย 13

3.1 การคิดต้นทุนบนโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายรายในภาพรวม 13

3.2 ค่าบริการการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย 14

3.3 การคิดค่าบริการและต้นทุนในแบบจำลองของโครงข่าย 16
4 กลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง 20
4.1 พื้นฐานของการจัดเส้นทาง 20
4.1.1 ประเภทของวิธีจัดเส้นทาง 20
4.1.2 ตารางในการจัดเส้นทาง 22
4.2 กลยุทธ์ของการจัดเส้นทางที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์ 22
4.2.1 การจัดเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยไม่พิจารณาค่าเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย 22
4.2.2 การจัดเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณาจากต้นทุนของแต่ละเส้นทาง 23
4.2.3 การจัดเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณาจากการใช้ทรัพยากรโครงข่าย 24
4.2.4 การประยุกต์การจัดเส้นทางแบบพลวัตด้วยวิธีใหม่ 24
5 ตัวอย่างการจำลองโครงข่ายและผลการจำลองโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย 27
5.1 พื้นฐานการจำลองการทำงานของโครงข่าย 27
5.2 ผลการจำลองโครงข่ายตัวอย่าง 28
5.3 ผลการปรับพารามิเตอร์เปรียบเทียบในจำลองโครงข่ายตัวอย่าง 33
5.4 ผลการจำลองโครงข่ายตัวอย่างเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน . 37
6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 49
6.1 สรุปแนวคิดใหม่เชิงประยุกต์ที่เสนอในวิทยานิพนธ์ 49
6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อเนื่องในอนาคต 51
รายการอ้างอิง 53
บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว 55
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 69

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองการจัดเส้นทางของรูปที่ 5.2 . . . 28
ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองการจัดเส้นทางของโครงข่ายรูปที่ 5.2 เมื่อเปลี่ยนรูปแบบการคิดค่าบริการ 36
ตารางที่ 5.3 พารามิเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองการจัดเส้นทางของรูปที่ 5.13 . . 36

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1 โครงข่ายโทรคมนาคมที่มีผู้ให้บริการหลายราย 2
รูปที่ 2.1 โครงข่ายโทรคมนาคมที่มีผู้ให้บริการหลายรายเชื่อมต่อกันผ่าน POI 9
รูปที่ 3.1 ต้นทุนภายในโครงข่ายหลัก 17
รูปที่ 3.2 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นต้นทาง 17
รูปที่ 3.3 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นปลายทาง 18
รูปที่ 3.4 ต้นทุนของการใช้โครงข่ายหลักเป็นทางผ่าน 18
รูปที่ 3.5 ต้นทุนของการใช้โครงข่ายอื่นเป็นทางผ่าน 19
รูปที่ 4.1 รูปแสดงการทำงานของการจัดเส้นทางแบบ nISPR 23
รูปที่ 4.2 รูปแสดงการทำงานของการจัดเส้นทางแบบ Cost-based ISPR 24
รูปที่ 4.3 รูปแสดงการทำงานของการจัดเส้นทางแบบ Resource-based ISPR 25
รูปที่ 4.4 รูปแสดงการทำงานของการจัดเส้นทางแบบ IDAR 26
รูปที่ 5.1 พื้นฐานการจำลองการทำงานของโครงข่าย 27
รูปที่ 5.2 โครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง 28
รูปที่ 5.3 ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการของแต่ละคู่โหนดสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง 29
รูปที่ 5.4 ค่าอรรถประโยชน์โดยรวมของระบบสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง 29
รูปที่ 5.5 กำไรทั้งหมดสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง 30
รูปที่ 5.6 รายได้ทั้งหมดสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง 30
รูปที่ 5.7 ต้นทุนภายในโครงข่ายทั้งหมดสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง 31
รูปที่ 5.8 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นต้นทางทั้งหมดสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง 31
รูปที่ 5.9 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นปลายทางทั้งหมดสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง 32
รูปที่ 5.10 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายเป็นทางผ่านทั้งหมดสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง 32

รูปที่ 5.11 โครงข่ายที่มีปริมาณทราฟฟิกระหว่างโครงข่ายสูง 34
รูปที่ 5.12 โครงข่ายที่มีปริมาณทราฟฟิกระหว่างโครงข่ายสูง 34
รูปที่ 5.13 โครงข่ายตัวอย่างที่ 2 35
รูปที่ 5.14 ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียกเข้าของแต่ละคู่โหนดเปรียบเทียบ 4 กรณี . . 37
รูปที่ 5.15 ค่าอรรถประโยชน์โดยรวมของระบบเปรียบเทียบ 4 กรณี 38
รูปที่ 5.16 กำไรทั้งหมดเปรียบเทียบ 4 กรณี 39
รูปที่ 5.17 รายได้ทั้งหมดเปรียบเทียบ 4 กรณี 40
รูปที่ 5.18 ต้นทุนภายในโครงข่ายทั้งหมดเปรียบเทียบ 4 กรณี 41
รูปที่ 5.19 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นต้นทางทั้งหมดเปรียบเทียบ 4 กรณี 42
รูปที่ 5.20 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นปลายทางทั้งหมดเปรียบเทียบ 4 กรณี 43
รูปที่ 5.21 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายเป็นทางผ่านทั้งหมดเปรียบเทียบ 4 กรณี 44
รูปที่ 5.22 ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียกเข้าของแต่ละคู่โหนดเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน 44
รูปที่ 5.23 ค่าอรรถประโยชน์โดยรวมของระบบเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน 45
รูปที่ 5.24 กำไรทั้งหมดเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน 45
รูปที่ 5.25 รายได้ทั้งหมดเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน 46
รูปที่ 5.26 ต้นทุนทั้งหมดเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน 46
รูปที่ 5.27 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นต้นทางทั้งหมดเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน 47
รูปที่ 5.28 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นปลายทางทั้งหมดเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน 47
รูปที่ 5.29 ต้นทุน เมื่อ โครงข่าย หลัก เป็น ทางผ่าน ทั้งหมด ทั้งหมด เมื่อ คิด ค่าบริการ แบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน 48

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

1.1.1 ความเป็นมา

ในยุคของเทคโนโลยีสารสนเทศ โลกของโทรคมนาคมมีส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการตอบสนองความต้องการเพื่อให้ได้รับคุณภาพของการบริการและเป็นส่วนหนึ่งในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ สิ่งเหล่านี้เป็นที่ประจักษ์อย่างชัดเจนว่าตลาดบริการโทรคมนาคมเริ่มมีขนาดใหญ่และมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องในอัตราที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับภาคอุตสาหกรรมและการบริการอื่น ๆ เห็นได้จากผู้เป็นเจ้าของกิจการโทรคมนาคมในรูปแบบต่าง ๆ มีการปรับปรุงและพัฒนาทั้งในส่วนของเทคโนโลยีใหม่ ๆ การเพิ่มการบริการที่หลากหลาย การขยายขนาดของโครงข่าย การเพิ่มพื้นที่ในการให้บริการและอื่น ๆ อย่างต่อเนื่อง แนวโน้มดังกล่าวเป็นผลสืบเนื่องมาจากบทบาทความสำคัญของการสื่อสาร ซึ่งนับวันจะมีความเกี่ยวพันกับชีวิตประจำวันของมนุษย์มากยิ่งขึ้นนั่นเอง ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนเช่น จำนวนผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่มีปริมาณสูงขึ้นเรื่อย ๆ ปริมาณผู้ใช้อินเทอร์เน็ตความเร็วสูงเพิ่มขึ้น จนกระทั่งดูเหมือนว่าการติดต่อสื่อสารโดยใช้โครงข่ายรูปแบบต่าง ๆ เป็นปัจจัยสำคัญที่จะขาดเสียมิได้ในการดำรงชีวิต สิ่งเหล่านี้เองที่ดึงดูดให้นักลงทุนเข้ามาลงทุนในกิจการโทรคมนาคมและทำให้โครงข่ายโทรคมนาคมกลายเป็นโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย (multi−operator network) (ดูรูปที่ 1.1) ให้บริการหลายรูปแบบ ซ้อนทับ(overlay) กันทั่วโลก

ในอดีต โครงข่ายโทรคมนาคมมีผู้ให้บริการเพียงไม่กี่รายในแต่ละประเทศ ลักษณะของโครงข่ายไม่ซับซ้อนมากนัก ทำให้ผู้ให้บริการแต่ละโครงข่ายจัดการดูแลโครงข่ายได้ไม่ยุ่งยากมากนัก แต่เมื่อเทคโนโลยีมีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้นประกอบกับความต้องการใช้งานเทคโนโลยีโทรคมนาคมสูงขึ้น ปัจจุบันผู้ให้บริการโครงข่ายโทรคมนาคมจึงต้องหันมาทบทวนรูปแบบการให้บริการ และการจัดการทรัพยากรที่มีอยู่ให้รองรับการเปลี่ยนแปลง ตลอดจนการแข่งขัน และการร่วมมือกันกับผู้ให้บริการรายอื่น ๆ คาดการณ์ได้ว่าในอนาคตอันใกล้เราจะได้เห็นการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ด้านการให้บริการโทรคมนาคม ผู้ให้บริการโครงข่ายโทรคมนาคมจะมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น มีความเป็นนานาชาติ และมีการแข่งขันที่รุนแรง ความอยู่รอดเชิงธุรกิจสำหรับผู้ให้บริการแต่ละรายขึ้นกับกลยุทธ์ในการบริหารจัดการ การตลาด และที่ไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากันคือด้านวิศวกรรม

การที่ตลาดโทรคมนาคมเริ่มมีการขยายตัว มีผู้ให้บริการโครงข่ายมากกว่าหนึ่งราย นับเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญยิ่งของความต้องการที่จะเชื่อมต่อ (interconnect) กับโครงข่ายของผู้ให้บริการโครงข่ายรายอื่น

รูปที่ 1.1 โครงข่ายโทรคมนาคมที่มีผู้ให้บริการหลายราย

ๆ ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบของการเชื่อมต่อระหว่าง ผู้ให้บริการฝ่ายหนึ่งกับลูกค้าซึ่งเป็นผู้ใช้บริการรายใหญ่อีกฝ่ายหนึ่ง (ตัวอย่างเช่นหน่วยงานรัฐ ธุรกิจขนาดใหญ่ หรือผู้ให้บริการเสริมเป็นต้น) การเชื่อมต่อระหว่างเจ้าของโครงข่ายกับคู่ค้าซึ่งมีโครงข่ายที่ไม่สมบูรณ์ (ตัวอย่างเช่นผู้ให้บริการโทรศัพท์ทางไกลทั้งในและต่างประเทศ ผู้ให้บริการเคเบิลทีวี) การเชื่อมต่อโครงข่ายกับคู่แข่งซึ่งมีโครงข่ายที่สมบูรณ์ (เช่นผู้ให้บริการโทรศัพท์พื้นฐาน โทรศัพท์เคลื่อนที่ โทรศัพท์ดาวเทียม หรือโทรศัพท์บ้านพกพา) การเชื่อมต่อแต่ละรูปแบบมีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน อันจะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงการจัดการ รูปแบบการคิดราคา การเชื่อมต่อ คุณภาพของการให้บริการ ฯลฯ อาจกล่าวได้ว่าการเชื่อมต่อโครงข่ายถือเป็นหัวใจหลักของการให้บริการโทรคมนาคม ทั้งในแง่ของต้นทุนการบริการและโอกาสในการแข่งขัน [1]

ภายใต้กระแสความต้องการในบริการโทรศัพท์อันเป็นบริการขั้นพื้นฐานของระบบโทรคมนาคมในประเทศไทย ตลอดจนบริการโทรคมนาคมด้านอื่นซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่องค์กรภาครัฐมีขีดจำกัดทั้งด้านเงินลงทุน กำลังคนและโครงสร้างอื่น ๆ ด้วยแรงกดดันต่าง ๆ และข้อจำกัดที่เกิดขึ้นเป็นเหตุให้ภาครัฐมีนโยบายให้เอกชนเข้ามามีบทบาทในการลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานและบริการโทรคมนาคม เพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้ แต่เนื่องจากกฎหมายของประเทศไทยยังไม่เปิดโอกาสให้เอกชนเป็นเจ้าของโครงข่ายได้ รัฐจึงใช้วิธีการร่วมงานกับเอกชนในลักษณะของ BOT (Build-Transfer-Operate) หรือการสร้างแล้วโอนให้รัฐแทน ทางออกของการให้บริการแบบนี้ถือว่าประสบผลสำเร็จอย่างยิ่งในแง่ของการลดความขาดแคลนและรองรับความต้องการในเรื่องของบริการโทรศัพท์พื้นฐาน โทรศัพท์เคลื่อนที่และบริการเสริม รวมทั้งโครงสร้างพื้นฐานอื่น ๆ ที่จำเป็น เช่น เส้นใยแก้วนำแสงใต้น้ำ บริการดาวเทียม

สื่อสาร ฯลฯ โดยมีสัญญาระหว่างภาครัฐกับเอกชนรวมทั้งสิ้นประมาณ 33 สัญญาการร่วมงาน[2]

แม้ว่านโยบายนี้จะสามารถตอบสนองความต้องการได้ระดับหนึ่งแต่ปริมาณผู้ขอใช้บริการก็ยังมิได้หมดสิ้นแต่อย่างใด การเปลี่ยนแปลงในโลกปัจจุบัน อาทิการแข่งขันระหว่างผู้ให้บริการ ความเจริญรุดหน้าทางเทคโนโลยี สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จะเข้ามามีผลให้เกิดการแปรรูปรัฐวิสาหกิจและการเปิดตลาดแข่งขันแบบเสรีมากกว่าการผูกขาดดังเช่นที่ผ่านมา ในอดีตองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (ทศท.) เป็นผู้มีบทบาทในการควบคุม จัดการระบบโทรคมนาคมในประเทศไทยแต่เพียงผู้เดียว การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายอื่น ๆ เช่นระหว่างโครงข่ายของโทรศัพท์มือถือและโทรศัพท์พื้นฐานจะต้องเชื่อมต่อผ่านโครงข่ายขององค์การโทรศัพท์เสมอ การส่งทราฟฟิกในลักษณะนี้นับว่าเป็นข้อจำกัดอย่างยิ่งในการจัดสรรและใช้งานทรัพยากรโครงข่ายของผู้ให้บริการรายอื่น ภายหลังจากการบังคับใช้พระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับกิจการวิทยุกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมพ.ศ. 2543 [3] ซึ่งนำไปสู่การจัดตั้งองค์กรอิสระที่มีหน้าที่โดยตรงในการกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมต่างๆ ของประเทศ เช่น คณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) ประเทศไทยได้ก้าวไปข้างหน้าในการเตรียมความพร้อมอีกขั้นหนึ่งสำหรับการเปิดเสรีการให้บริการโทรคมนาคม รัฐวิสาหกิจหลักซึ่งมีหน้าที่ให้บริการสื่อสารโทรคมนาคมของประเทศไทย ได้ผ่านขั้นตอนแรกของการปรับโครงสร้างองค์กรเพื่อให้มีประสิทธิภาพ และสามารถแข่งขันกับบริษัทโทรคมนาคมจากนานาชาติได้

การปรับโครงสร้างดังกล่าวเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งในการเตรียมความพร้อมสำหรับองค์กรและคนในองค์กร การเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันด้วยการเริ่มต้นพัฒนาเทคโนโลยีของตนเอง ตลอดจนการเพิ่มประสิทธิภาพของการให้บริการโทรคมนาคม และการพัฒนาคนให้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วของเทคโนโลยี เหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่มิอาจละเลยได้สำหรับองค์กรผู้ให้บริการโทรคมนาคมของประเทศไทยที่ต้องการรักษาความสามารถในการแข่งขันของตนในเวทีโลก แต่การเชื่อมต่อโครงข่ายซึ่งมีความสำคัญทั้งในเรื่องต้นทุนการบริการและโอกาสในการแข่งขันก็เป็นประเด็นสำคัญยิ่งอีกประเด็นหนึ่ง ในการกำหนดลักษณะและประเภทของการให้บริการ ตลอดจนความได้เปรียบเสียเปรียบของผู้ให้บริการรายใดรายหนึ่งจึงจำเป็นที่จะต้องมีการวางแผนและปรับปรุงให้เหมาะสม

1.1.2 ความสำคัญของปัญหาและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การที่ประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดและแนวทางที่ชัดเจนในเรื่องของเทคนิค หลักเกณฑ์ เงื่อนไข ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเชื่อมต่อ ย่อมจะทำให้เกิดการขัดแย้งในการประกอบการดังตัวอย่างเช่น ปัญหาความขัดแย้งในการเชื่อมต่อโครงข่ายที่เกิดขึ้นระหว่าง ทศท. กับ บริษัทโทเทิ่ล แอ็คเซ็ส คอมมูนิเคชั่น จำกัดมหาชน (แทค) ซึ่งอาจจะเกิดข้อพิพาทในลักษณะนี้ตามมาอีกเรื่อย ๆ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดการใช้โครงข่ายโทรคมนาคมของทั้งประเทศโดยภาพรวมอย่างไร้ประสิทธิภาพ ในการให้บริการผู้ให้บริการ

รายใหญ่ซึ่งมีโครงข่ายของตนเองที่กว้างขวาง และ ครอบคลุมจะสามารถกีดกัน หรือ ก่อให้เกิดอุปสรรคกับผู้ให้บริการรายใหม่ที่ไม่มีโครงข่ายของตนเองหรือมีแต่ไม่ครอบคลุมพื้นที่มากนัก ดังนั้นจะเห็นได้ชัดเจนว่าโอกาสและความอยู่รอดในการแข่งขันของผู้ให้บริการจึงขึ้นอยู่กับความได้เปรียบเสียเปรียบในทางปฏิบัติของการเชื่อมต่อโครงข่ายโดยตรง แม้ว่าในทางปฏิบัติการแก้ปัญหาเหล่านี้อาจไม่สามารถขจัดข้อได้เปรียบเสียเปรียบอันเนื่องมาจากการเชื่อมต่อโครงข่ายได้ทั้งหมด แต่นโยบายและกฎเกณฑ์ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมนั้นพึงจะขจัดปัญหาข้อได้เปรียบเสียเปรียบที่เกิดขึ้นให้เหลือน้อยที่สุด โดยออกกฎเกณฑ์ กำกับดูแลอย่างมีประสิทธิภาพ โปร่งใส และเป็นธรรม เพื่อมิให้ผู้ให้บริการรายใดรายหนึ่งใช้ข้อได้เปรียบผูกขาดหรือกีดกันผู้ให้บริการรายอื่น ๆ

เมื่อประเทศไทยเข้าสู่ยุคเสรีโทรคมนาคม กทช. เข้ามามีบทบาทในการกำกับดูแล มีกฎเกณฑ์ในการเชื่อมต่อที่ชัดเจนและเป็นธรรม ในอนาคตผู้ให้บริการโทรคมนาคมรูปแบบต่าง ๆ จะมีความยืดหยุ่นในการตัดสินใจและจัดการดูแล ควบคุมการใช้งานโครงข่ายให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของผลตอบแทนการลงทุนที่คุ้มค่า หากพิจารณาถึงมุมมองทางด้านวิศวกรรมโครงข่ายแล้วการจัดเส้นทาง (routing) นับได้ว่าเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยให้จัดการกับปัญหาการเชื่อมต่อและการใช้ทรัพยากรโครงข่ายเพื่อให้ได้ผลตอบแทนเชิงธุรกิจและประโยชน์ที่คุ้มค่าที่สุด อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนใหญ่ในอดีตสนใจศึกษาเฉพาะการจัดเส้นทางภายในโครงข่ายของผู้ให้บริการแต่ละรายเท่านั้น [4], [5] เมื่อระบบโทรคมนาคมมีการขยายตัว มีการเข้ามาของผู้ให้บริการหน้าใหม่ รวมทั้งผู้ให้บริการเดิมที่มีอยู่ โครงข่ายภาพรวมจึงมีลักษณะเปลี่ยนไปเป็นโครงข่ายซึ่งประกอบด้วยโครงข่ายของผู้ให้บริการเข้าหลาย ๆ รายด้วยกัน จึงได้มีงานวิจัยบางงานออกมาเพื่อสนับสนุนโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายรายนี้ตัวอย่างเช่น [6], [7] ซึ่งพิจารณาการจัดเส้นทางผ่านโครงข่ายหลาย ๆ โครงข่าย โดยกำหนดแบบจำลองทางธุรกิจของโครงข่ายอินเทอร์เน็ตในอนาคต โครงข่ายนี้ประกอบด้วยรูปแบบของการบริการที่หลากหลาย การที่โครงข่ายประกอบด้วยหลาย ๆ บริการนั้นโครงข่ายจึงจำเป็นต้องมีผู้ทำหน้าที่ในการเป็นศูนย์กลางรวบรวมข้อมูลการให้บริการต่าง ๆ เพื่อให้ลูกค้าสามารถเข้ามาเลือกใช้บริการได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

การให้บริการแต่ละรูปแบบมีความต้องการการใช้งานโครงข่ายที่แตกต่างกัน คุณภาพของสัญญาณที่ได้รับก็แตกต่างกันตัวอย่างเช่น การเปิดอ่านเวปเพจจะมีการใช้งานแบนวิดท์น้อยกว่าการเปิดดูภาพเคลื่อนไหวหรือข้อมูลเสียง นอกจากนั้นการให้บริการดูภาพเคลื่อนไหวหรือข้อมูลเสียงยังต้องการการเชื่อมต่อที่มีค่าประวิงเวลาต่ำด้วยเพื่อให้การเชื่อมต่อเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการหนึ่งซึ่งช่วยรับประกันได้ว่าแบนวิดท์ที่ให้กับการขอเข้าใช้บริการแต่ละครั้งจะเพียงพอและโครงข่ายสามารถให้บริการที่หลากหลายเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่ผู้ใช้งานต้องการทำได้โดยการจองแบนวิดท์และสร้างเส้นทางในการเชื่อมต่อล่วงหน้า ซึ่งการจับจองเส้นทางในการใช้งาน รวมทั้งการจับจองแบนวิดท์นี้ยังไม่สามารถทำได้ในระบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ตที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพราะผู้ให้บริการแต่ละรายยังกีดกันการขอ

เข้าใช้บริการ การจองแบนวิดท์และการใช้ทรัพยากรจากผู้ให้บริการรายอื่น อย่างไรก็ตามการสร้างเส้นทางและจองแบนวิดท์ก่อนที่จะให้บริการได้มีการใช้งานจริงบ้างแล้วในโครงข่ายของผู้ให้บริการบางราย ในอนาคตเมื่อมีความต้องการของผู้ใช้งานในยุคบรอดแบนด์ที่เน้นความเร็วในการเชื่อมต่อเพิ่มมากขึ้น ระบบการจองแบนวิดท์ล่วงหน้าระหว่างโครงข่ายเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งสามารถนำมาใช้งานในการติดต่อระหว่างผู้ให้บริการได้ในอนาคตอันใกล้นี้

ใน [6] ระดับของคุณภาพของการให้บริการ (QoS) แสดงด้วยค่าประวิงเวลาเฉลี่ย การจัดเส้นทางจะพิจารณาจากเส้นทางที่ใช้ต้นทุนต่ำที่สุด[8]และให้คุณภาพของบริการในระดับที่ลูกค้าพึงพอใจ ก่อนการจัดเส้นทางเพื่อให้บริการ โดยจะทำการรับค่าของระดับคุณภาพการให้บริการที่จำเป็นสำหรับลูกค้าจากผู้ให้บริการมาก่อน เช่น แบนวิดท์ที่ต้องใช้งาน ค่าประวิงเวลาที่ยอมรับได้ จากนั้นจึงนำมาเทียบกับตารางค่าการเชื่อมต่อที่เรียกว่า E-table ซึ่งตารางนี้จะระบุค่าประวิงเวลา ราคา และแบนวิดท์ของแต่ละพอร์ทการเชื่อมต่อของแต่ละผู้ให้บริการ ต้นทุนของวิธีนี้จะคิดโดยตรงจากการประวิงเวลาของการส่งข้อมูล นอกจากนั้น [7] ซึ่งใช้ QoS ประกอบการจัดเส้นทางเช่นเดียวกันแต่ได้นำระบบการคิดราคา และระบบบัญชีมาช่วยให้เกิดความยุติธรรมด้วย การคิดราคาในส่วนนี้จะมีส่วนการควบคุมราคาส่วนกลางซึ่งจะคอยจัดการเส้นทาง ระบุต้นทุนค่าบริการ การตรวจสอบคุณภาพการให้บริการ รวมทั้งการแบ่งกระจายรายได้ให้กับผู้ให้บริการโดยการแบ่งกระจายรายได้จะต้องมีความเป็นธรรมทั้งในส่วนของต้นทุนและการเลือกใช้เส้นทางของแต่ละผู้ให้บริการด้วย นอกจากนี้การคิดค่าบริการจะต้องขึ้นกับคุณภาพในการให้บริการ และเหมาะสมกับต้นทุนในการให้บริการแต่ละครั้งด้วย งานวิจัย [9], [10] ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการคิดราคาบนโครงข่ายหลาย ๆ โครงข่าย นอกจากนั้นยังเสนอโพรโทคอลที่มีความสามารถในการบอกให้ระบบทราบว่าต้นทุนของการขอเข้าใช้บริการ (call) มีค่าเป็นเท่าใดผ่านทางโครงข่ายหลาย ๆ โครงข่ายด้วย โดยการระบุต้นทุนการขอเข้าใช้บริการจะทำโดยการเพิ่มแพคเก็ตที่มีการระบุค่าต้นทุนการเชื่อมต่อเข้าไปในตัวข้อมูลเรื่อย ๆ เมื่อข้อมูลวิ่งออกจากแต่ละโหนดการเชื่อมต่อหรือแต่ละผู้ให้บริการ ซึ่งเมื่อตัวข้อมูลส่งไปถึงปลายทางก็จะมีส่วนของแพคเก็ตราคาต้นทุนทั้งหมด ทำให้สามารถคิดค่าบริการทั้งหมดได้ รวมทั้งสามารถที่จะแบ่งส่วนการใช้งานไปให้กับผู้ให้บริการแต่ละรายได้ด้วย

งานวิทยานิพนธ์นี้นำหลักการของการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดมาใช้เช่นเดียวกับงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น ซึ่งมีความต้องการพื้นฐานเหมือนกันในเรื่องของการจัดเส้นทางเพื่อให้โครงข่ายได้รับผลการประกอบการสูงสุดตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ งานวิจัยข้างต้นพิจารณาในส่วนของคุณภาพของการให้บริการซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญอันจะละเลยไม่ได้โดยที่นำค่าการประวิงเวลามาพิจารณาจัดเส้นทางแต่วิทยานิพนธ์นี้พิจารณาคุณภาพของการจัดเส้นทางบนโครงข่ายโทรคมนาคมในมุมมองของความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการและอรรถประโยชน์ของโครงข่ายในภาพรวมแทน

การจัดเส้นทางใน [6] จะพิจารณาเส้นทางที่มีการประวิงเวลาต่ำที่สุดโดยอาศัยโหนดซึ่งเป็นศูนย์กลาง

ในการส่งทราฟฟิกระหว่างโครงข่าย โดยศูนย์กลางต้องทราบข้อมูลต่าง ๆ ของทุกโครงข่ายเพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุด แต่ในทางปฏิบัติข้อมูลในการใช้บริการ การเข้าออกโครงข่าย โทรโพโลยีของโครงข่ายแต่ละโครงข่ายถือเป็นความลับของแต่ละบริษัท นอกจากนั้นการสร้างศูนย์กลางในการจัดการดูแลยังต้องอาศัยเงินลงทุนในการสร้างระบบเพิ่มขึ้นมาดังนั้นการจะนำโหนดที่ทำหน้าที่นี้เข้ามาใช้งานในความเป็นจริงจึงเป็นไปได้ยาก เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง ๆ วิทยานิพนธ์นี้จึงหลีกเลี่ยงปัญหาข้อมูลที่เป็นความลับนี้โดยพิจาณาการจัดเส้นทางภายในโครงข่ายหลักเท่านั้น โครงข่ายหลักไม่จำเป็นต้องทราบลักษณะการเชื่อมต่อของโครงข่ายอื่น สำหรับการส่ง ทราฟฟิกผ่านไปยังโครงข่ายอื่นนั้นโครงข่ายหลักสามารถส่งได้โดยการส่งผ่านจุด POI การรับและส่งออกทราฟฟิกผ่านจุด POI นี้จะเสียค่าบริการที่เรียกว่าค่าเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย การจัดการจึงเป็นของโครงข่ายหลักอย่างสมบูรณ์ช่วยหลีกเลี่ยงปัญหาข้อมูลอันเป็นความลับได้ นอกจากนั้นงานวิทยานิพนธ์นี้ยังมีความแตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ในเรื่องของการพิจารณาโครงสร้างต้นทุนโดยได้นำเอาต้นทุนในการเชื่อมต่อโครงข่ายมาพิจารณาในการจัดเส้นทางด้วย

1.1.3 สิ่งที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์

การศึกษาเกี่ยวกับนโยบายการคิดราคา การจัดเส้นทางมีมากมายที่มุ่งหวังให้การจัดการทรัพยากรของโครงข่ายให้คุ้มค่า ในงานวิทยานิพนธ์นี้ก็เป็นส่วนหนึ่งที่จะมุ่งศึกษากลยุทธ์ในการประยุกต์ศาสตร์ด้านวิศวกรรมทราฟฟิก (traffic engineering) กับปัญหาการจัดการทรัพยากรของโครงข่ายโทรคมนาคม การศึกษาจะเน้นให้เห็นภาพในองค์รวมของระบบโครงข่ายโทรคมนาคมทั้งระบบซึ่งมีผู้ให้บริการหลายราย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอและทดสอบกลยุทธ์การจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด (optimal routing strategy) ในการส่งผ่านทราฟฟิกภายในโครงข่ายโทรคมนาคมของ ทั้งนี้โดยพิจารณาผลกระทบของการคิดค่าบริการการเชื่อมต่อโครงข่าย (interconnection charge) และต้นทุนการให้บริการโทรคมนาคม

เพื่อให้สามารถทดสอบกลยุทธ์ต่างๆ และนำเสนอโดยไม่ให้มีผลกระทบในแง่ลบต่อการทำงานของโครงข่ายจริงที่กำลังให้บริการอยู่ ในงานวิทยานิพนธ์นี้จะได้มีการออกแบบ สร้าง และทดสอบซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์ซึ่งมีความสามารถในการจำลองสถานการณ์ต่างๆ ของโครงข่ายได้

ผลการวิเคราะห์สถานการณ์จำลองต่าง ๆ ที่จะได้จากการศึกษาวิจัยนี้ สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับเปลี่ยนกลยุทธ์ในการจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการให้บริการโทรคมนาคมขององค์กรได้ ผลการวิเคราะห์จะรวมถึงการคำนวณหาค่าดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบเชิงวิศวกรรม ได้แก่ ค่าความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการ (call blocking probability) ค่าอรรถประโยชน์ของข่ายเชื่อมโยง (link utilization) ค่าอรรถประโยชน์ของแต่ละเส้นทาง (route utilization) ตลอดจนปริมาณทราฟฟิกที่สามารถรองรับได้ในแต่ละเส้นทางของโครงข่าย นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์จะรวมถึงการคำนวณหาค่าดัชนีวัดประสิทธิผลของระบบในเชิงธุรกิจ ได้แก่ ต้นทุนเฉลี่ยต่อการให้บริการลูกค้าหนึ่ง

คน ต้นทุนรวมของทั้งโครงข่าย รายได้จากกลุ่มลูกค้าต่างๆ และกำไรของการให้บริการ โดยใช้ข้อมูลสถิติของทราฟฟิก และการกำหนดวิธีการคิดค่าบริการบนโครงข่าย ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำผลการวิเคราะห์ไปประยุกต์ใช้ได้โดยตรงในการวางแผน และปรับปรุงประสิทธิภาพของการจัดการระบบโครงข่ายขององค์กรให้สามารถลดต้นทุนในการให้บริการ เพิ่มรายได้จากการประกอบการ ใช้ประโยชน์จากทรัพยากรโครงข่ายให้คุ้มค่า อันจะนำไปสู่การเพิ่มความสามารถ และโอกาสในการแข่งขันของผู้ให้บริการแต่ละรายได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์

1. งานวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอกลยุทธ์ด้านการจัดการทรัพยากรโครงข่าย โดยประยุกต์ใช้ศาสตร์ด้านวิศวกรรมทราฟฟิกในการจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดซึ่งให้ผลกำไรสูงสุดในการส่งผ่านทราฟฟิกภายในโครงข่ายโทรคมนาคมขององค์กร

2. ประเมิน ประสิทธิภาพ เชิง วิศวกรรม และ ประสิทธิผล เชิง ธุรกิจ ของ กลยุทธ์ การ จัด เส้นทาง ที่ ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ โดยพิจารณาผลกระทบของสถานการณ์ที่มีผู้ให้บริการโทรคมนาคมมากกว่า 1 รายในลักษณะของการคิดค่าบริการการเชื่อมต่อโครงข่าย ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวางแผน และปรับปรุงประสิทธิภาพโครงข่ายโทรคมนาคมด้านอื่น ๆ ต่อไป

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. กำหนดขอบเขตและโครงสร้างของปัญหาที่จะนำมาใช้ในการทำวิทยานิพนธ์
2. ศึกษาความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทาง
3. ศึกษาวิธีการจัดเส้นทางแบบต่าง ๆ ตลอดจนการประยุกต์วิธีการเหล่านั้นมาใช้
4. ศึกษาวิธีการคิดค่าบริการและค่าต้นทุนที่เกิดขึ้นบนโครงข่าย
5. ศึกษาค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อโครงข่าย
6. เขียนโปรแกรมจำลองการทำงาน
7. วิเคราะห์และประเมินผล
8. สรุปผลงานวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

ขอบเขตของงานวิทยานิพนธ์สามารถจำแนกเป็นข้อเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาดังนี้

1. นำการคิดค่าบริการระหว่างโครงข่ายมาพิจารณาร่วมกับการประยุกต์วิธีการหาเส้นทางเพื่อให้ได้กำไรสูงสุด
2. โครงข่ายที่พิจารณาคือโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายรายและให้บริการเพียงแบบเดียวคือบริการโทรศัพท์ผ่านโครงข่ายโทรศัพท์แบบสวิทช์วงจรหรือผ่านโปรโตคอลอินเทอร์เน็ตทั้งนี้โดยพิจารณาว่าแบนวิดท์ที่ต้องใช้ในการเชื่อมต่อมีขนาดคงที่
3. ศึกษาผลกระทบของการคิดค่าบริการแบบต่าง ๆ ที่มีต่อผู้ให้บริการและผู้ใช้ในโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย
4. การคิดค่าบริการและต้นทุนนั้นรวมทั้งแบบไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งานและแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งานได้
5. ใช้โปรแกรมจำลองระบบโครงข่ายช่วยในการวิเคราะห์และประเมินผล โดยมีดัชนีชี้วัดความต้องการคือกำไรและคุณภาพของการให้บริการโดยวัดจากความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

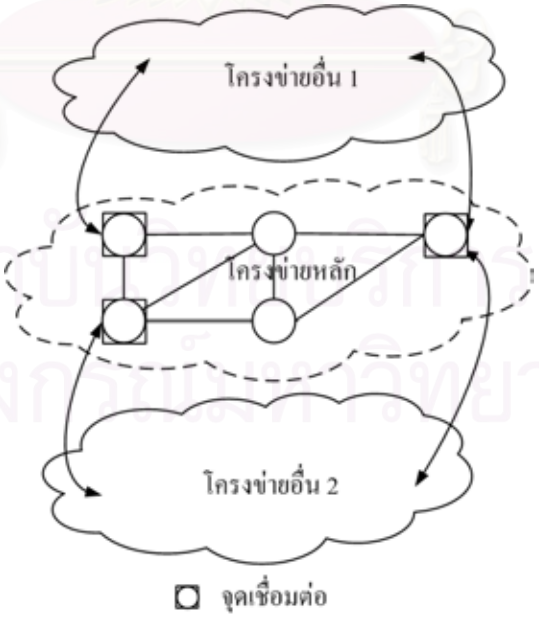
1. ผลงานวิจัยนี้จะทำให้ได้แนวคิดในการออกแบบและประเมินประสิทธิผลของการจัดสรรเส้นทางการส่งผ่านข้อมูลในโครงข่ายของผู้ให้บริการโทรคมนาคม และสามารถนำไปใช้ในการวางแผนเลือกเส้นทางเพื่อเพิ่มผลกำไรให้กับผู้ให้บริการ ให้ได้ประโยชน์สูงสุดในการดำเนินกิจการเนื่องจากปัจจุบันในประเทศไทยมีโครงข่ายโทรคมนาคมที่หลากหลาย การเชื่อมต่อโครงข่ายจึงเป็นหัวใจหลักในการติดต่อระหว่างกันของผู้ให้บริการแต่ละราย ดังนั้นกลยุทธ์ในการจัดเส้นทางจึงมีส่วนสำคัญต่อการวางแผน พัฒนา และปรับปรุงการใช้งานของโครงข่ายให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด
2. ซอฟท์แวร์ตัวจำลองระบบโครงข่ายโทรคมนาคมที่มีผู้ให้บริการหลายราย และข้อมูลที่ได้รับจากการวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานการวิจัยเชิงลึกเพื่อประเมินผลของการคิดค่าบริการการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายในรูปแบบต่าง ๆ

บทที่ 2

โครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย

2.1 ความหมายของโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย

ในช่วงระยะเวลากว่าสิบปีที่ผ่านมา ตลาดโทรคมนาคมทั่วโลกมีการเปลี่ยนแปลงในประเด็นใหญ่ ๆ สามประเด็นหลัก คือประเด็นแรกมีผู้ให้บริการเอกชนเข้ามามีบทบาทเพิ่มขึ้นในตลาดแทนการที่มีแต่ส่วนงานของรัฐบาลเท่านั้นในการดูแลกิจการโทรคมนาคม ประเด็นที่สองคือมีการเปิดเสรีโทรคมนาคมในหลายประเทศเพื่อสร้างการแข่งขันในตลาดโดยเฉพาะบริการประเภทโทรศัพท์มือถือและบริการอินเทอร์เน็ต ประเด็นสุดท้ายคือมีการจัดตั้งหน่วยงานกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมซึ่งแยกตัวเป็นอิสระจากผู้ให้บริการ ตัวอย่างเช่นในประเทศไทยได้จัดตั้งคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) เพื่อเข้ามามีบทบาทในการควบคุมการดำเนินงานด้านโทรคมนาคมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด การที่ตลาดโทรคมนาคมขยายตัวนักลงทุนเข้ามาลงทุนในกิจการโทรคมนาคมมากขึ้นส่งผลให้โครงข่ายโทรคมนาคมมีผู้ให้บริการมากกว่า 1 ราย ในงานวิทยานิพนธ์นี้เรียกลักษณะของโครงข่ายแบบนี้ว่าโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย (multi−operator network) โดยที่โครงข่ายต่าง ๆ เชื่อมต่อกันโดยผ่านจุดเชื่อมต่อหรือ POI (point of interconnection) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงข่ายโทรคมนาคมที่มีผู้ให้บริการหลายรายเชื่อมต่อกันผ่าน POI

2.2 ความแตกต่างของการจัดการบนโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการรายเดียวกับโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย

เมื่อลักษณะของการให้บริการและการแข่งขันกับผู้ให้บริการรายอื่นปรับเปลี่ยนรูปแบบไป การปรับตัวให้ทัดเทียมกับผู้ให้บริการรายอื่นในเรื่องของการดูแลและการจัดการเป็นเรื่องสำคัญที่จะละเลยไม่ได้ ในอดีตผู้ให้บริการแต่ละรายจะจัดการทรัพยากรโครงข่ายเฉพาะในโครงข่ายของตนเองและไม่ซับซ้อนมาก แต่เมื่อมีโครงข่ายมากกว่าหนึ่งโครงข่าย รูปแบบการดูแลและการจัดการทรัพยากรก็จะเปลี่ยนแปลงไป นั่นคือนอกจากที่ผู้ให้บริการแต่ละรายจะต้องจัดการบริหารทรัพยากรภายในโครงข่ายของตนเองแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงความสัมพันธ์และการเชื่อมต่อกับโครงข่ายอื่นด้วย ไม่ว่าจะเป็นการขอเข้าใช้บริการแบบมาขอใช้โครงข่ายเป็นทางผ่านในการส่งต่อทราฟฟิกหรือเพียงแค่เชื่อมต่อเท่านั้น อย่างไรก็ตามการเชื่อมต่อโครงข่ายและการจัดการโครงข่ายของผู้ให้บริการแต่ละรายย่อมมีข้อจำกัด ด้านการจัดการและการควบคุมปริมาณทราฟฟิกในระบบที่ทำได้เฉพาะโครงข่ายของตนเองเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในการส่งทราฟฟิกไปยังโครงข่ายอื่น ๆ ตัวอย่างเช่นมีการปฏิเสธการให้บริการจากโครงข่ายอื่นอันเนื่องมาจากปริมาณช่องสัญญาณมีไม่เพียงพอ นอกจากนั้นตำแหน่งของการเชื่อมต่อกับโครงข่ายอื่นหรือตำแหน่งของจุด POI ก็ย่อมมีความสำคัญด้วย ซึ่งในงานวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาว่าตำแหน่งของ POI ได้ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าแล้วโดยการตกลงกันระหว่างผู้ให้บริการแต่ละรายที่มีความต้องการเชื่อมต่อถึงกัน

2.3 นิยามความหมายของศัพท์เทคนิคที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ความหมายของคำต่าง ๆ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์สรุปได้ดังนี้

1. ผู้ให้บริการหมายถึง ผู้ให้บริการโครงข่ายโทรคมนาคมโดยวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาบริการเพียงประเภทเดียวคือบริการที่ใช้แบนวิดท์คงที่ต่อการขอเข้าใช้บริการหนึ่งครั้งบนข่ายเชื่อมโยงแต่ละอัน เช่นบริการโทรศัพท์หรือบริการเสียงบนอินเทอร์เน็ต (VoIP) เป็นต้น

2. โครงข่ายหลัก (main network) หมายถึง โครงข่ายของผู้ให้บริการที่งานวิทยานิพนธ์นี้มีเป้าหมายให้เป็นโครงข่ายซึ่งจะพิจารณาเป็นหลัก โดยจะพิจารณาปรับปรุงการจัดการภายในโครงข่ายเพื่อดูแลการเชื่อมต่อกับโครงข่ายของผู้ให้บริการรายอื่น โครงข่ายหลักเป็นโครงข่ายที่วิทยานิพนธ์นี้ถือว่าทราบข้อมูลต่าง ๆ ภายในโครงข่ายโดยละเอียด อันได้แก่ ลักษณะการเชื่อมต่อ (topology) จำนวนของผู้ใช้บริการ ตลอดจนสามารถจัดการและปรับปรุงการจัดเส้นทางภายในโครงข่ายได้ ตัวอย่างแสดงได้ดังรูปที่ 2.1

3. โครงข่ายอื่น (other network(s)) หมายถึง โครงข่ายของผู้ให้บริการรายอื่นที่ติดต่อกับโครงข่าย

หลักอยู่ การติดต่อกันนั้นเชื่อมต่อกันผ่านทางจุดเชื่อมต่อ

4. จุดเชื่อมต่อ หมายถึงโหนดในโครงข่ายหลักที่สามารถรับและส่งทราฟฟิกไปยังโครงข่ายอื่นได้

5. การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย หมายถึงการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายตั้งแต่ 2 โครงข่ายขึ้นไป

6. ค่าเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย (interconnection charge) หมายถึง ค่าบริการในการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายสองโครงข่ายใด ๆ แบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

   (a) ค่าเชื่อมต่อเมื่อโครงข่ายหลักเป็นต้นทาง (origination) เกิดขึ้นเมื่อโครงข่ายหลักเป็นต้นทางในการส่งทราฟฟิกเข้าไปยังโครงข่ายอื่นทำให้โครงข่ายหลักต้องเสียค่าเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายให้กับโครงข่ายอื่น

   (b) ค่าเชื่อมต่อเมื่อโครงข่ายหลักเป็นปลายทาง (termination) คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดเมื่อโครงข่ายหลักเป็นปลายทางของการส่งทราฟฟิกซึ่งรับมาจากโครงข่ายอื่น กรณีนี้โครงข่ายหลักจะได้ค่าเชื่อมต่อโครงข่ายจากโครงข่ายอื่น

   (c) ค่าเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายแบบใช้โครงข่ายอื่นเป็นทางผ่าน (transit) คือ ค่าใช้จ่ายซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้โครงข่ายเป็นทางผ่าน หากโครงข่ายอื่นส่งทราฟฟิกผ่านโครงข่ายหลัก โครงข่ายหลักจะได้ค่าเชื่อมต่อโครงข่าย ในทางกลับกันหากโครงข่ายหลักส่งทราฟฟิกผ่านโครงข่ายอื่นโครงข่ายหลักจะเสียค่าเชื่อมต่อโครงข่ายให้กับโครงข่ายนั้น ทั้งนี้การคิดค่าเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายแบบต่าง ๆ จะคิดที่จุดเชื่อมต่อของโครงข่าย

2.4 ลักษณะของโครงข่ายที่พิจารณา

หากแบ่งประเภทของโครงข่ายคร่าว ๆ ตามประเภทของใบอนุญาตประกอบกิจการโทรคมนาคมจะแบ่งได้ทั้งหมด 3 แบบ [11] คือแบบแรก เป็นกิจการที่ไม่มีโครงข่ายและให้บริการลูกค้าทั่ว ๆไป เช่น อินเทอร์เน็ต หรือบริการเสริมต่าง ๆ บริการเหล่านี้ยอมให้มีการให้บริการแบบเสรี การขออนุญาตทำเพียงแค่แจ้งให้ กทช. ทราบและเริ่มดำเนินการได้ แบบที่สองเป็นบริการที่มีโครงข่ายหรือไม่มีโครงข่ายก็ได้ แต่ให้บริการเฉพาะคนบางกลุ่มเช่นโครงข่ายวิทยุของรถแท็กซี่ ระบบ ATM ของธนาคารเป็นต้น แบบที่สามเป็นกิจการที่มีโครงข่ายและให้บริการลูกค้าทั่ว ๆ ไป เช่น โทรศัพท์บ้าน โทรศัพท์มือถือ โทรศัพท์ทางไกลระหว่างประเทศเป็นต้น โครงข่ายแบบนี้มีผลต่อการแข่งขันแบบเสรีและประโยชน์โดยส่วนรวม กระทบต่อประชาชนในวงกว้างซึ่งเป็นเหตุผลให้งานวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาโครงข่ายลักษณะนี้เป็นหลัก

โครงข่ายของผู้ให้บริการที่วิทยานิพนธ์นี้สนใจคือโครงข่ายหลักที่ให้บริการเพียงรูปแบบเดียวโดยในที่นี้จะเน้นไปที่บริการเสียง ซึ่งเป็นบริการที่ใช้ขนาดของแบนวิดท์คงที่ กล่าวคือการขอเข้าใช้บริการแต่ละ

ครั้งจะใช้ 1 ช่องสัญญาณและต้องเป็นโครงข่ายที่ทราบลักษณะการเชื่อมต่อทั้งหมดโดยละเอียด เช่น จำนวนโหนด จำนวนข่ายเชื่อมโยงและขนาดความจุของข่ายเชื่อมโยง เป็นต้น

นิยามให้โครงข่ายประกอบด้วยเซตของโหนด (M_n) และเซตของข่ายเชื่อมโยง (E) ซึ่งสามารถแสดงในลักษณะของกราฟ $G(M_n, E)$ ได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 5.2 โดยที่

M_n คือ เซตของโหนดในโครงข่ายของผู้ให้บริการรายที่ n ทั้งนี้ $n = 0$ จะแทนโครงข่ายหลัก

E คือ เซตของข่ายเชื่อมโยงโดย (r_i, r_j) แทนข่ายเชื่อมโยงที่มี r_i เป็นโหนดต้นทาง และ r_j เป็นโหนดปลายทาง

$C(r_i, r_j)$ คือความจุของข่ายเชื่อมโยง r_i, r_j

$R = (r_1, r_2,..., r_k)$ คือเส้นทางที่ใช้ในการส่งทราฟฟิกระหว่างคู่โหนดโดยที่ r_1 คือโหนดต้นทาง, r_k คือโหนดปลายทาง และ $r_2, \ldots, r_{k-1}$ คือโหนดซึ่งทำหน้าที่ส่งต่อ

2.5 ลักษณะการขอเข้าใช้บริการบนโครงข่ายและทราฟฟิกบนโครงข่าย

การขอเข้าใช้บริการ (call arrival) บนโครงข่ายของทราฟฟิกในแต่ละคู่โหนด (r_i, r_j) แบบปัวส์ซงด้วยอัตราเฉลี่ย λ_{ij} โดยที่แต่ละคู่โหนดมีการเรียกเข้าที่เป็นอิสระต่อกัน ระยะเวลายึดช่องสัญญาณ (holding time) ของการเรียกเข้าแต่ละครั้ง มีการแจกแจงแบบเลขชี้กำลังด้วยค่าเฉลี่ย $1/\mu(r_i, r_j)$ และเป็นอิสระต่อการขอเข้าใช้บริการ

2.6 การวัดประสิทธิผลบนโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย

การวิเคราะห์ประสิทธิผลของโครงข่ายหลักที่พิจารณาในงานวิทยานิพนธ์นี้จะประเมินตามการจัดเส้นทางที่ดีที่สุดซึ่งมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์รูปแบบต่าง ๆ การประเมินนั้นจะพิจารณาตัวชี้วัดในสองรูปแบบทั้งในส่วนของ ตัวชี้วัดสมรรถนะของโครงข่ายทางด้านวิศวกรรมและตัวชี้วัดผลการดำเนินงานของโครงข่ายทางด้านธุรกิจ

1. ตัวชี้วัดสมรรถนะของโครงข่ายทางด้านวิศวกรรม (engineering performance index) ประกอบด้วยดัชนีชี้วัดคุณภาพของการให้บริการ (grade of service : GoS) ซึ่งรวมถึงความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการของลูกค้า (customer blocking probability) และ ค่าอรรถประโยชน์ (utilization) หรือความคุ้มค่าของการใช้ทรัพยากรโครงข่าย

2. ตัวชี้วัดผลการดำเนินงานของโครงข่ายทางด้านธุรกิจ (business performance index) ประกอบด้วยดัชนีชี้วัดผลการประกอบธุรกิจ เช่น รายได้ของโครงข่าย, ต้นทุนของการให้บริการ, และกำไรที่โครงข่ายหลักได้รับ ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวในบทต่อไป

บทที่ 3

โครงสร้างของการคิดต้นทุนบนโครงข่าย

3.1 การคิดต้นทุนบนโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายรายในภาพรวม

สิ่งที่ต้องการมากที่สุดในการดำเนินธุรกิจใด ๆ คือ กำไร ซึ่งเป็นพารามิเตอร์หนึ่งในการชี้วัดสมรรถนะทางเศรษฐศาสตร์ ของโครงข่ายใด ๆ ในที่นี้จะเน้นไปที่การนำเอาต้นทุนของเส้นทางบนโครงข่ายประกอบกับวิธีการจัดเส้นทางเพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุดตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ทั้งภายในโครงข่ายหลักและโครงข่ายอื่นเพื่อให้ได้ผลประกอบการหรือกำไรที่มากที่สุดโดยกำไรสามารถหาได้จากความสัมพันธ์พื้นฐาน

$$\text{กำไร} = \text{รายได้} - \text{ต้นทุน}$$

- รายได้ คือผลตอบแทนจากการให้บริการโครงข่าย รายได้เหล่านี้อาจจะแตกต่างกันไปตามรูปแบบการคิดค่าบริการ (tariff) ของผู้ให้บริการ โดยราคาที่ผู้ให้บริการคิดกับผู้ใช้บริการนั้น อาจขึ้นอยู่ปัจจัยหลายประเภทตัวอย่างเช่น พื้นที่ให้บริการ ระยะทาง จำนวนครั้งที่ใช้ ปริมาณข้อมูลที่ใช้ เป็นต้น ในเบื้องต้น เราสามารถสรุปการคิดค่าบริการพื้นฐานได้เป็น 4 ประเภท คือ

    1. การคิดค่าบริการแบบอัตราคงที่เหมาจ่าย (flat rate charging) เช่นการคิดค่าบริการเหมาจ่ายรายเดือน เป็นต้น
    2. การคิดค่าบริการต่อการขอเข้าใช้ที่คงที่ (unit fee charging) เช่นการคิดค่าโทรศัพท์ทางไกล้ของทศท. ต่อครั้งในการเข้าใช้โครงข่าย ค่าเช่าใช้โครงข่ายที่คิดค่าบริการเป็นรายเดือน เป็นต้น
    3. การคิดค่าบริการแบบแปรเปลี่ยนตามปริมาณการใช้งาน (variable charging) เช่นการคิดค่าบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ การคิดค่าบริการโทรศัพท์ทางไกล้ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการใช้งาน การคิดค่าบริการตามปริมาณข้อมูลที่รับส่งจริงเช่น general packet radio service (GPRS) เป็นต้น
    4. การคิดค่าบริการตามประเภทของการให้บริการ (service charging) การคิดค่าบริการแบบนี้ไม่ได้เกิดจากการเรียกเข้าแต่เป็นการคิดจากรูปแบบของการให้บริการ ตัวอย่างเช่น บริการเสริม บริการรับฝากข้อความ เป็นต้น

เนื่องจากบริการในงานวิทยานิพนธ์นี้มีเพียงรูปแบบเดียว รูปแบบรายได้ที่เลือกพิจารณาและเกี่ยวข้องโดยตรงกับการจัดเส้นทางในการขอเข้าใช้บริการแต่ละครั้งจึงคิดเพียงสองรูปแบบคือ

ค่าบริการต่อการเข้าใช้โครงข่ายแต่ละครั้งคงที่และ ค่าบริการแบบแปรเปลี่ยนตามปริมาณการใช้งาน โดยปริมาณในที่นี้หมายถึงระยะในการใช้บริการเท่านั้น

- ต้นทุน คือค่าใช้จ่ายของผู้ให้บริการที่ต้องลงทุนบนโครงข่ายในการรับส่งทราฟฟิก ค่าใช้จ่ายนี้อาจจะเป็นแบบคงที่ (fixed cost) ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ใช้งาน เช่น ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างโครงข่าย ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา ค่าจ้างพนักงาน เป็นต้น หรือค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณการใช้งาน (variable cost) ก็ได้ ในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาแบ่งต้นทุนตามประเภทของการใช้โครงข่ายออกเป็น 2 รูปแบบคือ

  1. ค่าใช้จ่ายที่เกิดบนโครงข่ายหลัก
  2. ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเชื่อมต่อโครงข่ายกับผู้ให้บริการรายอื่นซึ่งมี 3 กรณีย่อยคือ
     (a) ค่าใช้จ่ายที่คิดเมื่อโครงข่ายหลักเป็นต้นทางส่งทราฟฟิกไปยังโครงข่ายอื่น
     (b) ค่าใช่จ่ายที่คิดเมื่อโครงข่ายหลักเป็นปลายทางรับทราฟฟิกมาจากโครงข่ายอื่น
     (c) ค่าใช้จ่ายที่คิดเมื่อโครงข่ายหลักใช้โครงข่ายอื่นเป็นทางผ่านหรือโครงข่ายอื่นใช้โครงข่ายหลักเป็นทางผ่าน

3.2 ค่าบริการการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย

การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ใช้บริการโทรคมนาคมจากต่างโครงข่ายสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ การเชื่อมต่อโครงข่ายระหว่างผู้ให้บริการเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งที่จะทำให้ตลาดโทรคมนาคมมีการแข่งขันที่มีประสิทธิภาพได้เร็วขึ้น การคิดค่าบริการการเชื่อมต่อจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญที่กำหนดค่าใช้จ่ายของผู้ให้บริการแต่ละรายและเป็นปัจจัยที่ต้องนำมาช่วยในการตัดสินใจในการจัดการและปรับปรุงโครงข่ายให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

คู่มือการกำกับดูแลโทรคมนาคมของธนาคารโลกได้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานที่สำคัญในการเชื่อมต่อโครงข่ายไว้ 7 ประการ ซึ่งสอดคลองกับหลักการของเอกสารอ้างอิงขององค์การการค้าโลก (WTO Reference Paper) และหลักการเชื่อมต่อโครงข่ายของเอเปค (APEC Principles of Interconnection) มีรายละเอียดดังนี้[11]

1. การจัดทำแนวทางปฏิบัติสำหรับการเชื่อมต่อโครงข่ายล่วงหน้า

   เนื่องจากการเชื่อมต่อโครงข่ายเป็นประเด็นที่ซับซ้อนและมีรายละเอียดค่อนข้างมากทั้งทางด้านเทคนิคและการเงิน หน่วยงานกำกับดูแลในหลายประเทศจึงมีนโยบายให้ผู้ให้บริการในกิจการโทรคมนาคมเจรจาในเชิงพาณิชย์ในการเชื่อมต่อโครงข่ายกันเองก่อน หากการเจรจาล้มเหลวผู้ให้

บริการจะสามารถร้องขอให้มีกระบวนการระงับข้อพิพาทหรือบังคับใช้กฎหมายการแข่งขันทางการค้าเพื่อแก้ปัญหาได้ การมีแนวทางการกำกับดูแลไว้ล่วงหน้าหรือการตั้งกติกาการเชื่อมต่อโครงข่ายไว้ล่วงหน้าจะทำให้กฎเกณฑ์ต่างๆ ชัดเจนและช่วยให้สามารถจัดการกับปัญหาการเชื่อมต่อได้ง่ายขึ้น

2. การกำหนดให้ผู้ให้บริการที่มีอำนาจเหนือตลาดหรือผู้ให้บริการที่มีโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็น (essential facilities) มีหน้าที่ต้องให้ผู้อื่นเชื่อมต่อโครงข่าย

ในช่วงแรกของการเปิดเสรีตลาดโทรคมนาคม หน่วยงานกำกับดูแลส่วนใหญ่จะต้องการให้ผู้ให้บริการที่มีอำนาจเหนือตลาดหรือผู้ให้บริการรายใหญ่ซึ่งโดยทั่วไปเป็นผู้ให้บริการโทรศัพท์พื้นฐานรายเดิม ยินยอมให้ผู้ให้บริการรายอื่นเชื่อมต่อโครงข่าย เพื่อส่งเสริมให้เกิดการแข่งขันในตลาด โดยผู้ให้บริการที่มีอำนาจเหนือตลาดจะต้องให้ผู้ให้บริการรายอื่นเชื่อมต่อโครงข่ายอย่างทันเวลา ได้มาตรฐาน ตลอดจนต้องให้เชื่อมต่อโครงข่ายได้ ณ ทุกจุดที่เป็นไปได้ในทางเทคนิค (any technically feasible point)

3. การเชื่อมต่อโครงข่ายควรจะมีความโปร่งใส (transparency)

ตามหลักการปฏิบัติที่ดี กระบวนการการเชื่อมต่อโครงข่ายควรจะมีความโปร่งใส โดยมีการเปิดเผยกฎระเบียบ สัญญาและข้อมูลต่าง ๆ ต่อสาธารณะ เพื่อให้ผู้ให้บริการทั้งหมดสามารถทบทวนและให้ความคิดเห็นในเงื่อนไขต่างๆ ของการเชื่อมต่อโครงข่ายได้ ความโปร่งใสในการเชื่อมต่อโครงข่ายถือว่าเป็นวิธีการสำคัญในการป้องกันพฤติกรรมที่กีดกันการแข่งขันจากผู้ประกอบการที่มีอำนาจเหนือตลาด เพราะการเปิดเผยเอกสารที่สำคัญและกระบวนการเจรจาทั้งหมดจะทำให้หน่วยงานกำกับดูแลสามารถติดตามและป้องกันพฤติกรรมกีดกันการแข่งขันหรือเลือกปฏิบัติได้ นอกจากนี้ ความโปร่งใสยังทำให้หน่วยงานกำกับดูแลและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในตลาดทุกรายสามารถเปรียบเทียบค่าเชื่อมต่อโครงข่ายและเงื่อนไขต่างๆ ได้สะดวกมากขึ้น

4. การเชื่อมต่อโครงข่ายควรจะไม่เลือกปฏิบัติ (non-discrimination)

หน่วยงานกำกับดูแลควรส่งเสริมให้เกิดการเชื่อมต่อระหว่างจุดของโครงข่ายโทรคมนาคมอย่างทั่วถึง (any-to-any connectivity) โดยไม่เลือกปฏิบัติ ซึ่งหมายถึงการที่ผู้ให้บริการทุกรายสามารถเชื่อมต่อกับผู้ให้บริการรายอื่นในตลาดได้โดยไม่มีผู้ให้บริการรายใดมีอำนาจควบคุมโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นและกีดกันผู้ให้บริการรายอื่นในการติดต่อเข้ามาในโครงข่ายตน ในทางปฏิบัติ การห้ามพฤติกรรมที่เลือกปฏิบัติจะบังคับใช้เฉพาะกับผู้ให้บริการที่มีโครงข่ายและมีอำนาจเหนือตลาดเท่านั้น

5. ค่าเชื่อมต่อโครงข่ายควรจะสะท้อนต้นทุน (cost orientation)

ผู้ให้บริการที่มีอำนาจเหนือตลาดจะมีแนวโน้มที่จะกำหนดค่าเชื่อมต่อโครงข่ายให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้และอาจจะสูงกว่าต้นทุนมาก ซึ่งถือเป็นการกีดกันผู้ให้บริการรายใหม่ไม่ให้เข้าสู่ตลาด และยังส่งผลให้ผู้ใช้บริการทั่วไปจะต้องจ่ายค่าบริการที่สูงกว่าต้นทุน นอกจากนี้ ค่าเชื่อมต่อโครงข่ายที่สูงเกินไปจะทำให้ผู้ให้บริการที่มีอำนาจเหนือตลาดมีกำไรมากและอาจนำกำไรดังกล่าวมาอุดหนุนบริการอื่นที่มีแข่งขัน การเชื่อมต่อโครงข่ายโดยคิดค่าเชื่อมต่อโครงข่ายที่สะท้อนต้นทุนช่วยเป็นมาตรฐานการกำหนดราคาที่ถูกต้องแก่ท้องตลาด

6. กระบวนการเชื่อมต่อโครงข่ายควรจะทันต่อเวลา (timeliness)

ผู้ให้บริการรายเดิมมักจะมีความโน้มเอียงที่หน่วงเหนี่ยวและทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการเจรจาเชื่อมต่อโครงข่ายเพื่อกีดกันผู้ให้บริการรายใหม่ไม่ให้เขาสู่ตลาด โดยที่ผู้ให้บริการรายเดิมสามารถหากำไรจากบริการในตลาดได้ต่อไปเรื่อยๆ ซึ่งส่งผลเสียหายต่อตลาดและผู้บริโภค การเชื่อมต่อจึงต้องทำอย่างรวดเร็วและทันต่อเวลา

7. หน่วยงานกำกับดูแลควรจัดให้มีกระบวนการระงับขอพิพาทที่รวดเร็วและยุติธรรม

ปัญหาในการเจรจามักเกิดจากอำนาจต่อรองที่ไม่เท่าเทียมกันระหว่างผู้ให้บริการที่มีอำนาจเหนือตลาดกับผู้ให้บริการรายอื่น หน่วยงานกำกับดูแลควรกำหนดกฎเกณฑ์ต่างๆ ที่จะช่วยส่งเสริมให้คู่เจรจามีแรงจูงใจในการเจรจาให้เกิดผลสำเร็จโดยไม่ต้องอาศัยการตัดสินจากหน่วยงานกำกับดูแลหรือศาลยุติธรรม เช่น การกำหนดกฎเกณฑ์สำหรับกระบวนการเจรจา การกำหนดให้มีอนุญาโตตุลาการ รวมไปถึงการกำหนดโทษปรับหรือเพิกถอนใบอนุญาตประกอบการหากผู้ให้บริการฝ่าฝืนกฎเกณฑ์การเชื่อมต่อโครงข่าย หน่วยงานกำกับดูแลของบางประเทศยังกำหนดให้ผู้ให้บริการประกาศขั้นตอนการระงับข้อพิพาทของตน โดยหน่วยงานกำกับดูแลเป็นผู้อนุมัติว่ากระบวนการดังกล่าวสามารถยอมรับได้หรือไม่ ทั้งนี้ควรจะมีกระบวนการระงับขอพิพาทในกรณีที่ผู้ให้บริการไม่พอใจกับบริการตามข้อตกลงเชื่อมต่อโครงข่ายเดิมด้วย

3.3 การคิดค่าบริการและต้นทุนในแบบจำลองของโครงข่าย

ในตลาดโทรคมนาคมที่มีการผูกขาด แบบจำลองทางธุรกิจประกอบด้วยกลุ่มคนสองฝ่าย ระหว่างผู้ให้บริการกับลูกค้า การคิดราคาและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นไม่ซับซ้อนมากนัก โดยขึ้นกับข้อตกลงระหว่างผู้ให้บริการกับลูกค้า ส่วนในงานวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาถึงการคิดราคา และต้นทุนรูปแบบใหม่ซึ่งเป็นไปได้ในทางปฏิบัติบนโครงข่ายโทรคมนาคมที่มีผู้ให้บริการหลายรายโดยรายได้และต้นทุนนั้นจะคิดตามจำนวน

ครั้งของการขอเข้าใช้บริการ

เมื่อโครงข่ายยอมรับการขอเข้าใช้บริการ โครงข่ายจะสร้างเส้นทาง $R = (r_1, r_2, \ldots, r_k)$ ให้กับการขอเข้าใช้บริการโดยที่ $r_i \in M_0$ แทนโหลดของโครงข่ายหลักและ $r_i \in M_n : n \neq 0$ แทนโหนดของโครงข่ายอื่น ค่าบริการและต้นทุนจะคิดเทียบกับเส้นทางนั้น ๆ การคิดต้นทุนของระบบแบ่งเป็น 2 ประเภท คือต้นทุนของข่ายเชื่อมโยงและต้นทุนของการส่งทราฟฟิกผ่านโหนดดังนี้

1. ต้นทุนของการส่งทราฟฟิกผ่านข่ายเชื่อมโยงระหว่างโหนด r_i และ r_j แทนด้วย $L(r_i, r_j)$ สามารถแบ่งได้เป็น 4 กรณี คือ

   (a) ต้นทุนภายในโครงข่ายหลัก (internal cost) คือต้นทุนต่อหน่วยคงที่รวมถึงค่าติดตั้ง ค่าบำรุงรักษาข่ายเชื่อมโยง เป็นต้น ซึ่งจะคิดเมื่อข่ายเชื่อมโยงที่โหนดต้นทางและโหนดปลายทางอยู่ในโครงข่ายหลัก นั่นคือ $r_i, r_j \in M_0$ ในทางปฏิบัติ ต้นทุน$L(r_i, r_j) \geqq 0$ ดังรูปที่ 3.1

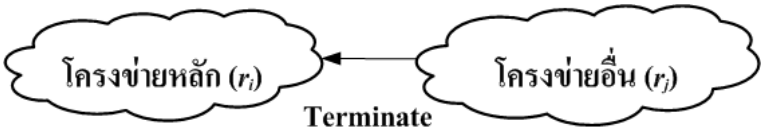
รูปที่ 3.1 ต้นทุนภายในโครงข่ายหลัก

   (b) ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นต้นทาง (originate cost) คือต้นทุนซึ่งเกิดจากการที่ผู้ให้บริการโครงข่ายหลักขอเข้าใช้บริการเชื่อมต่อกับโครงข่ายอื่นซึ่งจะคิดเมื่อข่ายเชื่อมโยงที่โหนดต้นทางอยู่ในโครงข่ายหลักและโหนดปลายทางอยู่ในโครงข่ายของผู้ให้บริการรายอื่น นั่นคือ $r_i \in M_0, r_j \in M_n : n \neq 0$ ในทางปฏิบัติต้นทุน $L(r_i, r_j) \geqq 0$ ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นต้นทาง

   (c) ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นปลายทาง (terminate cost) คือต้นทุนซึ่งเกิดขึ้นเมื่อผู้ให้บริการโครงข่ายอื่นขอเข้ามาเชื่อมต่อกับโครงข่ายหลักโดยโครงข่ายหลักเป็นโหนดปลายทาง จะคิดเมื่อข่ายเชื่อมโยงที่มีโหนดต้นทางอยู่ในโครงข่ายของผู้ให้บริการรายอื่นและโหนดปลาย

ทางอยู่ในโครงข่ายหลัก $r_i \in M_n, r_j \in M_0 : n \neq 0$ ในทางปฏิบัติต้นทุน $L(r_i, r_j) \leqq 0$ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นปลายทาง

(d) กรณีที่ข่ายเชื่อมโยงที่มีโหนดต้นทางและโหนดปลายทางอยู่ในโครงข่ายของผู้ให้บริการรายอื่น นั่นคือ $r_i, r_j \notin M_0$ กรณีนี้จะไม่สนใจพิจารณาต้นทุน เพราะไม่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางภายในโครงข่ายหลักและถือว่าเป็นความรับผิดชอบของผู้ให้บริการรายอื่นด้วย

2. ต้นทุนของการส่งทราฟฟิกผ่านโหนด r_i หรือเรียกอีกแบบหนึ่งว่าค่าขอใช้บริการโครงข่ายอื่นเพื่อเป็นทางผ่าน (transit cost) (ดังรูปที่ 3.5 และ 3.4) จะคิดก็ต่อเมื่อมีการส่งทราฟฟิกข้ามโครงข่ายผ่านโหนด r_i ถ้าไม่มีการส่งทราฟฟิกผ่านโครงข่ายที่โหนดนั้นต้นทุนของโหนดจะเป็นศูนย์ ต้นทุนชนิดนี้แตกต่างจากแบบคิดที่จากข่ายเชื่อมโยง กล่าวคือ ต้องนำข้อมูลของโหนดต้นทางและโหนดปลายทางของเส้นทางนั้นมาพิจารณาประกอบด้วย ให้ $T(r_i)$ เมื่อ $i = 2, \ldots, k$ แทนต้นทุนของการส่งทราฟฟิกผ่านโหนด r_i

$$T(r_i) = \begin{cases} \alpha_n, & r_{i-1} \in M_0, r_i \in M_{n\neq 0}, r_k \in M_{m\neq n} \\ -\beta_n, & r_{i-1} \in M_n, r_i \in M_0, r_k \in M_{m\neq 0} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{3.1}$$

รูปที่ 3.4 ต้นทุนของการใช้โครงข่ายหลักเป็นทางผ่าน

ในสมการที่ (3.1) $\alpha_n \geq 0$ คือค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายให้กับผู้ให้บริการรายที่ n เมื่อโครงข่ายหลักส่ง ทราฟฟิกผ่านโครงข่ายของผู้ให้บริการรายที่ n เพื่อไปยังโครงข่ายหลักเองหรือไปยังโครงข่ายอื่น m ซึ่งไม่ใช่ผู้ให้บริการรายที่ n สำหรับค่า $\beta_n \geq 0$ คือค่าใช้จ่ายที่โครงข่ายหลักเรียกเก็บจากผู้ให้บริการรายที่ n ซึ่งต้องการส่งทราฟฟิกผ่านโครงข่ายหลักไปยังผู้ให้บริการรายอื่นที่ m ซึ่งไม่ใช่โครงข่ายหลัก

รูปที่ 3.5 ต้นทุนของการใช้โครงข่ายอื่นเป็นทางผ่าน

ดังนั้นต้นทุนรวม $C(R)$ ของการใช้เส้นทาง $R = (r_1, \ldots, r_k)$ เป็นต้นทุนที่รวมการคิดต้นทุนทั้งในกรณีที่คิดต้นทุนจากข่ายเชื่อมโยงและกรณีที่คิดต้นทุนผ่านโหนด ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$C(R) = \sum_{i=2}^{k} (L(r_{i-1}, r_i) + T(r_i)) \tag{3.2}$$

การคิดค่าบริการบนเส้นทางตามสมการ (3.2) จะถูกใช้เป็นพารามิเตอร์สำคัญในการพิจารณาจัดเส้นทางรูปแบบต่าง ๆ ดังจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

กลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง

4.1 พื้นฐานของการจัดเส้นทาง

การจัดเส้นทาง คือกระบวนการส่งทราฟฟิกผ่านโครงข่ายจากต้นทางไปยังปลายทางประกอบด้วย 2 กระบวนการใหญ่ ๆ คือ อันดับแรกเลือกเส้นทางซึ่งอยู่ในสภาวะที่ดีที่สุด และอันดับสองคือส่งทราฟฟิกไปบนเส้นทางที่เลือกไว้ข้างต้น ในกระบวนการจัดเส้นทางให้อยู่ในสภาวะที่ดีที่สุดนั้นนิยมใช้วิธีเลือกตามมาตรฐานทั่วไปเช่นพิจารณาจากปริมาณแบนด์วิดท์ หรือปริมาณความจุของระบบที่รองรับได้เป็นต้น กระบวนการช่วยในการตัดสินใจหรือขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางจะสร้างตารางการจัดเส้นทาง (routing table) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลของเส้นทางที่สามารถเลือกได้และเส้นทางที่ดีที่สุดตามเทคนิคของขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางนั้น ๆ เทคนิคเหล่านี้จะแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

4.1.1 ประเภทของวิธีจัดเส้นทาง

วิธีจัดเส้นทางสามารถแบ่งตามลักษณะที่แตกต่างกันได้ดังนี้

1. แบบคงที่ (static) และแบบพลวัต (dynamic) การจัดเส้นทางแบบคงที่จะกำหนดเส้นทางไว้ล่วงหน้าแล้วและจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนกว่าผู้ดูแลระบบจะเข้ามาเปลี่ยนแปลงเองเท่านั้น ส่วนการจัดเส้นทางแบบพลวัตนั้นการจัดเส้นทางสามารถทำได้โดยใช้โปรแกรมซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนการจัดเส้นทางได้ตามสภาวะของโครงข่ายในขณะนั้นหรือตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้

2. แบบเส้นทางเดียว (single-path) และแบบหลายเส้นทาง (multi-path) วิธีการจัดเส้นทางแบบหลายเส้นทางจะยอมให้ทราฟฟิกที่ไปยังปลายทางเดียวกัน มัลติเพลกซ์กันและส่งไปในสายส่งหลาย ๆ สายได้ซึ่งเป็นข้อแตกต่างกับแบบเส้นทางเดียว นอกจากนั้นการจัดเส้นทางแบบหลายเส้นทางยังให้ค่า throughput และค่าความน่าเชื่อถือสูงกว่าด้วยในกรณีทั่วไปอาจเรียกได้ว่าเป็นลักษณะของการแบ่งโหลด (load sharing)

3. แบบราบ (flat) และแบบลำดับชั้น (hierarchical) วิธีการจัดเส้นทางแบบราบคือแต่ละโหนดที่เลือกเส้นทางได้จะมองโหนดอื่นในฐานะเท่าเทียมกันส่วนแบบลำดับชั้นโครงข่ายจะแบ่งโหนดแต่ละโหนดออกเป็นระดับและให้ความสำคัญในการจัดเส้นทางไม่เท่ากัน

4. แบบให้ความสำคัญกับโหนดต้นทาง (host-intelligent) และแบบให้ความสำคัญกับโหนดระหว่างทาง (router-intelligent) วิธีการจัดเส้นทางแบบให้ความสำคัญกับโหนดต้นทางคือต้นทางและ

ปลายทางเป็นผู้มีอำนาจในการหาเส้นทางส่วนโหนดที่เป็นทางผ่านของเส้นทางนั้น ๆ มีหน้าที่เพียงรับและส่งต่อข้อมูลเท่านั้น ส่วนวิธีให้ความสำคัญกับโหนดระหว่างทางนั้นโหนดที่เป็นทางผ่านสามารถตัดสินใจเลือกเส้นทางเองได้

5. การจัดเส้นทางภายในโดเมนเดียวกัน (intradomain) และการจัดเส้นทางระหว่างโดเมน (inter-domain) เป็นวิธีการจัดเส้นทางภายในโดเมนและวิธีการจัดเส้นทางต่างโดเมนกันตามลำดับซึ่งทั้งสองวิธีนี้มีธรรมชาติของการจัดเส้นทางแตกต่างกันโดยที่วิธีการจัดเส้นทางที่ดีที่สุดภายในโดเมนเดียวกันไม่ได้รับประกันว่าจะดีที่สุดสำหรับการจัดเส้นทางระหว่างโดเมน

6. แบบแสดงสถานะของข่ายเชื่อมโยง (link-state) และแบบเวกเตอร์แสดงทิศทาง (distance vector) แบบแสดงสถานะของข่ายเชื่อมโยงหรือที่รู้จักกันในชื่อของวิธีการจัดเส้นทางที่สั้นที่สุดเป็นอันดับแรก (shortest path first algorithm) จะทำงานโดยการกระจายข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทางไปทั่วทั้งระบบโครงข่าย นั่นก็คือสำหรับแต่ละโหนดจะส่งข้อมูลชุดเล็ก ๆ เกี่ยวกับตารางเส้นทางที่อธิบายถึงข้อมูลการเชื่อมต่อของตัวมันเองให้กับโหนดอื่น ๆ ทั้งระบบ สำหรับวิธีการแบบนี้แต่ละโหนดจะสามารถสร้างภาพเส้นทางของทั้งระบบได้ส่วนวิธีแบบเวคเตอร์แสดงทิศทางหรือที่รู้จักกันในชื่อของ Bellman-Ford จะทำงานในอีกรูปแบบ คือ แต่ละโหนดจะทำการส่งข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับตารางเส้นทางของตัวมันเองให้กับโหนดที่อยู่ติดกันเท่านั้นซึ่งแตกต่างกับวิธีการแบบแสดงสถานะของข่ายเชื่อมโยงที่จะทำการส่งข้อมูลตารางเส้นทางกระจายให้กับโหนดอื่น ๆ ทั่วทั้งโครงข่าย วิธีการส่งแบบเวคเตอร์แสดงทิศทางนี้จะทำให้แต่ละโหนดมีข้อมูลการเชื่อมต่อกับโหนดที่อยู่ถัดไปเท่านั้น ไม่สามารถวาดภาพการเชื่อมต่อทั้งระบบได้ หากเปรียบเทียบในแง่ของการทำงานแบบแสดงสถานะของข่ายเชื่อมโยงจะให้ผลการทำงานที่มีประสิทธิภาพดีกว่า คือมักจะได้ เส้นทางที่ดีกว่า รวมทั้งสามารถหลีกเลี่ยงการเกิดลูปในเส้นทางได้ด้วย ซึ่งการทำงานแบบ แบบเวกเตอร์แสดงทิศทางจะทำงานได้เร็วกว่า ใช้การประมวลผลน้อยกว่าแต่เส้นทางที่ได้อาจจะไม่เป็นเส้นทางที่ดีที่สุด และ อาจจะเกิดลูปในเส้นทางได้ นอกจากนี้แบบแสดงสถานะของข่ายเชื่อมโยงเป็นวิธีการที่ใช้ต้นทุนในการรักษาดูแลค่อนข้างสูง กว่าแบบเวกเตอร์แสดงทิศทาง

การจัดเส้นทางที่นำมาใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้นำหลักการของลักษณะการจัดเส้นทางทั้งแบบคงที่และแบบพลวัตซึ่งมีเส้นทางสำรองได้มากกว่า 1 เส้นทาง ประกอบกับวิธีการจัดเส้นทางที่สั้นที่สุดตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยจะกำหนดเส้นทางที่เป็นไปได้ไว้ในตารางการจัดเส้นทาง การจัดเส้นทางนี้จะพิจารณาบนโครงข่ายโทรคมนาคมที่มีผู้ให้บริการหลายราย

4.1.2 ตารางในการจัดเส้นทาง

ตารางในการจัดเส้นทางประกอบด้วยข้อมูลที่จะใช้โดยโปรแกรมบนโหนดที่จะเลือกเส้นทางที่ดีที่สุด การสร้างตารางจะใช้ตัวชี้วัดที่แตกต่างกัน เช่นความยาวของเส้นทาง (path length) ความน่าเชื่อถือ (reliability) การประวิงเวลา (delay) แบนด์วิดท์ (bandwidth) โหลด (load) ต้นทุนในการให้บริการ (communication cost) เป็นต้น

4.2 กลยุทธ์ของการจัดเส้นทางที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์

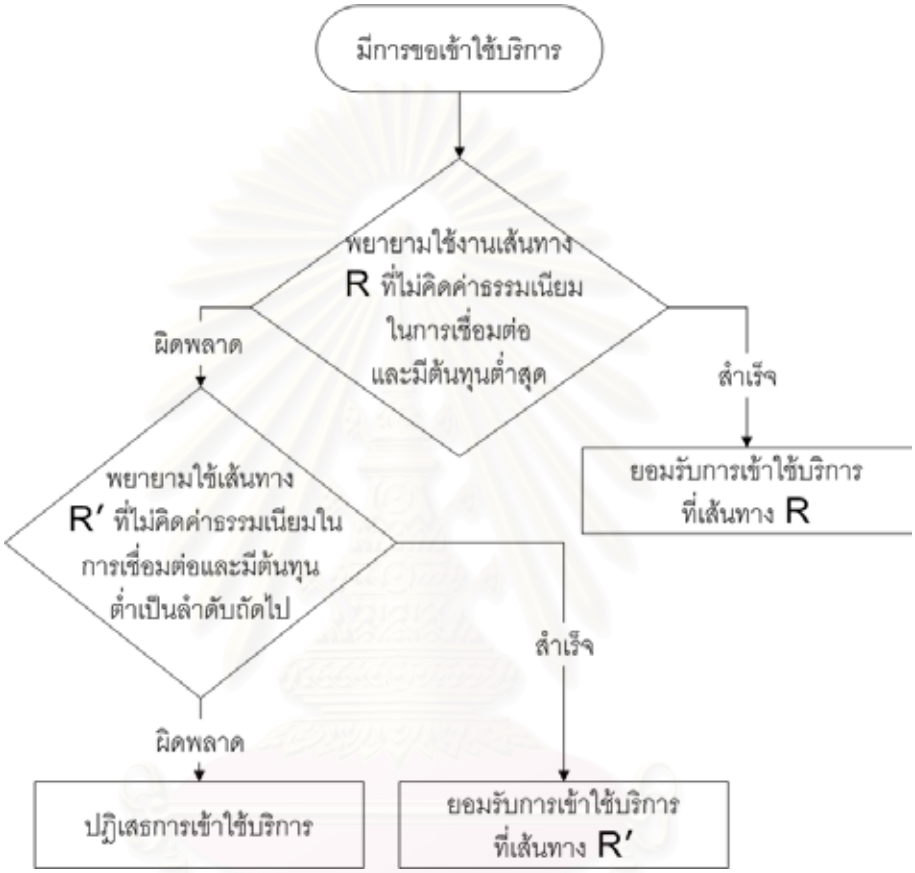
การจัดเส้นทางถือว่าเป็นประเด็นหนึ่งซึ่งสำคัญในการจัดสรรทรัพยากรโครงข่ายและช่วยในการจัดการโครงข่ายให้ได้ประโยชน์สูงสุด งานวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ศึกษาภาพรวมของกลยุทธ์ในการจัดเส้นทางในรูปแบบต่าง ๆ โดยประยุกต์วิธีการจัดเส้นทางด้วยวิธีการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดร่วมกับการประเมินต้นทุนของเส้นทาง R ตามสมการที่ (3.2) ซึ่งได้รวบรวมเอาต้นทุนของเส้นทางทั้งในส่วนของต้นทุนที่เกิดขึ้นบนโครงข่ายหลักและต้นทุนในการเชื่อมต่อกับโครงข่ายอื่นมาประกอบการพิจารณาจัดเส้นทางด้วย การประเมินต้นทุนในลักษณะนี้มุ่งหวังให้ผู้ให้บริการโครงข่ายหลักสามารถเลือกเส้นทางและจัดสรรทรัพยากรโครงข่ายอย่างคุ้มค่าและได้รับกำไรจากการจัดเส้นทางนั้นสูงสุด แบ่งเป็น 4 แบบคือ

1. การจัดเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยไม่พิจารณาค่าเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย (Shortest path with no interconnection : nISPR)
2. การจัดเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณาจากการใช้ทรัพยากรโครงข่าย (Resource-based ISPR)
3. การจัดเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณาจากต้นทุนของแต่ละเส้นทาง (Cost-based ISPR)
4. การประยุกต์การจัดเส้นทางแบบพลวัตด้วยวิธีใหม่ (novel generalization dynamic alternative routing with interconnection charge :IDAR)

4.2.1 การจัดเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยไม่พิจารณาค่าเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย

การจัดเส้นทางแบบ nISPR ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้นำมาเป็นพื้นฐานในการจัดเส้นทางเพื่อเปรียบเทียบ การจัดเส้นทางจะพิจารณาบนพื้นฐานความเป็นจริงในการจัดเส้นทางบนโครงข่ายโทรคมนาคมซึ่งยังไม่ได้มีการพิจารณาค่าเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย หรืออาจกล่าวได้ว่าค่าใช้จ่ายในการส่งทราฟฟิกไปยังโครงข่ายอื่นทั้งในแบบโครงข่ายหลักเป็นต้นทางและโครงข่ายหลักเป็นปลายทางจะไม่เสียค่าใช้จ่าย ส่วนการใช้โครงข่ายเป็นทางผ่านนั้น การจัดเส้นทางในรูปแบบนี้จะไม่ยินยอมให้การขอเข้าใช้บริการซึ่งมีเส้นทาง R ซึ่งมีโหนดของโครงข่ายอื่นเป็นทางผ่านเข้ามาใช้บริการโครงข่าย สำหรับการจัด

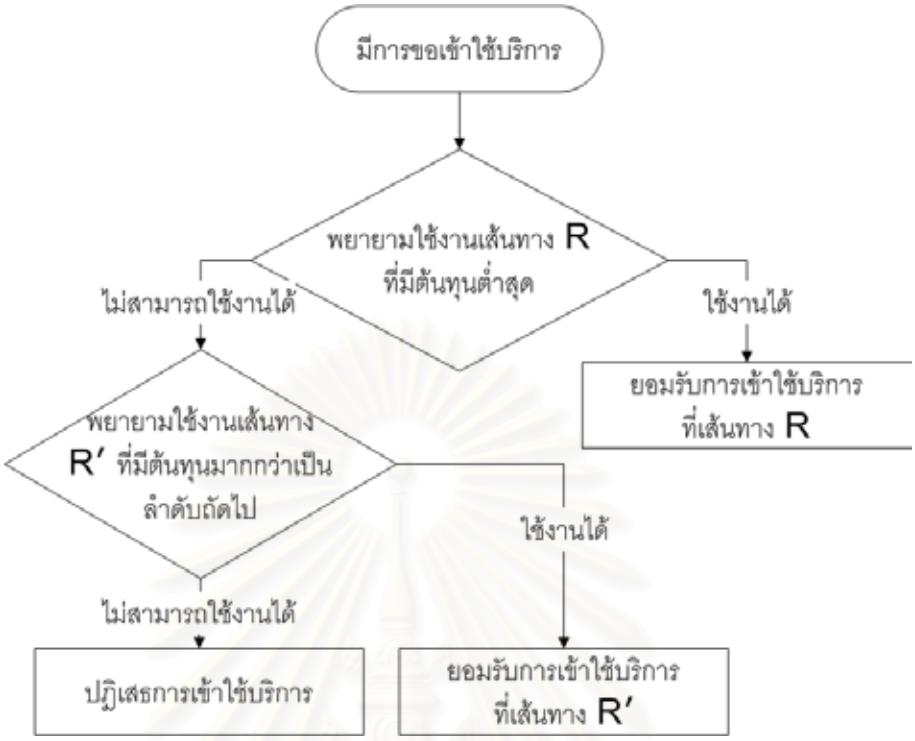
เส้นทางของ nISPR นั้นจะสร้างตารางในการจัดเส้นทางโดยเส้นทางR ของแต่ละคู่โหนดใด ๆ จะเรียงจากต้นทุนของเส้นทางน้อยไปยังต้นทุนของเส้นทางสูงสุด ต้นทุนของเส้นทางนี้สามารถหาได้จากสมการที่ (3.2) โดยต้นทุนของการเชื่อมต่อโครงข่ายเป็น 0 ทั้งหมด สามารถเขียนเป็นลำดับการทำงานได้ดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 รูปแสดงการทำงานของการจัดเส้นทางแบบ nISPR

4.2.2 การจัดเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณาจากต้นทุนของแต่ละเส้นทาง

วิทยานิพนธ์นี้เลือกพิจารณาการจัดเส้นทางแบบ cost-based ISPR โดยให้การจัดเส้นทางนี้เป็นตัวแทนของการจัดเส้นทางซึ่งมีวัตถุประสงค์ให้โครงข่ายมีต้นทุนในการจัดเส้นทางของการขอเข้าใช้บริการแต่ละครั้งต่ำที่สุด การจัดเส้นทางนั้นจะสร้างตารางในการจัดเส้นทางโดยเส้นทาง R ของแต่ละคู่โหนดใด ๆ จะเรียงจากต้นทุนของเส้นทางน้อยไปยังต้นทุนของเส้นทางสูงสุด ต้นทุนของเส้นทางนี้สามารถหาได้จากสมการที่ (3.2) วิธีการนี้แตกต่างจากการจัดเส้นทางแบบ nISPR คือเมื่อมีการขอเข้าใช้บริการและโครงข่ายหลักยอมรับการขอเข้าใช้นั้น ต้นทุนของเส้นทางคิดทั้งต้นทุนที่เกิดบนโครงข่ายหลักและต้นทุนอันเกิดจากการเชื่อมต่อโครงข่ายด้วย สามารถเขียนเป็นลำดับการทำงานได้ดังรูป 4.2



รูปที่ 4.2 รูปแสดงการทำงานของการจัดเส้นทางแบบ Cost-based ISPR

4.2.3 การจัดเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณาจากการใช้ทรัพยากรโครงข่าย

วิทยานิพนธ์นี้เลือกพิจารณาการจัดเส้นทางแบบ resource-based ISPR โดยให้การจัดเส้นทางนี้เป็นตัวแทนของการจัดเส้นทางซึ่งมีวัตถุประสงค์ให้โครงข่ายเลือกเส้นทางโดยพิจารณาจากการใช้ทรัพยากรโครงข่ายซึ่งในที่นี้หมายถึงใช้จำนวนข่ายเชื่อมโยงต่ำที่สุดเพื่อสร้างเส้นทาง R สำหรับต้นทุนของเส้นทางเพื่อนำมาเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางธุรกิจนั้นคิดทั้งต้นทุนที่เกิดบนโครงข่ายหลักและต้นทุนอันเกิดจากการเชื่อมต่อโครงข่ายด้วย สามารถเขียนเป็นลำดับการทำงานได้ดังรูป 4.3

4.2.4 การประยุกต์การจัดเส้นทางแบบพลวัตด้วยวิธีใหม่

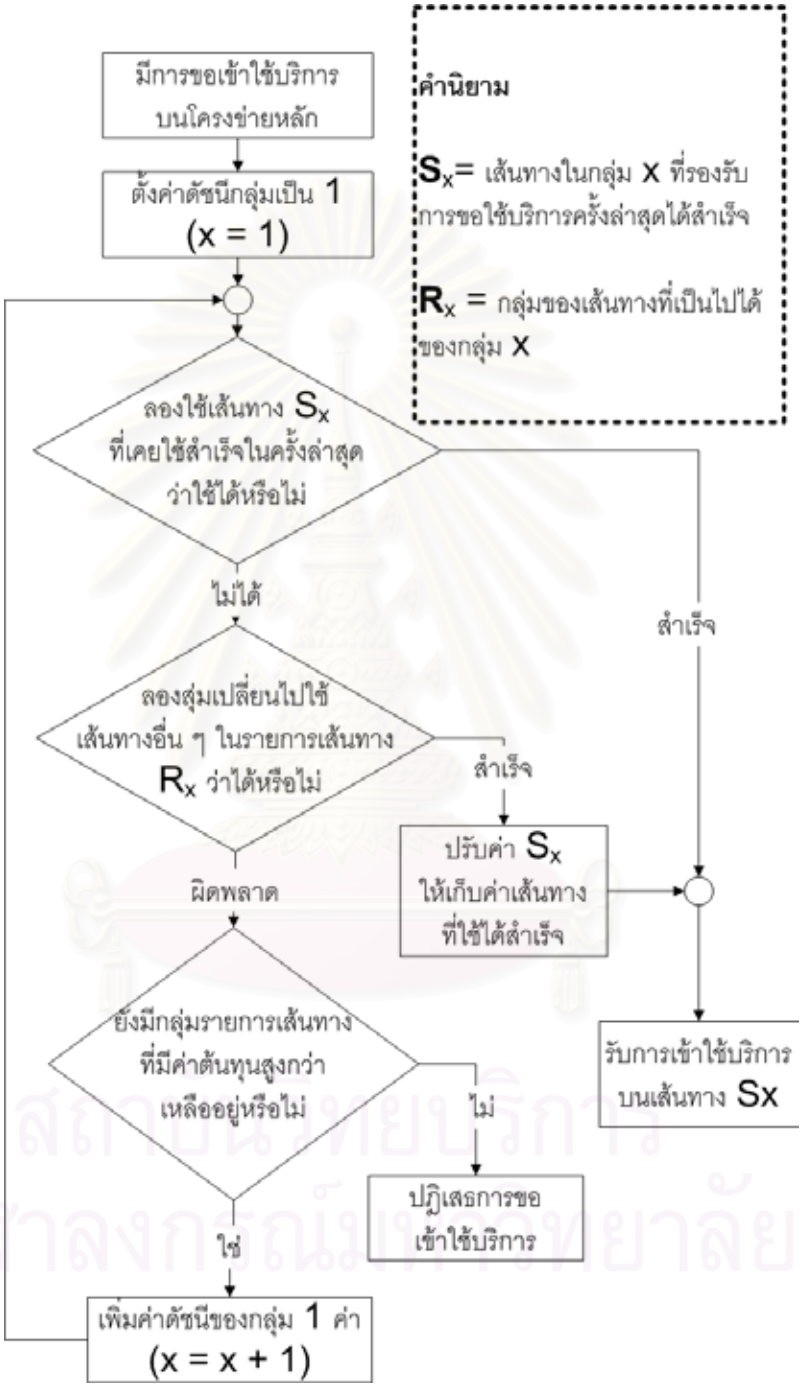
การจัดเส้นทางแบบพลวัตเป็นเทคนิคการจัดเส้นทางที่มีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนเส้นทาง โดยเริ่มจากการเรียนรู้สถานะของโครงข่าย แล้วปรับเปลี่ยนเส้นทางให้เหมาะสมตามลำดับ งานวิจัยเช่น [12] ได้นำเสนอแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการจัดเส้นทางแบบพลวัตรวมทั้งได้นำ DAR ไปประยุกต์ใช้งานอย่างมากมาย DAR เป็นวิธีหนึ่งในการจัดเส้นทางที่ใช้ในระบบโครงข่ายโทรศัพท์ที่มีการเชื่อมต่อสมบูรณ์และมีเพียงบริการเดียว การทำงานของ DAR จะพยายามใช้งานเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งที่อยู่ระหว่างโหนดต้นทางไปปลายทางให้มากที่สุดก่อนที่จะมีการปฏิเสธการขอใช้งานเส้นทางนั้น เมื่อมีการปฏิเสธการเข้าใช้งานในเส้นทางนั้นแล้ว ก็จะทำการสุ่มเอาเส้นทางอื่น ๆ ที่อยู่ในตารางการจัดเส้นทาง

รูปที่ 4.3 รูปแสดงการทำงานของการจัดเส้นทางแบบ Resource-based ISPR

เพื่อนำมาใช้เป็นเส้นทางผ่านของข้อมูลต่อไปจนกระทั่งเส้นทางนั้นเต็มและทำการปฏิเสธการเข้าใช้งาน จากนั้นก็จะสุ่มเอาเส้นทางอื่นที่อยู่ในรายการมาใช้งานจนกว่าจะหมด

IDAR เป็นวิธีการจัดเส้นทางที่มีการปรับตัวและกระจายการใช้งานเป็นอย่างดี โดยแต่ละคู่โหนดที่ต้องการการเชื่อมต่อจะมีการเรียนรู้สถานะของโครงข่ายและทำการปรับตัวให้เข้ากับสถานะของระบบโครงข่ายในขณะนั้นอยู่เสมอ เนื่องจาก ความง่าย ความสามารถในการวิเคราะห์สถานะโครงข่าย และประสิทธิภาพที่ดีของการจัดเส้นทางรูปแบบนี้ DAR จึงถูกนำไปใช้ในการจัดเส้นทางบนโครงข่ายแบบแพ็กเก็ตสวิทช์ (packet-switched) ที่มีบริการหลายประเภท [13] และสำหรับสถานการณ์ที่ต้องการการจัดเส้นทางใหม่ (rerouting) [14] ด้วย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ขยายขอบเขตการทำงานของ DAR เป็น IDAR ซึ่งขยายการทำงานของ DAR สองแนวทางด้วยกัน อย่างแรกคือระบบโครงข่ายไม่จำเป็นจะต้องเป็นโครงข่ายที่มีการเชื่อมต่อสมบูรณ์(full mesh) และอย่างที่สองคือประยุกต์การคิดค่าบริการการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายเพื่อนำมาใช้ในการจัดเส้นทางด้วย รูปที่ 4.4 แสดงถึงแผนผังของวิธีการจัดเส้นทางแบบ IDAR กล่าวคือสำหรับคู่โหนดใด ๆ เส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะถูกจัดแบ่งเป็นกลุ่มย่อย แต่ละกลุ่มจะมีต้นทุนของเส้นทางเหมือนกัน ในรูปที่ 4.4 และ x แสดงหมายเลขของกลุ่ม โดยที่ $x = 1, 2, 3,$ เรียงลำดับตามต้นทุนจากน้อยไปมากตามค่าดัชนี



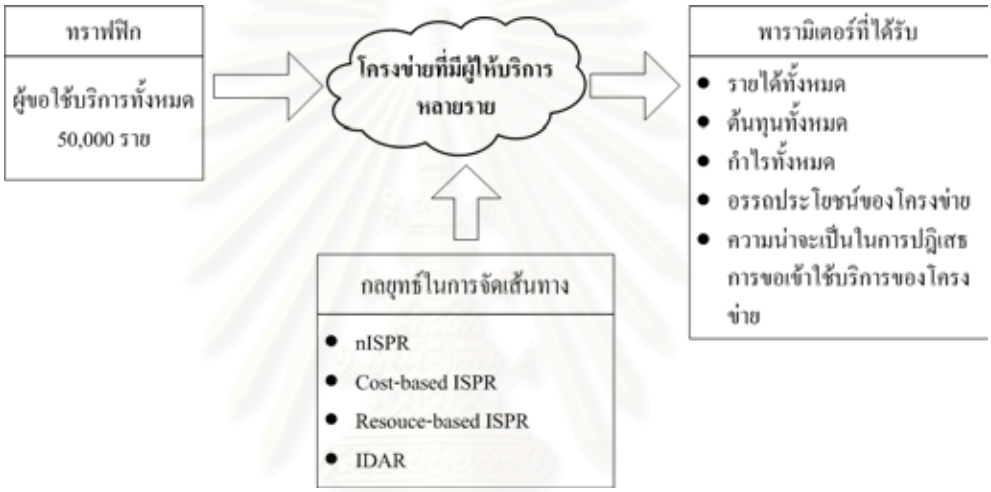
รูปที่ 4.4 รูปแสดงการทำงานของการจัดเส้นทางแบบ IDAR

บทที่ 5

ตัวอย่างการจำลองโครงข่ายและผลการจำลองโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย

5.1 พื้นฐานการจำลองการทำงานของโครงข่าย

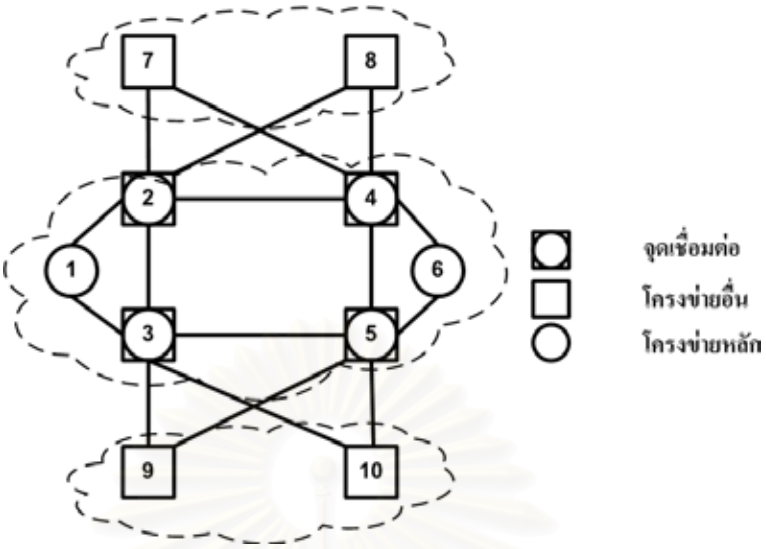
การจำลองการทำงานของโครงข่ายที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถเขียนเป็นภาพรวมแสดงการจำลองได้ดังรูป 5.1



รูปที่ 5.1 พื้นฐานการจำลองการทำงานของโครงข่าย

ตัวอย่างการจำลองโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย

ตัวอย่างนี้จะแสดงผลการจำลองโครงข่ายในรูปที่ 5.2 โดยพิจารณาสถานการณ์ตามกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง ในหัวข้อ 4.2 รูปแบบของโครงข่ายและความจุของข่ายเชื่อมโยงมีโหนดทั้งหมด 10 โหนดผู้ให้บริการจำนวน 3 ราย การขอเข้าใช้บริการมีโหลดเท่ากันในทุก ๆ คู่โหนด โดยมีการกระจายเป็นแบบปัวส์ซงและการขอเข้าใช้บริการเป็นอิสระต่อกัน ความจุของข่ายเชื่อมโยงแต่ละอันเท่ากับ 30 ช่องสัญญาณ จำนวนเหตุการณ์ที่มีผู้ขอเข้ามาใช้บริการโครงข่ายทั้งขอเข้าใช้บริการสำเร็จและโดนโครงข่ายปฏิเสธรวมทั้งหมดคือ 50,000 เหตุการณ์ต่อโหลดค่าหนึ่ง ๆ การจำลองโครงข่ายนี้ใช้เทคนิคการจำลองระบบแบบเหตุการณ์เต็มหน่วย(discrete event simulation) แล้ววัดผลการทดลองด้วยช่วงความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้เทคนิคของค่าเฉลี่ยช่วง (confidence interval estimation by batch mean) [10] โดยพารามิเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองการจัดเส้นทางแสดงได้ดังตาราง 5.1



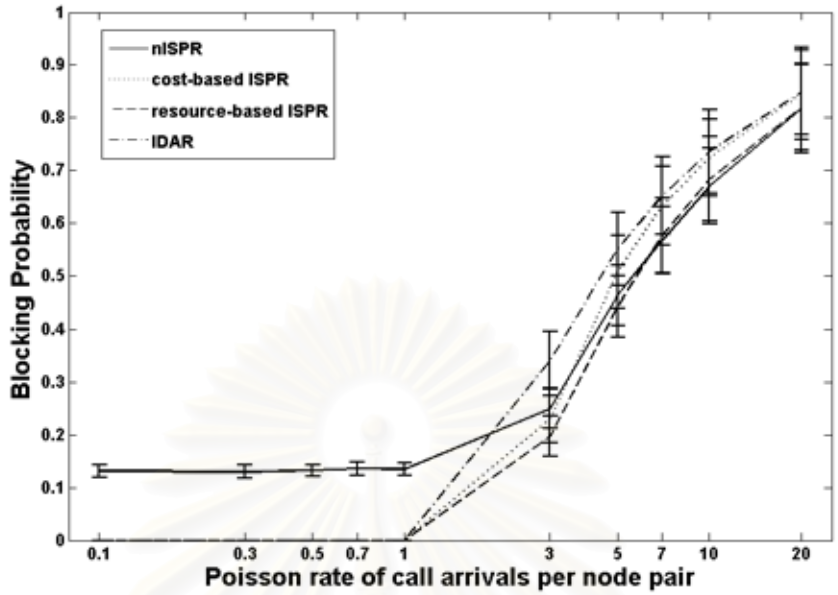
รูปที่ 5.2 โครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองการจัดเส้นทางของรูปที่ 5.2

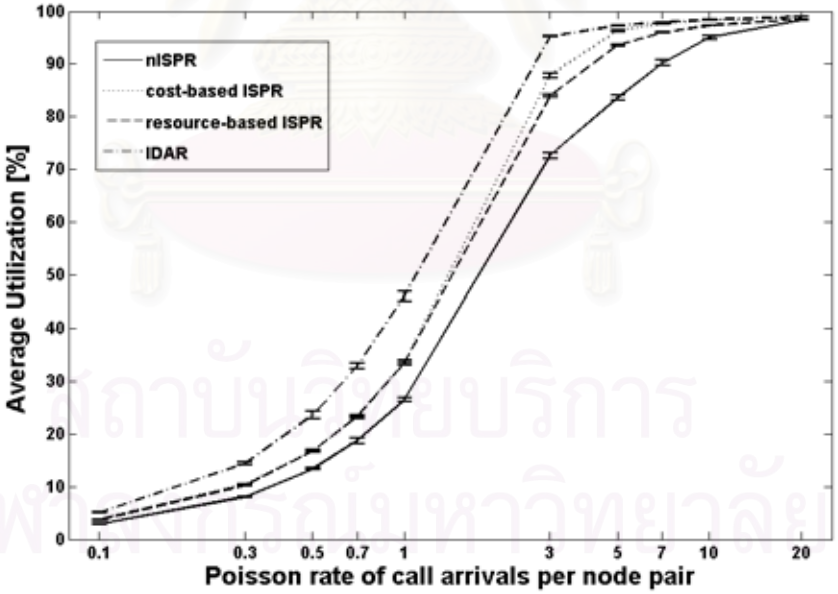
โครงข่าย	M_0	M_1	M_2
หมายเลขโหนด	1, 2, 3, 4, 5, 6	7, 8	9, 10
ต้นทุนภายในโครงข่ายหลัก	1	-	-
ต้นทุนเมื่อโครงข่ายเป็นต้นทาง	1	-	-
ต้นทุนเมื่อโครงข่ายเป็นปลายทาง	1	1	1
ต้นทุนเมื่อโครงข่ายเป็นทางผ่าน	3	5	7
รายได้	10	-	-

5.2 ผลการจำลองโครงข่ายตัวอย่าง

จากผลการจำลองโครงข่ายพบว่าในช่วงที่โหลดน้อยไปจนกระทั่งโหลดปานกลาง (ความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการอยู่ในช่วง 0-0.4) สามารถปล่อยให้กลไกการตลาดของโครงข่ายดำเนินต่อไปเองได้ ในช่วงโหลดนี้การจัดเส้นทางนับได้ว่าเป็นกระบวนการสำคัญที่ทำให้สมรรถนะของโครงข่ายเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อคิดค่าบริการการเชื่อมต่อโครงข่าย เห็นได้จากรูป 5.3-5.10 ว่ากลยุทธ์การจัดเส้นทางที่เหมาะสมซึ่งทำให้โครงข่ายได้รับกำไรรวมทั้งหมดต่อการขอเข้าใช้บริการ(ทั้งขอเข้าใช้บริการสำเร็จและขอเข้าใช้บริการแล้วถูกปฏิเสธเป็นจำนวน 50,000 เหตุการณ์) คือ การจัดเส้นทางแบบ IDAR เหตุผลเนื่องมาจาก IDAR มีความสามารถในการปรับตัว กล่าวคือเส้นทางในกลุ่มเดียวกันที่มีต้นทุนเท่ากันจะมีโอกาสถูกเลือกแปรผกผันกับค่าของความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการ

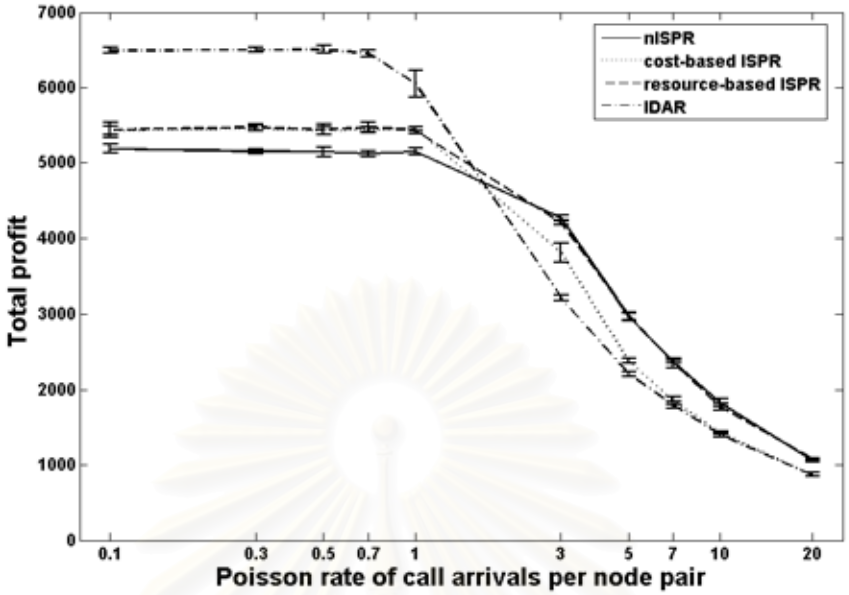


รูปที่ 5.3 ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการของแต่ละคู่โหนดสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง

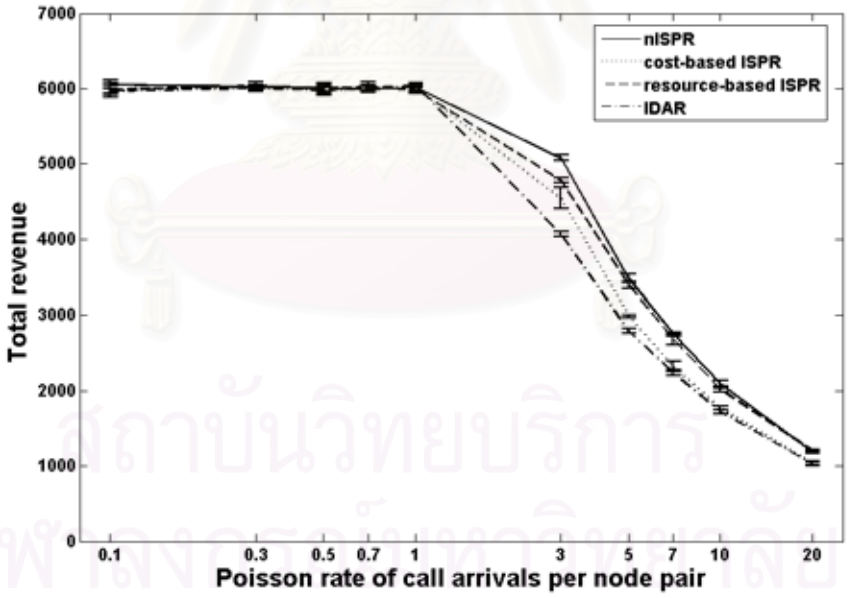


รูปที่ 5.4 ค่าอรรถประโยชน์โดยรวมของระบบสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง

ในเส้นทางนั้น ๆ นั่นคือเส้นทางที่มีโหลดน้อย ๆ จะมีโอกาสถูกเลือกมากกว่าเส้นทางที่มีโหลดสูง เมื่อโหลดของแต่ละเส้นทางเปลี่ยนแปลงไป IDAR ยังสามารถใช้กลไกในการกระจายโหลดปรับเปลี่ยนตาม

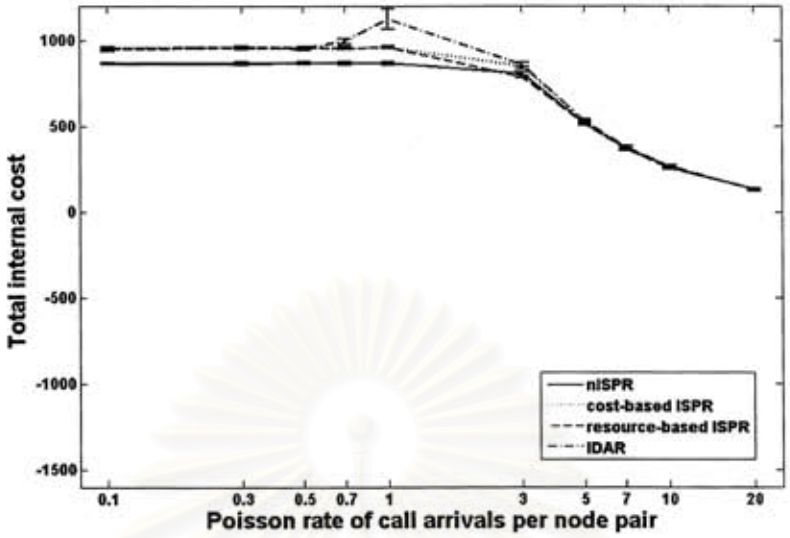


รูปที่ 5.5 กำไรทั้งหมดสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง

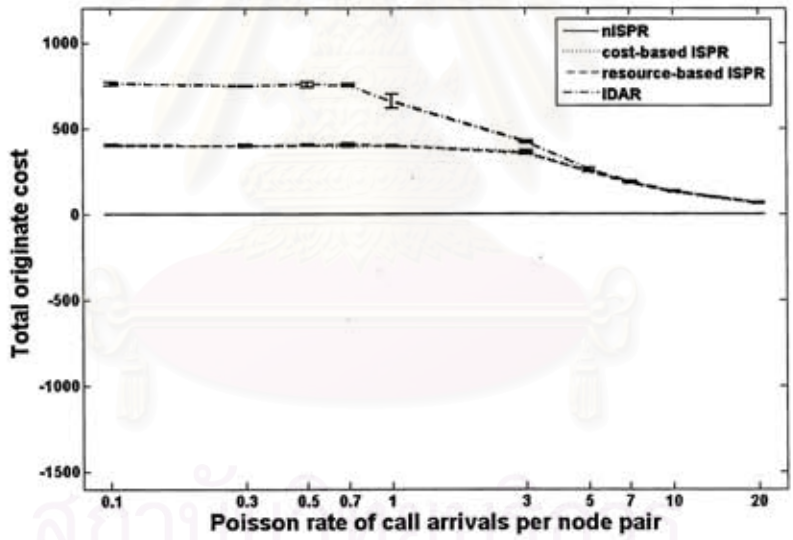


รูปที่ 5.6 รายได้ทั้งหมดสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง

สภาวะโหลดได้ด้วย รูปแบบการจัดเส้นทางของ IDAR นั้นแตกต่างไปจากวิธีการจัดเส้นทางแบบอื่นซึ่งการเลือกเส้นทางจะเป็นไปตามลำดับของเส้นทางในตารางเท่านั้นอย่างไรก็ตามเมื่อโหลดเพิ่มสูงมากขึ้น (ความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการมากกว่า 0.4) ผลของการจัดเส้นทางแบบ IDAR จะ

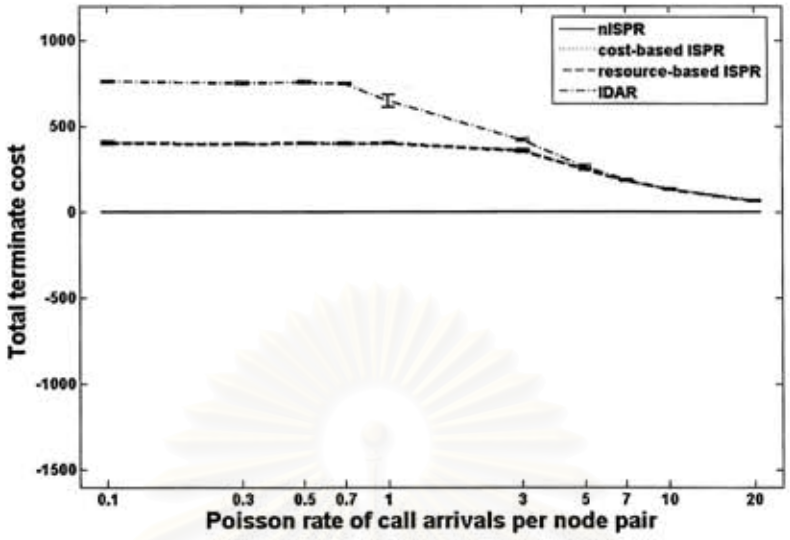


รูปที่ 5.7 ต้นทุนภายในโครงข่ายทั้งหมดสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง

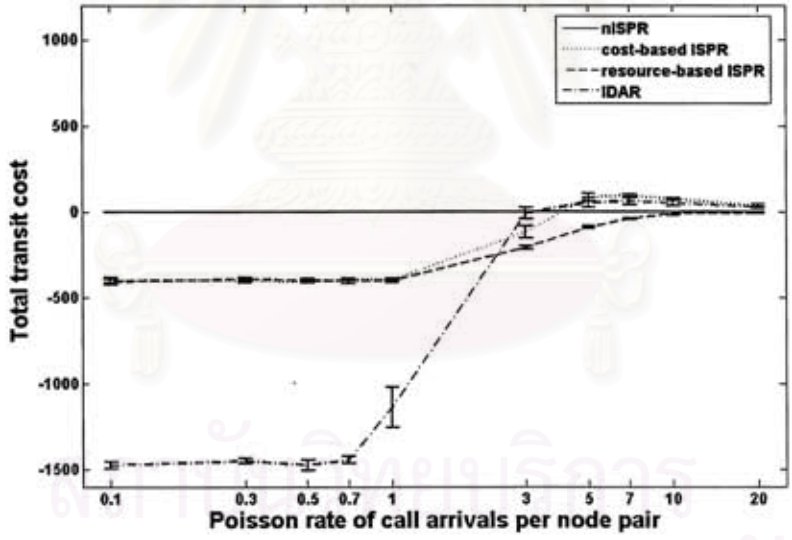


รูปที่ 5.8 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นต้นทางทั้งหมดสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง

มีลักษณะคล้ายกับผลจากการจัดเส้นทางแบบ cost-based ISPR ซึ่งในกรณีที่โหลดสูงมากนั้นจะเห็นได้ชัดเจนจากรูปที่ 5.5 ว่าการจัดเส้นทางแบบ nISPR จะให้ผลของการจัดเส้นทางในภาพรวมดีที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่า IDAR จะให้ผลกำไรแก่ผู้ให้บริการสูงสุดภายใต้เงื่อนไขที่ว่าโหลดที่เข้ามาภายในโครงข่าย



รูปที่ 5.9 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นปลายทางทั้งหมดสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง



รูปที่ 5.10 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายเป็นทางผ่านทั้งหมดสำหรับโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง

รวมทั้งในส่วนที่เกิดจากลูกค้าของโครงข่ายหลักเองและโหลดอันเกิดจากการขอเข้าใช้บริการโครงข่ายอื่นต้องไม่สูงมากนัก

สำหรับวิธีการจัดเส้นทางที่ไม่คิดค่าบริการการเชื่อมต่อโครงข่ายนั้นให้ค่าอรรถประโยชน์น้อยที่สุดในทุกๆ ช่วงโหลดเหตุเพราะต้องปฏิเสธการให้บริการกับการขอเข้าใช้บริการจากโครงข่ายอื่นที่มาขอใช้โครงข่ายหลักเป็นทางผ่านและ ปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการจากโครงข่ายของเราที่ต้องการผ่านโครงข่ายอื่นดังแสดงในรูปที่ 5.3 ในช่วงที่โครงข่ายมีโหลดน้อยการปฏิเสธนี้เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้โครงข่ายหลักสูญเสียรายได้จากการผ่านทาง หากว่าโครงข่ายหลักมีการขอเข้าใช้บริการในลักษณะนี้ค่อนข้างมากอาจจะทำให้สูญเสียรายได้เป็นปริมาณมหาศาล แต่เมื่อโหลดเพิ่มขึ้นเห็นได้ว่าการจัดเส้นทางแบบ nISPR หรือการจัดเส้นทางที่ใช้กันในปัจจุบันให้ผลประโยชน์กับผู้ให้บริการดีที่สุด อันเนื่องมาจากรายได้ที่ได้รับจากการขอเข้าใช้บริการที่ได้จากลูกค้าของตนเองสูงกว่าค่าใช้บริการการเชื่อมต่อโครงข่ายซึ่งรับมาจากโครงข่ายอื่น ในกรณีนี้หากโครงข่ายหลักเป็นโครงข่ายขนาดใหญ่มีการเชื่อมต่อที่ครอบคลุมในทุกพื้นที่ให้บริการ จำนวนลูกค้าสูง อาจจะไม่จำเป็นต้องสนใจประเด็นในการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายมากนัก

หากผู้ให้บริการรายใหญ่ไม่ให้ความสำคัญกับการเชื่อมต่อโครงข่าย มีการกีดกันผู้ให้บริการรายใหม่ๆโดยปฏิเสธการเชื่อมต่อ ผลกระทบนี้จะกระทบโดยตรงกับผู้บริโภคที่ไม่สามารถใช้บริการการโทรข้ามระหว่างโครงข่ายได้ การดำเนินงานทางด้านธุรกิจติดขัด ซึ่งในกรณีเหล่านี้หน่วยงานกำกับดูแลกิจการโทรคมนาคมจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการควบคุมดูแลเพื่อให้การบริการส่งผลกระทบถึงผู้ใช้บริการต่ำที่สุด และให้ได้รับการบริการในการเชื่อมต่อโครงข่ายสูงสุด

5.3 ผลการปรับพารามิเตอร์เปรียบเทียบในจำลองโครงข่ายตัวอย่าง

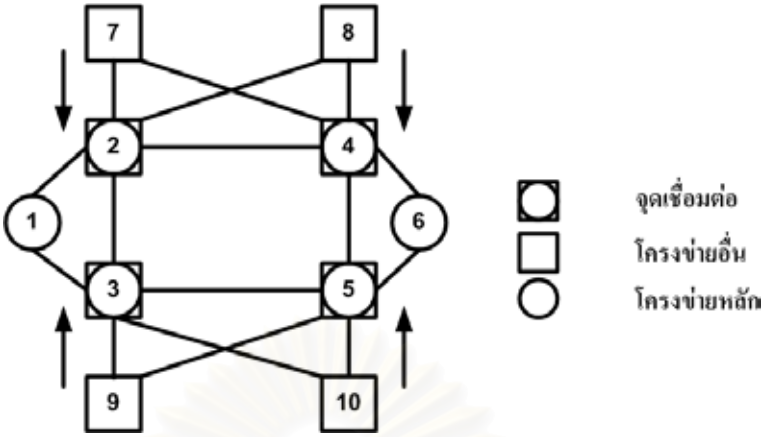
ผลการจำลองในหัวข้อนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการจำลองการทำงานของโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายรายและนำเสนอผลการจำลองเปรียบเทียบกับการจำลองในหัวข้อ 5.2

การจำลองการทำงานของโครงข่ายนี้จำลองการจัดเส้นทาง 4 ประเภท คือ 1. nISPR

2. cost-based ISPR 3. resource-based ISPR และ 4. IDAR ในสถานการณ์ ต่าง ๆ 4 แบบ คือ

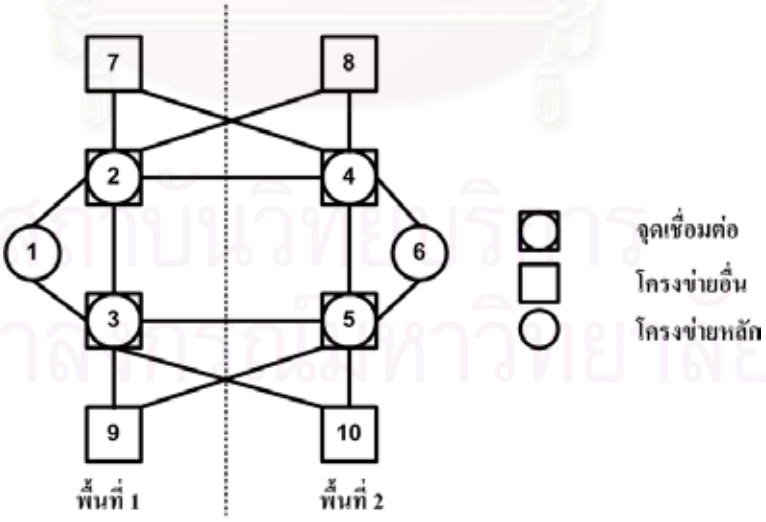
1. การจำลองโครงข่ายพื้นฐานเพื่อทดสอบกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง (base situation) ตามหัวข้อ 5.2

2. การจำลองโครงข่ายที่มีปริมาณทราฟฟิกระหว่างโครงข่ายสูง(high interconnection traffic situation)ในรูปที่ 5.11 โดยเพิ่มปริมาณทราฟฟิกจากโครงข่ายอื่น ๆ (โหนด 7, 8, 9 และ 10) ไปยังทุก ๆ โหนดเพิ่มเป็น 5เท่าของปริมาณทราฟฟิกในหัวข้อ 5.2การจำลองในสถานการณ์นี้มีเป้าหมายเพื่อพิจารณาผลกระทบอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลด โดยพารามิเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองการจัดเส้นทางแสดงได้ดังตาราง 5.1



รูปที่ 5.11 โครงข่ายที่มีปริมาณทราฟฟิกระหว่างโครงข่ายสูง

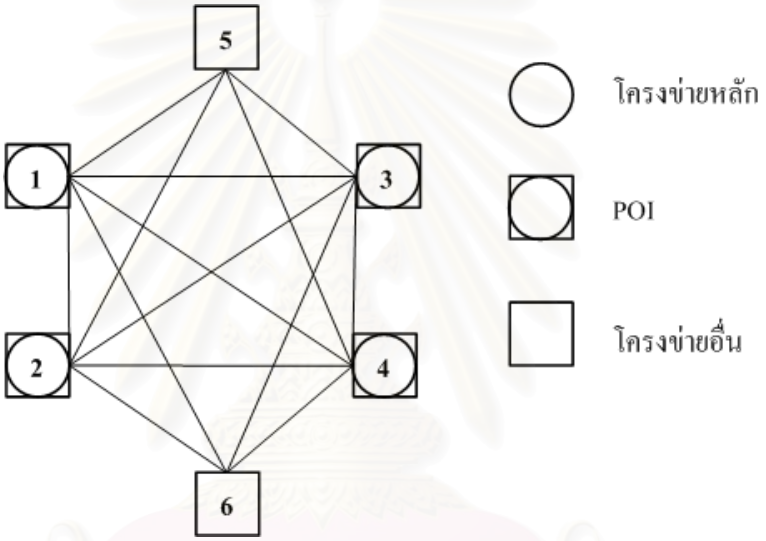
3. การจำลองโครงข่ายคิดค่าบริการโครงข่ายโดยแบ่งเป็นพื้นที่ (regional costing situation) ดังแสดงในรูปที่ 5.12 ซึ่งการจำลองในสถานการณ์นี้ได้ปรับเปลี่ยนรูปแบบของการคิดต้นทุนทั้งภายในโครงข่ายและการเชื่อมต่อโครงข่ายโดยแบ่งเป็นพื้นที่ให้บริการ หากอยู่พื้นที่เดียวกันค่าบริการของการใช้ทรัพยากรโครงข่ายจะเท่ากัน แต่หากมีการส่งทราฟฟิกข้ามพื้นที่ค่าบริการจะแตกต่างกับการส่งทราฟฟิกภายในพื้นที่เดียวกัน การจำลองในสถานการณ์นี้มีเป้าหมายเพื่อพิจารณาผลกระทบ อันเนื่องมาจากค่าบริการในการรับส่งทราฟฟิกเปลี่ยนแปลงไป ในที่นี้จะคิดค่าบริการแบ่งตามพื้นที่ พารามิเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองการจัดเส้นทางแสดงได้ดังตาราง 5.3



รูปที่ 5.12 โครงข่ายที่มีปริมาณทราฟฟิกระหว่างโครงข่ายสูง

4. การจำลองโครงข่ายในรูปที่ 5.13 โดยพิจารณาสถานการณ์ตามกลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง ในหัวข้อ

4.2 รูปแบบของโครงข่ายและความจุของข่ายเชื่อมโยงมีโหนดทั้งหมด 6 โหนดผู้ให้บริการจำนวน 2 ราย การขอเข้าใช้บริการมีโหลดเท่ากันในทุก ๆ คู่โหนด โดยมีการกระจายเป็นแบบปัวส์ซงและการขอเข้าใช้บริการเป็นอิสระต่อกัน ความจุของข่ายเชื่อมโยงแต่ละอันเท่ากับ 30 ช่องสัญญาณ จำนวนเหตุการณ์ที่มีผู้เรียกเข้าและออกจากโครงข่ายรวมทั้งหมดคือ 50,000 เหตุการณ์ ใช้เทคนิคการจำลองระบบแบบเหตุการณ์เต็มหน่วยแล้ววัดผลการทดลองด้วยช่วงความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้เทคนิคของค่าเฉลี่ยช่วง การจำลองในสถานการณ์นี้มีเป้าหมายเพื่อพิจารณาผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนโทโพยีของโครงข่าย โดยพารามิเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองการจัดเส้นทางแสดงได้ดังตาราง 5.3



รูปที่ 5.13 โครงข่ายตัวอย่างที่ 2

จากผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่าง ๆเมื่อลักษณะโหลดของโครงข่ายเปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลกระทบต่อรายได้โดยตรงดังแสดงในรูป 5.16-5.21 ในที่นี้ให้โหลดของการส่งทราฟฟิก ไปยังโครงข่ายอื่นเพิ่มขึ้น 5 เท่าทำให้รายได้และกำไรโดยเฉลี่ยของโครงข่ายลดลงในทางกลับกันหากโครงข่ายหลักมีปริมาณทราฟฟิกระหว่างโครงข่ายที่เป็นแบบโครงข่ายหลักเป็นปลายทางมากขึ้นโครงข่ายหลักจะได้รายได้ในส่วนของค่าเชื่อมต่อแบบโครงข่ายหลักเป็นปลายทางมากขึ้นด้วย ในทางกลับกันหากโครงข่ายหลักมีปริมาณทราฟฟิกระหว่างโครงข่ายที่เป็นแบบโครงข่ายหลักเป็นปลายทางมากขึ้นโครงข่ายหลักจะได้รายได้ในส่วนของค่าเชื่อมต่อแบบโครงข่ายหลักเป็นปลายทางมากขึ้นด้วย

การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของการคิดค่าบริการเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลง จากรูปที่ 5.14 และรูปที่ 5.15 จะเห็นได้ว่าความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการเรียกเข้าและค่าอรรถประโยชน์ของสถานการณ์ที่ 1 ซึ่งเป็นสถานการณ์พื้นฐานเทียบกันสถานการณ์ที่ 3 ซึ่งมีการเปลี่ยนรูปแบบการ

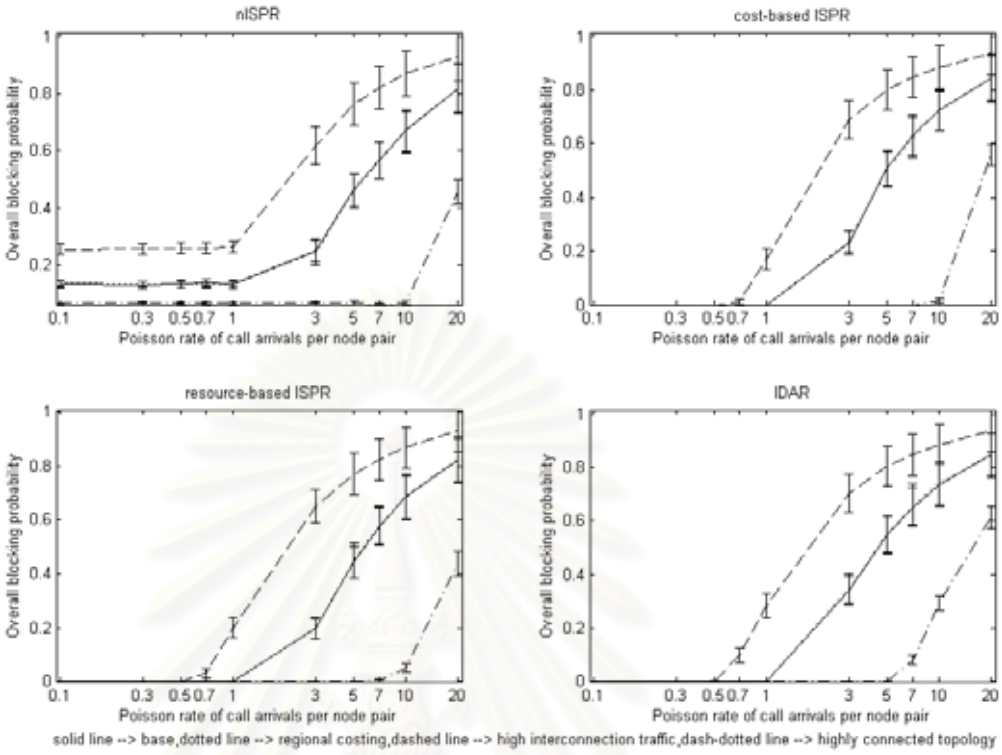
ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองการจัดเส้นทางของโครงข่ายรูปที่ 5.2 เมื่อเปลี่ยนรูปแบบการคิดค่าบริการ

โครงข่าย		M_0		M_1		M_2	
		พื้นที่1	พื้นที่2	พื้นที่1	พื้นที่2	พื้นที่1	พื้นที่2
หมายเลขโหนด		1, 2, 3	4,5,6	7	8	9	10
ต้นทุนภายในโครงข่าย	พื้นที่1	1	5	-	-	-	-
	พื้นที่2	5	1	-	-	-	-
ต้นทุนเมื่อโครงข่ายเป็นต้นทาง	พื้นที่1	5	-	-	-	-	-
	พื้นที่2	5	1	-	-	-	-
ต้นทุนเมื่อโครงข่ายเป็นปลายทาง	พื้นที่1	1	5	1	5	1	5
	พื้นที่2	5	1	5	1	5	1
ต้นทุนเมื่อโครงข่ายเป็นทางผ่าน	พื้นที่1	3	3	5	5	6	6
	พื้นที่2	3	3	5	5	6	6

ตารางที่ 5.3 พารามิเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองการจัดเส้นทางของรูปที่ 5.13

โครงข่าย	M_0	M_1
หมายเลขโหนด	1, 2, 3, 4,	5, 6
ต้นทุนภายในโครงข่ายหลัก	1	-
ต้นทุนเมื่อโครงข่ายเป็นต้นทาง	1	-
ต้นทุนเมื่อโครงข่ายเป็นปลายทาง	1	1
ต้นทุนเมื่อโครงข่ายเป็นทางผ่าน	3	5
รายได้	10	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.14 ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียกเข้าของแต่ละคู่โหนดเปรียบเทียบ 4 กรณี

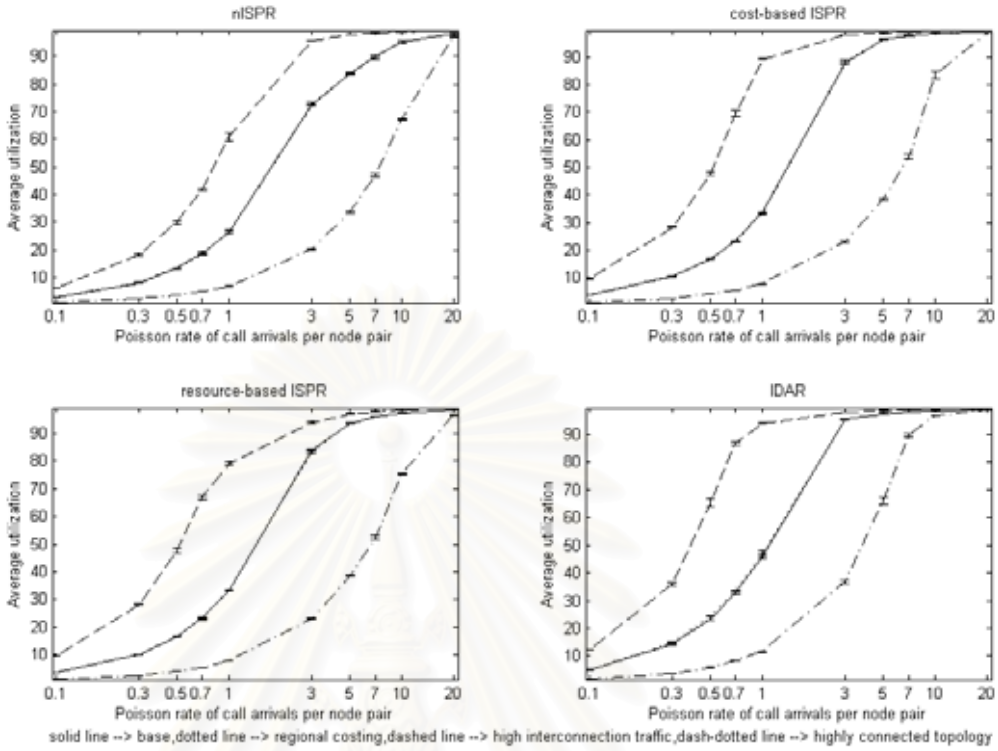
คิดค่าบริการตามพื้นที่นั้นมีค่าประมาณใกล้เคียงกันมาก แต่จะมีผลกระทบอย่างยิ่งสำหรับตัวชี้วัดผลทางเศรษฐศาสตร์ในรูปที่ 5.16-5.21

พารามิเตอร์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งคือรูปแบบของโครงข่าย จะเห็นว่ารูปแบบของโครงข่ายในรูปที่ 5.13 จะมี connectivity สูงกว่าทำให้โครงข่ายมีความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการเรียกช้าขึ้นรับปริมาณโหลดได้มากขึ้น การที่มีความจุของข่ายเชื่อมโยงเหลือนี้เองทำให้โครงข่ายสามารถรับทราฟฟิก ทั้งภายในโครงข่ายหลักเองและยังสามารถรับทราฟฟิกที่มาจากโครงข่ายอื่น ๆได้ด้วย

5.4 ผลการจำลองโครงข่ายตัวอย่างเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน

จำลองผลตาม 5.2 รูปแบบพารามิเตอร์และการคิดค่าบริการเป็นไปตามส่วนที่ 1 เพียงแต่ว่าค่าบริการจะคิดตามระยะเวลาที่ใช้งานจริงผลการจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 5.22 - 5.29

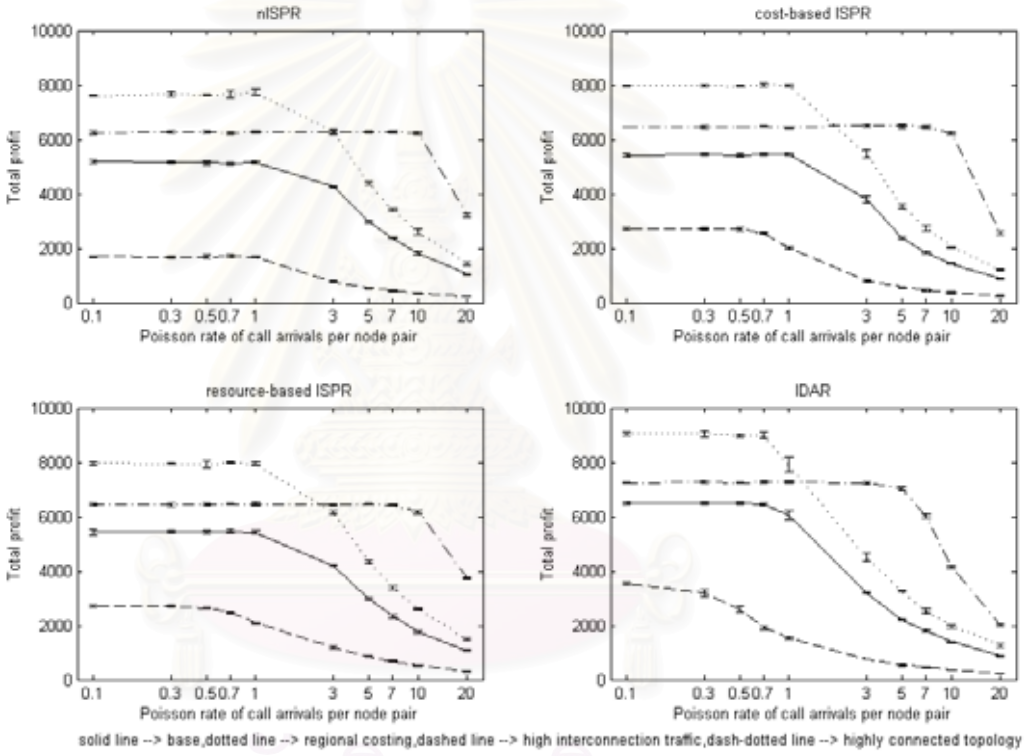
จากผลการจำลองโครงข่ายในรูปที่ 5.22 - 5.29 พบว่าแม้ว่าปริมาณทราฟฟิกที่เข้าออกจากโครงข่ายและลักษณะของการปฏิเสธการเข้าใช้บริการและอรรถประโยชน์ของการใช้โครงข่ายในส่วนนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับตัวอย่างที่ 5.1 แต่ตัวชี้วัดทางด้านธุรกิจให้ผลแตกต่างกันอย่างยิ่ง โดยที่ผลการคิดราคาแบบคิดตามระยะเวลาการใช้งานจริงจะให้ผลกำไรในภาพรวมสูงกว่าการคิดราคาต่อการใช้งานแต่ละครั้ง ทั้งนี้



รูปที่ 5.15 ค่าอรรถประโยชน์โดยรวมของระบบเปรียบเทียบ 4 กรณี

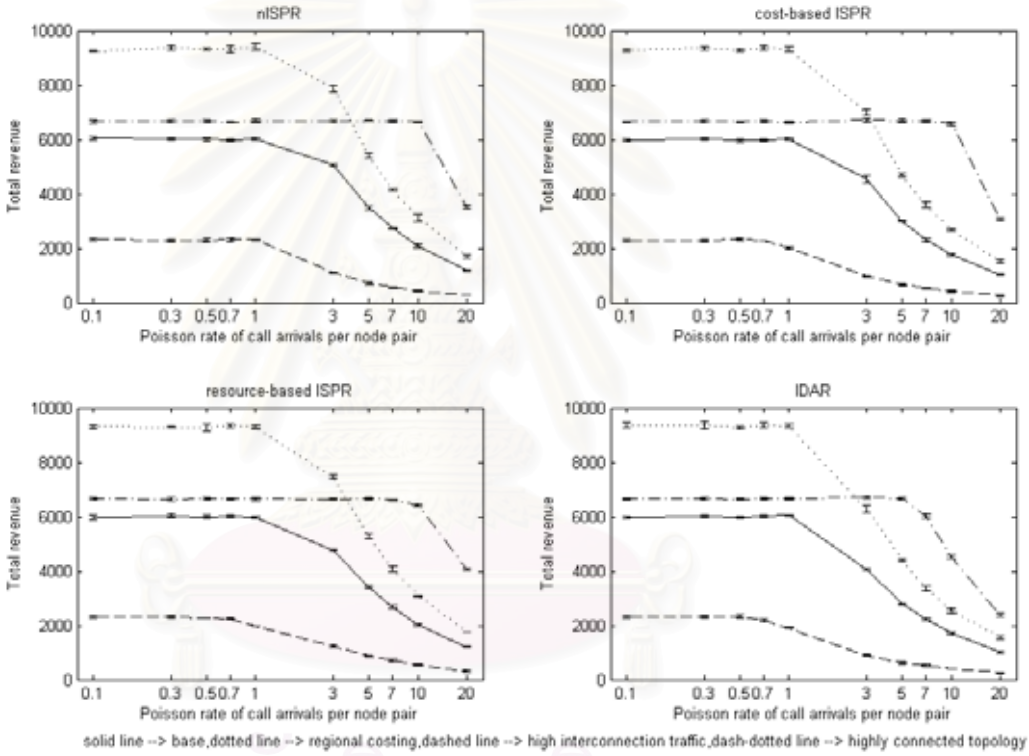
เป็นเพราะว่าหากมีผู้ใช้บริการโครงข่ายอยู่ในโครงข่ายจะได้รายได้เสมอซึ่งแตกต่างกับการคิดค่าบริการต่อการใช้งานแต่ละครั้งที่จะเก็บได้เฉพาะเมื่อเริ่มใช้บริการเท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



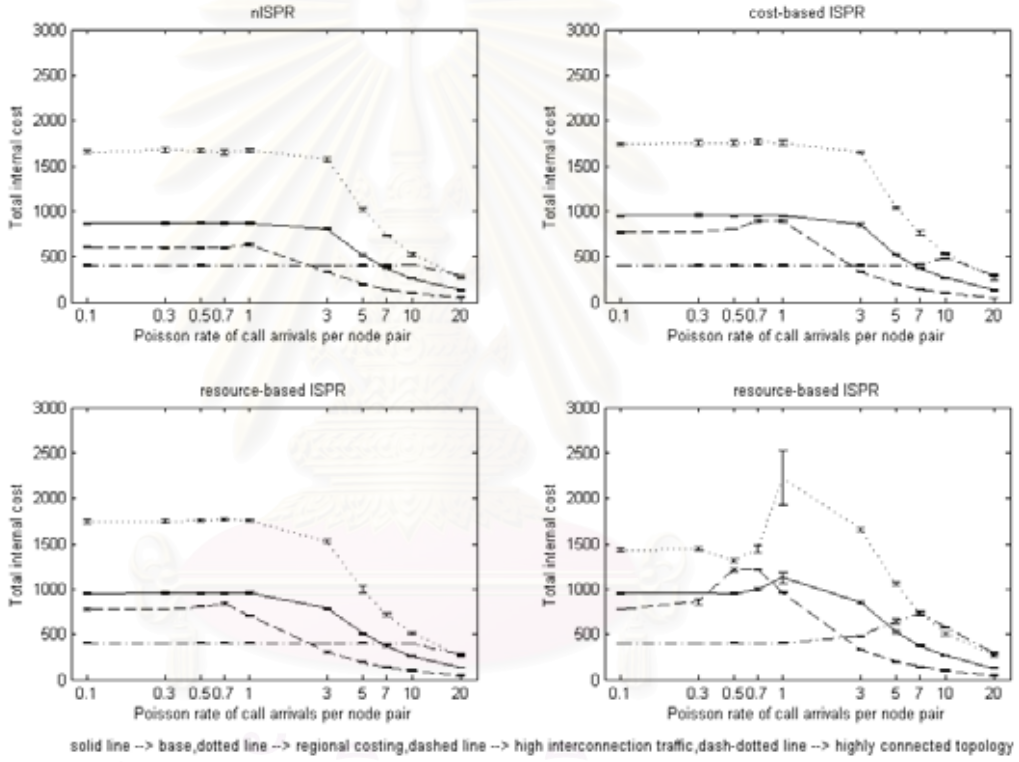
รูปที่ 5.16 กำไรทั้งหมดเปรียบเทียบ 4 กรณี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



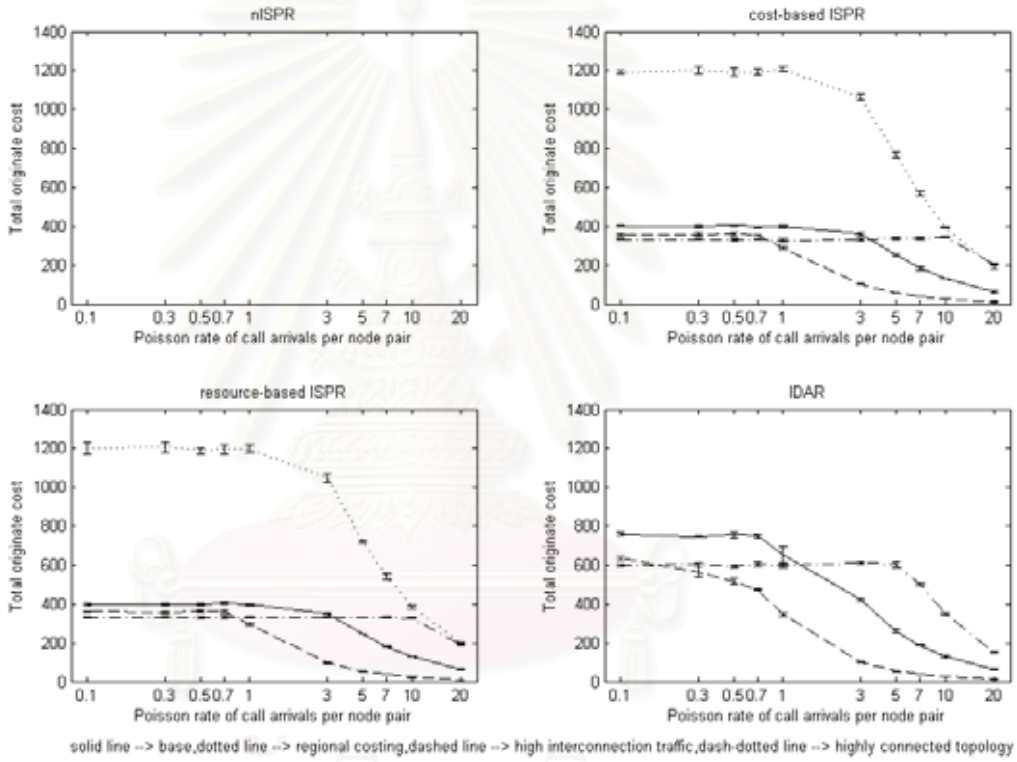
รูปที่ 5.17 รายได้ทั้งหมดเปรียบเทียบ 4 กรณี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



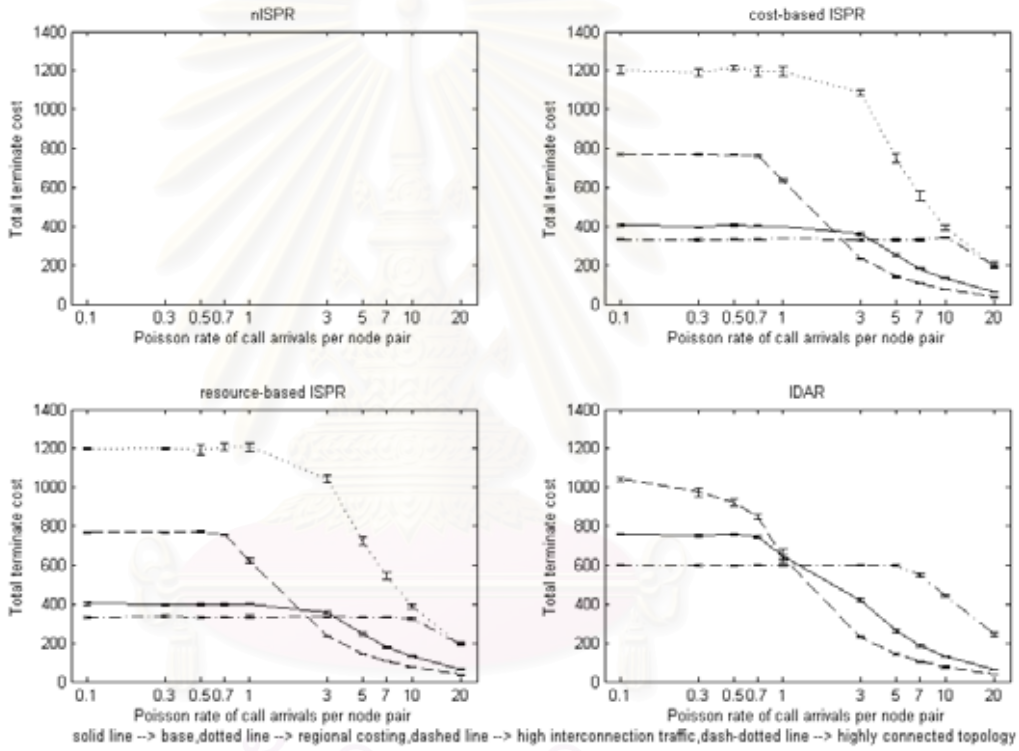
รูปที่ 5.18 ต้นทุนภายในโครงข่ายทั้งหมดเปรียบเทียบ 4 กรณี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



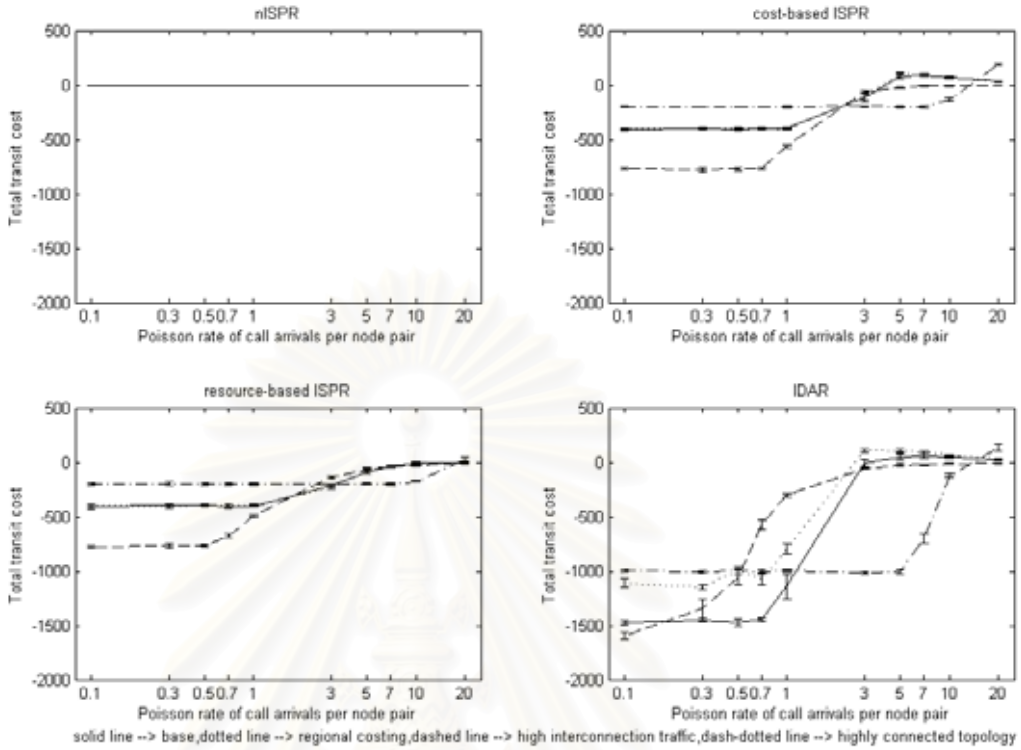
รูปที่ 5.19 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นต้นทางทั้งหมดเปรียบเทียบ 4 กรณี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

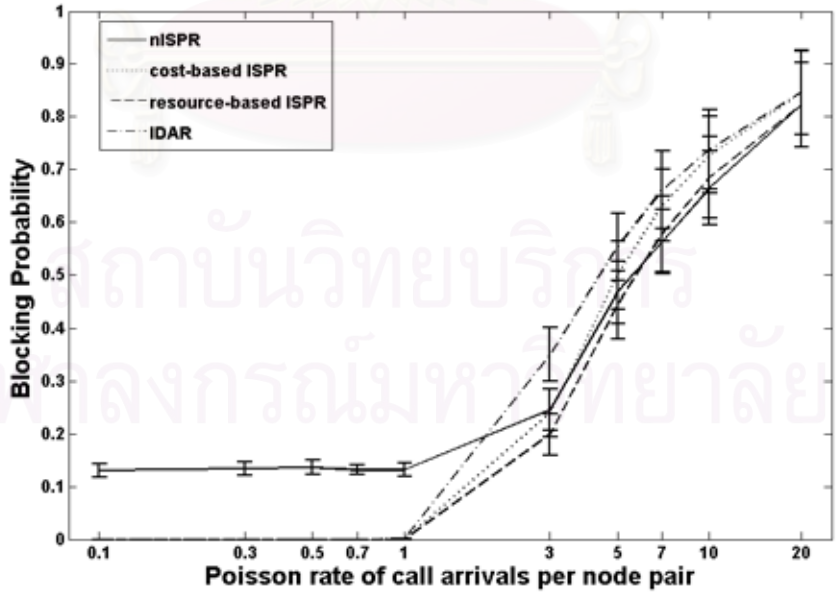


รูปที่ 5.20 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นปลายทางทั้งหมดเปรียบเทียบ 4 กรณี

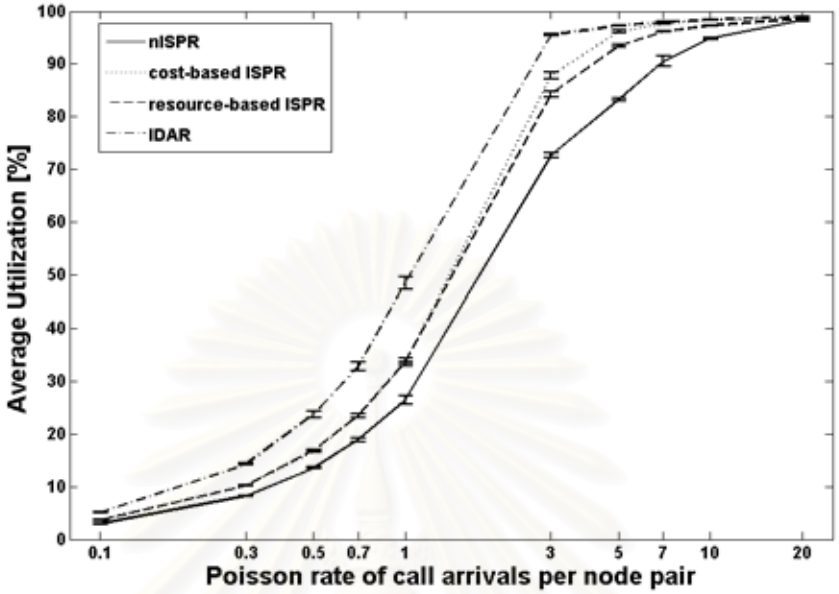
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



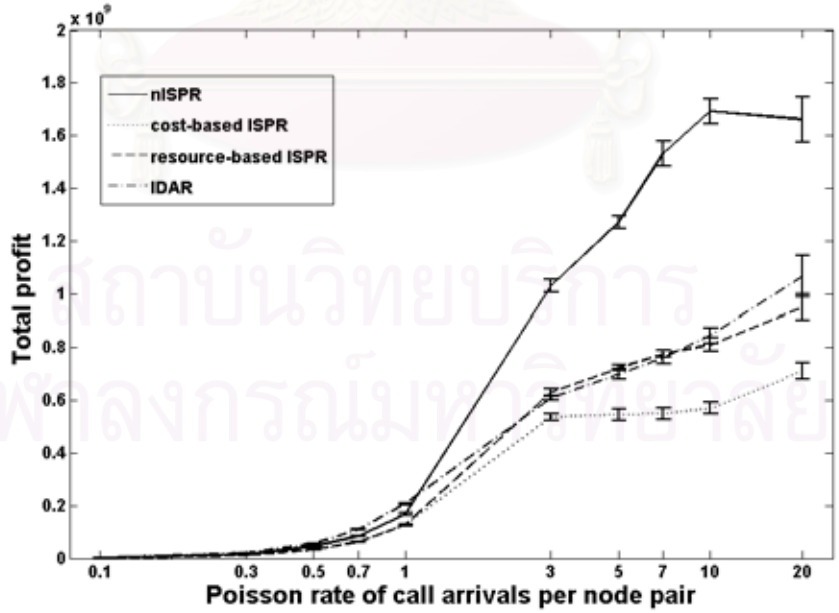
รูปที่ 5.21 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายเป็นทางผ่านทั้งหมดเปรียบเทียบ 4 กรณี



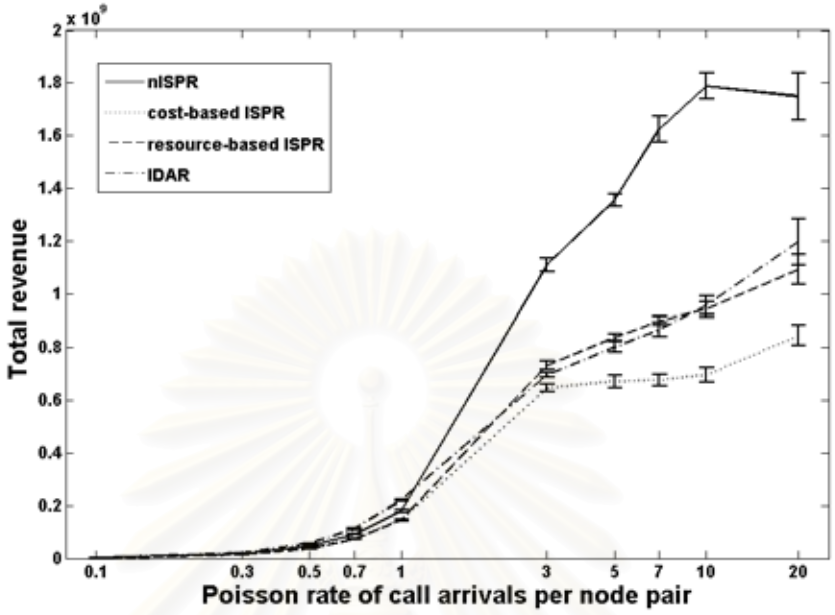
รูปที่ 5.22 ความน่าจะเป็น ของ การ ปฏิเสธ การ เรียก เข้า ของ แต่ละ คู่โหนดเมื่อ คิด ค่าบริการ แบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน



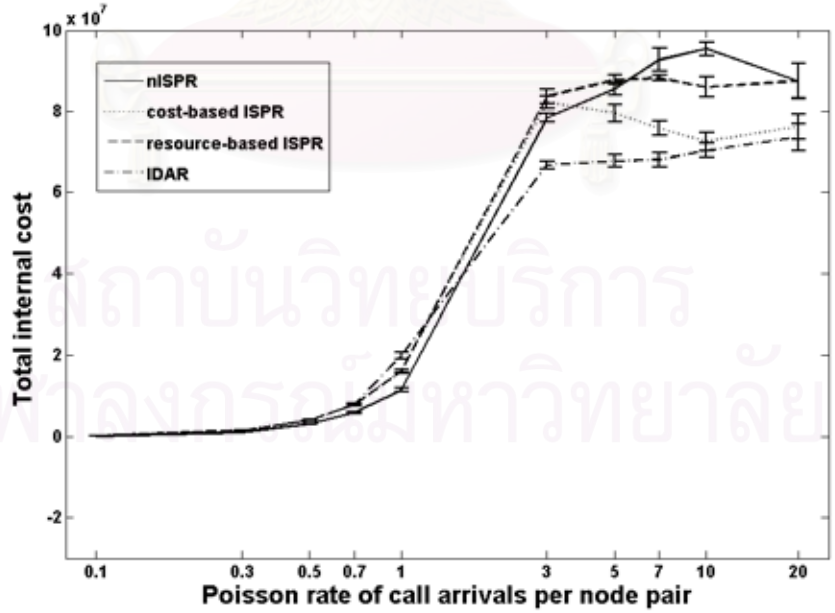
รูปที่ 5.23 ค่าอรรถประโยชน์โดยรวมของระบบเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน



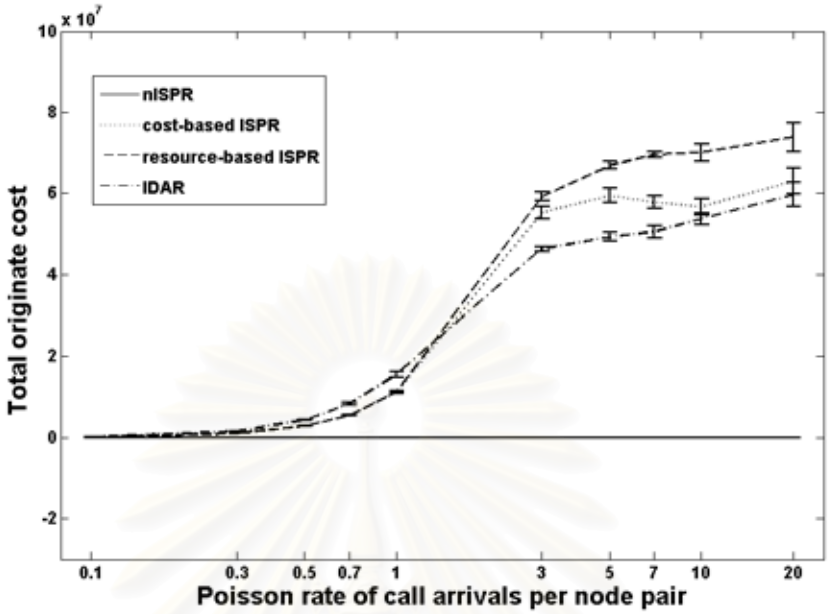
รูปที่ 5.24 กำไรทั้งหมดเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน



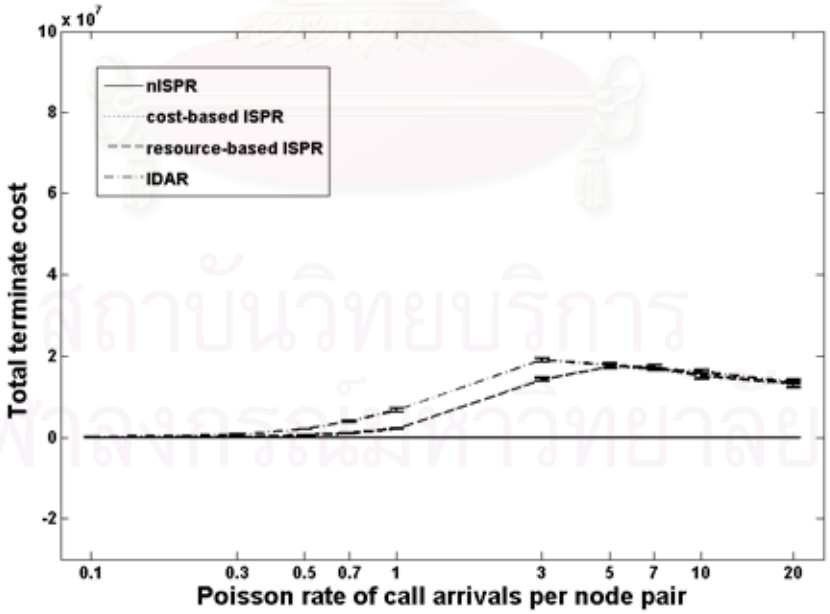
รูปที่ 5.25 รายได้ทั้งหมดเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน



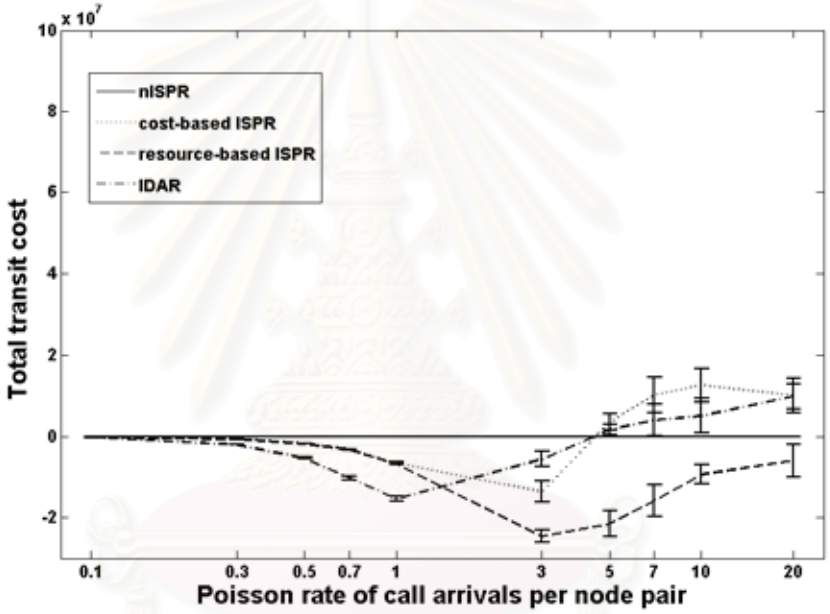
รูปที่ 5.26 ต้นทุนทั้งหมดเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน



รูปที่ 5.27 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นต้นทางทั้งหมดเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน



รูปที่ 5.28 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นปลายทางทั้งหมดเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน



รูปที่ 5.29 ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นทางผ่านทั้งหมดทั้งหมดเมื่อคิดค่าบริการแบบเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาใช้งาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปแนวคิดใหม่เชิงประยุกต์ที่เสนอในวิทยานิพนธ์

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางบนโครงข่ายโทรคมนาคมที่มีผู้ให้บริการหลายรายภายใต้เงื่อนไขของการเชื่อมต่อโครงข่าย โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอแนวคิดใหม่เชิงประยุกต์ทั้งสิ้น 3 ประการคือ

1. แบบจำลองโครงข่ายซึ่งกำหนดโครงสร้างของการคิดต้นทุนแบบใหม่

   แบบจำลองของโครงข่ายซึ่งงานวิทยานิพนธ์นี้สนใจพิจารณาเป็นหลัก ประกอบด้วยโหนดหลักของโครงข่าย ข่ายเชื่อมโยง ปริมาณความจุของข่ายเชื่อมโยง และตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย (POI) โดยจุดเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายนี้เป็นโหนดที่สามารถส่งทราฟฟิกผ่านเข้าออกระหว่างโครงข่ายหลักและโครงข่ายอื่นได้ โดยโครงข่ายหลักไม่จำเป็นต้องทราบถึงลักษณะของโครงข่ายอื่น เมื่อใช้แบบจำลองนี้จะทำให้ไม่จำเป็นต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่สำคัญหรือเป็นความลับระหว่างโครงข่าย นอกจากนั้น งานวิทยานิพนธ์นี้ยังได้กำหนดโครงสร้างของการคิดต้นทุนบนโครงข่ายรูปแบบใหม่โดยการคิดต้นทุนจะนำต้นทุนในการเชื่อมต่อโครงข่ายเข้ามาพิจารณาด้วย การคิดต้นทุนรูปแบบนี้ทำให้สามารถเห็นภาพรวม และช่วยในการตัดสินใจด้านธุรกิจได้ดีขึ้น

2. การศึกษาเปรียบเทียบกลยุทธ์การจัดเส้นทางแบบมาตรฐาน 3 รูปแบบในโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายรายซึ่งมีการคิดต้นทุนในการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย

   กลยุทธ์ของการจัดเส้นทางแบบมาตรฐานที่นำมาพิจารณามี 3 รูปแบบคือ 1. การจัดเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยไม่พิจารณาการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย (nISPR) ซึ่งงานวิทยานิพนธ์นี้ใช้เป็นหลักพื้นฐานในการเปรียบเทียบ การจัดเส้นทางจะพิจารณาจากพื้นฐานความเป็นจริงในการจัดเส้นทางบนโครงข่ายโทรคมนาคม ซึ่งยังไม่ได้มีการพิจารณาค่าเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย 2. การจัดเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณาจากต้นทุนของแต่ละเส้นทาง (cost-based ISPR) เป็นการจัดเส้นทางซึ่งมีวัตถุประสงค์ให้โครงข่ายมีต้นทุนในการขอเข้าใช้บริการแต่ละครั้งต่ำที่สุด 3. การจัดเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณาจากการใช้ทรัพยากรโครงข่าย (resource-based ISPR) เป็นการจัดเส้นทางซึ่งมีวัตถุประสงค์ให้แต่ละโครงข่ายใช้ทรัพยากรข่ายเชื่อมโยงในภาพรวมได้คุ้มค่ามากที่สุด

3. การประยุกต์การจัดเส้นทางแบบพลวัตรูปแบบใหม่สำหรับโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายรายซึ่งมีการคิดต้นทุนในการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย

การจัดเส้นทางแบบพลวัตเป็นเทคนิคการจัดเส้นทางที่มีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนการจัดเส้นทางโดยการเรียนรู้สถานะของโครงข่ายและปรับเปลี่ยนเส้นทางให้เหมาะสมกับสถานะนั้น งานวิทยานิพนธ์นี้ได้ขยายขอบเขตการทำงานของ DAR เป็น IDAR ในสองแนวทางคือ 1. โครงข่ายไม่จำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อสมบูรณ์และ 2. การคิดต้นทุนการเชื่อมต่อโครงข่ายถูกนำมาใช้ประกอบการพิจารณาในการจัดเส้นทางด้วย

การจัดเส้นทางแต่ละแบบถูกเปรียบเทียบและวัดประสิทธิผลใน 2 แนวทางคือ แนวทางแรกวัดประสิทธิผลทางด้านวิศวกรรม เช่น ค่าความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการ ค่าอรรถประโยชน์ของโครงข่ายโดยรวมเป็นต้น ส่วนแนวทางที่สองคือวัดประสิทธิผลทางด้านธุรกิจเช่น กำไร รายได้ ต้นทุนภายในโครงข่าย และต้นทุนในการเชื่อมต่อโครงข่ายเป็นต้น จากผลที่ได้รับในการจำลองโครงข่ายด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยใช้เทคนิคการจำลองระบบแบบเหตุการณ์เต็มหน่วย ด้วยช่วงความเชื่อมั่น 95 % พบว่าการจัดเส้นทางแบบพลวัตโดยพิจารณาการเชื่อมต่อโครงข่ายสามารถใช้ได้ดีในช่วงที่โครงข่ายมีปริมาณการใช้งานน้อย(ความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการอยู่ในช่วง 0-0.4) ส่วนในช่วงที่โหลดสูง(ความน่าจะเป็นในการขอเข้าใช้บริการสูงกว่า 0.4) พบว่าการปล่อยให้สถานะของโครงข่ายมีการจัดเส้นทางตามกลไกทางการตลาดมีประสิทธิผลทางธุรกิจด้อยกว่าการจัดเส้นทางโดยปฏิเสธการเชื่อมต่อกับโครงข่ายอื่น (nISPR) ซึ่งการจัดเส้นทางแบบนี้ในช่วงที่โหลดสูงช่วยทำให้ผู้ให้บริการได้รับผลกำไรโดยรวมสูงสุด แต่การจัดเส้นทางโดยไม่ยอมให้มีการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายนี้อาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานของผู้ใช้บริการบนโครงข่ายกล่าวคือผู้ใช้บริการโครงข่ายหลักไม่สามารถติดต่อกับโครงข่ายของผู้ให้บริการรายอื่นได้ ดังนั้นในสถานการณ์ลักษณะนี้จึงสมควรที่จะมีการจัดตั้งคณะกรรมการเพื่อทำหน้าที่จัดการดูแล พิทักษ์ผลประโยชน์ทั้งระหว่างผู้ให้บริการโครงข่ายเองและผู้ใช้บริการโครงข่ายด้วยตัวอย่างเช่น กทช. เป็นต้น

นอกจากนั้นการจัดเส้นทางพื้นฐานที่นำเสนอในงานวิทยานิพนธ์นี้ยังเอื้อต่อการศึกษาสมรรถนะของวิธีการจัดเส้นทางภายในโครงข่ายตามสถานการณ์ต่าง ๆ ที่พบในทางปฏิบัติจริงอีกด้วย โดยในเบื้องต้นนี้พิจารณาสถานการณ์ 4 สถานการณ์คือ 1. สถานการณ์พื้นฐาน ซึ่งงานที่วิทยานิพนธ์นี้ใช้เป็นสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบ 2. สถานการณ์ที่มีปริมาณทราฟฟิกระหว่างโครงข่ายสูง โดยการจำลองสถานการณ์นี้มีเป้าหมายเพื่อพิจารณาผลกระทบอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดของการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย 3. สถานการณ์ที่โครงข่ายคิดค่าบริการโดยแบ่งเป็นพื้นที่ การจำลองสถานการณ์นี้มีเป้าหมายเพื่อพิจารณาผลกระทบอันเนื่องมาจากรูปแบบการคิดค่าบริการในการรับส่งทราฟฟิกเปลี่ยนแปลงไป ในที่นี้จะคิดค่าใช้บริการตามพื้นที่ 4. สถานการณ์ที่โครงข่ายมีรูปแบบการเชื่อมต่อสูง โดยการจำลองสถานการณ์แบบนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโทโพโลยีของโครงข่าย

ผล การ จำลอง โครงข่าย พบ ว่า การ เปลี่ยน รูปแบบ การ คิด ค่าบริการ ทำ ให้ กำไร ที่ ได้ รับ โดยรวม เปลี่ยนแปลงไปโดยการคิดค่าบริการตามพื้นที่นั้นถึงแม้ว่าต้นทุนของข่ายเชื่อมโยงระหว่างพื้นที่จะสูงแต่กำไรที่ได้รับรวมทั้งหมดสูงกว่าสถานการณ์พื้นฐาน ส่วนการเพิ่มทราฟฟิกระหว่างโครงข่ายให้สูงขึ้นนั้น โครงข่ายจะได้รับรายได้เพิ่มขึ้นในกรณีที่มีทราฟฟิกจากโครงข่ายอื่นเข้ามาในโครงข่ายหลักมากกว่า ในทางกลับกันหากโหลดจากโครงข่ายหลักไปยังโครงข่ายอื่นสูงกว่าทำให้โครงข่ายหลักสูญเสียรายได้ไป สำหรับผลกระทบอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโทโพโลยีนั้นพบว่าโครงข่ายที่มีการเชื่อมต่อสูงจะรับ ทราฟฟิกได้มากกว่ามีการใช้ข่ายเชื่อมโยงระยะสั้นสูงกว่าจึงทำให้รับการขอเข้าใช้บริการได้ในปริมาณมาก การทำให้โครงข่ายมีการเชื่อมต่อที่สูงขึ้นเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการช่วยให้ผู้ให้บริการบริการลูกค้าได้มากยิ่งขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อเนื่องในอนาคต

หัวข้อที่ควรศึกษาและวิจัยต่อไปในอนาคตคือ

1. พิจารณาต้นทุนและรายได้ในรูปแบบอื่น ๆ เพิ่มเติม

   ในงานวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาการคิดต้นทุน รายได้ในสองรูปแบบ คือการคิดค่าบริการต่อการขอเข้าใช้บริการและการคิดค่าบริการแบบตามระยะเวลาที่ใช้บริการเท่านั้น อย่างไรก็ตามวิธีที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์สามารถประยุกต์ให้เข้ากับการคิดค่าบริการแบบอื่น ๆ ได้ด้วย

2. ประยุกต์โครงสร้างของการคิดต้นทุนเพิ่มเติมด้วยการคิดต้นทุนของโครงข่ายที่มีค่า implied cost

   นอกจากการคิดค่าใช้จ่ายที่เกิดบนโครงข่ายโดยตรงดังแสดงในผลการจำลองโครงข่ายดังกล่าวแล้ว ยังสามารถนำเอาการคิดค่าใช้จ่ายทางอ้อมตัวอย่างเช่น shadow price มาใช้พิจารณาการคิดค่าบริการได้ด้วย shadow price ตามความหมายทางเศรษศาสตร์แล้วหมายถึงราคาที่แท้จริงทางเศรษฐศาสตร์ของทรัพย์สิน (ทั้งทรัพย์สินที่มีรูปร่างและไม่มีรูปร่าง) คือนอกจากต้นทุนที่แท้จริงของทรัพย์สินที่ได้ลงทุนไปเพื่อทำให้ได้มาซึ่งทรัพย์สินแล้ว ราคาที่แท้จริงยังรวมถึงมูลค่าของทรัพย์สินนั้นซึ่งสูญเสียไปเนื่องการการสูญเสียโอกาส ห้วงเวลาที่เหมาะสม หรืออื่น ๆ เช่น ค่าเสื่อมราคา เป็นต้น

3. ขยายขอบเขตของงานโดยให้โครงข่ายมีบริการได้หลากหลายมากขึ้น (multi-service network)

   โครงข่ายที่นำมาทดสอบในงานวิทยานิพนธ์นี้เป็นโครงข่ายที่ให้บริการเพียงบริการเดียวคือ บริการที่ใช้ปริมาณช่องสัญญาณคงที่เท่านั้น งานวิจัยที่ทำได้ในอนาคตสามารถขยายขอบเขตของงานให้สามารถจำลองเหตุการณ์บนโครงข่ายที่ให้บริการหลากหลายได้

4. สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานและเป็นส่วนประกอบสำคัญในการออกแบบโครงข่ายได้ หากการจำลองโครงข่ายมีพารามิเตอร์ที่เหมือนจริงมากขึ้น ผลการจำลองโครงข่ายยังสามารถประยุกต์และช่วยให้ผู้ให้บริการโครงข่ายโทรคมนาคมนำไปใช้ในการจัดการทรัพยากรโครงข่าย การออกแบบ พัฒนา และประสานงานกับผู้ให้บริการรายอื่นเพื่อก่อให้เกิดแนวทางในการดำเนินกิจการอย่างมีประสิทธิภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย ความเป็นมา นโยบาย และผลกระทบของการเปิดเสรีกิจการโทรคมนาคม สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (2545).

[2] ดร.อนุภาพ ถิรลาภ การเชื่อมต่อโครงข่าย: ข้อได้เปรียบเสียเปรียบในทางปฏิบัติ สถาบันบริหารและการจัดการโทรคมนาคมไทย (2545).

[3] องค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับกิจการวิทยุกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม, พระราชบัญญัติองค์กรจัดสรรคลื่นความถี่และกำกับกิจการวิทยุกระจายเสียงวิทยุโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม, (25 กุมภาพันธ์ 2543).

[4] IEEE Communication Magazine 33 7 (July 1995).

[5] Girad,A. Routing and Dimensioning in Circuit-Switched Networks, Massachusetts : Addison-Wesley (1990).

[6] Blefari-Melazzi, N.; Di Sorte, D. and Reali, G. Inter-Domain Routing Algorithms that Maximize Users' Benefit in an Internet Business Model, Global Telecommunications Conference (17-21 Nov. 2002) : 2969 – 2973.

[7] Nakamura, M.; Sato, M. and Hamada, T. A Pricing and Accounting Architecture for QoS Guaranteed Services on a Multi-domain Network Global Telecommunications Conference (1999):1984 – 1988.

[8] Dimitrijevic, D.; Maglaris, B. and Boorstyn, R. Routing in Multi-domain Networks INFOCOM '91. Proceedings. Tenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Networking in the 90s. IEEE (7-11 April 1991):257 – 264.

[9] Di Sorte, D. and Reali, G. Minimum Price Inter-domain Routing Algorithm Communications Letters, IEEE, 6 4 (April 2002):165 – 167.

[10] Liang L.; Arvanitis, N. and Woolley, I. A New Charging Scheme for Multi-domain DiffServ Networks Global Telecommunications Conference 2003. GLOBECOM '03. IEEE 7 (1-5 Dec. 2003):4074 - 4078.

[11] สมเกียรติ ตั้งกิจวานิชย์ และ ธราธร รัตนนฤมัตศร, การเชื่อมต่อโครงข่าย: แนวทางการปฏิรูประบบโทรคมนาคมของประเทศไทย, สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (2546)

[12] Gibbens, J. Dynamic Routing in Circuit- Switched Networks: the Dynamic Alternative Routing Strategy PhD Thesis, Univ. Cambridge, U.K. (1988).

[13] Aswakul, C. and Barria J. 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).

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

[15] Law, M. and Kelton, D. Simulation Modeling and Analysis McGraw-hill international series (2000)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว

[1] ฉัตรขวัญ วรรณศิริ,เชาวน์ดิศ อัศวกุล,บทคัดย่อการจัดเส้นทางและการคิดราคาบนโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย,โครงการ การประชุมเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 4 ,2547,จ.เชียงใหม่.

[2] Wannasiri C., Asawakul C.,Performance Evaluation of Optimal Interconnection-based Routing Algorithms in Multi-operator Telecommunication Network, IPSI-2005 MONTENEGRO, SVETI STEFAN Meridien ,2005

[3] ฉัตรขวัญ วรรณศิริ,เชาวน์ดิศ อัศวกุล,การวิเคราะกลยุทธ์การจัดเส้นทางที่ดีที่สุดโดยคิดค่าเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายโทรคมนาคม,การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28 (EECON-28), ตุลาคม พ.ศ. 2548, จ.ภูเก็ต.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การจัดเส้นทางและการคิดราคาบนโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย

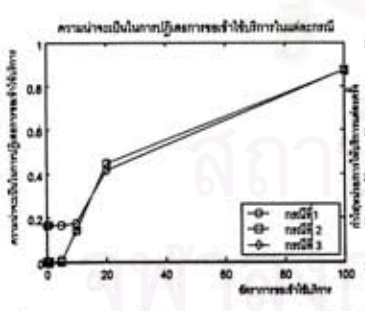
Routing and Charging in Multi-Operator Network

ฉัตรชวัญ วรรณศิริ และ เชาวน์ดิศ อัศวกุล ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

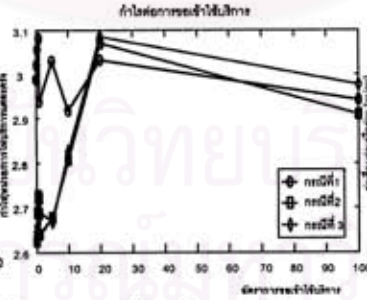
บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้พิจารณาปัญหาการหาเส้นทางบนโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายรายซึ่งผู้ให้บริการแต่ละรายมีความสามารถในการควบคุม ดูแล และจัดการกับโครงข่ายของตนเองได้ เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อหาวิธีการเลือกเส้นทางซึ่งทำให้ผู้ให้บริการได้รับผลกำไรสูงสุด ในงานวิจัยนี้ประยุกต์วิธีการเลือกเส้นทางโดยอาศัยวิธีการแบบ shortest path ร่วมกับการกำหนดลักษณะของต้นทุนบนโครงข่ายซึ่งถูกพิจารณาและต้นทุนในการส่งทราฟฟิกไปยังโครงข่ายอื่นผ่านจุดเชื่อมต่อ (Point of Interconnection: POI)

ระเบียบวิธีวิจัย: งานวิจัยนี้ใช้การจำลองแบบคอมพิวเตอร์ตามเหตุการณ์เชิงวิยุต (discrete–event computer simulation) ในการจำลองโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายรายโดยพิจารณาการประยุกต์การเลือกเส้นทางในรูปแบบต่าง ๆ [1], [2], [3] ซึ่งจะส่งผลกระทบถึงกำไรของการให้บริการ ในส่วนการคิดราคาจะแบ่งเป็นสองลักษณะคือการคิดราคาบนโครงข่ายที่พิจารณา และการคิดราคาเมื่อเข้าไปใช้โครงข่ายอื่น การคิดราคานี้จะปรับเปลี่ยนไปตามรูปแบบของการคิดต้นทุน (cost structure) โครงข่ายที่พิจารณาในที่นี้จะพิจารณาโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการมากกว่า 1 ราย และให้บริการเพียงแบบเดียวคือบริการเสียง

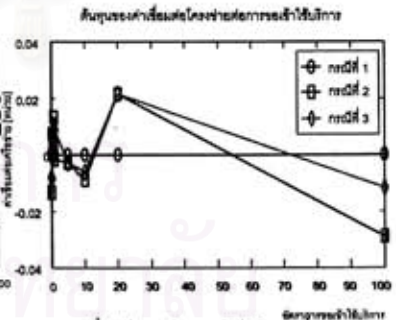
ผลการวิจัย อภิปราย และสรุป: ผลการวิจัยนี้เป็นตัวอย่างอย่างง่ายโดยแสดงผลใน 3 กรณีคือกรณีที่ 1 ไม่คิดค่าบริการระหว่างโครงข่ายและเส้นทางที่ใช้ในการส่งทราฟฟิกมีเพียงเส้นทางเดียว กรณีที่ 2 คิดค่าบริการระหว่างโครงข่ายและเส้นทางที่ใช้ในการส่งทราฟฟิกมีเพียงเส้นทางเดียว และกรณีที่ 3 คิดค่าบริการระหว่างโครงข่ายและมีเส้นทางสำรองในการส่งทราฟฟิกอีก 1 เส้นทาง เมื่อจำลองการขอเข้าใช้บริการโครงข่ายแล้วได้ผลแสดงดังรูปที่ 1, 2, 3 จะเห็นว่าหากเราสามารถใช้งานเครือข่ายร่วมกับผู้ให้บริการรายอื่นได้แล้วจะทำให้การใช้งานโครงข่ายมีประสิทธิภาพมากขึ้นเห็นได้จากการที่ค่าความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการกรณีที่สามารถใช้เส้นทางบนเครือข่ายอื่นได้น้อยกว่ากรณีที่ใช้ได้เฉพาะเครือข่ายของตนเองทั้งนี้เป็นเพราะมีทางเลือกในการตัดสินใจมากขึ้น การคิดค่าบริการระหว่างโครงข่ายถือเป็นหัวใจสำคัญที่จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการให้บริการและโอกาสในการแข่งขันกับผู้ให้บริการรายอื่น



รูปที่ 1 ความน่าจะเป็นในการปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการ



รูปที่ 2 กำไรของการให้บริการ



รูปที่ 3 ต้นทุนในการให้บริการเชื่อมต่อ

เอกสารอ้างอิง : (1) A.Girard, Routing and Dimensioning in Circuit-Switched Networks, Massachusetts: Addison-Wesley,1990.

(2) IEEE Communication Magazine,vol. 33,No.7,July 1995.

(3) D.Bertsekas and R. Gallager, Data Network, Prentice Hall, 1997.

คำสำคัญ : การหาเส้นทาง, การคิดราคา, โครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย, การเชื่อมต่อโครงข่าย

Performance Evaluation of Optimal Interconnection-based Routing Algorithms in Multi-operator Telecommunication Network

Chatkwan Wannasiri and Chaodit Aswakul
Telecommunication System Research Laboratory
Department of Electrical Engineering,Faculty of Engineering
Chulalongkorn University,Bangkok,Thailand 10300
Phone +662-218-6908 Fax +662-218-6912
E-mail : chatkwan.w@student.chula.ac.th,chaodit.a@chula.ac.th

ABSTRACT

This paper is concerned with the analysis of optimal routing problem in the heterogeneous environment of telecommunication networks, where more than one operator is responsible for all the network controls. The objective is to evaluate candidate routing algorithms which allow a given network to optimize specified objective functions. Based on the framework of interconnection, four routing algorithms are proposed, namely, (i) shortest path routing with no interconnection charge, (ii) cost-based shortest path routing with interconnection charge, (iii) resource-based shortest path routing with interconnection charge and (iv) dynamic alternative routing with interconnection charge. Discrete-event simulation of practical network scenarios are given to show how these routing algorithms perform comparatively in terms of both engineering grade-of-service indicators and business measures (i.e. call blocking, network utilization as well as mean values of servicing cost, network revenue and obtainable profit). The obtained results suggest that the dynamic alternative routing with interconnection charge is the most preferrable routing algorithm when the network has light loads. Alternatively, under heavy loads, it is found that the resource-based shortest path routing with interconnection charge is the best.

I. INTRODUCTION

In the emerging information era, telecommunication networking has been widely recognized as a necessary driving force to achieve a better quality of life for the global society as a whole. For countries around the world, their telecommunication infrastructures were in the past mainly designed, built and maintained by a monopolized state organization. This type of financing framework has been proved successful.

However, recent increase in people's demand for universal telecommunication services made this limited state-own business meet its own limitations. To overcome this constraint, telecommunication markets have been transformed from the state monopoly into the more open framework in which private companies were invited to participate. This indispensably leads to the telecommunication network environment with multiple operators. An example of multi-operator network is depicted in Fig. 1.

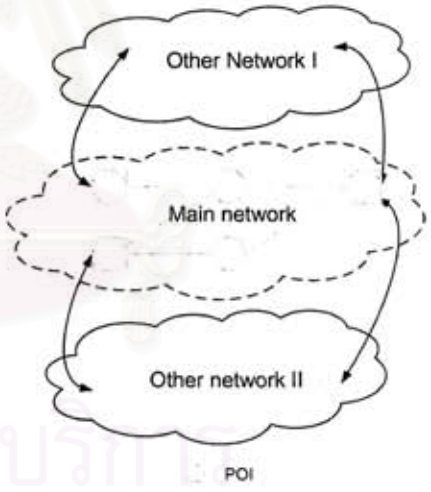


Fig. 1. Main network interconnected with other clouds.

On one hand, viable competition amongst operators sharing a single market raises the question on how each operator can manage its own network's internal mechanisms to maintain its competitiveness. On the other hand, with the nature of networking, each operator needs to cooperate with the others in order to guarantee the overall connectivity for customers. A mutual framework that may allow both competition and cooperation to

coexist exists under the concept of interconnection tariff.

Interconnection is defined in different ways in the different regulatory and policy regimes that deal with it. A good recent definition is included in the 12 July 2000 proposed by the European Commission Directive on Access and Interconnection [11]. Interconnection means the physical and logical linking of public electronic communications networks used by the same or a different undertaking in order to allow the users of one undertaking to communicate with the users of the same undertaking, or to access services provided by another undertaking. Services may be provided by the parties involved or other parties who have accesses to the network. By this definition, an interconnection policy affects directly the telecommunication service model as well as business chances to all operators.

Interconnection of telecommunication network has been important for a century, but never more so than today. Competition is the key to growth and innovation of today's telecommunication markets. Interconnection is a critical factor for the viability of competition. An operator with readily available interconnections can have the advantageous power, which may be excercised to obstruct as well as to support other operators in the market. So, the benefits of providing telecommunication services are heavily dependent on how these interconnections have been managed [1], [2].

¿From the engineering viewpoint, interconnection routing may be considered a key mechanism to control telecommunication network dynamics. Upon an arrival of new customer demanding for a connection across a telecommunication network, the embedded network routing module has to make two-step decisions. The first step is to decide on whether to admit or to reject that customer's request. Given the admission of customer, the second step is then to choose the most appropriate path from the customer's origin to its intended destination. Never before has routing problem a need to incorporate the interconnection constraint of multi-operator networking environment.

In the literature, there exist many interesting research work focusing on routing problems within networks owned by a single operator (e.g. [3], [4]). As a multi-operator, multi-domain environment becomes critical in providing an end-to-end telecommunication connectivity, the problem of routing in such multi-domain network has then been addressed (e.g. [5], [6]). In [5], a minimum cost routing algorithm has been proposed, where the cost function is defined in terms of the quality of service (QoS) index like end-to-end packet transmission delay. Along the same line of investigation, in [6], fairness has been additionally included in the formulation of QoS routing. However, to the best our our knowledge, there has not been any work on routing literature that takes into account the explicit cost of interconnection.

In this research, a new performance evaluation study has been carried out for optimal routing algorithms in a multi-operator telecommunication network. Routing performance is herein characterized by both the engineering and business measures. The study has considered main grade of service (GoS) indicators including the customer blocking probability as well as the percentage utilization of network resources. Further, mean network revenue, servicing cost and achievable profits have been taken into account.

The objective of this research is to investigate candidate routing algorithm which allow a given network operator the maximum possible profit. In doing so, the well-known shortest path algorithm is applied and the algorithm's cost function is newly defined by taking into account the routing cost within the considered network as well as the cost of routing calls across the networks owned by different operators. Interconnection concept has been used to model the cost of routing traffics across network operators.

The remainder of this paper is organized as follows. Section II presents the problem formulation where the definition of network and cost characteristics is given. In Section III, three optimal routing algorithms and an adaptive routing algorithm are proposed for multi-operator networks with interconnection concept. To evaluate the performance of these algorithms, Section IV gives the explanation of network experimental settings. The obtained results of network simulation are then discussed in Section V. Finally, Section VI gives the summary of findings in this paper.

II. Problem Formulation

In a multi-operator regime, the networks of different operators are connected with each other via so-called *point of interconnection* (POI). When an operator needs to send traffics from their network to the other networks, they are required to route traffics through available POI's. The cost of a telecommunication connection is therefore consisted of both the internal cost incurred within the operator's own network and the access cost due to fees that need to be paid to the other operators for utilising their network resources.

A. Network Characteristics

In this paper, the focus is on analysing the routing performance from the viewpoint of a given network operator, whose telecommunication infrastructure is referred to as *main network*. The exact topology and capacity of main network is presumeably made known to the operator's network engineers. Furthermore, it is assumed that

the engineers have a complete controllability over the choices of route management within their main network. However, in order to reflect the reality of internetworking, it is not assumed that the engineers have controls over the networks belonging to the other operators. Routing traffics to other networks can only be requested via a set of POI's agreed upon by interconnecting operators. For this reason, the other network is viewed as a black box or a network cloud (e.g. see Fig. 1). The network cloud can be characterised by the maximum number of connections that can be routed simultaneously through each POI and the corresponding interconnection charges. The scope of this research is on the voice service, being the main source of revenue, and therefore each connection requires a fixed channel bandwidth per link.

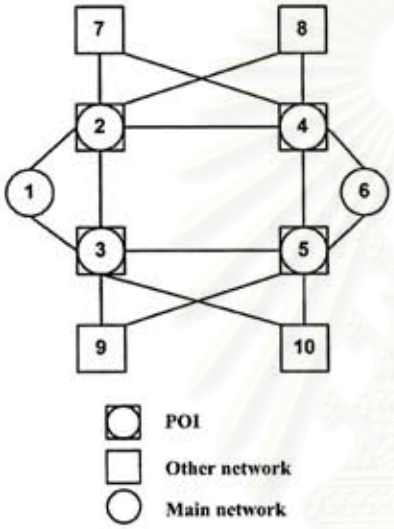


Fig. 2. Example of main network interconnected with other clouds.

A network is represented by an undirected graph $G(M_n, E)$, as an example in Fig. 2. Here, M_n is the set of nodes of operator n, where $n = 0$ indexes the main network and $n = 1, 2, 3, \ldots$ indexes the other networks. Let E denote the set of undirected links. Each link can be represented by a tuple (r_i, r_j), where r_i and r_j denote respectively the originated and terminated nodes of that link. A route between each node pair can be represented as a sequence $R = (r_1, r_2, \ldots, r_k)$, where r_1 and r_k are the originated and terminated nodes of the route, and $r_2, \ldots, r_{k-1}$ are transit nodes. An interconnection is made via POI nodes $\{r_i | r_i \in M_0$ and $r_i \in M_{n\neq 0}\}$.

B. Cost Characteristics

In the state-own, monopoly telecommunication service regime, the business model is comprised of two main players, i.e. a network operator and users. Price and cost structure is relatively simple with only two parties involved. In this paper, the focus is on a new price and cost structure that is applicable to the multi-operator network. Here, the price and cost are calculated per call. Once the network accepts a call, the call is placed along a suitable route R. The ongoing call generates a revenue with a given pricing rate (per call or per usage time). This paper defines the total cost of routing a call in terms of link cost and node transit cost.

1) *Link cost* is the cost incurred on each link along the route. For the link between nodes r_i and r_j, let $L(r_i, r_j)$ denote this type of cost per connection. Link cost can be classified into 4 categories according to the ownership of nodes r_i and r_j as follows.
   a) *Internal cost* is the cost of placing a connection on the link between nodes r_i and r_j within the main network, i.e. when $r_i, r_j \in M_0$. The internal cost is derived from the installation and maintainance cost of the operator. In practice, internal cost $L(r_i, r_j) \geq 0$.
   b) *Originate cost* is the cost incurred at POI when the main network requests to send its traffic to the other network. The originate cost $L(r_i, r_j)$ is calculated at the interconnection link, where the link's originating node r_i is in the main network but the link's termination node r_j is in another network. So, the originate cost is referred to as $L(r_i, r_j) \geq 0$, where $r_i \in M_0, r_j \in M_{n\neq 0}$.
   c) *Terminate cost* is the cost incurred at POI when a call from another network requests for a termination inside the main network. Similar to the originate cost, the terminate cost $L(r_i, r_j)$ is obtained from the interconnection charge and calculated at the interconnection link. However, the terminate cost is the cost of the other network, but the revenue of the main network. Thus, the terminate cost is counted as a negative cost. The terminate cost is referred to as $L(r_i, r_j) \leq 0$, where $r_i \in M_{n\neq 0}$ and $r_j \in M_0$.
   d) *(Null) external cost* is the cost of using a link whose originating node r_i and terminating node r_j are both located in the other networks, i.e. $r_i, r_j \notin M_0$. Since all the operations inside other networks are hidden behind POI's, the external cost $L(r_i, r_j) = 0$ from the viewpoint of main network.
2) *Node transit cost* is the cost incurred on each transit node along the route. This cost is different from the link cost in that it takes into account the information of the route

origination and route destination. For a route $R = (r_1, \ldots, r_k)$, we define the transit cost $T(r_i)$ of passing a call over a node $r_i (i = 2, \ldots, k)$ as follows.

$$T(r_i) = \begin{cases} \alpha_n, & r_{i-1} \in M_0, r_i \in M_{n \neq 0}, r_k \in M_{m \neq n} \\ -\beta_n, & r_{i-1} \in M_n, r_i \in M_0, r_k \in M_{m \neq 0} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

In (1), $\alpha_n \geq 0$ is the fee that needs to be paid to operator n when the main network passes its traffic through that operator, i.e. when the traffic is originated in the main network and destined to an operator m which is different from the operator n (being asked for a network transit). Further, $\beta_n \geq 0$ is the fee that can be collected from operator n who wants to pass its traffic through the main network though the traffic is destined to another operator $m \neq 0$.

Finally, by taking into account both link cost and node transit cost, the total cost $C(R)$ of placing a call over a route $R = (r_1, \ldots, r_k)$ can be obtained from

$$C(R) = \sum_{i=2}^{k} (L(r_{i-1}, r_i) + T(r_i)) \quad (2)$$

III. Routing Algorithms

The routing algorithms investigated in this paper are based on the well-known shortest path algorithm where the distance is defined as either the number of hops or the route cost in (2). When the number of hops is used, the routing algorithm is aimed at minimising the total resource usage. When the route cost is used, the aim is to minimise the routing cost and hence maximising profits.

A. nISPR

This algorithm is called *shortest path routing with no interconnection charge*. It selects the best path to minimise the total routing cost. Interconnection with the main network is allowed without charges. Therefore, both originate and terminate costs are set to 0. However, no transit calls are allowed. This routing algorithm can occur in the country where private companies are not allowed to transfer calls amongst themselves. Instead, they are obliged to pass every call destined to other operators via the network owned by the state company without any interconnection charges.

B. Cost-based ISPR

This algorithm is called *cost-based shortest path routing with interconnection charge*. The aim of this routing algorithm is to choose the route R such that the total cost $C(R)$ in (2) is minimised for every call upon the arrival of that call. All interconnection and transit calls are allowed and charged.

C. Resource-based ISPR

This algorithm, *resource-based shortest path routing with interconnection charge*, is aimed at selecting the route with the minimum number of hops. Therefore, the resource-based ISPR tries to minimise the total network resources needed to provide connections. Like the cost-based ISPR, interconnection and transit calls are allowed and charged.

D. IDAR

Dynamic alternative routing with interconnection charge is a distributed and adaptive routing technique, by which each individual node can learn from its locally obtainable network status and adapt its routing preferences accordingly. IDAR is here proposed as an extension from the original dynamic alternative routing (DAR) algorithm [12]. Due to DAR's simplicity, analysability as well as proved efficiency, DAR has also been extended to take into account the packet-switched, multiservice environment [13] and smooth rerouting scenarios [14].

The nature of DAR is to try to route an incoming new call to the route that has been previously used successfully first. If such an attempt is failed, then an alternative route will be tried randomly. By this random selection of routes, DAR has a learning mechanism which allows it to adapt to changing network conditions. Since DAR has been originally proposed for a telephone core network, DAR is designed only for a network with fully connected, or *full mesh*, topology.

In this paper, IDAR extends the DAR concepts in two ways. First, the network topology needs not be full mesh. Second, interconnection concept is taken into account. Fig. 3 gives a summary of IDAR operations. Here, for each pair of origin and destination, the set of all possible routes between them is classified into groups. All the routes in each group have the same cost for making a connection. In Fig. 3, x denotes the group index where $x = 1, 2, \ldots$ refer to the group with the smallest cost, next smallest cost, and so on.

IV. Multi-operator Network Example

To investigate the performance of the routing algorithms proposed in Section III, a simple network scenario with 10 nodes and 3 different operators as shown in Fig. 2 has been considered. Here, $M_0 = \{1, 2, \ldots, 6\}, M_1 = \{7, 8\}$ and $M_2 = \{9, 10\}$.

As a standard assumption, calls are assumed to arrive at each origin-destination pair according to independent Poisson processes whose mean rate has been varied. Each link has the capacity of 30 channels. Call holding times are exponentially distributed with normalised mean to

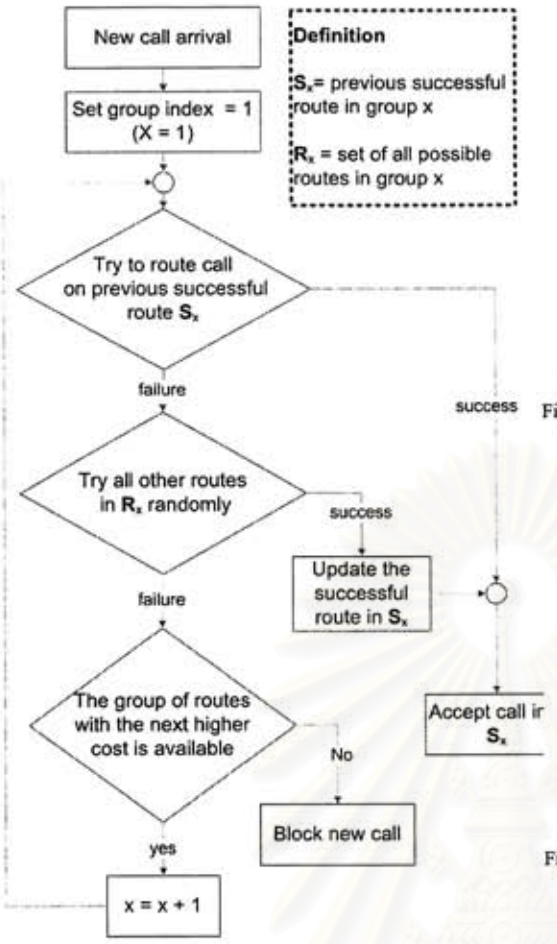


Fig. 3. Dynamic alternative routing with interconnection (IDAR)

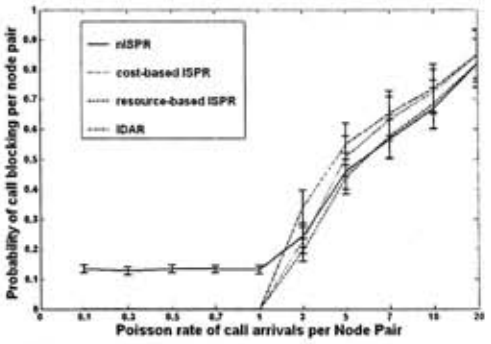


Fig. 4. Blocking probability

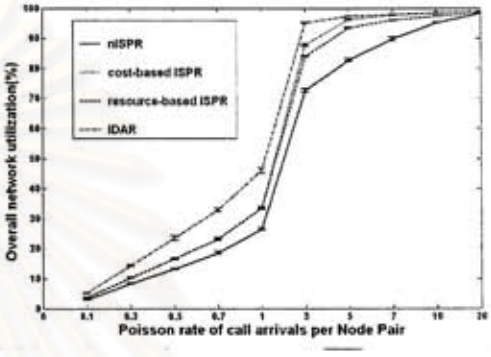


Fig. 5. Overall network utilizaton

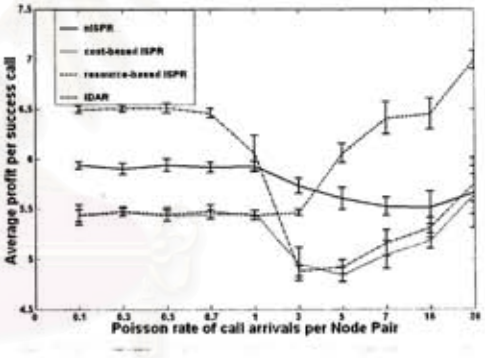


Fig. 6. Profit per success call

1 unit time. Revenue rate is 10 units per success call. The internal, originate and terminate costs are set to 1 unit per channel per link. The transit cost is set to 3,5,6 units per channel per link for M_0, M_1, M_2, respectively. Discrete-event simulation has been carried out with 50,000 call arrivals (per each investigated case). All the results has been measured with 95% confidence intervals, as estimated by the method of batch means [10].

V. Simulation Results

Network simulation results are depicted in Figs. 4–11.

From the obtained results, it is worth noting that nISPR returns the lowest overall utilization of network for every loading. The reason is that, as seen in Fig. 4, nISPR allows no transit calls, all of which resort to blocking. Hence, given that the main network uses nISPR and network has a large portion of transit call request, then this type of transit blocking may lead to the sharp decrease in otherwise obtainable revenue.

On the other hand, IDAR results in the relatively high overall utilization and high profit per success call especially under light loads. This is due to the added adaptibility of IDAR. In IDAR, the routes within the same group of cost have the chance of being selected, where this chance is inversely proportional to the call blocking probability on the routes. That is, the lightly loaded route will be selected more frequently than the highly loaded route. As loading of each route changes, IDAR allows this load balancing mechanism to adapt accordingly. This is in contrast with all other shortest path routing algorithms (nISPR, cost-based ISPR and resource-based ISPR), whereby routes with the same cost will be selected in a fixed,

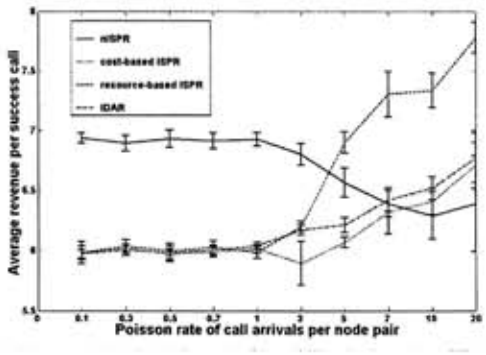


Fig. 7. Revenue per success call

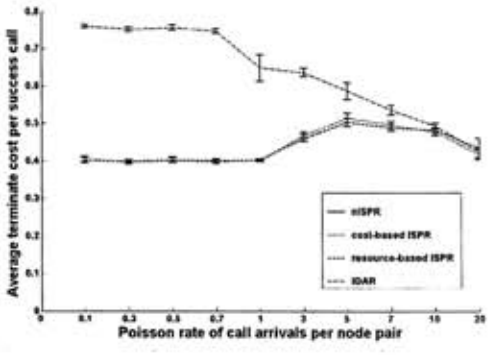


Fig. 10. Terminate cost per success call

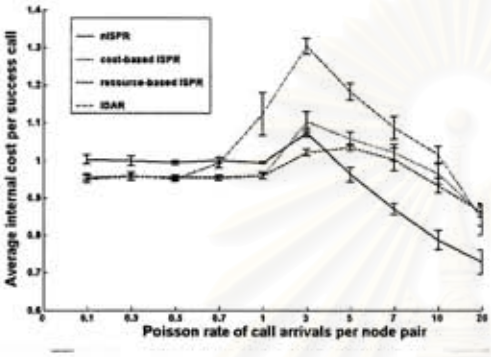


Fig. 8. Internal cost per success call

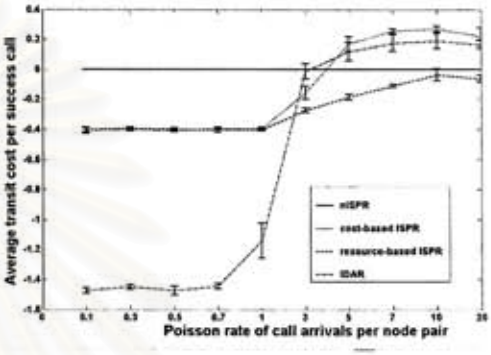


Fig. 11. Transit cost per success call

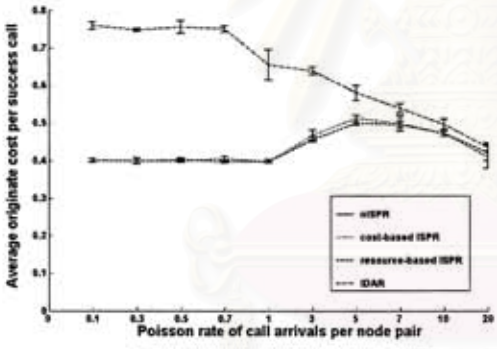


Fig. 9. Originate cost per success call

sequential order.

However, as the network load much increases, IDAR's performance becomes similar to the cost-based ISPR. It is here worth noting that, under heavy loadings, the resource-based ISPR gives the best performance. This is perhaps contradictary to the current practice of each operator, whose main objective is to minimise their own servicing cost even though the resultant route may consume more network resources in total.

Of course, from the viewpoint of each operator, such algorithm as cost-based ISPR may be a logical choice of routing. However, based on the numerical results shown here, it is better for each operator to try more to cooperate with all the other operators, especially under critical conditions such as highly surged demands. And hence, a better choice of routing should be based on the objective function that aimes at saving the overall network resouces (no matter if they belong to the main network or to the other operators' networks). Given that every operator cooperates, each can help each other absorb their traffic surges and, as a consequence, this cooperation results in the maximum allowable profit in return for every operator.

VI. Conclusion

In this paper, the routing problem in multi-operator network has been addressed in the framework of interconnection. Four routing algorithms have been investigated, namely, (i) shortest path routing with no interconnection charge, (ii) cost-based shortest path routing with interconnection charge, (iii) resource-based shortest path routing with interconnection charge and (iv) dynamic alternative routing with interconnection charge.

These routing algorithms have been compared in terms of call blocking probability, network utilization as well as mean values of servicing cost, network revenue and obtainable profit). The

obtained discrete-event simulation results suggest that the dynamic alternative routing with interconnection charge is the most preferrable routing algorithm when the network has light loads. Alternatively, under heavy loads, it is found that the resource-based shortest path routing with interconnection charge is the best.

In this paper, the revenue is charged per call at a fixed rate. However, the formulated evaluation framework is readily applicable to other charging tariffs (e.g. charging by serviced time at a rate dependent on the time of usage). It is then interesting, as a future work, to compare the four routing algorithms herein proposed under such scenarios. It is believed that the results obtained can help network operators to better manage their own resources, and compete as well as cooperate with other operators in the most allowable efficient way.

REFERENCES

[1] The Thailand Development Research Institute, "History Policy and Impact of Freedom Investment in Thailand Telecommunication Market", 2002 (in thai)

[2] Tiralap A., "Interconnection: Advantage and disadvantage in Practical", Thailand Communication Management Institute, 2002 (in thai)

[3] IEEE Communication Magazine,vol. 33,No.7,July 1995.

[4] Girad,A. Routing and Dimensioning in Circuit-Switched Networks, Massachusetts : Addison-Wesley,1990.

[5] Blefari-Melazzi, N.; Di Sorte, D.; Reali, G.; "Inter-Domain Routing Algorithms that Maximize Users' Benefit in an Internet Business Model" Global Telecommunications Conference, 2002. GLOBECOM '02. IEEE Volume 3, 17-21 Nov. 2002 Page(s):2969 - 2973 vol.3

[6] Nakamura, M.; Sato, M.; Hamada, T.; "A Pricing and Accounting Architecture for QoS Guaranteed Services on a Multi-domain Network" Global Telecommunications Conference, 1999. GLOBECOM '99 Volume 3, 1999 Page(s):1984 - 1988 vol.3

[7] Dimitrijevic, D.D.; Maglaris, B.; Boorstyn, R.R.; "Routing in Multi-domain Networks" INFOCOM '91. Proceedings. Tenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Networking in the 90s. IEEE 7-11 April 1991 Page(s):257 - 264 vol.1

[8] Di Sorte, D.; Reali, G.; "Minimum Price Inter-domain Routing Algorithm" Communications Letters, IEEEVolume 6, Issue 4, April 2002 Page(s):165 - 167

[9] Li,Liang ; Arvanitis, T.N.; Woolley, S.I.; "A New Charging Scheme for Multi-domain DiffServ Networks"Global Telecommunications Conference, 2003. GLOBECOM '03. IEEE Volume 7, 1-5 Dec. 2003 Page(s):4074 - 4078 vol.7

[10] Law,A.M.;Kelton,W.D.; Simulation Modeling and Analysis, McGraw-hill international series 2000

[11] Commission of the European communities. Directive of The European Parliament and of The Council on Access to, and Interconnection of, Electronic Communications Networks and Associated Facilities, Brussels, 12.7.2000 COM(2000) 384 final 2000/0186 (COD)

[12] Gibbens R. J., Dynamic Routing in Circuit- Switched Networks: the Dynamic Alternative Routing Strategy, PhD Thesis, Univ. Cambridge, U.K., 1988.

[13] Aswakul C. and Barria J., "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.

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

Analysis of Optimal Routing Strategies Based on Telecommunication Interconnection Charge

การวิเคราะห์กลยุทธ์การจัดเส้นทางที่ดีที่สุดโดยคิดค่าเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายโทรคมนาคม

ฉัตรขวัญ วรรณศิริ และ เชาวน์ดิศ อัศวกุล
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
E-mail: chatkwan.w@student.chula.ac.th, chaodit.a@chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความ นี้ พิจารณา การ วิเคราะห์ ปัญหา การ จัด เส้นทางที่ดีที่สุดบนโครงข่ายโทรคมนาคมที่มีผู้ให้บริการหลาย ราย โดย ที่ แต่ละ ราย รับผิดชอบ ใน การ จัดการ โครงข่าย ของ ตนเอง วัตถุประสงค์ ของ บทความ นี้ คือ เพื่อ วิเคราะห์ กลยุทธ์ ใน การ เลือก เส้นทาง ซึ่ง อนุญาต ให้ โครงข่าย ที่ พิจารณา เป็น หลัก ได้ ผลตอบแทน ตาม ฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ ต่าง ๆ ที่ กำหนด นอกจากนั้น ยัง ได้ เสนอ กลยุทธ์ ใน การ จัด เส้นทาง 3 แบบ ประกอบกับ การ พิจารณา ฟังก์ชัน ต้นทุน ซึ่ง คิด ทั้ง ต้นทุน ที่ เกิด ภายใน โครงข่าย และ ต้นทุน ใน การ ส่ง ทราฟฟิก ไป ยัง โครงข่าย อื่น ผ่าน จุด เชื่อม ต่อ ด้วย ใน ตอน ท้าย ของ บทความ แสดง ตัวอย่าง การ จำลอง โครงข่าย เพื่อ พิจารณา ลักษณะ ของ กลยุทธ์ การ จัด เส้นทาง ทั้ง 3 แบบ โดย ใช้ การ จำลอง แบบ เหตุการณ์ เต็ม หน่วย และ วิเคราะห์ ผล สรุป ผล ตลอด จน ข้อเสนอแนะ สำหรับ งาน ที่ จะ ทำ ใน อนาคต

คำสำคัญ : การจัดเส้นทาง การเชื่อมต่อโครงข่าย โครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย กำไร

Abstract

This paper is concerned with the analysis of optimal routing problem in the heterogeneous environment of telecommunication networks, where more than one operator is responsible for all the network controls. The objective is to analyse candidate routing strategies which allow a given network to optimise specified objective functions.Three interconnection-based shortest path routing strategies are proposed here, where relevant cost function is newly defined by taking into account the cost within main network being considered and the cost of routing traffics to others' networks via the points of interconnection. Simple network scenarios are given as an example to show how the routing strategies perform, based on discrete-event simulation. Possible extensions of this work are also discussed.

Keywords : Routing, Interconnection, Multi-Operator Network, Profit

1 บทนำ

ในยุคแห่งเทคโนโลยีการสื่อสาร การโทรคมนาคมมีการปรับปรุงและพัฒนาอย่างรวดเร็ว แนวโน้มดังกล่าวเป็นผลมาจากบทบาทความสำคัญของการสื่อสารซึ่งเป็นจุดดึงดูดให้นักลงทุนเข้ามาลงทุนในกิจการโทรคมนาคมส่งผลให้โครงข่ายโทรคมนาคมเกิดเป็นโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย (Multi-Operator Network) โครงข่ายของผู้ให้บริการรายหนึ่ง ๆ ย่อมมีความต้องการที่จะติดต่อกับโครงข่ายของผู้ให้บริการรายอื่น ๆ การเชื่อมต่อโครงข่าย(interconnection)จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญทั้งในเรื่องต้นทุน การบริการและโอกาสในการแข่งขัน เช่นผู้ให้บริการรายใหญ่ซึ่งมีโครงข่ายของตนเองสามารถกีดกันหรือก่อให้เกิดอุปสรรคกับผู้ให้บริการรายใหม่ที่ไม่มีโครงข่ายของตนเอง ดังนั้นการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันด้วยการพัฒนาเทคโนโลยี ตลอดจนการเพิ่มประสิทธิภาพของการให้บริการโทรคมนาคม และการพัฒนาคนให้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วของเทคโนโลยี เหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญที่มิอาจละเลยได้สำหรับผู้ให้บริการโทรคมนาคมที่ต้องการรักษาความสามารถในการแข่งขัน ดังจะเห็นได้ว่าโอกาสในการแข่งขันของผู้ให้บริการจึงขึ้นอยู่กับความได้เปรียบเสียเปรียบของการเชื่อมต่อโครงข่ายโดยตรง [1,2]

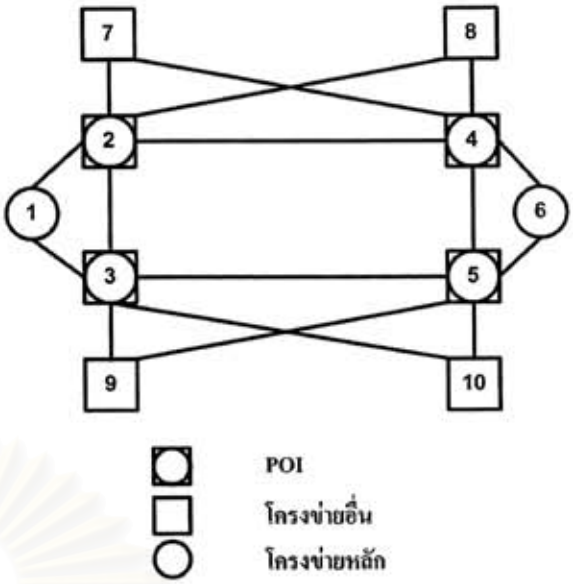
ใน มุมมอง ของ ผู้ ให้ บริการ โทรคมนาคม เมื่อ ผู้ ให้ บริการ มี สิทธิ ใน การ ตัดสินใจ และ ใช้ งาน โครงข่าย ได้ เต็ม ความ สามารถ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ใน แง่ การ จัดการ เพื่อให้ ได้ ผลตอบแทนที่คุ้มค่าแล้ว ในมุมมองทางด้านวิศวกรรมโครงข่าย การ จัด เส้นทาง (routing) นับ ได้ ว่า เป็น กลไก สำคัญ ที่ ช่วย ให้ จัดการ กับ ปัญหา การ เชื่อมต่อ และ การ ใช้ ทรัพยากร

โครงข่ายเพื่อให้ได้ผลตอบแทนเชิงธุรกิจและประโยชน์ที่คุ้มค่าที่สุด อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนใหญ่ในอดีตสนใจศึกษาการจัดเส้นทางภายในโครงข่ายของผู้ให้บริการแต่ละรายเท่านั้น [3,4] เมื่อระบบโทรคมนาคมมีการขยายตัว โครงข่ายประกอบด้วยหลาย ๆโครงข่ายจึงมีงานวิจัยบางงานเช่น [5,6] พิจารณาการจัดเส้นทางผ่านโครงข่ายหลาย ๆ โครงข่าย โดยกำหนดแบบจำลองทางธุรกิจของโครงข่ายอินเทอร์เน็ตซึ่งประกอบด้วยการบริการหลาย ๆรูปแบบ แต่ละรูปแบบของการให้บริการจะมีความต้องการคุณภาพของสัญญาณที่จะได้รับแตกต่างกันและพิจารณาข้อมูลจากทุก ๆส่วนของการให้บริการ ใน [5] ระดับของคุณภาพของการให้บริการ (QoS) แสดงด้วยการประวิงเวลา การจัดเส้นทางจะพิจารณาจากเส้นทางที่ใช้ต้นทุนต่ำที่สุด [7] ซึ่งต้นทุนของวิธีนี้จะคิดโดยตรงจากการประวิงเวลาของการส่งข้อมูล นอกจากนั้น [6] ซึ่งใช้ QoS ประกอบการเลือกเส้นทางเช่นเดียวกันแต่นำระบบการคิดราคา และระบบบัญชีมาช่วยให้เกิดความยุติธรรมด้วย แต่การคิดต้นทุนของงานวิจัยข้างต้นยังไม่ได้คิดรวมถึงค่าบริการการเชื่อมต่อโครงข่าย งานวิจัย [8,9] ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการคิดราคาบนโครงข่ายหลายๆโครงข่าย นอกจากนั้นยังเสนอโพรโทคอลที่มีความสามารถในการบอกให้ระบบทราบว่าต้นทุนของการขอเข้าใช้บริการ (call) มีค่าเป็นเท่าใดผ่านทางโครงข่ายหลายๆโครงข่ายด้วย

การศึกษาเกี่ยวกับนโยบายการคิดราคาและการเลือกเส้นทางมุ่งหวังการจัดการทรัพยากรของโครงข่ายให้คุ้มค่า ดังนั้นในบทความนี้เป็นส่วนหนึ่งที่จะมุ่งศึกษากลยุทธ์ในการประยุกต์ศาสตร์ด้านวิศวกรรมทราฟฟิก (traffic engineering) กับปัญหาการจัดการทรัพยากรของโครงข่ายโทรคมนาคม การศึกษาจะเน้นให้เห็นภาพในองค์รวมของระบบโครงข่ายโทรคมนาคมทั้งระบบซึ่งมีผู้ให้บริการหลายรายโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอและทดสอบกลยุทธ์การเลือกเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด (optimal routing strategy) ในการส่งผ่านทราฟฟิกภายในโครงข่ายโทรคมนาคมขององค์กร ทั้งนี้โดยพิจารณาผลกระทบของการคิดค่าบริการการเชื่อมต่อโครงข่าย (interconnection charge) และต้นทุนการให้บริการโทรคมนาคม

2 การกำหนดโครงสร้างของระบบที่ใช้พิจารณา

โครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายหลาย แต่ละโครงข่ายจะเชื่อมต่อกันโดยผ่านจุดเชื่อมต่อหรือ POI (point of interconnection) การจะส่งทราฟฟิกจากโครงข่ายหนึ่งไปยังอีกโครงข่ายหนึ่งนั้นจะต้องส่งผ่านจุด POI เท่านั้น การส่งทราฟฟิกไปยังโครงข่ายอื่นนี้ส่งผลให้เกิดการคิดต้นทุนทั้งบนโครงข่ายของตนเองและต้นทุนที่เกิดจากการขอเข้าใช้บริการบนโครงข่ายอื่น ๆ ด้วย



รูปที่ 1: ตัวอย่างโครงข่ายที่ทราบลักษณะของการเชื่อมต่อและจุดเชื่อมต่อกับโครงข่ายของผู้ให้บริการรายอื่น

2.1 ลักษณะของโครงข่ายที่พิจารณา

ในบทความนี้เรียกโครงข่ายของผู้ให้บริการรายหนึ่งที่สนใจพิจารณาว่าโครงข่ายหลัก (main network) ซึ่งโครงข่ายหลักนี้เป็นโครงข่ายที่ทราบลักษณะการเชื่อมต่อ ตลอดจนสามารถจัดการ ปรับปรุง การเลือกเส้นทางบนโครงข่ายได้โดยละเอียด อย่างไรก็ตามการเชื่อมต่อโครงข่ายหลักไปยังโครงข่ายของผู้ให้บริการรายอื่นๆ ย่อมมีข้อจำกัด เช่นอาจจะมีการปฏิเสธการให้บริการ ณ จุด POI เป็นต้น ในเบื้องต้นนี้จะพิจารณาบริการเพียงรูปแบบเดียว คือ บริการที่ใช้จำนวนช่องสัญญาณคงที่ตัวอย่างเช่นบริการเสียง(voice service)

นิยามให้โครงข่ายประกอบด้วยเซตของโหนด (M_n) และเซตของข่ายเชื่อมโยง (E) ซึ่งสามารถแสดงในลักษณะของกราฟ $G(M_n, E)$ ได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 1 โดยที่

M_n คือ เซตของโหนดในโครงข่ายของผู้ให้บริการรายที่ n ทั้งนี้ $n = 0$ จะแทนโครงข่ายหลัก

E คือ เซตของข่ายเชื่อมโยงซึ่งจะแสดงได้ในรูปแบบของ (r_i, r_j) เมื่อ r_i เป็นโหนดต้นทาง และ r_j เป็นโหนดปลายทางของข่ายเชื่อมโยง

เส้นทางที่ใช้ในการส่งทราฟฟิกระหว่างคู่โหนดใด ๆ สามารถเขียนได้เป็น $R = (r_1, r_2, ..., r_k)$ เมื่อ r_1 คือโหนดต้นทาง, r_k คือโหนดปลายทาง และ $r_2, \ldots, r_{k-1}$ คือโหนดซึ่งทำหน้าที่ส่งผ่าน

2.2 การนิยามต้นทุนบนโครงข่าย

ค่าบริการและต้นทุนบนโครงข่ายหลักจะคิดก็ต่อเมื่อมีการขอเข้าใช้บริการเกิดขึ้นในโครงข่ายและโครงข่ายยอมรับการขอเข้าใช้บริการนั้น เมื่อโครงข่ายยอมรับการขอเข้าใช้บริการ

โครงข่ายจะสร้างเส้นทาง $R = (r_1, r_2, \ldots, r_k)$ ให้กับการขอเข้าใช้บริการโดยที่ค่าบริการและต้นทุนจะคิดเทียบกับเส้นทางนั้น ๆ การคิดต้นทุนของระบบแบ่ง เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. ต้นทุน ของ การ ส่ง ทราฟฟิก ผ่าน ข่าย เชื่อมโยง ระหว่างโหนด r_i และ r_j แทนด้วย $L(r_i, r_j)$ สามารถแบ่งได้เป็น 4 กรณี คือ

   (a) ต้นทุนภายในโครงข่ายหลัก (internal cost) คือ ต้นทุนต่อหน่วยคงที่รวมถึงค่าติดตั้ง ค่าบำรุงรักษาข่ายเชื่อมโยง เป็นต้น ซึ่งจะคิดเมื่อข่ายเชื่อมโยงที่โหนดต้นทางและโหนดปลายทางอยู่ในโครงข่ายหลัก นั่นคือ $r_i, r_j \in M_0$ ในทางปฏิบัติต้นทุน$L(r_i, r_j) \geqq 0$

   (b) ต้นทุนเมื่อโครงข่ายหลักเป็นต้นทาง (originate cost) คือ ต้นทุน ซึ่ง เกิด จาก การ ที่ ผู้ ให้ บริการโครงข่ายหลักขอเข้าใช้บริการเชื่อมต่อกับโครงข่ายอื่นซึ่งจะคิดเมื่อข่ายเชื่อมโยงที่โหนดต้นทางอยู่ในโครงข่าย หลัก และโหนดปลาย ทาง อยู่ ใน โครงข่ายของผู้ให้บริการรายอื่นนั่นคือ $r_i \in M_0, r_j \in M_n : n \neq 0$ ในทางปฏิบัติต้นทุน $L(r_i, r_j) \geqq 0$

   (c) ต้นทุนเมื่อโครงข่าย หลักเป็นปลายทาง (terminate cost) คือต้นทุน ซึ่ง เกิด จาก ผู้ ให้ บริการโครงข่ายอื่นขอเข้ามาเชื่อมต่อกับโครงข่ายหลักโดยโครงข่ายหลักเป็นโหนดปลายทาง จะคิดเมื่อข่ายเชื่อมโยงที่มีโหนดต้นทางอยู่ในโครงข่ายของผู้ให้บริการ ราย อื่น และโหนดปลาย ทาง อยู่ ใน โครงข่าย หลัก $r_i \in M_n, r_j \in M_0 : n \neq 0$ ในทางปฏิบัติต้นทุน $L(r_i, r_j) \leqq 0$

   (d) กรณี ที่ ข่าย เชื่อมโยง ที่ มีโหนดต้นทาง และโหนดปลาย ทาง อยู่ ใน โครงข่าย ของ ผู้ ให้ บริการรายอื่น นั่นคือ $r_i, r_j \notin M_0$ กรณีนี้จะไม่สนใจพิจารณาต้นทุน

2. ต้นทุนของการส่งทราฟฟิกผ่านโหนด r_i หรือเรียกอีกแบบหนึ่งว่าค่าขอใช้บริการโครงข่ายอื่นเพื่อเป็นทางผ่าน (transit cost) จะคิดก็ต่อเมื่อมีการส่งทราฟฟิกข้ามโครงข่ายผ่านโหนด r_i ถ้าไม่มีการส่งทราฟฟิกผ่านโครงข่ายที่โหนดนั้นต้นทุนของโหนดจะเป็นศูนย์ สามารถเขียนแทนด้วย $T(r_i)$ โดยที่

$$T(r_i) = \begin{cases} T : r_{i-1} \in M_0, r_i \in M_{n\neq 0}, r_k \in M_{m\neq n} \\ -T : r_{i-1} \in M_n, r_i \in M_0, r_k \in M_{m\neq 0} \\ 0 : otherwise \end{cases} \quad (1)$$

ดังนั้นสามารถเขียนต้นทุนรวม $C(R)$ ของการใช้เส้นทาง R ซึ่งเป็นต้นทุนที่รวมทั้งแบบคิดจากข่ายเชื่อมโยงและแบบโหนดได้ดังนี้

$$C(R) = \sum_{i=2}^{k} (L(r_{i-1}, r_i) + T(r_i)) \quad (2)$$

3 กลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง

กลยุทธ์ ใน การ จัด เส้นทาง ที่ เสนอ ใน บทความ นี้ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1: กลยุทธ์ในการจัดเส้นทาง

1. การจัดเส้นทางโดยไม่คิดค่าเชื่อมต่อโครงข่าย shortest path routing wiht no interconnection charge :nISPR)	กรณี นี้ จัด เส้นทาง โดย เลือกเส้นทาง ที่ สั้น ที่สุด โดย ยอมให้ มี การ เชื่อมต่อ โครงข่าย กับโครงข่ายหลักแต่ไม่ยอมให้ใช้โครงข่ายหลักเป็นทางผ่าน
2. การจัดเส้นทางโดยพิจารณาจาก ต้นทุน (cost-based interconnection shortest path routing:cost-based ISPR)	กรณี นี้ จะ จัด เส้นทาง โดย พิจารณาจากต้นทุนของแต่ละเส้นทางโดยจะเลือกเส้นทางที่มีต้นทุนต่ำสุด
3. การ จัด เส้นทาง โดย พิจารณาจาก การ ใช้ ทรัพยากร โครงข่าย (resource-based interconnection shortest path routing :resource-based ISPR)	กรณี นี้ จะ จัด เส้นทาง โดย พิจารณา จาก การ ใช้ ทรัพยากร โครงข่ายต่ำสุด

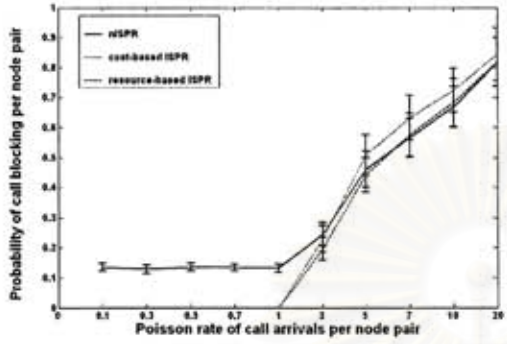
4 ตัวอย่างการจำลองโครงข่ายที่มีผู้ให้บริการหลายราย

ตัวอย่างนี้จะแสดงผลการจำลองโครงข่ายในรูปที่ 1 โดย พิจารณา สถานการณ์ ตาม กลยุทธ์ ใน การ จัด เส้นทาง ใน ตารางที่ 1 รูปแบบของโครงข่ายและความจุของข่ายเชื่อมโยงมีโหนดทั้งหมด 10 โหนดผู้ให้บริการจำนวน 3 รายโดย$M_o = \{1, 2, 3, \ldots, 6\}, M_1 = \{7, 8\}$ และ $M_2 = \{9, 10\}$ พารามิเตอร์ที่ใช้และสมมุติฐานในการจำลองการเลือกเส้นทางมีดังนี้

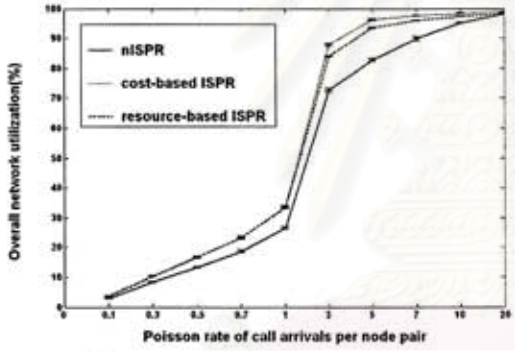
การขอเข้าใช้บริการมีโหลดเท่ากันในทุก ๆ คู่โหนด โดยมีการกระจายเป็นแบบปัวส์ซงและการขอเข้าใช้บริการเป็นอิสระต่อกัน ความจุของข่ายเชื่อมโยงแต่ละอันเท่ากับ 30 ช่องสัญญาณ รายได้ต่อการขอเข้าใช้บริการแต่ละครั้งคือ 10 หน่วย (ไม่ขึ้นกับระยะเวลาในการใช้บริการซึ่งมีการแจกแจงเป็นแบบเลขชี้กำลัง) ค่าใช้จ่ายภายในโครงข่ายหลักมีค่าเป็น 1 หน่วยต่อช่องสัญญาณต่อข่ายเชื่อมโยง ค่าเชื่อมต่อแบบ originate และแบบ terminate มีค่าเป็น 1 หน่วยต่อช่องสัญญาณ ค่า transit มีค่าเป็น 3,5,6 หน่วยต่อช่องสัญญาณของ M_0, M_1, M_2 ตามลำดับ จำนวนเหตุการณ์ที่มีผู้เรียกเข้าและ

ออกจากโครงข่ายรวมทั้งหมดคือ 50,000 เหตุการณ์ ใช้เทคนิคการจำลอง ระบบแบบเหตุการณ์เต็มหน่วย(discrete event simulation) แล้ววัดผลการทดลองด้วยช่วงความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้เทคนิคของค่าเฉลี่ยช่วง (confidence interval estimation by batch mean)[10]

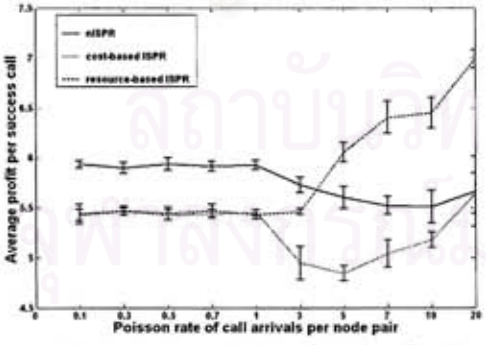
5 ผลการจำลองโครงข่าย



รูปที่ 2: ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียกเข้าของแต่ละคู่โหนด



รูปที่ 3: ค่าอรรถประโยชน์โดยรวมของระบบ



รูปที่ 4: กำไรต่อจำนวนการเรียกที่เรียกได้สำเร็จ

จากผลการทดลองพบว่า วิธีการเลือกเส้นทางที่ไม่คิดค่าบริการการเชื่อมต่อโครงข่ายนั้นให้ค่าอรรถประโยชน์น้อยที่สุดในทุกๆ ช่วงโหลดเหตุเพราะต้องปฏิเสธการให้บริการกับการขอเข้าใช้บริการจากโครงข่ายอื่นที่มาขอใช้โครงข่ายหลักเป็นทางผ่านและ ปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการจากโครงข่ายของเราที่ต้องการผ่านโครงข่ายอื่น ดังแสดงในรูปที่ 2 การปฏิเสธนี้เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้โครงข่ายหลักสูญเสียรายได้จากการผ่านทาง หากว่าโครงข่ายหลักมีการขอเข้าใช้บริการในลักษณะนี้ค่อนข้างมากอาจจะทำให้สูญเสียรายได้เป็นปริมาณมหาศาล

แม้ว่าในช่วงที่ปริมาณโหลดมีค่ากำไรจากการไม่คิดค่าเชื่อมต่อโครงข่ายจะสูงกว่าการจัดเส้นทางโดยพิจารณาจากต้นทุน และสูงกว่านโยบายการจัดเส้นทางแบบพิจารณาทรัพยากรรวมของโครงข่ายทั้งหมด อันเนื่องมาจากว่ารายได้ของแต่ละการขอเข้าใช้บริการนั้นเรียกเก็บได้เฉพาะจากลูกค้าของโครงข่ายหลักเท่านั้น แต่ว่าการเชื่อมต่อที่มีต้นทางอยู่ในโครงข่ายอื่น ($r_i \in M_{n\neq 0}$) และปลายทางอยู่ในโครงข่ายหลัก ($r_j \in M_0$) ไม่ได้รับรายได้ ($L(r_i, r_j) = 0$) แต่ทว่าในระยะยาวแล้วเมื่อมีผู้เข้ามาใช้บริการในโครงข่ายมากยิ่งขึ้นเห็นได้ชัดเจนว่าการจัดเส้นทางแบบพิจารณาทรัพยากรรวมของทั้งโครงข่ายให้ผลดีที่สุดซึ่งคือให้กำไรสูงสุด เพราะในกรณีที่ไม่คิดค่าเชื่อมต่อโครงข่ายเป็นเหตุให้ช่วงโหลดสูงการขอเข้าใช้บริการแบบ $r_i \in M_n$ และ $r_j \in M_0$ มีปริมาณมากรายได้เฉลี่ยต่อการขอเข้าใช้บริการรวมจึงตก ส่วนวิธีการคิดค่าบริการแบบพิจารณาต้นทุนในช่วงโหลดขนาดกลางที่โครงข่ายยังพอมีช่องสัญญาณว่างปริมาณการขอเข้าใช้บริการที่ต้องการใช้โครงข่ายเป็นทางผ่านมีเพิ่มขึ้น รายได้เฉลี่ยต่อการขอเข้าใช้บริการรวมจึงตกลงจนกระทั่งโครงข่ายเริ่มเต็มการขอเข้าใช้บริการที่มีเส้นทางที่ใช้ทรัพยากรไม่มากนักเท่านั้นจึงจะไม่ถูกปฏิเสธ

6 สรุป

การคิดค่าบริการระหว่างโครงข่ายนั้นเป็นหัวใจสำคัญที่จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการให้บริการและเพิ่มโอกาสในการแข่งขันกับผู้ให้บริการรายอื่น แม้ว่าในมุมมองของผู้ให้บริการโครงข่ายย่อมต้องการให้โครงข่ายที่สร้างคุ้มค่าต่อการลงทุนและเป็นฝ่ายได้เปรียบในโลกของการแข่งขัน หรือเสียเปรียบคู่แข่งน้อยที่สุดและพยายามจัดการโครงข่ายโดยเลือกเส้นทางที่ต้นทุนต่ำดังเช่นกลยุทธ์แบบ cost-based ISPR เพื่อหวังจะให้ได้กำไรสูงที่สุด แต่ทว่าในความเป็นจริงแล้วหากมีการร่วมมือระหว่างผู้ให้บริการด้วยกัน การช่วยเหลือเกื้อกูลซึ่งกันและกันการใช้โครงข่ายในภาพรวมอย่างคุ้มค่าดังเช่นกลยุทธ์แบบ resource-basec ISPR ย่อมจะอำนวยให้เกิดประโยชน์ต่อทุก ๆ ฝ่ายสูงสุด

หนังสืออ้างอิง

[1] สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, ความเป็นมานโยบาย และผลกระทบของการเปิดเสรีกิจการโทรคมนาคม, 2545

[2] ดร.อนุภาพ ธิรลาภ, การเชื่อมต่อโครงข่าย: ข้อได้เปรียบเสียเปรียบในทางปฏิบัติ , สถาบันบริหารและการจัดการโทรคมนาคมไทย, 2545

[3] IEEE communication Magazine,vol. 33,No.7,July 1995.

[4] Girad,A. Routing and Dimensioning in Circuit-Switched Networks, Massachusetts : Addison-Wesley,1990.

[5] Blefari-Melazzi, N.; Di Sorte, D.; Reali, G.; "Inter-Domain Routing Algorithms that Maximize Users' Benefit in an Internet Business Model" Global Telecommunications Conference, 2002. GLOBECOM '02. IEEE Volume 3, 17-21 Nov. 2002 Page(s):2969 - 2973 vol.3

[6] Nakamura, M.; Sato, M.; Hamada, T.;"A pricing and accounting architecture for QoS guaranteed services on a multi-domain network" Global Telecommunications Conference, 1999. GLOBECOM '99 Volume 3, 1999 Page(s):1984 - 1988 vol.3

[7] Dimitrijevic, D.D.; Maglaris, B.; Boorstyn, R.R.; "Routing in multi-domain networks" INFOCOM '91. Proceedings. Tenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Networking in the 90s. IEEE 7-11 April 1991 Page(s):257 - 264 vol.1

[8] Di Sorte, D.; Reali, G.; "Minimum price inter-domain routing algorithm" Communications Letters, IEEEVolume 6, Issue 4, April 2002 Page(s):165 - 167

[9] Li,Liang ; Arvanitis, T.N.; Woolley, S.I.; "A new charging scheme for multi-domain DiffServ networks"Global Telecommunications Conference, 2003. GLOBECOM '03. IEEE Volume 7, 1-5 Dec. 2003 Page(s):4074 - 4078 vol.7

[10] Law,A.M.;Kelton,W.D.; Simulation modeling and analysis, McGraw-hill international series 2000

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ฉัตรขวัญ วรรณศิริ เกิดเมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ.2522 ที่จังหวัดเชียงราย สำเร็จการศึกษาชั้นประถมจากโรงเรียนอนุบาลเชียงรายในปี พ.ศ. 2535 หลังจากนั้นศึกษาต่อที่โรงเรียนดำรงราษฎร์สงเคราะห์ และโรงเรียนสามัคคีวิทยาคมจนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมต้นและมัธยมปลายตามลำดับในพ.ศ. 2540 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเชียงใหม่จนสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ในปี พ.ศ. 2544 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย