

การศึกษากลยุทธ์การจัดเส้นทางใหม่แบบมัลติคาสต์
สำหรับการจัดเส้นทางของทรีแบบพลวัต

นายปรัชญา ใจสุทธิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STUDY OF MULTICAST REROUTING STRATEGY FOR DYNAMIC TREE
ROUTING



MR. PRATCHAYA JAISUDTHI

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

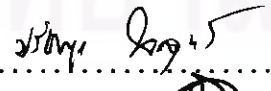

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

ปรัชญา ใจสุทธิ : การศึกษากลยุทธ์ การจัดเส้นทางใหม่แบบ มัลติคาสต์ สำหรับการ
การจัดเส้นทางของทรีแบบพลวัต (STUDY OF MULTICAST REROUTING
STRATEGY FOR DYNAMIC TREE ROUTING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
: ผศ. ดร. เขวณต์ดิศ อัสวกุล, 60 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอกลไกการปรับปรุงสมรรถนะสำหรับการสร้างและจัดการทรีอย่าง
พลวัตภายในโครงข่ายแบบสูญเสียสำหรับบริการเดียว หลักการที่ใช้อยู่บนพื้นฐานของกลยุทธ์สำหรับ
การจัดเส้นทางทรีใหม่อย่างเหมาะสมของเซสชันบนโครงข่ายส่วนตัวเสมือนแบบมัลติคาสต์ตามเขต
ของเหตุการณ์ที่ใช้กระตุ้น โดยเฉพาะเมื่อมีความต้องการเข้าและออกใหม่ของวีพีเอ็น การจัดเส้นทาง
ทรีแบบเป็นลำดับ (sequential tree routing: STR) และการจัดเส้นทางทรีเมื่อเลือกอย่างพลวัต
(dynamic alternative tree routing: DATR) ซึ่งนำเสนอใหม่ในที่นี้ ได้ถูกรวมเข้ากับกลยุทธ์
การจัดเส้นทางใหม่ด้วยการจัดสรรทรัพยากรของข่ายเชื่อมโยงโดยขึ้นอยู่กับกรอบแนวคิดของฟังก์ชัน
แบนด์วิดท์ประสิทธิผลที่เป็นที่รู้จักกันดี โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้ทดสอบวิธีการจัดเส้นทางทรีใหม่ทั้ง
กรณีเมื่อมีการเรียกเข้า (arrival-triggering tree rerouting: ATRR) และการเรียกออก (departure-
triggering tree rerouting: DTRR) ของเซสชันเพื่อนำไปใช้ร่วมกับการจัดเส้นทางทรีแบบ STR
และแบบ DATR การทดสอบในที่นี้ได้รวมถึงรูปแบบการผสมผสานการจัดเส้นทางทรีร่วมกับการจัด
เส้นทางทรีใหม่ใน 6 ลักษณะ ได้แก่ ATRR-STR, ATRR-DATR, STR-ATRR, DATR-ATRR,
DTRR&STR และ DTRR&DATR โดยเปรียบเทียบกับ STR และ DATR หลักการร่วมกันคือ
การพยายามย้ายเซสชันที่ใช้งานอยู่บนทรีเมื่อเลือกในขณะนั้นกลับไปยังทรีที่เหมาะสมที่สุดและมี
ต้นทุนต่ำกว่า จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการจัดเส้นทางทรีใหม่ช่วยทำให้โครงข่ายจัดการกับเซสชัน
มัลติคาสต์ได้ดีขึ้นโดยจะทำให้ลดค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันลงได้ในทุกกรณีที่ทดสอบ ค่าโอกาส
การปฏิเสธเซสชันที่ลดลงนั้นมีนัยสำคัญสำหรับกรณีของ STR มากกว่าสำหรับกรณีของ DATR
อย่างไรก็ตามการปรับปรุงสมรรถนะของการจัดเส้นทางทรีที่ได้มานั้นต้องแลกเปลี่ยนมาด้วยความ
ซับซ้อนของขั้นตอนวิธีที่เพิ่มขึ้นในรูปของสัดส่วนการจัดเส้นทางเมื่อเลือกและสัดส่วนการจัดเส้นทาง
ใหม่ ที่จะต้องเพิ่มขึ้นตามโดยเฉพาะสำหรับกรณีของ STR ส่วนกรณีของ DATR นั้นจากผลการ
ทดลองที่ได้ทำให้พบว่า DATR สามารถทำงานตามลำพังได้เป็นอย่างดีโดยไม่มีความจำเป็นต้องพึ่งการ
จัดเส้นทางทรีใหม่และดังนั้นไม่ทำให้เกิดความซับซ้อนของระบบเพิ่มเติม ผลที่ได้ในวิทยานิพนธ์นี้จึง
คาดหวังได้ว่าจะเป็นการเสนอแนะแนวปฏิบัติที่เป็นประโยชน์ในการจัดการเส้นทางทรีในทางปฏิบัติได้

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต..... 
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... 
ปีการศึกษา 2552

4970429021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORDS: MULTICAST REROUTING / DYNAMIC TREE ROUTING.

PRATCHAYA JAISUDTHI : STUDY OF MULTICAST REROUTING STRATEGY FOR DYNAMIC TREE ROUTING. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. CHAODIT ASWAKUL, Ph.D., 60 pp.

In this thesis, a performance improvement mechanism has been proposed for building and managing dynamic trees inside a single service loss network. The principle is based on strategies for rerouting multicast virtual private network (VPN) sessions appropriately according to a set of triggering events. In particular, upon a new arrival and departure of VPN demand, the sequential tree routing (STR) and the here-in proposed dynamic alternative tree routing (DATR) have been combined with rerouting strategies with link resource allocation relying on the well-known framework of effective bandwidth functions. This thesis has investigated both arrival-triggering tree rerouting (ATRR) and departure-triggering tree rerouting (DTRR) of sessions to combine with STR and DATR. Testing here has included the integration of tree routing and tree rerouting in 6 combinations that are ATRR-STR, ATRR-DATR, STR-ATRR, DATR-ATRR, DTRR&STR and DTRR&DATR with benchmarking on STR and DATR. The common principle is to try to move current sessions on their alternative tree to the optimal and lower-cost tree.

From the experimental results, it can be concluded that tree rerouting helps the network manage multicast sessions better by reducing the session blocking probability (SBP) in all tested cases. The decrease in SBP is more significant for the STR case than for the DATR case. However, the obtainable performance improvement by tree rerouting must be traded off with the increased protocol complexity in terms of the increase in alternative tree routing ratio and tree rerouting ratio especially for the case of STR. As for DATR, the experimental results lead to the finding that DATR can work well even without tree rerouting and hence with no additional system complexity. The results in this thesis are thus expected to provide useful guidelines in tree routing management in practice.

Department : Electrical Engineering Student's Signature
 Field of Study : Electrical Engineering Advisor's Signature
 Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างยิ่ง จากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร.เชาวน์ดิศ อัสวกุล ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบคุณมา ณ ที่นี้

ขอบคุณนางสาวกสิกา สุขสมบูรณ์ นิสิตปริญญาเอก คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาดี ๆ รวมทั้งเพื่อนนักวิจัยทุกคน ในศูนย์เชี่ยวชาญเทคโนโลยีระบบโทรคมนาคม (Center of Excellence in Telecommunication System) สถานที่ทำงานวิจัย

ขอบคุณ ดร.สุรียัน ดิษยาธิคม เจ้าของบริษัทอินเกรสต์ (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ผู้ทำวิจัยได้ทำงานอยู่ระหว่างที่ทำการวิจัย และได้รับอนุเคราะห์ทั้งในเรื่องเงินเดือนและเวลาในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ บิดา มารดา พี่และน้อง ซึ่งได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยุทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญตาราง | ฌ |
| สารบัญภาพ | ญ |
| 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 4 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย | 4 |
| 1.4 ประมวลวิทยานิพนธ์ | 4 |
| 2 แนวคิดและทฤษฎี | 6 |
| 2.1 พื้นฐานของการจัดเส้นทางอย่างพลวัต | 6 |
| 2.2 การจัดเส้นทางใหม่ | 7 |
| 2.3 ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม | 14 |
| 2.3.1 การแทนสมมุติฐานและการเข้ารหัสพารามิเตอร์ | 15 |
| 2.3.2 ค่าความเหมาะสม | 15 |
| 2.3.3 การดำเนินการทางพันธุกรรม | 16 |
| 2.3.4 สรุปลักษณะการทำงานของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมในวิทยานิพนธ์ | 20 |
| 2.4 การวัดสมรรถนะของการจัดเส้นทาง | 21 |
| 2.5 สมมุติฐาน การแบ่ง แบน วิดท์ ให้ บริการ แต่ละ ประเภท แบบ แยก จาก กัน โดย สมบูรณ์ | 21 |
| 2.6 ฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผล | 23 |
| 3 กลยุทธ์ในการจัดเส้นทางที่เสนอ | 26 |
| 3.1 การจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ | 26 |
| 3.2 การจัดเส้นทางของทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต | 26 |

| | | |
|-----|--|----|
| 3.3 | การจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชัน | 29 |
| 3.4 | การจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชัน | 31 |
| 3.5 | ขั้นตอนวิธีที่เสนอสำหรับกระบวนการจัดเส้นทางทรีใหม่ | 31 |
| 3.6 | ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี | 34 |
| 4 | ผลการทดลอง | 36 |
| 4.1 | พารามิเตอร์ของฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผล | 36 |
| 4.2 | การประเมินสมรรถนะการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชันร่วมกับขั้นตอนวิธี STR | 37 |
| 4.3 | การประเมินสมรรถนะขั้นตอนวิธี DATR ในโครงข่ายแบบต่าง ๆ | 42 |
| 4.4 | การประเมินสมรรถนะการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชันร่วมกับขั้นตอนวิธี DATR | 44 |
| 4.5 | การประเมินสมรรถนะการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชัน | 47 |
| 5 | บทสรุปและข้อเสนอแนะ | 55 |
| 5.1 | บทสรุป | 55 |
| 5.2 | ข้อเสนอแนะ | 56 |
| | รายการอ้างอิง | 57 |
| | ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ | 60 |



สารบัญตาราง

| | |
|---|----|
| ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผลสำหรับทราฟฟิกของวีพีเอ็น (VPN) | 36 |
| ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ ของ ฟังก์ชัน แบนด์วิดท์ ประสิทธิภาพ สำหรับ บริการ การประชุมทางวิดีโอ | 37 |



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญภาพ

| | | |
|-------------|--|----|
| รูปที่ 2.1 | ลักษณะของโครงข่ายเชื่อมต่อเต็มที่ (fully connected network) | 10 |
| รูปที่ 2.2 | การเรียกเข้าโครงข่ายเพื่อขอรับบริการ | 10 |
| รูปที่ 2.3 | จำนวนวงจรที่ว่างอยู่ในแต่ละข่ายเชื่อมโยง | 11 |
| รูปที่ 2.4 | การเรียกออกจากโครงข่ายเมื่อสิ้นสุดบริการ | 11 |
| รูปที่ 2.5 | จำนวนวงจรที่ว่างอยู่ในแต่ละข่ายเชื่อมโยง | 12 |
| รูปที่ 2.6 | การเชื่อมต่อในรูปของทรี | 15 |
| รูปที่ 2.7 | แถวลำดับข้อมูลของโนดพ่อแม่ | 15 |
| รูปที่ 2.8 | ตัวอย่างโครงข่ายและต้นทุนในการสร้างทรีด้วยข่ายเชื่อมโยงในแต่ละกิ่ง . . | 16 |
| รูปที่ 2.9 | แถวลำดับข้อมูลของทรีและการเชื่อมต่อทรีของโครงข่าย | 17 |
| รูปที่ 2.10 | รูปแบบกระบวนการครอสโอเวอร์ | 18 |
| รูปที่ 2.11 | แถวลำดับข้อมูลของทรีและการเชื่อมต่อทรีที่ 1 | 18 |
| รูปที่ 2.12 | แถวลำดับข้อมูลของทรีและการเชื่อมต่อทรีที่ 2 | 18 |
| รูปที่ 2.13 | ผลลัพธ์ของกระบวนการครอสโอเวอร์ | 19 |
| รูปที่ 2.14 | แถวลำดับข้อมูลและการเชื่อมต่อของประชากรลูกหลานชุดที่ 1 | 19 |
| รูปที่ 2.15 | แถวลำดับข้อมูลและการเชื่อมต่อของประชากรลูกหลานชุดที่ 2 | 19 |
| รูปที่ 2.16 | ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการกลายพันธุ์ | 20 |
| รูปที่ 2.17 | การเชื่อมต่อของทรีหลังจากกระบวนการกลายพันธุ์ | 20 |
| รูปที่ 2.18 | รูปแบบ การ จัดสรร แบนด์วิดท์ ของ ข่าย เชื่อมโยง แบบ แบ่งแยก ทรัพยากร อย่าง สมบูรณ์ | 22 |
| รูปที่ 3.1 | ผังงานแสดงขั้นตอนของวิธีการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ | 27 |
| รูปที่ 3.2 | ผังงานแสดงขั้นตอนของวิธีการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต | 28 |
| รูปที่ 3.3 | ผังงานแสดงขั้นตอนของกระบวนการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชัน | 30 |
| รูปที่ 3.4 | ผังงานแสดง ขั้นตอน ของ กระบวนการ จัด เส้นทาง ทรี ใหม่ เมื่อ มีการ เรียก ออกของเซสชัน | 32 |
| รูปที่ 4.1 | ฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผลสำหรับทราฟฟิกของวีพีเอ็น | 38 |
| รูปที่ 4.2 | ฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผลสำหรับทราฟฟิกของบริการการประชุมวีดิทัศน์ | 38 |

| | | |
|-------------|--|----|
| รูปที่ 4.3 | โอกาสการปฏิเสธการเรียกของเซสชันเมื่อเปรียบเทียบกรณี STR STR-ATTR และ ATTR-STR | 40 |
| รูปที่ 4.4 | สัดส่วน การ จัด เส้นทาง ใหม่ เมื่อ เปรียบเทียบ กรณี STR-ATTR และ ATTR-STR | 41 |
| รูปที่ 4.5 | สัดส่วน การ จัด เส้นทาง ท รี เพื่อ เลือ ก เมื่อ เปรียบเทียบ กรณี STR STR-ATTR และ ATTR-STR | 41 |
| รูปที่ 4.6 | ค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันสำหรับโครงข่าย (A) FM (B) FM-RM1 (C) FM-RM2 และ (D) FM-RM3 | 43 |
| รูปที่ 4.7 | โอกาส การ ปฏิเสธเซสชันเมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชัน เมื่อเปรียบเทียบ กรณี STR DATR DATR-ATTR และ ATTR-DATR | 45 |
| รูปที่ 4.8 | สัดส่วนการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกเมื่อเปรียบเทียบกรณี STR DATR DATR-ATTR และ ATTR-DATR | 46 |
| รูปที่ 4.9 | สัดส่วนการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อเปรียบเทียบกรณี DATR-ATTR และ ATTR-DATR | 46 |
| รูปที่ 4.10 | โอกาสการปฏิเสธเซสชันเมื่อมีการเรียกออกของเซสชัน เมื่อเปรียบเทียบ กรณี STR DATR DTRR&STR และ DTRR&DATR | 48 |
| รูปที่ 4.11 | สัดส่วนการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกเมื่อเปรียบเทียบกรณี STR DATR DATR-ATTR และ ATTR-DATR ในกรณีที่มีการเรียกออกของเซสชัน . . . | 48 |
| รูปที่ 4.12 | สัดส่วนการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อเปรียบเทียบกรณี DATR-ATTR และ ATTR-DATR ในกรณีที่มีการเรียกออกของเซสชัน | 49 |
| รูปที่ 4.13 | โอกาส การ ปฏิเสธเซสชันเมื่อเปรียบเทียบกรณี DATR, DATR-ATTR, ATTR-DATR และ DTRR&DATR | 50 |
| รูปที่ 4.14 | สัดส่วนการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกเมื่อเปรียบเทียบกรณี DATR, DATR-ATTR, ATTR-DATR และ DTRR&DATR | 51 |
| รูปที่ 4.15 | สัดส่วน การ จัด เส้นทาง ท รี ใหม่ เมื่อ เปรียบเทียบ กรณี DATR-ATTR, ATTR-DATR และ DTRR&DATR | 51 |
| รูปที่ 4.16 | โอกาสการปฏิเสธเซสชันเมื่อเปรียบเทียบกรณี STR, STR-ATTR, ATTR-STR และ DTRR&STR | 52 |
| รูปที่ 4.17 | สัดส่วนการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกเมื่อเปรียบเทียบกรณี STR, STR-ATTR, ATTR-STR และ DTRR&STR | 52 |

| | |
|---|----|
| รูปที่ 4.18 สัดส่วนการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อเปรียบเทียบกรณี STR-ATTR, ATTR-STR และ DTRR&STR | 53 |
|---|----|



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา การพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาทั้งทางด้านโครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายและทางด้านบริการบนโครงข่าย ซึ่งในปัจจุบันโครงข่ายสามารถรองรับบริการที่หลากหลายรูปแบบ ทั้งข้อมูลภาพ ข้อมูลเสียง และข้อมูลวีดิทัศน์ บริการเหล่านี้มีทั้งเป็นบริการติดต่อสื่อสารแบบยูนิคาสต์และแบบมัลติคาสต์ ซึ่งปัจจุบันการให้บริการติดต่อสื่อสารแบบมัลติคาสต์เริ่มมีบทบาทและเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านการประชุมทางวีดิทัศน์ (video-conferencing) และการส่งข้อมูลสื่อประสมอย่างต่อเนื่องแบบทันกาล (real-time multimedia streaming) ซึ่งผู้ให้บริการโครงข่ายจำเป็นต้องมีการรับประกันบริการเหล่านั้นและปรับปรุงคุณภาพของการให้บริการ (QoS) ของโครงข่ายให้ดีขึ้น แต่โครงข่ายที่ให้บริการมีทรัพยากรที่จำกัด เมื่อข่ายเชื่อมโยงใดในโครงข่ายเกิดปัญหาความคับคั่งจะทำให้เซสชันที่ใช้ข่ายเชื่อมโยงดังกล่าวหยุดชะงักและเซสชันที่ต้องการเข้าใช้บริการถูกปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการ จึงต้องหาวิธีจัดการกับปัญหาความคับคั่งของโครงข่ายอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งกลวิธีหนึ่งที่สำคัญได้แก่การจัดการเส้นทางสำหรับรับส่งข้อมูล

สำหรับการจัดการเส้นทางของการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ซึ่งต้องส่งข้อมูลชุดเดียวกันไปยังเครื่องปลายทางหลายเครื่องพร้อม ๆ กันบนทรีที่เหมาะสม ซึ่งเครื่องปลายทางเหล่านั้นจะเป็นสมาชิกของเซสชันมัลติคาสต์ซึ่งอยู่บนทรีมัลติคาสต์ การจัดการเส้นทางหรือการหาทรีที่เหมาะสมดังกล่าวมีขั้นตอนวิธีมากมาย (เช่น [1, 2, 3]) แต่อย่างไรก็ตามการค้นหาทรีที่เหมาะสมสำหรับบริการแบบมัลติคาสต์ยังเป็นปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์ (NP-complete) [4] ซึ่งมีความยุ่งยากซับซ้อน ดังนั้นคำตอบและแนวคิดในการค้นหาทรีที่เหมาะสมยังเป็นสิ่งที่จำเป็นในการศึกษาต่อไป

ในการจัดการเส้นทางโดยปกติ โครงข่ายจะพยายามใช้ทรีที่มีต้นทุนต่ำสุด (minimum cost tree) เท่าที่จะเป็นไปได้ ถ้าเซสชันที่เข้ามาถูกปฏิเสธเพราะข่ายเชื่อมโยงอย่างน้อยหนึ่งข่ายเชื่อมโยงซึ่งเป็นของทรีต้นทุนต่ำสุดไม่สามารถเข้าเป็นสมาชิกของเซสชันได้ เซสชันดังกล่าวอาจจะถูกปฏิเสธทันที หรือแทนที่จะทิ้งเซสชันดังกล่าวไป โครงข่ายจะทดลองเปลี่ยนเซสชันดังกล่าวไปยังทรีที่มีต้นทุนสูงกว่า ดังนั้นการเรียก (call) จะถูกย้ายไป

ใช้ทรีที่มีต้นทุนสูงกว่าตามลำดับ กลวิธีในการจัดหรืออย่างพลวัตนี้ มีหลักการเดียวกับการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ (sequential tree routing)

อย่างไรก็ตาม การใช้ทรีเพื่อเลือก (alternative tree) ซึ่งเป็นทรีที่มีต้นทุนสูงกว่าทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดของการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับดังกล่าว ถึงแม้ว่าจะสามารถลดโอกาสการปฏิเสธของการเรียกได้ แต่การใช้ทรีเพื่อเลือกก็นำมาซึ่งการใช้ทรัพยากรของโครงข่ายมากกว่าการใช้ทรีที่มีต้นทุนต่ำสุด การใช้ทรีเพื่อเลือกโดยไม่พิจารณาถึงความเหมาะสม จึงทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายลดลงและโครงข่ายไม่มีเสถียรภาพได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีจัดการทรีเพื่อเลือกเหล่านั้นให้เหมาะสม

การจัดเส้นทางเพื่อเลือกอย่างพลวัต (dynamic alternative routing: DAR) [5] เป็นวิธีหนึ่งของการจัดเส้นทางอย่างพลวัตของการสื่อสารแบบยูนิคาสต์ซึ่งจะพิจารณาเส้นทางเพื่อเลือกที่เหมาะสมสำหรับการเรียกล้น (overflow call) โดยพยายามทำให้ปริมาณทราฟฟิกมีสมดุลในเส้นทางเพื่อเลือกต่าง ๆ ให้มากที่สุดและต้องไม่ทำให้โครงข่ายเกิดความคับคั่งด้วยวิธีดังกล่าวเป็นการจัดเส้นทางอย่างพลวัตตามเหตุการณ์ โดยกลไกของ DAR จะพยายามเติมเส้นทางเพื่อเลือกระหว่างคูโนดให้เต็มเท่าที่จะเป็นไปได้ก่อนที่การปฏิเสธการเรียกจะเกิดขึ้นบนเส้นทางเพื่อเลือกดังกล่าว และหลังจากนั้นเพื่อป้องกันการปฏิเสธการเรียก กลไกของ DAR จะทำการเลือกสุมเส้นทางเพื่อเลือกใหม่สำหรับการเรียกถัดไป

จากกระบวนการทำงานของ DAR ดังกล่าวซึ่งไม่จำเป็นต้องพยายามเข้าใช้เส้นทางเพื่อเลือกทุกเส้นทาง แต่อาศัยการเรียนรู้สภาวะแวดล้อมของโครงข่ายในปัจจุบัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอการนำการจัดเส้นทางอย่างพลวัตไปใช้กับการสื่อสารแบบมัลติคาสต์ โดยเรียกว่าการจัดเส้นทางของทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต (dynamic alternative tree routing: DATR) โดยนำกระบวนการค้นหาจำนวนทรีที่เหมาะสมสำหรับบริการแบบมัลติคาสต์ ซึ่งมีเป้าหมายที่จะลดจำนวนในการจัดเส้นทางแบบเพื่อเลือกและทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายดีขึ้น โดยขั้นตอนวิธีที่เสนอจะถูกพิจารณาสำหรับโครงข่ายส่วนตัวเสมือนแบบมัลติคาสต์ (multicast virtual private network) และกำหนดจำนวนทรีเพื่อเลือกไว้ค่าหนึ่งเพื่อความสะดวกในการค้นหาทรีเพื่อเลือกและจำกัดต้นทุนในการจัดเส้นทางไปยังทรีเพื่อเลือก

การจัดเส้นทางเพื่อเลือกเกินความจำเป็นจะทำให้ทรัพยากรในโครงข่ายถูกใช้มากเกินไปเนื่องจากเส้นทางเพื่อเลือกจะใช้ทรัพยากรที่มากกว่าเส้นทางหลัก ซึ่งจะทำให้โครงข่ายเกิดปัญหาคอขวดขึ้นได้ ในงานวิจัย [6, 7, 8] จึงได้เสนอวิธีการจัดเส้นทางใหม่ (rerouting) ซึ่งจะย้ายการเรียกบนเส้นทางเพื่อเลือกกลับไปยังเส้นทางตรงหรือเส้นทางเพื่อเลือกอื่นที่มีความคับคั่งน้อยกว่า ร่วมกับการจัดเส้นทางเพื่อเลือกสำหรับการเรียกแบบยูนิคาสต์แบบ DAR

และการจัดเส้นทางที่มีโหลดน้อยที่สุด (least loaded routing: LLR) ผลการวิจัยพบว่าการจัดเส้นทางใหม่ดังกล่าวได้ให้ประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางที่ดีกว่าการจัดเส้นทางเพื่อเลือกแบบ DAR หรือแบบ LLR เพียงอย่างเดียว โดยนอกจากจะทำให้ค่าโอกาสการปฏิเสธการเรียกมีค่าน้อยลงแล้ว การจัดเส้นทางใหม่ดังกล่าวยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการขยายขนาดของโครงข่ายอีกด้วย นอกจากนี้งานวิจัย [9, 10] ได้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการจัดเส้นทางใหม่ของเซสชัน โดยย้ายเซสชันมัลติคาสต์ที่ใช้งานอยู่ในขณะนั้นกลับไปยังทรีที่เหมาะสม (optimal tree) และมีต้นทุนต่ำสุด การสร้างและจัดการทรีสำหรับเซสชันมัลติคาสต์จึงมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำการจัดเส้นทางทรีใหม่ (tree rerouting) มาประยุกต์ใช้กับกราฟฟิกแบบมัลติคาสต์ซึ่งจะนำไปใช้ร่วมกับ DATR

สำหรับงานวิจัยนี้มีกรอบการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีของโครงข่ายแบบสูญเสีย (loss network) กลไกการปรับปรุงประสิทธิภาพได้ถูกนำเสนอสำหรับการสร้างและการจัดการตัวอย่างพลวัต เนื่องจากปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์ งานวิจัยนี้จึงได้ใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม (genetic algorithm: GA) [3, 11] เข้ามาใช้ในการค้นหาทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดจำนวน k ทรีเพื่อนำไปใช้เป็นโครงสร้างของสมาชิกมัลติคาสต์ แล้วใช้กลยุทธ์สำหรับการจัดเส้นทางใหม่ของเซสชันมัลติคาสต์โครงข่ายส่วนตัวเสมือน (virtual private network) บนทรี k ที่เหมาะสมเมื่อมีการเรียกเข้า (arrival triggering) และมีการเรียกออก (departure triggering)

งานวิจัยนี้ได้พิจารณาสเกลเวลา (time-scale) อยู่ในระดับการเรียก (call-level) นั่นคือด้วยการเข้ามาใหม่หรือออกไปของเซสชัน ยิ่งไปกว่านั้นในระดับแพ็กเก็ต (packet-level) ได้ใช้แบนด์วิดท์ประสิทธิผล (effective bandwidth) หรือความจุสมมูล (equivalent capacity) [12] มาพิจารณาด้วย ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งสามารถสะท้อนต้นทุนที่ลดลงจากผลของการร่วมเข้าใช้ซึ่งเกิดจากการมัลติเพล็กซ์เชิงสถิติ (statistical multiplexing) โดยการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้แก่แต่ละการเชื่อมต่อจะมีค่าคงที่ต่ำกว่าอัตราบิตสูงสุดของการเชื่อมต่อ นั้น แต่สูงกว่าอัตราบิตข้อมูลเฉลี่ย

จากที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้เสนอการเลือกเส้นทางของทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัตสำหรับบริการประเภทมัลติคาสต์ โดยใช้ขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางใหม่สำหรับการจัดเส้นทางของทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต โดยจำลองระบบด้วยกลวิธีจำลองแบบเหตุการณ์เต็มหน่วย (discrete event simulation) และใช้โอกาสการปฏิเสธเซสชัน (session blocking probability) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่เสนอ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เสนอการจัดเส้นทางของทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต ที่มุ่งหวังในการจัดการทรัพยากรของโครงข่ายให้คุ้มค่า
2. เสนอการจัดเส้นทางใหม่แบบมัลติคาสต์สำหรับการจัดเส้นทางของทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต โดยมีแนวคิดนำการจัดเส้นทางใหม่แบบมัลติคาสต์มารวมกับการจัดเส้นทางของทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. โครงสร้างของทรีเป็นลักษณะผู้ส่งหนึ่งรายส่งข้อมูลไปยังผู้ส่งหลายราย (point-to-multipoint: PTM)
2. โครงข่ายที่ใช้ในงานวิจัยเป็นโครงข่ายทั่วไป (general topology) และมีทิศทาง (directed graph)
3. ศึกษาวิธีการจัดเส้นทางใหม่ต่าง ๆ โดยมีเส้นทางเพื่อเลือกหลายเส้นทาง
4. การวัดสมรรถนะของโครงข่ายวัดในระดับการเรียก คือ โอกาสการปฏิเสธเซสชัน

1.4 ประมวลวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 บทนำ: กล่าวถึงงานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับการจัดเส้นทางอย่างพลวัต ปัญหาที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยในอดีต พร้อมทั้งเสนอแนวทางในการพัฒนากระบวนการโดยใช้การจัดเส้นทางทรีใหม่

บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎี: กล่าวถึงแนวคิดพื้นฐานที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วย พื้นฐานการจัดเส้นทาง การจัดเส้นทางแบบพลวัตด้วยวิธีใหม่ การจัดเส้นทางใหม่ ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม การวัดสมรรถนะของการจัดเส้นทาง และฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผล

บทที่ 3 กลยุทธ์ในการจัดเส้นทางที่เสนอ: กล่าวถึงการจัดเส้นทางพื้นฐาน นั่นคือการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ รวมทั้งการจัดเส้นทางที่เสนอ ได้แก่ การจัดเส้นทางของทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต การจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชัน การจัดเส้นทางทรีใหม่

เมื่อมีการเรียกออกของเซสชัน ขั้นตอนวิธีที่เสนอสำหรับกระบวนการจัดเส้นทางทรีใหม่ และ ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี

บทที่ 4 ผลการทดลอง: กล่าวถึงแบบจำลองระบบ พารามิเตอร์ของฟังก์ชันแบนด์วิดท์ ประสิทธิภาพ และผลการทดลอง ในกรณีต่าง ๆ ได้แก่ การวิเคราะห์ผลของการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชันเทียบกับขั้นตอนวิธี STR การวิเคราะห์ผลของขั้นตอนวิธี DATR ในโครงข่ายแบบต่าง ๆ การวิเคราะห์ผลของการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชันเทียบกับขั้นตอนวิธี DATR และการวิเคราะห์ผลของการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชัน

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ: สรุปงานวิจัยทั้งหมดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และเสนอแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎี

2.1 พื้นฐานของการจัดเส้นทางอย่างพลวัต

การจัดเส้นทาง เป็นกระบวนการส่งทราฟฟิกผ่านโครงข่ายจากต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งประกอบด้วย 2 กระบวนการใหญ่ ๆ ได้แก่ ขั้นตอนแรกเป็นการเลือกเส้นทางซึ่งอยู่ในสถานะที่ดีที่สุด และขั้นตอนที่สองเป็นการส่งทราฟฟิกไปบนเส้นทางที่เลือกไว้ข้างต้น ในกระบวนการจัดเส้นทางให้อยู่ในสถานะที่ดีที่สุดนั้นสามารถพิจารณาจากปริมาณแบนด์วิดท์หรือปริมาณความจุของระบบที่รองรับได้ เป็นต้น กระบวนการช่วยในการตัดสินใจหรือขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางจะสร้างตารางการจัดเส้นทาง (routing table) ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลของเส้นทางที่สามารถเลือกได้และเส้นทางที่ดีที่สุดตามกลวิธีของขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางนั้น ๆ กลวิธีเหล่านี้จะแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

สำหรับการจัดเส้นทางอย่างพลวัตแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทตามการแบ่งตามตารางการจัดเส้นทาง [13] ได้แก่ การจัดเส้นทางแบบตายตัว (fixed routing) การจัดเส้นทางตามเวลา (time-dependent routing) การจัดเส้นทางตามสถานะ (state-dependent routing) และการจัดเส้นทางตามเหตุการณ์ (event-dependent routing)

- การจัดเส้นทางแบบตายตัว

การจัดเส้นทางแบบนี้จะต้องกำหนดเซตของเส้นทางที่แน่นอน โดยในแต่ละเซตประกอบด้วยเส้นทางหลายเส้นทางที่มีต้นทุนจากน้อยไปมากตามลำดับ เมื่อมีการเรียกเข้ามายังอุปกรณ์ต้นทาง อุปกรณ์ดังกล่าวจะกำหนดให้การเรียกนั้นไปยังเส้นทางแรก (เส้นทางที่มีต้นทุนน้อยที่สุด) ก่อน แต่ถ้การเรียกเข้าดังกล่าวถูกปฏิเสธ อุปกรณ์ต้นทางก็จะเลือกเส้นทางในลำดับถัดไป ถ้ทดลองเลือกทุกเส้นทางในเซตแล้วไม่ประสบความสำเร็จ การเรียกเข้าดังกล่าวก็จะถูกปฏิเสธ

- การจัดเส้นทางตามเวลา

การจัดเส้นทางแบบนี้มีลักษณะที่เหมือนกับการจัดเส้นทางแบบตายตัวคือ เป็นการจัดเส้นทางไว้ล่วงหน้า แต่มีข้อแตกต่างคือ การจัดเส้นทางแบบตายตัวจะไม่มีกระบวนการค้นหาเซตของเส้นทางใหม่ หรือถ้ามีก็ต้องเป็นกรณีที่มีการวางแผนโครงข่ายใหม่ ส่วนการจัดเส้นทางแบบนี้จะมีการค้นหาเซตของเส้นทางใหม่ทุกครั้งตามคาบเวลาที่กำหนด

ไว้ เช่น ทุกวันหรือทุกสัปดาห์ ตัวอย่างของการจัดเส้นทางแบบนี้ เช่น การจัดเส้นทางแบบลำดับโดยการยอมให้การเรียกที่เข้ามาสามารถล้น (overflow) จากเส้นทางแรกไปยังเส้นทางในลำดับถัดไป เป็นต้น ซึ่งกลวิธีของการจัดเส้นทางแบบนี้อาจจะลองทุกเส้นทางภายในเซตของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดหรือบางส่วนของเส้นทางทั้งหมดก็ได้หรือสุ่มเส้นทางภายในเซตก็ได้ ตัวอย่างของการจัดเส้นทางแบบนี้ คือ DNHR (dynamic non-hierarchical routing) [14] และ [15]

- การจัดเส้นทางตามสถานะ

การจัดเส้นทางแบบนี้เป็นการจัดเส้นทางแบบเวลาจริง (real-time) โดยเส้นทางในตารางการจัดเส้นทางจะเปลี่ยนแปลงไปตามสถานะของโครงข่าย โดยวิธีนี้จะใช้หลักการของการจัดเส้นทางสำหรับการเรียกไปยังบนเส้นทางที่ดีที่สุดโดยขึ้นอยู่กับสถานะปัจจุบันในขณะนั้น เช่น การจัดเส้นทางที่มีโหลดน้อยที่สุด (least loaded routing: LLR) [16, 17] และ RTNR (real-time network routing) [18] เป็นต้น

- การจัดเส้นทางตามเหตุการณ์

การจัดเส้นทางแบบนี้เป็นการจัดเส้นทางแบบเวลาจริง (real-time) โดยตารางการจัดเส้นทางจะเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเรียกเข้าหรือเรียกออกจากโครงข่าย การจัดเส้นทางแบบนี้จะมีการค้นหาเส้นทางแรกหรือเส้นทางหลัก เมื่อเส้นทางแรกไม่สามารถรองรับการเรียกที่เข้ามาได้ ทราฟฟิกที่ล้นจะไปใช้เส้นทางเพื่อเลือกที่ถูกเลือกไว้ในปัจจุบัน ซึ่งเส้นทางเพื่อเลือกที่ถูกเลือกนั้นเป็นเส้นทางที่เคยรองรับการเรียกเข้ามายังโครงข่ายได้ แต่ถ้าถูกปฏิเสธการเรียกเข้าอีกก็จะไปใช้เส้นทางเพื่อเลือกอื่นในเซตของเส้นทางเพื่อเลือกทั้งหมดอย่างสุ่ม เช่น DAR (dynamic alternative routing) และ STR (state-and time-dependent routing) [19] เป็นต้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาการจัดเส้นทางตามเหตุการณ์ที่เรียกว่า DAR เนื่องจากเป็นวิธีการจัดเส้นทางที่มีการปรับตัวและกระจายการใช้งานได้เป็นอย่างดี โดยแต่ละคิวโนดที่ต้องการการเชื่อมต่อ จะมีการเรียนรู้สถานะของโครงข่ายและทำการปรับตัวให้เข้ากับสถานะของระบบในขณะนั้นอยู่เสมอ

2.2 การจัดเส้นทางใหม่

ในงานวิจัย [7] ได้กล่าวถึงองค์ประกอบที่ทำให้การจัดเส้นทางใหม่มีรูปแบบต่าง ๆ กันซึ่งประกอบด้วย การเลือกเส้นทางเพื่อเลือก (alternate path selection) นโยบายการกระตุ้น

(triggering policy) วิธีการเลือกเส้นทางเพื่อทำการจัดเส้นทางให้ใหม่ (rerouting path selection method) วิธีการเลือกการเรียกเพื่อทำการจัดเส้นทางให้ใหม่ (rerouting call selection method) ระดับชั้นของการจัดเส้นทางใหม่ (levels of rerouting) และลำดับการ จัดเส้นทางใหม่ (order of rerouting)

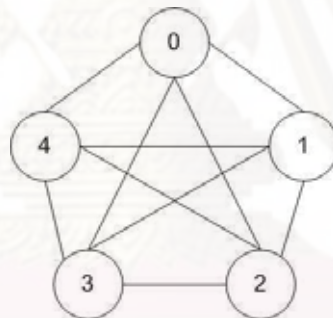
- การเลือกเส้นทางเพื่อเลือก เส้นทางเพื่อเลือกถูกเลือกใช้เมื่อมีการเรียกสั้น (overflow) เกิดขึ้น ตัวอย่างของวิธีการเลือกเส้นทางเพื่อเลือก เช่น การจัดเส้นทางเพื่อเลือกแบบ สุ่ม (random alternate routing : RAR) การจัดเส้นทางเพื่อเลือกที่มีโหลดน้อยที่สุด (least-loaded alternate routing : LLR) และการจัดเส้นทางเพื่อเลือกอย่างพลวัต (dynamic alternative routing : DAR)
 - ในการเลือกเส้นทางเพื่อเลือกแบบ RAR
ถ้าเส้นทางตรงนั้นคือเส้นทางที่มีต้นทุนในการสร้างเซสชันต่ำที่สุดเต็มหรือการ เรียกที่ไปเส้นทางตรงถูกปฏิเสธแล้วเส้นทางเพื่อเลือกที่มีความจุเพียงพอสำหรับ สร้างการเชื่อมต่ออันใหม่จะถูกเลือกแบบสุ่ม
 - ในการเลือกเส้นทางเพื่อเลือกแบบ LLR
ถ้า การ เรียก ที่ ไป เส้นทาง ตรง ถูก ปฏิเสธ แล้ว จะ เลือก เส้นทาง เพื่อ เลือก ที่ ข่าย เชื่อมโยง มีความ จุ เหลือ อยู่ มาก ที่สุด โดย หาก มี หลาย เส้นทาง จะ ทำ การ เลือก เชื่อมต่อไปบนเส้นทางเพื่อเลือกเหล่านั้นแบบสุ่ม
 - ในการเลือกเส้นทางเพื่อเลือกแบบ DAR
จะพยายามใช้งานเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งที่อยู่ระหว่างโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง ให้มากที่สุดก่อนที่จะมีการปฏิเสธการขอเข้าใช้งานเส้นทางนั้น เมื่อมีการ ปฏิเสธการใช้งานในเส้นทางนั้นแล้ว ก็ จะ ทำ การ สุ่มเอาเส้นทางอื่น ๆ ที่อยู่ ในตารางการจัดเส้นทางเพื่อนำมาใช้เป็นเส้นทางผ่านของข้อมูลต่อไปจนกระทั่ง เส้นทางนั้นเต็ม และทำการปฏิเสธการเข้าใช้งาน จากนั้นก็จะสุ่มเอาเส้นทางอื่น ที่อยู่ ในรายการมาใช้งานจนกว่าจะหมด
- นโยบายการกระตุ้น (triggering policy)
นโยบายการกระตุ้น คือ ข้อตกลงเกี่ยวกับจังหวะเวลาที่จะมีการพิจารณาการจัด เส้นทางใหม่ภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ เช่น เมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย เมื่อ การเรียกออกจากโครงข่ายหรือพิจารณาทั้งการเรียกเข้า และเรียกออกจากโครงข่าย รวมกัน

- กรณี เมื่อ มี การ เรียก ใหม่ เข้า มา ใน โคร่ง ข่าย (arrival triggering policy) กระบวนการ จัด เส้นทาง ใหม่ เกิด ขึ้น เมื่อ การ เรียก ที่ ไป เส้นทาง ตรง ถูก ปฏิเสธ กระบวนการ จัด เส้นทาง ใหม่ จะ พยายาม เลือก เส้นทาง เพื่อ เลือก ของ การ เรียก ที่ อยู่ ใน เส้นทาง ตรง ของ การ เรียก ใหม่ ให้ กลับ ไป ยัง เส้นทาง ตรง ของ การ เรียก ดัง กล่าว ถ้า การ จัด เส้นทาง ใหม่ ไม่ สำ เร็จ ขึ้น ต่อ น ต่อ ไป อาจ จะ ใช้ วิธี การ เลือก เส้นทาง เพื่อ เลือก ถ้า วิธี การ เลือก เส้นทาง เพื่อ เลือก ไม่ สำ เร็จ การ เรียก นั้น ถูก ปฏิเสธ
 - กรณี เมื่อ มี การ เรียก ออก จาก โคร่ง ข่าย (departure triggering policy) กระบวนการ จัด เส้นทาง ใหม่ เกิด ขึ้น เมื่อ การ เชื่อม ต่อ ล้น สุด ลง (connection release) โดย ทำ การ เลือก การ เรียก ล้น กลับ มา ใช้ เส้นทาง ตรง ใน ข่าย เชื่อม โยง
 - กรณี เมื่อ มี การ เรียก ใหม่ เข้า มา ใน โคร่ง ข่าย และ เมื่อ มี การ เรียก ออก จาก โคร่ง ข่าย ผสม กัน (mixed triggering policy) กระบวนการ จัด เส้นทาง ใหม่ เกิด ขึ้น เมื่อ การ เรียก ที่ ไป เส้นทาง ตรง ถูก ปฏิเสธ และ เมื่อ การ เชื่อม ต่อ ล้น สุด ลง
- วิธี การ เลือก เส้นทาง เพื่อ ทำ การ จัด เส้นทาง ให้ ใหม่
เมื่อ การ เรียก ต้อง ทำ การ เลือก เส้นทาง การ จัด เส้นทาง ใหม่ การ เลือก เส้นทาง นั้น มี ได้ หลาย วิธี คือ กลับ ไป เส้นทาง ตรง ไป เส้นทาง เพื่อ เลือก เส้นทาง อื่น หรือ ตอน แรก ไป เส้นทาง ตรง และ ถ้า เส้นทาง เต็ม ก็ ไป ใช้ เส้นทาง เพื่อ เลือก
 - วิธี การ เลือก การ เรียก เพื่อ ทำ การ จัด เส้นทาง ให้ ใหม่
การ พิจารณา เลือก การ เรียก ที่ กำลัง ดำ เนิน อยู่ แล้ว บน เส้นทาง หนึ่ง ๆ เพื่อ ที่ นำ มา จัด เส้นทาง ให้ ใหม่ สามารถ ทำ ได้ หลาย วิธี เช่น การ เลือก สุ่ม (random) กรณี การ เลือก การ เรียก ที่ อยู่ ใน ข่าย เชื่อม โยง แล้ว ทำ ให้ เส้นทาง ที่ กลับ ไป มี โหลด น้อย ที่ สุด (least-loaded) และ การ เลือก การ เรียก ที่ กำลัง ดำ เนิน อยู่ ใน ข่าย เชื่อม โยง ที่ มี แบน ด์ วิด ที่ ถูก ใช้ งาน มาก ที่ สุด ก่อน (busiest-first) [7]
 - กรณี การ เลือก สุ่ม เมื่อ มี การ เรียก ใหม่ เข้า มา ใน โคร่ง ข่าย การ เรียก เพื่อ เลือก จะ ถูก เลือก แบบ สุ่ม จาก การ เรียก เพื่อ เลือก ทั้งหมด บน เส้นทาง ตรง นั้น และ อีก กรณี เมื่อ มี การ เรียก ออก จาก โคร่ง ข่าย แล้ว การ เรียก ล้น จะ ถูก เลือก แบบ สุ่ม จาก การ เรียก ล้น ทั้งหมด ของ คู่ โหนด นั้น ๆ
 - กรณี การ เลือก การ เรียก ที่ อยู่ ใน ข่าย เชื่อม โยง แล้ว ทำ ให้ เส้นทาง ที่ กลับ ไป มี โหลด น้อย ที่ สุด กรณี นี้ เกิด ขึ้น เมื่อ มี การ เรียก ใหม่ เข้า มา ใน โคร่ง ข่าย และ การ เลือก การ

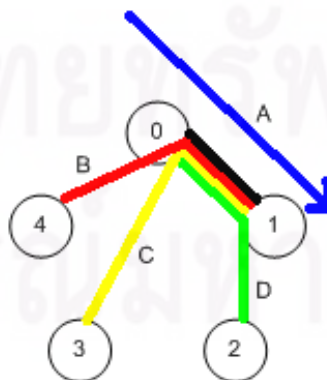
เรียกเพื่อเลือกจะพิจารณาจากเมื่อการเรียกเพื่อเลือกนั้นกลับไปใช้เส้นทางตรงแล้ว จำนวนวงจรว่างเหลือมากที่สุด

- กรณี การเลือกการเรียกที่อยู่ในข่ายเชื่อมโยงที่กำลังถูกใช้งานมากที่สุด ก่อนกรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่ายและเกิดการเรียกกลับจากเส้นทางเพื่อเลือกที่มีจำนวนวงจรว่างน้อยที่สุด

พิจารณาตัวอย่างจากโครงข่ายเชื่อมต่อเต็มที่ในรูปที่ 2.1 เมื่อมีการเรียก A เข้าสู่โครงข่าย โดยต้นทางคือโหนด 0 และปลายทางคือโหนด 1 ดังแสดงตามรูปที่ 2.2 ถ้าข่ายเชื่อมโยง 0-1 ไม่สามารถรองรับการเรียก A ได้ ระบบจะทำการจัดเส้นทางใหม่โดยพิจารณาจากเส้นทางเพื่อเลือกที่ผ่านข่ายเชื่อมโยง 0-1 นั่นคือ การเรียก B (4-0-1) การเรียก C (3-0-1) และการเรียก D (0-1-2) โดยพิจารณาจากเส้นทางตรงของการเรียก B C และ D

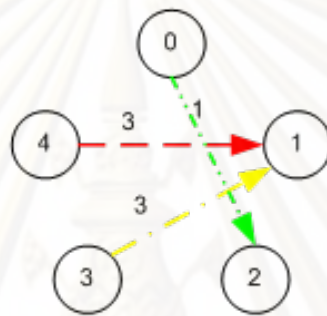


รูปที่ 2.1: ลักษณะของโครงข่ายเชื่อมต่อเต็มที่ (fully connected network)



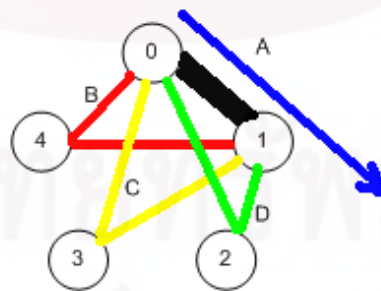
รูปที่ 2.2: การเรียกเข้าโครงข่ายเพื่อขอรับบริการ

จากรูปที่ 2.3 เมื่อมีเหตุการณ์เข้ามา ระบบจะทำการตรวจสอบเส้นทางตรงของ B (4-0-1) C (3-0-1) และ D (0-1-2) นั่นคือ ข่ายเชื่อมโยง 4-1 3-1 และ 0-2 โดยเลือกโครงข่ายที่มีจำนวนวงจรว่างมากที่สุด จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าข่ายเชื่อมโยง 4-1 และ 3-1 มีจำนวนวงจรว่างมากที่สุด เมื่อมีมากกว่า 1 กรณี ระบบจะทำการสุ่มเลือก ข่ายเชื่อมโยงระหว่าง 4-1 และ 3-1 เมื่อเลือกได้แล้วก็จะทำการจัดเส้นทางใหม่ของเส้นทางเพื่อเลือก (4-0-1 หรือ 3-0-1) กลับมายังเส้นทาง (4-1 หรือ 3-1) ที่สุ่มได้ ดังกล่าว



รูปที่ 2.3: จำนวนวงจรที่ว่างอยู่ในแต่ละข่ายเชื่อมโยง

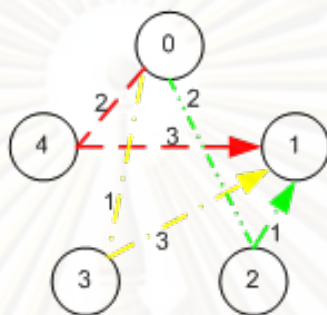
พิจารณาตัวอย่างอีกอันหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.4 เมื่อมีการเรียกออกจากข่ายเชื่อมโยง 0-1 ระบบจะทำการจัดเส้นทางใหม่ โดยพิจารณาจากเส้นทางเพื่อเลือกที่มีเส้นทางตรงอยู่บนข่ายเชื่อมโยง 0-1 นั่นคือ การเรียก B (0-4-1) การเรียก C (0-3-1) และการเรียก D (0-2-1) โดยพิจารณาจากเส้นทางตรงของการเรียก B C และ D



รูปที่ 2.4: การเรียกออกจากโครงข่ายเมื่อสิ้นสุดบริการ

จากรูปที่ 2.4 เมื่อมีเหตุการณ์ออกจากโครงข่าย ระบบจะทำการตรวจสอบเส้นทางเพื่อเลือก นั่นคือเส้นทาง 0-4-1 0-3-1 และ 0-2-1 โดยเลือกโครงข่ายที่มีจำนวนวงจรว่างน้อยที่สุด

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าเส้นทาง 0-3-1 และ 0-2-1 มีจำนวนวงจรว่างน้อยที่สุด เมื่อมีมากกว่า 1 กรณี ระบบจะทำการสุ่มเลือกย้ายเชื่อมโยงระหว่าง 0-3-1 และ 0-2-1 เมื่อเลือกได้แล้วก็จะทำการจัดเส้นทางใหม่ ของเส้นทางเพื่อเลือก (0-3-1 หรือ 0-2-1) กลับมายังเส้นทางตรง (0-1)



รูปที่ 2.5: จำนวนวงจรที่ว่างอยู่ในแต่ละข่ายเชื่อมโยง

- ระดับชั้นของการจัดเส้นทางใหม่

ระดับชั้นของการจัดเส้นทางใหม่ ในที่นี้ นิยามให้เป็นจำนวนครั้งของการจัดเส้นทางใหม่ ต่อ การ เรียก ออก จาก โครงข่าย แต่ละ ครั้ง ถ้า มี การ จัด เส้นทาง ใหม่ ต่อเนื่อง ไปเรื่อย ๆ จนครบทั้งโครงข่ายหรือไม่สามารถทำการจัดเส้นทางใหม่ได้หรือครบจำนวนที่กำหนดไว้ เราจะเรียกการจัดเส้นทางใหม่ซึ่งจะเกิดกับกรณีที่เป็น การ ออก จาก โครงข่ายดังกล่าวว่า การจัดเส้นทางใหม่ถูกใช้เมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่าย (departure triggered chain rerouting)

ตัวอย่างเช่นจากรูปที่ 2.4 เมื่อมีเหตุการณ์การเรียกออกจากข่ายเชื่อมโยง 0-1 ระบบ จะทำการจัดเส้นทางใหม่โดยการย้ายเส้นทางเพื่อเลือกกลับไปยังเส้นทางตรง (0-1) สมมติว่าระบบ ย้าย 0-4-1 ไปยัง 0-1 จะทำให้วงจรในข่ายเชื่อมโยง 0-4 และ 4-1 ว่างเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งวงจร เมื่อข่ายเชื่อมโยงทั้งสองว่างก็จะทำการจัดเส้นทางใหม่โดยการ ย้ายเส้นทางเพื่อเลือกของทั้งสองข่ายเชื่อมโยงกลับมายัง 0-4 และ 4-1 ทำให้วงจรใน โครงข่ายโดยรวมเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม แล้วจึงทำการจัดเส้นทางใหม่ไปเรื่อย ๆ จนครบ ตามเงื่อนไข

- ลำดับการจัดเส้นทางใหม่

พิจารณากรณีเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่าย แต่ไม่สามารถเลือกการเรียกเพื่อ เลือกได้ ข่ายเชื่อมโยงแต่ละข่ายเชื่อมโยงที่มีการเรียกเข้าใช้บริการจะพิจารณาว่ามีการ

เรียกซึ่งใช้งานอยู่ใช้เส้นทางเพื่อเลือกอยู่หรือไม่ ถ้ามีการเรียกใช้เส้นทางเพื่อเลือกอยู่ก็จะทำการย้ายกลับไปเส้นทางตรงของตนเอง โดยถ้ามีการตรวจสอบว่าเป็นเส้นทางเพื่อเลือกหรือไม่ครั้งที่ n ก็จะเรียกว่าการจัดเส้นทางใหม่ลำดับที่ n

พิจารณาตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.1 เมื่อมีการเรียกเข้าใหม่มายังโหนด 0 เพื่อติดต่อปลายทางโหนด 4 ถ้าข่ายเชื่อมโยง 0-4 เต็มแล้วจะทำการจัดเส้นทางใหม่ของการเรียกเพื่อเลือกเช่น 0-4-1 ให้กลับไปยังเส้นทางตรงของตัวเองนั่นคือ 0-1 แต่ถ้าการเรียก 0-4-1 ไม่สามารถกลับไป 0-1 ได้ ก็จะทำการจัดเส้นทางใหม่ของการเรียกเพื่อเลือกบนข่ายเชื่อมโยง 0-1 เช่น 3-0-1 ให้กลับไปยังเส้นทางตรงคือ 3-1 ของตัวเองก่อน ทำลักษณะนี้เรื่อย ๆ จนกระทั่งโครงข่ายสามารถรองรับการเรียกเข้าใหม่ได้ หรือจนกว่าเส้นทางเพื่อเลือกในโครงข่ายไม่มีแล้ว หรือจนกระทั่งเท่ากับจำนวนการจัดเส้นทางใหม่ที่กำหนด เรียกการจัดเส้นทางลักษณะนี้ว่า การจัดเส้นทางใหม่ลำดับที่สอง (second-order rerouting) ในทำนองเดียวกันถ้ามีการจัดเส้นทางใหม่สองครั้งแล้วจะเรียกว่าเป็น การจัดเส้นทางใหม่ลำดับที่สาม การจัดเส้นทางใหม่ในลำดับต่อ ๆ ไปสามารถนิยามได้ในลักษณะเดียวกัน

โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกองค์ประกอบเหล่านี้ดังนี้

- การเลือกเส้นทางเพื่อเลือกแบบ DAR เดิมได้พิจารณาการเรียกแบบยูนิคาสต์เท่านั้น วิทยานิพนธ์นี้ได้ขยายขอบเขตการประยุกต์ DAR สำหรับการเรียกแบบมัลติคาสต์ โดยจะเรียกขั้นตอนวิธีใหม่ที่ได้ว่า DATR (dynamic alternative tree routing) ทั้งนี้เนื่องจาก DAR เป็นวิธีการจัดเส้นทางที่มีการปรับตัวและกระจายการใช้งานความจุข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายได้เป็นอย่างดี โดยโหนดต่าง ๆ ที่ต้องการการเชื่อมต่อจะมีการเรียนรู้สถานะของโครงข่ายและทำการปรับการจัดเส้นทางให้เข้ากับสถานะของระบบในขณะนั้นอยู่เสมอ
- นโยบายการกระตุ้นแบบที่ใช้ คือทั้งกรณีเมื่อมีการเรียกใหม่เข้ามาในโครงข่ายและกรณีเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่าย
- วิธีการเลือกเส้นทางเพื่อทำการจัดเส้นทางให้ใหม่ โดยจะทำการเลือกทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดก่อน ถ้าทรีดังกล่าวใช้ไม่ได้ก็ให้เลือกทรีที่มีต้นทุนสูงในลำดับถัดไป เพราะการเลือกวิธีดังกล่าวทำให้ต้นทุนของโครงข่ายน้อยลง
- วิธีการเลือกการเรียกเพื่อทำการจัดเส้นทางให้ใหม่ จะใช้วิธีการเลือกการเรียกซึ่ง

ใช้เส้นทางที่วงจรถูกใช้งานมากที่สุดก่อนเพื่อลดการใช้ทรัพยากรของโครงข่าย
เกินความจำเป็น

- ระดับของการจัดเส้นทางใหม่และลำดับของการจัดเส้นทางใหม่ไม่นำมาพิจารณาเพื่อลดความซับซ้อนของขั้นตอนวิธีการและลดเวลาในการประมวลผล แต่ทั้งนี้สามารถดำเนินการวิจัยต่อเนื่องในประเด็นนี้ได้ในอนาคต

2.3 ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม (genetic algorithm: GA) เป็นขั้นตอนวิธีที่สามารถใช้สืบค้นและหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด (optimal solution) [3, 11] โดยมีพื้นฐานมาจากกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติและวิวัฒนาการทางพันธุกรรม การค้นหาผลเฉลยโดยวิธีดังกล่าวจะพิจารณาค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ (objective function) ซึ่งถูกกำหนดขึ้นโดยอ้างอิงจากผลเฉลยที่ต้องการ

อย่างไรก็ตามในการพัฒนาขั้นตอนวิธีเพื่อใช้ในการสร้างทรีที่เหมาะสมในการรับส่งข้อมูลนั้น จุดมุ่งหมายของกระบวนการไม่ใช่เพื่อสืบค้นประชากรที่มีค่าฟังก์ชันจุดประสงค์สูงสุดเพียงผลเฉลยเดียว หากแต่เพื่อค้นหากลุ่มประชากรที่สามารถให้ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ที่ดีที่สุดในระดับแรก ๆ โดยทั่วไปกระบวนการสืบค้นจะเกิดขึ้นในลักษณะของการผลิตซ้ำ (reproduction process หรือ generation) ซึ่งจะมีขั้นตอนทั้งหมด 3 ขั้นตอน คือ

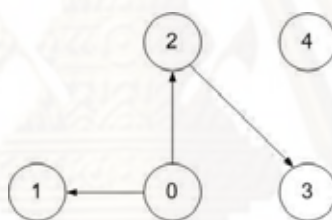
1. การคัดเลือกประชากรที่มีคุณภาพ (qualified population selection) โดยการพิจารณาอ้างอิงจากค่าความเหมาะสม (fitness) จากกลุ่มของประชากร
2. การดำเนินการทางพันธุกรรม (genetic operation) กระบวนการนี้จะทำการสร้างลูกผสม (crossover) โดยผสมผสานระหว่างโครโมโซมพ่อและแม่ และการกลายพันธุ์ (mutation) หรือทำการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมยีนของพ่อแม่เพื่อให้ได้ลูกหลานใหม่ และประชากรใหม่ที่ได้จะนำไปรวมเพื่อเปรียบเทียบและคัดเลือกกับประชากรในรุ่นก่อน
3. การแทนที่ (replacement) คือการเอาลูกหลานไปแทนที่ประชากรรุ่นเก่า ซึ่งอาจจะแทนที่ทั้งหมดหรือบางส่วนขึ้นอยู่กับกลวิธีที่ใช้ในขั้นตอนของการแทนที่นี้ สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้วิธีนำลูกหลานเข้าไปรวมกับประชากรรุ่นเก่า เพื่อให้ได้ประชากรกลุ่มใหญ่ แล้วนำไปคัดเลือกด้วยค่าความเหมาะสมต่อไป ก็จะได้จำนวนประชากรรุ่นถัดไปที่โดยรวมมีค่าความเหมาะสมที่ดีขึ้นตามที่ต้องการ

2.3.1 การแทนสมมุติฐานและการเข้ารหัสพารามิเตอร์

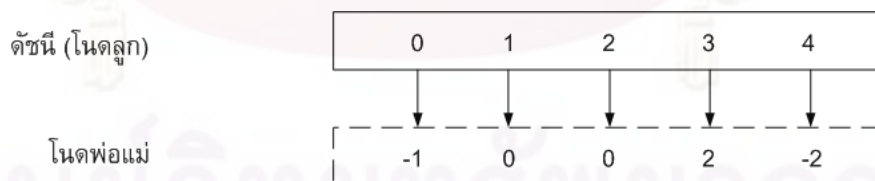
พารามิเตอร์ที่ใช้ในการนิยามผลเฉลยจะถูกแทนด้วยแถวของตัวเลขเพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลโดยกระบวนการทางพันธุกรรม อย่างไรก็ตามการเข้ารหัสพารามิเตอร์ในลักษณะนี้จะต้องพิจารณาความเหมาะสมจากพื้นฐานของปัญหาเป็นหลัก

สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการเก็บข้อมูลในรูปแบบแถวลำดับข้อมูลของโนดพ่อแม่ (array of parent node) โดย ค่าที่ i ($i = 0, 1, 2, \dots$) ในแถวลำดับ หมายถึง โนดพ่อแม่ของโนดที่ i นั้น ทั้งนี้ หากค่าเป็น -1 จะหมายความว่าโนดที่ i นั้นเป็นรากของทรี ถ้าค่าเป็น -2 จะหมายความว่าโนดที่ i นั้นไม่เป็นสมาชิกของเซตชั้น

ยกตัวอย่างเช่นจากรูปที่ 2.6 สังเกตว่าโนดที่ 0 เป็นโนดรากของทรี (root node) ซึ่งจะถูกแสดงค่าโนดพ่อแม่ด้วยค่า -1 ส่วนโนดที่ 1, 2, 3 จะมีโนดพ่อแม่เป็น 0, 0 และ 2 ตามลำดับ ส่วนโนด 4 ไม่เป็นสมาชิกของเซตชั้น ดังแสดงในค่าต่าง ๆ ในแถวลำดับที่แทนทรีนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6: การเชื่อมต่อในรูปของทรี

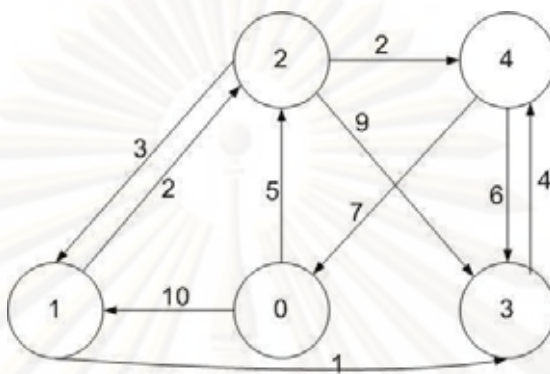


รูปที่ 2.7: แถวลำดับข้อมูลของโนดพ่อแม่

2.3.2 ค่าความเหมาะสม

ค่าความเหมาะสมเป็นค่าแสดงความสามารถในการอยู่รอดของประชากรแต่ละตัว โดยทั่วไปค่าความเหมาะสมจะถูกคำนวณจากกฎหรือปัจจัยพื้นฐานที่จะใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งต้องสอดคล้องกับรูปแบบผลเฉลยที่ต้องการ ในการพิจารณาค่าความเหมาะสมของทรี งาน

วิจัยนี้ได้พิจารณาต้นทุนที่เกิดขึ้นในการสร้างทรี โดยให้ทรีที่มีต้นทุนน้อยที่สุดจะเป็นทรีที่มีค่าความเหมาะสมที่สุดและมีโอกาสที่จะถูกเลือกเพื่อเข้าสู่กระบวนการทางพันธุกรรมมากกว่า ตัวอย่างเช่น



รูปที่ 2.8: ตัวอย่างโครงข่ายและต้นทุนในการสร้างทรีด้วยข่ายเชื่อมโยงในแต่ละกิ่ง

จากรูปที่ 2.8 ซึ่งแสดงถึงรูปแบบการเชื่อมต่อของโครงข่ายที่ใช้ในการพิจารณาเป็นตัวอย่าง การพิจารณาค่าความเหมาะสม (ต้นทุน) ของทรีจะใช้เงื่อนไขเดียวกันกับการสร้างทรีที่มีจำนวนกิ่งน้อยที่สุด (minimum spanning tree) นั่นคือ ค่าความเหมาะสมในการสร้างทรีทั้งหมดจะคิดจากต้นทุนของกิ่งที่เชื่อมระหว่างโนดพ่อแม่และโนดที่กำลังพิจารณา

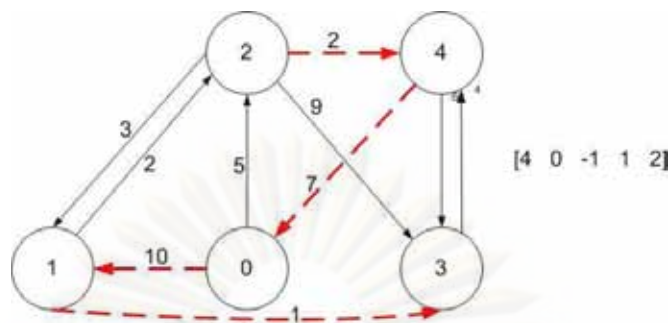
กำหนดให้ $f(h)$ แทนค่าความเหมาะสมของแถวลำดับข้อมูลที่ h , $C_j(h)$ แทนต้นทุนของการเชื่อมโนดที่ j กับโนดพ่อแม่ของตัวเองของทรีที่แทนด้วย h และ p แทนจำนวนโนดทั้งหมดที่พิจารณา จะได้ว่า

$$f(h) = \sum_{j=1}^p C_j(h)$$

เมื่อพิจารณาต้นไม้จากรูปที่ 2.9 จะได้ว่าค่าความเหมาะสมของต้นไม้ดังกล่าวมีค่าเป็น $2+7+10+1 = 20$ ซึ่งจะใช้ค่าดังกล่าวในการพิจารณาคัดเลือกประชากรที่อยู่รอดต่อไป รวมถึงเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกประชากรที่จะถูกใช้เป็นตัวพ่อแม่ของกระบวนการต่อไป

2.3.3 การดำเนินการทางพันธุกรรม

การดำเนินการทางพันธุกรรมเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดวิวัฒนาการที่หลากหลายซึ่งอาจจะไม่เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแต่จะคืนค่าประชากรที่มีค่าฟังก์ชันจุดประสงค์สูงสุดใน



รูปที่ 2.9: แลวลำดับข้อมูลของทรีและการเชื่อมต่อทรีของโครงข่าย

อีกมุมมองหนึ่งอาจกล่าวได้ว่าสามารถดำเนินการเพื่อให้เกิดประชากรที่มีค่าความเหมาะสมแตกต่างกัน ซึ่งกระบวนการที่สำคัญโดยทั่วไปมีอยู่ 2 กระบวนการด้วยกัน คือ

2.3.3.1 กระบวนการครอสโอเวอร์

กระบวนการครอสโอเวอร์ (crossover operation) จะให้กำเนิดประชากรรุ่นลูกหลาน (offspring) ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยการแลกเปลี่ยนข้อมูลในแลวลำดับข้อมูลระหว่างประชากรรุ่นพ่อแม่ (parents) สองตัวซึ่งจะถูกเลือกด้วยความน่าจะเป็น (probability of selection) ที่กำหนดจากค่าความเหมาะสมของประชากร

กำหนดให้ $f(h)$ แทนค่าความเหมาะสมของประชากรตัวที่ h ใด ๆ, p แทนจำนวนประชากรทั้งหมด และ $P(h)$ แทนความน่าจะเป็นที่ h จะถูกเลือก โอกาสที่ประชากรจะถูกเลือกสามารถนิยามในที่นี้เป็น

$$P(h) = \frac{f(h)}{\sum_{\text{for all } h} f(h)}$$

หลังจากเลือกประชากรหนึ่งคู่แล้วจะต้องทำการพิจารณาครอสโอเวอร์มาสก์ (crossover mask) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบในการแลกเปลี่ยนข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ ระหว่างประชากรคู่หนึ่ง โดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 แบบด้วยกันดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.10

ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาเลือกใช้การครอสโอเวอร์แบบหนึ่งจุด (single-point crossover) ซึ่งเป็นรูปแบบมาตรฐาน เนื่องจากโครงข่ายที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์มีจำนวนโนดไม่มาก และต้องการประชากรไม่เกิน 5 ชุดในแต่ละเซชัน ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องการความหลากหลายของประชากรมาก และถ้าหากใช้วิธีอื่น แม้ว่าจะได้ความหลากหลายของลูกหลาน

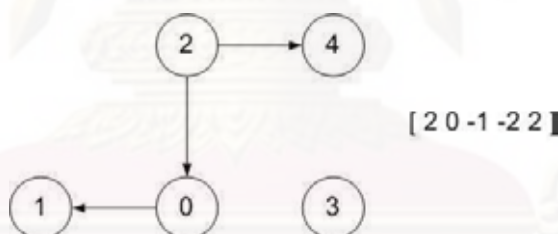
| | แถวลำดับข้อมูลเริ่มต้น | ครอสโอเวอร์มาสค์ | ลูกหลาน |
|----------------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|
| การครอสโอเวอร์แบบหนึ่งจุด | 2 0 -1 -2 2 2 2 -1 2 3 | 11100 | 2 0 -1 2 3 2 2 -1 -2 2 |
| การครอสโอเวอร์แบบสองจุด | 2 0 -1 -2 2 2 2 -1 2 3 | 00110 | 2 2 -1 -2 3 2 0 -1 2 2 |
| การครอสโอเวอร์แบบยูนิฟอร์ม | 2 0 -1 -2 2 2 2 -1 2 3 | 10101 | 2 2 -1 2 2 2 0 -1 -2 3 |

รูปที่ 2.10: รูปแบบกระบวนการครอสโอเวอร์

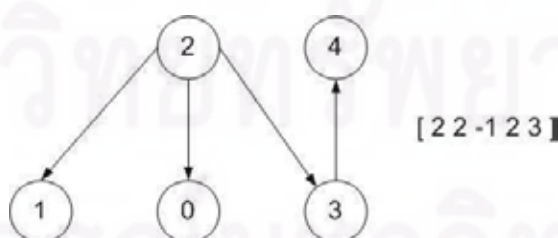
ที่มากกว่า แต่มีโอกาสเบี่ยงเบนของคำตอบที่มีอยู่ในโครโมโซมลูกหลานได้ในอัตราที่สูงกว่า อีกทั้งการที่โหนดปลายทางไม่ใช่ทุกโหนดและโครงข่ายไม่เป็นโครงข่ายเชื่อมต่อกันเต็มที่ จึงมีโอกาสเบี่ยงเบนของคำตอบมากยิ่งขึ้น และโอกาสที่จะสร้างทรีให้เป็นกราฟแบบบริบูรณ์ (complete graph) มีน้อยลงอย่างมาก

ตัวอย่างของกระบวนการครอสโอเวอร์

ให้ลักษณะของทรีและแถวลำดับข้อมูลที่ 1 และ 2 เป็นดังรูปที่ 2.11 และ 2.12 ตามลำดับ



รูปที่ 2.11: แถวลำดับข้อมูลของทรีและการเชื่อมต่อทรีที่ 1



รูปที่ 2.12: แถวลำดับข้อมูลของทรีและการเชื่อมต่อทรีที่ 2

เมื่อกำหนดทรีดังรูปที่ 2.11 และ 2.12 เป็นพ่อแม่จะสามารถผลิตลูกหลานได้จากกระบวนการครอสโอเวอร์ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.13 ประชากรทั้งสองตัวถูกประมวลผล

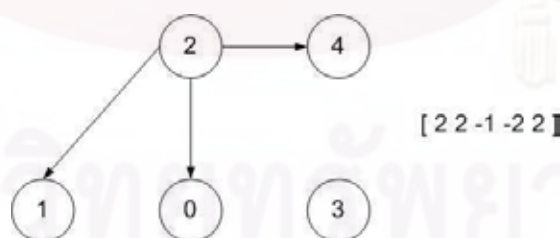
ตามกระบวนการครอสโอเวอร์แบบหนึ่งจุดโดยแลกเปลี่ยนข้อมูลภายในตำแหน่งที่ครอสโอเวอร์มาร์คมีค่าเป็น 0 เช่น ดัชนีที่ 3 ของพ่อแม่ชุดแรกจะทำการแลกเปลี่ยนค่ากับดัชนีที่ 3 ของพ่อแม่ชุดที่สองทำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงดัชนีที่ 4 ซึ่งเป็นดัชนีตำแหน่งสุดท้าย ซึ่งจากกระบวนการนี้ทำให้เกิดลูกหลานเป็นทรี่ดังรูปที่ 2.14 และ 2.15



รูปที่ 2.13: ผลลัพธ์ของกระบวนการครอสโอเวอร์



รูปที่ 2.14: แฉวลำดับข้อมูลและการเชื่อมต่อของประชากรลูกหลานชุดที่ 1



รูปที่ 2.15: แฉวลำดับข้อมูลและการเชื่อมต่อของประชากรลูกหลานชุดที่ 2

2.3.3.2 การกลายพันธุ์

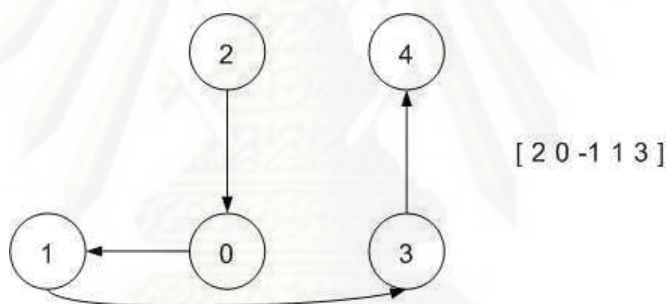
การกลายพันธุ์ (mutation) เป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพของลูกหลาน (offspring) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการครอสโอเวอร์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วลูกหลานจะมี

ลักษณะที่สืบทอดจากพ่อแม่ตั้งนั้นเพื่อทำให้เกิดความหลากหลายของผลเฉลย กระบวนการกลายพันธุ์จึงได้ถูกพัฒนาขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วรูปแบบของกระบวนการดังกล่าวเริ่มจากการนำเอาลูกหลานมาทำการเลือกตำแหน่งดัชนีอย่างสุ่ม แล้วทำการเปลี่ยนข้อมูลบางส่วนสำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกตำแหน่งดัชนีอย่างสุ่ม ยกเว้นที่ดัชนีซึ่งเป็นตำแหน่งของโนดพ่อแม่ ซึ่งไม่สามารถกลายพันธุ์ได้ ผลที่ได้เมื่อพิจารณาแถวลำดับข้อมูลใน กระบวนการกลายพันธุ์จะเป็นดังรูปที่ 2.16

การกลายพันธุ์แบบจุด : $[2\ 0\ -1\ 2\ 3]$ \longrightarrow $[2\ 0\ -1\ 1\ 3]$

รูปที่ 2.16: ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการกลายพันธุ์

แถวลำดับข้อมูลที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวมีลักษณะการเชื่อมต่อดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17: การเชื่อมต่อของทรีหลังจากกระบวนการกลายพันธุ์

หลังจากผ่านกระบวนการกลายพันธุ์แล้วจะนำประชากรใหม่ไปรวมกับกลุ่มของประชากรเดิม จากนั้นกลุ่มของประชากรดังกล่าวจะถูกคัดเลือกและจัดลำดับโดยการประเมินจากค่าความเหมาะสม (fitness) ที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพของประชากรและทำการคัดเลือกประชากรบางส่วนที่มีค่าความเหมาะสมไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขออกไป

2.3.4 สรุปกระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมในวิทยานิพนธ์

1. เริ่มต้นสร้างประชากรรุ่นแรก
2. หาค่าความเหมาะสมของประชากรทั้งหมด
3. สร้างประชากรใหม่โดย

- (a) เลือก ประชากร พ่อแม่ มา จาก กลุ่ม ประชากร ซึ่ง ได้ จาก ประชากร ที่มี ค่า ความเหมาะสมที่มากที่สุด และประชากรที่มีค่าความเหมาะสมรองลงมา
 - (b) นำประชากรพ่อแม่มาครอสโอเวอร์ก็จะได้ลูกออกมา
 - (c) นำประชากรที่ได้ไปรวมกับกลุ่มประชากรเดิม
4. ตรวจสอบถ้ามีประชากรซ้ำกันก็ให้คัดออกไปเหลือแค่ 1 อัน และคัดเลือกประชากรที่ไม่ตรงตามต้องการออก
 5. กลับไปยังขั้นตอนที่ 2

2.4 การวัดสมรรถนะของการจัดเส้นทาง

โดยทั่วไปแล้วการวัดสมรรถนะของการจัดเส้นทางในโครงข่ายสามารถพิจารณาจากค่าความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการเรียกของทราฟฟิกแต่ละชนิด หรือรายรับที่ได้รับจากการตอบรับ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ

- การวัดสมรรถนะในระดับของเซลล์หรือแพ็กเก็ต ค่าที่ใช้วัดสมรรถนะในระดับนี้ ได้แก่ ค่าอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต (packet loss ratio) ค่าประวิงเวลาสูงสุดของการส่งแพ็กเก็ต (maximum packet transfer delay) และค่าแปรปรวนประวิงเวลาของแพ็กเก็ต (cell delay variation) โดยปกติการวัดสมรรถนะในระดับแพ็กเก็ตขึ้นอยู่กับรูปแบบของบริการ

- การวัดสมรรถนะในระดับการเรียกหรือการเชื่อมต่อหรือเซสชันมีค่าที่ใช้วัดสมรรถนะในระดับนี้ ได้แก่ ค่าโอกาสการปฏิเสธการเรียกซึ่งอาจจะวัดในรูปของรายได้ก็ได้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะวิเคราะห์ปัญหาด้วยทฤษฎีโครงข่ายสูญเสีย ดังนั้นจึงเลือกพิจารณาดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงข่ายในระดับการเรียก ซึ่งจะทำการวัดค่าโอกาสการปฏิเสธการเรียกในกรณีต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกัน

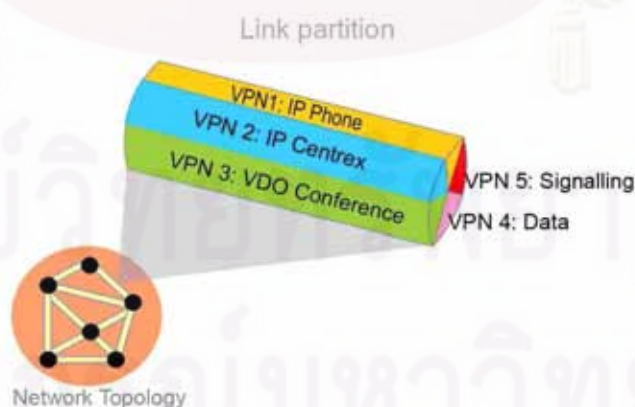
2.5 สมมุติฐานการแบ่งแบนวิดท์ให้บริการแต่ละประเภทแบบแยกจากกันโดยสมบูรณ์

การควบคุมการตอบรับการเรียกเป็นส่วนสำคัญสำหรับจัดการการเรียกที่ขอเข้าใช้บริการในโครงข่าย ซึ่งกระบวนการนี้จะทำหน้าที่ควบคุมความคับคั่งของโครงข่าย โดยจะสร้างการ

เชื่อมต่อของการเรียกเมื่อการเรียกนั้นได้รับการตอบรับให้เข้าใช้บริการได้ โดยทั่วไปแล้วการตอบรับการเรียกขึ้นอยู่กับแบนด์วิดท์ของสายเชื่อมโยงว่าสามารถรองรับการให้บริการนั้นได้หรือไม่ และขึ้นกับนโยบายในการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ใช้

เนื่องจากรูปแบบของบริการที่หลากหลายซึ่งมีลักษณะเฉพาะของแต่ละบริการที่แตกต่างกัน และเทคโนโลยี สวิตช์ ได้รับ การ พัฒนา ให้ มี ศักยภาพ เพียงพอ ที่ จะ รองรับ บริการ จาก แหล่งข้อมูลหลายแหล่ง ในการจัดสรรแบนด์วิดท์ของสายเชื่อมโยงให้กับทราฟฟิกแต่ละประเภทวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาโยบายแบ่งแยกอย่างสมบูรณ์ (complete partitioning policy) [20] โดยมีหลักการดังแสดงในรูปที่ 2.18 กล่าวคือนโยบายนี้จะอนุญาตให้มีการรวมทราฟฟิกเข้าสู่บัพเฟอร์ที่สวิตช์หนึ่ง ๆ จากบริการประเภทเดียวกันเท่านั้น โดยบัพเฟอร์สำหรับบริการแต่ละประเภทจะได้รับการจองแบนด์วิดท์ของสายเชื่อมโยงที่เชื่อมต่ออยู่ในขั้นต่ำเอาไว้ให้ล่วงหน้า และดังนั้นทำให้การเข้าใช้งานแบนด์วิดท์ของการเรียกสำหรับบริการแต่ละประเภทสามารถพิจารณาแยกขาดจากบริการประเภทอื่นได้ ทั้งนี้การระบุค่าแบนด์วิดท์ที่จำเป็นในการรองรับค่าคุณภาพของบริการของทราฟฟิกจากบริการแต่ละประเภทในที่นี้จะใช้กรอบการคำนวณจากฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผล

นโยบาย ดังกล่าว ทำให้โครงข่าย แบบ สูญเสีย ที่ จำเป็น จะ ต้อง พิจารณา นั้น ลด รูป จาก โครงข่ายแบบสูญเสียสำหรับหลายบริการ (multiservice loss network) กลายเป็นโครงข่ายแบบสูญเสียสำหรับบริการเดียว (single-service loss network) ซึ่งง่ายต่อการวิเคราะห์และสอดคล้องกับแนวทางปฏิบัติในการจัดการทราฟฟิกในโครงข่าย



รูปที่ 2.18: รูปแบบการจัดสรรแบนด์วิดท์ของสายเชื่อมโยงแบบแบ่งแยกที่อย่างสมบูรณ์

2.6 ฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผล

ในอดีตการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิกที่เข้ามาในโครงข่ายเป็นไปในลักษณะที่ง่ายต่อการตัดสินใจ โดยจะพิจารณาเพียงพารามิเตอร์อัตราบิตข้อมูลสูงสุด (peak bit rate : PBR) และ จัดสรรแบนด์วิดท์ให้เป็นไปตามอัตราบิตข้อมูลสูงสุดโดยตลอด แต่เนื่องจากความเป็นจริงในการส่งข้อมูลบางชนิดจะไม่ส่งที่อัตราบิตสูงสุดตลอดเวลา เช่น ข้อมูลวิดีโอที่ถูกบีบอัด และ แหล่งจ่ายข้อมูลต้นทางอาจไม่จ่ายข้อมูลตลอดเวลาที่ครอบครองวงจร ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะพิจารณการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิกตามค่า PBR ประกอบกับเทคโนโลยีสวิตช์ได้รับการพัฒนาให้มีศักยภาพเพียงพอที่จะรองรับการบริการจากแหล่งข้อมูลหลายแหล่ง เมื่อมีแหล่งจ่ายข้อมูลชนิดเดียวกันหลายแหล่งโครงข่ายจะนำข้อมูลที่ส่งมามีลติเพลกซ์เข้าด้วยกัน ก่อนจะส่งไปในโครงข่ายเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการส่งสูงขึ้น ดังนั้นในการจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับการเรียกจึงได้รับการปรับปรุงให้พิจารณาอัตราบิตข้อมูลในเชิงสถิติ โดยอาจจะพิจารณาแบนด์วิดท์ที่ใช้จริงด้วยแบนด์วิดท์ประสิทธิผลจากวิธีการประมาณค่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งานด้วย on-off fluid flow model [12] ซึ่งจะพิจารณาการส่งข้อมูลของแหล่งจ่ายด้วยพารามิเตอร์ในการส่งข้อมูลดังนี้ คือ ค่าอัตราบิตสูงสุด ช่วงเวลาที่แหล่งจ่ายทำงานค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาเบิร์สต์ (mean burst period) และ ค่าความน่าจะเป็นของบัฟเฟอร์ล้น (buffer overflow probability) ซึ่งเป็นผลทำให้ข้อมูลสูญหาย โดยสามารถคำนวณค่าแบนด์วิดท์ที่จำเป็นต้องใช้ในการเชื่อมต่อได้จากสมการ

$$y_l(n) = \min \left\{ m + \alpha' \sigma, \sum_{i=1}^n \hat{c}_i \right\}$$

$$\alpha' = \sqrt{-2 \ln(P L_l) - \ln(2\pi)}$$

$$m = R_{peak} \cdot \rho \cdot n$$

$$\sigma = R_{peak} \cdot \sqrt{\rho(1-\rho) \cdot n}$$

$$\hat{c} = \frac{\alpha b(1-\rho) R_{peak} - x_l + \sqrt{[\alpha b(1-\rho) R_{peak} - x_l]^2 + 4x_l \alpha b \rho(1-\rho) R_{peak}}}{2\alpha b(1-\rho)}$$

โดยที่

$y_l(n)$ แทน ค่า แบนด์วิดท์ ประสิทธิภาพ ของ ข่าย เชื่อมโยง l ที่ จำเป็น ต้อง ใช้ สำหรับ รองรับทราฟฟิกขนาด n การเชื่อมต่อ

m คือ ค่าเฉลี่ยของอัตราการส่งบิตข้อมูลโดยรวม (mean aggregate bit rate)

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการส่งบิตข้อมูลโดยรวม (standard deviation of the

aggregate bit rate)

PL_l คือ ค่าโอกาสการสูญเสียกลุ่มข้อมูล (packet loss probability) ของกราฟฟิกบนข่ายเชื่อมโยงที่ l

n คือ จำนวนของการเชื่อมต่อทั้งหมด (number of connections) ของกราฟฟิกบนข่ายเชื่อมโยง

b คือ ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่มีการกระชูดของกลุ่มข้อมูล (mean burst period)

ρ คือ สัดส่วนการใช้งาน (utilization) ของแหล่งส่งข้อมูล (source)

R_{peak} คือ อัตราสูงสุด (peak rate) ของการส่งข้อมูล

x_l คือ ขนาดของบัฟเฟอร์สำหรับรองรับกราฟฟิกบนข่ายเชื่อมโยง l

และกำหนด $\alpha = \ln(1/PL_l)$

แบนด์วิดท์ที่จำเป็นต้องจัดสรรให้เพิ่มเติมสำหรับสร้างการเชื่อมต่อเพิ่มขึ้นอีก 1 การเชื่อมต่อบนข่ายเชื่อมโยง l ของทรี t เมื่อข่ายเชื่อมโยงนั้นมีการเชื่อมต่ออยู่เดิมแล้ว n การเชื่อมต่อ สามารถหาได้จาก

$$w(l, t) = y_l(n + 1) - y_l(n)$$

ค่าแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่ในแต่ละข่ายเชื่อมโยงสามารถหาได้จากการนำแบนด์วิดท์ทั้งหมดหักออกจากแบนด์วิดท์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เมื่อกำหนดให้ $Y(l)$ เป็นค่าแบนด์วิดท์ทั้งหมดของข่ายเชื่อมโยง l และ $rb(l, t)$ คือแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่ในข่ายเชื่อมโยง l บนทรี t จะได้

$$rb(l, t) = Y(l) - y_l(n)$$

ดังนั้นข่ายเชื่อมโยง l ของทรี t จะสามารถเข้าเป็นสมาชิกเซตชั้นของการเรียกเข้าใหม่ได้ก็ต่อเมื่อ $rb(l, t)$ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ภายหลังที่การเรียกใหม่นั้น ๆ ถูกตอบรับ (accept) ให้เข้าใช้ข่ายเชื่อมโยงนั้นได้

สำหรับวิธีการคำนวณแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่บนทรีใด ๆ จะหาได้จากค่าที่ต่ำที่สุดของแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่ของข่ายเชื่อมโยงทั้งหมดบนทรีนั้น ๆ ดังสมการข้างล่าง

$$rb(t) = \min_{\text{for all } l \in t} \{rb(l, t)\}$$

โดย $rb(t)$ เป็นแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่บนทรี t

ค่าแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่บนทรี่ที่คำนวณได้จะนำไปใช้กับกระบวนการการจัดเส้นทางทรี่ใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชันและเมื่อมีการเรียกออกของเซสชัน ซึ่งจะกล่าวในบทที่ 3 กลยุทธ์ในการจัดเส้นทางที่เสนอ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

กลยุทธ์ในการจัดเส้นทางที่เสนอ

ในบทนี้จะกล่าวถึงกลยุทธ์การจัดเส้นทางที่เสนอซึ่งได้แก่ การจัดเส้นทางของทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต (dynamic alternative tree routing : DATR) การจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชัน (arrival-triggering tree rerouting: ATRR) และ การจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชัน (departure-triggering tree rerouting: DTRR) นอกจากนี้ยังนำเสนอพารามิเตอร์ที่ใช้วัดประสิทธิภาพของกลยุทธ์ที่เสนอ โดยเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีมาตรฐาน คือการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ (sequential tree routing: STR)

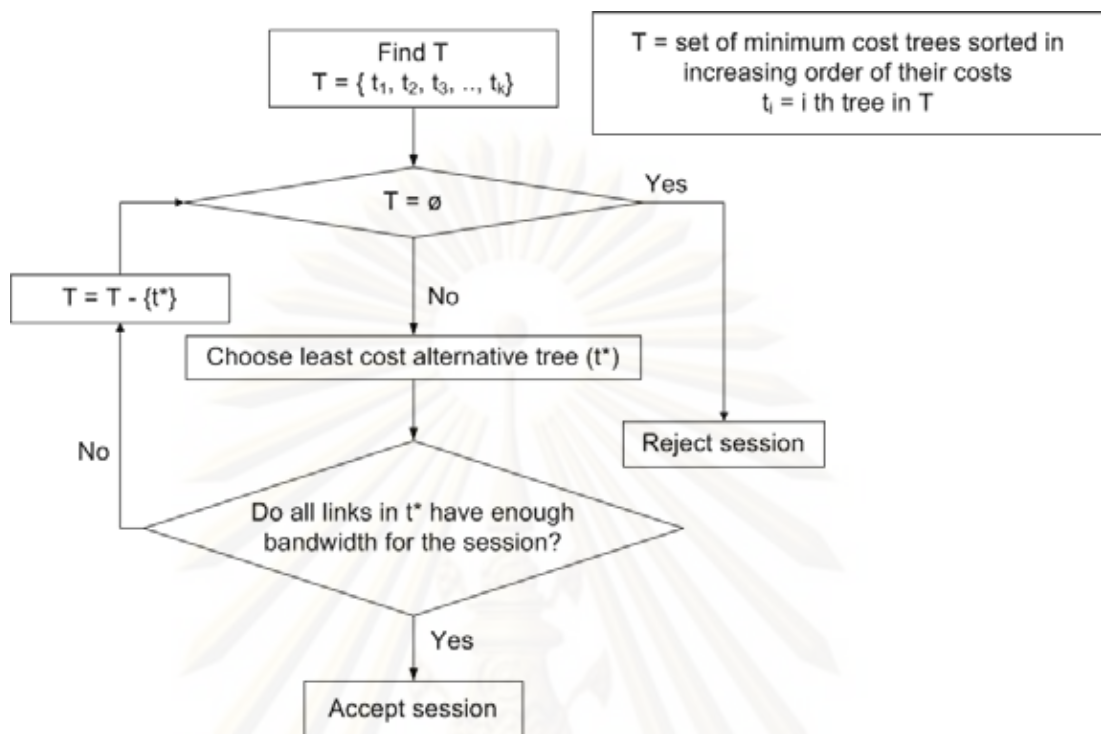
3.1 การจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ

การจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ STR มีเป้าหมายเพื่อลดโอกาสการปฏิเสธเซสชันโดยการเปลี่ยนเส้นทางของเซสชันที่ถูกปฏิเสธจากเส้นทางตรงหรือเส้นทางที่มีต้นทุนต่ำสุดไปยังเส้นทางเพื่อเลือกอื่น กระบวนการนี้สรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ขั้นตอนวิธีนี้เริ่มต้นเมื่อโครงข่ายไม่สามารถรองรับเซสชันในทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดลำดับที่หนึ่ง (t_1) ได้ ขั้นตอนวิธีจะค้นหาทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดในลำดับถัดไป เมื่อทรีดังกล่าวมีแบนด์วิดท์ไม่เพียงพอในการรองรับความต้องการของเซสชันที่เรียกเข้ามา ขั้นตอนวิธีจะลองตรวจสอบแบนด์วิดท์ของทรีในลำดับถัดไป โดยกระบวนการดังกล่าวจะทำไปเรื่อย ๆ จนกว่าเซสชันที่เรียกเข้ามาสามารถเข้าใช้บริการในโครงข่ายได้ แต่ถ้าไม่มีทรีใดในเซตของทรีที่มีต้นทุนต่ำสุด k ทรีรองรับเซสชันที่เรียกเข้ามาได้ เซสชันดังกล่าวจะถูกปฏิเสธโดยทันที การจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับนี้ใช้เวลาในการกระทำการสูงที่สุดอยู่ในระดับของ $O(k)$

3.2 การจัดเส้นทางของทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต

การจัดเส้นทางของทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต DATR เป็นการจัดเส้นทางของทรีอย่างพลวัต (dynamic tree routing) โดยจะพิจารณาการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกโดยอาศัยข้อดีของวิธี DAR ซึ่งเป็นการจัดเส้นทางที่มีการปรับตัวและกระจายการใช้งานข่ายเชื่อมโยงต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี โดยกลุ่มโหนดของทรีที่ต้องการเชื่อมต่อกันจะมีการเรียนรู้สถานะของโครงข่ายและทำ

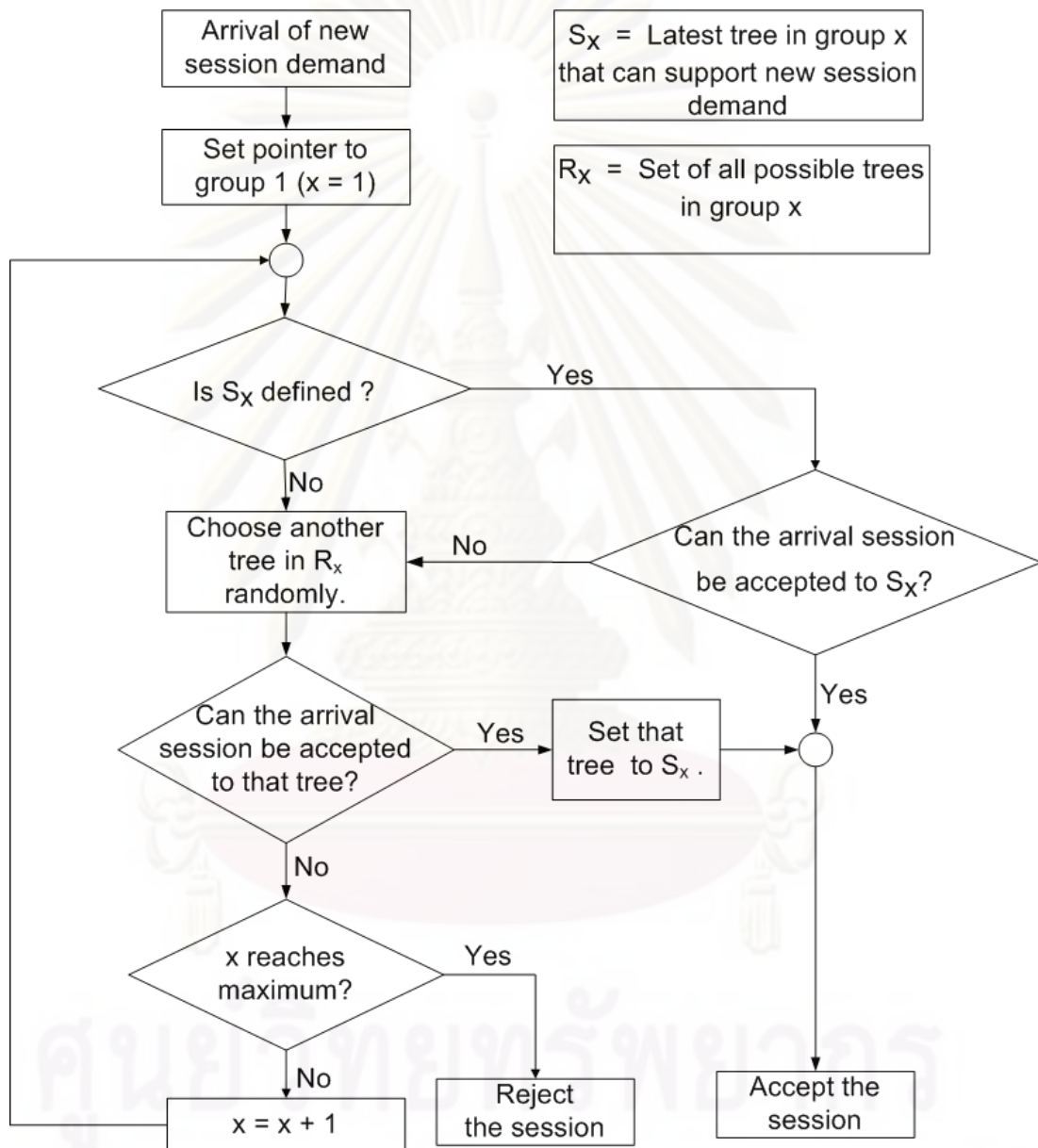


รูปที่ 3.1: ผังงานแสดงขั้นตอนของวิธีการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ

การปรับตัวให้เข้ากับสถานะของระบบในขณะนั้นอยู่เสมอ

เนื่องจาก DAR ออกแบบมาสำหรับโครงข่ายเชื่อมต่อเต็มที่ โดยกำหนดให้เส้นทางเพื่อเลือกมีต้นทุนที่เท่ากัน ในขณะที่ DATR ออกแบบมาสำหรับโครงข่ายทั่วไป โดยแต่ละทรีใน k ทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดของเซตชั้นหนึ่งๆ มีต้นทุนที่ไม่เท่ากัน โดยทรีเพื่อเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย โดยทรีในแต่ละกลุ่มจะมีต้นทุนของทรีที่เท่ากันและทรีต่างกลุ่มกันจะมีต้นทุนที่ไม่เท่ากัน ในรูปที่ 3.2 เริ่มจากตรวจสอบว่ามีทรีในกลุ่ม x ที่ประสบความสำเร็จต่ำสุด (S_x) หรือไม่ ถ้าไม่มีก็ทำการสุ่มเลือกทรีอื่น ๆ จากกลุ่ม x ถ้ามีก็ตรวจสอบว่าโครงข่ายมีแบนด์วิดท์เพียงพอหรือไม่ ถ้าเพียงพอก็ทำการรับเซตชั้นดังกล่าว ถ้าไม่เพียงพอก็ทำการสุ่มเลือกทรีจากกลุ่ม x ที่มีค่าต้นทุนสูงขึ้นในลำดับถัดไป ถ้าทำครบทุกกลุ่มแล้วยังไม่สามารถเลือกเส้นทางได้ก็ปฏิเสธเซตชั้นดังกล่าว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



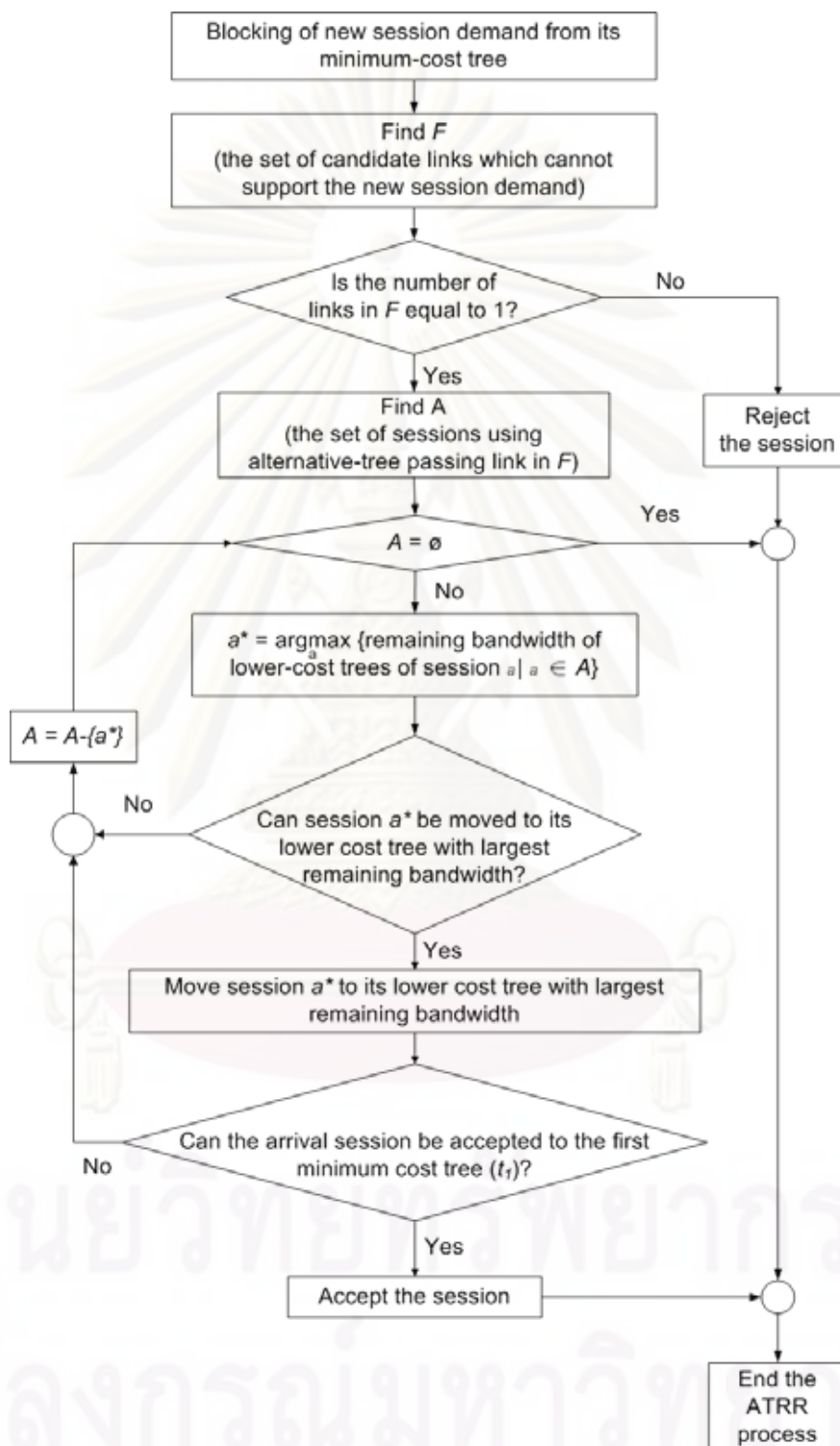
รูปที่ 3.2: ผังงานแสดงขั้นตอนของวิธีการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต

3.3 การจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชัน

รูปที่ 3.3 แสดงกระบวนการของขั้นตอนวิธี การจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชัน ATRR โดยมีเป้าหมายเพื่อการจัดระเบียบของกราฟฟิกในโครงข่ายโดยย้ายเซสชันที่มีการใช้ทรีต้นทุนสูงไปยังทรีที่มีต้นทุนที่ต่ำกว่าเมื่อมีการเรียกเข้ามาแล้วไม่สามารถเข้าใช้โครงข่ายในทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดลำดับแรกได้ ขั้นตอนวิธีนี้จะทำให้เกิดประโยชน์ต่อการจัดสรรกราฟฟิกเชิงสถิติในข่ายเชื่อมโยงตามกลไกของแบนด์วิดท์ประสิทธิผลนั้นคือแบนด์วิดท์ที่ใช้โดยรวมจะลดลงตามจำนวนของเซสชันที่รวมตัวกันได้มากขึ้น

ขั้นตอนวิธีนี้เริ่มต้นเมื่อทรีที่มีต้นทุนน้อยที่สุด (minimum cost tree) มีแบนด์วิดท์ไม่เพียงพอในการรองรับเซสชันที่ขอเข้าใช้บริการ โดยให้เซต F เป็นเซตของข่ายเชื่อมโยงตัวเลือก (candidate link) ซึ่งไม่สามารถรองรับเซสชันใหม่ได้ ถ้าเซต F มีข่ายเชื่อมโยงตัวเลือกมากกว่า 1 ข่ายเชื่อมโยง แล้วเซสชันใหม่ที่ขอเข้าใช้บริการจะถูกปฏิเสธ แต่ถ้าเซต F มีข่ายเชื่อมโยงตัวเลือก 1 ข่ายเชื่อมโยง แล้วขั้นตอนวิธีนี้จะค้นหาเซต A ของเซสชันที่กำลังใช้งานอยู่ในโครงข่ายและใช้ทรีเพื่อเลือกซึ่งผ่านข่ายเชื่อมโยงตัวเลือกดังกล่าว ถ้าเซต A เป็นเซตว่างหรือไม่มีเซสชันที่ใช้ทรีเพื่อเลือกที่ผ่านข่ายเชื่อมโยงตัวเลือกเลยแล้วเซสชันที่เข้ามาจะถูกปฏิเสธการขอเข้าใช้บริการหรือจบกระบวนการจัดเส้นทางใหม่ แต่ถ้าเซต A ไม่เป็นเซตว่างแล้วโครงข่ายจะเลือกเซสชัน a^* ในเซต A โดยจะเลือกเซสชันที่มีทรีซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าทรีปัจจุบันที่เซสชัน a^* กำลังใช้งานอยู่ และมีแบนด์วิดท์เหลืออยู่มากที่สุด ถ้าเซสชัน a^* ไม่สามารถถูกย้ายไปยังทรีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าได้ แล้วโครงข่ายจะเลือกเซสชัน a^* ใหม่จากเซสชันที่เหลืออยู่ในเซต A เพื่อค้นหาเซสชันอื่น ๆ ซึ่งจะสามารถถูกย้ายออกจากข่ายเชื่อมโยงตัวเลือกใน F ได้ต่อไป กระบวนการจัดเส้นทางใหม่ดังกล่าว จะสิ้นสุดลงถ้าเซสชัน a^* ถูกย้ายไปยังทรีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าและโครงข่ายสามารถรองรับเซสชันที่ขอเข้าใช้บริการดังกล่าวได้ หรือกระบวนการจะสิ้นสุด เมื่อเซต A เป็นเซตว่างแล้วเซสชันที่ขอเข้าใช้บริการจะถูกปฏิเสธ

สังเกตว่าขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางทรีใหม่หรือขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางใหม่แบบมัลติคาสต์เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชันใช้ระยะเวลาที่ขึ้นอยู่กับการเลือกในเซต A นั่นคือเวลาที่ต้องใช้สำหรับขั้นตอนวิธีนี้จะอยู่ในระดับ $O(|A|)$



รูปที่ 3.3: ผังงานแสดงขั้นตอนของกระบวนการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชัน

3.4 การจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชัน

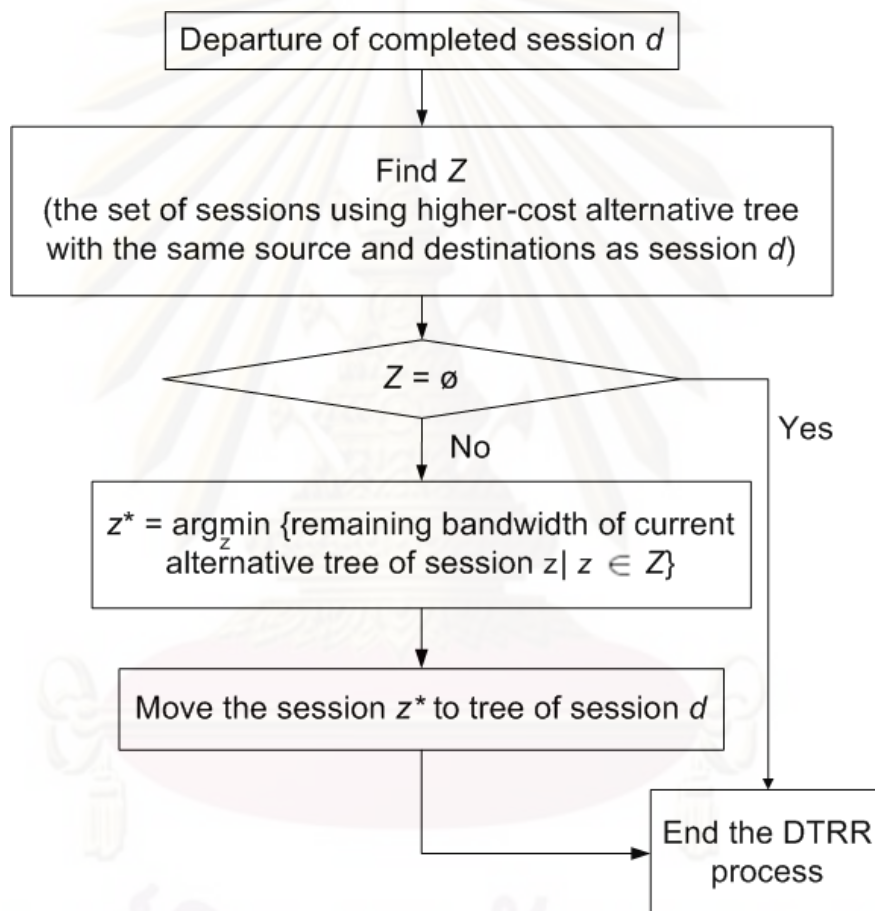
กระบวนการ DTRR นี้มีเป้าหมายเพื่อการจัดระเบียบของทราฟฟิกในโครงข่ายโดยย้ายเซสชันที่มีการใช้ทรีต้นทุนสูงไปยังทรีที่มีต้นทุนต่ำกว่าเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่ายของเซสชันที่สิ้นสุด การใช้บริการ หลักการคือเมื่อมีเซสชันออกจากโครงข่ายแล้ว ข่ายเชื่อมโยงที่เดิมเคยถูกเซสชันดังกล่าวใช้งาน จะมีแบนด์วิดท์ว่างมากขึ้น ดังนั้นถ้าทำการย้ายเซสชันซึ่งเดิมใช้ทรีที่มีต้นทุนสูงกลับมาแทนเซสชันที่ออกจากโครงข่ายแล้วก็จะมีผลทำให้โครงข่ายใช้ทรัพยากรน้อยลง รูปที่ 3.4 แสดงกระบวนการของขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชัน โดยขั้นตอนวิธีนี้เริ่มต้นเมื่อเซสชัน d ในโครงข่ายสิ้นสุดการใช้บริการ หลังจากนั้นจะมีการหาเซต Z ที่นิยามเป็นเซตของเซสชันซึ่งใช้ทรีที่มีต้นทุนสูงกว่าเซสชัน d และมีต้นทางและปลายทางเหมือนกันกับเซสชัน d ถ้าเซต Z เป็นเซตว่างแล้วกระบวนการ DTRR จะสิ้นสุดลงทันที แต่ถ้าเซต Z ไม่เป็นเซตว่างแล้วแสดงว่าข่ายเชื่อมโยงในทรีของเซสชัน d สามารถรองรับการเรียกได้เพิ่ม 1 เซสชัน ทั้งนี้เพราะเซสชันที่กำลังพิจารณาทั้งหมดนี้สนับสนุนบริการประเภทเดียวกันตามสมมุติฐานการแบ่งแบนด์วิดท์ให้บริการแต่ละประเภทแบบแยกจากกันโดยสมบูรณ์ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.5 ในกรณีนี้กระบวนการ DTRR จะเลือกเซสชัน z^* จากเซต Z โดยเซสชัน z^* ที่ถูกเลือกจะเป็นเซสชันซึ่งเดิมใช้ทรีซึ่งมีแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่น้อยที่สุดนั่นคือมีความคับคั่งมากที่สุด หลังจากนั้นกระบวนการ DTRR จะย้ายเซสชัน z^* กลับไปยังทรีของเซสชัน d กระบวนการดังกล่าวก็จะสิ้นสุดลง

3.5 ขั้นตอนวิธีที่เสนอสำหรับกระบวนการจัดเส้นทางทรีใหม่

วิทยานิพนธ์นี้เสนอกระบวนการจัดเส้นทางทรีใหม่โดยประยุกต์กับการจัดเส้นทางทรีแบบเดิม STR และการจัดเส้นทางทรีตามวิธี DATR ที่ได้นำเสนอไว้ด้วยในวิทยานิพนธ์นี้ ทั้งนี้โดยพิจารณานโยบายกระตุ้นให้เกิดการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้ามาในโครงข่ายตามวิธี ATRR และเมื่อมีการเรียกออกจากโครงข่ายตามวิธี DTRR ซึ่งทำให้ได้รูปแบบของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอใหม่ในวิทยานิพนธ์นี้ทั้งหมด 6 ขั้นตอนวิธีดังนี้

1. การจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับก่อนการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชัน (STR-ATRR)

กลไกนี้เริ่มต้นด้วย STR ถ้าเซสชันไม่สามารถเข้าใช้ทรี k ทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดของกลไก STR ได้เลย แล้วกระบวนการจัดเส้นทางนี้ก็เปลี่ยนไปใช้กลไก ATRR สำหรับ



รูปที่ 3.4: ฟังงานแสดงขั้นตอนของกระบวนการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชัน

เซสชันใหม่อันนั้นโดยถ้าเซสชันที่ขอเข้าใช้บริการถูกปฏิเสธจากกลไก ATRR อีกแล้วเซสชันดังกล่าวจึงจะถูกปฏิเสธการเข้าใช้บริการ

2. การจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชันก่อนการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ (ATRR-STR)

กลไกนี้เริ่มต้นด้วย ATRR เมื่อเซสชันที่ขอเข้าใช้บริการไม่สามารถเข้าใช้บริการในทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดได้ กลไกนี้จะทำตาม ATRR โดยภายหลังจากความพยายามย้ายเซสชันต่าง ๆ ออกไปเพื่อคืนแบนด์วิดท์กลับมาให้สำหรับทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดนั้นและพบว่าถ้าเซสชันที่พิจารณายังไม่สามารถเข้าใช้บริการในทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดได้ กลไกนี้ก็จะเปลี่ยนไปใช้ STR แทน โดยจะมีการขอเข้าใช้บริการในทรีที่มีต้นทุนที่สูงขึ้นในลำดับถัดไป หากไม่สามารถเข้าใช้ทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดในลำดับที่ 2 นี้ก็ให้ขอเข้าใช้ทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดลำดับที่ 3 กระบวนการนี้ดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ จนครบ k ทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดที่ได้กำหนดไว้ใน STR ถ้าเซสชันที่ขอเข้าใช้บริการยังคงถูกปฏิเสธจากกลไก STR อยู่แล้วเซสชันดังกล่าวก็จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้บริการ

3. การจัดเส้นทางของทรีอย่างพลวัตก่อนการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชัน (DATR-ATRR)

กลไกนี้เริ่มต้นด้วย DATR เมื่อเซสชันที่ขอเข้าใช้บริการไม่สามารถเข้าใช้บริการในทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดได้ DATR จะทดลองขอเข้าใช้บริการในทรีลำดับถัดไปในการทดลองไปเรื่อย ๆ จนครบทุกกลุ่มของกลไก DATR ถ้า DATR ล้มเหลวและเซสชันยังไม่สามารถเข้าใช้บริการได้ แล้วกระบวนการจัดเส้นทางนี้ก็เปลี่ยนไปใช้กลไก ATRR ถ้าเซสชันที่ขอเข้าใช้บริการถูกปฏิเสธจากกลไก ATRR แล้วเซสชันดังกล่าวก็จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้บริการ

4. การจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชันก่อนการจัดเส้นทางของทรีอย่างพลวัต (ATRR-DATR)

กลไกนี้เริ่มต้นด้วย ATRR เมื่อเซสชันที่ขอเข้าใช้บริการไม่สามารถเข้าใช้บริการในทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดได้ กลไกนี้จะทำตาม ATRR โดยถ้าเซสชันยังไม่สามารถเข้าใช้บริการในทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดได้ เมื่อ ATRR ล้มเหลว กลไกนี้ก็จะเปลี่ยนไปใช้ DATR แทน โดยทดลองขอเข้าใช้บริการในทรีลำดับถัดไปในการทดลองไปเรื่อย ๆ จนครบทุกกลุ่มของกลไก DATR ถ้าเซสชันที่ขอเข้าใช้บริการถูกปฏิเสธจากกลไก DATR แล้วเซสชันดังกล่าวก็จะถูกปฏิเสธการเข้าใช้บริการ

5. การจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชันร่วมกับการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ (DTTR&STR)

กลไกการจัดเส้นทางทั้งสองแบบจะแยกจังหวะการเริ่มต้นทำงานออกจากกัน อย่างไรก็ตามวิธีนี้โดยมีสมมุติฐานว่าการส่งกลุ่มข้อมูลเพื่อร้องขอการจัดเส้นทางต่าง ๆ มีค่าประวิงเวลาที่น้อยมาก สำหรับ DTTR&STR เมื่อมีเซสชันขอเข้าใช้บริการจะใช้กลไกการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ ส่วนเมื่อมีเซสชันสิ้นสุดการใช้บริการและออกจากโครงข่ายไปจะใช้กลไกการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชัน

6. การจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชันร่วมกับการจัดเส้นทางของทรีอย่างพลวัต (DTTR&DATR)

กลไกการจัดเส้นทางทั้งสองแบบจะแยกจังหวะการเริ่มต้นทำงานออกจากกัน อย่างไรก็ตามวิธีนี้โดยมีสมมุติฐานว่าการส่งกลุ่มข้อมูลเพื่อร้องขอการจัดเส้นทางต่าง ๆ มีค่าประวิงเวลาที่น้อยมาก สำหรับ DTTR&DATR นี้เมื่อมีเซสชันขอเข้าใช้บริการจะใช้กลไกการจัดเส้นทางทรีอย่างพลวัต ส่วนเมื่อมีเซสชันสิ้นสุดการใช้บริการและออกจากโครงข่ายไปจะใช้กลไกการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชัน

3.6 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี

ในส่วนนี้จะพิจารณาตัวชี้วัด 3 ตัว เพื่อใช้ประเมินกลไกที่นำเสนอ ซึ่งได้แก่ โอกาสการปฏิเสธเซสชัน สัดส่วนการจัดเส้นทางเพื่อเลือก สัดส่วนการจัดเส้นทางใหม่ สัดส่วนการจัดเส้นทางใหม่สำเร็จและเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ

- โอกาสการปฏิเสธเซสชัน (session blocking probability: SBP) เมื่อประมวลผลในระยะยาว (long-run) สามารถนิยามเป็น

$$SBP = \frac{\text{number of blocked sessions}}{\text{total number of session arrivals}}$$

- ความซับซ้อนของกลไก (mechanism complexity) ค่าความซับซ้อนของกลไกที่เสนอถูกประเมินในที่นี้โดยใช้ตัวชี้วัด 2 ตัว ได้แก่

- สัดส่วนการจัดเส้นทางตรีเพื่อเลือก (alternative tree routing ratio: R_a) ตัวชี้วัดนี้เป็นสัดส่วนระหว่างจำนวนครั้งของการขอจัดเส้นทางเพื่อเลือกและจำนวนเซสชันที่ขอเข้าใช้บริการทั้งหมดในโครงข่าย

$$R_a = \frac{\text{number of alternative - routing attempts}}{\text{total number of session arrivals}}$$

- สัดส่วนการจัดเส้นทางใหม่ (rerouting ratio: R_r) ตัวชี้วัดนี้เป็นสัดส่วนระหว่างจำนวนครั้งของการขอจัดเส้นทางใหม่และจำนวนเซสชันที่ขอเข้าใช้บริการทั้งหมดในโครงข่าย

$$R_r = \frac{\text{number of rerouting attempts}}{\text{total number of session arrivals}}$$

บทที่ 4

ผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดในแบบจำลองของระบบให้โหนดที่เข้ามามีการกระจายเป็นแบบปัวส์ซง และเป็นอิสระต่อกัน ใช้เทคนิคการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์แบบเหตุการณ์เต็มหน่วย (discrete event simulation) โดยวัดผลการทดลองด้วยช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.1 พารามิเตอร์ของฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผล

เพื่อความหลากหลายของฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผล ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้เสนอตัวอย่างฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผล 2 ตัวอย่างโดยมีค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ทั้งนี้โดยพิจารณาจากแหล่งข้อมูลที่ใช้แบนด์วิดท์มากหรือน้อย และพิจารณาจากจำนวนของการเชื่อมต่อที่แต่ละข่ายเชื่อมโยงสามารถรองรับได้ในการทดลองต่าง ๆ ที่จะได้กล่าวถึงต่อไป

ตารางที่ 4.1: พารามิเตอร์ของฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผลสำหรับกราฟฟิกของวีพีเอ็น (VPN)

| พารามิเตอร์ | ค่าที่ใช้ |
|---------------------|--------------|
| b | 120 ms |
| ρ | 0.6 |
| R_{peak} | 60000 kbps |
| x_l | 14000 kBytes |
| PL_l | 0.001 |
| Average Packet Size | 33 kBytes |

ตารางที่ 4.1 เป็นพารามิเตอร์ของฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผลสำหรับกราฟฟิกของวีพีเอ็น (VPN) ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อที่รวมกราฟฟิกของบริการประเภทต่าง ๆ เข้าด้วยกันจึงมีลักษณะข้อมูลที่ใช้แบนด์วิดท์ในปริมาณสูงและเนื่องจากต้องการทดสอบโดยให้ปริมาณกราฟฟิกเข้าสู่สถานะคงตัวด้วยเวลาไม่นานเกินไป รวมทั้งสามารถประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้โดยใช้เวลาในการประมวลผลที่ไม่นานเกินไป ดังนั้นจึงกำหนด

ให้ พารามิเตอร์ ของ ฟังก์ชัน แบนด์วิดท์ ประสิทธิภาพ มี ค่า สูง ซึ่ง ค่า พารามิเตอร์ ของ ฟังก์ชัน แบนด์วิดท์ ประสิทธิภาพ ในตารางนี้จะใช้ต่อไปในหัวข้อที่ 4.2

ตารางที่ 4.2: พารามิเตอร์ของฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิภาพสำหรับบริการการประชุมทางวิดีโอ

| พารามิเตอร์ | ค่าที่ใช้ |
|---------------------|------------|
| b | 120 ms |
| ρ | 0.25 |
| R_{peak} | 768 kbps |
| x_l | 15 kBytes |
| PL_l | 0.001 |
| Average Packet Size | 1.5 kBytes |

สำหรับตารางที่ 4.2 เป็นพารามิเตอร์ของฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิภาพสำหรับบริการการประชุมทางวิดีโอ ซึ่งมีลักษณะเป็นข้อมูลที่ใช้แบนด์วิดท์ในปริมาณต่ำเมื่อเทียบกับทราฟฟิกของวีพีเอ็น โดยค่าในตารางที่เป็นค่ามาตรฐานสำหรับบริการการประชุมทางวิดีโอมีที่มาดังต่อไปนี้

R_{peak} ใช้ค่าตาม ITU-T H.320 [21]

x_l จะคำนวณโดยให้ router แต่ละ hop สามารถจุแพ็กเก็ตได้ไม่เกิน 10 แพ็กเก็ต

PL_l จะนำค่าจากมาตรฐาน ITU-T Y.1541 [22]

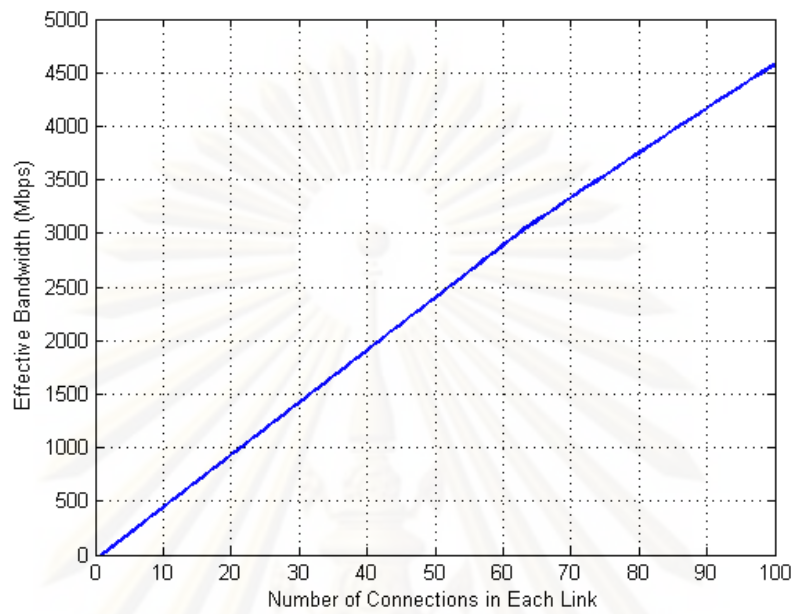
ขนาดแพ็กเก็ตเฉลี่ย (average packet size) อ้างอิงค่าจาก RFC1191 [23]

ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิภาพในตารางที่ 4.2 นี้จะใช้ต่อไปในหัวข้อที่ 4.3 หัวข้อที่ 4.4 และหัวข้อที่ 4.5

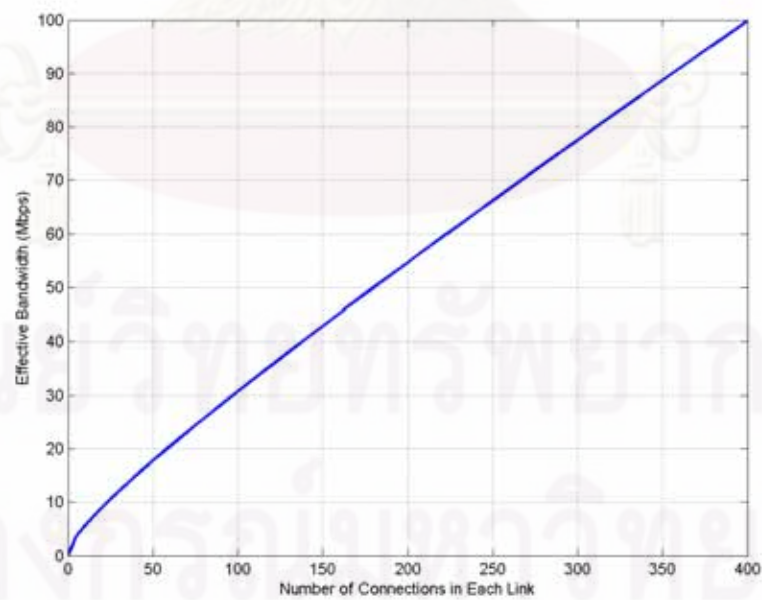
รูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 แสดงค่าฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิภาพที่ได้จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ตามลำดับ

4.2 การประเมินสมรรถนะการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชันร่วมกับขั้นตอนวิธี STR

ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ผลของการจัดเส้นทางทรีใหม่ โดยพิจารณาการเชื่อมต่อเป็นแบบมีการสื่อสารสองทางเต็มอัตรา (full-duplex) และพิจารณาโครงข่ายเชื่อมต่อเต็มที่ 5 โหนด แต่ละข่ายเชื่อมโยงมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 3000 Mbps และมีค่าฟังก์ชันแบนด์วิดท์



รูปที่ 4.1: พังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผลสำหรับกราฟฟิกของวีพีเอ็น



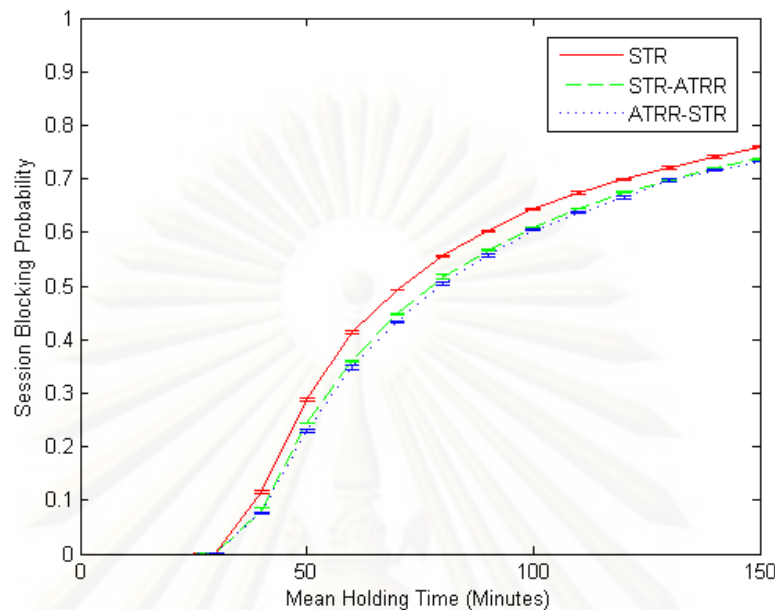
รูปที่ 4.2: พังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผลสำหรับกราฟฟิกของบริการการประชุมวิดีโอ

ประสิทธิผลให้เป็นดังรูปที่ 4.1 และนอกจากนี้กำหนดให้แต่ละข่ายเชื่อมโยงมีต้นทุนเท่ากัน เซสชันแต่ละเซสชันประกอบด้วยโนดต้นทางหนึ่งโนดและโนดปลายทาง 2 โนดซึ่งถูกเลือกอย่างสุ่ม อัตราการเข้าใช้บริการเฉลี่ยเท่ากับ 1 การเรียกต่อ 2 นาที และมีจำนวนทรัพยากรเพื่อเลือกสูงสุดเท่ากับ 3 ($k = 3$) สำหรับต้นทางและปลายทางของการเรียกในรูปแบบหนึ่ง ๆ กำหนดค่าในการประมวลผลด้วยค่าช่วงความเชื่อมั่นตามวิธีของค่าเฉลี่ยกลุ่ม (method of batch means) โดยใช้ 5 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมี 5 ข้อมูล แต่ละข้อมูลมี 40000 เหตุการณ์ เป้าหมายของการทดสอบนี้เพื่อพิจารณาผลของการจัดเส้นทางทรีใหม่และหาสถานการณ์ที่เหมาะสมสำหรับการจัดเส้นทางทรีใหม่ โดยเปรียบเทียบขั้นตอนวิธี 3 วิธี ได้แก่ การจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับอย่างเดียว (STR) การจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับก่อนการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชัน (STR-ATRR) และการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชันก่อนการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ (ATRR-STR) โดยพิจารณาจากตัวชี้วัด SBP , R_r และ R_a

รูปที่ 4.3 แสดงค่า SBP เป็นฟังก์ชันของเวลายืดครองเฉลี่ยสำหรับขั้นตอนวิธี STR, STR-ATRR และ ATRR-STR ซึ่งพบว่าค่า SBP ของทั้งขั้นตอนวิธี STR-ATRR และ ATRR-STR มีค่าต่ำกว่า STR อยู่ประมาณ 6.42% เพราะการจัดเส้นทางใหม่ทำให้แบนด์วิดท์ถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้ง STR-ATRR และ ATRR-STR ต่างก็มีกระบวนการจัดเส้นทางใหม่ทั้งคู่ ซึ่งการย้ายทรีที่มีต้นทุนสูงไปยังทรีที่มีต้นทุนต่ำกว่าทำให้ใช้จำนวนข่ายเชื่อมโยงที่น้อยกว่า กระบวนการดังกล่าวทำให้เซสชันที่เข้ามาถูกรองรับด้วยทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดง่ายมากขึ้น ดังนั้นประโยชน์ของขั้นตอนการจัดเส้นทางใหม่ก็คือการปรับปรุงประสิทธิภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อพิจารณาช่วงที่สามารถใช้งานได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 สามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงแรกเป็นช่วงเวลายืดครองเฉลี่ยต่ำ (0-15 นาที) ช่วงที่สองเป็นช่วงเวลายืดครองเฉลี่ยปานกลาง (15-50 นาที) และช่วงที่สามเป็นช่วงเวลายืดครองเฉลี่ยสูง (50-75 นาที)

ในช่วงแรกเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 พบว่าทุกตัวชี้วัดอยู่ที่ 0 เพราะว่าเซสชันส่วนใหญ่สามารถเข้าใช้ทรีที่มีต้นทุนต่ำสุดลำดับที่ 1 ได้ ขณะที่ช่วงที่สอง ขั้นตอนวิธี STR-ATRR จะกระจายทรัพยากรเพื่อเลือกไปทั่วโครงข่ายก่อน ดังนั้นจึงต้องมีการจัดเส้นทางใหม่หลายครั้งจนกระทั่งเซสชันที่เข้ามาสามารถเข้าใช้บริการได้ ตรงกันข้ามกับกรณี STR-ATRR พบว่า กรณี ATRR-STR จะรวมเซสชันที่กำลังทำงานอยู่ในโครงข่ายเมื่อมีการกระตุ้นจากเซสชันที่ร้องขอเข้าใช้บริการ ดังนั้นเซสชันในโครงข่ายจะถูกจัดระเบียบ ดังนั้นเมื่อมีเซสชันถัดไปเข้ามา ก็จะใช้จำนวนการจัดเส้นทางใหม่ที่น้อยลง จากที่กล่าวมาทำให้

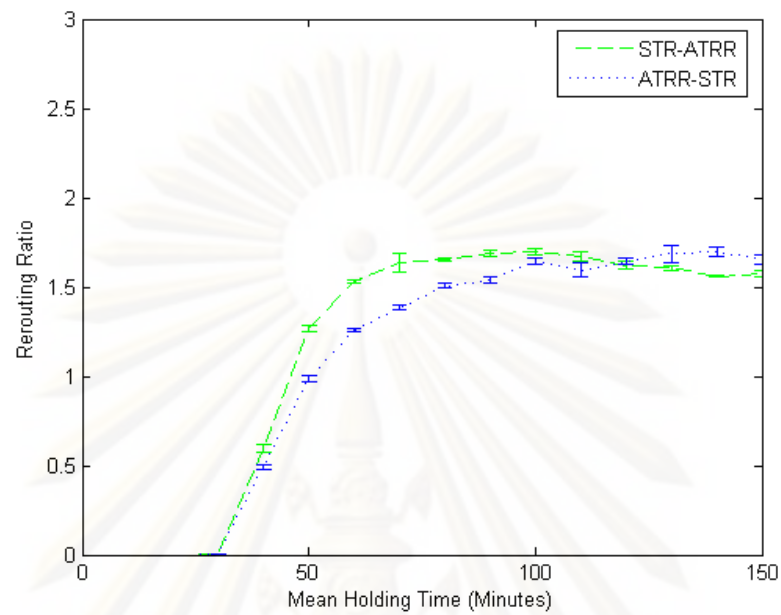


รูปที่ 4.3: โอกาสการปฏิเสธการเรียกของเซสชันเมื่อเปรียบเทียบกรณี STR STR-ATRR และ ATRR-STR

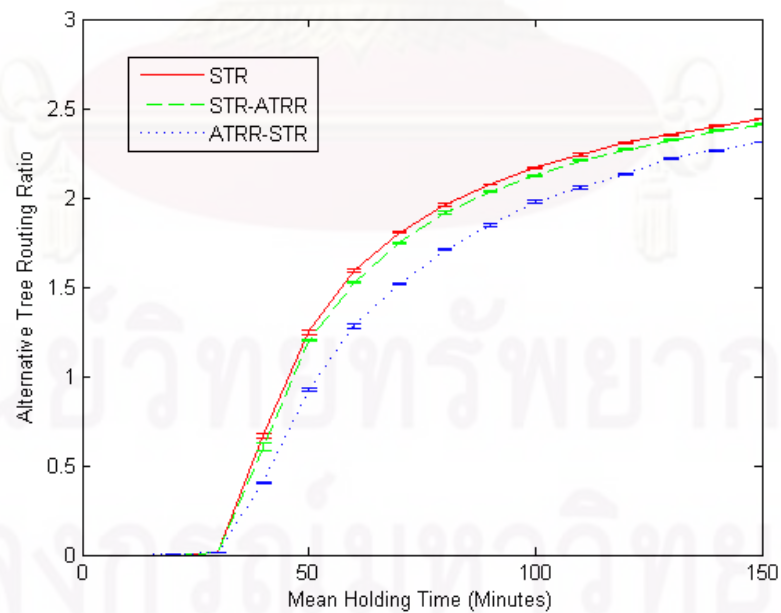
ATRR-STR มีค่า R_r น้อยกว่า STR-ATRR นอกจากนี้ STR-ATRR และ STR มีค่า R_a สูงกว่า ATRR-STR ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ดังนั้นในช่วงเวลายืดครองเฉลี่ยปานกลางจึงเหมาะสมในการใช้ ATRR-STR

อย่างไรก็ตามในช่วงเวลายืดครองเฉลี่ยสูง เซสชันในโครงข่ายถูกย้ายไปยังทรัพยากรที่มีต้นทุนต่ำกว่าได้ยากมากขึ้น ขั้นตอนวิธีทั้ง STR-ATRR และ ATRR-STR ต้องใช้จำนวนการจัดเส้นทางใหม่หลายครั้งเมื่อโครงข่ายเข้าสู่สภาวะอิมพัท แต่ ATRR-STR ใช้กลไกการจัดเส้นทางใหม่เมื่อโครงข่ายมีจำนวนเซสชันน้อยอยู่ ดังนั้น ATRR-STR จึงมีค่า R_r สูงกว่า STR-ATRR นอกจากนี้เนื่องจากในช่วงเวลายืดครองเฉลี่ยสูง ความสำเร็จในการจัดเส้นทางใหม่ต่ำลง ดังนั้น ATRR-STR ต้องใช้เส้นทางเพื่อเลือกมากกว่าปกติจนกระทั่งค่า R_a ของ ATRR-STR ลู่เข้าหา STR-ATRR ดังนั้นช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่มีทั้งข้อได้เปรียบเสียเปรียบระหว่าง R_r และ R_a ยิ่งไปกว่านั้น STR-ATRR และ ATRR-STR ยังคงมีค่า R_r สูงในช่วงดังกล่าวขณะที่ SBP ของขั้นตอนวิธีทั้งสองลู่เข้าหา STR ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นการใช้ ATRR-STR หรือ STR-ATRR ที่เวลายืดครองเฉลี่ยสูงก็ยังคงมีความซับซ้อนของกลไกที่สูงทั้งคู่

สำหรับในทางปฏิบัติ เมื่อพิจารณาช่วงโอกาสการปฏิเสธเซสชันที่ 0.1-0.2 กรณีที่เหมาะสมที่สุดคือ ATRR-STR เนื่องจากเป็นช่วงที่ให้ค่า SBP และ R_a ที่ต่ำกว่ากรณี



รูปที่ 4.4: สัดส่วนการจัดเส้นทางใหม่เมื่อเปรียบเทียบกรณี STR-ATRR และ ATRR-STR



รูปที่ 4.5: สัดส่วนการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกเมื่อเปรียบเทียบกรณี STR STR-ATRR และ ATRR-STR

อื่น ๆ อย่างไรก็ตามเนื่องจากกรณี STR ไม่ให้ค่า R_r เหมือนกับกรณี ATRR-STR ดังนั้นช่วงดังกล่าวเป็นช่วงที่ไม่ได้เปรียบเทียบเปรียบเทียบทางด้านความซับซ้อนของกลไก แต่เนื่องจากค่า SBP ที่น้อยกว่าดังนั้นการใช้ ATRR-STR จึงได้เปรียบมากกว่า

จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงว่าในช่วงเวลายืดครองเฉลี่ยปานกลางการจัดเส้นทางใหม่ร่วมกับการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับจะช่วยให้การเรียกประสบความเร็จมากขึ้น นอกจากนี้พบว่าช่วงเวลาดังกล่าวกรณีการจัดเส้นทางใหม่ก่อนการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ (ATRR-STR) ให้ค่าของตัวชี้วัดความซับซ้อนที่น้อยกว่ากรณีการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับก่อนการจัดเส้นทางใหม่ (STR-ATRR) ในช่วงการทำงานปกติที่โอกาสการปฏิเสธเซสชันยังไม่สูงมากอีกด้วย ผลการทดลองในหัวข้อนี้ได้นำเสนอไว้แล้วในบทความ [24] ของผู้เขียนวิทยานิพนธ์

4.3 การประเมินสมรรถนะขั้นตอนวิธี DATR ในโครงข่ายแบบต่าง ๆ

ในหัวข้อนี้พิจารณาผลการทดลองของขั้นตอนวิธี DATR ในโครงข่ายลักษณะต่าง ๆ โดยกำหนดให้ทุกข่ายเชื่อมโยงในแต่ละโครงข่ายมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 50 Mbps และมีต้นทุนเท่ากัน โดยมีฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผลตามรูปที่ 4.2 เซสชันแต่ละเซสชันประกอบด้วยโนดต้นทางหนึ่งโนดและโนดปลายทาง 2 โหนดซึ่งถูกเลือกอย่างสุ่ม อัตราการเข้าใช้บริการเฉลี่ยเท่ากับ 1 การเรียกต่อนาที และมีจำนวนทรีเพื่อเลือกสูงสุดเท่ากับ 4 ($k = 4$) สำหรับต้นทางและปลายทางของการเรียกในรูปแบบหนึ่ง ๆ กำหนดประมวลผลด้วยค่าช่วงความเชื่อมั่นตามวิธีของค่าเฉลี่ยกลุ่มโดยใช้ 5 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมี 5 ข้อมูล แต่ละข้อมูลมี 50000 เหตุการณ์ แล้วหาค่าโอกาสการปฏิเสธการเรียกของกรณี DATR และกรณี STR ซึ่งโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่ โครงข่าย FM โครงข่าย FM-RM1 โครงข่าย FM-RM2 โครงข่าย FM-RM3 โดย

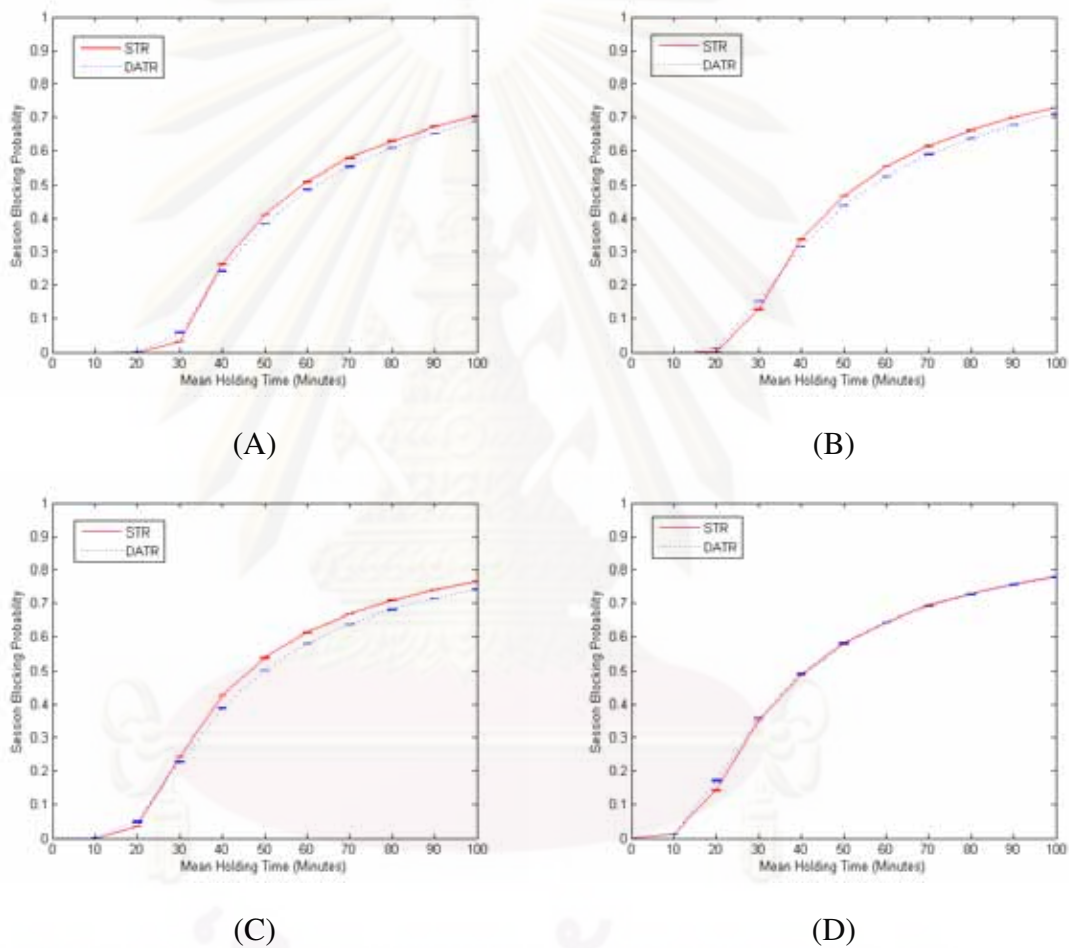
โครงข่าย FM คือโครงข่ายเชื่อมต่อเต็มที่ (full mesh topology) 5 โหนด

โครงข่าย FM-RM1 คือโครงข่ายเชื่อมต่อเต็มที่ 5 โหนด ที่มีการตัดข่ายเชื่อมโยงออกไป 1 ข่ายเชื่อมโยง (full mesh topology with 1 link removed)

โครงข่าย FM-RM2 คือโครงข่ายเชื่อมต่อเต็มที่ 5 โหนด ที่มีการตัดข่ายเชื่อมโยงออกไป 2 ข่ายเชื่อมโยง (full mesh topology with 2 links removed)

โครงข่าย FM-RM3 คือโครงข่ายเชื่อมต่อเต็มที่ 5 โหนด ที่มีการตัดข่ายเชื่อมโยงออกไป 3 ข่ายเชื่อมโยง (full mesh topology with 3 links removed)

ในการหาค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันในแต่ละรูปแบบของโครงข่าย เช่น โครงข่าย FM-RM2 จะทำการหาค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันของทุกรูปแบบที่มีลักษณะเป็นโครงข่าย FM-RM2 แล้วนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาเฉลี่ยกันก็จะได้ค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันของแต่ละโครงข่ายตามต้องการ รูปที่ 4.6 แสดงค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันของกรณี DATR และ STR สำหรับโครงข่ายรูปแบบต่าง ๆ



รูปที่ 4.6: ค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันสำหรับโครงข่าย (A) FM (B) FM-RM1 (C) FM-RM2 และ (D) FM-RM3

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าช่วงเวลายืดครองต่ำของโครงข่ายทุกรูปแบบ กรณี STR ให้ค่าโอกาสการปฏิเสธการเรียกต่ำกว่ากรณี DATR เนื่องจากช่วงดังกล่าวปริมาณทราฟฟิกในโครงข่ายยังต่ำอยู่ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้การจัดเส้นทางเพื่อเลือกอย่างพลวัตเพื่อให้โครงข่ายสมดุล และเนื่องจากช่วงดังกล่าว STR สามารถทดลองจัดเส้นทางของเซสชันบนทรีได้จำนวนครั้งมากกว่ากรณี DATR จึงมีโอกาสที่จะปฏิเสธเซสชันน้อยกว่า แต่ในช่วง

เวลายืดครองเฉลี่ยปานกลางและสูงโครงข่ายทุกรูปแบบให้ค่าโอกาสการปฏิเสธการเรียกของกรณี DATR น้อยกว่ากรณี STR โดยกรณี FM-RM2 ให้ค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันของกรณี DATR น้อยกว่ากรณี STR ประมาณ 3.71% ดังนั้นจึงสรุปผลการทดลองว่าไม่ว่าโครงข่ายจะมีลักษณะเป็นแบบใดก็ตามขั้นตอนวิธี DATR ให้ผลที่ดีกว่าขั้นตอนวิธี STR ในช่วงยืดครองเฉลี่ยปานกลางและสูง ข้อสรุปที่ได้นี้จึงเป็นการยืนยันข้อดีของ DATR ในการกระจายทราฟฟิกในโครงข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงดังกล่าว

และดังนั้นจึงน่าสนใจว่าหากนำการจัดเส้นทางทรีใหม่มาประยุกต์เพิ่มเติมกับการจัดเส้นทางทรีแบบ DATR ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เปรียบกับเมื่อนำมาใช้ในการจัดเส้นทางทรีแบบเดิมคือ STR แล้วจะมีผลดีเพิ่มเติมขึ้นได้หรือไม่ ซึ่งการศึกษาในประเด็นนี้มีความสำคัญโดยได้นำเสนอผลและบทสรุปไว้ในหัวข้อ 4.4 และ 4.5

4.4 การประเมินสมรรถนะการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชันร่วมกับขั้นตอนวิธี DATR

ในส่วนนี้ได้ทำการทดลองกับโครงข่ายสมมาตร 5 โหนด แบบเชื่อมต่อเต็มที่ มีอัตราการเรียกเข้า 1 เซสชันต่อนาที เซสชันแต่ละเซสชันประกอบด้วยโหนดต้นทางหนึ่งโหนดและโหนดปลายทาง 2 โหนดซึ่งถูกเลือกอย่างสุ่ม และมีจำนวนทรีเพื่อเลือกสูงสุดเท่ากับ 4 ($k = 4$) สำหรับต้นทางและปลายทางของการเรียกในรูปแบบหนึ่ง ๆ กำหนดประมวลผลด้วยค่าช่วงความเชื่อมั่นตามวิธีของค่าเฉลี่ยกลุ่มโดยใช้ 5 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมี 5 ข้อมูล แต่ละข้อมูลมี 50000 เหตุการณ์ โดยมีเป้าหมาย คือตรวจสอบพฤติกรรมของทราฟฟิกในช่วงโหลดต่าง ๆ ในแต่ละโครงข่าย โดยแต่ละข่ายเชื่อมโยงมีแบนด์วิดท์เท่ากันคือ 50 Mbps ซึ่งมีค่าฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผลตามรูปที่ 4.2 และเปรียบเทียบสมรรถนะของขั้นตอนวิธีต่าง ๆ ได้แก่

STR เป็นกรณีการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ

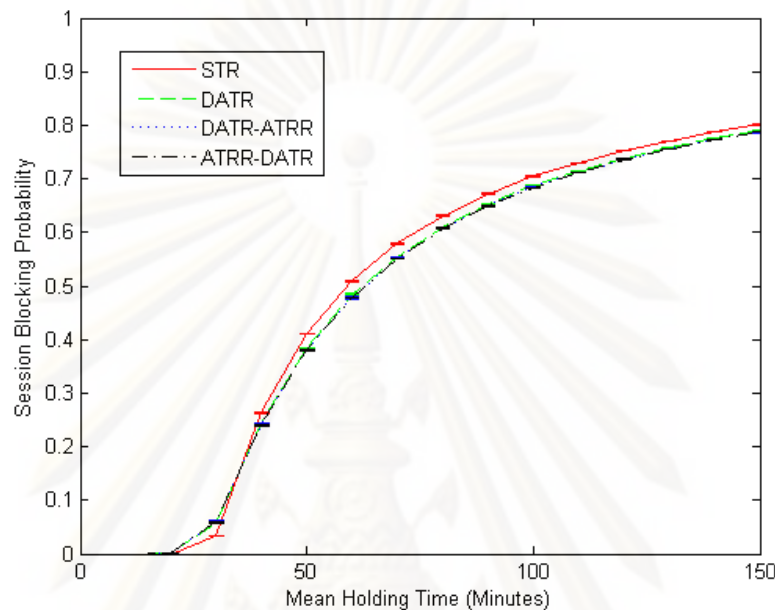
DATR เป็นกรณีการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต

DATR-ATRR เป็นกรณีการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัตก่อนการจัดเส้นทางใหม่

ATRR-DATR เป็นกรณีการจัดเส้นทางใหม่ก่อนการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าการจัดเส้นทางโดยใช้วิธี DATR จะให้ค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันที่น้อยกว่ากรณี STR โดยเฉพาะในช่วงเวลายืดครองเฉลี่ยเท่ากับ 30-130 นาที ส่วนในช่วงเวลายืดครองเฉลี่ย 0-30 นาที หรือช่วงโอกาสการปฏิเสธเซสชันอยู่ที่ 0.1-0.2 ซึ่งเป็นช่วงในทางปฏิบัติ ขั้นตอนที่เหมาะสมที่สุดคือ STR เนื่องจากให้ค่า SBP ต่ำกว่ากรณี

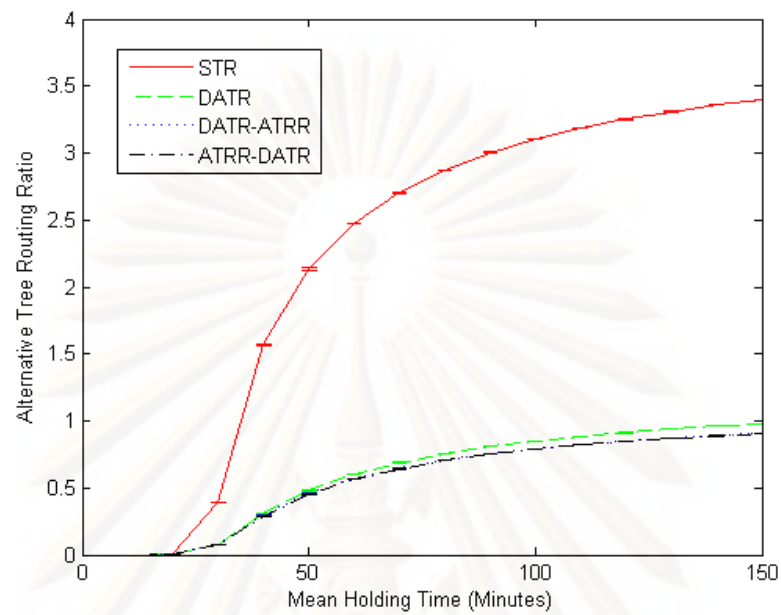
DATR, DATR-ATRR และ ATRR-DATR แต่อย่างไรก็ตามค่า SBP ที่ได้ต้องแลกกับความซับซ้อนที่สูงขึ้นจากค่า R_a ดังรูปที่ 4.8



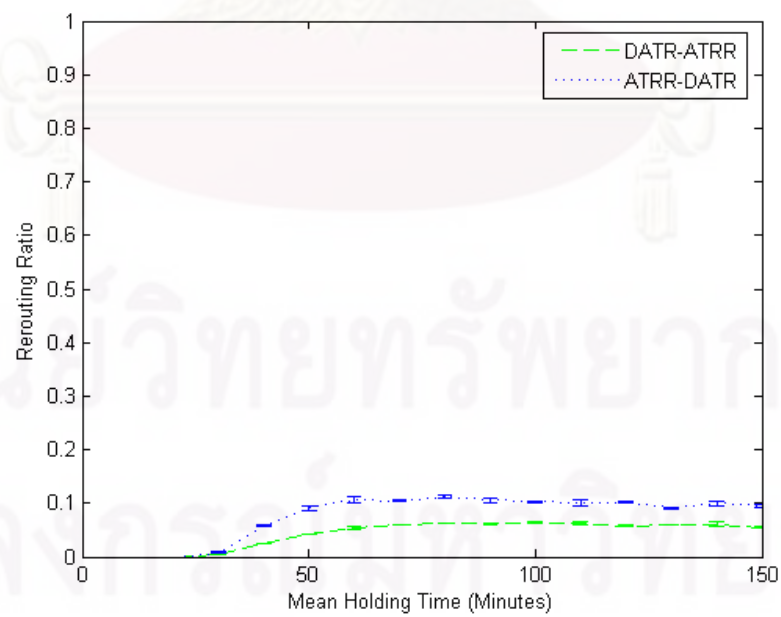
รูปที่ 4.7: โอกาสการปฏิเสธเซสชันเมื่อมีการเรียกเข้าของเซสชัน เมื่อเปรียบเทียบกรณี STR DATR DATR-ATRR และ ATRR-DATR

สำหรับช่วงเวลายึดครองเฉลี่ยปานกลางเท่ากับ 30-130 นาที เป็นช่วงที่เซสชันบางเซสชันไม่สามารถใช้ทรีที่มีต้นทุนลำดับที่ 1 ได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงต้องทำการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกและการจัดเส้นทางทรีใหม่ โดยกรณี STR จะให้ค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันที่สูงกว่ากรณี DATR ประมาณ 3.12% เนื่องจากการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับหรือกรณี STR จะใช้เส้นทางเรียงตามลำดับเมื่อเซสชันเข้าใช้บริการและสามารถเข้าใช้บริการได้ทำให้ทรีที่มีต้นทุนในลำดับแรก ๆ ถูกใช้ในปริมาณมาก ทำให้โอกาสที่ข่ายเชื่อมโยงเกิดคอขวดได้มากขึ้น ในขณะที่กรณี DATR จะกระจายเซสชันไปใช้ทรีอื่นได้ทุกทรี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานะของทราฟฟิกขณะนั้น ซึ่งเป็นลักษณะของการจัดเส้นทางของทรีแบบพลวัต ในขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.8 พบว่า DATR มีค่า R_a ที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณี STR เนื่องจากขั้นตอนวิธี DATR มีการแบ่งทรีออกเป็นกลุ่มโดยที่ทรีในแต่ละกลุ่มมีต้นทุนที่เท่ากันและผลของขั้นตอนทำให้ใช้ทรีเพื่อเลือกน้อยกว่ากรณี STR ดังนั้นการใช้ DATR จะทำให้โครงข่ายมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ DATR จะช่วยลดความคับคั่งของโครงข่าย โดยการพยายามทำให้ปริมาณทราฟฟิกสมดุลมากที่สุดด้วยการกระจายทราฟฟิกให้ทั่วโครงข่าย

ในขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกรณี DATR-ATRR ATRR-DATR กับกรณี DATR พบ



รูปที่ 4.8: สัดส่วนการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกเมื่อเปรียบเทียบกรณี STR DATR DATR-ATRR และ ATRR-DATR



รูปที่ 4.9: สัดส่วนการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อเปรียบเทียบกรณี DATR-ATRR และ ATRR-DATR

ว่าค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันของกรณี DATR มากกว่า DATR-ATRR และ ATRR-DATR ซึ่งน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบผล DATR จาก STR รวมทั้งจากรูป 4.9 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสัดส่วนจำนวนการจัดเส้นทางใหม่ไม่เกิน 0.1 นั้นหมายถึงเซสชันที่เข้ามา 1 เซสชันมีโอกาสการจัดเส้นทางเฉลี่ยไม่เกิน 1 ครั้ง แสดงว่าช่วงเวลายืดครองเฉลี่ยนี้ขึ้นตอน DATR เพียงพอที่จะมีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายและไม่จำเป็นต้องมีการจัดเส้นทางทรีใหม่

นอกจากนี้เมื่อช่วงเวลายืดครองเฉลี่ยสูงคือ 130 นาทีเป็นต้นไป พบว่ากรณี STR DATR DATR-ATRR และ ATRR-DATR ให้ค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น เนื่องจากช่วงเวลายืดครองเฉลี่ยดังกล่าวโครงข่ายมีปริมาณทราฟฟิกค่อนข้างสูงทำให้โอกาสที่เซสชันจะสามารถที่เข้าใช้บริการได้จึงมีน้อยลง

จากที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าการจัดเส้นทางแบบ DATR ในโครงข่ายสมมาตรที่นำมาพิจารณานั้นเพียงพอต่อการทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายดีขึ้น และจากการทดลองทั้งสามหัวข้อที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่าการจัดเส้นทางใหม่มีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายเมื่อไม่มี DATR แต่เมื่อมี DATR แล้วไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนการจัดเส้นทางแบบ ATRR

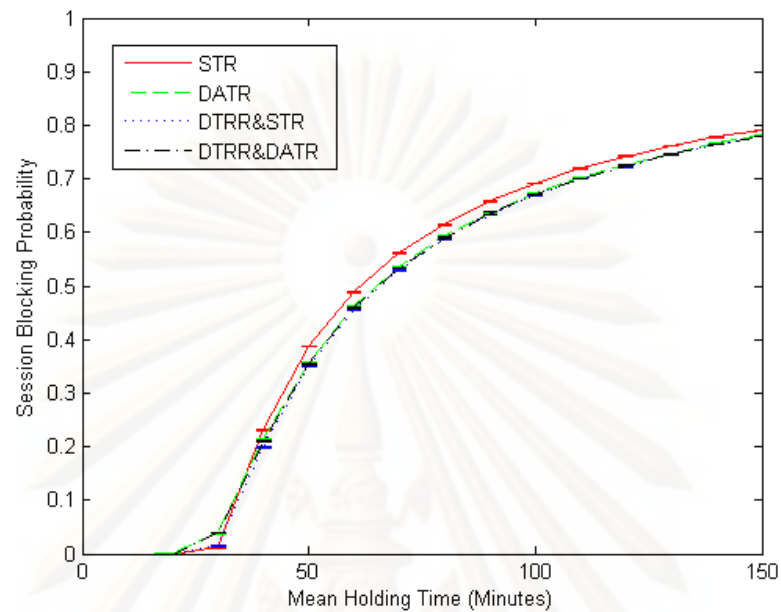
4.5 การประเมินสมรรถนะการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชัน

ในส่วนนี้ได้ทำการทดลองกับโครงข่ายสมมาตร 5 โหนดแบบเชื่อมต่อเต็มที่ มีอัตราการเรียกเข้า 1 เซสชันต่อนาที เซสชันแต่ละเซสชันประกอบด้วยโหนดต้นทางหนึ่งโหนดและโหนดปลายทาง 2 โหนดซึ่งถูกเลือกอย่างสุ่ม และมีจำนวนทรีเพื่อเลือกสูงสุดเท่ากับ 4 ($k = 4$) สำหรับต้นทางและปลายทางของการเรียกในรูปแบบหนึ่ง ๆ กำหนดประมวลผลด้วยค่าช่วงความเชื่อมั่นตามวิธีของค่าเฉลี่ยกลุ่มโดยใช้ 5 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมี 5 ข้อมูล แต่ละข้อมูลมี 50000 เหตุการณ์ โดยมีเป้าหมายคือตรวจสอบพฤติกรรมของทราฟฟิกในช่วงโหลดต่าง ๆ ในแต่ละโครงข่าย โดยแต่ละข่ายเชื่อมโยงมีแบนด์วิดท์เท่ากันคือ 50 Mbps และมีฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผลตามรูปที่ 4.2 ซึ่งเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีต่าง ๆ ดังนี้

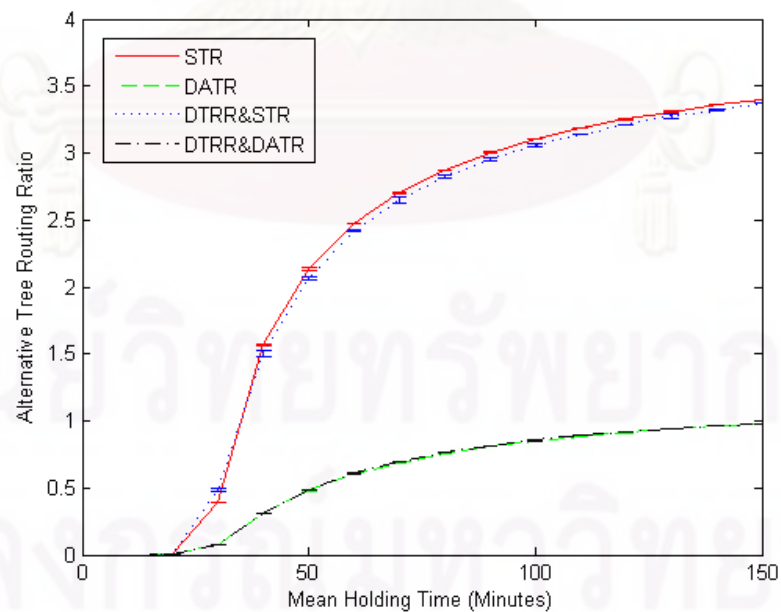
DTRR&STR เป็นกรณีการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชันร่วมกับการจัดเส้นทางทรีแบบเป็นลำดับ

DTRR&DATR เป็นกรณีการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชันร่วมกับการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต

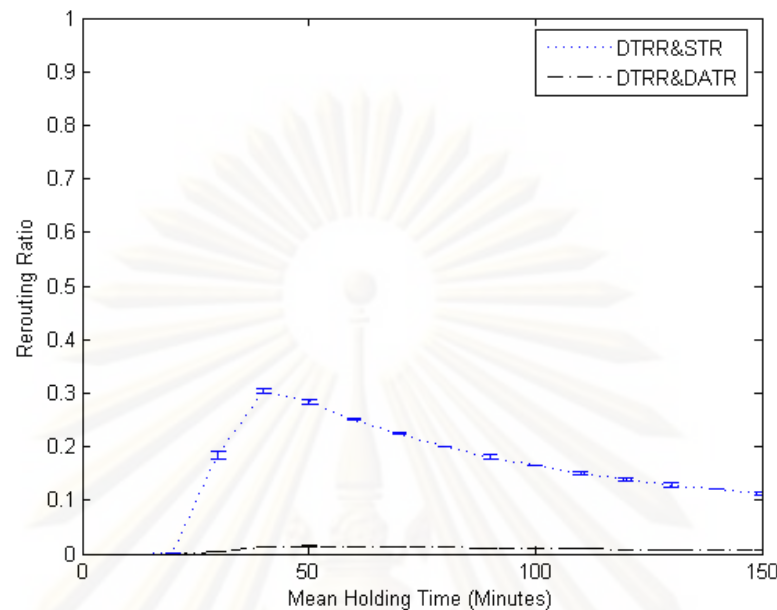
จากรูปที่ 4.10 ในช่วงเวลายืดครองเฉลี่ย 0-30 นาที จะเห็นว่ากรณี DATR เทียบ



รูปที่ 4.10: โอกาสการปฏิเสธเซสชันเมื่อมีการเรียกออกของเซสชัน เมื่อเปรียบเทียบกรณี STR DATR DTRR&STR และ DTRR&DATR



รูปที่ 4.11: สัดส่วนการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกเมื่อเปรียบเทียบกรณี STR DATR DATR-ATTR และ ATTR-DATR ในกรณีที่มีการเรียกออกของเซสชัน



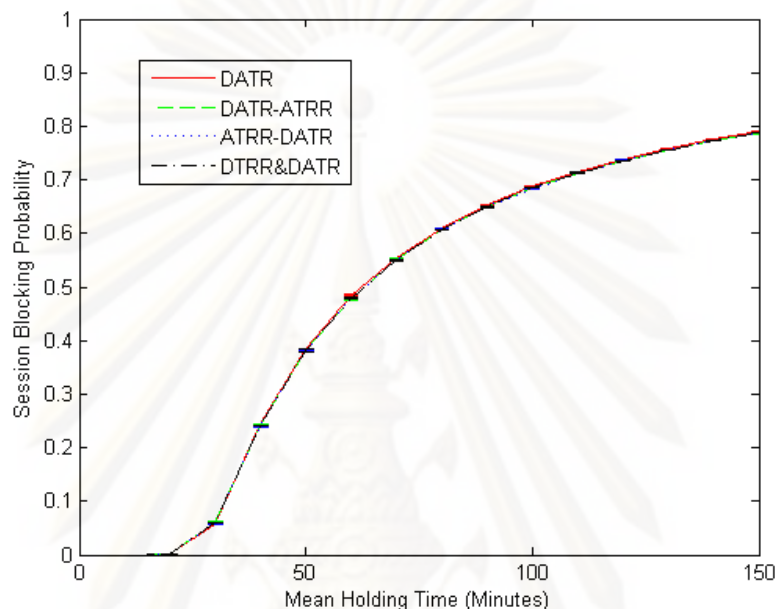
รูปที่ 4.12: สัดส่วนการจัดเส้นทางทริใหม่เมื่อเปรียบเทียบกรณี DATR-ATRR และ ATRR-DATR ในกรณีมีการเรียกออกของเซสชัน

กับกรณี DTRR&DATR และกรณี STR เทียบกับกรณี DTRR&STR ให้ค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันเท่ากัน เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่มีปริมาณทราฟฟิกไม่มาก เซสชันที่ร้องขอเข้าใช้บริการจึงสามารถเข้าใช้บริการโครงข่ายได้ทั้งหมด แสดงว่าช่วงนี้การจัดเส้นทางทริใหม่ไม่มีผลต่อตัวชี้วัดของโครงข่าย

สำหรับช่วงเวลายึดครองเฉลี่ยเท่ากับ 30-150 นาที จะเห็นว่ากรณี DATR ให้ค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันสูงกว่ากรณี DTRR&DATR อยู่เล็กน้อย และจากรูปที่ 4.12 ซึ่งให้ R_r ต่ำมาก แสดงให้เห็นว่าการจัดเส้นทางใหม่เมื่อมีเซสชันออกจากโครงข่ายไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายเนื่องจากมี DATR ที่ทำให้ทราฟฟิกกระจายไปทั่วโครงข่ายอย่างสมดุลแล้ว แต่เมื่อเปรียบเทียบกรณี STR กับกรณี DTRR&STR พบว่ากรณี STR ให้ค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันมากกว่ากรณี DTRR&STR ประมาณ 3.86% และจากรูปที่ 4.11 ค่า R_a ของทั้งสองกรณีให้ค่าใกล้เคียงกัน รวมทั้งรูปที่ 4.12 ซึ่งแสดงค่า R_r ของกรณี DTRR&STR แสดงว่าการจัดเส้นทางทริใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชันมีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายเมื่อไม่มี DATR เนื่องการจัดเส้นทางทริใหม่เมื่อมีการเรียกออกของเซสชันทำให้ทรัพยากรของโครงข่ายถูกใช้น้อยลง ดังนั้นเซสชันใหม่จึงขอเข้าใช้บริการได้ง่ายขึ้น

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจึงสรุปได้ว่า DTRR ทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายดีขึ้นสำหรับ

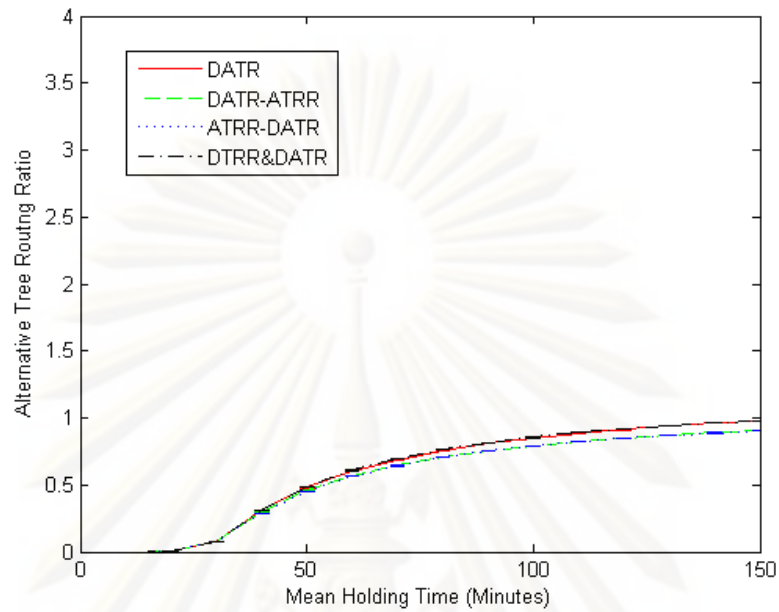
STR นั้นคือ DTRR ทำการย้ายทรีที่มีต้นทุนสูงกลับไปยังทรีที่มีต้นทุนต่ำกว่า ทำให้โครงข่ายใช้ทรัพยากรโครงข่ายน้อยกว่า ยกเว้นกรณีที่มี DATR ซึ่งทำให้กราฟฟิกสมดุอยู่ แล้ว DTRR จะไม่มีผล



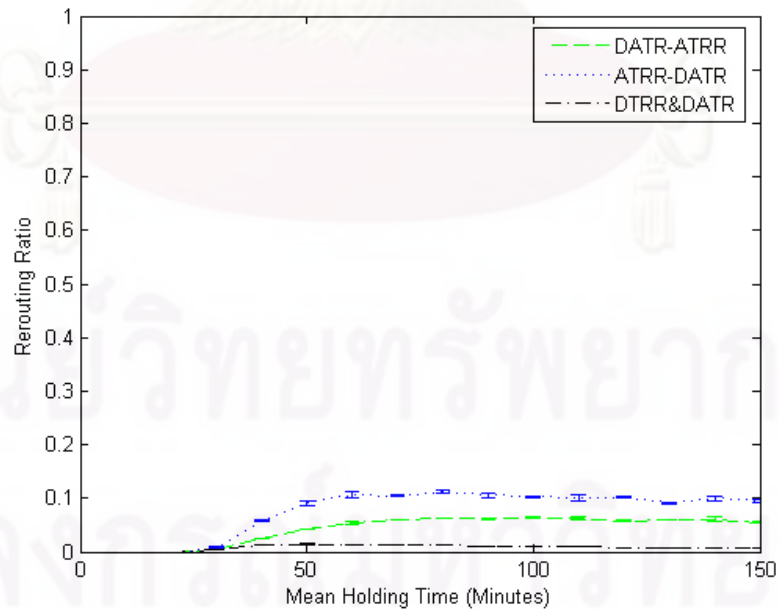
รูปที่ 4.13: โอกาสการปฏิเสธเซสชันเมื่อเปรียบเทียบกรณี DATR, DATR-ATRR, ATRR-DATR และ DTRR&DATR

เมื่อเปรียบเทียบ ATRR และ DTRR ในการจัดเส้นทางร่วมกับ DATR จากรูปที่ 4.13 ทุกกรณีให้ค่า SBP ที่เท่ากัน แม้ว่ารูปที่ 4.14 กรณี DTRR&DATR ให้ค่า R_a มากกว่า แต่จากรูปที่ 4.15 กรณี DTRR&DATR ให้ค่า R_r ที่น้อยกว่าแสดงว่าเป็นการแลกเปลี่ยนความซับซ้อนของขั้นตอนวิธีในรูปของ R_a และ R_r ระหว่างกรณี DTRR&DATR กับกรณี ATRR-DATR และ DATR-ATRR จากที่กล่าวมาทั้งหมดทำให้ยืนยันได้ว่า DATR เพียงพอต่อการทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายดีขึ้น ไม่จำเป็นต้องทำการจัดเส้นทางทรีใหม่

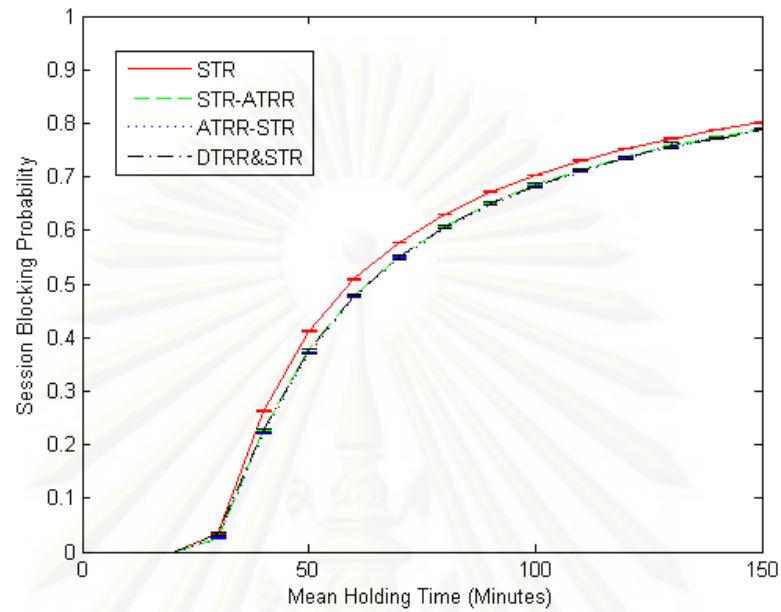
ส่วนการเปรียบเทียบ ATRR และ DTRR ในการจัดเส้นทางร่วมกับ STR จากรูปที่ 4.16 แม้ว่าทั้งกรณี STR-ATRR ATRR-STR และ DTRR&STR จะให้ค่า SBP เท่ากันและต่ำกว่ากรณี STR ก็ตาม แต่จากรูปที่ 4.17 พบว่า STR-ATRR และ ATRR-STR ให้ค่าของ R_a น้อยกว่ากรณี DTRR&STR แสดงว่าในการจัดเส้นทางร่วมกับ STR กรณี ATRR ทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายดีขึ้นมากกว่ากรณี DTRR เนื่องจากขั้นตอนวิธี ATRR ทำการย้ายเซสชันที่ใช้ทรีซึ่งผ่านข่ายเชื่อมโยงคัดเลือกหลายเซสชันกลับไปยังทรีที่มีต้นทุนที่ต่ำกว่าทำให้โครงข่ายมีแบนด์วิดท์ที่มากขึ้น ในขณะที่ขั้นตอนวิธี DTRR จะสามารถย้ายเซสชันไปยังทรีที่



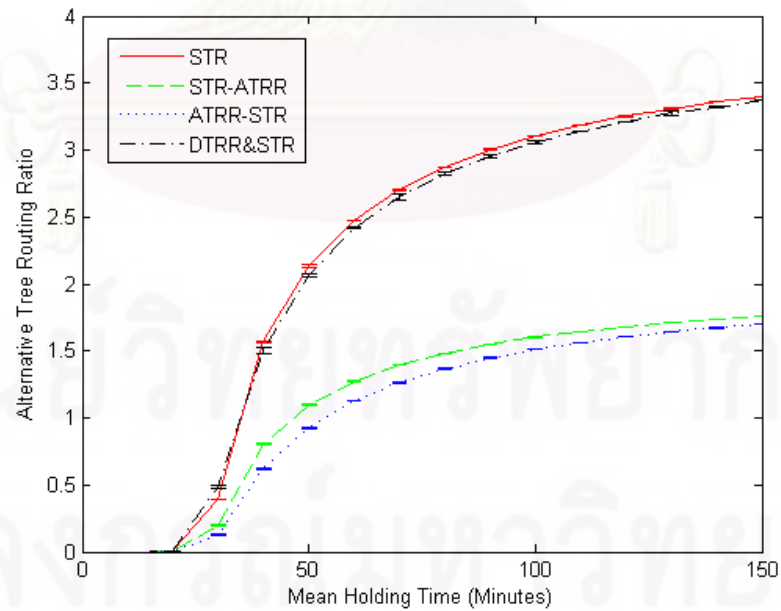
รูปที่ 4.14: สัดส่วนการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกเมื่อเปรียบเทียบกรณี DATR, DATR-ATRR, ATRR-DATR และ DTRR&DATR



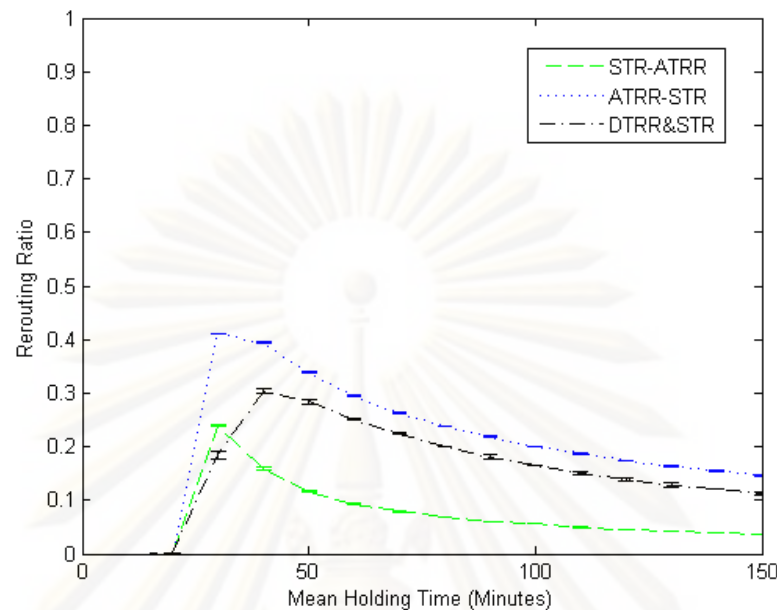
รูปที่ 4.15: สัดส่วนการจัดเส้นทางทรีใหม่เมื่อเปรียบเทียบกรณี DATR-ATRR, ATRR-DATR และ DTRR&DATR



รูปที่ 4.16: โอกาสการปฏิเสธเซสชันเมื่อเปรียบเทียบกรณี STR, STR-ATRR, ATRR-STR และ DTRR&STR



รูปที่ 4.17: สัดส่วนการจัดเส้นทางทรีเพื่อเลือกเมื่อเปรียบเทียบกรณี STR, STR-ATRR, ATRR-STR และ DTRR&STR



รูปที่ 4.18: สัดส่วนการจัดเส้นทางทริใหม่เมื่อเปรียบเทียบกรณี STR-ATRR, ATRR-STR และ DTRR&STR

มีต้นทุนที่ต่ำกว่าได้ครั้งเดียวเท่านั้นจึงทำให้แบนด์วิดท์เพิ่มขึ้นไม่มากเท่ากับกรณี ATRR

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.18 พบว่าในกรณีที่โครงข่ายมีกลไก STR เมื่อค่าเวลายืดครองสูงเฉลี่ยขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้แบนด์วิดท์บนทริที่มีต้นทุนต่ำสุดถูกจองใช้นานขึ้น ทำให้มีเซสชันที่ไม่สามารถเข้าใช้บริการได้ทริที่มีต้นทุนต่ำสุดได้และใช้ทริเพื่อเลือกมากขึ้น ค่า R_a จึงสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็มีการจัดทริใหม่ที่สูงมากขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจากทริเพื่อเลือกที่สูงมากขึ้นจึงทำให้โครงข่ายปรับตัว โดยพยายามย้ายทริเพื่อเลือกเหล่านั้นกลับไปยังทริที่เหมาะสมหรือมีต้นทุนต่ำกว่าเมื่อมีการเรียกเข้าหรือเรียกออกของเซสชัน แต่เมื่อค่าเวลายืดครองเฉลี่ยสูงเกินค่าหนึ่งจะทำให้แบนด์วิดท์ถูกเซสชันจองใช้ในทริที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็จะมีการพยายามใช้ทริเพื่อเลือกมากขึ้น แต่โอกาสที่จะประสบความสำเร็จในการใช้ทริเพื่อเลือกน้อยลงเรื่อย ๆ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้จำนวนทริเพื่อเลือกที่อยู่ในโครงข่ายน้อยลงและเนื่องจากกระบวนการจัดทริใหม่ทำงานน้อยลงในการย้ายทริเพื่อเลือกกลับไปยังทริที่เหมาะสมและมีต้นทุนต่ำกว่า ดังนั้นสัดส่วนการจัดทริใหม่จึงน้อยลงตาม

ในกรณีที่โครงข่ายมีกลไก DATR เมื่อค่าเวลายืดครองเฉลี่ยสูงขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้แบนด์วิดท์บนทริที่มีต้นทุนต่ำสุดถูกจองใช้นานขึ้น ทำให้มีเซสชันที่ไม่สามารถเข้าใช้บริการได้ทริที่มีต้นทุนต่ำสุดได้และใช้ทริเพื่อเลือกมากขึ้น ค่า R_a จึงสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อดีกระบวนการของ DATR ที่ทำให้ทราฟฟิกกระจายไปทั่วโครงข่ายเข้าสู่สมดุล

จึงทำให้ค่า R_a เข้าสู่ค่าใดค่าหนึ่งเร็วกว่ากรณีที่โครงข่ายไม่มี STR และเนื่องด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้จำนวนทรีเพื่อเลือกในโครงข่ายมีจำนวนเข้าสู่ค่าคงที่ จึงเป็นเหตุผลทำให้สัดส่วนการจัดทรีใหม่ที่จะพยายามย้ายทรีเพื่อเลือกทั้งหมดไปยังทรีที่เหมาะสมหรือมีต้นทุนต่ำกว่า มีค่าคงที่ด้วยเช่นกัน



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาการจัดเส้นทางของทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัตและการจัดเส้นทางใหม่แบบมัลติคาสต์สำหรับการจัดเส้นทางของทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต โดยมีแนวคิดนำการจัดเส้นทางทรีใหม่มา ร่วมกับการจัดเส้นทางของทรีเพื่อเลือกอย่างพลวัต ซึ่งได้เสนออัลกอริทึมสำหรับทดสอบแนวคิดที่นำเสนอทั้งหมดด้วยกัน 6 รูปแบบ ได้แก่ ATRR-STR, ATRR-DATR, STR-ATRR, DATR-ATRR, DTRR&STR และ DTRR&DATR

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การจัดเส้นทางทรีใหม่ช่วยทำให้โครงข่ายจัดการกับเซสชันมัลติคาสต์ได้ดีขึ้น โดยให้ค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันน้อยลงมากที่สุดประมาณ 6.42% จากผลการทดลองที่รายงานในวิทยานิพนธ์นี้ โดยจะทำให้ลดค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันลงได้ในทุกกรณีที่ทดสอบ ค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันที่ลดลงนั้นมีนัยสำคัญสำหรับกรณีของค่าโอกาสการปฏิเสธเซสชันที่ลดลงนั้นมีนัยสำคัญสำหรับกรณีของ STR (ATRR-STR, STR-ATRR และ DTRR&STR) มากกว่าสำหรับกรณีของ DATR (DATR-ATRR, ATRR-DATR และ DTRR&DATR) อย่างไรก็ตามการปรับปรุงสมรรถนะของการจัดเส้นทางทรีที่ได้มานั้นต้องแลกเปลี่ยนมาด้วยความซับซ้อนของขั้นตอนวิธีที่เพิ่มขึ้นในรูปของสัดส่วนการจัดเส้นทางเพื่อเลือกและสัดส่วนการจัดเส้นทางใหม่ที่ต้องเพิ่มขึ้นตามโดยเฉพาะสำหรับกรณีของ STR ส่วนกรณีของ DATR นั้นจากผลการทดลองที่ได้ทำให้พบว่า DATR สามารถทำงานตามลำพังได้เป็นอย่างดีโดยไม่มีความจำเป็นต้องพึ่งการจัดเส้นทางทรีใหม่และดังนั้นไม่ทำให้เกิดความซับซ้อนของระบบเพิ่มเติม ผลที่ได้ในวิทยานิพนธ์นี้จึงคาดหวังได้ว่าจะเป็น การเสนอแนะแนวปฏิบัติที่เป็นประโยชน์ในการจัดการเส้นทางทรีในทางปฏิบัติได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

หัวข้อที่ควรศึกษาและวิจัยต่อไปในอนาคตคือ

1. การทดสอบข่ายเชื่อมโยงที่มีต้นทุนที่ต่างกัน

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดลองโดยกำหนดให้ข่ายเชื่อมโยงมีต้นทุนที่เท่ากัน เพื่อง่ายต่อการนำมาวิเคราะห์ แต่ถ้ากำหนดให้ข่ายเชื่อมโยงมีต้นทุนที่ต่างกันก็อาจทำให้เห็นลักษณะของปริมาณกราฟฟิกในโครงข่ายและสามารถเห็นปรากฏการณ์คอขวดได้ชัดเจนขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ไปใช้กับการคำนวณรายได้ที่เกิดจากการให้บริการของผู้ให้บริการอีกด้วย

2. การทดสอบเมื่อกำหนดข่ายเชื่อมโยงตัวเลือกมากกว่า 1 ข่ายเชื่อมโยง

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดลองโดยกำหนดข่ายเชื่อมโยงตัวเลือกเพียงแค่ 1 ข่ายเชื่อมโยง เพื่อทำให้ขั้นตอนวิธีไม่ซับซ้อนเกินไป และจำกัดจำนวนของการจัดเส้นทางใหม่ให้เหมาะสม อย่างไรก็ตามด้วยเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในปัจจุบันทำให้กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นโครงข่ายสามารถทำได้เร็วขึ้น ดังนั้นผู้สนใจสามารถกำหนดข่ายเชื่อมโยงตัวเลือกได้มากกว่า 1 ข่ายเชื่อมโยง ซึ่งอาจจะทำให้ค่าโอกาสการปฏิเสธการเรียกลดน้อยลง

3. การทดสอบโดยใช้หลายบริการ

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทดลองเพียงบริการเดียวภายใต้สมมุติฐานของนโยบายแบ่งแยกอย่างสมบูรณ์ โดยหนึ่งวีพีเอ็นมีเพียงบริการเดียว ดังนั้นผู้สนใจสามารถทดสอบโดยเพิ่มบริการในแต่ละวีพีเอ็นให้มากขึ้นได้ แล้วอาจจะวิเคราะห์เปรียบเทียบรายได้เฉลี่ย (mean average) ของโครงข่ายโดยรวมเพิ่มเติมจากตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ที่ได้นำเสนอไว้ในวิทยานิพนธ์นี้

4. การทดสอบใช้เส้นทางเพื่อเลือกที่มากขึ้น

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดเส้นทางเพื่อเลือกไว้มากที่สุดเท่ากับ 4 เส้นทาง ทั้งนี้เพื่อจำกัดจำนวนของการจัดเส้นทางเพื่อเลือกไม่ให้มากเกินไป แต่อย่างไรก็ตามผู้สนใจสามารถกำหนดเส้นทางเพื่อเลือกได้มากกว่า 4 ซึ่งอาจทำให้ค่าโอกาสการปฏิเสธการเรียกลดน้อยลง แต่ก็ต้องแลกมาด้วยต้นทุนในการจัดเส้นทางที่สูงขึ้น

รายการอ้างอิง

- [1] Qin, J., Wang, J., and Zheng, B. A multicast routing optimization algorithm based on elite mechanism. International Conference on Natural: ICNC 2007, vol. 5, pp. 555-559, August 2007.
- [2] Yang, M., and Yang, Y. Constructing minimum cost dynamic multicast trees under delay constraint. International Conference on Computer Communications and Networks: ICCCN 2005, pp. 133-138, October 2005.
- [3] Randaccio, L.S., Atzori, L., and Aste, N. Routing multiple multicast services using genetic algorithms. Consumer Communications and Networking Conference, vol. 2, January 2006.
- [4] Kompella, V.P., Pasquale, J.C., and Polyzos, G. C. Multicast routing for multimedia communication. IEEE/ACM Trans. Networking, vol. 1, pp. 286-292, June 1993.
- [5] Gibbens, R.J., Kelly, F.P., and Key, P.B. Dynamic alternative routing: modeling and behavior. Proc. of Int'l Teletraffic Congress, ITC 12, Turin, Italy, 1988.
- [6] Wong, E.W.M., Chan, A.K.M., and Yum, T.S.P. Rerouting in circuit switched networks. Proceeding in IEEE Infocom 97, pp. 1375-1381, 1997.
- [7] Wong, E.W.M., Yum, T.S.P., and Chan, A.K.M. A taxonomy of re-routing in circuit-switched networks. IEEE Communications Magazine. 37 , pp. 116-122, November 1999.
- [8] Soatthyanont, S., and Aswakul, C. Study of rerouting strategy for dynamic alternative routing in symmetric multiple-service networks. 1st ECTI Annual Conference (ECTI-CON2004), Pattaya, Thailand, 13-14 May 2004.
- [9] Shami, A., Assi, C., Ghani, N., and Mouftah, H.T. A new reconfiguration protocol for mesh optical networks. IEEE Communications Letters, vol. 9, pp. 558-560, June 2005.

- [10] Zhu, Y., and Ammar, M. Algorithms for assigning substrate network resources to virtual network components. IEEE International Conference on Computer Communications: INFOCOM 2006, pp. 1-12, April 2006.
- [11] Hwang, R.H., Do, W.Y., and Yang, S.C. Multicast routing based on genetic algorithms. Journal of Information Science and Engineering, vol. 16, pp. 885-901, 1995.
- [12] Guerin, R., Ahmadi, H., and Naghshineh, M. Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high-speed networks. IEEE J. Select. Areas Commun., vol. SAC-9, pp. 968-981, September 1991.
- [13] Ash, G.R. Dynamic routing in telecommunications networks. McGraw-Hill, 1998.
- [14] Ash, G.R., and Oberer, E. Dynamic routing in the AT&T network - improved service quality at lower cost. IEEE Globecom Proceedings, pp.9.1.1-9.1.6, 1989.
- [15] Medhi, D., and Tipper, D. Some approaches to solving a multi-hour broadband network capacity design problem with single-path routing. Telecommun. Systems 13 (2000) pp. 269–271, 2000.
- [16] Wong, E.W.M., Chan, A.K.M., and Yum, T.S.P. Analysis of rerouting in circuit-switched networks. IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 8, pp. 419-427, 2000.
- [17] Cheung, C.C., Tsang, D.H.K., Gupta, S., and Chu, H.W. Performance analysis of least load multicast routing for single rate loss networks. ICC '99, 1999 IEEE International Conference on Communications, vol. 3, pp. 1542-1546, 1999.
- [18] Ash, G.R., et al. Real-time network routing in a dynamic class-of-service network. Proc. of Int'l Teletraffic Congress, ITC 13, Copenhagen, Denmark, 1991.

- [19] Kawashima, K., and Inoue, A. State- and time-dependent routing in the NTT network. IEEE Commun. Mag., vol. 33, pp. 40-47, July 1995.
- [20] Ross, K.W. Multiservice loss networks for broadband telecommunications networks. Springer-Verlag, 1995.
- [21] ITU-T Recommendation. H.320 : Narrow-band visual telephone systems and terminal equipment. (March 1996)
- [22] ITU. ITU-T Rec. Y.1541 Appendix X. (November 2002).
- [23] Mogul, J., and Deering, S. RFC1191 - Path MTU discovery. (November 1990).
- [24] Jaisudthi, P., Suksomboon, K., and Aswakul, C. Study of multicast rerouting strategy for dynamic tree routing. International Symposium on Multimedia and Communication Technology (ISMAC) 2009, Bangkok, Thailand, 22-23 January 2009.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ปรัชญา ใจสุทธิ เกิดเมื่อวันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2525 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดจันทบุรี ในปี พ.ศ. 2544 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตในปี พ.ศ. 2549 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2553

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ ระหว่าง การศึกษาใน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คือ

Jaisudthi, P., Suksomboon, K., and Aswakul, C. Study of multicast rerouting strategy for dynamic tree routing. International Symposium on Multimedia and Communication Technology (ISMAC) 2009, Bangkok, Thailand, 22-23 January 2009.

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย