นโยบายการจองทรังค์อย่างยุติธรรมในการควบคุมการตอบรับการเรียกโดยใช้ทฤษฎีเกมความร่วมมือ

นางสาวกลิกา สุขสมบูรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547
ISBN: 974-17-4690-3
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FAIR TRUNK RESERVATION POLICY IN CALL ADMISSION CONTROL USING COOPERATIVE GAME THEORY

Ms. Kalika Suksomboon

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Academic Year 2004

ISBN: 974-17-4690-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	นโยบายการจองทรังค์อย่างยุติธรรมในการควบคุมการตอบรับการเรียกโดยใช้ทฤษฎีเกมความร่วมมือ
โดย	นางสาวกลิกา สุขสมบูรณ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ศักดิ์ เสกขุนทด

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

. . . . . ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ ประพิณมงคลการ)

. . . . . อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

. . . . . อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล)

. . . . . อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.ศักดิ์ เสกขุนทด)

. . . . . กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กลิกา สุขสมบูรณ์ : นโยบายการจองทรังค์อย่างยุติธรรมในการควบคุมการตอบรับการเรียกโดยใช้ทฤษฎีเกมความร่วมมือ (FAIR TRUNK RESERVATION POLICY IN CALL ADMISSION CONTROL USING COOPERATIVE GAME THEORY) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ อ.ที่ปรึกษาร่วม : อาจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล และอ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร.ศักดิ์ เสกขุนทด, 106 หน้า. ISBN: 974-17-4690-3.

วิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสม โดยมีจุดประสงค์เพื่อทำให้ระบบที่ใช้วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกตามนโยบายการจองทรังค์คงที่มีสมรรถนะในการทำงานสูง และในขณะเดียวกันก็มีความยุติธรรมกับการควบคุมการเข้ามาของทราฟฟิกทุกชนิด ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้แนวทางการตัดสินใจจากทฤษฎีเกมความร่วมมือ ซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงด้วยความเหมาะสมของพาเรโต และความยุติธรรมจากสัจพจน์ความยุติธรรม โดยเลือกพิจารณา 3 แนวทาง ได้แก่ วิธีการตัดสินใจของแนช วิธีการตัดสินใจของไรฟ์ฟา และการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน นอกจากนั้นวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ที่โหลดปกติอย่างยุติธรรมเพื่อปกป้องทราฟฟิกชนิดอื่นจากการเข้ามาแย่งใช้แบนด์วิดท์ของระบบจากทราฟฟิกชนิดที่โอเวอร์โหลด โดยการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรองให้มีค่าเท่ากับค่าการใช้ประโยชน์ที่โหลดระดับปกติ และเสนอให้มีการปรับค่าพารามิเตอร์ควบคุมจุดเริ่มต้นการต่อรองเพื่อปรับระดับการรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ที่โหลดระดับปกติ ซึ่งมีผลทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นในการเลือกจุดทำงานมากขึ้น ในส่วนสุดท้ายได้เสนอให้พิจารณาการจัดสรรแบนด์วิดท์อย่างยุติธรรมตามระดับความสำคัญของทราฟฟิกโดยใช้เทคนิคการต่อรองอย่างไม่สมมาตรของแนช

การวิเคราะห์สมรรถนะของวิธีที่เสนอได้เปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยวิธีการจองทรังค์คงที่ด้วยความน่าจะเป็นของการบล็อกเดียวกัน ผลจากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าผลจากการใช้การปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสันในการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ทำให้ผลรวมของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกมีค่าสูงสุด ในขณะที่ผลจากวิธีการตัดสินใจของไรฟ์ฟาให้ผลตรงข้าม และผลจากวิธีการตัดสินใจของแนชให้ผลใกล้เคียงกับวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ เมื่อพิจารณาวิธีการรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ที่โหลดปกติแก่ทราฟฟิกผลปรากฏว่าวิธีที่เสนอสามารถรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ให้กับทราฟฟิกทุกชนิดได้แม้ในขณะที่มีโหลดในระบบสูง เมื่อพิจารณาผลของการใช้เทคนิคการต่อรองอย่างไม่สมมาตรของแนช ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าทราฟฟิกแต่ละชนิดมีค่าการใช้ประโยชน์เป็นไปตามสัดส่วนของระดับความสำคัญ ในขณะที่ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบยังคงมีค่าใกล้เคียงกันกับในกรณีที่ไม่พิจารณาระดับความสำคัญของทราฟฟิกแต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่ให้ผลแตกต่างกับการไม่พิจารณาระดับความสำคัญของทราฟฟิกในกรณีใช้การปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า **ลายมือชื่อนิสิต** . . . . . .
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา** . . . . . .
ปีการศึกษา 2547 **ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** . . . . . .
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม . . . . . .

4470208221: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: CALL ADMISSION CONTROL / COOPERATIVE GAME THEORY / FAIRNESS / TRUNK RESERVATION POLICY.

KALIKA SUKSOMBOON : FAIR TRUNK RESERVATION POLICY IN CALL ADMISSION CONTROL USING COOPERATIVE GAME THEORY . THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. LUNCHAKORN WUTTISITTIKULKIJ, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR: CHAODIT ASWAKUL, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR: SAK SEGKHOONTHOD, PhD., 106 pp. ISBN: 974-17-4690-3.

This thesis presents a selection of optimal trunk reservation parameters. The aim is to achieve high system performance as well as fair admission control by using fixed trunk reservation policy. Three selected cooperative game theoretical approaches—Nash, Raiffa and Modified Thomson arbitration solution—provide high system performance with Pareto optimality and fair bandwidth allocation with the fairness axioms. In addition, based on setting a starting point to fair nominal utilization, the proposed scheme can provide a non-overload traffic protection against overload traffic. For adjusting the fair guaranteeing nominal utilization, a control starting point parameter is introduced. Finally, a fair bandwidth allocation associated with priority level of traffic type is proposed by using nonsymmetric Nash bargaining technique.

The performance of proposed scheme is compared with the conventional fixed trunk reservation policy for blocking equalization. The reported numerical experiments show that the overall utilization of modified Thomson arbitration solution is the highest while that of Raiffa arbitration solution is the lowest. The result of Nash arbitration solution is close to the benchmark scheme. Based on setting the starting point to fair nominal load utilization, all utilizations are not less than the nominal utilization guarantee, especially in heavy load situation. By using nonsymmetric Nash bargaining technique, the results show that the utilization of each traffic type corresponds to their priority-level while the overall utilization is closed to the results of non-priority-level case. However, this technique does not appropriate by with the modified Thomson arbitration solution.

Department	Electrical Engineering	**Student's signature** . . . . .
Field of study	Electrical Engineering	**Advisor's signature** . . . . .
Academic year	2004	**Co-advisor's signature** . . . . .
		Co-advisor's signature . . . . .

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ เนื่องด้วยความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล และ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ศักดิ์ เสกขุนทด ซึ่งมีส่วนช่วยในการประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้พื้นฐานที่เป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัยทั้งทางตรงและทางอ้อม ให้คำแนะนำต่าง ๆ รวมไปถึงหลักการคิดเชิงวิเคราะห์และเชิงวิพากษ์ ตลอดจนคำวิจารณ์ในเชิงสร้างสรรค์เปรียบเสมือนรากฐานและแรงผลักดันให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกจากความรู้และคำชี้แนะที่ได้รับจากคณาจารย์ทั้งหลายแล้ว ต้องขอขอบคุณความคิดเห็นดี ๆ รวมทั้งข้อเสนอแนะในมุมมองที่แตกต่าง กำลังใจ และแรงสนับสนุนที่ได้รับจาก พี่ ๆ และเพื่อน ๆ ทุกคน อาทิ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาและเพิ่มคุณค่าในวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการสละเวลาช่วยขัดเกลาและตรวจแก้ผลงานวิจัยจาก นายเจนจบ วีระพานิชเจริญ นายเจริญชัย บวรธรรมรัตน์ นายทศพร เสียงสุคนธ์ และนางสาวภัทรรินทร์ ลีลารัศมี เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้รับโอกาสในการฝึกฝนวิธีการนำเสนอผลงาน และร่วมกันแสดงความคิดเห็นจากอาจารย์และเพื่อน ๆ ร่วมกลุ่มสัมมนาทั้งสองกลุ่ม (สัมมนากลุ่มเนตเวิร์ก (network group)——อาจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ และอาจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ และสัมมนากลุ่มเกม (game group)——อาจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ) ซึ่งมีส่วนสำคัญในการเสริมสร้างความมั่นใจและความกล้าแสดงความคิดเห็นในเชิงวิชาการมากขึ้น

ผลงานวิจัยทั้งหมดสำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ด้านอุปกรณ์ และสถานที่ใช้ทำวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะด้านเทคโนโลยีโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และขอขอบคุณสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้เงินทุนสนับสนุนในการทำวิจัยตลอดระยะเวลา 2 ปี (2545–2547)

ท้ายที่สุดวิทยานิพนธ์จะไม่สามารถดำเนินต่อไปได้จนเสร็จสมบูรณ์ถ้าหากขาดผู้มีอุปการะคุณคือ คุณแม่และพี่ชาย ซึ่งเป็นทั้งกำลังใจและกำลังทรัพย์ นอกจากนั้นยังให้ทั้งความรักและความเข้าใจเสมอมา

สิ่งดี ๆ ที่ได้รับจากทุกคนล้วนเป็นส่วนสำคัญในการรังสรรค์ให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบผลสำเร็จ ดังนั้นจึงไม่มีคำกล่าวใด ๆ ที่สามารถทดแทนสิ่งเหล่านั้นได้ จึงคงไว้ซึ่งความรู้สึกซาบซึ้งและขอบคุณตลอดไป

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย . . . . . ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ . . . . . จ

กิตติกรรมประกาศ . . . . . ฉ

สารบัญ . . . . . ช

สารบัญตาราง . . . . . ญ

สารบัญภาพ . . . . . ฏ

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 แนวทางของวิทยานิพนธ์ 7

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์ 7

1.4 ขั้นตอนดำเนินงาน 8

1.5 ขอบเขตวิทยานิพนธ์ 8

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8

2 ทฤษฎีโครงข่ายพื้นฐาน 9

2.1 โครงข่ายสูญเสีย 9

2.2 การวัดสมรรถนะในโครงข่ายสูญเสีย 10

2.2.1 การวัดสมรรถนะในระดับของเซลล์หรือแพ็กเกต 11

2.2.2 การวัดสมรรถนะในระดับการเรียก 11

2.3 ฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล 11

2.4 การควบคุมการตอบรับการเรียก 13

2.4.1 นโยบายการใช้ทรัพย์ร่วมกันอย่างสมบูรณ์ 13

2.4.2 นโยบายการแบ่งทรัพย์อย่างสมบูรณ์ 14

2.4.3 นโยบายการรับประกันการได้ใช้ทรัพย์ขั้นต่ำ 14

2.4.4 นโยบายการจองทรัพย์ 15

3 ทฤษฎีเกม 16

3.1 ทฤษฎีเกมเบื้องต้น 16

3.2 ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ 17
3.3 เกมที่ไม่มีความร่วมมือและเกมที่มีความร่วมมือ 18
3.3.1 ทฤษฎีเกมที่ไม่มีความร่วมมือ 18
3.3.2 ทฤษฎีเกมที่มีความร่วมมือ 19
3.4 ปัญหาการต่อรอง 20
3.5 คุณสมบัติของผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง 21
3.6 ผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง 24
3.6.1 ผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของแนช 25
3.6.2 ผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของไรฟ์ฟา 26
3.6.3 การปรับปรุงผลเฉลยการต่อรองของทอมสัน 27
4 แบบจำลองระบบและผลการทดสอบ 30
4.1 แบบจำลองระบบ 31
4.2 นโยบายการจองทรังค์คงที่ 31
4.3 ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ 33
4.4 ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบที่มีทราฟฟิก 2 ชนิด 34
4.4.1 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบ 35
4.4.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของทราฟฟิกในหน่วยย่อย 43
4.5 ผลการทดสอบแบบจำลองระบบที่มีทราฟฟิกมากกว่า 2 ชนิด 46
4.5.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบที่มีทราฟฟิก 4 ชนิด 47
5 ความยุติธรรมกับการให้บริการแบบจัดระดับความสำคัญของทราฟฟิก 53
5.1 กรณีศึกษาวิธีการจัดการกับทราฟฟิกในสภาวะโอเวอร์โหลด 54
5.1.1 การปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง 56
5.1.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบ 59
5.2 กรณีศึกษาการให้บริการแบ่งทราฟฟิกตามระดับความสำคัญ 71
5.2.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบ 72
5.2.2 ผลทดสอบสมรรถนะของระบบเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความสำคัญของทราฟฟิก 75
6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 79
6.1 บทสรุป 79

6.2 ข้อเสนอแนะ 81
รายการอ้างอิง 83
ภาคผนวก 87
ก บทพิสูจน์ทฤษฎีความไม่สมดุลของแนช 88
บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่ 93
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 106

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างสถานการณ์เกมที่ไม่มีความร่วมมือ 19

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ 3.1 เซตการต่อรอง 21
รูปที่ 3.2 ขอบบนของพาเรโต 22
รูปที่ 3.3 ผลเฉลยของปัญหาการต่อรองเป็นอิสระจากทางเลือกอื่นที่ไม่สำคัญ 23
รูปที่ 3.4 เซตการต่อรองสมมาตร 24
รูปที่ 3.5 ผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของแนช 26
รูปที่ 3.6 ผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของไรฟ์ฟา 27
รูปที่ 3.7 ผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน 28
รูปที่ 4.1 แบบจำลองข่ายเชื่อมโยงแถี่ยว 31
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการหาผลเฉลยที่เหมาะสม 34
รูปที่ 4.3 แบนด์วิดท์สมมูลของทราฟฟิกชนิดที่ 1 และ 2 ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ (α_i, β_i) เมื่อ $i = 1, 2$ 35
รูปที่ 4.4 ขอบของพาเรโตของทราฟฟิก 2 ชนิด กรณีโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลง 36
รูปที่ 4.5 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) 37
รูปที่ 4.6 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_2) 38
รูปที่ 4.7 ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด (u_{overall}) 38
รูปที่ 4.8 ขอบของพาเรโตของทราฟฟิก 2 ชนิด กรณีโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลง 40
รูปที่ 4.9 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) 41
รูปที่ 4.10 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) 42
รูปที่ 4.11 ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด (u_{overall}) 42
รูปที่ 4.12 แบนด์วิดท์สมมูลของทราฟฟิกแต่ละประเภทตามสมการ (2.5) ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ (α, β) 44
รูปที่ 4.13 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) 45
รูปที่ 4.14 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) 45
รูปที่ 4.15 ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด u_{overall} 46

รูปที่ 4.16 แบนด์วิดท์สมมูลของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ถึง 4 ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ (α_i, β_i) เมื่อ $i = 1, \ldots, 4$ 47
รูปที่ 4.17 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) 48
รูปที่ 4.18 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) 49
รูปที่ 4.19 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 3 (u_3) 49
รูปที่ 4.20 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 4 (u_4) 50
รูปที่ 4.21 ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 4 ชนิด u_{overall} 50
รูปที่ 5.1 ปริภูมิของการใช้ประโยชน์ 2 มิติ $\mathbb{S}$ และ $\mathbb{S}_{\text{m}}$ 55
รูปที่ 5.2 ปริภูมิของการใช้ประโยชน์ 2 มิติ ในสภาวะโหลดของระบบที่แตกต่างกัน 56
รูปที่ 5.3 ปริภูมิของการใช้ประโยชน์ 2 มิติ เมื่อปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง 58
รูปที่ 5.4 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) 60
รูปที่ 5.5 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) 61
รูปที่ 5.6 ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด u_{overall} 61
รูปที่ 5.7 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) 64
รูปที่ 5.8 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) 65
รูปที่ 5.9 ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด (u_{overall}) 65
รูปที่ 5.10 ผลของค่าอัตราการขยายของค่าการใช้ประโยชน์ (utilization gain) กรณีโหลดสภาวะปกติของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยเท่ากัน 69
รูปที่ 5.11 ผลของค่าอัตราการขยายของค่าการใช้ประโยชน์ (utilization gain) กรณีโหลดสภาวะปกติของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยไม่เท่ากัน 70
รูปที่ 5.12 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) 73
รูปที่ 5.13 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) 73
รูปที่ 5.14 ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด u_{overall} 74
รูปที่ 5.15 ผลของค่าอัตราส่วนของผลประโยชน์ที่ระบบจะได้รับเพิ่มขึ้นเมื่อมีการพิจารณาระดับความสำคัญ โดยเทียบกับกรณีไม่มีการพิจารณาระดับความสำคัญ 77
รูปที่ ก.1 ปริภูมิการใช้ประโยชน์ 2 มิติ 88
รูปที่ ก.2 มุม θ_s และ θ_m ณ จุดสัมผัส A 91

บทที่ 1

บทนำ

การสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ดังนั้นการพัฒนาศักยภาพของเทคโนโลยีการสื่อสารจึงได้รับความสนใจทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพจากนักวิจัยและผู้เชี่ยวชาญมากมาย วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอีกส่วนหนึ่งที่ได้นำเสนอแนวทางในการพัฒนารูปแบบ และวิธีการซึ่งมีส่วนช่วยพัฒนาให้ระบบการสื่อสารมีคุณภาพดีขึ้น โดยเนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่นำมาศึกษา จากนั้นได้เสนอแนวทางของวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นับวันเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคม ยิ่งทวีบทบาทสำคัญในวิถีการดำเนินชีวิตของมนุษย์มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระแสของเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ยังผลให้เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านโครงข่ายโทรคมนาคมได้ขยายขีดความสามารถการใช้งานเพื่อให้สอดคล้อง และพร้อมตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ ดังจะเห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงจากระบบโครงข่ายสื่อสัญญาณโทรคมนาคมยุคก่อน ซึ่งมีข้อจำกัดอยู่เพียงการให้บริการในระบบแอนะล็อก อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้งานที่สามารถรองรับปริมาณการใช้งานได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น จนในยุคต่อมาวิศวกรผู้ออกแบบระบบโครงข่ายได้พยายามทำลายกำแพงข้อจำกัดการใช้งานทางด้านการสื่อสารโทรคมนาคม ด้วยการนำเสนอโครงข่ายระบบสื่อสัญญาณแบบดิจิทัล ตัวอย่างเช่น ระบบโครงข่าย ISDN (Integrated Services Digital Network) ซึ่งสามารถให้บริการส่งข้อมูลได้ทั้งข้อมูลภาพ ข้อมูลเสียง และข้อมูลดิจิทัล ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าโครงข่าย ISDN นี้ได้ก่อกำเนิดการให้บริการในรูปแบบหลากหลายมากยิ่งขึ้น แต่การให้บริการในรูปแบบต่าง ๆ เหล่านั้นกลับถูกจำกัดความเร็วในการส่งข้อมูลด้วยอัตราส่งเพียง 64 kbps ในขณะที่กระแสความต้องการใช้งานในสังคมระบบสารสนเทศกำลังก่อตัวขึ้น จึงยิ่งส่งผลให้เกิดความต้องการบริการรูปแบบใหม่ ๆ ที่นอกเหนือจากความต้องการปริมาณข้อมูลข่าวสารเป็นจำนวนมากแล้ว ยังต้องการความฉับไวในการส่งข้อมูลเหล่านั้นด้วย ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบโครงข่ายชนิดใหม่สำหรับรองรับการบริการส่งข้อมูลทุกประเภท โครงข่ายชนิดใหม่นี้คือ B-ISDN (Broad-band Integrated Services Digital Network) ซึ่งเป็นโครงข่ายที่สามารถให้บริการได้ทั้งบริการการส่งอีเมล์ บริการส่งข้อมูลวิดีโอ บริการถ่ายทอดสดรายการโทรทัศน์จากหลายสถานีพร้อม ๆ กัน หรือแม้กระทั่งบริการส่งข้อมูลแบบมัลติมีเดีย ทั้งนี้การให้บริการผ่านโครงข่ายความเร็วสูง B-ISDN สามารถ

เกิดขึ้นได้ เนื่องด้วยศักยภาพเทคโนโลยีชั้นสูงซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในนามของ ATM (Asynchronous Transfer Mode)

ATM เป็นเทคโนโลยีที่ใช้เทคนิคการส่งข้อมูลแบบสลับกลุ่มข้อมูล ข้อมูลที่ต้องการส่งจะถูกแบ่งออกเป็นแพ็กเกตเล็ก ๆ ที่มีขนาดคงที่ เรียกว่า *เซลล์* ในแต่ละเซลล์มีความยาว 53 ไบต์ ซึ่งประกอบไปด้วยเฮดเดอร์จำนวน 5 ไบต์ และข้อมูลจำนวน 48 ไบต์ การออกแบบให้เซลล์มีขนาดเล็ก ๆ และคงที่เพื่อทำให้การสวิตช์ผ่านข้อมูลของอุปกรณ์สวิตช์ ATM หรือ สวิตช์เซลล์ (cell-switched) เป็นไปอย่างรวดเร็ว ด้วยเทคโนโลยีนี้ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ถึง 155 Mbps และที่ความเร็วระดับนี้ทำให้สามารถส่งข้อมูลโทรทัศน์ระบบ HDTV (High Definition Television) ซึ่งมีความละเอียดของเส้นสูงได้ ไม่เพียงเท่านี้ ช่องสัญญาณ 155 Mbps จำนวน 4 ช่องจะถูกรวบรวมแล้วส่งพร้อมกันที่ความเร็ว 622 Mbps และในอนาคตสามารถส่งข้อมูลได้ถึงระดับกิกะบิตต่อวินาที (Gbps) [1] ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีสวิตช์เซลล์นี้จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงระบบโทรศัพท์ที่ใช้เทคโนโลยีสวิตช์วงจร (circuit-switched) มาแต่เดิม ระบบสวิตช์เซลล์นี้มีข้อได้เปรียบระบบสวิตช์วงจรหลายประการ เช่น ระบบสวิตช์เซลล์สามารถรองรับได้ทั้งข้อมูลที่มีอัตราบิตคงที่ (Constant Bit Rate: CBR) และข้อมูลที่มีอัตราบิตไม่คงที่ (Variable Bit Rate: VBR) นอกจากนั้นโครงข่าย ATM ยังมีสมรรถนะในการให้บริการสูง และมีความยืดหยุ่นในการให้บริการกว่าโครงข่ายแบบเก่า

นอกจากนี้เพื่อเป็นการตอบรับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบใหม่ ๆ ซึ่งเริ่มเป็นที่แพร่หลายมากยิ่งขึ้น ผู้ออกแบบระบบจึงได้พยายามลดช่องว่างของการติดต่อสื่อสารข้ามโครงข่ายที่มีอุปกรณ์หลากหลายชนิดให้สามารถสื่อสารกันได้อย่างรวดเร็วที่สุด อินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol: IP) ถูกออกแบบมาเพื่อให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่แตกต่างกันสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ภายในโครงข่ายอินเทอร์เน็ต เมื่อโพรโทคอลอื่นต้องการส่งผ่านข้อมูลข้ามโครงข่ายอินเทอร์เน็ตจะต้องอาศัยการผนึกข้อมูลไปกับโพรโทคอล IP ที่มีการระบุเส้นทางผ่าน (gateway) เพื่อนำข้อมูลไปยังเครื่องปลายทาง โพรโทคอล IP นี้ได้รับการพัฒนาต่อ ๆ มาเพื่อให้มีศักยภาพเพียงพอที่จะรองรับอุปกรณ์ในโครงข่ายจำนวนมาก จนกลายมาเป็น โพรโทคอล IP เวอร์ชัน 6 (IPv6) ซึ่งโพรโทคอลนี้ได้รับการออกแบบให้มีกลไกการตรวจสอบการใช้งาน ความถูกต้องของข้อมูล และช่วยเพิ่มความปลอดภัยแก่ข้อมูลได้มากขึ้น นอกจากนั้นยังได้รับการออกแบบให้สามารถรองรับแอปพลิเคชันแบบเวลาจริง (real-time application) เช่น การส่งข้อมูลภาพและเสียงผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ดังนั้นโครงข่ายต่าง ๆ จำนวนมากจึงสามารถสื่อสารถึงกันได้โดยง่าย ซึ่งเป็นผลให้มีการส่งข้อมูลหลากหลายชนิดข้ามโครงข่ายต่าง ๆ เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงไม่อาจปฏิเสธได้ว่าปริมาณของความต้องการใช้งานรับและส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายระบบโทรคมนาคมมีเพิ่มมากขึ้นจนเป็นผลให้เกิดความคับคั่ง (congestion) ขึ้นในโครงข่าย

เนื่องจากทรัพยากรในข่ายเชื่อมโยงมีอยู่อย่างจำกัด และไม่เพียงพอกับปริมาณความต้องการใช้งานที่

เพิ่มขึ้น จึงเป็นผลให้โครงข่ายที่ออกแบบไว้ไม่สามารถรองรับบริการที่มีอยู่ทั้งหมดให้เป็นไปตามคุณภาพที่ร้องขอได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีกลไกเข้ามาควบคุมการเข้าใช้งานในโครงข่าย นั่นคือ การควบคุมการตอบรับการเรียก (Call Admission Control: CAC)

การควบคุมการตอบรับการเรียก เป็นกลไกที่ใช้ควบคุมความคับคั่งในโครงข่ายทั่ว ๆ ไป เช่น โครงข่าย ATM โครงข่าย GSM หรือโครงข่าย IPv6 เป็นต้น หากพิจารณาโครงข่ายที่ให้บริการแบบต้องการสร้างการเชื่อมต่อ (connection-oriented) ก่อนที่ผู้ใช้จะส่งข้อมูลข้ามโครงข่ายได้จะต้องได้รับอนุญาตให้มีการเชื่อมต่อ และจะสร้างการเชื่อมต่อให้ทันทีเมื่อได้รับอนุญาตเรียบร้อยแล้ว การควบคุมการตอบรับการเรียกจะทำหน้าที่ตัดสินใจเลือกรับ หรือปฏิเสธการเชื่อมต่อวงจรเข้ากับข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายเมื่อมีการร้องขอใช้บริการโครงข่าย เพื่อให้คุณภาพการให้บริการ (Quality of Service: QoS) สามารถเป็นที่ยอมรับได้ หรือเป็นไปตามข้อตกลงที่ได้ทำการตกลงกันไว้ล่วงหน้าระหว่างผู้ขอรับบริการและผู้ให้บริการ

จากความสามารถของกลไกสำคัญของการควบคุมการตอบรับการเรียก ทำให้ศูนย์ปฏิบัติการและบำรุงรักษา (Operation and Maintenance Center: OMC) ประจำโครงข่ายสื่อสารโทรคมนาคมนั้น ๆ สามารถควบคุมการคมนาคมของข้อมูลบนโครงข่าย และสามารถจัดการกับปัญหาความแตกต่างของบริการที่มีรูปแบบหลากหลาย ในลักษณะที่แตกต่างกันออกไปได้ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับเป้าหมายของแต่ละโครงข่ายด้วย

งานวิจัยในอดีตได้ศึกษาลักษณะของการเข้ามาขอใช้บริการโครงข่าย ATM และวิเคราะห์พารามิเตอร์สำคัญที่ใช้ในการกำหนดลักษณะของทราฟฟิกบนโครงข่าย เพื่อให้สามารถอธิบายรูปแบบการเข้ามาในโครงข่ายของทราฟฟิกแต่ละประเภท พร้อมทั้งนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาใช้ควบคุมการจัดสรรทรัพยากรโครงข่าย (หรือแบนด์วิดท์) และประยุกต์ใช้กับกลไกการควบคุมการตอบรับการเรียกให้เหมาะสมมากที่สุด โดยใน ATM Forum [2] ได้กำหนดพารามิเตอร์มาตรฐานที่ใช้อธิบายลักษณะของทราฟฟิกไว้ดังนี้ PCR (Peak Cell Rate), SCR (Sustainable Cell Rate), MBS (Maximum Burst Size) และ CDVT (Cell Delay Variation Tolerance) ดังนั้นในงานวิจัยต่อ ๆ มาจึงใช้พารามิเตอร์เหล่านี้ประกอบการวิเคราะห์ทราฟฟิกบนโครงข่าย

การพิจารณาวิธีการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับแต่ละการเชื่อมต่อสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การจัดสรรไม่เชิงสถิติ (non-statistical allocation) และการจัดสรรเชิงสถิติ (statistical allocation) วิธีการจัดสรรไม่เชิงสถิตินี้เป็นวิธีที่พิจารณาตัดสินใจจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับการเชื่อมต่อใหม่ด้วยค่าอัตราบิตข้อมูลสูงสุด ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายต่อการตัดสินใจเลือกตอบรับ หรือปฏิเสธการเชื่อมต่อที่เข้ามาใหม่ แต่ในขณะเดียวกันจะทำให้สูญเสียแบนด์วิดท์ไปบางส่วนเมื่อการเชื่อมต่อนั้น ๆ ไม่ได้ส่งข้อมูลที่อัตราบิตข้อมูลสูงสุด จึงเป็นผลให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแบนด์วิดท์ที่มีอยู่ได้เต็มที่ แต่ในวิธีการจัดสรรเชิงสถิติ หรือการมัลติเพล็กซ์เชิงสถิติ (statistical multiplexing) เป็นวิธีที่จัดสรรแบนด์วิดท์ให้แต่ละการ

เชื่อมต่อต่ำกว่าอัตราบิตข้อมูลสูงสุด แต่สูงกว่าอัตราบิตข้อมูลเฉลี่ย เพราะสังเกตว่าการส่งข้อมูลไม่ได้ส่งที่อัตราบิตสูงสุดตลอดเวลา ดังนั้นด้วยวิธีนี้ทำให้สามารถจัดสรรแบนด์วิดท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีแรก งานวิจัยต่อ ๆ มา [3−6] จึงได้พิจารณาการจัดสรรแบนด์วิดท์โดยการวิเคราะห์การใช้แบนด์วิดท์ของทราฟฟิกด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์เชิงสถิติ และประมาณค่าแบนด์วิดท์ที่ทราฟฟิกแต่ละชนิดต้องการใช้จริงให้สอดคล้องกับปริมาณข้อมูลที่ส่งจริงด้วยฟังก์ชันแบนด์วิดท์ประสิทธิผล (effective bandwidth function) หรือฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล (equivalent bandwidth function) เพื่อทำให้การจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิกแต่ละชนิดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วขึ้น

ในยุคแรก ๆ ATM สวิตช์มีขนาดบัฟเฟอร์ไว้สำหรับรองรับการเชื่อมต่อเพียงเล็กน้อย ซึ่งสวิตช์เหล่านี้ได้ถูกออกแบบไว้เพื่อรองรับข้อมูลที่มีอัตราบิตข้อมูลคงที่ เมื่อความสามารถของ ATM สวิตช์ในปัจจุบันมีเพิ่มมากขึ้น นอกจากเทคนิคการจัดการข้อมูลแบบมัลติเพล็กซ์เชิงสถิติที่นำมาใช้เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการรองรับข้อมูลให้มากขึ้นแล้ว ขนาดบัฟเฟอร์ของสวิตช์ที่เพิ่มขึ้นและฟังก์ชันในการควบคุมการจัดสรรเซลล์ข้อมูลให้กับสวิตช์ก็ได้รับการพัฒนาขึ้นตามลำดับ งานวิจัย [7] ได้เสนอโมดูล (Statistical Multiplexing Unit: SMU) ที่ทำให้สวิตช์สามารถรองรับข้อมูลทราฟฟิกที่เป็นชนิดข้อมูลไม่เวลาจริง (nonreal-time traffic) ได้ดีเท่ากันกับทราฟฟิกชนิดเวลาจริง (real-time traffic) และการใช้เทคนิคแบ่งแยกข้อมูลตามชนิดของข้อมูล (service separation) ทำให้ข้อมูลชนิดเดียวกันได้รับการมัลติเพล็กซ์เข้าด้วยกัน จึงทำให้สวิตช์สามารถจัดการกับข้อมูลชนิดเดียวกันได้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ภายใต้เทคนิคการจัดการข้อมูลแบบนี้ภายในอุปกรณ์มัลติเพล็กซ์เซอร์ของ ATM จะจัดสรรบัฟเฟอร์ไว้สำหรับรองรับข้อมูลที่เข้ามา และแจกจ่ายเซลล์ข้อมูลให้กับอุปกรณ์การเชื่อมต่อด้วยระบบแจกจ่ายเซลล์แถวคอยยุติธรรมแบบถ่วงน้ำหนัก (weighted fair queuing scheduler) หรือระบบแจกจ่ายเซลล์แถวคอยแบบตามแต่จะถ่วงน้ำหนัก (arbitrary weighted queuing scheduler) ข้อมูลเหล่านั้นจะได้รับการประกันคุณภาพการให้บริการ เช่น รับประกันอัตราการสูญหายของเซลล์ (cell loss rate) รับประกันค่าเวลาประวิงสูงสุดในการส่งเซลล์ข้อมูล (maximum cell transfer delay) และการเปลี่ยนแปลงค่าเวลาประวิงของเซลล์ (cell delay variation) ต่อมา [8] ได้เสนอวิธีการแบ่งแยกข้อมูลแบบพลวัต (dynamic service separation) ซึ่งวิธีนี้การแจกจ่ายข้อมูลจะถูกถ่วงน้ำหนักให้กับแต่ละทราฟฟิกตามขนาดบัฟเฟอร์ที่สำรองไว้สำหรับทราฟฟิกชนิดนั้น ๆ ซึ่งขนาดของบัฟเฟอร์ที่จัดไว้รองรับทราฟฟิกแต่ละชนิดจะเป็นไปตามฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล ดังนั้นทุก ๆ ทราฟฟิกที่หน่วยควบคุมอนุญาตให้มีการเชื่อมต่อจะได้รับการประกันคุณภาพการให้บริการไม่ว่าจะเป็นรับประกันอัตราการสูญหายของเซลล์ รับประกันค่าเวลาประวิงในการส่งเซลล์ข้อมูลสูงสุด และการเปลี่ยนแปลงค่าเวลาประวิงของเซลล์เรียบร้อยแล้ว ด้วยคุณประโยชน์ที่ได้รับจากวิธีการแบ่งแยกข้อมูลแบบพลวัต และจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิกแต่ละการเชื่อมต่อตามค่าแบนด์วิดท์สมมูล ซึ่งสามารถรับประกันคุณภาพในการส่งข้อมูล

ได้ในระดับหนึ่ง อีกทั้งยังสามารถทำให้การจัดสรรแบนด์วิดท์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้พิจารณาระบบข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่มีพื้นฐานอยู่บนเทคนิคการแบ่งแยกข้อมูลแบบพลวัต และใช้การประมาณค่าแบนด์วิดท์ให้กับแต่ละทราฟฟิกตามค่าแบนด์วิดท์สมมูล

อย่างไรก็ตามไม่ว่าเทคโนโลยีในการจัดการกับทราฟฟิกจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเพียงใด แต่ส่วนที่ส่งผลให้การไหลของข้อมูลต่าง ๆ ในโครงข่ายเป็นไปอย่างเป็นระเบียบเรียบร้อยยังขึ้นอยู่กับวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เลือกใช้เป็นสำคัญ ในปัจจุบันวิธีที่นำมาใช้ในการควบคุมการตอบรับการเรียกเพื่อจัดการกับทราฟฟิกที่เข้ามาขอใช้ทรัพยากรโครงข่ายมีด้วยกันหลายวิธี เช่น

- วิธี CS (Complete Sharing policy) เป็นวิธีดั้งเดิมที่งานวิจัยหลายฉบับให้ความสนใจในการนำมาปรับปรุง และนำมาใช้อ้างอิงในการเปรียบเทียบสมรรถนะกับระบบที่เสนอ [8−12] ซึ่งจุดเด่นของวิธีนี้คือสามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นการบล็อกได้ด้วยวิธีหาผลเฉลยในรูปผลคูณ (product from solution) [9] และให้ประสิทธิภาพของระบบในรูปของค่าการใช้ประโยชน์ (utilization) สูง แต่วิธีนี้ไม่มีพารามิเตอร์ใดมาควบคุมสมรรถนะของระบบ

- วิธี CP (Complete Partitioning policy) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการนำมาเปรียบเทียบสมรรถนะ [11, 12] ซึ่งเป็นวิธีที่แบ่งแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิกแต่ละชนิดแบบเบ็ดเสร็จ จึงทำให้ไม่มีการแย่งชิงแบนด์วิดท์ข้ามชนิดของข้อมูล ดังนั้นพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมคุณภาพ และสมรรถนะของระบบคือ ค่าขีดแบ่ง (threshold) ของระดับแบนด์วิดท์ที่กำหนด แต่ในขณะเดียวกันวิธีนี้จะส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพของระบบ เมื่อมีการแบ่งแบนด์วิดท์ให้อย่างไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงไม่ยืดหยุ่นต่อการนำไปใช้งานจริง

- วิธี Guaranteed Minimum policy (GM) เป็นวิธีที่งานวิจัย [11−13] ใช้พิจารณาควบคุมทราฟฟิกในระบบ ซึ่งวิธีนี้จะกำหนดให้มีแบนด์วิดท์ส่วนกลางจำนวนหนึ่งไว้สำหรับรองรับทราฟฟิกทุกชนิดร่วมกัน และในส่วนที่เหลือจะแบ่งตามชนิดของข้อมูล โดยมีการรับประกันจำนวนการเรียกของทราฟฟิกแต่ละประเภทเป็นจำนวนที่แน่นอน เนื่องจากการมีแบนด์วิดท์ส่วนกลางไว้ใช้ร่วมกันจึงทำให้สมรรถนะของระบบดีขึ้นเมื่อเทียบกับวิธี CP

- วิธี Trunk Reservation policy (TR) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้ควบคุมทราฟฟิก [8, 12, 13, 15−17] โดยวิธีนี้จะควบคุมปริมาณทราฟฟิกด้วยการกำหนดค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ ซึ่งจะใช้เป็นตัวควบคุมคุณภาพของการให้บริการและสมรรถนะของระบบ วิธีนี้จะเป็นวิธีที่ใช้ป้องกันการเข้ามาในระบบอย่างมากจากทราฟฟิกบางชนิดได้ แต่ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด งานวิจัย [8] ได้เสนอทั้งวิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์อย่างคงที่และค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่ขึ้นกับสถานะ ซึ่งวิธีกำหนดค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่ขึ้นกับ

สถานะจะได้ประสิทธิภาพดีกว่าวิธีกำหนดค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์อย่างคงที่ และยืดหยุ่นกว่าวิธีอื่น

งานวิจัย [17] ได้เสนอวิธี Virtual Partitioning (VP) โดยปรับปรุงมาจากวิธี CP และนำเทคนิคของ TR เข้ามาประยุกต์เพื่อให้มีความยืดหยุ่นกับการเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบ โดยจะปรับค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ให้เพิ่มขึ้นตามแบนด์วิดท์ที่ทราฟฟิกชนิดนั้นใช้อยู่ ซึ่งเสมือนกับว่ามีการแบ่งแบนด์วิดท์ไว้ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการปรับค่าการจองทรังค์ให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณโหลดในระบบจะเพิ่มความซับซ้อนในการคำนวณมาก และถ้าระบบที่ใช้มีการเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบไม่สูงมาก วิธีกำหนดค่าพารามิเตอร์การจองไว้คงที่ก็เพียงพอที่จะควบคุมให้ระบบมีสมรรถนะที่ดี แต่ทั้งนี้ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดต้องเหมาะสมกับสภาวะของระบบ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเลือกพิจารณาการควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยวิธีการจองทรังค์อย่างคงที่ และทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ให้เหมาะสมสอดคล้องกับโหลดในระบบ เพื่อให้ระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ และในขณะเดียวกันก็ได้สมรรถนะสูง

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นพัฒนาคิดค้นให้วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกสามารถให้ประสิทธิภาพสูงสุดแก่ระบบ แต่ช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยหลายฉบับ [8, 15, 18−23] เริ่มหันมาให้ความสนใจที่จะพยายามคำนึงถึงความยุติธรรม (fairness) หรือความสมดุล (equilibrium) ในการให้บริการระหว่างผู้ใช้ หรือระหว่างทราฟฟิกแต่ละชนิดมากขึ้น งานวิจัย [8] เสนอวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่คำนึงถึงความยุติธรรมในมุมมองของการควบคุมให้มีค่าความน่าจะเป็นการบล็อกของทราฟฟิกทุกชนิดเท่ากัน (blocking equalization) โดยใช้เทคนิคของ Trunk Reservation policy (TR) ซึ่งกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ของทราฟฟิกแต่ละชนิดมีค่าเท่ากัน แต่เป็นที่สังเกตว่างานวิจัยที่พิจารณาความยุติธรรม หรือความเท่าเทียมกันส่วนใหญ่จะนำแนวความคิดดังกล่าวมาจากทฤษฎีเกม [15, 18−23] เพราะเนื่องจากคุณลักษณะสำคัญของทฤษฎีเกมคือเป็นการปรับให้ระบบเข้าสู่จุดสมดุลได้ด้วยคุณลักษณะของระบบนั้น ๆ เอง จึงทำให้นอกจากความยุติธรรมหรือความเท่าเทียมกันที่ผู้ใช้จะได้รับแล้ว ยังทำให้ระบบได้รับประสิทธิภาพสูงอีกด้วย การพิจารณาระบบในงานวิจัยต่าง ๆ [15, 18−23] มีทั้งในส่วนของเกมที่ไม่มีความร่วมมือ (non-cooperative game) และเกมที่มีความร่วมมือ (cooperative game) ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบที่นำมาพิจารณา ว่าเหมาะสมที่จะพิจารณาให้อยู่ในลักษณะของเกมชนิดใด แต่ทั้งนี้ผลที่ได้จากการพิจารณาให้อยู่ในรูปของเกมที่มีความร่วมมือจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงกว่า [22, 23]

ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอรูปแบบการพิจารณาการจัดสรรการเข้าใช้ทรัพยากรของโครงข่ายที่ต้องการสร้างการเชื่อมต่อ โดยใช้เทคนิคการแบ่งแยกข้อมูลแบบพลวัต และประมาณค่าแบนด์วิดท์ให้กับแต่ละทราฟฟิกตามค่าแบนด์วิดท์สมมูล และพิจารณาการควบคุมการตอบรับการเรียก

ด้วยวิธีการจองทรังค์อย่างคงที่ โดยทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ให้เหมาะสมสอดคล้องกับโหลดในระบบโดยอาศัยทฤษฎีเกมที่มีความร่วมมือ (cooperative game theory)

1.2 แนวทางของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในโครงข่ายที่มีการให้บริการแบบต้องการสร้างการเชื่อมต่อ เช่น โครงข่าย ATM โครงข่าย GSM และโครงข่าย IPv6 เป็นต้น โดยพิจารณาในกรณีที่มีข่ายเชื่อมโยงเดี่ยว ปัญหาที่ได้รับความสนใจอยู่ทั้งในอดีตและปัจจุบันคือ การควบคุมทราฟฟิกที่เข้ามาในโครงข่ายอย่างไรจึงเหมาะสม จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่า การควบคุมการตอบรับการเรียกเป็นกลไกหนึ่งที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาความคับคั่งในข่ายเชื่อมโยง โดยมีวิธีในการควบคุมแตกต่างกันออกไป วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอให้ควบคุมการตอบรับการเรียกตามนโยบายการจองทรังค์คงที่ (fixed trunk reservation policy) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถควบคุมปริมาณทราฟฟิกในข่ายเชื่อมโยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความสะดวกในการนำไปใช้งานจริง อย่างไรก็ตามค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่กำหนดให้กับทราฟฟิกแต่ละชนิดเป็นสิ่งสำคัญที่สามารถใช้บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการจัดสรรแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยง ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอให้พิจารณาการจัดสรรแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงโดยคำนึงถึงความยุติธรรมในการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิกแต่ละชนิด ซึ่งใช้วิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสมตามแนวทางในการพิจารณาความยุติธรรมในทฤษฎีเกม นอกจากการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองที่เหมาะสมให้กับทราฟฟิกอย่างยุติธรรมแล้ว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้พิจารณาทั้งในส่วนของทราฟฟิกที่มีระดับความสำคัญแตกต่างกันอีกด้วย โดยออกแบบให้ทราฟฟิกได้รับความยุติธรรมเท่าเทียมกันเป็นสัดส่วนตามระดับความสำคัญ การนำทฤษฎีเกมมาประยุกต์ใช้กับการจัดสรรแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงทำให้ ได้รับประโยชน์ทั้งผู้ให้บริการนั่นคือ การมีประสิทธิภาพที่ดีกับโครงข่ายเอง และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งจะได้รับความยุติธรรมในการจัดสรรแบนด์วิดท์

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์

เพื่อหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสมในวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกตามนโยบายการจองทรังค์คงที่ในข่ายเชื่อมโยงเดี่ยว ที่สามารถให้ความยุติธรรมกับการให้บริการการเชื่อมต่อทราฟฟิกหลายชนิด พร้อมทั้งสามารถจัดสรรทรัพยากรของข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวให้มีประสิทธิภาพ ด้วยการประยุกต์แนวคิดจากทฤษฎีเกมที่มีความร่วมมือ

1.4 ขั้นตอนดำเนินงาน

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งความรู้และทฤษฎีพื้นฐานที่จำเป็นต้องใช้ในงานวิจัย
2. ศึกษาทฤษฎีเกมที่มีความร่วมมือ
3. กำหนดแบบจำลองที่ต้องการศึกษา
4. เขียนโปรแกรมทดสอบวิธีที่ได้เสนอ
5. วิเคราะห์ และประเมินผลการจำลอง และเปรียบเทียบผลกับวิธีที่มีอยู่
6. สรุป วิจารณ์ และรวบรวมข้อมูลทั้งหมด พร้อมทั้งจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ วิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยวิธีการจองแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวอย่างยุติธรรม ซึ่งใช้ควบคุมทราฟฟิกในโครงข่ายแบบสูญเสีย (loss network) ที่มีข่ายเชื่อมโยงเดี่ยว โดยมีพื้นฐานอยู่บนสมมติฐานของการเรียกเข้ามาในข่ายเชื่อมโยงเป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซง (Poisson) และมีความต้องการใช้แบนด์วิดท์เป็นไปตามฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล (equivalent bandwidth) ผลการทดสอบสมรรถนะวัดในรูปของค่าการใช้ประโยชน์ (utilization) ของทราฟฟิกแต่ละชนิด และค่าการใช้ประโยชน์รวม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอให้พิจารณาความยุติธรรมจากค่าการใช้ประโยชน์ที่ทราฟฟิกแต่ละชนิดได้รับ ซึ่งการพิจารณาความยุติธรรมใช้เงื่อนไขการตัดสินใจที่มีพื้นฐานอยู่บนฟังก์ชันการตัดสินใจของแนช (Nash) ไรฟ์ฟา (Raiffa) และการปรับปรุงของทอมสัน (Modified Thomson) เท่านั้น [24] นอกจากนั้นได้พิจารณาในกรณีที่มีทราฟฟิกตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถปรับปรุงให้ระบบการให้บริการเชื่อมต่อทราฟฟิกในข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงในขณะที่ทราฟฟิกทุกชนิดยังคงได้รับความยุติธรรมในการให้บริการ โดยมุ่นเน้นไปที่ทราฟฟิกแต่ละชนิดสามารถได้ใช้ประโยชน์จากข่ายเชื่อมโยงอย่างเท่าเทียมกัน นอกจากนั้นยังปรับปรุงให้ระบบสามารถรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ข่ายเชื่อมโยงในระดับการใช้งานปกติของทราฟฟิกแต่ละชนิด และปรับให้ทราฟฟิกแต่ละชนิดได้ค่าการใช้ประโยชน์สอดคล้องกับระดับความสำคัญของทราฟฟิก

บทที่ 2

ทฤษฎีโครงข่ายพื้นฐาน

เนื้อหาของทฤษฎีที่กล่าวถึงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งในส่วนแรกกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่ใช้พิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบโครงข่ายสื่อสัญญาณโทรคมนาคม และทฤษฎีที่นำไปสู่วิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยได้อธิบายถึงทฤษฎีโครงข่ายทั่ว ๆ ไป พร้อมทั้งหลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงข่าย ซึ่งประกอบไปด้วย โครงข่ายสูญเสีย (loss networks) ค่าที่ใช้วัดสมรรถนะในโครงข่ายสูญเสีย การประมาณค่าแบนด์วิดท์ที่จัดสรรให้กับทราฟฟิกที่ได้รับบริการด้วยฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล และวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกแบบต่าง ๆ พร้อมทั้งวิธีที่เลือกพิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และในส่วนที่ 2 ได้กล่าวถึงทฤษฎีเกมเบื้องต้นและแนวคิดของปัญหาที่พิจารณาในรูปแบบของเกม รวมไปถึงในส่วนของสมการที่นำไปประกอบการวิเคราะห์ระบบที่เสนอ ซึ่งได้อธิบายในบทถัดไป

2.1 โครงข่ายสูญเสีย

โครงข่ายสูญเสียเป็นโครงข่ายที่ให้บริการรับและส่งข้อมูลข้ามโครงข่าย โดยต้องสร้างการเชื่อมต่อ (connection) ให้กับการเรียกหนึ่ง ๆ ระหว่างโนดต้นทางและโนดปลายทางแล้วจึงส่งข้อมูล หลังจากข้อมูลถูกส่งเรียบร้อยแล้วจะยกเลิกการเชื่อมต่อนั้นทันที โดยทั่วไปแล้วจะพิจารณาให้การเรียกหนึ่ง ๆ ที่ได้รับการตอบรับให้เชื่อมต่อกับข่ายเชื่อมโยงมีช่วงเวลาครอบครองวงจร (holding time: μ^{-1}) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของการเรียกนั้น และการเรียกที่ถูกปฏิเสธจะสูญเสียทันที หรือเรียกอีกอย่างว่า *ถูกบล็อก (block)* เพราะโครงข่ายลักษณะนี้จะไม่มีแถวคอย (queue) หรือบัฟเฟอร์ (buffer) ไว้สำหรับรองรับการเรียกที่ถูกบล็อก และการตัดสินใจตอบรับการเรียกชนิดต่าง ๆ เข้ามาในระบบจะขึ้นอยู่กับสถานะ (state) ของระบบในขณะนั้น

Erlang loss system เป็นตัวอย่างหนึ่งของโครงข่ายสูญเสีย ซึ่งประกอบไปด้วยข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่มีการเรียกเพียงชนิดเดียว แต่ละการเรียกจะต้องการวงจรเชื่อมต่อเพียงหนึ่งวงจร ถ้ากำหนดให้ N แทนจำนวนวงจรที่มีอยู่ในข่ายเชื่อมโยงที่ใช้งานได้ และกำหนดให้การเข้ามาของการเรียกเป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซง (Poisson process) ด้วยอัตรา λ ซึ่งเวลาในการเชื่อมต่อจะเป็นอิสระต่อกัน และมีการกระจายแบบเลขชี้กำลัง (exponential distribution) ด้วยค่าเฉลี่ย μ^{-1} ค่าความน่าจะเป็นในการบล็อก (blocking probability) แทนด้วย B สามารถเขียนในรูปของ Erlang loss formula ดังสมการในรายการอ้างอิง [25]

$$B = \frac{(\lambda/\mu)^N/N!}{\sum_{j=1}^{N}(\lambda/\mu)^j/j!} \tag{2.1}$$

ถ้าพิจารณาข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่ต้องรองรับการเรียกหลายชนิด ค่าความน่าจะเป็นในการบล็อกของการเรียกในข่ายเชื่อมโยงนี้สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีหาผลเฉลยในรูปผลคูณ [25] เช่น กำหนดให้การเรียกในข่ายเชื่อมโยงหนึ่งมี k ชนิด และให้ i เมื่อ $i = 1, \ldots, k$ แทนชนิดของการเรียก สถานะในข่ายเชื่อมโยงแทนด้วย $\mathbf{n} = (n_1, \ldots, n_k)$ เมื่อ n_i แทนจำนวนการเรียกชนิดนั้นที่เชื่อมต่ออยู่ในโครงข่ายในขณะนั้น เมื่อให้ S แทนเซตจำกัด (finite set) ของสถานะที่เป็นไปได้ทั้งหมดของระบบ กล่าวคือเป็นสถานะที่จำนวนวงจรที่ถูกครอบครองในขณะนั้นมีค่าไม่เกินจำนวนวงจรในระบบ และ S_i แทนเซตจำกัด (finite set) ของสถานะที่ถ้าระบบอยู่ที่สถานะนั้นแล้วจะยังสามารถยอมรับการเรียกชนิดที่ i เข้ามาใหม่ได้ ดังนั้น $S_i = \{\mathbf{n} \in S \mid \mathbf{n} + \mathbf{e}_i \in S\}$ เมื่อ $\mathbf{e}_i$ แทนเวกเตอร์ที่มีองค์ประกอบเป็นศูนย์ในทุก ๆ ตำแหน่งยกเว้นตำแหน่งที่ i ซึ่งจะมีค่าเป็นหนึ่ง ถ้าสมมติให้การเข้ามาของการเรียกเป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซงและเป็นอิสระต่อกัน โดยมีค่าเฉลี่ยของการเข้าด้วยอัตรา λ_i และเวลาครอบครองวงจรมีการกระจายแบบเลขชี้กำลังด้วยค่าเฉลี่ย μ_i^{-1} สำหรับการเรียกชนิด i ดังนั้นค่าการบล็อกของการเรียกแต่ละชนิดสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.2) ถึง (2.4) [25]

$$B_i = 1 - \frac{K_i}{K} \tag{2.2}$$

เมื่อ K_i และ K คือค่าคงที่การนอร์แมลไลซ์ (normalization constants)

$$K_i = \sum_{\mathbf{n} \in S_i} \prod_{i=1}^{k} \frac{(\lambda_i/\mu_i)^{n_i}}{n_i!} \tag{2.3}$$

$$K = \sum_{\mathbf{n} \in S} \prod_{i=1}^{k} \frac{(\lambda_i/\mu_i)^{n_i}}{n_i!} \tag{2.4}$$

สังเกตได้ว่าค่าความน่าจะเป็นในการบล็อกของการเรียกของข่ายเชื่อมโยงใด ๆ ในโครงข่ายจะเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงคุณภาพในการให้บริการ และสมรรถนะของโครงข่ายนั้น ด้วยเหตุนี้ในการพิจารณา และวิเคราะห์โครงข่ายสูญเสีย จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าความน่าจะเป็นในการบล็อกของการเรียกของโครงข่ายเป็นสำคัญ

2.2 การวัดสมรรถนะในโครงข่ายสูญเสีย

ดัชนีชี้วัดสมรรถนะของโครงข่ายสูญเสียถูกกำหนดขึ้น เพื่อใช้เป็นเครื่องมือชี้วัดระดับคุณภาพของการให้บริการในโครงข่ายสูญเสียนั้น ๆ การวัดสมรรถนะในโครงข่ายสูญเสียแบ่งออกเป็น 2 ระดับด้วยกัน คือ การวัดสมรรถนะในระดับของเซลล์ หรือแพ็กเกต และการวัดสมรรถนะในระดับการเรียก (call) หรือการเชื่อมต่อ (connection) [26]

2.2.1 การวัดสมรรถนะในระดับของเซลล์หรือแพ็กเกต

ค่าที่ใช้วัดสมรรถนะในระดับนี้คือ ค่าสัดส่วนการสูญหายของแพ็กเกต (packet loss ratio) ค่าเวลาประวิงสูงสุดของการส่งแพ็กเกต (maximum packet transfer delay) และค่าการเปลี่ยนแปลงเวลาประวิงของแพ็กเกต (packet delay variation) ซึ่งในการให้บริการแบบ B-ISDN จะกำหนดให้ค่าอัตราส่วนการสูญหายของแพ็กเกตอยู่ในระดับต่ำสำหรับการให้บริการที่ต้องการคุณภาพสูงคือ มีค่าระหว่าง 10^{-9} และ 10^{-12} ในขณะที่ให้ค่าอัตราส่วนการสูญหายของแพ็กเกตอยู่ระหว่าง 10^{-4} และ 10^{-6} ก็เพียงพอสำหรับการให้บริการที่ไม่ต้องการคุณภาพสูงมาก [27]

2.2.2 การวัดสมรรถนะในระดับการเรียก

ค่าที่ใช้วัดสมรรถนะในระดับนี้คือ ค่าความน่าจะเป็นในการบล็อก ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนการเรียกชนิดนั้น ๆ ที่ถูกปฏิเสธการตอบรับการเชื่อมต่อ และจำนวนการเรียกชนิดนั้นที่เข้ามาขอรับการเชื่อมต่อทั้งหมด นอกจากนี้ประสิทธิภาพของระบบที่แสดงในรูปของค่าการใช้ประโยชน์ก็สามารถคำนวณได้จากการแปลงกลับโดยตรงจากค่าความน่าจะเป็นการบล็อกเช่นกัน อย่างไรก็ตามคุณภาพของการให้บริการจะขึ้นอยู่กับขนาดของแบนด์วิดท์ที่ต้องการตามชนิดของการเรียก [28] เช่น ค่าความน่าจะเป็นการบล็อกที่ยอมรับได้ของการเรียกที่ต้องการแบนด์วิดท์น้อยจะต้องมีค่าน้อยกว่า 10^{-3} ส่วนในการเรียกชนิดที่ต้องการแบนด์วิดท์ขนาดกลางต้องมีค่าความน่าจะเป็นการบล็อกน้อยกว่า 10^{-2} และการเรียกที่ต้องการแบนด์วิดท์สูงต้องมีค่าความน่าจะเป็นการบล็อกไม่เกิน 10^{-1}

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกพิจารณาดัชนีชี้วัดสมรรถนะในระดับการเรียก ซึ่งวัดจากค่าความน่าจะเป็นการบล็อก และค่าการใช้ประโยชน์เป็นสำคัญ

2.3 ฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล

ในอดีตการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิกที่ได้รับการตอบรับให้เข้ามาในโครงข่ายเป็นไปในลักษณะง่าย ๆ โดยจะพิจารณาเพียงพารามิเตอร์อัตราบิตข้อมูลสูงสุด (Peak Bit Rate: PBR) และจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับการเรียกอย่างคงที่ตามค่า PBR อย่างไรก็ตามความเป็นจริงในการส่งข้อมูลบางชนิดจะไม่ส่งที่อัตราบิตสูงสุดตลอดเวลา เช่น ข้อมูลวิดีโอที่ถูกบีบอัด และแหล่งจ่ายข้อมูลต้นทางอาจไม่จ่ายข้อมูลตลอดเวลาที่ครอบครองวงจร ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะพิจารณาจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิกตามค่า PBR ประกอบกับหลังจากเทคโนโลยีสวิตช์ได้รับการพัฒนาให้มีศักยภาพเพียงพอที่จะรองรับการบริการจากแหล่งจ่ายข้อมูลหลายแหล่ง เมื่อมีข้อมูลชนิดเดียวกันจากหลาย ๆ แหล่งข้อมูลมารวมกัน โครงข่ายจะนำข้อมูลที่จะส่งมามัลติเพล็กซ์เข้าด้วยกันก่อนจะส่งต่อไปเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการส่งสูงขึ้น ดังนั้นใน

การจัดสรรแบนด์วิดท์ให้แต่ละทราฟฟิกจึงได้รับการปรับปรุงให้พิจารณาอัตราบิตข้อมูลส่งในเชิงสถิติ โดยใน [3] ได้เสนอการพิจารณาแบนด์วิดท์ที่ใช้จริงด้วยแบนด์วิดท์สมมูลจากวิธีการประมาณค่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งานด้วย on-off fluid flow model ซึ่งจะพิจารณาการส่งข้อมูลของแหล่งจ่ายด้วยพารามิเตอร์ในการส่งข้อมูลดังนี้ คือ ค่าอัตราบิตสูงสุด (PBR) จำนวนครั้งที่แหล่งจ่ายทำงาน ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาเบิรสต์ (mean burst period) และคำนึงถึงค่าความน่าจะเป็นของบัฟเฟอร์ล้น (buffer overflow probability) ซึ่งเป็นผลทำให้ข้อมูลสูญหาย

เนื่องจากข้อมูลต่าง ๆ ที่เข้าสู่ข่ายเชื่อมโยงมีหลายชนิด ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์การจัดสรรแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงทำได้ง่าย และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จึงได้มีการนำเทคนิคการแบ่งแยกข้อมูลตามชนิดของข้อมูล (service separation) ด้วยระบบแจกจ่ายเซลล์แถวคอยยุติธรรมแบบถ่วงน้ำหนัก (weighted fair queuing scheduler) หรือแจกจ่ายเซลล์แถวคอยแบบตามแต่จะถ่วงน้ำหนัก (arbitrary weighted queuing scheduler) [8] ด้วยวิธีการแบ่งแยกข้อมูลแบบพลวัต (dynamic service separation) ระบบแจกจ่ายข้อมูลจะถูกถ่วงน้ำหนักให้กับแต่ละทราฟฟิกโดยสัมพันธ์กับขนาดบัฟเฟอร์ที่สำรองไว้สำหรับทราฟฟิกชนิดนั้น ๆ ซึ่งขนาดบัฟเฟอร์ที่จัดไว้รองรับทราฟฟิกแต่ละชนิดจะเป็นไปตามฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล (equivalent bandwidth) ซึ่งได้คำนึงถึงค่าอัตราส่วนการสูญหายของแพ็กเกต ค่าเวลาประวิงสูงสุดของการส่งแพ็กเกต ค่าเวลาประวิงของแพ็กเกต

เมื่อพิจารณาชนิดของข้อมูล โดยทั่วไปแล้วข้อมูลต่าง ๆ ที่เข้ามาในระบบสามารถจำแนกตามลักษณะของการส่งข้อมูลออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ ข้อมูลที่ส่งด้วยอัตราบิตคงที่ (Constant Bit Rate: CBR) และข้อมูลที่ส่งด้วยอัตราบิตไม่คงที่ (Variable Bit Rate: VBR) ถ้ากำหนดให้ฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูลแทนด้วย $G(\cdot)$ และให้ n เป็นจำนวนการเชื่อมต่อในขณะนั้น แหล่งจ่ายข้อมูลที่ส่งข้อมูลประเภท CBR ด้วยอัตราบิตข้อมูลสูงสุด (PBR) ซึ่งมีค่า R_p จะต้องการแบนด์วิดท์ $G(n) = R_p n$ แต่สำหรับข้อมูลที่ส่งด้วยอัตราบิตไม่คงที่ (VBR) ซึ่งจะส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งที่เปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่างค่าอัตราบิตข้อมูลสูงสุด และอัตราบิตข้อมูลต่ำสุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดสรรแบนด์วิดท์จึงไม่จำเป็นต้องประมาณค่าแบนด์วิดท์ด้วยอัตราบิตข้อมูลสูงสุด แต่สามารถกำหนดให้แบนด์วิดท์มีค่า $G(n) = R_e n$ เมื่อ R_e เป็นค่าที่อยู่ระหว่างอัตราบิตข้อมูลสูงสุด และอัตราบิตข้อมูลเฉลี่ย แต่เนื่องด้วยเทคนิคการมัลติเพล็กซ์เชิงสถิติส่งผลให้ฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูลมีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นเชิงเส้นตามจำนวนการเชื่อมต่อที่เพิ่มขึ้น กล่าวคือ มีความต้องการแบนด์วิดท์ต่อหนึ่งหน่วยการเรียกลดลงเมื่อจำนวนการเชื่อมต่อเพิ่มขึ้น (monotonically increasing concave function) [8]

การพิจารณาฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูลเป็นดังสมการ (2.5) โดยรูปแบบของฟังก์ชันคำนวณมาจากการประมาณค่าคงที่ (stationary approximation) ใน [3] ค่าความเป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นของฟังก์ชันขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ α และ β ความสัมพันธ์ของความต้องการแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่เข้า

มาใหม่ เมื่อจำนวนการเชื่อมต่อที่มีอยู่ในระบบขณะนั้นมีค่าเป็น n แสดงดังสมการ (2.6) [8]

$$G(n) = \alpha n + \beta\sqrt{n} \tag{2.5}$$

$$g(n) = G(n+1) - G(n) \tag{2.6}$$

เนื่องจากการวิเคราะห์ฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้นตามสมการ (2.5) ทำให้สามารถครอบคลุมลักษณะของทราฟฟิกทั้งข้อมูลที่มีอัตราบิตคงที่ และข้อมูลที่มีอัตราบิตไม่คงที่ ประกอบกับความสะดวกในการปรับเปลี่ยนรูปแบบของทราฟฟิกที่ต้องการพิจารณาได้โดยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์เพียง 2 ตัว ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้ทราฟฟิกที่เข้ามาในข่ายเชื่อมโยงเป็นไปตามสมการ (2.5) และพิจารณาการวัดสมรรถนะของโครงข่ายในระดับการเรียกเท่านั้น

2.4 การควบคุมการตอบรับการเรียก

การควบคุมการตอบรับการเรียกเป็นส่วนสำคัญในโครงข่าย ซึ่งจะคอยควบคุมให้การเข้ามาใช้โครงข่ายเป็นระเบียบเรียบร้อย และควบคุมความคับคั่งของข้อมูลในโครงข่าย การควบคุมการตอบรับการเรียกจะทำหน้าที่สร้างการเชื่อมต่อการเรียกหนึ่ง ๆ ให้ทันทีที่ตอบรับให้การเรียกนั้นเข้ามาในข่ายเชื่อมโยง แต่จะไม่เชื่อมต่อให้เมื่อการเรียกนั้น ๆ ถูกปฏิเสธ และการเรียกนั้นจะสูญหายทันที ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณความจุ หรือแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงที่มีอยู่ในขณะนั้นว่าสามารถรองรับการให้บริการนั้นได้หรือไม่ และประกอบกับวิธีการที่นำมาใช้ตัดสินใจในการควบคุมการตอบรับการเรียก ดังนั้นวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกจึงเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจในงานวิจัยจำนวนมาก เป้าหมายของงานวิจัยโดยทั่วไปแล้วต้องการศึกษา และหาวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานจริง ในส่วนนี้จึงขอยกตัวอย่างวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียก ดังนี้

2.4.1 นโยบายการใช้ทรังค์ร่วมกันอย่างสมบูรณ์

วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยนโยบายการใช้ทรังค์ร่วมกันอย่างสมบูรณ์ (Complete Sharing policy: CS) [10] เป็นวิธีที่นำมาใช้ควบคุมการจัดสรรทรัพยากรของระบบทั่ว ๆ ไป วิธีนี้จะตัดสินให้ระบบรับการเรียกใหม่ที่เข้ามา ก็ต่อเมื่อในขณะนั้นระบบมีทรัพยากรเหลือเพียงพอที่จะรองรับการเรียกใหม่ ซึ่งจะเห็นว่าหน่วยควบคุมจะปล่อยให้การเรียกแต่ละชนิดเข้ามาใช้แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงอย่างเต็มที่ เมื่อมีแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงในขณะนั้นเหลือเพียงพอกับปริมาณความต้องการของการเรียก จึงทำให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้จริง และสามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นการบล็อกของการเรียกได้ง่าย เช่นสามารถคำนวณโดยตรงได้จากค่าความน่าจะเป็นการบล็อกของ Erlang และยังสามารถขยาย

การคำนวณไปสู่ระดับการเรียกหลายชนิดด้วยวิธีหาผลเฉลยในรูปผลคูณ [26] แต่ข้อจำกัดของวิธี CS คือ ระบบไม่สามารถเลือกควบคุม และจำกัดปริมาณการเรียกที่เข้ามาสู่ระบบตามชนิดของทราฟฟิกได้ ทำให้การเรียกบางชนิดมีโอกาสได้รับบริการน้อยกว่าการเรียกชนิดอื่น หรืออาจมีการเรียกบางชนิดถูกกีดกันการเข้าใช้แบนด์วิดท์ เนื่องจากการแย่งเข้าใช้แบนด์วิดท์ของการเรียกชนิดอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ทราฟฟิกแต่ละชนิดต้องการแบนด์วิดท์ต่อหนึ่งหน่วยการเรียกที่แตกต่างกันมาก ๆ นอกจากนั้นยังทำให้ไม่สามารถจัดระดับความสำคัญในการให้บริการกับการเรียกที่ต่างชนิดกันได้

2.4.2 นโยบายการแบ่งทรังค์อย่างสมบูรณ์

วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยนโยบายการแบ่งทรังค์อย่างสมบูรณ์ (Complete Partitioning policy: CP) [9] เป็นวิธีที่ออกแบบมาเพื่อให้สามารถกำหนดระดับความสำคัญในการให้บริการกับการเรียกต่างชนิดกัน โดยกำหนดขอบเขตปริมาณแบนด์วิดท์ที่รองรับการเรียกชนิดต่าง ๆ ไว้ตายตัว และวิธีนี้สามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียการเรียกได้จากผลเฉลยในรูปผลคูณ แต่การจัดสรรแบนด์วิดท์แบบนี้ทำให้การเรียกต่างชนิดกันจะไม่สามารถข้ามไปใช้แบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่ของการเรียกชนิดอื่นได้ในขณะที่แบนด์วิดท์ที่กำหนดให้รองรับการเรียกชนิดนั้นมีไม่เพียงพอ สังเกตว่าข้อจำกัดของวิธีนี้คือ การกำหนดค่าขีดแบ่งของระดับแบนด์วิดท์ที่กำหนดให้กับทราฟฟิกแต่ละชนิดแบบตายตัว ถ้าหากค่าขีดแบ่งของระดับแบนด์วิดท์ที่กำหนดให้มีค่าไม่เหมาะสมกับปริมาณโหลดของทราฟฟิกแต่ละชนิดจะทำให้ระบบต้องสูญเสียประสิทธิภาพที่จะได้รับจากการเข้ามาใช้แบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่ของทราฟฟิกชนิดอื่น ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่ยืดหยุ่นในการนำไปใช้งานจริง และต่อมาจึงได้มีงานวิจัยอีกหลายฉบับที่พยายามปรับปรุงวิธีควบคุมการเรียกวิธีนี้ให้สอดคล้องกับปริมาณโหลดที่เปลี่ยนแปลง

2.4.3 นโยบายการรับประกันการได้ใช้ทรังค์ขั้นต่ำ

วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยนโยบายการรับประกันการได้ใช้ทรังค์ขั้นต่ำ (Guaranteed Minimum policy: GM) [12] เป็นวิธีที่ปรับปรุงมาจากวิธี CP โดยแบนด์วิดท์ที่มีอยู่ทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ไว้สำหรับการเรียกแต่ละชนิด และมีแบนด์วิดท์ส่วนกลางที่มีไว้ให้การเรียกทุกชนิดได้ใช้ร่วมกัน และจัดการกับการเรียกที่เข้ามาในโครงข่ายตามชนิดของการเรียกโดยจะให้การเรียกชนิดต่าง ๆ ได้ใช้แบนด์วิดท์ในส่วนที่แบ่งไว้ให้ก่อน ซึ่งขึ้นกับจำนวนการเรียกที่ได้รับประกันไว้ และถ้าต้องการมากกว่านั้นก็จะสามารถไปใช้แบนด์วิดท์ในส่วนกลางที่เหลือได้ วิธีนี้จะเป็นวิธีที่รับประกันว่าการเรียกแต่ละชนิดจะได้ใช้แบนด์วิดท์อย่างน้อยตามที่ตกลงกันไว้ และสามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นการบล็อกได้จากวิธีการหาผลเฉลยในรูปผลคูณแต่ทั้งนี้ประสิทธิภาพของระบบจะขึ้นอยู่กับค่าขีดแบ่งของระดับแบนด์วิดท์ที่กันไว้สำหรับทราฟฟิกแต่ละชนิด

2.4.4 นโยบายการจองทรังค์

วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยนโยบายการจองทรังค์ (Trunk Reservation policy: TR) [29] เป็นวิธีที่ได้รับการปรับปรุงให้สามารถแก้ปัญหาการกีดกันการเข้าใช้แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงจากการเรียกบางชนิด ซึ่งจะมีพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ (TR) หน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกจะยอมให้การเรียกแต่ละชนิดเข้ามาใช้แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงได้ตราบเท่าที่แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงยังคงเหลือมากกว่าค่า TR ที่กำหนดไว้สำหรับการเรียกแต่ละชนิด ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบจะขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า TR ให้สอดคล้องกับโหลดในระบบ แต่สังเกตว่าวิธีนี้จะไม่สามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นการบล็อกได้จากวิธีการหาผลเฉลยในรูปผลคูณ เนื่องจากมีบางสถานะที่ไม่ได้เกิดจากการเพิ่มจำนวนการเชื่อมต่อของทราฟฟิกบางชนิด ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นการบล็อกของวิธีนี้จึงต้องคำนวณโดยตรงจากการดุลสมการทั้งหมด (global-balance equation) มีงานวิจัยมากมายนำวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยนโยบายการจองทรังค์ไปประยุกต์ใช้โดยกำหนดให้ค่า TR สอดคล้องกับโหลดของแต่ละทราฟฟิก [17] และปรับค่า TR ให้ขึ้นกับสถานะ [8]

เมื่อพิจารณาวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกต่าง ๆ พบว่าแต่ละวิธีมีคุณสมบัติและเงื่อนไขที่ใช้ควบคุมการตอบรับการเรียกที่แตกต่างกันออกไป แต่สังเกตว่าวิธี CP สามารถพิจารณาให้อยู่ในรูปแบบของวิธี GM ได้เพียงกำหนดค่าขีดแบ่งของระดับแบนด์วิดท์ให้สอดคล้องกัน ในทำนองเดียวกันวิธี CS ก็สามารถพิจารณาให้อยู่ในรูปแบบของวิธี TR ได้ เมื่อกำหนดให้ค่า TR สำหรับแต่ละการเรียกมีค่าเท่ากับปริมาณแบนด์วิดท์ที่ร้องขอในหนึ่งหน่วยการเรียก เมื่อพิจารณาถึงความทนทานต่อการโอเวอร์โหลดระบบโดยทราฟฟิกชนิดใดชนิดหนึ่งพบว่าวิธี CP และ วิธี TR สามารถปกป้องทราฟฟิกอื่นจากการแย่งเข้ามาใช้แบนด์วิดท์ของระบบอย่างมากของโอเวอร์โหลดทราฟฟิกได้ แต่วิธี TR มีความยืดหยุ่นในการนำไปใช้งานมากกว่า

อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถควบคุมปริมาณทราฟฟิกในข่ายเชื่อมโยงให้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ ดังนั้นจึงต้องเลือกวิธีที่สามารถควบคุมปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามาในระบบได้ และง่ายต่อการนำไปใช้จริง ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกที่จะพิจารณาวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยนโยบายการจองทรังค์คงที่ ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณของทราฟฟิกที่เข้ามาใช้โครงข่ายได้โดยการเลือกค่า TR ให้เหมาะสม ดังนั้นจะมีวิธีการเลือกค่า TR อย่างไรจึงจะสอดคล้องกับโหลดที่มีอยู่ในระบบ เพื่อให้ระบบได้รับประสิทธิภาพจากการเข้ามาของทราฟฟิกชนิดต่าง ๆ พร้อมกันนั้นยังสามารถให้ความยุติธรรมกับทราฟฟิกทุกชนิด

บทที่ 3

ทฤษฎีเกม

ความยุติธรรม ความเสมอภาค และความสมดุลในสังคมเป็นความต้องการพื้นฐานที่มนุษย์ทั่วไปทุกคนแสวงหามานาน สังเกตได้จากในช่วงยุคปลายศตวรรษที่ 18 จวบจนถึงช่วงกลางศตวรรษที่ 20 แนวคิดและทฤษฎีมากมายที่ถูกเสนอโดยนักคิด หรือนักทฤษฎีต่าง ๆ ล้วนแล้วแต่เกี่ยวข้องกับหลักการและหลักปฏิบัติที่นำมาซึ่งความยุติธรรม ความเสมอภาค และความสมดุลของการอยู่ร่วมกันในสังคม (เช่น ทฤษฎี Marxist โดย Karl Mark) ทฤษฎีเกมเป็นศาสตร์ทางคณิตศาสตร์แขนงหนึ่ง ที่มีรากฐานทางความคิดมาจากความยุติธรรม ความเสมอภาค และความสมดุลในการแข่งขันเล็ก ๆ [30] และได้รับการพัฒนาเรื่อยมา จนกระทั่งได้รับความสนใจนำไปใช้ประกอบการพิจารณา และวิเคราะห์ร่วมกับศาสตร์แขนงอื่น ๆ เช่น การพิจารณาแก้ปัญหาทางเศรษฐศาสตร์ แก้ปัญหาการเจรจาต่อรองทางการทูต และในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาทฤษฎีเกมได้รับความสนใจนำมาใช้ประกอบการพิจารณาร่วมกับปัญหาทางวิศวกรรมมากยิ่งขึ้น ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยต่าง ๆ ในรายการอ้างอิง [15, 18−23] เนื่องจากทฤษฎีเกมเป็นทฤษฎีที่อธิบายถึงลักษณะของปัญหาความขัดแย้ง การแข่งขัน การต่อรอง หรือการร่วมมือกันเพื่อผลประโยชน์ระหว่างบุคคลตั้งแต่สองคนขึ้นไป นอกจากนั้นยังอธิบายรูปแบบการวิเคราะห์ พร้อมกับแนวทางแก้ปัญหาเหล่านั้นโดยการเชื่อมโยงสถานการ์ต่าง ๆ เข้ากับรูปแบบเกมการแข่งขัน และประเมินความเป็นไปได้ของผลลัพธ์ของเกมด้วยวิธีวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ และใช้หลักทางตรรกะศาสตร์มาอธิบายเหตุผลในการดำเนินการตัดสินใจของผู้เล่นแต่ละคน โดยการตัดสินใจของแต่ละคนมีพื้นฐานอยู่บนความคิดที่มีเหตุผล เพื่อให้ได้มาซึ่งผลประโยชน์สูงสุดของตนเอง

หากพิจารณาพื้นฐานของปัญหาเชิงวิศวกรรมส่วนใหญ่นอกจากการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบด้วยการพัฒนาทางเทคโนโลยีแล้ว วิธีการจัดสรรทรัพยากรระบบให้ลงตัว และคุ้มค่ามากที่สุดก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน ดังนั้นการนำแนวคิดของทฤษฎีเกมมาช่วยวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวจึงเป็นอีกหนทางหนึ่งที่จะมีส่วนช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ซึ่งบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีเกมเบื้องต้น เพื่อเป็นพื้นฐานในการนำไปประกอบการวิเคราะห์วิธีการควบคุมทราฟฟิกตามแบบจำลองของระบบที่เสนอในบทถัดไป

3.1 ทฤษฎีเกมเบื้องต้น

รูปแบบของความขัดแย้ง การแข่งขัน การต่อรอง หรือการร่วมมือกระทำการใด ๆ ระหว่างบุคคลตั้งแต่สองคนขึ้นไปในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ถูกเชื่อมโยงเข้ากับรูปแบบทางคณิตศาสตร์ รวมไปถึงวิธีการตัดสินใจ

ของแต่ละคนถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการตัดสินใจที่ดีและเหมาะสมที่สุดสำหรับสถานการณ์นั้น ๆ หลักการวิเคราะห์ความขัดแย้ง หรือทฤษฎีการตัดสินใจ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า *ทฤษฎีเกม* ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ว่าด้วยการศึกษาวิธีการตัดสินใจของบุคคลในสถานการณ์ที่กำหนด โดยพื้นฐานในการวิเคราะห์การตัดสินใจของแต่ละคนขึ้นอยู่กับเหตุผลทางตรรกะที่ว่าด้วยความต้องการขั้นพื้นฐานของมนุษย์ที่ต้องการให้ผลประโยชน์ของตนเองมีค่าสูงสุด หรือเป็นที่น่าพอใจ และสถานการณ์การตัดสินใจได้ถูกเชื่อมโยงเข้ากับเกมการแข่งขัน ซึ่งมีผลประโยชน์ที่แต่ละคนได้รับเป็นผลลัพธ์ของเกม ผลลัพธ์ที่ได้ต้องไม่เป็นผลมาจากโชค หรือความอยุติธรรมนอกเหนือจากกฎเกณฑ์ของเกมมาเกี่ยวข้อง ความปรารถนา หรือความพึงพอใจในผลลัพธ์ของแต่ละคนอาจมีค่าไม่เท่ากัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความพึงพอใจของแต่ละบุคคล ซึ่งแทนด้วยค่าอรรถประโยชน์ (utility) นอกจากนั้นทฤษฎีเกมยังได้อธิบายถึงวิธีการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่เหมาะสม เพื่อนำมาซึ่งความยุติธรรม ความเสมอภาค หรือความสมดุลในเกมด้วยหลักแห่งความเป็นจริงที่ว่า การตัดสินใจอย่างมีเหตุผลจะนำไปสู่ผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของเกม ที่ให้ความยุติธรรม ความเสมอภาค หรือความสมดุลกับผู้เล่นในเกม

3.2 ฟังก์ชันอรรถประโยชน์

อรรถประโยชน์ (utility) คือ ค่าความพึงพอใจ ซึ่งใช้ประเมินคุณค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากเกมการแข่งขัน คุณค่าที่ประเมินให้กับผลลัพธ์เดียวกันอาจมีคุณค่าไม่เท่ากัน ซึ่งขึ้นอยู่กับแต่ละคน หรืออาจขึ้นอยู่กับเวลา ดังนั้นค่าความพึงพอใจในผลลัพธ์ที่ได้สามารถเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันอรรถประโยชน์ที่ขึ้นอยู่กับผลลัพธ์นั้น ๆ

กำหนดให้ $u(\cdot)$ เป็นฟังก์ชันอรรถประโยชน์ และสมมติให้ a และ b เป็นผลลัพธ์ที่ได้รับจากเกม ถ้าค่าอรรถประโยชน์ของผลลัพธ์ a มีค่าน้อยกว่าค่าอรรถประโยชน์ของผลลัพธ์ b แล้ว นั่นหมายความว่าค่าความพึงพอใจที่มีต่อผลลัพธ์ a จะมีค่าน้อยกว่า b ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [24]

$$u(a) < u(b) \Leftrightarrow a \prec b \tag{3.1}$$

โดยเครื่องหมาย $\prec$ คือการเปรียบเทียบค่าความพึงพอใจ ความต้องการ ความจำเป็น หรือความสนใจของบุคคลที่มีต่อผลลัพธ์ที่ได้จากเกม

ดังนั้นค่าความพึงพอใจในผลลัพธ์ของเกมจึงถูกแปลงให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันอรรถประโยชน์ เพื่อช่วยให้สามารถวิเคราะห์วิธีการตัดสินใจในรูปแบบคณิตศาสตร์ได้ง่ายขึ้น

3.3 เกมที่ไม่มีความร่วมมือและเกมที่มีความร่วมมือ

การจำลองสถานการณ์ความเป็นจริงในโลกการแข่งขัน สามารถพิจารณาเป็นเกมที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไป 2 แบบคือ เกมที่ไม่มีความร่วมมือ (noncooperative game) และเกมที่มีความร่วมมือ (cooperative game)

3.3.1 ทฤษฎีเกมที่ไม่มีความร่วมมือ

ทฤษฎีเกมที่ไม่มีความร่วมมือ เป็นทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์สถานการณ์ที่ผู้เล่นแต่ละคนไม่สามารถร่วมมือกันได้ หรืออาจเป็นความต้องการที่ขัดแย้งกัน การวิเคราะห์สถานการณ์ดังกล่าวจึงเป็นไปในรูปของเกมที่ไม่มีความร่วมมือ วิธีการตัดสินใจจะเป็นไปตามเหตุผลส่วนตัวของแต่ละคน โดยไม่คำนึงผลประโยชน์ของส่วนรวม ซึ่งเป็นผลให้ผลลัพธ์ได้มาจากการวิเคราะห์หาวิธีการตัดสินใจที่ทำให้ผลประโยชน์ของตนเองมีค่าสูงสุด การวิเคราะห์หาวิธีการตัดสินใจที่ดีที่สุดมาตอบโต้กันจะอาศัยสมดุลของแนช (Nash equilibrium) [31]

ในส่วนนี้ได้ยกตัวอย่างสถานการณ์การตัดสินใจมาประกอบการอธิบาย เพื่อให้สามารถเข้าใจลักษณะทั่วไปของเกม และพื้นฐานการวิเคราะห์เกมเบื้องต้น ซึ่งในสถานการณ์ของเกมการแข่งขันทั่ว ๆ ไปจะมีทั้งในรูปแบบของเกมที่มีจุดสิ้นสุด มีผลแพ้ชนะ และไม่มีผลแพ้ชนะ ในที่นี้ได้ยกตัวอย่างเกมที่ไม่มีผลแพ้ชนะมาประกอบการอธิบาย ตัวอย่างที่ยกมานี้เป็นตัวอย่างที่ใช้ประกอบการอธิบายทฤษฎีเกมที่ไม่มีความร่วมมือในรายการอ้างอิง [24]

ในสถานการณ์จำลองของผู้ต้องหาสองคนที่ถูกจับกุมได้ และกำลังถูกตำรวจดำเนินการแยกสอบปากคำ ผู้ต้องหาทั้ง 2 สามารถเลือกให้การดังนี้

- ให้การปฏิเสธ
- ให้การยอมรับผิด

ผลของการสอบปากคำของผู้ต้องหาในคดีนี้สามารถเขียนเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างสถานการณ์เกมที่ไม่มีความร่วมมือ [24]

คำให้การของผู้ต้องหาคนที่ 1	คำให้การของผู้ต้องหาคนที่ 2	
	ให้การปฏิเสธ	ให้การยอมรับผิด
ให้การปฏิเสธ	ผู้ต้องหาทั้งสองคนติดคุก 1 ปี	ผู้ต้องหาคนที่ 1 ติดคุก 10 ปี ผู้ต้องหาคนที่ 2 ติดคุก 3 เดือน
ให้การยอมรับผิด	ผู้ต้องหาคนที่ 1 ติดคุก 3 เดือน ผู้ต้องหาคนที่ 2 ติดคุก 10 เดือน	ผู้ต้องหาทั้งสองคนติดคุก 8 ปี

เนื่องจากผู้ต้องหาทั้ง 2 คนไม่สามารถรู้ว่าอีกฝ่ายจะให้การอย่างไร ดังนั้นผู้ต้องหาแต่ละคนจึงต้องวิเคราะห์หาทางเลือกที่ดีที่สุดให้กับตัวเอง แนชได้เสนอว่าทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะปกป้องตนเองจากการกระทำของผู้อื่นคือ ให้วิเคราะห์ว่าถ้าหากอีกฝ่ายให้การอย่างไรแล้ว ตนเองควรให้การอย่างไรจึงจะได้ประโยชน์มากที่สุด หรือเสียประโยชน์น้อยที่สุด ลองพิจารณาคำให้การของผู้ต้องหาคนแรก เขาต้องวิเคราะห์ว่าถ้าหากผู้ต้องหาคนที่ 2 *ให้การปฏิเสธ* แล้วเขาควรให้การอย่างไรจึงทำให้เขาติดคุกน้อยที่สุด นั่นคือ ผู้ต้องหาคนแรกต้อง *ให้การยอมรับผิด* เพราะนั่นจะทำให้เขาติดคุกน้อยกว่า *ให้การปฏิเสธ* และเช่นเดียวกันถ้าหากผู้ต้องหาคนที่ 2 *ให้การยอมรับผิด* แล้วผู้ต้องหาคนแรกจะต้องให้การอย่างไรจึงทำให้เขาติดคุกน้อยที่สุด นั่นคือ ผู้ต้องหาคนแรกต้อง *ให้การยอมรับผิด* เพราะจะทำให้เขาติดคุกน้อยกว่า *ให้การปฏิเสธ* ในทำนองเดียวกันผู้ต้องหาคนที่ 2 ก็ใช้วิธีเดียวกันนี้ในการพิจารณาให้การกับตำรวจ ดังนั้นจากตารางที่ 3.1 สรุปได้ว่าผู้ต้องหาทั้ง 2 คนควร *ให้การยอมรับผิด* เพื่อปกป้องตัวเองได้ดีที่สุด และนั่นคือ *สมดุลของแนช (Nash equilibrium)*

3.3.2 ทฤษฎีเกมที่มีความร่วมมือ

ทฤษฎีเกมที่มีความร่วมมือ เป็นทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์สถานการณ์การตัดสินใจ ซึ่งผู้เล่นแต่ละคนมองเห็นผลประโยชน์ที่จะได้รับเมื่อร่วมมือกันสูงกว่าการไม่ร่วมมือกัน หรือมองเห็นว่าการร่วมมือกันจะช่วยให้ผลประโยชน์โดยรวมมีค่ามากขึ้น การร่วมมือกันจะเกิดขึ้นได้นั้นต้องขึ้นอยู่กับสถานการณ์ที่สามารถตกลงกันได้ เกมที่มีความร่วมมือมีความหมายในเชิงต่างฝ่ายต่างร่วมมือกันตัดสินใจตามเหตุผลของกลุ่ม และผู้เล่นสามารถต่อรองเงื่อนไขระหว่างกันได้ ดังนั้นจึงกลายเป็นปัญหาของการต่อรอง จอนห์ แนช (John Nash) นักคณิตศาสตร์ชาวอเมริกัน ผู้ได้รับรางวัลโนเบลสาขาเศรษฐศาสตร์ ในปี 1994 ได้เสนอแบบจำลองการต่อรอง ที่มีชื่อเรียกว่า *ปัญหาการต่อรองของแนช (Nash bargaining problem)* [31] เพื่อวิเคราะห์ปัญหาการต่อรอง และผลลัพธ์ที่เหมาะสมของปัญหาการต่อรองจะเป็นไปตามผลเฉลย (solution) ที่ให้ความยุติธรรมแก่ทุกคนในกลุ่ม

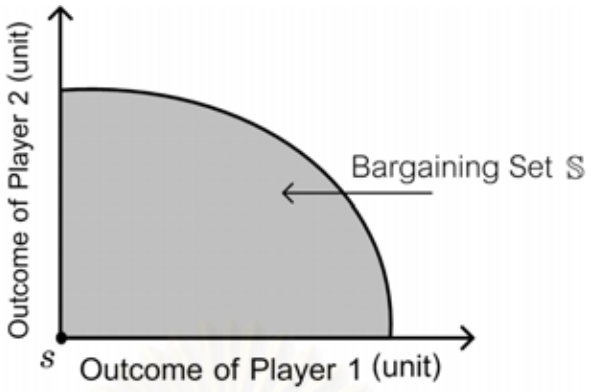
เมื่อนำตัวอย่างที่เสนอในหัวข้อ 3.3.1 มาพิจารณาในรูปแบบของเกมที่มีความร่วมมือ จากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่ายังมีทางเลือกอื่นที่ทำให้ทั้งคู่ติดคุกน้อยกว่าทางเลือกที่ได้จากการวิเคราะห์จากสมดุลของแนช นั่นคือ ถ้าหากผู้ต้องหาทั้งคู่มีโอกาสร่วมมือกัน โดยตกลงเงื่อนไขกันล่วงหน้าว่าจะเลือกให้การปฏิเสธทั้งคู่ และจะไม่มีการหักหลังกันโดยเด็ดขาด ซึ่งทำให้ผู้ต้องหาทั้งคู่ติดคุกน้อยลงคือ ติดคุกกันเพียงคนละ 1 ปี ดังนั้นในเกมที่มีความร่วมมือผลลัพธ์ของเกมจึงขึ้นอยู่กับวิธีการต่อรองว่าจะต้องต่อรองอย่างไรจึงทำให้ผู้เล่นทุก ๆ ฝ่ายยอมรับเงื่อนไขโดยแต่ละฝ่ายได้ประโยชน์ตามต้องการ

3.4 ปัญหาการต่อรอง

ผลลัพธ์ที่ได้จากการร่วมมือกันดำเนินการตัดสินใจตามมติของกลุ่มที่ได้ตกลงกันไว้ล่วงหน้า เป็นผลมาจากการเจรจาต่อรองเงื่อนไขการตัดสินใจ เพื่อนำมาซึ่งผลลัพธ์ที่ดีขึ้นกว่ากรณีที่ต่างคนต่างตัดสินใจ ผลลัพธ์ที่ได้จึงขึ้นอยู่กับผลของการต่อรอง ดังนั้นการวิเคราะห์เกมที่มีความร่วมมือนี้ จึงเป็นการวิเคราะห์ปัญหาการต่อรองระหว่างบุคคล

ในเบื้องต้นจอนห์ แนช ได้จำลองปัญหาการต่อรองระหว่างบุคคล 2 คน (two-person bargaining problems) [32] เพื่อใช้วิเคราะห์เกมที่มีความร่วมมือ ซึ่งในเกมที่ใช้วิเคราะห์ไม่จำเป็นว่าผู้ตัดสินใจ (ผู้เล่น) จะต้องตัดสินใจเองทั้งหมด ในบางกรณีอาจมีคนกลางทำหน้าที่กำหนดวิธีการตัดสินใจ หรือกำหนดผลลัพธ์ให้ก็ได้ แต่วิธีการที่ผู้เล่นแต่ละคนเห็นชอบ และยินยอมที่จะดำเนินตามมติของกลุ่ม หรือวิธีที่คนกลางเลือกให้แต่ละคนแล้วทำให้ผู้เล่นแต่ละคนยอมรับ จึงเป็นสิ่งที่ต้องนำมาวิเคราะห์ ดังนั้นถ้าหากไม่สามารถตกลงเงื่อนไขกันได้ หรือมีคนใดคนหนึ่งไม่ยินยอมในคำตัดสินนั้น จะส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้กลับไปสู่จุดเริ่มต้นในกรณีที่ยังไม่มีการต่อรองเกิดขึ้น

กำหนดให้ $(\mathbb{S}, s)$ แทนปัญหาการต่อรอง เมื่อเซตการต่อรอง $\mathbb{S}$ เป็นเซตคอนเวกซ์ปิด (closed convex set) ซึ่งเป็นเซตย่อย (subset) ของ $\mathbb{R}^2$ และมีผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ของเกมเป็นสมาชิก กำหนดให้ s หนึ่งในสมาชิกของเซต $\mathbb{S}$ เป็นค่าเริ่มต้นในการต่อรอง ซึ่งจะเป็นผลลัพธ์ที่ผู้เล่นแต่ละคนต้องได้รับถ้าผู้เล่นทั้งสองคนไม่สามารถตกลงเงื่อนไขระหว่างกันได้ ผลเฉลยที่เหมาะสมของปัญหาการต่อรอง $(\mathbb{S}, s)$ แทนด้วย $F(\mathbb{S}, s)$ รูปที่ 3.1 แสดงเซตการต่อรอง



รูปที่ 3.1 เซตการต่อรอง

3.5 คุณสมบัติของผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง

การเลือกผลลัพธ์ที่เหมาะสมจากผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองนั้น ผลลัพธ์ที่เลือกต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามสัจพจน์ (axiom) ดังนี้ [24]

- การไม่เปลี่ยนแปลงต่อการถ่ายโอนอย่างเชิงเส้น

  คุณสมบัติของผลลัพธ์ที่เหมาะสมจะเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองคือ ผลลัพธ์นั้นต้องไม่เปลี่ยนแปลงต่อการถ่ายโอนอย่างเชิงเส้น (invariant to affine transformations) นั่นคือ

  สมมติให้ ฟังก์ชันการถ่ายโอนอย่างเชิงเส้นแทนด้วย $\upsilon_{\mathbf{AB}} : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$ โดยที่สมมติให้เมตริกซ์ $\mathbf{A}$ และเวกเตอร์ $\mathbf{B}$ มีค่าดังนี้

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_1 & 0 \\ 0 & a_2 \end{pmatrix} \tag{3.2}$$

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} \tag{3.3}$$

  เมื่อ $\mathbf{x} \in \mathbb{S}$ ดังนั้นสามารถเขียนฟังก์ชันการถ่ายโอน $\mathbf{AB}$ ในรูปของสมมการได้ดังนี้

$$\upsilon_{\mathbf{AB}}(\mathbf{x}) = \mathbf{A}\mathbf{x} + B \tag{3.4}$$

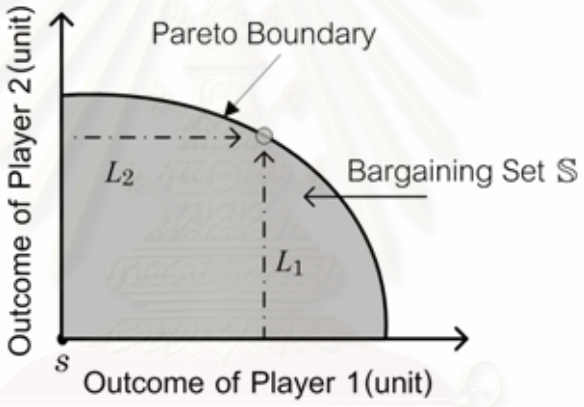
  ถ้ากำหนดให้ $F(\mathbb{S}, s) = \omega$ เป็นผลลัพธ์ที่เหมาะสมจะเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองแล้ว

$$F(\upsilon_{\mathbf{AB}}(\mathbb{S}), \upsilon_{\mathbf{AB}}(s)) = \upsilon_{\mathbf{AB}}(\omega) \tag{3.5}$$

เมื่อ $\upsilon_{\mathbf{AB}}(\omega)$ เป็นผลเฉลยที่ได้จากการถ่ายโอนฟังก์ชัน ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า ถ้าผลลัพธ์นั้นเหมาะสมจะเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองใดแล้ว ผลลัพธ์ดังกล่าวที่ถูกถ่ายโอนด้วยฟังก์ชันเชิงเส้นจะยังคงเหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองนั้นที่ถูกถ่ายโอนด้วยฟังก์ชันเชิงเส้นเดียวกัน

- ความเหมาะสมของพาเรโต

ผลลัพธ์ที่เหมาะสมจะเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง ต้องอยู่บนขอบของพาเรโต (Pareto boundary) เพราะคุณสมบัติความเหมาะสมของพาเรโต กล่าวคือทุก ๆ จุดบนขอบของพาเรโตเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่ผู้เล่นทุกคนได้รับ และไม่มีจุดอื่นที่ผลลัพธ์ของผู้เล่นทุกคนมีค่ามากกว่าผลลัพธ์ ณ จุดนี้ รูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่อยู่บนขอบของพาเรโตเหมาะสมที่จะเป็นผลเฉลยของการต่อรอง



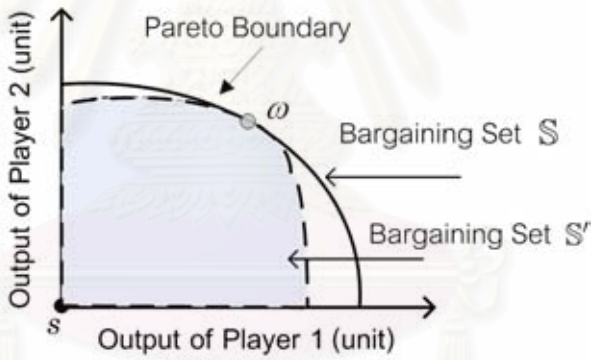
รูปที่ 3.2 ขอบบนของพาเรโต

เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ที่อยู่บนเส้นตรง L_1 พบว่าผลลัพธ์ ณ จุดที่เส้นตรง L_1 ตัดกับขอบของพาเรโตเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เพราะเป็นจุดที่ผลลัพธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 มีค่าเท่ากันทุก ๆ จุดบนเส้นตรงนี้ แต่ผลลัพธ์ของผู้เล่นคนที่ 2 มีค่าสูงสุด ณ จุดตัด และในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ที่อยู่บนเส้นตรง L_2 พบว่าผลลัพธ์ ณ จุดที่เส้นตรง L_2 ตัดกับขอบของพาเรโตเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เพราะเป็นจุดที่ผลลัพธ์ของผู้เล่นคนที่ 2 มีค่าเท่ากันทุก ๆ จุดบนเส้นตรงนี้ แต่ผลลัพธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 มีค่าสูงสุด ณ จุดตัด ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าทุก ๆ จุดบนขอบของพาเรโตเป็นผลลัพธ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง

- อิสระจากทางเลือกอื่นที่ไม่สำคัญ

การเลือกผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง ต้องไม่ได้รับอิทธิพลจากผลลัพธ์อื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง กล่าวคือ ถ้าปัญหาการต่อรอง 2 ปัญหามีลักษณะเดียวกัน และจุดเริ่มต้นการต่อรองมีค่าเท่ากัน แต่ผลลัพธ์ที่เป็นไปได้มีจำนวนไม่เท่ากัน โดยที่ปัญหาการต่อรองแรกมีจำนวนผลลัพธ์ที่เป็นไปได้มากว่าปัญหาการต่อรองที่ 2 แต่ผลลัพธ์ที่เหมาะสมของปัญหาการต่อรองแรกเป็นผลลัพธ์หนึ่งในเซตของผลลัพธ์ของปัญหาที่ 2 ดังนั้นผลลัพธ์นี้ต้องเป็นผลลัพธ์ที่เหมาะสมของปัญหาการต่อรองที่ 2 เช่นกัน

รูปที่ 3.3 ใช้อธิบายผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง ซึ่งเป็นอิสระจากทางเลือกอื่นที่ไม่สำคัญ (independent from irrelevant alternatives) กำหนดให้ s เป็นจุดเริ่มต้นการต่อรอง และ $\mathbb{S}$ เป็นเซตของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ของปัญหาการต่อรอง และให้ ω เป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองแรก ทุก ๆ สับเซต $\mathbb{S}'$ ของ $\mathbb{S}$ ใด ๆ ที่ประกอบไปด้วยผลลัพธ์ s และ ω แล้วผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง $(\mathbb{S}', s)$ ยังคงมีค่าเป็น ω



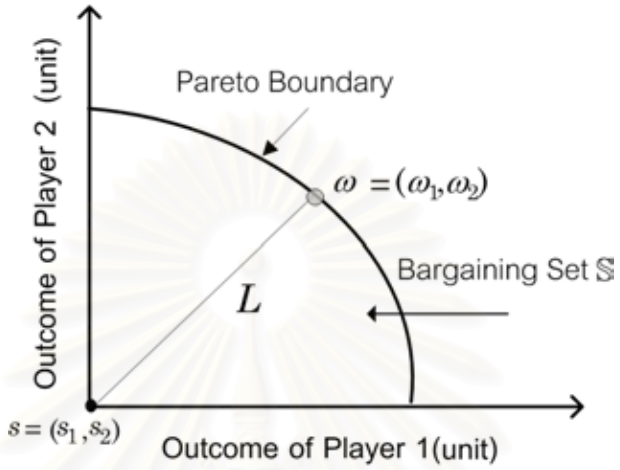
รูปที่ 3.3 ผลเฉลยของปัญหาการต่อรองเป็นอิสระจากทางเลือกอื่นที่ไม่สำคัญ

แต่อย่างไรก็ตามคุณสมบัติข้อนี้จะได้รับการยกเว้นก็ต่อเมื่อทางเลือกอื่นมีผลต่อวิธีการตัดสินใจเลือกผลเฉลยที่มีความยุติธรรม

- ความสมมาตร

ผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองที่มีความสมมาตรต้องเป็นผลลัพธ์ของผู้เล่นที่มีค่าเท่ากันทุกคน กล่าวคือ ถ้าปัญหาการต่อรองที่พิจารณามีเซตของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้เป็นเซตสมมาตร และค่าเริ่มต้นการต่อรองของผู้เล่นทุกคนมีค่าเท่ากันแล้ว ผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหานี้ต้องมีค่าเท่ากันในทุกผู้เล่น

รูปที่ 3.4 แสดงเซตสมมาตรของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ ซึ่งแทนด้วย $\mathbb{S}$ เส้นตรง L เป็นเส้นสมมาตรที่ผ่านจุดเริ่มต้นการต่อรอง $s = (s_1, s_2)$ เมื่อ $s_1 = s_2$ และจุด $\omega = (\omega_1, \omega_2)$ เมื่อ $\omega_1 = \omega_2$ ดังนั้น ω เป็นผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองนี้



รูปที่ 3.4 เซตการต่อรองสมมาตร

3.6 ผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง

ผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง นอกจากต้องมีคุณสมบัติสอดคล้องกับสัจพจน์ที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับวิธีการตัดสินใจเลือกผลลัพธ์ที่เหมาะสม ซึ่งแตกต่างกันออกไปตามแต่พื้นฐานแนวความคิดที่ใช้ในการวิเคราะห์ วิธีการตัดสินใจเลือกผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยมีมากมายหลายวิธีด้วยกัน อย่างไรก็ตามวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณาวิธีการตัดสินใจเพียง 3 แบบ ได้แก่ วิธีการตัดสินใจของแนช (Nash arbitration scheme) วิธีการตัดสินใจของไรฟ์ฟา (Raiffa arbitration scheme) และการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน (Modified Thomson arbitration scheme) [15] เนื่องจากพื้นฐานของวิธีการตัดสินใจเลือกผลเฉลยทั้ง 3 วิธี มีคุณลักษณะแตกต่างกันออกไป 3 แนวทาง กล่าวคือ วิธีการตัดสินใจของแนชมีพื้นฐานมาจากแนวความคิดแบบปัจเจกนิยม (individualism) ส่วนวิธีการตัดสินใจของไรฟ์ฟามีพื้นฐานมาจากแนวความคิดแบบสมภาคนิยม (egalitarianism) และการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสันมีพื้นฐานมาจากแนวความคิดแบบประโยชน์นิยม (utilitarinism) สังเกตว่าแนวคิดทั้ง 3 แบบสามารถสะท้อนถึงความต้องการของผู้คนในสังคมได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงเหมาะอย่างยิ่งที่จะนำวิธีการตัดสินใจทั้ง 3 แบบ มาใช้เป็นแนวทางในการเลือกผลลัพธ์ที่เหมาะสมได้ นอกจากนี้เพื่อให้สะดวกต่อการพิจารณาวิธีการตัดสินใจเลือกผลเฉลยที่แตกต่างกัน 3 แบบ จึงได้นิยาม

ให้พิจารณาในรูปของฟังก์ชันความชอบ (preference function: $v(\cdot)$) ซึ่งใช้แทนค่าความชอบที่มีต่อผลลัพธ์ทั้งของตนเองและของผู้เล่นคนอื่นแทนการพิจารณาในรูปของฟังก์ชันอรรถประโยชน์โดยตรง

3.6.1 ผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของแนช

แนวความคิดแบบปัจเจกนิยมมีสมมติฐานอยู่บนความคิดที่ว่า การได้ผลประโยชน์รวมสูงสุด ต้องเป็นผลมาจากความพยามยามของมนุษย์แต่ละคนสูงสุด ดังนั้นความยุติธรรม ความเสมอภาค หรือความสมดุลตามแนวคิดนี้จึงหมายถึง ความพยายามของแต่ละคนที่เท่ากันจะนำมาซึ่งผลลัพธ์ของแต่ละคนเท่ากัน และเสมอภาคกัน ด้วยเหตุนี้วิธีการตัดสินใจเลือกผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของการต่อรองของแนช จึงขึ้นอยู่กับค่าอรรถประโยชน์ส่วนตัวของผู้เล่นแต่ละคนเพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

ในกรณีที่พิจารณาเกมที่มีผู้เล่น 2 คน กำหนดให้ปัญหาการต่อรองแทนด้วย $(\mathbb{S}, s)$ จุดเริ่มต้นการต่อรองของผู้เล่นคนที่ i เมื่อ $i = 1, 2$ มีค่าเท่ากับ $u_{i,0}$ และค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ i มีค่า u_i กำหนดให้ฟังก์ชันความชอบของผู้เล่นคนที่ i มีค่า

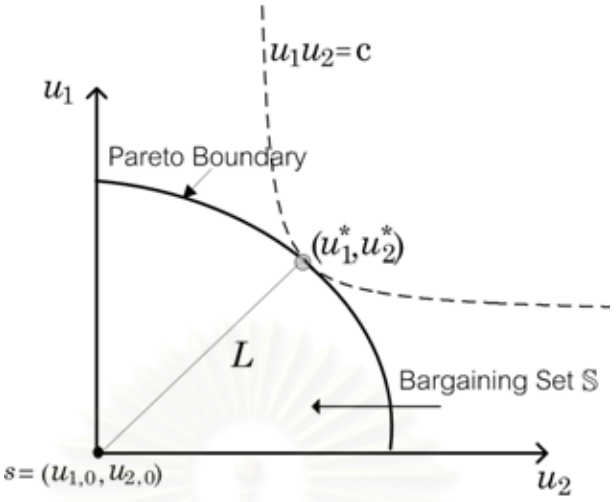
$$v_i = u_i - u_{i,0} \tag{3.6}$$

ผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองสามารถหาได้จากสมการผลคูณของแนช (Nash product)

$$(u_1^*, u_2^*) = \arg \max_{(u_1,u_2)\in\mathbb{S}} (v_1 v_2) \tag{3.7}$$

เมื่อ (u_1^*, u_2^*) คือผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของแนช ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของผลเฉลยของปัญหาการต่อรองที่กล่าวไว้ข้างต้น

รูปที่ 3.5 แสดงผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของแนช ซึ่งจุด (u_1^*, u_2^*) จะเป็นจุดที่ให้ค่าผลคูณ $u_1^* u_2^*$ สูงสุด มีค่าเท่ากับ c ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองนั้น ต้องเป็นผลลัพธ์ที่มีคุณสมบัติความเหมาะสมของพาเรโต และในขณะเดียวกันต้องเป็นผลมาจากความพยายามของผู้เล่นแต่ละคนสูงสุดเช่นกัน จึงสามารถกล่าวได้ว่าวิธีการตัดสินใจเลือกผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองนี้ สามารถเลือกผลลัพธ์ที่มีความยุติธรรม ความเสมอภาค และความสมดุลให้กับผู้เล่นทุกคนได้ตามกรอบของแนวความคิดปัจเจกนิยม



รูปที่ 3.5 ผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของแนช

3.6.2 ผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของไรฟ์ฟา

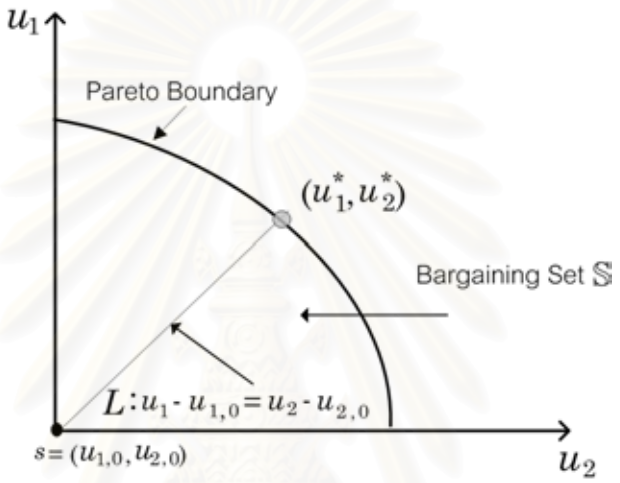
แนวความคิดแบบสมภาคนิยมมีสมมติฐานอยู่บนความคิดที่ว่า มนุษย์ทุกคนในสังคมมีความสำคัญเท่าเทียมกัน และมีอำนาจในการต่อรองเท่ากัน ดังนั้นความยุติธรรม ความเสมอภาค หรือความสมดุลตามแนวคิดนี้จึงหมายถึง ผลประโยชน์รวมของสังคมต้องถูกเฉลี่ยให้กับคนทุกคนเท่า ๆ กัน และทุกคนจะได้ผลประโยชน์อย่างเสมอภาคกัน ด้วยเหตุนี้วิธีการตัดสินใจเลือกผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของการต่อรองของไรฟ์ฟา จึงขึ้นอยู่กับค่าเปรียบเทียบระหว่างค่าอรรถประโยชน์ของตนเองกับค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนอื่น ๆ โดยค่าอรรถประโยชน์ของแต่ละคนจะถูกถ่วงน้ำหนักเท่า ๆ กัน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

ในกรณีที่พิจารณาเกมที่มีผู้เล่น 2 คน กำหนดให้ปัญหาการต่อรองแทนด้วย $(\mathbb{S}, s)$ จุดเริ่มต้นการต่อรองของผู้เล่นคนที่ i เมื่อ $i = 1, 2$ มีค่าเท่ากับ $u_{i,0}$ และค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ i มีค่า u_i กำหนดให้ฟังก์ชันความชอบของผู้เล่นคนที่ i มีค่า

$$v_i = (u_i - u_{i,0}) - (u_j - u_{j,0}) + 1 \text{ เมื่อ } i \neq j \tag{3.8}$$

ผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของไรฟ์ฟา (u_1^*, u_2^*) สามารถหาได้จากการแทนค่า v_i ในสมการ (3.9) ลงในสมการ (3.7) ผลเฉลยดังกล่าวมีคุณสมบัติสอดคล้องกับคุณสมบัติของผลเฉลยของปัญหาการต่อรองในหัวข้อ 3.5 อย่างไรก็ตามผลเฉลยนี้ไม่สอดคล้องกับคุณสมบัติความเป็นอิสระจากทางเลือกอื่นที่ไม่สำคัญ ในเมื่อยังมีทางเลือกอื่นที่สามารถทำให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับแนวความคิดมากกว่า ทั้ง ๆ ที่ผลลัพธ์นั้นอาจไม่อยู่บนขอบของพาเรโตของเซตของผลลัพธ์ที่มีขนาดใหญ่กว่าก็ได้

รูปที่ 3.6 แสดงผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของไรฟ์ฟา ซึ่งจุด (u_1^*, u_2^*) จะเป็นจุดที่ให้ค่า $|u_1^* - u_2^*|$ ต่ำสุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองนั้น ต้องเป็นผลลัพธ์ที่มีคุณสมบัติความเหมาะสมของพาเรโต และในขณะเดียวกันต้องมีค่าแตกต่างกันน้อยที่สุด จึงสามารถกล่าวได้ว่าวิธีการตัดสินใจเลือกผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองนี้ สามารถเลือกผลลัพธ์ที่มีความยุติธรรม ความเสมอภาค และความสมดุลให้กับผู้เล่นทุกคนได้ตามกรอบของแนวความคิดสมภาคนิยม



รูปที่ 3.6 ผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของไรฟ์ฟา

3.6.3 การปรับปรุงผลเฉลยการต่อรองของทอมสัน

แนวความคิดแบบประโยชน์นิยมมีสมมติฐานอยู่บนความคิดที่ว่า การกระทำ หรือการตัดสินใจที่ดีที่สุดคือการทำให้คนหมู่มากได้รับประโยชน์สูงสุด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ มุ่งเน้นผลประโยชน์โดยรวมสูงสุดเป็นหลัก ดังนั้นความยุติธรรม ความเสมอภาค หรือความสมดุลตามแนวคิดนี้จึงหมายถึง การทำให้ผลประโยชน์รวมของสังคมมีค่าสูงสุด เพราะมองว่าผลประโยชน์ของตนและผลประโยชน์ของผู้อื่นมีความสำคัญเท่ากัน ด้วยเหตุนี้วิธีการตัดสินใจเลือกผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของการต่อรองของการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน จึงขึ้นอยู่กับค่าอรรถประโยชน์รวมของทุกคน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

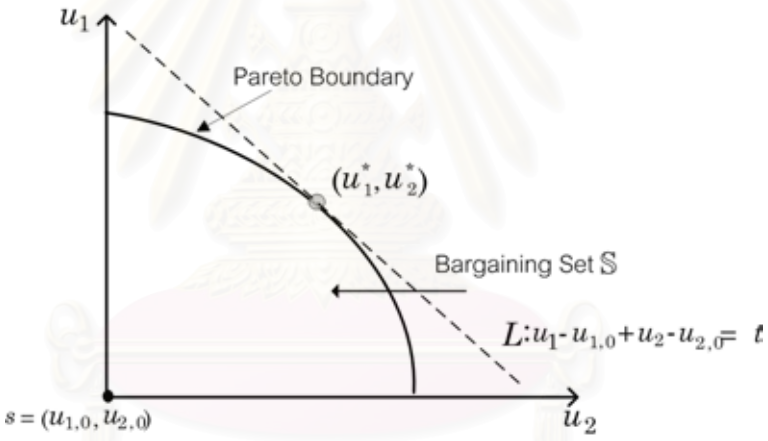
ในกรณีที่พิจารณาเกมที่มีผู้เล่น 2 คน กำหนดให้ปัญหาการต่อรองแทนด้วย $(\mathbb{S}, s)$ จุดเริ่มต้นการต่อรองของผู้เล่นคนที่ i เมื่อ $i = 1, 2$ มีค่าเท่ากับ $u_{i,0}$ และค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ i มีค่า u_i

กำหนดให้ฟังก์ชันความชอบของผู้เล่นคนที่ i มีค่า

$$v_i = (u_i - u_{i,0}) + (u_j - u_{j,0}) + 1 \text{ เมื่อ } i \neq j \tag{3.9}$$

ผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองสามารถหาได้จากสมการ (3.7) และ (u_1^*, u_2^*) คือ ผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน และสอดคล้องกับคุณสมบัติของผลเฉลยของปัญหาการต่อรองข้างต้น

รูปที่ 3.7 แสดงผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของไรฟ์ฟา ซึ่งจุด (u_1^*, u_2^*) จะเป็นจุดที่ให้ค่า $u_1^* + u_2^*$ สูงสุด มีค่าเท่ากับ t ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองนั้น ต้องเป็นผลลัพธ์ที่มีค่ารวมสูงสุด จึงสามารถกล่าวได้ว่าวิธีการตัดสินใจเลือกผลลัพธ์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองนี้ สามารถเลือกผลลัพธ์ที่มีความยุติธรรม ความเสมอภาค และความสมดุลให้กับผู้เล่นทุกคนได้ตามกรอบของแนวความคิดประโยชน์นิยม



รูปที่ 3.7 ผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน

หลังจากพิจารณาวิธีการตัดสินใจเลือกผลเฉลยที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของการต่อรองทั้ง 3 แบบแล้ว พบว่า การพิจารณามีพื้นฐานหลักอยู่ 2 ส่วน คือ ฟังก์ชันความชอบ $v(\cdot)$ และ สมการผลคูณของแนช (สมการ (3.7)) ซึ่งสามารถแสดงให้อยู่ในสมการทั่วไปได้ดังนี้ [33]

$$v_i = (u_i - u_{i,0}) - \gamma \sum_{i \neq j} (u_j - u_{j,0}) + |\gamma(k-1)| \tag{3.10}$$

เมื่อ $\gamma = 0, \frac{1}{k-1}$ และ -1 แทนวิธีการตัดสินใจของแนช วิธีการตัดสินใจของไรฟ์ฟา และการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสันตามลำดับ k แทนจำนวนผู้เล่นในเกม ผลลัพธ์ที่แหมาะสมเป็นผลเฉลยของ

ปัญหาการต่อรองมีค่าดังสมการ

$$(u_1^*, \ldots, u_k^*) = \arg \max_{(u_1,\ldots,u_k)\in\mathbb{S}} \prod_{i=1}^{k} v_i \tag{3.11}$$

ตามคุณสมบัติของทฤษฎีเกมที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า การวิเคราะห์หาวิธีการตัดสินใจในสถานการณ์ใด ๆ ซึ่งต้องการผลลัพธ์ที่ทำให้เกิดความยุติธรรม ความเสมอภาค และความสมดุลกับผู้เล่นทุกคน สามารถวิเคราะห์ได้จากทฤษฎีเกมที่ไม่มีความร่วมมือ และทฤษฎีเกมที่มีความร่วมมือได้ แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและสอดคล้องกับสถานการณ์ที่ต้องการวิเคราะห์ด้วย อย่างไรก็ตาม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้วิเคราะห์ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรของระบบที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับทราฟฟิกต่างชนิดกันอย่างไร จึงสามารถจัดสรรให้การเข้าใช้ทรัพยากรของระบบเป็นไปอย่างเป็นระเบียบเรียบร้อย พร้อมกันนั้นยังสามารถให้ความยุติธรรมกับทราฟฟิกทุกชนิด ในขณะที่ระบบยังได้รับประโยชน์สูง ซึ่งสังเกตได้ว่าปัญหาที่กำหนดขึ้นมานั้นเป็นปัญหาที่มีผู้ดูแลระบบเป็นศูนย์กลางในการควบคุม จึงมีอำนาจการตัดสินใจเด็ดขาด ดังนั้นในการพิจารณาปัญหาลักษณะเช่นนี้จึงเหมาะสมกับการนำทฤษฎีเกมที่มีความร่วมมือมาช่วยในการวิเคราะห์ นอกจากนั้นการตัดสินใจดำเนินการใด ๆ กับระบบต้องคำนึงถึงพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า หากไม่มีความยุติธรรมในการจัดสรรการเข้าใช้ทรัพยากรของระบบแล้ว ย่อมนำมาซึ่งความเสียหายต่อระบบในระยะยาว ดังนั้นในบทถัดไปจึงได้นำเสนอแบบจำลองระบบที่นำแนวคิด และวิธีการวิเคราะห์ในรูปของเกมที่มีความร่วมมือมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

แบบจำลองระบบและผลการทดสอบ

ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรของระบบการให้บริการเชื่อมต่อข้อมูลผ่านโครงข่ายโทรคมนาคม เป็นปัญหาหนึ่งที่นักวิจัยต่างให้ความสนใจ โดยปรับปรุงวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกเพื่อให้การใช้ประโยชน์จากโครงข่ายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด แต่ในความเป็นจริงแล้วการมุ่งเน้นให้ระบบการให้บริการได้รับประโยชน์สูงสุดเพียงอย่างเดียว อาจทำให้เกิดการให้บริการที่ไม่เป็นธรรมกับทราฟฟิกบางชนิดจนอาจส่งผลกระทบกับระบบได้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงกำหนดให้พิจารณาปัญหาการจัดสรรทรัพยากรของระบบที่ไม่เพียงแต่ทำให้ระบบได้รับประโยชน์จากการได้ใช้บริการสูงสุดแล้ว ยังต้องทำให้ทราฟฟิกทุกชนิดได้รับความยุติธรรมในการให้บริการด้วย และวิธีที่จะนำไปสู่เป้าหมายทั้ง 2 ได้คือ การประยุกต์แนวคิดและเทคนิคการวิเคราะห์ตามทฤษฎีเกมความร่วมมือเข้ากับวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียก ซึ่งในที่นี้ได้เสนอให้พิจารณาการวิเคราะห์ตามทฤษฎีเกมความร่วมมือ โดยใช้วิธีการตัดสินใจของแนช วิธีการตัดสินใจของไรฟ์ฟา และการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน

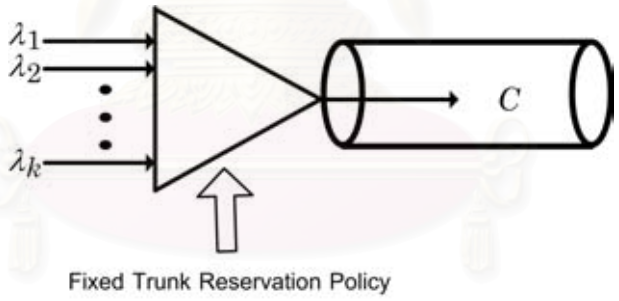
ระบบที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นระบบข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่รองรับทราฟฟิกหลายชนิด และพิจารณาการจัดสรรแบนด์วิดท์เป็นไปตามกรอบการวิเคราะห์ทราฟฟิกด้วยเทคนิคการแบ่งแยกข้อมูลแบบพลวัต (รายละเอียดดูได้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.3) โดยแบนด์วิดท์ที่จัดสรรให้มีค่าเป็นไปตามฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล และควบคุมความคับคั่งในข่ายเชื่อมโยงด้วยวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกตามนโยบายการจองทรังค์คงที่ (fixed trunk reservation policy) และพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการเชื่อมต่อของทราฟฟิกแต่ละชนิดคือ พารามิเตอร์การจองทรังค์ซึ่งมีค่าคงที่สำหรับทราฟฟิกแต่ละชนิด ดังนั้นเพื่อทำให้วิธีการควบคุมดังกล่าวสามารถให้สมรรถนะของระบบเป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้ วิทยานิพนธ์นี้จึงได้เสนอวิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์คงที่ที่ทำให้การใช้ประโยชน์จากข่ายเชื่อมโยงของทราฟฟิกทุกชนิดเป็นไปอย่างยุติธรรม

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงแบบจำลองระบบที่ใช้พิจารณา ขั้นตอนการหาพารามิเตอร์การจองทรังค์คงที่ที่สามารถทำให้การจัดสรรแบนด์วิดท์เป็นไปอย่างยุติธรรม และผลทดสอบสมรรถนะของระบบที่มีทราฟฟิกเข้ามาเพียง 2 ชนิด โดยศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงโหลด และกรณีที่มีการเปลี่ยนปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของทราฟฟิกในหน่วยย่อย โดยเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกตามนโยบายการจองทรังค์คงที่เพื่อความน่าจะเป็นของการบล็อกเท่ากัน (Fixed Trunk Reservation for Blocking Equalization: FXD-TR-BE) ซึ่งเสนอไว้ใน [8] นอกจากนั้นเพื่อแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองและวิธีที่เสนอสามารถใช้ได้กับระบบที่มีทราฟฟิกหลายชนิด ดังนั้นในส่วนสุดท้ายได้แสดงผลการทดสอบสมรรถนะกับระบบที่มีทราฟฟิกมากกว่า 2 ชนิด

4.1 แบบจำลองระบบ

ระบบที่ใช้ประกอบการพิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นระบบข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่มีความจุของข่ายเชื่อมโยงคงที่ C กำหนดให้การเข้ามาของทราฟฟิกแต่ละชนิดเป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซงที่เป็นอิสระต่อกัน (independent Poisson process) โดยเป็นแบบจำลองที่ใช้ประกอบการพิจารณาในเอกสารอ้างอิง [8, 15] ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้

- λ_i คือ อัตราเฉลี่ยของการเรียกเข้าของทราฟฟิกชนิดที่ i
- μ_i^{-1} คือ ระยะเวลาในการครอบครองทรังค์โดยเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยการเรียกของทราฟฟิกชนิดที่ i (วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้มีค่าคงที่เท่ากับ 1 หน่วยเวลาสำหรับทุก ๆ การเรียก)
- ρ_i คือ โหลดของทราฟฟิกชนิดที่ i มีค่าเท่ากับ $\frac{\lambda_i}{\mu_i}$ (Erlang)
- i คือ ชนิดของทราฟฟิกมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง k
- $G_i(n_i)$ คือค่าแบนด์วิดท์ที่ทราฟฟิกชนิดที่ i ต้องการเมื่อมีการเชื่อมต่อเป็นจำนวน n_i ซึ่งเป็นไปตามฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล ดังสมมการ (2.5)



รูปที่ 4.1 แบบจำลองข่ายเชื่อมโยงแดี่ยว

4.2 นโยบายการจองทรังค์คงที่

วิธีควบคุมความคับคั่งในระบบข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ วิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกตามนโยบายการจองทรังค์คงที่ (fixed trunk reservation policy) ซึ่งหน่วยควบคุมจะปฏิเสธการเรียกหนึ่ง ๆ ก็ต่อเมื่อ

$$C - \sum_{i=1}^{k} G_i(n_i) < TR_i \tag{4.1}$$

เมื่อ TR_i แทนค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ของทราฟฟิกชนิดที่ i

จากสมมติฐานตามแบบจำลองในหัวข้อที่ 4.1 สมรรถนะของระบบนี้วัดในรูปของค่าการใช้ประโยชน์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากกระบวนการเกิดดับ k มิติ (k-dimensional birth-death process) และการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (numerical analysis) ด้วยวิธีการกำจัดตัวแปรแบบเกาส์ (Gaussian elimination) [34] ผลการคำนวณด้วยวิธีดังกล่าวทำให้ได้ค่าการกระจายของสถานะอยู่ตัว (steady state distribution) สำหรับจำนวนการเชื่อมต่อของทราฟฟิกชนิดที่ i ($P(N_i = n_i)$) และค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดนั้น ๆ สามารถคำนวณได้จากค่าการกระจายของสถานะอยู่ตัวของทราฟฟิกแต่ละชนิด โดยที่ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ i มีค่าเท่ากับค่าอัตราส่วนแบนด์วิดท์ที่ได้ครอบครองโดยเฉลี่ยของทราฟฟิกชนิดที่ i ($E[G_i(N_i)]$) ต่อค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง (C)

เนื่องจากค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ของทราฟฟิกแต่ละชนิดมีผลต่อสมรรถนะของระบบ ดังนั้นการกำหนดค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ให้กับทราฟฟิกจึงเป็นสิ่งสำคัญ งานวิจัย [8] ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกตามนโยบายการจองทรังค์คงที่เพื่อความน่าจะเป็นของการบล็อกเท่ากัน (Fixed Trunk Reservation for Blocking Equalization: FXD-TR-BE) โดยมีเป้าหมายคือ ต้องการควบคุมให้ทราฟฟิกแต่ละชนิดมีความน่าจะเป็นของการบล็อกเท่ากัน ซึ่งวิธีนี้ได้กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ของทราฟฟิกทุกชนิดมีค่าเท่ากันดังนี้

$$TR_i = \max_{\forall i=1,\ldots,k} G_i(1) \tag{4.2}$$

ผลที่ได้จากวิธี FXD-TR-BE ทำให้ทราฟฟิกทุกชนิดได้รับความยุติธรรมจากค่าความน่าจะเป็นการของบล็อกเท่ากัน แต่อาจส่งผลให้ทราฟฟิกที่มีความต้องการแบนด์วิดท์ที่แตกต่างกันมากไม่ได้รับความยุติธรรมในการได้ใช้ประโยชน์จากข่ายเชื่อมโยง ในขณะที่ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกเป็นค่าที่บ่งบอกถึงผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นกับทราฟฟิกชนิดนั้น ๆ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้พิจารณาความยุติธรรมในการควบคุมการเข้ามาของทราฟฟิกจากค่าการใช้ประโยชน์ โดยในสถานการณ์การควบคุมการเข้าใช้แบนด์วิดท์ของระบบสามารถเชื่อมโยงให้อยู่ในรูปแบบของเกม โดยมีหน่วยควบคุมการตอบรับการเรียกเป็นศูนย์กลางในการตัดสินใจเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสมของทราฟฟิกแต่ละชนิด ซึ่งใช้เป็นเครื่องมือในการจัดสรรผลประโยชน์ให้กับทราฟฟิกทุกชนิดอย่างเท่าเทียมกัน ด้วยเหตุนี้ผลลัพธ์ของเกมที่มีความร่วมมือนี้จึงถูกกำหนดให้แทนด้วยค่าการใช้ประโยชน์ (utilization) ของทราฟฟิกแต่ละชนิด ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาณแบนด์วิดท์ที่ทราฟฟิกแต่ละชนิดได้ครอบครองโดยเฉลี่ยต่อค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และกำหนดให้ค่าความพึงพอใจที่ผู้ใช้ทราฟฟิกแต่ละชนิดมีต่อผลลัพธ์ หรือค่าอรรถประโยชน์ (u_i) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าการได้ใช้ประโยชน์ นั่นคือ

$$u_i = \frac{E[G_i(N_i)]}{C} \tag{4.3}$$

ในส่วนถัดไปได้กล่าวถึงขั้นตอนการค้นหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่ทำให้แบนด์วิดท์ได้รับการจัดสรรอย่างยุติธรรม ซึ่งในที่นี้ใช้วิธีค้นหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์แบบค้นหาทุกกรณี (exhaustive search) โดยมีหลักการคือ ค้นหาคำตอบทุกกรณีที่เป็นไปได้แล้วจึงเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุด และในที่นี้ค่าที่เหมาะสมต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขวิธีการตัดสินใจของแนช เงื่อนไขวิธีการตัดสินใจของไรฟ์ฟา และเงื่อนไขการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน

4.3 ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์

กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ของทราฟฟิกแต่ละชนิดเป็นค่าที่อยู่ในปริภูมิควบคุม $\Im$ โดยที่ $\Im = \{(TR_1, \ldots, TR_k) \in \mathbb{R}_+^k | G_i(1) \leq TR_i \leq C \text{ สำหรับ } i = 1, \ldots, k\}$ กระบวนการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสมตามเงื่อนไขที่ได้จากทฤษฎีเกมความร่วมมือมีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณหาค่าการใช้ประโยชน์ $(u_i, \ldots, u_k)$ ที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ $(TR_1, \ldots, TR_k)$ ให้สอดคล้องกับค่าในปริภูมิ $\Im$ โดยค่าการใช้ประโยชน์ที่คำนวณได้ทั้งหมดจะอยู่ในปริภูมิอรรถประโยชน์ $\mathbb{S}$

2. ค้นหาจุด $(u_i, \ldots, u_k)$ ทุกจุดบนขอบของพาเรโตในปริภูมิ $\mathbb{S}$

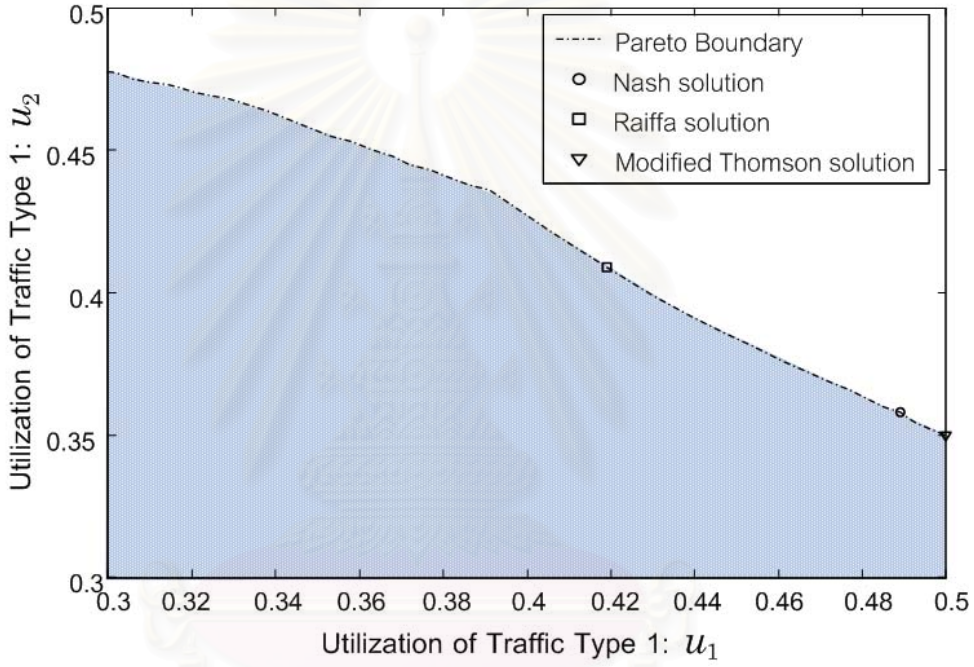
3. หาค่าผลลัพธ์ที่เหมาะสม $(u_i{}^*, \ldots, u_k^*)$ ซึ่งอยู่บนขอบของพาเรโต และเป็นผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขวิธีการตัดสินใจของแนช วิธีการตัดสินใจของไรฟ์ฟา และการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน ดังสมการ (3.10) และ สมการ (3.11) โดยกำหนดให้ค่าเริ่มต้นการต่อรอง $(u_{i,0}, \ldots, u_{k,0}) = \mathbf{0}^k$

4. ย้อนกลับไปหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ $(TR_1^*, \ldots, TR_k^*) \triangleq (TR_1, \ldots, TR_k)$ ที่ทำให้ผลลัพธ์มีค่าเท่ากับ $(u_i{}^*, \ldots, u_k^*)$ และค่า $(TR_1^*, \ldots, TR_k^*)$ ที่ได้เป็นค่าที่เหมาะสมนำมาใช้ควบคุมความคับคั่งในระบบ

เพื่อเพิ่มความเข้าใจในกระบวนการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสมตามขั้นตอนข้างต้น ดังนั้นจึงได้แสดงตัวอย่างการหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

สมมติให้ทราฟฟิกที่เข้ามาในระบบมี 2 ชนิด ซึ่งมีความต้องการแบนด์วิดท์เป็นไปตามฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล $(G_i(n_i) = \alpha_i n_i + \beta_i \sqrt{n_i})$ กำหนดให้ทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีพารามิเตอร์ $(\alpha_1, \beta_1) = (0.64, 0)$ Mbps และ ทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีพารามิเตอร์ $(\alpha_2, \beta_2) = (6, 10)$ Mbps ข่ายเชื่อมโยงที่พิจารณามีค่าความจุ 150 Mbps ในสภาวะที่ใช้ทดสอบระบบ โหลดของทราฟฟิกชนิด 1 และ 2 มีปริมาณเท่ากัน โดยทราฟฟิกแต่ละชนิดต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยคิดเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าความจุของ

ข่ายเชื่อมโยง เมื่อทำตามขั้นตอนที่ 1 และ 2 ในหัวข้อที่ 4.3 แล้วผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 4.2 ภายใต้เส้นประประกอบไปด้วยจุดของค่าการใช้ประโยชน์ (u_1, u_2) ที่ได้จากการกำหนดค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด (TR_1, TR_2) ซึ่งจุดทุกจุดบนเส้นประเป็นขอบของพาเรโต หลังจากทำตามขั้นตอนที่ 3 แล้วจะได้จุดที่ต้องการ 3 จุด ดังรูปที่ 4.2 โดยจุดวงกลมใช้แทนผลเฉลยของวิธีการตัดสินใจของแนช จุดสี่เหลี่ยมใช้แทนผลเฉลยของวิธีการตัดสินใจของไรฟ์ฟา และจุดสามเหลี่ยมใช้แทนผลเฉลยของการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน จากผลเฉลยทั้ง 3 จุด สามารถย้อนกลับไปหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์คงที่ที่ต้องการได้



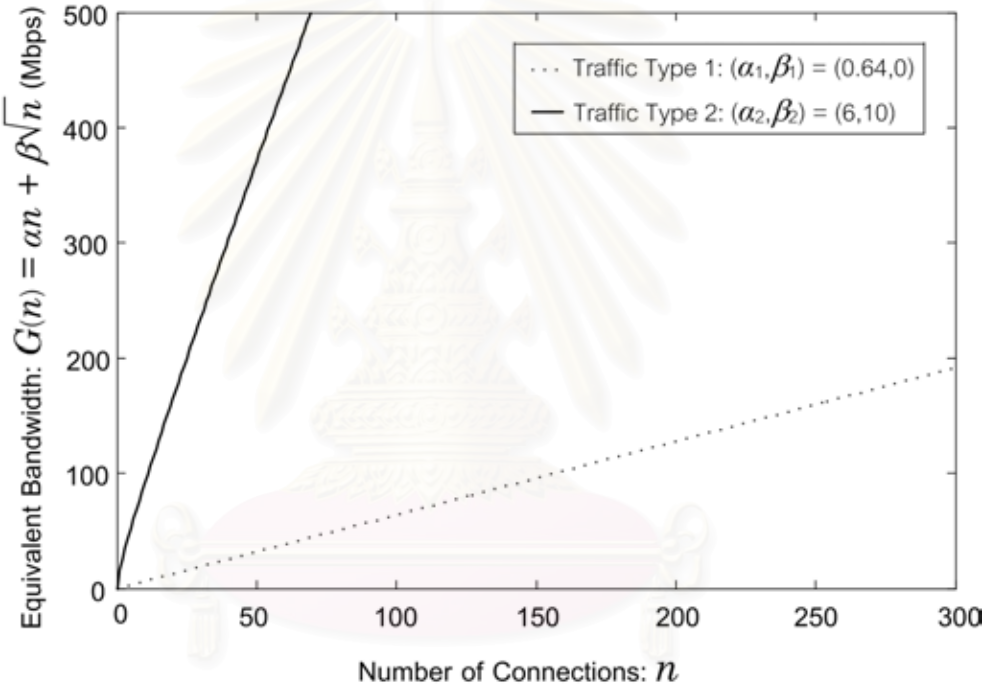
รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการหาผลเฉลยที่เหมาะสม

4.4 ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบที่มีทราฟฟิก 2 ชนิด

ในส่วนนี้ได้แสดงผลการทดสอบระบบข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่ใช้วิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกตามนโยบายการจองทรังค์คงที่ ซึ่งใช้พารามิเตอร์ควบคุมที่ได้จากขั้นตอนการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ในหัวข้อที่ 4.3 ที่สอดคล้องตามเงื่อนไขของวิธีการตัดสินใจของแนช (Fixed Trunk Reservation by Nash arbitration solution: FXD-TR-N) ตามเงื่อนไขของวิธีการตัดสินใจของไรฟ์ฟา (Fixed Trunk Reservation by Raiffa arbitration solution: FXD-TR-R) และตามเงื่อนไขของวิธีการตัดสินใจของการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน (Fixed Trunk Reservation by Modified

Thomson arbitration solution: FXD-TR-MT) โดยได้แสดงผลสมรรถนะเปรียบเทียบกับระบบที่ใช้วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกตามนโยบายการจองทรังค์คงที่เพื่อความน่าจะเป็นของการบล็อกเท่ากัน (Fixed Trunk Reservation for Blocking Equalization: FXD-TR-BE) ซึ่งเสนอไว้ใน [8]

ระบบข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่พิจารณาเป็นดังรูปที่ 4.1 กำหนดให้มีทราฟฟิกเข้ามาในระบบ 2 ชนิด $(k = 2)$ ค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงมีค่าคงที่เท่ากับ 150 Mbps การทดสอบสมรรถนะเริ่มต้นทดสอบจากกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบ หลังจากนั้นได้ทดสอบในกรณีที่มีการเปลี่ยนปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของทราฟฟิกในหน่วยย่อย (α_i, β_i) เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ทั้งสอง



รูปที่ 4.3 แบนด์วิดท์สมมูลของทราฟฟิกชนิดที่ 1 และ 2 ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ (α_i, β_i) เมื่อ $i = 1, 2$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.1 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบ

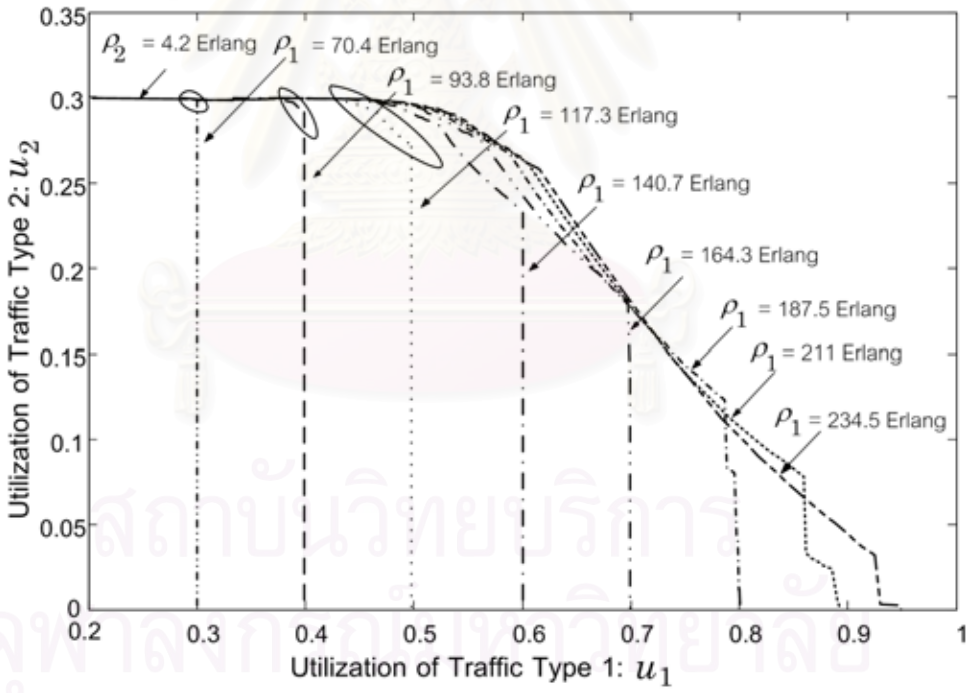
ในการทดสอบสมรรถนะของระบบทราฟฟิก 2 ชนิดที่ใช้ทดสอบได้ถูกจำลองให้มีสภาพการเข้าใช้แบนด์วิดท์แตกต่างกัน โดยมีลักษณะของความต้องการแบนด์วิดท์ของทราฟฟิกกำหนดด้วยฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล $(G_i(n_i))$ ซึ่งพารามิเตอร์ $(\alpha_1, \beta_1) = (0.64, 0)$ Mbps ใช้แทนทราฟฟิกชนิดแบนด์แคบ (narrow-band traffic) สำหรับทราฟฟิกชนิดที่ 1 และ $(\alpha_1, \beta_1) = (6, 10)$ Mbps ใช้แทน

ทราฟฟิกชนิดแบนด์กว้าง (wide-band traffic) สำหรับทราฟฟิกชนิดที่ 2 ดังรูปที่ 4.3

4.4.1.1 ผลกระทบอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1

ในการทดสอบสมรรถนะของระบบ กำหนดให้ปริมาณโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (ρ_1) ที่เข้ามาในระบบมีค่าเปลี่ยนแปลงโดยต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 30% ถึง 100% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และกำหนดให้โหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีค่าคงที่เท่ากับ 30% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง

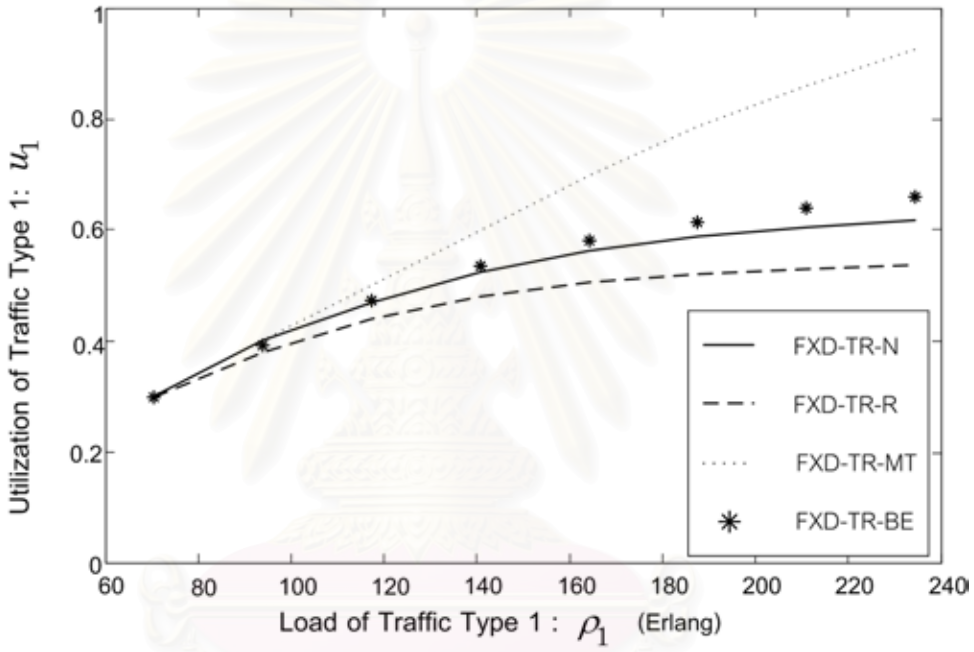
ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) ทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) และผลรวมของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด $(u_{\text{overall}} = u_1 + u_2)$ ที่แสดงในรูปที่ 4.5 ถึง 4.7 เป็นผลมาจากการกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์เป็นไปตามค่าที่ได้จากการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสมตามขั้นตอนที่เสนอในหัวข้อที่ 4.3 ผลของการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดซึ่งสอดคล้องกับค่าในปริภูมิ $\Im$ ทำให้ได้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดเป็นดังรูปที่ 4.4 โดยวงกลมในรูปที่ 4.4 ล้อมรอบจุดที่อยู่บนขอบของพาเรโต



รูปที่ 4.4 ขอบของพาเรโตของทราฟฟิก 2 ชนิด กรณีโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลง

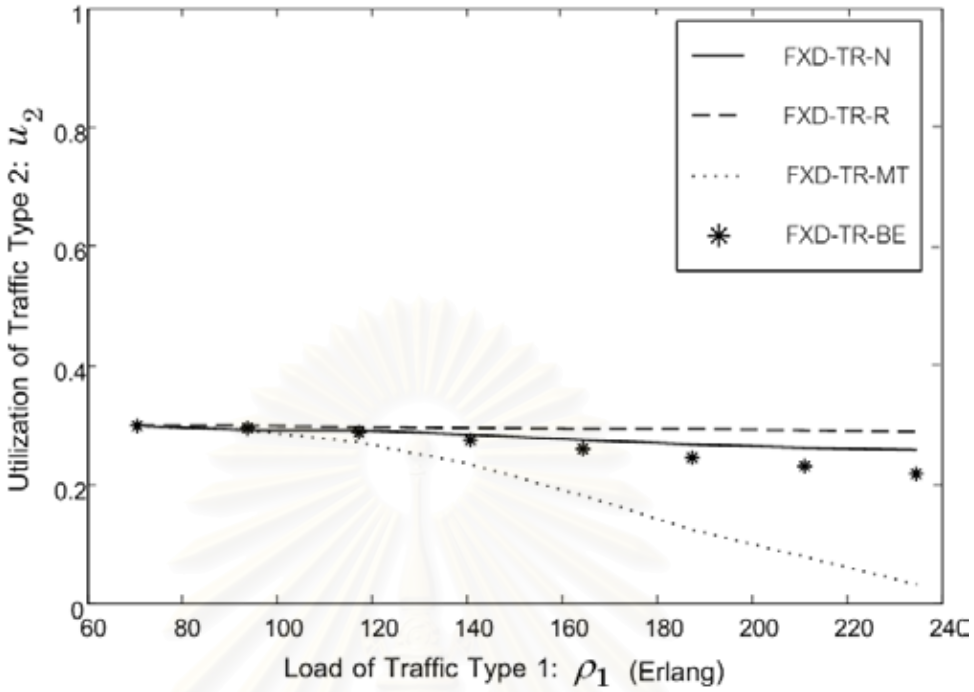
สังเกตว่าในช่วงที่ปริมาณโหลดของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดมีค่าต่ำ ($\rho_1 = 70.4$ Erlang และ $\rho_2 = 4.2$ Erlang) ค่าการใช้ประโยชน์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของวิธีการตัดสินใจทั้ง 3 วิธีมีเพียงจุดเดียว และจุดดังกล่าวเป็นจุดที่ทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดมีค่าแตกต่างกันน้อยที่สุด และให้ค่า

ผลคูณมากที่สุด ในขณะเดียวกันก็ให้ผลรวมสูงสุด ดังนั้นในช่วงแรกผลเฉลยที่ได้จากวิธีการตัดสินใจของทั้ง 3 จึงไม่ต่างกัน เมื่อเพิ่มโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ผลที่ได้คือ ขอบบนของพาเรโตมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงทำให้จุดที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของวิธีการตัดสินใจทั้ง 3 วิธีมีค่าแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามเซตผลของค่าการใช้ประโยชน์ที่เป็นไปได้ในการทดสอบนี้มีบางกรณีที่ไม่เป็นเซตคอนเวกซ์ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์คงที่แบบไม่ต่อเนื่อง แต่ในของส่วนของผลที่ทำให้ไม่เป็นเซตคอนเวกซ์ในที่นี้ไม่ส่งผลกระทบกับการเลือกค่าผลเฉลยของการตัดสินใจทั้ง 3 วิธี เพราะค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ไม่อยู่ในช่วงที่มีผลต่อการตัดสินใจของทั้ง 3 วิธี

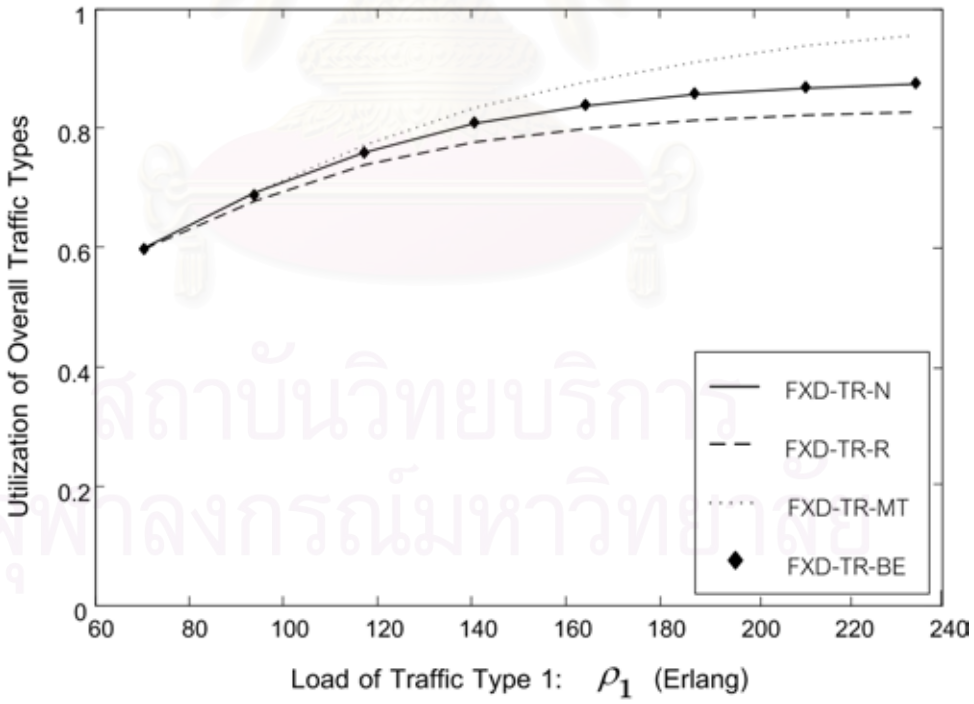


รูปที่ 4.5 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2)



รูปที่ 4.7 ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด (u_{overall})

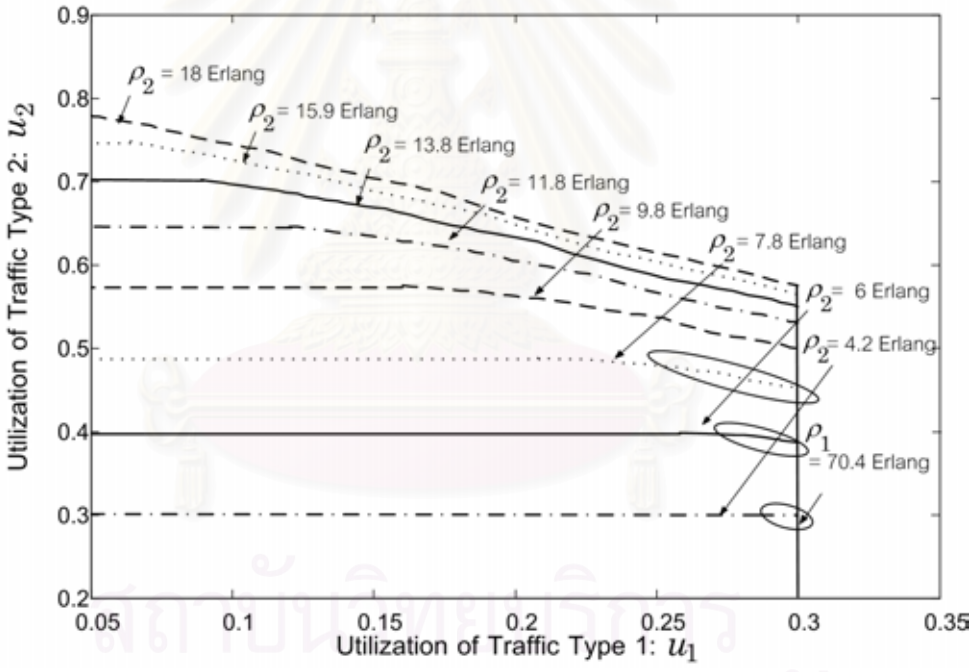
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 4.5 ถึง 4.7 พบว่าค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1, 2 และค่าการใช้ประโยชน์รวมที่ได้จากทุกวิธีมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อ $\rho_1 \leq 80$ Erlang (กรณีที่ปริมาณโหลดรวมที่เข้ามาในระบบมีความต้องการแบนด์วิดท์ไม่เกิน 70% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง) แต่เมื่อโหลดในระบบสูงขึ้นผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1, 2 และผลรวมที่ได้มีค่าแตกต่างกันเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสมการของเงื่อนไขวิธีการตัดสินใจที่แตกต่างกัน โดยวิธี FXD-TR-R เป็นวิธีที่พยายามเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่ทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกันน้อยที่สุด ดังที่เห็นได้จากผลการตัดสินใจเลือกผลเฉลยตามสมการ (3.10) และ (3.11) โดยแทนค่า $\gamma = 1$ ลงในสมการ (3.10) แล้วผลจากการแทนค่า v_i จากสมการ (3.10) ลงในสมการ (3.11) คือ $(u_1^*, u_2^*) = \arg \min_{(u_1,u_2)\in\mathbb{S}}(|u_1 - u_2|)$ จึงทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง2 ชนิด ที่ได้ไม่แตกต่างกันมาก และผลจากการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ดังกล่าวส่งผลให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 และผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดมีค่าน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ แต่ในขณะที่ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีค่ามากที่สุดเมื่อโหลดของระบบสูงขึ้น แต่วิธี FXD-TR-MT เป็นวิธีที่เลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่ทำให้ค่าการใช้ประโยชน์รวมมีค่ามากที่สุด ตามสมการ (3.10) และ (3.11) เมื่อแทนค่า $\gamma = -1$ ลงในสมการ (3.10) แล้วผลจากการแทนค่า v_i จากสมการ (3.10) ลงในสมการ (3.11) คือ $(u_1^*, u_2^*) = \arg \max_{(u_1,u_2)\in\mathbb{S}}(u_1 + u_2)$ ซึ่งจะทำให้ค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิก 2 ชนิดสูงสุด และผลจากการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ดังกล่าว ส่งผลให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีค่าสูงกว่าวิธีอื่น ๆ แต่ในขณะที่ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีค่าน้อยที่สุด ส่วนวิธี FXD-TR-N เป็นวิธีที่เลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่ทำให้ค่าผลคูณของการใช้ประโยชน์มีค่ามากที่สุด เมื่อแทนค่า $\gamma = 0$ แล้วผลจากการแทนค่า v_i จากสมการ (3.10) ลงในสมการ (3.11) คือ $(u_1^*, u_2^*) = \arg \max_{(u_1,u_2)\in\mathbb{S}}(u_1 u_2)$ ซึ่งจะทำให้ต้องเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่ทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีค่าสูงขึ้น แต่จะต้องไม่ทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 ลดลงมาก จึงทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 และ 2 เป็นค่าที่อยู่ระหว่างผลที่ได้จากวิธี FXD-TR-R และ FXD-MT แต่ทั้งนี้ผลที่ได้จะใกล้เคียงกับวิธี FXD-TR-BE [8] และจากเหตุผลดังกล่าวประกอบกับเนื่องจากผลต่างของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงกับปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์รวมลดลงตามการเพิ่มขึ้นของโหลด ดังนั้นค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 และค่าผลรวมในทุกวิธีมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ลดลง และนอกจากนี้ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 จากวิธี FXD-TR-N, FXD-TR-R และ FXD-TR-BE มีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ใกล้เคียงกัน และน้อยกว่าผลที่ได้จากวิธี FXD-TR-MT

4.4.1.2 ผลกระทบอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2

ในการทดสอบสมรรถนะของระบบ กำหนดให้ปริมาณโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (ρ_2) ที่เข้ามาในระบบมีค่าเปลี่ยนแปลงโดยต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 30% ถึง 100% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และให้โหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีค่าคงที่เท่ากับ 30% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง

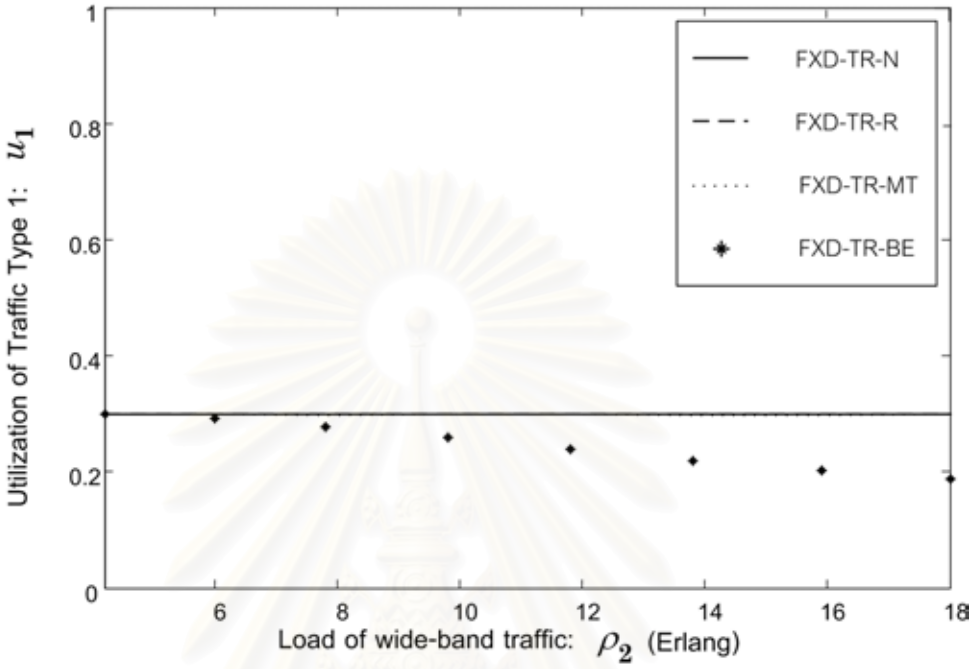
ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) ทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) และผลรวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด ($u_{\text{overall}} = u_1 + u_2$) ในรูปที่ 4.9 ถึง 4.11 เป็นผลมาจากการกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์เป็นไปตามค่าที่ได้จากการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสมตามขั้นตอนที่เสนอในหัวข้อที่ 4.3 ผลของการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดซึ่งสอดคล้องกับค่าในปริภูมิ $\Im$ ทำให้ได้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดเป็นดังรูปที่ 4.8 โดยวงกลมในรูปที่ 4.8 ล้อมรอบจุดที่อยู่บนขอบของพาเรโต



รูปที่ 4.8 ขอบของพาเรโตของทราฟฟิก 2 ชนิด กรณีโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลง

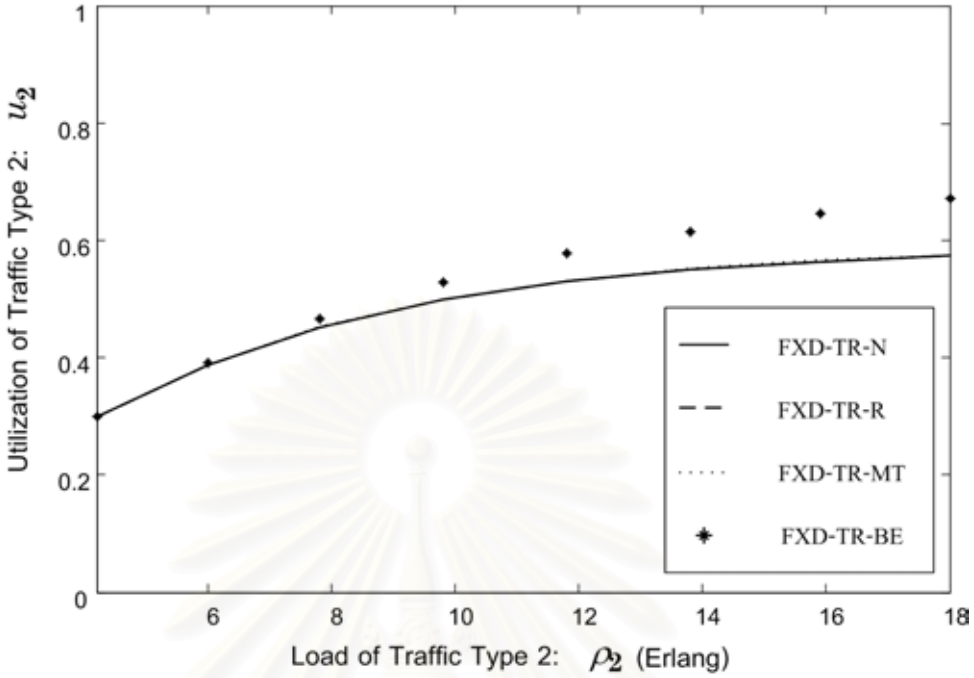
จากรูปที่ 4.8 สังเกตว่าในช่วงที่ปริมาณโหลดของทราฟฟิกทั้ง 2 มีค่าต่ำ ($\rho_1 = 70.4$ Erlang และ $\rho_2 = 4.2$ Erlang) ค่าการใช้ประโยชน์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของวิธีการตัดสินใจทั้ง 3 วิธีมีเพียงจุดเดียว และจุดดังกล่าวเป็นจุดที่ทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดมีค่าแตกต่างกันน้อยที่สุดและให้ค่าผลคูณมากที่สุด ในขณะเดียวกันก็ให้ผลรวมสูงสุด ดังนั้นในช่วงแรกผลเฉลยที่ได้จากวิธีการตัดสินใจของทั้ง 3 จึงมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 เพิ่มสูงขึ้นวงกลมล้อมรอบ

บริเวณขอบบนของพาเรโตมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้จุดที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของวิธีการตัดสินใจทั้ง 3 วิธีมีค่าแตกต่างกัน

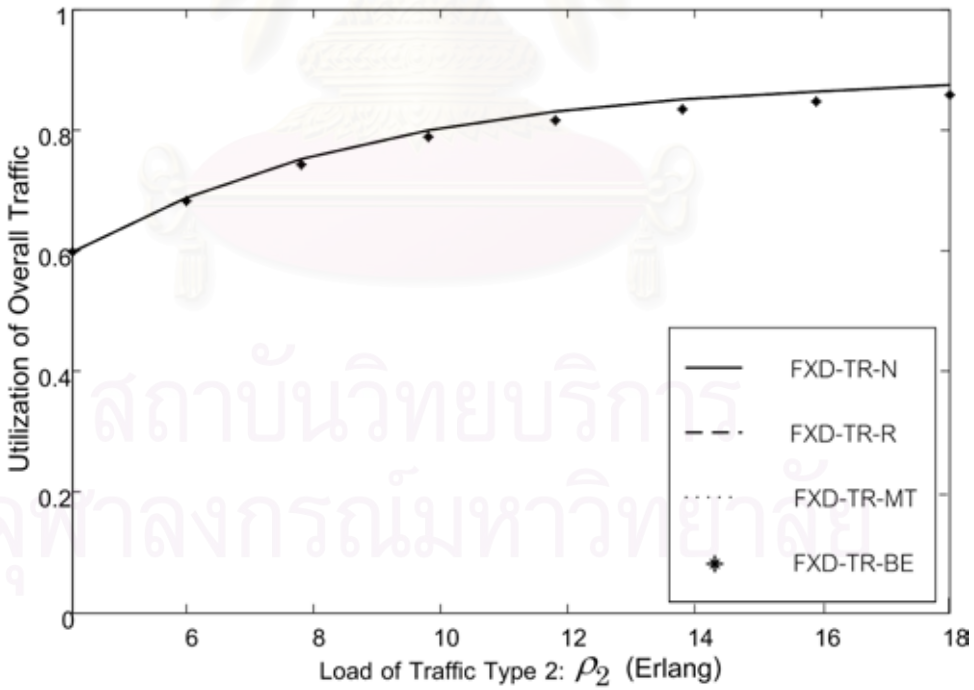


รูปที่ 4.9 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2)



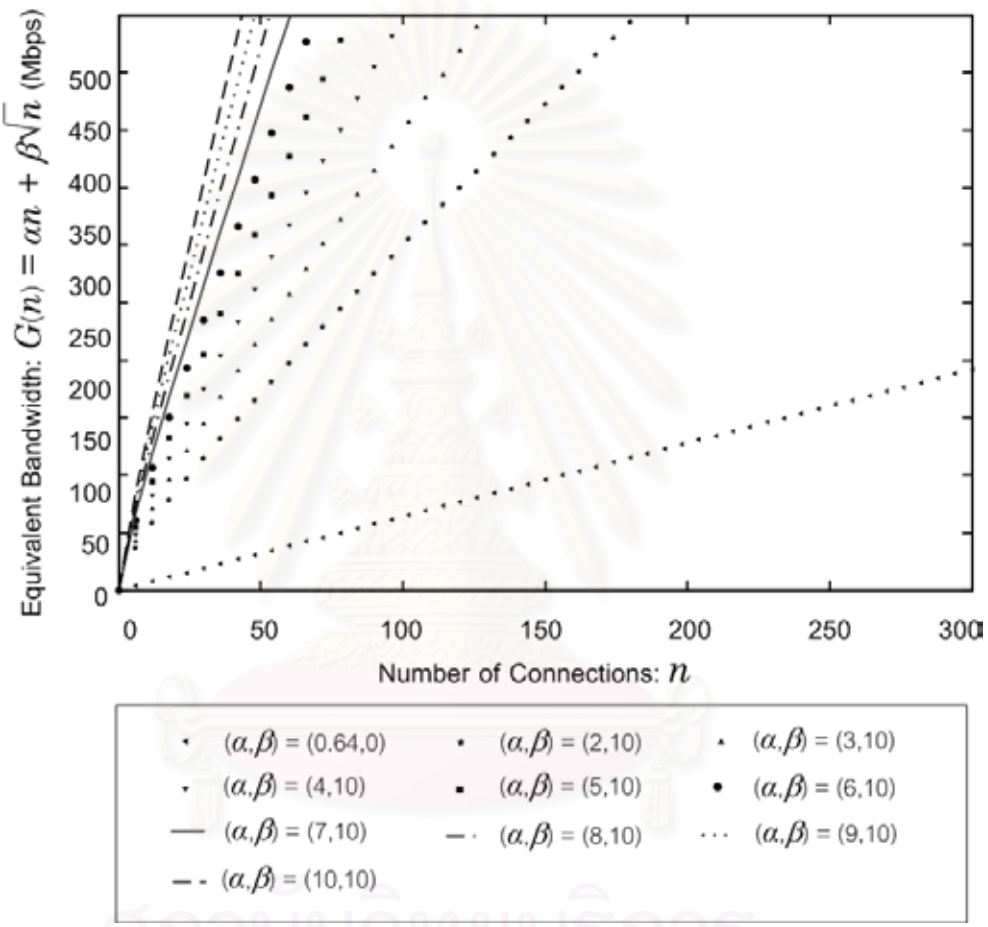
รูปที่ 4.11 ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด (u_{overall})

รูปที่ 4.9 ถึง 4.11 แสดงให้เห็นว่าผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกแต่ชนิดที่ 1 และ 2 รวมไปถึงผลรวมของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟิกทั้ง 2 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกันในทุกวิธี (FXD-TR-N, FXD-TR-R และ FXD-TR-MT) ไม่ว่าโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นมากน้อยเพียงใด ในขณะที่ FXD-TR-BE ให้ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีค่าน้อยกว่าวิธีอื่น และค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีค่าสูงกว่าวิธีอื่นเมื่อโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่าการใช้ประโยชน์รวมมีค่าน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ดังเช่นเดียวกันกับในกรณีที่ 4.4.1.1 แต่สาเหตุที่ทำให้ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดที่ได้จากวิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจทั้ง 3 แบบมีค่าใกล้เคียงกัน เป็นผลมาจากยังมีค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์บางค่าที่ทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้น โดยไม่ส่งผลกระทบกับค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 และในทำนองเดียวกันก็เป็นผลให้ค่าการใช้ประโยชน์รวมของระบบสูงสุดด้วยเช่นกัน

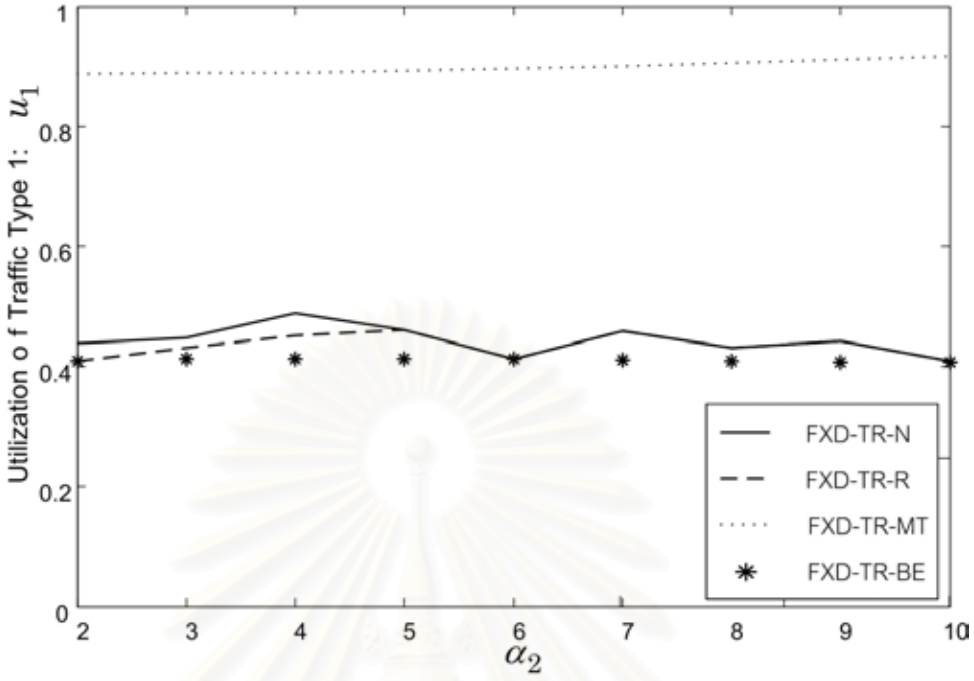
4.4.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของทราฟฟิกในหน่วยย่อย

ในการทดสอบสมรรถนะของระบบกำหนดให้มีทราฟฟิกเข้ามาในระบบ 2 ชนิด ซึ่งมีลักษณะของความต้องการแบนด์วิดท์มีค่าเป็นไปตามฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูลดังสมการ (2.5) โดย $(\alpha_1, \beta_1) = (0.64, 0)$ Mbps แทนทราฟฟิกชนิดที่ 1 และ $(\alpha_2, \beta_2) = (2, 10)$ Mbps แทนทราฟฟิกชนิดที่ 2 และเพื่อต้องการศึกษาผลกระทบจากกรณีที่มีการเปลี่ยนปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ของทราฟฟิกในหน่วยย่อย จึงปรับเปลี่ยนให้ทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีความต้องการแบนด์วิดท์เปลี่ยนจาก $\alpha_2 = 2$ Mbps ไปเป็น $\alpha_2 = 3, 4, \ldots, 10$ Mbps โดยที่คงค่า $\beta_2 = 10$ Mbps ดังรูปที่ 4.12 และจำลองให้โหลดของทราฟฟิกของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดเข้ามาในระบบ คิดเป็นปริมาณแบนด์วิดท์ที่ต้องการของทราฟฟิกแต่ละชนิดมีค่าเท่ากับ 150 Mbps ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) ทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) และผลรวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ($u_{\text{overall}} = u_1 + u_2$) เป็นดังรูป 4.13 ถึง 4.15

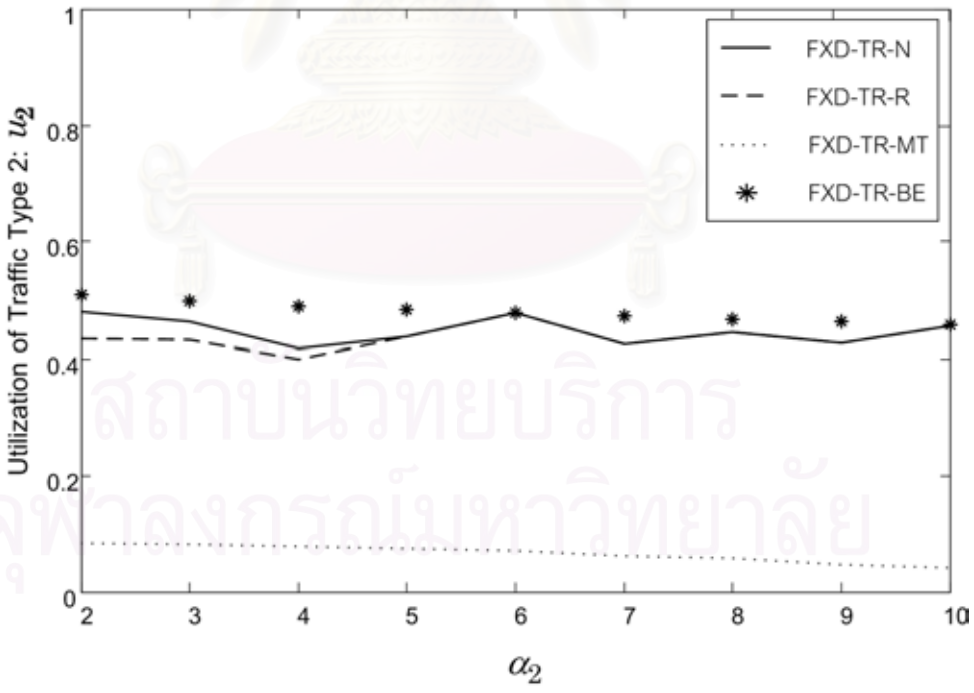
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



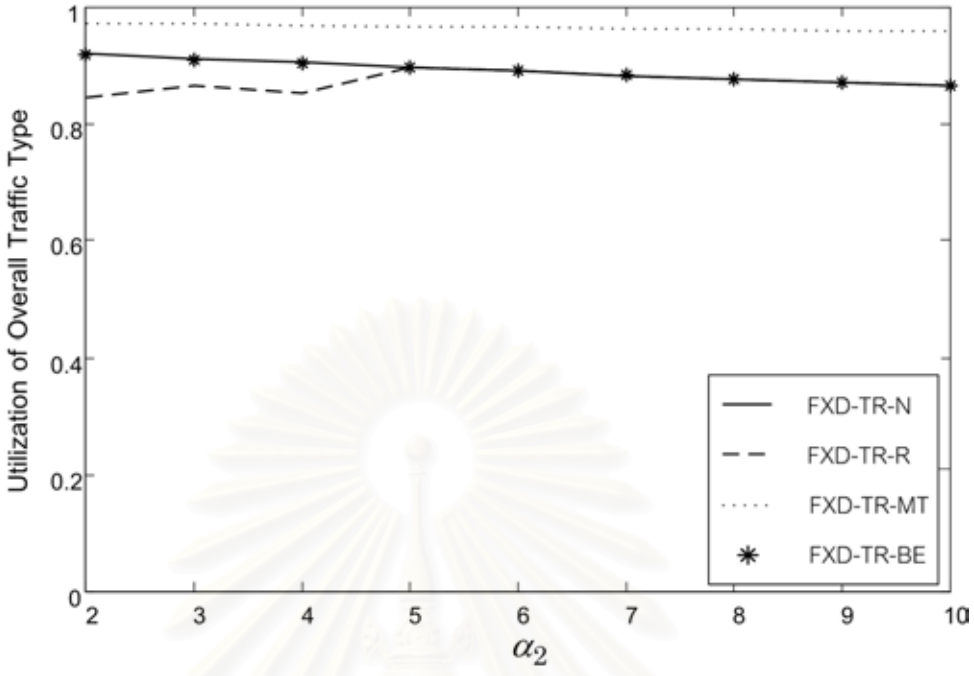
รูปที่ 4.12 แบนด์วิดท์สมมูลของทราฟฟิกแต่ละประเภทตามสมการ (2.5) ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ (α, β)



รูปที่ 4.13 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1)



รูปที่ 4.14 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2)



รูปที่ 4.15 ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด u_{overall}

ผลการทดสอบในรูปที่ 4.8 ถึง 4.13 แสดงให้เห็นว่าค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1, 2 และ ผลรวม ที่ได้จากวิธี FXD-TR-N, FXD-TR-R และ FXD-TR-BE มีค่าใกล้เคียงกันในทุกค่าการเปลี่ยนแปลงค่า α_2 แต่ในขณะที่ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 และผลรวมจากวิธี FXD-TR-MT มีค่าสูงกว่าวิธีอื่น แต่ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีค่าน้อยที่สุด แต่ทั้งนี้ผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของค่า α_2 น้อยมาก เพราะขนาดความต้องการแบนด์วิดท์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 และ 2 มีความแตกต่างกันมาก และการเปลี่ยนขนาดของค่า α_2 ไปเป็นค่าต่าง ๆ ที่ใช้ทดสอบก็ยังทำให้ทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดมีความต้องการแบนด์วิดท์แตกต่างกันอยู่ในระดับเทียบเท่าเดิม ดังนั้นถ้าค่า α_2 ที่ใช้ทดสอบในหัวข้อที่ 4.4.1 เปลี่ยนไปเป็นค่าอื่น ๆ เช่น $\alpha_2 \in \{2, 3, \ldots, 10\}$ ผลที่ได้จะยังคงเป็นไปในทำนองเดียวกันกับผลที่ได้จากการทดสอบในหัวข้อที่ 4.4.1.1 และ 4.4.1.2

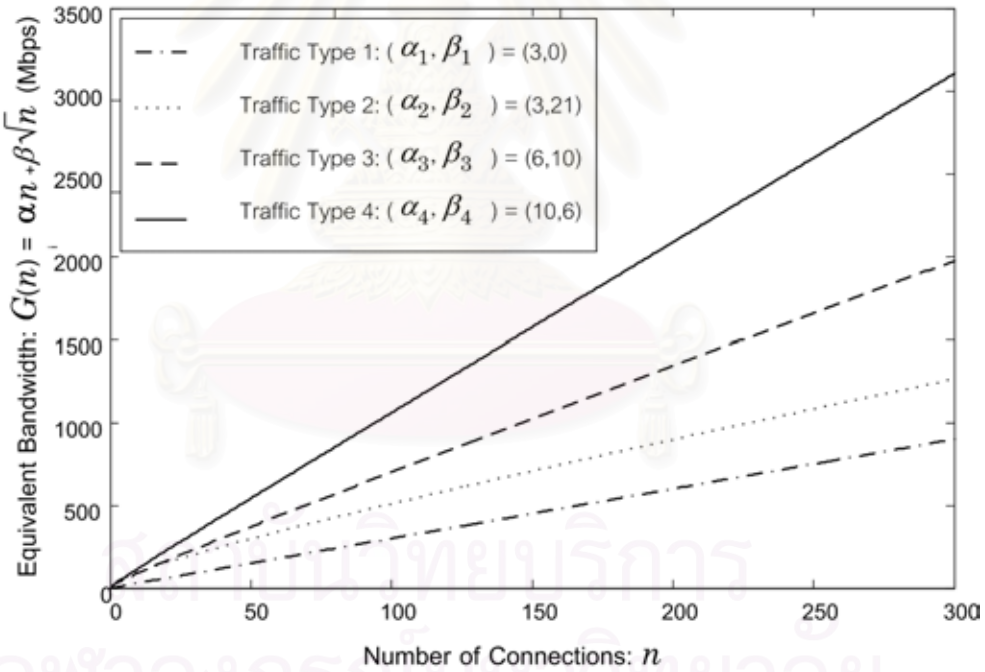
4.5 ผลการทดสอบแบบจำลองระบบที่มีทราฟฟิกมากกว่า 2 ชนิด

ในส่วนนี้ได้แสดงผลการทดสอบระบบข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่มีทราฟฟิกเข้ามาในระบบมากกว่า 2 ชนิด เพื่อแสดงให้เห็นว่าวิธีและแบบจำลองที่เสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบที่ให้บริการทราฟฟิกหลายชนิดได้ ซึ่งวิธีการควบคุมความคับคั่งของทราฟฟิกที่ใช้เปรียบเทียบ ตลอดจนขั้นตอนการดำเนินงานยังคง

เป็นวิธีเดียวกันกับวิธีในหัวข้อ 4.4.1 โดยศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดของทราฟฟิกที่เข้ามาในระบบ และวิเคราะห์ผลที่ได้จากการจำลองระบบ

4.5.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบที่มีทราฟฟิก 4 ชนิด

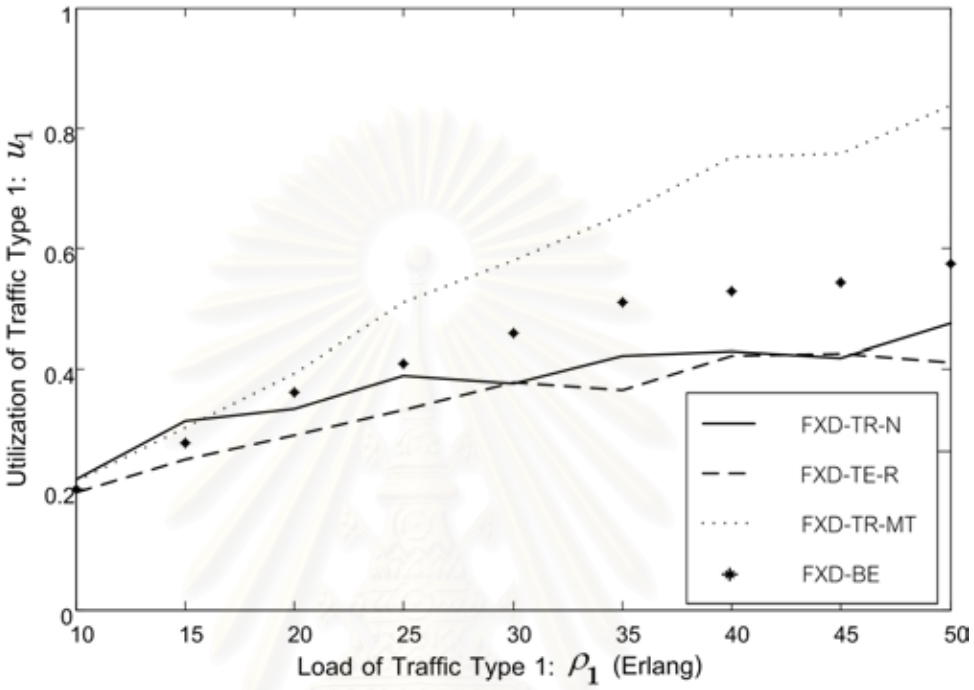
ระบบที่ใช้ทดสอบเป็นดังรูปที่ 4.1 โดยกำหนดให้มีทราฟฟิกที่เข้ามาสู่ระบบมี 4 ชนิด $(k = 4)$ และค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงมีค่าคงที่เท่ากับ 150 Mbps สมรรถนะของระบบที่ได้จากวิธี FXD-TR-N วิธี FXD-TR-R และวิธี FXD-TR-Mเปรียบเทียบกับสมรรถนะของระบบที่ใช้วิธี FXD-TR-BE [8] ในที่นี้ได้จำลองสภาพความต้องการแบนด์วิดท์ของทราฟฟิกซึ่งเปลี่ยนแปลงตามจำนวนการเชื่อมต่อให้แตกต่างกัน 4 ชนิดให้เป็นไปตามฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล และกำหนดให้ $(\alpha_1, \beta_1) = (3, 0)$, $(\alpha_2, \beta_2) = (3, 21)$, $(\alpha_3, \beta_3) = (6, 10)$ และ $(\alpha_4, \beta_4) = (10, 6)$ ใช้แทนทราฟฟิกชนิดที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ เป็นดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แบนด์วิดท์สมมูลของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ถึง 4 ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ (α_i, β_i) เมื่อ $i = 1, \ldots, 4$

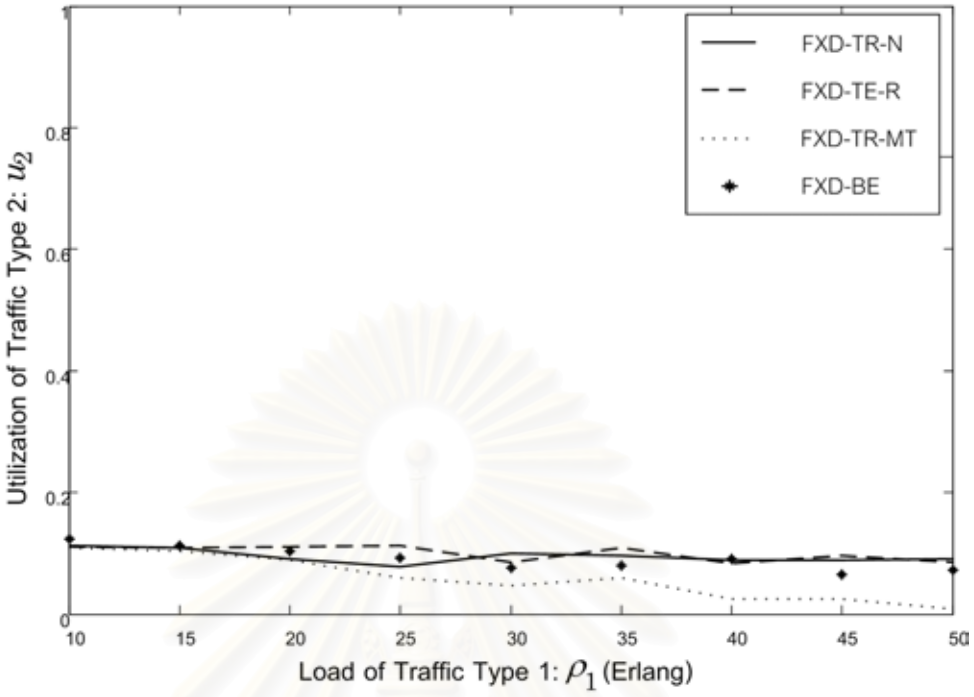
การทดสอบในส่วนนี้ได้ศึกษาในกรณีโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้โหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (ρ_1) มีค่าเปลี่ยนแปลง โดยต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ย 20% ถึง 100% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และให้โหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2, 3 และ 4 มีค่าคงที่ เท่ากับ 15% ของค่า

ความจุของข่ายเชื่อมโยง ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) ทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) ทราฟฟิกชนิดที่ 3 (u_3) ทราฟฟิกชนิดที่ 4 (u_4) และผลรวมของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง 4 ชนิด ($u_{\text{overall}} = u_1 + u_2 + u_3 + u_4$) เป็นดังรูปที่ 4.17 ถึง 4.21

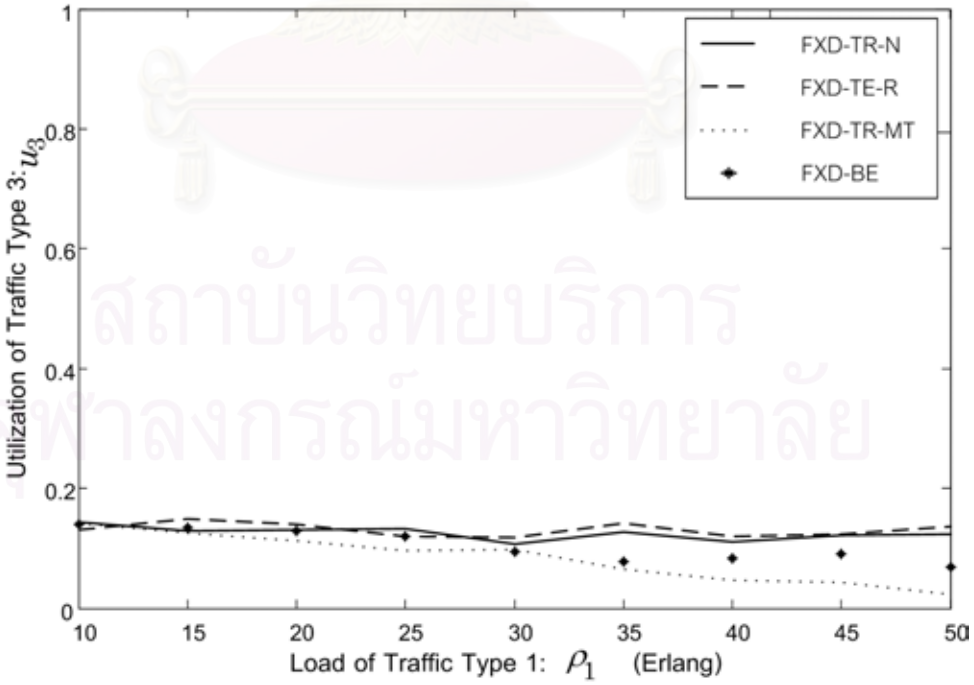


รูปที่ 4.17 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1)

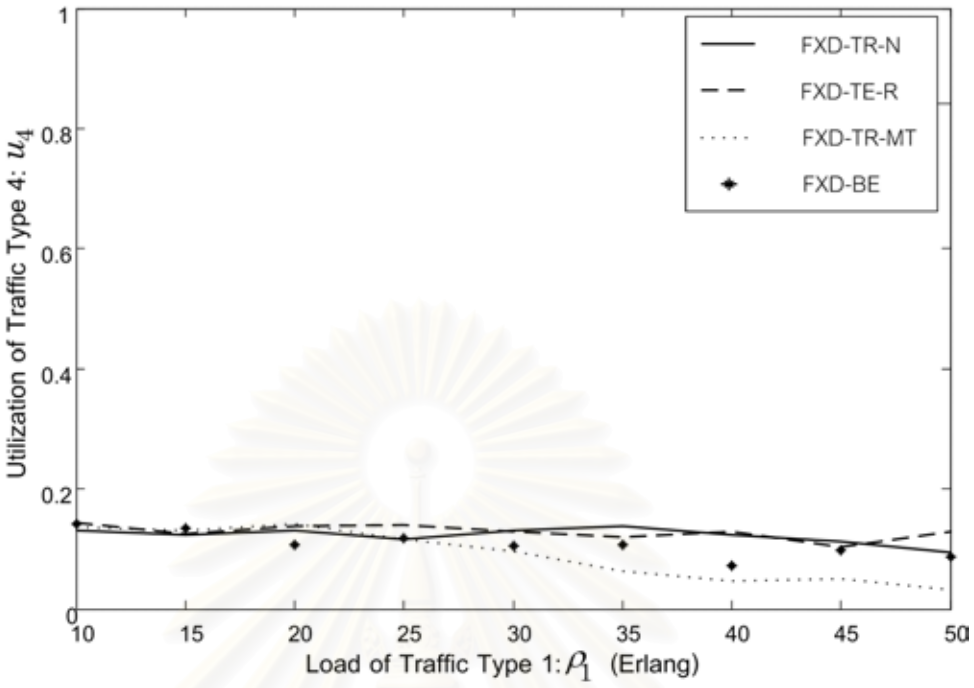
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



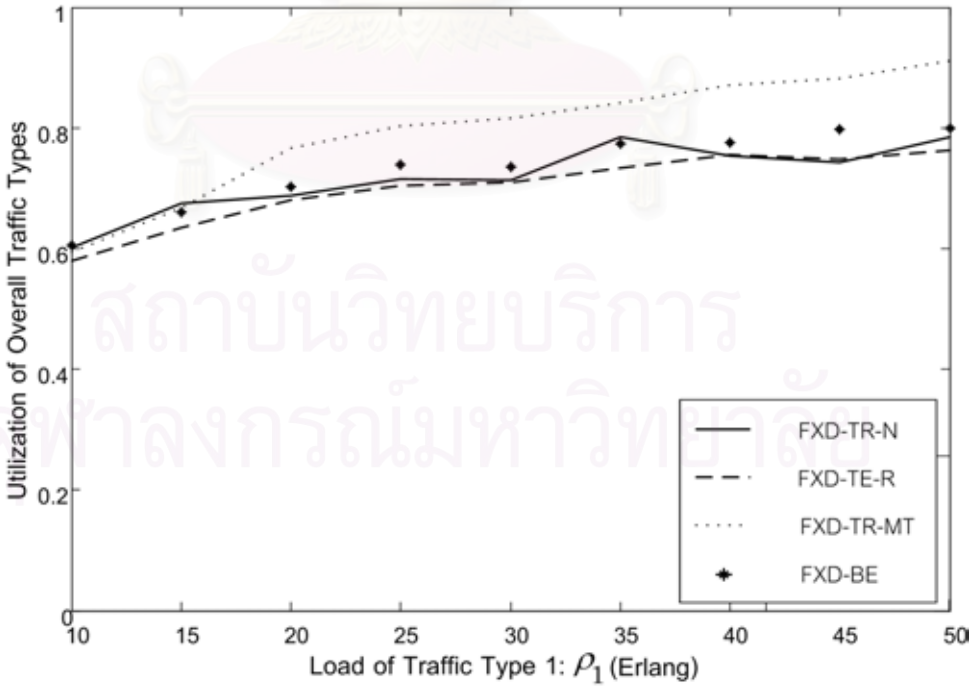
รูปที่ 4.18 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2)



รูปที่ 4.19 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 3 (u_3)



รูปที่ 4.20 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 4 (u_4)



รูปที่ 4.21 ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 4 ชนิด u_{overall}

จากรูปที่ 4.17 ถึง 4.21 แสดงให้เห็นว่าค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ถึง 4 และผลรวมที่ได้จากทุกวิธีมีค่าใกล้เคียงกันในกรณีที่โหลดรวมของระบบมีค่าไม่เกิน 65% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และมีค่าแตกต่างกันเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดในระบบสูงขึ้น โดยที่วิธี FXD-TR-MT ยังคงเป็นวิธีที่ให้ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 และผลรวมของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกมีค่าสูงสุด ในขณะที่วิธี FXD-TR-R ยังคงเป็นวิธีที่ให้ค่าการใช้ประโยชน์รวมโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด ในขณะที่ผลที่ได้มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับวิธี FXD-TR-N และ FXD-TR-BE แต่มีค่าน้อยกว่าวิธี FXD-TR-BE ซึ่งผลที่ได้ดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากเงื่อนไขวิธีการตัดสินใจของทั้ง 3 วิธี และสังเกตได้ว่าผลของวิธี FXD-TR-N และ FXD-TR-R มีแนวโน้วที่ให้ผลใกล้เคียงกันมากขึ้นเมื่อมีปริมาณทราฟฟิกในระบบเพิ่มขึ้น โดยที่ความชันของกราฟแสดงความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 เทียบกับการเปลี่ยนแปลงของโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีค่าน้อยลงเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าเมื่อถึงจุด ๆ หนึ่งแล้วค่าการใช้ประโยชน์ที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลง และไม่ทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดใดชนิดหนึ่งลดลงไปกว่าช่วงกรณีโหลดต่ำ แต่ทั้งนี้ได้พิจารณาเฉพาะกรณีที่มีโหลดของทราฟฟิกเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นวิธี FXD-TR-N และ FXD-TR-R เป็นวิธีที่สามารถปกป้องทราฟฟิกชนิดอื่นจากการโอเวอร์โหลดของทราฟฟิกบางชนิดได้ แต่ในทางกลับกันผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมมีค่าน้อยกว่าวิธีอื่น

จากผลการทดสอบสมรรถนะของระบบข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่ผ่านมาพบว่า ในกรณีศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดในระบบอันเนื่องมาจากปริมาณโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ทราฟฟิกชนิดที่ 1 ใช้แทนทราฟฟิกชนิดแบนด์แคบ (narrow-band traffic) ทั้งในกรณีทราฟฟิกในระบบมี 2 ชนิด และมากกว่า 2 ชนิด พบว่าการควบคุมความคับคั่งในระบบด้วยวิธี FXD-TR-N และ FXD-TR-R สามารถควบคุมให้ทราฟฟิกในระบบทุกชนิดมีค่าการใช้ประโยชน์ใกล้เคียงกันแม้ว่าจะมีการโอเวอร์โหลดจากทราฟฟิกชนิดอื่นอย่างมาก ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ดังกล่าวสอดคล้องกับแนวความคิดของแต่ละวิธี ในขณะที่ผลการทดสอบดังกล่าวก็มีค่าใกล้เคียงกับวิธี FXD-TR-BE ที่นำมาเปรียบเทียบ แต่วิธี FXD-TR-MT จะมุ่งเน้นผลประโยชน์สูงสุดของระบบเป็นหลัก ดังนั้นผลการทดสอบที่ได้จึงทำให้ทราฟฟิกที่มีโหลดเข้ามาในระบบมาก (ในที่นี้คือทราฟฟิกชนิดที่ 1) มีค่าการใช้ประโยชน์มากกว่าทราฟฟิกชนิดอื่น ดังนั้นผลของการโอเวอร์โหลดระบบโดยทราฟฟิกชนิดที่ 1 จึงเป็นผลให้ทราฟฟิกชนิดอื่นมีค่าการใช้ประโยชน์น้อยลง ดังนั้นจึงไม่น่าแปลกใจที่การควบคุมความคับคั่งในระบบด้วยวิธี FXD-TR-MT จะทำให้ค่าการใช้ประโยชน์โดยรวมสูงสุด เมื่อพิจารณาผลการทดสอบในกรณีโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 ซึ่งใช้แทนทราฟฟิกชนิดแบนด์กว้าง (wide-band traffic) ผลปรากฏว่าการควบคุมความคับคั่งในระบบทุกวิธีให้ผลการทดสอบที่ได้ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการโอเวอร์โหลดระบบจากทราฟฟิกชนิดแบนด์กว้างส่งผลกระทบกับสมรรถนะของระบบน้อยกว่าการโอเวอร์โหลดจากทราฟฟิกชนิดแบนด์แคบ ดังนั้นในบท

ถัดไปจึงได้เสนอวิธีควบคุมความคับคั่งของทราฟฟิกในระบบ เพื่อลดผลกระทบจากการโอเวอร์โหลดของทราฟฟิกบางชนิด โดยจะเน้นไปที่การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากทราฟฟิกแบนด์แคบเป็นหลัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ความยุติธรรมกับการให้บริการแบบจัดระดับความสำคัญของทราฟฟิก

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีของอุปกรณ์โครงข่ายไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์สวิตช์ หรือข่ายเชื่อมโยง รวมไปถึงมาตรการควบคุมความคับคั่งที่มีประสิทธิภาพ ล้วนเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ใช้ในการจัดสรรทรัพยากรของระบบโครงข่ายโทรคมมนาคม สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้มีไว้เพียงเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการเชื่อมต่อข้อมูลในโครงข่ายให้มากที่สุด ในขณะที่การใช้งานจริงระบบต้องเผชิญกับปัญหาที่มีทราฟฟิกบางชนิดโอเวอร์โหลดระบบจนส่งผลกระทบกับทราฟฟิกชนิดอื่น นอกจากนี้ระบบยังต้องรองรับทราฟฟิกที่มีระดับความสำคัญแตกต่างกัน ดังนั้นวิธีการควบคุมความคับคั่งในระบบจึงต้องสามารถจัดการกับทราฟฟิกที่โอเวอร์โหลด อีกทั้งต้องคำนึงถึงระดับความสำคัญของทราฟฟิกด้วย

อย่างไรก็ตามวิธีการควบคุมความคับคั่งในโครงข่ายที่เสนอในบทที่ผ่านมา ไม่ได้พิจารณาการจัดการกับทราฟฟิกที่โอเวอร์โหลด ในขณะที่กรอบของความยุติธรรมในการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่อ้างอิงตามวิธีตัดสินใจของแนช ไรฟ์ฟา และการปรับปรุงวิธีตัดสินใจของทอมสัน ทำให้ระบบสามารถเลือกจุดทำงานที่ให้ประสิทธิภาพสูง และยังสามารถลดผลกระทบจากการโอเวอร์โหลดของทราฟฟิกชนิดอื่นได้ในระดับหนึ่ง แต่ขั้นตอนดังกล่าวยังไม่ได้พิจารณาการรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ขั้นต่ำที่ทราฟฟิกแต่ละชนิดได้รับ ดังนั้นในบทนี้จึงได้พิจารณาให้หน่วยให้บริการเชื่อมต่อข้อมูลได้ตกลงทำเงื่อนไขรับประกันการให้บริการทราฟฟิกแต่ละชนิดไว้ล่วงหน้า โดยมุ่งเน้นไปที่การรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกแต่ละชนิดในปริมาณที่แน่นอน หลังจากนั้นหน่วยให้บริการจึงดำเนินการออกแบบระบบ หรือจัดสรรแบนด์วิดท์ไว้รองรับอย่างเพียงพอ เมื่อพิจารณาปัญหาในกรณีที่มีทราฟฟิกบางชนิดละเมิดสัญญา โดยส่งข้อมูลเข้ามาเกินกว่าปริมาณที่ตกลงกันไว้ ถึงแม้ว่าในขณะนั้นระบบจะยังมีแบนด์วิดท์เหลือเพียงพอไว้ให้บริการ แต่มิได้มีไว้เพียงพอสำหรับการละเมิดสัญญาของทราฟฟิกทุกชนิด ดังนั้นผู้ควบคุมระบบจะมีวิธีจัดการกับปัญหานี้อย่างไร หากยังคงต้องการให้ระดับคุณภาพการให้บริการไม่ลดน้อยลงไปกว่าเดิมมากนัก ในขณะที่ยังคงไว้ซึ่งประโยชน์ที่ระบบพึงได้จากปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามาในระดับที่เหมาะสม

นอกจากการพิจารณาปัญหาที่มีทราฟฟิกโอเวอร์โหลดระบบแล้ว วิธีการควบคุมความคับคั่งในโครงข่ายที่เสนอในบทที่ผ่านมาไม่ได้พิจารณาระดับความสำคัญของทราฟฟิกที่แตกต่างกัน นั่นหมายถึง การที่ระบบได้ประโยชน์จากการเข้ามาใช้แบนด์วิดท์ของระบบโดยทราฟฟิกชนิดใด ๆ ก็ก่อให้เกิดประโยชน์กับระบบเท่ากัน (โดยอาจพิจารณาประโยชน์ที่มีต่อระบบในรูปของค่าบริการต่อหนึ่งหน่วยแบนด์วิดท์ (reward)) ซึ่งการพิจารณาแบบนั้นทำให้ระบบคำนึงถึงแต่ประสิทธิภาพสูงสุดที่ระบบจะได้รับ ซึ่งในการใช้งานจริง ระบบต้องรองรับทราฟฟิกที่มีระดับความสำคัญแตกต่างกันหลายระดับ อีกทั้งยังมีปริมาณโหลดที่เข้ามาแตกต่างกัน ดังนั้นจะมีวิธีการควบคุมความคับคั่งของระบบวิธีใด ที่สามารถจัดการกับทราฟฟิกที่มีระดับความสำคัญ

แตกต่างกันได้ ในขณะเดียวกันก็ต้องยังคงรักษาความยุติธรรม และความเสมอภาคในการให้บริการกับทราฟฟิกทุกชนิดด้วย

ดังนั้นในบทนี้จึงได้แบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีแรกได้ศึกษาถึงวิธีการเลือกพารามิเตอร์การจองทรังค์ในการควบคุมความคับคั่งของข่ายเชื่อมโยงตามนโยบายการจองทรังค์คงที่ เพื่อลดผลกระทบจากการละเมิดสัญญาดังกล่าว และให้ความยุติธรรมในการจัดสรรแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยง ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบตามวิธีการที่เสนอได้แสดงเปรียบเทียบกับวิธีเดิมที่ได้เสนอไว้ในบทที่ 4 และกรณีสุดท้ายได้ศึกษาถึงการจัดแบ่งระดับความสำคัญของชนิดของทราฟฟิกที่ให้บริการ และเสนอวิธีการเลือกพารามิเตอร์การจองทรังค์ในการควบคุมความคับคั่งของข่ายเชื่อมโยงตามนโยบายการจองทรังค์คงที่ เพื่อสามารถให้บริการได้อย่างยุติธรรมในขณะที่ยังคงระดับความสำคัญของการให้บริการไว้ได้

5.1 กรณีศึกษาวิธีการจัดการกับทราฟฟิกในสภาวะโอเวอร์โหลด

ในสภาพการใช้งานจริง ระบบให้บริการเชื่อมต่อข้อมูลผ่านข่ายเชื่อมโยงหนึ่ง ๆ ต้องรองรับโหลดทั้งในระดับปกติ และในระดับที่มากกว่าปกติ หรือเรียกอีกอย่างว่า *สภาวะโอเวอร์โหลด* ซึ่งในสภาวะเช่นนี้ก่อให้เกิดปัญหาความคับคั่งขึ้นในระบบ อย่างไรก็ตามวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกโดยทั่วไปอาจจะสามารถรับมือกับปัญหานี้ได้ แต่วิธีทั่วไปเหล่านั้นมิได้จัดการกับตัวก่อปัญหาโดยตรง ซึ่งอาจทำให้ทราฟฟิกบางชนิดที่ไม่ใช่ทราฟฟิกต้นตอของปัญหาอาจได้รับผลกระทบไปด้วย และการจัดการดังกล่าวอาจไม่ยุติธรรมกับทราฟฟิกชนิดนั้นอีกด้วย

ดังนั้นในส่วนนี้จึงได้เสนอให้มีการจำแนกทราฟฟิกแต่ละชนิดออกเป็น 3 แบบ ได้แก่

1. ทราฟฟิกชนิดที่มีโหลดน้อยกว่าโหลดปกติ (under nominal load traffic: $\rho_{i,\mathrm{u}}$)
2. ทราฟฟิกชนิดที่มีโหลดเท่ากับโหลดปกติ (nominal load traffic: $\rho_{i,\mathrm{n}}$)
3. ทราฟฟิกชนิดที่มีโหลดมากกว่าโหลดปกติ หรือทราฟฟิกที่โอเวอร์โหลดระบบ (overload traffic: $\rho_{i,\mathrm{o}}$)

โดยนิยามให้ตัวชี้วัดการโอเวอร์โหลดของทราฟฟิกแต่ละชนิดอยู่ภายใต้เงื่อนไขสภาวะโหลดปกติ (nominal load: $\rho_{i,\mathrm{n}}$) ดังนั้นจะได้ว่า

$$\rho_{i,\mathrm{u}} \triangleq \rho_i < \rho_{i,\mathrm{n}} \tag{5.1}$$

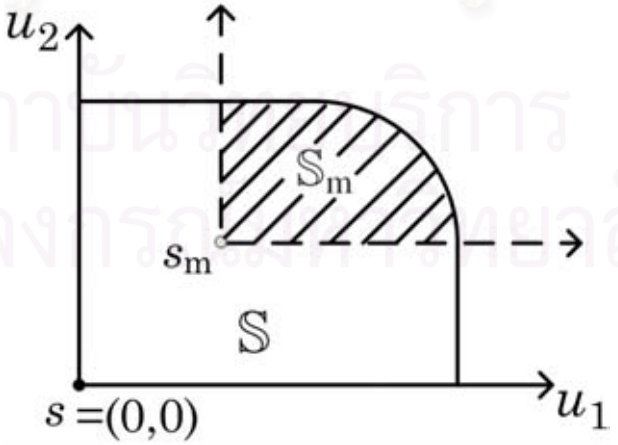
และ

$$\rho_{i,\mathrm{o}} \triangleq \rho_i > \rho_{i,\mathrm{n}} \tag{5.2}$$

เพื่อรับประกันว่าวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ใช้จะไม่ทำให้ทราฟฟิกชนิดที่ไม่โอเวอร์โหลดระบบได้รับผลกระทบจากการแย่งเข้าใช้แบนด์วิดท์ของทราฟฟิกชนิดอื่นที่โอเวอร์โหลดระบบ แต่ยังคงไว้ซึ่งการใช้ประโยชน์โดยรวมสูง ในส่วนนี้จึงได้เสนอให้ใช้วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกตามนโยบายการจองทรังค์คงที่ ซึ่งค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ได้มาจากวิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่สอดคล้องตามเงื่อนไขของวิธีการตัดสินใจของแนช ไรฟ์ฟา และการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน โดยมีการพิจารณาการรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ขั้นต่ำ

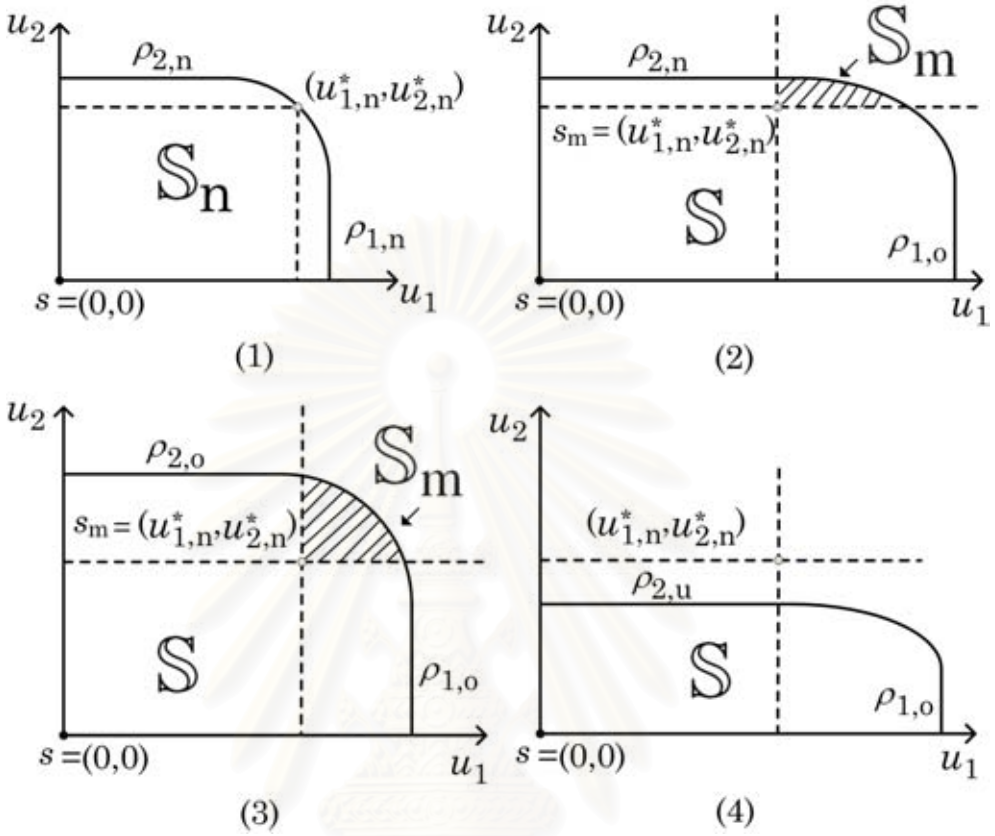
จากความหมายและความสำคัญของจุดเริ่มต้นการต่อรองที่อธิบายไว้ในบทที่ 3 ซึ่งแสดงถึงค่าอรรถประโยชน์ต่ำที่สุดที่ผู้เล่นในเกมแต่ละคนยอมรับได้ (ในที่นี้คือค่าการใช้ประโยชน์) และถ้าผู้เล่นทั้งหมดในเกมไม่สามารถตกลงกันได้แล้วสุดท้ายผลเฉลยของเกมจะมีค่าเป็นจุดนี้ ดังนั้นจุดเริ่มต้นการต่อรองจึงสามารถใช้เป็นตัวกำหนดค่าการใช้ประโยชน์ที่ระบบรับประกันให้กับทราฟฟิกแต่ละชนิดได้ จากแนวความคิดดังกล่าวจึงได้เสนอให้มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นของการต่อรองจากเดิมในเบื้องต้น (ดังที่ได้เสนอไว้ในบทที่ 4) ได้เสนอให้จุดเริ่มต้นของการต่อรอง (s) มีค่าเป็นจุดศูนย์ นั่นคือ ไม่มีค่าการต่อรองเริ่มต้น หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่มีการรับประกันปริมาณแบนด์วิดท์ที่ได้ใช้ล่วงหน้าไปเป็นจุด s_{m}

รูปที่ 5.1 แสดงขอบเขตของปริภูมิของการใช้ประโยชน์ $\mathbb{S}$ เมื่อจุดเริ่มต้นการต่อรองมีค่า $s = (0, 0)$ และปริภูมิของการใช้ประโยชน์ $\mathbb{S}_{\mathrm{m}}$ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนจุดเริ่มต้นการต่อรองใหม่ให้มีค่า s_{m} จากรูปที่ 5.1 พบว่าผลเฉลยที่ได้ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าจุด s_{m} ดังนั้นการกำหนดจุดเริ่มต้นการต่อรองใหม่ (s_{m}) ให้สอดคล้องกับผลเฉลยของการต่อรองในสภาวะโหลดปกติ จึงสามารถรับประกันว่าทราฟฟิกชนิดที่ไม่โอเวอร์โหลดระบบจะมีค่าการใช้ประโยชน์ไม่ต่ำกว่าค่าที่รับประกันไว้ ซึ่งสามารถช่วยลดผลกระทบจากทราฟฟิกชนิดที่โอเวอร์โหลดได้



รูปที่ 5.1 ปริภูมิของการใช้ประโยชน์ 2 มิติ $\mathbb{S}$ และ $\mathbb{S}_{\mathrm{m}}$

5.1.1 การปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง



รูปที่ 5.2 ปริภูมิของการใช้ประโยชน์ 2 มิติ ในสภาวะโหลดของระบบที่แตกต่างกัน

รูปที่ 5.2 แสดงโหลดของระบบในสภาวะต่าง ๆ เมื่อมีทราฟฟิกเข้ามาในระบบ k ชนิด ($k = 2$) กำหนดให้ $\mathbb{S}_n$ แทนเซตของค่าการใช้ประโยชน์ที่มีจุดเริ่มต้นการต่อรอง $s = (0, \ldots, 0)$ และทราฟฟิกทุกชนิดในระบบมีโหลดเฉลี่ยอยู่ในระดับปกติซึ่งมีค่าเท่ากับ $\rho_{i,n}$ เมื่อ $i = 1, \ldots, k$ ผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง $(\mathbb{S}_n, s)$ มีค่าเท่ากับ $(u^*_{1,n}, \ldots, u^*_{k,n})$ และกำหนดให้ $\mathbb{S}_m$ แทนเซตของค่าการใช้ประโยชน์ที่มีจุดเริ่มต้นการต่อรอง $s_m = (u^*_{1,n}, \ldots, u^*_{k,n})$ จากวิธีการจำแนกทราฟฟิกแต่ละชนิดออกเป็น 3 ประเภท ทำให้สามารถแบ่งการพิจารณาสภาวะโหลดของระบบได้เป็น 4 กรณี ดังนี้

1. กรณีที่มีทราฟฟิกทุกชนิดเป็นทราฟฟิกชนิดที่ไม่โอเวอร์โหลดระบบ ($\rho_{i,u} \leq \rho_{i,n}; \forall i \in \{1, \ldots, k\}$)
2. กรณีที่มีทราฟฟิกบางชนิด (ในที่นี้คือทราฟฟิกชนิดที่ 1) เป็นทราฟฟิกชนิดที่โอเวอร์โหลด ($\rho_{i,o}; \exists i \in \{1, \ldots, k\}$) และมีทราฟฟิกบางชนิด (ในที่นี้คือทราฟฟิกชนิดที่ 2) เป็นทราฟฟิกชนิดที่มีโหลดเท่ากับโหลดปกติ ($\rho_{j,o}; \exists j \in \{1, \ldots, k\}$) เมื่อ $i \neq j$

3. กรณีที่มีทราฟฟิกทุกชนิดเป็นทราฟฟิกชนิดที่โอเวอร์โหลด ($\rho_{i,o}; \forall i \in \{1, \ldots, k\}$)

4. กรณีที่มีทราฟฟิกบางชนิด (ในที่นี้คือทราฟฟิกชนิดที่ 1) เป็นทราฟฟิกชนิดที่โอเวอร์โหลด ($\rho_{i,o}; \exists i \in \{1, \ldots, k\}$) และมีทราฟฟิกบางชนิด (ในที่นี้คือทราฟฟิกชนิดที่ 2) เป็นทราฟฟิกชนิดที่ไม่โอเวอร์โหลดระบบ และมีโหลดต่ำกว่าปกติ ($\rho_{i,u} < \rho_{i,n}; \exists i \in \{1, \ldots, k\}$)

การปรับปรุงให้จุดเริ่มต้นการต่อรองมีค่าสอดคล้องกับค่าการใช้ประโยชน์ที่ต้องการรับประกันถูกนำมาพิจารณาโดยงานวิจัย [15] ซึ่งได้เสนอให้กำหนดจุดเริ่มต้นการต่อรองเป็นไปตามค่าการใช้ประโยชน์ที่ได้จากผลเฉลยของวิธีการตัดสินใจของแนช ไรฟ์ฟา และการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสันในสภาวะที่ทราฟฟิกทุกชนิดในระบบมีโหลดอยู่ในระดับปกติ ($s_{\mathrm{m}} = (u^*_{1,n}, \ldots, u^*_{k,n})$) การปรับปรุงให้จุดเริ่มต้นการต่อรองมีค่าดังกล่าว เป็นผลให้เซต $\mathbb{S}_{\mathrm{m}}$ ประกอบไปด้วยค่าการใช้ประโยชน์ที่มีค่าไม่ต่ำกว่าค่าการใช้ประโยชน์ที่ได้จากกรณีที่ทราฟฟิกทุกชนิดอยู่ในสภาวะโหลดปกติ ดังนั้นจึงสามารถรับประกันได้ว่าค่าการใช้ประโยชน์ที่เป็นผลเฉลยจะมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าผลเฉลยที่สภาวะโหลดปกติ แต่จากการพิจารณาสภาวะต่าง ๆ ของระบบ พบว่าในกรณีที่ 4 วิธีการปรับปรุงให้จุดเริ่มต้นการต่อรองมีค่า $s_{\mathrm{m}} = (u^*_{1,n}, \ldots, u^*_{2,n})$ ทำให้ระบบไม่สามารถเลือกผลเฉลยที่เป็นไปได้ เพราะไม่มีค่าการใช้ประโยชน์ที่เป็นไปได้อยู่ในเซตที่พิจารณา ดังนั้นเพื่อปรับปรุงให้วิธีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรองนี้สามารถใช้ได้ในทุกกรณี วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเสนอให้ปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรองใหม่ดังนี้

กำหนดให้จุดเริ่มต้นการต่อรองใหม่มีค่า

$$s_{\mathrm{m}} = \begin{cases} \tau \mathbf{u}^{*\top}_{\mathrm{n}} & \exists i, \rho_i > \rho_{i,\mathrm{n}} \\ \mathbf{0}^{\top} & \text{otherwise} \end{cases} \tag{5.3}$$

โดยที่

$$\tau = \min_{\forall i} \left(\frac{\max_{\mathbf{u} \in \mathbb{S}}(u_i)}{u^*_{i,\mathrm{n}}}, 1 \right) \tag{5.4}$$

เมื่อ

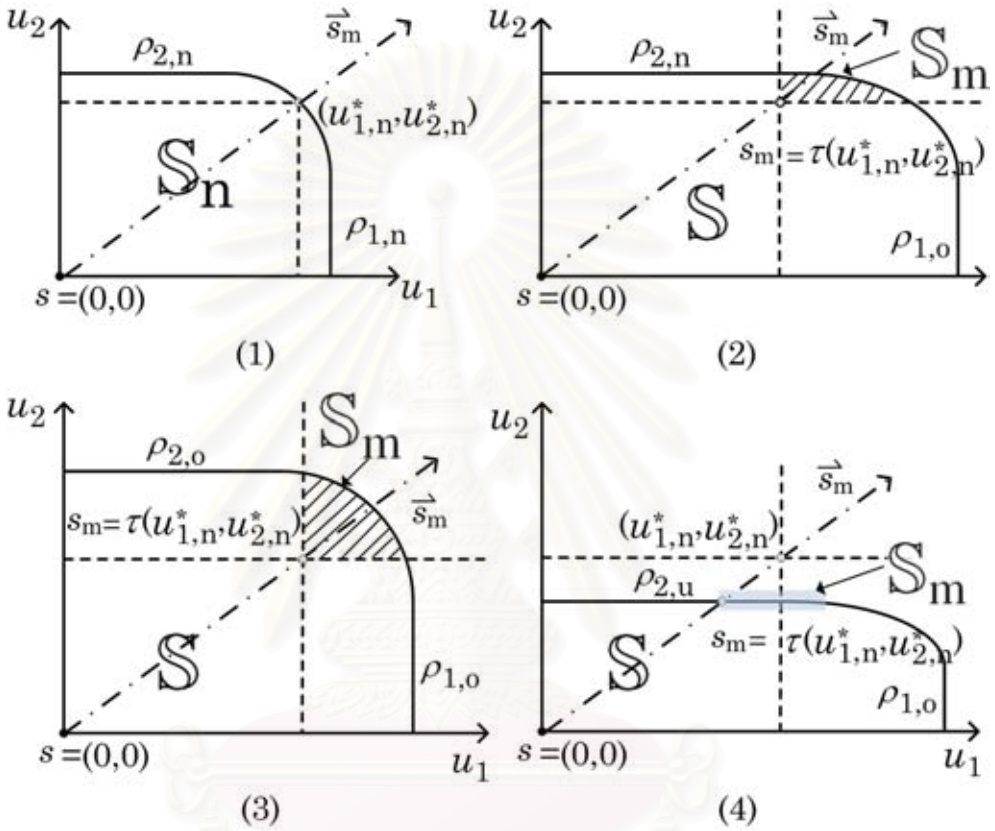
$$\mathbf{u}^*_{\mathrm{n}} = \begin{pmatrix} u^*_{1,\mathrm{n}} \\ \vdots \\ u^*_{k,\mathrm{n}} \end{pmatrix} \tag{5.5}$$

และ

$$\mathbf{0} = \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \tag{5.6}$$

ดังนั้นจะมีเวกเตอร์ $\vec{s}_{\mathrm{m}}$ เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยแสดงทิศทางจากจุดเริ่มต้นการต่อรองเดิม (s) ไปยังจุดเริ่มต้นการต่อรองใหม่ (s_{m}) ซึ่งมีค่า

$$\vec{s}_{\mathrm{m}} = \frac{\mathbf{u}^*_{\mathrm{n}}}{\|\mathbf{u}^*_{\mathrm{n}}\|} \tag{5.7}$$



รูปที่ 5.3 ปริภูมิของการใช้ประโยชน์ 2 มิติ เมื่อปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง

รูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นว่า ผลการปรับปรุงให้จุดเริ่มต้นการต่อรองตามสมการ (5.9) เป็นผลให้เซต $\mathbb{S}_{\mathrm{m}}$ ประกอบไปด้วยค่าการใช้ประโยชน์ที่มีค่าไม่ต่ำกว่าค่าการใช้ประโยชน์ที่ได้จากกรณีที่ทราฟฟิกทุกชนิดอยู่ในสภาวะโหลดปกติ ซึ่งสภาวะโหลดของระบบในกรณีที่ 1 ถึง 3 จะได้ค่า τ ในสมการ (5.4) มีค่าเท่ากับ 1 จึงเป็นผลให้ค่า s_{m} ในสมการ (5.9) มีค่าเท่ากับผลเฉลยในสภาวะโหลดปกติ $(\mathbf{u}^{*\top})$ นอกจากนั้นวิธีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรองที่เสนอยังครอบคลุมสภาวะโหลดของระบบในกรณีที่ 4 อีกด้วย โดยสังเกตได้จากค่า τ ในสมการ (5.4) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\min\limits_{\forall i}(u_{i,\max}/u^*_{i,\mathrm{n}})$ เมื่อ $u_{i,\max}$ แทนค่าการใช้ประโยชน์สูงสุดที่เป็นไปได้ของทราฟฟิกชนิดที่ i จึงเป็นผลให้ค่า s_{m} ในสมการ (5.9) มีค่าเท่ากับจุดที่เวกเตอร์ $\vec{s}_{\mathrm{m}}$ ตัดผ่านกับขอบบนของเซตค่าการใช้ประโยชน์ที่เป็นไปได้ ซึ่งจุดตัดนี้อาจไม่ใช่จุดบนขอบพาเรโตก็ได้ ดังนั้นจึงทำให้ในเซต $\mathbb{S}_{\mathrm{m}}$ ยังมีค่าการใช้ประโยชน์ที่เหมาะสมเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองตามวิธีการตัดสินใจของ

แนช ไรฟ์ฟา และการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน ที่ไม่ทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ไม่โอเวอร์โหลดได้รับผลกระทบ แต่ในขณะเดียวกันก็ไม่ส่งผลกระทบกับค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่โอเวอร์โหลดมาก เพราะอย่างน้อยจะยังมีค่าการใช้ประโยชน์ที่เหมาะสมของทราฟฟิกทุกชนิดที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า s_{m} นั่นคือจุดที่อยู่บนขอบของพาเรโต

แต่อย่างไรก็ตามวิธีการปรับปรุงค่าเริ่มต้นการต่อรองเริ่มต้นใหม่เป็น s_{m} ตามเงื่อนไขข้างต้นอาจทำให้ระบบต้องเสียโอกาสที่จะได้รับประโยชน์เพิ่มขึ้นจากการที่ทราฟฟิกชนิดที่โอเวอร์โหลดมาขอใช้แบนด์วิดท์สูง ดังนั้นเพื่อทำให้ระบบมีทางเลือกมากยิ่งขึ้น ในงานวิจัย [15] จึงได้เสนอให้มีพารามิเตอร์ควบคุมจุดเริ่มต้นการต่อรอง h โดยปรับให้ค่าเริ่มต้นการต่อรองใหม่มีค่า

$$s'_{\mathrm{m}} = hs_{\mathrm{m}} \quad \text{เมื่อ } 0 < h \leq 1 \tag{5.8}$$

ดังนั้นผลจากการปรับปรุงค่าการต่อรองเริ่มต้นใหม่นี้ จะทำให้มีทราฟฟิกชนิดที่ไม่โอเวอร์โหลดระบบจำนวนเล็กน้อยที่ต้องถูกปฏิเสธจากระบบเพื่อแลกกับประโยชน์ที่ระบบจะได้รับเพิ่มขึ้นอย่างมากจากการตอบรับทราฟฟิกชนิดที่โอเวอร์โหลด

5.1.2 ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบ

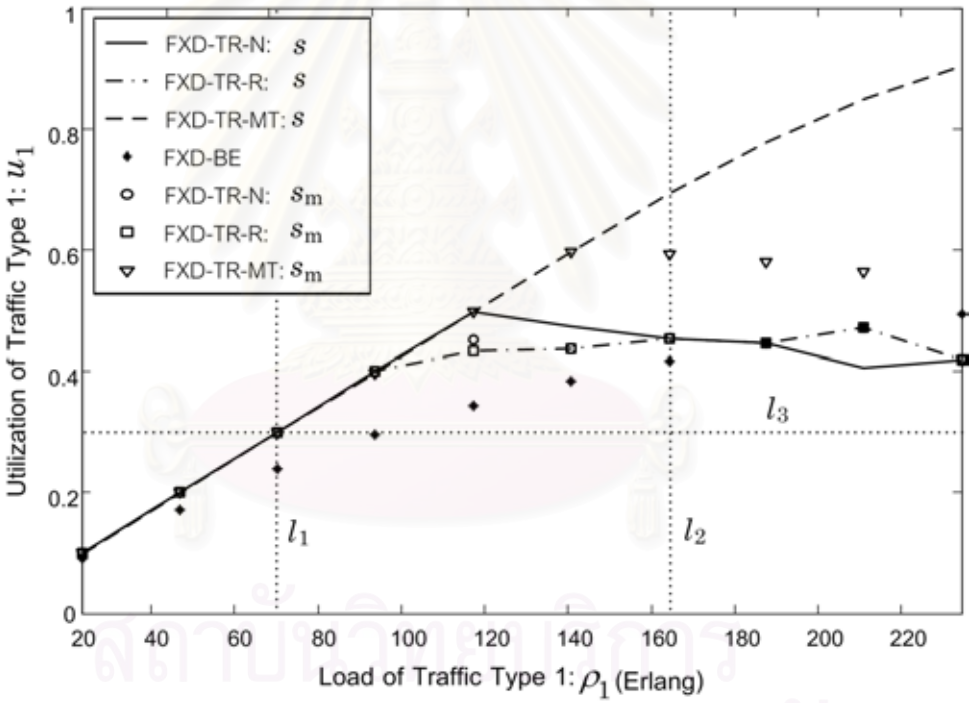
ในส่วนนี้ได้ทำการทดสอบสมรรถนะของระบบข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวตามแบบจำลองในหัวข้อที่ 4.1 กำหนดให้ทราฟฟิกที่เข้ามาในระบบมีสองชนิด $(k = 2)$ และค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงมีค่าคงที่เท่ากับ 150 Mbps โดยใช้วิธี FXD-TR-N, FXD-TR-R และ FXD-TR-MT ซึ่งค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์หามาได้ตามขั้นตอนที่ได้เสนอในหัวข้อ 4.3 โดยกำหนดให้ค่าเริ่มต้นการต่อรองใหม่ (s_{m}) มีค่าตามสมการ (5.9) และเปรียบเทียบสมรรถนะกับวิธีที่กำหนดให้ค่าเริ่มต้นการต่อรอง $s = (0, 0)$ และวิธี FXD-TR-BE [9] นอกจากนี้ยังได้ทดสอบผลของพารามิเตอร์ควบคุมจุดเริ่มต้นการต่อรอง (h) ต่อค่าการใช้ประโยชน์รวมของระบบ ซึ่งการทดสอบในส่วนนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s_{m}) มีผลอย่างไรต่อค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกแต่ละชนิด ทั้งที่โอเวอร์โหลดระบบ และไม่โอเวอร์โหลดระบบ รวมไปถึงผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของระบบ

5.1.2.1 ผลการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรองในกรณีที่โหลดในสภาวะปกติของทราฟฟิก 2 ชนิดต้องการปริมาณแบนด์วิดท์โดยเฉลี่ยเท่ากัน

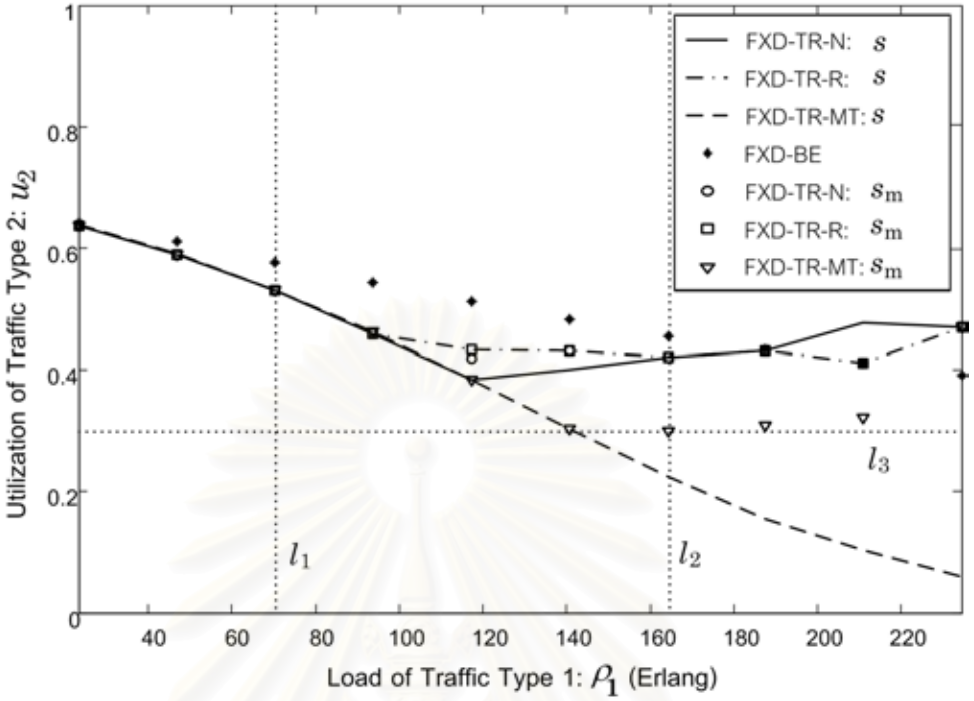
การทดสอบสมรรถนะของระบบได้จำลองให้ ทราฟฟิก 2 ชนิดที่ใช้ทดสอบมีสภาพการเข้าใช้แบนด์วิดท์แตกต่างกัน โดยมีลักษณะของความต้องการแบนด์วิดท์ของทราฟฟิกกำหนดด้วยฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล $(G_i(n_i))$ ตามสมการ (2.5) ซึ่งพารามิเตอร์ $(\alpha_1, \beta_1) = (0.64, 0)$ Mbps ใช้แทนทราฟฟิกชนิดที่ 1

และ $(\alpha_1, \beta_1) = (6, 10)$ Mbps ใช้แทนทราฟฟิกชนิดที่ 2 และกำหนดให้ปริมาณโหลดในสภาวะปกติของทราฟฟิกชนิดที่ 1 $(\rho_{1,n})$ และทราฟฟิกชนิดที่ 2 $(\rho_{2,n})$ คิดเป็นความต้องการแบนด์วิดท์โดยเฉลี่ยมีค่าเป็น 30% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง ในส่วนนี้ได้แสดงผลการทดสอบผลกระทบอันเนื่องมาจากโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 เพิ่มขึ้นเพียงชนิดเดียว ซึ่งเพียงพอที่ใช้ศึกษาผลของการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง ในกรณีที่โหลดในระบบเป็นสภาวะโอเวอร์โหลดระบบ และไม่โอเวอร์โหลดระบบ

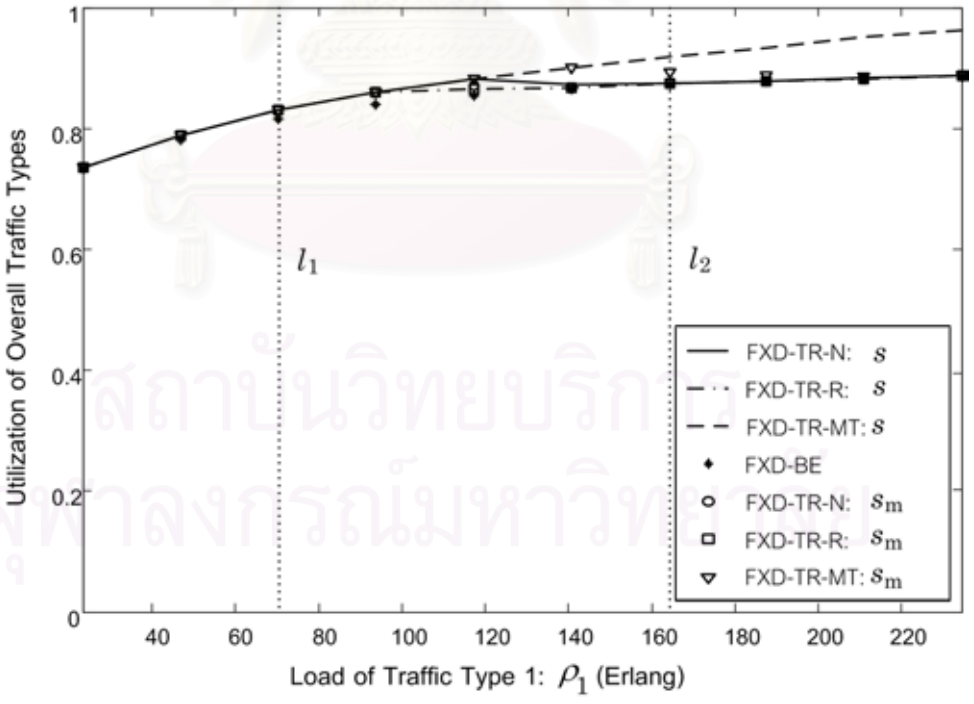
เมื่อกำหนดให้โหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (ρ_1) มีค่าเปลี่ยนแปลงโดยต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 10% ถึง 100% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และให้โหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (ρ_2) ต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยคงที่เท่ากับ 70% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) ทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) และผลรวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด $(u_{\text{overall}} = u_1 + u_2)$ เป็นดังรูปที่ 5.4 ถึง 5.6



รูปที่ 5.4 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1)



รูปที่ 5.5 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2)



รูปที่ 5.6 ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด u_{overall}

ผลการทดสอบในรูปที่ 5.4 ถึง 5.6 ถูกแยกพิจารณาออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกพิจารณาในช่วงตั้งแต่ค่าโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีค่าต่ำที่สุด จนถึงค่าที่อยู่บนเส้นตรง l_1 ซึ่งเป็นช่วงที่ $\rho_1 \leq \rho_{1,\mathrm{n}}$ และ $\rho_2 > \rho_{2,\mathrm{n}}$ ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1, 2 และผลรวมของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดที่ได้จากวิธี FXD-TR-N, วิธี FXD-TR-R และ วิธี FXD-TR-MT มีค่าเท่ากันทั้งในกรณีที่ไม่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรองเริ่มต้น (s) และมีการปรับปรุงจุดเริ่มการต่อรอง (s_{m}) เนื่องจากในช่วงที่พิจารณานี้ ระบบมีสภาวะโหลดเช่นเดียวกับกรณีที่ 4 (ในช่วงแรก) และกรณีที่ 2 (จุดบนเส้นตรง l_1) ในหัวข้อที่ 5.1.1 และสังเกตว่าผลรวมของโหลดที่เข้ามาในระบบมีค่าไม่เกินค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง จึงไม่น่าแปลกใจที่ผลการทดสอบที่ได้มีค่าเท่ากัน ดังนั้นในกรณีนี้แสดงให้เห็นว่าวิธี FXD-TR-N, วิธี FXD-TR-R และ วิธี FXD-TR-MT จะสามารถปกป้องทราฟฟิกชนิดที่ไม่โอเวอร์โหลดจากทราฟฟิกชนิดที่โอเวอร์โหลดได้โดยไม่จำเป็นต้องปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง ในขณะที่วิธี FXD-TR-BE ให้ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 น้อยว่าวิธีอื่น ๆ แต่ให้ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมใกล้เคียงกันกับทุกวิธี

ส่วนที่ 2 เริ่มต้นพิจารณาในช่วงระหว่างเส้นตรง l_1 และเส้นตรง l_2 ซึ่งเป็นช่วงที่ทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดโอเวอร์โหลดระบบ $(\rho_1 > \rho_{1,\mathrm{n}}$ และ $\rho_2 > \rho_{2,\mathrm{n}})$ และระบบมีสภาวะโหลดเช่นเดียวกับกรณีที่ 3 ในหัวข้อที่ 5.1.1 แต่ $\rho_1 \leq \rho_2$ ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1, 2 และผลรวมของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดที่ได้จากวิธี FXD-TR-N และ วิธี FXD-TR-R ที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s_{m}) และไม่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s) มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ผลการทดสอบด้วยวิธี FXD-TR-MT แสดงให้เห็นว่าค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ที่ได้จากการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s_{m}) มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากวิธีที่ไม่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s) ในขณะที่ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 ที่ได้จากการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s_{m}) มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากวิธีที่ไม่มีการปรับปรุงค่าจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s) เล็กน้อย ดังนั้นจึงเป็นผลให้ค่าการใช้ประโยชน์รวมที่ได้จากการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s_{m}) มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากวิธีที่ไม่มีการปรับปรุงค่าจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s) เล็กน้อย แต่สังเกตว่าผลการทดสอบของวิธี FXD-TR-MT มีค่าต่างกันเฉพาะค่าที่อยู่บนเส้นตรง l_3 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากกรณีโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีค่าเท่ากับโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 เพราะเนื่องจากค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 ที่ได้จากวิธีที่ไม่มีการปรับปรุงค่าเริ่มต้นการต่อรองมีค่าต่ำกว่าระดับของเส้นตรง l_1 ซึ่งเป็นเส้นที่ใช้บอกระดับของค่า $u^*_{i,\mathrm{n}}$ หรือค่าการใช้ประโยชน์ที่ได้รับประกันไว้ ดังนั้นผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 ที่ได้จากวิธีที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s) จึงมีค่าไม่น้อยกว่าระดับของเส้นตรงนี้ และเป็นผลให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากวิธีที่ไม่มีการปรับปรุงค่าเริ่มต้นการต่อรอง เมื่อพิจารณาผลของค่าการใช้ประโยชน์ที่ได้จากวิธี FXD-TR-BE พบว่าค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิด

ที่ 1 มีค่าน้อยกว่าวิธีอื่น แต่ให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มากกว่าวิธีอื่น และผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันในทุกวิธี

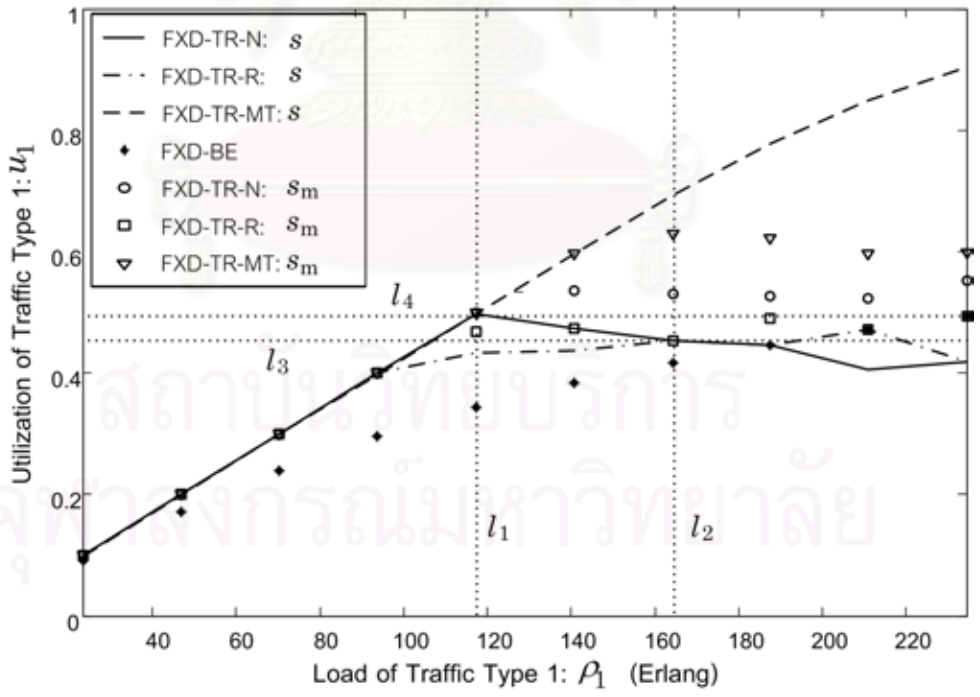
ส่วนสุดท้ายเริ่มต้นพิจารณาตั้งแต่เส้นตรง l_2 เป็นต้นไป ซึ่งเป็นช่วงที่ทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดเป็นทราฟฟิกชนิดที่โอเวอร์โหลดระบบ ($\rho_1 > \rho_{1,\mathrm{n}}$ และ $\rho_2 > \rho_{2,\mathrm{n}}$) และระบบมีสภาวะโหลดเช่นเดียวกับกรณีที่ 3 ในหัวข้อที่ 5.1.1 แต่ $\rho_1 > \rho_2$ ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1, 2 และผลรวมของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง 2 ที่ได้จากวิธี FXD-TR-N และ วิธี FXD-TR-R ที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s_m) และไม่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s) มีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าใกล้เคียงกันกับวิธี FXD-TR-BE แต่ผลการทดสอบด้วยวิธี FXD-TR-MT แสดงให้เห็นว่าค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ที่ได้จากการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s_m) มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากวิธีที่ไม่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s) มาก ในขณะที่ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 ที่ได้จากวิธีที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s_m) มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากวิธีที่ไม่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s) สูงเช่นกัน ดังนั้นจึงเป็นผลให้ผลให้ค่าการใช้ประโยชน์รวมที่ได้จากการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s_m) มีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากวิธีที่ไม่มีการปรับปรุงค่าจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s) เล็กน้อย และสังเกตว่าผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 ที่ได้จากวิธีที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s) มีค่าไม่ต่ำกว่าเส้นตรง l_3 ซึ่งเป็นระดับของค่าการใช้ประโยชน์ที่ได้รับประกันไว้ ดังนั้นจึงเป็นผลให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีค่าลดลง

จากผลการทดสอบระบบข้างต้นที่แยกพิจาณาออกเป็น 3 ส่วนตามสภาวะโหลดของระบบ แสดงให้เห็นว่าผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดที่ได้จากวิธี FXD-TR-N และ วิธี FXD-TR-R ในกรณีที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s_m) และในกรณีที่ไม่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s) มีค่าใกล้เคียงกันในทุกสภาวะโหลด เนื่องมาจากค่าการใช้ประโยชน์ที่ได้รับประกันไว้ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดมีค่าเท่ากัน ดังนั้นทำให้การเปลี่ยนจากเซต $\mathbb{S}$ ไปเป็นเซต $\mathbb{S}_\mathrm{m}$ เป็นเพียงการลดขนาดของเซตที่ใช้ต่อรองลง ด้วยขนาดการลดลงที่เท่ากันทั้ง 2 แกน (แกน u_1 และ แกน u_2) เท่านั้น และถ้าผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง $(\mathbb{S}, s)$ อยู่ในเซต $\mathbb{S}_\mathrm{m}$ แล้ว ผลเฉลยนั้นจะเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง $(\mathbb{S}_\mathrm{m}, s_\mathrm{m})$ ด้วย (ตามสัจพจน์ที่ 3 ในหัวข้อที่ 3.5)

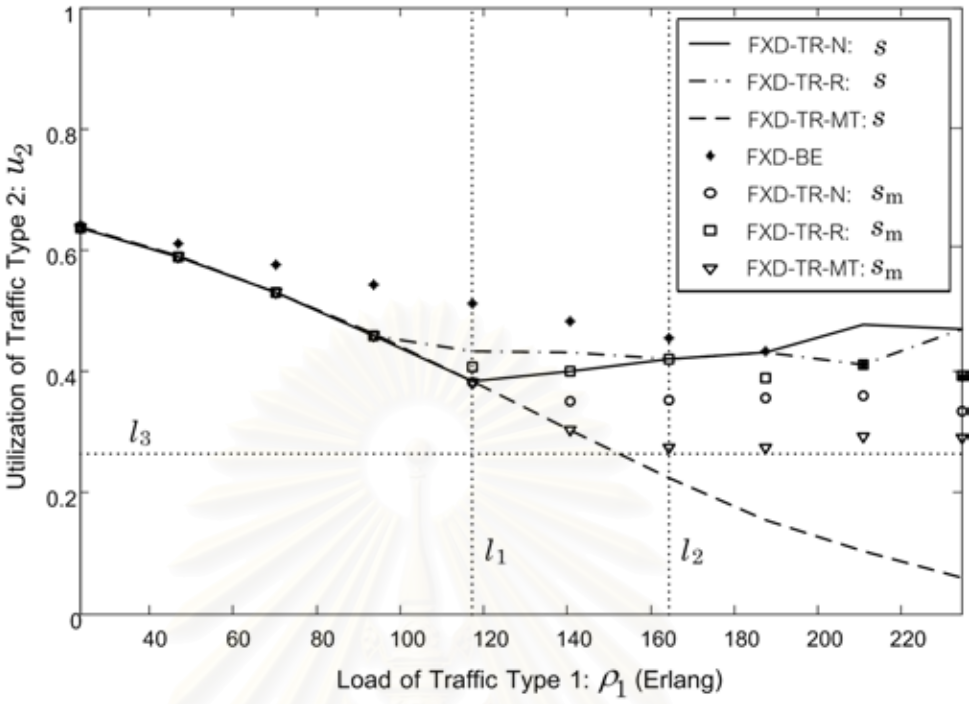
ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า วิธีการปรับปรุงค่าจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s_m) จะช่วยปกป้องทราฟฟิกชนิดที่ไม่โอเวอร์โหลดระบบ และรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำไปใช้กับวิธี FXD-TR-MT แต่เนื่องจากค่าการใช้ประโยชน์ที่รับประกันไว้ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดมีค่าเท่ากัน จึงทำให้การปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรองในวิธี FXD-TR-N และ วิธี FXD-TR-R มีผลใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง แต่อย่างไรก็ตามค่าการใช้ประโยชน์รวมของระบบมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับวิธีที่ไม่มีการปรับปรุงค่าจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s)

5.1.2.2 ผลการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรองในกรณีที่โหลดในสภาวะปกติของทราฟฟิก 2 ชนิดต้องการปริมาณแบนด์วิดท์โดยเฉลี่ยไม่เท่ากัน

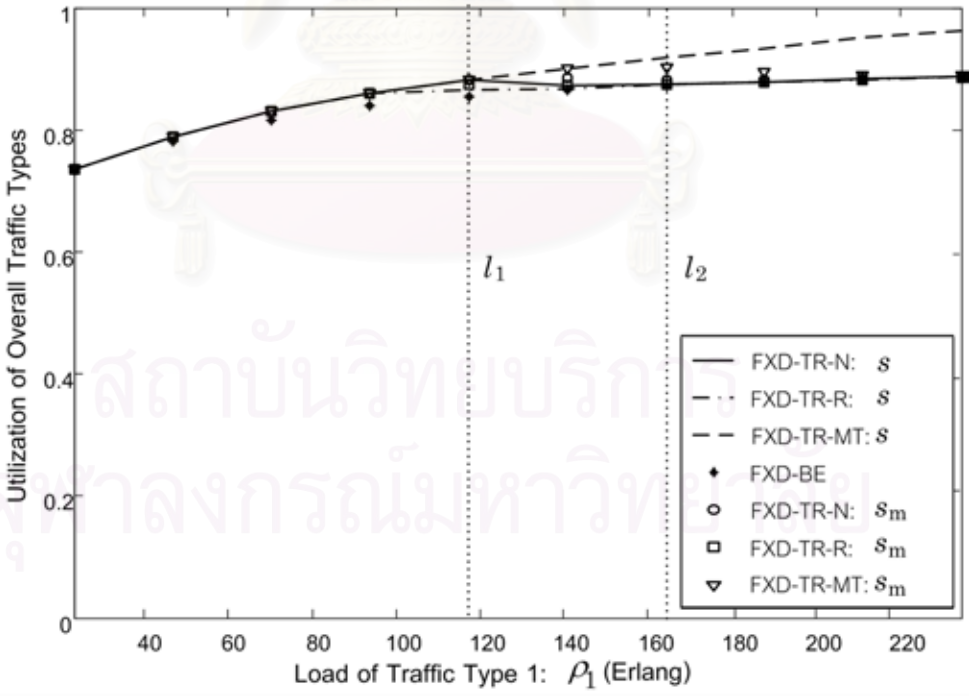
จากหัวข้อที่ผ่านมาได้แสดงผลการทดสอบ ในกรณีที่โหลดในสภาวะปกติของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยเท่ากัน แต่ในการใช้งานจริง ทราฟฟิกแต่ละชนิดอาจมีคุณลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน จึงทำให้ที่สภาวะโหลดปกติของทราฟฟิกแต่ละชนิดอาจมีปริมาณความต้องการแบนด์วิดท์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นในส่วนนี้จึงได้ทำการทดสอบสมรรถนะของระบบโดยกำหนดให้ที่สภาวะโหลดปกติของทราฟฟิกชนิดที่ 1 และ 2 มีค่าแตกต่างกัน ซึ่งได้กำหนดให้โหลดในสภาวะปกติของทราฟฟิกชนิดที่ 1 $(\rho_{1,n})$ ต้องการแบนด์วิดท์โดยเฉลี่ยมีค่าเป็น 50% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และทราฟฟิกชนิดที่ 2 (ρ_{2_n}) ต้องการแบนด์วิดท์โดยเฉลี่ยมีค่าเป็น 30% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และได้ศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 เพิ่มขึ้น เมื่อให้โหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (ρ_1) มีค่าเปลี่ยนแปลงโดยต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 10% ถึง 100% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และให้โหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (ρ_2) มีค่าคงที่โดยต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยเท่ากับ 70% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) ทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) และผลรวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด $(u_{\text{overall}} = u_1 + u_2)$ เป็นดังรูป 5.7 ถึง 5.9



รูปที่ 5.7 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1)



รูปที่ 5.8 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2)



รูปที่ 5.9 ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด (u_{overall})

ผลการทดสอบในรูปที่ 5.7 ถึง 5.9 สามารถแยกพิจารณาออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกเริ่มต้นพิจารณาตั้งแต่ค่าโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีค่าต่ำที่สุด ไปจนถึงเส้นตรง l_1 ซึ่งเป็นช่วงที่ $\rho_1 \leq \rho_{1,\mathrm{n}}$ และ $\rho_2 > \rho_{2,\mathrm{n}}$ ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1, 2 และผลรวมที่ได้จากวิธี FXD-TR-N, FXD-TR-R และ FXD-TR-MT ที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง และไม่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรองมีค่าเท่ากัน ยกเว้นค่าการใช้ประโยชน์ที่ได้จากวิธี FXD-TR-R ซึ่งเป็นจุดที่อยู่บนเส้นตรง l_1 โดยค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ที่ได้จากกรณีที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s_{m}) มีค่าสูงกว่า กรณีที่ไม่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s) แต่ตรงข้ามกับค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 ในขณะที่วิธี FXD-TR-BE ให้ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 น้อยว่าวิธีอื่น ๆ แต่ให้ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมใกล้เคียงกันกับทุกวิธี ผลการทดสอบที่ได้เป็นผลเนื่องมาจากผลรวมของโหลดที่เข้ามาในระบบในช่วงที่พิจารณานี้ระบบมีสภาวะโหลดเช่นเดียวกับกรณีที่ 4 (ในช่วงแรก) ในหัวข้อที่ 5.1.1 มีค่าน้อยกว่า และมากกว่าค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงเล็กน้อย จึงไม่น่าแปลกใจที่ผลการทดสอบที่ได้มีค่าเท่ากัน ดังนั้นในกรณีนี้แสดงให้เห็นว่าวิธี FXD-TR-N, FXD-TR-R และ FXD-TR-MT จะสามารถปกป้องทราฟฟิกชนิดที่ไม่โอเวอร์โหลดจากทราฟฟิกชนิดที่โอเวอร์โหลดได้โดยไม่จำเป็นต้องปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง แต่จุดบนเส้นตรง l_1 ซึ่งเป็นจุดเดียวในช่วงที่พิจารณานี้ที่ระบบมีสภาวะโหลดเช่นเดียวกับกรณีที่ 2 ในหัวข้อที่ 5.1.1 เนื่องจากค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดที่รับประกันไว้มีค่าไม่เท่ากัน จึงทำให้ผลเฉลยที่ได้จากเซตการต่อรอง S ซึ่งวิธี FXD-TR-R พยายามเลือกผลเฉลยที่ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นผลเฉลยนั้นจึงไม่อยู่ในเซตการต่อรอง $\mathbb{S}_{\mathrm{m}}$

ส่วนที่ 2 เริ่มพิจารณาจากช่วงตั้งแต่เส้นตรง l_1 จนถึงเส้นตรง l_2 ซึ่งเป็นช่วงที่ทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดโอเวอร์โหลดระบบ $(\rho_1 > \rho_{1,\mathrm{n}}$ และ $\rho_2 > \rho_{2,\mathrm{n}})$ และระบบมีสภาวะโหลดเช่นเดียวกับกรณีที่ 3 ในหัวข้อที่ 5.1.1 แต่ $\rho_1 \leq \rho_2$ ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ที่ได้จากวิธี FXD-TR-N และ FXD-TR-R กรณีที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง s_{m} มีค่ามากกว่ากรณีที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง s และมีค่าไม่ต่ำกว่าเส้นตรง l_4 ในวิธี FXD-TR-N และมีค่าไม่ต่ำกว่าเส้นตรง l_3 ในวิธี FXD-TR-R ซึ่งเส้นตรงทั้ง 2 เส้นเป็นเส้นแสดงระดับค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ที่ได้รับประกันไว้ แต่ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 และผลรวมที่ได้จากกรณีที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง s_{m} มีค่าน้อยกว่ากรณีที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง s และมีค่าไม่ต่ำกว่าเส้นตรง l_3แต่ให้ผลตรงข้ามในวิธี FXD-TR-MT ซึ่งเป็นผลมาจากผลเฉลยที่ได้จากเซตการต่อรอง S ของทุกวิธีไม่อยู่ในเซตการต่อรอง $\mathbb{S}_{\mathrm{m}}$ ในขณะที่วิธี FXD-TR-BE ให้ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 น้อยว่าวิธีอื่น ๆ แต่ให้ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมใกล้เคียงกันกับทุกวิธี

ส่วนสุดท้ายเริ่มพิจารณาตั้งแต่เส้นตรง l_2 เป็นต้นไป ซึ่งเป็นช่วงที่ทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดโอเวอร์โหลด

ระบบ ($\rho_1 > \rho_{1,\mathrm{n}}$ และ $\rho_2 > \rho_{2,\mathrm{n}}$) และระบบมีสภาวะโหลดเช่นเดียวกับกรณีที่ 3 ในหัวข้อที่ 5.1.1 แต่ $\rho_1 > \rho_2$ ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ที่ได้จากวิธี FXD-TR-N และ FXD-TR-R กรณีที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง s_{m} มีค่ามากกว่ากรณีที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง s แต่ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 และผลรวมที่ได้จากกรณีที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง s_{m} มีค่าน้อยกว่ากรณีที่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง s แต่ให้ผลตรงข้ามในวิธี FXD-TR-MT แต่สังเกตว่าค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีค่าไม่ต่ำกว่าค่าที่รับประกันไว้ซึ่งอยู่ในระดับเดียวกับเส้นตรง l_1 ซึ่งเป็นผลมาจากผลเฉลยที่ได้จากเซตการต่อรอง S ของทุกวิธีไม่อยู่ในเซตการต่อรอง $\mathbb{S}_{\mathrm{m}}$ ในขณะที่ผลของค่าการใช้ประโยชน์จากวิธี FXD-TR-BE มีค่าใกล้เคียงกับวิธี FXD-TR-R

จากผลการทดสอบที่มีการรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกแต่ละชนิดให้มีค่าไม่ต่ำกว่าค่าการใช้ประโยชน์ที่ได้รับเมื่อระบบอยู่ในสภาวะโหลดปกติ (กรณีที่ 1 ในหัวข้อ 5.1.1) ซึ่งทดสอบทั้งในกรณีกำหนดให้ระดับของโหลดปกติของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดมีความต้องการแบนด์วิดท์โดยเฉลี่ยเท่ากัน (ในหัวข้อ 5.1.2.1) และไม่เท่ากัน (ในหัวข้อ 5.1.2.2) โดยการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง (s_{m}) สามารถสรุปได้ว่าในกรณีที่ระบบอยู่ในสภาวะเช่นเดียวกับกรณีที่ 2 ในหัวข้อ 5.1.1 การปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรองไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงผลเฉลย ดังนั้นวิธี FXD-TR-N, FXD-TR-R และ FXD-TR-MT สามารถปกป้องทราฟฟิกชนิดที่ไม่โอเวอร์โหลดจากทราฟฟิกชนิดที่โอเวอร์โหลดในกรณีนี้ได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อระบบอยู่ในสภาวะเช่นเดียวกับกรณีที่ 2 ในหัวข้อ 5.1.1 ไม่จำเป็นต้องพิจารณาการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง ดังนั้นเพื่อลดความซับซ้อนของวิธีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรองจากสมการ (5.9) จึงเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$s_{\mathrm{m}} = \begin{cases} \mathbf{u}_{\mathrm{n}}^{*\top} & \rho_i \geq \rho_{i,\mathrm{n}}, \forall i \in \{1, \ldots, k\} \\ \mathbf{0}^{\top} & \text{otherwise} \end{cases} \tag{5.9}$$

นอกจากนั้นยังพบว่าถ้าค่าการใช้ประโยชน์ที่รับประกันไว้ของทราฟฟิกทุกชนิดมีค่าเท่ากันแล้ว ค่าการใช้ประโยชน์ที่ทราฟฟิกแต่ละชนิดที่ได้รับเมื่อมีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรองมีค่าเท่ากับ เมื่อไม่มีการปรับปรุงค่าเริ่มต้นการต่อรองในวิธี FXD-TR-R และ FXD-TR-N แต่อย่างไรก็ตามค่าการใช้ประโยชน์รวมที่ได้เมื่อมีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรองมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรอง

5.1.2.3 ผลการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรองโดยพิจารณาผลของพารามิเตอร์

จากผลการทดสอบที่ผ่านมาพบว่า การกำหนดระดับการรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ไว้ที่ค่าการใช้ประโยชน์ที่ได้รับในกรณีที่ระบบอยู่ในสภาวะโหลดปกตินั้น ทำให้ค่าการใช้ประโยชน์รวมลดลง ดังนั้นเพื่อให้ระบบมีทางเลือกในการเพิ่มค่าการใช้ประโยชน์รวมมากขึ้น ในส่วนนี้จึงได้ทดสอบผลจากการพิจารณาให้มีพารามิเตอร์ควบคุม h มาควบคุมจุดเริ่มต้นการต่อรองตามสมการ (5.8) โดยกำหนดให้ $h =$

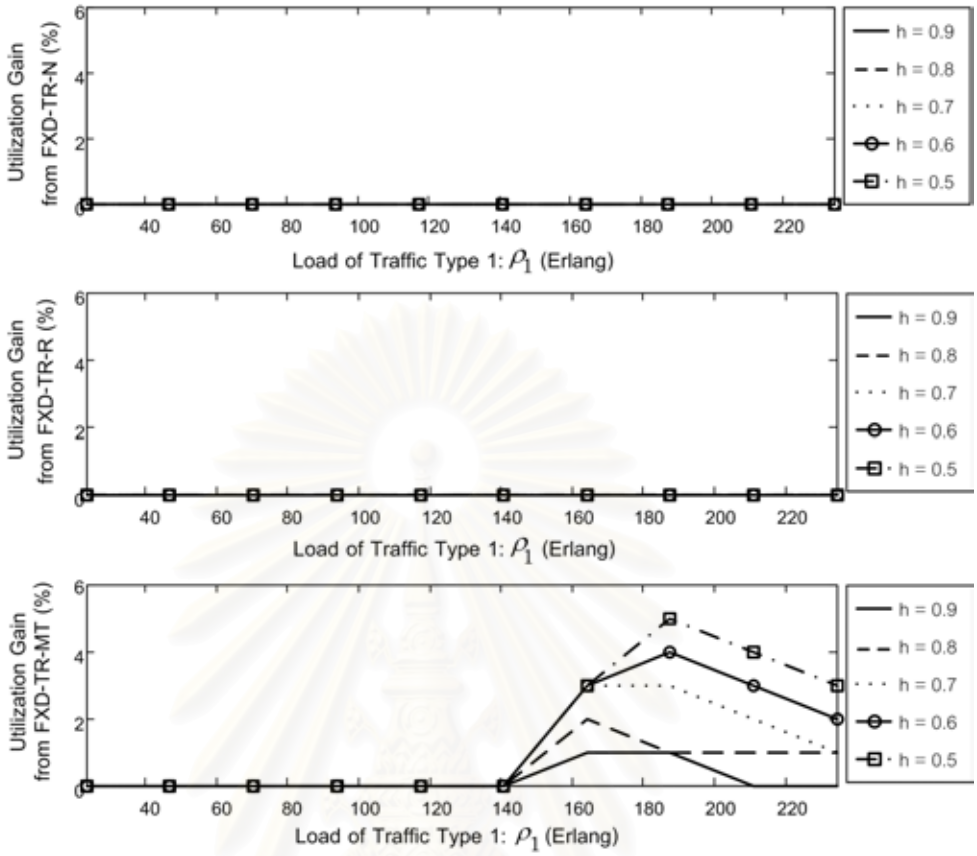
$0.9, 0.8, \ldots, 0.5$ (ซึ่งหมายถึงการลดระดับค่าการใช้ประโยชน์ที่ได้รับประกันไว้คิดเป็น $(1-h)\times 100$ เปอร์เซ็นต์) ผลการทดสอบแสดงอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ของค่าการใช้ประโยชน์รวมที่เพิ่มขึ้นเทียบกับค่าการใช้ประโยชน์รวมในกรณีที่ค่า $h = 1$ หรือเรียกว่า อัตราการขยายของค่าการใช้ประโยชน์ (utilization gain) ซึ่งแต่ละวิธีจะถูกเปรียบเทียบกับเฉพาะวิธีเดียวกันเท่านั้น

กำหนดให้

$$\text{utilization gain} = \frac{\sum_{i=1}^{k} u_{i,(h\neq 1)} - \sum_{i=1}^{k} u_{i,(h=1)}}{\sum_{i=1}^{k} u_{i,(h=1)}} \times 100\% \qquad (5.10)$$

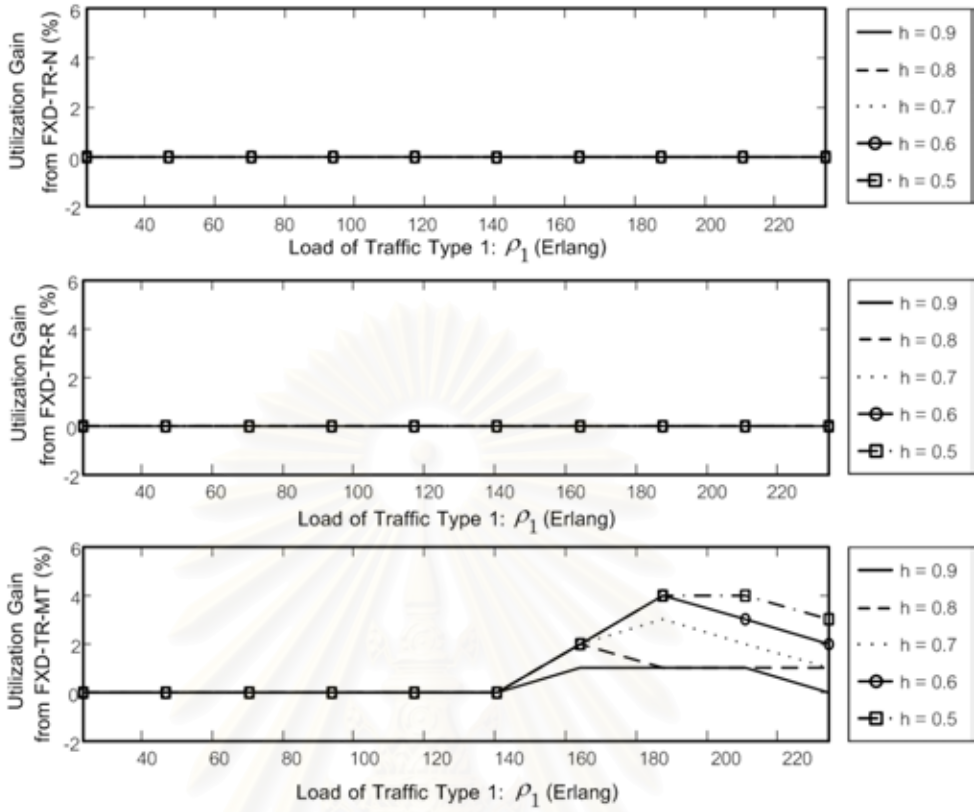
ระบบที่ใช้ทดสอบเป็นเช่นเดียวกับระบบในหัวข้อที่ผ่านมา และทดสอบทั้งในกรณีที่โหลดสภาวะปกติของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดมีความต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยเท่ากัน (30% ของค่าความจุข่ายเชื่อมโยง) และไม่เท่ากัน (50% ของค่าความจุข่ายเชื่อมโยงสำหรับทราฟฟิกชนิดที่ 1 และ 30% ของค่าความจุข่ายเชื่อมโยงสำหรับทราฟฟิกชนิดที่ 2) ซึ่งได้ทดสอบในกรณีที่โหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (ρ_1) มีค่าเปลี่ยนแปลงโดยต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 10% ถึง 100% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (ρ_2) ต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยเท่ากับ 70% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง ผลการทดสอบเป็นดังรูปที่ 5.10 และ 5.11 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.10 ผลของค่าอัตราการขยายของค่าการใช้ประโยชน์ (utilization gain) กรณีโหลดสภาวะปกติของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยเท่ากัน

จากรูปที่ 5.10 เมื่อลดค่าพารามิเตอร์ควบคุมจุดเริ่มต้นการต่อรอง (h) ลง ค่าอัตราการขยายของค่าการใช้ประโยชน์ที่ได้จากวิธี FXD-TR-N และ วิธี FXD-TR-R มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากระดับการรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดอยู่ในระดับเดียวกัน จึงทำให้เซตของค่าการใช้ประโยชน์ที่เป็นไปได้ $\mathbb{S}_{m,(h=1)}$ เป็นเซตย่อยของ $\mathbb{S}_{m,(h<1)}$ และผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง $(\mathbb{S}_{m,(h<1)}, s)$ อยู่ในเซต $\mathbb{S}_{m,(h=1)}$ แต่ค่าอัตราการขยายของค่าการใช้ประโยชน์ที่ได้จากวิธี FXD-TR-MT มีค่าเพิ่มขึ้นมาก เมื่อค่า h ลดลงโดยเฉพาะในช่วงโหลดสูง ๆ ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ทำให้ค่าการใช้ประโยชน์รวมสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อลดระดับการรับประกันของทราฟฟิกชนิดที่ 2 ลงจึงเป็นผลให้ค่าการใช้ประโยชน์รวมสูงขึ้น



รูปที่ 5.11 ผลของค่าอัตราการขยายของค่าการใช้ประโยชน์ (utilization gain) กรณีโหลดสภาวะปกติของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยไม่เท่ากัน

รูปที่ 5.11 แสดงให้เห็นว่าค่าอัตราการขยายของค่าการใช้ประโยชน์ที่ได้จากวิธี FXD-TR-N และวิธี FXD-TR-R มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง เพราะผลเฉลยของเซตการต่อรอง $S_{\mathrm{m},(h=1)}$ อยู่ในเซตการต่อรอง $S_{\mathrm{m},(h<1)}$ จึงทำให้ผลเฉลยของเซตการต่อรองทั้งหมดเป็นผลเฉลยเดียวกัน แต่วิธี FXD-TR-MT ให้ค่าอัตราการขยายของค่าการใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้นประมาณ 0%-4% เมื่อค่า h ลดลงโดยเฉพาะในช่วงที่โหลดมีค่าสูง ซึ่งเป็นช่วงที่ $\rho_1 > \rho_{1,\mathrm{n}}$ และ $\rho_1 > \rho_2$ การเพิ่มขึ้นของโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ทำให้ค่าการใช้ประโยชน์รวมสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อลดระดับการรับประกันของทราฟฟิกชนิดที่ 2 ลงจึงเป็นผลให้ค่าการใช้ประโยชน์รวมสูงขึ้น

จากผลการทดสอบที่ผ่านมา สามารถกล่าวได้ว่าการลดค่า h ไม่มีผลให้ค่าอัตราการขยายของค่าการใช้ประโยชน์จากวิธี FXD-TR-N และ FXD-TR-R ในกรณีที่ทดสอบมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่มีผลทำให้ค่าอัตราการขยายของค่าการใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้นในวิธี FXD-TR-MT ในช่วงที่โหลดรวมของระบบมีค่าสูง ดังนั้นการลดระดับการรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกแต่ละชนิดจึงมีความสำคัญเฉพาะช่วงที่ระบบเกิดสภาวะโอเวอร์โหลดอย่างมาก

5.2 กรณีศึกษาการให้บริการแบ่งทราฟฟิกตามระดับความสำคัญ

นอกจากระบบการให้บริการเชื่อมต่อข้อมูลต้องสามารถจัดการกับทราฟฟิกที่โอเวอร์โหลดระบบได้แล้ว ระบบยังต้องต้องเผชิญกับความเป็นจริงที่ว่า ทราฟฟิกแต่ละชนิดอาจมีความสำคัญแตกต่างกัน ดังนั้น ระบบการให้บริการที่ดีต้องสามารถควบคุมความคับคั่งในระบบ ขณะที่ยังคงรักษาระดับความสำคัญของการให้บริการไว้ได้ งานวิจัยหลายฉบับ [8, 23] ได้เสนอวิธีการจัดการกับทราฟฟิกตามระดับความสำคัญด้วยการให้ทราฟฟิกที่มีระดับความสำคัญสูงกว่าได้รับโอกาสที่จะได้ครอบครองแบนด์วิดท์ หรือทรัพยากรของระบบสูงกว่าทราฟฟิกชนิดอื่น วิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกตามนโยบายการจองทรังค์คงที่ ซึ่งเป็นวิธีที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นวิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่ใช้ควบคุมความคับคั่งในระบบที่มีระดับความสำคัญของทราฟฟิกแตกต่างกัน เช่น การกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ของทราฟฟิกที่มีระดับความสำคัญต่ำมีค่าสูงกว่าค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ของทราฟฟิกที่มีระดับความสำคัญสูง แต่ค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่กำหนดให้ทราฟฟิแต่ละชนิดนอกจากจะมีไว้เพื่อแบ่งระดับความสำคัญในการให้บริการแล้ว การเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสมจะนำมาซึ่งผลประโยชน์ที่ดีกับระบบ ดังนั้นในส่วนนี้จึงได้เสนอวิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสมโดยคงไว้ซึ่งระดับความสำคัญ และผลประโยชน์รวมของระบบสูง

ทฤษฎีความไม่สมดุลของแนช (nonsymmetric Nash bargaining solution) [32] ได้เสนอทางเลือกให้กับผู้ตัดสินใจที่การตัดสินใจต้องอยู่บนพื้นฐานของความยุติธรรม ในขณะที่ผู้เล่นแต่ละคนมีอำนาจการต่อรอง หรือระดับความสำคัญไม่เท่ากัน

กำหนดให้ $\eta_i \geq 0$ แทนพารามิเตอร์กำหนดระดับความสำคัญของผู้เล่นที่ i จากสมการที่ (3.11) ผลเฉลยใหม่ที่ได้มีค่า

$$(u_1^*, \ldots, u_k^*) = \arg \max_{(u_1,\ldots,u_k)\in\mathbb{S}} (\prod_{i=1}^{k} v_i^{\eta_i}) \tag{5.11}$$

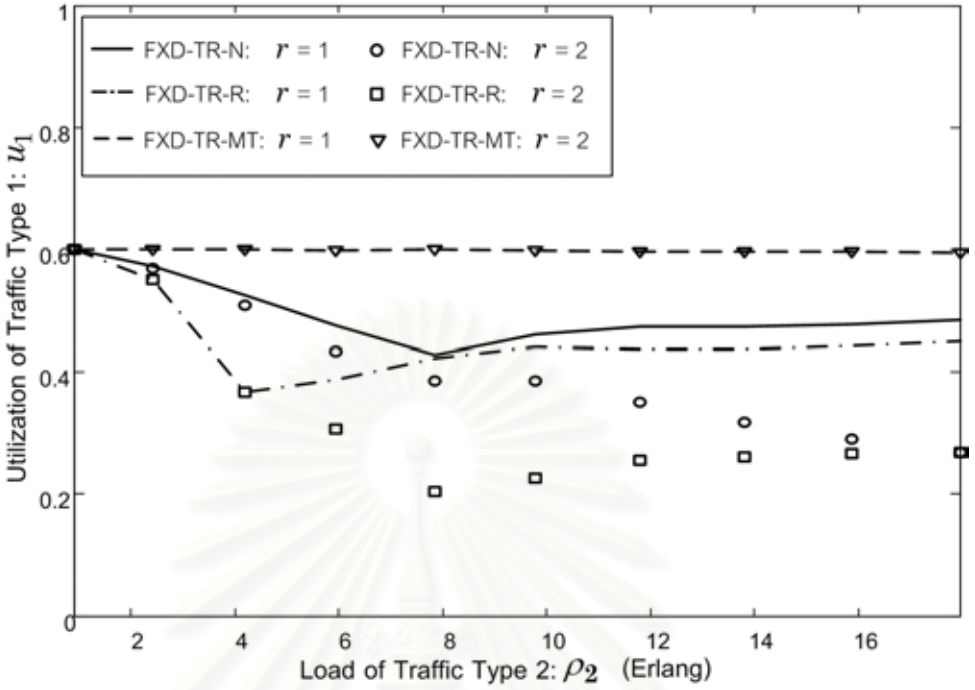
ถ้ากำหนดให้ η_i ใช้ระบุระดับความสำคัญของทราฟฟิกชนิดที่ i แล้วทราฟฟิกชนิดนี้จะเสมือนมีอำนาจการต่อรองค่าการใช้ประโยชน์เป็นจำนวน η_i เท่า และผลเฉลยที่เหมาะสมสามารถหาได้จากสมการ (5.11) ดังนั้นจากผลเฉลยที่ได้ทำให้สามารถย้อนกลับไปหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสมได้ในทำนองเดียวกัน แนวทางนี้สามารถนำไปประยุกต์ให้สอดคล้องกับวิธีการตัดสินใจของไรฟ์ฟา และการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสันได้เพียงแทนค่าตามสมการที่ (3.10) นอกจากนั้นวิธีการปรับปรุงสมการผลเฉลยดังกล่าวให้สอดคล้องกับระดับความสำคัญที่กำหนด ไม่ได้ส่งผลกระทบกับผลประโยชน์ของระบบที่ได้ เพราะเนื่องจากค่าที่เป็นผลเฉลยยังคงเป็นค่าที่อยู่บนขอบบนของพาเรโต ดังนั้นวิธีการเลือกพารามิเตอร์การจองดังกล่าวจึงเป็นการยืดหยุ่นกับโหลดในระบบ ซึ่งสามารถดูบทพิสูจน์ได้ในภาคผนวก ก

5.2.1 ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบ

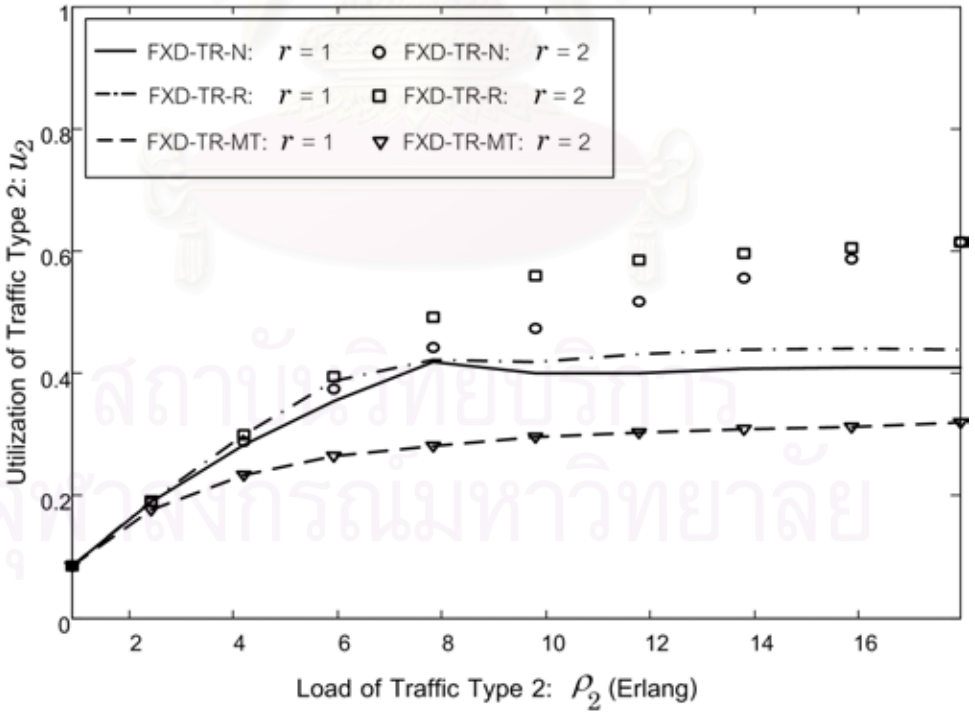
ในส่วนนี้ได้ทดสอบสมรรถนะของระบบ โดยใช้วิธี FXD-TR-N, FXD-TR-R และ FXD-TR-MT ซึ่งค่าพารามิเตอร์การจองทรัพย์หามาได้ตามขั้นตอนที่ได้เสนอในหัวข้อ 4.3 ทราฟฟิกเข้ามาในระบบมี 2 ชนิด โดยกำหนดให้ทราฟฟิกชนิดแรกมีลักษณะของความต้องการแบนด์วิดท์ กำหนดด้วยฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล $(G_i(n_i))$ ตามสมการ (2.5) มีพารามิเตอร์ $(\alpha_1, \beta_1) = (0.64, 0)$ Mbps แทนทราฟฟิกชนิดแบนด์แคบ (narrow-band traffic) ซึ่งมีระดับความสำคัญต่ำ และพารามิเตอร์ $(\alpha_2, \beta_2) = (6, 10)$ Mbps แทนทราฟฟิกชนิดที่ 2 ซึ่งใช้แทนทราฟฟิกชนิดแบนด์กว้าง (wide-band traffic) ซึ่งมีระดับความสำคัญสูง โดยในที่นี้นิยามให้ $r = \eta_2/\eta_1$ แทนอัตราส่วนระดับความสำคัญของทราฟฟิกชนิดที่ 2 ต่อทราฟฟิกชนิดที่ 1

แบบจำลองที่ใช้ทดสอบเป็นดังรูปที่ 4.1 กำหนดให้ค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงมีค่า 150 Mbps การทดสอบในส่วนนี้ได้แสดงสมรรถนะของระบบในกรณีที่คิดระดับความสำคัญของทราฟฟิก(ในที่นี้กำหนดให้ $r = 2$) เปรียบเทียบกับกรณีไม่คิดระดับความสำคัญของทราฟฟิก ($r = 1$) เมื่อโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ρ_1 มีค่าคงที่เท่ากับ 60% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 ρ_2 มีค่าเปลี่ยนแปลงโดยต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 10% ถึง 100% ของค่าความจุของข่าย ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) ทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) และผลรวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด ($u_{\text{overall}} = u_1 + u_2$) เป็นดังรูปที่ 5.12 ถึง 5.14

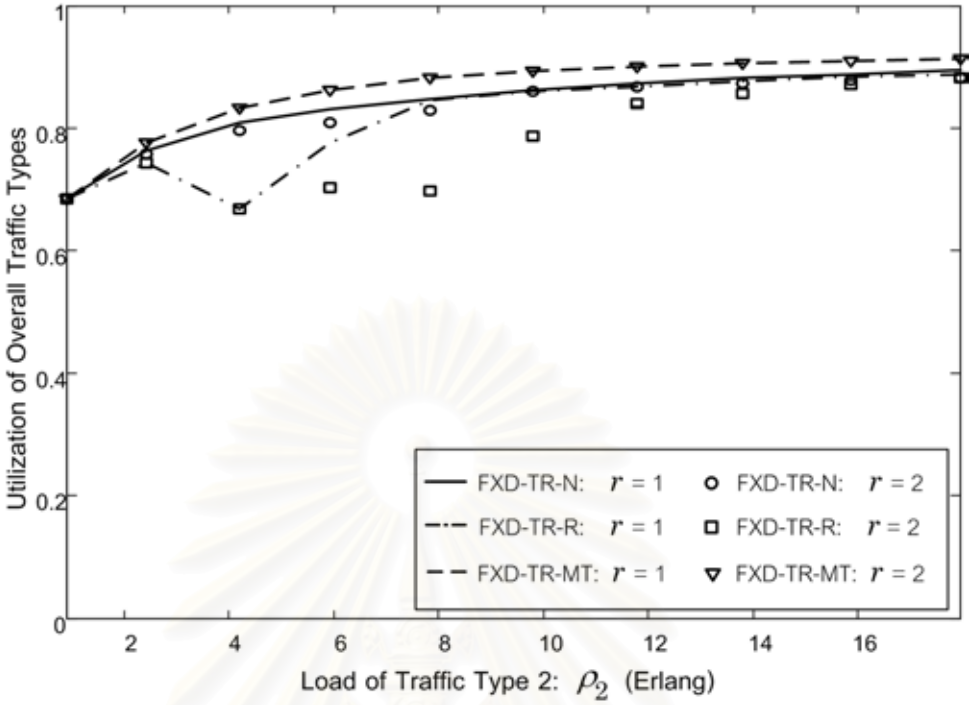
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.12 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1)



รูปที่ 5.13 ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2)



รูปที่ 5.14 ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด u_{overall}

จากรูปที่ 5.12 ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ที่ได้จากวิธี FXD-TR-N และ FXD-TR-R เมื่อกำหนดให้ค่า $r = 2$ มีค่าต่ำกว่าเมื่อกำหนดให้ค่า $r = 1$ และในทางกลับกันจากรูปที่ 5.13 ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 เมื่อกำหนดให้ค่า $r = 2$ มีค่าสูงกว่าเมื่อกำหนดให้ค่า $r = 1$ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการกำหนดให้ทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีระดับความสำคัญต่ำกว่าทราฟฟิกชนิดที่ 2 จึงทำให้ผลเฉลยที่เหมาะสมได้จากการถ่วงน้ำหนักค่าการใช้ประโยชน์ให้กับทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดไม่เท่ากันตามอัตราส่วน r แต่เนื่องจากค่าที่เหมาะสมยังอยู่บนขอบบนพาเรโต (ซึ่งสามารถดูบทพิสูจน์ได้ในภาคผนวก ก) ดังนั้นค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดที่ได้จากการกำหนดค่า r ที่แตกต่างกันจึงมีค่าไม่แตกต่างกันมากในช่วงที่ปริมาณโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 เข้ามาในระบบสูง แต่ค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดที่ได้จากการกำหนดค่า r ที่แตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันในช่วงโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีค่าต่ำ ในขณะที่ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิดที่ได้จากวิธี FXD-TR-MT มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อกำหนดให้ค่า $r = 2$ และ $r = 1$ ซึ่งเป็นผลมาจากวิธี FXD-TR-MT จะเลือกค่าผลเฉลยที่ให้ผลรวมสูงสุด โดยไม่สนใจว่าทราฟฟิกชนิดใดจะได้รับค่าการใช้ประโยชน์มากหรือน้อยกว่าทราฟฟิกชนิดอื่นเท่าไร ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการแทนค่า $v_i = u_1 + u_2$ สำหรับทุกค่าของ i เมื่อ $i = 1, 2$ ลงในสมการ (5.11) แล้วผลเฉลยที่ได้มีค่าเป็นดังนี้

$$(u_1^*, u_2^*) = \arg\max_{\mathbf{u}\in\mathbb{S}}(\prod_{i=1}^{2}(u_1+u_2)_i^{\eta_i}) \quad (5.12)$$

$$= \arg\max_{\mathbf{u}\in\mathbb{S}}(u_1+u_2) \quad (5.13)$$

ดังนั้น การพิจารณาจัดสรรแบนด์วิดท์ของระบบตามระดับความสำคัญของทราฟฟิกแต่ละชนิดตามวิธีการที่เสนอในหัวข้อนี้ จึงไม่สามารถใช้กับวิธี FXD-TR-M ได้ แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังสามารถใช้ได้กับวิธี FXD-TR-N และ FXD-TR-R อีกทั้งยังให้ค่าการใช้ประโยชน์รวมใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่ได้พิจารณาระดับความสำคัญของทราฟฟิกอีกด้วย

5.2.2 ผลทดสอบสมรรถนะของระบบเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความสำคัญของทราฟฟิก (r)

ในการทดสอบที่ผ่านมาพบว่า การกำหนดอัตราส่วนระดับความสำคัญ (r) ของทราฟฟิกนอกจากมีผลทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกแต่ละชนิดเปลี่ยนแปลงไป ยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการใช้ประโยชน์รวมอีกด้วย ซึ่งในการใช้งานจริงระบบจะได้รับประโยชน์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการตอบรับทราฟฟิกที่มีระดับความสำคัญแตกต่างกันเข้ามาในระบบ ดังนั้นในส่วนนี้จึงได้ศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความสำคัญของทราฟฟิก (r) โดยพิจารณาในส่วนของประโยชน์ที่ระบบได้รับจากการตอบรับทราฟฟิกที่มีระดับความสำคัญแตกต่างกัน

เนื่องจากทราฟฟิกชนิดที่ i ซึ่งมีระดับความสำคัญเท่ากับ η_i จะมีอำนาจการต่อรองค่าการใช้ประโยชน์ η_i เท่า ดังนั้นในที่นี้จึงได้เสนอให้ระบบควรได้รับประโยชน์จากทราฟฟิกที่มีระดับความสำคัญ η_i มีค่าเป็น η_i เท่าของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ i ได้รับ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้เสนอให้พิจารณาประโยชน์ที่ระบบได้รับในรูปของค่าผลประโยชน์ที่ระบบจะได้รับ (Υ) มีค่าดังนี้

$$\Upsilon = \sum_{i=1}^{k} \eta_i u_i \quad (5.14)$$

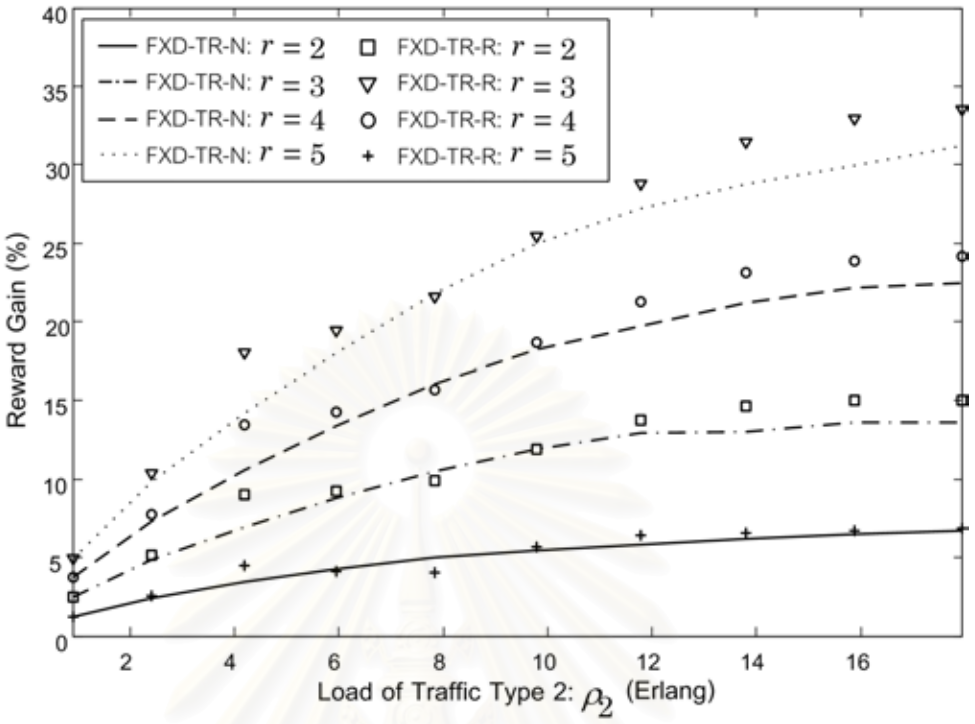
ระบบที่ใช้ทดสอบสมรรถนะเป็นไปตามแบบจำลองดังรูปที่ 4.1 ซึ่งมีค่าความจุของข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 150 Mbps และระบบประกอบไปด้วยทราฟฟิก 2 ชนิด โดยกำหนดให้ทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีลักษณะของความต้องการแบนด์วิดท์ กำหนดด้วยฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล $(G_i(n_i))$ ตามสมการ (2.5) พารามิเตอร์ $(\alpha_1, \beta_1) = (0.64, 0)$ Mbps แทนทราฟฟิกชนิดแบนด์แคบ (narrow-band traffic) ซึ่งมีระดับความสำคัญต่ำ และพารามิเตอร์ $(\alpha_2, \beta_2) = (6, 10)$ Mbps แทนทราฟฟิกชนิดที่ 2 ซึ่งใช้แทนทราฟฟิกชนิดแบนด์กว้าง (wide-band traffic) ซึ่งมีระดับความสำคัญสูง โดยให้ $r = \eta_2/\eta_1$ แทนอัตราส่วนระดับความสำคัญของทราฟฟิกชนิดที่ 2 ต่อทราฟฟิกชนิดที่ 1 เมื่อกำหนดให้โหลดของทราฟฟิกชนิดที่

1 (ρ_1) มีความต้องการแบนด์วิดท์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 60% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (ρ_2) มีความต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 10% ถึง 100% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง ผลการทดสอบสมรรถนะด้วยวิธี FXD-TR-N และ FXD-TR-R แสดงในรูปของค่าอัตราส่วนของผลประโยชน์ที่ระบบจะได้รับเพิ่มขึ้นเมื่อมีการพิจารณาระดับความสำคัญโดยเทียบกับกรณีไม่มีการพิจารณาระดับความสำคัญ (reward gain) โดยที่

$$\text{reward gain} = \frac{\Upsilon_{i,(r\neq 1)} - \Upsilon_{i,(r=1)}}{\Upsilon_{i,(r=1)}} \times 100\% \tag{5.15}$$

ผลของค่าอัตราส่วนของผลประโยชน์ที่ระบบจะได้รับเพิ่มขึ้นเมื่อมีการพิจารณาระดับความสำคัญโดยเทียบกับกรณีไม่มีการพิจารณาระดับความสำคัญที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.15 แต่การทดสอบสมรรถนะในส่วนนี้ไม่ได้แสดงผลการทดสอบด้วยวิธี FXD-TR-MT เพราะผลการเปลี่ยแปลงค่าอัตราส่วนระดับความสำคัญในวิธี FXD-TR-MT ไม่ทำให้ผลของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกเปลี่ยนแปลง ซึ่งดูได้จากผลการทดสอบในหัวข้อที่ผ่านมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.15 ผลของค่าอัตราส่วนของผลประโยชน์ที่ระบบจะได้รับเพิ่มขึ้นเมื่อมีการพิจารณาระดับความสำคัญ โดยเทียบกับกรณีไม่มีการพิจารณาระดับความสำคัญ

จากรูปที่ 5.15 ค่าอัตราส่วนของผลประโยชน์ที่ระบบจะได้รับเพิ่มขึ้นเมื่อมีการพิจารณาระดับความสำคัญโดยเทียบกับกรณีไม่มีการพิจารณาระดับความสำคัญที่ได้จากวิธี FXD-TR-N และ FXD-TR-R เมื่อ $r = 2, \ldots, 5$ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 เพิ่มขึ้น และสังเกตว่ายิ่งค่า r มีค่ามากยิ่งมีผลทำให้ค่าอัตราส่วนของผลประโยชน์ที่ระบบจะได้รับเพิ่มขึ้นเมื่อมีการพิจารณาระดับความสำคัญโดยเทียบกับกรณีไม่มีการพิจารณาระดับความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นเพราะค่าอัตราส่วนของผลประโยชน์ที่ระบบจะได้รับเพิ่มขึ้นเมื่อมีการพิจารณาระดับความสำคัญโดยเทียบกับกรณีไม่มีการพิจารณาระดับความสำคัญในสมการ (5.14) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามผลคูณของค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 กับค่าระดับความสำคัญ η_2 และประกอบกับผลเฉลยที่เหมาะสมตามสมการ (5.11) ทราฟฟิกที่มีค่า η สูงกว่าจะได้รับค่าการใช้ประโยชน์ที่มีค่าสูงกว่า ซึ่งดูได้จากภาคผนวก ก. นอกจากนี้รูปผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า ผลที่ได้จากวิธี FXD-TR-N และ FXD-TR-R มีค่าใกล้เคียงกัน

ผลจากการกำหนดให้พิจารณาประโยชน์ที่ระบบได้รับด้วยค่าอัตราส่วนของผลประโยชน์ที่ระบบจะได้รับเพิ่มขึ้นเมื่อมีการพิจารณาระดับความสำคัญโดยเทียบกับกรณีไม่มีการพิจารณาระดับความสำคัญตาม

สมการ (5.14) ซึ่งในการทดสอบนี้ได้แสดงเป็นค่าเปรียบเทียบประโยชน์ที่ระบบได้รับเมื่อคิดระดับความสำคัญของทราฟฟิก ($r > 1$) กับไม่คิดระดับความสำคัญของทราฟฟิก ($r = 1$) ปรากฏว่าค่าอัตราส่วนระดับความสำคัญยิ่งสูงระบบยิ่งได้รับประโยชน์มาก แต่อย่างไรก็ตามค่าอัตราส่วนของผลประโยชน์ที่ระบบจะได้รับเพิ่มขึ้นเมื่อมีการพิจารณาระดับความสำคัญโดยเทียบกับกรณีไม่มีการพิจารณาระดับความสำคัญที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้เป็นเพียงตัวอย่างหนึ่งในการบ่งชี้แนวโน้มของประโยชน์ที่ระบบจะได้รับ เมื่อใช้วิธี FXD-TR-N และ FXD-TR-R โดยในการนำไปใช้งานจริงอาจปรับปรุงวิธีคิดคำนวณประโยชน์ที่ระบบได้รับในรูปแบบอื่น ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสม เพื่อนำมาใช้ในการควบคุมการตอบรับการเรียกตามนโยบายการจองทรังค์คงที่ โดยมีจุดประสงค์เพื่อทำให้ระบบมีจุดทำงานที่สามารถให้ประสิทธิภาพสูง และมีความยุติธรรมในการจัดสรรแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงให้กับทราฟฟิกแต่ละชนิด โดยได้นำแนวคิดการพิจารณาเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์มาจากทฤษฎีเกมที่มีความร่วมมือ ซึ่งได้เสนอให้ประยุกต์แนวคิดวิธีการตัดสินใจจาก 3 แนวทางด้วยกัน คือ วิธีการตัดสินใจของแนช วิธีการตัดสินใจของไรฟ์ฟา และการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน โดยในที่นี้ได้กำหนดให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกแต่ละชนิดคือค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นแต่ละคนในเกม

ดังนั้นจากวิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ตามผลเฉลยของวิธีการตัดสินใจ 3 แบบ ทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่สามารถนำไปใช้ควบคุมทราฟฟิกในระบบที่พิจารณาแตกต่างกัน 3 วิธีคือ 1) วิธีการจองทรังค์คงที่โดยผลเฉลยของวิธีการตัดสินใจของแนช (Fixed Trunk Reservation by Nash arbitration solution: FXD-TR-N) 2) วิธีการจองทรังค์คงที่โดยผลเฉลยของวิธีการตัดสินใจของไรฟ์ฟา (Fixed Trunk Reservation by Raiffa arbitration solution: FXD-TR-R) 3) วิธีการจองทรังค์คงที่โดยผลเฉลยของการปรับปรุงวิธีการตัดสินใจของทอมสัน (Fixed Trunk Reservation by Modified Thomson arbitration solution: FXD-TR-MT)

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำวิธีการควบคุมทราฟฟิกดังกล่าวไปใช้ในกรณีที่แตกต่างกัน 3 แนวทางด้วยกัน ได้แก่

1. กรณีที่ไม่พิจารณารับประกันค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกแต่ละชนิดที่ระดับโหลดปกติ และไม่พิจารณาระดับความสำคัญของทราฟฟิก
2. กรณีที่พิจารณารับประกันค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกแต่ละชนิดที่ระดับโหลดปกติ แต่ไม่พิจารณาระดับความสำคัญของทราฟฟิก
3. กรณีที่ไม่พิจารณารับประกันค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกแต่ละชนิดที่ระดับโหลดปกติ แต่พิจารณาระดับความสำคัญของทราฟฟิก

โดยในกรณีที่มีการรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกแต่ละชนิดที่ระดับโหลดปกติมีเป้าหมายคือ เพื่อปกป้องทราฟฟิกชนิดอื่นจากการเข้ามาใช้แบนด์วิดท์ของระบบจากทราฟฟิกชนิดที่โอเวอร์โหลด

ระบบมากเกินไป ซึ่งเป็นผลจากแนวความคิดที่ว่าระบบควรให้การรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ที่ระดับโหลดปกติอย่างยุติธรรมกับทราฟฟิกทุกชนิด ดังนั้นจึงเสนอให้มีการปรับปรุงจุดเริ่มต้นการต่อรองจากเดิมที่กำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์เป็นมีค่าเท่ากับการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกแต่ละชนิดที่ระดับโหลดปกติ นอกจากนี้ได้เสนอให้มีพารามิเตอร์ที่ใช้ปรับระดับการรับประกัน เพื่อทำให้ระบบมีความยืดหยุ่นในการทำงานมากขึ้น และในกรณีที่พิจารณาระดับความสำคัญของทราฟฟิกได้เสนอให้ใช้เทคนิคการต่อรองที่ไม่สมมาตรของแนช โดยอาศัยแนวความคิดที่ว่าทราฟฟิกที่มีระดับความสำคัญสูงกว่าควรมีอำนาจในการต่อรองผลประโยชน์ที่สูงกว่า

ผลการทดสอบสมรรถนะของระบบข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่ใช้วิธีการควบคุมทราฟฟิกที่เสนอได้นำไปเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกตามนโยบายการจองทรังค์คงที่ด้วยค่าความน่าจะเป็นการบล็อกเท่ากัน [8] โดยระบบที่พิจารณาอยู่ภายใต้เงื่อนไขการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิกแต่ละชนิดตามฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล ผลการทดสอบระบบแบ่งตามกรณีที่พิจารณาได้ดังนี้

ในกรณีที่ 1 ได้ทดสอบผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบ ผลปรากฏว่าจากการใช้วิธี FXD-TR-MT ให้ค่าการใช้ประโยชน์รวมสูงสุด ในขณะที่วิธี FXD-TR-R ให้ค่าการใช้ประโยชน์รวมต่ำที่สุด และวิธี FXD-TR-N ให้ผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมอยู่ระหว่างทั้ง 2 วิธี แต่ให้ผลใกล้เคียงกับวิธี FXD-TR-BE นอกจากนั้นได้ทดสอบผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความต้องการแบนด์วิดท์ของทราฟฟิกในหน่วยย่อย ผลปรากฏว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

ในกรณีที่ 2 ได้ทดสอบผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบ ซึ่งผลปรากฏว่าวิธี FXD-TR-N วิธี FXD-TR-R และวิธี FXD-TR-MT ทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกทุกชนิดมีค่าไม่น้อยกว่าค่าที่ได้รับประกันไว้เมื่อระบบอยู่ในสภาวะโอเวอร์โหลด เมื่อทดสอบในกรณีที่มีการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ปรับระดับการรับประกัน ผลปรากฏว่าค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทั้งหมดที่ได้จากวิธี FXD-TR-N มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 0% ถึง 1% เมื่อคิดเทียบกับกรณีไม่มีการปรับระดับการรับประกัน ในขณะที่วิธี FXD-TR-R ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่วิธี FXD-TR-MT จะให้ค่าการใช้ประโยชน์รวมเพิ่มขึ้น 0% ถึง 5%

ในกรณีที่ 3 ได้ทดสอบผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบ ซึ่งผลปรากฏว่าวิธี FXD-TR-N และ FXD-TR-R สามารถทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกแต่ละชนิดตามระดับความสำคัญ และผลของค่าการใช้ประโยชน์รวมของทราฟฟิกทุกชนิดมีค่าใกล้เคียงกับในกรณีที่ไม่พิจารณาระดับความสำคัญของทราฟฟิก แต่ในขณะที่วิธี FXD-TR-MT ให้ผลไม่เปลี่ยนแปลง ในส่วนเพิ่มเติมได้เสนอให้พิจารณาค่าอัตราส่วนของผลประโยชน์ที่ระบบจะได้รับเพิ่มขึ้นเมื่อมีการพิจารณาระดับความสำคัญโดยเทียบกับกรณีไม่มีการพิจารณาระดับความสำคัญ ผลปรากฏว่าวิธี FXD-TR-N ให้ค่าอัตราส่วนของผลประโยชน์ที่ระบบจะได้รับเพิ่มขึ้นเมื่อมีการพิจารณาระดับความสำคัญต่ำกว่าวิธี FXD-TR-R เล็กน้อย

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงความซับซ้อนของการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เสนอ ในขั้นตอนการค้นหาต้องอาศัยการคำนวณที่ซับซ้อน และหน่วยความจำของระบบคอมพิวเตอร์ในการเก็บค่าพารามิเตอร์เป็นจำนวนมาก แต่เนื่องด้วยผลของการปรับค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์เป็นค่าไม่ต่อเนื่อง โดยจะขึ้นอยู่กับหน่วยความต้องการแบนด์วิดท์ที่มีขนาดเล็กที่สุดของทราฟฟิกในระบบ ดังนั้นจึงสามารถลดจำนวนครั้งในการคำนวณได้ และการปรับค่าโดยอาศัยหลักตรรกะก็จะช่วยลดจำนวนสมาชิกในปริภูมิพารามิเตอร์การจองทรังค์ได้ นอกจากนั้นในการนำไปใช้งานกับระบบจริงควรมีการคำนวณค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์เก็บไว้ในฐานข้อมูลล่วงหน้าเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสม

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. การลดระดับความซับซ้อนของวิธีการค้นหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์

   เนื่องจากวิธีการค้นหาเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสมที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ยังมีความซับซ้อนอยู่มาก ดังนั้นงานวิจัยขั้นตอนต่อไปควรหาอัลกอลิทึมในการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่สามารถลดระยะเวลาในการค้นหา รวมไปถึงหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูล ซึ่งอาจอยู่ในรูปของวิธีฮิวริสติกอัลกอริทึม หรือวิธีการค้นหาค่าพารามิเตอร์การจองที่เหมาะสมวิธีอื่นที่สามารถหาค่าที่เหมาะสมอย่างแท้จริง (optimal solution) ได้อย่างรวดเร็ว โดยอาจนำแนวคิดจากการพิจารณาค่าความยืดหยุ่น (elasticity) มาช่วยในการปรับหาคำตอบที่ดีที่สุดให้เร็วขึ้น

2. การขยายขอบเขตการพิจารณาในระดับโครงข่าย

   เนื่องจากในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอให้พิจารณาในข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่มีค่าความจุคงที่ ดังนั้นในงานวิจัยขั้นตอนต่อไปควรจะพัฒนาให้สามารถไปใช้ในระบบที่ประกอบด้วยข่ายเชื่อมโยงหลายข่ายเชื่อมโยงเชื่อมต่อกัน และอาจพิจารณาในโครงข่ายหลายระดับ

3. การขยายขอบเขตการพิจารณาเพิ่มเติมในกรณีที่พิจารณาการรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ที่โหลดระดับปกติร่วมกับการพิจารณาระดับความสำคัญของทราฟฟิก

   เนื่องจากในวิทยานิพนธ์นี้ไม่ได้พิจารณาในกรณีที่มีการรับประกันค่าการใช้ประโยชน์ที่โหลดระดับปกติร่วมกับการพิจารณาระดับความสำคัญของทราฟฟิก ดังนั้นเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์กับระบบการให้บริการเชื่อมต่อข้อมูลได้อย่างครบคลุม งานวิจัยขั้นตอนต่อไปจึงควรพิจารณาในส่วนนี้เพิ่มเติม

4. การพัฒนาเทคนิคการควบคุมทราฟฟิกแบบพลวัต

เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้เสนอให้พิจารณาระบบภายใต้สมมติฐานของกระบวนการปัวส์ซง ซึ่งปริมาณโหลดที่เข้ามาในระบบคงที่เป็นระยะเวลานานพอที่ระบบจะลู่เข้าสู่สถานะอยู่ตัว ดังนั้นเพื่อทำให้วิธีการควบคุมสามารถปรับใช้งานกับระบบที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดในระบบอย่างรวดเร็ว งานวิจัยขั้นตอนต่อไปจึงควรพัฒนาเทคนิคการควบคุมทราฟฟิกให้สามารถปรับใช้งานได้กับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างพลวัต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] Walrand, J. and Varaiya, P. High-Performance Communication Networks. California: Morgan Kaufmann Publishers, 2000.

[2] ATM Forum User Network Interface (UNI) 4.0 Specification. (1996).

[3] Guérin, R.; Ahmadi, H. and Naghshineh, M. Equivalent Capacity and its Application to Bandwidth Allocation in High-Speed Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications (September 1991): 968-981.

[4] Elwalid, A. I. and Mitra, D. Effective Bandwidth of General Markovian Traffic Sources and Admission Control of High Speed Networks. IEEE/ACM Transactions on Networking 1 (June 1993): 329-343.

[5] Chang-Shang, C. and Thomas, J. A. Effective Bandwidth in High Speed Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications 13 (August 1995): 1091-1100.

[6] Dziong, Z.; Shukhman, B. and L.G. Mason. Estimation of Aggregate Effective Bandwidth for Traffic Admission in ATM Network. in Proceedings IEEE INFOCOM'95 2 (2-6 April 1993): 810-818.

[7] Briem,U.; Wallmeier, E.; Beck, C. and Matthiesen, F. Traffic Management for an ATM Switch with Per-VC Queuing: Concept and Implementation. IEEE Communication Magazine. (January 1998): 88-93.

[8] Aswakul, C. and Barria, J. A. Analysis of Dynamic Service Separation with Trunk Reservation Policy. in Proceedings IEE Communications 149 (February 2002): 23-28.

[9] Ross, K.W. and Tsang, D.H.K. Optimal Circuit Access Policies in an ISDN Environment: A Markov Decision Approach. IEEE Transactions on Communications 37 (September 1989): 935-939.

[10] Kaufman, J. S. Blocking in a Shared Resource Environment. IEEE Transactions on Communications COM-29 (October 1981): 1474-1481.

[11] Beard, C. C. and Frost, V. S. Connection Admission Control for Differentiating Priority Traffic on Public Networks. IEEE MILCOM. 2 (31 October – 3 November 1999): 1401-1408.

[12] Choudhury, G. L.; Leung, K. K. and Whitt, W. Efficiently Providing Multiple Grades of Service with Protection Against Overloads in Shared Resources. AT&T Technical Journal (July/August 1995): 50-63.

[13] Biswas, S. K. and Sengupta, B. Call Admissibility for Multirate Traffic in Wireless ATM Networks. in Proceedings IEEE INFOCOM 2 (April 1997): 649-657.

[14] Wang, W. and Saadawi, T.N. Trunk Congestion Control in Heterogeneous Circuit Switched Networks. IEEE Transactions on communications. 40 (July 1992): 1156-1161.

[15] Dziong, Z. and Mason, L. Fair-Efficient Call Admission Control Policies for Broadband Networks-A Game Theoretic Framework. IEEE/ACM Transactions on Networking. 4 (February 1996): 123-136.

[16] Hunt, P. J. and Laws, C. N. Optimization via Trunk Reservation in Single Resource Loss Systems Under Heavy Traffic. Annals of Applied Probability. 7 (1999).

[17] Borst, S.C. and Mitra, D. Virtual Partitioning for Robust Resource Sharing: Computational Techniques for Heterogeneous Traffic. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 16 (June 1998): 668-678.

[18] Mazumdar, R. Fairness in Network Optimal Flow Control: Optimality of Product Forms. IEEE Transactions on Communications. 39 (May 1990): 775-782.

[19] Chang, X. and Subramanian, K. R. A Cooperative Game Theory Approach to Resource Allocation in Wireless ATM Networks. in Proceedings Networking 2000 Paris, France. (14-19 May 2000).

[20] Chan, S. and Zukerman, M. A New Max-min Fairness Definition to Neutralize Malicious Users. in Proceedings IEEE ICC 2000. 3 (18-22 June 2000): 1310-1314.

[21] Garg, R. and Saran, H. Fair Bandwidth Sharing Amoung Virtual Networks: A Capacity Resizing Approach, IEEE INFOCOM 2000. 1 (26-30 March 2000): 255-264.

[22] Cao, X. and Shen, H. Internet Pricing with A Game Theoretical Approach: Concepts and Examples. IEEE/ACM Transactions on Networking. 10 (April 2002).

[23] Virapanicharoen, J. and Benjapollakul, W. Fair-Efficient Guard Bandwidth Coefficients Selection in Call Admission Control for Mobile Multimedia Communications. in Proceedings IEEE ICC2004. (June 2004).

[24] Luce, D. and Raiffa, H. Game and Decisions. New York: Wiley, 1957.

[25] Kelly, F. P. Reversibility and Stochastic Networks, Chichester: Wiley, 1979.

[26] Ross, K.W. and Tsang, D. Teletraffic Engineering for Product-Form Circuit-Switched Networks. Advances in Applied Probability. 22 (1990): 657-675.

[27] Hui, J.Y. Resource Allocation for Broadband Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 6 (December 1988): 1598-1608.

[28] Ritter, M. and Tran-Gia, P. COST 242 Interim Report: Multi-Rate Models for Dimensioning and Performance Evaluation of ATM Networks. Technical Report University of Wurzburg. (June 1994).

[29] Roberts, J.W. Teletraffic Models for Telecom 1 Integrated Services Network. Proceedings Internatlonal Teletraffic Congress, Montreal. (June 1983).

[30] Kuhn, H.W. Classic in Game Theory. New Jersey: Princeton University Press, 1997.

[31] Nash, J. Non-Cooperative Games. Annals of Mathematics Journal. 54 (11 October 1950): 286-295.

[32] Mayerson, R.B. Game Theory Analysis of Conflict. USA: Harvard College, 1991.

[33] Cao, X. Preference Functions and Bargaining Solutions. in Proceedings IEEE Decision and Control, Orlando, FL, USA. (December 1982).

[34] Faires, J. D. and Burden, R.L. Numerical Method. Boston: PWS Publishing Company, 1993.

[35] Chiang, A.C. Fundamental Method of Mathematical Economics, 3th edition. Singapore: Mcgraw-Hill Book Company, 1984.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

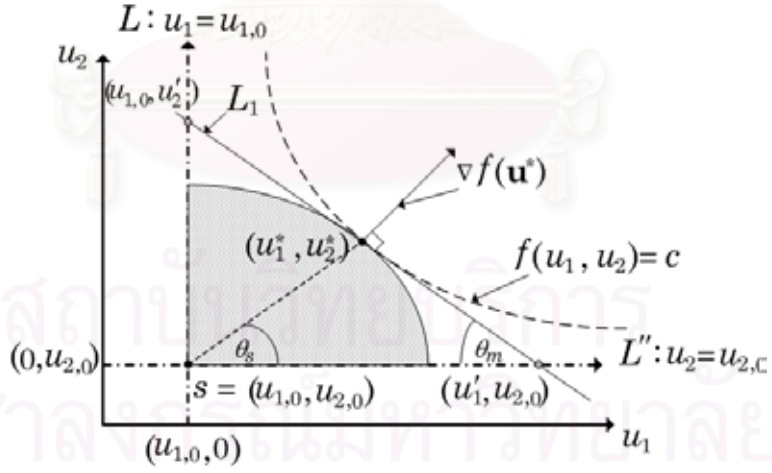
บทพิสูจน์ทฤษฎีความไม่สมดุลของแนช

ในภาคผนวก ก ได้กล่าวถึงบทพิสูจน์ทฤษฎีความไม่สมดุลของแนช (nonsymmetric Nash bargaining theory) ซึ่งอ้างอิงมาจากหนังสือในรายการอ้างอิง [32] โดยขอกล่าวถึงรายละเอียดพอสังเขปดังนี้

ผลเฉลยปัญหาการต่อรองของบุคคล 2 คน (two-person bargaining problem) สามารถหาได้จากจุดที่ทำให้ค่าผลคูณทั่วไปของแนช (generalized Nash product) มีค่าสูงสุด

$$(u_1^*, u_2^*) = \arg \max_{(u_1,u_2)\in\mathbb{S}} (u_1 - u_{1,0})^{\eta_1}(u_2 - u_{2,0})^{\eta_2} \qquad (ก.1)$$

เมื่อ u_i คือ ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ i ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้ผู้เล่นคนที่ i แทนด้วยทราฟฟิกชนิดที่ i เมื่อ $i = 1, 2$ และ u_i มีค่าเท่ากับค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ i และ $u_{i,0}$ แทนจุดเริ่มต้นการต่อรองของทราฟฟิกชนิดที่ i โดยที่กำหนดให้ $\eta_i > 0$ แทนอำนาจการต่อรอง (bargaining power) ของทราฟฟิกชนิดที่ i และ (u_1^*, u_2^*) แทนผลเฉลยการต่อรอง และ $\mathbb{S}$ คือ เซตของค่าการใช้ประโยชน์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด



รูปที่ ก.1 ปริภูมิการใช้ประโยชน์ 2 มิติ

ต่อไปนี้จะเป็นการพิสูจน์ความสัมพันธ์ของค่าอำนาจการต่อรอง η_i กับค่าผลเฉลย

กำหนดให้พิจารณาในปริภูมิ 2 มิติ $(i = 1, 2)$ รูปที่ ก.1 แสดงปริภูมิของการใช้ประโยชน์โดยมีเส้นขอบเขตของปริภูมิแทนขอบบนของพาเรโต ถ้าให้จุด $(u_{1,0}, u_{0,2})$ แทนจุดเริ่มต้นการต่อรอง และ

(u_1^*, u_2^*) แทนจุดที่เป็นผลเฉลยของปริภูมินี้ตามสมการ (ก.1) ดังนั้นค่า $u_1^* u_2^*$ เป็นค่าคงที่ใด ๆ ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ c ดังนั้นจะมีฟังก์ชัน

$$f(u_1, u_2) = (u_1 - u_{1,0})^{\eta_1}(u_2 - u_{2,0})^{\eta_2} = c \tag{ก.2}$$

ผ่านจุด (u_1^*, u_2^*) ซึ่งเขียนให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ $\mathbf{u}^* = [u_1^* \ u_2^*]^\top$ดังนั้นจะมีเกรเดียนต์เวกเตอร์ (gradient vector) $\nabla f(\mathbf{u}^*)$ เป็นเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับเส้นโค้ง f ณ จุด (u_1^*, u_2^*) โดยที่

$$\nabla f(\mathbf{u}^*) = \left[\frac{\partial f}{\partial u_1} \ \frac{\partial f}{\partial u_2}\right]^\top \tag{ก.3}$$

ดังนั้นจะได้

$$\nabla f(\mathbf{u}^*) = \begin{bmatrix} \eta_1(u_1^* - u_{1,0})^{\eta_1 - 1}(u_2^* - u_{2,0})^{\eta_2} \\ \eta_2(u_1^* - u_{1,0})^{\eta_1}(u_2^* - u_{2,0})^{\eta_2 - 1} \end{bmatrix} \tag{ก.4}$$

กำหนดให้เส้นตรง L_1 เป็นเส้นสัมผัสฟังก์ชัน $f(u_1, u_2)$ ณ จุด (u_1^*, u_2^*) ดังนั้นเส้นตรงนี้จะมีเวกเตอร์

$$\mathbf{u} - \mathbf{u}^* = [u_1 - u_1^* \ u_2 - u_2^*]^\top \tag{ก.5}$$

โดยผลคูณภายใน (inner product) ของเกรเดียนต์เวกเตอร์ $\nabla f(\mathbf{u}^*)$ กับเวกเตอร์ $\mathbf{u} - \mathbf{u}^*$ มีค่าเท่ากับศูนย์ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\nabla f(\mathbf{u}^*)^\top \cdot (\mathbf{u} - \mathbf{u}^*) = \mathbf{0} \tag{ก.6}$$

จะได้ว่าสมการเส้นสัมผัสขอบบนของพาเรโต ณ จุดผลเฉลย (u_1^*, u_2^*) ซึ่งแทนด้วย L_1 เป็นดังนี้

$$\frac{\eta_1(u_1 - u_1^*)}{(u_1^* - u_{1,0})} + \frac{\eta_2(u_2 - u_2^*)}{(u_2^* - u_{2,0})} = 0 \tag{ก.7}$$

กำหนดให้เส้นตรง L_1 ตัดกับเส้นตรง $L'' : u_2 = u_{2,0}$ ณ จุด $(u_1', u_{2,0})$ และ ตัดกับเส้นตรง $L : u_1 = u_{1,0}$ ณ จุด $(u_{1,0}, u_2')$ ดังนั้นจุดทั้ง 2 จะเป็นจุดที่ผ่านเส้นตรงในสมการ (ก.7) เมื่อแทนจุด $(u_1', u_{2,0})$ ลงในสมการ (ก.7) จะได้

$$\frac{\eta_1(u_1' - u_1^*)}{(u_1^* - u_{1,0})} + \frac{\eta_2(u_{2,0} - u_2^*)}{(u_2^* - u_{2,0})} = 0 \tag{ก.8}$$

$$\frac{\eta_1(u_1' - u_1^*)}{(u_1^* - u_{1,0})} - \eta_2 = 0 \tag{ก.9}$$

ดังนั้น

$$u_1^* = \frac{\eta_1 u_1' + \eta_2 u_{1,0}}{\eta_1 + \eta_2} \tag{ก.10}$$

และเมื่อแทนจุด $(u_{1,0}, u'_2)$ ลงในสมการ (ก.7) จะได้

$$\frac{\eta_1(u_{1,0} - u^*_1)}{(u^*_1 - u_{1,0})} + \frac{\eta_2(u'_2 - u^*_2)}{(u^*_2 - u_{2,0})} = 0 \tag{ก.11}$$

$$\eta_2 - \frac{\eta_2(u'_2 - u^*_2)}{(u^*_2 - u_{2,0})} = 0 \tag{ก.12}$$

$$u^*_2 = \frac{\eta_2 u'_2 + \eta_1 u_{2,0}}{\eta_1 + \eta_2} \tag{ก.13}$$

ให้ $a = \frac{\eta_1}{\eta_1+\eta_2}$ และ $b = \frac{\eta_2}{\eta_1+\eta_2}$ ดังนั้นสมการ (ก.10) และ (ก.13) เขียนใหม่ได้เป็น

$$u^*_1 = au'_1 + bu_{1,0} \tag{ก.14}$$

และ

$$u^*_2 = bu'_2 + au_{2,0} \tag{ก.15}$$

ถ้ากำหนดให้มุม θ_m เป็นมุมที่เส้นตรง L_1 ทำมุมกับเส้นตรง L'' $u_2 = u_{2,0}$ จะได้ว่า

$$\tan\theta_m = \frac{u'_2 - u_{2,0}}{u'_1 - u_{1,0}} \tag{ก.16}$$

และให้มุม θ_s เป็นมุมที่จุด (u^*_1, u^*_2) ทำมุมกับจุดเริ่มต้นการต่อรอง $(u_{1,0}, u_{2,0})$ จะได้ว่า

$$\tan\theta_s = \frac{u^*_2 - u_{2,0}}{u^*_1 - u_{1,0}} \tag{ก.17}$$

แทนค่า u^*_1 และ u^*_2 จากสมการ (ก.14) และ (ก.15) ลงในสมการ (ก.17) ดังนั้นจะได้

$$\tan\theta_s = \frac{b(u'_2 - u_{2,0})}{a(u'_1 - u_{1,0})} \tag{ก.18}$$

จึงได้ว่า

$$\tan\theta_s = \frac{b}{a}\tan\theta_m \tag{ก.19}$$

ดังนั้นถ้า $a > b$ ซึ่งหมายความว่า $\eta_1 > \eta_2$ แล้ว $\theta_m > \theta_s$ และในทำนองเดียวกันในกรณีผลคูณของแนช (Nash product) ถ้า $\eta_1 = \eta_2 = 1$ แล้ว $\theta_m = \theta_s$

จากสมการทั้งหมดที่ผ่านมาบ่งบอกได้แต่เพียงว่าค่า η_1 และค่า η_2 มีผลกับค่ามุม θ_m และ θ_s ซึ่งทั้งหมดยังไม่สามารถแสดงให้เห็นความหมายของบทพิสูจน์บทนี้ได้ชัดเจนนัก แต่ในบทวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ระบุว่าค่ามุมทั้ง 2 สามารถใช้ชี้วัดข้อมูลที่จำเป็นบนกราฟได้

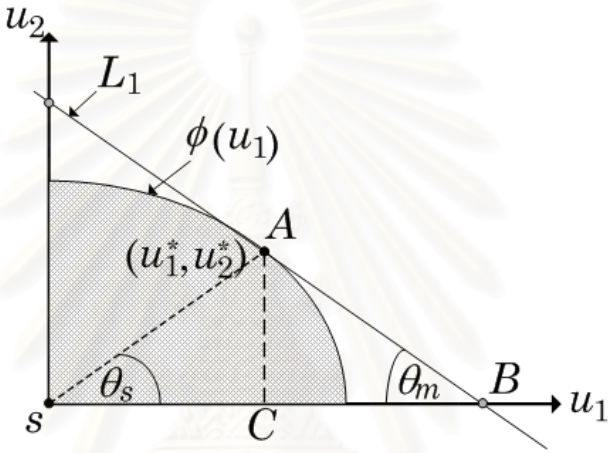
ถ่ากำหนดให้เส้นขอบเขตบนของพาเรโตแทนได้ด้วยฟังก์ชัน $u2 = \phi(u_1)$ แล้ว ค่าความยืดหยุ่น (elasticity: ϵ) [31]

$$\epsilon_{u_2u_1} \equiv \frac{\delta u_2/u_2}{\delta u_1/u_1} = \frac{\delta u_2/\delta u_1}{u_2/u_1} \tag{ก.20}$$

และเมื่อค่า $\delta u_1 \to 0$ และ $\delta u_2 \to 0$ แล้วเขียนสมการ (ก.20) ใหม่ได้เป็น

$$\epsilon_{u_2u_1} \equiv \frac{du_2/u_2}{du_1/u_1} = \frac{du_2/du_1}{u_2/u_1} \tag{ก.21}$$

โดยที่ค่า $\frac{du_2}{du_1}$ หมายถึง ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน $\phi(u_1)$ เทียบ u_1 และค่า $\frac{u_2}{u_1}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยของฟังก์ชัน $\phi(u_1)$ และเราจะเรียกจุด (u_1, u_2) ว่าเป็น elastic point ก็ต่อเมื่อ ค่า $|\epsilon_{u_2u_1} > 1|$ และเรียกว่า unit elastic point ก็ต่อเมื่อ ค่า $|\epsilon_{u_2u_1} = 1|$ และ inelastic point ก็ต่อเมื่อ ค่า $|\epsilon_{u_2u_1} < 1|$ พิจารณามุม θ_s และ θ_m



รูปที่ ก.2 มุม θ_s และ θ_m ณ จุดสัมผัส A

$$\tan\theta_s = \frac{|\overline{CA}|}{|\overline{sC}|} \tag{ก.22}$$

และ

$$\tan\theta_m = \frac{|\overline{CA}|}{|\overline{CB}|} \tag{ก.23}$$

และที่จุด (u_1^*, u_2^*) ค่าอัตราส่วนของ u_2^* ต่อ u_1^* สามารถหาได้ดังนี้

$$\frac{u_2^*}{u_1^*} = \frac{|\overline{CA}|}{|\overline{sC}|} \tag{ก.24}$$

เมื่อพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชัน $\phi(u_1)$ ณ จุด (u_1^*, u_2^*) สามารถหาได้จากความชันของเส้นตรง L_1 ซึ่งมีค่า

$$\frac{\delta u_2}{\delta u_1} = \frac{|\overline{CA}|}{|\overline{CB}|} \tag{ก.25}$$

ดังนั้นจะได้ค่า

$$|\epsilon_{u_1u_2}| = \frac{|\delta u_2/u_1|}{u_2/u_1} = \frac{\tan\theta_m}{\tan\theta_s} \tag{ก.26}$$

และแสดงให้เห็นว่า ถ้า $\theta_m > \theta_s$ จะทำให้ค่า $|\epsilon_{u_1u_2}| > 1$ และถ้า $\theta_m = \theta_s$ จะทำให้ค่า $|\epsilon_{u_1u_2}| = 1$ และถ้า $\theta_m < \theta_s$ จะทำให้ค่า $|\epsilon_{u_1u_2}| < 1$

ในบทพิสูจน์ที่กล่าวมามีนัยสำคัญอยู่ที่ความหมายของค่า elasticity และความสัมพันธ์ของค่า η_1 และ η_2 ที่มีต่อผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง และเนื่องจากขอบบนของพาเรโตมีลักษณะเป็น convex curve และจากบทสรุปเราจะได้ว่าเมื่อค่า $\eta_1 > \eta_2$ ซึ่งเป็นผลให้ $\theta_m > \theta_s$ จะทำให้ผลเฉลยมีค่าเอนเอียงมาทางแกน u_1 มากกว่า u_2 ซึ่งถ้ากำหนดให้ ขอบบนของงพาเรโต ที่พิจารณามีคุณสมบัติสมมาตรแล้วจะได้ว่า $u_1^* > u_2^*$ และในทางกลับกัน เมื่อค่า $\eta_1 < \eta_2$ ซึ่งเป็นผลให้ $\theta_m < \theta_s$ จะทำให้ผลเฉลยมีค่าเอนเอียงมาทางแกน u_2 มากกว่า u_1 ดังนั้นจึงทำให้ค่า η_1 และ η_2 ใช้ระบุอำนาจในการต่อรองได้ และในกรณีของผลคูณของแนชที่กำหนดให้ $\eta_1 = \eta_2$ ซึ่งจะทำให้ ณ จุดที่เป็นผลเฉลยจะเป็นจุดที่ทำให้ค่า elasticity: $|\epsilon_{u_1u_2}| = 1$ ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของเส้นโค้ง $\phi(u_1)$ มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของเส้นโค้งทั้งเส้นพอดี และในความหมายนี้เองจึงชี้ให้เห็นว่าจะเป็นค่าที่ให้ความยุติธรรมในการตัดสินมากที่สุด เพราะการเปลี่ยนแปลงของ u_2 ในช่วงสั้น ๆ เทียบกับการเปลี่ยนแปลงของ u_1 ในช่วงเท่ากัน จะมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของค่า u_2 ตลอดช่วงของกราฟเทียบกับค่า u_1 ตลอดช่วงของกราฟ ในขณะที่จุดอื่น ๆ บนกราฟจะทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของ u_2 ในช่วงสั้น ๆ เทียบกับการเปลี่ยนแปลงของ u_1 ในช่วงเท่ากันมีค่ามากกว่า หรือน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า u_2 ตลอดช่วงของกราฟเทียบกับค่า u_1 ตลอดช่วงของกราฟ ซึ่งที่จุดดังกล่าวจะเป็นจุดตัดสินใจที่มีแนวโน้มเอนเอียงไปทางแกนใดแกนหนึ่ง

ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาเงื่อนไขการตัดสินใจของไรฟ์ฟา และการปรับปรุงของทอมสัน ทั้งสองเงื่อนไขจะเป็นการตัดสินใจที่ให้ความยุติธรรมในรูปของ preference function: $v(\cdot)$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

เนื่องจากส่วนหนึ่งของงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการตีพิมพ์ และเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการทั้งหมด 3 ฉบับ ดังนี้

- บทความทางวิชาการในงานประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26 (EECON26) ณ อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี ในวันที่ 6-7 พฤศจิกายน 2546 ในชื่อบทความเรื่อง *นโยบายการจองทรังค์อย่างยุติธรรมในการควบคุมการตอบรับการเรียกโดยใช้ทฤษฎีเกมความร่วมมือ (Fair Trunk Reservation Policy in Call Admission Control Using Cooperative Game Theory)*

- บทความวิชาการในงานประชุมวิชาการ International Symposium on Communications and Information Technologies 2004 (ISICT2004) จัดขึ้นที่ Sapporo Convention Center ณ เมือง Sapporo ประเทศญี่ปุ่น ในวันที่ 26—29 ตุลาคม 2547 ในชื่อบทความเรื่อง *Fair Guaranteeing Nominal Utilization by Trunk Reservation Policy Using Cooperative Game Theory*

- บทความวิชาการในงานประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 4 (The 4th National Symposium on Graduate Research) จัดขึ้น ณ โรงแรมโลตัสปางสวนแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ ในวันที่ 10—11 สิงหาคม 2547 ในชื่อบทความเรื่อง *การประเมินค่าสมรรถนะโดยนโยบายการจองทรังค์อย่างยุติธรรมซึ่งใช้เทคนิคการต่อรองอย่างไม่สมมาตรของแนช (Performance Evaluation of Fair Trunk Reservation Policy Based on Nonsymmetry Nash Bargaining Technique)*

ดังนั้นจึงขอนำบทความที่ได้รับการตีพิมพ์มาเสนออีกครั้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นโยบายการจองทรังค์อย่างยุติธรรมในการควบคุมการตอบรับการเรียกโดยใช้ทฤษฎีเกมความร่วมมือ

Fair Trunk Reservation Policy in Call Admission Control Using Cooperative Game Theory

กลิกา สุขสมบูรณ์ เชาวน์ดิศ อัศวกุล ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ และ ศักดิ์ เสกขุนทด
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร 0-2218-6915 โทรสาร 0-2218-6912 E-mail: kmitmink@yahoo.com

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ได้เสนอ วิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่ให้ความยุติธรรมในการจัดสรรแบนด์วิดท์กับทราฟฟิกแต่ละชนิด โดยพิจารณาจากเงื่อนไขการตัดสินใจในทฤษฎีเกมความร่วมมือ ซึ่งมี 3 แบบ คือ Nash, Raiffa และ Modified Thomson ระบบที่พิจารณาได้แก่ ระบบของข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่ใช้เทคนิคการแบ่งแยกการให้บริการทราฟฟิก (service separation) ซึ่งทำให้การจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับทราฟฟิกแต่ละชนิดสามารถทำได้ในทางปฏิบัติโดยใช้ฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล (equivalent bandwidth) เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบผลปรากฏว่าเมื่อในระบบมีปริมาณโหลดมาก การใช้วิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] จะให้ผลที่ได้ใกล้เคียงกับ วิธีเลือกค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจของ Nash และ ค่า utilization รวมที่ได้ มีค่ามากกว่ากรณีของ Raiffa และ มีค่าต่ำกว่ากรณีของ Modified Thomson เสมอ ในขณะเดียวกันก็มีความซับซ้อนในการใช้งานต่ำ ทำให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ

คำสำคัญ : การจัดสรรแบนด์วิดท์, การควบคุมการตอบรับการเรียก, เกมความร่วมมือ, ความยุติธรรม, การจองทรังค์

Abstract

In this paper, a selection of trunk reservation parameters has been proposed to provide fair accesses to each traffic by considering three game theoretic decision criteria of Nash, Raiffa and Modified Thomson. The considered system is based on the single link that employs the service separation technique, which allows the practical bandwidth allocation according to the notion of equivalent bandwidth. The reported numerical experiments show that, at high loading, the results from the blocking equalization by fixed trunk reservation [3] are very close to that of Nash. Their total link utilization is always greater than that of Raiffa and less than that of Modified Thomson. Meanwhile, the blocking equalization by fixed trunk reservation requires the least implementation complexity and hence its suitability in practical usages.

Keywords: bandwidth allocation, call admission control, cooperative game, fairness, trunk reservation

1. บทนำ

การควบคุมการตอบรับการเรียก (Call Admission Control: CAC) เป็นกลไกสำคัญที่ใช้แก้ปัญหาความคับคั่งภายในโครงข่าย โดยที่การควบคุมทราฟฟิกในโครงข่ายจะขึ้นอยู่กับวิธีการตัดสินใจที่เลือกใช้ใน CAC ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธี Complete Sharing (CS), วิธี Complete Partitioning (CP) วิธี Guaranteed Minimum (GM) [1-2] และวิธี Trunk Reservation (TR) [3]

เนื่องจากวิธี TR เป็นวิธีที่ง่ายต่อการนำมาใช้ในทางปฏิบัติ และสามารถควบคุมปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์สำหรับแต่ละทราฟฟิก ดังนั้นในบทความนี้จึงนำวิธี TR มาประยุกต์ และปรับปรุงให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานในทางปฏิบัติ โดยเสนอวิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ ที่สามารถให้ความยุติธรรมกับทราฟฟิกแต่ละชนิด โดยพิจารณาได้จากเงื่อนไขการตัดสินใจในทฤษฎีเกมความร่วมมือ ซึ่งมี 3 แบบ คือ Nash, Raiffa และ Modified Thomson [4-6] และเลือกให้จุดทำงานของระบบอยู่บน Pareto boundary ซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด [4-6] ระบบที่พิจารณาได้แก่ ระบบของการจองทรังค์ในข่ายเชื่อมโยงเดี่ยว (single link) ที่ใช้เทคนิคการแบ่งแยกการให้บริการทราฟฟิก (service separation) [3] ทำให้การจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับทราฟฟิกแต่ละชนิดสามารถทำได้ในทางปฏิบัติ โดยใช้ฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล (equivalent bandwidth) [7] ในการประมาณค่าแบนด์วิดท์ที่ระบบต้องการ

2. แบบจำลองที่ใช้ในการพิจารณา

พิจารณาระบบของข่ายเชื่อมโยงเดี่ยว ดังรูปที่ 1 กำหนดให้ข่ายเชื่อมโยงมีค่าความจุคงที่ และมีทราฟฟิกเข้ามาเพียง 2 ชนิด การเข้ามาของทราฟฟิกทั้งสองชนิดเป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซงที่เป็นอิสระต่อกัน (independent Possion process) และมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้

λ_i คือ อัตราเฉลี่ยของการเรียกเข้าของทราฟฟิกชนิดที่ i

$1/\mu_i$ คือ ระยะเวลาในการครอบครองทรังค์โดยเฉลี่ยต่อหนึ่งการเรียกของทราฟฟิกชนิดที่ i (ในบทความนี้กำหนดให้มีค่าคงที่เท่ากับ 1 หน่วยเวลา)

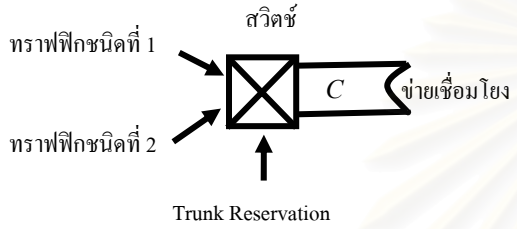
ρ_i คือ โหลดของทราฟฟิกชนิดที่ i มีค่าเท่ากับ λ_i / μ_i

C คือ ค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง

$G_i(n_i)$ คือ ค่าแบนด์วิดท์ที่ทราฟฟิกชนิดที่ i ต้องการเมื่อมีการเชื่อมต่อเป็นจำนวน n_i ซึ่งเป็นไปตามฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล [7] ดังสมการ

$$G_i(n_i) = \alpha_i n_i + \beta_i \sqrt{n_i} \qquad (1)$$

เมื่อ α_i และ β_i เป็นค่าพารามิเตอร์แสดงความเป็นเชิงเส้น และไม่เป็นเชิงเส้นของการมัลติเพล็กซ์เชิงสถิติ (statistical multiplexing) ตามลำดับ



รูปที่ 1 แบบจำลองข่ายเชื่อมโยงเดี่ยว

3. นโยบายการจองทรังค์ (Trunk Reservation Policy: TR)

CAC แบบ TR จะตัดสินใจปฏิเสธการเรียกหนึ่ง ๆ ก็ต่อเมื่อ

$$C - \sum_i G_i(n_i) < TR_i \qquad (2)$$

โดยที่ TR_i แทนค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ของทราฟฟิกชนิดที่ i จากสมมติฐานของระบบในหัวข้อที่ 2 สมรรถนะของระบบสามารถคำนวณได้จากแบบจำลอง 2-dimentional birth-death process และการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (numerical analysis) ด้วยวิธี Gaussian elimination [8] ผลจากการคำนวณจะได้ค่าการกระจายของสถานะอยู่ตัว (steady state distribution) สำหรับจำนวนการเชื่อมต่อของทราฟฟิกชนิดที่ i $P(N_i = n_i)$ ซึ่งสามารถนำไปใช้คำนวณค่า utilization ของทราฟฟิกชนิดที่ i ได้ตามสมการ

$$u_i = \frac{E[G_i(N_i)]}{C} \qquad (3)$$

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ในการเลือกค่าพารามิเตอร์ TR_i ที่เหมาะสม เพื่อให้การเลือกปฏิเสธการเข้าใช้ของทราฟฟิกแต่ละชนิดเป็นไปอย่างยุติธรรม และมีประสิทธิภาพ โดยจะประยุกต์ทฤษฎีเกมความร่วมมือมาช่วยในการตัดสินใจ

4. ทฤษฎีเกมความร่วมมือ (Cooperative Game Theory)

พิจารณาระบบข่ายเชื่อมโยงในรูปของปัญหาการต่อรอง (bargaining problem) ซึ่งประกอบไปด้วยผู้เล่น 2 ฝ่าย โดยที่แต่ละฝ่ายต่างพยายามต่อรองเพื่ออรรถประโยชน์ (utility) ของตนเอง ซึ่งในบทความนี้กำหนดให้เป็นค่า utilization u_i สำหรับผู้เล่น หรือทราฟฟิกชนิดที่ i (i =1,2) และมีค่าคำนวณได้จากสมการ (3) กำหนดให้ปริภูมิอรรถประโยชน์ (utility space: $\mathcal{S}$) คือเซตของค่าผลประโยชน์ที่เป็นไปได้ที่ผู้เล่นแต่ละฝ่ายจะได้รับ ให้ $s_0 = (u_1^0, u_2^0) \in \mathcal{S}$ แทนค่าเริ่มต้นในการต่อรอง และ (u_1^*, u_2^*) แทนค่าสุดท้ายที่ได้จากการต่อรอง โดยที่ $u_1^* \geq u_1^0$ และ $u_2^* \geq u_2^0$ และกำหนดให้ผู้เล่นมีความพอใจกับผลประโยชน์ที่ผู้เล่นแต่ละฝ่ายจะได้รับโดยเปรียบเทียบกับผลประโยชน์ที่ผู้เล่นอีกฝ่ายจะได้รับมีค่าเป็นดังฟังก์ชัน $v_i(\cdot)$ ให้ γ คือ weighting factor โดยที่ค่า $\gamma = 0,1,-1$ สำหรับการหาผลเฉลยตามเงื่อนไขของ Nash, Raiffa และ Modified Thomson ตามลำดับ [6] ในบทความนี้สมมติให้ $s_0 = (u_1^0, u_2^0) = (0,0)$ ดังนั้นสามารถหา (u_1^*, u_2^*) ได้จาก

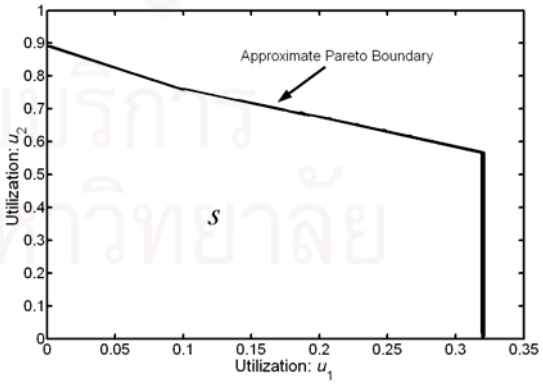
$$v_1 = u_1 - \gamma u_2 + |\gamma| \quad \text{และ} \quad v_2 = u_2 - \gamma u_1 + |\gamma| \qquad (5)$$

$$(u_1^*, u_2^*) = \arg\{\max_{u_1, u_2}[v_1 \cdot v_2]\} \qquad (4)$$

5. ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์

บทความนี้เลือกใช้วิธี Fixed Trunk Reservation ซึ่งสะดวกต่อการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ [3] และทำการปรับค่าคงที่ (TR_1, TR_2) ซึ่งจะปรับตามปริภูมิควบคุม τ โดยที่

$$\tau = \{(TR_1, TR_2) \in \Re_+^2 \mid G_i(1) \leq TR_i \leq C \text{ สำหรับ } i = 1,2\} \qquad (6)$$



รูปที่ 2 ปริภูมิอรรถประโยชน์ $\mathcal{S}$ และ Pareto boundary เมื่อทราฟฟิกชนิด narrow band ($\alpha_1 = 0.64$ Mbps และ $\beta_1 = 0$ Mbps) และ ทราฟฟิกชนิด wide band ($\alpha_2 = 6$ Mbps และ $\beta_2 = 10$ Mbps) เมื่อโหลด $\rho_1 = \rho_2 = 50$ Erlang และ ความจุของข่ายเชื่อมโยง $C = 150$ Mbps

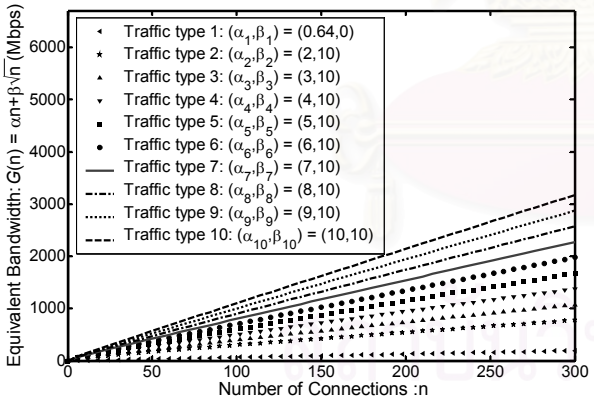
ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ (TR_1, TR_2) ตามเงื่อนไขที่ได้จากทฤษฎีเกมความร่วมมือสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. หา $\mathcal{S}$ ซึ่งเป็นเซตของ utilization (u_1, u_2) ที่เป็นไปได้ทั้งหมด สำหรับค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ (TR_1, TR_2) ใด ๆ ในปริภูมิควบคุม τ
2. จากปริภูมิอรรถประโยชน์ $\mathcal{S}$ ในขั้นตอนที่ 1 ค้นหา Pareto boundary ซึ่งประกอบไปด้วยจุด (u_1, u_2) ที่ขอบด้านนอกของปริภูมิอรรถประโยชน์ $\mathcal{S}$ ดังแสดงในรูปที่ 2
3. คำนวณหาค่า (u_1^*, u_2^*) จากจุดบน Pareto boundary ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขของ Nash, Raiffa หรือ Modified Thomson ตามสมการ (4) ถึง (5)
4. จากจุด (u_1^*, u_2^*) จะย้อนกลับไปหาค่าพารามิเตอร์การจอง TR_1 และ TR_2 ที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานได้

6. ผลการวิเคราะห์

6.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้พิจารณา

พิจารณาตามแบบจำลองในรูปที่ 1 ลักษณะของทราฟฟิกถูกกำหนดด้วยฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล และให้ทราฟฟิกชนิดที่ 1 แทนด้วย (α_1, β_1) และทราฟฟิกชนิดที่ 2 เปลี่ยนแปลงไปตามค่า (α_2, β_2) จนถึง $(\alpha_{10}, \beta_{10})$ ดังรูปที่ 3 และให้แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงมีค่าคงที่เท่ากับ 150 Mbps

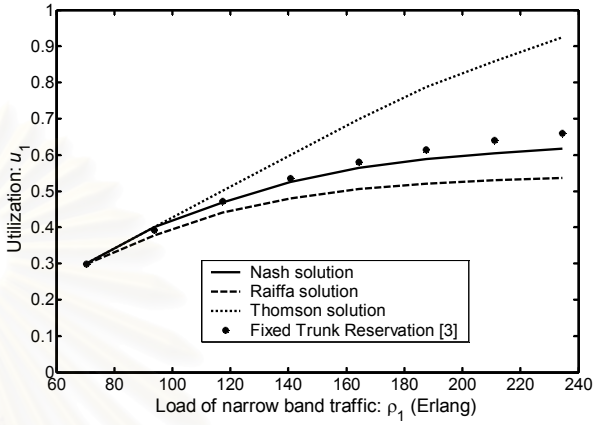


รูปที่ 3 แบนด์วิดท์สมมูลของทราฟฟิกแต่ละประเภทตามสมการ (1) ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ (α, β)

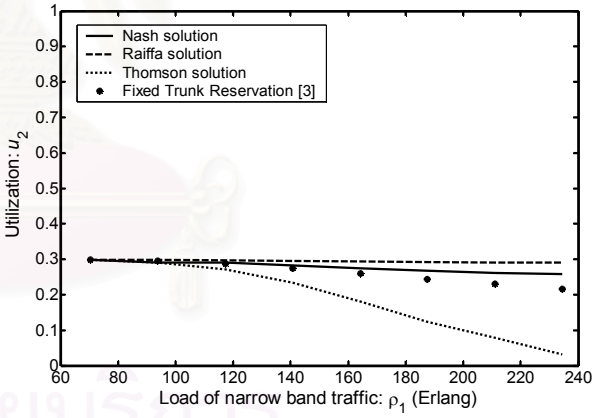
การศึกษาสมรรถนะของระบบที่ได้จากการเลือกค่าการจองทรังค์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจของ Nash, Raiffa และ Modified Thomson จะพิจารณาเปรียบเทียบกับวิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกเพื่อพิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนค่าโหลด และส่วนที่ 2 เพื่อพิจารณาผลกระทบจากการเปลี่ยนค่าแบนด์วิดท์ที่ทราฟฟิกต้องการ

6.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบ

เมื่อเพิ่มโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (ρ_1) โดยให้ทราฟฟิกชนิดที่ 1 ต้องการแบนด์วิดท์โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 30 % ถึง 100% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และให้โหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 30% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง ค่าของ utilization จะเป็นดังรูปที่ 4 ถึง 6



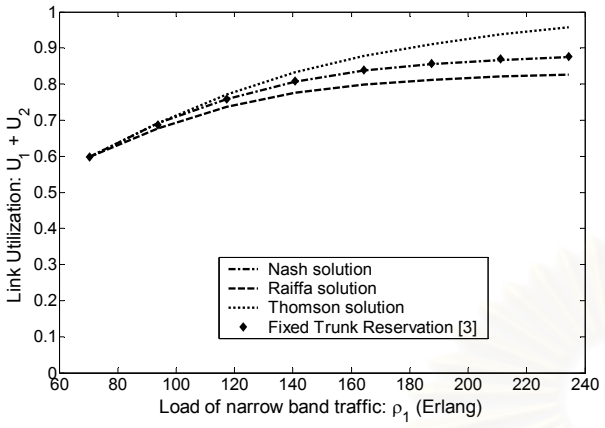
รูปที่ 4 ค่า utilization ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) เมื่อ $\alpha_1 = 0.64$, $\beta_1 = 0$, $\alpha_2 = 6$ และ $\beta_2 = 10$



รูปที่ 5 ค่า utilization ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) เมื่อ $\alpha_1 = 0.64$, $\beta_1 = 0$, $\alpha_2 = 6$ และ $\beta_2 = 10$

รูปที่ 4 ถึง 6 แสดงให้เห็นว่า ค่า utilization ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 , 2 และ utilization รวมมีค่าใกล้เคียงกันทุกวิธีในกรณีโหลดรวมของระบบมีค่าไม่เกิน 70% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และจะมีค่าแตกต่างกันเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดในระบบสูงขึ้น ในรูปที่ 6 แสดงว่าเมื่อใช้วิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] จะให้ค่า utilization รวมของระบบใกล้เคียงกับ วิธีเลือกค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจ

ของ Nash ถึงแม้ว่าจุดทำงานตามวิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] จะไม่อยู่บน Pareto boundary ก็ตาม



รูปที่ 6 ค่า utilization รวมของทราฟฟิกทั้งสองชนิด เมื่อ $\alpha_1 = 0.64$, $\beta_1 = 0$, $\alpha_2 = 6$ และ $\beta_2 = 10$

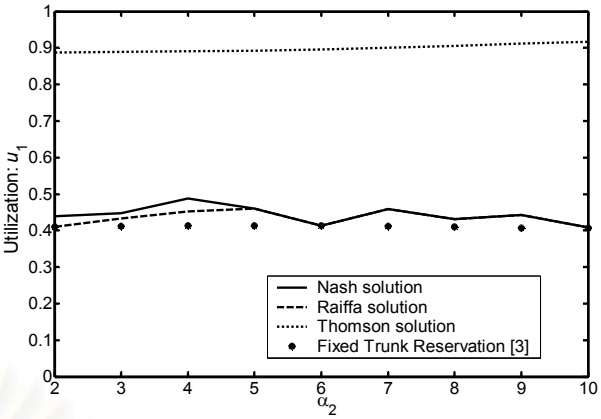
รูปที่ 6 แสดงว่าค่า utilization รวมที่ได้จากวิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] มีค่ามากกว่า วิธีเลือกค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจของ Raiffa และ มีค่าต่ำกว่าวิธีเลือกค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจของ Modified Thomson ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

วิธีเลือกค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจของ Raiffa เป็นวิธีที่พยายามลดความแตกต่างของค่า utilization ระหว่างทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด เมื่อแทนค่า $\gamma = 1$ ในตามสมการ (4) และ (5) แล้วจะได้ว่าค่า $(u_1^*, u_2^*) = \arg\min_{(u_1,u_2)}(|u_1 - u_2|)$ จึงทำให้ค่า utilization ของทราฟฟิก 2 ชนิด ไม่แตกต่างกันมาก

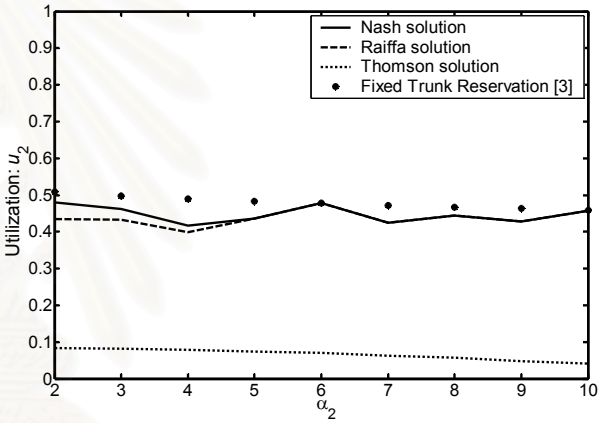
วิธีเลือกค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจของ Modifeid Thomson เป็นวิธีที่พยายามเพิ่มค่า utilization รวม ตามสมการ (4) และ (5) เมื่อแทนค่า $\gamma = -1$ ในตามสมการ (4) และ (5) แล้วจะได้ว่าค่า $(u_1^*, u_2^*) = \arg\max_{(u_1,u_2)}(u_1 + u_2)$ จึงทำให้ค่า utilization รวมของทราฟฟิก 2 ชนิดสูงสุด

6.3 ผลกระทบจากการเปลี่ยนค่าแบนด์วิดท์ของทราฟฟิก

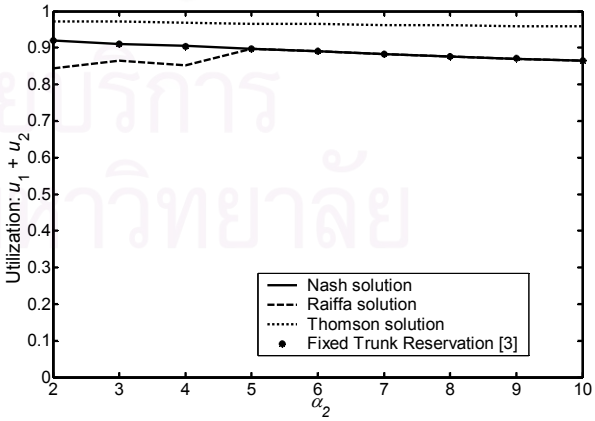
เมื่อแบนด์วิดท์สมมูลของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีค่าเปลี่ยนแปลงโดย α_2 มีค่าในช่วง 2 ถึง 10 และ $\beta_2 = 10$ ให้ทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีค่า $\alpha_1 = 0.64$ และ $\beta_1 = 0$ และปริมาณแบนด์วิดท์ที่ต้องการโดยเฉลี่ยของทราฟฟิกทั้งสองมีค่าคงที่เท่ากับ 150 Mbps นั่นคือ ระบบอยู่ในสถานะโอเวอร์โหลดอย่างมาก



รูปที่ 7 ค่า utilization ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) เมื่อ $\alpha_1 = 0.64$, $\beta_1 = 0$, $\alpha_2 \in \{2,3,\ldots,10\}$ และ $\beta_2 = 10$



รูปที่ 8 ค่า utilization ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) เมื่อ $\alpha_1 = 0.64$, $\beta_1 = 0$, $\alpha_2 \in \{2,3,\ldots,10\}$ และ $\beta_2 = 10$



รูปที่ 9 ค่า utilization รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด เมื่อ $\alpha_1 = 0.64$, $\beta_1 = 0$, $\alpha_2 \in \{2,3,\ldots,10\}$ และ $\beta_2 = 10$

ผลการทดสอบในรูปที่ 7 ถึง 9 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่า α_2 ไม่ส่งผลกับค่า utilization ของทราฟฟิก ดังนั้นถ้าค่า α_2 ที่ใช้ทดสอบในหัวข้อที่ 6.2 เปลี่ยนไปเป็นค่าอื่น ๆ เช่น $\alpha_2 \in \{2,3,\ldots,10\}$ จะยังคงให้ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบในลักษณะเดียวกันกับผลที่ได้จากการทดสอบในหัวข้อที่ 6.2

7. สรุป

ในบทความฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสมตามเงื่อนไขที่ให้ความยุติธรรมในรูปแบบการตัดสินใจของ Nash, Raiffa และ Thomson โดยทำการเปรียบเทียบกับวิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] จากการทดสอบผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบ และผลกระทบจากการเปลี่ยนค่าแบนด์วิดท์ของทราฟฟิก สามารถสรุปได้ว่าการใช้วิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] จะให้ผลที่ได้ใกล้เคียงกับ วิธีเลือกค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจของ Nash และ ค่า utilization รวมที่ได้ มีค่ามากกว่ากรณีของ Raiffa และ มีค่าต่ำกว่ากรณีของ Modified Thomson เสมอ อย่างไรก็ตามวิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] จะมีความซับซ้อนในการคำนวณน้อยกว่าวิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมตามเงื่อนไขของ Nash, Raiffa และ Modified Thomson

จากวิธี และหลักการที่เสนอในบทความนี้ สามารถพัฒนาต่อไปได้ในอนาคต โดยการนำไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ ในข่ายเชื่อมโยงที่ทราฟฟิกแต่ละชนิดมีลำดับความสำคัญแตกต่างกัน และ ในข่ายเชื่อมโยงที่ให้บริการทราฟฟิกมากกว่า 2 ชนิด

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้เงินทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] C. Beard and V. Frost, “Dynamic agent-based prioritized connection admission for stressed networks,” *IEEE International Conference on Communications*, vol.2, pp.1398 -1402, 1999.

[2] G. L. Choudhury, K. K. Leung, and W. Whitt, “Efficiently providing multiple grades of service with protection against overloads in shared resources,” *AT&T Technical Journal*, pp.50-63, July/August 1995.

[3] C. Aswakul and J. Barria, "Analysis of dynamic service separation with trunk reservation policy," *IEE Proceedings - Communications*, Vol. 149, No. 1, February 2002, pp. 23-28.

[4] Z. Dziong and L. Mason, “Fair-efficient call admission control policies for broadband networks-a game theoretic framework,” *IEEE Transaction on Network,* vol. 4, no. 1, pp. 123-136, February 1996.

[5] X. Cao and H. Shen, “Internet pricing with a game theoretical approach: concepts and examples*,” IEEE/ACM Transaction on Networking*, vol. 10, no. 2, April 2002.

[6] D. Luce and H. Raiffa, *Game and decisions*. New York: Wiley, 1957.

[7] R. Gúerin, H. Ahmadi and M. Naghshineh, “Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high-speed networks,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. SAC- 9, pp. 968-981, September 1991.

[8] R. L. Burden and J. D. Faires, *Nummerical Analysis*, 5th ed., Boston. PWSKENT Publishing Company 1993.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Fair Guaranteeing Nominal Utilization by Trunk Reservation Policy Using Cooperative Game Theory

Kalika Suksomboon, Chaodit Aswakul and Lunchakorn Wuttisittikulkij
Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering
Chulalongkorn University Bangkok, Thailand 10330
Email: kmitmink@yahoo.com, chaodit.a@chula.ac.th
and wlunchak@chula.ac.th

Sak Segkhoonthod
NECTEC Thailand
Bangkok, Thailand 10400
Email: sak@nectec.or.th

***Abstract*— To cope with traffic congestion problems, fair trunk reservation policy in CAC is presented which aims to achieve maximum network utilization and fair bandwidth allocation. Fairness can be achieved by employing the concept of cooperative game theory. Searching fairness trunk reservation parameter algorithm is considered in three cases—Nash, Raiffa, and Modified Thomson arbitration solutions. To protect the non-overload traffic against overload traffic, FGNU scheme is introduced based on modified starting point. We suggest the nominal load indicator to act herein the threshold of identifying the overload traffic type. Based on this indicator, the system situation is divided into four cases. Investigating all four system situations, all numerical results depict that all traffic types will be received the utilizations not less than their nominal utilization guarantee. Moreover, to relax the operating point, we adopt the control starting point parameter to adjust the modified starting point. Thus, the overall utilizations are improved.**

I. Introduction

Telecommunication technology revolutions come in two flavours: the proliferation of traffic demands and the occurrence of various new service applications. Such revolutions render a complication of traffic control because of not only the limitation of network resource, but also a desire to maintain high network performance as well as the satisfaction of service requirements. These several requirements raise the multi-objective optimization problem. Because of the nature of cooperative approval associated with overall satisfactions and fair solution, most of researches (e.g. [1]–[4]) have applied the concept of cooperative game theory (Nash, Raiffa and Modified Thomson arbitrations).

Within the idea of nominal utilization guarantee [1], at least, in overload situation, every service will be served as their minimum QoS and performance requirements. Dziong and Mason [1] have proposed the fair guaranteeing nominal utilization (FGNU) scheme to protect nominal load traffic against overload traffic by adopting fair arbitration solution from cooperative game theory. Under this scheme, the starting point of bargaining problem has been set at a fair nominal load solution. The result from [1] showed that using this scheme could provide well overload protection. We can apply this idea to CAC to control traffic congestion more effectively.

Focusing on CAC policies, Complete Sharing (CS) policy, Complete Partitioning (CP) policy and Trunk Reservation (TR) policy, are employed in many network managements (e.g. [1], [3]–[5]). Because the results of the synthesis and analysis of CAC policies from [1] represent that using trunk reservation policy by fair reserve parameters provide the performance as close as using the optimal fair policy, and, moreover, the simplicity of implementation, this paper considers for controlling traffic congestion as fair utilization guarantee by adopting TR policy.

While the previous paper [1] has investigated only nominal load traffic versus overload traffic by adopting Raiffa arbitration solution, however, the great deal of real network system is being overloaded by all traffic types. Therefore, to complete and approve FGNU scheme, we then study in all possible network situations.

Unlike the previous work which focuses on effective resource allocation by using linear equivalent bandwidth [1], this paper employs nonlinear equivalent bandwidth function [5], [6] to capture the different statistical behavior of traffic, being relevant to the economic of scale in statistically multiplexing cell stream. In addition, under dynamic service separation technique [5], the subtle bandwidth of buffer is dynamically assigned to an accepted call which achieves its QoS guarantee.

In this paper, we apply FGNU scheme based on fair TR policy focussing on there arbitration solutions including Nash, Raiffa and Modified Thomson decisions to CAC. We are interested here in all possible network situations. An incoming call stream will be assigned bandwidth based on dynamic separation technique [5]. All numerical experiments from FGNU schemes are compared with traditional fair CAC policy—blocking equalization by trunk reservation policy [5].

The remainder of this paper is organized as following. In section II, the problem formulation is arranged including a single link model, trunk reservation policy and fairness approach. Then, the searching fair trunk reservation parameter algorithm is presented in section III. Within the same section, FGNU scheme is represented in more detail. The numerical results are reported in section IV. Finally, all expressions are concluded in section V.

II. Problem Formulation

A. System Model

Fig. 1 illustrates the considered system model which consists of a single link with a finite capacity (C). The link

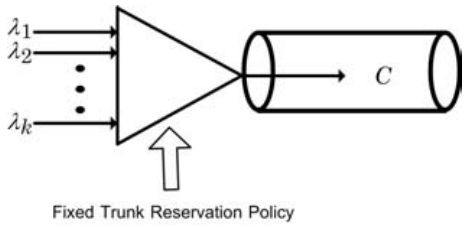


Fig. 1. Single link model

could support traffic k types in which incoming calls arrive independently as a Poisson process with the nomenclature as follows. Let i be the index of traffic type;

- λ_i: independent Poisson process call arrival rate of traffic type i
- μ_i: independent and identically distributed mean of call holding time of traffic type i
- ρ_i: offered load of traffic type i where $\rho_i = \lambda_i/\mu_i$ (Erlang)

With respect for dynamic service separation technique [5], a total of k buffers have to provide to individual traffic k types. Let $G_i(\cdot)$ denote the equivalent bandwidth of traffic type i. If n_i is a number of ongoing connections of traffic type i, they will require the magnitude of bandwidth $G_i(n_i)$ [5], i.e.

$$G_i(n_i) = \alpha_i n_i + \beta_i \sqrt{n_i} \tag{1}$$

where α_i and β_i are the constant parameters of traffic type i which represent liner and non-linear bandwidth requirement which associated with statistical multiplexing respectively.

B. Trunk Reservation Policy

In trunk reservation policy, a small amount of capacity has to be reserved to each traffic type—so-called Trunk Reservation parameter (TR). With employing trunk reservation policy in CAC, a new incoming type i call will be reject if and only if

$$C - \sum_{i=1}^{k} G_i(n_i) < TR_i \tag{2}$$

Hence, the network performance is depended on trunk reservation parameter.

Obviously, in dynamic call admission control policy, the trunk reservation parameter might be adjusted depending on the system state [5]. Nevertheless, if the system state does not frequently change, the performance of adopting state dependent trunk reservation policy is close to the performance of using fixed trunk reservation policy. In addition, the implementation of fixed trunk reservation policy is less complicated than the other. For this reason, this paper focuses on Fixed Trunk Reservation (FXD-TR) policy.

C. Fairness Approach

The fundamental of the multi-interest conflicts, like a desire of high satisfaction from all service requirements as equal as high system performance, is a good example of a conception of playing game.

We assume that each service acts as a player of game whose control parameters are their strategies. Their desires (utilizations) directly relate to their outcomes which are received when a group of strategies are selected. A characteristic of cooperative game is a coalition of several individuals desiring to act together with a common purpose for improving their outcomes. To compromise their outcomes fairly as well as to meet high overall benefits, the cooperative approval is adopted to resolve such conflicts.

In fact, the admiration for the individual outcome is not the same. For instant, a poor-man might prefer 1 $ rather than a rich-man. Consequently, mapping the preference outcome is necessary.

A utility function is a mathematical tool to map the diverse individual preference to the same measurement. We define $U(\cdot)$ be a utility function, and a and b be the outcomes of one player from selecting a difference group of strategies. This player will prefer the outcome b more than the outcome a if and only if [7], [8]

$$U(a) < U(b) \Leftrightarrow a \prec b \tag{3}$$

where $\prec$ represents the preference relation.

Thus, in our consideration, we define the utility function be a liner function of the utilization. Let u_i be a value of $U_i(\cdot)$ where i is defined as traffic type i. Such that

$$u_i = \frac{E[G_i(N_i)]}{C} \tag{4}$$

To solve the conflict problem, the bargaining set which consists of all feasible utilizations is formed, i.e. $(\mathbb{S} \equiv \{(u_1, \ldots, u_k) \in \Re_+^k\})$. The less accepting utilization of all traffic types is at the starting point $(s = (u_{1,0}, \ldots, u_{k,0}))$; see in Fig. 2. So, the bargaining problem is defined as a pair $(\mathbb{S}, s)$ where $\mathbb{S}$ is a nonempty and bound set.

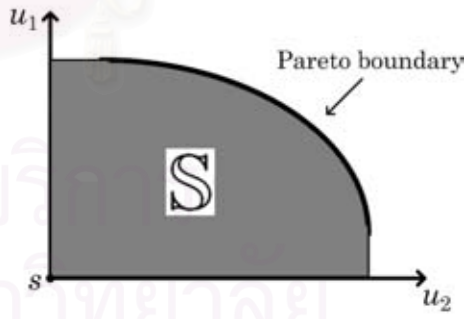


Fig. 2. Bargaining set

Fair and efficient solution can be received from a fair arbitration scheme. To fulfil the interpretation of fairness, the solution has to be based on three standard fairness axioms [7], [8]:

- *Symmetry*: The fair solution will be at on the symmetric line if the bargaining problem $(\mathbb{S}, s)$ is symmetric.

- *Pareto optimality*: The fair-efficient solution has to be on Pareto boundary.
- *Invariance with respect to utility transformations*: The solution for any positive affine transformation of $(\mathbb{S}, s)$ is equal to the same linear transformation of the original solution.

In this paper, we consider here only three arbitration solutions, namely Nash, Raiffa and Modified Thomson which represent different fairness senses—individual fairness, egalitarian fairness and utilitarian fairness consecutively. With the preference function and Nash product, all three arbitration solution can express in a unique solution function (see in (5) and (6)) [1], [9].

$$v_i = (u_i - u_{i,0}) + |\gamma(k-1)| - \gamma \sum_{i \neq j} (u_j - u_{j,0}) \quad (5)$$

where v_i is the preference of traffic type i for the utilizations $(u_1, \ldots, u_k)$ and $\gamma = 0, \frac{1}{k-1}$ and -1 for Nash, Raiffa and Modified Thomson solutions respectively. The fair-efficient solution can be received by Nash product [1], [7]–[9]

$$(u_1^*, \ldots, u_k^*) = \underset{(u_1,\ldots,u_k)\in\mathbb{S}}{\arg\max} \prod_{i=1}^{k} v_i \quad (6)$$

where $(u_1^*, \ldots, u_k^*)$ is the solution of the bargaining problem $(\mathbb{S}, s)$.

D. Searching Fair Trunk Reservation Parameter Algorithm

In this section, let us now consider how to achieve fair and efficient CAC policy. Based on FXD-TR policy, we define the feasible trunk reservation parameters in the trunk reservation parameter space ($\Im$), i.e. $\Im = \{(TR_1, \ldots, TR_k) \in \mathbb{R}_+^k | G_i(1) \leq TR_i \leq C \text{ for } i = 1, \ldots, k\}$. The process of searching fair trunk reservation parameter based on Nash, Raiffa and Modified Thomson arbitration solutions follow to:

1) Set the initial trunk reservation parameter $(TR_1, \ldots, TR_k)$ corresponding to an element in $\Im$. The utilizations from the system performance are kept in the utilization space $(\mathbb{S})$.
2) Vary trunk reservation parameters following the element in $\Im$. So, we will get all feasible utilizations in $\mathbb{S}$.
3) Find all utilization points $(u_1, \ldots, u_k)$ on Pareto boundary.
4) Select the optimal solution according to three arbitration solution from (5) and (6) where starting point is at $(u_{1,0}, \ldots, u_{k,0}) = \mathbf{0}^k$
5) Return to find $(TR_1^*, \ldots, TR_k^*) \triangleq (TR_1, \ldots, TR_k)$ from the optimal solution $(u_1^*, \ldots, u_k^*)$.

From this algorithm, the fair-efficient operating point of FXD-TR policy is reached.

III. Fair Guaranteeing Nominal Utilization Scheme

In general, fairness CAC policy arises to resolve the traffic congestion problem and also useful for overload protection. However, such framework does not concern the nominal utilization, so we suggest the more effective and flexible framework to the fulfilment. Under Fair Guaranteeing Nominal Utilization (FGNU) scheme [1], the starting point (s_m) (so-called modified starting point) is set at the fair solution in the nominal load situation. It is ensured that all services' performance will not be less than their nominal utilizations.

To simplify and precisely implement, we categorize the system into four situations by using nominal load indicator $(\rho_{i,\mathrm{n}})$ (see Fig. 3). Let $\rho_{i,\mathrm{o}}$ and $\rho_{i,\mathrm{u}}$ represent the overload traffic and under load traffic respectively. So they can be expressed as follows:

$$\rho_{i,\mathrm{u}} \triangleq \rho_i < \rho_{i,\mathrm{n}}, \quad (7)$$

and

$$\rho_{i,\mathrm{o}} \triangleq \rho_i > \rho_{i,\mathrm{n}} \quad (8)$$

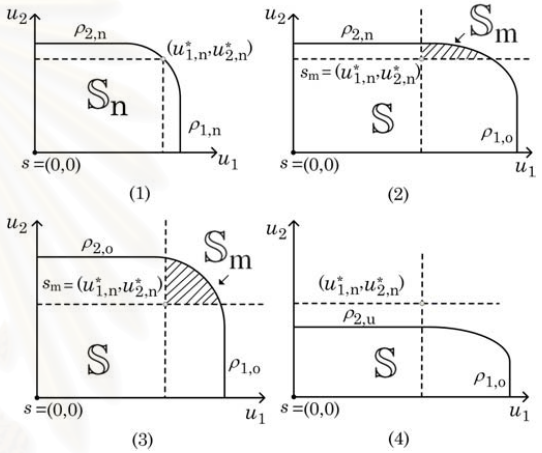


Fig. 3. System situation

Depending on the value of nominal load indicator $(\rho_{i,n})$, we have four system situation:

1) $\rho_i \leq \rho_{i,\mathrm{n}}$; $\forall i \in \{1, \ldots, k\}$.
2) $\rho_i > \rho_{i,\mathrm{n}}$; $\exists i \in \{1, \ldots, k\}$. and $\rho_j = \rho_{i,\mathrm{n}}$; $\exists j \in \{1, \ldots, k\}$ where $i \neq j$.
3) $\rho_i > \rho_{i,\mathrm{n}}$; $\forall i \in \{1, \ldots, k\}$.
4) $\rho_i > \rho_{i,\mathrm{n}}$; $\exists i \in \{1, \ldots, k\}$ and $\rho_j < \rho_{j,\mathrm{n}}$; $\exists i \in \{1, \ldots, k\}$ where $i \neq j$.

The modified staring point is given by

$$s_\mathrm{m} = \begin{cases} \mathbf{u}_\mathrm{n}^* & \forall i, \rho_i \geq \rho_{i,\mathrm{n}} \\ \mathbf{0}^k & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

where $\mathbf{u}_\mathrm{n}^* = (u_{1,\mathrm{n}}^*, \ldots, u_{k,\mathrm{n}}^*)$ from the solution at the nominal-load situation. The fair guaranteeing nominal utilization solution will be in a new feasible utilization space $(\mathbb{S}_\mathrm{m})$.

However, it is too tight when the starting point is fixed at s_m. To relax the operating point, the control starting point parameter (h) is announced [1]. That is,

$$s'_\mathrm{m} = hs_\mathrm{m} \quad \text{where } 0 < h \leq 1 \quad (10)$$

Then, a utilizing gain paradigm in (11) is adopted to measure the overall utilization gain comparing between $h = 1$ and $h < 1$.

$$\text{utilization gain} = \frac{\sum_{i=1}^{k} u_{i,(h\neq 1)} - \sum_{i=1}^{k} u_{i,(h=1)}}{\sum_{i=1}^{k} u_{i,(h=1)}} \times 100\% \tag{11}$$

IV. Numerical Experiments

A. General setting

We consider a single link model showing in Fig. 1 whose link capacity is 150 Mbps which allows sharing the resource between two traffic types, $(k = 2)$. The traffic type 1 and 2 represent the narrow-band and the wide-band traffic respectively. The mean holding times are normalized to 1 time unit. All traffic types are assigned the amount of bandwidth proportional to the equivalent bandwidth function in (1). We assume $(\alpha_1, \beta_1) = (0.64, 0)$ Mbps and $(\alpha_2, \beta_2) = (6, 10)$ Mbps for traffic type 1 and type 2. Fig. 4 illustrates their equivalent bandwidth functions.

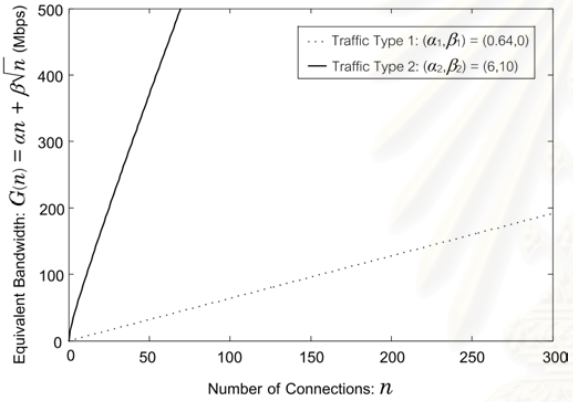


Fig. 4. Equivalent bandwidth of traffic type 1 and 2

All results by adopting the searching fair trunk reservation parameter in section II-D are obtained from numerical analysis computing with Gaussian elimination [10]. The performance of this system is measured in the term of the utilization. In our experiments, we compare the results from adopting FGNU scheme in Fixed Trunk Reservation by Nash solution (FXD-TR-N), Fixed Trunk Reservation by Raiffa solution (FXD-TR-R) and Fixed Trunk Reservation by Modified Thomson solution (FXD-TR-MT) with the traditional scheme—Fixed Trunk Reservation by Blocking Equalization (FXD-TR-BE) [5]. Let us refer to the implementation of FXD-TR-BE. Following this scheme, all trunk reservation parameters are tight at the same value as [5]

$$TR_i = \max_{\forall i=1,\ldots,k} G_i(1) \tag{12}$$

B. Numerical Results

In this section, we adopt FGNU scheme in fair fixed trunk reservation policies to protect non-overload traffic against overload traffic. The offered load in term of the percentage of bandwidth request comparing to the link capacity C is vary from 10% to 100% for traffic type 1 and fixed at 70% for traffic type 2. The nominal-load of traffic type 1 and traffic type 2 are assumed bandwidth requirements of offered load as 30% of C. Obviously, this setting is covered all four system situations in section III. The results are shown in Fig. 5 to Fig. 7.

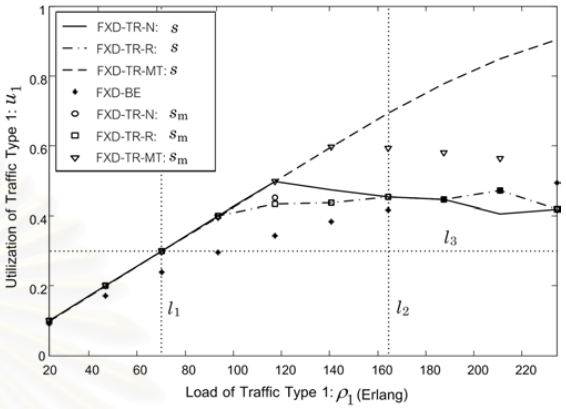


Fig. 5. Utilization of traffic type 1 (u_1)

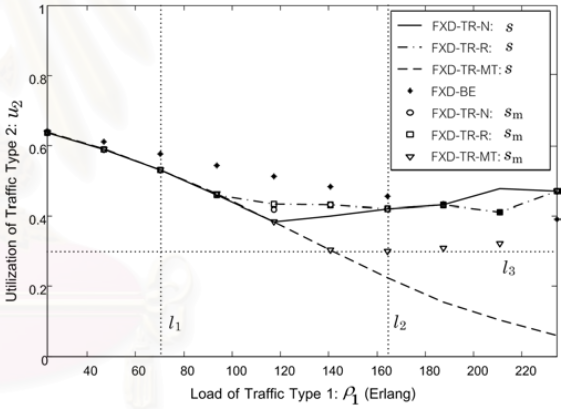


Fig. 6. Utilization of traffic type 2 (u_2)

Let us partition the discussion into 3 parts. The first part begins from the first point to line l_1 ($\rho_1 \leq \rho_{1,\text{n}}$ and $\rho_2 > \rho_{2,\text{n}}$). In this part, the system situations correspond with case 2 and 4 in section III. The results from FXD-TR-N, FXD-TR-R and FXD-TR-MT are similar no matter using the modified starting point (s_m) or not (s), but differ from FXD-TR-BE. The reason is the first 3 schemes have nominal utilization guarantee for traffic type 1, particularly in light load situation. However, the overall utilizations from all schemes are so close together.

The second part begins from line l_1 to l_2 ($\rho_1 \geq \rho_{1,\text{n}}$ and $\rho_2 > \rho_{2,\text{n}}$, and $\rho_1 < \rho_2$). Such system situation is in the case 3. The overall utilization from FXD-TR-N and FXD-TR-R are quite similar whether using the modified starting point (s_m)

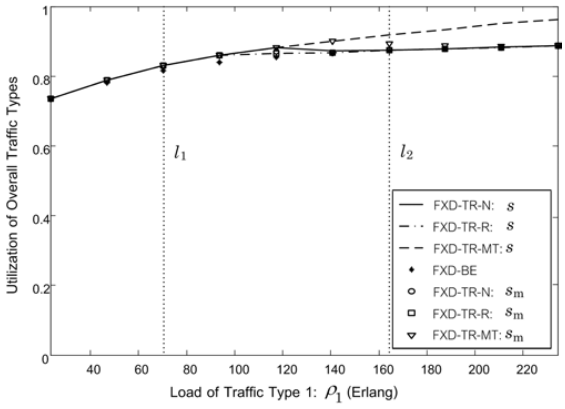


Fig. 7. Utilization of overall traffic types (u_{overall})

or not (s). The utilization of traffic type 1 from FXD-TR-MT by modifying starting point (s_{m}) is less than from FXD-TR-MT by not modifying starting point (s), which contrast to the utilization of traffic type 2, especially at the point on line l_2. Because of the modified starting point, the utilization of traffic type 1 must be less than its nominal load. For the results from FXD-TR-BE, the utilizations of traffic type 1 are less than the other schemes because mean of bandwidth requirement of offered load of traffic type 1 is less than traffic type 2. Moreover, from FXD-TR-BE, there is no guaranteeing minimum utilization, so the traffic type 2 could take advantage of traffic type 1.

The last part is from line l_2 to the end of point ($\rho_1 > \rho_{1,\text{n}}$ and $\rho_2 > \rho_{2,n}$ and $\rho_1 > \rho_2$). Such the link situation is in the case 3. The results from all schemes are mostly similar to the second part. Noticeably, there is no result by employing modified starting point (s_{m}) bellow the line l_3—representing nominal-load utilization guaranteeing.

This experiment is merely set to demonstrate the advantage of adopting the fair nominal utilization guaranteeing over the non utilization guarantee schemes. From all results we can conclude that using the fair nominal utilization guarantee scheme can protect the well-behavior traffic against the overload traffic. However, it is noticed that the overall results might be reduced.

To relax the feasible utilization space $(\mathbb{S}_{\text{m}})$, the control starting point (h) is employed in the next experiment. Let us present the result in the term of the utilization gain in (11). We give the same setting as the previous experiment. Additionally, we investigate how utilizations are improved where $h = 0.9, \ldots, 0.5$ from $h = 1$. The resultant utilization gains are explained in Fig. 8.

In Fig. 8, where h is reduced, the utilization gain from FXD-TR-N and FXD-TR-R do not juggle. Corresponding to the previous experiment in Fig. 7, the overall utilizations are almost closed to the schemes which do not adjust the starting point, so varying h is nothing. In contrast to the result from FXD-TR-MT, when the incoming load is very high, the utilization gain is much improved, especially lower h. Because of the characteristic of Modified Thomson arbitration solution, if there are more other alternative ways to reach the maximum overall utilization, the solution will be there. Seeing that, where h is reduced, the feasible utility space is more increase.

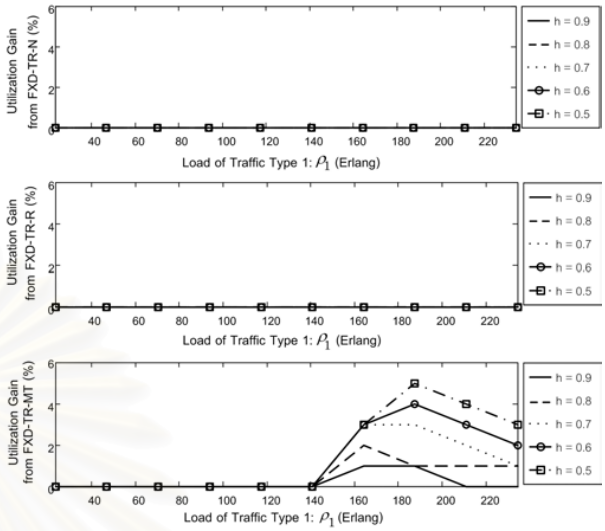


Fig. 8. Utilization gain in equalized bandwidth demands

V. Conclusions

In this paper, the fair-efficient CAC policy has been presented to resolve the traffic congestion problem. Fairness is fulfilled by three fairness axioms while efficiency is achieve by Pareto optimality. Based on TR policy, we have expressed the searching fair trunk reservation parameter algorithm to find the optimal operating point. In addition, the Fair Guaranteeing Nominal Utilization (FGNU) scheme has been employed in this paper to protect the non overload traffic against the overload traffic. To complete the investigation, all possible system situations have been studied. Adopting FGNU scheme based on fair trunk reservation policy (i.e. Nash, Raiffa and Modified Thomson arbitration solutions), the numerical results have shown that all utilizations have not been less than their nominal utilization guarantee, especially in being overloaded by all traffic types. Thus, this scheme is valuable and useful in all system situations, while the other schemes are not. Although the overall utilizations have been dropped, the control starting point parameter is adopted to improve the utilization gain. In this approach, the utilization gain has been increased only in FXD-TR-MT.

In the future work, the heterogeneous traffic will be investigated. We are going to propose a new scheme based on fair trunk reservation policy to cope with various priority traffic types.

Acknowledgment

The authors would like to thank for supporting foundation under Thailand Graduate Institute of Science and Technology,

TGIST associated with National Science and Technology Development Agency, NSTDA.

REFERENCES

[1] Z. Dziong and L. Mason, "Fair-efficient call admission control policies for broadband networks—a game theoretic framework", *IEEE/ACM Transactions on Networking*., vol. 4, pp. 123–136, 1996.
[2] X. Cao and H. Shen, "Internet pricing with a game theoretical approach: concepts and examples," *IEEE/ACM Transactions on Networking*., 2002.
[3] X. Chang and K. R. Subramanian, "A cooperative game theory approach to resource allocation in wireless ATM networks", *in Proceedings Networking 2000 Paris, France*., pp. 14–19, 2000.
[4] J. Virapanicharoen and W. Benjapollakul, "Fair-efficient guard bandwidth coefficients selection in call admission control for mobile multimedia communications", *in Proceedings IEEE ICC2004*., 20004.
[5] C. Aswakul and J. A. Barria, "Analysis of dynamic service separation with trunk reservation policy", *in Proceedings IEE Communications*., vol. 149, pp. 23–28, 2002.
[6] R. Gu*é*rin, H. Ahmadi, and M. Naghshineh, "Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high-speed networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*., pp. 968–981, 1991.
[7] D. Luce and H. Raiffa, *Game and decisions.* New York: Wiley, 1957.
[8] R.B. Mayerson, *Game theory analysis of conflict*. USA: Harvard College, 1991.
[9] X. Cao, "Preference functions and bargaining solutions", *in Proceedings IEEE Decision and Control-21 Orlando, FL, USA*., 1982.
[10] J. D. Faires, and Burden, R.L. *Numerical method*. Boston: PWS Publishing Company, 1993.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประเมินค่าสมรรถนะของนโยบายการจองทรังค์อย่างยุติธรรมซึ่งใช้เทคนิคการต่อรองอย่างไม่สมมาตรของแนช

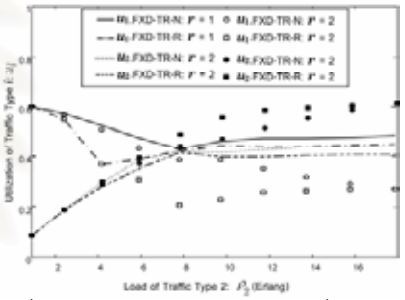
PERFORMANCE EVALUATION OF FAIR TRUNK RESERVATION POLICY BASED ON NON-SYMMETRY NASH BARGAINING TECHNIQUE

กลิกา สุขสมบูรณ์[1*], เชาวน์ดิศ อัศวกุล[1], ศักดิ์ เสกขุนทด[2] และลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ[1]

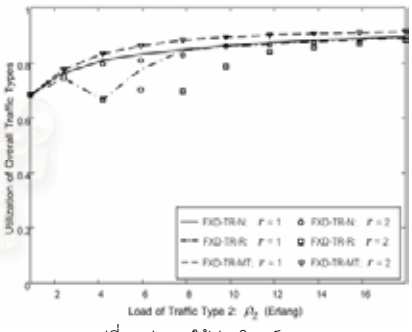
[1*]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; [2] ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC); e-mail address: kmitmink@yahoo.com, chaodit.a@chula.ac.th, sak@nectec.or.th and wlunchak@chula.ac.th

บทคัดย่อ: การจัดสรรแบนด์วิดท์ของโครงข่ายอย่างมีประสิทธิภาพและยุติธรรมตามระดับความสำคัญของทราฟฟิกเป็นสิ่งสำคัญในการให้บริการโครงข่าย งานวิจัยนี้เสนอวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกโดยใช้นโยบายการจองทรังค์คงที่ เพื่อควบคุมให้ทราฟฟิกแต่ละชนิดได้รับความยุติธรรมในการให้บริการตามระดับความสำคัญ โดยพิจารณาเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ตามผลเฉลยของการต่อรองอย่างไม่สมมาตรของแนช ซึ่งสามารถให้ความยุติธรรมได้ตามอัตราส่วนอำนาจการต่อรอง โดยเลือกพิจารณาตามเงื่อนไขการตัดสินใจของ Nash และ Raiffa ระบบที่ใช้พิจารณาเป็นระบบข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่ใช้เทคนิคการแบ่งแยกให้บริการ ซึ่งทำให้การจัดสรรแบนด์วิดท์สามารถทำได้ในทางปฏิบัติโดยใช้ฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล สมรรถนะของระบบที่ได้จากผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์แสดงให้เห็นว่าทราฟฟิกแต่ละชนิดมีค่าการใช้ประโยชน์เป็นไปตามสัดส่วนความสำคัญ ในขณะที่ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบยังคงมีค่าใกล้เคียงกันกับในกรณีที่ไม่พิจารณาระดับความสำคัญของทราฟฟิก

ระเบียบวิธีวิจัย: ใช้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในการจำลองระบบที่พิจารณาเป็นระบบข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่มีความจุคงที่ การเข้ามาของทราฟฟิกแต่ละชนิดเป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซงที่เป็นอิสระต่อกัน ทราฟฟิกแต่ละชนิดได้รับการจัดสรรแบนด์วิดท์ตามฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล การควบคุมการตอบรับการเรียกที่ใช้เป็นไปตามนโยบายการจองทรังค์คงที่ สมรรถนะของระบบแสดงในรูปของค่าการใช้ประโยชน์ งานวิจัยนี้เสนอให้พิจารณาการจัดสรรแบนด์วิดท์อย่างยุติธรรมให้กับทราฟฟิกที่มีระดับความสำคัญไม่เท่ากันในรูปของการต่อรองอย่างไม่สมมาตรของแนช โดยพิจารณาทราฟฟิกที่มีระดับความสำคัญสูงให้มีอำนาจในการต่อรองสูงกว่าทราฟฟิกชนิดที่มีระดับความสำคัญต่ำ และกำหนดให้ค่าอรรถประโยชน์ของทราฟฟิกแต่ละชนิดมีค่าเท่ากับค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดนั้น ค่าผลเฉลยที่เหมาะสมหาได้จากสมการผลคูณของแนช ซึ่งผลเฉยที่ได้จะนำไปสู่ค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสม



รูปที่ 1. ค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 และ 2



รูปที่ 2. ค่าการใช้ประโยชน์รวม

ผลการวิจัย อภิปราย และสรุปผลการวิจัย: กำหนดให้ทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีโหลดเฉลี่ยคงที่คิดเป็น 60% ของค่าความจุข่ายเชื่อมโยง และชนิดที่ 2 มีโหลดอยู่ระหว่าง 10% ถึง 100% ของค่าความจุข่ายเชื่อมโยง เมื่อให้อัตราส่วนระดับความสำคัญระหว่างทราฟฟิกชนิดที่ 2 และทราฟฟิกชนิดที่ 1 (r) มีค่าเท่ากับ 1 และ 2 ผลการทดสอบทั้งสองวิธี (Fixed Trunk Reservation Policy by Nash solution: FXD-TR-Nและ Fixed Trunk Reservation Policy by Raiffa solution: FXD-TR-R) แสดงว่าค่าการใช้ประโยชน์ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีค่าสูงกว่าทราฟฟิกชนิดที่ 1 เมื่อโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 ซึ่งเป็นผลจากทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีอำนาจในการต่อรองสูงกว่า จากรูปที่ 2 ค่าการใช้ประโยชน์รวมในกรณี $r=2$ มีค่าใกล้เคียงกับกรณี $r=1$ เนื่องจากคุณสมบัติความเหมาะสมของพาเรโต และสังเกตได้ว่าค่าการใช้ประโยชน์รวมของระบบในกรณี $r=2$ ยังมีค่าสูงเทียบเท่ากับกรณี $r=1$ แม้ว่าโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีค่าต่ำ ดังนั้นวิธีที่เสนอจึงมีความยืดหยุ่นในการนำไปใช้งานจริง

กิตติกรรมประกาศ: ขอขอบคุณสวทช. (NSTDA) ที่ให้เงินทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง: (1) C. Aswakul and J. Barria, “Analysis of dynamic service separation with trunk reservation policy,” *IEE Proceedings Communication,* vol. 149, pp. 23–28.

(2) R. B. Myerson, *Game Theory Analysis of Conflict,* USA: Harvard College, 1991.

คำสำคัญ: ความยุติธรรม, ทราฟฟิกที่มีระดับความสำคัญ, นโยบายการจองทรังค์, ปัญหาการต่อรองของแนชที่ไม่สมมาตร

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกลิกา สุขสมบูรณ์ เกิดวันที่ 12 มิถุนายน 2523 ณ อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับสอง) สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย