

การประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับการควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ไร้สาย



นายเจนจบ วีระพานิชเจริญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2417-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF GAME THEORY TO CALL ADMISSION CONTROL IN
WIRELESS MOBILE COMMUNICATIONS SYSTEMS



Mr. Jenjoab Virapanicharoen

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Academic Year 2005

ISBN 974-53-2417-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับการควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ไร้สาย
โดย นายเจนจบ วีระพานิชเจริญ
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีบัณฑิตศึกษา

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ติเรก ลาวัญย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล สิทธิชีวภาค)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สัญญากร วุฒิสัทธาภิบาล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัสกุล)

เจนจบ วีระพานิชเจริญ : การประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับการควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ไร้สาย (APPLICATION OF GAME THEORY TO CALL ADMISSION CONTROL IN WIRELESS MOBILE COMMUNICATIONS SYSTEMS) อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร.วาทิต เบนจพพลกุล, 101 หน้า. ISBN 974-53-2417-5.

การควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดียทำหน้าที่จัดสรรทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและรับรองคุณภาพของบริการแก่ผู้ใช้ทุกคน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรให้สูงที่สุด อย่างไรก็ตามประเด็นเรื่องความเท่าเทียมของบริการแต่ละระดับก็มีบทบาทสำคัญเช่นเดียวกัน การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าทฤษฎีเกมเป็นแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียม ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดียเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมที่เหมาะสมจากผลเฉลยของเกม โดยพิจารณาการเรียกของบริการแต่ละระดับในระบบเป็นผู้เล่นแต่ละคนในเกม กำหนดฟังก์ชันอรรถประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อใช้วัดปริมาณความพึงพอใจของผู้เล่น ผลเฉลยของเกมไม่ร่วมมือคือจุดสมดุลส่วนผลเฉลยของเกมร่วมมือจะพิจารณาจากวิธี arbitration ในรูปแบบของวิธีปัญหาการต่อรอง (ผลเฉลยของ Nash, Raiffa และ modified Thomson) และวิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่น ซึ่งพิจารณาวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกทั้งประเภทที่ 1 (สำหรับระบบ Time Division Multiple Access (TDMA)) และประเภทที่ 2 (สำหรับระบบ Code Division Multiple Access (CDMA)) ในกรณีโทรฟิโกสมมาตรระหว่างข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้เสนอการประยุกต์ใช้แนวคิดของตัวประกอบโหลด (load factor) กับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณอีกด้วย

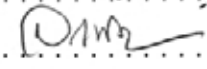
จากผลการทดสอบพบว่า ค่าพารามิเตอร์ควบคุมที่เหมาะสมที่ได้จากจุดสมดุลมีค่าเท่ากับกับค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีควบคุมแบบดั้งเดิมและมีความเท่าเทียมเนื่องจากคุณสมบัติของจุดสมดุล ในขณะที่วิธีควบคุมแบบดั้งเดิมไม่ได้กล่าวถึงประเด็นเรื่องความเท่าเทียม และพบว่าโดยส่วนใหญ่ผลเฉลยของ Nash และผลเฉลยของ modified Thomson จะให้ค่าอรรถประโยชน์รวมสูงที่สุด ในขณะที่จุดสมดุลและผลเฉลยของ Raiffa จะให้ค่า fairness index สูงที่สุด อย่างไรก็ตามผลเฉลยทุกแบบจะมีคุณสมบัติเรื่องความเท่าเทียมเนื่องจากสัจพจน์ของความเท่าเทียมแบบต่าง ๆ และมีประสิทธิภาพเนื่องจากหลักการพาเรโตออปติมัลลิตี นอกจากนี้ยังพบว่า วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่เสนอมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 แบบดั้งเดิม แต่มีความซับซ้อนในการคำนวณต่ำกว่า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนิสิต . เจนจบ วีระพานิชเจริญ . . .

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา . . .  . . .

4471803821: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: CALL ADMISSION CONTROL / GAME THEORY / NONCOOPERATIVE GAME / COOPERATIVE GAME / ARBITRATION SCHEME.

JENJOAB VIRAPANICHAROEN : APPLICATION OF GAME THEORY TO CALL ADMISSION CONTROL IN WIRELESS MOBILE COMMUNICATIONS SYSTEMS . THESIS
ADVISOR: ASSOC. PROF. WATIT BENJAPOLAKUL, D. Eng., 101 pp. ISBN 974-53-2417-5.

Call Admission Control (CAC) plays a significant role in providing the efficient use of the limited bandwidth and the desired quality-of-service in mobile multimedia communications. The objective of CAC is to maximize the utilization of resource; however, the concept of fairness among services should also be considered. Game theory is a mathematical theory which provides an appropriate framework for formulating such fair and efficient problems. Thus, in this dissertation, a framework based on game theory is proposed to select fair-efficient control parameters of the CAC scheme in mobile multimedia communications from the solutions of the game. Call classes are viewed as the players of a game. Utility functions of the players are defined to be of many types. The solution of the noncooperative game is the equilibrium point. For the cooperative game, the solutions are determined by the arbitration schemes for the interpersonal comparisons of utility and the bargaining problem (the Nash, Raiffa, and modified Thomson solutions). Both CAC type 1 (for Time Division Multiple Access (TDMA)) and type 2 (for Code Division Multiple Access (CDMA)) for the asymmetrical traffic case are considered. In addition, this dissertation applies the concept of load factor to the conventional CAC type 2 to reduce the computational complexity.

The numerical results show that the control parameters obtained from the equilibrium point are similar to those obtained from the conventional control method; however, the conventional control method did not mention about the issue of fairness. It is found that, in most cases, the Nash and modified Thomson solutions achieve the highest total utility while the equilibrium points and Raiffa solutions achieve the highest fairness index. Nevertheless, all the solutions attain the fairness by satisfying their different fairness senses and efficiency by Pareto optimality. The results also show that the proposed CAC type 2 shows comparable performance to the conventional CAC type 2 while achieving lower computational complexity.

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ เนื่องด้วยความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร.วาทิต เบลูจพลกุล ซึ่งมีส่วนสำคัญในการประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้พื้นฐานที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัย ทั้งทางตรงและทางอ้อม ตลอดจนให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งเปรียบเสมือนรากฐานและแรงผลักดันให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับความกรุณาจาก ผศ. ดร.เชวรัตน์ อัครกุล และ รศ. ดร.ลัญฉกร วุฒิสัทติกุลกิจ ที่เสียสละเวลาจัดตั้งกลุ่มสัมมนาเกมขึ้นในช่วงเย็น และร่วมแสดงความคิดเห็นอย่างเป็นกันเอง ซึ่งมีส่วนสำคัญยิ่งในการพัฒนางานวิจัยและความกล้าแสดงความคิดเห็นในเชิงวิชาการของผู้วิจัย และผู้วิจัยได้รับความกรุณาจาก Prof. Dr.Kiyomichi Araki ซึ่งได้เสียสละเวลาศึกษางานวิจัยและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย และที่สำคัญผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านสำหรับคำแนะนำที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง

นอกจากความรู้และคำชี้แนะที่ได้รับจากคณาจารย์ทั้งหลายแล้ว ต้องขอขอบคุณความช่วยเหลือต่าง ๆ ที่ได้รับจาก พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคน อาทิ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาแนวคิดที่ใช้ในการทำวิจัย ตลอดจนการร่วมกันแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะในแง่มุมต่าง ๆ จาก นางสาวกสิกา สุขสมบูรณ์, นางสาวพัชราพรรณ ศรีวจนโรจน์, นายชัยพร เขมะภาคะพันธ์, นายเจริญชัย บวรธรรมรัตน์ รวมทั้งเพื่อน ๆ ในกลุ่มสัมมนาทุกคน และขอขอบคุณนายจักรพงษ์ สุเมธนภิส ซึ่งช่วยเดินเรื่องและประสานงานสำหรับการไปทำวิจัยที่ประเทศญี่ปุ่น

ผลงานวิจัยทั้งหมดสำเร็จได้ด้วยคามอนุเคราะห์ด้านอุปกรณ์ และสถานที่ใช้ทำวิจัย ณ ห้องปฏิบัติการ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะ ด้าน เทคโนโลยี โทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรม ไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และห้องปฏิบัติการ Araki-Murata Laboratory, Department of Electrical and Electronic Engineering, Tokyo Institute of Technology, Japan ขอขอบคุณโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก.) ของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้มอบเงินทุนสนับสนุนในการทำวิจัยตลอดระยะเวลา 3 ปี (2544–2547) และสนับสนุนการไปทำวิจัยที่ประเทศญี่ปุ่น ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง ที่ได้มอบเงินทุนสนับสนุนการไปนำเสนอผลงานวิชาการในต่างประเทศ

ท้ายที่สุดวิทยานิพนธ์จะไม่สามารถดำเนินต่อไปได้จนเสร็จสมบูรณ์ถ้าหากขาดผู้มีอุปการะคุณที่สำคัญยิ่งคือ คุณพ่อ คุณแม่และน้องสาว ซึ่งเป็นทั้งกำลังใจและกำลังทรัพย์ นอกจากนี้ยังให้ทั้งความรัก, ความเข้าใจ และความเชื่อมั่นเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ญ
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.2 แนวทางของวิทยานิพนธ์	10
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์	11
1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์	11
1.5 ขั้นตอนดำเนินงาน	12
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	12
2 ความรู้พื้นฐาน	14
2.1 การควบคุมการตอบรับการเรียก	14
2.1.1 วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1	16
2.1.2 วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2	22
2.1.3 วิธีจำลองแบบ (Simulation) สำหรับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภท ที่ 1 และ 2	29
2.2 ทฤษฎีเกม	31
2.2.1 ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ (Utility function)	31
2.2.2 เกมไม่ร่วมมือ (Non-cooperative games)	32
2.2.3 เกมร่วมมือระหว่างผู้เล่น 2 คน (Two-person Cooperative Games)	34
3 วิธีการที่เสนอ	39
3.1 การจำลองปัญหาของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในรูปแบบของเกม	39
3.1.1 การกำหนดฟังก์ชันอรรถประโยชน์	39

3.1.2	การกำหนดเขตของกลยุทธ์ของผู้เล่น	40
3.1.3	ผลเฉลยของเกม	42
3.2	วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่เสนอ	42
3.2.1	การคำนวณค่าตัวประกอบโหนดในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น	44
3.2.2	การคำนวณค่าตัวประกอบโหนดในข่ายเชื่อมโยงขาลง	45
3.2.3	ขั้นตอนการควบคุมการตอบรับการเรียกของวิธีการที่เสนอ	46
4	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล	49
4.1	เกมที่จำลองจากวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1	49
4.1.1	แบบจำลองของระบบ	49
4.1.2	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล	50
4.2	เกมที่จำลองจากวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2	62
4.2.1	แบบจำลองระบบ	62
4.2.2	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลในกรณีที่ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือค่า การใช้ประโยชน์แบบดีวิดท์	64
4.2.3	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลในกรณีที่ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง	73
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	79
5.1	บทสรุป	79
5.2	ข้อเสนอแนะ	82
	รายการอ้างอิง	85
	ภาคผนวก	93
ก	เหตุผลในการประมาณค่าตามเงื่อนไข (3.18) และ (3.19)	94
ข	การเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากการวิเคราะห์ (Analysis) และจากการจำลองแบบ (Simulation)	95
	การตีพิมพ์ผลงานวิจัย	100
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	101

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1	แบบจำลองของระบบ	49
ตารางที่ 5.1	แสดงผลสรุปที่ได้จากการทดสอบและการวิเคราะห์ผลของเกมที่จำลองจากปัญหา ของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียก	83



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือและขอบเขตพาราเรโต	35
รูปที่ 3.1	Flow chart แสดงขั้นตอนการจำลองปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 และ 2 ให้เป็นเกม	43
รูปที่ 4.1	การเปรียบเทียบการทำงานของระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB และ SB ในแง่ของความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่เมื่อ $\Delta_0 = \Delta_1 = 0.02$	50
รูปที่ 4.2	การเปรียบเทียบการทำงานของระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB และ SB ในแง่ของค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์เมื่อ $\Delta_0 = \Delta_1 = 0.02$	51
รูปที่ 4.3	บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ, ผลเฉลี่ยของเกมร่วมมือและผลเฉลี่ยของเกมไม่ร่วมมือเมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์, $\Lambda = 0.8$	52
รูปที่ 4.4	บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ, ผลเฉลี่ยของเกมร่วมมือและผลเฉลี่ยของเกมไม่ร่วมมือเมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของความน่าจะเป็นของการตอบรับการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟสำเร็จ, $\Lambda = 0.8$	54
รูปที่ 4.5	บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ, ผลเฉลี่ยของเกมร่วมมือและผลเฉลี่ยของเกมไม่ร่วมมือเมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์, $\Lambda = 1.0$	55
รูปที่ 4.6	บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ, ผลเฉลี่ยของเกมร่วมมือและผลเฉลี่ยของเกมไม่ร่วมมือเมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของความน่าจะเป็นของการตอบรับการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟสำเร็จ, $\Lambda = 1.0$	56
รูปที่ 4.7	ผลการทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในแง่ของความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่เทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่เมื่อ $\Delta_0 = \Delta_1 = 0.02$	57
รูปที่ 4.8	การเปรียบเทียบผลการทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Δ_0, Δ_1 ที่ได้จากจุดสมดุลและจากผลเฉลี่ยของ Nash เมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์และ $W_{up} = 1.3Mbps, W_{dw} = 2.7Mbps$	58

- รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลการทำงานของวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Δ_0, Δ_1 ที่ได้จากจุดสมดุลและจากผลเฉลยของ Nash เมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของความน่าจะเป็นของการตอบรับการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟสำเร็จและ $W_{up} = 1.3Mbps, W_{dw} = 2.7Mbps$ 59
- รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบผลการทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Δ_0, Δ_1 ที่ได้จากจุดสมดุลและจากผลเฉลยของ Nash เมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์และ $W_{up} = 1.7Mbps, W_{dw} = 2.3Mbps$ 60
- รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบผลการทำงานของวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Δ_0, Δ_1 ที่ได้จากจุดสมดุลและจากผลเฉลยของ Nash เมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของความน่าจะเป็นของการตอบรับการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟสำเร็จและ $W_{up} = 1.7Mbps, W_{dw} = 2.3Mbps$ 61
- รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบผลการทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Δ_0, Δ_1 ที่ได้จากจุดสมดุลและจากผลเฉลยของ Nash เมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์และความน่าจะเป็นที่การเรียกใหม่ที่มาถึงเป็นการเรียกในระดับที่ 0 หรือเป็นการเรียกในระดับที่ 1 คือ 0.65 และ 0.35 ตามลำดับ 62
- รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบผลการทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Δ_0, Δ_1 ที่ได้จากจุดสมดุลและจากผลเฉลยของ Nash เมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของความน่าจะเป็นของการตอบรับการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวและความน่าจะเป็นที่การเรียกใหม่ที่มาถึงเป็นการเรียกในระดับที่ 0 หรือเป็นการเรียกในระดับที่ 1 คือ 0.65 และ 0.35 ตามลำดับ 63
- รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบการทำงานของระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB และ SB ในแง่ของความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่เมื่อ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.02, \beta_0^n = 1.03, \beta_1^n = 1.04$ 64
- รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบการทำงานของระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB และ SB ในแง่ของค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์เมื่อ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.02, \beta_0^n = 1.03, \beta_1^n = 1.04$ 65

รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบการทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่เสนอและวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] ในแง่ของความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่เมื่อ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.02, \beta_0^n = 1.03, \beta_1^n = 1.04$	66
รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบการทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่เสนอและวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] ในแง่ของของค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์เมื่อ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.02, \beta_0^n = 1.03, \beta_1^n = 1.04$	67
รูปที่ 4.18 บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ, ผลเฉลี่ยของเกมน่วมมือและผลเฉลี่ยของเกมนไม่ร่วมมือ, $\Lambda = 0.3$	68
รูปที่ 4.19 บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือของปัญหาการต่อรองที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐานและผลเฉลี่ยของปัญหาการต่อรอง, $\Lambda = 0.3$	69
รูปที่ 4.20 ขอบเขตพาเรโตและผลเฉลี่ยแบบต่างๆ ของปัญหาการต่อรองที่อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ Λ	70
รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ที่จุดสมดุลและที่ผลเฉลี่ยแบบต่าง ๆ ของปัญหาการต่อรอง	70
รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์รวมทั้งจุดสมดุลและที่ผลเฉลี่ยแบบต่าง ๆ ของปัญหาการต่อรอง	71
รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบค่า Fairness index ที่ได้จากจุดสมดุลและจากผลเฉลี่ยแบบต่าง ๆ ของปัญหาการต่อรอง	72
รูปที่ 4.24 บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ, ผลเฉลี่ยของเกมน่วมมือและผลเฉลี่ยของเกมนไม่ร่วมมือ, $\Lambda = 0.3$	74
รูปที่ 4.25 บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือของปัญหาการต่อรองที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐานและผลเฉลี่ยของปัญหาการต่อรองของ Nash, $\Lambda = 0.3$	74
รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ที่ได้จากจุดสมดุล, จากผลเฉลี่ยของเกมน่วมมือเมื่อใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่นและผลเฉลี่ยของปัญหาการต่อรองของ Nash	77
รูปที่ 4.27 การเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์รวมทั้งจุดสมดุล, จากผลเฉลี่ยของเกมน่วมมือเมื่อใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่นและผลเฉลี่ยของปัญหาการต่อรองของ Nash	78

รูปที่ ข.1 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ ในแง่ของความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่เทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่, Λ , เมื่อ $\Delta_0 = \Delta_1 = 0.02$ 95

รูปที่ ข.2 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ ในแง่ของความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟฟลัมเหลวเทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่, Λ , เมื่อ $\Delta_0 = \Delta_1 = 0.02$ 96

รูปที่ ข.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ ในแง่ของค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์เทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่, Λ , เมื่อ $\Delta_0 = \Delta_1 = 0.02$ 97

รูปที่ ข.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ ในแง่ของความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟฟลัมเหลวเทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่, Λ , เมื่อ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.02, \beta_0^n = 1.03, \beta_1^n = 1.04$ 98

รูปที่ ข.5 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ ในแง่ของค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์เทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่, Λ , เมื่อ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.02, \beta_0^n = 1.03, \beta_1^n = 1.04$ 99

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีของการสื่อสารเคลื่อนที่มีบทบาทสำคัญในวิถีการดำเนินชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก ทำให้ระบบสื่อสารเคลื่อนที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพเพื่อขยายขีดความสามารถในการใช้งานและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด ดังจะเห็นได้จากระบบสื่อสารเคลื่อนที่ในยุคที่ 2 ที่สามารถให้บริการทางด้านเสียงเพียงอย่างเดียว ได้รับการพัฒนาเป็นระบบสื่อสารเคลื่อนที่ในยุคที่ 2.5 ซึ่งมีอัตราการส่งข้อมูลเพิ่มสูงขึ้น และพัฒนาต่อไปเป็นระบบสื่อสารเคลื่อนที่ในยุคที่ 3 ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลได้สูงถึง 2 Mbps เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานแบบมัลติมีเดีย (multimedia applications) ที่ประกอบด้วยบริการหลายรูปแบบเช่น เสียง, วิดีโอ, อินเทอร์เน็ตความเร็วสูง นั่นคือระบบจะสามารถรองรับการให้บริการได้หลายระดับโดยบริการแต่ละระดับก็มีอัตราบิตและความต้องการคุณภาพของบริการ (Quality of Service (QoS)) ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ในยุคที่ 3 คือ International Mobile Telecommunications 2000 (IMT 2000) [1], [2] ภายใต้มาตรฐานจากหน่วยงาน International Telecommunication Union (ITU) และ Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) สำหรับ Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) [2], [3]

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแนวทางในการพัฒนาระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดียให้สามารถใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพและในขณะเดียวกันก็สามารถให้ความเท่าเทียมแก่ผู้ใช้บริการประเภทต่าง ๆ โดยเนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงความสำคัญของปัญหาที่นำมาศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นได้เสนอแนวทางของวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

1.1 ความสำคัญของปัญหาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากในปัจจุบันความต้องการใช้งานระบบสื่อสารเคลื่อนที่ได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและคลื่นวิทยุเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นวิธีการจัดการทรัพยากร (resource management) [2], [3], [4], [5] เพื่อให้การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพจึงเป็นประเด็นที่สำคัญที่สุดประการหนึ่งในการออกแบบระบบสื่อสารเคลื่อนที่ การควบคุมการตอบรับการเรียก (Call Admission Control (CAC)) เป็นวิธีการจัดการทรัพยากรที่มีความสำคัญมากวิธีหนึ่งซึ่งจะทำหน้าที่จำกัดจำนวนการต่อของการเรียกที่เข้ามาในระบบเพื่อลดปัญหาความคับคั่ง (congestion) ของข่ายเชื่อมโยงและรับประกันคุณภาพของบริการรวม

ทั้งลดการสูญเสียการร้องขอการเรียก (call request)

การร้องขอการเรียกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ การร้องขอการเรียกใหม่ (new call) และการร้องขอการเรียกจากการแฮนด์ออฟ (handoff call) โดยในการเริ่มกระบวนการแฮนด์ออฟจะพิจารณาจากกำลังของสัญญาณ (signal strength) หรืออัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด (Signal to Interference Ratio (SIR)) [5] แต่ในที่นี้เพื่อความสะดวก จะพิจารณาการเริ่มกระบวนการแฮนด์ออฟจากการแจกแจงของเวลาในการยึดช่องสัญญาณ (channel holding time) โดยทั่วไปการบล็อก (block) การเรียกที่กำลังดำเนินอยู่มีผลกระทบต่อผู้ใช้มากกว่าการปฏิเสธการเรียกใหม่ดังนั้นการควบคุมการตอบรับการเรียกจึงควรให้ลำดับความสำคัญกับการร้องขอการเรียกจากการแฮนด์ออฟสูงกว่าการร้องขอการเรียกใหม่

วัตถุประสงค์ของการควบคุมการตอบรับการเรียกคือการเพิ่มค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากร (resource utilization) ให้มีค่ามากที่สุดและยังคงสามารถรับรองคุณภาพของบริการสำหรับการเรียกทุกการเรียกที่ดำเนินอยู่ในระบบ โดยทั่วไปวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามความจุของระบบคือ ประเภทที่ 1 ความจุของระบบจะมีค่าคงที่ตามขนาดแบนด์วิดท์ ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา การควบคุมการตอบรับการเรียกจะขึ้นอยู่กับปริมาณแบนด์วิดท์ที่ถูกใช้ไป เช่น ระบบที่ใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access (TDMA)) ประเภทที่ 2 ความจุของระบบจะไม่มีค่าที่แน่นอนตายตัวและถูกจำกัดโดยปริมาณของสัญญาณแทรกสอดภายในช่องสัญญาณเดียวกัน (interference-limited) ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนการต่อที่ดำเนินอยู่ภายในเซลล์และภายในเซลล์ข้างเคียง นั่นคือยังมีปริมาณสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงน้อยลงเท่าไรก็จะทำให้มีจำนวนช่องสัญญาณสำหรับรองรับการร้องขอการเรียกในเซลล์ที่พิจารณาเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นการควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทนี้จึงเป็นการจัดการกับสัญญาณแทรกสอดเพื่อให้ได้คุณภาพของบริการที่ต้องการและเหมาะกับระบบที่ใช้การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access (CDMA)) โดยการควบคุมการตอบรับการเรียกจะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ที่แสดงถึงคุณภาพของสัญญาณ เช่น SIR, ค่าอัตราส่วนของพลังงาน 1 บิตต่อความหนาแน่นกำลังของสัญญาณรบกวน (Bit energy to Noise density Ratio (E_b/N_0)) : $E_b/N_0 = \text{Processing gain} * \text{SIR}$

นอกจากนั้น ลักษณะเด่นประการหนึ่งของระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดียคือกราฟฟิกระหว่างข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและข่ายเชื่อมโยงขาลงเป็นกราฟฟิกแบบอสมมาตรเช่น การใช้งานอินเทอร์เน็ต ซึ่งข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นใช้เพียงการส่งข้อมูลสั้น ๆ ในขณะที่ข่ายเชื่อมโยงขาลงใช้ในการส่งข้อมูลจำนวนมาก เมื่อความต้องการทรัพยากรของข่ายเชื่อมโยงทั้งสองข่ายไม่เท่ากันจึงทำให้ความจุของระบบสื่อสารถูกจำกัดโดยข่ายเชื่อมโยงขาลง ดังนั้นระบบสื่อสารบางประเภทจึงจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและข่ายเชื่อมโยงขาลงแบบอสมมาตร ตัวอย่างของระบบสื่อสารประเภทนี้ได้แก่ ระบบ CDMA with time di-

vision duplex mode (CDMA/TDD) ซึ่งมีการจัดสรรช่องเวลา (time slot) สำหรับข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและข่ายเชื่อมโยงขาลงแบบอสมมาตร [6], [7], [8], [9], [10] ประโยชน์ที่สำคัญอีกประการหนึ่งของระบบ TDD คือช่วยลดความซับซ้อนและค่าใช้จ่ายในการออกแบบสถานีเคลื่อนที่เนื่องจากคุณสมบัติ reciprocity ของข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและข่ายเชื่อมโยงขาลงที่ใช้ย่านความถี่เดียวกัน [11] ในปัจจุบันระบบ CDMA/TDD เป็นตัวเลือกที่สำคัญที่สุดตัวเลือกหนึ่งสำหรับเทคโนโลยีการส่งสัญญาณวิทยุของระบบ IMT-2000

ในขณะที่ค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรคือค่าวัดสมรรถนะที่สำคัญของการควบคุมการตอบรับการเรียกสำหรับระบบสื่อสารเคลื่อนที่ที่รองรับการให้บริการหลายระดับชั้น ประเด็นเรื่องความเท่าเทียมของบริการแต่ละระดับก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน เนื่องจากลักษณะที่แตกต่างกันของบริการในระดับต่าง ๆ มีผลทำให้การจัดสรรทรัพยากรแก่บริการแต่ละระดับเป็นไปอย่างไม่เท่าเทียมถ้าไม่มีการพิจารณาถึงประเด็นความเท่าเทียมในขั้นตอนของการออกแบบ โดยทั่วไปการออกแบบวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกจะมุ่งเพิ่มค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรให้มีค่ามากที่สุดแต่อาจไม่สามารถรับรองเรื่องความเท่าเทียมของบริการแต่ละระดับ [12], [13], [14] ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการปรับปรุงวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกให้สามารถใช้ประโยชน์ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพและในขณะเดียวกันก็สามารถให้ความเท่าเทียมแก่บริการในระดับต่าง ๆ ทฤษฎีเกม (game theory) เป็นแนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่สามารถวางหลักเกณฑ์การตัดสินใจที่เหมาะสมแก่ผู้เล่นสำหรับปัญหาที่เกี่ยวข้องกับความขัดแย้งในผลประโยชน์ ดังนั้นทฤษฎีเกมจึงมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมของการควบคุมการตอบรับการเรียก โดยทฤษฎีเกมจะพิจารณาเรื่องประสิทธิภาพจากหลักการพาเรโตออปติมัลลิตี้ (Pareto optimality) และพิจารณาเรื่องความเท่าเทียมจากสัจพจน์ของความเท่าเทียม (fairness axioms) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของผลเฉลยของเกมร่วมมือ (cooperative game) หรือจากคุณสมบัติของสมดุลของ Nash (Nash equilibrium) ซึ่งเป็นผลเฉลยของเกมไม่ร่วมมือ (noncooperative game) นอกจากนั้นทฤษฎีเกมยังสามารถวางหลักเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์ที่ถูกต้องเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบปริมาณความพึงพอใจของผู้เล่นที่มีต่อผลลัพธ์ของเกม จึงได้มีการนิยามฟังก์ชันอรรถประโยชน์ (utility function) เป็นตัวแทนของปริมาณความพึงพอใจของผู้เล่นแต่ละคนซึ่งเป็นแนวคิดที่มีการเริ่มต้นใช้ในทางเศรษฐศาสตร์ และต่อมาได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยด้านโครงข่ายสื่อสาร โดยถ้าค่าของฟังก์ชันอรรถประโยชน์มีค่ามากจะแสดงว่าผู้เล่นมีความพึงพอใจต่อผลลัพธ์ของเกมมาก

ต่อไปจะกล่าวถึงความเป็นมาและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยเริ่มจากตัวอย่างของงานวิจัยที่ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 สำหรับระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดียและให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกจากการแฮนด์ออฟ

D. A. Levine, I. F. Akyildiz และ M. Naghshineh [15] ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับ การเรียกที่ใช้แนวคิดของ Shadow cluster โดยสถานีฐานจะแลกเปลี่ยนข้อมูลความต้องการแบนด์วิดท์ ของสถานีเคลื่อนที่ภายในเซลล์กับสถานีฐานข้างเคียงซึ่งคำนวณได้จากความน่าจะเป็นที่สถานีเคลื่อนที่ จะยังคงอยู่ในสถานะไวงาน (active) ในอนาคต จากนั้นสถานีฐานจะนำข้อมูลที่ได้มาประมาณค่าแบนด์วิดท์ ที่สถานีเคลื่อนที่ที่ต้องการใช้ในอนาคตเพื่อตัดสินใจตอบรับหรือปฏิเสธการเรียก พบว่าวิธีนี้สามารถควบคุม ความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลว (probability of handoff failure) ให้อยู่ในระดับที่ต้องการ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของบริการได้ง่าย เนื่องจากการเรียกใหม่จะได้รับการตอบรับก็ต่อเมื่อมีปริมาณ แบนด์วิดท์เพียงพอสำหรับรองรับการเรียกนั้นตลอดช่วงเวลาที่สถานีเคลื่อนที่ ยังคงอยู่ในสถานะไวงาน

C. Oliveira, J. Bae Kim และ T. Suda [16] ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกบน พื้นฐานของการจองแบนด์วิดท์แบบปรับตัวได้ (adaptive bandwidth reservation) เพื่อรับรองคุณภาพ ของบริการสำหรับกราฟิกมัลติมีเดียบนโครงข่ายเซลลูลาร์ไร้สายความเร็วสูง โดยจองแบนด์วิดท์ในเซลล์ รอบข้างเซลล์ที่มีการเรียกใหม่เกิดขึ้น เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่ไปยังเซลล์ใหม่ก็จะใช้แบนด์วิดท์ที่ได้จองไว้และ จองแบนด์วิดท์ในเซลล์รอบข้างชุดใหม่ต่อไป แบนด์วิดท์ที่ไม่ได้อยู่ในเซลล์รอบข้างชุดใหม่จะถูกปล่อยไป ปริมาณของแบนด์วิดท์ที่จองไว้จะถูกปรับให้เพิ่มหรือลดตามความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลว หรือตามค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ (bandwidth utilization) ที่จองไว้ พบว่าวิธีนี้ทำให้ ความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับวิธีที่ไม่มีการจองแบนด์วิดท์ และการ ปรับขนาดการจองแบนด์วิดท์ตามสถานะของโครงข่ายทำให้ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์มีค่าเพิ่มขึ้น

P. Ramanathan, K. M. Sivalingam, P. Agrawal และ S. Kishore [17] ได้เสนอวิธีการ ประมาณค่าแบนด์วิดท์แบบพลวัต (dynamic) เพื่อใช้รองรับการแฮนด์ออฟสำหรับกราฟิกมัลติมีเดีย แต่ วิธีที่ใช้ในการประมาณค่าแบนด์วิดท์มีความซับซ้อนค่อนข้างสูงและไม่มีการพิจารณาลำดับความสำคัญของ บริการแต่ละประเภท

Y. Zhang และ D. Liu [18] ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกแบบปรับตัวได้บนพื้นฐานของ ช่องสัญญาณกัน (guard channel) โดยช่องสัญญาณกันจะถูกปรับตามความน่าจะเป็นของการแฮนด์ ออฟล้มเหลว พบว่าวิธีนี้สามารถรับรองความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวให้มีค่าต่ำกว่าค่าจุดเริ่ม เปลี่ยน (threshold) ที่กำหนดไว้เมื่อสถานะกราฟิกเปลี่ยนแปลงไปและลดความน่าจะเป็นของการบล็อก การเรียกใหม่ (new call blocking probability) ให้มีค่าต่ำที่สุด

Y. Fang และ Y. Zhang [19] ได้ศึกษาวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกชนิดต่าง ๆ ที่ให้ลำดับความ สำคัญกับการเรียกจากการแฮนด์ออฟ โดยศึกษาวิธีที่ใช้ช่องสัญญาณกันแบบต่าง ๆ ได้แก่ New call bounding scheme, Cutoff priority scheme และ New call thinning schemes และได้เสนอ วิธีประมาณค่าแบบใหม่เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณกรณีที่ค่าเฉลี่ยของการแจกแจงของเวลาใน

การยืดช่องสัญญาณสำหรับการเรียกใหม่และการเรียกจากการแฮนด์ออฟมีค่าต่างกัน ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะใช้แบบจำลอง Markov chain 1 มิติแบบดั้งเดิม

F. Hu และ N. K. Sharma [20] ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกสำหรับทราฟฟิกมัลติมีเดีย โดยคำนวณค่าลำดับความสำคัญในการจองแบนด์วิดท์สำหรับการเรียกจากการแฮนด์ออฟจากผลรวมแบบถ่วงน้ำหนัก (weighted sum) ของความเร็ว, ระยะห่างของสถานีเคลื่อนที่จากสถานีฐาน และลำดับความสำคัญของประเภทของบริการ

H. Chen, S. Kumar และ C.-C. J. Kuo [21] ได้เสนอวิธีการกันแบนด์วิดท์สำหรับการแฮนด์ออฟแบบพลวัตบนพื้นฐานของค่าถ่วงน้ำหนักแบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลาการมาถึงของสถานีเคลื่อนที่ที่มาจากเซลล์ข้างเคียง

J. Wang, Q.-A. Zeng และ D. P. Agrawal [22] ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกที่ให้ลำดับความสำคัญและสิทธิในการยืดช่องสัญญาณ (preemptive) กับการแฮนด์ออฟ โดยช่องสัญญาณในเซลล์แต่ละเซลล์จะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกสำหรับทราฟฟิกแบบ real-time, กลุ่มที่ 2 สำหรับทราฟฟิกแบบ non-real-time และกลุ่มที่ 3 สำหรับรองรับการเรียกจากการแฮนด์ออฟที่ล้นมาจาก 2 กลุ่มแรก โดยช่องสัญญาณในกลุ่มที่ 3 ส่วนหนึ่งจะถูกกันไว้สำหรับการเรียกจากการแฮนด์ออฟแบบ real-time นอกจากนี้การเรียกจากการแฮนด์ออฟแบบ real-time ยังสามารถยืดช่องสัญญาณจากการเรียกจากการแฮนด์ออฟแบบ non-real-time ได้ในกรณีที่ไม่มีช่องสัญญาณว่างเหลืออยู่ซึ่งทำให้การเรียกแบบ non-real-time ที่ถูกยืดช่องสัญญาณต้องกลับเข้าไปอยู่ในคิว

L. Huang, S. Kumar และ C.-C. J. Kuo [23] ได้เสนอวิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบปรับตัวได้และพิจารณาทราฟฟิกที่มีอัตราบิตหลายระดับ (rate-adaptive) โดยแบ่งบริการเป็น 3 ระดับชั้นคือ real-time ที่รับประกันการแฮนด์ออฟ, real-time ที่ให้ลำดับความสำคัญกับการแฮนด์ออฟ และ non-real-time ที่ไม่มีการกำหนดแบนด์วิดท์ขั้นต่ำที่ต้องการ (best effort type) พบว่าวิธีนี้สามารถให้คุณภาพของบริการที่ต้องการสำหรับบริการแต่ละระดับและให้ค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรสูง

B. Li, L. Li, B. Li, K. M. Sivalingam และ X.-R. Cao [24] ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกแบบ dual threshold bandwidth reservation (DTBR) และแบบ dynamic partitioning (DP) ซึ่งจะกำหนดค่าจุดเริ่มเปลี่ยนเพื่อแบ่งทราฟฟิกเสียงและข้อมูลออกจากกันรวมทั้งให้ลำดับความสำคัญกับการแฮนด์ออฟ โดยพิจารณาทราฟฟิกข้อมูลเป็นแบบ elastic data service ซึ่งอัตราข้อมูลจะปรับเปลี่ยนได้ภายในช่วงที่กำหนดตามสภาวะทราฟฟิกในระบบและเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบเท่าเทียมกัน (fairness) สำหรับการเรียกทุกการเรียกที่ดำเนินอยู่ พบว่าวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกทั้ง 2 ชนิดสามารถควบคุมความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวให้อยู่ในระดับที่ต้องการและเพิ่มค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรได้โดยการปรับค่าจุดเริ่มเปลี่ยนให้เหมาะสม

ต่อไปเป็นตัวอย่างของงานวิจัยที่ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 สำหรับระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดียและให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกจากการแฮนด์ออฟ

S. M. Shin, C. H. Cho, และ D. K. Sung [25] เสนอวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณบนพื้นฐานของผลรวมของสัญญาณแทรกสอดที่ได้รับที่สถานีฐาน โดยช่องสัญญาณจะถูกจัดสรรให้กับการเรียกใหม่ถ้าผลรวมของสัญญาณแทรกสอดมีค่าไม่เกินค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ ดังนั้นช่องสัญญาณจึงถูกจัดสรรแบบปรับตัวได้ตามความจุของข่ายเชื่อมโยงที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อม พบว่าวิธีนี้สามารถเพิ่มความจุของระบบได้เมื่อเทียบกับวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบสถิตย์ (static channel assignment)

K. Kim และ Y. Han [26] ได้เสนอวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับกราฟิกที่มีอัตราบิตหลายระดับบนพื้นฐานของผลรวมของกำลังที่ได้รับที่สถานีฐาน โดยคำนวณหาปริมาณโหลดในระบบจากค่าอัตราส่วนของกำลังสัญญาณที่สถานีฐานของกราฟิกประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ที่สามารถรับรองค่า SIR ที่ต้องการของกราฟิกแต่ละชนิด นอกจากนี้ได้มีการกำหนดค่าจุดเริ่มเปลี่ยนหลายค่าเพื่อให้ลำดับความสำคัญกับกราฟิกแต่ละชนิด โดยระบบสามารถลดปริมาณการเรียกที่มีลำดับความสำคัญต่ำซึ่งกำลังดำเนินอยู่ได้ในกรณีที่ค่า SIR มีค่าต่ำกว่าระดับ SIR ที่ต้องการ

D. Liu และ Y. Zhang [27] ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกสำหรับระบบเซลล์ลาร์ direct sequence CDMA (DS-SS) ที่รองรับการให้บริการแบบมัลติมีเดีย เมื่อมีการเรียกใหม่หรือการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเข้ามาในระบบ วิธีนี้จะคำนวณค่ากำลังต่ำที่สุดที่สถานีฐานต้องการสำหรับสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานี (รวมทั้งสถานีเคลื่อนที่ที่เข้ามาใหม่) เพื่อรับรองค่า E_b/N_0 ที่กำหนด ถ้าค่ากำลังต่ำที่สุดที่สถานีฐานต้องการของสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานีมีค่าไม่เกินค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ การเรียกใหม่จะได้รับการตอบรับ นอกจากนี้วิธีนี้ยังให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกจากการแฮนด์ออฟโดยกำหนดค่าจุดเริ่มเปลี่ยนของการเรียกใหม่ให้มีค่าต่ำกว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยนของการเรียกจากการแฮนด์ออฟ และได้เสนอวิธีการปรับค่าจุดเริ่มเปลี่ยนของการเรียกใหม่ตามความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลว

F. Y. Li และ N. Stoil [28] ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกที่มีการจัดลำดับความสำคัญให้แก่บริการชนิดต่าง ๆ บริการที่มีลำดับความสำคัญสูงจะมีโอกาสได้รับการตอบรับมากกว่าบริการที่มีลำดับความสำคัญต่ำกว่า โดยการเรียกใหม่จากบริการหนึ่งจะได้รับการตอบรับถ้าผลรวมของตัวประกอบโหลด (load factor) [3], [4] ของการเรียกที่กำลังดำเนินอยู่ของบริการในระดับเดียวกันและในระดับที่สูงกว่ามีค่าไม่เกินค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ บริการประเภทที่มีอัตราบิตหลายระดับ (ประเภท streaming, interactive) จะสามารถปรับอัตราบิตให้มีค่าต่ำลงได้เพื่อป้องกันการบล็อกการเรียก

H. Chen, S. Kumar และ C.-C. J. Kuo [29] ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกสำหรับระบบ WCDMA ที่ให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกจากการแฮนด์ออฟโดยการจอง interference guard

margin ที่ปรับค่าได้ซึ่งคำนวณได้จากผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของค่าประมาณสัญญาณแทรกสอดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเรียกจากการแฮนด์ออฟที่มาจากเซลล์ข้างเคียง โดยค่าถ่วงน้ำหนักเป็นฟังก์ชันของข้อมูลสภาพเคลื่อนที่ (mobility profile) ของสถานีเคลื่อนที่ในเซลล์ข้างเคียง วิธีนี้จะคำนวณปริมาณโหนดในระบบที่เพิ่มขึ้นจากค่าตัวประกอบโหนดและพิจารณากราฟฟิคที่มีอัตราบิดหลายระดับ โดยอัตราข้อมูลจะปรับเปลี่ยนได้ในสถานะที่กราฟฟิคในระบบเกิดความคับคั่งซึ่งจะช่วยลดการบล็อกการเรียกได้

G. Zhang [30] ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นของระบบ WCDMA/TDD บนพื้นฐานของความน่าจะเป็นของการเกิดสัญญาณขาดหาย (outage probability) ซึ่งจะต้องมีค่าไม่เกินค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ โดยสมมติให้ค่า E_b/N_0 มีการแจกแจงแบบ lognormal

งานวิจัยที่ผ่านมาข้างต้นเสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกโดยพิจารณาเฉพาะข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นเท่านั้น แต่เนื่องจากกราฟฟิคอสมมาตรระหว่างข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงเป็นลักษณะเด่นประการหนึ่งของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ในยุคที่ 3 ดังนั้นการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดีย นั้นจำเป็นต้องสนใจข่ายเชื่อมโยงขาลงด้วย นั่นคือเงื่อนไขในการพิจารณาจะต้องเป็นจริงในข่ายเชื่อมโยงทั้งขาขึ้นและขาลง ตัวอย่างของงานวิจัยที่สนใจทั้งข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงได้แก่

W. S. Jeon และ D. G. Jeong [31] เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในกรณีกราฟฟิคอสมมาตรระหว่างข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงสำหรับระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดีย โดยใช้วิธีช่องสัญญาณกันแบบปรับตัวได้เพื่อกำหนดลำดับความสำคัญให้กับบริการแต่ละระดับชั้นและให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกจากการแฮนด์ออฟมากกว่าการเรียกใหม่ การร้องขอการเรียกจะได้รับการตอบรับเมื่อทรัพยากรของข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงมีเพียงพอ

ต่อมา W. S. Jeon และ D. G. Jeong [32] ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกสำหรับระบบ DS-CDMA ที่รองรับกรณีกราฟฟิคอสมมาตรระหว่างข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดีย การควบคุมการตอบรับการเรียกตั้งอยู่บนพื้นฐานของค่า E_b/N_0 โดยการร้องขอการเรียกจะได้รับการตอบรับเมื่อค่า E_b/N_0 ของการเรียกที่กำลังดำเนินอยู่และการเรียกที่เข้ามาใหม่มีค่าไม่ต่ำกว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยน มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับบริการแต่ละระดับชั้นและให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกจากการแฮนด์ออฟมากกว่าการเรียกใหม่สำหรับบริการในระดับชั้นเดียวกัน โดยบริการที่มีลำดับความสำคัญสูงจะมีค่าจุดเริ่มเปลี่ยนต่ำเพื่อลดอัตราการบล็อกการเรียกของบริการชนิดนั้น

จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมาพบว่า โดยทั่วไปหน้าที่หลักของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกสำหรับโครงข่ายสื่อสารที่รองรับการให้บริการหลายระดับชั้นคือการเพิ่มค่าการใช้ประโยชน์ทรัพยากรให้มีค่ามากที่สุดและรับประกันลำดับความสำคัญของบริการแต่ละระดับโดยพิจารณาจากความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียก อย่างไรก็ตามประเด็นเรื่องความเท่าเทียมในการจัดสรรทรัพยากรแก่บริการแต่ละระดับก็มีความสำคัญมากเช่นเดียวกัน โดยทฤษฎีเกมมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหา

เรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ที่ผ่านมามีงานวิจัยต่าง ๆ ได้นำทฤษฎีเกมมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมโครงข่าย เริ่มจาก L. G. Mason [33] ได้จำลองปัญหาการจัดเส้นทาง (routing) ในโครงข่ายโทรศัพท์เป็น stochastic game ที่มีผู้เล่นหลายคน โดยผู้เล่นแต่ละคนคือ ตำแหน่งต้นทาง-ปลายทาง 1 คู่ และหาผลเฉลยของเกมไม่ร่วมมือ ซึ่งก็คือสมมูลของ Nash นั้นเองต่อมา Mason และ Girard [34] ได้เปรียบเทียบระหว่างสมมูลของเกมไม่ร่วมมือกับผลเฉลยของ system optimization (maximum throughput) พบว่าโครงข่ายที่ใช้จุดสมมูลมีประสิทธิภาพต่ำกว่าวิธี system optimization แต่ให้ความเท่าเทียมแก่ผู้ใช้ได้ดีกว่า จากนั้น Mason [35] ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมเพื่อหาวิธีจัดเส้นทางที่เหมาะสมในโครงข่ายข้อมูล (data network) ต่อมา Douligeris และ Mazumdar [36] ได้แสดงให้เห็นว่าสมมูลของ Nash ของเกมไม่ร่วมมือไม่มีคุณสมบัติพาเรโตอพติมัลลิตี้ จากนั้น Mazumdar, Mason, และ Douligeris [37] จึงได้นำวิธี Nash arbitration ของเกมร่วมมือมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมโครงข่ายโดยแสดงในรูปของ product forms

ต่อมา Dziong และ Mason [38] ได้เสนอการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมร่วมมือเพื่อวิเคราะห์หาวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกที่มีประสิทธิภาพและมีความเท่าเทียมสำหรับโครงข่ายแบบ connection-oriented ที่รองรับบริการหลายระดับ โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมจากผลเฉลยของ Nash, Raiffa และ modified-Thomson ซึ่งมีประสิทธิภาพและความเท่าเทียมเนื่องจากมีคุณสมบัติพาเรโตอพติมัลลิตี้และสอดคล้องกับชุดสังจวนของความเท่าเทียมแบบต่าง ๆ นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมร่วมมือกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกทั้งแบบ optimal และ suboptimal โดยพบว่าแบบ optimal มีความซับซ้อนในการคำนวณมากและนำไปใช้งานจริงได้ยาก ในขณะที่แบบ suboptimal มีความซับซ้อนในการคำนวณต่ำและนำไปใช้งานจริงได้ง่ายกว่า และพบว่าวิธี trunk reservation ซึ่งเป็นแบบ suboptimal ให้ผลที่ใกล้เคียงกับวิธี optimal ทั้งในแง่ของประสิทธิภาพและความเท่าเทียม

Chang และ Subramanian [39] ได้เสนอวิธีการจัดสรรทรัพยากรอย่างเหมาะสมในโครงข่าย Asynchronous Transfer Mode (ATM) ไร้สายบนพื้นฐานของทฤษฎีเกมร่วมมือโดยให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกจากการแฮนด์ออฟ พิจารณาการเรียกใหม่และการเรียกจากการแฮนด์ออฟเป็นผู้เล่น 2 คน กำหนดนโยบาย (policy) ในการควบคุมการตอบรับการเรียกจากผลเฉลยแบบ modified-Thomson และใช้วิธีวิเคราะห์แบบ Markov Decision Process (MDP) เพื่อแปลงปัญหาให้เป็นแบบ linear แต่เนื่องจากวิธีนี้จะต้องคำนวณหานโยบายในการจัดสรรทรัพยากรล่วงหน้าสำหรับสถานะ (state) ทุกสถานะของระบบ ดังนั้นจึงทำให้ความซับซ้อนเพิ่มขึ้นอย่างมากในกรณีของโครงข่ายขนาดใหญ่ที่มีจำนวนสถานะของระบบมาก นอกจากนี้วิธีนี้พิจารณาเฉพาะบริการประเภทเดียว จึงไม่สามารถรองรับการใช้งานแบบมัลติมีเดียที่มีบริการหลายรูปแบบ และยังไม่มิตัวอย่างการนำทฤษฎีเกมไม่ร่วมมือมาประยุกต์ใช้ รวมทั้ง

การหาผลเฉลยของเกมร่วมมือโดยวิธีอื่น ๆ นอกเหนือจากวิธี Modified-Thomson

นอกจากนั้น ทฤษฎีเกมยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับหลักการคิดค่าใช้จ่าย (pricing) [40] ได้ดังเช่นในงานวิจัยต่อไปนี้

Yaiche, Mazumdar, และ Rosenberg [41] ได้เสนอการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมร่วมมือในการจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับทราฟฟิกที่มีอัตราบิตหลายระดับในโครงข่ายความเร็วสูงโดยพิจารณาจากผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง (bargaining problem) เพื่อให้การจัดสรรแบนด์วิดท์มีประสิทธิภาพและมีความเท่าเทียม นอกจากนี้ได้พิจารณาในกรณีของเกมไม่ร่วมมือ (กรณี decentralized) ซึ่งโดยปกติจะมีผลเฉลยเป็นจุดสมดุลที่ไม่มีคุณสมบัติพาเรโตออปติมัลลิตี แต่เมื่อนำหลักการคิดค่าใช้จ่ายในการใช้ทรัพยากรมาพิจารณาร่วมด้วย และทำการ optimize ค่าอรรถประโยชน์สุทธิ (net utility = utility - cost) จะทำให้ได้จุดสมดุลที่มีคุณสมบัติพาเรโตออปติมัลลิตี [42] ซึ่งสามารถเพิ่มรายได้แก่ผู้ให้บริการได้มากที่สุด รวมทั้งให้ความเท่าเทียมแก่ผู้ใช้บริการไปด้วยพร้อม ๆ กัน

C. U. Saraydar, N. B. Mandayam, และ D. J. Goodman [43] ได้พิจารณาการควบคุมกำลังของโครงข่ายสื่อสารไร้สายบนพื้นฐานของทฤษฎีเกมไม่ร่วมมือ [44] โดยใช้ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ (utility function) แทนความพึงพอใจของผู้ใช้ และได้นำหลักการคิดค่าใช้จ่ายในการใช้ทรัพยากรมาหาค่าอรรถประโยชน์สุทธิเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพพาเรโตของจุดสมดุลอีกด้วย

D. Krishnaswamy [45] ได้เสนอการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมไม่ร่วมมือในการจัดการทรัพยากรสำหรับโครงข่ายสื่อสารไร้สายระบบ Global System for Mobile communications (GSM)/ General Packet Radio Service (GPRS) และ CDMA/ High Data Rate CDMA (HDR-CDMA) โดยโครงข่ายจะทำหน้าที่คำนวณและตัดสินใจ (Network-assisted) ซึ่งเป็นการลดภาระของสถานีเคลื่อนที่ จากนั้นใช้ฟังก์ชันอรรถประโยชน์สุทธิซึ่งแทนด้วยผลต่างของค่าวิสัยสามารถซึ่งเป็นฟังก์ชันของ SIR และฟังก์ชันคิดค่าใช้จ่ายในการใช้ทรัพยากร โดยใช้การควบคุมกำลัง, การจัดสรรช่องสัญญาณและการแฮนด์ออฟเพื่อปรับระบบให้เข้าสู่จุดสมดุลของเกมไม่ร่วมมือ

M. Xiao, N. B. Shroff, และ E. K. P. Chong [46] ได้เสนอวิธีการควบคุมกำลังบนพื้นฐานของฟังก์ชันอรรถประโยชน์สุทธิในระบบสื่อสารไร้สาย โดยค่า desired SIR ที่ใช้ในการควบคุมกำลังจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามสถานะของช่องสัญญาณ และสามารถกำหนดการคิดค่าใช้จ่ายแบบปรับตัวได้เพื่อเพิ่มความทนทานของระบบ (robustness), เพิ่มรายได้แก่ผู้ให้บริการและให้ความเท่าเทียมแก่ผู้ใช้บริการ

นอกจากนี้ทฤษฎีเกมยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านอื่น ๆ ได้ดังนี้

X. R. Cao, H. X. Shen, R. Milito, and P. Wirth [47] ประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมร่วมมือและไม่ร่วมมือในการหาค่าและปริมาณความต้องการใช้บริการอินเทอร์เน็ตที่เหมาะสมเพื่อให้ความเท่าเทียมและประสิทธิภาพแก่ผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการ

Y. Jin และ G. Kesidis [48] ได้พิจารณากลุ่มผู้ใช้ของโครงข่าย ALOHA บนพื้นฐานของทฤษฎีเกมไม่ร่วมมือ และศึกษาการเข้าสู่จุดสมดุล โดยผู้ใช้จะปรับความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลเพื่อให้ได้ค่าวิสัยที่ต้องการ ผู้ใช้จะกำหนดค่าวิสัยที่ต้องการจากการคิดค่าใช้จ่ายและคุณภาพของบริการที่ต้องการ [49]

นอกเหนือจากการนำทฤษฎีเกมมาประยุกต์ใช้กับประเด็นเรื่องความเท่าเทียมแล้ว ยังได้มีการพิจารณาประเด็นเรื่องความเท่าเทียมในรูปแบบอื่น ๆ ดังต่อไปนี้

Y. Xia, C. L. P. Chen และ Y. Wang [50] ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกและการจัดสรรแบนด์วิดท์ในระบบสื่อสารเคลื่อนที่สำหรับกราฟฟิกข้อมูลแบบ rate adaptive ที่สามารถให้ความเท่าเทียมระหว่างระดับของบริการและภายในระดับของบริการ โดยสร้างความเท่าเทียมระหว่างระดับของบริการด้วยการแบ่งแบนด์วิดท์ของระบบให้กับบริการแต่ละระดับตามอัตราการเรียกเข้าแบบ complete partitioning และสร้างความเท่าเทียมภายในระดับของบริการด้วยการกระจายค่า bandwidth degradation degree ให้กับผู้ใช้บริการอย่างเท่าเทียมกัน อย่างไรก็ตามพบว่าการสร้างความเท่าเทียมระหว่างระดับของบริการด้วยวิธี complete partitioning จะทำให้ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับวิธี complete sharing

A. Lombardo, S. Palazzo และ G. Schembra [51] ได้เสนอวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในโครงข่าย ATM ไร้สายสำหรับบริการแบบ Available Bit Rate (ABR) ที่สามารถให้ความเท่าเทียมแก่ผู้ใช้บริการ โดยในกรณีที่เกิดความคับคั่งขึ้น การเรียกทุกการเรียกที่ดำเนินอยู่จะถูกลดปริมาณแบนด์วิดท์ลงเท่า ๆ กันเพื่อรองรับการเรียกที่เข้ามาใหม่ในระบบ แต่ในกรณีที่มีแบนด์วิดท์เหลือในระบบ การเรียกทุกการเรียกที่ดำเนินอยู่จะได้รับแบนด์วิดท์เพิ่มขึ้นเท่า ๆ กัน ทั้งนี้แบนด์วิดท์ของการเรียกที่ดำเนินอยู่จะเปลี่ยนแปลงภายในช่วง Minimum Cell Rate (MCR) และ Peak Cell Rate (PCR)

1.2 แนวทางของวิทยานิพนธ์

จากการศึกษาความสำคัญของปัญหาและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องพบว่า วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดียจะต้องสามารถใช้ประโยชน์ทรัพยากรในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและในขณะเดียวกันก็สามารถให้ความเท่าเทียมแก่ผู้ใช้บริการในระดับต่าง ๆ นอกจากนั้นเงื่อนไขที่ใช้ควบคุมการตอบรับการเรียกควรจะพิจารณาทั้งในชายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง [31], [32] (เนื่องจากผลของกราฟฟิกอสมมาตรระหว่างชายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง) รวมทั้งมีความซับซ้อนไม่มากเพื่อตอบสนองต่อการร้องขอการเรียกได้อย่างรวดเร็ว พบว่าทฤษฎีเกมมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียม งานวิจัย [38], [39] ได้เสนอการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมร่วมมือเพื่อปรับปรุงวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกให้มีประสิทธิภาพและความเท่าเทียม โดย

กำหนดเงื่อนไขที่ใช้ควบคุมการตอบรับการเรียกจากความน่าจะเป็นในการตอบรับการเรียกสำหรับแต่ละสถานะของระบบ (วิธี optimal) ซึ่งจะทำให้ความซับซ้อนในการคำนวณเพิ่มขึ้นอย่างมากในกรณีของโครงข่ายขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามพบว่าข้อกำหนดเงื่อนไขสำหรับควบคุมการตอบรับการเรียกโดยการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ใช้จัดการทรัพยากรอย่างเหมาะสมจะช่วยลดความซับซ้อนในการคำนวณและสามารถให้ผลการทำงานที่ใกล้เคียงกับวิธี optimal [38] นอกจากนี้ในงานวิจัย [38], [39] ยังไม่มีตัวอย่างการนำทฤษฎีเกมไม่ร่วมมือมาประยุกต์ใช้และไม่ได้พิจารณาเงื่อนไขในการควบคุมการตอบรับการเรียกทั้งในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง ดังนั้นจากที่กล่าวมาจึงเป็นแรงจูงใจให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอแนวทางการปรับปรุงการควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดียให้สามารถใช้ประโยชน์ทรัพยากรในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและในขณะเดียวกันก็สามารถให้ความเท่าเทียมแก่บริการในระดับต่าง ๆ โดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมทั้งในส่วนของเกมร่วมมือและเกมไม่ร่วมมือเพื่อเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการตอบรับการเรียกที่เหมาะสมจากผลเฉลยของเกมซึ่งมีคุณสมบัติเรื่องประสิทธิภาพเนื่องจากหลักการพาเรโตออปติมัลลิตีและความเท่าเทียมเนื่องจากสัจพจน์ของความเท่าเทียม โดยจะพิจารณาวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกทั้งประเภทที่ 1 (สำหรับระบบ TDMA) และประเภทที่ 2 (สำหรับระบบ CDMA) ในกรณีทราฟฟิกอสมมาตรระหว่างข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอการประยุกต์ใช้แนวคิดของตัวประกอบโพลด์กับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 รวมทั้งวิธีประมาณค่าเพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์

ประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมเพื่อปรับปรุงวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดียเพื่อสามารถให้ความเท่าเทียมแก่ผู้ใช้บริการประเภทต่าง ๆ พร้อมทั้งสามารถจัดสรรทรัพยากรที่ใช้ในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและรับประกันลำดับความสำคัญที่ถูกต้องของบริการแต่ละประเภท

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดียที่พิจารณากรณีทราฟฟิกอสมมาตรระหว่างข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง โดยจำลองปัญหาในเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 (สำหรับระบบ TDMA) และประเภทที่ 2 (สำหรับระบบ CDMA) เป็นเกมร่วมมือและเกมไม่ร่วมมือที่มีจำนวนผู้เล่นเท่ากับจำนวนระดับของบริการในระบบ กำหนดฟังก์ชันอรรถประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์, ผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของความน่าจะเป็นของการตอบรับการเรียกใหม่และ

ความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟสำเร็จ และค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง เพื่อใช้วัดปริมาณความพึงพอใจของผู้เล่น เลือกค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการตอบรับการเรียกที่เหมาะสมจากผลเฉลยของเกม โดยผลเฉลยของเกมไม่ร่วมมือคือสมดุลของ Nash และผลเฉลยของเกมร่วมมือจะพิจารณาจากผลเฉลยของปัญหาการต่อรองและจากวิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่น ผลเฉลยของปัญหาการต่อรองสามารถหาได้จากฟังก์ชันผลเฉลยแบบต่าง ๆ ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาฟังก์ชันผลเฉลยของ Nash, Raiffa และ modified-Thomson นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอการประยุกต์ใช้แนวคิดของตัวประกอบโพลดและวิธีประมาณค่ากับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 แบบดั้งเดิมเพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ

1.5 ขั้นตอนดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดีย
2. ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับระบบสื่อสารและศึกษาความรู้พื้นฐานของทฤษฎีเกม
3. กำหนดลักษณะของปัญหาที่ต้องการศึกษาและจำลองปัญหาเป็นเกมตามหลักการของทฤษฎีเกม
4. เขียนโปรแกรมทดสอบวิธีที่เสนอ
5. วิเคราะห์ และประเมินผลการจำลอง
6. สรุป วิจัย และรวบรวมข้อมูลทั้งหมด พร้อมทั้งจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถวิเคราะห์หาแนวทาง ในการ ประยุกต์ใช้ ทฤษฎี เกม เพื่อ ปรับปรุง วิธี ควบคุม การ ตอบรับ การ เรียก ใน ระบบ สื่อสาร เคลื่อนที่ แบบ มัลติ มี เดีย กรณิ ทร ภาพ กอ สมมา ทร ระหว่าง ข่าย เชื่อม โยง ขา ขึ้น และ ขาลง ให้ สามารถ ให้ ความ เท่า เทียม แก่ ผู้ ใช้ บริการ ประเภท ต่าง ๆ และ จัด สรร ทร พยา กร ที่ ใช้ ใน ระบบ ได้ อย่าง มี ประ สทธิ ภาพ พร้อมทั้ง รับ ประ กัน ลำ ดับ ความ สำ คัญ ที่ ถูก ต้อง สำ หรับ บริการ แต่ละ ประเภท โดย สามารถ เลือก ค่า พารามิ เตอร์ ควบคุม การ ตอบรับ การ เรียก ที่ ให้ ความ เท่า เทียม แก่ ผู้ ใช้ บริการ และ ให้ ค่า การ ใช้ ประ โยชน์ ทร พยา กร สูง ได้ จาก กลุ ษ ธ์ ของ ผู้ เล่น ที่ สอด คล้อง กับ ผล เฉลย ของ เกม ซึ่ง จะ ทำ ให้ ผู้ ให้ บริการ

ได้ประโยชน์จากรายได้ที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการใช้ทรัพยากรในระบบอย่างคุ้มค่าและผู้ใช้บริการแต่ละประเภทก็จะได้รับความพึงพอใจเนื่องจากสามารถใช้ประโยชน์ทรัพยากรในระบบได้อย่างเท่าเทียมกัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐาน

เนื้อหาของทฤษฎีที่กล่าวถึงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนแรกกล่าวถึงหลักการของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดียประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 และในส่วนที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีเกมซึ่งใช้เป็นทฤษฎีหลักในการกำหนดแนวทางการตัดสินใจในการควบคุมการตอบรับการเรียกเพื่อให้เป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการ

2.1 การควบคุมการตอบรับการเรียก

วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดียสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามชนิดของความจุของระบบที่พิจารณาซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ประเภทที่ 1 ความจุของระบบมีค่าคงที่ตามปริมาณแบนด์วิดท์ทั้งหมด ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และประเภทที่ 2 ความจุของระบบถูกจำกัดโดยปริมาณของสัญญาณแทรกสอดซึ่งมีค่าแปรผันตามจำนวนการเรียกที่ดำเนินอยู่ภายในเซลล์และภายในเซลล์ข้างเคียงที่ใช้ความถี่เดียวกัน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะอ้างอิงวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 จาก [31] เนื่องจากเป็นวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกที่มีการพิจารณากรณีทราฟฟิกอสมมาตรระหว่างข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง รวมทั้งมีการใช้ช่องสัญญาณกันแบบปรับตัวได้ในการให้ลำดับความสำคัญกับบริการประเภทต่าง ๆ ซึ่งเป็นวิธีที่มีความซับซ้อนในการคำนวณไม่มาก สำหรับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 จะอ้างอิงจาก [32] เนื่องจากเป็นวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกที่มีการพิจารณากรณีทราฟฟิกอสมมาตรระหว่างข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง และมีการใช้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนในการให้ลำดับความสำคัญกับบริการประเภทต่าง ๆ รวมทั้งมีความซับซ้อนในการคำนวณไม่มาก

กำหนดให้ปริมาณแบนด์วิดท์ (bps) ทั้งหมดภายในเซลล์มีค่าคงที่ จำนวนระดับของบริการ (service level) ทั้งหมดในระบบมีค่าเท่ากับ L ระดับ ในระหว่างที่มีการต่อของการเรียก การเรียกที่ดำเนินอยู่จะเปลี่ยนแปลงไปมาระหว่างสถานะ active และ dormant ตาม activity factor ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง activity factor คือสัดส่วนของเวลาที่การเรียกอยู่ในสถานะ active ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของเวลาเฉลี่ยที่การเรียกอยู่ในสถานะ active ต่อเวลาเฉลี่ยที่การเรียกดำเนินอยู่ในระบบ โดยกำหนดให้ α_i^{up} และ α_i^{dw} แทน activity factor ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงของการเรียกในระดับที่ i ตามลำดับ ดังนั้นอัตราบิตข้อมูลของการเรียกจึงมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสถานะของการเรียก กำหนดให้ R_i^{up} และ R_i^{dw} แทนอัตราบิตข้อมูลในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงของการเรียกในระดับที่ i เมื่ออยู่ในสถานะ active ตามลำดับ B_i^{up} และ B_i^{dw} แทนค่าแบนด์วิดท์ประสิทธิผล (effective bandwidth) ในข่าย

เชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงของการเรียกในระดับที่ i ซึ่งเป็นปริมาณแบนด์วิดท์โดยเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่การเรียกดำเนินอยู่ ดังนั้น $B_i^{up} = \alpha_i^{up} R_i^{up}$ and $B_i^{dw} = \alpha_i^{dw} R_i^{dw}$ เมื่อการร้องขอการเรียกในระดับที่ i ได้รับการตอบรับ ก็จะได้รับ การจัดสรรแบนด์วิดท์ประสิทธิภาพ B_i^{up} และ B_i^{dw} สำหรับชายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงตามลำดับ กำหนดให้ การเรียกในระดับที่ i มีลำดับความสำคัญสูงกว่าการเรียกในระดับที่ j ถ้า $i < j$ การร้องขอการเรียกในระดับใด ๆ จะถูกแบ่งออกเป็นการร้องขอการเรียกใหม่และการร้องขอการเรียกจากการแฮนด์ออฟ โดยกำหนดให้การเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับใด ๆ มีลำดับความสำคัญสูงกว่าการเรียกใหม่ในทุกระดับ

ระบบเซลล์ประกอบด้วยเซลล์หลายเซลล์ แต่ในที่นี้เราจะพิจารณาเมื่อระบบรวมทั้งหมดอยู่ในสถานะ homogeneous in statistical equilibrium ซึ่งเซลล์แต่ละเซลล์จะอยู่ในสถานะเดียวกัน ดังนั้นค่าเฉลี่ยของอัตราการมาถึงของการเรียกจากการแฮนด์ออฟจะเท่ากับอัตราการแฮนด์ออฟออกไปยังเซลล์ข้างเคียงสำหรับการเรียกจากการแฮนด์ออฟทุกระดับ จากสมมติฐานนี้ทำให้เราสามารถวิเคราะห์การทำงานของทั้งระบบได้โดยพิจารณาการทำงานจากเซลล์เพียงเซลล์เดียว

ในการศึกษาการทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกจำเป็นต้องกำหนดแบบจำลองทราฟฟิกของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ซึ่งประกอบด้วยลักษณะสำคัญ 3 ส่วนคือ กระบวนการเข้ามาของการเรียกใหม่, เวลาในการใช้บริการ (service time) และเวลาดเวลล์ (dwell time) จากการศึกษาวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมามาพบที่สามารถพิจารณากระบวนการเข้ามาของการเรียกใหม่ให้เป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซง (Poisson process) ได้ถ้ากำหนดให้จำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่ามากกว่าจำนวนช่องสัญญาณภายในเซลล์มาก ๆ [22], [24] ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ก็ได้ใช้สมมติฐานนี้เช่นเดียวกัน และพบว่าโดยทั่วไปมีการกำหนดฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสำหรับเวลาในการใช้บริการและเวลาดเวลล์ 2 ชนิดได้แก่ การแจกแจงแบบแกมมา (gamma distribution) [52] (ได้จากการศึกษาการแจกแจงที่มีคุณสมบัติ independent identically distributed (iid)) และการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential distribution) [53] (ได้จากการศึกษาสภาพการเคลื่อนที่ของสถานีเคลื่อนที่และขนาดของเซลล์) โดยแต่ละชนิดก็จะมีเหมาะสมสำหรับการใช้งานในแต่ละกรณีที่แตกต่างกันไป เนื่องจากในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาแบบจำลองที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์มากกว่าการจำลองแบบ ดังนั้นจึงกำหนดให้เวลาในการใช้บริการและเวลาดเวลล์มีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลเพื่อให้สามารถจำลองระบบเป็น multidimensional continuous time Markov chain ได้ โดยกำหนดสมมติฐานของแบบจำลองดังต่อไปนี้ พิจารณาการเรียกใหม่ในระดับที่ i , $0 \leq i \leq L-1$ กำหนดให้การเข้ามาของการเรียกใหม่เป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซงด้วยอัตรา Λ_i , เวลาในการใช้บริการมีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยค่าเฉลี่ย $1/\mu_i$, เวลาดเวลล์ภายในเซลล์มีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลด้วยค่าเฉลี่ย $1/\nu_i$ ซึ่งจะทำให้การเข้ามาของการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ i เป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซงด้วยอัตรา λ_i เนื่องจากเวลาในการ

ยึดการต่อ (connection holding time) T_i คือค่าต่ำสุดระหว่างเวลาในการใช้บริการและเวลาดเวลล์ และจากคุณสมบัติไร้ความจำของการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียล ดังนั้นเวลาในการยึดการต่อจึงมีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลเช่นเดียวกันด้วยค่าเฉลี่ย $T_i = 1/(\nu_i + \mu_i)$

2.1.1 วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1

วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทนี้จะใช้แนวคิดของการกันแบนด์วิดท์ (guard bandwidth) เพื่อให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกในระดับต่าง ๆ เมื่อมีการร้องขอการเรียกเกิดขึ้น แบนด์วิดท์ที่ถูกกันไว้คือปริมาณแบนด์วิดท์เพิ่มเติมนอกเหนือไปจากแบนด์วิดท์ที่การเรียกต้องการซึ่งจะถูกกันไว้ใช้สำหรับการเรียกที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่า ดังนั้นการร้องขอการเรียกจะได้รับการตอบรับก็ต่อเมื่อแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่ในระบบมีค่าไม่ต่ำกว่าผลรวมของแบนด์วิดท์ที่ถูกกันและแบนด์วิดท์ที่การเรียกนั้นต้องการ

กำหนดให้ W_{up} และ W_{dw} คือแบนด์วิดท์ทั้งหมดในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงภายในเซลล์ตามลำดับ และแทนสถานะของระบบด้วย \mathbf{s}

$$\mathbf{s} = (n_0, n_1, \dots, n_{L-1}) \quad (2.1)$$

โดย n_j ($0 \leq j \leq L-1$) แทนจำนวนการเรียกในระดับที่ j ที่ดำเนินอยู่ในระบบ

กำหนดให้ \mathbf{S} คือสถานะของระบบทั้งหมดที่เป็นไปได้

$$\mathbf{S} = \left\{ \mathbf{s} : \left(\sum_{k=0}^{L-1} n_k B_k^{up} \leq W_{up} \right) \text{ and } \left(\sum_{k=0}^{L-1} n_k B_k^{dw} \leq W_{dw} \right) \right\} \quad (2.2)$$

จากแนวคิดของการกันแบนด์วิดท์ วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกจะตอบรับการร้องขอการเรียกจากการเสนอออฟในระดับที่ i ก็ต่อเมื่อแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (ขาลง) ที่เหลืออยู่ในระบบมีค่าไม่ต่ำกว่าผลรวมของแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (ขาลง) ที่ถูกกันของการเสนอออฟในระดับที่ i และแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (ขาลง) ที่การเรียกในระดับที่ i ต้องการ ในทำนองเดียวกัน การร้องขอการเรียกใหม่ในระดับที่ i จะได้รับการตอบรับก็ต่อเมื่อแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (ขาลง) ที่เหลืออยู่ในระบบมีค่าไม่ต่ำกว่าผลรวมของแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (ขาลง) ที่ถูกกันของการเรียกใหม่ในระดับที่ i และแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (ขาลง) ที่การเรียกในระดับที่ i ต้องการ

กำหนดให้ $G_{h,j}^{up}$ คือแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นที่ถูกกันเมื่อมีการร้องขอการเรียกจากการเสนอออฟในระดับที่ j เข้ามาในระบบ ดังนั้น

$$G_{h,j}^{up} = \left(\sum_{k=0}^{j-1} \lambda_k T_k B_k^{up} \right) \Delta_j \quad (2.3)$$

โดย $\lambda_k T_k B_k^{up}$ คือปริมาณแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นโดยเฉลี่ยที่การเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ k ต้องการ ดังนั้น $\sum_{k=0}^{j-1} \lambda_k T_k B_k^{up}$ คือปริมาณแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นทั้งหมดที่การเรียกจากการแฮนด์ออฟที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่าการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ j ต้องการ และกำหนดให้ $G_{h,j}^{up}$ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณแบนด์วิดท์ที่การเรียกจากการแฮนด์ออฟที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่าการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ j ต้องการด้วยค่าสัมประสิทธิ์ Δ_j ($0 \leq \Delta_j \leq 1$)

กำหนดให้ $G_{h,j}^{dw}$ คือแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาลงที่ถูกกันเมื่อมีการร้องขอการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ j เข้ามาในระบบ ซึ่งสามารถหาได้ในทำนองเดียวกันกับกรณีข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น ดังนั้น

$$G_{h,j}^{dw} = \left(\sum_{k=0}^{j-1} \lambda_k T_k B_k^{dw} \right) \Delta_j. \quad (2.4)$$

ต่อไป กำหนดให้ $G_{n,j}^{up}$ คือแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นที่ถูกกันไว้เมื่อมีการร้องขอการเรียกใหม่ในระดับที่ j เข้ามาในระบบ และเนื่องจากการเรียกใหม่ในระดับที่ j มีลำดับความสำคัญต่ำกว่าการเรียกจากการแฮนด์ออฟทุกระดับรวมทั้งการเรียกใหม่ในระดับที่ i ถ้า $i < j$ ดังนั้น

$$G_{n,j}^{up} = \left(\sum_{k=0}^{L-1} \lambda_k T_k B_k^{up} + \sum_{i=0}^{j-1} \Lambda_i T_i B_i^{up} \right) \Delta_j. \quad (2.5)$$

โดย $\left(\sum_{k=0}^{L-1} \lambda_k T_k B_k^{up} + \sum_{i=0}^{j-1} \Lambda_i T_i B_i^{up} \right)$ คือปริมาณแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นทั้งหมดที่การเรียกจากการแฮนด์ออฟทุกระดับและการเรียกใหม่ที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่าการเรียกใหม่ในระดับที่ j ต้องการ

กำหนดให้ $G_{n,j}^{dw}$ คือแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาลงที่ถูกกันไว้เมื่อมีการเรียกใหม่ในระดับที่ j เข้ามาในระบบ ซึ่งสามารถหาได้ในทำนองเดียวกันกับกรณีข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น ดังนั้น

$$G_{n,j}^{dw} = \left(\sum_{k=0}^{L-1} \lambda_k T_k B_k^{dw} + \sum_{i=0}^{j-1} \Lambda_i T_i B_i^{dw} \right) \Delta_j. \quad (2.6)$$

กำหนดให้แบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นที่เหลืออยู่เมื่อระบบอยู่ในสถานะ s แทนด้วย $Q_{up}(s)$ ดังนั้น

$$Q_{up}(s) = W_{up} - \sum_{k=0}^{L-1} n_k B_k^{up} \quad (2.7)$$

ในทำนองเดียวกัน ถ้ากำหนดให้แบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาลงที่เหลืออยู่เมื่อระบบอยู่ในสถานะ s แทนด้วย $Q_{dw}(s)$ ดังนั้น

$$Q_{dw}(\mathbf{s}) = W_{dw} - \sum_{k=0}^{L-1} n_k B_k^{dw} \quad (2.8)$$

เมื่อมีการร้องขอการเรียกใหม่หรือการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ j เกิดขึ้นในขณะที่ระบบอยู่ในสถานะ \mathbf{s} สถานะนี้จะตอบรับการร้องขอการเรียกใหม่ในระดับที่ j ก็ต่อเมื่อ $Q_{up}(\mathbf{s}) - G_{n,j}^{up} \geq B_j^{up}$ และ $Q_{dw}(\mathbf{s}) - G_{n,j}^{dw} \geq B_j^{dw}$ ในทำนองเดียวกัน สถานะนี้จะตอบรับการร้องขอการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ j ก็ต่อเมื่อ $Q_{up}(\mathbf{s}) - G_{h,j}^{up} \geq B_j^{up}$ และ $Q_{dw}(\mathbf{s}) - G_{h,j}^{dw} \geq B_j^{dw}$

2.1.1.1 Flow Balance Equations

การเปลี่ยนสถานะของระบบ \mathbf{s} จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้คือ การมาถึงของการเรียกใหม่, การมาถึงของการเรียกจากการแฮนด์ออฟ, การสิ้นสุดของการเรียกที่ดำเนินอยู่ และการแฮนด์ออฟของการเรียกที่ดำเนินอยู่ไปยังเซลล์ข้างเคียง

กำหนดให้สถานะที่เกิดขึ้นหลังจากการเปลี่ยนจากสถานะ \mathbf{s} แทนด้วย

$$\mathbf{s}_{i+} = (n_0, n_1, \dots, n_{i-1}, n_i + 1, n_{i+1}, \dots, n_{L-1})$$

$$\mathbf{s}_{i-} = (n_0, n_1, \dots, n_{i-1}, n_i - 1, n_{i+1}, \dots, n_{L-1})$$

เมื่อ $0 \leq i \leq L - 1$

พิจารณาการเปลี่ยนสถานะจาก \mathbf{s} ไปเป็น \mathbf{s}_{i+} เนื่องจากการเข้ามาของการเรียกใหม่ในระดับที่ i กำหนดให้อัตราการเปลี่ยนสถานะแทนด้วย $q^n(\mathbf{s}, i)$ ดังนี้

$$q^n(\mathbf{s}, i) = I_{Q_{up}(\mathbf{s}) - G_{n,i}^{up} \geq B_i^{up}} \cdot I_{Q_{dw}(\mathbf{s}) - G_{n,i}^{dw} \geq B_i^{dw}} \cdot \Lambda_i \quad (2.9)$$

โดย I_c คือฟังก์ชัน Indication ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเงื่อนไข c เป็นจริง มิฉะนั้นจะมีค่าเท่ากับ 0

พิจารณาการเปลี่ยนสถานะจาก \mathbf{s} ไปเป็น \mathbf{s}_{i+} เนื่องจากการเข้ามาของการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ i กำหนดให้อัตราการเปลี่ยนสถานะแทนด้วย $q^h(\mathbf{s}, i)$ ดังนี้

$$q^h(\mathbf{s}, i) = I_{Q_{up}(\mathbf{s}) - G_{h,i}^{up} \geq B_i^{up}} \cdot I_{Q_{dw}(\mathbf{s}) - G_{h,i}^{dw} \geq B_i^{dw}} \cdot \lambda_i \quad (2.10)$$

พิจารณาการเปลี่ยนสถานะจาก \mathbf{s} ไปเป็น \mathbf{s}_{i-} เนื่องจากการสิ้นสุดของการเรียกในระดับที่ i ที่ดำเนินอยู่ กำหนดให้อัตราการเปลี่ยนสถานะแทนด้วย $q^c(\mathbf{s}, i)$ ดังนี้

$$q^c(\mathbf{s}, i) = n_i \mu_i \quad (2.11)$$

พิจารณาการเปลี่ยนสถานะจาก s ไปเป็น s_{i-} เนื่องจากการเสนอออฟของการเรียกในระดับที่ i ที่ดำเนินอยู่ไปยังเซลล์ข้างเคียง กำหนดให้อัตราการเปลี่ยนสถานะแทนด้วย $q^d(s, i)$ ดังนี้

$$q^d(s, i) = n_i \nu_i \quad (2.12)$$

กำหนดให้ $\pi(s)$ แทนความน่าจะเป็นไม่แปรตามเวลา (stationary probability) ของสถานะ s ซึ่งสอดคล้องกับ flow balance equations ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \pi(s) & \sum_{i=0}^{L-1} \{q^n(s, i) + q^h(s, i) + q^c(s, i) + q^d(s, i)\} \\ & = \sum_{i=0}^{L-1} I_{n_i \geq 1} \cdot \pi(s_{i-}) \{q^n(s_{i-}, i) + q^h(s_{i-}, i)\} \\ & \quad + \sum_{i=0}^{L-1} I_{s_{i+} \in S} \cdot \pi(s_{i+}) \{q^c(s_{i+}, i) + q^d(s_{i+}, i)\} \end{aligned} \quad (2.13)$$

สำหรับทุก $s \in S$

และสมการการทำให้เป็นบรรทัดฐาน (normalization) ดังนี้

$$\sum_{s \in S} \pi(s) = 1 \quad (2.14)$$

และจะสามารถหา $\pi(s)$ โดยใช้การวิเคราะห์เชิงตัวเลข (numerical analysis) [54]

2.1.1.2 ค่าที่ใช้วัดสมรรถนะ (Performance measures)

ค่าที่ใช้วัดสมรรถนะขั้นพื้นฐานคือ ความน่าจะเป็นของการเสนอออฟล้มเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ กำหนดให้ $P_{n,i}$ แทนความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ในระดับที่ i โดยการร้องขอการเรียกใหม่ในระดับที่ i จะถูกปฏิเสธถ้าระบบอยู่ในสถานะต่อไปนี้

$\xi_i = \{s : (Q_{up}(s) - G_{n,i}^{up} < B_i^{up}) \text{ or } (Q_{dw}(s) - G_{n,i}^{dw} < B_i^{dw})\}$ สำหรับ $0 \leq i \leq L-1$ ดังนั้น ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ในระดับที่ i คือ

$$P_{n,i} = \sum_{s \in \xi_i} \pi(s) \quad (2.15)$$

กำหนดให้ $P_{h,i}$ แทนความน่าจะเป็นของการเสนอออฟล้มเหลวในระดับที่ i โดยการเรียกจากการเสนอออฟในระดับที่ i ที่มาจากเซลล์ข้างเคียงจะถูกปฏิเสธถ้าระบบอยู่ในสถานะต่อไปนี้

$\phi_i = \{s : (Q_{up}(s) - G_{h,i}^{up} < B_i^{up}) \text{ or } (Q_{dw}(s) - G_{h,i}^{dw} < B_i^{dw})\}$ สำหรับ $0 \leq i \leq L-1$
 ดังนั้น ความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟลัมเหลวในระดับที่ i คือ

$$P_{h,i} = \sum_{s \in \phi_i} \pi(s) \quad (2.16)$$

ค่าที่ใช้วัดสมรรถนะที่สำคัญอีกค่าหนึ่งคือ ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของค่าวิสัยสามารถ (throughput) ต่อปริมาณแบนด์วิดท์ทั้งหมดในระบบ กำหนดให้ Γ_i แทนค่าวิสัยสามารถสำหรับการเรียกในระดับที่ i ดังนั้น

$$\Gamma_i = \sum_{s \in S} \pi(s) (n_i B_i^{up} + n_i B_i^{dw}) \quad (2.17)$$

ดังนั้นจะได้ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์สำหรับการเรียกในระดับที่ i คือ $U_i = \Gamma_i / (W_{up} + W_{dw})$ และจะได้ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์รวมคือ

$$U_T = \sum_{i=0}^{L-1} \Gamma_i / (W_{up} + W_{dw}) \quad (2.18)$$

ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟลัมเหลวสามารถพิจารณาในรูปแบบของคุณภาพของบริการ (QoS) ได้ โดยคุณภาพของบริการสำหรับการเรียกในระดับที่ i แทนด้วย $P_{b,i}$ คือค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟลัมเหลวสำหรับการเรียกในระดับที่ i ดังนี้

$$P_{b,i} = \psi P_{n,i} + \chi P_{h,i} \quad (2.19)$$

โดย ψ และ χ คือค่าคงที่ซึ่งแทนผลของการบล็อกการเรียกใหม่และการแฮนด์ออฟลัมเหลวตามลำดับ ($\psi + \chi = 1$) โดยปกติ $\chi > \psi$ เนื่องจากการแฮนด์ออฟลัมเหลวมีผลกระทบต่อผู้ใช้มากกว่าการบล็อกการเรียกใหม่ ในที่นี้จะพิจารณากรณีที่ $\psi = 1/3$, $\chi = 2/3$ [55]

นอกจากนี้ ค่าที่ใช้วัดสมรรถนะในแง่ของความเท่าเทียมจะสามารถพิจารณาจากค่า fairness index [56] กำหนดให้ F แทนค่า fairness index ในแง่ของค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์และ L คือจำนวนระดับของบริการทั้งหมดในระบบ ดังนั้น

$$F = \left(\sum_{i=0}^{L-1} U_i \right)^2 / \left(L \cdot \sum_{i=0}^{L-1} U_i^2 \right) \quad (2.20)$$

โดยค่า fairness index จะอยู่ในช่วง $[0, 1]$ ยิ่งค่า fairness index มีค่าเพิ่มขึ้น ยิ่งแสดงถึงการแจกแจงค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิธแก่บริการในระดับต่าง ๆ อย่างเท่าเทียมกันมากขึ้น กรณีที่พิจารณาค่า fairness index ในแง่ของค่าที่ใช้วัดสมรรถนะค่าอื่น ๆ พบว่าจะสามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกันกับกรณีของค่า fairness index ในแง่ของค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิธ

2.1.1.3 การหาอัตราการมาถึงของการเรียกจากการแฮนด์ออฟ

ในที่นี้จะพิจารณาเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะ homogeneous in statistical equilibrium ซึ่งค่าเฉลี่ยของอัตราการมาถึงของการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ i มีค่าเท่ากับอัตราการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับที่ i ออกไปยังเซลล์ข้างเคียง ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$\lambda_i = \sum_{s \in S} \pi(s) n_i \nu_i \quad (2.21)$$

ซึ่งพบว่าจะสามารถคำนวณอัตราการมาถึงของการเรียกจากการแฮนด์ออฟได้จากความน่าจะเป็นไม่แปรตามเวลาของสถานะแต่ละสถานะ ในขณะที่ความน่าจะเป็นของสถานะแต่ละสถานะจะต้องคำนวณจากอัตราการมาถึงของการเรียกจากการแฮนด์ออฟ ดังนั้นในการแก้ปัญหาจึงต้องใช้วิธี iterative ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดค่าเริ่มต้น (initial value) ของอัตราการมาถึงของการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ i , λ_i ซึ่งเป็นค่าที่มีผลกระทบต่อเวลาที่ใช้ในการลู่เข้าของวิธี iterative โดยกำหนดให้ $P_{dep,i}$ คือความน่าจะเป็นที่การเรียกที่ดำเนินอยู่จะถูกแฮนด์ออฟไปยังเซลล์ข้างเคียง

$$P_{dep,i} = \frac{\nu_i}{\mu_i + \nu_i} \quad (2.22)$$

ดังนั้นจะได้

$$\lambda_i = P_{dep,i} \{ \Lambda_i (1 - P_{n,i}) + \lambda_i (1 - P_{h,i}) \} \quad (2.23)$$

ถ้ากำหนดให้ $P_{n,i} \ll 1$ และ $P_{h,i} \ll 1$ จะได้

$$\lambda_i \simeq \frac{P_{dep,i}}{1 - P_{dep,i}} \Lambda_i = \frac{\nu_i}{\mu_i} \Lambda_i \quad (2.24)$$

จะสังเกตได้ว่าในกรณีที่ปริมาณทรัพยากรในระบบสูง สมมติฐานสำหรับค่า $P_{n,i}$, $P_{h,i}$ อาจจะไม่ถูกต้อง แต่ค่าเริ่มต้นของ λ_i ในสมการที่ (2.24) ก็ยังคงสามารถใช้ในกระบวนการ iterative ได้อย่างไรก็ตามในกรณีนี้จะใช้เวลาในการลู่เข้าจะยาวนานขึ้น

2. คำนวณความน่าจะเป็นไม่แปรตามเวลา $\pi(s)$ จาก flow balance equations
3. คำนวณอัตราการมาถึงของการเรียกจากการแฮนด์ออฟค่าใหม่, $\lambda_{i,new}$

$$\lambda_{i,new} = \sum_{s \in S} \pi(s) n_i v_i \quad (2.25)$$

4. กำหนดให้ ε แทนค่าน้อย ๆ และกำหนดให้ δ_i แทนฟังก์ชันแสดงความแตกต่างระหว่างอัตราการมาถึงของการเรียกจากการแฮนด์ออฟค่าเดิมและค่าใหม่ว่าแตกต่างกันน้อยกว่า ε หรือไม่ ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$\delta_i = \begin{cases} 1, & \text{if } \left| 1 - \frac{\lambda_{i,new}}{\lambda_i} \right| < \varepsilon \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2.26)$$

5. แทนค่า λ_i ด้วย $\lambda_{i,new}$ สำหรับ $0 \leq i \leq L - 1$ ถ้า $\prod_{i=0}^{L-1} \delta_i = 0$ ให้กลับไปขั้นตอนที่ 2
6. คำนวณความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ $P_{n,i}$, ความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลว $P_{h,i}$ และค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ U_i สำหรับการเรียกทุกระดับ

2.1.2 วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2

วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทนี้เหมาะสำหรับระบบ CDMA ซึ่งความจุของเซลล์มีค่าแปรผันตามจำนวนการเรียกที่ดำเนินอยู่ในเซลล์และภายในเซลล์ข้างเคียงเนื่องจากสัญญาณแทรกสอดภายในช่องสัญญาณเดียวกัน โดยจะต้องควบคุมคุณภาพของสัญญาณหรือค่า SIR ของการเรียกที่ดำเนินอยู่ให้มีค่าไม่ต่ำกว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทนี้จะตอบรับการร้องขอการเรียกก็ต่อเมื่อค่า E_b/N_0 ของการเรียกใหม่และการเรียกที่กำลังดำเนินอยู่มีค่าไม่ต่ำกว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้

เช่นเดียวกันกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 กำหนดให้ W_{up} และ W_{dw} คือแบนด์วิดท์ทั้งหมดในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงภายในเซลล์ตามลำดับ สถานะของระบบแทนด้วย s โดย $s = (n_0, n_1, \dots, n_{L-1})$ และ n_j แทนจำนวนการเรียกในระดับที่ j ที่ดำเนินอยู่ในระบบ

เมื่อมีการร้องขอการเรียกเกิดขึ้น สถานีฐานจะตรวจสอบ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก สถานีฐานจะตรวจสอบว่ามีอุปกรณ์รับสัญญาณและ spreading code เหลือเพียงพอสำหรับรองรับการเรียกที่เข้ามาใหม่หรือไม่ กำหนดให้ S แทนสถานะของระบบทั้งหมดที่เป็นไปได้ซึ่งมีอุปกรณ์รับสัญญาณและ spreading code เพียงพอที่จะรองรับการเรียกที่ดำเนินอยู่ ดังนั้นในขั้นตอนแรก สถานีฐานจะตรวจสอบว่าเมื่อตอบรับการร้องขอการเรียกที่เข้ามา สถานะของระบบจะยังคงอยู่ใน S หรือไม่ ถ้าผ่านการทดสอบในขั้นตอนแรก สถานีฐานจะตัดสินใจตอบรับหรือปฏิเสธการเรียกที่เข้ามาโดยใช้วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกต่อไป

2.1.2.1 การคำนวณค่า E_b/N_0 เฉลี่ยในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น

กำหนดให้ C_j แทนกำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ของการเรียกในระดัที่ j ดังนั้นค่าเฉลี่ยของสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสำหรับการเรียกในระดัที่ k ที่สถานะของระบบ s ซึ่งแทนด้วย $H_k^{up}(s)$ จะมีค่าดังนี้

$$H_k^{up}(s) = \sum_{j=0}^{L-1} \alpha_j^{up} n_j C_j - \alpha_k^{up} C_k \quad (2.27)$$

กำหนดให้ ζ^{up} แทนอัตราส่วนของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงต่อสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น และเนื่องจากในที่นี้จะพิจารณาเมื่อระบบรวมทั้งหมดอยู่ในสภาวะ homogeneous in statistical equilibrium ดังนั้นค่าเฉลี่ยของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสำหรับการเรียกในระดัที่ k ที่สถานะของระบบ s ซึ่งแทนด้วย $O_k^{up}(s)$ จะมีค่าดังนี้

$$O_k^{up}(s) = \zeta^{up} \sum_{j=0}^{L-1} \alpha_j^{up} n_j C_j \quad (2.28)$$

ถ้าไม่พิจารณาสัญญาณรบกวนพื้นหลัง (background noise) ค่าเฉลี่ยของสัญญาณแทรกสอดทั้งหมดในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสำหรับการเรียกในระดัที่ k คือผลรวมของ $H_k^{up}(s)$ และ $O_k^{up}(s)$ ดังนั้นจะได้ค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสำหรับการเรียกในระดัที่ k ที่สถานะของระบบ s ซึ่งแทนด้วย $M_k^{up}(s)$ ดังนี้

$$M_k^{up}(s) = \frac{C_k}{H_k^{up} + O_k^{up}} \cdot \frac{W_{up}}{R_k^{up}} \quad (2.29)$$

เนื่องจากกำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับสำหรับการเรียกในระดัที่ k เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราบิตในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นที่ต้องการสำหรับการเรียกในระดั

ที่ k เพื่อรับรองคุณภาพของสัญญาณซึ่งแทนด้วย γ_k^{up} [32] ดังนั้น $C_j/C_k = (R_j^{up}\gamma_j^{up})/(R_k^{up}\gamma_k^{up})$ และจะได้

$$M_k^{up}(\mathbf{s}) = \frac{W_{up}\gamma_k^{up}}{(1 + \varsigma^{up}) \sum_{j=0}^{L-1} \alpha_j^{up} n_j R_j^{up} \gamma_j^{up} - \alpha_k^{up} R_k^{up} \gamma_k^{up}} \quad (2.30)$$

2.1.2.2 การคำนวณค่า E_b/N_0 เฉลี่ยในข่ายเชื่อมโยงขาลง

กำหนดให้ p_j แทนกำลังส่งเฉลี่ยของสัญญาณจากสถานีฐานสำหรับสถานีเคลื่อนที่ของการเรียกในระดับที่ j กำหนดให้ P_x คือกำลังส่งทั้งหมดจากสถานีฐานในเซลล์ x และ z แทนอัตราส่วนของกำลังของ overhead channel (P_{oh}) ต่อกำลังส่งสูงสุด (P_{max}) นั่นคือ $z = P_{oh}/P_{max}$ ซึ่งเป็นค่าคงที่ ถ้ากำหนดให้ home cell คือเซลล์ 0 จะได้ $(P_{oh}/P_0) \geq z$ และ $P_0 - P_{oh} = \sum_{j=0}^{L-1} n_j p_j$ ดังนั้น $(1 - z)P_0 \geq \sum_{j=0}^{L-1} n_j p_j$ เนื่องจากโดยทั่วไปจะพิจารณาการตอบรับการเรียกในขณะที่มีปริมาณโหลดในระบบมากซึ่ง P_0 จะมีค่าเข้าสู่ P_{max} ดังนั้นจะสามารถประมาณค่ากำลังส่งทั้งหมดจากสถานีฐานใน home cell ได้ดังนี้

$$P_0 = \frac{1}{1 - z} \sum_{j=0}^{L-1} \alpha_j^{dw} n_j p_j \quad (2.31)$$

ในการคำนวณค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาลงสำหรับการเรียกในระดับที่ j จะใช้แนวคิดของตำแหน่งเฉลี่ย (average location) [3] ซึ่งกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาลงสำหรับการเรียกในระดับที่ k มีค่าเท่ากับค่า E_b/N_0 ของสถานีเคลื่อนที่ของการเรียกในระดับที่ k ที่ตำแหน่งเฉลี่ยซึ่งถูกเรียกว่า tagged mobile กำหนดให้กำลังส่งที่ต้องการสำหรับ tagged mobile มีค่าเท่ากับ p_k พิจารณาช่องสัญญาณที่มีการลดทอนเนื่องจากการแพร่กระจายสัญญาณ (propagation attenuation) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณ กำหนดให้ d_0 คือระยะทางจากสถานีฐานในเซลล์ 0 (home cell) ไปยังตำแหน่งเฉลี่ย ถ้าค่าเฉลี่ยของ orthogonality factor ในข่ายเชื่อมโยงขาลงแทนด้วย ρ สัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ของ tagged mobile ที่ตำแหน่งเฉลี่ยที่สถานะ \mathbf{s} ซึ่งแทนด้วย $H_k^{dw}(\mathbf{s})$ จะมีค่าดังนี้

$$H_k^{dw}(\mathbf{s}) = c d_0^{-\eta} (P_0 - (\frac{1}{1 - z}) \alpha_k^{dw} p_k) (1 - \rho) \quad (2.32)$$

โดย η คือ path loss exponent และ η, c คือค่าคงที่

พิจารณาสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงของ tagged mobile โดยสมมติให้ต้นกำเนิดสัญญาณแทรกสอดมาจากเซลล์ที่อยู่ในวงรอบ 2 วงของ home cell ซึ่งมีทั้งหมด 18 เซลล์และมีหมายเลขประจำเซลล์คือ 1-18 กำหนดให้ d_x คือระยะทางจากสถานีฐานของเซลล์ x ไปยัง tagged mobile ดังนั้นสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงของ tagged mobile ที่สถานะ s ซึ่งแทนด้วย $O_k^{dw}(s)$ คือ

$$O_k^{dw}(s) = \sum_{x=1}^{18} cd_x^{-\eta} P_x \quad (2.33)$$

$$\text{โดย } P_x = \frac{1}{1-z} \sum_{j=0}^{L-1} \alpha_j^{dw} n_j p_j \quad [32]$$

ดังนั้นจะได้ค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ของ tagged mobile ที่สถานะ s ซึ่งแทนด้วย $M_k^{dw}(s)$ ดังนี้

$$M_k^{dw}(s) = \frac{W_{dw}}{R_k^{dw}} \cdot \frac{cd_0^{-\eta} p_k}{H_k^{dw}(s) + O_k^{dw}(s)} \quad (2.34)$$

โดยกำหนดให้ ζ^{dw} แทนอัตราส่วนของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงต่อสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ 0 โดย $\zeta^{dw} = \sum_{x=1}^{18} (d_x/d_0)^{-\eta}$ เนื่องจากกำลังส่งเฉลี่ยจากสถานีฐานสำหรับการเรียกในระดับที่ k เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราบิตในข่ายเชื่อมโยงขาลงและค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาลงที่ต้องการสำหรับการเรียกในระดับที่ k [32] เพื่อรับรองคุณภาพของสัญญาณซึ่งแทนด้วย γ_k^{dw} ดังนั้น $p_j/p_k = (R_j^{dw} \gamma_j^{dw}) / (R_k^{dw} \gamma_k^{dw})$ และจะได้

$$M_k^{dw}(s) = \frac{(1-z)W_{dw}\gamma_k^{dw}}{(1-\rho + \zeta^{dw}) \sum_{j=0}^{L-1} \alpha_j^{dw} n_j R_j^{dw} \gamma_j^{dw} - (1-\rho)\alpha_k^{dw} R_k^{dw} \gamma_k^{dw}} \quad (2.35)$$

2.1.2.3 ขั้นตอนการควบคุมการตอบรับการเรียก

เมื่อมีการร้องขอการเรียกในระดับที่ i เกิดขึ้นที่สถานะ s การควบคุมการตอบรับการเรียกจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. พิจารณาข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น สถานีฐานจะวัดและคำนวณหาค่าเฉลี่ย E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสำหรับการเรียกในระดับที่ k ซึ่งแทนด้วย $M_k^{up}(s)$ จากนั้นสถานีฐานจะคำนวณค่าเฉลี่ย E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสำหรับการเรียกในระดับที่ k เมื่อการเรียกในระดับที่ i ได้รับการตอบรับ ซึ่งแทนด้วย $E_{k,i}^{up}(s)$ ดังนี้

$$E_{k,i}^{up}(s) = \left\{ \frac{1}{M_k^{up}} + \frac{\alpha_i^{up} R_i^{up}}{W_{up}} \cdot \frac{\gamma_i^{up}}{\gamma_k^{up}} \right\}^{-1} \quad (2.36)$$

2. พิจารณาย้ายเชื่อมโยงขาลง สถานะเคลื่อนที่ของการเรียกในระดับที่ k จะวัดค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาลงและรายงานกลับไปยังสถานะพื้นฐานเป็นระยะ ๆ ตามคาบเวลา จากนั้นสถานะพื้นฐานจะคำนวณค่าเฉลี่ย E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาลงสำหรับการเรียกในระดับที่ k โดยใช้ข้อมูลที่ได้รับมาซึ่งแทนด้วย $M_k^{dw}(\mathbf{s})$ และคำนวณค่าเฉลี่ย E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาลงสำหรับการเรียกในระดับที่ k เมื่อการเรียกในระดับที่ i ได้รับการตอบรับ ซึ่งแทนด้วย $E_{k,i}^{dw}(\mathbf{s})$ ดังนี้

$$E_{k,i}^{dw}(\mathbf{s}) = \left\{ \frac{1}{M_k^{dw}} + \frac{(1-\rho)}{(1-z)} \cdot \frac{\alpha_i^{dw} R_i^{dw}}{W_{dw}} \cdot \frac{\gamma_i^{dw}}{\gamma_k^{dw}} \right\}^{-1} \quad (2.37)$$

3. การตัดสินใจ กำหนดให้ $\Phi_{k,i}^{up}$ และ $\Phi_{k,i}^{dw}$ แทนค่าจุดเริ่มเปลี่ยน E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงของการเรียกในระดับที่ k ที่ใช้สำหรับควบคุมการตอบรับการร้องขอการเรียกใหม่ในระดับที่ i และ $\kappa_{k,i}^{up}$ และ $\kappa_{k,i}^{dw}$ แทนค่าจุดเริ่มเปลี่ยน E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงของการเรียกในระดับที่ k ที่ใช้สำหรับควบคุมการตอบรับการร้องขอการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ i ดังนั้น การร้องขอการเรียกใหม่ในระดับที่ i จะได้รับการตอบรับเมื่อเงื่อนไขต่อไปนี้เป็นจริง

$$E_{k,i}^{up}(\mathbf{s}) \geq \Phi_{k,i}^{up} \text{ and } E_{k,i}^{dw}(\mathbf{s}) \geq \Phi_{k,i}^{dw}, \text{ for } 0 \leq k \leq L-1 \quad (2.38)$$

ในทำนองเดียวกัน การร้องขอการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ i จะได้รับการตอบรับเมื่อเงื่อนไขต่อไปนี้เป็นจริง

$$E_{k,i}^{up}(\mathbf{s}) \geq \kappa_{k,i}^{up} \text{ and } E_{k,i}^{dw}(\mathbf{s}) \geq \kappa_{k,i}^{dw}, \text{ for } 0 \leq k \leq L-1 \quad (2.39)$$

2.1.2.4 การกำหนดค่าจุดเริ่มเปลี่ยนสำหรับการควบคุมการตอบรับการเรียก

ในการกำหนดค่าจุดเริ่มเปลี่ยนเพื่อให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกในระดับต่าง ๆ จะต้องพิจารณากรณีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. การกำหนดลำดับความสำคัญระหว่างการเรียกจากการแฮนด์ออฟและการเรียกใหม่ที่อยู่ในระดับเดียวกัน เนื่องจากการเรียกจากการแฮนด์ออฟมีลำดับความสำคัญสูงกว่าการเรียกใหม่ในระดับเดียวกัน ดังนั้น

$$\kappa_{k,i}^{up} \leq \Phi_{k,i}^{up} \text{ and } \kappa_{k,i}^{dw} \leq \Phi_{k,i}^{dw}, \text{ for } 0 \leq k \leq L-1 \quad (2.40)$$

2. การกำหนดลำดับความสำคัญระหว่างการเรียกที่อยู่ในระดับที่แตกต่างกัน เนื่องจากการเรียกในระดับที่ i มีลำดับความสำคัญสูงกว่าการเรียกในระดับที่ j เมื่อ $i < j$ ในกรณีนี้เนื่องจาก $E_{k,i}^{up} \neq E_{k,j}^{up}, E_{k,i}^{dw} \neq E_{k,j}^{dw}$ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาทั้งค่าจุดเริ่มเปลี่ยน, อัตราบิตข้อมูลและค่า E_b/N_0 ที่ต้องการสำหรับการเรียกในระดับที่ i และระดับที่ j เพื่อให้วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกสามารถรับประกันลำดับความสำคัญของการเรียกในระดับที่แตกต่างกัน
3. การกำหนดค่าพารามิเตอร์จุดเริ่มเปลี่ยน เนื่องจากมีจำนวนจุดเริ่มเปลี่ยนที่ต้องใช้ในการควบคุมการตอบรับการเรียกเป็นจำนวนมาก ($4L^2$) ซึ่งทำให้ความซับซ้อนของระบบมีค่าสูง ดังนั้นเพื่อลดจำนวนจุดเริ่มเปลี่ยน จึงกำหนดค่าจุดเริ่มเปลี่ยนโดยใช้ค่า E_b/N_0 ที่ต้องการสำหรับการเรียกในแต่ละระดับ ดังนี้

$$\kappa_{k,i}^{up} = \gamma_k^{up} \beta_i^h, \kappa_{k,i}^{dw} = \gamma_k^{dw} \beta_i^h, \Phi_{k,i}^{up} = \gamma_k^{up} \beta_i^n, \Phi_{k,i}^{dw} = \gamma_k^{dw} \beta_i^n$$

$$\text{for } 0 \leq k \leq L-1, 0 \leq i \leq L-1 \quad (2.41)$$

โดย β_i^n และ β_i^h คือค่าพารามิเตอร์จุดเริ่มเปลี่ยนสำหรับการร้องขอการเรียกใหม่และการร้องขอการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ i โดยกำหนดให้มีค่ามากกว่า 1 ซึ่งจะพบว่าค่าพารามิเตอร์ β จะมีจำนวนลดลงเหลือ $(2L)$ และเพื่อรับประกันลำดับความสำคัญของการเรียกจากการแฮนด์ออฟเมื่อเทียบกับการเรียกใหม่จึงกำหนดให้ $\beta_i^h < \beta_i^n$

2.1.2.5 Flow Balance Equations

ความน่าจะเป็นไม่แปรตามเวลา (stationary probability) ของสถานะ s , $\pi(s)$, จะสอดคล้องกับ flow balance equations และสมการการทำให้เป็นบรรทัดฐานเช่นเดียวกันกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 โดยสามารถคำนวณอัตราการเปลี่ยนสถานะเมื่อเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

พิจารณาการเปลี่ยนสถานะจาก s ไปเป็น s_{i+} เนื่องจากการมาถึงของการเรียกใหม่ในระดับที่ i กำหนดให้อัตราการเปลี่ยนสถานะแทนด้วย $q^n(s, i)$ ดังนี้

$$q^n(s, i) = I_{E_{k,i}^{up}(s) \geq \Phi_{k,i}^{up} \text{ and } E_{k,i}^{dw}(s) \geq \Phi_{k,i}^{dw}, \text{ for } 0 \leq k \leq L-1} \cdot \Lambda_i \quad (2.42)$$

พิจารณาการเปลี่ยนสถานะจาก s ไปเป็น s_{i+} เนื่องจากการมาถึงของการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ i กำหนดให้อัตราการเปลี่ยนสถานะแทนด้วย $q^h(s, i)$ ดังนี้

$$q^h(\mathbf{s}, i) = I_{E_{k,i}^{up}(\mathbf{s}) \geq \kappa_{k,i}^{up} \text{ and } E_{k,i}^{dw}(\mathbf{s}) \geq \kappa_{k,i}^{dw}, \text{ for } 0 \leq k \leq L-1} \cdot \lambda_i \quad (2.43)$$

พิจารณาการเปลี่ยนสถานะจาก \mathbf{s} ไปเป็น \mathbf{s}_{i-} เนื่องจากการสิ้นสุดของการเรียกในระดับที่ i ที่ดำเนินอยู่ กำหนดให้อัตราการเปลี่ยนสถานะแทนด้วย $q^c(\mathbf{s}, i)$ ดังนั้น

$$q^c(\mathbf{s}, i) = n_i \mu_i \quad (2.44)$$

พิจารณาการเปลี่ยนสถานะจาก \mathbf{s} ไปเป็น \mathbf{s}_{i-} เนื่องจากการเสนอต่อฟของการเรียกในระดับที่ i ที่ดำเนินอยู่ไปยังเซลล์ข้างเคียง กำหนดให้อัตราการเปลี่ยนสถานะแทนด้วย $q^d(\mathbf{s}, i)$ ดังนั้น

$$q^d(\mathbf{s}, i) = n_i \nu_i \quad (2.45)$$

2.1.2.6 ค่าที่ใช้วัดสมรรถนะ (Performance measures)

ค่าที่ใช้วัดสมรรถนะคือ ความน่าจะเป็นของการเสนอต่อฟล้มเหลว, ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่, ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์, คุณภาพของบริการและค่า fairness index เช่นเดียวกันกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

กำหนดให้ $P_{n,i}$ แทนความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ในระดับที่ i โดยการร้องขอการเรียกใหม่ในระดับที่ i จะถูกปฏิเสธถ้าระบบอยู่ในสถานะต่อไปนี้

$$\xi_i = \{ \mathbf{s} : E_{k,i}^{up}(\mathbf{s}) < \Phi_{k,i}^{up} \text{ or } E_{k,i}^{dw}(\mathbf{s}) < \Phi_{k,i}^{dw}; \exists (0 \leq k \leq L-1) \}$$

สำหรับ $0 \leq i \leq L-1$

ดังนั้น ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ในระดับที่ i คือ

$$P_{n,i} = \sum_{\mathbf{s} \in \xi_i} \pi(\mathbf{s}) \quad (2.46)$$

กำหนดให้ $P_{h,i}$ แทนความน่าจะเป็นของการเสนอต่อฟล้มเหลวในระดับที่ i โดยการเรียกจากการเสนอต่อฟในระดับที่ i ที่มาจากเซลล์ข้างเคียงจะถูกปฏิเสธถ้าระบบอยู่ในสถานะต่อไปนี้

$$\phi_i = \{ \mathbf{s} : E_{k,i}^{up}(\mathbf{s}) < \kappa_{k,i}^{up} \text{ or } E_{k,i}^{dw}(\mathbf{s}) < \kappa_{k,i}^{dw}; \exists (0 \leq k \leq L-1) \}$$

สำหรับ $0 \leq i \leq L-1$

ดังนั้น ความน่าจะเป็นของการเสนอต่อฟล้มเหลวในระดับที่ i คือ

$$P_{h,i} = \sum_{\mathbf{s} \in \phi_i} \pi(\mathbf{s}) \quad (2.47)$$

สำหรับค่าการใช้ประโยชน์แบบดีวิดิท, คุณภาพของบริการและค่า fairness index จะสามารถคำนวณได้เช่นเดียวกันกับกรณีของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1

2.1.2.7 การหาอัตราการมาถึงของการเรียกจากการแฮนด์ออฟ

พิจารณาเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะ homogeneous in statistical equilibrium ซึ่งค่าเฉลี่ยของอัตราการมาถึงของการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ i เท่ากับอัตราการแฮนด์ออฟของการเรียกในระดับที่ i ออกไปยังเซลล์ข้างเคียง และสามารถหาอัตราการมาถึงของการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ i , λ_i , ได้โดยใช้วิธี iterative เช่นเดียวกันกับกรณีของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1

2.1.3 วิธีจำลองแบบ (Simulation) สำหรับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 และ 2

จำลองแบบโดยใช้แบบจำลอง Erlang [57] ซึ่งกำหนดว่าปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามาในระบบโดยรวมเป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซงด้วยอัตราการมาถึงที่เป็นอิสระจากสถานะของระบบ เวลาในการยึดช่องสัญญาณมีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลและเป็นอิสระต่อกัน โดยสมมติฐานนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อมีจำนวนของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกมากกว่าจำนวนช่องสัญญาณของระบบมาก ๆ ซึ่งสอดคล้องกันกับแบบจำลองที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ซึ่งพิจารณากรณีที่จำนวนสถานีเคลื่อนที่มีค่ามากกว่าจำนวนช่องสัญญาณภายในเซลล์มาก ๆ และจากสมมติฐานดังกล่าวทำให้สามารถจำลองระบบเป็น multidimensional continuous time Markov chain ได้

เช่นเดียวกันกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 และ 2 สถานะของระบบ s จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ขึ้น โดยจะเปลี่ยนแปลงไปเป็น s_{i+} เมื่อเกิดการมาถึงของการเรียกใหม่หรือการเรียกจากการแฮนด์ออฟ และจะเปลี่ยนแปลงไปเป็น s_{i-} เมื่อเกิดการสิ้นสุดของการเรียกที่ดำเนินอยู่ หรือเกิดการแฮนด์ออฟของการเรียกที่ดำเนินอยู่ไปยังเซลล์ข้างเคียง

จากคุณสมบัติของ continuous time Markov chain พบว่าช่วงเวลาระหว่างเหตุการณ์ 2 เหตุการณ์ที่ติดกันจะมีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลดังนี้

$$f_T(t) = \theta e^{-\theta t}, t \geq 0 \quad (2.48)$$

โดย θ มีค่าขึ้นอยู่กับสถานะ (s) ดังนี้

$$\theta = \sum_{i=0}^{L-1} \{\Lambda_i + \lambda_i + n_i(\nu_i + \mu_i)\} \quad (2.49)$$

ดังนั้นเมื่อสิ้นสุดช่วงเวลาที่มีการแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียลก็จะมีเหตุการณ์ต่าง ๆ เกิดขึ้นดังนี้คือ เกิดการร้องขอการเรียกใหม่ในระดับที่ i ด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ Λ_i/θ , เกิดการร้องขอการเรียกจากการแอสต์ออฟในระดับที่ i ด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ λ_i/θ , เกิดการสิ้นสุดของการเรียกในระดับที่ i ที่ดำเนินอยู่ด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ $(n_i\mu_i)/\theta$ และเกิดการแอสต์ออฟของการเรียกในระดับที่ i ที่ดำเนินอยู่ไปยังเซลล์ข้างเคียงด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ $(n_i\nu_i)/\theta$

พิจารณาวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 เมื่อมีการร้องขอการเรียกใหม่หรือการเรียกจากการแอสต์ออฟในระดับที่ i ขณะที่ระบบอยู่ในสถานะ s สถานะนี้จะตอบรับการร้องขอการเรียกใหม่ในระดับที่ i ก็ต่อเมื่อ $Q_{up}(s) - G_{n,i}^{up} \geq B_i^{up}$ และ $Q_{dw}(s) - G_{n,i}^{dw} \geq B_i^{dw}$ ในทำนองเดียวกัน สถานะนี้จะตอบรับการร้องขอการเรียกจากการแอสต์ออฟในระดับที่ i ก็ต่อเมื่อ $Q_{up}(s) - G_{h,i}^{up} \geq B_i^{up}$ และ $Q_{dw}(s) - G_{h,i}^{dw} \geq B_i^{dw}$

พิจารณาวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 เมื่อมีการร้องขอการเรียกใหม่หรือการเรียกจากการแอสต์ออฟในระดับที่ i ขณะที่ระบบอยู่ในสถานะ s การร้องขอการเรียกใหม่ในระดับที่ i จะได้รับการตอบรับเมื่อเงื่อนไขต่อไปนี้เป็นจริง

$$E_{k,i}^{up}(s) \geq \Phi_{k,i}^{up} \text{ and } E_{k,i}^{dw}(s) \geq \Phi_{k,i}^{dw}, \text{ for } 0 \leq k \leq L-1 \quad (2.50)$$

ในทำนองเดียวกัน การร้องขอการเรียกจากการแอสต์ออฟในระดับที่ i จะได้รับการตอบรับเมื่อเงื่อนไขต่อไปนี้เป็นจริง

$$E_{k,i}^{up}(s) \geq \kappa_{k,i}^{up} \text{ and } E_{k,i}^{dw}(s) \geq \kappa_{k,i}^{dw}, \text{ for } 0 \leq k \leq L-1 \quad (2.51)$$

$$\begin{aligned} \kappa_{k,i}^{up} &= \gamma_k^{up} \beta_i^h, \kappa_{k,i}^{dw} = \gamma_k^{dw} \beta_i^h, \Phi_{k,i}^{up} = \gamma_k^{up} \beta_i^n, \Phi_{k,i}^{dw} = \gamma_k^{dw} \beta_i^n \\ &\text{for } 0 \leq k \leq L-1, 0 \leq i \leq L-1 \end{aligned} \quad (2.52)$$

เมื่อเวลาผ่านไปนานพอสมควร ระบบจึงจะเข้าสู่ statistical equilibrium ดังนั้นจะต้องมีการกำหนดช่วงเวลา transient ที่ยาวนานเพียงพอเพื่อให้ระบบเข้าสู่ statistical equilibrium ก่อนที่จะคำนวณค่าที่ใช้ในการวัดสมรรถนะต่างๆ

ในที่นี้จะพิจารณาระบบเมื่อเข้าสู่สภาวะ homogeneous in statistical equilibrium ซึ่งเป็นสภาวะที่ค่าเฉลี่ยของอัตราการมาถึงของการเรียกจากการแอสต์ออฟในระดับที่ i เท่ากับอัตราการแอสต์ออฟของการเรียกในระดับที่ i ออกไปยังเซลล์ข้างเคียง ดังนั้นในการหาอัตราการมาถึงของการเรียกจากการแอสต์

ออฟในระดับที่ i , λ_i , จึงต้องใช้วิธี iterative เช่นเดียวกันกับกรณีของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 และ 2

2.2 ทฤษฎีเกม

ในความเป็นจริงของวิถีการดำเนินชีวิตของมนุษย์ มีสถานการณ์ต่าง ๆ มากมายที่มีลักษณะของความขัดแย้ง, การแข่งขัน, การต่อรองหรือการร่วมมือกันเพื่อผลประโยชน์ระหว่างบุคคลตั้งแต่สองฝ่ายขึ้นไป โดยแต่ละฝ่ายต่างก็ต้องการผลประโยชน์ที่มากที่สุดแก่ฝ่ายตน เช่น ผู้ผลิตต้องการขายสินค้าในราคาแพง แต่ผู้ซื้อต้องการซื้อในราคาถูก, การแข่งขันกันระหว่างผู้ผลิต 2 ฝ่ายในการขายสินค้าให้กับผู้ซื้อเพื่อให้ได้กำไรมากที่สุด หรือการใช้รถบนท้องถนนต่างก็ต้องการไปถึงจุดหมายโดยเร็วที่สุด ดังนั้นจึงได้มีการวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ปัญหาสำหรับสถานการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ในรูปแบบของเกมการแข่งขัน โดยผู้เล่นแต่ละคนของเกมก็เปรียบเสมือนกับแต่ละฝ่ายในสถานการณ์นั้น ๆ ซึ่งสามารถเลือกกลยุทธ์ (strategy) ที่ให้ผลประโยชน์มากที่สุดแก่ฝ่ายตนเอง แต่อาจก่อให้เกิดผลดีหรือผลเสียต่อผู้เล่นคนอื่น ๆ และได้มีการคิดค้นทฤษฎีที่สามารถวางหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจอย่างเหมาะสมแก่ผู้เล่นแต่ละคนซึ่งสามารถให้ผลลัพธ์ที่ผู้เล่นทุกคนพึงพอใจโดยใช้วิธีวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และหลักทางตรรกศาสตร์มาอธิบายเหตุผลในการตัดสินใจของผู้เล่นแต่ละคน อันเป็นที่มาของทฤษฎีเกม [58], [59], [60] ทั้งนี้มีการกำหนดสมมติฐานว่าผู้เล่นเกมต้องเป็นผู้เล่นที่ฉลาดและมีเหตุผล (intelligent rational player) นั่นคือ ผู้เล่นสามารถรู้ได้ว่าการเลือกกลยุทธ์ที่แตกต่างกันมีผลต่อผลลัพธ์ที่ได้อย่างไรและจะเลือกกลยุทธ์ที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแก่ตนเอง

2.2.1 ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ (Utility function)

เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบปริมาณความพึงพอใจของผู้เล่นที่มีต่อผลลัพธ์ของเกม จึงได้มีการนิยามฟังก์ชันอรรถประโยชน์เพื่อแทนปริมาณความพึงพอใจของผู้เล่นแต่ละคนในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยฟังก์ชันอรรถประโยชน์จะโยงปริภูมิของกลยุทธ์ (strategy space) ไปยังเซตของจำนวนจริง ค่าของฟังก์ชันอรรถประโยชน์ถูกเรียกว่าค่าอรรถประโยชน์ซึ่งเป็นปริมาณที่แสดงความพึงพอใจของผู้เล่นที่มีต่อผลลัพธ์ของเกม กำหนดให้ $u_i(\cdot)$ เป็นฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ i สมมติให้ A, B เป็นชุดของกลยุทธ์ที่อยู่ในปริภูมิของกลยุทธ์ พบว่า

$$u_i(A) < u_i(B) \Leftrightarrow A \prec B \quad (2.53)$$

ซึ่งมีความหมายว่า ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ i สำหรับผลลัพธ์ที่เกิดจากชุดของกลยุทธ์ A มีค่าน้อย

กว่าค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ i สำหรับผลลัพธ์ที่เกิดจากชุดของกลยุทธ์ B ก็ต่อเมื่อผู้เล่นคนที่ i พอใจผลลัพธ์ที่เกิดจากชุดของกลยุทธ์ A น้อยกว่าผลลัพธ์ที่เกิดจากชุดของกลยุทธ์ B โดยเครื่องหมาย \prec คือการเปรียบเทียบค่าความพึงพอใจ หรือความสนใจของบุคคลที่มีต่อผลลัพธ์ที่ได้จากเกม

2.2.2 เกมไม่ร่วมมือ (Non-cooperative games)

การจำลองสถานการณ์ในโลกของความเป็นจริงสามารถพิจารณาเป็นเกมที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไป 2 แบบคือ เกมไม่ร่วมมือ (noncooperative game) และเกมร่วมมือ (cooperative game) ในกรณีของเกมไม่ร่วมมือ ผู้เล่นทุกคนจะไม่สามารถสื่อสารหรือตกลงผลประโยชน์ร่วมกันได้ (non-binding agreement) และผู้เล่นแต่ละคนจะเลือกกลยุทธ์ของตนเองอย่างอิสระเพื่อผลประโยชน์สูงสุดแก่ฝ่ายตนเองโดยไม่คำนึงถึงผลประโยชน์ของส่วนรวม การวิเคราะห์หาวิธีการตัดสินใจที่ดีที่สุดจะอาศัยสมดุลของแนช (Nash equilibrium)

ในกรณีที่เรากำลังจะพิจารณาการควบคุมการตอบรับการเรียกเป็นเกมไม่ร่วมมือและพิจารณาริการแต่ละระดับเป็นผู้เล่นของเกม จะสามารถสื่อความหมายได้ว่าบริการแต่ละระดับสามารถเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการตอบรับการเรียกได้อย่างอิสระเพื่อให้ผลประโยชน์ที่สูงที่สุดแก่ฝ่ายตนเองโดยไม่ถูกกำหนดจากผู้ให้บริการโครงข่าย

พิจารณาเกมในรูปแบบ strategic form ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$\Omega = (N, (A_i)_{i \in N}, (u_i)_{i \in N}) \quad (2.54)$$

โดย N คือเซตของผู้เล่นทั้งหมด, A_i คือเซตของกลยุทธ์ทั้งหมดของผู้เล่นคนที่ i , u_i คือฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ i

กำหนดให้ A คือเซตของกลุ่มของกลยุทธ์ (strategy profile) ที่เป็นไปได้ทั้งหมด ดังนั้น

$$A = \times_{j \in N} A_j \quad (2.55)$$

โดย \times แทน Cross product

สำหรับกลุ่มของกลยุทธ์ $a = (a_j)_{j \in N}$ ใด ๆ ใน A กำหนดให้ $u_i(a)$ แทนค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ i สำหรับกลุ่มของกลยุทธ์ a

เกมในรูปแบบ strategic form ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าผู้เล่นทุกคนเลือกกลยุทธ์พร้อมกัน และเป็นเกมแบบจำกัดถ้าเซตของผู้เล่นทั้งหมดและเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นแต่ละคนเป็นเซตจำกัด

2.2.2.1 สมดุลของแนช (Nash Equilibrium)

สมดุลของแนชคือกลยุทธ์ที่เป็นผลเฉลยของเกมไม่ร่วมมือซึ่งเป็นกลยุทธ์ที่ให้ผลลัพธ์ที่ผู้เล่นทุกคนพึงพอใจ พิจารณาเกมในรูปแบบ strategic form $\Omega = (N, (A_i)_{i \in N}, (u_i)_{i \in N})$ กำหนดให้กลยุทธ์แบบสุ่ม (randomized strategy) สำหรับผู้เล่นคนที่ i คือการแจกแจงความน่าจะเป็นบน A_i และแทนเซตของกลยุทธ์แบบสุ่มทั้งหมดของผู้เล่นคนที่ i ด้วย ΔA_i เพื่อให้เห็นความแตกต่าง จึงเรียกกลยุทธ์ภายในเซต A_i ว่ากลยุทธ์แท้ (pure strategies)

กำหนดให้ $\prod_{i \in N} \Delta A_i$ แทนเซตของกลุ่มของกลยุทธ์แบบสุ่มทั้งหมด ถ้า σ คือกลุ่มของกลยุทธ์แบบสุ่มใด ๆ ใน $\prod_{i \in N} \Delta A_i$ ดังนั้น $\sigma_i(a_i)$ แทนความน่าจะเป็นที่ผู้เล่นคนที่ i จะเลือกกลยุทธ์แท้ a_i และ

$$\sum_{a_i \in A_i} \sigma_i(a_i) = 1, \quad \forall i \in N \quad (2.56)$$

กำหนดให้ $u_i(\sigma)$ แทนค่าอรรถประโยชน์คาดหวัง (expected utility) ของผู้เล่นคนที่ i สำหรับกลุ่มของกลยุทธ์แบบสุ่ม σ ดังนั้น

$$u_i(\sigma) = \sum_{a \in A} \left(\prod_{j \in N} \sigma_j(a_j) \right) u_i(a), \quad \forall i \in N \quad (2.57)$$

สำหรับ τ_i ใด ๆ ใน ΔA_i กำหนดให้ (σ_{-i}, τ_i) แทนกลุ่มของกลยุทธ์แบบสุ่มที่องค์ประกอบที่ i คือ τ_i และองค์ประกอบอื่น ๆ เป็นเช่นเดียวกันกับใน σ

กลุ่มของกลยุทธ์แบบสุ่มจะเป็นสมดุลของ Nash ก็ต่อเมื่อไม่มีผู้เล่นคนใดสามารถเพิ่มค่าอรรถประโยชน์คาดหวังของตนได้โดยการเปลี่ยนกลยุทธ์แบบสุ่มของตนเพียงคนเดียว นั่นคือ σ จะเป็นสมดุลของ Nash สำหรับเกม Ω ก็ต่อเมื่อ

$$u_i(\sigma) \geq u_i(\sigma_{-i}, \tau_i), \quad \forall i \in N, \quad \forall \tau_i \in \Delta A_i \quad (2.58)$$

ในกรณีที่พิจารณากลยุทธ์แท้ กลุ่มของกลยุทธ์แท้จะเป็นสมดุลของ Nash ก็ต่อเมื่อไม่มีผู้เล่นคนใดสามารถเพิ่มค่าอรรถประโยชน์ของตนได้โดยการเปลี่ยนกลยุทธ์ของตนเพียงคนเดียว นั่นคือกลยุทธ์แท้ a ใน A จะเป็นสมดุลของ Nash ก็ต่อเมื่อ

$$u_i(a) \geq u_i(a_{-i}, b_i), \quad \forall i \in N, \quad \forall b_i \in A_i \quad (2.59)$$

โดย (a_{-i}, b_i) แทนกลุ่มของกลยุทธ์แท้ที่องค์ประกอบที่ i คือ b_i และ องค์ประกอบอื่น ๆ เป็นเช่นเดียวกันกับใน a ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณากลยุทธ์ของผู้เล่นและสมดุลของ Nash ในรูปแบบ

กลยุทธ์แท้

นิยามของจุดสมดุล (equilibrium point) คือค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นเมื่อใช้กลยุทธ์ที่เป็นสมดุลของ Nash, $(u_i(a))_{i \in N}$ เมื่อ a คือสมดุลของ Nash

2.2.2.2 ระดับความปลอดภัย (Security level)

ในกรณีของเกมไม่ร่วมมือระหว่างผู้เล่น 2 คน เนื่องจากผู้เล่นฝ่ายหนึ่งอาจคาดหวังว่าผู้เล่นอีกฝ่ายหนึ่งจะเลือกกลยุทธ์เพื่อให้ผลลัพธ์ที่เลวที่สุดแก่ฝ่ายตน จึงได้มีการนิยามระดับความปลอดภัยของกลยุทธ์ $a_1 \in A_1$ ว่าคือค่าอรรถประโยชน์ที่น้อยที่สุดที่ผู้เล่นคนที่ 1 จะได้รับจากการเลือกกลยุทธ์ a_1 นั่นคือ $\min_{a_2} u_1(a_1, a_2)$ และค่า maximin ของผู้เล่นคนที่ 1 คือระดับความปลอดภัยที่มีค่าสูงที่สุดของผู้เล่นคนที่ 1 ($\max_{a_1}(\min_{a_2} u_1(a_1, a_2))$) โดยกลยุทธ์ที่ทำให้ได้ค่า maximin เรียกว่ากลยุทธ์ maximin ซึ่งเป็นกลยุทธ์ที่เป็นผลเฉลยของเกมไม่ร่วมมือในกรณีที่ไม่มีสมดุลของ Nash

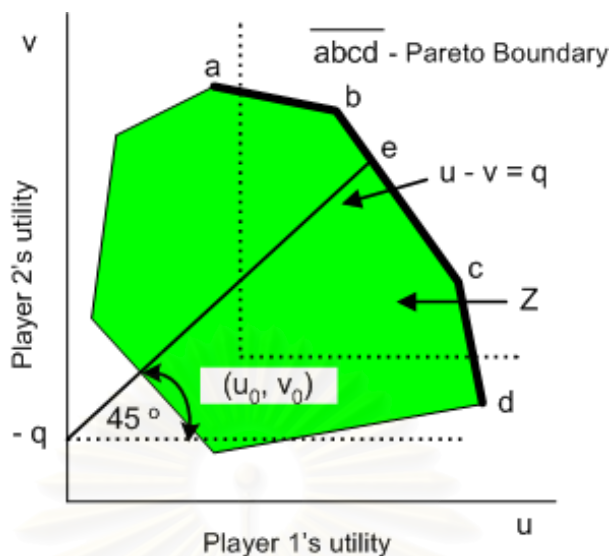
2.2.3 เกมร่วมมือระหว่างผู้เล่น 2 คน (Two-person Cooperative Games)

ในกรณีของเกมร่วมมือ ผู้เล่นจะมีอิสระอย่างเต็มที่ในการสื่อสารกันก่อนการเล่นเกม โดยสามารถต่อรองและมีข้อตกลงเพื่อผลประโยชน์ร่วมกันได้ สถานการณ์เช่นนี้สามารถเปรียบได้กับสถานการณ์ของความขัดแย้งระหว่างผู้เล่นที่มีการตัดสินอย่างยุติธรรมจากผู้ตัดสิน (arbitrator) โดยใช้หลักการของสัจพจน์ของความเท่าเทียม (fairness axioms) ซึ่งเป็นที่มาของวิธีการหาผลลัพธ์หรือผลเฉลยของเกมร่วมมือที่มีชื่อว่าวิธี arbitration และจะสังเกตได้ว่าวิธี arbitration เหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมในการควบคุมการตอบรับการเรียก โดยระบบที่เป็นศูนย์กลางในการควบคุมจะทำหน้าที่เสมือนเป็นผู้ตัดสินที่พยายามหาผลลัพธ์ที่ให้ความเท่าเทียมและความพึงพอใจแก่ผู้ใช้บริการในระดับต่าง ๆ ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธี arbitration ในรูปแบบของวิธีปัญหาการต่อรองและวิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่น

2.2.3.1 วิธีปัญหาการต่อรอง (Bargaining Problem)

กำหนดให้ บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ (cooperative payoff region : Z) คือเซตของผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในกรณีที่ผู้เล่นสามารถร่วมมือกันสุ่มเลือกกลุ่มของกลยุทธ์ตามการแจกแจงความน่าจะเป็นได้ โดย Z จะมีคุณสมบัติเป็นเซตปิด (close), จำกัด (bounded) และ convex

สมมติให้ Z มีลักษณะดังรูปที่ 2.1 ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 และ 2 แทนด้วย u และ v ตามลำดับ ในปัญหาการต่อรอง ผู้เล่นทั้งสองจะทำหน้าที่เสมือนเป็นนักต่อรองซึ่งจะต่อรองเพื่อหาจุดที่เหมาะสมและยุติธรรมใน Z เพื่อเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง จุด (u, v) ใน Z จะถูก dominate



รูปที่ 2.1 บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือและขอบเขตพาเรโต

โดยจุด (u', v') ใน Z ถ้า $u' > u$ และ $v' \geq v$, หรือ $u' \geq u$ และ $v' > v$ จะสังเกตได้ว่าถ้าผู้เล่นทั้งสองมีเหตุผล ผู้เล่นทั้งสองจะจำกัดความสนใจไปที่ผลเฉลยที่ไม่ถูก dominate ซึ่งแสดงโดยเส้นทึบหนา a, b, c, d ใน Z ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ผลเฉลยที่ไม่ถูก dominate เหล่านี้จะถูกเรียกว่าขอบเขตพาเรโต (Pareto boundary) ของ Z จุด $z_0 = (u_0, v_0) \in Z$ ถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้น (starting point) ของปัญหาการต่อรองซึ่งจะกลายเป็นผลเฉลยของเกมในกรณีที่ผู้เล่นทั้งสองไม่สามารถหาข้อตกลงร่วมกันได้ นิยามของจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรองคือค่าอรรถประโยชน์ต่ำที่สุดที่เป็นข้อตกลงของผู้เล่นทั้ง 2 ก่อนการเริ่มเล่นเกม โดยกำหนดว่าผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง $z^* = (u^*, v^*)$ จะต้องให้ค่าอรรถประโยชน์ไม่ต่ำกว่าจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรอง ($z^* \geq z_0$) ซึ่งจะเป็นการจำกัดบริเวณผลเฉลยของปัญหาการต่อรองดังแสดงในรูปที่ 2.1 ปัญหาการต่อรองสามารถแทนด้วย (Z, z_0) โดยทั่วไปจะมีการกำหนดจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรอง 2 แบบคือ แบบที่ 1 กำหนดจากค่า maximin ของผู้เล่นทั้ง 2 และแบบที่ 2 กำหนดจากจุดกำเนิด $(0,0)$

นอกจากนั้น ปัญหาการต่อรองระหว่างผู้เล่น 2 คนสามารถพิจารณาเป็นเกมในรูปแบบ strategic form $\Omega = (\{1, 2\}, A_1, A_2, u_1, u_2)$ ได้ และจะได้

$$Z = \{(u_1(\vartheta), u_2(\vartheta)) \mid \vartheta \in \Delta(A)\} \tag{2.60}$$

โดย ϑ คือการแจกแจงความน่าจะเป็นบน A และ $u_i(a) = \sum_{a \in A} \vartheta(a)u_i(a)$

ในการหาผลเฉลยของปัญหาการต่อรองจะพิจารณาจากสัจพจน์ของความเท่าเทียมตามที่ได้กล่าวมา

แล้ว กำหนดให้ฟังก์ชัน $F(\cdot)$ เป็นฟังก์ชันผลเฉลยที่โยง (Z, z_0) ไปยังผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง $F(Z, z_0) = (u^*, v^*)$ ที่สอดคล้องกับสัจพจน์ของความเท่าเทียมที่กำหนดไว้ โดยสัจพจน์ของความเท่าเทียมมาตรฐาน 3 สัจพจน์แรกมีดังนี้

- พาเรโตออปติมัลลิตี (Pareto Optimality) : ผลเฉลย $F(Z, z_0)$ จะต้องอยู่ในบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือและอยู่บนขอบเขตพาเรโต (Pareto boundary)
- ความสมมาตร (Symmetry) : ถ้า $u_0 = v_0$ และ Z มีความสมมาตรรอบแกน $u = v$ ซึ่งหมายถึง $\{(u, v) \in Z \mid (v, u) \in Z\}$ แล้ว $u^* = v^*$
- ความไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการแปลงค่าอรรถประโยชน์ (Invariance with respect to utility transformation) : ถ้า J คือฟังก์ชันเชิงเส้นใดๆ ที่นิยามดังนี้ $J : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2, J((u, v)) = \{(au + b, cv + d) : a, c > 0\}$ ดังนั้น $F(J(Z), J(z^0)) = J(F(Z, z^0))$

ในบรรดาฟังก์ชันผลเฉลยของปัญหาการต่อรองที่สอดคล้องกับสัจพจน์ของความเท่าเทียมมาตรฐาน 3 สัจพจน์แรกที่ได้กล่าวไว้ มีฟังก์ชันผลเฉลย 3 ฟังก์ชันที่น่าสนใจเป็นพิเศษเนื่องจากความหมายทางคณิตศาสตร์ได้แก่ ผลเฉลยของ Nash, ผลเฉลยของ Raiffa และผลเฉลยของ modified Thomson [38], [61]

ผลเฉลยของ Nash จะสอดคล้องกับสัจพจน์ของความเท่าเทียมมาตรฐานทั้ง 3 ข้างต้นและสัจพจน์ต่อไปนี้

- ความเป็นอิสระจากทางเลือกอื่นที่ไม่เกี่ยวข้อง (Independence of irrelevant alternatives) : ถ้า $Y \subset Z$ และ $F(Z, z^0) \in Y$ แล้ว $F(Z, z^0) = F(Y, z^0)$

ผลเฉลยของ Nash สามารถหาได้จากค่าอรรถประโยชน์ที่ทำให้ผลคูณของค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่นทั้งสองที่มีค่ามากที่สุดดังนี้

$$u^*, v^* = \arg \max_{(u, v) \in Z} [(u - u_0)(v - v_0)] \quad (2.61)$$

โดย $\arg \max_{u, v \in Z} []$ แทนค่า (u, v) ที่ทำให้ค่าที่อยู่ใน [] มีค่ามากที่สุด

ผลเฉลยของ Raiffa สอดคล้องกับสัจพจน์ของความเท่าเทียมมาตรฐานทั้ง 3 ข้างต้นและสัจพจน์ต่อไปนี้

- ความเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (Monotonicity) : กำหนดให้ $(u, v) \in Z, (c, d) \in Y$ ถ้า $Y \subset Z$ และ $\max\{u\} = \max\{c\}$ และ $\max\{v\} \geq \max\{d\}$ แล้ว $v^* \geq d^*$ โดย (c^*, d^*) คือผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง (Y, z_0)

ผลเฉลยของ modified Thomson สามารถหาได้จากค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นที่ทำให้ผลรวมของค่าอรรถประโยชน์มีค่ามากที่สุดปัญหาการต่อรองที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐาน (normalize)

จากสัญพจน์ของความเท่าเทียมข้อที่ 3 พบว่าปัญหาการต่อรอง (Z, z_0) ใด ๆ สามารถถูกทำให้เป็นบรรทัดฐานแบบเชิงเส้นโดยอยู่ในรูปแบบ (Z', z'_0) ได้ โดย $z'_0 = (u'_0, v'_0) = (0, 0)$ และ $\{\max(u') = 1, \max(v') = 1 : (u', v') \in Z'\}$ จากนั้นได้มีนิยามฟังก์ชันความพึงพอใจของผู้เล่นทั้งสอง (Preference function) ดังนี้

$$w_1 = u' + \Psi(1 - v') \text{ and } w_2 = v' + \Psi(1 - u') \quad -1 \leq \Psi \leq 1 \quad (2.62)$$

โดย Ψ คือตัวประกอบถ่วงน้ำหนัก และเนื่องจากค่าอรรถประโยชน์สูงสุดมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้น $1 - u'$ หรือ $1 - v'$ จึงแทนค่าอรรถประโยชน์ที่ผู้เล่นสูญเสียไป เขตของผลเฉลยแบบต่าง ๆ สามารถหาได้จากการทำให้ผลคูณของฟังก์ชันความพึงพอใจของผู้เล่นทั้งสองมีค่ามากที่สุดดังนี้

$$u'^*, v'^* = \arg \max_{(u', v') \in Z'} [w_1 \cdot w_2] \quad (2.63)$$

เราสามารถหาผลเฉลยของ Nash, ผลเฉลยของ Raiffa และผลเฉลยของ modified Thomson ได้โดยกำหนดให้ $\Psi = 0, 1$ และ -1 ตามลำดับ [62] จากการกำหนดค่า Ψ สำหรับผลเฉลยแบบต่าง ๆ พบว่าในกรณีของผลเฉลยของ Nash ผู้เล่นแต่ละคนจะพิจารณาเฉพาะผลประโยชน์ของตนเองโดยไม่คำนึงถึงผลประโยชน์ที่ผู้เล่นคนอื่นสูญเสียไป ในกรณีของผลเฉลยของ Raiffa ผู้เล่นแต่ละคนพิจารณาผลประโยชน์ที่สูญเสียไปของผู้เล่นคนอื่นด้วยค่าถ่วงน้ำหนักที่เท่ากันกับผลประโยชน์ของตนเอง ดังนั้นผลเฉลยของ Raiffa จึงพยายามที่จะทำให้ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นทั้งสองมีค่าเท่ากัน ส่วนในกรณีผลเฉลยของ modified Thomson ผู้เล่นแต่ละคนจะพิจารณาผลประโยชน์ของตนเองและผลประโยชน์ของผู้เล่นคนอื่นด้วยค่าถ่วงน้ำหนักที่เท่ากัน ดังนั้นผลเฉลยของ modified Thomson จึงพยายามที่จะทำให้ผลรวมของค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นทั้งสองมีค่ามากที่สุด และพบว่าเมื่อ Ψ มีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องจาก -1 ไปถึง 1 ผลเฉลยจะเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องบนขอบเขตพาเรโตจากผลเฉลยของ modified Thomson ไปยังผลเฉลยของ Nash และผลเฉลยของ Raiffa

2.2.3.2 การเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่น (Interpersonal comparison of utility)

Raiffa ได้เสนอวิธี arbitration ในการหาผลเฉลยของเกมร่วมมือและเป็นผลเฉลยที่เป็นอิสระจากผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของ Nash โดยมีขั้นตอนในการหาผลเฉลยดังนี้

พิจารณาเกมระหว่างผู้เล่น 2 คนในรูปแบบ strategic form $\Omega = (\{1, 2\}, A_1, A_2, u, v)$ สำหรับกลุ่มของกลยุทธ์แต่ละกลุ่ม $(x, y) \in A$ ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 คือ $u(x, y)$ และ $v(x, y)$ ตามลำดับ ค่าการได้ประโยชน์สัมพัทธ์ (relative advantage) ของผู้เล่นคนที่ 1 คือ $d(x, y) = u(x, y) - v(x, y)$ จะพบว่ามีค่า q และกลยุทธ์ x' และ y' ที่เหมาะสมซึ่ง

$$u(x', y) - v(x', y) \geq q, \forall y \quad (2.64)$$

$$u(x, y') - v(x, y') \leq q, \forall x \quad (2.65)$$

จากนั้น หากจุดตัดระหว่างเส้นการได้ประโยชน์สัมพัทธ์คงที่ $u - v = q$ และขอบเขตของ Z ที่บริเวณทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ถ้าจุดตัดที่ได้มีคุณสมบัติพาเรโตอพติมัลลิตีดังเช่นจุด e ในรูปที่ 2.1 จุดนี้จะเป็นผลเฉลยของเกมร่วมมือ แต่ถ้าจุดนี้ไม่มีคุณสมบัติพาเรโตอพติมัลลิตี ก็ให้พิจารณาจุดอื่นๆ ที่อยู่ถัดจากจุดตัดนี้ไปในทิศตะวันออกเฉียงเหนือตามขอบเขตของ Z จนกระทั่งถึงจุดที่มีคุณสมบัติพาเรโตอพติมัลลิตี และจุดนั้นก็จะเป็นผลเฉลยของเกมร่วมมือ

จะสังเกตได้ว่า $(q, -q)$ คือจุดสมดุลของเกมไม่ร่วมมือแบบ zero sum ระหว่างผู้เล่น 2 คน (เกมที่ผลรวมระหว่างค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0) โดยค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 คือ $u(x, y) - v(x, y)$ และ $v(x, y) - u(x, y)$ และกลยุทธ์ที่จุดสมดุลคือ (x', y') ซึ่งมีความหมายว่าในตอนแรกผู้เล่นจะแข่งขันกันเพื่อเพิ่มค่าการได้ประโยชน์สัมพัทธ์ของตนเองให้มากที่สุด แต่เมื่อสามารถหาจุดสมดุลได้แล้ว ผู้เล่นจะร่วมมือกันเพื่อเพิ่มค่าอรรถประโยชน์รวมให้มากที่สุดโดยคงค่าการได้ประโยชน์สัมพัทธ์ไว้

บทที่ 3

วิธีการที่เสนอ

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงแนวทางของวิทยานิพนธ์ที่เสนอ ซึ่งจำลองปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ในกรณีกราฟฟิโกสมมาตรระหว่างชายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงเป็นเกม โดยพิจารณาการเรียกของบริการแต่ละระดับในระบบแทนผู้เล่นแต่ละคนในเกม กำหนดให้ผู้เล่นแต่ละคนมีกลยุทธ์เป็นเซตจำกัด และเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมจากผลเฉลยของเกมร่วมมือและเกมไม่ร่วมมือ ถึงแม้ว่าทฤษฎีเกมสามารถประยุกต์ใช้กับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกที่รองรับการให้บริการได้หลายระดับ แต่เพื่อแสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้ให้ชัดเจนและลดความซับซ้อนในการคำนวณ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงพิจารณากรณีของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกสำหรับบริการ 2 ระดับ นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของตัวประกอบโหลด (load factor) กับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 [32] และเสนอวิธีประมาณค่าเพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณอีกด้วย

3.1 การจำลองปัญหาของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในรูปแบบของเกม

3.1.1 การกำหนดฟังก์ชันอรรถประโยชน์

เนื่องจากฟังก์ชันอรรถประโยชน์ใช้แทนปริมาณความพึงพอใจของผู้เล่นแต่ละคนที่มีต่อผลลัพธ์ของเกม ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาฟังก์ชันอรรถประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. กำหนดให้ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ i , u_i , คือค่าการใช้ประโยชน์แบบดัดวิธสำหรับ การเรียกในระดับที่ j , U_j , โดย $j = i - 1$ (ผู้เล่นคนที่ i แทนการเรียกในระดับที่ $i - 1$) เนื่องจากเมื่อค่าการใช้ประโยชน์แบบดัดวิธที่มีค่าเพิ่มขึ้น ความพึงพอใจของผู้เล่นจะเพิ่มขึ้นและทำให้ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

$$u_i = U_j ; i = 1, 2, 3, \dots , j = i - 1 \quad (3.1)$$

2. ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ i คือผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักระหว่างความน่าจะเป็นของการตอบรับการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟสำเร็จสำหรับการเรียกในระดับที่ j , โดย $j = i - 1$

$$\begin{aligned}
 u_i &= \psi(1 - P_{n,j}) + \chi(1 - P_{h,j}) \\
 u_i &= 1 - P_{b,j} ; i = 1, 2, 3, \dots, j = i - 1
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

โดย u_i แทนฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ i , $P_{n,j}$ แทนความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ในระดับที่ j , $P_{h,j}$ แทนความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวสำหรับการเรียกในระดับที่ j และ $P_{b,j}$ แทนคุณภาพของบริการสำหรับการเรียกในระดับที่ j ซึ่งคือค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวสำหรับการเรียกในระดับที่ j โดยจะพบว่าเมื่อคุณภาพของบริการมีค่าเพิ่มขึ้น ความพึงพอใจของผู้เล่นจะลดลงและทำให้ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นมีค่าลดลงด้วย

- ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 คือค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสำหรับการเรียกในระดับที่ 0 และฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 2 คือค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาลงสำหรับการเรียกในระดับที่ 1 เนื่องจากความพึงพอใจของผู้เล่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า E_b/N_0 มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการกำหนดฟังก์ชันอรรถประโยชน์เช่นนี้จะเป็นการพิจารณาประเด็นเรื่องความเท่าเทียมระหว่างค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงด้วย

$$\begin{aligned}
 u_1 &= \sum_{s \in S} \pi(s) \cdot M_0^{up}(s) \\
 u_2 &= \sum_{s \in S} \pi(s) \cdot M_1^{dw}(s)
 \end{aligned}
 \tag{3.3}$$

โดย $M_j^{up}(s)$ และ $M_j^{dw}(s)$ แทนค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงสำหรับการเรียกในระดับที่ j ที่สถานะของระบบ s ตามลำดับ และ $\pi(s)$ แทนความน่าจะเป็นไม่แปรตามเวลาที่สถานะ s

3.1.2 การกำหนดเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่น

พิจารณาเกมที่จำลองจากปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมของวิธควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 เซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ i จะถูกกำหนดให้เป็นเซตของค่าสัมประสิทธิ์ Δ_j ($j = i - 1$) จากนิยามของแบนด์วิดท์ที่ถูกกั้นของวิธควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 จะสังเกต

ได้ว่าเมื่อ Δ_j มีค่าน้อย จะทำให้ปริมาณแบนด์วิดท์ที่ถูกกันมีค่าน้อยซึ่งทำให้ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ของระบบมีค่าสูงขึ้น อย่างไรก็ตามถ้า Δ_j มีค่าน้อยเกินไป วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกอาจจะไม่สามารถรับประกันลำดับความสำคัญที่ถูกต้องของบริการแต่ละระดับ (จะเกิดกรณีที่ความน่าจะเป็นของการแชนด์ออฟลัมเหลวในระดับที่ 0 มีค่าสูงกว่าในระดับที่ 1) ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2 มีค่าเท่ากันและเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าน้อยที่สุดที่วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกยังคงสามารถรับประกันลำดับความสำคัญที่ถูกต้องของบริการแต่ละระดับได้ ในการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ค่าสุดท้ายของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2 จะสามารถพิจารณาได้จากบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ เนื่องจากผลเฉลยของวิธี arbitration ของเกมร่วมมือจะอยู่บนขอบเขตพาราโตนของบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ ดังนั้นในที่นี้จึงกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ค่าสุดท้ายของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่สอดคล้องกับค่าอัตราประโยชน์ที่จุดปลายของขอบเขตพาราโตน ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันอัตราประโยชน์กับกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2 ซึ่งก็คือ Δ_0, Δ_1 ไม่สามารถแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในรูปของสมการได้ เนื่องจาก Δ_0, Δ_1 เป็นส่วนหนึ่งของการไขว้ในการควบคุมการตอบรับการเรียกแต่ไม่ได้อยู่ในสมการความสัมพันธ์โดยตรง แต่สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ในรูปแบบของบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือโดยใช้ทฤษฎีเกมซึ่งจะแสดงในหัวข้อถัดไป

ต่อไปพิจารณาเกมที่จำลองจากปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 เซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ i จะถูกกำหนดให้เป็นเซตของค่าพารามิเตอร์สำหรับการร้องขอการเรียกจากการแชนด์ออฟในระดับที่ j , β_j^h , ($j = i - 1$) กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 มีค่าเท่ากับ $\beta_0^h = 1 + r$ เมื่อ r คือค่าคงที่ที่มากกว่าศูนย์ และกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 2 มีค่าเท่ากับ $\beta_1^h = 1 + 2r$ เนื่องจากการเรียกจากการแชนด์ออฟในระดับที่ 0 มีลำดับความสำคัญสูงกว่าการเรียกจากการแชนด์ออฟในระดับที่ 1 และเนื่องจากการเรียกจากการแชนด์ออฟในระบิตใด ๆ มีลำดับความสำคัญสูงกว่าการเรียกใหม่ทุกระดับ ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์สำหรับการร้องขอการเรียกใหม่ในระดับที่ j , β_j^n มีค่าเท่ากับ $\beta_j^n = \beta_j^h + 2r$ จะสังเกตได้ว่าเมื่อ r มีค่าน้อย จะทำให้ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนมีค่าน้อยซึ่งทำให้ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ของระบบมีค่าสูงขึ้น อย่างไรก็ตามถ้า r มีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนถึงค่า ๆ หนึ่งจะทำให้ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์รวมเริ่มมีค่าคงที่ ดังนั้นจึงกำหนดให้ r มีค่าเท่ากับค่าคงที่ที่น้อยที่สุดซึ่งทำให้ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์รวมเริ่มมีค่าคงที่ และเช่นเดียวกันกับเกมที่จำลองจากวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ค่าสุดท้ายของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2 ในเกมที่จำลองจากวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 จะพิจารณาจากบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ โดยกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ค่าสุดท้ายของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่

สอดคล้องกับค่าอรรถประโยชน์ที่จุดปลายของขอบเขตพาเรโตของบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันอรรถประโยชน์กับกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2, β_0^h, β_1^h , ไม่สามารถแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในรูปของสมการได้เช่นเดียวกันกับในกรณีของ Δ_0, Δ_1 แต่สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ในรูปของบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือโดยใช้ทฤษฎีเกมซึ่งจะแสดงในหัวข้อถัดไป

3.1.3 ผลเฉลยของเกม

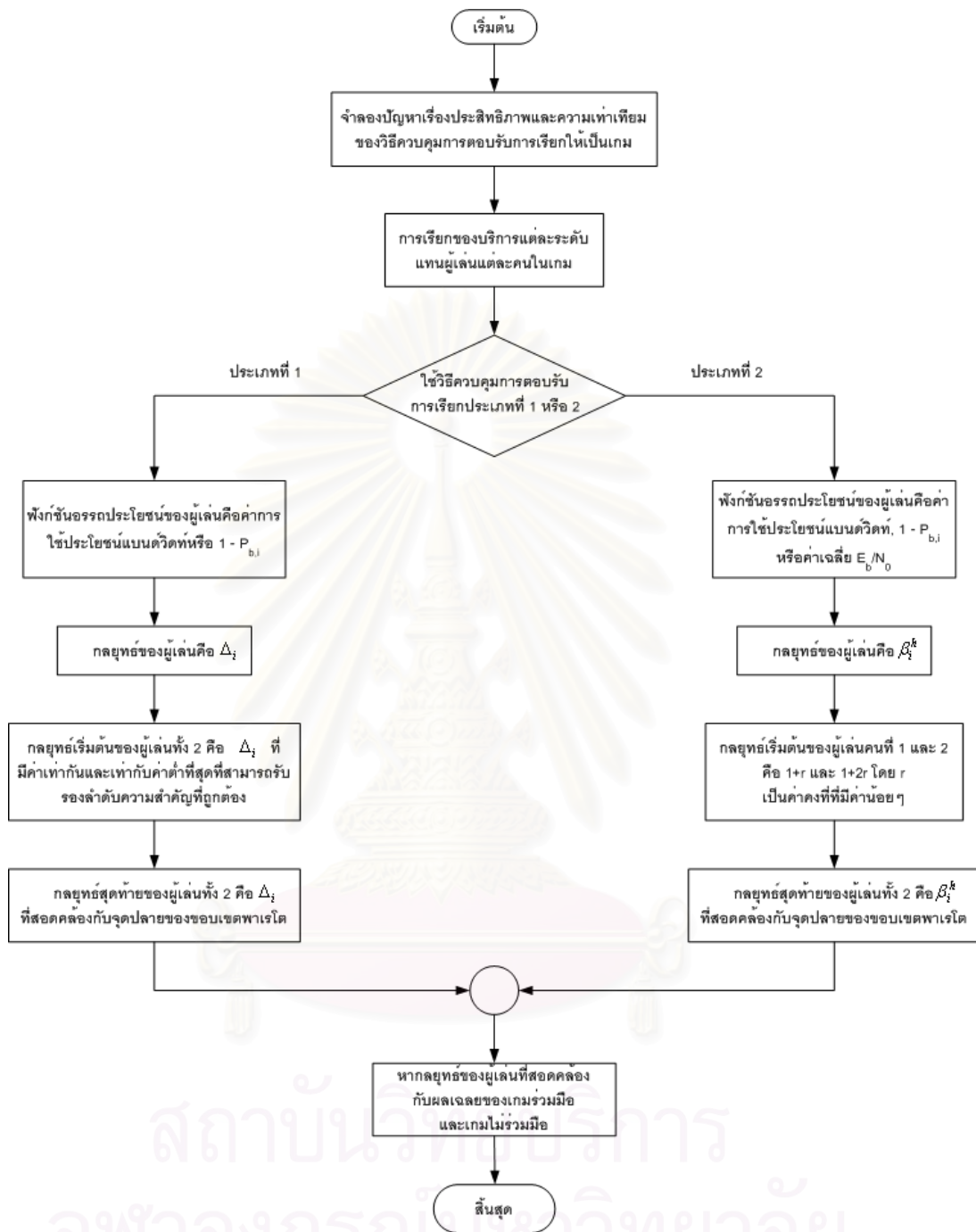
พิจารณาการจำลองปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกเป็นเกมไม่ร่วมมือ ในกรณีของเกมที่จำลองจากวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 ผลเฉลยของเกมสามารถหาได้จากค่าสัมประสิทธิ์ Δ_j ของผู้เล่นทั้ง 2 ที่เป็นสมดุลของ Nash และสำหรับกรณีของเกมที่จำลองจากวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ผลเฉลยของเกมสามารถหาได้จากค่าพารามิเตอร์ β_j^h ของผู้เล่นทั้ง 2 ที่เป็นสมดุลของ Nash

พิจารณาการจำลองปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกเป็นเกมร่วมมือ ผลเฉลยของเกมสามารถหาได้จากวิธี arbitration โดยใช้วิธีปัญหาการต่อรองหรือวิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่น ในกรณีที่พิจารณาเกมร่วมมือในรูปแบบปัญหาการต่อรอง ผลเฉลยของปัญหาการต่อรองสามารถหาได้จากผลเฉลยของ Nash, ผลเฉลยของ Raiffa และผลเฉลยของ modified Thomson ซึ่งมีความหมายของความเท่าเทียมที่แตกต่างกันดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2.3.1

กลยุทธ์ของผู้เล่นที่สอดคล้องกับผลเฉลยของเกมไม่ร่วมมือหรือเกมร่วมมือสำหรับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 (Δ_j) และวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 (β_j^h) จะทำให้วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกสามารถให้ความเท่าเทียมแก่ผู้ใช้บริการประเภทต่าง ๆ และใช้ประโยชน์ทรัพยากรในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งรับประกันลำดับความสำคัญสำหรับบริการบางประเภท

3.2 วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่เสนอ

แนวคิดของตัวประกอบโหนดสามารถใช้ในการประมาณค่าปริมาณโหนดในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ WCDMA (Wideband CDMA) [3] วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกแบบ Throughput-based จะตอบรับการร้องขอการเรียกก็ต่อเมื่อผลรวมของตัวประกอบโหนดในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงมีค่าไม่เกินค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ซึ่งแสดงถึงระดับสัญญาณแทรกสอดสูงสุดของระบบที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ ดังนั้นการทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกแบบ Throughput-based จึงมีลักษณะเหมือนวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 ซึ่งทำให้สามารถใช้งานได้ง่ายในทางปฏิบัติ ในทางตรงกันข้าม วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] จะตอบรับการร้องขอ



รูปที่ 3.1 Flow chart แสดงขั้นตอนการจำลองปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 และ 2 ให้เป็นเกม

การเรียกก็ต่อเมื่อได้ตรวจสอบแล้วว่าค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงสำหรับการเรียกในทุกระดับมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ ดังนั้นขั้นตอนการตัดสินใจของวิธีควบคุมการตอบรับการ

เรียกประเภทที่ 2 ใน [32] จึงมีความซับซ้อนในการคำนวณสูง แต่เนื่องจากวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในโครงข่ายของระบบ WCDMA ควรจะมีความซับซ้อนไม่มากเพื่อตอบสนองต่อการร้องขอการเรียกจากผู้ให้บริการในระดับต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วในขั้นตอนของการสร้างการต่อการเรียก (Call connection phase) ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอการประยุกต์ใช้วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกแบบ Throughput-based กับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ

ในหัวข้อนี้จะใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่นเดียวกันกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ในบทที่ 2 ดังนี้ กำหนดให้จำนวนระดับของบริการทั้งหมดในระบบมีค่าเท่ากับ L ระดับ α_i^{up} และ α_i^{dw} แทน activity factor ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงของการเรียกในระดับที่ i ตามลำดับ อัตราบิตข้อมูลในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงของการเรียกในระดับที่ i แทนด้วย R_i^{up} และ R_i^{dw} ตามลำดับ กำหนดให้การเรียกในระดับที่ i มีลำดับความสำคัญสูงกว่าการเรียกในระดับที่ j ถ้า $i < j$ และการร้องขอการเรียกในระดับใด ๆ จะถูกแบ่งออกเป็นาร้องขอการเรียกใหม่และการร้องขอการเรียกจากการแฮนด์ออฟ โดยการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับใด ๆ มีลำดับความสำคัญสูงกว่าการเรียกใหม่ในทุกระดับ พิจารณาเมื่อระบบอยู่ในสภาวะ homogeneous in statistical equilibrium ซึ่งเซลล์แต่ละเซลล์จะอยู่ในสภาวะเดียวกัน ทำให้สามารถวิเคราะห์การทำงานของระบบทั้งระบบได้โดยพิจารณาการทำงานในเซลล์เพียงเซลล์เดียว

กำหนดให้ W_{up} และ W_{dw} คือแบนด์วิดท์ทั้งหมดในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงภายในเซลล์ตามลำดับ สถานะของระบบแทนด้วย s โดย $s = (n_0, n_1, \dots, n_{L-1})$ และ n_j แทนจำนวนการเรียกในระดับที่ j ที่ดำเนินอยู่ในระบบ

3.2.1 การคำนวณค่าตัวประกอบโหลดในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น

เริ่มจากการพิจารณาค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสำหรับการเรียกในระดับที่ k ซึ่งมีนิยามดังนี้

$$\gamma_k^{up} = \frac{W_{up}}{\alpha_k^{up} R_k^{up}} \cdot \frac{C_k}{I_{total} - C_k} \quad (3.4)$$

โดย γ_k^{up} แทนค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นที่ต้องการสำหรับการเรียกในระดับที่ k , C_k แทนกำลังของสัญญาณที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ของการเรียกในระดับที่ k และ I_{total} แทนกำลังของสัญญาณรวมที่สถานีฐานได้รับจากสถานีเคลื่อนที่ทุกสถานี จากสมการที่ 3.4 จะสามารถหาค่า C_k ได้ดังนี้

$$C_k = \left(1 + \frac{W_{up}}{\gamma_k^{up} \alpha_k^{up} R_k^{up}}\right)^{-1} I_{total} = L_k^{up} \cdot I_{total} \quad (3.5)$$

โดย L_k^{up} คือค่าตัวประกอบโหนดในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นของการเรียกในระดับที่ k ซึ่งมีนิยามคือ $L_k^{up} = C_k / I_{total}$

ต่อไปพิจารณาค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นในรูปแบบทั่วไป [32] กำหนดให้ ζ^{up} แทนอัตราส่วนของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงต่อสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น ถ้าไม่พิจารณาสัญญาณรบกวนพื้นหลัง (background noise) ค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสำหรับการเรียกในระดับที่ k ที่สถานะของระบบ \mathbf{s} ซึ่งแทนด้วย $M_k^{up}(\mathbf{s})$ จะมีค่าดังนี้

$$M_k^{up}(\mathbf{s}) = \frac{W_{up}}{\alpha_k^{up} R_k^{up}} \cdot \frac{C_k}{(1 + \zeta^{up}) \sum_{j=0}^{L-1} n_j C_j - C_k} \quad (3.6)$$

และจากสมการที่ (3.5) จะได้

$$M_k^{up}(\mathbf{s}) = \frac{W_{up}}{\alpha_k^{up} R_k^{up}} \cdot \frac{L_k^{up}}{(1 + \zeta^{up}) \sum_{j=0}^{L-1} n_j L_j^{up} - L_k^{up}} \quad (3.7)$$

3.2.2 การคำนวณค่าตัวประกอบโหนดในข่ายเชื่อมโยงขาลง

กำหนดให้ p_k แทนกำลังส่งสัญญาณของสถานีฐานสำหรับการเรียกในระดับที่ k และจากแนวคิดเรื่องตำแหน่งเฉลี่ย (average location) [3] ซึ่งกำหนดว่า ค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาลงสำหรับการเรียกในระดับที่ k มีค่าเท่ากับค่า E_b/N_0 ของสถานีเคลื่อนที่ของการเรียกในระดับที่ k ที่ตำแหน่งเฉลี่ย ถ้ากำหนดให้ค่าเฉลี่ยของ orthogonality factor ในข่ายเชื่อมโยงขาลงแทนด้วย ρ ค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาลงสำหรับการเรียกในระดับที่ k จะสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\gamma_k^{dw} = \frac{W_{dw}}{\alpha_k^{dw} R_k^{dw}} \cdot \frac{p_k}{(P_{total} - p_k)(1 - \rho)} \quad (3.8)$$

โดย γ_k^{dw} แทนค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาลงที่ต้องการสำหรับการเรียกในระดับที่ k และ P_{total} แทนกำลังส่งสัญญาณรวมของสถานีฐาน จากสมการที่ (3.8) จะสามารถหาค่า p_k ได้ดังนี้

$$p_k = \frac{(1 - \rho)}{\left((1 - \rho) + \frac{W_{dw}}{\gamma_k^{dw} \alpha_k^{dw} R_k^{dw}}\right)} \cdot P_{total} = L_k^{dw} \cdot P_{total} \quad (3.9)$$

โดย L_k^{dw} คือค่าตัวประกอบโพลด์ในข่ายเชื่อมโยงขาของของการเรียกในระดับที่ k ซึ่งมีนิยามคือ $L_k^{dw} = p_k/P_{total}$

ต่อไปกำหนดให้ z แทนอัตราส่วนของกำลังของช่องสัญญาณ overhead (เช่น ช่องสัญญาณ pilot) ต่อกำลังส่งสูงสุดของสถานีฐาน (P_{max}) เมื่อจำนวนผู้ใช้ในระบบเพิ่มมากขึ้น P_{total} จะมีค่าเข้าสู่ P_{max} ดังนั้น P_{total} จะมีค่าประมาณเท่ากับ $\frac{1}{(1-z)} \left(\sum_{j=0}^{L-1} n_j p_j \right)$ ถ้า ζ^{dw} แทนอัตราส่วนของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงต่อสัญญาณแทรกสอดภายในเซลล์ ค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาของสถานีเคลื่อนที่ของการเรียกในระดับที่ k ที่สถานะของระบบ s ซึ่งแทนด้วย $M_k^{dw}(s)$ [32] จะมีค่าดังนี้

$$M_k^{dw}(s) = \frac{W_{dw}}{\alpha_k^{dw} R_k^{dw}} \cdot \frac{p_k}{\frac{(1-\rho+\zeta^{dw})}{(1-z)} \left(\sum_{j=0}^{L-1} n_j p_j \right) - (1-\rho)p_k} \quad (3.10)$$

และจากสมการที่ (3.9) จะได้

$$M_k^{dw}(s) = \frac{W_{dw}}{\alpha_k^{dw} R_k^{dw}} \cdot \frac{L_k^{dw}}{\frac{(1-\rho+\zeta^{dw})}{(1-z)} \left(\sum_{j=0}^{L-1} n_j L_j^{dw} \right) - (1-\rho)L_k^{dw}} \quad (3.11)$$

3.2.3 ขั้นตอนการควบคุมการตอบรับการเรียกของวิธีการที่เสนอ

เมื่อมีการร้องขอการเรียกในระดับที่ i เกิดขึ้นที่สถานะ s การควบคุมการตอบรับการเรียกจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนเช่นเดียวกันกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] ดังต่อไปนี้

1. พิจารณาข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น สถานีฐานจะคำนวณหาค่าเฉลี่ย E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสำหรับการเรียกในระดับที่ k เมื่อการเรียกในระดับที่ i ได้รับการตอบรับ ซึ่งแทนด้วย $E_{k,i}^{up}(s)$ ดังนี้

$$E_{k,i}^{up}(s) = \frac{W_{up}}{\alpha_k^{up} R_k^{up}} \cdot \frac{L_k^{up}}{(1+\zeta^{up}) \sum_{j=0}^{L-1} n_j L_j^{up} + L_i^{up} - L_k^{up}} \quad (3.12)$$

2. พิจารณาข่ายเชื่อมโยงขาลง สถานีเคลื่อนที่ของการเรียกในระดับที่ k จะวัดค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาของและรายงานกลับไปยังสถานีฐาน จากนั้นสถานีฐานจะคำนวณค่าเฉลี่ย E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาของสำหรับการเรียกในระดับที่ k โดยใช้ข้อมูลที่ได้รับมาและคำนวณค่าเฉลี่ย E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาของสำหรับการเรียกในระดับที่ k เมื่อการเรียกในระดับที่ i ได้รับการตอบรับ ซึ่งแทนด้วย $E_{k,i}^{dw}(s)$ ดังนี้

$$E_{k,i}^{dw}(\mathbf{s}) = \frac{W_{dw}}{\alpha_k^{dw} R_k^{dw}} \cdot \frac{L_k^{dw}}{\frac{(1-\rho+\zeta^{dw})}{(1-z)} \left(\sum_{j=0}^{L-1} n_j L_j^{dw} \right) + L_i^{dw} - (1-\rho)L_k^{dw}} \quad (3.13)$$

3. การตัดสินใจ วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] จะตอบรับการร้องขอการเรียกใหม่ในระดับที่ i เมื่อเงื่อนไขต่อไปนี้เป็นจริง

$$E_{k,i}^{up}(\mathbf{s}) \geq \gamma_k^{up} \beta_i^n \text{ and } E_{k,i}^{dw}(\mathbf{s}) \geq \gamma_k^{dw} \beta_i^n, \text{ for } 0 \leq k \leq L-1 \quad (3.14)$$

ในทำนองเดียวกัน การร้องขอการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ i จะได้รับการตอบรับเมื่อเงื่อนไขต่อไปนี้เป็นจริง

$$E_{k,i}^{up}(\mathbf{s}) \geq \gamma_k^{up} \beta_i^h \text{ and } E_{k,i}^{dw}(\mathbf{s}) \geq \gamma_k^{dw} \beta_i^h, \text{ for } 0 \leq k \leq L-1 \quad (3.15)$$

โดย β_i^n และ β_i^h คือค่าพารามิเตอร์จุดเริ่มเปลี่ยนสำหรับการร้องขอการเรียกใหม่และการร้องขอการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ i โดยกำหนดให้มีค่ามากกว่า 1 และเพื่อรับประกันลำดับความสำคัญของการเรียกจากการแฮนด์ออฟเมื่อเทียบกับการเรียกใหม่จึงกำหนดให้ $\beta_i^h < \beta_i^n$

จากสมการที่ (3.12) และ (3.13) เงื่อนไขสำหรับควบคุมการตอบรับการร้องขอการเรียกใหม่ในระดับที่ i จะสามารถแสดงได้ดังนี้

$$(1 + \zeta^{up}) \sum_{j=0}^{L-1} n_j L_j^{up} + L_i^{up} \leq L_k^{up} \left(1 + \frac{W_{up}}{\beta_i^n \gamma_k^{up} \alpha_k^{up} R_k^{up}} \right), \quad \text{for } 0 \leq k \leq L-1 \quad (3.16)$$

และ

$$\frac{(1-\rho+\zeta^{dw})}{(1-z)} \left(\sum_{j=0}^{L-1} n_j L_j^{dw} \right) + L_i^{dw} \leq L_k^{dw} \left((1-\rho) + \frac{W_{dw}}{\beta_i^n \gamma_k^{dw} \alpha_k^{dw} R_k^{dw}} \right), \quad \text{for } 0 \leq k \leq L-1 \quad (3.17)$$

จะสังเกตได้ว่าทางซ้ายมือของสมการที่ (3.16) และ (3.17) คือผลรวมของตัวประกอบโพลด์ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงซึ่งถูกจำกัดไม่ให้มีค่าเกินค่าจุดเริ่มเปลี่ยนทางขวามือ ดังนั้นเพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ จึงสามารถประมาณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนในเงื่อนไข (3.16) และ (3.17) ได้ดังนี้

$$(1 + \varsigma^{up}) \sum_{j=0}^{L-1} n_j L_j^{up} + L_i^{up} \leq \frac{1}{\beta_i^n} \text{ and } \frac{(1 - \rho + \varsigma^{dw})}{(1 - z)} \left(\sum_{j=0}^{L-1} n_j L_j^{dw} \right) + L_i^{dw} \leq \frac{1}{\beta_i^n} \quad (3.18)$$

เหตุผลในการประมาณค่าตามเงื่อนไข (3.18) อธิบายไว้ในส่วนของภาคผนวก

ในทำนองเดียวกัน เงื่อนไขสำหรับควบคุมการตอบรับการร้องขอการเรียกจากการแฮนด์ออฟในระดับที่ i สามารถประมาณค่าได้ดังนี้

$$(1 + \varsigma^{up}) \sum_{j=0}^{L-1} n_j L_j^{up} + L_i^{up} \leq \frac{1}{\beta_i^h} \text{ and } \frac{(1 - \rho + \varsigma^{dw})}{(1 - z)} \left(\sum_{j=0}^{L-1} n_j L_j^{dw} \right) + L_i^{dw} \leq \frac{1}{\beta_i^h} \quad (3.19)$$

เหตุผลในการประมาณค่าตามเงื่อนไข (3.19) อธิบายไว้ในส่วนของภาคผนวกเช่นเดียวกัน

พบว่าวิธีการประมาณค่าที่เสนอตามเงื่อนไข (3.18) และ (3.19) สามารถช่วยลดความซับซ้อนในการควบคุมการตอบรับการเรียกได้โดยลดจำนวนเงื่อนไขสำหรับควบคุมการตอบรับการร้องขอการเรียกใหม่หรือการเรียกจากการแฮนด์ออฟเข้ามาในระบบเหลือเพียง 2 เงื่อนไข ในขณะที่วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] จะต้องคำนวณหาเงื่อนไขเป็นจำนวนถึง $2L$ เงื่อนไขเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

นอกจากนั้นพบว่าความน่าจะเป็นไม่แปรตามเวลาของสถานะ s , $\pi(s)$, จะสามารถคำนวณได้จาก flow balance equations และสมการการทำให้เป็นบรรทัดฐานเช่นเดียวกันกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในบทที่ 2 ดังแสดงในหัวข้อที่ 2.1.2.5

ค่าที่ใช้วัดสมรรถนะคือ ความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลว, ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่, ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์, คุณภาพของบริการและค่า fairness index ซึ่งสามารถคำนวณได้จากความน่าจะเป็นไม่แปรตามเวลาเช่นเดียวกันกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในบทที่ 2 ดังแสดงในหัวข้อที่ 2.1.2.6

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบตามแนวทางของวิทยานิพนธ์ที่เสนอ โดยจำลองปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 และ 2 เป็นเกมระหว่างผู้เล่น 2 คน และพิจารณาค่าอรรถประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ

4.1 เกมที่จำลองจากวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1

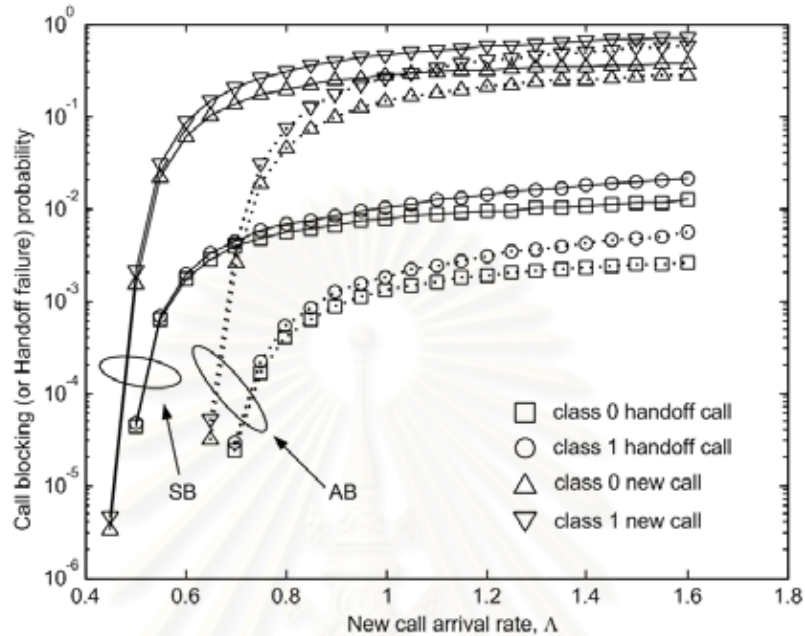
4.1.1 แบบจำลองของระบบ

พิจารณาระบบสื่อสารเคลื่อนที่ที่ให้บริการ 2 ระดับ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1 กำหนดให้การเข้ามาของการเรียกใหม่เป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซงด้วยอัตรา Λ โดยความน่าจะเป็นที่การเรียกใหม่ที่มาถึงเป็นการเรียกในระดับที่ 0 คือ 0.85 หรือเป็นการเรียกในระดับที่ 1 คือ 0.15 ความจุทั้งหมดภายในเซลล์มีค่าเท่ากับ 4 Mbps ซึ่งจะถูกแบ่งให้กับชายเชื่อมต่อโยงขาขึ้นและขาลงแบบสมมาตร (Symmetric allocation, SB) ($W_{up} = W_{dw} = 2Mbps$) หรือแบบอสมมาตร (Asymmetric allocation, AB) ($W_{up} = 1.3Mbps, W_{dw} = 2.7Mbps$)

ตารางที่ 4.1 แบบจำลองของระบบ

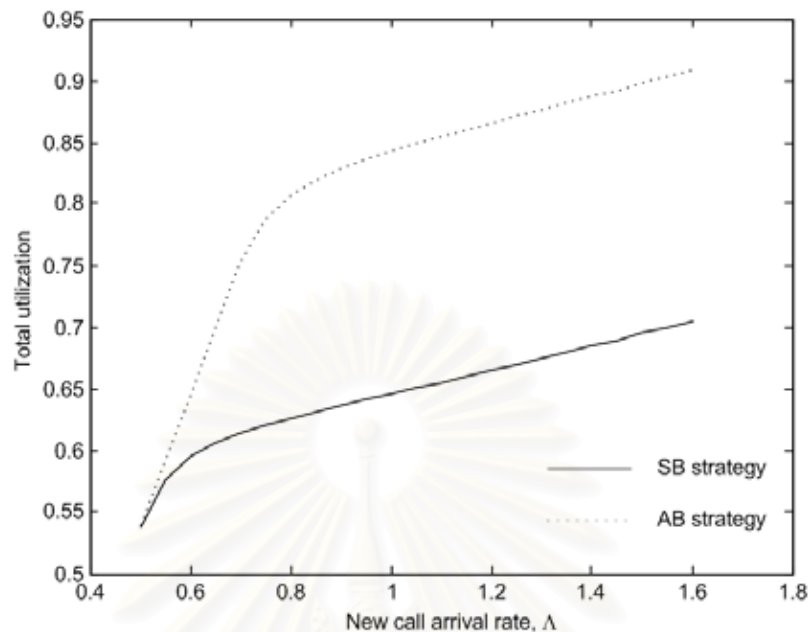
Link	Class 0 Call		Class 1 Call	
	Uplink	Downlink	Uplink	Downlink
Information rate, R	16 kbps	16 kbps	64 kbps	384 kbps
Activity Factor, α	0.5	0.5	0.00285	0.015
Effective Bandwidth, B	8 kbps	8 kbps	182.4 bps	5.76 kbps
Mean Call Duration	120 sec		3,000 sec	
Mean Cell Dwell Time	300 sec		1,200 sec	
Priority	Higher		Lower	
Service Example	Voice		Multimedia Traffic	

4.1.2 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบการทำงานของระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB และ SB ในแง่ของความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่เมื่อ $\Delta_0 = \Delta_1 = 0.02$

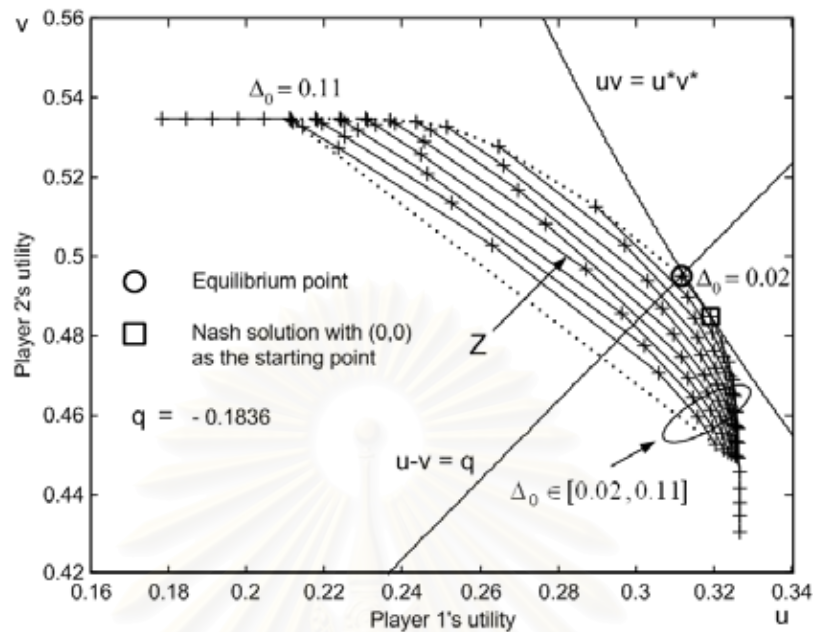
รูปที่ 4.1 แสดงความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ของระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB และ SB พบว่าลำดับความสำคัญของบริการแต่ละระดับมีการจัดเรียงอย่างถูกต้อง โดยสังเกตได้จากการที่ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกแต่ละระดับมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับความสำคัญที่ลดลง และพบว่าระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB จะมีความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ต่ำกว่าระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ SB มาก ซึ่งแสดงว่าระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB จะสามารถรองรับการร้องขอการเรียกได้มากกว่าระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ SB รูปที่ 4.2 แสดงค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์รวมของระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB และ SB พบว่าค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์รวมของระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB มีค่าสูงกว่าค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์รวมของระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ SB มาก เนื่องจากระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB จะแบ่งแบนด์วิดท์ระหว่างข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงให้สอดคล้องกับลักษณะทราฟฟิกของระบบซึ่งมีความต้องการแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงขาลงมากกว่าข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น และทำให้สามารถใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงได้อย่าง



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบการทำงานของระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB และ SB ในแง่ของค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์เมื่อ $\Delta_0 = \Delta_1 = 0.02$

เต็มๆ ดังนั้นจากผลการทดสอบที่ได้ จึงสรุปได้ว่าระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ SB ในหัวข้อนี้จึงพิจารณาระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB

ต่อไปพิจารณาเกมระหว่างผู้เล่น 2 คน เมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ [63], [64] ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบบนพื้นฐานของทฤษฎีเกม จะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นทั้ง 2 คนบนปริภูมิของค่าอัตราประโยชน์สำหรับระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB เมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ $\Lambda = 0.8$ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยจุดต่าง ๆ เหล่านี้จะประกอบกันเป็นบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเซตปิด, จำกัดและ convex (แทนด้วย Z) เมื่อกำหนดให้ Δ_0 และ Δ_1 มีค่าเท่ากันและน้อยกว่า 0.02 พบว่าวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกจะไม่สามารถรับประกันลำดับความสำคัญที่ถูกต้องของบริการแต่ละระดับได้ (เกิดกรณีที่ความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวในระดับที่ 0 มีค่าสูงกว่าในระดับที่ 1) ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2 มีค่าเท่ากับ 0.02 และจากรูปที่ 4.3 พบว่าสำหรับ Δ_0 แต่ละค่าของผู้เล่นคนที่ 1 ผู้เล่นคนที่ 2 สามารถตอบสนองด้วยค่า Δ_1 ที่แตกต่างกันภายในเซตของกลยุทธ์ของตนซึ่งจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์บนปริภูมิของค่าอัตราประโยชน์ รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว 10 เส้น (เส้นทึบ) เมื่อ $\Delta_0 \in [0.02, 0.11]$ (เพิ่มขึ้นทีละ 0.01) จากผลลัพธ์ที่ได้พบว่าค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 เริ่มมีค่าคงที่เมื่อ $\Delta_0 = 0.02$, $\Delta_1 > 0.11$ และ



รูปที่ 4.3 บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ, ผลเฉลยของเกมร่วมมือและผลเฉลยของเกมไม่ร่วมมือ เมื่อค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบบดิวิตท์, $\Lambda = 0.8$

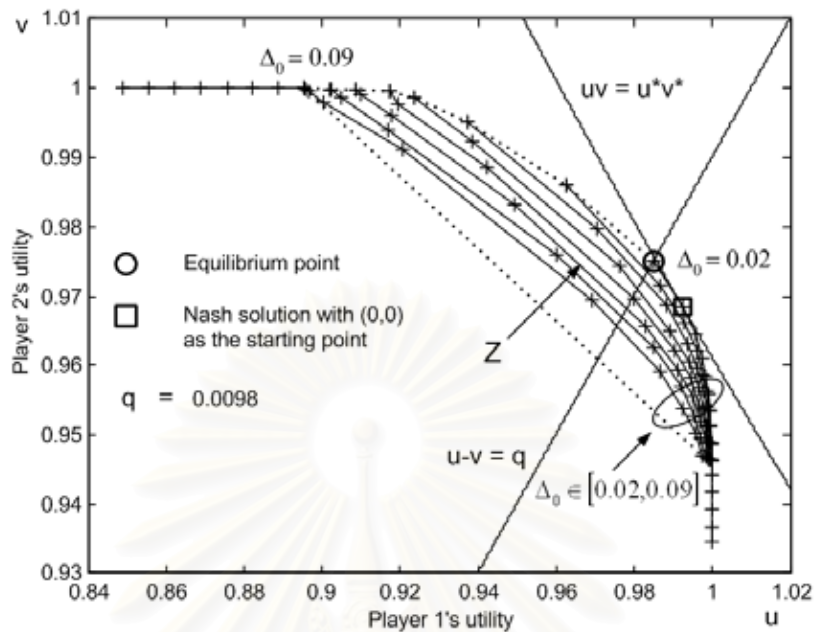
$\Delta_0 > 0.11$, $\Delta_1 = 0.02$ ตามลำดับ ซึ่งจะทำได้ขอบเขตพาราเรโตเป็นเส้นที่เชื่อมต่อกับจุดที่สอดคล้องกับ $\Delta_0 \in [0.02, 0.11]$, $\Delta_1 = 0.02$ (เส้นประเส้นบน) และ $\Delta_0 = 0.02$, $\Delta_1 \in [0.02, 0.11]$ ดังนั้นจุดปลายของขอบเขตพาราเรโตจึงสอดคล้องกับ $\Delta_0 = 0.11$ และ $\Delta_1 = 0.11$ ซึ่งจะถูกกำหนดให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ค่าสุดท้ายของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาเกมไม่ร่วมมือในรูปแบบของเมตริกซ์และหาจุดสมดุลจากนิยามของจุดสมดุล พบว่าจุดสมดุลของเกมไม่ร่วมมือคือจุดวงกลมในรูปที่ 4.3 ซึ่งสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์ $\Delta_0 = 0.02$, $\Delta_1 = 0.02$ โดย $\max_{\Delta_0} u(\Delta_0, 0.02) = u(0.02, 0.02)$ และ $\max_{\Delta_1} v(0.02, \Delta_1) = v(0.02, 0.02)$ นั่นคือ $\Delta_0 = 0.02$, $\Delta_1 = 0.02$ เป็นกลยุทธ์ที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับผู้เล่นทั้ง 2 คนพร้อมกัน แม้ว่าเกมไม่ร่วมมือจะไม่มีคุณสมบัติความเป็นหนึ่งเดียวของจุดสมดุล แต่เกมไม่ร่วมมือในที่นี้มีจุดสมดุลเพียงจุดเดียวซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้โดยใช้กระบวนการกำจัดกลยุทธ์ที่ถูก dominate อย่างรุนแรง (กลยุทธ์ที่ถูก dominate อย่างรุนแรงของผู้เล่นคือกลยุทธ์ที่ไม่เคยเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดของผู้เล่นคนนั้น ไม่ว่าผู้เล่นคนอื่นจะเลือกกลยุทธ์อย่างไรก็ตาม ดังนั้นการกำจัดกลยุทธ์ที่ถูก dominate อย่างรุนแรงจึงไม่มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์เกม) พบว่าเมื่อกำจัดกลยุทธ์ที่ถูก dominate อย่างรุนแรงทั้งหมดออกจากเกมจะเหลือ $\Delta_0 = 0.02$, $\Delta_1 = 0.02$ เพียงคู่เดียวที่ไม่ถูก dominate อย่างรุนแรงดังนั้น $\Delta_0 = 0.02$,

$\Delta_1 = 0.02$ จึงเป็นกลยุทธ์ที่ผู้เล่นควรจะเลือกและเป็นกลยุทธ์ที่จุดสมดุล นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่ากลยุทธ์ที่จุดสมดุลคือค่าสัมประสิทธิ์ที่น้อยที่สุดในเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 เนื่องจากผู้เล่นแต่ละคนพยายามเพิ่มค่าอรรถประโยชน์ของตนโดยการลดค่าสัมประสิทธิ์ให้เหลือน้อยที่สุด

ต่อไปเมื่อพิจารณาเกมร่วมมือและหาผลเฉลยโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่น เริ่มจากคำนวณค่าการได้ประโยชน์สัมพัทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 $d(\Delta_0, \Delta_1) = u(\Delta_0, \Delta_1) - v(\Delta_0, \Delta_1)$ สำหรับกลยุทธ์ (Δ_0, Δ_1) แต่ละคู่ แล้วหา Δ'_0, Δ'_1 และ q ที่สอดคล้องกับเงื่อนไข $u(\Delta'_0, \Delta_1) - v(\Delta'_0, \Delta_1) \geq q, \forall \Delta_1$ และ $u(\Delta_0, \Delta'_1) - v(\Delta_0, \Delta'_1) \leq q, \forall \Delta_0$ พบว่าจะได้ Δ'_0, Δ'_1 และ q มีค่าเท่ากับ 0.02, 0.02 และ $d(0.02, 0.02)$ ตามลำดับ ผลเฉลยของเกมคือจุดตัดของเส้นการได้ประโยชน์สัมพัทธ์คงที่ ($u - v = q$) กับขอบเขตพาเรโตซึ่งคือจุดวงกลมในรูปที่ 4.3 ต่อไปเมื่อหาผลเฉลยของเกมร่วมมือโดยใช้วิธีปัญหาการต่อรองซึ่งจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรองจะถูกกำหนดให้เป็นผลลัพธ์ของเกมในกรณีที่ผู้เล่นทั้งสองไม่สามารถหาข้อตกลงได้ ในที่นี้มีวิธีกำหนดจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรอง 2 วิธี วิธีที่ 1 กำหนดให้จุดเริ่มต้นคือค่า maximin ของผู้เล่นคนที่ 1 และ 2 (จุด maximin) วิธีที่ 2 กำหนดให้จุดเริ่มต้นคือจุดกำเนิด $(0, 0)$ ซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่ผู้เล่นคนที่ 1 และ 2 พบว่าผลเฉลยของ Nash เมื่อจุดกำเนิดเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรองให้ผลเฉลยที่มีประสิทธิภาพและมีความเท่าเทียมมากกว่ากรณีที่จุด maximin เป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรอง จากนิยามของค่า maximin พบว่าจุด maximin ของเกมอยู่ที่จุดเดียวกันกับจุดสมดุลซึ่งสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์ $\Delta_0 = 0.02, \Delta_1 = 0.02$ โดย $\arg \max_{\Delta_0} (\min_{\Delta_1} u(\Delta_0, \Delta_1)) = 0.02$ และ $\arg \max_{\Delta_1} (\min_{\Delta_0} v(\Delta_0, \Delta_1)) = 0.02$ และเนื่องจากจุด maximin อยู่บนขอบเขตพาเรโต ดังนั้นจากสัญพจน์ของความเท่าเทียม จะได้ผลเฉลยของ Nash เมื่อจุด maximin เป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรองเป็นจุดเดียวกันกับจุด maximin ต่อไปเมื่อจุดกำเนิดเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรอง จะได้ผลเฉลยของ Nash เป็นจุดสี่เหลี่ยมในรูปที่ 4.3 ซึ่งสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์ $\Delta_0 = 0.02, \Delta_1 = 0.03$ จากนิยามของผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของ Nash ถ้ากำหนดให้ผลเฉลยของ Nash แทนด้วย (u^*, v^*) กราฟ Hyperbola $\{(u, v) \in \mathbb{R}^2 \mid uv = u^*v^*\}$ จะสัมผัสกับบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือที่จุดสี่เหลี่ยมนี้ดังแสดงในรูปที่ 4.3

ต่อไปพิจารณาเกมระหว่างผู้เล่น 2 คนเมื่อค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคือผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของความน่าจะเป็นของการตอบรับการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟสำเร็จ (1-QoS) [63], [65] โดยสามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ด้วยวิธีเดียวกันกับกรณีที่ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 และ 2 สำหรับระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB เมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ $\Lambda = 0.8$ จะประกอบกันเป็นบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือดังแสดงในรูปที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2 จะถูกกำหนดให้มีค่าเท่า

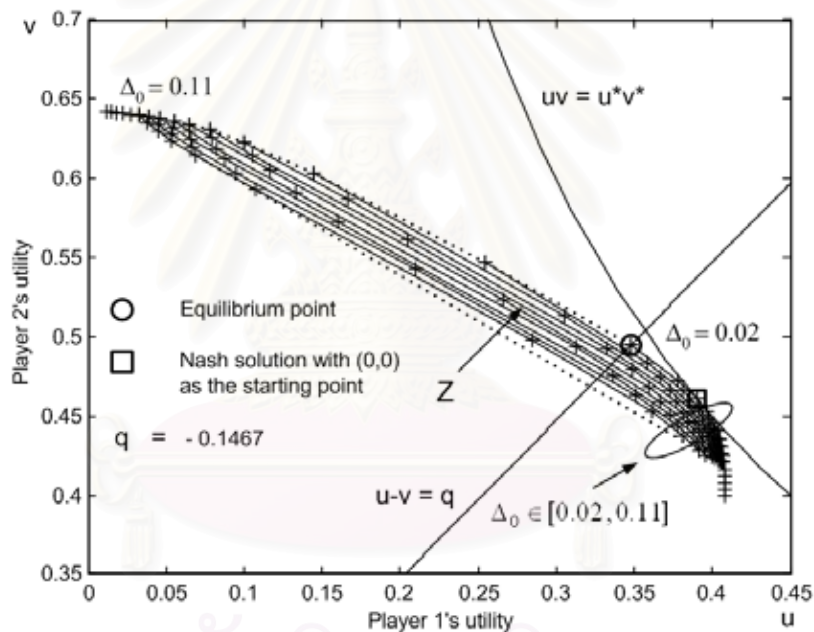


รูปที่ 4.4 บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ, ผลเฉลยของเกมร่วมมือและผลเฉลยของเกมไม่ร่วมมือ เมื่อค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคือผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของความน่าจะเป็นของการตอบรับการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการเสนอต่อความสำเร็จ, $\Lambda = 0.8$

กับ 0.02 เช่นเดียวกันกับกรณีของเกมที่ใช้ค่าอรรถประโยชน์แบบที่ 1 จากรูปที่ 4.4 พบว่าสำหรับค่า Δ_0 แต่ละค่า, $\Delta_0 \in [0.02, 0.09]$ (เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.01) ของผู้เล่นคนที่ 1 ผู้เล่นคนที่ 2 สามารถตอบสนองด้วยค่า Δ_1 ที่แตกต่างกันภายในเขตของกลยุทธ์ของตนซึ่งจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์ 8 เส้นบนปริภูมิของค่าอรรถประโยชน์ (เส้นทึบ) จากผลลัพธ์ที่ได้ พบว่าค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 เริ่มมีค่าคงที่เมื่อ $\Delta_0 = 0.02$, $\Delta_1 > 0.11$ และ $\Delta_0 > 0.09$, $\Delta_1 = 0.02$ ตามลำดับ ซึ่งจะทำได้ขอบเขตพาเรโตเป็นเส้นที่ต่อจุดที่สอดคล้องกับ $\Delta_0 \in [0.02, 0.09]$, $\Delta_1 = 0.02$ (เส้นประเส้นบน) และ $\Delta_0 = 0.02$, $\Delta_1 \in [0.02, 0.11]$ ดังนั้นจุดปลายของขอบเขตพาเรโตจึงสอดคล้องกับ $\Delta_0 = 0.09$ และ $\Delta_1 = 0.11$ ซึ่งจะถูกระบุให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ค่าสุดท้ายของเขตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 ตามลำดับ

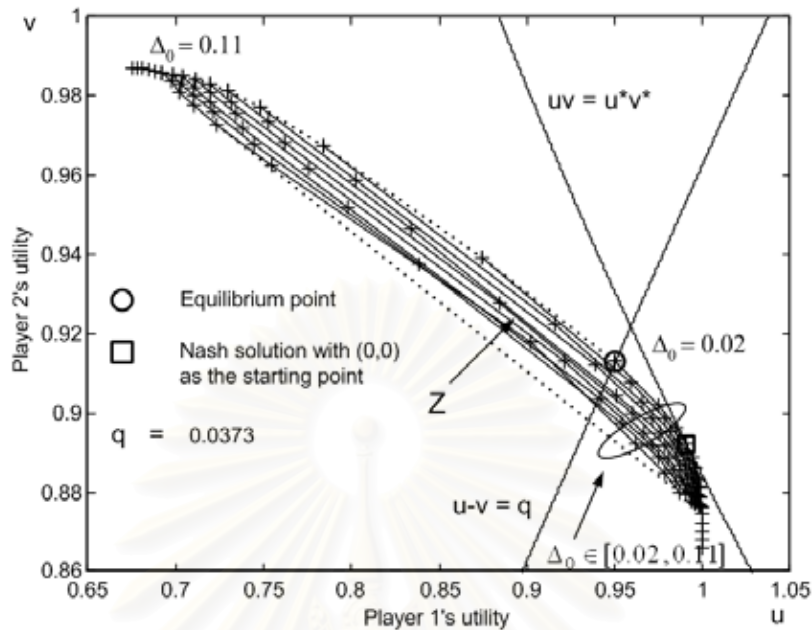
เมื่อพิจารณาเกมในรูปแบบของเมตริกซ์เช่นเดียวกันกับกรณีของเกมที่ใช้ค่าอรรถประโยชน์แบบที่ 1 และจากนิยามของจุดสมดุล พบว่าจุดสมดุลของเกมไม่ร่วมมือคือจุดวงกลมในรูปที่ 4.4 ซึ่งสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์ $\Delta_0 = 0.02$, $\Delta_1 = 0.02$ เกมไม่ร่วมมือในที่ไม่มีจุดสมดุลเพียงจุดเดียวด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันกับกรณีของเกมที่ใช้ค่าอรรถประโยชน์แบบที่ 1 เมื่อพิจารณาเกมร่วมมือและหาผลเฉลยโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่น พบว่ากลยุทธ์ Δ'_0 , Δ'_1 และค่า q ที่สอดคล้องกับ

เงื่อนไข $u(\Delta'_0, \Delta_1) - v(\Delta'_0, \Delta_1) \geq q, \forall \Delta_1$ และ $u(\Delta_0, \Delta'_1) - v(\Delta_0, \Delta'_1) \leq q, \forall \Delta_0$ มีค่าเท่ากับ 0.02, 0.02 และ $d(0.02, 0.02)$ ตามลำดับ ผลเฉลยของเกมคือจุดตัดของเส้นการได้ประโยชน์สัมพัทธ์คงที่ ($u - v = q$) กับขอบเขตพาราเรโตซึ่งคือจุดวงกลมในรูปที่ 4.4 จากนิยามของค่า maximin พบว่าจุด maximin อยู่ที่จุดเดียวกันกับจุดสมดุลซึ่งอยู่บนขอบเขตพาราเรโต ดังนั้นจากสัญพจน์ของความเท่าเทียม จะได้ผลเฉลยของ Nash เมื่อจุด maximin เป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรองเป็นจุดเดียวกันกับจุด maximin แต่เมื่อจุดกำเนิดเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรอง จะได้ผลเฉลยของ Nash เป็นจุดสี่เหลี่ยมในรูปที่ 4.4 ซึ่งสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์ $\Delta_0 = 0.02, \Delta_1 = 0.03$ และกราฟ Hyperbola $\{(u, v) \in \mathcal{R}^2 \mid uv = u^*v^*\}$ จะสัมพันธ์กับบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือที่จุดสี่เหลี่ยมนี้ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.5 บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ, ผลเฉลยของเกมร่วมมือและผลเฉลยของเกมไม่ร่วมมือ เมื่อค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบบดิวิตท์, $\Lambda = 1.0$

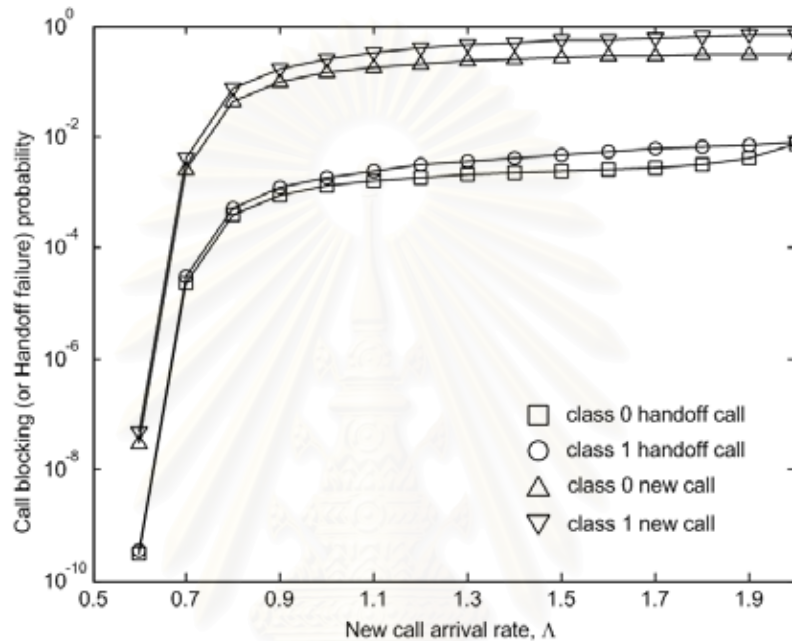
ต่อไปพิจารณาผลการทดสอบที่อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ค่าอื่น ๆ $\Lambda \in [0.9, 2.0]$ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2 จะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.02 เช่นเดียวกันกับกรณีที่อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ $\Lambda = 0.8$ แต่เมื่อ $\Lambda > 2.0$ ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2 จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นค่าที่มากกว่า 0.02 เช่น เมื่อ $\Lambda = 2.1$ พบว่าลำดับความสำคัญที่ถูกต้องของบริการแต่ละระดับจะไม่ได้รับการรับประกันเมื่อกำหนดให้ Δ_0 และ Δ_1 มีค่าเท่ากัน



รูปที่ 4.6 บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ, ผลเฉลี่ยของเกมที่ร่วมมือและผลเฉลี่ยของเกมไม่ร่วมมือ เมื่อค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคือผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของความน่าจะเป็นของการตอบรับการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการเสนอต่อสำเร็จ, $\Lambda = 1.0$

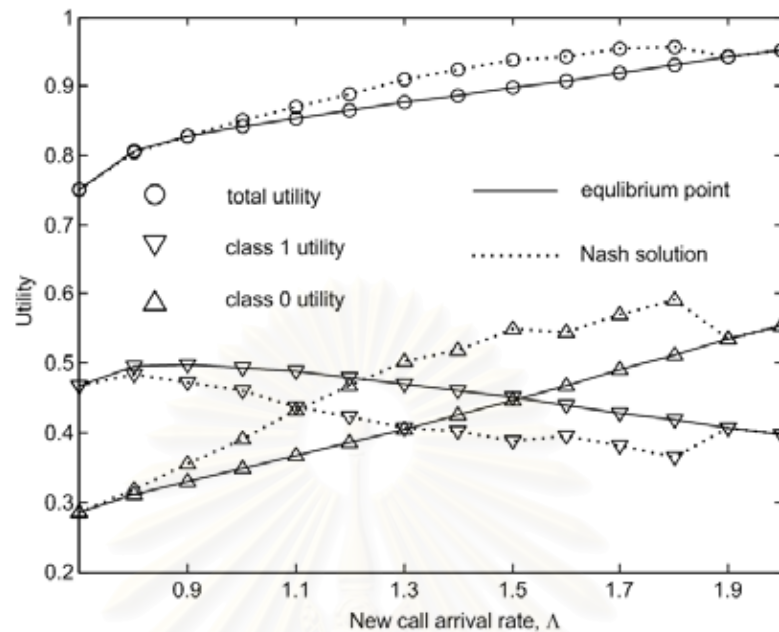
และน้อยกว่า 0.03 ดังนั้น 0.03 จึงถูกกำหนดให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นของเขตของกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2 เมื่อพิจารณาเกมไม่ร่วมมือ พบว่าจุดสมดุลเมื่อ $\Lambda \in [0.9, 2.0]$ สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์ค่าเดียวกันกับเมื่อ $\Lambda = 0.8$ ($\Delta_0 = 0.02, \Delta_1 = 0.02$) ดังนั้นจุดสมดุลของเกมที่ใช้ค่าอรรถประโยชน์แบบที่ 1 และ 2 จึงอยู่ที่จุดเดียวกันเมื่อ $\Lambda \in [0.8, 2.0]$ นอกจากนี้พบว่าสามารถหาขอบเขตพาเรโตได้ด้วยวิธีเดียวกันกับเมื่อ $\Lambda = 0.8$ ต่อไปเมื่อพิจารณาเกมร่วมมือและหาผลเฉลี่ยโดยใช้วิธีปัญหาการต่อรองเมื่อ $\Lambda \in [0.9, 2.0]$ พบว่าผลเฉลี่ยของ Nash เมื่อจุดกำเนิดเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรองสำหรับเกมที่ใช้ค่าอรรถประโยชน์แบบที่ 1 อาจสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์ที่แตกต่างกับกรณีของเกมที่ใช้ค่าอรรถประโยชน์แบบที่ 2 ดังนั้นจึงสามารถทำให้วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกมีการทำงานที่เหมาะสมกับค่าอรรถประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ ที่ต้องการได้โดยการเลือกคู่ของค่าสัมประสิทธิ์ (Δ_0, Δ_1) ที่แตกต่างกันเพื่อใช้ในการควบคุม ตัวอย่างเช่น พิจารณาเกมเมื่อ $\Lambda = 1.0$ บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือของเกมที่ใช้ค่าอรรถประโยชน์แบบที่ 1 และ 2 แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 กำหนดให้จุดสมดุลของเกมไม่ร่วมมือคือจุดวงกลมและผลเฉลี่ยของ Nash เมื่อจุดกำเนิดเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรองคือจุดสี่เหลี่ยม จะพบว่าจุดสมดุลของเกมที่ใช้ค่าอรรถประโยชน์แบบที่ 1 และ 2 สอดคล้อง

กับคู่ของค่าสัมประสิทธิ์คู่เดียวกัน ในขณะที่ผลเฉลยของ Nash สำหรับเกมที่ใช้ค่าอรรถประโยชน์แบบที่ 1 สอดคล้องกับคู่ของค่าสัมประสิทธิ์ที่แตกต่างกับกรณีของเกมที่ใช้ค่าอรรถประโยชน์แบบที่ 2 ($\Delta_0 = 0.02, \Delta_1 = 0.04$ กรณีค่าอรรถประโยชน์แบบที่ 1 และ $\Delta_0 = 0.02, \Delta_1 = 0.05$ กรณีค่าอรรถประโยชน์แบบที่ 2)



รูปที่ 4.7 ผลการทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในแง่ของความน่าจะเป็นของการเสนอต่อฟลัมเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่เทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่เมื่อ $\Delta_0 = \Delta_1 = 0.02$

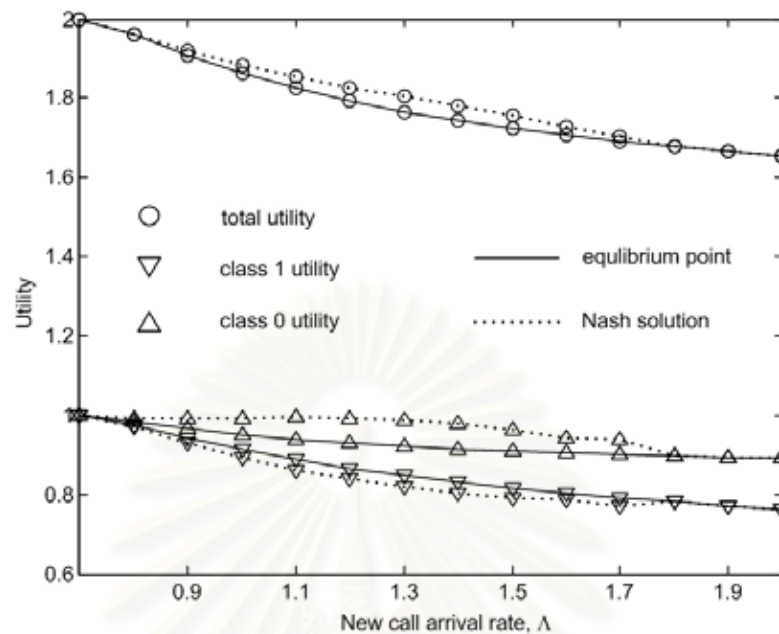
ต่อไปศึกษาผลของการเปลี่ยนอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ที่มีต่อการทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียก รูปที่ 4.7 แสดงความน่าจะเป็นของการเสนอต่อฟลัมเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ในระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB พบว่าเมื่อ $\Lambda < 0.7$ ความน่าจะเป็นของการเสนอต่อฟลัมเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่มีค่าต่ำมากใกล้เคียงกับ 0 ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ Δ_0, Δ_1 จึงไม่มีผลต่อการทำงานของวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียก เมื่อ $\Lambda < 0.7$ และพบว่าเมื่อ $\Lambda > 2.0$ ความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่จะมีค่าสูงเกินระดับที่ยอมรับได้ ดังนั้นในที่นี้จึงพิจารณาการทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกเมื่อ $\Lambda \in [0.7, 2.0]$ อย่างไรก็ตามเมื่อ $\Lambda > 2.0$ จะสามารถวิเคราะห์การทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกได้ในทำนองเดียวกันกับเมื่อ $\Lambda < 2.0$



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลการดำเนินงานของวิธิตควบคุมการตอบรับการเรียกที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Δ_0, Δ_1 ที่ได้จากจุดสมดุลและจากผลเฉลยของ Nash เมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์และ $W_{up} = 1.3Mbps, W_{dw} = 2.7Mbps$

รูปที่ 4.8 แสดงค่าอัตราประโยชน์ที่จุดสมดุลและที่ผลเฉลยของ Nash เมื่อจุดกำเนิดเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรองเทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่สำหรับเกมที่ใช้ค่าอัตราประโยชน์แบบที่ 1 พบว่าเมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 2 มีค่าลดลงทั้งในกรณีของจุดสมดุลและกรณีผลเฉลยของ Nash เนื่องจากการเรียกในระดับที่ 0 มีลำดับความสำคัญสูงกว่าการเรียกในระดับที่ 1 ดังนั้นเมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่มีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้แบนด์วิดท์ที่ถูกกันของการเรียกในระดับที่มีลำดับความสำคัญต่ำมีค่าเพิ่มมากขึ้น ๆ นอกจากนี้รูปที่ 4.8 ยังได้แสดงค่าอัตราประโยชน์รวมทั้งจุดสมดุลและที่ผลเฉลยของ Nash พบว่าค่าอัตราประโยชน์รวมทั้งผลเฉลยของ Nash ให้ค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าอัตราประโยชน์รวมทั้งจุดสมดุลตลอดช่วงของโพลดีที่พิจารณา (ส่วนใหญ่จะมากกว่า) และจะสังเกตได้ว่าทั้งค่าอัตราประโยชน์รวมทั้งจุดสมดุลและที่ผลเฉลยของ Nash มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่มีค่าเพิ่มขึ้น

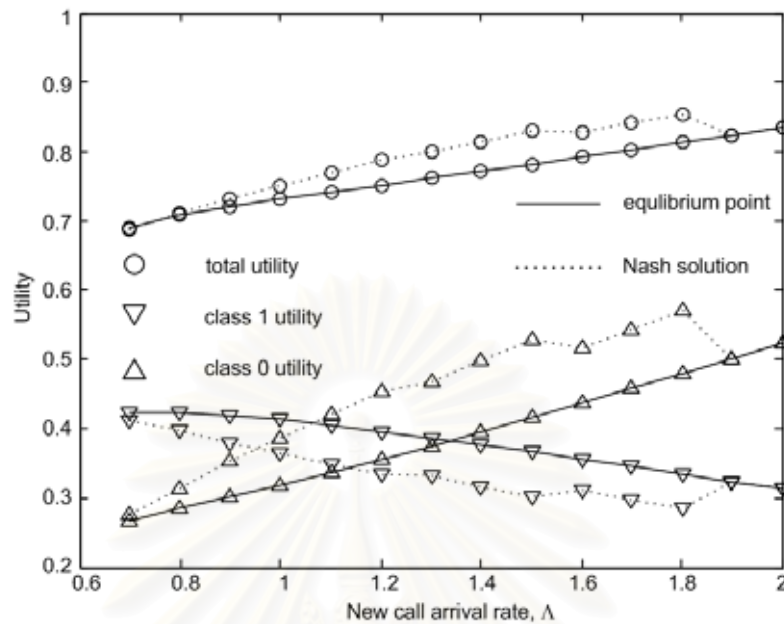
รูปที่ 4.9 แสดงค่าอัตราประโยชน์ที่จุดสมดุลและที่ผลเฉลยของ Nash เมื่อจุดกำเนิดเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรองเทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่สำหรับเกมที่ใช้ค่าอัตราประโยชน์แบบที่ 2 พบว่าเมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 มี



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบ ผลการทำงาน ของวิธีการควบคุม การตอบรับ การเรียก ที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ Δ_0, Δ_1 ที่ได้จากจุดสมดุลและจากผลเฉลยของ Nash เมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือ ผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของความน่าจะเป็นของการตอบรับการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟสำเร็จและ $W_{up} = 1.3Mbps, W_{dw} = 2.7Mbps$

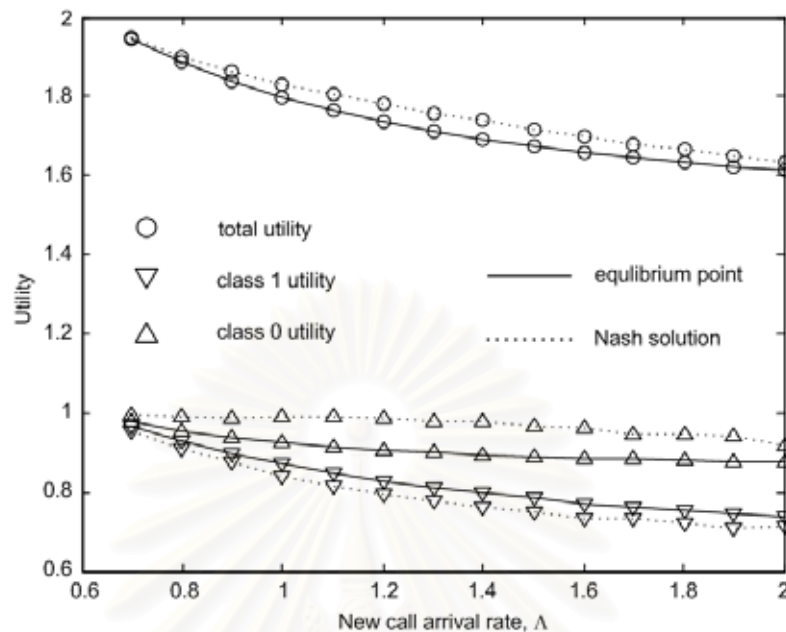
ค่าลดลง แต่ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 2 ลดลงด้วยอัตราที่สูงกว่าค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 ทั้งในกรณีของจุดสมดุลและกรณีผลเฉลยของ Nash เนื่องจากการเรียกในระดับที่ 0 มีลำดับความสำคัญสูงกว่าการเรียกในระดับที่ 1 เช่นเดียวกับกับกรณีของเกมที่ใช้ค่าอัตราประโยชน์แบบที่ 1 จากรูปที่ 4.9 พบว่าค่าอัตราประโยชน์รวมที่ผลเฉลยของ Nash ให้ค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าอัตราประโยชน์รวมที่จุดสมดุล ตลอดช่วงของโพลต์ที่พิจารณา (ส่วนใหญ่จะมากกว่า) เช่นเดียวกับกรณีของเกมที่ใช้ค่าอัตราประโยชน์แบบที่ 1 อย่างไรก็ตามค่าอัตราประโยชน์รวมที่จุดสมดุลและที่ผลเฉลยของ Nash มีค่าลดลงเมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่มีค่าเพิ่มขึ้น

ต่อไปศึกษาความเกี่ยวข้องระหว่างผลการทำงานของการควบคุมการตอบรับการเรียกโดยใช้วิธีที่เสนอกับค่าพารามิเตอร์ชุดอื่น ๆ นอกเหนือไปจากค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 1 โดยเริ่มจากกรณีที่แบนด์วิดท์ทั้งหมดถูกแบ่งให้กับชายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงแบบอสมมาตรดังนี้ $W_{up} = 1.7Mbps, W_{dw} = 2.3Mbps$ รูปที่ 4.10 และ 4.11 แสดงค่าอัตราประโยชน์ที่จุดสมดุลและที่ผลเฉลยของ Nash เทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่สำหรับเกมที่ใช้ค่าอัตราประโยชน์แบบที่ 1 และ 2 เมื่อ $W_{up} =$



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบ ผล การ ทำงาน ของ วิธี ควบคุม การ ตอบรับ การ เรียก ที่ ใช้ ค่า สัมประสิทธิ์ Δ_0, Δ_1 ที่ได้จากจุดสมดุลและจากผลเฉลยของ Nash เมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือ ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์และ $W_{up} = 1.7Mbps, W_{dw} = 2.3Mbps$

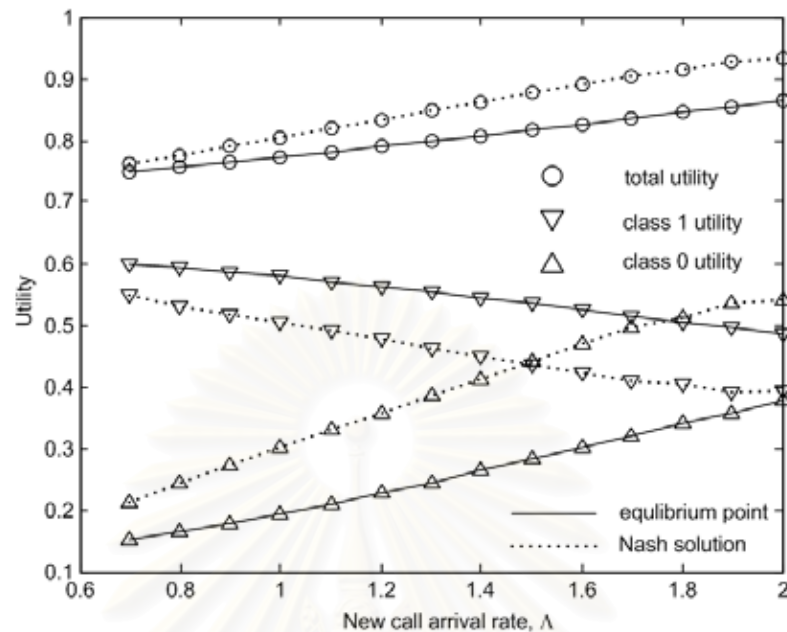
$1.7Mbps, W_{dw} = 2.3Mbps$ พบว่าผลที่ได้ในรูปที่ 4.10 และ 4.11 มีลักษณะเช่นเดียวกับกับผลที่ได้ในรูปที่ 4.8 และ 4.9 แต่ค่าอัตราประโยชน์รวมทั้งจุดสมดุลและที่ผลเฉลยของ Nash ในรูปที่ 4.8 และ 4.9 มีค่ามากกว่าในรูปที่ 4.10 และ 4.11 เนื่องจากระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ $W_{up} = 1.3Mbps, W_{dw} = 2.7Mbps$ สอดคล้องกับลักษณะของกราฟฟิโกสมมาตรระหว่างข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงมากกว่าระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ $W_{up} = 1.7Mbps, W_{dw} = 2.3Mbps$ ต่อไปพิจารณาผลของค่าพารามิเตอร์ความน่าจะเป็นในการตัดสินใจการเรียกใหม่ โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นที่การเรียกใหม่ที่มาถึงเป็นการเรียกในระดับที่ 0 หรือเป็นการเรียกในระดับที่ 1 เปลี่ยนค่าไปเป็น 0.65 และ 0.35 ตามลำดับ ในกรณีนี้ค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้นของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2 จะถูกกำหนดเป็น 0.03 ตามวิธีการกำหนดเซตของกลยุทธ์ รูปที่ 4.12 และ 4.13 แสดงค่าอัตราประโยชน์ที่จุดสมดุลและที่ผลเฉลยของ Nash เทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่สำหรับเกมที่ใช้ค่าอัตราประโยชน์แบบที่ 1 และ 2 เมื่อความน่าจะเป็นที่การเรียกใหม่ที่มาถึงเป็นการเรียกในระดับที่ 0 หรือเป็นการเรียกในระดับที่ 1 คือ 0.65 และ 0.35 ตามลำดับ พบว่าผลที่ได้ในรูปที่ 4.12 และ 4.13 มีลักษณะเช่นเดียวกับกับผลที่ได้ในรูปที่ 4.8 และ 4.9 แต่ค่าอัตราประโยชน์รวมทั้งผลเฉลยของ Nash ในรูปที่ 4.12 และ 4.13



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบผลทำงานของวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ใช้คู่ของค่าสัมประสิทธิ์ Δ_0, Δ_1 ที่ได้จากจุดสมดุลและจากผลเฉลยของ Nash เมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือ ผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของความน่าจะเป็นของการตอบรับการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟสำเร็จและ $W_{up} = 1.7Mbps, W_{dw} = 2.3Mbps$

มีค่ามากกว่าค่าอัตราประโยชน์รวมที่จุดสมดุลตลอดช่วงของโหนดที่พิจารณา

เพื่อแสดงประโยชน์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 ในที่นี้จะเปรียบเทียบวิธีที่เสนอกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกใน [31] พบว่า วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกใน [31] เสนอแนะว่าค่าสัมประสิทธิ์ Δ_0 และ Δ_1 ควรจะมีค่าเท่ากันและมีค่าน้อย ๆ แต่ในขณะเดียวกันยังสามารถรับประกันลำดับความสำคัญที่ถูกต้องของบริการแต่ละระดับได้ ซึ่งจะสังเกตได้ว่า Δ_0 และ Δ_1 จากข้อเสนอแนะของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกใน [31] มีค่าเท่ากับ Δ_0 และ Δ_1 จากจุดสมดุลของเกมไม่ร่วมมือตามวิธีที่เสนอ อย่างไรก็ตามวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกใน [31] ไม่ได้กล่าวถึงประเด็นเรื่องของความเท่าเทียม ในขณะที่ Δ_0 และ Δ_1 ที่ได้จากจุดสมดุลจะมีคุณสมบัติของความเท่าเทียมตามนิยามของเกมไม่ร่วมมือดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.2.2.1 นอกจากนี้พบว่า Δ_0 และ Δ_1 ที่ได้จากผลเฉลยของ Nash ของเกมร่วมมือสามารถให้ค่าอัตราประโยชน์รวมมากกว่าวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกใน [31] ขณะเดียวกันก็สามารถให้ความเท่าเทียมตามคุณสมบัติของผลเฉลยที่สอดคล้องกับสัญพจน์ของความเท่าเทียม



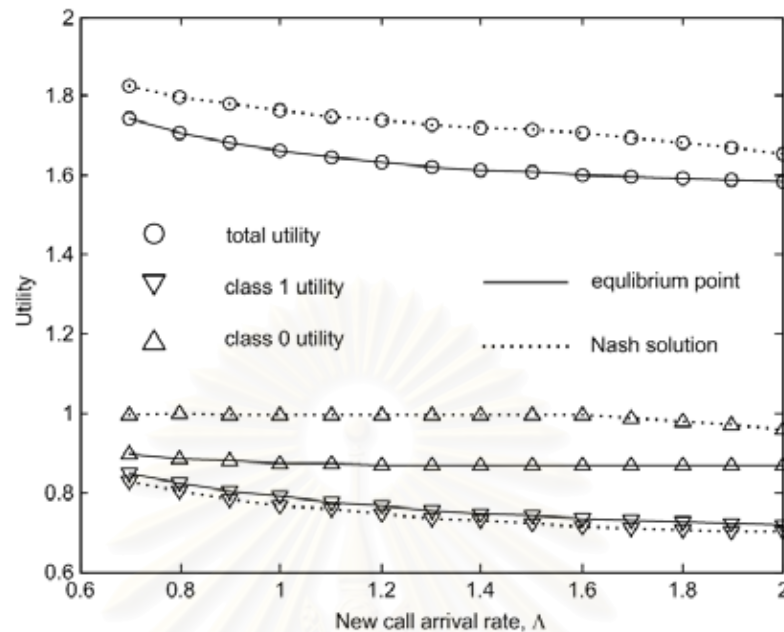
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบ ผล การ ทำงาน ของ วิธี ควบคุม การ ตอบรับ การ เรียก ที่ ใช้ ค่า สัมประสิทธิ์ Δ_0, Δ_1 ที่ได้จากจุดสมดุลและจากผลเฉลยของ Nash เมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือ ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์และความน่าจะเป็นที่การเรียกใหม่ที่มาถึงเป็นการเรียกในระดับที่ 0 หรือเป็นการเรียกในระดับที่ 1 คือ 0.65 และ 0.35 ตามลำดับ

4.2 เกมที่จำลองจากวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] และวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่เสนอ วิเคราะห์ผลการทดสอบเมื่อกำหนดให้ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์และเมื่อกำหนดให้ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง

4.2.1 แบบจำลองระบบ

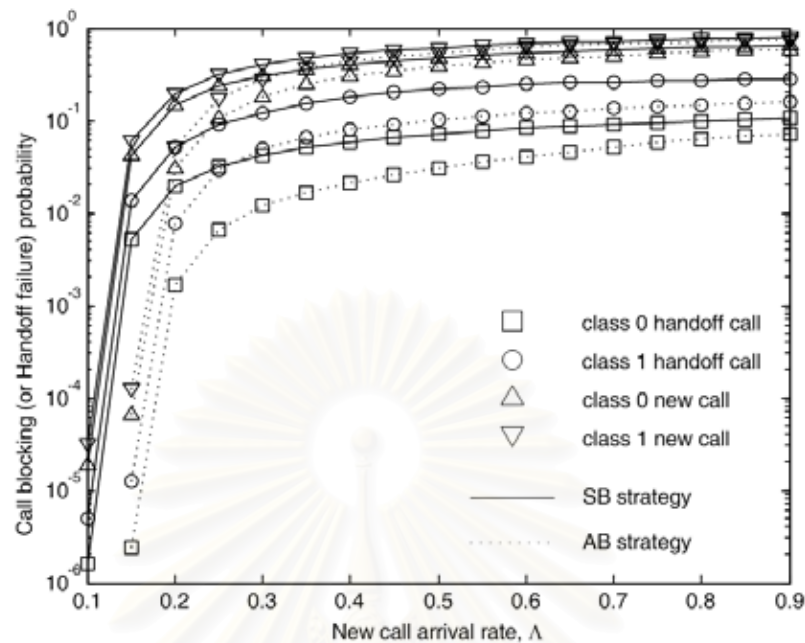
พิจารณาระบบสื่อสารเคลื่อนที่ที่ให้บริการ 2 ระดับ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 เช่นเดียวกันกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 กำหนดให้การมาถึงของการเรียกใหม่เป็นไปตามกระบวนการปัวซองด้วยอัตรา Λ ความน่าจะเป็นที่การเรียกใหม่ที่มาถึงเป็นการเรียกในระดับที่ 0 คือ 0.85 หรือเป็นการเรียกในระดับที่ 1 คือ 0.15 และความจุทั้งหมดภายในเซลล์คือ 4 Mbps ซึ่งจะถูกแบ่งให้กับข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงแบบ SB ($W_{up} = W_{dw} = 2Mbps$) หรือแบบ AB



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบผล การ ทำงาน ของ วิธี ควบคุม การ ตอบรับ การ เรียก ที่ ใช้ ค่า สัมประสิทธิ์ Δ_0, Δ_1 ที่ได้จากจุดสมดุลและจากผลเฉลยของ Nash เมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือ ผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของความน่าจะเป็นของการตอบรับการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟสำเร็จและความน่าจะเป็นที่การเรียกใหม่ที่มาถึงเป็นการเรียกในระดับที่ 0 หรือเป็นการเรียกในระดับที่ 1 คือ 0.65 และ 0.35 ตามลำดับ

($W_{up} = 1.3Mbps, W_{dw} = 2.7Mbps$) กำหนดให้ค่า E_b/N_0 ที่ต้องการสำหรับการเรียกแต่ละระดับ มีค่าดังนี้ $\gamma_0^{up} = \gamma_0^{dw} = \gamma_1^{up} = \gamma_1^{dw} = 4 dB$, ค่าเฉลี่ยของ orthogonality factor ในข่ายเชื่อมโยง ขาลง $\rho = 0.5$, อัตราส่วนของกำลังของ overhead channel ต่อกำลังส่งสูงสุดในข่ายเชื่อมโยงขาลง $z = 0.3$, อัตราส่วนของกำลังของสัญญาณแทรกสอดจากเซลล์ข้างเคียงต่อกำลังของสัญญาณแทรกสอด ภายในเซลล์ $\varsigma^{up} = \varsigma^{dw} = 0.5$ ทั้งในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง

พิจารณาผลของการแบ่งแบนด์วิดท์ที่มีต่อวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] กำหนดให้ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.02, \beta_0^n = 1.03, \beta_1^n = 1.04$ เพื่อรับประกันลำดับความสำคัญที่ ถูกต้องของบริการแต่ละระดับ จากรูปที่ 4.14 และ 4.15 พบว่าระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB จะมีความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ต่ำกว่าระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ SB มาก และค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ของระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB ก็มีค่าสูงกว่าค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ของระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ SB มาก จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB จะมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์

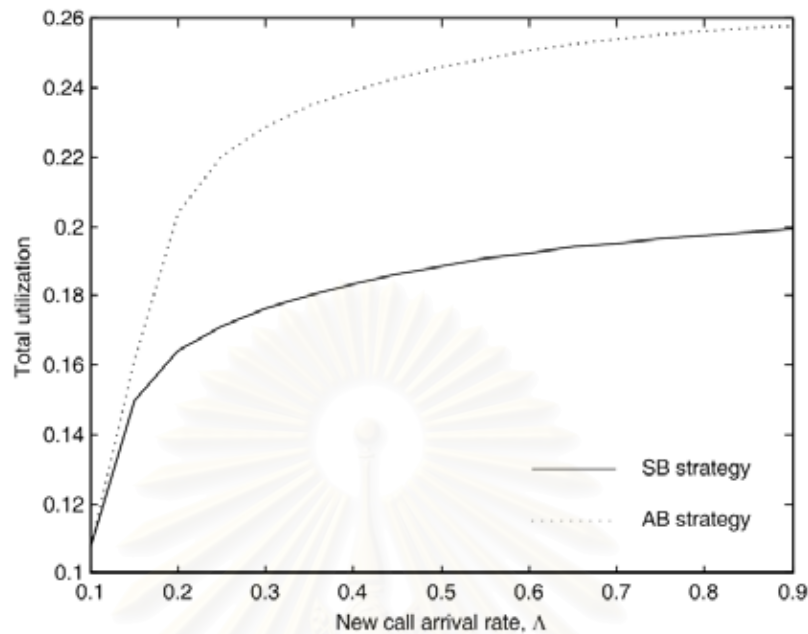


รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบการทำงานของระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB และ SB ในแง่ของความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ เมื่อ $\beta_0^h = 1.01$, $\beta_1^h = 1.02$, $\beta_0^n = 1.03$, $\beta_1^n = 1.04$

แบบ SB เช่นเดียวกับกับกรณีของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงพิจารณาระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB

4.2.2 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลในกรณีที่ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์

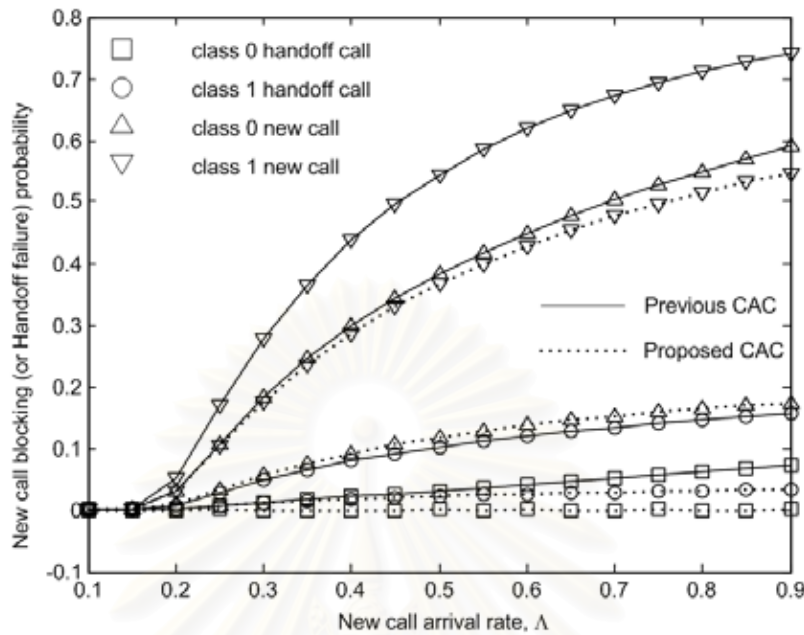
ในหัวข้อนี้จะเริ่มจากการเปรียบเทียบผลการทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] และวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่เสนอ พบว่าวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่เสนอมันจะให้ค่าความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ต่ำกว่าวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] ก่อนข้างมากดังแสดงในรูปที่ 4.16 และจากรูปที่ 4.17 และพบว่าวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่เสนอให้ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ของการเรียกในระดับที่ 0, การเรียกในระดับที่ 1 และค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์รวมใกล้เคียงกันกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] มาก ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่เสนอมันมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีควบคุมการตอบรับการเรียก



รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบการทำงานของระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB และ SB ในแง่ของค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์เมื่อ $\beta_0^h = 1.01$, $\beta_1^h = 1.02$, $\beta_0^n = 1.03$, $\beta_1^n = 1.04$

ประเภทที่ 2 ใน [32] ในแง่ของความน่าจะเป็นของการเสนอต่อฟลัมเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] ในแง่ของค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ นอกจากนี้วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่เสนอมีความซับซ้อนในการคำนวณต่ำกว่าวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงพิจารณาผลการทดสอบจากวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่เสนอ

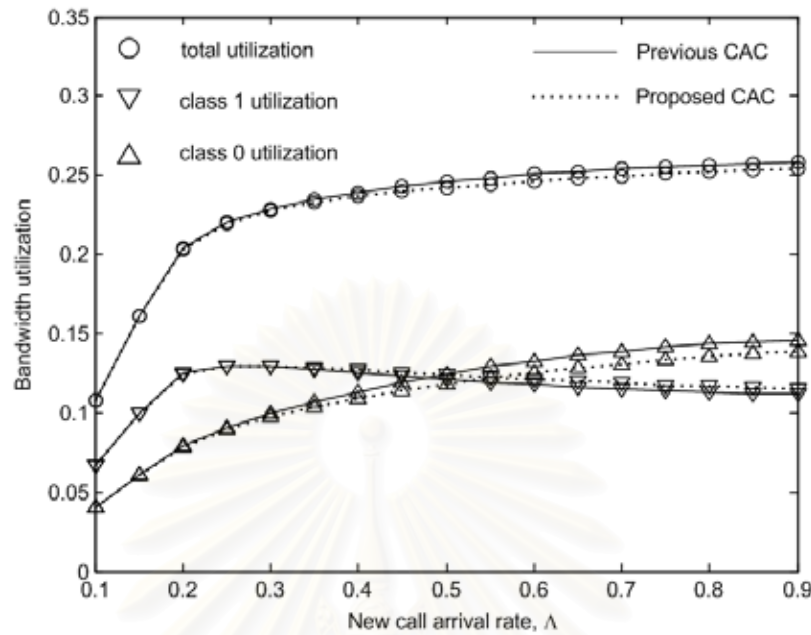
ต่อไปพิจารณาเกมระหว่างผู้เล่น 2 คน เมื่อค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ [66] ทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบบนพื้นฐานของทฤษฎีเกมโดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นทั้ง 2 คนบนปริภูมิของค่าอัตราประโยชน์สำหรับระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB เมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ $\Lambda = 0.3$ ดังแสดงในรูปที่ 4.18 โดยจุดต่างๆ เหล่านี้จะประกอบกันเป็นบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเซตปิด, จำกัดและ convex (แทนด้วย Z) จากวิธีการกำหนดเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นสำหรับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 พบว่าเมื่อ r มีค่าลดลงไปเรื่อยๆ จนถึง 0.01 ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์รวมจะเริ่มมีค่าคงที่ ดังนั้นจึงกำหนดให้ $r = 0.01$ และจะได้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบการทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่เสนอและวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] ในแง่ของความสำเร็จจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวและความสำเร็จจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่เมื่อ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.02, \beta_0^n = 1.03, \beta_1^n = 1.04$

มีค่าเท่ากับ $\beta_0^h = 1.01$ และ $\beta_1^h = 1.02$ ตามลำดับ ซึ่งจะสอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์สำหรับการร้องขอการเรียกใหม่ในระดับที่ 0 และระดับที่ 1 คือ $\beta_0^n = 1.03$ และ $\beta_1^n = 1.04$ จากรูปที่ 4.18 สำหรับ β_0^h แต่ละค่าของผู้เล่นคนที่ 1 ผู้เล่นคนที่ 2 สามารถตอบสนองด้วยค่า β_1^h ที่แตกต่างกันภายในเซตของกลยุทธ์ของตนซึ่งจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์บนปริภูมิของค่าอัตราประโยชน์ รูปที่ 4.18 แสดงกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว 10 เส้น (เส้นทึบ) เมื่อ $\beta_0^h \in [1.01, 1.1]$ (เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.01) จากผลลัพธ์ที่ได้พบว่าค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 เริ่มมีค่าคงที่เมื่อ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h > 1.11$ และ $\beta_0^h > 1.1, \beta_1^h = 1.02$ ตามลำดับ (รูปที่ 4.18 แสดงค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นทั้ง 2 จนกระทั่ง $\beta_0^h = 1.15$ และ $\beta_1^h = 1.16$) และจะได้ขอบเขตพาเรโตเป็นเส้นที่ต่อจุดที่สอดคล้องกับ $\beta_0^h \in [1.01, 1.1], \beta_1^h = 1.02$ (เส้นประเส้นบน) และ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h \in [1.02, 1.11]$ ดังนั้นจุดปลายของขอบเขตพาเรโตจึงสอดคล้องกับ $\beta_0^h = 1.1$ และ $\beta_1^h = 1.11$ ซึ่งจะถูกกำหนดให้เป็นค่าพารามิเตอร์ค่าสุดท้ายของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 ตามลำดับ

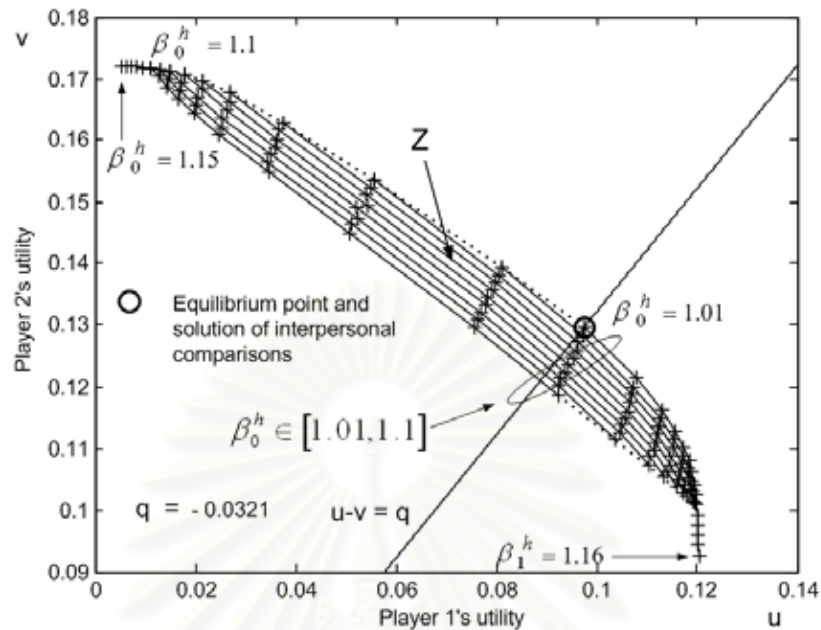
เมื่อพิจารณาเกมในรูปแบบของเมตริกซ์และหาจุดสมดุลจากนิยามของจุดสมดุล พบว่าจุดสมดุลของ



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบการทำงานของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่เสนอและวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] ในแง่ของของค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์เมื่อ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.02, \beta_0^n = 1.03, \beta_1^n = 1.04$

เกมไม่ร่วมมือคือจุดวงกลมในรูปที่ 4.18 และสอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.02$ ซึ่งเป็นคู่กลยุทธ์ที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับผู้เล่นทั้ง 2 คนพร้อมกัน โดย $\max_{\beta_0^h} u(\beta_0^h, 1.02) = u(1.01, 1.02)$ และ $\max_{\beta_1^h} v(1.01, \beta_1^h) = v(1.01, 1.02)$ เกมไม่ร่วมมือในที่นี้มีจุดสมดุลเพียงจุดเดียวซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้โดยใช้กระบวนการกำจัดกลยุทธ์ที่ถูก dominate อย่างรุนแรงเช่นเดียวกันกับกรณีเกมของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 จะสังเกตเห็นได้ว่ากลยุทธ์ที่จุดสมดุลคือค่าพารามิเตอร์ที่น้อยที่สุดในเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 เนื่องจากผู้เล่นแต่ละคนพยายามเพิ่มค่าอรรถประโยชน์ของตนโดยการลดค่าพารามิเตอร์ให้เหลือน้อยที่สุด

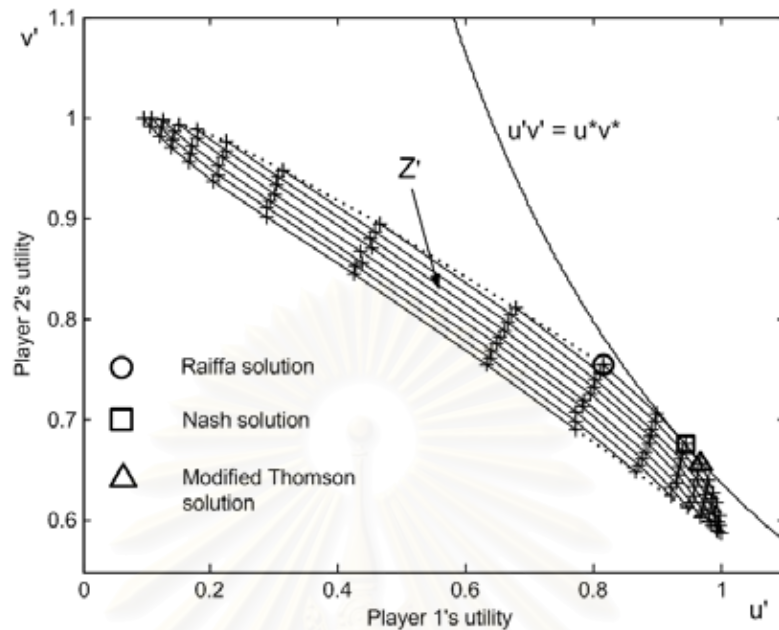
เมื่อพิจารณาเกมร่วมมือและหาผลเฉลยโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่นคำนวณค่าการได้ประโยชน์สัมพัทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 $d(\beta_0^h, \beta_1^h) = u(\beta_0^h, \beta_1^h) - v(\beta_0^h, \beta_1^h)$ สำหรับคู่กลยุทธ์ (β_0^h, β_1^h) แต่ละคู่ แล้วหา $\beta_0^{h'}, \beta_1^{h'}$ และ q ที่สอดคล้องกับเงื่อนไข $u(\beta_0^{h'}, \beta_1^{h'}) - v(\beta_0^{h'}, \beta_1^{h'}) \geq q, \forall \beta_1^h$ และ $u(\beta_0^h, \beta_1^{h'}) - v(\beta_0^h, \beta_1^{h'}) \leq q, \forall \beta_0^h$ พบว่า $\beta_0^{h'}, \beta_1^{h'}$ และ q มีค่าเท่ากับ 1.01, 1.02 และ $d(1.01, 1.02)$ ตามลำดับ และจะได้ผลเฉลยของเกมเป็นจุดตัดของเส้นการได้ประโยชน์สัมพัทธ์ที่ $(u - v = q)$ กับขอบเขตของพาเรโตซึ่งก็คือจุดวงกลมในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ, ผลเฉลยของเกมร่วมมือและผลเฉลยของเกมไม่ร่วมมือ, $\Lambda = 0.3$

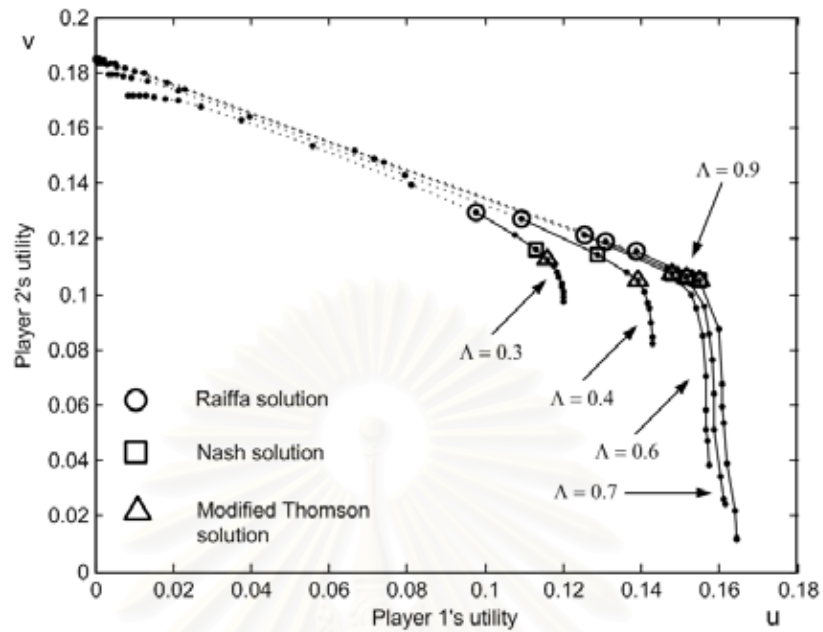
ต่อไปพิจารณาเกมร่วมมือ และหาผลเฉลยโดยใช้วิธี ปัญหาการต่อรอง ซึ่งจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรองจะถูกกำหนดให้เป็นผลลัพธ์ของเกมในกรณีที่ผู้เล่นทั้งสองไม่สามารถหาข้อตกลงได้ ในที่นี้กำหนดให้จุดกำเนิด $(0, 0)$ เป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรองเนื่องจากคุณสมบัติเรื่องความเท่าเทียม [38], [39], [47] จากนั้นพิจารณาปัญหาการต่อรองที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐาน, (Z', z'_0) , ซึ่งมีบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือดังแสดงในรูปที่ 4.19 จากนิยามฟังก์ชันความพึงพอใจของผู้เล่น จะสามารถหาผลเฉลยของ Nash, ผลเฉลยของ Raiffa และผลเฉลยของ modified Thomson ได้จากผลคูณระหว่างฟังก์ชันความพึงพอใจของผู้เล่นทั้งสองที่มีค่ามากที่สุดเมื่อกำหนดให้ $\Psi = 0, 1$ และ -1 ตามลำดับ ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 รูปที่ 4.19 แสดงผลเฉลยของ Nash, ผลเฉลยของ Raiffa และผลเฉลยของ modified Thomson ซึ่งคือจุดสี่เหลี่ยม $(\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.04)$, จุดวงกลม $(\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.02)$ และจุดสามเหลี่ยม $(\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.05)$ ตามลำดับ ถ้ากำหนดให้ผลเฉลยของ Nash แทนด้วย (u^*, v^*) จากนิยามของผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของ Nash กราฟ Hyperbola $\{(u, v) \in \mathcal{R}^2 \mid uv = u^*v^*\}$ จะสัมผัสกับบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ Z' ที่จุดสี่เหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 4.19

พิจารณาผลการทดสอบที่อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ค่าอื่น ๆ $\Lambda \in [0.2, 1.2]$ จากวิธีการกำหนดเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่น พบว่าค่าพารามิเตอร์ในเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 เมื่อ $\Lambda \in [0.2, 1.2]$ มีค่าเหมือนกันกับค่าพารามิเตอร์ในเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่

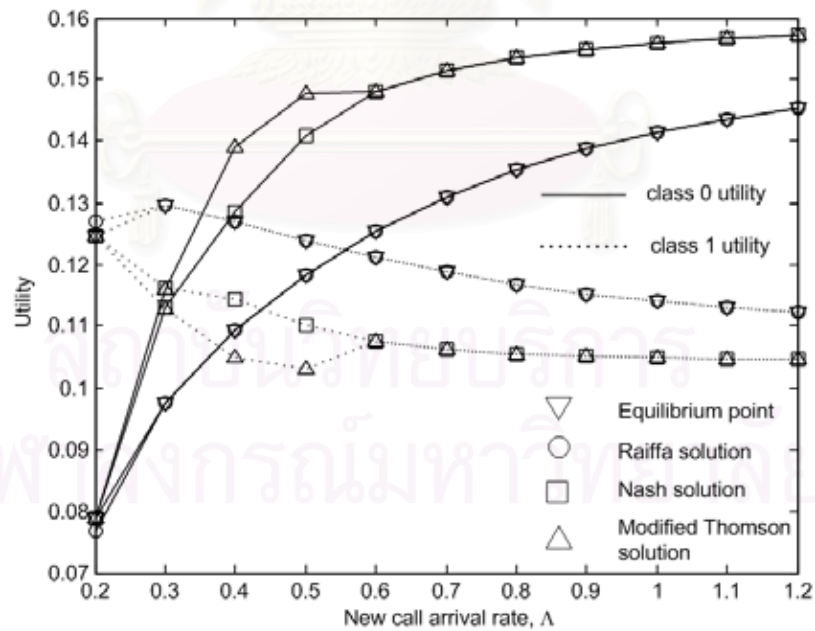


รูปที่ 4.19 บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือของปัญหาการต่อรองที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐานและผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง, $\Lambda = 0.3$

2 เมื่อ $\Lambda = 0.3$ ต่อไปพิจารณาผลการทดสอบจากเกมไม่ร่วมมือ พบว่าจุดสมดุลเมื่อ $\Lambda \in [0.2, 1.2]$ สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ค่าเดียวกันกับเมื่อ $\Lambda = 0.3$ ($\beta_0^h = 1.01$, $\beta_1^h = 1.02$) นอกจากนี้พบว่าสามารถหาขอบเขตพาราโบลเมื่อ $\Lambda \in [0.2, 1.2]$ ได้ด้วยวิธีเดียวกันกับเมื่อ $\Lambda = 0.3$ พิจารณาผลการทดสอบจากเกมร่วมมือและหาผลเฉลยโดยใช้วิธีปัญหาการต่อรอง เปรียบเทียบคุณลักษณะของผลเฉลยแบบต่าง ๆ ของปัญหาการต่อรองและจุดสมดุล รูปที่ 4.20 แสดงขอบเขตพาราโบลและผลเฉลยแบบต่าง ๆ ของปัญหาการต่อรองที่อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ค่าต่าง ๆ โดยผลเฉลยของ Nash, ผลเฉลยของ Raiffa และผลเฉลยของ modified Thomson แสดงด้วยจุดสี่เหลี่ยม, จุดวงกลมและจุดสามเหลี่ยมตามลำดับ รูปที่ 4.21 แสดงค่าอรรถประโยชน์ที่ได้จากจุดสมดุลและจากผลเฉลยแบบต่าง ๆ ของปัญหาการต่อรองเทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ จากรูปที่ 4.20 และ 4.21 จะสังเกตได้ว่าผลเฉลยของ Raiffa อยู่ที่จุดเดียวกันกับจุดสมดุลเมื่อ $\Lambda \geq 0.3$ เนื่องจากผลต่างของค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่นทั้งสองของปัญหาการต่อรองที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐาน, $|u' - v'|$, จะมีค่าต่ำที่สุด (คุณสมบัติของผลเฉลยของ Raiffa) ที่จุดเดียวกันกับจุดสมดุล นอกจากนี้ พบว่าจากรูปที่ 4.20 และ 4.21 ผลเฉลยของ Nash และผลเฉลยของ modified Thomson จะอยู่ที่จุดเดียวกันเมื่อ $\Lambda \geq 0.6$ เนื่องจากผลของมุมที่เกิดขึ้นบนขอบเขตพาราโบลที่แสดงในรูปที่ 4.20 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ จากนิยามของผลเฉลยของ

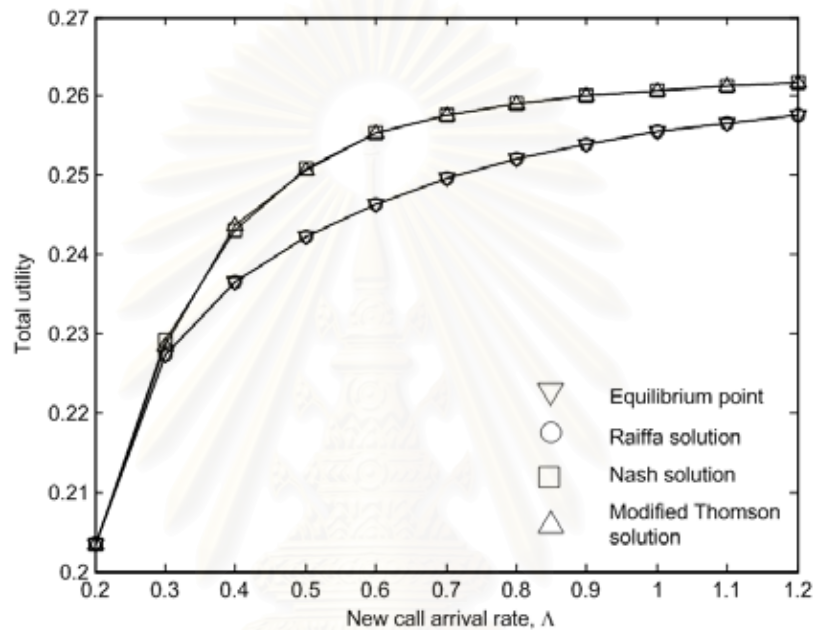


รูปที่ 4.20 ขอบเขตพาเรโตและผลเฉลยแบบต่างๆ ของปัญหาการต่อรองที่อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ Λ ค่าต่าง ๆ กัน



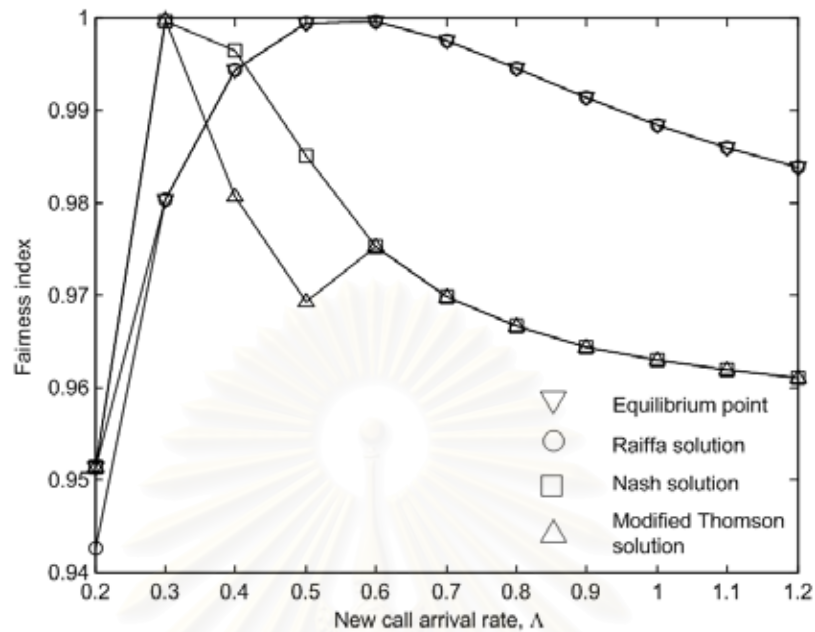
รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ที่จุดสมดุลและที่ผลเฉลยแบบต่าง ๆ ของปัญหาการต่อรอง

Nash และผลเฉลยของ modified Thomson ผลเฉลยของ Nash จะอยู่ที่จุดสัมผัสระหว่างขอบเขตพาเรโตและกราฟ Hyperbola และผลเฉลยของ modified Thomson จะอยู่ที่จุดสัมผัสระหว่างขอบเขตพาเรโตและกราฟเส้นตรง ซึ่งในหลาย ๆ กรณี จุดที่มุมของขอบเขตพาเรโตจะสอดคล้องกับทั้งผลเฉลยของ Nash และผลเฉลยของ modified Thomson [38] โดยมุมบนขอบเขตพาเรโตเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของค่าอัตราประโยชน์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกลยุทธ์ของผู้เล่น



รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบค่าอัตราประโยชน์รวมที่จุดสมดุลและที่ผลเฉลยแบบต่าง ๆ ของปัญหาการต่อรอง

จากรูปที่ 4.21 จะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 2 มีค่าลดลงทั้งในกรณีของจุดสมดุลและกรณีของผลเฉลยแบบต่าง ๆ ของปัญหาการต่อรองเนื่องจากการเรียกในระดับที่ 0 มีลำดับความสำคัญสูงกว่าการเรียกในระดับที่ 1 ดังนั้นการเรียกในระดับที่ 0 จึงสามารถผ่านเงื่อนไขในการควบคุมการตอบรับการเรียกได้ง่ายกว่าการเรียกในระดับที่ 1 รูปที่ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราประโยชน์รวมที่ได้จากผลเฉลยแบบต่างๆ เทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ พบว่าผลเฉลยของ Nash และผลเฉลยของ modified Thomson ให้ค่าอัตราประโยชน์รวมสูงกว่าผลเฉลยของ Raiffa และจุดสมดุลตลอดช่วงของอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ที่พิจารณา เนื่องจากคุณสมบัติของผลเฉลยของ modified Thomson ซึ่งพยายามเพิ่มค่าอัตราประโยชน์รวมของปัญหาการต่อรองที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐาน, $|u' + v'|$, ให้มีค่าสูงที่สุด นอกจากนั้นจะสังเกตเห็นว่า ค่าอัตราประโยชน์รวมของผลเฉลยทุกแบบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการ



รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบค่า Fairness index ที่ได้จากจุดสมดุลและจากผลเฉลยแบบต่าง ๆ ของปัญหาการต่อรอง

มาถึงของการเรียกใหม่มีค่าเพิ่มขึ้นและเริ่มมีค่าคงที่เมื่อ $\Lambda \geq 0.9$

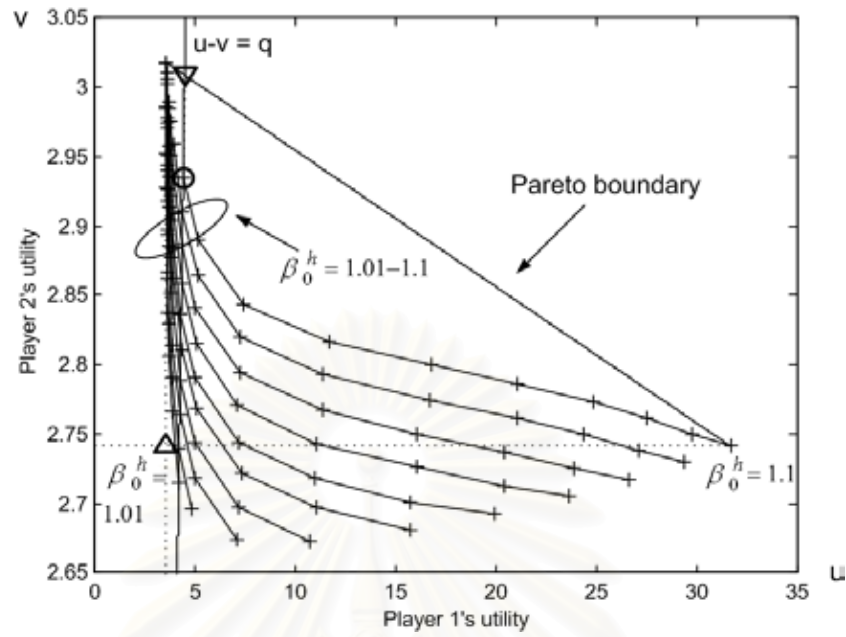
รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่า Fairness index ที่ได้จากผลเฉลยแบบต่าง ๆ พบว่าค่า Fairness index ที่ได้จากผลเฉลยแบบต่าง ๆ มีค่าสอดคล้องกับค่าอรรถประโยชน์ที่ได้จากผลเฉลยแบบต่าง ๆ ในรูปที่ 4.21 ตามแนวคิดเรื่องความเท่าเทียมของค่า Fairness index (ยิ่งค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นอยู่ใกล้กันมากขึ้น ยิ่งทำให้ค่า fairness index มีค่าเพิ่มขึ้น) ดังนั้นเมื่อ $\Lambda \leq 0.4$ ค่า Fairness index ของผลเฉลยของ Nash จึงมีค่ามากกว่าค่า Fairness index ของจุดสมดุลและผลเฉลยของ Raiffa แต่เมื่อ $\Lambda \geq 0.5$ ค่า Fairness index ของจุดสมดุลและผลเฉลยของ Raiffa จะมีค่ามากกว่าค่า Fairness index ของผลเฉลยของ Nash เนื่องจากค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นทั้งสองที่ได้จากผลเฉลยของ Nash มีลักษณะลู่เข้าหากันอย่างรวดเร็วและลู่ออกจากกันอย่างรุนแรงกว่าค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นทั้งสองที่ได้จากจุดสมดุลและผลเฉลยของ Raiffa ซึ่งเป็นผลมาจากการที่คุณสมบัติของผลเฉลยของ Raiffa ที่พยายามทำให้ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นทั้งสองของปัญหาการต่อรองที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐานมีค่าเท่ากันตรงกับแนวคิดเรื่องความเท่าเทียมของค่า Fairness index นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าค่า Fairness index ของผลเฉลยของ modified Thomson มีค่าต่ำกว่าค่า Fairness index ของผลเฉลยของ Nash ในช่วง $0.4 \leq \Lambda \leq 0.5$ ก่อนที่จะมีค่าเท่ากันเมื่อ $\Lambda \geq 0.6$ เนื่องจากค่าอรรถประโยชน์

ของผู้เล่นทั้งสองที่ได้จากผลเฉลยของ modified Thomson มีการลู่ออกจากกันอย่างรุนแรงในช่วง $0.4 \leq \Lambda \leq 0.5$ เพื่อเพิ่มค่าอรรถประโยชน์รวมของปัญหาการต่อรองที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐานให้มีค่าสูงที่สุดตามคุณสมบัติของผลเฉลยของ modified Thomson ก่อนที่จะมีค่าเท่ากับผลเฉลยของ Nash เนื่องจากผลของมุมที่เกิดขึ้นบนขอบเขตพาราโวดังที่ได้อธิบายผ่านมา อย่างไรก็ตามผลเฉลยทุกแบบที่พิจารณามีคุณสมบัติเรื่องความเท่าเทียมตามสัญพจน์ของความเท่าเทียมแบบต่าง ๆ โดยผู้ใช้สามารถเลือกใช้ผลเฉลยที่มีคุณสมบัติเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมเหมาะสมกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกที่ต้องการ

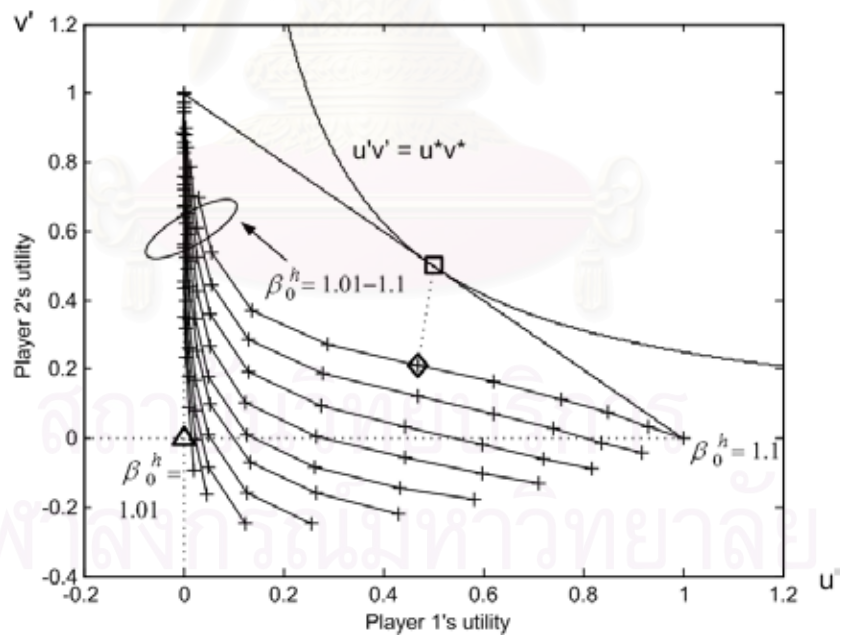
เพื่อแสดงประโยชน์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ในที่นี้จะเปรียบเทียบวิธีที่เสนอกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกใน [32] พบว่า วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกใน [32] เลือกค่าพารามิเตอร์ $\beta_0^h, \beta_1^h, \beta_0^n$ และ β_1^n บนพื้นฐานของลำดับความสำคัญของบริการแต่ละระดับ โดยค่าพารามิเตอร์ $\beta_0^h, \beta_1^h, \beta_0^n$ และ β_1^n จะต้องสามารถรับประกันลำดับความสำคัญที่ถูกต้องได้ นอกจากนี้วิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกใน [32] ได้เสนอแนะว่าค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าน้อย ๆ จะสามารถเพิ่มค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ ในที่นี้วิธีการที่เสนอจะนำวิธีเลือกค่าพารามิเตอร์ใน [32] มาใช้กำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 จากผลการทดสอบ พบว่าจุดสมดุลของเกมไม่ร่วมมือและผลเฉลยของ Raiffa ของปัญหาการต่อรองสอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นในเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกใน [32] จึงมีค่าเท่ากับค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากจุดสมดุลและผลเฉลยของ Raiffa อย่างไรก็ตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากจุดสมดุลและผลเฉลยของ Raiffa มีคุณสมบัติของความเท่าเทียมตามนิยามของเกมไม่ร่วมมือและสัญพจน์ของความเท่าเทียม ในขณะที่วิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกใน [32] ไม่ได้กล่าวถึงประเด็นในเรื่องของความเท่าเทียม นอกจากนี้พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากผลเฉลยของ Nash และผลเฉลยของ modified Thomson ของปัญหาการต่อรองให้ค่าอรรถประโยชน์รวมมากกว่าวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกใน [32] และในขณะเดียวกันก็สามารถให้ความเท่าเทียมโดยคุณสมบัติของผลเฉลยที่สอดคล้องกับสัญพจน์ของความเท่าเทียม

4.2.3 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลในกรณีที่ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคือค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง

ในหัวข้อนี้จะศึกษาผลการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] เมื่อค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 คือค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสำหรับการเรียกในระดับที่ 0 และค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 2 คือค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาลงสำหรับการเรียกในระดับที่ 1 [67] สาเหตุที่ไม่กำหนดให้ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 และ 2



รูปที่ 4.24 บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ, ผลเฉลยของเกรร่วมมือและผลเฉลยของเกมนอกร่วมมือ, $\Lambda = 0.3$



รูปที่ 4.25 บริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือของปัญหาการต่อรองที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐานและผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของ Nash, $\Lambda = 0.3$

คือค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 สำหรับการเรียกในระดับที่ 0 และ 1 ในข่ายเชื่อมโยงเดียวกันเนื่องจากค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 สำหรับการเรียกในระดับที่ 0 และ 1 ในข่ายเชื่อมโยงเดียวกันมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปในทิศทางเดียวกันเมื่อกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้งสอง (β_0^h, β_1^h) มีค่าเปลี่ยนแปลงไป ไม่มีลักษณะของการขัดแย้งในผลประโยชน์ จึงไม่เหมาะกับการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกม

วิเคราะห์ผลการทดสอบบนพื้นฐานของทฤษฎีเกมโดยการพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นทั้ง 2 คนบนปริภูมิของค่าอรรถประโยชน์สำหรับระบบที่มีการแบ่งแบนด์วิดท์แบบ AB เมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ $\Lambda = 0.3$ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ซึ่งจุดต่าง ๆ เหล่านี้จะประกอบกันเป็นบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ จากวิธีการกำหนดเขตของกลยุทธ์ของผู้เล่นสำหรับวิธิตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 จะได้ค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของเขตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 มีค่าเท่ากับ $\beta_0^h = 1.01$ และ $\beta_1^h = 1.02$ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ $\beta_0^n = 1.03$ และ $\beta_1^n = 1.04$ เช่นเดียวกันกับกรณีที่พิจารณาเกมเมื่อค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ จากรูปที่ 4.24 สำหรับ β_0^h แต่ละค่าของผู้เล่นคนที่ 1 ผู้เล่นคนที่ 2 สามารถตอบสนองด้วยค่า β_1^h ที่แตกต่างกันภายในเขตของกลยุทธ์ของตนซึ่งจะทำให้ได้กราฟความสัมพันธ์บนปริภูมิของค่าอรรถประโยชน์ รูปที่ 4.24 แสดงกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวเมื่อ $\beta_0^h \in [1.01, 1.1]$ (เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.01) ในที่นี้กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ค่าสุดท้ายของเขตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 มีค่าเท่ากับ $\beta_0^h = 1.1$ และ $\beta_1^h = 1.11$ ดังนั้นจะได้ขอบเขตพาเรโตเป็นเส้นตรงที่ต่อจุดที่สอดคล้องกับ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.11$ และ $\beta_0^h = 1.1, \beta_1^h = 1.02$

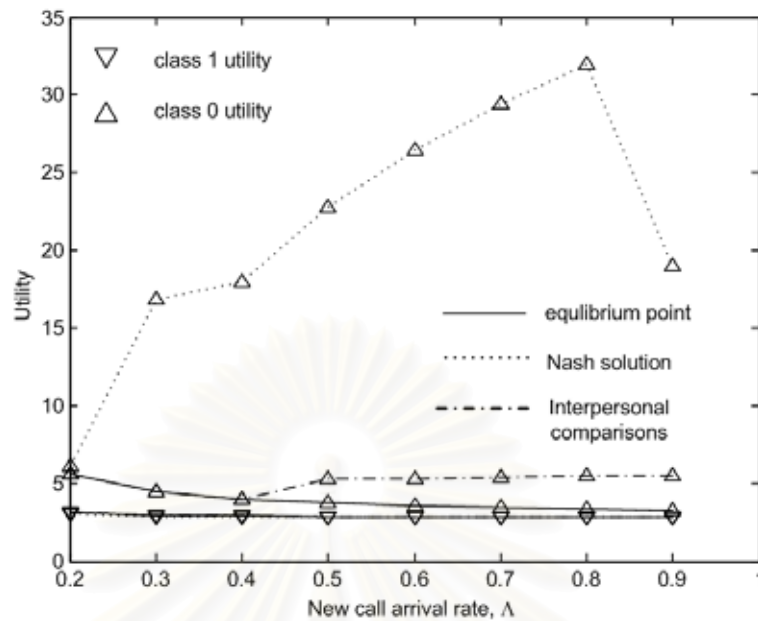
เมื่อพิจารณาเกมในรูปแบบของเมตริกซ์และจากนิยามของจุดสมดุล จะได้จุดสมดุลของเกมไม่ร่วมมือคือจุดวงกลมในรูปที่ 4.24 ซึ่งสอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ $\beta_0^h = 1.1, \beta_1^h = 1.11$ ที่เป็นคู่กลยุทธ์ที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับผู้เล่นทั้ง 2 คนพร้อมกัน ต่อไปเมื่อพิจารณาเกมร่วมมือและหาผลเฉลยโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่น คำนวณค่าการได้ประโยชน์สัมพัทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 $d(\beta_0^h, \beta_1^h) = u(\beta_0^h, \beta_1^h) - v(\beta_0^h, \beta_1^h)$ สำหรับกลยุทธ์ (β_0^h, β_1^h) แต่ละคู่ จะสามารถหาค่า q ที่สอดคล้องกับเงื่อนไข $u(\beta_0^{h'}, \beta_1^{h'}) - v(\beta_0^{h'}, \beta_1^{h'}) \geq q, \forall \beta_1^{h'}$ และ $u(\beta_0^h, \beta_1^{h'}) - v(\beta_0^h, \beta_1^{h'}) \leq q, \forall \beta_0^h$ ได้เท่ากับ $d(1.01, 1.02)$ ผลเฉลยของเกมคือจุดตัดของเส้นการได้ประโยชน์สัมพัทธ์คงที่ ($u - v = q$) กับขอบเขตของพาเรโตซึ่งคือจุดสามเหลี่ยมคว่ำในรูปที่ 4.24 อย่างไรก็ตามผลเฉลยที่ได้ไม่สอดคล้องกับกลยุทธ์แท้ (β_0^h, β_1^h) ที่อยู่ในเขตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 (ผลเฉลยที่ได้สอดคล้องกับกลยุทธ์แบบสุ่มซึ่งเป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นระหว่าง $\beta_0^h = 1.1, \beta_1^h = 1.02$ กับ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.11$) เนื่องจากในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาเฉพาะกลยุทธ์แท้ ดังนั้นเพื่อหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ จึงกำหนดให้จุดที่อยู่ใกล้กับจุดสามเหลี่ยมคว่ำมากที่สุดเป็นผลเฉลยของเกม จากรูปที่ 4.24 พบว่าจุดที่อยู่ใกล้กับจุดสามเหลี่ยมคว่ำมากที่สุดสอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ $\beta_0^h = 1.1, \beta_1^h =$

1.11 ซึ่งก็คือจุดวงกลม ดังนั้นจุดวงกลมจึงถูกเลือกเป็นผลเฉลยของเกมร่วมมือเมื่อใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่น

ต่อไปพิจารณาเกมร่วมมือและหาผลเฉลยโดยใช้วิธีปัญหาการต่อรอง กำหนดให้ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 ที่ตรงกับจุดปลายของขอบเขตของพาเรโตเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรอง ดังนั้นจากรูปที่ 4.24 ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 ที่ $\beta_0^h = 1.01$, $\beta_1^h = 1.11$ และค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 2 ที่ $\beta_0^h = 1.1$, $\beta_1^h = 1.02$ จะถูกเลือกให้เป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรองซึ่งแสดงด้วยจุดสามเหลี่ยมตั้งในรูปที่ 4.24 จากนั้นพิจารณาปัญหาการต่อรองที่ถูกทำให้เป็นบรรทัดฐาน, (Z', z'_0) , ซึ่งมีบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือดังแสดงในรูปที่ 4.25 จากนิยามของผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของ Nash ถ้ากำหนดให้ผลเฉลยของ Nash แทนด้วย (u^*, v^*) กราฟ Hyperbola $\{(u, v) \in \mathbb{R}^2 \mid uv = u^*v^*\}$ จะสัมผัสกับบริเวณผลลัพธ์ความร่วมมือ Z' ที่ผลเฉลยของ Nash ซึ่งแสดงด้วยจุดสี่เหลี่ยมในรูปที่ 4.25 เช่นเดียวกันกับกรณีของผลเฉลยของเกมร่วมมือเมื่อใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่น พบว่าผลเฉลยของ Nash ไม่สอดคล้องกับกลยุทธ์แท้ (β_0^h, β_1^h) ที่อยู่ในเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นคนที่ 1 และคนที่ 2 ดังนั้นจึงกำหนดให้จุดที่อยู่ใกล้กับจุดสี่เหลี่ยมมากที่สุดเป็นผลเฉลยของเกม จากรูปที่ 4.25 พบว่าจุดที่อยู่ใกล้กับจุดสี่เหลี่ยมมากที่สุดสอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ $\beta_0^h = 1.1$, $\beta_1^h = 1.07$ ซึ่งก็คือจุด diamond ดังนั้นจุด diamond จึงถูกเลือกเป็นผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของ Nash

ต่อไปเมื่อพิจารณาเกมในกรณีที่ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 คือค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาลงสำหรับการเรียกในระดับที่ 0 และค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 2 คือค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสำหรับการเรียกในระดับที่ 1 พบว่าผลเฉลยของเกมร่วมมือเมื่อใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่นและผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของ Nash สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ค่าเดียวกันหรือใกล้เคียงกันกับกรณีของเกมที่ใช้ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นแบบที่ 1 เนื่องจากค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (ขาลง) สำหรับการเรียกในระดับที่ 0 และระดับที่ 1 มีคุณลักษณะและการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาผลการทดสอบเฉพาะในกรณีที่ใช้ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นแบบที่ 1 ได้

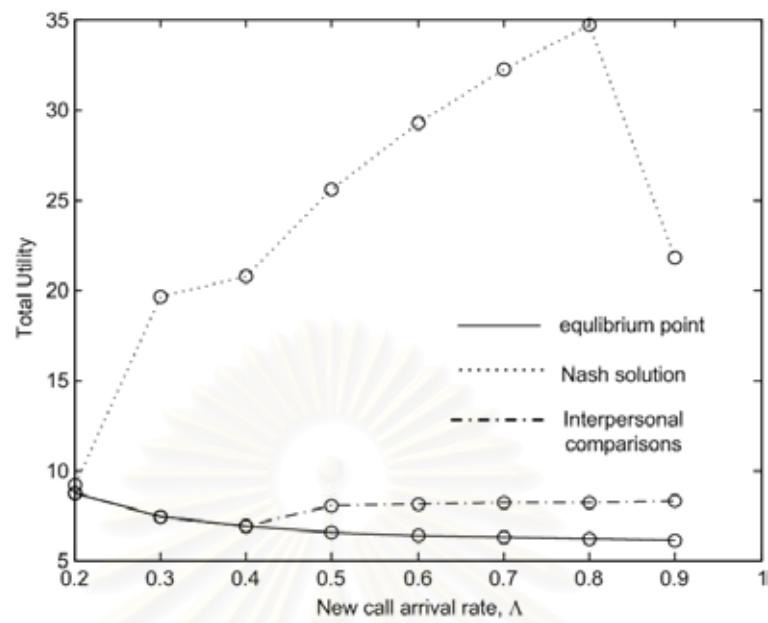
ศึกษาผลจากการเปลี่ยนอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ที่มีต่อผลเฉลยของเกมร่วมมือและเกมไม่ร่วมมือ พบว่าจุดสมดุลที่อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ค่าอื่นๆ $\Lambda \in [0.2, 0.9]$ สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ค่าเดียวกันกับเมื่อ $\Lambda = 0.3$ ($\beta_0^h = 1.1$, $\beta_1^h = 1.11$) รูปที่ 4.26 แสดงค่าอรรถประโยชน์ที่ได้จากจุดสมดุล, จากผลเฉลยของเกมร่วมมือเมื่อใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่นและผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของ Nash เทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ จะสังเกตได้ว่าค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 2 ของผลเฉลยทั้งหมดมีค่าเริ่มต้นที่ประมาณ 3 และมีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ที่ได้จากจุดสมดุล, จากผลเฉลยของเกมนร่วมมือเมื่อใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่น และผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของ Nash

น้อยมากในช่วงอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ที่พิจารณา ในขณะที่ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 ที่ได้จากผลเฉลยแบบต่าง ๆ มีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 ที่ได้จากผลเฉลยของ Nash มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากประมาณ 6 ไปจนถึงเกือบ 33 ที่ $\Lambda = 0.8$ ก่อนที่จะลดลงมาถึงประมาณ 19 ที่ $\Lambda = 0.9$ ในทางตรงกันข้าม ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 ที่ได้จากจุดสมดุลมีค่าเริ่มต้นที่ประมาณ 6 และมีค่าลดลงทีละน้อยอย่างต่อเนื่อง สำหรับค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 ที่ได้จากผลเฉลยของเกมนร่วมมือเมื่อใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่นจะอยู่ที่จุดเดียวกันกับจุดสมดุลในช่วง $\Lambda \in [0.2, 0.4]$ และมีค่าเพิ่มขึ้นช้า ๆ ถึงประมาณ 5.5 ที่ $\Lambda = 0.9$ ดังนั้นจากผลการทดสอบจึงสรุปได้ว่าผลเฉลยของ Nash ให้ค่าอรรถประโยชน์รวมมากกว่าจุดสมดุลและผลเฉลยของเกมนร่วมมือเมื่อใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่นเป็นอย่างมากดังแสดงในรูปที่ 4.27 ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นอย่างมากของค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 ที่ได้จากผลเฉลยของ Nash ในขณะที่ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 2 มีค่าลดลงน้อยมาก

จากรูปที่ 4.26 จะสังเกตได้ว่าค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 ที่ได้จากผลเฉลยของ Nash เริ่มมีค่าลดลงเมื่อ $\Lambda = 0.9$ เนื่องจากผลเฉลยของ Nash จะเริ่มลู่เข้าสู่จุดเดียวกันกับจุดสมดุลเมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่มีค่าเพิ่มมากขึ้นมาก ๆ เช่นเดียวกันกับกรณีเกมของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.8 - 4.11 ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าอรรถประโยชน์รวมที่ได้จากผลเฉลยของ



รูปที่ 4.27 การเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์รวมที่ได้จากจุดสมดุล, จากผลเฉลยของเกมร่วมมือเมื่อใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่นและผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของ Nash

Nash เริ่มมีค่าลดลงด้วยเมื่อ $\Lambda = 0.9$ ดังแสดงในรูปที่ 4.27

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่แบบมัลติมีเดียที่พิจารณากรณีกราฟฟิกระหว่างข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงเป็นแบบอสมมาตรเพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์ทรัพยากรในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและในขณะเดียวกันก็สามารถให้ความเท่าเทียมแก่บริการในระดับต่าง ๆ รวมทั้งรับประกันลำดับความสำคัญที่ถูกต้องของบริการแต่ละระดับ โดยเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการตอบรับการเรียกที่เหมาะสมจากผลเฉลยของเกมในรูปแบบต่าง ๆ นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้เสนอการประยุกต์ใช้แนวคิดของตัวประกอบโหลดกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] รวมทั้งเสนอวิธีการประมาณค่าเพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ โดยสามารถลดการคำนวณเงื่อนไขที่ใช้ในการควบคุมการตอบรับการเรียกจากจำนวน $2L$ เงื่อนไขตามวิธีการที่เสนอใน [32] (L คือจำนวนระดับของบริการทั้งหมดในระบบ) เหลือเพียง 2 เงื่อนไขในขณะที่สามารถให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] ในแง่ของค่าที่ใช้วัดสมรรถนะแบบต่าง ๆ ดังแสดงในผลการทดสอบหัวข้อที่ 4.2.2 เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการสรุปสาระสำคัญของวิธีการที่เสนอ, ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลในบทที่ 4 รวมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไปในอนาคต

5.1 บทสรุป

รูปแบบของเกมที่เสนอสำหรับใช้จำลองปัญหาของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียก

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จำลองปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกให้เป็นเกมตามหลักการของทฤษฎีเกม [58], [59], [60] โดยพิจารณาให้การเรียกของบริการแต่ละระดับแทนผู้เล่นแต่ละคนในเกม ผู้เล่นแต่ละคนต่างก็ต้องการเลือกกลยุทธ์ที่ให้ค่าอรรถประโยชน์ (ปริมาณที่แสดงความพึงพอใจที่มีต่อผลลัพธ์ของเกม) สูงที่สุดแก่ตนเอง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณาฟังก์ชันอรรถประโยชน์ของผู้เล่น 3 แบบคือค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์, ผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักระหว่างความน่าจะเป็นของการตอบรับการเรียกใหม่กับความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟสำเร็จ และค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง กำหนดให้กลยุทธ์ของผู้เล่นเป็นเซตของค่าสัมประสิทธิ์ของแบนด์วิดท์ที่ถูกกัน, Δ_i , สำหรับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 และเป็นเซตของค่าพารามิเตอร์สำหรับการร้องขอการเรียกจากการแฮนด์ออฟ, β_i^h , สำหรับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 เราสามารถหากลยุทธ์ของผู้เล่นที่ให้ความเท่าเทียมและมีประสิทธิภาพได้จากผลเฉลย

ของเกม โดยผลเฉลยของเกมไม่ร่วมมือคือจุดสมดุล และผลเฉลยของเกมร่วมมือคือผลเฉลยของปัญหาการต่อรอง (ผลเฉลยของ Nash, ผลเฉลยของ Raiffa และผลเฉลยของ modified Thomson) หรือผลเฉลยของวิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่น ขั้นตอนการจำลองปัญหาของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกให้เป็นเกมสามารถเขียนในรูป Flow chart ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ผลการทดสอบที่ได้จากเกมที่จำลองจากวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1

พิจารณาผลเฉลยของเกมไม่ร่วมมือที่อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ค่าต่าง ๆ พบว่ามีจุดสมดุลเพียงจุดเดียวทั้งในกรณีที่ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบบดัดจริตหรือกรณีที่ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคือผลรวมแบบถ่วงน้ำหนักของความน่าจะเป็นของการตอบรับการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟสำเร็จ โดยจุดสมดุลจะสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์เริ่มต้น, Δ_i , ของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2 ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเท่ากันและมีค่าน้อยที่สุดที่ยังสามารถรับประกันลำดับความสำคัญที่ถูกต้องของบริการแต่ละระดับได้

พิจารณาผลเฉลยของเกมร่วมมือ พบว่าผลเฉลยของวิธีการเปรียบเทียบค่าอรรถประโยชน์ระหว่างผู้เล่นจะสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์ค่าเดียวกันกับค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดสมดุลเนื่องจากเกมไม่ร่วมมือแบบ zero sum ระหว่างผู้เล่น 2 คนเมื่อค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการได้ประโยชน์สัมพัทธ์มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นเหมือนกันกับเกมไม่ร่วมมือในรูปแบบปกติ และพบว่าผลเฉลยของ Nash ของปัญหาการต่อรองเมื่อจุด maximin เป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรองเป็นจุดเดียวกันกับจุด maximin เนื่องจากจุด maximin อยู่ที่จุดเดียวกันกับจุดสมดุลซึ่งอยู่บนขอบเขตพาเรโต ดังนั้นผลเฉลยของ Nash เมื่อจุด maximin เป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรองจึงสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์ค่าเดียวกันกับค่าสัมประสิทธิ์ที่จุดสมดุลด้วยเช่นกัน แต่พบว่าผลเฉลยของ Nash เมื่อจุดกำเนิดเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรองไม่ได้อยู่ที่จุดเดียวกันกับจุดสมดุลและให้ค่าอรรถประโยชน์รวมมากกว่าจุดสมดุลเมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่มีค่าเปลี่ยนแปลงไป

จากผลการทดสอบ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากจุดสมดุลมีค่าเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์จากข้อเสนอแนะของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกใน [31] แต่วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกใน [31] ไม่ได้กล่าวถึงประเด็นเรื่องความเท่าเทียม ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากจุดสมดุล มีคุณสมบัติเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมตามนิยามของจุดสมดุลของเกมไม่ร่วมมือ นอกจากนี้พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากผลเฉลยของ Nash ให้ค่าอรรถประโยชน์รวมสูงกว่าวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกใน [31] และขณะเดียวกันก็มีคุณสมบัติเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมตามสัจพจน์ของความเท่าเทียม

ผลการทดสอบที่ได้จากเกมที่จำลองจากวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2

พบว่าวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่เสนอซึ่งมีการประยุกต์ใช้แนวคิดของตัวประกอบโหลดและการประมาณค่าเพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ สามารถให้ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ใกล้เคียงกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] ในขณะที่ให้ค่าความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวและความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่ต่ำกว่าวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ใน [32] และได้ผลการทดสอบจากการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมดังนี้

- กรณีที่ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์

พิจารณาผลเฉลยของเกมไม่ร่วมมือที่อัตราการมาถึงของการเรียกใหม่ค่าต่าง ๆ พบว่ามีจุดสมดุลเพียงจุดเดียวและสอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2 ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่สามารถรับประกันลำดับความสำคัญที่ถูกต้องของบริการแต่ละระดับได้และให้ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์สูง

พิจารณาผลเฉลยของเกมร่วมมือ พบว่าผลเฉลยของวิธีการเปรียบเทียบค่าอัตราประโยชน์ระหว่างผู้เล่นจะสอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ค่าเดียวกันกับค่าพารามิเตอร์ที่จุดสมดุล พิจารณาผลเฉลยแบบต่างๆ ของปัญหาการต่อรองเมื่อจุดกำเนิดเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาการต่อรอง พบว่าเมื่ออัตราการมาถึงของการเรียกใหม่มีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยส่วนใหญ่ผลเฉลยของ Raiffa จะอยู่ที่จุดเดียวกันกับจุดสมดุล และผลเฉลยของ Nash จะอยู่ที่จุดเดียวกันกับผลเฉลยของ modified Thomson นอกจากนี้พบว่าผลเฉลยของ Nash และผลเฉลยของ modified Thomson จะให้ค่าอัตราประโยชน์รวมสูงกว่าผลเฉลยของ Raiffa และจุดสมดุล ในขณะที่ผลเฉลยของ Raiffa และจุดสมดุลจะให้ค่า Fairness index สูงกว่าผลเฉลยของ Nash และผลเฉลยของ modified Thomson อย่างไรก็ตามผลเฉลยทุกแบบที่พิจารณามีคุณสมบัติเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมตามแนวคิดของสัจพจน์ของความเท่าเทียมในรูปแบบต่าง ๆ กัน

จากผลการทดสอบ พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากจุดสมดุลและผลเฉลยของ Raiffa มีค่าเท่ากับค่าพารามิเตอร์จากข้อเสนอแนะของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกใน [32] แต่วิธีควบคุมการตอบรับการเรียกใน [32] ไม่ได้กล่าวถึงประเด็นเรื่องความเท่าเทียม ในขณะที่ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากจุดสมดุลและผลเฉลยของ Raiffa มีคุณสมบัติเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมตามนิยามของจุดสมดุลของเกมไม่ร่วมมือและสัจพจน์ของความเท่าเทียม นอกจากนี้พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากผลเฉลยของ Nash และผลเฉลยของ modified Thomson ให้ค่าอัตราประโยชน์รวมสูงกว่าวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกใน [32] และขณะเดียวกันก็มีคุณสมบัติเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมตามสัจพจน์ของความเท่าเทียม

- กรณีที่ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคือค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลง

พิจารณาเกมในกรณีที่ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 คือค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสำหรับการเรียกในระดับที่ 0 และค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 2 คือค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาลงสำหรับการเรียกในระดับที่ 1 พบว่ามีจุดสมดุลของเกมไม่ร่วมมือเพียงจุดเดียวและสอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ค่าสุดท้ายของเซตของกลยุทธ์ของผู้เล่นทั้ง 2 ซึ่งเป็นค่าอัตราประโยชน์สูงสุดสำหรับผู้เล่นทั้ง 2 คนพร้อมกัน

พิจารณาผลเฉลยของเกมร่วมมือ พบว่าผลเฉลยของวิธีการเปรียบเทียบค่าอัตราประโยชน์ระหว่างผู้เล่นและผลเฉลยของ Nash ของปัญหาการต่อรองไม่สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ที่อยู่ในเซตของกลยุทธ์แท้ของผู้เล่น ดังนั้นจึงกำหนดให้จุดที่อยู่ใกล้กับผลเฉลยมากที่สุดเป็นผลเฉลยของเกมแทน ซึ่งจะพบว่าผลเฉลยของ Nash จะให้ค่าอัตราประโยชน์รวมมากกว่าจุดสมดุลและผลเฉลยของเกมร่วมมือโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอัตราประโยชน์ระหว่างผู้เล่นเป็นอย่างมาก เนื่องจากการเพิ่มขึ้นอย่างมากของค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 ในขณะที่ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 2 มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาเกมในกรณีที่ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 1 คือค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาลงสำหรับการเรียกในระดับที่ 0 และค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นคนที่ 2 คือค่าเฉลี่ยของ E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นสำหรับการเรียกในระดับที่ 1 พบว่าผลเฉลยของเกมร่วมมือโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าอัตราประโยชน์ระหว่างผู้เล่นและผลเฉลยของปัญหาการต่อรองของ Nash สอดคล้องกับค่าพารามิเตอร์ค่าเดียวกันหรือใกล้เคียงกันกับกรณีของเกมที่ใช้ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นแบบที่ 1 เนื่องจากค่า E_b/N_0 ในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น (ขาลง) สำหรับการเรียกในระดับที่ 0 และระดับที่ 1 มีคุณลักษณะและการเปลี่ยนแปลงเหมือนกัน ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาผลการทดสอบเฉพาะในกรณีที่ใช้ค่าอัตราประโยชน์ของผู้เล่นแบบที่ 1 ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ที่รองรับการให้บริการมากกว่า 2 ระดับ

จำลอง ปัญหา เรื่อง ประสิทธิภาพ และ ความเท่าเทียม ของ วิธี ควบคุม การ ตอบรับ การ เรียก สำหรับ บริการมากกว่า 2 ระดับให้เป็นเกมที่มีจำนวนผู้เล่นมากกว่า 2 คน และสามารถหาผลเฉลยของเกมร่วมมือได้จากผลเฉลยของ Nash ซึ่งเป็นผลเฉลยที่ได้จากการร่วมมือกันของผู้เล่นทั้งหมด หรือหาผลเฉลยโดยการวิเคราะห์ผลจากการร่วมมือกันของผู้เล่นทั้งหมดและผู้เล่นภายในกลุ่มย่อยของผู้เล่นทั้งหมด (coalitional analysis) ทั้งนี้ความซับซ้อนในการคำนวณค่าที่ใช้วัดสมรรถนะของวิธี

ตารางที่ 5.1 แสดงผลสรุปที่ได้จากการทดสอบและการวิเคราะห์ผลของเกมที่กำลังจากปัญหาของวิธี
ควบคุมการตอบรับการเรียก

ประเด็นเปรียบเทียบ	เกมของ CAC ประเภทที่ 1		เกมของ CAC ประเภทที่ 2	
ฟังก์ชันอรรถประโยชน์	ค่า การ ใช้ประโยชน์ แบนด์วิดท์	$1 - P_{b,i}$	ค่า การ ใช้ประโยชน์ แบนด์วิดท์	ค่าเฉลี่ย ของ E_b/N_0
จุดสมดุล	มี 1 จุด และ สอดคล้อง กับ ค่า Δ_i เริ่มต้น ของ เซต ของ กลยุทธ์ ของผู้เล่นทั้ง 2	มี 1 จุด และ สอดคล้อง กับ ค่า Δ_i เริ่มต้น ของ เซต ของ กลยุทธ์ ของผู้เล่นทั้ง 2	มี 1 จุด ซึ่ง สอดคล้อง กับ ค่า β_i^h เริ่มต้น ของ เซต ของ กลยุทธ์ ของ ผู้ เล่น ทั้ง 2 และ ให้ ค่า Fairness index สูง กว่า ผล เฉลย ของ Nash	มี 1 จุด และ สอดคล้อง กับ ค่า β_i^h สุดท้าย ของ เซต ของ กลยุทธ์ ของผู้เล่นทั้ง 2
วิธีการ เปรียบเทียบ ค่า อรรถประโยชน์ ระหว่าง ผู้เล่น	อยู่ที่ จุด เดียวกัน กับจุดสมดุล	อยู่ที่ จุด เดียวกัน กับจุดสมดุล	อยู่ที่ จุด เดียวกัน กับจุดสมดุล	อยู่ที่ จุด เดียวกัน หรือใกล้เคียงกัน กับจุดสมดุล
ผลเฉลยของ Nash	ให้ ค่า อรรถประโยชน์ รวม สูง กว่า จุด สมดุล	ให้ ค่า อรรถประโยชน์ รวม สูง กว่า จุด สมดุล	ให้ ค่า อรรถประโยชน์ รวม สูง กว่า จุด สมดุล	ให้ ค่า อรรถประโยชน์ รวม สูง กว่า จุด สมดุล
ผลเฉลยของ Raiffa	<i>future study</i>	<i>future study</i>	ให้ค่า Fairness index สูงที่สุด และ ใกล้เคียง กับ จุดสมดุล	<i>future study</i>
ผลเฉลยของ modified Thomson	<i>future study</i>	<i>future study</i>	ให้ ค่า อรรถประโยชน์ รวม สูง ที่สุด และ ใกล้เคียง กับ ผล เฉลยของ Nash	<i>future study</i>

ควบคุมการตอบรับการเรียกสำหรับบริการมากกว่า 2 ระดับจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นจึงควรหาวิธีที่เหมาะสมเพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณด้วยเช่น การกำหนดค่าพารามิเตอร์ชุดใหม่ในแบบจำลองของระบบเพื่อลดขนาด state space หรือใช้การจำลองแบบ (Simulation) แทนการคำนวณจากสูตร

- **ศึกษาข้อกำหนดของเกมในรูปแบบอื่น ๆ**

กำหนดค่าอรรถประโยชน์หรือกลยุทธ์ของผู้เล่นในรูปแบบอื่น ๆ นอกเหนือจากที่ได้ศึกษามาเช่น ในกรณีของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 กำหนดให้ค่าอรรถประโยชน์ของผู้เล่นเป็นฟังก์ชันของความน่าจะเป็นในการเกิดสัญญาณขาดหาย (outage probability) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัดสมรรถนะของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกอีกชนิดหนึ่ง หรือกำหนดกลยุทธ์ของผู้เล่นเป็นความน่าจะเป็นในการตอบรับการเรียกในสถานะแต่ละสถานะแทนการกำหนดเป็นค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ รวมทั้งอาจพิจารณากลยุทธ์แบบสุ่ม (randomized strategy) ซึ่งเป็นการแจกแจงความน่าจะเป็นบนเซตของกลยุทธ์แ่ดั่งที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.2.2.1

- **ประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมแบบอื่น ๆ**

ศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับปัญหาแบบอื่น ๆ เช่น การประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมกับการควบคุมกำลังในโครงข่ายสื่อสารไร้สาย [43] ซึ่งพิจารณาผู้ใช้ในระบบเป็นผู้เล่นของเกม โดยมีกลยุทธ์คือกำลังส่งสัญญาณของสถานีเคลื่อนที่ และค่าอรรถประโยชน์เป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด หรือพิจารณาการเข้าถึงช่องสัญญาณในระบบสื่อสารเป็นเกมไม่ร่วมมือมือ [48] ซึ่งผู้ใช้ในระบบเป็นผู้เล่นของเกม โดยมีกลยุทธ์คือความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูล และค่าอรรถประโยชน์คือค่าวิสัยสามารถ

- **ศึกษาแนวทางการแก้ปัญหาเรื่องประสิทธิภาพและความเท่าเทียมในรูปแบบอื่น ๆ**

ศึกษาและคิดค้นระเบียบวิธีอื่น ๆ นอกเหนือจากทฤษฎีเกม ที่สามารถให้ความเท่าเทียมแก่ผู้ใช้งานและเพิ่มประสิทธิภาพแก่ระบบ ซึ่งอาจเป็นวิธีการแก้ปัญหาในรูปแบบเฉพาะที่แตกต่างกันไปตามลักษณะของปัญหา โดยอาจใช้ค่า fairness index เป็นค่าที่ใช้วัดสมรรถนะในแง่ของความเท่าเทียม

รายการอ้างอิง

- [1] Huang, C. An analysis of CDMA 3G wireless communications standards. Proceeding of IEEE Vehicular Technologies Conference 1999 Spring Vol. 1 (May 1999): 342-345.
- [2] Ojanpera, T. and Prasad, R. Wideband CDMA for third generation mobile communications. Boston-London: Artech House, 1998.
- [3] Holma, H. and Toskala, A. WCDMA for UMTS radio access for third generation mobile communications. John Wiley and Sons, 2000.
- [4] Dixit, S. and Prasad, R. Wireless IP and Building the Mobile Internet. Artech House, 2003.
- [5] Lee, W. C. Y. Mobile Cellular Telecommunications, 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1995.
- [6] Jeong, D. G. and Jeon, W. S. CDMA/TDD system for wireless multimedia services with traffic unbalance between uplink and downlink. IEEE Journal on Selected Areas in Communications Vol. 17 No. 5 (May 1999): 939-946.
- [7] Jeong, D. G. and Jeon, W. S. Time slot allocation in CDMA/TDD systems for mobile multimedia services. IEEE Communications Letters Vol. 4 No. 2 (February 2000): 59-61.
- [8] Jeon, W. S. and Jeong, D. G. Comparison of time slot allocation strategies for CDMA/TDD systems. IEEE Journal on Selected Areas in Communications Vol. 18, No. 7 (July 2000): 1271-1278.
- [9] Yomo, H. and Hara, S. An up-link/ down-link asymmetric slot allocation algorithm in CDMA/ TDD-based wireless multimedia communications systems. Proceeding of IEEE Vehicular Technologies Conference 2001 Fall Vol. 2 (October 2001): 797-801.

- [10] Kim, D. and Jeong, D. G. Capacity unbalance between uplink and downlink in spectrally overlaid narrowband and wideband CDMA mobile systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 49 No. 4 (July 2000): 1086-1093.
- [11] Esmailzadeh, R., Nakagawa, M. and Sourour, E. Time-division duplex CDMA communications. IEEE Personal Communications Vol. 4 No. 2 (April 1997): 51-56.
- [12] Ross, K. W. and Tsang, D. D. K. Optimal circuit access policies in an ISDN environment: A markov decision approach. IEEE Transactions on Communications Vol. 37 No. 9 (September 1989): 934-939.
- [13] Oda, T. and Watanabe, Y. Optimal trunk reservation for a group with multislot traffic stream. IEEE Transactions on Communications Vol. 38 No. 7 (July 1990): 1078-1084.
- [14] Dziong, Z. and Mason, L. Call admission and routing in multiservice loss networks. IEEE Transactions on Communications Vol. 42 No. 2 Part 3 (April 1994): 2011-2022.
- [15] Levine, D. A., Akyildiz, I. F. and Naghshineh, M. A resource estimation and call admission algorithm for wireless multimedia networks using the shadow cluster concept. IEEE/ACM Transactions on Networking Vol. 5 No. 1 (Feb 1997): 1-12.
- [16] Oliveira, C., Kim, J. B. and Suda, T. An adaptive bandwidth reservation scheme for high-speed multimedia wireless networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications Vol. 16 No. 6 (August 1998): 858-874.
- [17] Ramanathan, P., Sivalingam, K. M., Agrawal, P. and Kishore, S. Resource allocation during handoff through dynamic schemes for mobile multimedia wireless networks. Proceeding of IEEE Computer and Communications Societies Conference 1999 Vol. 3 (March 1999): 1204-1211.

- [18] Zhang, Y. and Liu, D. An adaptive algorithm for call admission control in wireless networks. Proceeding of IEEE Global Telecommunications Conference 2001 Vol. 6 (November 2001): 3628 -3632.
- [19] Fang, Y. and Zhang, Y. Call admission control schemes and performance analysis in wireless mobile networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 51 No. 2 (March 2002): 371-382.
- [20] Hu, F. and Sharma, N. K. A novel CAC mechanism for guaranteeing QoS of multimedia traffic in next-generation wireless and mobile networks. Proceeding of IEEE International Conference on Communications 2001 Vol. 2 (June 2001): 417-421.
- [21] Chen, H., Kumar, S. and Kuo, C. C. J. Dynamic call admission control scheme for QoS priority handoff in multimedia cellular systems. Proceeding of IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2002 Vol. 1 (March 2002): 114-118.
- [22] Wang, J., Zeng, Q. A. and Agrawal, D. P. Performance analysis of a preemptive and priority reservation handoff scheme for integrated service-based wireless mobile networks. IEEE Transactions on Mobile Computing Vol. 2 No. 1 (January-March 2003): 65-75.
- [23] Huang, L., Kumar, S. and Kuo, C. C. J. Adaptive resource allocation for multimedia QoS management in wireless networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 53 No. 2 (March 2004): 547-558.
- [24] Li, B., Li, L., Li, Bo, Sivalingam, K. M. and Cao, X.-R. Call admission control for voice/data integrated cellular networks: performance analysis and comparative study. IEEE Journal on Selected Areas in Communications Vol. 22 No. 4 (May 2004): 706-718.

- [25] Shin, S. M., Cho, C. H. and Sung, D. K. Interference - based channel assignment for DS-CDMA cellular systems. IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 48 No. 1 (January 1999): 233-239.
- [26] Kim, K. and Han, Y. A call admission control scheme for multi-rate traffic based on total received power. IEICE Transactions on Communications Vol. E84-B No. 3 (March 2001): 457-463.
- [27] Liu, D. and Zhang, Y. Call admission control algorithms for DS-CDMA cellular network supporting multimedia services. Proceeding of 2002 IEEE International Conference on Multimedia and Expo 2002 Vol. 1 (August 2002): 33-36.
- [28] Li, F. Y. and Stol, N. A priority-oriented call admission control paradigm with QoS re-negotiation for multimedia services in UMTS. Proceeding of IEEE Vehicular Technologies Conference 2001 Spring Vol. 3 (May 2001): 2021-2025.
- [29] Chen, H., Kumar, S. and Kuo, C. C. J. Dynamic call admission control and resource reservation with interference guard margin (IGM) for CDMA systems. Proceeding of IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2003 Vol. 3 (March 2003): 1568-1572.
- [30] Zhang, G. Call admission control in the uplink for WCDMA TDD systems. Proceeding of the 5th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications Vol. 2 (October 2002): 616-620.
- [31] Jeon, W. S. and Jeong, D. G. Call admission control for mobile multimedia communications with traffic asymmetry between uplink and downlink. IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 50 No. 1 (January 2001): 59-66.
- [32] Jeon, W. S. and Jeong, D. G. Call admission control for CDMA mobile communications systems supporting multimedia services. IEEE Transactions on Wireless Communications Vol. 1 No. 4 (October 2002): 649-659.
- [33] Mason, L. Self-optimizing allocation systems. Ph.D. Thesis University of Saskatchewan, October 1972.

- [34] Mason, L. and Girard, A. Control techniques and performance models for circuit switched networks. Proceeding of IEEE Conference on Decision and Control (December 1982).
- [35] Mason, L. Equilibrium flows, routing patterns and algorithm for store and forward networks. Journal of Large Scale System Vol. 8 (1985): 187-209.
- [36] Douligeris, C. and Mazumdar, R. On pareto optimal flow control in integrated environments. Proceeding of the 25th Allerton Conference, University of Illinois, Urbana (October 1987).
- [37] Mazumdar, R., Mason, L. and Douligeris, C. Fairness in network optimal flow control: Optimality of product forms. IEEE Transactions on Communications Vol. 39 No. 5 (May 1991): 775-782.
- [38] Dziong, Z. and Mason, L. Fair-efficient call admission control policies for broadband networks – A game theoretic framework. IEEE/ACM Transactions on Networking Vol. 4 No. 1 (February 1996): 123-136.
- [39] Chang, X. and Subramanian, K. R. A cooperative game theory approach to resource allocation in wireless ATM networks. Proceeding of Networking 2000, Paris, France (2000).
- [40] Kelly, F. Charging and rate control for elastic traffic. European Transactions on Telecommunications Vol. 8 (1997): 33-37.
- [41] Yaiche, H., Mazumdar, R. and Rosenberg, C. A game theoretic framework for bandwidth allocation and pricing in broadband networks. IEEE/ACM Transactions on Networking Vol. 8 No. 5 (October 2000): 667-676.
- [42] Douligeris, C. Optimal flow control and fairness in communication networks: A game theoretic perspective. Ph.D. Dissertation Columbia University, New York, 1989.
- [43] Saraydar, C. U., Mandayam, N. B. and Goodman, D. J. Efficient power control via pricing in wireless data networks. IEEE Transactions on Communications Vol. 50 No. 2 (February 2002): 291-303.

- [44] Shah, V., Mandayam, N. B. and Goodman, D. J. Power control for wireless data based on utility and pricing. Proceeding of the 9th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Vol. 3 (September 1998): 1427-1432.
- [45] Krishnaswamy, D. Game theoretic formulations for network-assisted resource management in wireless networks. Proceeding of IEEE Vehicular Technologies Conference 2002 Fall Vol. 3 (September 2002): 1312-1316.
- [46] Xiao, M., Shroff, N. B. and Chong, E. K. P. A utility-based power-control scheme in wireless cellular systems. IEEE/ACM Transactions on Networking Vol. 11 No. 2 (April 2003): 210-221.
- [47] Cao, X. R., Shen, H. X., Milito, R. and Wirth, P. Internet pricing with a game theoretic approach: concepts and examples. IEEE/ACM Transactions on Networking Vol.10 No. 2 (April 2002): 208-216.
- [48] Jin, Y. and Kesidis, G. Equilibria of a noncooperative game for heterogeneous users of an ALOHA network. IEEE Communications Letters Vol. 6 No. 7 (July 2002): 282-284.
- [49] Jin, Y. and Kesidis, G. A pricing strategy for an ALOHA network of heterogeneous users with inelastic bandwidth requirements. Proceeding of CISS, Princeton (March 2002).
- [50] Xiao, Y., Chen, C. L. P. and Wang, Y. Fair bandwidth allocation for multi-class of adaptive multimedia services in wireless/mobile networks. Proceeding of IEEE Vehicular Technologies Conference 2001 Spring Vol. 3 (May 2001): 2081-2085.
- [51] Lombardo, A., Palazzo, S. and Schembra, G. Management of wireless ATM networks loaded by mobile ABR source traffic. Proceeding of IEEE Global Telecommunications Conference Vol. 5 (1999): 2758-2762.

- [52] Fang, Y., Chlamtac, I. and Lin, Y. -B. Modeling PCS Networks Under Genral Call Holding Time and Cell Residence Time Distributions. IEEE/ACM Transactions on Networking Vol.5 No. 6 (1998): 893-906.
- [53] Hong, D. and Rappaport, S. S. Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures. IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 35 No. 3 (August 1986): 77-92.
- [54] Faires, J. D. and Burden, R. L. Numerical methods. Boston : PWS Publishing Company, 1993.
- [55] Hou, J., Yang, J. and Papavassiliou, S. Integration of pricing with call admission control to meet QoS requirements in cellular networks. IEEE Transactions on Parallel and Distributed systems Vol.13 No. 9 (September 2002): 898-910.
- [56] Jain, R. K., Chiu, D. W. and Hawe, W. R. A quantitative measure of fairness and discrimination for allocation in shared computer system. DEC Tech. Rep. DEC-TR-301, 1984.
- [57] Aswakul, C. เอกสารประกอบการสอนวิชา Traffic Engineering and Queuing Theory. Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand.
- [58] Luce, D. and Raiffa, H. Games and decisions. New York: Wiley, 1957.
- [59] Binmore, K. Fun and games: A text on game theory. DC. Health and Company, Lexington, Massachusetts, Toronto,1992.
- [60] Myerson, R. B. Game theory: Analysis of conflict. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 1991.
- [61] Suksomboon, K., Aswakul, C., Wuttisittikulij, L. and Segkhoontod, S. Fair guaranteeing nominal utilization by trunk reservation policy using cooperative game theory. Proceeding of IEEE International Symposium on Communications and Information Technology Vol. 2 (October 2004): 801-806.

- [62] Cao, X. Preference functions and bargaining solutions. Proceeding of IEEE CDC-21 (December 1982): 164-171.
- [63] Virapanicharoen, J. and Benjapolakul, W. Fair-efficient guard bandwidth coefficients selection in call admission control for mobile multimedia communications using framework of game theory. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics Communications and Computer Sciences Vol. E88-A No. 9 (July 2005): 1869-1879.
- [64] Virapanicharoen, J. and Benjapolakul, W. Fair-Efficient Guard Bandwidth Coefficients Selection in Call Admission Control for Mobile Multimedia Communications using Game Theoretic Framework. Proceeding of IEEE International Conference on Communications (ICC 2004) Vol. 1 (June 2004): 80-84.
- [65] Virapanicharoen, J. and Benjapolakul, W. A Game Theoretic Approach to Call Admission Control in Mobile Multimedia Communications. Proceeding of IEEE TENCON 2004 Vol. 3 (November 2004): 160-163.
- [66] Virapanicharoen, J. and Benjapolakul, W. Fair-Efficient Threshold Parameters Selection in Call Admission Control for CDMA Mobile Multimedia Communications Using Game Theoretic Framework. Proceeding of IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2005) (January 2005): 439-444.
- [67] Virapanicharoen, J. and Benjapolakul, W. A Game Theoretic Framework for Call Admission Control in CDMA Mobile Multimedia Systems with Traffic Asymmetry between Uplink and Downlink. Proceeding of IEEE TENCON 2005 (November 2005).



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

เหตุผลในการประมาณค่าตามเงื่อนไข (3.18) และ (3.19)

จากนิยามของค่าตัวประกอบโพลต์ในชายเชื่อมโยงขาขึ้นและขาลงของการเรียกในระดับต่าง ๆ ในบทที่ 3 พบว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยนของการเรียกในระดับต่าง ๆ ทางขวามือของเงื่อนไขสำหรับควบคุมการตอบรับการร้องขอการเรียกใหม่ (3.16) และ (3.17) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\frac{1}{\beta_i^n} \cdot \left(\beta_i^n + \frac{W_{up}}{\gamma_k^{up} \alpha_k^{up} R_k^{up}} \right) / \left(1 + \frac{W_{up}}{\gamma_k^{up} \alpha_k^{up} R_k^{up}} \right) \text{ for } 0 \leq k \leq L - 1 \quad (\text{ก.1})$$

และ

$$\frac{1}{\beta_i^n} \cdot \left(\beta_i^n (1 - \rho) + \frac{W_{dw}}{\gamma_k^{dw} \alpha_k^{dw} R_k^{dw}} \right) / \left((1 - \rho) + \frac{W_{dw}}{\gamma_k^{dw} \alpha_k^{dw} R_k^{dw}} \right) \text{ for } 0 \leq k \leq L - 1 \quad (\text{ก.2})$$

โดยปกติค่า β_i^n ของการเรียกในระดับต่าง ๆ จะถูกกำหนดให้มีค่ามากกว่า 1 เล็กน้อย เพื่อให้ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ของระบบมีค่าสูง ดังนั้นจะได้

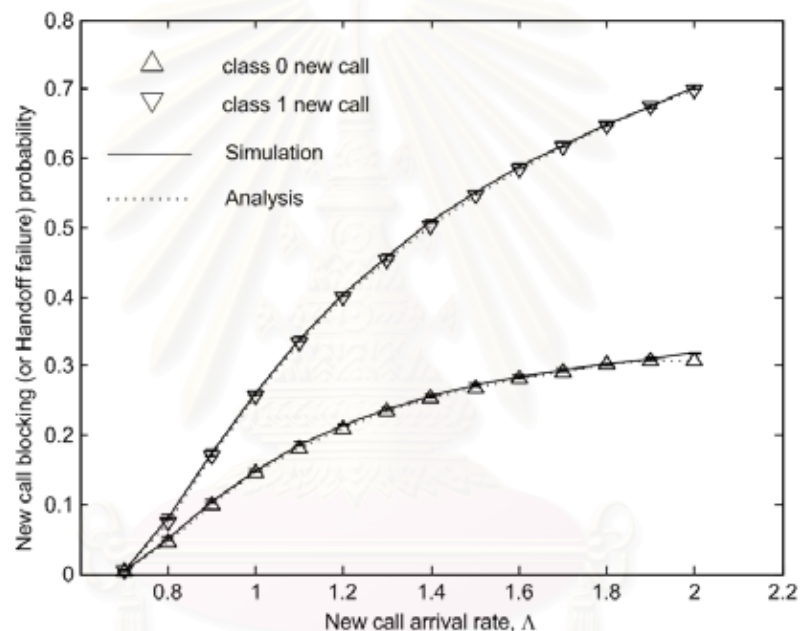
$$\frac{W_{up}}{\gamma_k^{up} \alpha_k^{up} R_k^{up}} \gg \beta_i^n \text{ and } \frac{W_{dw}}{\gamma_k^{dw} \alpha_k^{dw} R_k^{dw}} \gg \beta_i^n (1 - \rho) \quad (\text{ก.3})$$

ดังนั้นค่าจุดเริ่มเปลี่ยนในเงื่อนไข (ก.1) และ (ก.2) จะสามารถประมาณค่าได้เป็น $1/\beta_i^n$ ดังแสดงในเงื่อนไข (3.18) และจะสังเกตได้ว่าค่า $1/\beta_i^n$ มีค่าน้อยกว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยนของการเรียกทุกระดับในเงื่อนไข (ก.1) และ (ก.2) ซึ่งแสดงว่าค่า $1/\beta_i^n$ สามารถรับประกันคุณภาพของบริการที่ต้องการสำหรับการเรียกทุกระดับ นอกจากนั้นพบว่าเงื่อนไขสำหรับควบคุมการตอบรับการร้องขอการเรียกจากการแฮนด์ออฟจะสามารถประมาณค่าได้ในทำนองเดียวกันกับเงื่อนไขสำหรับควบคุมการตอบรับการร้องขอการเรียกใหม่ดังแสดงในเงื่อนไข (3.19)

ภาคผนวก ข

การเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากการวิเคราะห์ (Analysis) และจากการจำลองแบบ (Simulation)

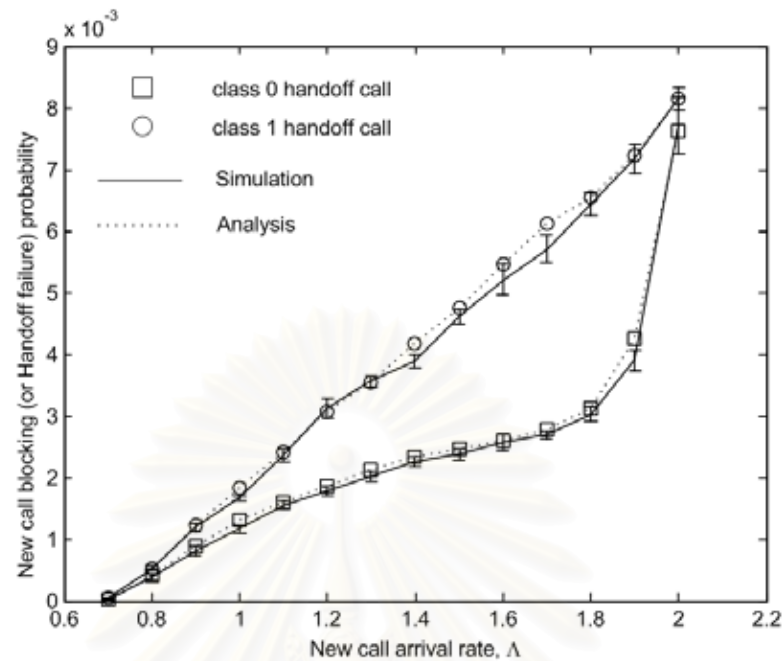
ในหัวข้อนี้จะแสดงการเปรียบเทียบผลการทำงานของวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ เมื่อพิจารณาที่ 95% confidence interval โดยใช้สมมติฐานของการจำลองแบบและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกันกับวิธีการควบคุมการตอบรับการเรียกในบทที่ 2



รูปที่ ข.1 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ ในแง่ของความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่เทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่, Λ , เมื่อ $\Delta_0 = \Delta_1 = 0.02$

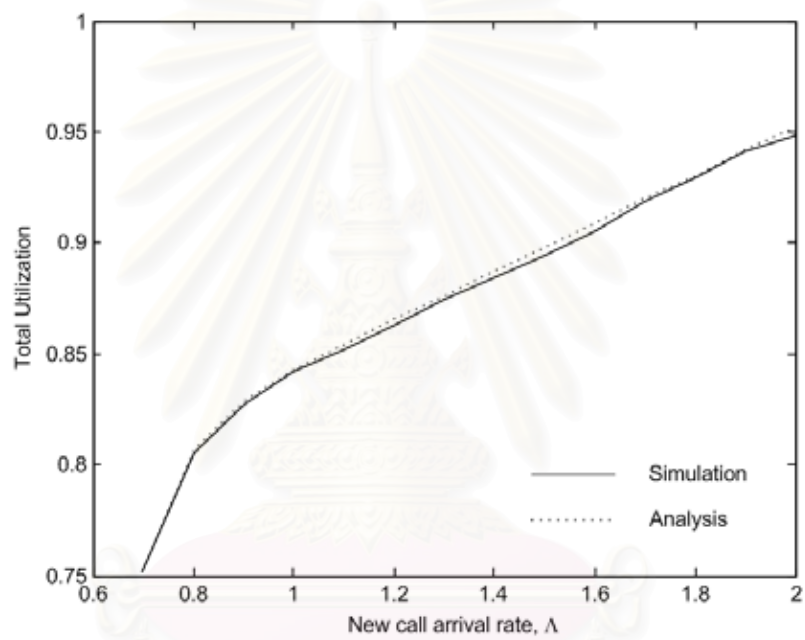
รูปที่ ข.1 และ ข.2 แสดงการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ รูปที่ ข.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ พบว่าผลการทดสอบที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ มีค่าใกล้เคียงและสอดคล้องกันซึ่งเป็นการรับรองความถูกต้องของผลการทดสอบที่ได้จากการวิเคราะห์ของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1

รูปที่ ข.4 แสดงการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของ



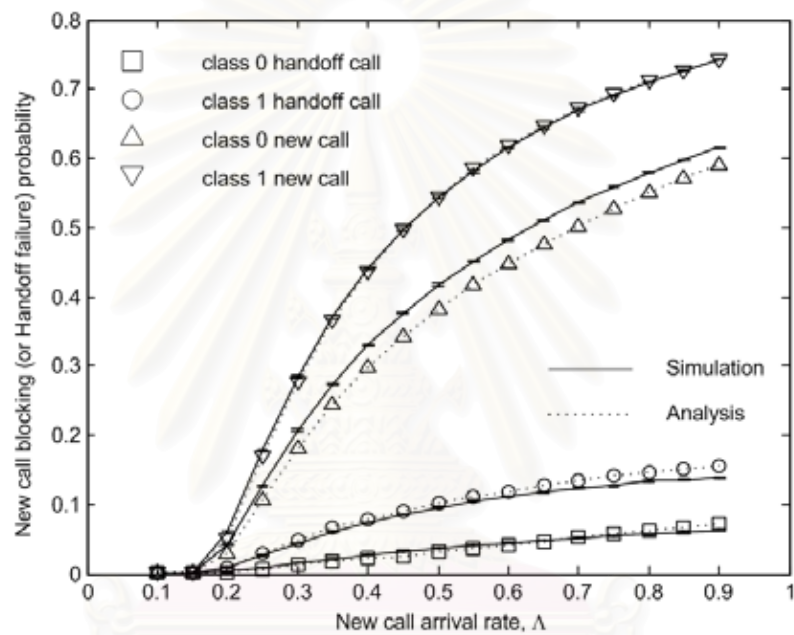
รูปที่ ๒.๒ การเปรียบเทียบผลการทดสอบของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ ในแง่ของความน่าจะเป็นของการแฮนด์ออฟล้มเหลวเทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่, Δ , เมื่อ $\Delta_0 = \Delta_1 = 0.02$

การแฮนด์ออฟล้มเหลวที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ รูปที่ ๒.๕ แสดงการเปรียบเทียบค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ พบว่าผลการทดสอบที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ มีค่าใกล้เคียงและสอดคล้องกันเช่นเดียวกันกับกรณีของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 ดังนั้นจึงเป็นการรับรองความถูกต้องของผลการทดสอบที่ได้จากการวิเคราะห์ของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2

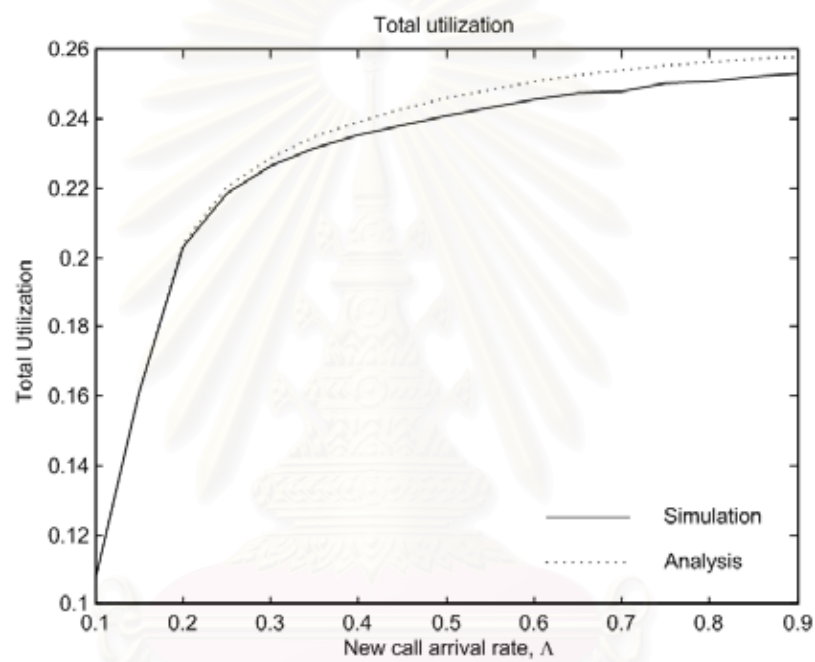


รูปที่ 3.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 1 ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ ในแง่ของค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์เทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่, Λ , เมื่อ $\Delta_0 = \Delta_1 = 0.02$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ ในแง่ของความน่าจะเป็นของการบล็อกการเรียกใหม่และความน่าจะเป็นของการเสนอต่อฟลัมเหลวเทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่, Δ , เมื่อ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.02, \beta_0^n = 1.03, \beta_1^n = 1.04$



รูปที่ ๕.๕ การเปรียบเทียบผลการทดสอบของวิธีควบคุมการตอบรับการเรียกประเภทที่ 2 ที่ได้จากการวิเคราะห์และจากการจำลองแบบ ในแง่ของค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์เทียบกับอัตราการมาถึงของการเรียกใหม่, Λ , เมื่อ $\beta_0^h = 1.01, \beta_1^h = 1.02, \beta_0^n = 1.03, \beta_1^n = 1.04$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การตีพิมพ์ผลงานวิจัย

- Virapanicharoen, J. and Benjapolakul, W. Fair-efficient guard bandwidth coefficients selection in call admission control for mobile multimedia communications using framework of game theory. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics Communications and Computer Sciences Vol. E88-A No. 9 (July 2005): 1869-1879.
- Virapanicharoen, J. and Benjapolakul, W. Fair-Efficient Guard Bandwidth Coefficients Selection in Call Admission Control for Mobile Multimedia Communications using Game Theoretic Framework. Proceeding of IEEE International Conference on Communications (ICC 2004) Vol. 1 (Paris, France, June 2004): 80-84.
- Virapanicharoen, J. and Benjapolakul, W. A Game Theoretic Approach to Call Admission Control in Mobile Multimedia Communications. Proceeding of IEEE TENCON 2004 Vol. 3 (Chiangmai, Thailand, November 2004): 160-163.
- Virapanicharoen, J. and Benjapolakul, W. Fair-Efficient Threshold Parameters Selection in Call Admission Control for CDMA Mobile Multimedia Communications Using Game Theoretic Framework. Proceeding of IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2005) (Las Vegas, Nevada, USA, January 2005): 439-444.
- Virapanicharoen, J. and Benjapolakul, W. A Game Theoretic Framework for Call Admission Control in CDMA Mobile Multimedia Systems with Traffic Asymmetry between Uplink and Downlink. Proceeding of IEEE TENCON 2005 (Melbourne, Australia, November 2005).

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเจนจบ วีระพานิชเจริญ เกิดเมื่อวันที่ 27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าโทคมนาคม จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย