จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย

กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานผลการวิจัย

เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ใช้โทเค็นหลายอัน สำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ

พฤษภาคม 2549

ชื่อโครงการวิจัย	เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ใช้โทเค็นหลายอัน สำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูง
ชื่อผู้วิจัย	รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ
เดือนและปีที่ทำวิจัยเสร็จ	พฤษภาคม 2549

บทคัดย่อ

รายงานผลการวิจัยฉบับนี้ ทำการศึกษาปัญหาการจองช่องสัญญาณที่ใช้โทเค็นหลายอันสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูง เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอมี 3 เทคนิค คือ MT-CFP, MT-UNI และ MT-UNI+LA หลักการพื้นฐานที่สำคัญซึ่งนำมาใช้ในการพัฒนาเทคนิคที่เสนอประกอบด้วย การใช้ค่าความน่าจะเป็นในการจองแบบค่าคงที่ การเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม และการจำกัดจำนวน เทคนิคทั้งหมดที่เสนอได้รับการออกแบบให้เหมาะสมโดยเฉพาะสำหรับระบบที่เวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบ (Round-Trip Propagation Delay) ยาวกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ (Transmission Delay) สมรรถนะของเทคนิคแต่ละเทคนิคที่เสนอถูกประเมินในรูปของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง ภายใต้ข้อกำหนดของระบบที่แตกต่างกันหลากหลายลักษณะ โดยการปรับเปลี่ยนจำนวนผู้ใช้บริการ จำนวนสล็อตการจอง และจำนวนโทเค็นการจอง

การประเมินสมรรถนะของระบบอาศัยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เป็นหลัก ชุดสมการที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถให้ผลลัพธ์เป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับระบบ พร้อมทั้งนำเสนอแนวการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และสูตรการประมาณจำนวนโทเค็นที่เหมาะสมในระบบต่าง ๆ ซึ่งถือได้ว่าเป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อสมรรถนะของเทคนิคที่ใช้โทเค็นหลายอัน ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการจองที่นำเสนอได้นำไปเปรียบเทียบกับเทคนิคเดิมซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้โทเค็นเพียง 1 อัน ได้แก่ CFP, UNI และ UNI+LA พบว่าเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นทั้งหมดมีสมรรถนะเหนือกว่าเทคนิคที่มีอยู่เดิมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่โหลดของระบบมีค่าน้อยถึงปานกลาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขหมู่ ลฬ ฉ๙15
เลขทะเบียน 013264
วัน, เดือน, ปี 6 ก.ค. 50

Project Title	Multi-Token Channel Reservation Techniques for Media Access Control Protocol in High Speed Wireless Communication Systems
Name of the Investigators	Assoc. Prof. Lunchakorn Wuttisittikulkij
	Mr. Atipong Suriya
Year	2006

Abstract

This research final report investigates the problem of multi-token channel reservation for media access control protocols in high speed wireless communication systems. Three distinct channel reservation techniques are proposed, namely MT-CFP, MT-UNI, MT-UNI+LA. The key basic methodology applied in developing these techniques includes the use of fixed request probability, uniform and limited access. All techniques are designed and optimized specifically for the system in which the round-trip propagation delay is comparatively longer than the transmission delay. The performance of each proposed technique is evaluated in terms of the average number of successful users under various different system configurations by varying the number of users, the number of request slots and the number of tokens.

The mathematical analysis is extensively used for evaluating the system performance. Mathematical formulations for all techniques are derived in detail to determine the appropriate system parameters so that optimal performance can be achieved. Moreover, the formulas for estimating the appropriate number of tokens under any system load conditions are shown in this research final report. Numerical results of all introduced techniques are presented in comparison to that of single-token channel reservation techniques, namely the CFP, UNI and UNI+LA algorithms. The results show that all developed techniques are superior to the existing techniques, especially for systems with light to medium loads.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความร่วมมือร่วมแรงร่วมใจเป็นอย่างดียิ่งจากคณะผู้ร่วมวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นายอธิพงศ์ สุริยา ซึ่งได้ขยันขันแข็ง ทำงานหนักตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัยจนมีผลงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้และสามารถเผยแพร่ผลงานในการประชุมวิชาการนานาชาติได้ จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ ที่สำคัญคณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูงกับทางทุนวิจัยกองทุนรัชดาภิเษกสมโภชที่ให้การสนับสนุนการทำโครงการวิจัยนี้เป็นอย่างดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

			หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย			ii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ			iii
กิตติกรรมประกาศ			iv
สารบัญ			v
รายการตารางประกอบ			vii
รายการภาพประกอบ			viii
บทที่			
1	บทนำ		1
	1.1	ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
	1.2	วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
	1.3	ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
	1.4	แผนการดำเนินงานตลอดโครงการและผลที่ได้	4
	1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2	การสำรวจแนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง		6
	2.1	โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง	6
	2.2	พื้นฐานการจองช่องสัญญาณ	8
	2.3	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดสมรรถนะของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง	9
	2.4	เทคนิคการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในอดีต	10
		2.4.1 วิธี Exponential Backoff	11
		2.4.2 วิธี Pseudo Bayesian	12
	2.5	วิธีการที่นำเสนอ	13
3	วิธีการวิจัย		14
	3.1	เทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่	15
		3.1.1 หลักการทำงานของเทคนิค MT-CFP	15
		3.1.2 แนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค MT-CFP	16
	3.2	เทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม MT-UNI	37
		3.2.1 หลักการทำงานของเทคนิค MT-UNI	37
		3.2.2 แนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค MT-UNI	38
	3.3	เทคนิคการจำกัดจำนวนMT-UNI+LA	44
		3.3.1 หลักการทำงานของเทคนิคการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ	45
		3.3.2 แนวการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิคการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ	45
		3.3.3 หลักการทำงานของเทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง	47
		3.3.4 แนวการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิคจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง	47

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

บทที่			หน้า
4	ผลการวิจัยและการอภิปรายผล		51
	4.1	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-CFP	52
		4.1.1 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิค CFP	52
		4.1.2 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิค MT-CFP	56
	4.2	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ *MT-UNI*	71
		4.2.1 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิค UNI	71
		4.2.2 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิค MT-UNI	72
	4.3	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-UNI+LA	78
		4.3.1 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิค UNI+LA	78
		4.3.2 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิค MT-UNI+LAU	80
		4.3.3 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิค MT-UNI+LAT	82
		4.3.4 ผลการทดสอบเปรียบเทียบเทคนิค MT-UNI+LAU และ MT-UNI+LAT	84
	4.4	ผลการทดสอบเปรียบเทียบเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ	85
5	ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ		87
	5.1	ข้อสรุป	87
	5.2	ข้อเสนอแนะ	89
บรรณานุกรม			90
ภาคผนวก			91
บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่			92

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการตารางประกอบ

หน้า

ตารางที่ 3.1	ความน่าจะเป็นในการเกิดของแต่ละเหตุการณ์ และ จำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจอง สำหรับเทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง.....	49
ตารางที่ 4.1	จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสมสำหรับเทคนิคการจองแบบ MT-CFPเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1-16 คนและจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต.....	59
ตารางที่ 4.2	จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสมสำหรับเทคนิคการจองแบบ MT-UNIเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1-16 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต.....	73

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
รูปที่ 2.1	ระบบสื่อสารไร้สายในพื้นที่ให้บริการหนึ่ง	7
รูปที่ 2.2	โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล ALOHA Reservation	8
รูปที่ 2.3	ผลการจองช่องสัญญาณ	9
รูปที่ 2.4	กลไกการทำงานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง เมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณ	11
รูปที่ 3.1	กลไกการทำงานของเทคนิคการจองแบบ MT-CFP	16
รูปที่ 3.2	เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการ 2 คน และจำนวนสล็อตการจอง 2 สล็อต	18
รูปที่ 3.3	เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการ 2 คน และจำนวนสล็อตการจอง 3 สล็อต	20
รูปที่ 3.4	เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการ 3 คน และจำนวนสล็อตการจอง 2 สล็อต	22
รูปที่ 3.5	เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 2 สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง 2 อัน	29
รูปที่ 3.6	เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง 2 อัน	31
รูปที่ 3.7	จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 2-3 สล็อต และโทเค็นการจอง 1-2 อัน	
รูปที่ 3.8	กลไกการทำงานของเทคนิคการจองแบบ Multi-Token Uniform (MT-UNI)	38
รูปที่ 3.9	เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อต และ โทเค็นการจอง 2 อัน	41
รูปที่ 3.10	เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบที่มีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต และ โทเค็นการจอง T อัน	43
รูปที่ 3.11	กลไกการทำงานของเทคนิคการจองแบบ MT-UNI+LAU	45
รูปที่ 3.12	กลไกการทำงานของเทคนิคการจองแบบ MT-UNI+LAT	47
รูปที่ 3.13	เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดของกรณี (1,2,1,3) สำหรับเทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง ในระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อต และโทเค็นการจอง 2 อัน	48
รูปที่ 4.1	จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองและค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจอง เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 2 4 8 16 คน	54
รูปที่ 4.2	จำนวนสล็อตการจองและค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจอง ที่ทำให้ค่าสมรรถนะของระบบสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการ 1 2 4 8 16 คน	55
รูปที่ 4.3	จำนวนผู้ใช้บริการและค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจอง ที่ทำให้ค่าสมรรถนะของระบบสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนสล็อตการจอง 1 2 4 8 16 สล็อต	55
รูปที่ 4.4	จำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของระบบเมื่อกำหนดจำนวนสล็อตการจองเป็น 1 2 4 8 และ 16 สล็อต	56

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
รูปที่ 4.5	จำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองและความน่าจะเป็นในการเข้าจองเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 2 4 8 และ 16 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต.....	62
รูปที่ 4.6	ความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองและจำนวนโทเค็นการจองเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 2 4 8 และ 16 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต.....	63
รูปที่ 4.7	จำนวนของการว่าง การสำเร็จ และการชนกันที่สล็อตการจองต่าง ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 16 คน จำนวนโทเค็น 8 อัน และค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองเท่ากับ 0.44..	64
รูปที่ 4.8	จำนวนของการว่าง การสำเร็จ และการชนกันที่สล็อตการจองต่าง ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 16 คน จำนวนโทเค็น 8 อัน และค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองเท่ากับ 0.72..	66
รูปที่ 4.9	จำนวนของการว่าง การสำเร็จ และการชนกันที่สล็อตการจองต่าง ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 16 คน จำนวนโทเค็น 8 อัน และใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจอง p=0.06.....	67
รูปที่ 4.10	จำนวนครั้งที่ประสบความสำเร็จในการจองของผู้ใช้บริการรายต่าง ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 16 คน จำนวนโทเค็น 8 อัน และค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอง p=0.06.....	68
รูปที่ 4.11	จำนวนโทเค็นการจองและเปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 2 4 8 และ 16 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต....	68
รูปที่ 4.12	จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสูตรการประมาณ และค่าที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์ เมื่อจำนวนสล็อตการจอง 4 8 11 24 และ 32 สล็อต.	70
รูปที่ 4.13	การเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการ โดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของเทคนิค CFP และ MT-CFP เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 16 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต.....	70
รูปที่ 4.14	จำนวนผู้ใช้บริการ โดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองและจำนวนผู้ใช้บริการเมื่อใช้เทคนิค UNI และจำนวนสล็อตการจอง 1 2 4 8 16 สล็อต.....	72
รูปที่ 4.15	จำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองและจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต และจำนวนของโทเค็น 1 2 4 8 16 อัน.....	75
รูปที่ 4.16	จำนวนครั้งที่ประสบความสำเร็จในการจองของผู้ใช้บริการรายต่าง ๆ เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 8 คน จำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง 2 อัน.....	75
รูปที่ 4.17	จำนวนโทเค็นการจองและเปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 2 4 8 และ 16 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต.....	76
รูปที่ 4.18	จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสูตรการประมาณและค่าที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์ เมื่อจำนวนสล็อตการจอง 4 8 11 24 และ 32 สล็อต.	77
รูปที่ 4.19	การเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการ โดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของเทคนิค UNI และ MT-UNI เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 16 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต.....	77
รูปที่ 4.20	จำนวนผู้ใช้บริการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้สมรรถนะของระบบสูงสุด เมื่อเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 32 คน และสล็อตการจอง 2 4 8 และ 16 สล็อต.....	79

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
รูปที่ 4.21	จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของเทคนิค UNI+LA เปรียบเทียบกับเทคนิค UNI เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 32 คน และสล็อตการจอง 2 4 8 16 สล็อต.....	80
รูปที่ 4.22	จำนวนผู้ใช้บริการและค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อจำนวนโทเค็นการจอง 1 2 4 และ 8 อัน และสล็อตการจอง 16 สล็อต.....	81
รูปที่ 4.23	จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของเทคนิค MT-UNI+LAU เปรียบเทียบกับเทคนิค MT-UNI เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 16 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต.....	82
รูปที่ 4.24	จำนวนผู้ใช้บริการและค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนโทเค็นการจองเมื่อจำนวนโทเค็นการจอง 1 2 4 8 และ 16 อัน และสล็อตการจอง 16 สล็อต.....	83
รูปที่ 4.25	จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของเทคนิค MT-UNI+LAT เปรียบเทียบกับเทคนิค MT-UNI เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 16 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต.....	84
รูปที่ 4.26	การเปรียบเทียบเทคนิค MT-UNI+LAU และเทคนิค MT-UNI+LAT เมื่อพิจารณาที่จำนวนโทเค็นการจองเท่ากัน.....	85
รูปที่ 4.27	การเปรียบเทียบเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอและเทคนิคที่เคยมีผู้นำเสนอไว้.....	86

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

บทนำนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย ขอบเขตของโครงการวิจัย แผนการดำเนินงานตลอดโครงการและผลที่ได้ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในปัจจุบัน ความต้องการใช้งานระบบสื่อสารไร้สายได้มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากมาย ทั้งในส่วนของการสื่อสารทางเสียงผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ หรือการสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์โดยอาศัยเทคโนโลยี wireless LAN เพื่อการเชื่อมต่อกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต จากสถิติของจำนวนผู้ใช้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วโลกในปี ค.ศ. 2003 พบว่ามีมากถึง 1,300 ล้านราย ตัวเลขปริมาณการใช้งานที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วนี้แสดงให้เห็นว่า ระบบสื่อสารไร้สายได้เข้ามามีบทบาทและกลายเป็นส่วนสำคัญหนึ่งของการดำรงชีวิตของมนุษย์ แท้จริงแล้วความสำเร็จที่เกิดขึ้นในช่วง 20 กว่าปีที่ผ่านมา อาจกล่าวได้ว่าเป็นเพียงจุดเริ่มต้นเท่านั้น นักวิจัยและวิศวกรสื่อสารได้มีแนวคิดในการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายให้มีขีดความสามารถเพิ่มขึ้น มีประสิทธิภาพมากขึ้น และมีความยืดหยุ่นในการจัดการ เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการใช้งานรูปแบบใหม่ที่หลากหลาย และนำไปสู่การให้บริการมัลติมีเดีย (multimedia) และแอปพลิเคชันแบบเรียลไทม์ (real-time application) ได้อย่างแท้จริง

ปัญหาหลักของการออกแบบระบบสื่อสารไร้สายคือ การที่สเปกตรัมของคลื่นสัญญาณที่ใช้เป็นสื่อในการส่งผ่านสัญญาณมีขนาดจำกัด ดังนั้นวิศวกรผู้ออกแบบจึงไม่สามารถเพิ่มความจุของช่องสัญญาณขึ้นเรื่อย ๆ ตามปรารถนา ดังในกรณีของระบบสื่อสารแบบใช้สายนำสัญญาณ ด้วยเหตุนี้ ปัญหาหลักของการออกแบบระบบสื่อสารไร้สาย คือ ทำอย่างไรเพื่อให้ระบบสามารถใช้ประโยชน์จากสเปกตรัมแบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัดได้คุ้มค่ามากที่สุดและสามารถให้บริการได้ตรงตามคุณภาพของการบริการที่ผู้ใช้ต้องการ ในสถานการณ์ที่ระบบต้องรองรับผู้ใช้จำนวนมากแต่มีทรัพยากรความถี่ที่จำกัดเช่นนี้ จำเป็นที่ระบบจะต้องแบ่งสรรทรัพยากรความถี่ให้แก่ผู้ใช้บริการให้เหมาะสมและลงตัวที่สุด และสามารถควบคุมการเข้าใช้งานช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการให้เกิดประสิทธิภาพและมีความยุติธรรมที่สุด การแก้ปัญหาดังกล่าวต้องอาศัยโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับบริการที่ระบบรองรับได้

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายได้เริ่มมีการศึกษาและพัฒนาอย่างจริงจังนับตั้งแต่ช่วงปีคริสต์ศักราช 1970 เป็นต้นมา หลังจากที่ Norman Abramson ได้ค้นพบโพรโทคอล ALOHA ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการสื่อสารข้อมูลและดาวเทียม (Data and Satellite Communications) หลังจากนั้นเป็นต้นมา ระบบสื่อสารไร้สายได้มีการพัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับพร้อมกับปัญหา และความท้าทายในการคิดค้นพัฒนาโพรโทคอลนำมาใช้จัดการกับระบบสื่อสารไร้สาย เพื่อให้เกิดสมรรถนะของระบบสูงสุด ในช่วงเริ่มต้นนั้นโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีการนำเสนอจะอาศัยพื้นฐานการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบที่ไม่มีการแข่งขันกันของผู้ใช้บริการ [2-3,12] เช่น TDMA, FDMA หรือแบบที่มีการแข่งขันกันของผู้ใช้บริการ [2-3,12] เช่น Pure ALOHA , Slotted ALOHA เป็นต้น ในเวลาต่อมาการพัฒนาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางมุ่งเน้น

การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ความจุ โดยเฉพาะปัญหาการตกต่ำอย่างรวดเร็วของ ALOHA ในสภาวะที่ระบบมีปริมาณทราฟฟิกสูง หรือผู้ใช้จำนวนมาก แนวทางการพัฒนาประกอบด้วยการใช้เฟรม หรือการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ โดยอาศัยการปรับค่าโอกาสในการเข้าถึงตัวกลาง ให้สอดคล้องกับปริมาณทราฟฟิกที่เปลี่ยนแปลงไป ตัวอย่างโพรโทคอลที่ใช้แนวคิดเหล่านี้คือ เทคนิค Exponential Backoff [4,11] หรือเทคนิคการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian [3] ซึ่งกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณสัมพันธ์กับปริมาณโหลดที่ระบบรองรับ (ซึ่งได้จากการประมาณ) ในขณะนั้น โดยมีสมมติฐานว่าผู้ใช้บริการสามารถทราบผลการจองช่องสัญญาณของตนได้ก่อนที่จะถึงช่องสัญญาณจองถัดไปและสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ใหม่ถ้าหากไม่ประสบความสำเร็จในการจอง

ต่อมาได้มีการพัฒนาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางประเภทผสม [4,5] ที่รวมเอาข้อดีของโพรโทคอลทั้งสองประเภทข้างต้นเข้าไว้ด้วยกัน โดยก่อนที่ผู้ใช้บริการจะส่งข้อมูลได้ ต้องแข่งขันกันเพื่อจองช่องสัญญาณ โดยเมื่อผู้ใช้บริการจองช่องสัญญาณสำเร็จแล้ว สถานีฐานจะจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้บริการต่อไป สามารถจำแนกระบบออกเป็น 2 ประเภท ตามค่าการประวิงเวลาการแพร่กระจายครบรอบ (Round Trip Propagation Delay) ได้แก่

1. ระบบที่มีค่าการประวิงเวลาการแพร่กระจายครบรอบสั้น กล่าวคือ ผู้ใช้บริการสามารถรู้ผลการจองได้ทันทีหลังจากที่ส่งสัญญาณจอง ดังนั้นจึงสามารถเข้าจองได้ใหม่ทันที เมื่อทราบว่าการจองช่องสัญญาณไม่ประสบความสำเร็จ เป็นผลให้การจองสามารถกระทำได้หลายครั้งใน 1 เฟรม
2. ระบบที่มีค่าการประวิงเวลาการแพร่กระจายครบรอบยาว กล่าวคือ ผู้ใช้บริการจะรู้ผลการจองก็ต่อเมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งแล้ว ทำให้ผู้ใช้บริการสามารถทำการจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวใน 1 เฟรม

ปัจจุบันซึ่งได้ชื่อว่าเป็นยุคของข้อมูลข่าวสารและการสื่อสาร ก่อให้เกิดการพัฒนาอย่างกว้างขวางของระบบสื่อสารไร้สาย การส่งข้อมูลข่าวสารมีความเร็วสูงขึ้นมาก นอกจากนี้ระบบยังประกอบด้วยผู้ใช้บริการหลาย ๆ ประเภท ไม่ว่าจะเป็นบริการเสียง บริการวิดีโอ และบริการข้อมูลคอมพิวเตอร์ หรืออาจกล่าวโดยรวมได้ว่าเป็นบริการมัลติมีเดีย ซึ่งหากเราพิจารณาในระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูง จะพบว่าค่าการประวิงเวลาการแพร่กระจายครบรอบมีค่ามากกว่าค่าการประวิงเวลาของการส่งข้อมูล ซึ่งในระบบเช่นนี้ผู้ใช้บริการไม่สามารถรู้ผลการจองได้ทันในช่วงการจอง ทำให้เข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวใน 1 เฟรม และได้มีผู้ได้นำเสนอโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางบนพื้นฐานของการเข้าจองเพียงครั้งเดียวต่อ 1 เฟรม

อย่างไรก็ดี เทคนิคที่มีผู้เสนอไว้ยังไม่สามารถให้ประสิทธิภาพที่เต็มศักยภาพ โดยเฉพาะในสภาวะที่มีผู้ใช้จำนวนน้อยถึงปานกลาง ความสำเร็จในการจองยังจัดว่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากได้รับอนุญาตให้เข้าจองได้เพียงครั้งเดียวในหนึ่งเฟรม ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จึงได้เกิดแนวคิดในการปรับปรุงประสิทธิภาพการจองช่องสัญญาณสำหรับระบบสื่อสารไร้สายที่มีค่าการประวิงเวลาการแพร่กระจายครบรอบยาวเมื่อเทียบความยาวของเฟรม โดยอาศัยหลักการของการใช้โทเค็นหลายอันขึ้น (Multi – Token Channel Reservation Techniques) แนวคิดดังกล่าวนี้คาดว่านอกจากจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจองให้มีความสำเร็จมากขึ้นแล้ว ยังถือเป็นการออกแบบโพรโทคอลเข้าใช้ช่องสัญญาณที่ครอบคลุมกรณีทั่วไปของระบบดังกล่าวได้ ทำให้สามารถพัฒนาไปสู่ระบบการจองที่สมบูรณ์แบบกว่าที่เคยมีมาในอดีต และสามารถนำเสนอเทคนิคใหม่ในไปผสมผสานและ

ประยุกต์ใช้กับระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูงได้ แนววิธีการวิจัยจะอาศัยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำและสามารถวิเคราะห์ได้ อีกทั้งยังจะได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถจำลองการทำงานของระบบตามกรรมวิธี Monte Carlo เพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางซึ่งใช้โทเค็นหลายอันเพื่อเพิ่มสมรรถนะและ ประสิทธิภาพการใช้งานช่องสัญญาณจองในระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูง
2. คิดค้นและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ในการทดสอบสมรรถนะของกรรมวิธีการจองช่องสัญญาณที่ใช้โทเค็นหลายอัน
3. พัฒนาโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวัดสมรรถนะของระบบโดยนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
4. วิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอโดยนำมาเปรียบเทียบกับวิธีซึ่งได้เคยมีผู้นำเสนอไว้

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงงานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการพัฒนาเทคนิคและวิธีการที่เหมาะสมในการเข้าจองช่องสัญญาณเพื่อที่จะทำให้สมรรถนะในช่วงการจองมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อสมรรถนะในช่วงการจองวัดจากจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจอง โดยวิธีที่นำเสนอนี้จะเพิ่มโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ โดยการให้สิทธิ์กับผู้ใช้บริการทุกคนสามารถเข้าจองได้มากกว่า 1 ครั้งต่อเฟรม บนพื้นฐานของระบบที่มีเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบมีค่ายาวกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ ซึ่งผู้ใช้บริการไม่สามารถทราบผลการจองช่องสัญญาณได้ทันทีและอาจทราบผลการจองช่องสัญญาณภายหลังจากสิ้นสุดส่วนการจองไปแล้วและการจองจะประสบความสำเร็จได้ 1 ครั้งเท่านั้น สำหรับการหาสมรรถนะของวิธีที่นำเสนอจะทำด้วยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ โดยจะนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับสมรรถนะของวิธีการและเทคนิคที่เคยมีผู้ได้นำเสนอไว้ นอกจากนี้จะได้ทำการวิเคราะห์หาจำนวนของโทเค็นที่เหมาะสมในระบบที่มีช่องสัญญาณจองและผู้ใช้บริการจำนวนแตกต่างกันไป โดยระบบที่พิจารณามีข้อสมมติฐานดังนี้

1. โครงข่ายการสื่อสารไร้สายที่พิจารณา เป็นแบบควบคุมจากศูนย์กลาง เซลล์หนึ่ง ๆ จะประกอบด้วยสถานีฐาน 1 สถานีและผู้ใช้จำนวนหนึ่ง การติดต่อสื่อสารของผู้ใช้บริการทุกรายภายในเซลล์ จะต้องกระทำผ่านสถานีฐานที่ให้บริการภายในเซลล์นั้น ๆ เพียงอย่างเดียว
2. โพรโทคอลที่ทำการศึกษาจะประกอบด้วยช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลง ซึ่งมีการแยกออกจากกันบนพื้นฐานของ Frequency Division Duplex (FDD) และภายในแต่ละช่องสัญญาณมีการใช้เทคนิคของระบบ TDMA ในการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณ โครงสร้างของช่องสัญญาณแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนการจอง และส่วนการส่งข้อมูลข่าวสาร ซึ่งในโครงการวิจัยนี้จะพิจารณาการทำงานเฉพาะส่วนการจองเท่านั้น

3. ระบบสื่อสารไร้สายที่ใช้ในการพิจารณาและจำลองแบบในโครงการวิจัยนี้เป็นระบบซึ่งค่าของเวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบมีค่ามากกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ ดังนั้นผู้ใช้บริการจะทราบผลการจองหลังจากหมดช่วงการจองในเฟรมนั้น ๆ ไปแล้ว เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่พัฒนาขึ้นมีการปรับปรุงให้ผู้ใช้บริการแต่ละคนมีโอกาสเข้าจองช่องสัญญาณหรือส่งแพ็กเก็ตการจองได้หลายครั้งในหนึ่งเฟรม แม้ว่าจะไม่ทราบผลการจองช่องสัญญาณ
5. สถานีฐานจะสามารถทราบจำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรม จำนวนโทเค็นและจำนวนผู้ใช้บริการที่จุดเริ่มต้นเฟรมโดยจำนวนผู้ใช้บริการภายในโครงข่ายจะมีค่าคงที่
6. ค่าพารามิเตอร์ที่จะใช้แสดงถึงสมรรถนะของวิธีที่นำเสนอจะใช้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง (Average Number of Successful User) เป็นพารามิเตอร์หลักในการเปรียบเทียบ เพราะจุดประสงค์หลักในงานวิจัยนี้คือการหาวิธีที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในช่วงการจองมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ทั้งนี้จะเน้นการประยุกต์ใช้ระบบโทเค็นหลายอันกับวิธีการจองช่องสัญญาณที่เรียกว่าเทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่ควบคู่กับการแบ่งกลุ่มย่อย

1.4 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการและผลที่ได้

แผนการดำเนินงานจะแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาถึงโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในบทความวิจัยต่าง ๆ
2. พัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางซึ่งใช้โทเค็นหลายอัน เพื่อเพิ่มสมรรถนะและ ประสิทธิภาพการใช้งานช่องสัญญาณจองในระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูง
3. คิดค้นและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ในการทดสอบสมรรถนะของกรรมวิธีการจองช่องสัญญาณที่ใช้โทเค็นหลายอัน
4. พัฒนาโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวัดสมรรถนะของระบบโดยนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
5. วิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอโดยนำมาเปรียบเทียบกับวิธีซึ่งได้เคยมีผู้นำเสนอไว้ และสร้างความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการระบุถึงจำนวนโทเค็นที่เหมาะสมภายใต้ระบบที่มีจำนวนสล็อตและจำนวนผู้ใช้ต่าง ๆ
6. รวบรวมผลการศึกษาทั้งหมดมาเขียนเป็นบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่และตีพิมพ์ในงานประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติ
7. สรุปผล เขียนรายงาน และนำเสนอผลงานทางวิชาการ

โดยได้ประมาณระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือน											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	xx	xx	xx	xx	xx	xx						
2		xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx				
3			xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx			
4				xx	xx	xx	xx	xx	xx			
5							xx	xx	xx	xx	xx	
6								xx	xx	xx	xx	xx
7										xx	xx	xx

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณรูปแบบใหม่ที่มีการใช้หลายโทเค็นที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าวิธีการดั้งเดิม
2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถใช้ในการประเมินสมรรถนะของระบบการจองตามเทคนิคที่เสนอและโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบการจองด้วยคอมพิวเตอร์
3. เข้าใจถึงหลักการพัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมกับระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูง
4. บทความทางวิชาการสามารถนำไปเผยแพร่และตีพิมพ์ในงานประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Proceeding of IEEE ISCIT และ ECTI-CON 2006 ทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อวงการวิจัยระบบสื่อสารโทรคมนาคมระดับนานาชาติ
5. ความรู้และประสบการณ์จากงานวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนทั้งในระดับปริญญาบัณฑิต มหาบัณฑิตและดุษฎีบัณฑิต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การสำรวจแนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

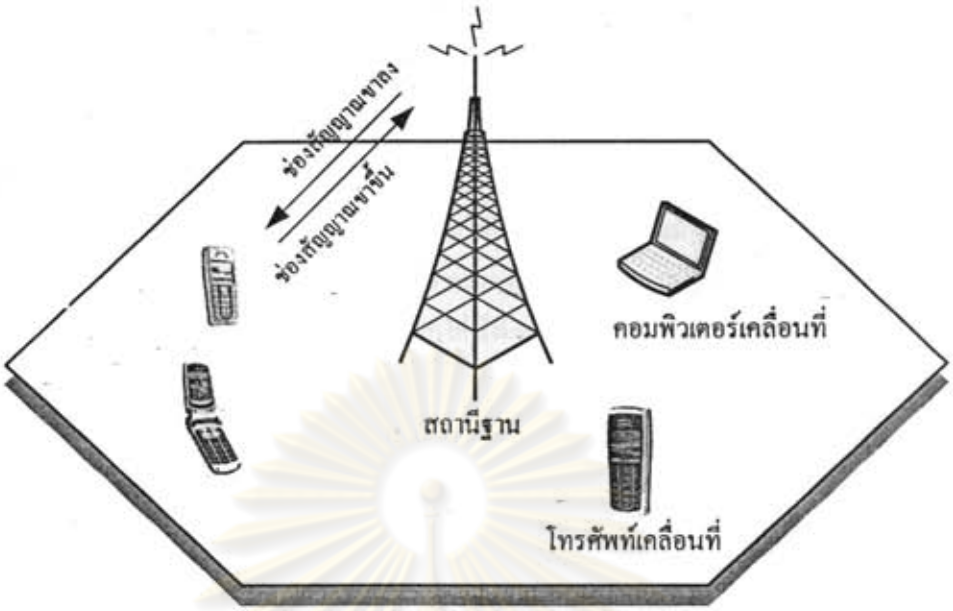
บทนี้กล่าวถึงแนวความคิดและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยความรู้เกี่ยวกับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง โดยกล่าวถึงประเภทของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีการนำเสนอและตัวอย่างของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง จากนั้นจะกล่าวถึงพื้นฐานการจองช่องสัญญาณ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดสมรรถนะของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง เทคนิคการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในอดีต และสุดท้ายจะกล่าวถึงวิธีการที่นำเสนอในโครงการวิจัย

2.1 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (Media Access Control Protocol: MAC Protocol) คือ เกณฑ์วิธีการกำหนดให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจัดเป็นฟังก์ชันการทำงานส่วนหนึ่งของชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer) ตามแบบจำลองอ้างอิงการเชื่อมต่อระบบเปิด 7 ชั้น (Open Systems Interconnection (OSI) Reference Model) ในระบบสื่อสารไร้สายโพรโทคอล MAC มีบทบาทหน้าที่ในการจัดสรรช่องสัญญาณให้ผู้ใช้บริการหลาย ๆ ราย ซึ่งอาจเป็นโทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์เคลื่อนที่ หรืออุปกรณ์สื่อสารไร้สายชนิดอื่น ๆ ให้สามารถติดต่อสื่อสารระหว่างกันและกัน และ/หรือ ติดต่อกับสถานีฐานได้

โครงงานวิจัยนี้พิจารณาระบบโครงข่ายไร้สายแบบควบคุมจากศูนย์กลางที่มีโครงสร้างประกอบด้วยสถานีฐาน ผู้ใช้อุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่จำนวนหนึ่ง (Mobile Terminal Users) และช่องสัญญาณสำหรับสื่อสาร (Channel) [8,12] ตามตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.1 สถานีฐานเป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายหลัก (Backbone Network) และผู้ใช้อุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ได้แก่ ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือผู้ใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์เคลื่อนที่ โดยสถานีฐานและผู้ใช้บริการจะติดต่อสื่อสารกันผ่านทางช่องสัญญาณซึ่งจะแบ่งเป็นช่องสัญญาณขาขึ้น (Upward Channel) และช่องสัญญาณขาลง (Downward Channel) สถานีฐานใช้ช่องสัญญาณขาลงเพื่อส่งทราฟฟิกควบคุม (Broadcast Control Traffic) และ/หรือ ทราฟฟิกข่าวสาร (Information Traffic) ไปยังผู้ใช้บริการ ในขณะที่ผู้ใช้บริการส่งทราฟฟิกข่าวสารของตนไปยังสถานีฐานในช่องสัญญาณขาขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 ระบบสื่อสารไร้สายในพื้นที่ให้บริการหนึ่ง

การจัดแบ่งประเภทของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สาย

โพรโทคอลที่มีการนำเสนอมาในอดีตนั้นสามารถจำแนกออกตามการทำงาน [1,4-6] ได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

1. โพรโทคอลที่ไม่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Contention-Free MAC Protocol) โพรโทคอลประเภทนี้ ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะสามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้แน่นอน โดยระบบจะจัดสรรช่องสัญญาณที่กำหนดแน่นอนสำหรับผู้ใช้บริการแต่ละคน ตัวอย่างของโพรโทคอลที่ไม่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ เช่น Frequency Division Multiple Access (FDMA), Time Division Multiple Access (TDMA) และ Code Division Multiple Access (CDMA) ข้อดีของโพรโทคอลประเภทนี้คือระบบจะมีเสถียรภาพในทุกสภาวะทราฟฟิก เพราะไม่เกิดการชนกันของแพ็กเกตผู้ใช้บริการ แต่ข้อเสียคือจะทำให้ไม่สามารถใช้แบนด์วิดท์ที่มีอย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์มากที่สุด เนื่องจากถ้าผู้ใช้บริการคนใดไม่ได้ส่งข่าวสาร จะทำให้สูญเสียแบนด์วิดท์ในส่วนนั้นไปโดยเพราะผู้ใช้บริการคนอื่นไม่สามารถเข้ามาใช้ได้ นอกจากนี้ระบบยังไม่สามารถรองรับผู้ใช้บริการจำนวนมากได้

2. โพรโทคอลที่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Contention-Based MAC Protocol) โพรโทคอลประเภทนี้ ช่องสัญญาณแต่ละช่องจะไม่มีการกำหนดให้กับผู้ใช้บริการคนใดคนหนึ่งอย่างแน่นอน ดังนั้นผู้ใช้บริการทุกคนจะต้องทำการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ ตัวอย่างของโพรโทคอลที่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ เช่น Pure ALOHA [2,3], Slotted ALOHA [2,3] และ Carrier Sense Multiple Access (CSMA) [2,3] ข้อดีของโพรโทคอลประเภทนี้คือสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้จำนวนมาก และสามารถรองรับทราฟฟิกที่มีขนาดปรับเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลาได้ แต่ข้อเสียคือที่สภาวะทราฟฟิกสูง ๆ ระบบจะขาดเสถียรภาพในการทำงานเนื่องจากเกิดการชนกันมากเกินไปของแพ็กเกตผู้ใช้บริการ นอกจากนี้เราไม่สามารถคาดเดาเวลาประวิงเนื่องจากการส่งแพ็กเกตได้ จึงทำให้โพรโทคอลประเภทนี้ไม่เหมาะสมกับการส่งทราฟฟิกประเภทเสียงเพราะเป็นบริการที่ต้องการเวลาประวิงที่ต่ำ

3. โพรโทคอลแบบผสมเทคนิคการแข่งขันและไม่แข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ (Contention-Free and Contention-Based MAC Protocol) โพรโทคอลประเภทนี้ เป็นการนำเทคนิคที่ดีของโพรโทคอลทั้งสองกลุ่มแรกมารวมกัน จากการศึกษาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางประเภทต่าง ๆ พบว่าโพรโทคอลที่ผสมเทคนิคการแข่งขันและไม่แข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ ได้รับความสนใจในการนำมาพัฒนาเป็นจำนวนมาก เนื่องจากสมรรถนะที่ระบบได้รับคือ สามารถรองรับทราฟฟิกได้ทุกสภาวะ แม้ว่าสภาวะที่มีปริมาณทราฟฟิกสูง ๆ ระบบยังคงมีเสถียรภาพในการทำงาน โดยระบบสามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกได้ใกล้เคียงกับระบบที่ไม่มีการแข่งขัน และยังสามารถรองรับผู้ใช้บริการจำนวนมากได้ จึงมีความยืดหยุ่นในการให้บริการสูงคล้ายกับระบบที่มีการแข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ ตัวอย่างโพรโทคอล กลุ่มนี้ เช่น ALOHA Reservation [4], Round Robin Reservation (RRR) [5], DR-TDMA [7], PRMA [10] เป็นต้น

เนื่องจากโพรโทคอลแบบ ALOHA Reservation เป็นโพรโทคอลที่มีข้อดีหลายอย่างเมื่อเทียบกับโพรโทคอล แบบผสมเทคนิคการแข่งขันและไม่แข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณประเภทอื่น จึงมีผู้ให้ความสนใจและพัฒนาเป็นจำนวนมาก [8-9] โครงสร้างเฟรมเพื่อรองรับการทำงานของโพรโทคอลแบบนี้ แสดงในรูปที่ 2.2 โดยในแต่ละ เฟรมจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ช่วงการจอง (Reservation Period) ซึ่งถูกแบ่งเป็นสล็อตขนาดเล็กจำนวนหนึ่งเพื่อใช้ในการจอง (Minislots) เรียกว่า สล็อตการจอง (Reservation Slots) และ ช่วงการส่งข่าวสาร (Transmission Period) ซึ่งถูกแบ่งเป็นสล็อตเพื่อใช้ในการส่งข่าวสารเรียกว่า สล็อตข้อมูลข่าวสาร (Information Slots) ดังนั้น ข้อได้เปรียบที่สำคัญของโพรโทคอลประเภทนี้คือ สล็อตการจองมีขนาดเล็ก เมื่อเกิดการสูญเสียซึ่งอาจเกิดจากการชนกันหรือการว่าง ก็จะสูญเสียแบนด์วิดท์และข้อมูลเฉพาะในส่วนการจอง

รูปที่ 2.2 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอล ALOHA Reservation

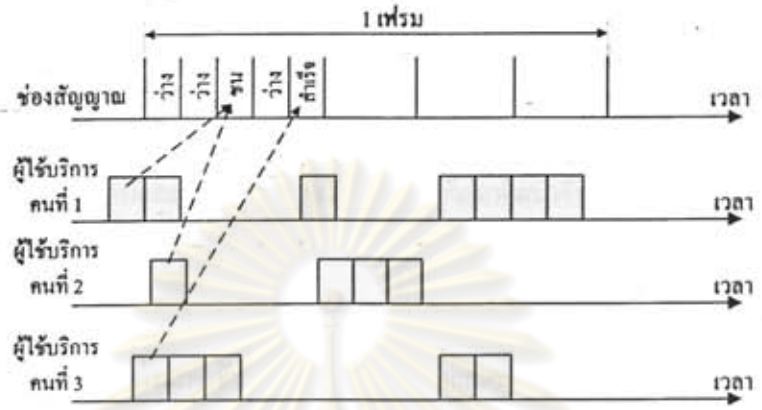
2.2 พื้นฐานการจองช่องสัญญาณ

โดยทั่วไปกระบวนการจองช่องสัญญาณในช่วงการจอง ของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบผสมเทคนิคการแข่งขันและไม่แข่งขันในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ รวมถึงโพรโทคอล ควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบต่าง ๆ ที่มีช่วงการจอง มักจะอาศัยวิธีที่มีพื้นฐานจากโพรโทคอล Slotted ALOHA กล่าวคือ เมื่อผู้ใช้บริการมีข่าวสารที่ต้องการส่ง ผู้ใช้บริการจะต้องรอจนกระทั่งถึงช่วงการจองจึงจะเริ่มเข้าจองช่องสัญญาณได้ โดยสถานีฐานจะเป็นผู้ทำหน้าที่ตรวจสอบผลการจองในช่วงการจอง ซึ่งผลจากการจองช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นภายหลังจากที่ผู้ใช้บริการทำการเข้าจองช่องสัญญาณนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

- การสำเร็จ (Success) เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวเข้าจองในช่องสัญญาณจองนั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การชน (Collision) เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการเกินกว่า 1 ราย ทำการเข้าจองช่องสัญญาณพร้อมกัน ในช่องสัญญาณจองเดียวกัน
- การว่าง (Idle) เกิดขึ้นเมื่อไม่มีผู้ใช้บริการรายใดในระบบเข้าจองในช่องสัญญาณจองนั้น



รูปที่ 2.3 ผลการจองช่องสัญญาณ

จากรูปที่ 2.3 แสดงผลการจองช่องสัญญาณของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน 3 ราย ช่องสัญญาณจองจำนวน 5 ช่อง จะเห็นได้ว่าในช่องสัญญาณจองที่ 1 ช่องสัญญาณจองที่ 2 และช่องสัญญาณจองที่ 4 จะไม่มีผู้ใช้บริการรายใดทำการเข้าจอง ดังนั้นช่องสัญญาณจึงเกิดการว่าง ในขณะที่ในช่องสัญญาณจองช่องที่ 3 นั้นจะมีผู้ใช้บริการรายที่ 1 และผู้ใช้บริการรายที่ 2 เข้าจองช่องสัญญาณพร้อมกันดังนั้นจึงเกิดการชนกันขึ้นและไม่มีผู้ใช้ บริการรายใดประสบความสำเร็จในการจองช่อง สัญญาณ ในขณะที่ในช่องสัญญาณจองช่องที่ 5 นั้นจะมีผู้ใช้บริการรายที่ 3 เพียงรายเดียวเข้าจองช่องสัญญาณ ดังนั้นผู้ใช้บริการรายที่ 3 จะสามารถจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ

2.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดสมรรถนะของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง

พารามิเตอร์ที่นิยมใช้ในการวัดเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะ [1] ได้แก่

- ค่าวิสัยสามารถ (Throughput) คือ ค่าของจำนวนข้อมูลที่ได้รับการส่งสำเร็จ เทียบกับค่าของข้อมูลที่ทำการส่งทั้งหมด โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางโดยทั่วไป มีจุดประสงค์หลักในการทำให้ค่าวิสัยสามารถสูงที่สุด
- ค่าการประวิงเวลา (Delay) คือ เวลาเฉลี่ยซึ่งใช้ไป ตั้งแต่ข้อมูลเข้าไปรอในคิวจนกระทั่งไปรับการบริการ ค่าการประวิงเวลาเป็นผลขึ้นกับลักษณะทราฟฟิกที่เข้ามาด้วย ดังนั้น ในการเปรียบเทียบผล ต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ของทราฟฟิกที่เข้ามาเป็นตัวเดียวกัน
- ความสามารถในการจัดการกับบริการแบบมัลติมีเดีย ซึ่งประกอบด้วยทั้ง บริการเสียง บริการข้อมูล คอมพิวเตอร์ และบริการวิดีโอ
- ความยุติธรรม (Fairness) ของการให้บริการ สำหรับผู้ใช้บริการทุก ๆ ราย
- ความมีเสถียรภาพ (Stability) ระบบที่ดีต้องมีความสามารถรักษาเสถียรภาพได้ในทุก ๆ ปริมาณทราฟฟิก หรือรองรับปริมาณทราฟฟิกและจำนวนผู้ใช้บริการได้ทุก ๆ ขนาด

- ความทนทานต่อการจางหายของช่องสัญญาณ (Robustness against Channel Fading) ซึ่งพารามิเตอร์ตัวนี้จะมีผลนำไปสู่การขาดเสถียรภาพของระบบ
- การใช้พลังงาน (Power Consumption) โพรโทคอลที่ดีควรมีการใช้พลังงานอย่างประหยัดและคุ้มค่าที่สุด

สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดสมรรถนะทั้งหมดนี้ ในการออกแบบโพรโทคอลหนึ่ง ๆ ไม่สามารถที่จะได้สมรรถนะทุกตัวที่สูงทั้งหมด เนื่องจากเป็นลักษณะของการชดเชยข้อดีข้อเสีย (Tradeoff) กล่าวคือ เมื่อได้สมรรถนะบางอย่างที่สูง อาจทำให้สมรรถนะอีกอย่างลดลง จึงเป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบและพัฒนาโพรโทคอลในระบบสื่อสารไร้สายต้องทราบและหาจุดเด่นของโพรโทคอลที่ตนพัฒนาขึ้น จากการศึกษาพบว่าได้มีผู้พยายามออกแบบและพัฒนาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่แตกต่างกันออกไป และให้ค่าสมรรถนะที่เป็นจุดเด่นของโพรโทคอลแต่ละประเภท

2.4 เทคนิคการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในอดีต

การแข่งขันกันของผู้ใช้บริการในส่วนการจองของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางประเภทผสมนั้นส่วนมากจะอาศัยกลไกการทำงานแบบ Slotted Aloha [2,3] เนื่องจากเป็นกลไกที่ง่ายและมีความยืดหยุ่นสูง โดยเมื่อผู้ใช้บริการมีความต้องการส่งข้อมูล ผู้ใช้บริการจะต้องรอให้ถึงจุดเริ่มต้นของช่องสัญญาณจอง แล้วจึงทำการส่งแพ็กเกตการจองออกมาอย่างสุ่ม หลังจากนั้นผู้ใช้บริการจะต้องรอเพื่อทราบผลการจองช่องสัญญาณของตน โดยถ้าหากไม่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ ผู้ใช้บริการจะต้องรอให้ถึงจุดเริ่มต้นของช่องสัญญาณจองถัดไปหรืออาจทำการประวิงเวลาก่อนที่จะทำการเข้าจองช่องสัญญาณใหม่

อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณากลไกการแข่งขันกันของผู้ใช้บริการแบบ Slotted Aloha พบว่าอาจเกิดปัญหาต่อระบบ ถ้าหากขณะเวลาใด ๆ มีผู้ใช้บริการจำนวนมากเข้าทำการจองช่องสัญญาณพร้อมกัน เพราะจะเกิดปัญหาการชนกันของผู้ใช้บริการ และส่งผลให้แบนด์วิดท์ในส่วนส่งข้อมูลไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นจึงได้มีผู้เสนอแนวทางสำหรับการแก้ไขโดยใช้การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณร่วมกับการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Slotted Aloha ทั้งนี้เพื่อเป็นการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการขณะหนึ่ง ๆ ที่จะสามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณ โดยผู้ใช้บริการจะต้องทำการสุ่มค่าระหว่าง 0-1 (P_{rand}) และหากค่าที่สุ่มได้มีค่าต่ำกว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่กำหนด ผู้ใช้บริการรายนั้นจะสามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้ ทั้งนี้สถานีฐานจะเป็นผู้กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและแจ้งค่าดังกล่าวให้ผู้ใช้บริการในระบบทราบ กลไกการทำงานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง เมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณ แสดงดังรูปที่ 2.4

รูปที่ 2.4 กลไกการทำงานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง
เมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณ

การกำหนดค่าความน่าจะเป็นหรือค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณ ถือได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญสำหรับวิธีนี้ ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อค่าวิสัยสามารถหรือสมรรถนะของระบบ

การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในเทคนิคที่มีการนำเสนอนั้นมีหลักการพื้นฐานคือจะทำการปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณตามปริมาณโหลดที่ระบบรองรับ (จำนวนผู้ใช้บริการ) โดยจะทำการลดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนมาก ในทางตรงกันข้ามจะทำการเพิ่มค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการลดต่ำลง ดังนี้

2.4.1 วิธี Exponential Backoff

การกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองด้วยวิธีนี้ จะกำหนดตามสถานะของช่องการจองที่ผ่านมา กล่าวคือค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองในสล็อตการจองถัดไป ($p(t+1)$) จะทำการคำนวณจากค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองของสล็อตการจองที่ผ่านมา ($p(t)$) ดังแสดงในสมการที่ (2.1)

$$p(t+1) = \min\left\{p_{\max}, p(t) \times \left(\frac{1}{q} \cdot I_{z(t)=0} + 1 \cdot I_{z(t)=1} + q \cdot I_{z(t)\geq 2}\right)\right\} \qquad (2.1)$$

เมื่อ $0 < p_{\max} \leq 1$ และ $0 < q \leq 1$

โดยที่ $z(t)$ เป็นตัวแปรบอกจำนวนผู้ใช้บริการที่ส่งแพ็กเกตการจองในสล็อตการจองนั้น เพื่อใช้ในการบอกสภาวะของสล็อตการจอง คือ $z(t) = 0$ แสดงสภาวะการว่าง, $z(t) = 1$ แสดงสภาวะการจองเป็นผลสำเร็จ และ $z(t) \geq 2$ แสดงสภาวะการชน สำหรับค่าของ I_A จะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเกิดเหตุการณ์ A และเป็นศูนย์เมื่อไม่เกิดเหตุการณ์ สำหรับผลการทดสอบใน [11] ได้กำหนดค่า $p_{\max} = 1$ และได้สรุปว่าค่า $q = \frac{1}{2}$ เป็นค่าที่เหมาะสมที่จะทำให้ระบบได้สมรรถนะที่ดีในสภาวะทราฟฟิกปกติ

2.4.2 วิธี Pseudo Bayesian

การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในวิธีนี้มีสมมติฐานที่ผู้ออกแบบกำหนดคือผู้ใช้บริการสามารถทราบผลการจองช่องสัญญาณได้ทันทีและสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ใหม่เมื่อไม่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ ทางด้านสถานีฐานสามารถทำการปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและแจ้งให้ผู้ใช้บริการทราบได้ทันก่อนที่จะถึงจุดเริ่มต้นของช่องสัญญาณจองถัดไป โดยค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่แต่ละต้นช่องสัญญาณจองจะมีค่าเปลี่ยนไปตามปริมาณโหลด (จำนวนผู้ใช้บริการ) ที่ประมาณได้ในระบบขณะนั้น โดยการประมาณจำนวนผู้ใช้บริการจะประมาณจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในระบบ 3 ประเภท คือการสำเร็จ (Success) การชน (Collision) หรือการว่าง (Idle) นอกจากนี้จะทำการพิจารณาอัตราการเกิดของผู้ใช้บริการใหม่ (Arrival Rate , λ) ซึ่งค่าดังกล่าวจะช่วยให้การประมาณมีความใกล้เคียงกับจำนวนผู้ใช้บริการจริงเพิ่มมากขึ้น

พิจารณาระบบที่ต้นเฟรมซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน n รายและกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเท่ากับ p จะได้ว่าอัตราข้อมูลของระบบมีค่าเป็น np และความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณมีค่าเป็น $np(1-p)^{n-1}$ โดยจะมีค่าสูงสุดเมื่อ $np = 1$ โดยก่อนที่จะถึงช่องสัญญาณจองถัดไป กลไกการทำงานนี้จะทำการประมาณจำนวนผู้ใช้บริการในช่องสัญญาณช่องถัดไป (η_{t+1}) จากจำนวนผู้ใช้บริการในช่องสัญญาณจองก่อนหน้า (η_t) แล้วจึงกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของช่องสัญญาณจองถัดไป ($p(t+1)$) โดยจำนวนผู้ใช้บริการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในช่องสัญญาณจองช่องถัดไป สามารถหาได้จากสมการ

$$\eta_{t+1} = \begin{cases} \max(\lambda, \eta_t + \lambda - 1) & : Success\ or\ Idle \\ \eta_t + \lambda + (e-2)^{-1} & : Collision \end{cases} \qquad (2.2)$$

โดยที่ λ แทน อัตราการเกิดของผู้ใช้บริการใหม่ $e \approx 2.71$ และค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของช่องสัญญาณจองถัดไป ($p(t+1)$) หาได้จากสมการ

$$p(t+1) = \min\left(1, \frac{1}{\eta_{t+1}}\right) \qquad (2.3)$$

2.5 วิธีการที่นำเสนอ

เทคนิคที่ได้กล่าวมาในก่อนหน้านี้ได้รับการพัฒนาขึ้นในช่วงเวลาที่อัตราการส่งข้อมูลยังจัดว่ามีค่าต่ำอยู่มาก ดังนั้นช่วงเวลาการประวิงสัญญาณเนื่องจากการแพร่ของสัญญาณจึงมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับค่าเวลาในการส่งข้อมูล 1 บิต ทำให้ผู้ใช้เสมือนหนึ่งว่าสามารถทราบผลการจองช่องสัญญาณได้ทันทีที่ร้องขอการจอง และหากพบว่าไม่ประสบความสำเร็จ ผู้ใช้ก็สามารถเข้าจองในสล็อตถัดไปได้ทันที อย่างไรก็ดี สถานการณ์ในปัจจุบันได้เปลี่ยนไปอย่างมาก อัตราการส่งข้อมูลได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ส่งผลให้ช่วงเวลาการประวิงสัญญาณเนื่องจากการแพร่ของสัญญาณมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล 1 เฟรม ด้วยเหตุนี้ ผู้ใช้จึงไม่สามารถทราบผลการจองของตนได้ทันที หากแต่ตรงรอเวลาให้ครบรอบการแพร่ของสัญญาณไปกลับ ซึ่งหมายความว่าผู้จะมีโอกาสเข้าจองได้เพียง 1 ครั้งในแต่ละเฟรม ดังนั้นการพัฒนาโพรโทคอลการจองช่องสัญญาณจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบไป ในโครงการวิจัยนี้จะพิจารณาการออกแบบเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูง และเหมาะสมกับระบบสื่อสารความเร็วสูง โดยมีพื้นฐานการทำงานตามโพรโทคอลที่ได้เสนอไว้ในเอกสารอ้างอิง [12] ทั้งนี้จะมีการศึกษาถึงแนวทางการแบ่งกลุ่มย่อยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจองช่องสัญญาณโดยอาศัยแนวคิดที่ว่าระบบที่มีจำนวนผู้ใช้ในการเข้าช่วงชิงช่องการจองน้อยแม้จะมีจำนวนช่องการจองน้อยลงในสัดส่วนเดียวกัน ให้ผลลัพธ์ของการจองที่ดีกว่าระบบที่มีจำนวนช่องการจองมากแต่มีผู้ใช้มากด้วย โดยเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. เทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่ (Multi-Token Cascade Fixed Probability : MT-CFP)
2. เทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม (Multi-Token Uniform : MT-UNI)
3. เทคนิคการจำกัดจำนวน (Multi-Token Uniform with Limited Access : MT-UNI+LA) โดยได้นำเสนอเป็น 2 เทคนิคย่อย ได้แก่
   - 3.1 เทคนิคการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ (Multi-Token Uniform with Limited Access User : MT-UNI+LAU)
   - 3.2 เทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็น (Multi-Token Uniform with Limited Access Token : MT-UNI+LAT)

ทั้งนี้ในส่วนของเทคนิคการจองช่องสัญญาณวิธีการที่ 1 คือ MT-CFP เป็นเทคนิคการจองช่องสัญญาณซึ่งได้เคยนำเสนอไปแล้วก่อนดำเนินการจัดทำโครงการวิจัยนี้ แต่ถือว่าเป็นแนวคิดและเทคนิควิธีการพื้นฐานในการนำมาพัฒนาเทคนิคการจองสัญญาณที่ได้นำเสนอในโครงการวิจัยนี้คือ MT-UNI และ MT-UNI+LA จึงขอนำเสนอในส่วนของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-CFP ด้วยในเอกสารรายงานผลการวิจัยนี้ เพื่อประกอบความเข้าใจที่ดียิ่งขึ้นของผู้สนใจที่จะศึกษารายงานฉบับนี้

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย จะเริ่มต้นด้วยการศึกษาทำความเข้าใจถึงการออกแบบโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูงจากผลงานวิจัยที่ได้มีการนำเสนอไว้ หลังจากนั้น จึงพัฒนาดัดแปลง ปรับปรุงและคิดค้นเทคนิคการจองช่องสัญญาณรูปแบบใหม่ที่ใช้โทเค็นหลายอันขึ้น เพื่อให้ได้อัลกอริทึมการจองที่มีประสิทธิภาพสูง จากนั้นจึงสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถจำลองระบบการจองดังกล่าว สำหรับใช้ในการประเมินสมรรถนะของเทคนิคที่พัฒนาขึ้น เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิมที่มีผู้ได้เสนอไว้ก่อนแล้ว ในลำดับถัดไปจะได้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถจำลองการทำงานของระบบการจองตามกรรมวิธี Monte Carlo เพื่อให้มั่นใจได้ว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นนี้มีความถูกต้องจริงและให้ผลตรงตามที่ควรจะเป็น

หลังจากที่เราได้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์และสร้างสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิคการจองแต่ละประเภทได้แล้ว เราจะนำเอาเครื่องมือที่สร้างมาทั้งหมดนี้มาศึกษาถึงข้อดีข้อเสียหลายประการตามที่ได้กล่าวไว้ในขอบเขตของงานวิจัย โดยวิธีการในการศึกษานั้นจะอาศัยการจำลองระบบการจองช่องสัญญาณที่มีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ ได้แก่ จำนวนสล็อต จำนวนผู้ใช้ และจำนวนโทเค็น ให้มีความหลากหลายและครอบคลุมสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อาจพบได้ในทางปฏิบัติ เพื่อหาข้อสรุปถึงการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้เป็นระบบการจองช่องสัญญาณที่มีประสิทธิภาพสูง ในท้ายสุด จะเป็นส่วนของสรุปผลของการวิจัยทั้งหมด เพื่อนำมาเขียนเป็นรายงานสรุปผลงานวิจัยและนำเสนอในงานประชุมทางวิชาการ

บทนี้จะเป็นการบรรยายถึงเทคนิคการจองช่องสัญญาณซึ่งใช้โทเค็นหลายอันสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูงที่พัฒนาขึ้น และแนวการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิคการจองช่องสัญญาณดังกล่าว ในโครงการวิจัยนี้ได้เสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณไว้ด้วยกัน 3 เทคนิค ได้แก่

1. เทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่ (Multi-Token Cascade Fixed Probability : MT-CFP)
2. เทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม (Multi-Token Uniform : MT-UNI)
3. เทคนิคการจำกัดจำนวน (Multi - Token Uniform with Limited Access : MT-UNI+LA) โดยได้นำเสนอเป็น 2 เทคนิคย่อย ได้แก่
   - 3.1 เทคนิคการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ (Multi - Token Uniform with Limited Access User: MT-UNI+LAU)
   - 3.2 เทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็น (Multi - Token Uniform with Limited Access Token: MT-UNI+LAT)

วัตถุประสงค์หลักของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอเป็นการทำให้ระบบมีสมรรถนะในช่วงการจองสูงสุด กล่าวคือ ต้องการทำให้ผู้ใช้บริการที่เข้าจองประสบความสำเร็จมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งสมรรถนะในช่วงการจองมีค่าเท่ากับจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในช่วงการจอง (Average

Number of Successful Users) หรือ ค่าวิสัยสามารถในช่วงการจอง (Throughput) เมื่อค่าวิสัยสามารถคือ จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จต่อจำนวนสล็อตการจองที่มีในระบบ การคำนวณหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของเทคนิคที่นำเสนอสามารถกระทำได้โดยอาศัยวิธีวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ เนื้อหาในบทนี้จะเริ่มต้นด้วยการอธิบายหลักการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ พร้อมทั้งกรณีตัวอย่างซึ่งมีจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจองในระบบไม่มากนัก เพื่อให้สามารถเข้าใจหลักการในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ และนำไปสู่ในส่วนสุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์รูปทั่วไป แสดงในพจน์ของจำนวนผู้ใช้บริการ (M) จำนวนสล็อตการจอง (N) และจำนวนของโทเค็นการจอง (T)

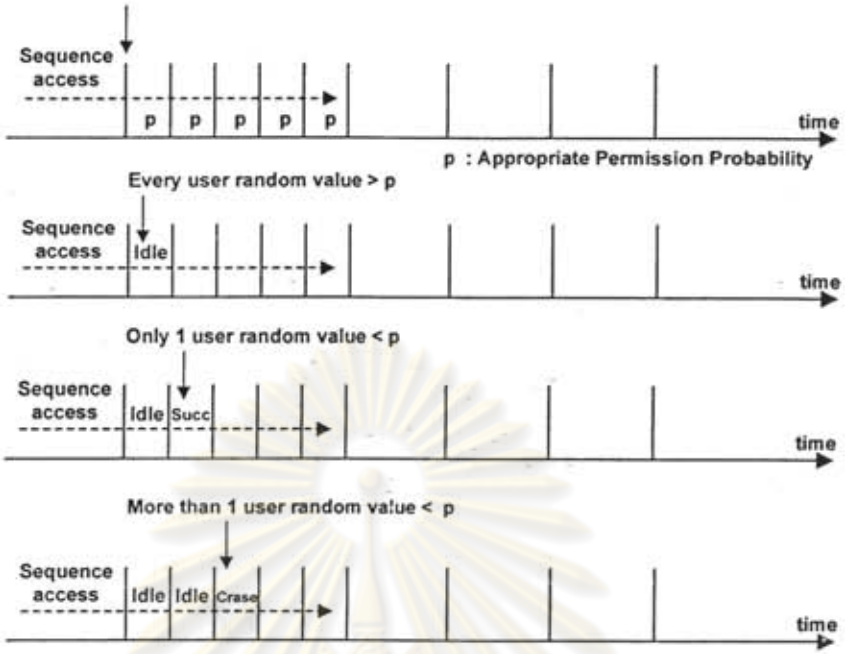
3.1 เทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่ (Multi-Token Cascade Fixed Probability : MT-CFP)

จากการศึกษาเทคนิคการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณ ซึ่งได้กล่าวโดยรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.4 พบว่าค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจอง (p) เป็นพารามิเตอร์สำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบ การเลือกค่านี้จึงต้องเลือกอย่างเหมาะสม ถ้าค่า p มีค่ามากเกินไปจะทำให้ผู้ใช้บริการเกือบทั้งหมดจะเข้าจองในสล็อตการจองอันดับแรก ๆ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้บริการเกิดการชน หลังจากนั้นผู้ใช้บริการที่เหลืออยู่จำนวนน้อยจะเข้าจองในสล็อตที่เหลือ ส่งผลให้จำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองมีเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการชนกันใน สล็อตการจองแรก ๆ ในทางตรงกันข้ามถ้าค่า p มีค่าน้อยเกินไป ทำให้แทบจะไม่มีผู้ใช้บริการคนใดตัดสินใจเข้าจอง สล็อตการจองจำนวนมากจะไม่ถูกใช้ และจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองคาดว่าจะมีเพียงเล็กน้อยเช่นกัน เพราะสล็อตการจองมีการใช้งานน้อยเกินไป

ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวและเพื่อทำให้ระบบได้รับสมรรถนะสูงสุดในช่วงการจอง งานวิจัยฉบับนี้จึงเสนอ "เทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่"

3.1.1 หลักการทำงานของเทคนิค MT-CFP

เทคนิคนี้จะใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมค่าหนึ่งในแต่ละเฟรม (ช่วงการจอง) โดยค่านี้จะเท่ากันสำหรับผู้ใช้บริการทุกคน และเท่ากันตลอดทุกสล็อตการจองในเฟรมนั้น ๆ เมื่อขึ้นเฟรมใหม่จะคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมค่าใหม่ ซึ่งจะหาโดยพิจารณาจากจำนวนผู้ใช้บริการที่ต้องการจอง ณ เวลาเริ่มต้นในแต่ละเฟรม จำนวนสล็อตการจองที่มีอยู่ในแต่ละช่วงการจอง และจำนวนของโทเค็นที่กำหนดโดยสถานีฐาน โดยกำหนดให้ผู้ใช้บริการแต่ละคนเข้าจองในแต่ละสล็อตการจองตามลำดับจากสล็อตแรกถึงสุดท้าย (Cascade) ในแต่ละสล็อตการจองผู้ใช้บริการจะตัดสินใจว่าจะเข้าจองหรือไม่ด้วยความน่าจะเป็นที่แน่นอนค่าหนึ่ง (Fixed Probability) และผู้ใช้บริการแต่ละคนมีสิทธิ์ที่จะเข้าจองช่องสัญญาณได้เท่ากับจำนวนของโทเค็นที่มีอยู่ (Multi - Token) แต่มีข้อกำหนดว่าผู้ใช้บริการหนึ่งรายจะสามารถประสบความสำเร็จในการจองได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น ซึ่งจะเรียกวิธีนี้ว่า "Multi – Token Cascade Fixed Probability" หรือ "MT-CFP" กลไกการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-CFP แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กลไกการทำงานของเทคนิคการจองแบบ Multi-Token Cascade Fixed Probability (MT-CFP)

3.1.2 แนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค MT-CFP

หัวข้อนี้เป็นแนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ เพื่อคำนวณหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง และค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจองช่องสัญญาณ เนื่องจากเทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่ของระบบที่ใช้โทเค็นหลายอัน มีรากฐานมาจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของระบบที่ใช้โทเค็นเพียง 1 อัน เนื้อหาในส่วนแรกนี้จึงขอนำเสนอหลักการและการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่ของระบบที่ใช้โทเค็น 1 อัน (Cascade Fixed Probability : CFP) เพื่อประกอบความเข้าใจและนำไปสู่การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในรูปทั่วไปของระบบที่ใช้โทเค็นหลายอันในลำดับต่อไป

3.1.2.1 แนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค CFP

เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจในหลักการและแนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิค CFP ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้โทเค็นการจองเพียง 1 อัน จึงจะขอยกตัวอย่างระบบในกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจองไม่มากนัก ซึ่งจะเป็นแนวทางของการวิเคราะห์ระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจองใด ๆ ในลำดับต่อไป

กำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ใช้โทเค็น 1 อัน ดังนี้

M แทนจำนวนของผู้ใช้บริการในระบบ

N แทนจำนวนสล็อตการจองที่เหลืออยู่

p แทนค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองหรือส่งโทเค็นการจอง (Permission Probability)

k แทนจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จ

$\Pr[k \mid M,N,p]$ แทนความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ k คนประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ M คน จำนวนสล็อตการจอง N สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p

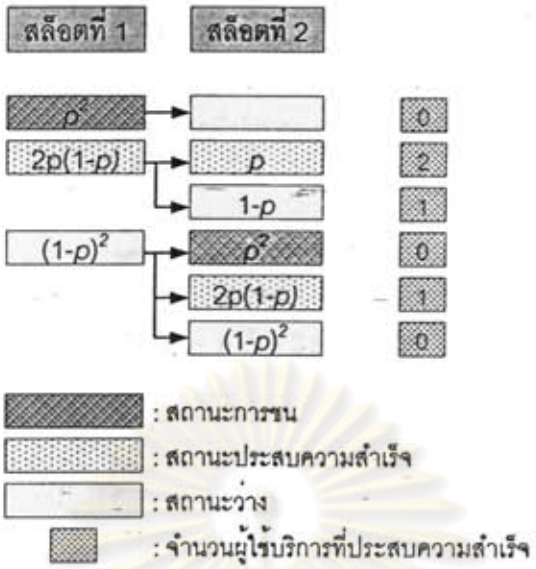
$T[M,N,p]$ แทนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ เมื่อมีผู้ใช้บริการ M คน จำนวนสล็อตการจอง N สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p

3.1.2.1.1 ระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน และสล็อตการจอง 2 สล็อต

ระบบนี้ เมื่อพิจารณาสล็อตการจองแรก พบว่ามีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ 3 เหตุการณ์ คือ

- ผู้ใช้บริการทั้ง 2 คนเข้าจองพร้อมกัน ดังนั้นเกิดการชนกันทำให้ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตการจองถัดไปไม่เหลือผู้ใช้บริการที่มีสิทธิเข้าจอง เพราะผู้ใช้ทั้งคู่ใช้สิทธิไปแล้ว
- มีผู้ใช้บริการ 1 คนเข้าจอง ดังนั้นผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตการจองถัดไปจะเหลือผู้ใช้บริการที่ยังมีสิทธิเข้าจองอีก 1 คน
- ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเข้าจอง ดังนั้นในสล็อตการจองการจองถัดไปจะมีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ 3 เหตุการณ์เหมือนสล็อตการจองแรก

ตัวอย่างของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน และจำนวนสล็อตการจอง 2 สล็อต เมื่อผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าในแต่ละสล็อตการจองมีสถานะที่เกิดขึ้นได้ 3 สถานะคือ สถานะว่างเมื่อไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเข้าจอง สถานะประสบความสำเร็จเมื่อผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจอง และสถานะเกิดการชนเมื่อผู้ใช้บริการเข้าจองพร้อมกัน



รูปที่ 3.2 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการ 2 คน และจำนวนสล็อตการจอง 2 สล็อต

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ k คนประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ 2 คน จำนวนสล็อตการจอง 2 สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p ($\Pr[k \mid 2,2,p]$) โดยที่ $k = 0,1,2$ สามารถหาได้ดังนี้

กรณีที่ $k = 0$: ความน่าจะเป็นที่ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเลยประสบความสำเร็จในการจอง คือ

$$\Pr[0 \mid 2,2,p] = p^2 + (1-p)^2 \times p^2 + (1-p)^2 \times (1-p)^2 \quad (3.1)$$

$$= p^2 + p^2(1-p)^2 + (1-p)^4$$

กรณีที่ $k = 1$: ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ 1 คนประสบความสำเร็จในการจอง คือ

$$\Pr[1 \mid 2,2,p] = 2p(1-p) \times (1-p) + (1-p)^2 \times 2p(1-p) \quad (3.2)$$

$$= 2p(1-p)^2 + 2p(1-p)^3$$

กรณีที่ $k = 2$: ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ 2 คนประสบความสำเร็จในการจอง คือ

$$\Pr[2 \mid 2,2,p] = 2p(1-p) \times p = 2p^2(1-p) \quad (3.3)$$

ระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน จำนวนสล็อตการจอง 2 สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p จะหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จได้คือ

$$T[2,2,p] = 0 \cdot \Pr[0 \mid 2,2,p] + 1 \cdot \Pr[1 \mid 2,2,p] + 2 \cdot \Pr[2 \mid 2,2,p] \quad (3.4)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ $\Pr[0 \mid 2,2,p]$, $\Pr[1 \mid 2,2,p]$ และ $\Pr[2 \mid 2,2,p]$ เป็นไปตามสมการ (3.1), (3.2) และ (3.3) ตามลำดับ

ดังนั้น จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ ในระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน และสล็อตการจอง 2 สล็อต คือ

$$T[2,2,p] = 0+[2p(1-p)^2+2p(1-p)^3]+[2\times 2p^2(1-p)] \quad (3.5)$$

$$2p(1-p)^2+2p(1-p)^3+4p^2(1-p)$$

ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจอง สำหรับระบบนี้ซึ่งมีผู้ใช้บริการ 2 คน และสล็อตการจอง 2 สล็อต คือ ค่าที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (3.5) เทียบกับ p เป็นศูนย์ ดังแสดงในสมการที่ (3.6)

$$\frac{\partial}{\partial p}T[2,2,p] = \frac{\partial}{\partial p}[2p(1-p)^2+2p(1-p)^3+4p^2(1-p)]=0 \quad (3.6)$$

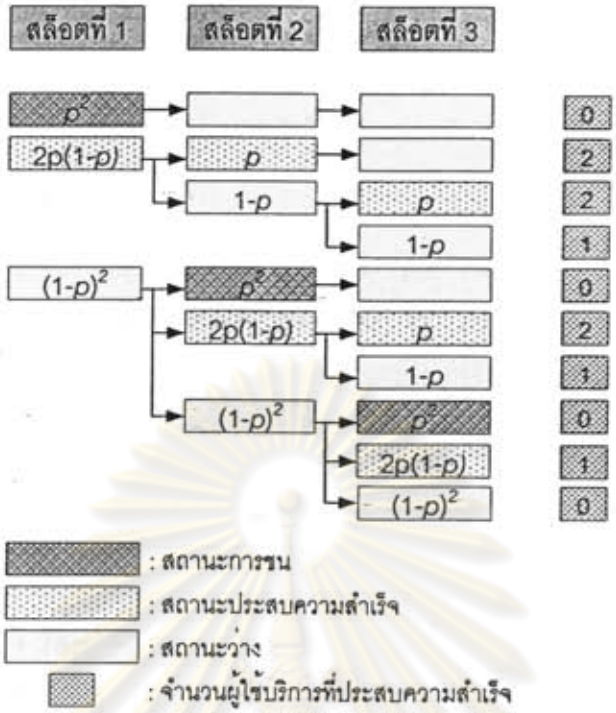
จะได้ $2p^3-3p^2+3p-1 = 0$ (3.7)

จากสมการที่ (3.7) สามารถหารากคำตอบได้จำนวน 3 ราก ได้แก่ 0.5 , $\frac{1\pm\sqrt{3}i}{2}$ ซึ่งรากคำตอบที่เหมาะสมคือรากคำตอบที่เป็นจำนวนจริง เพราะฉะนั้น จะได้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจอง สำหรับระบบนี้ซึ่งมีผู้ใช้บริการ 2 คน และสล็อตการจอง 2 สล็อต คือ $p = 0.5$

3.1.2.1.2 ระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน และสล็อตการจอง 3 สล็อต

ระบบนี้ เมื่อพิจารณาสล็อตการจองแรก พบว่ามีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ 3 เหตุการณ์ เช่นเดียวกันกับในกรณีของระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน และสล็อตการจอง 2 สล็อต คือ สถานะว่างเมื่อไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเข้าจอง สถานะประสบความสำเร็จเมื่อผู้ใช้บริการ 1 คนตัดสินใจเข้าจอง และสถานะเกิดการชนเมื่อผู้ใช้บริการเข้าจองพร้อมกัน ตัวอย่างของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน และจำนวนสล็อตการจอง 3 สล็อต เมื่อผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการ 2 คน และจำนวนสล็อตการจอง 3 สล็อต

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ k คนประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ 2 คน จำนวนสล็อตการจอง 3 สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p ($\Pr[k \mid 2,3,p]$) โดยที่ $k = 0,1,2$ สามารถหาได้ดังนี้

กรณีที่ $k = 0$: ความน่าจะเป็นที่ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเลยประสบความสำเร็จในการจอง คือ

$$\Pr[0 \mid 2,3,p] = p^2 + p^2(1-p)^2 + p^2(1-p)^4 + (1-p)^6 \quad (3.8)$$

กรณีที่ $k = 1$: ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ 1 คนประสบความสำเร็จในการจอง คือ

$$\Pr[1 \mid 2,3,p] = 2p(1-p)^3 + 2p(1-p)^4 + 2p(1-p)^5 \quad (3.9)$$

กรณีที่ $k = 2$: ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ 2 คนประสบความสำเร็จในการจอง คือ

$$\Pr[2 \mid 2,3,p] = 2p^2(1-p) + 2p^2(1-p)^2 + 2p^2(1-p)^3 \quad (3.10)$$

ระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน จำนวนสล็อตการจอง 3 สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p จะหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จได้คือ

$$T[2,3,p] = 0 \cdot \Pr[0 \mid 2,3,p] + 1 \cdot \Pr[1 \mid 2,3,p] + 2 \cdot \Pr[2 \mid 2,3,p] \quad (3.11)$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ $\Pr[0 \mid 2,3,p]$, $\Pr[1 \mid 2,3,p]$ และ $\Pr[2 \mid 2,3,p]$ เป็นไปตามสมการ (3.8), (3.9) และ (3.10) ตามลำดับ

จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ ในระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน และสล็อตการจอง 3 สล็อต คือ

$$T[2,3,p] = 2p(1-p)^3 + 2p(1-p)^4 + 2p(1-p)^5 + 4p^2(1-p) + 4p^2(1-p)^2 + 4p^2(1-p)^3 \quad (3.12)$$

ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจอง สำหรับระบบนี้ซึ่งมีผู้ใช้บริการ 2 คน และสล็อตการจอง 3 สล็อต คือ ค่าที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (3.12) เทียบกับ p เป็นศูนย์ ดังแสดงในสมการที่ (3.13)

$$\frac{\partial}{\partial p} T[2,3,p] = 0$$

จะได้ $$6p^5 - 20p^4 + 28p^3 - 21p^2 + 12p - 3 = 0 \quad (3.13)$$

จากสมการที่ (3.13) สามารถหารากคำตอบของสมการได้ด้วยวิธีการหารสังเคราะห์ ซึ่งพบว่าอาจต้องใช้เวลาในการแทนค่าพอสมควร สำหรับการหาคำตอบของพหุนาม (Polynomial) มีฟังก์ชันในโปรแกรม MATLAB ที่สนับสนุน คือ ฟังก์ชัน roots วิธีการค่ารากคำตอบของสมการที่ (3.13) สามารถกระทำได้ดังนี้

```
p = [6 -20 28 -21 12 -3];
r = roots(p)
r =     1.2956 + 0.6350i
        1.2956 - 0.6350i
        0.1448 + 0.7140i
        0.1448 - 0.7140i
        0.4526
```

จากสมการที่ (3.13) หารากคำตอบได้จำนวน 5 ราก ซึ่งรากคำตอบที่เหมาะสมคือรากคำตอบที่เป็นจำนวนจริง เพราะฉะนั้น จะได้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจอง สำหรับระบบนี้ซึ่งมีผู้ใช้บริการ 2 คน และสล็อตการจอง 3 สล็อต คือ $p = 0.4526$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

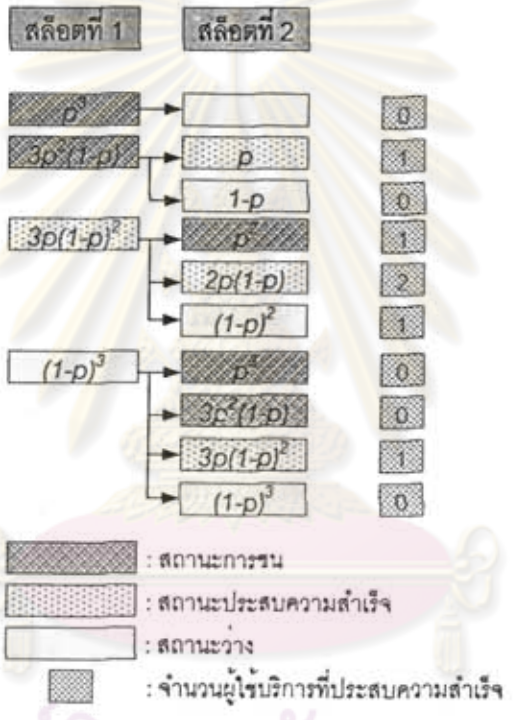
3.1.2.1.3 ระบบที่มีผู้ใช้บริการ 3 คน และสล็อตการจอง 2 สล็อต

ระบบนี้ เมื่อพิจารณาสล็อตการจองแรกมีเหตุการณ์เกิดขึ้นได้ 4 เหตุการณ์ คือ

- ผู้ใช้บริการทั้ง 3 คนเข้าจองพร้อมกัน ดังนั้นเกิดการชนกันทำให้ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตการจองถัดไปไม่เหลือผู้ใช้บริการที่จะมีสิทธิเข้าจอง เพราะผู้ใช้บริการทั้งหมดใช้สิทธิไปแล้ว

- มีผู้ใช้บริการ 2 คนเข้าจอง ดังนั้นเกิดการชนกันผู้ใช้บริการจึงไม่ประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตการจองถัดไปจะเหลือผู้ใช้บริการที่ยังมีสิทธิเข้าจองอีก 1 คน
- มีผู้ใช้บริการ 1 คนเข้าจอง ดังนั้นผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตการจองถัดไปจะเหลือผู้ใช้บริการที่ยังมีสิทธิเข้าจองอีก 2 คน
- ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเข้าจอง ดังนั้นในสล็อตการจองการจองถัดไปจะมีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ 4 เหตุการณ์เหมือนสล็อตการจองแรก

ตัวอย่างของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีผู้ใช้บริการ 3 คน และจำนวนสล็อตการจอง 2 สล็อต เมื่อผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการ 3 คน และจำนวนสล็อตการจอง 2 สล็อต

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ k คนประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ 3 คน จำนวนสล็อตการจอง 2 สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p ($\Pr[k \mid 3,2,p]$) โดยที่ $k = 0,1,2,3$ สามารถหาได้ดังนี้

กรณีที่ $k = 0$: ความน่าจะเป็นที่ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเลยประสบความสำเร็จในการจอง คือ

$$\Pr[0 \mid 3,2,p] = p^3 + 3p^2(1-p)^2 + p^3(1-p)^3 + 3p^2(1-p)^4 + (1-p)^6 \quad (3.14)$$

กรณีที่ $k = 1$: ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ 1 คนประสบความสำเร็จในการจอง คือ

$$\Pr[1 \mid 3,2,p] = 3p^3(1-p) + 3p^3(1-p)^2 + 3p(1-p)^4 + 3p(1-p)^5 \quad (3.15)$$

กรณีที่ $k = 2$: ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ 2 คนประสบความสำเร็จในการจอง คือ

$$\Pr[2 \mid 3,2,p] = 6p^2(1-p)^3 \quad (3.16)$$

กรณีที่ ... ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ 3 คนประสบความสำเร็จในการจอง คือ

$$\Pr[3 \mid 3,2,p] = 0 \quad (3.17)$$

ระบบที่มีผู้ใช้บริการ 3 คน จำนวนสล็อตการจอง 2 สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p จะหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จได้คือ

$$T[3,2,p] = 0 \cdot \Pr[0 \mid 3,2,p] + 1 \cdot \Pr[1 \mid 3,2,p] + 2 \cdot \Pr[2 \mid 3,2,p] \quad (3.18)$$

เมื่อ $\Pr[0 \mid 3,2,p]$, $\Pr[1 \mid 3,2,p]$, $\Pr[2 \mid 3,2,p]$ และ เป็นไปตามสมการ (3.14), (3.15), (3.16) และ (3.17) ตามลำดับ

จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ ในระบบที่มีผู้ใช้บริการ 3 คน และสล็อตการจอง 2 สล็อต คือ

$$T[3,2,p] = 3p^3(1-p) + 3p^3(1-p)^2 + 3p(1-p)^4 + 3p(1-p)^5 + 12p^2(1-p)^3 \quad (3.19)$$

ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจอง สำหรับระบบนี้ซึ่งมีผู้ใช้บริการ 3 คน และสล็อตการจอง 2 สล็อต คือ ค่าที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (3.19) เทียบกับ p เป็นศูนย์ ดังแสดงในสมการที่ (3.20)

$$\frac{\partial}{\partial p} T[2,3,p] = 0$$

จะได้ $$6p^5 - 15p^4 + 20p^3 - 18p^2 + 10p - 2 = 0 \quad (3.20)$$

สามารถหาค่ารากคำตอบได้ทั้งหมด 5 ค่า ได้แก่ 0.1817 + 0.9706i ,0.1817 - 0.9706i , 0.8852 + 0.3873i , 0.8852 - 0.3873i และ 0.3662 เพราะฉะนั้น จะได้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจอง สำหรับระบบนี้ซึ่งมีผู้ใช้บริการ 3 คน และสล็อตการจอง 2 สล็อต คือ $p = 0.3662$

จากกรณีของระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจองตามที่ได้ยกตัวอย่างทั้ง 3 กรณีข้างต้น พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมสำหรับการส่งโทเค็นการจองขึ้นกับจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจองที่มีอยู่ในระบบ ในส่วนของจำนวนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละระบบจะมีค่าขึ้นกับจำนวนของผู้ใช้บริการที่มีอยู่ในระบบ โดยจำนวนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ $M+1$ เหตุการณ์ เมื่อ M แทนจำนวนของผู้ใช้บริการในระบบ โดยที่สามารถแบ่งกลุ่มเหตุการณ์ได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

- การว่าง (Idle) เกิดขึ้นเมื่อไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเข้าจองช่องสัญญาณ
- การสำเร็จ (Success) เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการเพียง 1 ราย เข้าจองช่องสัญญาณ

- การชนกัน (Collision) เกิดขึ้นเมื่อมีผู้มาใช้บริการมากกว่า 1 ราย เข้าจองช่องสัญญาณ

นอกจากนี้ตัวแปรที่ถือว่ามีความสำคัญมากคือ $\Pr[k \mid M,N,p]$ ซึ่งนิยามว่าคือค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ k คนประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณในระบบที่มีผู้ใช้บริการ M คนและสล็อตการจอง N สล็อต จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าของ Pr มีลักษณะการเกิดขึ้นอย่างมีรูปแบบ ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้สามารถเขียน Pr ในรูปของรีเคอร์ซีฟ (Recursive Formula) ได้ ดังจะกล่าวในรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

3.1.2.1.4 ระบบที่มีผู้ใช้บริการ M คน และสล็อตการจอง N สล็อต

เมื่อพิจารณาระบบที่มีผู้ใช้บริการที่เข้าจองช่องสัญญาณจำนวน M รายและสล็อตการจองจำนวน N สล็อต กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเท่ากับ p พบว่าเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นเมื่อพิจารณาช่องสัญญาณจองช่องใด ๆ เป็นไปได้ 3 กรณีคือ

- การว่าง เกิดเนื่องจากไม่มีผู้ใช้บริการรายใดในระบบเข้าจองช่องสัญญาณ โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการว่าง $= b[M,0,p]$
- การสำเร็จ เกิดเนื่องจากมีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวในระบบเข้าจองช่องสัญญาณ โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการสำเร็จ $= b[M,1,p]$
- การชน เกิดเนื่องจากมีผู้ใช้บริการตั้งแต่ 2 รายขึ้นไปเข้าจองช่องสัญญาณพร้อมกัน โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการชน $= \sum_{i=2}^{M} b[M,i,p]$

  โดยที่ $b[m,i,x] = \binom{m}{i} x^i (1-x)^{m-i}$

จากค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นในช่องสัญญาณจองช่องใด ๆ จะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการจำนวน k รายสามารถจองช่องสัญญาณสำเร็จ โดยอาศัยหลักการรีเคอร์ซีฟดังนี้

$$\begin{aligned} P_{CFP}[k \mid M,N] &= b[M,0,p]P_{CFP}[k \mid M,N-1] \\ &\quad + b[M,1,p]P_{CFP}[k-1 \mid M-1,N-1] \\ &\quad + \sum_{i=2}^{M} b[M,i,p]P_{CFP}[k \mid M-i,N-1] \end{aligned} \tag{3.21}$$

โดยที่ $P_{CFP}[k \mid M,N]$ คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการ k รายสามารถจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ จากระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน M ราย สล็อตการจองจำนวน N สล็อต กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเท่ากับ p และกำหนดค่าเริ่มต้นหรือเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) ของสมการ (3.21) ไว้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$P_{CFP}[k \mid M,N]=\begin{cases}0 & if\ k<0, M\geq 0, N\geq 0\\ 1 & if\ k=0, M\geq 0, N=0\\ 0 & if\ k>0, M\geq 0,\ N=0\\ 1 & if\ k=0, M=0, N\geq 0\\ 0 & if\ k>0, M=0, N\geq 0\end{cases}$$

นอกจากนี้จะสามารถนำค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการจองช่องสัญญาณสำเร็จกรณีต่าง ๆ มาคำนวณหาค่าวิสัยสามารถของระบบ $\left(T_{CFP}[M,N]\right)$ ซึ่งนิยามว่าเป็นจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่จองช่องสัญญาณได้สำเร็จ ได้จากสมการ (3.22)

$$T_{CFP}[M,N]=\sum_{j=0}^{M}\left(j\times P_{CFP}[j \mid M,N]\right) \tag{3.22}$$

สำหรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการ คือค่า p ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (3.22) เทียบกับ p เป็นศูนย์ ($\frac{\partial}{\partial p}T_{CFP}[M,N]=0$) และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

นอกจากนี้ ยังสามารถหาสมรรถนะของวิธี CFP ด้วยหลักการรีเคอร์ซีฟในรูปของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากในแต่ละสล็อตการจองจะมีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียวที่สามารถประสบความสำเร็จในการจอง ซึ่งจะเกิดเมื่อไม่มีผู้ใช้บริการคนอื่นยกเว้นผู้ใช้บริการคนนี้เข้าจอง พิจารณาสล็อตการจองแรกจะมีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ 3 เหตุการณ์คือ

กรณี $i=0$: ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเลยเข้าจอง สล็อตการจองจะอยู่ในสถานะว่าง และในสล็อตการจองถัดไปมีผู้ใช้บริการเหลืออยู่เท่าเดิม M คน ดังนั้นจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของกรณีนี้หาได้จากผลคูณของความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุการณ์ ($b[M,0,p]$) กับจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในสล็อตการจองถัดไป ($T[M,N\text{-}1,p]$)

$$b[M,0,p]\cdot T[M,N\text{-}1,p] \tag{3.23}$$

กรณี $i=1$: มีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียวเข้าจอง ผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตการจองถัดไปมีจำนวนผู้ใช้บริการเหลือ $M-1$ คน ดังนั้นจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของกรณีนี้หาได้จากผลคูณของความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุการณ์ ($b[M,1,p]$) กับผลรวมของ 1 และจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในสล็อตการจองถัดไป $\left(1+T[M\text{-}1,N\text{-}1,p]\right)$ เมื่อ 1 เป็นจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จที่เพิ่มขึ้นเพราะมีผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในการจอง 1 คน

$$b[M,1,p]\cdot\left(1+T[M\text{-}1,N\text{-}1,p]\right) \tag{3.24}$$

กรณี $i>1$. มีผู้ใช้บริการมากกว่าหนึ่งคนเข้าจอง จึงเกิดการชนกันทำให้ผู้ใช้บริการทั้ง i คนไม่ประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตการจองถัดไปมีจำนวนผู้ใช้บริการเหลือ $M-i$ คน ดังนั้นจำนวน

ผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของกรณีนี้หาได้จากผลคูณของความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุการณ์ ($b[M,i,p]$) กับจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในสล็อตการจองถัดไป ($T[M\text{-}i,N\text{-}1,p]$)

$$b[M,i,p]\cdot T[M\text{-}i,N\text{-}1,p] \tag{3.25}$$

ดังนั้นในระบบที่มีผู้ใช้บริการ M คน จำนวนสล็อตการจอง N สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p จะหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จด้วยหลักการรีเคอร์ซีฟในรูปของ T ได้คือ

$$\begin{aligned} T[M,N,p] = {} & b[M,0,p]\cdot T[M,N\text{-}1,p] \\ & + b[M,1,p]\cdot\left(1+T[M\text{-}1,N\text{-}1,p]\right) \\ & + \sum_{i=2}^{M} b[M,i,p]\cdot T[M\text{-}i,N\text{-}1,p] \\ = {} & b[M,1,p]+\sum_{i=0}^{M} b[M,i,p]\cdot T[M\text{-}i,N\text{-}1,p] \end{aligned} \tag{3.26}$$

เมื่อเงื่อนไขขอบเขตของสมการ (3.26) คือ

$$T[M,0,p]=T[0,N,p]=0 \tag{3.27}$$

ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจอง ($p_{CFP}[M,N]$) ในแต่ละเฟรม คือ ค่า p ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (3.26) เทียบกับ p เป็นศูนย์ ซึ่งค่า $p_{CFP}[M,N]$ ที่ได้จะทำให้ได้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยสูงสุดที่ประสบความสำเร็จ ($T_{CFP}[M,N]$)

3.1.2.2 แนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค MT-CFP

แนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค MT-CFP ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้โทเค็นหลายอัน สามารถวิเคราะห์ได้โดยการเขียนแผนภาพและวิเคราะห์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ในแต่ละสล็อตการจอง เช่นเดียวกับเทคนิคซึ่งใช้โทเค็นเพียง 1 อัน แต่จะมีความแตกต่างในบางประเด็นของการวิเคราะห์ ได้แก่

- จำนวนของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละสล็อตการจอง พบว่าในระบบที่ใช้โทเค็นเพียง 1 อัน ไม่จำเป็นต้องพิจารณาลำดับของผู้ใช้บริการว่าผู้ใช้บริการคนใดเป็นผู้เข้าจองช่องสัญญาณ แต่ในระบบที่ใช้โทเค็นหลายอัน จำเป็นที่จะต้องพิจารณาลำดับของผู้ใช้บริการ ทั้งนี้เพื่อการตรวจสอบว่าผู้ใช้บริการรายนั้น ๆ เหลือโทเค็นจำนวนเท่าใด จากที่ได้กล่าวไปแล้วในระบบที่ใช้โทเค็น 1 อัน จะมีจำนวนของเหตุการณ์คือ $M+1$ เมื่อ M คือจำนวนผู้ใช้บริการในระบบ แต่ระบบที่ใช้

โทเค็นหลายอัน มีการพิจารณาลำดับของผู้ใช้บริการ พบว่าจำนวนของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละสล็อตการจองมีค่าเท่ากับ 2^M เหตุการณ์

- สถานะของการประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ เนื่องจากบนพื้นฐานของโครงข่ายระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูง ที่มีค่าประวิงเวลาการแพร่กระจายครบรอบมากกว่าค่าประวิงเวลาการส่งสัญญาณข้อมูลข่าวสาร ทำให้ผู้ใช้บริการไม่มีโอกาสทราบผลการจองได้ทันในช่วงเวลาการจอง เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับระบบที่ใช้โทเค็นหลายอัน พบว่าไม่ว่าจะส่งโทเค็นการจองจำนวนเท่าใดก็ตามในช่วงเวลาการจอง ก็ไม่สามารถทราบผลการจองได้ทันในช่วงเวลาการจอง และสำหรับผู้ใช้บริการ 1 ราย จะมีโทเค็นที่ประสบความสำเร็จในการจองเท่าใดก็ตาม ก็สามารถประสบความสำเร็จในการจองได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของระบบที่ใช้โทเค็นหลายอัน จำเป็นต้องมีตัวแปรเพื่อแสดงค่าของสถานะการจองของช่องสัญญาณก่อนหน้า

เพื่อเป็นการง่ายต่อความเข้าใจและมองภาพแนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ใช้โทเค็นหลายอัน จึงได้นำเสนอโดยยกตัวอย่างกรณีของจำนวนผู้ใช้บริการ จำนวนสล็อตการจอง และจำนวนโทเค็นการจองค่าต่าง ๆ ประกอบกับแผนภาพแสดงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละสล็อตการจอง พร้อมทั้งการเปรียบเทียบกับเทคนิคการจองที่ใช้โทเค็น 1 อัน และได้กำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ใช้โทเค็นหลายอัน ดังนี้

M แทนจำนวนของผู้ใช้บริการที่มีอยู่ในระบบ

N แทนจำนวนสล็อตการจองที่เหลืออยู่ในระบบ

R แทนจำนวนของผู้ใช้บริการที่เหลืออยู่ในระบบ

p แทนค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองหรือส่งโทเค็นการจอง

k แทนจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จ

T_i แทนจำนวนของโทเค็นของผู้ใช้บริการคนที่ i

S_i แทนบิตแสดงสถานะของการประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ

$S_i = \text{"0"}$ หมายความว่า ผู้ใช้บริการคนที่ i ยังไม่เคยประสบความสำเร็จในการจอง

$S_i = \text{"1"}$ หมายความว่า ผู้ใช้บริการคนที่ i เคยประสบความสำเร็จในการจองแล้ว

$P[k \mid T_1, T_2, \ldots, T_M, S_1, S_1, \ldots, S_1, N]$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แทนความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ k คนประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต โทเค็นในการจอง T อัน และบิตแสดงสถานะของผู้ใช้บริการแต่ละคนมีสถานะเป็น S

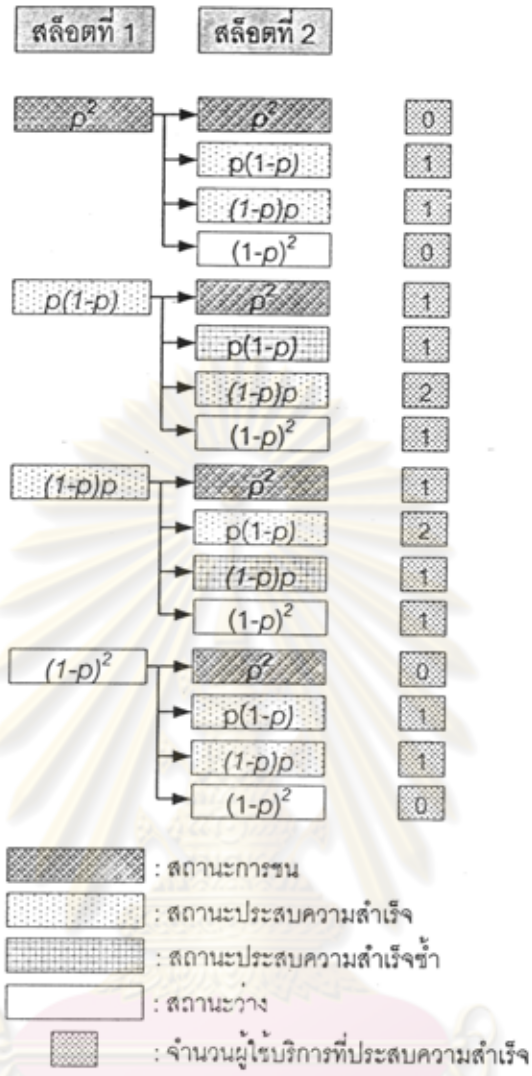
$T[M,N,T]$ แทนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต และโทเค็นการจอง T อัน

3.1.2.2.1 ระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 2 สล็อต และโทเค็นการจอง 2 อัน

ระบบนี้ ซึ่งเป็นระบบที่ใช้โทเค็นหลายอันมีการพิจารณาลำดับการเข้าจองของผู้ใช้บริการ เมื่อพิจารณาสล็อตการจองแรก จะมีเหตุการณ์เกิดขึ้นได้ 2^M เหตุการณ์ ในกรณีนี้มีจำนวนผู้ใช้บริการ 2 คน ดังนั้นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในสล็อตการจองแรกเท่ากับ 4 เหตุการณ์ คือ

- ผู้ใช้บริการทั้ง 2 คนเข้าจองพร้อมกัน ดังนั้นเกิดการชนกันทำให้ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตการจองถัดไปผู้ใช้บริการทั้ง 2 คน จะเหลือโทเค็นในการจองคนละ 1 โทเค็นและมีเหตุการณ์เกิดขึ้น 4 เหตุการณ์เหมือนสล็อตการจองแรก
- ผู้ใช้บริการคนที่ 1 เข้าจอง ดังนั้นผู้ใช้บริการคนที่ 1 จะประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตการจองถัดไป ผู้ใช้บริการคนที่ 1 เหลือโทเค็นในการจอง 1 โทเค็นและผู้ใช้บริการคนที่ 2 เหลือโทเค็นในการจอง 2 โทเค็นและมีเหตุการณ์เกิดขึ้น 4 เหตุการณ์เหมือนสล็อตการจองแรก
- ผู้ใช้บริการคนที่ 2 เข้าจอง ดังนั้นผู้ใช้บริการคนที่ 2 จะประสบความสำเร็จในการจอง และในสล็อตการจองถัดไป ผู้ใช้บริการคนที่ 2 เหลือโทเค็นในการจอง 1 โทเค็นและผู้ใช้บริการคนที่ 1 เหลือโทเค็นในการจอง 2 โทเค็นและมีเหตุการณ์เกิดขึ้น 4 เหตุการณ์เหมือนสล็อตการจองแรก
- ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเข้าจอง ดังนั้นในสล็อตการจองการจองถัดไป ผู้ใช้บริการทั้ง 2 คน เหลือโทเค็นในการจอง 2 อัน และมีเหตุการณ์เกิดขึ้น 4 เหตุการณ์เหมือนสล็อตการจองแรก

ตัวอย่างของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน จำนวนสล็อตการจอง 2 สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง 2 อัน เมื่อผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าในแต่ละสล็อตการจองมีสถานะที่เกิดขึ้นได้ 4 สถานะคือ สถานะว่างเมื่อไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเข้าจอง สถานะประสบความสำเร็จเมื่อผู้ใช้บริการ 1 คน ตัดสินใจเข้าจอง สถานะเกิดการชนเมื่อผู้ใช้บริการเข้าจองพร้อมกันและสถานะประสบความสำเร็จในการจองซ้ำ เมื่อผู้ใช้บริการ 1 คน ตัดสินใจเข้าจองแต่เป็นผู้ใช้บริการคนเดิมซึ่งเคยประสบความสำเร็จในการจองแล้ว



รูปที่ 3.5 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 2 สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง 2 อัน

จากแผนภาพเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละสล็อตการจอง พบว่ามีสถานะที่เพิ่มจากกรณีของเทคนิคที่ใช้โทเค็นเพียง 1 อัน คือสถานะที่จะเกิดการประสบความสำเร็จซ้ำของโทเค็นการจอง ซึ่งจะพบได้ในสล็อตการจองที่ 2 ในกรณีเช่นนี้การนับจำนวนของผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณจะไม่มีการบวกเพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นฐานที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้นว่า ผู้ใช้บริการแต่ละรายมีโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในการจองได้คนละ 1 ครั้ง

ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ k คนประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 2 สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง 2 อัน โดยที่ผู้ใช้บริการทุกคนยังไม่เคยประสบความสำเร็จในการเข้าจอง ($P[k \mid 2,2,0,0,2]$) โดยที่ $k = 0,1,2$ สามารถหาได้ดังนี้

กรณีที่ $k = 0$: ความน่าจะเป็นที่ไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเลยประสบความสำเร็จในการจอง คือ

$$P[0 \mid 2,2,0,0,2] = p^4 + 2p^2(1-p)^2 + (1-p)^4 \quad (3.28)$$

กรณีที่ $k = 1$: ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ 1 คนประสบความสำเร็จในการจอง คือ

$$P[1 \mid 2,2,0,0,2] = 4p^3(1-p) + 2p^2(1-p)^2 + 4p(1-p)^3 \quad (3.29)$$

กรณีที่ $k = 2$: ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ 2 คนประสบความสำเร็จในการจอง คือ

$$P[2 \mid 2,2,0,0,2] = 2p^2(1-p)^2 \quad (3.30)$$

ระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 2 สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง 2 อัน จะหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จได้คือ

$$T[2,2,2] = 0 \cdot P[0 \mid 2,2,0,0,2] + 1 \cdot P[1 \mid 2,2,0,0,2] + 2 \cdot P[2 \mid 2,2,0,0,2] \quad (3.31)$$

เมื่อ $P[0 \mid 2,2,0,0,2]$, $P[1 \mid 2,2,0,0,2]$ และ $P[2 \mid 2,2,0,0,2]$ เป็นไปตามสมการ (3.28), (3.29) และ (3.30) ตามลำดับ

จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ ในระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 2 สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง 2 อัน คือ

$$T[2,2,2] = 4p^3(1-p) + 6p^2(1-p)^2 + 4p(1-p)^3 \quad (3.32)$$

ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจอง สำหรับระบบนี้ซึ่งมีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 2 สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง 2 อัน คือ ค่าที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (3.32) เทียบกับ p เป็นศูนย์ ดังแสดงในสมการที่ (3.33)

$$\frac{\partial}{\partial p} T[2,2,2] = 0$$

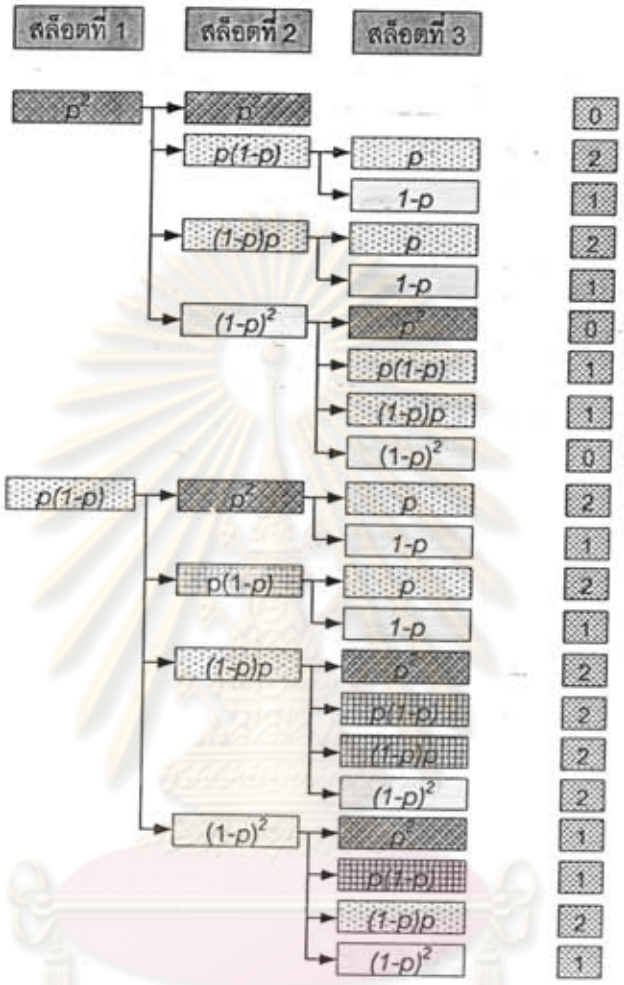
จะได้ $$2p^3 - 3p^2 + 3p - 1 = 0 \quad (3.33)$$

จากสมการที่ (3.33) หาค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจอง สำหรับระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 2 สล็อต และโทเค็นการจอง 2 อัน คือ $p = 0.5$

3.1.2.2.2 ระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อต และโทเค็นการจอง 2 อัน

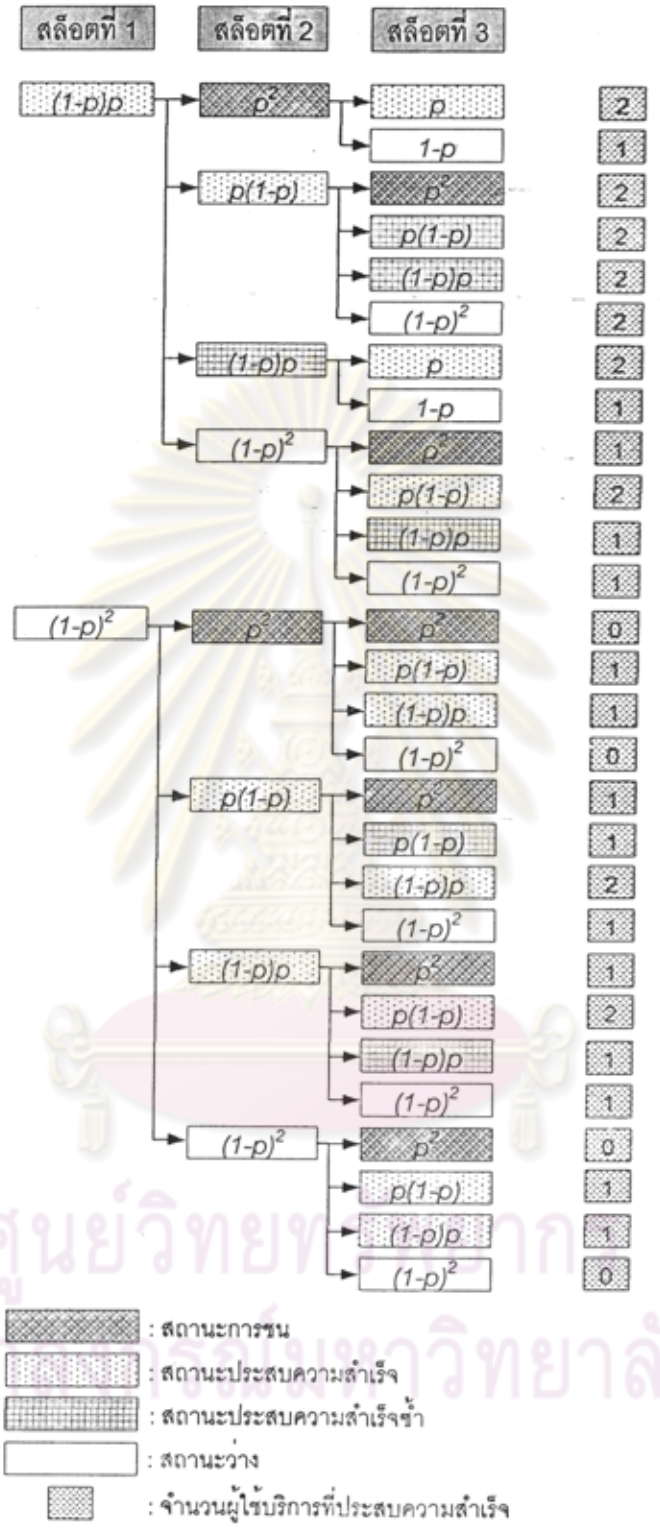
ระบบนี้ เมื่อพิจารณาสล็อตการจองแรก พบว่ามีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ 4 เหตุการณ์ เช่นเดียวกันกับในกรณีของระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 2 สล็อตและโทเค็นการจอง 2 อัน คือ การว่างเมื่อไม่มีผู้ใช้บริการคนใดเข้าจอง การชนกันเมื่อผู้ใช้บริการทั้ง 2 คนเข้าจองพร้อมกัน และการประสบความสำเร็จเมื่อผู้ใช้บริการ 1 คนตัดสินใจเข้าจอง โดยพิจารณาได้เป็น 2 เหตุการณ์คือ ผู้ใช้บริการคนที่ 1 เข้าจองและผู้ใช้บริการ

คนที่ 2 เข้าจอง ตัวอย่างของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อต และจำนวนโทเค็นในการจอง 2 อัน เมื่อผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p แสดงได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง 2 อัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 (ต่อ) เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง 2 อัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พบว่ามีสถานะที่เพิ่มจากกรณีของเทคนิคที่ใช้โทเค็นเพียง 1 อัน คือสถานะที่จะเกิดการประสบความสำเร็จซ้ำของโทเค็นการจอง ซึ่งจะพบได้ในสล็อตการจองที่ 2 เป็นต้นไป ในกรณีเช่นนี้การนับจำนวนของผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณจะไม่มีการบวกเพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นฐานที่ผู้ใช้บริการแต่ละรายมีโอกาสที่จะประสบความสำเร็จในการจองได้คนละ 1 ครั้ง

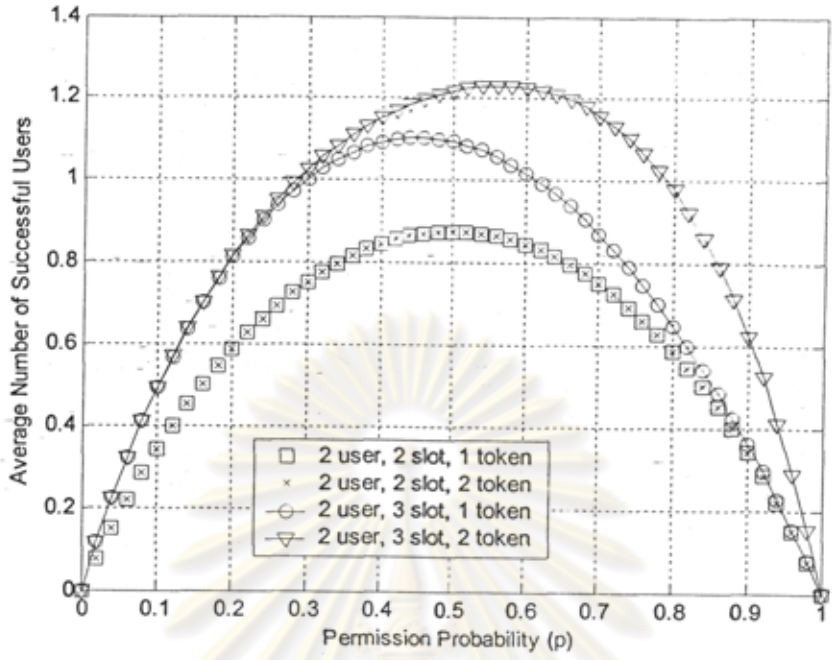
เป็นที่น่าสังเกตว่าจำนวนพจน์ที่เกิดขึ้นในกรณีของระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อต และโทเค็นในการจอง 2 อัน เพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อเทียบกับระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 2 สล็อต และโทเค็นในการจอง 2 อัน ทั้งที่จำนวนของสล็อตเพิ่มขึ้นเพียง 1 สล็อตเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อพิจารณาการเข้าจองสล็อตของผู้ใช้บริการโดยการคิดลำดับในการเข้าจอง ทำให้จำนวนพจน์ที่ต้องพิจารณามีการเพิ่มขึ้นในลักษณะของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล ทำให้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ในกรณีของระบบที่มีผู้ใช้บริการ และ/หรือ สล็อตการจองจำนวนมากต้องใช้เวลานานค่อนข้างนานพอสมควร

สำหรับในกรณีของระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อต และโทเค็นในการจอง 2 อัน สามารถคำนวณค่าของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณด้วยหลักการเช่นเดียวกับระบบที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ และแสดงในสมการที่ (3.34)

$$T[2,3,2] = 16p^2(1-p)^4 + 8p^3(1-p)^2 + 16p^3(1-p)^3 + 6p(1-p)^5 + 2p^2(1-p)^3 + 8p^4(1-p) + 4p^4(1-p)^2 \qquad (3.34)$$

ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจอง สำหรับระบบนี้ซึ่งมีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง 2 อัน คือ ค่าที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (3.34) เทียบกับ p เป็นศูนย์ ซึ่งค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมที่คำนวณได้จะขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้บริการ จำนวนสล็อตการจอง และจำนวนของโทเค็นการจองที่มีอยู่ในระบบ โดยจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยสูงสุดที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณจะเป็นไปตามสามารถ (3.34) เมื่อใช้ p เท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจอง

ในส่วนถัดไปจะได้นำเสนอกราฟซึ่งเป็นการเปรียบเทียบจำนวนของผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณของระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการ จำนวนสล็อตการจองและจำนวนโทเค็นดังที่แสดงวิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ไปแล้วในข้างต้น ได้แก่ ระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 2 สล็อตและโทเค็นการจอง 1-2 อัน และระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อตและโทเค็นการจอง 1-2 อัน เพื่อการวิเคราะห์ว่าเทคนิคที่ใช้โทเค็นหลายอันให้สมรรถนะของระบบที่ดีได้อย่างไร และมีข้อจำกัดในระบบลักษณะใดบ้าง ค่าที่นำมาพล็อตในกราฟเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในสมการที่ (3.5), (3.12), (3.32) และ (3.34) ตามลำดับ แสดงดังกราฟในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 2-3 สล็อต และโทเค็นการจอง 1-2 อัน

จากรูปที่ 3.7 พบว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่ (Cascade Fixed Probability : CFP) เมื่อปรับปรุงระบบโดยการใช้โทเค็นการจองหลายอัน ทำให้สมรรถนะของระบบ ซึ่งในที่นี้ก็คือจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณมีค่าสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากกรณีของระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อต และโทเค็นการจอง 2 อัน มีสมรรถนะเพิ่มขึ้นจากระบบเดียวกันที่ใช้โทเค็นการจอง 1 อันอย่างชัดเจน ต่างจากกรณีของระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน , สล็อตการจอง 2 สล็อตและโทเค็นการจอง 2 อัน การเพิ่มจำนวนโทเค็นไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะของระบบ ดังนั้น ตัวแปรที่ถือได้ว่ามีความสำคัญอย่างมากในเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ คือ จำนวนของโทเค็นในการจอง ซึ่งพบว่าการเพิ่มจำนวนของโทเค็น ใช่ว่าจะให้ผลที่ดีต่อสมรรถนะของระบบเสมอไป โดยมีข้อสังเกตอยู่ว่า การเพิ่มจำนวนของโทเค็น น่าจะใช้ได้ดีในระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการไม่มากไปกว่าจำนวนของช่องสัญญาณจอง เพราะในระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนของช่องสัญญาณจอง โดยตัวของระบบค่อนข้างที่จะมีการชนกันของโทเค็นการจองพอสมควรอยู่แล้ว การเพิ่มจำนวนของโทเค็น น่าจะยิ่งเป็นการเพิ่มโอกาสในการชนกันของโทเค็นการจองและส่งผลให้สมรรถนะของระบบไม่ดีขึ้นเลย ซึ่งรายละเอียดของการวิเคราะห์จำนวนของโทเค็นการจองที่เหมาะสมจะได้นำเสนอในลำดับถัดไป

3.1.2.2.3 ระบบที่มีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต และโทเค็นการจอง T อัน

จากแนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของระบบต่าง ๆ ที่นำเสนอแล้วในส่วนก่อนหน้านี้ มีหลักการและขั้นตอนสำคัญในการวิเคราะห์พอสรุปได้ดังนี้

- วาดแผนภาพการทำงานโดยพิจารณาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละสล็อตการจอง จำนวนของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละสล็อตเท่ากับ 2^R เหตุการณ์ เมื่อ R คือจำนวนผู้ใช้บริการที่เหลือ อยู่ในระบบเมื่อพิจารณาสล็อตการจองนั้น ๆ

- วิเคราะห์สถานะของแต่ละสล็อตการจอง โดยที่สล็อตการจองแรกจะมี 3 สถานะ คือ สถานะว่าง สถานะสำเร็จ และสถานะชนกัน ส่วนสล็อตการจองที่ 2 เป็นต้นไป จะมีสถานะของสล็อตการจอง 4 สถานะ สถานะที่เพิ่มเข้ามา คือ สถานะสำเร็จซ้ำ (Repeated success) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อผู้ใช้บริการรายเดิมประสบความสำเร็จในการจองสล็อต หลังจากที่เคยประสบความสำเร็จมาแล้วในสล็อตการจองก่อนหน้า

- นำค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองสล็อตของแต่ละเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันมาคูณกัน ตั้งแต่สล็อตการจองแรกจนถึงสล็อตการจองสุดท้าย พร้อมทั้งวิเคราะห์สถานะของแต่ละสล็อตการจองเพื่อหาจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจอง

- หาค่าของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ โดยการหาผลรวมของพจน์ซึ่งเกิดจากการนำจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองคูณด้วยความน่าจะเป็นในการเข้าจองสล็อตของเหตุการณ์ดังกล่าว

จากหลักการดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณในระบบที่มีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต และโทเค็นการจอง T อัน โดยค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ k คน ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ M คน , สล็อตการจอง N สล็อต , โทเค็นในการจอง T อัน
($P_{MT-CFP}[k \mid T_1, T_2, ..., T_M, S_1, S_2, ..., S_M, N]$) หาได้ดังสมการที่ (3.35)

$$P_{MT-CFP}[k \mid T_1, T_2, ..., T_M, S_1, S_2, ..., S_M, N]$$

$$= (1-p)^R \times \mathbf{P}_0 + p(1-p)^{R-1} \times \mathbf{P}_1 + \sum_{i=2}^{R} p^i (1-p)^{R-i} \times \mathbf{P}_i \qquad (3.35)$$

เมื่อ $R = M -$ (จำนวนของบิต "0" ของตัวแปร $T_1, T_2, ..., T_M$)

$\mathbf{P_0} = (P[k \mid T_1, T_2, T_3 ..., T_M, S_1, S_2, S_3, ..., S_M, N-1])$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$
\begin{aligned}
\mathbf{P}_1 = \; & P[k-x \,|\, T_1-1, T_2, T_3, \ldots, T_{M-1}, T_M, S_1+x, S_2, S_3, \ldots, S_{M-1}, S_M, N-1] \\
& + P[k-x \,|\, T_1, T_2-1, T_3, \ldots, T_{M-1}, T_M, S_1, S_2+x, S_3, \ldots, S_{M-1}, S_M, N-1] \\
& + P[k-x \,|\, T_1, T_2, T_3-1, \ldots, T_{M-1}, T_M, S_1, S_2, S_3+x, \ldots, S_{M-1}, S_M, N-1] \\
& \vdots \\
& + P[k-x \,|\, T_1, T_2, T_3, \ldots, T_{M-1}-1, T_M, S_1, S_2, S_3, \ldots, S_{M-1}+x, S_M, N-1] \\
& + P[k-x \,|\, T_1, T_2, T_3, \ldots, T_{M-1}, T_M-1, S_1, S_2, S_3, \ldots, S_{M-1}, S_M+x, N-1]
\end{aligned}
$$

$$
x = \begin{cases} 0 \;\; if \;\; repeated \;\; success \\ 1 \;\; if \;\; newsuccess \end{cases}
$$

$$
\begin{aligned}
\mathbf{P}_2 = \; & P[k \,|\, T_1-1, T_2-1, T_3, T_4, \ldots, T_{M-1}, T_M, S_1, S_2, \ldots, S_{M-1}, S_M, N-1] \\
& + P[k \,|\, T_1-1, T_2, T_3-1, T_4, \ldots, T_{M-1}, T_M, S_1, S_2, \ldots, S_{M-1}, S_M, N-1] \\
& + P[k \,|\, T_1-1, T_2, T_3, T_4-1, \ldots, T_{M-1}, T_M, S_1, S_2, \ldots, S_{M-1}, S_M, N-1] \\
& \vdots \\
& + P[k \,|\, T_1, T_2, T_3, \ldots, T_{M-2}-1, T_{M-1}-1, T_M, S_1, S_2, \ldots, S_{M-1}, S_M, N-1] \\
& + P[k \,|\, T_1, T_2, T_3, \ldots, T_{M-2}-1, T_{M-1}, T_M-1, S_1, S_2, \ldots, S_{M-1}, S_M, N-1] \\
& + P[k \,|\, T_1, T_2, T_3, \ldots, T_{M-2}, T_{M-1}-1, T_M-1, S_1, S_2, \ldots, S_{M-1}, S_M, N-1]
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\mathbf{P}_3 = \; & P[k \,|\, T_1-1, T_2-1, T_3-1, T_4, T_5, \ldots, T_{M-3}, T_{M-2}, T_{M-1}, T_M, S_1, S_2, \ldots, S_{M-1}, S_M, N-1] \\
& + P[k \,|\, T_1-1, T_2, T_3-1, T_4-1, T_5, \ldots, T_{M-3}, T_{M-2}, T_{M-1}, T_M, S_1, S_2, \ldots, S_{M-1}, S_M, N-1] \\
& + P[k \,|\, T_1-1, T_2, T_3, T_4-1, T_5-1, \ldots, T_{M-3}, T_{M-2}, T_{M-1}, T_M, S_1, S_2, \ldots, S_{M-1}, S_M, N-1] \\
& \vdots \\
& + P[k \,|\, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, \ldots, T_{M-3}-1, T_{M-2}-1, T_{M-1}, T_M-1, S_1, S_2, S_3, \ldots, S_{M-1}, S_M, N-1] \\
& + P[k \,|\, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, \ldots, T_{M-3}, T_{M-2}-1, T_{M-1}-1, T_M-1, S_1, S_2, S_3, \ldots, S_{M-1}, S_M, N-1] \\
\vdots \\
\mathbf{P}_R = \; & P[k \,|\, T_1-1, T_2-1, \ldots, T_{M-1}-1, T_M-1, S_1, S_2, \ldots, S_{M-1}, S_M, N-1]
\end{aligned}
$$

นอกจากนี้ ยังได้กำหนดค่าเริ่มต้น (Boundary Condition) ของสมการ (3.35) ไว้ดังนี้

$$
P_{MT-CFP}[k \,|\, T_1, T_2, \ldots, T_M, S_1, S_2, \ldots, S_M, N] = \begin{cases} 0 & if \;\; k<0, T_i \geq 0, S_i \geq 0, N \geq 0 \\ 1 & if \;\; k=0, T_i \geq 0, S_i \geq 0, N=0 \\ 1 & if \;\; k=0, T_i=0, S_i \geq 0, N \geq 0 \\ 0 & if \;\; k>N, T_i \geq 0, S_i \geq 0 \end{cases}
$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อนำค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการจองช่องสัญญาณสำเร็จกรณีต่าง ๆ มาคำนวณหาค่าวิสัยสามารถของระบบ $\left(T_{MT-CFP}\,[M,N,T]\right)$ ซึ่งนิยามว่าเป็นจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่จองช่องสัญญาณได้สำเร็จ ได้จากสมการ (3.36)

$$T_{MT-CFP}\,[M,N,T]=\sum_{j=0}^{M} j\times P_{MT-CFP}\,[j\,|T_1,T_2,...,T_M,S_1,S_2,...,S_M,N] \qquad (3.36)$$

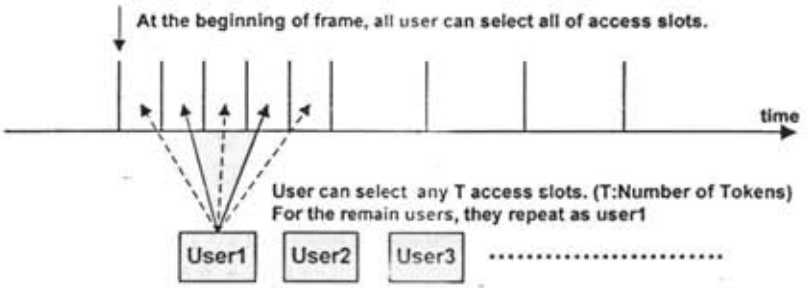
สำหรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการ คือค่า p ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (3.36) เทียบกับ p เป็นศูนย์ ($\frac{\partial}{\partial p}T_{MT-CFP}\,[M,N,T]=0$) และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

3.2 เทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม (Multi-Token Uniform : MT-UNI)

เนื่องจากเทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่ (MT-CFP) มีข้อกำหนดที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ ผู้ใช้บริการจะเข้าจองสล็อตการจองเรียงตามลำดับสล็อตจากสล็อตแรกถึงสล็อตสุดท้าย ซึ่งการจองเรียงตามลำดับสล็อตเป็นขั้นตอนควบคุมการเข้าถึงที่งานวิจัยส่วนใหญ่ในอดีตได้เสนอบนพื้นฐานที่ว่าผู้ใช้บริการสามารถทราบผลการจองได้ทันทีหลังจากที่ส่งโทเค็นการจอง โดยวิธีในอดีตที่ใช้เทคนิคนี้จะกำหนดให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองในแต่ละสล็อตการจองได้เรื่อย ๆ เรียงตามลำดับสล็อตจนกว่าจะประสบความสำเร็จในสล็อตใดสล็อตหนึ่ง แต่ในระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูง ผู้ใช้บริการไม่สามารถทราบผลการจองได้ทันในช่วงการจอง ภายใต้เงื่อนไขนี้เทคนิคการจองโดยพิจารณาลำดับของสล็อตอาจไม่ใช่เทคนิคที่เหมาะสมที่สุด ผู้ใช้บริการไม่จำเป็นต้องพิจารณาเรียงตามลำดับสล็อต ผู้ใช้บริการสามารถใช้เทคนิคง่าย ๆ ในการจองสล็อตโดยเลือกที่จะเข้าจองในสล็อตการจองสล็อตใดสล็อตหนึ่ง ซึ่งจะไม่ขึ้นกับการตัดสินใจของผู้ใช้บริการคนอื่น ดังนั้นจะเรียกเทคนิคนี้ว่า "เทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม"

3.2.1 หลักการทำงานของเทคนิค MT-UNI

เทคนิคนี้เป็นวิธีที่ใช้เทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม โดยกำหนดให้ผู้ใช้บริการทั้งหมด ณ เวลาเริ่มต้นของแต่ละเฟรม สุ่มเลือกสล็อตการจอง ซึ่งจำนวนสล็อตการจองที่ถูกเลือกของผู้ใช้บริการแต่ละรายจะมีค่าเท่ากับจำนวนของโทเค็นที่สถานีฐานได้แจ้งบอกผู้ใช้บริการว่าจะได้รับสิทธิ์จำนวนกี่โทเค็น (Multi-Token) และยังมีข้อกำหนดเพิ่มเติมคือ ผู้ใช้บริการแต่ละรายประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียว หลังจากจบช่วงการจองในแต่ละเฟรมสถานีฐานจะตรวจสอบผลการจองและจัดสรรสล็อตข้อมูลข่าวสารให้ผู้ใช้บริการผ่านทางช่องสัญญาณขาลง ผู้ใช้บริการที่ไม่ประสบความสำเร็จจะสุ่มเลือกสล็อตการจองในเฟรมถัดไป ด้วยวิธีนี้จะทำให้ทุก สล็อตการจองรองรับความต้องการการเข้าจองเท่าเทียมกัน (Uniform) ดังนั้นจะเรียกเทคนิคนี้ว่า "Multi-Token Uniform" หรือ "MT-UNI" กลไกการทำงานของเทคนิคการจองแบบ Multi-Token Uniform (MT-UNI) แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 กลไกการทำงานของเทคนิคการจองแบบ Multi-Token Uniform (MT-UNI)

3.2.2 แนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค MT-UNI

ในส่วนนี้จะได้นำเสนอแนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม (MT-UNI) โดยแบ่งการนำเสนอเป็น 2 ส่วน คือ แนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบที่ใช้ของโทเค็นการจอง 1 อัน และแนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบที่ใช้โทเค็นหลายอัน

3.2.2.1 ระบบที่มีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต และโทเค็นการจอง 1 อัน

การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบที่ใช้โทเค็นการจอง 1 อัน จะมีแนวทางการวิเคราะห์คล้ายกับเทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่ (MT-CFP) กล่าวคือ หากวิเคราะห์เทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม (MT-UNI) โดยการพิจารณาสล็อตการจองเป็นลำดับจะพบว่า ในแต่ละสล็อตการมีโอกาสที่จะถูกใช้หรือถูกเข้าจองได้เท่า ๆ กัน ดังนั้น ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองของแต่ละสล็อตการจองจึงมีค่า $p = \frac{1}{N}$ เมื่อ N คือ จำนวนของสล็อตการจองที่มีอยู่ในระบบ เมื่อวิเคราะห์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละสล็อตการจอง พบว่าเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นเป็นไปได้ 3 กรณีคือ

- การว่าง เกิดเนื่องจากไม่มีผู้ใช้บริการร้องขอในระบบเข้าจองช่องสัญญาณ โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการว่าง $= b[M,0,1-N]$
- การสำเร็จ เกิดเนื่องจากมีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวในระบบเข้าจองช่องสัญญาณ โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการสำเร็จ $= b[M,1,1/N]$
- การชน เกิดเนื่องจากมีผู้ใช้บริการตั้งแต่ 2 รายขึ้นไปเข้าจองช่องสัญญาณพร้อมกัน โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการชน $= \sum_{i=2}^{M} b[M,i,1/N]$

  โดยที่ $b[m,i,x] = \binom{m}{i} x^i (1-x)^{m-i}$

จากค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นในช่องสัญญาณจองช่องใด ๆ จะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการจำนวน k รายสามารถจองช่องสัญญาณสำเร็จ โดยอาศัยหลักการรีเคอร์ซีฟดังนี้

$$P_{UNI}[k \mid M,N] = b[M,0,1/N]P_{UNI}[k \mid M,N-1] + b[M,1,1/N]P_{UNI}[k-1 \mid M-1,N-1] + \sum_{i=2}^{M} b[M,i,1/N]P_{UNI}[k \mid M-i,N-1] \quad (3.37)$$

โดยที่ $P_{UNI}[k \mid M,N]$ คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการ k รายสามารถจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ จากระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน M ราย สล็อตการจองจำนวน N สล็อต กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเท่ากับ $p = \frac{1}{N}$ และกำหนดค่าเริ่มต้น (Boundary Condition) ของสมการ (3.37) ไว้ดังนี้

$$P_{UNI}[k \mid M,N] = \begin{cases} 0 & if\ k<0, M \geq 0, N \geq 0 \\ 1 & if\ k=0, M \geq 0, N=0 \\ 0 & if\ k>0, M \geq 0, N=0 \\ 1 & if\ k=0, M \geq 2, N=1 \\ 0 & if\ k>0, M \geq 2, N=1 \\ 1 & if\ k=0, M=0, N \geq 1 \\ 0 & if\ k=0, M=1, N \geq 1 \\ 1 & if\ k=1, M=1, N \geq 1 \end{cases}$$

นอกจากนี้จะสามารถนำค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการจองช่องสัญญาณสำเร็จกรณีต่าง ๆ มาคำนวณหาค่าวิสัยสามารถของระบบ $(T_{UNI}[M,N])$ ซึ่งนิยามว่าเป็นจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่จองช่องสัญญาณได้สำเร็จ ได้จากสมการ (3.38)

$$T_{UNI}[M,N] = \sum_{j=0}^{M} \left(j \times P_{UNI}[j \mid M,N] \right) \quad (3.38)$$

สำหรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการ คือค่า p ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (3.38) เทียบกับ p เป็นศูนย์ ($\frac{\partial}{\partial p} T_{UNI}[M,N] = 0$) และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

นอกจากนี้หากวิเคราะห์ด้วยหลักการรีเคอร์ชั่นของ T สามารถหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ $T_{UNI}[M,N]$ ได้ดังสมการที่ (3.39)

$$T_{UNI}[M,N] = b\left[M,0,\frac{1}{N}\right] \cdot T_{UNI}[M,N-1] + b\left[M,1,\frac{1}{N}\right] \cdot \left(1 + T_{UNI}[M-1,N-1]\right) \quad (3.39)$$

$$+\sum_{i=2}^{M} b\left[M,i,\frac{1}{N}\right]\cdot T_{UNI}\left[M-i,N-1\right]$$

$$=b\left[M,1,\frac{1}{N}\right]+\sum_{i=0}^{M} b\left[M,i,\frac{1}{N}\right]\cdot T_{UNI}\left[M-i,N-1\right]$$

เมื่อเงื่อนไขขอบเขตของสมการ (3.39) คือ

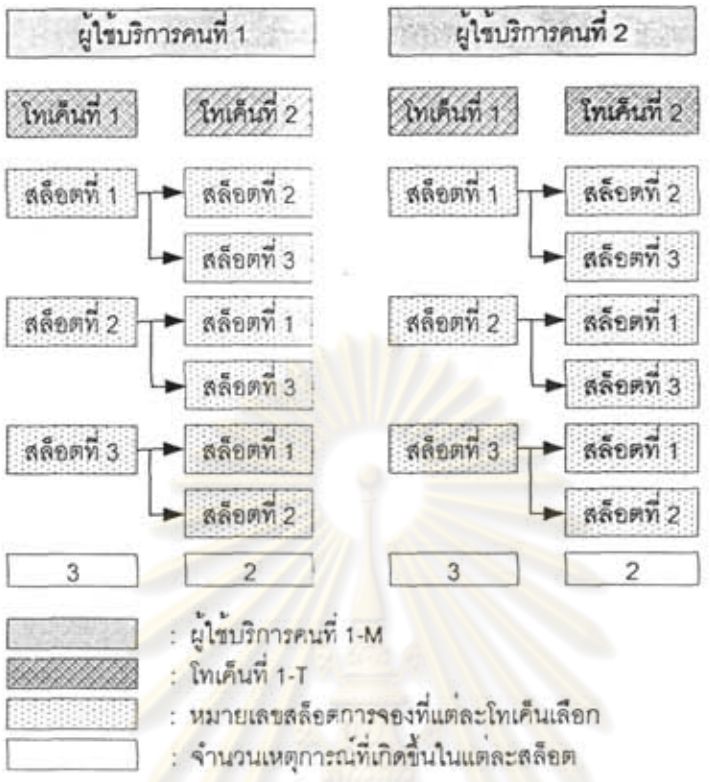
$$T_{UNI}\left[M,0\right]=T_{UNI}\left[0,N\right]=0 \qquad (3.40)$$

3.2.2.2 ระบบที่มีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต และโทเค็นการจอง T อัน

แนวทางการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบที่ใช้โทเค็นหลายอัน จะใช้หลักในการพิจารณาที่แตกต่างจากระบบที่ใช้โทเค็น 1 อัน อยู่พอสมควร เนื่องจากเมื่อนำเทคนิคการใช้โทเค็นหลายอันมาประยุกต์ใช้ พบว่าไม่สามารถทำการวิเคราะห์ด้วยการพิจารณาสล็อตการจองเป็นลำดับได้ แต่ยังคงสามารถเขียนแผนภาพประกอบการวิเคราะห์ แต่เปลี่ยนจากการพิจารณาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละสล็อตการจองเป็นการพิจารณาเหตุการณ์ของโทเค็นการจองแต่ละอันของผู้ใช้บริการว่าโทเค็นแต่ละอันจะเลือกใช้สล็อตการจองใด โดยมีพื้นฐานว่าโทเค็นการจองแต่ละอันไม่สามารถเข้าจองในสล็อตการจองเดียวกันได้ เพื่อให้มองเห็นภาพได้ชัดเจนขึ้นและง่ายต่อความเข้าใจ จึงได้นำเสนอเป็นแผนภาพในการวิเคราะห์ โดยยกตัวอย่างระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อต และโทเค็นการจอง 2 อัน ดังแสดงในรูปที่ 3.9

เมื่อพิจารณาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นของโทเค็นการจองแรกของผู้ใช้บริการคนที่ 1 พบว่ามีเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ 3 เหตุการณ์คือ เข้าจองสล็อตการจองที่ 1 เข้าจองสล็อตการจองที่ 2 และเข้าจองสล็อตการจองที่ 3 ส่วนโทเค็นการจองถัดไป (โทเค็นที่ 2) จะเกิดเหตุการณ์ที่ต่อเนื่องจากโทเค็นแรกได้ 2 เหตุการณ์ คือ เข้าจองสล็อตการจองที่เหลืออีก 2 สล็อต ในส่วนของผู้ใช้บริการคนที่ 2 ก็พิจารณาในขั้นตอนเช่นเดียวกัน และได้เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเหมือนกับกันผู้ใช้บริการคนที่ 1 และมีแนวโน้มว่าหากจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มจำนวนมากขึ้นการพิจารณาเหตุการณ์ก็จะกระทำได้เช่นเดียวกัน และได้เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นของผู้ใช้บริการทุกคนเหมือนกันทั้งหมด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อต และโทเค็นการจอง 2 อัน

สามารถหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณจากแผนภาพโดยการนำเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดของผู้ใช้บริการคนที่ 1 เปรียบเทียบกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดของผู้ใช้บริการคนที่ 2 เพื่อหาจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณของแต่ละกรณี ตัวอย่างเช่น ผู้ใช้บริการคนที่ 1 มีโทเค็นที่ 1 เข้าจองสล็อตที่ 1 และโทเค็นที่ 2 เข้าจองสล็อตที่ 2 ส่วนผู้ใช้บริการคนที่ 2 มีโทเค็นที่ 1 เข้าจองสล็อตที่ 1 และโทเค็นที่ 2 เข้าจองสล็อตที่ 2 กรณีเช่นนี้เป็นการเข้าจองซ้ำในสล็อตการจองเดียวกันของผู้ใช้บริการทั้งสองคน ทำให้ไม่มีผู้ประสบความสำเร็จในการจอง แต่ในกรณีที่ผู้ใช้บริการคนที่ 1 มีโทเค็นที่ 1 เข้าจองสล็อตที่ 1 และโทเค็นที่ 2 เข้าจองสล็อตที่ 2 ส่วนผู้ใช้บริการคนที่ 2 มีโทเค็นที่ 1 เข้าจองสล็อตที่ 1 และโทเค็นที่ 2 เข้าจองสล็อตที่ 3 กรณีเช่นนี้จะมีผู้ประสบความสำเร็จในการจอง 2 คน เป็นต้น ในส่วนสุดท้ายจะเป็นการหาค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ ซึ่งได้จากผลรวมของจำนวนกรณีทั้งหมดที่ผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจอง k คนคูณกับจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จ (k) โดยที่ $k = 0,1,2,...,M$ พจน์ที่หาค่าได้นี้นำมาหารด้วยจำนวนของกรณีทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ สำหรับระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อต และโทเค็นการจอง 2 อัน สามารถหาจำนวนของกรณีที่จะมีผู้ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ 0, 1, 2 คนและจำนวนกรณีที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด ดังนี้

- กรณีที่จะมีผู้ประสบความสำเร็จในการจอง 0 คน ($k = 0$) มีจำนวน 12 กรณี

- กรณีที่จะมีผู้ประสบความสำเร็จในการจอง 1 คน ($k = 1$) มีจำนวน 0 กรณี
- กรณีที่จะมีผู้ประสบความสำเร็จในการจอง 2 คน ($k = 2$) มีจำนวน 24 กรณี
- กรณีที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมดมีจำนวน 36 กรณี

สามารถคำนวณหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณของระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน , สล็อตการจอง 3 สล็อต และโทเค็นการจอง 2 อัน ($T_{MT-UNI}[2,3,2]$) ได้ดังนี้

$$T_{MT-UNI}[2,3,2] = (0 \times \text{กรณีที่จะมีผู้ประสบความสำเร็จในการจอง 0 คน} + 1 \times \text{กรณีที่จะมีผู้ประสบความสำเร็จในการจอง 1 คน} + 2 \times \text{กรณีที่จะมีผู้ประสบความสำเร็จในการจอง 2 คน}) / \text{กรณีที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด}$$

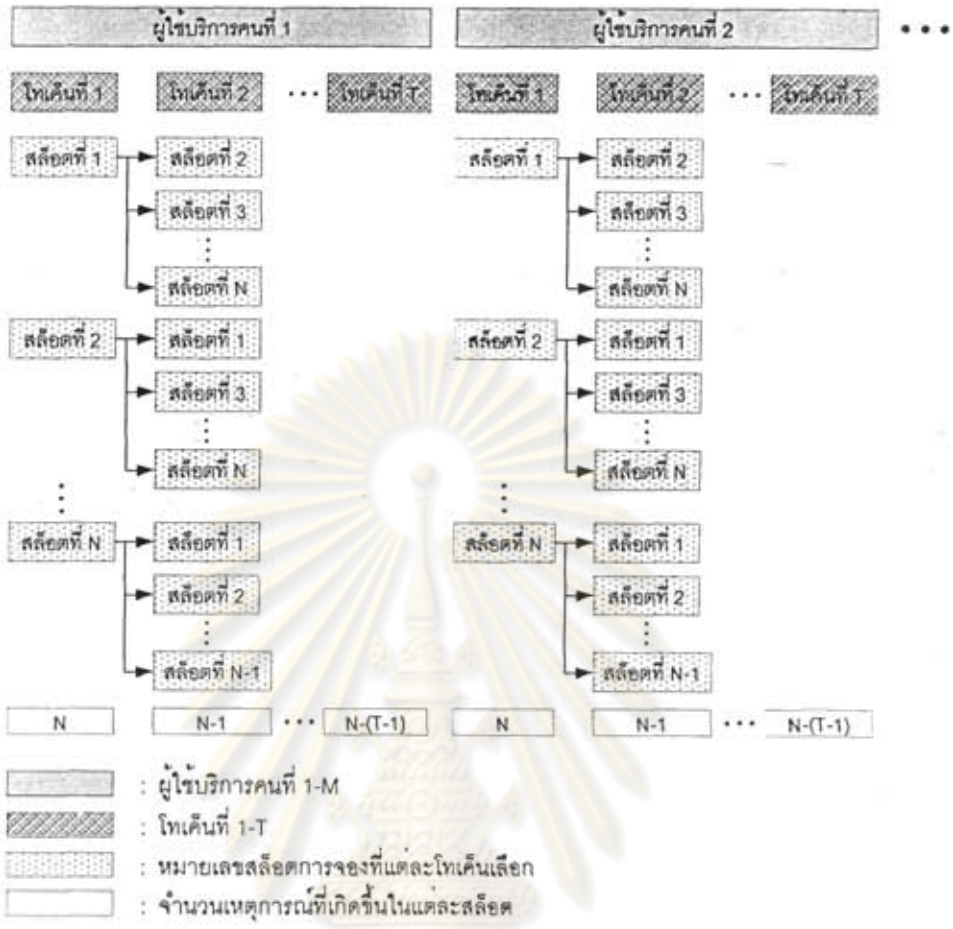
$$T_{MT-UNI}[2,3,2] = \left[\frac{(0\times 12)+(1\times 0)+(2\times 24)}{36}\right] = \frac{48}{36} = 1.333$$

ก่อนที่กล่าวถึงในส่วนต่อไป ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ พร้อมสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปทั่วไป ได้กำหนดพารามิเตอร์สำคัญต่าง ๆ ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่มซึ่งใช้โทเค็นหลายอัน (MT-UNI) ดังนี้

M	แทนจำนวนของผู้ใช้บริการที่มีอยู่ในระบบ
N	แทนจำนวนสล็อตการจองที่เหลืออยู่ในระบบ
T	แทนจำนวนโทเค็นการจองที่มีอยู่ในระบบ
$T[M,N,T]$	แทนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต และโทเค็นการจอง T อัน
k	แทนจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จ
$C[k\|M,N,T]$	แทนจำนวนของกรณีทั้งหมดที่ผู้ใช้บริการ k คนประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ M คน , สล็อตการจอง N สล็อต และโทเค็นในการจอง T อัน
C_{ALL}	แทนจำนวนของกรณีทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ (เมื่อ $k = 0,1,2,...,M$)

เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และนำเสนอสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปทั่วไป จะขออธิบายโดยใช้แผนภาพประกอบ ในกรณีของระบบที่มีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต และโทเค็นการจอง T อัน ดังแสดงในรูปที่ 3.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบที่มีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต และโทเค็นการจอง T อัน

จากแผนภาพดังรูปที่ 3.10 ทำให้สามารถสรุปประเด็นที่น่าสนใจสำหรับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิคการการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่มซึ่งใช้โทเค็นหลายอัน (MT-UNI) เมื่อมีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต และโทเค็นการจอง T อัน ได้ดังนี้

- เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นของผู้ใช้บริการทุกคนจะเหมือนกัน และมีจำนวนเท่ากัน ซึ่งในส่วนนี้ทำให้สามารถหากรณีที่เป็นไปได้ทั้งหมด (C_{ALL}) โดยนำจำนวนเหตุการณ์ของผู้ใช้บริการทุกคนมาคูณกัน

- เมื่อพิจารณาโทเค็นการจองเป็นลำดับ จากโทเค็นแรกไปยังโทเค็นสุดท้าย พบว่าในโทเค็นแรกจะมีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ N เหตุการณ์และในโทเค็นอันถัด ๆ ไปจำนวนเหตุการณ์จะลดลงครั้งละหนึ่งเหตุการณ์ ทั้งนี้เนื่องจากโทเค็นแต่ละอันจะเลือกสล็อตการจองได้ครั้งละหนึ่งสล็อต และสิ้นสุดเมื่อการลดลงมาถึง $N-(T-1)$ เหตุการณ์ ดังนั้น เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมดของผู้ใช้บริการแต่ละคนมีค่าเท่ากับ $N \cdot (N-1) \cdot (N-2) \cdot \ldots \cdot (N-(T-1))$

เหตุการณ์ในส่วนนี้ สามารถหากรณีที่เป็นไปได้ทั้งหมด (C_{ALL}) จาก

$$C_{ALL} = \left[N \cdot (N-1) \cdot (N-2) \cdot \ldots \cdot (N-(T-1))\right]^{M}$$

- จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ ซึ่งได้จากผลรวมของจำนวนกรณีทั้งหมดที่ผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจอง k คนคูณกับจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จ (k) โดยที่ $k = 0,1,2,...,M$ พจน์ที่หาค่าได้นี้นำมาหารด้วยจำนวนของกรณีทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้

สามารถคำนวณหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณในรูปทั่วไป เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต และโทเค็นการจอง T อัน ดังแสดงในสมการที่ (3.41)

$T_{MT-UNI}[M,N,T]$

= (0 × กรณีที่มีผู้ประสบความสำเร็จในการจอง 0 คน
+ 1 × กรณีที่มีผู้ประสบความสำเร็จในการจอง 1 คน
+ 2 × กรณีที่มีผู้ประสบความสำเร็จในการจอง 2 คน
⋮
+ M × กรณีที่มีผู้ประสบความสำเร็จในการจอง M คน) / กรณีที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด

$$T_{MT-UNI}[M,N,T] = \frac{\sum_{k=0}^{M}\left(k \times C[k|M,N,T]\right)}{C_{ALL}}$$

$$= \frac{\sum_{k=0}^{M}\left(k \times C[k|M,N,T]\right)}{\left[N \cdot (N-1) \cdot (N-2) \cdot \ldots \cdot (N-(T-1))\right]^{M}} \quad (3.41)$$

$$T_{MT-UNI}[M,N,T] = \sum_{k=0}^{M}\left(k \times P[k|M,N,T]\right) \quad (3.42)$$

เมื่อ $$P[k|M,N,T] = \frac{C[k|M,N,T]}{\left[N \cdot (N-1) \cdot (N-2) \cdot \ldots \cdot (N-(T-1))\right]^{M}}$$

3.3 เทคนิคการจำกัดจำนวน (Multi-Token Uniform with Limited Access : MT-UNI+LA)

เมื่อพิจารณาระบบที่ใช้เทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม (MT-UNI) พบว่าการทำงานดังกล่าวจะประสบปัญหาในสภาวะทราฟฟิกสูง กล่าวคือ เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการหรือจำนวนโทเค็นการจองมากเกินไป จนเกิดการชนกันของโทเค็นการจองในปริมาณมาก ส่งผลให้สมรรถนะของระบบจะลดลง ทำให้เทคนิค MT-UNI ขาดประสิทธิภาพในสถานการณ์เช่นนี้ เพื่อที่จะไม่ให้เกิดเหตุการณ์เช่นนี้จำเป็นต้องหาวิธีการบางอย่างมาจำกัด

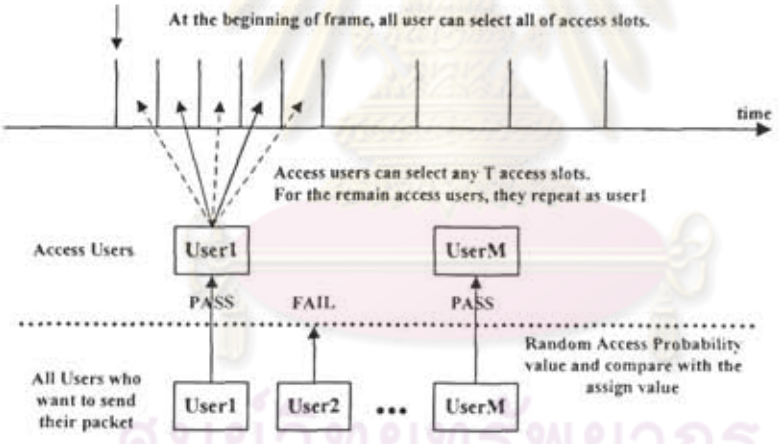
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จำนวนผู้ใช้บริการที่ตัดสินใจเข้าจอง (Limited Access User) หรือจำนวนโทเค็นการจองที่ผู้ใช้บริการแต่ละรายเลือกใช้ (Limited Access Token) ดังนั้นจึงเสนอเทคนิคเพื่อแก้ปัญหานี้ โดยเรียกเทคนิคนี้ว่า "เทคนิคการจำกัดจำนวน" และได้แบ่งเทคนิคการจองช่องสัญญาณนี้ออกเป็น 2 เทคนิคย่อย ได้แก่

- เทคนิคการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ (Multi-Token Uniform with Limited Access User : MT-UNI+LAU)
- เทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง (Multi-Token Uniform with Limited Access Token : MT-UNI+LAT)

3.3.1 หลักการทำงานของเทคนิคการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ

เทคนิคนี้กำหนดให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายตัดสินใจว่าจะเข้าจองในช่วงการจองที่กำลังพิจารณาหรือไม่ด้วยค่าความน่าจะเป็น p ถ้าผู้ใช้บริการตัดสินใจที่จะไม่เข้าจองจะไม่ทำอะไรและจะคอยจนถึงช่วงการจองในเฟรมถัดไป แต่ถ้าผู้ใช้ตัดสินเข้าจองผู้ใช้บริการจะดำเนินการต่อไปเหมือนกับวิธี MT-UNI จะเรียกวิธีที่กล่าวมานี้ว่า "Multi-Token Uniform with Limited Access Users" หรือ " MT-UNI+LAU " กลไกการทำงานของเทคนิคการจองวิธีการนี้ แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กลไกการทำงานของเทคนิคการจองแบบ MT-UNI+LAU

3.3.2 แนวการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิคการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ

กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ สำหรับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

p แทนค่าความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเข้าจองของผู้ใช้บริการในช่วงการจองที่กำลังพิจารณา (ณ เฟรมที่กำลังพิจารณา)

$T[M,N,T,p]$ แทนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ M คน จำนวนสล็อตการจอง N สล็อต จำนวนโทเค็นการจอง T โทเค็น และผู้ใช้บริการแต่ละคนตัดสินใจว่าจะเข้าจอง ณ ช่วงการจองที่กำลังพิจารณาด้วยค่าความน่าจะเป็น p

$T_{MT-UNI+LAU}[M,N,T]$

แทนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของเทคนิค MT-UNI+LAU เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ M คน จำนวนสล็อตการจอง N สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง T โทเค็น

$p_{MT-UNI+LAU}[M,N,T]$

แทนค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนของผู้ใช้บริการด้วยเทคนิค MT-UNI+LAU เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ M คน จำนวนสล็อตการจอง N สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง T โทเค็น

เหตุการณ์ที่เกิดเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณนี้คือ ผู้ใช้บริการแต่ละคนจะต้องตัดสินใจว่าจะเข้าจองหรือไม่เข้าจองในช่วงการจองที่กำลังพิจารณา ดังนั้นความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการ i คนจากทั้งหมด M คน ตัดสินใจเข้าจองคือ

$$b[M,i,p] \tag{3.43}$$

หลังจากนั้นผู้ใช้บริการทั้ง i คนจะสุ่มเข้าจองในสล็อตการจองจำนวน T สล็อตใด ๆ จากทั้งหมด N สล็อต ดังนั้นจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในเหตุการณ์นี้หาได้จาก ผลคูณความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ ($b[M,i,p]$) กับจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ ประสบความสำเร็จที่ได้จากเทคนิค MT-UNI ($T_{MT-UNI}[i,N,T]$) คือ

$$b[M,i,p]\cdot T_{MT-UNI}[i,N,T] \tag{3.44}$$

เมื่อรวมจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จตามสมการ (3.44) สำหรับค่า i ในทุกกรณีที่เป็นไปได้ ($i=0,1,2,...,M$) จะหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ ($T[M,N,T,p]$) สำหรับระบบที่มีผู้ใช้บริการ M คน จำนวนสล็อตการจอง N สล็อต จำนวนโทเค็นการจอง T โทเค็น และผู้ใช้บริการแต่ละคนตัดสินใจว่าจะเข้าจอง ณ ช่วงการจองที่กำลังพิจารณาด้วยค่าความน่าจะเป็น p ได้คือ

$$T[M,N,T,p] = \sum_{i=0}^{M}\left(b[M,i,p]\cdot T_{MT-UNI}[i,N,T]\right) \tag{3.45}$$

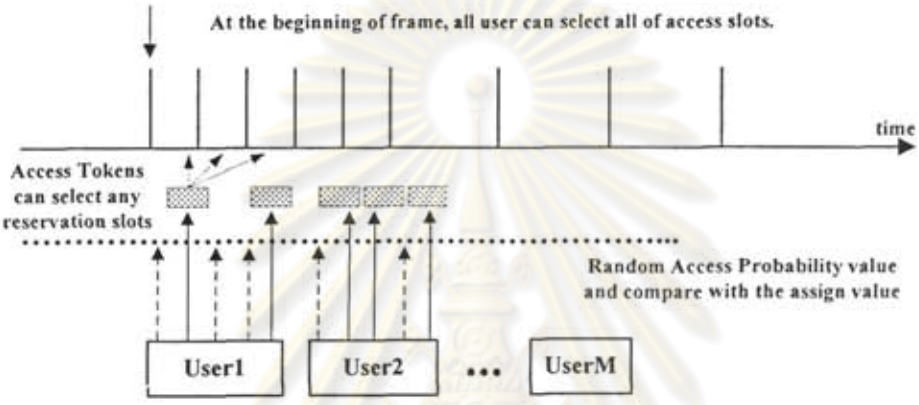
เมื่อ $T_{MT-UNI}[i,N,T]$ หาได้จากสมการ (3.41) และ (3.42)

ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ ($p_{MT-UNI+LAU}[M,N,T]$) ในแต่ละเฟรมคือ ค่า p ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (3.45) เทียบกับ p เป็นศูนย์ ซึ่งค่า $p_{MT-UNI+LAU}[M,N,T]$ ที่ได้จะทำให้ได้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยสูงสุดที่ประสบความสำเร็จ ($T_{MT-UNI+LAU}[M,N,T]$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.3 หลักการทำงานของเทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง

เทคนิคนี้กำหนดให้ผู้ใช้บริการทุกรายสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ และตัดสินใจว่าจะเข้าจองด้วยจำนวนโทเค็นเท่าใด ด้วยความน่าจะเป็น p โดยจำนวนโทเค็นที่ใช้มีค่ามากที่สุดไม่เกินจำนวนของช่องสัญญาณจองที่ระบบมีอยู่ในระบบ โทเค็นที่เลือกใช้ของผู้ใช้แต่ละรายจะถูกเลือกให้เข้าจองในช่องสัญญาณจองต่าง ๆ อย่างสุ่ม จะเรียกวิธีที่กล่าวมานี้ว่า "Multi-Token Uniform with Limited Access Token" หรือ " MT- UNI+LAT " กลไกการทำงานของเทคนิคการจองวิธีการนี้ แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 กลไกการทำงานของเทคนิคการจองแบบ MT-UNI+LAT

3.3.4 แนวการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง

แนวการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง (MT-UNI+LAT) มีหลักการวิเคราะห์คล้ายกับเทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม (MT-UNI) แต่มีส่วนที่แตกต่างกันกล่าวคือ เมื่อพิจารณาเทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม ทุกโทเค็นการจองจะถูกสุ่มเข้าในสล็อตการจองใด ๆ ทั้งหมด แต่ในเทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง บางโทเค็นจะไม่ถูกใช้งานเนื่องจากได้มีการจำกัดจำนวนไว้ ทำให้ตั้งข้อสังเกตได้ว่า เมื่อทำการพิจารณาแต่ละกรณีของโทเค็นที่เลือกเข้าจองในสล็อตการจองต่าง ๆ จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นของเทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่มมีเพียง 1 เหตุการณ์ คือ ทุกโทเค็นเข้าจองทั้งหมด ซึ่งแน่นอนว่าค่าความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์นี้คือ 1 กล่าวคือ เกิดเหตุการณ์นี้ขึ้นอย่างแน่นอน ทำให้แนวการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สามารถนำแต่ละกรณีที่ผู้ใช้บริการ k คนประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต และโทเค็นในการจอง T อัน ($C[k|M,N,T]$) ไปพิจารณาได้เลย แต่ในเทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละกรณีที่พิจารณา มีจำนวน $2^{M\times T}$ เหตุการณ์ กล่าวคือ เหตุการณ์ที่จะไม่มีโทเค็นใดได้เข้าจองเลย ($(1-p)^{M\times T}$) จนกระทั่งเหตุการณ์ที่ทุกโทเค็นได้เข้าจองทั้งหมด ($p^{M\times T}$) ซึ่งมีค่าโอกาสหรือความน่าจะเป็นในการเกิดแตกต่างกัน แต่ผลรวมของค่าความน่าจะเป็นในการเกิดทุกเหตุการณ์จะมีค่าเป็น 1 เพื่อทำให้มองเห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ขอให้กลับไปพิจารณารูปที่ 9 ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน สล็อตการจอง 3 สล็อต และโทเค็นการจอง 2 อัน พบว่ามีกรณีที่เป็นไปได้ทั้งหมด 36 กรณี ได้แก่ (1,2,1,2), (1,2,1,3), (1,2,2,1), (1,2,2,3), (1,2,3,1), (1,2,3,1), (1,3,1,2),

(1,3,1,3), ... ,(3,2,1,2) , (3,2,1,3), (3,2,2,1), (3,2,2,3), (3,2,3,1) และ (3,2,3,2) เมื่อหมายเลขภายในวงเล็บคือ หมายเลขสล็อตการจองที่โทเค็นแต่ละอันเลือกเข้าจอง ซึ่งจะอ้างอิงโดย (โทเค็นที่ 1 ของผู้ใช้บริการคนที่ 1, โทเค็นที่ 2 ของผู้ใช้บริการคนที่ 1, โทเค็นที่ 1 ของผู้ใช้บริการคนที่ 2, โทเค็นที่ 2 ของผู้ใช้บริการคนที่ 2)

ขอยกตัวอย่างประกอบการพิจารณา ในกรณีที่ 2 คือ (1,2,1,3) เมื่อใช้เทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม มีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเพียง 1 เหตุการณ์ คือเหตุการณ์ที่ทุกโทเค็นการจองได้เข้าจองสล็อตการจองทั้งหมดซึ่งมีค่าความน่าจะเป็นในการเกิดเท่ากับ 1 และหาค่าจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองคือ 2 นำไปสู่การหาจำนวนผู้ใช้บริการ โดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง โดยการนำค่าจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองแต่ละกรณี ($k = 0,1,2,...,M$) คูณด้วยกรณีทั้งหมดที่จะได้ค่าผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองดังกล่าว หรืออาจคูณด้วยค่าค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ที่ทุกโทเค็นเข้าจองทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 ทำให้ทั้งสองวิธีการได้ค่าผลคูณเท่ากัน จากนั้นหาผลรวมของทุกกรณีที่เกิดขึ้นแล้วหารด้วยกรณีที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด แต่เมื่อใช้เทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็นการจองจะมีเหตุการณ์เกิดขึ้น $2^4 = 16$ เหตุการณ์ แสดงดังแผนภาพในรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดของกรณี (1,2,1,3) สำหรับเทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง ในระบบที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน , สล็อตการจอง 3 สล็อต และโทเค็นการจอง 2 อัน

เมื่อพิจารณาแต่ละเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น สามารถหาค่าโอกาสในการเกิดหรือความน่าจะเป็นของเหตุการณ์แต่ละเหตุการณ์ และจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองของแต่ละเหตุการณ์ ได้ดังตารางที่ 3.1

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 ความน่าจะเป็นในการเกิดของแต่ละเหตุการณ์ และจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจอง สำหรับเทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง

เหตุการณ์ที่	เหตุการณ์ที่เกิดขึ้น	ความน่าจะเป็นในการเกิด	จำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จ
1	0 0 0 0	$(1-p)^4$	0
2	1 0 0 0	$p(1-p)^3$	1
3	0 1 0 0	$p(1-p)^3$	1
4	0 0 1 0	$p(1-p)^3$	1
5	0 0 0 1	$p(1-p)^3$	1
6	1 1 0 0	$p^2(1-p)^2$	1
7	1 0 1 0	$p^2(1-p)^2$	0
8	1 0 0 1	$p^2(1-p)^2$	2
9	0 1 1 0	$p^2(1-p)^2$	2
10	0 1 0 1	$p^2(1-p)^2$	2
11	0 0 1 1	$p^2(1-p)^2$	1
12	1 1 1 0	$p^3(1-p)$	1
13	1 1 0 1	$p^3(1-p)$	2
14	1 0 1 1	$p^3(1-p)$	1
15	0 1 1 1	$p^3(1-p)$	2
16	1 1 1 1	p^4	2

ตารางที่ 3.1 เป็นเพียงการแสดงตัวอย่างในกรณี (1,2,1,3) เท่านั้น ยังมีอีก 15 กรณีที่เหลือที่ต้องพิจารณาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันนี้ พร้อมทั้งหาค่าความน่าจะเป็นในการเกิดของแต่ละเหตุการณ์ และจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจอง จึงกำหนดพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง ดังนี้

M แทนจำนวนของผู้ใช้บริการที่มีอยู่ในระบบ

N แทนจำนวนสล็อตการจองที่เหลืออยู่ในระบบ

T แทนจำนวนโทเค็นการจองที่มีอยู่ในระบบ

$T[M,N,T]$ แทนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต และโทเค็นการจอง T อัน

k แทนจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$\sum P[\,k\,|M,N,T]$

แทนผลรวมของความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ทั้งหมดที่จะมีผู้ใช้บริการ k คนประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต และโทเค็นในการจอง T อัน

C_{ALL} แทนจำนวนของกรณีทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ (เมื่อ $k = 0,1,2,...,M$)

สามารถคำนวณหาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณในรูปทั่วไปสำหรับเทคนิคการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต และโทเค็นการจอง T อัน ดังแสดงในสมการที่ (3.46)

$$T_{MT-UNI+LAT}[M,N,T] = \frac{\sum_{k=0}^{M}\left(k\times\sum P[\,k\,|M,N,T]\right)}{C_{ALL}}$$

$$T_{MT-UNI+LAT}[M,N,T] = \frac{\sum_{k=0}^{M}\left(k\times\sum P[\,k\,|M,N,T]\right)}{\left[N\cdot(N-1)\cdot(N-2)\cdot\ldots\cdot(N-(T-1))\right]^{M}} \quad (3.46)$$

ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง ในแต่ละเฟรมคือ ค่า p ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (3.46) เทียบกับ p เป็นศูนย์ ซึ่งค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมดังกล่าว จะทำให้ได้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยสูงสุดที่ประสบความสำเร็จ ($T_{MT-UNI+LAT}[M,N,T]$)

นอกจากนี้ยังพบว่าสมการอาจสามารถปรับเปลี่ยนรูปได้ โดยความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในการจอง k คน เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต โทเค็นการจอง T อัน และเข้าจองด้วยความน่าจะเป็น p ดังสมการที่ 3.47

$$P[\,k\,|M,N,T,p] = \frac{\sum_{u=0}^{MT}\left[p^{u}\times(1-p)^{MT-u}\times C[\,k,u\,|M,N,T]\right]}{\sum_{k=0}^{M}\left[\sum_{u=0}^{MT}\left[p^{u}\times(1-p)^{MT-u}\times C[\,k,u\,|M,N,T]\right]\right]} \quad (3.47)$$

เมื่อ $C[\,k,u\,|M,N,T]$ แทนจำนวนกรณีที่จะมีผู้ประสบความสำเร็จ k คนและใช้โทเค็น u อัน เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อตและโทเค็นการจอง T อัน

ดังนั้น จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ M คน สล็อตการจอง N สล็อต โทเค็นการจอง T อัน และผู้ใช้บริการตัดสินใจเลือกจำนวนโทเค็นการจองด้วยความน่าจะเป็น p ($T_{MT-UNI+LAT}[M,N,T,p]$) แสดงดังสมการที่ 3.48

$$T_{MT-UNI+LAT}[M,N,T,p] = \sum_{k=0}^{M}\left(k\times P[\,k\,|M,N,T,p]\right) \quad (3.48)$$

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

บทนี้เป็นการแสดงผลทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบต่าง ๆ ที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 รวมถึงการเปรียบเทียบเทคนิคที่นำเสนอกับเทคนิคที่เคยมีผู้นำเสนอไว้ ผลการทดสอบที่นำมาแสดงจะเป็นผลที่ได้มาจากสมการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Analysis) ที่ได้ทำการวิเคราะห์ในบทที่แล้ว และผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) ซึ่งผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์จะให้ผลเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์สำหรับทุกกรณี แบ่งการแสดงผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ออกตามเทคนิคที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 ได้เป็น 3 เทคนิค คือ เทคนิคการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่ (MT-CFP) เทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม (MT-UNI) และเทคนิคการจำกัดจำนวน (MT-UNI+LA)

กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในรูปดังนี้

Analysis	แทนการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์
Simulation	แทนการจำลองทางคอมพิวเตอร์
Formulation	แทนการใช้สูตรการประมาณค่า
M	แทนจำนวนผู้ใช้บริการ
N	แทนจำนวนสล็อตการจอง
T	แทนจำนวนโทเค็นการจอง
p	แทนค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองหรือส่งโทเค็นการจอง
Slot No.	แทนหมายเลขลำดับของสล็อตการจอง (Slot No. = 1 - N)
User No.	แทนหมายเลขลำดับของผู้ใช้บริการ (User No. = 1 - M)
ANT	แทนจำนวนของโทเค็นการจองที่เหมาะสม (Appropriate Number of Token)
ANSU	แทนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง (Average Number of Successful Users)
CFP	แทนเทคนิค Cascade Fixed Probability
MT-CFP	แทนเทคนิค Multi-Token Cascade Fixed Probability
UNI	แทนเทคนิค Uniform
MT-UNI	แทนเทคนิค Multi-Token Uniform

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

UNI+LA	แทนเทคนิค Uniform with Limited Access
MT-UNI+LA	แทนเทคนิค Multi-Token Uniform with Limited Access
MT-UNI+LAU	แทนเทคนิค Multi-Token Uniform with Limited Access User
MT-UNI+LAT	แทนเทคนิค Multi-Token Uniform with Limited Access Token

4.1 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-CFP

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์จะนำเสนอโดยแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อย่อย โดยแบ่งหัวข้อออกตามระบบที่พิจารณาเป็น 2 ระบบ คือ ระบบที่ใช้โทเค็นการจองเพียง 1 อัน (Single-Token) ได้แก่ เทคนิค CFP และระบบที่ใช้โทเค็นการจองหลายอัน (Multi-Token) ได้แก่ เทคนิค MT-CFP พร้อมทั้งได้แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะและการวิเคราะห์ของทั้งสองเทคนิคดังกล่าว

4.1.1 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิค CFP

เมื่อพิจารณาเทคนิคการจองช่องสัญญาณนี้ พารามิเตอร์ที่ถือได้ว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมากและส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะซึ่งนิยามโดยจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง คือ ค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจอง ในส่วนแรกนี้จะศึกษาว่าค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจอง มีผลกระทบอย่างไรต่อสมรรถนะของระบบ

รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง และค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจอง เมื่อกำหนดจำนวนสล็อตการจองเท่ากับ 16 สล็อต และจำนวนผู้ใช้บริการ 1 2 4 8 และ 16 คน โดยได้แสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ และเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ในการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ผู้วิจัยได้ทดสอบโดยเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นการส่งโทเค็นการจองจาก 0 ถึง 1 ด้วยความละเอียด (Step Size) เท่ากับ 0.02 และทดสอบในช่วงการจองจำนวน 10,000 ครั้ง จากรูปจะเห็นได้ว่าในจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของทุกระบบจะเพิ่มขึ้นตามค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจองที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจองในช่วงแรกมีค่าต่ำ ทำให้จำนวนผู้ใช้บริการที่สามารถเข้าจองได้มีจำนวนน้อย สล็อตการจองส่วนมากจึงเกิดการว่าง ดังนั้นการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจองจึงช่วยลดโอกาสที่สล็อตการจองจะเกิดการว่าง และส่งผลให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของระบบเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ดีเมื่อเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจองจนถึงค่าหนึ่ง จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของระบบจะเพิ่มจนถึงจุดสูงสุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจองที่ทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของระบบสูงสุดจะมีค่าแตกต่างกันโดยค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจองที่ทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวนมากกว่าจะมีค่าต่ำกว่า หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจองขึ้นไปอีกจะทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของระบบลดลง โดยสาเหตุที่จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของระบบมีค่าลดลงนั้นเป็นผลมาจากการชนกันของผู้ใช้บริการ นอกจากนี้ยังพบว่าการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ให้ผลที่

เท่ากันกับการจำลองทางคอมพิวเตอร์ในทุกกรณี จึงเป็นการยืนยันได้ว่าสมการที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในบทที่ 3 มีค่าถูกต้อง

สามารถสรุปได้ว่าค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจอง มีผลต่อจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ และมีค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจองที่เหมาะสมอยู่หนึ่งค่าซึ่งทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่าสูงสุด ในโครงการวิจัยนี้จึงเรียกค่านี้ว่า "ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจอง" ซึ่งค่านี้ขึ้นกับจำนวนผู้ใช้บริการ จำนวนสล็อตการจองและจำนวนโทเค็นการจอง

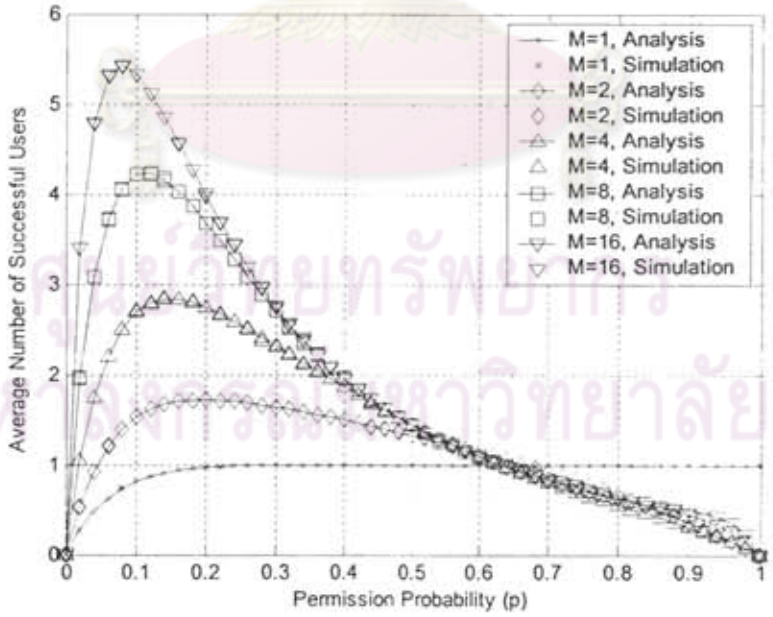
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสล็อตการจองและค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจอง ที่ทำให้ค่าสมรรถนะของระบบสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการ 1 2 4 8 และ 16 คน พบว่ากรณีที่มีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียว ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจองมีค่าเท่ากับหนึ่งเสมอไม่ว่าจะมีจำนวนสล็อตการจองเท่าไรก็ตาม เพราะกรณีผู้ใช้เพียงคนเดียวผู้ใช้บริการไม่ต้องแข่งขันในการเข้าจองสล็อตกับผู้ใช้บริการคนอื่น และกรณีที่มีผู้ใช้บริการมากกว่า 1 คน ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจองจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกแต่หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง และเมื่อจำนวนสล็อตการจองมีค่ามาก ๆ ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจองจะมีค่าเข้าใกล้ 0 เพราะว่าในช่วงแรก ($N < M$) การลดจำนวนสล็อตการจองจะทำให้ผู้ใช้บริการมีโอกาสชนกันมากขึ้น ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจองมีค่าลดลงเมื่อจำนวนสล็อตการจองลดลง เพื่อไม่ให้เกิดการชนกันของผู้ใช้บริการ แต่ในช่วงหลัง ($N > M$) ผู้ใช้บริการไม่จำเป็นต้องรีบส่งโทเค็นการจองตั้งแต่สล็อตการจองแรก ๆ เนื่องจากผู้ใช้บริการยังมีโอกาสที่จะส่งโทเค็นการจองในสล็อตท้าย ๆ ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจองมีค่าลดลงเมื่อจำนวนสล็อตการจองเพิ่มขึ้น

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจองที่ทำให้ค่าสมรรถนะของระบบสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนสล็อตการจอง 1 2 4 8 และ 16 สล็อต จากรูปจะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวน 1 คน ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงสุดจะเท่ากับ 1 ในทุกระบบที่ทำการทดสอบ แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเพิ่มขึ้น พบว่าค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจองที่ทำให้สมรรถนะของระบบสูงสุดจะมีค่าลดต่ำลง นอกจากนี้จะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเท่ากัน ค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจองที่ทำให้สมรรถนะของระบบสูงสุดของระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองมากกว่าจะมีค่าต่ำกว่าค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจองของระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองน้อยกว่า เนื่องจากการที่จำนวนสล็อตการจองมีจำนวนมาก ทำให้ผู้ใช้บริการไม่ต้องรีบทำการเข้าจองในสล็อตการจองต้นเฟรม เพราะผู้ใช้บริการยังมีโอกาสในการเข้าจองในสล็อตการจองส่วนท้ายของเฟรม นอกจากนี้การที่ผู้ใช้บริการไม่ต้องรีบเข้าจองนั้นจะช่วยหลีกเลี่ยงโอกาสที่ผู้ใช้บริการจะเกิดการชนกันได้อีกด้วย

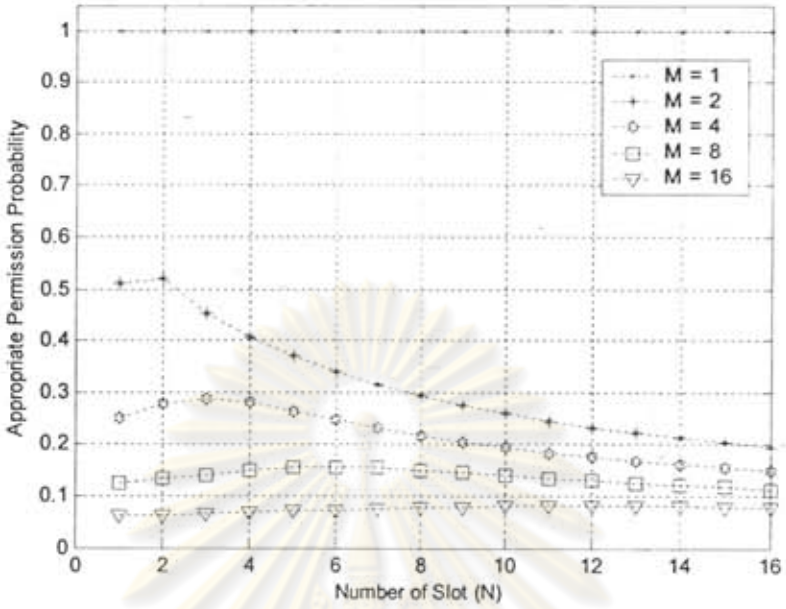
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของระบบเมื่อกำหนดจำนวนสล็อตการจองเป็น 1 2 4 8 และ 16 สล็อต จากรูปพบว่าในระบบที่มีจำนวนสล็อตการจอง 1 และ 2 สล็อต เมื่อผู้ใช้บริการมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จจะลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะว่าระบบทั้งสองมีจำนวนสล็อตการจองที่น้อยมาก จนเป็นผลให้เกิด

การชนกันของผู้ใช้บริการอย่างมาก ส่งผลถึงสมรรถนะของระบบที่ลดลง ในขณะที่ระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองตั้งแต่ 4 สล็อตขึ้นไป พบว่าในช่วงแรกเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเพิ่มขึ้น จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของระบบจะเพิ่มสูงขึ้น แต่จะพบว่าอัตราส่วนของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าลดลง และถึงแม้จะทำการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการจนสูงกว่าจำนวนสล็อตการจอง จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของระบบจะยังค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากระบบสามารถจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่จะเข้าจองได้ผ่านทางการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจอง นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองมากกว่า จะมีจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของระบบที่สูงกว่าเพราะระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองมากย่อมจะสามารถลดโอกาสที่จะเกิดการชนกันของผู้ใช้บริการได้

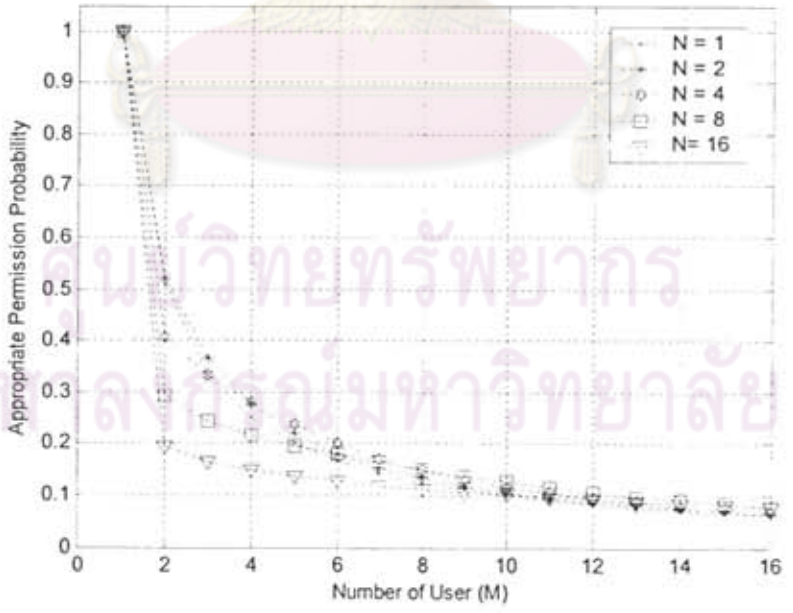
จากผลการทดสอบที่ได้จะเห็นได้ว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP นั้นจะทำการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจองโดยคำนึงถึงจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองและจำนวนสล็อตการจองที่มีในเฟรม จึงช่วยให้การกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจองของระบบมีความเหมาะสมยิ่งขึ้นมากกว่าการพิจารณาเพียงปริมาณโหลดที่ระบบรองรับ อย่างไรก็ดีการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการนั้นยังคงต้องกระทำไปทีละช่องเริ่มจากสล็อตการจองต้นเฟรมไปยังสล็อตการจองท้ายเฟรม ดังนั้นในสภาวะที่ปริมาณโหลดที่ระบบรองรับมีค่ามาก ประสิทธิภาพที่ได้ของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบนี้จะมีค่าต่ำ กล่าวคือถ้าหากมีผู้ใช้บริการที่ผ่านเข้าไปจองสล็อตการจองในครั้งหนึ่ง ๆ เกินกว่าหนึ่งราย จะทำให้เกิดการชนและไม่มีผู้ใช้บริการที่จองช่องสัญญาณสำเร็จ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าลดลง



รูปที่ 4.1 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง และค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจอง เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 2 4 8 และ 16 คน

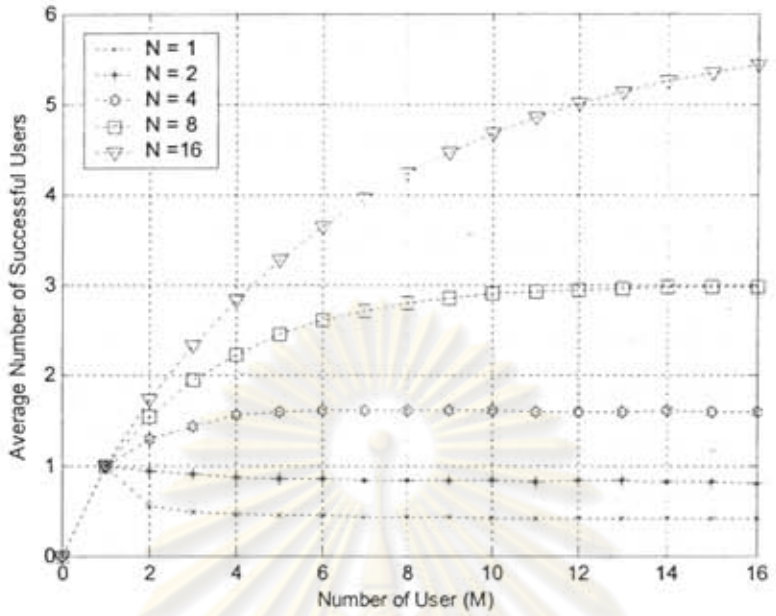


รูปที่ 4.2 จำนวนสล็อตการจองและค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจอง ที่ทำให้ค่าสมรรถนะของระบบสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการ 1 2 4 8 และ 16 คน



รูปที่ 4.3 จำนวนผู้ใช้บริการและค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจอง ที่ทำให้ค่าสมรรถนะของระบบสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนสล็อตการจอง 1 2 4 8 และ 16 สล็อต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 จำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของระบบเมื่อกำหนดจำนวนสล็อตการจองเป็น 1 2 4 8 และ 16 สล็อต

4.1.2 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิค MT-CFP

ในส่วนแรกของหัวข้อนี้ จะศึกษาว่าค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองมีผลกระทบอย่างไรต่อสมรรถนะของระบบที่ใช้โทเค็นการจองหลายอัน

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองและความน่าจะเป็นในการเข้าจองเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 2 4 8 และ 16 คน จำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต และโทเค็นการ 2 4 8 และ 16 โทเค็น (รูปที่ 4.5 (ก) ถึง 4.5 (ง)) พบว่าไม่ว่าระบบจะใช้จำนวนโทเค็นการจองจำนวนเท่าใด ผลการจำลองแบบที่ได้จะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองมีค่าน้อย จำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามการเพิ่มของค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอง ทั้งนี้เพราะว่าภายใต้สภาวะของระบบเช่นนี้ ผู้ใช้บริการยังเข้าใช้สล็อตการจองน้อย ทำให้มีสล็อตการจองว่างอยู่มาก ดังนั้นการเพิ่มของค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองทำให้สมรรถนะของระบบเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองถึงค่าที่เหมาะสมค่าหนึ่ง จำนวนของผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองจะลดลง เนื่องจากค่าความน่าจะเป็นดังกล่าวทำให้เกิดการชนกันของผู้ใช้บริการมากขึ้น สมรรถนะของระบบจึงมีค่าลดลง ตำแหน่งของค่าความน่าจะเป็นในการจองที่ให้สมรรถนะของระบบดีที่สุด กำหนดให้เป็นค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองหรือส่งโทเค็นการจอง (Appropriate Permission Probability) ซึ่งจะมีค่าที่แตกต่างกัน ภายใต้ระบบที่มีจำนวนสล็อตการจอง จำนวนผู้ใช้บริการ และ/หรือ จำนวนโทเค็นที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองและจำนวนโทเค็นการจองเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 2 4 8 และ 16 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต พบว่าภายใต้สภาวะที่ระบบรองรับผู้ใช้บริการจำนวนไม่มากนัก (M = 2 4 8) ความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองช่องสัญญาณจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนโทเค็นการจอง เนื่องจากในสภาวะเช่นนี้ ระบบมีจำนวนสล็อตการจองที่ว่างอยู่พอสมควร และมีจำนวนโทเค็นเหลือสำหรับการเข้าจองครั้งใหม่หากว่าเกิดการชนกันขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มจำนวนโทเค็นถึงค่าค่าหนึ่ง จะทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจองมีค่าลดลงและคงที่ในที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากโทเค็นการจองที่มากเกินไป ส่งผลให้การชนกันเกิดขึ้นอย่างมาก ระบบจึงพยายามลดโอกาสในการชนกันด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจอง ส่วนในระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมาก (M =16) โดยตัวของระบบนั้นเกิดการชนกันของโทเค็นการจองมากอยู่แล้ว การเพิ่มจำนวนโทเค็นการจองยิ่งเท่ากับเป็นการเพิ่มโอกาสการชนกันให้มากยิ่งขึ้น ระบบจึงปรับสภาพให้เกิดการชนน้อยลงด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจอง และมีข้อสังเกตว่าการลดค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองจะลดจนมาคงที่ที่ค่าค่าหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากภายใต้สภาวะที่ระบบรองรับผู้ใช้บริการจำนวนมากและมีโทเค็นการจองจำนวนมากด้วยผู้ใช้บริการในระบบแทบไม่มีโอกาสในการเข้าจองได้สำเร็จเลย เพราะฉะนั้นการกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจองค่าดังกล่าว ยังพอทำให้มีผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองบ้าง

สิ่งที่น่าสนใจอีกประการหนึ่ง ซึ่งสังเกตได้จากรูปที่ 4.5 (ข) และ (ค) พบว่ากราฟบางช่วงจะมีการแกว่ง (Fluctuation) โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สภาวะที่มีจำนวนผู้ใช้บริการในระบบมาก (Heavy Load) เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ จะได้ขอยกตัวอย่างประกอบการวิเคราะห์จากรูปที่ 4.5 (ค) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้โทเค็นการจอง 8 อัน และพิจารณากราฟของผู้ใช้บริการจำนวน 16 คน โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่กราฟแกว่งลงและให้ค่าสมรรถนะต่ำสุด ตรงกับความน่าจะเป็นในการเข้าจองคือ p=0.44 และช่วงที่กราฟแกว่งขึ้นและให้ค่าสูงสุด ตรงกับความน่าจะเป็นในการเข้าจองคือ p=0.72

รูปที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8 แสดงจำนวนของการว่าง การสำเร็จ และการชนกันที่สล็อตการจองต่าง ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 16 คน จำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต จำนวนโทเค็นการจอง 8 อัน และค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองเท่ากับ 0.44 และ 0.72 ตามลำดับ ในการจำลองแบบได้ทดสอบในช่วงการจองจำนวน 100,000 ครั้ง จากกราฟที่แสดงในรูปทั้งสองอธิบายได้ว่าที่ค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองเท่ากับ 0.44 การชนกันของโทเค็นการจองจะเกิดขึ้นในทุก ๆ สล็อตการจองอย่างค่อนข้างสม่ำเสมอ ทำให้โอกาสที่จะมีสล็อตการจองว่างสำหรับการเข้าจองให้ประสบความสำเร็จมีน้อยมาก ส่งผลให้สมรรถนะของระบบลดลง แต่เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองเท่ากับ 0.72 ซึ่งเป็นค่าความน่าจะเป็นที่ค่อนข้างสูง ทำให้เป็นการเพิ่มโอกาสในการชนกันของผู้ใช้บริการจำนวนมาก ๆ เช่น การชนกันของผู้ใช้บริการ M = 10 12 14 และ 16 คน ให้เกิดขึ้นอย่างมากในช่วงสล็อตการจองอันดับแรก ๆ ส่งผลให้ในช่วงสล็อตการจองอันดับท้าย ๆ เหลือจำนวนผู้ใช้บริการค่อนข้างน้อย ทำให้ผู้ใช้บริการที่เหลือเหล่านี้ประสบความสำเร็จในการจอง ในช่วงสล็อตการจองอันดับท้าย ๆ นี้

จากผลการทดสอบในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ทำให้เกิดแนวคิดว่าตำแหน่งค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองซึ่งให้สมรรถนะของระบบสูงสุด (ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจอง) มีลักษณะการทำงาน และการใช้งานสล็อตการจองอย่างไร เพื่ออธิบายการทำงานในส่วนจึงได้นำเสนอในรูปที่ 4.9

รูปที่ 4.9 แสดงจำนวนของการว่าง การสำเร็จ และการชนกันที่สล็อตการจองต่าง ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 16 คน จำนวนโทเค็น 8 อัน จำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต และใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจอง p=0.06 พบว่าสล็อตการจองแต่ละสล็อตถูกใช้งานหรือถูกเข้าจองอย่างสม่ำเสมอดังจะเห็นได้จากจำนวนการว่าง และการชนกันที่เกิดขึ้นในสล็อตการจองแต่ละสล็อต ทำให้สามารถที่จะสรุปได้ว่าการทำให้ระบบมีสมรรถนะหรือจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยประสบความสำเร็จในการจองสูงสุด จะต้องทำให้สล็อตการจองแต่ละสล็อตถูกเข้าจองหรือถูกใช้งานอย่างสม่ำเสมอ หรืออาจกล่าวได้ว่าโอกาสในการเข้าจองสล็อตการจองแต่ละสล็อตมีค่าเท่าเทียมกัน

สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งที่จำเป็นต้องพิจารณาในเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ คือ ความยุติธรรม (Fairness) ในการเข้าจองช่องสัญญาณและการประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ หากพิจารณาระบบโดยรวมโดยการมองที่จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองเป็นหลัก อาจไม่สามารถบอกได้ว่าผู้ใช้บริการคนใดบ้างที่ประสบความสำเร็จในการจองและผู้ใช้บริการแต่ละคนมีโอกาสในการประสบความสำเร็จเท่าเทียมกันหรือไม่ จึงได้นำเสนอกราฟที่สามารถอธิบายประเด็นในส่วนนี้และแสดงในรูปที่ 4.10

รูปที่ 4.10 แสดงจำนวนครั้งที่ประสบความสำเร็จในการจองของผู้ใช้บริการรายต่าง ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 16 คน จำนวนโทเค็น 8 อัน จำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต และค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอง p=0.06 ซึ่งเป็นค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจอง เมื่อใช้การจำลองแบบจำนวน 100,000 ครั้ง สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจนว่าผู้ใช้บริการมีโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและมีโอกาสในการประสบความสำเร็จในการจองอย่างเท่าเทียมกัน เนื่องจากการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการใช้การสุ่มแบบเอกรูป (Uniform) จึงสรุปได้ว่าระบบให้ความยุติธรรมแก่ผู้ใช้บริการและการใช้ค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการวัดสมรรถนะของระบบมีความเหมาะสม

พารามิเตอร์ที่ถือได้ว่ามีความสำคัญโดยตรงต่อสมรรถนะของระบบที่ใช้โทเค็นการจองหลายอัน ได้แก่ ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจอง ซึ่งได้แสดงผลการทดสอบและการวิเคราะห์ในส่วนก่อนหน้านี้แล้ว แต่ยังมีพารามิเตอร์อีกตัวที่ถือได้ว่ามีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากันนั่นคือ จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม ในส่วนถัดไปนี้จะได้นำเสนอผลการทดสอบและการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การหาค่าจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโทเค็นการจองและเปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 2 4 8 และ 16 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต พบว่าภายใต้สภาวะที่ระบบรองรับจำนวนผู้ใช้บริการไม่มากนัก (M = 2 4 และ 8 คน) ในช่วงแรกของกราฟ ค่าของเปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนโทเค็นการจอง เนื่องจากภายใต้สภาวะดังกล่าวยังมีสล็อตการจองที่ว่างอยู่พอสมควร ดังนั้นการเพิ่มจำนวนโทเค็นการจองเท่ากับเป็นการเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จในการจอง ทำให้สมรรถนะของระบบเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มจำนวนโทเค็นการจองถึงค่าที่เหมาะสมค่าหนึ่ง เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองจะมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดการชนกันของผู้ใช้บริการ เช่นเดียวกันกับในกรณีที่ผู้ใช้บริการในระบบมีจำนวนมาก (M = 16 คน) การเพิ่มจำนวนโทเค็นยิ่งทำให้เกิดการชนกันมากขึ้น ส่งผลให้

เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองลดลงและคงที่ในที่สุดเมื่อระบบจัดสรรจำนวนโทเค็นการจองให้กับผู้ใช้บริการมากเกินความจำเป็น กล่าวคือโทเค็นการจองของผู้ใช้บริการบางโทเค็นไม่ถูกใช้ในการเข้าจองช่องสัญญาณ

จากผลการจำลองแบบที่ได้แสดงในรูปที่ 4.11 สิ่งที่ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญต่อสมรรถนะของระบบที่ใช้โทเค็นการจองหลายอัน คือ จำนวนของโทเค็นการจอง หากใช้จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสมจะส่งผลให้ได้ค่าสมรรถนะของระบบที่ดีที่สุด ซึ่งจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม (Appropriate Number of Token : ANT) ในกรณีของจำนวนผู้ใช้บริการ 1-16 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสมสำหรับเทคนิคการจองแบบ MT-CFP
เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1-16 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต

M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	≥ 16
ANT	1	8	6	4	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1

จากตารางที่ 4.1 สามารถประมาณจำนวนของโทเค็นการจองที่เหมาะสม ภายใต้ระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจองที่แตกต่างกันของเทคนิคการจองแบบ MT-CFP โดยประมาณได้จากสูตรในสมการที่ 4.1

$$ANT_{MT-CFP} = \begin{cases} 1 & ; \text{ when } M = 1 \text{ or } M \geq N \\ \left\lceil \frac{N}{M} \right\rceil & ; \text{ when } 1 < M < N \end{cases} \qquad (4.1)$$

โดยที่ M คือ จำนวนผู้ใช้บริการในระบบ
N คือ จำนวนสล็อตการจองในระบบ
$\lceil x \rceil$ คือ เลขจำนวนเต็มที่น้อยที่สุดซึ่งมากกว่า x

เพื่อตรวจสอบว่าสูตรการประมาณจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสมสำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-CFP สามารถใช้งานได้กับระบบที่มีรองรับปริมาณโหลดที่แตกต่างกัน จึงได้นำเสนอโดยยกตัวอย่างระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจองที่แตกต่างกัน ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.12

รูปที่ 4.12 แสดงจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสูตรการประมาณและค่าที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์ เมื่อจำนวนสล็อตการจอง 4 8 11 24 และ 32 สล็อต พบว่าเมื่อพิจารณาที่จำนวนสล็อตการจองไม่มากนัก (N =4 8 และ 11 สล็อต) สูตรการประมาณค่าจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสมจากสมการที่ (4.1) สามารถใช้ในการประมาณค่าได้เป็นอย่างดี ดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบซึ่งเส้นกราฟที่ได้จากสูตรการประมาณค่าทับกันสนิทพอดีกับเส้นกราฟที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์ แต่เมื่อจำนวนสล็อตการจองในระบบมีจำนวนมาก (N =24 และ 32 สล็อต) พบว่าสูตรการประมาณจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม ให้ค่าที่คลาดเคลื่อนจากผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ไปบ้าง และได้นำเสนอในรายละเอียดดัง

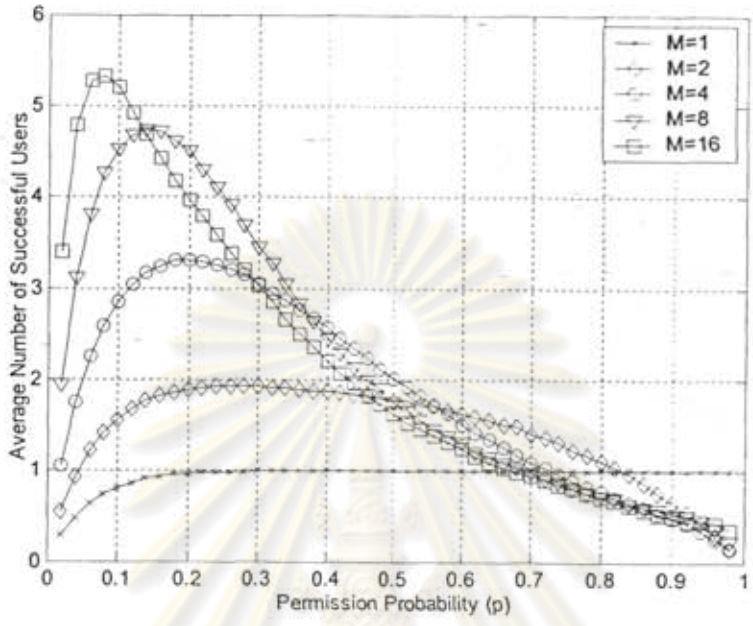
รูปที่ 4.12 (ข) และ (ค) ซึ่งเป็นระบบที่มีสล็อตการจอง 24 และ 32 สล็อต ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตำแหน่งซึ่งสูตรการประมาณค่าให้ค่าที่คลาดเคลื่อน สามารถสรุปเป็นข้อจำกัดในการใช้สูตรการประมาณค่า โดยตำแหน่งที่อาจทำให้การประมาณค่ามีความคลาดเคลื่อน ได้แก่

1. ตำแหน่งซึ่งจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อนำไปหารกับจำนวนสล็อตการจองแล้วไม่ลงตัวและเหลือเศษเป็นตัวเลขที่มีค่าไม่มากนัก เช่น เหลือเศษ 1 2 3 เป็นต้น ขออธิบายโดยยกตัวอย่างจากกรณีที่ระบบมีจำนวนสล็อตการจอง 24 สล็อต ดังรูปที่ 4.12 (ข) พบว่าที่จำนวนผู้ใช้บริการ 11 คน สูตรการประมาณค่าให้ค่าที่คลาดเคลื่อน เมื่อลองพิจารณาจากสูตรการประมาณซึ่งเป็นการปัดเศษขึ้น จากการนำจำนวนสล็อตการจองหารด้วยจำนวนผู้ใช้บริการ ($\left\lceil \frac{N}{M} \right\rceil$) ในกรณีนี้ 24/11 ได้ผลลัพธ์ 2 เหลือเศษ 2 ซึ่งจากสูตรการประมาณค่า ควรจะได้จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสมคือ 3 โทเค็น แต่จากผลการทดสอบค่าที่เหมาะสมคือ 2 โทเค็น ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า หากลองนำจำนวนผู้ใช้บริการคูณด้วยจำนวนโทเค็นที่เหมาะสม ค่าที่ควรจะเป็นค่าจำนวนโทเค็นที่เหมาะสม น่าจะเป็นค่าที่ทำให้ผลคูณได้ค่าที่ใกล้เคียงกับจำนวนสล็อตการจอง พบว่าเมื่อนำจำนวนผู้ใช้บริการ (11 คน) คูณจำนวนโทเค็นที่เหมาะสมจากสูตรการประมาณค่า (3 โทเค็น) ได้ค่าเท่ากับ 33 แต่เมื่อนำไปคูณด้วยจำนวนโทเค็น 2 โทเค็น ได้ค่า 22 ซึ่งใกล้เคียงกับ 24 มากกว่าอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับ 33 ทำให้ค่าที่เป็นจำนวนโทเค็นที่เหมาะสมคือ 2 โทเค็น ซึ่งพบว่ากรณีนี้ก็เกิดเช่นเดียวกันที่จำนวนผู้ใช้บริการ 10 และ 15 คนของระบบที่มีจำนวนสล็อตการจอง 32 สล็อตดังรูปที่ 4.12 (ค)
2. ตำแหน่งซึ่งจำนวนผู้ใช้บริการมีค่าใกล้เคียงกับจำนวนสล็อตการจอง พบว่าที่จำนวนผู้ใช้บริการ 23 คน ในระบบที่มีสล็อตการจอง 24 สล็อต ดังรูปที่ 4.12 (ข) และที่จำนวนผู้ใช้บริการ 30 และ 31 คน ในระบบที่มีสล็อตการจอง 32 สล็อต ดังรูปที่ 4.12 (ค) ให้ค่าการประมาณที่คลาดเคลื่อน

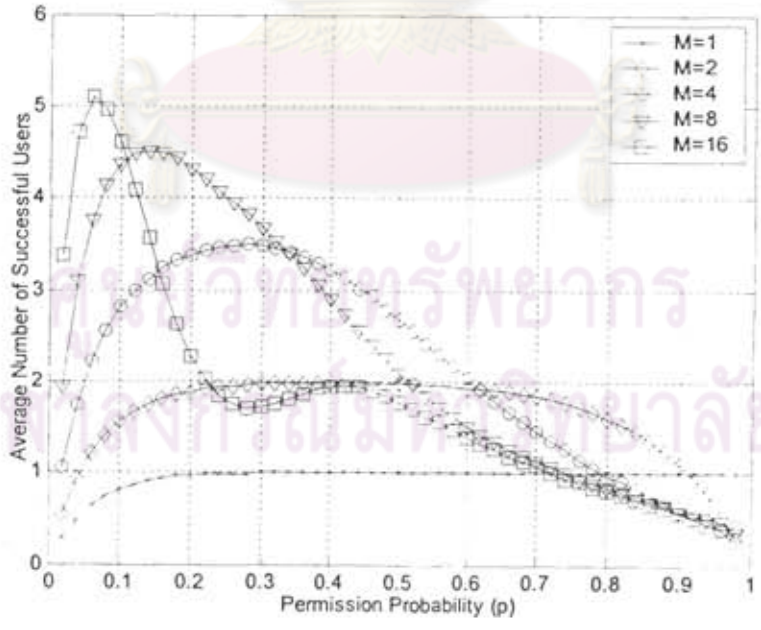
เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง (Average Number of Successful Uses : ANSU) ณ ตำแหน่งซึ่งสูตรให้ค่าการประมาณที่คลาดเคลื่อน พบว่า ค่า ANSU แทบไม่แตกต่างกัน สังเกตได้ว่าโดยส่วนใหญ่จะมีค่าแตกต่างกันในระดับทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่น้อยมาก หากว่าสามารถละเลยข้อจำกัดตรงส่วนนี้ได้ จะทำให้สูตรการประมาณค่าจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม สามารถใช้งานได้ดีในทุก ๆ สภาวะ

รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ใช้โทเค็น 1 อัน (CFP) และ เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ใช้โทเค็นหลายอัน (MT-CFP) เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 16 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต พบว่าการนำเอาแนวคิดของการใช้โทเค็นหลายอันมาประยุกต์ใช้ สามารถปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพการใช้งานสล็อตการจองได้เป็นอย่างดี ดังจะเห็นได้จากจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของเทคนิค MT-CFP ที่ดีกว่าเทคนิค CFP อย่างเห็นได้ชัด จากกราฟเมื่อพิจารณาที่จำนวนผู้ใช้บริการ 5 คน เทคนิค MT-CFP ให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่

ประสบความสำเร็จในการจองเท่ากับ 3.9562 เพิ่มขึ้นจากเทคนิค CFP ซึ่งให้ค่า 3.2695 คิดเป็นการเพิ่มขึ้น 0.6867 หรือประมาณ 20 %

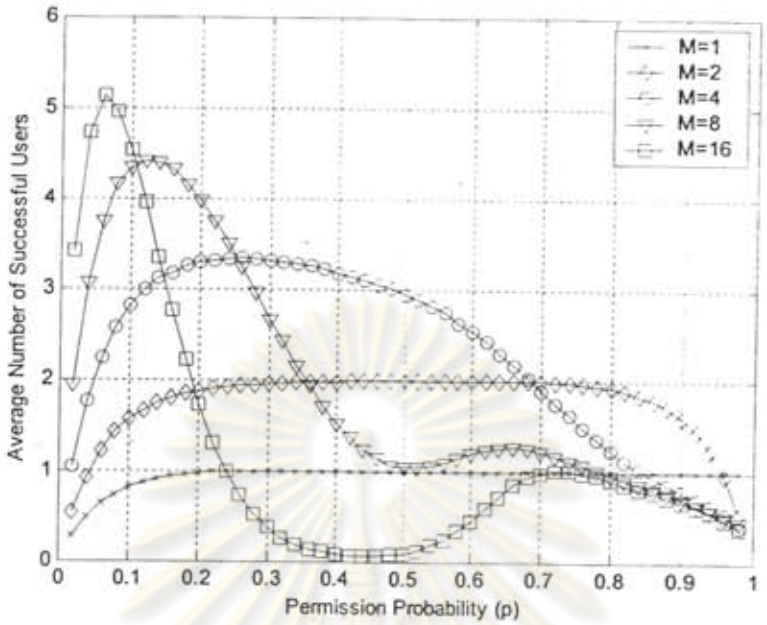


(ก) ระบบมีใช้โทเค็นการจอง 2 อัน

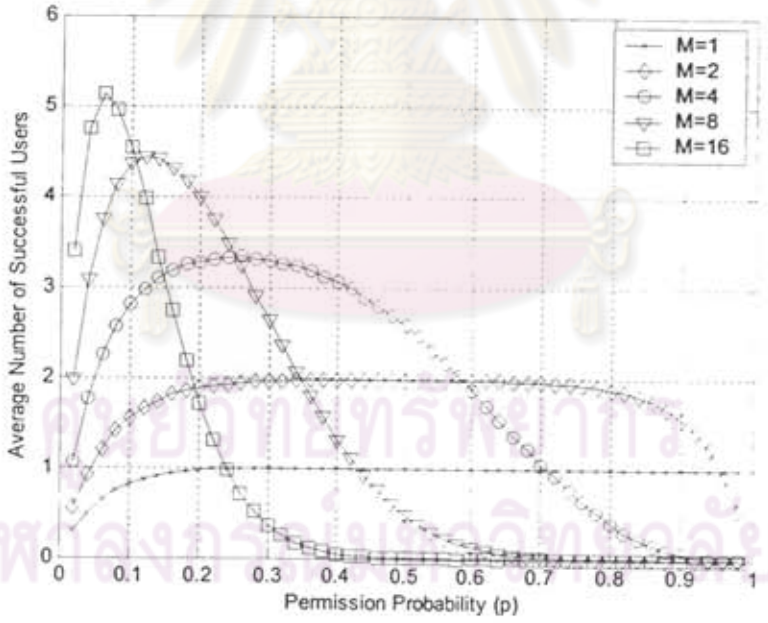


(ข) ระบบมีใช้โทเค็นการจอง 4 อัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ค) ระบบมีใช้โทเค็นการจอง 8 อัน



(ง) ระบบมีใช้โทเค็นการจอง 16 อัน

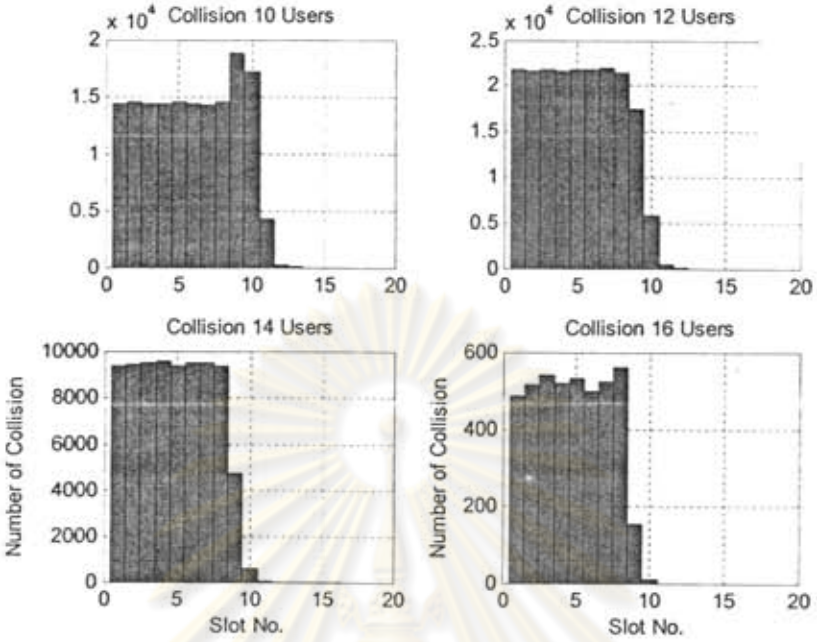
รูปที่ 4.5 จำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองและความน่าจะเป็นในการเข้าจอง เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 2 4 8 และ 16 คน และ จำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต้นฉบับไม่มีหน้า 63-65

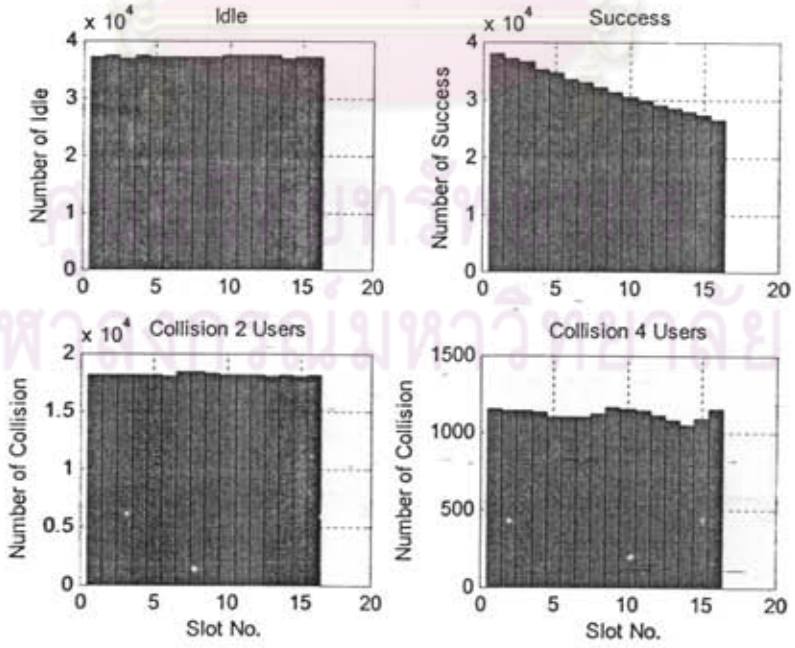
NO PAGE 63-65 IN ORIGINAL

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

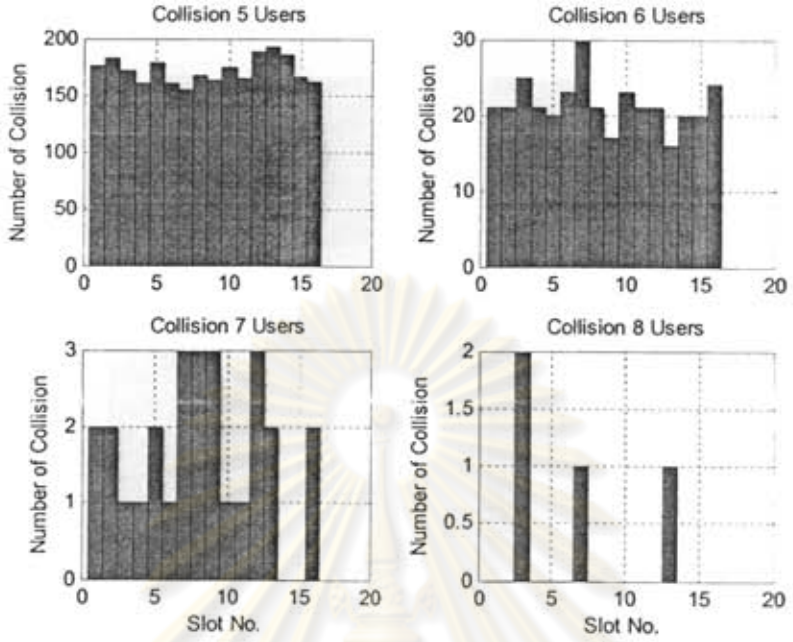


(ค) จำนวนการชนกันของผู้ใช้บริการ 10 12 14 16 คน

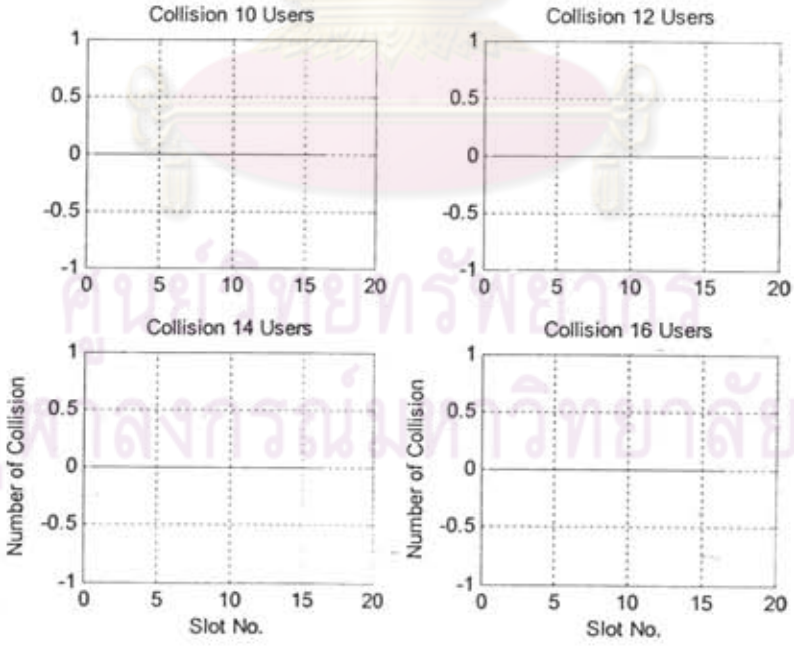
รูปที่ 4.8 จำนวนของการว่าง การสำเร็จ และการชนกันที่สล็อตการจองต่าง ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 16 คน จำนวนโทเค็น 8 อัน และค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองเท่ากับ 0.72



(ก) จำนวนการว่าง การสำเร็จ และการชนกันของผู้ใช้บริการ 2 4 คน

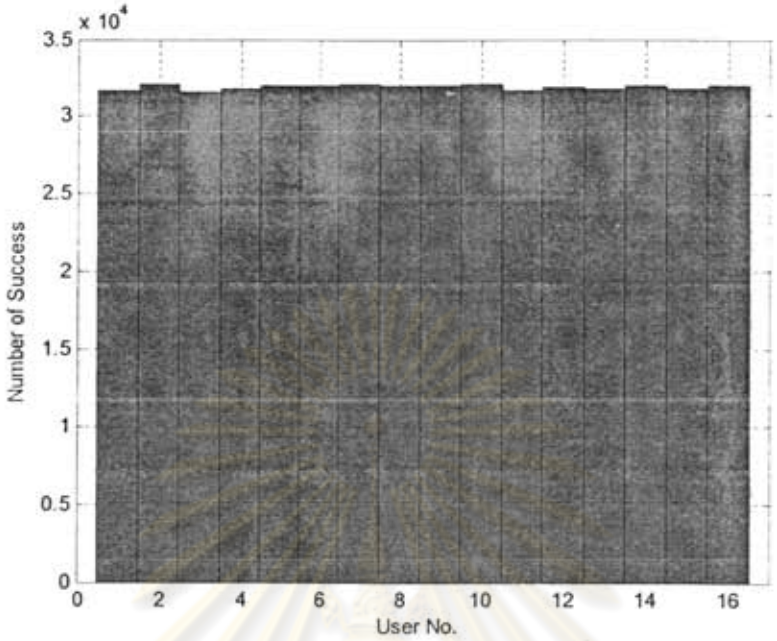


(ข) จำนวนการชนกันของผู้ใช้บริการ 5 6 7 8 คน

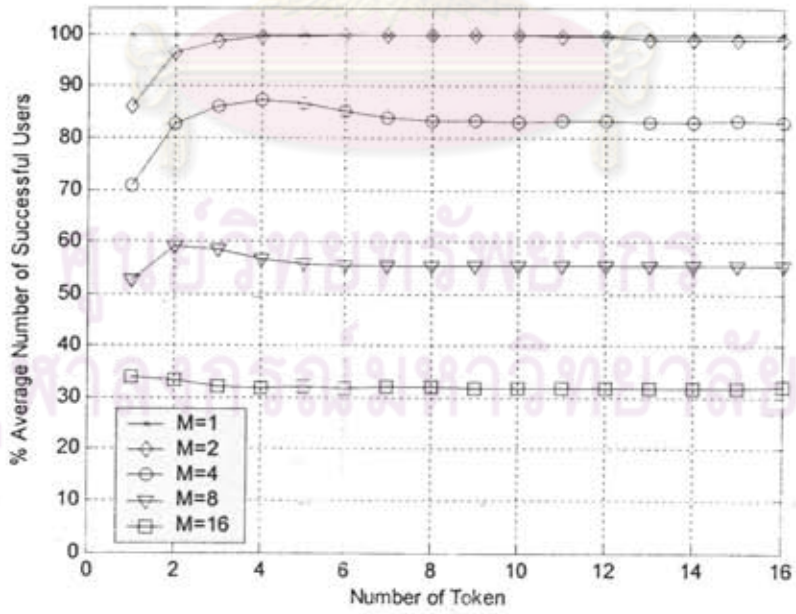


(ค) จำนวนการชนกันของผู้ใช้บริการ 10 12 14 16 คน

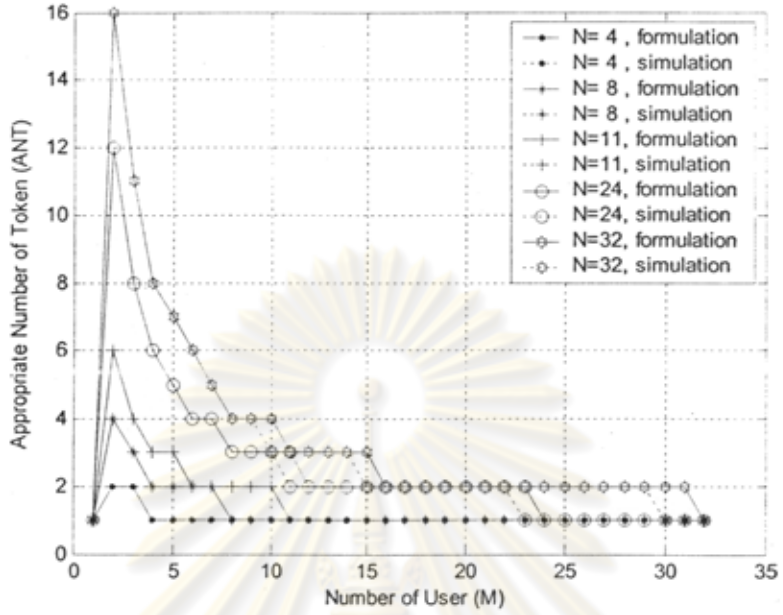
รูปที่ 4.9 จำนวนของการว่าง การสำเร็จ และการชนกันที่สล็อตการจองต่าง ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 16 คน จำนวนโทเค็น 8 อัน และใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการเข้าจอง p=0.06



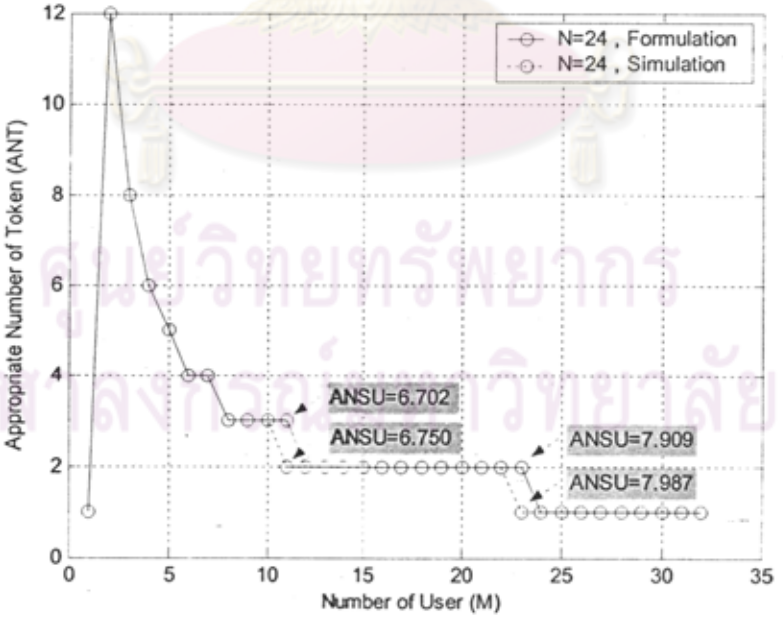
รูปที่ 4.10 จำนวนครั้งที่ประสบความสำเร็จในการจองของผู้ใช้บริการรายต่าง ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 16 คน จำนวนโทเค็น 8 อัน และค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจอง p=0.06



รูปที่ 4.11 จำนวนโทเค็นการจองและเปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 2 4 8 และ 16 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต

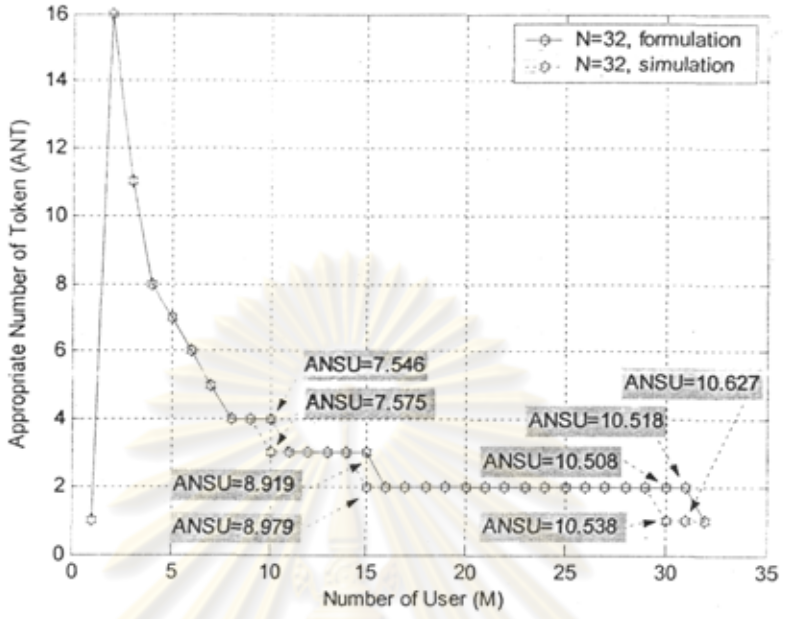


(ก) ระบบมีจำนวนสล็อตการจอง 4 8 11 24 และ 32 สล็อต



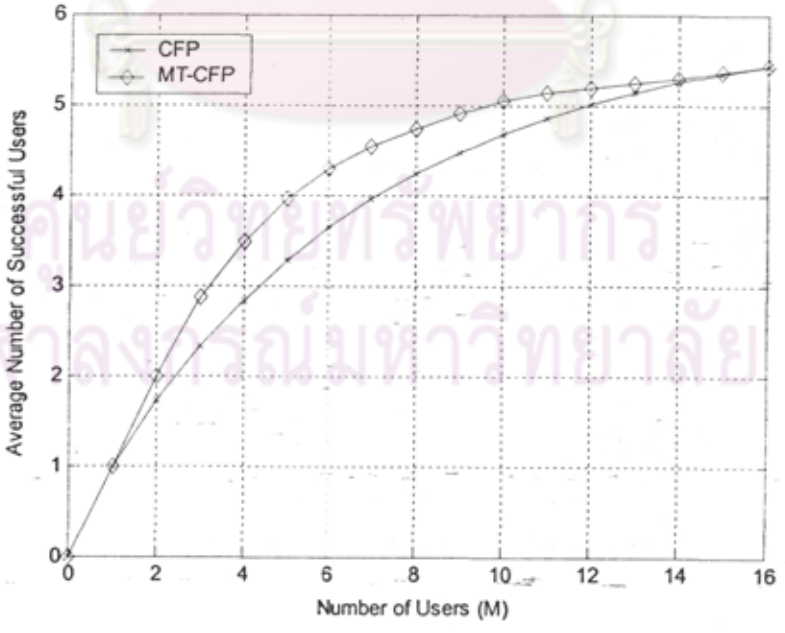
(ข) ระบบมีจำนวนสล็อตการจอง 24 สล็อต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ค) ระบบมีจำนวนสล็อตการจอง 32 สล็อต

รูปที่ 4.12 จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสูตรการประมาณและค่าที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์ เมื่อจำนวนสล็อตการจอง 4 8 11 24 และ 32 สล็อต



รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของเทคนิค CFP และ MT-CFP เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 16 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

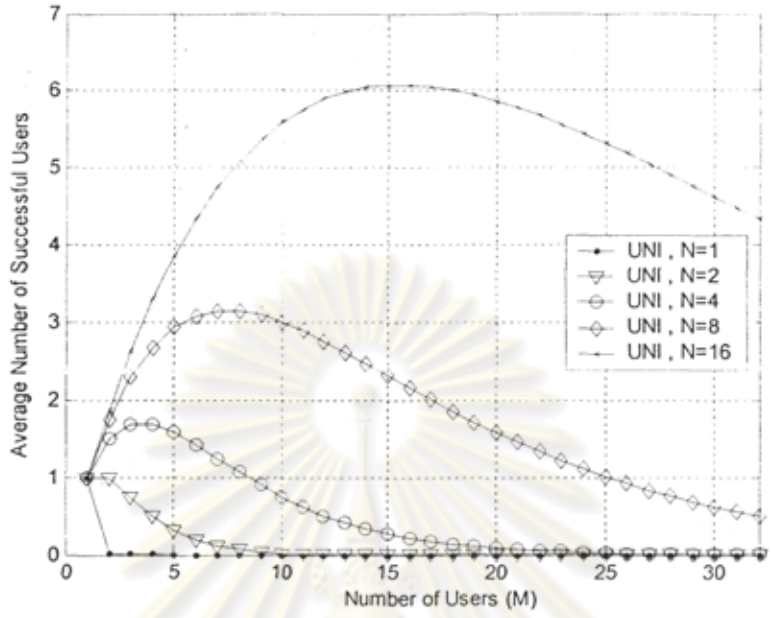
4.2 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-UNI

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์จะนำเสนอโดยแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อย่อย โดยแบ่งหัวข้อออกตามระบบที่พิจารณาเป็น 2 ระบบ คือ ระบบที่ใช้โทเค็นการจองเพียง 1 อัน ได้แก่ เทคนิค UNI และระบบที่ใช้โทเค็นการจองหลายอัน ได้แก่ เทคนิค MT-UNI พร้อมทั้งได้แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะและการวิเคราะห์ของทั้งสองเทคนิคดังกล่าว

4.2.1 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิค UNI

รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองและจำนวนผู้ใช้บริการเมื่อใช้เทคนิค UNI และจำนวนสล็อตการจอง 1 2 4 8 และ 16 สล็อต จากผลที่ได้พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเท่ากับ 1 คน จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของทุกระบบจะมีค่าเป็น 1 เนื่องจากผู้ใช้บริการรายนั้นจะประสบความสำเร็จในการจองอย่างแน่นอน แต่เมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการเข้าไปในระบบ ในช่วงแรกจะพบว่าสมรรถนะของระบบจะเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าไปจองสล็อตการจองจะช่วยลดโอกาสในการว่างของสล็อตการจอง อย่างไรก็ดีจะเห็นได้ว่าสมรรถนะของระบบจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเท่ากับจำนวนสล็อตการจอง หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการเข้าไปในระบบ สมรรถนะของระบบจะมีแนวโน้มลดลง โดยสาเหตุที่สมรรถนะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเท่ากับจำนวนสล็อตการจองเนื่องมาจากการจองสล็อตการจองจะสำเร็จก็ต่อเมื่อมีผู้ใช้บริการที่เข้าจองเพียง 1 รายต่อ 1 สล็อตการจอง ดังนั้นจำนวนผู้ใช้บริการสูงสุดที่ระบบสามารถรองรับได้ในขณะหนึ่งจึงเท่ากับจำนวนสล็อตการจอง แต่หลังจากนั้นเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนสูงกว่าจำนวนสล็อตการจอง จะทำให้ผู้ใช้บริการบางรายสุ่มเลือกสล็อตได้เป็นสล็อตเดียวกัน จึงเกิดการชนกันขึ้นและส่งผลให้สมรรถนะของระบบลดลง นอกจากนี้จะพบว่าสมรรถนะของระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองในเฟรมมากกว่าจะมีค่าสูงกว่า เพราะการที่จำนวนสล็อตการจองมากขึ้น จะเพิ่มทางเลือกในการสุ่มเข้าจองของผู้ใช้บริการและช่วยลดโอกาสที่ผู้ใช้บริการจะเกิดการชนกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองและจำนวนผู้ใช้บริการเมื่อใช้เทคนิค UNI และจำนวนสล็อตการจอง 1 2 4 8 และ 16 สล็อต

4.2.2 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิค MT-UNI

รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองและจำนวนผู้ใช้บริการของเทคนิค MT-UNI ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้โทเค็นหลายอัน เมื่อจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต และจำนวนของโทเค็น 1 2 4 8 และ 16 อัน พบว่าการเพิ่มจำนวนโทเค็นการจองมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะของระบบ แต่การเพิ่มจำนวนโทเค็นการจองจะได้ผลดีเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการในระบบไม่สูงมากนัก เพราะในระบบดังกล่าวนี้ การเพิ่มจำนวนโทเค็นการจองถือเป็นการเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จในการจองให้มากขึ้น ในทางตรงกันข้ามระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมาก การเพิ่มขึ้นของโทเค็นการจองเท่ากับเป็นการเพิ่มโอกาสในการชนกันให้มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สมรรถนะของระบบลดลง ดังนั้นการเพิ่มจำนวนโทเค็นการจองจะได้ผลดีต้องพิจารณาปริมาณผู้ใช้บริการที่มีอยู่ในระบบในขณะนั้นด้วย

หากพิจารณาสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณวิธีการนี้ โดยวัดจากจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองเป็นหลัก จึงเกิดมีคำถามขึ้นว่าผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองเป็นคนเดิมหรือไม่ หรือ ผู้ใช้บริการมีโอกาสในการประสบความสำเร็จในการจองเท่าเทียมกันหรือไม่ เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องพิจารณาในจุดนี้ เพราะในโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง เรื่องของความยุติธรรม เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากประการหนึ่ง เพื่ออธิบายประเด็นในส่วนนี้และตอบคำถามว่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัดสมรรถนะนี้มีความเหมาะสมเพียงใด จึงได้นำเสนอไว้ในรูปที่ 4.16

รูปที่ 4.16 จำนวนครั้งที่ประสบความสำเร็จในการจองของผู้ใช้บริการรายต่าง ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 8 คน จำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง 2 อัน โดยใช้การจำลองแบบจำนวน 10,000 ครั้ง สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจนว่าผู้ใช้บริการมีโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและมีโอกาสในการประสบความสำเร็จในการจองอย่างเท่าเทียมกัน เนื่องจากการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการใช้การสุ่มแบบเอกรูป (Uniform) จึงสรุปได้ว่าระบบให้ความยุติธรรมแก่ผู้ใช้บริการและการใช้ค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการวัดสมรรถนะของระบบมีความเหมาะสม

รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโทเค็นการจองและเปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 2 4 8 และ 16 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 ส ล็อต พบว่าภายใต้สภาวะที่จำนวนผู้ใช้บริการมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนสล็อตการจอง (M = 2 4 และ 8 คน) เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองเพิ่มขึ้นตามจำนวนของโทเค็นการจองที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนโทเค็นที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการใช้งานของสล็อตการจองที่ว่างอยู่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและส่งผลถึงค่าสมรรถนะของระบบที่ดีขึ้นด้วย แต่การเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง ก็ถูกจำกัดด้วยค่าของจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม หากเพิ่มจำนวนโทเค็นการจองมากกว่าค่าค่านี้ จะไม่ส่งผลต่อการปรับปรุงสมรรถนะของระบบ ในทางตรงข้ามกลับจะทำให้สมมรถนะของระบบลดลงและลู่เข้าศูนย์ในที่สุด กล่าวคือ ไม่มีผู้ใดประสบความสำเร็จในการจอง หากจำนวนโทเค็นการจองมีจำนวนมากเกินไป นอกจากนี้ยังพบว่าจำนวนของผู้ใช้บริการที่มีค่าน้อยมาก ๆ เมื่อเทียบกับจำนวนสล็อตการจอง เช่น ผู้ใช้บริการ 2 คน ในระบบที่มีสล็อตการจอง 16 สล็อต เป็นต้น การเพิ่มจำนวนโทเค็นการจองจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะของระบบเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะว่าภายใต้สภาวะเช่นนี้ ระบบที่ใช้โทเค็น 1 อัน ให้สมรรถนะที่ค่อนข้างจะดีมากอยู่แล้ว

จากผลการจำลองแบบที่ได้แสดงในรูปที่ 4.17 จำนวนของโทเค็นการจองถือได้ว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะของระบบ หากใช้จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสมจะส่งผลให้ได้ค่าสมรรถนะของระบบที่ดีที่สุด ซึ่งจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม (Appropriate Number of Token : ANT) ในกรณีของจำนวนผู้ใช้บริการ 1-16 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสมสำหรับเทคนิคการจองแบบ MT-UNI เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1-16 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต

M	1	2	3	4	5	6	7	8	> 8
ANT	1	8	5	4	3	2	2	2	1

จากตารางที่ 4.2 สามารถประมาณจำนวนของโทเค็นการจองที่เหมาะสม ภายใต้ระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจองที่แตกต่างกันของเทคนิคการจองแบบ MT-CFP โดยประมาณได้จากสูตรในสมการที่ 4.2

$$ANT_{MT-UNI} = \begin{cases} 1 & ; \text{ when } M = 1 \text{ or } M > \frac{N}{2} \\ \left\lfloor \frac{N}{M} \right\rfloor & ; \text{ when } 1 < M \leq \frac{N}{2} \end{cases} \quad (4.2)$$

โดยที่ M คือ จำนวนผู้ใช้บริการในระบบ

N คือ จำนวนสล็อตการจองในระบบ

$\lfloor x \rfloor$ คือ เลขจำนวนเต็มที่มากที่สุดซึ่งน้อยกว่า x

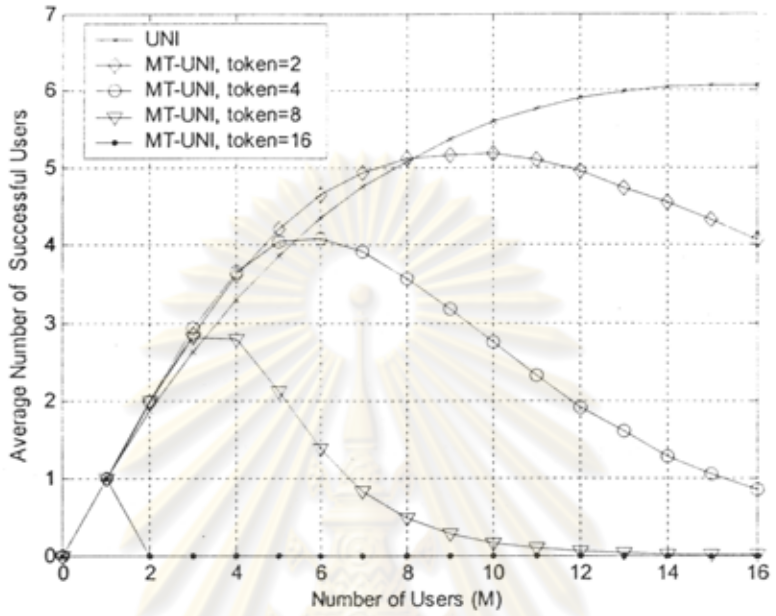
เพื่อตรวจสอบว่าสูตรการประมาณจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสมสำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-UNI สามารถใช้งานได้กับระบบที่มีรองรับปริมาณโหลดที่แตกต่างกัน จึงได้นำเสนอโดยยกตัวอย่างระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจองที่แตกต่างกัน ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.18

รูปที่ 4.18 แสดงจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสูตรการประมาณและค่าที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์ เมื่อจำนวนสล็อตการจอง 4 8 11 24 และ 32 สล็อต พบว่า สูตรการประมาณค่าจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสมสำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณวิธีการ MT-UNI จากสมการที่ (4.2) สามารถใช้ในการประมาณค่าได้เป็นอย่างดี ดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบซึ่งเส้นกราฟที่ได้จากสูตรการประมาณค่าทับกันสนิทพอดีกับเส้นกราฟที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์ แต่มีบางตำแหน่งซึ่งสูตรการประมาณค่าจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสมให้ค่าที่คลาดเคลื่อน ซึ่งตั้งข้อสังเกตได้ว่าจะเกิดในระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองค่อนข้างมากและจะเกิดขึ้นในตำแหน่งที่จำนวนผู้ใช้บริการมีค่าใกล้เคียงกับครึ่งหนึ่งของจำนวนสล็อตการจอง ซึ่งในรูปที่ 4.18 นี้ คือ ตำแหน่งที่ผู้ใช้บริการจำนวน 16 คนของระบบที่มีจำนวนสล็อตการจอง 32 สล็อต แต่เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง (Average Number of Successful Uses : ANSU) ณ ตำแหน่งซึ่งสูตรให้ค่าการประมาณที่คลาดเคลื่อน พบว่า ค่า ANSU แทบไม่แตกต่างกัน โดยจะมีค่าแตกต่างกันในระดับทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่น้อยมาก หากว่าต้องการความละเอียดในการประมาณไม่สูงมากนัก สูตรการประมาณค่าจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสมนี้ ถือว่าให้ค่าที่ถูกต้องพอสมควรในทุก ๆ สภาวะของจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจองค่าต่าง ๆ

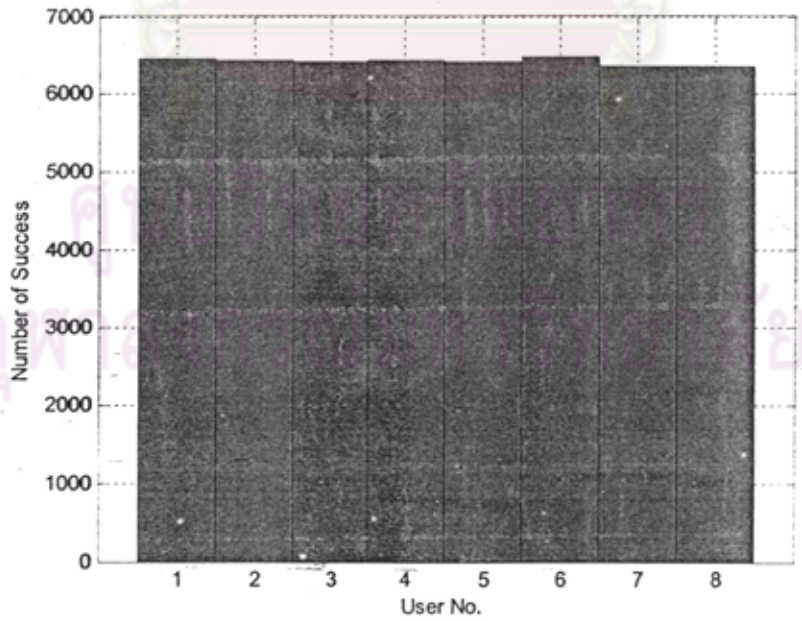
ในส่วนสุดท้ายนี้จะได้นำเสนอการเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่มของระบบที่ใช้โทเค็น 1 อันและระบบที่ใช้โทเค็นหลายอัน ดังแสดงในรูปที่ 4.19

รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการ โดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ใช้โทเค็น 1 อัน (UNI) และ เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ใช้โทเค็นหลายอัน (MT-UNI) เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 16 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต พบว่าเทคนิค MT-UNI ให้สมรรถนะของระบบโดยรวมที่ดีกว่าเทคนิค UNI ดังจะเห็นได้จากจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของเทคนิค MT-UNI ที่สูงกว่าเทคนิค UNI แต่มีข้อสังเกตกว่า การพัฒนาขึ้นของสมรรถนะของระบบจะไม่โดดเด่นนัก เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิค MT-CFP ที่ให้สมรรถนะที่ดีกว่า CFP ค่อนข้างชัดเจน อีกทั้งเทคนิค MT-UNI ยังมีช่วงที่ให้สมรรถนะที่ดีกว่าเทคนิค UNI ค่อนข้างจำกัด ดังจะเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 4.19 ที่สมรรถนะจะดีขึ้นในช่วงที่ระบบมีผู้ใช้บริการ 2 ถึง 8 คน สาเหตุที่สมรรถนะของระบบมีการปรับปรุงขึ้นเพียงเล็กน้อยและมีช่วง

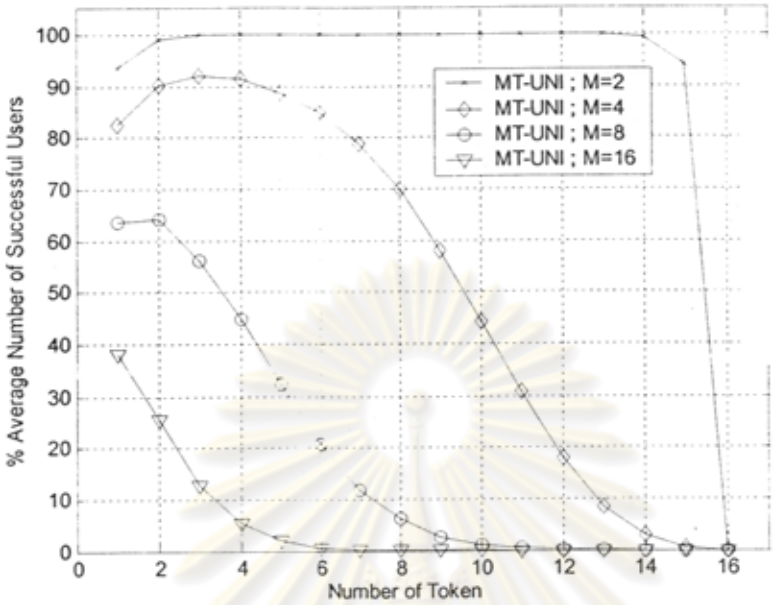
การทำงานที่จำกัดนี้ เนื่องมาจากเทคนิค UNI เป็นเทคนิคที่ให้สมรรถนะของระบบที่ด่อนข้างดีอยู่แล้ว เนื่องจากมีการใช้งานสล็อตการจองแต่ละสล็อตอย่างสม่ำเสมอ



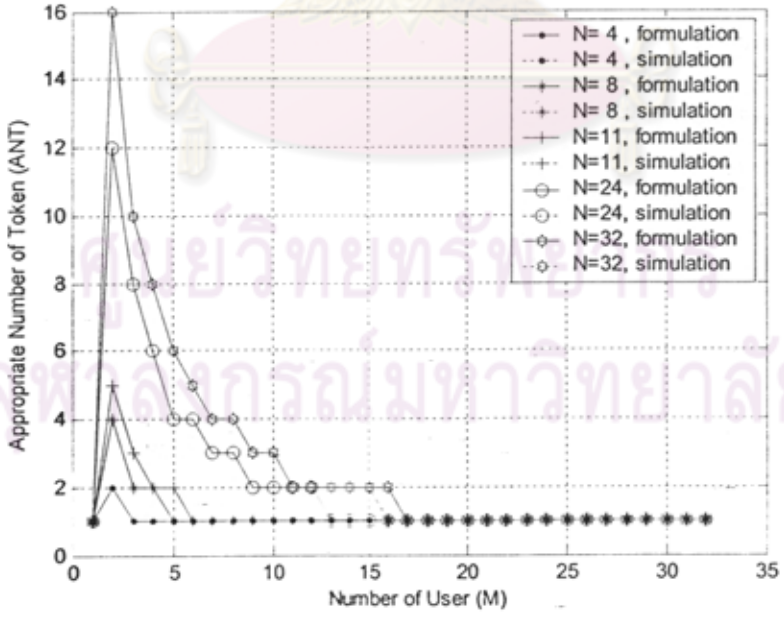
รูปที่ 4.15 จำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองและจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต และจำนวนของโทเค็น 1 2 4 8 และ 16 อัน



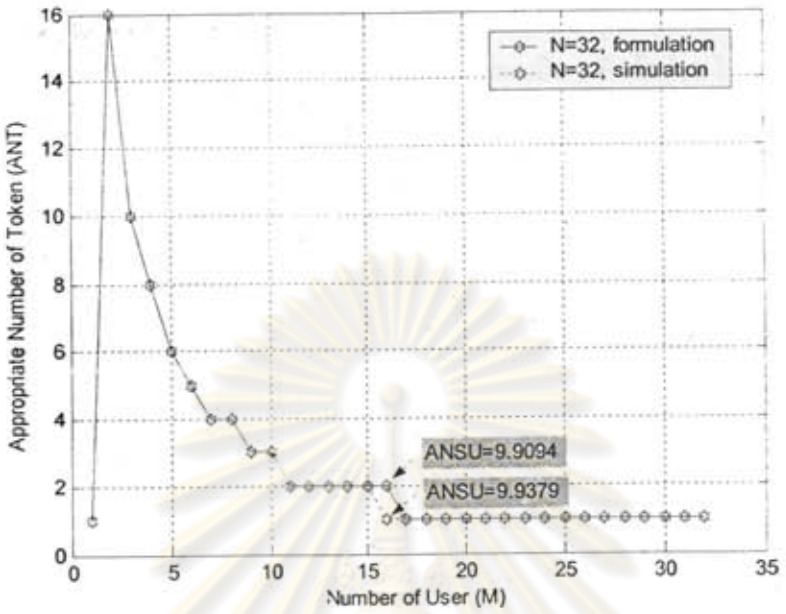
รูปที่ 4.16 จำนวนครั้งที่ประสบความสำเร็จในการจองของผู้ใช้บริการรายต่าง ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 8 คน จำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต และจำนวนโทเค็นการจอง 2 อัน



รูปที่ 4.17 จำนวนโทเค็นการจองและเปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 2 4 8 และ 16 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต

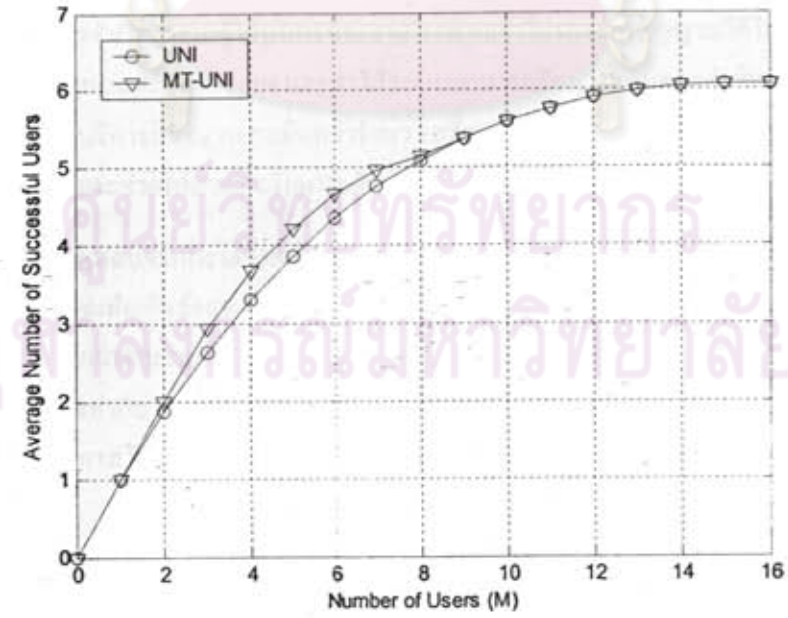


(ก) ระบบที่มีจำนวนสล็อตการจอง 4 8 11 24 และ 32 สล็อต



(ข) ระบบที่มีจำนวนสล็อตการจอง 32 สล็อต

รูปที่ 4.18 จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากสูตรการประมาณและค่าที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์ เมื่อจำนวนสล็อตการจอง 4 8 11 24 และ 32 สล็อต



รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองของเทคนิค UNI และ MT-UNI เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 16 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต

4.3 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-UNI+LA

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์จะนำเสนอโดยแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อย่อย โดยแบ่งหัวข้อออกตามระบบที่พิจารณาเป็น 2 ระบบ คือ ระบบที่ใช้โทเค็นการจอง 1 อันได้แก่ เทคนิค UNI+LA และระบบที่ใช้โทเค็นการจองหลายอัน ซึ่งได้นำเสนอเป็น 2 เทคนิคย่อย ได้แก่ เทคนิค MT-UNI+LAU และ MT-UNI+LAT พร้อมทั้งได้แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะและการวิเคราะห์ของเทคนิคดังกล่าว

4.3.1 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิค UNI+LA

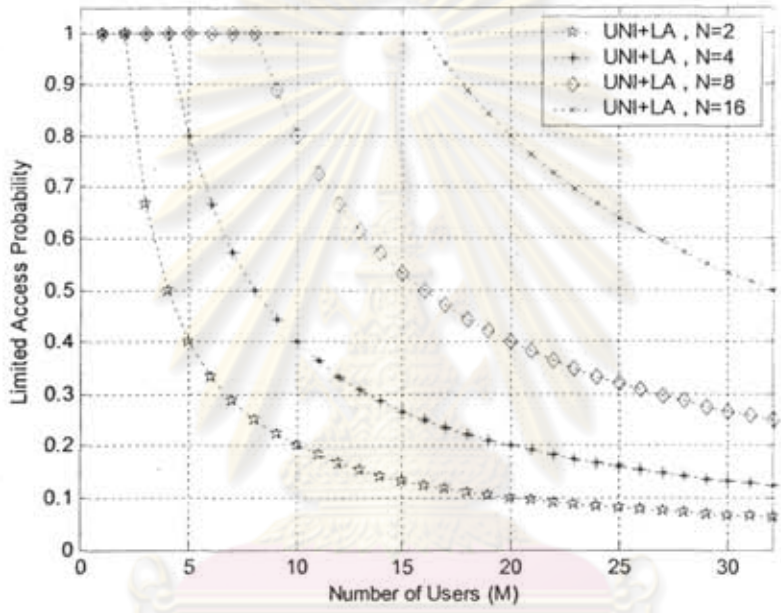
จากเทคนิค UNI จะเห็นได้ว่าสมรรถนะของระบบจะลดลงเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตการจอง ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหานี้จึงได้เสนอเทคนิคการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ (UNI+LA) ด้วยค่าความน่าจะเป็นในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ (Limited Access Probability) จะเห็นว่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณวิธีการนี้คือค่าความน่าจะเป็นในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ ซึ่งได้นำเสนอในรูปที่ 4.20

รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้สมรรถนะของระบบสูงสุด เมื่อเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 32 คน และสล็อตการจอง 2 4 8 และ 16 สล็อต พบว่า ในช่วงแรกที่จำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนต่ำกว่าจำนวนสล็อตการจอง ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมจะมีค่าเท่ากับ 1.0 แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเกินกว่าจำนวนสล็อตจอง ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมในกรณีนี้จะมีค่าไม่เท่ากับ 1.0 โดยค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มสูงขึ้น และจะลดลงเข้าใกล้ศูนย์เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเข้าใกล้อนันต์ ทั้งนี้เพื่อเป็นการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่จะสามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้ในขณะหนึ่ง ๆ ไม่ให้มีจำนวนสูงเกินกว่าจำนวนสล็อตการจอง และทำให้ระบบสามารถรักษาระดับของค่าสมรรถนะให้มีค่าคงที่ ดังนั้นเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนสูงเกินกว่าจำนวนสล็อตการจอง การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมจะช่วยให้สามารถรักษาระดับของค่าสมรรถนะของระบบได้

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าสมรรถนะของระบบสูงสุดนั้นจะขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจอง โดยในกรณีที่จำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนต่ำกว่าจำนวนสล็อตการจอง ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าสมรรถนะของระบบมีค่าสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ 1.0 แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนสูงกว่าจำนวนสล็อตการจอง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าสมรรถนะของระบบสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ $\min(1,(\frac{N}{M}))$

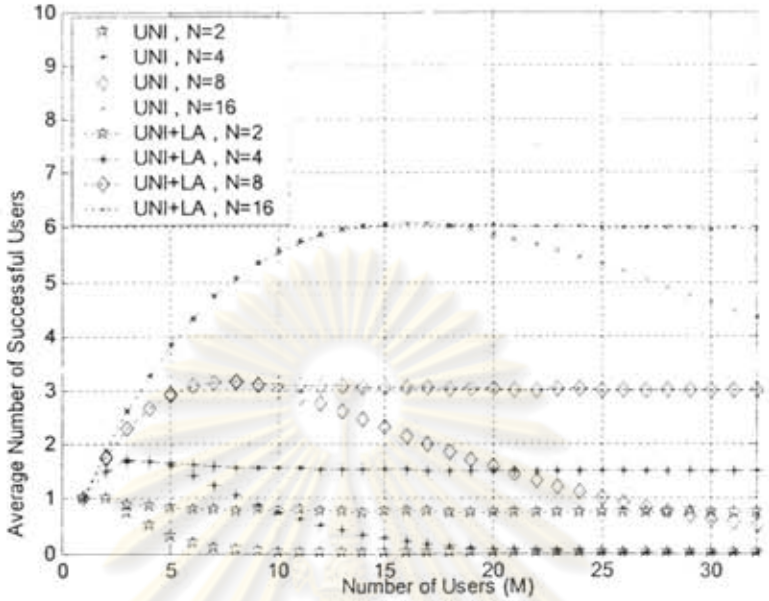
รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของเทคนิค UNI+LA เปรียบเทียบกับเทคนิค UNI เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 32 คน และสล็อตการจอง 2 4 8 และ 16 สล็อต จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการต่ำกว่าจำนวนสล็อตการจอง ค่าสมรรถนะของระบบจะมีค่าเท่ากับค่าสมรรถนะของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI ในทางตรงกันข้ามเมื่อจำนวน

ผู้ใช้บริการมีจำนวนเกินกว่าจำนวนสล็อตการจอง ค่าสมรรถนะของระบบจะมีค่าคงที่หรือลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผลที่ได้เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI นั่นคือระบบจะยังคงมีเสถียรภาพถึงแม้จะเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการเข้าไปในระบบก็จะไม่ส่งผลต่อการลดลงของค่าสมรรถนะของระบบมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA จะช่วยให้สามารถกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการที่จะผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้ผ่านทางการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสม



รูปที่ 4.20 จำนวนผู้ใช้บริการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้สมรรถนะของระบบสูงสุด เมื่อเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 32 คน และสล็อตการจอง 2 4 8 และ 16 สล็อต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



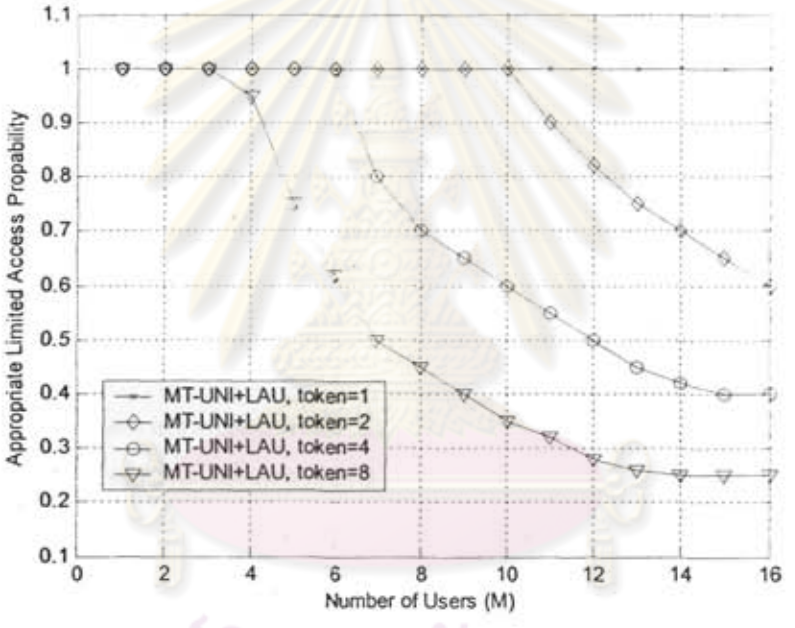
รูปที่ 4.21 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของเทคนิค UNI+LA เปรียบเทียบกับเทคนิค UNI เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 32 คน และสล็อตการจอง 2 4 8 16 สล็อต

4.3.2 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิค MT-UNI+LAU

รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อจำนวนโทเค็นการจอง 1 2 4 และ 8 อัน และสล็อตการจอง 16 สล็อต พบว่าเมื่อพิจารณาโทเค็นการจอง 1 อัน ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการมีค่าเท่ากับ 1.0 เนื่องจากภายใต้สภาวะดังกล่าว ระบบมีการทำงานเช่นเดียวกันกับเทคนิค UNI+LA กล่าวคือ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการไม่เกินกว่าจำนวนสล็อตการจอง ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการมีค่าเท่ากับ 1.0 หรืออาจกล่าวได้ว่าระบบไม่มีการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ ผู้ใช้บริการทั้งหมดสามารถเข้าทำการจองช่องสัญญาณได้ แต่เมื่อเพิ่มจำนวนโทเค็นการจองเป็น 2 4 และ 8 อัน พบว่ากราฟแต่ละเส้นให้แนวโน้มในทิศทางเดียวกันคือ ในช่วงแรกซึ่งผู้ใช้บริการในระบบมีจำนวนไม่มากนัก ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการมีค่าเท่ากับ 1.0 แต่เมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการถึงค่าค่าหนึ่งจะทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการมีค่าไม่เท่ากับ 1.0 และมีค่าลดลงเรื่อยๆ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ใช้บริการ โดยที่ผู้ใช้บริการแต่ละคนสามารถใช้โทเค็นการจองของตนได้ทั้งหมด เท่ากับเป็นการเพิ่มโอกาสในการชนกันของโทเค็นการจองให้มากขึ้นด้วย ระบบจึงพยายามรักษาระดับสมรรถนะในกรณีที่มีผู้ใช้บริการจำนวนมากให้คงที่ด้วยกลไกการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ โดยการลดค่าความน่าจะเป็นหรือโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณให้น้อยลง

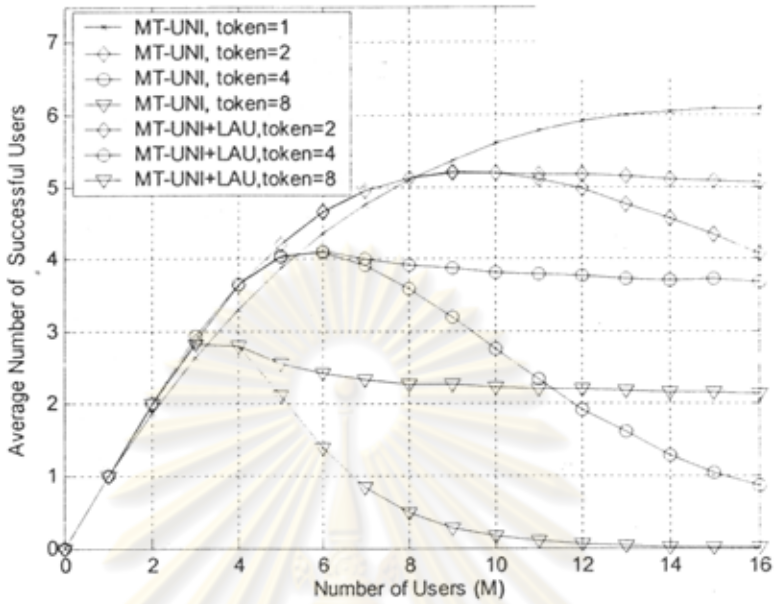
รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของเทคนิค MT-UNI+LAU เปรียบเทียบกับเทคนิค MT-UNI เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 16 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต

จากผลการทดสอบที่ได้พบว่า ในช่วงแรกซึ่งผู้ใช้บริการในระบบมีจำนวนน้อย เทคนิค MT-UNI+LAU จะให้สมรรถนะที่เท่ากันกับเทคนิค MT-UNI ทั้งนี้เนื่องจากภายใต้สภาวะของระบบดังกล่าว ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 1.0 ทำให้ระบบทำงานเช่นเดียวกันกับเทคนิค MT-UNI แต่เมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการขึ้นถึงจุดซึ่งกราฟของเทคนิค MT-UNI เริ่มมีสมรรถนะที่ลดลง นั่นหมายความว่ามีจำนวนโทเค็นการจองในระบบมากเกินความจำเป็น และ ณ ตำแหน่งเดียวกันนี้กลไกในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการเริ่มทำงานด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นหรือโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณให้น้อยลง เพื่อจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่จะเข้าสู่ระบบให้มีปริมาณที่เหมาะสม และยังคงสามารถรักษาระดับของสมรรถนะให้คงที่หรือมีการลดลงเพียงเล็กน้อยได้ ทำให้ระบบยังคงมีเสถียรภาพที่ดีแม้จะรองรับปริมาณผู้ใช้บริการจำนวนมาก



รูปที่ 4.22 จำนวนผู้ใช้บริการและค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ เมื่อจำนวนโทเค็นการจอง 1 2 4 และ 8 อัน และสล็อตการจอง 16 สล็อต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

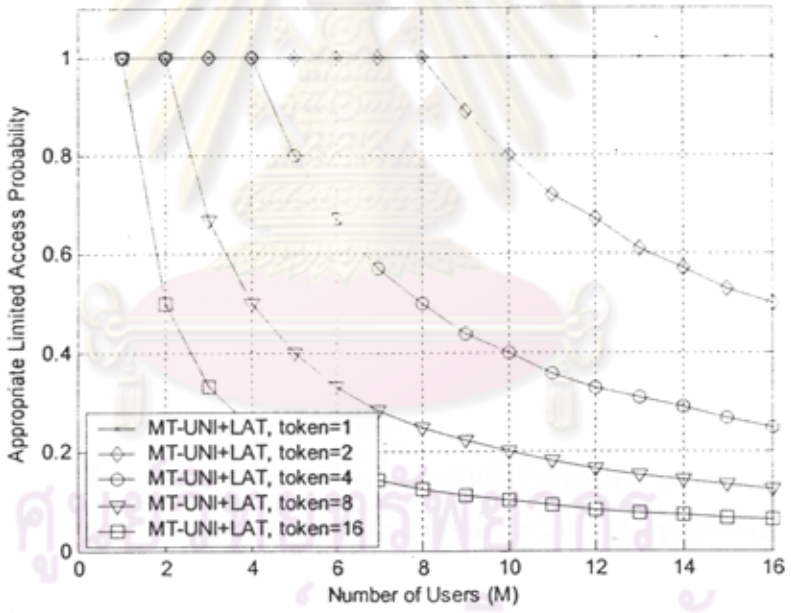


รูปที่ 4.23 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของเทคนิค MT-UNI+LAU เปรียบเทียบกับเทคนิค MT-UNI เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 16 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต

4.3.3 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิค MT-UNI+LAT

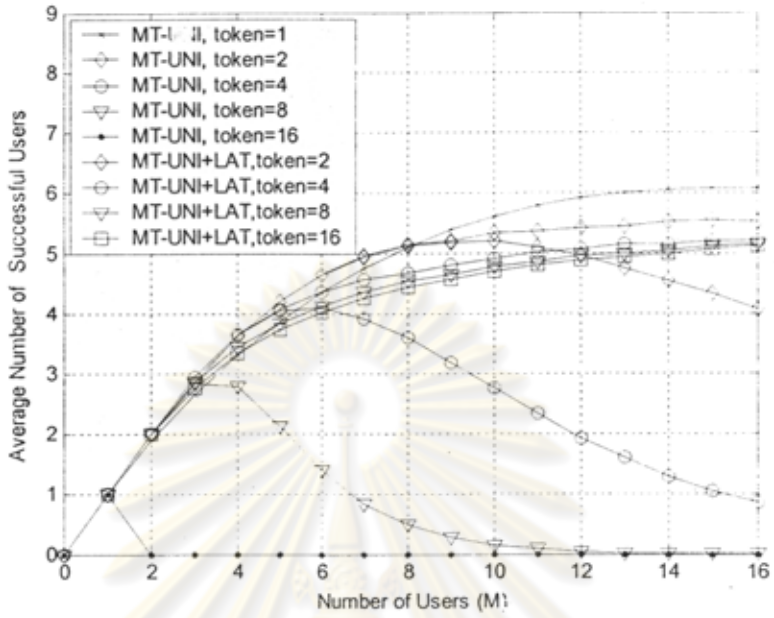
รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง เมื่อจำนวนโทเค็นการจอง 1 2 4 8 และ 16 อัน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต จากผลการทดสอบที่ได้ พบว่าเมื่อพิจารณาโทเค็นการจอง 1 อัน ระบบมีการทำงานเช่นเดียวกันกับเทคนิค UNI+LA กล่าวคือ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการไม่เกินกว่าจำนวนสล็อตการจอง ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนโทเค็นการจองมีค่าเท่ากับ 1.0 หรืออาจกล่าวได้ว่าระบบไม่มีการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง โทเค็นการจองของผู้ใช้บริการถูกใช้งานทั้งหมด แต่เมื่อเพิ่มจำนวนโทเค็นการจองเป็น 2 4 8 และ 16 อัน พบว่าในช่วงแรกซึ่งผู้ใช้บริการในระบบมีจำนวนไม่มากนัก ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนโทเค็นการจองมีค่าเท่ากับ 1.0 แต่เมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการถึงค่าค่าหนึ่งจะทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนโทเค็นการจองมีค่าไม่เท่ากับ 1.0 และมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ลักษณะเช่นเดียวกันกับที่เกิดขึ้นในกราฟรูปที่ 4.22 ทั้งนี้ค่าความน่าจะเป็นที่ลดลงเป็นกลไกในการจำกัดจำนวนโทเค็นการจองที่ถูกใช้งานของผู้ใช้บริการแต่ละคนให้มีปริมาณที่เหมาะสมกับสภาวะของระบบที่พิจารณาในขณะนั้น เพื่อให้ระบบสามารถรักษาระดับสมรรถนะที่ดี แม้ต้องรองรับปริมาณผู้ใช้บริการจำนวนมาก จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่าความน่าจะเป็นในการจำกัดจำนวนโทเค็นการจองที่ทำให้ค่าสมรรถนะของระบบสูงสุดนั้นจะขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการ จำนวนสล็อตการจอง และจำนวนโทเค็นการจอง ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $\min(1,(\frac{N}{M \times T}))$

รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของเทคนิค MT-UNI+LAT เปรียบเทียบกับเทคนิค MT-UNI เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 16 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต พบว่าเทคนิค MT-UNI+LAT มีแนวโน้มของกราฟในผลการทดสอบในลักษณะเดียวกันกับกรณีของเทคนิค MT-UNI+LAU กล่าวคือ ในช่วงแรกซึ่งผู้ใช้บริการในระบบมีจำนวนน้อย เทคนิค MT-UNI+LAT จะให้สมรรถนะที่เท่ากันกับเทคนิค MT-UNI ทั้งนี้เนื่องจากภายใต้สภาวะของระบบดังกล่าว ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนโทเค็นการจองเท่ากับ 1.0 ทำให้ระบบทำงานเช่นเดียวกันกับเทคนิค MT-UNI แต่เมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการขึ้นถึงจุดซึ่งกราฟของเทคนิค MT-UNI เริ่มมีสมรรถนะที่ลดลง กลไกในการจำกัดจำนวนโทเค็นการจองเริ่มทำงานด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นหรือโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณให้น้อยลง เพื่อจำกัดจำนวนโทเค็นการจองที่ผู้ใช้บริการแต่ละคนจะเลือกใช้ให้มีปริมาณที่เหมาะสมกับสภาวะของระบบขณะที่ทำการพิจารณา ทำให้ระบบยังคงมีเสถียรภาพที่ดีแม้จะรองรับปริมาณผู้ใช้บริการจำนวนมาก นอกจากนี้ยังพบว่า ระบบที่มีโทเค็นการจองจำนวนมาก เช่น โทเค็น 8 และ 16 อัน จะให้ค่าสมรรถนะที่ใกล้เคียงกันมาก



รูปที่ 4.24 จำนวนผู้ใช้บริการและค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนโทเค็นการจอง เมื่อจำนวนโทเค็นการจอง 1 2 4 8 และ 16 อัน และสล็อตการจอง 16 สล็อต

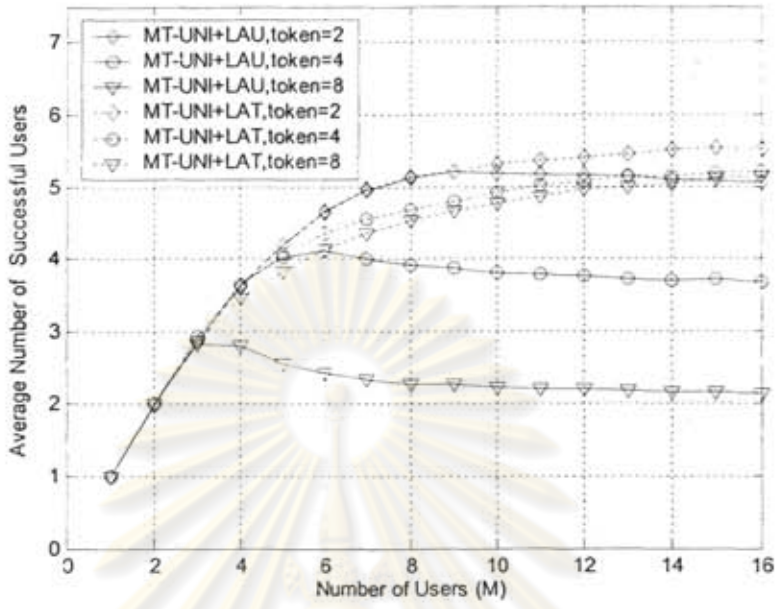
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.25 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของเทคนิค MT-UNI+LAT เปรียบเทียบกับเทคนิค MT-UNI เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 16 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต

4.3.4 ผลการทดสอบเปรียบเทียบเทคนิค MT-UNI+LAU และ MT-UNI+LAT

รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบเทคนิค MT-UNI+LAU และเทคนิค MT-UNI+LAT เมื่อพิจารณาที่จำนวนโทเค็นการจองเท่ากัน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต จากผลการทดสอบที่ได้พบว่า เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการไม่มากนักเทคนิคทั้งสองให้สมรรถนะที่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนโทเค็นการจองมีค่าเท่ากับ 1.0 ทำให้เทคนิคทั้งสองมีการทำงานเสมือนเป็นเทคนิคเดียวกันและยังเหมือนกับเทคนิค MT-UNI ด้วย แต่เมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการมากขึ้น กลไกในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนโทเค็นการจองเริ่มทำงานในการลดค่าความน่าจะเป็นหรือโอกาสในการเข้าใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการและโทเค็นการจอง พบว่าเทคนิค MT-UNI+LAT ให้สมรรถนะของระบบที่สูงกว่าเทคนิค MT-UNI+LAU ทั้งเนื่องจากการจำกัดจำนวนโทเค็นการจองให้ค่าความละเอียดมากกว่าการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ แต่หากพิจารณาเทคนิคทั้งสองโดยเลือกใช้จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม พบว่าเทคนิค MT-UNI+LAU และเทคนิค MT-UNI+LAT ให้ค่าสมรรถนะที่เท่ากัน เนื่องจากที่จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม ค่าความน่าจะเป็นในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนโทเค็นการจองมีค่าเท่ากับ 1.0 ซึ่งดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นว่าในสภาวะเช่นนี้เทคนิคทั้งสองมีการทำงานเสมอเป็นเทคนิคเดียวกัน ส่งผลให้ค่าสมรรถนะของระบบมีค่าเท่ากันด้วย



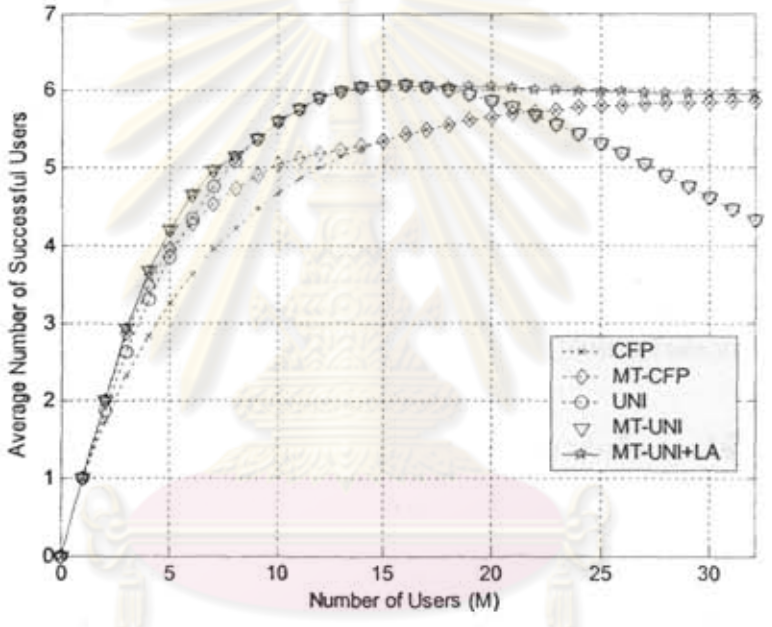
รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบเทคนิค MT-UNI+LAU และเทคนิค MT-UNI+LAT เมื่อพิจารณาที่จำนวนโทเค็นการจองเท่ากัน

4.4 ผลการทดสอบเปรียบเทียบเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ

หัวข้อที่ 4.1 ถึง4.3 แสดงผลการทดสอบและการวิเคราะห์ของเทคนิคการจองช่อง สัญญาณวิธีการต่าง ๆ ที่ได้นำเสนอ รวมถึงการเปรียบเทียบแต่ละเทคนิคที่เกี่ยวข้องกันไปบางส่วน ในหัวข้อผู้วิจัยจึงได้เปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณทั้งหมดที่ได้นำเสนอทั้ง 4 เทคนิค คือ MT-CFP, MT-UNI, MT-UNI+LAU และ MT-UNI+LAT กับเทคนิคที่เคยมีผู้นำเสนอไว้ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้โทเค็น 1 อัน ได้แก่ CFP, UNI และ UNI+LA

รูปที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอและเทคนิคที่เคยมีผู้นำเสนอไว้ เมื่อระบบใช้จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม พบว่าโดยรวมแล้ว เทคนิคที่นำเสนอให้สมรรถนะที่ดีกว่าเทคนิคที่เคยมีผู้นำเสนอไว้ ดังจะเห็นได้จากสมรรถนะของระบบที่มีการเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของสมรรถนะ จะมีการเพิ่มเพียงบางช่วง ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้ คือ เมื่อพิจารณาเทคนิค MT-CFP จะมีสมรรถนะเพิ่มขึ้นจากเทคนิค CFP ในช่วงที่จำนวนของผู้ใช้บริการน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจอง ($M < N$) และเทคนิค MT-UNI จะมีสมรรถนะเพิ่มขึ้นจากเทคนิค UNI ในช่วงที่จำนวนผู้ใช้บริการไม่เกินกว่าครึ่งหนึ่งของจำนวนสล็อตการจอง ($M \le \frac{N}{2}$) ส่วนกรณีของเทคนิค MT-UNI+LAU และ MT-UNI+LAT พบว่าทั้งสองเทคนิคจะให้สมรรถนะที่เท่ากันเมื่อใช้จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม โดยในรูปที่ 4.27 นี้จะใช้สัญลักษณ์ MT-UNI+LA แทนเทคนิคการจองช่องสัญญาณทั้งสอง (MT-UNI+LAU , MT-UNI+LAT) นอกจากนี้ยังพบว่าเทคนิค MT-UNI+LA ที่เท่ากับเทคนิค MT-UNI ในช่วงที่จำนวนของผู้ใช้บริการน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนสล็อตการจอง เทคนิค MT-UNI+LA จะเริ่ม

ให้สมรรถนะของระบบที่ดีกว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตการจอง ทั้งนี้เนื่องจากมีกลไกในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนโทเค็นการจอง ทำให้ยังคงสามารถรักษาเสถียรภาพได้ดีแม้จะรองรับปริมาณของระบบที่สูง กล่าวโดยสรุปเทคนิค MT-UNI+LA เป็นเทคนิคที่ให้สมรรถนะดีในทุกสภาวะและมีความซับซ้อนในการทำงานไม่มากนักจึงสามารถนำไปใช้งานได้ในทางปฏิบัติ ส่วนเทคนิค MT-UNI เป็นเทคนิคที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุดแต่ให้สมรรถนะดีเฉพาะในกรณีที่โหลดน้อยกว่าหนึ่ง ส่วนเทคนิค MT-CFP มีความยุ่งยากและอาจต้องใช้เวลาพอสมควรในการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจอง ทั้งนี้เมื่อใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแล้ว ยังให้สมรรถนะของระบบไม่ดีเท่ากับเทคนิค MT-UNI และ MT-UNI+LA



รูปที่ 4.27 การเปรียบเทียบเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอและเทคนิคที่เคยมีผู้นำเสนอไว้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

บทนี้กล่าวถึงข้อสรุปของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในโครงการวิจัย และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

5.1 ข้อสรุป

โครงการวิจัยนี้ได้เสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ใช้โทเค็นหลายอัน สำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูง โดยเทคนิคที่เสนอสามารถใช้ได้กับระบบที่เวลาประวิงการแพร่กระจายครบรอบยาวกว่าเวลาประวิงการส่งสัญญาณ เช่น ระบบสื่อสายไร้สายความเร็วสูง ระบบสื่อสารดาวเทียม รวมถึงระบบซึ่งใช้พื้นฐานการทำงานแบบ Time Division Duplex (TDD) เป็นต้น ภายใต้สภาวะของระบบดังกล่าวผู้ใช้บริการจะทราบผลการจองหลังจากหมดช่วงการจองไปแล้ว ดังนั้นเมื่อพิจารณาระบบที่ใช้โทเค็นการจองเพียง 1 อัน (Single-Token) ผู้ใช้บริการจะมีโอกาสเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวต่อเฟรม แต่เมื่อนำมาประยุกต์ในระบบที่ใช้โทเค็นการจองหลายอัน (Multi-Token) ซึ่งได้นำเสนอในโครงการวิจัยฉบับนี้ พบว่าผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้หลายครั้งตามจำนวนโทเค็นที่มีอยู่ โดยอาศัยพื้นฐานที่ว่าผู้ใช้บริการแต่ละรายสามารถประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นในช่วงการจองของเฟรมหนึ่ง ๆ

แนวคิดของเทคนิคที่ได้เสนอแบ่งออกได้เป็น 3 แนวคิดคือ การใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแบบค่าคงที่ การเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม และการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ/โทเค็นการจอง โดยจุดมุ่งหมายหลักของแต่ละเทคนิคเพื่อทำให้การเข้าจองในช่วงการจองมีสมรรถนะเพิ่มขึ้น หรือมีจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยประสบความสำเร็จในการจองเพิ่มขึ้น เพราะช่วงการจองเป็นช่วงที่สำคัญมากของโพรโทคอลที่มีการเข้าจอง เนื่องจากผู้ใช้บริการทุกคนจำเป็นต้องเข้าจองก่อนจึงจะมีสิทธิ์ส่งแพ็กเกตข่าวสารในสล็อตข่าวสารที่กำหนด

เทคนิคที่นำเสนอมี 3 เทคนิคคือ MT-CFP, MT-UNI และ MT-UNI+LA โดยในส่วนของเทคนิค MT-UNI+LA สามารถแยกได้เป็น 2 เทคนิคย่อย คือ MT-UNI+LAU และ MT-UNI+LAT ตามลักษณะของการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการและโทเค็นการจองตามลำดับ การวิเคราะห์หาสมรรถนะของเทคนิคที่นำเสนอทั้งหมดทำด้วยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งพบว่า ในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-CFP และ MT-UNI ค่าพารามิเตอร์ที่ถือได้ว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อสมรรถนะของระบบคือ จำนวนโทเค็นการจองและค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจอง และได้มีการนำเสนอสูตรการประมาณค่าจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสมในสภาวะของระบบต่าง ๆ ซึ่งแสดงไว้ในส่วนการวิเคราะห์ผลการทดลองในบทที่ 4 โดยมีข้อกำหนดว่าสถานีฐานสามารถทราบจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจอง ในส่วนของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-UNI+LAU และ MT-UNI+LAT เป็นเทคนิคที่อาศัยพื้นฐานของการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนโทเค็นการจอง นำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-UNI ในสภาวะที่โหลดของ

ระบบมีค่ามาก ดังนั้น พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อเทคนิคการจองทั้งสองเทคนิคคือค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมที่ใช้ในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการหรือจำนวนโทเค็นการจอง

จากผลทดสอบและการวิเคราะห์ในบทที่ 4 สรุปได้ว่าโดยรวมแล้วเทคนิคที่นำเสนอจะให้สมรรถนะที่เหนือกว่าเทคนิคดั้งเดิมซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้โทเค็นการจองเพียง 1 อัน (Single-Token) โดยจะสามารถสังเกตเห็นการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะได้อย่างชัดเจนในสภาวะของระบบที่มีโหลดน้อยถึงปานกลาง โดยสามารถสรุปได้ว่า เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-CFP จะให้สมรรถนะที่ดีกว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้โทเค็นการจองเพียง 1 อันในสภาวะของระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการไม่เกินกว่าจำนวนสล็อตการจองที่มีอยู่ในระบบ ส่วนเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-UNI จะให้สมรรถนะที่ดีกว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI ในสภาวะของระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการไม่เกินกว่าครึ่งหนึ่งของจำนวนสล็อตการจอง ถ้าจำนวนผู้ใช้บริการเกินกว่าค่าที่กำหนดเทคนิคการจองที่ใช้โทเค็นหลายอันจะให้สมรรถนะเท่ากับเทคนิคการจองที่ใช้โทเค็นเพียง 1 อัน เพราะว่าภายใต้สภาวะของระบบดังกล่าว (ระบบรองรับโหลดที่มีค่ามาก) ค่าของจำนวนโทเค็นที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 1 โทเค็น สำหรับเทคนิคการจองที่ใช้การจำกัดจำนวน (MT-UNI+LAU และ MT-UNI+LAT) พบว่าเทคนิค MT-UNI+LAT จะให้สมรรถนะที่ดีกว่าเทคนิค MT-UNI+LAU เมื่อเปรียบเทียบโดยพิจารณาระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการ จำนวนสล็อตการจอง และจำนวนโทเค็นการจองเท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากการจำกัดจำนวนโทเค็นการจองจะให้ความละเอียดมากกว่าการจำกัดจำนวนของผู้ใช้บริการ ส่งผลถึงสมรรถนะของระบบที่ดีกว่าด้วย แต่หากเปรียบเทียบโดยใช้จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม ทั้งสองเทคนิคจะให้ค่าสมรรถนะที่เท่ากัน เนื่องมาจากเมื่อพิจารณาค่าของจำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม พบว่าความน่าจะเป็นในการจำกัดจำนวนของเทคนิค MT-UNI+LAU และ MT-UNI+LAT มีค่าเท่ากับ 1 ทำให้เทคนิคทั้งสองถูกพิจารณาว่าเป็นระบบเดียวกันได้ ทำให้ค่าวิสัยสามารถมีค่าเท่ากันด้วย นอกจากนี้ พบว่าภายใต้สภาวะของระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการไม่เกินกว่าจำนวนสล็อตการจอง เทคนิคการจำกัดจำนวนแม้ว่าจะมีการทำงานที่ซับซ้อนกว่าเทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม แต่สมรรถนะที่ได้รับจากทั้งสองเทคนิคมีค่าเท่ากัน เทคนิคการจำกัดจำนวนจะเริ่มมีสมรรถนะที่เหนือกว่าเทคนิคการเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่มเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีค่ามากกว่าจำนวนสล็อตการจองเป็นต้นไป ดังนั้นสรุปได้ว่าเทคนิคที่จะทำให้ช่วงการจองมีจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยประสบความสำเร็จในการจองได้มากที่สุด (สมรรถนะสูงสุด) จะต้องมีคุณสมบัติ 3 ข้อ ดังนี้

1. จำนวนโทเค็นการจองที่เหมาะสม เนื่องจากถ้าโทเค็นการจองน้อยเกินไป จะก่อให้เกิดปัญหาการใช้งานช่องสัญญาณอย่างไม่มีประสิทธิภาพ กล่าวคือมีสภาวะการว่างอยู่มาก แต่หากว่าจำนวนโทเค็นการจองมากเกินไปก็จะก่อให้เกิดปัญหาการชนกัน ดังนั้นการเลือกจำนวนโทเค็นที่เหมาะสมจะนำมาซึ่งสมรรถนะของระบบที่สูงสุด

2. ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจอง ซึ่งกำหนดจากจำนวนผู้ใช้บริการ จำนวนสล็อตการจองที่เหลืออยู่ ณ เวลาที่กำลังพิจารณาและจำนวนโทเค็นการจอง

3. สล็อตการจองทุกสล็อตควรจะรองรับปริมาณการเข้าจองอย่างเท่าเทียมกัน ไม่ควรให้สล็อตการจองสล็อตใดสล็อตหนึ่งต้องรองรับปริมาณการเข้าจองมากกว่าสล็อตอื่น

สรุปได้ว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-UNI เป็นเทคนิคที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุด และให้สมรรถนะดีในกรณีที่โหลดน้อยกว่าหนึ่ง แต่เมื่อพิจารณาการทำงานในช่วงที่มีปริมาณโหลดมากกว่าหนึ่ง ซึ่งเป็น

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ในระบบทั่วไป เทคนิค MT-UNI+LA เป็นเทคนิคที่ให้สมรรถนะดีในทุกสภาวะและมีความซับซ้อนในการ ..งงานไม่มากนักจึงสามารถนำไปใช้งานได้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นเทคนิค MT-UNI+LA จึงเป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับระบบที่ทำการพิจารณาในโครงการวิจัย ส่วนเทคนิค MT-CFP มีความยุ่งยากและอาจต้องใช้เวลาพอสมควรในการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งโทเค็นการจอง ทั้งนี้เมื่อใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมแล้ว ยังให้สมรรถนะของระบบไม่ดีเท่ากับเทคนิค MT-UNI และ MT-UNI+LA

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ MT-CFP นั้นการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณจะมีการกำหนดเพียงครั้งเดียวที่ต้นเฟรม ทำให้ค่าที่ได้อาจไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมในทุกๆ ช่องสัญญาณจองภายในเฟรม เนื่องจากจำนวนผู้ใช้บริการ จำนวนช่องสัญญาณจองและจำนวนโทเค็นการจองจะมีจำนวนลดน้อยลงเรื่อย ๆ และการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการที่ต้องกระทำเรียงลำดับจากช่องสัญญาณจองต้นเฟรมไปยังช่องสัญญาณจองท้ายเฟรม ทำให้ปริมาณการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการที่ช่องสัญญาณจองแต่ละช่องแตกต่างกัน กล่าวคือช่องสัญญาณในช่วงต้นเฟรมจะมีปริมาณการใช้งานที่สูงเมื่อเทียบกับบริเวณท้ายเฟรม โอกาสในการชนจึงเกิดขึ้นได้มากในช่วงต้นเฟรมหรือในอีกแง่หนึ่งนั้นจะเป็นการเพิ่มโอกาสที่จะเกิดการว่างในช่วงท้ายเฟรม จึงมีความน่าสนใจที่จะศึกษา วิจัย และคิดหาเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบใหม่ เช่น เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ค่าความน่าจะเป็นในการส่งโทเค็นการจองมีการปรับเปลี่ยนค่าได้ หรืออาจกระจายปริมาณการใช้งานสล็อตการจองด้วยเทคนิคการแบ่งกลุ่มย่อย เป็นต้น

2. เนื่องจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ได้นำเสนอในโครงการวิจัยฉบับนี้ ได้วิเคราะห์หาค่าวิสัยสามารถของทุกเทคนิคที่ได้นำเสนอ แต่ยังไม่ได้วิเคราะห์หาเวลาประวิงในการส่งโทเค็นการจอง ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกค่าหนึ่งสำหรับการวัดสมรรถนะทำงาน ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์ของแต่ละเทคนิคเป็นไปอย่างสมบูรณ์จึงควรทำการวิเคราะห์หาเวลาประวิงในการส่งโทเค็นการจองเพิ่มเติม

3. ทราฟฟิกประเภทมัลติมีเดีย (Multimedia) กำลังเป็นที่ได้รับความสนใจในเวลานี้ แต่ในโครงการวิจัยฉบับนี้ได้กำหนดให้ผู้ใช้บริการทุกคนมีความสำคัญเท่ากันหรือเป็นระบบที่มีทราฟฟิกประเภทเดียว ดังนั้นเพื่อรองรับระบบที่มีทราฟฟิกหลายประเภท ผู้ใช้บริการแต่ละคนจะมีลำดับความสำคัญไม่เท่ากัน จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจสำหรับการวิจัยต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

[1] A. Chandra, V. Gummalla, and John O. Limb, "Wireless Medium Access Control Protocols," *IEEE Communications Surveys*, Second Quarter 2000, pp.2-15.

[2] A. S. Tanenbaum, *Computer Networks*, 3rd ed. New Jersey : Prentice Hall, Inc., 1996.

[3] D. Bertsekas and R. Gallager, *Data Network*, 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1992.

[4] T. Nguyen and T. Suda, "Survey and Evaluation of Multiple Access Protocols in Multimedia Satellite Networks," *IEEE Proceedings of Southeastcon*, 1990, pp.408-413.

[5] H. Peyravi, "Medium Access Control Protocols Performance in Satellite Communications," *IEEE Communication Magazine*, Vol. 37, No. 3, March 1999, pp.62-71.

[6] I. F. Akyildiz and J. McNair, "Medium Access Control Protocols for Multimedia Traffic in Wireless Networks.," *IEEE Network*, Vol. 3, No. 4 , July/August 1999, pp.39-47.

[7] J. Frigon, V.C.M. Leung , and H.C.B. Chan, "Dynamic Reservation TDMA Protocol for Wireless ATM Networks ,"*IEEE Journal on Selected Area in Communications*, Vol. 19, No. 2, February 2001, pp.370-383.

[8] N. Sivamok, L. Wuttisittikulkij, and A. Charoenpanitkit, "New Channel Reservation Technique for Media Access Control Protocol in High Bit-Rate Wireless Communication Systems," *IEEE Proceedings of Globecom*, November 2001.

[9] P. Suwanpakdee, P. Sedtheetorn, A. Thanasorawit, and L. Wuttisittikulkij, "On the Design of a Media Access Control Protocol for Integrated Voice and Data Services in Wireless Communications," *ISAS2000*, July 2000.

[10] D. J. Goodman, R. A. Valenzuela, K. T. Gayliard, and B. Ramamurthi, "Packet reservation multiple access for local wireless communications," *IEEE Transactions on Communications* Vol.37, No.8 ,August 1989, pp.885-890.

[11] D.G. Jeong, and W.S. Jeon, "Performance of an Exponential Backoff Scheme for Slotted-ALOHA Protocol in Local Wireless Environment," *IEEE Transactions on Vehicular Technology* Vol. 44, No. 3, August 1995, pp. 470-479.

[12] N. Sivamok, L. Wuttisittikulkij, and A. Charoenpanitkit, "New Channel Reservation Techniques for Media Access Control Protocol in High Bit-Rate Wireless Communication Systems," in Proceedings of IEEE GLOBECOM 2001, San Antonio, Texas.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

- บทความทางวิชาการเรื่อง "A Design and Performance Evaluation of Multi-Token Channel Reservation Techniques in High Bit-Rate Wireless Communication Systems " ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในงานประชุมทางวิชาการ International Symposium on Communications and Information Technologies 2004 (ISCIT 2004) หน้า 547-552 ซึ่งจัดขึ้นในวันที่ 26-29 ตุลาคม พ.ศ. 2547 ที่ Sapporo Convention Center เมือง Sapporo ประเทศญี่ปุ่น

- บทความทางวิชาการเรื่อง "A Design and Performance Evaluation of a Class of Channel Reservation Techniques for Medium Access Control Protocols in High Bit-Rate Wireless Communications" ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร IEICE Transaction on Fundamentals (Special Section on Multi-dimensional Mobile Information Networks) หน้า 1824-1835, Vol. E88-A , No. 7 , July 2005.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย