จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย

กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานวิจัย

การพัฒนากรรมวิธีการจองช่องสัญญาณแบบใหม่ สำหรับระบบสื่อสารไร้สาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย

ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ

ตุลาคม ๒๕๔๕

จฬ
วศ 15
012372

RD 02
0171 จ.1 (1/1)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานผลการวิจัย

การพัฒนากรรมวิธีการจองช่องสัญญาณแบบใหม่สำหรับระบบสื่อสารไร้สาย

โดย
ผศ. ดร.สัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ

ตุลาคม 2545

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- 1 ก.พ. 2549

I21903448

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นางสาวอัครภัทร เจริญพาณิชกิจ นายณัฐพล ศิวาโมกข์ นายอัครพล ธนสรวิศ ในฐานะที่ทั้งสามท่านมีส่วนสำคัญในการทำงาน และความสำเร็จของโครงการนี้ ขอขอบพระคุณ หัวหน้าห้องปฏิบัติการวิจัย TSRL ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ ที่ให้ความสนับสนุน ด้านอุปกรณ์วิจัย สถานที่ ค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปประชุมวิชาการ และคำแนะนำปรึกษาที่เป็น ประโยชน์ต่อการวิจัยเป็นอย่างยิ่ง ผู้วิจัยมีความภูมิใจและรู้สึกยินดีกับความตั้งใจของท่านหัวหน้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล ในการเสริมสร้างศักยภาพทาง งานวิจัยของสาขาไฟฟ้าสื่อสาร ทำให้งานวิจัยโครงการนี้ดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง ท้ายสุดนี้ผู้วิจัย ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช มา ณ ที่นี้ ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขหมู่ จฬ
ว ส 15
เลขทะเบียน 012372
วัน, เดือน, ปี 3 ต.ค. 48

ชื่อโครงการวิจัย การพัฒนากรรมวิธีการจองช่องสัญญาณแบบใหม่สำหรับระบบสื่อสารไร้สาย
ชื่อผู้วิจัย ผศ. ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ
เดือนและปีที่ทำวิจัยเสร็จ ตุลาคม 2545

บทคัดย่อ

รายงานผลวิจัยเป็นการนำเสนอการพัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมสำหรับระบบสื่อสารที่มีเวลาประวิงสัมพัทธ์ยาว ซึ่งเป็นสภาวะที่ผู้ใช้บริการมีโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงหนึ่งครั้งต่อเฟรม โดยเทคนิคที่นำเสนอสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามความสามารถในการทำงานของระบบ ได้แก่ เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณและเทคนิคการจองที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณประเภทแรกประกอบด้วย วิธี Cascade Fixed Probability (CFP), Uniform (UNI) และ Uniform + Limited Access (UNI+LA) ส่วนเทคนิคการจองในประเภทหลัง ได้แก่ Uniform + Divided Slot (UNI+DS) Uniform + Multiple Limited Access (UNI+MLA), Uniform + Divided Slot + Multiple Limited Access (UNI+DS+MLA) และ Partial Uniform + Multiple Limited Access (Partial UNI+MLA) จากผลการประเมินสมรรถนะของเทคนิคที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ พบว่าวิธีการต่าง ๆ เหล่านี้มีสมรรถนะที่สูงกว่าเทคนิคที่นำเสนอในอดีตทั้งในเรื่องของค่าวิสัยสามารถและการรับประกันคุณภาพของการให้บริการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Project Title	Development of a New Channel Reservation Technique for Wireless Communication
Name of the Investigators	Asst. Prof. Lunchakorn Wuttisittikulkij

Abstract

The research report presents a development of new channel reservation techniques that are effective and suitable for relatively long propagation delay. These techniques can be classified into two categories according to the capability of the system, namely channel reservation techniques with and without priority. The first channel reservation category consists of Cascade Fixed Probability (CFP), Uniform (UNI) and Uniform + Limited Access (UNI+LA) techniques. Whereas the latter category of channel reservation is composed of Uniform + Divided Slot (UNI+DS) Uniform + Multiple Limited Access (UNI+MLA), Uniform + Divided Slot + Multiple Limited Access (UNI+DS+MLA) และ Partial Uniform + Multiple Limited Access (Partial UNI+MLA) techniques. Based on performance evaluation of all developed techniques through mathematical analysis, it is found that these techniques outperform existing schemes in terms of throughput and quality of services guaranteed.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ii
บทคัดย่อภาษาไทย iii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ iv
สารบัญ v
บทที่
1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์..... 3
1.3 เป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย..... 3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ..... 4
1.6 เค้าโครงรายงานวิจัย..... 4
2 ความรู้พื้นฐานและการทบทวนเอกสารผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6
2.1 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง..... 6
2.1.1 โพรโทคอล MAC ที่ไม่มีการแข่งขัน (Contention-free MAC Protocol)..... 6
2.1.2 โพรโทคอล MAC ที่มีการแข่งขัน (Contention-based MAC Protocol)..... 8
2.1.3 โพรโทคอลแบบผสมระหว่างเทคนิคที่มีการแข่งขันและไม่มีการแข่งขัน (Contention-free&Contention-based MAC Protocol)..... 9
2.2 คุณภาพของการบริการที่ต้องการ..... 11
2.3 การจองช่องสัญญาณ..... 12

บทที่			หน้า
	2.4	เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีนำเสนอในอดีต.....	13
		2.4.1 การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian.....	14
		2.4.2 การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian ที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ (Pseudo Bayesian with Priority).....	14
	2.5	ผลของเวลาประวิง.....	16
	2.6	ปัญหาของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในอดีต.....	17
	2.7	เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ.....	18
	2.8	แบบจำลองและสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ.....	19
3	เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP.....		20
	3.1	เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP.....	20
	3.2	ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP.....	23
4	เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS.....		27
	4.1	ที่มาของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS.....	27
	4.2	เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS.....	29
		4.2.1 เมื่อไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ.....	29
		4.2.1.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI.....	29
		4.2.1.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA.....	31
		4.2.2 เมื่อมีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ.....	32
		4.2.2.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS.....	32
		4.2.2.1.1 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส..	33
		4.2.2.1.2 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส...	34
		4.2.2.1.3 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส...	35
		4.2.2.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA.....	36
		4.2.2.2.1 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส...	37
		4.2.2.2.2 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส...	39

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่				หน้า
			4.2.2.2.3 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส...	42
		4.2.2.3	เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA...	44
			4.2.2.3.1 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส...	45
			4.2.2.3.2 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส...	47
			4.2.2.3.3 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส...	48
		4.2.2.4	เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA.....	49
			4.2.2.4.1 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส...	51
			4.2.2.4.2 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส...	52
			4.2.2.4.3 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส...	54
5	ผลการทดสอบ.....			57
	5.1	ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI.....		58
	5.2	ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA		63
	5.3	ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS.....		69
		5.3.1	จำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ.....	69
		5.3.2	จำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับหรือมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ..	73
	5.4	ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+ MLA.....		78
		5.4.1	จำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ.....	78
		5.4.2	จำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับหรือมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ..	82
	5.5	ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA.....		87
		5.5.1	จำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ.....	87
		5.5.2	จำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับหรือมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ..	96
	5.6	ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA.....		104
		5.6.1	ผลของการใช้ช่องสัญญาณจองร่วมกัน.....	104
		5.6.2	ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA.....	106
			5.6.2.1 จำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ.	107
			5.6.2.2 จำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับหรือมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ.....	109

บทที่		หน้า
6	ผลการเปรียบเทียบ.....	111
	6.1 ผลการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของระบบระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA.....	113
	6.2 ผลการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal 1/m Applied UNI UNI+LA และ CFP.....	119
	6.3 ผลการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority 1/m Applied with Priority UNI+MLA และ UNI+DS+MLA.....	124
7	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	131
	7.1 บทสรุป.....	131
	7.2 ข้อเสนอแนะ.....	136
บรรณานุกรม.....		137

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

บทนำนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ เป้าหมายและขอบเขตของรายงานวิจัย ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ประโยชน์ที่ได้รับ และเค้าโครงรายงานวิจัย

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โครงสร้างของระบบสื่อสารไร้สายปัจจุบัน เช่น ระบบสื่อสารเคลื่อนที่ได้ ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยทั่วไปจะประกอบด้วยสถานีฐานและผู้ใช้บริการที่อยู่ในระบบจำนวนหนึ่ง ซึ่งการสื่อสารจากสถานีฐานไปยังผู้ใช้บริการนั้นจะอาศัยการส่งข้อมูลผ่านทางช่องสัญญาณขาลง (downlink channel) และการสื่อสารจากผู้ใช้บริการไปยังสถานีฐานจะอาศัยการส่งข้อมูลผ่านทางช่องสัญญาณขาขึ้น (uplink channel) โดยในการสื่อสารขาลง สถานีฐานจะเป็นผู้เดียวที่ทำการส่งข้อมูล ดังนั้นสถานีฐานจึงสามารถทำการจัดสรรปริมาณแบนด์วิดท์ได้โดยง่าย แต่ในการสื่อสารด้านขาขึ้น ซึ่งมีผู้ใช้บริการอยู่ในระบบจำนวนมากและมีความต้องการในการส่งข้อมูลที่เวลาแตกต่างกันไป ทำให้เกิดปัญหาในการจัดสรรปริมาณแบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นจึงเกิดความจำเป็นในการคิดหาวิธีการที่จะนำมาจัดสรรแบนด์วิดท์เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการจัดสรรแบนด์วิดท์คือการสรรหาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (Media Access Control Protocol) ที่มีประสิทธิภาพ

ในช่วงเริ่มต้นนั้นโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีการนำเสนอจะอาศัยพื้นฐานการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบที่ไม่มีการแข่งขันกันของผู้ใช้บริการ [1,2] เช่น TDMA, FDMA หรือแบบที่มีการแข่งขันกันของผู้ใช้บริการ [1,2] เช่น Pure-ALOHA , Slotted-ALOHA เป็นต้น โดยโพรโทคอลประเภทที่ไม่มีการแข่งขันนั้น ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะมีช่องสัญญาณสำหรับการจองหรือส่งข้อมูลของตน ดังนั้นคุณภาพของการบริการที่ผู้ใช้แต่ละรายได้รับจึงมีค่าสูง แต่มีข้อด้อยคือเมื่อผู้ใช้บริการไม่มีข้อมูลจะทำการส่งออกไป จะทำให้แบนด์วิดท์ที่จองไว้ไม่ได้ใช้ประโยชน์ กล่าวคือระบบจะมีสมรรถนะที่ต่ำเมื่อรองรับโหลดที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง ในทางตรงกันข้ามในประเภทที่มีการแข่งขันจะให้ผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข้อมูลต้องทำการแข่งขันกันเพื่อแย่งชิงช่องสัญญาณ ดังนั้นจึงทำให้ระบบดังกล่าวมีความยืดหยุ่นในการรองรับจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าหากขณะเวลาหนึ่ง ๆ มีผู้ใช้บริการมากกว่าหนึ่งรายในระบบทำการส่งข้อมูลออกมาพร้อมกันก็จะทำให้เกิดปัญหาการชนและการสูญเสียช่องสัญญาณตามมา ดังนั้นระบบจึงขาดเสถียรภาพในสภาวะ

ทราฟฟิกสูง ต่อมาได้มีการพัฒนาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางประเภทผสม [3-6] ที่รวมเอาข้อดีและข้อด้อยของโพรโทคอลทั้งสองประเภทข้างต้นเข้าไว้ด้วยกัน โดยก่อนที่ผู้ใช้บริการจะสามารถทำการส่งข้อมูลได้ ผู้ใช้บริการจะต้องทำการแข่งขันกันเพื่อจองช่องสัญญาณก่อน โดยเมื่อผู้ใช้บริการจองช่องสัญญาณสำเร็จแล้ว สถานีฐานจะจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้บริการต่อไป

จากที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าการแข่งขันของผู้ใช้บริการในส่วนการจองในโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางประเภทผสมนั้นเป็นส่วนสำคัญที่จะส่งผลต่อไปยังจำนวนผู้ใช้บริการที่สามารถส่งข้อมูลได้ โดยทั่วไปเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ใช้จะอาศัยการทำงานของเทคนิค Slotted-ALOHA เพราะเป็นเทคนิคที่ง่ายและมีความยืดหยุ่นสูง อย่างไรก็ดีการทำงานของเทคนิค Slotted Aloha นี้จะเกิดปัญหาถ้าหากขณะเวลาหนึ่ง ๆ มีผู้ใช้บริการจำนวนมากเข้าทำการจองช่องสัญญาณพร้อมกัน ดังนั้นจึงมีการนำการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณมาใช้เพื่อจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองช่องสัญญาณในขณะหนึ่ง ๆ เช่น การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian [2,7] ซึ่งกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณสัมพันธ์กับปริมาณโหลดที่ระบบรองรับ (ซึ่งได้จากการประมาณ) ในขณะนั้น โดยมีสมมติฐานว่าผู้ใช้บริการสามารถทราบผลการจองช่องสัญญาณของตนได้ก่อนที่จะถึงช่องสัญญาณจองถัดไปและสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ใหม่ถ้าหากไม่ประสบความสำเร็จในการจอง

นอกจากนี้จะพบว่าประเภทของบริการที่ระบบรองรับในอดีตจะมีเพียงบริการประเภทเสียงเท่านั้น แต่ในปัจจุบันบริการของระบบที่ผู้ใช้บริการต้องการยังมีแนวโน้มเปลี่ยนไปจากในอดีต กล่าวคือ นอกจากบริการเสียงแล้วผู้ใช้บริการยังต้องการบริการประเภทต่างๆ เพิ่มขึ้น เช่น E-mail, Computer Data, File Transfer Protocol (FTP), World Wide Web (WWW) ซึ่งบริการแต่ละประเภทต่างก็มีคุณลักษณะและคุณภาพการบริการที่ต้องการแตกต่างกันไป ดังนั้นจึงได้มีผู้เสนอเทคนิคการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการแต่ละประเภทแตกต่างกัน เช่น การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian ที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ [8,9] อย่างไรก็ดีจะพบว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีนำเสนอดังกล่าวออกแบบขึ้นมาสำหรับระบบที่ผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้มากกว่าหนึ่งครั้งต่อเฟรม

ดังนั้นเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดจึงอาจไม่เหมาะสมสำหรับระบบสื่อสารบางประเภทที่มีค่าเวลาประวิงสัมพัทธ์ยาว ยกตัวอย่างเช่น ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม และระบบสื่อสารไร้สายความเร็วสูง [10-12] ซึ่งผู้ใช้บริการอาจทราบผลการจอง

ช่องสัญญาณภายหลังจากสิ้นสุดส่วนการจองไปแล้ว ดังนั้นผู้ใช้บริการจึงสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวต่อเฟรม

จากปัญหาที่กล่าวในข้างต้น รายงานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำเสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณสำหรับระบบที่มีเวลาประวิงสัมพัทธ์ยาว โดยกำหนดให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวต่อเฟรม นอกจากนี้ยังได้พัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณดังกล่าวให้สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการเพื่อให้บริการตามคุณภาพการบริการที่ต้องการได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนากรรมวิธีการจองช่องสัญญาณแบบใหม่ที่เหมาะสมกับระบบสื่อสารไร้สายที่มีโครงสร้างการทำงานเป็นสล็อต สำหรับระบบที่มีอัตราการส่งสูงมาก จนทำให้เวลาการส่งมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับเวลาประวิงเนื่องจากการแพร่ของสัญญาณ
2. พัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการได้ ส่วนสำคัญของการพัฒนาคือ การวิเคราะห์สมรรถนะของกรรมวิธีการจองที่พัฒนาขึ้นโดยจะกระทำโดยการพิสูจน์เพื่อหาชุดสมการคณิตศาสตร์ที่สามารถใช้หาค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมสำหรับการเข้าร้องขอหรือจองช่องสัญญาณ ในการคำนวณจะพิจารณาทั้งจากจำนวนสล็อตการจองและจำนวนผู้ใช้บริการเป็นข้อกำหนดในการคำนวณ

1.3 เป้าหมายและขอบเขตของงานวิจัย

พัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่เหมาะสำหรับระบบที่มีเวลาประวิงสัมพัทธ์ยาว และสามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการตามคุณภาพการบริการที่ต้องการได้ โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดคุณภาพการบริการในรายงานวิจัยฉบับนี้คือค่า γ ซึ่งกำหนดเป็นอัตราส่วนค่าวิสัยสามารถต่อผู้ใช้บริการระหว่างผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 (กำหนดให้ผู้ใช้บริการคลาส 1 มีลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณสูงกว่าผู้ใช้บริการคลาส 2) ทั้งนี้กำหนดให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวต่อเฟรม

1.4 เค้าโครงรายงานวิจัย

รายงานวิจัยฉบับนี้แบ่งรายละเอียดเป็น 7 บทดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย เป้าหมายและขอบเขตของรายงานวิจัย และเค้าโครงรายงานวิจัย

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐาน กล่าวถึงประเภทของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีในปัจจุบัน คุณภาพการบริการที่ต้องการ การจองช่องสัญญาณ เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีนำเสนอมาในอดีต ผลของเวลาประวิงสัมพัทธ์ ปัญหาของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีนำเสนอในอดีต และเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ

บทที่ 3 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP กล่าวถึงการวิเคราะห์หาสมการทางคณิตศาสตร์ของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP ที่นำเสนอและผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP

บทที่ 4 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS กล่าวถึงการวิเคราะห์หาสมการทางคณิตศาสตร์ของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอซึ่งประกอบด้วยเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ ได้แก่ (1) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI และ (2) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ ได้แก่ (1) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS (2) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA (3) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และ (4) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA

บทที่ 5 ผลการทดสอบ กล่าวถึงผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่นำเสนอในบทที่ 4 ประกอบด้วยผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ ได้แก่ (1) ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI (2) ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA และผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ ได้แก่ (1) ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS (2) ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA (3) ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และ (4) ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA

บทที่ 6 ผลการเปรียบเทียบ กล่าวถึงผลการเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณประเภทต่าง ๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นผลการเปรียบเทียบเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA ส่วนที่สองเป็นการเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

UNI+LA.CFP 1/m Applied และ 1/m Ideal ส่วนสุดท้ายจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่าง เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA UNI+DS+MLA 1/m Applied with Priority และ1/m Ideal with Priority

บทที่ 7 บทสรุป และข้อเสนอแนะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานและการทบทวนเอกสารผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้กล่าวถึงความรู้พื้นฐาน ซึ่งประกอบด้วยความรู้เกี่ยวกับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง โดยกล่าวถึงประเภทของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีนำเสนอและตัวอย่างของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง จากนั้นจะกล่าวถึงคุณภาพการบริการที่ผู้ใช้บริการต้องการ การจองช่องสัญญาณ เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีนำเสนอในอดีต ผลของเวลาประวิงสัมพัทธ์ ปัญหาของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีนำเสนอในอดีต และสุดท้ายจะกล่าวถึงเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในงานวิจัย

2.1 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง

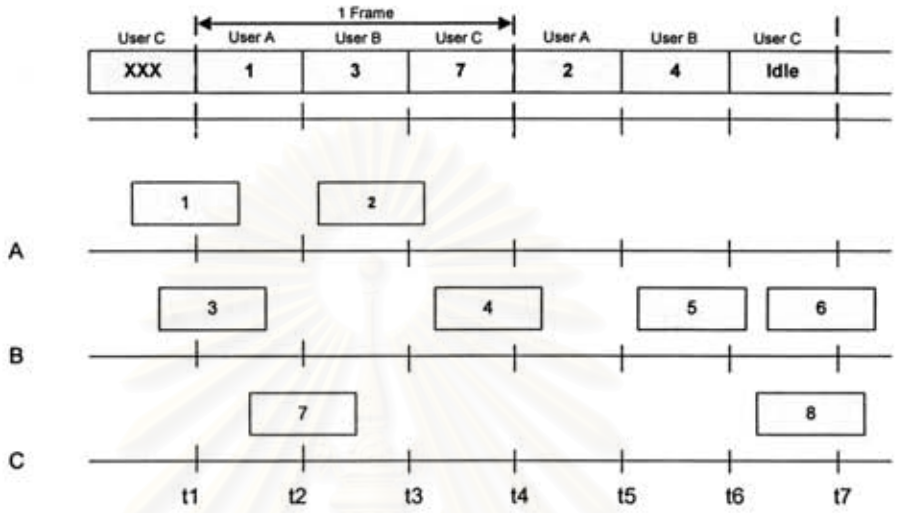
โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางหรือ Medium access control (MAC) protocol นั้นเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการสื่อสารในยุคปัจจุบัน ทั้งนี้เพื่อช่วยให้สถานีฐานสามารถทำการจัดสรรปริมาณแบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับผู้ใช้บริการจำนวนมากที่มีอยู่ในระบบให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด การทำงานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางนี้จะอยู่ในชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer) ตามมาตรฐานของแบบจำลองอ้างอิง 7 ชั้น (Open Systems Interconnection (OSI) Reference Model)

จากโพรโทคอลที่มีการนำเสนอมานั้นสามารถจำแนกออกตามการทำงาน [3] ได้เป็นสามกลุ่มดังนี้คือ

2.1.1 **โพรโทคอล MAC ที่ไม่มีการแข่งขัน** (Contention-free MAC Protocol): เป็นวิธีการเข้าถึงตัวกลางที่ผู้ใช้แต่ละคนสามารถเข้าถึงช่องสัญญาณได้อย่างแน่นอนเมื่อผ่านเวลาประวิงไม่เกินค่า ๆ หนึ่งที่สามารถกำหนดได้ โดยระบบการจัดสรรช่องสัญญาณแบบนี้สามารถจำแนกออกเป็นสองประเภทได้แก่

การจัดสรรแบบกำหนดแน่นอน (Fixed-Assignment Protocol): โพรโทคอลนี้จะมีการกำหนดช่องสัญญาณในการทำงานให้แก่ผู้ใช้บริการแต่ละคนอย่างแน่นอน ทำให้จำนวนผู้ใช้บริการมากที่สุดที่ระบบสามารถรองรับได้จะต้องน้อยกว่าหรืออย่างมากที่สุดเท่ากับจำนวนของช่องสัญญาณที่มีและยังไม่เหมาะสมกับสภาวะทราฟฟิกแบบเบิรสต์ (Burst) แต่ข้อดีของวิธีนี้คือระบบมีเสถียรภาพที่ดีในทุก ๆ สภาวะของทราฟฟิก โพรโทคอลที่มีการทำงานในลักษณะนี้ [1,2] ได้แก่ Time Division Multiple Access (TDMA), Frequency Division Multiple Access (FDMA), Code Division Multiple Access (CDMA) เป็นต้น รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการทำงาน

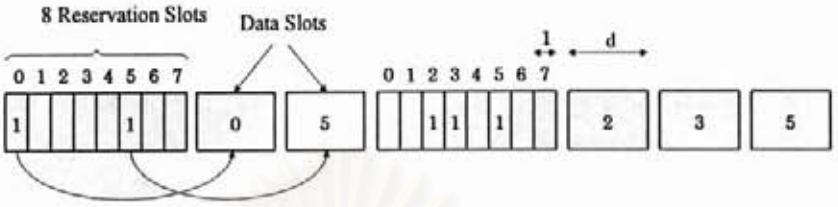
ของระบบที่มีการจัดสรรแน่นอนแบบ TDMA การทำงานในระบบนี้ช่องสัญญาณแต่ละช่องจะมีการกำหนดช่องสัญญาณล่วงหน้าให้แก่ผู้ใช้บริการแต่ละคน จากนั้นผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข้อมูลจะทำการรอจนถึงช่องสัญญาณของตนจึงจะส่งข้อมูล



รูปที่ 2.1 การทำงานของระบบ TDMA

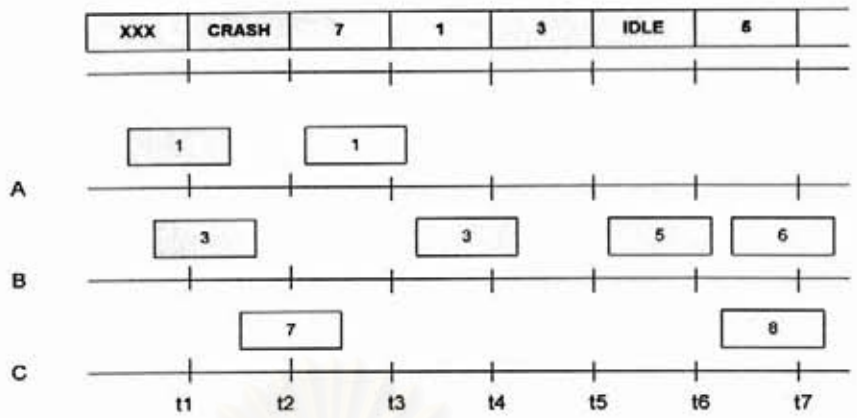
การจัดสรรตามความต้องการ (Demand-Assignment Protocol): ระบบนี้จะไม่มีการกำหนดช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลให้แก่ผู้ใช้บริการรายใดรายหนึ่งอย่างแน่นอน แต่จะให้ช่องสัญญาณจองแก่ผู้ใช้บริการแทน การทำงานเช่นนี้ทำให้ระบบสามารถจัดสรรช่องสัญญาณในแต่ละรอบได้อย่างเหมาะสมตามปริมาณความต้องการจริงในขณะนั้น ซึ่งลักษณะเด่นของอัลกอริทึมนี้คือสามารถจัดสรรการใช้ประโยชน์จากแบนด์วิดท์ (Bandwidth Utilization) ได้อย่างคุ้มค่าและยังมีความยืดหยุ่นในการรองรับปริมาณทราฟฟิกแบบต่าง ๆ มากขึ้น โดยโพรโทคอลที่มีการทำงานในลักษณะเช่นนี้ [1] ได้แก่ Basic Bit-Map protocol (BBM), Binary CountDown (BCD) เป็นต้น รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการทำงานของระบบที่มีการจัดสรรตามความต้องการแบบ BBM ลักษณะการส่งข้อมูลในระบบนี้จะทำเป็นรอบๆ โดยในแต่ละรอบนั้นผู้ใช้บริการแต่ละคนจะต้องแจ้งความจำนงก่อนว่าต้องการส่งข้อมูล โดยการจองช่องสัญญาณนี้จะกระทำในช่วงเวลาจอง (Reservation Part) ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบระบบ TDMA กล่าวคือถ้าระบบมีผู้ใช้บริการ N คนจำนวนช่องสัญญาณจองต้องเท่ากับ N ช่อง หากสถานีหนึ่งต้องการจะส่งข้อมูลในรอบนั้นก็จะทำการจองช่องสัญญาณโดยเซตบิตของตนเองให้เป็น 1 แต่ถ้าไม่ต้องการส่งก็ปล่อยให้มีค่าเดิมคือเป็น 0 เมื่อหมด

ช่วงเวลาจองแล้วก็จะเป็นช่วงของการส่งข้อมูล ซึ่งในการส่งข้อมูลนั้นจะทำตามลำดับของหมายเลขผู้ใช้บริการดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การทำงานของระบบ Bitmap protocol

2.1.2 **โพรโทคอล MAC แบบที่มีการแข่งขัน** (Contention-based MAC Protocol): จุดเด่นของวิธีนี้คือช่องสัญญาณแต่ละช่องจะไม่มีการกำหนดให้แก่ผู้ใช้บริการคนใดคนหนึ่งอย่างแน่นอน กล่าวคือผู้ใช้บริการทุกคนจะต้องแข่งขันเพื่อแย่งชิงช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัดนี้ การแย่งชิงช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการนี้จะมีลักษณะที่เป็นแบบสุ่ม (Random Access Protocol) กล่าวคือจะไม่สามารถกำหนดได้ว่าผู้ใช้คนใดจะมีความต้องการใช้ช่องสัญญาณเมื่อใด ข้อเสียของความไม่แน่นอนนี้เองทำให้ระบบไม่สามารถควบคุมเวลาประวิงที่แน่นอนให้แก่ผู้ใช้บริการ อีกทั้งที่สภาวะทราฟฟิกสูง ๆ ระบบยังขาดเสถียรภาพในการทำงาน แต่ระบบนี้ก็มีข้อดีที่สามารถรองรับผู้ใช้บริการได้จำนวนมากและยังมีเวลาประวิงที่ต่ำเมื่อปริมาณทราฟฟิกไม่สูงนัก โดยโพรโทคอลที่มีลักษณะเช่นนี้ [1,2] ได้แก่ Pure-ALOHA, Slotted-ALOHA, Carrier Sense Multiple Access (CSMA) เป็นต้น รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการทำงานของระบบที่มีการแข่งขันแบบ Slotted ALOHA การทำงานของระบบนี้จะมีลักษณะคล้ายกับระบบ Pure-ALOHA คือผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข้อมูลจะสามารถส่งข้อมูลได้ทันทีเมื่อต้องการแต่มีข้อยกเว้นว่าการส่งข้อมูลนั้นจะต้องกระทำที่ต้นช่องสัญญาณย่อยเท่านั้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะลักษณะโครงสร้างของระบบนี้จะแบ่งเวลาออกเป็นช่องสัญญาณย่อยๆ ไม่ต่อเนื่องเหมือนระบบ Pure-ALOHA ทำให้ผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข้อมูลจะต้องรอจนถึงจุดเริ่มต้นของช่องสัญญาณย่อยจึงจะสามารถส่งข้อมูลได้และหากมีผู้ใช้มากกว่าหนึ่งคนทำการส่งข้อมูลลงบนช่องสัญญาณช่องเดียวกันแล้วข้อมูลทั้งหมดก็จะชนกันและเกิดความเสียหาย ในกรณีแบบนี้ผู้ใช้บริการทุกคนจะต้องส่งข้อมูลใหม่อีกครั้งในช่องสัญญาณย่อยถัดไป

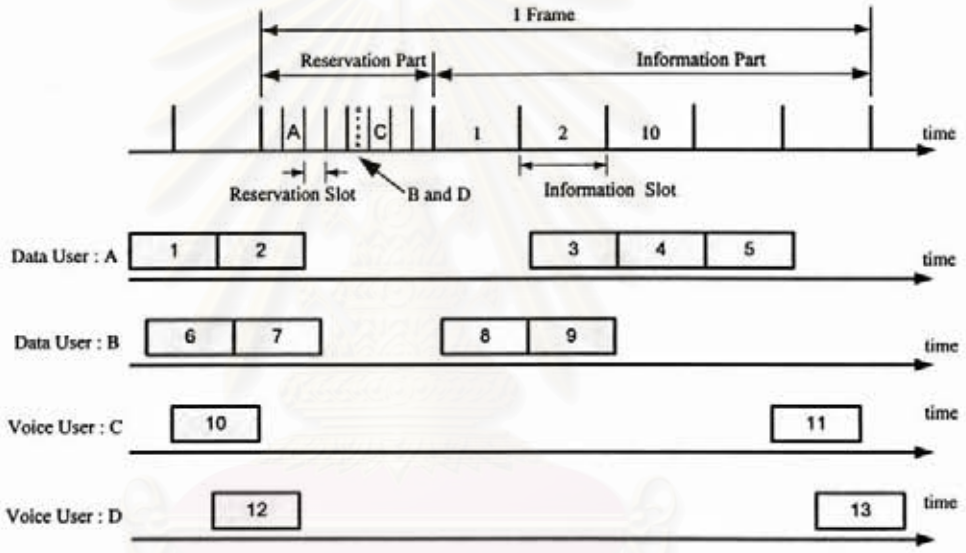


รูปที่ 2.3 การทำงานของระบบ Slotted ALOHA

2.1.3 **โพรโทคอลแบบผสมระหว่างเทคนิคที่มีการแข่งขันและไม่มีการแข่งขัน** (Contention-free&Contention-based MAC Protocol): เป็นการนำเทคนิคที่มีอยู่ของระบบทั้งสองข้างต้นมารวมกันซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานออกเป็นสองวิธีดังนี้

แบบไฮบริด (Hybrid Protocol): ระบบนี้จะทำงานบนพื้นฐานของเทคนิคต่าง ๆ ทั้งแบบ Contention-free และ Contention-based กล่าวคือการรับส่งข้อมูลของผู้ใช้บริการทุก ๆ ครั้งต้องผ่านการทำงานของทั้งสองโมด ยกตัวอย่างเช่นระบบไฮบริดระหว่างการเข้าถึงแบบสุ่มและแบบจอง (A Hybrid of Random Access and Reservation) การส่งข้อมูลของผู้ใช้นั้นจะต้องเริ่มจากการจองช่องสัญญาณแบบสุ่มซึ่งเป็นโมดการทำงานแบบ Contention-based จากนั้นเมื่อการจองช่องสัญญาณเป็นผลสำเร็จสถานีฐานก็จะทำการจัดสรรช่องสัญญาณให้แก่ผู้ใช้บริการซึ่งเป็นโหมดการทำงานแบบ Contention-free แทน การทำงานในลักษณะนี้เป็นการรวมข้อดีของทั้งสองระบบเข้าด้วยกันกล่าวคือ สามารถรองรับปริมาณโหลดได้สูง อีกทั้งยังได้แก้ไขข้อเสียด้านโอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นในระบบ Contention-free อีกด้วย ระบบที่มีลักษณะเช่นนี้ได้แก่ ALOHA Reservation (ALOHA-R) [13], Distributed-Queueing Request Update Multiple Access (DQRUMA) [14], Dynamic Frame Reservation Multiple Access-Dynamic Permission (DFRMA-DP) [15], เป็นต้น รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างการทำงานของระบบไฮบริดแบบ ALOHA-Reservation จากรูปเป็นการแสดงโครงสร้างของระบบที่ทำการแบ่งออกเป็นเฟรม และในแต่ละเฟรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ใช้จองช่องสัญญาณที่ประกอบไปด้วยช่องสัญญาณจอง (Reservation Slot) กับส่วนที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่มีช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูล (Information Slot) เป็นองค์ประกอบ การทำงานของระบบเริ่มจากผู้ใช้บริการที่ต้องการส่งข้อมูลจะส่งแพ็กเกตสำหรับจองช่องสัญญาณผ่านทางช่องสัญญาณจองแบบ Slotted-ALOHA ถ้าเกิดการชนขึ้น

ผู้ใช้บริการจะเข้าจองใหม่ในช่องสัญญาณจองถัดไป แต่ถ้าการจองช่องสัญญาณเป็นผลสำเร็จ สถานีฐานก็จะจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลที่ว่างให้แก่ผู้ใช้บริการ โดยบริการเสียงนั้นจะได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณข้อมูล 1 ช่องต่อ 1 เฟรมและจะทำการจองช่องสัญญาณในตำแหน่งนั้นในเฟรมต่อไปจนกว่าจะตรวจพบว่าไม่มีการส่งแพ็กเกตเสียง สำหรับข้อมูลคอมพิวเตอร์ สถานีฐานจะจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลให้ตามความต้องการ ถ้าเฟรมดังกล่าวมีช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลไม่เพียงพอสถานีฐานก็จะจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลให้กับแพ็กเกตที่เหลือในเฟรมถัดไป ในกรณีที่สถานีฐานไม่สามารถจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลให้แก่ผู้ใช้บริการได้เลย ผู้ใช้บริการเหล่านั้นก็จะต้องเข้าจองช่องสัญญาณใหม่อีกครั้งในเฟรมถัดไป



รูปที่ 2.4 การทำงานของระบบ ALOHA-Reservation

แบบปรับตัว (Adaptive Protocol): โพรโทคอลจะทำงานในลักษณะที่มีลักษณะก้ำกึ่งอยู่ระหว่างแบบ Contention-free และ Contention-based MAC Protocol ซึ่งประเภทของการทำงานนี้จะขึ้นกับปริมาณของโหลดที่ระบบรองรับในขณะนั้นยกตัวอย่างเช่น ในสภาวะทราฟฟิกที่เบาบางระบบจะมีการทำงานแบบ Contention-based แต่เมื่อปริมาณทราฟฟิกสูงขึ้นเรื่อย ๆ ระบบจะปรับเข้าสู่การทำงานแบบ Contention-free ซึ่งการทำงานเช่นนี้ทำให้ระบบมีค่าเวลาประวิงต่ำที่สภาวะทราฟฟิกน้อย ๆ และที่ทราฟฟิกสูง ๆ ก็ยังคงมีสมรรถนะการใช้ช่องสัญญาณที่สูงได้ ยกตัวอย่างเช่น URN Protocol [3] ซึ่งจะมีการทำงานแบบ S-ALOHA เมื่อมีผู้ใช้บริการเพียงหนึ่งคนในระบบและจะมีการทำงานแบบ TDMA ในสภาวะโหลดสูง โดยจะมีรายละเอียดดังนี้คือ ระบบ URN จะมีโครงสร้างช่องสัญญาณเป็นแบบช่องสัญญาณย่อยเช่นเดียวกับ S-ALOHA แต่

รูปแบบการทำงานจะมีลักษณะคล้ายโพรโทคอล Tree Walk [1] กล่าวคือเริ่มต้นจากการที่ระบบนำผู้ใช้บริการทั้งหมดจำนวน N คนมาเรียงกันเป็นรูปวงกลมปิด จากนั้นจะทำการจำกัดจำนวนของผู้ใช้บริการที่สามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณในช่องสัญญาณย่อยแรกเท่ากับ n คนดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งในแต่ละช่องสัญญาณย่อยจะมีจำนวนเหตุการณ์ของผู้ใช้บริการสามรูปแบบคือ เหตุการณ์ส่งข้อมูลสำเร็จ เหตุการณ์ว่างและเหตุการณ์ชน โดยเมื่อระบบสามารถส่งข้อมูลได้หรือเกิดการว่างสถานีฐานจะทำการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการที่สามารถส่งได้จาก n เป็น 2n แต่เมื่อเกิดการชนขึ้นจำนวนผู้ใช้บริการที่สามารถส่งข้อมูลได้ในช่องสัญญาณย่อยถัดไปจะเหลือเท่ากับ $\frac{n}{2}$

รูปที่ 2.5 การทำงานของระบบ URN

2.2 คุณภาพการบริการที่ต้องการ

พัฒนาการของเทคโนโลยีการสื่อสารในปัจจุบันทำให้แนวโน้มของบริการที่จะมีการนำเสนอในอนาคตมีความหลากหลายมากกว่าในอดีต กล่าวคือนอกจากบริการเสียงที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันแล้วยังมีบริการข้อมูลคอมพิวเตอร์ บริการวิดีโอ บริการไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ซึ่งบริการแต่ละประเภทต่างก็มีคุณลักษณะและคุณภาพของการบริการที่แตกต่างกัน เช่น ทราฟฟิกประเภทเสียง (Voice) [16] ต้องการบริการที่มีลักษณะเป็นแบบ Real-time กล่าวคือเสียงไม่สามารถทนต่อเวลาประวิงได้ แต่ในด้านความถูกต้องของข้อมูลนั้นเสียงสามารถยอมให้เกิดการสูญเสียข้อมูลได้บางส่วน สำหรับคุณภาพการบริการที่ทราฟฟิกข้อมูลคอมพิวเตอร์ต้องการ (Computer data) [13] คือข้อมูลต้องมีความถูกต้องสูงอัตราความผิดพลาดต่ำแต่จะสามารถทนต่อเวลาประวิงได้

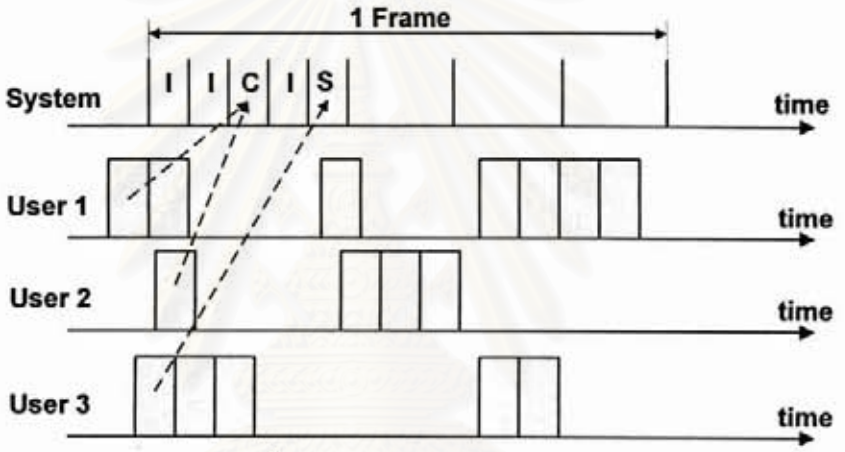
2.3 การจองช่องสัญญาณ

ผลจากการจองช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นภายหลังจากที่ผู้ใช้บริการทำการเข้าจองช่องสัญญาณนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

-การสำเร็จ (Success) เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวเข้าจองในช่องสัญญาณจองนั้น

-การชน (Collision) เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการเกินกว่า 1 รายทำการเข้าจองช่องสัญญาณพร้อมกันในช่องสัญญาณจองเดียวกัน

-การว่าง (Idle) เกิดขึ้นเมื่อไม่มีผู้ใช้บริการรายใดในระบบเข้าจองในช่องสัญญาณจองนั้น



รูปที่ 2.6 ผลการจองช่องสัญญาณ

จากรูปที่ 2.6 แสดงผลการจองช่องสัญญาณของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน 3 ราย ช่องสัญญาณจองจำนวน 5 ช่อง จะเห็นได้ว่าในช่องสัญญาณจองที่ 1 ช่องสัญญาณจองที่ 2 และช่องสัญญาณจองที่ 4 จะไม่มีผู้ใช้บริการรายใดทำการเข้าจอง ดังนั้นช่องสัญญาณจึงเกิดการว่าง ในขณะที่ในช่องสัญญาณจองช่องที่ 3 นั้นจะมีผู้ใช้บริการรายที่ 1 และผู้ใช้บริการรายที่ 2 เข้าจองช่องสัญญาณพร้อมกัน ดังนั้นจึงเกิดการชนกันขึ้น และไม่มีผู้ใช้บริการรายใดประสบความสำเร็จในการจองช่อง สัญญาณ ในขณะที่ในช่องสัญญาณจองช่องที่ 5 นั้นจะมีผู้ใช้บริการรายที่ 3 เพียงรายเดียวเข้าจองช่องสัญญาณ ดังนั้นผู้ใช้บริการรายที่ 3 จะสามารถจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ

2.4 เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีนำเสนอในอดีต

การแข่งขันกันของผู้ใช้บริการในส่วนการจองของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางประเภทผสมนั้นส่วนมากจะอาศัยกลไกการทำงานแบบ Slotted Aloha [1,2] 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 และหากค่าที่สุ่มได้มีค่าต่ำกว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่กำหนด ผู้ใช้บริการรายนั้นจะสามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้ ทั้งนี้สถานีฐานจะเป็นผู้กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและแจ้งค่าดังกล่าวให้ผู้ใช้บริการในระบบทราบ

การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในเทคนิคที่มีการนำเสนอนั้นมีหลักการพื้นฐานคือจะทำการปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณตามปริมาณโหลดที่ระบบรองรับ (จำนวนผู้ใช้บริการ) โดยจะทำการลดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนมาก ในทางตรงกันข้ามจะทำการเพิ่มค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการลดต่ำลง ดังนี้

2.4.1 การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian

การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในวิธีนี้มีสมมติฐานที่ผู้ออกแบบกำหนดคือผู้ใช้บริการสามารถทราบผลการจองช่องสัญญาณได้ทันทีและสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ใหม่เมื่อไม่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ ทางด้านสถานีฐานสามารถทำการปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและแจ้งให้ผู้ใช้บริการทราบได้ทันก่อนที่จะถึงจุดเริ่มต้นของช่องสัญญาณจองถัดไป โดยค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่แต่ละต้นช่องสัญญาณจองจะ

มีค่าเปลี่ยนไปตามปริมาณโหลด (จำนวนผู้ใช้บริการ) ที่ประมาณได้ในระบบขณะนั้น โดยการประมาณจำนวนผู้ใช้บริการจะประมาณจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในระบบ 3 ประเภทคือการสำเร็จ (Success) การชน (Collision) หรือการว่าง (Idle) นอกจากนี้จะทำการพิจารณาอัตราการเกิดของผู้ใช้บริการใหม่ (Arrival Rate , λ) ซึ่งค่าดังกล่าวจะช่วยให้การประมาณมีความใกล้เคียงกับจำนวนผู้ใช้บริการจริงเพิ่มมากขึ้น

พิจารณาระบบที่ต้นเฟรมซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน n ราย และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเท่ากับ 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

$$\eta_{t+1} = \begin{cases} \max(\lambda, \eta_t + \lambda - 1) & : Success\ or\ Idle \\ \eta_t + \lambda + (e-2)^{-1} & : Collision \end{cases} \qquad (2.1)$$

$$p(t+1) = \min\left(1, \frac{1}{\eta_{t+1}}\right) \qquad (2.2)$$

โดยที่ λ แทน อัตราการเกิดของผู้ใช้บริการใหม่

$e \approx 2.71$

2.4.2 การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian ที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ (Pseudo Bayesian with Priority) [8,9]

จากหลักการพื้นฐานของการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian ในหัวข้อที่แล้ว ได้มีผู้เสนอการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในแบบ Pseudo Bayesian ที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณขึ้น มีหลักการดังนี้

กำหนดให้ระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส ได้แก่ ผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และ ผู้ใช้บริการคลาส 3 และกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณจากมากไปหาน้อยให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และ ผู้ใช้บริการคลาส 3 ตามลำดับ โดยการกำหนดลำดับความสำคัญนี้จะกระทำผ่านทางการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณให้มีค่าแตกต่างกัน โดยจะกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณสำหรับผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่าให้มีค่าสูงกว่า ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้บริกาที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่ามีโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณมากกว่า

จากที่กล่าวข้างต้นหากกำหนดให้ลำดับความสำคัญของผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และ ผู้ใช้บริการคลาส 3 มีค่าเป็น $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ ตามลำดับ จะสามารถกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการแต่ละคลาสได้ดังแสดงในตาราง

ผู้ใช้บริการ	ลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ	ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณ
ผู้ใช้บริการคลาส 1	α_1	$p/(PF)^{\alpha_1}$
ผู้ใช้บริการคลาส 2	α_2	$p/(PF)^{\alpha_2}$
ผู้ใช้บริการคลาส 3	α_3	$p/(PF)^{\alpha_3}$

ค่า p นั้นจะเปลี่ยนแปลงในทุกช่องสัญญาณจอง ในกรณีที่กำหนดค่า PF = 1 หรือกำหนด $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$ คือไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ สำหรับในบทความได้กำหนดลำดับความสำคัญดังนี้ $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 1, \alpha_3 = 2$ และการคำนวณค่า p สามารถกระทำได้โดยอาศัยหลักการเดียวกันกับการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian ในหัวข้อที่แล้ว ซึ่งมีค่าดังสมการ

$$p(\eta_1^{t+1}, \eta_2^{t+1}, \eta_3^{t+1}) = \min\left(1, \left(\eta_1^{t+1} + \frac{\eta_2^{t+1}}{PF} + \frac{\eta_3^{t+1}}{(PF)^2}\right)^{-1}\right) \qquad (2.3)$$

โดยที่ค่า $\eta_1^{t+1}, \eta_2^{t+1}, \eta_3^{t+1}$ สามารถคำนวณได้จากสมการ.

$$\eta_1^{t+1} = \begin{cases} \max\left\{\lambda_1, \eta_1^t + \lambda_1 - 1\right\} & idle\ or\ success\ \ class\ 1 \\ \min\left\{N_1, \eta_1^t + \lambda_1 + (e-2)^{-1}\right\} & collision \\ \eta_1^t + \lambda_1 & success\ of\ class\ 2\ or\ class\ 3 \end{cases} \qquad (2.4)$$

$$\eta_2^{t+1} = \begin{cases} \max\left\{\lambda_2, \eta_2^t + \lambda_2 - 1\right\} & idle\ or\ success\ class\ 2 \\ \min\left\{N_2, \eta_2^t + \lambda_2 + (e-2)^{-1}\right\} & collision \\ \eta_2^t + \lambda_2 & success\ of\ class\ 1\ or\ class\ 3 \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\eta_3^{t+1} = \begin{cases} \max\left\{\lambda_3, \eta_3^t + \lambda_3 - 1\right\} & idle\ or\ success\ class\ 3 \\ \min\left\{N_3, \eta_3^t + \lambda_3 + (e-2)^{-1}\right\} & collision \\ \eta_3^t + \lambda_3 & success\ of\ class\ 1\ or\ class\ 2 \end{cases} \quad (2.6)$$

โดยที่

$\eta_1^t, \eta_2^t, \eta_3^t$ คือ จำนวนผู้ใช้บริการในช่องสัญญาณจองที่ t

$\eta_1^{t+1}, \eta_2^{t+1}, \eta_3^{t+1}$ คือ จำนวนผู้ใช้บริการในช่องสัญญาณจองที่ t+1

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 ที่เกิดขึ้นใหม่

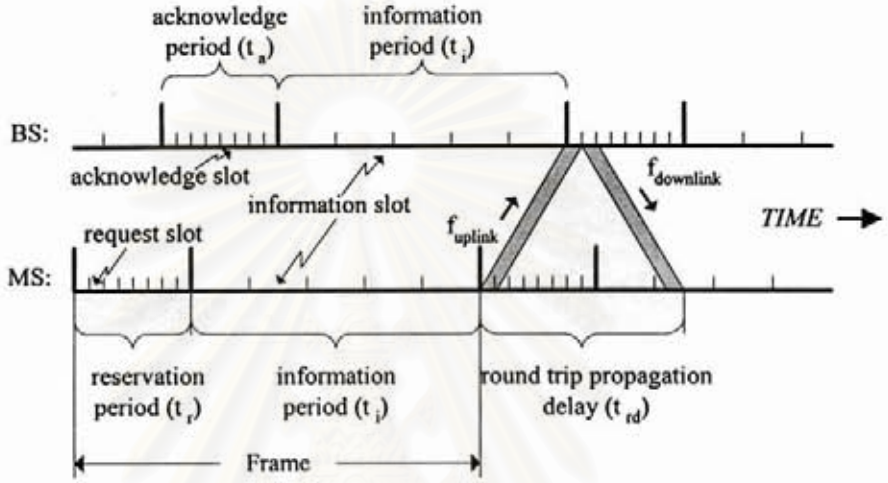
N_1, N_2, N_3 คือ จำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 ในระบบ

2.5 ผลของเวลาประวิงสัมพัทธ์

การทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่กล่าวข้างต้น จะใช้สมมติฐานว่าผู้ใช้บริการสามารถทราบผลการจองได้ก่อนที่จะถึงช่องสัญญาณจองถัดไป และสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ใหม่ทันทีถ้าหากไม่ประสบความสำเร็จในการจองในช่องสัญญาณดังกล่าว ทางด้านสถานีฐานก็สามารถทำการปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและแจ้งให้ผู้ใช้บริการทราบได้ก่อนถึงช่องสัญญาณจองถัดไปเช่นกัน ดังนั้นเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่กล่าวในข้างต้นนั้นจึงเหมาะสำหรับระบบที่มีเวลาประวิงสัมพัทธ์ต่ำ ซึ่งผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ใหม่ทันทีเมื่อไม่ประสบความสำเร็จในการเข้าจองช่องสัญญาณ

อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาระบบสื่อสารบางประเภทที่มีค่าเวลาประวิงสัมพัทธ์ยาว เช่น ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม พบว่าดาวเทียมสื่อสารโดยทั่วไปจะอยู่ในวงโคจรค้างฟ้า (Geosynchronous Orbit) ซึ่งอยู่สูงจากพื้นโลกขึ้นไปเป็นระยะทางประมาณ 35,810 กิโลเมตร (23,300 ไมล์) ด้วยระยะทางดังกล่าวทำให้ค่าเวลาประวิงมีค่า 0.25-0.27 วินาที แม้จะเดินทางด้วยความเร็วแสง ดังนั้นจึงอาจทำให้ผู้ใช้บริการไม่สามารถทราบผลการจองช่องสัญญาณได้ทันทีและอาจทราบผลการจองช่องสัญญาณภายหลังจากสิ้นสุดส่วนการจองไปแล้ว นั่นหมายถึงว่าผู้ใช้บริการจะสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวต่อเฟรม ดังแสดงในรูปที่ 2.7

สำหรับความเป็นไปได้ในการปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของสถานีฐานและแจ้งให้ผู้ใช้บริการทราบนั้น พบว่าหากค่าเวลาประวิงมีค่ามาก อาจทำให้การแจ้งค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของช่องสัญญาณจองถัดไปส่งไปยังผู้ใช้บริการไม่ทันก่อนถึงช่องสัญญาณจองถัดไป ดังนั้นการปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในกรณีดังกล่าวจึงอาจกระทำได้เพียงหนึ่งครั้งต่อเฟรมเช่นกัน



รูปที่ 2.7 การจองช่องสัญญาณในระบบที่มีเวลาประวิงสัมพัทธ์สูง

2.6 ปัญหาของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในอดีต

จากการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีนำเสนอในข้างต้น พบว่ายังมีปัญหาดังนี้

1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีนำเสนอในอดีตนั้นต่างออกแบบมา โดยมีสมมติฐานว่าผู้ใช้บริการสามารถทราบผลการจองช่องสัญญาณได้ทันที และสามารถเข้าจองช่องสัญญาณใหม่เมื่อไม่ประสบความสำเร็จในการเข้าจองช่องสัญญาณ ทางด้านสถานีฐานก็สามารถปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและแจ้งให้ผู้ใช้บริการทราบได้ก่อนถึงช่องสัญญาณจองถัดไป ซึ่งเมื่อพิจารณาในระบบที่กำหนดในงานวิจัยพบว่าเป็นไปได้ยาก
2. การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณนั้นส่วนมากจะทำการกำหนดโดยคำนึงถึงเพียงปริมาณโหลดที่ระบบรองรับ (จำนวนผู้ใช้บริการ) โดยเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนมาก ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณจะมีค่าต่ำลง แต่หากจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนน้อย ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณจะเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ดีจะเห็นได้ว่าการพิจารณาเพียงปริมาณโหลดที่ระบบรองรับอาจทำให้ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ได้เป็นค่าที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากยังมีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ไม่ได้คำนึงถึงคือจำนวนช่องสัญญาณจองที่มีในเฟรม เช่น ในกรณีที่

จำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรมมีมาก ผู้ใช้บริการอาจจะลดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณลง เพื่อหลีกเลี่ยงโอกาสที่ผู้ใช้บริการจะเกิดการชนกัน เพราะผู้ใช้บริการยังมีโอกาสอีกมากในการเข้าจองช่องสัญญาณ

2.7 เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ

จากปัญหาที่กล่าวในข้างต้น รายงานวิจัยฉบับนี้จึงได้เสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่เหมาะสำหรับระบบที่มีเวลาประวิงสัมพัทธ์ยาว นอกจากนี้ยังได้พัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณดังกล่าวให้สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ โดยเทคนิคการเข้าจองช่องสัญญาณที่นำเสนอนี้เป็นเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่คำนึงถึงจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนช่องสัญญาณจองที่มีในเฟรม ทั้งนี้กำหนดให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงหนึ่งครั้งต่อเฟรม โดยเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Cascade Fixed Probability (CFP)

2) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Random Slot Selection (RSS)

2.1) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ ได้แก่

2.1.1) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI

2.1.2) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA

2.2) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ ได้แก่

2.2.1) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS

2.2.2) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA

2.2.3) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA

2.2.4) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA

2.8 แบบจำลองและสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

1) เซลล์หนึ่งเซลล์ประกอบด้วยสถานีฐานหนึ่งสถานีและผู้ใช้บริการที่อยู่ในระบบจำนวนหนึ่ง การติดต่อสื่อสารของผู้ใช้บริการทุกรายภายในเซลล์จะต้องกระทำผ่านสถานีฐานที่เป็นผู้ให้บริการ
2) การทำงานของโพรโทคอลที่พิจารณาในรายงานวิจัยฉบับนี้ทั้งหมดจะอยู่บนพื้นฐานของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบผสมประเภทไฮบริดที่มีการแบ่งช่องสัญญาณของระบบออกเป็นสองส่วนด้วยวิธี FDD (frequency division duplex) ซึ่งใช้ความถี่ขาขึ้น (uplink) และขาลง (downlink) แตกต่างกัน โดยสถานีฐานสามารถควบคุมการส่งข้อมูลด้านขาลงได้อย่างสมบูรณ์ สำหรับการส่งข้อมูลด้านขาขึ้นจะทำการแบ่งช่วงเวลาออกเป็นเฟรม (frame) ในแต่ละเฟรมแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนจองและส่วนสำหรับส่งข้อมูล ผู้ใช้บริการทุกรายที่ต้องการส่งข้อมูลจะต้องทำการเข้าจองช่องสัญญาณในส่วนการจองให้สำเร็จก่อนจากนั้นจึงรอให้สถานีฐานจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลให้ต่อไป
3) เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ทำการพัฒนาขึ้นกำหนดให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงหนึ่งครั้งต่อเฟรม และการปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณจะกระทำเพียงหนึ่งครั้งต่อเฟรม เนื่องจากผลของเวลาประวิงสัมพัทธ์ที่มีค่ามาก
4) เนื่องจากวัตถุประสงค์ของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในรายงานวิจัยฉบับนี้คือการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในส่วนการจองช่องสัญญาณ ดังนั้นจึงพิจารณาระบบเฉพาะในส่วนการจองช่องสัญญาณเท่านั้น
5) ค่าวิสัยสามารถที่กล่าวถึงในรายงานวิจัยคือจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่สามารถจองช่องสัญญาณสำเร็จ
6) สถานีฐานจะสามารถทราบจำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรมและจำนวนผู้ใช้บริการที่จุดเริ่มต้นเฟรมโดยจำนวนผู้ใช้บริการจะมีค่าคงที่ตลอดการทดสอบ เนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงผลของการแฮนด์โอเวอร์
7) ช่องสัญญาณที่ทำการพิจารณานี้สมมติว่าเป็นช่องสัญญาณในอุดมคติกล่าวคือ ไม่มีความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP

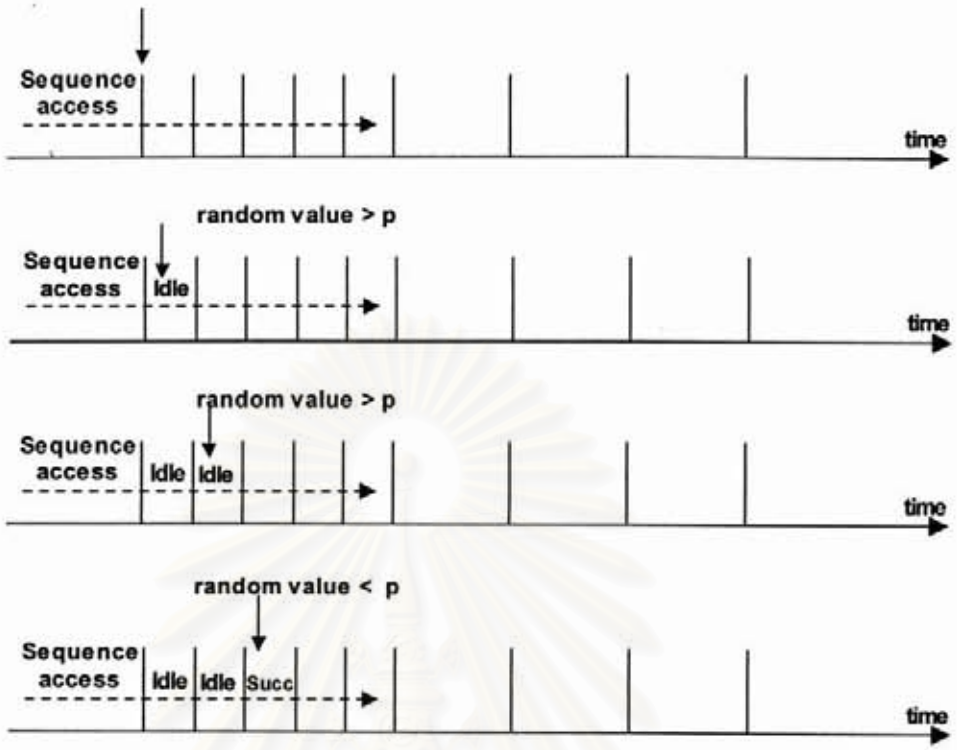
บทนี้กล่าวถึงเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP และผลการทดสอบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP ซึ่งการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณนั้นจะกำหนดจากจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองช่องสัญญาณและจำนวนช่องสัญญาณจอง โดยผู้ใช้บริการแต่ละรายสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงหนึ่งครั้งต่อเฟรม

3.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Cascade Fixed Probability (CFP)

การทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณวิธีนี้กำหนดให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวต่อเฟรม โดยสถานีฐานจะเป็นผู้กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมที่ต้นเฟรม ซึ่งพิจารณาจากจำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรมและจำนวนผู้ใช้บริการที่ต้นเฟรม โดยค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณจะมีค่าคงที่ตลอดเฟรม และการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการจะเป็นไปทีละช่องเริ่มจากช่องสัญญาณจองต้นเฟรมไปยังช่องสัญญาณจองท้ายเฟรม (Cascade Fixed Probability) โดยผู้ใช้บริการจะต้องสุ่มค่าระหว่าง 0-1 โดยถ้าค่าที่สุ่มได้ต่ำกว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่กำหนด ผู้ใช้บริการรายนั้นจะสามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้ แต่หากค่าที่สุ่มได้สูงกว่า ผู้ใช้บริการก็จะต้องทำการสุ่มค่าใหม่ในช่องสัญญาณจองถัดไปดังตัวอย่างในรูปที่ 3.1 ซึ่งหากในช่องสัญญาณจองช่องสัญญาณใดมีผู้ใช้บริการเกินกว่าหนึ่งรายผ่านเข้าไปทำการจองพร้อมกัน จะเกิดการชนและไม่มีผู้ใช้บริการรายใดประสบความสำเร็จในการจอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP

จากหลักการของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบที่นำเสนอ เมื่อพิจารณาระบบที่มีผู้ใช้บริการที่เข้าจองช่องสัญญาณจำนวน M รายและช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง 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

$$\begin{aligned} P_{CFP}[k \mid M,N] = {} & b[M,0,p]\,P_{CFP}[k \mid M,N-1] \\ & + b[M,1,p]\,P_{CFP}[k-1 \mid M-1,N-1] \\ & + \sum_{i=2}^{M} b[M,i,p]\,P_{CFP}[k \mid M-i,N-1] \end{aligned} \qquad (3.1)$$

โดยที่ $P_{CFP}[k \mid M,N]$ คือค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการ k รายสามารถจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ จากระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน M ราย ช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเท่ากับ p

และกำหนดค่าเริ่มต้นของสมการ (3.1) ไว้ดังนี้

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

นอกจากนี้จะสามารถนำค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการจองช่องสัญญาณสำเร็จกรณีต่าง ๆ มาคำนวณหาค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{CFP}[M,N]$) ซึ่งนิยามว่าเป็นจำนวนผู้ใช้บริการที่จองช่องสัญญาณได้สำเร็จได้จากสมการ

$$T_{CFP}[M,N] = \sum_{j=0}^{M} \left(j \times P_{CFP}[j \mid M,N] \right) \qquad (3.2)$$

สำหรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการ คือค่า p ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (3.2) เทียบกับ p เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

3.2 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP

รูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการจำนวน 8 16 และ 32 ราย จากรูปจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกค่าวิสัยสามารถของทุกระบบจะเพิ่มขึ้นตามค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในช่วงแรกมีค่าต่ำ ทำให้จำนวนผู้ใช้บริการที่สามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้มีจำนวนน้อย ช่องสัญญาณจองส่วนมากจึงเกิดการว่าง ดังนั้นการเพิ่มค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณจึงช่วยลดโอกาสที่ช่องสัญญาณจะเกิดการว่างและส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ดีเมื่อเพิ่มค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณจนถึงค่าหนึ่ง ค่าวิสัยสามารถของระบบจะเพิ่มจนถึงจุดสูงสุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดจะมีค่าแตกต่างกันโดยค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวนมากกว่าจะมีค่าต่ำกว่า หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณขึ้นไปอีกจะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดลง โดยสาเหตุที่ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าลดลงนั้นเป็นผลมาจากการชนกันของผู้ใช้บริการ

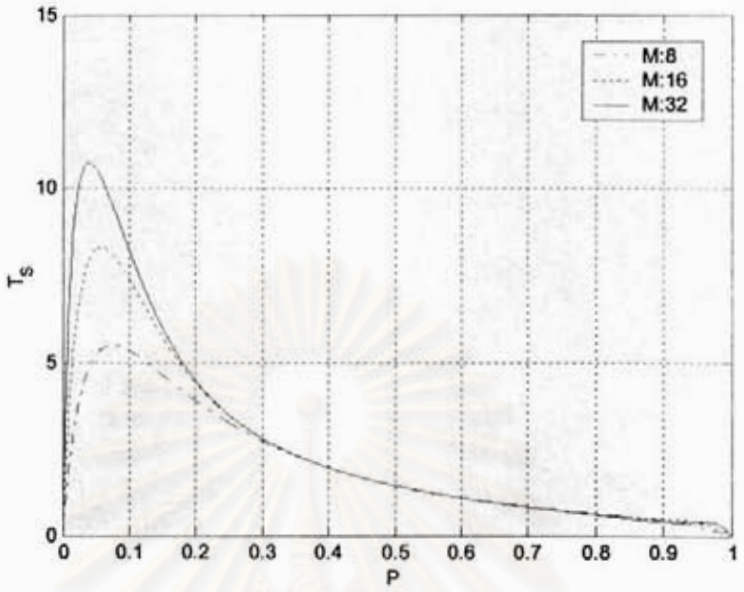
รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเป็น 8 16 และ 32 ช่อง จากรูปพบว่าในช่วงแรกเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเพิ่มขึ้น ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของทุกระบบจะเพิ่มสูงขึ้น แต่จะพบว่าอัตราส่วนของค่าวิสัยสามารถที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าลดลง และถึงแม้จะทำการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการจนสูงกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ค่าวิสัยสามารถของระบบจะยังค่อนข้างคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากระบบสามารถจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่จะเข้าจองช่องสัญญาณได้ผ่านทางการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณ นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณจองมากกว่า จะมีค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่สูงกว่าเพราะระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณจองมากย่อมจะสามารถลดโอกาสที่จะเกิดการชนกันของผู้ใช้บริการได้

รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองจำนวน 8 16 และ 32 ช่อง จากรูปจะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวน 1 ราย ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงสุดจะเท่ากับ 1 ในทุกระบบที่ทำการทดสอบ แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเพิ่มขึ้น พบว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่า

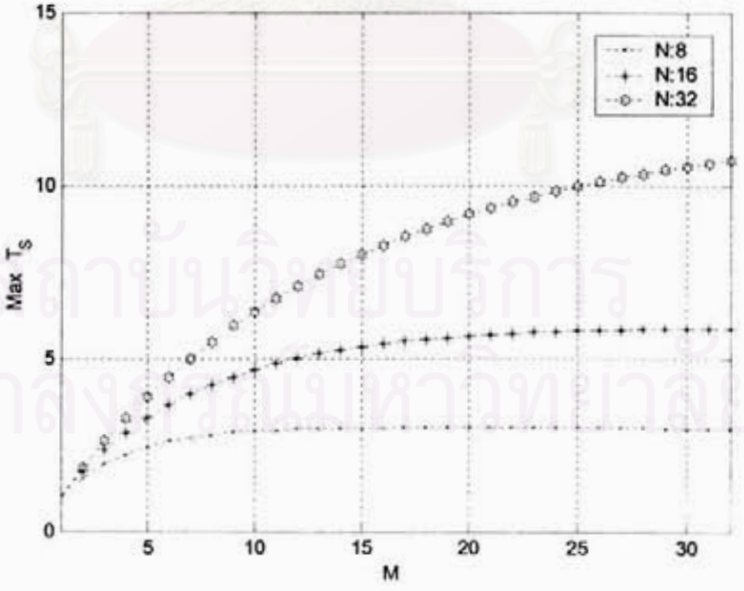
วิสัยสามารถของระบบสูงสุดจะมีค่าลดต่ำลง นอกจากนี้จะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเท่ากัน ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดของระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณจองมากกว่าจะมีค่าต่ำกว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่า เนื่องจากการที่จำนวนช่องสัญญาณจองมีจำนวนมาก ทำให้ผู้ใช้บริการไม่ต้องรีบทำการเข้าจองช่องสัญญาณในช่องสัญญาณจองต้นเฟรม เพราะผู้ใช้บริการยังมีโอกาสในการเข้าจองในช่องสัญญาณจองส่วนท้ายของเฟรม นอกจากนี้การที่ผู้ใช้บริการไม่ต้องรีบเข้าจองช่องสัญญาณนั้นจะช่วยหลีกเลี่ยงโอกาสที่ผู้ใช้บริการจะเกิดการชนกันได้อีกด้วย

จากผลการทดสอบที่ได้จะเห็นได้ว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP นั้นจะทำการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณโดยคำนึงถึงจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองช่องสัญญาณและจำนวนช่องสัญญาณจองที่มีในเฟรม จึงช่วยให้การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของระบบมีความเหมาะสมยิ่งขึ้นมากกว่าการพิจารณาเพียงปริมาณโหลดที่ระบบรองรับ อย่างไรก็ดีการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการนั้นยังคงต้องกระทำไปทีละช่อง เริ่มจากช่องสัญญาณจองต้นเฟรมไปยังช่องสัญญาณจองท้ายเฟรม ดังนั้นในสภาวะที่ปริมาณโหลดที่ระบบรองรับมีค่ามาก ประสิทธิภาพที่ได้ของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบนี้จะมีค่าต่ำเช่นเดียวกับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Slotted Aloha คือถ้าหากมีผู้ใช้บริการที่ผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณในครั้งหนึ่ง ๆ เกินกว่าหนึ่งราย จะทำให้เกิดการชนและไม่มีผู้ใช้บริการที่จองช่องสัญญาณสำเร็จ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าลดลง

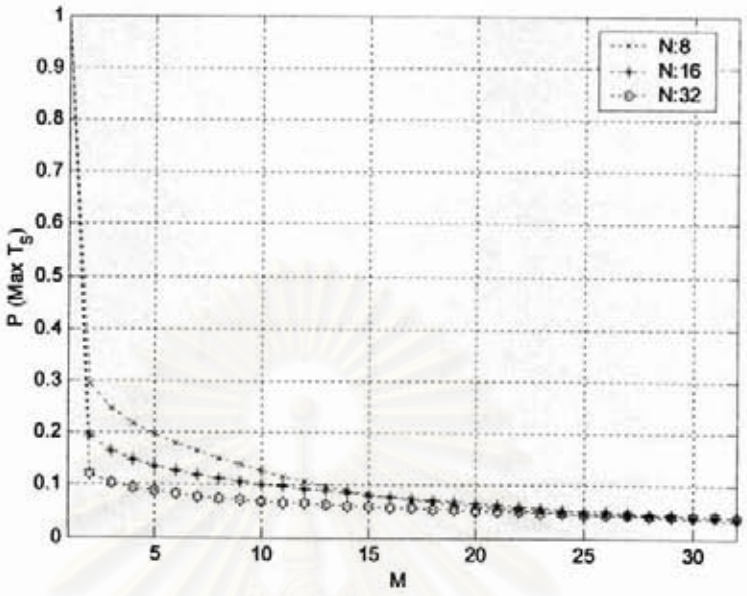
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำ นวนผู้ใช้บริการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำ ให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS

บทนี้กล่าวถึงเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ประเภทแรก คือ เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ ประกอบด้วย 1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI และ 2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA ประเภทที่ 2 คือเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ ประกอบด้วย 1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS 2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA 3. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และ 4. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA ทั้งนี้การนำเสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณในแต่ละแบบจะนำเสนอในรูปการวิเคราะห์เป็นสมการคณิตศาสตร์

4.1 ที่มาของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Random Slot Selection (RSS)

เมื่อพิจารณาการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP ที่นำเสนอในบทที่ 3 พบว่ายังมีปัญหาดังนี้

1) การเข้าจองช่องสัญญาณของของผู้ใช้บริการนั้นจะต้องกระทำเรียงลำดับจากช่องสัญญาณจองต้นเฟรมไปยังช่องสัญญาณจองท้ายเฟรม ทำให้ช่องสัญญาณจองที่อยู่ต้นเฟรมมีโอกาสที่จะรองรับปริมาณโหลดมากกว่าช่องสัญญาณจองที่อยู่ท้ายเฟรม นอกจากนี้การที่ผู้ใช้บริการมีโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวในแต่ละเฟรม การเข้าจองช่องสัญญาณเรียงตามลำดับของช่องสัญญาณจองอาจไม่ใช่เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่เหมาะสม
2) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP ยังไม่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการได้

จากปัญหาของเทคนิคการเข้าจองช่องสัญญาณแบบ CFP ดังกล่าว รายงานวิจัยฉบับนี้จึงได้เสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS โดยมีหลักการคือผู้ใช้บริการที่สามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณ จะสุ่มเลือกเข้าจองในช่องสัญญาณจองช่องใดช่องหนึ่งอย่างอิสระ (Random Slot Selection) ไม่ขึ้นกับผู้ใช้บริการรายอื่น ๆ ดังนั้นจะทำให้เกิดการกระจายการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการออกไปอย่างทั่วถึงตลอดเฟรม นอกจากนี้ยังได้ทำการพัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ดังกล่าวเพื่อให้สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจอง

ช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการได้ ดังนั้นเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS 2 ที่นำเสนอในบทนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ ได้แก่
   1.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI
   1.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA
2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ ได้แก่
   2.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS
   2.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA
   2.3 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA
   2.4 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA

กำหนดตัวแปรที่แสดงในสมการในบทนี้ไว้ ดังนี้

กรณีไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ

k จำนวนผู้ใช้บริการที่จองช่องสัญญาณสำเร็จ

M จำนวนผู้ใช้บริการ

N จำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรม

p ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณ

กรณีมีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ

C จำนวนคลาส (ระดับ) ของผู้ใช้บริการที่ระบบรองรับ

k_i จำนวนผู้ใช้บริการคลาสที่ i ที่จองช่องสัญญาณสำเร็จ

m_i จำนวนผู้ใช้บริการคลาสที่ i

n_i จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาสที่ i

p_i ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาสที่ i

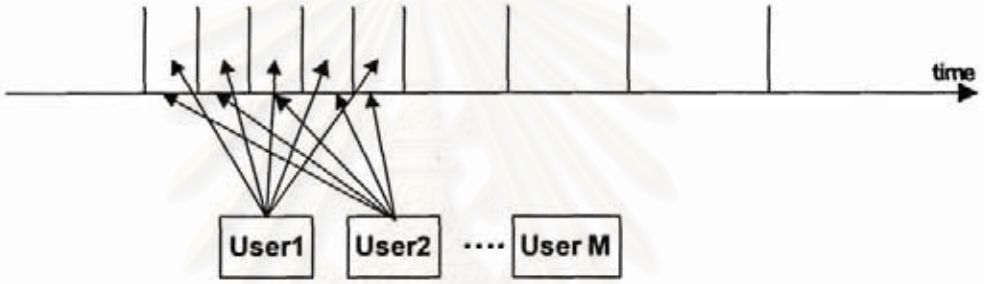
N จำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรม

4.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS

4.2.1 เมื่อไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ

4.2.1.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Uniform (UNI)

ในเทคนิคนี้ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะสุ่มเลือกช่องสัญญาณจองขึ้นมา 1 ช่องจากช่องสัญญาณทั้งหมด N ช่อง ดังนั้นเมื่อพิจารณาระบบที่มีช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง โอกาสที่ช่องสัญญาณแต่ละช่องจะถูกเลือกจะมีค่าเท่ากับ $1/N$ รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI เมื่อระบบประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน M ราย ช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง



รูปที่ 4.1 การทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI

เมื่อพิจารณาระบบที่มีผู้ใช้บริการที่เข้าจองช่องสัญญาณจำนวน M รายและช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง พบว่าเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นเมื่อพิจารณาช่องสัญญาณจองช่องใด ๆ เป็นไปได้ 3 กรณีคือ

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

จากค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นในช่องสัญญาณจองช่องใด ๆ จะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นรวมตลอดเฟรมที่จะมีผู้ใช้บริการจำนวน k ราย จองช่องสัญญาณได้สำเร็จ ($P_{UNI}[k|M,N]$) โดยอาศัยหลักการรีเคอร์ซีฟได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} P_{UNI}[k|M,N] &= b[M,0,1/N]\ P_{UNI}[k|M,N-1] \\ &\quad + b[M,1,1/N]\ P_{UNI}[k-1|M-1,N-1] \\ &\quad + \sum_{i=2}^{M} b[M,i,1/N]\ P_{UNI}[k|M-i,N-1] \end{aligned} \tag{4.1}$$

และกำหนดค่าเริ่มต้นของสมการ (4.1) ดังนี้

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

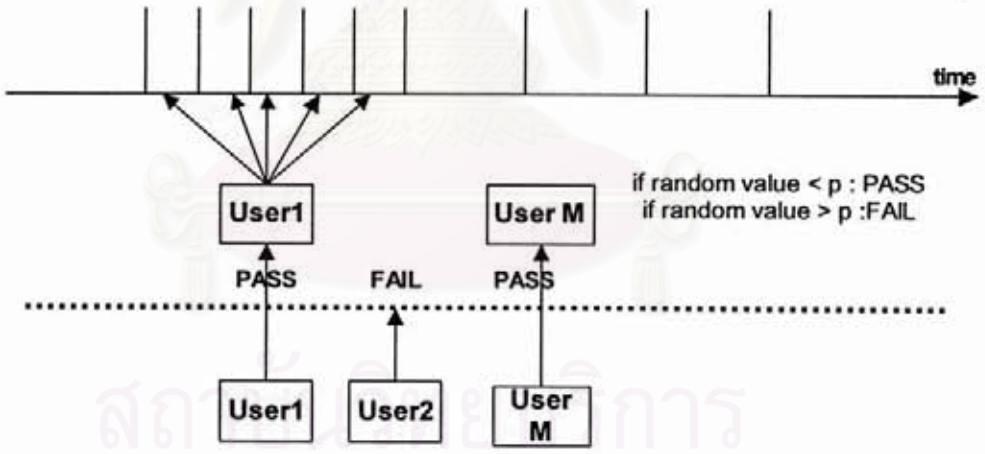
จากค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณในกรณีต่าง ๆ สามารถหาค่าวิสัยสามารถของระบบซึ่งนิยามว่าเป็นจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่สามารถจองช่องสัญญาณสำเร็จ ($T_{UNI}[M,N]$) ได้จากสมการ

$$T_{UNI}[M,N] = \sum_{j=0}^{M} \left(j \times P_{UNI}[j|M,N] \right) \tag{4.2}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.1.2 **เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ** Uniform + Limited Access (UNI+LA)

เมื่อพิจารณาระบบในข้างต้นพบว่า การทำงานดังกล่าวจะประสบปัญหาในสภาวะทราฟฟิกสูง เพราะถ้าจำนวนผู้ใช้บริการมีมากกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง จะทำให้ช่องสัญญาณจองบางช่องมีผู้ใช้บริการเข้าจองมากกว่าหนึ่งราย ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการชนกันและส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดต่ำลง ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหานี้ รายงานวิจัยฉบับนี้จึงได้เสนอวิธีในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่สามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้ในแต่ละเฟรมผ่านทางการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณ โดยผู้ใช้บริการทุกรายจะต้องทำการสุ่มค่าระหว่าง 0-1 ขึ้นมา และหากค่าที่สุ่มขึ้นดังกล่าวต่ำกว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่กำหนด ผู้ใช้บริการรายนั้นจะสามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้ โดยหลังจากผ่านขั้นตอนการสุ่มค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเพื่อจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่จะสามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณแล้ว ระบบจะมีการทำงานเช่นเดียวกับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA เมื่อระบบประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน M ราย ช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเท่ากับ p



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA

จากหลักการดังกล่าว เมื่อพิจารณาระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน M ราย ช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเท่ากับ p จะสามารถวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการ k รายสามารถจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ ($P_{UNI+LA}[k|M,N]$) เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$P_{UNI+LA}[k|M,N]=\sum_{i=0}^{M}\left(b[M,i,p]\,P_{UNI}[k|i,N]\right) \tag{4.3}$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+LA}[M,N]$) หาได้จากสมการ

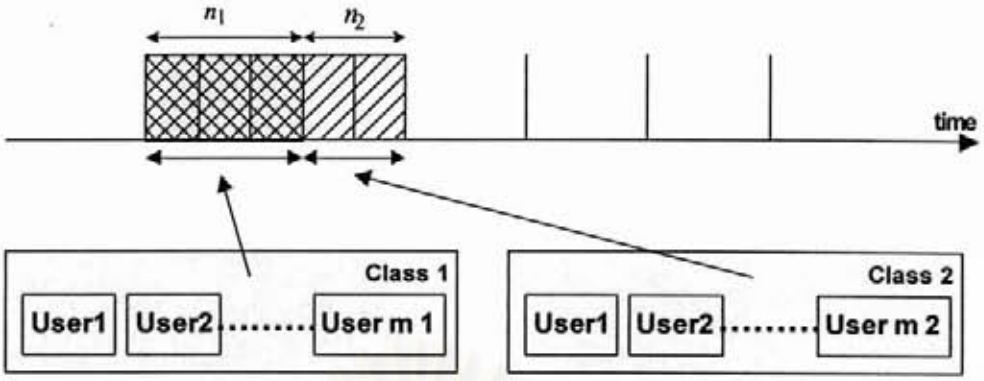
$$T_{UNI+LA}[M,N]=\sum_{j=0}^{M}\left(j\times P_{UNI+LA}[j|M,N]\right) \tag{4.4}$$

ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการ คือค่า p ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.4) เทียบกับ p เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2 เ มีอมีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ

4.2.2.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Uniform + Divided Slot (UNI+DS)

เทคนิคการจองช่องสัญญาณวิธีนี้มีพื้นฐานมาจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI โดยทำการแบ่งส่วนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาส หลังจากนั้นผู้ใช้บริการในแต่ละคลาสจะสุ่มเลือกช่องสัญญาณจองในกลุ่มของตนเช่นเดียวกับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS ในกรณีที่มีผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน m_1 และ m_2 ราย ช่องสัญญาณที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน n_1 และ n_2 ช่อง



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS

4.2.2.1.1 **กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส**

จากการแบ่งผู้ใช้บริการและช่องสัญญาณจองออกเป็น 2 ส่วน ทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการแต่ละคลาสจะสามารถจองช่องสัญญาณสำเร็จเป็นอิสระกัน ดังนั้นจะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จองช่องสัญญาณสำเร็จจำนวน k_1 และ k_2 ราย จากผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่เข้าจองช่องสัญญาณจำนวน m_1 และ m_2 ราย ช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน n_1 และ n_2 ช่อง โดยที่ $n_1 + n_2 = N$ ($P_{UNI+DS}[k_1,k_2|m_1,m_2,n_1,n_2]$) ได้จากสมการ

$$\begin{aligned} &P_{UNI+DS}[k_1,k_2|m_1,m_2,n_1,n_2] \\ &= P_{UNI}[k_1|m_1,n_1] \times P_{UNI}[k_2|m_2,n_2] \end{aligned} \tag{4.5}$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+DS}[m_1,m_2,n_1,n_2]$) หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} &T_{UNI+DS}[m_1,m_2,n_1,n_2] \\ &= \sum_{j_1=0}^{m_1} \left(j_1 \times P_{UNI+DS}[j_1|m_1,m_2,n_1,n_2] \right) \\ &+ \sum_{j_2=0}^{m_2} \left(j_2 \times P_{UNI+DS}[j_2|m_1,m_2,n_1,n_2] \right) \end{aligned} \tag{4.6}$$

โดยที่

$$P_{UNI+DS}[j_1 \mid m_1, m_2, n_1, n_2] = \sum_{k_1=j_1}^{j_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} P_{UNI+DS}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, n_1, n_2]$$
$$P_{UNI+DS}[j_2 \mid m_1, m_2, n_1, n_2] = \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=j_2}^{j_2} P_{UNI+DS}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, n_1, n_2] \quad (4.7)$$

จำนวนช่องสัญญาณจองที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 คือค่า n_1 และ n_2 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.6) เทียบกับ n_1 และ n_2 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.1.2 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส

เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส จะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จองช่องสัญญาณสำเร็จจำนวน k_1 k_2 และ k_3 รายตามลำดับ จากผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จำนวน m_1 m_2 และ m_3 ราย ช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จำนวน n_1 n_2 และ n_3 ช่องตามลำดับ โดยที่ $n_1 + n_2 + n_3 = N$ ($P_{UNI+DS}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3]$) ได้จากสมการ

$$P_{UNI+DS}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3]$$
$$= P_{UNI}[k_1 \mid m_1, n_1] \times P_{UNI}[k_2 \mid m_2, n_2] \times P_{UNI}[k_3 \mid m_3, n_3] \quad (4.8)$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+DS}[m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3]$) หาได้จากสมการ

$$T_{UNI+DS}[m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3]$$
$$= \sum_{j_1=0}^{m_1} \left(j_1 \times P_{UNI+DS}[j_1 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \right)$$
$$+ \sum_{j_2=0}^{m_2} \left(j_2 \times P_{UNI+DS}[j_2 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \right) \quad (4.9)$$
$$+ \sum_{j_3=0}^{m_3} \left(j_3 \times P_{UNI+DS}[j_3 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \right)$$

โดยที่

$$
\begin{aligned}
&P_{UNI+DS}[j_1 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=j_1}^{j_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_3=0}^{m_3} P_{UNI+DS}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&P_{UNI+DS}[j_2 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=j_2}^{j_2} \sum_{k_3=0}^{m_3} P_{UNI+DS}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&P_{UNI+DS}[j_3 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_3=j_3}^{j_3} P_{UNI+DS}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3]
\end{aligned}
\qquad (4.10)
$$

จำนวนช่องสัญญาณจองที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 คือค่า n_1 n_2 และ n_3 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.9) เทียบกับ n_1 n_2 และ n_3 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.1.3 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส

จากหลักการดังกล่าวข้างต้นสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน k_i ราย สามารถจองช่องสัญญาณสำเร็จ จากจำนวนผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน m_i ราย และช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน n_i ช่อง โดยที่ $\sum_{i=1}^{C} n_i = N$ ($P_{UNI+DS}[k_1, k_2, ..., k_C \mid m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C]$) ได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&P_{UNI+DS}[k_1, k_2, ..., k_C \mid m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C] \\
&= \prod_{i=1}^{C} P_{UNI}[k_i \mid m_i, n_i]
\end{aligned}
\qquad (4.11)
$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+DS}[m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C]$) หาได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&T_{UNI+DS}[m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C] \\
&= \sum_{i=1}^{C} \sum_{j_i=0}^{m_i} \left(j_i \times P_{UNI+DS}[j_i \mid m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C] \right)
\end{aligned}
\qquad (4.12)
$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21903448

โดยที่

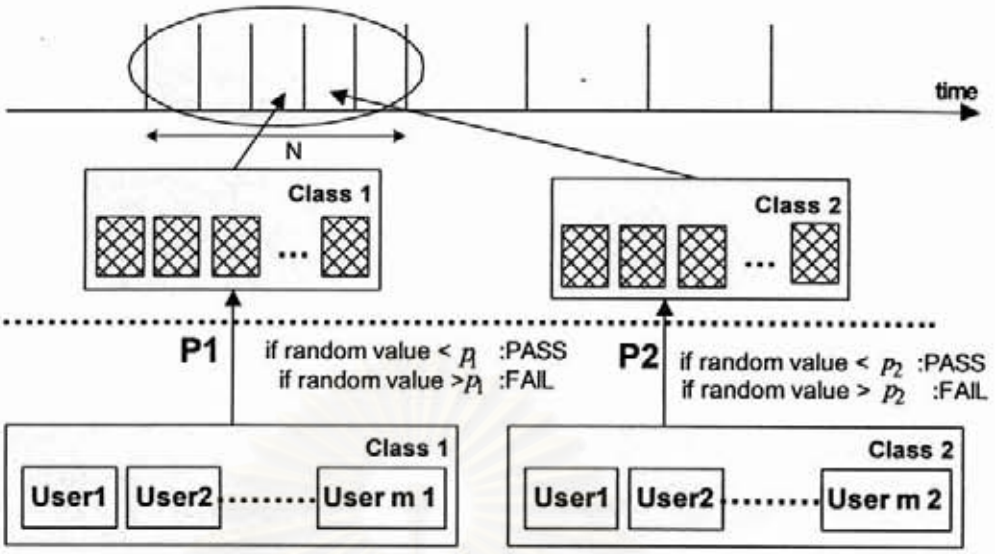
$$P_{UNI+DS}[j_i \mid m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C] \quad (4.13)$$
$$= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \cdots \sum_{k_i=j_i} \cdots \sum_{k_C=0}^{m_C} P_{UNI+DS}[k_1, k_2, ..., k_i, ..., k_C \mid m_1, m_2, ..., m_i, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_i, ..., n_C]$$

จำนวนช่องสัญญาณจองที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาสที่ i คือค่า n_i ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.12) เทียบกับ n_i เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Uniform + Multiple Limited Access (UNI+MLA)

เทคนิคการจองช่องสัญญาณวิธีนี้มีพื้นฐานมาจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA จากการที่ผู้ใช้บริการแต่ละคลาสมีคุณภาพการบริการที่ต้องการที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการแต่ละคลาสให้มีค่าต่างกัน โดยจะพบว่าการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาสที่มีลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณมากกว่าให้มีค่าสูงกว่าจะช่วยเพิ่มโอกาสที่ผู้ใช้บริการคลาสนั้นจะจองช่องสัญญาณสำเร็จ รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA ในกรณีที่มีผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน m_1 และ m_2 ราย ช่องสัญญาณจอง N ช่องและกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 เท่ากับ p_1 และ p_2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA

4.2.2.2.1 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส

ค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จองช่องสัญญาณสำเร็จจำนวน k_1 และ k_2 ราย เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรมเท่ากับ N ช่อง กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 เป็น p_1 และ p_2 ตามลำดับ ($P_{UNI+MLA}[k_1,k_2 \mid m_1,m_2,N]$) สามารถหาได้จากสมการ

$$P_{UNI+MLA}[k_1,k_2 \mid m_1,m_2,N] = \sum_{a_1=0}^{m_1}\sum_{a_2=0}^{m_2}\left(b[m_1,a_1,p_1]b[m_2,a_2,p_2]P[k_1,k_2 \mid a_1,a_2,N]\right) \quad (4.14)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยที่

$$
\begin{aligned}
P[k_1,k_2|a_1,a_2,N] &= b[a_1,0,1/N]b[a_2,0,1/N]P[k_1,k_2|a_1,a_2,N-1] \\
&+ b[a_1,0,1/N]b[a_2,1,1/N]P[k_1,k_2-1|a_1,a_2-1,N-1] \\
&+ b[a_1,0,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]P[k_1,k_2|a_1,a_2-i_2,N-1] \\
&+ b[a_1,1,1/N]b[a_2,0,1/N]P[k_1-1,k_2|a_1-1,a_2,N-1] \\
&+ b[a_1,1,1/N]b[a_2,1,1/N]P[k_1,k_2|a_1-1,a_2-1,N-1] \\
&+ b[a_1,1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]P[k_1,k_2|a_1-1,a_2-i_2,N-1] \\
&+ \sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]b[a_2,0,1/N]P[k_1,k_2|a_1-i_1,a_2,N-1] \\
&+ \sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]b[a_2,1,1/N]P[k_1,k_2|a_1-i_1,a_2-1,N-1] \\
&+ \sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]P[k_1,k_2|a_1-i_1,a_2-i_2,N-1]
\end{aligned}
\tag{4.15}
$$

และกำหนดค่าเริ่มต้นของสมการ (4.15) ไว้ดังนี้

$$
P[k_1,k_2|a_1,a_2,N]=\begin{cases}
0 & \text{if } k_1<0 \text{ or } k_2<0, a_1+a_2\geq 0, N\geq 0 \\
0 & \text{if } k_1+k_2>N, a_1+a_2\geq 0, N\geq 0 \\
0 & \text{if } k_1>a_1 \text{ or } k_2>a_2, a_1+a_2\geq 0, N\geq 0 \\
1 & \text{if } k_1+k_2=0, a_1+a_2\geq 0, N=0 \\
1 & \text{if } k_1+k_2=0, a_1+a_2=0, N\geq 0 \\
1 & \text{if } k_1+k_2=0, a_1+a_2>1, N=1 \\
0 & \text{if } k_1+k_2>0, a_1+a_2>1, N=1 \\
0 & \text{if } k_1+k_2=0, a_1+a_2=1, N\geq 1 \\
1 & \text{if } k_1+k_2=1, a_1+a_2=1, N\geq 1
\end{cases}
$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+MLA}[m_1,m_2,N]$) หาได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&T_{UNI+MLA}[m_1,m_2,N] \\
&=\sum_{j_1=0}^{m_1}\left(j_1\times P_{UNI+MLA}[j_1|m_1,m_2,N]\right) \\
&+\sum_{j_2=0}^{m_2}\left(j_2\times P_{UNI+MLA}[j_2|m_1,m_2,N]\right)
\end{aligned}
\tag{4.16}
$$

โดยที่

$$P_{UNI+MLA}[j_1 \mid m_1, m_2, N] = \sum_{k_1=j_1}^{j_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} P_{UNI+MLA}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, N]$$
$$P_{UNI+MLA}[j_2 \mid m_1, m_2, N] = \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=j_2}^{j_2} P_{UNI+MLA}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, N] \quad (4.17)$$

ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 คือค่า p_1 และ p_2 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.16) เทียบกับ p_1 และ p_2 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.2.2 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส

เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส จะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จองช่องสัญญาณสำเร็จจำนวน k_1 k_2 และ k_3 รายตามลำดับ จากผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จำนวน m_1 m_2 และ m_3 ราย ช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 เท่ากับ p_1 p_2 และ p_3 ($P_{UNI+MLA}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, N]$) ได้จากสมการ

$$P_{UNI+MLA}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, N] \quad (4.18)$$
$$= \sum_{a_1=0}^{m_1} \sum_{a_2=0}^{m_2} \sum_{a_3=0}^{m_3} \left(b[m_1, a_1, p_1] b[m_2, a_2, p_2] b[m_3, a_3, p_3] P[k_1, k_2, k_3 \mid a_1, a_2, a_3, N] \right)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยที่

$$
\begin{aligned}
&P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1,a_2,a_3,N] \qquad (4.19)\\
&=b[a_1,0,1/N]b[a_2,0,1/N]b[a_3,0,1/N]P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1,a_2,a_3,N-1]\\
&+b[a_1,0,1/N]b[a_2,0,1/N]b[a_3,1,1/N]P[k_1,k_2,k_3-1\,|\,a_1,a_2,a_3-1,N-1]\\
&+b[a_1,0,1/N]b[a_2,0,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3}b[a_3,i_3,1/N]P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1,a_2,a_3-i_3,N-1]\\
&+b[a_1,0,1/N]b[a_2,1,1/N]b[a_3,0,1/N]P[k_1,k_2-1,k_3\,|\,a_1,a_2-1,a_3,N-1]\\
&+b[a_1,0,1/N]b[a_2,1,1/N]b[a_3,1,1/N]P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1,a_2-1,a_3-1,N-1]\\
&+b[a_1,0,1/N]b[a_2,1,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3}b[a_3,i_3,1/N]P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1,a_2-1,a_3-i_3,N-1]\\
&+b[a_1,0,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2}b[a_2,i_2,1/N]b[a_3,0,1/N]P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1,a_2-i_2,a_3,N-1]\\
&+b[a_1,0,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2}b[a_2,i_2,1/N]b[a_3,1,1/N]P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1,a_2-i_2,a_3-1,N-1]\\
&+b[a_1,0,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2}b[a_2,i_2,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3}b[a_3,i_3,1/N]P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1,a_2-i_2,a_3-i_3,N-1]\\
&+b[a_1,1,1/N]b[a_2,0,1/N]b[a_3,0,1/N]P[k_1-1,k_2,k_3\,|\,a_1-1,a_2,a_3,N-1]\\
&+b[a_1,1,1/N]b[a_2,0,1/N]b[a_3,1,1/N]P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-1,a_2,a_3-1,N-1]\\
&+b[a_1,1,1/N]b[a_2,0,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3}b[a_3,i_3,1/N]P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-1,a_2,a_3-i_3,N-1]\\
&+b[a_1,1,1/N]b[a_2,1,1/N]b[a_3,0,1/N]P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-1,a_2-1,a_3,N-1]\\
&+b[a_1,1,1/N]b[a_2,1,1/N]b[a_3,1,1/N]P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-1,a_2-1,a_3-1,N-1]\\
&+b[a_1,1,1/N]b[a_2,1,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3}b[a_3,i_3,1/N]P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-1,a_2-1,a_3-i_3,N-1]\\
&+b[a_1,1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2}b[a_2,i_2,1/N]b[a_3,0,1/N]P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-1,a_2-i_2,a_3,N-1]\\
&+b[a_1,1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2}b[a_2,i_2,1/N]b[a_3,1,1/N]P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-1,a_2-i_2,a_3-1,N-1]\\
&+b[a_1,1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2}b[a_2,i_2,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3}b[a_3,i_3,1/N]P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-1,a_2-i_2,a_3-i_3,N-1]
\end{aligned}
$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\,b[a_2,0,1/N]\,b[a_3,0,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2,a_3,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\,b[a_2,0,1/N]\,b[a_3,1,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2,a_3-1,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\,b[a_2,0,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3} b[a_3,i_3,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2,a_3-i_3,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\,b[a_2,1,1/N]\,b[a_3,0,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2-1,a_3,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\,b[a_2,1,1/N]\,b[a_3,1,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2-1,a_3-1,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\,b[a_2,1,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3} b[a_3,i_3,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2,a_3-i_3,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]\,b[a_3,0,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2-i_2,a_3,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]\,b[a_3,1,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2-i_2,a_3-1,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3} b[a_3,i_3,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2-i_2,a_3-i_3,N-1]$$

โดยกำหนดค่าเริ่มต้นของสมการ (4.19) ไว้ดังนี้

$$P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1,a_2,a_3,N]$$

$$= \begin{cases} 0 & if\ k_1<0\ or\ k_2<0,\ or\ k_3<0, a_1+a_2+a_3\geq 0, N\geq 0 \\ 0 & if\ k_1+k_2+k_3>N, a_1+a_2+a_3\geq 0, N\geq 0 \\ 0 & if\ k_1>a_1\ or\ k_2>a_2\ \ or\ k_3>a_3, a_1+a_2+a_3\geq 0, N\geq 0 \\ 1 & if\ k_1+k_2+k_3=0, a_1+a_2+a_3\geq 0, N=0 \\ 1 & if\ k_1+k_2+k_3=0, a_1+a_2+a_3=0, N\geq 0 \\ 1 & if\ k_1+k_2+k_3=0, a_1+a_2+a_3>1, N=1 \\ 0 & if\ k_1+k_2+k_3>0, a_1+a_2+a_3>1, N=1 \\ 0 & if\ k_1+k_2+k_3=0, a_1+a_2+a_3=1, N\geq 1 \\ 1 & if\ k_1+k_2+k_3=1, a_1+a_2+a_3=1, N\geq 1 \end{cases}$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+MLA}[m_1,m_2,m_3,N]$) หาได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&T_{UNI+MLA}[m_1,m_2,m_3,N] \\
&=\sum_{j_1=0}^{m_1}\left(j_1\times P_{UNI+MLA}[j_1|m_1,m_2,m_3,N]\right) \\
&+\sum_{j_2=0}^{m_2}\left(j_2\times P_{UNI+MLA}[j_2|m_1,m_2,m_3,N]\right) \\
&+\sum_{j_3=0}^{m_3}\left(j_3\times P_{UNI+MLA}[j_3|m_1,m_2,m_3,N]\right)
\end{aligned}
\qquad (4.20)
$$

โดยที่

$$
\begin{aligned}
&P_{UNI+MLA}\ [j_1|m_1,m_2,m_3,N] \\
&=\sum_{k_1=j_1}^{j_1}\sum_{k_2=0}^{m_2}\sum_{k_3=0}^{m_3}P_{UNI+MLA}\ [k_1,k_2,k_3|m_1,m_2,m_3,N] \\
&P_{UNI+MLA}\ [j_2|m_1,m_2,m_3,N] \\
&=\sum_{k_1=0}^{m_1}\sum_{k_2=j_2}^{j_2}\sum_{k_3=0}^{m_3}P_{UNI+MLA}\ [k_1,k_2,k_3|m_1,m_2,m_3,N] \\
&P_{UNI+MLA}\ [j_3|m_1,m_2,m_3,N] \\
&=\sum_{k_1=0}^{m_1}\sum_{k_2=0}^{m_2}\sum_{k_3=j_3}^{j_3}P_{UNI+MLA}\ [k_1,k_2,k_3|m_1,m_2,m_3,N\ ]
\end{aligned}
\qquad (4.21)
$$

ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 คือค่า p_1 p_2 และ p_3 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.20) เทียบกับ p_1 p_2 และ p_3 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.2.3 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส

จากหลักการดังกล่าวข้างต้นสามารถวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน k_i ราย จองช่องสัญญาณสำเร็จจากจำนวนผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน m_i ราย และช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาสที่ i เท่ากับ p_i ($P_{UNI+MLA}[k_1,k_2,...,k_C|m_1,m_2,...,m_C,N]$) ได้จากสมการ

$$P_{UNI+MLA}[k_1,k_2,..,k_C|m_1,m_2,...,m_C,N]$$
$$=\sum_{a_1=0}^{m_1}\sum_{a_2=0}^{m_2}...\sum_{a_C=0}^{m_C}\left(\left(\prod_{i=1}^{C}b[m_i,a_i,p_i]\right)P[k_1,k_2,...,k_C\,|\,a_1,a_2,...,a_C,N]\right) \quad (4.22)$$

โดยที่

$$P[k_1,k_2,...,k_C|a_1,a_2,...,a_C,N] \quad (4.23)$$
$$=\sum_{i_1=0}^{a_1}\sum_{i_2=0}^{a_2}...\sum_{i_C=0}^{a_C}\left(\left(\prod_{j=1}^{C}b[a_j,i_j,1/N]\right)P[k_1,k_2,...,k_C|a_1-i_1,a_2-i_2,...,a_C-i_C,N-1]\right)$$
$$except:$$
$$i_1=1,i_2=0,...,i_C=0\ or$$
$$i_1=0,i_2=1,...,i_C=0\ or$$
$$\vdots$$
$$i_1=0,i_2=0,...,i_C=1$$
$$+\sum_{i=1}^{C}\left(b[a_i,1,1/N]\left(\prod_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{C}b[a_j,0,1/N]\right)P[k_1,k_2,...,k_i-1,...,k_C|a_1,a_2,...,a_i-1,...,a_C,N-1]\right)$$

กำหนดค่าเริ่มต้นของสมการที่ (4.23) ไว้ดังนี้

$$P[k_1,k_2,...,k_C\,|\,a_1,a_2,...,a_C,N]$$
$$=\begin{cases}0 & if\ k_1<0\ or\ k_2<0,....,\ or\ k_C<0,a_1+a_2+...+a_C\geq 0,N\geq 0\\ 0 & if\ k_1+k_2+...+k_C>N,a_1+a_2+...+a_C\geq 0,N\geq 0\\ 0 & if\ k_1>a_1\ or\ k_2>a_2\ ,...,\ or\ k_C>a_C,a_1+a_2+...+a_C\geq 0,N\geq 0\\ 1 & if\ k_1+k_2+...+k_C=0,a_1+a_2+...+a_C\geq 0,N=0\\ 1 & if\ k_1+k_2+...+k_C=0,a_1+a_2+...+a_C=0,N\geq 0\\ 0 & if\ k_1+k_2+...+k_C>0,a_1+a_2+...+a_C>1,N=1\\ 1 & if\ k_1+k_2+...+k_C=0,a_1+a_2+...+a_C>1,N=1\\ 0 & if\ k_1+k_2+...+k_C=0,a_1+a_2+...+a_C=1,N\geq 1\\ 1 & if\ k_1+k_2+...+k_C=1,a_1+a_2+...+a_C=1,N\geq 1\end{cases}$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+MLA}[m_1, m_2, ..., m_C, N]$) หาได้จากสมการ

$$T_{UNI+MLA}[m_1, m_2, ..., m_C, N] = \sum_{i=1}^{C} \sum_{j_i=0}^{m_i} \left(j_i \times P_{UNI+MLA}[j_i \mid m_1, m_2, ..., m_C, N] \right) \quad (4.24)$$

โดยที่

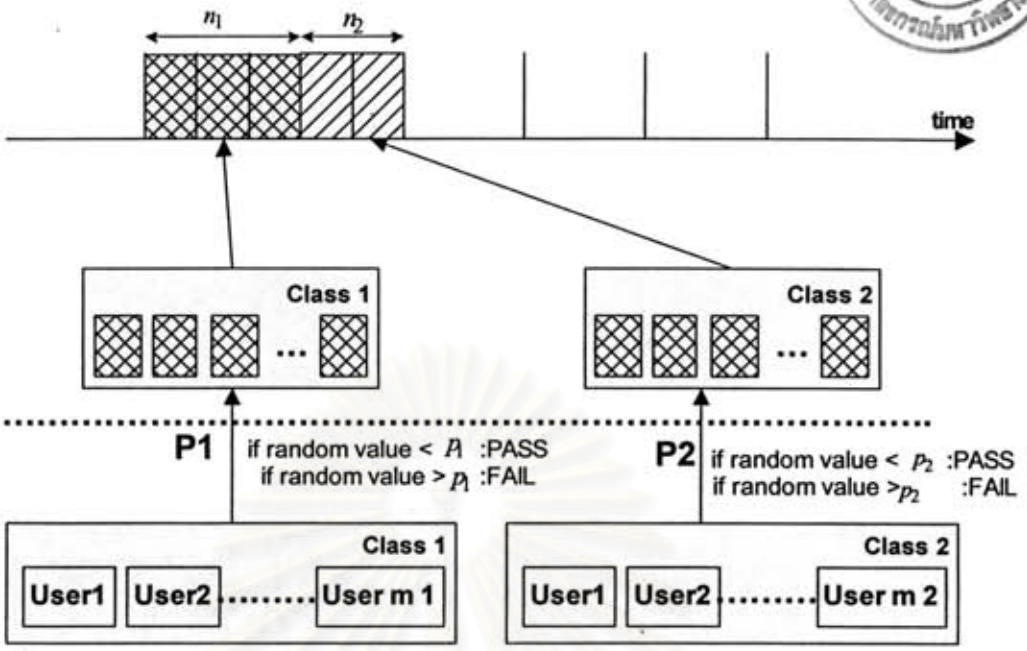
$$P_{UNI+MLA}[j_i \mid m_1, m_2, ..., m_C, N] = \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \cdots \sum_{k_i=j_i}^{j_i} \cdots \sum_{k_C=0}^{m_C} P_{UNI+MLA}[k_1, k_2, .., k_i, .., k_C \mid m_1, m_2, .., m_i, ..., m_C, N] \quad (4.25)$$

ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาสที่ i คือค่า p_i ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.24) เทียบกับ p_i เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.3 **เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ** Uniform + Divided Slot + Multiple Limited Access (UNI+DS+MLA)

เทคนิคการจองช่องสัญญาณนี้จะมีการแบ่งส่วนของช่องสัญญาณจองร่วมกับการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่แตกต่างกันให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาส รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA ในกรณีที่ระบบรองรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน m_1 และ m_2 ราย ช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน n_1 และ n_2 ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 เท่ากับ p_1 และ p_2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA

4.2.2.3.1 **เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส**

เนื่องจากผู้ใช้บริการแต่ละคลาสจะมีช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในกลุ่มของตน ดังนั้นจะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน k_1 และ k_2 ราย จองช่องสัญญาณสำเร็จ จากผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน m_1 และ m_2 ราย ช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน n_1 และ n_2 ช่อง โดยที่ $n_1 + n_2 = N$ ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 เท่ากับ p_1 และ p_2 ($P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2 | m_1, m_2, n_1, n_2]$) ได้จากสมการ

$$P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2 | m_1, m_2, n_1, n_2] = P_{UNI+LA}[k_1 | m_1, n_1] \times P_{UNI+LA}[k_2 | m_1, n_2] \quad (4.26)$$

โดยที่

$$P_{UNI+LA}[k_1 \mid m_1, n_1] = \sum_{a_1=0}^{m_1} \left(b[m_1, a_1, p_1] P_{UNI}[k_1 \mid a_1, n_1] \right)$$
$$P_{UNI+LA}[k_2 \mid m_2, n_2] = \sum_{a_2=0}^{m_2} \left(b[m_2, a_2, p_2] P_{UNI}[k_2 \mid a_2, n_2] \right) \quad (4.27)$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+DS+MLA}[m_1, m_2, n_1, n_2]$) หาได้จากสมการ

$$T_{UNI+DS+MLA}[m_1, m_2, n_1, n_2]$$
$$= \sum_{j_1=0}^{m_1} \left(j_1 \times P_{UNI+DS+MLA}[j_1 \mid m_1, m_2, n_1, n_2] \right) \quad (4.28)$$
$$+ \sum_{j_2=0}^{m_2} \left(j_2 \times P_{UNI+DS+MLA}[j_2 \mid m_1, m_2, n_1, n_2] \right)$$

โดยที่

$$P_{UNI+DS+MLA}[j_1 \mid m_1, m_2, n_1, n_2]$$
$$= \sum_{k_1=j_1}^{j_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, n_1, n_2]$$
$$P_{UNI+DS+MLA}[j_2 \mid m_1, m_2, n_1, n_2] \quad (4.29)$$
$$= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=j_2}^{j_2} P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, n_1, n_2]$$

จำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 คือค่า n_1 n_2 p_1 และ p_2 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.28) เทียบกับ n_1 n_2 p_1 และ p_2 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.3.2 **เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส**

เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาสจะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จองช่องสัญญาณสำเร็จจำนวน k_1 k_2 และ k_3 รายตามลำดับ จากผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จำนวน m_1 m_2 และ m_3 ราย ช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จำนวน n_1 n_2 และ n_3 ช่อง โดยที่ $n_1+n_2+n_3=N$ และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 เท่ากับ p_1 p_2 และ p_3 ($P_{UNI+DS+MLA}[k_1,k_2,k_3|m_1,m_2,m_3,n_1,n_2,n_3]$) จะสามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} P_{UNI+DS+MLA}[k_1,k_2,k_3|m_1,m_2,m_3,n_1,n_2,n_3] &= P_{UNI+LA}[k_1|m_1,n_1] \\ &\times P_{UNI+LA}[k_2|m_2,n_2] \\ &\times P_{UNI+LA}[k_3|m_3,n_3] \end{aligned} \tag{4.30}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} P_{UNI+LA}[k_1|m_1,n_1] &= \sum_{a_1=0}^{m_1}\left(b[m_1,a_1,p_1]P_{UNI}[k_1|a_1,n_1]\right) \\ P_{UNI+LA}[k_2|m_2,n_2] &= \sum_{a_2=0}^{m_2}\left(b[m_2,a_2,p_2]P_{UNI}[k_2|a_2,n_2]\right) \\ P_{UNI+LA}[k_3|m_3,n_3] &= \sum_{a_3=0}^{m_3}\left(b[m_3,a_3,p_3]P_{UNI}[k_3|a_3,n_3]\right) \end{aligned} \tag{4.31}$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+DS+MLA}[m_1,m_2,m_3,n_1,n_2,n_3]$) หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} T_{UNI+DS+MLA}[m_1,m_2,m_3,n_1,n_2,n_3] &= \sum_{j_1=0}^{m_1}\left(j_1\times P_{UNI+DS+MLA}[j_1|m_1,m_2,m_3,n_1,n_2,n_3]\right) \\ &+ \sum_{j_2=0}^{m_2}\left(j_2\times P_{UNI+DS+MLA}[j_2|m_1,m_2,m_3,n_1,n_2,n_3]\right) \\ &+ \sum_{j_3=0}^{m_3}\left(j_3\times P_{UNI+DS+MLA}[j_3|m_1,m_2,m_3,n_1,n_2,n_3]\right) \end{aligned} \tag{4.32}$$

โดยที่

$$
\begin{aligned}
&P_{UNI+DS+MLA}[j_1 | m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=j_1}^{j_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_3=0}^{m_3} P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2, k_3 | m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&P_{UNI+DS+MLA}[j_2 | m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=j_2}^{j_2} \sum_{k_3=0}^{m_3} P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2, k_3 | m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&P_{UNI+DS+MLA}[j_3 | m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_3=j_3}^{j_3} P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2, k_3 | m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3]
\end{aligned}
\tag{4.33}
$$

จำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 คือค่า $n_1\ n_2\ n_3\ p_1\ p_2$ และ p_3 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.32) เทียบกับ $n_1\ n_2\ n_3\ p_1\ p_2$ และ p_3 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.3.2 เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส

จากหลักการดังกล่าวข้างต้นสามารถวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน k_i ราย จองช่องสัญญาณสำเร็จ จากจำนวนผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน m_i รายและช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน n_i ช่อง โดยที่ $\sum_{i=1}^{C} n_i = N$ และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาสที่ i เท่ากับ p_i ($P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2, ..., k_C | m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C]$) ได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2, ..., k_C | m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C] \\
&= \prod_{i=1}^{C} P_{UNI+LA}[k_i | m_i, n_i]
\end{aligned}
\tag{4.34}
$$

โดยที่

$$P_{UNI+LA}[k_i \mid m_i, n_i] = \sum_{a_i=0}^{m_i} b[m_i, a_i, p_i] P_{UNI}[k_i \mid a_i, n_i] \quad (4.35)$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+DS+MLA}[m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C]$) หาได้จากสมการ

$$T_{UNI+DS+MLA}[m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C] = \sum_{i=1}^{C} \sum_{j_i=0}^{m_i} \left(j_i \times P_{UNI+DS+MLA}[j_i \mid m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C] \right) \quad (4.36)$$

โดยที่

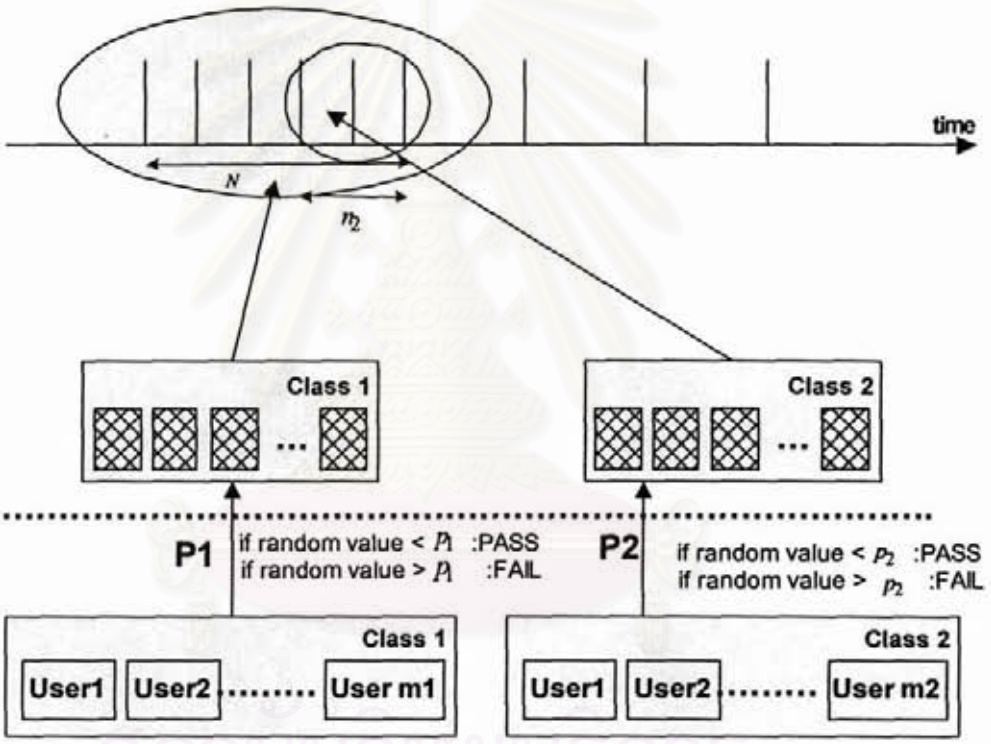
$$P_{UNI+DS+MLA}[j_i \mid m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C] = \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \cdots \sum_{k_i=j_i}^{j_i} \cdots \sum_{k_C=0}^{m_C} P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2, ..., k_i, ..., k_C \mid m_1, m_2, ..., m_i, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_i, ..., n_C] \quad (4.37)$$

จำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาสที่ i คือค่า n_i และ p_i ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.36) เทียบกับ n_i และ p_i เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.4 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial Uniform + Multiple Limited Access (Partial UNI+MLA)

เทคนิคนี้จะเป็นการปรับปรุงจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA ในด้านของการจำกัดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการแต่ละคลาสจะสามารถเข้าจองได้ โดยค่าพารามิเตอร์ที่สามารถกำหนดได้ในวิธีนี้จะเหมือนกับในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA แต่จะแตกต่างกันในแง่ของวิธีการจำกัดจำนวนช่องสัญญาณจอง กล่าวคือในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA นั้น จะทำการแบ่งจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาสอย่างชัดเจน ในขณะที่เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA นั้น จะทำการจำกัดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการแต่ละคลาสจะสามารถเข้าจองได้ อย่างไรก็ดีช่องสัญญาณจองดังกล่าวนั้นจะยังคงถูกใช้ร่วมกับผู้ใช้บริการคลาสอื่น ๆ ด้วย โดยผู้ใช้บริการคลาสที่มีลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณต่ำที่สุดจะสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ในจำนวนต่ำที่สุดและผู้ใช้บริการคลาสที่มีลำดับความสำคัญในการเข้าจอง

ช่องสัญญาณสูงกว่าจะสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ในจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และผู้ใช้บริการคลาสที่มีลำดับความสำคัญสูงสุดจะสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ทั้งหมด รูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA ในกรณีที่ระบบรองรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน m_1 และ m_2 ราย ช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้เท่ากับ N และ n_2 ช่อง กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 เท่ากับ p_1 และ p_2



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA

4.2.2.3.1 **เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส**

ค่าความน่าจะเป็นรวมตลอดเฟรมที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน k_1 และ k_2 รายสามารถจองช่องสัญญาณสำเร็จ จากจำนวนช่องสัญญาณที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้จำนวน N และ n_2 ช่อง กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 เท่ากับ p_1 และ p_2 ($P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1,k_2 \mid m_1,m_2,N,n_2]$) สามารถหาได้จากสมการ

$$P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1,k_2 \mid m_1,m_2,N,n_2] = \sum_{a_1=0}^{m_1}\sum_{a_2=0}^{m_2}\left(b[m_1,a_1,p_1]\,b[m_2,a_2,p_2]\,P[k_1,k_2 \mid a_1,a_2,N,n_2]\right) \quad (4.38)$$

โดยที่

$$P[k_1,k_2 \mid a_1,a_2,N,n_2] = \sum_{i_1=0}^{a_1}\sum_{j_1=0}^{k_1}\left(b[a_1,i_1,{}^{n_2}\!/_{N}]\,P[j_1,k_2,i_1,a_2,n_2]\,P_{UNI}[k_1-j_1,a_1-i_1,N-n_2]\right) \quad (4.39)$$

และ $P[j_1,k_2,i_1,a_2,n_2]$ หาได้จากสมการ (4.15)

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{Partial\ UNI+MLA}[m_1,m_2,N,n_2]$) หาได้จากสมการ

$$T_{Partial\ UNI+MLA}[m_1,m_2,N,n_2] = \sum_{j_1=0}^{m_1}\left(j_1 \times P_{Partial\ UNI+MLA}[j_1 \mid m_1,m_2,N,n_2]\right) + \sum_{j_2=0}^{m_2}\left(j_2 \times P_{Partial\ UNI+MLA}[j_2 \mid m_1,m_2,N,n_2]\right) \quad (4.40)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยที่

$$
\begin{aligned}
&P_{Partial\ UNI+MLA}[j_1 \mid m_1, m_2, N, n_2] \\
&= \sum_{k_1=j_1}^{j_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, N, n_2] \\
&P_{Partial\ UNI+MLA}[j_2 \mid m_1, m_2, N, n_2] \\
&= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=j_2}^{j_2} P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, N, n_2]
\end{aligned}
\qquad (4.41)
$$

จำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 คือค่า $n_2\ p_1$ และ p_2 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.40) เทียบกับ $n_2\ p_1$ และ p_2 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.4.2 **เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส**

ค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จองช่องสัญญาณสำเร็จจำนวน $k_1\ k_2$ และ k_3 รายตามลำดับจากผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จำนวน $m_1\ m_2$ และ m_3 ราย ช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จะสามารถเข้าจองได้จำนวน $N\ n_2$ และ n_3 ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 เท่ากับ $p_1\ p_2$ และ p_3 ($P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3]$) จะสามารถหาได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3] \qquad (4.42) \\
&= \sum_{a_1=0}^{m_1} \sum_{a_2=0}^{m_2} \sum_{a_3=0}^{m_3} \Big(b[m_1, a_1, p_1] b[m_2, a_2, p_2] b[m_3, a_3, p_3] P[k_1, k_2, k_3 \mid a_1, a_2, a_3, N, n_2, n_3] \Big)
\end{aligned}
$$

โดยที่

$$
\begin{aligned}
&P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1,a_2,a_3,N,n_2,n_3] \qquad (4.43)\\
&= \left(\sum_{i_{11}=0}^{a_1}\sum_{i_{12}=0}^{a_2}\sum_{i_{13}=a_3}^{a_3}\right)\left(\sum_{j_{11}=0}^{k_1}\sum_{j_{12}=0}^{k_2}\sum_{j_{13}=k_3}^{k_3}\right)\left(\sum_{i_{21}=0}^{a_1-i_{11}}\sum_{i_{22}=a_2-i_{12}}^{n_2-i_{12}}\right)\left(\sum_{j_{21}=0}^{k_1-j_{11}}\sum_{j_{22}=k_2-j_{12}}^{k_2-j_{12}}\right)\\
&\begin{pmatrix}
(b[a_1,i_{11},{}^{n_3}\!/_{N}]b[a_2,i_{12},{}^{n_3}\!/_{N}]P[j_{11},j_{12},j_{13}\mid i_{11},i_{12},i_{13},n_3])\\
\times(b[a_1-i_{11},i_{21},{}^{n_2-n_3}\!/_{N}]\,P[j_{21},j_{22}\mid i_{21},i_{22},n_2-n_3])\\
\times P_{UNI}[k_1-j_{11}-j_{21}\mid a_1-i_{11}-i_{21},N-n_2]
\end{pmatrix}
\end{aligned}
$$

$P[j_{21},j_{22}\mid i_{21},i_{22},n_2-n_3]$ และ $P[j_{11},j_{12},j_{13}\mid i_{11},i_{12},i_{13},n_3]$ หาได้จากสมการ (4.15) และ (4.19) ตามลำดับ

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{Partial\ \ UNI\ +\ MLA}\ [m_1,m_2,m_3,N,n_2,n_3]$) หาได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&T_{Partial\ UNI+\ MLA}[m_1,m_2,m_3,N,n_2,n_3]\\
&=\sum_{j_1=0}^{m_1}\left(j_1\times P_{PartialUNI+\ MLA}[j_1\mid m_1,m_2,m_3,N,n_2,n_3]\right)\\
&+\sum_{j_2=0}^{m_2}\left(j_2\times P_{PartialUNI+\ MLA}[j_2\mid m_1,m_2,m_3,N,n_2,n_3]\right) \qquad (4.44)\\
&+\sum_{j_3=0}^{m_3}\left(j_3\times P_{PartialUNI+\ MLA}[j_3\mid m_1,m_2,m_3,N,n_2,n_3]\right)
\end{aligned}
$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยที่

$$
\begin{aligned}
&P_{Partial\ UNI+MLA}[j_1 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=j_1}^{j_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_3=0}^{m_3} P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3] \\
&P_{Partial\ UNI+MLA}[j_2 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=j_2}^{j_2} \sum_{k_3=0}^{m_3} P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3] \\
&P_{Partial\ UNI+MLA}[j_3 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_3=j_3}^{j_3} P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3]
\end{aligned}
\tag{4.45}
$$

จำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 คือค่า n_2 n_3 p_1 p_2 และ p_3 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.44) เทียบกับ n_2 n_3 p_1 p_2 และ p_3 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.4.3 เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส

จากหลักการดังกล่าวข้างต้นสามารถวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน k_i รายจะจองช่องสัญญาณสำเร็จ จากจำนวนผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน m_i ราย ช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาสที่ i จะสามารถเข้าจองได้จำนวน n_i ช่อง (โดยที่ $n_1 = N$) และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาสที่ i เท่ากับ p_i ($P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, \ldots, k_C \mid m_1, m_2, \ldots, m_C, N, n_2, \ldots, n_C]$) ได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, \ldots, k_C \mid m_1, m_2, \ldots, m_C, N, n_2, \ldots, n_C] \\
&= \sum_{a_1=0}^{m_1} \sum_{a_2=0}^{m_2} \cdots \sum_{a_C=0}^{m_C} \left(\left(\prod_{i=1}^{C} [m_i, a_i, p_i] \right) P[k_1, k_2, \ldots, k_C \mid a_1, a_2, \ldots, a_C, N, n_2, \ldots, n_C] \right)
\end{aligned}
\tag{4.46}
$$

โดยที่

$$P[k_1,k_2,...,k_C \mid a_1,a_2,...,a_C,N,n_2,...,n_C]= \tag{4.47}$$

$$\left(\begin{array}{l}
\left(\sum_{i_{11}=0}^{a_1}\sum_{i_{12}=0}^{a_2}\cdots\sum_{i_{1(C-1)}=0}^{a_{C-1}}\sum_{i_{1C}=a_C}^{a_C}\right)\left(\sum_{j_{11}=0}^{k_1}\sum_{j_{12}=0}^{k_2}\cdots\sum_{j_{1(C-1)}=0}^{k_{C-1}}\sum_{j_{1C}=k_C}^{k_C}\right) \\
\left(\sum_{i_{21}=0}^{a_1-i_{11}}\sum_{i_{22}=0}^{a_2-i_{12}}\cdots\sum_{i_{2(C-2)}=0}^{a_{C-2}-i_{1(C-2)}}\sum_{i_{2(C-1)}=a_{C-1}-i_{1(C-1)}}^{a_{C-1}-i_{1(C-1)}}\right)\left(\sum_{j_{21}=0}^{k_1-j_{11}}\sum_{j_{22}=0}^{k_2-j_{12}}\cdots\sum_{j_{2(C-2)}=0}^{k_{C-2}-j_{1(C-2)}}\sum_{j_{2(C-1)}=k_{C-1}-j_{1(C-1)}}^{k_{C-1}-j_{1(C-1)}}\right) \\
\vdots \\
\left(\sum_{i_{(C-1)1}=0}^{a_1-i_{11}-i_{21}\cdots-i_{(C-2)1}}\sum_{i_{(C-1)2}=a_2-i_{12}-i_{22}\cdots-i_{(C-2)2}}^{a_2-i_{12}-i_{22}\cdots-i_{(C-2)2}}\right)\left(\sum_{j_{(C-1)1}=0}^{k_1-j_{11}-j_{21}\cdots-j_{(C-2)1}}\sum_{j_{(C-1)2}=k_2-j_{12}-j_{22}\cdots-j_{(C-2)2}}^{k_2-j_{12}-j_{22}\cdots-j_{(C-2)2}}\right) \\
\left(\sum_{i_{C1}=a_1-i_{11}-i_{21}\cdots-i_{(C-1)1}}^{a_1-i_{11}-i_{21}\cdots-i_{(C-1)1}}\sum_{j_{C1}=k_1-j_{11}-j_{21}\cdots-j_{(C-1)1}}^{k_1-j_{11}-j_{21}\cdots-j_{(C-1)1}}\right)
\end{array}\right)$$

$$\left(\begin{array}{l}
\left(\prod_{a=1}^{C-1} b[m_{1a},i_{1a},{}^{n_C}/_{N}]\ P[j_{11},j_{12},...,j_{1C} \mid i_{11},i_{12},...,i_{1C},n_C]\right) \\
\times\left(\prod_{a=1}^{C-2} b[m_{2a},i_{2a},{}^{(n_{C-1}-n_C)}/_{N}]\ P[j_{21},j_{22},...,j_{2(C-1)} \mid i_{21},i_{22},...,i_{2(C-1)},(n_{C-1}-n_C)]\right) \\
\vdots \\
\times\left(b[m_{(C-1)1},i_{(C-1)1},{}^{(n_2-n_3)}/_{N}]\ P[j_{(C-1)1},j_{(C-2)2} \mid i_{(C-1)1},i_{(C-2)2},(n_2-n_3)]\right) \\
\times P_{UNI}[j_{C1} \mid i_{C1},N-n_2]
\end{array}\right)$$

โดยที่

$$m_{ys}=m_z-\sum_{x=1}^{y-1} i_{xz}$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{Partial\ UNI+MLA}[m_1,m_2,...,m_C,N,n_2,...,n_C]$) หาได้จากสมการ

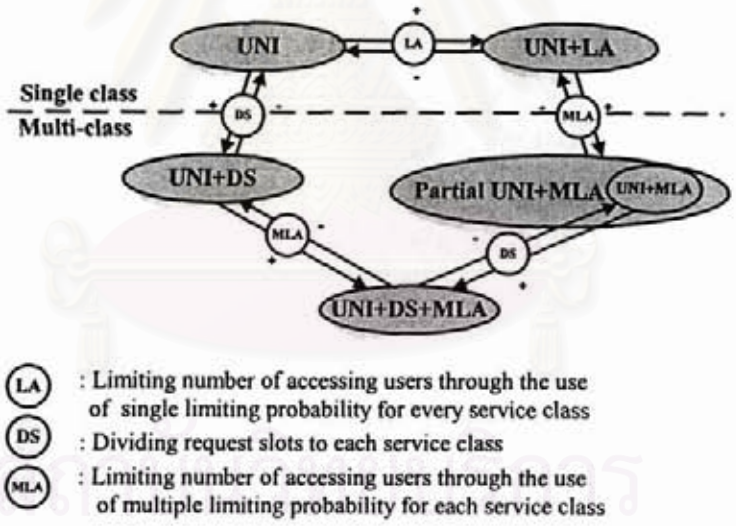
$$T_{Partial\ UNI+MLA}[m_1,m_2,...,m_C,N,n_2,...,n_C] = \sum_{i=1}^{C}\sum_{j_i=0}^{m_i}\left(\ j_i \times P_{Partial\ UNI+MLA}[j_i \mid m_1,m_2,...,m_C,N,n_2,...,n_C\ \right) \tag{4.48}$$

โดยที่

$$P_{Partial\ UNI+MLA}[j_i \mid m_1, m_2, \ldots, m_C, N, n_2, \ldots, n_C] \qquad (4.49)$$
$$= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \cdots \sum_{k_i=j_i}^{j_i} \cdots \sum_{k_C=0}^{m_C} P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, \ldots, k_i, \ldots, k_C \mid m_1, m_2, \ldots, m_i, \ldots, m_C, N, n_2, \ldots, n_i, \ldots, n_C]$$

จำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาสที่ i คือค่า n_i และ p_i ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.48) เทียบกับ n_i และ p_i เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

จากเทคนิคที่นำเสนอในบทนี้ทั้งหมด สามารถแสดงความสัมพันธ์กันได้ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่นำเสนอ

บทที่ 5

ผลการทดสอบ

บทนี้กล่าวถึงผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่นำเสนอในบทที่ 4 ผลการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการทดสอบระบบ โดยอาศัยเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ ได้แก่ 1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI และ 2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่สำคัญคือค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณ ส่วนที่สองจะเป็นการทดสอบระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการตามคุณภาพการบริการที่ต้องการ ในกรณีที่ระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส โดยพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดและบ่งบอกถึงระดับของคุณภาพการบริการระหว่างผู้ใช้บริการสองคลาสในรายงานวิจัยฉบับนี้คือค่า γ $((Ts_1/ M_1) / (Ts_2/ M_2))$ ซึ่งนิยามเป็นอัตราส่วนค่าวิสัยสามารถต่อผู้ใช้บริการระหว่างผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 โดยการทดสอบในส่วนที่สองนี้จะประกอบด้วยเทคนิคการจองช่องสัญญาณทั้งหมด 4 แบบ ได้แก่ 1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่สำคัญคือจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาส 2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่สำคัญคือค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาส 3. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และ 4. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA ซึ่งเทคนิคการจองช่องสัญญาณทั้ง 2 แบบมีพารามิเตอร์ที่สำคัญคือจำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาส อย่างไรก็ดีเทคนิคทั้งสองนั้นมีความแตกต่างกันในด้านของการเข้าใช้ช่องสัญญาณจองดังกล่าวไปแล้วในบทที่ 4

กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในบทนี้ไว้ดังนี้

กรณีไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ

M จำนวนผู้ใช้บริการในระบบ

N จำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรม

p ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณ

Ts ค่าวิสัยสามารถของระบบซึ่งวัดจากจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่จองช่องสัญญาณสำเร็จ

กรณีมีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ

M_1 จำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ในระบบ

M_2 จำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ในระบบ

N_1 จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1

N_2 จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 2

Ts_1 ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 ซึ่งวัดจากจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 เฉลี่ยที่จองช่องสัญญาณสำเร็จ

Ts_2 ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 ซึ่งวัดจากจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 เฉลี่ยที่จองช่องสัญญาณสำเร็จ

T_{TOTAL} ค่าวิสัยสามารถรวมของระบบ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ Ts_1+Ts_2

p_1 ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1

p_2 ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2

γ คุณภาพการบริการระหว่างผู้ใช้บริการ 2 คลาสซึ่งกำหนดเป็นอัตราส่วนค่าวิสัยสามารถต่อผู้ใช้บริการระหว่างผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2

$= (Ts_1/ M_1) / (Ts_2/ M_2)$

5.1 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI

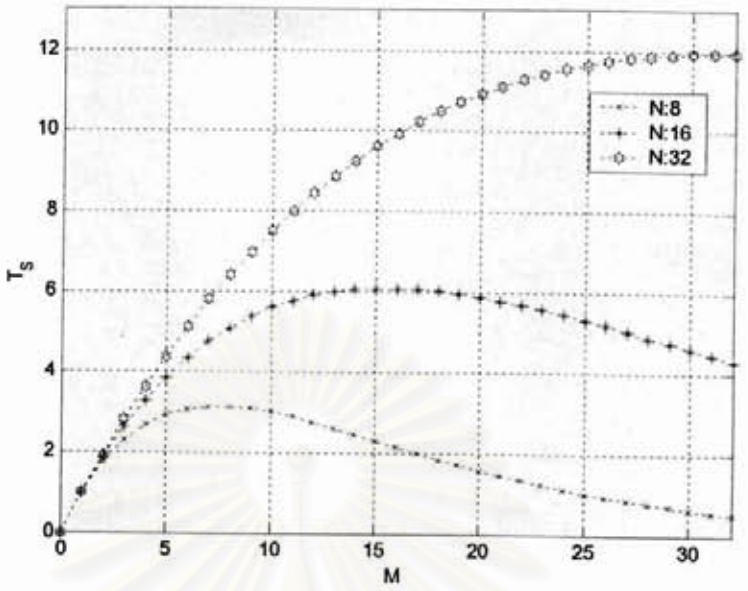
รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าวิสัยสามารถของระบบซึ่งวัดจากจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่จองช่องสัญญาณสำเร็จ เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 16 และ 32 ช่อง จากผลที่ได้พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเท่ากับ 1 ราย ค่าวิสัยสามารถของทุกระบบจะมีค่าเป็น 1 เนื่องจากผู้ใช้บริการรายนั้นจะประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณอย่างแน่นอน แต่เมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการเข้าไปในระบบ ในช่วงแรกจะพบว่าค่าวิสัยสามารถของระบบจะเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าไปจองช่องสัญญาณจะช่วยลดโอกาสในการว่างของช่องสัญญาณ อย่างไรก็ดีจะเห็นได้ว่าค่าวิสัยสามารถของระบบจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเท่ากับจำนวนช่องสัญญาณจอง หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการเข้าไปในระบบ ค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีแนวโน้มลดลง โดยสาเหตุที่ค่าวิสัยสามารถเพิ่มขึ้นจนกระทั่งจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเท่ากับจำนวนช่องสัญญาณจองเนื่องมาจากการจองช่องสัญญาณจะสำเร็จก็ต่อเมื่อมีผู้ใช้บริการที่เข้าจองเพียง 1 รายต่อ 1 ช่องสัญญาณจอง ดังนั้นจำนวนผู้ใช้บริการสูงสุดที่ระบบสามารถรองรับได้ในขณะหนึ่งจึงเท่ากับจำนวนช่องสัญญาณจอง แต่หลังจากนั้นเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนสูงกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง จะทำให้ผู้ใช้บริการบางรายสุ่มเลือกช่องสัญญาณจองได้เป็นช่องเดียวกัน จึง

เกิดการชนกันขึ้นและส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดลง นอกจากนี้จะพบว่าค่าวิสัยสามารถของระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรมมากกว่าจะมีค่าสูงกว่า เพราะการที่ช่องสัญญาณจองมากขึ้น จะเพิ่มทางเลือกในการสุ่มเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการและช่วยลดโอกาสที่ผู้ใช้บริการจะเกิดการชนกัน

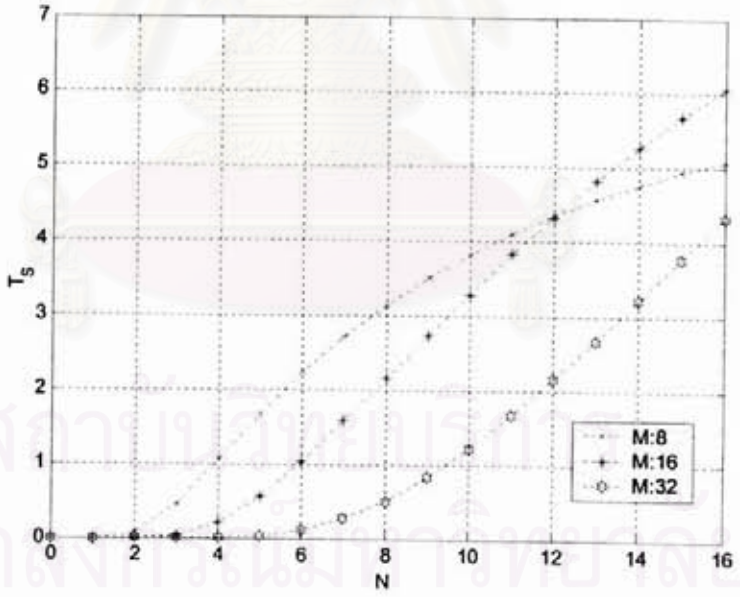
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองและค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 8, 16 และ 32 ราย ดังแสดงในรูปที่ 5.2 พบว่าเมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองมีจำนวนเท่ากับ 1 ช่อง ค่าวิสัยสามารถของทุกระบบจะมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากเกิดการชนกันของผู้ใช้บริการทั้งหมด อย่างไรก็ดีจะพบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจอง ค่าวิสัยสามารถของทุกระบบจะเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจองจะช่วยลดโอกาสในการชนกันของผู้ใช้บริการจากการสุ่มเลือกช่องสัญญาณจองได้เป็นช่องเดียวกัน นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองมีจำนวนต่ำกว่า 12 ช่อง ระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 8 รายจะมีค่าวิสัยสามารถสูงสุด เนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณจองในขณะนี้ยังมีไม่เพียงพอสำหรับผู้ใช้บริการจำนวน 16 และ 32 ราย ทำให้ผู้ใช้บริการในระบบดังกล่าวเกิดการชนกันและส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าต่ำ แต่เมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองมีค่าเกินกว่า 12 ช่อง พบว่าระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 16 ราย จะมีค่าวิสัยสามารถสูงสุด ทั้งนี้เมื่อพิจารณาระบบที่มีผู้ใช้บริการเท่ากับ 8 ราย ถึงแม้ว่าค่าวิสัยสามารถของระบบจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนช่องสัญญาณจองที่เพิ่มขึ้น แต่ทว่าขณะนี้ระบบเริ่มมีช่องสัญญาณจองมากเกินรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการ ดังนั้นโอกาสที่ช่องสัญญาณจะเกิดการว่างจึงมีค่าสูงขึ้นอย่างมากดังจะเห็นได้จากรูปที่ 5.3 ซึ่งความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการว่างจะมีค่าเท่ากับ 0.499 และความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการชนจะมีค่าเท่ากับ 0.139 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับระบบที่มีผู้ใช้บริการเท่ากับ 16 ราย ถึงแม้ว่าความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการชนจะมีค่าสูงกว่า (มีค่าเท่ากับ 0.390) แต่ความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการว่างจะต่ำกว่า (มีค่าเท่ากับ 0.249) ดังนั้นค่าวิสัยสามารถของระบบที่มีผู้ใช้บริการเท่ากับ 16 รายจึงสูงกว่า สำหรับระบบที่มีผู้ใช้บริการเท่ากับ 32 ราย พบว่าระบบยังคงมีช่องสัญญาณจองไม่เพียงพอรองรับผู้ใช้บริการ ดังนั้นผู้ใช้บริการจึงยังเกิดการชนกันเป็นจำนวนมาก (ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการชนมีค่าเท่ากับ 0.759) และส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าต่ำ จากข้างต้นจะเห็นได้ค่าวิสัยสามารถของระบบจะขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรม นอกจากนี้ยังพบว่าการลดค่าโอกาสในการชนกันเพียงอย่างเดียวอาจจะทำให้เกิดความไม่คุ้มค่าในการใช้ช่องสัญญาณได้ จึงต้องพิจารณาค่าโอกาสในการว่างเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าและทำให้ระบบมีสมรรถนะสูงสุด

รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองและค่าวิสัยสามารถของระบบต่อหนึ่งช่องสัญญาณจอง เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 8 16 และ 32 ราย จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าวิสัยสามารถของระบบต่อหนึ่งช่องสัญญาณจองจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองเพิ่มขึ้น และจะมีค่าสูงสุดเมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองมีจำนวนเท่ากับผู้ใช้บริการ จากนั้นเมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองมีจำนวนเกินกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ ค่าวิสัยสามารถของระบบต่อหนึ่งช่องสัญญาณจะมีค่าลดลง โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบต่อหนึ่งช่องสัญญาณจอง (ค่าสมรรถนะการใช้ช่องสัญญาณ) กันอย่างยุติธรรม (อัตราส่วนจำนวนผู้ใช้บริการต่อจำนวนช่องสัญญาณจองที่เท่ากัน) ระหว่างระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมากและระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการน้อย จะพบว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบต่อหนึ่งช่องสัญญาณจองของระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมากจะต่ำกว่าระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่า ดังจะเห็นได้จากค่าวิสัยสามารถสูงสุดต่อหนึ่งช่องสัญญาณจองของระบบที่มีผู้ใช้บริการเท่ากับ 8 , 16 และ 32 รายและจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 16 และ 32 ช่องตามลำดับ จะมีค่าเท่ากับ 0.393 , 0.380 และ 0.374 ตามลำดับ เนื่องจากระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมาก จะเพิ่มโอกาสที่ผู้ใช้บริการจะสุ่มเลือกช่องสัญญาณได้เป็นช่องเดียวกัน ถึงแม้ว่าจำนวนช่องสัญญาณจองในระบบจะมีมากก็ตาม

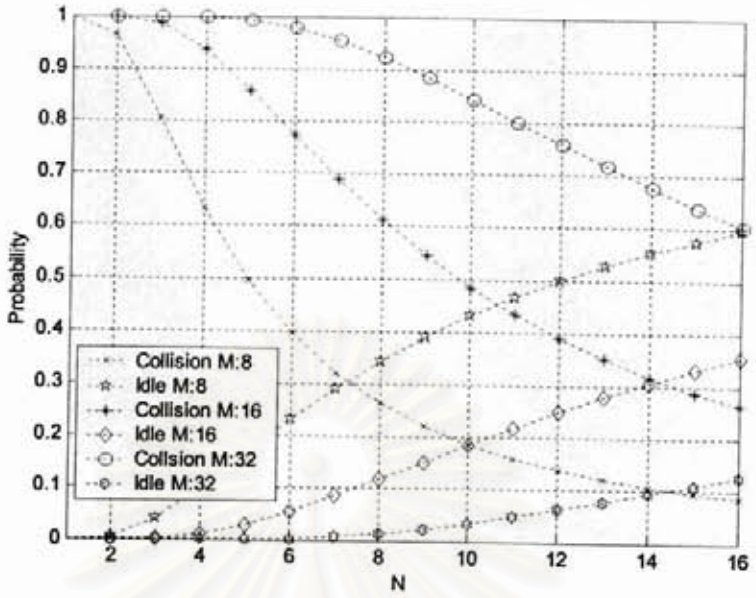
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



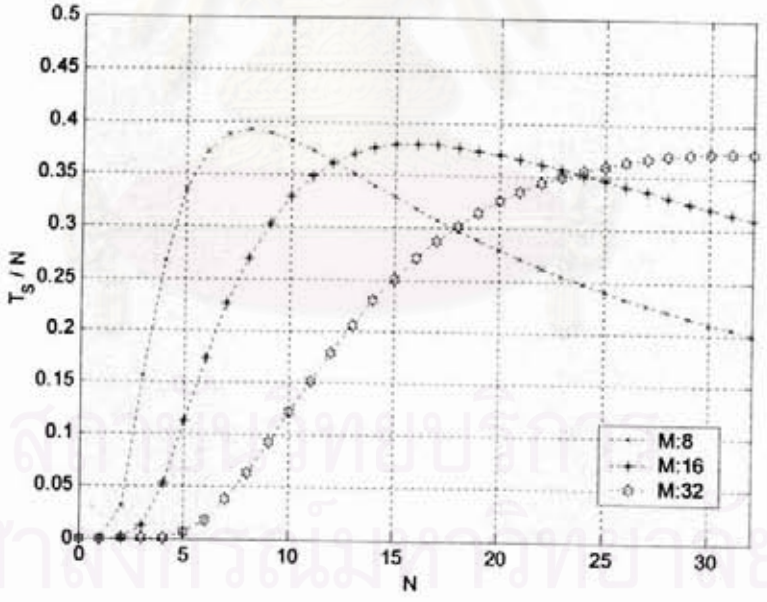
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองและค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองและความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการชนและการว่าง เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองและค่าวิสัยสามารถของระบบต่อหนึ่งช่องสัญญาณจอง เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI

5.2 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA

รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเท่ากับ 0.3 0.5 0.7 0.9 และ 1.0 จากผลที่ได้พบว่าในช่วงแรกเมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการ ค่าวิสัยสามารถของทุกระบบจะเพิ่มสูงขึ้น เพราะที่จุดนี้ระบบยังสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้ หรืออาจมองได้ว่าในขณะนี้จำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง และในช่วงที่พิจารณาจะสังเกตได้ว่าระบบที่กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณไว้เท่ากับ 1 จะมีค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด แต่เมื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการจนเกินกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ค่าวิสัยสามารถของระบบที่กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณไว้เท่ากับ 1.0 จะลดลงเช่นเดียวกับผลที่ได้จากการใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI แต่ในระบบที่กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณมีค่าต่ำกว่า 1.0 พบว่าค่าวิสัยสามารถของระบบจะยังคงเพิ่มสูงขึ้น โดยค่าวิสัยสามารถของแต่ละระบบจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่จำนวนผู้ใช้บริการแตกต่างกัน อย่างไรก็ดีจะสังเกตได้ว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่ได้จะยังคงมีค่าเท่ากัน ซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณของระบบสูงสุดจะไม่เปลี่ยนแปลง โดยสิ่งที่เกิดขึ้นคือการพยายามให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นโดยทำการลดคุณภาพของการบริการลง โดยจำนวนผู้ใช้บริการที่ระบบสามารถรองรับได้จากการทดสอบนั้นจะแตกต่างกัน เช่นเมื่อกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณไว้เท่ากับ 0.9 0.7 และ 0.5 ค่าวิสัยสามารถของระบบจะสูงสุดเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 17 22 และ 32 รายตามลำดับ แต่หากกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณไว้เท่ากับ 0.3 พบว่าระบบสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้เกินกว่า 32 ราย

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าระบบที่กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณไว้สูงจะสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้น้อยกว่าระบบที่กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณต่ำ เนื่องจากการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ต่ำจะทำให้มีผู้ใช้บริการที่สามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้น้อย ดังนั้นระบบจึงยังสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้ ในทางตรงกันข้ามระบบที่กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณไว้สูง จะทำให้ผู้ใช้บริการจำนวนมากผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณ โดยหากกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเท่ากับ 1.0 จะทำให้ผู้ใช้บริการทุกรายสามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้และระบบจะมีการทำงานเช่นเดียวกับเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI นอกจากนี้ผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่าจำนวนผู้ใช้บริการที่ระบบรองรับได้จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณ ซึ่งจะมีค่า $\approx (N/p)$

ในการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและค่าวิสัยสามารถของระบบ โดยกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง และจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 8 16 แ ละ 32 รายดังแสดงในรูปที่ 5.6 พบว่าในระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการต่ำกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ค่าวิสัยสามารถของระบบจะเพิ่มขึ้นตามค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเสมอ ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนผู้ใช้บริการที่ผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้ในขณะใด ๆ ยังมีจำนวนต่ำกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง โดยค่าวิสัยสามารถของระบบจะสูงสุดเมื่อค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณมีค่าเท่ากับ 1.0 ในทางตรงกันข้ามกับระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง พบว่าค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าสูงสุดที่ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณค่าหนึ่ง โดยค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณดังกล่าวในแต่ละระบบจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนช่องสัญญาณจองในระบบ เช่นเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวน 32 ราย และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง พบว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ 0.5 หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณ ค่าวิสัยสามารถของระบบกลับลดลง เพราะในช่วงแรกยังมีผู้ใช้บริการที่ผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณจำนวนน้อย ดังนั้นการเพิ่มค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณจึงทำให้มีผู้ใช้บริการที่สามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้มากขึ้น และลดโอกาสที่ช่องสัญญาณจองจะเกิดการว่าง แต่เมื่อเพิ่มค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณมากจนทำให้มีผู้ใช้บริการที่สามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้เกินกว่าที่ช่องสัญญาณจองจะรับได้ จำนวนการชนของผู้ใช้บริการจึงมากขึ้นและส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบกลับลดลง

จากการทดสอบที่ได้ยังพบว่าในระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการสูงกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง จะมีค่าวิสัยสามารถบางค่าที่ได้จากการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน 2 ค่า โดยค่าหนึ่งเป็นผลจากการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณด้านต่ำซึ่งจะทำให้มีผู้ใช้บริการจำนวนน้อยที่สามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณ ส่วนอีกค่าหนึ่งเป็นผลจากการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในด้านสูง ซึ่งจะทำให้มีผู้ใช้บริการผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้มากกว่า แต่ผู้ใช้บริการที่มีจำนวนสูงเกินไปดังกล่าวจะเกิดการชนกันขึ้นขัดแย้งกับเหตุการณ์ว่างในกรณีที่กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณต่ำ แต่สำหรับในกรณีที่ผู้ใช้บริการมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนช่องสัญญาณจองนั้นค่าวิสัยสามารถค่าหนึ่งจะสามารถเกิดได้จากค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเพียงค่าเดียวเท่านั้นเพราะเหตุการณ์ที่ค่าวิสัยสามารถด้านสูงเกิดจากการชนนั้นจะไม่เกิดขึ้น

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณจะส่งผลต่อระบบเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนสูงกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง กล่าวคือการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณจะช่วยในการจำกัดปริมาณโหลดที่ระบบรองรับ จากผลที่ได้พบว่าการ

กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ต่ำ จะช่วยให้สามารถจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่ผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้มากกว่าการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่สูง ดังนั้นการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ต่ำจึงเหมาะสำหรับระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการสูงเกินกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ในทางตรงกันข้ามการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่สูงจะเหมาะสมกับระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณจองเพียงพอที่จะรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการ

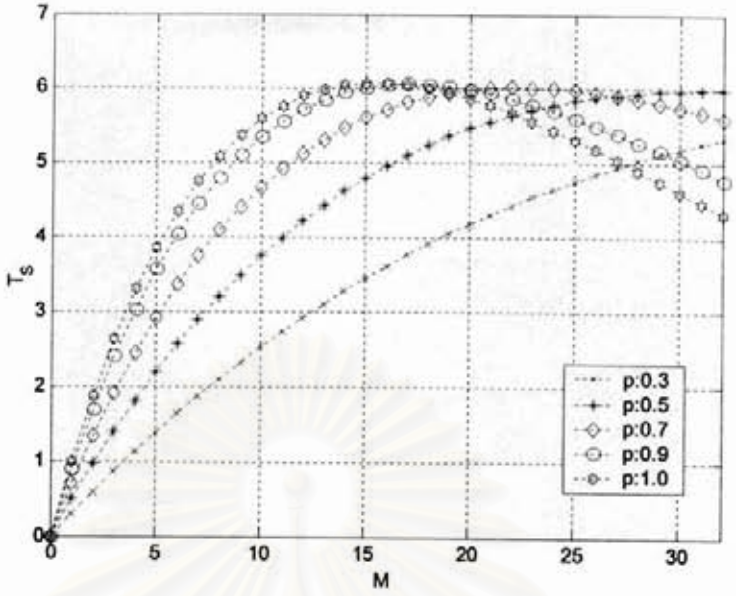
รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 16 และ 32 ช่อง จากผลที่ได้พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการต่ำกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าเท่ากับค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI ในทางตรงกันข้ามเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเกินกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าคงที่หรือลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผลที่ได้เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI นั่นคือระบบจะยังคงมีเสถียรภาพถึงแม้จะเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการเข้าไปในระบบก็จะไม่ส่งผลต่อการลดลงของค่าวิสัยสามารถของระบบมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA จะช่วยให้สามารถกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการที่จะผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้ผ่านทางการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสม

รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 16 และ 32 ช่อง จากผลที่ได้พบว่าเมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 32 ช่อง ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ 1.0 เสมอ นั่นคือระบบจะอนุญาตให้ผู้ใช้บริการทุกรายผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้ เนื่องจากในกรณีนี้ระบบมีช่องสัญญาณจองมากเพียงพอที่จะรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการ อย่างไรก็ดีจะพบว่าระบบที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเป็น 8 หรือ 16 ช่อง ในช่วงแรกที่จำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนต่ำกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมจะมีค่าเท่ากับ 1.0 แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเกินกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมในกรณีนี้จะมีค่าไม่เท่ากับ 1.0 โดยค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มสูงขึ้น และจะลดลงเข้าใกล้ศูนย์เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเข้าใกล้อนันต์ ทั้งนี้เพื่อเป็นการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่จะสามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้ในขณะหนึ่ง ๆ ไม่ให้มีจำนวนสูงเกินกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง และทำให้ระบบสามารถรักษาระดับของค่าวิสัยสามารถให้มีค่าคงที่ ดังนั้นเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนสูง

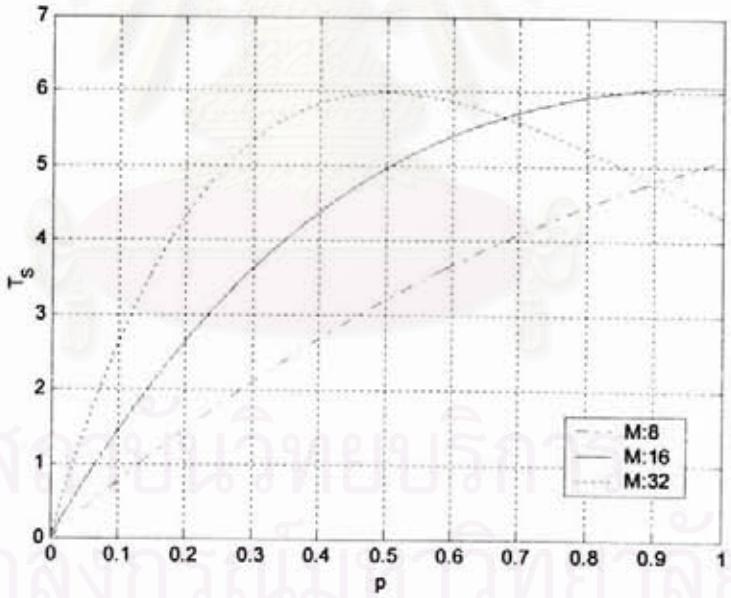
เกินกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมจะช่วยให้สามารถรักษาระดับของค่าวิสัยสามารถของระบบได้

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดนั้นจะขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนช่องสัญญาณจอง โดยในกรณีที่จำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนต่ำกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ 1.0 แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนสูงกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ min (1, (N / M))

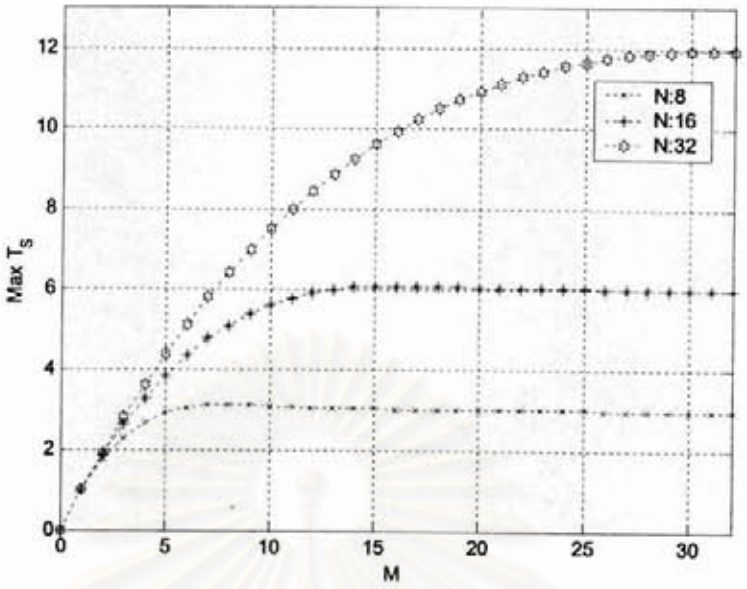
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



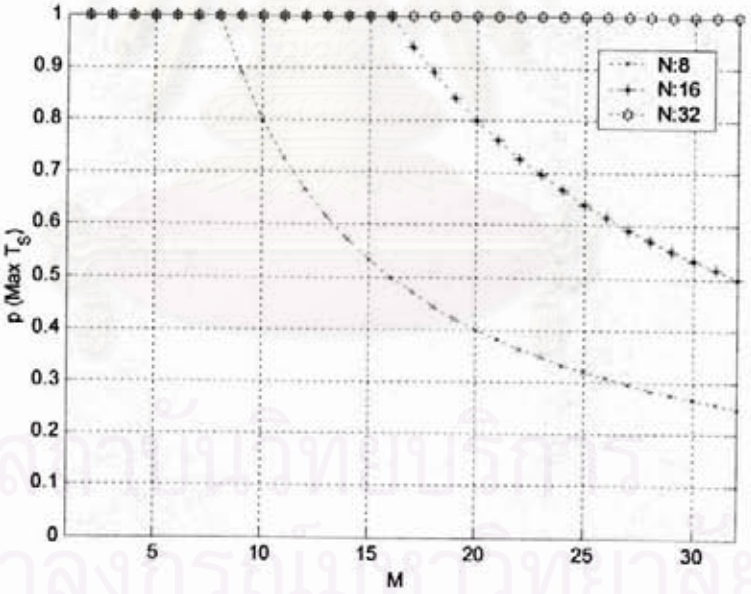
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA

ในส่วนถัดไปจะเป็นการศึกษาผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ ทั้งนี้การทดสอบจะกระทำโดยสมมติให้ระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส และกำหนดให้ผู้ใช้บริการคลาส 1 มีลำดับความสำคัญสูงกว่าผู้ใช้บริการคลาส 2 สำหรับการทดสอบจะกระทำโดยใช้ระบบที่แตกต่างกัน 3 ระบบคือ 1. ระบบประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย 2. ระบบประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 ราย และ 3. ระบบประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย นอกจากนี้การทดสอบระบบจะแบ่งออกเป็น 3 กรณีคือกรณีที่จำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ กรณีที่จำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับจำนวนผู้ใช้บริการและกรณีที่จำนวนช่องสัญญาณจองมีจำนวนมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ ซึ่งใช้ช่องสัญญาณจองจำนวน 8 , 16 และ 32 ช่องตามลำดับ

จากการที่ค่าวิสัยสามารถบางค่าของระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการสูงกว่าจำนวนช่องสัญญาณจองสามารถเกิดขึ้นได้จากการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน 2 ค่า คือการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ต่ำเพื่อไม่ให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ หรือการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่สูงเพื่อให้มีผู้ใช้บริการจำนวนมากผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณแต่จะเกิดการชนกัน รายงานวิจัยฉบับนี้จะใช้ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในด้านต่ำ เพื่อให้ระบบมีปริมาณการชนที่ต่ำและเสถียรภาพที่ดี

5.3 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS

5.3.1 จำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 5.9 พบว่า เมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนเท่ากับ 1 ช่อง ค่าวิสัยสามารถของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 รายจะมีค่าต่ำสุดและค่าวิสัยสามารถของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 รายจะสูงสุด เพราะค่าวิสัยสามารถของระบบทั้งหมดนั้นมาจากค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 เพียงประเภทเดียว เนื่องจากค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 ในทุกระบบจะมีค่าเป็นศูนย์เพราะผู้ใช้บริการเกิดการชนกันทั้งหมด ในทางตรงกันข้ามเมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เป็น 7 ช่อง ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นค่าวิสัยสามารถของ

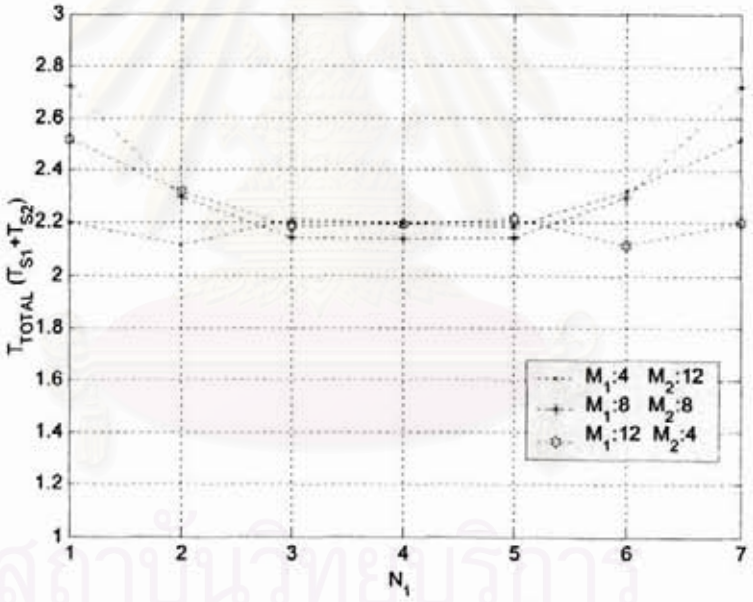
ระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 รายจะยังคงสูงสุดแต่ค่าวิสัยสามารถของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 รายจะกลับมีค่าต่ำสุด

เมื่อพิจารณาระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย จะพบว่าเมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เพิ่มสูงขึ้น ค่าวิสัยสามารถของระบบจะเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการที่จำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ในระบบมีจำนวนน้อย และจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ในระบบมีจำนวนมาก ดังนั้นการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 เพิ่มสูงขึ้นกว่าค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ลดต่ำลง ส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลที่ได้จะตรงข้ามกับกรณีที่ระบบประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย

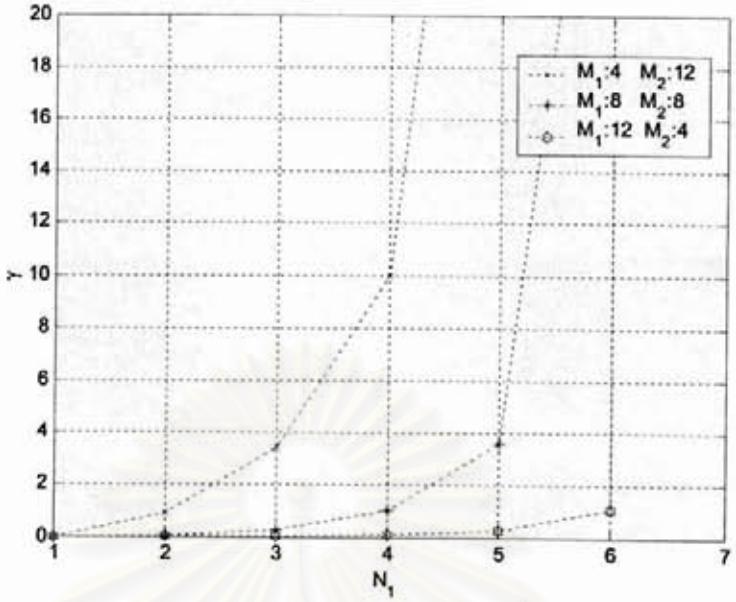
ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการแบ่งกลุ่มของจำนวนช่องสัญญาณจองอย่างเหมาะสมให้กับผู้ใช้บริการแต่ละกลุ่มในกรณีนี้จะเหมือนกับเป็นการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่สามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้ทางหนึ่ง เนื่องจากจะสามารถจำกัดการชนของผู้ใช้บริการให้เกิดขึ้นในช่องสัญญาณจองเพียงบางช่องได้ ทำให้ผู้ใช้บริการที่เหลืออยู่มีโอกาสในการจองช่องสัญญาณสำเร็จ และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่า γ เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่อง ในรูปที่ 5.10 พบว่าค่า γ จะสัมพันธ์กับจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 โดยเมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าเท่ากับ 1 ช่อง ค่า γ ของทุกระบบจะมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าเท่ากับศูนย์ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาที่จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 คงที่ค่าหนึ่ง พบว่าค่า γ ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนต่ำกว่าจะมีค่าสูงกว่า อย่างไรก็ดีจะสังเกตได้ว่าค่า γ จะไม่เป็นจำนวนเต็มตามที่ต้องการ นอกจากนี้เมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนเพิ่มขึ้น ค่า γ จะเพิ่มสูงขึ้น โดยค่า γ ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนต่ำกว่าจะเพิ่มสูงขึ้นเร็วกว่า อย่างไรก็ดีค่า γ ที่เพิ่มขึ้นนั้นจะเป็นลำดับขั้นอย่างไม่ต่อเนื่อง เพราะการเพิ่มของจำนวนช่องสัญญาณจองกระทำได้เป็นขั้น ๆ และการเพิ่มหรือลดจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาสส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการแต่ละคลาสเปลี่ยนแปลงไปโดยที่ไม่สามารถกำหนดได้ สำหรับกรณีที่พิจารณาระบบที่ค่า γ ที่ต้องการค่าเดียวกัน พบว่าระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนมากกว่าจะต้องการช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนมากกว่า

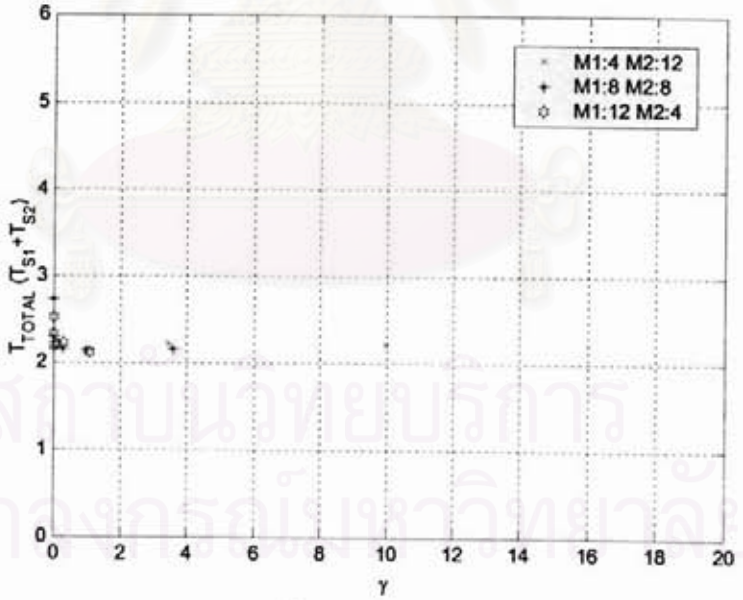
สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ในช่วงพิจารณาและค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่อง ในรูปที่ 5.11 พบว่าเนื่องจากค่า γ ที่ได้จะมีค่าไม่ต่อเนื่อง โดยจะขึ้นกับการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาส ซึ่งการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองไม่สามารถกระทำได้อย่างต่อเนื่องและการเพิ่มหรือลดจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาสส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการแต่ละคลาสเพิ่มสูงขึ้นหรือลดลงอย่างไม่สามารถกำหนดได้ ดังนั้นจะพบว่าการควบคุมระบบเพื่อให้ได้ค่า γ ตามต้องการในกรณีนี้จะทำได้ยากหรือไม่สามารถทำได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่า γ เท่ากับ 1 พบว่าจะมีเพียงระบบเดียวที่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้ได้ค่า γ เท่ากับ 1 นั่นคือระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 ราย เพราะจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละคลาสมีจำนวนเท่ากัน



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่า γ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง

5.3.2 จำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับหรือมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่องดังแสดงในรูปที่ 5.12 พบว่าผลที่ได้จะต่างกับกรณีที่กำหนดช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่อง โดยในช่วงที่จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนต่ำกว่าจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 การเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จะทำให้ค่าวิสัยสามารถของทุกระบบเพิ่มขึ้นและจะเพิ่มจนถึงจุดสูงสุดเมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ดังเช่นผลที่ได้จากการใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดต่ำลง เพราะถึงแม้ว่าการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จะทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 เพิ่มสูงขึ้น แต่จะทำให้ช่องสัญญาณจองที่เหลือไม่เพียงพอรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 ลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณากรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 32 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 5.15 พบว่าผลที่ได้จะคล้ายกัน อย่างไรก็ดีค่าวิสัยสามารถของระบบจะสูงสุดที่จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ค่าหนึ่ง โดยจะพบว่าอัตราส่วนจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละคลาส เช่น ค่าวิสัยสามารถของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 รายจะมีค่าสูงสุดเมื่ออัตราส่วนจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 มีค่าเป็น 1:3 ส่วนค่าวิสัยสามารถของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 รายจะสูงสุดเมื่ออัตราส่วนจำนวนช่องสัญญาณที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 มีค่าเป็น 1:1

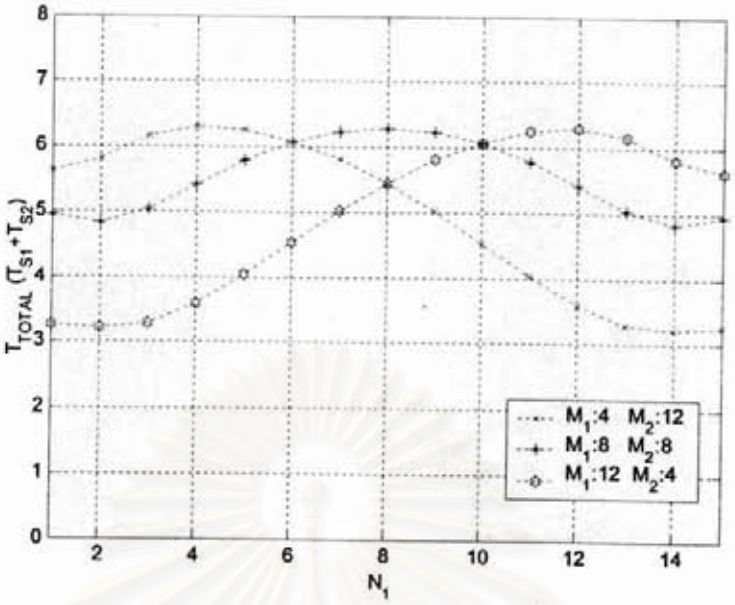
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่า γ เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 5.13 พบว่าผลที่ได้คล้ายกับกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่อง นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าการที่จำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรมมีจำนวนมากขึ้น จะทำให้ความแตกต่างระหว่างค่า γ ที่ได้เมื่อเกิดการเปลี่ยนจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ลดลง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่า γ เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 32 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 5.16 พบว่าผลที่ได้คล้ายกับกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง

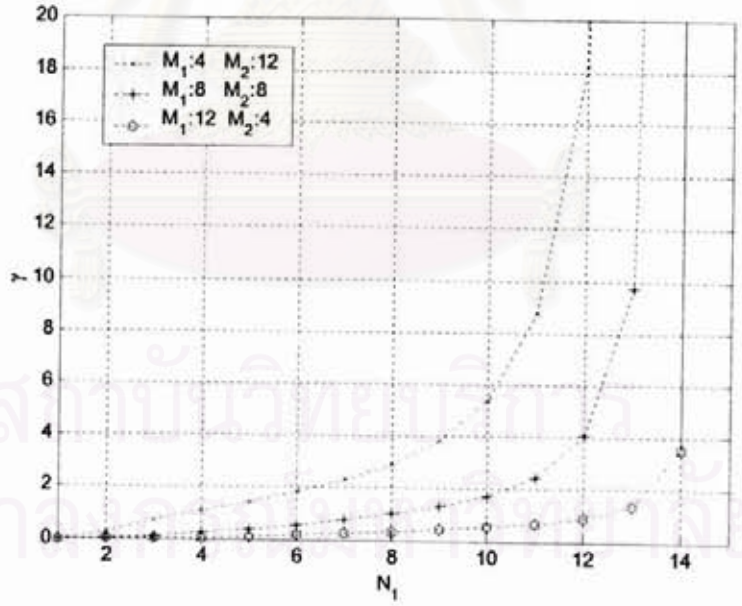
รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ในช่วงที่พิจารณาและค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง โดยจะสังเกตได้ว่าผลที่ได้คล้ายกับในกรณีกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่อง อย่างไรก็ดีในกรณีนี้จะมีค่า γ อยู่ในช่วงที่ทำการพิจารณามากกว่า เนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณจองในระบบที่มากขึ้น ทำให้เพิ่มทางเลือกในการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาส และทำให้มีโอกาสในการปรับค่ามากขึ้น อย่างไรก็ดีจะพบว่าการควบคุมระบบเพื่อทำให้ได้ค่า γ ตามต้องการยังคงทำได้ยาก

รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 32 ช่อง จากรูปพบว่าผลที่ได้คล้ายกับกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง

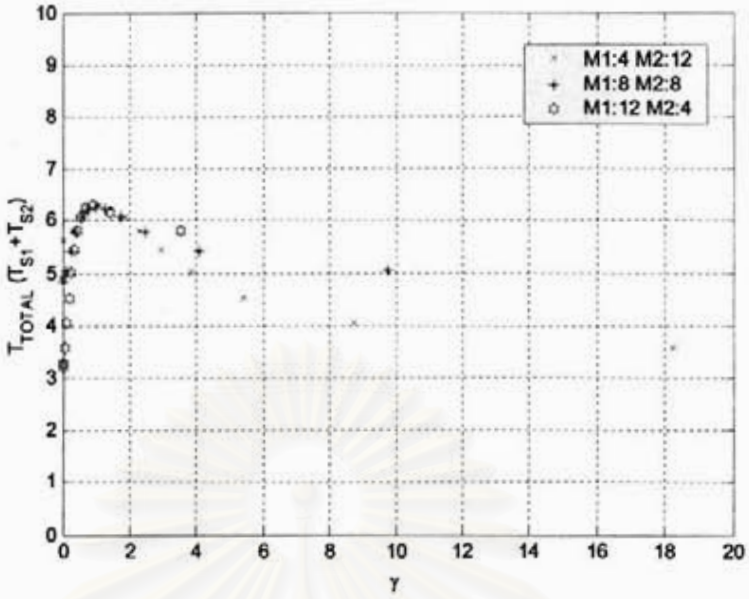
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



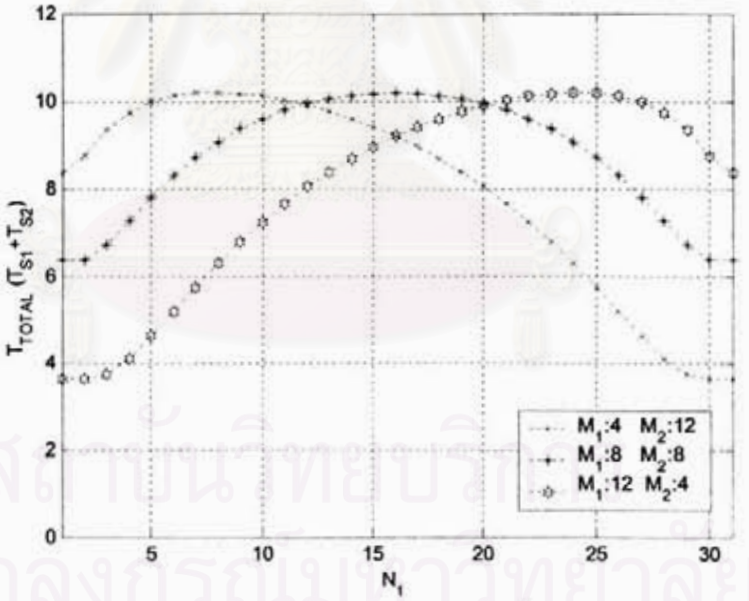
รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง



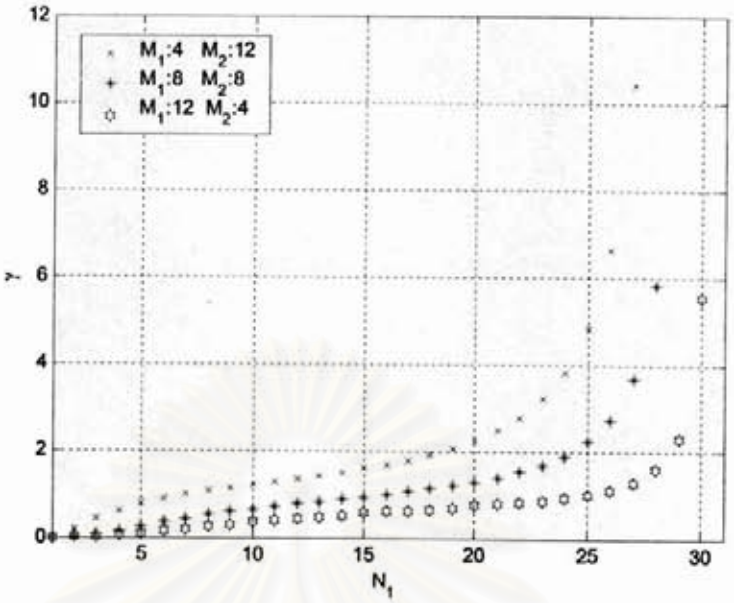
รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่า γ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง



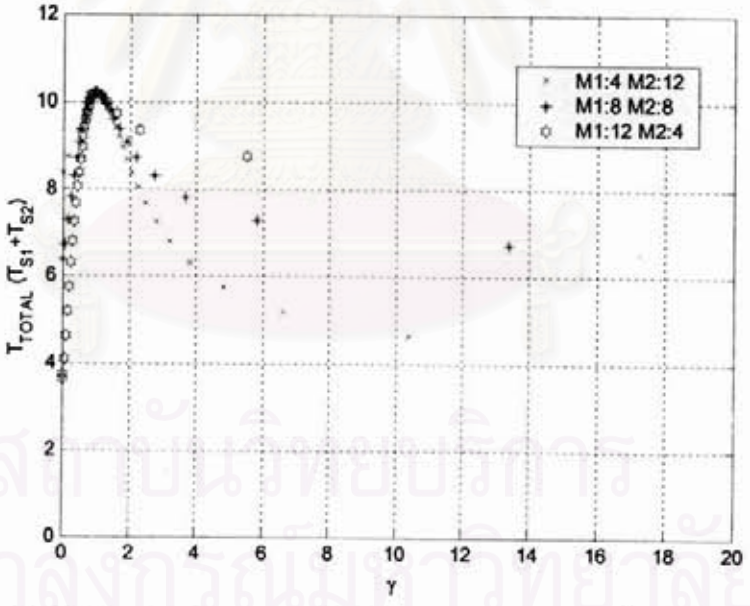
รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง



รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง



รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองและค่า γ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง



รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง

5.4 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+ MLA

5.4.1 จำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ

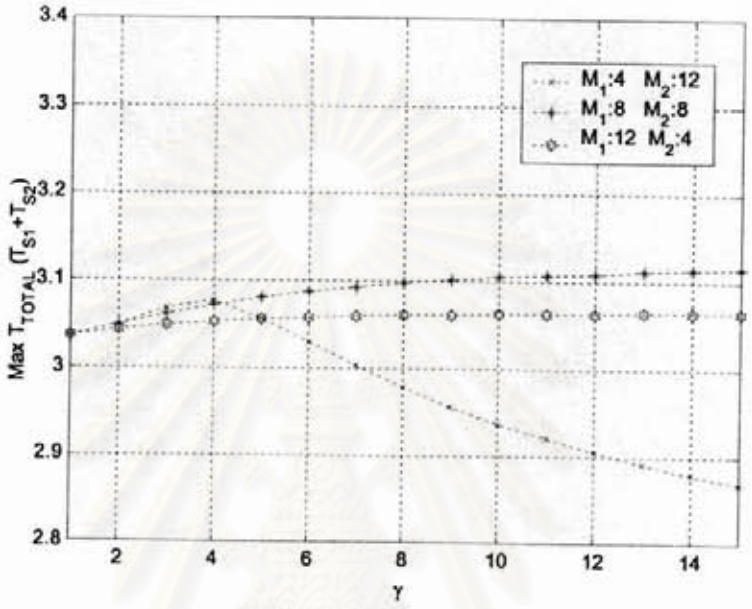
รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่อง จากรูปพบว่าที่ค่า γ เท่ากับ 1 คือไม่มีความแตกต่างระหว่างผู้ใช้บริการทั้ง 2 กลุ่ม ทุกระบบจะมีการทำงานเช่นเดียวกับเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการ 16 ราย ดังนั้นค่าวิสัยสามารถสูงสุดของทุกระบบจึงมีค่าเท่ากัน หลังจากนั้นเมื่อค่า γ ที่ต้องการเพิ่มสูงขึ้น จะพบว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรก หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มค่า γ ที่ต้องการจนถึงค่าหนึ่ง จะทำให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบลดลง สำหรับสาเหตุที่ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบในช่วงแรกเพิ่มสูงขึ้นนี้เป็นผลมาจากการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ส่งผลให้ผู้ใช้บริการคลาส 1 มีโอกาสในการจองช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบเพิ่มสูงขึ้นตามค่า γ ที่เพิ่มขึ้นได้ แต่เมื่อค่า γ ที่ต้องการเพิ่มจนถึงค่าหนึ่ง ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบจะลดลงนั้นเป็นผลมาจากการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่จะเข้าจองช่องสัญญาณ เพื่อให้ได้ค่า γ ที่ต้องการในขณะนี้ ทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 ลดลงอย่างมาก ในขณะที่ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 เพิ่มขึ้นได้เพียงเล็กน้อย ดังนั้นค่าวิสัยสามารถของระบบจึงลดต่ำลง โดยจะสังเกตได้ว่าการลดลงของค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบนั้นจะแตกต่างกันขึ้นกับอัตราส่วนจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 ในระบบ โดยพบว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนต่ำกว่าจะลดลงก่อน ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับกลุ่มที่มีจำนวนผู้ใช้บริการต่ำกว่าจะเป็นการจำกัดการเข้าใช้ช่องสัญญาณของกลุ่มที่มีจำนวนผู้ใช้บริการสูงกว่า

จากเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA จะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดจะมีค่าเป็น 1 แต่หากจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนสูงกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดจะมีค่าต่ำกว่า 1 ดังนั้นเมื่อพิจารณารูปที่ 5.19 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่อง จะพบว่าที่ค่า γ เท่ากับ1 ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ในทุกระบบจะมีค่าเท่ากันและเท่ากับ 0.5 ซึ่งเป็นค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน 16 ราย และช่องสัญญาณจองจำนวน 8 ช่อง

มีค่าสูงสุด สำหรับระบบที่ค่า $\gamma > 1$ จะสังเกตได้ว่าที่ค่า γ ที่ต้องการค่าเดียวกัน ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนต่ำกว่าจะมีค่าสูงกว่า และเมื่อค่า γ ที่ต้องการเพิ่มสูงขึ้น จะพบว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ในทุกระบบจะมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะการเพิ่มค่า γ คือการเพิ่มลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้ผู้ใช้บริการคลาส 1 สามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 นั้นจะแตกต่างกันขึ้นกับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ในระบบและค่า γ ที่ต้องการ เช่น ในช่วงแรกค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย จะยังมีค่าไม่เท่ากับ 1 ถึงแม้ระบบจะมีจำนวนช่องสัญญาณจองเพียงพอที่จะรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ทั้งนี้เนื่องจากลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ยังมีค่าไม่สูงพอ แต่เมื่อค่า γ ที่ต้องการเพิ่มสูงขึ้นถึงค่าหนึ่ง ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเท่ากับ 1 ได้ สำหรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 รายและระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย จะยังคงต่ำกว่า 1 เนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณจองมีไม่เพียงพอรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1

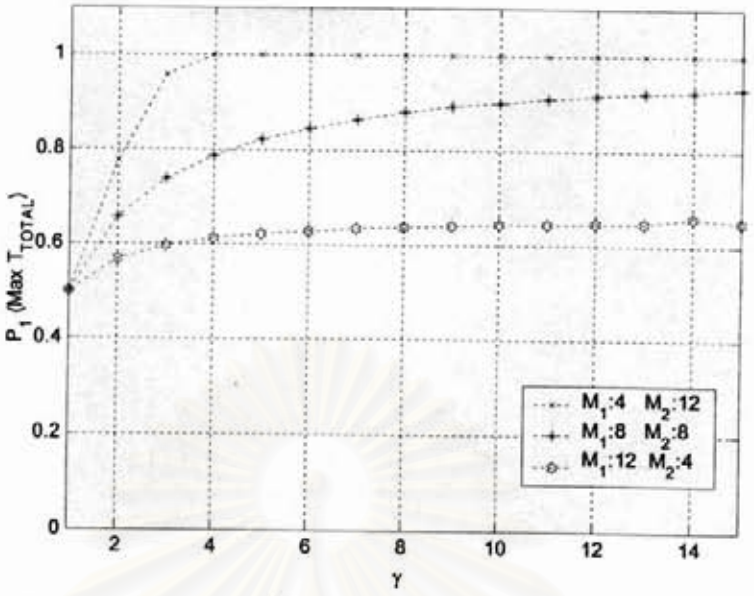
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่องในรูปที่ 5.20 พบว่าที่ค่า γ เท่ากับ 1 ซึ่งไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ ดังนั้นค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 จะเท่ากับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 (เท่ากับ 0.5) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาที่ค่า $\gamma > 1$ จะพบว่าผลที่ได้จะมีลักษณะตรงข้ามกับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 กล่าวคือเมื่อค่า γ เพิ่มขึ้น ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 จะมีค่าต่ำลง โดยจะพบว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 รายจะมีค่าสูงสุด ในขณะที่ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 รายจะมีค่าต่ำสุด โดยสาเหตุที่ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 รายจะมีค่าต่ำสุด เนื่องจากการที่จำนวนช่องสัญญาณจองมีไม่เพียงพอรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ทำให้ค่า

วิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าต่ำ ส่งผลให้ต้องจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่จะผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณให้มีจำนวนน้อยตามไปด้วย (กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ให้มีค่าต่ำ) เพื่อทำให้ได้ค่า γ ที่ต้องการ

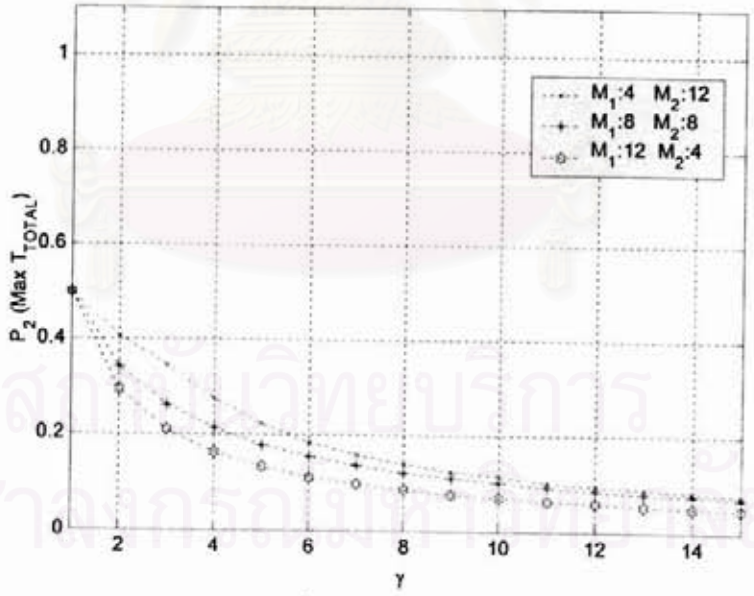


รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง



รูปที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง

5.4.2 จำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับหรือมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ

รูปที่ 5.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง จากรูปพบว่าที่ค่า γ เท่ากับ1 ซึ่งไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณระหว่างผู้ใช้บริการทั้ง 2 คลาสและระบบจะมีการทำงานเช่นเดียวกับเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA พบว่าการที่ระบบมีจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับจำนวนผู้ใช้บริการพอดี ทำให้ไม่ต้องจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่จะผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณ ดังนั้นค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่จุดนี้มีค่าสูงสุด แต่เมื่อค่า γ ที่ต้องการเพิ่มขึ้นจะพบว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของทุกระบบกลับลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ทำให้ต้องจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่เข้าจองช่องสัญญาณ โดยจะพบว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนมากกว่าจะมีค่าสูงกว่า เพราะในระบบที่มีผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนน้อยจะพบว่าขณะนี้ช่องสัญญาณจองมีจำนวนเพียงพอ แต่ผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนน้อย ทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าต่ำ ส่งผลให้เกิดการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่จะเข้าจองช่องสัญญาณจำนวนมากเพื่อทำให้ได้ค่า γ ที่ต้องการ ทำให้ช่องสัญญาณจองเกิดการว่าง ค่าวิสัยสามารถของระบบจึงมีค่าต่ำ นอกจากนี้ถ้าพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อปรับค่า γ พบว่าค่าวิสัยสามารถของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนต่ำกว่าจะลดลงเร็วกว่าระบบที่มีผู้ใช้บริการคลาส 1สูงกว่า ดังจะเห็นได้จากค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย จะลดลงเร็วกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย เนื่องจากการเพิ่มลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับกลุ่มที่มีผู้ใช้บริการจำนวนน้อย จะเป็นการจำกัดการเข้าจองช่องสัญญาณของกลุ่มที่มีผู้ใช้บริการจำนวนมาก ดังนั้นค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบจึงลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว

สำหรับกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 32 ช่อง จากรูปที่ 5.24 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบจะเป็นเช่นเดียวกับกรณีกำหนดช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง

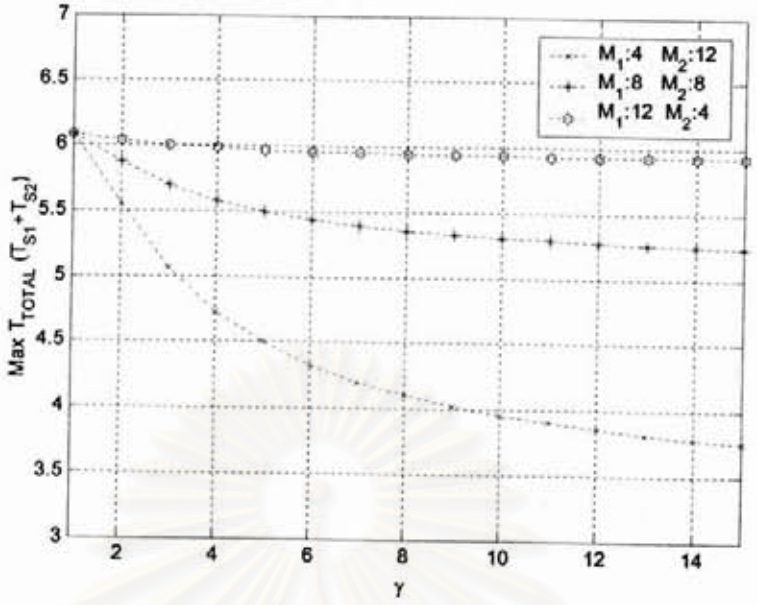
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 5.22 พบว่าที่ γ เท่ากับ 1 นั้นระบบจะมีการทำงานเช่นเดียวกับเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA โดยในกรณีนี้ระบบมีจำนวนช่องสัญญาณจองที่เพียงพอจะรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการ ดังนั้นค่าโอกาสในการเข้าจอง

ช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงสุดจึงมีค่าเท่ากับ 1 อย่างไรก็ดีเมื่อค่า γ เพิ่มขึ้น จะพบว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ในทุกระบบที่ทำการทดสอบจะยังคงมีค่าเท่ากับ 1 เพราะการที่จะทำให้ได้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดที่ค่า γ ค่าหนึ่ง จะต้องพยายามทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 มีค่าสูงสุด โดยจะพบว่ายิ่งค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าสูงเท่าไหร่ การจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่จะสามารถเข้าจองช่องสัญญาณจะลดน้อยลง และทำให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นในกรณีนี้ ซึ่งมีจำนวนช่องสัญญาณจองเพียงพอรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการ ระบบจึงกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ไว้เท่ากับ 1

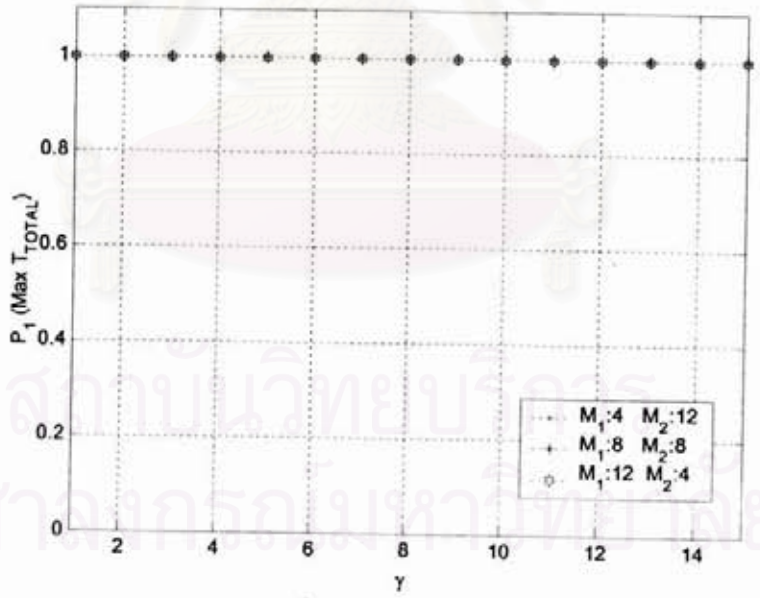
เมื่อพิจารณากรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 32 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 5.25 พบว่าผลจะเป็นเช่นเดียวกับกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่องในรูปที่ 5.23 พบว่าที่ค่า γ เท่ากับ 1 ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ในทุกระบบจะมีค่าเท่ากับ 1 เช่นเดียวกับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 แต่เมื่อค่า γ เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าระบบจะมีจำนวนช่องสัญญาณจองเพียงพอรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการ แต่เนื่องจากมีผลของค่า γ ทำให้ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 มีค่าต่ำกว่า 1 โดยจะพบว่าเมื่อค่า γ ที่ต้องการเพิ่มขึ้น ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 จะลดลง โดยจะสังเกตได้ว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ในทุกระบบที่ทำการทดสอบจะมีค่าเท่ากัน เพราะการที่ค่า γ ที่นิยามในรายงานวิจัยฉบับนี้กำหนดเป็นอัตราส่วนค่าวิสัยสามารถต่อผู้ใช้บริการระหว่างผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จึงทำให้ไม่มีผลของจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 เข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังไม่มีผลจากการจำกัดค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 ดังนั้นตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ในทุกระบบที่ทำการทดสอบจึงเหลือเพียงแต่ค่า γ ที่ต้องการเพียงตัวแปรเดียว และทำให้ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ในทุกระบบที่ทำการทดสอบมีค่าเท่ากัน

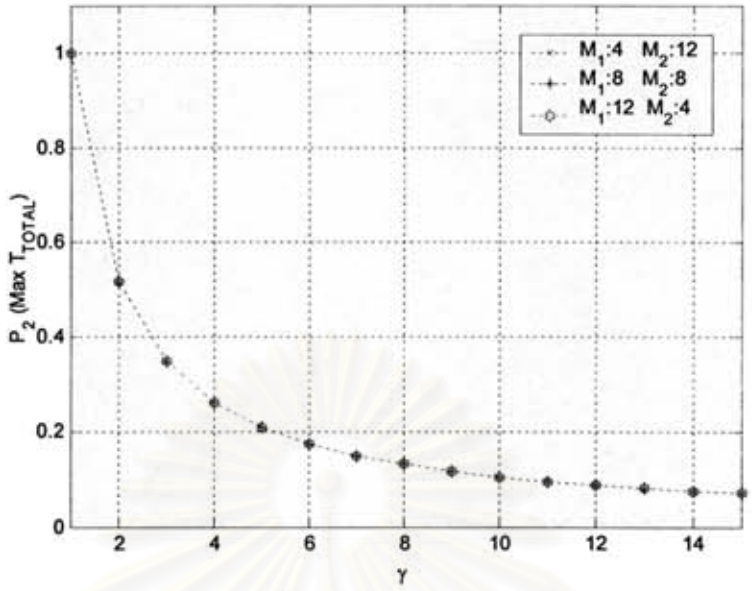
เมื่อพิจารณากรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 32 ช่องพบว่าผลที่ได้คล้ายกับกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง



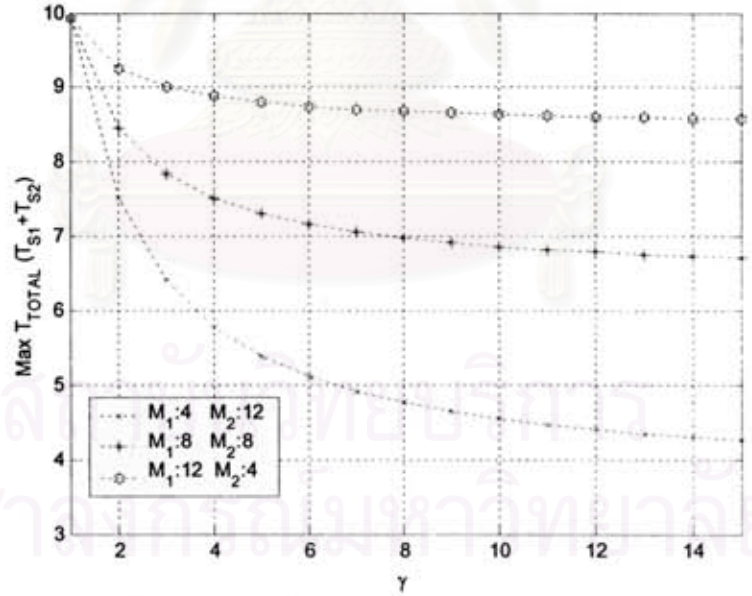
รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง



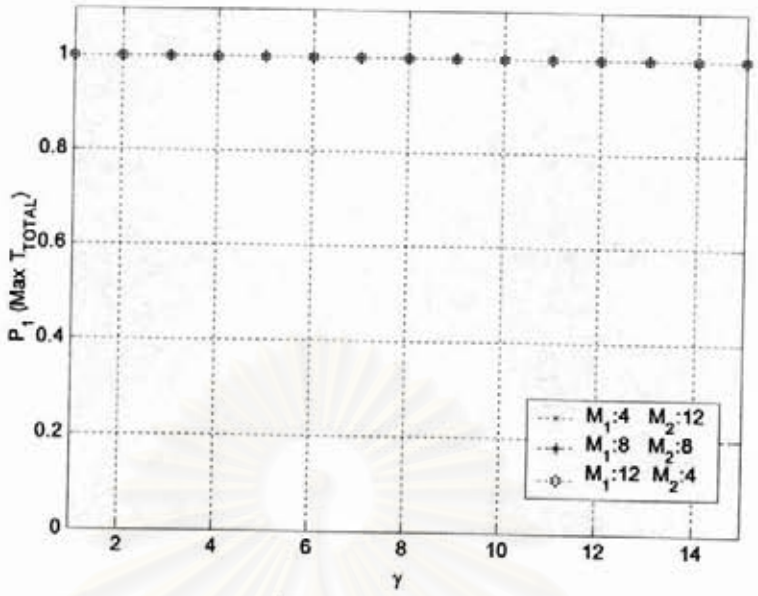
รูปที่ 5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง



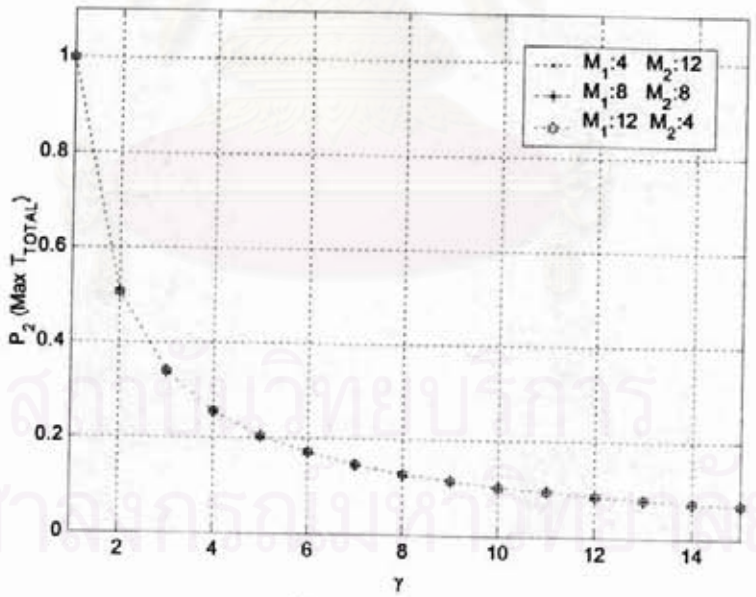
รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง



รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง



รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง



รูปที่ 5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง

5.5 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA

5.5.1 จำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ

รูปที่ 5.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่อง จากผลที่ได้พบว่าที่ค่า γ เท่ากับ 1 ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย และค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 รายจะมีค่าเท่ากันเนื่องจากความสมมาตรของระบบ แต่จะมีค่าต่ำกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 ราย เพราะเมื่อเปรียบเทียบกันอย่างยุติธรรม ระหว่างระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการ 2 กลุ่มซึ่งมีจำนวนผู้ใช้บริการในกลุ่มไม่เท่ากัน ค่าวิสัยสามารถต่อผู้ใช้บริการของกลุ่มที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวนน้อยกว่าจะมีค่าสูงกว่า ซึ่งจะส่งผลให้ต้องไปจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองช่องสัญญาณของกลุ่มที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวนน้อยกว่าเพื่อทำให้ค่าวิสัยสามารถต่อผู้ใช้บริการของทั้ง 2 กลุ่มมีค่าเท่ากัน จากนั้นเมื่อทำการเพิ่มค่า γ จะพบว่าโดยรวมนั้นค่าวิสัยสามารถสูงสุดของทุกระบบจะลดต่ำลง โดยเมื่อพิจารณาที่ค่า γ ที่ต้องการค่าหนึ่ง พบว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย มักจะมีค่าต่ำสุด เนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณจองไม่เพียงพอที่จะรองรับผู้ใช้บริการคลาส 1 ส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าต่ำและทำให้ต้องไปจำกัดค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 เพื่อทำให้ได้ค่า γ ที่ต้องการ นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่ค่า γ ที่ต้องการบางค่าจะกลับเพิ่มขึ้น โดยจะเห็นว่าระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนสูงกว่าจะมีการกระโดดของค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบจำนวนน้อยครั้งกว่า ซึ่งการกระโดดของค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบนี้มักเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ดังจะเห็นได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดดังแสดงในรูปที่ 5.28

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่องดังแสดงในรูปที่ 5.28 พบว่าที่ค่า γ ที่ต้องการค่าเดียวกัน ระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนสูงกว่าจะต้องการช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนมากกว่า นอกจากนี้เมื่อค่า γ ที่ต้องการเพิ่มขึ้น จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จะเพิ่มสูงขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มค่า γ ซึ่งรับประกันว่าค่าวิสัยสามารถต่อผู้ใช้บริการของผู้ใช้บริการคลาส 1 จะมีค่าเป็น γ เท่าของค่าวิสัยสามารถต่อ

ผู้ใช้บริการของผู้ใช้บริการคลาส 2 โดยการทำให้ได้ค่า γ ที่ต้องการนั้นจะสามารถทำได้ทางหนึ่งโดยการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เพื่อเพิ่มโอกาสในการจองช่องสัญญาณสำเร็จโดยจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จะค่อย ๆ เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นกับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ในระบบและค่า γ ที่ต้องการ โดยจะพบว่าระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนต่ำกว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 บ่อยกว่า อย่างไรก็ดีเมื่อค่า γ ที่ต้องการเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จะเพิ่มจนถึงค่าสูงสุดที่จะกำหนดได้ ดังจะเห็นได้ว่าในระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จะเพิ่มจนถึงค่าสูงสุดคือเท่ากับ 7 ช่องที่ค่า γ ตั้งแต่ 2 ขึ้นไป แต่ในระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 ราย จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จะเพิ่มจนถึงค่าสูงสุดที่ค่า γ เท่ากับ 6 ซึ่งถ้าทำการเพิ่มค่าของ γ มากกว่าที่ทำการทดสอบ จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ในทุกระบบที่ทำการทดสอบจะมีค่าสูงสุดเท่าที่จะกำหนดได้

สำหรับสาเหตุที่จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้น เมื่อพิจารณาระบบจะพบว่าในกรณีนี้จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนสูงสุดนั้นจะเท่ากับ 7 ช่อง แต่สาเหตุที่ในช่วงแรก จำนวนช่องสัญญาณจองของระบบจะมีจำนวนไม่คงที่ โดยจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการที่ลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ยังไม่สูงเพียงพอ หากทำการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 7 ช่อง จะทำให้จำนวนช่องสัญญาณจองที่เหลือสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 2 มีเพียงช่องเดียว ทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 มีค่าต่ำ และระบบไม่สามารถได้ค่า γ ตามต้องการได้และถึงแม้จะทำการปรับให้ได้ค่า γ ที่ต้องการได้ ค่าวิสัยสามารถรวมของระบบที่ได้ก็จะไม่ใช่ค่าที่สูงที่สุด แต่หากกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 อย่างเหมาะสม จะทำให้ระบบได้ค่า γ ที่ต้องการและได้ค่าวิสัยสามารถสูงสุด ดังจะเห็นได้ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย เมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวน 4-7 ช่องดังแสดงในรูปที่ 5.29 จากรูปจะเห็นได้ว่าที่ค่า γ ที่ต้องการเท่ากับ 1-4 ค่าวิสัยสามารถของระบบจะสูงสุดเมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 4 ช่อง ในขณะที่ค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 7 ช่องจะมีค่าต่ำสุด แต่เมื่อค่า γ เพิ่มขึ้น จำนวนช่องสัญญาณจองที่

กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน เพราะการเพิ่มค่า γ เป็นการเพิ่มลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ทำให้การเพิ่มของจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จะไม่ส่งผลต่อค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 มากนัก เช่นเมื่อ γ ที่ต้องการเท่ากับ 5-7 และ 8-15 จำนวนช่องสัญญาณจองที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดคือ 5 ช่อง และ 6 ช่องตามลำดับ นอกจากนี้ถ้าหากค่า γ ที่ต้องการมีค่าเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จะพบว่าจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดจะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งมีค่าเท่ากับค่าสูงสุดที่ระบบจะสามารถกำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ได้

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 5.30 พบว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนมากกว่าจะมีค่าต่ำกว่า โดยจะสังเกตได้ว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 จะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกของการเพิ่มค่า γ แต่ในช่วงหลังค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 จะเริ่มมีค่าคงที่ โดยสาเหตุที่ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 เกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกนั้นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าขณะที่จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนคงที่ เมื่อค่า γ เพิ่มขึ้น ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 จะเพิ่มขึ้น แต่หากจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนเพิ่มขึ้น ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 จะมีค่าต่ำลง เนื่องจากการเพิ่มลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA สามารถกระทำได้ 2 ทาง คือ การเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจองหรือการเพิ่มค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณ โดยในกรณีนี้ระบบได้ทำการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 แล้ว แต่จะพบว่าหากกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณไว้สูงจนเกินไป จะทำให้ไม่สามารถกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ได้ค่า γ ที่ต้องการหรือทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด ดังนั้นจึงต้องทำการลดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ลง อย่างไรก็ดีค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ณ จำนวนช่องสัญญาณจองคงที่ค่าหนึ่ง จะเพิ่มจนถึงจุดสูงสุดที่ค่า γ ที่ต้องการค่าหนึ่ง ซึ่งค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ณ จุดนี้จะมีค่าเท่ากับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าสูงสุดเมื่อใช้เทคนิคการจอง

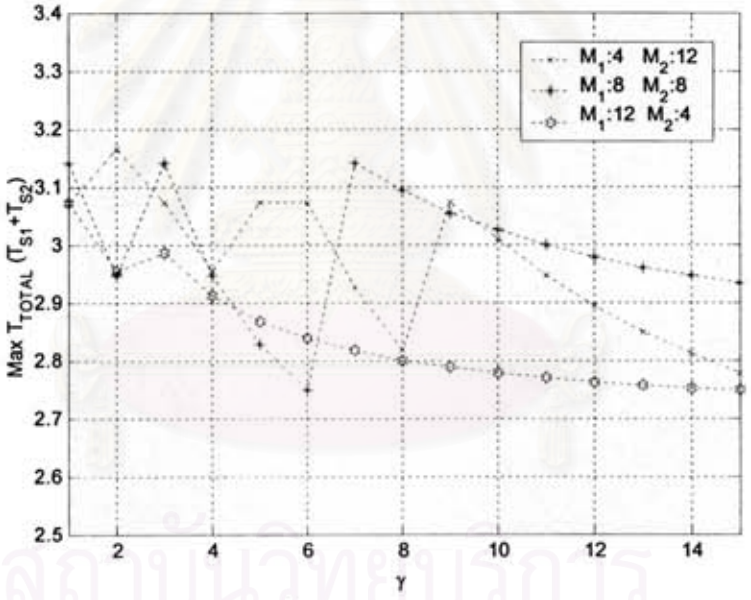
ช่องสัญญาณแบบ UNI+LA เช่นเมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองของผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 7 ช่อง ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่สูงสุดของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย จะมีค่าเท่ากับ 1 เพราะจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนสูงกว่าจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 สำหรับระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 ราย และระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย ซึ่งมีจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 สูงกว่าจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้ ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณสูงสุดของผู้ใช้บริการคลาส 1 จะมีค่าไม่เท่ากับ 1 โดยค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณสูงสุดของผู้ใช้บริการคลาส 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.875 และ 0.5830 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 5.31 พบว่าโดยทั่วไปค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 จะมีค่าต่ำลงเมื่อค่า γ เพิ่มขึ้น เพื่อจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่เข้าจองช่องสัญญาณ อย่างไรก็ดีจะเห็นได้ว่าที่ค่า γ บางค่า ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 จะกลับเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 นั้นจะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 โดยเมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้จำนวนช่องสัญญาณจองที่เหลือสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 2 มีจำนวนลดต่ำลง ดังนั้นผู้ใช้บริการคลาส 2 จึงต้องเพิ่มค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเพื่อเพิ่มโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณ นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 รายจะมีค่าสูงสุด ในขณะที่ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ในระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 รายจะมีค่าต่ำสุด โดยสาเหตุที่ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ในระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 รายมีค่าต่ำสุดนั้นเนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณจองมีไม่เพียงพอรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าต่ำ ดังนั้นจากผลของค่า γ ที่ต้องการจึงต้องจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่เข้าจองช่องสัญญาณให้มีจำนวนน้อยลงด้วย

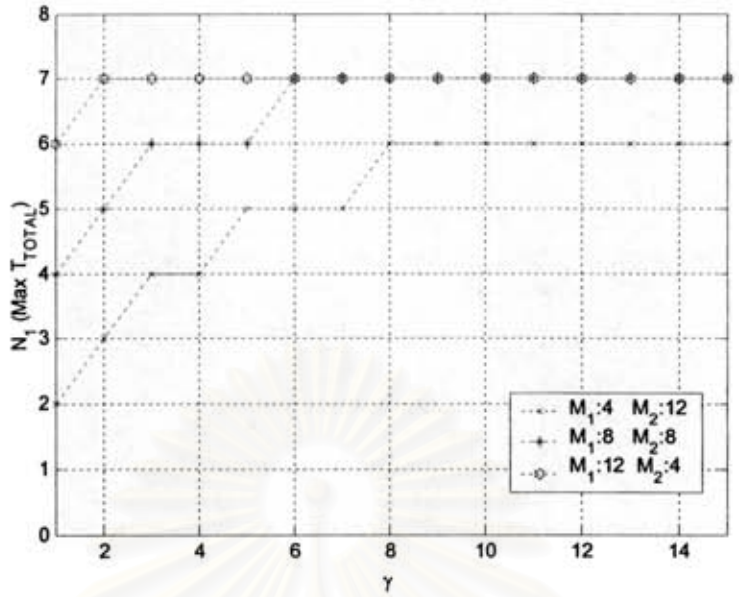
ส่วนนี้จะแสดงขั้นตอนการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้ได้ค่า γ ที่ต้องการ โดยจะพบว่าที่ค่า γ ที่ต้องการค่าหนึ่ง ระบบจะเริ่มจากการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองไว้คงที่ค่าหนึ่ง และพิจารณาค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าสูงสุด (ทั้งนี้เพื่อทำให้การจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่จะเข้าจองช่องสัญญาณเพื่อทำให้ระบบได้ค่า γ ที่ต้องการลดน้อยลง) จากนั้นระบบจะทำการปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 เพื่อทำให้ได้ค่า γ ที่ต้องการและทำให้ได้ค่าวิสัยสามารถของระบบที่สูงสุด แต่ถ้าหากกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าสูงสุดแล้วแต่ไม่สามารถทำการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 เพื่อให้ได้ค่า γ ที่ต้องการหรือทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด ระบบจะทำการปรับจำนวนช่องสัญญาณจองหรือค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการแต่ละคลาสใหม่ เพื่อทำให้ได้ค่า γ ที่ต้องการและได้ค่าวิสัยสามารถของระบบที่สูงสุด ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 5.32 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ และค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 เมื่อกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ไว้แตกต่างกันของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 ราย เมื่อพิจารณาที่ค่า γ เท่ากับ 6 จำนวน 3 ระบบคือ 1.เมื่อทำการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 7 ช่อง และค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 0.875 (ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าสูงสุด) ซึ่งพบว่าจะไม่สามารถกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ได้ค่า γ ที่ต้องการได้ 2. เมื่อทำการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 6 ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 0.75 (ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าสูงสุด) จะทำให้มีค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ได้ค่า γ ที่ต้องการ 3. เมื่อทำการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 7 ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ไว้เท่ากับ 0.489 ระบบก็สามารถกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ได้ค่า γ ที่ต้องการเช่นกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าที่ค่า γ ที่ต้องการค่าหนึ่ง จะมีจำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาสที่แตกต่างกันหลายค่าที่ทำให้ได้ค่า γ ที่ต้องการค่าเดียวกัน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 และค่าวิสัยสามารถของระบบดังแสดงในรูปที่ 5.33 พบว่าที่ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ได้ค่า γ เท่ากับ 6 ของระบบที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 7 ช่องและกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 0.489 จะมีค่าวิสัยสามารถของระบบสูงกว่าค่าวิสัยสามารถของระบบกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 6 ช่องและกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ไว้เท่ากับ 0.75

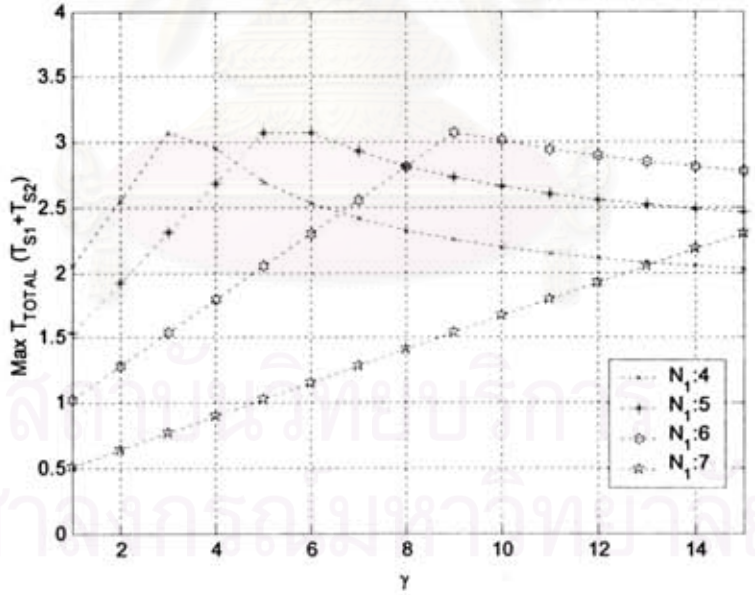
ดังนั้นจะเห็นได้ว่าที่ค่า γ ที่ต้องการค่าหนึ่ง จะมีจำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาสหลายค่าที่ทำให้ได้ค่า γ ตามต้องการ แต่ว่าจะมีเพียงค่าหนึ่งที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงสุด



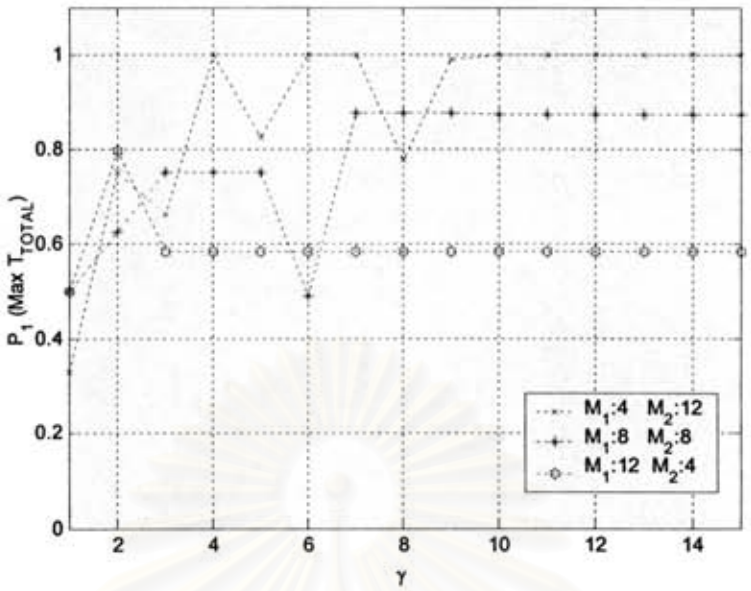
รูปที่ 5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง



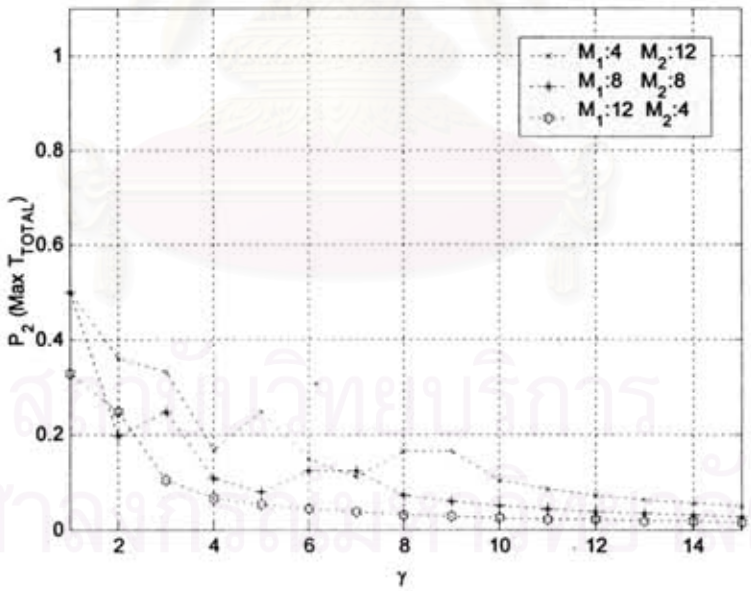
รูปที่ 5.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง



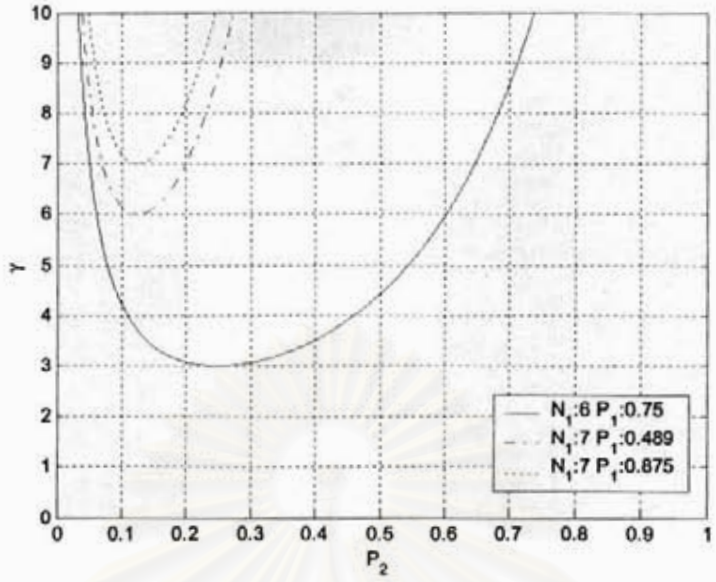
รูปที่ 5.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ไว้คงที่แตกต่างกัน



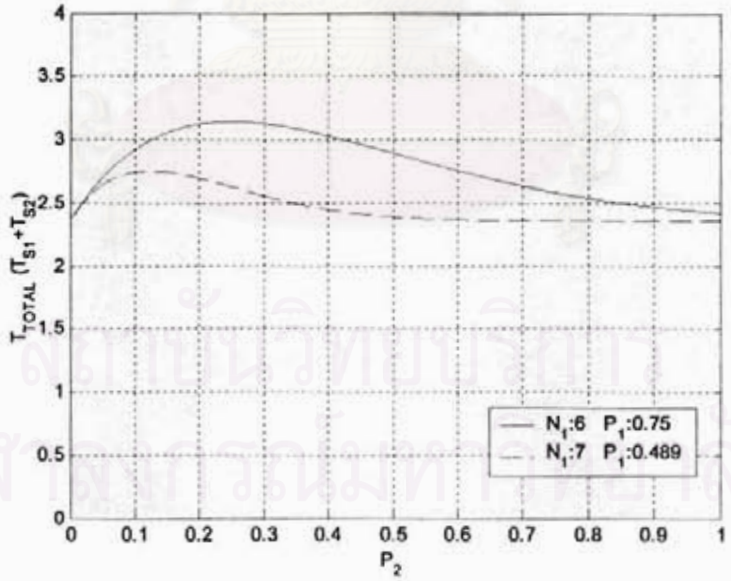
รูปที่ 5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง



รูปที่ 5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง



รูปที่ 5.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 และค่า γ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA กำหนดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 เท่ากันเท่ากับ 8 ราย ช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง โดยกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ไว้แตกต่างกัน



รูปที่ 5.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 เท่ากับ 8 ราย ช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง โดยกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ไว้แตกต่างกัน

5.5.2 เมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองมีจำนวนเท่ากับหรือมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบและค่า γ ที่ต้องการ เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับจำนวนผู้ใช้บริการ (16 ช่อง) ดังแสดงในรูปที่ 5.34 พบว่าผลที่ได้คล้ายกับในกะณีที่จำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ แต่ในกรณีนี้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย จะมีค่าสูงสุด ซึ่งตรงข้ามกับกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่อง เนื่องจากในกรณีนี้จำนวนช่องสัญญาณจองที่มีเพียงพอรองรับจำนวนผู้ใช้บริการ ดังนั้นค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวนมากกว่าจึงมีค่าสูงกว่า และทำให้การจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่เข้าจองช่องสัญญาณลดลงเพื่อทำให้ได้ค่า γ ที่ต้องการ ดังนั้นค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 จึงเพิ่มขึ้น ค่าวิสัยสามารถรวมของระบบจึงมีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาระบบที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 32 ช่อง ในรูปที่ 5.38 พบว่าผลที่ได้คล้ายกับในกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง อย่างไรก็ดีจะสังเกตได้ว่าที่ค่า γ บางค่าของระบบที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มในบางช่วง ในขณะที่ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 32 ช่องจะมีแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่ คือเมื่อค่า γ ที่ต้องการเพิ่มขึ้นจะพบว่าจะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดลง เนื่องจากในกรณีนี้จำนวนช่องสัญญาณจองมีเพียงพอที่จะรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการทั้ง 2 คลาส ทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการทั้ง 2 คลาสมีค่าสูง ดังนั้นเมื่อต้องการค่า γ เพิ่มขึ้น ระบบจึงต้องไปจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่เข้าจองช่องสัญญาณให้มีจำนวนน้อยลง เพื่อให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 ลดลงและได้ค่า γ ที่ต้องการ ในขณะที่ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบลดลง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง (จำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับจำนวนช่องสัญญาณจอง) ดังแสดงในรูปที่ 5.35 พบว่าผลที่ได้คล้ายกับในกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่อง แต่จะสังเกตได้ว่าที่ค่า γ เท่ากับ 1 ในทุกระบบที่ทำการทดสอบ จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนผู้ใช้บริการแต่ละคลาสพอดี

เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 32 ช่องดังแสดงในรูปที่ 5.39 พบว่าผลที่ได้คล้ายกับในข้างต้น คือเมื่อค่า γ เพิ่มขึ้น จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จะสูงขึ้น นอกจากนี้จะพบว่าถึงแม้จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1

จะมีจำนวนเพียงพอที่จะรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการแล้ว แต่จะพบว่ายิ่งค่า γ ที่ต้องการเพิ่มขึ้น จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จะยิ่งเพิ่มสูงขึ้นและทำให้จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 2 มีไม่เพียงพอสำหรับการรองรับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 เช่นในระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย ที่ค่า γ เท่ากับ 10 จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จะมีจำนวนถึง 29 ช่อง ในขณะที่จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 2 จะเหลือเพียง 3 ช่อง

เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุของระบบที่ว่าในขณะที่ค่า γ สูง ๆ นั้น เหตุใดระบบจึงไม่ทำการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาสอย่างเพียงพอ แล้วจึงทำการปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการแต่ละคลาสแทน จะพบว่าเกิดเนื่องจากข้อกำหนดที่ต้องการให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงสุด ซึ่งการที่ค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าสูงสุดนั้นจะขึ้นกับค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 โดยถ้าค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าสูง จะทำให้การจำกัดค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 ลดลง ดังนั้นยิ่งจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนมากเท่าไหร่ จะยิ่งทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าสูงขึ้นเท่านั้น ส่วนค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 ก็จะสามารถควบคุมได้จากการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 อย่างไรก็ดีจะพบว่าถ้าหากค่า γ ที่ต้องการยังไม่สูงพอ ระบบก็จะไม่ทำการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 31 ช่อง (จำนวนช่องสัญญาณจองสูงสุดที่สามารถกำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1) เนื่องจากถ้าหากกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 31 ช่องจะทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 มีค่าต่ำ และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบที่ได้ไม่ใช่ค่าสูงสุด

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงสุด เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่องในรูปที่ 5.36 พบว่าที่ค่า γ เท่ากับ 1 ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย จะมีค่าไม่เท่ากับ 1 โดยในกรณีนี้จะพบว่าจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาสจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละคลาสพอดีดังนั้นเมื่อพิจารณาที่ค่า γ เท่ากับ 1 ซึ่งต้องการให้ค่าวิสัยสามารถต่อผู้ใช้บริการของผู้ใช้บริการทั้ง 2 คลาสมีค่าเท่ากัน จะพบว่าหากกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการแต่ละคลาสไว้เท่ากับ 1 จะทำให้ค่าวิสัยสามารถต่อผู้ใช้บริการของผู้ใช้บริการคลาส 1 จะมีค่าสูงกว่าค่าวิสัยสามารถต่อผู้ใช้บริการของผู้ใช้บริการคลาส 2 โดยค่าวิสัยสามารถของ

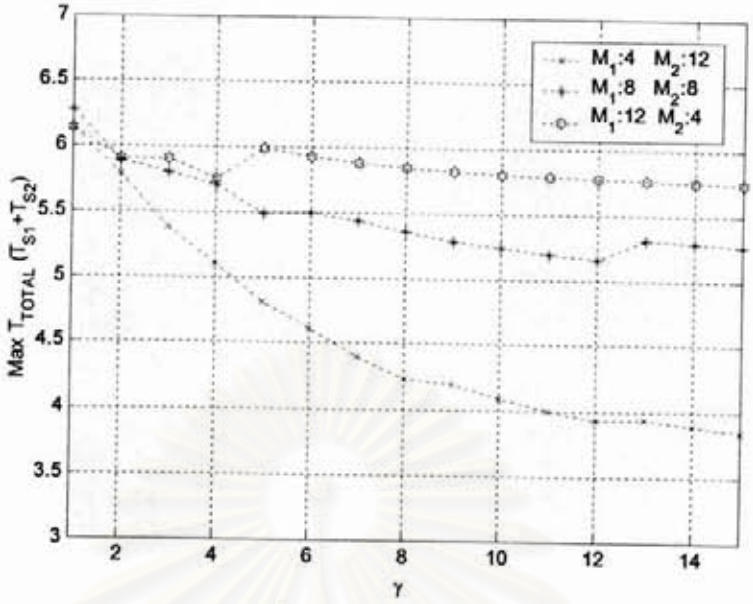
ผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย และจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่ากับ 4 ช่อง จะมีค่าเท่ากับ 1.6875 หรือค่าวิสัยสามารถต่อผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าเป็น 0.421875 แต่ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 รายและช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ช่อง จะเท่ากับ 4.607 หรือค่าวิสัยสามารถต่อผู้ใช้บริการเป็น 0.3839 ซึ่งค่า γ ที่ได้จะไม่เท่ากับ 1 ตามที่ต้องการ ดังนั้นระบบจึงจำเป็นต้องลดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 เพื่อให้ได้ค่าได้ค่า γ ตามที่ต้องการ หรือถ้าจะมองอีกมุมหนึ่งสามารถมองได้ว่าระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ Y ช่องและจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ M ราย นั้น สมมติให้ได้สัดส่วนค่าวิสัยสามารถต่อผู้ใช้บริการเป็นค่าหนึ่งเท่ากับ X จากนั้นถ้าทำการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจองและจำนวนผู้ใช้บริการอย่างเป็นสัดส่วนกัน เช่นเป็น 2 เท่าจะได้ว่ามีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 2M รายและจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 2Y ช่อง แต่จะพบว่าสัดส่วนค่าวิสัยสามารถต่อผู้ใช้บริการที่ได้จะไม่เท่ากับ 2X สำหรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ค่า γ มากกว่า 1 ส่วนมากจะมีค่าเท่ากับ 1 เพื่อให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าสูงสุดและทำให้การจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ลดน้อยลงเพื่อให้ค่าวิสัยสามารถของระบบที่ได้มีค่าสูง

สำหรับกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 32 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 5.40 พบว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ในกรณีนี้ส่วนมาก จะเท่ากับ 1 ยกเว้นที่ค่า γ เท่ากับ 1 ซึ่งค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 รายจะมีค่าไม่เท่ากับ 1 สำหรับสาเหตุที่ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าไม่เท่ากับ 1 ในกรณีนี้เกิดเนื่องจากการปรับค่าพารามิเตอร์ของระบบเพื่อให้ได้ค่า γ ที่ต้องการและได้ค่าวิสัยสามารถที่สูงสุด นอกจากนี้จะพบว่าจำนวนครั้งที่ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าเป็น 1 นั้นจะเกิดบ่อยกว่ากรณีที่จำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง เนื่องจากจำนวนช่องสัญญาณจองที่มีเพียงพอทำให้ระบบสามารถจะทำการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 เพื่อทำให้ได้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดได้

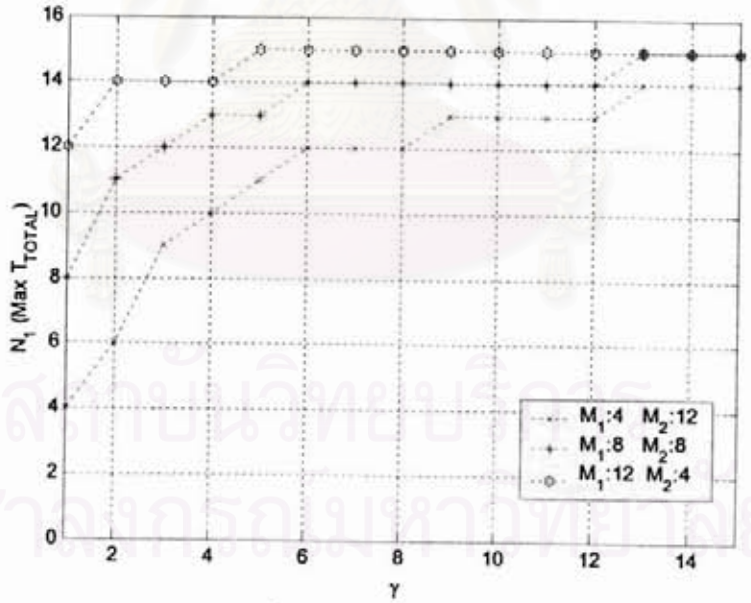
เมื่อพิจารณาค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 กรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 และ 32 ช่องดังแสดงในรูปที่ 5.37 และ 5.41 พบว่าผลที่ได้คล้ายกับกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง อย่างไรก็ตีจะสังเกตได้ว่าที่ค่า γ เท่ากับ 1 ในกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย จะมีค่าไม่เท่ากับ 1 โดยสาเหตุที่ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 มีค่าไม่เท่ากับ 1 นั้นจะเป็นเช่นเดียวกับสาเหตุที่ค่าโอกาสในการเข้าจอง

ช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย มีค่าไม่เท่ากับ 1 เช่นเดียวกับในกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 32 ช่อง จะพบว่าที่ค่า γ เท่ากับ 1 ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 รายจะมีค่าไม่เท่ากับ 1 โดยสาเหตุที่ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 มีค่าไม่เท่ากับ 1 นั้นจะเป็นเช่นเดียวกับเหตุที่ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย มีค่าไม่เท่ากับ 1

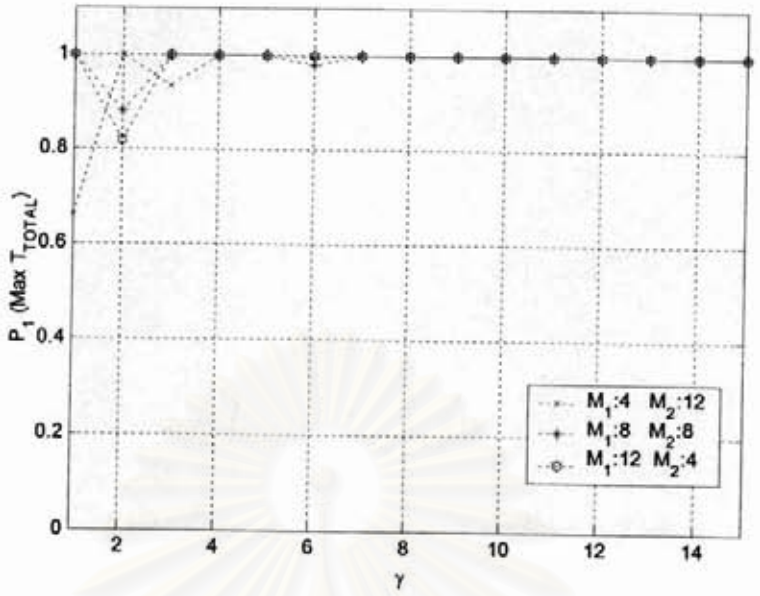
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



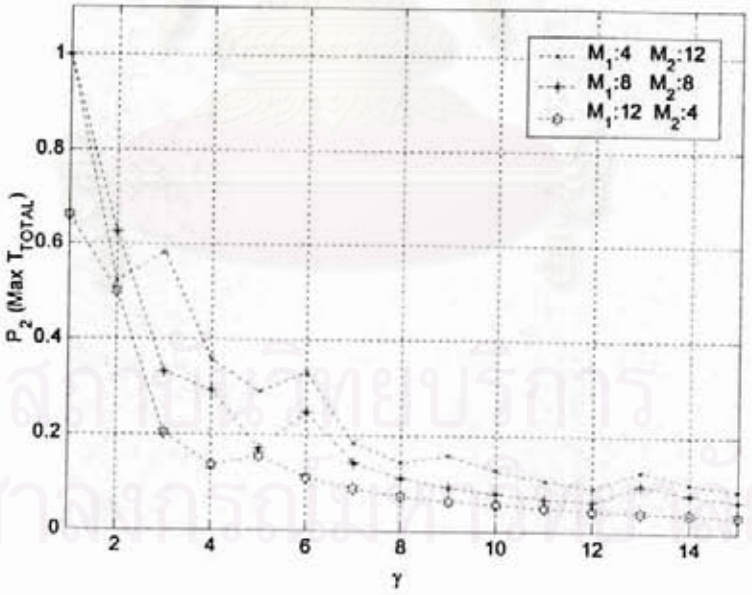
รูปที่ 5.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง



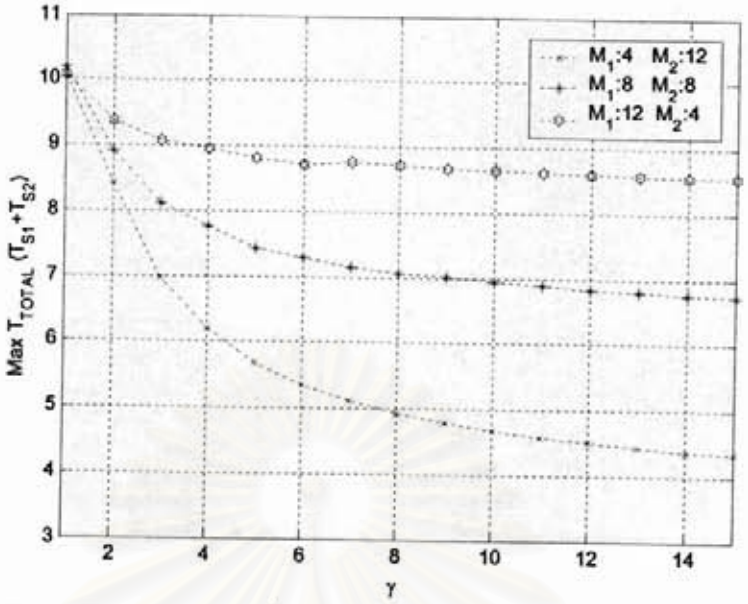
รูปที่ 5.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง



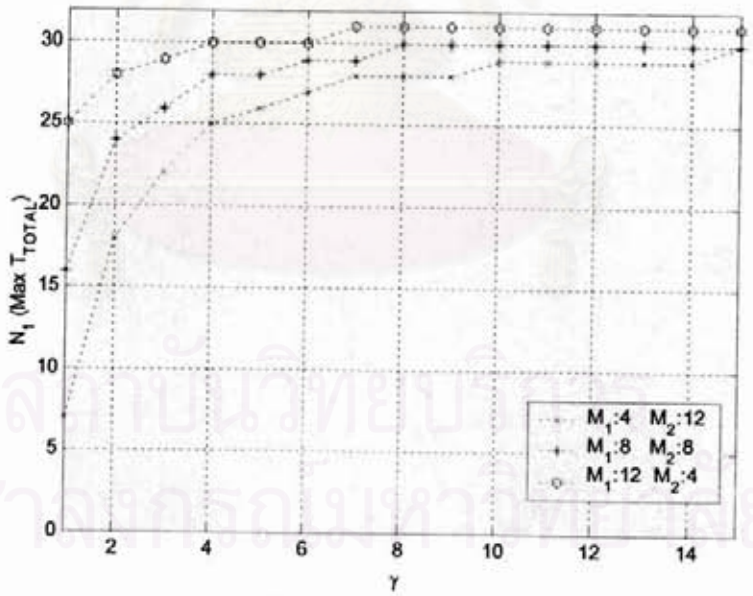
รูปที่ 5.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง



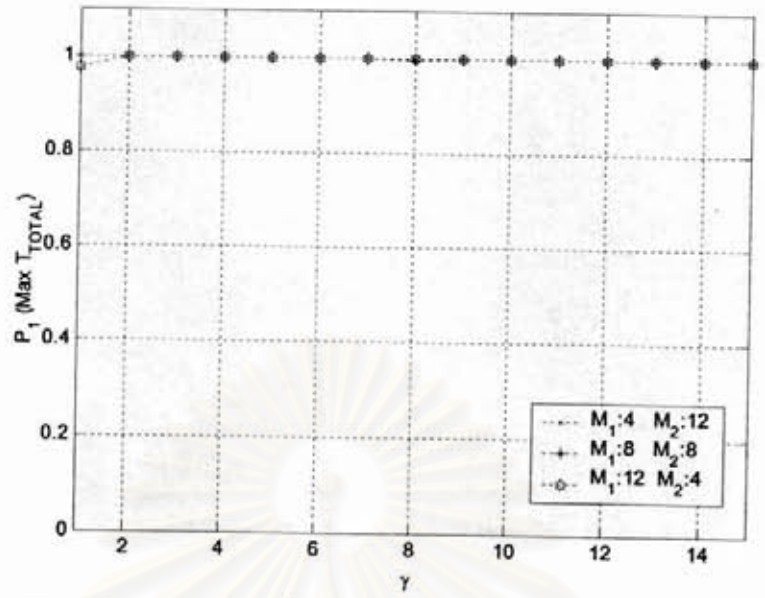
รูปที่ 5.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง



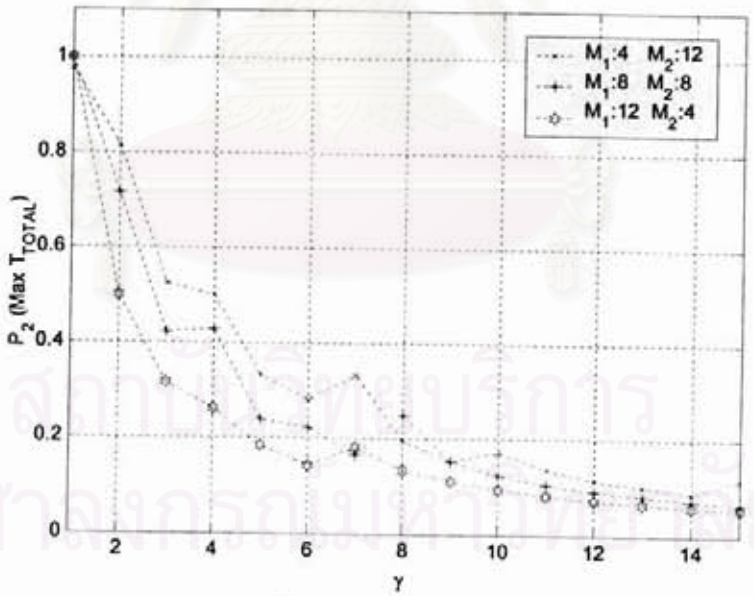
รูปที่ 5.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง



รูปที่ 5.39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง



รูปที่ 5.40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง



รูปที่ 5.41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง

5.6 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA

เนื่องจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA ที่พิจารณาในส่วนนี้เป็นเทคนิคที่พัฒนาขึ้นจากการนำเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA ที่นำเสนอในข้างต้นมาเพิ่มความยืดหยุ่นในแง่ของการใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน ดังนั้นเพื่อให้เกิดความชัดเจนในการพิจารณาสมรรถนะของระบบ ผู้แต่งจึงทำการแบ่งเนื้อหาในส่วนนี้เป็น 2 ส่วนคือ 1. ผลของการใช้ช่องสัญญาณจองร่วมกัน 2.ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA ที่นำเสนอเมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้จำนวนคงที่แตกต่างกัน ดังรายละเอียดดังนี้

5.6.1 ผลของการใช้ช่องสัญญาณจองร่วมกัน

ส่วนนี้จะเป็นการพิจารณาลักษณะของระบบเนื่องจากผลของจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่สัมพันธ์กับการจำกัดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 สามารถเข้าจองได้ โดยการทดสอบจะกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่องและกำหนดให้ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 เท่ากับ 1 เพื่อให้ปริมาณโหลดที่กำหนดมีค่าเท่ากับปริมาณโหลดที่สามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ อันจะทำให้เกิดความสะดวกต่อการพิจารณา จากผลการทดสอบในรูปที่ 5.42 พบว่าระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย ในช่วงแรกค่าวิสัยสามารถของระบบจะลดลงเมื่อทำการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะเข้าจองได้ เพราะจำนวนช่องสัญญาณจองที่เพิ่มขึ้น ยังไม่เพียงพอที่จะลดการชนกันของผู้ใช้บริการคลาส 2 ดังนั้นจึงทำให้ช่องสัญญาณจองดังกล่าวเกิดการสูญเสียแทน อย่างไรก็ดีจะเห็นได้ว่าในช่วงหลังค่าวิสัยสามารถของระบบกลับเพิ่มขึ้น เพราะ ณ ขณะนี้จำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้มีจำนวนมากพอที่ลดผลของการชนในข้างต้น อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณจองที่ว่างอยู่เนื่องจากผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนน้อย

สำหรับระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้ จะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดต่ำลง เพราะระบบในขณะนี้มีจำนวนช่องสัญญาณจองไม่เพียงพอสำหรับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ดังนั้นการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้ จึงเป็นการเพิ่มโอกาสที่ผู้ใช้บริการในระบบจะเกิดการชนกันมากยิ่งขึ้น

สำหรับกรณีสุดท้ายนี้จะพิจารณาระบบในกรณีที่มีจำนวนช่องสัญญาณจองมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 มาก เช่นในระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 2 ราย

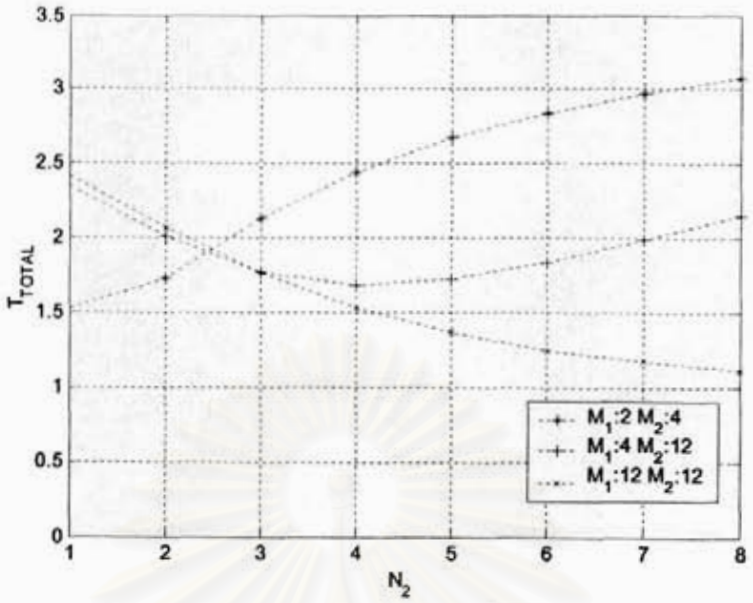
ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย จะพบว่าการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้ จะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบเพิ่มขึ้น เพราะการให้ผู้ใช้บริการคลาส 2 เข้าจองช่องสัญญาณจะช่วยลดโอกาสที่ช่องสัญญาณจองจะเกิดการว่าง หรือถ้ามองในอีกด้านอาจกล่าวได้ว่าเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์จากช่องสัญญาณจองที่ว่างนั่นเอง

จากผลการทดสอบในข้างต้นจะสามารถสรุปถึงข้อดีข้อเสียของการจำกัดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 สามารถเข้าจองได้ ดังนี้

1. หากจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนเกินกว่าจำนวนช่องสัญญาณจองมาก การจำกัดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 สามารถเข้าจองได้จะทำให้สามารถจำกัดการชนให้เกิดขึ้นในช่องสัญญาณจองเพียงบางช่อง คล้ายกับเป็นการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่จะเข้าจองช่องสัญญาณ ส่งผลให้โอกาสที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 จะสามารถจองช่องสัญญาณสำเร็จเพิ่มขึ้น ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงกว่า

2. หากจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนน้อยกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง คือในกรณีที่ระบบยังคงมีช่องสัญญาณจองเหลือเพียงพอที่จะรองรับผู้ใช้บริการคลาส 2 จะพบว่าหากมีการจำกัดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้ให้มีจำนวนน้อยเกินไป จะทำให้เกิดการสูญเสียช่องสัญญาณจอง เนื่องจากการชนกันในช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 สามารถเข้าจองได้และการว่างของช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 ไม่สามารถเข้าจองได้ แต่หากเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้จนถึงค่าหนึ่งที่เหมาะสม พบว่าค่าวิสัยสามารถของระบบจะกลับเพิ่มสูงขึ้น เพราะการกระจายการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการออกไป จะช่วยลดโอกาสที่ผู้ใช้บริการจะเกิดการชนกันหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการลดจำนวนช่องสัญญาณจองที่เกิดการว่างในกรณีที่ระบบยังสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.42 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้และค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA

และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง

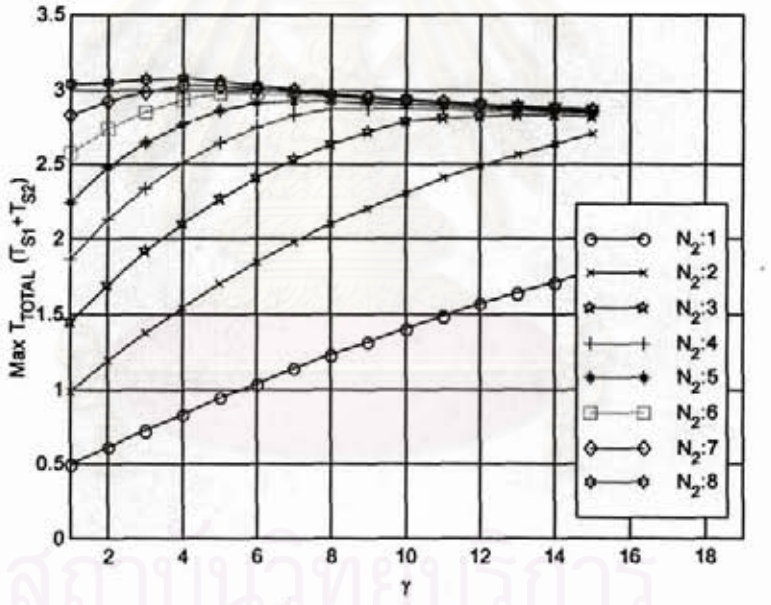
5.6.2 ผลของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA

จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าผลที่ได้จากการใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA จะเป็นเช่นเดียวกับผลที่ได้จากการใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA ทั้งในกรณีที่จำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนช่องสัญญาณจองหรือกรณีที่จำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนเท่ากับหรือมากกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจถึงสาเหตุของผลที่เกิดขึ้น ในส่วนนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้คงที่แตกต่างกัน

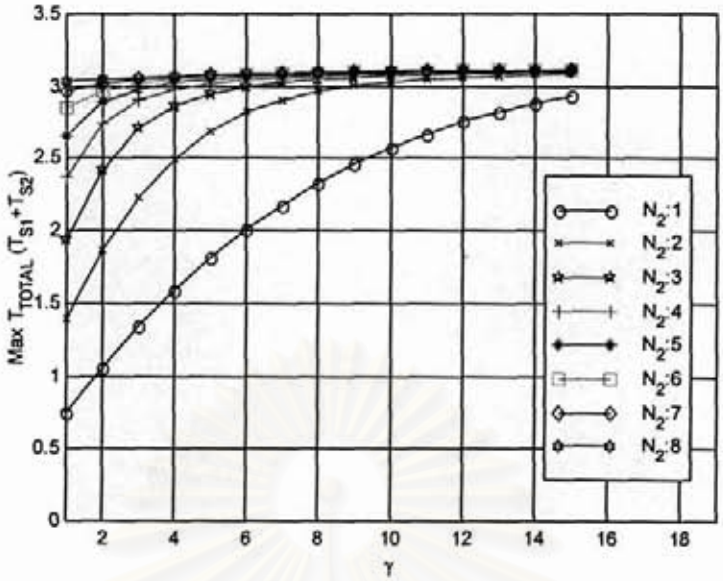
ผลการทดสอบทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าในทุกระบบที่ทำการทดสอบ เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้เท่ากับจำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรม จะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบที่ได้มีค่าสูงสุด

5.6.2.1 จำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ

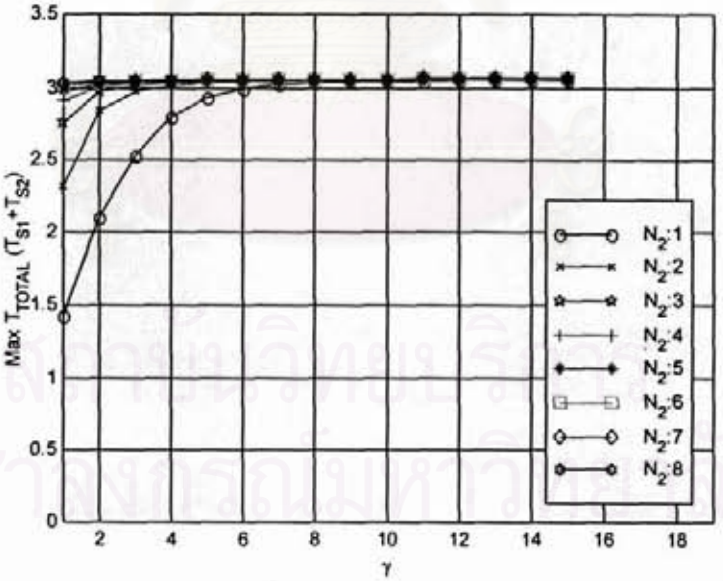
จากผลการทดสอบที่ได้ในรูปที่ 5.43 ถึงรูปที่ 5.45 พบว่าระบบที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง N_2 สูงกว่าจะทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงกว่า ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากเงื่อนไขของค่า γ ที่กำหนดทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 มีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ ถ้าจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้มีจำนวนน้อย อาจทำให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 มีค่าต่ำ และส่งผลกลับมายังการจำกัดค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 เพื่อให้ได้ค่า γ ที่ต้องการ อย่างไรก็ดีผลดังกล่าวนี้จะค่อย ๆ ลดลงตามค่า γ ที่เพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้ในกรณีที่ค่า γ สูง ๆ นั้น การกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้จำนวนมากหรือน้อยจะให้ผลที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะการเพิ่มค่า γ นั้นจะทำให้ผลการจำกัดค่าวิสัยสามารถระหว่างผู้ใช้บริการ 2 คลาสลดลง



รูปที่ 5.43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย และช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้ไว้คงที่แตกต่างกัน



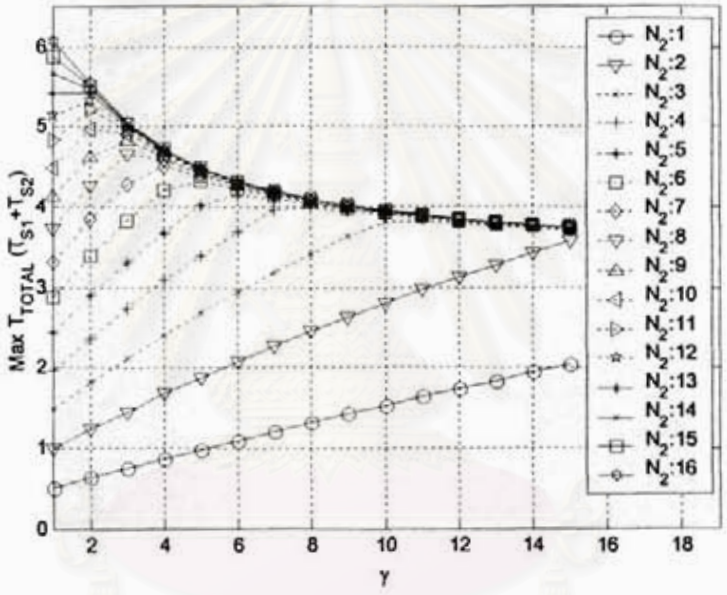
รูปที่ 5.44 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 ราย และช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้ไว้คงที่แตกต่างกัน



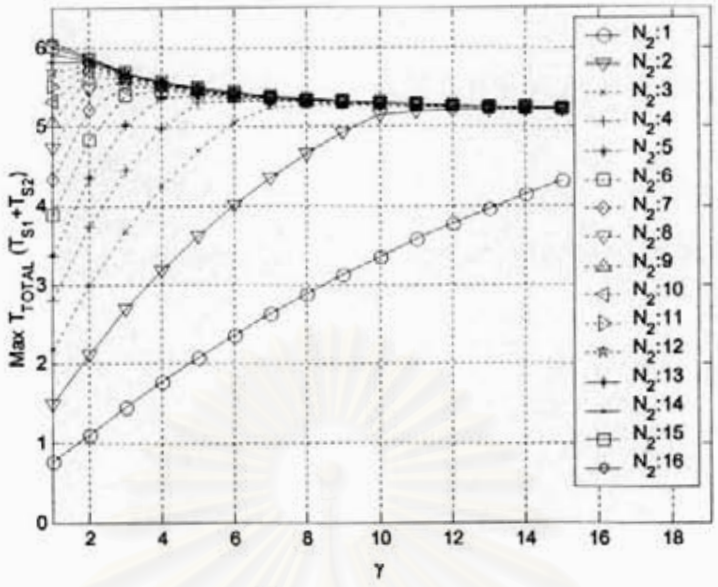
รูปที่ 5.45 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย และช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้ไว้คงที่แตกต่างกัน

5.6.2.2 จำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับหรือมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ

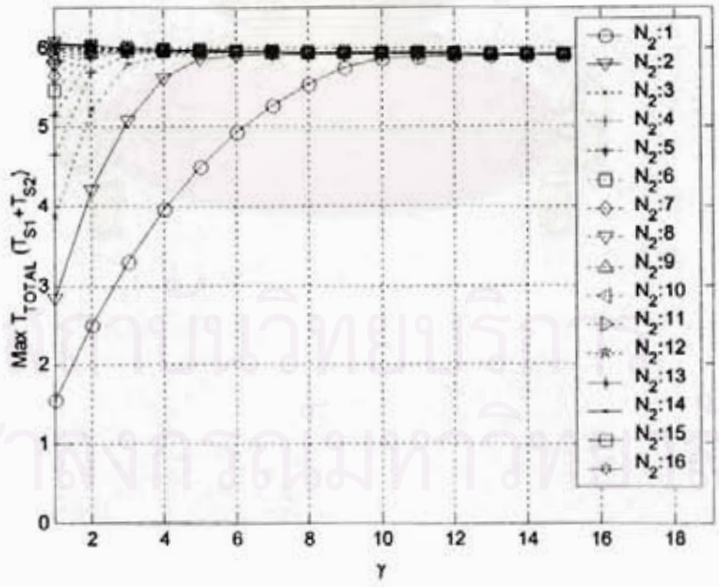
ในกรณีนี้จะขอยกตัวอย่างเพียงกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง เนื่องจากผลที่ได้ในกรณีที่จำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 32 ช่องจะให้ผลเช่นเดียวกัน ซึ่งจากผลการทดสอบที่ในรูปที่ 5.46 ถึง 5.48 พบว่าผลที่ได้จะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่องในข้างต้น แต่แนวโน้มที่ได้เนื่องจากการจำกัดค่าวิสัยสามารถจะลดลงเร็วขึ้นเมื่อเทียบกับจำนวนช่องสัญญาณจองที่มีกล่าวคือเมื่อค่า γ เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ค่าวิสัยสามารถของระบบที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้แตกต่างกันจะมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 5.46 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย และช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้ไว้คงที่แตกต่างกัน



รูปที่ 5.47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 ราย และช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้ไว้คงที่แตกต่างกัน



รูปที่ 5.48 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA กำหนดผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย และช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้ไว้คงที่แตกต่างกัน

บทที่ 6

ผลการเปรียบเทียบ

บทนี้กล่าวถึงผลการเปรียบเทียบซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกกล่าวถึงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในรายงานวิจัย 2 แบบ (UNI+MLA และ UNI+DS+MLA) และส่วนหลังจะกล่าวถึงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในรายงานวิจัยกับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian ที่กล่าวถึงในบทที่ 2 และเทคนิคที่ทำการประยุกต์ขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับระบบที่ทำการพิจารณาในรายงานวิจัย ทั้งกรณีที่ไม่มีและมีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ

ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบนั้น เพื่อให้ระบบสามารถทำการเปรียบเทียบกันได้อย่างยุติธรรม เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian ที่นำเสนอในบทที่ 2 จะได้ทำการปรับเปลี่ยนใหม่ ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian ในบทที่ 2 จะพบว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณนั้นกำหนดจากส่วนกลับของจำนวนผู้ใช้บริการ ซึ่งได้จากการประมาณค่าจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น แต่เนื่องจากระบบที่พิจารณาในรายงานวิจัยฉบับนี้จะอยู่บนสมมติฐานที่ว่าระบบสามารถทราบปริมาณโหลด (จำนวนผู้ใช้บริการ) ได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian ที่พิจารณาจะเปลี่ยนชื่อเป็น เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m

2. สมมติฐานของเทคนิคการเข้าจองช่องสัญญาณแบบ Pseudo Bayesian กำหนดให้ผู้ใช้บริการสามารถทำการเข้าจองช่องสัญญาณได้ทุก ๆ ช่องสัญญาณจองอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากระบบสามารถแจ้งผลการจองช่องสัญญาณกลับไปยังผู้ใช้บริการได้ทันที และทางด้านสถานีฐานก็สามารถปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและแจ้งไปยังผู้ใช้บริการทราบได้ก่อนถึงช่องสัญญาณจองถัดไป แต่เมื่อพิจารณากับระบบที่กำหนดในรายงานวิจัยฉบับนี้ การโต้ตอบกันระหว่างผู้ใช้บริการกับสถานีฐานแบบทันทีทันใดเป็นไปได้ยาก ดังนั้นในการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบ เทคนิคดังกล่าวจึงถูกแบ่งออกเป็น 2 แนวทาง คือ

2.1) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m ที่ผู้ใช้บริการสามารถทำการเข้าจองช่องสัญญาณได้หลายครั้งภายในเฟรมและสถานีฐานสามารถปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณได้ในทุกช่องสัญญาณจอง และแบ่งออกเป็น 2 เทคนิคย่อยได้ตามกรณีทดสอบ คือ

2.1.1 กรณีไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ เรียกว่า เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal

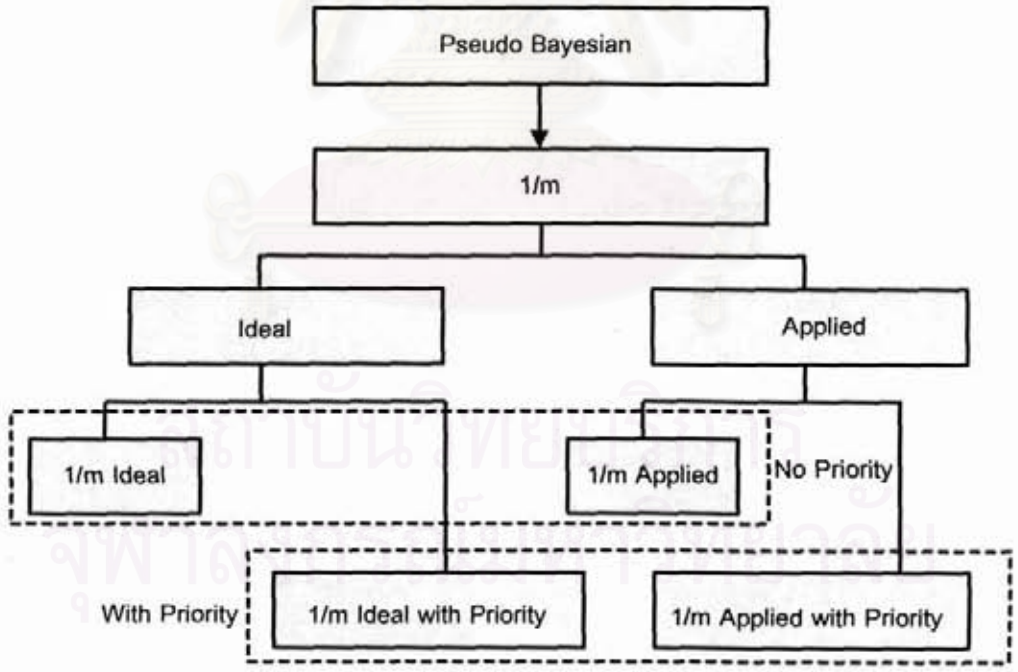
2.1.2 กรณีมีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ เรียกว่า เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority เมื่อกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 คือ $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 1$

2.2) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m ที่ผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงหนึ่งครั้งต่อเฟรม และสถานีฐานจะปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเพียงหนึ่งครั้งต่อเฟรม และแบ่งออกเป็น 2 เทคนิคย่อยได้ตามกรณีทดสอบ คือ

2.2.1 กรณีไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ เรียกว่า เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Applied

2.2.2 กรณีมีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณ เรียกว่า 1/m Applied with Priority เมื่อกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 คือ $\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 1$

ดังนั้นสามารถสรุปเทคนิคที่จะนำมาทำการเปรียบเทียบ ได้ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำมาทำการเปรียบเทียบ

ดังนั้นเนื้อหาในบทนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ 1. ผลการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของระบบระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA 2. ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ (เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA) กับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal และ 1/m Applied 3. ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ (เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA) กับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority และ 1/m Applied with Priority สำหรับสาเหตุที่ไม่นำเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA มาทดสอบนั้นเนื่องจากการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS กระทำได้ยากหรือไม่สามารถทำได้เลย และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA นั้นจะมีสมรรถนะที่สูงสุดเช่นเดียวกับเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA

6.1 ผลการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของระบบระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA

จากรูปที่ 6.2-6.4 พบว่าที่ค่า γ เท่ากับ 1 ในทุกระบบที่ทำการทดสอบ ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA จะมีค่าสูงกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เพราะการแบ่งช่องสัญญาณจองและผู้ใช้บริการออกเป็น 2 กลุ่มอย่างเหมาะสมจะสามารถลดโอกาสที่ผู้ใช้บริการจะเกิดการชนกัน เนื่องจากการสุ่มเลือกช่องสัญญาณจองในกลุ่มย่อยมีโอกาสจะเกิดการชนต่ำกว่า ทำให้โอกาสที่ผู้ใช้บริการแต่ละคลาส จะจองช่องสัญญาณสำเร็จเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการคือ 8 ช่อง จากรูปที่ 6.2 พบว่าในระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย จำนวนจุดที่ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA มีค่าต่ำกว่าและสูงกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA จะมีจำนวนใกล้เคียงกัน โดยเมื่อพิจารณาจุดที่ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA มีค่าสูงกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA นั้นพบว่ามักจะเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 โดยเมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 เปลี่ยนไป

หากอัตราส่วนจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาสเป็นค่าที่เหมาะสม จะทำให้มีโอกาสที่ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 เพิ่มขึ้นมากกว่าค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่ลดต่ำลง ทำให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเพิ่มขึ้นและอาจสูงกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA แต่เมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าคงที่ จะพบว่าการเพิ่มค่า γ จะส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA มีค่าต่ำลงกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เพราะการเพิ่มค่า γ ในขณะนี้จะส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 ลดลง ในขณะที่ค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 1 มีค่าคงที่หรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเพราะจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนคงที่ ดังนั้นค่าวิสัยสามารถของระบบจึงลดลง นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าที่ค่า γ สูง ๆ ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA จะมีค่าต่ำกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เนื่องจากการจำกัดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 จะสามารถเข้าจองได้ในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA

เมื่อพิจารณาระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 ราย พบว่าผลที่ได้คล้ายกัน แต่จุดที่ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA มีค่าต่ำกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA จะเพิ่มขึ้น เพราะการที่จำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนมากขึ้น ทำให้จำนวนช่องสัญญาณจองที่ต้องการเพื่อรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 เพิ่มสูงขึ้น แต่ในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA ช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 จะสามารถเข้าจองได้มีจำนวนจำกัด จึงทำให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA จะมีค่าสูงกว่า นอกจากนี้จะพบว่าความแตกต่างระหว่างค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA จะมีค่าสูงกว่ากรณีระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย

เมื่อพิจารณาระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย จะพบว่าที่ทุกค่า γ ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA จะมีค่าต่ำกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เนื่องจากในกรณีนี้จำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนสูงกว่าจำนวนช่องสัญญาณจองที่สามารถกำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 มาก

เมื่อพิจารณาระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับจำนวนผู้ใช้บริการคือ 16 ช่องในรูปที่ 6.3 ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย พบว่าในกรณีนี้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA จะมีค่าสูงกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เนื่องจากกรณีนี้มีจำนวนช่องสัญญาณจองเพียงพอรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการ การแบ่งช่องสัญญาณจองออกเป็น 2 กลุ่มอย่างเหมาะสมจะทำให้โอกาสการชนกันของผู้ใช้บริการลดลง นอกจากนี้จะพบว่าความแตกต่างระหว่างค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA จะลดลงตามค่า γ ที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดีเมื่อทำการเพิ่มค่า γ มากขึ้นจนถึงค่าหนึ่ง คาดว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA จะมีค่าต่ำกว่าค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA

เมื่อพิจารณาระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 ราย พบว่าโดยทั่วไป ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA จะมีค่าสูงกว่าค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA อย่างไรก็ดีจะพบว่าที่ค่า γ บางค่า ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA จะมีค่าสูงกว่า เพราะการที่จำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ในระบบมีจำนวนสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย พบว่าโดยทั่วไปค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA จะยังคงสูงกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA โดยผลที่ได้จะยิ่งชัดเจนขึ้นเมื่อค่า γ เพิ่มขึ้น เพราะการที่จำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ในระบบมีจำนวนมากและการจำกัดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 จะสามารถเข้าจองได้ในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA

เมื่อพิจารณาระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณจองมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการคือมีจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 32 ช่องในรูปที่ 6.4 พบว่าระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 4 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 12 ราย และระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 8 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 8 ราย ในกรณีนี้ที่ทุกค่า γ ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA จะมีค่าสูงกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เพราะจำนวนช่องสัญญาณจองในระบบขณะนี้มีจำนวนมากเพียงพอที่จะรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการทั้ง 2 คลาสที่เข้าจอง

ช่องสัญญาณ ดังนั้นการแบ่งส่วนช่องสัญญาณจองจึงเป็นการเพิ่มโอกาสที่ผู้ใช้บริการจะสามารถจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ อย่างไรก็ดีเมื่อค่า γ ที่ต้องการเพิ่มสูงขึ้นถึงค่าหนึ่ง คาดว่าค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA จะมีค่าต่ำกว่าค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA

เมื่อพิจารณาระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย พบว่าโดยทั่วไปค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA จะมีค่าสูงกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เนื่องจากขณะนี้ช่องสัญญาณจองเริ่มมีจำนวนมากเพียงพอรองรับกับผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่มีจำนวนมาก การแบ่งช่องสัญญาณจองเริ่มส่งผลดีต่อระบบ อย่างไรก็ดีจะพบว่าที่ค่า γ สูง ๆ ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA นั้นจะเริ่มมีค่าสูงกว่า ซึ่งเป็นผลจากการจำกัดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 จะสามารถเข้าจองได้ในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA

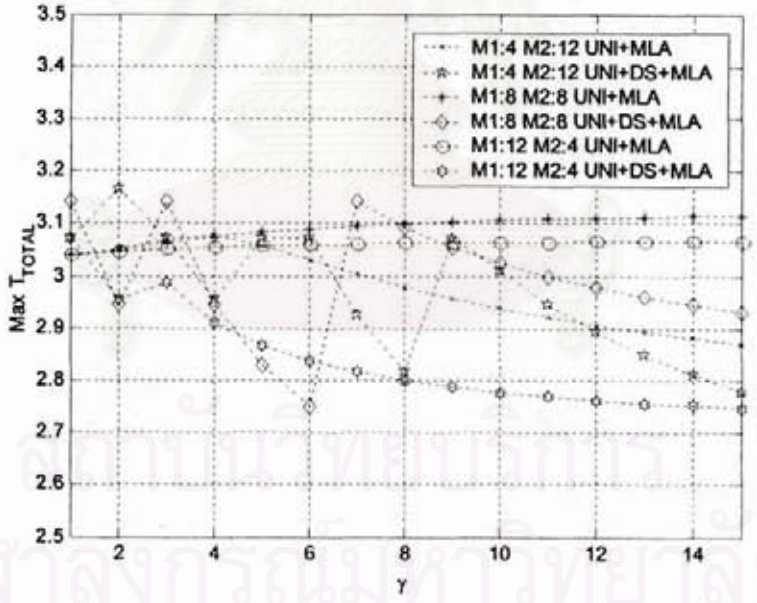
จากผลที่ได้พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อสมรรถนะของระบบในแง่ของค่าวิสัยสามารถสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และ UNI+DS+MLA สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประการ ดังนี้

1.) จำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรม ในกรณีที่จำนวนช่องสัญญาณจองมีจำนวนต่ำกว่าจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA มักจะมีค่าสูงกว่า เพราะผู้ใช้บริการคลาส 1 มีโอกาสในการเข้าจองได้ในช่องสัญญาณจองทั้งหมด ในขณะที่จำนวนช่องสัญญาณจองสูงสุดที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 สามารถเข้าจองได้เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA จะมีจำนวนน้อยกว่า แต่ถ้าหากช่องสัญญาณจองมีจำนวนเพียงพอที่จะรองรับจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองช่องสัญญาณ ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA อาจจะมีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA ทั้งนี้จะขึ้นกับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่า γ ที่ต้องการเป็นลำดับต่อไป

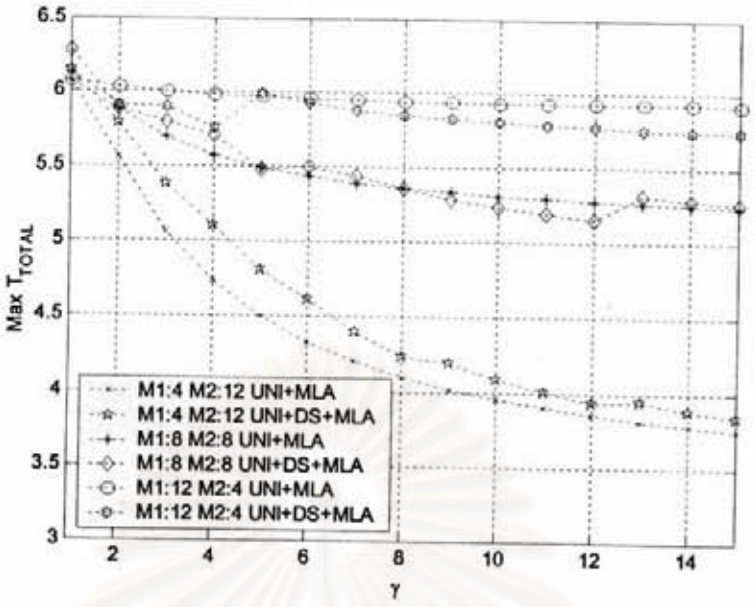
2.) จำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ถ้าจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ในระบบมีจำนวนมาก ค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA มักจะมีค่าต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการที่จำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนมาก จะทำให้ช่องสัญญาณจองที่ต้องการเพื่อรองรับกับผู้ใช้บริการคลาส 1 เพิ่มสูงขึ้นไปด้วย ดังนั้นในกรณีที่ช่องสัญญาณจองมีไม่เพียงพอรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 จะส่งผลให้เกิดการจำกัดค่าวิสัยสามารถระหว่างผู้ใช้บริการ 2 คลาส เพื่อให้ได้ค่า γ ที่ต้องการ แต่ถ้าหาก

จำนวนช่องสัญญาณจองมีเพียงพอรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 จะพบว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA อาจมีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA โดยจะขึ้นกับค่า γ ที่ต้องการเป็นลำดับต่อไป

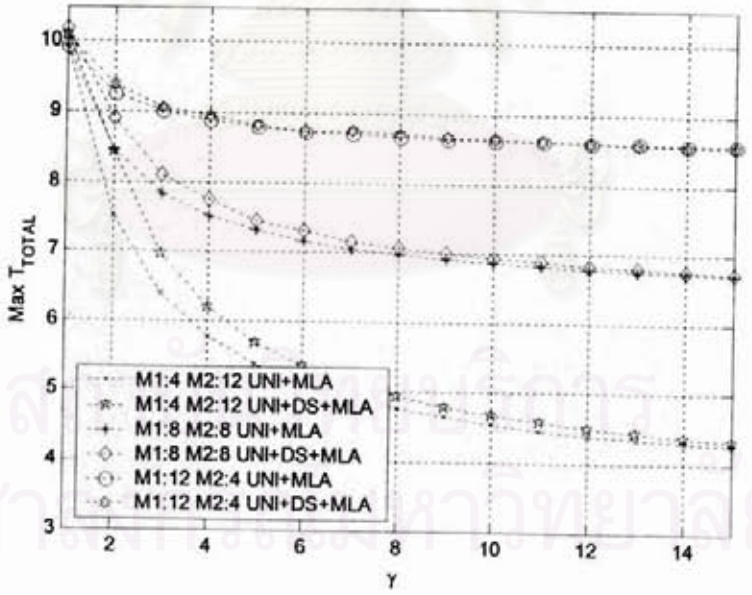
3.) ค่า γ ที่ต้องการกล่าวคือ ถ้าค่า γ ที่ระบบต้องการมีค่าสูง แนวโน้มที่ระบบจะต้องมีการจำกัดค่าวิสัยสามารถระหว่างผู้ใช้บริการทั้งสองคลาสเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA ย่อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากในขณะที่ค่า γ สูงนั้นผู้ใช้บริการคลาส 1 ย่อมต้องมีค่าวิสัยสามารถที่สูงกว่าค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 มาก ซึ่งจะทำให้เกิดการจำกัดค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 มากขึ้นตามลำดับ ทำให้ช่องสัญญาณจองในส่วนของผู้ใช้บริการคลาส 2 เกิดการว่าง แต่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นเมื่อค่า γ ที่ต้องการเพิ่มขึ้นจึงมีแนวโน้มทำให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA มีค่าสูงกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA



รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า γ และค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เปรียบเทียบกับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง



รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า γ และค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เปรียบเทียบกับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง



รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ และค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เปรียบเทียบกับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 32 ช่อง

6.2 ผลการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI UNI+LA CFP 1/m Applied และ 1/m Ideal

รูปที่ 6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบต่าง ๆ จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal จะมีค่าสูงสุด เนื่องจากการที่ผู้ใช้บริการสามารถทราบผลการจองช่องสัญญาณได้ทันที และสามารถเข้าจองช่องสัญญาณใหม่เมื่อไม่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ ทางด้านสถานีฐานก็สามารถปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณได้ให้มีค่าเหมาะสมกับปริมาณโหลดที่ระบบรองรับ (จำนวนผู้ใช้บริการที่เหลืออยู่ในระบบ) ได้ในทุกต้นช่องสัญญาณจอง อย่างไรก็ดีจะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มสูงขึ้นจนมีจำนวนเกินกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ค่าวิสัยสามารถของระบบที่ได้จะมีค่าลดต่ำลง นอกจากนี้จะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนสูงมาก ๆ ค่าวิสัยสามารถของระบบที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA ทั้งนี้เพราะในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA มีการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณก่อนที่ผู้ใช้บริการจะผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณ ทำให้สามารถจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่จะผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณให้เหมาะสมกับจำนวนช่องสัญญาณจองได้ โดยจะพบว่าช่องสัญญาณจอง 1 ช่องจะมีผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณจำนวน 1 รายเช่นเดียวกับจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal ในขณะใด ๆ ดังจะกล่าวต่อไป และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณทั้งสองในแง่ของค่าวิสัยสามารถของระบบและความซับซ้อนในเชิงปฏิบัติแล้วพบว่า เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal แม้จะสามารถให้ค่าวิสัยสามารถที่สูงสุดก็ตาม แต่ค่าที่สูงนี้จะยังคงใกล้เคียงกับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA นอกจากนี้เมื่อมองในทางปฏิบัติแล้วจะพบว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal นี้จะมีความซับซ้อนและเงื่อนไขที่มากกว่า กล่าวคือระบบจะต้องทำการโต้ตอบกับผู้ใช้บริการได้อย่างทันที

สำหรับเทคนิคที่ให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุดถัดมาคือเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA และ UNI เนื่องจากการให้ผู้ใช้บริการสุ่มเลือกเข้าจองช่องสัญญาณจะสามารถกระจายปริมาณโหลดไปยังส่วนต่าง ๆ ภายในเฟรมได้อย่างเหมาะสมทำให้มีการใช้ประโยชน์ช่องสัญญาณได้สูง แต่ข้อด้อยของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI คือไม่มีการรักษาเสถียรภาพของระบบในกรณีที่ระบบรองรับจำนวนผู้ใช้บริการเกินกว่าจำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรม ในขณะที่เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA นั้นเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนสูง

เกินกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ระบบจะทำการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่สามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้ อย่างไรก็ดีในกรณีที่จำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนช่องสัญญาณจองนั้นผลที่ได้จากเทคนิคการจองช่องสัญญาณทั้งสองแบบคือ UNI และ UNI+LA นั้นจะไม่แตกต่างกัน

เทคนิคที่ให้สมรรถนะที่สูงสุดถัดจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA คือ เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP เนื่องจากค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่กำหนดนั้น พิจารณาจากจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนช่องสัญญาณจอง อย่างไรก็ดีจะพบว่าค่าวิสัยสามารถของระบบที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA ในทุกสภาวะโหลดและต่ำกว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI ในขณะที่ระบบมีเสถียรภาพ เนื่องจากการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการที่ต้องกระทำเรียงลำดับจากช่องสัญญาณจองต้นเฟรมไปยังช่องสัญญาณจองท้ายเฟรม ทำให้เกิดการใช้ช่องสัญญาณจองเป็นจำนวนมากในช่วงต้นเฟรมและจะค่อยๆ ลดปริมาณการใช้ลงตามตำแหน่งของช่องสัญญาณจองที่เพิ่มขึ้น สำหรับสาเหตุอีกประการคือการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการที่จะมีค่าคงที่ตลอดทั้งเฟรม ทำให้ค่าที่ได้ไม่สามารถเป็นค่าที่เหมาะสมอย่างตลอดเวลา เพราะจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนช่องสัญญาณจองในระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ให้สมรรถนะต่ำที่สุดคือเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Applied เพราะการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการที่ต้องกระทำเรียงลำดับ และการที่ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณจะมีค่าคงที่ตลอดเฟรม นอกจากนี้การกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในวิธีนี้ที่จะพิจารณาจากปริมาณโหลดที่ระบบรองรับเท่านั้น ในขณะที่ระบบ CFP จะคำนึงถึงจำนวนช่องสัญญาณจองที่มีด้วย จึงทำให้แนวโน้มของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Applied ที่พิจารณานี้มีค่าต่ำสุด

นอกจากนี้เพื่อให้เห็นสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณในแต่ละแบบได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ส่วนนี้จะแสดงถึงจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณในช่องสัญญาณจองแต่ละช่อง โดยเมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองมากกว่าจำนวนผู้ใช้บริการคือ จำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่องและจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 10 ราย จากผลการทดสอบในรูปที่ 6.6 พบว่าสาเหตุที่ค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal จะมีค่าสูงสุดเพราะจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณในช่องสัญญาณจองใด ๆ จะมีจำนวนเท่ากับ 1 ราย โดยเมื่อพิจารณา ณ ช่องสัญญาณจองใด ๆ ที่มีผู้ใช้บริการเข้าจองช่องสัญญาณจำนวน m ราย จะได้ว่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในช่องสัญญาณจองจะมีค่าเท่ากับ $p(1-p)^{m-1}$ โดยจะพบว่าค่าความน่าจะเป็นนี้จะมีค่าสูงสุดเมื่อ $p = 1/m$ [17] (m เป็นจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองในช่องสัญญาณจองนั้น) อย่างไรก็ดีจะสังเกตได้ว่า

ในช่วงหลังจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองช่องสัญญาณจะมีจำนวนลดน้อยลง เนื่องจากในขณะนี้ปริมาณโหลดมีไม่มากทำให้มีโอกาสที่ผู้ใช้บริการบางส่วนจะประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณไปแล้ว

เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Applied และ CFP พบว่าจะมีลักษณะที่คล้ายกัน กล่าวคือในช่องสัญญาณจองช่องแรก ๆ จะมีผู้ใช้บริการเข้าจองช่องสัญญาณจำนวนมาก และจะลดต่ำลงในช่องสัญญาณจองช่องถัดไป เนื่องจากการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่จะมีค่าคงที่ตลอด เฟรมและการที่ผู้ใช้บริการแต่ละรายมีโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียว โดยในช่องสัญญาณจองท้าย ๆ จะเหลือผู้ใช้บริการเข้าจองช่องสัญญาณจำนวนน้อยมาก อย่างไรก็ดีค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP จะมีค่าสูงกว่าค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Applied เพราะค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่กำหนดนั้นพิจารณาจากจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรม

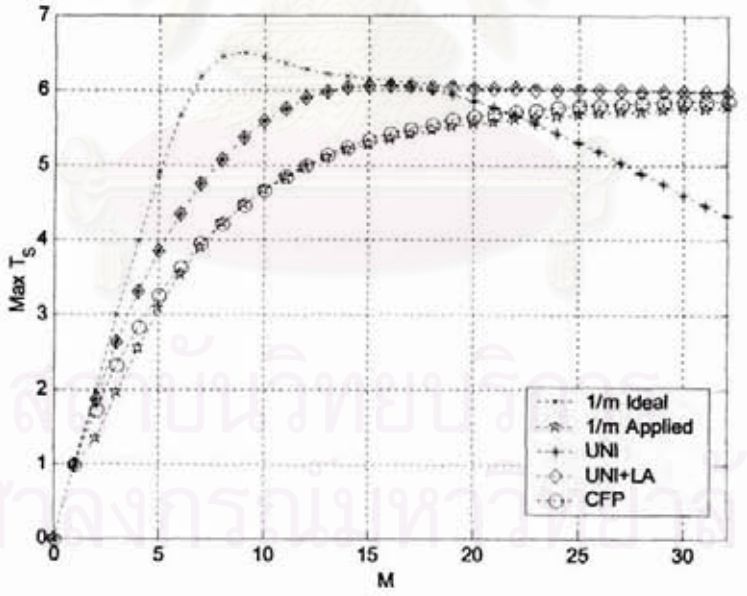
สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI และ UNI+LA นั้นในกรณีนี้จะให้ผลเช่นเดียวกันเพราะจำนวนช่องสัญญาณจองมีเพียงพอที่จะรองรับปริมาณโหลดของผู้ใช้บริการ โดยเมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณจะพบว่าช่องสัญญาณจองทุกช่องจะมีจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณใกล้เคียงกัน อันแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณดังกล่าวสามารถกระจายการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการได้ออกไปอย่างทั่วถึงตลอดเฟรม อย่างไรก็ดีจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณในช่องสัญญาณจองช่องใด ๆ จะมีจำนวนต่ำกว่า 1 ส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบที่ได้จะต่ำกว่าค่าวิสัยสามารถของระบบที่ใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal เนื่องจากระบบสามารถอนุญาติให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวต่อเฟรม

เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณเมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง คือมีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 25 รายและจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่องในรูปที่ 6.7 พบว่าในกรณีนี้จำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal จะมีจำนวนเท่ากับ 1 รายในทุก ๆ ช่องสัญญาณจอง เพราะจำนวนผู้ใช้บริการที่ระบบรองรับในขณะนี้มีจำนวนสูงกว่าจำนวนของช่องสัญญาณจอง แต่ระบบก็ยังสามารถจำกัดปริมาณโหลดส่วนเกินได้และยังสามารถทำให้ผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณในแต่ละช่องเท่ากับ 1 ได้ ในขณะที่เทคนิคอื่นๆ เช่นเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI นั้นจะมีจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณในแต่ละช่องที่สูงกว่า 1 และจากเหตุผลดังกล่าวนี้จึงทำให้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal มีค่าวิสัยสามารถที่สูงสุด

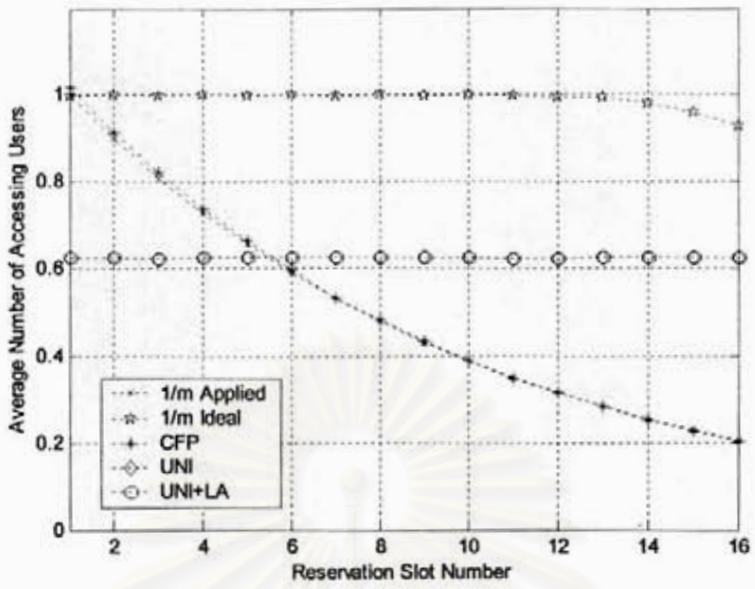
สำหรับจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองในช่องสัญญาณจองของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Applied พบว่าจะมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้บริการเข้าจองช่องสัญญาณจำนวน 10 ราย คือในช่วงแรกจะมีผู้ใช้บริการจำนวนมากที่เข้าจองช่องสัญญาณและจะค่อยๆ ลดลงในช่องสัญญาณจองถัดไป

ในขณะที่เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI นั้นพบว่าระบบจะมีจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองในช่องสัญญาณแต่ละช่องเกินกว่า 1 ราย เนื่องจากเป็นการแบ่งปริมาณโหลดที่มีไปยังช่องสัญญาณแต่ละช่องเท่าๆ กัน ดังนั้นผู้ใช้บริการจึงเกิดการชนกันและทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าต่ำ

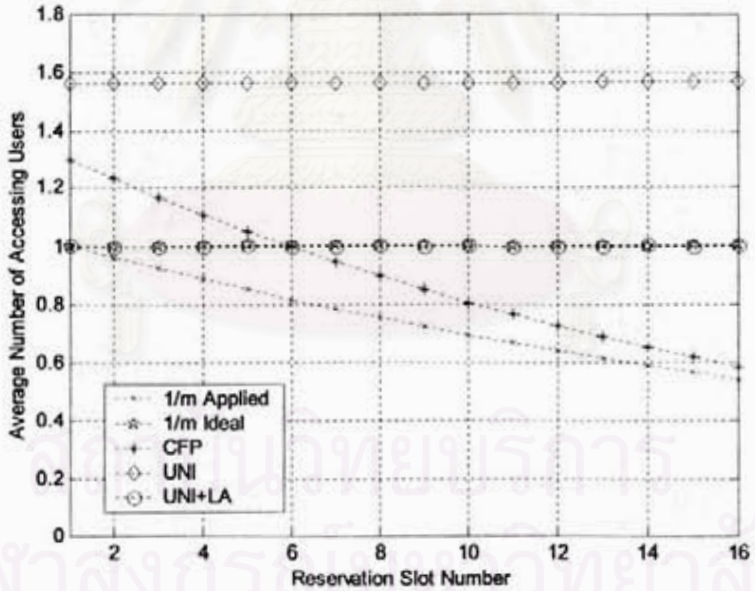
เมื่อพิจารณาเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA จากผลที่ได้พบว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA มีความแตกต่างจากระบบ UNI อย่างมากในสภาวะโหลดสูง โดยเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณพบว่าระบบจะยังคงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 ราย เนื่องจากระบบมีการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณทำให้ระบบสามารถกำจัดผู้ใช้บริการที่ระบบไม่สามารถรองรับได้ออกไป



รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำ นวนผู้ใช้บริการและค่าวิสัยสามารถของระบบ เมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal 1/m Applied UNI UNI+LA และ CFP และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง



รูปที่ 6.6 จำนวนผู้ใช้บ ริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณ ณ ช่องสัญญาณจองช่องใด ๆ เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการจำนวน 10 ราย ช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง



รูปที่ 6.7 จำนวนผู้ใช้บ ริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณ ณ ช่องสัญญาณจองช่องใด ๆ เมื่อกำหนดจำนวนผู้ใช้บริการจำนวน 25 ราย ช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง

6.3 ผลการเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA UNI+DS+MLA 1/m Applied with Priority และ 1/m Ideal with Priority

สำหรับการเปรียบเทียบสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการนั้น ในกรณีนี้จะยกตัวอย่างเพียง 2 กรณี คือเมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 และ 16 ช่อง ซึ่งจากผลการทดสอบในหัวข้อ 6.1 พบว่าในกรณีทั้งสอง สมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA จะมีค่าต่ำกว่าสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA อย่างไรก็ดีจะพบว่าหากทำการทดสอบที่ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ สมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA นั้นอาจจะมีค่าสูงกว่าสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA ได้ ดังนั้นผลการวิเคราะห์ในส่วนนี้ทั้งหมดจึงเป็นผลมาจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นสำคัญ

รูปที่ 6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณประเภทต่าง ๆ และกำหนดผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย ช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่อง จากผลการทดสอบพบว่าลักษณะโดยรวมค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority จะมีค่าสูงสุด เนื่องจากระบบสามารถปรับค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในแต่ละช่องสัญญาณจองให้เป็นค่าที่เหมาะสมตามปริมาณโหลดที่ระบบรองรับในขณะนั้น และยังเปิดโอกาสให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายมีโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณได้มากกว่าหนึ่งครั้งต่อเฟรม อย่างไรก็ดีจะสังเกตได้ว่าที่ค่า γ เท่ากับ 1 ค่าวิสัยสามารถของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority จะมีค่าต่ำกว่าค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA เนื่องจากการแบ่งช่องสัญญาณจองอย่างเหมาะสมด้วยเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA จะช่วยทำให้โอกาสที่ผู้ใช้บริการจะจองช่องสัญญาณสำเร็จเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากในจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนช่องสัญญาณจองที่เท่ากันนั้นการแบ่งกลุ่มของผู้ใช้บริการและช่องสัญญาณจองออกเป็นส่วน ๆ จะช่วยเพิ่มโอกาสในการจองช่องสัญญาณสำเร็จและลดผลของการชนลงได้ดังที่กล่าวในข้างต้น นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าเมื่อค่า γ ที่ต้องการเพิ่มสูงขึ้น ค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority จะมีค่าสูงขึ้นด้วย เพราะการที่ผู้ใช้บริการในระบบที่ไม่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณมีโอกาสที่จะเข้าจองช่องสัญญาณได้ใหม่ ทำให้การจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองช่องสัญญาณเนื่องจากผลของค่า γ ลดน้อยลง อีกทั้งการเพิ่มค่า γ นั้นยังเป็นการช่วยลดจำนวนผู้ใช้บริการลงคล้ายกับการแบ่งกลุ่มในการเข้าจองช่องสัญญาณ (กลุ่มที่มีลำดับความสำคัญสูงและลำดับความสำคัญต่ำ) โอกาสในการชนที่เกิดขึ้นจึงลดลง ซึ่งผล

ดังกล่าวนี้จะแตกต่างจากในระบบที่ผู้ใช้บริการมีโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียว โดยเมื่อเพิ่มค่า γ แนวโน้มของค่าวิสัยสามารถของระบบจะลดลง ยกเว้นค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA

แม้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority ดังกล่าวจะสามารถให้ค่าวิสัยสามารถของระบบที่สูงสุดในเทคนิคทั้งหมดที่พิจารณาก็ตาม แต่ในทางปฏิบัตินั้นพบว่าเทคนิคนี้จะสามารถนำไปใช้งานจริงได้ยากที่สุดเพราะการโต้ตอบกันระหว่างผู้ใช้บริการและสถานีฐานต้องกระทำได้ทันทีตลอดเวลา ซึ่งในความจริงระบบย่อมมีเวลาประวิงทั้งจากการประมวลผลและการส่งสัญญาณ ทำให้การแจ้งค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่องสัญญาณจองไปยังผู้ใช้บริการและการแจ้งผลการจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการที่จองช่องสัญญาณไม่สำเร็จเพื่อให้ทำการเข้าจองช่องสัญญาณใหม่ในช่องสัญญาณจองถัดไปยากที่จะทำได้ในทันที

สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่กำหนดให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงหนึ่งครั้งต่อเฟรม เมื่อทำการเพิ่มค่า γ แนวโน้มของค่าวิสัยสามารถของเทคนิคกลุ่มนี้ทุกระบบจะมีค่าลดลง ยกเว้นเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA ที่เป็นเช่นนี้เพราะระบบที่พิจารณาในกรณีนี้เป็นระบบที่มีจำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ ทำให้เมื่อทำการเพิ่มค่า γ แล้วจะสามารถช่วยในการจำกัดปริมาณโหลดของผู้ใช้บริการอีกคลาสหนึ่ง ทำให้โอกาสในการชนกันลดลง ซึ่งผลดังกล่าวนี้จะเป็นการเพิ่มสมรรถนะให้กับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เพียงเทคนิคเดียวเนื่องจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA จะมีการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองช่องสัญญาณในแต่ละเฟรม ผ่านทางการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการแต่ละคลาสเพียงครั้งเดียวที่ต้นเฟรม ซึ่งมีความละเอียดสูงเพียงพอ นอกจากนี้ยังไม่มีการจำกัดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 จะสามารถเข้าจองได้ ทำให้ลักษณะ ดังนั้นในระบบที่ทำการทดสอบนี้ค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA จึงมีค่าที่ดีที่สุดเมื่อไม่ทำการพิจารณาเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with priority

เมื่อพิจารณาเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA พบว่ามีการแบ่งช่องสัญญาณจองออกเป็นสองส่วนสำหรับผู้ใช้บริการในแต่ละกลุ่มอย่างอิสระ ซึ่งการแบ่งกลุ่มนี้จะขาดความละเอียดเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของจำนวนช่องสัญญาณจองและการที่ขณะนี้ช่องสัญญาณจองมีจำนวนน้อย จึงทำให้ในกรณีนี้เมื่อเพิ่มค่าของ γ มากขึ้นจะส่งผลตรงข้ามกับในข้างต้นคือจะเป็นการจำกัดค่าวิสัยสามารถของกันและกันระหว่างผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 ทำให้การแบ่งจำนวนช่องสัญญาณจองที่เกิดขึ้นส่งผลเสียต่อระบบมากกว่าผลดี อีกทั้งการจำกัดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 จะสามารถเข้าจองได้ในกรณีที่

จำนวนช่องสัญญาณจองมีไม่เพียงพอรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ส่งผลต่อการจำกัดค่าวิสัยสามารถของผู้ใช้บริการคลาส 2 ผ่านทางค่า γ ที่ต้องการด้วย ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA ในกรณีนี้ส่วนมากจะมีค่าต่ำ อย่างไรก็ดี ถ้าหากทำการทดสอบในกรณีที่กำหนดพารามิเตอร์เท่ากับค่าอื่น ๆ จะพบว่าค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA อาจจะมีค่าสูงกว่าค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และ 1/m Applied with Priority ได้

สำหรับกรณีเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Applied with Priority นั้นการเพิ่มค่า γ จะส่งผลทำให้เกิดการจำกัดการเข้าจองช่องสัญญาณคล้ายกับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA แต่จะแตกต่างกันในแง่ของสาเหตุการจำกัดกล่าวคือในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Applied with Priority นั้นจะมีลักษณะการเข้าจองช่องสัญญาณเป็นแบบตามลำดับจากช่องสัญญาณจองต้นเฟรมไปยังช่องสัญญาณจองท้ายเฟรม ดังนั้นเมื่อมีการจำกัดผู้ใช้บริการมากขึ้น (ในทุกช่องสัญญาณจอง) ช่องสัญญาณจองท้ายเฟรมย่อมมีโอกาสที่จะเกิดการว่างสูงขึ้นดังจะเห็นได้จากจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณในช่องสัญญาณจองแต่ละช่อง ดังแสดงในรูปที่ 6.10 ซึ่งจะมีจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองช่องสัญญาณเป็นปริมาณมากในช่วงแรกจากนั้นค่อย ๆ ลดลงตามลำดับของช่องสัญญาณจอง

ผลที่ได้จากการทดสอบระบบเมื่อมีจำนวนช่องสัญญาณจองเพียงพอกับจำนวนผู้ใช้บริการคือ 16 ช่อง กำหนดผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 รายในรูปที่ 6.9 พบว่าแนวโน้มโดยรวมส่วนใหญ่จะคล้ายกับที่กล่าวในข้างต้น คือ เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority จะมีแนวโน้มของค่าวิสัยสามารถสูงสุดดังเหตุผลที่กล่าวในข้างต้น สำหรับแนวโน้มของค่าวิสัยสามารถของระบบที่กำหนดให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงหนึ่งครั้งต่อเฟรมพบว่าค่าวิสัยสามารถของระบบในทุกเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ทดสอบจะมีค่าลดลงตามเงื่อนไขของ γ ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA ผลดังกล่าวนี้จะแตกต่างจากในกรณีจำนวนช่องสัญญาณจองน้อยกว่าจำนวนผู้ใช้บริการ เพราะกรณีข้างต้นช่องสัญญาณจองมีไม่เพียงพอดังนั้นการลดปริมาณโหลดจึงส่งผลดีต่อระบบ แต่ในขณะนี้จำนวนช่องสัญญาณจองมีมากพอที่จะรองรับผู้ใช้บริการทำให้การจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการเนื่องจากค่า γ ส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถลดลง นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA จะมีค่าสูงกว่าค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Applied with Priority ในทุกช่วงของค่า γ ที่พิจารณา เนื่องจากขณะนี้ระบบมีจำนวนช่องสัญญาณจองเพิ่มขึ้นจึงทำให้ข้อจำกัดของความไม่ต่อเนื่องของช่องสัญญาณจองลดลง การแบ่งช่องสัญญาณที่เกิดขึ้น

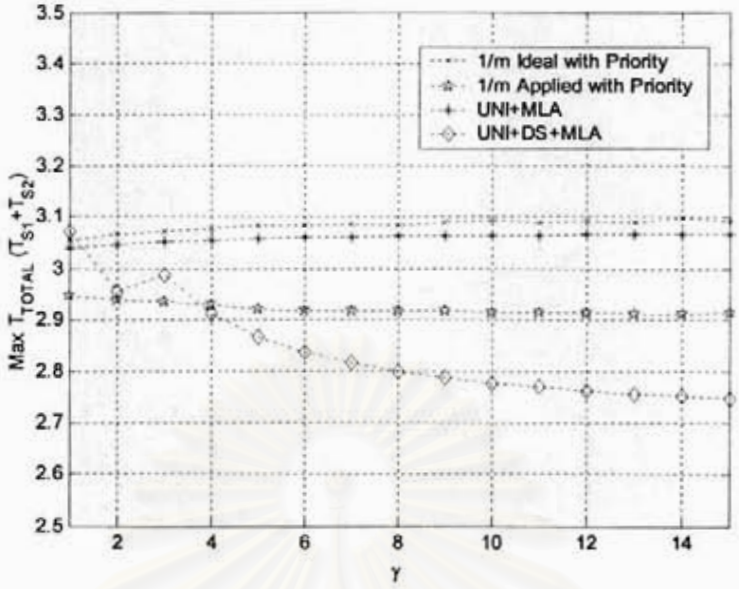
สามารถทำได้ละเอียดมากขึ้น น อกจากนี้จากการที่ช่องสัญญาณจองมีเพียงพอรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 จึงทำให้ผลการจำกัดค่าวิสัยสามารถระหว่างผู้ใช้บริการทั้ง 2 คลาสลดลง

เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณในช่องสัญญาณจองแต่ละช่อง เมื่อกำหนดผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 8 ช่อง ที่ค่า γ เท่ากับ 8 ในรูปที่ 6.10 แล้วพบว่าในทุกเทคนิคการจองช่องสัญญาณ (1/m Ideal with Priority UNI+MLA และ UNI+DS+MLA ในส่วนของผู้ใช้บริการแต่ละคลาส) ยกเว้นเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Applied with Priority จะสามารถจำกัดปริมาณโหลดส่วนเกินได้ โดยถึงแม้ว่าในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA จะมีจำนวนผู้ใช้บริการเข้าจองช่องสัญญาณอย่างสม่ำเสมอคือ 1 ราย ซึ่งเป็นค่าที่ระบบต้องการคือ ช่องสัญญาณจอง 1 ช่องมีผู้ใช้บริการเข้าจองเพียง 1 ราย แต่ผู้ใช้บริการในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority จะมีโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณมากกว่า ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบที่ได้สูงกว่า สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA นั้นจะมีข้อสังเกตที่สำคัญคือค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองช่องสัญญาณนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนกลุ่มผู้ใช้บริการทั้งนี้เป็นผลมาจากค่า γ ที่ต้องการ ซึ่งเป็นข้อด้อยที่สำคัญในกรณีมีเงื่อนไขของ γ ค่าสูง ๆ เพราะการจำกัดที่เกิดขึ้นจะสูงมากจนทำให้ช่องสัญญาณจองดังกล่าวเกิดการว่างแทนและจะส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าต่ำกว่าค่าวิสัยสามารถของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบอื่น ๆ ดังที่ได้กล่าวในข้างต้น โดยในกรณีนี้จะพบว่าช่องสัญญาณจองในส่วนที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จะมีจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณเท่ากับ 1 ราย เนื่องจากในขณะนี้ระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 มีจำนวนมาก ในขณะที่กลุ่มของช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 2 จะมีค่าไม่เท่ากับ 1 เพราะผลของค่า γ ที่ต้องการ

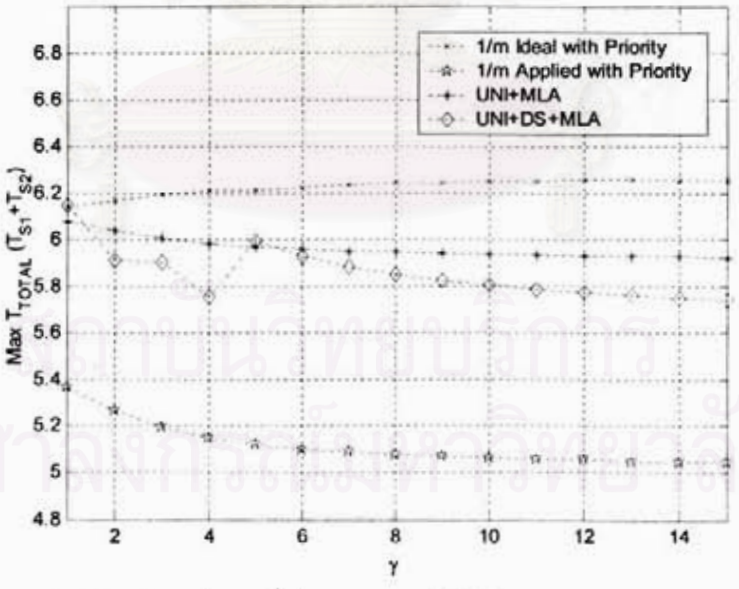
สำหรับจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณจองในช่องสัญญาณจองแต่ละช่อง เมื่อกำหนดผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย ในกรณีที่กำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองเท่ากับ 16 ช่อง ที่ค่า γ เท่ากับ 8 ดังแสดงในรูปที่ 6.11 นั้นพบว่าผลที่ได้จะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับในข้างต้นกล่าวคือในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority UNI+MLA และ UNI+DS+MLA ในแต่ละกลุ่มผู้ใช้บริการ จะมีจำนวนผู้ใช้บริการเข้าจองช่องสัญญาณโดยเฉลี่ยเท่ากันทุก ๆ ช่อง โดยจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority จะมีค่าประมาณ 1 แต่ในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และ UNI+DS+MLA นั้นจะมีจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณจะมีค่าต่ำกว่า 1 เพราะผลการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ

เพื่อให้ได้ค่า γ ที่ต้องการและการที่ช่องสัญญาณจองมีจำนวนเพียงพอรองรับกับผู้ใช้บริการคลาส 1 สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Applied with Priority นั้นจะมีคล้ายกับในส่วนแรกกล่าวคือจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าจองในช่องสัญญาณจองในช่วงแรกจะมีค่าสูงแล้วค่อย ๆ ลดลงในช่องสัญญาณจองถัดไป

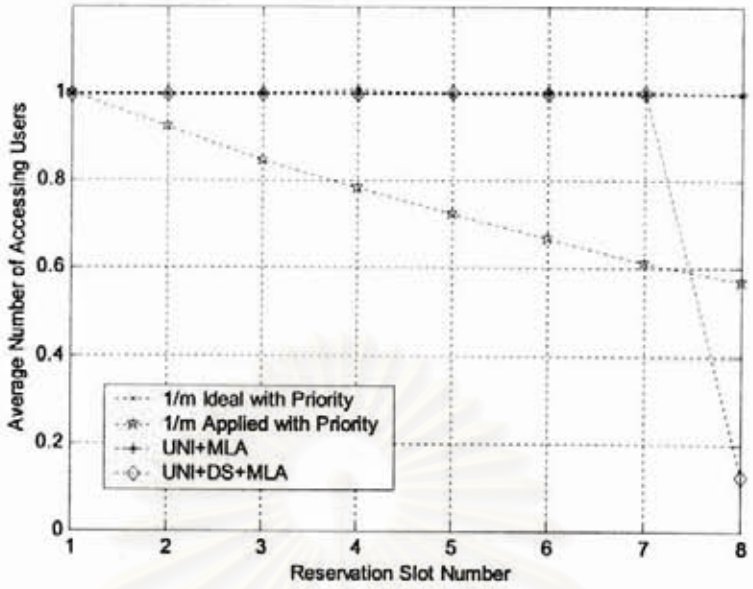
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



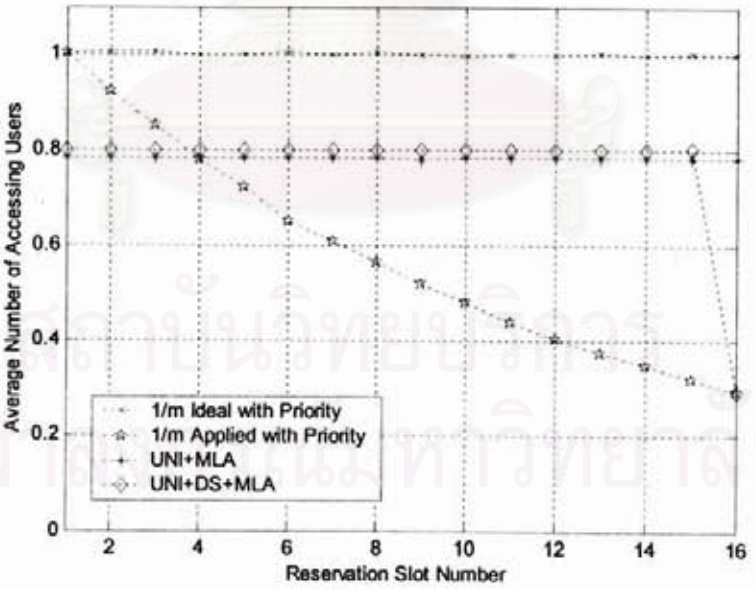
รูปที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority 1/m Applied with Priority UNI+MLA และ UNI+DS+MLA ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง



รูปที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า γ ที่ต้องการและค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Ideal with Priority 1/m Applied with Priority UNI+MLA และ UNI+DS+MLA ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง



รูปที่ 6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณจองและจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคต่าง ๆ ที่ค่า $\gamma = 8$ ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 8 ช่อง



รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องสัญญาณจองและจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่เข้าจองช่องสัญญาณ เปรียบเทียบระหว่างเทคนิคต่าง ๆ ที่ค่า $\gamma = 8$ ของระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน 12 ราย ผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน 4 ราย และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจอง 16 ช่อง

บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทนี้กล่าวถึงบทสรุปของเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในรายงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

7.1 บทสรุป

รายงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับระบบที่มีเวลาประวิงสัมพัทธ์ยาว เช่น ระบบสื่อสารไร้สายที่มีความเร็วสูง ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม เนื่องจากระบบที่พิจารณาเป็นระบบที่มีเวลาประวิงสัมพัทธ์ยาว ทำให้ผู้ใช้บริการไม่สามารถทราบผลการจองช่องสัญญาณได้ทันก่อนจะสิ้นสุดส่วนการจอง ดังนั้นผู้ใช้บริการจึงมีโอกาสเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวต่อเฟรม

เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอในรายงานวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP (Cascade Fixed Probability) และ เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS (Random Slot Selection)

ในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP นั้นการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณจะพิจารณาจากปริมาณโหลดที่ระบบรองรับ (จำนวนผู้ใช้บริการ) และจำนวนช่องสัญญาณจองที่มีในเฟรม ซึ่งจะช่วยทำให้ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ได้เป็นค่าที่เหมาะสมมากกว่าการกำหนดจากปริมาณโหลดเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ดีค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณจะมีการกำหนดเพียงครั้งเดียวที่ต้นเฟรม ทำให้ค่าที่ได้จึงยังไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมในทุกๆ ช่องสัญญาณจองภายในเฟรม เนื่องจากจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนช่องสัญญาณจองจะมีจำนวนลดน้อยลงเรื่อย ๆ และการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการที่ต้องกระทำเรียงลำดับจากช่องสัญญาณจองต้นเฟรมไปยังช่องสัญญาณจองท้ายเฟรม ทำให้ปริมาณการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการที่ช่องสัญญาณจองแต่ละช่องแตกต่างกัน กล่าวคือช่องสัญญาณในช่วงต้นเฟรมจะมีปริมาณการใช้งานที่สูงเมื่อเทียบกับบริเวณท้ายเฟรม โอกาสในการชนจึงเกิดขึ้นได้มากในช่วงต้นเฟรมหรือในอีกแง่หนึ่งนั้นจะเป็นการเพิ่มโอกาสที่จะเกิดการว่างในช่วงท้ายเฟรม

จากข้อด้อยของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP และพัฒนาการของเทคโนโลยีการสื่อสารปัจจุบันที่ทำให้แนวโน้มของบริการที่ระบบต้องรองรับมีความหลากหลายเพิ่มขึ้น ซึ่งบริการแต่ละประเภทต่างก็มีคุณภาพการบริการที่ต้องการแตกต่างกัน รายงานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำเสนอ

เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS เพื่อแก้ไขข้อด้อยดังกล่าว โดยมีหลักการคือผู้ใช้บริการจะทำการสุ่มเลือกเข้าจองในช่องสัญญาณจองอย่างสุ่ม ดังนั้นจะพบว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS นั้นมีข้อดีคือสามารถกระจายปริมาณโหลดไปยังช่องสัญญาณต่าง ๆ ภายในเฟรมได้อย่างเท่าเทียมกัน ซึ่งจะช่วยลดโอกาสในการชนและการว่างของช่องสัญญาณ ทั้งนี้สามารถแบ่งเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอออกเป็น 2 ประเภท คือ

1.) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ ได้แก่ เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA

2.) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการตามคุณภาพการบริการที่ต้องการ โดยตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดคุณภาพการบริการที่ต้องการในรายงานวิจัยฉบับนี้คือค่า γ ซึ่งกำหนดเป็นอัตราส่วนของค่าวิสัยสามารถต่อผู้ใช้บริการระหว่างผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 โดยเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอได้แก่ เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และ เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA

ในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI ผู้ใช้บริการแต่ละรายที่เข้าจองช่องสัญญาณจะทำการสุ่มเลือกช่องสัญญาณจองของตนเองขึ้นมา 1 หนึ่งช่อง ดังนั้นจะพบว่าเทคนิคนี้มีข้อดีคือง่ายต่อการนำไปใช้งานจริงเนื่องจากสถานีฐานไม่จำเป็นต้องทราบจำนวนช่องสัญญาณจองและจำนวนผู้ใช้บริการ จากผลการทดสอบพบว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI จะให้สมรรถนะที่ดีในช่วงที่จำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง เพราะถ้าจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนสูงกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง จะทำให้ผู้ใช้บริการบางรายสุ่มเลือกช่องสัญญาณจองได้เป็นช่องเดียวกันและเกิดการชนขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดต่ำลง

ในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA ซึ่งอาศัยการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเพื่อจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่จะผ่านเข้าไปทำการจองช่องสัญญาณแบบ UNI พบว่าสามารถแก้ไขปัญหาการลดลงของค่าวิสัยสามารถของระบบในช่วงที่จำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนสูงกว่าจำนวนช่องสัญญาณจองที่พบในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI ได้ สำหรับการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณนั้น หากกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณไว้ต่ำ จะทำให้มีผู้ใช้บริการจำนวนน้อยผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณ ดังนั้นการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่ต่ำจึงเหมาะสำหรับระบบที่มีผู้ใช้บริการสูงกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง ในทางตรงกันข้ามการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่สูง

จะเป็นการจำกัดสิทธิ์การเข้าใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการน้อยกว่า ดังนั้นการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่สูงจะเหมาะสำหรับระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการต่ำ และในกรณีที่กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณไว้เท่ากับ 1 ระบบจะมีการทำงานเช่นเดียวกับเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI ซึ่งจะเหมาะสมในกรณีที่มีจำนวนผู้ใช้บริการภายในระบบน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนช่องสัญญาณจอง อย่างไรก็ดีเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA นั้นยังมีข้อด้อยคือไม่สามารถทำการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการได้

ในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS พบว่าเป็นเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการที่ง่ายที่สุด โดยการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการจะกระทำโดยการแบ่งช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาส จากนั้นผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้าจองช่องสัญญาณจะทำการสุ่มเลือกเข้าจองช่องสัญญาณในกลุ่มของตนแบบ UNI ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าหากทำการกำหนดอัตราส่วนจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาสอย่างเหมาะสม จะสามารถทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าสูงขึ้นได้ เนื่องจากการแบ่งส่วนช่องสัญญาณจองจะช่วยเพิ่มโอกาสที่ผู้ใช้บริการในแต่ละกลุ่มจะสามารถจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาระบบที่มีการกำหนดคุณภาพการบริการที่ต้องการ (ค่า γ) พบว่าจะเป็นการยากที่ระบบจะสามารถปรับค่า γ ให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้ เนื่องจากการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองจะกระทำได้เป็นขั้น ๆ ไม่ต่อเนื่อง อย่างไรก็ดีจะพบว่าหากระบบมีจำนวนช่องสัญญาณจองเพิ่มขึ้นจะทำให้การปรับค่า γ ที่ต้องการทำได้ง่ายขึ้นเพราะจำนวนช่วงที่สามารถปรับได้เพิ่มขึ้น และเมื่อค่า γ ที่ต้องการเพิ่มสูงขึ้น จะพบว่าจำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จะเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เพื่อเพิ่มโอกาสในการที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 จะจองช่องสัญญาณสำเร็จและในขณะเดียวกันก็เป็นการลดโอกาสที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะจองช่องสัญญาณสำเร็จ

ในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA ซึ่งสามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการโดยการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้จำนวนผู้ใช้บริการแต่ละคลาสที่สามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณมีจำนวนต่างกัน ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าระบบจะสามารถควบคุมให้ได้ค่า γ ที่ต้องการในทุกค่าเพราะค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่สามารถปรับได้จะมีลักษณะที่ต่อเนื่อง โดยจะพบว่าเมื่อค่า γ ที่ต้องการเพิ่มขึ้น ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 จะเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 จะมีค่าต่ำลง โดยการที่ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 เพิ่มขึ้นนี้เพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสให้ผู้ใช้บริการคลาส 1 ผ่านไปเข้าจองช่องสัญญาณได้มากขึ้น ส่วนการที่ค่าโอกาสในการ

เข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2 ลดต่ำลงนั้นเพื่อเป็นการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่จะเข้าไปแข่งขันเพื่อจองช่องสัญญาณกับผู้ใช้บริการคลาส 1

ในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA การกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณสามารถทำได้โดยการแบ่งจำนวนช่องสัญญาณจองและการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาสแตกต่างกัน จากผลการทดสอบพบว่าระบบจะสามารถควบคุมให้ได้ค่า γ ที่ต้องการในทุกค่าเช่นเดียวกับเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและจำนวนช่องสัญญาณจองจะคล้ายกับผลที่ได้จากการใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างค่า γ ที่ต้องการและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จะคล้ายกับผลที่ได้จากการใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA

สำหรับค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่ได้เปรียบเทียบกันระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA พบว่าสมรรถนะของระบบเมื่อเปรียบเทียบกันจะขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรม จำนวนผู้ใช้บริการแต่ละคลาส และค่า γ ที่ต้องการ โดยจะพบว่าถ้าหากช่องสัญญาณจองมีจำนวนมากเพียงพอรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 และค่า γ ที่ต้องการไม่สูงเกินไป การแบ่งช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาสอย่างอิสระต่อกัน ร่วมกับการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสม จะช่วยทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบที่ได้จากการใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA มีค่าสูงกว่าค่าวิสัยสามารถของระบบเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA เพียงอย่างเดียวได้ อย่างไรก็ดีเมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองมีไม่เพียงพอรองรับกับจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่มีจำนวนมาก หรือเมื่อต้องการค่า γ สูง ๆ จะพบว่าค่าวิสัยสามารถของระบบที่ได้จากการใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA จะสูงกว่า

ในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA นั้น การกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการสามารถทำได้โดยการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณและจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการแต่ละคลาสจะสามารถเข้าจองได้ ซึ่งการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA นี้จะแตกต่างกับการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA คือช่องสัญญาณจองจะยังคงถูกใช้ร่วมกันระหว่างผู้ใช้บริการ ไม่ได้ถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาสอย่างเช่นในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA จากผลที่ได้พบว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ

Partial UNI+MLA จะมีสมรรถนะสูงสุดเมื่อจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้มีจำนวนเท่ากับจำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรม นั่นคือระบบจะมีการทำงานเช่นเดียวกับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA

ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบในเชิงขอบเขตค่าวิสัยสามารถในกรณีที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ (CFP UNI และ UNI+LA) และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Applied พบว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่ให้สมรรถนะโดยรวมดีที่สุดเรียงตามลำดับคือ เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI (ในช่วงที่มีเสถียรภาพ) เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP และ เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Applied

ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบในเชิงของค่าวิสัยสามารถในกรณีที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการระหว่างเทคนิคที่นำเสนอ (UNI+MLA และ UNI+DS+MLA) กับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Applied with Priority พบว่าสมรรถนะระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA และเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA นั้นจะขึ้นกับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบดังได้กล่าวแล้วข้างต้น อย่างไรก็ดีโดยทั่วไปสมรรถนะของทั้งสองเทคนิคจะสูงกว่าสมรรถนะของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ 1/m Applied with Priority

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์ในข้างต้นนี้จะพบว่าสมรรถนะของระบบในเชิงของค่าวิสัยสามารถเมื่อใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอทั้งในกรณีที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญ (UNI, UNI+LA) หรือมีการกำหนดลำดับความสำคัญ (UNI+MLA, UNI+DS+MLA, Partial UNI+MLA) ในการเข้าจองช่องสัญญาณจะเพิ่มสูงขึ้นกว่าเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีนำเสนอในอดีตเนื่องจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอออกแบบมาโดยคำนึงถึงทั้งปริมาณโหลดที่ระบบรองรับและจำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรม ทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับเฟรมนั้น ๆ มากกว่าการคำนึงถึงแต่ปริมาณโหลดเพียงอย่างเดียว ดังนั้นเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอจึงเหมาะสำหรับประยุกต์ใช้ในระบบที่มีเวลาประวิงสัมพัทธ์ยาว ซึ่งผู้ใช้บริการมีโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวต่อเฟรม นอกจากนี้เทคนิคที่นำเสนอยังสามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการตามคุณภาพการบริการที่ต้องการได้ ซึ่งเหมาะสำหรับรองรับกับพัฒนาการสื่อสารแบบมัลติมีเดียในอนาคต

7.2. ข้อเสนอแนะ

1.) เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางประเภทอื่น ๆ ที่มีการแข่งขันกันของผู้ใช้บริการ

2.) เนื่องจากคุณภาพการบริการที่ต้องการในงานวิจัยส่วนใหญ่ที่มีนำเสนอในปัจจุบัน มักจะเน้นไปที่การพิจารณาค่าเวลาประวิง ดังนั้นในงานวิจัยต่อไป อาจจะทำการพิจารณาถึงค่าเวลาประวิงที่เกิดขึ้นจากการใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอ

3.) เนื่องจากข้อกำหนดในงานวิจัยคือสถานีฐานจะสามารถทราบจำนวนผู้ใช้บริการได้ที่ทุกต้นเฟรม (ปริมาณโหลดที่ระบบรองรับ) ซึ่งในความเป็นจริงสถานีฐานไม่สามารถจะทราบได้ ดังนั้นถ้าหากสามารถหาวิธีการในการประมาณปริมาณโหลดที่ระบบรองรับได้อย่างเหมาะสม จะช่วยให้สมรรถนะที่ได้จากการใช้เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่นำเสนอเพิ่มสูงยิ่งขึ้น

4.) การกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ พบว่าอาจทำได้ด้วยเทคนิคอื่น ๆ ยกตัวอย่างเช่น การกำหนดให้ผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่าสามารถสุ่มเลือกช่องสัญญาณจองได้จำนวนมากกว่าหนึ่งช่อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

1. Tanenbaum, A.S. Computer Networks, 3rd ed. (n.p.): Prentice-Hall, 1996.
2. Bertsekas, D.; and Gallager, R. Data Network 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 1992.
3. Peyravi, H. Medium Access Control Protocols Performance in Satellite Communications. IEEE Communication Magazine Vol. 37, No. 3 (March 1999): 62-71.
4. Nguyen, T; and Suda, T. Survey and Evaluation of Multiple Access Protocols in Multimedia Satellite Networks. IEEE Proceedings of Southeastcon (1990): 408-413.
5. Sanchez, J.; Marinez, R.; and Marcellin, M.W. A Survey of MAC Protocols Proposed for Wireless ATM. IEEE Network Vol. 11, No. 6 (November/December 1997): 52-62.
6. Akyildiz, I.F.; and McNair, J. Medium Access Control Protocols for Multimedia Traffic in Wireless Networks. IEEE Network Vol. 3, No. 4 (July/August 1999): 39-47.
7. Brand, A.; and Aghvami, A. Multidimensional PRMA with prioritized Bayesian broadcast-a MAC strategy for multiservice traffic over UMTS. IEEE Transaction on Selected Areas Issue.4 (November 1998): 1148-1161.
8. Frigon, J.F.; and Leung, V.C.M. A Pseudo-Bayesian Aloha Algorithm with Mixed Priorities for Wireless ATM. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Vol. 1 (1998): 45-49.
9. Salles, R.M.; and de Lira Gondim, P.R. Performance of priority-based multiple access with dynamic permission (PBMA DP) for multimedia wireless networks. IEEE Proceedings of ICC Vol. 1 (1998): 161-165.
10. Raychaudhuri, D. Wireless ATM Networks: Technology Status and Future Directions. Proceedings of the IEEE. Vol.87, No. 10 (October 1999): 1790-1806.
11. Anastasi, G.; and Lenzini, L. HIPERLAN/1 MAC Protocol: Stability and Performance Analysis. IEEE Journal on Selected Area in Communications Vol. 18, No. 9 (September 2000): 1787-1798.

12. Bolcskei, H.; Pauiraj, A.J.; Hari, K.V.S.; and Nabar, R.U. Fixed Broadband Wireless Access: State of the Art, Challenges, and Future Directions. IEEE Communications Magazine Vol. 39, Issue. 1 (January 2001): 100-108.

13. Suzuki, T.; and Tasaka, S. A Performance Comparison of ALOHA-Reservation and PRMA in Integrated Voice and Data Wireless Local Area Networks. IEEE Proceedings of TENCON Vol. 2, No. 7 (1992): 754-758.

14. Karol, M.J.; Zhao Liu; and Eng, K.Y. Distributed-queueing request update multiple access (DQRUMA) for wireless packet (ATM) networks. IEEE Proceedings of ICC Vol. 2 (1995): 1224-1231.

15. Thanasorravit, A.; Charoenpanitkit, A.; and Wuttisittikulkij, L. Performance of dynamic frame reservatron multiple access-dynamic permissron (DFRMA-DP) protocol for integrated voice and data service in wireless communication systems. IEEE Proceedings of VTC Vol. 3 (2001): 2113-2117.

16. Goodman, D.J.; Valenzuela, R.A.; Gayliard, K.T.; Ramamurthi, B. Packet reservation multiple access for local wireless communications. IEEE Transactions on Communications Vol.37, No.8 (August 1989): 885-890.

17. Taaghol, P.; Tafazolli, R.; Evans, B.G. Performance Optimisation of Packet Reservation Multiple Access Through Novel Permission Probability Strategies. IEE Proceeding of NTRCS , (1996): 8/1-8/5.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย