

การประเมินสมรรถนะค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของเทคนิคการแก้ไขการชน
แบบ CFP UNI และอัลกอริทึม MODIFIED TREE

นายกมลასน์ วรรณคง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

AVERAGE DELAY PERFORMANCE EVALUATION OF COLLISION RESOLUTION
TECHNIQUES : CFP UNI AND MODIFIED TREE ALGORITHM

Mr. Kamalas Wannakong

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินสมรรถนะค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของเทคนิค
การแก้ไขการชนแบบ CFP UNI และ
อัลกอริทึม MODIFIED TREE

โดย

นายกมลასน์ วรรณคง

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศศิริวงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ทีฆพุด)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พสุ แก้วปลั่ง)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พรหมมี)

กมลასน์ วรรณคง : การประเมินสมรรถนะค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP UNI และอัลกอริทึม MODIFIED TREE (AVERAGE DELAY PERFORMANCE EVALUATION OF COLLISION RESOLUTION TECHNIQUES : CFP UNI AND MODIFIED TREE ALGORITHM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.ลัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ, 58 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเทคนิคการแก้ไขการชนจำนวน 3 วิธี ได้แก่ อัลกอริทึม Modified CFP, Modified UNI และ Modified Tree ซึ่งได้รับการพัฒนาและปรับปรุงขึ้นจากเทคนิคการแก้ไขการชนแบบดั้งเดิม ได้แก่ อัลกอริทึม CFP, UNI และ Tree ตามลำดับ การวัดสมรรถนะของอัลกอริทึมพิจารณาจากค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พัฒนาเทคนิคการหาค่าเวลาประวิงเฉลี่ยด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์สำหรับอัลกอริทึม CFP, Modified CFP, UNI และ Modified UNI และพัฒนาโปรแกรมจำลองการทำงานของอัลกอริทึมทั้งหมด ผลการทดสอบสมรรถนะของอัลกอริทึมเหล่านี้พบว่า 1) กลไกการปรับค่าความน่าจะเป็นให้เหมาะสมกับจำนวนผู้ใช้ที่มีอยู่ในระบบแทนการใช้ค่าความน่าจะเป็นแบบคงที่ตลอดตามที่เสนอในอัลกอริทึม Modified CFP ช่วยให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยในการแก้ปัญหาการชนลดลงกว่าอัลกอริทึม CFP แบบดั้งเดิมได้ 2) การปรับขนาดของเฟรมให้สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้ที่มีอยู่ในระบบจำนวนผู้ใช้ที่มีอยู่ในระบบแทนการใช้ขนาดเฟรมคงที่ตลอดตามที่เสนอใน อัลกอริทึม Modified UNI ช่วยให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยในการแก้ปัญหาการชนลดลงกว่าอัลกอริทึม UNI แบบดั้งเดิมได้อย่างมีนัยสำคัญ 3) เทคนิคการปรับลดจำนวนสล็อตที่ไม่ก่อให้เกิดความสำเร็จลงตามที่เสนอในอัลกอริทึม Modified Tree ช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้งานสล็อตดีขึ้น ส่งผลให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยในการแก้ปัญหาการชนลดลงกว่าอัลกอริทึม Tree แบบดั้งเดิมได้อย่างมาก ทั้งนี้ ประสิทธิภาพที่เพิ่มสูงขึ้นของอัลกอริทึมเหล่านี้เกิดขึ้นได้จากข้อสมมุติฐานที่ว่าผู้ใช้ทราบข้อมูลผลการส่งมากขึ้น และอัลกอริทึมที่เสนอก็คสามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อ.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2555.....

5270652221 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : AVERAGE DELAY / COLLISION RESOLUTION / FEEDBACK INFORMATION

KAMALAS WANNAKONG : AVERAGE DELAY PERFORMANCE EVALUATION OF COLLISION
RESOLUTION TECHNIQUES : CFP UNI AND MODIFIED TREE ALGORITHM.

ADVISOR : ASSOC. PROF. LUNCHAKORN WUTTISITTIKULKIJ, Ph.D., 58 pp.

This thesis proposes three collision resolution techniques, namely Modified CFP, Modified UNI and Modified Tree algorithms, which have been developed and modified from the conventional collision resolution techniques, namely CFP, UNI and Tree algorithms. Performance of each algorithm is measured in terms of the average delay. In this thesis, mathematical analysis has been developed to determine the average delay for algorithms CFP, Modified CFP, UNI and Modified UNI and computer simulations have been developed for all algorithms. Based on our performance evaluations, it is found that: 1) the proposed adaptive permission probability mechanism as introduced in the Modified CFP to replace the fixed permission probability as previously used in the CFP can help reduce the average delay in contention resolution. 2) the use of the adaptive frame size as proposed in the Modified UNI instead of the fixed frame size as used in the conventional UNI algorithm can substantially improve the average delay in contention resolution. 3) the mechanism of skipping unnecessary slots as proposed in the Modified Tree can increase efficiency of slot usage, resulting in the reduction of average delay as compared to the traditional tree algorithm. It is important to emphasize that the increase in performance of these algorithms are derived from the assumption that users receive additional feedback information and also the fact that the proposed algorithms are capable of exploiting these additional information effectively.

Department :Electrical Engineering..... Student's Signature.....

Field of Study :Electrical Engineering..... Advisor's Signature.....

Academic Year :2012.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้หากขาดความช่วยเหลือ และแนะนำจาก ผู้เกี่ยวข้องทั้งหลาย

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ลัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการวิจัย ขอขอบคุณ ดร.นรรรัตน์ วัฒนมงคล ที่ได้ให้ ข้อเสนอแนะที่สำคัญทั้งในการวิจัยและทักษะด้านการเขียนโปรแกรม รวมทั้ง Ms. Annur Robithoh นักศึกษาชาวอินโดนีเซีย ที่คอยช่วยเหลือในการค้นคว้างานวิจัย ขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นน้อง และเพื่อนๆ ใน ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าสื่อสารทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและสมาชิกในครอบครัวที่ให้การสนับสนุน ให้ กำลังใจและความเข้าใจต่อข้าพเจ้าเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ.....	3
1.5 ผลประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
1.6 คำโครงวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ความรู้พื้นฐาน.....	5
2.1 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง.....	5
2.2 ตัวอย่างโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบสุ่มที่มีการนำเสนอในอดีต.....	7
2.3 อัลกอริทึมการแก้ไขการชนกันที่มีการนำเสนอในอดีต.....	10
2.4 สมมติฐานเบื้องต้น (Basic assumption) ของเทคนิคการแก้ไขการชนที่พิจารณา และนำเสนอ.....	12
2.5 เทคนิคการแก้ไขการชนที่พิจารณาและนำเสนอ.....	13
บทที่ 3 เทคนิคการแก้ไขการชน.....	14
3.1 เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP.....	14
3.2 เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified CFP.....	27
3.3 เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ UNI.....	28
3.4 เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified UNI.....	37

	หน้า
3.5 อัลกอริทึม Modified Tree.....	38
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์.....	41
4.1 ผลของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP.....	42
4.2 ผลของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified CFP.....	46
4.3 ผลของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ UNI.....	48
4.4 ผลของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified UNI.....	51
4.5 ผลของอัลกอริทึม Modified Tree.....	52
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	54
5.1 บทสรุป.....	54
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	55
รายการอ้างอิง.....	56
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	58

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1	
เปอร์เซ็นต์ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยที่ลดลงของเทคนิค Modified CFP	
เปรียบเทียบกับเทคนิค CFP.....	48
ตารางที่ 4.2	
จำนวนสล็อตต่อเฟรมที่มีค่าเหมาะสมของเทคนิค UNI.....	50

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การแบ่งประเภทของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง.....	5
2.2 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบมีการจอง ช่องสัญญาณแบบ ALOHA Reservation.....	7
2.3 กลไกการทำงานของโพรโทคอล ALOHA.....	8
2.4 ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล ALOHA.....	8
2.5 ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล slotted ALOHA.....	9
2.6 ตัวอย่างอัลกอริทึม Tree ซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้บริการ 6 ราย และจำนวนกลุ่มย่อยเท่ากับ 3....	11
3.1 ลักษณะกลไกการทำงานของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP	15
3.2 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 1 รายในระบบที่มีสล็อต จำนวน 2 สล็อตต่อเฟรมของเทคนิค CFP.....	17
3.3 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 2 รายในระบบที่มีสล็อต จำนวน 2 สล็อตต่อเฟรมของเทคนิค CFP.....	18
3.4 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 2 รายในระบบที่มีสล็อต จำนวน 3 สล็อตต่อเฟรมของเทคนิค CFP.....	20
3.5 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 3 รายในระบบที่มีสล็อต จำนวน 2 สล็อตต่อเฟรมของเทคนิค CFP.....	23
3.6 ลักษณะกลไกการทำงานของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ UNI.....	29
3.7 ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ UNI.....	29
3.8 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 2 รายในระบบที่มีสล็อต จำนวน 2 สล็อตต่อเฟรมของเทคนิค UNI.....	30
3.9 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 3 รายในระบบที่มีสล็อต จำนวน 2 สล็อตต่อเฟรมของเทคนิค UNI.....	32
3.10 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 4 รายในระบบที่มีสล็อต จำนวน 2 สล็อตต่อเฟรมของเทคนิค UNI.....	33
3.11 ตัวอย่างอัลกอริทึม Modified tree ซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้บริการ 6 ราย และจำนวนกลุ่มย่อยเท่ากับ 3.....	39

รูปที่	หน้า
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับค่าความน่าจะเป็นในการ ส่งแพ็กเก็ตของเทคนิค CFP เมื่อ N เท่ากับ 2, 4, 8 และ 16.....	42
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับค่าความน่าจะเป็นในการ ส่งแพ็กเก็ตของเทคนิค CFP เมื่อ Q เท่ากับ 2, 3, 4, 8 และ 16.....	43
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตที่เหมาะสม กับจำนวนผู้ใช้บริการของเทคนิค CFP.....	44
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้บริการ ของเทคนิค CFP เมื่อ Q เท่ากับ 2, 4, 8 และ 16.....	45
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้บริการ ของเทคนิค Modified CFP เมื่อ Q เท่ากับ 2, 4, 8 และ 16.....	47
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้บริการ ของเทคนิค UNI เมื่อ Q เท่ากับ 2, 4, 8, 16 และ 32.....	49
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับจำนวนสล็อตต่อเฟรม ของเทคนิค UNI เมื่อ N เท่ากับ 2, 4, 6 และ 8	49
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้บริการของ เทคนิค UNI และ Modified UNI.....	51
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้บริการของ อัลกอริทึม Tree และอัลกอริทึม Modified Tree เมื่อ Q เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5.....	52
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้บริการของอัลกอริทึม Tree เมื่อ Q เท่ากับ 3 อัลกอริทึม Modified Tree เมื่อ Q เท่ากับ 2 และอัลกอริทึม $1/n$	53

บทที่ 1

บทนำ

บทนำนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ เป้าหมาย และขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ ประโยชน์ที่ได้รับ และเค้าโครงวิทยานิพนธ์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในโครงข่ายการสื่อสารปัจจุบัน ผู้ใช้บริการหรืออุปกรณ์สื่อสารจำนวนหนึ่งทำการเข้าใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน ซึ่งเรียกรูปแบบโครงข่ายการสื่อสารเหล่านั้นว่าโครงข่ายการเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access Networks) ตัวอย่างของโครงข่ายการเข้าถึงหลายทาง เช่น โครงข่ายการสื่อสารดาวเทียม (Satellite communication networks) โครงข่ายการสื่อสารระดับท้องถิ่น (Local Area Networks หรือ LANs) โครงข่ายการสื่อสารขนาดใหญ่ (Metropolitan Area Networks หรือ MANs) และโครงข่ายการสื่อสารไร้สาย (Wireless communication networks) เป็นต้น ประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลนั้นเป็นสิ่งที่ผู้ใช้บริการแต่ละรายต้องการ จึงจำเป็นต้องมีโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (Medium Access Control Protocol หรือ MAC Protocol) เพื่อทำหน้าที่จัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้แก่ผู้ใช้บริการแต่ละรายอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่ได้มีการนำเสนอมีดังต่อไปนี้ โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบกำหนดตายตัว (Fixed Access) หรือแบบไม่มีการชนกัน (Conflict-free) โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบสุ่ม (Random Access) หรือมีการช่วงชิง (Contention-based) โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบมีการจองช่องสัญญาณ (Reservation-based)

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบกำหนดตายตัว จะกำหนดช่วงความถี่หรือช่วงเวลาใดๆ ให้แก่ผู้ใช้บริการรายใดรายหนึ่ง ซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล แต่จะพบว่าหากผู้ใช้บริการรายใดไม่ต้องการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลในช่องสัญญาณของตน ผู้ใช้บริการรายอื่นก็จะไม่สามารถใช้ช่องสัญญาณส่วนนั้นได้ ซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้ช่องสัญญาณให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ส่วนโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบสุ่มนั้น ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะทำการสุ่มเวลาในการส่งแพ็กเก็ตของตน แพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งออกไปมีโอกาสเกิดการชนกันกับแพ็กเก็ตจากผู้ใ้รายอื่น ผู้ใช้บริการเหล่านั้นจะต้องทำการส่งแพ็กเก็ตของตนเองออกไปอีกครั้งจนกว่าแพ็กเก็ตจะถูกส่งถึงผู้รับ ส่วนโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบมีการจองช่องสัญญาณจะนำหลักการทำงานของโพรโทคอลทั้งสองมาใช้ร่วมกัน คือจะแบ่งเป็น

ช่วงการจ้องซึ่งผู้ใช้บริการจะต้องแข่งขันกันในการจ้องสล็อต และช่วงการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลซึ่งกำหนดให้กับผู้ใช้บริการที่ทำการจ้องสำเร็จ

ในสถานะที่โครงข่ายมีผู้ใช้บริการจำนวนมากและมีการส่งข้อมูลแบบเบิร์สต์ (Burst) โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบสุ่มจะมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบกำหนดตายตัว โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบสุ่มจึงได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง โดยโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบสุ่มโพรโทคอลแรกคือโพรโทคอล ALOHA [1] (Pure ALOHA) ซึ่งได้รับการนำเสนอโดย Norman Abramson ในปี ค.ศ. 1970 ต่อมาได้มีการเสนอแนวคิดในการแบ่งเวลาออกเป็นสล็อต เรียกว่าโพรโทคอล slotted ALOHA [2] และหลังจากนั้นก็ได้มีการนำเสนอโพรโทคอลในตระกูล ALOHA จำนวนมาก แต่จากปัญหาเรื่องของเวลาประวิง (Delay) ที่มีค่าสูงและค่าวิสัยสามารถ (Throughput) ที่มีค่าต่ำซึ่งเกิดมาจากกลไกของระบบที่มีโอกาสเกิดการชนกัน รวมทั้งระบบจะไม่มีประสิทธิภาพเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวนมาก จึงทำให้มีการเสนอเทคนิคหรือกลไกในการแก้ไขการชนที่เกิดขึ้น โดย Capetanakis ได้เสนอแนวคิดของอัลกอริทึมแก้ไขการชนกัน (Collision Resolution Algorithm หรือ CRA) ในปี ค.ศ. 1979 หรือเป็นที่รู้จักกันในชื่อ Binary Tree [3] ในขณะที่ Tsybakov และ Mikhailov ได้เสนออัลกอริทึม Stack (Stack algorithm) ซึ่งมีแนวทางการแก้ไขการชนเช่นเดียวกับอัลกอริทึม Tree และหลังจากนั้นก็ได้มีการเสนอเทคนิคการแก้ไขการชนซึ่งมีความซับซ้อนน้อยกว่าอัลกอริทึม Tree คือเทคนิค Cascade Fixed Probability (CFP) [4] และเทคนิค Uniform (UNI) [4] โดยได้มีการประเมินสมรรถนะด้านค่าวิสัยสามารถเป็นหลัก

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการวิเคราะห์และประเมินสมรรถนะทางด้านค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP และ UNI ที่ได้มีการนำเสนอแล้ว อีกทั้งยังได้เสนอแนวคิดในการปรับปรุงสมรรถนะของเทคนิคการแก้ไขการชนทั้งสอง นอกจากนี้ ยังได้ทำการศึกษาอัลกอริทึมการแก้ไขการชนในตระกูลอัลกอริทึม Tree ซึ่งได้มีการวิเคราะห์หาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยมาแล้วใน [5] และเสนอการปรับปรุงอัลกอริทึม Tree โดยอาศัยข้อมูลผลป้อนกลับที่เพิ่มขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) พัฒนาและปรับปรุงสมรรถนะด้านเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP, UNI และอัลกอริทึม Tree ให้ดีขึ้น
- 2) พัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP, Modified CFP, UNI และ Modified UNI

- 3) ประเมินสมรรถนะด้านเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP, Modified CFP, UNI, Modified UNI และ Modified Tree โดยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น และการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- 1) วิเคราะห์การทำงานและหาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าเวลาประวิงของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP และ UNI
- 2) จำลองเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP และ UNI เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์
- 3) พัฒนาเทคนิคการแก้ไขการชนเพื่อให้มีสมรรถนะที่ดีขึ้น

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

- 1) ศึกษาโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง และเทคนิคการแก้ไขการชนกันที่มีการนำเสนอในอดีต
- 2) จำลองการทำงานของเทคนิคการแก้ไขการชนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 3) วิเคราะห์หาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะด้านค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP และ UNI
- 4) พัฒนาเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP และ UNI โดยนำเสนอเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified CFP และ Modified UNI
- 5) ศึกษาอัลกอริทึม Tree และนำเสนออัลกอริทึม Modified Tree
- 6) จำลองการทำงานอัลกอริทึม Modified Tree ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 7) ทดสอบสมรรถนะของเทคนิคและอัลกอริทึมการแก้ไขการชนทั้ง 5 รูปแบบ
- 8) วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการทดสอบ
- 9) จัดทำวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ

- 1) ได้ศึกษาหลักการการทำงานและสามารถวิเคราะห์สมรรถนะของอัลกอริทึมรวมทั้งเทคนิคการแก้ไขการชนกันสำหรับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีอยู่ได้
- 2) สามารถพัฒนาเทคนิคในการแก้ไขการชนกันเพื่อเพิ่มสมรรถนะของระบบ
- 3) สามารถพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ทดสอบการทำงานของเทคนิคที่นำเสนอได้

- 4) สามารถวิเคราะห์สมรรถนะของเทคนิคการแก้ไขการชนกันที่นำเสนอโดยใช้แนวทางทางคณิตศาสตร์ได้

1.6 คำโครงวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งรายละเอียดออกเป็น 5 บท ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ เป้าหมาย และขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ ประโยชน์ที่ได้รับ และคำโครงวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐาน กล่าวถึงประเภทของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีอยู่ในปัจจุบัน อัลกอริทึมและเทคนิคการแก้ไขการชนที่มีการนำเสนอในอดีต

บทที่ 3 เทคนิคการแก้ไขการชนที่นำเสนอ กล่าวถึงหลักการทำงานของเทคนิคการแก้ไขการชนที่ทำการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP, Modified CFP, UNI และ Modified UNI นอกจากนี้ ยังได้เสนออัลกอริทึม Modified Tree และกล่าวถึงหลักการทำงานของอัลกอริทึมนี้ด้วย

บทที่ 4 ผลการทดสอบ กล่าวถึงผลการจำลองระบบและวิเคราะห์ผลการจำลองระบบของเทคนิคและอัลกอริทึมการแก้ไขการชนที่ได้ทำการวิเคราะห์

บทที่ 5 สรุป กล่าวถึงบทสรุปและข้อเสนอแนะ

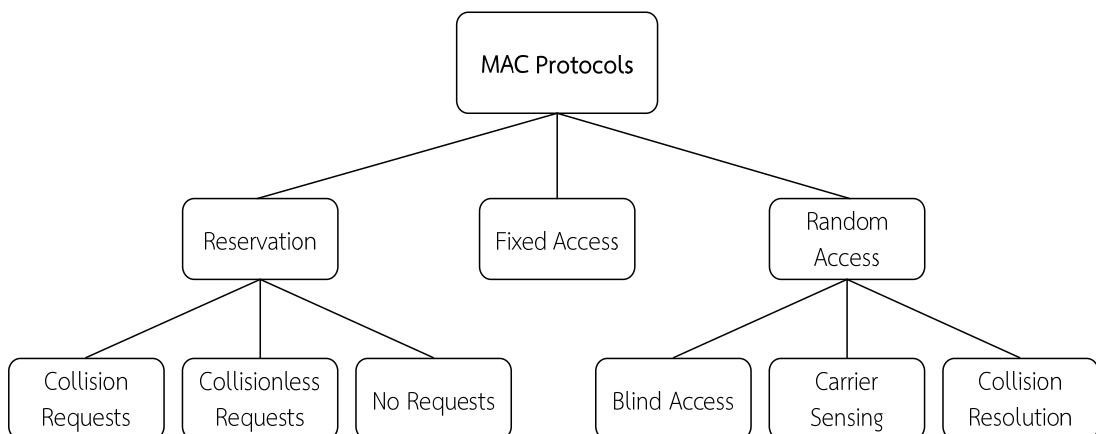
บทที่ 2

ความรู้พื้นฐาน

บทนี้จะนำเสนอความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (Medium Access Control Protocol) หรือที่เรียกโดยย่อว่า MAC Protocol โดยรวมไปถึงการแบ่งประเภท และตัวอย่างของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางที่มีการนำเสนอในอดีต อธิบายถึงข้อดีและข้อจำกัดของแต่ละวิธีเพื่อให้เห็นถึงแนวการประยุกต์ใช้งานในสภาวะที่แตกต่างกัน นอกจากนี้จะบรรยายและเน้นไปที่เทคนิคการแก้ไขการชนที่น่าสนใจและเกี่ยวข้องกับการงานวิจัยนี้ จากนั้น นำเสนอข้อสมมติฐานต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย กรอบของการทดสอบสมรรถนะ และท้ายสุด จะกล่าวถึงเทคนิคการแก้ไขการชนที่ทำการพิจารณาและนำเสนอ

2.1 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางเป็นโพรโทคอลที่ทำหน้าที่ในการจัดสรรช่องสัญญาณหรือตัวกลางที่มีการเข้าถึงแบบหลายทางแก่ผู้ใช้บริการจำนวนหนึ่ง ซึ่งจะต้องจัดสรรทรัพยากรของช่องสัญญาณหรือแบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัดนี้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดโดยโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางจะอยู่ในลำดับชั้น MAC ซึ่งเป็นลำดับชั้นย่อย (Sub-layer) ของชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer) ตามมาตรฐานของแบบจำลองอ้างอิง 7 ชั้น (Open Systems Interconnection Reference Model หรือ OSI Model) ซึ่งสามารถจำแนกประเภทของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางได้จากรูปแบบการทำงานที่ต่างกันตามเอกสารอ้างอิงที่ [6] ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การแบ่งประเภทของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง

การแบ่งประเภทโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางจากรูปข้างต้น สามารถแบ่งประเภทได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.1.1 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบกำหนดตายตัว (Fixed Access Protocol)

โพรโทคอลการเข้าใช้ช่องสัญญาณประเภทนี้จะใช้เทคนิคการเข้าถึงตัวกลางแบบกำหนดตายตัว หรือแบบไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการ (Contention-free) [7, 8] ซึ่งจะกำหนดช่องสัญญาณให้แก่ผู้บริการรายใดรายหนึ่งโดยใช้เทคนิคการกำหนดช่วงความถี่ เรียกว่า Frequency Division Multiple Access (FDMA) เทคนิคการกำหนดช่วงเวลา เรียกว่า Time Division Multiple Access (TDMA) และเทคนิคการเข้ารหัส เรียกว่า Code Division Multiple Access (CDMA) เป็นต้น ซึ่งวิธีการเหล่านี้เป็นการหลีกเลี่ยงการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล เมื่อพิจารณาโพรโทคอลประเภทนี้จะพบว่ามีเสถียรภาพในการส่งข้อมูลสูง แต่หากผู้บริการรายใดไม่ต้องการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลในช่องสัญญาณของตน ผู้บริการรายอื่นก็จะไม่สามารถใช้ช่องสัญญาณส่วนนั้นได้ ซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้ช่องสัญญาณให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

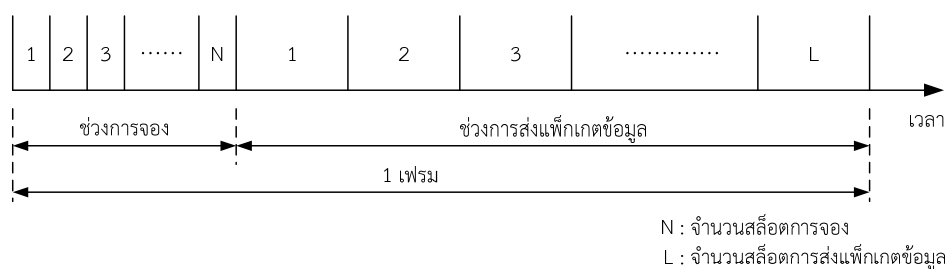
2.1.2 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบสุ่ม (Random Access Protocol)

โพรโทคอลการเข้าใช้ช่องสัญญาณประเภทนี้จะใช้เทคนิคการเข้าถึงตัวกลางแบบสุ่ม หรือมีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-based) โพรโทคอลประเภทนี้ไม่มีการกำหนดช่องสัญญาณที่แน่นอนให้กับผู้บริการรายใด ผู้บริการแต่ละรายจะทำการสุ่มเวลาในการส่งแพ็กเก็ตของตน แพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งออกไปมีโอกาสเกิดการชนกันกับแพ็กเก็ตจากผู้บริการอื่น ผู้บริการเหล่านั้นจะต้องทำการส่งแพ็กเก็ตของตนเองออกไปอีกครั้งจนกว่าแพ็กเก็ตจะถูกส่งถึงผู้รับ ข้อดีของโพรโทคอลประเภทนี้คือสามารถรองรับปริมาณผู้บริการจำนวนมากได้ และสามารถรองรับทราฟฟิกที่มีขนาดเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาได้ ส่วนข้อเสียคือในสถานะที่ระบบมีทราฟฟิกสูง จะเกิดการชนกันของผู้บริการจำนวนมากทำให้ระบบขาดเสถียรภาพตัวอย่างของโพรโทคอลประเภทนี้เช่น Pure ALOHA, Slotted ALOHA, Carrier Sense Multiple Access (CSMA) [9] และอัลกอริทึม Tree เป็นต้น

2.1.3 โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบมีการจองช่องสัญญาณ (Reservation-based Protocol)

โพรโทคอลการเข้าใช้ช่องสัญญาณประเภทนี้จะใช้หลักการของโพรโทคอลข้างต้นทั้ง 2 ประเภท รวมกันคือมีทั้งช่วงที่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณและช่วงที่ไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณดังตัวอย่างในรูปที่ 2.2 หรืออาจเรียกโพรโทคอลประเภทนี้ว่า โพรโทคอลที่มีทั้งการแข่งขันและไม่มีการแข่งขันในการเข้าใช้

ช่องสัญญาณ เทคนิคการเข้าใช้ช่องสัญญาณที่อาศัยโพรโทคอลประเภทนี้จะมีความยืดหยุ่นในการทำงานสามารถรองรับปริมาณผู้ใช้หรือทราฟฟิกได้ทุกสถานะ โดยผู้ใช้บริการแต่ละรายที่มีข้อมูลต้องการส่งจะต้องแข่งขันหรือช่วงชิงเพื่อทำการจองช่องสัญญาณก่อนในช่วงการจอง หากผู้ใช้บริการรายใดจองช่องสัญญาณสำเร็จ สถานีฐานก็จะทำการจัดสรรช่องสัญญาณเพื่อใช้ในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลในส่วนช่วงการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลโดยจะไม่มี การชนกันกับผู้ใช้รายอื่นๆ ตัวอย่างของโพรโทคอลประเภทนี้คือ ALOHA Reservation [10], PRMA [11] และ DR-TDMA [12] เป็นต้น

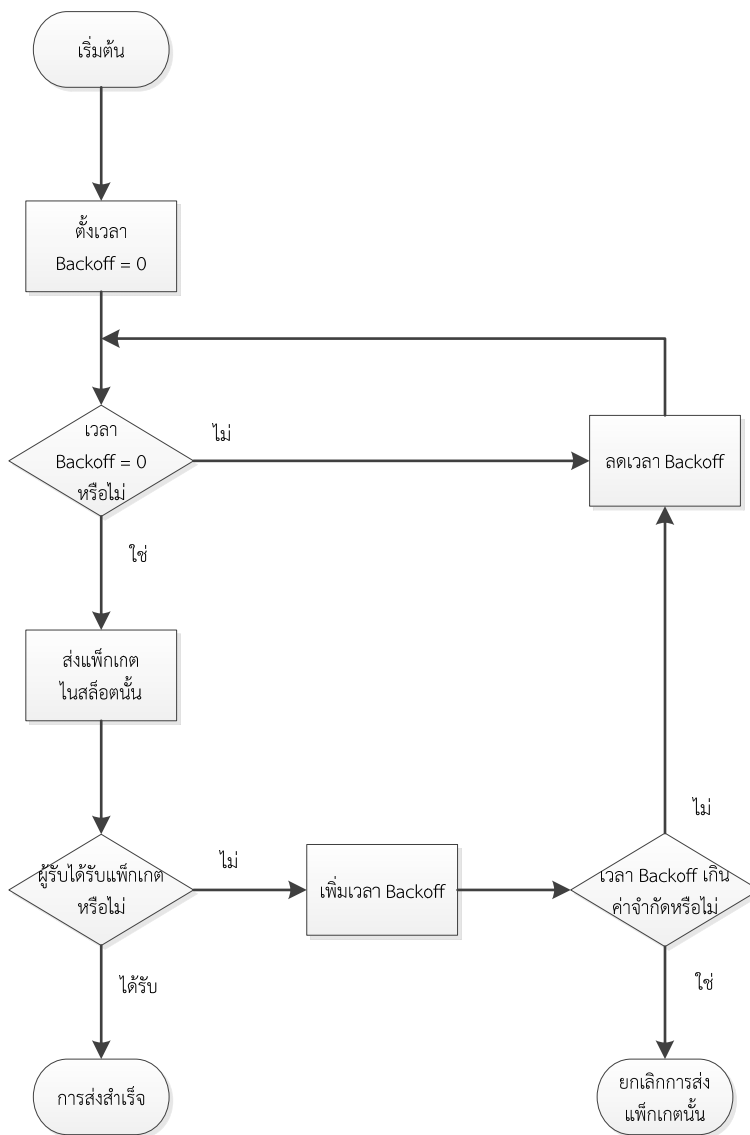


รูปที่ 2.2 โครงสร้างเฟรมของโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบมีการจองช่องสัญญาณแบบALOHA Reservation

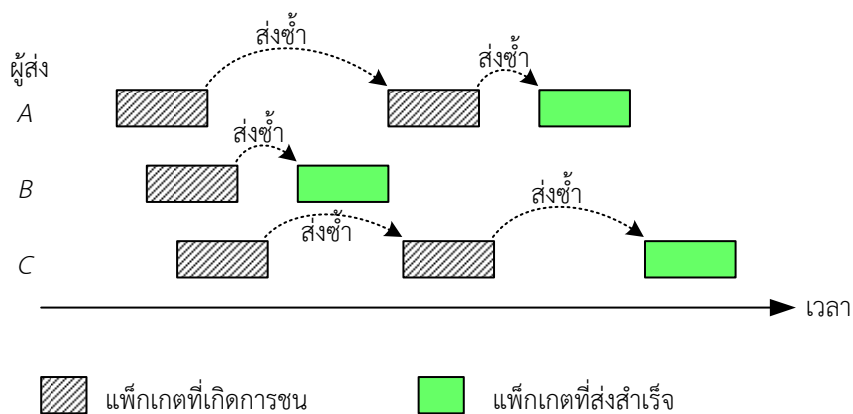
2.2 ตัวอย่างโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบสุ่มที่มีการนำเสนอในอดีต

2.2.1 โพรโทคอล ALOHA

โพรโทคอล ALOHA หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า pure ALOHA เป็นโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางแบบสุ่มโพรโทคอลแรกที่มีการนำเสนอขึ้นมาซึ่งได้มีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากกลไกการทำงานไม่มีความซับซ้อนผู้ใช้บริการจะทำการส่งแพ็กเก็ตของตนเองทันทีเมื่อแพ็กเก็ตถูกสร้างขึ้น การส่งแพ็กเก็ตจะสำเร็จและผู้ใช้จะได้รับแพ็กเก็ตอย่างถูกต้องหากในช่วงของการส่งแพ็กเก็ตนี้ไม่มีการส่งแพ็กเก็ตจากผู้ใช้บริการรายอื่น แต่หากมีการส่งแพ็กเก็ตจากผู้ใช้บริการตั้งแต่ 2 รายขึ้นไปทับซ้อนกัน (Overlap) ในช่วงเวลานี้ แพ็กเก็ตเหล่านั้นจะเกิดการชนกันและไม่สามารถส่งถึงผู้รับได้อย่างถูกต้อง ผู้ใช้บริการเหล่านั้นจะต้องทำการส่งแพ็กเก็ตของตนเองออกไปอีกครั้งโดยทำการสุ่มเวลาสำหรับทำการส่งแพ็กเก็ตของตนเองวิธีการสุ่มเวลานี้เป็นการหลีกเลี่ยงการชนกันของแพ็กเก็ตกลุ่มเดิมต่อไปไม่สิ้นสุดนั่นเอง ซึ่งกระบวนการสร้างแพ็กเก็ตใหม่รวมทั้งการส่งแพ็กเก็ตที่เกิดการชนออกไปซ้ำนั้นจะเป็นกระบวนการแบบปัวส์ซง (Poisson Process) โดยค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล pure ALOHA มีค่าประมาณ 0.184 กลไกการทำงานของโพรโทคอล pure ALOHA เป็นดังรูปที่ 2.3 และตัวอย่างการทำงานดังรูปที่ 2.4



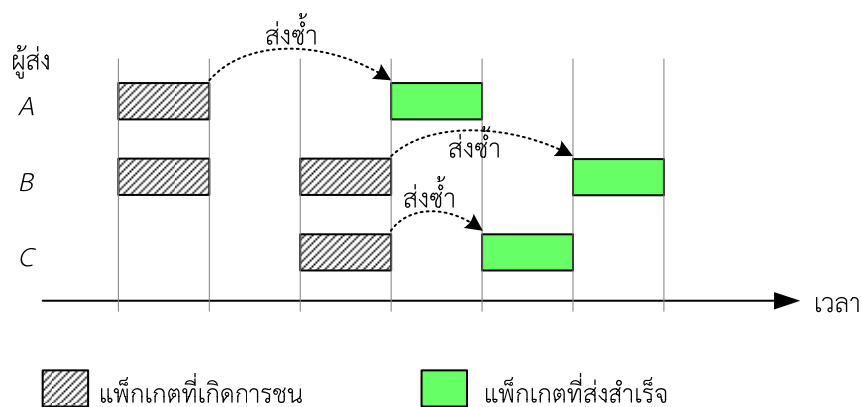
รูปที่ 2.3 กลไกการทำงานของโปรโตคอล ALOHA



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการทำงานของโปรโตคอล ALOHA

2.2.2 โพรโทคอล slotted ALOHA

โพรโทคอล slotted ALOHA เป็นโพรโทคอล ALOHA รูปแบบหนึ่งซึ่งมีลักษณะกลไกการทำงานเหมือนกับโพรโทคอล pure ALOHA แต่ช่องสัญญาณจะถูกแบ่งออกเป็นสล็อต โดยขนาดของสล็อตแต่ละสล็อตจะมีค่าเท่ากับช่วงเวลาในการส่งแพ็กเก็ตหนึ่งแพ็กเก็ตและทุกๆสล็อตจะมีขนาดเท่ากัน ผู้ใช้แต่ละรายจะถูกกำหนดให้สามารถทำการส่งแพ็กเก็ตของตนเองในช่วงของสล็อตหนึ่ง ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.5 การส่งแพ็กเก็ตในสล็อตหนึ่งจะสำเร็จ ก็ต่อเมื่อมีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวส่งแพ็กเก็ตในสล็อตนั้นๆเพียงรายเดียวจากการแบ่งช่วงเวลาออกเป็นสล็อตนี้เองทำให้การชนกันของแพ็กเก็ตสามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงของสล็อตหนึ่งๆเท่านั้น ซึ่งนั่นทำให้โพรโทคอล slotted ALOHA มีค่าวิสัยสามารถมากกว่าโพรโทคอล pure ALOHA 2 เท่าหรือประมาณ 0.368



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล slotted ALOHA

2.2.3 โพรโทคอล framed ALOHA

โพรโทคอล framed ALOHA เป็นโพรโทคอลที่มีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นสล็อตเช่นเดียวกับโพรโทคอล slotted ALOHA แต่จะมีการกำหนดช่วงของสล็อตสัญญาณจำนวนหนึ่งออกเป็นเฟรม ผู้ใช้บริการจะทำการสุ่มสล็อตใดสล็อตหนึ่งในเฟรมเพื่อทำการส่งแพ็กเก็ตของตนเองโดยผู้ใช้บริการที่สามารถทำการสุ่มเลือกสล็อตและทำการส่งได้นั้นจะต้องเป็นผู้ใช้บริการที่แพ็กเก็ตที่ถูกสร้างขึ้นใหม่ในเฟรมนั้นๆตั้งแต่สล็อตแรกไปจนถึงสล็อตสุดท้าย หากผู้ใช้บริการรายใดมีแพ็กเก็ตที่ถูกสร้างขึ้นในสล็อตสุดท้ายของเฟรมจะต้องทำการส่งในเฟรมถัดไปซึ่งผลป้อนกลับก็จะถูกส่งออกไปเมื่อสิ้นสุดแต่ละเฟรมดังนั้นผู้ใช้บริการที่ส่งแพ็กเก็ตแล้วเกิดการชนหรือไม่ประสบความสำเร็จจะสามารถทำการส่งแพ็กเก็ตนั้นอีกครั้งในเฟรมถัดไป

2.2.4 โพรโทคอล p -persistent ALOHA

โพรโทคอลประเภทนี้เป็นการใช้โพรโทคอล slotted-ALOHA โดยใช้อัลกอริทึม p -persistence ซึ่งจะมีการพิจารณาทีละสล็อต โดยสถานีฐานจะทำการเลือกค่าความน่าจะเป็นในการส่ง

แพ็กเก็ต p ค่าหนึ่งในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 แล้วแจ้งค่า p ไปยังผู้ใช้บริการทุกราย ผู้ใช้บริการต้องทำการสุ่มเลือกค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตของตนเองที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 เช่นกันมาค่าหนึ่ง หากพบว่าค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตของตนเองนั้นมีค่าน้อยกว่าค่า p ผู้ใช้บริการรายนั้นก็ยังสามารถทำการส่งแพ็กเก็ตของตนเองในสล็อตถัดไป แต่หากพบว่าค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตของตนเองมีค่ามากกว่าค่า p ก็จะต้องรอสล็อตถัดไปอีกหนึ่งสล็อต จากกลไกการทำงานของโพรโทคอลนี้ จะพบว่าค่า p มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน โดยค่า p ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ $1/N$ เมื่อ N คือจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมด

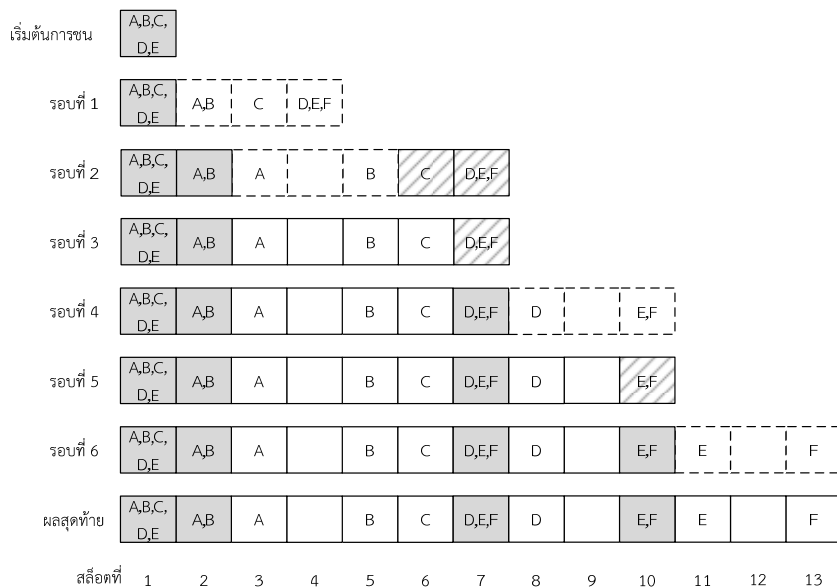
2.3 อัลกอริทึมการแก้ไขการชนกันที่มีการนำเสนอในอดีต

2.3.1 อัลกอริทึม Tree

อัลกอริทึม Tree เป็นอัลกอริทึมที่แก้ไขปัญหาการชนกันของแพ็กเก็ต (Collision Resolution Algorithm) รูปแบบหนึ่งซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานในระบบสื่อสารที่มีการเข้าถึงแบบสุ่ม (Random Access) ซึ่งอัลกอริทึม Tree ได้รับการเสนอโดย Capetanakis เป็นครั้งแรก โดยกำหนดให้ผู้ส่งหรือผู้ใช้บริการแต่ละรายใช้ช่องสัญญาณที่ถูกแบ่งออกเป็นสล็อตร่วมกัน และต้องอาศัยการป้อนกลับ (Feedback) ที่จะระบุถึงผลของการเข้าใช้ช่องสัญญาณหรือสถานะของช่องสัญญาณได้แก่ สถานะชน สถานะว่าง และสถานะสำเร็จ โดยผลป้อนกลับทั้ง 3 ประเภทจะถูกส่งจากสถานีฐานไปยังผู้ส่งแต่ละรายทันทีเมื่อสิ้นสุดสล็อตสัญญาณนั้น ซึ่งกลไกการทำงานของอัลกอริทึม Tree นั้นเป็นการแก้ไขการชนโดยการแบ่งกลุ่มผู้ใช้ที่ส่งแพ็กเก็ตชนกันออกไปเรื่อยๆจนกว่าผู้ใช้ทุกรายทำการส่งแพ็กเก็ตสำเร็จ ซึ่งมีการพิจารณาเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทีละสล็อต โดยจะทำการแบ่งผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องกับการชนกันนั้นออกเป็นกลุ่มย่อยจำนวน Q กลุ่ม (Splitting factor) ผู้ใช้เหล่านั้นต้องทำการสุ่มเลือกกลุ่มของตนเอง ผู้ใช้ที่อยู่ในกลุ่มแรกจะเข้าใช้ในสล็อตถัดไปทันที ส่วนผู้ใช้ในกลุ่มอื่นต้องรอจนกว่าการชนกันในกลุ่มแรกได้รับการแก้ไขหรือผู้ใช้ในกลุ่มแรกส่งแพ็กเก็ตสำเร็จทุกราย เมื่อพิจารณาผู้ใช้ในกลุ่มแรก หากพบว่ามีจำนวนผู้ใช้มากกว่า 1 รายทำการส่งแพ็กเก็ตในสล็อตนี้พร้อมกันอีกก็จะเกิดการชนกันและจะต้องทำการแบ่งผู้ใช้ในกลุ่มนี้ออกเป็น Q กลุ่มเช่นเดิมไปจนกว่าจะไม่เกิดการชนกันอีก ซึ่งกระบวนการแบ่งนี้เองสามารถสร้างเป็นรูปแบบต้นไม้ (Tree) โดยการชนกันแต่ละครั้งจะแตกออกไปเป็นกิ่งย่อยจำนวน Q กิ่งนั่นเอง จาก [13] จะพบว่าค่า Q ที่ทำให้อัลกอริทึม Tree มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้นมีค่าเท่ากับ 3

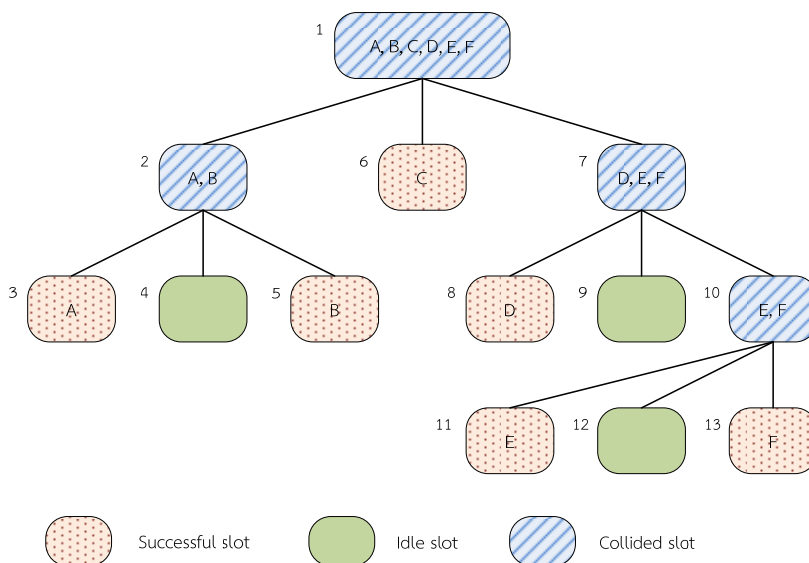
ตัวอย่างการแก้ไขการชนโดยอาศัยอัลกอริทึม Tree เป็นดังรูปที่ 2.6 สมมติให้มีผู้ใช้จำนวน 6 รายเข้าใช้สล็อตแรกพร้อมกันจึงเกิดการชนกัน ทำให้ต้องมีการแบ่งผู้ใช้เหล่านี้ออกเป็น 3 กลุ่ม (ใช้ค่า $Q = 3$) โดย A และ B เลือกกลุ่มแรก จะเข้าใช้ในสล็อตถัดไปทันที ส่วน C, D, E และ F จะต้องรอจนกว่า A และ B ส่งแพ็กเก็ตสำเร็จ จากเหตุการณ์นี้ A และ B เกิดการชนกันอีกครั้งในสล็อตนี้ จึงต้องทำการแบ่งกลุ่มอีก

ครั้งและพบว่าไม่เกิดการชนกันอีกใน 3 สล็อตถัดมา นั่นคือ A และ B ส่งแพ็กเก็ตสำเร็จในสล็อต 3 และ 5 ตามลำดับ จากนั้นจึงมาพิจารณาอีกกลุ่มที่สอง ซึ่งก็คือ C พบว่ามีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวจึงสามารถส่งแพ็กเก็ตสำเร็จในสล็อตที่ 6 สุดท้ายจึงพิจารณาอีกกลุ่มที่สาม (D, E และ F) ด้วยหลักการเดียวกันและได้ว่าผู้ใช้บริการ D, E และ F ส่งแพ็กเก็ตสำเร็จในสล็อตที่ 8, 11 และ 13 ตามลำดับ สามารถเขียนจัดสรรสล็อตโดยอาศัยอัลกอริทึม Tree ได้ดังรูปที่ 2.6 ก) และกลไกการทำงานในรูปแบบภูมิต้นไม้ ดังรูปที่ 2.6 ข)



สล็อตใหม่
 สล็อตที่เกิดการชน
 สล็อตที่ไม่เกิดการชน
 ผู้ใช้ที่รอ

ก). ตัวอย่างการจัดสรรสล็อตของอัลกอริทึม Tree



ข). ตัวอย่างแผนภูมิต้นไม้ของอัลกอริทึม Tree

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างอัลกอริทึม Tree ซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้บริการ 6 รายและจำนวนกลุ่มย่อยเท่ากับ 3

2.3.2 อัลกอริทึม Stack

อัลกอริทึม Stack ได้ถูกนำเสนอโดย Tsybakov และ Mikhailov ลักษณะการทำงานของอัลกอริทึม Stack มีรูปแบบการทำงานคล้ายกับอัลกอริทึม Tree คือเมื่อเกิดการชนกันก็จะทำการแบ่งผู้ให้บริการเหล่านั้นออกเป็นกลุ่มย่อยด้วยวิธีการสุ่มต่อไปเรื่อยๆจนกว่าจะไม่เกิดการชนกันอีกต่อไป แต่จะมีลักษณะการลำดับผู้ให้บริการเป็นระดับชั้นหรือ Virtual Stack ซึ่งกำหนดให้ผู้ให้บริการที่มีตำแหน่งระดับ 0 เท่านั้นที่สามารถทำการส่งแพ็กเก็ตได้ในสล็อตถัดไป และอาศัยผลป้อนกลับที่ระบุสถานะของสล็อตสัญญาณ 2 รูปแบบ คือ เกิดการชน และไม่เกิดการชน โดยสามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานพอสังเขปได้ดังนี้

1. เมื่อเกิดการชนกัน ก็จะทำการแบ่งผู้ให้บริการเหล่านั้นออกเป็น 2 กลุ่มย่อย โดยกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นที่จะเลือกกลุ่มแรกเท่ากับ p และอยู่ในตำแหน่งระดับ 0 ส่วนกลุ่มที่สองมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $1-p$ และอยู่ในตำแหน่งระดับ 1 ซึ่งผู้ให้บริการในกลุ่มที่สองจะต้องรอจนกว่าการแก้ไขการชนในกลุ่มแรกเสร็จสิ้น
2. ผู้ให้บริการที่อยู่ในตำแหน่งระดับ 0 และทำการส่งแพ็กเก็ตในสล็อตถัดไป
3. เมื่อสิ้นสุดสล็อตนั้น หากผลป้อนกลับระบุสถานะว่าไม่เกิดการชน นั้นหมายความว่า มีผู้ให้บริการในกลุ่มแรกนั้นเพียงรายเดียวและส่งแพ็กเก็ตสำเร็จ หรือหมายถึงไม่มีผู้ให้บริการรายใดอยู่ในกลุ่มนั้นเลย และผู้ให้บริการที่อยู่ระดับอื่นจะลดระดับของตัวเองลง 1 ระดับ
4. หากสิ้นสุดสล็อต แล้วผลป้อนกลับระบุสถานะว่าเกิดการชน ผู้ให้บริการในกลุ่มนี้จะต้องทำการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อยด้วยความน่าจะเป็นดังในขั้นตอนที่ 1) เช่นเดิม ส่วนผู้ให้บริการกลุ่มอื่นก็จะต้องเพิ่มระดับของตนเอง 1 ระดับ

2.4 สมมติฐานเบื้องต้น (Basic assumption) ของเทคนิคการแก้ไขการชนที่พิจารณาและนำเสนอ

2.4.1 ระบบสล็อต

ช่องสัญญาณจะถูกแบ่งออกเป็นสล็อต ซึ่งจะมีขนาดคงที่และมีขนาดเท่ากับเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต 1 แพ็กเก็ต ผู้ให้บริการสามารถทำการส่งแพ็กเก็ตของตนเองได้ ณ ตำแหน่งเริ่มต้นของสล็อตแต่ละสล็อตเท่านั้น เมื่อกำหนดให้ผู้ให้บริการทุกรายมีการชิงโครโนซ้อย่างถูกต้อง

2.4.2 ช่องสัญญาณไม่มีความผิดพลาด (Errorless channel)

เมื่อมีการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจากผู้ให้บริการรายใดๆในช่องสัญญาณ ผู้รับจะสามารถรับแพ็กเก็ตข้อมูลนั้นๆอย่างถูกต้อง ไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นจากช่องสัญญาณ

2.4.3 สถานะของช่องสัญญาณ

เมื่อมีผู้ใช้บริการใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน สถานะของช่องสัญญาณแต่ละสล็อตที่เกิดขึ้นได้ มีดังนี้

- สถานะว่าง (Idle) เมื่อไม่มีแพ็กเก็ตใดๆถูกส่งออกไปในสล็อตนั้นๆ
- สถานะสำเร็จ (Success) เมื่อมีแพ็กเก็ตถูกส่งในสล็อตนั้นเพียงแพ็กเก็ตเดียว
- สถานะชนกันหรือมีข้อผิดพลาด (Collision or error) เมื่อในสล็อตหนึ่งๆมีแพ็กเก็ตมากกว่า 1 แพ็กเก็ต และกำหนดว่าไม่มีแพ็กเก็ตใดเลยถูกส่งออกไปยังผู้รับอย่างถูกต้อง

2.5 เทคนิคการแก้ไขการชนที่พิจารณาและนำเสนอ

1. เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP
2. เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified CFP
3. เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ UNI
4. เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified UNI
5. อัลกอริทึม Modified Tree

บทที่ 3

เทคนิคการแก้ไขการชน

ในบทนี้จะกล่าวถึงเทคนิคและอัลกอริทึมที่ใช้แก้ไขการชนกันของแพ็กเก็ต โดยเทคนิคการแก้ไขการชนที่ทำการพิจารณาคือ เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP และเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ UNI ซึ่งเทคนิคการแก้ไขการชนทั้งสองนั้นได้รับการนำเสนอแล้วในอดีต โดยเป็นการประเมินสมรรถนะในเชิงการหาค่าวิสัยสามารถ แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มุ่งเน้นในการประเมินสมรรถนะในเชิงการหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย นอกจากนี้ ยังได้มีการปรับปรุงตัดแปลงเทคนิคการแก้ไขการชนทั้งสองเทคนิคเพื่อเพิ่มสมรรถนะของเทคนิคการแก้ไขการชนทั้งสองด้วย อีกทั้งยังได้ทำการวิจัยอัลกอริทึมซึ่งตัดแปลงมาจากอัลกอริทึม Tree ด้วย ดังนั้นจึงสามารถแบ่งเทคนิคการแก้ไขการชนที่ทำการพิจารณาและนำเสนอได้ 5 รูปแบบ คือ

1. เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP
2. เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified CFP
3. เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ UNI
4. เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified UNI
5. อัลกอริทึม Modified Tree

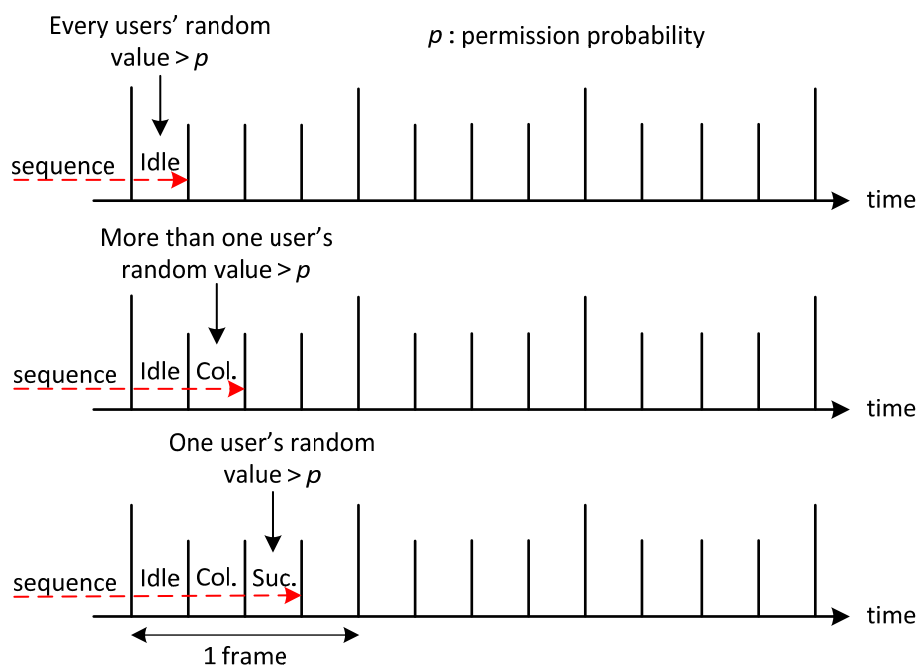
การประเมินสมรรถนะของเทคนิคการแก้ไขการชนเหล่านี้จะทำการหาค่าเวลาประวิงที่ใช้สำหรับแก้ไขการชนโดยเฉลี่ยซึ่งอยู่ในรูปจำนวนสล็อตโดยเฉลี่ย โดยจะทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์และเปรียบเทียบผลที่ได้กับการจำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องสำหรับเทคนิคการแก้ไขการชน 4 ประเภทแรก ส่วนอัลกอริทึม Modified Tree จะนำเสนอด้วยการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เท่านั้น ในส่วนของเนื้อหาจะอธิบายกลไกการทำงานของเทคนิคการแก้ไขการชน พร้อมทั้งกรณีตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้บริการและสล็อตในแต่ละเฟรมไม่มากนัก เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจในการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์

3.1 เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP

3.1.1 หลักการทำงานของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP

เทคนิคการแก้ไขการชนประเภทนี้ อาศัยกลไกการทำงานที่มีลักษณะคล้ายกับอัลกอริทึม p -persistent ในสถานะที่มีเวลาประวิงการแพร่กระจายสัญญาณมากกว่าเวลาในการส่งแพ็กเก็ตหนึ่งแพ็กเก็ต และในเทคนิคการแก้ไขการชนนี้จะกำหนดให้ช่องสัญญาณถูกแบ่งออกเป็นเฟรม ซึ่งผลป้อนกลับจะถูกส่งเมื่อสิ้นสุดเฟรมแต่ละเฟรม สถานีฐานจะกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตคงที่ค่าหนึ่ง

(Permission probability หรือ p) ซึ่งมีค่าเท่ากันสำหรับทุกๆสล็อตในแต่ละเฟรม ผู้ใช้บริการที่เกิดการชนแต่ละรายทำการตัดสินใจเข้าใช้สล็อตแต่ละสล็อตตามลำดับจากสล็อตแรกไปถึงสล็อตสุดท้ายในแต่ละเฟรม และเมื่อผู้ใช้บริการทำการตัดสินใจเข้าใช้สล็อตใดแล้วก็จะไม่สามารถเข้าใช้สล็อตอื่นๆในเฟรมนั้นได้อีก โดยที่ผู้ใช้บริการจะต้องทำการสุ่มเลือกค่าความน่าจะเป็นของตนเองค่าหนึ่งระหว่าง $0 - 1$ หากค่าความน่าจะเป็นนี้มีค่าน้อยกว่าค่า p ที่สถานีฐานกำหนดขึ้น ผู้ใช้บริการรายนั้นก็จะสามารถเข้าใช้สล็อตสัญญาณนั้นได้ แต่หากมีค่ามากกว่าค่า p ผู้ใช้บริการรายนั้นจะไม่สามารถตัดสินใจเข้าใช้สล็อตใดๆในเฟรมนี้ได้อีก จะต้องรอช่วงเฟรมถัดไป ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะกลไกการทำงานของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP

เมื่อพิจารณาเหตุการณ์ที่มีผู้ใช้บริการจำนวน N รายทำการเข้าใช้ช่องสัญญาณในระบบที่มีสล็อตจำนวน Q สล็อต จะพบว่าในสล็อตแรกจะมีเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด 3 เหตุการณ์คือ

- 1) เมื่อมีผู้ใช้บริการมากกว่าหนึ่งรายตัดสินใจเข้าใช้ ซึ่งจะเกิดการชนกัน ผู้ใช้บริการกลุ่มนี้จะไม่สามารถเข้าใช้ได้อีกในสล็อตถัดไปของช่วงเฟรมนี้
- 2) เมื่อมีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวตัดสินใจเข้าใช้ ผู้ใช้บริการรายนี้จะประสบความสำเร็จในการส่งแพ็กเก็ต และจะเหลือผู้ใช้บริการจำนวน $N - 1$ ราย ที่ยังสามารถเข้าใช้ได้ ในสล็อตถัดไป
- 3) เมื่อไม่มีผู้ใช้บริการรายใดตัดสินใจเข้าใช้ ผู้ใช้บริการที่เหลือจำนวน N รายสามารถทำการเข้าใช้ได้ ในสล็อตถัดไป และจะมีเหตุการณ์เกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในสล็อตแรก

3.1.2 การวิเคราะห์หาค่าเวลาประวิงทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค CFP

กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

Q แทนจำนวนสล็อตในแต่ละเฟรม

N แทนจำนวนผู้ใช้บริการในระบบ

p แทนค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ต (Permission probability)

k แทนจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จ

$P[k | N, Q]$ แทนความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจำนวน k รายประสบความสำเร็จในการเข้าใช้

จากจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมด N ราย ในระบบที่มีสล็อตจำนวน Q สล็อต

$\bar{L}[N, Q, p]$ แทนเวลาประวิง (จำนวนสล็อต) โดยเฉลี่ยที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาการชนกันของ

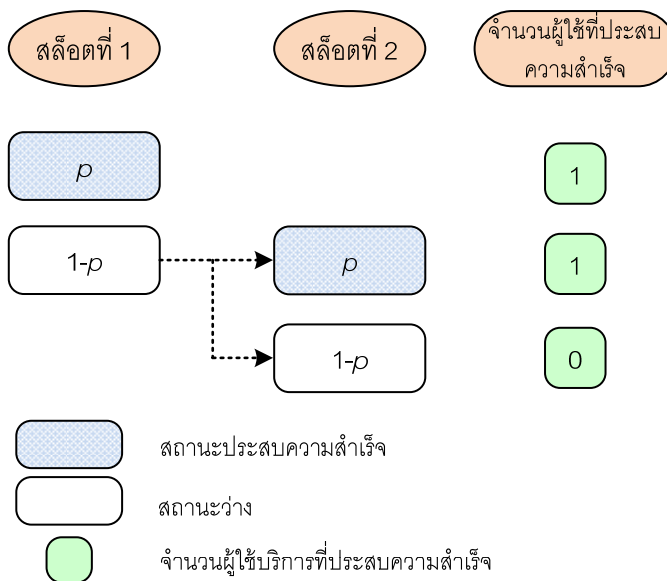
ผู้ใช้บริการจำนวน N รายในระบบที่มีสล็อตในแต่ละเฟรมจำนวน Q สล็อต

3.1.2.1 ผู้ใช้บริการ 1 รายในระบบที่มีสล็อตสัญญาณ 2 สล็อต

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในสล็อตแต่ละสล็อต เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 2 รายทำการเข้าใช้ช่องสัญญาณในระบบที่มีสล็อตจำนวน 2 สล็อตในแต่ละเฟรม มีดังนี้

- 1) ผู้ใช้บริการรายนี้ตัดสินใจเข้าใช้สล็อตนั้นๆ จึงประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ทันที เนื่องจากมีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวเท่านั้น
- 2) ผู้ใช้บริการรายนี้ตัดสินใจไม่เข้าใช้สล็อตนั้นๆ จึงสามารถตัดสินใจเข้าใช้สล็อตถัดไปได้

สถานะของสล็อตแต่ละสล็อตมี 2 สถานะคือ สถานะประสบความสำเร็จ เมื่อผู้ใช้บริการรายนั้นตัดสินใจเข้าใช้ และสถานะว่าง เมื่อผู้ใช้บริการรายนั้นตัดสินใจไม่เข้าใช้ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 1 รายในระบบที่มีสล๊อตจำนวน 2 สล๊อตต่อเฟรมของเทคนิค CFP

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการจำนวน k รายประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการรายเดียว ในระบบที่มีสล๊อตจำนวน 2 สล๊อต และผู้ใช้บริการทำการเข้าใช้ด้วยความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเท่ากับ p โดยที่ $k = 0$ และ 1 มีค่าดังนี้

กรณีที่ $k = 0$: ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการรายนี้ไม่ประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ คือ

$$P[0|1,2] = (1 - p)^2 \tag{3.1}$$

กรณีที่ $k = 1$: ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการรายนี้ประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ คือ

$$\begin{aligned} P[1|1,2] &= p + p(1 - p) \\ &= p(2 - p) \end{aligned} \tag{3.2}$$

ดังนั้น จำนวนสล๊อตโดยเฉลี่ยที่ผู้ใช้บริการจำนวน 1 รายใช้สำหรับการเข้าใช้ช่องสัญญาณในระบบที่มีสล๊อตจำนวน 2 สล๊อตในแต่ละเฟรม สามารถแสดงได้ในรูปแบบบริเคอร์ซีฟ ได้ดังนี้

$$\bar{L}[1,2,p] = \{P[0|1,2] \times (\bar{L}[1,2,p] + 2)\} + \{P[1|1,2] \times (2)\} \tag{3.3}$$

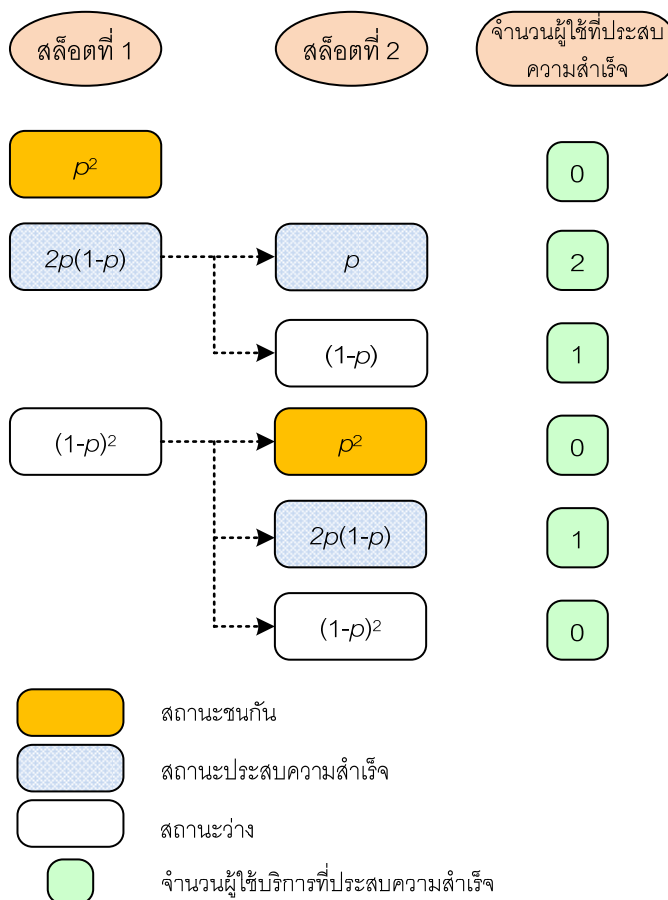
เมื่อค่า $P[0|1,2]$ และ $P[1|1,2]$ เป็นไปตามสมการ (3.1) และ (3.2) ตามลำดับ

3.1.2.2 ผู้ให้บริการ 2 รายในระบบที่มีสล็อตสัญญาณ 2 สล็อต

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในสล็อตแรก เมื่อมีผู้ให้บริการจำนวน 2 รายทำการเข้าใช้ช่องสัญญาณในระบบที่มีสล็อตจำนวน 2 สล็อตในแต่ละเฟรม มีดังนี้

- 1) ผู้ให้บริการทั้ง 2 รายตัดสินใจเข้าใช้สล็อตแรก ทำให้เกิดการชนกันและไม่มีผู้ให้บริการรายใดประสบความสำเร็จ ในสล็อตถัดไปก็จะไม่มีผู้ให้บริการรายใดสามารถเข้าใช้ได้
- 2) ผู้ให้บริการเพียงรายเดียวตัดสินใจเข้าใช้ในสล็อตแรก ดังนั้นผู้ให้บริการรายนี้จะประสบความสำเร็จ ในสล็อตถัดไปจะเหลือผู้ให้บริการรายเดียวสามารถตัดสินใจเข้าใช้ได้
- 3) ไม่มีผู้ให้บริการรายใดตัดสินใจเข้าใช้ในสล็อตแรก ผู้ให้บริการทั้ง 2 รายสามารถตัดสินใจเข้าใช้ในสล็อตถัดไปได้ และเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะมี 3 เหตุการณ์เช่นเดียวกันกับสล็อตนี้

สถานะของสล็อตแต่ละสล็อตมี 3 สถานะคือ สถานะการชน เมื่อผู้ให้บริการทั้ง 2 รายตัดสินใจเข้าใช้พร้อมกัน สถานะประสบความสำเร็จ เมื่อผู้ให้บริการรายเดียวตัดสินใจเข้าใช้ และสถานะว่าง เมื่อไม่มีผู้ให้บริการตัดสินใจเข้าใช้ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ให้บริการจำนวน 2 รายในระบบที่มีสล็อต

จำนวน 2 สล็อตต่อเฟรมของเทคนิค CFP

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการจำนวน k รายประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ จากผู้ใช้บริการทั้งหมด 2 ราย ในระบบที่มีสล็อตจำนวน 2 สล็อต และผู้ใช้บริการแต่ละรายทำการเข้าใช้ ด้วยความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเท่ากับ p โดยที่ $k = 0, 1$ และ 2 มีค่าดังนี้

กรณีที่ $k = 0$: ความน่าจะเป็นที่ไม่มีผู้ใช้บริการรายใดประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ คือ

$$\begin{aligned} P[0|2,2] &= p^2 + [(1-p)^2 \times p^2] + [(1-p)^2 \times (1-p)^2] \\ &= p^2 + p^2(1-p)^2 + (1-p)^4 \end{aligned} \quad (3.4)$$

กรณีที่ $k = 1$: ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการ 1 รายประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ คือ

$$\begin{aligned} P[1|2,2] &= [2p(1-p) \times (1-p)] + [(1-p)^2 \times 2p(1-p)] \\ &= 2p(1-p)^2 + 2p(1-p)^3 \end{aligned} \quad (3.5)$$

กรณีที่ $k = 2$: ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการ 2 รายประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ คือ

$$P[2|2,2] = 2p(1-p) \times p = 2p^2(1-p) \quad (3.6)$$

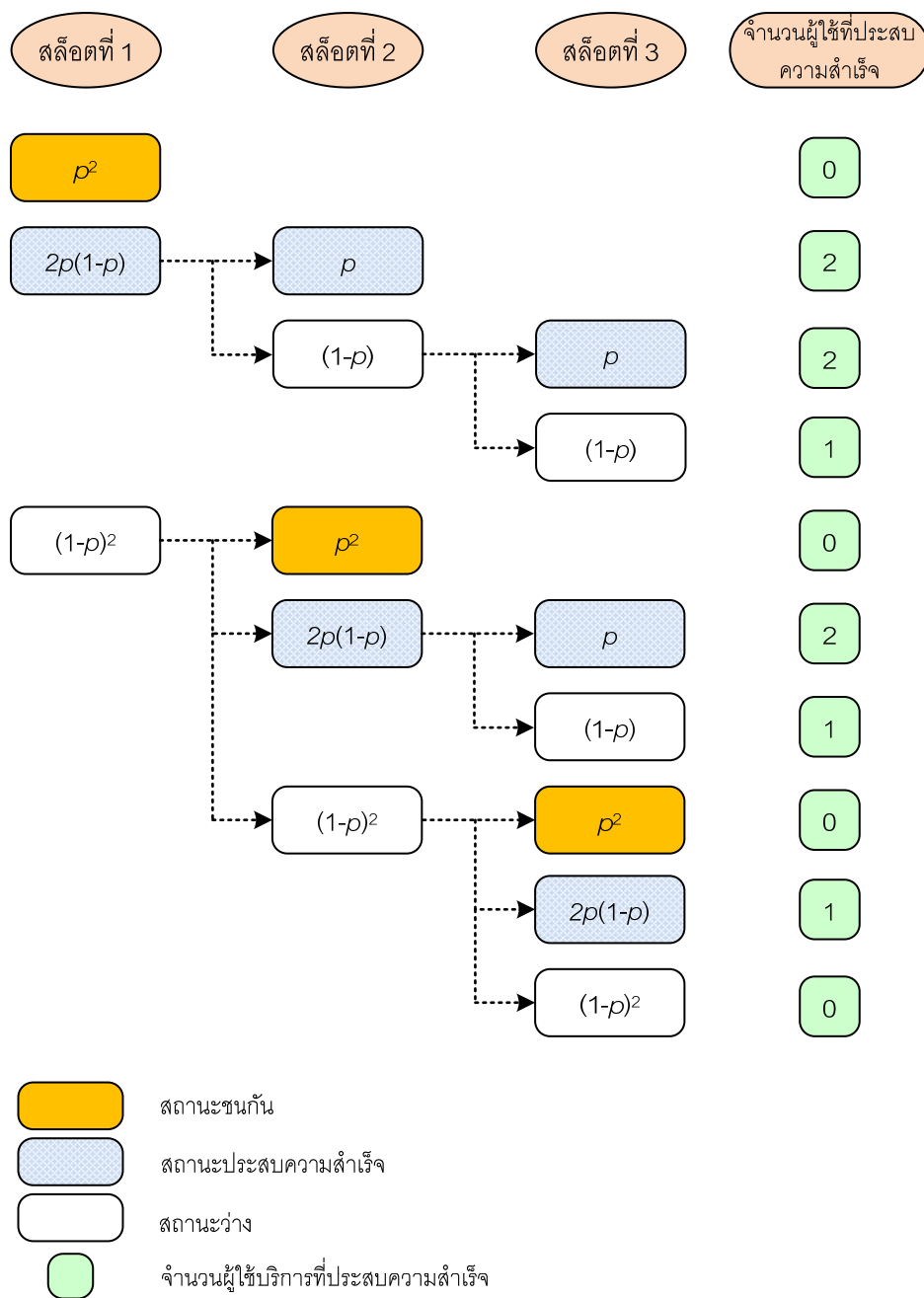
ดังนั้น จำนวนสล็อตโดยเฉลี่ยที่ผู้ใช้บริการจำนวน 2 รายใช้สำหรับการเข้าใช้ช่องสัญญาณในระบบ ที่มีสล็อตจำนวน 2 สล็อตในแต่ละเฟรม สามารถแสดงได้ในรูปแบบปริเคอร์ซีฟ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \bar{L}[2,2,p] &= \{P[0|2,2] \times (\bar{L}[2,2,p] + 2)\} + \{P[1|2,2] \times (\bar{L}[1,2,p] + 2)\} \\ &\quad + \{P[2|2,2] \times (2)\} \end{aligned} \quad (3.7)$$

เมื่อค่า $P[0|2,2]$, $P[1|2,2]$ และ $P[2|2,2]$ เป็นไปตามสมการ (3.4), (3.5) และ (3.6) ตามลำดับ

3.1.2.3 ผู้ใช้บริการ 2 รายในระบบที่มีสล็อตสัญญาณ 3 สล็อต

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในสล็อตแรกและสถานะของสล็อตเป็นเช่นเดียวกับระบบในหัวข้อก่อนหน้า ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 2 รายในระบบที่มีสล็อตจำนวน 3 สล็อตต่อเฟรมของเทคนิค CFP

ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการจำนวน k รายประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ช่องสัญญาณจากผู้ให้บริการทั้งหมด 2 ราย ในระบบที่มีสล็อตจำนวน 3 สล็อต และผู้ใช้บริการแต่ละรายทำการเข้าใช้ด้วยความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเท่ากับ p โดยที่ $k = 0, 1$ และ 2 มีค่าดังนี้

กรณีที $k = 0$: ความน่าจะเป็นที่ไม่มีผู้ใช้บริการรายใดประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ คือ

$$\begin{aligned} P[0|2,3] &= p^2 + [(1-p)^2 \times p^2] + [(1-p)^2 \times (1-p)^2 \times p^2] \\ &\quad + [(1-p)^2 \times (1-p)^2 \times (1-p)^2] \\ &= p^2 + p^2(1-p)^2 + (1-p)^4 \end{aligned} \quad (3.8)$$

กรณีที $k = 1$: ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการ 1 รายประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ คือ

$$\begin{aligned} P[1|2,3] &= [2p(1-p) \times (1-p) \times (1-p)] + [(1-p)^2 \times 2p(1-p) \times (1-p)] \\ &\quad + [(1-p)^2 \times (1-p)^2 \times 2p(1-p)] \\ &= 2p(1-p)^3 + 2p(1-p)^4 + 2p(1-p)^5 \end{aligned} \quad (3.9)$$

กรณีที $k = 2$: ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการ 2 รายประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ คือ

$$\begin{aligned} P[2|2,3] &= [2p(1-p) \times p] + [2p(1-p) \times (1-p) \times p] \\ &\quad + [(1-p)^2 \times 2p(1-p) \times p] \\ &= 2p^2(1-p) + 2p^2(1-p)^2 + 2p^2(1-p)^3 \end{aligned} \quad (3.10)$$

ดังนั้น จำนวนสล็อตโดยเฉลี่ยที่ผู้ใช้บริการจำนวน 2 รายใช้สำหรับการเข้าใช้ช่องสัญญาณในระบบที่มีสล็อตจำนวน 3 สล็อตในแต่ละเฟรม สามารถแสดงได้ในรูปแบบปริเคอร์ซีฟ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \bar{L}[2,3,p] &= \{P[0|2,3] \times (\bar{L}[2,3,p] + 3)\} + \{P[1|2,3] \times (\bar{L}[1,3,p] + 3)\} \\ &\quad + \{P[2|2,3] \times (3)\} \end{aligned} \quad (3.11)$$

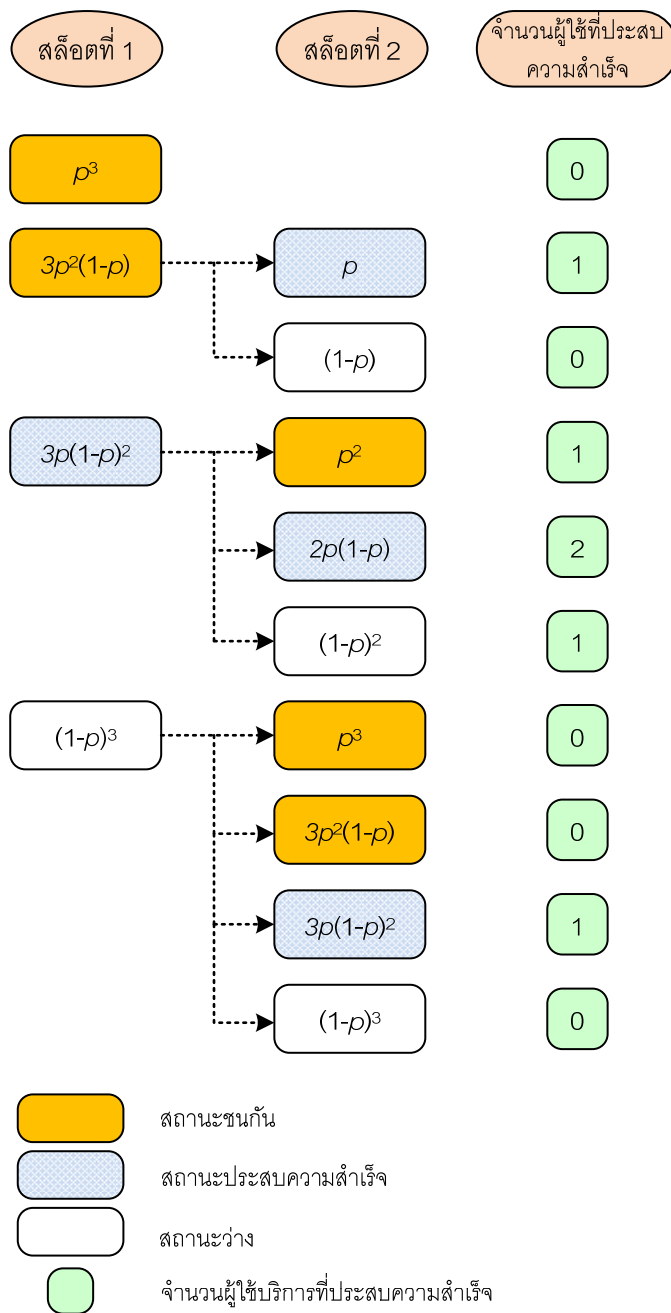
เมื่อค่า $P[0|2,3]$, $P[1|2,3]$ และ $P[2|2,3]$ เป็นไปตามสมการ (3.8), (3.9) และ (3.10) ตามลำดับ

3.1.2.4 ผู้ให้บริการ 3 รายในระบบที่มีสล็อตจำนวน 2 สล็อต

ในระบบนี้จะพบว่าเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นในแต่ละสล็อตนั้นมีทั้งหมด 4 รูปแบบ คือ

- 1) ผู้ให้บริการทั้ง 3 รายตัดสินใจเข้าใช้สล็อตนี้ ทำให้เกิดการชนกันและไม่มีผู้ให้บริการรายใดประสบความสำเร็จ ในสล็อตถัดไปก็จะไม่มีผู้ให้บริการรายใดสามารถเข้าใช้ได้
- 2) ผู้ให้บริการ 2 รายตัดสินใจเข้าใช้สล็อตนี้ ทำให้เกิดการชนกันและไม่มีผู้ให้บริการรายใดประสบความสำเร็จ ในสล็อตถัดไปจะเหลือผู้ให้บริการรายเดียวที่สามารถเข้าใช้ได้
- 3) ผู้ให้บริการเพียงรายเดียวตัดสินใจเข้าใช้ในสล็อตนั้นๆ ดังนั้นผู้ให้บริการรายนี้จะประสบความสำเร็จ ในสล็อตถัดไปจะเหลือผู้ให้บริการรายอีก 2 รายสามารถตัดสินใจเข้าใช้ได้
- 4) ไม่มีผู้ให้บริการรายใดตัดสินใจเข้าใช้สล็อตนั้นๆ ผู้ให้บริการทั้ง 3 รายสามารถตัดสินใจเข้าใช้ในสล็อตถัดไปได้ และเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะมี 4 เหตุการณ์เช่นเดียวกันกับสล็อตนี้

ในระบบนี้จะพบว่าสถานะของสล็อตเป็นเช่นเดียวกับระบบในหัวข้อก่อนหน้า คือ สถานะการชนเมื่อผู้ให้บริการ 2 หรือ 3 รายตัดสินใจเข้าใช้พร้อมกัน สถานะประสบความสำเร็จ เมื่อผู้ให้บริการรายเดียวตัดสินใจเข้าใช้ และสถานะว่าง เมื่อไม่มีผู้ให้บริการตัดสินใจเข้าใช้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 3 รายในระบบที่มีสล๊อตจำนวน 2 สล๊อตต่อเฟรมของเทคนิค CFP

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการจำนวน k รายประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ช่องสัญญาณจากผู้ให้บริการทั้งหมด 3 ราย ในระบบที่มีสล๊อตจำนวน 2 สล๊อต และผู้ใช้บริการแต่ละรายทำการเข้าใช้ด้วยความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเท่ากับ p โดยที่ $k = 0, 1$ และ 2 มีค่าดังนี้

กรณีที $k = 0$: ความน่าจะเป็นที่ไม่มีผู้ใช้บริการรายใดประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ คือ

$$\begin{aligned} P[0|3,2] &= p^3 + [3p^2(1-p) \times (1-p)] + [(1-p)^3 \times p^3] \\ &\quad + [(1-p)^3 \times 3p^2(1-p)] + [(1-p)^3 \times (1-p)^3] \\ &= p^3 + 3p^2(1-p)^2 + p^3(1-p)^3 + 3p^2(1-p)^4 + (1-p)^6 \end{aligned} \quad (3.12)$$

กรณีที $k = 1$: ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการ 1 รายประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ คือ

$$\begin{aligned} P[1|3,2] &= [3p^2(1-p) \times p] + [3p(1-p)^2 \times p^2] + [3p(1-p)^2 \times (1-p)^2] \\ &\quad + [(1-p)^3 \times 3p(1-p)^2] \\ &= 3p^3(1-p) + 3p^3(1-p)^2 + 3p(1-p)^4 + 3p(1-p)^5 \end{aligned} \quad (3.13)$$

กรณีที $k = 2$: ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการ 2 รายประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ คือ

$$P[2|3,2] = 3p(1-p)^2 \times 2p(1-p) = 6p^2(1-p)^3 \quad (3.14)$$

ดังนั้น จำนวนสล็อตโดยเฉลี่ยที่ผู้ใช้บริการจำนวน 3 รายใช้สำหรับการเข้าใช้ช่องสัญญาณในระบบที่มีสล็อตจำนวน 2 สล็อตต่อเฟรม สามารถแสดงได้ในรูปแบบรีเคอร์ซีฟ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \bar{L}[3,2,p] &= \{P[0|3,2] \times (\bar{L}[3,2,p] + 2)\} + \{P[1|3,2] \times (\bar{L}[2,2,p] + 2)\} \\ &\quad + \{P[2|3,2] \times (\bar{L}[1,2,p] + 2)\} \end{aligned} \quad (3.15)$$

เมื่อค่า $P[0|3,2]$, $P[1|3,2]$ และ $P[2|3,2]$ เป็นไปตามสมการ (3.12), (3.13) และ (3.14) ตามลำดับ

3.1.2.5 ผู้ใช้บริการ N รายในระบบที่มีสล็อตจำนวน Q สล็อต

เมื่อพิจารณาตัวอย่างของระบบทั้ง 3 ตัวอย่างข้างต้น จะพบว่าสถานะของสล็อตที่มีผู้ใช้บริการ N รายในระบบที่มีสล็อตสัญญาณ Q สล็อต ซึ่งมีค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเท่ากับ p สามารถเกิดขึ้นได้ 3 สถานะเช่นเดียวกัน ดังนี้

- 1) สถานะชนกัน เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการมากกว่า 2 รายขึ้นไปตัดสินใจทำการเข้าใช้พร้อมกันในสล็อตเดียวกัน โดยค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์นี้มีค่าเท่ากับ $\sum_{i=2}^N b[N, i, p]$
- 2) สถานะประสบความสำเร็จ เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวตัดสินใจทำการเข้าใช้ในสล็อตนั้นๆ โดยค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์นี้มีค่าเท่ากับ $b[N, 1, p]$
- 3) สถานะว่าง เกิดขึ้นเมื่อไม่มีผู้ใช้บริการรายใดตัดสินใจทำการเข้าใช้ในสล็อตนั้นๆ โดยค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์นี้มีค่าเท่ากับ $b[N, 0, p]$

$$\text{โดยที่ } b[N, n, p] = \binom{N}{n} \times p^n \times (1-p)^{N-n}$$

นอกจากนี้ สามารถหาค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่ผู้ใช้บริการจำนวน k รายประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ช่องสัญญาณในระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมด N รายและสล็อตสัญญาณจำนวน Q สล็อตได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P[k | N, Q] &= b[N, 0, p]P[k | N, Q-1] \\ &+ b[N, 1, p]P[k-1 | N-1, Q-1] \\ &+ \sum_{i=2}^N b[N, i, p]P[k | N-i, Q-1] \end{aligned} \quad (3.16)$$

โดยมีเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) ดังนี้

$$P[k | N, Q] = \begin{cases} 0 & \text{if } k < 0, N \geq 0, Q \geq 0 \\ 1 & \text{if } k = 0, N \geq 0, Q = 0 \\ 0 & \text{if } k > 0, N \geq 0, Q = 0 \\ 1 & \text{if } k = 0, N = 0, Q \geq 0 \\ 0 & \text{if } k > 0, N = 0, Q \geq 0 \end{cases}$$

จากสมการดังกล่าวข้างต้น สามารถหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการ N ราย (เมื่อ $N \geq 1$) ในระบบที่มีสล็อตสัญญาณ Q สล็อต และกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการเข้าใช้เท่ากับ p ด้วยการใช้หลักการรีเคอร์ซีฟ ได้ดังนี้

$$\bar{L}[N, Q, p] = \frac{1}{1 - P[0|N, Q]} \times \left\{ \begin{array}{l} (Q \times P[0|N, Q]) \\ + \left(\sum_{k=1}^{N-1} P[k|N, Q] \times (\bar{L}[N-k, Q, p] + Q) \right) \\ + P[N|N, Q] \end{array} \right\} \quad (3.17)$$

โดยที่ $\bar{L}[0, Q, p] = 0$

ตัวอย่างการหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยสำหรับเทคนิค CFP เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 4 ราย และมีสล็อตจำนวน 3 สล็อตในแต่ละเฟรม และกำหนดให้มีค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเท่ากับ 0.3

ขั้นตอนการหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 4 ราย จะต้องทำการหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการเริ่มตั้งแต่ 1 รายไปจนถึง 3 รายก่อนจึงสามารถนำไปคำนวณหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 4 รายนี้ได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) เวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการ 1 ราย

$$\bar{L}[1, 3, 0.3] = \frac{1}{1 - P[0|1, 3]} \left\langle \left\{ P[0|1, 3] \times 3 \right\} + \left\{ P[1|1, 3] \times (\bar{L}[0, 3, 0.3] + 3) \right\} \right\rangle$$

$$\bar{L}[1, 3, 0.3] = \frac{1}{1 - 0.343} \left\langle \left\{ 0.343 \times 3 \right\} + \left\{ 0.657 \times 3 \right\} \right\rangle$$

$$\bar{L}[1, 3, 0.3] = \frac{3}{0.657} = 4.566 \text{ สล็อต}$$

2) เวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการ 2 ราย

$$\bar{L}[2, 3, 0.3] = \frac{1}{1 - P[0|2, 3]} \left\langle \left\{ P[0|2, 3] \times 3 \right\} + \left\{ P[1|2, 3] \times (\bar{L}[1, 3, 0.3] + 3) \right\} \right\rangle$$

$$\bar{L}[2, 3, 0.3] = \frac{1}{1 - 0.2734} \left\langle \left\{ 0.2734 \times 3 \right\} + \left\{ 0.4507 \times (4.566 + 3) \right\} + \left\{ 0.2759 \times 3 \right\} \right\rangle$$

$$\bar{L}[2, 3, 0.3] = \frac{5.058}{0.7266} = 6.961 \text{ สล็อต}$$

3) เวลาประวิงของโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการ 3 ราย

$$\bar{L}[3,3,0.3] = \frac{1}{1 - P[0|3,3]} \left\langle \begin{aligned} &\{P[0|3,3] \times 3\} + \{P[1|3,3] \times (\bar{L}[2,3,0.3] + 3)\} \\ &+ \{P[2|3,3] \times (\bar{L}[1,3,0.3] + 3)\} \\ &+ \{P[3|3,3] \times (\bar{L}[0,3,0.3] + 3)\} \end{aligned} \right\rangle$$

$$\bar{L}[3,3,0.3] = \frac{1}{1 - 0.24} \left\langle \begin{aligned} &\{0.24 \times 3\} + \{0.4205 \times (6.961 + 3)\} \\ &+ \{0.2839 \times (4.566 + 3)\} + \{0.0556 \times 3\} \end{aligned} \right\rangle$$

$$\bar{L}[3,3,0.3] = \frac{7.2234}{0.76} = 9.504 \text{ สล็อต}$$

4) เวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการ 4 ราย

$$\bar{L}[4,3,0.3] = \frac{1}{1 - P[0|4,3]} \left\langle \begin{aligned} &\{P[0|4,3] \times 3\} + \{P[1|4,3] \times (\bar{L}[3,3,0.3] + 3)\} \\ &+ \{P[2|4,3] \times (\bar{L}[2,3,0.3] + 3)\} \\ &+ \{P[3|4,3] \times (\bar{L}[1,3,0.3] + 3)\} \end{aligned} \right\rangle$$

$$\bar{L}[4,3,0.3] = \frac{1}{1 - 0.2296} \left\langle \begin{aligned} &\{0.2296 \times 3\} + \{0.4264 \times (9.504 + 3)\} \\ &+ \{0.2678 \times (6.961 + 3)\} + \{0.0762 \times (4.566 + 3)\} \end{aligned} \right\rangle$$

$$\bar{L}[4,3,0.3] = \frac{9.265}{0.7704} = 12.026 \text{ สล็อต}$$

ดังนั้น ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการ 4 ราย เมื่อจำนวนสล็อตต่อเฟรมเท่ากับ 3 สล็อต และค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเท่ากับ 0.3 มีค่าเท่ากับ 12.026 สล็อต

3.2 เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified CFP

3.2.1 หลักการทำงานของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified CFP

หลักการทำงานของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified CFP นี้จะมีลักษณะเดียวกันกับเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP แต่จะกำหนดให้สถานีฐานสามารถปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ต หรือค่า p ตามจำนวนผู้ใช้ที่ยังไม่ประสบความสำเร็จและขึ้นอยู่กับจำนวนสล็อตในแต่ละเฟรมที่ใช้ด้วย

3.2.2 การวิเคราะห์หาค่าเวลาประวิงทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค Modified CFP

การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าเวลาประวิงของเทคนิค Modified CFP นั้นมีลักษณะเดียวกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค CFP แต่จะต้องมีการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตในแต่ละเฟรมให้มีค่าเหมาะสมกับจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อต (Optimum p หรือ p_{opt}) ซึ่งสามารถหาค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่ผู้ใช้บริการจำนวน k รายประสบความสำเร็จในการเข้าใช้ในระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมด N รายและสล็อตสัญญาณจำนวน Q สล็อตได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P_{\text{mod}}[k | N, Q] &= b[N, 0, p_{opt}] P_{\text{mod}}[k | N, Q - 1] \\ &+ b[N, 1, p_{opt}] P_{\text{mod}}[k - 1 | N - 1, Q - 1] \\ &+ \sum_{i=2}^N b[N, i, p_{opt}] P_{\text{mod}}[k | N - i, Q - 1] \end{aligned} \quad (3.18)$$

โดยมีเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) เช่นเดียวกับเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP เหมือนเดิม

ทั้งนี้ มีหลักเกณฑ์การเลือกค่าที่เหมาะสม คือ เลือกค่า p ที่ให้เวลาประวิงเฉลี่ยต่ำสุดซึ่งเป็นค่าที่ได้จากอัลกอริทึม CFP และสมการที่ใช้หาค่าเวลาประวิงเฉลี่ยของเทคนิค Modified CFP นั้นเป็นลักษณะเช่นเดียวกับสมการที่ (3.17) แต่ค่าความน่าจะเป็นจะเปลี่ยนไปทุกครั้งที่จำนวนผู้ใช้บริการเปลี่ยนแปลง จึงเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$\bar{L}[N, Q, p_{opt}] = \frac{1}{1 - P_{\text{mod}}[0 | N, Q]} \times \left\{ \begin{aligned} &(Q \times P_{\text{mod}}[0 | N, Q]) \\ &+ \left(\sum_{k=1}^{N-1} P_{\text{mod}}[k | N, Q] \times (\bar{L}[N - k, Q, p_{opt}] + Q) \right) \\ &+ P_{\text{mod}}[N | N, Q] \end{aligned} \right\} \quad (3.19)$$

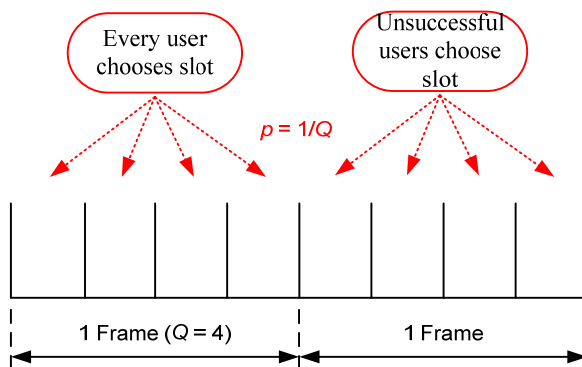
โดยที่ $\bar{L}[0, Q, p_{mod}] = 0$

3.3 เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ UNI

3.3.1 หลักการทำงานของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ UNI

เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ UNI มีกลไกการทำงานคล้ายกับอัลกอริทึม Framed ALOHA ซึ่งใช้เทคนิคการเข้าใช้สล็อตอย่างสุ่ม โดยกำหนดให้ผู้ใช้บริการที่ชนกันทุกรายสุ่มเลือกเข้าใช้สล็อตใดสล็อตหนึ่งจาก Q สล็อต ณ เวลาเริ่มต้นของแต่ละเฟรม ซึ่งจะเห็นได้ว่าโอกาสที่ช่องสัญญาณแต่ละช่องจะถูกเลือกหรือค่า p มีค่าเท่ากับ $1/Q$ เท่ากันทุกสล็อต หลังจากสิ้นสุดสล็อตสุดท้ายของเฟรม สถานีฐานจะทำการตรวจสอบผลการเข้าใช้สล็อตของผู้ใช้บริการ และผู้ใช้บริการแต่ละรายจะทราบผลของการเข้าใช้เมื่อสิ้นสุด

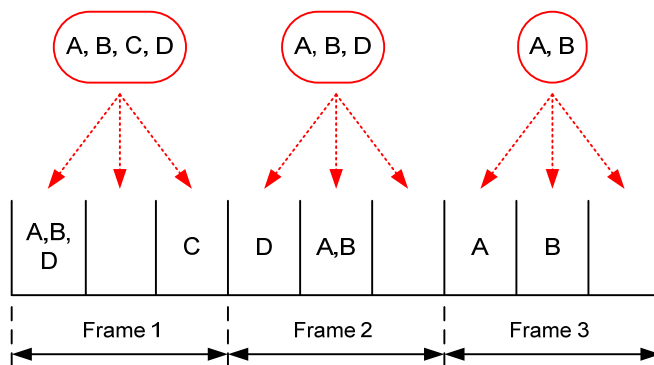
เฟรมนั้นๆ ผู้ใช้บริการที่ไม่ประสบความสำเร็จจะสุ่มเลือกสล็อตในเฟรมถัดไป ข้อดีของเทคนิคนี้คือ ระบบไม่จำเป็นต้องทราบจำนวนของผู้ใช้บริการ ณ เวลาเริ่มต้นในแต่ละเฟรม และสล็อตทุกสล็อตรองรับความต้องการการเข้าใช้ที่เท่าเทียมกัน ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะกลไกการทำงานของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ UNI

เมื่อพิจารณาเหตุการณ์ที่มีผู้บริการจำนวนตั้งแต่ 1 รายขึ้นไปเข้าใช้สล็อต จะพบว่าในแต่ละสล็อตจะมีสถานะที่เป็นไปได้ทั้งหมด 3 สถานะคือ

- 1) สถานะชนกัน (Collision) เมื่อมีผู้บริการมากกว่าหนึ่งรายเลือกสล็อตที่จะเข้าใช้สล็อตเดียวกัน ผู้บริการกลุ่มนี้จะสามารถทำการเข้าใช้สล็อตได้อีกครั้งในเฟรมถัดไป
- 2) สถานะประสบความสำเร็จ (Success) เมื่อมีผู้บริการเพียงรายเดียวเข้าใช้สล็อตนั้นๆ
- 3) สถานะว่าง (Idle) เมื่อไม่มีผู้บริการรายใดเข้าใช้สล็อตนั้นๆ



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ UNI

จากตัวอย่างในรูปที่ 3.7 จะพบว่า เมื่อเวลาเริ่มต้นมีผู้บริการจำนวน 4 ราย คือ A, B, C และ D เกิดการชนกันในการส่งแพ็กเกต ผู้บริการเหล่านี้จึงทำการสุ่มเลือกสล็อตในเฟรมแรก และพบว่าผู้บริการ A, B และ D เลือกสล็อตเดียวกันคือสล็อตแรก ส่วนผู้บริการ C เลือกสล็อตที่สามเพียงราย

เดียว เมื่อสิ้นสุดสล็อตสุดท้าย ผู้ใช้บริการ A, B และ D จะทราบว่าเกิดการชนกันในสล็อตแรก และจะต้องทำการสุ่มเลือกสล็อตอีกครั้งในเฟรมถัดไป ส่วนผู้ให้บริการ C จะทราบว่าไม่เกิดการชนหรือประสบความสำเร็จในการส่งแพ็กเก็ตในสล็อตที่สาม เมื่อพิจารณาเฟรมที่สองเช่นเดียวกันกับเฟรมแรก จะพบว่าผู้ให้บริการ D ประสบความสำเร็จในการส่งแพ็กเก็ตในสล็อตแรกของเฟรม ส่วนผู้ให้บริการ A และ B เกิดการชนกันในสล็อตที่สอง จึงต้องทำการสุ่มเลือกสล็อตอีกครั้งในเฟรมที่สาม และเช่นเดียวกันกับเฟรมก่อนหน้า ในเฟรมที่สาม พบว่าผู้ให้บริการ A และ B ต่างประสบความสำเร็จในการส่งแพ็กเก็ตในสล็อตแรกและสล็อตที่สองของเฟรมตามลำดับ สรุปได้ว่าการแก้ไขการชนดังกล่าวต้องใช้สล็อตจำนวน 9 สล็อต นั่นเอง

3.3.2 การวิเคราะห์หาค่าเวลาประวิงทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค UNI

กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

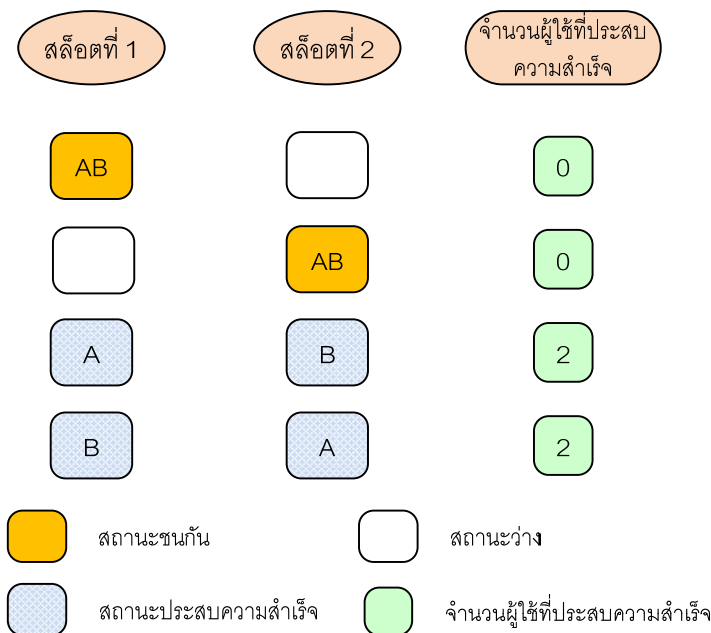
$\bar{L}(N, Q)$ แทนเวลาประวิง (จำนวนสล็อต) โดยเฉลี่ยที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาการชนกันของผู้ใช้บริการจำนวน N รายในระบบที่มีสล็อตในแต่ละเฟรมจำนวน Q สล็อต

(i_1, i_2, \dots, i_Q) คือรูปแบบของจำนวนผู้ให้บริการในสล็อตแต่ละสล็อตจำนวน Q สล็อต

เมื่อ i_1, i_2, \dots, i_Q แทนจำนวนของผู้ใช้ที่เข้าใช้สล็อตที่ 1, 2, ..., Q ตามลำดับ

3.3.2.1 ผู้ใช้บริการ 2 รายในระบบที่มีสล็อตจำนวน 2 สล็อต

เหตุการณ์ที่ผู้ใช้บริการเลือกใช้สล็อตทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้เป็นดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 2 รายในระบบที่มีสล็อตจำนวน 2 สล็อตต่อเฟรมของเทคนิค UNI

จะเห็นได้ว่าในเฟรมที่มีสล็อต 2 สล็อตนี้ จะมีรูปแบบของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด 4 รูปแบบ โดยมีความน่าจะเป็นในการเกิดรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

$$(2,0) : \text{ ผู้ใช้บริการทั้ง 2 รายเข้าใช้สล็อตแรกมีความน่าจะเป็นเท่ากับ } \frac{1}{4}$$

$$(0,2) : \text{ ผู้ใช้บริการทั้ง 2 รายเข้าใช้สล็อตที่สองมีความน่าจะเป็นเท่ากับ } \frac{1}{4}$$

$$(1,1) : \text{ ผู้ใช้บริการรายหนึ่งเข้าใช้สล็อตแรกและผู้ใช้บริการอีกรายเลือกใช้สล็อตที่สองมีความน่าจะเป็นเท่ากับ } \frac{2}{4}$$

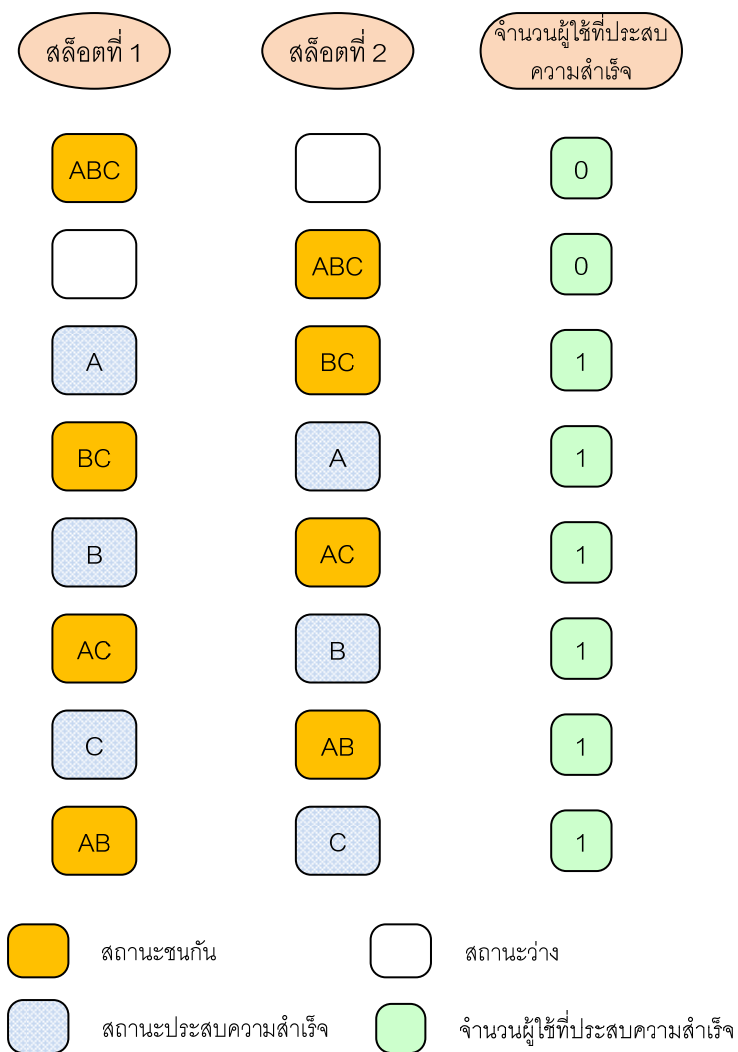
ดังนั้น จำนวนสล็อตโดยเฉลี่ยที่ผู้ใช้บริการจำนวน 2 รายใช้สำหรับการเข้าใช้สล็อตในระบบที่มีสล็อตจำนวน 2 สล็อตในแต่ละเฟรม สามารถแสดงได้ในรูปแบบบริเคอร์ซีฟ ได้ดังนี้

$$\bar{L}(2,2) = \left\{ \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right) \times (\bar{L}(2,2) + 2) \right\} + \left\{ \frac{1}{2} \times 2 \right\} \quad (3.20)$$

$$= 4 \text{ สล็อต}$$

3.3.2.2 ผู้ใช้บริการ 3 รายในระบบที่มีสล็อตจำนวน 2 สล็อต

เหตุการณ์ที่ผู้ใช้บริการเลือกใช้สล็อตทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้เป็นดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 3 รายในระบบที่มีสล๊อตจำนวน 2 สล๊อตต่อเฟรมของเทคนิค UNI

จะเห็นว่าในเฟรมที่มีสล๊อต 2 สล๊อตนี้ จะมีรูปแบบของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด 4 รูปแบบ โดยมีความน่าจะเป็นในการเกิดรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

- (3,0) : ผู้ใช้บริการทั้ง 3 รายเข้าใช้สล๊อตแรกมีความน่าจะเป็นเท่ากับ $\frac{1}{8}$
- (0,3) : ผู้ใช้บริการทั้ง 3 รายเข้าใช้สล๊อตที่สองมีความน่าจะเป็นเท่ากับ $\frac{1}{8}$
- (1,2) : ผู้ใช้บริการ 1 รายเข้าใช้สล๊อตแรกและผู้บริการอีก 2 รายเข้าใช้สล๊อตที่สองมีความน่าจะเป็นเท่ากับ $\frac{3}{8}$

(2,1) : ผู้ใช้บริการ 2 รายเข้าใช้สล็อตแรกและผู้ใช้บริการอีก 1 รายเข้าใช้

สล็อตที่สองมีความน่าจะเป็นเท่ากับ $\frac{3}{8}$

ดังนั้น จำนวนสล็อตโดยเฉลี่ยที่ผู้ให้บริการจำนวน 3 รายใช้สำหรับการเข้าใช้สล็อตในระบบที่มีสล็อตจำนวน 2 สล็อตในแต่ละเฟรม สามารถแสดงได้ในรูปแบบปริเคอร์ซีฟ ได้ดังนี้

$$\bar{L}(3,2) = \left\{ \left(\frac{1}{8} + \frac{1}{8} \right) \times (\bar{L}(3,2) + 2) \right\} + \left\{ \left(\frac{3}{8} + \frac{3}{8} \right) \times (\bar{L}(2,2) + 2) \right\} \tag{3.21}$$

$$= 6.67 \text{ สล็อต}$$

3.3.2.3 ผู้ใช้บริการ 4 รายในระบบที่มีสล็อตจำนวน 2 สล็อต

เหตุการณ์ที่ผู้ให้บริการเลือกใช้สล็อตทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้เป็นดังรูปที่ 3.10

สล็อตที่ 1	สล็อตที่ 2	จำนวนผู้ใช้ที่ประสบความสำเร็จ	สล็อตที่ 1	สล็อตที่ 2	จำนวนผู้ใช้ที่ประสบความสำเร็จ
ABCD		0	D	ABC	1
	ABCD	0	ABC	D	1
A	BCD	1	AB	CD	0
BCD	A	1	CD	AB	0
B	ACD	1	AC	BD	0
ACD	B	1	BD	AC	0
C	ABD	1	AD	BC	0
ABD	C	1	BC	AD	0

สถานะชนกัน
 สถานะประสบความสำเร็จ
 สถานะว่าง
 จำนวนผู้ใช้ที่ประสบความสำเร็จ

รูปที่ 3.10 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ให้บริการจำนวน 4 รายในระบบที่มีสล็อตจำนวน 2 สล็อตต่อเฟรมของเทคนิค UNI

จะเห็นได้ว่าในเฟรมที่มีสล็อต 2 สล็อตนี้ จะมีรูปแบบของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด 5 รูปแบบ โดยมีความน่าจะเป็นในการเกิดรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

$$(4,0) : \text{ ผู้ใช้บริการทั้ง 4 รายเข้าใช้สล็อตแรกมีความน่าจะเป็นเท่ากับ } \frac{1}{16}$$

$$(0,4) : \text{ ผู้ใช้บริการทั้ง 4 รายเข้าใช้สล็อตที่สองมีความน่าจะเป็นเท่ากับ } \frac{1}{16}$$

$$(3,1) : \text{ ผู้ใช้บริการ 1 รายเข้าใช้สล็อตแรกและผู้ใช้บริการอีก 3 รายเข้าใช้สล็อตที่สองมีความน่าจะเป็นเท่ากับ } \frac{4}{16}$$

$$(1,3) : \text{ ผู้ใช้บริการ 3 รายเข้าใช้สล็อตแรกและผู้ใช้บริการอีก 1 รายเข้าใช้สล็อตที่สองมีความน่าจะเป็นเท่ากับ } \frac{4}{16}$$

$$(2,2) : \text{ ผู้ใช้บริการ 2 รายแรกเข้าใช้สล็อตแรกและผู้ใช้บริการอีก 2 รายเข้าใช้สล็อตที่สองมีความน่าจะเป็นเท่ากับ } \frac{6}{16}$$

ดังนั้น จำนวนสล็อตโดยเฉลี่ยที่ผู้ใช้บริการจำนวน 4 รายใช้สำหรับการเข้าใช้สล็อตในระบบที่มีสล็อตจำนวน 2 สล็อตในแต่ละเฟรม สามารถแสดงได้ในรูปแบบริเคอร์ซีฟ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \bar{L}(4,2) &= \left\{ \left(\frac{1}{16} + \frac{1}{16} \right) \times (\bar{L}(4,2) + 2) \right\} + \left\{ \left(\frac{4}{16} + \frac{4}{16} \right) \times (\bar{L}(3,2) + 2) \right\} \\ &\quad + \left\{ \left(\frac{6}{16} \right) (\bar{L}(2,2) + 2) \right\} \\ &= 10.67 \text{ สล็อต} \end{aligned} \tag{3.22}$$

3.3.2.4 ผู้ใช้บริการ N รายในระบบที่มีสล็อตจำนวน Q สล็อต

เมื่อพิจารณาตัวอย่างของระบบทั้ง 3 ตัวอย่างข้างต้น จะพบว่าเหตุการณ์เมื่อมีผู้ใช้บริการ N รายใน

ระบบที่มีสล็อตสัญญาณ Q สล็อต แต่ละเหตุการณ์สามารถเกิดขึ้นได้ด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ $\frac{\binom{N}{i_1 \dots i_Q}}{Q^N}$

เมื่อ $i_1 + \dots + i_Q = N$ และสามารถหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการ N ราย (เมื่อ $N \geq 2$) โดยใช้หลักการริเคอร์ซีฟ ดังนี้

$$\bar{L}(N, Q) = \frac{1}{Q^N} \sum_{i_1, \dots, i_Q} \binom{N}{i_1 \dots i_Q} [\bar{L}(c, Q) + Q] \quad (3.23)$$

เมื่อ \sum_{i_1, \dots, i_Q}^N คือ ผลรวมของการจัดกลุ่ม (combination) ที่เป็นไปได้ทั้งหมดของ $i_1 \dots i_Q$ โดยที่

$$\sum_j^Q i_j = N \text{ และ } i_j \geq 0$$

$\binom{N}{i_1 \dots i_Q}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์เอกนาม (multinomial coefficient)

$$\bar{L}(c, Q) = \begin{cases} 0 & L_{i_q} < 2 \\ L_{coll} & \text{otherwise} \end{cases} \text{ เมื่อ } coll = \sum_{q=1, i_q \geq 2}^Q i_q$$

ตัวอย่างการหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยสำหรับเทคนิค UNI เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 4 ราย และมีสล็อตจำนวน 3 สล็อตในแต่ละเฟรม

ขั้นตอนการหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 4 ราย จะต้องทำการหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการเริ่มตั้งแต่ 2 รายไปจนถึง 3 รายก่อนจึงสามารถนำไปคำนวณหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวน 4 รายนี้ได้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการ 2 ราย

$$\bar{L}(2, 3) = \frac{1}{3^2} \sum_{i_1, i_2, i_3}^2 \binom{2}{i_1 \ i_2 \ i_3} [\bar{L}(c, 3) + 3]$$

$$\bar{L}(2, 3) = \frac{1}{3^2} \times \left\langle \begin{aligned} & \left\{ \binom{2}{2 \ 0 \ 0} \times [\bar{L}(2, 3) + 3] \right\} + \left\{ \binom{2}{0 \ 2 \ 0} \times [\bar{L}(2, 3) + 3] \right\} \\ & + \left\{ \binom{2}{0 \ 0 \ 2} \times [\bar{L}(2, 3) + 3] \right\} + \left\{ \binom{2}{1 \ 1 \ 0} \times [\bar{L}(0, 3) + 3] \right\} \\ & + \left\{ \binom{2}{1 \ 0 \ 1} \times [\bar{L}(0, 3) + 3] \right\} + \left\{ \binom{2}{0 \ 1 \ 1} \times [\bar{L}(0, 3) + 3] \right\} \end{aligned} \right\rangle$$

$$\bar{L}(2, 3) = \frac{1}{9} \langle \{3 \times 1 \times [\bar{L}(2, 3) + 3]\} + \{3 \times 2 \times 3\} \rangle$$

$$\frac{2}{3} \bar{L}(2, 3) = \frac{1}{9} (9 + 18) = 3$$

$$\bar{L}(2,3) = \frac{9}{2} = 4.5$$

2) เวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการ 3 ราย

$$\bar{L}(3,3) = \frac{1}{3^3} \sum_{i_1, i_2, i_3} \binom{3}{i_1 \ i_2 \ i_3} [\bar{L}(c,3) + 3]$$

$$\bar{L}(3,3) = \frac{1}{3^3} \times \left(\left\{ \binom{3}{3 \ 0 \ 0} \times [\bar{L}(3,3) + 3] \right\} + \left\{ \binom{3}{0 \ 3 \ 0} \times [\bar{L}(3,3) + 3] \right\} \right. \\ \left. + \left\{ \binom{3}{0 \ 0 \ 3} \times [\bar{L}(3,3) + 3] \right\} + \left\{ \binom{3}{2 \ 1 \ 0} \times [\bar{L}(2,3) + 3] \right\} \right. \\ \left. + \left\{ \binom{3}{2 \ 0 \ 1} \times [\bar{L}(2,3) + 3] \right\} + \left\{ \binom{3}{0 \ 2 \ 1} \times [\bar{L}(2,3) + 3] \right\} \right. \\ \left. + \left\{ \binom{3}{1 \ 2 \ 0} \times [\bar{L}(2,3) + 3] \right\} + \left\{ \binom{3}{1 \ 0 \ 2} \times [\bar{L}(2,3) + 3] \right\} \right. \\ \left. + \left\{ \binom{3}{0 \ 1 \ 2} \times [\bar{L}(2,3) + 3] \right\} + \left\{ \binom{3}{1 \ 1 \ 1} \times [\bar{L}(0,3) + 3] \right\} \right)$$

$$\bar{L}(3,3) = \frac{1}{27} \langle \{3 \times 1 \times [\bar{L}(3,3) + 3]\} + \{6 \times 3 \times [\bar{L}(2,3) + 3]\} + \{6 \times 3\} \rangle$$

$$\frac{8}{9} \bar{L}(3,3) = \frac{1}{27} \{9 + 54 + 18 + (18 \times 4.5)\} = 6$$

$$\bar{L}(3,3) = 6 \times \frac{9}{8} = 6.75$$

3) เวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการ 4 ราย

$$\bar{L}(4,3) = \frac{1}{3^4} \sum_{i_1, i_2, i_3} \binom{4}{i_1 \ i_2 \ i_3} [\bar{L}(c,3) + 3]$$

$$\bar{L}(4,3) = \frac{1}{3^4} \times \left(\left\{ \begin{aligned} &\left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 4 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times [\bar{L}(4,3) + 3] \right\} + \left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 0 & 4 & 0 \end{pmatrix} \times [\bar{L}(4,3) + 3] \right\} \\ &+ \left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 0 & 0 & 4 \end{pmatrix} \times [\bar{L}(4,3) + 3] \right\} + \left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 3 & 1 & 0 \end{pmatrix} \times [\bar{L}(3,3) + 3] \right\} \\ &+ \left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 3 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times [\bar{L}(3,3) + 3] \right\} + \left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 1 & 3 & 0 \end{pmatrix} \times [\bar{L}(3,3) + 3] \right\} \\ &+ \left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 0 & 3 & 1 \end{pmatrix} \times [\bar{L}(3,3) + 3] \right\} + \left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 1 & 0 & 3 \end{pmatrix} \times [\bar{L}(3,3) + 3] \right\} \\ &+ \left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 0 & 1 & 3 \end{pmatrix} \times [\bar{L}(3,3) + 3] \right\} + \left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 2 & 1 & 1 \end{pmatrix} \times [\bar{L}(2,3) + 3] \right\} \\ &+ \left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \times [\bar{L}(2,3) + 3] \right\} + \left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 1 & 1 & 2 \end{pmatrix} \times [\bar{L}(2,3) + 3] \right\} \\ &\left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 2 & 2 & 0 \end{pmatrix} \times [\bar{L}(4,3) + 3] \right\} + \left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 2 & 0 & 2 \end{pmatrix} \times [\bar{L}(4,3) + 3] \right\} \\ &+ \left\{ \begin{pmatrix} 4 \\ 0 & 2 & 2 \end{pmatrix} \times [\bar{L}(4,3) + 3] \right\} \end{aligned} \right)$$

$$\bar{L}(4,3) = \frac{1}{81} \left(\left\{ \begin{aligned} &1 \times 3 \times [\bar{L}(4,3) + 3] \right\} + \left\{ \begin{aligned} &6 \times 4 \times [\bar{L}(3,3) + 3] \\ &+ 3 \times 12 \times [\bar{L}(2,3) + 3] \end{aligned} \right\} + \left\{ \begin{aligned} &3 \times 6 \times [\bar{L}(4,3) + 3] \end{aligned} \right\} \right)$$

$$\frac{60}{81} \bar{L}(4,3) = \frac{1}{81} \{9 + 72 + 108 + 54 + (24 \times 6.75) + (36 \times 4.75)\} = \frac{567}{81}$$

$$\bar{L}(4,3) = \frac{567}{60} = 9.45$$

ดังนั้น ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการ 4 ราย เมื่อจำนวนสล็อตต่อเฟรมเท่ากับ 3 สล็อต มีค่าเท่ากับ 9.45 สล็อต

3.4 เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified UNI

3.4.1 หลักการทำงานของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified UNI

หลักการทำงานของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified UNI นั้นมีลักษณะเช่นเดียวกับเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ UNI คือ กำหนดให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายทำการสุ่มเลือกสล็อตใดสล็อตหนึ่งในแต่ละเฟรม แต่จะกำหนดให้สถานีฐานสามารถปรับเปลี่ยนจำนวนสล็อตในแต่ละเฟรมได้โดยขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ให้บริการที่ยังไม่ประสบความสำเร็จในเฟรมก่อนหน้า

3.4.2 การวิเคราะห์หาค่าเวลาประวิงทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค Modified UNI

การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าเวลาประวิงของเทคนิค Modified UNI นั้นมีลักษณะเดียวกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของเทคนิค UNI แต่ค่าสล็อตต่อเฟรมที่ใช้ในนั้นจะต้องกำหนดให้เหมาะสมกับจำนวนผู้ใช้บริการที่ยังไม่ประสบความสำเร็จ (Optimum Q หรือ Q_{opt}) โดยสามารถเขียนเป็นสมการในรูปรีเคอร์ซีฟได้ดังนี้

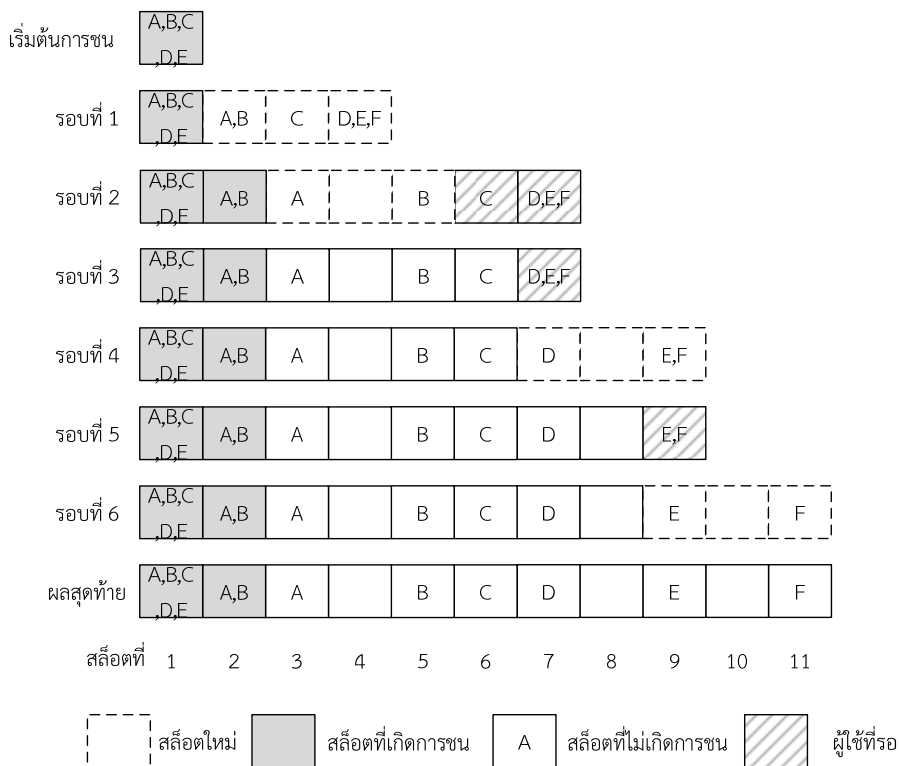
$$\bar{L}(N, Q_{opt}) = \frac{1}{Q_{opt}^N} \sum_{i_1, \dots, i_{Q_{opt}}}^N \left(i_1 \dots i_{Q_{opt}} \right) \left[\bar{L}(c, Q_{opt}) + Q_{opt} \right] \quad (3.24)$$

3.5 อัลกอริทึม Modified Tree

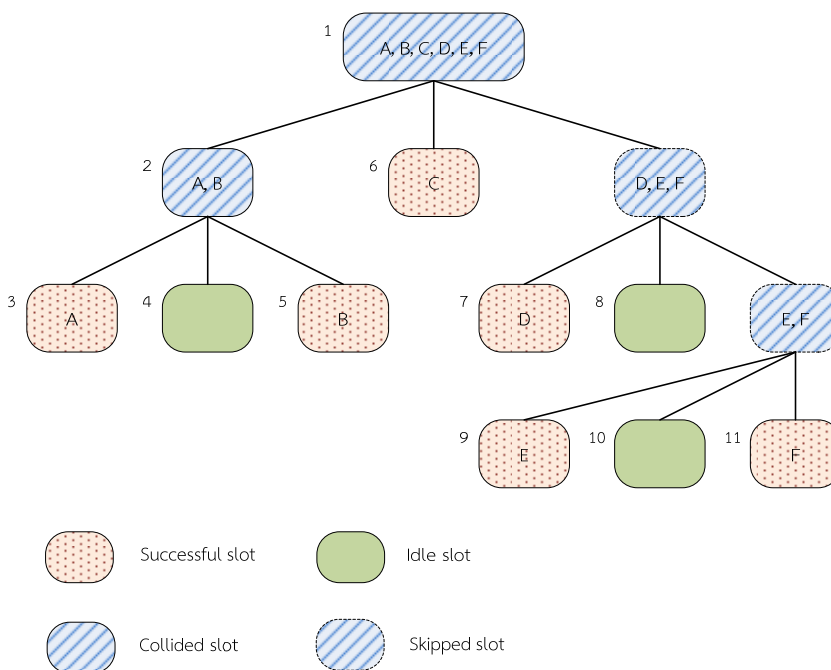
อัลกอริทึมที่นำเสนอที่นี่ จะกำหนดให้รูปแบบการส่งข้อมูลผลป้อนกลับที่แตกต่างจากเทคนิคการแก้ไขการชนทั้งหมดที่กล่าวมาก่อนหน้า โดยกำหนดให้ส่งข้อมูลผลป้อนกลับเมื่อสิ้นสุดสล็อตแต่ละสล็อตทันทีเช่นเดียวกับอัลกอริทึม Tree อีกทั้งยังกำหนดให้ข้อมูลผลป้อนกลับนี้มีข้อมูลเพิ่มขึ้นอีกจำนวนหนึ่ง ข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้าใช้สล็อตหนึ่งๆ และอาศัยข้อเท็จจริงที่ว่า

- 1) การชนจะเกิดขึ้นในสล็อตสุดท้ายของเฟรมที่พิจารณาถ้ามีผู้ใช้บริการมากกว่า 1 รายยังไม่ได้เข้าใช้ในสล็อตก่อนหน้า โดยสามารถเริ่มการแบ่งกลุ่มใหม่ได้ทันทีในสล็อตสุดท้ายนี้
- 2) ถ้าผู้ใช้บริการทั้งหมดเข้าใช้สล็อตตั้งแต่สล็อตแรกจนถึงสล็อตใดๆแล้วเราสามารถละทิ้ง (skip) สล็อตที่เหลือในเฟรมนั้นๆได้ เนื่องจากจะไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเข้าใช้สล็อตเหล่านั้นหรือสล็อตเหล่านั้นเป็นสล็อตว่างนั่นเอง

สามารถแสดงตัวอย่างการทำงานของอัลกอริทึม Modified Tree ได้ดังนี้



ก). ตัวอย่างการจัดสรรสล๊อตโดยใช้อัลกอริทึม Modified tree



ข). ตัวอย่างแผนภูมิต้นไม้ของอัลกอริทึม Modified tree

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างอัลกอริทึม Modified tree ซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้บริการ 6 ราย และจำนวนกลุ่มย่อยเท่ากับ 3

รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างการแก้ไขการชนโดยอาศัยอัลกอริทึม Modified Tree ที่นำเสนอเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน 6 ราย และจำนวนกลุ่มย่อยหรือสล็อตในแต่ละเฟรมเท่ากับ 3 ($Q = 3$) รูป 3.11 ก) แสดงการจัดสรรสล็อตของอัลกอริทึมซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบภูมิตันไม้ ได้เช่นกันดังในรูป 3.11 ข) ผู้ใช้บริการทุกรายเข้าใช้สล็อตแรก ดังนั้นจะเกิดการชน กระบวนการแก้ปัญหาการชนจะเริ่มต้น ในการแบ่งกลุ่มครั้งแรก ผู้ใช้บริการ A และ B อยู่ในกลุ่มที่หนึ่ง ผู้ใช้บริการ A และ B จึงเข้าใช้สล็อตถัดไปทันที (สล็อตที่ 2) ผู้ใช้บริการรายที่เหลือจะต้องเลื่อนการเข้าใช้ของตนเองออกไปจนกว่าผู้ใช้บริการ A และ B ส่งสำเร็จ ซึ่งในสล็อตนี้เกิดการชนอีกครั้ง จึงต้องมีการแบ่งกลุ่มอีกครั้ง โดยผู้ใช้บริการ A และ B ได้เลือกกลุ่มที่ 1 และ 3 ตามลำดับและส่งแพ็กเก็ตสำเร็จในสล็อตของตนเอง ผู้ใช้ C ซึ่งเลือกกลุ่มที่สอง จากการแบ่งกลุ่มครั้งแรกเข้าใช้สล็อตที่ 6 ได้ทันทีเนื่องจากเป็นผู้ใช้บริการรายเดียวเท่านั้นที่เลือกกลุ่มนี้ ขณะเดียวกันเมื่อสิ้นสุดสล็อตที่ 6 นี้ เราจะทราบได้ทันทีว่าในกลุ่มที่สาม ซึ่งเป็นกลุ่มสุดท้ายจะประกอบด้วยผู้ใช้บริการ C, E และ F โดยทั้ง 3 รายยังไม่ได้เข้าใช้สล็อตใดๆ เนื่องจากข้อมูลจำนวนผู้ใช้ในแต่ละสล็อตนั่นเอง หมายความว่าผู้ใช้บริการทั้ง 3 รายจะเข้าใช้สล็อตที่ 7 และเกิดการชนในสล็อตนี้

ในกรณีนี้เราสามารถละการเข้าใช้ของผู้ใช้บริการทั้ง 3 รายในสล็อตนี้โดยการแบ่งออกเป็นเฟรมใหม่ได้ทันที (สล็อตที่ 7, 8 และ 9) จากรูป ผู้ใช้บริการ D เข้าใช้สล็อตที่ 7 ส่วนสล็อตที่ 8 นั้นว่าง และสล็อตที่ 9 เกิดการชนอีกครั้ง จึงต้องเริ่มการแบ่งกลุ่มเช่นเดิม ซึ่งสุดท้ายผู้ใช้บริการ E และ F ส่งแพ็กเก็ตของตนเองสำเร็จในสล็อต 9 และ 11 ตามลำดับ

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

บทนี้เป็นการแสดงผลการทดสอบและการวิเคราะห์เทคนิคการแก้ไขการชนที่ได้นำเสนอ ซึ่งผลที่นำมาแสดงนั้นได้มาจากสมการทางคณิตศาสตร์ (ยกเว้นกรณีของ Modified Tree) ที่นำเสนอการวิเคราะห์ในบทที่ 3 รวมทั้งตรวจสอบความถูกต้องด้วยการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรม MATLAB การทดสอบสมรรถนะจะครอบคลุมเทคนิคและอัลกอริทึมทั้งสิ้น 5 รูปแบบดังนี้

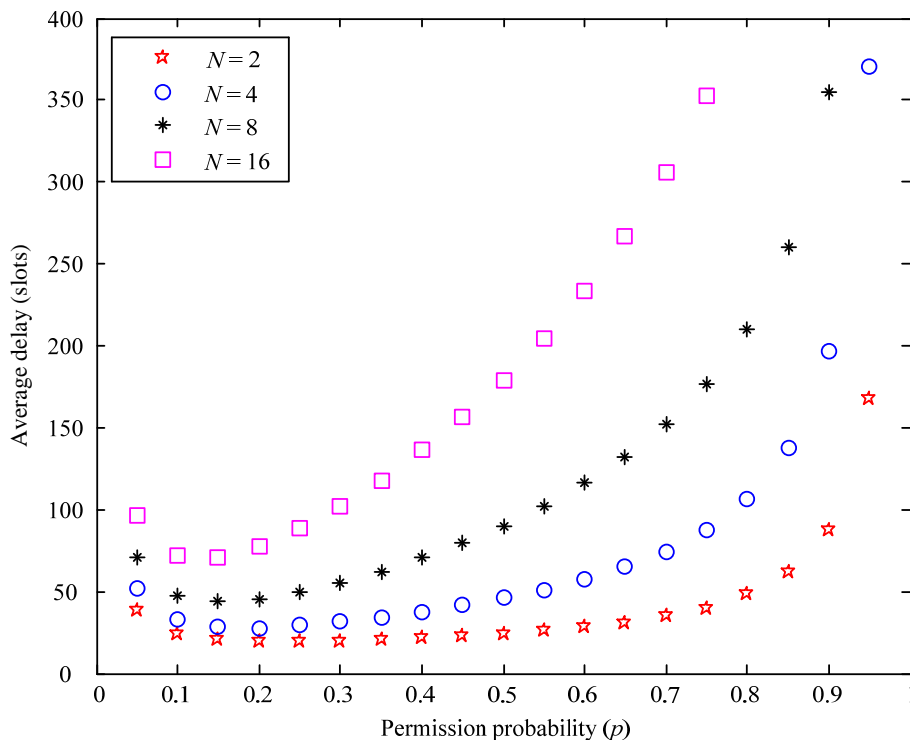
1. เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP
2. เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified CFP
3. เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ UNI
4. เทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified UNI
5. อัลกอริทึม Modified Tree

ในการนำเสนอผลการทดสอบนั้น จะกำหนดสัญลักษณ์ต่างๆ เพื่อให้ง่ายในการทำความเข้าใจดังนี้

\bar{L}	แทนเวลาประวิงโดยเฉลี่ย (จำนวนสล็อตโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการแก้ไขการชน)
N	แทนจำนวนผู้ใช้บริการที่เกิดการชนกัน
Q	แทนจำนวนสล็อตในแต่ละเฟรม
Q_{opt}	แทนจำนวนสล็อตต่อเฟรมที่เหมาะสมที่สุด
p	แทนความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ต
p_{opt}	แทนความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตที่เหมาะสม
<i>Analysis</i>	แทนการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์
<i>Simulation</i>	แทนการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.1 ผลของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP

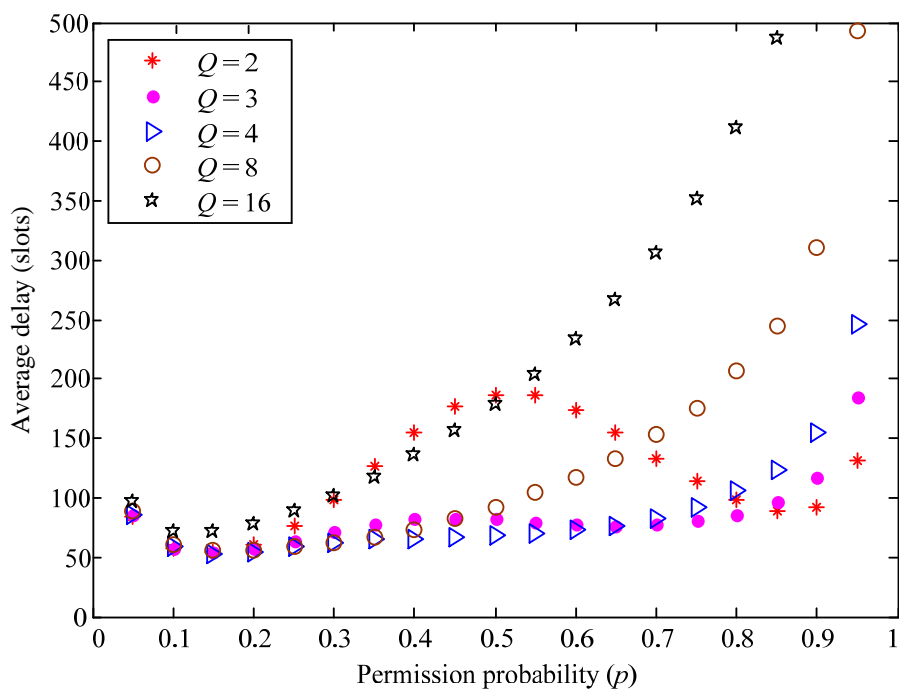
จากกลไกการทำงานของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP ที่นำเสนอในบทที่ 3 นั้น แสดงให้เห็นว่าค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ต (p) นั้นมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการแก้ไขการชนของแพ็กเก็ต และส่งผลต่อค่าเวลาประวิงที่ใช้ในการแก้ไขการชนโดยเฉลี่ย ซึ่งในส่วนแรกนี้จะศึกษาผลกระทบจากค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตต่อสมรรถนะของระบบ



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตของเทคนิค CFP เมื่อ N เท่ากับ 2, 4, 8 และ 16

รูป 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย (\bar{L}) กับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ต (p) เมื่อกำหนดให้มีผู้ใช้บริการจำนวน 2, 4, 8 และ 16 รายในระบบที่มีสล็อตจำนวน 16 สล็อตในแต่ละเฟรม จากรูปจะเห็นได้ว่า ในช่วงที่มีค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตน้อยๆ ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะมีค่าลดลงเนื่องจากผู้ใช้บริการมีโอกาสส่งแพ็กเก็ตน้อยจนเกินไป จนเมื่อค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่งๆ ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของแต่ละกรณีจะมีค่าน้อยที่สุดและหลังจากนั้นเมื่อค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้นค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกกรณี เนื่องจากการเพิ่มโอกาสในการชนกันมากขึ้น โดยในระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการน้อยจะมีค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยน้อยกว่าระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่า เนื่องจากระบบมีจำนวนสล็อตในแต่ละเฟรมที่เพียงพอกับจำนวนผู้ใช้บริการ ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งคือ แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยในกรณีที่จำนวน

ผู้ใช้บริการน้อยจะเปลี่ยนแปลงช้ากว่ากรณีที่มีผู้ใช้บริการมากกว่าเนื่องจากการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเป็นการเพิ่มโอกาสที่จะเกิดการชนกัน ดังนั้นหากมีผู้ใช้บริการจำนวนมากกว่าโอกาสที่จะเกิดการชนกันก็มีมากกว่าด้วยจึงต้องใช้สล็อตจำนวนมากกว่า



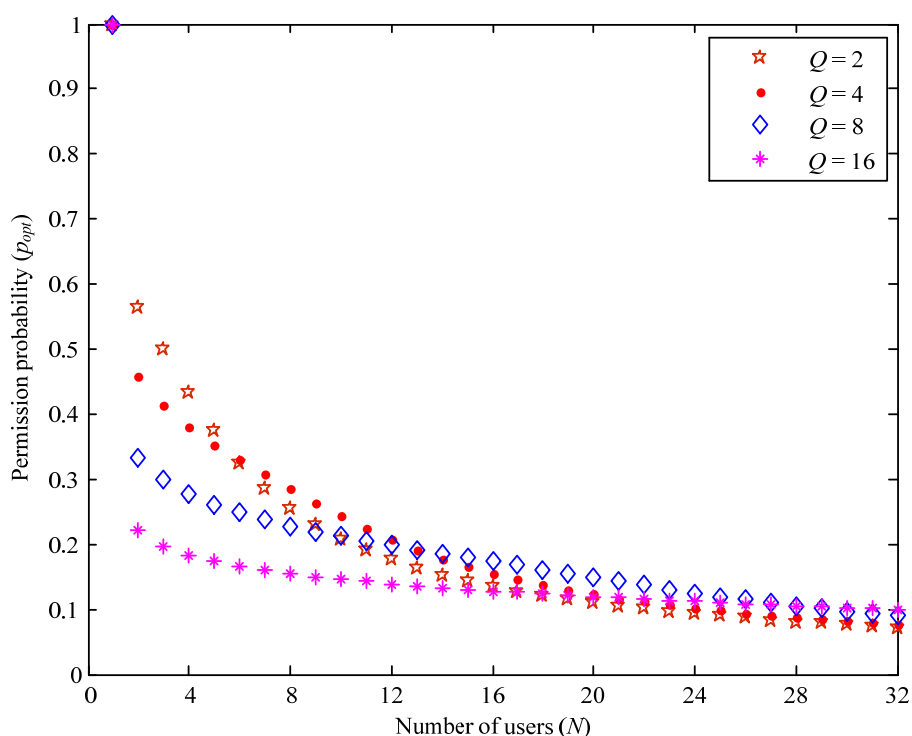
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตของเทคนิค CFP เมื่อ Q เท่ากับ 2, 3, 4, 8 และ 16

รูป 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ต (p) กับค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย (\bar{L}) สำหรับเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP เมื่อกำหนดให้มีผู้ใช้บริการจำนวน 16 ราย โดยมีจำนวนสล็อตเท่ากับ 2, 4, 8 และ 16 สล็อตต่อเฟรม จากรูปจะพบว่าในช่วงต้นที่มีค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตน้อย ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะมีค่าลดลง จนกระทั่งค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่งค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยก็จะมีค่าน้อยที่สุด แต่เมื่อค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตมีค่าสูงขึ้นค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยก็จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ยกเว้นกรณีที่ที่มีจำนวนสล็อตต่อเฟรมน้อย คือ Q เท่ากับ 2, 3 และ 4 จะมีการแกว่งตัวของค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยในช่วงของค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตบางช่วง ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังนี้

สำหรับกรณี Q เท่ากับ 2 เมื่อค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้นจากค่าที่ทำให้มีค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยน้อยที่สุดในช่วงต้น กราฟจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากโอกาสที่จะเกิดการชนกันมีค่าสูงขึ้นจนถึงค่าหนึ่งก็จะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เพราะว่าเมื่อเพิ่มโอกาสในการชนกันจนถึงค่าหนึ่งจะเป็นการลดโอกาสที่จะเกิดการชนกันในสล็อตถัดไป กล่าวคือผู้ใช้บริการจะเกิดการชนกันในสล็อตแรกจำนวนหนึ่งที่มา

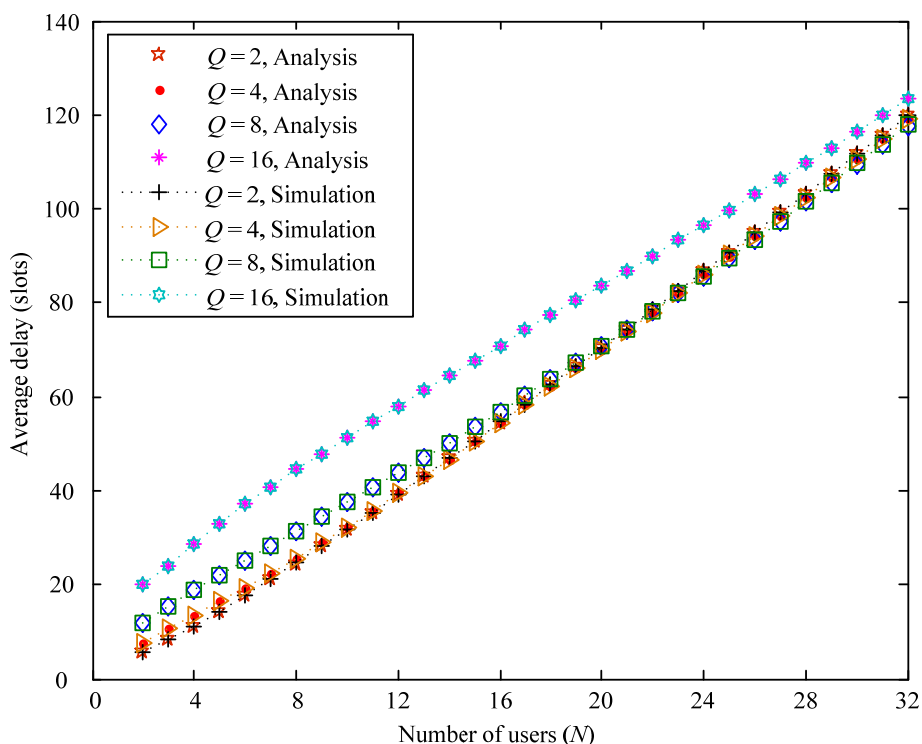
พอที่ทำให้มีจำนวนผู้ใช้บริการในสล็อตที่สองเหลือน้อยลงและทำให้มีโอกาสประสบความสำเร็จมากขึ้น ส่งผลให้สมรรถนะของระบบกลับดีขึ้น แต่หากค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตเพิ่มขึ้นมากเกินไปก็จะเป็นการเพิ่มโอกาสที่จะเกิดการชนกันในสล็อตแรกจำนวนมากเกินไปจนไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเหลือสำหรับสล็อตที่สองเลยและส่งผลให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง ส่วนกรณีที่ Q เท่ากับ 3 และ 4 นั้นจะมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกับกรณีที่ Q เท่ากับ 2 แต่จะมีลักษณะการแกว่งตัวที่น้อยกว่าขึ้นอยู่กับจำนวนสล็อตในแต่ละเฟรมคือหากมีจำนวนสล็อตมากการแกว่งตัวก็จะลดลงจนแทบไม่มีการแกว่งตัวเลยในกรณีที่ Q เท่ากับ 8 และ 16 เนื่องจากมีจำนวนสล็อตที่มากกว่านั่นเอง

จะเห็นได้ว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดสำหรับทุกกรณีนั้นจะอยู่ในช่วงที่มีค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตน้อยๆ ซึ่งการกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตน้อย หมายถึงโอกาสในการเข้าใช้สล็อตนั้นๆมีค่าน้อย ทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนในการส่งแพ็กเกตของผู้ใช้บริการก็มีค่าน้อยด้วย ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อค่าความน่าจะเป็นเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากการทดสอบข้างต้นทั้งสอง จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตที่เลือกใช้ให้เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตต่อเฟรมที่ใช้ด้วย



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตที่เหมาะสมกับจำนวนผู้ใช้บริการของเทคนิค CFP

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตที่เหมาะสม (p_{opt}) หรือความน่าจะเป็นที่ทำให้ระบบมีสมรรถนะสูงสุดกับจำนวนผู้ใช้บริการ (N) ของเทคนิค CFP เมื่อกำหนดให้สล็อตต่อเฟรมเท่ากับ 2, 4, 8 และ 16 จากรูปจะพบว่าเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 1 ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตที่ทำให้มีค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 1 ในทุกกรณี แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตที่ทำให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุดจะมีค่าลดลง โดยในช่วงต้นเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการน้อย ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตของระบบที่มีค่า Q น้อยจะมีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตในกรณีที่มีค่า Q มากกว่า เนื่องจากมีจำนวนสล็อตในแต่ละเฟรมน้อยจึงต้องกำหนดให้มีโอกาสในการเข้าใช้สล็อตสูงกว่าเพื่อที่จะให้ระบบมีสมรรถนะสูง และในทางกลับกันเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มสูงขึ้น ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตที่ทำให้ระบบมีสมรรถนะสูงสุดในกรณีที่มีค่า Q น้อยจะมีค่าน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตในกรณีที่มีค่า Q มากกว่า เนื่องจากมีจำนวนผู้ใช้บริการจำนวนมากและมีสล็อตน้อยจึงจะต้องลดโอกาสที่จะเกิดการชนกันให้มีค่าน้อย ส่วนกรณีที่มีจำนวนสล็อตมากจะมีสล็อตมากพอจึงไม่จำเป็นต้องกำหนดให้มีโอกาสที่จะเกิดการชนกันน้อยจนเกินไป



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้บริการของเทคนิค CFP เมื่อ Q เท่ากับ 2, 4, 8 และ 16

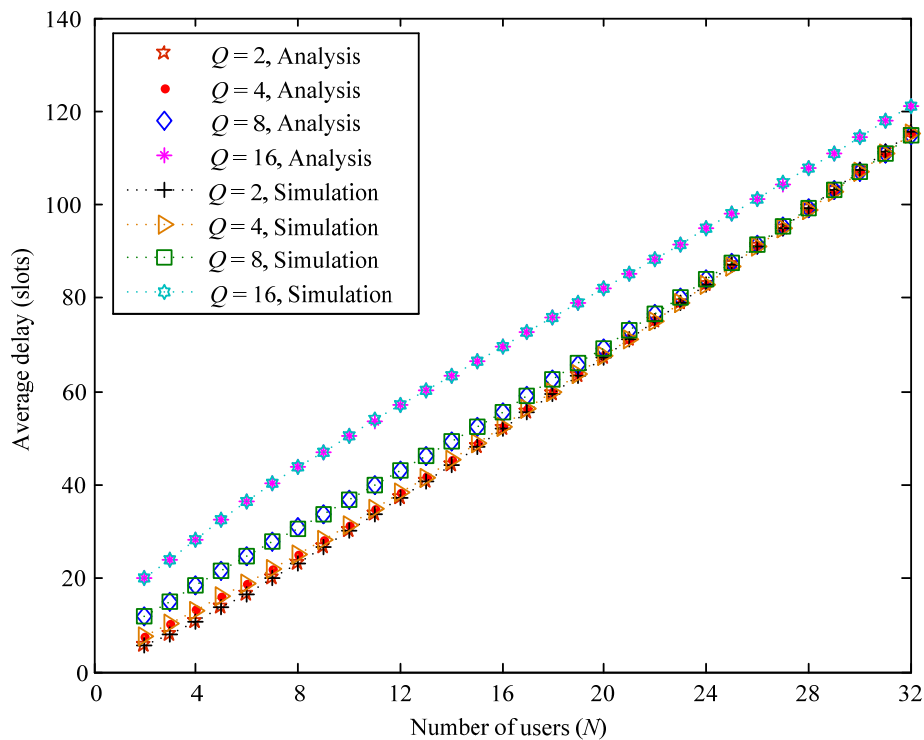
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย (\bar{L}) กับจำนวนผู้ใช้บริการ (N) จำนวนตั้งแต่ 2 รายไปจนถึง 32 รายสำหรับเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP เมื่อมีจำนวนสล็อตต่อเฟรมเท่ากับ 2, 4, 8 และ 16 สล็อต โดยในการทดสอบนี้ กำหนดให้ใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตที่เหมาะสมสัมพันธ์กับจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตต่อเฟรมที่ได้จากการทดสอบก่อนหน้านี้ด้วย จากรูปจะเห็นว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นในทุกกรณี เมื่อทำการพิจารณากรณีที่ Q เท่ากับ 2, 4 และ 8 จะพบว่าในช่วงที่มีจำนวนผู้ใช้บริการน้อย ระบบที่มีจำนวนสล็อตต่อเฟรมมากจะมีค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยมากกว่าระบบที่มีจำนวนสล็อตน้อยกว่า เนื่องจากจะต้องใช้สล็อตทั้งเฟรมในการแก้ไขการชนแต่ละครั้งซึ่งอาจเป็นการสูญเสียสล็อตที่ไม่ได้ใช้งานเพราะมีจำนวนสล็อตที่มากพอต่างกับระบบที่มีจำนวนสล็อตน้อยซึ่งจะมีการใช้สล็อตที่มีประสิทธิภาพกว่ากล่าวคือสล็อตทุกสล็อตในแต่ละเฟรมถูกใช้งานอย่างเต็มที่ ในทางกลับกันเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มสูงขึ้น ระบบที่มีจำนวนสล็อตมากกว่าจะมีสมรรถนะสูงกว่าระบบที่มีจำนวนสล็อตน้อยกว่า เนื่องจากในระบบที่มีจำนวนสล็อตน้อยผู้ใช้บริการจำนวนมากจะมีโอกาสเกิดการชนกันสูงหรือมีจำนวนผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในแต่ละเฟรมน้อยจึงต้องใช้สล็อตจำนวนมาก ต่างกับระบบที่มีจำนวนสล็อตมากกว่าซึ่งสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการที่มากขึ้นได้ดีกว่าหรือมีจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในแต่ละเฟรมสูงกว่านั้นเอง สำหรับกรณีที่ Q เท่ากับ 16 นั้นค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยที่ได้จะมีค่าสูงกว่ากรณีอื่นๆเนื่องจากจำนวนสล็อตในแต่ละเฟรมมีมากเกินไป แต่หากพิจารณาแล้วจะสามารถทำนายได้ว่าหากจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มสูงขึ้นกว่านี้ ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะค่อยๆมีค่าน้อยกว่ากรณีก่อนหน้านี้ 3 ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกัน

จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นได้ว่าจำนวนสล็อตต่อเฟรม (Q) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่ง นอกจากการเลือกค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ต (p) ที่เหมาะสมซึ่งส่งผลต่อเวลาประวิงโดยเฉลี่ยที่ใช้ในการแก้ไขการชน โดยสังเกตได้ว่าหากจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น ขนาดของเฟรมที่เหมาะสมก็ควรมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย แต่หากขนาดของเฟรมมีขนาดที่ใหญ่มากเกินไปก็จะส่งผลให้การแก้ไขการชนมีประสิทธิภาพลดลง ดังนั้น การเลือกใช้ขนาดของเฟรมที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องพิจารณาให้เหมาะกับองค์ประกอบอื่นๆ เพื่อให้การแก้ไขการชนมีประสิทธิภาพดี

4.2 ผลของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified CFP

ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงผลของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified CFP ซึ่งจะทำการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบเทคนิค CFP แต่ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามจำนวนผู้ใช้บริการที่เหลือในแต่ละเฟรม โดยในการทดสอบนี้จะกำหนดให้มีจำนวนผู้ใช้ตั้งแต่ 2 รายจนถึง 32 ราย และกำหนดให้มีจำนวนสล็อตต่อเฟรม Q เท่ากับ 2, 4, 8 และ 16 สล็อต ซึ่งผลการทดสอบเพื่อหาค่าเวลาประวิง

โดยเฉลี่ยแสดงดังรูปที่ 4.5 ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมและแนวโน้มที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเทคนิค CFP แต่เมื่อพิจารณาความแตกต่างจะพบว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของเทคนิค Modified CFP มีค่าน้อยกว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของเทคนิค CFP



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้บริการของเทคนิค Modified CFP เมื่อ Q เท่ากับ 2, 4, 8 และ 16

จากผลที่ได้แสดงข้างต้น ทำให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตให้สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้ที่เหลือในแต่ละเฟรมเป็นแนวทางที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ไขการชนได้ระดับหนึ่ง ดังตารางที่ 4.1 โดยแสดงให้เห็นถึงเปอร์เซ็นต์ของค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยที่ลดลงของเทคนิค Modified CFP เปรียบเทียบกับเทคนิค CFP เมื่อ Q เท่ากับ 2, 4, 8 และ 16 ซึ่งจะเห็นได้ว่ากรณีที่ Q เท่ากับ 16 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเปลี่ยนไปค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตที่เหมาะสมจะมีการปรับเปลี่ยนน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่นๆ ดังที่แสดงในรูป 4.3 มาก่อนหน้า

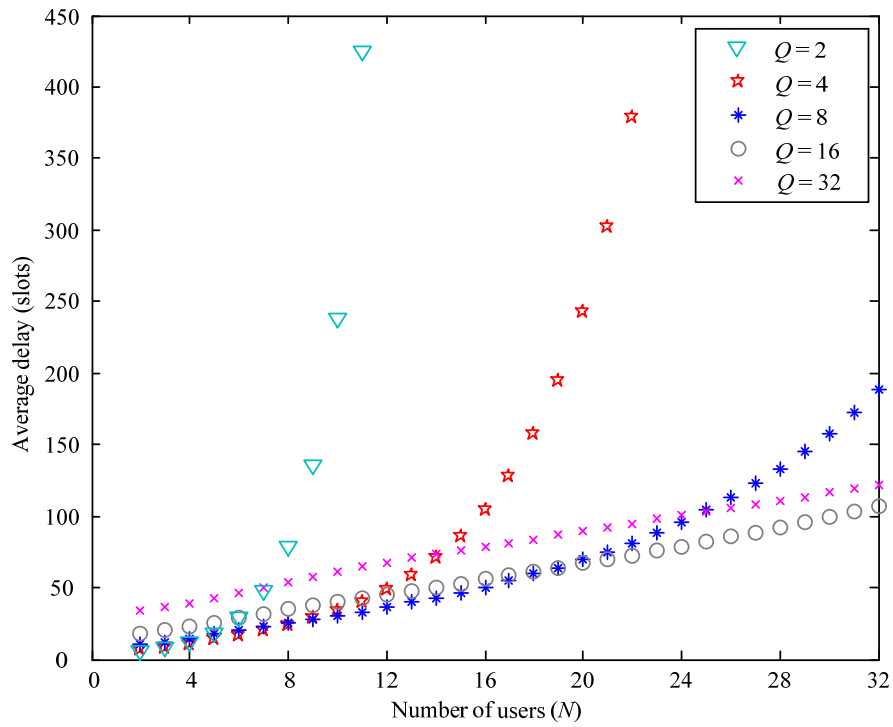
ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยที่ลดลงของเทคนิค Modified CFP เปรียบเทียบกับเทคนิค CFP

Q	เวลาประวิงโดยเฉลี่ยที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
2	3.76 – 5.38
4	1.1 – 3.5
8	0.26 – 2.48
16	0.06 – 1.81

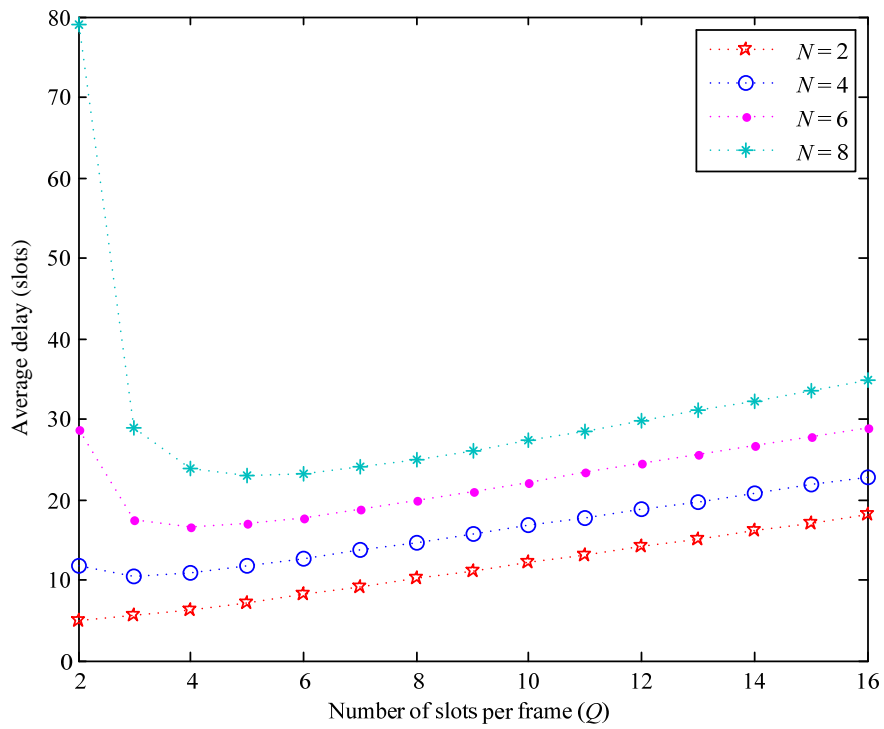
4.3 ผลของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ UNI

ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงผลของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ UNI โดยในส่วนแรกจะเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย (\bar{L}) กับจำนวนผู้ใช้บริการ (N) ตั้งแต่จำนวน 2 ถึง 32 รายของเทคนิค UNI เมื่อกำหนดให้จำนวนสล็อตต่อเฟรมเท่ากับ 2, 4, 8, 16 และ 32 สล็อต จากรูปแสดงให้เห็นว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นในทุกกรณี โดยในช่วงแรกที่มีจำนวนผู้ใช้บริการน้อยระบบที่มีจำนวนสล็อตมากจะมีค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยมากกว่าระบบที่มีจำนวนสล็อตน้อยกว่าเนื่องจากจะมีจำนวนสล็อตมากเกินความจำเป็นเมื่อเทียบกับจำนวนผู้ใช้ที่มีค่าน้อย แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น ระบบที่มีจำนวนสล็อตน้อยจะมีโอกาสที่จะเกิดการชนกันมากกว่าระบบที่มีจำนวนสล็อตมาก ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจึงมีค่ามากกว่าและมีลักษณะการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อถึงค่าจำนวนผู้ใช้บริการจำนวนหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากระบบมีสล็อตจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนผู้ใช้บริการที่สูงทำให้จำนวนผู้ใช้ที่ประสบความสำเร็จในแต่ละเฟรมมีค่าน้อยมากจึงต้องการเฟรมต่อไปในการแก้ไขการชนจำนวนมากด้วย ซึ่งตำแหน่งที่ทำให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในแต่ละกรณีก็มีค่าแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น กรณีที่ Q เท่ากับ 2 และ 4 จะมีค่าจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับ 8 และ 13 รายโดยประมาณตามลำดับ ส่วนกรณีที่ Q เท่ากับ 16 และ 32 จะเห็นความเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าเนื่องจากมีจำนวนสล็อตที่สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการที่เพิ่มขึ้นได้ระดับหนึ่ง ทั้งนี้หากจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มสูงขึ้นไปเรื่อยๆค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยที่ได้ก็จะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีก่อนหน้า



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้บริการของเทคนิค UNI เมื่อ Q เท่ากับ 2, 4, 8, 16 และ 32



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับจำนวนสล็อตต่อเฟรมของเทคนิค UNI เมื่อ N เท่ากับ 2, 4, 6 และ 8

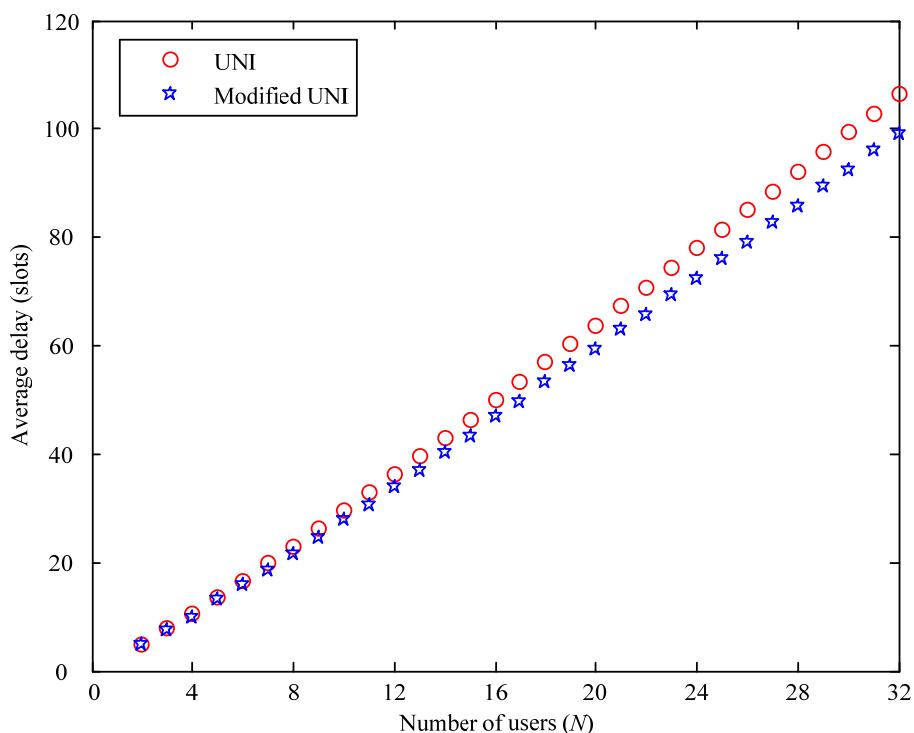
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย (\bar{L}) กับจำนวนสล็อตต่อเฟรม (Q) ของเทคนิค UNI เมื่อกำหนดให้มีผู้ใช้บริการจำนวน 2, 4, 6 และ 8 ราย จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนสล็อตต่อเฟรมเปลี่ยนไป ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยก็จะมีการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้บริการ ตัวอย่างเช่น กรณีที่ N เท่ากับ 8 หากกำหนดให้ Q เท่ากับ 2 ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะมีค่าสูงและจะลดลงเมื่อ Q เพิ่มขึ้นจนถึง Q เท่ากับ 5 จากนั้นเมื่อ Q เพิ่มขึ้น ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆเช่นกัน ส่วนกรณีอื่นๆนั้นจะมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีข้างต้น แต่จะแตกต่างกันในเรื่องค่า Q ที่ทำให้มีค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด จากการทดสอบที่ผ่านมา นั้น จะพบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเปลี่ยนแปลง ค่า Q ที่ใช้สำหรับระบบนั้นๆจะมีผลกระทบต่อค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย โดยจะมีค่า Q ค่าหนึ่งๆที่ทำให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของผู้ใช้บริการจำนวนหนึ่งมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเรียกว่า จำนวนสล็อตต่อเฟรมที่เหมาะสม (Optimum Q หรือ Q_{opt}) ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 จำนวนสล็อตต่อเฟรมที่มีค่าเหมาะสมของเทคนิค UNI

จำนวนผู้ใช้บริการ (N)	จำนวนสล็อตต่อเฟรมที่เหมาะสม (Q_{opt})	จำนวนผู้ใช้บริการ (N)	จำนวนสล็อตต่อเฟรมที่เหมาะสม (Q_{opt})
2	2	18	10
3	3	19	11
4	3	20	12
5	3	21	12
6	4	22	13
7	5	23	13
8	5	24	14
9	6	25	14
10	6	26	15
11	7	27	15
12	7	28	16
13	8	29	16
14	8	30	17
15	9	31	17
16	9	32	18
17	10		

4.4 ผลของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified UNI

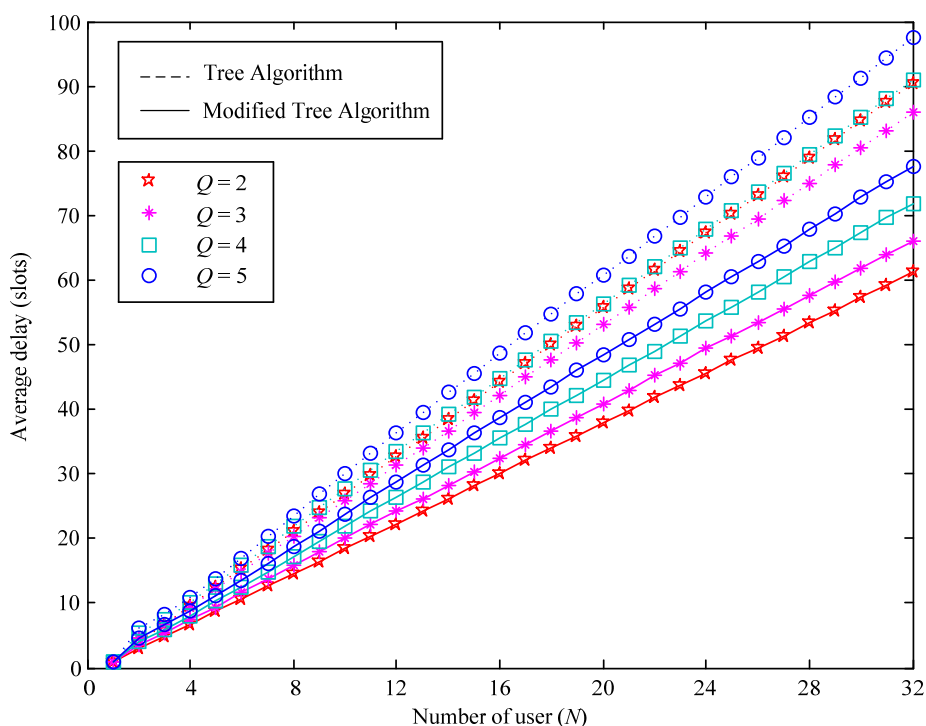
ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงผลของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified UNI ซึ่งจะทำให้การทดสอบ เช่นเดียวกับการทดสอบเทคนิค UNI แต่จะมีการนำค่า Q_{opt} ที่ได้จากตาราง 4.2 มาใช้ให้สัมพันธ์กับจำนวน ผู้ใช้บริการที่ยังไม่ประสบความสำเร็จในเฟรมถัดไปเรื่อยๆ ซึ่งจากการทดสอบ ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย (\bar{L}) ที่ใช้ในการแก้ไขการชนของเทคนิค UNI และ Modified UNI กับจำนวนผู้ให้บริการตั้งแต่ 2 ราย จนถึง 32 ราย จะเห็นได้ว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าเวลา ประวิงโดยเฉลี่ยของเทคนิค Modified UNI นั้นมีลักษณะเช่นเดียวกับเทคนิค UNI โดยในช่วงแรกที่มี ผู้ใช้บริการจำนวนน้อยกว่า 8 ราย ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของทั้ง 2 เทคนิคมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเทคนิค Modified UNI จะมีค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยต่ำกว่าเล็กน้อย แต่เมื่อจำนวนผู้ให้บริการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ค่า เวลาประวิงโดยเฉลี่ยของเทคนิค Modified UNI ก็จะน้อยกว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของเทคนิค UNI ใน จำนวนที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆเช่นกัน เนื่องจากมีการปรับเปลี่ยนขนาดของเฟรมให้เหมาะสมกับจำนวน ผู้ใช้บริการที่เหลือในแต่ละเฟรมเมื่อเริ่มต้นเฟรมใหม่



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับจำนวนผู้ให้บริการของเทคนิค UNI และ Modified UNI

4.5 ผลของอัลกอริทึม Modified Tree

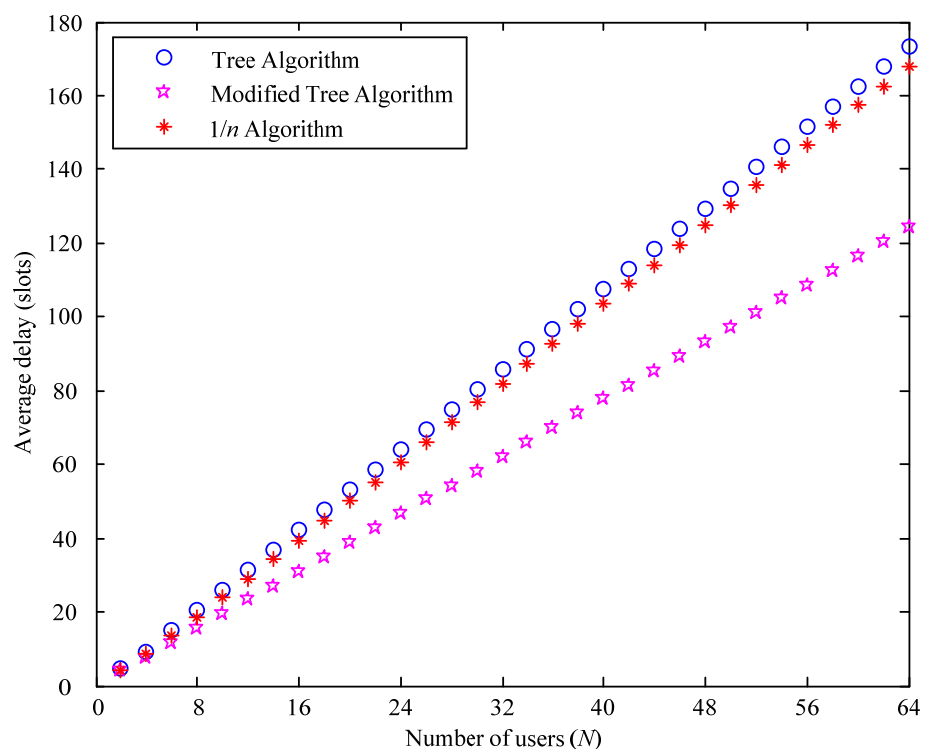
จากรูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ใช้บริการกับค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย เมื่อกำหนดให้ค่า Q หรือค่า splitting factor มีค่าเท่ากับ 2, 4, 8, 16 และ 32 จากรูปจะเห็นได้ว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นสำหรับค่า Q ในทุกกรณี เนื่องจากเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นก็จะเป็นการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่ผู้ใช้บริการจะเกิดการชนกันซึ่งนั่นทำให้ต้องการจำนวนสล็อตในการแก้ไขการชนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ จากการจำลองระบบนี้จะพบว่าอัลกอริทึม Modified Tree ในกรณีที่ค่า Q เท่ากับ 2 จะให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า เมื่อมีการแบ่งกลุ่มออกเพียง 2 กลุ่ม ค่าความน่าจะเป็นของสล็อตที่สามารถละทิ้งได้จะมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้ค่า Q อื่นๆ ซึ่งผลป้อนกลับเมื่อสิ้นสุดสล็อตแรกสามารถให้ข้อมูลสำหรับการตัดสินใจในการละทิ้งสล็อตที่สองได้ถูกต้องมากขึ้น ซึ่งจากผลที่ได้จะเห็นว่ามีสล็อตที่ไม่มีความจำเป็นต้องใช้งานจำนวนมากที่สามารถละทิ้งได้ทำให้ค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยลดลง



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้บริการของอัลกอริทึม Tree และอัลกอริทึม Modified Tree เมื่อ Q เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5

รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย (\bar{L}) กับจำนวนผู้ใช้บริการ (N) ของอัลกอริทึม Tree อัลกอริทึม Modified Tree ที่ได้นำเสนอในกรณีที่ใช้ค่า Q ที่เหมาะสม (Optimum Q) รวมทั้งอัลกอริทึม $1/n$ โดยในการแสดงการเปรียบเทียบให้ชัดเจนขึ้นนั้น จะเพิ่มจำนวนของผู้ใช้บริการให้เท่ากับ 64 ราย ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้น นั่นคือจำนวนผู้ใช้บริการที่ชนกัน สามารถ

เพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึม p -persistent หรืออัลกอริทึม $1/n$ โดยสามารถนำข้อมูลจำนวนผู้ใช้บริการที่เกิดการชนกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตที่เหมาะสมในสล็อตต่อไป ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของอัลกอริทึม $1/n$ มีค่าน้อยกว่าอัลกอริทึม Tree สำหรับค่า N ทุกค่า แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม Modified Tree ที่ได้นำเสนอซึ่งกำหนดให้ Q เท่ากับ 2 นั้นค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากประโยชน์จากกลไกการละทิ้งสล็อตที่ไม่จำเป็นต้องใช้ เป็นส่วนสำคัญในการลดเวลาในการแก้ไขการชนของผู้ใช้บริการ ตัวอย่างเช่น เมื่อ N เท่ากับ 16 อัลกอริทึม Modified Tree สามารถลดจำนวนสล็อตได้ถึง 31.89% จากอัลกอริทึม Tree เมื่อ Q เท่ากับ 3 และ 21.77% จากอัลกอริทึม $1/n$



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยกับจำนวนผู้ใช้บริการของอัลกอริทึม Tree เมื่อ Q เท่ากับ 3 อัลกอริทึม Modified Tree เมื่อ Q เท่ากับ 2 และอัลกอริทึม $1/n$

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทนี้กล่าวถึงบทสรุปของการหาค่าเวลาประวิงของเทคนิคการแก้ไขการชนที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอการประเมินสมรรถนะของเทคนิคการแก้ไขการชนสำหรับโพรโทคอล ควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง โดยมุ่งเน้นในการประเมินสมรรถนะทางด้านค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ย โดยส่วนแรก จะทำการวิเคราะห์หาค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และตรวจสอบกับการ จำลองระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของเทคนิค CFP (Cascade Fixed Probability) และ UNI (Uniform) จากนั้นได้ปรับปรุงเทคนิคการแก้ไขการชนดังกล่าว ได้แก่ เทคนิค Modified CFP และ Modified UNI โดยอาศัยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่สำคัญในแต่ละเทคนิค และได้การหาค่าเวลาประวิง ของเทคนิคทั้ง 4 เทคนิคดังกล่าวได้ถูกแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปปริเคอร์ซีฟ นอกจากนี้ ยังได้ เสนออัลกอริทึม Modified Tree ซึ่งปรับปรุงมาจากอัลกอริทึม Tree และทำการนำเสนอค่าเวลาประวิงโดย เฉลี่ยจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยสามารถกล่าวสรุปได้ดังนี้

1) กลไกการปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเก็ตให้มีความเหมาะสมกับจำนวนผู้ใช้บริการที่ เหลือในแต่ละเฟรมและจำนวนสล็อตตามที่ได้นำเสนอในเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified CFP เป็น การเพิ่มประสิทธิภาพของเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ CFP แบบดั้งเดิม โดยค่าเวลาประวิงโดยเฉลี่ยจะมีค่า ลดลงมากที่สุดประมาณ 5.38%

2) กลไกการปรับเปลี่ยนจำนวนสล็อตต่อเฟรมหรือขนาดของเฟรมให้มีความเหมาะสมกับจำนวน ผู้ใช้บริการที่เหลือในแต่ละเฟรมตามที่เสนอในเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ Modified UNI ทำให้ ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้นกว่าเทคนิคการแก้ไขการชนแบบ UNI แบบดั้งเดิม ซึ่งจะเห็นความแตกต่างได้ อย่างชัดเจนเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการจำนวนมาก

3) การอาศัยข้อมูลผลป้อนกลับที่เพิ่มขึ้นและกลไกการละทิ้งสล็อตที่ไม่จำเป็นตามที่เสนอใน อัลกอริทึม Modified Tree สามารถทำให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นกว่าอัลกอริทึม Tree โดยมีประสิทธิภาพที่ สูงสุดเมื่อ $Q = 2$ และค่าเวลาประวิงเฉลี่ยที่ได้จะมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มสูงขึ้น เรื่อยๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการใช้ข้อมูลผลป้อนกลับที่เพิ่มขึ้นและกลไกการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ในวิทยานิพนธ์นี้ แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะที่เพิ่มขึ้น จึงสามารถที่จะทำการพัฒนาเทคนิคและอัลกอริทึมการแก้ไขการชนกัน เหล่านี้ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นโดยการใช้กลไกและข้อมูลประเภทอื่นๆนอกเหนือจากวิทยานิพนธ์นี้ได้อีก

รายการอ้างอิง

- [1] Abramson, N. The ALOHA system-Another alternative for computer communications. Proceeding Fall Joint Computer Conference, AFIPS Press. 37 (November 1970): 281-285.
- [2] Roberts, L. G. ALOHA Packet System With and Without Slots and Capture. Computer Communications Review. 5 (1975): 28-42.
- [3] Capetanakis, J. I. Tree Algorithm for Packet Broadcast Channels. IEEE Trans. Information Theory. 25, 5 (September 1975): 505-515.
- [4] Sivamok, N., Wuttisittikulij, L., and Charoenpanitkit, A. New Channel Reservation Technique for Media Access Control Protocol in High-Bit-Rate Wireless Communication Systems. Global Telecommunications Conference (GLOBECOM). 6 (2001): 3558-3562.
- [5] Janssen, A. J. E. M. and de Jong, M. J. Analysis of Contention Tree Algorithms. IEEE Trans. Information Theory. 46, 6 (September 2000): 2163-2172.
- [6] Tsybakov, B. Random Access [Online]. Available from: <http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr06/randacc.htm> [2013, April 11].
- [7] Tanenbaum, A. S. Computer Networks 4th edition. Prentice Hall, 2003.
- [8] Bertsekas, D. and Gallager, R. Data Network. Second edition. Prentice Hall, 1992.
- [9] Kleinrock, L. and Tobagi, F. A. Packet Switching in Radio Channels: Part I-Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics. IEEE Transactions on Communications. COM-23, 12 (December 1975).
- [10] Tasaka, S. and Ishibashi, Y. A Reservation Protocol for Satellite Packet Communication – A Performance Analysis and Stability Considerations. IEEE Transactions on Communications. COM-32, 8 (August 1984): 920-927.
- [11] Goodman, D. J., Valenzuela R. A., Gayliard, K. T., and Ramamurthi, B. Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications. IEEE Transactions on Communications. 37, 8 (August 1989): 885-890.

- [12] Frigon, J. F., Leung, V. C. M., and Chan, H. C. B. Dynamic Reservation TDMA Protocol for Wireless ATM networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 19, 2 (February 2001): 370-383.
- [13] Mathys, P. and Flajolet, P. Q-ary Collision Resolution Algorithms in Random-Access Systems with Free or Blocked Channel Access. IEEE Transactions on Information Theory, IT-31, 2 (March 1985): 217-243.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกมลასน์ วรรณคง เกิดเมื่อวันที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2528 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2550 และได้เข้าทำงานที่บริษัทเอกชนแห่งหนึ่ง จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2552