

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงในสล็อตช่วงชิง
สำหรับ DOCSIS

A NUMERICAL ANALYSIS FOR CONTENTION RESOLUTION IN
CONTENTION SLOTS OF DOCSIS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561
KMITL-2018-EN-D-018-074

การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงในสล็อตช่วงชิง
สำหรับ DOCSIS

A NUMERICAL ANALYSIS FOR CONTENTION RESOLUTION IN
CONTENTION SLOTS OF DOCSIS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A NUMERICAL ANALYSIS FOR CONTENTION RESOLUTION IN
CONTENTION SLOTS OF DOCSIS



THANYAWARAT PAWASOPON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

KMITL-2018-EN-D-018-074

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

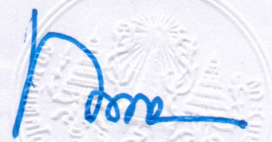
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการแก้ไขปัญหาการชวงชิงในสล็อตชวงชิงสำหรับ DOCSIS
Thesis Title A Numerical Analysis for Contention Resolution in Contention Slots of DOCSIS
นักศึกษา นางสาวธัญวรัตน์ ภาวะโสภณ
รหัสประจำตัว 53610130
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สุวิพล สิทธีชีวะภาค
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-D-018-074

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ลัญฉกร	วุฒิสิทธิกุลกิจ	
ศ.ดร.พรชัย	ทรัพย์นิธิ	
รศ.ดร.ยุทธพงษ์	รังสรรค์เสรี	
รศ.ดร.พิสิฐ	บุญศรีเมือง	
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธชีวะภาค	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง HM-302 อาคารเฉลิมพระเกียรติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
วันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2561

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงในสล็อตช่วงชิงสำหรับ DOCSIS
นักศึกษา	นางสาวธัญวรัตน์ ภาวะโสภณ
รหัสนักศึกษา	53610130
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุวิพล สิริธิชีวภาค

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอกระบวนการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงในสล็อตช่วงชิงของโปรโตคอล DOCSIS ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อยกระดับโครงข่าย DOCSIS

ซึ่งกระบวนการนี้จะพิจารณาในกรณีที่ใช้แต่ละรายเข้าถึงสล็อตช่วงชิงด้วยรูปแบบที่แตกต่างกันโดยใช้การแจกแจงแบบมัลติโนเมียลในการออกแบบและการวิเคราะห์รูปแบบการเข้าถึงสล็อตช่วงชิง ซึ่งจะสามารถแก้ไขปัญหาการช่วงชิงในสล็อตช่วงชิงได้ นอกจากนี้เรายังทำการแบ่งผู้ใช้และสล็อตช่วงชิงออกเป็นหลาย ๆ กลุ่ม และออกแบบให้ผู้ใช้แต่ละกลุ่มเข้าถึงสล็อตช่วงชิงในแต่ละกลุ่มด้วยรูปแบบที่ต่างกันอย่างสิ้นเชิง ซึ่งวิธีการนี้จะลดโอกาสที่ผู้ใช้หลาย ๆ รายจะสุมเลือกเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงสล็อตเดียวกัน โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการด้วยการพิจารณาค่าความน่าจะเป็นในการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงได้สำเร็จและค่าวิสัยความสามารถของระบบ แล้วนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับอัลกอริธึม TBEB ที่มีการศึกษาอย่างกว้างขวางสำหรับเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็ม โดยผลลัพธ์สำคัญของวิธีการที่นำเสนอนี้คือสามารถลดการชนกันในสล็อตช่วงชิงได้และยังช่วยให้ระบบมีวิสัยความสามารถที่ดีกว่าอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุมและอัลกอริธึม TBEB

Thesis Title	A Numerical Analysis for Contention Resolution in Contention Slots of DOCSIS
Student	Miss Thanyawarat Pawasopon
Student ID.	53610130
Degree	Doctor of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Suvepon Sittichivapak

ABSTRACT

This thesis presents numerical method that is used to resolve the contention in contention slots for DOCSIS protocol. It is developed for enhanced DOCSIS network

This method assigns each user access to each contention slot with different persistent values that use the multinomial distribution to assign and analysis contention slot access. It can resolve the contention in contention slots. Furthermore, we also divided contention slot and user into group and assign each group with different persistent value to access slots in a frame. Then user of each group will access to the arbitrary contention slot with independent persistent values. This method can reduce opportunity that many users access in same slot. In this thesis, we analyze the performances of method with the value of successful probability and the throughput of system. And the analysis results provide a comparative TBEB algorithm that is widely studied algorithm for DOCSIS Cable Modem network. The main results of the method are able to reduce the contention in contentions slot thus the performance of system are better than the Random Slot Multiple Access Algorithm and TBEB Algorithm.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมโทรคมนาคม (สพท.) สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ ในโครงการ NTC Scholarship 2553 (ระดับปริญญาเอก)

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.สุวิพล สิริชีวะภาค ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ความเอาใจใส่ ความช่วยเหลือ และการแนะนำแนวทางในการแก้ไขปัญหา พร้อมทั้งเป็นแรงกระตุ้นในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ บัณฑิตศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ และสำนักบริหารวิชาการ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ นางจรรุณี ภาวะโสภณ นายปณทัต พิชัยณงค์ และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ธัญวรัตน์ ภาวะโสภณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 สถาปัตยกรรมของเครือข่าย DOCSIS.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 สถาปัตยกรรมเครือข่ายและระบบ.....	3
2.3 แบบจำลองการสื่อสารของโปรโตคอล DOCSIS.....	4
2.3.1 โปรโตคอล MAC.....	5
2.3.2 องค์ประกอบข่าวสาร (IE).....	8
2.3.3 การร้องขอทางด้านส่ง.....	10
2.3.4 Ranging.....	10
2.3.5 หน่วยจัดเวลาและความสัมพันธ์.....	12
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย.....	13
3.1 ทฤษฎีของระบบแถวคอย.....	13
3.1.1 พื้นฐานของทฤษฎีแถวคอย.....	13
3.1.1.1 รูปแบบการเข้ามาของผู้ใช้บริการ (Arrival Pattern of Customers).....	14
3.1.1.2 รูปแบบการให้บริการของหน่วยให้บริการ (Service Pattern of Servers).....	14
3.1.1.3 จำนวนช่องสัญญาณหน่วยให้บริการ (Number of Service Channel)....	15
3.1.1.4 ระเบียบการให้บริการ (Service Discipline).....	16
3.1.1.5 ขีดความสามารถของระบบ (System Capacity).....	16
3.1.1.6 ขีดความสามารถของผู้ใช้บริการ (Customer Capacity).....	16
3.1.2 กระบวนการปัวส์ซอง (Poisson Process).....	17
3.2 อัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงในสล็อตช่วงชิง.....	17
3.2.1 การวิเคราะห์การเข้าถึงสล็อตช่วงชิงของผู้ใช้แต่ละรายด้วยรูปแบบที่เหมือนกัน..	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.2.1.1 อัลกอริธึม Truncated Binary Exponential Back – off (TBEB).....	18
3.2.1.2 อัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม.....	19
3.2.2 การวิเคราะห์การเข้าถึงสล็อตช่วงชิงของผู้ใช้แต่ละรายด้วยรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยอาศัยการแจกแจงแบบมัลติโนเมียล.....	21
บทที่ 4 การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์.....	25
4.1 การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของอัลกอริธึม TBEB.....	25
4.1.1 ความน่าจะเป็นในการส่งการร้องขอได้สำเร็จ.....	25
4.1.2 การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput).....	28
4.2 การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม.....	29
4.2.1 ความน่าจะเป็นในการส่งการร้องขอได้สำเร็จ.....	29
4.2.2 การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput).....	31
4.3 การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงโดยอาศัยการแจกแจงแบบ มัลติโนเมียล.....	33
4.3.1 ความน่าจะเป็นในการส่งการร้องขอได้สำเร็จ.....	33
4.3.2 การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput).....	34
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของระบบ.....	34
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	40
บรรณานุกรม.....	41
ภาคผนวก.....	44
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	45
ประวัติผู้เขียน.....	62

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างมินิสล็อตที่บรรยายถึงช่วงระยะเวลาสั้น ๆ (Time Tick).....	12
4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สถาปัตยกรรมของ DOCSIS.....	4
2.2 ระดับชั้นของโปรโตคอล DOCSIS เทียบกับแบบจำลองการสื่อสาร OSI.....	5
2.3 รูปแบบของเฟรม MAC ทั่วไป.....	5
2.4 เฟรมของ (a) ช่องสัญญาณขาขึ้น และ (b) ช่องสัญญาณขาลง.....	6
2.5 MAP ที่ใช้ในการจัดสรร.....	7
2.6 กระบวนการส่งข้อมูลในโปรโตคอล DOCSIS.....	7
2.7 รูปแบบของเฟรม Request MAC.....	8
2.8 รูปแบบข้อความจัดการ RNG – REQ MAC.....	9
3.1 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบแฉวคอย.....	13
3.2 รูปแบบของระบบแฉวคอยหน่วยบริการช่องเดียว.....	15
3.3 รูปแบบของระบบแฉวคอยหน่วยบริการหลายช่อง.....	15
3.4 รูปแบบของระบบแฉวคอยหน่วยบริการหลายช่องแบบขนาน.....	15
3.5 รูปแบบของระบบแฉวคอยหน่วยบริการหลายช่องแบบอนุกรม.....	15
3.6 กระบวนการปัวส์ช่องที่มีการเข้ามาแบบไม่ต่อเนื่อง.....	17
3.7 แผนผังการทำงานของอัลกอริธึม TBEB.....	18
3.8 การเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงสำหรับรูปแบบที่ 1.....	19
3.9 แผนผังการทำงานของอัลกอริธึมรูปแบบที่ 1.....	19
3.10 การเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงสำหรับรูปแบบที่ 2.....	20
3.11 แผนผังการทำงานของอัลกอริธึมรูปแบบที่ 2.....	20
3.12 การเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงสำหรับรูปแบบที่ 3.....	21
3.13 แผนผังการทำงานของอัลกอริธึมรูปแบบที่ 3.....	21
3.14 รูปแบบที่ประสบความสำเร็จที่เป็นไปได้.....	22
3.15 รูปแบบวิธีการหาจำนวนผู้ใช้ที่เข้าถึงยังแต่ละสล็อต.....	22
3.16 แผนผังการออกแบบการเข้าถึงสล็อตช่วงชิง.....	23
3.17 ตัวอย่างของรูปแบบการจัดสล็อตที่ใช้พิจารณา.....	24
4.1 รูปแบบลูกโซ่มาร์คอฟสำหรับขนาด CW	25
4.2 ค่าวิสัยสามารถของอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มเทียบกับอัลกอริธึม TBEB.....	35
4.3 ค่าวิสัยสามารถของอัลกอริธึมการเข้าถึงหลายทางแบบสุ่มของรูปแบบที่ 1 เมื่อจำนวน สล็อตช่วงชิงมีค่าเป็น 10, 15 และ 20 สล็อต.....	35
4.4 ค่าวิสัยสามารถของอัลกอริธึมการเข้าถึงหลายทางแบบสุ่มของรูปแบบที่ 2 เมื่อจำนวน สล็อตช่วงชิงมีค่าเป็น 10, 15 และ 20 สล็อต.....	36
4.5 ค่าวิสัยสามารถของอัลกอริธึมการเข้าถึงหลายทางแบบสุ่มของรูปแบบที่ 3 เมื่อจำนวน สล็อตช่วงชิงมีค่าเป็น 10, 15 และ 20 สล็อต.....	36
4.6 ความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถกับค่าอัตราเฉลี่ยการเข้าถึง λ ของอัลกอริธึมการเข้าถึง หลายทางแบบสุ่มทั้ง 3 รูปแบบ.....	37
4.7 แสดงความน่าจะเป็นที่สถานีจะเข้าถึงสล็อตช่วงชิงได้สำเร็จ.....	37

4.8 ความน่าจะเป็นที่สถานีจะเข้าถึงสล็อตช่วงชิงได้สำเร็จเมื่อทำการแบ่งกลุ่ม.....	38
4.9 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สถานีจะเข้าถึงสล็อตช่วงชิงได้สำเร็จเมื่อทำการแบ่งกลุ่ม.....	38
4.10 การเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถของกระบวนการทั้งหมดที่ทำการศึกษา.....	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีผู้ใช้บริการระบบเคเบิลโทรทัศน์ (Cable Television: CATV) เป็นจำนวนมากและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ด้วยเหตุนี้ระบบเคเบิลโมเด็ม (Cable Modem) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตความเร็วสูง (High-Speed Internet) ระบบเครือข่ายเคเบิลโมเด็มได้ถูกพัฒนามาจากหลาย ๆ เทคโนโลยี และการที่เครือข่ายเคเบิลโมเด็มจะอยู่ในตลาดได้จำเป็นต้องมีมาตรฐาน เพื่อเป็นแนวทางให้บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์เคเบิลโมเด็มหลากหลายบริษัทสามารถผลิตอุปกรณ์ให้ทำงานร่วมกันได้ ดังนั้นกลุ่มบริษัทผู้ให้บริการเคเบิลโทรทัศน์จึงได้ร่วมมือกันร่างมาตรฐานสำหรับระบบเครือข่ายเคเบิลมัลติมีเดีย (Multimedia Cable Network System: MCNS) ขึ้น เรียกว่ามาตรฐาน DOCSIS (Data-Over-Cable Service Interface Specifications) ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเคเบิลโมเด็ม (*de facto* standard) [1-7]

ช่องสัญญาณในการรับ-ส่งข้อมูลของเครือข่าย DOCSIS จะประกอบด้วยช่องสัญญาณขาขึ้น (Upstream Channel) และช่องสัญญาณขาลง (Downstream Channel) โดยช่องสัญญาณขาขึ้นจะถูกแบ่งเป็นช่วงของเวลา เรียกว่า มินิสล็อต (Mini Slot) โดยสถานีควบคุมได้กำหนดให้มินิสล็อตบางสล็อตเป็น “สล็อตข้อมูล (Data Slot)” ซึ่งใช้สำหรับการส่งข้อมูล และบางสล็อตเป็น “สล็อตช่วงชิง (Contention Slot)” ซึ่งใช้สำหรับการร้องขอสล็อตข้อมูลสำหรับการส่งข้อมูล ดังนั้นจึงมีเพียงสล็อตช่วงชิงเท่านั้นที่มีแนวโน้มที่จะเกิดการชนกันขึ้น ซึ่งถ้าหากมีผู้ใช้มากกว่า 1 รายพยายามที่จะส่งการร้องขอไปยังสล็อตช่วงชิงสล็อตเดียวกัน การชนกันของการร้องขอนั้นก็จะเกิดขึ้น ทำให้ผู้ใช้ไม่สามารถที่จะส่งข้อมูลไปบนเครือข่ายได้

ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาวิเคราะห์กระบวนการที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาคาร่วงชิง และลดโอกาสในการเกิดการชนกันของการร้องขอ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อทำการศึกษารูปแบบการแก้ปัญหาการช่วงชิงการเข้าถึงสล็อตช่วงชิง โดยอาศัยการแจกแจงแบบมัลติโนเมียล (Multinomial Distribution) ในการออกแบบรูปแบบการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิง นอกจากนี้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้ทดลองแบ่งผู้ใช้และสล็อตออกเป็นกลุ่ม ๆ ซึ่งกระบวนการนี้จะสามารถช่วยลดโอกาสในการส่งการร้องขอไปยังสล็อตช่วงชิงเดียวกันที่อาจจะเกิดขึ้นได้ และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบจากค่าความน่าจะเป็นในการส่งการร้องขอได้สำเร็จ และค่าวิสัยสามารถ (Throughput) ของระบบต่อไป

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในการออกแบบรูปแบบการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงโดยอาศัยรูปแบบการแจกแจงแบบมัลติโนเมียล และการกำหนดให้ผู้ใช้แต่ละรายมีรูปแบบในการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงที่แตกต่างกัน จะช่วยแก้ไขปัญห

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การช่วงชิงการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงที่อาจเกิดการชนกันของการร้องขอได้ นอกจากนี้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังทำการศึกษารูปแบบการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงโดยการแบ่งผู้ใช้และสล็อตช่วงชิงออกเป็นกลุ่ม ๆ ซึ่งกระบวนการนี้จะสามารถลดโอกาสการชนกันของข้อมูลได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในปัจจุบัน การใช้งานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงผ่านเครือข่ายเคเบิลโทรทัศนียมีเพิ่มมากขึ้น และมีงานวิจัยเกี่ยวกับมาตรฐานเคเบิลโมเด็ม และกระบวนการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงในเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็มออกมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่จะเน้นการศึกษาการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงด้วยอัลกอริทึมที่มีความซับซ้อน ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงเป็นการศึกษาวิเคราะห์กระบวนการที่สามารถแก้ไขปัญหาการช่วงชิงอย่างง่ายที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาค่าการช่วงชิงสล็อตช่วงชิงให้ประสบความสำเร็จได้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอกระบวนการจัดรูปแบบการเข้าถึงสล็อตช่วงชิง สำหรับโปรโตคอล DOCSIS และนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์สรรถนะของระบบ ซึ่งได้แก่ ค่าความน่าจะเป็นในการส่งการร้องขอได้สำเร็จ (Successes Probability) และค่าวิสัยสามารถ (Throughput) ไปพล็อตกราฟเพื่อตรวจสอบสมมติฐานว่ารูปแบบและกระบวนการที่นำเสนอสามารถช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นได้จริงหรือไม่

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ก่อให้เกิดงานวิจัย ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงโครงสร้างสถาปัตยกรรมของเครือข่าย DOCSIS รูปแบบและกระบวนการในการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงบนเครือข่าย DOCSIS รูปแบบของเฟรมของกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารทั้งในช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลง โปรโตคอล MAC ของเครือข่าย DOCSIS ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีแถวคอย (Queuing Theory) กระบวนการในการแก้ไขปัญหาค่าการช่วงชิง ซึ่งได้แก่ อัลกอริทึม Truncated Binary Exponential Back – off (TBEB) อัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม (Random Slot Multiple Access Algorithms) และนำเสนอการออกแบบระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขโดยอาศัยการแจกแจงแบบมัลติโนเมียล

บทที่ 4 กล่าวถึงการวิเคราะห์กระบวนการและผลที่ได้จากการวิเคราะห์

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิเคราะห์ระบบที่นำเสนอ

บทที่ 2

สถาปัตยกรรมของเครือข่าย DOCSIS

ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างสถาปัตยกรรมของเครือข่าย DOCSIS โพรโตคอลและกระบวนการในการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงบนเครือข่าย DOCSIS และรูปแบบของเฟรมของกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารทั้งในช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลง

2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบัน เครือข่ายเคเบิลไฮบริดผสมแกนร่วม (Hybrid Fiber Coax : HFC) ถูกใช้ในการแพร่กระจายสัญญาณโทรทัศน์ไปยังอาคารบ้านเรือนต่าง ๆ ด้วยความพร้อมใช้งานของระบบที่แพร่หลายและมีแถบความถี่ที่กว้างมาก จึงทำให้เครือข่ายเหล่านี้ได้ถูกพัฒนา โดยการขยายฟังก์ชันสำหรับใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลแบบแพร่กระจายความเร็วสูง (High-speed broadband data) ไปยังผู้ใช้งาน โดยข้อกำหนดที่ใช้รองรับเป็นมาตรฐาน คือโปรโตคอล DOCSIS (Data-Over-Cable Service Interface Specifications Protocol) [1-7] ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยกลุ่มผู้ให้บริการทางด้านระบบเคเบิลและ CableLabs [2] โดยมาตรฐาน DOCSIS ได้ถูกปรับปรุงล่าสุดโดย ITU (International Telecommunication Union) และได้รับการสนับสนุนจากผู้ผลิตหรือผู้ให้บริการหลายราย ซึ่งปัจจุบันมาตรฐาน DOCSIS ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องหลายรุ่นด้วยกัน

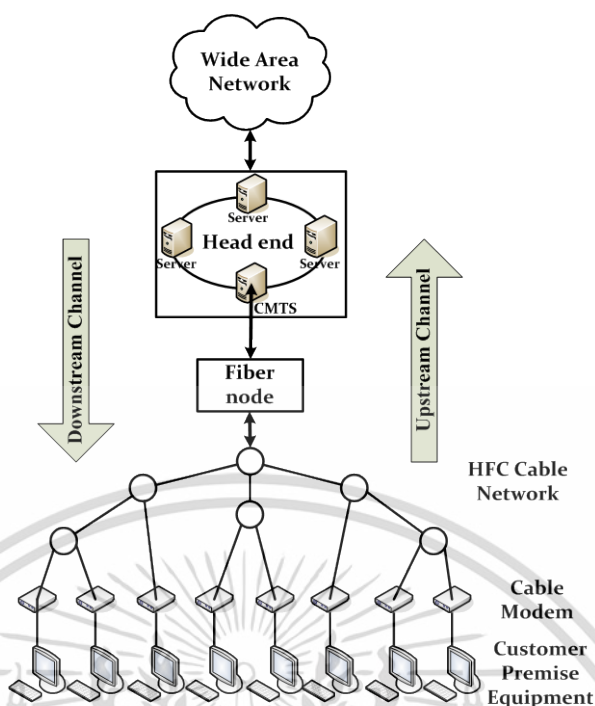
มาตรฐาน DOCSIS ที่ใช้เป็นมาตรฐานของระบบเคเบิลโมเด็มจะทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงการให้บริการส่งข้อมูลความเร็วสูง ซึ่งได้แก่ การให้บริการการเข้าถึงอินเทอร์เน็ต การรับ-ส่งแฟกซ์ผ่านทางโทรศัพท์ การประชุมทางวิดีโอ และระบบการสื่อสารต่าง ๆ เช่น การเข้าถึงเครือข่ายขององค์กรจากระยะไกล เป็นต้น

2.2 สถาปัตยกรรมเครือข่ายและระบบ

จุดมุ่งหมายของการให้บริการของโปรโตคอล DOCSIS คือการส่งผ่านข้อมูลของผู้ใช้ที่ต้องการเข้ามาใช้บริการในเครือข่ายแบบสองทิศทางระหว่างโมเด็มของสถานีตัวส่งสัญญาณ และโมเด็มทางด้านผู้ให้บริการ

ในรูปที่ 2.1 แสดงสถาปัตยกรรมของ DOCSIS ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก คือ

- โมเด็มของสถานีตัวส่งสัญญาณ (CMTS Modem) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการส่งสัญญาณและการจัดสรรช่องสัญญาณ
- อุปกรณ์โมเด็มของผู้ใช้งานในระบบ (CPE Modem: CM)
- ส่วนการเชื่อมต่อโดยใช้เครือข่ายเคเบิลไฮบริดผสมแกนร่วม (HFC Cable Network) ซึ่งจะมีทั้งช่องสัญญาณขาขึ้นและช่องสัญญาณขาลง



รูปที่ 2.1 สถาปัตยกรรมของ DOCSIS [1-7]

ซึ่งความเร็วในการรับ – ส่งข้อมูลนั้นจะขึ้นอยู่กับผู้ให้บริการ ระบบที่ใช้ และสถาปัตยกรรมของเครือข่าย ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้วความเร็วในการรับข้อมูลเข้ามาจะสูงกว่าความเร็วในการส่งข้อมูลออกไป แต่อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการรับ – ส่งข้อมูลจะต้องถูกเฉลี่ยออกไปตามจำนวนของผู้เข้ามาใช้ในเครือข่ายขณะนั้นด้วย ดังนั้น เป้าหมายที่สำคัญในการออกแบบโปรโตคอลและสถาปัตยกรรมของระบบคือ การรวบรวมการให้บริการและการส่งข้อมูลหลายทางตามสถิติเวลาจริงตามชนิดข้อมูลจราจร (Real-time traffic) แบบต่าง ๆ เพื่อที่จะได้ใช้แถบความถี่ของช่องสัญญาณขาขึ้นที่ขาดแคลนให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

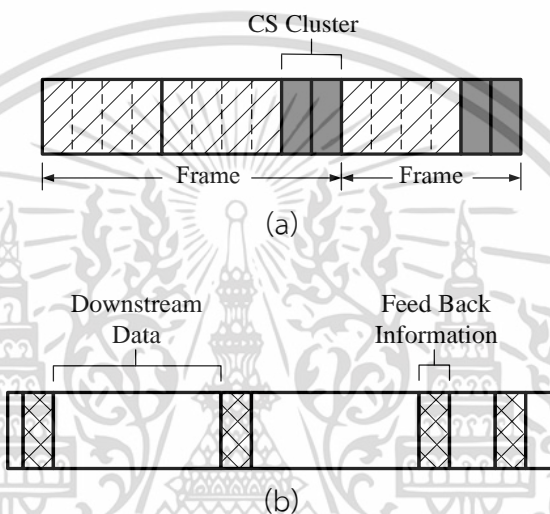
2.3 แบบจำลองการสื่อสารของโปรโตคอล DOCSIS

โปรโตคอล DOCSIS เป็นโครงสร้างโปรโตคอลที่มีการเรียงซ้อนทับกันเป็นชั้น ๆ ดังในรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงระดับชั้นของโปรโตคอล DOCSIS เทียบกับแบบจำลองการสื่อสาร OSI (Open System Interconnection (OSI) Model) โดยมีระดับชั้นหลัก 2 ชั้นคือ ชั้นกายภาพ (Physical Layer) และชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer) ชั้นเหล่านี้จะอธิบายถึงการส่งกลุ่มข้อมูลไอพี (IP) ชั้นที่อยู่เหนือชั้นโปรโตคอล DOCSIS MAC ชั้นถัดไปคือ ชั้นเครือข่าย (Network Layer) ซึ่งเป็นชั้นที่จัดการเกี่ยวกับโปรโตคอลอินเทอร์เน็ต (Internet Protocol : IP) และชั้นบนสุดเป็นโปรโตคอลมาตรฐานในการให้บริการอินเทอร์เน็ต เช่น จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail), ข่าว (News), เว็บ (Web) และโปรโตคอลที่ในการจัดการระบบเครือข่าย ซึ่งได้แก่ โปรโตคอลสำหรับบริหารจัดการเครือข่าย (Simple Network Management Protocol: SNMP), โปรโตคอลอินเทอร์เน็ตสำหรับการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล (Trivial File – Transfer Protocol: TFTP) และโปรโตคอลที่ถูกใช้โดยเครื่องลูกข่ายเพื่อเรียนรู้ข้อมูลต่างของระบบเครือข่าย (Dynamic Host Configuration Protocol: DHCP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

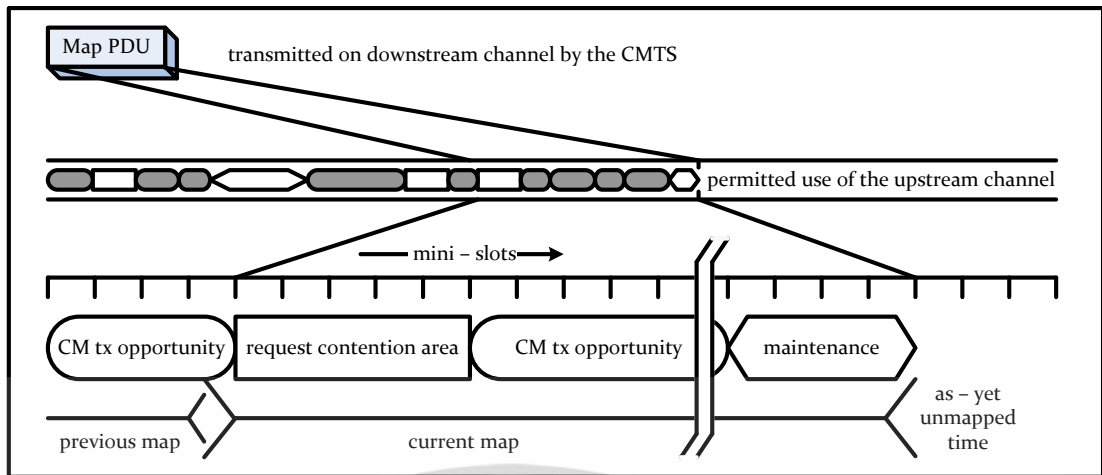
ส่วนหัวของ MAC ถ้าไม่ถูกนำหน้าด้วย PMD Overhead (สำหรับการสื่อสารขาขึ้น) ก็จะถูกนำหน้าด้วยส่วนหัวของ MPEG (สำหรับการสื่อสารขาลง) ส่วนหัวของ MAC จะระบุถึงขนาดของเฟรม MAC สิ่งก็ตามส่วนหัวมาคือ ส่วนของ Data PDU เสริม

กระบวนการจัดการของโปรโตคอล MAC (Medium Access Control) ได้แบ่งแยกระหว่าง CM แต่ละตัว และตัวควบคุม CMTS เพราะส่วนมากการจัดการสรรแถบความถี่และกระบวนการจัดการกำหนดลำดับการจราจรจะถูกควบคุมโดย CMTS ซึ่งการควบคุมโปรโตคอล MAC (Medium access control protocol) ของ CMTS โดยการใช้การรวมกลุ่มแบบลอคของสล็อตช่วงชิงและสล็อตข้อมูลหลาย ๆ สล็อตไปยังเฟรม กลุ่มของสล็อตที่มีการช่วงชิงในเฟรมเรียกว่า Contention Slot cluster (CS cluster) [11] ซึ่งอยู่ที่ส่วนเริ่มต้นของเฟรม ดังแสดงในรูปที่ 2.4



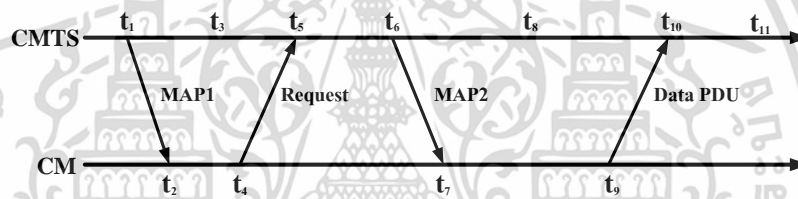
รูปที่ 2.4 เฟรมของ (a) ช่องสัญญาณขาขึ้น และ (b) ช่องสัญญาณขาลง

ในระหว่างกระบวนการจัดการปกติ CMTS จะส่งข่าวสารควบคุม (Control message) ที่เรียกว่า MAP ไปในช่องสัญญาณขาลงเป็นช่วง ๆ อย่างสม่ำเสมอ CMTS เพื่อกำหนดจังหวะในการส่งบนช่องสัญญาณขาขึ้น ใน MAP จำนวนที่แปรผันขององค์ประกอบข่าวสาร (Information Elements: IEs) ได้ถูกกำหนดให้กับช่วงของมินิสล็อตแต่ละสล็อตที่ถูกใช้ โดยทั่วไป แต่ละ MAP จะบรรจุ Request IE, Data Grant IEs, Null IE และข่าวสารการจัดการบางส่วน แต่ละ MAP จะกำหนดรายละเอียดเฟรมต่อไป Request IE จะกำหนดช่วงระยะเวลาการช่วงชิงของเฟรมต่อไป Data Grant IE จะอธิบายช่วงระยะเวลาในการส่งสำหรับ CM ที่จะส่งแพ็กเกจและ Null IE ปิดท้ายรายการที่ได้รับมอบหมาย โดยที่ CM ทุกตัวจะได้รับข้อความ MAP เป็นช่วง ๆ จาก CMTS ก่อนการเริ่มต้นเฟรมต่อไป ซึ่ง CM ทุกตัวจะถูกระบุจังหวะในการกำหนดลำดับงานของช่องสัญญาณขาขึ้นที่จะถูกส่งในอนาคต รวมถึงการตอบกลับที่ทำให้ทราบว่า มี สล็อตที่มีการช่วงชิงอันใดบ้างที่ว่าง, ส่งได้สำเร็จหรือเกิดการชนกันขึ้น ซึ่งการตอบกลับจะเกิดขึ้นหลังจากที่สถานีส่งสัญญาณได้รับ Contention Slot cluster อย่างสมบูรณ์แล้ว โดยข่าวสารควบคุมนี้จะเป็นตัวกำหนดรายละเอียดของการจัดสรรแถบความถี่ของช่องสัญญาณที่ใช้ร่วมกัน ถ้ามี CM บางตัวต้องการร้องขอ (Request) การจัดสรรจะต้องมีการช่วงชิงเพื่อที่จะได้มีสิทธิในการเข้าถึง นั้นจะถูกระบุลงใน MAP ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 MAP ที่ใช้ในการจัดสรร

โดยกระบวนการในการแลกเปลี่ยนกันระหว่าง CM และ CMTS เมื่อ CM มีข้อมูลที่จะส่งสำหรับโปรโตคอล DOCSIS ได้แสดงไว้ดังรูปที่ ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กระบวนการส่งข้อมูลในโปรโตคอล DOCSIS

จากรูปที่ 2.6 สามารถอธิบายกระบวนการได้ดังต่อไปนี้

1. ที่เวลา t_1 : ที่เวลา t_1 CMTS จะส่ง MAP1 ออกไปยัง CM ซึ่งใน MAP1 นี้จะบันทึกผลการจัดสรรมินิสล็อตสำหรับช่วงเวลา t_3 ถึง t_8 ซึ่งจำเป็นจะต้องพิจารณาถึง
 - เวลาหน้าต่างแพร่กระจายที่ยินยอมให้ CM ทุกตัวรับ MAP
 - เวลาในการประมวลผลที่ CM (อนุญาตให้ CM วิเคราะห์ MAP ให้ถูกต้องตามหลักและเปลี่ยนรูปแบบมันให้เป็นโอกาสในการส่ง)
 - เวลาหน้าต่างแพร่กระจายขาขึ้นที่ยินยอมให้การส่งของ CM ของข้อมูลขาขึ้นอันแรกๆที่เริ่มต้นในเวลาที่มาถึงที่ CMTS ที่เวลา t_3
2. ที่เวลา t_2 : เมื่อ MAP1 ถูกส่งมาถึงที่เวลา t_2 CM จะตรวจสอบโอกาสที่มันจะส่งการร้องขอเพื่อที่จะคำนวณหาความเป็นไปได้ที่น้อยที่สุดที่การร้องขอจะเกิดการชนกัน
3. ที่เวลา t_4 : CM ส่งการร้องขอสำหรับมินิสล็อตจำนวนมากที่ต้องการเท่าที่จะเป็นไปได้ที่จะบรรจุ PDU ไปยัง CMTS โดยผ่านทางมินิสล็อตที่ใช้ในการร้องขอ โดยจะออกจาก CM ที่เวลา t_4 โดย CM จะจัดหากระบวนการแก้ไขปัญหการชนกันที่ตัดสินผลของการส่งการร้องขอที่จะส่งไว้ด้วย
4. ที่เวลา t_5 : การร้องขอ PDU จาก CM จะมาถึงที่ CMTS ที่เวลา t_5 กระบวนการในการกำหนดลำดับก็จะมีผลทำให้เกิดสิ่งต่อไปนี้ตามมา CMTS จะทำการสร้าง MAP2 ขึ้นมาเพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บข้อมูลผลการจัดสรรมินิสล็อตไว้สำหรับช่วงเวลา t_8 ถึง t_{11} ซึ่งในเวลานั้น CMTS จะส่ง MAP2 ผ่านทางช่องสัญญาณขาลงไปยัง CM ทุกตัวที่อยู่ในระบบ

5. ที่เวลา t_6 : CMTS ส่ง MAP2 ที่เวลาเริ่มต้นที่มีผลในเวลา t_8 ภายใน MAP2 นี้ Data Grant สำหรับ CM จะเริ่มต้นที่เวลา t_{10}
6. ที่เวลา t_7 : เมื่อ CM ได้รับ MAP2 จาก CMTS ที่เวลา t_7 แล้ว ข้อความนี้จะแจ้งให้ทราบตำแหน่งของ CM ที่ทำการจองสล็อตของข้อมูลสำหรับข้อมูล PDU ของมันโดย CMTS
7. ที่เวลา t_9 : CM จะส่งข้อมูล PDU (Data PDU) ไปในสล็อตของข้อมูลที่กำหนด การส่งข้อมูลของ CM จะสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อข้อมูล PDU มาถึงที่ CMTS ที่เวลา t_{10}

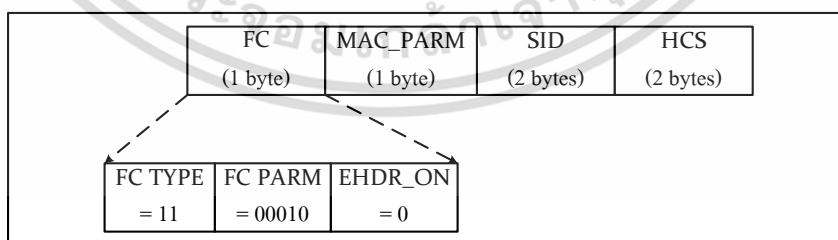
ในระหว่างกระบวนการที่ได้อธิบายในข้างต้น การชนกันจะเกิดขึ้นเมื่อมี CM มากกว่า 1 ส่งการร้องขอ Data Slot สำหรับส่ง Data PDU ไปยัง CMTS ในสล็อตที่มีการช่วงชิงเดียวกัน ผลการร้องขอจะเกิดการชนกันขึ้น MAC จะเริ่มนำกระบวนการแก้ปัญหาการชนกันมาใช้ เมื่อใดก็ตามที่เคเบิลโมเด็มได้รับการจัดสรรแถบความถี่ MAP จะมีโอกาสที่จะร้องขอการจัดสรรแถบความถี่ใหม่ โดยการใส่การร้องขอไว้ข้างท้ายของการจัดสรรขาขึ้นที่เคเบิลโมเด็มนั้นจองไว้ ซึ่งการใส่การร้องขอไว้ข้างท้ายนี้จะยินยอมให้เคเบิลโมเด็มนั้นร้องขอแถบความถี่ได้มากขึ้นโดยไม่ต้องเข้าสู่กระบวนการช่วงชิงการร้องขอพื้นฐานอีกรอบ

2.3.2 องค์ประกอบข่าวสาร (IE)

แต่ละ IE ประกอบด้วย SID 14 bits รหัสประเภท (Type Code) 4 bits และค่าออฟเซตการเริ่มต้น (Starting Offset) 14 bits เนื่องจากสถานีทั้งหมดจะต้องกวาดตรวจ IE ทั้งหมด มันจึงมีการตรวจทานแก้ไข IE ในรูปแบบที่สั้นและค่อนข้างจำกัด IE ที่อยู่ใน MAP จะถูกจัดลำดับอย่างเข้มงวดด้วยค่าออฟเซตการเริ่มต้น

IE ทั้งหมดจะต้องถูกสนับสนุนตามข้อกำหนดของเคเบิลโมเด็ม ซึ่ง CMTS อาจใช้บางองค์ประกอบของ IE เหล่านี้ในการสร้าง MAP ที่ใช้ในการจัดสรรแถบความถี่ โดย IE ทั้งหมดที่กำหนดมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. Request IE – ใช้ในการกำหนดช่วงเวลาขาขึ้นในการร้องขอแถบความถี่สำหรับการส่งข้อมูลขาขึ้น ลักษณะของ IE นี้ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงของ SID โดยกลุ่มข้อมูลที่ส่งในช่วงเวลานี้จะต้องใช้รูปแบบของเฟรม Request MAC ดังรูปที่ 2.7

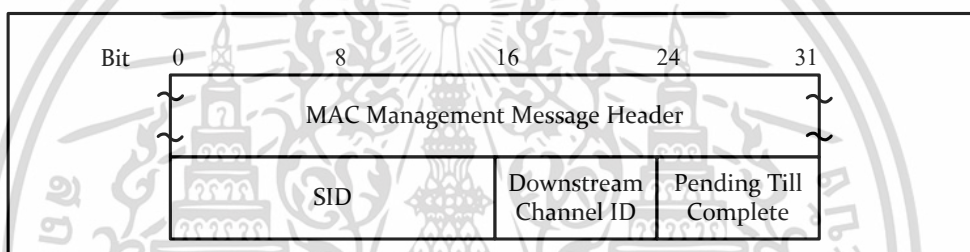


รูปที่ 2.7 รูปแบบของเฟรม Request MAC

2. Request/Data IE – ใช้ในการกำหนดช่วงเวลาขาขึ้นในการร้องขอแถบความถี่หรือกลุ่มข้อมูลสั้น ๆ ที่อาจจะถูกส่ง ซึ่ง IE นี้ถูกแยกจาก Request IE ในที่นี้คือ

- มันกำหนดวิธีการด้วยกระบวนการจัดสรรซึ่งอาจจัดเตรียมสำหรับการช่วงชิงข้อมูลโดยตรงและกำหนดวิธีการที่อาศัยจังหวะนี้ในการรับคืนข้อมูลด้วยการเรียกข้อมูลเครือข่ายเพิ่ม
- SID แบบมัลติคาสต์ (Multicast) ถูกใช้กำหนดความยาวของข้อมูลสูงสุดและจุดเริ่มต้นการส่งที่ได้รับอนุญาตภายในช่วงเวลา ตัวอย่างเช่น ID แบบมัลติคาสต์ที่จำกัดเฉพาะอาจกำหนดค่าสูงสุดของกลุ่มข้อมูลเป็น 64 bytes และจะส่งในทุก ๆ สล็อตที่ 4 ดังนั้นกลุ่มข้อมูลที่ส่งภายในช่วงเวลานี้อาจจะชนกัน CMTS จะต้องตอบรับบางอย่างว่าได้รับสำเร็จแล้ว กลุ่มข้อมูลต้องขึ้นบอกลงในส่วนหัวของ MAC เมื่อต้องการการตอบรับข้อมูล

3. Initial Maintenance IE – ใช้ในการกำหนดช่วงเวลาในสถานีใหม่ที่จะเข้าร่วมในเครือข่าย ช่วงเวลาที่ยาวซึ่งมีค่าเท่ากับค่าเวลาหน่วงการแพร่กระจายไปกลับสูงสุดบวกกับเวลาในการส่งข้อความ Ranging Request (RNG – REQ) จะต้องถูกกำหนดยังสถานีใหม่ที่ได้รับอนุญาตที่กระทำการประเดิม Ranging กลุ่มข้อมูลที่ส่งในช่วงเวลานี้จะต้องใช้รูปแบบข้อความจัดการ RNG – REQ MAC ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 รูปแบบข้อความจัดการ RNG – REQ MAC

4. Station Maintenance IE – ใช้ในการกำหนดช่วงเวลาในสถานีที่ถูกคาดหวังว่าจะแสดงบางด้านของการบำรุงรักษาเครือข่ายอันเป็นปกติประจำวัน เช่น การแก้ไข Ranging และกำลังงาน CMTS อาจจะร้องขอเคเบิลโมเด็มที่จำกัดเฉพาะนั้นให้แสดงบางภาระกิจที่สัมพันธ์กับการบำรุงรักษาเครือข่าย เช่น การแก้ไขกำลังที่ส่งเป็นคาบ ในกรณีนี้ Station Maintenance IE เป็นยูนิคาสต์ (Unicast) ที่กำหนดแถบความถี่ขาขึ้นที่แสดงในภาระกิจนี้ กลุ่มข้อมูลที่ส่งในช่วงเวลานี้จะต้องใช้รูปแบบข้อความจัดการ RNG – REQ MAC ดังรูปที่ 2.8

5. Short and Long Data Grant IEs – ใช้ในการกำหนดจังหวะสำหรับเคเบิลโมเด็มที่จะส่ง PDU ขาขึ้น 1 หน่วยหรือมากกว่า IE เหล่านี้ปล่อยออกในผลการตอบสนองการร้องขอจากสถานีหรือไม่ก็เนื่องมาจากนโยบายในการบริหารที่กำหนดบางจำนวนของแถบความถี่ไปยังสถานีที่จำกัดเฉพาะ IE เหล่านี้ยังอาจจะถูกใช้กับความยาวที่อ้างอิงเป็น 0 มินิสล็อตที่ขึ้นบอกลงการร้องขอได้รับเรียบร้อยแล้วและกำลังค้างอยู่ (Data Grant Pending)

Short Data Grants ถูกใช้กับช่วงเวลาซึ่งน้อยกว่าหรือเท่ากับขนาดของเบิสต์สูงสุดสำหรับใช้กำหนดใน UCD ถ้าโพรไฟล์เบิสต์ของ Short Data ถูกนิยามใน UCD ดังนั้น Long Data Grants จะต้องเป็นจำนวนของมินิสล็อตที่ใหญ่กว่าค่าสูงสุดสำหรับ Short Data ความแตกต่างระหว่าง Long Data Grants และ Short Data Grants อาจจะถูกใช้ประโยชน์ในการเข้ารหัส FEC ในชั้นกายภาพ อีกนัยหนึ่งคือ มันไม่ใช่กระบวนการที่มีความสำคัญในการจัดสรรแถบความถี่

ถ้า IE นี้เป็น Data Grant Pending มันจะต้องตามหลังด้วย Null IE ซึ่งอนุญาตให้ดำเนินการจัดสรรแถบความถี่ที่แท้จริงทั้งหมดเป็นประการแรกก่อนการกวาดตรวจ MAP สำหรับ Data Grant Pending และการตอบรับข้อมูล

6. Data Acknowledge IE – ใช้ในการตอบรับข้อมูล PDU ที่ได้รับ เคเบิลโมเด็มจะต้องได้รับการตอบรับนี้ภายในข้อมูล PDU (ปกติมันมักจะถูกสร้างขึ้นสำหรับ PDU ที่ส่งภายในช่วงเวลาที่มีการช่วงชิงในการจัดลำดับที่ตรวจจบการชนกัน)

IE นี้จะต้องตามหลังด้วย Null IE ซึ่งอนุญาตให้ดำเนินการจัดสรรแถบความถี่ที่แท้จริงทั้งหมดก่อนการกวาดตรวจ MAP สำหรับ Data Grant Pending และการตอบรับข้อมูล

7. Expansion IE – ใช้จัดเตรียมสำหรับความสามารถในการที่จะขยายตัว ถ้ามากกว่าตำแหน่งของรหัส 16 ตำแหน่ง หรือ 32 bits ซึ่งจะเป็นที่ต้องการสำหรับ IE ในอนาคต

8. Null IE – ใช้ทำให้สิ้นสุดการจัดสรรที่มีอยู่ทั้งหมดในรายการ IE มันถูกใช้ในการอ้างอิงความยาวสำหรับช่วงเวลาสุดท้าย Data Acknowledge IE ทั้งหมดและ Data Grant Pending IE จะต้องตามด้วย Null IE

2.3.3 การร้องขอทางด้านส่ง

การร้องขออ้างอิงถึงกลไกซึ่ง CM ใช้ในการบอกไปยัง CMTS ว่ามันต้องการการจัดสรรแถบความถี่ขาขึ้น การร้องขออาจจะเป็นการส่งเฟรมร้องขอแบบ Stand – Alone หรือมันอาจจะเป็นการร้องขอ Piggyback ใน EHDR ของการส่งเฟรมอีกอันหนึ่ง ถ้าสถานีได้มีการจัดสรรมินิสล็อตที่จะส่ง Data PDU ของมันและได้มีการร้องขอที่มายังสถานี มันสามารถ Piggyback การร้องขอบน PDU ที่จะส่งในครั้งต่อไปของมัน แทนที่จะส่งการร้องขอใน PDU ที่มีการช่วงชิง กลไกนี้หมายความว่า การส่งของเบิรสต์แรกเท่านั้นที่มีการช่วงชิงสำหรับการร้องขอมินิสล็อต

ข้อดีของ Piggyback คือการร้องขอสำหรับ PDU ที่เพิ่มเข้าไปรอในแถวคอยนั้นสามารถทำได้โดยเคเบิลโมเด็มที่ฝ่าการชนกันที่ขยายออกไป นั่นคือการ Piggyback โดยเคเบิลโมเด็ม ซึ่งในปัจจุบันมีการจัดสรร PDU ที่ช่วยลดทราฟฟิกและความน่าจะเป็นของการชนกันในมินิสล็อตที่มีการช่วงชิง และด้วยวิธีนั้นทำให้เคเบิลโมเด็มอื่น ๆ ซึ่งกำลังส่งการร้องขอในโหมดที่มีการช่วงชิงได้รับประโยชน์

เฟรมการร้องขอจะเพิ่มการร้องขอการสร้าง SID และจำนวนของมินิสล็อตที่ร้องขอ โดยจำนวนของมินิสล็อตที่ร้องขอมันจะมีเพียงพอสำหรับการส่งเฟรมทั้งหมดโดยรวมหรือการบรรจุส่วนที่ยังเหลืออยู่ที่ยังไม่สมบูรณ์ทั้งหมดของเฟรม ซึ่ง เคเบิลโมเด็มสามารถมีการร้องขอที่ยังค้างอยู่ ณ เวลาหนึ่งต่อ 1 SID เท่านั้น เคเบิลโมเด็มสามารถได้ข้อสรุปอย่างชัดเจนว่าการร้องขอของมันยังคงค้างอยู่เนื่องจาก CMTS ต้องปล่อย Data Grant ที่ค้างอยู่ออกอย่างต่อเนื่องในทุก ๆ MAP จนกระทั่งการร้องขอจะถูกโอนหรือถูกปฏิเสธ ใน MAP นั้น CMTS ต้องไม่สร้าง Data Grant ที่ใหญ่กว่า 255 มินิสล็อตที่บาง SID

2.3.4 Ranging

Ranging เป็นกระบวนการของการได้มาซึ่งค่าออฟเซตของการจัดเวลาที่ถูกต้อง ดังนั้น การส่งของเคเบิลโมเด็มที่ถูกทำให้บรรลุถึงข้อตกลงที่เซตของมินิสล็อตที่ถูกต้องและเวลาหน่วงของการจัดเวลาที่ผ่านขึ้นกายภาพจะต้องเป็นจำนวนคงที่ที่สัมพันธ์กับช้อยกเว้นของค่าออฟเซตของการจัดเวลาที่บรรยายถึงการเปลี่ยนแปลงอัตราการส่งสัญลักษณ์ที่ปรับให้เข้ากันกับการดำเนินการของเครื่องรับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DOCSIS ขาขึ้น ซึ่งความเปลี่ยนแปลงบางอย่างในเวลาหน่วงทางกายภาพจะต้องถูกอธิบายภายในช่วงเวลาป้อนของส่วนหัว PMD ขาขึ้น

ขั้นแรกของกระบวนการ Ranging เคเบิลโมเด็มจะต้องเข้าจังหวะกับช่องสัญญาณขาลงและเรียนรู้ลักษณะของช่องสัญญาณขาขึ้นผ่านข้อความการจัดการ UCD MAC ที่จุดนี้ เคเบิลโมเด็มจะต้องกวาดตรวจข้อความ MAP ที่ใช้ในการจัดสรรแถบความถี่ที่พบในส่วนของ Initial Maintenance โดย CMTS จะต้องสร้างส่วนของ Initial Maintenance ที่ใหญ่เพียงพอที่จะอธิบายถึงความเปลี่ยนแปลงในเวลาหน่วงระหว่างเคเบิลโมเด็ม 2 ตัว

เคเบิลโมเด็มจะต้องจัดวางข้อความ RNG – REQ ที่ถูกส่งไว้ด้วยกันภายในส่วนของ Initial Maintenance และขอบเขต SID จะต้องถูกตั้งค่าให้กับเคเบิลโมเด็มที่ยังไม่ได้กำหนดจุดเริ่มต้น

เมื่อมีโอกาสที่จะส่ง Initial Maintenance (ดังที่อธิบายด้วยข้อความ MAP) บนช่องสัญญาณขาขึ้น เคเบิลโมเด็มจะต้องส่งข้อความ RNG – REQ ไปยัง CMTS โดยเคเบิลโมเด็มจะเริ่มต้นการส่งข้อความ RNG – REQ ที่เขตเริ่มต้นในจังหวะของ Initial Maintenance ด้วยการเข้าจังหวะเวลาที่ไม่สม่ำเสมอและการอธิบายของ MAP

เมื่อใดก็ตามที่ CMTS ได้รับข้อความ RNG – REQ ได้สำเร็จ มันจะส่งตำแหน่งที่อยู่ของข้อความ RNG – REQ กลับไปยังเคเบิลโมเด็มนั้น ภายในข้อความ RNG – REQ จะต้องมีการสร้าง SID ชั่วคราวขึ้นที่เคเบิลโมเด็มนี้จนกระทั่งมันได้สิ้นสุดกระบวนการลงทะเบียน นอกจากนี้ข้อความ RNG – REQ ยังต้องบรรจุข่าวสารในการแก้ไขระดับกำลังงานของสัญญาณ RF การแก้ไขความถี่ออฟเซตและสิ่งที่จะช่วยแก้ไขค่าออฟเซตของการจัดเวลาบางช่วงให้ถูกต้องด้วย

เคเบิลโมเด็มจะต้องรอคอยส่วนของ Station Maintenance ที่สร้าง SID ชั่วคราว ตั้งแต่ตอนนั้นมันจะต้องส่งข้อความ RNG – REQ ที่ระยะเวลานี้โดยใช้ SID ชั่วคราวที่ไปในทิศทางเดียวกันกับระดับกำลังงานบางระดับและสิ่งที่จะช่วยแก้ไขค่าออฟเซตของการจัดเวลาที่ถูกต้อง

ถ้าเคเบิลโมเด็มไม่ได้รับข้อความ RNG – REQ จาก CMTS ภายในคาบเวลา หนึ่งในสองประการต่อไปนี้อาจจะเกิดขึ้นได้ ประการแรก ในเมื่อจังหวะของ Initial Maintenance ที่เคเบิลโมเด็มบางตัวที่แนบไปยังเครือข่ายยังว่างอยู่ ข้อความ RNG – REQ อาจจะชนกัน ประการที่ 2 ระดับกำลังที่เคเบิลโมเด็มใดก็ตามอาจจะมีการส่งค่าเกินกว่าที่จะตรวจจับได้ที่ CMTS ดังนั้นถ้าเคเบิลโมเด็มไม่ได้รับข้อความ RNG – REQ มันจะทิ้งเพิ่มกำลังในการส่งและคอยการสุ่มจำนวนของจังหวะ Initial Maintenance ก่อนการส่ง RNG – REQ อีกอันหนึ่ง

CMTS จะบันทึกสิ่งต่อไปนี้เพื่อใช้ในการจัดเตรียมข้อความ RNG – REQ

- ค่าออฟเซตของระยะเวลาที่มันได้รับ RNG – REQ จากจุดเริ่มต้นที่แท้จริงของโอกาสที่จะส่ง Initial Maintenance
- ความถี่ที่ถูกต้องของการส่ง
- ระดับกำลังงานที่เข้ามาใหม่ของการส่ง

ข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้จะถูก CMTS ตัดสินความถูกต้องและจะส่งข้อมูลเหล่านี้กลับไปยังเคเบิลโมเด็มที่ได้อธิบายเพื่อให้มีการปรับค่าให้สอดคล้องกันมากขึ้นในข้อความ RNG – REQ อีกอันหนึ่ง เคเบิลโมเด็มจะปรับค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของมันให้ถูกต้องและส่งข้อความ RNG – REQ อันที่ 2 ไปยัง CMTS หลังจากนั้น CMTS ก็จะส่งผลตอบแทน Ranging ซึ่งจะมีระยะเวลา ความถี่และกำลังงานที่ต้องการกลับมาอีกครั้ง โดยกระบวนการร้องขอและตอบสนอง Ranging จะต้องถูกกระทำซ้ำจนกว่า

CMTS จะแจ้งถึงความสำเร็จหรือล้มเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 หน่วยจัดเวลาและความสัมพันธ์

MAP ที่ใช้ในการจัดสรรแถบความถี่ใช้หน่วยทางเวลาหลายหน่วยของมินิสล็อตซึ่งนำเสนอ Byte – Time ที่ต้องการสำหรับการส่งในจำนวนไบนารีที่จำกัด ซึ่งมินิสล็อตถูกที่กักให้นำเสนอเป็น 16 Byte – Time ถึงแม้ว่าอาจจะมีค่าอื่น ๆ ถูกเลือกก็ตาม ขนาดของมินิสล็อตที่แสดงการทำงานดังเช่นหลาย ๆ ค่าของการอ้างอิงเวลาที่เข้าจังหวะกันจะถูกบรรจุใน UCD โดยข้อความที่เข้าจังหวะกันจะค้ำกันการอ้างอิงเวลาที่ถูกวัดในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ (Time Tick) 6.25 μ s ตัวอย่างในตารางที่ 2.1 บรรยายถึงมินิสล็อตในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ที่เข้าจังหวะกัน [1]

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างมินิสล็อตที่บรรยายถึงช่วงระยะเวลาสั้น ๆ (Time Tick)

Parameter	Value
Time Tick	6.25 Microseconds
Bytes per Mini Slot	16 (nominal, when using QPSK Modulation)
Symbols/byte	4 (assuming QPSK)
Symbols/second	2,560,000
Mini Slot /second	40,000
Microseconds/ Mini Slot	25
Ticks/ Mini Slot	4

ซึ่ง Symbols/byte เป็นคุณลักษณะของการส่งเบิตส์ส่วนตัว ไม่ใช่ของช่องสัญญาณ ในกรณีนี้สามารถที่จะนำเสนอมินิสล็อต เป็น 16 bytes หรือไม่กี่ 32 bytes ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวเลือกในการมอดูเลชัน

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ในบทที่ 3 นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและรูปแบบแถวคอย กระบวนการของอัลกอริธึม Truncated Binary Exponential Back – off (TBEB) [8-17] ที่มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง อัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม (Random Slot Multiple Access Algorithms) และการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงในสล็อตช่วงชิง โดยอาศัยการแจกแจงแบบมัลติโนเมียล ซึ่งเป็นกระบวนการใหม่ที่เรานำมาศึกษา

3.1 ทฤษฎีของระบบแถวคอย

ในปัจจุบันชีวิตประจำวันของมนุษย์มักจะต้องพบกับระบบการเข้าแถวคอยในรูปแบบต่าง ๆ กัน เช่น การซื้อตั๋ว การเข้าแถวเพื่อรอจ่ายเงินในห้างสรรพสินค้า การรอรับบริการในธนาคาร การบรรจุผลิตภัณฑ์ในโรงงาน เป็นต้น สำหรับในระบบการสื่อสารก็มีการประยุกต์ใช้งานระบบแถวคอยกันอย่างกว้างขวางเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่นการคำนวณหาประสิทธิภาพในการส่งกลุ่มข้อมูลบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ซึ่งปัญหาต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาทั้งหมดนี้อาศัยทฤษฎีแถวคอยเข้ามาช่วยในการศึกษาและวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

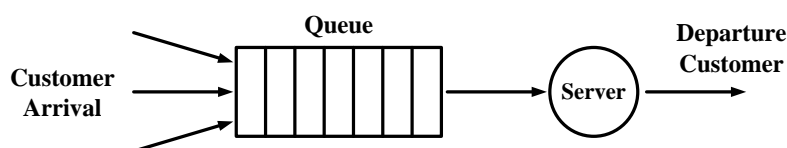
3.1.1 พื้นฐานของทฤษฎีแถวคอย

ทฤษฎีแถวคอย [29-33] เป็นทฤษฎีที่พัฒนาขึ้นด้วยรูปแบบการจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้วิเคราะห์สถานะของแถวคอยได้อย่างมีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งที่ไม่มีความซับซ้อนมากนัก โดยการศึกษาจะอาศัยลักษณะรูปแบบทางทฤษฎีความเป็นไปได้ของหน่วยเข้ารับบริการและการให้บริการ แล้วหาผลลัพธ์เป็นค่าต่าง ๆ ที่แสดงสถานะของแถวคอย ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวจะช่วยให้การตัดสินใจดำเนินการเกี่ยวกับการให้บริการที่ดีขึ้น

ระบบแถวคอยเป็นระบบพลวัต (Dynamic System) คือ ระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะตามเวลา ซึ่งเหตุการณ์เมื่อเกิดขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบ แถวคอยจะเกิดขึ้นเมื่อความต้องการในการเข้ารับบริการมีมากกว่าความสามารถในการให้บริการ ซึ่งมีสาเหตุมาจากความไม่แน่นอนของอัตราการเข้ารับบริการและการให้บริการ

องค์ประกอบพื้นฐานของระบบแถวคอยดังแสดงในรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. ผู้ใช้บริการหรือลูกค้า (Customer)
2. แถวคอย (Queue)
3. หน่วยให้บริการ (Service Channel หรือ Server) ซึ่งอาจมี 1 หน่วยหรือมากกว่า



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบแถวคอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะพื้นฐานของระบบแถวคอยจะศึกษาเกี่ยวกับผู้ใช้บริการ, หน่วยให้บริการและการให้บริการในระบบแถวคอย ซึ่งจะประกอบด้วยลักษณะที่สำคัญ 6 ลักษณะคือ

3.1.1.1 รูปแบบการเข้ามาของผู้ใช้บริการ (Arrival Pattern of Customers)

จำนวนผู้ใช้บริการหรือลูกค้าอาจจะมีจำนวนจำกัด (Finite) หรืออาจจะมีจำนวนไม่จำกัด (Infinite) ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ภายนอก คุณลักษณะอีกประการที่สำคัญคือรูปแบบของการเข้ารับบริการของผู้ใช้บริการเมื่อเทียบกับเวลา แบ่งเป็น 2 แบบคือ

1. การเข้ารับบริการแบบคงที่ (Deterministic) กล่าวคือ อัตราการเข้ามาใช้บริการของผู้ใช้บริการมีลักษณะสม่ำเสมอ เช่น มีลูกค้าเข้ามาในระบบห่างกันทุก ๆ 5 นาที หรือมีลูกค้า 10 คนทุก ๆ 1 ชั่วโมง เป็นต้น
2. การเข้ารับบริการแบบสุ่ม (Random) กล่าวคือ การมีผู้ใช้บริการเข้ามาใช้บริการในลักษณะที่ไม่แน่นอน ไม่สม่ำเสมอ ไม่สามารถทราบได้ล่วงหน้า และการเข้ามาของผู้ใช้บริการแต่ละรายเป็นอิสระต่อกัน เช่น ลูกค้าที่มาทำธุรกรรมที่เคาท์เตอร์ของธนาคาร เป็นต้น

ในการอธิบายกระบวนการหรือรูปแบบของการเข้ามาใช้บริการของลูกค้านั้นสามารถอธิบายได้ด้วยค่า 2 ค่าคือ

1. อัตราการเข้ารับบริการโดยเฉลี่ย (Average Arrival Rate) คือจำนวนผู้ใช้บริการที่เข้ามาโดยเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น มีลูกค้ามาทำธุรกรรมที่เคาท์เตอร์ 10 คนต่อชั่วโมง
2. ช่วงห่างของเวลาระหว่างการเข้ามาใช้บริการโดยเฉลี่ย (Average Arrival Time Interval) คือเวลาห่างโดยเฉลี่ยระหว่างผู้ใช้บริการแต่ละราย เช่น ลูกค้าแต่ละคนเข้ามาทำธุรกรรมห่างกันทุก ๆ 6 นาที เป็นต้น

ในระบบแถวคอยนั้นเป็นระบบซึ่งมีผู้ใช้บริการเข้ามาและเข้าแถวคอยเพื่อรอใช้บริการ ผู้ใช้บริการจะรอจนกว่าจะถึงคิวของเขาและรับบริการในที่สุด หลังจากได้รับบริการแล้วผู้ใช้บริการก็จะออกจากระบบไป

3.1.1.2 รูปแบบการให้บริการของหน่วยให้บริการ (Service Pattern of Servers)

ข้อมูลสำคัญด้านหน่วยให้บริการที่จำเป็นคือประสิทธิภาพในการทำงานของหน่วยให้บริการ ซึ่งจะอธิบายด้วยค่า 2 ค่าคือ

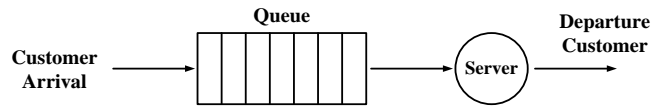
1. อัตราการให้บริการโดยเฉลี่ย (Average Service Rate) คือ จำนวนผู้ใช้บริการที่สามารถให้บริการได้ในหนึ่งหน่วยเวลา เช่น สามารถบริการผู้ใช้บริการได้ 10 คนต่อชั่วโมง ซึ่งอัตราการให้บริการมี 2 ลักษณะคือ อัตราการให้บริการแบบคงที่ หมายความว่า ในการให้บริการผู้ใช้บริการแต่ละรายใช้เวลาเท่า ๆ กัน ดังนั้นในทุก ๆ หนึ่งหน่วยเวลาก็จะให้บริการผู้ใช้บริการได้ในจำนวนเท่า ๆ กันเสมอ และอัตราการให้บริการแบบสุ่ม หมายความว่า ในการให้บริการผู้ใช้บริการแต่ละรายใช้เวลาไม่เท่ากัน ซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า
2. เวลาในการให้บริการโดยเฉลี่ย (Average Service Time) คือ เวลาที่ใช้ในการให้บริการ ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการ ซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณงานที่ต้องทำและความชำนาญของหน่วยให้บริการ เวลาที่ใช้ในการให้บริการอาจจะเท่ากันหรือไม่เท่ากันสำหรับแต่ละหน่วยที่ได้รับบริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

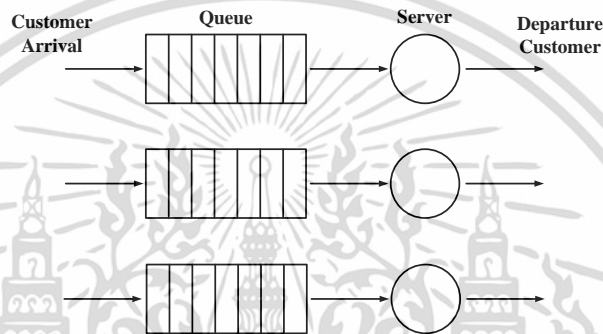
3.1.1.3 จำนวนช่องสัญญาณหน่วยให้บริการ (Number of Service Channel)
 การให้บริการสามารถจัดได้หลากหลายรูปแบบดังต่อไปนี้

1. หน่วยบริการช่องเดียว คือ มีแถวคอย 1 แถว และมีหน่วยให้บริการ 1 หน่วย



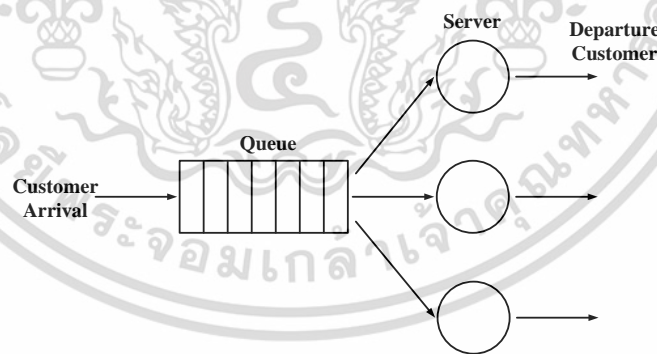
รูปที่ 3.2 รูปแบบของระบบแถวคอยหน่วยบริการช่องเดียว

2. หน่วยบริการหลายช่อง คือ มีแถวคอยหลายแถว และมีหน่วยให้บริการหลายหน่วยซึ่งแต่ละหน่วยทำหน้าที่เดียวกัน



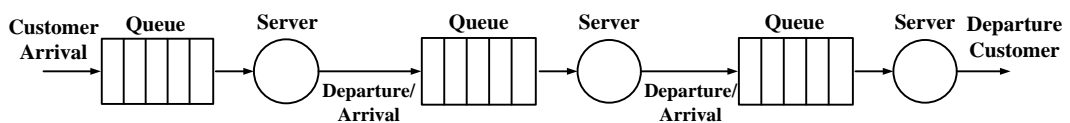
รูปที่ 3.3 รูปแบบของระบบแถวคอยหน่วยบริการหลายช่อง

3. หน่วยบริการหลายช่องแบบขนาน คือ มีแถวคอย 1 แถว แต่มีหน่วยให้บริการหลายหน่วย การให้บริการมีขั้นตอนเดียว



รูปที่ 3.4 รูปแบบของระบบแถวคอยหน่วยบริการหลายช่องแบบขนาน

4. หน่วยบริการหลายช่องแบบอนุกรม คือมีแถวคอย 1 แถว แต่มีหน่วยให้บริการหลายหน่วย การให้บริการมีหลายขั้นตอนต่อเนื่องกัน



รูปที่ 3.5 รูปแบบของระบบแถวคอยหน่วยบริการหลายช่องแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.4 ระเบียบการให้บริการ (Service Discipline)

ระเบียบการให้บริการเป็นหลักเกณฑ์ในการเลือกผู้ใช้บริการที่คอยอยู่ในแถวคอยเพื่อรอเข้ารับบริการ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1. มาก่อน – ออกก่อน (First In First Out: FIFO) หมายถึงผู้ใช้บริการที่เข้าสู่ระบบแถวคอยก่อน จะได้รับการและถูกนำออกจากระบบแถวคอยก่อน ตัวอย่างเช่น การเข้าแถวเพื่อรอซื้อตั๋ว
2. มาหลัง – ออกก่อน (Last In First Out: LIFO) หมายถึงผู้ใช้บริการที่เข้าสู่แถวคอยเป็นลำดับสุดท้าย จะได้รับการและถูกนำออกจากแถวคอยเป็นอันดับแรก ตัวอย่างเช่น การนำชั้นของปีนโตเข้าและออกจากเถาปีนโต
3. การให้บริการแบบสุ่ม (Service In Random Order: SIRO) หมายถึง ผู้ใช้บริการที่เข้าสู่ระบบแถวคอยจะได้รับการแบบสุ่ม ตัวอย่างเช่น การแจกใบปลิวหรือตัวอย่างสินค้า
4. ให้สิทธิในการใช้บริการก่อน (Priority) หมายถึง การเรียงลำดับการให้บริการที่ถึงแม้ผู้ใช้บริการจะเข้าสู่ระบบแถวคอยก่อน แต่ผู้ใช้บริการที่มีความสำคัญมากกว่าจะได้ออกก่อน ตัวอย่างเช่น ผู้ป่วยฉุกเฉินในโรงพยาบาลจะได้รับการก่อนผู้ป่วยสามัญ แต่ถ้าผู้ใช้บริการมีความสำคัญเท่ากัน ผู้ใช้บริการที่เข้ามาก่อนจะได้ออกก่อนเช่นเดียวกับ FIFO

3.1.1.5 ขีดความสามารถของระบบ (System Capacity)

ขีดความสามารถของระบบ หมายถึง จำนวนผู้ใช้บริการซึ่งรวมทั้งจำนวนผู้ที่กำลังรับบริการอยู่และผู้ที่กำลังคอยรับบริการในแถวคอยที่ระบบสามารถรับได้ ซึ่งบางระบบอาจจะมีแถวคอยที่สามารถรับผู้ใช้บริการได้จำกัด (Finite Queue) เช่น ในร้านตัดผมที่มีที่นั่งรอจำนวนจำกัด เป็นต้น และบางระบบอาจจะมีแถวคอยที่สามารถรับผู้ใช้บริการได้ไม่จำกัด (Infinite Queue) เช่น แถวคอยของรถที่รอจ่ายค่าทางด่วน เป็นต้น

ในการพิจารณาขีดความสามารถของระบบจะพิจารณาจากอัตราการเข้ามาถึงของผู้ใช้บริการและอัตราการให้บริการ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะคือ

- อัตราการเข้ามาเท่ากับอัตราการให้บริการ ในลักษณะนี้ หน่วยบริการจะถูกใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่อง และไม่มีแถวคอยเกิดขึ้น
- อัตราการเข้ามามากกว่าอัตราการให้บริการ ในลักษณะนี้ จะมีแถวคอยเกิดขึ้นเนื่องจากมีผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมากกว่าหน่วยให้บริการ
- อัตราการเข้ามาน้อยอัตราการให้บริการ ในลักษณะนี้ หน่วยบริการจะถูกใช้ประโยชน์ไม่เต็มที่ 100 % และไม่มีแถวคอยเกิดขึ้น

3.1.1.6 ขีดความสามารถของผู้ใช้บริการ (Customer Capacity)

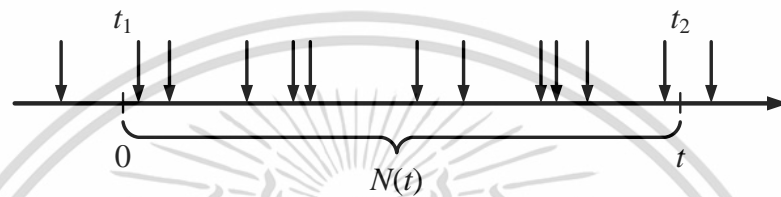
ขีดความสามารถของผู้ใช้บริการ หมายถึง จำนวนผู้ใช้บริการที่ต้องการเข้ารับบริการ แบ่งได้เป็น 2 กรณี

- จำนวนผู้ใช้บริการที่ต้องการใช้บริการมีจำนวนจำกัด เช่น จำนวนของนักศึกษาที่เข้าสอบ ซึ่งจะมีจำนวนไม่เกินจำนวนของนักศึกษาที่ลงทะเบียน เป็นต้น
- จำนวนผู้ใช้บริการที่ต้องการใช้บริการมีจำนวนไม่จำกัด เช่น จำนวนของลูกค้าที่เข้ามาซื้อของในห้างสรรพสินค้า เป็นต้น

3.1.2 กระบวนการปัวส์ซอง (Poisson Process)

กระบวนการปัวส์ซองเป็นกระบวนการสุ่ม (Stochastic) ซึ่งมีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอิสระจากกัน บ่อยครั้งที่การเข้ามาของผู้ใช้บริการสามารถอธิบายได้ด้วยกระบวนการปัวส์ซอง ดังนั้น กระบวนการปัวส์ซองจึงเป็นรูปแบบหนึ่งที่สำคัญที่สุดที่ใช้ในทฤษฎีแถวคอย

กระบวนการปัวส์ซองเป็นการรวบรวม $\{N(t): t \geq 0\}$ ของตัวแปรสุ่ม โดยที่ $N(t)$ คือจำนวนของการเข้ามาในช่วงเวลา $(0, t)$ ดังนั้น จำนวนของการเข้ามาในช่วงเวลา (t_1, t_2) หาได้จาก $N(t_1, t_2) = N(t_2) - N(t_1)$ โดยเราจะนำเสนอการพิจารณาการเข้ามาแบบไม่ต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กระบวนการปัวส์ซองที่มีการเข้ามาแบบไม่ต่อเนื่อง

เมื่อพิจารณาในช่วงเวลาจำกัดและหาการแจกแจงความน่าจะเป็นของจำนวนผู้ให้บริการที่เข้ามาถึงในช่วงเวลา $(0, t)$ และตัวแปรสุ่ม $N(t)$ มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (λt) จะได้ความน่าจะเป็น คือ

$$P[N(t) = n] = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} ; n = 1, 2, 3, \dots \quad (3.1)$$

โดยที่ $e = 2.7182818$

ค่าเฉลี่ย (Mean): $E[N(t)] = \lambda t$

ค่าความแปรปรวน (Variance): $Var[N(t)] = \lambda t$

เนื่องจากเครือข่าย DOCSIS มีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่วง ๆ เรียกว่า มินิสล็อต จึงทำให้เวลาในการเข้ารับบริการของผู้ใช้บริการแต่ละรายเป็นอิสระจากกัน ดังนั้นระบบแถวคอยในเครือข่าย DOCSIS จึงมีกระบวนการเข้าถึงเป็นกระบวนการปัวส์ซอง (Poisson Process) ซึ่งมีอัตราเฉลี่ยการเข้าถึง λ (ข้อความต่อมินิสล็อต) [18-22]

3.2 อัลกอริธึมที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงในสล็อตช่วงชิง

ในการวิเคราะห์รูปแบบการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิง สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งรูปแบบการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงออกเป็น 2 รูปแบบคือ การเข้าถึงสล็อตช่วงชิงของผู้ใช้แต่ละรายด้วยรูปแบบที่เหมือนกัน ซึ่งจะใช้อัลกอริธึมที่มีการศึกษาและใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงสล็อตช่วงชิงและการแก้ไขปัญหาการชนกันก็คือ อัลกอริธึม Truncated Binary Exponential Back-off (TBEB) และอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มมาใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงสล็อตช่วงชิง และการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงของผู้ใช้แต่ละรายด้วยรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยอาศัยการแจกแจงแบบมัลติโนเมียลมาใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงสล็อตช่วงชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

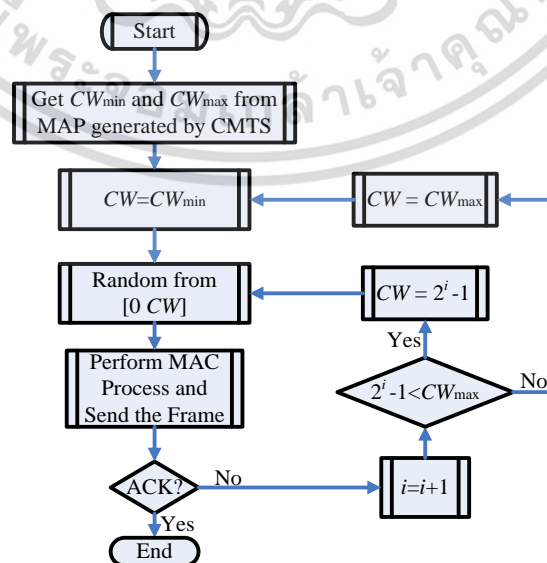
3.2.1 การวิเคราะห์การเข้าถึงสล็อตช่วงชิงของผู้ใช้แต่ละรายด้วยรูปแบบที่เหมือนกัน

3.2.1.1 อัลกอริธึม Truncated Binary Exponential Back – off (TBEB)

อัลกอริธึม TBEB [8-17] เป็นอัลกอริธึมพื้นฐานที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงตามข้อกำหนด DOCSIS โดยวัตถุประสงค์ของ TBEB คือการทำให้ความน่าจะเป็นในการชนกันระหว่างกลุ่มข้อมูลการร้องขอที่ส่งในบริเวณที่มีการช่วงชิงให้ลดน้อยลง โดยมีกระบวนการทำงาน คือ ทุก ๆ ครั้งที่ CM ต้องการที่จะส่งการร้องขอไปยังสล็อตช่วงชิง จะต้องเข้าสู่กระบวนการแก้ไขปัญหาการช่วงชิง

หลังจากการส่งการช่วงชิง CM จะรอคอย Data Grant หรือข้อมูลการตอบกลับใน MAP ที่ตามมา ถ้ามันได้รับข้อมูลอย่างใดอย่างหนึ่งแสดงว่าการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงได้เสร็จสมบูรณ์ ในทางกลับกันถ้า CM ไม่พบ Data Grant หรือข้อมูลตอบกลับใน MAP มันจะสรุปว่าการส่งการช่วงชิงได้สูญหายหรือเกิดการชนกันขึ้น

ดังนั้น CM แต่ละตัวจะมีการเลื่อนการส่งทุก ๆ อันที่ยังไม่บรรลุผลสำเร็จโดยการสุ่มช่วงเวลา ระยะเวลา ซึ่งความยาวของช่วงเวลานี้ เรียกว่า ช่วงเวลา Back – off ซึ่งแสดงจำนวนของการส่งที่ไม่บรรลุผลสำเร็จติดต่อกันที่เพิ่มมากขึ้น โดยที่ความยาวของช่วงเวลา Back – off จะถูกสุ่มเลือกอย่างสม่ำเสมอในช่วง $[0, W_i - 1]$ เมื่อ W_i คือ ขนาดของ Contention Window (CW) ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามจำนวนครั้งที่มีการชนกันเกิดขึ้น ค่าสุ่มนี้จะทำให้ทราบจำนวนของการช่วงชิงโอกาสที่จะส่งซึ่ง CM จะต้องคล้อยตามการส่งก่อนหน้า CM จะพิจารณาการช่วงชิงโอกาสที่จะส่งสำหรับการส่งนี้เท่านั้น ซึ่งการส่งนี้อาจมีสิทธิที่จะถูกรับเลือก ในข้อกำหนดของ DOCSIS เมื่อมีการชนกันเกิดขึ้นจำนวนของ Contention Window จะเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียลโดยค่าเริ่มต้นของ Contention Window (CW_{min}) ก็คือค่าเริ่มต้นการ Back – off ของข้อมูล และค่าสูงสุดของ Contention Window (CW_{max}) คือค่าสิ้นสุดการ Back – off ของข้อมูลที่ถูกกำหนดในส่วนของข้อความ MAP ที่ถูกจัดสรรซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกควบคุมโดย CMTS และ W_i มีค่าเป็น 2^i เมื่อ i คือจำนวนครั้งของการชนกันของข้อความการร้องขอ ซึ่งเท่ากับความน่าจะเป็นสำหรับการส่งครั้งต่อไป และถ้า CW มีค่าถึงค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ล่วงหน้าโดย CMTS มันจะถูกปรับค่ามาที่ค่าต่ำสุด และเริ่มรอบต่อไป โดยแผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แผนผังการทำงานของอัลกอริธึม TBEB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

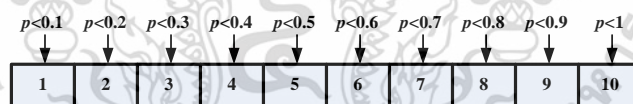
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ได้อธิบายมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า อัลกอริธึม TBEB จะมีการเพิ่มจำนวน Contention Window เป็น 2^i เมื่อมีการชนกันเกิดขึ้น ซึ่งจะมีแบนด์วิดท์บางช่วงที่ไม่ได้ใช้งานจึงทำให้เกิดการการสูญเสียแบนด์วิดท์โดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนออัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มสำหรับการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงสล็อตช่วงชิง ซึ่งได้อธิบายรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

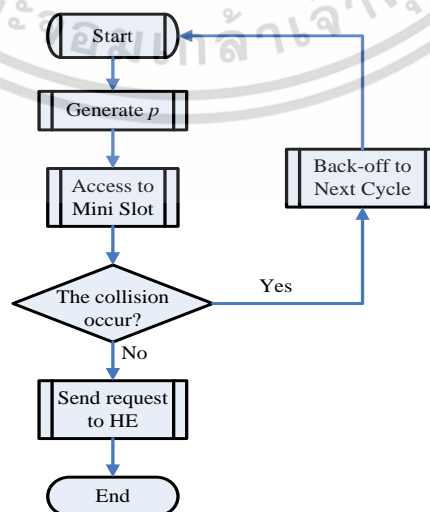
3.2.1.2 อัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม

อัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม [23-32] เป็นอัลกอริธึมที่ใช้ประโยชน์จากการสุ่มค่าความน่าจะเป็น p ในการแก้ไขปัญหาการช่วงชิง โดยกระบวนการของอัลกอริธึมนี้คือ จะให้ CM แต่ละตัวสร้างค่า p ขึ้นมา 1 ค่า เมื่อค่า p คือความน่าจะเป็นที่ CM แต่ละตัวต้องการที่จะส่งการร้องขอ ซึ่งค่า p นี้จะถูกสร้างขึ้นแบบสุ่มในช่วง 0 ถึง 1 ถ้า CM ตัวใดก็ตามมีค่า p มากที่สุดหรือถ้า CM ตัวใดก็ตามที่มีค่า p ที่ไม่เท่ากับ CM ตัวอื่นก็จะได้รับสิทธิในการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงทันที แต่ถ้ามี CM ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปมีค่า p เดียวกัน สล็อตช่วงชิงสล็อตนั้น ๆ ก็จะมีการชนกันเกิดขึ้น ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอรูปแบบในการเลือกสล็อตช่วงชิงที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

รูปแบบที่ 1 เป็นกระบวนการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงด้วยการสุ่มค่าความน่าจะเป็น p ระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมา 1 ค่า ซึ่งค่า p ที่สุ่มได้จะเป็นค่าที่ใช้กำหนดในการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงแต่ละสล็อต ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดให้สล็อตช่วงชิงถูกแบ่งออกเป็นมินิสล็อต 10 สล็อต ค่า p ก็จะถูกแบ่งออกเป็น 10 ช่วงเช่นกัน คือ $0 - 0.1, 0.1 - 0.2, 0.2 - 0.3, \dots, 0.8 - 0.9, 0.9 - 1$ โดยให้ค่า p ในช่วงที่ 1 ใช้สำหรับการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงที่ 1 ค่า p ในช่วงที่ 2 ใช้สำหรับการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงที่ 2 เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงสล็อตช่วงชิงสล็อตสุดท้ายดังแสดงในรูปที่ 3.8 และถ้ามี CM ตั้งแต่ 2 ตัวสุ่มได้ค่า p ค่าเดียวกันก็จะเกิดการชนกันขึ้น โดยกระบวนการของรูปแบบที่ 1 ได้แสดงดังแผนผังในรูปที่ 3.9



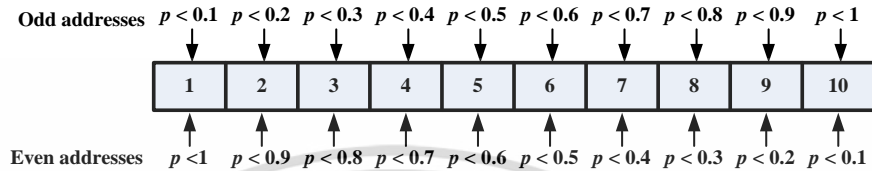
รูปที่ 3.8 การเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงสำหรับรูปแบบที่ 1



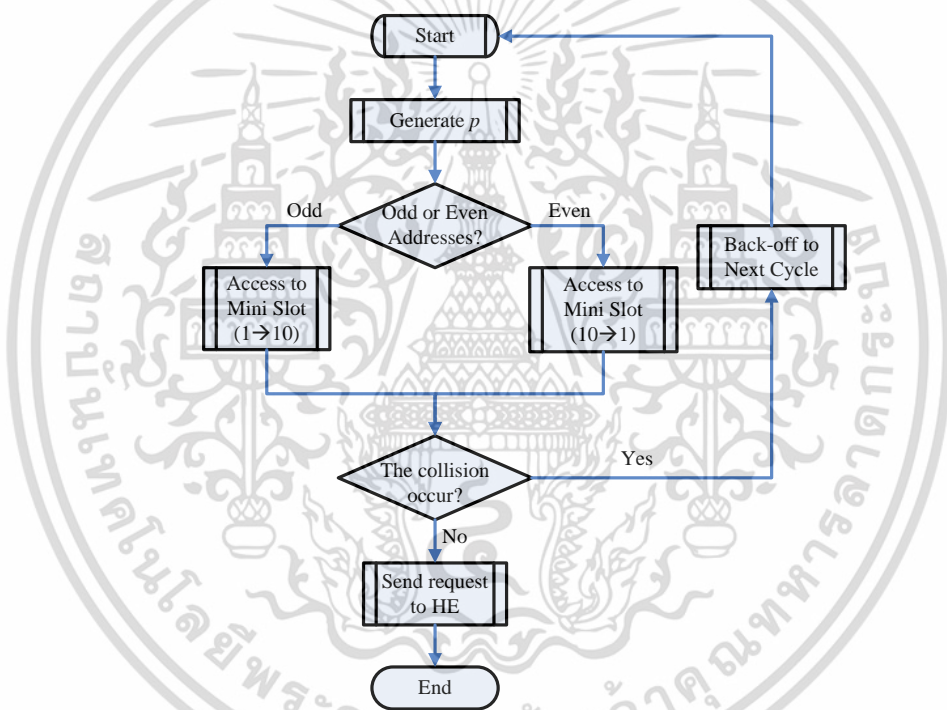
รูปที่ 3.9 แผนผังการทำงานของอัลกอริธึมรูปแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในพิธีการทบทวนเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นจำเป็นต้องใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ 2 เป็นรูปแบบที่มีกระบวนการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงแบบเดียวกับรูปแบบที่ 1 แต่จะต่างกันตรงที่ในรูปแบบที่ 2 นี้จะมีการแบ่งแอดเดรสของ CM ออกเป็นแอดเดรสคี่และแอดเดรสคู่ ซึ่งถ้าแอดเดรสของ CM เป็นแอดเดรสคี่จะเป็นการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงจากสล็อตที่ 1 ไปยังสล็อตสุดท้าย แต่ถ้าแอดเดรสของ CM เป็นแอดเดรสคู่จะเป็นการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงจากสล็อตสุดท้ายไปยังสล็อตที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และกระบวนการของรูปแบบที่ 2 แสดงดังแผนผังในรูปที่ 3.11 โดยที่แอดเดรสของ CM คือหมายเลขอุปกรณ์ (Device Number) ของ CM แต่ละตัว

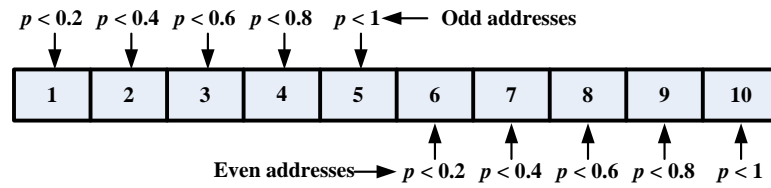


รูปที่ 3.10 การเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงสำหรับรูปแบบที่ 2

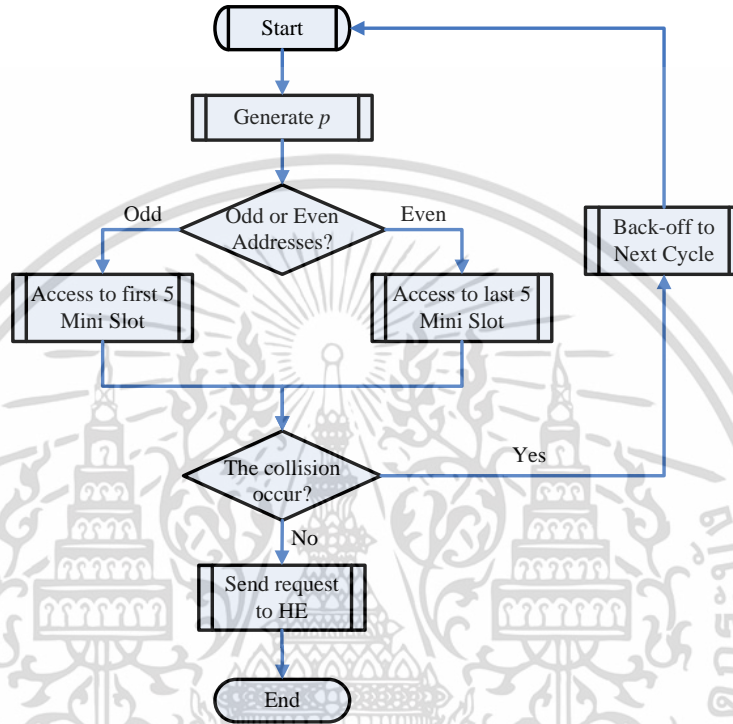


รูปที่ 3.11 แผนผังการทำงานของอัลกอริธึมรูปแบบที่ 2

และในรูปแบบที่ 3 จะทำการแบ่งแอดเดรสของ CM ออกเป็นแอดเดรสคี่และแอดเดรสคู่ เช่นเดียวกับรูปแบบที่ 2 และมีกระบวนการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงเช่นเดียวกันกับรูปแบบที่ 1 แต่จะแตกต่างจากรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ตรงที่ในรูปแบบนี้ จะแบ่งเฟรมของสล็อตช่วงชิง ทั้งหมด ออกเป็นครึ่งหนึ่งด้วย โดยถ้าแอดเดรสของ CM เป็นแอดเดรสคี่ จะเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงที่อยู่ในครึ่งแรก ในทางกลับกัน ถ้าแอดเดรสของ CM เป็นแอดเดรสคู่ จะเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงที่อยู่ในส่วนครึ่งหลัง ดังแสดงในรูปที่ 3.12 และกระบวนการของรูปแบบที่ 3 ได้แสดงดังแผนผังในรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 การเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงสำหรับรูปแบบที่ 3



รูปที่ 3.13 แผนผังการทำงานของอัลกอริธึมรูปแบบที่ 3

3.2.2 การวิเคราะห์การเข้าถึงสล็อตช่วงชิงของผู้ใช้แต่ละรายด้วยรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยอาศัยการแจกแจงแบบมัลติโนเมียล

ในการวิเคราะห์และออกแบบรูปแบบการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงของผู้ใช้แต่ละรายด้วยรูปแบบที่แตกต่างกันนี้ จะอาศัยกระบวนการแจกแจงแบบมัลติโนเมียล [25-27] มาวิเคราะห์ โดยจะกำหนดให้แต่ละสถานีสุ่มเลือกค่า persistent ในการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงด้วยค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งจะช่วยแก้ไขปัญหาการช่วงชิงการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงที่อาจเกิดการชนกันของการร้องขอได้ นอกจากนี้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังทำการศึกษารูปแบบการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงโดยการแบ่งผู้ใช้และสล็อตช่วงชิงออกเป็นกลุ่มหลาย ๆ รูปแบบด้วยกัน ซึ่งกระบวนการนี้จะสามารถลดโอกาสการชนกันของข้อมูลลง

โดยเริ่มต้นจะสมมติให้ระบบมีจำนวนผู้ใช้ทั้งหมดในระบบเป็น N ราย, มีจำนวนของสล็อตช่วงชิงในแต่ละเฟรมเป็น M สล็อตและมีผู้ใช้ K รายที่สามารถส่งการร้องขอในสล็อตช่วงชิงได้สำเร็จ โดยในสล็อตที่ 1 ถึงสล็อตที่ K จะมีจำนวนผู้ใช้ที่เข้าถึงสล็อตละ 1 รายและจำนวนของผู้ใช้ในสล็อตที่ $K+1$ ถึงสล็อตที่ M ต้องไม่เท่ากับ 1 ซึ่งเราสามารถที่จะเขียนรูปแบบที่ประสบความสำเร็จที่เป็นไปได้ทั้งหมดได้ดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Slot 1	Slot 2	...	Slot K	Slot K+1	Slot K+2	Slot K+3	...	Slot M
Pattern 1	1	1	...	1	$a_{1,k+1}$	$a_{1,k+2}$	$a_{1,k+3}$	...	$a_{1,M}$
Pattern 2	1	1	...	1	$a_{2,k+1}$	$a_{2,k+2}$	$a_{2,k+3}$	...	$a_{2,M}$
Pattern 3	1	1	...	1	$a_{3,k+1}$	$a_{3,k+2}$	$a_{3,k+3}$	...	$a_{3,M}$
...									
Pattern i	1	1	...	1	$a_{i,k+1}$	$a_{i,k+2}$	$a_{i,k+3}$	...	$a_{i,M}$

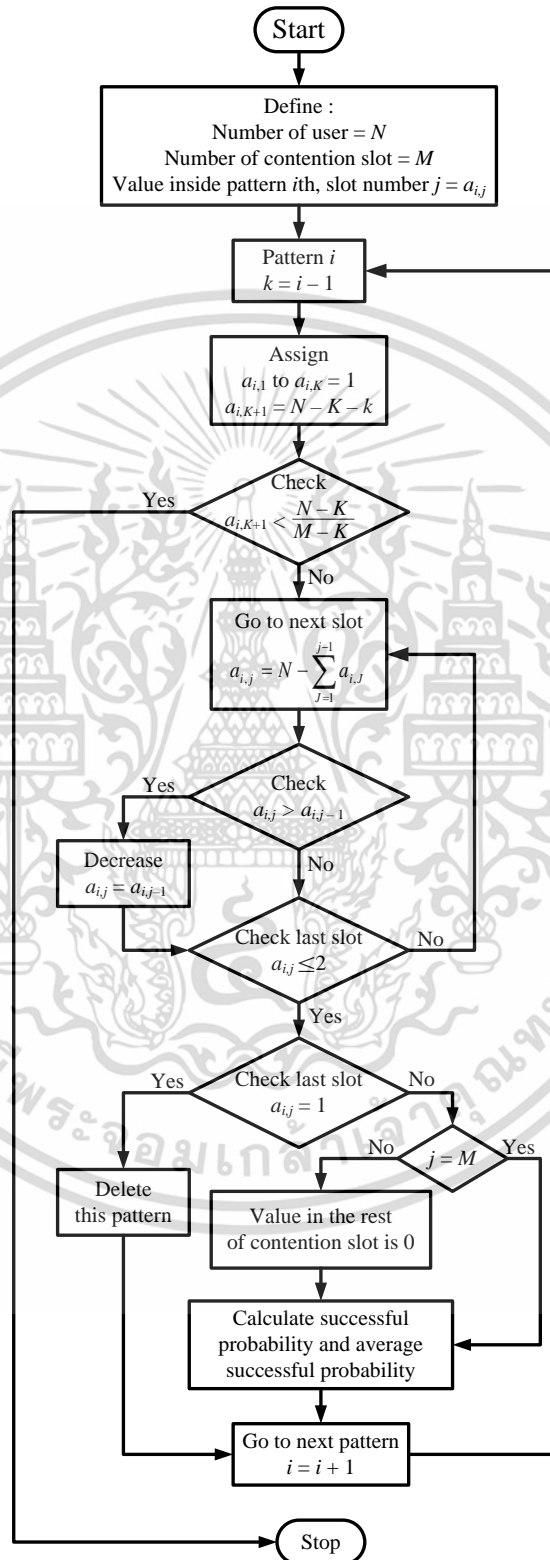
รูปที่ 3.14 รูปแบบที่ประสบความสำเร็จที่เป็นไปได้

จากรูปที่ 3.14 จำนวนผู้ใช้ที่เข้าถึงยังสล็อตที่ $K+1$ สำหรับรูปแบบที่ 1 (ค่า $a_{1,k+1}$) จะมีค่าเป็น $N - K$ และจำนวนผู้ใช้ในสล็อตที่ $K+2$ ถึงสล็อตที่ M (ค่า $a_{1,k+2}$ ถึง $a_{1,M}$) มีค่าเป็น 0 ส่วนจำนวนผู้ใช้ที่เข้าถึงยังสล็อตที่ $K+1$ สำหรับรูปแบบที่ 2 ถึง i จะมีค่าเป็น $N - K - k$ เมื่อ $k = 2, 3, \dots, i$ และจำนวนผู้ใช้ที่เข้าถึงยังสล็อตที่ $K+2$ ถึง M จะมีค่าเป็น $[N - \text{จำนวนผู้ใช้ในสล็อตก่อนหน้าทั้งหมด}]$ โดยที่จำนวนของผู้ใช้ที่จะเข้าถึงยังสล็อตที่ $K+2$ ถึง M จะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับสล็อตก่อนหน้าและถ้ามีสล็อตใด ๆ ก็ตามในสล็อตที่ $K+2$ ถึง M มีจำนวนผู้ใช้ที่เข้าถึงยังสล็อตเป็น 1 รูปแบบนั้นจะไม่ถูกพิจารณา โดยวิธีการหาจำนวนผู้ใช้ที่เข้าถึงยังสล็อตในแต่ละรูปแบบที่เป็นไปได้สำหรับรูปแบบนี้ แสดงดังรูปที่ 3.15

	Slot 1	Slot 2	...	Slot K	Slot K+1	Slot K+2	Slot K+3	...	Slot M
Pattern 1	1	1	...	1	$N - K - 0$	0	0	...	0
Pattern 2	1	1	...	1	$N - K - 1$	$N - K - N_{K+1}$	0	...	0
Pattern 3	1	1	...	1	$N - K - 2$	$N - K - N_{K+1}$	$N - K - N_{K+2}$	...	0
...									
Pattern i	1	1	...	1	$N - K - (i-1)$	$N - K - N_{K+1}$	$N - K - N_{K+2}$	...	$N - K - N_{K+1} - \dots - N_{M-1}$

รูปที่ 3.15 รูปแบบวิธีการหาจำนวนสถานีที่เข้าถึงยังแต่ละสล็อต

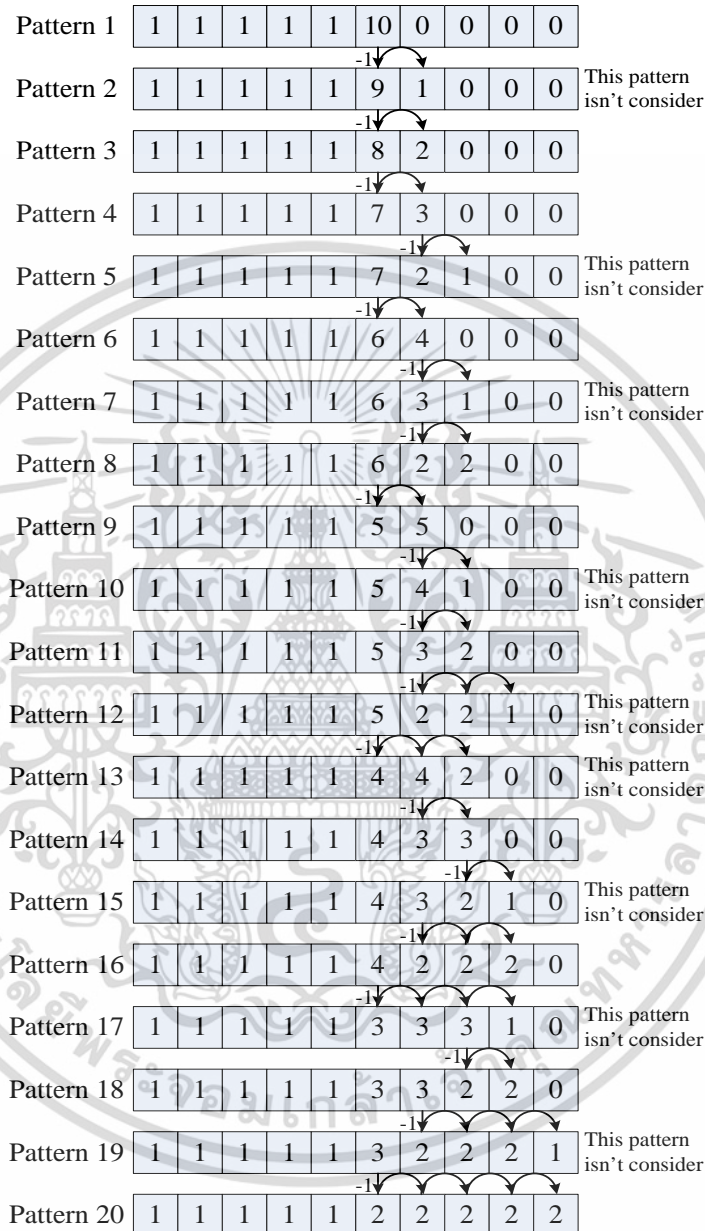
ซึ่งกระบวนการออกแบบการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงโดยอาศัยการแจกแจงแบบมัลติโนเมียลที่ใช้สำหรับการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จและค่าเฉลี่ยของจำนวนที่ประสบความสำเร็จในแต่ละช่วงที่มีการช่วงชิง แสดงดังแผนผังในรูปที่ 31.6



รูปที่ 3.16 แผนผังการออกแบบการเข้าถึงสล็อตช่วงชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง สมมติให้ระบบมีจำนวนผู้ใช้ทั้งหมด 15 รายและทุกรายต้องการที่จะส่งการร้องขอไปยังสล็อตช่วงชิง, มีจำนวนสล็อตช่วงชิงในแต่ละเฟรม 10 สล็อตและมีผู้ใช้ที่สามารถส่งการร้องขอในสล็อตช่วงชิงได้สำเร็จ 5 ราย ดังนั้นรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่เรานำมาใช้พิจารณาจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างของรูปแบบการจัดสล็อตที่ใช้พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

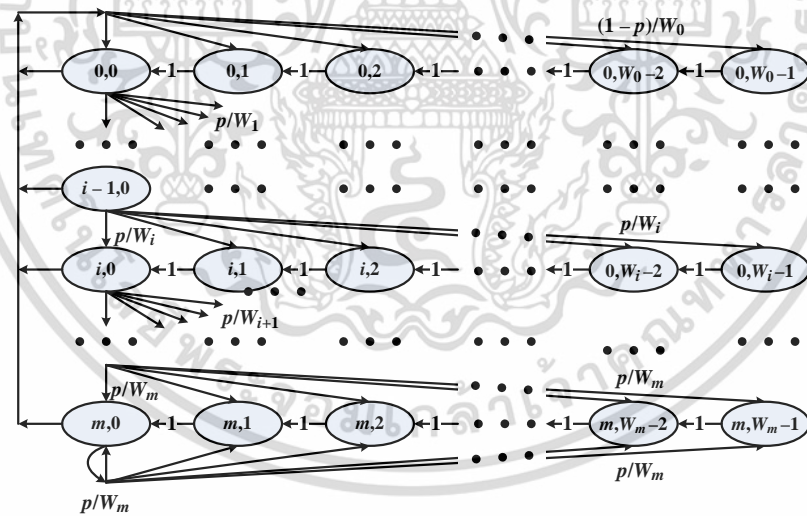
การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์สมรรถนะในการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงในสล็อตช่วงชิง ของเครื่องข่าย DOCSIS ด้วยระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขและทำการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงได้สำเร็จที่ได้จากการแก้ไขปัญหาของตามรูปแบบที่เราทำการนำเสนอ

4.1 การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของอัลกอริทึม TBEB

4.1.1 ความน่าจะเป็นในการส่งการร้องขอได้สำเร็จ

ดังอัลกอริทึมของ TBEB ที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.2.1.1 เราจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นการศึกษาพฤติกรรมของสถานีเดี่ยวด้วยรูปแบบมาร์คอฟซึ่งจะได้ค่าความน่าจะเป็นที่สถานีส่งการร้องขอในเวลาโดยทั่วไปที่ถูกเลือกแบบสุ่ม τ ในสถานะอยู่ตัว ซึ่งความน่าจะเป็นนี้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับกลไกการเข้าถึงที่ใช้งาน ดังนั้นในการศึกษาเหตุการณ์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นภายในช่วงเวลาทั่ว ๆ ไปจะแสดงถึงค่าวิสัยสามารถ (Throughput) ของกระบวนการเข้าถึงเป็นฟังก์ชันของค่าที่ใช้คำนวณ τ โดยจะพิจารณาลูกโซ่มาร์คอฟ (Markov Chain) แบบไม่ต่อเนื่อง 2-มิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ที่ได้แสดงถึง $b(t)$ และ $s(t)$ ซึ่งก็คือตัวนับเวลาการ Back-off และช่วงการ Back-off ที่เวลา t ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 รูปแบบลูกโซ่มาร์คอฟสำหรับขนาด CW

ในลูกโซ่มาร์คอฟ ความน่าจะเป็นในการส่งขึ้นตอนที่ 1 คือ

$$\begin{cases}
 P\{i, k | i, k+1\} = 1 & k \in (0, W_i - 2) \quad i \in (0, m) \\
 P\{0, k | i, 0\} = (1-p)/W_0 & k \in (0, W_0 - 1) \quad i \in (0, m) \\
 P\{i, k | i-1, 0\} = p/W_i & k \in (0, W_i - 1) \quad i \in (1, m) \\
 P\{m, k | m, 0\} = p/W_m & k \in (0, W_m - 1)
 \end{cases} \tag{4.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติให้จำนวนของสถานีมีค่าจำกัด n สถานี ซึ่งเมื่อระบบอยู่ในสถานะอยู่ตัว แต่ละสถานีมีข้อความการร้องขอพร้อมที่จะส่งอยู่ตลอดเวลา เมื่อเราให้ $b_{i,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{s(t) = i, b(t) = k\}$ เมื่อ $i \in (0, m)$ และ $k \in (0, W_i - 1)$ เป็นการแจกแจงในสถานะอยู่ตัวของลูกโซ่ เมื่อ $b_{i,k}$ แทนสถานะของสถานีที่อยู่ในระบบ โดยที่ i คือค่า Back - off State ที่แทนจำนวนครั้งของการส่งที่ไม่สำเร็จซึ่งมีค่าตั้งแต่ $(0 - m)$ และ k คือค่าเวลา Back - off ซึ่งมีค่าตั้งแต่ $(0, W_i - 1)$ โดยที่ค่า k จะลดลงครั้งละ 1 ทุก ๆ ช่วงเวลาที่ช่องสัญญาณว่าง โดยจากรูปที่ 4.1 เมื่อ p เป็นความน่าจะเป็นในการชนกันแบบมีเงื่อนไข หมายความว่า นี่คือความน่าจะเป็นของการชนกันที่พบในกลุ่มข้อมูลที่ส่งไปบนช่องสัญญาณ ซึ่งแต่ละกลุ่มข้อมูลจะชนกันด้วยความน่าจะเป็นคงที่และเป็นอิสระ ซึ่งจะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 b_{i,k} &= \frac{p}{W_i} b_{i-1,0} + b_{i,k+1} \\
 &= \frac{p}{W_i} b_{i-1,0} + \frac{p}{W_i} b_{i-1,0} + b_{i,k+2} \\
 &= \frac{p}{W_i} b_{i-1,0} + \frac{p}{W_i} b_{i-1,0} + \frac{p}{W_i} b_{i-1,0} + b_{i,k+3} \\
 b_{i,k} &= \frac{W_i - k}{W_i} p b_{i-1,0}
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

เมื่อพิจารณาที่ค่า $0 < i \leq m, k = 0$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 b_{i,0} &= b_{i-1,0} \cdot p \\
 \text{ถ้าให้ } i=1: & \quad b_{1,0} = b_{0,0} \cdot p \\
 i=2: & \quad b_{2,0} = b_{1,0} \cdot p \\
 & \quad = (b_{0,0} \cdot p) \cdot p = b_{0,0} \cdot p^2 \\
 i=3: & \quad b_{3,0} = b_{2,0} \cdot p \\
 & \quad = (b_{0,0} \cdot p^2) \cdot p = b_{0,0} \cdot p^3 \\
 \vdots & \\
 i=m: & \quad b_{m,0} = b_{m-1,0} \cdot p \\
 & \quad = (b_{0,0} \cdot p^{m-1}) \cdot p = b_{0,0} \cdot p^m \\
 \therefore b_{i,0} &= p^i b_{0,0}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

เมื่อพิจารณาที่ $i = m, k = 0$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 b_{m,0} &= \frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} + b_{m,1} \\
 &= \frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} + \left(\frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} \right) + b_{m,2} \\
 &= \frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} + \left(\frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} \right) + \dots + b_{m,W_m-1} \\
 b_{m,0} &= \left\{ \frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} \right\} W_m
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 b_{m,0} &= \frac{pb_{m-1,0}}{1-p} \\
 b_{m,0} &= \frac{p^m b_{0,0}}{1-p}
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

เมื่อพิจารณาที่ $i=0, k=0$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 b_{0,0} &= \frac{(1-p)}{W_0} \sum_{i=0}^m b_{i,0} + b_{0,1} \\
 &= \frac{(1-p)}{W_0} \sum_{i=0}^m b_{i,0} + \frac{(1-p)}{W_0} \sum_{i=0}^m b_{i,0} + \dots + b_{0,W_0-1} \\
 b_{0,0} &= (1-p) \sum_{i=0}^m b_{i,0}
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

จากสมการที่ (4.3), (4.4) และ (4.5) สามารถสรุปได้ว่า

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} \begin{cases} (1-p) \sum_{j=0}^m b_{j,0} & i=0 \\ p \cdot b_{i-1,0} & 0 < i < m \\ p \cdot (b_{m-1,0} + b_{m,0}) & i=m \end{cases} \tag{4.6}$$

จากความสัมพันธ์ของสมการที่ (4.3) สามารถเขียนสมการที่ (4.2) ได้ใหม่เป็น

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0} \quad i \in (0, m) \quad k \in (0, W_i - 1) \tag{4.7}$$

ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของสมการที่ (4.3), (4.4) และ (4.7) ค่า $b_{i,k}$ จะถูกแสดงในรูปฟังก์ชันของค่า $b_{0,0}$ และความน่าจะเป็นในการชนกัน p โดยที่ $b_{0,0}$ ถูกกำหนดโดยเงื่อนไขมาตรฐานซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 1 &= \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} = \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0} \\
 &= \sum_{i=0}^m b_{i,0} \sum_{k=0}^{W_i-1} \frac{W_i - k}{W_i} = \sum_{i=0}^m b_{i,0} \left(\frac{W_i + 1}{2} \right) \\
 &= \frac{1}{2} \left[\sum_{i=0}^m b_{i,0} W_i + \sum_{i=0}^m b_{i,0} \right] = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=0}^m p^i b_{0,0} W_i + \sum_{i=0}^m p^i b_{0,0} \right] \\
 &= \frac{b_{0,0}}{2} \left[\sum_{i=0}^m p^i (2^i W) + \sum_{i=0}^m p^i \right] \\
 &= \frac{b_{0,0}}{2} \left[W \left(\sum_{i=0}^{m-1} (2p)^i + \frac{(2p)^m}{1-p} \right) + \frac{1}{1-p} \right]
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (4.8) จะได้ว่า

$$b_{0,0} = \frac{2(1-2p)(1-p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \quad (4.9)$$

เราสามารถแสดงสมการความน่าจะเป็น τ ที่สถานีจะส่งในช่วงเวลาที่ได้เลือกอย่างสุ่ม ดังนั้น บางการส่งที่เกิดขึ้นเมื่อตัวนับเวลา Back - off เท่ากับศูนย์ ไม่ว่าจะอย่างไรก็ตาม Back - off Stage ของมันก็คือ

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{1-p} = \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \quad (4.10)$$

โดยทั่วไป τ จะเป็นอิสระสำหรับการพิจารณาความน่าจะเป็นในการชนกัน p ซึ่งยังคงไม่ทราบค่า ในการหาค่าของ p มันพอที่จะสังเกตได้ว่าความน่าจะเป็น p ที่กลุ่มข้อมูลได้ส่งไปมีการชนกัน หรือก็คือความน่าจะเป็นที่ในเวลา 1 ช่วงมีอย่างน้อย 1 ใน $n-1$ สถานีที่ยังคงส่งอยู่ โดยจะทำการเฝ้าดูระบบที่สถานะเดียวกัน นั่นคือสถานะคงที่ ซึ่งที่สถานะนี้แต่ละสถานีจะยังคงส่งกลุ่มข้อมูลด้วยความน่าจะเป็น τ ผลที่ได้คือ

$$p = 1 - (1-\tau)^{n-1} \quad (4.11)$$

สมการที่ (4.10) และ (4.11) เป็นการนำเสนอในระบบไม่เชิงเส้น (Non - linear System) ในรูปของตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 2 ตัวคือ τ และ p ซึ่งสามารถแก้สมการได้โดยการใช้เทคนิคเชิงตัวเลข (Numerical Techniques) โดยที่ส่วนกลับของสมการที่ (4.11) คือ

$$\tau^*(p) = 1 - (1-p)^{1/n-1}$$

นี่คือฟังก์ชันที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีระดับเดียวกันในช่วง $p \in (0,1)$ ซึ่งเริ่มจาก $\tau^*(0) = 0$ ขึ้นไปจนถึง $\tau^*(1) = 1$ โดยสมการของ $\tau(p)$ หาได้จากสมการที่ (4.10) ซึ่งต่อเนืองในช่วง $p \in (0,1)$ ด้วยเช่นกัน การต่อเนื่องกันในความเหมือนกันของค่าวิกฤต $p = 1/2$ ที่ถูกพิสูจน์อย่างง่ายโดยจะสังเกตได้ว่า $\tau(p)$ สามารถเขียนได้อีกอย่างหนึ่งดังนี้

$$\tau(p) = \frac{2}{1+W + pW \sum_{i=0}^{m-1} (2p)^i}$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\tau(1/2) = \frac{2}{1+W + \frac{mW}{2}}$$

ซึ่ง $\tau(p)$ ที่ถูกแสดงโดยทั่วไปเป็นฟังก์ชันลดที่มีระดับเดียวกันซึ่งเริ่มจาก $\tau(0) = \frac{2}{(W+1)}$ และ

ลดลงไปจนถึง $\tau(1) = \frac{2}{(1+2^m W)}$ โดยที่ค่าเฉพาะของผลลัพธ์ที่ได้พิสูจน์แล้วจะได้ว่า $\tau(0) > \tau^*(0)$

และ $\tau(1) < \tau^*(1)$

4.1.2 การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput)

ให้ S เป็นค่าวิสัยสามารถของระบบปกติ ซึ่งอธิบายถึงปริมาณงานที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อเวลาที่ใช้ในการส่ง ในการคำนวณค่า S เราจะวิเคราะห์ว่ามีอะไรที่สามารถเกิดขึ้นได้บ้างในการสุ่ม ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกช่วงเวลา และให้ P_{tr} เป็นความน่าจะเป็นที่มีอย่างน้อย 1 สถานีที่ส่งในมินิสล็อตที่เลือกแบบสุ่ม โดยที่มี n สถานีที่ช่วงชิงบนช่องสัญญาณและแต่ละสถานีจะส่งด้วยความน่าจะเป็น τ ซึ่งมันสามารถแสดงได้ดังนี้

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau)^n \quad (4.12)$$

นอกจากนั้น ความน่าจะเป็น P_s ถูกกำหนดให้เป็นความน่าจะเป็นที่ส่งได้สำเร็จซึ่งนำเสนอในกรณีที่มี 1 สถานีส่งบนช่องสัญญาณได้อย่างแน่นอน นั่นก็คือ

$$P_s = \frac{\binom{n}{1} \tau (1 - \tau)^{n-1}}{P_{tr}} = \frac{n \tau (1 - \tau)^{n-1}}{1 - (1 - \tau)^n} \quad (4.13)$$

ค่าวิสัยสามารถของระบบสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} S &= \frac{E[\text{Data PDU in a mini - slot time}]}{E[\text{total mini - slot time of channel}]} \\ &= \frac{P_{tr} P_s E[P]}{(1 - P_{tr})\delta + P_{tr} P_s T_s + P_{tr} (1 - P_s) T_c} \end{aligned} \quad (4.14)$$

โดยที่ $T_s = E[P] + \delta$ และ $T_c = \delta$

เมื่อ $E[P]$ คือขนาดของ Data PDU เฉลี่ยและ δ กำหนดให้เป็นระยะเวลาของมินิสล็อต โดยที่ข่าวสารที่ส่งได้สำเร็จภายในช่วงเวลา คือ $P_{tr} P_s E[P]$ เมื่อความน่าจะเป็นของการส่งที่ประสบความสำเร็จที่เกิดขึ้นระหว่างมินิสล็อต คือ $P_{tr} P_s$ และค่าเฉลี่ยของ Data PDU ที่ส่งได้สำเร็จระหว่างมินิสล็อตหาได้จาก $P_{tr} P_s (E[P] + \delta)$ โดยที่ $E[P] + \delta$ ถูกกำหนดให้เป็นเวลาที่ใช้หมดไปกับการดำเนินการส่งที่ประสบความสำเร็จ ถ้าไม่มีการส่งที่พยายามที่จะส่งบนช่องสัญญาณ ความน่าจะเป็นของการส่งที่ประสบความสำเร็จจะกลายเป็น $(1 - P_{tr})$ และสุดท้าย ถ้าการชนกันเกิดขึ้นความน่าจะเป็นของการส่งที่ประสบความสำเร็จจะหาได้จาก $P_{tr} (1 - P_s)$ ซึ่งระบบจะร้องขอช่วงเวลา mini - slot 1 ช่วงที่ยืนยันถึงเงื่อนไขนี้

4.2 การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม

4.2.1 ความน่าจะเป็นในการส่งการร้องขอได้สำเร็จ

ในการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม หนึ่งในเหตุการณ์พื้นฐานก็คือ มี c สถานีที่ประสบความสำเร็จในการส่งการร้องขอการจัดสรรแถบความถี่สำหรับใช้ในการส่ง Data PDU ในสล็อตช่วงชิงที่ถูกแบ่งออกเป็นสล็อตย่อย ๆ ที่เรียกว่า มินิสล็อต จำนวน V สล็อต เมื่อมีจำนวนสถานีที่ต้องการส่งการร้องขอในสล็อตช่วงชิงทั้งหมด m สถานี โดยที่ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์นี้แทนด้วย $P_s(c|m, V)$ ซึ่งหาได้โดยสมมติให้ A_i เป็นเหตุการณ์ที่มีสถานีประสบความสำเร็จในการเข้าถึงยังมินิสล็อตที่ i และให้ $B(m, V)$ เป็นเหตุการณ์ที่มีสถานีทั้ง m สถานีต้องการเข้าถึงยังมินิสล็อต V สล็อต จะได้ความน่าจะเป็นที่มีสถานี c สถานีจากสถานีทั้งหมด m สถานี เข้าถึงยังมินิสล็อต c สล็อต จากมินิสล็อตทั้งหมด V สล็อตได้สำเร็จ ดังนี้

$$Q(A_i, A_j, \dots, A_h | m, V) = \text{Prob}\{A_i, A_j, \dots, A_h | B(m, V)\} \\ = \frac{\binom{m}{c} \cdot c! \cdot (V - c)^{m-c}}{V^m} \quad (4.15)$$

โดยที่ V^m คือวิธีทั้งหมดในการเลือกมินิสล็อต V สล็อตของสถานีแต่ละสถานีซึ่งมีทั้งหมด m สถานี

และเนื่องจากในการเข้าถึงของสถานีทั้งหมด c สถานีที่ประสบความสำเร็จในการเข้าถึงยังมีมินิสล็อตมีการเรียงสับเปลี่ยนสล็อตที่จะเข้าถึงซึ่งขึ้นอยู่กับค่า p ที่สร้างขึ้นในแต่ละรอบจึงต้องคูณด้วย $c!$

ให้ S_c เป็นผลรวมของความน่าจะเป็นทั้งหมดที่ประสบความสำเร็จในการเข้าถึงยังมีมินิสล็อตในสล็อตช่วงชิงได้ c สล็อต จะได้ว่า

$$S_c = \sum Q(A_i, A_j, \dots, A_h | m, V) \\ = \frac{\binom{V}{c} \binom{m}{c} \cdot c! \cdot (V - c)^{m-c}}{V^m} \quad (1 \leq c \leq \text{Min}(m, V)) \quad (4.16)$$

บนเงื่อนไขที่มี m สถานีส่งการร้องขอใน V สล็อต ความน่าจะเป็น $P_s(m, V)$ ที่มีอย่างน้อย 1 สถานีประสบความสำเร็จหาได้โดย

$$P_s(m, V) = \text{Prob}\left\{\bigcup_{k=1}^V A_c\right\} \\ = S_1 - S_2 + S_3 - \dots - (-1)^{\text{Min}(m, V)} S_{\text{Min}(m, V)} \quad (4.17)$$

ส่วนเติมเต็มของเหตุการณ์ข้างต้นคือเหตุการณ์ที่ไม่มี m สถานีประสบความสำเร็จ ซึ่งความน่าจะเป็นของส่วนนี้แทนด้วย $P_f(m, V)$

$$P_f(m, V) = 1 - P_s(m, V) \\ = 1 - S_1 + S_2 - S_3 + \dots + (-1)^{\text{Min}(m, V)} S_{\text{Min}(m, V)} \quad (4.18)$$

ถ้ากำหนดให้ S_0 เท่ากับ 1 จะเขียนสมการที่ (4.18) ได้ใหม่เป็น

$$P_f(m, V) = \sum_{i=0}^{\text{Min}(m, V)} (-1)^i S_i \quad (4.19)$$

สุดท้าย ความน่าจะเป็น $P_s(c | m, V)$ หาได้ดังสมการข้างล่างนี้

$$P_s(c | m, V) = \text{Prob}\{\text{มี } c \text{ สถานีที่ประสบความสำเร็จ}\} \\ = S_c \cdot P_f(m - c, V - c) \\ P_s(c | m, V) = \frac{(-1)^c V! m!}{V^m c!} \sum_{j=c}^{\text{Min}(m, V)} \frac{(-1)^j (V - j)^{m-j}}{(j - c)! (m - j)! (V - j)!} \quad (0 \leq c \leq \text{Min}(m, V)) \quad (4.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput)

ในการวิเคราะห์ ขั้นแรกเราจะตรวจหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของการส่งการร้องขอที่ประสบความสำเร็จและทราฟฟิกอินพุท เพื่อให้ได้มาซึ่งเงื่อนไขสำหรับการแบ่งแยกที่ดีที่สุดและการหาอัตราส่วนที่ดีที่สุด

ทราฟฟิกอินพุทจะบ่งบอกถึงคุณลักษณะของกระบวนการมาถึงของ Data PDU และการแจกแจงความยาวของ Data PDU ซึ่งในเครือข่าย DOCSIS จะมีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่วง ๆ เรียกว่า ช่วงเวลามินิสล็อตจึงทำให้การเข้ารับบริการของสถานีแต่ละสถานีเป็นอิสระจากกัน ดังนั้นระบบแถวคอยในเครือข่าย DOCSIS จึงมีกระบวนการเข้าถึงเป็นกระบวนการปัวส์ซอง (Poisson Process) ซึ่งมีอัตราเฉลี่ยการเข้าถึง λ (ข้อความต่อมินิสล็อต) และความยาวของข้อความถูกแจกแจงแบบทั่วไปด้วยค่าเฉลี่ย J (กลุ่มข้อมูล Data PDU) และความยาวของแต่ละเฟรมเท่ากับจำนวนของมินิสล็อต L สล็อต ซึ่งประกอบไปด้วยสล็อตช่วงชิงและสล็อตข้อมูลโดยที่ความน่าจะเป็นที่มีสถานี c สถานีจาก m สถานีที่ส่งกลุ่มข้อมูลร้องขอไปยังสล็อตช่วงชิงสามารถหาได้จากสมการไปโนเมียลดังแสดงในสมการที่ 4.21 โดยที่ค่าความน่าจะเป็นที่แต่ละสถานีจะประสบความสำเร็จในการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิง V สล็อต คือ $\frac{V}{m}$ ดังนั้น จะได้ว่า

$$P_{in}(m) = \text{Prob}\{ c \text{ สถานีจาก } m \text{ สถานีที่ส่งกลุ่มข้อมูลร้องขอไปยังสล็อตช่วงชิง} \}$$

$$= \binom{m}{c} \left(\frac{V}{m} \right)^c \left(1 - \left(\frac{V}{m} \right) \right)^{m-c} \quad (4.21)$$

$$P_s(c|m, V) = \text{Prob}\{ c \text{ สถานีที่ส่งกลุ่มข้อมูลการร้องขอได้สำเร็จ} \mid m \text{ สถานีเข้าถึงยัง } V \text{ สล็อต} \}$$

$$P_m(k|c) = \text{Prob}\{ \text{สล็อตข้อมูล } k \text{ สล็อตถูกร้องขอมี } c \text{ ข้อความ} \}$$

เมื่อมี m สถานีเข้าถึงยัง V สล็อต เพื่อที่จะส่งการร้องขอสำหรับการส่ง Data PDU โดยที่ความน่าจะเป็น $P_d(k|m, V)$ ที่มีสล็อตข้อมูลทั้งหมด k สล็อตถูกร้องขอ คือ

$$P_d(k|m, V) = \sum_{c=1}^{\text{Min}(k, m, V)} P_s(c|m, V) \cdot P_m(k|c) \quad (c \leq k) \quad (4.22)$$

จากนั้น ให้ $S(m, V)$ แทนจำนวนของสล็อตข้อมูลทั้งหมดที่ถูกร้องขอ ซึ่งหาได้จาก

$$S(m, V) = \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot P_d(k|m, V)$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} k \sum_{c=1}^{\text{Min}(k, m, V)} P_s(c|m, V) \cdot P_m(k|c)$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot P_m(k|c) \sum_{c=1}^{\text{Min}(m, V)} P_s(c|m, V) \cdot \quad (4.23)$$

สล็อตช่วงชิงที่ถูกร้องขอโดยแต่ละสถานีเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงอย่างอิสระและเหมือนกันทุกประการ (Independently and Identically Distributed: IID) กับค่าเฉลี่ย J โดยที่ค่าที่ถือว่าเป็นผลรวมของตัวแปรสุ่ม IID ใด ๆ ก็ตามจะเท่ากับผลรวมของจำนวนตัวแปรสุ่ม IID แต่ละตัว ซึ่งจะนำไปสู่สมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
S(m, V) &= \sum_{c=1}^{\text{Min}(m, V)} c \cdot J \cdot P_s(c | m, V) \\
&= J \cdot \sum_{c=1}^{\text{Min}(m, V)} c \cdot P_s(c | m, V)
\end{aligned} \tag{4.24}$$

ดังนั้นจากสมการที่ (4.20) และ (4.24) เราจะได้ผลลัพธ์ของจำนวนสล็อตทั้งหมดที่ถูกเข้าถึงใน 1 เฟรมสำหรับแต่ละรูปแบบดังต่อไปนี้

รูปแบบที่ 1:

$$\begin{aligned}
S_1 &= \sum_{m=1}^{\infty} P_{in}(m) \cdot S(m, V) \\
&= J \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \left[\binom{m}{c} \left(\frac{V}{m}\right)^c \left(1 - \left(\frac{V}{m}\right)\right)^{m-c} \left(\sum_{c=1}^{\text{Min}(m, V)} c \cdot P_s(c | m, V) \right) \right]
\end{aligned} \tag{4.25}$$

รูปแบบที่ 2:

$$\begin{aligned}
S_2 &= \sum_{m=1}^{\infty} P_{in}(m) \cdot S(m_e \cup m_o, V) \\
&= J \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \left[P_{in}(m) \left(\sum_{c=1}^{\text{Min}(m, V)} c \cdot (P_s(c | m_e, V) + P_s(c | m_o, V) - P_s(c | m_e \cap m_o, V)) \right) \right]
\end{aligned} \tag{4.26}$$

เมื่อ m_e คือจำนวนของสถานีที่เป็นแอดเดรสคู่ และ m_o คือจำนวนของสถานีที่เป็นแอดเดรสคี่

และ รูปแบบที่ 3:

$$\begin{aligned}
S_3 &= \sum_{m=1}^{\infty} P_{in}(m) \cdot S(m_e \cup m_o, V) \\
&= J \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \left[P_{in}(m) \left(\sum_{c=1}^{\text{Min}(m, V)} c \cdot (P_s(c | m_e, V/2) + P_s(c | m_o, V/2)) \right) \right]
\end{aligned} \tag{4.27}$$

เมื่อ V คือจำนวนสล็อตช่วงชิงทั้งหมด

ค่าวิสัยสามารถของระบบ T ซึ่งอธิบายถึงจำนวนเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลการร้องขอที่ส่งได้สำเร็จในช่วงเวลาที่มีการเข้าถึงทั้งหมดแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
T &= \frac{\text{Prob}\{\text{Average number of total Data Slots successfully transmitted in one frame}\}}{\text{Total Time Slot}} \\
&= \frac{S}{L}
\end{aligned} \tag{4.28}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงโดยอาศัยการแจกแจงแบบมัลติโนเมียล

4.3.1 ความน่าจะเป็นในการส่งการร้องขอได้สำเร็จ

เรากำหนดให้มีสถานีในระบบ N สถานีเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิง M สล็อต ความน่าจะเป็นที่สถานี N สถานีจะตัดสินใจเลือกสล็อตตามความพอใจสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{Prob}(N \text{ users access to arbitrary slot}) = \frac{N!}{a_1!a_2!\dots a_M!} \quad (4.29)$$

เมื่อ $a_1, \dots, a_M =$ จำนวนของผู้ใช้ที่เข้าถึงยังแต่ละสล็อตตั้งแต่สล็อตที่ $1, \dots, M$

และความน่าจะเป็นที่สล็อตช่วงชิง M สล็อตจะถูกครอบครองโดยผู้ใช้ที่ตัดสินใจเลือกแต่ละสล็อตแสดงได้ดังนี้

$$\text{Prob}(M \text{ slots have been occupied by arbitrary user}) = \frac{M!}{b_1!b_2!\dots b_N!} \quad (4.30)$$

เมื่อ $b_1, \dots, b_N =$ จำนวนของสล็อตซึ่งจำนวนของผู้ใช้ที่เข้าถึงเท่ากัน ตัวอย่างเช่น ถ้าสล็อตที่ 1, 2, 3 มีจำนวนผู้ใช้ที่เข้าถึงยังแต่ละสล็อตเป็น 1 ดังนั้น b_1 จะเป็น 3

โดยที่ผู้ใช้แต่ละรายจะสุ่มเลือกความน่าจะเป็นที่จะส่งในหนึ่งเฟรมด้วยความน่าจะเป็นในการแจกแจงดังต่อไปนี้

$$P\{a_1, a_2, \dots, a_M\} = \frac{N!}{a_1!a_2!\dots a_M!} \cdot \frac{M!}{b_1!b_2!\dots b_N!} P_1 P_2 \dots P_N \quad (4.31)$$

ซึ่งเราจะพิจารณาเฉพาะรูปแบบที่ประสบความสำเร็จ นั่นคือกรณีที่จำนวนผู้ใช้ที่เข้าถึงสล็อตที่ 1 ถึงสล็อตที่ K เท่ากับ 1 (นั่นคือ $a_1 = a_2 = \dots = a_K = 1$) และจำนวนผู้ใช้ที่เข้าถึงยังสล็อตอื่น ๆ ไม่เท่ากับ 1 (นั่นคือ $a_{K+1} = a_{K+2} = \dots = a_M \neq 1$)

ความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จ (P_{SUC}) เท่ากับผลรวมของความน่าจะเป็นของแต่ละรูปแบบที่เป็นไปได้ที่จะประสบความสำเร็จทั้งหมด ($P\{a_1, a_2, \dots, a_M\}$)

$$P_{SUC} = \sum_{a_1=a_2=\dots=a_K=1, (a_{K+1}, \dots, a_M \neq 1)} P\{a_1, a_2, \dots, a_M\} \quad (4.32)$$

หลังจากที่เราได้ทำการออกแบบการจัดรูปแบบการเข้าถึงยังแต่ละสล็อตแล้ว เราได้ทำการแบ่งสล็อตช่วงชิงออกเป็นกลุ่ม ๆ โดยที่เราได้ออกแบบให้แต่ละกลุ่มมีค่า Persistent ที่แตกต่างกันในเฟรมนั้น ๆ และใช้สมการที่ (4.29) ถึง (4.32) ในการคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จของแต่ละกลุ่ม $P_G(N_G, M_G)$ ซึ่งจะหาได้ดังนี้

$$P(N, M) = [P_1(N_1, M_1) \cdot \dots \cdot P_G(N_G, M_G)] \cdot P_1 P_2 \dots P_N \quad (4.38)$$

เมื่อ N_G คือจำนวนของผู้ใช้ในแต่ละกลุ่ม และ M_G คือจำนวนของสล็อตช่วงชิงในแต่ละกลุ่ม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput)

การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถของกระบวนการนี้จะอ้างอิงจากสมการที่ (4.28) ดังนั้น เราจะหา ค่าวิสัยสามารถของระบบได้จาก

$$T = \frac{\text{Prob}\{\text{Average number of total Data Slots successfully transmitted in one frame}\}}{\text{Total Time Slot}}$$

$$= \frac{P_{suc}}{L} \quad (4.39)$$

เมื่อ L คือจำนวนสล็อตช่วงชิง + จำนวนสล็อตข้อมูล

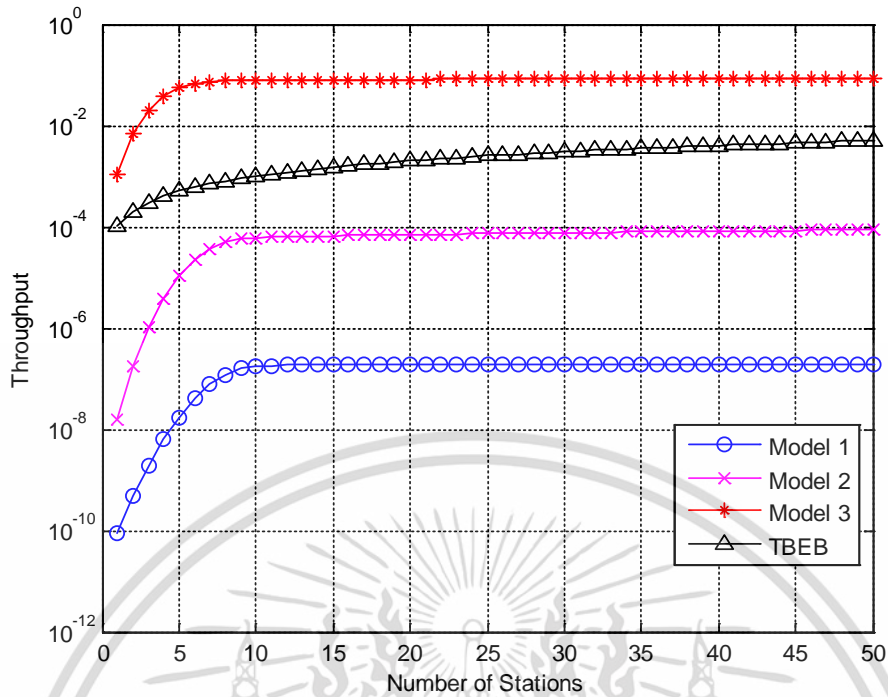
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของระบบ

ในการวิเคราะห์ได้มีการกำหนดค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงเหล่านี้ได้อ้างอิงกับข้อกำหนดทางกายภาพ (Physical Layer) ของมาตรฐาน DOCSIS โดยในการวิเคราะห์เราได้เลือกใช้การมอดูเลตข้อมูลแบบ QPSK สำหรับช่องสัญญาณขาขึ้น และ 256QAM สำหรับช่องสัญญาณขาลง

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

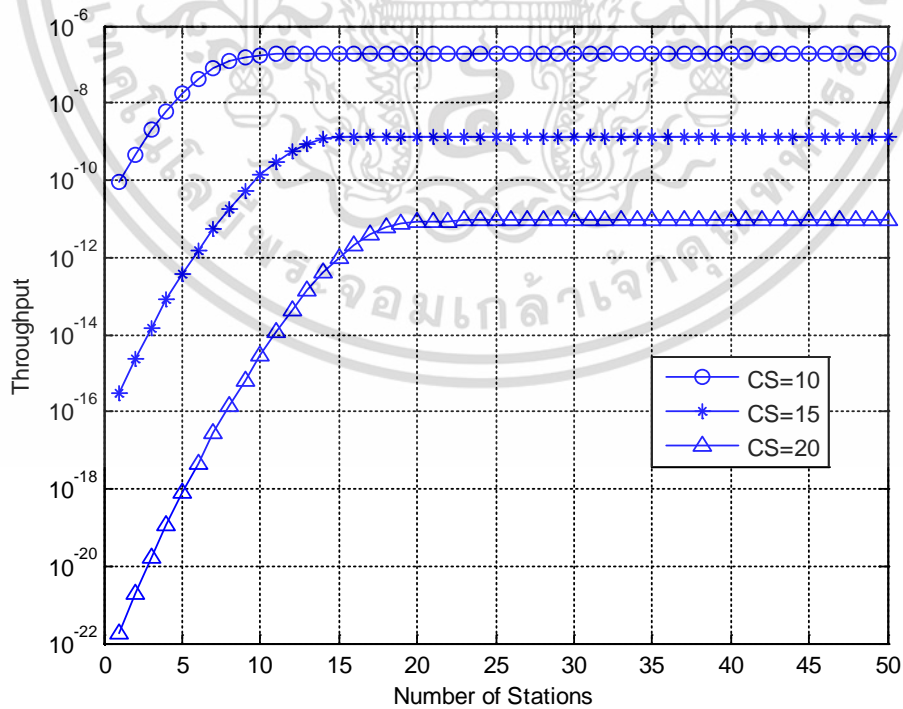
Parameter	Value
Arrival Rate (λ)	32 Packets/Mini Slot
CW_{min}	16
CW_{max}	1024
Size of Mini Slot	16 byte or 6.25 μ s

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบในกรณีที่ผู้ใช้แต่ละรายมีการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงด้วยรูปแบบที่เหมือนกัน ได้กำหนดให้ระบบมีสล็อตช่วงชิงเป็น 10 สล็อต และสล็อตข้อมูลมีจำนวน 40 สล็อต CM ที่อยู่ในระบบมีจำนวน 50 สถานี เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มทั้ง 3 รูปแบบกับอัลกอริธึม TBEB จะเห็นได้ว่าอัลกอริธึมการเข้าถึงหลายสล็อตแบบสุ่มรูปแบบที่ 3 นั้นจะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ในขณะที่รูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ของอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มให้ค่าวิสัยสามารถที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับอัลกอริธึม TBEB และจากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าในช่วงที่จำนวนสถานีมีค่าน้อย ๆ นั้นจะส่งผลต่อค่าวิสัยสามารถ แต่เมื่อสถานีมีจำนวนที่มากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงค่าหนึ่งค่าวิสัยสามารถที่ได้จากระบบจะมีค่าคงที่



รูปที่ 4.2 ค่าวิสัยสามารถของอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มเทียบกับอัลกอริธึม TBEB

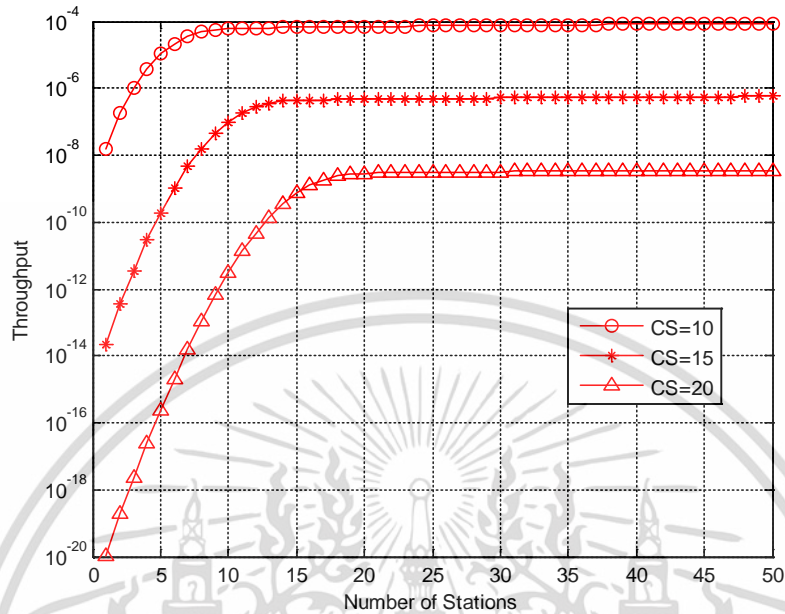
เมื่อเพิ่มจำนวนของสล็อตช่วงชิงเป็น 15 และ 20 สล็อต ในอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มรูปแบบที่ 1 จะเห็นได้ว่าค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าลดลงเมื่อระบบมีจำนวนสล็อตที่มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าวิสัยสามารถของอัลกอริธึมการเข้าถึงหลายทางแบบสุ่มของรูปแบบที่ 1

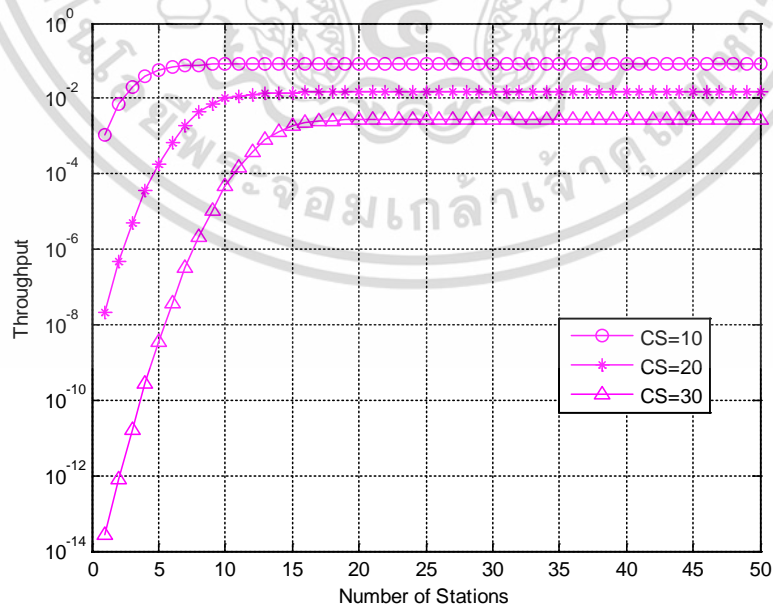
เมื่อจำนวนสล็อตช่วงชิงมีค่าเป็น 10, 15 และ 20 สล็อต

และเมื่อเพิ่มจำนวนของสล็อตช่วงชิงเป็น 15 และ 20 สล็อต ในอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มรูปแบบที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าลดลงเมื่อระบบมีจำนวนสล็อตที่มากขึ้นเช่นเดียวกับรูปแบบที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ค่าวิสัยสามารถของอัลกอริธึมการเข้าถึงหลายทางแบบสุ่มของรูปแบบที่ 2 เมื่อจำนวนสล็อตช่วงชิงมีค่าเป็น 10, 15 และ 20 สล็อต

ในทำนองเดียวกัน เมื่อเพิ่มจำนวนของสล็อตช่วงชิงเป็น 15 และ 20 สล็อต ในอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มรูปแบบที่ 3 ค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าลดลงเมื่อระบบมีจำนวนสล็อตที่มากขึ้น เช่นเดียวกับรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.5

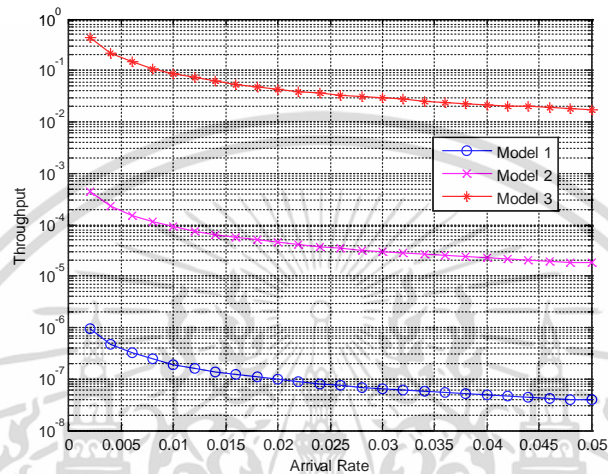


รูปที่ 4.5 ค่าวิสัยสามารถของอัลกอริธึมการเข้าถึงหลายทางแบบสุ่มของรูปแบบที่ 3 เมื่อจำนวนสล็อตช่วงชิงมีค่าเป็น 10, 15 และ 20 สล็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

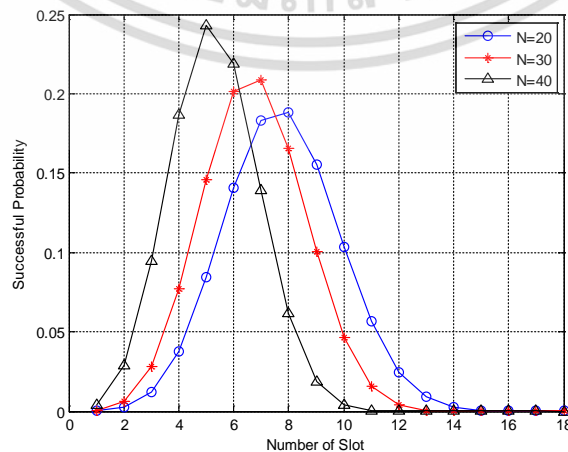
จากรูปที่ 4.3 – 4.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อระบบมีจำนวนสล็อตช่วงชิงมากขึ้น ค่าวิสัยสามารถของระบบจะมีค่าลดลง เนื่องจากค่าวิสัยสามารถของระบบมีค่าขึ้นอยู่กับจำนวนสล็อตทั้งหมดในระบบ ซึ่งอ้างอิงดังสมการที่ 4.28

และเมื่อทำการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถกับค่าอัตราเฉลี่ยการเข้าถึงยัง Contention Slot λ ของอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มทั้ง 3 รูปแบบนั้น จะได้ว่าเมื่ออัตราเฉลี่ยการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงมีค่าเพิ่มมากขึ้น ระบบจะมีค่าวิสัยสามารถจะมีค่าลดลง เนื่องจากระบบมีการชนกันที่มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถกับค่าอัตราเฉลี่ยการเข้าถึง λ ของอัลกอริทึมการเข้าถึงหลายทางแบบสุ่มทั้ง 3 รูปแบบ

จากนั้นเราได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงโดยอาศัยการแจกแจงแบบมัลติโนเมียล ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดให้ระบบมีสล็อตสำหรับช่วงชิงจำนวน 18 สล็อต และจำนวนสถานีมี 20 30 และ 40 ตามลำดับ ซึ่งในขั้นแรกเราได้ทำการพิจารณาความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จ (P_{SUC}) จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อระบบมีอัตราส่วนสถานีที่ต้องการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงมาก โอกาสที่จะเข้าถึงสล็อตช่วงชิงได้จะมีมาก ในทำนองเดียวกันถ้าระบบมีอัตราส่วนในการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงน้อยความน่าจะเป็นที่จะเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงจะน้อยลงไปด้วยตามลำดับ

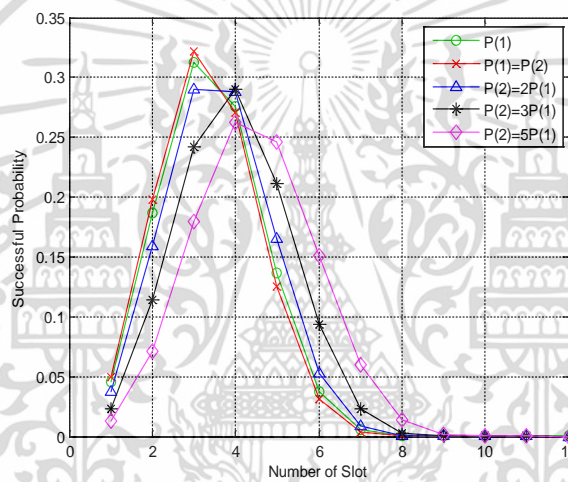


รูปที่ 4.7 แสดงความน่าจะเป็นที่สถานีจะเข้าถึงสล็อตช่วงชิงได้สำเร็จ

ลำดับต่อมา เราจะทำการหาค่าความน่าจะเป็นที่แต่ละสถานีจะเลือกเข้าถึงยังกลุ่มสล็อตช่วงชิง โดยเราจะแบ่งสถานีและสล็อตช่วงชิงออกเป็นกลุ่ม ๆ หลายรูปแบบ ดังนี้

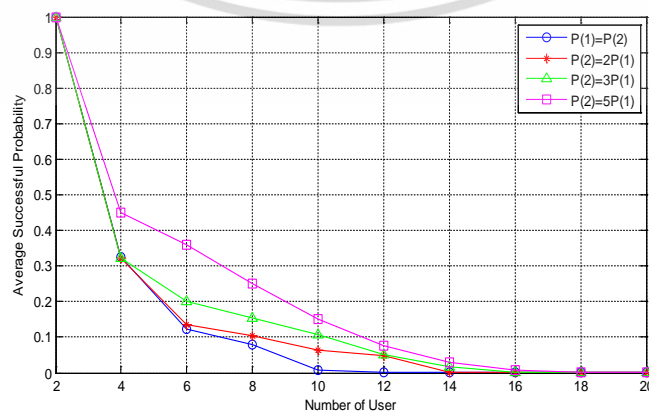
- แบบที่ 1 เราจะแบ่งกลุ่มของผู้ใช้ออกเป็น 2 กลุ่มเท่า ๆ กัน และกำหนดให้ $P(1)$ คือความน่าจะเป็นที่แต่ละสถานีจะเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงในกลุ่มที่ 1 และ $P(2)$ คือความน่าจะเป็นที่แต่ละสถานีจะเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงในกลุ่มที่ 2
- แบบที่ 2 เราจะแบ่งกลุ่มของผู้ใช้ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยให้ $P(1)$ ของกลุ่มที่ 1 มีค่ามากกว่า $P(2)$ ของกลุ่มที่ 2 เป็น 2 เท่า
- แบบที่ 3 เราจะแบ่งกลุ่มของผู้ใช้ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยให้ $P(1)$ ของกลุ่มที่ 1 มีค่ามากกว่า $P(2)$ ของกลุ่มที่ 2 เป็น 3 เท่า และ
- แบบที่ 4 เราจะแบ่งกลุ่มของผู้ใช้ออกเป็น 2 กลุ่ม โดยให้ $P(1)$ ของกลุ่มที่ 1 มีค่ามากกว่า $P(2)$ ของกลุ่มที่ 2 เป็น 5 เท่า

ตามลำดับ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ความน่าจะเป็นที่สถานีจะเข้าถึงสล็อตช่วงชิงได้สำเร็จเมื่อทำการแบ่งกลุ่ม

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าเมื่อระบบมีการแบ่งกลุ่มให้กลุ่มที่ 1 ให้เท่ากับกลุ่มที่ 2 ระบบมีอัตราส่วนสถานีที่ต้องการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงมาก โอกาสที่จะเข้าถึงสล็อตช่วงชิงได้จะมีมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าระบบมีการแบ่งกลุ่มให้กลุ่มที่ 1 น้อยกว่ากลุ่มที่ 2 และมีอัตราส่วนในการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงน้อยความน่าจะเป็นที่จะเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงจะมากขึ้น

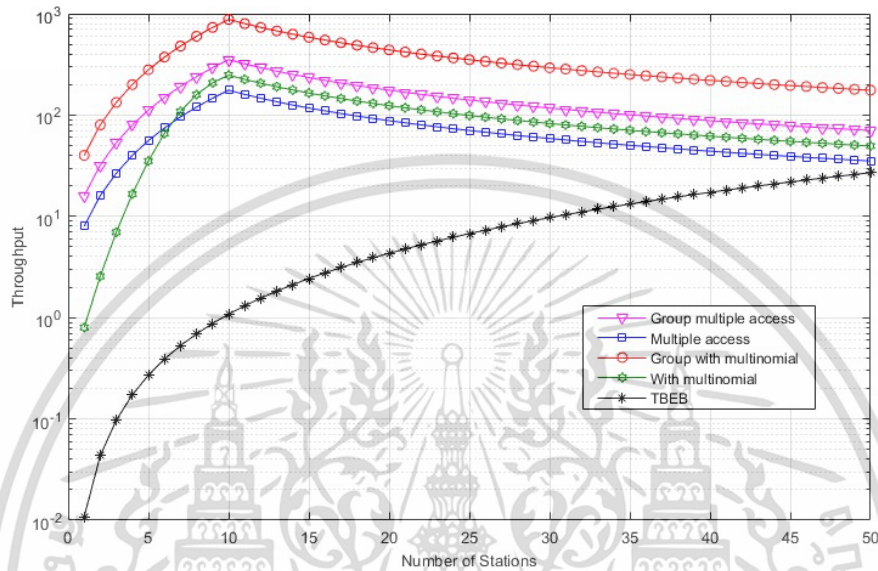


รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สถานีจะเข้าถึงสล็อตช่วงชิงได้สำเร็จเมื่อทำการแบ่งกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำมาใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 เมื่อเราพิจารณาค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นที่สถานีจะเข้าถึงสล็อตช่วงชิงได้สำเร็จ จะเห็นได้ว่า ยิ่งเราทำการแบ่งกลุ่มให้กลุ่มที่ 2 มากกว่ากลุ่มที่ 1 มาก ๆ โอกาสที่สถานีจะเข้าถึงสล็อตช่วงชิงได้สำเร็จจะยังมีมากตามไปด้วย

จากนั้นเราได้ทำการเปรียบเทียบค่าวิสัยความสามารถของทั้ง 3 อัลกอริทึม และเรายังได้นำเอากระบวนการแบ่งกลุ่มสำหรับอัลกอริทึมการเข้าถึงหลายทางแบบสุ่มและการเข้าถึงสล็อตช่วงชิงโดยอาศัยการแจกแจงแบบมัลติโนเมียลมาทำการเปรียบเทียบด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าวิสัยความสามารถของกระบวนการทั้งหมดที่ทำการศึกษา

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าเมื่อเราทำการแบ่งผู้ใช้และสล็อตช่วงชิงออกเป็นกลุ่มจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ขึ้น และรูปแบบการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงที่อาศัยการแจกแจงแบบมัลติโนเมียลนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่ารูปแบบอื่น ๆ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์

ในปัจจุบัน เครือข่ายเคเบิลโมเด็มมีการใช้งานตามอาคารบ้านเรือนกันอย่างแพร่หลาย ทำให้บริษัทผู้ผลิตและผู้ให้บริการเครือข่ายเคเบิลโมเด็มร่วมมือกันเพื่อพัฒนาเครือข่ายให้สามารถใช้งานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งได้มีการศึกษาถึงวิธีการแก้ไขปัญหาการชนกันของข้อความร้องขอสำหรับการส่งข้อมูลอย่างกว้างขวาง โดยงานวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นงานวิจัยที่พัฒนารูปแบบของกระบวนการแก้ไขปัญหาที่เรียกว่า Binary Exponential Back-off (TBE) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมพื้นฐานที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาการชนกัน และกระบวนการแก้ไขปัญหาการชนกันที่เรียกว่าอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม แต่เนื่องจากอัลกอริทึม TBE เป็นอัลกอริทึมที่ใช้แถบความถี่สูงในการแก้ไขปัญหาเมื่อมีการชนกันเกิดขึ้น และถึงแม้ว่าอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มจะใช้แถบความถี่ที่ต่ำกว่า TBE ในการแก้ไขปัญหา แต่ยังคงให้ประสิทธิภาพของระบบได้ไม่ดีพอ เนื่องจากอัลกอริทึมกำหนดให้แต่ละสถานีเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงด้วยค่า persistent เดียวกัน ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอกระบวนการแก้ไขปัญหาการชนกันในการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงสำหรับเครือข่าย DOCSIS โดยใช้การแจกแจงแบบมัลติโนเมียลในการออกแบบรูปแบบการเข้าถึงสล็อตของแต่ละสถานีด้วยค่า persistent ที่แตกต่างกัน ซึ่งจะช่วงลดโอกาสที่แต่ละสถานีจะเลือกเข้าถึงสล็อตช่วงชิงสล็อตเดียวกันลงได้

ในการกำหนดรูปแบบการเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงได้กำหนดให้สถานีที่เข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงได้สำเร็จมีจำนวน K สล็อตและสล็อตอื่น ๆ มีการชนกันเกิดขึ้น ซึ่งกระบวนการนี้ทำให้กำหนดขอบเขตการชนได้แม่นยำมากขึ้น จึงทำให้การชนกันจะรวมอยู่เป็นกลุ่ม ๆ หนึ่งเท่านั้น นอกจากนี้เรายังได้นำเสนอวิธีการในการแบ่งกลุ่มผู้ใช้แต่ละรายที่เข้าถึงยังสล็อตช่วงชิงที่ตัดสินใจเลือกด้วยค่า persistent ที่เป็นอิสระจากกัน โดยผู้ใช้แต่ละรายจะถูกเลือกให้เข้าถึงยังกลุ่มของสล็อตช่วงชิงแต่ละกลุ่มที่เราได้ออกแบบไว้ให้มีค่า persistent ที่แตกต่างกันในเฟรมนั้น ๆ ซึ่งการแบ่งสล็อตออกเป็นกลุ่ม ๆ นี้จะช่วยลดโอกาสที่ผู้ใช้แต่ละรายจะเข้าถึงยังสล็อตเดียวกันซึ่งทำให้เกิดการชนกันของการร้องขอ ซึ่งจะช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

โดยจากผลการวิเคราะห์ข้างต้นทำให้เราทราบว่ากระบวนการในการออกแบบโมเดลการเข้าถึงยังแต่ละสล็อตของเราสามารถใช้งานได้จริง นอกจากนี้ในบทความนี้เราได้ทำการทดลองแบ่งกลุ่มของสล็อตช่วงชิงออกเป็น 2 ถึง 10 กลุ่ม ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ในจะเห็นได้ว่าเมื่อเราทำการแบ่งจำนวนของสล็อตช่วงชิงออกเป็นกลุ่ม ๆ มากขึ้น ความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้นตามไปด้วย และจากการวิเคราะห์ยังทำให้เราได้ทราบอีกว่าเมื่อมีการแบ่งสล็อตออกเป็นกลุ่ม ๆ ทำให้ผู้ใช้แต่ละรายมีการสุ่มเลือกกลุ่มของสล็อตที่กระจายกันออกไปมากขึ้น เป็นผลให้เกิดชนกันลดลง หรือมีการชนกันรวมอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเป็นจำนวนมาก ทำให้กลุ่มอื่น ๆ ที่เหลือประสบความสำเร็จมากขึ้น ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ จะเห็นได้ดังรูปที่ 4.10 ว่ากระบวนการแบบกลุ่มโดยอาศัยการแจกแจงแบบมัลติโนเมียลนี้ให้ค่าวิสัยการเข้าถึงที่ดีกว่ารูปแบบอื่น ๆ อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] **Data-Over-Cable Service Interface Specifications Radio Frequency Interface Specification CM-SP-RFv1.1-C01-050907**, September, 2005.
- [2] Cable Labs. <http://www.cablelabs.com>
- [3] Moser, S. Martin, J. Westall, J.M. Dean, B.C., "The role of max-min fairness in DOCSIS 3.0 downstream channel bonding," *Sarnoff Symposium, 2010 IEEE* , vol., no., pp.1-5, April 2010
- [4] Berscheid, B. Salt, E. Nguyen, H.H., "An Economical, ISI-Immune Frequency Offset Estimator for DOCSIS Upstream Channels," *Broadcasting, IEEE Transactions on* , vol.58, no.2, pp.310-316, June 2012
- [5] John W. Eng and Jame F. Mollenauer, "IEEE Project 802.14: Standards for Digital Convergence," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 33, No. 5, pp. 20-23, May, 1995.
- [6] IEEE, "IEEE project 802.14/a Draft 2 Revision 2: Cable-TV Access Method and Physical Layer Specification (status: interim)," <http://www.802.14.org>, July, 1997.
- [7] IEEE, "IEEE project 802.14/a Draft 3 Revision 1: Cable-TV Access Method and Physical Layer Specification (status: interim)," <http://www.802.14.org>, April, 1998.
- [8] J. Lember, B. Van Houdt, C. Blondia, "Dimensioning the Contention Channel of DOCSIS Cable Modem Network," in *Proc. Networking 2005*, Vol. 3462, pp. 342-357, April, 2005.
- [9] Byung-Jae Kwak, Nah-Oak Song and Leonard E. Miller, "Performance Analysis of Exponential Backoff," *IEEE/ACM Trans.On Networking*, Vol.13, No. 2, pp. 343-355, April, 2005.
- [10] Seung-Eun Hong, Oh-Hyeong Kwon and Sung-Kyung Kim, "Performance Analysis of Single- and Multi-Channel Contention Resolution Algorithm for the DOCSIS MAC Protocol," *Proc. ICC 2006*, pp. 1083-1088.
- [11] Tomoya Saito, Kyoko Kato and Hiroshi Inai, "A request cluster allocation method for DOCSIS CATV/HFC networks," *Proc. ICCS 2002*, vol. 1, pp. 155-159.
- [12] R. M. Metcalfe and D. R. Boggs, "Ethernet: distributed packet switching for local computer networks," *Commun. ACM*, vol. 19, no.7, pp. 395-404, July, 1976.
- [13] Dolores Sala and John O. Limb, "Comparison of contention resolution algorithms for a cable modem MAC protocol," *Proc. Broadband Communications, Zurich, Switzerland*, pp. 83-90, 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Mark D. Corner, Jörg Liebeherr, Nada Golmie, Chatschik Bisdikian and Davic H. Su, “A priority scheme for the IEEE 802.14 MAC protocol for hybrid fiber-coax networks,” IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), Vol.8, No.2, pp. 200 – 211, April, 2000.
- [15] C. Bisdikian, B. McNil, R. Zeisz and R. Norman, “MLAP:A MAC Level Access Protocol for the HFC 802.14 Network,” IEEE Communication Magazine, Vol.34, pp. 114 – 121, March, 1996.
- [16] P. Mathys and P. Flajolet, “Q-ary Collision – Resolution Algorithm in Random – Access System with Free or Blocked Channel Access,” IEEE Transaction on Information Theory, Vol 31, pp. 217 – 243, March, 1985.
- [17] N. Sai Shankar, “A new contention resolution procedure for HFC access networks and its performance evaluation,” Journal of scheduling: Kluwer Academic, Vol. 7, No.2, pp.149-167, March, 2004.
- [18] J. Lambert, B. Van Houdt and C. Blondia, “Queues in DOCSIS cable modem networks,” Computer & Operations Research, Vol.35, pp. 2482-2496, August, 2007.
- [19] Dee Denteneer, Johan S.H. van Leeuwen, “Multiaccess Reservations & Queues,” Springer verlag, vol.10, 2008
- [20] Raphael Rom, Moshe Sidi, “Multiple Access Protocol,” Springer Verlag, New York,1990
- [21] YD. Lin, WM. Yin and CY. Huang, “An investigation into HFC MAC protocols: mechanisms, implementation, and research issues,” IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol.3, No.3, pp. 2-13, September, 1998.
- [22] L. Wei-Tsong , CH. Kun-Chen, CH. Kuo-Chih and P. Jen-Yi, “DOCSIS performance analysis under high traffic conditions in the HFC networks,” IEEE transactions on broadcasting, Vol.52, No.1, pp. 21-30, 2006.
- [23] Kamilo Feher, “Digital Communication,” Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1992.
- [24] Leonard Kleinrock, “Queueing Systems. Volume 1: Theory,” New York, John Wiley & Sons, 1975.
- [25] William Feller, “An Introduction to probability Theory and its Applications Vol.1 Third Edition,” John Wiley & Sons, Inc., 1968
- [26] Catherine Forbes, Merran Evans, Nicholas Hastings and Brian Peacock, “Statistical Distributions 4th edition,” John Wiley & Sons, Inc., 2011
- [27] Douglas C. Montgomery, George C. Runger, “Applied Statistics and Probability for Engineers Third Edition,” John Wiley & Sons, Inc., 2003
- [28] กฤดากร กล่อมการ, “การสื่อสารข้อมูล” กรุงเทพฯ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [29] ผศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ, “การสื่อสารดิจิทัล” กรุงเทพฯ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551.
- [30] บัณฑิต วิจารณ์ารยานนท์, “หลักการไฟฟ้าสื่อสาร” กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [31] รศ.ดร.สุวิพล สิริธิชีวกภาค, “ความน่าจะเป็นตัวแปรสุ่มและกระบวนการสุ่ม” กรุงเทพฯ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.
- [32] รศ.ดร.สุวิพล สิริธิชีวกภาค, “เทคโนโลยีการสื่อสารระบบดิจิทัล” กรุงเทพฯ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Thanyawarat Pawasopon, Suvepon Sittichivapak, “The Contentions Resolution Algorithms by Random Slot Multiple Access for DOCSIS Protocol,” ISAP 2011 , October 2011, Jeju, Korea
2. Thanyawarat Pawasopon, Suvepon Sittichivapak, “Performance analysis of random slot multiple access algorithms for DOCSIS protocol,” 2011 IEEE Region 10 Conference (TENCON 2011) , 554 - 557, Nov. 2011, Bali, Indonesia
3. Thanyawarat Pawasopon, Suvepon Sittichivapak, “A Numerical Analysis for Contention Resolution in Contention Slots of Wireless DOCSIS,” Advanced Science Letters, Volume 22, Number 10, October 2016, pp. 3076-3079



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“Towards Green Convergence”

2011 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANTENNAS AND PROPAGATION



ISAP2011

October 25~28, 2011 / Lotte Hotel Jeju, Jeju, Korea

Organized & Sponsored by

- Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science (KIEES)

Co-Sponsored by

- Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE)

Technically Co-Sponsored by

- Antennas and Propagation Society of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE/AP-S)
- Antennas Society of CIE (CIE-AS)
- International Union of Radio Science (URSI)
- The Institute of Electronics Engineers of Korea (IEEK)
- IEEE AP-S Seoul Chapter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The Contentions Resolution Algorithms by Random Slot Multiple Access for DOCSIS Protocol

#Thanyawat Pawasopon¹, Suvepon Sittichivapak²

¹ Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand, thanyawat_p@hotmail.com

² Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand, kssuvepo@kmitl.ac.th

Abstract

Data-Over-Cable Service Interface Specifications (DOCSIS) permit the addition of high-speed data transfer to an existing Cable TV (CATV) system. In this paper, simple transmission protocol is considered. We propose random slot multiple access algorithm for contentions resolution. In this algorithm, p -persistence value for each user is prepared for mini-slot selection, and also, mini-slot in each slot and users are divided into groups. The user in each group will access to the allocated mini-slot with the designed persistence value. Then, the algorithm can reduce the collision problem when two or more users access to the same mini-slots. The system performances are analyzed and the result is shown in throughput and time delay of system.

Keywords : DOCSIS HFC network Cable modem Multiple access Groups division

1. Introduction

Data-Over-Cable Service Interface Specifications (DOCSIS) is *de facto* standard developed to define communication and operation support interface requirement a data-over-cable system.

Fig. 1 is shows DOCSIS architecture;

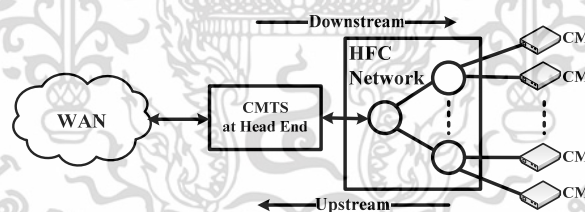


Figure 1: DOCSIS architecture.

In Hybrid Fiber-Coax (HFC) cable network, each branch is composed of downstream channel and an upstream channel. Cable Modem Terminal System (CMTS) at the Head End (HE) is the only transmitter on the downstream channel. The upstream channel is divided into fixed length time slot called mini-slots. Each frame of mini-slots consists of contention mini-slot (CS), are used for Cable Modem (CM) transmit a request, and data mini-slots (DS), are used to transmit data. The detailed mini-slot allocation of each frame is specified via a control message, called MAP, which is periodically transmitted by the CMTS on the downstream channel.

When any CM that wants to transmit data on the upstream channel, it first sends a request via the CS on upstream channel to the CMTS. After the CMTS has completely received CS, it uses the downstream channel to send feedback on CS to the station. The feedback indicates whether a CS was empty, successful, or contained a collision. If a request is successful, the CMTS will allocate an upstream bandwidth for the station in a future allocation MAP. If the request results in a collision, MAC will initiate a collision resolution process.

Random access schemes for packet networks require contention resolution algorithms and protocol for resolving packet collisions due to contention by the uncoordinated terminal. In this paper, we proposed simple contention resolution algorithm, called *random slot multiple access algorithm*, as explained in Section 2.

งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. System Models

2.1 The Random Slot Multiple Access Algorithms

DOCSIS has a central control, called CMTS, and multiple users. Each user has a unique ID after registering into network. The CMTS schedules random access of all users to mini-slot. In order to reduce request packet collisions, access CS is designed. In the beginning of each frame, the CMTS broadcast a MAP message to all users asking for access request. Every user then sends a request packet to CMTS during the CS

In this paper assume as all users have a ready data packet to send into CS, the CS slot is V slots, the number of user is n users and a user transmits only one request message in only one CS.

The random slot multiple access algorithm is algorithm that uses a p -persistence value resolves contention, when p is transmission require probability of each user which random in range $[0,1]$. Each user is sent a request packet in CS that designed for each p value. If there are two or more users selected same p value, the collision occurs.

Example, we assume that in one slot have 10 CSs. Then, we define user who selected p is 0.1 will be access in the 1st CS and other CS as same before .It illustrated in Fig. 2.

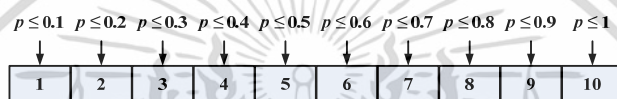


Figure 2: The random slot multiple access algorithms.

2.2 Groups Division

In this paper proposed groups division method two methods. The first method, number of CS and users are divided into two equivalent groups. The 1st group of users is accessed in the 1st group of CS as shown in Fig. 3.

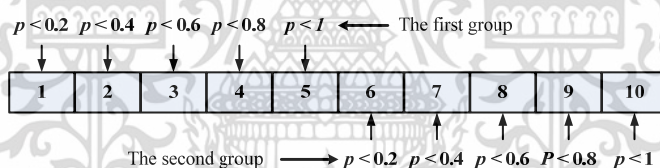


Figure 3: The division mini-slot two equivalent groups.

The other method liked above method but number of CS and users are divided into two unequal groups. It is shown in Fig. 4.

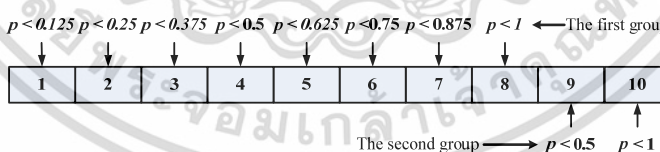


Figure 4: The division mini-slot two unequal groups.

3. Performance Analysis

3.1 Analysis of random slot multiple access

Let's consider that n users can get k CS for transmission can be expressed as below;

$$P_{in}(n) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} \quad (1)$$

In this expression, each user persists to transmit with probability p . Let's S_k define the summation of all success probabilities in k given CS. It is

$$S_k = \frac{\binom{V}{k} \binom{n}{k} k! (V-k)^{n-k}}{V^n} \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

On the condition that n users transmit packets in V slots, the probability $P_s(k | n, V)$ that k users get success is given by

$$P_s(k | n, V) = S_k \left[1 - S_1 + S_2 - S_3 + \dots + (-1)^{\min(V-k, n-k)} S_{\min(V-k, n-k)} \right]$$

$$= \frac{(-1)^k V! n!}{V^n k!} \sum_{i=k}^{\min(n, V)} \frac{(-1)^i (V-i)^{n-i}}{(i-k)!(n-i)!(V-i)!} \quad ; \quad 0 \leq k \leq \min(V, n) \quad (3)$$

Therefore, equations (1) and (4), the result that the expected value of total CS accessed in one slot S is as follow:

$$S = J \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left[P_m(n) \cdot \sum_{k=1}^{\min(n, V)} k \cdot P_s(k | n, V) \right] \quad (4)$$

When, J is message length that is generally distributed with mean data packets.

3.2 Analysis of groups division

Let's V_1 is number of CS of the 1st group and V_2 is number of CS of the 2nd group. Let's n_1 is number of users of the 1st group and n_2 is number of users of the 2nd group. Therefore the probability of k_1 users in 1st group and the probability of k_2 users in 1st group getting success may be directly obtained from equation (3).

$$P_1(k_1 | n_1, V_1) = \frac{(-1)^{k_1} V_1! n_1!}{V_1^{n_1} k_1!} \sum_{i=k_1}^{\min(n_1, V_1)} \frac{(-1)^i (V_1-i)^{n_1-i}}{(i-k_1)!(n_1-i)!(V_1-i)!} \quad (6)$$

$$P_2(k_2 | n_2, V_2) = \frac{(-1)^{k_2} V_2! n_2!}{V_2^{n_2} k_2!} \sum_{i=k_2}^{\min(n_2, V_2)} \frac{(-1)^i (V_2-i)^{n_2-i}}{(i-k_2)!(n_2-i)!(V_2-i)!} \quad (7)$$

Let's S_1 is the expected value of total CS accessed in one for group division. Then, S_1 is given by

$$S_1 = J \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left[P_m(n) \cdot \sum_{k=1}^{\min(n, V)} [P_1(k_1 | n_1, V_1) + P_2(k_2 | n_2, V_2)] \right] \quad (8)$$

3.3 Throughput and Delay

Normalize throughput is define as

$$T = \frac{S}{L} \quad ; \quad L = \text{Size of CS} + \text{size of DS} \quad (9)$$

And, normalized delay is given by

$$D = \frac{n}{T} + \frac{1}{\lambda} + 1 \quad ; \quad \lambda \text{ is arrival rate} \quad (10)$$

3.4 The analysis result

In this paper, we define number of CS to 10 slots and 50 active users. In the unequal groups division, number of CS and active users are divided into 4/5 and 1/5.

From analysis of the success probability of random slot multiple access and groups division, the equivalent groups division has the most value as shown in Fig. 5.

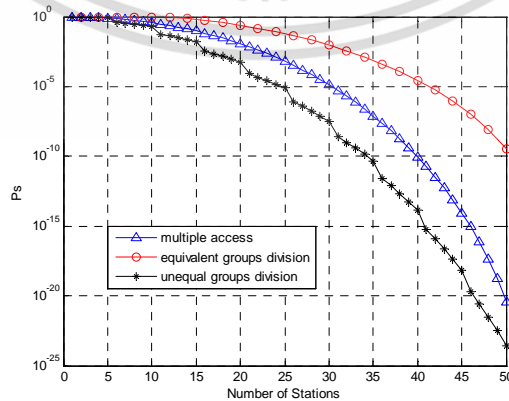


Figure 5: Ps VS number of stations

Because, it is the summation of success probabilities of each groups. In other hands, the unequal groups division has a great number of contentions in minority group. Then, the summation of success

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

probability of each group has the least value. So the equivalent groups division has the best throughput and the best delay. And the unequal groups division has the least throughput and the least delay. They are shown in Fig. 6 (a) and (b).

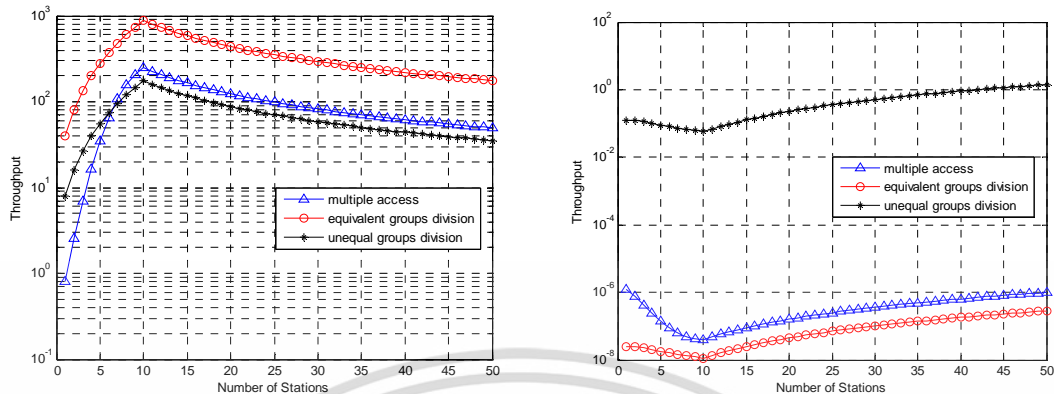


Figure 6: (a)Throughput VS number of stations (b)Delay VS number of stations

From Fig. 6 (a) and (b), we can see that the efficiency of system is increased when number of active user have equal to number of the CS. Because one user can access in one CS then it hasn't the collision happen. When, numbers of user have more than number of the CS, the efficiency of system is reduced. Because it has the contention and the collision happened.

4. Conclusion

In this paper, the simple contention resolution algorithm is proposed by used p -persistence value resolves contention and randomly selected mini-slots processes are analyzed. From analysis of the probability $P_s(k|n,V)$ that k users get success in CS, we are learned that when the CS are divided into equivalent groups, it make for the system have increased efficiency. But, when the CS are divided into unequal groups, it make for the system have reduced efficiency.

References

- [1] Data-Over-Cable Service Interface Specifications Radio Frequency Interface Specification CM-SP-RFIV1.1-C01-050907, Sep. 2005
- [2] Tomoya Saito, Kyoko Kato and Hiroshi Inai , "A request cluster allocation method for DOCSIS CATV/HFC networks", *Proc. ICCS2002*, vol. 1, pp. 155-159.
- [3] Wuyi Yue, Yutaka Matsumoto, "Performance analysis of multi-channel and multi-traffic on wireless communication networks", Springer, 2002The Contention Resolution Algorithms.

Acknowledgments

This work was supported by the Telecommunications Research and Industrial Development Institute, National Telecommunications Commission Fund (Grant No. PhD 011/2553) is gratefully acknowledged.



TENCON 2011

2011 IEEE REGION 10 CONFERENCE

Trends and Development in Converging Technology towards 2020



November 21-24, 2011
Bali, Indonesia

<http://www.tencon2011.com/>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TENCON 2011

TENCON 2011

2011 IEEE REGION 10 CONFERENCE

21-24 November 2011

Bali, Indonesia

COPYRIGHT AND REPRINT PERMISSION :

© 2011 IEEE. Personal use of this material is permitted. However, permission to reprint/republish this material for advertising or promotional purposes or for creating new collective works for resale or redistribution to servers or lists, or to reuse any copyrighted component of this work in other works must be obtained from IEEE

Copyright © 2011 by The Institute of Electrical and Electronics Engineers

Papers are printed as received from the authors.

All opinions expressed in the Proceedings are those of the authors and are not binding on the Institute of electrical and Electronics Engineers, Inc.

IEEE Catalog Number : CFP11TEN-ART

ISBN : 978-1-4577-0255-6

Editors : Wahidin Wahab, Abdul Muis and Mia Rizkinia

Publisher : Electrical Engineering Department, Universitas Indonesia
Depok, West Java 16424 INDONESIA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance analysis of random slot multiple access algorithms for DOCSIS protocol

Thanyawat Pawasopon Suvepon Sittichivapak
 Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Bangkok, Thailand
 E-mail: thanyawat_p@hotmail.com kssuvepo@kmitl.ac.th

Abstract- This paper proposes the analysis of random slot multiple access algorithms for DOCSIS (Data-Over-Cable Service Interface Specifications) protocol. These algorithms are the contention mini-slots resolution algorithms that uniformly generate probability p of each user need to send a request. They can increase an efficiency of mini-slot access. In this paper, we analyze efficiency of these algorithms by consideration of throughput and delay of system. And, the analysis results provide a comparative evaluation of the Truncated Binary Exponential Back-off (TBEB) that is widely studied algorithm for DOCSIS protocol.

I. INTRODUCTION

The *de facto* standard for delivering broadband services over Hybrid Fiber Coax (HFC) cable TV networks is Data-Over-Cable Service Interface Specifications (DOCSIS) protocol [1]. Cable operators are interested in deploying high-speed packet-based communication system on Cable TV (CATV) system.

The intended service will allow transparent bi-directional transfer of Internet Protocol (IP) between the Cable Modem Terminal System (CMTS) at head-end and Cable Modem at each customer location as shown in Fig. 1.

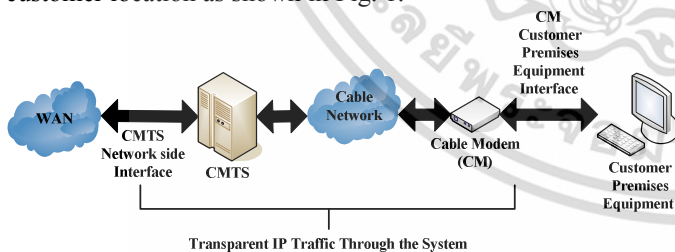


Fig. 1 Transparent IP Traffic Through the Data-Over-Cable System.

The typical architecture of HFC network is a tree-and-branch network topology. Each branch consists of downstream channel and upstream channel as shown in Fig.2. Downstream channel is a point-to-multipoint broadcast channel. The CMTS at the Head end (HE) is the only transmitter on the downstream channel; no downstream MAC mechanism is needed. While upstream channel is a multipoint-to-point shared channel

which is shared by number of CMs and MAC mechanism is required.

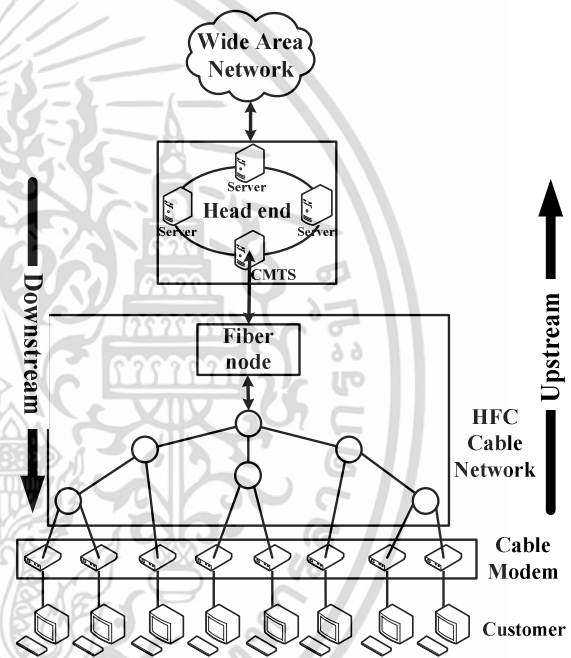


Fig. 2 The HFC network architecture.

The upstream channel is divided into multiple slots with all slots equal to one time unit. Each slot is comprised of contention mini-slot (CS), are used for CM transmit a request, and data mini-slots (DS), are used to transmit Data PDU. The DOCSIS frame structure is shown in Fig. 3. The detailed mini-slot allocation of each frame is specified via a control message, called MAP, which is periodically transmitted by the CMTS on the downstream channel. In each MAP contains a Request IE, some Data Grant IEs, Null IE and some management information. The Request IE specified the contention interval of the next frame; a Data Grant IE describes the transmission interval for a CM to transmit packets, and the Null IE terminates the assignment list. If more than one CM attempts to transmit a request in the same mini-slot of CS at the same time, a collision occurs. If the request results in a collision, MAC will initiate a collision resolution process.

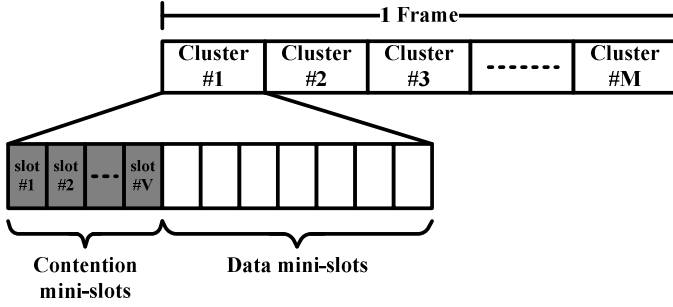


Fig. 3 DOCSIS frame

When any CM that wants to transmit data, it first sends a request via the CS on upstream channel to the CMTS. After the CMTS has completely received CS, if a request is successful, CMTS will send Data Grant Information Elements (IEs) via a MAP that described the usage of the DS in the next frame to CM that successfully request DS.

The Truncated Binary Exponential Back-off (TBEB) algorithm [2-5] has been widely studied for DOCSIS. The aim of the TBEB is to minimize the collision probability between the requests packets transmitted in the contention region. Therefore, each CM has to postpone every transmission attempt by a random time interval. The length of this time interval, called the back-off interval, indicates the number of consecutive unsuccessful transmission increases. This is, at each attempt to transmit a request packet. The length of the back-off interval is uniformly chosen in the range $[0, CW - 1]$, where CW is the current contention window size. In the DOCSIS standard, when channel collision happens, the colliding nodes exponentially increase the back-off window and the CW is set to 2^i , where i is the number of collision that the CM has experienced for the request message it is attempting to transmit, with equal probability for the next transmission. If i reaches a predetermined maximum value, then i is set to a minimum value and the next cycle begin.

Although that algorithm can reduce the collisions in the next request but the station increases its back-off window size is doubled when a collision occur. So in this paper, we proposed the random slot multiple access algorithms that can solve this problem, as explained both algorithms in Section II.

II. THE RANDOM SLOT MULTIPLE ACCESS ALGORITHMS

The random slot multiple access algorithms are algorithm that uses a p value resolves contention. By process of this algorithm will random p value in range $p \in (0,1)$, when p is transmission require probability of each station. If there are 2 stations which are selected same p , the collision occurs.

Probability of event that c stations get success in transmission when m stations transmit a request in V mini-slot of the CS is given by:

$$P_s(c|m,V) = \frac{(-1)^c V! m! \sum_{j=c}^{Min(m,V)} (-1)^j (V-j)^{m-j}}{V^m c! (j-c)!(m-j)!(V-j)!} \quad (1)$$

Where $0 \leq c \leq Min(m,V)$

Let's $P_{in}(m)$ is probability that m stations from N stations transmit data request in Mini-slot cluster. We consider the case of uniform distribution, then $n = \frac{User}{Cluster}$

$$P_{in}(m) = \binom{n}{m} p^m (1-p)^{n-m} \quad (2)$$

Moreover, let's denote by $S(m,n)$ the expected value of aggregate data slots (DS) requested. We obtains

$$S(m,V) = J \cdot \sum_{c=1}^{Min(m,V)} c \cdot P_s(c|m,V) \quad (3)$$

Where J assume to be message length that is generally distributed with mean Data PDU packets.

Therefore, formulae (1) and (2), the expected value of total CS accessed in one frame S of each model of these algorithms are as follow:

A. The first model

The first model, each user will choose p value. They access to mini-slot that each mini-slot is defined for each p value. Example, if user random p is 0.1, it will send in mini-slot in the 1st slot as illustrated in Fig. 4 and flow chart of this model shown in Fig 5.

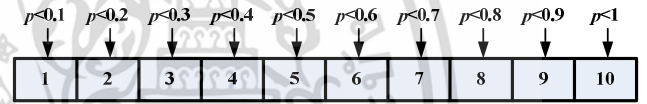


Fig. 4 The arrival mini-slots for the first model.

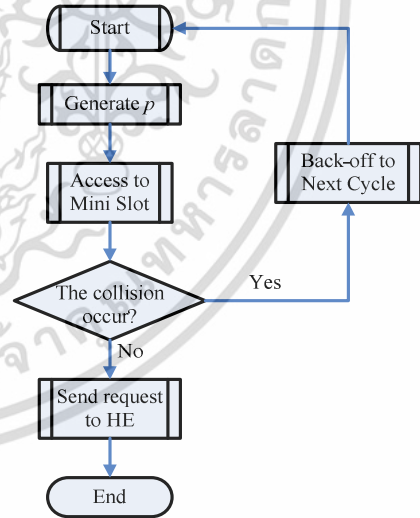


Fig.5 Flow chart of the first model

The result that the expected value of total CS accessed in one frame S of this model is given by:

$$S_1 = J \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \left[P_{in}(m) \left(\sum_{c=1}^{Min(m,V)} c \cdot P_s(c|m,V) \right) \right] \quad (4)$$

B. The second model.

In the second model, frames are divided which have 10 mini-slots become to 5 mini-slots. And assign that, if the stations are odd addresses, it will randomly select in the 1st - 5th mini-slot. On the other

hand, if the stations are event addresses, it will randomly select in the 6th - 10th mini-slot as shown in Fig. 6 and flow chart of this model shown in Fig. 7.

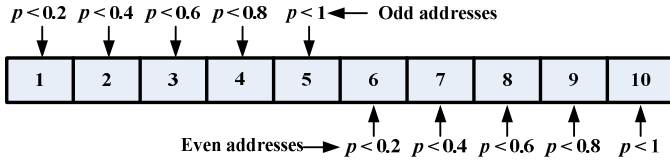


Fig. 6 The arrival mini-slots for the third model.

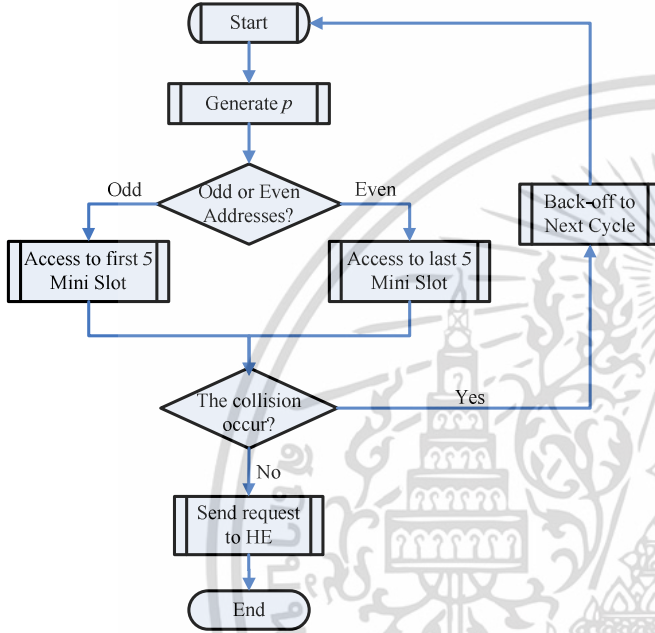


Fig.7 Flow chart of the third mode

In analytical process, we will consider 2 events. The first event is stations that are odd address can successfully access to the 1st-5th mini-slot. Let $P_s(c_o | m_o, V)$ denote probability of this event. The second event is stations that are even address can successfully access to the 6th - 10th mini-slot. Let $P_s(c_e | m_e, V)$ denote probability of this event.

When c_o and c_e are number of stations that are odd address can successfully transmit a request to the 1st-5th mini-slot and number of stations that are even address can successfully transmit a request to the 6th - 10th mini-slot, respectively, and $c_o = c_e$.

The result that the expected value of total CS accessed in one frame S of this model is given by:

$$S_2 = J \sum_{m=1}^{\infty} \left[P_{in}(m) \left(\sum_{c=1}^{\text{Min}(m,V)} c(P_s(c_e | m_e, V/2) + P_s(c_o | m_o, V/2)) \right) \right] \quad (5)$$

When $m_o = m_e = m/2$

C. Throughput and delay.

Normalized throughput is define as [6]

$$T = \frac{S}{L} \quad ; \quad L = \text{size of CS} + \text{size of DS}$$

And, normalized delay is given by [6]

$$\hat{D} = \frac{m}{T} - \frac{1}{\lambda} + 1 \quad ; \quad \lambda \text{ is Arrival rate}$$

D. Analysis results.

From the analysis, we compare the random slot multiple access algorithms with TBEB algorithm that is studied in [2-5]. This follows is the result that get from analysis and comparing the random slot multiple access algorithms with TBEB algorithm.

Fig. 8 shows throughput versus number of stations of the random slot multiple access algorithms compare TBEB where the system has 50 stations.

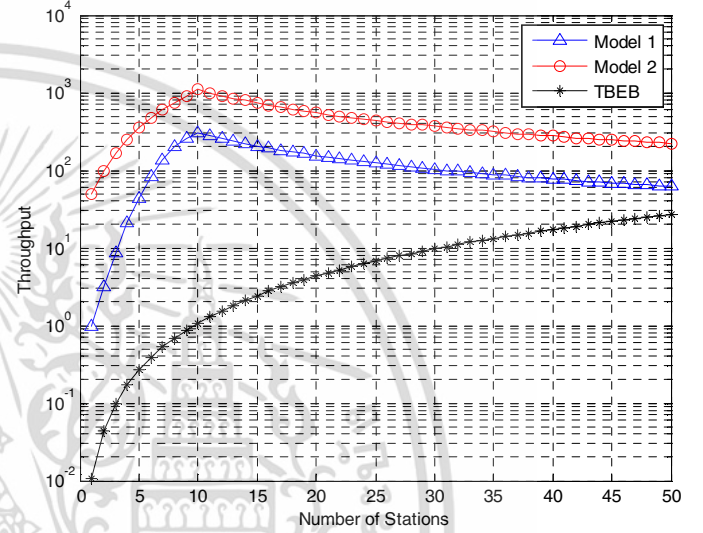


Fig. 8 Throughput VS number of stations

From Fig. 8, the throughput of the random slot multiple access algorithms have increase up to 10 because the system is defined that all stations have a request to sent, thus throughput is increase up to number of CS. After that, the throughput is gradually decreased because number of stations is more than number of CS; the collision is occurred, so throughput is decrease.

Fig. 9 shows delay versus number of stations of the random slot multiple access algorithms compare TBEB algorithm.

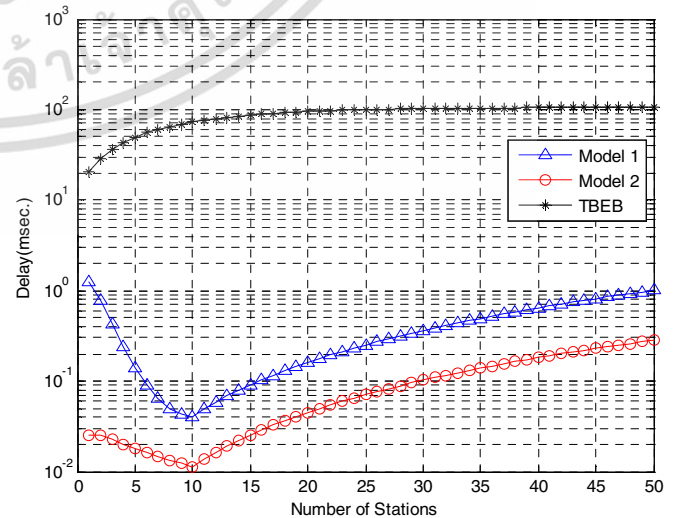


Fig. 9 Delay VS number of stations

From Fig. 9, the delay of the random slot multiple access algorithms have increase up to number of CS. After that, the delay is gradually decreased.

From Fig. 8 and Fig. 9, we see that an efficiency of the random slot multiple access algorithms are better than TBEB algorithm. Furthermore, we also see that the second model of the random slot multiple access algorithms have efficiency better than the first model because the second model has successfully transmission probability (Ps) more than the first model as shown in Fig. 10.

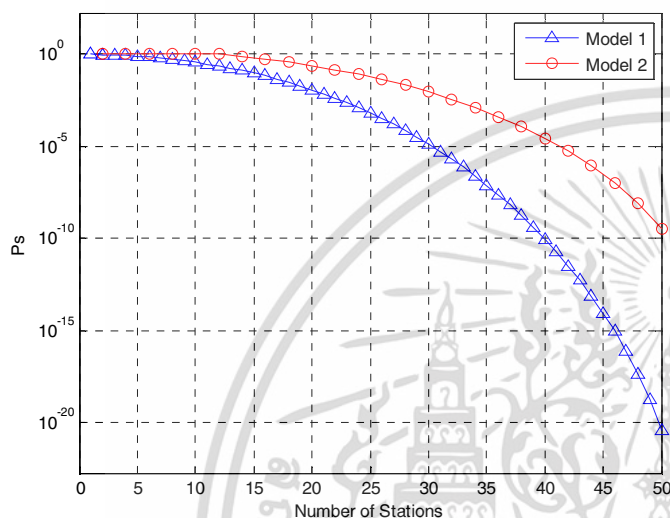


Fig. 10 Ps VS number of stations

III. CONCLUSION

In this paper propose new contention resolution algorithms for DOCSIS protocol, called the random slot multiple access algorithms. By it is proposed 2 models.

From analysis result, we learn that the random slot multiple access algorithms can resolve contention and collision problem and increase efficiency of system. Furthermore, we also know that when the CS are divided into half, it make for the system have increased efficiency. In addition, it also decreases contention window that unnecessary loss same TBEB algorithm because it hasn't double the contention window when the collision happen.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Telecommunications Research and Industrial Development Institute, National Telecommunications Commission Fund (Grant No. PhD 011/2553) is gratefully acknowledged.

REFERENCES

- [1] Data-Over-Cable Service Interface Specifications Radio Frequency Interface Specification CM-SP-RFiv1.1-C01-050907, Sep. 2005
- [2] J. Lambert, B. Van Houdt, C. Blondia, "Dimensioning the Contention Channel of DOCSIS Cable Modem Network", in *Proc. Networking 2005*, vol. 3462, Canada: Waterloo, April 2005, pp.342-357.
- [3] Byung-Jae Kwak, Nah-Oak Song and Leonard E. Miller, "Performance Analysis of Exponential Backoff", *IEEE/ACM Trans. On Networking*, vol.13, no. 2, April 2005, pp. 343-355.

- [4] Seung-Eun Hong, Oh-Hyeong Kwon and Sung-Kyung Kim, "Performance Analysis of Single- and Multi-Channel Contention Resolution Algorithm for the DOCSIS MAC Protocol", *Proc. ICC 2006*, pp. 1083-1088.
- [5] Kai-Chien Chang and Wanjiun Liao, "The Contention Behavior of DOCSIS in CATV Networks", *IEEE Trans. On Broadcasting*, Vol 53, no.3, September 2007, pp. 660-669.
- [6] Wuyi Yue, Yutaka Matsumoto, "Performance analysis of multi-channel and multi-traffic on wireless communication networks", Springer, 2002The Contention Resolution Algorithms

VOLUME 22 • NUMBER 11

NOVEMBER 2016

www.aspbs.com/science

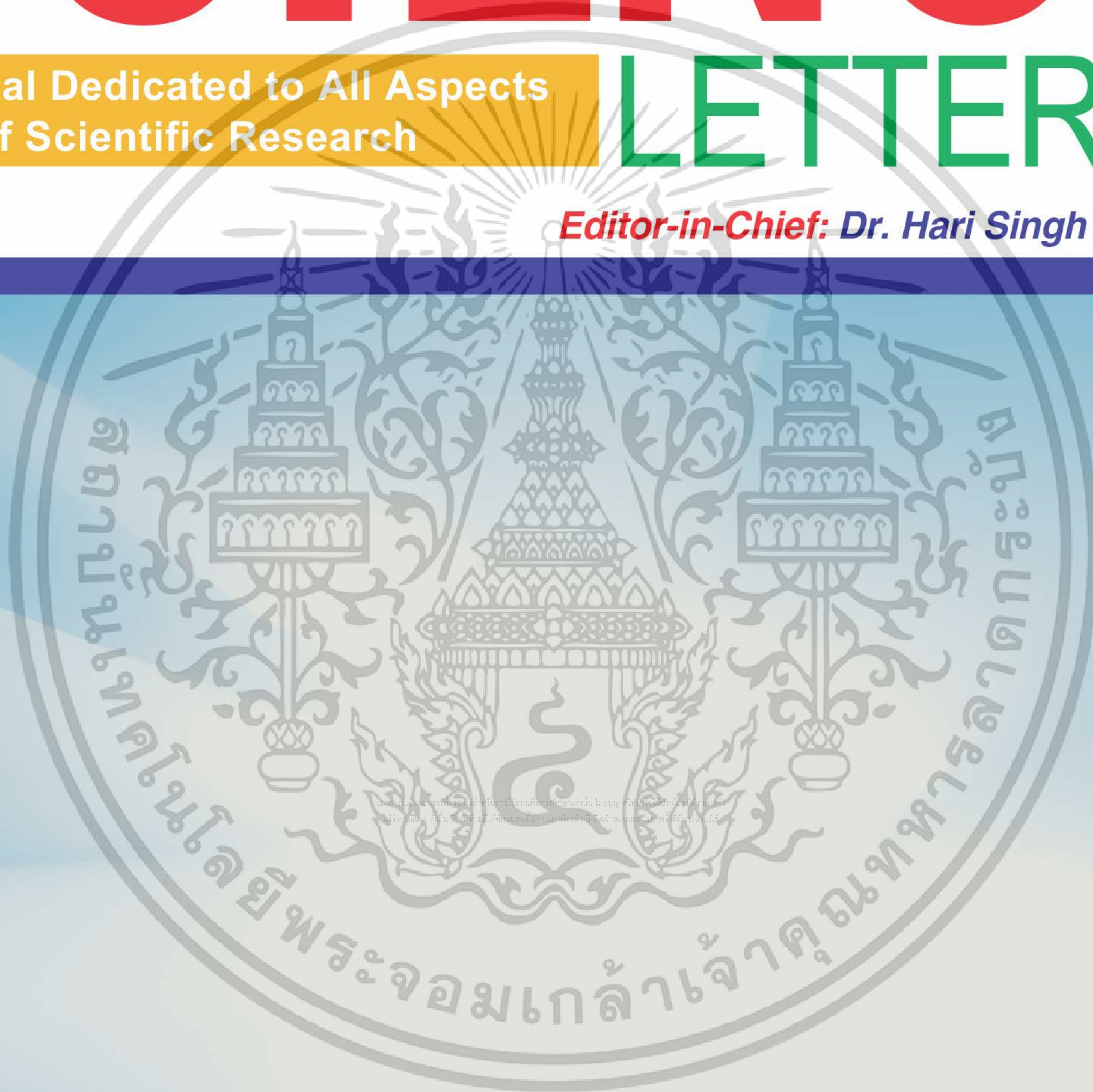
Advanced

SCIENCE

A Journal Dedicated to All Aspects
of Scientific Research

LETTERS

Editor-in-Chief: Dr. Hari Singh Nalwa, USA



Special Sections on
Advanced Science and Information Technology

GUEST EDITORS: Jae-Saeng Kim, Sok-Pal Cho, and Hwa-Young Jeong

The 8th National Conference on Thermophysical Properties (NCTP-2015)
Jaipur, India, 14–16 December 2015

GUEST EDITORS: Mahesh Baboo and N. S. Saxena



AMERICAN
SCIENTIFIC
PUBLISHERS



A Numerical Analysis for Contention Resolution in Contention Slots of Wireless DOCSIS

Thanyawat Pawasopon* and Suvepon Sittichivapak

Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Wireless DOCSIS was developed for an enhanced version of DOCSIS by a group of cable operators. It is used in broadband wireless applications on CATV network. In this paper presents a numerical analysis that is used to resolve the contention in contention slots of Wireless DOCSIS. This method assigns each user access to the each contention slot with difference persistent value. It can resolve the contention in contention slots. Furthermore, we also separate user and contention slot into many groups and assign the user in each group access to contention slot in each group with different persistent value. This method can reduce opportunity that many users access in same arbitrary contention slot. In this paper, we analyze the performances of method with the value of successful probability of system.

Keywords: Wireless LAN, Broadband communication, Multi-access communication, Access protocols, Cable TV.

1. INTRODUCTION

Wireless DOCSIS was modified by a group of cable operators for used in broadband wireless applications on CATV network. It was developed for an enhanced version of DOCSIS.¹⁻³

The architecture of Wireless DOCSIS consists of the Base Transceiver Station (BTS) which is the central control system, the Customer Premises Equipment (CPE) Modem at each user location (Following we will call CPE Modem that “user”) and BWA Radio Over-the-air Interface, each branch is composed of downstream channel⁴ which is used to transmit a control message that described the detailed mini-slot allocation of each frame and upstream channel⁵ which is divided into multiple mini-slots that is composed of contention slots which are used to transmit a request and data slots which are used to transmit data.

When any user wants to transmit data, they will send a request via contention slots on upstream channel to BTS. After the BTS has completely received a request, it will send mini-slot allocation via control message to users which sent a request. If more than one user send a request in the same contention slot at the same time, that contention slot will have a collision. Then MAC will start the collision resolution process.^{6,7}

Because the contention only occurs at contention slots, then we only consider on contention slots.

In this paper, we propose a numerical analysis that each user access to each contention slot with different persistent for resolve contention, as explained in Section 2. Furthermore, we also

separate each user into many access groups and assign each group that access slots in a frame with different persistent value. It can reduce opportunity that many users access to the same slot. The performances of our method are analyzed and result is shown in the value of successful probability of system.⁸⁻¹²

2. NUMERICAL MODEL

In our model, we assign each slot has a different persistent. When a user wants to send a request to the contention slot, a user will persist to send out a request into the arbitrary contention slot with persistent probability P_N . If more than one user chooses to send out a request with same P_N , the collision will occur as shown in Figure 1.

The existing numerical analysis^{6,7} considered two events that are successfully access event and unsuccessfully access event. In this paper, we will consider three events of contention slot which include Success event refers to contention slot which has only one user access to that slot, Collision event refers to contention slot which has more than one user access to that slot and Idle Event which had no user access to that slot.

Thus in numerical analysis, we used the multinomial distribution to assign contention slot access.

Let the number of users is N , the number of contention slots is M .

We define j = slot number j , i = possible pattern i^{th} , $a_{i,j}$ = value inside slot j and have K users can successfully access in arbitrary contention slot.

*Author to whom correspondence should be addressed.

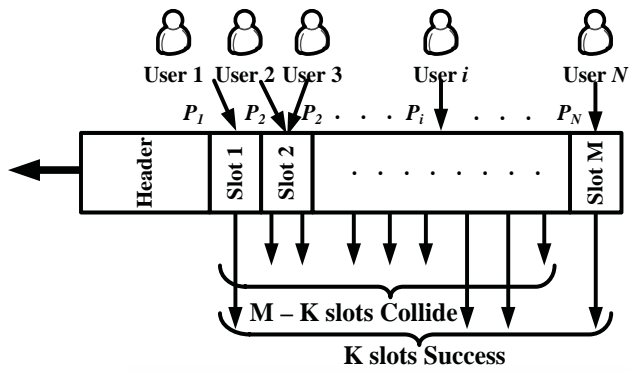


Fig. 1. The behavior of users in our model.

	Slot 1	Slot 2	...	Slot K	Slot K+1	Slot K+2	Slot K+3	...	Slot M
Pattern 1	1	1	...	1	$N-K-0$	0	0	...	0
Pattern 2	1	1	...	1	$N-K-1$	$N-K-N_{K+1}$	0	...	0
Pattern 3	1	1	...	1	$N-K-2$	$N-K-N_{K+1}$	$N-K-N_{K+2}$	...	0
...
Pattern i	1	1	...	1	$N-K-(i-1)$	$N-K-N_{K+1}$	$N-K-N_{K+2}$	...	$N-K-N_{M-1}$

Fig. 2. Successful patterns.

In order to simply calculate, we assign a value to each slot following:

— $a_{i,1}$ to $a_{i,K}$ is 1.

— $a_{i,K+1}$ is $N - K - k$, where $k = 0, 1, 2, \dots, i-1$.

— $a_{i,K+2}, \dots, a_{i,M}$ is $N - \sum_{j=1}^{j-1} a_{i,j}$, respectively.

If $a_{i,K+1}, \dots, a_{i,M}$ have value is 1, that pattern isn't considered.

From Figure 2, an assignment slot access step of our algorithm which is used to assign the access slot and calculate successful probability in each contention period is as shown in Figure 3.

For Example, we assume that the system has 10 contention slots, 15 users which ready to send a request and 5 users can successfully transmit a request into contention slots. The assignment slot access step of our algorithm and total possible pattern for this example is illustrated in Figure 4.

The probability of each successful pattern and successful probability of system can be calculated in next section.

3. ANALYSIS MODEL

The probability that N users persist to send out request into the arbitrary contention slot can be expressed as

$$P_a(N) = \frac{N!}{a_1!a_2!\dots a_N!} \quad (1)$$

where: $a_1, \dots, a_N = A$ value in each contention slot.

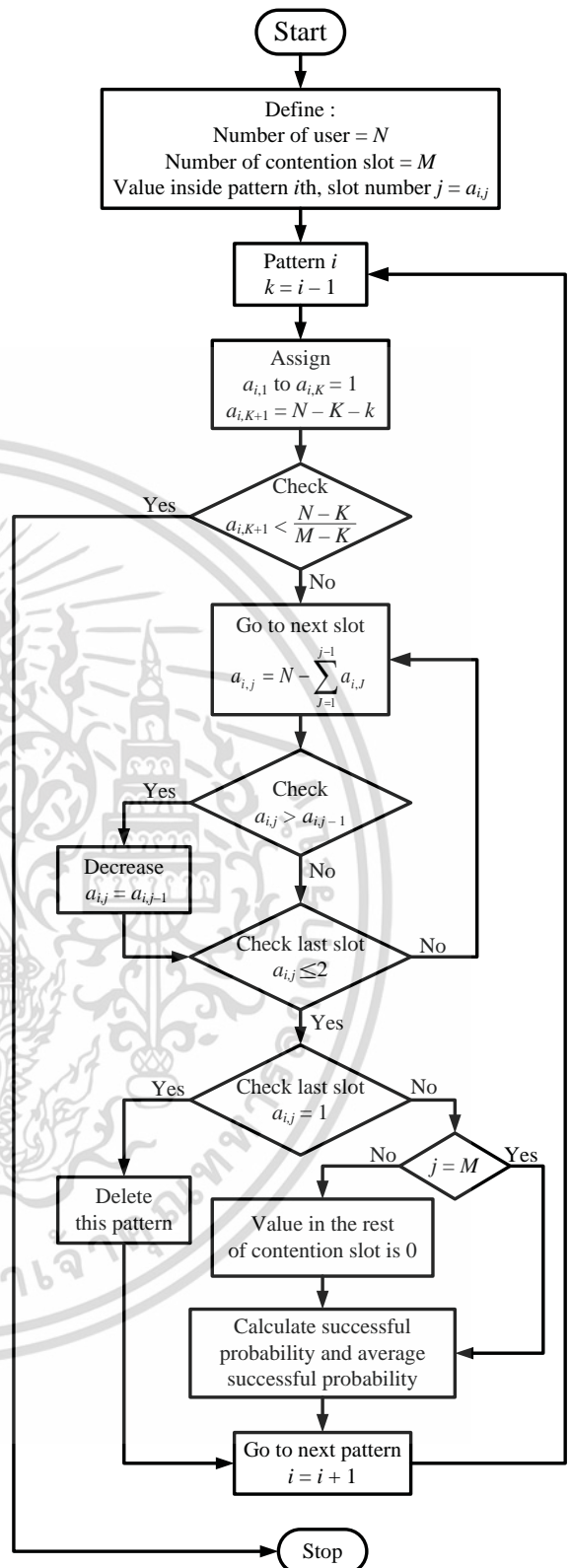


Fig. 3. Flowchart of assignment slot access

The probability that M slots have been occupied by arbitrary user is expressed as

$$P_b(M) = \frac{M!}{b_1!b_2!\dots b_M!} \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

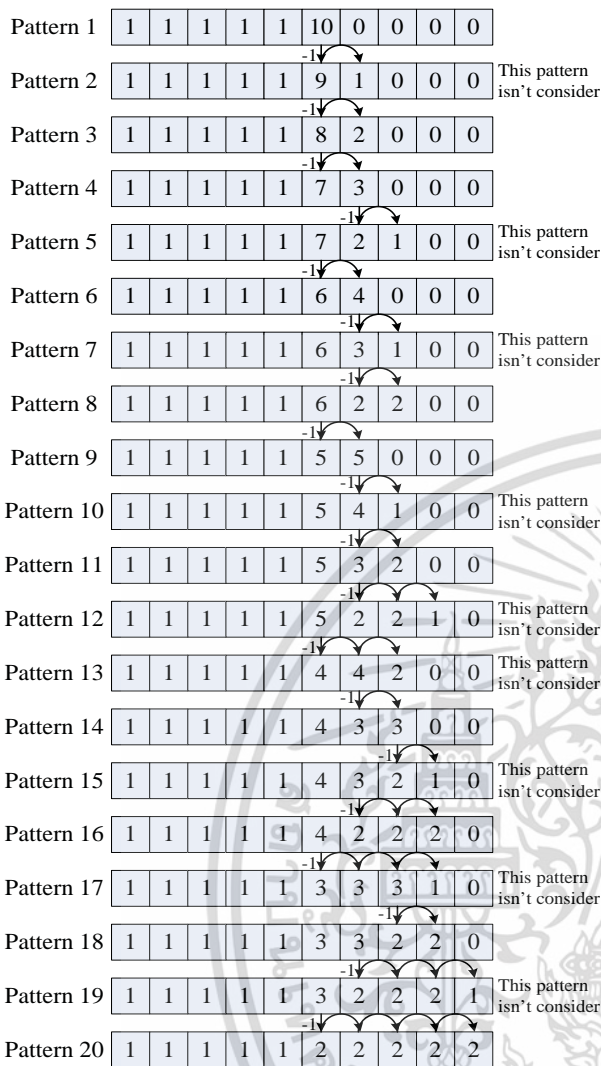


Fig.4. Example Successful Patterns

where: b_1, \dots, b_M = the number of slot which has same the number of users. For example, a_1, a_2 have same value is 1 then $b_1 = 2$.

From Eqs. (1) and (2), the distribution probability that each user persists to send a request in frame is as follow:

$$P(N, M) = [P_a(N) \cdot P_b(M)] \cdot P_1 P_2 \dots P_N \quad (3)$$

Now, we consider each successful pattern, namely $a_1 = a_2 = \dots = a_k = 1$ and $a_{k+1}, \dots, a_M \neq 1$. Successful probability (P_{SUC}) is given by

$$P_{SUC} = \text{Summation of successful patterns} = \sum_{a_1=a_2=\dots=a_K=1, (a_{K+1}, \dots, a_M) \neq 1} P(N, M) \quad (4)$$

Furthermore, we also divided contention slots and users into many groups and assign each group with different persistent value that access to the arbitrary contention slot in a frame. Then user of each group will access to contention slot with independent persistent value. This method can reduce an opportunity that more than one user access to same contention slots.

The probability that each user persists to send each group $P_G(N_G, M_G)$ in a frame is directly obtained from Eq. (3):

$$P(N, M) = [P_1(N_1, M_1) \cdot \dots \cdot P_G(N_G, M_G)] \cdot P_1 P_2 \dots P_N \quad (5)$$

where: N_G is number of user in each group, M_G is number of contention slot in each group.

After that we calculate the average successful probability in each contention period.

4. ANALYSIS RESULT

In this paper, we define the number of slots are 18 in a frame and the number of users is 20, 30, and 40, respectively. From Figure 5, the successful probability has the highest value when the number of users is 40, followed by 30 and 20, respectively, until number of slots has any value. After that the successful probability has the highest value when number of users are 20, followed by 30 and 40 respectively. Because an opportunity that many users will access to same slot is increase, so the number of success decreases when the system has number of user or number of slot increase.

We want to fine the probability value that each user persists to send each group that makes the system has the highest successful probability value. Thus, we divide number of user and number of contention slot into groups with many patterns. In each pattern, that we consider, the probability that each user persists to send each group is difference. In this paper, we divide the probability that each user persists to send each group is P(1) and group2 is P(2). After that, we divide P(2) equal to P(1) [namely, P(1) = P(2)], P(2) more than P(1) twofold [namely, P(2) = 2P(1)], P(2) more than P(1) three fold [namely, P(2) = 3P(1)], and P(2) more than P(1) fivefold [namely, P(2) = 5P(1)], respectively.

When P(1) is probability that each user persists to send in group1 and P(2) is probability that each user persists to send in group2.

The result in Figure 6 the number of user equals 30 and number of contention slot equals 12. From figure, when we divide number of users and number of contention slot into equal group, it shows highest successful probability value. After that the successful probability of divided P(2) more than P(1) fivefold has the highest value.

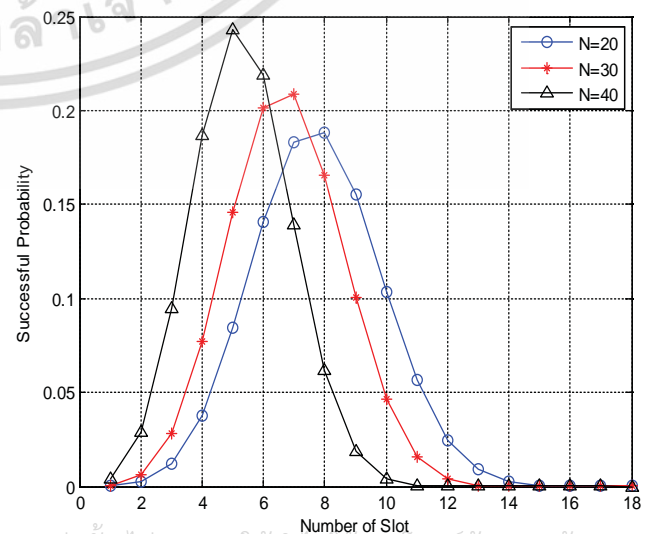


Fig.5. N=20, 30, 40, respectively.

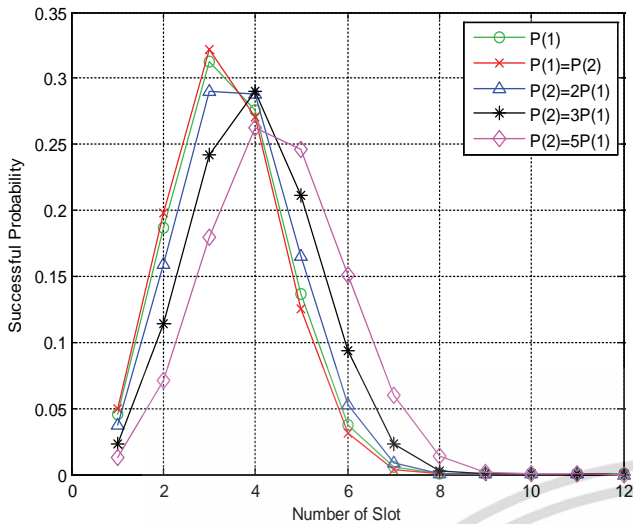


Fig.6. When we divide number of user and contention slot into 2 groups.

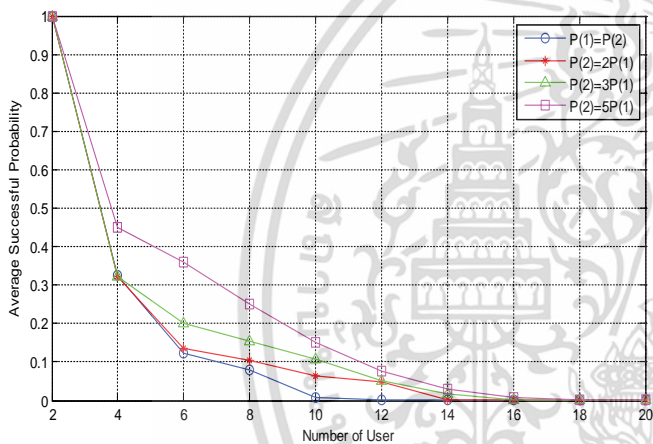


Fig.7. When we divide number of user and contention slot into 2 groups.

We define the number of contention slots is 12. From Figure 7, when the number of users in system increases, the average successful probability decreases. Moreover, we also see that the successful probability of divided $P(2) = 5P(1)$ has the highest value, followed by divided $P(2) = 3P(1)$, divided $P(2) = 2P(1)$, and divided equal 2 groups respectively.

5. CONCLUSIONS

In this paper, we propose assignment slot access method for BWA based on DOCSIS that each user access to each contention slot with different persistent. The existing numerical analysis considered two events that are successfully access event and unsuccessfully access event. In this paper, we will consider three events of contention slot which include Success event refers to contention slot which has only one user access to a contention slot, Collision event refers to contention slot which has more than one user access to same slot and Idle event which had no user access to that slot.

Thus in numerical analysis, we used the multinomial distribution to assign contention slot access. Furthermore, we also divided contention slot and user into many groups and assign each group that access to contention slots in a frame with different persistent value.

In our algorithm, we only consider possible patterns that number of user in K slots, namely slot 1 to K is 1, other slots aren't 1.

From analysis result, it is shown that our model can reduce an opportunity that many users access to same contention slot. Thus the efficiency of system is increased. Moreover, our model can resolve contention and collision problems. From Figure 5, we have found that when the system has increased number of user, the successful probability decreases because opportunity that many users will access to same slot increase and the number of success decreases. From Figure 6, we have found that when we divide number of users and number of slot into 1/5, the system has the highest successful opportunity, followed by divide 1/3, divide 1/2, and divide equal 2 groups, respectively. From this, we know that if the ratio of number of users and number of slot in group1 to number of users and number of slot in group2 has less value, the opportunities that successful access will increase. The successful probabilities have value less than 0.5 because there are more than half of request that users send to same contention slot.

The future works, we will also analysis throughput and delay of system.

Acknowledgments: This work was supported by the Telecommunications Research and Industrial Development Institute, National Telecommunications Commission Fund under Grant No. PhD 011/2553.

References and Notes

1. Data-Over-Cable Service Interface Specifications Radio Frequency Interface Specification CM-SP-RF1v1.1-C01-050907, September (2005).
2. Arunachalam, Arun. Global standardization efforts of BWA systems based on cable modem. *Emerging Technologies Symposium: Broadband Wireless Internet Access* (2000), pp.1-4.
3. M. Hawa and D.W. Petr, Quality of service scheduling in cable and broadband wireless access systems, *2002 Tenth IEEE International Workshop on Quality of Service* (2002), pp. 247- 255.
4. S. M. Moser, J. Westall, J.M. Dean and B.C. The role of max-min fairness in DOCSIS 3.0 downstream channel bonding. *Sarnoff Symposium 2010 IEEE* (2010), pp. 1-5.
5. B. Berscheid, E. Salt, and H.H. Nguyen, An Economical ISI-Immune Frequency Offset Estimator for DOCSIS Upstream Channels. *Broadcasting IEEE Transactions* 58 (2012), pp. 310-316.
6. J. Lambert, B. Van Houdt and C. Blondia, Dimensioning the Contention Channel of DOCSIS Cable Modem Network. *Proc. Networking* (2005)
7. S.-E. Hong, O.-H. Kwon and S.-K. Kim. Performance Analysis of Single- and Multi-Channel Contention Resolution Algorithm for the DOCSIS MAC Protocol. *Proc. ICC* (2006) pp. 1083-1088.
8. D. Denteneer and J. S. H. Van Leeuwen. *Multiaccess Reservations & Queues*. Springer verlag (2008), Vol. 10.
9. R. Rom, M. Sidi. *Multiple Access Protocol*. Springer Verlag, New York. (1990).
10. W. Feller. *An Introduction to probability Theory and its Applications*, 3rd edn. John Wiley & Sons Inc. (1968), Vol.1
11. C. Forbes, M. Evans, N. Hastings and Brian Peacock. *Statistical Distributions* 4th edition. John Wiley & Sons Inc. (2011).
12. D. C. Montgomery, George C. Runger. *Applied Statistics and Probability for Engineers* 3rd edn., John Wiley & Sons Inc. (2003)

Received: 29 August 2015. Revised/Accepted: 28 October 2015

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวธัญวรัตน์ ภาวะโสภณ
วัน เดือน ปีเกิด	14 มกราคม พ.ศ.2528 ที่จังหวัดนครนายก
ที่อยู่	256 หมู่4 ตำบลเกาะหวาย อำเภอปากพลี จังหวัดนครนายก 26130
ประวัติการศึกษา	2550 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2553 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิจัย	- Analysis of random slot multiple access algorithms for DOCSIS network (ECTI-CON 2009) - การวิเคราะห์กระบวนการการเข้าถึงหลายสลอตแบบแรมดอมค่า p-persistent สำหรับโครงข่าย DOCSIS (วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 26, ฉบับที่ 1) - The Contentions Resolution Algorithms by Random Slot Multiple Access for DOCSIS Protocol (ISAP2011) - Performance analysis of random slot multiple access algorithms for DOCSIS protocol (TENCON2011) - A Numerical Analysis for Contention Resolution in Contention Slots of Wireless DOCSIS (Advanced Science Letters, Vol. 22, 2016)
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2553-2556	อาจารย์พิเศษมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
พ.ศ.2561	Product Engineer บริษัท มาสเตอร์คอนโทรล จำกัด (Master Controls Co. Ltd.,)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้