

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์อัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มสำหรับเครือข่าย

DOCSIS เคเบิลโมเด็ม

ANALYSIS OF RANDOM SLOT MULTIPLE ACCESS ALGORITHMS FOR
DOCSIS CABLE MODEM NETWORK



T110296

ธัญวรัตน์ ภาวะโสภณ

THANYAWARAT PAWASOPON

วพ.

ว 476 ท

2553

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 110296

วัน,เดือน,ปี..... - 1 พ.ย. 2553

b..... 12263345
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2553

KMITL 2010-EN-M-010-054

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ANALYSIS OF RANDOM SLOT MULTIPLE ACCESS ALGORITHMS FOR
DOCSIS CABLE MODEM NETWORK**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก **KMITL 2010-EN-M-010-054** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์อัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม สำหรับเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็ม
นักศึกษา	นางสาวธัญวรัตน์ ภาวะโสภณ
รหัสนักศึกษา	50060920
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุวิพล สิริชีวีภาค

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการวิเคราะห์อัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม (Random Slot Multiple Access Algorithms) สำหรับเครือข่าย DOCSIS (Data-Over-Cable Service Interface Specifications Network) เคเบิลโมเด็ม (Cable Modem) ซึ่งอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มนี้เป็นกระบวนการแก้ไขปัญหาการช่วงชิง Mini Slot ด้วยวิธีการสร้างค่าความน่าจะเป็น p ที่ผู้ใช้บริการแต่ละรายต้องการส่งการร้องขออย่างต่อเนื่อง โดยอัลกอริธึมนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเข้าถึง Mini Slot และลดการชนกันของการส่งการร้องขอ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการด้วยการพิจารณาค่าวิสัยสามารถ (Throughput) และค่าเวลาหน่วง (Delay) ของระบบและนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับอัลกอริธึมทังก์เคทไบนารีเอกซ์โพเนนเชียลแบคออฟ (Truncated Binary Exponential Back-off: TBEB) ซึ่งเป็นอัลกอริธึมที่มีการศึกษาอย่างกว้างขวางสำหรับเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็ม

Thesis Title	Analysis of random slot multiple access algorithms for DOCSIS Cable Modem network
Student	Miss Thanyawarat Pawasopon
Student ID.	50060920
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2010
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Suvepon Sittichivapak

ABSTRACT

This thesis proposes the analysis of random slot multiple access algorithms for DOCSIS (Data-Over-Cable Service Interface Specifications) Cable Modem network. These algorithms are 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 and decrease a collision of transmission request. In this thesis, we analyze efficiency of this algorithm by consideration of throughput and delay of system. And, the analysis results provide a comparative evaluation of Truncated Binary Exponential Back – off (TBEB) that is widely studied algorithm for DOCSIS Cable Modem network.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำ คำปรึกษา ความเอาใจใส่ ความช่วยเหลือ และการแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหา พร้อมทั้งเป็นแรงกระตุ้นในการทำวิจัยครั้งนี้ จาก รศ.ดร.สุวิพล สิริชิวภาค ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคนที่คอยให้คำแนะนำต่าง ๆ คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ และสำนักบริหารวิชาการ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง ๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ธัญวรัตน์ ภาวะโสภณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย	3
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 สถาปัตยกรรมของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็ม.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 เป้าหมายการให้บริการบนเครือข่าย DOCSIS.....	4
2.3 สถาปัตยกรรมเครือข่ายและระบบ.....	6
2.3.1 สถาปัตยกรรมของ CMTS (Cable Modem Terminal System).....	6
2.3.2 เครือข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงผสมแกนร่วม (HFC Cable Network).....	8
2.3.3 ช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลง (Upstream and Downstream Channel).....	10
2.3.4 สถาปัตยกรรมของเคเบิลโมเด็ม.....	11
2.3.4.1 ตัวปรับความถี่ (Tuner).....	12
2.3.4.2 ตัวดีมอดูเลต (Demodulator).....	12
2.3.4.3 ตัวมอดูเลต (Modulator)	13
2.3.4.4 ตัวควบคุมการเข้าถึงเครือข่าย (Media Access Control: MAC)	13
2.3.4.5 หน่วยประมวลผล	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IV ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ขบวนการ โพรโทคอลและการกำหนดชั้นของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็ม.....	14
3.1 ชั้นกายภาพ (Physical (PHY) Layer).....	15
3.1.1 ชั้นย่อยทางกายภาพของสื่อตัวกลาง ไมอิสระ (PMD Sub-layer).....	15
3.1.1.1 การสื่อสารขาขึ้น.....	16
3.1.1.2 การสื่อสารขาลง.....	18
3.1.2 ชั้นย่อยการรวมการส่ง (Transmission Convergence (TC) Sub-layer)	20
3.2 ชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer: DLL).....	22
3.2.1 ข้อกำหนดในการควบคุมการเข้าใช้ตัวกลาง.....	23
3.2.2 การจัดสรรแบนด์วิธขาขึ้น.....	25
3.2.3 ข้อความการจัดการ MAP ที่ใช้ในการจัดสรร.....	25
3.2.4 องค์ประกอบข่าวสาร (IE).....	27
3.2.5 การร้องขอทางด้านส่ง.....	29
3.2.6 การส่งและการจัดเวลา MAP.....	30
3.2.7 ตัวอย่างโปรโตคอล.....	30
3.2.8 Ranging.....	32
3.2.9 หน่วยในการกำหนดเวลาและความสัมพันธ์.....	33
บทที่ 4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย.....	35
4.1 ทฤษฎีของระบบแถวคอย.....	35
4.1.1 พื้นฐานของทฤษฎีแถวคอย.....	35
4.1.1.1 รูปแบบการเข้ามาของผู้ใช้บริการ (Arrival Pattern of Customers)	36
4.1.1.2 รูปแบบการให้บริการของหน่วยให้บริการ (Service Pattern of Servers).....	36
4.1.1.3 จำนวนช่องสัญญาณหน่วยให้บริการ (Number of Service Channel).....	37
4.1.1.4 ระเบียบการให้บริการ (Service Discipline).....	38
4.1.1.5 จิตความสามารถของระบบ (System Capacity).....	38
4.1.1.6 จิตความสามารถของผู้ใช้บริการ (Customer Capacity).....	39
4.2.2 กระบวนการสุ่มและการแจกแจงที่ใช้ในการวิจัย.....	39
4.2 อัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาการช่วงชิง Mini Slot.....	40
4.2.1 อัลกอริทึม Truncated Binary Exponential Back – off (TBEB).....	40
4.3.2 อัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์.....	45
5.1 การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของอัลกอริทึม TBEB	45
5.1.1 ความน่าจะเป็นที่จะได้ส่งการร้องขอใน Mini Slot.....	45
5.1.2 การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput)	49
5.1.3 การวิเคราะห์ค่าเวลาหน่วง (Delay).....	50
5.2 การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม.....	51
5.2.1 ความน่าจะเป็นที่จะได้ส่งการร้องขอใน Mini Slot.....	51
5.2.2 การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput)	52
5.2.3 การวิเคราะห์ค่าเวลาหน่วง (Delay).....	54
5.3 ผลการวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถและค่าเวลาหน่วง.....	55
5.3.1 ผลการวิเคราะห์การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput).....	55
5.3.2 ผลการวิเคราะห์การวิเคราะห์ค่าเวลาหน่วง (Delay)	58
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	62
บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก	67
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	68
ประวัติผู้เขียน	75

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 เอาท์พุททางไฟฟ้าที่ได้จากเคเบิล โมเด็ม.....	18
3.2 อินพุททางไฟฟ้าที่ส่งไปยังเคเบิล โมเด็ม.....	19
3.3 รูปแบบของส่วนหัวของ MPEG สำหรับกลุ่มข้อมูล DOCSIS.....	21
3.4 ตัวอย่าง Mini Slot ที่บรรยายถึงช่วงระยะเวลาสั้น ๆ (Time Tick).....	34
5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การส่งผ่านข้อมูลการแลกเปลี่ยน IP ผ่านระบบการส่งข้อมูลบนสายเคเบิล.....	5
2.2 โครงสร้างของเครือข่าย DOCSIS เคเบิล โมเด็ม.....	6
2.3 แสดงตัวอย่างส่วนของระบบเครือข่าย HFC.....	8
2.4 การจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับเครือข่าย HFC.....	10
2.5 การเชื่อมโยงส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเคเบิลโมเด็ม.....	12
3.1 ระดับชั้นของโปรโตคอล DOCSIS เทียบกับแบบจำลองการสื่อสาร OSI.....	14
3.2 การส่งต่อข้อมูลผ่านเคเบิลโมเด็มและ CMTS.....	15
3.3 รูปแบบของกลุ่มข้อมูล MPEG.....	21
3.4 รูปแบบของกลุ่มข้อมูลเมื่อเฟรม MAC ตามหลัง pointer_field ทันที.....	22
3.5 รูปแบบของกลุ่มข้อมูลที่นำหน้าเฟรม MAC โดย stuff_byte.....	22
3.6 รูปแบบของเฟรม MAC ทั่วไป.....	24
3.7 รูปแบบของส่วนหัวของ MAC.....	24
3.8 รูปแบบของกลุ่มข้อมูล PDU.....	25
3.9 MAP ที่ใช้ในการจัดสรร.....	26
3.10 รูปแบบของ MAP.....	27
3.11 รูปแบบของเฟรม Request MAC.....	27
3.12 รูปแบบข้อความจัดการ RNG – REQ MAC.....	28
3.13 ตัวอย่างโปรโตคอล.....	30
4.1 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบแถวคอย.....	36
4.2 รูปแบบของระบบแถวคอยหน่วยบริการช่องเดียว.....	37
4.3 รูปแบบของระบบแถวคอยหน่วยบริการหลายช่อง.....	37
4.4 รูปแบบของระบบแถวคอยหน่วยบริการหลายช่องแบบขนาน.....	38
4.5 รูปแบบของระบบแถวคอยหน่วยบริการหลายช่องแบบอนุกรม.....	38
4.6 แผนผังการทำงานของอัลกอริทึม TBEB.....	41
4.7 การเข้าถึง Mini Slot สำหรับรูปแบบที่ 1.....	42
4.8 แผนผังการทำงานของอัลกอริทึมรูปแบบที่ 1.....	42
4.9 การเข้าถึง Mini Slot สำหรับรูปแบบที่ 2.....	43
4.10 แผนผังการทำงานของอัลกอริทึมรูปแบบที่ 2.....	43
4.11 การเข้าถึง Mini Slot สำหรับรูปแบบที่ 3.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VIII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12	แผนผังการทำงานของอัลกอริธึมรูปแบบที่ 3..... 44
5.1	รูปแบบลูกโซ่มาร์คอฟสำหรับขนาด CW 45
5.2	ค่าวิสัยสามารถของอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มเทียบกับอัลกอริธึม TBEB.. 56
5.3	ค่าวิสัยสามารถของรูปแบบที่ 1 เมื่อ Contention Slot = 10, 15 และ 20 Mini Slots 56
5.4	ค่าวิสัยสามารถของรูปแบบที่ 2 เมื่อ Contention Slot = 10, 15 และ 20 Mini Slots 57
5.5	ค่าวิสัยสามารถของรูปแบบที่ 3 เมื่อ Contention Slot = 10, 15 และ 20 Mini Slots 57
5.6	ความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถของทั้ง 3 รูปแบบกับค่าอัตราเฉลี่ยการเข้าถึง λ 58
5.7	ค่าเวลาหน่วงของอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มเทียบกับอัลกอริธึม TBEB 59
5.8	ค่าเวลาหน่วงของรูปแบบที่ 1 เมื่อ Contention Slot = 10, 15 และ 20 Mini Slots..... 59
5.9	ค่าเวลาหน่วงของรูปแบบที่ 2 เมื่อ Contention Slot = 10, 15 และ 20 Mini Slots..... 60
5.10	ค่าเวลาหน่วงของรูปแบบที่ 3 เมื่อ Contention Slot = 10, 15 และ 20 Mini Slots..... 60
5.11	ความสัมพันธ์ของค่าเวลาหน่วงของทั้ง 3 รูปแบบกับค่าอัตราเฉลี่ยการเข้าถึง λ 61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน มีผู้นิยมใช้บริการระบบเคเบิลโทรทัศน์ (Cable Television หรือ CATV) อยู่เป็นจำนวนมาก และมีแนวโน้มที่จะมีจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในอนาคต ด้วยเหตุนี้เคเบิลโมเด็ม (Cable Modem) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตความเร็วสูง (High-Speed Internet) เทคโนโลยีเคเบิลโมเด็มจะใช้โมเด็มเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้บริการกับผู้ให้บริการผ่านทางเครือข่ายของเคเบิลโทรทัศน์ที่มีอยู่แล้วในแต่ละบ้าน ซึ่งจะใช้แบนด์วิดท์ (Bandwidth) สูงกว่าหลายเท่าตัวเมื่อเทียบกับการเชื่อมต่อโดยใช้โมเด็มธรรมดาต่อกับสายโทรศัพท์

ระบบเครือข่ายเคเบิลโมเด็ม ได้ถูกพัฒนามาจากหลาย ๆ เทคโนโลยี การที่เครือข่ายเคเบิลโมเด็มจะอยู่ในตลาดได้จำเป็นต้องมีมาตรฐาน เพื่อเป็นแนวทางให้บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์เคเบิลโมเด็มหลากหลายบริษัท ได้ผลิตอุปกรณ์ที่สามารถทำงานร่วมกันได้ ดังนั้นบริษัทผู้ให้บริการเคเบิลโทรทัศน์ในอเมริกาได้ร่วมมือกันร่างมาตรฐาน โดยตั้งชื่อวาระบบเครือข่ายเคเบิลมัลติมีเดีย (Multimedia Cable Network System: MCNS) มาตรฐานแรกที่ประกาศใช้คือ DOCSIS (Data-Over-Cable Service Interface Specifications) ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเคเบิลโมเด็ม (*de facto* standard) ที่กำหนดขึ้นโดยบริษัทต่างๆ และ CableLabs

เครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็มจะประกอบด้วยเครือข่ายใยแก้วนำแสงผสมแกนร่วม (Hybrid Fiber Coax: HFC) ซึ่งประกอบด้วยช่องสัญญาณขาขึ้น (Upstream Channel) และช่องสัญญาณขาลง (Downstream Channel) โดยช่องสัญญาณขาขึ้นนั้นได้ถูกแบ่งเป็นสล็อตของเวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete Time Slot) เรียกว่า Mini Slot โดยแต่ละ Mini Slot จะถูกสถานีส่งกำหนดให้บางสล็อตเป็น Contention Slot ซึ่งเป็น Mini Slot ที่ใช้สำหรับส่งการร้องขอแบนด์วิดท์ และบางสล็อตเป็น Data Slot ซึ่งเป็น Mini Slot ที่ถูกใช้สำหรับการส่งข้อมูล ดังนั้นจึงมีเพียง Contention Slot เท่านั้นที่มีแนวโน้มที่จะเกิดการชนกันขึ้น ซึ่งการชนกันจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีสถานีมากกว่า 1 สถานีพยายามที่จะส่งการร้องขอไปใน Contention Slot เดียวกัน

อัลกอริทึมที่ใช้กันอย่างกว้างในการแก้ไขปัญหาคาร่วงชิง Mini Slot คือ อัลกอริทึม Truncated Binary Exponential Back – off (TBEB) ซึ่งอัลกอริทึมนี้เมื่อมีการชนกันเกิดขึ้นมันจะทำการเพิ่มขนาดของ Contention Window ขึ้นเป็น 2 เท่า ทำให้สิ้นเปลืองแบนด์วิดท์มากขึ้นโดยไม่จำเป็น ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอกระบวนการแก้ไขปัญหาคาร่วงชิงที่เรียกว่า อัลกอริทึมการ

เข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม (Random Slot Multiple Access Algorithms) เพื่อใช้ลดการเพิ่มขนาดของ Contention Window ซึ่งจะช่วยให้สรรถนะของระบบเพิ่มมากขึ้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อทำการศึกษามาตรฐาน DOCSIS ที่ใช้ในเคเบิลโมเด็มและศึกษาวิเคราะห์อัลกอริทึม TBEB ซึ่งมีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อมีการชนกันเกิดขึ้นมันจะทำการเพิ่มขนาดของ Contention Window ขึ้นเป็น 2 เท่า ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองแบนด์วิดท์โดยไม่จำเป็น ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอกระบวนการแก้ไขปัญหา ที่เรียกว่าอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม เพื่อใช้ลดการเพิ่มขนาดของ Contention Window ซึ่งสามารถที่จะช่วยให้ระบบมีสมรรถนะที่ดีขึ้น โดยจะทำการวิเคราะห์ค่าวิสัยสมรรถนะ (Throughput) และค่าเวลาหน่วง (Delay) โดยทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบ เช่น จำนวนสถานี อัตราเฉลี่ยการเข้าถึง (Arrival Rate) ยัง Contention Slot และนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม TBEB

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ข้อดีของ TBEB คือ เมื่อมีการชนกันเกิดขึ้นมันจะทำการเพิ่มขนาดของ Contention Window ขึ้นเป็น 2 เท่า ดังนั้น Contention Window ที่ใหญ่เกินไปจะทำให้มีการหน่วงเวลากว้างมากขึ้น ส่วนอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มนี้จะสร้างค่าความน่าจะเป็น p ที่ผู้ใช้บริการแต่ละรายต้องการส่งการร้องขอ โดยการชนกันจะเกิดขึ้นเมื่อมีสถานีมากกว่า 1 สถานี สุ่มได้ความน่าจะเป็นที่อยู่ในช่วงเดียวกัน และถ้ามีการชนกันเกิดขึ้นมันจะทำการ Back-off สถานีที่มีการชนกันเกิดขึ้นไปยังรอบต่อไป โดยจะให้สถานีที่ถูก Back-off ทำการสุ่มค่า p ที่ไม่ใช่ค่าเดิมที่เกิดการชนกันซึ่งกระบวนการนี้จะแก้ไขปัญหาการเพิ่มขึ้นของ Contention Window และทำให้ไม่เกิดการขยายการหน่วงเวลา

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในปัจจุบัน การใช้งานอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงผ่านเครือข่ายเคเบิลโทรทัศน์มีเพิ่มมากขึ้น และมีงานวิจัยเกี่ยวกับมาตรฐานเคเบิลโมเด็ม และกระบวนการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงในเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็มออกมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่จะเน้นการศึกษาการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงด้วยอัลกอริทึม TBEB ซึ่งมีความซับซ้อน ทั้งยังมีข้อดีที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลง ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงเป็นการศึกษาวิเคราะห์กระบวนการที่สามารถแก้ไขปัญหาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตเห็นชอบจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การช่วงชิงและแก้ไขข้อบกพร่องของอัลกอริทึม TBEB ได้ และนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม TBEB

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอกระบวนการวิเคราะห์อัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มสำหรับเครือข่ายเคเบิลโมเด็ม ซึ่งนำไปเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม TBEB และนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์สรรถนะของระบบ ซึ่งได้แก่ ค่าวิสัยสามารถ (Throughput) และค่าเวลาหน่วง (Delay) ไปพล็อตกราฟเพื่อตรวจสอบสมมติฐานว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถช่วยให้ระบบมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นได้จริงหรือไม่

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงบนเครือข่าย DOCSIS สถาปัตยกรรมของเครือข่าย DOCSIS และโครงสร้างขององค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเครือข่าย

บทที่ 3 กล่าวถึงโปรโตคอลในระดับชั้นต่าง ๆ ของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็มและข้อกำหนดที่ใช้กำหนดค่านิยามและรายละเอียดต่าง ๆ ในแต่ละระดับชั้น นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงกระบวนการในการส่งการร้องขอแบนด์วิดท์และรูปแบบของเฟรมของกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารทั้งขาขึ้นและขาลงไว้อีกด้วย

บทที่ 4 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีแถวคอย (Queuing Theory) พื้นฐานของอัลกอริทึม TBEB และพื้นฐานของอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม (Random Slot Multiple Access Algorithms)

บทที่ 5 กล่าวถึงการวิเคราะห์กระบวนการและผลที่ได้จากการวิเคราะห์

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลการวิเคราะห์ระบบและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

สถาปัตยกรรมของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็ม

ในบทนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายเคเบิล โมเด็มและมาตรฐานของ DOCSIS ซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบของเครือข่าย DOCSIS โครงสร้างของเคเบิล โมเด็มและระบบปลายทางของเคเบิล โมเด็ม (Cable Modem Termination System: CMTS) คุณลักษณะของช่องสัญญาณขาขึ้น – ขาลง

2.1 กล่าวนำ

เครือข่ายเคเบิล โมเด็มในเครือข่าย HFC เป็นเทคโนโลยีเครือข่ายที่มีการเข้าถึงแบบแถบกว้างซึ่งมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทำให้มีบริษัทที่เป็นผู้ผลิตอุปกรณ์และผู้ให้บริการเคเบิล โมเด็มอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้น เพื่อให้อุปกรณ์ที่ผลิตออกมาจากหลาย ๆ บริษัทสามารถทำงานร่วมกัน ได้จึงได้มีการร่วมมือกันร่างมาตรฐานที่เรียกว่า ระบบเครือข่ายเคเบิลมัลติมีเดีย (Multimedia Cable Network System: MCNS) ขึ้นมา โดยมาตรฐานแรกทีประกาศใช้ก็คือ DOCSIS ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเคเบิล โมเด็ม (*de facto* standard) ซึ่งกำหนดขึ้น โดยบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์เคเบิล โมเด็มและหน่วยงาน CableLabs

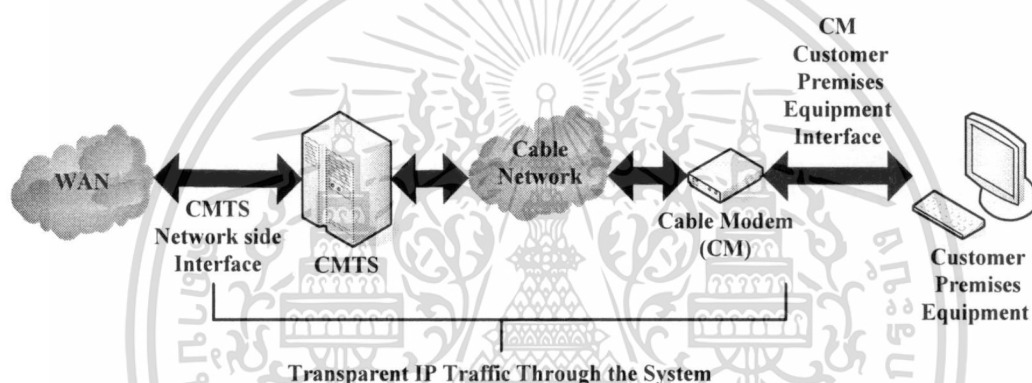
2.2 เป้าหมายการให้บริการบนเครือข่าย DOCSIS

ตั้งที่ผู้ให้บริการสายเคเบิลได้ให้ความสนใจในการพัฒนาระบบการสื่อสารกลุ่มข้อมูล พื้นฐานความเร็วสูง (Hi-speed Packet-based) บนระบบเคเบิลโทรทัศนส์ ซึ่งเป็นกรให้บริการที่มีสมรรถภาพในการรองรับความหลากหลายอย่างกว้างขวาง การให้บริการภายใต้การพิจารณาของผู้ให้บริการเคเบิลประกอบด้วย การให้บริการในการส่งกลุ่มข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์ (Packet Telephony Service) การให้บริการการประชุมสัมมนาผ่านสัญญาณภาพ (Video Conferencing Service) การให้บริการที่เทียบเท่ากับมาตรฐานการให้บริการโทรศัพท์ไอเอสดีเอ็น (ISDN) 24 คู่สาย / การบริการบนระบบการสวิตซ์กลุ่มข้อมูล (Packet-switched) สาธารณะชนิดที่มีการกำหนดการเชื่อมต่อไว้ล่วงหน้า (T1/Frame Relay Equivalent Service) และบริการอื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งทำให้ความต้องการแบนด์วิดท์ มีมากขึ้น บริษัทที่เป็นสมาชิกของ CableLabs ได้อธิบายถึงการเตรียมลักษณะเฉพาะในการเชื่อมต่อ ซึ่งอนุญาตให้มีการกำหนดขอบเขตในการออกแบบ การพัฒนาและการขยายระบบการส่งข้อมูลผ่านสายเคเบิลบนพื้นฐานเดียวกัน ไม่ขัดแย้ง

เอกกลัน เปิดกว้าง ผู้ให้บริการหลายรายสามารถใช้งานร่วมกันได้และยังได้อธิบายถึงการเพิ่มลักษณะการดำเนินการค้า ไม่พิเศษใหม่ ๆ ให้กับ DOCSIS เพื่อวัตถุประสงค์ในการต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เพิ่มความจุของช่องสัญญาณ
- ยกระดับการรักษาความปลอดภัยของเครือข่าย
- ขยายความสามารถในการกำหนดเลขที่อยู่ (IP Address) ของอุปกรณ์ในเครือข่ายให้ ชัดเจน และ
- ขยายแนวทางการเสนอการให้บริการใหม่ ๆ

ระบบ DOCSIS จะยอมให้มีการส่งผ่านข้อมูลโดยการถ่ายโอนการแลกเปลี่ยนโปรโตคอลอินเทอร์เน็ต (Internet Protocol: IP) ได้ 2 ทิศทางระหว่างระบบเคเบิลด้านสถานีส่งสัญญาณ (Head-end) และบริเวณที่ตั้งของลูกค้าบนเครือข่ายสายแกนรวมทั้งหมด (All-coaxial) หรือเครือข่ายสายเคเบิลใยแก้วผสมแกนร่วม (Hybrid Fiber Coax: HFC) ซึ่งแสดงในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่าย ๆ ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การส่งผ่านข้อมูลการแลกเปลี่ยน IP ผ่านระบบการส่งข้อมูลบนสายเคเบิล

แนวทางปฏิบัติในการส่งสัญญาณบนระบบเคเบิลถูกทำให้เป็นจริงที่สถานีส่งสัญญาณโดย CMTS และที่บริเวณที่ตั้งของลูกค้าแต่ละรายโดยเคเบิลโมเด็ม (Cable Modem) ซึ่งที่สถานีส่งสัญญาณจะมีส่วนที่เชื่อมต่อไปยังระบบการส่งข้อมูลบนสายเคเบิลที่เรียกว่า ส่วนเชื่อมต่อทางด้านเครือข่าย CMTS (CMTS Network Side Interface: CMTS-NSI) ที่ส่วนของลูกค้าจะมีส่วนที่เชื่อมต่อที่เรียกว่า ส่วนเชื่อมต่อเคเบิลโมเด็มไปยังอุปกรณ์อ้างอิงของลูกค้า (Cable-Modem-to-Customer-Premises-Equipment Interface: CMCI) วัตถุประสงค์คือเพื่อให้บริการถ่ายโอนแลกเปลี่ยน IP ระหว่างส่วนเชื่อมต่อเหล่านี้ได้โดยตรง รวมถึงไม่จำกัดกลุ่มข้อมูลสื่อสาร (Data Packet) ที่ส่งจากตัวส่งไปยังตัวรับโดยไม่มีการตอบกลับ (Datagrams) โปรโตคอลที่ถูกใช้โดยเครื่องลูกข่ายเพื่อเรียนรู้ข้อมูลต่าง ๆ ของระบบเครือข่าย (Dynamic Host Configuration Protocol: DHCP) โปรโตคอลที่ถูกผนวกให้เป็นส่วนหนึ่งของ IP ซึ่งจะอนุญาตให้อุปกรณ์ค้นหาเส้นทางหรือเครื่องปลายทางให้สามารถสื่อสารกับเครื่องต้นทางได้ (Internet Control Message Protocol: ICMP) และตำแหน่งที่อยู่ของกลุ่ม IP (IP Group Addressing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

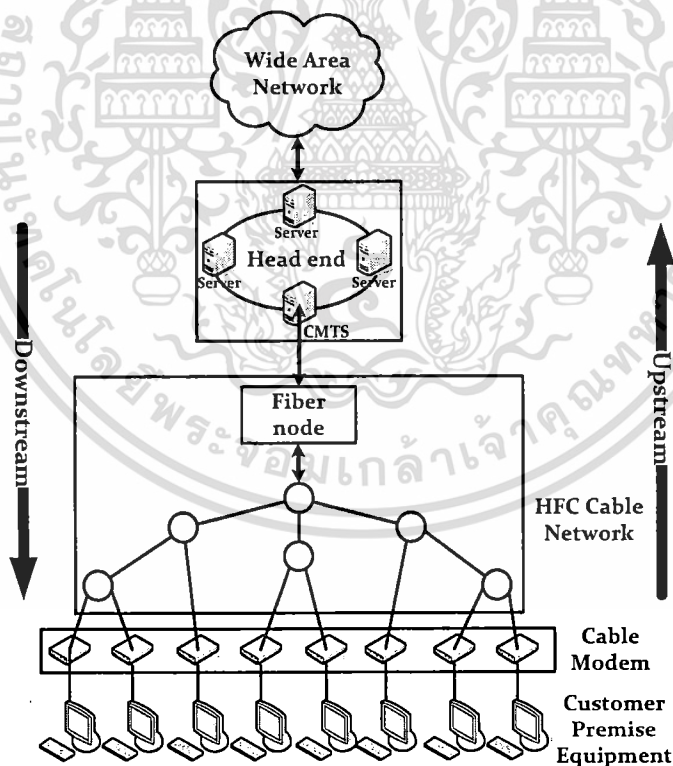
2.3 สถาปัตยกรรมเครือข่ายและระบบ

การใช้บริการเคเบิลโมเด็มทำให้สามารถรับ – ส่งข้อมูลจำนวนมาก ๆ ได้ในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งความเร็วในการรับ – ส่งข้อมูลนั้นจะขึ้นอยู่กับผู้ให้บริการ ระบบที่ใช้ และสถาปัตยกรรมของเครือข่าย ซึ่งในสภาพความเป็นจริงแล้วความเร็วในการรับข้อมูลเข้ามาจะสูงกว่าความเร็วในการส่งข้อมูลออกไป แต่อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการรับ – ส่งข้อมูลผ่านเคเบิลโมเด็มจะต้องถูกเฉลี่ยออกไปตามจำนวนของผู้เข้ามาใช้ในเครือข่ายขณะนั้นด้วย

เครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็มประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 4 องค์ประกอบ คือ

- CMTS ที่อยู่ทางด้านสถานีส่งสัญญาณ
- เครือข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงผสมแกนร่วม (HFC Cable Network) ซึ่งใช้รูปแบบเครือข่ายแบบต้นไม้และสาขา (Tree – and – Branch Topology)
- ช่องสัญญาณขาขึ้นและช่องสัญญาณขาลง
- เคเบิลโมเด็มที่อยู่ที่บ้านของลูกค้า

ในรูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็ม



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็ม

2.3.1 สถาปัตยกรรมของ CMTS (Cable Modem Terminal System)

เอกสารนี้เป็น CMTS เป็นอุปกรณ์ซึ่งเป็นระบบสวิตซ์ที่ทำหน้าที่แยกข้อมูลจากสัญญาณโทรทัศน์ของ
ไม่เครือข่าย DOCSIS ซึ่งจะถูกติดตั้งอยู่ที่สถานีส่งสัญญาณของบริษัทเคเบิลโทรทัศน์หรือที่บริเวณไปใช้

โดยปกติเคเบิลโมเด็มของลูกค้าจะไม่สามารถสื่อสารโดยตรงกับโมเด็มตัวอื่นบนสายได้ ดังนั้นทราฟฟิกของเคเบิลโมเด็มจึงถูกกำหนดเส้นทางที่จะไปยังเคเบิลโมเด็มตัวอื่นหรือไปยังอินเตอร์เน็ตผ่านทางชุดของ CMTS และเราท์เตอร์ดั้งเดิม โดยสามารถข้ามผ่านเส้นทางที่ไปยัง CMTS เครื่องเดียว

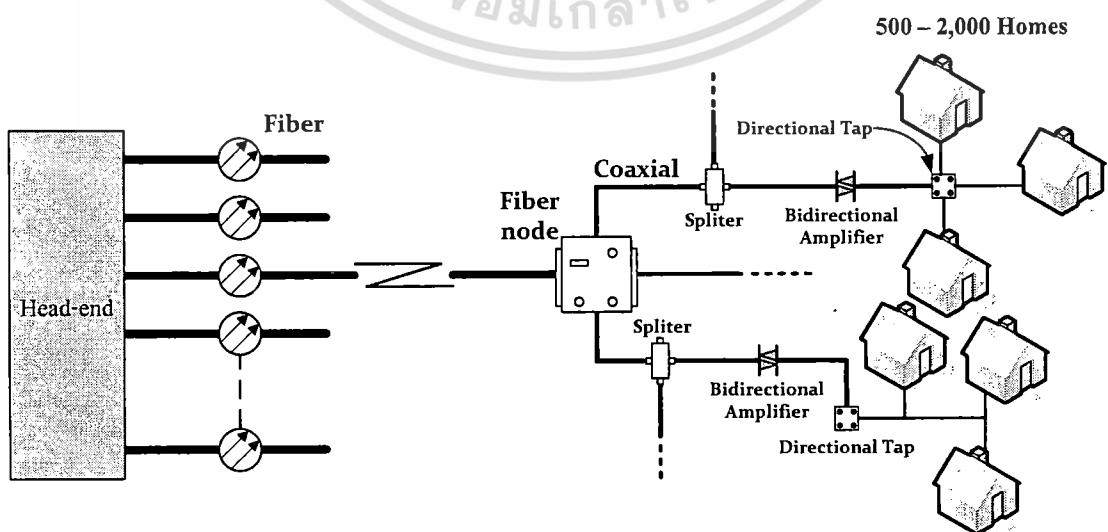
ใน DOCSIS ได้มีการแบ่งชนิดของ CMTS ออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. CMTS ชนิด “Integrated” ซึ่งนำไปใช้โดยตรงกับทางเข้า – ออกจุดเชื่อมต่อกันทางด้านเครือข่ายและจุดเชื่อมต่อกันของ RF ในองค์ประกอบของเครือข่ายเดียว
2. CMTS ชนิด “Modular” ซึ่งนำไปใช้กับจุดเชื่อมต่อทางด้านเครือข่าย (NSI) และจุดเชื่อมต่อกันของ RF ขาขึ้นในองค์ประกอบของเครือข่าย “Modular CMTS Core” และจุดเชื่อมต่อกันของ RF ขาลงภายในองค์ประกอบของ EQAM (Edge QAM)

2.3.2 เครือข่ายเคเบิลใยแก้วนำแสงผสมแกนร่วม (HFC Cable Network)

โครงสร้างของเครือข่าย HFC ถูกเริ่มพิจารณาว่าเป็น โครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการสื่อสารแถบกว้างแบบสองทิศทาง ซึ่งมีผลใช้ได้ในระบบที่ต้องการควบคุมแบบแบ่งแยกสำหรับการส่งข้อมูลจากผู้เช่าไปยัง CMTS ซึ่งเครือข่ายที่มีการเข้าถึงแถบกว้างบนพื้นฐานของสายแกนร่วม (Coaxial-base Broadband Access Network) ได้ถูกสมมติขึ้น โดยมีนอาจจะเอารูปแบบมาจากเครือข่ายสายแกนร่วมทั้งหมดหรือเครือข่าย HFC ซึ่งรูปแบบทั่วไปของ “เครือข่ายเคเบิล” ที่ถูกใช้ ณ ที่นี้จะครอบคลุมในทุกกรณี โดยโครงสร้างของเครือข่าย HFC มีลักษณะพิเศษที่สำคัญดังต่อไปนี้

- รูปแบบของเครือข่ายเป็นแบบต้นไม้และสาขา (Tree – and – Branch Architecture)
- มีเวลาหน่วงในการแพร่กระจายคลื่นที่กว้าง
- มีการแบ่งแยกผู้ใช้ที่กำลังจะมาถึง CMTS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างส่วนของระบบเครือข่าย HFC

บริษัทผู้ให้บริการเคเบิลส่วนใหญ่พร้อมที่จะยกระดับเครือข่ายของพวกเขาให้เป็นเครือข่าย HFC ซึ่งยินยอมให้มีการปรับตั้งสายแกนรวมทั้งหมดที่ต่ำกว่าให้ครอบคลุมระยะทางได้ดีกว่าโดยการแทรกใยแก้วนำแสงเข้าไปซึ่งนำเชื่อถือนามากกว่าตู้ทางไฟฟ้าของมัน รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างส่วนของระบบเครือข่าย HFC ที่มีกลุ่มของบ้านที่ถูกบริการโดยข่ายเชื่อมโยงเส้นใย (Fiber Link) ที่เดินทางระยะสั้น ๆ จากสถานีส่งสัญญาณไปยังโหนดเส้นใย (Fiber Node) โดยที่เส้นใยแต่ละเส้นจะสิ้นสุดที่โหนดเส้นใย โดยที่โหนดเส้นใยนี้จะมีระบบการแปลงสัญญาณ (Signal Conversion System: SCS) ซึ่งมีจัดการการเข้าถึงข่ายเชื่อมโยง HFC และเข้าถึงจากข่ายเชื่อมโยง HFC และสื่อสารระหว่างเครือข่าย HFC และผู้บริการ โดยจะทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณแสง

SCS นั้นส่งข้อมูลออกจากสถานีส่งสัญญาณบนข่ายเชื่อมโยงใยแก้วความเร็วสูงหลายข่ายไปยังโหนดเส้นใยที่ตั้งอยู่บริเวณใกล้เคียงด้วย นี่คือการนำเขตใยแก้วนำแสงของเครือข่าย HFC และที่โหนดเส้นใยแต่ละโหนดเหล่านี้ สัญญาณแสงจะถูกแปลงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าซึ่งส่งออกไปบนข่ายเชื่อมโยงสายแกนร่วม (Coaxial Cable Link) ซึ่งจะครอบคลุมระยะทางไปยังบ้านโดยประมาณ 20 เพอร์เซ็นต์ ขณะที่สัญญาณไฟฟ้าที่ผ่านระหว่างโหนดเส้นใยและบ้านของผู้ใช้ที่จุดสิ้นสุดจะถูกเพิ่มกำลังโดยตัวขยายสัญญาณ (Amplifier) ซึ่งเดิมที่ตัวขยายสัญญาณเหล่านี้มีการสื่อสารทิศทางเดียวสำหรับใช้กับเคเบิลโทรทัศน์ แต่เพื่อสนับสนุนการสื่อสาร 2 ทิศทาง พวกมันจึงถูกแทนที่ด้วยตัวขยายสัญญาณ 2 ทิศทาง (Bidirectional Amplifier) ที่แยกช่องสัญญาณขาขึ้นและช่องสัญญาณขาลงออกจากกัน นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ต่อแยกแบบมีทิศทาง (Directional Taps) สำหรับใช้ในการแจกจ่ายสัญญาณไปยังผู้ใช้ เป็นผลให้ในช่วงระยะเวลาหนึ่งสัญญาณอาจจะไหลได้อย่างสบายจากสถานีส่งสัญญาณไปยังผู้ใช้และจากผู้ใช้ไปยังสถานีส่งสัญญาณ ซึ่งสัญญาณจะถูกลดทอนสูงมากระหว่างผู้ใช้กับอุปกรณ์ต่อแยกแบบมีทิศทางและตัวขยายสัญญาณ ซึ่งจะส่งต่อสัญญาณในทิศทางเดียวเท่านั้น แต่ทั้งหมดนี้เป็นไปไม่ได้ที่จะติดต่อสื่อสารโดยตรงระหว่างผู้ใช้ปลายทาง ซึ่งสามารถอุปมาอุปไมยช่องสัญญาณ HFC ได้กับความเป็นไปได้ในการติดต่อสื่อสารกันของสถานีภาคพื้นของการสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยสัญญาณทั้งหมดจะต้องส่งต่อผ่านดาวเทียม สถานีภาคพื้นไม่สามารถติดต่อสื่อสารได้โดยตรงกับสถานีอื่น ๆ นั่นเอง

โหนดเส้นใยแต่ละโหนดสามารถสนับสนุนการให้บริการผู้เช่าเครือข่ายได้ 500 – 2,000 หลังคาเรือน ผ่านจุดเชื่อมต่อปลายทางโดยสายแกนร่วม ถ้าสมมติว่าประมาณครึ่งหนึ่ง (1,000 หลังคาเรือน) ของบ้านเหล่านั้นบอกรับการเป็นสมาชิกในการให้บริการสัญญาณเคเบิลโทรทัศน์ และ 20 เปอร์เซ็นต์ของผู้เช่าเหล่านั้น (200 หลังคาเรือน) บอกรับการเป็นสมาชิกการให้บริการข้อมูลด้วย บริษัทผู้ให้บริการเคเบิลต้องการที่จะจัดโหนดเส้นใยในจำนวนที่เหมาะสมไปยังบริเวณใกล้เคียง กล่าวโดยสรุปก็คือ เครือข่าย HFC สามารถรองรับได้ประมาณ 50 โหนดเส้นใย โดยที่ 1 โหนดเส้นใยสามารถรองรับได้ประมาณ 2,000 หลังคาเรือน นั่นหมายความว่า มันไม่สามารถรองรับได้ถึง 100,000 หลังคาเรือนต่อสถานีส่งสัญญาณ 1 สถานี นั่นเอง

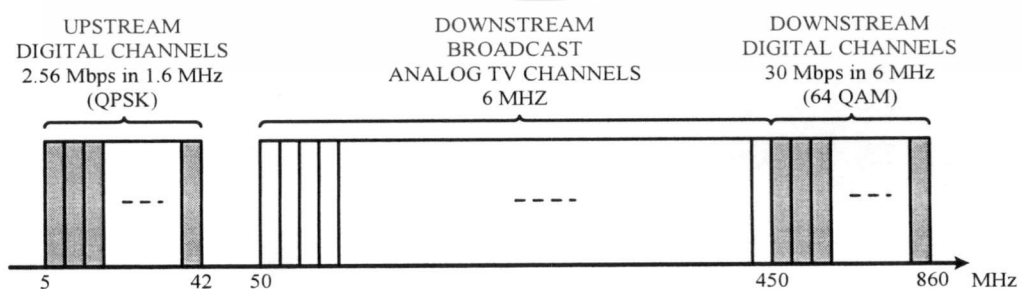
2.3.3 ช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลง (Upstream and Downstream Channel)

ในการรับ - ส่งข้อมูลของเครือข่าย DOCSIS นั้น ข้อมูลที่ส่งมาจากเครือข่ายมายังผู้ใช้ หรือลูกค้าจะเรียกว่า “ขาลง (Downstream)” ส่วนข้อมูลที่ส่งจากผู้ใช้ไปยังเครือข่ายจะเรียกว่า “ขาขึ้น (Upstream)” ซึ่งอัตราในการรับ - ส่งสัญญาณนั้นอาจปรับให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้ได้ เช่น ถ้าเป็นการใช้งานในองค์กรที่ทำธุรกิจผ่านเครือข่าย อัตราข้อมูลขาขึ้นและขาลงอาจปรับให้เท่ากัน หรือถ้าเป็นการใช้งานอินเทอร์เน็ตที่บ้าน อัตราข้อมูลขาลงอาจปรับให้มากกว่าข้อมูลขาขึ้น เป็นต้น ดังนั้นเคเบิลโมเด็มจึงมีรูปแบบในการให้บริการ 2 แบบด้วยกัน คือ

1. แบบทางเดียว (One Way) คือ การทำงานด้านขาลงจะมาจากสายเคเบิล ส่วนการทำงานด้านขาขึ้นจะวิ่งไปตามสายโทรศัพท์แทน

2. แบบสองทาง (Two Way) คือ การทำงานด้านขาลงและขาขึ้นจะมาจากสายเคเบิลทั้งหมด

เนื่องจากการส่งสัญญาณผ่านสายเคเบิลเป็นแบบแถบความถี่กว้างกว่าสายโทรศัพท์ทั่วไป จึงสามารถผสมสัญญาณที่มีความถี่ต่าง ๆ กันได้ และจัดแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณที่ไม่รบกวนกัน โดยการใช้เทคนิคการมัลติเพล็กซ์บางรูปแบบ เช่น การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiplexing: FDM) ช่องสัญญาณที่ส่งออกไปในระบบเคเบิลโมเด็มแบ่งออกได้เป็น 3 ช่องสัญญาณ คือช่องสัญญาณโทรทัศน์แบบอนาล็อก 1 ช่องสัญญาณ และอีก 2 ช่องสัญญาณ คือช่องสัญญาณขาขึ้น (Upstream Channel) และช่องสัญญาณขาลง (Downstream Channel) สำหรับใช้รับ - ส่งข้อมูลดิจิทัลทั้งในทิศทางขาขึ้นและขาลงดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งในแต่ละช่องสัญญาณแบนด์วิดท์จะถูกจัดสรรตามกระแสความต้องการในการให้บริการ โดยความถี่ระหว่าง 5 - 42 MHz ได้ถูกจัดสรรไว้สำหรับการส่งข้อมูลขาขึ้นโดยใช้ช่องสัญญาณความถี่ 1.6 MHz ขณะที่ช่วงความถี่ 50 - 450 MHz ได้ถูกจัดสรรสำหรับการกระจายสัญญาณโทรทัศน์แบบอนาล็อก และช่วงความถี่ 450 - 860 MHz ได้ถูกจัดสรรสำหรับการส่งข้อมูลขาลงโดยใช้ช่องสัญญาณความถี่ 6 MHz



รูปที่ 2.4 การจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับเครือข่าย HFC

เอกสารนี้เป็นในเครือข่าย HFC ช่องสัญญาณขาลงเป็นช่องสัญญาณในการกระจายข้อมูลแบบจุดเดียว การค้าไม่ไปยังหลายจุด (Point-to-Multipoint) ด้วยแบนด์วิดท์ที่มีขนาด 30-40 Mbps ซึ่งถูกใช้โดยไปใช้

CMTS และถูกแบ่งด้วยผู้เช่าบริการทั้งหมดในเครือข่าย คือสำหรับทั้งผู้ใช้และการจัดการทราฟฟิก ขณะที่ช่องสัญญาณขาลงจะแพร่กระจายข้อมูลไปตามปกติ แต่ละหน่วยของผู้เช่าจะถูกกำหนดที่อยู่เฉพาะของแต่ละบุคคลที่ยินยอมให้กรองข้อมูลที่ไม่มีที่อยู่ที่มันออกโดยผ่านทาง การส่งกลุ่มข้อมูลไปยังลูกข่ายปลายทางเครื่องเดียวหรือหลายเครื่อง หรือส่งผ่านด้วยวิธีการส่งกลุ่มข้อมูลไปยังเครื่องลูกข่ายทุก ๆ เครื่องในระบบ

ส่วนช่องสัญญาณขาขึ้นเป็นช่องสัญญาณแบบหลายจุดไปยังจุดเดียว (Multipoint – to – Point) ที่มีการใช้สื่อกลางร่วมกันโดยเคเบิลโมเด็มทุกตัว เพื่อส่งการร้องขอไปยัง CMTS เท่านั้น มันเป็นช่องสัญญาณที่มีการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access: TDMA) ที่มีขนาด 2.56 Mbps ซึ่งถูกแบ่งเป็นสล็อตของเวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete Time Slot) เรียกว่า Mini Slot โดยสถานีส่งสัญญาณได้กำหนดให้ Mini Slot บางสล็อตเป็นสล็อตที่มีการช่วงชิง (Contention Slot) ซึ่งเป็น Mini Slot ที่ถูกใช้ในการส่งการร้องขอแบนด์วิดท์ และบางสล็อตเป็นสล็อตของข้อมูล (Data Slot) ซึ่งเป็น Mini Slot ที่ถูกใช้สำหรับการส่งข้อมูล ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เครือข่าย HFC มีคุณสมบัติที่ไม่สมมาตรกันอย่างถาวร เนื่องจากช่องสัญญาณขาลงสามารถใช้งานแบนด์วิดท์ได้มากกว่าขาขึ้น

นอกจากนี้ การไหลของช่องสัญญาณขาขึ้นต้องการกลไก MAC (Medium Access Control) ในการส่งข้อมูลระดับเดียวกัน MAC ซึ่งเป็นสิ่งที่ใช้ควบคุมการจัดสรรแบนด์วิดท์ของตัวกลางขาขึ้น โดยการเข้าถึงช่องสัญญาณขาขึ้นนั้นเป็นหนึ่งในเกณฑ์การออกแบบโปรโตคอล MAC (MAC Protocol) ที่ทำทนายสำหรับสายเคเบิล ซึ่งจะอธิบายถึงโปรโตคอล MAC อย่างละเอียดในบทต่อไป

2.3.4 สถาปัตยกรรมของเคเบิลโมเด็ม

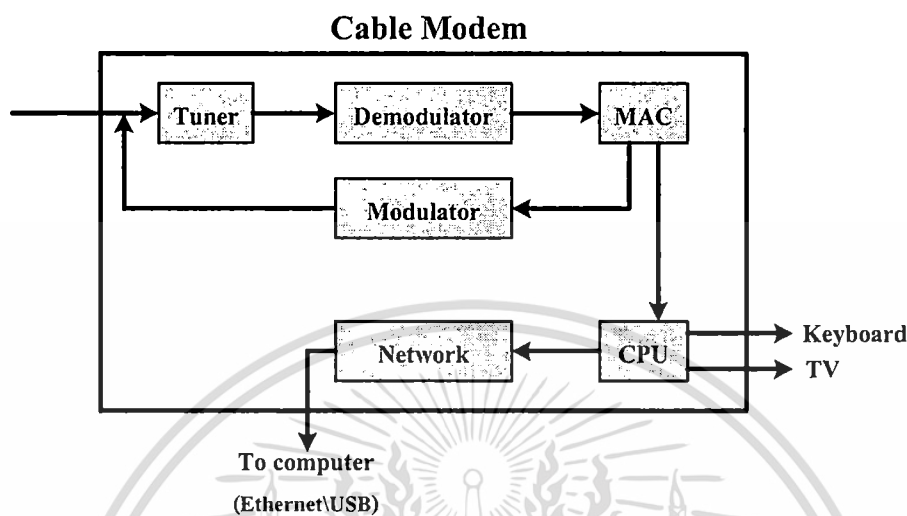
เคเบิล โมเด็มเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลกับสายเคเบิลโทรทัศน์ และรับข้อมูลที่ 100 Mbps อัตราข้อมูลสูงกว่าโมเด็มโทรศัพท์ขนาด 28.8 และ 56 kbps หรือระบบ Integrated Services Digital Network (ISDN) ขนาด 128 kbps และอัตราข้อมูลรองรับกับระบบ Digital Subscriber Line (DSL) นอกจากนี้ เคเบิล โมเด็มสามารถเพิ่มหรือรวมกับกล่องรับสัญญาณ (Set-Top-Box) ที่ทำให้ช่องสัญญาณโทรทัศน์ใช้เป็นช่องสัญญาณของอินเทอร์เน็ตได้

เคเบิล โมเด็มมีการติดต่อ 2 ด้าน คือ ด้านหนึ่งเข้าสู่จุดเชื่อมต่อของสายเคเบิล และอีกด้านต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หรือกล่องรับสัญญาณของโทรทัศน์ ถึงแม้ว่าเคเบิลโมเด็มสามารถแปลงสัญญาณระหว่างสัญญาณอนาลอกกับสัญญาณดิจิทัลได้ แต่มีความซับซ้อนมากกว่าโมเด็มของโทรศัพท์

เคเบิล โมเด็มนั้นอาจจะสามารถติดตั้งทั้งแบบภายนอก (External) และแบบภายใน (Internal) ก็ได้ ตามมาตรฐานแล้วเคเบิลโมเด็มจะต่อกับคอมพิวเตอร์ที่การ์ดอีเทอร์เน็ต (Ethernet)

แบบ 10 BASE-T หากไม่คำนึงถึงอุปกรณ์หรือรูปลักษณะภายนอกแล้ว อุปกรณ์หลักภายในที่เคเบิลโมเด็มใช้คือการ์ดอีเทอร์เน็ต ซึ่งใช้การ์ดอีเทอร์เน็ตแบบ 10 BASE-T หากไม่คำนึงถึงอุปกรณ์หรือรูปลักษณะภายนอกแล้ว อุปกรณ์หลักภายในที่เคเบิลโมเด็มใช้คือการ์ดอีเทอร์เน็ต ซึ่งใช้การ์ดอีเทอร์เน็ตแบบ 10 BASE-T หากไม่คำนึงถึงอุปกรณ์หรือรูปลักษณะภายนอกแล้ว อุปกรณ์หลักภายในที่เคเบิลโมเด็มใช้คือการ์ดอีเทอร์เน็ต ซึ่งใช้การ์ดอีเทอร์เน็ตแบบ 10 BASE-T

โมเด็มทุกตัวจะต้องมีซึ่งเป็นส่วนประกอบที่เป็นกุญแจสำคัญ 5 อย่างด้วยกัน โดยการเชื่อมโยงส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเคเบิลโมเด็มนั้นได้แสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.5 การเชื่อมโยงส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในเคเบิลโมเด็ม

2.3.4.1 ตัวปรับความถี่ (Tuner)

ตัวปรับความถี่จะเชื่อมต่อกับสายเคเบิลภายนอก ซึ่งในบางครั้งอาจจะมีการใช้อุปกรณ์แยกสัญญาณ (Splitter) สำหรับแยกช่องสัญญาณข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตออกจากโปรแกรมปกติของเคเบิลโทรทัศน์ เมื่อข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตผ่านเข้ามาทางช่องสัญญาณเคเบิลที่ไม่ได้ใช้ ตัวปรับความถี่จะรับสัญญาณดิจิทัลที่ผ่านการมอดูเลต (Modulated Digital Signal) แล้วจะถูกส่งต่อไปยังตัวดีมอดูเลต (Demodulator)

สำหรับในบางกรณีนั้น ตัวปรับความถี่จะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า ตัวแยก - รวมสัญญาณทางความถี่ (Diplexer) ซึ่งจะอนุญาตให้ตัวปรับความถี่ใช้ชุดความถี่ค่าหนึ่งซึ่งมักจะอยู่ในช่วง 50 ถึง 860 MHz สำหรับข้อมูลขาลงและชุดความถี่อีกค่าหนึ่งซึ่งมักจะอยู่ในช่วง 5 ถึง 42 MHz สำหรับข้อมูลขาขึ้น ในระบบอื่น ๆ ส่วนใหญ่มักจะจำกัดในช่วงความถี่มากกว่าจะใช้ตัวปรับความถี่เคเบิลโมเด็มสำหรับรับข้อมูลและโมเด็มแบบการต่อโทรศัพท์ (Dial-up Telephone Modem) สำหรับส่งข้อมูลออกไป ทั้งสองลักษณะนี้ หลังจากที่ตัวปรับความถี่ได้รับสัญญาณแล้ว มันจะผ่านสัญญาณไปยังตัวดีมอดูเลตต่อไป

2.3.4.2 ตัวดีมอดูเลต (Demodulator)

โดยทั่ว ๆ ไปตัวดีมอดูเลตจะทำหน้าที่ 4 ประการ โดยตัวดีมอดูเลตชนิด Quadrature

Amplitude Modulation (QAM) จะรับสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุซึ่งมีข้อมูลถูกเข้ารหัสอยู่ โดยจะทำการเปลี่ยนทั้งแอมพลิจูดและเฟสของคลื่นนั้นให้เป็นสัญญาณพื้นฐานที่สามารถนำไปใช้
เอกสารนี้เป็นเอกสารซึ่งวางไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมวลผลโดยตัวแปลงชนิดแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital Converter: A/D) ได้ซึ่งตัวแปลงชนิดนี้จะแปลงสัญญาณซึ่งมีความต่างศักย์ที่ต่างกันไปเป็นสัญญาณดิจิทัล 1 และ 0 ซึ่งจะต้องมีอุปกรณ์ตรวจสอบความผิดพลาดจากข้อมูลที่ได้รับมาเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน ดังนั้นปัญหาที่พบในขณะที่ถ่ายทอดสัญญาณสามารถตรวจสอบและแก้ไขได้ โดยส่วนใหญ่ ชุดข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบ

2.3.4.3 ตัวมอดูเลต (Modulator)

ในตัวเคเบิล โมเด็มสำหรับระบบเคเบิลที่ใช้ในการส่งข้อมูลนั้น ตัวมอดูเลต (Modulator) จะใช้ในการแปลงข้อมูลดิจิทัลของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไปเป็นสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุในการถ่ายทอด ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

- ส่วนสำหรับการป้อนข้อมูล สำหรับแก้ไขข้อมูลที่ได้รับมาผิดพลาดหลังจากการส่งถ่ายเสร็จสิ้น
- ตัวมอดูเลตชนิด QAM (QAM Modulator)
- ตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก (Digital to Analog Converter: D/A)

2.3.4.4 ตัวควบคุมการเข้าถึงเครือข่าย (Media Access Control: MAC)

ตัวควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายจะอยู่ระหว่างส่วนขาขึ้นและขาลงของเคเบิล โมเด็ม ทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อระหว่างฮาร์ดแวร์กับซอฟต์แวร์ของโปรโตคอลของเครือข่ายต่าง ๆ กล่าวได้ว่า อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อเครือข่ายทุกชิ้นจะต้องมีตัวควบคุมการเข้าถึงเครือข่าย แต่ในกรณีของเคเบิล โมเด็ม ภาระหน้าที่ของตัวควบคุมเครือข่ายมีความซับซ้อนมากกว่าการเชื่อมต่อเครือข่ายทั่ว ๆ ไป ด้วยเหตุผลนี้ ส่วนมากหน้าที่ในการควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายจะไปอยู่ในส่วนของหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit: CPU) อาจเป็นหน่วยประมวลผลกลางของเคเบิล โมเด็มหรือในระบบของผู้ใช้ การควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายมีความซับซ้อนมากเมื่อเทียบกับการเข้าถึงเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และในความเป็นจริงแล้วไม่มีตัวควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายที่สามารถทำงานทั้งหมดได้โดยปราศจากความช่วยเหลือจากหน่วยประมวลผล

2.3.4.5 หน่วยประมวลผล

หน้าที่ของหน่วยประมวลผลจะขึ้นอยู่กับว่าเคเบิล โมเด็มถูกออกแบบมาเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของระบบคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ หรือเพื่อใช้สำหรับให้บริการเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต โดยในการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตหน่วยประมวลผลภายในจะทำหน้าที่ในการควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายจากโมดูลของตัวควบคุมการเข้าถึงเครือข่ายที่ทำหน้าที่เฉพาะ ในระบบที่เคเบิล โมเด็มคือ

หน่วยเดียวที่จำเป็นในการเข้าสู่อินเทอร์เน็ต ซึ่งงานบางชนิดจะใช้หน่วยประมวลผลกลาง

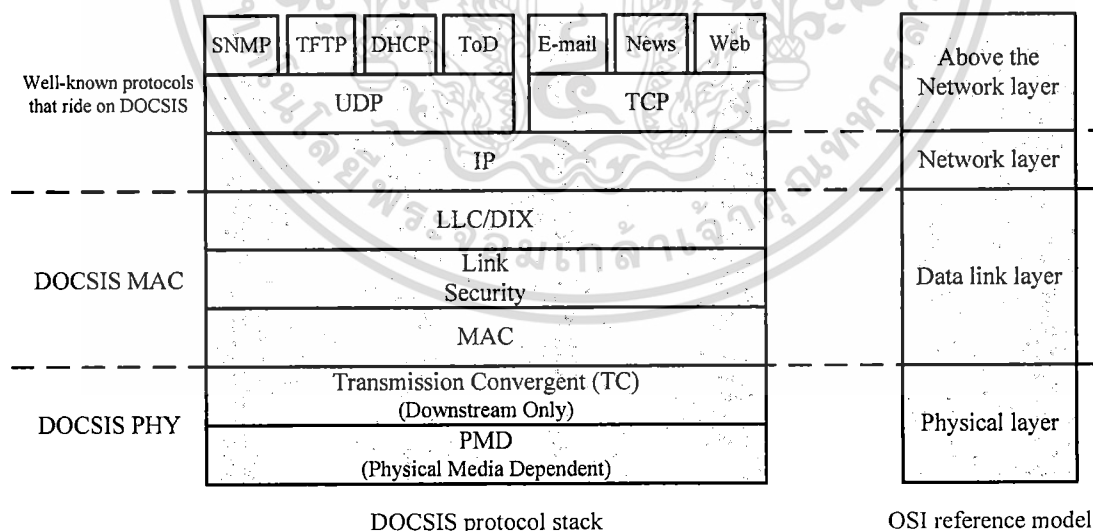
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผู้สนใจสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขบวนการโปรโตคอลและการกำหนดชั้นของเครือข่าย DOCSIS เคเบิลโมเด็ม

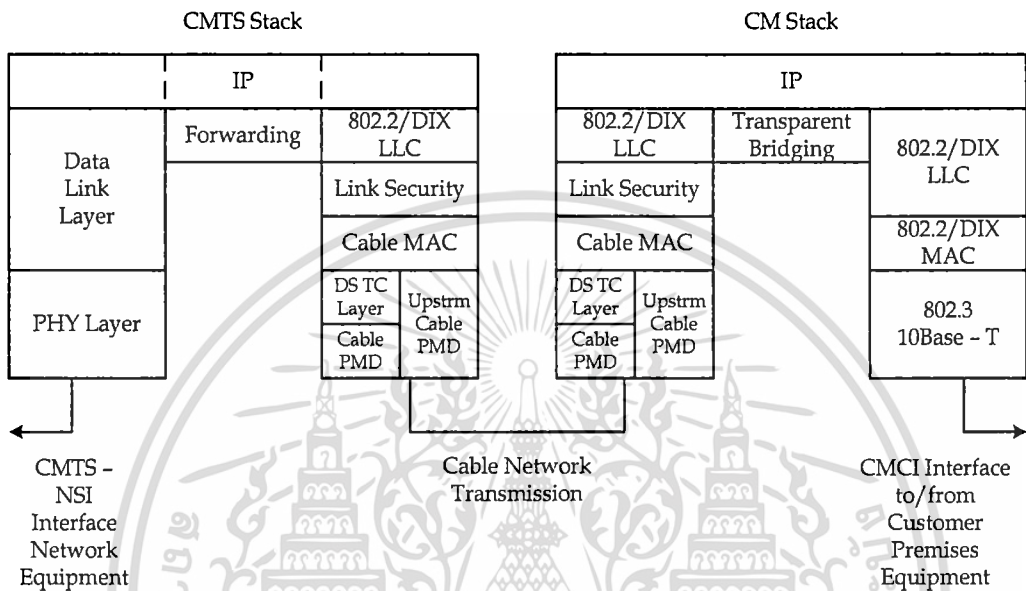
โปรโตคอล DOCSIS เป็นโครงสร้างโปรโตคอลที่มีการเรียงซ้อนทับกันเป็นชั้น ๆ ดังในรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงระดับชั้นของโปรโตคอล DOCSIS เทียบกับแบบจำลองการสื่อสาร OSI (Open System Interconnection (OSI) Model) โดยมีระดับชั้นหลัก 2 ชั้นคือ ชั้นกายภาพ (Physical (PHY) Layer) และชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer: DLL) ชั้นเหล่านี้ได้อธิบายการเปิดทางการขนส่งกลุ่มข้อมูล IP บนเครือข่าย HFC ชั้นที่อยู่เหนือชั้นโปรโตคอล DOCSIS MAC ขึ้นไปคือ ชั้นเครือข่าย (Network Layer) ซึ่งเป็นโปรโตคอลอินเทอร์เน็ต (Internet Protocol (IP) Layer) ชั้นบนสุดเป็นโปรโตคอลมาตรฐานในการให้บริการอินเทอร์เน็ต 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)



รูปที่ 3.1 ระดับชั้นของโปรโตคอล DOCSIS เทียบกับแบบจำลองการสื่อสาร OSI

การส่งต่อข้อมูล (Data Forwarding) ผ่าน CMTS อาจเป็นการเชื่อมต่อเครือข่าย 2 เครือข่าย หรือมากกว่าเข้าด้วยกัน โดยจะแยกข้อมูลส่งผ่านอย่างเหมาะสม หรืออาจใช้ในการส่งต่อในชั้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครือข่าย เช่น การหาเส้นทางเดินของเครือข่าย หรือการสวิตช์ IP เป็นต้น ส่วนการส่งต่อข้อมูลผ่านเคเบิลโมเด็มนั้นเป็นการเชื่อมต่อเครือข่าย 2 เครือข่ายหรือมากกว่าเข้าด้วยกันโดยจะแยกข้อมูลส่งผ่านอย่างเหมาะสม ซึ่งข้อปฏิบัติในการส่งต่อเป็นข้อปฏิบัติที่คล้ายคลึงกับ ISO/IEC 10038 นอกจากนี้การปรับปรุงแก้ไขยังได้อธิบายในข้อปฏิบัติในการส่งต่อผ่าน CMTS และเคเบิลโมเด็มซึ่งยินยอมให้มีการสนับสนุนในชั้นเครือข่ายหลายชั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การส่งต่อข้อมูลผ่านเคเบิลโมเด็มและ CMTS

3.1 ชั้นกายภาพ (Physical (PHY) layer)

ในชั้นกายภาพนี้แบ่งออกเป็นชั้นย่อยได้สองชั้นคือ ชั้นย่อยการรวมการส่ง (Transmission Convergence (TC) Sub-layer) ซึ่งปรากฏอยู่ในทิศทางขาลงเท่านั้น และชั้นย่อยทางกายภาพของสื่อตัวกลางไม่อิสระ (Physical Media-dependent (PMD) Sub-layer)

3.1.1 ชั้นย่อยทางกายภาพของสื่อตัวกลางไม่อิสระ (PMD Sub-layer)

ในทิศทางส่งออก ระบบเคเบิลจะสมมติว่ามีแถบผ่าน (Passband) ที่ขอบล่าง 50 MHz และขอบบนซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งาน แต่ปกติจะอยู่ในช่วง 300 – 860 MHz ภายในแถบผ่านนั้น สัญญาณโทรทัศน์ระบบอนาลอกแบบ NTSC ในช่องสัญญาณ 6 MHz ได้ถูกสมมติให้เห็นในมาตรฐานของ HRC หรือไม่ก็ในแผนความถี่ IRC (มาตรฐานชั่วคราว IS-6 ของ EIA) เช่นเดียวกันกับแถบแคบ (Narrowband) อื่น ๆ และสัญญาณดิจิทัลแถบกว้าง (Wideband) ในทิศทางขาขึ้น

ในระบบเคเบิลอาจจะมีแถบผ่านแยกย่อยที่ 5 – 30 MHz หรืออาจขยายแถบผ่านแยกย่อยออกไปเป็น 5 – 42 MHz สัญญาณโทรทัศน์อนาล็อกแบบ NTSC ในช่องสัญญาณ 6 MHz อาจจะถูกนำเสนอในส่วนส่งกลับเช่นเดียวกันกับสัญญาณอื่น ๆ

เคเบิลโมเด็มได้กำหนดค่าตัวแปรในชั้นกายภาพไว้อย่างน้อยหนึ่งชุด เช่น การมอดูเลชัน (Modulation), การเข้ารหัสแก้ไขความผิดพลาดล่วงหน้า (Forward Error Correction: FEC), อัตราการส่งสัญลักษณ์ (Symbol Rate) เป็นต้น โดยอาศัยการตั้งค่าโครงสร้างภายนอกที่ได้กำหนดไว้ใน DOCSIS

3.1.1.1 การสื่อสารขาขึ้น

ชั้นย่อย PMD ใช้รูปแบบการมอดูเลชันเบิรสต์แบบการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access: FDMA) และการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access: TDMA) โดยที่ FDMA ถูกกำหนดด้วยความสามารถในการมีรูปแบบหลายรูปแบบที่สนับสนุนช่องสัญญาณขาขึ้นหลายช่องสัญญาณในเวลาเดียวกัน ซึ่งช่องสัญญาณในส่วนของการสื่อสารขาขึ้นจะอยู่ในสเปกตรัมระหว่าง 5 MHz และ 42 MHz

ส่วน TDMA ถูกกำหนดโดยวิธีการ “แบ่งเวลาออกเป็นช่วง ๆ เท่า ๆ กัน” บนช่องสัญญาณขาขึ้น เรียกว่า “Mini Slot” ตามปกติ Mini Slot มีความยาว 16 Byte แต่สามารถเพิ่มได้ถึง 128 Byte ซึ่งการใช้ Mini Slot แต่ละสล็อตจะถูกควบคุมโดย CMTS

นอกจากนี้ ชั้นย่อย PMD ยังกำหนดให้มีอัตราการส่งสัญลักษณ์ 5 อัตราคือ 160, 320, 640, 1,280 และ 2,560 ksym/sec และมีรูปแบบในการมอดูเลชันเป็นทั้งแบบ QPSK และ 16 – QAM ซึ่งอัตราการมอดูเลชันและลักษณะที่เปลี่ยนแปลงได้ในการตั้งค่าความถี่คลื่นพาห์ขาขึ้นที่หลากหลายนี้เปิดโอกาสให้ผู้ให้บริการได้นำส่งตำแหน่งภายในช่องว่างในรูปแบบของทางเข้าแถบแคบ โดยอัตราการส่งสัญลักษณ์สำหรับช่องสัญญาณขาขึ้นแต่ละช่องถูกอธิบายในข้อความที่บรรยายถึงช่องสัญญาณขาขึ้น (Upstream Channel Descriptor: UCD) MAC ซึ่งเคเบิลโมเด็มทั้งหมดที่ใช้ช่องสัญญาณขาขึ้นนั้นจะต้องให้อัตราสัญลักษณ์ที่บรรยายถึงการสื่อสารขาขึ้น

รูปแบบในการมอดูเลชันยังเพิ่มการจัดรูปร่างของพัลส์สำหรับประสิทธิภาพเชิงสเปกตรัม ซึ่งเป็นความถี่คลื่นพาห์ที่ว่องไว และยังสามารถเลือกระดับกำลังงานเอาท์พุทได้อีกด้วย รูปแบบของชั้นย่อย PMD สามารถเพิ่มความยาวแบบแปรได้โดยมอดูเลตเบิรสต์ด้วยการเริ่มต้นการจัดเวลาที่แน่นอนที่เส้นแบ่งเขตที่ทำให้เกิดช่องว่างที่แยก 6.25 μ s ออกเป็นจำนวนเต็มหลายจำนวน (ซึ่งก็คือสัญลักษณ์ 16 สัญลักษณ์ที่อัตราข้อมูลสูงสุด)

โดยที่แต่ละเบิรสต์สามารถรองรับการมอดูเลชันที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ อัตราการส่งสัญลักษณ์ ปรีแอมเบิล (Preamble) การสุ่มของข้อมูลสัมภาระ (Randomization of The Payload) และการถอดรหัส FEC ที่สามารถโปรแกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรในการสื่อสารขาขึ้นทั้งหมดเกี่ยวข้องกับเอาต์พุตของการสื่อสารแบบเบิรสต์จากเคเบิลโมเด็มที่สามารถกำหนดค่าได้โดย CMTS ผ่านทางการส่งข้อความ MAC และตัวแปรหลายตัวสามารถโปรแกรมค่าได้บนพื้นฐานของ Burst – to – Burst

ตัวมอดูเลตขาขึ้นเป็นส่วนหนึ่งของเคเบิลโมเด็มซึ่งเชื่อมต่อกับเครือข่ายเคเบิล ตัวมอดูเลตประกอบด้วยฟังก์ชันการมอดูเลชันระดับทางไฟฟ้าและฟังก์ชันในการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสุดท้ายที่กำหนด FEC การปริแอมปริเพนด์ (Preamble Prepend) การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างสัญลักษณ์ (Symbol Mapping) และขั้นตอนในการประมวลผลอื่น ๆ ซึ่งข้อกำหนดนี้ถูกเขียนขึ้นด้วยแนวคิดในการเบิรสต์ที่กั้นการชนกันของข้อมูลในส่วนที่มีการประมวลผลสัญญาณ โดยส่วนที่มีการประมวลผลสัญญาณประกอบไปด้วย (1) การยอมรับการเบิรสต์ของกระแสข่าวสาร ณ เวลาหนึ่ง (2) การประมวลผลกระแสสัญญาณไปยังการเบิรสต์สัญลักษณ์ที่สมบูรณ์สำหรับตัวมอดูเลต (3) การป้อนกระแสสัญลักษณ์ที่เบิรสต์ที่เวลาที่ถูกต้องเหมาะสมไปยังตัวมอดูเลตที่มีหน่วยความจำขนาดเล็กที่เวลาส่งเบิรสต์ที่ชัดเจน โดยส่วนของหน่วยความจำขนาดเล็กของตัวมอดูเลตเท่านั้นที่จะแสดงการจัดรูปพัลส์ (Pulse Shaping) และการแปรผันขึ้นแบบคอเอเรเจอร์ (Quadrature Upconversion)

ที่ตัวมอดูเลตก็เช่นกันกับตัวมอดูเลต มันจะต้องรองรับรูปแบบของการมอดูเลชันแบบ QPSK, 16 – QAM หรือทั้ง 2 รูปแบบ และมีองค์ประกอบของฟังก์ชันพื้นฐาน 2 อย่าง คือ ฟังก์ชันการมอดูเลชันและฟังก์ชันในการประมวลผลสัญญาณ ซึ่งสิ่งที่แตกต่างจากตัวมอดูเลตก็คือ ตัวมอดูเลตจะอยู่ใน CMTS และข้อกำหนดจะถูกเขียนขึ้นด้วยแนวคิดซึ่งที่ว่ามันเป็นฟังก์ชันหนึ่งในการมอดูเลชันซึ่งไม่จำเป็นจะต้องเป็นตัวมอดูเลตทางกายภาพจริง ๆ สำหรับใช้ในแต่ละความถี่ของคลื่นพาห์ ซึ่งฟังก์ชันมอดูเลชันจะรับเอาเบิรสต์ทุกเบิรสต์บนความถี่ที่ได้รับมา

ฟังก์ชันมอดูเลชันของตัวมอดูเลตนั้นยอมรับสัญญาณที่มีระดับผันแปรขึ้น ๆ ลง ๆ ในบริเวณใกล้เคียงกับจุดศูนย์กลางของระดับกำลังงานที่สามารถใช้งานได้และแสดงการจัดเวลาสัญลักษณ์และการกู้คืนคลื่นพาห์และการติดตามที่ได้รับเบิรสต์มา และการมอดูเลชัน นอกจากนี้ฟังก์ชันมอดูเลชันยังได้กำหนดค่าประมาณของการจัดเวลาเบิรสต์ที่สัมพันธ์กับขอบอ้างอิงค่าประมาณของกำลังสัญญาณที่ได้รับ ค่าประมาณของอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal – Noise Ratio) และอาจรองรับการปรับเท่าแบบปรับตัวเองที่ทำให้แบ่งเบาผลลัพธ์ของการสะท้อนกลับในพลาเน็ตเคเบิล (Cable Plant) สิทธิในการเข้าทางแถบแคบ (Narrow Ingress) และการหน่วงแบบกลุ่ม (Group Delay) ด้วย โดยฟังก์ชันการประมวลผลสัญญาณของตัวมอดูเลตจะแสดงการประมวลผลแบบผกผันกับฟังก์ชันการประมวลผลสัญญาณของตัวมอดูเลต ซึ่งฟังก์ชันการประมวลผลสัญญาณได้กำหนดการอ้างอิงการจิดเวลาขอบ (Edge – timing Reference) และสัญญาณเปิดทางเปิดทาง (Gating – enable Signal) ที่ตัวมอดูเลตซึ่งกระตุ้นการได้มาซึ่งเบิรสต์สำหรับแต่ละสล็อตของเบิรสต์ที่กำหนดด้วยฟังก์ชันการประมวลผลสัญญาณอาจกำหนดสิ่งที่จะระบุถึงการ

เอกสารที่สำเร็จขอผิดพลาดในการถอดรหัส หรือความล้มเหลวในการถอดรหัสสำหรับค่าแต่ละ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำที่ใช้ในการตั้งรหัส (Codeword) และจำนวนของสัญลักษณ์ Reed – Solomon ที่ถูกต้องในคำแต่ละคำที่ใช้ในการตั้งรหัส

กำลังงานที่ใช้ส่งเอาต์พุตในการออกแบบแบนด์วิดธ์ของเคเบิลโมเด็มนั้นจะต้องเป็นค่าที่ไม่คงที่บนช่วง +8 dBmV ถึง 55 dBmV สำหรับการมอดูเลชันแบบ 16 – QAM หรือ 58 dBmV สำหรับการมอดูเลชันแบบ QPSK ในลำดับขั้น 1 dB และจะต้องมีเอาต์พุตของสัญญาณที่มอดูเลตกับสัญญาณ RF ตามคุณสมบัติที่ได้อธิบายในตารางที่ 3.1 โดยที่กำลังงานสูงสุดของอินพุตทั้งหมดของตัวมอดูเลตขาขึ้นของเคเบิลโมเด็มจะต้องจะไม่สูงกว่า 35 dBmV ในช่วงความถี่ 5 – 42 MHz ของกระบวนการจัดการ

ตารางที่ 3.1 เอาต์พุตทางไฟฟ้าที่ได้จากเคเบิลโมเด็ม

Parameter	Value
Frequency	5 – 42 MHz edge to edge
Level Range (one channel)	+8 to +55 dBmV (16 – QAM) +8 to +58 dBmV (QPSK)
Modulation Type	QPSK and 16 – QAM
Symbol Rate (nominal)	160, 320, 640, 1,280 and 2,560 ksym/s
Bandwidth	200, 400, 800, 1,600 and 3,200 MHz
Output Impedance	75 ohms
Output Return Loss	> 6 dB (5 – 42 MHz)
Connector	F connector per [ISO-169-24] (common with the input)

3.1.1.2 การสื่อสารขาลง

สำหรับชั้นย่อย PMD ขาลงนั้นจะต้องทำให้สอดคล้องกันกับมาตรฐาน ITU – T J.83B (ITU – T Recommendations J.83, Annex B) ของสหพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศส่วนงานมาตรฐานโทรคมนาคม (International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector: ITU – T) ซึ่งการแก้ไขปรับปรุงมาตรฐาน ITU – T J.83B นี้ไม่เพียงแต่เพิ่มการมอดูเลชันแบบ 64 – QAM แบบดั้งเดิมและตัวแทรกสลับเชิงลึกชนิดคงตัว (Fixed – Depth Interleaver) ที่ใช้ในการส่งวิดีโอดิจิทัลเท่านั้น แต่ยังเพิ่มการมอดูเลชันแบบ 256 – QAM สำหรับอัตราข้อมูลในช่องสัญญาณขาลงที่สูงกว่า เช่นเดียวกันกับตัวแทรกสลับเชิงลึกชนิดแปร (Variable – Depth Interleaver) ในช่องสัญญาณขาลงของ DOCSIS ที่อาจจะครอบคลุมแถบ 6 MHz บางแถบระหว่าง 88 MHz และ 860 MHz ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องสัญญาณขาลง 64 – QAM ถูกพัฒนาอย่างกว้างขวางด้วยกลองรับสัญญาณดิจิทัล และเป็นกรให้บริการวีดิโอดิจิทัลที่นำส่งอย่างสมบูรณ์ไปยังผู้เช่าบริการเคเบิล ช่องสัญญาณขาลงรุ่น 64 – QAM เหล่านี้ได้รับการพิสูจน์แล้วในการทดสอบที่เข้มงวดที่แพร่หลาย ซึ่งเทคโนโลยีนี้พร้อมแล้วสำหรับการใช้งาน ความน่าเชื่อถือของช่องสัญญาณขาลงที่เข้ารหัสแบบ QAM ถูกช่วยเหลือโดย FEC ที่เกี่ยวเนื่องกันอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งกำหนดโดย ITU – T J.83B ในหลายชั้นของการตรวจจับข้อผิดพลาดและการปรับแก้ข้อผิดพลาดซึ่งได้เชื่อมรวมกับการแทรกสลับเชิงลึกชนิดแปรที่กำหนดความยาวที่ยืดหยุ่นของข้อผิดพลาดเบิสต์แบบแปร (Variable – Length Burst Error Resilience) โดยความพอใจของลูกค้าที่รับรองอัตราผิดพลาดในการนำส่งข้อมูล และอัตราข้อมูลสูงร่วมกับอัตราผิดพลาดต่ำจะกำหนดกลไกในการนำส่งแบนด์วิดธ์อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการนำส่งข้อมูลดิจิทัล การวางสลับเชิงลึกชนิดแปรเป็นรูปแบบของการป้องกันข้อผิดพลาด ในระดับชั้นที่อยู่บนพื้นฐานของการวางสลับ ข้อมูลในส่วนส่งออกถูกป้องกันจากความยาวของเบิสต์สัญญาณรบกวน ดังกล่าวถึงในตารางที่ 3.2 แม้มีขอบเขตสัญญาณรบกวนลดน้อยลง ช่องสัญญาณขาลงก็ถูกออกแบบมาให้ส่งสัญญาณ 64 – QAM ด้วยอัตราผิดพลาด (BER) ที่น้อยกว่า 10^{-8} ที่อัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวน (Carrier to Noise (C/N) Ratio) 23.5 dB ส่วนช่องสัญญาณ 256 – QAM สามารถที่หักเอาได้ว่าเป็นการนำส่ง BER เดียวกันที่ C / N 30 dB และถูกแบ่งปันระหว่างผู้เช่า ดังนั้นข้อผิดพลาดจึงถูกแจกแจงแบบสุ่ม (Random) ไปยังผู้เช่า ผลประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มเติมจากกำลังของ FEC นี้เป็นที่ยอมรับในขั้นตอนการจัดการช่องสัญญาณข้อมูลดิจิทัลขาลงขนาด 10 dB ที่ต่ำกว่าระดับชั้นปกติของคลื่นพาห์ของวีดิโอบนระบบ ความช่วยเหลือนี้จะลดการไหลของระบบได้มากที่สุด ขณะที่ให้บริการข้อมูลดิจิทัลที่มีประสิทธิภาพในการส่งต่อ

ความลึกของการวางสลับของตัววางสลับเชิงลึกชนิดแปรสามารถควบคุมให้แปรผันได้เองโดย CMTS ซึ่งกำหนดจากพื้นฐานของสภาพช่องสัญญาณ RF โดยเคเบิลโมเด็มต้องยอมรับสัญญาณที่เข้ารหัสสัญญาณ RF ตามคุณสมบัติที่อธิบายในตารางที่ 3.2 โดยที่ระดับสัญญาณเอาท์พุทของ CMTS เป็นตัวแปรบนช่วง 50 – 61 dBmV

ตารางที่ 3.2 อินพุททางไฟฟ้าที่ส่งไปยังเคเบิล โมเด็ม

Parameter	Value
Center Frequency	91 – 857 MHz \pm 30 kHz
Level Range (one channel)	-15 dBmV to +15 dBmV
Modulation Type	64 – QAM and 256 – QAM
Symbol Rate (nominal)	5.056941 Msym/s (64 – QAM) and 5.360537 Msym/s (256 – QAM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

Parameter	Value
Bandwidth	6 MHz
Total Input Power (40 – 900 MHz)	< 30 dBmV
Input (Load) Impedance	75 ohms
Input Return Loss	> 6 dB (88 – 860 MHz)

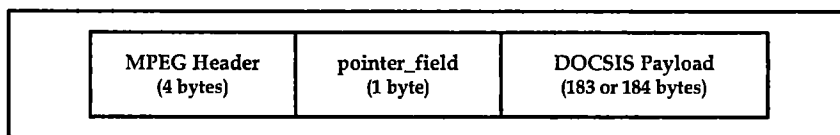
3.1.2 ชั้นย่อยการรวมการส่ง (Transmission Convergence (TC) Sub-layer)

ชั้นย่อย TC นี้อยู่กึ่งกลางระหว่างชั้นย่อย PMD และชั้นย่อย MAC ซึ่งจะอยู่ในทิศทางขาลงเท่านั้น เพื่อใช้ในการปรับปรุงความมีประสิทธิภาพในการติมอดูเลชันให้ดีขึ้น ช่วยให้ฮาร์ดแวร์ที่รับทั้งวิดีโอและข้อมูลสามารถรับได้ง่ายขึ้น และจัดหาโอกาสสำหรับการมัลติเพล็กซ์ที่มีความเป็นไปได้ว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตของวิดีโอและข้อมูลบนกระแสบิต (Bitstream) ของชั้นย่อย PMD

ชั้นย่อย TC เป็นโปรโตคอลหนึ่งที่ยินยอมให้มีการให้บริการหลาย ๆ ประเภทร่วมกันบนคลื่นพาห์ที่ใช้ช่องสัญญาณ RF เดียวกัน สำหรับ DOCSIS ชั้นย่อย TC คือโปรโตคอล MPEG – 2 ที่เห็นได้ว่ามีการใช้เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ในเครือข่าย CATV การใช้ MPEG – 2 หมายความว่า ข้อมูลข่าวสารชนิดอื่น ๆ ที่ได้ห่อหุ้มไว้ด้วย MPEG – 2 เช่น เสียงและวิดีโอ สามารถส่งไปเป็นข้อมูล DOCSIS เคเบิลโมเด็มบนคลื่นพาห์ที่ใช้ช่องสัญญาณ RF เดียวกันได้ทั้งหมด นั่นคือ เสียง วิดีโอและข้อมูลสามารถส่งไปในช่องสัญญาณขาลงได้

MPEG ได้กำหนดกลไกในการระบุกลุ่มข้อมูลเฉพาะภายในกระแส MPEG กลไกนี้เรียกว่า ตัวระบุโปรแกรมได้ (Program Identifier: PID) ซึ่งถูกนำเสนอในเฟรม MPEG ทุกเฟรม โดย DOCSIS ได้ประกาศค่า 0 x 1FFE ให้เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่าคือ PID สำหรับทุก ๆ ทราฟฟิกของเคเบิลโมเด็มบนช่องสัญญาณนั้น และ DOCSIS เคเบิลโมเด็มจะดำเนินการบนกลุ่มข้อมูล MPEG ด้วย PID นี้เท่านั้น นอกจากนี้ กระแสบิตขาลงได้ถูกกำหนดว่าให้เป็นชุดของกลุ่มข้อมูล MPEG ขนาด 188 bytes โดยกลุ่มข้อมูลเหล่านี้จะประกอบไปด้วย ส่วนหัว (Header) 4 bytes และข้อมูลสัมภาระ (Payload) 184 bytes ซึ่งส่วนหัวนั้นระบุให้ข้อมูลสัมภาระเป็นส่วนหนึ่งของ Data – Over – Cable (DOC) MAC ส่วนค่าอื่น ๆ ของส่วนหัวอาจจะบอกถึงข้อมูลสัมภาระอื่น ๆ โดยการรวมตัวกันของข้อมูลสัมภาระ MAC และข้อมูลสัมภาระของการให้บริการแบบอื่น ๆ ที่ถูกเลือกและถูกควบคุมโดย CMTS

รูปแบบของกลุ่มข้อมูล MPEG ที่บรรจุทุกข้อมูล DOCSIS แสดงดังรูปที่ 3.3 กลุ่มข้อมูลนี้ประกอบไปด้วย MPEG Header 4 – byte, pointer_field และ DOCSIS Payload



รูปที่ 3.3 รูปแบบของกลุ่มข้อมูล MPEG

โดยรูปแบบของส่วนหัวสำหรับใช้บน DOCSIS PID ถูกจำกัดด้วยค่าพิเศษเฉพาะของเขตข้อมูลซึ่งแยกกระแส DOC MAC ดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยชื่อของเขตข้อมูลนำมาจากข้อกำหนด ITU และรูปแบบของส่วนหัวได้ทำให้สอดคล้องกับมาตรฐาน MPEG

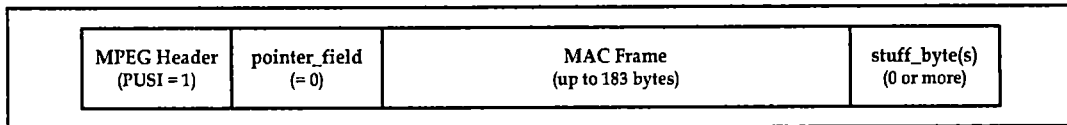
ตารางที่ 3.3 รูปแบบของส่วนหัวของ MPEG สำหรับกลุ่มข้อมูล DOCSIS

ขอบเขต	ความยาว (bit)	คำอธิบาย
sync_byte	8	0x47 ; MPEG Packet Sync Byte
Transport_error_indicator	1	ระบุข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับข้อมูลของกลุ่มข้อมูล ซึ่งบิตนี้จะถูกตั้งใหม่เป็น 0 โดยตัวส่ง และจะตั้งค่าเป็น 1 ก็ต่อเมื่อมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นในการส่งกลุ่มข้อมูล
payload_unit_start_indicator	1	ค่าหนึ่งที่ระบุถึงการมีอยู่ของ pointer_field ที่เป็นไบต์แรกของข้อมูลสัมภาระ (ไบต์ที่ห้าของกลุ่มข้อมูล)
transport_priority	1	จองแล้ว; ตั้งค่าเป็น 0
PID	13	DOC ของ DOCSIS ที่เรียกว่า PID (0x1FFE)
transport_scrambling_control	2	จองแล้ว; ตั้งค่าเป็น '00'
Adaptation_field_control	2	'01'; ใช้ใน adaptation_field ที่ไม่ได้รับอนุญาตบน DOCSIS PID
Continuity_center	4	ตัวนับแบบวนภายใน PID นี้

ส่วนข้อมูลสัมภาระ MPEG ของกลุ่มข้อมูล MPEG จะบรรจุทุกเฟรม DOCSIS MAC โดยถ้า "payload_unit_start_indicator (PUSI)" ของส่วนหัวของ MPEG ถูกตั้งค่าให้เป็น 1 ไบต์แรกของข้อมูลสัมภาระ MPEG จะเป็น "pointer_field" ที่ถูกนำเสนอให้เป็นไบต์ที่ห้าของกลุ่มข้อมูล MPEG

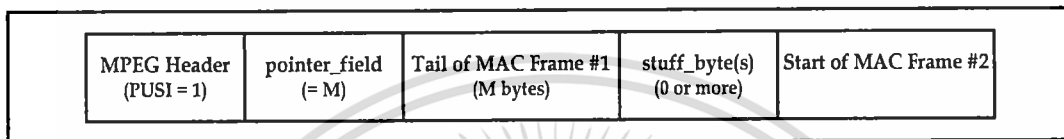
จำนวนของไบต์จะบรรจุ pointer_field ในกลุ่มข้อมูลที่ตามติด pointer_field นี้ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งตัวถอดรหัสเคเบิลโมเด็มจะต้องข้ามผ่านไปก่อนที่จะมองหาจุดเริ่มต้นของเฟรม DOCSIS MAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 รูปแบบของกลุ่มข้อมูลเมื่อเฟรม MAC ตามหลัง pointer_field ทันที

เขตของข้อมูลตัวชี้ต้องถูกนำเสนอ ถ้ามันเป็นไปได้ที่จะเริ่มต้นเฟรม DOC MAC ในกลุ่มข้อมูล และจะต้องชี้ที่จุดเริ่มต้นของเฟรม MAC เฟรมแรกที่เริ่มต้นในกลุ่มข้อมูลหรือไม่ก็ที่ stuff_byte บาง ไบต์ที่อยู่ข้างหน้า MAC เฟรม ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 รูปแบบของกลุ่มข้อมูลที่นำหน้าเฟรม MAC โดย stuff_byte

มาตรฐานนี้อธิบายแบบอย่างของ stuff_byte ซึ่งมีค่า (0 x FF) ที่ถูกใช้ภายในข้อมูลสัมภาระของ DOCSIS เพื่อให้บางช่องว่างระหว่างเฟรม DOCSIS MAC สมบูรณ์ โดยค่าที่ถูกเลือกนี้เป็นค่าที่ไม่ได้ใช้สำหรับไบต์แรกของเฟรม DOCSIS MAC

3.2 ชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer: DLL)

ชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (DLL) เป็นชั้นที่ 2 ที่ถูกใช้โดย DOCSIS ประกอบด้วยชั้นย่อย 3 ชั้นคือ

- ชั้นย่อย Media Access Control (MAC)
- ชั้นย่อย Link Layer Security
- ชั้นย่อย Logical Link Control (LLC)

โดยชั้นย่อย MAC เป็นองค์ประกอบสำคัญในกระบวนการจัดการเข้าถึงเครือข่ายและในการวิจัยจะทำการพิจารณาเฉพาะที่ชั้นย่อย MAC ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการอธิบายแต่เฉพาะชั้นย่อย MAC เท่านั้น

โดยลักษณะที่โดดเด่นของโปรโตคอล MAC ประกอบด้วยการให้บริการดังต่อไปนี้

- การจัดสรรแบนด์วิดท์ซึ่งควบคุมโดย CMTS
- กระแสของ Mini Slot ในทิศทางขาขึ้น
- การผสมแบบพลวัตของจังหวะในการส่งที่มีการช่วงชิงและการจองช่องสัญญาณขาขึ้น
- การขยายที่ได้เตรียมสำหรับการสนับสนุนขนาดของ ATM (Asynchronous Transfer Mode) หรือ Data PDUs (Packet Data Units) อื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คุณภาพในการให้บริการ (Quality – Of – Service: QOS) ซึ่งประกอบด้วย
 - การรองรับสำหรับการรับประกันแบนด์วิดท์และเวลาที่ใช้ไปในการดำเนินการ
 - การจัดกลุ่มข้อมูลเป็นหมวดหมู่ (Packet Classification)
 - การสร้างการให้บริการแบบพลวัต (Dynamic Service Establishment)
- การขยายที่ได้เตรียมสำหรับการรักษาความปลอดภัยที่ชั้น DLL
- การสนับสนุนสำหรับช่วงของอัตราข้อมูลที่กว้าง

นอกจากนี้ DOCSIS ยังเพิ่มจุดเด่นในการรักษาความปลอดภัย เรียกว่า Baseline Privacy Interface (BPI) ซึ่งไม่มีในมาตรฐานอื่น ๆ โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะเสนอความเป็นส่วนตัวของข้อมูลผู้ใช้ที่ถูกนำไปบนพลาเน็ต แต่ลดความสิ้นของการเตรียมการรักษาความปลอดภัยที่สมบูรณ์

3.2.1 ข้อกำหนดในการควบคุมการเข้าใช้ตัวกลาง

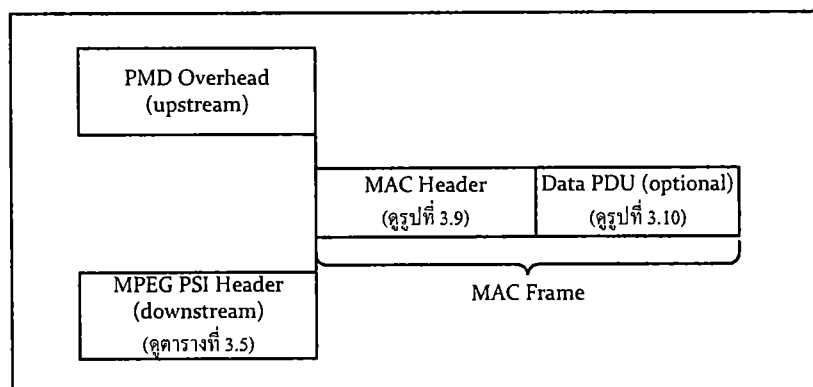
โดเมนของชั้นย่อย MAC เป็นการรวบรวมช่องสัญญาณขาขึ้นและขาลงสำหรับการจัดสรร MAC เดี่ยวและจัดการโปรโตคอลการจัดการ (Management Protocol) โดยมักจะมี CMTS 1 ตัว และ เคเบิลโมเด็มบางจำนวนใน MAC – Domain เคเบิลโมเด็มแต่ละตัวจะเข้าถึงช่องสัญญาณขาขึ้นเชิงตรรกะ 1 ช่องและช่องสัญญาณขาลงเชิงตรรกะ 1 ช่อง ณ เวลาหนึ่ง

การไหลการให้บริการถูกบัญญัติขึ้นสำหรับการสื่อสารระหว่างเคเบิลโมเด็มและ CMTS โดยตัวระบุการไหลการให้บริการ (Service Flow Identifier) จะกำหนดการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างเคเบิลโมเด็มและ CMTS ในทิศทางเดียว เคเบิลโมเด็มอาจจะร้องขอการไหลการให้บริการที่ถูกบัญญัติขึ้นระหว่างการลงทะเบียนเคเบิลโมเด็ม 1 ครั้งหรือมากกว่า หรือใช้การสร้างการให้บริการแบบพลวัต โดยจะต้องบัญญัติการไหลการให้บริการขาขึ้นอย่างน้อย 1 ครั้งและขาลงอย่างน้อย 1 ครั้งสำหรับการสื่อสารพื้นฐาน ตัวระบุการไหลการให้บริการที่ใช้งานอยู่เป็นตัวระบุการให้บริการ (Service Identifier: SID) ที่มีความสัมพันธ์กันซึ่งถูกใช้โดย CMTS สำหรับการจัดการคุณภาพในการให้บริการและการจัดสรรแบนด์วิดท์ โดยความยาวของตัวระบุการไหลการให้บริการคือ 32 bit และความยาวของ SID คือ 14 bit

สำหรับจังหวะในการส่งข้อมูลขาขึ้น ช่วงเวลาขาขึ้นจะถูกแบ่งออกเป็นช่วง ๆ โดยกระบวนการจัดสรรแบนด์วิดท์ขาขึ้น โดยแต่ละช่วงเป็นจำนวนของ Mini Slot ที่เป็นเลขจำนวนเต็ม สำหรับแต่ละช่วง รหัสที่ใช้กันอยู่เป็นประจำจะอธิบายถึงชนิดของทราฟฟิกที่สามารถส่งไปได้ระหว่างช่วงนั้นและการถอดรหัสการมอดูเลชันในชั้นกายภาพ โดย CMTS จะกำหนดจำนวนแต่ละ Mini Slot ที่สัมพันธ์กับข้ออ้างอิงหลักและจะแจกแจงข้ออ้างอิงหลักนี้ไปยังเคเบิลโมเด็มโดยใช้ข้อความการจัดการ (Management Messages)

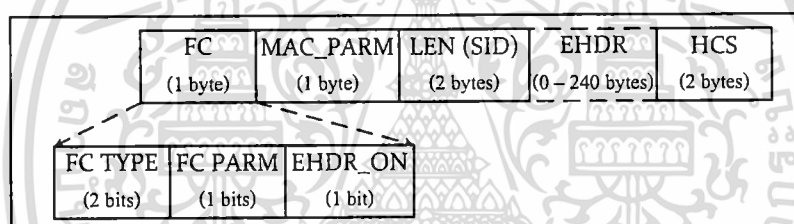
เฟรม MAC เป็นหน่วยพื้นฐานของการถ่ายโอนระหว่างชั้นย่อย MAC ที่เคเบิลโมเด็มและ CMTS รูปแบบเฟรมทั่วไปแสดงในรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 รูปแบบของเฟรม MAC ทั่วไป

ส่วนหัวของ MAC ถ้าไม่ถูกนำหน้าด้วย PMD Overhead (สำหรับการสื่อสารขาขึ้น) ก็จะถูกนำหน้าด้วยส่วนหัวของ MPEG (สำหรับการสื่อสารขาลง) ส่วนหัวของ MAC จะระบุถึงขนาดของเฟรม MAC สิ่งที่มาตามส่วนหัวก็คือ ส่วนของ Data PDU เสร็จแล้วส่วนหัวของ MAC ทั้งหมดจะต้องมีรูปแบบทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 3.7



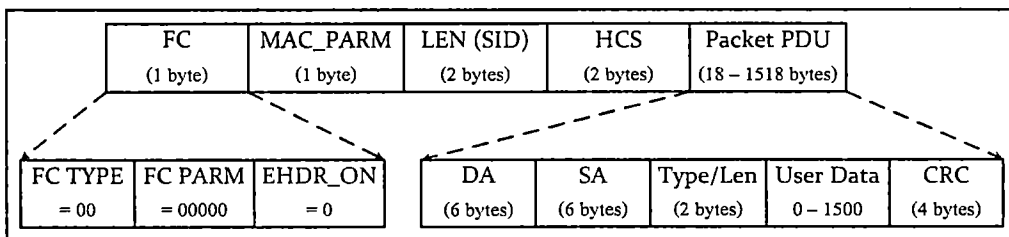
รูปที่ 3.7 รูปแบบของส่วนหัวของ MAC

ขอบเขตการควบคุมเฟรม (Frame Control: FC) เป็นไบต์แรกและมีลักษณะเฉพาะในการระบุส่วนที่เหลือของขนาดภายในส่วนหัวของ MAC ไบต์ FC ถูกตามด้วย 3 ไบต์ของตัวควบคุม MAC (MAC Control), ขอบเขตส่วนหัวที่ขยายเสริมออกไป (OPTIONAL Extended Header: EHDR) และลำดับการตรวจสอบส่วนหัว (Header Check Sequence: HCS) ที่รับรองความสมบูรณ์ของส่วนหัวของ MAC

ชนิดและรูปแบบของ Data PDU จะถูกกำหนดในไบต์ FC ในส่วนหัวของ MAC โดยไบต์ FC ได้กำหนดกลุ่มข้อมูลของ Data PDU, ATM Data PDU, เฟรม MAC จำเพาะและตำแหน่งรหัสที่จองไว้ (ใช้เป็นกลไกในการหลบหลีกการขยายออกในอนาคต) เคนิลโมเต็มทั้งหมดจะต้องใช้ความยาวในส่วนหัวของ MAC เพื่อข้ามไปยังข้อมูลที่จองไว้บางข้อมูล

โดยปกติแล้ว กลุ่มข้อมูล PDU จะต้องถูกส่งจากเครือข่ายด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งในสภาพที่สมบูรณ์ กลุ่มข้อมูลส่วนหัวของ MAC ซึ่งมีลักษณะเฉพาะจะถูกเพิ่มเติมไปยังจุดเริ่มต้นโดยรูปแบบเฟรมของกลุ่มข้อมูล PDU ซึ่งปราศจาก EHDR ต้องเป็นดังแสดงในรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 รูปแบบของกลุ่มข้อมูล PDU

มีส่วนหัวของ MAC หลายอันที่ถูกใช้สำหรับฟังก์ชันที่พิเศษมาก ๆ ฟังก์ชันเหล่านี้เพิ่มการรองรับการจัดเวลาขาลงและการปรับค่า Ranging และค่าพลังงานขาขึ้น การร้องขอแบนด์วิดท์ การแบ่งออกเป็นส่วนย่อยและการต่อกันของเฟรม MAC หลาย ๆ เฟรม

3.2.2 การจัดสรรแบนด์วิดท์ขาขึ้น

ช่องสัญญาณขาขึ้นถูกกำหนดรูปแบบเป็นกระแสของ Mini Slot โดย CMTS จะต้องสร้างช่วงเวลาอ้างอิงสำหรับระเบิดแต่ละอัน นอกจากนี้มันยังต้องควบคุมการเข้าถึงยังระเบิดเหล่านี้โดยเคเบิลโมเด็ม ตัวอย่างเช่น มันอาจจะโอนจำนวนของระเบิดบางจำนวนที่ติดกันไปยังเคเบิลโมเด็มเพื่อที่มันจะได้ส่ง Data PDU เป็นต้น เคเบิลโมเด็มจะต้องเลือกจังหวะเวลาในการส่งของมันเองเพื่อที่ว่า CMTS จะได้รับมันในเวลาอ้างอิงที่กำหนด ซึ่งกลไกพื้นฐานสำหรับกำหนดค่าการจัดการแบนด์วิดท์ก็คือ MAP ที่ใช้ในการจัดสรรซึ่งจะอธิบายในหัวข้อต่อไป โดยกระบวนการกำหนดลำดับงานที่ต่างกันหลากหลายกระบวนการอาจจะถูกนำไปใช้ใน CMTS นอกจากนี้การจัดสรรแบนด์วิดท์ยังเพิ่มองค์ประกอบพื้นฐานดังต่อไปนี้

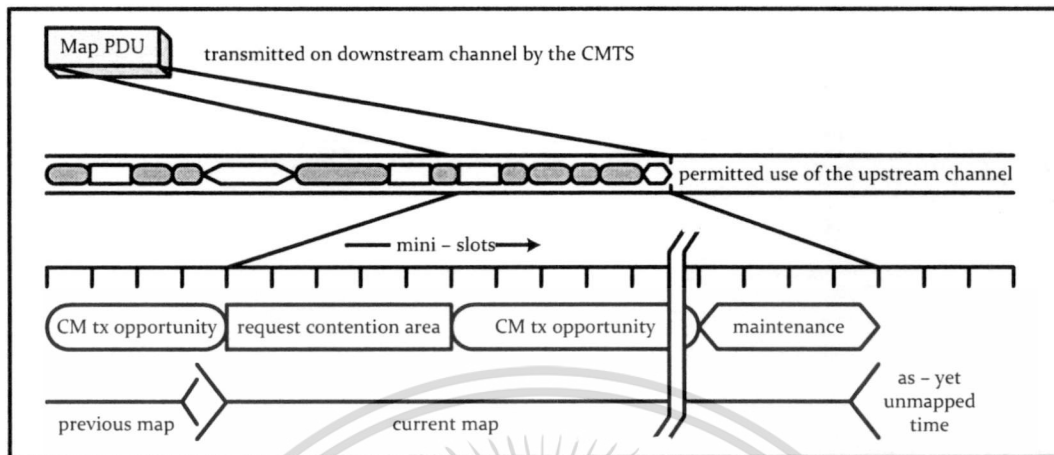
- เคเบิลโมเด็มแต่ละตัวมี SID ตัน ๆ 1 ตัวหรือมากกว่า (14 bits) และที่อยู่ 48 bits ด้วย
- แบนด์วิดท์ขาขึ้นถูกแบ่งออกเป็นกระแสของ Mini Slot ซึ่งแต่ละระเบิดจะถูกกำหนดจำนวนให้สัมพันธ์กับค่าอ้างอิงที่บำรุงรักษาโดย CMTS ข้อมูลข่าวสารที่เข้าสู่สัญญาณนาฬิกาจะถูกแจกแจงไปยังเคเบิลโมเด็มโดยการใช้กลุ่มข้อมูลที่เข้าจังหวะกัน
- เคเบิลโมเด็มอาจจะปล่อยการร้องขอออกไปยัง CMTS สำหรับแบนด์วิดท์ขาขึ้น

CMTS จะต้องส่งการจัดสรร MAP PDU บนช่องสัญญาณขาขึ้นที่นิยมถึงการให้ Mini Slot แต่ละระเบิดที่ได้รับอนุญาต

3.2.3 ข้อความการจัดการ MAP ที่ใช้ในการจัดสรร

เคเบิลโมเด็มทุก ๆ ตัวจะได้รับข้อความ MAP เป็นช่วง ๆ อย่างสม่ำเสมอจาก CMTS เพื่อกำหนดจังหวะในการส่งบนช่องสัญญาณขาขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยข่าวสารควบคุมนี้จะเป็นตัวกำหนดรายละเอียดของการจัดสรรแบนด์วิดท์ขาขึ้นที่ใช้ร่วมกัน ถ้ามีเคเบิลบางตัวต้องการร้องขอ

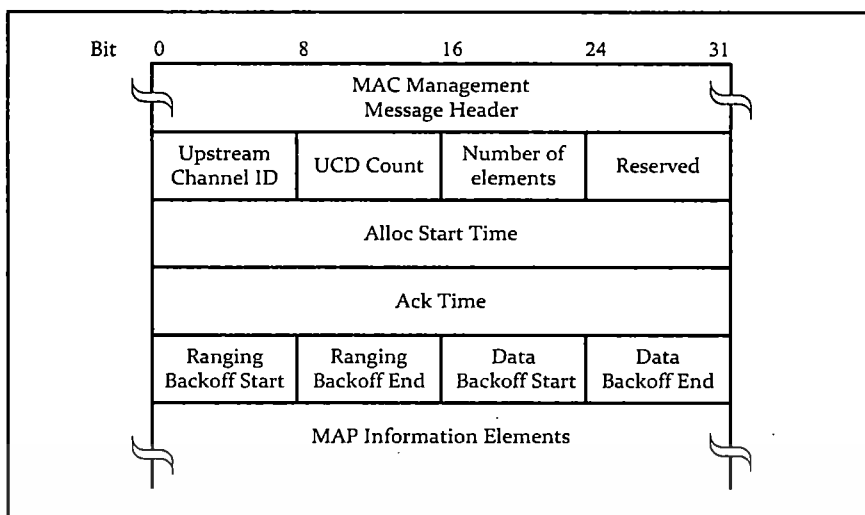
การจัดสรรจะต้องมีการช่วงชิงเพื่อที่จะได้มีสิทธิในการเข้าถึง ซึ่งการร้องขอนั้นจะถูกระบุลงไปใน MAP ด้วย



รูปที่ 3.9 MAP ที่ใช้ในการจัดสรร

Mini Slot มีค่าขึ้นอยู่กับจำนวนของเวลาการร้องขอที่ส่งขนาด 16 byte ซึ่งประกอบด้วย ชนิดของการมอดูเลชันขาขึ้นที่ได้รับมาและอัตราการส่งสัญลักษณ์ การใช้แบนด์วิดธ์ขาขึ้นที่ได้รับอนุญาตแล้วนั้นได้ถูกอธิบายด้วยรหัสการใช้ช่วงเวลา (Interval Usage Codes: IUC) 6 ตัว ข้อความ MAP จะจัดสรร Mini Slot ที่มี IUC ที่หลากหลายสำหรับช่วงเวลาที่มันยื่นข้อความร้องขอ กระแสข้อมูลที่บรรจุอยู่ใน IUC คือ SID ที่พวกมันประยุกต์ใช้และค่าออฟเซตของ Mini Slot ซึ่งจะแสดงเมื่อพวกมันสอดคล้องกับค่าที่ใช้งานอยู่ นอกจากนี้ ข่าวสาร MAP ยังเพิ่มส่วนหัวที่มีความยาวจำกัดตามด้วยจำนวนขององค์ประกอบข่าวสาร (Information Element: IE) ที่แปรผันได้ในรูปแบบที่แสดงในรูปที่ 3.10 IE แต่ละองค์ประกอบจะอธิบายถึงการได้รับอนุญาตสำหรับช่วงหนึ่งของ Mini Slot ซึ่งมักจะรับทราบโดยเคเบิลโมเด็มและ CMTS ว่าบิตที่ต่ำกว่า 26 Mbits ของระยะเวลาเริ่มต้นการจัดสรร (Allocation (Alloc) Start Time) ซึ่งเป็นเวลาเริ่มต้นที่มีประสิทธิภาพจากกระบวนการเริ่มต้นของ CMTS (ใน Mini Slot) สำหรับการกำหนดค่าภายใน MAP นี้และระยะเวลาในการตอบรับ (Acknowledgement (Ack) Time) ซึ่งเป็นเวลาล่าสุดที่มีประสิทธิภาพจากกระบวนการเริ่มต้นของ CMTS ใน Mini Slot ซึ่งดำเนินการในช่องสัญญาณขาขึ้น ระยะเวลาที่ถูกใช้โดยเคเบิลโมเด็มเพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจจับการชนกัน เมื่อ $M = 1, 2, \dots, 7$ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวนับ Alloc Start/Ack Time และตัวนับ Timestamp ได้อธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 3.2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



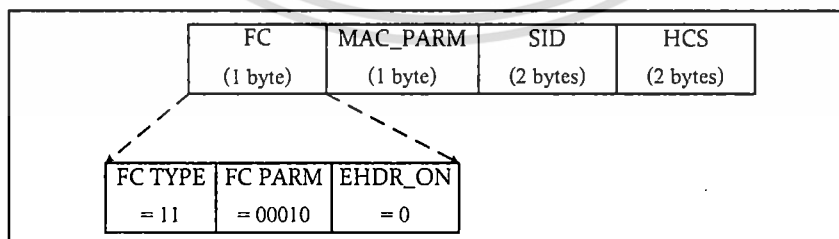
รูปที่ 3.10 รูปแบบของ MAP

3.2.4 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 ที่อยู่ภายใน MAP จะถูกจัดลำดับอย่างเข้มงวดด้วยค่าออฟเซตการเริ่มต้น

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

1. **Request IE** – ใช้ในการกำหนดช่วงเวลาขาขึ้นในการร้องขอแบนด์วิดท์สำหรับการส่งข้อมูลขาขึ้น ลักษณะของ IE นี้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของ SID โดยกลุ่มข้อมูลที่ส่งในช่วงเวลานี้จะต้องใช้รูปแบบของเฟรม Request MAC ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 รูปแบบของเฟรม Request MAC

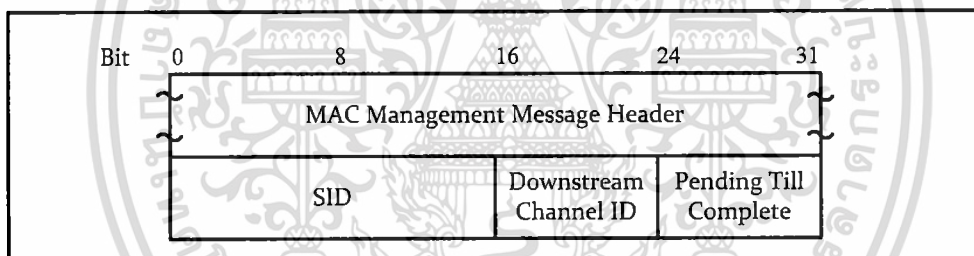
2. **Request/Data IE** – ใช้ในการกำหนดช่วงเวลาขาขึ้นในการร้องขอแบนด์วิดท์หรือกลุ่มข้อมูลสั้น ๆ ที่อาจจะถูกส่ง ซึ่ง IE นี้ถูกแยกจาก Request IE ในที่นี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มันกำหนดวิธีการด้วยกระบวนการจัดสรรซึ่งอาจจัดเตรียมสำหรับการช่วงชิงข้อมูลโดยตรงและกำหนดวิธีการที่อาศัยจังหวะนี้ในการรับคืนข้อมูลด้วยการเรียกข้อมูลเครือข่ายเพิ่ม
- SID แบบมัลติคาสต์ (Multicast) ถูกใช้กำหนดความยาวของข้อมูลสูงสุดและจุดเริ่มต้นการส่งที่ได้รับอนุญาตภายในช่วงเวลา ตัวอย่างเช่น ID แบบมัลติคาสต์ที่จำกัดเฉพาะอาจกำหนดค่าสูงสุดของกลุ่มข้อมูลเป็น 64 bytes และจะส่งในทุกๆ สล็อตที่ 4

ดังนั้นกลุ่มข้อมูลที่ส่งภายในช่วงเวลานี้อาจจะชนกัน CMTS จะต้องตอบรับบางอย่างว่าได้รับสำเร็จแล้ว กลุ่มข้อมูลต้องชี้บอกในส่วนหัวของ MAC เมื่อต้องการการตอบรับข้อมูล

3. Initial Maintenance IE – ใช้ในการกำหนดช่วงเวลาในสถานีใหม่ที่อาจจะเข้าร่วมในเครือข่าย ช่วงเวลาที่ยาวซึ่งมีค่าเท่ากับค่าเวลาหน่วงการแพร่กระจายไปกลับสูงสุดบวกกับเวลาในการส่งข้อความ Ranging Request (RNG – REQ) จะต้องถูกกำหนดยังสถานีใหม่ที่ได้รับอนุญาตที่กระทำการประเดิม Ranging กลุ่มข้อมูลที่ส่งในช่วงเวลานี้จะต้องใช้รูปแบบข้อความจัดการ RNG – REQ MAC ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 รูปแบบข้อความจัดการ RNG – REQ MAC

4. Station Maintenance IE – ใช้ในการกำหนดช่วงเวลาในสถานีที่ถูกคาดหวังว่าจะแสดงบางด้านของการบำรุงรักษาเครือข่ายอันเป็นปกติประจำวัน เช่น การแก้ไข Ranging และกำลังงาน CMTS อาจจะร้องขอเคเบิลโมเด็มที่จำกัดเฉพาะนั้นให้แสดงบางภาระกิจที่สัมพันธ์กับการบำรุงรักษาเครือข่าย เช่น การแก้ไขกำลังที่ส่งเป็นคาบ ในกรณีนี้ Station Maintenance IE เป็นยูนิคาสต์ (Unicast) ที่กำหนดแบนด์วิดท์ขาขึ้นที่แสดงในภาระกิจนี้ กลุ่มข้อมูลที่ส่งในช่วงเวลานี้จะต้องใช้รูปแบบข้อความจัดการ RNG – REQ MAC ดังรูปที่ 3.12

5. Short and Long Data Grant IEs – ใช้ในการกำหนดจังหวะสำหรับเคเบิลโมเด็มที่จะส่ง PDU ขาขึ้น 1 หน่วยหรือมากกว่า IE เหล่านี้ปล่อยออกในผลการตอบสนองการร้องขอจากสถานีหรือไม่ก็เนื่องมาจากนโยบายในการบริหารที่กำหนดบางจำนวนของแบนด์วิดท์ไปยังสถานีที่

จำกัดเฉพาะ IE เหล่านี้ยังอาจจะถูกใช้กับความยาวที่อ้างอิงเป็น 0 Mini Slot ที่ชี้บอกว่าการร้องขอได้รับเรียบร้อยแล้วและกำลังค้างอยู่ (Data Grant Pending)

Short Data Grants ถูกใช้กับช่วงเวลาซึ่งน้อยกว่าหรือเท่ากับขนาดของเบิร์ตสูงสุดสำหรับใช้กำหนดใน UCD ถ้าโพรไฟล์เบิร์ตของ Short Data ถูกนิยามใน UCD ดังนั้น Long Data Grants จะต้องเป็นจำนวนของ Mini Slot ที่ใหญ่กว่าค่าสูงสุดสำหรับ Short Data ความแตกต่างระหว่าง Long Data Grants และ Short Data Grants อาจจะถูกใช้ประโยชน์ในการเข้ารหัส FEC ในชั้นกายภาพ อีกนัยหนึ่งคือ มันไม่ใช่กระบวนการที่มีความสำคัญในการจัดสรรแบนด์วิดท์

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

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

IE นี้จะต้องตามหลังด้วย Null IE ซึ่งอนุญาตให้ดำเนินการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่แท้จริงทั้งหมดก่อนการกวาดตรวจ 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

3.2.5 การร้องขอทางด้านส่ง

การร้องขออ้างอิงถึงกลไกซึ่งเคเบิลโมเด็มใช้ในการชี้บอกไปยัง CMTS ว่ามันต้องการการจัดสรรแบนด์วิดท์มากขึ้น การร้องขออาจจะเป็นการส่งเฟรมร้องขอแบบ Stand – Alone หรือมันอาจจะเป็นการร้องขอ Piggyback ใน EHDR ของการส่งเฟรมอีกอันหนึ่ง ถ้าสถานีได้มีการจัดสรร Mini Slot ที่จะส่ง Data PDU ของมันและได้มีการร้องขอที่มาถึงยังสถานี มันสามารถ Piggyback การร้องขอบน PDU ที่จะส่งในครั้งต่อไปของมัน แทนที่จะส่งการร้องขอใน PDU ที่มีการช่วงชิงกลไกนี้หมายความว่า การส่งของเบิร์ตแรกเท่านั้นที่มีการช่วงชิงสำหรับการร้องขอ Mini Slot

ข้อดีของ Piggyback คือการร้องขอสำหรับ PDU ที่เพิ่มเข้าไปรอในแถวคอยนั้นสามารถทำได้โดยเคเบิลโมเด็มที่ฟันฝ่าการชนกันที่ขยายออกไป นั่นคือการ Piggyback โดยเคเบิลโมเด็ม ซึ่งในปัจจุบันมีการจัดสรร PDU ที่ช่วยลดทราฟฟิกและความน่าจะเป็นของการชนกันใน Mini Slot ที่

มีการช่วงชิง และด้วยวิธีนั้นทำให้เคเบิลโมเด็มอื่น ๆ ซึ่งกำลังส่งการร้องขอในโหมดที่มีการช่วงชิง ได้รับประโยชน์

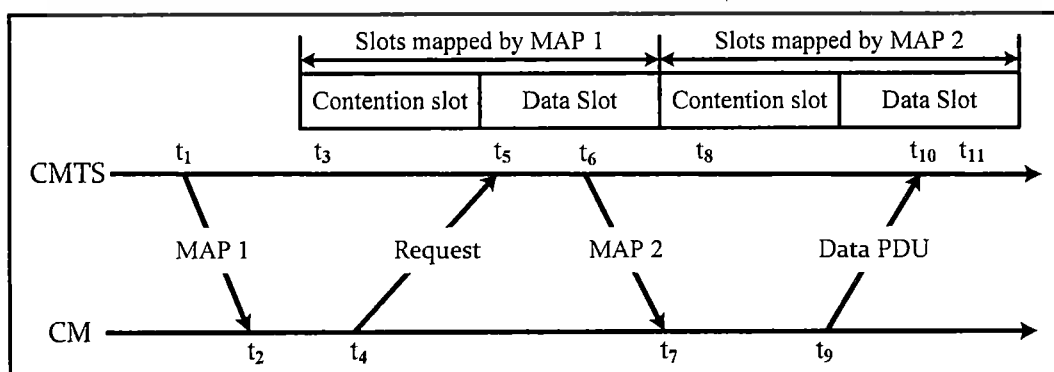
เฟรมการร้องขอจะเพิ่มการร้องขอการสร้าง SID และจำนวนของ Mini Slot ที่ร้องขอ โดยจำนวนของ Mini Slot ที่ร้องขอมักจะมีเพียงพอสำหรับการส่งเฟรมทั้งหมดโดยรวมหรือการบรรจุส่วนที่ยังเหลืออยู่ที่ยังไม่สมบูรณ์ทั้งหมดของเฟรม ซึ่ง เคเบิลโมเด็มสามารถมีการร้องขอที่ยังค้างอยู่ ณ เวลาหนึ่งต่อ 1 SID เท่านั้น เคเบิลโมเด็มสามารถได้ข้อสรุปอย่างชัดเจนว่าการร้องขอของมันยังคงค้างอยู่เนื่องจาก CMTS ต้องปล่อย Data Grant ที่ค้างอยู่ออกอย่างต่อเนื่องในทุก ๆ MAP จนกระทั่งการร้องขอจะถูกโอนหรือถูกปฏิเสธ ใน MAP นั้น CMTS ต้องไม่สร้าง Data Grant ที่ใหญ่กว่า 255 Mini Slot ที่บาง SID

3.2.6 การส่งและการจัดเวลา MAP

MAP จะต้องถูกส่งอย่างรวดเร็วกว่าเวลาที่มีประสิทธิภาพของมันอย่างมาก MAP อาจจะถูกหน่วงเนื่องจากเวลาหน่วงในการแพร่กระจายของช่องสัญญาณขาลง เวลาหน่วงในการเข้าแถวคอยภายใน CMTS หรือเวลาหน่วงในการประมวลผลภายในเคเบิลโมเด็ม จำนวนของ Mini Slot ที่ได้อธิบายต่อ 1 MAP และกระบวนการในการจัดสรรอาจจะผันแปรกับขนาดของ MAP บนระยะเวลาที่กำหนดความสมดุลของการใช้เครือข่ายให้เป็นประโยชน์และปัจจัยแฝงภายใต้การผันแปรของทราฟฟิกโหลด ที่ค่าสูงสุด MAP จะต้องบรรจุทุก 2 IEs คือ IE ที่อธิบายถึงช่วงเวลาและ Null IE ที่ทำให้รายการสิ้นสุด และ MAP จะต้องถูกสร้างขอบเขตโดยการจำกัดค่าสูงสุดใน 240 IEs เช่นเดียวกัน MAP จะต้องไม่อธิบายมากกว่า 4096 Mini Slots ในอนาคต กลุ่มของ MAP ทั้งหมดจะต้องอธิบายทุก ๆ Mini Slot ในช่องสัญญาณขาขึ้น ถ้าเคเบิลโมเด็มล้มเหลวในการรับ MAP ที่อธิบายถึงช่วงเวลาที่กำหนดเฉพาะ มันจะต้องไม่ส่งในระหว่างช่วงเวลานั้น

3.2.7 ตัวอย่างโปรโตคอล

กระบวนการในการแลกเปลี่ยนกันระหว่างเคเบิลโมเด็มและ CMTS เมื่อเคเบิลโมเด็มมีข้อมูลที่จะส่งสำหรับ โปรโตคอล DOCSIS ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.13 ตัวอย่างโปรโตคอล มอนูชาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.13 สามารถอธิบายกระบวนการได้ดังต่อไปนี้

1. ที่เวลา t_1 : ที่เวลา t_1 , CMTS จะส่ง MAP1 ออกไปยังเคเบิลโมเด็ม ภายใน MAP1 จะอธิบายถึงการจัดสรร Mini Slot สำหรับช่องสัญญาณขาขึ้นระหว่าง t_3 ถึง t_8 ซึ่งจำเป็นจะต้องพิจารณาถึง
 - เวลาหน่วงการแพร่กระจายที่ยินยอมให้เคเบิลโมเด็มทุกตัวรับ MAP
 - เวลาในการประมวลผลที่เคเบิลโมเด็ม (อนุญาตให้เคเบิลโมเด็มวิเคราะห์ MAP ให้ถูกต้องตามหลักและเปลี่ยนรูปแบบมันให้เป็นโอกาสในการส่ง)
 - เวลาหน่วงการแพร่กระจายขาขึ้นที่ยินยอมให้การส่งของเคเบิลโมเด็มของข้อมูลขาขึ้นอันแรกที่เริ่มต้นในเวลาที่มาถึงที่ CMTS ที่เวลา t_3
2. ที่เวลา t_2 : เมื่อ MAP1 ถูกส่งมาถึงที่เวลา t_2 เคเบิลโมเด็มจะถูกจัดเตรียมด้วยข้อมูลข่าวสารการจัดสรร Contention Slots ในช่องสัญญาณขาขึ้น ถ้าเคเบิลโมเด็มจะส่งข้อมูล มันจะจัดการกระบวนการแก้ไขปัญหาการชนกันที่ตัดสินผลของการส่งการร้องขอที่จะส่ง
3. ที่เวลา t_4 : เคเบิลโมเด็มส่งการร้องขอสำหรับ Mini Slot จำนวนมากที่ต้องการที่จะบรรจุ PDU ไปยัง CMTS โดยผ่านทาง Mini Slot ที่ใช้ในการร้องขอ เวลา t_4 ถูกเลือกบนพื้นฐานของค่าออฟเซต Ranging ดังนั้นการร้องขอจะมาถึงที่ CMTS ที่เวลา t_5
4. ที่เวลา t_5 : CMTS รับการร้องขอและจัดลำดับการร้องขอสำหรับการให้บริการใน MAP2 ตัวเลือกของการร้องขอที่โอนไปจะผันแปรกับคลาสของการให้บริการที่ได้ร้องขอ บางการร้องขอที่มีการช่วงชิง และกระบวนการที่ใช้โดย CMTS
5. ที่เวลา t_6 : CMTS ส่ง MAP2 ของเวลาเริ่มต้นคือเวลา t_6 ภายใน MAP2 นี้ Data Grant สำหรับเคเบิลโมเด็มซึ่งจะเริ่มต้นที่เวลา t_{10}
6. ที่เวลา t_7 : เคเบิลโมเด็มได้รับ MAP2 ซึ่งได้บอกให้ทราบเกี่ยวกับการจัดสรร Mini Slot ระหว่าง t_8 ถึง t_{11}
7. ที่เวลา t_9 : เคเบิลโมเด็มได้รับข่าวสารเกี่ยวกับ Data Slot ซึ่งถูกแมปโดย CMTS ดังนั้นเคเบิลโมเด็มจะเริ่มต้นการส่ง Data PDU ของมันใน Data Slot เหล่านี้ ซึ่ง Data PDU จะมาถึงที่ CMTS ที่เวลา t_{10} และเวลา t_9 จะถูกคำนวณค่าออฟเซต Ranging ดังในขั้นตอนที่ 3

ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ไม่ต้องการให้เกิดผลบางอย่างในการเข้าถึงถ้าเคเบิลโมเด็มบำรุงรักษารายการของโอกาสในการร้องขออย่างเป็นประจำ

ที่ขั้นตอนที่ 3 การร้องขออาจจะชนกันกับการร้องขอจากเคเบิลโมเด็มอื่น ๆ และอาจจะสูญหาย CMTS ไม่สามารถตรวจจับการชนกันนี้ได้โดยตรง เคเบิลโมเด็มจะตัดสินว่ามีการชนกันเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ MAP ต่อไปล้มเหลวที่จะรวมการตอบรับของการร้องขอ เคเบิลโมเด็มจะต้องปฏิบัติตามกระบวนการ Back – off และลองส่งใหม่อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ขั้นตอนที่ 4 ตัวจัดลำดับ CMTS อาจจะล้มเหลวในการบรรจุการร้องขอภายใน MAP ต่อไป ถ้าเช่นนั้นมันจะต้องตอบสนองด้วยการโอนการร้องขอที่มีความยาวเป็นศูนย์ใน MAP นั้น หรือทิ้งการร้องขอโดยไม่ให้มีการโอน ทุกครั้งมันจะต้องดำเนินการทำรายงานการโอนการร้องขอที่มีความยาวเป็นศูนย์นี้ต่อไปใน MAP ที่ประสบความสำเร็จจนกระทั่งการร้องขอจะสามารถโอนได้หรือถูกทิ้งไป ซึ่งจะต้องให้สัญญาฉบับเดิมว่ายังคงมีการร้องขอค้างอยู่ トラบใดที่เคเบิลโมเด็มกำลังรับการโอนการร้องขอที่มีความยาวเป็นศูนย์ มันจะต้องไม่ปล่อยการร้องขอใหม่สำหรับคิวในการให้บริการนั้นออกมา

ในระหว่างกระบวนการที่ได้อธิบายในข้างต้น การชนกันจะเกิดขึ้นเมื่อมี CM มากกว่า 1 ส่งการร้องขอ Data Slot สำหรับส่ง Data PDU ไปยัง CMTS ที่เวลา t_x พร้อม ๆ กัน ถ้าผลการร้องขอเกิดการชนกัน MAC จะเริ่มนำกระบวนการแก้ปัญหาการชนกันมาใช้ เมื่อใดก็ตามที่เคเบิลโมเด็มได้รับการจัดสรรแบนด์วิดท์ MAP จะมีโอกาสที่จะร้องขอการจัดสรรแบนด์วิดท์ใหม่ โดยการใส่การร้องขอไว้ข้างท้ายของการจัดสรรขาขึ้นที่เคเบิลโมเด็มนั้นจ้องไว้ ซึ่งการใส่การร้องขอไว้ข้างท้ายนี้ยินยอมให้เคเบิลโมเด็ม นั้นร้องขอแบนด์วิดท์ได้มากขึ้น โดยไม่ต้องเข้าสู่กระบวนการช่วงชิงการร้องขอพื้นฐานอีกรอบ

3.2.8 Ranging

Ranging เป็นกระบวนการของการได้มาซึ่งค่าออฟเซตของการจัดเวลาที่ถูกต้อง ดังนั้น การส่งของเคเบิลโมเด็มที่ถูกทำให้บรรลุถึงข้อตกลงที่เขตของ Mini Slot ที่ถูกต้องและเวลาหน่วงของการจัดเวลาที่ผ่านชั้นกายภาพจะต้องเป็นจำนวนคงที่ที่สัมพันธ์กับช้อยกเว้นของค่าออฟเซตของการจัดเวลาที่บรรยายถึงการเปลี่ยนแปลงอัตราการส่งสัญลักษณ์ที่ปรับให้เข้ากันกับการดำเนินการของเครื่องรับ DOCSIS ขาขึ้น ซึ่งความเปลี่ยนแปลงบางอย่างในเวลาหน่วงทางกายภาพจะต้องถูกอธิบายภายในช่วงเวลาป้อนของส่วนหัว PMD ขาขึ้น

ขั้นแรกของกระบวนการ Ranging เคเบิลโมเด็มจะต้องเข้าจังหวะกับช่องสัญญาณขาลงและเรียนรู้ลักษณะของช่องสัญญาณขาขึ้นผ่านข้อความการจัดการ UCD MAC ที่จุดนี้ เคเบิลโมเด็มจะต้องกวาดตรวจข้อความ MAP ที่ใช้ในการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่พบในส่วนของ 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 โดยเคเบิลโมเด็มจะเริ่มดำเนินการส่ง

ข้อความ RNG – REQ ที่เขตรเริ่มต้นในจังหวะของ Initial Maintenance ด้วยการเข้าจังหวะเวลาที่ไม่ว่าเสมอและการอธิบายของ MAP

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

เคเบิลโมเด็มจะต้องรอคอยส่วนของ Station Maintenance ที่สร้าง SID ชั่วคราว ตั้งแต่ตอนนี้มันจะต้องส่งข้อความ RNG – REQ ที่ระยะเวลานี้โดยใช้ SID ชั่วคราวที่ไปในทิศทางเดียวกันกับระดับกำลังงานบางระดับและสิ่งที่ช่วยแก้ไขค่าออฟเซตของการจัดเวลาที่ถูกต้อง

ถ้าเคเบิลโมเด็มไม่ได้รับข้อความ RNG – REQ จาก CMTS ภายในคาบเวลาหนึ่งในสองประการต่อไปนี้อาจจะเกิดขึ้นได้ ประการแรก ในเมื่อจังหวะของ Initial Maintenance ที่เคเบิลโมเด็มบางตัวที่แนบไปยังเครือข่ายยังว่างอยู่ ข้อความ RNG – REQ อาจจะชนกัน ประการที่ 2 ระดับกำลังที่เคเบิลโมเด็มใดก็ตามอาจจะมีกำลังส่งต่ำเกินกว่าที่จะตรวจจับได้ที่ CMTS ดังนั้นถ้าเคเบิลโมเด็มไม่ได้รับข้อความ RNG – REQ มันจะทั้งเพิ่มกำลังในการส่งและคอยการสุ่มจำนวนของจังหวะ Initial Maintenance ก่อนการส่ง RNG – REQ อีกอันหนึ่ง

CMTS จะบันทึกสิ่งต่อไปนี้เพื่อใช้ในการจัดเตรียมข้อความ RNG – REQ

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

ข้อมูลพื้นฐานเหล่านี้จะถูก CMTS ตัดสินความถูกต้องและจะส่งข้อมูลเหล่านี้กลับไปยังเคเบิลโมเด็มที่ได้ร้องขอเพื่อให้มีการปรับค่าให้สอดคล้องกันมากขึ้นในข้อความ RNG – REQ อีกอันหนึ่ง เคเบิลโมเด็มจะปรับค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของมันให้ถูกต้องและส่งข้อความ RNG – REQ อันที่ 2 ไปยัง CMTS หลังจากนั้น CMTS ก็จะส่งผลตอบแทน Ranging ซึ่งจะมีระยะเวลา ความถี่ และกำลังงานที่ต้องการกลับมาอีกครั้ง โดยกระบวนการร้องขอและตอบสนอง Ranging จะต้องถูกกระทำซ้ำจนกว่า CMTS จะแจ้งถึงความสำเร็จหรือล้มเหลว

3.2.9 หน่วยจัดเวลาและความสัมพันธ์

MAP ที่ใช้ในการจัดสรรแบนด์วิดท์ใช้หน่วยทางเวลาหลายหน่วยของ Mini Slot ซึ่งนำเสนอ Byte – Time ที่ต้องการสำหรับการส่งในจำนวนไบต์ที่จำกัด ซึ่ง Mini Slot ถูกทึบทำให้นำเสนอเป็น 16 Byte – Time ถึงแม้ว่าอาจจะมีความอื่น ๆ ถูกเลือกก็ตาม ขนาดของ Mini Slot ที่แสดงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานดังเช่นหลาย ๆ ค่าของการอ้างอิงเวลาที่เข้าจังหวะกันจะถูกบรรจุใน UCD โดยข้อความที่เข้าจังหวะกันจะค้ำกับการอ้างอิงเวลาที่ถูกวัดในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ (Time Tick) 6.25 μ s ตัวอย่างในตารางที่ 3.4 บรรยายถึง Mini Slot ที่ช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ที่เข้าจังหวะกัน

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่าง Mini Slot ที่บรรยายถึงช่วงระยะเวลาสั้น 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 ในกรณีนี้สามารถที่จะนำเสนอ Mini Slot เป็น 16 bytes หรือไม่กี่ 32 bytes ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวเลือกในการมอดูเลชัน

บทที่ 4

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและรูปแบบแถวคอย รวมถึงกระบวนการของอัลกอริทึม Truncated Binary Exponential Back – off (TBEB) และอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม (Random Slot Multiple Access Algorithms) ซึ่งใช้วิเคราะห์การเข้าถึงและการแก้ไขปัญหาการช่วงชิง Mini Slot

4.1 ทฤษฎีของระบบแถวคอย

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

4.1.1 พื้นฐานของทฤษฎีแถวคอย

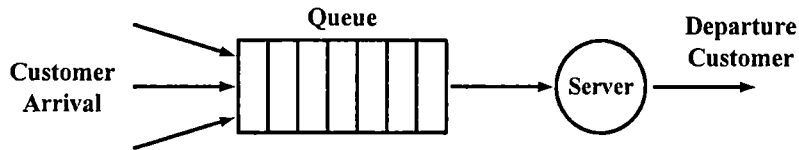
ทฤษฎีแถวคอยเป็นทฤษฎีที่พัฒนาขึ้นด้วยรูปแบบการจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้วิเคราะห์สถานะของแถวคอยได้อย่างมีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งที่ไม่มีความซับซ้อนมากนัก โดยการศึกษาจะอาศัยลักษณะรูปแบบทางทฤษฎีความเป็นไปได้ของหน่วยเข้ารับบริการและการให้บริการ แล้วหาผลลัพธ์เป็นค่าต่าง ๆ ที่แสดงสถานะของแถวคอย ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวจะช่วยในการตัดสินใจดำเนินการเกี่ยวกับการให้บริการที่ดีขึ้น

ระบบแถวคอยเป็นระบบพลวัต (Dynamic System) คือ ระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะตามเวลา ซึ่งเหตุการณ์เมื่อเกิดขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบแถวคอยจะเกิดขึ้นเมื่อความต้องการในการเข้ารับบริการมีมากกว่าความสามารถในการให้บริการ ซึ่งมีสาเหตุมาจากความไม่แน่นอนของอัตราการเข้ารับบริการและการให้บริการ

องค์ประกอบพื้นฐานของระบบแถวคอยดังแสดงในรูปที่ 4.1 ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบแถวคอย

ลักษณะพื้นฐานของระบบแถวคอยจะศึกษาเกี่ยวกับผู้ใช้บริการ, หน่วยให้บริการและการให้บริการในระบบแถวคอย ซึ่งจะประกอบด้วยลักษณะที่สำคัญ 6 ลักษณะคือ

4.1.1.1 รูปแบบการเข้ามาของผู้ใช้บริการ (Arrival Pattern of Customers)

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

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

ในการอธิบายกระบวนการหรือรูปแบบของการเข้ามาใช้บริการของลูกค้านั้นสามารถอธิบายได้ด้วยค่า 2 ค่าคือ

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

ในระบบแถวคอยนั้นเป็นระบบซึ่งมีผู้ใช้บริการเข้ามาและเข้าแถวคอยเพื่อรอใช้บริการ ผู้ใช้บริการจะรอจนกว่าจะถึงคิวของเขาและรับบริการในที่สุด หลังจากได้รับบริการแล้ว ผู้ใช้บริการก็จะออกจากระบบไป

4.1.1.2 รูปแบบการให้บริการของหน่วยให้บริการ (Service Pattern of Servers)

ข้อมูลสำคัญด้านหน่วยให้บริการที่จำเป็นคือประสิทธิภาพในการทำงานของหน่วยให้บริการ ซึ่งจะอธิบายด้วยค่า 2 ค่าคือ

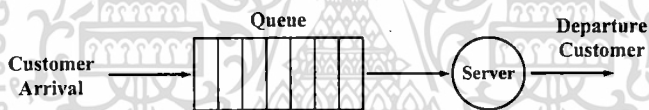
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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
- เวลาในการให้บริการโดยเฉลี่ย (Average Service Time) คือ เวลาที่ใช้ในการให้บริการ ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการ ซึ่งอาจจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณงานที่ต้องทำและความชำนาญของหน่วยให้บริการ เวลาที่ใช้ในการให้บริการอาจจะเท่ากันหรือไม่เท่ากันสำหรับแต่ละหน่วยที่ได้รับบริการ

4.1.1.3 จำนวนช่องสัญญาณหน่วยให้บริการ (Number of Service Channel)

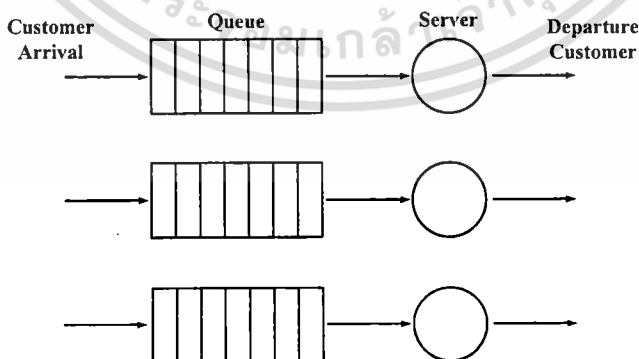
การให้บริการสามารถจัดได้หลากหลายรูปแบบดังต่อไปนี้

1. หน่วยบริการช่องเดียว คือ มีแถวคอย 1 แถว และมีหน่วยให้บริการ 1 หน่วย



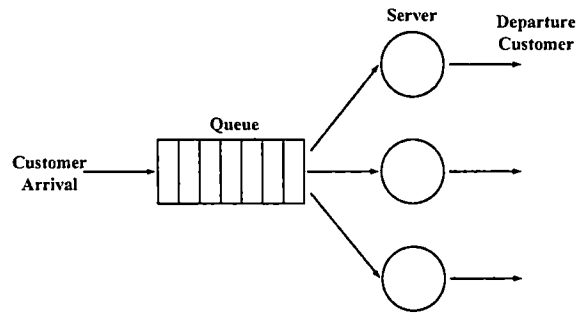
รูปที่ 4.2 รูปแบบของระบบแถวคอยหน่วยบริการช่องเดียว

2. หน่วยบริการหลายช่อง คือ มีแถวคอยหลายแถว และมีหน่วยให้บริการหลายหน่วยซึ่งแต่ละหน่วยทำหน้าที่เดียวกัน



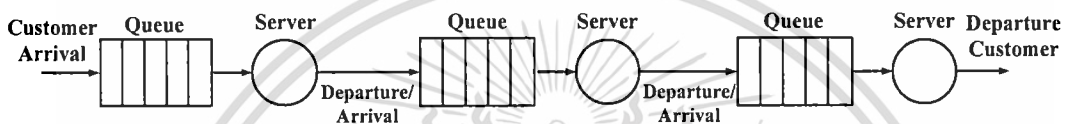
รูปที่ 4.3 รูปแบบของระบบแถวคอยหน่วยบริการหลายช่อง

3. หน่วยบริการหลายช่องแบบขนาน คือ มีแถวคอย 1 แถว แต่มีหน่วยให้บริการหลายเอกสหน่วย การให้บริการมีขั้นตอนเดียว ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 รูปแบบของระบบแถวคอยหน่วยบริการหลายช่องแบบขนาน

4. หน่วยบริการหลายช่องแบบอนุกรม คือมีแถวคอย 1 แถว แต่มีหน่วยให้บริการหลายหน่วย การให้บริการมีหลายขั้นตอนต่อเนื่องกัน



รูปที่ 4.5 รูปแบบของระบบแถวคอยหน่วยบริการหลายช่องแบบอนุกรม

4.1.1.4 ระเบียบการให้บริการ (Service Discipline)

ระเบียบการให้บริการเป็นหลักเกณฑ์ในการเลือกผู้ใช้บริการที่คอยอยู่ในแถวคอยเพื่อรอเข้ารับบริการ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1. มาก่อน – ออกก่อน (First In First Out: FIFO) หมายถึงผู้ใช้บริการที่เข้าสู่ระบบแถวคอยก่อน จะได้รับบริการและถูกนำออกจากระบบแถวคอยก่อน ตัวอย่างเช่น การเข้าแถวเพื่อรอซื้อตั๋ว
2. มาหลัง – ออกก่อน (Last In First Out: LIFO) หมายถึงผู้ใช้บริการที่เข้าสู่แถวคอยเป็นลำดับสุดท้าย จะได้รับบริการและถูกนำออกจากแถวคอยเป็นอันดับแรก ตัวอย่างเช่น การนำชั้นของปิ่นโตเข้าและออกจากเถาปิ่นโต
3. การให้บริการแบบสุ่ม (Service In Random Order: SIRO) หมายถึง ผู้ใช้บริการที่เข้าสู่ระบบแถวคอยจะได้รับบริการแบบสุ่ม ตัวอย่างเช่น การแจกใบปลิวหรือตัวอย่างสินค้า
4. ให้สิทธิในการใช้บริการก่อน (Priority) หมายถึง การเรียงลำดับการให้บริการที่ถึงแม้ผู้ใช้บริการจะเข้าสู่ระบบแถวคอยก่อน แต่ผู้ใช้บริการที่มีความสำคัญมากกว่าจะได้ออกก่อน ตัวอย่างเช่น ผู้ป่วยฉุกเฉินในโรงพยาบาลจะได้รับบริการก่อนผู้ป่วยสามัญ แต่ถ้าผู้ใช้บริการมีความสำคัญเท่ากัน ผู้ใช้บริการที่เข้ามาก่อนจะได้ออกก่อนเช่นเดียวกับ FIFO

4.1.1.5 จิตความสามารถของระบบ (System Capacity)

จิตความสามารถของระบบ หมายถึง จำนวนผู้ใช้บริการซึ่งรวมทั้งจำนวนผู้ที่กำลังรับบริการอยู่และผู้ที่กำลังคอยรับบริการในแถวคอยที่ระบบสามารถรับได้ ซึ่งบางระบบอาจจะมีไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถวคอยที่สามารถรับผู้ให้บริการได้จำกัด (Finite Queue) เช่น ในร้านตัดผมที่มีที่นั่งรอจำนวนจำกัด เป็นต้น และบางระบบอาจจะมีแถวคอยที่สามารถรับผู้ให้บริการได้ไม่จำกัด (Infimite Queue) เช่น แถวคอยของรถที่รอจ่ายค่าทางด่วน เป็นต้น

ในการพิจารณาขีดความสามารถของระบบจะพิจารณาจากอัตราการเข้ามาถึงของผู้ใช้บริการและอัตราการให้บริการ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะคือ

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

4.1.1.6 ขีดความสามารถของผู้ใช้บริการ (Customer Capacity)

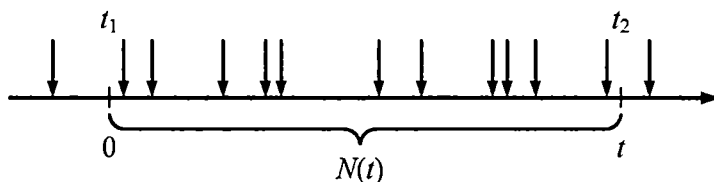
ขีดความสามารถของผู้ใช้บริการ หมายถึง จำนวนผู้ให้บริการที่ต้องการเข้ารับบริการ แบ่งได้เป็น 2 กรณี

- จำนวนผู้ให้บริการที่ต้องการใช้บริการมีจำนวนจำกัด เช่น จำนวนของนักศึกษาที่เข้าสอบซึ่งจะมีจำนวนไม่เกินจำนวนของนักศึกษาที่ลงทะเบียน เป็นต้น
- จำนวนผู้ให้บริการที่ต้องการใช้บริการมีจำนวนไม่จำกัด เช่น จำนวนของลูกค้าที่เข้ามาซื้อของในห้างสรรพสินค้า เป็นต้น

4.1.2 กระบวนการปัวส์ซอง (Poisson Process)

กระบวนการปัวส์ซองเป็นกระบวนการสโตคาสติก (Stochastic) ซึ่งมีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอิสระจากกัน บ่อยครั้งที่การเข้ามาของผู้ใช้บริการสามารถอธิบายได้ด้วยกระบวนการปัวส์ซอง ดังนั้นกระบวนการปัวส์ซองจึงเป็นรูปแบบหนึ่งที่สำคัญที่สุดที่ใช้ในทฤษฎีแถวคอย

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 4.6



รูปที่ 4.6 กระบวนการปัวส์ซองที่มีการเข้ามาแบบไม่ต่อเนื่อง

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

$$P[N(t) = n] = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad ; \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (4.1)$$

โดยที่ $e = 2.7182818$

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

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

เนื่องจากเครือข่าย DOCSIS มีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่วง ๆ เรียกว่า ช่วงเวลา Mini Slot จึงทำให้เวลาในการเข้ารับบริการของผู้ใช้บริการแต่ละรายเป็นอิสระจากกัน ดังนั้นระบบแถวคอยในเครือข่าย DOCSIS จึงมีกระบวนการเข้าถึงเป็นกระบวนการปัวส์ซอง (Poisson Process) ซึ่งมีอัตราเฉลี่ยการเข้าถึง λ (ข้อความต่อ Mini Slot)

4.2 อัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาการช่วงชิง mini – slot

อัลกอริทึมที่มีการศึกษาและใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับการแก้ไขปัญหาการช่วงชิง Mini Slot และการแก้ไขปัญหาการชนกันก็คือ อัลกอริทึม Truncated Binary Exponential Back – off (TBEB) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่จะมีการเพิ่มจำนวน Contention Window เป็น 2^i เมื่อมีการชนกันเกิดขึ้น ซึ่งจะมีแบนด์วิดธ์บางช่วงที่ไม่ได้ใช้งานจึงทำให้เกิดการการสูญเสียแบนด์วิดธ์โดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนออัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มสำหรับใช้ในการแก้ไขปัญหาการช่วงชิง Mini Slot ซึ่งได้อธิบายรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.2.2

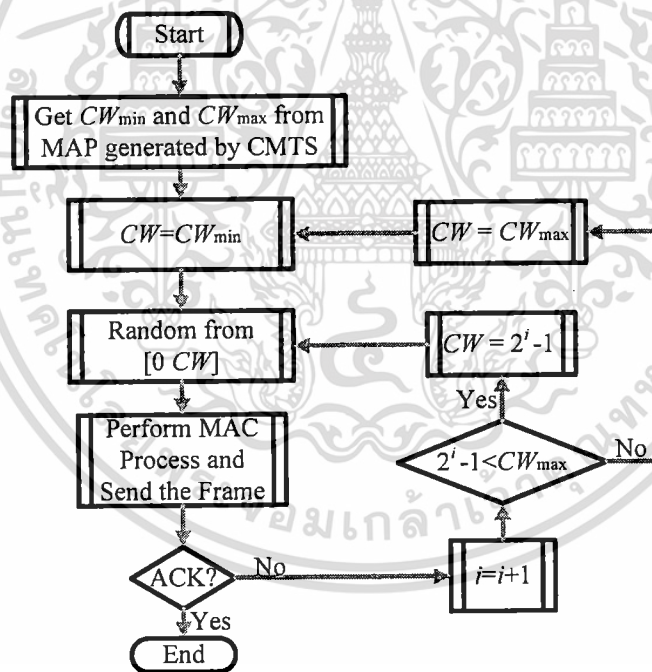
4.2.1 อัลกอริทึม Truncated Binary Exponential Back – off (TBEB)

อัลกอริทึม TBEB เป็นอัลกอริทึมพื้นฐานที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงตามข้อกำหนด DOCSIS โดยวัตถุประสงค์ของ TBEB คือการทำให้ความน่าจะเป็นในการชนกันระหว่างกลุ่มข้อมูลการร้องขอที่ส่งในบริเวณที่มีการช่วงชิงให้ลดน้อยลง โดยมีกระบวนการทำงาน คือ ทุก ๆ ครั้งทีเคเบิลโมเด็มต้องการที่จะส่งการร้องขอในบริเวณที่มีการช่วงชิง มันต้องเข้าสู่กระบวนการแก้ไขปัญหาการช่วงชิง

หลังจากการส่งการช่วงชิง เคเบิลโมเด็มจะรอคอย Data Grant หรือข้อมูลการตอบกลับใน MAP ที่ตามมา ถ้ามันได้รับข้อมูลอย่างใดอย่างหนึ่งแสดงว่าการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงได้เสร็จสมบูรณ์ ในทางกลับกันถ้าเคเบิลโมเด็มไม่พบ Data Grant หรือข้อมูลตอบกลับใน MAP มันจะสรุปว่าการส่งการช่วงชิงได้สูญหายหรือเกิดการชนกันขึ้น

เอกสารนี้เป็น ดังนั้น เคเบิลโมเด็มแต่ละตัวจะมีการเลื่อนการส่งทุก ๆ อันที่ยังไม่บรรลุผลสำเร็จโดยการไม่สุ่มช่วงระยะเวลา ซึ่งความยาวของช่วงเวลานี้ เรียกว่า ช่วงเวลา Back-off ซึ่งแสดงจำนวนของ

การส่งที่ไม่บรรลุผลสำเร็จติดต่อกันที่เพิ่มมากขึ้น โดยที่ความยาวของช่วงเวลา Back – off จะถูกสุ่มเลือกอย่างสม่ำเสมอในช่วง $[0, W_i - 1]$ เมื่อ W_i คือ ขนาดของ Contention Window (CW) ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามจำนวนครั้งที่มีการชนกันเกิดขึ้น ค่าสุ่มนี้จะทำให้ทราบจำนวนของการช่วงชิงโอกาสที่จะส่งซึ่งเคเบิลโมเด็มจะต้องคล้อยตามการส่งก่อนหน้า เคเบิลโมเด็มจะพิจารณาการช่วงชิงโอกาสที่จะส่งสำหรับการส่งนี้เท่านั้น ซึ่งการส่งนี้อาจมีสิทธิที่จะถูกรับเลือก ในข้อกำหนดของ DOCSIS เมื่อมีการชนกันเกิดขึ้นจำนวนของ Contention Window จะเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียลโดยค่าเริ่มต้นของ Contention Window (CW_{min}) ก็คือค่าเริ่มต้นการ Back – off ของข้อมูล (Data Back – off Start) และค่าสูงสุดของ Contention Window (CW_{max}) คือค่าสิ้นสุดการ Back – off ของข้อมูล (Data Back – off End) ที่ถูกกำหนดในส่วนของข้อความ MAP ที่ถูกจัดสรรซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกควบคุมโดย CMTS และ W_i มีค่าเป็น 2^i เมื่อ i คือจำนวนครั้งของการชนกันของข้อความการร้องขอ ซึ่งเท่ากับความน่าจะเป็นสำหรับการส่งครั้งต่อไป และถ้า CW มีค่าถึงค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ล่วงหน้าโดย CMTS มันจะถูกปรับค่ามาที่ค่าต่ำสุด และเริ่มรอบต่อไป โดยแผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 4.7



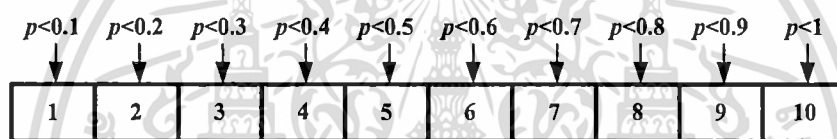
รูปที่ 4.7 แผนผังการทำงานของอัลกอริทึม TBEB

4.2.2 อัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม

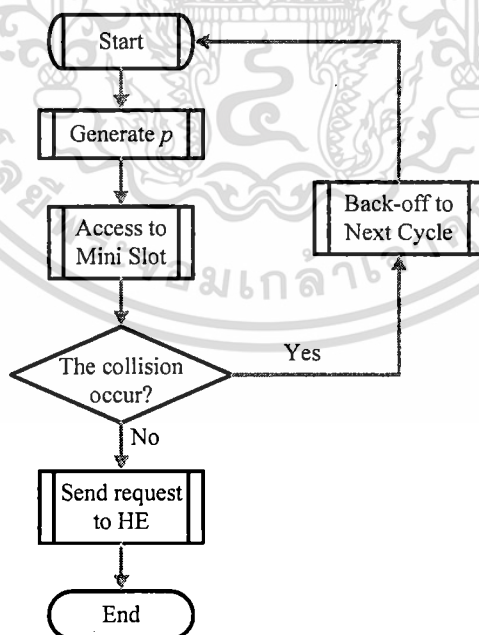
อัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ประโยชน์จากการสุ่มค่าความน่าจะเป็น p ในการแก้ไขปัญหาการช่วงชิง โดยกระบวนการของอัลกอริทึมนี้คือ จะให้เคเบิลโมเด็มแต่ละตัวสร้างค่า p ขึ้นมา 1 ค่า เมื่อค่า p คือความน่าจะเป็นที่เคเบิลโมเด็มแต่ละตัวต้องการที่จะส่งการร้องขอ ซึ่งค่า p นี้จะถูกสร้างขึ้นแบบสุ่มในช่วง 0 ถึง 1 ถ้าเคเบิลโมเด็มตัวใดก็ตามที่มีค่า p มากที่สุดหรือถ้าเคเบิลโมเด็มตัวใดก็ตามที่มีค่า p ที่ไม่เท่ากับเคเบิลโมเด็มตัวอื่น

มันก็จะได้รับสิทธิในการเข้าถึง Contention Slot ทันที แต่ถ้ามีเคเบิล โมเด็มตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปมีค่า p เดียวกัน Contention Slot สล็อตนั้น ๆ ก็จะมีการชนกันเกิดขึ้น ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ นำเสนอรูปแบบในการเลือก Contention Slot ที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

รูปแบบที่ 1 เป็นการเข้าถึงยัง Mini Slot ใน Contention Slot โดยตรง ซึ่งกระบวนการของรูปแบบนี้คือเคเบิลโมเด็มแต่ละตัวจะทำการเข้าถึงยัง Mini Slot ด้วยการสุ่มค่าความน่าจะเป็น p ระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมา 1 ค่า ซึ่งค่า p ที่สุ่มได้จะเป็นค่าที่ใช้กำหนดในการเข้าถึงยัง Mini Slot แต่ละสล็อต ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดให้ Contention Slot ถูกแบ่งออกเป็น Mini Slot 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 ใช้สำหรับการเข้าถึงยัง Mini Slot ที่ 1 ค่า p ในช่วงที่ 2 ใช้สำหรับการเข้าถึงยัง Mini Slot ที่ 2 เป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึง Mini Slot สุดท้ายดังแสดงในรูปที่ 4.8 และถ้ามีเคเบิลโมเด็มตั้งแต่ 2 ตัวสุ่มได้ค่า p เดียวกันก็จะเกิดการชนกันขึ้น โดยกระบวนการของรูปแบบที่ 1 ได้แสดงผังแผนผังในรูปที่ 4.9



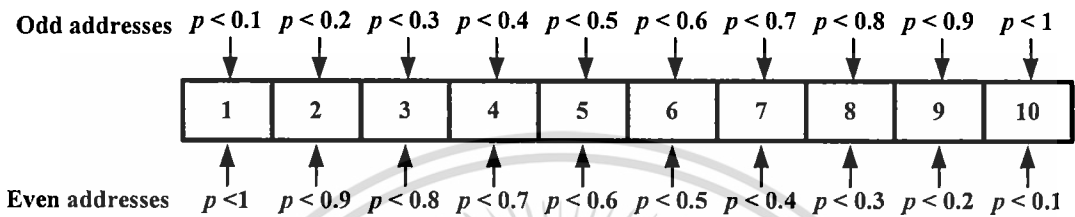
รูปที่ 4.8 การเข้าถึง Mini Slot สำหรับรูปแบบที่ 1



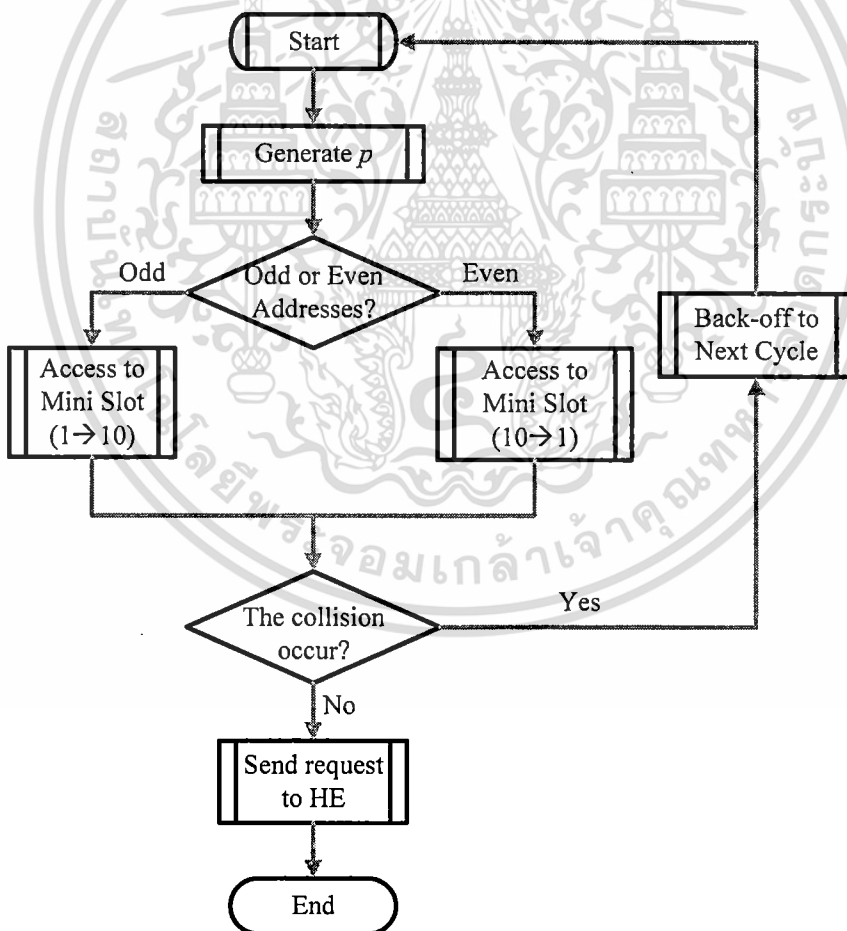
รูปที่ 4.9 ผังผังการทำงานของอัลกอริธึมรูปแบบที่ 1

รูปแบบที่ 2 เป็นการเข้าถึงยัง Mini Slot ใน Contention Slot โดยตรงแบบสวนทางกัน ซึ่งในรูปแบบนี้จะมีกระบวนการเข้าถึงยัง Mini Slot แบบเดียวกับรูปแบบที่ 1 แต่จะต่างกันตรงที่ใน

รูปแบบที่สองนี้จะมีการแบ่งแอดเดรสของเคเบิล โมเด็มออกเป็นแอดเดรสคี่และแอดเดรสคู่ ซึ่งถ้าแอดเดรสของเคเบิล โมเด็มเป็นแอดเดรสคี่จะเป็นการเข้าถึงยัง Mini Slot จาก Mini Slot ที่ 1 ไปยัง Mini Slot สุดท้าย แต่ถ้าแอดเดรสของมันเป็นแอดเดรสคู่จะเป็นการเข้าถึงยัง Mini Slot จาก Mini Slot สุดท้ายไปยัง Mini Slot ที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และกระบวนการของรูปแบบที่ 2 แสดงผังแผนผังในรูปที่ 4.11 โดยที่แอดเดรสของเคเบิล โมเด็มคือหมายเลขอุปกรณ์ (Device Number) ของเคเบิล โมเด็มแต่ละตัว



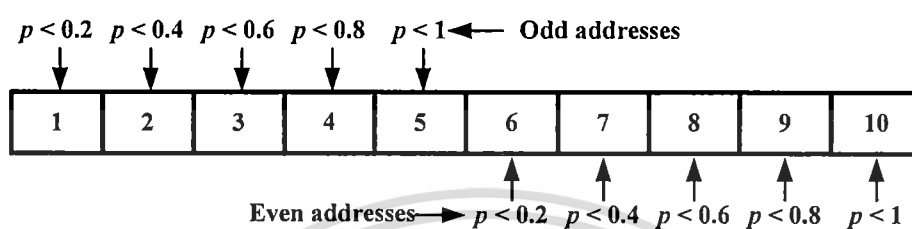
รูปที่ 4.10 การเข้าถึง Mini Slot สำหรับรูปแบบที่ 2



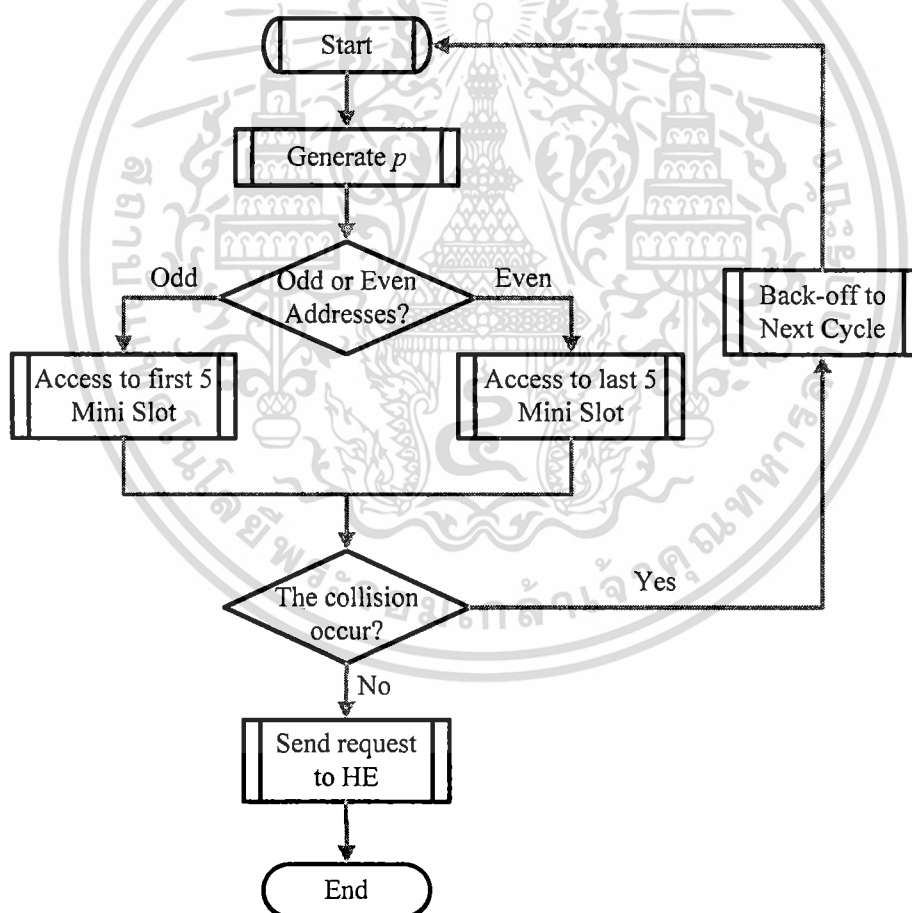
รูปที่ 4.11 แผนผังการทำงานของอัลกอริธึมรูปแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นและในรูปแบบที่ 3 จะทำการแบ่งแอดเดรสของเคเบิล โมเด็มออกเป็นแอดเดรสคี่และแอดเดรสคู่ และการเข้าถึงยัง Mini Slot จาก Mini Slot ที่ 1 ไปยัง Mini Slot สุดท้าย แต่ถ้าแอดเดรสของมันเป็นแอดเดรสคู่จะเป็นการเข้าถึงยัง Mini Slot จาก Mini Slot สุดท้ายไปยัง Mini Slot ที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และกระบวนการของรูปแบบที่ 2 แสดงผังแผนผังในรูปที่ 4.11 โดยที่แอดเดรสของเคเบิล โมเด็มคือหมายเลขอุปกรณ์ (Device Number) ของเคเบิล โมเด็มแต่ละตัว

ที่ 1 แต่จะแตกต่างจากรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ตรงที่ในรูปแบบนี้จะแบ่งเฟรมของ Contention Slot ทั้งหมดออกเป็นครึ่งหนึ่งด้วย โดยถ้าแอดเดรสของเคเบิลโมเด็มเป็นแอดเดรสคี่ มันจะเข้าถึงยัง Mini Slot ที่อยู่ในครึ่งแรก ในทางกลับกัน ถ้าแอดเดรสของมันเป็นแอดเดรสคู่ มันจะเข้าถึงยัง Mini Slot ที่อยู่ในส่วนครึ่งหลัง ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และกระบวนการของรูปแบบที่ 3 ได้แสดงดังแผนผังในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 การเข้าถึง Mini Slot สำหรับรูปแบบที่ 3



รูปที่ 4.13 แผนผังการทำงานของอัลกอริธึมรูปแบบที่ 3

บทที่ 5

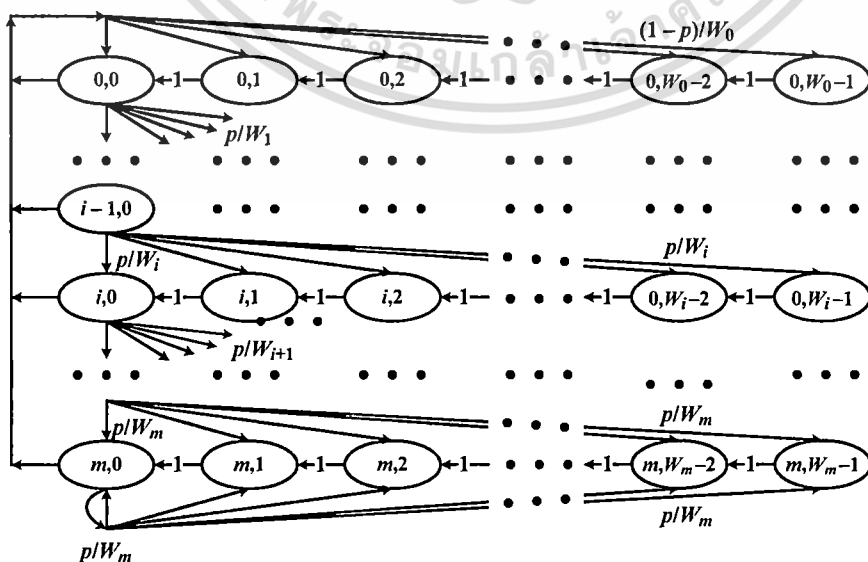
การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์สมรรถนะในการแก้ไขปัญหาการช่วงชิง Mini Slot ของเครือข่าย DOCSIS โดยการวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถและค่าเวลาหน่วงที่ได้จากการแก้ไขปัญหาของแต่ละกระบวนการ พร้อมทั้งนำเสนอผลการวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถและค่าเวลาหน่วงของของทุกกระบวนการที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าสมรรถนะของระบบด้วย

5.1 การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของอัลกอริธึม TBEB

5.1.1 ความน่าจะเป็นที่จะได้ส่งการร้องขอใน Mini Slot

ตั้งอัลกอริธึมของ TBEB ที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.3.1 เราจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นการศึกษาพฤติกรรมของสถานีเดี่ยวด้วยรูปแบบมาร์คอฟซึ่งจะได้ค่าความน่าจะเป็นที่สถานีส่งการร้องขอในช่วงเวลาโดยทั่วไปที่ถูกเลือกแบบสุ่ม τ ในสถานะอยู่ตัว ซึ่งความน่าจะเป็นนี้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับกลไกการเข้าถึงที่ใช้งาน ดังนั้นในการศึกษาเหตุการณ์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นภายในช่วงเวลาทั่ว ๆ ไปจะแสดงถึงค่าวิสัยสามารถ (Throughput) ของกระบวนการเข้าถึงเป็นฟังก์ชันของค่าที่ใช้คำนวณ τ โดยจะพิจารณาลูกโซ่มาร์คอฟ (Markov Chain) แบบไม่ต่อเนื่อง 2-มิติ ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ที่ได้แสดงถึง $b(t)$ และ $s(t)$ ซึ่งก็คือตัวนับเวลาการ Back-off และช่วงการ Back-off ที่เวลา t ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สรุปที่ 5.1 รูปแบบลูกโซ่มาร์คอฟสำหรับขนาด CW อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในลูกโซ่มาร์คอฟ ความน่าจะเป็นในการส่งขึ้นตอนที่ 1 คือ

$$\begin{cases} P\{i, k | i, k+1\} = 1 & k \in (0, W_i - 2) \quad i \in (0, m) \\ P\{0, k | i, 0\} = (1-p)/W_0 & k \in (0, W_0 - 1) \quad i \in (0, m) \\ P\{i, k | i-1, 0\} = p/W_i & k \in (0, W_i - 1) \quad i \in (1, m) \\ P\{m, k | m, 0\} = p/W_m & k \in (0, W_m - 1) \end{cases} \quad (5.1)$$

สมมติให้จำนวนของสถานีมีค่าจำกัด n สถานี ซึ่ง เมื่อระบบอยู่ในสถานะอยู่ตัว 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 5.1 เมื่อ p เป็นความน่าจะเป็นในการชนกันแบบมีเงื่อนไข หมายความว่า นี่คือการชนกันที่พบในกลุ่มข้อมูลที่ส่งไปบนช่องสัญญาณซึ่งแต่ละกลุ่มข้อมูลจะชนกันด้วยความน่าจะเป็นคงที่และเป็นอิสระ ซึ่งจะได้ว่า

$$\begin{aligned} b_{i,k} &= \frac{p}{W_i} b_{i-1,0} + b_{i,k+1} \\ &= \frac{p}{W_i} b_{i-1,0} + \frac{p}{W_i} b_{i-1,0} + b_{i,k+2} \\ &= \frac{p}{W_i} b_{i-1,0} + \frac{p}{W_i} b_{i-1,0} + \frac{p}{W_i} b_{i-1,0} + b_{i,k+3} \\ b_{i,k} &= \frac{W_i - k}{W_i} p b_{i-1,0} \end{aligned} \quad (5.2)$$

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

$$\begin{aligned} b_{i,0} &= b_{i-1,0} \cdot p \\ \text{ถ้าให้ } i=1: & \quad b_{1,0} = b_{0,0} \cdot p \\ i=2: & \quad b_{2,0} = b_{1,0} \cdot p \\ & \quad = (b_{0,0} \cdot p) \cdot p = b_{0,0} \cdot p^2 \\ i=3: & \quad b_{3,0} = b_{2,0} \cdot p \\ & \quad = (b_{0,0} \cdot p^2) \cdot p = b_{0,0} \cdot p^3 \\ \vdots & \\ i=m: & \quad b_{m,0} = b_{m-1,0} \cdot p \\ & \quad = (b_{0,0} \cdot p^{m-1}) \cdot p = b_{0,0} \cdot p^m \\ \therefore b_{i,0} &= p^i b_{0,0} \end{aligned} \quad (5.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาที่ $i = m, k = 0$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 b_{m,0} &= \frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} + b_{m,1} \\
 &= \frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} + \left(\frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} \right) + b_{m,2} \\
 &= \frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} + \left(\frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} \right) + \dots + b_{m,W_m-1} \\
 b_{m,0} &= \left\{ \frac{p}{W_m} b_{m-1,0} + \frac{p}{W_m} b_{m,0} \right\} W_m \\
 b_{m,0} &= \frac{p b_{m-1,0}}{1-p} \\
 b_{m,0} &= \frac{p^m b_{0,0}}{1-p} \tag{5.4}
 \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาที่ $i = 0, k = 0$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 b_{0,0} &= \frac{(1-p)}{W_0} \sum_{i=0}^m b_{i,0} + b_{0,1} \\
 &= \frac{(1-p)}{W_0} \sum_{i=0}^m b_{i,0} + \frac{(1-p)}{W_0} \sum_{i=0}^m b_{i,0} + \dots + b_{0,W_0-1} \\
 b_{0,0} &= (1-p) \sum_{i=0}^m b_{i,0} \tag{5.5}
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (5.3), (5.4) และ (5.5) สามารถสรุปได้ว่า

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} \cdot \begin{cases} (1-p) \sum_{j=0}^m b_{j,0} & i=0 \\ p \cdot b_{i-1,0} & 0 < i < m \\ p \cdot (b_{m-1,0} + b_{m,0}) & i=m \end{cases} \tag{5.6}$$

จากความสัมพันธ์ของสมการที่ (5.3) สามารถเขียนสมการที่ (5.2) ได้ใหม่เป็น

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0} \quad i \in (0, m) \quad k \in (0, W_i - 1) \tag{5.7}$$

ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของสมการที่ (5.3), (5.4) และ (5.7) ค่า $b_{i,k}$ จะถูกแสดงในรูปฟังก์ชันของค่า $b_{0,0}$ และความน่าจะเป็นในการชนกัน p โดยที่ $b_{0,0}$ ถูกกำหนดโดยเงื่อนไขมาตรฐาน ซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
1 &= \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} = \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0} \\
&= \sum_{i=0}^m b_{i,0} \sum_{k=0}^{W_i-1} \frac{W_i - k}{W_i} = \sum_{i=0}^m b_{i,0} \left(\frac{W_i + 1}{2} \right) \\
&= \frac{1}{2} \left[\sum_{i=0}^m b_{i,0} W_i + \sum_{i=0}^m b_{i,0} \right] = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=0}^m p^i b_{0,0} W_i + \sum_{i=0}^m p^i b_{0,0} \right] \\
&= \frac{b_{0,0}}{2} \left[\sum_{i=0}^m p^i (2^i W) + \sum_{i=0}^m p^i \right] \\
&= \frac{b_{0,0}}{2} \left[W \left(\sum_{i=0}^{m-1} (2p)^i + \frac{(2p)^m}{1-p} \right) + \frac{1}{1-p} \right] \quad (5.8)
\end{aligned}$$

จากสมการที่ (5.8) จะได้ว่า

$$b_{0,0} = \frac{2(1-2p)(1-p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \quad (5.9)$$

เราสามารถแสดงสมการความน่าจะเป็น τ ที่สถานีจะส่งในช่วงเวลาที่ได้เลือกอย่างสุ่ม ดังนั้นบางการส่งที่เกิดขึ้นเมื่อตัวนับเวลา Back - off เท่ากับศูนย์ ไม่ว่าจะอย่างไรก็ตาม Back - off Stage ของมันก็คือ

$$\tau = \sum_{i=0}^m b_{i,0} = \frac{b_{0,0}}{1-p} = \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \quad (5.10)$$

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

$$p = 1 - (1-\tau)^{n-1} \quad (5.11)$$

สมการที่ (5.10) และ (5.11) เป็นการนำเสนอในระบบไม่เชิงเส้น (Non - linear System) ในรูปของตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 2 ตัวคือ τ และ p ซึ่งสามารถแก้สมการได้โดยใช้เทคนิคเชิงตัวเลข (Numerical Techniques) โดยที่ส่วนกลับของสมการที่ (5.11) 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 (5.10) ซึ่งต่อเนื่องในช่วง $p \in (0,1)$ ด้วยเช่นกัน การต่อเนื่องกันในความเหมือนกันของค่าวิกฤต $p = 1/2$ ที่ถูกพิสูจน์ได้ง่ายโดยจะสังเกตได้ว่า $\tau(p)$ สามารถเขียนได้อีกอย่างหนึ่งดังนี้ ไม่น่าเชื่อที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ดังนั้นจะได้ว่า

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

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

และลดลงไปจนถึง $\tau(1) = \frac{2}{(1+2^m W)}$ โดยที่ค่าเฉพาะของผลลัพธ์ที่ได้พิสูจน์แล้วจะได้ว่า

$$\tau(0) > \tau^*(0) \text{ และ } \tau(1) < \tau^*(1)$$

5.1.2 การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput)

ให้ S เป็นค่าวิสัยสามารถของระบบปกติ ซึ่งอธิบายถึงปริมาณงานที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อเวลาที่ใช้ในการส่ง ในการคำนวณค่า S เราจะวิเคราะห์ว่ามีอะไรที่สามารถเกิดขึ้นได้บ้างในการสุ่มเลือกช่วงเวลา และให้ P_r เป็นความน่าจะเป็นที่มีอย่างน้อย 1 สถานีที่ส่งใน Mini Slot ที่เลือกแบบสุ่ม โดยมี n สถานีที่ช่วงชิงบนช่องสัญญาณและแต่ละสถานีจะส่งด้วยความน่าจะเป็น τ ซึ่งมันสามารถแสดงได้ดังนี้

$$P_r = 1 - (1 - \tau)^n \quad (5.12)$$

นอกจากนั้น ความน่าจะเป็น P_s ถูกกำหนดให้เป็นความน่าจะเป็นที่ส่งได้สำเร็จซึ่งนำเสนอในกรณีที่มี 1 สถานีส่งบนช่องสัญญาณได้อย่างแน่นอน นั่นก็คือ

$$P_s = \frac{\binom{n}{1} \tau (1 - \tau)^{n-1}}{P_r} = \frac{n \tau (1 - \tau)^{n-1}}{1 - (1 - \tau)^n} \quad (5.13)$$

ค่าวิสัยสามารถของระบบสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} S &= \frac{E[\text{Data PDU in a mini - slot time}]}{E[\text{total mini - slot time of channel}]} \\ &= \frac{P_r P_s E[P]}{(1 - P_r)\delta + P_r P_s T_s + P_r (1 - P_s) T_c} \end{aligned} \quad (5.14)$$

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

เมื่อ $E[P]$ คือขนาดของ Data PDU เฉลี่ยและ δ กำหนดให้เป็นระยะเวลาของ Mini Slot โดยที่ข่าวสารที่ส่งได้สำเร็จภายในช่วงเวลา คือ $P_r P_s E[P]$ เมื่อความน่าจะเป็นของการส่งที่ประสบความสำเร็จที่เกิดขึ้นระหว่างเวลา Mini Slot คือ $P_r P_s$ และค่าเฉลี่ยของ Data PDU ที่ส่งได้สำเร็จระหว่างเวลา Mini Slot หาได้จาก $P_r P_s (E[P] + \delta)$ โดยที่ $E[P] + \delta$ ถูกกำหนดให้เป็นเวลาที่ใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมดไปกับการดำเนินการส่งที่ประสบความสำเร็จ ถ้าไม่มีการส่งที่พยายามที่จะส่งบนช่องสัญญาณ ความน่าจะเป็นของการส่งที่ประสบความสำเร็จจะกลายเป็น $(1 - P_r)$ และสุดท้าย ถ้าการชนกันเกิดขึ้นความน่าจะเป็นของการส่งที่ประสบความสำเร็จจะหาได้จาก $P_r(1 - P_s)$ ซึ่งระบบจะร้องขอช่วงเวลา mini-slot 1 ช่วงที่ยืนยันถึงเงื่อนไขนี้

5.1.3 การวิเคราะห์ค่าเวลาหน่วง (Delay)

โดยทั่วไปเวลาหน่วงของ Data PDU ถูกนิยามให้เป็นเวลาที่ผ่านพ้นไประหว่างกลุ่มของข้อมูลที่อยู่ในระยะเวลาเดียวกันของมันและการรับรองความสำเร็จของมัน โดยที่การชนกันอาจจะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการส่ง สมมติให้ D คือเวลาหน่วงของ Data PDU ซึ่งแสดงถึงการสุ่มที่ไม่คงที่และให้ T_{rc} เป็นค่าเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งข้อมูลได้สำเร็จหนึ่งครั้งซึ่งประกอบด้วยเวลาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการชนกันของข้อมูล การเกิดช่องสัญญาณว่างและการส่งข้อมูลได้สำเร็จซึ่งหาได้จาก

$$\begin{aligned} T_{rc} &= \text{Time Collision} + \text{Time Idle Slot} + \text{One Time Success} \\ &= (1 - p_s)T_c + \frac{(1 - \tau)^{(n-1)}}{1 - (1 - \tau)^{(n-1)}} \delta + p_s T_s \end{aligned} \quad (5.15)$$

เมื่อ p_s คือความน่าจะเป็นที่มี 1 สถานีจาก $n-1$ สถานีเข้าใช้ช่องสัญญาณได้สำเร็จ ซึ่งหาได้จาก

$$p_s = \frac{(n-1)\tau(1-\tau)^{n-2}}{1 - (1-r)^{n-1}} \quad (5.16)$$

เมื่อ r คือจำนวนของ Contention Slot ที่ถูกเข้าถึงได้สำเร็จ ให้ $T_{n,i}$ แทนค่าเฉลี่ยของเวลาที่ต้องใช้ในการส่งข้อมูลซ้ำ i ครั้งก่อนที่สถานีที่เราทำการสังเกตจะสามารถส่งข้อมูลได้สำเร็จ ซึ่งหาได้โดย

$$\begin{aligned} T_{n,i} &= \sum_{k=0}^i \frac{W_k - 1}{2} p T_{rc} + i T_c \\ &= \frac{p T_{rc}}{2} \sum_{k=0}^i W_k - (i+1) \frac{p T_{rc}}{2} + i T_c \\ &= i T_c + \frac{p T_{rc}}{2} W \begin{cases} 2^{i+1} - 1 & , 0 \leq i \leq m \\ 2^{m+1} - 1 + 2^m (i - m) & , (m+1) \leq i \leq \infty \end{cases} \end{aligned} \quad (5.17)$$

ดังนั้นจะสามารถหาค่าเวลาหน่วง D ได้เป็น

$$\begin{aligned} D &= \sum_{k=0}^i (1-p) p^k (T_{n,i} + T_s) \\ &= T_s + \left(T_c p - \frac{p T_{rc}}{2} \right) \left(\frac{1}{1-p} \right) + \left(\frac{p T_{rc} W}{2} \right) \left(\frac{1-p - p(2p)^m}{(1-p)(1-2p)} \right) \end{aligned} \quad (5.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การวิเคราะห์ค่าสมรรถนะของอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบลุ่ม

5.2.1 ความน่าจะเป็นที่จะได้ส่งการร้องขอใน Mini Slot

ในการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบลุ่ม หนึ่งในเหตุการณ์พื้นฐานก็คือ มี c สถานีที่ประสบความสำเร็จในการส่งการร้องขอการจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับใช้ในการส่ง Data PDU ใน Contention Slot ที่ถูกแบ่งออกเป็นสล็อตย่อย ๆ ที่เรียกว่า Mini Slot จำนวน V สล็อต เมื่อมีจำนวนสถานีที่ต้องการส่งการร้องขอใน Contention Slot ทั้งหมด m สถานี โดยที่ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์นี้แทนด้วย $P_s(c|m, V)$ ซึ่งหาได้โดยสมมติให้ A_i เป็นเหตุการณ์ที่มีสถานีประสบความสำเร็จในการเข้าถึงยัง Mini Slot ที่ i และให้ $B(m, V)$ เป็นเหตุการณ์ที่มีสถานีทั้ง m สถานีต้องการเข้าถึงยัง Mini Slot V สล็อต จะได้ความน่าจะเป็นที่มีสถานี c สถานีจากสถานีทั้งหมด m สถานี เข้าถึงยัง Mini Slot c สล็อต จาก Mini Slot ทั้งหมด V สล็อต ได้สำเร็จ ดังนี้

$$\begin{aligned} Q(A_i, A_j, \dots, A_h | m, V) &= \text{Prob}\{A_i, A_j, \dots, A_h | B(m, V)\} \\ &= \frac{\binom{m}{c} \cdot c! \cdot (V-c)^{m-c}}{V^m} \end{aligned} \quad (5.19)$$

โดยที่ V^m คือวิธีทั้งหมดในการเลือก Mini Slot V สล็อตของสถานีแต่ละสถานีซึ่งมีทั้งหมด m สถานี

และเนื่องจากในการเข้าถึงของสถานีทั้งหมด c สถานีที่ประสบความสำเร็จในการเข้าถึงยัง Mini Slot มีการเรียงสับเปลี่ยนสล็อตที่จะเข้าถึงซึ่งขึ้นอยู่กับค่า p ที่สร้างขึ้นในแต่ละรอบจึงต้องคูณด้วย $c!$

ให้ S_c เป็นผลรวมของความน่าจะเป็นทั้งหมดที่ประสบความสำเร็จในการเข้าถึงยัง Mini Slot ใน Contention Slot ได้ c สล็อต จะได้ว่า

$$\begin{aligned} S_c &= \sum Q(A_i, A_j, \dots, A_h | m, V) \\ &= \frac{\binom{V}{c} \binom{m}{c} \cdot c! \cdot (V-c)^{m-c}}{V^m} \quad (1 \leq c \leq \text{Min}(m, V)) \end{aligned} \quad (5.20)$$

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

$$\begin{aligned} P_s(m, V) &= \text{Prob}\left\{\bigcup_{k=1}^V A_c\right\} \\ &= S_1 - S_2 + S_3 - \dots - (-1)^{\text{Min}(m, V)} S_{\text{Min}(m, V)} \end{aligned} \quad (5.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$\begin{aligned} P_f(m, V) &= 1 - P_s(m, V) \\ &= 1 - S_1 + S_2 - S_3 + \dots + (-1)^{Min(m, V)} S_{Min(m, V)} \end{aligned} \quad (5.22)$$

ถ้ากำหนดให้ S_0 เท่ากับ 1 จะเขียนสมการที่ (5.25) ได้ใหม่เป็น

$$P_f(m, V) = \sum_{i=0}^{Min(m, V)} (-1)^i S_i \quad (5.23)$$

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

$$\begin{aligned} P_s(c | m, V) &= \text{Prob}\{\text{มี } c \text{ สถานีที่ประสบความสำเร็จ}\} \\ &= S_c \cdot P_f(m - c, V - c) \\ P_s(c | m, V) &= \frac{(-1)^c V! m!}{V^m c!} \sum_{j=c}^{Min(m, V)} \frac{(-1)^j (V - j)^{m-j}}{(j - c)! (m - j)! (V - j)!} \quad (0 \leq c \leq Min(m, V)) \end{aligned} \quad (5.24)$$

5.2.2 การวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput)

ในการวิเคราะห์ ขั้นแรกเราจะตรวจหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนของการส่งการร้องขอที่ประสบความสำเร็จและกราฟฟิคอินพุต เพื่อให้ได้มาซึ่งเงื่อนไขสำหรับการแบ่งแยกที่ดีที่สุดและการหาอัตราส่วนที่ดีที่สุด

กราฟฟิคอินพุตจะบ่งบอกถึงคุณลักษณะของกระบวนการมาถึงของ Data PDU และการแจกแจงความยาวของมัน ซึ่งในเครือข่าย DOCSIS มีการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่วง ๆ เรียกว่าช่วงเวลา Mini Slot จึงทำให้การเข้ารับบริการของผู้ใช้บริการแต่ละรายเป็นอิสระจากกัน ดังนั้นระบบแถวคอยในเครือข่าย DOCSIS จึงมีกระบวนการเข้าถึงเป็นกระบวนการปัวส์ซอง (Poisson Process) ซึ่งมีอัตราเฉลี่ยการเข้าถึง λ (ข้อความต่อ Mini Slot) และความยาวของข้อความถูกแจกแจงแบบทั่วไปด้วยค่าเฉลี่ย J (กลุ่มข้อมูล Data PDU) และความยาวของแต่ละเฟรมเท่ากับจำนวนของ Mini Slot L สล็อต ซึ่งประกอบไปด้วย Contention Slot และ Data Slot โดยที่ความน่าจะเป็นที่มีสถานี c สถานีจาก m สถานีที่ส่งกลุ่มข้อมูลร้องขอไปยัง Contention Slot สามารถหาได้จากสมการไบโนเมียลดังแสดงในสมการที่ 4.1 โดยที่ค่าความน่าจะเป็นที่แต่ละสถานีจะประสบความสำเร็จในการเข้าถึงยัง Mini Slot V สล็อต คือ $\frac{V}{m}$ ดังนั้น จะได้ว่า

$$\begin{aligned} P_m(m) &= \text{Prob}\{c \text{ สถานีจาก } m \text{ สถานีที่ส่งกลุ่มข้อมูลร้องขอไปยัง Contention Slot}\} \\ &= \binom{m}{c} \left(\frac{V}{m}\right)^c \left(1 - \left(\frac{V}{m}\right)\right)^{m-c} \end{aligned} \quad (5.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

$$P_d(k|m, V) = \sum_{c=1}^{\text{Min}(k, m, V)} P_s(c|m, V) \cdot P_m(k|c) \quad (c \leq k) \quad (5.26)$$

จากนั้น ให้ $S(m, V)$ แทนจำนวนของ Data Slot ทั้งหมดที่ถูกร้องขอ ซึ่งหาได้จาก

$$\begin{aligned} S(m, V) &= \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot P_d(k|m, V) \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} k \sum_{c=1}^{\text{Min}(k, m, V)} P_s(c|m, V) \cdot P_m(k|c) \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot P_m(k|c) \sum_{c=1}^{\text{Min}(m, V)} P_s(c|m, V) \end{aligned} \quad (5.27)$$

Mini Slot ที่ถูกร้องขอโดยแต่ละสถานีเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงอย่างอิสระและเหมือนกันทุกประการ (Independently and Identically Distributed: IID) กับค่าเฉลี่ย J โดยที่ค่าที่ถือว่าเป็นผลรวมของตัวแปรสุ่ม IID ใดๆ ก็ตามจะเท่ากับผลรวมของจำนวนตัวแปรสุ่ม IID แต่ละตัว ซึ่งจะนำไปสู่สมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} S(m, V) &= \sum_{c=1}^{\text{Min}(m, V)} c \cdot J \cdot P_s(c|m, V) \\ &= J \cdot \sum_{c=1}^{\text{Min}(m, V)} c \cdot P_s(c|m, V) \end{aligned} \quad (5.28)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (5.28) และ (5.31) เราจะได้ผลลัพธ์ของจำนวนสล็อตทั้งหมดได้ถูกเข้าถึงใน 1 เฟรมสำหรับแต่ละรูปแบบดังต่อไปนี้

รูปแบบที่ 1:

$$\begin{aligned} S_1 &= \sum_{m=1}^{\infty} P_m(m) \cdot S(m, V) \\ &= J \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \left[\binom{m}{c} \left(\frac{V}{m}\right)^c \left(1 - \left(\frac{V}{m}\right)\right)^{m-c} \left(\sum_{c=1}^{\text{Min}(m, V)} c \cdot P_s(c|m, V) \right) \right] \end{aligned} \quad (5.29)$$

รูปแบบที่ 2:

$$S_2 = \sum_{m=1}^{\infty} P_m(m) \cdot S(m_e \cup m_o, V)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= J \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \left[P_{in}(m) \left(\sum_{c=1}^{Min(m,V)} c \cdot (P_s(c|m_e, V) + P_s(c|m_o, V) - (P_s(c|m_e \cap m_o, V))) \right) \right] \quad (5.30)$$

เมื่อ m_e คือจำนวนของสถานีที่เป็นแอดเดรสคู่ และ

m_o คือจำนวนของสถานีที่เป็นแอดเดรสคี่

และ รูปแบบที่ 3:

$$\begin{aligned} S_3 &= \sum_{m=1}^{\infty} P_{in}(m) \cdot S(m_e \cup m_o, V) \\ &= J \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \left[P_{in}(m) \left(\sum_{c=1}^{Min(m,V)} c \cdot (P_s(c|m_e, V/2) + P_s(c|m_o, V/2)) \right) \right] \end{aligned} \quad (5.31)$$

เมื่อ V คือจำนวน Contention Slot ทั้งหมด

ค่าวิสัยสามารถของระบบ T ซึ่งอธิบายถึงจำนวนเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลการร้องขอที่ส่งได้สำเร็จในช่วงเวลาที่มีการเข้าถึงทั้งหมดแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} T &= \frac{\text{Prob}\{\text{Average number of total Data Slots successfully transmitted in one frame}\}}{\text{Total Time Slot}} \\ &= \frac{S}{L} \end{aligned} \quad (5.32)$$

5.2.3 การวิเคราะห์ค่าเวลาหน่วง (Delay)

ในการวิเคราะห์ค่าเวลาหน่วงนี้ จะทำการวิเคราะห์ในช่วงเวลาดั้งช่วงเวลาเริ่มต้นที่กลุ่มข้อมูลมาถึงจนกระทั่งสิ้นสุดการให้บริการใน 1 เฟรมแล้ว โดยจะทำการพิจารณารอบที่มีการเริ่มต้นใหม่ ขณะที่สถานีทั้งหมด m สถานีมีคุณสมบัติทางสถิติที่เหมือนกัน เราสามารถหาค่าเวลาหน่วงอย่างง่าย ๆ สำหรับทั้ง 3 รูปแบบได้ดังต่อไปนี้

$$D = \frac{mL}{T} + \frac{1}{\lambda} + L \quad (5.32)$$

ค่าเวลาหน่วงทั่วไป (Normalized delay) หาได้จาก $\hat{D} = \frac{D}{L}$

$$\hat{D} = \frac{m}{T} + \frac{1}{\lambda L} + 1 \quad (5.33)$$

เมื่อ T คือค่าวิสัยสามารถของแต่ละรูปแบบ

L คือความยาวของแต่ละเฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ผลการวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถและค่าเวลาหน่วง

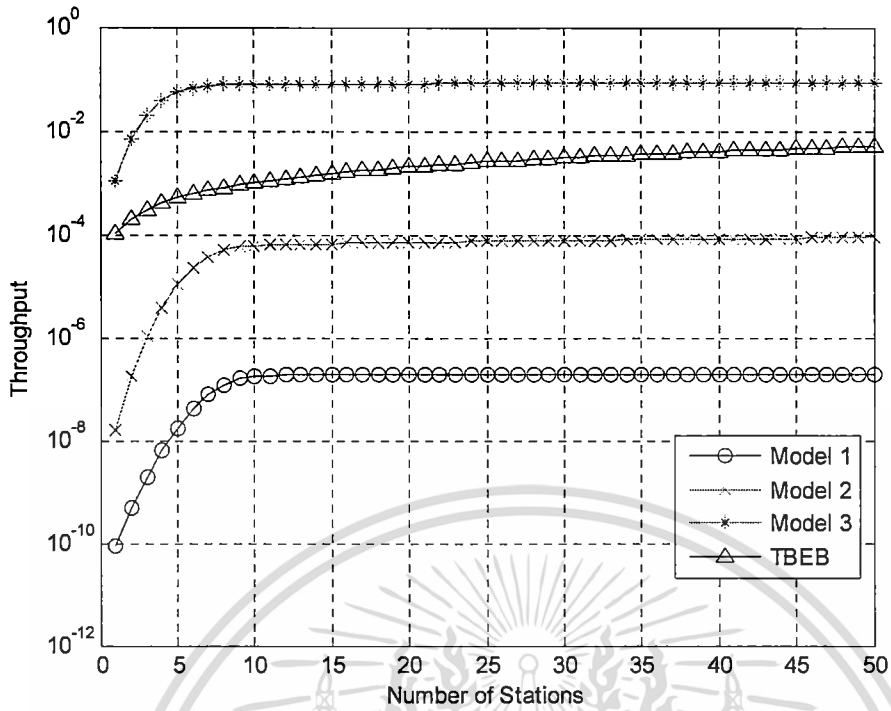
ในการวิเคราะห์ได้มีการกำหนดค่าของพารามิเตอร์ต่างดังตารางที่ 5.1 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงเหล่านี้ได้อ้างอิงกับข้อกำหนดทางกายภาพ (Physical Layer) ของข้อกำหนด DOCSIS โดยในการวิเคราะห์เราได้เลือกใช้การมอดูเลตข้อมูลแบบ QPSK สำหรับช่องสัญญาณขาขึ้น และ 256QAM สำหรับช่องสัญญาณขาลง

ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

Parameter	Value
Arrival Rate	32 Packets/Mini Slot
Number of Station	50
CW_{min}	16
CW_{max}	1024
Size of Mini Slot	16 byte or 6.25 μ s
Mean Data PDU Slot Size	40 Mini Slots
Mean Contention Slot Size	10 Mini Slots

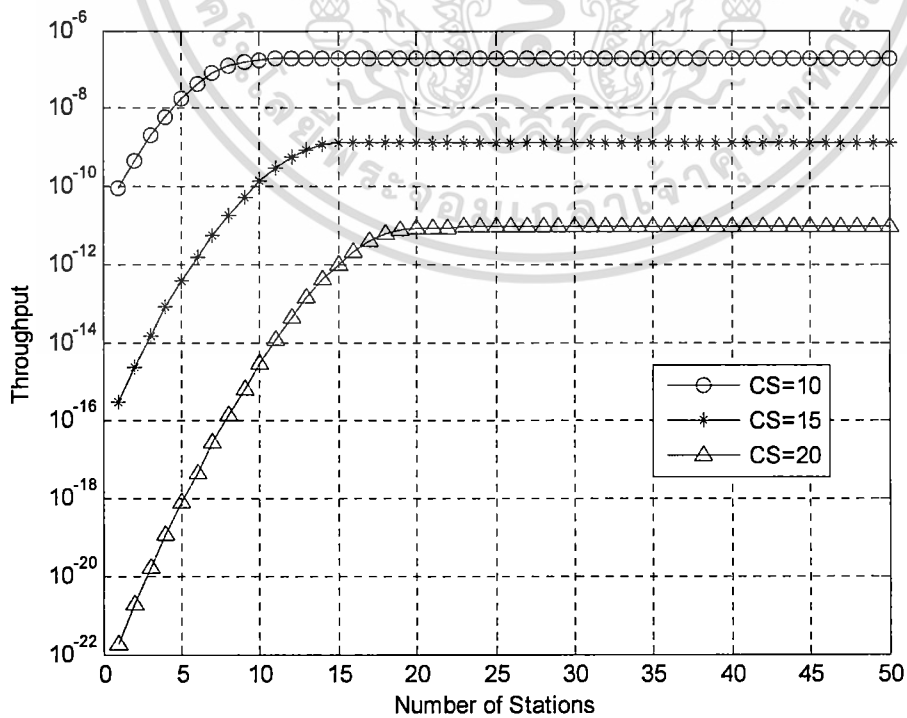
5.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput)

ค่าวิสัยสามารถคือปริมาณงานที่ได้ต่อเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการส่งข้อมูล โดยการแสดงผลเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มทั้ง 3 รูปแบบกับอัลกอริธึม TBEB จะเห็นได้ว่าอัลกอริธึมการเข้าถึงหลายสล็อตแบบสุ่มรูปแบบที่ 3 นั้นจะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ในขณะที่รูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ของอัลกอริธึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มให้ค่าวิสัยสามารถที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับอัลกอริธึม TBEB และจากรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าในช่วงที่จำนวนสถานีมีค่าน้อย ๆ นั้นจะส่งผลต่อค่าวิสัยสามารถ แต่เมื่อสถานีมีจำนวนที่มากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงค่าหนึ่งค่าวิสัยสามารถที่ได้จากระบบจะมีค่าคงที่



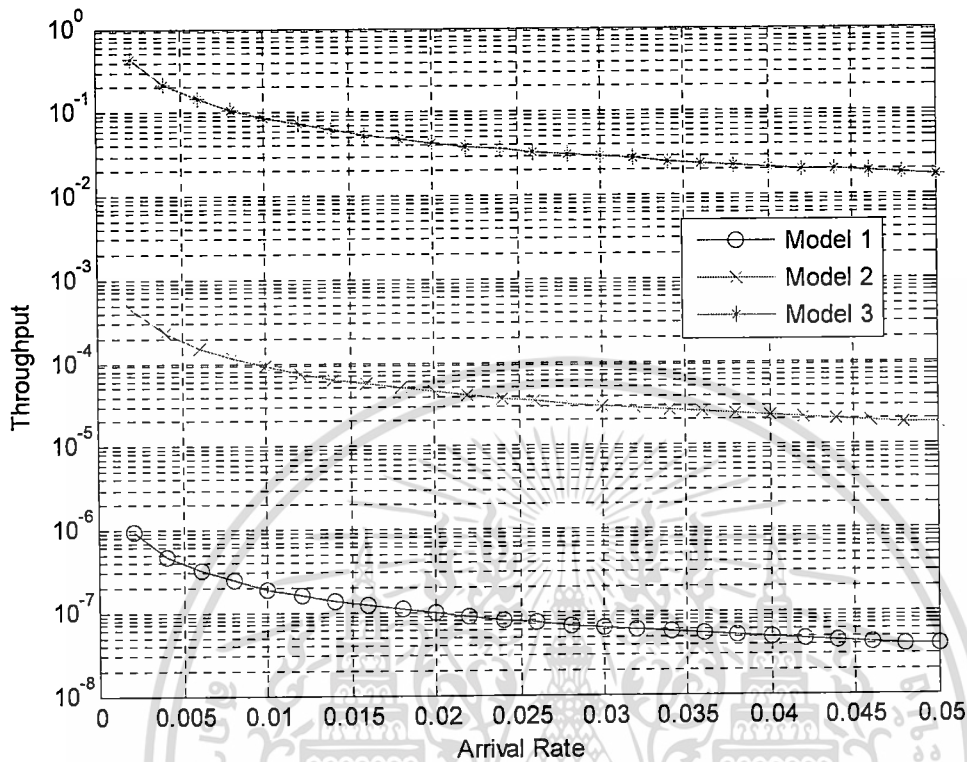
รูปที่ 5.2 ค่าวิสัยสามารถของอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มเทียบกับอัลกอริทึม TBEB

เมื่อเพิ่มขนาดของ Mini Slot ใน Contention Slot เป็น 15 และ 20 สล็อต จะทำให้ค่าวิสัยสามารถของอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มในแต่ละรูปแบบจะมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.3 – 5.5



เอกสารรูปที่ 5.3 ค่าวิสัยสามารถของรูปแบบที่ 1 เมื่อ Contention Slot = 10, 15 และ 20 Mini Slots ขันด้านการค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

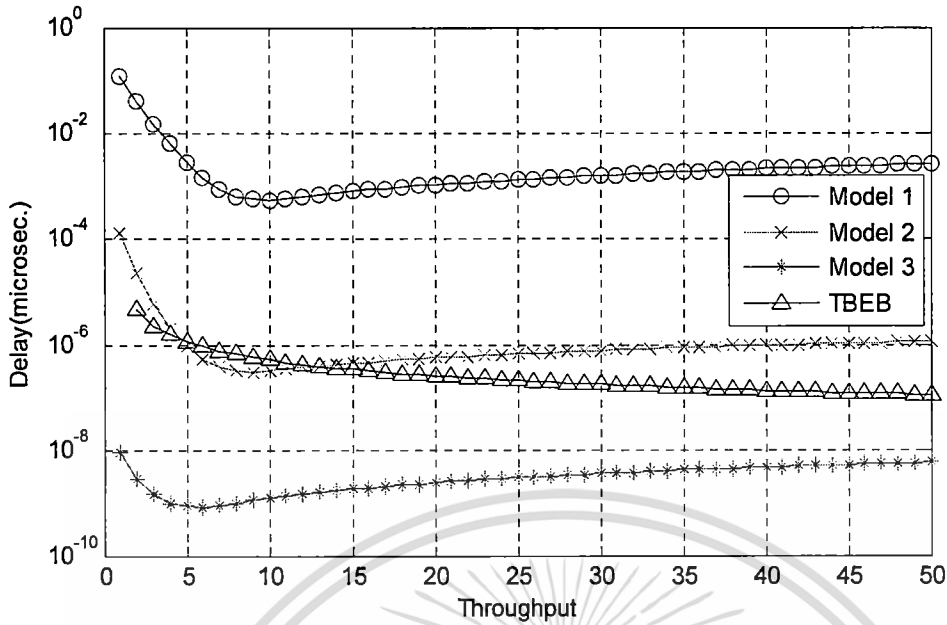
อัตราเฉลี่ยการเข้าถึงยัง Contention Slot มีค่าเพิ่มมากขึ้น ระบบจะมีค่าวิสัยสามารถจะมีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ของค่าวิสัยสามารถของทั้ง 3 รูปแบบกับค่าอัตราเฉลี่ยการเข้าถึง λ

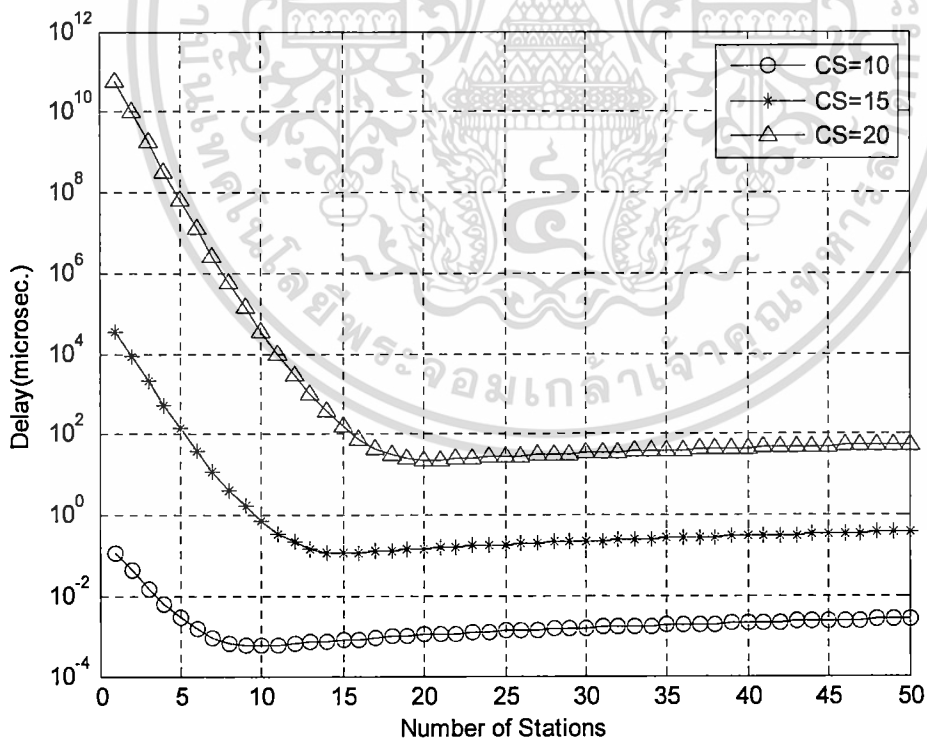
5.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าเวลาหน่วง (Delay)

ในการพิจารณาค่าเวลาหน่วงจะพิจารณาจากเวลาที่ใช้ไปตั้งแต่เริ่มต้นรอบใหม่จนกระทั่งสามารถส่งข้อมูลได้สำเร็จ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าเวลาหน่วงของอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มกับอัลกอริทึม TBEB จะพบว่าอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มรูปแบบที่ 3 จะให้ค่าเวลาหน่วงที่น้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5.7 และจากรูปที่ 5.7 จะเห็นได้ว่าในช่วงที่จำนวนสถานีมีค่าน้อย ๆ นั้นจะมีผลต่อค่าเวลาหน่วง ซึ่งถ้าระบบมีจำนวนสถานีเพิ่มมากขึ้นค่าเวลาหน่วงก็จะมีค่าน้อยลง แต่ถ้าสถานีมีจำนวนที่มากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงค่าหนึ่งค่าเวลาหน่วงจะมีเพิ่มขึ้น

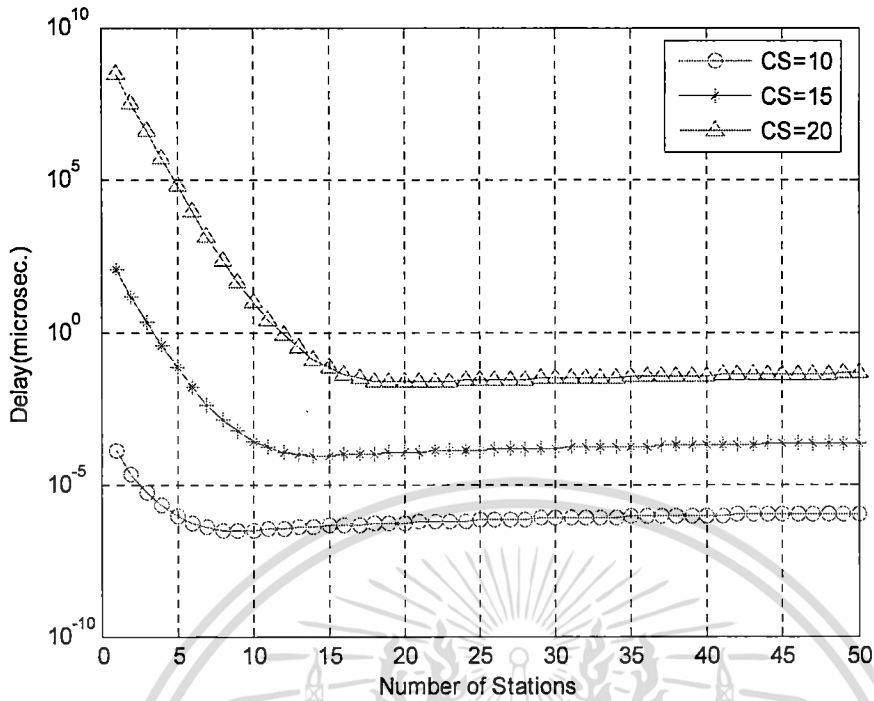


รูปที่ 5.7 ค่าเวลาหน่วงของอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มเทียบกับอัลกอริทึม TBEB

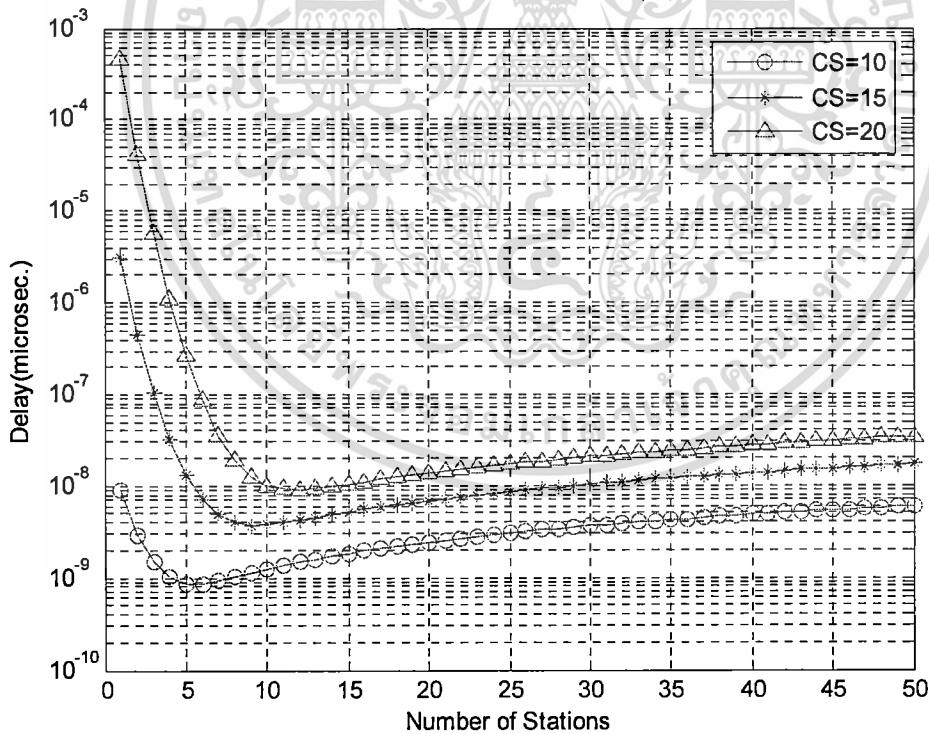
เมื่อเพิ่มขนาดของ Mini Slot ใน Contention Slot เป็น 15 และ 20 สล็อต ค่าเวลาหน่วงก็จะ มีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.8 – 5.10



รูปที่ 5.8 ค่าเวลาหน่วงของรูปแบบที่ 1 เมื่อ Contention Slot = 10, 15 และ 20 Mini Slots



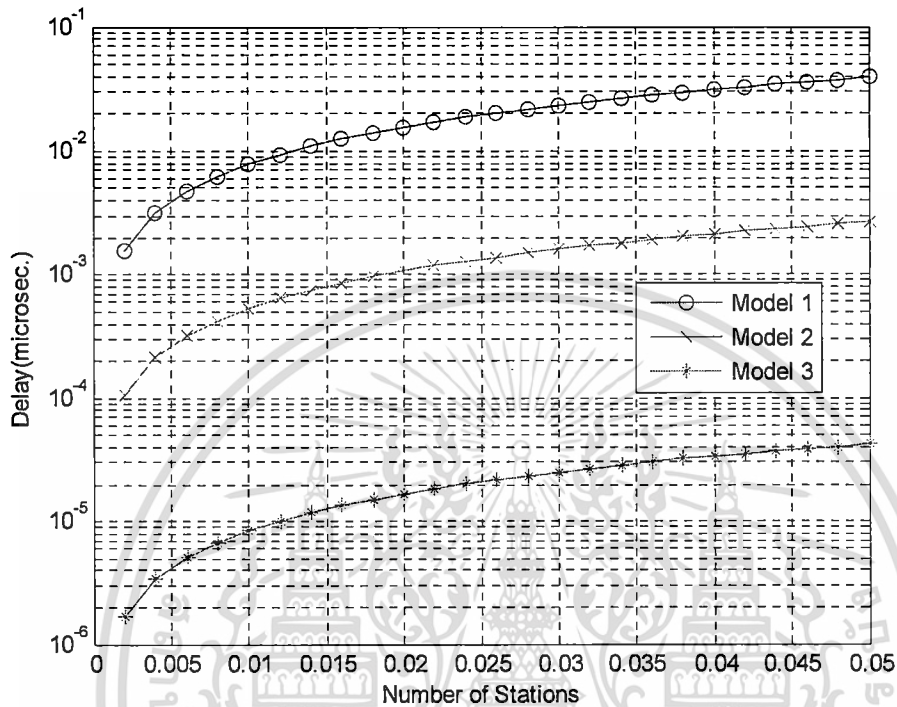
รูปที่ 5.9 ค่าเวลาหน่วงของรูปแบบที่ 2 เมื่อ Contention Slot = 10, 15 และ 20 Mini Slots



รูปที่ 5.10 ค่าเวลาหน่วงของรูปแบบที่ 3 เมื่อ Contention Slot = 10, 15 และ 20 Mini Slots

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาหน่วงกับค่าอัตราเฉลี่ยการเข้าถึงยัง Contention Slot λ จะพบว่าเมื่อค่าอัตราเฉลี่ยการเข้าถึง λ มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าเวลาหน่วงมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ของค่าเวลาหน่วงของทั้ง 3 รูปแบบกับค่าอัตราเฉลี่ยการเข้าถึง λ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิเคราะห์

ในปัจจุบัน เครือข่ายเคเบิลโมเด็มมีการใช้งานตามอาคารบ้านเรือนกันอย่างแพร่หลาย ทำให้บริษัทผู้ผลิตและผู้ให้บริการเครือข่ายเคเบิลโมเด็มร่วมมือกันเพื่อพัฒนาเครือข่ายให้สามารถใช้งานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งได้มีการศึกษาถึงวิธีการแก้ไขปัญหาคอขวดของเครือข่ายร่วมกันของข้อมูลอย่างกว้างขวาง โดยงานวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นงานวิจัยที่พัฒนารูปแบบของกระบวนการแก้ไขปัญหาคอขวดที่เรียกว่า Binary Exponential Back-off (TBE) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมพื้นฐานที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาคอขวดช่วงชิง ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอกระบวนการแก้ไขปัญหาคอขวดช่วงชิงสล็อตเมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวนมากที่ร้องขอการใช้บริการที่เรียกว่า อัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่ม โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำเสนอนี้จากค่าวิสัยสามารถและค่าเวลาหน่วง และนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม TBE เพื่อดูประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำเสนอ

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มทั้ง 3 รูปแบบสามารถรองรับการใช้งานในกรณีที่เครือข่ายมีผู้ใช้บริการจำนวนมากได้ โดยจะเห็นได้ว่าในรูปแบบที่ 3 นั้นจะให้ค่าวิสัยสามารถและค่าเวลาหน่วงที่ดีที่สุดและสามารถให้ค่าประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหาคอขวดช่วงชิง Contention Slot ได้ดีกว่าอัลกอริทึม TBE ด้วย และจากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบนั้น ได้แก่ ขนาดของ Contention Slot และค่าเฉลี่ยอัตราการเข้าถึงเครือข่าย ส่วนขนาดของ Data Slot นั้นไม่มีผลกับค่าประสิทธิภาพ เนื่องจากตามข้อกำหนดของระบบแล้ว ระบบจะต้องสามารถรองรับการขยายขนาดของข้อมูลได้ แต่จำนวนของ Contention Slot มีผลต่อค่าประสิทธิภาพเนื่องจากโปรโตคอล DOCSIS นี้จะมีการช่วงชิงกันแต่เฉพาะใน Contention Slot เท่านั้น ดังนั้น จึงทำให้มีเพียงแค่ว่า Contention Slot เท่านั้นที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์จึงสรุปได้ว่าเราสามารถนำกระบวนการนี้ไปใช้ในการแก้ไขปัญหาคอขวดช่วงชิง เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพได้อีกกระบวนการหนึ่ง

6.1 ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าอัลกอริทึมการเข้าถึงสล็อตหลายทางแบบสุ่มนี้จะสามารถใช้ในการแก้ไขปัญหาคอขวดช่วงชิง Contention Slot ได้ แต่ก็ยังมีบางรูปแบบที่มีประสิทธิภาพด้อยกว่าอัลกอริทึม TBE ดังนั้น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการต่อไป จึงควรเพิ่มเงื่อนไขในการเข้าถึง โดยการไม่กำหนดให้ผู้ใช้บริการบางรายมีสิทธิในการเข้าถึง Contention Slot ได้ก่อน เพื่อเป็นการลดการใช้

จำนวนสล็อตที่เสียหายเมื่อมีการชนกันเกิดขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นวิธีที่ทำให้อัลกอริทึมนี้มีประสิทธิภาพมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] **Data-Over-Cable Service Interface Specifications Radio Frequency Interface Specification CM-SP-RFIV1.1-C01-050907**, September, 2005.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] J. Lembert, 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] **IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications**, November, 1997.
- [11] 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.
- [12] 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.

- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] J. Lambert, B. Van Houdt and C. Blondia, “**Queues in DOCSIS cable modem networks,**” Computer & Operations Research, Vol.35, pp. 2482-2496, August, 2007.
- [17] 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.
- [18] H. Koraitim, S. Tohmé, “**GRAP: A Multiple Access Protocol for Packet Satellite Networks,**” Proc. IEEE International Symposium on Computers and Communications, pp. 196 - 202, 1999.
- [19] 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.
- [20] Wuyi Yue, Yutaka Matsumoto, “**Performance analysis of multi-channel and multi-traffic on wireless communication networks,**” Springer, 1 edition, 2002.
- [21] Kamilo Feher, “**Digital Communication,**” Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1992.
- [22] Leonard Kleinrock, “**Queueing Systems. Volume 1: Theory,**” New York, John Wiley & Sons, 1975.
- [23] กฤดากร กล่อมการ, “**การสื่อสารข้อมูล,**” กรุงเทพฯ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.
- [24] ผศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ, “**การสื่อสารดิจิทัล,**” กรุงเทพฯ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551.
- [25] บัณฑิต โรจน์อารยานนท์, “**หลักการไฟฟ้าสื่อสาร,**” กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [26] รศ.ดร.สุวิพล สิริชิวภาค, “ความน่าจะเป็นตัวแปรสุ่มและกระบวนการเฟ้นสุ่ม,” กรุงเทพฯ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.
- [27] รศ.ดร.สุวิพล สิริชิวภาค, “เทคโนโลยีการสื่อสารระบบดิจิทัล” กรุงเทพฯ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Thanyawarat Pawasopon, Suvepon Sittichivapak, “**Analysis of random slot multiple access algorithms for DOCSIS network,**” Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2009 (ECTI-CON 2009) , 896 - 899, Pattaya, Thailand, May6-9, 2009.
2. รัชฎวรัตน์ ภาวะโสภณ, สุวิพล สิทธีชีวะภาค, “**การวิเคราะห์กระบวนการการเข้าถึงหลายสล็อตแบบแรมดอมค่า p-persistent สำหรับโครงข่าย DOCSIS,**” วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 26, ฉบับที่ 1, หน้า 37-41, มีนาคม 2552



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2

2009 6th International Conference
on Electrical Engineering/Electronics,
Computer, Telecommunications,
and Information Technology

ECTI-CON 2009

May 6th - 9th, 2009

Ambassador City Jomtien
Pattaya, Chonburi, Thailand

ISBN 978-1-4244-3388-9
IEEE Catalog Number: CFP0906E
Library of Congress: 2008910219



NECTEC
a member of NSTDA

IEEE
THAILAND SECTION

Analysis of random slot multiple access algorithms for DOCSIS network

Thanyawat Pawasopon Suvepon Sittichivapak
 Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Bangkok, Thailand
 E-mail: obo_ono@hotmail.com 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 DOCSIS standard, the binary exponential back-off (BEB) algorithm has been studied in many papers [5, 7 and 8]. These papers resolved collision in the request mini-slot contention process since this algorithm normally allocates unnecessary large contention window. In this paper, we propose simple contention resolution algorithms, called random slot multiple access algorithms. These algorithms which use p -persistence value, which are the transmission required probability of each station in analysis method. We simulate the system and the analyzed models of random slot multiple access algorithms by randomly selected mini-slots. The mini-slots are selected from p -persistence value of transmission required probability and individual address of each station.

I. INTRODUCTION

Data-Over-Cable Service Interface Specifications (DOCSIS) by the Multimedia Cable Network System Partners (MCNS) [1] and IEEE 802.14 [2]-[4] is *de facto* standard developed to define communication and operation support interface requirement a data-over-cable system. It is employed by many cable television operators to provide Internet access over their existing Hybrid Fiber Coax (HFC) network. Cable operators are interested in deploying high-speed packet-based communication system on cable television system that is capable supporting a wide variety of service

The intended service will allow transparent bi-directional transfer of Internet Protocol (IP) between the cable system head-end and customer locations over an all-coaxial or Hybrid Fiber Coax (HFC) network. This is shown in simplified form in Fig. 1. And, it has been widely used as two broadband accesses to home.

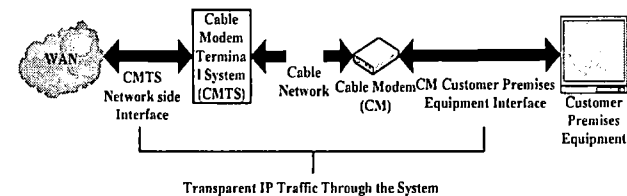


Fig. 1 Transparent IP Traffic Trough the Data-Over-Cable System.

The transmission path over the cable system is realized at the head-end by a Cable Modem Terminal System (CMTS) and at each customer location by a Cable Modem (CM). At the head-end, the interface to the data-over-cable system is called the Cable Modem Terminal System Network Side Interface. At the customer location, the interface is called the Cable Modem Customer Premises Equipment Interface. The intent is for operators to transparently transfer IP traffic between these interfaces, including but not limited to data grams, Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP), Internet Control Message Protocol (ICMP), and Internet Protocol (IP) Group addressing (broadcast and multicast).

The Media Access Control (MAC) protocol [5] defined in the DOCSIS RFIv1.1 is based on Time Division multiple Access (TDMA). It uses MAC management messages, referred to as MAP messages, to describe the usage of the uplink channel. A given MAP message indicates the upstream bandwidth allocation over the next MAP time, termed the *MAP length*. The MAP assigns some uplink mini-slots to particular cable modems (CMs) to transmit data, other slots are available as contention mini-slot to request bandwidth. This is one of the critical components of the DOCSIS MAC layer and the DOCSIS specification purposely does not specify these bandwidth allocation algorithms so that are able to develop their own solution.

Random access schemes for packet networks require contention resolution algorithms and protocol for resolving packet collisions due to contention by the uncoordinated terminal. The binary exponential back-off (BEB) algorithm [6]-[8] has been widely used in many forms of which are included in DOCSIS, Ethernet [9] and Wireless LAN [10] standards. 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. In this paper, we proposed simple contention resolution algorithm, called random slot multiple access algorithms, as explained both algorithms in Section III.

The rest of the paper is organized as follow. Section II, we presented system overview of DOCSIS. Section III provides a detailed description of the BEB algorithm and random slot multiple access algorithms. Section IV described model of selection mini-slots 3 models and compared the result of 3

models that which model is the best. Finally, we make a brief conclusion in Section IV

II. OVERVIEW OF DOCSIS OPERATIONS

The DOCSIS network consists of:

- Cable Modem Terminal System (CMTS) located at the head-end (HE).
- Hybrid Fiber Coax (HFC) cables network which uses tree-and-branch architecture.
- Cable Modem (CM) located at the customer premise.
- Upstream and downstream channel.

Fig. 2 shows DOCSIS architecture;

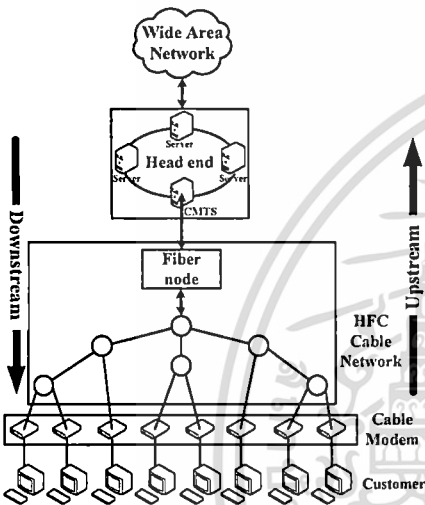


Fig. 2 DOCSIS architecture.

The CMTS at the HE is connected by fiber cable to fiber nodes, from where coaxial cables are used to connect to CMTS at homes.

In HFC cable network, each branch is composed of downstream channel and an upstream channel.

Downstream channel is a point-to-multipoint broadcast channel. The CMTS at the 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. The upstream channel is divided into fixed length time slot called mini-slots. Each frame of mini-slots consists of contention mini-slot, are used for CM transmit a request, and data mini-slots, are used to transmit data. The detail of each frame is specified via a control message, called MAP, which is periodically transmitted by CMTS on the downstream channel.

When any CM that wants to transmit data on the upstream channel, it first sends a request via the contention mini-slot on upstream channel to the HE. Therefore only contention mini-slot is prone to collision which occurs when more than one CM attempts to transmit a request in the same mini-slot at the same time. HE controls the use of contention mini-slot by

assigning Request Queue value to each contention mini-slot. After the HE has completely received contention mini-slot, it uses the downstream channel to send feedback on contention mini-slot to the station. The feedback indicates whether a contention mini-slot was empty, successful, or contained a collision. If a request is successful, the HE 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.

III. THE CONTENTION RESOLUTION ALGORITHMS

A. Binary Exponential Back-off (BEB) algorithm

The binary exponential back-off algorithm is an algorithm model that specified by the DOCSIS standard. The aim of the BEB 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.

Under a heavy load condition, many collisions may occur. Station which fails reservations will retry those at the next round. Moreover, by the time the next contention window arrives, data protocol data units (PDUs) will be generated at other stations. They will increase the collision probability and delay for reservation. Thus, a too large or too small contention window enlarges delay.

B. Random slot multiple access algorithms

The random slot multiple access algorithms are algorithm that uses a p -persistence value resolves contention. By process of this algorithm will random p -persistence value, where p is transmission require probability of each terminal station. The values of p are randomly generated in the range 0 to 1. If any station have the most p value, it will have right to send a request first. If there are 2 stations which have same p value, the collision occur. In the selection mini-slots, we chose mini-slots from p -persistence value that each model will have differential algorithm. We will describe a detail of each model in the next section.

IV. SIMULATION MODELS

In a simulation, we set number of mini-slots to 10 slots. In the system there are 2 events in the system. The first event is arrival state which has uniformly distribution. When the CM

access to the system, it checks the contention mini-slot. If the contention mini-slot is empty, the CM can send the request to the HE. If the contention mini-slot is busy, the CM must wait in queue. When first event completely check, we will go to the second event. In the second event, there are 3 models that we describe following algorithm;

A. The first model

The first model is direct access to the mini-slots. In this algorithm, the mini-slots are chose from p -persistence value by set the access mini-slot follow p -persistence value. Example, if we random p -persistence value is 0.1, it will send in mini-slot in the 1st slot as illustrated in Fig. 3. And the flow chart of this model show in Fig 4.

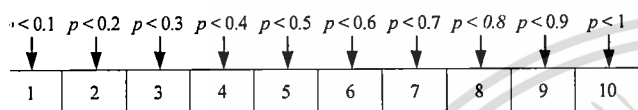


Fig. 3 The arrival mini-slots for the first model.

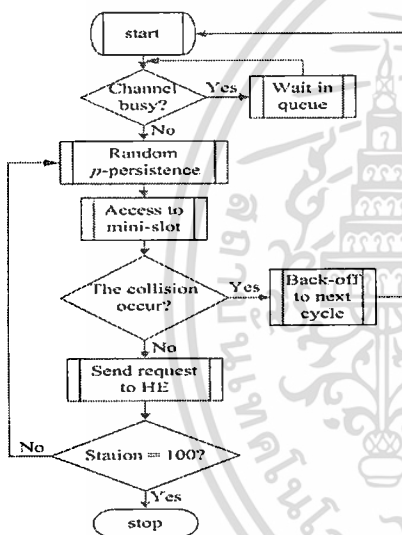


Fig. 4 Flow chart of the first model.

B. The second model

The second model is reverse direct access. In this model, we will divide individual addresses of the terminal stations are odd addresses and even addresses. If the addresses of terminal station are odd addresses, it will chose mini-slots from the 1st slot to the 10th slot. On the other hand, if the addresses of terminal stations are even addresses, it will chose mini-slots from the 10th slot to the 1st slot as shown in Fig. 5. The flow chart of second model illustrated in Fig. 6

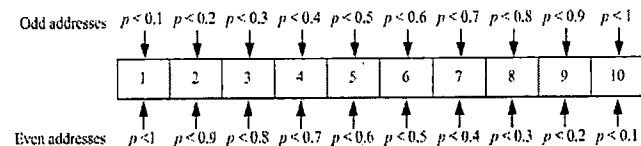


Fig. 5 The arrival mini-slots for the second model.

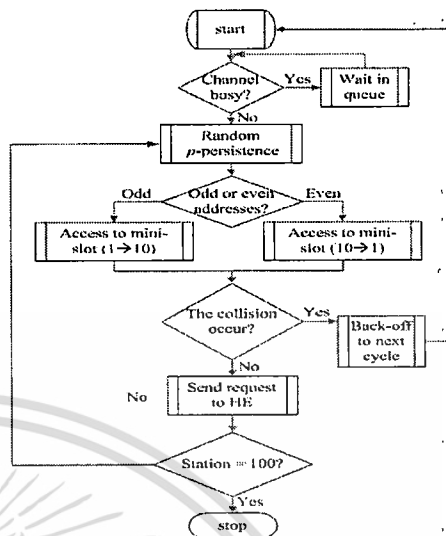


Fig. 6 Flow chart of the second model.

C. The third model

The third model is half division frame access since we will divide individual addresses same the second model. In the third model, selection mini-slots are difference from the second model by this model will divide frames which have 10 mini-slots become to 5 mini-slots. If the terminal stations are odd addresses, it will chose the first 5 slot. On the other hand, if the terminal stations are event addresses, it will chose the last 5 slot as shown in Fig. 7. The flow chart of second model illustrated in Fig. 8.

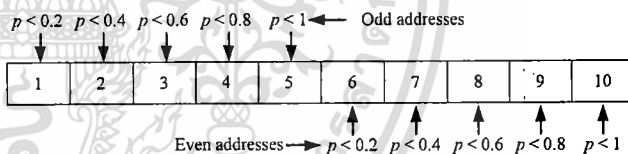


Fig. 7 The arrival mini-slots for the third model.

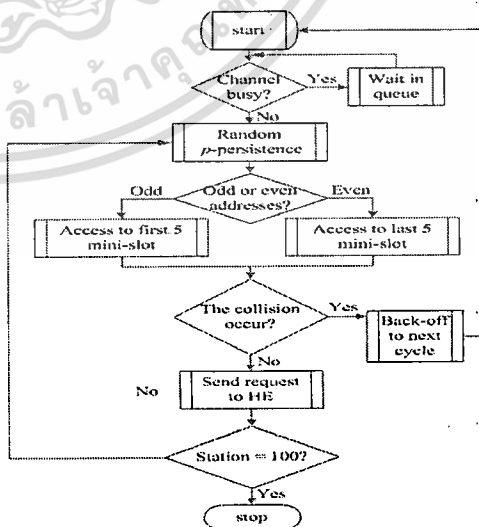


Fig. 8 Flow chart of the third model.

3. The simulation result

Under the simulation, we compare throughput and average delay of models and the BEB algorithm. Fig. 9 shows throughput versus arrival time where the system have 25 stations of 3 models and the BEB algorithm. This figure is comparing throughput total 3 models and the BEB algorithm. They had shown that the first model has the highest throughput. The throughput depends arrival time when the arrival time increases, the throughput also increases. From the result of the simulation, the first model has the highest throughput because it has least number of back-off (shown in fig. 10). From fig. 10, it means the first model has the collision occur less than another processes. Moreover in the first model, the terminal station can use all mini-slot when the second and the third model must divided number of the mini-slot. And the BEB must reserve double mini-slot when the collision occur. So it has highest throughput.

Fig. 11 shows comparing average delay versus arrival time of total models. If the arrival time increases, the average delay also increases. From Fig. 11, we learn that the first model has the least average delay. As the system has high arrival time, the system has large interval waiting time so delay increased.

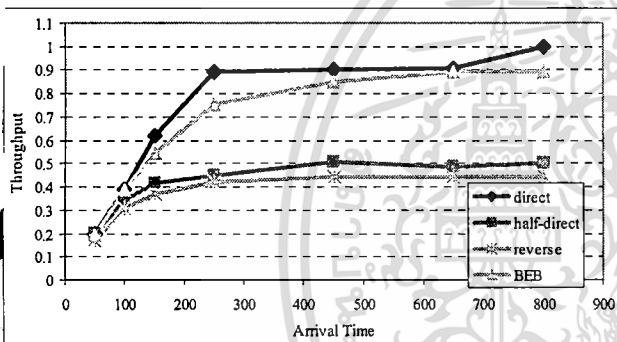


Fig. 9 Throughput versus arrival time (25 stations)

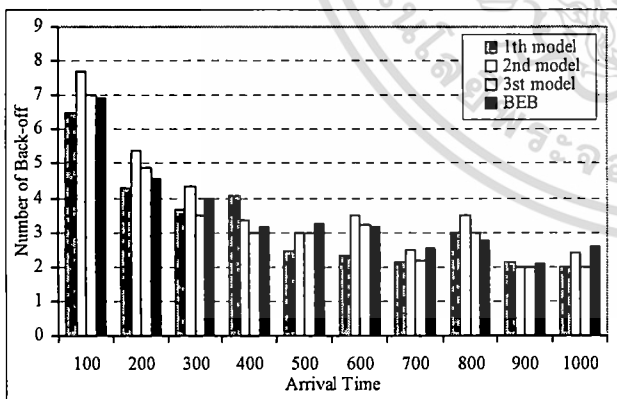


Fig. 10 Number of Back-off versus arrival time (25 stations)

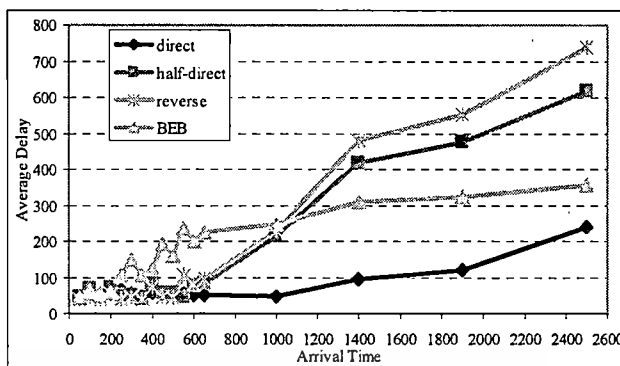


Fig. 11 Average Delay versus arrival time (100 stations)

V. CONCLUSION

In this paper, we propose the simple contention resolution algorithm which used p -persistence value resolves contention. We analyze total 3 models that have difference randomly selected mini-slots processes. From simulation result, we learn that the random slot multiple access algorithms can resolved contention and collision problem. And the first model gives the best throughput and delay. In addition, it also decreases contention window that unnecessary loss same BEB algorithm because it hasn't double the contention window when the collision happen. But it retransmits in the next cycle.

REFERENCES

- [1] Data-Over-Cable Service Interface Specifications Radio Frequency Interface Specification CM-SP-RF1v1.1-C01-050907, Sep. 2005
- [2] John W. Eng and Jame F. Mollenauer, "IEEE Project 802.14: Standards for Digital Convergence", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 33, no. 5, May 1995, pp.20-23.
- [3] IEEE, "IEEE project 802.14/a Draft 2 Revision 2: Cable-TV Access Method and Physical Layer Specification (status: interim)", July 1997, <http://www.walkingdog.com>, <http://www.802.14.org>
- [4] IEEE, "IEEE project 802.14/a Draft 3 Revision 1: Cable-TV Access Method and Physical Layer Specification (status: interim)", April 1998, <http://www.walkingdog.com>, <http://www.802.14.org>
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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. JCC 2006*, pp. 1083-1088.
- [8] Tomoya Saito, Kyoko Kato and Hiroshi Inai , "A request cluster allocation method for DOCSIS CATV/HFC networks", *Proc. ICCS2002*, vol. 1, pp. 155-159.
- [9] R. M. Metcalfe and D. R. Boggs, "Ethernet: distributed packet switching for local computer networks", *Commun. ACM*, vol. 19, no.7, Jul. 1976, pp. 395-404.
- [10] P802.11, IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Nov. 1997
- [11] Dolors Sala and John O. Limb, " Comparison of contention resolution algorithms for a cable modem MAC protocol", *Proc. Broadband Communications*, Zurich, Switzerland, 1998, pp. 83-90

ประวัติผู้เขียน

นางสาวธัญวรัตน์ ภาวะโสภณ เกิดเมื่อวันที่ 14 มกราคม พ.ศ.2528 ที่จังหวัดนครนายก สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2550



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้