

การควบคุมคุณภาพของแพคเกจบนเน็ตเวิร์คเลเยอร์สวิตช์

QUALITY CONTROL OF PACKET ON NETWORK LAYER
SWITCHES



ชานะทิป รักชลธิ
CHANATIP LUCKCHONLATEE

ว.พ.
ค.ค.ค.
2545

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42562
วัน, เดือน, ปี 1 พ.ศ. 2545

b. 11197018
i. 12209909

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-559-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUALITY CONTROL OF PACKET ON NETWORK LAYER SWITCHES

CHANATIP LUCKCHONLATEE

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2002

ISBN 974-648-559-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยจาก รศ. บรรจง ปิยะธำรง ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จาก ท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณบิดามารดาของผู้วิจัย ผู้ที่เป็นผู้ให้ในตลอดชีวิตของท่าน แม้จะยากลำบากอย่างไรก็ตาม

ขอขอบคุณ นางสาวเพ็ญฤดี ตั้งสมรพวงษ์ ที่คอยผลักดันและยังให้กำลังใจต่อผู้วิจัย เพื่อสร้างงานให้ดีที่สุด

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์ อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชนะธิป รักชลธิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมคุณภาพของแพคเกจบนเน็ตเวิร์กเลเยอร์สวิตช์
นักศึกษา	นายชนะธิป รัชชสิทธิ์
รหัสประจำตัว	40061093
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. บรรจง ปิยะธำรง

บทคัดย่อ

จากการเพิ่มขึ้นแบบมหาศาลของผู้ใช้อินเทอร์เน็ตและการทำงานของงานมัลติมีเดีย ในวันนี้การจราจรของไอพีแพคเกจได้เพิ่มขึ้นอย่างเท่าทวี และใน 2-3 ปีที่ผ่านมา ไอพีเราเตอร์ (IP Router) ได้กลายเป็นคอขวด (Bottleneck) ของอินเทอร์เน็ตไป เพื่อรับมือกับปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้น ในปัจจุบันเรามุ่งความสนใจไปที่การนำเอาชั้นเชื่อมต่อข้อมูล (Data Link Layer) รวมเข้ากับชั้นเครือข่าย (Network Layer) กลายเป็น เน็ตเวิร์กเลเยอร์สวิตช์ (Network Layer Switches) ไอพีสวิตช์ (IP Switch) [1] เป็นอีกวิธีหนึ่งที่โดดเด่นเพราะได้รวมเอาข้อดีของไอพีและฮาร์ดแวร์ของเอทีเอ็มสวิตช์ (ATM Switch) เข้าด้วยกัน โดยที่มีความซับซ้อนน้อยและให้ประสิทธิภาพสูง [24]

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงการควบคุมคุณภาพของการให้บริการ (QoS) ในไอพีสวิตช์โดยจะพิจารณาถึงค่าทางสมรรถภาพ (Performance Factor) ต่างๆ ของไอพีสวิตช์ เวลาหน่วง (Delay Time) ที่เกิดขึ้นในระบบ [25] และนำเสนอหลักการใหม่ในการการควบคุมอัตราสูญหายของเซลล์ (Cell Loss Rate) โดยใช้อัลกอริทึมแบบถังน้ำรั่ว (Leaky-Bucket Algorithm) ควบคุมที่อินพุตบัฟเฟอร์ (Input Buffer) ของเอทีเอ็มสวิตช์ เปรียบเทียบกับหลักการเดิมที่ใช้อัลกอริทึมการประเมินแบบเอสอาร์ (SR Estimator) [3] จากการทดลองพบว่า เปรอเซ็นต์การสูญหายของเซลล์ลดลงจาก 2.7197% เป็น 0.0268%

Thesis Title	Quality Control of Packet on Network Layer Switches
Student	Mr. Chanatip Luckchonlatee
Student ID.	40061093
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Banjong Piyatamrong

ABSTRACT

Due to the explosion of the Internet users as well as emerging multimedia applications, IP packet traffic has been increasing exponentially for the last few years and IP routers have become the bottleneck of the Internet. Recently, to keep pace with the growing traffics, there has been much interest in combining Data Link Layer with Network layer to form the Network Layer Switches. IP switches [1] approach is one of the most interest because it combines benefits of both IP and of ATM switch hardwares. This approach offers less complexity and higher performance than other approaches.

This thesis presents a way to control quality of service (QOS) over IP switches with consider a term of performance factors of IP switches, delay time in system, and a new approach is control of cell loss rate by a Leaky-Bucket Algorithm at input ports of ATM switches. The simulation results for this approach (versus with SR Estimator [3]) had shown percentage of cell loss decrease from 2.7197% to 0.0268%.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 เครื่องข่ายคอมพิวเตอร์.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 โมเดลอ้างอิง โอเอสไอ	4
2.2.1 รูปแบบของข้อมูล	7
2.2.2 ประเด็นเรื่องของความเข้ากันได้	8
2.2.3 ชั้นต่างๆ ของ โอเอสไอ	8
2.3 เอทีเอ็มสวิตช์.....	11
2.3.1 สถาปัตยกรรม โพร โดคอล	11
2.3.2 เอทีเอ็มลอจิกคัลคอนเน็คชั่น	14
2.3.2.1 การใช้งานของการเชื่อมต่อช่องสื่อสารเสมือน	17
2.3.2.2 คุณลักษณะของเส้นทางเสมือน/ช่องสื่อสารเสมือน.....	17
2.3.2.3 สัญญาณควบคุม	18
2.3.3 เอทีเอ็มเซล.....	19
2.3.3.1 เซลเคอร์เฟอร์เมต	20
2.3.3.2 ส่วนหัวที่ควบคุมความผิดพลาด	21
2.3.4 เอทีเอ็มอะแด็ปต์ชันเลเยอร์	23
2.3.4.1 โครงสร้างของชั้นสื่อสาร AAL	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4.2 โพรโตคอล AAL1.....	26
2.3.4.3 โพรโตคอล AAL2.....	28
2.3.4.4 โพรโตคอล AAL3/4.....	29
2.3.4.5 โพรโตคอล AAL5.....	32
2.3.4.6 เปรียบเทียบโพรโตคอล AAL แบบต่างๆ.....	34
2.4 ปัญหาและแนวโน้มของเครือข่ายคอมพิวเตอร์.....	36
บทที่ 3 การควบคุมความคับคั่งของข้อมูล.....	42
3.1 บทนำ.....	42
3.2 แนวความคิดพื้นฐานในการควบคุมความคับคั่งของข้อมูล.....	44
3.3 หลักนิยมในการหลีกเลี่ยงความคับคั่งของข้อมูล.....	47
3.4 การควบคุมรูปแบบการจราจร.....	49
3.4.1 อัลกอริทึมดึงน้ำรั่ว.....	50
3.4.2 อัลกอริทึมโทเกินบัคเก็ต.....	53
3.5 ข้อกำหนดการไหลของข้อมูล.....	57
3.6 การควบคุมความคับคั่งของข้อมูลในเครือข่ายย่อยที่ใช้วงจรเสมือน.....	59
3.7 ไซ้คแพคเก็ต.....	60
3.7.1 แถวคอยแบบการให้น้ำหนักอย่างเป็นธรรม.....	62
3.7.2 ไซ้คแพคเก็ตแบบช่วง-ต่อ-ช่วง.....	63
3.8 การลบทิ้งข้อมูล.....	65
3.9 การควบคุมความไม่ต่อเนื่องของข้อมูล.....	67
3.10 การควบคุมความคับคั่งของข้อมูลในระบบการส่งแบบกระจายหลายจุด	68
3.10.1 โพรโตคอลสำรองทรัพยากร.....	68
บทที่ 4 ไอพีสวิตช์.....	72
4.1 บทนำ.....	72
4.2 โครงสร้างของไอพีสวิตช์.....	73
4.3 การแบ่งประเภทของการไหล.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การทำงานของไอพีสวิตช์.....	76
4.5 โพรโตคอลบริหารการไหลของอิพซิลอน.....	77
4.6 ความทนทาน.....	79
4.7 การเชื่อมต่อแบบมัลติแคส.....	80
4.8 โพรโตคอลบริหารสวิตช์ทั่วไป.....	81
4.8.1 จีเอสเอ็มพี แพคเก็ต เอ็นแคปซูลเลชัน.....	82
4.8.1.1 เอทีเอ็ม เอ็นแคปซูลเลชัน.....	82
4.8.1.2 อีเทอร์เน็ตเอ็นแคปซูลเลชัน.....	84
4.8.2 รูปแบบของจีเอสเอ็มพีแพคเก็ต.....	84
บทที่ 5 การควบคุมคุณภาพของการให้บริการ.....	85
5.1 บทนำ.....	85
5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของไอพีสวิตช์.....	86
5.2.1 แบบจำลองสมรรถภาพของไอพีสวิตช์.....	86
5.2.2 แบบจำลองคิวของ ไอพีสวิตช์.....	89
5.3 การควบคุมการสูญหายของเซส.....	93
5.3.1 การควบคุมการสูญหายของเซสโดยใช้อัลกอริทึมแบบถ่วงน้ำรั้ว.....	96
5.3.2 นโยบายการจราจร.....	98
5.3.2.1 การควบคุมอัตราการสูญหายของเซส โดยใช้อัลกอริทึมแบบถ่วงน้ำรั้วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์แบบใช้อินพุตบัฟเฟอร์.....	98
5.3.2.2 การควบคุมอัตราการสูญหายของเซสโดยใช้อัลกอริทึมแบบถ่วงน้ำรั้วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์แบบโทเกินบัฟเฟอร์ร่วมกับบัฟเฟอร์แจ้งเตือน.....	100
บทที่ 6 การทดลองและผลการทดลอง.....	103
6.1 บทนำ.....	103
6.2 การจำลองผลการทำงานโดยใช้ MathLAB.....	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2.1 การจำลองผลทางสมรรถภาพของไอพีสวิตช์.....	104
6.2.2 การจำลองผลทางด้านเวลาในการให้บริการของไอพีสวิตช์.....	112
6.3 การจำลองผลการทำงานของเอทีเอ็มสวิตช์.....	133
6.3.1 ผลการวัดปริมาณการจราจรที่ Link3.....	137
6.3.2 ผลการวัดจำนวนเซตคค่างในอินพุตบัพเฟอร์.....	143
6.3.3 ผลการวัดจำนวนเซตสูญหาย.....	149
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	157
7.1 บทนำ.....	157
7.2 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	158
7.2.1 เปรอ์เซ็นต์ของการไหลที่ได้รับบริการในเส้นทางแบบสวิตช์.....	158
7.2.2 ดีเลย์ที่เกิดขึ้นในเส้นทางแบบสวิตช์.....	159
7.2.3 ดีเลย์ที่เกิดขึ้นในเส้นทางแบบส่งผ่าน.....	159
7.2.4 อัตราส่วนเซตสูญหาย.....	160
เอกสารอ้างอิง.....	161
ภาคผนวก.....	163
ก. ขนาดของบัพเฟอร์ที่อินพุตพอร์ดที่มีผลต่อดีเลย์ในระบบ.....	163
ข. ขนาดของบัพเฟอร์ใน ไอพีสวิตช์คอน โทรลเลอร์ที่มีผลต่อดีเลย์ในระบบ...	165
ประวัติผู้เขียน.....	167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเข้ารหัสประเภทภาวะข้อมูล (PT Coding).....	20
2.2 ข้อแตกต่างระหว่างโปรโตคอล AAL ประเภทต่างๆ.....	35
2.3 สรุปคุณลักษณะของ AAL แต่ละประเภท.....	35
3.1 หลักนิยมในการควบคุมความคับคั่งของข้อมูลในชั้นสื่อสารต่างๆ.....	48
3.2 ตัวอย่างข้อกำหนดการไหลของข้อมูล.....	57
4.1 การไหลที่มีช่วงเวลาการไหลสั้นและการไหลที่มีช่วงเวลาการไหลยาว.....	75
6.1 จำนวนเซลล์สูญหาย ในช่วงนาฬิกาที่ 1 ถึง 7 ของ Lab C.....	155



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงหลักการเอ็นแค็ปซูลเลขชั้นของ โมเดลอ้างอิง โอเอสไอ.....	4
2.2 แสดง โมเดลอ้างอิง โอเอสไอ.....	5
2.3 แสดงการสื่อสารระหว่างระบบคอมพิวเตอร์สองระบบ.....	6
2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันของ โมเดลอ้างอิง โอเอสไอ.....	6
2.5 แสดงส่วนหัวและข้อมูลของ โมเดลอ้างอิง โอเอสไอ.....	8
2.6 การแบ่งแพคเกจออกเป็นเซตของเอทีเอ็มสวิตช์.....	12
2.7 ข้อมูลต่างๆ จะถูกแบ่งออกเป็นเอทีเอ็มเซตเล็กๆ.....	12
2.8 การเปรียบเทียบระหว่างลูกแอปเปิ้ล (แพคเกจ) กับลูกเชอร์รี่ (เซต) ว่าอย่างไรสามารถแบ่งปันทรัพยากรได้ดีกว่ากัน.....	13
2.9 แบบจำลองอ้างอิงของเอทีเอ็ม โพร โดคอล.....	13
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างลอจิกคัลคอนเน็คชันในเอทีเอ็ม.....	14
2.11 การทำสวิตช์ของเอทีเอ็มสวิตช์โดยใช้วีซีไอ/วีพีไอ.....	15
2.12 กระบวนการในการสร้างการเชื่อมต่อโดยใช้ช่องสื่อสารเสมือนและเส้นทางเสมือน.	16
2.13 รูปแบบของเอทีเอ็มเซต.....	19
2.14 การทำงานของอัลกอริทึมเอชอีซีซีที่ฝั่งด้านรับ.....	21
2.15 เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดความผิดพลาดในส่วนหัวของเซต.....	22
2.16 การเกิดความผิดพลาดในบิตที่ส่งขึ้นมา มีผลต่อความน่าจะเป็นที่จะเซตจะถูกทิ้ง เมื่อใช้เอชอีซีซี.....	23
2.17 บริการพื้นฐานดั้งเดิมที่มีใน AAL.....	24
2.18 โครงสร้างชั้นสื่อสารของ โพร โดคอลเอทีเอ็ม.....	25
2.19 ข้อมูลส่วนหัวและส่วนท้ายของเอทีเอ็มเซต.....	26
2.20 การจัดเตรียมเซตในการส่งข้อมูลของAAL1.....	27
2.21 โครงสร้างเซตแบบ AAL1.....	28
2.22 โครงสร้างเซต AAL2.....	29
2.23 การจัดเตรียมเซตในการส่งข้อมูลของAAL3/4.....	29
2.24 การใช้ช่องสื่อสารร่วมกันในระบบเอทีเอ็ม.....	30
2.25 โครงสร้างแพคเกจ AAL3/4 ในชั้นสื่อสาร CS.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 โครงสร้างเซต AAL3/4.....	31
2.27 โครงสร้างข้อมูลในชั้นสื่อสาร CS ของระบบเอทีเอ็ม.....	32
2.28 การจัดเตรียมเซตในการส่งข้อมูลของAAL5.....	34
2.29 สถิติจำนวนของโฮสในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต.....	36
2.30 การเพิ่มขึ้นของปริมาณการจราจร ในอินเทอร์เน็ตเทียบกับจำนวน โฮสและเครือข่าย... ..	36
2.31 การเพิ่มขึ้นของปริมาณการจราจรในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเทียบกับการพัฒนาตัวประ- มวลผลกลาง.....	37
2.32 สถาปัตยกรรมของตัวหาเส้นทางในปัจจุบันที่ใช้ตัวประมวลผลกลางในการทำงาน..	37
2.33 สมรรถภาพของตัวหาเส้นทางเทียบกับจำนวนเครือข่ายที่เพิ่มขึ้น.....	38
2.34 จำนวน โพรโตคอลที่เพิ่มขึ้น ในการนำเอา ไอพีมาใช้กับเอทีเอ็มในแบบมัลติโพรโต- คอล โอเวอร์เอทีเอ็มทั้งในฝั่ง โฮสและฝั่งเครือข่าย.....	40
2.35 การทำงานของเลนจำลอง.....	40
2.36 โครงสร้างตัวหาเส้นทางในอนาคต.....	41
3.1 เมื่อปริมาณข้อมูลในระบบเครือข่ายมีมากเกินไปจะเกิดความคับคั่งทำให้ประสิทธิ ภาพลดลงอย่างรวดเร็ว.....	42
3.2 (a) ถังน้ำรั่วที่มีน้ำอยู่ภายใน (b) อัลกอริทึมถังน้ำรั่วที่มีแพคเกจข้อมูลอยู่.....	51
3.3 (a) ข้อมูลที่ถูกส่งมา (b) ข้อมูลที่ส่งออกไป (c) ถึง (e) ข้อมูลที่ถูกส่งออกด้วยความเร็ว 250 KB, 500KB, และ 750KB ตามลำดับ (f) ข้อมูลที่ถูกส่งออกจากบัคเก็ตขนาด 500KB ด้วยความเร็ว 10 ล้านไบต์ต่อวินาที.....	52
3.4 อัลกอริทึมโทแกนบัคเก็ต (a) ก่อนส่งข้อมูล (b) หลังจากส่งข้อมูล.....	54
3.5 โมเดลของอัลกอริทึมแบบถังน้ำรั่ว.....	56
3.6 (a) เครือข่ายที่มีความคับคั่งเกิดขึ้น (b) รูปเครือข่ายที่สร้างขึ้นใหม่ด้วยการตัดส่วนที่ คับคั่งออกไป.....	59
3.7 (a) ตัวหาเส้นทางที่มีแพคเกจรอนำส่งอยู่ใน 5 แถวคอย (b) เวลาสิ้นสุดการทำงานของ แต่ละแถวคอย.....	63
3.8 (a) โฉกแพคเกจที่มีผลเฉพาะผู้ส่งข้อมูล (b) โฉกแพคเกจที่มีผลกับทุกตัวหาเส้นทาง ที่อยู่ในเส้นทาง.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 (a) เครื่อง่าย (b) สเปนนิ่งทรีสำหรับส่งข้อมูลหลายจุดของโฮส 1 (c) สเปนนิ่งทรีสำหรับส่งข้อมูลหลายจุดของโฮส 2.....	69
3.10 (a) โฮส 3 ร้องขอช่องสื่อสารไปยังโฮส 1 (b) โฮส 3 ร้องขอช่องสื่อสารไปยังโฮส 2 (c) โฮส 5 ร้องขอช่องสื่อสารไปยังโฮส 1.....	70
4.1 สถาปัตยกรรมของไอพีสวิตช์.....	72
4.2 การนำเอาไอพีมาใช้ร่วมกับเอทีเอ็มสวิตช์.....	73
4.3 โครงสร้างของไอพีสวิตช์.....	74
4.4 ค่าเฉลี่ยของแพกเก็ตต่อการไหลเทียบกับค่าเฉลี่ยช่วงเวลาของการไหล.....	75
4.5 การทำงานของไอพีสวิตช์.....	76
4.6 แสดงการสถาปนาสวิตช์การไหล.....	78
4.7 การเชื่อมต่อแบบมัลติเคส.....	80
4.8 เอทีเอ็ม เอ็นแคปซูลเลขชั้น.....	83
4.9 อีเทอร์เน็ตเอ็นแคปซูลเลขชั้น.....	83
4.10 รูปแบบของจีเอสเอ็มพีแพกเก็ต.....	84
5.1 แบบจำลองแถวคอยของไอพีสวิตช์.....	88
5.2 แบบจำลองดีเลย์ของไอพีสวิตช์.....	90
5.3 โมเดลสวิตช์สำหรับจีเอสเอ็มพี.....	93
5.4 สถาปัตยกรรมของจีเอสเอ็มพี.....	94
5.5 โมเดลของไอพีสวิตช์ที่มีการควบคุมคุณภาพของการให้บริการ.....	95
5.6 สถาปัตยกรรมของไอพีสวิตช์ซึ่งที่มีการควบคุมคุณภาพของการให้บริการ.....	95
5.7 แบบจำลองอัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วควบคุมการจราจรที่อินพุตบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์.....	96
5.8 ผังการทำงานของการควบคุมอัตราการสูญหายของเซส โดยใช้อัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาร่วมใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์แบบใช้อินพุตบัฟเฟอร์.....	99
5.9 ผังการทำงานของการควบคุมอัตราการสูญหายของเซส โดยใช้อัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาร่วมใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์แบบใช้โทแกนบัฟเฟอร์ร่วมกับบัฟเฟอร์แจ้งเตือน.....	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.1 ขนาดของ n ที่มีผลต่อ P_{IB}	106
6.2 ขนาดของ n ที่มีผลต่อ N_{is}	107
6.3 ขนาดของ n ที่มีผลต่อ α_i	107
6.4 N_i เทียบกับ N_{is}	108
6.5 ขนาดของ n ที่มีผลต่อ P_{IB} เมื่อ $P_s = 0.9$	109
6.6 ขนาดของ n ที่มีผลต่อ N_{is} เมื่อ $P_s = 0.9$	110
6.7 ขนาดของ n ที่มีผลต่อ α_i เมื่อ $P_s = 0.9$	110
6.8 ผลของ η_A ที่มีผลต่อ T_{s1} ที่ $\eta_f = 200, S = 100, C = 300$	116
6.9 ผลของ η_A ที่มีผลต่อ T_{s2} ที่ $\eta_f = 200, S = 100, C = 300$	117
6.10 ผลของ η_A ที่มีผลต่อ T_{s3} ที่ $\eta_f = 200, S = 100, C = 300$	117
6.11 ผลของ η_A ที่มีผลต่อ β ที่ $\eta_f = 200, S = 100, C = 300$	118
6.12 ความน่าจะเป็นที่ทรัพยากร ณ. ตำแหน่งที่พิจารณาไม่ได้ถูกใช้งาน เมื่อ $\eta_A = 1200, \eta_f = 200, S = 100, C = 300$	118
6.13 ความน่าจะเป็นที่ค้ำด้าแกรมถูกกีดกัน ณ. ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ เมื่อ $\eta_A = 1200, \eta_f = 200, S = 100, C = 300$	119
6.14 ผลของ η_A ที่มีผลต่อ D_f ที่ $\eta_f = 200, S = 100, C = 300$	119
6.15 ผลของ η_f ที่มีผลต่อ T_{s1} ที่ $\eta_A = 1000, S = 100, C = 300$	120
6.16 ผลของ η_f ที่มีผลต่อ T_{s2} ที่ $\eta_A = 1000, S = 100, C = 300$	120
6.17 ผลของ η_f ที่มีผลต่อ T_{s3} ที่ $\eta_A = 1000, S = 100, C = 300$	121
6.18 ผลของ η_f ที่มีผลต่อ β ที่ $\eta_A = 1000, S = 100, C = 300$	121
6.19 ความน่าจะเป็นที่ทรัพยากร ณ. ตำแหน่งที่พิจารณาไม่ได้ถูกใช้งาน เมื่อ $\eta_A = 1000, S = 100, C = 300$	122
6.20 ความน่าจะเป็นที่ค้ำด้าแกรมถูกกีดกัน ณ. ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ เมื่อ $\eta_A = 1000, S = 100, C = 300$	122
6.21 ผลของ η_f ที่มีผลต่อ D_f ที่ $\eta_A = 1000, S = 100, C = 300$	123
6.22 ผลของ C ที่มีผลต่อ T_{s1} เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, S = 100$	123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.23 ผลของ C ที่มีผลต่อ $T_{r,2}$ เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, S = 100$	124
6.24 ผลของ C ที่มีผลต่อ $T_{r,3}$ เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, S = 100$	124
6.25 ผลของ C ที่มีผลต่อ β เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, S = 100$	125
6.26 ผลของ C ที่มีผลต่อ D_f เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, S = 100$	125
6.27 ผลของ S ที่มีผลต่อ $T_{r,1}$ เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, C = 300$	126
6.28 ผลของ S ที่มีผลต่อ $T_{r,2}$ เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, C = 300$	126
6.29 ผลของ S ที่มีผลต่อ $T_{r,3}$ เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, C = 300$	127
6.30 ผลของ S ที่มีผลต่อ β เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, C = 300$	127
6.31 ผลของ S ที่มีผลต่อ D_f เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, C = 300$	128
6.32 ภาพในขณะที่จำลองผลการทำงานของ Lab A.....	135
6.33 ภาพในขณะที่จำลองผลการทำงานของ Lab B.....	136
6.34 ภาพในขณะที่จำลองผลการทำงานของ Lab C.....	136
6.35 ปริมาณการจราจรที่ Link3 ในช่วงเวลา 7 นาที ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ.....	137
6.36 ปริมาณการจราจรที่ Link3 ในช่วงนาทีที่ 1 ถึง นาทีที่ 7 ของ Lab A.....	138
6.37 ปริมาณการจราจรที่ Link3 ในช่วงนาทีที่ 1 ถึง นาทีที่ 7 ของ Lab B.....	139
6.38 ปริมาณการจราจรที่ Link3 ในช่วงนาทีที่ 1 ถึง นาทีที่ 7 ของ Lab C.....	140
6.39 ปริมาณการจราจรที่ Link3 ในช่วงนาทีที่ 1 ถึงนาทีที่ 7 ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ.....	141
6.40 จำนวนเซลล์ที่ตกค้าง ในช่วงเวลา 7 นาที ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ...	143
6.41 จำนวนเซลล์ที่ตกค้างในช่วงนาทีที่ 1 ถึงนาทีที่ 7 ของ Lab A.....	144
6.42 จำนวนเซลล์ที่ตกค้างในช่วงนาทีที่ 1 ถึงนาทีที่ 7 ของ Lab B.....	145
6.43 จำนวนเซลล์ที่ตกค้างในช่วงนาทีที่ 1 ถึงนาทีที่ 7 ของ Lab C.....	146
6.44 จำนวนเซลล์ที่ตกค้างในช่วงนาทีที่ 1 ถึงนาทีที่ 7 ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ.....	147
6.45 จำนวนเซลล์สูญหาย ในช่วงเวลา 7 นาที ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ....	149
6.46 จำนวนเซลล์สูญหายทั้งหมด ในช่วงเวลา 7 นาที ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ.....	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.47 จำนวนเซลล์สุญหาย ในช่วงนาฬิกาที่ 1 ถึง 7 ของ Lab A.....	151
6.48 จำนวนเซลล์สุญหาย ในช่วงนาฬิกาที่ 1 ถึง 7 ของ Lab B.....	152
6.49 จำนวนเซลล์สุญหาย ในช่วงนาฬิกาที่ 1 ถึง 7 ของ Lab C.....	153
6.50 จำนวนเซลล์สุญหาย ในช่วงนาฬิกาที่ 1 ถึง 7 ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ.	154
ก.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{S1} กับขนาดของ S	163
ก.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{S2} กับขนาดของ S	163
ก.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{S3} กับขนาดของ S	164
ก.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง D_f กับขนาดของ S	164
ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{S1} กับขนาดของ C	165
ข.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{S2} กับขนาดของ C	165
ข.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{S3} กับขนาดของ C	166
ข.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง D_f กับขนาดของ C	166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันนี้โลกของเราได้ก้าวเข้าสู่ยุคของข่าวสารและข้อมูล ผู้ที่มีข้อมูลที่รวดเร็วกว่ามากกว่า ถูกต้องกว่า ย่อมเป็นผู้ที่ได้เปรียบเสมอ ระบบอินเทอร์เน็ตและการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ จึงก้าวเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) ไอซีคิว (ICQ) การส่งข้อความแบบสั้น (Short Message) การส่งซื้อสินค้า การชำระค่าบริการ การจองตั๋ว การรับข่าวสาร (มีทั้งในรูปแบบ Text, Image, Voice, Video) การศึกษาหาความรู้ และอีกมากมาย ทั้งหมดที่กล่าวมานี้จึงทำให้เกิดปริมาณข้อมูลดิบ (Raw Data) จำนวนมหาศาลวิ่งอยู่ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ซึ่งนำมาสู่ปัญหาที่จะต้องได้รับการแก้ไขต่อไป

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา (STATEMENT AND SIGNIFICANCE OF THE PROBLEMS)

จากการเติบโตของปริมาณข้อมูลดิบในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ การนำเครือข่ายมาใช้ในการส่งข้อมูลมัลติมีเดีย (ภาพ, เสียงและข้อมูล) และความเร็วยุคสูงของสายส่งและเครื่องคอมพิวเตอร์ ปริมาณการจราจรของ ไอพี แพคเกจ (IP Packet) ที่เพิ่มขึ้นในทุกๆ วัน โดยประมาณว่าจำนวนของโฮสต์ในอินเทอร์เน็ต (Internet) จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ในทุกๆ 56 สัปดาห์ จำนวนของเว็บเซิร์ฟเวอร์ (WEB Server) จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าในทุกๆ 23 สัปดาห์ เป็นผลให้ ไอพี เร้าท์เตอร์ (IP Router) ที่อยู่ในแบสติกโบน (Backbone) เริ่มที่จะรับมือกับปริมาณการจราจรที่เข้ามาไม่ได้ จนกลายเป็นคอขวดของระบบเครือข่ายไปในที่สุด ทำให้เราต้องการเร้าท์เตอร์ ที่สามารถส่งผ่าน (Forward) ข้อมูลได้หลายๆ จิกะบิตต่อวินาที (Gbps) แต่เร้าท์เตอร์ในปัจจุบันที่ใช้สถาปัตยกรรม แบบตัวประมวลผลกลางร่วมกับบัส สามารถรับมือได้สูงสุดแค่เพียง 1 Gbps ซึ่งเป็นเพียงไม่กี่พันแพคเกจต่อวินาที (Kbps)

ในปัจจุบันเรามุ่งความสนใจไปที่การนำเอาเลเยอร์ 2 รวมเข้ากับเลเยอร์ 3 กลายเป็นเน็ตเวิร์ค เลเยอร์ สวิตช์ (Network Layer Switches) ซึ่งมีกันอยู่หลายวิธี ที่ใช้รับมือกับปัญหานี้คือ ไอพีสวิตช์ (IP Switches) [1], แท็กสวิตช์ซิง (Tag Switching) [10], เออาร์ไอเอส (ARIS) [12], ซีเอสอาร์ (CSR) [9] และไอพีบนเอทีเอ็ม (IP over ATM) [16] ในจำนวนนี้ไอพีสวิตช์ เป็นวิธีหนึ่งที่โดดเด่นเพราะได้รวมเอาข้อดีของทั้งไอพีและฮาร์ดแวร์ของเอทีเอ็มสวิตช์ (ATM Switch) เข้าด้วยกัน โดยที่มีความซับซ้อนน้อยและให้ประสิทธิภาพสูงดังที่จะได้กล่าวต่อไป

การนำเอาเอทีเอ็มซึ่งเป็นคอนเน็คชั่นโอเรียน (Connection Oriented) มาใช้งานกับไอพีซึ่งเป็น คอนเน็คชั่นเลส (Connectionless) นั้นมีอุปสรรคอยู่ที่ ทำอย่างไรจึงสามารถใช้ความเร็วและ

พอร์คของสวิทช์ และร้องขอสถิติการทำงาน” จะเห็นได้ว่าจีเอสเอ็มพีไม่ได้กำหนดถึงคุณภาพของการให้บริการมันเป็นแค่ข้อกำหนดของระดับความสำคัญ (Priority Levels) สำหรับการทำการจัดตารางเวลาของเซล (Cell Scheduling)

มีผู้เสนอหลักการในการจัดคุณภาพของการให้บริการของไอพีสวิทช์เรียกว่า เวอร์ชันเพิ่มเติมในส่วนของคิวไอเอสของจีเอสเอ็มพี (QOS-extended version of GSMP/qGSMP) [3] ซึ่งปัจจุบันยังคงเป็นเวอร์ชันโครงร่างอยู่ (Draft Version) การควบคุมคุณภาพของโมเด็มนี้ยังควบคุมที่เอาท์พุทพอร์คของเอทีเอ็มสวิทช์ ซึ่งมีข้อเสียตรงที่ถ้าหากมีการไหลที่มีแบนด์วิดท์สูงๆ หรือมีการไหลเข้ามาที่อินพุทพอร์คเป็นจำนวนมากก็จะทำให้เกิดบัฟเฟอร์โอเวอร์โฟลล์ (Buffer Overflow) ขึ้นซึ่งนำไปสู่การสูญหายของเซล (Cell Loss) และทำให้คุณภาพของการให้บริการลดลงได้

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงการควบคุมคุณภาพของการให้บริการ (QOS) ในไอพีสวิทช์โดยจะพิจารณาถึงค่าทางสมรรถภาพ (Performance Factor) ต่างๆ ของไอพีสวิทช์ เวลาหน่วง (Delay Time) ที่เกิดขึ้นในระบบ และการควบคุมอัตราการสูญหายของเซล (Cell Loss Rate) โดยใช้อัลกอริทึมแบบถังน้ำรั่ว (Leaky-Bucket Algorithm) ควบคุมที่อินพุทบัฟเฟอร์ (Input Buffer) ของเอทีเอ็มสวิทช์ ซึ่งจะสามารถควบคุมปริมาณการไหล (Flow) ที่มาจากแหล่งกำเนิด เพื่อไม่ให้เกินความสามารถของไอพีสวิทช์ที่จะรับได้ อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เซลสูญหาย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา (GOAL AND OBJECTIVE)

1.2.1 ศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของไอพีสวิทช์ซึ่งเป็น เน็ตเวิร์คเลเยอร์สวิทช์ ที่ได้รับความนิยมนิยม

1.2.2 ศึกษาและวิเคราะห์ถึงแบบจำลองทางสมรรถภาพของไอพีสวิทช์ เพื่อพัฒนาและแก้ไขปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของการให้บริการของไอพีสวิทช์

1.2.3 ศึกษาและวิเคราะห์ถึงแบบจำลองทางเวลาของไอพีสวิทช์ เพื่อพัฒนาและแก้ไขปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของการให้บริการของไอพีสวิทช์

1.2.4 ศึกษาและวิเคราะห์อัตราการสูญหายของเซลในเอทีเอ็มสวิทช์ที่มีการควบคุมในแบบดั้งเดิม นำมาเปรียบเทียบกับควบคุมอัตราการสูญหายของเซล ที่ใช้โดยใช้อัลกอริทึมแบบถังน้ำรั่ว (Leaky-Bucket Algorithm) ควบคุมที่อินพุทบัฟเฟอร์ (Input Buffer) ของเอทีเอ็มสวิทช์

บทที่ 2

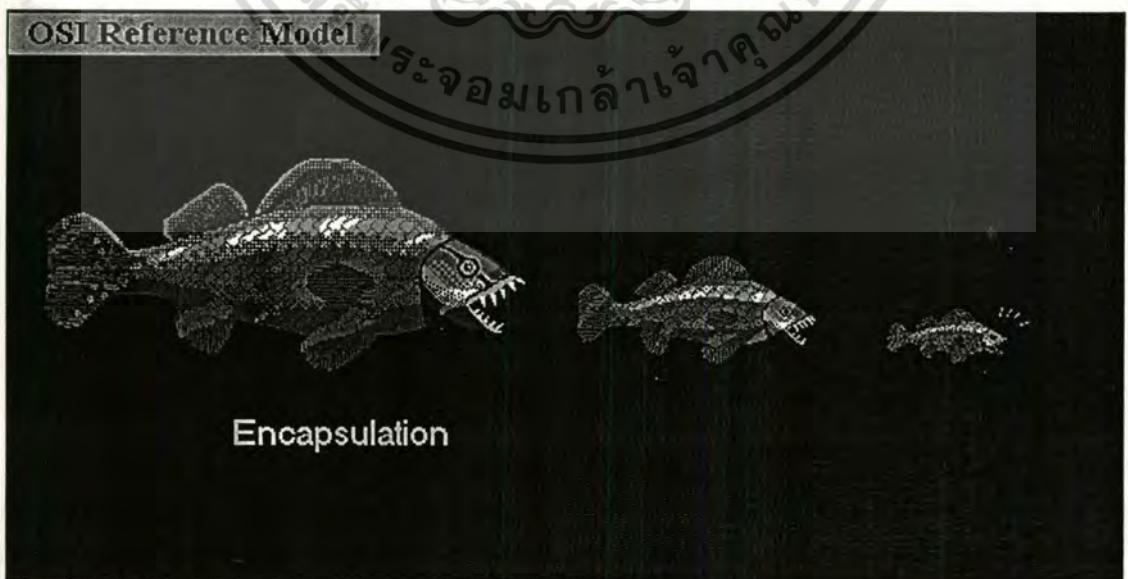
เครือข่ายคอมพิวเตอร์

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการเบื้องต้นในการทำงานของอินเทอร์เน็ต รวมไปถึงปัญหาที่พบในปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคตของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยในตอนที่ 2.2 กล่าวถึงโมเดลอ้างอิงในการเชื่อมต่อระบบเปิด (Open System Interconnection (OSI) Reference Model), ตอนที่ 2.3 กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการทำงานของเอทีเอ็มสวิตซ์, ตอนที่ 2.4 กล่าวถึงปัญหาและแนวโน้มในอนาคตของเครือข่ายคอมพิวเตอร์

2.2 โมเดลอ้างอิงโอเอสไอ (OSI Reference Model)

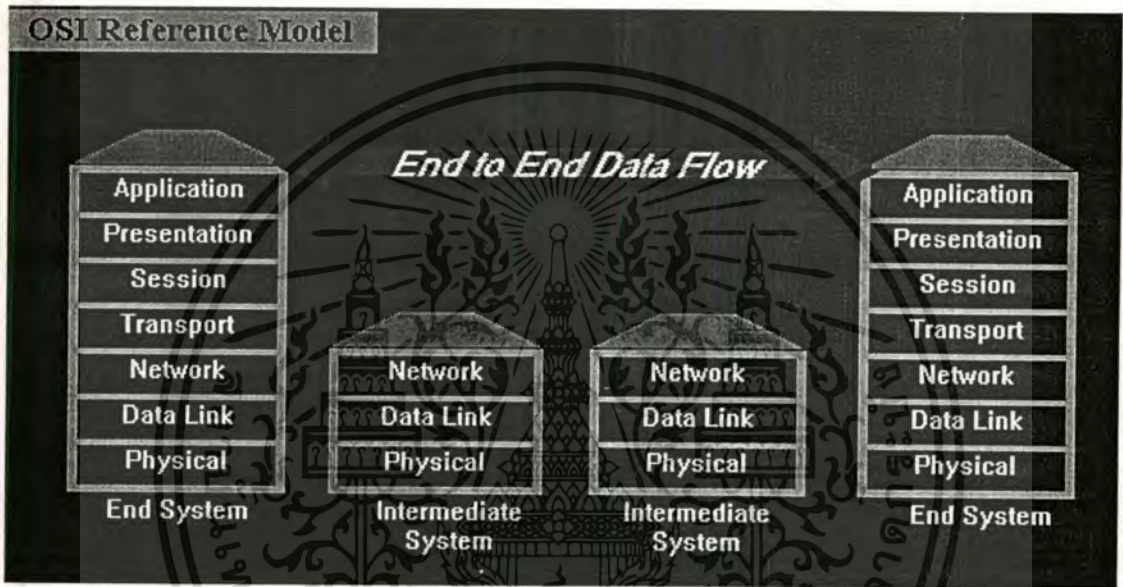
ในอดีตการออกแบบการเคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ที่อยู่กันคนละเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกันเป็นงานที่ยุ่งยาก ในช่วงต้นของปี 1980 ISO (The International Organization for Standardization) ได้ตระหนักถึงความต้องการ โมเดลต้นแบบของเครือข่าย ซึ่งจะช่วยให้ผู้ผลิตสามารถสร้างเครื่องมือปฏิบัติงานของเครือข่ายที่เป็นสากลขึ้น และได้ตีพิมพ์ โมเดลอ้างอิงโอเอสไอ (ที่เรียกว่าเป็นโมเดลอ้างอิงก็เพราะว่า ตัวโมเดลอ้างอิงเองไม่ได้มีการนำไปสร้างเป็นเครือข่ายจริงๆ แต่จะใช้อ้างอิงในการสร้างเครือข่าย เพื่อให้เครือข่ายในแต่ละระบบที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถทำงานร่วมกันได้) ขึ้นในปี 1984 ตามความต้องการข้างต้น



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการเอ็นแคปซูลเลชันของโมเดลอ้างอิง โอเอสไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

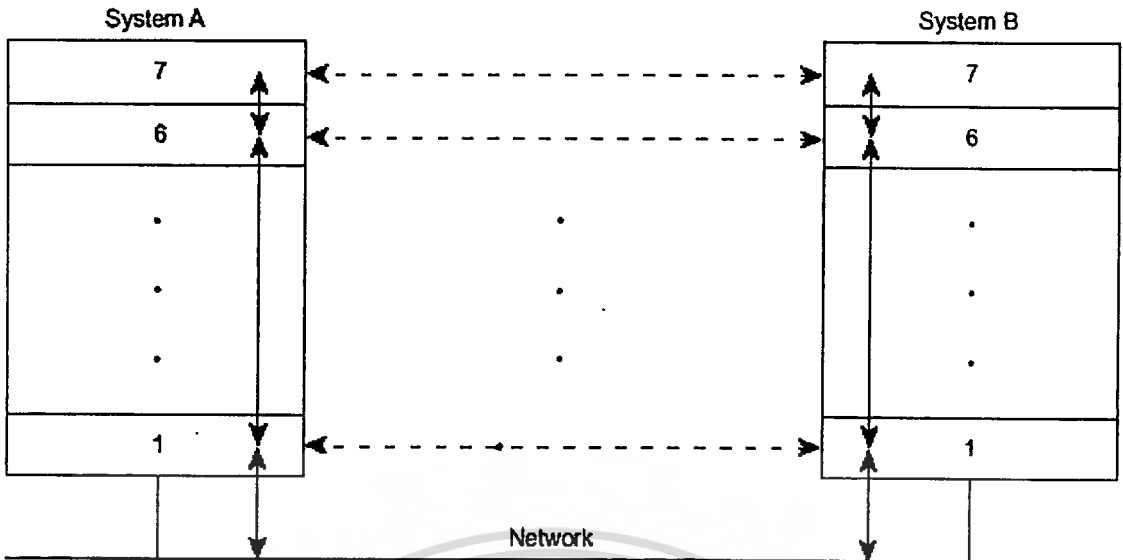
โมเดลอ้างอิงโอเอสไอ ได้แบ่งปัญหาการส่งข้อมูล (ไปในตัวกลางเน็ตเวิร์ค) ระหว่างคอมพิวเตอร์ออกเป็น 7 ส่วนซึ่งสามารถจัดการปัญหาได้ดีกว่า ปัญหาทั้ง 7 ที่มีขนาดเล็กลงทำให้สามารถจำกัดขอบเขตและง่ายต่อการแก้ปัญหาโดยไม่ต้องอาศัยความน่าเชื่อถือของของข้อมูลภายนอก โอเอสไอจึงได้นำเสนอแนวทางในการเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ออกเป็น 7 เลเยอร์ (Layer) หรือเรียกที่เราอีกอย่างหนึ่งว่า ชั้น ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งผู้ออกแบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์อาจจะข้าม เลเยอร์ใดเลเยอร์หนึ่ง หรือรวมเข้าไว้ด้วยกันก็ได้ในทางปฏิบัติ (ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม) โดยที่ 5 เลเยอร์นับจากบนลงมาจะเป็นส่วนของซอฟต์แวร์ ส่วนสองเลเยอร์ล่างนั้นจะเป็นฮาร์ดแวร์



รูปที่ 2.2 แสดงโมเดลอ้างอิง โอเอสไอ

โมเดลอ้างอิงโอเอสไอ ได้อธิบายถึงการที่ข้อมูลสร้างเส้นทางของมันจากโปรแกรมใดๆ (เช่น Spreadsheet) ผ่านตัวกลางของเครือข่าย (เช่นสายสัญญาณ) ไปยังโปรแกรมอื่นในเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องอื่น ข้อมูลจะถูกส่งผ่านชั้นต่างๆของระบบ แต่มันไม่เหมือนกับภาษาของมนุษย์ แต่มีความคล้ายกับเลขหนึ่งและศูนย์ของคอมพิวเตอร์

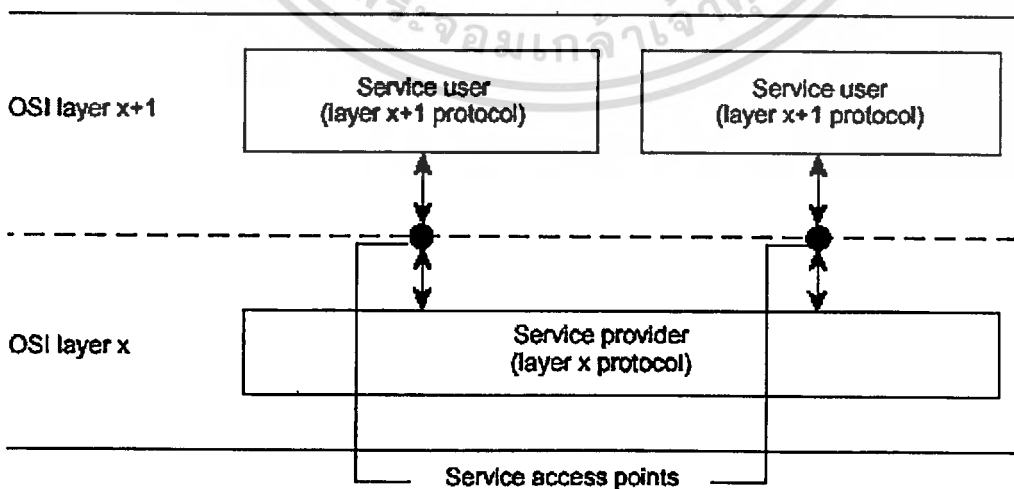
ดังตัวอย่างของการสื่อสารแบบ OSI (OSI Type) สมมติให้ระบบ A ดังรูป 2.3 ต้องการส่งข้อมูลไปยังระบบ B โปรแกรมในระบบ A ติดต่อกับชั้นที่ 7 ของระบบ A (ชั้นสูงสุด) ซึ่งติดต่อกับชั้นที่ 6 ของระบบ A ซึ่งติดต่อกับชั้นที่ 5 ไปจนถึงชั้นที่ 1 ซึ่งชั้นที่ 1 จะเกี่ยวข้องกับการปล่อยข้อมูล (และการรับข้อมูล) จากตัวกลางเน็ตเวิร์ค หลังจากข้อมูลถูกส่งไปในตัวกลางเน็ตเวิร์ค และเริ่มเข้าสู่ระบบ B ซึ่งจะเข้าสู่ลำดับชั้นของระบบ B ในทางตรงกันข้าม (ชั้นที่ 1 แล้วชั้นที่ 2 แล้วอื่นๆ) จนกระทั่งถึงชั้น โปรแกรมประยุกต์ (Application Program) ของระบบ B



รูปที่ 2.3 แสดงการสื่อสารระหว่างระบบคอมพิวเตอร์สองระบบ

ถึงแม้ว่าชั้นของระบบ A จะติดต่อกับชั้นที่ติดกันของระบบ A แต่จุดประสงค์ข้อแรกก็คือการติดต่อกับชั้นลำดับเดียวกับระบบ B นั่นก็คือจุดประสงค์ข้อแรกของชั้นที่ 1 ของระบบ A คือการติดต่อกับชั้นที่ 1 ในระบบ B, ลำดับชั้นที่ 2 ของระบบ A ติดต่อกับชั้นที่ 2 ของระบบ B และอื่นๆ นี่เป็นเรื่องจำเป็นประการหนึ่งเนื่องจากแต่ละชั้นในระบบนั้นมีงานที่แน่นอนที่ต้องกระทำ เพื่อกระทำงานเหล่านี้มันจึงจำเป็นต้องติดต่อกับชั้นลำดับเดียวกันในระบบอื่น

การวางลำดับชั้นของโมเดลอ้างอิงโอเอสไอ ทำให้ไม่สามารถเกิดการติดต่อได้โดยตรงในชั้นลำดับเดียวกันของระบบที่ต่างกัน แต่ละลำดับชั้นในระบบ A มักอยู่บนการบริการของลำดับที่ติดกันซึ่งช่วยในการรับการติดต่อกับชั้นลำดับเดียวกันของระบบ B ความสัมพันธ์ของลำดับชั้นที่ติดกันของระบบหนึ่งใดๆ แสดงดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชั้นที่อยู่ติดกันของโมเดลอ้างอิงโอเอสไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติให้ชั้นที่ 4 ของระบบ A ต้องติดต่อกับชั้นที่ 4 ของระบบ B เพื่อปฏิบัติการนี้ชั้นที่ 4 ของระบบ A ต้องใช้บริการของชั้นที่ 3 ในระบบ A เราเรียกชั้นที่ 4 ว่าผู้ใช้บริการ (Service User) ในขณะที่เรียกชั้นที่ 3 ว่าผู้ให้บริการ (Service Provider) บริการของชั้นที่ 3 ที่จัดให้ชั้นที่ 4 ที่จุดเข้าถึงการบริการ (Service Access Point/SAP) ซึ่งเป็นจุดที่ชั้นที่ 4 สามารถร้องขอบริการของชั้นที่ 3 ได้ ดังแสดงในรูปชั้นที่ 3 สามารถจัดบริการให้แก่ชั้นที่ 4 ได้หลายช่องทาง

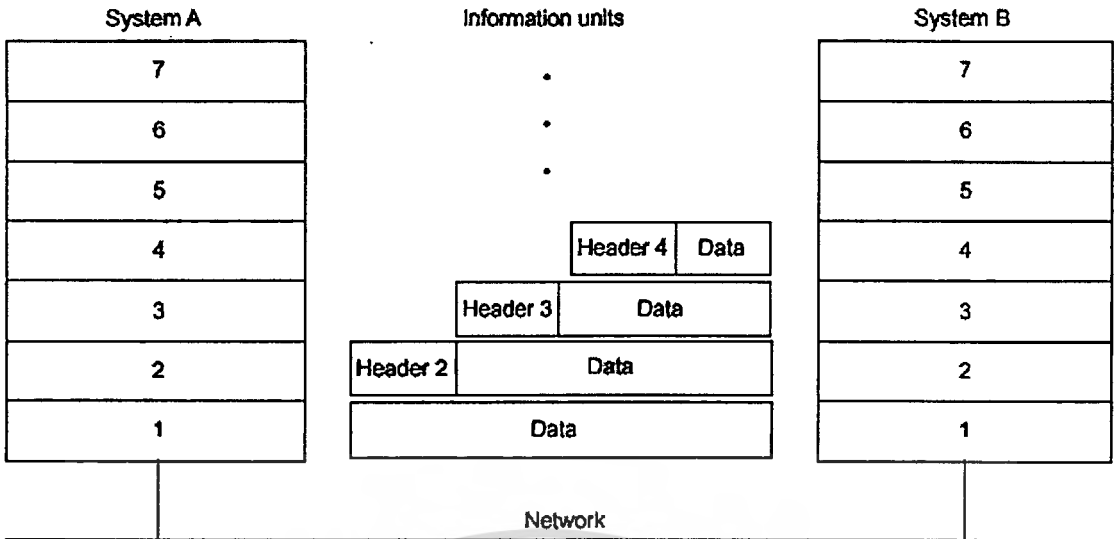
2.2.1 รูปแบบของข้อมูล (Information Format)

ชั้นที่ 4 ของระบบ B จะทราบได้อย่างไรว่าชั้นที่ 4 ของระบบ A ต้องการอะไร สิ่งที่ชั้นที่ 4 ร้องขอจะถูกเก็บไว้ในส่วนของข้อมูลควบคุม (Control Information) ซึ่งจะถูกส่งผ่านชั้นลำดับเดียวกันไปในบล็อกที่เรียกว่าส่วนหัว (Header) ซึ่งจะถูกโปะกับข้อมูลจริง เช่น สมมติให้ระบบ A ต้องการที่จะส่งข้อความต่อไปนี้ (ถูกเรียกว่า Data หรือ Information) ไปยังระบบ B

The small gray cat ran up the wall to try to catch the red bird

ข้อความนี้จะถูกส่งจากโปรแกรมในระบบ A ไปยังชั้นสูงสุดของระบบ A ซึ่งแน่นอนว่าชั้นของโปรแกรมประยุกต์ ของระบบ A ต้องการติดต่อกับชั้นโปรแกรมประยุกต์ ของระบบ B ดังนั้นมันจึงโปะข้อมูลควบคุม (ในรูปของ Header ที่เข้ารหัส) ไปยังข้อความจริงที่ต้องการส่ง ก่อนข้อมูลนี้จะถูกส่งไปยังชั้นที่ 6 ของระบบ A ซึ่งจะโปะข้อมูลบังคับของมันเอง ก่อนข้อมูลจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมันข้ามเครือข่ายไปถึงระบบ B ข้อความเดิมและข้อมูลบังคับของมันจะถูกคัดจับโดยชั้นที่ 1 ของระบบ B ชั้นที่ 1 ของระบบ B จะดึงส่วนหัว ของชั้นที่ 1 ออกไปอ่านและทราบว่า จะกระทำอะไรกับก้อนข้อมูลนั้น ก้อนข้อมูลที่มีขนาดเล็กกลางจะถูกส่งผ่านไปยังชั้นที่ 2 ซึ่งจะดึงส่วนหัว ของชั้นที่ 2 ออกไปวิเคราะห์ถึงสิ่งที่ชั้นที่ 2 ต้องกระทำและเมื่อข้อมูลไปถึงชั้นโปรแกรมประยุกต์ในระบบ B มันก็จะเหลือเพียงข้อความดั้งเดิมเท่านั้น

หลักการของส่วนหัวและข้อมูลนั้นมีความสัมพันธ์กันขึ้นอยู่กับส่วนสัดของการวิเคราะห์ ก่อนข้อมูลของชั้นนั้นๆ เช่น ข้อมูลไปยังชั้นที่ 3 ก่อนข้อมูลจะประกอบไปด้วยส่วนหัว ของชั้นที่ 3 และข้อมูลซึ่งยังมีส่วนหัว ของชั้นที่ 4, 5, 6, และ 7 และยิ่งกว่านั้นส่วนหัว ของชั้นที่ 3 ก็มักจะไม่มียุ่งยากสำหรับชั้นที่ 2 หลักการนี้แสดงได้ดังรูป 2.5 ซึ่งในสุดท้ายนั้นไม่ต้องการส่วนหัวเพิ่มเข้ามา บางชั้นสามารถกระทำการส่งข้อมูลบนข้อมูลจริงที่ได้รับเพื่อที่จะช่วยให้ชั้นที่ติดกันอ่านข้อมูลน้อยลง หรือจัดการข้อมูลได้มากขึ้น หลักการที่กล่าวมานี้รู้จักกันในชื่อว่า หลักการเอ็นแค็ปซูลเลชันของโมเดลอ้างอิงไอเอสไอ ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.5 แสดงส่วนหัวและข้อมูลของโมเดลอ้างอิงโอเอสไอ

2.2.2 ประเด็นเรื่องของความเข้ากันได้ (Compatibility Issues)

โมเดลอ้างอิงโอเอสไอ ไม่ได้แสดงถึงเครือข่ายแต่ละระดับถึงหน้าที่การทำงานของแต่ละชั้น ซึ่งเปรียบเสมือนพิมพ์เขียวในการสร้างเรือ หลังจากพิมพ์เขียวของเรือเสร็จสมบูรณ์แล้ว เรือจึงจะถูกสร้าง บริษัทผู้สร้างเรือจากหลายยี่ห้อก็จะติดต่อขอพิมพ์เขียวเพื่อสร้างงานจริง เหมือนกับผู้สร้างเครือข่ายสามารถสร้างโปรโตคอลจากคุณลักษณะของโปรโตคอลได้ ซึ่งผลที่ได้อาจมีความแตกต่างกันในแต่ละโปรโตคอลที่สร้างขึ้นมา ยกตัวอย่างเช่น เรือที่สร้างจากผู้ผลิตต่างกันย่อมมีความแตกต่างกันในทางใดทางหนึ่ง อย่างน้อยก็คือตำแหน่งหมุดคอกย่อมแตกต่างกัน

แม้ว่าต่างบริษัทจะแกะพิมพ์เขียวของเรือออกมาได้แตกต่างกัน แต่มันก็จะเป็นเรือในแบบเดียวกัน เช่นพิมพ์เขียวของเรือใบ ก็คงไม่ออกมาเป็นเรือดำน้ำเป็นได้แน่ เปรียบได้กับโปรโตคอลที่สร้างจากข้อกำหนดโปรโตคอล (Protocol Specification) เดียวกันแม้จะแตกต่างกัน ก็สามารถใช้ร่วมกันได้ แต่ถ้าหากไม่มีโมเดลอ้างอิงนี้แล้ว เรือใบก็คงกลายเป็นเรือดำน้ำไปได้แน่

2.2.3 ชั้นต่างๆ ของโอเอสไอ (OSI Layers)

จะกล่าวถึงโครงสร้างทั่วไปของชั้นต่างๆ ในโอเอสไอ รายละเอียดและหน้าที่การทำงานของแต่ละชั้น และการกระทำในการติดต่อสื่อสาร

ชั้นประยุกต์ใช้งาน (Application Layers)

ชั้นประยุกต์ใช้งานเป็นชั้นของโอเอสไอ ซึ่งใกล้กับผู้ใช้มากที่สุด มีความแตกต่างจากชั้นอื่นๆ คือไม่ต้องให้บริการแก่ชั้นใดๆ แต่ต้องปฏิบัติการที่นอกเหนือจากโมเดลโอเอสไอ ตัวอย่างของปฏิบัติการเหล่านี้ เช่น โปรแกรมสเปรดชีต, โปรแกรมทางด้านเอกสาร, โปรแกรมธนาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Banking Program) และอื่นๆ ชั้นประยุกต์ใช้งานเรียกอีกอย่างว่าชั้น โปรแกรมประยุกต์ ชั้นประยุกต์ ใช้งานจะระบุและจัดตั้งผู้ร่วมติดต่อ ประสานงาน และจัดให้มีข้อตกลงของโพรซีเจอร์สำหรับการ แก้ไขความผิดพลาด และควบคุม ดังนั้นชั้น โปรแกรมประยุกต์ จึงทำหน้าที่อีกอย่างคือตรวจตราว่ามี ทรัพยากรพอเพียงสำหรับการติดต่อที่มีอยู่หรือไม่

ชั้นนำเสนอ (Presentation Layer)

ชั้นนำเสนอ ช่วยให้ข้อมูลที่ส่งโดยชั้น โปรแกรมประยุกต์ ของระบบหนึ่งจะถูกอ่านโดย ชั้นนำเสนอ ของระบบอื่น ถ้าจำเป็นชั้นนำเสนอ จะแปลงรูปแบบการแสดงผลข้อมูลที่ซับซ้อนไปใช้ รูปแบบการแสดงผลข้อมูลแบบง่ายๆ แทน ชั้นนำเสนอ ไม่เพียงเกี่ยวกับรูปแบบของข้อมูลจริงของผู้ใช้ แต่ยังเกี่ยวกับ โครงสร้างข้อมูลที่ถูกใช้โดยโปรแกรม

ชั้นภาค (Session Layer)

ตามชื่อของมันชั้นภาค จะทำการสถาปนาการเชื่อมต่อ (Establish) ดูแลและจัดการ รวมทั้งยุติการเชื่อมต่อระหว่าง โปรแกรมประยุกต์ ชั้นภาคจะเป็นการจัดการสนทนา (Dialogue Session) ว่าเมื่อไหร่จะเป็นฝ่ายรับหรือส่งข้อมูล จะประกอบไปด้วยข้อความที่โต้ตอบ (Dialogue)ระหว่างชั้น นำเสนอจำนวนสองระบบหรือมากกว่า (หรือเรียกว่าชั้นภาคจัดให้มีบริการแก่ชั้นนำเสนอ) ชั้นภาค จะจัดระเบียบของข้อความที่โต้ตอบที่มาจากชั้นนำเสนอต่างระบบเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน แบ่งชั้นของการบริการ และรับรายงานหรือปัญหาต่างๆ ที่ส่งมาจากชั้นภาคของมันเอง ชั้นนำเสนอ และชั้น โปรแกรมประยุกต์

ชั้นขนส่ง (Translation Layer)

ขอบเขตระหว่างชั้นภาคและชั้นขนส่ง เปรียบเสมือนกับขอบเขตระหว่างโพรโตคอล ของชั้น โปรแกรมประยุกต์ กับโพรโตคอลของชั้นที่ต่ำกว่า สามชั้นบนคือชั้น โปรแกรมประยุกต์ ชั้น นำเสนอ และชั้นภาค จะเกี่ยวข้องกับโปรแกรมประยุกต์โดยตรง ส่วนสี่ชั้นล่างที่เหลือจะเกี่ยวข้อง กับการขนส่งข้อมูล

ชั้นขนส่ง มุ่งที่จะจัดให้มีการบริการขนส่งข้อมูลซึ่งจะป้องกันชั้นที่สูงกว่าจากราย ละเอียดต่างๆ ในการขนส่งข้อมูล โดยเฉพาะประเด็นของการขนส่งที่เชื่อถือได้ ไปตามเครือข่ายให้ บรรลุเป้าหมาย ในการที่จะจัดให้มีการบริการที่เชื่อถือได้ชั้นขนส่ง ต้องจัดให้มีกลไกสำหรับการ สถาปนาวงจรเสมือน (Virtual Circuit) การบำรุงรักษาวงจรเสมือน และการทำลายวงจรเสมือน การ ตรวจสอบการผิดพลาดในการขนส่งข้อมูล และการกู้คืน และการควบคุมการไหลของข้อมูล (เพื่อ ป้องกันการทับกันของข้อมูลของระบบหนึ่งกับระบบอื่น)

ชั้นเน็ตเวิร์ค (Network Layer)

ชั้นเครือข่ายเป็นชั้นที่มีความซับซ้อน มีหน้าที่จัดการติดต่อและการเลือกเส้นทางระหว่างจุดปลายของสองระบบซึ่งอาจจะอยู่คนละเน็ตเวิร์คย่อย (SubNetwork) เนื่องจากปัจจัยหลักคือ ระยะทางและจำนวนของเน็ตเวิร์คย่อยที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก หน้าที่ของชั้นเครือข่ายจึงเป็นการหาเส้นทาง โพรโตคอลในการหาเส้นทางจะเลือกเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดเพื่อที่จะส่งแพคเกจผ่านเน็ตเวิร์คย่อยที่เชื่อมต่อกัน จากนั้นโพรโตคอลของชั้นเน็ตเวิร์คก็จะส่งผ่านข้อมูลไปตามเส้นทางนั้น

ชั้นเชื่อมต่อข้อมูล (Data Link Layer)

ชั้นเชื่อมต่อข้อมูล จัดให้มีการขนส่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ข้ามตัวเชื่อมต่อ (Physical Link) ในชั้นนี้จะเป็นการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด แม้ระหว่างต้นทางและปลายทางจะต้องผ่านหลายจุด มันจะดูแลการเชื่อมต่อเพียงแต่จุดที่มันเชื่อมต่ออยู่เท่านั้น นอกนั้นจะเป็นหน้าที่ของจุดอื่นๆ ในเครือข่าย ในการทำเช่นนี้ชั้นเชื่อมต่อข้อมูล ต้องเกี่ยวข้องกับภาระบุตำแหน่งที่อยู่จริงๆ (Physical Address) ของจุดที่มันจะเชื่อมต่อ ตรงกันข้ามกับชั้นเครือข่ายที่ใช้การระบุตำแหน่งแบบนามธรรม (Logical Address) นอกจากนี้ชั้นเชื่อมต่อข้อมูลยังต้องเกี่ยวข้องกับ ลักษณะทางกายภาพที่แท้จริงของเครือข่าย (เรียกว่า Network Topology) ลักษณะของเส้นทาง การแจ้งข้อผิดพลาดในการรับส่งข้อมูล การจัดลำดับของเฟรม (Frame) ที่จะทำการส่งมอบ และสุดท้ายคือ การควบคุมการไหล (Flow Control)

ชั้นกายภาพ (Physics Layer)

ชั้นกายภาพ ทำหน้าที่กำหนดคุณลักษณะทางไฟฟ้า กลศาสตร์ สัญญาณไฟฟ้า (Signal) ที่จะส่งลงไปในสายสื่อสาร หรือตัวกลางในการสื่อสาร ชั้นนี้เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์สื่อสาร โมเดลอ้างอิงโอเอสไอได้กำหนดสองชั้นสุดท้ายนี้ (คือชั้นกายภาพและชั้นเชื่อมต่อข้อมูล) เอาไว้เพียงคร่าวๆ แต่จะมีอีกองค์กรหนึ่งคือ ไออีอีอี (IEEE) จะเป็นผู้ที่รับผิดชอบสองชั้นนี้โดยตรง

2.3 เอทีเอ็มสวิตช์ (Asynchronous Transfer Mode/ATM Switches)

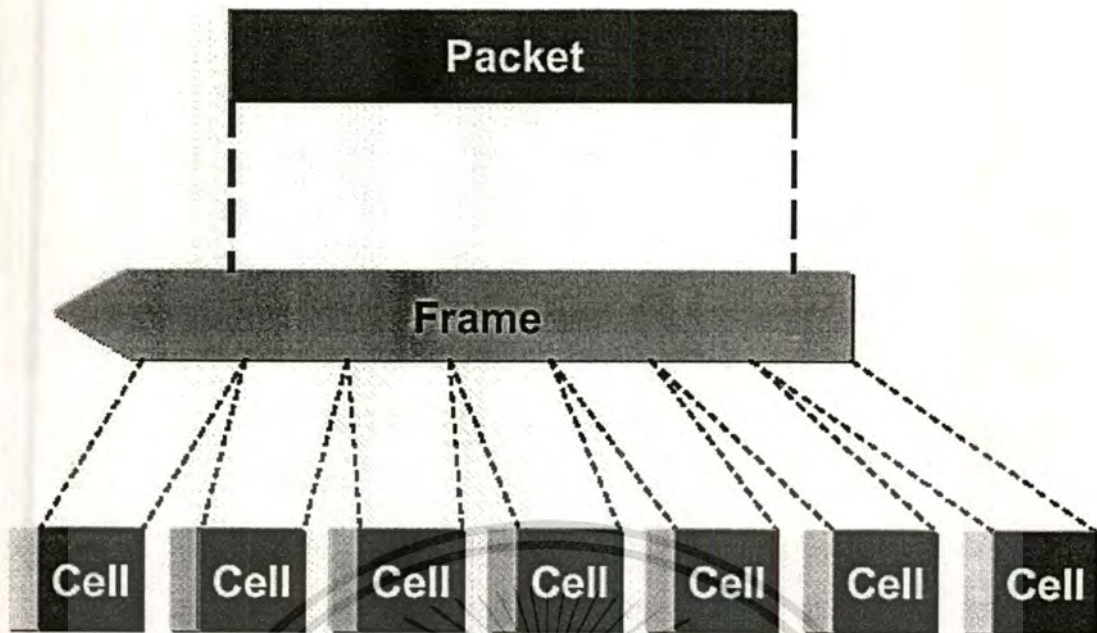
ในปัจจุบันเครือข่ายคอมพิวเตอร์ต้องการแบนด์วิดท์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรมมีสมรรถภาพที่สูงขึ้นในราคาที่ต่ำลง ทำให้ปริมาณของข้อมูลในเครือข่ายเพิ่มสูงขึ้นเป็นเงาตามตัว เราจึงต้องการเครือข่ายที่มีความเร็วสูงที่มีต้นทุนต่ำทั้งในแมน (MAN) และแวน (WAN) ผู้ดำเนินการเครือข่ายสาธารณะ (Public Network Operators/PNOs) ได้เล็งเห็นว่าสายไฟเบอร์ออปติกมีความจุข้อมูลสูง จึงได้ลงทุนเดินสายไฟเบอร์ออปติกแทนที่สายทองแดงทั้งหมด

ITU-TS (หรือที่เรียกว่า CCITT) และกลุ่มมาตรฐาน (Standard Group) อื่นๆ ได้ทำการศึกษา (ในช่วงปี ค.ศ. 1984-1988) เพื่อจัดสร้างชุดข้อกำหนดสำหรับ การส่ง (Transmission), การทำสวิตช์ (Switching), สัญญาณ (Signaling) และการควบคุม (Control) ที่จะนำมาใช้กับเครือข่ายที่เป็นสายไฟเบอร์ออปติก จากการศึกษาจึงตัดสินใจว่าจะใช้ เอสดีเอช (SDH) และ เอทีเอ็ม ใน เครือข่ายดิจิทัลบริการร่วมแบบกว้าง (Broadband - Integrated Services Digital Network/B-ISDN)

เอสดีเอช (Synchronous Digital Hierarchy) ได้กล่าวถึง มาตรฐานของออปติก (Optical Standard) สำหรับการส่งข้อมูลที่มีอัตราความเร็วถึง 2.4 จิกะบิตต่อวินาที ซึ่งในอนาคตอาจจะสูงถึง 10 จิกะบิตต่อวินาที เอสดีเอชระบุถึงวิธีการส่งข้อมูลที่มีความเร็วต่ำไปเครือข่ายแบบออปติกและการมัลติเพล็กซ์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ทำให้เกิดความมั่นใจว่าอุปกรณ์หรือบริการที่มาจากต่างผู้ผลิตหรือผู้ให้บริการจะสามารถทำงานร่วมกันได้ เพราะเอสดีเอชกล่าวถึงการส่งข้อมูลที่สามารถทำงานกับเทคโนโลยีที่เพิ่งเกิดขึ้น โดยเฉพาะ ITU-TS ได้กำหนดถึงรายละเอียดในการเชื่อมต่อ เอทีเอ็มเซล กับ เอสดีเอช

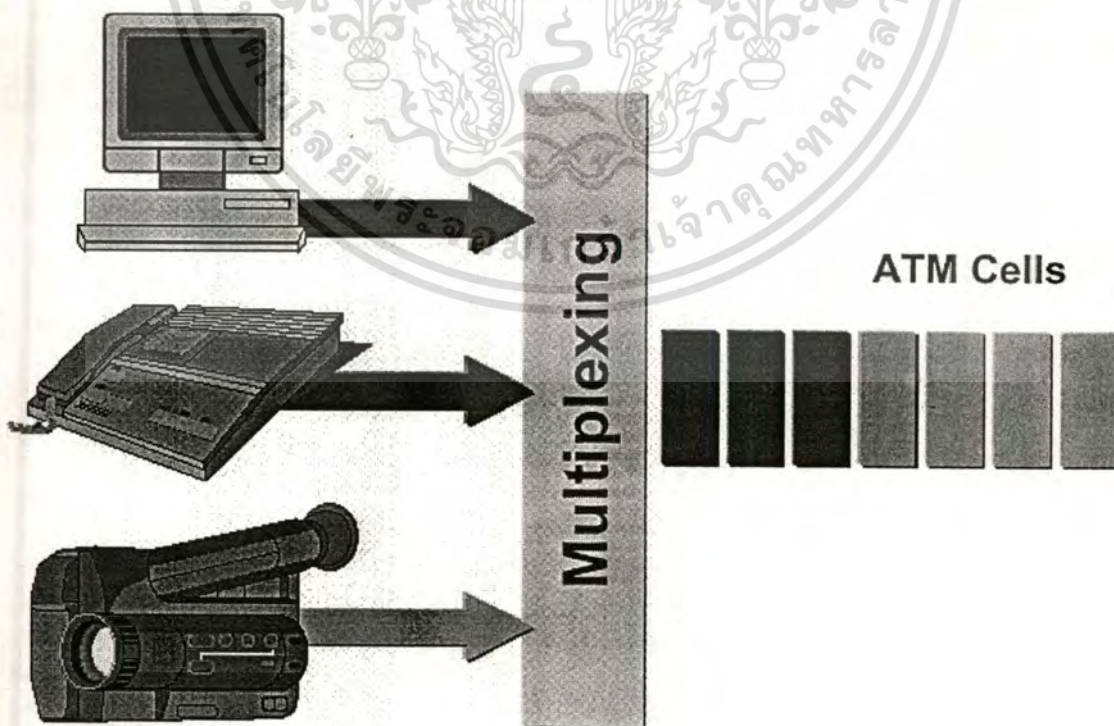
2.3.1 สถาปัตยกรรมโพรโตคอล (Protocol Architecture)

เอทีเอ็มทำงานแบบคอนเน็คชันโอเรียน (Connection Oriented) ที่มีความผิดพลาดของข้อมูลต่ำและสามารถควบคุมการไหลได้ ทำให้ลดโอเวอร์เฮดที่ใช้ในการประมวลผลเอทีเอ็มเซลและลดจำนวนของโอเวอร์เฮดบิตที่ต้องการในแต่ละเซล ด้วยเหตุนี้ทำให้เอทีเอ็มสามารถทำงานที่ความเร็วของข้อมูลสูงได้ ยิ่งกว่านี้เนื่องจากขนาดที่เท่ากันในแต่ละเซลทำให้การประมวลผลในแต่ละเอทีเอ็มโนดสามารถทำได้ง่าย โดยปกติเราเรียกข้อมูลที่อยู่ในดาต้าลิงก์เลเยอร์ว่า เฟรม (Frame) เช่น อีเทอร์เน็ตเฟรม (Ethernet Frame), โทเก็นริงเฟรม (Token Ring Frame), เฟรมรีเลย์เฟรม (Frame Relay Frame) และเรียกข้อมูลที่อยู่ในเน็ตเวิร์กเลเยอร์ว่า แพคเกจ (Packet) เช่น ไอพีหรือไอพีเอ็กซ์ แพคเกจ โดยปกติแล้วแพคเกจหนึ่งแพคเกจจะถูกส่งด้วยเฟรมหนึ่งเฟรม ส่วนเซล (Cell) จะมีขนาดที่คงที่ทุกเซล และมีขนาดเล็ก ถ้าแพคเกจที่ต้องการจะส่งมีขนาดใหญ่กว่าหนึ่งเซล แพคเกจนั้นก็จะถูกแบ่งออกเป็นเซลเล็กๆ หลายๆ เซล แล้วจึงทำการส่งไป ดังรูปที่ 2.6



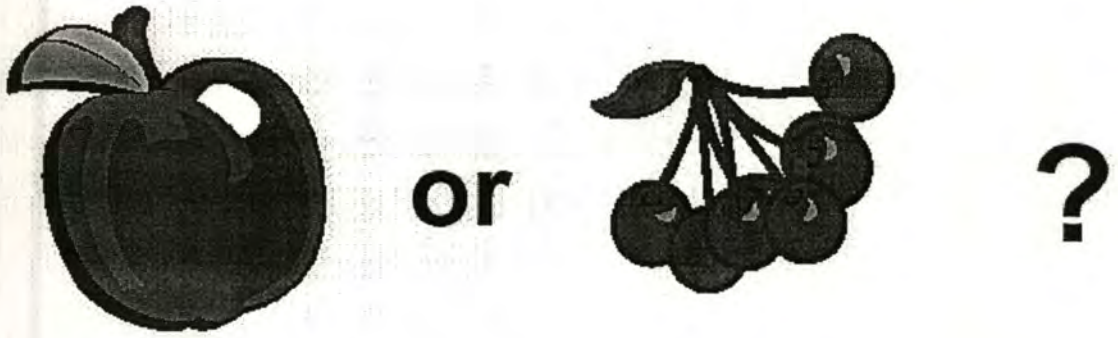
รูปที่ 2.6 การแบ่งแพ็คเกจออกเป็นเซลล์ของเอทีเอ็มสวิตช์

สาเหตุที่เอทีเอ็มใช้เซลล์ในการส่งข้อมูลก็เพราะว่า เซลล์ที่มีขนาดเล็กและคงที่จะสามารถใช้ทรัพยากรในการสื่อสารร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าและการจัดการต่างๆ (เช่นการจัดการเรื่องคุณภาพของการให้บริการ) ก็สามารถทำได้โดยง่าย โดยรูปที่ 2.7 เปรียบได้กับรูปที่ 2.8 ซึ่งการแบ่งลูกเชอร์รี่สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่าการแบ่งลูกแอปเปิ้ล



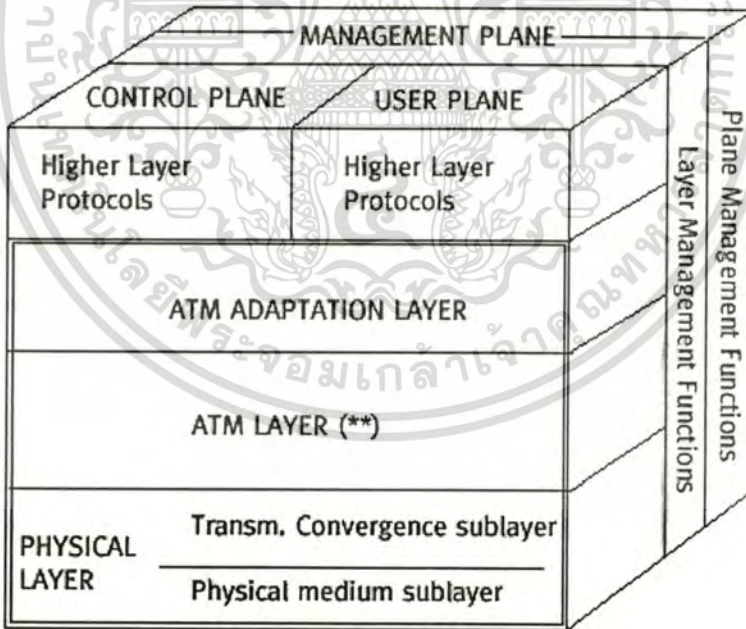
รูปที่ 2.7 ข้อมูลต่างๆ จะถูกแบ่งออกเป็นเอทีเอ็มเซลล์เล็กๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การเปรียบเทียบระหว่างลูกแอปเปิ้ล (แพ็คเกจ) กับลูกเชอร์รี่ (เซลล์) ว่าอย่างไรสามารถแบ่งปันทรัพยากรได้ดีกว่ากัน

มาตรฐานของเอทีเอ็มที่กำหนดโดย ITU-T แสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงสถาปัตยกรรมพื้นฐานสำหรับการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้กับเครือข่าย ฟิสิกส์คัลเลเยอร์ (Physical Layer) เกี่ยวข้องกับข้อกำหนดของตัวกลางในการส่งและวิธีในการเข้ารหัสสัญญาณ อัตราความเร็วของข้อมูลที่ระบุในเลเยอร์นี้เป็น 155.52 และ 622.08 เมกะบิตต่อวินาที ความเร็วที่สูงหรือต่ำกว่านี้ก็สามารถมีได้



(**) Common for all services

รูปที่ 2.9 แบบจำลองอ้างอิงของเอทีเอ็ม โพรโตคอล

อีกสองเลเยอร์ต่อมาเกี่ยวข้องกับการทำงานของเอทีเอ็ม เอทีเอ็มเลเยอร์ (ATM Layer) จัดการเกี่ยวกับการส่งแพ็คเกจ และ AAL (ATM Adaptation Layer/AAL) จะขึ้นอยู่กับบริการที่อยู่

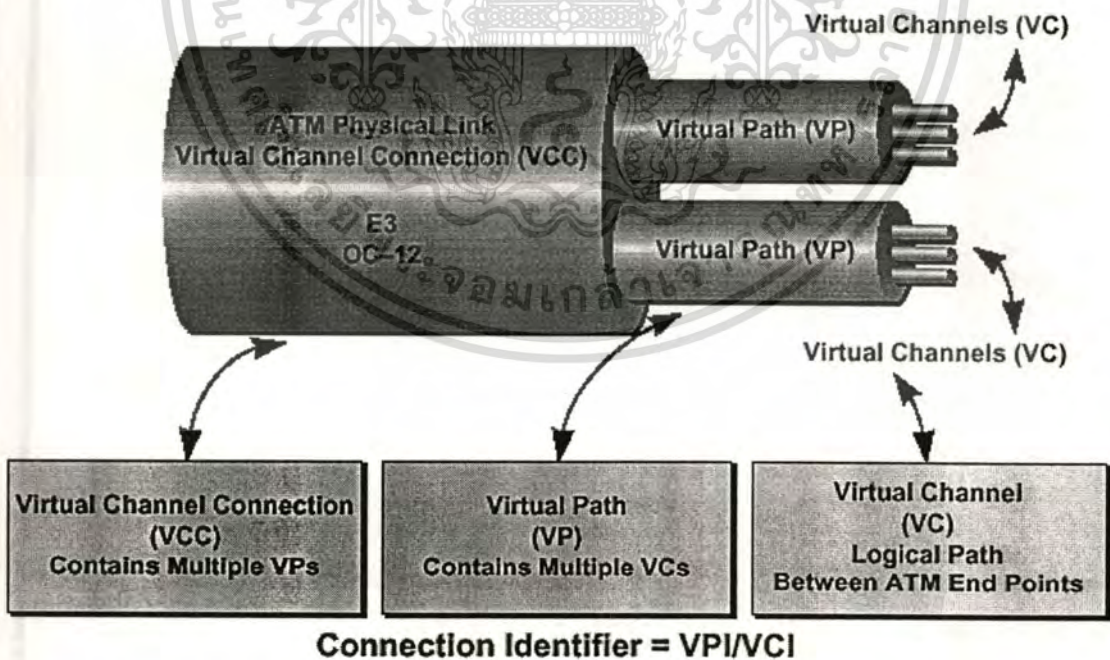
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนเลขอร์ที่สูงกว่า เอทีเอ็มเลขอร์เป็นตัวกำหนดการส่งข้อมูลรวมทั้งการใช้งานลจกคัลคองเน็คชั่น (Logical Connection) AALจำเป็นสำหรับการใช้งานเอทีเอ็มร่วมกับโพรโตคอลลตัวอื่นๆที่ไม่ใช่ของเอทีเอ็ม AALจะเชื่อมโยงข้อมูลจากเลขอร์ที่สูงกว่าเข้ากับเอทีเอ็มเซลเพื่อส่งไปบนเครือข่ายเอทีเอ็ม หรือในทางกลับกัน

แบบจำลองอ้างอิงของเอทีเอ็มโพรโตคอลล (ATM Protocol Reference Model) ได้แบ่งออกเป็น 3 ระนาบ

1. **ระนาบผู้ใช้ (User Plane)** ระนาบนี้จะจัดการเกี่ยวกับการส่งข้อมูลของผู้ใช้พร้อมกับการควบคุม เช่น การควบคุมการไหล การควบคุมข้อผิดพลาด
2. **ระนาบควบคุม (Control Plane)** ระนาบนี้มีหน้าที่ควบคุมการเรียกและการเชื่อมต่อ (Call and Connection Control)
3. **ระนาบการจัดการ (Management Plane)** ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ การบริหารระนาบ (Plane Management) ซึ่งมีหน้าที่บริหารระบบทั้งหมดรวมถึงการประสานการทำงานระหว่างระนาบ อีกส่วนหนึ่งคือ การบริหารเลขอร์ (Layer Management) ซึ่งมีหน้าที่บริหารทรัพยากรและพารามิเตอร์ที่อยู่ในโพรโตคอลล

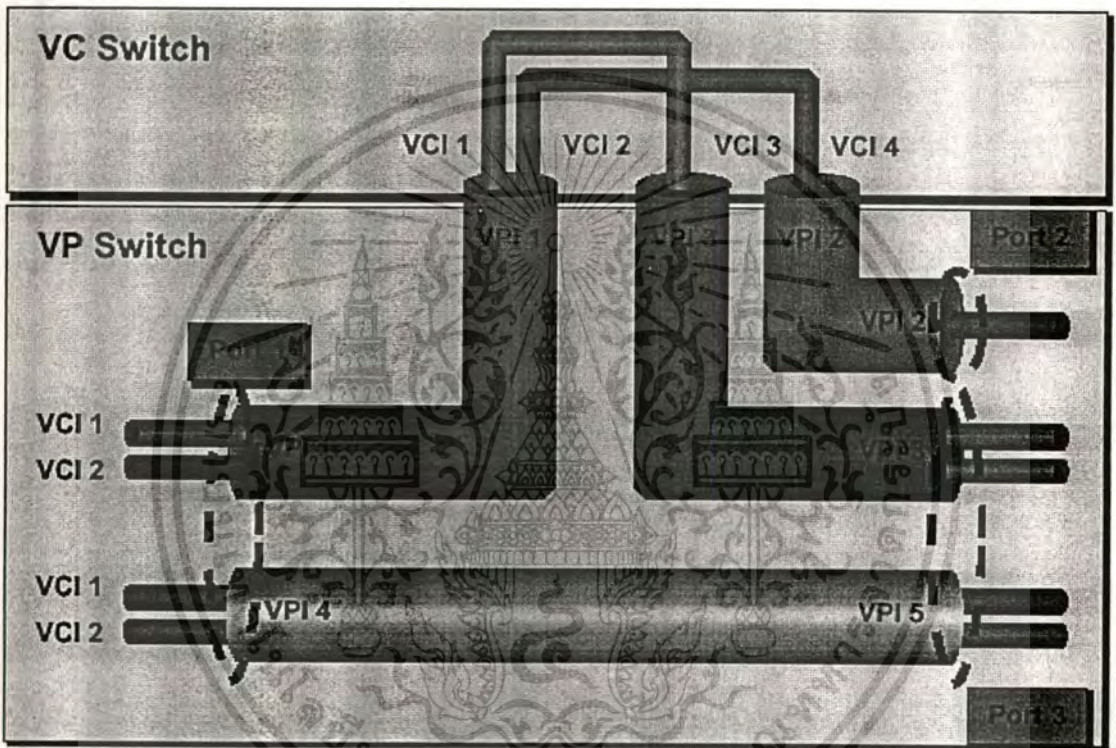
2.3.2 เอทีเอ็มลจกคัลคองเน็คชั่น (ATM Logical Connections)



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างลจกคัลคองเน็คชั่นในเอทีเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอจิกคัลคอนเน็คชันในเอทีเอ็ม มักถูกอ้างถึงในรูปแบบของการเชื่อมต่อแบบช่องสื่อสารเสมือน (Virtual Channel/VC) วิธีนี้มีความคล้ายคลึงกับวงจรเสมือน (Virtual Circuit) ใน X.25 หรือดาต้าลิงค์คอนเน็คชันในเฟรมรีเลย์ (Frame Relay) มันเป็นหน่วยพื้นฐานของการทำสวิตซ์ซึ่งในเครือข่ายเอทีเอ็ม วิธีนี้ถูกสร้างขึ้นจากปลายด้านหนึ่งของผู้ใช้ไปยังปลายอีกด้านหนึ่งของผู้ใช้ผ่านเครือข่าย โดยมีอัตราเร็วที่แตกต่างกันไป, มีการไหลแบบพร้อมกันทั้งสองทางของเซลล์ที่มีขนาดคงที่เส้นทางเสมือน (Virtual Path/VP) เป็นการรวมเอาวิธีที่มีปลายทางเดียวกันเข้าด้วยกัน ด้วยเหตุนี้เซลล์ที่ไหลอยู่ในวิธีที่มีวิพีเดียวกันจึงสามารถสวิตซ์ถึงกันได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 และ 2.11

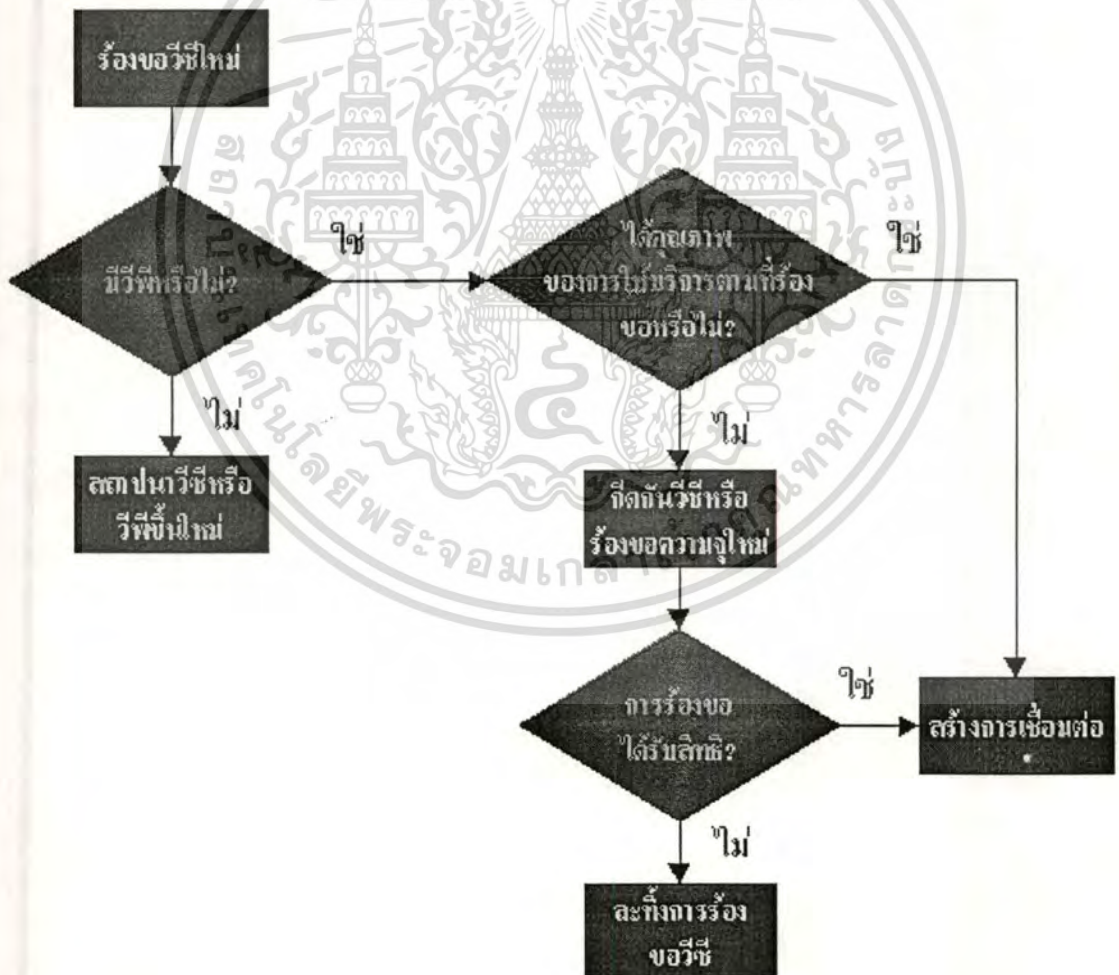


รูปที่ 2.11 การทำสวิตซ์ของเอทีเอ็มสวิตซ์โดยใช้วิธีไอ/วิพีไอ

หลักการของเส้นทางเสมือนได้ถูกพัฒนาเพื่อรองรับกับเครือข่ายความเร็วสูงในอนาคต ที่ค่าใช้จ่ายในการควบคุมเครือข่ายกลายเป็นสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของระบบเครือข่ายทั้งหมด เทคนิคเส้นทางเสมือนช่วยในการควบคุมการทำงานโดยการจัดกลุ่มของการเชื่อมต่อที่มีเส้นทางร่วมกันผ่านเครือข่ายไปยังปลายทาง การบริหารเครือข่ายสามารถทำกับกลุ่มของการเชื่อมต่อที่มีจำนวนน้อยๆ แทนที่จะใช้การเชื่อมต่อเดียวที่มีจำนวนมากๆ รูปที่ 2.12 แสดงถึงกระบวนการในการสร้างการเชื่อมต่อโดยใช้ช่องเสมือนและเส้นทางเสมือน

ข้อดีของเส้นทางเสมือนมีดังนี้

- ทำให้สถาปัตยกรรมของเครือข่ายง่ายขึ้น หน้าที่ในการขนส่งในเครือข่ายสามารถแบ่งออกเป็น ลอจิกคัลคอนเน็คชันเดี่ยว (ช่องสื่อสารเสมือน) และกลุ่มของลอจิกคัลคอนเน็คชัน (เส้นทางเสมือน)
- เพิ่มสมรรถภาพและความเชื่อถือได้ของเครือข่าย เนื่องจากเครือข่ายรับมือกับการเชื่อมต่อเดี่ยวน้อยลง
- ลดเวลาในการดำเนินงานและทำให้เวลาในการสถาปนาการเชื่อมต่อสั้นลง มีงานจำนวนมากที่ต้องทำในการสถาปนาเส้นทางเสมือน ด้วยการจัดตั้งช่องสื่อสารเสมือนใหม่สามารถทำได้ง่ายโดย ไม่ต้องมีกระบวนการในการร้องขอ ณ จุดที่ส่ง
- ได้รับการบริการจากเครือข่ายที่ดีขึ้น



รูปที่ 2.12 กระบวนการในการสร้างการเชื่อมต่อโดยใช้ช่องสื่อสารเสมือนและเส้นทางเสมือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.1 การใช้งานของการเชื่อมต่อช่องสื่อสารเสมือน (Virtual Channel Connection Uses)

จุดปลายของวิธีอาจเป็นผู้ใช้ , เครือข่าย หรือ ทั้งผู้ใช้และเครือข่าย ในทุกแบบที่กล่าวมานี้ ความถูกต้องในลำดับของเซลล์ถูกทำขึ้นในวิธี ซึ่งเซลล์จะถึงปลายทางเรียงลำดับตามที่ต้นทางส่งมา การใช้งานวิธีนี้มีอยู่ 3 แบบ

1. ระหว่างผู้ใช้ ใช้เพื่อนำพาข้อมูลระหว่างผู้ใช้กับผู้ใช้ รวมถึงการนำพาสัญญาณควบคุมระหว่างผู้ใช้ ความจุของช่องสื่อสารโดยรวมระหว่างผู้ใช้ ถูกดำเนินการโดยวิธีซึ่งความจุมุมวิธีทุกตัวในวิธีเดียวกัน เมื่อรวมแล้วจะต้องไม่เกินค่าความจุมุมวิธีนั้น
2. ระหว่างผู้ใช้กับเครือข่าย ใช้สำหรับสัญญาณควบคุมจากผู้ใช้ไปยังเครือข่าย
3. ระหว่างเครือข่าย ใช้สำหรับการบริหารงานเครือข่าย และการหาเส้นทาง

2.3.2.2 คุณลักษณะของเส้นทางเสมือน/ช่องสื่อสารเสมือน

ITU-T ได้ระบุไว้ในเอกสารแนะนำ I.150 ไว้ดังนี้

- คุณภาพของการให้บริการ(Quality of Service) ผู้ใช้วิธีจะได้รับคุณภาพของการให้บริการ โดยการระบุพารามิเตอร์ เช่น อัตราการสูญหายของเซลล์ (Cell Loss Ratio) และความผันผวนการหน่วงเวลาของเซลล์ (Cell Delay Variation)
- การเชื่อมต่อแบบสวิตช์ และกึ่งถาวรของช่องสื่อสารเสมือน (Switch and Semi – permanent Virtual Channel Connection) ทั้งสองแบบนี้จะเป็นการเชื่อมต่อแบบสวิตช์ที่ซึ่งต้องการสัญญาณควบคุมการเรียก (Call Control Signaling) และช่องที่ถาวร
- ความถูกต้องในลำดับของเซลล์ (Cell Sequence Integrity) ลำดับของเซลล์ที่ส่งไปในวิธีต้องถูกรักษาไว้
- การเจรจาพารามิเตอร์ทางการจราจร และการสอดส่อง (Traffic Parameter Negotiation and Usage Monitoring) ในแต่ละวิธีจะสามารถเจรจาพารามิเตอร์ทางการจราจรระหว่างผู้ใช้และเครือข่าย การป้อนเซลล์ให้กับวิธีจะถูกสอดส่องโดยเครือข่ายเพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่เกิดการล้นทะลักของข้อมูล

พารามิเตอร์ทางการจราจรจะรวมถึง อัตราเฉลี่ย (Average Rate), อัตราสูงสุด (Peak Rate), ความพุ่งพรวดของการจราจร (Burstiness), และ ช่วงเวลาสูงสุด (Peak Duration) เครือข่ายจำเป็นต้องมีหลากหลายกลยุทธ์ที่รับมือกับความคับคั่ง (Congestion) และ จัดการกับวิธีทั้งที่มีอยู่แล้วและที่ร้องขอเข้ามา อย่างน้อยที่สุดเครือข่ายอาจจะปฏิเสธวิธีที่ร้องขอเข้ามาใหม่เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความคับคั่ง หรือเซลล์อาจถูกละทิ้งถ้าพารามิเตอร์ที่ทำการเจรจาอยู่ล้นทะลักหรือถ้าความคับคั่งเริ่มสูงขึ้น และ ในกรณีที่ไม่สามารถรับมือได้ การเชื่อมต่อที่มีอยู่จะถูกทำให้สิ้นสุดลง

คุณลักษณะของวิธีจะเหมือนกับวิธีใน 4 ข้อข้างต้น ซึ่งมีคุณภาพของการให้บริการวีพีแบบ สวิตช์และกึ่งถาวร ความถูกต้องในลำดับของเซส และการเจรจาพารามิเตอร์ทางการเจรจา และการ สอดส่อง มีหลายเหตุผลสำหรับความเหมือนกันในคุณลักษณะนี้ ข้อแรก ความซ้ำซ้อนนี้ก่อให้เกิด ความยืดหยุ่นในการบริหารเครือข่าย ข้อสองการสร้างวิธีจะต้องเกี่ยวข้องกับวีพี และข้อสุดท้าย เมื่อ วีพีถูกสร้างขึ้น ครั้นเมื่อผู้ใช้ทำการเจรจาเพื่อทำการสร้างวิธีใหม่ คุณลักษณะของวิธีก็จะติด ไปกับวี พีตัวใหม่นั้น ในวีพีจะมีคุณลักษณะข้อที่ 5 ดังนี้

- ตัวบ่งเอกลักษณ์ช่องสื่อสารเสมือนในวีพี จะมีช่องสื่อสารเสมือนอยู่จำนวนหนึ่งที่จะถูกสงวน เอาไว้ใช้เป็นตัวบ่งเอกลักษณ์ เพื่อใช้ในการจัดการ

2.3.2.3 สัญญาณควบคุม (Control Signal)

ในเอทีเอ็มจำเป็นต้องมีกลไกในการสร้างหรือสลายวีพีและวิธี ข้อมูลที่แลกเปลี่ยนกัน ใน กระบวนการนี้เรียกว่าสัญญาณควบคุมและมีขั้นตอนการแยกแยะการเชื่อมต่อเหล่านี้จากกัน

สำหรับวิธีแล้วข้อกำหนด I.150 ได้ระบุวิธีปฏิบัติเอาไว้ 4 ข้อ สำหรับอำนวยความสะดวก ในการสร้างหรือสลายวิธี ซึ่งอาจใช้ข้อใดข้อหนึ่งหรือรวมกันก็ได้

1. วิธีแบบกึ่งถาวรใช้สำหรับการแลกเปลี่ยนระหว่างผู้ใช้กับผู้ใช้ ในกรณีนี้ไม่ต้องมี สัญญาณควบคุม
2. ถ้าไม่มีการสร้างช่องสัญญาณควบคุมการเรียกเอาไว้ก่อนหน้า จะต้องสร้างขึ้นมาก่อน เพื่อวัตถุประสงค์นี้จะเกิดการแลกเปลี่ยนสัญญาณควบคุมขึ้นระหว่างผู้ใช้กับเครือข่าย ผ่านทางช่องสัญญาณบางช่อง ด้วยเหตุนี้เราจึงต้องการช่องถาวร (Permanent Channel) ซึ่งอาจเป็นช่องที่มีอัตราความเร็วต่ำ นำมาใช้ในการสร้างวิธีและควบคุมการเรียก ช่อง นี้เรียกว่า ช่องสัญญาณเมตา (Meta-Signaling Channel)
3. ช่องสัญญาณเมตาใช้ในการสร้างวิธีระหว่างผู้ใช้กับเครือข่ายเพื่อเป็นสัญญาณควบคุม การเรียก (Call Control Signaling) ช่องสัญญาณนี้ใช้ในการสร้างวิธีที่เป็นตัวส่งข้อมูล (Data) ของผู้ใช้
4. ช่องสัญญาณเมตาใช้ในการสร้าง ช่องสัญญาณเสมือนจากผู้ใช้ไปยังผู้ใช้ (User-to-User Signaling Virtual Channel) ช่องนี้จะถูกสร้างขึ้นพร้อมกับวีพี ช่องสัญญาณนี้ทำให้ผู้ใช้ ปลายทางทั้งสองข้างสามารถสร้างวิธีและสลายวิธีเอง ได้โดยไม่ต้องพึ่งเครือข่าย

สำหรับวีพีแล้วนั้นข้อกำหนด I.150 ได้กำหนดไว้ 3 วิธี

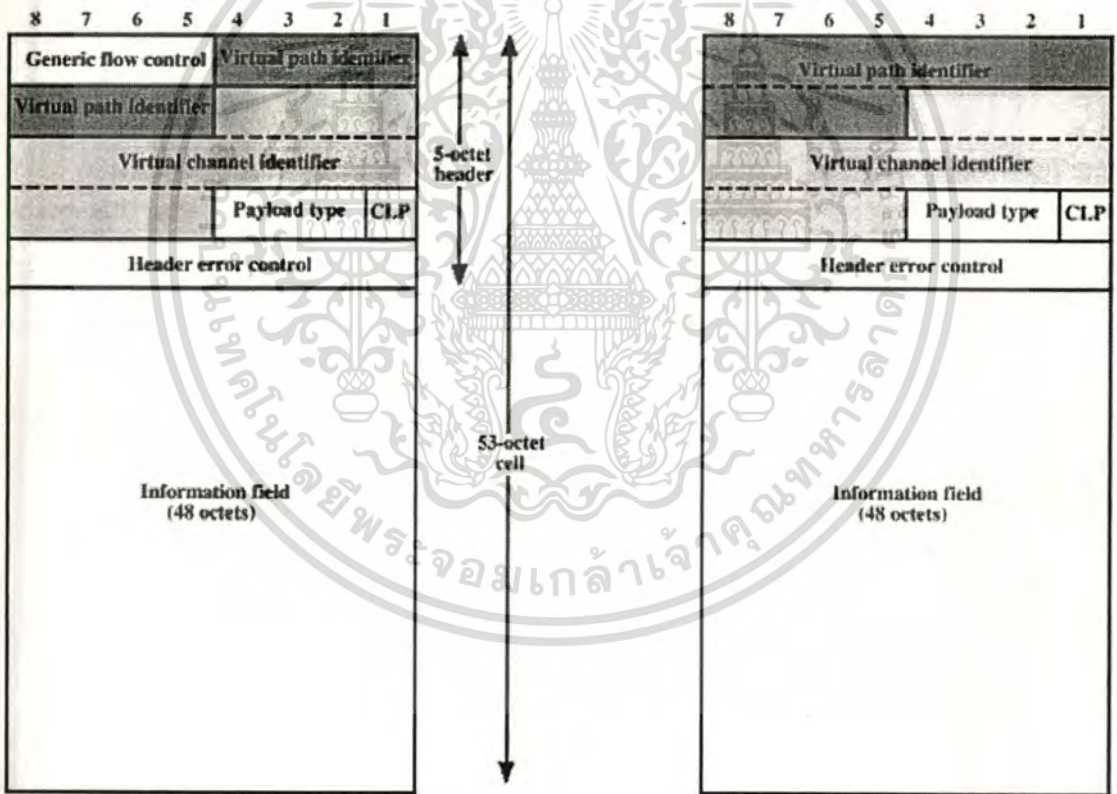
1. วีพีสามารถสร้างเป็นแบบกึ่งถาวร ในกรณีนี้ไม่ต้องการสัญญาณควบคุม
2. การสร้างและสลายวีพีอาจควบคุมโดยผู้ใช้ ในกรณีนี้ผู้ใช้ใช้สัญญาณวิธีเพื่อร้องขอวีพี จากเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การสร้างและสลายวีพีอาจควบคุมโดยเครือข่าย ในกรณีนี้เครือข่ายจะสร้างวีพีเอง ซึ่ง อาจจะเป็น จากเครือข่ายไปยังเครือข่าย จากผู้ใช้ไปยังเครือข่าย หรือ จากผู้ใช้ไปยังผู้ใช้

2.3.3 เอทีเอ็มเซล (ATM Cell)

เซลในเอทีเอ็มมีขนาดที่คงที่เท่ากับทุกเซล โดยมีส่วนหัว (Header) 5 อ็อกเตท (Octet) ส่วน ที่เป็นข้อมูล (Information Field) 48 อ็อกเตท มีข้อดีหลายประการในการที่เซลของเอทีเอ็มเป็นเซลที่ มีขนาดเล็กที่คงที่ ข้อแรก มันช่วยลดเวลาหน่วงในการที่เซลที่มีลำดับความสำคัญสูง (High Priority Cell) จะต้องรอคิว เมื่อเซลที่มีลำดับความสำคัญน้อยกว่า (Lower Priority Cell) ได้รับสิทธิในการใช้ ทรัพยากรอยู่ (เช่น กำลังส่งข้อมูลอยู่) ข้อสอง เซลที่มีขนาดคงที่จะถูกสวิตช์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กว่า ซึ่งมีความสำคัญต่อความเร็วที่สูงมากของเอทีเอ็มสวิตช์ และด้วยเซลที่มีขนาดคงที่นี้จึงง่ายต่อ การสร้างฮาร์ดแวร์ของเอทีเอ็มสวิตช์



(a) อินเทอร์เน็ตแบบผู้ใช้ถึงเครือข่าย

(b) อินเทอร์เน็ตแบบเครือข่ายถึงเครือข่าย

รูปที่ 2.13 รูปแบบของเอทีเอ็มเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.1 เฮดเดอร์ฟอร์แมต (Header Format)

เฮดเดอร์ฟอร์แมตในเอทีเอ็มมี 2 ชนิด ดังรูปที่ 2.13a แสดงเฮดเดอร์ฟอร์แมตของเซล ที่เชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้กับเครือข่าย (User-Network Interface/UNI) รูปที่ 2.13b แสดงเฮดเดอร์ฟอร์แมตของเซล ที่เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายกับเครือข่าย (Network-Network Interface/NNI) จะเห็นว่าไม่มีส่วนของการควบคุมการไหลทั่วไป (Generic Flow Control/GFC) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมจากปลายถึงปลาย แต่ส่วนของตัวบ่งเอกลักษณ์เส้นทางเสมือน (Virtual Path Identifier/VPI) จะขยายจาก 8 บิต ไปเป็น 12 บิต ทำให้เพิ่มความสามารถในการรองรับจำนวนของวีพีภายในเครือข่ายได้เพิ่มขึ้น

ส่วนการควบคุมการไหลทั่วไป ไม่ได้ปรากฏอยู่ในส่วนหัวของเซลที่ไหลอยู่ในระหว่างเครือข่าย แต่จะมีเฉพาะที่ การเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้กับเครือข่าย ด้วยเหตุนี้มันจึงสามารถควบคุมการไหลของเซลได้ในท้องถิ่นที่เชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้กับเครือข่ายเท่านั้น ส่วนการควบคุมการไหลทั่วไป ช่วยผู้ใช้ในการควบคุมการไหลของการจราจรสำหรับคุณภาพของการบริการที่แตกต่างกัน

ตัวบ่งเอกลักษณ์เส้นทางเสมือน (Virtual Path Identifier/VPI) จะประกอบกันขึ้นเป็นส่วนในการหาเส้นทางของเครือข่าย มีขนาด 8 บิต ณ.จุดที่เชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้กับเครือข่าย และ 12 บิต ณ.จุดที่เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายกับเครือข่าย ตัวบ่งเอกลักษณ์ช่องสื่อสารเสมือน (Virtual Channel Identifier/VCI) ใช้สำหรับการหาเส้นทางทั้งไปยังและจากผู้ใช้ปลายทาง (End User)

ตารางที่ 2.1 การเข้ารหัสประเภทภาระข้อมูล (PT Coding)

รหัสประเภทภาระข้อมูล	การตีความหมายของรหัส
000	เซลข้อมูลของผู้ใช้, AAU = 0, ยังไม่เคยเกิดความคับคั่งของข้อมูล
001	เซลข้อมูลของผู้ใช้, AAU = 1, ยังไม่เคยเกิดความคับคั่งของข้อมูล
010	เซลข้อมูลของผู้ใช้, AAU = 0, ยังเคยเกิดความคับคั่งของข้อมูล
011	เซลข้อมูลของผู้ใช้, AAU = 1, ยังเคยเกิดความคับคั่งของข้อมูล
100	เซลที่เกี่ยวข้องกับการแบ่ง (Segment) OAM F5
101	เซลที่เกี่ยวข้องกับ End-to-End OAM F5
110	เซลที่ใช้ในการบริการทรัพยากร
111	สงวนไว้สำหรับหน้าที่ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

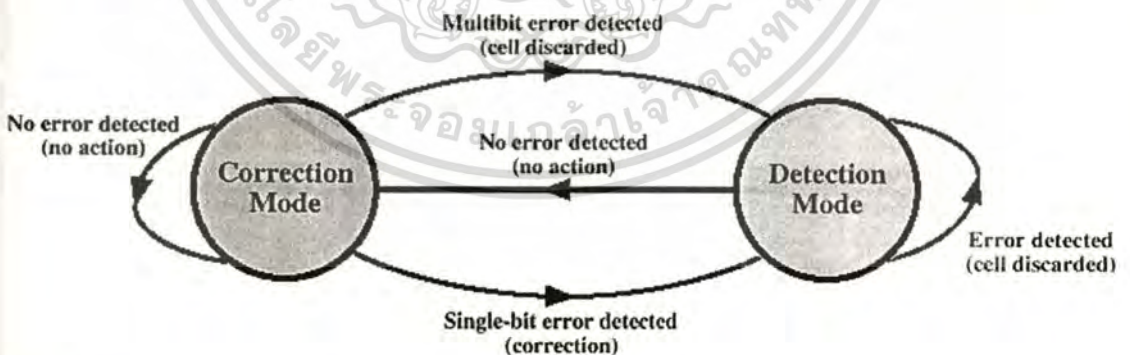
AAU = ATM User to ATM User Indication

ประเภทภาระข้อมูล (Payload Type/PT) บ่งบอกถึงประเภทของข้อมูลที่อยู่ในส่วนของข้อมูล (Information Field) ตารางที่ 2.1 แสดงความหมายของบิตใน ประเภทภาระข้อมูล ถ้าบิตแรกของประเภทภาระข้อมูลมีค่าเป็น 0 จะบ่งบอกถึงข้อมูลของผู้ใช้ (คือข้อมูลที่รับมาจากเลขอร์ที่สูงกว่า) ในกรณีนี้บิตที่สองจะบ่งบอกว่าได้มีความคับคั่งทางการจราจรเกิดขึ้น บิตที่สามเรียกว่า เอเอยู (ATM-User-to-ATM-User/AAU) ใช้บ่งบอกว่าเป็นเซลล์ข้อมูลหรือไม่ ถ้าบิตแรกของประเภทภาระข้อมูลมีค่าเป็น 1 จะบ่งบอกว่าเซลล์นี้ใช้สำหรับการบริหารเครือข่าย

ลำดับความสำคัญในการสูญหายของเซลล์ (Cell Loss Priority/CLP) ใช้ในการชี้นำเครือข่ายเมื่อเกิดความคับคั่งทางการจราจรขึ้น ค่า 0 บ่งบอกว่าเป็นเซลล์ที่มีความสำคัญสูงซึ่งควรที่จะทิ้งเซลล์นี้ก็ต่อเมื่อ ไม่มีเซลล์อื่นที่มีลำดับความสำคัญต่ำกว่าอยู่ ถ้ามีค่าเป็น 1 เซลล์จะถูกส่งไปยังปลายทางก็ต่อเมื่อ ไม่มีความคับคั่งทางการจราจรในเครือข่าย เครือข่ายอาจเซตส่วนนี้ให้เป็น 1 ให้กับเซลล์ใดๆ ที่ล่วงละเมิดข้อตกลงในพารามิเตอร์ทางการจราจรระหว่างผู้ใช้กับเครือข่าย เมื่อเกิดความคับคั่งทางการจราจรขึ้นเซลล์เหล่านี้จะถูกหมายหัวให้สามารถทิ้งได้ (Mark for Discard) ทำให้ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของการให้บริการที่ตกลงเอาไว้กับการไหลอื่น ๆ

2.3.3.2 ส่วนหัวที่ควบคุมความผิดพลาด (Header Error Control/HEC)

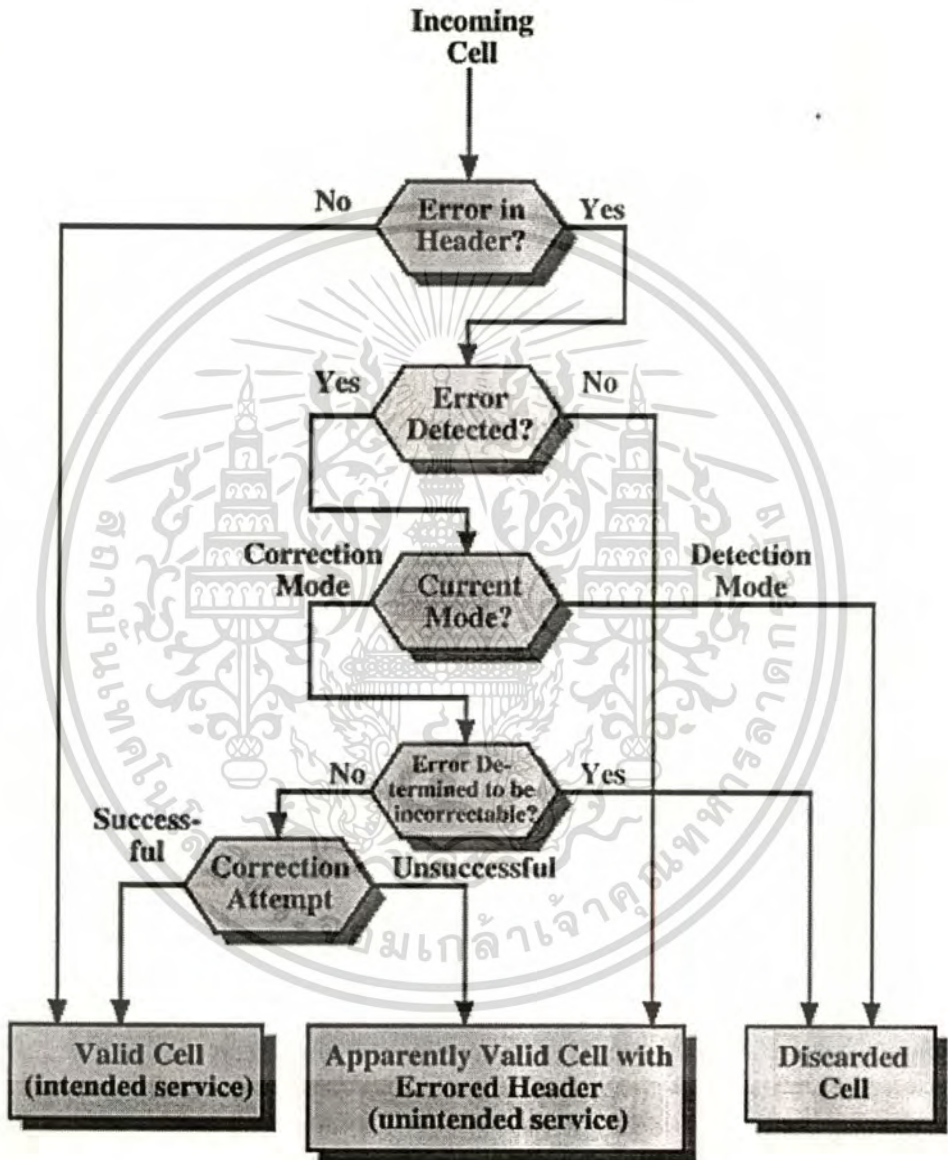
ในแต่ละเซลล์ของเอทีเอ็มจะมีส่วนที่ควบคุมความผิดพลาด (เอ็ชอีซี) รวมอยู่ด้วย มีขนาด 8 บิต ซึ่งเพียงพอสำหรับการ ทำการตรวจจับข้อผิดพลาด (Error Detection) และแก้ไขข้อผิดพลาด (Error Correction) ของเฮคเตอร์ที่มีขนาด 32 บิต โดยใช้หลักการของ ซีอาร์ซี สร้างโพลีโนเมียล $X^8 + X^2 + X + 1$ รูปที่ 2.14 แสดงการทำงานของอัลกอริทึมเอ็ชอีซีที่ฝั่งด้านรับ (Receiver)



รูปที่ 2.14 การทำงานของอัลกอริทึมเอ็ชอีซีที่ฝั่งด้านรับ

ในตอนเริ่มต้น อัลกอริทึมตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาดของด้านรับ จะตรวจสอบส่วนหัวของเซลล์ที่รับเข้ามา โหมดที่ตั้งไว้โดยปริยายคือ โหมดการแก้ไขข้อผิดพลาดบิตเดี่ยว トラバドที่ยังไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้นก็ยังคงอยู่ในโหมดนี้ เมื่อตรวจพบว่ามีผิดพลาดเกิดขึ้น ด้านรับ

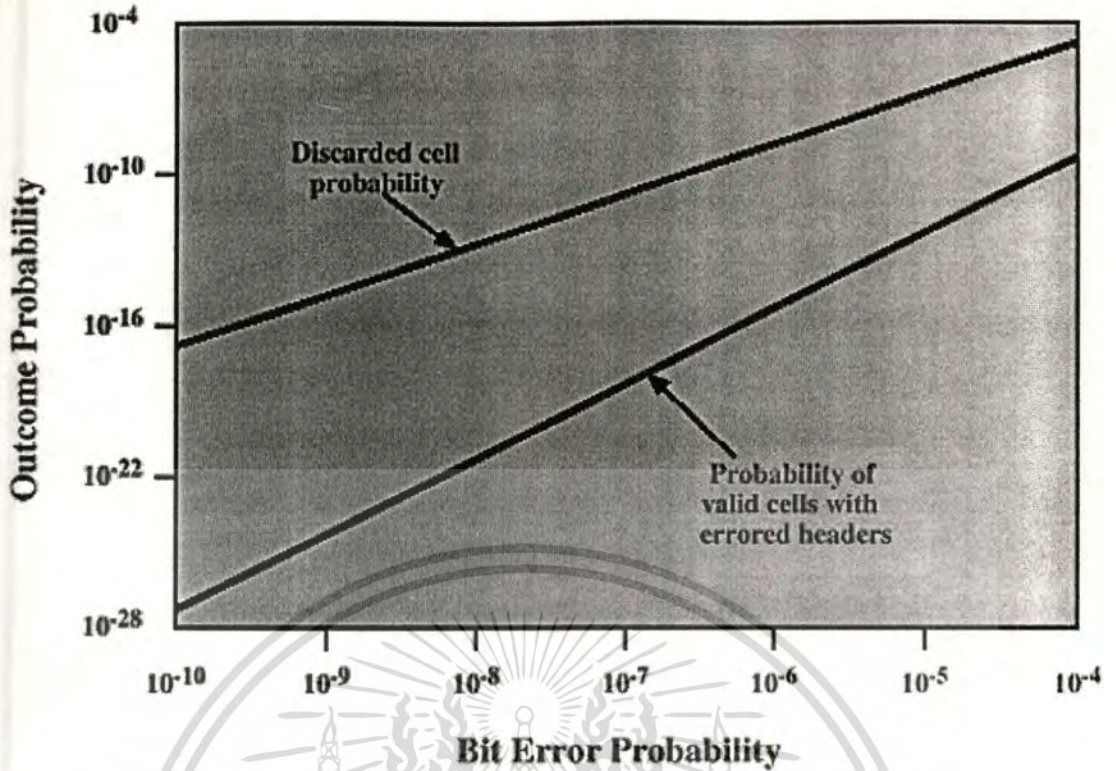
จะแก้ไขให้ถูกต้องถ้าเฮดเดอร์ของเซลล์ที่รับเข้ามามีความผิดพลาดเพียงบิตเดียว หรือด้านรับจะย้ายไปอยู่โหมดการตรวจจับถ้าเฮดเดอร์ของเซลล์ที่รับเข้ามามีความผิดพลาดมากกว่า 1 บิต และจะอยู่ในโหมดนี้จนกว่าเซลล์ที่รับมาจะมีความถูกต้อง ในโหมดนี้จะไม่มีการแก้ไขข้อผิดพลาดของเฮดเดอร์ เหตุผลก็คือ อาจมีสัญญาณรบกวนหรือสาเหตุอื่นๆ ที่ทำให้เซลล์เกิดความผิดพลาดเป็นช่วงติดกัน รูปที่ 2.15 แสดงเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดความผิดพลาดในส่วนหัวของเซลล์



รูปที่ 2.15 เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดความผิดพลาดในส่วนหัวของเซลล์

รูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นว่าการเกิดความผิดพลาดในบิตที่สุ่มขึ้นมาจะมีผลต่อความน่าจะเป็นที่จะเซลล์จะถูกทิ้ง เมื่อใช้เอ็ชอีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การเกิดความผิดพลาดในบิตที่สุ่มขึ้นมา มีผลต่อความน่าจะเป็นที่จะเซลล์จะถูกทิ้ง เมื่อใช้ เอชอีซี

2.3.4 เอทีเอ็มอะแดปต์เลเยอร์ (ATM Adaptation Layer/AAL)

โพรโตคอลเอทีเอ็มไม่มีการกำหนดชั้นสื่อสารนำส่งข้อมูลไว้อย่างชัดเจน ตัวโพรโตคอลเอทีเอ็มเองทำหน้าที่คล้ายกับชั้นสื่อสารควบคุมเครือข่าย และมีชั้นสื่อสาร AAL (ATM Adaptation Layer) คอยควบคุมอยู่เหนือขึ้นไปซึ่งก็ทำหน้าที่คล้ายกับชั้นสื่อสารนำส่งข้อมูล เช่น ฟังก์ชัน AAL5 ซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับโพรโตคอล UDP

อย่างไรก็ตามไม่มีฟังก์ชันใดในโพรโตคอลชั้น AAL ที่รับประกันการเชื่อมต่อระหว่างผู้ส่งกับผู้รับดังที่เกิดขึ้นในโพรโตคอล TCP นอกจากนี้โปรแกรมที่เรียกใช้ AAL ยังต้องเรียกใช้โปรแกรมในชั้นนำส่งข้อมูลด้วย ในหัวข้อนี้จึงอธิบายการทำงานของโพรโตคอล AAL โดยไม่พยายามที่จะชี้ชัดว่าอยู่ในชั้นสื่อสารนำส่งข้อมูลหรือไม่

ระบบเอทีเอ็มสร้างขึ้นมาบนพื้นฐานการนำส่งข้อมูลภาพและเสียงซึ่งเน้นความสำคัญของความเร็วสูงสุดของการส่งมากกว่าความถูกต้องของข้อมูลดังจะเห็นได้จากเอทีเอ็มเซลล์ซึ่งมีขนาดเพียง 53 ไบต์ ไม่มีการตรวจสอบความถูกต้อง, ไม่มีการควบคุมการไหลของข้อมูล, และอื่นๆ ที่จริงแล้วระบบเอทีเอ็ม ไม่สามารถให้การรับรองใดๆ แก่โปรแกรมที่เรียกใช้ได้เลย

ข้อเสนอแนะตามมาตรฐาน I.363 นั้นองค์กร ITU ได้เสนอให้ใช้โพรโตคอล AAL เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบเอทีเอ็ม ระดับผู้ส่งถึงผู้ใช้ โพรโตคอลนี้มีที่มาที่ค่อนข้างสับสนวุ่นวาย มีการเปลี่ยนแปลงมากมาย และยังคงมีส่วนที่ไม่สำเร็จอยู่ด้วย วัตถุประสงค์ของโพรโตคอล AAL คือการให้บริการที่อำนวยความสะดวกแก่โปรแกรมผู้ใช้ทั้งหลายซึ่งมีหลักการพิจารณาอยู่ 3 ข้อ คือ

1. การให้บริการแบบเรียลไทม์
2. อัตราการส่งข้อมูลคงที่และเปลี่ยนแปลงได้
3. การเชื่อมต่อแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง

โดยหลักการแล้ว ข้อพิจารณาทั้งสามข้อ แต่ละข้อมีสามทางเลือกจึงเกิดเป็นหนทางปฏิบัติ 8 หนทางดังแสดงในรูป 2.17 องค์กร ITU คิดว่ามีเพียง 4 หนทางจากที่เป็นไปไม่ได้เท่านั้นที่นำมาใช้งานจริงและเรียกแต่ละหนทางว่า A, B, C, และ D ตามลำดับ ส่วนที่เหลือไม่มีการนำไปพิจารณาต่อระบบเอทีเอ็ม รุ่น 4.0 ดังในรูปนั้น ปัจจุบันค่อนข้างจะล้าสมัยไปแล้ว แต่ได้นำมาอธิบายเพื่อเป็นพื้นฐานของความเข้าใจ

	A		B		C		D	
Timing	Real time	None	Real time	None	Real time	None	Real time	None
Bit rate	Constant		Variable		Constant		Variable	
Mode	Connection orientated				Connectionless			

รูปที่ 2.17 บริการพื้นฐานดั้งเดิมที่มีใน AAL

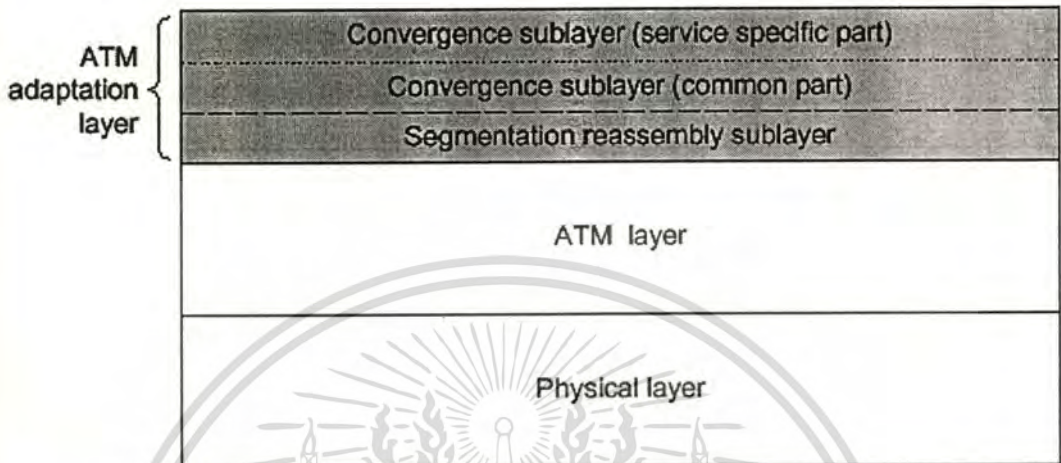
องค์กร ITU ได้กำหนดโพรโตคอลขึ้นมา 4 แบบคือ AAL1, AAL2, AAL3, และ AAL4 สำหรับการสื่อสารทั้ง 4 ประเภท ต่อมาได้พบว่าข้อมูลทางเทคนิคของ AAL3 และ AAL4 มีความคล้ายคลึงกันมากจึงรวมเป็น AAL3/4 ในภายหลังบริษัทผู้ทำการค้าทั้งหลายได้รวมตัวกันกำหนดมาตรฐาน AAL5 ขึ้นใช้งาน

2.3.4.1 โครงสร้างของชั้นสื่อสาร AAL

ชั้นสื่อสาร AAL แบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนบนและส่วนล่างดังแสดงรายละเอียดในรูป 2.18 ส่วนบนเรียกว่า ชั้นย่อยคอนเวอร์จเ็นซ์ (Convergence Sublayer) ทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อกับโปรแกรมผู้ใช้ซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วนย่อยคือ ส่วนที่เป็นมาตรฐานสำหรับการติดต่อทั่วไป (Common Part) และส่วนที่เป็นการติดต่อเฉพาะกับโปรแกรมหนึ่งๆ (Service Specific Part)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดต้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันในทั้งสองส่วนนี้มีความผูกพันกับโพรโทคอลที่เลือกใช้อย่างมาก (Protocol Dependent) ซึ่งตรงกันข้ามกับโพรโทคอล TCP ที่ไม่ผูกพันกับตัวโพรโทคอล อย่างไรก็ตาม สามารถเพิ่มฟังก์ชันอื่นๆ เช่น ทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล และการกำหนดโครงสร้างเฟรมข่าวสารแบบต่างๆ ได้



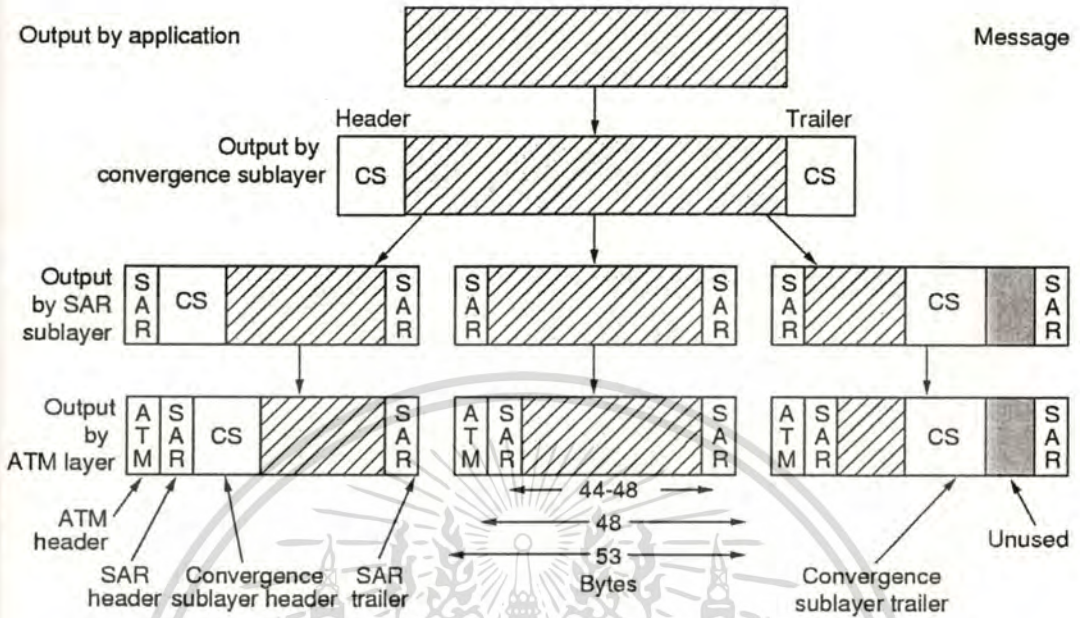
รูปที่ 2.18 โครงสร้างชั้นสื่อสารของโพรโทคอลเอทีเอ็ม

ทางด้านผู้ส่งข้อมูลโพรโทคอลส่วนบนจะทำหน้าที่รับข้อมูลออกมาจากโปรแกรมผู้ใช้ ข้อมูลแต่ละชุดอาจมีความยาวไม่เท่ากันก็ได้ซึ่งจะแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ กลุ่มละ 44 ถึง 48 ไบต์เพื่อรอการนำส่ง ขนาดที่แน่นอนนั้นขึ้นอยู่กับโพรโทคอลตัวที่เลือกใช้ (เพราะขนาดของข้อมูลส่วนหัวไม่เท่ากัน) ทางฝั่งผู้รับโพรโทคอลส่วนนี้จะทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลให้กลับมาเป็นโครงสร้างเดิม ดังนั้นถ้าข้อมูลที่ส่งเข้ามาเป็นกลุ่มละ 512 ไบต์จำนวน 4 กลุ่ม ก็จะไปถึงโพรเซสผู้รับในลักษณะเดียวกัน

โพรโทคอลส่วนล่างเรียกว่า ซาร์ (Segmentation And Reassembly/SAR) ทำหน้าที่ในการสร้างเซลล์ข้อมูลซึ่งประกอบด้วยข้อมูลที่ส่งมาจากโพรโทคอลส่วนบนและข้อมูลส่วนหัวและส่วนท้ายของเซลล์ ซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังโพรโทคอลชั้นเอทีเอ็มเพื่อการนำส่งต่อไป ทางฝั่งผู้รับก็จะทำงานกลับกัน คือแปลงข้อมูลในเซลล์กลับเป็นโครงสร้างเดิม โพรโทคอลส่วนล่างนี้จะทำงานเกี่ยวข้องกับเซลล์โดยตรงในขณะที่โพรโทคอลส่วนบนจะทำงานเกี่ยวข้องกับ (โครงสร้าง) ข้อมูลที่ส่งเข้ามา

รูป 2.19 แสดงกระบวนการทำงานทั่วไปของโพรโทคอลส่วนบนและส่วนล่าง เมื่อโปรแกรมผู้ใช้ส่งข้อมูลเข้ามายังโพรโทคอล AAL ข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ กลุ่มละ 44 ถึง 48 ไบต์ โดยโพรโทคอลส่วนบนซึ่งอาจเพิ่มข้อมูลสำหรับการควบคุมเข้าไปด้วยก็ได้แล้วจึงส่งต่อไปยัง SAP โพรโทคอลนี้จะเติมข้อมูลส่วนหัวและส่วนท้ายของตนเองเข้าไปให้กับโพรโทคอลเอ

ที่เอ็ม เพื่อนำส่งในลักษณะของเซลล์ข้อมูล โพรโทคอล AAL บางชนิดก็ไม่ใช่ข้อมูลส่วนหัวและ/หรือข้อมูลส่วนท้ายเลย



รูปที่ 2.19 ข้อมูลส่วนหัวและส่วนท้ายของเอทีเอ็มเซลล์

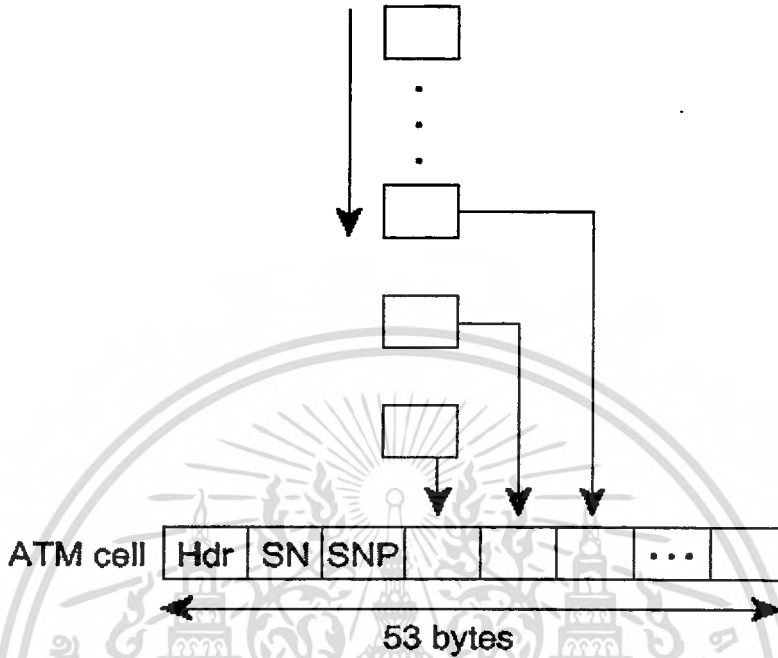
โพรโทคอลส่วนซาร์ บางชนิดสามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลได้ บางชนิดสามารถทำการส่งข้อมูลแบบใช้สื่อร่วมกัน (Multiplexing) ได้

2.3.4.2 โพรโทคอล AAL1

โพรโทคอล AAL1 ใช้สำหรับการสื่อสารกลุ่ม A คือการให้บริการแบบเรียลไทม์มีอัตราการส่งข้อมูลที่คงที่และการเชื่อมต่อแบบต่อเนื่อง (Real Time, Constant Bit Rate, Connection Oriented) เช่น การส่งข้อมูลภาพและเสียงแบบธรรมดา ข้อมูลจะถูกส่งมาจากโพรเซสผู้ใช้ในอัตราความเร็วคงที่และจะต้องถูกส่งไปถึงโพรเซสผู้รับในอัตราความเร็วคงที่เช่นเดียวกัน ซึ่งจะต้องมีการเสียเวลา การสะดุดและโศกฮทัยในการสื่อสารน้อยที่สุด ข้อมูลจะมีลักษณะเป็นกระแสบิต (Bit Stream) ที่ไหลเข้ามาอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีขอบเขตของกลุ่มข้อมูลปนอยู่เลย วิธีตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล เช่น หยุดและคอย (Stop-and-wait) นั้นใช้ไม่ได้เพราะต้องเสียเวลาการรอคอยและการส่งสำเนาข้อมูลซ้ำ อย่างไรก็ตามเซลล์ที่สูญหายจะถูกรายงานให้โพรเซสผู้รับทราบซึ่งจะต้องหาวิธีแก้ไขเอาเองรูปที่ 2.20 แสดงการจัดเตรียมเซลล์ในการส่งข้อมูลของ AAL1 ส่วนเลขลำดับ (Sequence Number/SN) และ ส่วนป้องกันเลขลำดับ (Sequence Number Protection/SNP) ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องในลำดับของเซลล์ที่รับเข้ามา AAL1 เหมาะสำหรับนำมาใช้กับโทรศัพท์และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การส่งภาพวิดีโอที่ไม่มีการบีบอัดข้อมูล มันต้องการการเข้ารหัสระหว่างต้นทางและปลายทาง ด้วยเหตุนี้มันจึงขึ้นกับตัวกลางที่สนับสนุนสัญญาณนาฬิกา (Clock) เช่น โซเน็ต (SONET) เป็นต้น



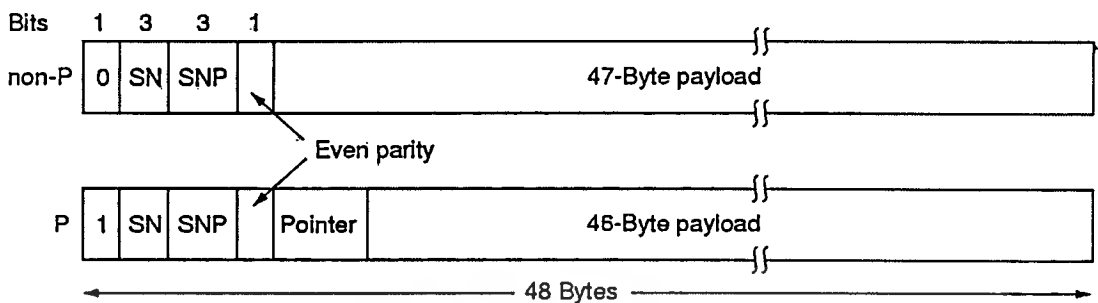
รูปที่ 2.20 การจัดเตรียมเซลล์ในการส่งข้อมูลของAAL1

โพรโตคอล AAL1 ใช้ทั้งโพรโตคอลย่อยคอนเวอร์เตอร์เงินซ์ และ ซาห์ โพรโตคอลย่อยส่วนบนจะตรวจสอบเซลล์ที่สูญหายและเซลล์ที่อยู่ในลำดับที่ไม่ถูกต้อง (เกิดจากเซลล์ที่ถูกส่งไปผิดเส้นทาง) รวมทั้งจัดการให้ข้อมูลไหลเข้ามาอย่างต่อเนื่องและราบเรียบเพื่อสามารถนำไปยังผู้รับได้ด้วยความเร็วคงที่ โพรโตคอลส่วนนี้จะแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มละ 46 ถึง 47 ไบต์ซึ่งไม่มีการเพิ่มเติมข้อมูลอื่นเข้าไป ส่วนทางด้านผู้รับก็จะดึงข้อมูลกลับออกมาสร้างในรูปแบบเดิม

โพรโตคอลย่อย ซาห์ มีโครงสร้างเป็นของตนเองดังแสดงในรูป 2.21 ทั้งสองแบบ (ในรูป) เริ่มต้นด้วยข้อมูลส่วนหัวขนาด 1 ไบต์ บิตแรกใช้บอกประเภท (แบบ P หรือแบบ Non-P) ตามด้วยหมายเลขลำดับ (Sequence Number) ขนาด 3 บิตใช้สำหรับตรวจจับเซลล์ที่สูญหายหรือเซลล์ที่อยู่ในลำดับที่ไม่ถูกต้อง 3 บิตต่อมาคือ SNP เช่น เช็คซัม (Checksum) ใช้สำหรับตรวจสอบหมายเลขลำดับซึ่งใช้แก้ไขได้ ในกรณีที่การผิดพลาดเกิดขึ้นเพียง 1 บิต (ใดๆ) และใช้สำหรับตรวจสอบเมื่อมีการผิดพลาด 2 บิต (ใดๆ) วิธีการนี้เรียกว่า ซีอาร์ซี (Cyclic Redundancy Check/CRC) มีสมการ โพลีโนเมียลเป็น $X^3 + X + 1$ บิตสุดท้ายเป็นบิตตรวจสอบแบบเลขคู่ (Even Parity Check Bit) เซลล์แบบ AAL1 ไม่จำเป็นจะต้องใส่ข้อมูลให้เต็มทั้ง 47 ไบต์ เช่น การนำส่งข้อมูลเสียงแบบดิจิทัลที่ถูกส่งเข้ามาด้วยความเร็ว 1 ไบต์ในทุกๆ 125 ไมโครวินาที ถ้าจะรอให้ข้อมูลมาครบ 47 ไบต์จะต้องใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา 5.875 มิลลิวินาที ในกรณีที่ระยะเวลาที่ต้องรอกอชนี้ยาวนานเกินไปข้อมูลบางส่วนที่รวบรวมไว้แล้วก็สามารถถูกส่งออกไปได้ในทันทีที่ต้องการ



รูปที่ 2.21 โครงสร้างเซลล์แบบ AAL1

เซลล์แบบ P ดังในรูปถูกนำมาใช้สำหรับการส่งข้อมูลที่ไม่เต็ม 47 ไบต์ เซลล์ข้อมูลพอยต์เตอร์ (Pointer) ขนาด 1 ไบต์ใช้สำหรับกำหนดจุดเริ่มต้นของข้อมูล เซลล์ที่มีหมายเลขลำดับเป็นคู่เท่านั้นที่มีโอกาสเลือกให้เป็นเซลล์ P ได้ (โดยปกติจะเป็น Non-P เซลล์) ค่าของพอยต์เตอร์จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 92 หมายความว่าข้อมูลอาจเริ่มต้นจากตำแหน่งใดก็ได้ของเซลล์นี้และเซลล์ในระดับต่อมา ($46+47=93$) ความอ่อนตัวนี้ช่วยให้ข้อมูลที่ส่งนั้นมีขนาดเท่าใดก็ได้ และไม่จำเป็นจะต้องมีขนาดเท่ากับเซลล์

2.3.4.3 โพรโตคอล AAL2

สำหรับการส่งข้อมูลภาพและเสียงที่ใช้เทคโนโลยีการบีบอัดข้อมูล (Data Compression) จะมีอัตราความเร็วในการส่งที่ไม่คงที่ เช่น การบีบอัดข้อมูลภาพดิจิทัลอนันมีหลายอัลกอริทึมที่ส่งข้อมูลภาพเริ่มต้นมาเต็มเฟรมตามด้วยข้อมูลของเฟรมต่อๆ มาซึ่งจะมีข้อมูลเฉพาะในส่วนที่แตกต่างจากข้อมูลภาพในเฟรมแรกและภาพในเฟรมสุดท้าย (ของชุดนั้นที่ส่งมาเต็มเฟรมเช่นเดียวกัน) ถ้าเป็นการส่งภาพมาจากกล้องวิดีโอที่จับภาพนิ่งอยู่ ข้อมูลของเฟรมระหว่างกลางที่ส่งมานั้นจะมีปริมาณน้อยมาก แต่ถ้าเป็นภาพเคลื่อนไหวหรือเป็นภาพที่เกิดขึ้นในขณะที่กำลังหมุนกล้องก็จะมีข้อมูลในช่วงกลางสูงมาก นอกจากนี้ข้อมูลของแต่ละเฟรมจะต้องกำหนดขอบเขตให้ชัดเจนแม้ว่าเซลล์บางส่วนอาจสูญหายไป โพรโตคอล AAL2 จึงได้รับการออกแบบมาเพื่องานประเภทนี้โดยเฉพาะ

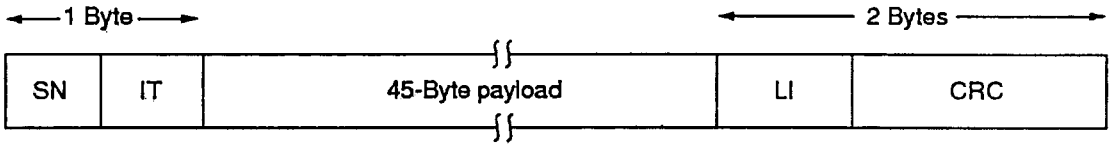
โพรโตคอลย่อย ซีเอส (Convergence Sublayer/CS) ของโพรโตคอล AAL2 ไม่มีข้อมูลส่วนหัวในการทำงานเช่นเดียวกับแบบ AAL1 แต่ในชั้น ซาร์ มีข้อมูลส่วนหัวขนาด 1 ไบต์และข้อมูลส่วนท้ายขนาด 2 ไบต์ จึงมีเนื้อที่สำหรับข้อมูล 45 ไบต์ ดังแสดงในรูป 2.22

เขตข้อมูลหมายเลขลำดับ “SN” ยังคงใช้ในความหมายเดิมคือบอกลำดับของเซลล์เพื่อตรวจสอบเซลล์ที่สูญหายหรืออยู่ในลำดับที่ไม่ถูกต้อง เขตข้อมูล “IT (Information Type)” บอกตำแหน่ง

ข้อมูลที่อยู่ในเซลล์ (ข้อมูลส่วนเริ่มต้น, ส่วนกลาง, หรือส่วนท้าย) ส่วน “LI (Length Indicator)” บอก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

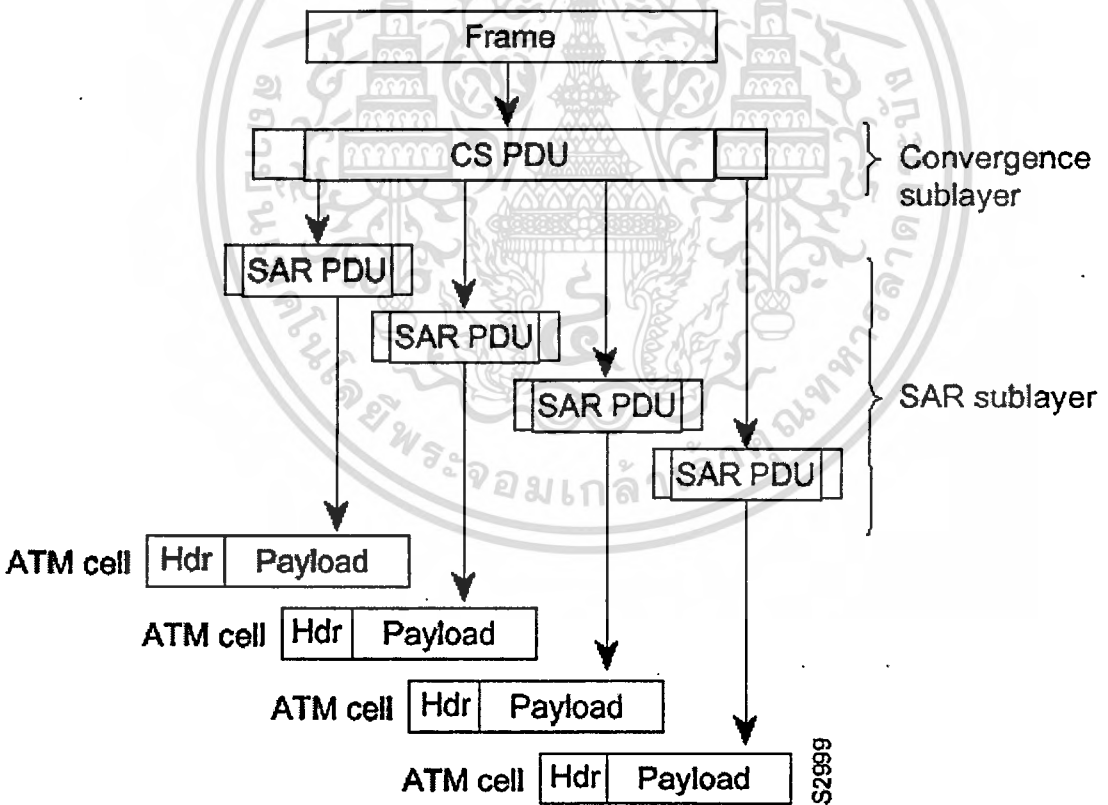
ขนาดของข้อมูลที่อยู่ในเซลล์นั้นๆ (0 ถึง 45 ไบต์) และ “CRC (Cylinder Redundancy Check)” ใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล



รูปที่ 2.22 โครงสร้างเซลล์ AAL2

2.3.4.4 โพรโทคอล AAL3/4

AAL3/4 ถูกออกแบบสำหรับใช้กับผู้ให้บริการทางเครือข่าย (Network Service Provider) และมีความใกล้เคียงกับ Switched Multimegabit Data Service (SMDS) AAL3/4 สามารถใช้ในการส่งแพ็คเกจของ SMDS บนเครือข่ายเอทีเอ็ม ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การจัดเตรียมเซลล์ในการส่งข้อมูลของ AAL3/4

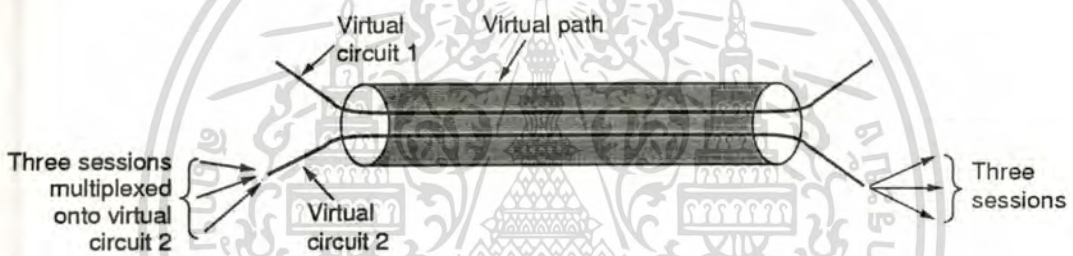
ในตอนเริ่มแรกนั้น คณะกรรมการผู้จัดทำได้แยกโพรโทคอลสำหรับข้อมูลประเภท C และ D ออกจากกัน สำหรับการเชื่อมต่อแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องในการส่งข้อมูลที่ต้องการ เอกสารฉบับเอกสารที่ส่งวันเวสสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่นับญาติเห็นใบใช้ประจำเขื่อนดำเนินการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถูกต้องมากกว่าความเร็ว ต่อมาได้พบว่าไม่มีประโยชน์อันใดที่จะต้องแยกจากกันจึงได้กำหนดมาตรฐานรวมขึ้นใช้งานสำหรับข้อมูลทั้งสองประเภท เรียกว่า โพรโตคอล AAL3/4

โพรโตคอลนี้สามารถทำงานได้สองแบบคือ แบบกระแสข้อมูล (Stream) และแบบข้อมูลข่าวสาร (Message) ในแบบข้อมูลข่าวสารนั้น โพรเซสผู้ใช้จะส่งข้อมูลเข้ามาครั้งละหนึ่งกลุ่มแทนที่จะส่งเข้ามาอย่างต่อเนื่องอย่างไร้แบบแรก ขอบเขตของข้อมูลแต่ละกลุ่มมีความสำคัญและต้องนำส่งให้ถูกต้อง ในหัวข้อนี้จะพิจารณาเฉพาะการส่งในแบบข้อมูลข่าวสารเท่านั้น การรับประกันการนำส่งข้อมูลให้มีเลือกใช้ในทั้งสองแบบ

คุณสมบัติเด่นที่ไม่มีในโพรโตคอลแบบอื่นคือความสามารถในการใช้ช่องสื่อสารร่วมกัน (Multiplexing) คือการที่อนุญาตให้ข้อมูลที่มาจากการเชื่อมต่อหลายช่อง (Multiple Session) ของโฮสต์หนึ่งถูกส่งออกจากทางช่องสื่อสารช่องเดียวกันและไปแยกออกจากกันที่โฮสต์ปลายทาง ดังในรูป

2.24



รูปที่ 2.24 การใช้ช่องสื่อสารร่วมกันในระบบเอทีเอ็ม

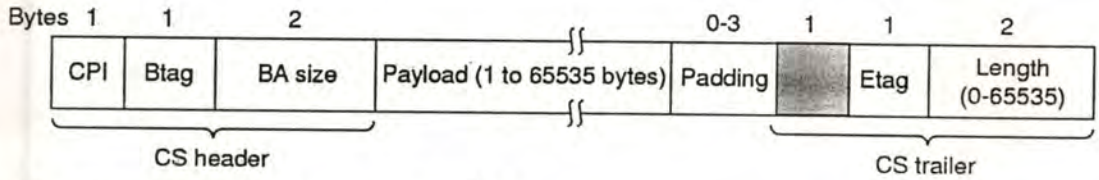
ความสำคัญและประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ช่องสื่อสารร่วมกันนั้นขึ้นอยู่กับเรื่องของค่าใช้จ่ายในระหว่างการสื่อสาร ยิ่งไปกว่านั้นการใช้ช่องสื่อสารร่วมกันกลายเป็นปัญหาระดับทวีปที่ทำให้คณะกรรมการจากภาคพื้นยุโรปมีความเห็นแตกต่างจากผู้ที่มาจากทวีปอเมริกาจนทำให้ในระยะเริ่มต้นนั้นต่างฝ่ายต่างกำหนดมาตรฐานของตนขึ้นมาใช้งาน ต่อมาในภายหลังทั้งสองฝ่ายหันกลับมาเจรจาและได้ข้อยุติร่วมกันเป็นโพรโตคอล AAL3/4 นี้

โพรโตคอล AAL3/4 มีการกำหนดใช้ทั้งโพรโตคอล CS และ ซาห์ ข้อมูลข่าวสารแต่ละกลุ่มมีขนาดได้มากถึง 65535 ไบต์ถูกส่งเข้ามาในส่วน CS ซึ่งจะเติมข้อมูลส่วนหัวและส่วนหางขนาด 4 ไบต์เข้าไป ดังแสดงในรูป 2.25

เขตข้อมูล CPI (Common Part Indicator) กำหนดประเภทของข่าวสารและบอกจำนวนหน่วยของ BA ไชต์ บอกผู้รับข้อมูลให้เตรียมบัฟเฟอร์ขนาดที่ต้องการสำหรับข้อมูลชุดที่กำลังจะถูกส่งออกไป Length บอกขนาดข้อมูลจริงที่มีในแพคเกจนั้นๆ ซึ่งแพคเกจที่ใช้ส่งข้อมูลควบคุมจะมีขนาด BA ไชต์ เท่ากันกับ Length ส่วน Btag และ Etag ใช้กำหนดขอบเขตของเฟรม มีขนาด 1 ไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

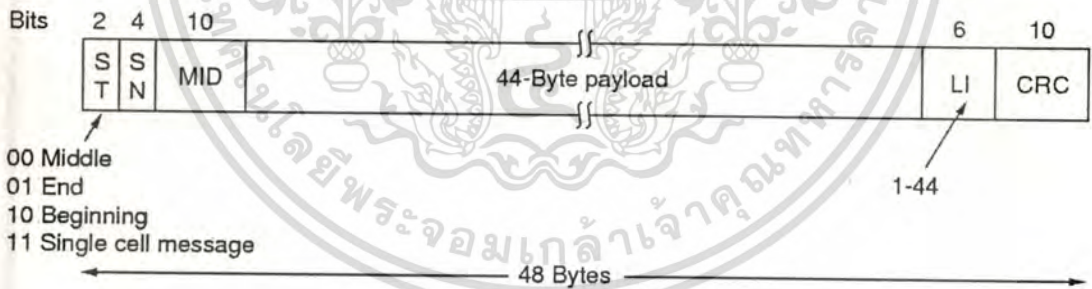
และมีค่าเท่ากัน ในเฟรมที่ตามมาทีหลังจะมีค่าเพิ่มขึ้น 1 เสมอจึงนำมาใช้ในการตรวจสอบเฟรมที่อาจสูญหายไปหรือถูกส่งมาในลำดับที่ไม่ถูกต้อง ข้อมูลส่วนท้ายคงมีส่วนที่ไม่ได้ใช้งานขนาด 1 ไบต์



รูปที่ 2.25 โครงสร้างแพ็คเกจ AAL3/4 ในชั้นสื่อสาร CS

เมื่อโพรโตคอล CS ได้สร้างแพ็คเกจตามโครงสร้างข้างบนนี้แล้วก็จะส่งต่อไปยังโพรโตคอล ซาร์ ซึ่งจะแบ่งย่อยแพ็คเกจออกเป็นส่วนเล็กๆ ขนาด 44 ไบต์ ในกรณีที่ใช้เทคนิคการใช้ช่องสื่อสารร่วมกัน (Multiplexing) CS จะสร้างแพ็คเกจขึ้นมาหลายชุดภายในตัวเองแล้วจึงค่อยส่งข้อมูลส่วนละ 44 ไบต์ของแต่ละแพ็คเกจมายัง ซาร์ สลับกันไปตามลำดับที่ต้องการ

โพรโตคอล ซาร์ จะใส่ข้อมูล 44 ไบต์ลงในเซลล์ซึ่งมีโครงสร้างดังในรูป 2.26 เซลล์เหล่านี้จะถูกส่งไปยังปลายทางและประกอบกลับเป็นข้อมูลตามโครงสร้างเดิม ในระหว่างนี้อาจมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลและอาจมีการแก้ไขเกิดขึ้นได้



รูปที่ 2.26 โครงสร้างเซลล์ AAL3/4

เขตข้อมูล ST (Segment Type) ใช้กำหนดขอบเขตของข่าวสารคือ เซลล์นั้นเป็นส่วนแรก, ส่วนกลาง, ส่วนท้ายสุดของข่าวสาร, หรือเป็นเซลล์เดี่ยว ต่อมาคือเขตข้อมูล SN (Sequence Number) บอกรหัสเลขลำดับของเซลล์ทำให้สามารถตรวจหาเซลล์ที่สูญหายหรือเซลล์ที่อยู่ในลำดับที่ไม่ถูกต้องได้ ในการใช้ช่องสื่อสารร่วมกัน เขตข้อมูล MID (Multiplexing ID) ถูกนำมาใช้บอกรหัสเลขช่องสื่อสาร (Session) ของเซลล์นั้นๆ เนื่องจากเซลล์จากช่องสื่อสารต่างๆ อาจถูกส่งมาผสมในลำดับใดก็ได้ ข้อมูลส่วนท้ายยังมีตัวเลขบอกขนาดของข้อมูลที่อยู่ในเซลล์ และ CRC สำหรับตรวจสอบความ

ถูกต้องของข้อมูลอยู่ด้วย สำหรับการใช้นี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรดสังเกตว่าโปรโตคอล AAL3/4 นี้ต้องเพิ่มข้อมูลสำหรับการควบคุมเข้าไป 8 ไบต์ต่อข่าวสาร 1 ชิ้นและ 4 ไบต์สำหรับทุกเซลล์ที่ใช้ซึ่งนับว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างจะแพงมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการส่งข่าวสารขนาดสั้น

2.3.4.5 โปรโตคอล AAL5

โปรโตคอล AAL1 ถึง AAL3/4 นั้นได้รับอิทธิพลพื้นฐานมาจากวงการอุตสาหกรรมโทรคมนาคม ซึ่งได้ถูกนำมาปรับปรุงกำหนดเป็นมาตรฐานโดยคณะกรรมการ ITU ต่อมาผู้คนในวงการอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์เริ่มต้นตัวและได้ทำการศึกษาโปรโตคอลเหล่านี้อย่างจริงจังโดยเฉพาะอย่างยิ่งรูปแบบโครงสร้างแพคเกจของข้อมูลดังแสดงในรูป 2.26 จึงได้พบปัญหาความซับซ้อนและไม่มีประสิทธิภาพในการทำงานประกอบกับการกำหนดให้มีข้อมูลสำหรับการตรวจสอบ (Checksum) อยู่เพียง 10 บิตซึ่งไม่พอกับการใช้งานจริง ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานขึ้นมาเรียกว่า ซีล (Simple Efficient Adaptation Layer/SEAL) ต่อมาคณะกรรมการ เอทีเอ็มฟอรัม (ATM Forum) ได้ทำการศึกษาโปรโตคอลใหม่นี้และให้การยอมรับโดยการเปลี่ยนชื่อเพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานเดิมเป็น AAL5



รูปที่ 2.27 โครงสร้างข้อมูลในชั้นสื่อสาร CS ของระบบเอทีเอ็ม

โปรโตคอล AAL5 ได้เพิ่มบริการต่างๆ เข้าไปหลายอย่างเช่น การรับประกันการนำส่งข้อมูล (Reliable Service) มีวิธีการควบคุมการไหลของข้อมูลเพื่อป้องกันไม่ให้ข้อมูลใหม่เขียนทับข้อมูลเก่าที่ยังไม่ได้ถูกประมวลผล ส่วนบริการที่เน้นความรวดเร็วโดยไม่รับประกันการนำส่ง (Unreliable Service) ได้เพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้รับโดยสามารถเลือกที่จะไม่รับหรือรับข้อมูลไปใช้แม้ว่าข้อมูลนั้นจะไม่ครบถ้วนก็ตาม (มีความจำเป็นสำหรับการส่งข้อมูลประเภทเสียงหรือวิดีโอซึ่งไม่จำเป็นจะต้องได้รับข้อมูลที่ถูกต้องครบถ้วนตลอดเวลา) นอกจากนี้ยังได้เพิ่มการให้บริการเผยแพร่ข่าวสารแบบจุดเดียว (Unicast) และแบบหลายจุด (Multicast) ด้วย

โปรโตคอลนี้สนับสนุนการนำส่งข้อมูลทั้งแบบข่าวสารสั้น (Short Message) และแบบข่าวสารยาว (Stream Mode) ในแบบแรกผู้ใช้สามารถส่งค่าไทม์ไครมที่มีความยาวระหว่าง 1 ถึง 65535 ไบต์ไปยังโปรโตคอล AAL เพื่อนำส่งผู้รับปลายทางทั้งแบบรับประกันและแบบไม่รับประกันการนำส่งข้อมูลจะถูกห่อหุ้มไว้ในโครงสร้างดังรูป 2.27 ซึ่งมีข้อมูลส่วนท้ายขนาด 8 ไบต์และมีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

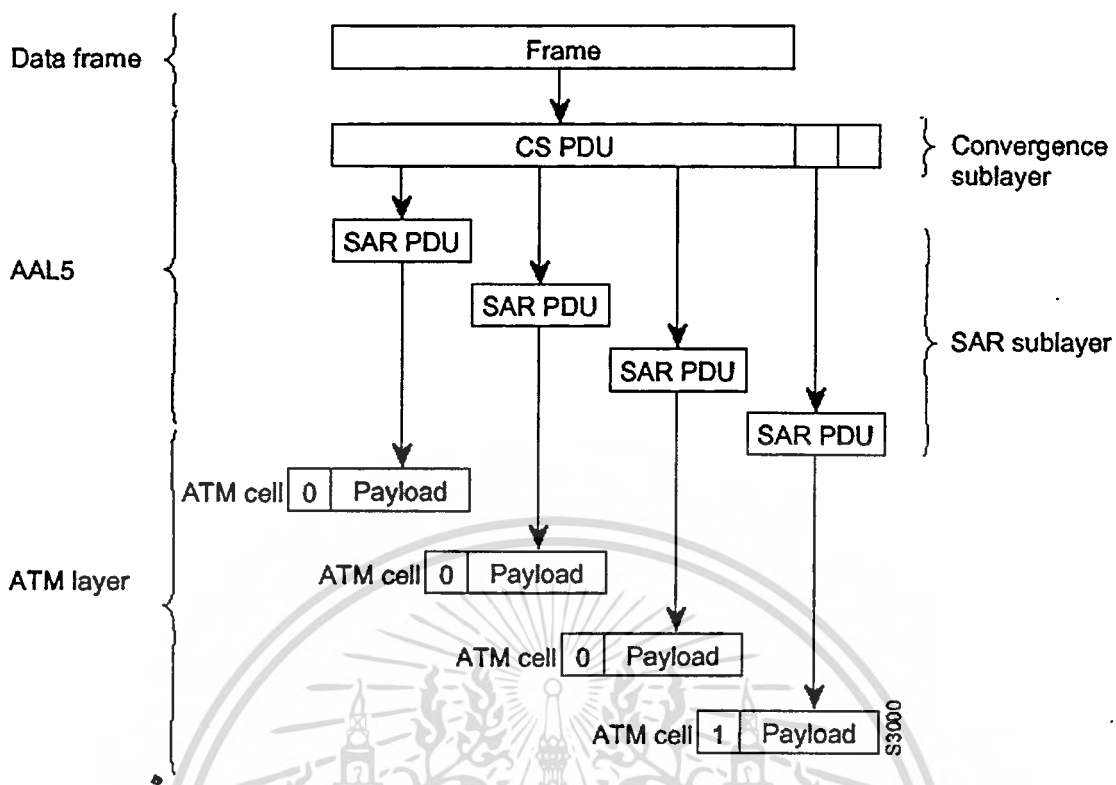
เสริม (Padding) ขนาดระหว่าง 0 ถึง 47 ไบต์เพื่อให้ข้อมูลทั้งหมดมีความยาวเป็นจำนวน n เท่าของ 48 ไบต์

เขตข้อมูล UU (User to User) ขนาด 1 ไบต์ถูกเตรียมไว้สำหรับโปรแกรมส่วนอื่นที่จะนำไปใช้ประโยชน์เช่น ใช้บันทึกหมายเลขลำดับเซลหรือหมายเลขช่องสื่อสาร เขตข้อมูลฟิลด์ (Field) บอกขนาดที่แท้จริงของข่าวสาร ถ้ามีขนาดศูนย์ไบต์แสดงว่าผู้ส่งต้องการยกเลิกการส่งข้อมูลชุดนี้ ส่วน CRC ขนาด 32 บิตใช้สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล เขตข้อมูลขนาด 1 ไบต์ที่ว่างอยู่นั้นสำรองเอาไว้ใช้งานในอนาคต

สิ่งที่น่าสนใจเกิดขึ้นเมื่อโพรโตคอลนี้บังคับให้โพรโตคอล เอทีเอ็ม กำหนดค่าบิต PTI เป็น 1 ในเซลสุดท้ายของทุกๆ ข่าวสารที่ส่งออกไปเพื่อแยกข่าวสารแต่ละชุดออกจากกัน การกระทำเช่นนี้เป็นการละเมิดกฎพื้นฐานของมาตรฐาน OSI ที่ไม่ยินยอมให้โพรโตคอลสื่อสารชั้นหนึ่งเข้าไปจัดการการทำงานของโพรโตคอลชั้นอื่นๆ

รูปที่ 2.28 แสดงการจัดเตรียมเซลในการส่งข้อมูลของ AAL5 ในตอนแรก ที่คอนเวอร์จันซ์ซับเลเยอร์ (Convergence Sublayer) เฟรมที่เข้ามาจะถูกพ่วงท้ายด้วยแพด (Pad) และ ส่วนท้าย (Trailer) ขนาด 8 ไบต์ แพดมีไว้สำหรับปรับแต่งเฟรมที่เข้ามาให้พอดีกับขนาด 48 ไบต์ของเอทีเอ็มเซล ส่วนท้ายที่เพิ่มเข้ามาประกอบไปด้วย ความยาวของเฟรมและซีอาร์ซีขนาด 32 บิต ซึ่งทำให้ AAL5 ที่ปลายทางสามารถตรวจสอบความผิดพลาดของบิตและการสูญหายของเซลหรือเซลที่ผิดพลาดได้

ถัดมาชั้นย่อยซาร์ จะแบ่ง CS PDU ออกเป็นก้อนย่อยๆ ก้อนละ 48 ไบต์ จากนั้นเอทีเอ็มก็นำส่วนนี้เป็นเปย์โหลด (Payload) ของเอทีเอ็มเซล สำหรับทุกเซลยกเว้นเซลสุดท้ายของเฟรม ส่วนพีที (PT) จะเป็น 0 แต่ถ้าเป็นเซลสุดท้ายของเฟรม ส่วนพีทีจะเป็น 1 AAL5 ส่วนมากมักใช้ในการสื่อสารข้อมูลที่ไม่ใช่ SMDS เช่น คลาสสิกัลไอพีโอเวอร์เอทีเอ็ม (Classical IP over ATM) และ แลนจำลอง (LAN Emulation)



รูปที่ 2.28 การจัดเตรียมเซลล์ในการส่งข้อมูลของAAL5

โพรโทคอล AAL5 มีประสิทธิภาพในการทำงานเหนือกว่าโพรโทคอล AAL3/4 มากเนื่องจากในแบบเดิมนั้นจะเพิ่มข้อมูลควบคุมเข้าไป 4 ไบต์ต่อข่าวสารหนึ่งชิ้น และอีก 4 ไบต์ในทุกๆเซลล์ที่ใช้ซึ่งมีค่าความสูญเสียประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์สำหรับข่าวสารขนาดยาว สำหรับโพรโทคอล AAL5 แม้ว่าจะใส่ข้อมูลควบคุมเข้าไปถึง 8 ไบต์ต่อข่าวสารหนึ่งชิ้น แต่ก็ไม่มีการเติมข้อมูลใดๆ เพิ่มเข้าไปในเซลล์ที่ใช้ส่งเลย และถึงจะไม่มีการนำหมายเลขลำดับมาใช้แต่ก็ชดเชยด้วยการใช้ข้อมูลตรวจสอบ (Checksum) ขนาด 32 บิตซึ่งสามารถทำหน้าที่ตรวจสอบหาเซลล์ที่สูญหายหรือเซลล์ที่อยู่ในลำดับที่ไม่ถูกต้องได้เหมือนกัน

มาตรฐาน RFC 1483 และ RFC 1577 ได้กล่าวถึงรายละเอียดในการส่งข้อมูล ไอพีแพคเกจเข้าไปไว้ภายในโครงสร้างข้อมูล AAL5 เพื่อส่งผ่านเครือข่ายเอทีเอ็ม

2.3.4.6 เปรียบเทียบโพรโทคอล AAL แบบต่างๆ

ตารางที่ 2.2 แสดงความแตกต่างของโพรโทคอล AAL ที่กล่าวมาในด้านประสิทธิภาพ, การจัดการข้อผิดพลาด, การใช้ช่องสัญญาณร่วม, และความสัมพันธ์ระหว่างชั้นสื่อสารย่อยของ AAL

ตารางที่ 2.2 ข้อแตกต่างระหว่าง โพรโตคอล AAL ประเภทต่างๆ

Item	AAL 1	AAL 2	AAL 3/4	AAL 5
Service class	A	B	C/D	C/D
Multiplexing	No	No	Yes	No
Message delimiting	None	None	Btag/Etag	Bit in PTI
Advance buffer allocation	No	No	Yes	No
User bytes available	0	0	0	1
CS padding	0	0	32-Bit word	0–47 bytes
CS protocol overhead (bytes)	0	0	8	8
CS checksum	None	None	None	32 Bits
SAR payload bytes	46–47	45	44	48
SAR protocol overhead (bytes)	1–2	3	4	0
SAR checksum	None	None	10 Bits	None

จากภาพรวมที่ปรากฏพบว่าโพรโตคอล AAL1 นั้นเกือบจะไม่มีมีความสำคัญเลย AAL2 ก็ไม่สามารถทำงานได้อย่างจริงจัง AAL3 และ AAL4 ก็ไม่ถูกนำมาใช้งานในขณะที่ AAL3/4 ก็ไม่มีประสิทธิภาพและมีความสามารถในการตรวจสอบข้อผิดพลาดที่จำกัดมาก อนาคตที่น่าจะเป็นไปได้จึงมาตกอยู่ที่ AAL5 อย่างไรก็ตามก็ยังคงมีส่วนที่จะต้องได้รับการปรับปรุงเช่น ข่าวสารที่นำส่งนั้นควรมีการแยกประเภทข่าวสารทั่วไปออกจากข้อมูลสำหรับการควบคุมให้ชัดเจนซึ่งอาจจำเป็นต้องเพิ่มหมายเลขลำดับข่าวสารอันจะทำให้สามารถรับประกันการนำส่งข้อมูลได้ ข้อบกพร่องอื่นๆหาอ่านเพิ่มเติมได้ใน Sterbenz et al. (1995) การสรุปคุณลักษณะของ AAL แต่ละประเภทได้แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สรุปคุณลักษณะของ AAL แต่ละประเภท

Characteristics	AAL1	AAL3/4	AAL4	AAL5
Requires timing between source and destination	Yes	No	No	No
Data rate	Constant	Variable	Variable	Variable
Connection mode	Connection-oriented	Connection-oriented	Connectionless	Connection-oriented
Traffic types	Voice and circuit emulation	Data	Data	Data

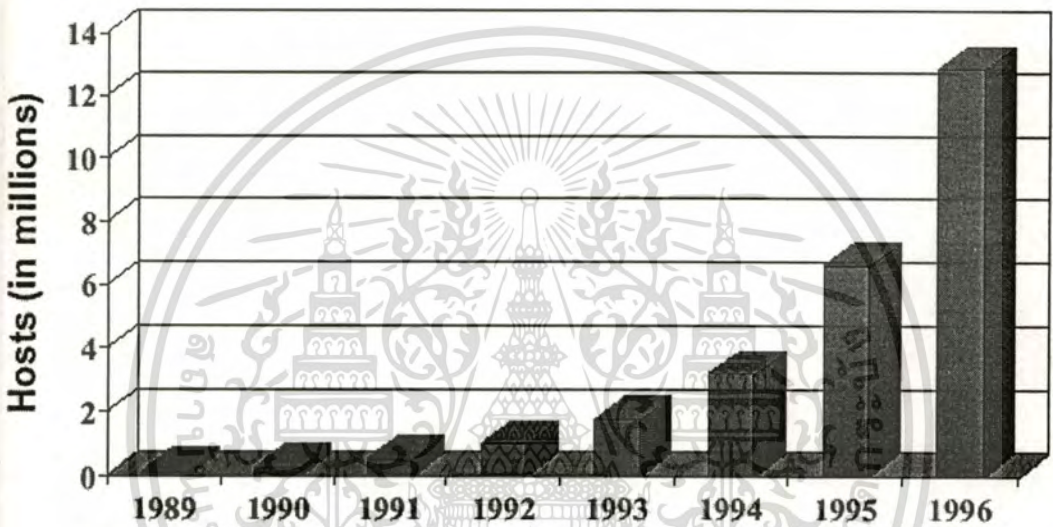
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับผู้ใช้งานที่ถือครองสิขานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

“ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้”

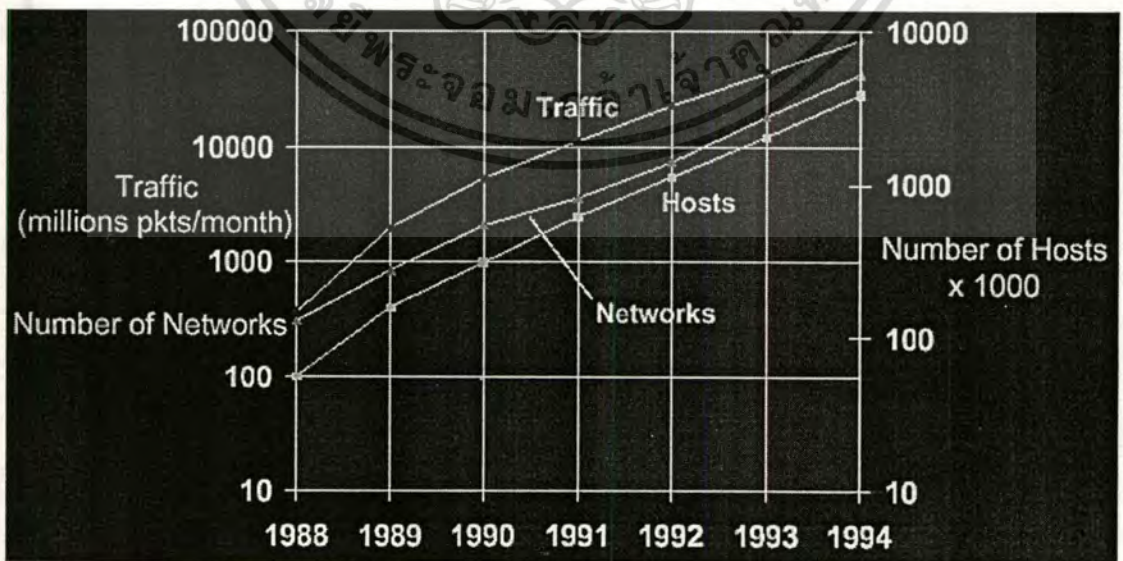
2.4 ปัญหาและแนวโน้มของเครือข่ายคอมพิวเตอร์

การเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ต และ เครือข่ายทางการค้า (Private Enterprise Network) โดยประมาณว่าจำนวนของโฮสในอินเทอร์เน็ตจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ในทุกๆ 56 สัปดาห์ ดังรูปที่ 2.29 จำนวนของเว็บเซิร์ฟเวอร์ (WEB Server) จะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าในทุกๆ 23 สัปดาห์ ทำให้การจราจรในเครือข่ายเพิ่มสูงขึ้นเป็นเงาตามตัว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.30

The Internet



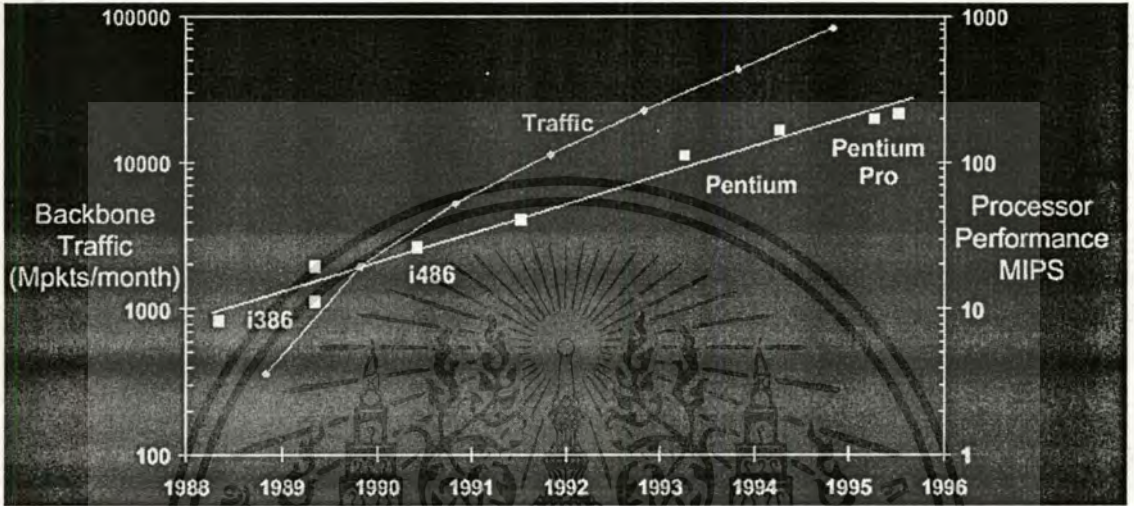
รูปที่ 2.29 สถิติจำนวนของโฮสในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต



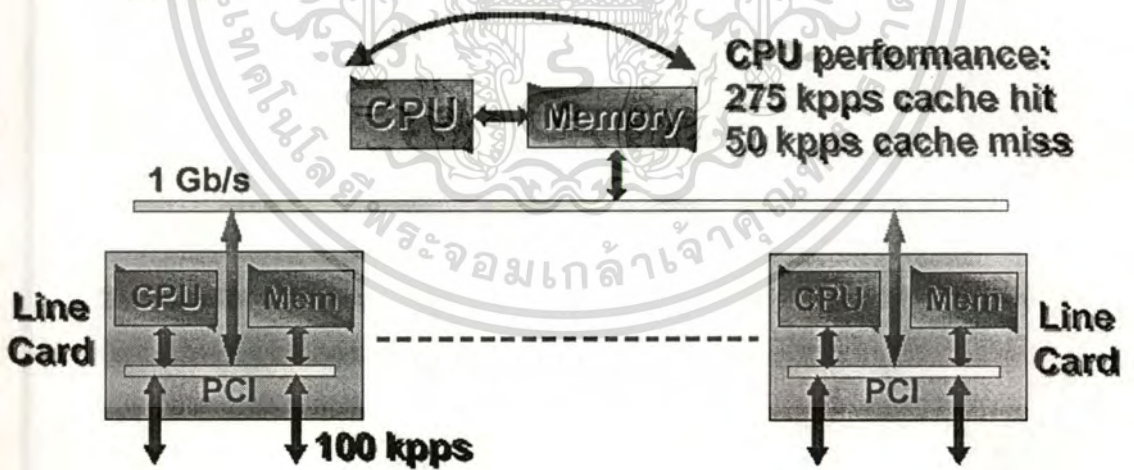
รูปที่ 2.30 การเพิ่มขึ้นของปริมาณการจราจรในอินเทอร์เน็ตเทียบกับจำนวนโฮสและเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจริญเติบโตของการจราจรนี้ เริ่มเป็นข้อจำกัดของดีไซน์ระบบดั้งเดิมที่ใช้ ตัวประมวลผลกลางในการทำงาน (Processor-Based Design) ของตัวหาเส้นทาง (Router) ในปัจจุบัน จากรูปที่ 2.31 แสดงให้เห็นว่าตั้งแต่ประมาณปลายปี ค.ศ. 1989 เป็นต้นมา ปริมาณการจราจรในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับการพัฒนาทางด้าน ตัวประมวลผลกลาง ซึ่งได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วก็จริงแต่ก็ไม่ทันกับปริมาณของการจราจรที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.31 การเพิ่มขึ้นของปริมาณการจราจรในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเทียบกับการพัฒนาตัวประมวลผลกลาง

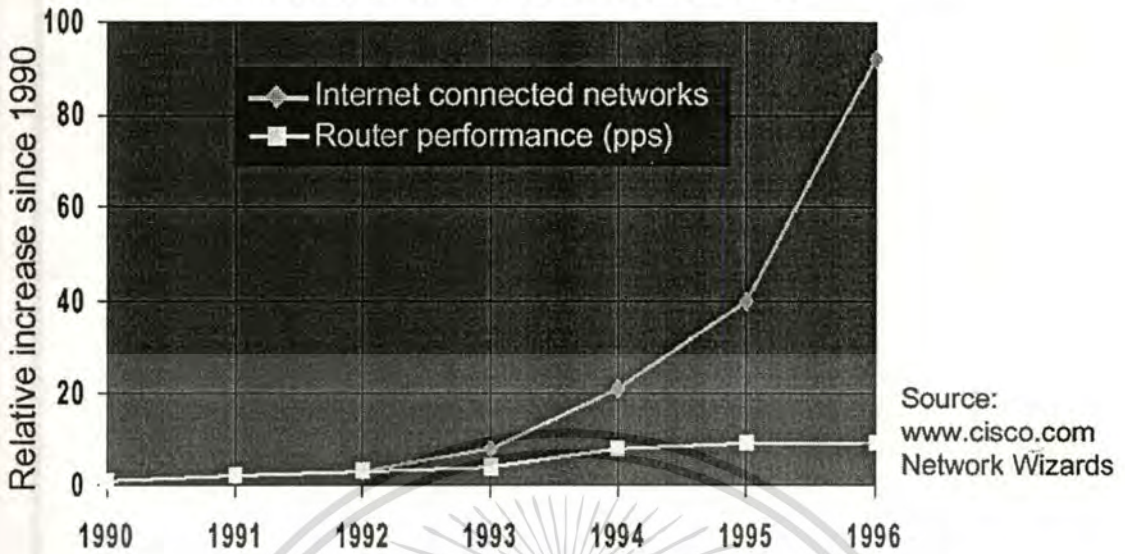


- *Distributed*: 11 slots × 100 kpps = 1.1 Mpps
- *Centralized* = 275 k pps
- *Multicast traffic* = 50 k pps

รูปที่ 2.32 สถาปัตยกรรมของตัวหาเส้นทางในปัจจุบันที่ใช้ตัวประมวลผลกลางในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Growth in number of networks connected to Internet vs. growth in router performance



รูปที่ 2.33 สมรรถภาพของตัวหาเส้นทางเทียบกับจำนวนเครือข่ายที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 2.32 แสดงให้เห็นถึง สถาปัตยกรรมของตัวหาเส้นทางในปัจจุบันที่ใช้ตัวประมวลผลกลางในการทำงานร่วมกับระบบบัส (Bus) ซึ่งโดยรวมแล้วตัวหาเส้นทางในปัจจุบันยังใช้หลักการทำงานหลักๆ ไม่ต่างจากตัวหาเส้นทางในอดีต ซึ่งขีดจำกัดของมันขึ้นอยู่กับความเร็วในการทำงานของตัวประมวลผลกลางและความเร็วของระบบบัสเป็นหลัก รูปที่ 2.33 แสดงถึงการเปรียบเทียบระหว่างสมรรถภาพของตัวหาเส้นทางเทียบกับจำนวนเครือข่ายที่เพิ่มขึ้น โดยใช้ข้อมูลในปี ค.ศ. 1990 เป็นฐานในการเปรียบเทียบ จะเห็นได้ชัดเจนว่าในอนาคตสมรรถภาพของตัวหาเส้นทาง จะไม่สามารถรับมือกับจำนวนเครือข่ายที่เพิ่มขึ้นได้

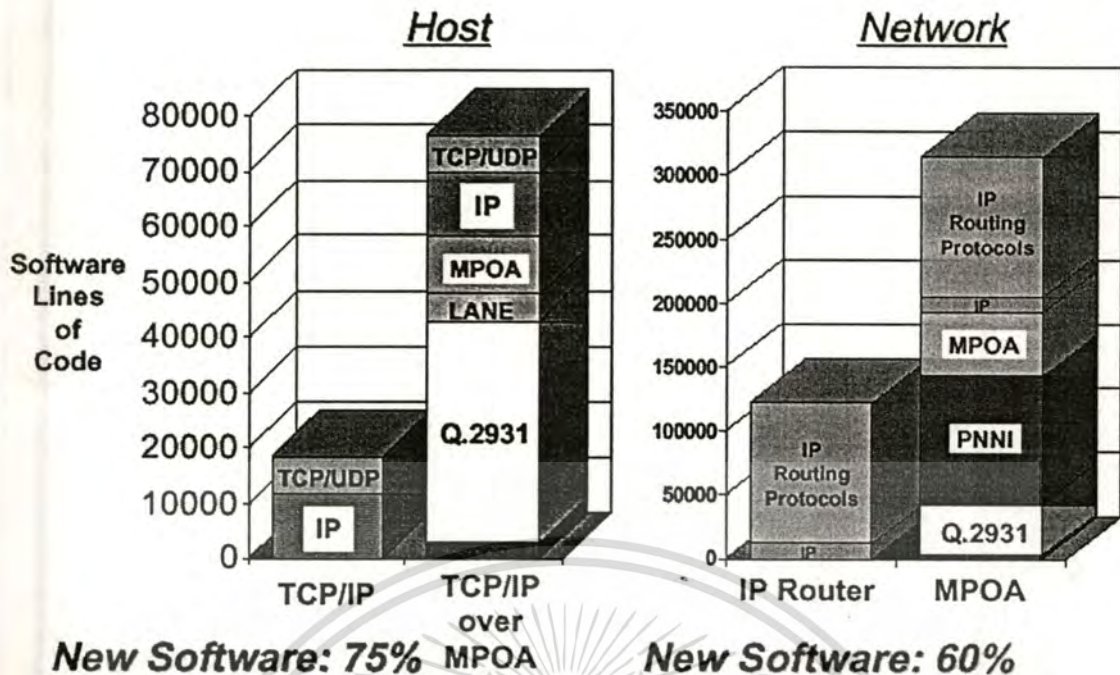
อย่างไรก็ตามดีไซน์แบบดั้งเดิมของ ตัวหาเส้นทางแบบแพ็คเกจ-สวิตช์ (Packet - Switched Router) ซึ่งเป็นรากฐานของอินเทอร์เน็ตกำลังเริ่มที่จะหมดไป ตัวหาเส้นทางที่มีอยู่มีราคาแพงและมีทราฟฟิค (Throughput) ที่จำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับสวิตช์ ยกตัวอย่างเช่น ผู้ผลิตที่เป็นที่รู้จักกันดีที่ผลิตทั้งตัวหาเส้นทางและเอทีเอ็มสวิตช์ ในปัจจุบันคิดราคา 187,000 เหรียญสหรัฐ สำหรับตัวหาเส้นทางที่มีความเร็ว 1 จิกะบิต/วินาที และ 4,100 เหรียญสหรัฐ สำหรับเอทีเอ็มสวิตช์ที่มีความเร็ว 5 จิกะบิต/วินาที ดังนั้นในตัวอย่างนี้ ในกรณีที่ทำให้ทราฟฟิครวมมีค่าเท่ากัน การทำเร้าท์ติ้ง (Routing) จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการทำสวิตช์ซึ่ง (Switching) ถึง 20 เท่า แม้ว่าจะมีความพยายามที่จะสร้างตัวหาเส้นทางให้มีความเร็วพอๆ กันกับเอทีเอ็มสวิตช์ที่มีในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามความซับซ้อนของตัวหาเส้นทางที่มีมากกว่าเอทีเอ็มสวิตช์ในการส่งผ่านไอพีแพ็คเกจ ทำให้แน่ใจได้ว่าการทำเร้าท์ติ้ง ยังคงมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการทำสวิตช์ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

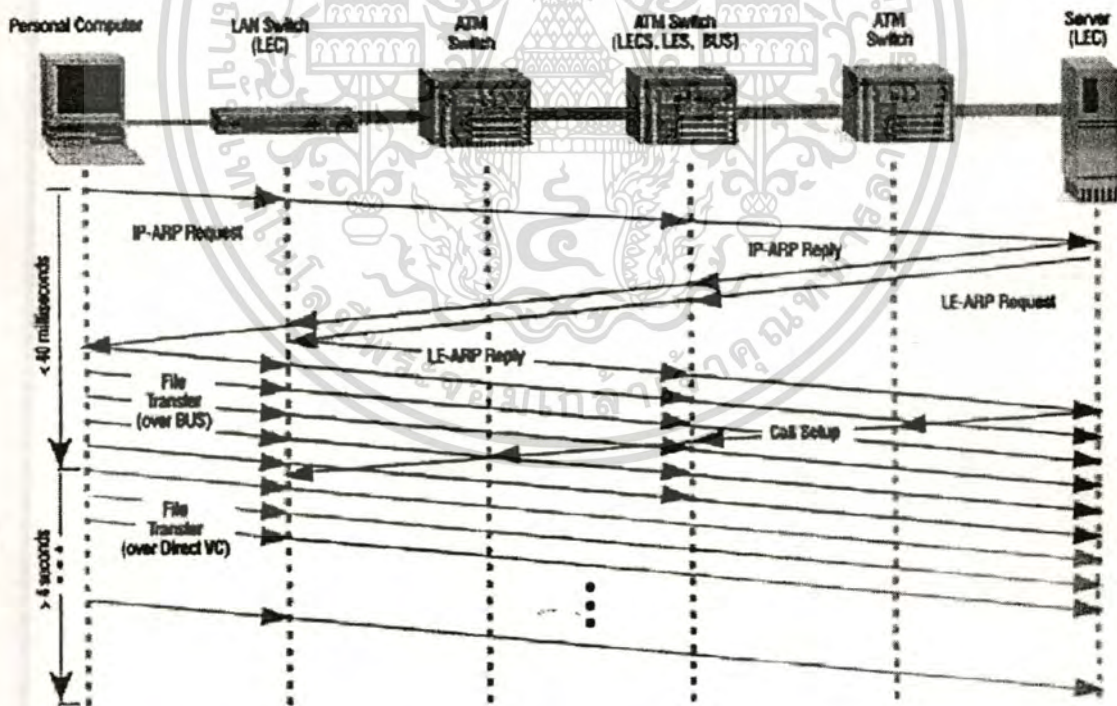
ATM สามารถปรับสเกลได้ทั้ง ลิงค์แบนด์วิดท์ (Link Bandwidth) และความจุของสวิตช์ (Switch Capacity) และมันยังเหมาะที่ใช้ วงจรรวมที่มีความจุสูงมาก (Very Large Scale Integration /VLSI) ในการสร้างมันขึ้นมา อีกทั้งยังมีความน่าสนใจตรงที่ เอทีเอ็มสัญญาว่าจะลดราคาลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากปริมาณการผลิตจำนวนมากๆ เราจึงสนใจที่จะใช้เอทีเอ็มสวิตช์ เพราะฮาร์ดแวร์ที่มีความเป็นมาตรฐานและหาได้ง่าย, มันเร็ว, และราคายังลดลงได้อีก อย่างไรก็ตามเอทีเอ็มเป็นเทคโนโลยี สวิตช์ซึ่งแบบ คอนเน็คชันโอเรียน (Connection - Oriented Switching Technology)

อินเตอร์เน็ตโพรโตคอล (IP) ถูกสร้างอยู่ในระดับชั้นในการทำงานที่ต่ำมาก (Very Low - Level Building Block) ของการทำการส่งผ่าน ไม่มีการคาดหมายเส้นทางที่จะส่งผ่านแพ็คเก็ตไว้เกินกว่าส่วนที่ทำอยู่เอาไว้ล่วงหน้าไปจนถึงปลายทาง วิธีนี้ทำให้อินเตอร์เน็ตโพรโตคอลสามารถทำงานอยู่บนย่านที่กว้างมากของ เน็ตเวิร์คที่มีความหลากหลายทางเทคโนโลยี หลากๆ ประเภท ของการบริการสื่อสารเกิดขึ้นจากการประยุกต์ใช้บริการส่งผ่านพื้นฐาน (Basic Forwarding Service) โดอะแกรมการส่งผ่านไม่ต้องการสถานะในการดูแลการเชื่อมต่อในแต่ละตัว ซึ่งได้ทดลองแล้วว่า มันมีความทนทานต่อความล้มเหลวเป็นอย่างสูงมาก

การนำเอาเอทีเอ็มซึ่งเป็นคอนเน็คชันโอเรียน (Connection Oriented) มาใช้งานกับไอพีซึ่งเป็น คอนเน็คชันเลส (Connectionless) นั้นมีอุปสรรคอยู่ที่ ทำอย่างไรจึงสามารถใช้ความเร็วและความจุที่สูงของฮาร์ดแวร์ของเอทีเอ็มสวิตช์ได้ โดยที่ด้อยไม่สูญเสียความสามารถในการปรับขนาดได้ (Scalability) ความยืดหยุ่น (Flexibility) และความทนทานของไอพี มีหลายวิธีด้วยกันที่จะใช้ไอพีบนเครือข่ายเอทีเอ็ม เช่น แลนจำลอง (LAN Emulation), คลาสสิกคัลไอพีโอเวอร์เอทีเอ็ม (Classical IP Over ATM), เอนเออาร์พี (NARP), เน็กซ์ฮอปรีโซลูชัน (Next - Hop Resolution) และ มัลติโพรโตคอลโอเวอร์เอทีเอ็ม (Multiprotocol Over ATM) วิธีทั้งหมดที่กล่าวมานั้นจะปกปิดลักษณะทางกายภาพที่แท้จริงของเครือข่ายออกจากชั้นของโพรโตคอลในการหาเส้นทางซึ่งมองมันเหมือนเป็นกล่องดำกล่องหนึ่งเป็นผลให้เกิดปัญหาที่สำคัญ อย่างแรกคือ ความซ้ำซ้อนของหน้าที่การทำงาน ที่ทั้งไอพี และเอทีเอ็มต้องใช้ในการหาเส้นทาง อย่างที่สองคือต้องมีการจัดการการโต้ตอบในการทำงานระหว่างไอพีกับเอทีเอ็ม ซึ่งปัญหาทั้งสองนี้จะนำไปสู่ความไม่มีประสิทธิภาพและความยุ่งยากซับซ้อนในการทำงาน ดังรูปที่ 2.34 แสดงให้เห็นถึงจำนวนโพรโตคอลที่เพิ่มขึ้นในการนำเอาไอพีมาใช้กับเอทีเอ็มในแบบมัลติโพรโตคอลโอเวอร์เอทีเอ็ม (MPOA) ทั้งในฝั่งโฮสและฝั่งเครือข่าย ซึ่งแต่ละโพรโตคอลที่เพิ่มขึ้นนี้มักมีหน้าที่ในการทำงานที่ทับซ้อนกัน จึงทำให้เกิดความไม่มีประสิทธิภาพและความยุ่งยากซับซ้อนในการทำงาน ส่วนรูปที่ 2.35 นั้นแสดงให้เห็นถึงการทำงานของแลนจำลอง (LAN-E) ซึ่งกว่าจะเกิดการสื่อสารข้อมูลได้นั้นต้องผ่านขั้นตอนถึง 14 ขั้นตอน และใช้เวลามากกว่า 4 วินาทีในแต่ละการเชื่อมต่อ



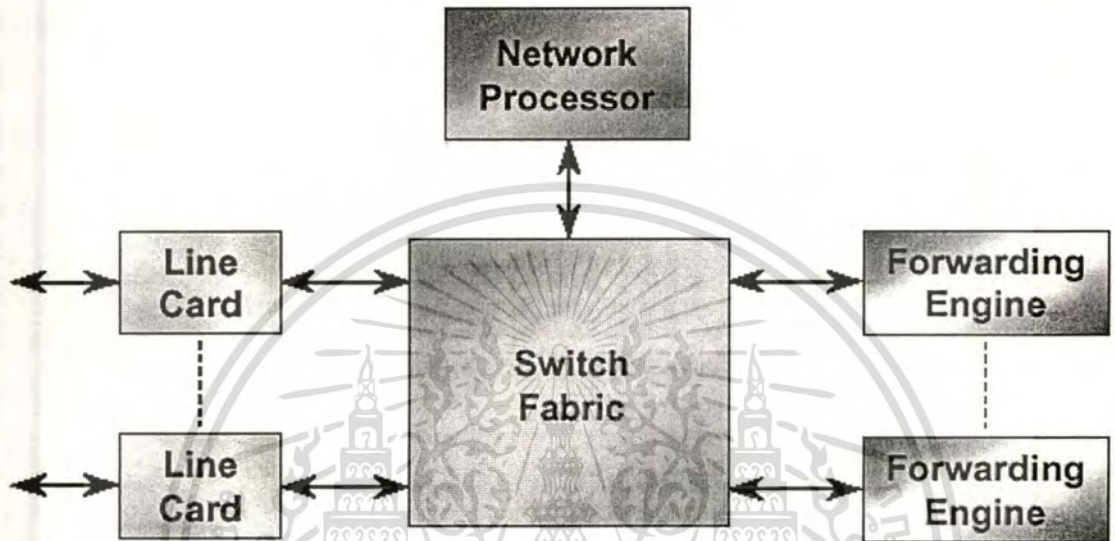
รูปที่ 2.34 จำนวน โพรโตคอลที่เพิ่มขึ้นในการนำเอาไอพีมาใช้กับเอทีเอ็มในแบบมัลติโพรโตคอล โอเวอร์เอทีเอ็มทั้งในฝั่งโฮสและฝั่งเครือข่าย



รูปที่ 2.35 การทำงานของแลนจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มในอนาคตของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องใช้ตัวหาเส้นทางที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อรับมือกับปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นในแต่ละวัน และด้วยเหตุนี้ตัวหาเส้นทางจึงต้องเปลี่ยนจากการทำเราท์ติ้งมาเป็นการทำสวิตช์ซึ่งในเลเยอร์ 3 หรือที่เรียกกันว่า เน็ตเวิร์คเลเยอร์สวิตช์ โดยมีลักษณะโครงสร้างการทำงานดังรูปที่ 2.36 ซึ่งมีตัวสวิตช์ซึ่งความเร็วสูงอยู่เป็นแกนหลักในการทำงานและถูกควบคุมโดยตัวประมวลผลเครือข่าย (Network Processor)



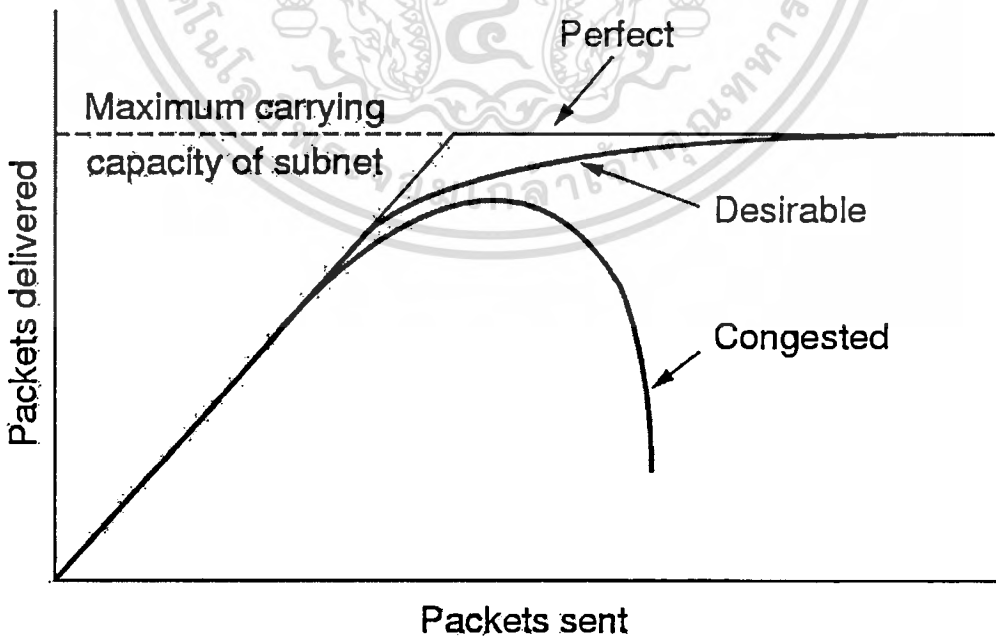
รูปที่ 2.36 โครงสร้างตัวหาเส้นทางในอนาคต

บทที่ 3

การควบคุมความคับคั่งของข้อมูล (Congestion Control)

3.1 บทนำ

ความคับคั่งของข้อมูล (Congestion) คือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบางส่วนในระบบเครือข่าย เมื่อมีจำนวนแพ็คเกจที่รอคอยการนำส่งมากเกินไป อันจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของระบบลดลง กราฟในรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบเมื่อเปรียบเทียบระหว่างจำนวนแพ็คเกจที่ถูกส่งเข้าสู่ระบบ (Packets Sent) กับจำนวนแพ็คเกจที่ส่งถึงตัวผู้รับแล้ว (Packet Delivered) ในภาวะปกติโฮสต์ต่างๆจะส่งแพ็คเกจเข้าไปในระบบ ซึ่งแพ็คเกจทั้งหมดจะถูกส่งไปถึงผู้รับได้ (ยกเว้นบางแพ็คเกจที่อาจเสียหายหรือสูญหายระหว่างการนำส่ง) แสดงว่าจำนวนแพ็คเกจที่ถูกส่งนั้นเป็นอัตราส่วนที่พอเหมาะเท่ากับจำนวนแพ็คเกจที่ส่งถึงผู้รับ อย่างไรก็ตามเมื่ออัตราการส่งแพ็คเกจเข้าสู่ระบบเริ่มมีปริมาณมากขึ้นๆ ตัวหาเส้นทางเริ่มไม่สามารถจะจัดการนำส่งข้อมูลได้ทัน แพ็คเกจก็จะเกิดการสูญหายมากขึ้นและก็มีแนวโน้มที่จะแย่ง ในที่สุดตัวหาเส้นทาง (Router) จะไม่สามารถจะจัดการนำส่งข้อมูลได้อีกต่อไป สมรรถนะในการทำงานของระบบก็อาจจะพังลงอย่างราบคาบ และไม่มีแพ็คเกจใดส่งถึงผู้รับได้เลย



รูปที่ 3.1 เมื่อปริมาณข้อมูลในระบบเครือข่ายมีมากเกินไปจะเกิดความคับคั่งทำให้ประสิทธิภาพลดลงอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคับคั่งเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ เช่น แพคเกจจำนวนหนึ่งถูกส่งมาจากสายสื่อสารหลายๆ เส้นในทันทีทันใดพร้อมๆกัน และแพคเกจทั้งหมดจะต้องถูกส่งออกไปทางสายสื่อสารเส้นเดียวกันอีก ตัวหาเส้นทางนั้นจะต้องสร้างแถวคอย (Queue) โดยกำหนดให้หน่วยความจำส่วนหนึ่งเป็นที่สำหรับเก็บแพคเกจที่พร้อมจะนำส่งและถ้าหน่วยความจำไม่สามารถจะรองรับจำนวนแพคเกจทั้งหมดได้ก็จะทำให้แพคเกจจำนวนหนึ่งสูญหายไป การเพิ่มขนาดของหน่วยความจำสำหรับแถวคอยอาจช่วยแก้ปัญหานี้ได้แต่ Nagle (1987) พบว่าถ้าให้ตัวหาเส้นทางมีขนาดหน่วยความจำอย่างไม่จำกัดแล้ว ความคับคั่งจะยิ่งแย่ลงไปอีกเพราะผู้ส่งจะตั้งกำหนดเวลาไว้สำหรับการรอคอยแพคเกจตอบรับจากผู้รับข้อมูลเรียกว่า ไทม์เอาต์ (Time Out) เมื่อหมดเวลาดังกล่าวผู้ส่งแพคเกจจะคิดว่าแพคเกจที่ส่งออกไปนั้นสูญหายไปแล้ว ดังนั้นจึงส่งแพคเกจสำเนา (Duplicate Packet) เข้ามาในระบบ อันที่จริงแล้วแพคเกจที่ส่งมาครั้งแรกไม่ได้สูญหายไปไหนแต่ยังคงอยู่ในแถวคอยของตัวหาเส้นทางตัวใดตัวหนึ่ง การกระทำเช่นนี้จึงเป็นการเพิ่มปริมาณงานให้ระบบโดยไม่จำเป็น

การใช้หน่วยประมวลผลที่ทำงานช้าก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของความคับคั่ง ถ้าหน่วยประมวลผลของตัวหาเส้นทางทำงานได้ช้าในการบริหารงานภายใน ได้แก่ การสร้างและการจัดการแถวคอย (Queue Buffer) และการปรับปรุงข้อมูลในตาราง (Update Table) เป็นต้น ก็จะทำให้แพคเกจที่เข้ามาเริ่มเกิดการสะสมในแถวคอยมากขึ้นเป็นลำดับแม้ว่าสายสื่อสารจะสามารถส่งข้อมูลได้เร็วมากก็ตาม การใช้สายสื่อสารที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลต่ำ (Low Bandwidth Line) ก็ทำให้เกิดความคับคั่งข้อมูลได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นการปรับปรุงสายสื่อสารแต่ไม่เปลี่ยนหน่วยประมวลผล หรือเปลี่ยนหน่วยประมวลผล แต่ไม่ปรับปรุงสายสื่อสารก็อาจจะช่วยได้เพียงเล็กน้อย ผลที่เกิดขึ้นเป็นเพียงการขยับจุดที่สร้างปัญหาไปอยู่ที่อื่นเท่านั้น จากที่กล่าวมานี้สามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงส่วนประกอบของระบบเพียงบางส่วนแต่ไม่ปรับปรุงทั้งระบบนั้นไม่ได้เป็นการแก้ปัญหาแต่อย่างใด นั่นคือส่วนต่างๆ ในระบบยังทำงานไม่สอดคล้องกัน

ความคับคั่งของข้อมูลที่เกิดขึ้นในบางส่วนของระบบ มีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดความคับคั่งขึ้นที่ส่วนอื่นๆ ตามไปด้วยอันจะทำให้สถานการณ์โดยรวมแย่ลงไปอีก ถ้าพื้นที่เก็บข้อมูลในตัวหาเส้นทางเต็ม ตัวหาเส้นทางก็จำเป็นต้องละทิ้งแพคเกจที่เพิ่งรับเข้ามา และเมื่อแพคเกจถูกทิ้งไปแล้วตัวหาเส้นทางผู้ส่งจะต้องส่งแพคเกจนั้นใหม่ บางกรณีอาจส่งซ้ำหลายครั้งจนกว่าจะได้รับการตอบรับจากผู้รับข้อมูล ความคับคั่งของข้อมูลในตัวหาเส้นทางทางฝั่งผู้รับนั้นจะบีบบังคับให้ตัวหาเส้นทางทางฝั่งผู้ส่งระงับการรับข้อมูลในแถวคอยทิ้ง ทำให้เกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อตัวหาเส้นทางตัวอื่นๆด้วย

การควบคุมความคับคั่งของข้อมูล (Congestion Control) กับการควบคุมการไหลของข้อมูล (Flow Control) มีความสัมพันธ์กันอย่างลึกซึ้ง แต่ก็สามารถชี้ให้เห็นความแตกต่างระหว่างกันได้ การควบคุมความคับคั่งของข้อมูลนั้นจะมองภาพรวมของทั้งระบบที่จะต้องทำให้เกิดความมั่นใจว่าระบบเครือข่ายย่อยสามารถรองรับปริมาณข้อมูลหมุนเวียนภายในระบบได้ องค์ประกอบที่ต้องนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้คิดเห็นใดๆ กรุณาแจ้งให้ทราบ
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาพิจารณานั้นครอบคลุมไปทั่วซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ การทำงานของโฮสและตัวหาเส้นทางทั้งหมด วิธีการรับ-ส่งข้อมูลของตัวหาเส้นทาง และปัจจัยอื่นๆที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลภายในระบบเครือข่ายย่อย

การควบคุมการไหลของข้อมูลจะพิจารณาในทางกลับกัน คือจะมองภาพการทำงานที่เกิดขึ้นระหว่างผู้ส่งและผู้รับที่เป็นความสัมพันธ์แบบจุดต่อจุด (Point - to - Point) นั่นคือจะสร้างความมั่นใจได้ว่าผู้ส่งที่ทำการส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและต่อเนื่องนั้นจะต้องไม่ส่งข้อมูลเร็วเกินกว่าที่ผู้รับจะรับไว้ได้ทั้งหมด การควบคุมการไหลของข้อมูลจะเกี่ยวข้องกับการตอบโต้โดยตรงกับผู้รับเพื่อรายงานสถานะการทำงานให้ผู้ส่งข้อมูลทราบ

เพื่อดูข้อแตกต่างระหว่างหลักการทั้งสองอย่างนี้ พิจารณาตัวอย่างของระบบที่ใช้สายเคเบิลใยแก้วที่สามารถส่งข้อมูลได้ที่ความเร็ว 1 ล้านล้านบิตต่อวินาที ซึ่งเชื่อมต่อเครื่องซูเปอร์คอมพิวเตอร์ที่พยายามจะส่งเพิ่มข้อมูลให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์บุคคลที่ความเร็ว 1 พันล้านบิตต่อวินาที ในกรณีนี้แม้ว่าจะไม่เกิดความคับคั่งของข้อมูล แต่ก็ยังต้องการการควบคุมการไหลของข้อมูลเพื่อบังคับให้เครื่องซูเปอร์คอมพิวเตอร์หยุดส่งเป็นช่วงๆ เพื่อเปิดโอกาสให้เครื่องคอมพิวเตอร์บุคคลสามารถทำงานตามได้ทัน

อีกมุมมองหนึ่งให้พิจารณาระบบเครือข่ายที่ใช้การส่งข้อมูลแบบ รับ - และ - ส่งต่อ (Store - and - Forward) ที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลล้านบิตต่อวินาทีและมีเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ 1000 เครื่อง คอมพิวเตอร์จำนวนครึ่งหนึ่งพยายามส่งเพิ่มข้อมูลด้วยความเร็ว 0.1 ล้านบิตต่อวินาที ให้แก่อีกครึ่งหนึ่งที่เหลือ ปัญหานี้จึงไม่เกี่ยวข้องกับผู้ส่งที่ส่งข้อมูลอย่างรวดเร็วไปให้ผู้รับที่ทำงานได้ช้า แต่ว่าเป็นปัญหาเกี่ยวกับปริมาณข้อมูลการสื่อสารที่มีมากเกินไปที่ระบบจะบริหารได้

เหตุที่การควบคุมความคับคั่งของข้อมูลกับการควบคุมการไหลของข้อมูลเกิดความสับสนกันอยู่บ่อยๆ ก็เป็นเพราะว่าการทำงานของอัลกอริทึมบางอย่างของวิธีการควบคุมความคับคั่งของข้อมูลนั้นมีการส่งข้อความไปบอกแหล่งข้อมูลหลายแห่งให้ส่งข้อมูลช้าลงด้วยสาเหตุสองประการคือผู้รับไม่สามารถจัดการข้อมูลในตอนนั้นได้ทัน และระบบเครือข่ายเริ่มมีปัญหาในการให้บริการ

ในหัวข้อต่อไปจะเป็นการพิจารณาวิธีการที่ใช้ในการควบคุมความคับคั่งของข้อมูล โดยเริ่มพิจารณารูปแบบทั่วไปประกอบกับวิธีการที่จะป้องกันในขั้นต้นจากนั้นเป็นวิธีการแก้ไขเมื่อเกิดความคับคั่งขึ้นในระบบ

3.2 แนวความคิดพื้นฐานในการควบคุมความคับคั่งของข้อมูล

ในระบบที่มีการทำงานแบบซับซ้อน เช่นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ จะเกิดปัญหาขึ้นมากมายเริ่มตั้งแต่การออกแบบไปจนถึงปัญหาในขณะปฏิบัติงาน จากทฤษฎีการควบคุมแบบต่างๆ ได้แบ่งแนวทางในการแก้ปัญหาออกเป็น 2 กลุ่ม คือการแก้ปัญหาแบบวงจรมีการควบคุม (Open Loop) และการ

แก้ปัญหาแบบวงจรมิด (Close Loop) หัวใจสำคัญของวิธีการแก้ปัญหาแบบวงจรมิด คือจะเริ่มต้นด้วยการพยายามออกแบบระบบให้ดีที่สุดเพื่อสร้างความมั่นใจว่าจะไม่เกิดปัญหาขึ้นเลย ดังนั้นเมื่อนำระบบไปใช้ทำงานจริงก็จะไม่มีการแก้ไขใดๆ

กระบวนการแก้ปัญหาแบบวงจรมิดประกอบด้วย (1) วิธีการตัดสินใจในการรับหรือไม่รับข้อมูลใหม่เข้ามาในระบบ (2) วิธีการตัดสินใจเมื่อจะต้องละทิ้งแพคเกจรวมทั้งวิธีการเลือกแพคเกจที่จะทิ้งไปและ (3) สร้างตารางการตัดสินใจของการทำงานตามจุดต่างๆกันในระบบ ซึ่งวิธีการทั้งหมดที่กล่าวมานี้ไม่ได้นำสถานะของระบบในขณะที่ทำงานมาร่วมพิจารณาเลย

หัวใจหลักของการแก้ปัญหาแบบวงจรมิดจะตั้งอยู่บนพื้นฐานของการนำข้อมูลสถานะของระบบในขณะนั้นเข้ามาเป็นข้อมูลสำคัญเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน 3 ขั้นตอน นำมาใช้แก้ไขความคับคั่งของข้อมูล

1. คอยจับตาระบบเพื่อค้นหาส่วนที่เกิดปัญหาความคับคั่งของข้อมูล
2. ส่งข่าวสารนี้ไปบอกยังหน่วยที่มีความรับผิดชอบในการแก้ปัญหา
3. ปรับการทำงานของระบบเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

มาตรการหลายๆ แบบสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบและค้นหาจุดที่เกิดความคับคั่งของข้อมูลภายในเครือข่ายย่อยซึ่งเป็นกระบวนการทำงานในขั้นตอนแรก ที่นิยมนำมาใช้มากคือ (1) จำนวนเปอร์เซ็นต์ของแพคเกจที่ถูกทิ้งไปเมื่อหน่วยความจำในแถวคอยไม่เพียงพอ, (2) ความยาวเฉลี่ยของจำนวนแพคเกจในแถวคอย, (3) ปริมาณแพคเกจที่ส่งมาใหม่เนื่องจากไม่ได้รับแพคเกจตอบรับภายในเวลาที่กำหนด, (4) ค่าเฉลี่ยของการรอคอยของแต่ละแพคเกจ ซึ่งตัวเลขที่กล่าวถึงทั้งหมดนี้จะมีค่าเป็นปฏิภาคโดยตรงกับระบบความคับคั่งของข้อมูลในระบบ ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความคับคั่งสูงขึ้น

ขั้นตอนที่สอง คือการส่งข่าวสารเกี่ยวกับจุดที่เกิดความคับคั่งของข้อมูลขึ้นให้แก่โนด (อาจเป็นตัวหาเส้นทางหรือโฮส) ที่สามารถแก้ไขปัญหานั้นได้ วิธีที่ง่ายและชัดเจนคือ ให้ตัวหาเส้นทางผู้ตรวจพบปัญหาทำการแจ้งข่าวนี้ไปยัง โหนดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับปัญหาโดยตรง แน่ใจว่าข่าวสารที่ส่งไปนี้จะเป็นการเพิ่มปริมาณข้อมูลเข้าไปในส่วนที่กำลังเกิดปัญหาขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงอย่างยิ่ง

อย่างไรก็ตาม หนทางหลีกเลี่ยงวิธีการแจ้งเตือนที่กล่าวถึงข้างต้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การกำหนดให้ 1 บิตหรือเขตข้อมูลของทุกๆ แพคเกจสงวนไว้เพื่อให้ตัวหาเส้นทางใส่สัญญาณแจ้งเตือนลงไป ในบิตพิเศษ หรือใส่ข้อความแจ้งเตือนลงไป ในเขตข้อมูลนี้เมื่อระดับความคับคั่งของข้อมูลสูงเกินกว่าระดับปลอดภัยที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า ตัวหาเส้นทางที่เกี่ยวข้องกับจุดที่เกิดปัญหาก็จะใส่ข่าวสารนี้ลงในทุกๆ แพคเกจเพื่อเตือนตัวหาเส้นทางข้างเคียง วิธีการนี้จึงสามารถแจ้งเตือนปัญหาที่เกิดขึ้น โดยไม่มีการเพิ่มปริมาณข้อมูลเข้าไปในระบบเลย

บางอัลกอริทึมได้กำหนดให้โฮสหรือตัวหาเส้นทางส่งแพคเกจคือออกเป็นระยะๆ เพื่อถามหาข่าวสารเกี่ยวกับความคับคั่งของข้อมูลที่อาจเกิดขึ้นเมื่อข่าวสารนี้ย้อนกลับมาถึงผู้ส่งจะได้ทราบถึงเส้นทางที่กำลังมีปัญหาและจะสามารถส่งข้อมูลโดยใช้เส้นทางอื่นเพื่อสามารถหลีกเลี่ยงพื้นที่นั้นได้ด้วยอย่างเปรียบเทียบที่เห็นได้ชัดเจนคือ การที่สถานีวิทยุบางแห่งได้ใช้เครื่องบินเฮลิคอปเตอร์ทำการบินวนรอบเมืองเพื่อรายงานสภาพการจราจรของถนนสายที่ติดขัดหรือจุดที่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้น โดยมุ่งให้ข่าวสารที่กระจายเสียงนั้นเป็นการเตือนให้บรรดารถยนต์ทั้งหลาย (ที่รับฟังการกระจายข่าว) ได้หลีกเลี่ยงไปใช้เส้นทางอื่น

วิธีการแบบที่มีการป้อนข้อมูลย้อนกลับที่ได้กล่าวถึงนั้น มีวัตถุประสงค์ที่จะแจ้งข่าวสารเพื่อให้โฮสได้เตรียมหาเส้นทางหลีกเลี่ยงจุดที่เกิดปัญหา หรือจัดการอย่างเหมาะสมเพื่อลดความคับคั่งของข้อมูล การทำงานที่ถูกต้องจำเป็นจะต้องมีการจัดเวลาอย่างรอบคอบ เช่นในกรณีที่มีแพคเกจเข้ามา 2 แพคเกจติดต่อกัน ตัวหาเส้นทางจะต้องส่งสัญญาณบอกให้ผู้ส่งหยุดส่งข้อมูลชั่วคราวและทุกครั้งในตัวหาเส้นทางว่างงานเป็นเวลา 20 ไมโครวินาทีก็จะส่งสัญญาณบอกให้ตัวหาเส้นทางข้างเคียงเริ่มส่งข้อมูลเข้ามาได้ ระบบที่ทำงานในลักษณะนี้จะเกิดการหมุนเวียนของข้อมูลอย่างสม่ำเสมอและจะไม่เข้าสู่จุดอับ ในอีกกรณีหนึ่งตัวหาเส้นทางได้กำหนดเวลารอคอยไว้ถึง 30 นาทีเพื่อให้เกิดความมั่นใจอย่างเต็มที่ก่อนที่จะส่งสัญญาณบอกตัวหาเส้นทางข้างเคียงเริ่มส่งข้อมูลเข้ามาได้ กลไกในการควบคุมอัลกอริทึมอย่างนี้ตอบสนองช้าเกินไปจนไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเวลารอคอยจึงคำนวณมาจากการใช้ค่าเฉลี่ยมาตรฐานบางชนิดแต่การกำหนดเวลาให้เหมาะสมที่สุดนั้นไม่ใช่เรื่องง่ายเลย

อัลกอริทึมสำหรับควบคุมความคับคั่งของข้อมูลมีใช้กันอย่างแพร่หลายมาก Yang และ Reddy (1995) ได้พัฒนาวิธีการแยกประเภทสำหรับวิธีการบริหารความคับคั่งของข้อมูลให้เหมาะสมโดยการแบ่งอัลกอริทึมทั้งหมดออกเป็นสองประเภท คือ การแก้ปัญหาแบบวงจรมีเปิด (Open Loop) และ การแก้ปัญหาแบบวงจรมีปิด (Close Loop) ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น การแก้ปัญหาวงจรมีเปิดแบ่งออกเป็นสองพวกย่อย คือ พวกที่กระทำกับแหล่งกำเนิด และ พวกที่กระทำกับแหล่งที่หมาย การแก้ปัญหาแบบวงจรมีปิดแบ่งเป็นสองพวกย่อย คือ การป้อนข้อมูลย้อนกลับด้วยการบังคับ (Explicit Feedback) และการป้อนข้อมูลย้อนกลับโดยอนุโลม (Implicit Feedback) อัลกอริทึมที่ใช้การป้อนข้อมูลย้อนกลับด้วยการบังคับ จะได้รับแพคเกจข้อมูลที่ถูกส่งกลับจากจุดที่เกิดความคับคั่งของข้อมูลโดยตรง ส่วนแบบที่สอง ตัวหาเส้นทางจะต้องสรุปเองจากวิธีการสังเกตต่างๆ เช่น เวลาในการรอคอยแพคเกจตอบรับ เป็นต้น

การเกิดสภาวะความคับคั่งของข้อมูลนั้นหมายความว่าถึงสภาวะของระบบที่มีปริมาณงานมากเกินกว่าที่ทรัพยากร (Resource) ของระบบที่จะจัดการได้ วิธีการแก้ปัญหาแบบตรงไปตรงมาคือ การเพิ่มจำนวนทรัพยากรหรือการลดปริมาณของงานลง การเพิ่มจำนวนทรัพยากรทำได้หลายวิธี เช่น ระบบเครือข่ายย่อยอาจเพิ่มเส้นทางสื่อสารเป็นการชั่วคราวด้วยการใช้สายโทรศัพท์ ซึ่งจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างโหนดสองโหนดได้ วิธีการนี้สามารถนำไปใช้ใน ระบบที่ทำงานคล้ายกับระบบ SMDS ที่ต้องการส่งข้อมูลจำนวนหนึ่งเป็นพิเศษซึ่งเป็นการต้องการ ชั่วคราวเท่านั้น ในระบบสื่อสารดาวเทียม การเพิ่มกำลังส่งก็จะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการ รับ-ส่งข้อมูลด้วย การกระจายข้อมูลที่ส่งผ่านตัวหาเส้นทางในหลายเส้นทางแทนที่จะเลือกใช้สั นทางที่ดีที่สุดเพียงเส้นทางเดียวก็เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการส่งข้อมูลได้เหมือนกัน ทำยที่สุด ตัวหาเส้นทางสำรองที่เตรียมไว้ใช้ทดแทนตัวหาเส้นทางที่กำลังใช้งานจริง สามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่ม ขีดความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลได้เมื่อเกิดความคับคั่งของข้อมูลในชั้นวิกฤต

อย่างไรก็ตาม บางครั้งการเพิ่มขีดความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลก็ไม่อาจทำได้ หรืออาจ เป็นเพราะได้เพิ่มขีดความสามารถจนเต็มที่แล้ว หนทางที่เหลืออยู่ก็คือ จะต้องลดปริมาณงานลงให้ ได้ การลดปริมาณงานทำได้หลายวิธีซึ่งรวมถึงการงดให้บริการต่อผู้ใช้บางส่วน การลดระดับ บริการของผู้ใช้บางคนหรือทุกคน และกำหนดให้ผู้ใช้ทุกคนจัดตารางความต้องการใช้งานเพื่อเป็น การทำนายปริมาณงานที่จะเกิดขึ้นได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

3.3 หลักนิยมในการหลีกเลี่ยงความคับคั่งของข้อมูล

การแก้ปัญหาความคับคั่งของข้อมูลแบบวงจรเปิด (Open Loop) พยายามที่จะต้องออกแบบ ระบบให้หลีกเลี่ยงโอกาสที่จะทำให้เกิดความคับคั่งของข้อมูล มากกว่าที่จะหาทางแก้ไขเมื่อเกิด ความคับคั่งของข้อมูลขึ้น แนวทางที่นำมาใช้คือการกำหนดหลักเกณฑ์ในการปฏิบัติสำหรับ โพรโตคอลในชั้นสื่อสารต่างๆ ตารางที่ 3.1 แสดงหลักเกณฑ์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในชั้นสื่อสารเชื่อมต่อ ข้อมูล ชั้นควบคุมระบบเครือข่ายและชั้นนำส่งข้อมูล

ในชั้นสื่อสารเชื่อมต่อข้อมูล การส่งแพคเกจซ้ำ (Retransmission Policy) เป็นวิธีการที่นำมา ใช้ควบคู่กับการกำหนดระยะเวลารอคอยแพคเกจตอบรับของผู้ส่งข้อมูล การติดต่อกับผู้ส่งที่มีเวลา รอคอยสั้นและใช้หลักการส่งแพคเกจทุกตัวใหม่ทุกครั้งจะเป็นการเพิ่มปริมาณงานเข้าสู่ระบบใน อัตราที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ส่งที่มีเวลารอคอยนานกว่าและเลือกการส่งแพคเกจซ้ำบางตัว (Selective Repeat) หลักการทำงานของ การส่งแพคเกจซ้ำยังมีลักษณะคล้ายคลึงกับการทำงานแบบ การใช้คลังเก็บข้อมูลชั่วคราว (Catching Policy) นั่นคือในกรณีที่ผู้รับข้อมูลใช้วิธีการลบแพคเกจที่ ส่งมาแล้วเกิดการสลับตำแหน่งกันทั้งหมด แพคเกจเหล่านี้ก็จะถูกส่งซ้ำเข้ามาใหม่อีกอันจะเป็นการ เพิ่มปริมาณงานให้กับระบบมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 3.1 หลักนิยมในการควบคุมความคับคั่งของข้อมูลในชั้นสื่อสารต่างๆ

ชั้นสื่อสาร	หลักนิยมที่ใช้
ชั้นนำส่งข้อมูล	<ul style="list-style-type: none"> • การส่งแพ็คเกจซ้ำ • การใช้คลังเก็บข้อมูลชั่วคราว(cache) • การส่งแพ็คเกจตอบรับ • การควบคุมการไหลของข้อมูล • การกำหนดระยะเวลารอคอยแพ็คเกจตอบรับ
ชั้นควบคุมเครือข่าย	<ul style="list-style-type: none"> • การใช้วงจรเสมือน หรือ คาด้าแกรมภายในเครือข่ายย่อย • การจัดแถวคอยแพ็คเกจ และการให้บริการ • การลบแพ็คเกจทิ้ง • การเลือกทางเดินข้อมูล • การบริหารอายุของแพ็คเกจ
ชั้นเชื่อมต่อข้อมูล	<ul style="list-style-type: none"> • การส่งแพ็คเกจซ้ำ • การใช้คลังเก็บข้อมูลชั่วคราว • การส่งแพ็คเกจตอบรับ • การควบคุมการไหลของข้อมูล

การส่งแพ็คเกจตอบรับ (Acknowledgement Policy) มีผลต่อความคับคั่งของข้อมูลเช่นกัน ถ้าผู้รับส่งแพ็คเกจตอบรับสำหรับทุกๆ แพ็คเกจที่ส่งมาถึงตนเอง จะทำให้แพ็คเกจตอบรับเหล่านี้กลายเป็นตัวเพิ่มความหนาแน่นของข้อมูลโดยตรง อย่างไรก็ตาม ถ้ามีการเก็บสะสมแพ็คเกจตอบรับไว้เป็นจำนวนมากแล้ว การกำหนดระยะเวลารอคอยของผู้ส่งก็จะต้องขยายให้นานออกไป มิฉะนั้นการส่งข้อมูลซ้ำก็จะเกิดขึ้นอย่างแน่นอน การควบคุมการไหลของข้อมูลอย่างเคร่งครัด เช่น กำหนดให้มีช่วงการส่งข้อมูลเป็นระยะเวลาสั้นๆ จะทำให้อัตราการส่งข้อมูลต่ำลงอันจะเป็นการช่วยลดปัญหาความคับคั่งของข้อมูลได้ด้วย

ในชั้นสื่อสารควบคุมเครือข่ายนั้นการเลือกวิธีการส่งข้อมูลแบบวงจรเสมือน (Virtual Circuit) กับคาด้าแกรม (Datagram) มีผลต่อการเกิดความคับคั่งของข้อมูล เนื่องจากอัลกอริทึมสำหรับการแก้ไขปัญหาความคับคั่งของข้อมูลหลายๆ แบบจะทำงานบนเครือข่ายย่อยที่ใช้วงจรเสมือนเท่านั้น การจัดแถวคอยแพ็คเกจ (Packing Queuing Policy) และการให้บริการ (Service Policy) หมายถึงการที่ค้นหาเส้นทางเลือกจัดแถวคอยประจำสายสื่อสารขาเข้า จัดแถวคอยประจำสายสื่อสารขาออก หรือจัดทั้งสองอย่าง ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการจัดลำดับในการปฏิบัติงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(เช่น การให้บริการแบบสลับหมุนเวียนกันไป หรือแบบตามลำดับความสำคัญ) การลบแพ็คเกจทิ้ง (Discard Policy) เป็นกฎที่นำมาใช้ในการเลือกแพ็คเกจที่จะต้องลบทิ้งเนื่องจากตัวหาเส้นทางไม่มีที่พอเพียงสำหรับแพ็คเกจทั้งหมดไว้ หลักนิยมที่เหมาะสมจะช่วยให้สถานการณ์บรรเทาลงได้ และในทางกลับกันหลักนิยมที่ไม่เหมาะสมจะทำให้สถานการณ์ลุกลามมากยิ่งขึ้น

การเลือกทางเดินข้อมูล (Routing Algorithm) สามารถช่วยหลีกเลี่ยงการเกิดความคับคั่งของข้อมูลได้โดยทำการแยกเส้นทางขนส่งข้อมูลออกไปในทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ อัลกอริทึมที่ไม่เหมาะสมจะเลือกส่งข้อมูลทั้งหมดผ่านเส้นทางเดียวกัน ซึ่งถ้าเป็นเส้นทางที่กำลังเกิดสภาวะติดขัดอยู่แล้วก็จะยิ่งทำให้เส้นทางนั้นติดขัดหนักขึ้นไปอีก หลักการสุดท้ายสำหรับชั้นสื่อสารนี้คือการบริหารอายุของแพ็คเกจ (Lifetime Management) การส่งแพ็คเกจเข้ามาในระบบจำเป็นต้องมีการกำหนดอายุเพื่อเอาไว้ในกรณีที่แพ็คเกจหลงทางหรือถูกกักเก็บไว้ที่ใดที่หนึ่ง อายุจะเป็นตัวบอกว่าแพ็คเกจจะอยู่ในระบบได้นานเท่าใดก่อนที่จะถูกกำจัดออกไป ถ้าให้เวลาแพ็คเกจอยู่นานเกินไป แพ็คเกจที่หลงทางอาจจะทำให้ความคับคั่งของข้อมูลคงอยู่นานมาก แต่ถ้ากำหนดเวลาให้น้อยเกินไป แพ็คเกจจะหมดอายุเสียก่อนที่จะเดินทางไปถึงจุดหมายก็จะทำให้ต้องส่งแพ็คเกจนั้นใหม่อีก

ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในชั้นเชื่อมต่อข้อมูลก็อาจเกิดขึ้นได้ในชั้นนำส่งข้อมูลเช่นกัน แต่การกำหนดระยะเวลาสำหรับการรอคอยแพ็คเกจต่อรับจากผู้รับข้อมูลนั้นมีความสลับซับซ้อนกว่ากันมาก เนื่องจากการคำนวณระยะเวลาการรอคอยในการส่งข้อมูลข้ามระหว่างตัวหาเส้นทางสองตัวที่อยู่คนละปลายสายสื่อสารนั้นทำได้ง่ายมากและเชื่อถือได้ แต่การคำนวณระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายนั้นไม่สามารถทำนายให้เที่ยงตรงได้ ถ้าระยะเวลาการรอคอยสั้นเกินไปสำเนาของแพ็คเกจที่ถูกส่งไปแล้วก็จะถูกส่งออกไปอีกโดยไม่จำเป็น ถ้ากำหนดระยะเวลายาวเกินไป แม้ว่าจะไม่เพิ่มความคับคั่งของข้อมูลแต่อาจทำให้เวลาในการตอบโต้ระหว่างผู้รับและผู้ส่งยาวนานมากในกรณีที่แพ็คเกจเกิดสูญหาย

3.4 การควบคุมรูปแบบการจราจร

มูลเหตุหลักของการเกิดความคับคั่งของข้อมูลคือ ตัวหาเส้นทางและโหนดส่วนมากจะส่งข้อมูลเป็นช่วงๆ ด้วยความเร็วสูงมากภายในระยะเวลาสั้นๆ ที่เรียกว่า ความพุ่งพล่าน (Burst) สลับกับการหยุดนิ่ง ถ้าตัวหาเส้นทางและโหนดสามารถส่งข้อมูลในอัตราความเร็วสม่ำเสมอ โอกาสที่จะเกิดความคับคั่งของข้อมูลก็จะลดลง การบังคับให้แพ็คเกจถูกส่งออกมาในอัตราความเร็วที่สามารถคาดเดาหรือคำนวณได้เป็นอีกวิธีการหนึ่งของการแก้ปัญหาความคับคั่งของข้อมูลแบบวงจรเปิด วิธีการนี้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในระบบเครือข่ายแบบเอทีเอ็ม โดยเรียกว่า การควบคุมรูปแบบการจราจร (Traffic Shaping)

การควบคุมรูปแบบการจราจรเกี่ยวกับการกำหนดอัตราเฉลี่ยของการส่งข้อมูลและการจัดการความฟุ้งพล่าน ซึ่งไม่เหมือนกับโพรโทคอลหน้าต่างสื่อสารเลื่อนไหล (Sliding Windows) ซึ่งจะกำหนดขีดจำกัดปริมาณข้อมูลสำหรับการส่งในแต่ละครั้งแต่ไม่ได้กำหนดอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล เมื่อวงจรเสมือนได้ถูกสร้างขึ้นมา ทั้งผู้ใช้ (โฮสต์) และเครือข่ายย่อย (ตัวหาเส้นทาง) ต้องทำความเข้าใจความตกลงกันในเรื่องความถี่และอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล รวมเรียกว่า กติกาการส่งข้อมูล ที่จะนำมาใช้ในวงจรนั้น トラบแท่ที่ผู้ใช้ดำเนินการส่งข้อมูลตามกติกาที่ได้ตกลงกันไว้ ผู้นำส่งข้อมูล (ตัวหาเส้นทาง) จะรับประกันที่จะนำข้อมูลไปส่งให้ตามช่วงเวลาที่เหมาะสม การควบคุมรูปแบบจราจรจะช่วยลดความคับคั่งของข้อมูล และช่วยให้ผู้นำส่งข้อมูลทั้งหลายสามารถทำตามข้อตกลงได้ กติกาที่ตกลงกันนั้นอาจจะไม่มีความสำคัญนักต่อการจัดส่งเพิ่มข้อมูล แต่จะมีความหมายอย่างยิ่งสำหรับระบบการนำส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real Time) เช่นการส่งสัญญาณเสียงและสัญญาณภาพเคลื่อนไหว ซึ่งจะไม่สามารถใช้งานได้ในระบบที่มีความคับคั่งของข้อมูลในระดับสูง

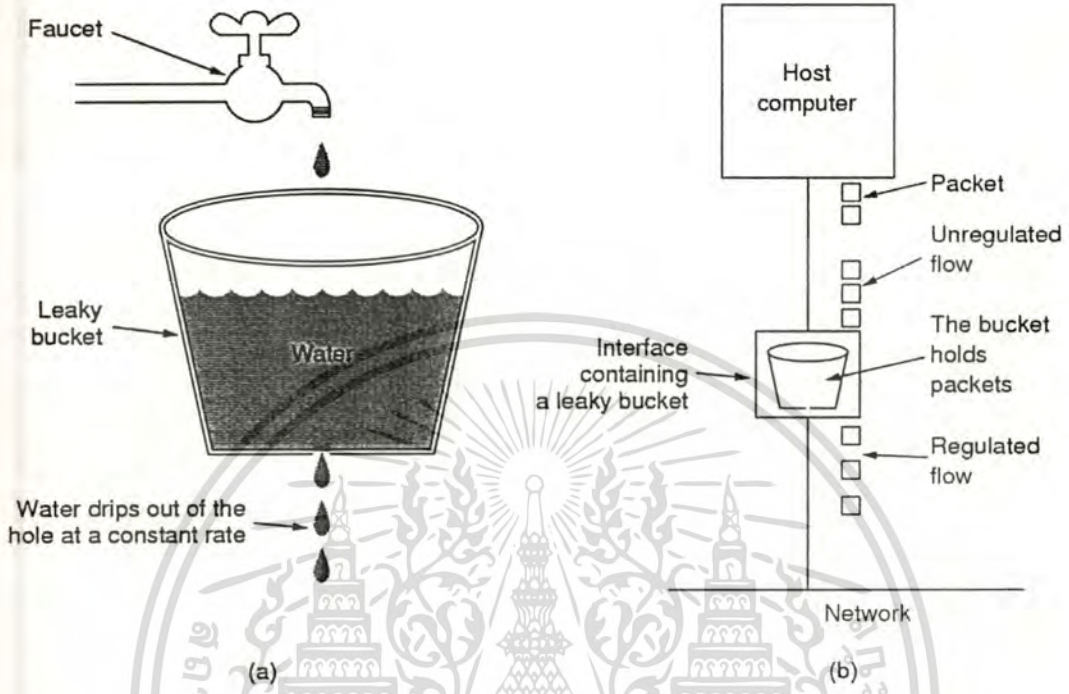
การทำงานของการควบคุมรูปแบบการจราจรนั้นเปรียบได้กับการที่ผู้ใช้จะบอกกับตัวหาเส้นทางในทำนองที่ว่า “การส่งข้อมูลของฉันมีรูปแบบเป็นอย่างไรนะ คุณจัดการได้ไหม” ถ้าตัวหาเส้นทางตอบตกลงก็จะยึดถือเป็นกติกาที่ทั้งสองฝ่ายต้องปฏิบัติตาม ซึ่งจะมีระบบการตรวจสอบการไหลของข้อมูลให้เป็นไปตามกติกาเรียกว่า นโยบายการจราจร (Traffic Policy) การตกลงกันในเรื่องการควบคุมรูปแบบการจราจรเกิดขึ้นในวงจรเสมือนมากกว่าดาต้าแกรม อนุกรมใดก็ตามในระบบเครือข่ายย่อยที่ใช้ดาต้าแกรมก็จะมีวิธีการในลักษณะคล้ายคลึงกัน นำมาใช้ในชั้นนำสื่อสารนำส่งข้อมูลได้

3.4.1 อัลกอริทึมถังน้ำรั่ว (The Leaky Bucket Algorithm)

สมมติว่าให้น้ำถึงใส่ในถังหนึ่งซึ่งมีรูรั่วเล็กๆ ที่กั้นถึงโปรองน้ำที่ก้างไหลอยู่ ดังที่แสดงในรูปที่ 3.2 (a) ไม่ว่าอัตราการไหลเข้าของน้ำจะเป็นเท่าใดก็ตามอัตราการไหลออกของน้ำจะมีค่าคงที่อยู่สองค่าเสมอ คือ หนึ่งเป็นค่าตัวเลขที่มีน้ำอยู่ในถัง และสองมีค่าเป็นศูนย์เมื่อไม่มีน้ำอยู่ในถังเลย แต่ถ้ามีน้ำเต็มถังและก็ยังคงใส่น้ำลงไปอีก น้ำก็จะไหลล้นออกทางด้านข้างซึ่งถือว่าเป็นส่วนที่สูญเสีย (ไม่นำมาพิจารณา)

การจัดส่งแพ็คเกจข้อมูลก็มีสภาพคล้ายกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (b) หลักการมีอยู่ว่าโฮสต์แต่ละตัวจะเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายผ่านตัวกลาง (ตัวหาเส้นทาง) ที่ทำงานแบบถังน้ำรั่ว ซึ่งก็คือการใช้แถวคอยที่มีขนาดจำกัด ถ้าแพ็คเกจมาถึงแถวคอยในขณะที่แถวคอยเต็มแพ็คเกจนั้นก็จะถูกลบทิ้งไปเหมือนกับน้ำที่ไหลล้นออกจากถังที่มีน้ำอยู่เต็ม หรือกล่าวอีกอย่างว่าถ้าโพรเซสบางตัวหรือหลายๆ ตัวของโฮสต์พยายามที่จะส่งแพ็คเกจใหม่เข้ามาในขณะที่แถวคอยเต็มแล้ว แพ็คเกจตัวที่มาถึงทีหลังก็จะถูกลบทิ้งไป กระบวนการทำงานนี้อาจจะกำหนดให้ตัวอุปกรณ์การสื่อสาร (Communication Devices) เป็นผู้จัดการหรือจะให้ระบบปฏิบัติการของโฮสต์ทำการจัดการ

ทำงานนี้ได้ Turner เป็นผู้นำเสนออัลกอริทึมนี้ในปี ค.ศ. 1986 โดยเรียกว่า อัลกอริทึมถังน้ำรั่ว (Leaky Bucket Algorithm) ซึ่งในเนื้อแท้แล้วกระบวนการนี้ก็คือระบบแถวคอยของผู้ให้บริการเดี่ยวที่มีระยะเวลาการให้บริการคงที่ (Single Server Queuing System with Constant Service Time) นั่นเอง



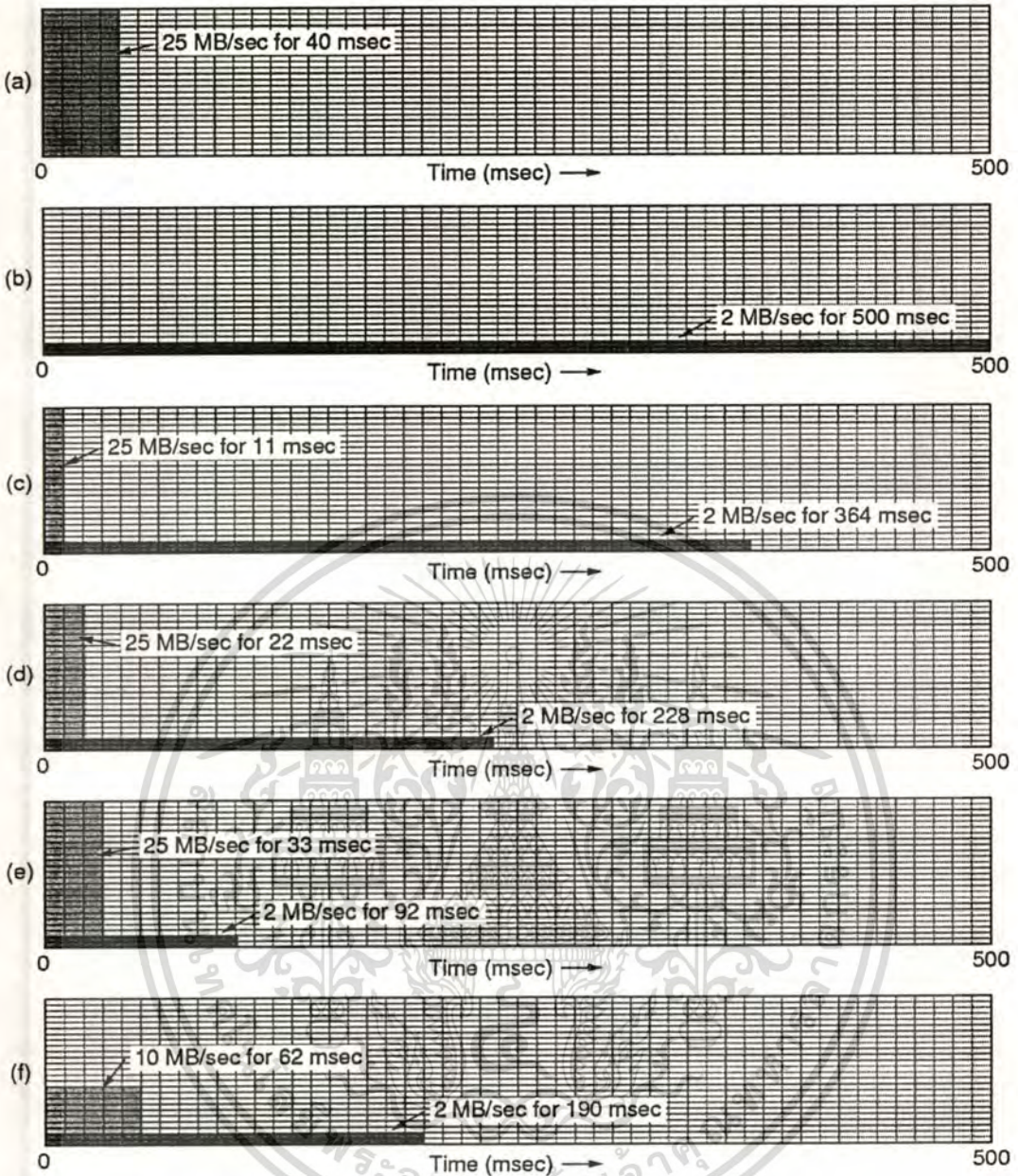
รูปที่ 3.2 (a) ถังน้ำรั่วที่มีน้ำอยู่ภายใน (b) อัลกอริทึมถังน้ำรั่วที่มีแพ็คเกจข้อมูลอยู่

โหนดแต่ละตัวได้รับอนุญาตให้ส่งแพ็คเกจเข้าไปในเครือข่ายได้ 1 ตัวต่อ 1 จังหวะสัญญาณนาฬิกา (Clock Tick ของเครื่องคอมพิวเตอร์) ซึ่งจะถูกควบคุมโดยอุปกรณ์สื่อสาร หรือระบบปฏิบัติการของโหนดเองก็ได้ กลไกนี้จะทำการปรับปริมาณการไหลของแพ็คเกจของข้อมูลผู้ใช้งานทางฝั่งของโหนดที่มีอัตราความเร็วไม่แน่นอนให้กลายเป็นการไหลของแพ็คเกจเข้าสู่ระบบเครือข่ายที่มีอัตราความเร็วสม่ำเสมอ จึงเป็นการลดโอกาสที่จะทำให้เกิดความคับคั่งของข้อมูลลงได้

ในกรณีที่แพ็คเกจทั้งหมดมีขนาดเท่าๆ กัน อัลกอริทึมนี้จะถูกนำมาใช้ได้ตามขั้นตอนที่กล่าวข้างต้น อย่างไรก็ตาม ถ้าแพ็คเกจที่มีขนาดไม่เท่ากันถูกส่งเข้ามาในระบบ วิธีการนับจำนวนแพ็คเกจจะเปลี่ยนไปเป็นการนับปริมาณแทน เช่น กำหนดให้ส่งข้อมูล 1024 ไบต์ต่อหนึ่งสัญญาณนาฬิกา ดังนั้นในหนึ่งสัญญาณนาฬิกาจะส่งแพ็คเกจขนาด 1024 ไบต์ได้ 1 ตัว หรือส่งแพ็คเกจขนาด 512 ไบต์ได้ 2 ตัว หรือส่งแพ็คเกจขนาด 256 ไบต์ได้ 4 ตัว เป็นต้น แพ็คเกจที่มีขนาดใหญ่กว่าจำนวนไบต์ที่เหลืออยู่จะถูกส่งในรอบสัญญาณนาฬิกาครั้งต่อไป

อัลกอริทึมถังน้ำรั่วประกอบด้วยแถวคอยขนาดจำกัดแถวหนึ่ง เมื่อแพ็คเกจเดินทางมาถึงถ้ามีที่ว่างในแถวคอยแพ็คเกจจะถูกนำมาเก็บไว้ในที่ว่าง ถ้าไม่มีที่ว่างก็จะทิ้งแพ็คเกจนั้นไป ทุกๆ สัญญาณนาฬิกาจะมีแพ็คเกจถูกส่งเข้าไปในระบบหนึ่งตัว อัลกอริทึมที่ใช้การวัดปริมาณข้อมูลก็ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยทางโรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ เพื่อผู้ดูแลระบบโรงเรียนเท่านั้น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 (a) ข้อมูลที่ถูกส่งมา

(b) ข้อมูลที่ส่งออกไป

(c) ถึง (e) ข้อมูลที่ถูกส่งออกด้วยความเร็ว 250 KB, 500KB, และ 750KB ตามลำดับ

(f) ข้อมูลที่ถูกส่งออกจากบัคเก็ตขนาด 500KB ด้วยความเร็ว 10 ล้าน ไบต์ต่อวินาที

หลักการทำงานแนวเดียวกัน ในทุกๆ สัญญาณนาฬิกาตัวนับปริมาณข้อมูล (Counter) จะเริ่มต้นกำหนดค่าไว้จำนวนหนึ่งถ้าแพคเกจแรกเข้ามาในแถวคอยมีปริมาณข้อมูลน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้แพคเกจนั้นจะถูกส่งออกไป และตัวนับปริมาณข้อมูลจะทำการลดค่าลงไปเท่ากับจำนวนไบต์ของแพคเกจที่เพิ่งถูกส่งออกไป แพคเกจตัวอื่นอาจถูกส่งออกไปอีกก็ได้ทราบเท่าที่ขนาดของแพคเกจเล็ก

เอกสารกว่าหรือเท่ากับค่าของตัวนับ ปริมาณข้อมูลที่เหลืออยู่มีฉะนั้นแล้ว โสตจะหยุดส่งข้อมูลเพื่อรอ

ไม่ว่ากรณีใดทั้งหมด อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณณาพิกาทิ้งต่อไป ซึ่งจะกำหนดค่าตัวนับปริมาณข้อมูลใหม่โดยไม่สนใจว่าค่าเดิมจะเป็นอะไรก็ตาม

สมมุติให้เครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 25 ล้านไบต์ต่อวินาที (เท่ากับ 200 ล้านบิตต่อวินาที) ซึ่งสายสื่อสารในระบบก็สามารถสนับสนุนการส่งข้อมูลที่มีความเร็วนี้ได้ อย่างไรก็ตาม ตัวหาเส้นทางสามารถทำงานได้ที่ความเร็วขนาดนี้เพียงชั่วระยะเวลาสั้นๆ ถ้าเป็นการส่งข้อมูลในช่วงระยะเวลายาวนานต่อเนื่องแล้ว ตัวหาเส้นทางสามารถทำงานได้ที่ความเร็ว 2 ล้านไบต์ต่อวินาที สมมุติว่าข้อมูลถูกส่งเข้ามา 1 ล้านไบต์ในเวลา 40 มิลลิวินาที (เทียบเท่ากับความเร็ว 25 ล้านไบต์ต่อวินาที) ตัวหาเส้นทางสามารถลดอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลให้ลงมาอยู่ที่ 2 ล้านไบต์ต่อวินาทีได้โดยการรับข้อมูลทั้งหมดไว้ในตัวเองพร้อมๆกับการปล่อยข้อมูลเข้าไปในระบบที่ความเร็ว 2 ล้านไบต์ต่อวินาทีเป็นเวลา 500 มิลลิวินาที ในรูปที่ 3.3 (a) แสดงการไหลของข้อมูลเข้ามายังตัวหาเส้นทาง ที่ทำงานด้วยความเร็ว 25 ล้านไบต์ต่อวินาทีเป็นเวลา 40 มิลลิวินาที รูปที่ 3.3 (b) ตัวหาเส้นทางส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบที่ความเร็ว 2 ล้านไบต์ต่อวินาทีเป็นเวลา 500 มิลลิวินาที

3.4.2 อัลกอริทึมโทเคนบัคเก็ต

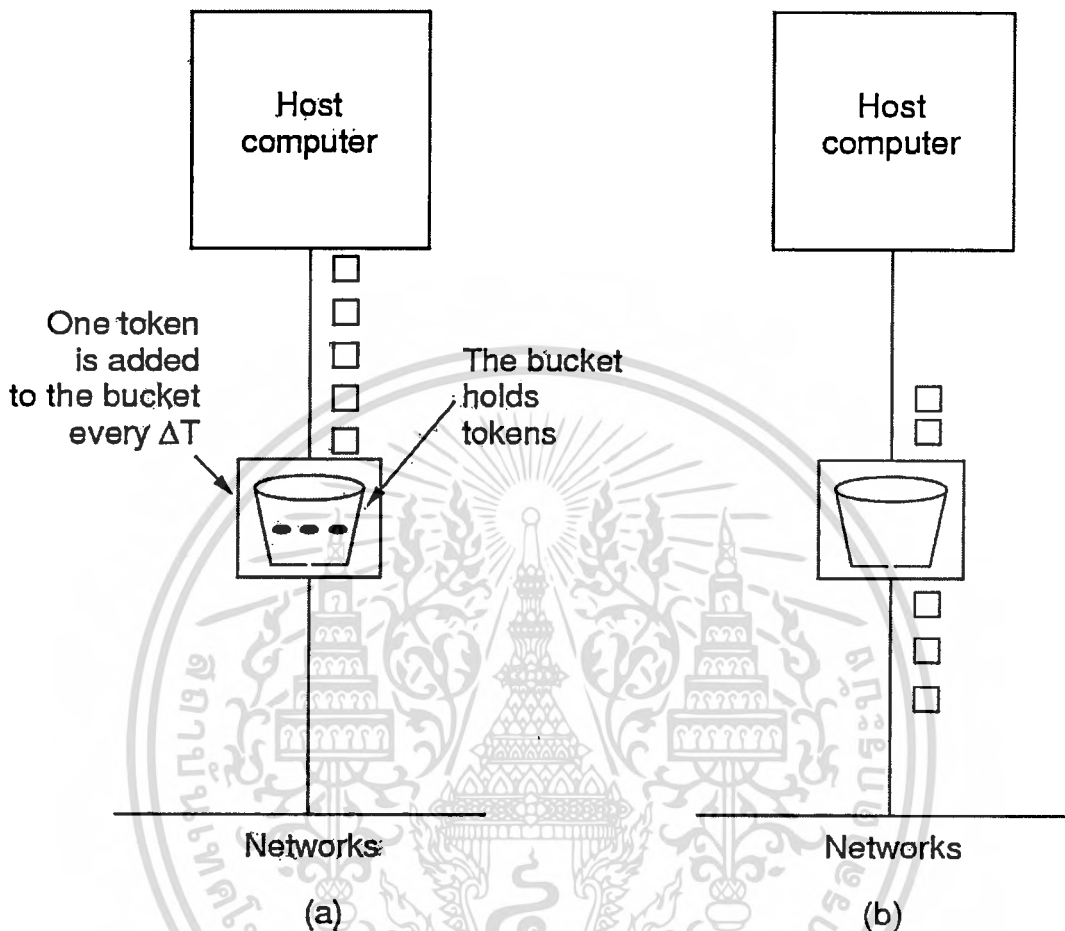
อัลกอริทึมดังกล่าวจัดการส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบด้วยอัตราความเร็วคงที่ไม่ว่าข้อมูลจะถูกส่งออกจากแหล่งกำเนิดด้วยความเร็วเท่าใดก็ตาม สำหรับโปรแกรมประยุกต์บางประเภท การยอมให้ส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงกว่าปกติในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพที่ข้อมูลถูกส่งออกมาจากแหล่งที่กำเนิดเป็นสิ่งที่ไม่ได้ อัลกอริทึมที่นำมาใช้จึงจำเป็นต้องปรับปรุงให้มีความอ่อนตัวมากขึ้นกลายเป็นวิธีที่เรียกว่า อัลกอริทึมโทเคนบัคเก็ต (Token bucket algorithm) ซึ่งได้เพิ่มข้อกำหนดให้ถังน้ำหรือบัคเก็ตต้องเก็บรักษาโทเคน (ทำหน้าที่เหมือนใบกำกับสินค้า) ที่สร้างขึ้นตามจังหวะสัญญาณณาพิกาทิ้ง เช่น เพิ่มโทเคนหนึ่งตัวทุกๆ 500 มิลลิวินาที ในรูปที่ 3.4 (a) ถังน้ำหรือบัคเก็ตมีโทเคนอยู่ 3 ตัว โดยมีแพ็คเกจรอการนำส่งอยู่ 5 ตัว ทุกแพ็คเกจที่ส่งออกไปจะต้องใช้โทเคนหนึ่งตัว ดังนั้นจึงสามารถส่งแพ็คเกจได้ 3 ตัวในทันทีที่เหลืออีก 2 ตัวจะต้องรอนกว่าโทเคนตัวใหม่จะเกิดขึ้น ถ้าแพ็คเกจข้อมูลเป็นสินค้าการส่งสินค้าก็จะต้องมีใบกำกับสินค้าติดไปด้วยทุกครั้ง แต่โทเคนในที่นี้ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นใดเลย การใช้โทเคนในทางปฏิบัติจึงเป็นการลบโทเคนหนึ่งตัวทิ้งต่อการส่งข้อมูลหนึ่งแพ็คเกจเท่านั้น

อัลกอริทึมโทเคนบัคเก็ตมีวิธีการนำส่งแพ็คเกจข้อมูลทีเข้ามาแบบพุ่งพล่าน ต่างไปจากวิธีเดิม อัลกอริทึมดังกล่าวจะไม่ยอมให้โสมมีการเก็บสะสมเวลาที่ไม่ได้ใช้งาน (Idle Time) เพื่อใช้สำหรับการส่งแพ็คเกจจำนวนมากในภายหลัง แต่โทเคนบัคเก็ตยอมให้มีการสะสมโทเคนได้ถึงขีดจำกัดอันหนึ่งที่กำหนดไว้ล่วงหน้า หมายความว่าโทเคนบัคเก็ตสามารถที่จะส่งแพ็คเกจติดต่อกันในทันทีทันใดได้เท่ากับจำนวนสูงสุดของโทเคนที่มีอยู่ในบัคเก็ตทำให้รองรับการส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงมากได้เป็นบางครั้งซึ่งจะมีผลตอบสนองโดยตรงต่อข้อมูลที่เข้ามาในแบบพุ่งพล่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นอย่างดี ข้อแตกต่างอีกประการหนึ่งคือโทเกินบัคเก็ตไม่มีขีดจำกัดของแฉวคอยเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงไม่มีการลบบแพคเก็ตข้อมูลทิ้ง



รูปที่ 3.4 อัลกอริทึมโทเกินบัคเก็ต (a) ก่อนส่งข้อมูล (b) หลังจากส่งข้อมูล

ระบบเครือข่ายย่อยที่ใช้วิธีกำหนดปริมาณข้อมูลในการส่งแทนการนับจำนวนแพคเก็ตโทเกินแต่ละตัวจะใช้แทนจำนวนไบนต์ของข้อมูล แพคเก็ตจะถูกนำส่งได้ถ้าจำนวนไบนต์ในโทเกินที่มีอยู่มีขนาดไม่น้อยไปกว่าจำนวนไบนต์ของแพคเก็ตที่ต้องการส่ง เศษที่เหลืออยู่ของโทเกินสามารถนำไปรวมกับโทเกินอื่นได้

ทั้งวิธีดึงน้ำเร็วและวิธีโทเกินบัคเก็ตสามารถนำมาใช้ในการช่วยการจราจรระหว่างตัวหาเส้นทางสองตัวให้ราบรื่นขึ้น และยังช่วยจัดการส่งข้อมูลของโฮสได้ อย่างไรก็ตามโทเกินบัคเก็ตสามารถบังคับให้โฮสหยุดส่งข้อมูลทั้งที่ยังมีข้อมูลที่ต้องการส่งหรือบังคับให้ตัวหาเส้นทางหยุดส่งข้อมูลในขณะที่ข้อมูลจากแหล่งกำเนิดยังถูกส่งเข้ามาอย่างไม่ขาดสาย อันจะทำให้ข้อมูลเสียหายได้

รูปที่ 3.3 (c) สมมุติว่าเป็นโทเกินที่มีความจุของบัคเก็ต 250 กิโลไบต์ โทเกินถูกสร้างขึ้นในอัตราที่ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ 2 ล้านไบนต์ต่อวินาที ถ้าบัคเก็ตมีโทเกินสะสมอยู่เต็มในขณะที่ข้อ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูลขนาด 1 ล้านไบต์ถูกส่งเข้ามาแบบพุ่งพล่าน (Burst-In) ตัวหาเส้นทางจะสามารถส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบได้ด้วยความเร็วสูงสุด 25 ล้านไบต์ต่อวินาทีเป็นเวลา 11 มิลลิวินาที (Burst-Out) จากนั้น (เมื่อใช้โทเกินสะสมหมดแล้ว) จึงส่งข้อมูลที่ระดับความเร็วปกติ

การคำนวณหาระยะเวลาพุ่งพล่านขาออก (Burst-Out) ที่ตัวหาเส้นทางสามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็วสูงสุดเป็นเรื่องซับซ้อนเล็กน้อย เนื่องจากในขณะที่ส่งข้อมูลอยู่นั้น โทเกินใหม่ก็จะถูกสร้างขึ้นมาตลอดเวลา ถ้ากำหนดให้ระยะเวลาพุ่งพล่านเป็น S วินาที, โทเกินถูกนำมาใช้ในการส่งข้อมูลขนาด C ไบต์, อัตราการสร้างโทเกินซึ่งทำให้เกิดเป็นอัตราการส่งข้อมูลปกติ เป็น P ไบต์ต่อวินาที, และความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูลเป็น M ไบต์ต่อวินาทีแล้ว ปริมาณการส่งข้อมูลออกในช่วงพุ่งพล่านจะเท่ากับ $C+PS$ ไบต์ ซึ่งจะต้องเท่ากับปริมาณข้อมูลที่ถูกส่งด้วยความเร็วสูงสุดในระยะเวลาเดียวกันนั่นคือ MS ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์เป็น

$$C+PS = MS \quad (3.1)$$

นั่นคือ $S = C/(M-P)$

จากตัวอย่างในรูปที่ 3.3 (c); $C = 250$ Kbytes, $M = 25$ Mbytes/sec., $P = 2$ Mbytes/sec. เมื่อนำไปแทนค่าในสมการข้างบนจะได้ค่าระยะเวลาพุ่งพล่านประมาณ 11 มิลลิวินาที รูปที่ 3.3 (d) และ (e) แสดงตัวอย่างบัคเก็ตขนาด 500 กิโลไบต์และ 750 กิโลไบต์ตามลำดับ

ปัญหาหลักของวิธีโทเกินบัคเก็ตก็คือการที่วิธีการนี้สนับสนุนการส่งข้อมูลแบบพุ่งพล่านแม้ว่าจะสามารถควบคุมปริมาณและความถี่ได้ด้วยการกำหนดค่าอัตราการสร้างโทเกิน และความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูลแล้วก็ตาม ระบบทั่วไปก็พยายามจะกำจัดจำนวนครั้งและความถี่ของการส่งข้อมูลที่มีความเร็วสูงสุด ในขณะที่ไม่ต้องการส่งข้อมูลที่มีความเร็วต่ำเสมอไปดังที่เกิดขึ้นในอัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่ว

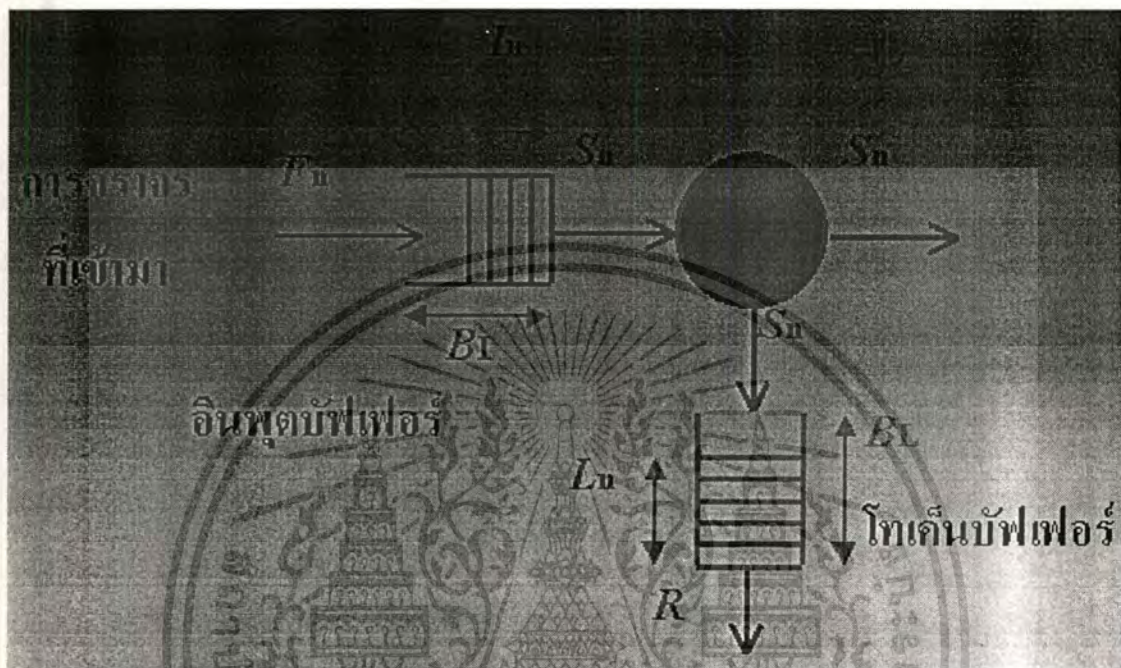
หนทางหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือการใช้วิธีดึงน้ำรั่วเป็นตัวรับข้อมูลที่ส่งมาด้วยวิธีโทเกินบัคเก็ต ความเร็วของการส่งข้อมูลของวิธีดึงน้ำรั่วควรจะสูงกว่าอัตราการสร้างโทเกิน (P) แต่จะต้องต่ำกว่าความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูลของเครือข่าย รูปที่ 3.3 (f) แสดงตัวอย่างของการใช้โทเกินบัคเก็ตขนาด 500 กิโลไบต์ตามด้วยวิธีดึงน้ำรั่วที่มีความเร็ว 10 ล้านไบต์ต่อวินาที

จากรูปที่ 3.5 โมเดลดึงน้ำรั่วประกอบไปด้วยอินพุทบัฟเฟอร์ที่มีขนาด B , และโทเกินบัฟเฟอร์ (Token Buffer) ที่มีขนาด B_L อินพุทบัฟเฟอร์ช่วยในการทำให้การจราจรราบเรียบก่อนที่จะส่งไปยังเครือข่าย โทเกินบัฟเฟอร์ใช้ในการสอดส่อง (Monitoring) และตรวจตรา (Police) การจราจรที่เข้ามา ในช่วงแรกของการไหลที่ n ซึ่งมีจำนวนเซลล์อยู่ F_n เซลล์จะถูกใส่เข้าไปในอินพุทบัฟเฟอร์ ในระหว่างคาบเวลาของการไหลที่ n นี้จะมีเซลล์จำนวนหนึ่ง (กำหนดให้เป็น S_n เซลล์) ที่ถูกนำออกจากอินพุทบัฟเฟอร์และส่งไปยังเครือข่ายด้วยอัตราเท่ากับ S_n/T เมื่อ T เป็นช่วงเวลาของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหล จำนวนของเซลล์ที่ยังติดค้างอยู่ในอินพุตบัฟเฟอร์หลังจากที่การไหลที่ n จบลงมีค่าเท่ากับ I_n เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_n = \max \{0, I_{n-1} + F_n - S_n\} \quad (3.2)$$



รูปที่ 3.5 โมเดลของอัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่ว

โทเกินบัฟเฟอร์ถูกระบายออกไปด้วยอัตราการรั่วที่คงที่จำนวนของเซลล์ที่ถูกระบายออกจากโทเกินบัฟเฟอร์ในคาบเวลา T คือ R แต่ละเซลล์ที่มาจากอินพุตบัฟเฟอร์พยายามที่จะเติมเซลล์เข้ามาในโทเกินบัฟเฟอร์ถ้าโทเกินบัฟเฟอร์ไม่เต็มเซลล์ก็就会被เติมเข้ามาได้ จำนวนของเซลล์ที่ยังติดค้างอยู่ในโทเกินบัฟเฟอร์หลังจากที่เซลล์จำนวน S_n เซลล์ถูกส่งออกไปมีค่าเท่ากับ L_n เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$L_n = \max \{0, L_{n-1} - R + S_n\} \quad (3.3)$$

เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดบัฟเฟอร์โอเวอร์โฟลล์ F_n ต้องมีค่าดังนี้

$$F_n \leq (B_I + B_L) + R - (L_{n-1} + I_{n-1}) \quad (3.4)$$

3.5 ข้อกำหนดการไหลของข้อมูล

การส่งผ่านข้อมูลจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อ ผู้ส่ง ผู้รับ และเครือข่ายย่อยสามารถทำความตกลงกันได้ เพื่อที่จะทำการตกลงกันอย่างรอบคอบในรายละเอียดของรูปแบบการจราจรของข้อมูล ซึ่งเรียกว่า การจัดทำข้อกำหนดการไหลของข้อมูล (Flow Specification) ประกอบด้วยโครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในการส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบ และคุณภาพของบริการที่โปรแกรมประยุกต์ต้องการ ข้อกำหนดการไหลของข้อมูลสามารถนำไปใช้กับระบบเครือข่ายที่ส่งแพคเกจผ่านวงจรเสมือน หรือใช้ดาต้าแกรม หรือแม้กระทั่งการส่งแบบหลายเป้าหมายก็ได้

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อกำหนดการไหลของข้อมูล

คุณลักษณะของข้อมูล	บริการที่ต้องการให้รับประกัน
ขนาดแพคเกจสูงสุด (ไบต์)	อัตราการสูญหายของข้อมูล (ไบต์)
อัตราความเร็วของโทเกินบัคเก็ต	ช่วงเวลาที่สูญเสียข้อมูล (ไมโครวินาที)
ขนาดของโทเกินบัคเก็ต (ไบต์)	อัตราการสูญหายของข้อมูลในช่วงพุ่งพล่าน (แพคเกจ)
ความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูล (ไบต์/วินาที)	ช่วงการรอคอยที่ต่ำที่สุด (ไมโครวินาที) ความแปรปรวนของช่วงการรอคอยที่สูงที่สุด (ไมโครวินาที) ระดับการรับประกัน

ในหัวข้อนี้อธิบายถึงข้อกำหนดการไหลของข้อมูลที่ออกแบบโดย Pradidge (1992) ดังแสดงในตารางที่ 3.2 แนวความคิดหลักคือ ก่อนที่จะมีการจัดตั้งวงจรเสมือน หรือก่อนที่จะเริ่มส่งชุดดาต้าแกรมผู้ส่งข้อมูลจะส่งข้อกำหนดการไหลของข้อมูลไปให้กับเครือข่ายย่อยเพื่อให้อธิบายเครือข่ายย่อยอาจจะยอมรับหรือปฏิเสธก็ได้ หรืออาจจะแก้ไขเพียงบางส่วนแล้วส่งกลับมาให้ผู้ส่งเมื่อทั้งสองฝ่ายตกลงกันได้แล้ว ผู้ส่งจึงจะเริ่มต่อตรงกับผู้รับข้อมูล ในที่สุดทั้งสามฝ่ายก็จะได้ข้อกำหนดการไหลของข้อมูลที่ยอมรับได้ การสื่อสารจึงจะเริ่มต้นขึ้น

จากตารางข้อกำหนดการไหลของข้อมูลในตารางที่ 3.2 เริ่มจากคอลัมน์ทางซ้าย ขนาดแพคเกจสูงสุด (Maximum Packet Size) หมายถึงขนาดของแพคเกจที่ใหญ่ที่สุดที่สามารถนำมาใช้งานได้ คุณลักษณะสองข้อถัดมาใช้สมมุติฐานว่าเป็นการส่งข้อมูลโดยใช้อัลกอริทึมโทเกินบัคเก็ตซึ่งบอกอัตราการเกิดของโทเกินบัคเก็ต (Token Bucket Size) ถ้าให้อัตรา เป็น r ไบต์ต่อวินาทีและขนาดของบัคเก็ตเป็น b ไบต์แล้ว ในช่วงเวลา Δt ใดๆ ปริมาณข้อมูลที่สามารถส่งได้สูงสุดเท่ากับ $b + \Delta t r$ ในที่นี้ b จะหมายถึงปริมาณข้อมูลที่บรรจุอยู่ในบัคเก็ตเมื่อเริ่มต้นการส่งข้อมูล และ $r\Delta t$ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายถึงปริมาณข้อมูลที่เกิดการถ่ายทอดในเวลาที่ต่อมาจนจบช่วงเวลานั้นๆ ความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูล (Maximum Transmission Rate) คือความเร็วในการส่งข้อมูลในระดับสูงสุดที่โฮสจะสามารถทำได้ในสถานะทั่วไป ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาเวลาที่น้อยที่สุดในการส่งข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ในบัคเก็ตได้

ส่วนคอแลมน์ทางขวามือนั้น คือบริการที่โปรแกรมประยุกต์ต้องการการรับประกันจากเครือข่ายย่อยสองบรรทัดแรก คือค่าตัวแปรที่ใช้คำนวณหาค่าการสูญเสียของแพคเกจที่สามารถยอมรับได้เช่น มีอัตราการสูญหายของข้อมูล (Loss Sensitivity) เป็น 1 ไบต์ต่อชั่วโมง หรือ ช่วงเวลาที่สูญเสียข้อมูล (Loss Interval) เป็น 10 ไมโครวินาที เป็นต้น อัตราการสูญหายของข้อมูลในช่วงฟุ้งพล่าน (Burst Loss Sensitivity) บอกรายงานแพคเกจที่สูญหายติดต่อกันในช่วงฟุ้งพล่านที่ยอมรับได้ (ซึ่งจะต้องมีการแก้ไขและจะยังคงทำการส่งข้อมูลต่อไป)

สองบรรทัดต่อมาอธิบายเกี่ยวกับเวลาในการรอกคอย ช่วงเวลาการรอกคอยที่ต่ำที่สุด (Minimum Delay Noticed) หมายถึงช่วงเวลาการรอกคอยของแพคเกจที่เกิดขึ้นระหว่างการเดินทางในเครือข่าย แต่โปรแกรมประยุกต์จะไม่ถือว่าช่วงเวลานี้เป็นช่วงเวลาที่เสียไปกับการรอกคอย เช่น การคัดลอกสำเนาเพิ่มข้อมูลอาจกำหนดให้มีเวลารอกคอยที่ต่ำที่สุดเป็น 1 วินาที หากข้อมูลใช้เวลาเดินทางภายใน 1 วินาที ก็ยังถือเสมือนไม่มีปัญหาใดๆ เกิดขึ้น แต่โปรแกรมประยุกต์บางประเภท เช่น การส่งสัญญาณเสียงอาจกำหนดให้มีเวลารอกคอยที่ต่ำที่สุดเพียง 3 มิลลิวินาทีก็ได้ ดังนั้นผู้รับข้อมูลจะต้องเตรียมการแก้ไข ถ้าข้อมูลขาดช่วงไปนานเกินกว่า 3 มิลลิวินาที ความแปรปรวนของช่วงการรอกคอยที่สูงที่สุด (maximum delay variation) หมายถึงช่วงเวลาที่แตกต่างกันของเวลารอกคอย เช่น ถ้าให้เวลารอกคอยแพคเกจต่ำสุดเป็น 5 วินาที และสูงสุดเป็น 8 วินาที ค่าของความแปรปรวนของช่วงการรอกคอยที่สูงที่สุด คือ 3 วินาที

ส่วน ระดับการรับประกัน (Quality of Guarantee) บอกระดับความต้องการบริการต่างๆ ของโปรแกรมประยุกต์ตัวอย่างเช่น อัตราการสูญหายของข้อมูล และช่วงเวลาการรอกคอยที่ต่ำที่สุดของข้อมูลอาจเป็นวัตถุประสงค์ที่ต้องการ แต่โปรแกรมประยุกต์บางส่วนก็ไม่ได้ให้ความสนใจมากนักถ้าเรื่องดังกล่าวไม่เป็นไปตามที่ตกลงไว้ ในขณะที่โปรแกรมประยุกต์อีกบางส่วนอาจจะต้องเลิกการทำงานไปในทันทีที่ความต้องการดังกล่าวไม่ได้รับการตอบสนอง โปรแกรมอื่นๆ ก็อาจมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันออกไปได้

แม้ว่าข้อกำหนดการไหลของข้อมูลจะถูกมองไปในด้านความต้องการของโปรแกรมประยุกต์ที่มีต่อเครือข่ายย่อย สิ่งเหล่านี้อาจเป็นข้อมูลที่เครือข่ายย่อยเป็นผู้บอกให้ผู้ที่กำลังจะส่งข้อมูลได้ทราบก็ได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการสำรองในภายหลัง

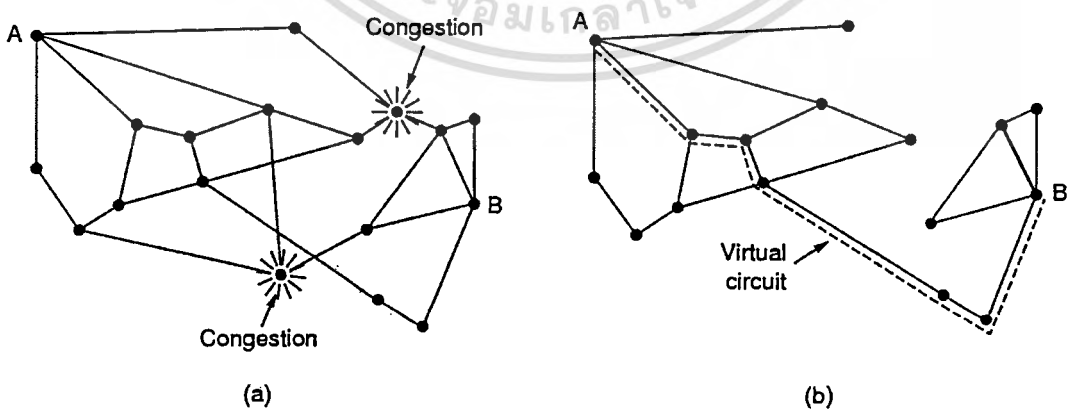
ปัญหาที่เกิดขึ้นกับการกำหนดการไหลของข้อมูล คือการที่โปรแกรมประยุกต์เองอาจไม่ทราบความต้องการที่แท้จริงของตน เช่น ระยะเวลาการรอกคอย 200 มิลลิวินาทีสำหรับการส่งข้อมูลระหว่างกรุงเทพฯ กับเชียงใหม่อาจเป็นที่พอใจของผู้ใช้ แต่คงจะไม่มีผู้ใดสนใจกับการรอกคอย

ขนาดนี้เมื่อเป็นการติดต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์สองเครื่องที่ตั้งอยู่ในห้องติดกัน การให้บริการในระดับต่ำสุด (Minimum Service) จึงเป็นเรื่องของความเป็นไปได้หรือความน่าจะเป็นที่จะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์

3.6 การควบคุมความคับคั่งของข้อมูลในเครือข่ายย่อยที่ใช้งานเสมือน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการควบคุมความคับคั่งของข้อมูลแบบไดนามิกส์ (Dynamic) บนเครือข่ายย่อยวิธีการแบบนี้จะแตกต่างจากวิธีที่กล่าวมาข้างต้นเนื่องจากจะเป็นการพิจารณาสภาพแวดล้อมของระบบในขณะนั้นเพื่อหาทางแก้ไขปัญหาคับคั่งของข้อมูลที่กำลังเกิดขึ้น โดยวิธีการแรกจะนำไปใช้แก้ปัญหาในระบบเครือข่ายที่ใช้งานเสมือนในการส่งข้อมูล และอีกสองวิธีที่เหลือจะใช้ได้ทั่วไป

เทคนิคการควบคุมจำนวนผู้ใช้ (Admission Control) สามารถนำมาใช้ในเครือข่ายย่อยที่เกิดความคับคั่งขึ้นแล้ว โดยจะนำมาควบคุมไม่ให้ความคับคั่งเพิ่มขนาดหรือขยายตัวออกไปอีก มีหลักการทำงานคือ เมื่อเกิดความคับคั่งขึ้นแล้วจะไม่ยอมให้จัดตั้งวงจรเสมือนขึ้นมาอีกจนกว่าความคับคั่งนั้นจะหายไป นั่นคือเครือข่ายจะขัดขวางการติดต่อในชั้นสื่อสารนำส่งข้อมูลซึ่งเป็นผู้จัดตั้งวงจรเสมือน แม้ว่าวิธีการนี้ค่อนข้างจะเด็ดขาดมากเกินไป แต่ก็ยังเป็นวิธีการที่ง่ายแก่การนำไปใช้และมักจะได้ผลดี ในระบบโทรศัพท์ที่มีจำนวนผู้ใช้งานสูงมากเกินไป ทางชุมสายโทรศัพท์จะกดส่งสัญญาณ (Tone Signal) ไปให้แก่ผู้ใช้คนอื่น (ที่ยังไม่ได้ใช้โทรศัพท์ในขณะนั้น) เป็นการชั่วคราวจนกว่าจำนวนผู้ใช้จะลดลงสู่ระดับปกติ จะเห็นได้ว่าแม้วิธีการจะแตกต่างกันแต่ก็ใช้หลักการในทำนองเดียวกัน



รูปที่ 3.6 (a) เครือข่ายที่มีความคับคั่งเกิดขึ้น

(b) รูปเครือข่ายที่สร้างขึ้นใหม่ด้วยการตัดส่วนที่คับคั่งออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีประยุกต์ทางหนึ่งเพื่อลดความเข้มงวดลงบ้างคือ การยอมให้ผู้ใช้อื่นสามารถจัดตั้งวงจรเสมือนขึ้นมาใช้งานได้แต่ก็จะจัดการให้วงจรที่สร้างใหม่นี้หลบไปใช้เส้นทางอื่นที่ไม่มีผลต่อความคับคั่งที่กำลังดำเนินอยู่ พิจารณารูปที่ 3.6 สมมุติว่าโฮสที่เชื่อมต่อกับตัวหาเส้นทาง A ต้องการสร้างวงจรเสมือนเพื่อติดต่อกับโฮสที่เชื่อมต่อกับตัวหาเส้นทาง B แต่รูปที่ 3.6 (a) แสดงให้เห็นว่าที่ตัวหาเส้นทางทั้งสองตัว (A และ B) กำลังมีปัญหาความคับคั่งข้อมูลเกิดขึ้น โดยปกติวงจรเสมือนระหว่างโฮสทั้งสองนี้จะใช้เป็นเส้นทางที่ผ่านตัวหาเส้นทางที่กำลังมีปัญหา รูปที่ 3.6 (b) แสดงโครงสร้างของระบบเดิมที่ปรับปรุงโดยการลบตัวหาเส้นทาง A และ B รวมทั้งสายสื่อสารที่เชื่อมต่อกับตัวหาเส้นทางทั้งสองตัวออกไปทั้งหมดแล้วเลือกใช้เส้นทางที่เขียนด้วยเส้นประแทนเพื่อหลีกเลี่ยงจุดที่มีปัญหา

อีกวิธีการหนึ่งที่น่ามาใช้คือ การที่โฮสทำการต่อรองกับเครือข่ายย่อยในขณะจัดตั้งวงจรเสมือน ข้อตกลงส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับปริมาณและรูปแบบการส่งข้อมูล คุณภาพของการให้บริการ และอื่นๆ เครือข่ายย่อยจะทำการสำรองทรัพยากรที่ต้องใช้ไว้ตลอดเส้นทางที่วงจรเสมือนถูกกำหนดขึ้น ทรัพยากรเหล่านี้ได้แก่ ตารางข้อมูล หน่วยความจำ และความกว้างของช่องสัญญาณสื่อสาร (Bandwidth) ด้วย วิธีการดังกล่าวโอกาสที่จะเกิดความคับคั่งของข้อมูลนั้นเกือบจะเป็นไปไม่ได้เลยเนื่องจากทรัพยากรที่จำเป็นต้องใช้ได้ถูกสงวนไว้ให้แล้ว

วิธีการจองทรัพยากรนี้สามารถนำไปใช้เป็นขั้นตอนถาวรในกระบวนการสร้างวงจรเสมือนหรือนำไปใช้เฉพาะเมื่อเกิดความคับคั่งขึ้นในระบบได้ ถ้าหากนำไปใช้เป็นการถาวรอาจจะทำให้การใช้งานทรัพยากรต่างๆ ในระบบเป็นไปอย่างไม่คุ้มค่า เช่น สมมุติว่ามีการสร้างวงจรเสมือนขึ้น 6 วงจร มีปริมาณข้อมูลโดยรวมเท่ากับ 6 ล้านไบต์ต่อวินาที ซึ่งเท่ากับขีดความสามารถในการนำส่งข้อมูลของสายสื่อสารพอดี ในการปฏิบัติงานจริงนั้นมีโอกาสน้อยมากที่วงจรเสมือนทั้ง 6 วงจรจะทำการส่งข้อมูลที่ความเร็วสูงสุดในเวลาเดียวกัน หมายความว่าเวลาส่วนใหญ่จึงสูญเปล่าไปโดยไม่ได้ใช้สายสื่อสารให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มที่

3.7 ไช้คแพ็คเกจ

วิธีการไช้คแพ็คเกจ (Choke Packet) ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้สามารถนำไปใช้ได้กับเครือข่ายย่อยที่ใช้การส่งข้อมูลทั้งแบบวงจรเสมือนและแบบดาต้าแกรม ตัวหาเส้นทางแต่ละตัวสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของสายสื่อสาร (ขาเข้าและขาออก) ที่เชื่อมต่อกับตนเองและทรัพยากรอื่นๆ ได้ เช่น ตัวหาเส้นทางสามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพการทำงานของสายสื่อสาร (f) ซึ่งสามารถทำได้เป็นประจำมาคำนวณหาค่า u ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงได้ดังนี้

$$u_{\text{new}} = au_{\text{old}} + (1-a)f \quad (3.5)$$

เมื่อ a เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งที่ใช้เป็นน้ำหนักบอกความสำคัญของข้อมูลเดิม (u_{old})

การประมาณค่าประสิทธิภาพการทำงานของสายสื่อสารขาออก (u) เป็นตัวบอกปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านสายสื่อสารเส้นหนึ่ง หรือโดยอุปนัย ค่า u ก็คือตัววัดระดับความคับคั่งของข้อมูลในสายสื่อสารนั่นเอง เมื่อใดก็ตามที่ u มีค่ามากกว่าค่าคงที่ที่กำหนดไว้ล่วงหน้าสายสื่อสารขาออกเส้นนั้นถือได้ว่าอยู่ในระดับ “เดือนกบ” ตัวหาเส้นทางทุกตัวจะต้องพิจารณาค่า u ก่อนทำการส่งข้อมูลเสมอ ถ้าค่า u อยู่ในระดับ “เดือนกบ” ตัวหาเส้นทางจะต้องส่งแพคเกจพิเศษเรียกว่า โฉกแพคเกจ (choke packet) ไปยังโฮสที่เป็นผู้ส่งข้อมูลเพื่อบอกสถานะความคับคั่งที่อาจเกิดขึ้นให้ทราบ แพคเกจนั้นจะได้รับการใส่รหัส (Tagged) เพื่อที่จะได้ไม่เกิดการส่งโฉกแพคเกจซ้ำอีก ก่อนที่จะได้รับการนำส่งตามปกติ

โฮสที่ได้รับโฉกแพคเกจ จะต้องลดปริมาณหรือความถี่ในการส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบลงส่วนหนึ่ง (กำหนดไว้ล่วงหน้า เช่น ลดลง 10 เปอร์เซ็นต์) แม้ว่าจะได้แจ้งปัญหาความคับคั่งไปแล้ว แต่แพคเกจอื่นๆ ที่ส่งตามกันมากก็ยังคงตกอยู่ในสถานะเดียวกัน ดังนั้นจะมีโฉกแพคเกจจำนวนหนึ่งทยอยเข้ามาที่โฮสเพื่อบอกว่าสารเดียวกัน โฮสจึงต้องเพิกเฉยโฉกแพคเกจที่เข้ามาติดต่อกันในช่วงระยะเวลาหนึ่งหลังจากนั้นจึงให้ความสนใจกับโฉกแพคเกจตัวใหม่ ถ้าข่าวสารที่ได้ทำให้ทราบว่าความคับคั่งของข้อมูลยังคงเป็นเช่นเดิม (หรืออาจแย่กว่าเดิม) โฮสจะต้องลดข้อมูลหรือความถี่ในการส่งข้อมูลลงไปอีก แต่ถ้าไม่ได้รับข่าวสารจากโฉกแพคเกจตัวใหม่ แสดงว่าความคับคั่งของข้อมูลได้หายไปแล้ว โฮสก็สามารถเพิ่มปริมาณหรือความถี่ในการส่งข้อมูลให้สูงขึ้นกว่าเดิมได้

โฮสสามารถปรับอัตราการส่งข้อมูลได้โดยการปรับค่าตัวแปรต่างๆ เช่น ขนาดของหน้าต่างสื่อสาร หรือ อัตราการส่งข้อมูลในอัลกอริทึมดังกล่าว โดยทั่วไปโฉกแพคเกจที่มาถึงโฮสนั้นจะทำให้โฮสลดอัตราการส่งข้อมูลลงไปครึ่งหนึ่งของอัตราปัจจุบัน ครั้งต่อไปก็จะลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของอัตราฯ ขณะนั้นหรือเท่ากับหนึ่งในสี่ของอัตราเริ่มต้น ครั้งต่อไปก็จะลดลงไปครึ่งหนึ่งเสมอ ส่วนการเพิ่มอัตราก็จะทำแบบค่อยเป็นค่อยไปเพื่อไม่ทำให้เกิดความคับคั่งของข้อมูล

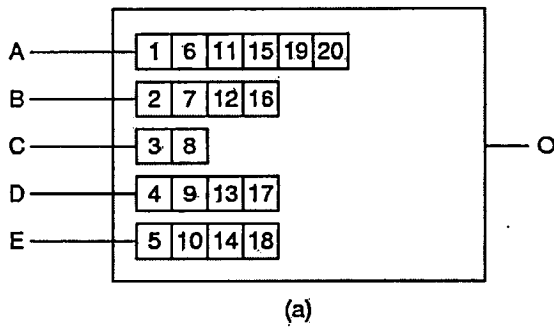
การปรับปรุงในด้านอื่นๆ สำหรับอัลกอริทึมนี้ เช่น ให้ตัวหาเส้นทางเก็บค่าคงที่สำหรับการ “เดือนกบ” ได้หลายค่า ตัวหาเส้นทางก็มีโอกาสที่จะเลือกระดับการเดือนกบให้เหมาะสม และโฮสก็สามารถเลือกวิธีการตอบสนองได้ดียิ่งขึ้น เช่น การเดือนกบระดับต่ำ การเดือนกบระดับกลาง และการเดือนกบระดับสูงสุด การปรับปรุงวิธีหนึ่งคือการดูปริมาณงานที่ค้างอยู่ในแถวคอยสำหรับส่งแพคเกจ หรือประสิทธิภาพการใช้งานหน่วยความจำ ก็สามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบความคับคั่งของข้อมูลได้เช่นกัน

3.7.1 แลวคอยแบบการให้นำหน้าหนกอย่างเป็นธรรมชาติ

ปัญหาการใช้ไอ้คแพกเกิดคือโฮสแต่ละตัว (ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงกับปัญหาที่เกิดขึ้น) มีอิสระอย่างเต็มที่ในการตอบสนองต่อคำเตือน สมมุติว่าตัวหาเส้นทางตัวหนึ่งกำลังเกิดปัญหาความคับคั่งเนื่องจากข้อมูลที่ส่งมาจากโฮสตัว จึงส่งไอ้คแพกเกิดไปยังโฮสทั้งสี่นั้น โฮสตัวหนึ่งตัดสินใจลดปริมาณการส่งข้อมูลลงครึ่งหนึ่งตามที่ควรจะทำ แต่โฮสตัวอื่นกลับทำเฉย โฮสตัวที่ชื่อสตัคก็เลยส่งข้อมูลได้ช้าลงเพียงผู้เดียว ถ้าสถานการณ์ยังไม่คลี่คลาย โฮสผู้ชื่อสตัคนี้ก็จะต้องลดความเร็วในการส่งข้อมูลลงไปเรื่อยๆ จนอาจจะต้องหยุดไปในที่สุด ในเวลาเดียวกันโฮสอีกสามตัวที่เหลือก็ยังส่งข้อมูลที่ความเร็วปกติต่อไป

เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว Nagle (1987) ได้เสนอแนวทางแก้ไขโดยใช้อัลกอริทึมการบริหารแพกเกิดในแลวคอยอย่างเป็นธรรมชาติ (Fair Queuing Algorithm) วิธีการนี้ตัวหาเส้นทางจะต้องสร้างแลวคอยสำหรับแต่ละสายสื่อสารขาออก จำนวนแลวคอยในแต่ละสายจะเท่ากับจำนวนโฮสที่ต้องการส่งข้อมูลออกทางสายเส้นนั้น เมื่อสายเส้นนั้นว่างลง ตัวหาเส้นทางก็จะเลือกแพกเกิดขึ้นมาจากแลวคอยทั้งหมดตามลำดับการหมุนเวียนอย่างเป็นธรรมชาติ ด้วยวิธีการนี้แพกเกิดที่มาจากโฮสทุกตัวมีโอกาสที่จะได้รับการนำส่งเท่ากันหมดแม้ว่าจำนวนแพกเกิดในแลวคอยจะไม่เท่ากันก็ตาม วิธีการนี้ได้นำไปใช้ในการส่งข้อมูลแบบเอทีเอ็มในหลายระบบ

ด้วยลักษณะการทำงานของอัลกอริทึมนี้ แม้ว่าจะให้โอกาส (จำนวนครั้งในการส่ง) แก่โฮสต่างๆ เท่ากัน แต่แพกเกิดที่มีขนาดใหญ่จะได้รับส่วนแบ่งเวลามากกว่าแพกเกิดที่มีขนาดเล็กกว่าเสมอ Demers et al. (1990) ได้เสนอแนวทางแก้ไขโดยการปรับปรุงให้ใช้การวัดปริมาณข้อมูลแทนการนับจำนวนแพกเกิด โดยให้ตรวจสอบข้อมูลในทุกแลวคอยหมุนเวียนกันไปแบบเดิมแต่เป็นการตรวจขนาดข้อมูลไม่ใช่จำนวนแพกเกิด หรืออีกนัยหนึ่งเป็นการสมมุติว่าแลวคอยใช้แพกเกิดขนาดเดียวกันหมดในการตรวจนี้จะใส่หมายเลขกำกับทุกๆ แพกเกิดสมมุติ เรียงตามลำดับที่ควรจะนำส่ง เมื่อหมุนเวียนครบแล้วทุกแลวคอยจะได้หมายเลขสุดท้ายซึ่งเป็นหมายเลขสูงสุดเป็นของตนเอง จากนั้นจึงจัดเรียงแลวคอยทั้งหมดตามลำดับจากหมายเลขเหล่านี้จากน้อยไปหามาก ตัวหาเส้นทางจะส่งข้อมูลแบบหมุนเวียนตามลำดับคือ จะนำแพกเกิดจากแลวคอยที่มีหมายเลขต่ำสุดส่งออกไปเป็นลำดับแรกตามด้วยแพกเกิดจากแลวคอยในลำดับที่สอง เวียนไปจนครบแล้วกลับไปแลวแรกอีกดังแสดงในรูปที่ 3.7



Packet	Finishing time
C	8
B	16
D	17
E	18
A	20

(b)

รูปที่ 3.7 (a) ตัวหาเส้นทางที่มีแพ็คเกจรอส่งอยู่ใน 5 แถวคอย
(b) เวลาสิ้นสุดการทำงานของแต่ละแถวคอย

ตามรูปที่ 3.7 (a) มีแพ็คเกจอยู่ในแถวคอย 5 แถวมีความยาวตั้งแต่สองถึงหกหน่วย ในขั้นตอนของการจัดแถวจะให้แพ็คเกจสมมุติมีขนาดเท่ากับหนึ่งหน่วย แพ็คเกจแรกในแถวคอย A (วัดตามขนาดสมมุติ) ถูกกำหนดให้เป็นหมายเลข 1 ตามด้วยแพ็คเกจแรกในแถวคอย B, C, D, และ E กำหนดหมายเลขให้เป็น 2, 3, 4, และ 5 ตามลำดับ การหมุนเวียนรอบที่สองแพ็คเกจที่สองในแถวคอย A, B, C, D, และ E จะถูกกำหนดหมายเลขให้เป็น 6, 7, 8, 9, และ 10 ตามลำดับ ท้ายที่สุดแพ็คเกจลำดับสุดท้ายในแถวคอย A, B, C, D, และ E จะมีหมายเลขสูงสุดของแต่ละแถวเป็น 20, 16, 8, 17, และ 18 ตามลำดับดังรูปที่ 3.7 (a) ขั้นต่อไปจัดการเรียงลำดับแถวคอยใหม่โดยให้เรียงตามหมายเลขสุดท้ายของแต่ละแถวคอยจากน้อยที่สุดไปหามากที่สุด ซึ่งจะหาผลลัพธ์ดังในรูปที่ 3.7 (b) ในการส่งข้อมูลจริง ตัวหาเส้นทางจะนำแพ็คเกจตัวจริง (ตัวจริง) ตัวแรกจากแถวคอย C ส่งออกไปก่อนหนึ่งตัวตามด้วยแพ็คเกจตัวแรกจากแถวคอย B, D, E, และ A ส่งออกไปตามลำดับ ในรอบที่สองก็จะนำแพ็คเกจตัวแรกในแต่ละแถวคอย (เดิมเป็นแพ็คเกจตัวที่สอง) จาก C, B, D, E, และ A ส่งออกไปครั้งละหนึ่งแพ็คเกจตามลำดับ และก็จะดำเนินการหมุนวนไปเรื่อยๆ จนกว่าจะหมด

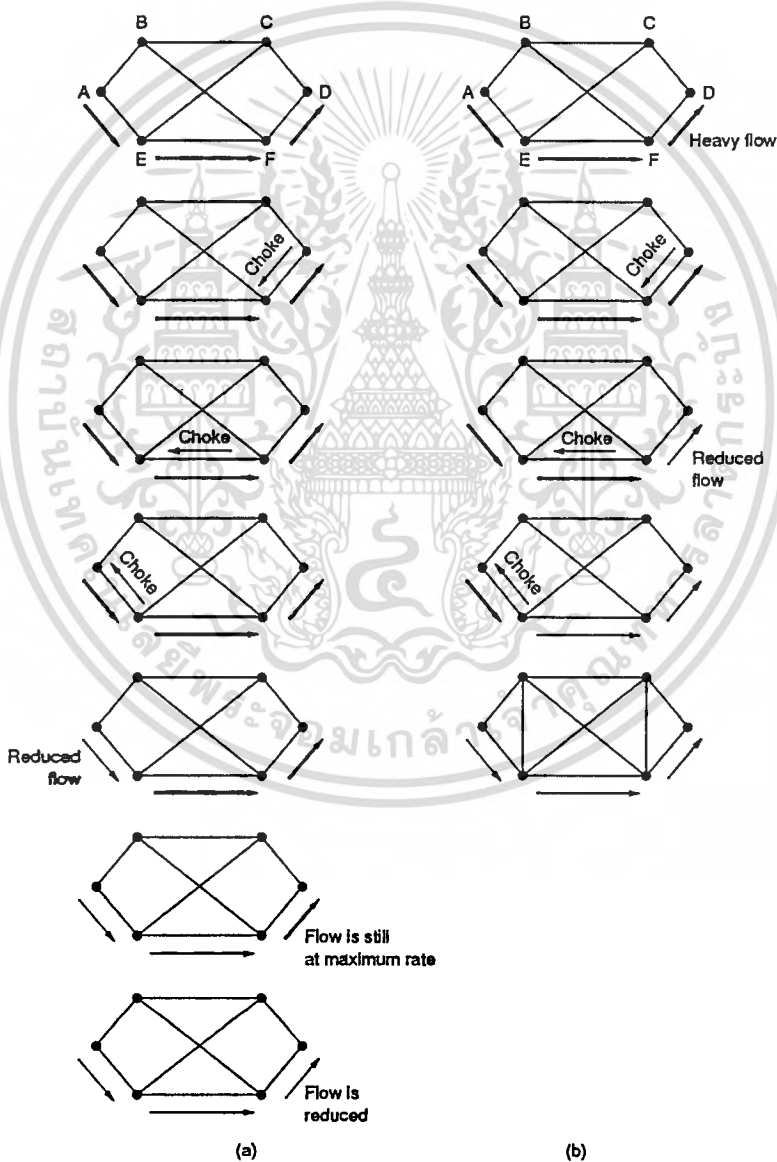
การให้ความสำคัญของแต่ละแถวคอยเท่ากันหมดเป็นปัญหาสำหรับอัลกอริทึมนี้ ในสภาวะแวดล้อมหลายๆ แบบมีความนิยมที่จะให้ความสำคัญแก่แพ็คเกจที่ส่งจากผู้ให้บริการ (Server) มากกว่าแพ็คเกจที่ส่งมาจกผู้ใช้บริการ (Client) เช่น ส่งข้อมูลที่มาจากผู้ให้บริการเป็นสองเท่าของข้อมูลที่มาจกผู้ใช้บริการ การปรับปรุงอัลกอริทึมในลักษณะนี้เรียกว่า การจัดแถวคอยแบบให้น้ำหนักอย่างเป็นธรรม (Weighted Fair Queuing Algorithm) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง บางครั้งน้ำหนักที่ให้อาจจะเท่ากับจำนวนวงจรเสมือนที่ส่งออกมาจากโฮสเพื่อให้แต่ละโพรเซส มีโอกาสเท่าๆ กัน

3.7.2 โฉกแพ็คเกจแบบช่วง-ต่อ-ช่วง

การส่งโฉกแพ็คเกจกลับไปยังผู้ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายระยะไกล แม้ว่าจะใช้ความเร็วสูงก็ไม่สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการเนื่องจากระยะเวลาการตอบรับนั้นนานเกินไป

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารูปที่ 3.8 ถ้าตัวหาเส้นทาง A เป็น โหนดในกรุงเทพฯ กำลังส่งข้อมูลไปยังตัวหาเส้นทาง D ที่อยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ด้วยความเร็ว 155 ล้านบิตต่อวินาที หน่วยความจำที่ใช้ในการรับข้อมูลของตัวหาเส้นทาง D กำลังจะเต็ม ไช้คแพกเกิดจากตัวหาเส้นทาง D จึงถูกส่งกลับไปบอกตัวหาเส้นทาง A เพื่อให้ส่งข้อมูลช้าลง เส้นทางเดินของไช้คแพกเกิดแสดงให้เห็นในขั้นตอนที่สอง ที่สาม ที่สี่ ดังในรูปที่ 3.8 (a) ซึ่ง (สมมุติว่า) จะต้องใช้เวลาดำเนินทาง 30 มิลลิวินาที ในช่วงเวลาดำเนินทางนี้ ข้อมูลอีก 4.65 ล้านบิตจะถูกส่งมาที่ตัวหาเส้นทาง D สมมุติว่าโหนดที่ตัวหาเส้นทาง A จะหยุดส่งข้อมูลในทันทีที่ได้รับไช้คแพกเกิด ตัวหาเส้นทาง D ก็ยังคงจะหาวิธีจัดการกับข้อมูลอีก 4.6 ล้านบิตที่ถูกส่งสวนทางมาแล้ว แต่จากนิยามที่อธิบายไว้ข้างต้นตอนสุดท้ายในรูปที่ 3.8 (a) เท่านั้นที่ตัวหาเส้นทาง D จึงจะได้รับข้อมูลในอัตราที่ช้าลง



รูปที่ 3.8 (a) ไช้คแพกเกิดที่มีผลเฉพาะผู้ส่งข้อมูล

(b) ไช้คแพกเกิดที่มีผลกับทุกตัวหาเส้นทางที่อยู่ในเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนทางแก้ไขที่เป็นไปได้คือ จะต้องให้ข่าวสารจากโหนดแพคเกจมีผลในทันทีกับตัวหาเส้นทางในทุกช่วงการส่งข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3.8 (a) ตัวหาเส้นทางทุกตัวในเส้นทางที่โหนดแพคเกจเดินทางผ่านเริ่มจากตัวหาเส้นทาง F จะต้องอ่านข่าวสารในโหนดแพคเกจและควบคุมความเร็วในการส่งข้อมูลไปยังตัวหาเส้นทาง D ให้ออกไปด้วยอัตราความเร็วที่ช้าลง เมื่อโหนดแพคเกจไปถึงตัวหาเส้นทาง E ข้อมูลที่จะส่งไปยังตัวหาเส้นทาง D ก็จะถูกบังคับให้ส่งด้วยอัตราความเร็วที่ช้าลงเช่นกัน ในที่สุด โหนดแพคเกจก็เดินทางไปถึงแหล่งผลิตข้อมูลคือตัวหาเส้นทาง A จากนั้นข้อมูลตลอดเส้นทาง A จากนั้นข้อมูลตลอดเส้นทางจึงจะถูกส่งด้วยความเร็วที่ช้าลง ดังรูปขั้นตอนสุดท้ายในรูปที่ 3.8 (b)

ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้โหนดแพคเกจแบบช่วง-ต่อ-ช่วง (Hop-by-Hop) นี้ จะทำให้ข่าวสารที่ส่งกลับไปยังผู้ส่งข้อมูลนั้นเกิดผลในทางปฏิบัติทันที ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาความคับคั่งของข้อมูลในจุดที่เกิดเหตุได้ อย่างไรก็ตามตัวหาเส้นทางทุกตัวที่อยู่ในเส้นทางเดินของโหนดแพคเกจนั้นจะต้องใช้หน่วยความจำเพิ่มขึ้นอย่างมาก

3.8 การลบทิ้งข้อมูล

ถ้าวิธีที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดไม่สามารถทำให้ความคับคั่งของข้อมูลหายไปได้ วิธีสุดท้ายที่ต้องทำก็คือการลบทแพคเกจทิ้งโดยใช้อัลกอริทึมที่เข้มงวดมากเรียกว่า การลบทิ้งข้อมูล (Load Shedding) มาใช้วิธีการนี้ประยุกต์มาจากการแก้ไขปัญห ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่เพียงพอ กับความต้องการของผู้ใช้ เช่น ในช่วงกลางฤดูร้อนผู้คนจะใช้ไฟฟ้ากันอย่างมาก ถ้าหากว่าการไฟฟ้าไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าป้อนเข้าสู่ระบบได้เพียงพอและถ้าไม่มีการแก้ไขใดๆ แล้ว เมืองทั้งเมืองก็จะไม่มีกระแสไฟฟ้าใช้เลย เพราะเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าจะทำงานเกินกำลังจนชำรุดในที่สุด วิธีการแก้ไขก็คือ การไฟฟ้าจะตัดกระแสไฟฟ้าที่ส่งไปยังพื้นที่ ที่มีความสำคัญน้อยเพื่อให้มีปริมาณกระแสไฟฟ้าเพียงพอสำหรับป้อนให้กับพื้นที่ส่วนที่เหลือทั้งหมด

ในการทำงานเดียวกัน ตัวหาเส้นทางที่มีแพคเกจค้างอยู่ในแถวคอยจำนวนมากและมีแพคเกจทยอยส่งเข้ามาอย่างไม่ขาดสายก็อยู่ในสถานะที่จะต้องทำอย่างใดอย่างหนึ่ง ก่อนที่ตัวหาเส้นทางจะไม่สามารถควบคุมสถานการณ์ได้ โดยทั่วไปตัวหาเส้นทางจะเลือกวิธีลบทแพคเกจทิ้งซึ่งอาจจะเป็นแพคเกจใดๆ ก็ได้ แต่โดยปกติตัวหาเส้นทางจะเลือกลบทแพคเกจทิ้งด้วยวิธีการต่างๆ ตามลักษณะของงาน เช่น การคัดลอกสำเนาเพิ่มข้อมูลแพคเกจที่ส่งมาก่อนจะมีความสำคัญมากกว่าแพคเกจที่ส่งเข้ามาทีหลังเนื่องจากการลบทแพคเกจเก่าจะทำให้แพคเกจที่เหลือไม่อยู่ในลำดับที่ถูกต้อง โพรโตคอลบางชนิดจะไม่ยอมรับแพคเกจที่เหลืออยู่เหล่านี้และจะบังคับให้ส่งแพคเกจชุดใหม่ทั้งหมดตามลำดับที่ถูกต้อง ส่วนโปรแกรมประยุกต์ประเภทมัลติมีเดียเลือกที่จะลบทแพคเกจเก่าทิ้งมากกว่า

โปรแกรมประยุกต์อีกส่วนหนึ่งมีความสลับซับซ้อนมากกว่าโปรแกรมทั่วไป ทำให้แพ็คเกจบางส่วนมีความสำคัญมากกว่าแพ็คเกจอื่น เช่น การส่งข้อมูลภาพเคลื่อนไหวที่มีการบีบอัดข้อมูลนั้นเฟรมบางเฟรมจะถูกกำหนดให้เป็นเฟรมหลักซึ่งจะเก็บข้อมูลของภาพทั้งภาพ เฟรมอื่นๆ เป็นเฟรมประกอบ ซึ่งจะเก็บข้อมูลเฉพาะบางส่วนของภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากภาพในเฟรมหลัก ดังนั้นแพ็คเกจที่เก็บเฟรมหลักจะมีความสำคัญมากกว่าแพ็คเกจที่เก็บเฟรมประกอบ เนื่องจากการสูญหายของเฟรมหลักจะทำให้เฟรมประกอบที่เหลืออยู่ไร้ความหมาย หรือการส่งข้อมูลที่เป็นภาพปนกับข้อมูลที่เป็นตัวหนังสือ การสูญเสียบางส่วนของภาพโดยปกติจะมีผลเสียน้อยกว่าการสูญเสียข้อมูลบางบรรทัดเป็นต้น

วิธีการแบบซับซ้อนในการเลือกแพ็คเกจที่จะต้องถูกลบทิ้งนั้น โปรแกรมประยุกต์จะกำหนดความสำคัญ (Priority) ให้กับทุกแพ็คเกจ เมื่อต้องการลบแพ็คเกจทิ้ง ตัวหาเส้นทางจะเลือกลบแพ็คเกจที่มีความสำคัญต่ำที่สุดก่อนตามด้วยแพ็คเกจในลำดับความสำคัญเพิ่มขึ้นไปอีกครั้งละหนึ่งระดับแพ็คเกจที่มีความสำคัญในระดับสูงสุดจะถูกลบทิ้งในลำดับหลังสุด และอาจเป็นไปได้ว่าแพ็คเกจบางอย่างจะถูกจัดให้มีความสำคัญชนิด “ห้ามลบทิ้งโดยเด็ดขาด” ก็ได้

การกำหนดระดับความสำคัญสามารถทำได้มากมาย เช่น ในทางธุรกิจจะกำหนดให้แพ็คเกจของลูกค้าชั้นดีซึ่งจะต้องจ่ายค่าบริการแพงมาก มีลำดับความสำคัญสูง ในขณะที่ลูกค้าทั่วไปซึ่งจ่ายค่าบริการถูก หรือลูกค้าชั่วคราวเป็นกลุ่มที่มีลำดับความสำคัญต่ำสุด ลำดับความสำคัญอาจผูกติดกับรูปแบบของการจราจร เช่น ในระบบโทเก้นบัคเก็ตแพ็คเกจที่เข้ามายังตัวหาเส้นทางในขณะที่ไม่มีโทเก้นเหลืออยู่อาจขอให้ตัวหาเส้นทางส่งข้อมูลออกไปโดยไม่ต้องรอโทเก้นใหม่ก็ได้ ในกรณีนี้ตัวหาเส้นทางอาจจะจัดลำดับความสำคัญของแพ็คเกจให้เป็นระดับต่ำที่สุดซึ่งถ้าเกิดความคับคั่งขึ้นมาในระบบ แพ็คเกจประเภทนี้จะถูกลบทิ้งในลำดับแรก ในช่วงที่ระบบมีปริมาณงานต่ำ ผู้ใช้อาจจะนำวิธีการนี้ไปใช้ได้ เมื่อปริมาณงานเพิ่มมากขึ้นจนทำให้แพ็คเกจถูกลบทิ้ง ผู้ใช้ก็สามารถยกเลิกและหันกลับไปใช้วิธีการรอโทเก้นตามปกติก็ได้

อีกวิธีการหนึ่งคือ การยอมให้โฮสต์ส่งแพ็คเกจออกมามากกว่ากติกาที่ได้ตกลงกันไว้ในขณะจัดตั้งวงจรเสมือน เช่น โฮสต์อาจส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงกว่าที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามแพ็คเกจส่วนเกินจะต้องถูกกำหนดระดับความสำคัญไว้ที่ระดับต่ำสุด แนวความคิดนี้จะช่วยให้การใช้งานสายสื่อสารมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น นั่นคือการยอมให้โฮสต์สามารถใช้งานสายสื่อสารได้อย่างเต็มที่ในขณะที่ไม่มีผู้ใดต้องการใช้ แต่ก็ไม่ได้ให้สิทธิอย่างถาวร

การนำระดับความสำคัญมาใช้ทำให้ต้องเพิ่มข้อมูลนี้เข้าไปในส่วนหัวของแพ็คเกจ (Packet Header) โพรโทคอลเอทีเอ็มจัดเตรียมที่ไว้หนึ่งบิตสำหรับบอกระดับความสำคัญสองระดับคือระดับความสำคัญสูง และระดับความสำคัญต่ำ ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง

ในบางระบบเครือข่าย แพ็คเกจจะถูกจัดรวมกลุ่มเข้าด้วยกันเพื่อเตรียมไว้ใช้ในกรณีที่ต้องการส่งข้อมูลนั้นซ้ำ เช่น โพรโทคอล ATM จะแบ่งข้อมูลออกเป็น ส่วน เรียกว่าเซลล์ (Cell) ซึ่ง

มีขนาดคงที่ โดยปกติเซลล์จะมีขนาดเล็กกว่าขนาดข่าวสารที่ต้องการส่ง ดังนั้นแต่ละข่าวสารจึงประกอบด้วยเซลล์ตั้งแต่สองเซลล์ขึ้นไป ในกรณีที่เซลล์สูญหายหรือถูกทำลายเพียงเซลล์เดียวจะทำให้ข้อมูลของข่าวสารนั้นเสียหายทั้งหมด ซึ่งมีผลทำให้เกิดการส่งข้อมูลซ้ำ ในกรณีนี้ตัวหาเส้นทางที่ลบเซลล์ทิ้งสามารถลบเซลล์อื่นในชุดเดียวกันได้ทั้งหมดเพราะเซลล์ที่เหลืออยู่แม้ว่าจะอาจเดินทางไปถึงผู้รับ แต่ก็ไร้ค่าและจะต้องถูกส่งซ้ำอยู่ดี

การจำลองสภาพการทำงานระบบเครือข่ายย่อยแสดงให้เห็นว่าเมื่อตัวหาเส้นทางตรวจพบปัญหาความคับคั่งในระบบ ตัวหาเส้นทางควรที่จะเริ่มลบแพคเกจทิ้งในทันที ดีกว่ารอให้ปัญหาขยายตัวจนยากที่จะแก้ไข รายละเอียดหาอ่านได้ใน (Floyd and Jacobson, 1993; Romanow and Floyd, 1994) การทำงานตามข้อสรุปนี้จะช่วยป้องกันความคับคั่งไม่ให้ลุกลามต่อไป

3.9 การควบคุมความไม่ต่อเนื่องของข้อมูล

โปรแกรมประยุกต์ประเภทการถ่ายทอสัญญาณเสียงและภาพเคลื่อนไหวนั้น แม้ว่าจะระยะเวลาในการนำส่งข้อมูล 20 หรือ 300 มิลลิวินาทีต่อแพคเกจ ก็จะไม่ทำให้เกิดผลเสียหายทราบเท่าที่ระยะเวลานี้คงที่ สมมุติว่าแพคเกจบางส่วนถูกส่งมาถึงผู้รับใน 20 มิลลิวินาที และแพคเกจอีกบางส่วนมาถึงใน 30 มิลลิวินาที ผลที่ปรากฏคือ ผู้รับจะได้รับเสียงหรือภาพเคลื่อนไหวที่ไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นทั้ง โฮสและเครือข่ายย่อยจะต้องทำความเข้าใจในลักษณะการรับประกันระยะเวลาในการนำส่งข้อมูล เช่น จะส่งข้อมูลแต่ละแพคเกจจากแหล่งกำเนิดไปถึงผู้รับให้ได้ภายในระยะเวลา 24 มิลลิวินาที ถึง 25 มิลลิวินาที กระบวนการนี้เรียกว่าเป็น การควบคุมความไม่ต่อเนื่องของข้อมูล (Jitter Control) ระยะเวลาที่กำหนดนี้จะต้องเป็นไปได้อย่างจริง และสามารถคำนวณได้จากปริมาณความคับคั่งของข้อมูลตลอดเส้นทางเดินที่ต้องการ

การควบคุมความไม่ต่อเนื่องสามารถคำนวณได้จากค่าคาดหว้งในการส่งข้อมูลของแต่ละช่วงหรือการส่งข้อมูลจากตัวหาเส้นทางหนึ่งไปยังตัวหาเส้นทางถัดไปแต่ละตัวหาเส้นทางสามารถตรวจสอบจำนวนแพคเกจที่อยู่ในแถวคอยว่าแพคเกจใดส่งไปเร็วหรือช้ากว่ากำหนด ข้อมูลนี้จะถูกฝากไว้ในแพคเกจและจะได้รับการปรับปรุงทุกครั้งที่ผ่านมาเส้นทางแต่ละตัว ถ้าเราแพคเกจได้รับการนำส่งเร็วกว่าที่กำหนดไว้ก็จะถูกบังคับให้รอจนกว่าจะถึงเวลาที่ควรนำส่งตามตาราง ถ้าหากช้ากว่ากำหนด ตัวหาเส้นทางจะพยายามนำส่งแพคเกจนั้นโดยเร็วที่สุด อันที่จริงแล้วอัลกอริทึมที่ใช้ในการเลือกแพคเกจที่ควรนำส่งก่อนจะเลือกนำส่งแพคเกจที่อยู่ในแถวคอยที่ช้ากว่ากำหนดเป็นอันดับแรก ในเวลาเดียวกันแพคเกจที่เร็วกว่ากำหนดก็จะถูกบังคับให้รอคอยโดยอัตโนมัติ ทั้งหมดนี้จะมีผลในการลดความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลลงได้

3.10 การควบคุมความคับคั่งของข้อมูลในระบบการส่งแบบกระจายหลายจุด

อัลกอริทึมสำหรับควบคุมความคับคั่งที่กล่าวถึงล้วนเป็นวิธีการจัดการข้อมูลที่ถูกส่งออกจากแหล่งส่งข่าวสารแห่งหนึ่งไปยังผู้รับข่าวสารเพียงแห่งเดียว ในหัวข้อนี้จะได้กล่าวถึงวิธีการข่าวสารที่ส่งจากผู้ผลิตข่าวสารหลายแห่งไปยังผู้รับที่กระจายอยู่หลายแห่งในระบบเครือข่าย ตัวอย่างเช่น สถานีโทรทัศน์วงจรปิดหลายแห่งแพร่กระจายข่าวสารที่เป็นทั้งสัญญาณเสียงและสัญญาณภาพเคลื่อนไหวไปยังสมาชิกกลุ่มหนึ่งซึ่งสมาชิกแต่ละคนสามารถเลือกที่จะรับสัญญาณจากสถานีใดก็ได้ และสามารถเปลี่ยนไปรับข่าวสารจากสถานีอื่นได้ในทุกโอกาสที่ต้องการ ตัวอย่างของโปรแกรมประยุกต์ได้แก่ การจัดประชุมผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Conference) ซึ่งผู้ร่วมประชุมมีอิสระที่จะเลือกดูสมาชิกที่กำลังอภิปรายหรือดูปฏิริยาของประธานขณะกำลังรับฟังก็ได้

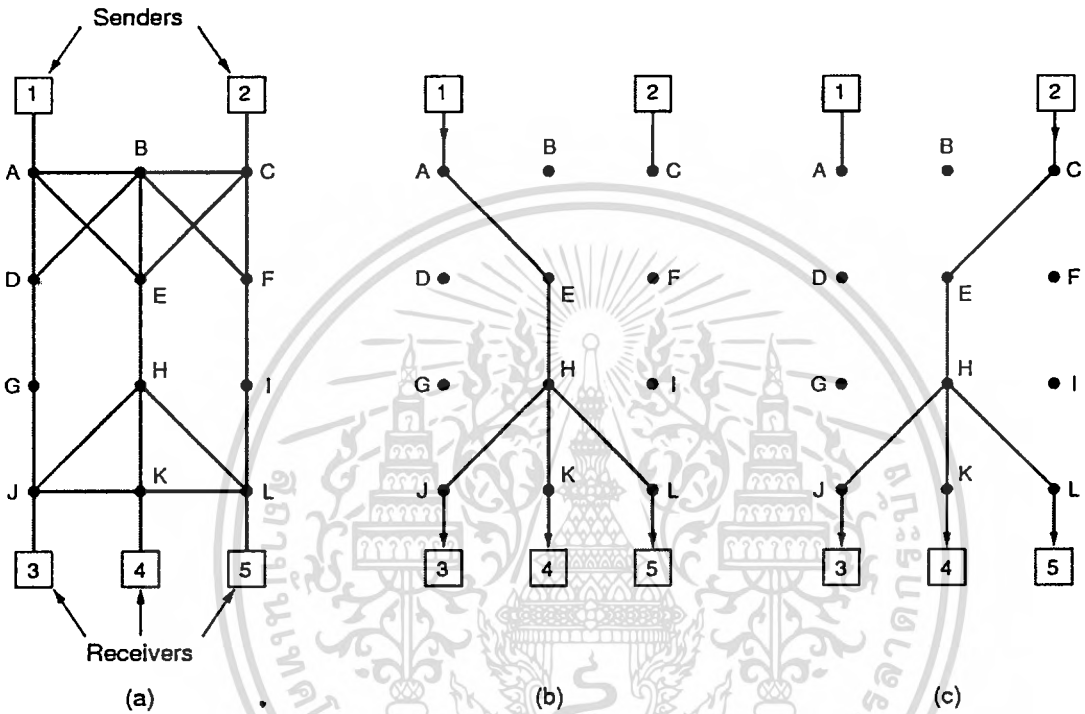
โปรแกรมประยุกต์ในระบบการส่งกระจายหลายจุดอนุญาตให้สมาชิกของแต่ละกลุ่มสามารถย้ายกลุ่มได้ตลอดเวลา เช่น สมาชิกผู้หนึ่งเกิดเบื่อหน่ายการประชุมก็สามารถเปลี่ยนไปรับข่าวสารจากสถานีข่าวกีฬาได้ ภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้ การที่จะให้ผู้ส่งข่าวสารสำรองช่วงสัญญาณสื่อสาร (Bandwidth) ไว้ให้ล่วงหน้าจะไม่เกิดประสิทธิภาพเท่าที่ควร เพราะผู้ส่งจะต้องคอยเฝ้าดูผู้รับที่มีอยู่ขณะนั้นซึ่งสามารถเปลี่ยนไปใช้บริการข่าวสารจากกลุ่มอื่น หรือผู้รับจากกลุ่มอื่นที่เพิ่งจะเข้ามารับข่าวสารใหม่ที่เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ทำให้ผู้ส่งจะต้องสร้างสเปกนิงทรีใหม่ทุกครั้งที่เกิดความเปลี่ยนแปลงขึ้น สำหรับสถานีที่ส่งข่าวสารให้กับสมาชิกนับแสนนับล้านคน วิธีการนี้ย่อมไม่สามารถนำมาใช้ได้อย่างแน่นอน

3.10.1 โพรโตคอลสำรองทรัพยากร

วิธีหนึ่งที่น่ามาใช้บริหารระบบภายใต้เงื่อนไขข้างต้นเรียกว่า โพรโตคอลสำรองทรัพยากร (RSVP: Resource reSerVation Protocol) พัฒนาโดย (Zhang et al., 1993) วิธีการนี้ยินยอมให้ผู้ส่งข่าวสารหลายคนสามารถกระจายข้อมูลไปยังผู้รับหลายกลุ่มได้อนุญาตให้ผู้รับแต่ละคนสามารถเปลี่ยนไปรับข่าวสารจากผู้ส่งคนใดก็ได้เมื่อต้องการ และบริหารการใช้ช่วงสัญญาณสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพในขณะที่พยายามกำจัดปัญหาความคับคั่งของข้อมูลด้วย

รูปแบบของโปรโตคอลใช้วิธีการเลือกเส้นทางเดินข้อมูลแบบกระจายหลายจุดโดยการสร้างสเปกนิงทรีคิ่งที่ได้อีกว่าไว้ข้างต้น แต่ละกลุ่มจะถูกกำหนดหมายเลขของกลุ่ม การส่งแพ็คเกจจะต้องระบุหมายเลขกลุ่มเป็นที่อยู่ของผู้รับ การเลือกเส้นทางเดินข้อมูลแบบกระจายหลายจุดจะถูกนำมาใช้เพื่อสร้างสเปกนิงทรีสำหรับสมาชิกทั้งหมดของกลุ่ม (วิธีการเลือกเส้นทางไม่ใช่ส่วนหนึ่งของอัลกอริทึมนี้) ขั้นตอนที่เพิ่มเติมขึ้นมาคือการส่งข้อมูลพิเศษตามระยะเวลาที่กำหนดไปยังตัวหาเส้นทางต่างๆ ตลอดเส้นทางในสเปกนิงทรีที่สร้างขึ้น เพื่อบอกให้ตัวหาเส้นทางเหล่านี้ทราบลักษณะโครงสร้างของกลุ่ม

ตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3.9 (a) โฮสหมายเลข 1 และ 2 คือผู้ส่งข่าวสารแบบหลายจุด โดยมีโฮสหมายเลข 3, 4, และ 5 เป็นผู้รับข่าวสารแบบหลายจุด เฉพาะในตัวอย่างนี้ทั้งผู้ส่งและผู้รับเป็นโฮสคนละชุดกัน แต่ในความเป็นจริงอาจมีโฮสบางตัวที่เป็นทั้งผู้ส่งและผู้รับแบบหลายจุดในตัวเดียวกันก็ได้ เส้นทางสเปนนิงทรีของโฮสหมายเลข 1 และ 2 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.9 (b) และ 3.9 (c) ตามลำดับ



รูปที่ 3.9 (a) เครือข่าย

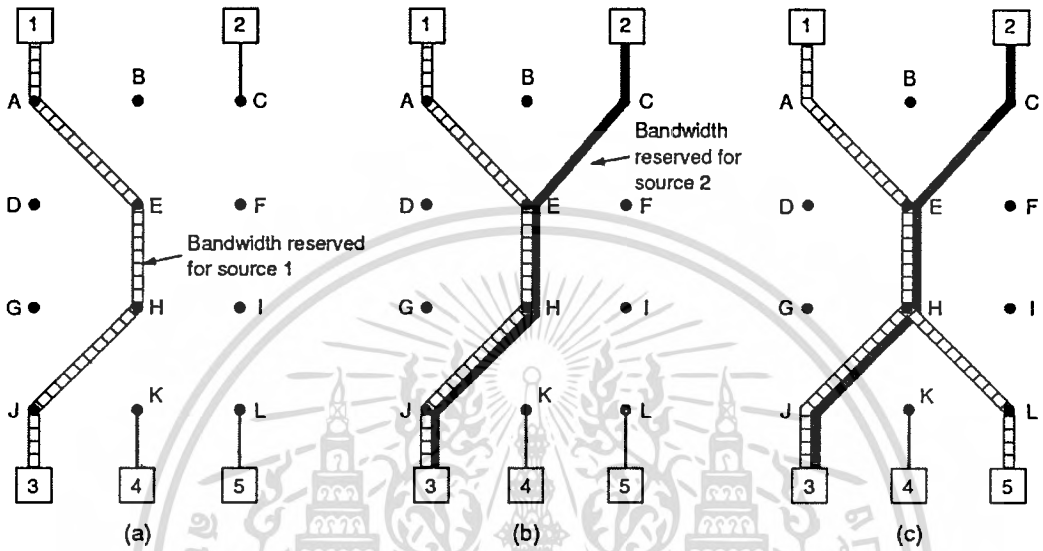
(b) สเปนนิงทรีสำหรับส่งข้อมูลหลายจุดของโฮส 1

(c) สเปนนิงทรีสำหรับส่งข้อมูลหลายจุดของโฮส 2

ผู้รับแต่ละคนเมื่อต้องการเปลี่ยนการรับสัญญาณ ก็จะส่งข้อมูลกลับไปหาผู้ส่งตามเส้นทางที่ผู้ส่งใช้ส่งข่าวสารมาถึงตนเองโดยใช้วิธีการส่งข่าวสารย้อนกลับ (Reverse Path Forwarding) ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้นแต่ละตัวหาเส้นทาง (ในเส้นทาง) จะบันทึกการเปลี่ยนแปลงและจัดการสำรองช่วงสัญญาณสื่อสารไว้ให้ซึ่งจะส่งข่าวบอกความล้มเหลวแก่ผู้รับในกรณีที่ตัวหาเส้นทางตัวนั้นๆ ไม่สามารถสำรองทรัพยากรไว้ให้ได้ ในกรณีที่ประสบผลสำเร็จ ตัวหาเส้นทางทุกตัวตลอดเส้นทางนั้นจะสำรองทรัพยากร ที่จำเป็นต้องไว้ใช้ให้เรียบร้อยดังแสดงในรูปที่ 3.10 (a)

ในกรณีนี้ โฮสหมายเลข 3 ร้องขอการสำรองทรัพยากรไปยังโฮสหมายเลข 1 เมื่อได้ตามที่ความต้องการแล้วแพคเกจจะสามารถส่งจากโฮส 1 ไปยังโฮส 3 ได้โดยไม่มีการติดขัด ต่อไปสมมุติว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหนด 3 ร้องขอการสำรองทรัพยากรไปยังโหนด 2 เพื่อจะได้รับข่าวสารจากโหนดทั้งสองตัวในเวลาเดียวกัน เส้นทางเส้นที่สองก็จะถูกสร้างขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.10 (b) สังเกตว่าเส้นทางเดินข้อมูลสองช่องทางต้องได้รับการสร้างขึ้นระหว่างโหนด 3 และโหนด E แม้ว่าจะจะเป็นเส้นทางที่ซ้อนกันอยู่ก็ตามเนื่องจากข้อมูลที่ส่งมาจากทั้งสองแหล่งจะสามารถส่งมายังโหนด 3 ได้ในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 3.10(a) โหนด 3 ร้องขอช่องสื่อสารไปยังโหนด 1
 (b) โหนด 3 ร้องขอช่องสื่อสารไปยังโหนด 2
 (c) โหนด 5 ร้องขอช่องสื่อสารไปยังโหนด 1

ท้ายที่สุด รูปที่ 3.10 (c) แสดงกรณีที่โหนด 5 ต้องการรับข่าวสารจากโหนด 1 จึงทำการร้องขอการสำรองทรัพยากรไปยังโหนดหมายเลข 1 บ้าง การสำรองทรัพยากรในเส้นทางจากโหนด 5 ไปยังโหนด H ถูกสร้างขึ้นมาก่อน อย่างไรก็ตามที่โหนด H มีการสำรองทรัพยากรจากโหนด 1 ไว้เรียบร้อยแล้ว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นจะต้องสำรองทรัพยากรเพิ่มเติม ตัวหาเส้นทาง H จึงเพียงแต่กระจายข่าวสารเดียวกันไปยังโหนด 3 และ 5 พร้อมกันเท่านั้น ในกรณีที่โหนดทั้งสองตัวมีความต้องการช่องสัญญาณสื่อสารไม่เท่ากัน การสำรองทรัพยากรจะใช้ความต้องการที่สูงกว่าเป็นหลักเสมอ

ในขณะที่ร้องขอการสำรองทรัพยากร ผู้รับสามารถที่จะเลือกแหล่งที่มาของข้อมูลได้มากกว่าหนึ่งแห่งในคราวเดียวกัน ผู้ใช้สามารถระบุว่าจะเลือกที่จะขอไปนี้เป็นการขอแบบตายตัวหรือแบบที่สามารถจะเปลี่ยนแปลงในภายหลังได้ ตัวหาเส้นทางจะใช้ข้อมูลนี้ในการวางแผนการใช้ช่องสัญญาณสื่อสารร่วมกันได้ก็ต่อเมื่อผู้ใช้ทั้งคู่ตกลงที่จะขอการสำรองทรัพยากรจากแหล่งข้อมูลแบบตายตัวเท่านั้น

การที่เครือข่ายย่อยยอมให้ผู้รับใช้ช่วงสัญญาณีสื่อสารที่องไว้มีความอ่อนตัวเป็นแบบไดนามิกส์ หมายถึงการที่ผู้รับสามารถเปลี่ยนไปรับข่าวสารอื่นๆ จากผู้ส่งได้โดยไม่ต้องมีการขอสารองทรัพยากรใหม่ เช่น โฮสต์ 2 อาจจะมีการแพร่ข่าวสารหลายแบบหรือภาพเคลื่อนไหวหลายช่อง เนื่องจากโฮสต์ 3 ได้ทำการขอสารองทรัพยากรไว้แล้ว โฮสต์ 3 จึงสามารถเปลี่ยนไปรับข่าวสารแบบอื่น หรือภาพเคลื่อนไหวช่องอื่นของโฮสต์ 2 ได้ตลอดเวลา (โฮสต์ 3 ต้องระบุในขณะขอสารองทรัพยากรว่าเป็นแบบเปลี่ยนแปลงได้) โดยใช้เส้นทางข้อมูลเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

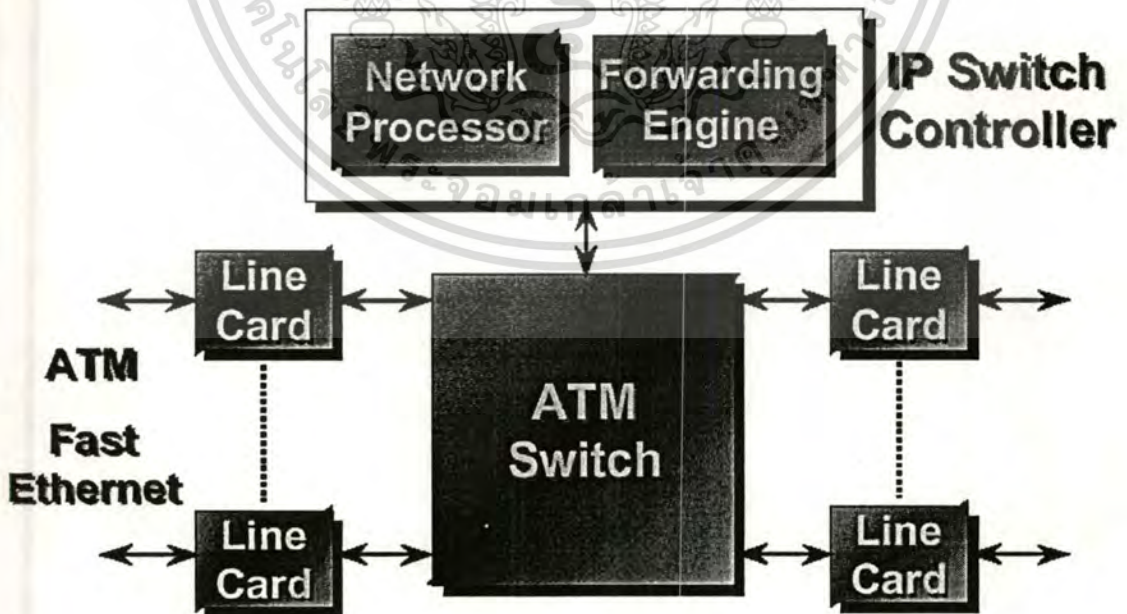
บทที่ 4

ไอพีสวิตช์

(IP Switch)

4.1 บทนำ

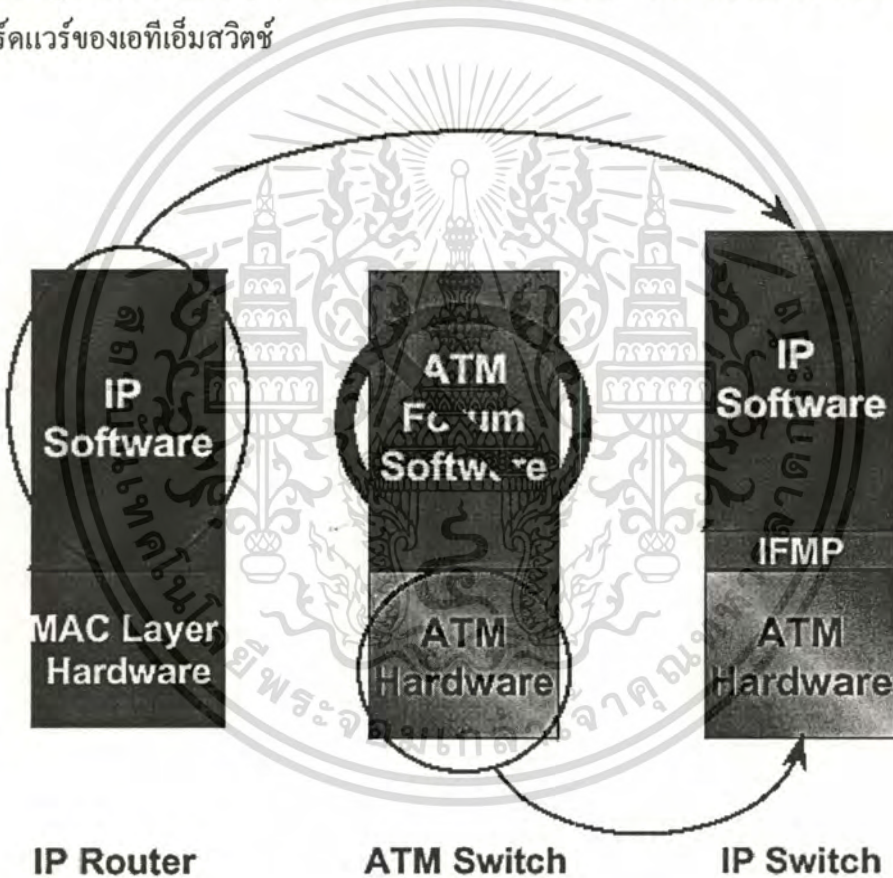
ไอพีสวิตช์เป็นเทคโนโลยีใหม่ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ที่รวมเอาตัวหาเส้นทางแบบไอพี เข้ากับเอทีเอ็มสวิตช์ สามารถนำส่งข้อมูลได้หลายล้านแพ็คเกจต่อวินาที (PPS) ไอพีสวิตช์ได้กลายเป็นทางเลือกหนึ่งในเครือข่ายไอพีที่ต้องการความเร็วสูงในการทำงาน และได้นิยมใช้กันอย่างรวดเร็ว (โดยได้รับความร่วมมือจากหลายบริษัทชั้นนำคือ 3COM, Digital Equipment Corporation (DEC), FORE Systems, IBM, Ericsson, Hitachi Telecom (USA), Ipsilon Networks, NEC America และอีกกว่า 10 บริษัท) ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าจะสามารถใช้ไอพีสวิตช์ร่วมกับเอทีเอ็มสวิตช์ที่มาจากต่างผู้ผลิตได้ (Multivendor Support) โดยที่จริงแล้วไอพีสวิตช์สามารถนำมาใช้กับเอทีเอ็มสวิตช์ทุกตัว ไม่ว่าจะมาจากผู้ผลิตใดก็ตาม จึงเป็นข้อดีของไอพีสวิตช์ที่ผู้ใช้สามารถเลือกเอทีเอ็มสวิตช์ที่มีความสามารถสูงตามที่ต้องการได้ (ขึ้นอยู่กับงบประมาณ) โดยที่ไม่ต้องยึดติดกับผู้ผลิตรายใดรายหนึ่งเป็นหลัก สถาปัตยกรรมของไอพีสวิตช์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 สถาปัตยกรรมของไอพีสวิตช์

4.2 โครงสร้างของไอพีสวิตช์

เพื่อสร้างไอพีสวิตช์ (ดูรูปที่ 4.2) เรานำเอาฮาร์ดแวร์ของเอทีเอ็มสวิตช์มาใช้โดยปราศจากการดัดแปลงใดๆ แต่ย้ายซอฟต์แวร์ที่อยู่ในคอนโทรลโพรเซสเซอร์ที่อยู่เหนือ AAL5 ออกทั้งหมด ดังนั้นจึงเป็นการย้ายสัญญาณต่างๆ (Signaling) เช่น โพรโตคอลในการหาเส้นทาง, แลนอิมูเลชันเซิร์ฟเวอร์ (LAN Emulation Server) หรือ แอ็ดเรสเรซโซลูชันเซิร์ฟเวอร์ (Address Resolution Server) ออกไปเป็นต้น ในส่วนของเอทีเอ็มซอฟต์แวร์เราบรรจุโพรโตคอลแบบง่ายๆ ที่ควบคุมการทำงานระดับล่าง (Simple Low Level Control Protocol) ที่เรียกว่าโพรโตคอลบริหารสวิตช์ทั่วไป (General Switch Management Protocol) ใช้ชื่อย่อว่า จีเอสเอ็มพี (GSMP) เพื่อให้ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์เข้าถึงฮาร์ดแวร์ของเอทีเอ็มสวิตช์



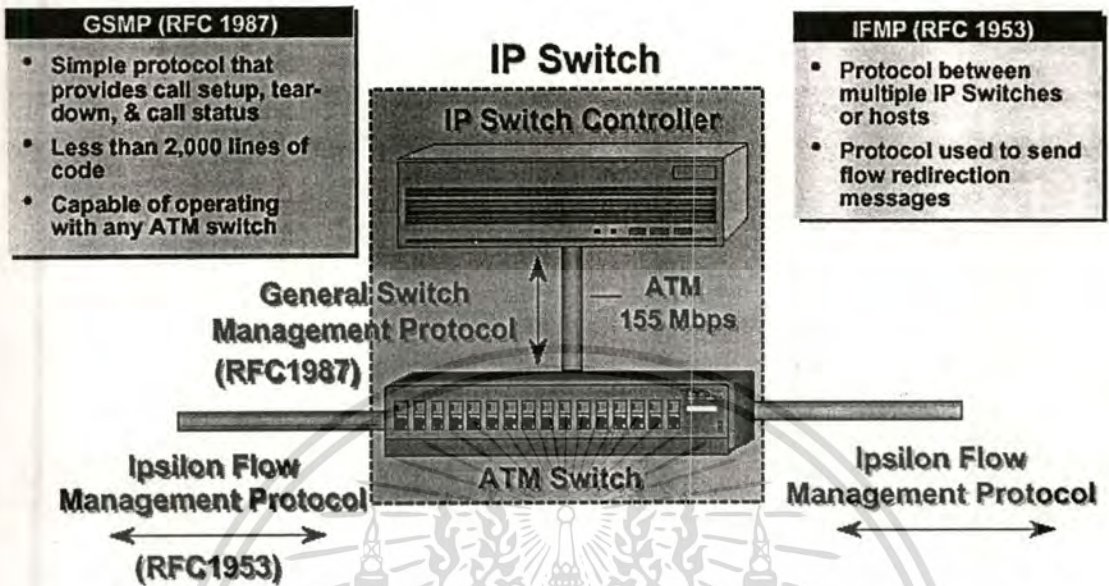
รูปที่ 4.2 การนำเอาไอพีมาใช้ร่วมกับเอทีเอ็มสวิตช์

ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์เป็นโพรเซสเซอร์ชั้นสูง (High-End Processor) ทำงานกับซอฟต์แวร์หาเส้นทางในเครือข่ายไอพีที่เป็นมาตรฐาน (Standard IP Router Software) ที่มีส่วนเพิ่มเติมที่ทำให้มันสามารถใช้สวิตช์ซิงฮาร์ดแวร์ ส่วนที่เพิ่มเติมนี้รวมถึง โพรโตคอลบริหารการไหลของอิพซิลอน (Ipsilon Flow Management Protocol) ใช้ชื่อย่อว่า ไอเอฟเอ็มพี (IFMP) [4] ตัวจำแนกการไหล (Flow Classifier) ใช้สำหรับตัดสินใจว่าแต่ละการไหลที่เข้ามาควรที่จะได้รับบริการใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบสวิตช์ซึ่งจากเอทีเอ็มสวิตช์หรือไม่ และสุดท้ายคือ จีเอสเอ็มพีที่ใช้สำหรับควบคุมฮาร์ดแวร์ของเอทีเอ็มสวิตช์ โครงสร้างของไอพีสวิตช์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 โครงสร้างของไอพีสวิตช์

4.3 การแบ่งประเภทของการไหล (Flow Classification)

เราแยกแยะได้ว่าแพ็กเก็ตที่เข้ามาเป็นของการไหลใด โดยดูจากส่วนหัวของไอพีแพ็กเก็ต (Field Header) ว่าค่าของ พอร์ตต้นทาง และพอร์ตปลายทาง, ชนิดของการบริการ, ชนิดของโปรโตคอล แพ็กเก็ตสองตัวจะเป็นการไหลอันเดียวกันถ้าค่าของฟิลด์เหล่านี้เหมือนกัน การจำแนกประเภทการไหลจะทำกับแพ็กเก็ตแรกของแต่ละการไหลใหม่ที่เข้ามายังไอพีสวิตช์

เราจำแนกการไหลออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. การไหลที่มีช่วงเวลาการไหลสั้น
2. การไหลที่มีช่วงเวลาการไหลยาว

จากตารางที่ 4.1 การไหลที่มีช่วงเวลาการไหลสั้นจะได้แก่ การไหลของโปรโตคอล ดีเอ็นเอส (DNS), เอสเอ็นเอ็มพี (SNMP), อีเมล (Mail) ส่วนการไหลที่มีช่วงเวลาการไหลยาวจะได้แก่ การไหลของโปรโตคอล เอฟทีพี (FTP), เทลเน็ต (Telnet), เอชทีทีพี (HTTP), เว็บ (Web), และการไหลของบริการที่เป็นเสียงหรือวิดีโอ (Audio/Video) ซึ่งทั้งสองประเภทที่กล่าวมานี้จะได้รับการบริการในลักษณะที่แตกต่างกันคือ ส่งผ่าน (Forward) การไหลที่มีช่วงเวลาการไหลสั้นในแบบฮอปบายฮอป (Hop-by-Hop) ด้วยไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ ส่วนการไหลที่มีช่วงเวลาการไหลยาวหรือการไหลที่มีแบนด์วิดท์สูงจะได้รับการบริการในเส้นทางแบบสวิตช์ (Switch Path) ด้วยเอทีเอ็มสวิตช์

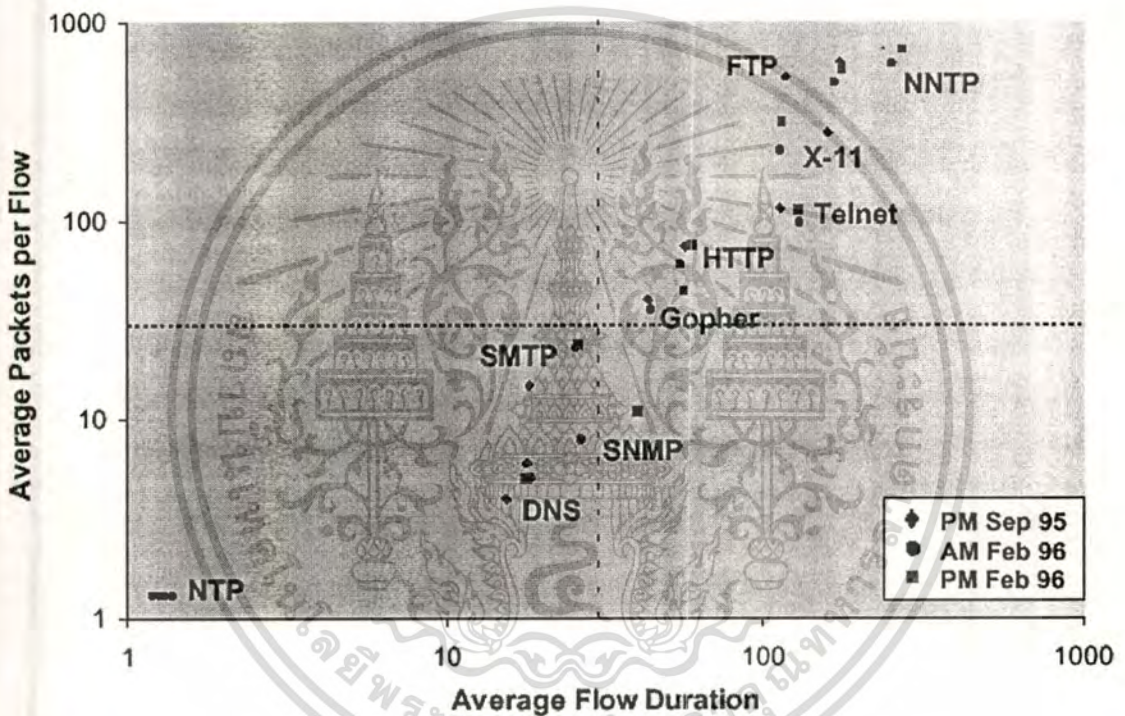
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flow-Oriented Traffic
• File transfer -- FTP data
• Telnet
• HTTP
• Web
• Multimedia audio/video

Short-Lived Traffic
• Name look-ups (DNS)
• Mail -- SMTP
• Mail -- POP
• Network Time Protocol
• Network Mgt -- SNMP

ตารางที่ 4.1 การไหลที่มีช่วงเวลากการไหลสั้นและการไหลที่มีช่วงเวลากการไหลยาว



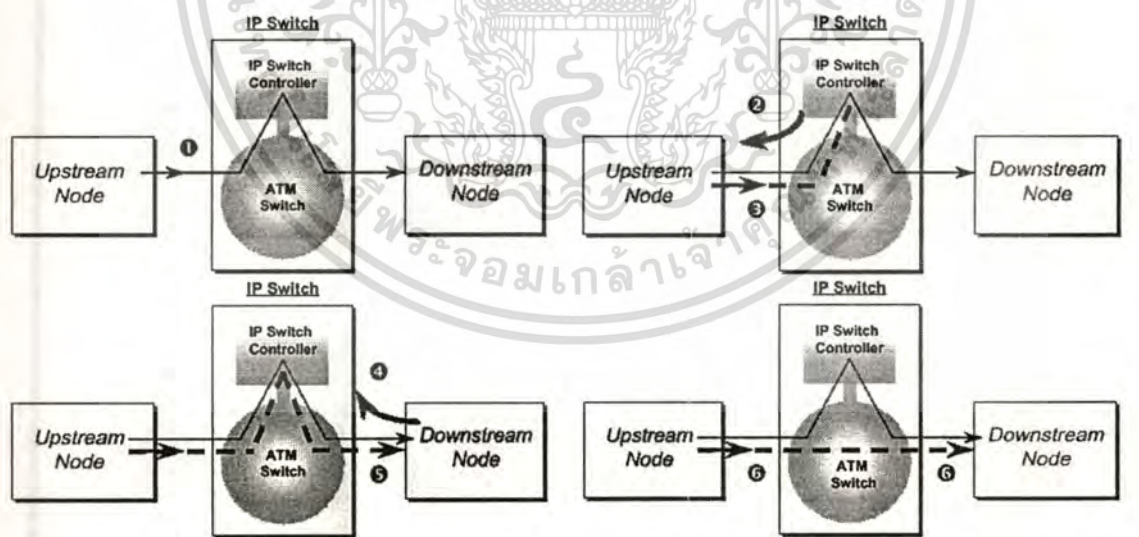
รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของแพคเกจต่อการไหลเทียบกับค่าเฉลี่ยช่วงเวลาของการไหล

การจำแนกประเภทของการไหล เป็นการตัดสินใจในท้องถิ่น (Local Decision) ตัวจำแนกการไหลจะตรวจสอบ รายละเอียดที่อยู่ในฟิลด์ ที่เป็นคุณลักษณะของการไหล และทำการตัดสินใจขึ้นอยู่กับนโยบายของท้องถิ่น ยกตัวอย่าง ตัวจำแนกประเภทการไหล (Flow Classifier) ควรตรวจดูพอร์ตต้นทางหรือปลายทาง ที่รู้จักเพื่อกำหนดถึงการประยุกต์ใช้งาน การไหลที่เป็นของโปรโตคอลโอนย้ายไฟล์ (File Transfer Protocol/FTP) การเชื่อมต่อข้อมูล ควรกำหนดให้เป็นของสวิตช์ แต่การไหลที่เป็นของโปรโตคอลเรียกค้นดีเอ็นเอส ควรจะส่งผ่านโดยไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ ตัวอย่างอื่น ๆ ของตัวจำแนกการไหลคือ ควรนับจำนวนของแพคเกจที่รับเข้ามาในแต่ละการไหล ถ้าจำนวนของแพคเกจที่รับเข้ามามีค่าช่วงเวลาภายใน (Time Interval) เกินกว่าค่าเทสโธลด์ (Threshold) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไหลนี้จะถูกสวิตช์ (แสดงว่ามีช่วงเวลาการไหลยาวหรือมีแบนด์วิดท์สูง) ค่าเฉลี่ยของแพคเกจต่อการไหลเทียบกับค่าเฉลี่ยช่วงเวลาของการไหล ของโพรโตคอลต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 4.4 ให้สังเกตว่าในจตุภาค (Quadrant) ที่ 4 ของกราฟเป็นโพรโตคอลที่สมควรได้รับการบริการในเส้นทางแบบสวิตช์

4.4 การทำงานของไอพีสวิตช์

จากรูปที่ 4.5 แสดงการทำงานของไอพีสวิตช์ ณ.ตอนเริ่มต้นของระบบแต่ละ โหนดของไอพีสวิตช์ จะสถาปนาช่องสื่อสารเสมือนที่เป็นช่องโคจรขยาย (Default Virtual Channel) เอาไว้สื่อสารกับโหนดเพื่อนบ้านที่อยู่ติดกับมัน ซึ่งแต่ละช่องสื่อสารเสมือนที่ถูกสร้างขึ้นนี้ จะมีปลายทางสิ้นสุดอยู่ที่ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ ในขั้นแรกการจราจรทั้งหมดจะเข้ามาทางช่องสื่อสารเสมือนที่ตั้งไว้โดยปริยาย รูปที่ 4.5 (1) คาด้าแกรมที่เข้ามาประกอบไปด้วยสตรีม (Stream) ของเซลล์ของเอทีเอ็ม ซึ่งเซลล์เหล่านี้จะถูกส่งมอบให้กับไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำหน้าที่ในการหาเส้นทางและส่งคาด้าแกรมนี้ออกไปทางช่องสื่อสารเสมือนอีกช่องหนึ่งที่ต่อกับโนดถัดไป (Downstream Node) นอกจากนี้ตัวคอนโทรลเลอร์ยังทำหน้าที่วิเคราะห์การไหล เพื่อกำหนดว่าการไหลที่เข้ามาควรจะได้รับบริการในเส้นทางแบบสวิตช์โดยเอทีเอ็มสวิตช์หรือไม่



รูปที่ 4.5 การทำงานของไอพีสวิตช์

เมื่อการไหลได้ถูกวิเคราะห์แล้ว (ว่าควรจะได้รับบริการจากไอพีสวิตช์ในเส้นทางแบบใด) ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์จะส่งข่าวสารโดยโพรโตคอลไอเอฟเอ็มพี (IFMP) บอกกับโนดก่อนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาดเห็นไปไซประโยชน์ดานการคา
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้านี้ (Upstream Node) เพื่อร้องขอให้การไหลตัวนี้ถูกส่งในช่องสื่อสารเสมือนช่องใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นสำหรับการไหลนี้โดยเฉพาะ (Dedicated Virtual Channel) รูปที่ 4.5 (2) (การไหลถูกกำหนดโดยที่อยู่ของต้นทางและปลายทางของการไหล (Source and Destination Address)) ถ้าโนดก่อนหน้าเห็นพ้องด้วยการร้องขอ มันก็จะเริ่มส่งแพ็คเกจของการไหลนี้มาทางช่องสื่อสารเสมือนที่สร้างขึ้นใหม่นี้ รูปที่ 4.5 (3) ซึ่งสิ่งที่จะเกิดขึ้นต่อไปนี้จะเกิดขึ้นอย่างเป็นอิสระต่อกัน กล่าวคือ โนดปัจจุบันอาจได้รับการร้องขอจากโนดถัดไปเพื่อจัดตั้งช่องสื่อสารเสมือนขาออกให้กับการไหลนี้เช่นกัน รูปที่ 4.5 (4) เมื่อการไหลนี้มีช่องสื่อสารเสมือนทั้งขาเข้าและขาออกที่เป็นช่องเฉพาะของตนเองแล้ว ตัวไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ก็จะใช้โพรโตคอลจีเอสเอ็มพี (GSMP) เพื่อสั่งให้เอทีเอ็มสวิตช์ทำการแมปพอร์ต (Port Mapping) ช่องสื่อสารเสมือนทั้งสองนี้เข้าด้วยกัน หลังจากนั้นคาด้าแกรมของการไหลนี้จะไหลผ่านโดยตรง (Cut Through) ในเอทีเอ็มสวิตช์โดยที่ไม่ต้องใช้ซอฟต์แวร์ในการหาเส้นทาง

ไอพีสวิตช์แต่ละตัวจะคอยสอดส่องและจับเวลาช่องสื่อสารเสมือนที่ไม่ได้ใช้งานแล้วเพื่อทำลาย เมื่อถึงค่าเวลาที่ตั้งเอาไว้ หลังจากนั้นมันก็จะคืนช่องสื่อสารเสมือนนี้ให้กับสวิตช์เอาไว้ใช้งานในโอกาสต่อไป

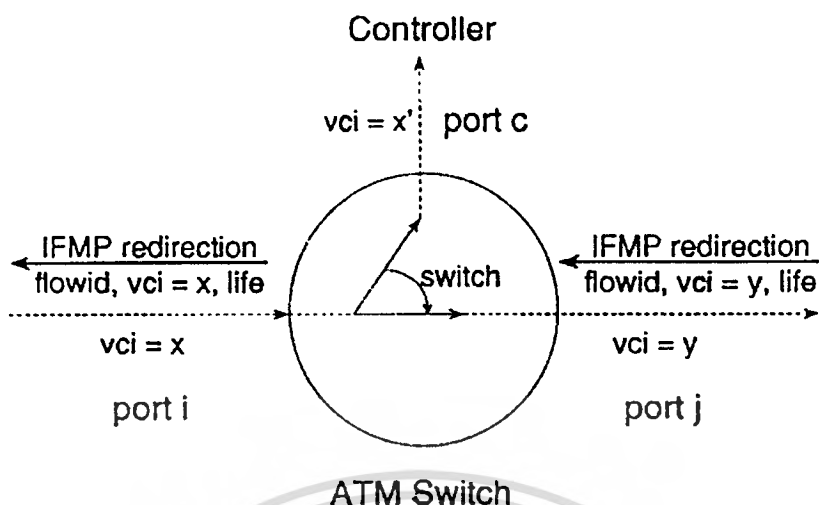
4.5 โพรโตคอลบริหารการไหลของอิพซิลอน (Ipsilon Flow Management Protocol)

ถ้าไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์พิจารณาว่าการไหลนั้นควรจะถูกสวิตช์ มันจะเลือกชื่อที่ว่างอยู่ (Free Label) ($VCI=X$) จากลาเบลสเปซ (Label Space) ของอินพุทพอร์ต (Port i) จากพอร์ตที่รับการไหลเข้ามา รูปที่ 4.6 เราทำการสมมุติว่าวงจรเสมือนเป็นแบบทิศทางเดียว ดังนั้นอินพุทที่ซึ่งแต่ละสวิตช์เชื่อมต่ออยู่กับลาเบลสเปซของมัน (VIP/VCI Range) ตัวคอนโทรลเลอร์เลือกลาเบลที่ว่าง ($VCI=X'$) บนคอนโทรลเลอร์พอร์ตของมัน (Port C) คอนโทรลเลอร์พอร์ตเป็นพอร์ตจริงหรือพอร์ตเสมือนก็ได้โดยที่ตัวคอนโทรลเลอร์ใช้มันเชื่อมต่อเข้ากับตัวสวิตช์ สวิตช์ ไดรฟ์เวอร์ (Switch Driver) คือคำสั่งที่ แม็บ $VCI=X$ บนอินพุทพอร์ต i ไปยัง $VCI=X'$ บนคอนโทรลเลอร์พอร์ต C

หลังจากการทำรายการในตารางปลายทางของพอร์ต (โดยโพรโตคอลจีเอสเอ็มพี), ตัวไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์จะส่งโพรโตคอลไอเอฟเอ็มพี ซึ่งเป็นข้อความย้อนกลับ (Redirection Message) ให้กับโนดก่อนหน้า ข้อความย้อนกลับประกอบด้วย ลาเบล ($VCI=X$), ตัวจำแนกการไหล และช่วงเวลาชีวิต (Life time) ตัวจำแนกการไหลบรรจุไปด้วยกลุ่มของเฮดเดอร์ฟิลด์ที่ระบุถึงการไหล ข้อความย้อนกลับจะร้องขอให้โนดที่ส่งข้อมูลเข้ามา ให้ส่งแพ็คเกจทั้งหมดที่จะส่งด้วยค่า เฮดเดอร์ฟิลด์ ฟิลด์ที่ตรงกับตัวจำแนกการไหล, บนวงจรเสมือนเอทีเอ็มพีที่ชี้โดยลาเบลฟิลด์ ($VCI=X$) ฟิลด์ของช่วงเวลาชีวิตระบุถึงระยะเวลา ที่ซึ่งยังถูกต้องอยู่จนกว่าสถานะของการไหลจะถูกรีเฟรช (Refreshed) สิ่งที่เกี่ยวข้องกับการไหลและลาเบลควรถูกลบทิ้งเมื่อหมดอายุของช่วงเวลาชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงการสถาปนาสวิตช์การไหล

จากจุดนี้แพ็คเกจที่เป็นของการไหลจะมาถึงที่สวิตช์คอนโทรลเลอร์พอร์ต C ด้วยค่า VPI/VCI ลาเบล X' แพ็คเกจจะยังคงถูกประกอบขึ้นมาใหม่ (Reassembled) และส่งต่อโดยซอฟต์แวร์ส่งผ่านไอพี แต่กระบวนการจะเร็วขึ้นเพราะ การพิจารณาเส้นทางก่อนหน้านี้ สำหรับการไหลนี้ได้ถูกเก็บเอาไว้และถูกชี้โดยลาเบล X'

ประโยชน์ที่แท้จริงของสวิตช์จะเกิดขึ้นเมื่อ (Downstream Node) ย้อนกลับการไหลของ VCI ที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกัน ตรวจจับที่กระบวนการตั้งชื่อการไหล (Flow Labeling Process) ทำงานเป็นอิสระบนแต่ละลิงค์ นโยบายจำแนกการไหลต้องเป็นหนึ่งเดียวกัน ทั้งทุกส่วนแดนที่ปกครอง (Administrative Domain) ดังนั้นโนดถัดไปมักจะใช้ทิศทางเดิม (Redirect) ของการไหล โดยแทบจะเป็นเวลาเดียวกันเมื่อไอพีสวิตช์ได้รับข้อความย้อนกลับจาก โนดถัดไปที่อยู่ข้างเคียงกับมัน เข้ามาทางพอร์ต j ก็จะย้อนทิศทางการไหลเป็นลาเบล y มันสามารถสวิตช์การจราจรที่เกิดขึ้นทั้งหมดในอนาคคที่เป็นของการไหลตัวนั้น โดยตรงกับฮาร์ดแวร์ของไอพีสวิตช์ ทำเช่นนี้ได้โดยใช้คำสั่งให้ตัวเอทีเอ็มสวิตช์เม็บลาเบล X บนพอร์ต i ไปเป็นลาเบล y บนพอร์ต j ดังนั้นการจราจรของการไหลนี้ไม่ต้องใช้ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์อีกต่อไป แต่มันจะสวิตช์โดยตรงกับเอทีเอ็มสวิตช์ที่ต้องการ

ไอเอฟเอ็มพีอาจจะมองได้ว่าเป็นโพรโตคอลทางสัญญาณ (Signaling Protocol) อย่างไรก็ตาม มันทำงานเป็นอิสระต่อกันในแต่ละลิงค์ และความสัมพันธ์ที่ไม่ซับซ้อนระหว่าง ชื่อท้องถิ่น (Local Label) กับการไหลของไอพี (IP Flow) ดังเช่น มันมีความซับซ้อนน้อยกว่า ระบบสัญญาณแบบ ฮาร์ด-สเตท ปลาย-ถึง-ปลาย (End-to-End Hard-State Signaling System) ที่มีแอดเดรสซิง (Addressing) ของเครือข่ายที่กว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อไอพีสวิตช์ตอบรับข้อความย้อนกลับมันได้เปลี่ยนการห่อหุ้ม (Encapsulation) ที่มันใช้สำหรับแพคเกจไปเป็นของการไหลย้อนกลับ การห่อหุ้มที่ใช้สำหรับไอพีแพคเกจบนเซนแนลที่กำหนดไว้คือมาตรฐานการห่อหุ้ม LL/SNAP ที่อยู่เหนือจาก AALS การห่อหุ้มที่ใช้กับแต่ละ ไอพีแพคเกจบนการไหลที่ถูกกำหนดในทิศทางใหม่ เพื่อระบุถึงวงจรเสมือนเราได้ย้ายฟิลด์ส่วนหัวของไอพี ทั้งหมดที่ระบุโดยตัวจำแนกการไหลออกจากส่วนหัวของแต่ละแพคเกจ ผลที่ได้ก็คือไอพีแพคเกจจะมีขนาดของฟิลด์เฮดเดอร์ที่ถูกบีบให้เล็กลง ได้ถูกห่อหุ้มใน AALS ส่งไปบนวงจรเสมือนที่ระบุเอาไว้ แพคเกจที่สมบูรณ์อาจจะถูกสร้างขึ้นใหม่โดยใช้ลาเบลที่ให้ทางด้านรับ เพื่อเข้าถึงเฮดเดอร์ฟิลด์ที่เก็บไว้ วิธีนี้นำมาใช้เพื่อเหตุผลทางด้านความปลอดภัย มันอนุญาตให้ไอพีสวิตช์ทำตัวเหมือนกับว่าเป็น กำแพงไฟที่ควบคุมการไหลแบบง่ายๆ (Simple Flow-Based Firewall) โดยไม่มีการตรวจสอบในรายละเอียดของแต่ละแพคเกจ มันป้องกันไม่ให้ผู้ใช้งาน สร้างการไหลขึ้นมาเอง เพื่อเข้าถึงเครื่องปลายทางหรือบริการที่อยู่ข้างหลังกำแพงไฟ แต่มันจะส่งแพคเกจที่มีเฮดเดอร์ที่ต่างกันเพื่อขอสิทธิ์ในการเข้าถึงปลายทางที่ป้องกันเอาไว้

4.6 ความทนทาน (Robustness)

มันสำคัญมากที่โพรโตคอลต้องมีความทนทานต่อความล้มเหลวของเครือข่ายหรือโนดตรงเท่าที่เราพยายามหลีกเลี่ยง การนำสถานะที่ไม่ถูกต้องมาสู่เครือข่ายเราซึ่งพยายามหาวิธีกำจัดระยะเวลาที่เสียไปเมื่อเกิดสถานการณ์ที่ไม่ถูกต้องขึ้น ภัยพิบัติบางอย่างต่อดีไซน์ของเรา จะทำให้เครือข่ายที่โนดก่อนหน้านี้อาจจะส่งการไหลที่ไม่รู้จัก ลาเบล ไปยังโนดที่อยู่ถัดไป มีอยู่ 2 กรณีคือ 1. โนดถัดไปคิดว่าการไหลที่แตกต่างกันนี้เป็นการส่งในลาเบลนั้น 2. โนดถัดไปคิดว่าไม่มีการไหลที่จะถูกส่งเข้าไปในลาเบลนั้น ในกรณีแรกแพคเกจที่ส่งบนลาเบลนั้นจะเดินทิศทางและเสียหาย ในกรณีที่สอง แพคเกจจะถูกคัดไว้ในโนดถัดไป

เพื่อที่จะลดความผิดพลาดนี้จากเครือข่าย จึงเพิ่มโพรโตคอลไอเอฟเอ็มพีเข้าไปในเครือข่าย โพรโตคอลนี้ยอมให้โนดสามารถที่จะแน่ใจว่าเพื่อนบ้านของมันจะไม่เปลี่ยนไป ข้อความไอเอฟเอ็มพีถูกส่งหรือโปรเซสเพียงครั้งเดียวเท่านั้น เมื่อโนดข้างเคียงถูกตั้งขึ้น ถ้าโนดข้างเคียงสูญหายไป สถานะทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการไหลจะกำหนดทิศทางใหม่ ผ่านทางลิงค์ที่ใช้งานได้

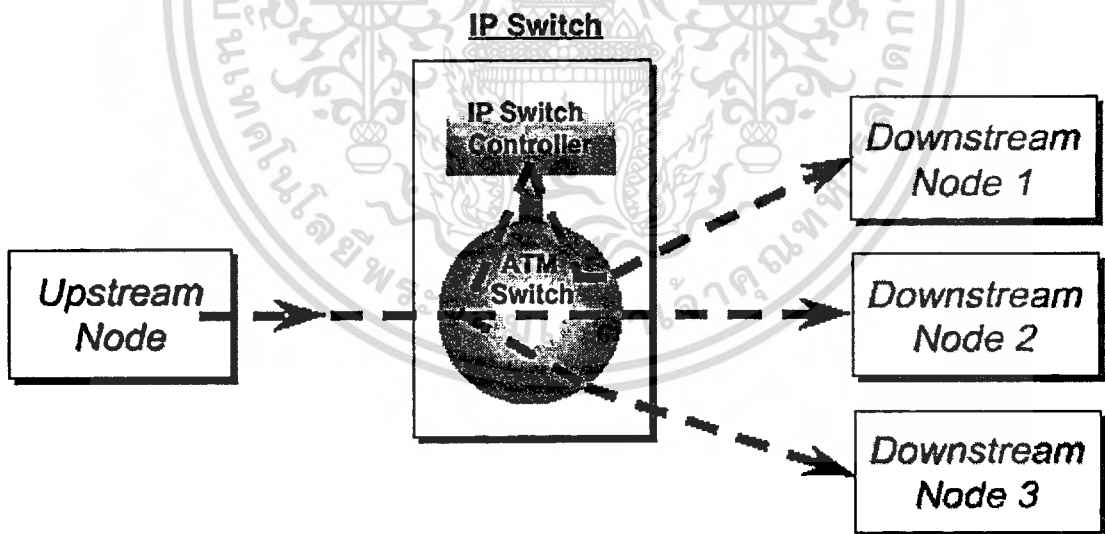
แต่ละตัวของไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ ทำการตรวจสอบการไหลทุกๆ ตัวอย่างสม่ำเสมอ ถ้าการไหลได้รับการจราจรตั้งแต่คาบเวลารีเฟรชครั้งล่าสุดคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อความย้อนกลับอีกอันหนึ่งขึ้นไปรีเฟรชการไหล ถ้าการไหลไม่ได้รับข้อความย้อนกลับ ในคาบเวลาที่เกินกว่าช่วงเวลาชีวิตของมัน มันจะถูกลบออกไป นอกจากนี้ไอเอฟเอ็มพียังส่งข้อความย้อนกลับให้กับโนดด้านบนเพื่อนำลาเบลกลับมาใช้ใหม่ สถานะการไหลไม่ถูกลบทิ้งจนกระทั่งไอเอฟเอ็มพีได้รับข่าวสาร

ตอบรับ (Acknowledgment Message) เพื่อแจ้งการตอบรับ การยกเลิกการใช้ลาเบลที่ร้องขอ (ข้อแม้ว่าการดำเนินการนี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้)

ความย้อนกลับอาจใช้เพื่อปล่อยเวลาเบลที่การไหลยี่ครองเอาไว้เมื่อไม่มีเวลาว่างเปล่าเหลืออยู่) สำหรับการไหลที่เวลาเบลแต่ไม่ได้สวิตช์ ตัวไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์สามารถตรวจสอบสถานะของมัน เพื่อดูว่าการไหลได้รับการจราจรใดๆ ในคาบเวลารีเฟรชก่อนหน้าหรือไม่ สำหรับการไหลที่ได้รับการแบบสวิตช์ ตัวคอนโทรลเลอร์ต้องสอบถามกับฮาร์ดแวร์ของสวิตช์เพื่อค้นหพบว่า เป็นช่องสื่อสารเสมือนใด

ถ้าลิงค์หรือตัวค้นหาเส้นทางเกิดเสียหายในเวลาใดก็ตาม กระบวนการโดยปกติของ การเชื่อมต่อแบบคอนเน็คชันเลข ที่มีการหาเส้นทางแบบไดนามิก จะกระทำการสถาปนาเส้นทางใหม่ เมื่อหาเส้นทางหรือนโยบายในการหาเส้นทางเปลี่ยนไป สถานะใดๆ ที่มีอยู่ที่มีความเกี่ยวข้องกับเส้นทางที่เปลี่ยนจะกลายเป็นสถานะที่ไม่ถูกต้องและจะถูกลบทิ้งไป การเชื่อมต่อเสมือนอันใหม่จะถูกสร้างขึ้น จากจุดที่เสียหายข้ามเส้นทางใหม่ ดังนั้นการเชื่อมต่อจึงถูกซ่อมแซมแค่เฉพาะบริเวณท้องถิ่นที่เสียหายเท่านั้น วิธีนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าการที่จะลบ การเชื่อมต่อที่ได้รับผลกระทบทั้งหมด แล้วสถาปนาการเชื่อมต่อขึ้นมาใหม่อีกครั้ง (จากปลาย-ถึง-ปลาย เหมือนกับในกรณีของเครือข่ายแบบ คอนเน็คชัน โอเรียนท์)

4.7 การเชื่อมต่อแบบมัลติแกลส (Multicast Connection)



รูปที่ 4.7 การเชื่อมต่อแบบมัลติแกลส

ไอพีสวิตช์สามารถสนับสนุนการทำไอพีมัลติแกลสโดยปราศจากการดัดแปลงใดๆ (ดูรูปที่ 4.7) กับโพรโตคอลการกลุ่มอินเตอร์เน็ต (Internet Group Management Protocol / IGMP) หรือโพรโตคอลหาเส้นทางแบบมัลติแกลส (Multicast Routing Protocol) กำหนดทิศทางใหม่ของการไหล (Flow Redirection) มีกระบวนการจัดการเหมือนกับการจราจรแบบยูนิแกลส (Unicast Traffic)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ.ที่ตัวไอพีสวิตช์ เมื่อมีการไหลแบบมัลติแคส เข้ามาจะถูกถอดรูปแบบไปเป็นจำนวนของกิ้ง ซึ่งแต่ละกิ้งจะมีการกำหนดทิศทางใหม่ของแต่ละกิ้ง โดยโนคที่อยู่ถัดไป ที่อยู่ข้างเคียงกัน การไหลแบบมัลติแคสที่เข้ามาเป็นลาเบล ฮาร์ดแวร์ของเอทีเอ็มสวิตช์สามารถที่จะถอดแบบแพ็คเกจที่อยู่บนเอาท์พุทของกิ้งเหล่านั้น ตัวสวิตช์ยังส่งสำเนาของการไหลแบบมัลติแคสไปยังตัว ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์อีกด้วยถ้ากิ้งนั้นไม่ได้ทำการกำหนดทิศทาง การไหลใหม่เช่นนี้ กิ้งอาจจะรับเอาสำเนาการจราจรของมันจาก ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์จากช่องสื่อสารที่กำหนดเอาไว้

ไอพีมัลติแคส เอื้ออำนวยกับการบริการแบบหลายจุดต่อหลายจุด (Multipoint-to-Multipoint Service) ผู้ส่งใดๆ สามารถส่งการจราจรไปยังกลุ่มมัลติแคส (Multicast Group) อย่างไรก็ตามสำหรับการไหลที่เป็นส่วนบุคคลยังคงเป็น จุดต่อหลายจุด (Point-to-Multipoint) อยู่เนื่องจากแต่ละการไหลจะถูกเจาะจงกลับคืนทางเดียว มีเพียงฮาร์ดแวร์ของเอทีเอ็ม เท่านั้นที่เอื้ออำนวยต่อการบริการมัลติแคสแบบจุดต่อหลายจุด (Point-to-Multipoint Multicast Service) ผลที่ได้ของกระบวนการหาทิศทางการไหลใหม่สำหรับกลุ่มมัลติแคสจะสถาปนาวงจรเสมือนแบบ จุดต่อหลายจุด จากทุกๆ ตัวส่ง ที่เพิ่งส่งการจราจรเข้ามาในกลุ่มเมื่อไม่นานนี้

4.8 โพรโตคอลบริหารสวิตช์ทั่วไป (General Switch Management Protocol)

โพรโตคอลบริหารสวิตช์ทั่วไป (General Switch Management Protocol/GSMP) คือโพรโตคอลเอนกประสงค์ที่ควบคุมเอทีเอ็มสวิตช์ จีเอสเอ็มพีทำให้คอนโทรลเลอร์สามารถสถาปนากการเชื่อมต่อและปลดปล่อยการเชื่อมต่อกับเอทีเอ็มสวิตช์, เพิ่มและลบ โนคในการเชื่อมต่อแบบมัลติแคส, บริหารจัดการพอร์ตของสวิตช์, ร้องขอข้อมูลในการติดตั้ง, และร้องขอสถิติ อีกทั้งมันยังยอมให้สวิตช์แจ้งข่าวกับคอนโทรลเลอร์ในกรณีที่มีเหตุการณ์ที่ไม่คาดฝันเกิดขึ้นเช่น ลิงค์ล้ม (Link Down) เป็นต้น จีเอสเอ็มพีทำงานอยู่ระหว่างตัวคอนโทรลเลอร์กับเอทีเอ็มสวิตช์ บนการเชื่อมต่อสำหรับควบคุม (เป็นช่องเสมือนช่องหนึ่ง) ที่ถูกสร้างขึ้นในตอนเริ่มต้น โพรโตคอลจีเอสเอ็มพีเป็นโพรโตคอลที่ไม่สมมาตร (Asymmetric Protocol) ตัวคอนโทรลเลอร์จะเป็นมาสเตอร์ (Master) ส่วนสวิตช์จะเป็นสเลฟ (Slave) คอนโทรลเลอร์หนึ่งตัวจะสามารถนำมาใช้ควบคุมสวิตช์ได้หลายตัว โดยใช้การเชื่อมต่อสำหรับการควบคุมแยกกันในแต่ละชุด

สวิตช์แต่ละตัวจะมีพอร์ตอยู่หลายพอร์ต ซึ่งในแต่ละพอร์ตจะประกอบไปด้วยอินพุตพอร์ตและเอาท์พุตพอร์ตร่วมกัน เอทีเอ็มเซลที่เข้ามาจากลิงค์ภายนอกจะเข้าสู่ตัวเอทีเอ็มสวิตช์โดยใช้เส้นทางเสมือนหรือช่องเสมือนของอินพุตพอร์ต เอทีเอ็มเซลออกจากเอทีเอ็มสวิตช์ไปยังลิงค์ภายนอกโดยใช้เส้นทางเสมือนหรือช่องเสมือนของเอาท์พุตพอร์ต เส้นทางเสมือนบนพอร์ตหรือลิงค์สามารถอ้างอิงได้จาก เลขประจำตัวเส้นทางเสมือน (Virtual Path Identifier/VPI) ของมัน ส่วนช่อง

เสมือนบนพอร์ตหรือลิงค์สามารถอ้างอิงได้จาก เลขประจำตัวช่องสื่อสารเสมือน (Virtual Channel Identifier/VCI) ร่วมกับ เลขประจำตัวเส้นทางเสมือน ของมัน (VPI/VCI)

การเชื่อมต่อแบบช่องเสมือนข้ามตัวสวิตช์ทำได้โดย ทำการเชื่อมช่องเสมือนที่ขาเข้า เข้ากับ ช่องเสมือนที่ขาออกเป็นจำนวนหนึ่งช่องหรือมากกว่า การเชื่อมต่อแบบช่องเสมือนสามารถอ้างอิง จาก อินพุตพอร์ตที่ซึ่งมันเข้ามา กับเลขประจำตัวของ ช่องสื่อสารเสมือนและเส้นทางเสมือน (VPI/VCI) ของมัน การเชื่อมต่อแบบเส้นทางเสมือนข้ามตัวสวิตช์ทำได้โดย ทำการเชื่อมเส้นทาง เสมือนที่ขาเข้า เข้ากับเส้นทางเสมือนที่ขาออกเป็นจำนวนหนึ่งเส้นทางหรือมากกว่า การเชื่อมต่อ แบบเส้นทางเสมือนสามารถอ้างอิงจาก อินพุตพอร์ตที่ซึ่งมันเข้ามา กับเลขประจำตัวของเส้นทาง เสมือน (VPI) ของมัน ในการเชื่อมต่อแบบเส้นทางเสมือนค่าของวีซีไอในแต่ละเซลล์จะไม่นำมาใช้ และจะไม่มีเปลี่ยนแปลงค่านี้

จีเอสเอ็มพีสนับสนุน การเชื่อมต่อแบบ จุดต่อจุด (Point-to-Point) และ จุดต่อหลายจุด (Point-to-Multipoint) การเชื่อมต่อแบบ หลายจุดต่อจุด (Multipoint-to-Point) สามารถทำได้โดยการ สร้างการเชื่อมต่อแบบ จุดต่อจุด หลายๆ ตัว โดยที่ทุกการเชื่อมต่อมีปลายทางเดียวกัน การเชื่อมต่อ แบบ หลายจุดต่อหลายจุด (Multipoint-to-Multipoint) สามารถทำได้โดยการสร้างการเชื่อมต่อแบบ จุดต่อหลายจุดหลายๆ ตัว โดยที่ทุกการเชื่อมต่อมีปลายทางเดียวกัน

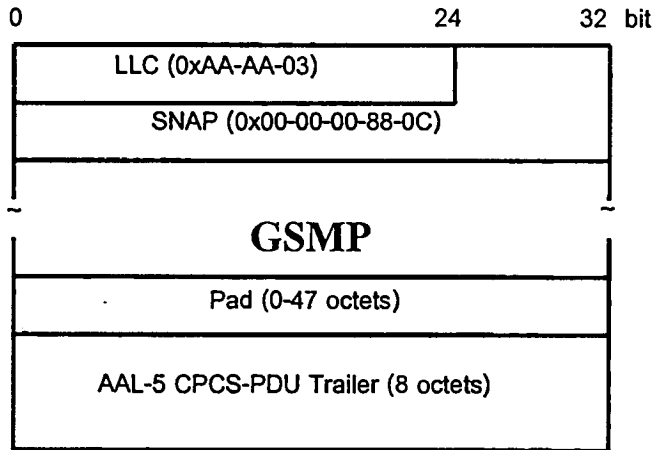
ข้างในจีเอสเอ็มพีจะมีโพรโตคอลข้างเคียงบรรจ (Adjacency Protocol) อยู่ โพรโตคอลข้าง เคียงนี้ใช้ในการเข้าจังหวะ (Synchronize) สถานะต่างๆ ใช้ในการเจรจาว่าโพรโตคอลจีเอสเอ็มพีที่ ใช้อยู่เป็นรุ่นไหน และใช้ในการตรวจสอบต่างๆ

4.8.1 จีเอสเอ็มพี แพคเกจ เอ็นแคปซูลเลชัน (GSMP Packet Encapsulation)

จีเอสเอ็มพี สามารถเอ็นแคปซูลเลขแพคเกจของมันได้ทั้งในเครือข่ายเอทีเอ็มและอีเทอร์ เน็ต ทำให้มันสามารถทำงานได้ในเครือข่ายทั้งสองแบบ โดยมีรูปแบบการเอ็นแคปซูลเลชันของทั้ง สองเครือข่ายดังต่อไปนี้

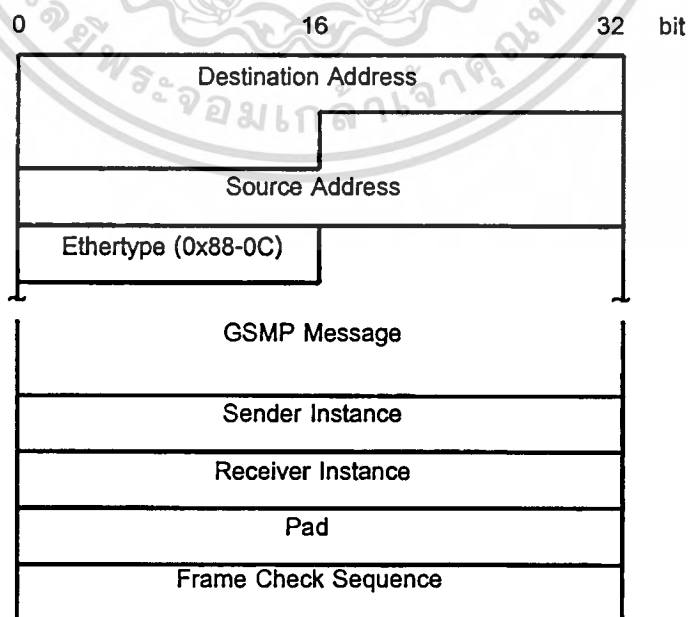
4.8.1.1 เอทีเอ็ม เอ็นแคปซูลเลชัน (ATM Encapsulation)

แพคเกจของจีเอสเอ็มพีมีขนาดที่เปลี่ยนแปลงได้ มันเอ็นแคปซูลเลขโดยตรงเข้าไปใน AAL5 ซีพีซีเอส-พีดียู (AAL-5 CPCS-PDU) ในชั้นของ เอทีเอ็มคาล์วลิงค์เลเยอร์ (ATM Data Link Layer) ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 เอทีเอ็ม เอ็นแคปซูลเลขชั้น

- แอลแอลซี/เอสเอ็นเอพี (LLC/SNAP) เฮดเดอร์ บรรจุข้อมูล : 0xAA 0xAA 0x03 0x00 0x00 0x00 0x88 0x0C โดยที่ 0x88 0x0C เป็นประเภทของอีเทอร์ (Ethernet) ของ จีเอสเอ็มพี ซึ่งทั้งสองฟิลด์นี้จะช่วยให้ด้านรับสามารถแยก จีเอสเอ็มพีแพ็คเกจออกจากแพ็คเกจอื่นๆ ที่เข้ามาในเวลาเดียวกันได้
- หน่วยการส่งสูงสุด (Maximum Transmission Unit/MTU) ของส่วนที่เป็นข้อความของจีเอสเอ็มพีคือ 1492 octets
- ช่องควบคุมจีเอสเอ็มพี (GSMP Control Channel) คือช่องเสมือนที่ถูกสร้างขึ้นระหว่างตัวคอนโทรลเลอร์กับสวิตช์ซึ่งใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์ ค่า วีพีไอ (VPI) และ วีซีไอ (VCI) โดยปริยายของช่องควบคุมจีเอสเอ็มพี คือ วีพีไอ = 0, วีซีไอ = 15



รูปที่ 4.9 อีเทอร์เน็ตเอ็นแคปซูลเลขชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

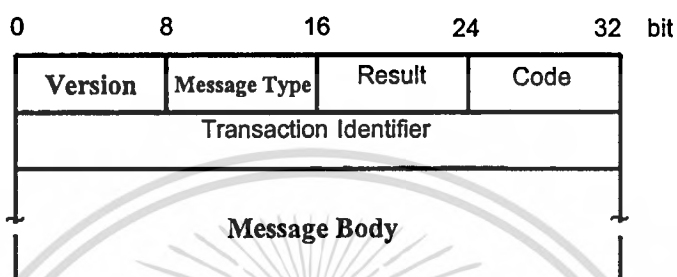
4.8.1.2 อีเทอร์เน็ตเอ็นแคปซูลเลชัน (Ethernet Encapsulation)

จีเอสเอ็มพีแพ็คเกจสามารถเอ็นแคปซูลเลขทบนอีเทอร์เน็ตคาลังค์ดังรูปที่ 4.9

4.8.2 รูปแบบของจีเอสเอ็มพีแพ็คเกจ (GSMP Packet Format)

ข้อความจีเอสเอ็มพีทั้งหมด ยกเว้นข้อความของโพรโตคอลข้างเคียง จะมีรูปแบบตามรูปที่

4.10



รูปที่ 4.10 รูปแบบของจีเอสเอ็มพีแพ็คเกจ

บทที่ 5

การควบคุมคุณภาพของการให้บริการ

5.1 บทนำ

ไอพีสวิตช์สร้างขึ้นจากการนำเอาโพรโตคอลไอพีไปขึ้นอยู่กับฮาร์ดแวร์ของเอทีเอ็มสวิตช์ มันทำงานเหมือนกับเป็นตัวเร่งสมรรถภาพของเอทีเอ็มสวิตช์ให้ทำงาน โดยมีความเร็วและประสิทธิภาพสูงขึ้น ในบทนี้เราจะกล่าวถึง แนวทางในการควบคุมคุณภาพของการให้บริการในไอพีสวิตช์ เนื้อหาในบทนี้จะเป็นส่วนของทฤษฎีและหลักการที่จะนำเสนอ กระบวนการทดลองและผลการทดลองพบได้ในบทที่ 6 การสรุปผลการทดลองและการวิเคราะห์ได้กล่าวไว้ในบทที่ 7

พารามิเตอร์ที่สำคัญของการควบคุมคุณภาพของการให้บริการ (QoS) คือ อัตราส่วนของการสูญหายของเซลล์ (Cell Loss Ratio), เวลาหน่วงสูงสุดในการส่งมอบเซลล์ (Maximum Cell Transfer Delay), ความผันผวนเวลาหน่วงของเซลล์จากจุดสูงถึงจุดต่ำ (Peak-to-Peak Cell Delay Variation) [5] ซึ่งถ้าสามารถควบคุมพารามิเตอร์เหล่านี้ได้แล้วก็จะได้คุณภาพของการให้บริการที่ต้องการได้

เพื่อวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมและการทำงานของไอพีสวิตช์เราจำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วย โดยใช้ทฤษฎีของแถวคอย (Queuing Theory) มาใช้ในการอธิบายถึงพฤติกรรมและผลตอบสนองต่างๆ ไอพีสวิตช์ซึ่งมีอยู่ 2 ส่วนด้วยกันคือ 1. แบบจำลองสมรรถภาพของไอพีสวิตช์ ใช้สำหรับวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของแพคเกจที่จะได้รับบริการในเส้นทางแบบสวิตช์ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากของไอพีสวิตช์ เพราะว่าการใช้ไอพีสวิตช์ให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดนั้นแพคเกจที่เข้ามาจะต้องได้รับการบริการในแบบสวิตช์ มากกว่าการบริการในแบบส่งผ่านเหมือนตัวหาเส้นทางโดยทั่วไป 2. แบบจำลองคิเลี้ยวของไอพีสวิตช์ ใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลตอบสนองทางด้านเวลาของไอพีสวิตช์ เช่น เวลาหน่วงสูงสุดในการส่งมอบเซลล์, ความผันผวนเวลาหน่วงของเซลล์จากจุดสูงถึงจุดต่ำ, เวลาหน่วงในเส้นทางแบบสวิตช์, เวลาหน่วงในเส้นทางแบบส่งผ่าน เป็นต้น

ในตอนท้ายของบทนี้จะกล่าวถึง การควบคุมอัตราส่วนการสูญหายของเซลล์ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการวัดคุณภาพของการให้บริการ โดยใช้อัลกอริทึมแบบถังน้ำรั่ว (Leaky-Bucket Algorithm) ควบคุมที่อินพุตบัฟเฟอร์ (Input Buffer) ของเอทีเอ็มสวิตช์ ซึ่งจะควบคุมปริมาณการไหลที่มาจากแหล่งกำเนิด เพื่อไม่ให้เกินความสามารถของไอพีสวิตช์ที่จะรับได้ อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เซลล์สูญหาย

5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของไอพีสวิตช์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของไอพีสวิตช์ซึ่งมีอยู่ 2 ส่วนด้วยกันคือ 1. แบบจำลองสมรรถภาพของไอพีสวิตช์ 2. แบบจำลองดีเลย์ของไอพีสวิตช์ ซึ่งแบบจำลองทั้งสองนี้จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพในการให้บริการของไอพีสวิตช์ต่อไป

5.2.1 แบบจำลองสมรรถภาพของไอพีสวิตช์

ในการทำงานของไอพีสวิตช์ การไหลทั้งหมดที่เข้ามายังไอพีสวิตช์ (ในส่วนของ การไหลใหม่ที่เข้ามา) จะไหลผ่านช่องสื่อสารเสมือน (VC) ที่กำหนดไว้โดยปริยาย บนอินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์ เราสมมติว่าเอทีเอ็มสวิตช์นี้มีจำนวนอินพุทพอร์ตจำนวน I พอร์ต (และทั้งจำนวน I พอร์ตที่ว่ามีคุณสมบัติที่เหมือนกัน) ซึ่งหนึ่งในจำนวน I พอร์ตนี้ถูกต่อเข้ากับ ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ เนื่องจากว่ามีจำนวนแหล่งกำเนิดการไหลเป็นจำนวนมากในเครือข่าย และแต่ละแหล่งกำเนิดก็ส่งการไหลโดยเป็นอิสระต่อกัน กระบวนการของการไหลที่เข้ามา (Flow Arrival Process) ยังไอพีสวิตช์ผ่านช่องสื่อสารเสมือนที่กำหนดโดยปริยายบนอินพุทพอร์ต สามารถจำลองได้เป็นกระบวนการแบบบิวชอง (Poisson Process) ที่มีอัตราเป็น λ_i ($i=1,2,\dots,I$) λ_i หมายถึง อัตราการไหลที่เข้ามายังอินพุทพอร์ต i และเนื่องจากการไหลทั้งหมด จะได้รับบริการ (ไม่ว่าจะเป็น การส่งผ่านหรือถูกสวิตช์) จากไอพีสวิตช์ ฉะนั้นสวิตช์จึงสามารถคิดได้ว่าเป็นตัวให้บริการเสมือน (Virtual Server) ที่มีจำนวนเป็นอนันต์และเวลาในการให้บริการของตัวให้บริการเสมือนที่ให้แก่การไหลก็คือช่วงเวลาของการไหลนั่นเอง

เนื่องจากมีความหลากหลายในช่วงเวลาของการไหล ในการไหลที่แตกต่างกันเราจึงสมมติว่า เวลาในการให้บริการของตัวให้บริการเสมือนที่ให้กับการไหลเป็นการแจกแจงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponentially Distributed) ด้วยค่าเฉลี่ย $\frac{1}{\mu_i}$ เมื่อ μ_i คือค่าเฉลี่ยอัตราการให้บริการที่ไอพีสวิตช์ให้บริการแก่การไหล ดังนั้นสำหรับการไหลที่เข้ามายังอินพุทพอร์ต i แล้วไอพีสวิตช์จึงสามารถจำลองได้เป็น ระบบแบบ $M/M/\infty$ [6] ที่มีอัตราการไหลที่เข้ามาเป็น λ_i และอัตราการให้บริการเป็น μ_i ต่อจากนั้นไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์จะทำการจำแนกการไหล (Flow Classification) ให้กับการไหลที่กำลังเข้ามาทั้งหมดบนอินพุทพอร์ต และตัดสินใจว่าการไหลที่เข้ามานี้ควรที่จะถูกสวิตช์โดยเอทีเอ็มสวิตช์หรือไม่

เมื่อการไหลบนอินพุทพอร์ตถูกเลือกให้ได้รับบริการในแบบสวิตช์ (Layer – 2 Switching) มันจะร้องขอช่องสื่อสารเสมือน ที่วางอยู่จากวีซีสเปซ (VC Space) ของอินพุทพอร์ต (แต่ละอินพุทพอร์ตก็จะมีวีซีสเปซอยู่จำนวนหนึ่ง) ถ้ามีช่องสื่อสารเสมือนที่วางอยู่ในวีซีสเปซของอินพุทพอร์ตตัวนั้นๆ ตัวกำหนดช่องสื่อสารเสมือน (VC Identifier) จะทำการเลือกและตั้งชื่อให้กับการไหลนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการไหลนั้นจะสามารถถูกสวิตช์ได้โดยตรงในเอทีเอ็มสวิตช์ ในทางตรงกันข้ามการไหลนั้นจะถูกกีดกันสำหรับการทำสวิตช์ และก็จะถูกให้บริการในแบบส่งผ่านในลักษณะ ฮอป-บาย-ฮอป (Hop-by-Hop) โดยไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ เพราะฉะนั้นกระบวนการในการร้องขอวีชีสเปซของอินพุทพอร์ต จะสามารถจำลองได้เป็น กระบวนการแบบบิวของคิวอัตรา $P_i \lambda_i$ เมื่อ P_i คือ ความน่าจะเป็นที่การไหลนี้ถูกเลือกให้ถูกสวิตช์ในเลเยอร์ 2 โดยตัวจำแนกการไหล

ความน่าจะเป็น P_i ขึ้นอยู่กับ นโยบายของตัวจำแนกการไหลในไอพีสวิตช์ตัวนั้นและโดยทั่วไปสามารถหาได้จากข้อมูลที่ได้จากการสังเกต ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้ตัวจำแนกโพรโตคอลการไหลที่เป็น TCP ทั้งหมดจะถูกเลือกให้ถูกสวิตช์ในเอทีเอ็มสวิตช์ ในขณะที่การไหลที่เป็น UDP ทั้งหมดจะถูกส่งผ่านในแบบ ฮอป-บาย-ฮอป มันจึงไม่ยากที่จะประเมินว่าเปอร์เซ็นต์ของการไหลที่เป็น [7] TCP ในสถานะแควดล็อกที่ทำการวัดมีอยู่เท่าไร ถ้าเราให้ช่องสื่อสารเสมือนเป็นเหมือนตัวให้บริการเสมือน เวลาในการให้บริการของตัวให้บริการเสมือนสำหรับการไหล จะประมาณได้เท่ากับช่วงเวลาของการไหลนั้น และด้วยเหตุนี้เราจึงสมมติให้เป็นการแจกแจงในแบบเอ็กโปเนนเชียลด้วยค่าเฉลี่ย $\frac{1}{\mu'_i}$ เมื่อ μ'_i คือค่าเฉลี่ยอัตราการให้บริการการไหลของตัวให้บริการเสมือน (ในที่นี้คือวีชีสเปซ) โดยทั่วไป μ'_i มีค่าน้อยกว่า μ_i นั่นจึงหมายความว่า ช่วงเวลาของการไหลที่ถูกเลือกสำหรับการทำสวิตช์ในเลเยอร์ 2 มีค่ามากกว่าทุกการไหลที่เข้ามายังอินพุทพอร์ต เพราะฉะนั้นวีชีสเปซของแต่ละอินพุทพอร์ตสามารถจำลองได้เป็น ระบบที่มีการสูญหาย (Loss System) $M/M/n/n$ ที่มีอัตราการเข้ามา เป็น $P_i \lambda_i$ และอัตราการให้บริการเป็น μ'_i เมื่อ n คือจำนวนของช่องสื่อสารเสมือน ที่มีอยู่ในวีชีสเปซ แบบจำลองแถวคอยของไอพีสวิตช์ (The Queuing Model of IP Switch) สำหรับการไหลที่เข้ามายังอินพุทพอร์ต i แสดงไว้ในรูปที่ 5.1

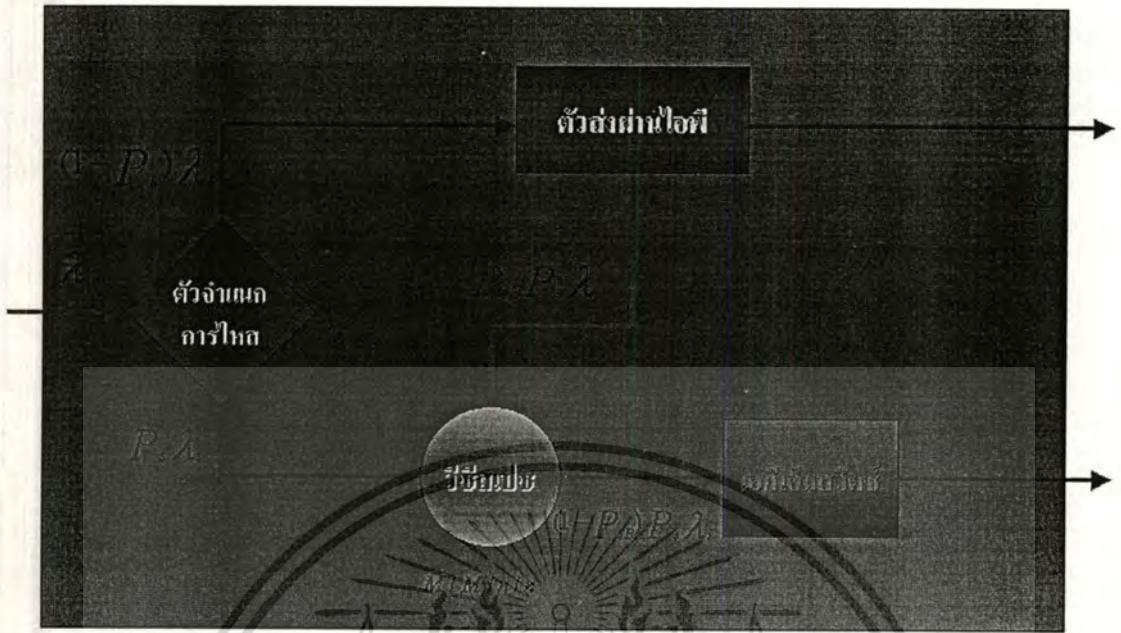
จากแบบจำลองเราได้จำนวนเฉลี่ยของการไหลบนอินพุทพอร์ต i :

$$N_i = \frac{\lambda_i}{\mu'_i} \quad \text{โดยที่ } (i = 1, 2, \dots, I) \quad (5.1)$$

ความน่าจะเป็นที่การไหลถูกกีดกันจากการทำสวิตช์ในเลเยอร์ 2 บนอินพุทพอร์ต i คือ

$$P_{ib} = \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda_i}{\mu'_i} \right)^n P_i^n P_{i0} \quad \text{โดยที่ } (i = 1, 2, \dots, I) \quad (5.2)$$

M/M/∞



รูปที่ 5.1 แบบจำลองแถวคอยของไอพีสวิตช์

และจำนวนเฉลี่ยของการไหลที่ให้บริการแบบสวิตช์บนอินพุตพอร์ต i คือ

$$N_{is} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{(k-1)!} \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i} \right)^k P_s^k p_{i0} \quad \text{โดยที่ } (i=1,2,\dots,I) \quad (5.3)$$

เมื่อ

$$p_{i0} = \left[\sum_{k=0}^n \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i} \right)^k P_s^k \right]^{-1} \quad \text{โดยที่ } (i=1,2,\dots,I) \quad (5.4)$$

เพราะฉะนั้นเปอร์เซ็นต์ของการไหลที่ให้บริการแบบสวิตช์บนอินพุตพอร์ต i จะหาได้จาก

$$\alpha_i = \frac{N_{is}}{N_i} = \frac{\left[\sum_{k=1}^n \frac{P_s^k}{(k-1)!} \left(\frac{\lambda_i}{\mu_i} \right)^k p_{i0} \right]}{\frac{\lambda_i}{\mu_i}} \quad \text{โดยที่ } (i=1,2,\dots,I) \quad (5.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 แบบจำลองคิวเดียวของไอพีสวิตช์

เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ กระบวนการการเข้ามาของคาด้าแกรมของแต่ละการไหล จะประมาณได้เป็น กระบวนการแบบบิวชอง และกระบวนการการเข้าของคาด้าแกรมทั้งหมด บนอินพุทพอร์ตต่างๆ ยังประมาณได้เท่ากับกระบวนการแบบบิวชอง จากผลที่ได้จากตอนที่ 5.2.1 จำนวนเฉลี่ยของการไหลบนอินพุทพอร์ต i คือ N_i โดยที่ซึ่ง N_{if} คือการไหลในเส้นทางแบบการส่งผ่าน และ N_{is} คือการไหลในแบบสวิตช์ ถ้าเราให้ γ_i แทน อัตราเฉลี่ยของคาด้าแกรมที่เข้ามาของการไหลทั้งหมดบนอินพุทพอร์ต i และ γ'_i แทน อัตราเฉลี่ยของคาด้าแกรมที่เข้ามาของการไหลเดี่ยว เราจะได้ $\gamma_i = N_i \gamma'_i$ ในไอพีสวิตช์คาด้าแกรมจะถูกแบ่งออกไปเป็นเซลของเอทีเอ็มสวิตช์ เพื่อใช้ในการส่ง โดยที่เอทีเอ็มเซลเหล่านี้จะส่งออกไปเป็นลำดับกันในแต่ละคาด้าแกรม อาจจะมีจำนวนเซลที่แบ่งออกมาได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องจากคาด้าแกรมที่ต่างกันก็จะมีควมสั้นยาวที่ต่างกันไป เราจึงสมมติให้เวลาที่เอทีเอ็มสวิตช์ให้บริการกับคาด้าแกรมหนึ่งๆ เป็นการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียลด้วยค่าเฉลี่ย $\frac{1}{\eta_A}$ เมื่อ η_A เป็นอัตราการให้บริการคาด้าแกรมเฉลี่ยของเอทีเอ็มสวิตช์ เพราะฉะนั้นสำหรับคาด้าแกรมที่กำลังเข้ามายังอินพุทพอร์ต i แล้ว ตัวเอทีเอ็มสวิตช์สามารถจำลองให้เป็นระบบคิว $M/M/1/S+1$ ที่มีอัตราการเข้ามาเป็น γ_i และอัตราการให้บริการเป็น η_A เมื่อ S คือขนาดของบัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ต ในเทอมของจำนวนของคาด้าแกรม และโดยทั่วไปกำหนดโดยความน่าจะเป็นในการกีดกันคาด้าแกรมที่ต้องการจะได้ P_{isB} ณ. ที่อินพุทพอร์ต อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงแล้ว คาด้าแกรมถูกบัฟเฟอร์ไว้ในเทอมของเซล เพราะฉะนั้นเราจึงจำเป็นต้องหาขนาดของบัฟเฟอร์ในรูปแบบของจำนวนเซล n_b ที่ซึ่งยังได้ความน่าจะเป็นในการกีดกัน P_{isB} ที่ต้องการ เนื่องจากเวลาในการให้บริการสำหรับคาด้าแกรมหนึ่งๆ ประมาณได้เป็นการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียล มันจึงสามารถพิสูจน์ได้ว่าจำนวนของเซลซึ่งสอดคล้องกับคาด้าแกรมจำนวน S ตัว (n_s) เป็นการแจกแจงแบบปาสคาล (Pascal Distribution) เช่น

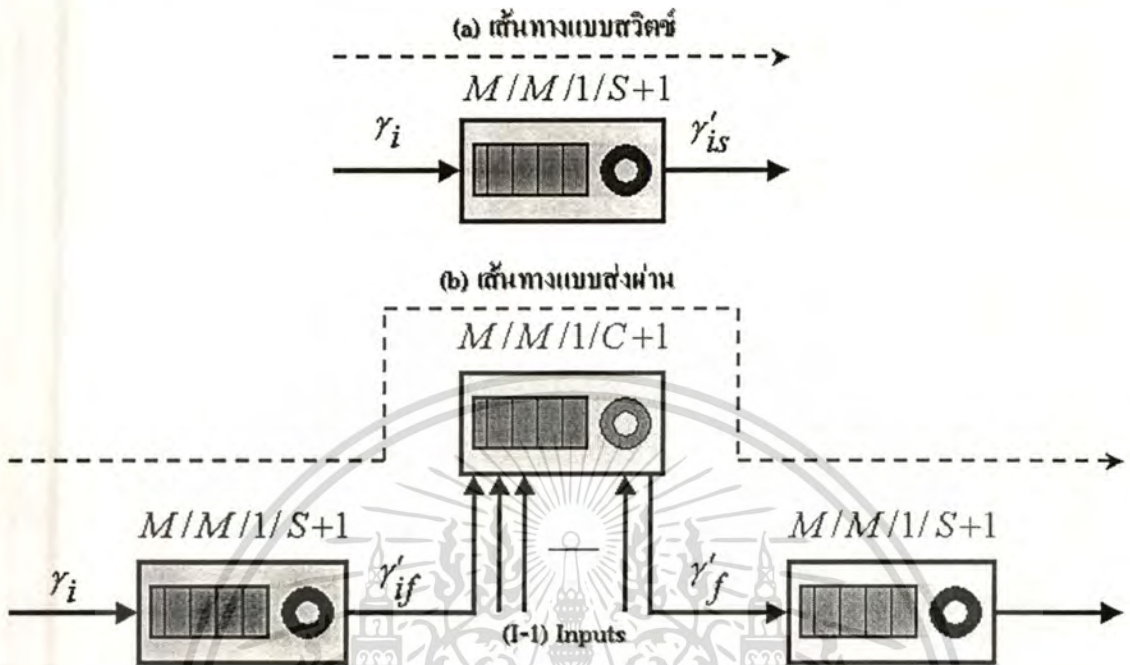
$$P(n_s = k) = \binom{k-1}{S-1} p^S (1-p)^{k-s} \quad \text{โดยที่ } k \geq S \quad (5.6)$$

และ

$$p = P\{t_d \leq t_c\} = 1 - e^{-\eta_A t_c} \quad (5.7)$$

เมื่อ t_d คือเวลาในการให้บริการสำหรับหนึ่งคาด้าแกรม และ t_c เป็นเวลาในการให้บริการสำหรับหนึ่งเซลเดี่ยว เพราะฉะนั้นจึงชัดเจนว่าความน่าจะเป็นในการกีดกันคาด้าแกรมที่ต้องการ ณ. ที่อินพุทพอร์ต ค่าที่น่าพิงพอใจก็คือ ความน่าจะเป็น $(1-\delta)$ สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\delta = P(n_s > n_b) = \sum_{k=n_b+1}^{\infty} P(n_s = k) \quad \text{โดยที่ } n_b \geq S \quad (5.8)$$



รูปที่ 5.2 แบบจำลองคิวของไอทีสวิตช์

แบบจำลองแถวคอยสำหรับเส้นทางแบบสวิตช์ ได้แสดงในรูปที่ 5.2 (a) ที่ซึ่ง $\gamma'_{is} = (1 - P_{isB})\gamma_{is}$ และ γ_{is} คือ อัตราเฉลี่ยของคาคำแกรมที่เข้ามาของการไหลที่อยู่ในเส้นทางแบบสวิตช์บนอินพุตพอร์ต i จากแบบจำลองนี้เราสามารถประเมินค่าดีเลย์ของเส้นทางแบบสวิตช์ได้ ค่าดีเลย์สำหรับคาคำแกรมที่ข้ามผ่านเอทีเอ็มสวิตช์จากอินพุตพอร์ต ไปยังเอาต์พุตพอร์ต คือ

$$D_s = \frac{1 + \left[\sum_{k=1}^{S+1} (k-1) a_s^k p_{s0} \right] - p_{s0}}{\gamma_i [1 - a_s^{S+1} p_{s0}]} \quad \text{จาก } a_s = \frac{\gamma_i}{\eta_A} \quad (5.9)$$

เมื่อ

$$p_{s0} = \begin{cases} [1 - a_s] / [1 - a_s^{S+2}] & a_s \neq 1 \\ 1 / (S + 2) & a_s = 1 \end{cases} \quad (5.10)$$

ในส่วนของไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ การไหลจะมาจากทุกอินพุทพอร์ตของเอทีเอ็ม สวิตช์ เนื่องจากกระบวนการที่ออกจากระบบ $M/M/1/S+1$ นั้นประมาณได้ว่าเป็นกระบวนการแบบบิวของเมื่อ S มีค่าใหญ่มากๆ หรือสัดส่วนของ γ_i ต่อ η_A นั้นมีค่าน้อยมากๆ ดังนั้นกระบวนการของคาด้าแกรมที่เข้ามายัง ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์จากแต่ละอินพุทพอร์ตสามารถประมาณได้ว่าเป็นกระบวนการแบบบิวของ สอดคล้องกับกระบวนการของคาด้าแกรมทั้งหมดที่เข้ามายัง ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ ยังสามารถประมาณว่าเป็นกระบวนการแบบบิวของที่มีการรวมกันของกระบวนการแบบบิวของจำนวน I กระบวนการ เนื่องจากมีเพียงจำนวนเฉลี่ยของการไหล N_{if} เท่านั้นที่ไหลผ่านเส้นทางแบบส่งผ่าน อัตราเฉลี่ยของคาด้าแกรมที่เข้ามาทางอินพุทพอร์ต i คือ $\gamma'_{if} = (1 - P_{isB})\gamma_{if}$ เมื่อ P_{isB} เป็นความน่าจะเป็นที่คาด้าแกรมถูกกีดกัน ณ. ที่อินพุทพอร์ต i และ γ_{if} เป็นอัตราเฉลี่ยของคาด้าแกรมที่เข้ามาของการไหลที่ใช้เส้นทางแบบส่งผ่าน เพราะฉะนั้นอัตราเฉลี่ยของคาด้าแกรมที่เข้ามายัง ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์เป็น $\gamma_f = \gamma'_{1f} + \gamma'_{2f} + \dots + \gamma'_{if}$ คล้ายๆ กันนั้น เราสมมุติว่าเวลาในการให้บริการของไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์สำหรับหนึ่งคาด้าแกรมเป็นการแจกแจงแบบเอ็กโปเนนเชียลด้วยค่าเฉลี่ย $1/\eta_f$ เมื่อ η_f เป็นอัตราเฉลี่ยของการให้บริการคาด้าแกรมของไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ เพราะฉะนั้น ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์สามารถจำลองได้เป็นระบบคิเลย์แบบ $M/M/1/C+1$ เมื่อ C คือขนาดของบัฟเฟอร์ในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ในเทอมของจำนวนคาด้าแกรม

คาด้าแกรมที่ออกจากไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์จะถูกสวิตช์อีกครั้งหนึ่ง (เพื่อออกไปยังจุดหมายปลายทางโดยผ่านทางเอาท์พุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์) ในเอทีเอ็มสวิตช์ คล้ายกันนี้กระบวนการคาด้าแกรมที่ออกจากไอพีสวิตช์นี้ สามารถมองได้ว่าเป็นกระบวนการแบบบิวของ ด้วยอัตราเฉลี่ย $\gamma'_f = (1 - P_{sB})\gamma_f$ เมื่อ P_{sB} คือความน่าจะเป็นที่คาด้าแกรมถูกกีดกัน ณ. ที่ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ เพราะฉะนั้นเมื่อมองคาด้าแกรมที่ออกจากไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ เอทีเอ็มสวิตช์จะสามารถจำลองได้เป็นระบบคิเลย์แบบ $M/M/1/S+1$ ด้วยอัตราการเข้ามา γ'_f และอัตราบริการ η_A

แบบจำลองแถวคอยสำหรับคิเลย์ในเส้นทางแบบส่งผ่าน ได้แสดงในรูปที่ 5.2 (b) จากแบบจำลองนี้ เราสามารถหาค่าคิเลย์สำหรับคาด้าแกรมที่จะถูกสวิตช์ไปยังไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ได้ดังนี้

$$T_{s1} = \frac{1 + \left[\sum_{k=1}^{S+1} (k-1) a_{s1}^k p_{s10} \right] - p_{s10}}{\gamma_i [1 - a_{s1}^{S+1} p_{s10}]} \quad \text{จาก } a_{s1} = \frac{\gamma_i}{\eta_A} \quad (5.11)$$

และความน่าจะเป็นที่คาต้าแกรมถูกกีดกัน ณ. ที่อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์

$$\text{จาก } P_{isB} = a_{s1}^{S+1} P_{s10} \quad (5.12)$$

$$\text{และ } p_{s10} = \begin{cases} [1-a_{s1}]/[1-a_{s1}^{S+2}] & a_{s1} \neq 1 \\ 1/(S+2) & a_{s1} = 1 \end{cases} \quad (5.13)$$

คล้ายกันนั้นตัวเลขของคาต้าแกรมที่ผ่านไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์มาจะกำหนดโดย

$$T_f = \frac{1 + \left[\sum_{k=1}^{C+1} (k-1) a_f^k p_{f0} \right] - p_{f0}}{\gamma_f [1 - a_f^{C+1} p_{f0}]} \quad \text{จาก } a_f = \frac{\gamma_f}{\eta_f} \quad (5.14)$$

และความน่าจะเป็นที่คาต้าแกรมถูกกีดกัน ณ. ที่ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์เป็น

$$\text{จาก } P_{fB} = a_f^{C+1} P_{f0} \quad (5.15)$$

$$\text{และ } p_{f0} = \begin{cases} [1-a_f]/[1-a_f^{C+2}] & a_f \neq 1 \\ 1/(C+2) & a_f = 1 \end{cases} \quad (5.16)$$

และตัวเลขของคาต้าแกรมที่ออกจากเอทีเอ็มสวิตช์ ณ. เอ้าท์พุทพอร์ตของมันกำหนดโดย

$$T_{s2} = \frac{1 + \left[\sum_{k=1}^{S+1} (k-1) a_{s2}^k p_{s20} \right] - p_{s20}}{\gamma'_f [1 - a_{s2}^{S+1} p_{s20}]} \quad \text{จาก } a_{s2} = \frac{\gamma'_f}{\eta_A} \quad (5.17)$$

$$\text{เมื่อ } p_{s20} = \begin{cases} [1-a_{s2}]/[1-a_{s2}^{S+2}] & a_{s2} \neq 1 \\ 1/(S+2) & a_{s2} = 1 \end{cases} \quad (5.18)$$

จากข้างต้น เราได้ตัวเลขในเส้นทางแบบส่งผ่านเป็น

$$D_f = T_{s1} + T_f + T_{s2} \quad (5.19)$$

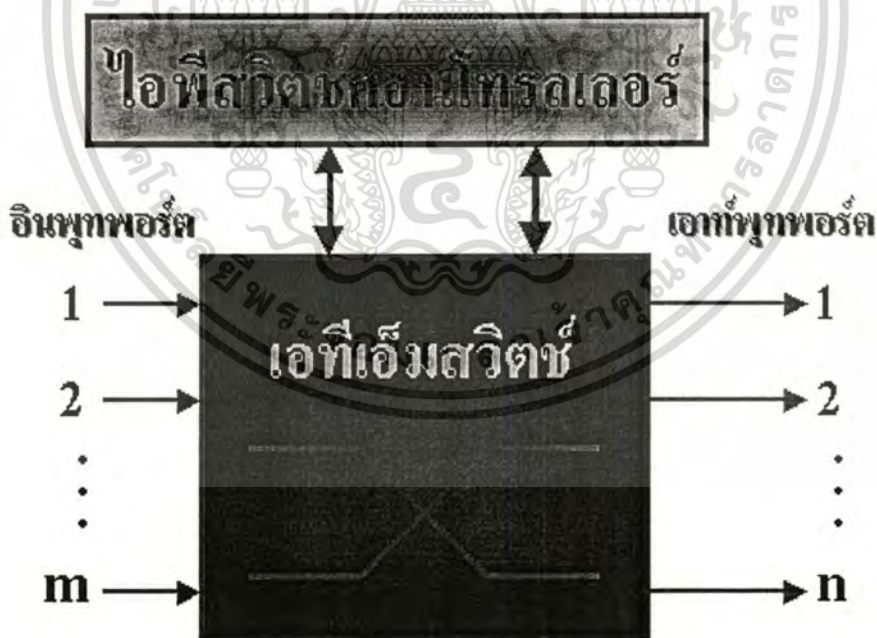
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสัดส่วนของดีเลย์ในเส้นทางแบบสวิตช์เทียบกับดีเลย์ในเส้นทางแบบส่งผ่านเป็น

$$\beta = \frac{D_s}{D_f} = \frac{T_{s1}}{T_{s1} + T_f + T_{s2}} \quad (5.20)$$

5.3 การควบคุมการสูญหายของเซด

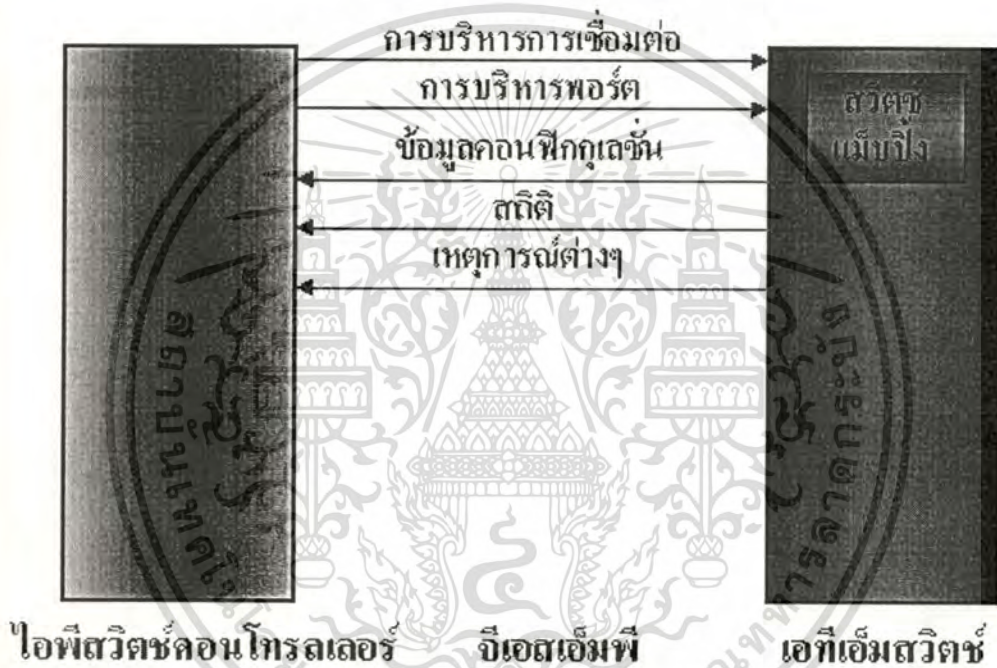
คุณภาพของการให้บริการอาจจะหมายความได้ถึงการส่งมอบ ไอพีแพคเกจจากการไหลต่างๆ ไปยังปลายทางโดยควบคุมให้เกิดความเสมอภาคกัน หรือการที่การไหลหนึ่งจะได้รับการบริการที่รวดเร็วกว่าการไหลอื่นๆ โดยขึ้นอยู่กับนโยบาย (Policy) ที่ถูกตั้งขึ้นของการไหลนั้นๆ การใช้งานไอพีสวิตช์ให้เกิดประโยชน์สูงสุดนั้น การไหลส่วนใหญ่ต้องถูกสวิตช์โดยฮาร์ดแวร์ของ เอทีเอ็มสวิตช์มากกว่าที่จะถูกส่งผ่าน (IP Forward) โดยไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ (ซึ่งเหมือนกับตัวหาเส้นทางทั่วไป (Router)) การไหลที่จะถูกสวิตช์ได้นั้น จะต้องเป็นการไหลที่มีช่วงยาว หรือการไหลที่มีแบนด์วิดท์สูง ซึ่งการไหลประเภทนี้มีผลกระทบต่อปริมาณการจราจรของเครือข่ายเป็นอย่างมาก และ โดยส่วนใหญ่การไหลประเภทนี้มักต้องการคุณภาพของการบริการ (QoS)



รูปที่ 5.3 โมเดลสวิตช์สำหรับจีเอสเอ็มพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมาข้างต้นนี้ การควบคุมคุณภาพของการให้บริการของไอพีสวิตช์จึง จึงทำกับ ส่วนของเอทีเอ็มสวิตช์ โดยควบคุมผ่านโพรโตคอลที่ควบคุมการทำงานของเอทีเอ็มสวิตช์ ที่เรียกว่า โพรโตคอลบริหารสวิตช์ทั่วไป หรือ จีเอสเอ็มพี แต่ในข้อกำหนดของ จีเอสเอ็มพี เวอร์ชัน 1.0 กล่าวไว้ว่า “โพรโตคอลบริหารสวิตช์ทั่วไป คือ โพรโตคอลเอนกประสงค์ที่ควบคุมเอทีเอ็มสวิตช์ จีเอสเอ็มพีจะช่วยในการสถาปนาและปลดปล่อยการเชื่อมต่อกับเอทีเอ็มสวิตช์ เพิ่มและลบการเชื่อมต่อแบบจุดต่อหลายจุด จัดการพอร์ตของสวิตช์ และร้องขอสถิติการทำงาน” (จากรูปที่ 5.3 และ รูปที่ 5.4) จะเห็นได้ว่าจีเอสเอ็มพีไม่ได้กำหนดถึงคุณภาพของการให้บริการมันแค่เป็นข้อกำหนดของ ระดับความสำคัญ (Priority Levels) สำหรับการทำการจัดตารางเวลาของเซล (Cell Scheduling) เท่านั้น



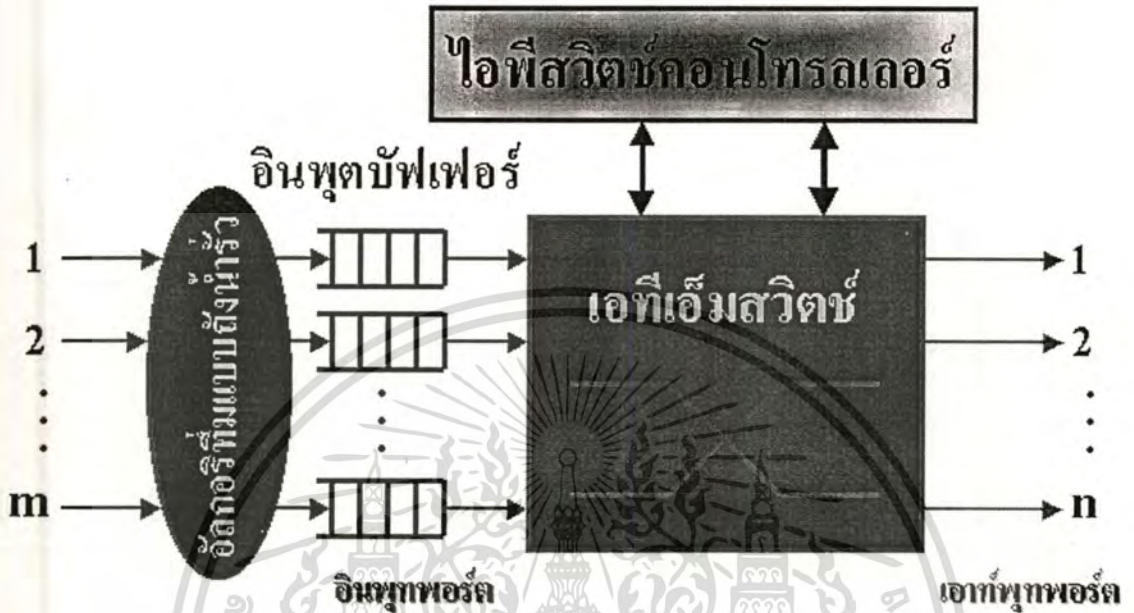
รูปที่ 5.4 สถาปัตยกรรมของจีเอสเอ็มพี

มีผู้เสนอหลักการในการจัดคุณภาพของการให้บริการของไอพีสวิตช์ซึ่งที่เรียกว่า เวอร์ชันเพิ่มเติมในส่วนของคิวไอเอสของจีเอสเอ็มพี (QOS-extended version of GSMP/qGSMP) ซึ่งปัจจุบันยังคงเป็นเวอร์ชันโครงร่างอยู่ (Draft Version) การควบคุมคุณภาพของโมเดลนี้ควบคุมที่เอาท์พุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์ ซึ่งมีข้อเสียตรงที่ถ้าหากมีการไหลที่มีแบนด์วิดท์สูงๆ หรือมีการไหลเข้ามาที่อินพุทพอร์ตเป็นจำนวนมากก็จะทำให้เกิดบัฟเฟอร์โอเวอร์โฟลด์ (Buffer Overflow) ขึ้น ซึ่งนำไปสู่การสูญหายของเซล (Cell Loss) และทำให้คุณภาพของการให้บริการลดลงได้

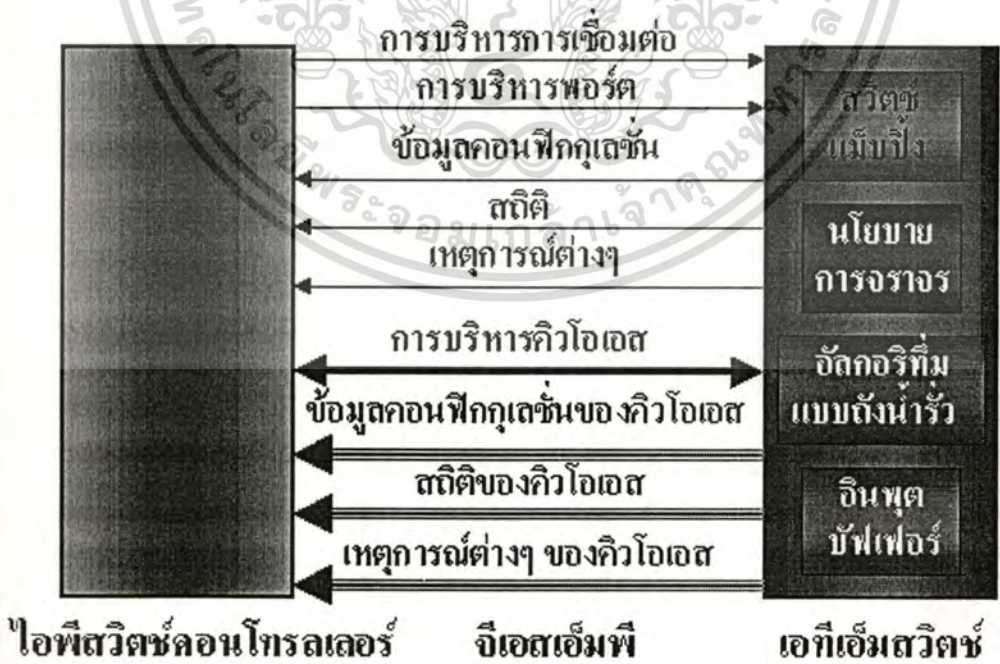
งานวิจัยนี้นำเสนอโมเดลของการควบคุมคุณภาพของไอพีสวิตช์ซึ่ง โดยใช้อัลกอริทึมแบบ ถังน้ำรั่ว (Leaky-Bucket Algorithm) ควบคุมที่อินพุทบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์ ซึ่งจะสามารถควบคุมการไหลของข้อมูลเข้าสู่อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์ได้ โดยไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้าน การค้า

ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุมปริมาณการไหล (Flow) ที่มาจากแหล่งกำเนิด เพื่อไม่ให้เกินความสามารถของไอพีสวิตช์ที่จะรับได้ อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เซตสูญหาย รูปที่ 5.5 แสดงโมเดลของไอพีสวิตช์ที่ใช้อัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่ว



รูปที่ 5.5 โมเดลของไอพีสวิตช์ที่มีการควบคุมคุณภาพของการให้บริการ



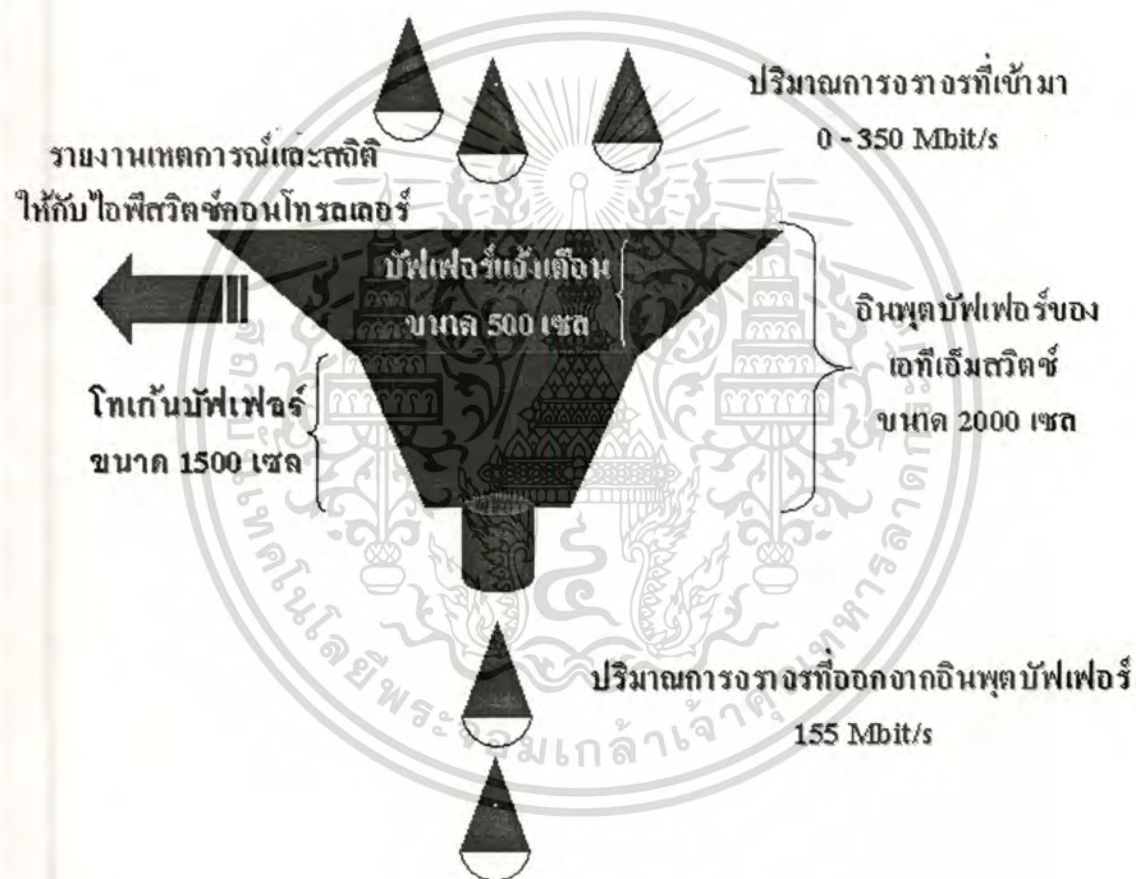
รูปที่ 5.6 สถาปัตยกรรมของไอพีสวิตช์ซึ่งที่มีการควบคุมคุณภาพของการให้บริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.6 เป็นการนำเสนอแนวทางในการควบคุมคุณภาพของการให้บริการในไอพี สวิตช์ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 5.4 จะพบว่าส่วนที่เพิ่มเติมมาก็คือ นโยบายการจราจร, อัลกอริทึม แบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์, ช่องทางที่ใช้สำหรับ บริหารคุณภาพของการให้บริการ, การตรวจสอบสถานะต่างๆ ของเอทีเอ็มสวิตช์

5.3.1 การควบคุมการสูญหายของเซลโดยใช้อัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่ว

การนำเอาอัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็ม สวิตช์เพื่อควบคุมอัตราการสูญหายของเซลนั้นมีแบบจำลองดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 แบบจำลองอัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วควบคุมการจราจรที่อินพุตบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์

จากรูปที่ 5.7 เอทีเอ็มสวิตช์จะมีอินพุตบัฟเฟอร์ (B_I) ขนาด 2,000 เซลล์ ซึ่งคอยกรองการจราจรที่เข้ามาให้ราบเรียบ โดยมีความเร็วของเซลที่ออกจากอินพุตบัฟเฟอร์ (ความเร็วของน้ำรั่ว) คงที่อยู่ที่ 155 Mbit/s ในจำนวน 2,000 เซลล์ของอินพุตบัฟเฟอร์แบ่งออกเป็นโทเก้นบัฟเฟอร์ (B_L) ขนาด 1,500 เซลล์ และบัฟเฟอร์แจ้งเตือน (B_A) (Alert Buffer) ขนาด 500 เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ เรากำหนดให้การจราจรที่เข้ามามีความเร็วตั้งแต่ 0 จนถึง 350 ขึ้นไป โดยชนิดของการให้บริการเป็นแบบ CBR (Constant Bit Rate) และ VBR (Variable Bit Rate) เนื่องจากเป็นการไหลที่มีช่วงชีวิตยาว หรือการไหลที่มีแบนด์วิดธ์สูง และอีกเหตุผลหนึ่งก็คือการไหลทั้งสองนี้เป็นการไหลที่มีความสำคัญเร่งด่วน (Priority) มากกว่า การไหลแบบ ABR (Available Bit Rate) หรือ UBR (Unspecified Bit Rate) โดยเรียงลำดับความเร่งด่วนดังนี้ CBR, VBR, ABR, UBR ตามลำดับ แต่การไหลที่ก่อปัญหาให้กับเครือข่ายมากที่สุดก็คือ การไหลแบบ VBR

การไหลแบบ VBR โดยมากมักต้องการการบริการในแบบทันที (Real-time Service) เช่น การส่งข้อมูลวีดิทัศน์แบบ MPEG หรือข้อมูลเสียง อีกสาเหตุหนึ่งก็คือการไหลนี้มีแบนด์วิดธ์ที่สูง และสามารถเปลี่ยนแปลงได้กว้างมาก แต่การไหลนี้ก็มิมีข้อดีคือ เป็นการไหลที่สามารถรองรับความผิดพลาดของข้อมูลได้สูง เช่นการประชุมทางไกลผ่านเครือข่าย หากภาพหรือเสียงที่ได้รับไม่ชัดไปบ้างก็ยังพอจับใจความได้ ในทางตรงกันข้ามถ้าหากภาพหรือเสียงขาดไปเพียง 2-3 วินาทีข้อความที่ได้รับก็อาจผิดพลาดจนก่อความเสียหายได้

จากเหตุผลข้างต้นเมื่อเกิดความคับคั่งขึ้นที่อินพุตบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์ เราจึงเลือกที่จะทำการควบคุมปริมาณการไหลของบริการแบบ VBR ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายการจราจรดังกล่าวในตอนต่อไป

จากรูปที่ 5.7 ในช่วงคั่นถ้าปริมาณการจราจรที่เข้ามามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณการจราจรที่ออกจากอินพุตบัฟเฟอร์ ก็จะไม่มีเซลล์ที่ตกค้างอยู่ที่อินพุตบัฟเฟอร์เลย จนกระทั่งปริมาณการจราจรที่เข้ามามีค่าสูงกว่าปริมาณการจราจรที่ออกจากอินพุตบัฟเฟอร์ก็จะมีเซลล์ตกค้างอยู่ที่อินพุตบัฟเฟอร์อยู่จำนวนหนึ่ง ซึ่งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณการจราจรที่สูงขึ้น และจะลดลงถ้าปริมาณการจราจรที่เข้ามามีค่าน้อยกว่าปริมาณการจราจรที่ออกจากอินพุตบัฟเฟอร์

หากจำนวนของเซลล์ในอินพุตบัฟเฟอร์เพิ่มจนถึงขีดสูงสุดคือ 2,000 เซลล์แล้ว (เต็มถัง) เซลล์ที่ตามมาจะถูกทิ้งไป (Drop) ทำให้เกิดเซลล์สูญหาย (Cell Loss) เนื่องจากความคับคั่ง เป็นผลให้สถานีต้นทางที่เป็นเจ้าของเซลล์ต้องพยายามส่งเซลล์ที่สูญหายกลับมาใหม่ หากปริมาณการจราจรในเครือข่ายยังไม่ลดลงก็ยังมีผลทำให้เกิดความคับคั่งอีก อันเป็นผลให้เกิดเซลล์สูญหายเป็นลูกโซ่

การลดอัตราการสูญหายของเซลล์โดยเพิ่มขนาดของบัฟเฟอร์ให้ใหญ่ขึ้น นั้นไม่เป็นผลดีต่อระบบ เพราะถ้ามีบัฟเฟอร์ที่มีขนาดที่ใหญ่มาก จำนวนเซลล์ที่รอการบริการอยู่ในบัฟเฟอร์ก็จะยิ่งมาก ทำให้เวลาในการบริการสูงเกิดดีเลย์ในการบริการสูงขึ้นตามมา และเนื่องจากทุกๆ เซลล์มีช่วงชีวิตของมันในการเดินทาง และหากเกินช่วงเวลานี้ก็จะทำให้สถานีต้นทางที่เป็นเจ้าของเซลล์ทำการส่งเซลล์นี้มาซ้ำ โดยที่คิดว่าเซลล์นี้สูญหายไปแล้ว (ทั้งที่ยังอยู่ในบัฟเฟอร์) ก็ยิ่งเป็นการเพิ่มความคับคั่งในเครือข่ายให้สูงขึ้น

ในงานวิจัยนี้เสนอ การควบคุมอัตราการสูญหายของเซลล์โดยใช้อัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์ นั้นมีอยู่ 2 วิธีคือ 1. แบบใช้โทเก้นบัฟ

เฟอร์ร่วมกับบัพเฟอร์แฉ่งเดือน 2. แบบใช้อินพุตบัพเฟอร์ ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายการจราจรที่เลือก

5.3.2 นโยบายการจราจร

นโยบายการจราจรมีหน้าที่ควบคุมการทำงานของอัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่ว โดยจะดูจากข้อมูลทางสถิติและเหตุการณ์ต่างๆ ที่ได้จากอินพุตบัพเฟอร์ ว่ามีปริมาณการจราจรเข้ามาเท่าไร มีขนาดของบัพเฟอร์ที่ว่างอยู่เท่าไร มีเซตสูญหายปริมาณเท่าไร เมื่อมีความคับคั่งเกิดขึ้นก็จะทำการเลือกเอาการไหลที่เหมาะสมที่จะลดปริมาณความเร็วลง และเพิ่มขึ้นเมื่อความคับคั่งนั้นจบลง

การควบคุมปริมาณการไหลนี้เรียกว่า การควบคุมอัตราการไหลที่ต้นทาง (Source Rate Control) โดยจะเลือกการไหลในบริการแบบ VBR ที่มีผลต่อความคับคั่งของอินพุตบัพเฟอร์ โดยวัดจากปริมาณของเซตที่เข้ามายังอินพุตบัพเฟอร์ การไหลที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรกคือการไหลที่มีปริมาณสูงสุด เมื่อได้การไหลแล้วก็จะทำการเจรจาเกี่ยวกับสถานีต้นทางที่เป็นเจ้าของการไหลให้ทำการส่งข้อมูลในอัตราที่กำหนด หลังจากนั้นหากความคับคั่งยังไม่หมดไปเมื่อถึงค่าเวลาหนึ่ง (Quantum Time) Q_t ก็จะทำการเลือกการไหลที่มีปริมาณสูงสุดในขณะนั้นอีกครั้งหนึ่ง

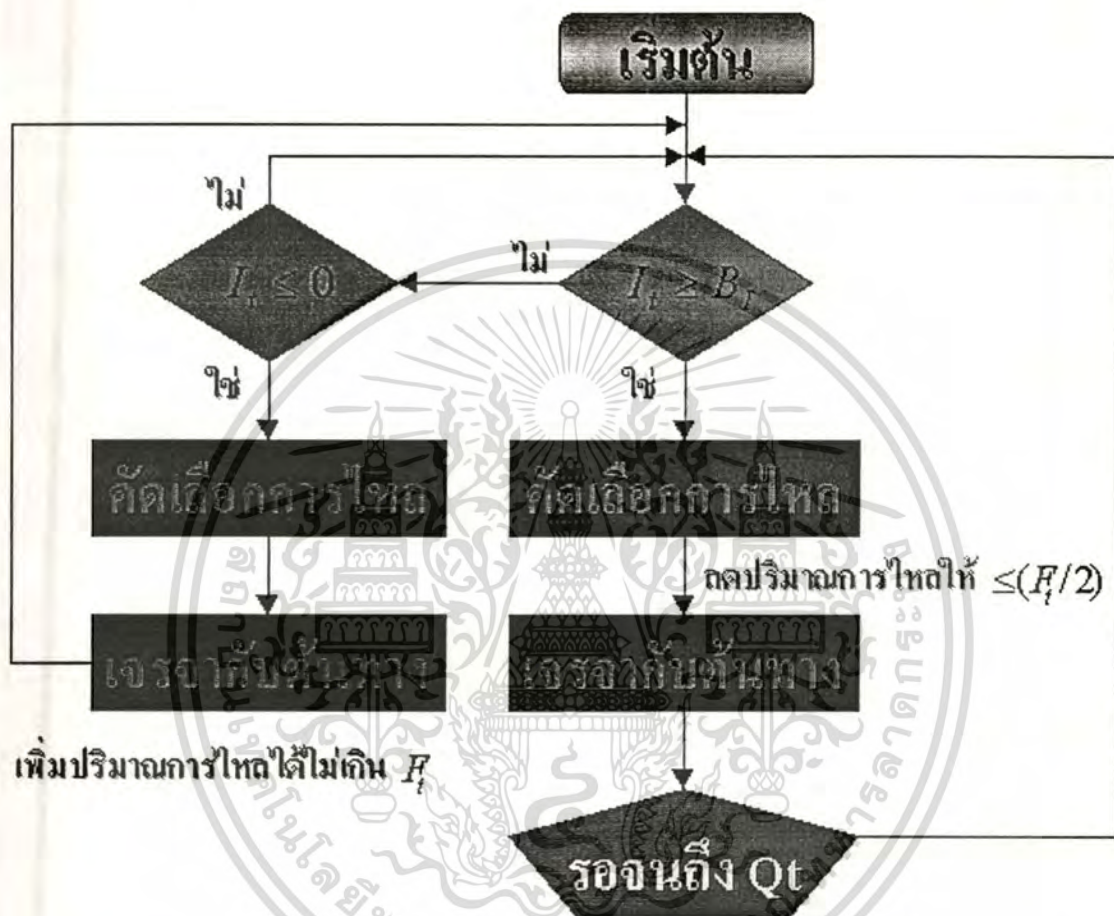
5.3.2.1 การควบคุมอัตราการสูญหายของเซตโดยใช้อัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตบัพเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์แบบใช้อินพุตบัพเฟอร์

การควบคุมแบบนี้มีความซับซ้อนน้อยกว่าการใช้โทเกินบัพเฟอร์ร่วมกับบัพเฟอร์แฉ่งเดือน โดยแบบจำลองการทำงานก็จะคล้ายกับแบบจำลองในรูปที่ 5.7 เพียงแต่อินพุตบัพเฟอร์ไม่ได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่านั้น วิธีนี้จะมีปริมาณเซตสูญหายบ้างเล็กน้อยแต่เมื่อเทียบกับไม่มีการควบคุมแล้วถือว่าต่างกันมาก (ดังจะได้จากผลการทดลองในบทที่ 6) เหมาะสำหรับการไหลที่มีข้อมูลเป็นวิดิทัศน์หรือเสียง

จากรูปที่ 5.7 ในขณะใดหนึ่ง การไหลใหม่ที่เข้ามาจะสามารถได้รับบริการ (หรือสถาปนากการเชื่อมต่อ) จากเอทีเอ็มสวิตช์ก็ต่อเมื่อ $I_t < B_t$ (มีค่าอธิบายตัวแปรข้างล่าง) หากค่าของ I_t มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ B_t แล้วการไหลนั้นจะไม่ถูกจัดตั้ง เนื่องจากในขณะนั้นมีความคับคั่งของการจราจร แต่การไหลเก่าที่ได้รับการจัดตั้งแล้วสามารถส่งข้อมูลได้ แต่เซตที่เกิน B_t จะกลายเป็นเซตสูญหาย เราสามารถหาปริมาณการจราจรสูงสุดที่สามารถเข้ามายังอินพุตบัพเฟอร์โดยไม่สูญหายในขณะใดขณะหนึ่งได้จาก

$$F_t = [(B_t - I_t) \times 53 \times 8] + S_n \quad \text{มีหน่วยเป็น bit/s} \quad (5.21)$$

- โดยที่ F , คือ ปริมาณการจราจรที่เข้ามาโดยไม่สูญหาย (bit/s)
 B , คือ ขนาดของอินพุตบัฟเฟอร์ (เซล)
 I , คือ จำนวนของเซลที่ตกค้างในอินพุตบัฟเฟอร์ (เซล)
 S_n คือ จำนวนของเซลที่ออกจากอินพุตบัฟเฟอร์ (bit/s)



รูปที่ 5.8 ผังการทำงานของ การควบคุมอัตราการสูญหายของเซลโดยใช้อัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์แบบใช้อินพุตบัฟเฟอร์

จากรูปที่ 5.8 เมื่อ $I_n \geq B_n$ นโยบายการจราจรจะทำการคัดเลือกการไหลแบบ VBR ที่มีปริมาณการจราจรสูงสุด (วัดจากจำนวนเซลที่ยังค้างอยู่ในอินพุตบัฟเฟอร์) จากนั้นทำการเจรจากับสถานีต้นทางที่เป็นเจ้าของการไหลให้ลดปริมาณของการไหลให้มีค่าไม่เกิน $F_n/2$ (เมื่อ $I_n \geq B_n$, F_n จะมีค่าเท่ากับ S_n นั่นคือครึ่งหนึ่งของปริมาณที่ไหลออกจากอินพุตบัฟเฟอร์) เพื่อลดความคับคั่งลง

หากค่า $I_n \leq 0$ แสดงว่าความคับคั่งได้หมดไปแล้ว (อย่างน้อยก็ในขณะนี้) นโยบายการจราจรจะทำการคัดเลือกการไหลแบบ VBR ที่ได้ทำการลดปริมาณไปแล้ว (เลือกในแบบเข้าก็ออกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อน หากไม่มีก็ไม่ต้องทำอะไร) จากนั้นทำการเจรจาเกี่ยวกับสถานีต้นทางที่เป็นเจ้าของการไหลให้เพิ่มปริมาณของการไหลได้แต่มีค่าไม่เกิน F ,

5.3.2.2 การควบคุมอัตราการสูญหายของเซลโดยใช้อัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์แบบโทแกนบัฟเฟอร์ร่วมกับบัฟเฟอร์แฉ่งเดือน

แบบจำลองการทำงานแสดงรูปที่ 5.7 อินพุตบัฟเฟอร์ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ โทแกนบัฟเฟอร์และบัฟเฟอร์แฉ่งเดือน โทแกนบัฟเฟอร์ใช้สำหรับกำหนดปริมาณของเซลที่เข้ามาเพื่อรับรองว่าเซลที่เข้ามาตามเงื่อนไขนี้จะไม่สูญหาย ส่วนบัฟเฟอร์แฉ่งเดือนใช้สำหรับควบคุมการไหลใหม่ที่เข้ามา วิธีนี้มีปริมาณเซลสูญหายเล็กน้อยมากหรือแทบไม่มีเลย (จากผลการทดลองในบทที่ 6) เหมาะสำหรับการไหลประเภทข้อมูลความเร็วสูง (High Speed Data Transfer)

จากรูปที่ 5.7 ในขณะใดหนึ่ง การไหลใหม่ที่เข้ามาจะสามารถได้รับการ (หรือสถาปนากการเชื่อมต่อ) จากเอทีเอ็มสวิตช์ก็ต่อเมื่อ $B_A \leq 0$ (มีค่าอธิบายตัวแปรข้างล่าง) หากค่าของ B_A มีค่ามากกว่า 0 แล้วการไหลนั้นจะไม่ถูกจัดตั้ง เนื่องจากในขณะนั้นมีโอกาสที่จะเกิดความคับคั่งของการจราจรขึ้นได้ แต่การไหลเก่าที่ได้รับการจัดตั้งแล้วสามารถส่งข้อมูลได้ แต่เซลที่เกิน B_I จะกลายเป็นเซลสูญหาย จากสมการที่ 5.21 ที่เป็นการหาปริมาณการจราจรสูงสุดที่สามารถเข้ามายังอินพุตบัฟเฟอร์โดยไม่สูญหายในขณะใดขณะหนึ่ง และเราสามารถหาปริมาณการจราจรที่เข้ามายังอินพุตบัฟเฟอร์โดยรับรองว่าจะไม่สูญหายคือ

$$B_I = B_L + B_A \quad (5.22)$$

$$C_I = [(B_L - I_I) \times 53 \times 8] + S_n \quad \text{มีหน่วยเป็น bit/s} \quad (5.23)$$

โดยที่ C_I คือ ปริมาณการจราจรที่เข้ามายังอินพุตบัฟเฟอร์โดยรับรองว่าจะไม่สูญหาย (bit/s)

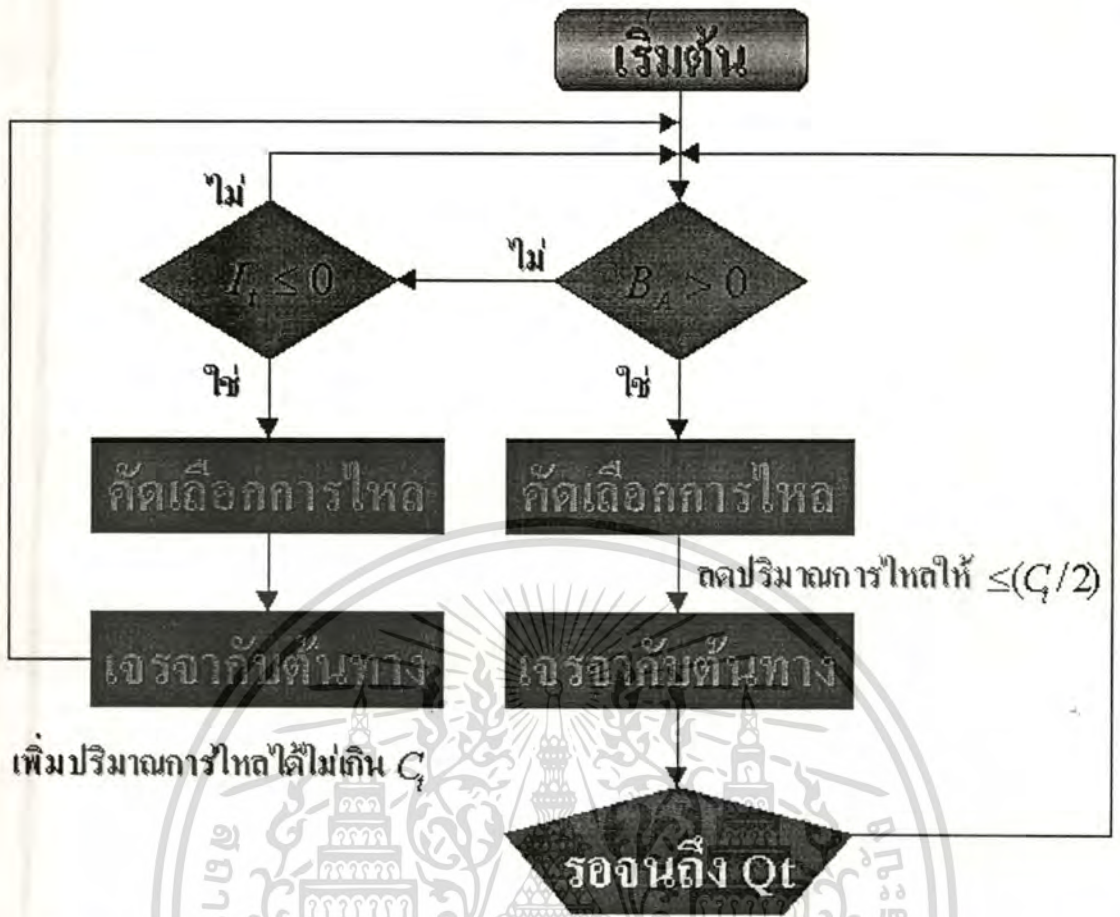
B_I คือ ขนาดของอินพุตบัฟเฟอร์ (เซล)

B_L คือ ขนาดของโทแกนบัฟเฟอร์ (เซล)

B_A คือ ขนาดของบัฟเฟอร์แฉ่งเดือน (เซล)

I_I คือ จำนวนของเซลที่ตกค้างในอินพุตบัฟเฟอร์ (เซล)

S_n คือ จำนวนของเซลที่ออกจากอินพุตบัฟเฟอร์ (bit/s)



รูปที่ 5.9 ผังการทำงานของกระบวนการควบคุมอัตราการสูญหายของเซลล์โดยใช้อัลกอริทึมแบบถ่วงน้ำหนักมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์แบบใช้โทเก้นบัฟเฟอร์ร่วมกับบัฟเฟอร์แจ้งเตือน

จากรูปที่ 5.9 เมื่อ $B_A > 0$ นโยบายการจราจรจะทำการคัดเลือกการไหลแบบ VBR ที่มีปริมาณการจราจรสูงสุด (วัดจากจำนวนเซลล์ที่ยังค้างอยู่ในอินพุตบัฟเฟอร์) จากนั้นทำการเจรจากับสถานีต้นทางที่เป็นเจ้าของการไหลให้ลดปริมาณของการไหลให้มีค่าไม่เกิน $C_f/2$ (เมื่อ $B_A > 0$, C_f จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ S_n นั่นคือน้อยกว่าหรือเท่ากับ $1/2$ ของปริมาณที่ไหลออกจากอินพุตบัฟเฟอร์) เพื่อลดความคับคั่งลง

หากค่า $I_s \leq 0$ แสดงว่าความคับคั่งได้หมดไปแล้ว นโยบายการจราจรจะทำการคัดเลือกการไหลแบบ VBR ที่ได้ทำการลดปริมาณไปแล้ว (เลือกในแบบเข้าก็ออกก่อน หากไม่มีก็ไม่ทำอะไร) จากนั้นทำการเจรจากับสถานีต้นทางที่เป็นเจ้าของการไหลให้เพิ่มปริมาณของการไหลได้แต่มีค่าไม่เกิน C_f (สังเกตว่า C_f มีค่าน้อยกว่า F_f) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแรกแล้วอาจเปรียบได้ว่าวิธีแรกนั้นเป็นแบบป้องกันไม่ให้เซลล์สูญหาย (ซึ่งป้องกันอย่างไรก็อาจเกิดขึ้นได้) ส่วนวิธีนี้เป็นแบบหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดความคับคั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของการควบคุมปริมาณการจราจรจากแหล่งกำเนิดก็คือ ในขณะที่ไม่มีความคับคั่งทุกสถานีสามารถส่งข้อมูลได้อย่างเต็มที่ตามต้องการ แต่เมื่อเกิดความคับคั่งขึ้นในระบบก็สามารถสั่งให้แหล่งกำเนิดลดปริมาณข้อมูลลงได้ ซึ่งคิดว่าที่จะให้ข้อมูลมาค้างหรือสูญหายไปในระบบอันเป็นผลต่อคุณภาพในการให้บริการ โดยรวมของเครือข่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลองและผลการทดลอง

6.1 บทนำ

ในบทนี้จะเป็นการทดลองโดยการจำลองผลการทำงาน (Simulation) ของไอพีสวิตช์ เพื่อวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมและการทำงานของไอพีสวิตช์ โดยมุ่งไปที่พารามิเตอร์หลักที่มีผลต่อคุณภาพของการให้บริการของไอพีสวิตช์ เช่น เพลอร์เซ็นต์ที่แพคเกจจะได้รับบริการในเส้นทางแบบสวิตช์, เวลาในการให้บริการของไอพีสวิตช์, อัตราส่วนของเซสที่สูญหายเป็นต้น โดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน ตามเครื่องมือที่ใช้นำมาช่วยในการวิเคราะห์ การวิเคราะห์และสรุปผลได้กล่าวไว้ในบทที่ 7

ตอนที่ 6.2 เป็นการจำลองผลการทำงานของพารามิเตอร์ทางสมรรถภาพและพารามิเตอร์ทางด้านเวลาในการให้บริการของไอพีสวิตช์ โดยใช้โปรแกรม MathLAB เวอร์ชัน 5.3.0.10183 (R11) ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows ME

ตอนที่ 6.3 เป็นการจำลองผลการทำงานของเอทีเอ็มสวิตช์ เพื่อศึกษาถึงผลที่ได้จากการใช้อัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาควบคุมการไหลที่อินพุทบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์ ซึ่งจะวัดจากอัตราส่วนของเซสที่สูญหายเมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมคุณภาพแบบเดิม โดยใช้โปรแกรมเอทีเอ็ม/เอชเอฟซี เน็ตเวิร์ค ซิมูเลเตอร์ (ATM/HFC Network Simulator) เวอร์ชัน 4.1 ของสถาบันนิช (National Institute of Standards and Technology / NIST) มาช่วยในการวิเคราะห์ โดยโปรแกรมนี้ทำงานบนระบบปฏิบัติการ LINUX เวอร์ชัน 7.0

ในส่วนของเครื่องที่นำมาใช้จำลองผลการทำงานนั้นมีคุณสมบัติดังนี้

- PC Server Thunder 2500 S1867 BUS 133 MHz
- Dual Intel Slot 1
- Pentium III 733 MHz Dual Processor
- 512 Mbytes 168-pin Registered DIMM
- Dual Channel Ultra3 LVD SCSI
- Harddisk SCSI 1,5000 RPM 20 Gbytes × 4
- NVIDIA GeForce2 MX 100/200 MHz
- HP C5683A 40 Gbytes Tape Backup

6.2 การจำลองผลการทำงานโดยใช้ MathLAB

การจำลองผลการทำงานโดยใช้ MathLAB แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1. การจำลองผลการทำงานของพารามิเตอร์ทางสมรรถภาพของไอพีสวีตช์ และ 2. การจำลองผลการทำงานของพารามิเตอร์ทางด้านเวลาในการให้บริการของไอพีสวีตช์ โดยขั้นตอนในการทำการทดลองนั้นมีดังนี้

1. ศึกษาถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. ทำการวิเคราะห์สิ่งที่ได้ศึกษามานำมาเชื่อมโยงความสัมพันธ์
3. เขียนโปรแกรม ทำการทดสอบและแก้ไข
4. ทำการทดลองเก็บผลการทดลอง
5. วิเคราะห์และทำการสรุปผลที่ได้

6.2.1 การจำลองผลทางสมรรถภาพของไอพีสวีตช์

เพื่อศึกษาถึง เปรอ์เซ็นต์ของการไหลที่ได้รับบริการแบบสวีตช์บนอินพุทพอร์ต i , จำนวนเฉลี่ยของการไหลที่ถูกสวีตช์บนอินพุทพอร์ต i , ความน่าจะเป็นที่การไหลถูกกีดกันจากการทำสวีตช์ในเลเบอร์ 2 บนอินพุทพอร์ต i , และขนาดของวีชีสเปซ ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของการให้บริการของไอพีสวีตช์ ที่ให้บริการกับการไหลที่เข้ามายังอินพุทพอร์ต i เราจึงทำการเขียนโปรแกรมดังต่อไปนี้

- o เมื่อ n จำนวนของช่องสื่อสารเสมือน ที่มีอยู่ในวีชีสเปซ
- o λ_i อัตราการไหลที่เข้ามายังอินพุทพอร์ต i
- o P_s ความน่าจะเป็นที่การไหลนี้ถูกเลือกให้ถูกสวีตช์ในเลเบอร์ 2
- o u_i ค่าเฉลี่ยอัตราการให้บริการที่ไอพีสวีตช์ให้บริการแก่การไหล
- o u_{ii} ค่าเฉลี่ยอัตราการให้บริการการไหลของตัวให้บริการเสมือน
- o N_i จำนวนเฉลี่ยของการไหลบนอินพุทพอร์ต i
- o P_{i0} ความน่าจะเป็นที่วีชีสเปซไม่ได้ถูกใช้งาน (Empty)
- o P_{ib} ความน่าจะเป็นที่การไหลถูกกีดกันจากการทำสวีตช์ในเลเบอร์ 2 บนอินพุทพอร์ต i
- o N_{is} จำนวนเฉลี่ยของการไหลที่ถูกสวีตช์บนอินพุทพอร์ต i
- o α เปรอ์เซ็นต์ของการไหลที่ได้รับบริการแบบสวีตช์บนอินพุทพอร์ต

เอกซิมูเลชัน $\lambda_i = [0:0.1:3]$; นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Ps=0.7;
ui=0.01;
uii=0.008;
```

```
' , -----n=80-----
```

```
n=80;
```

```
for l = 1:1:31
```

```
    s=0;
```

```
    Ni([l])=lambda_i([l])/ui;
```

```
    for k = 0:1:n
```

```
        s=s+((1/factorial(k))*((lambda_i([l])/uii)^k)*(Ps^k));
```

```
    end
```

```
    Pi0_1([l])=s^(-1);
```

```
    Pib1([l])=((1/factorial(n))*((lambda_i([l])/uii)^n)*(Ps^n)*Pi0_1([l]));
```

```
    Nis1([l])=0;
```

```
    for k = 1:1:n
```

```
        Nis1([l])=Nis1([l])+((1/factorial(k-1))*((lambda_i([l])/uii)^k)*(Ps^k)*(Pi0_1([l])));
```

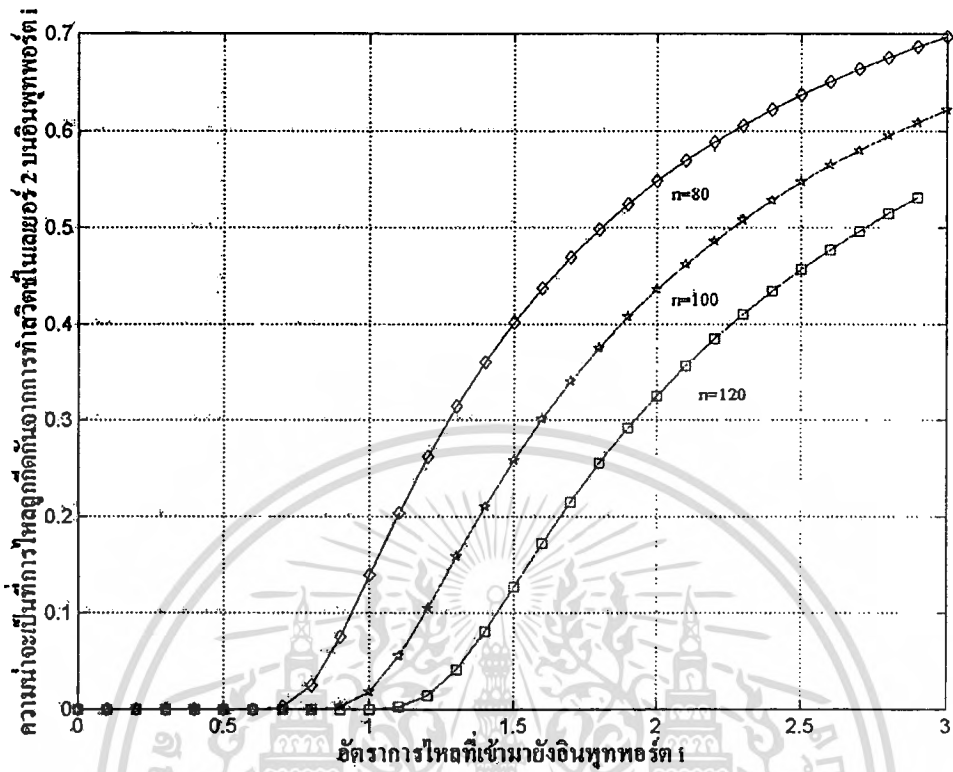
```
    end
```

```
    alpha1([l]) = Nis1([l])/(lambda_i([l])/ui);
```

```
end
```

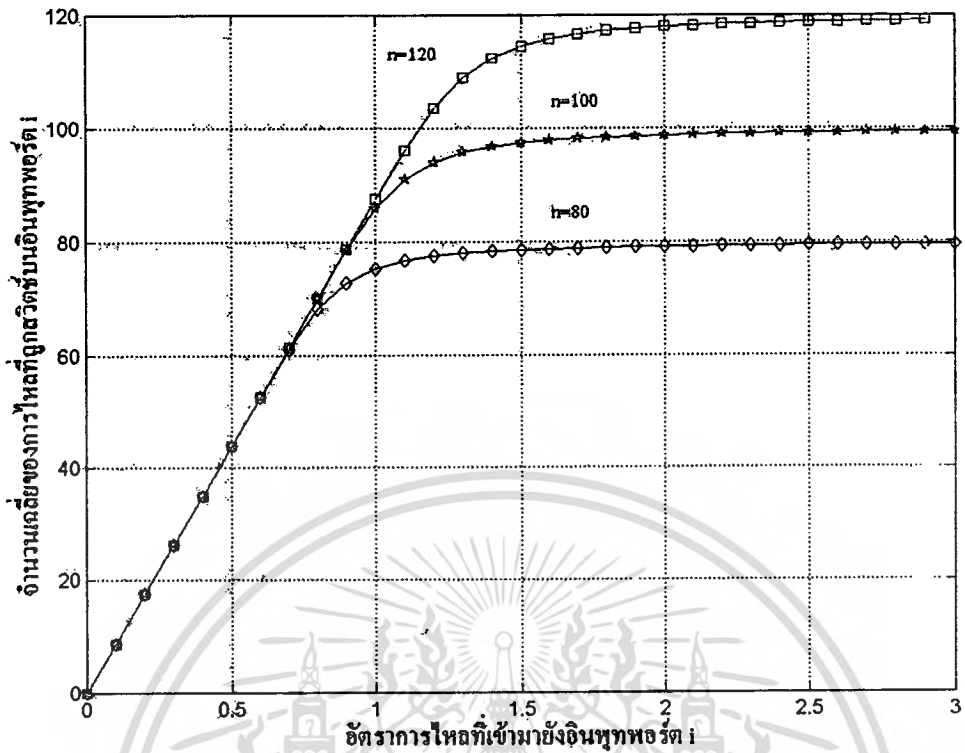
โปรแกรมข้างต้นเป็นโปรแกรมจำลองผลการทำงานของไอพีสวิตช์ที่มีขนาดของวีซีเอสเปซเท่ากับ 80 วีซี จากนั้นจึงนำไปจำลองผลการทำงานโดยโปรแกรม MathLAB ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

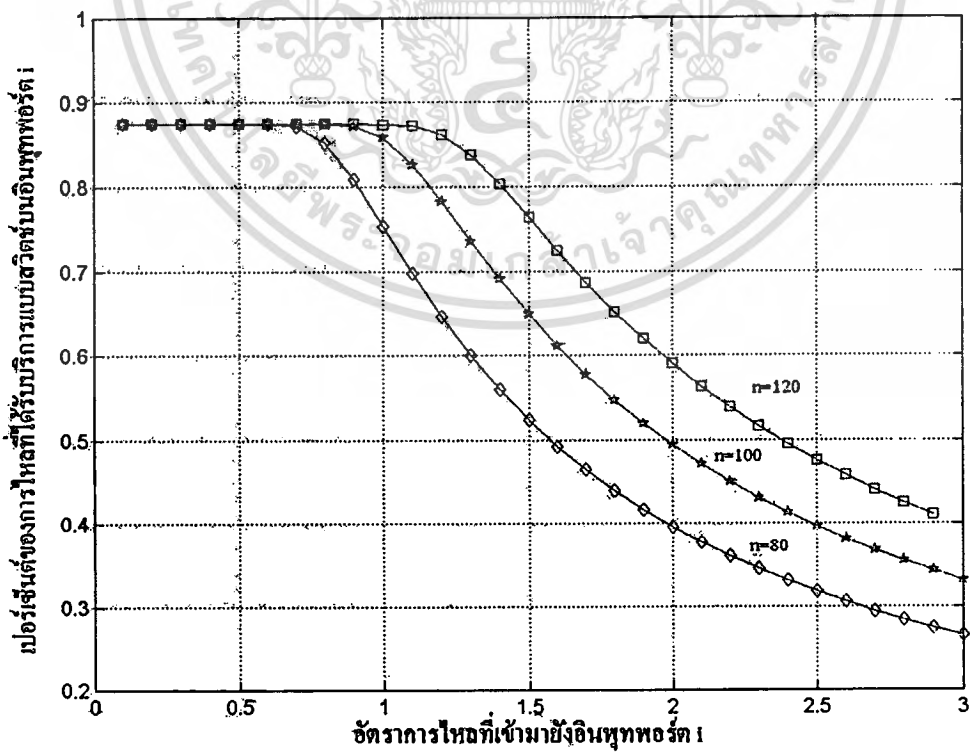


รูปที่ 6.1 ขนาดของ n ที่มีผลต่อ P_{ib}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

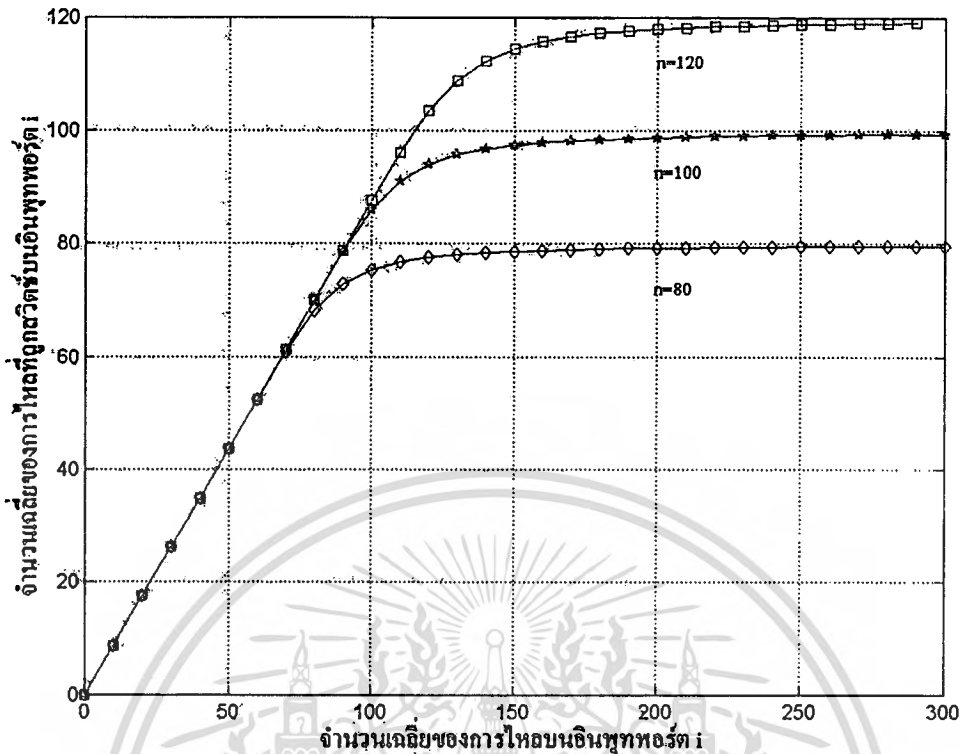


รูปที่ 6.2 ขนาดของ n ที่มีผลต่อ N_s



รูปที่ 6.3 ขนาดของ n ที่มีผลต่อ α_s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 N_s เทียบกับ N_d

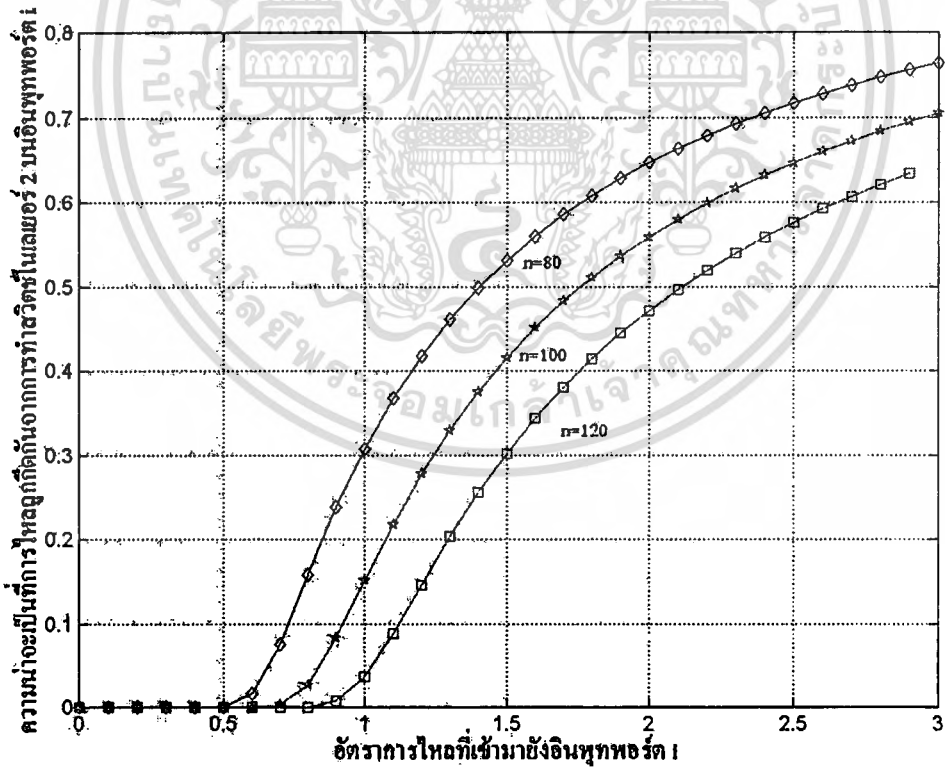
คำอธิบายผลการทดลอง 1 : รูปที่ 6.1 รูปที่ 6.2 และรูปที่ 6.3 แสดงถึงผลกระทบของขนาดของวีชีสเปซ (n) ที่มีต่อ ความน่าจะเป็นที่การไหลถูกกีดกันจากการทำสวิตช์ในเลเยอร์ 2 บนอินพุทพอร์ต i (P_B), จำนวนเฉลี่ยของการไหลที่ถูกสวิตช์บนอินพุทพอร์ต i (N_s), และเปอร์เซ็นต์ของการไหลที่ได้รับบริการแบบสวิตช์บนอินพุทพอร์ต i (α_i) ตามลำดับ โดยกำหนดให้ $P_s = 0.7$, $\mu_i = 0.01$ การไหล/วินาที และ $\mu'_i = 0.008$ การไหล/วินาที เมื่อขนาดของ n เป็น 80, 100, 120 วีชี ตามลำดับ รูปที่ 6.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนเฉลี่ยของการไหลบนอินพุทพอร์ต i (N_d) เทียบกับ จำนวนเฉลี่ยของการไหลที่ถูกสวิตช์บนอินพุทพอร์ต i (N_s)

รูปที่ 6.1 จะพบว่าขนาดของวีชีสเปซมีผลต่อการกีดกันการไหลไม่ให้ได้รับบริการในแบบสวิตช์ ถ้าหากค่า n มีค่าน้อยเกินไป จะทำให้การไหลที่ตัวจำแนกการไหลตัดสินใจแล้วว่าควรจะได้รับบริการในเส้นทางแบบสวิตช์ ถูกกีดกันไม่ให้ได้รับบริการและการไหลนี้ถ้าไม่ถูกละทิ้งไป (Drop) ก็จะถูกส่งผ่าน (Forward) ซึ่งทำให้คุณภาพของการให้บริการลดลง เมื่ออัตราการไหลที่เข้ามามีค่าน้อยมากจะไม่มีกรไหลถูกกีดกันที่วีชีสเปซ ในกรณีนี้ขนาดของวีชีสเปซมีผลน้อยมากกับความน่าจะเป็นในการกีดกัน เมื่อถึงจุดหนึ่งเมื่อเราเพิ่มอัตราการไหลที่เข้ามาความน่าจะเป็นในการกีดกันจะเพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว

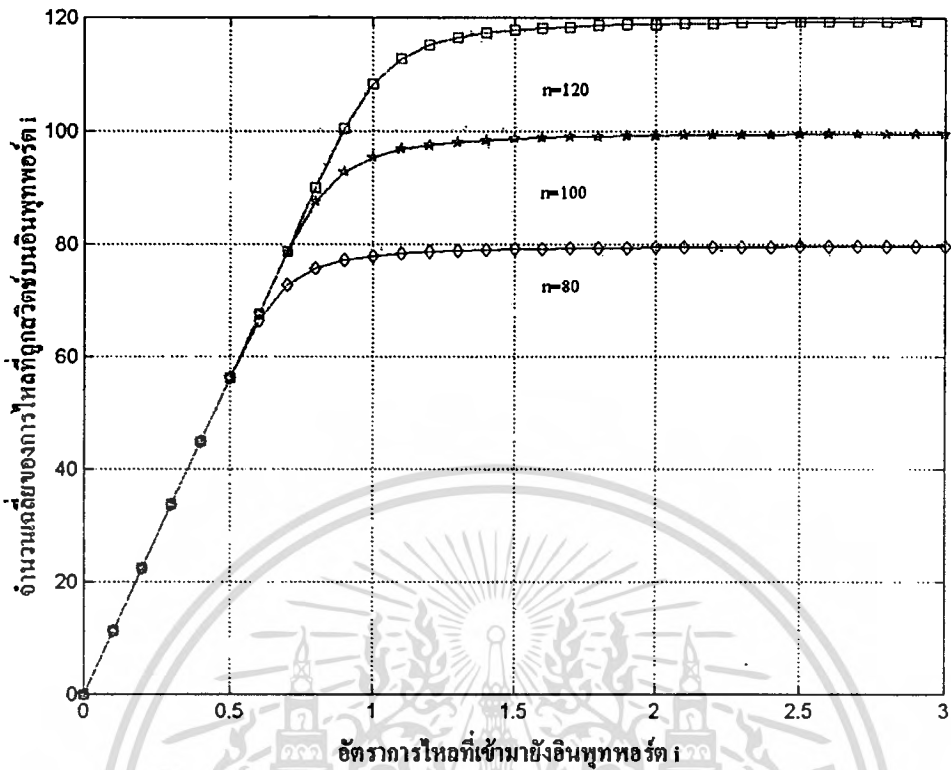
รูปที่ 6.2 จะพบว่าขนาดของวิธีสเปซมีผลต่อจำนวนเฉลี่ยของการไหลที่ถูกสวิตช์บนอินพุทพอร์ต i โดยที่ขนาดของวิธีสเปซจะเป็นตัวกำหนดจำนวนสูงสุดของการไหลที่จะได้รับการบริการในเส้นทางแบบสวิตช์

รูปที่ 6.3 จะพบว่าขนาดของวิธีสเปซมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของการไหลที่ถูกสวิตช์ เมื่ออัตราการไหลที่เข้ามามีค่าน้อยจนกระทั่งถึงจุดๆ หนึ่ง เปอร์เซ็นต์ของการไหลที่ถูกสวิตช์จะยังมีค่าคงที่คือประมาณ 88% และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลที่เข้ามาเปอร์เซ็นต์ของการไหลที่ถูกสวิตช์จะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากจำนวนวิธีที่จะให้บริการแก่การไหลใหม่นั้นลดลง ทำให้ไม่มีวิธีเพียงพอสำหรับการไหลใหม่ แต่จากผลการทดลองพบว่าขนาดของวิธีสเปซที่ใหญ่ขึ้นจะช่วยให้การลดลงของเปอร์เซ็นต์ของการไหลที่ถูกสวิตช์ เกิดขึ้นได้ช้ากว่าวิธีสเปซที่เล็กกว่า

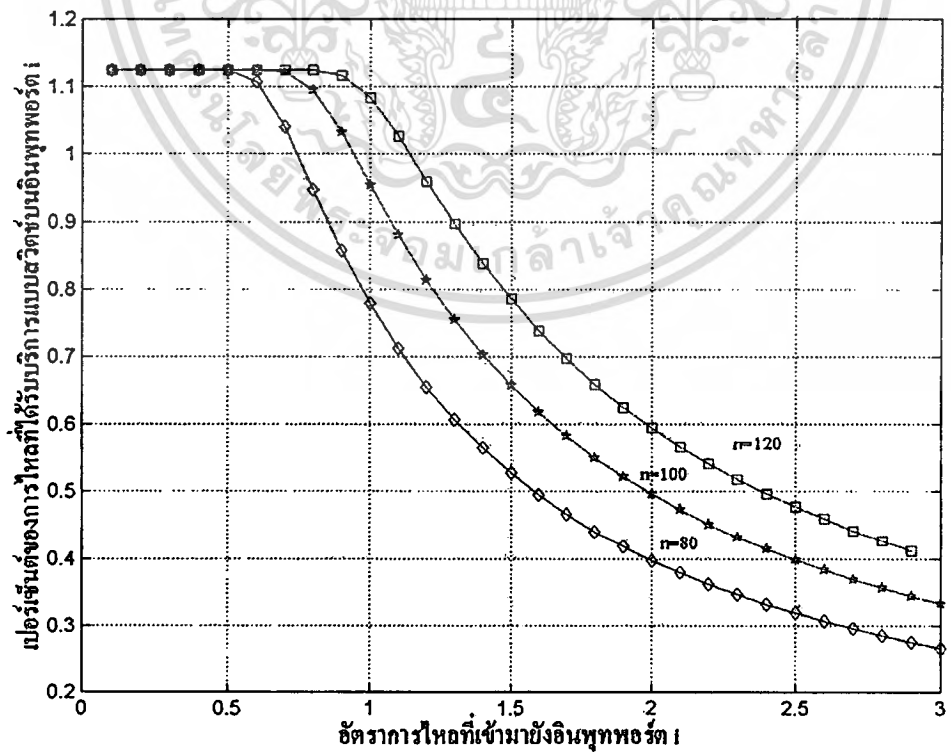
รูปที่ 6.4 จะพบว่าจำนวนเฉลี่ยของการไหลบนอินพุทพอร์ต i มีผลกับจำนวนเฉลี่ยของการไหลที่ถูกสวิตช์บนอินพุทพอร์ต i แบบเป็นสัดส่วนโดยตรงกันแต่เมื่อถึงจุดหนึ่งที่เต็มขีดความสามารถของวิธีสเปซที่จะรับได้ จำนวนเฉลี่ยของการไหลที่ถูกสวิตช์บนอินพุทพอร์ต i จะมีค่าคงที่และสูงสุดประมาณเท่ากับขนาดของวิธีสเปซ



รูปที่ 6.5 ขนาดของ n ที่มีผลต่อ P_{ib} เมื่อ $P_r = 0.9$



รูปที่ 6.6 ขนาดของ n ที่มีผลต่อ N_{is} เมื่อ $P_i = 0.9$



รูปที่ 6.7 ขนาดของ n ที่มีผลต่อ α , เมื่อ $P_i = 0.9$

คำอธิบายผลการทดลอง 2 : รูปที่ 6.5 รูปที่ 6.6 และรูปที่ 6.7 แสดงถึงผลกระทบของขนาดของวีซีเอสเปซ (n) ที่มีต่อ ความน่าจะเป็นที่การไหลถูกกีดกันจากการทำสวิตช์ในเลเยอร์ 2 บนอินพุทพอร์ต i (P_{ib}), จำนวนเฉลี่ยของการไหลที่ถูกสวิตช์บนอินพุทพอร์ต i (N_{is}), และเปอร์เซ็นต์ของการไหลที่ได้รับบริการแบบสวิตช์บนอินพุทพอร์ต i (α_i) ตามลำดับ เมื่อกำหนดให้ความน่าจะเป็นที่การไหลที่เข้ามาใหม่จะถูกสวิตช์ $P_s = 0.9$ ขนาดของ n เป็น 80, 100, 120 วีซี ตามลำดับ เพื่อศึกษาว่าเมื่อการไหลที่เข้ามาส่วนใหญ่เป็นการไหลที่มีช่วงชีวิตยาวหรือมีแบนด์วิดท์สูงแล้วจะมีผลต่อคุณภาพของการให้บริการของไอพีสวิตช์อย่างไร

รูปที่ 6.5 โดยรวมแล้วคล้ายกับรูปที่ 6.1 แต่สิ่งที่แตกต่างกันก็คือ จุดที่เริ่มเกิดการกีดกันในรูปที่ 6.5 จะเกิดขึ้นเร็วกว่าในรูปที่ 6.1 เนื่องจากว่าเมื่อการไหลที่เข้ามาส่วนใหญ่เป็นการไหลที่มีช่วงชีวิตยาวหรือมีแบนด์วิดท์สูง ทำให้ตัวจำแนกการไหลตัดสินใจว่าการไหลที่เข้ามานี้จะควรได้รับการบริการในเส้นทางแบบสวิตช์ จึงทำให้จำนวนของวีซีในวีซีเอสเปซหมดลงเร็วกว่านั่นเอง

รูปที่ 6.6 โดยรวมแล้วคล้ายกับรูปที่ 6.2 แต่สิ่งที่แตกต่างกันก็คือ ความชันของกราฟในช่วงต้นของรูปที่ 6.6 มีความชันมากกว่ารูปที่ 6.2 เนื่องจากการไหลที่เข้ามามีปริมาณที่ถูกสวิตช์ต่างกัน

รูปที่ 6.7 โดยรวมแล้วคล้ายกับรูปที่ 6.3 แต่สิ่งที่แตกต่างกันก็คือ เปอร์เซ็นต์ของการไหลที่ได้รับบริการแบบสวิตช์บนอินพุทพอร์ต i ในช่วงต้นที่แตกต่างกันอันเป็นผลเนื่องจากการไหลที่เข้ามาส่วนใหญ่เป็นการไหลที่มีช่วงชีวิตยาวหรือมีแบนด์วิดท์สูง

เราเห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อวีซีเอสเปซมีขนาดใหญ่ขึ้น ความน่าจะเป็นในการกีดกันจะลดลง และด้วยเหตุนี้เปอร์เซ็นต์ของการไหลที่ถูกสวิตช์จะเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลที่เข้ามามีค่าน้อยมากจะไม่มี การไหลถูกกีดกันที่วีซีเอสเปซ และด้วยเหตุนี้เปอร์เซ็นต์ของการไหลที่ถูกสวิตช์จึงมีค่าคงที่ ในกรณีนี้ขนาดของวีซีเอสเปซมีผลน้อยมากกับสมรรถภาพของไอพีสวิตช์ และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลที่เข้ามา ความน่าจะเป็นในการกีดกันจะเพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว ซึ่งมีผลให้เปอร์เซ็นต์ของการไหลที่ถูกสวิตช์มีค่าลดลง อันเป็นผลให้คุณภาพของการบริการลดลงไปด้วย

เมื่อการไหลที่เข้ามาส่วนใหญ่เป็นการไหลที่มีช่วงชีวิตยาวหรือมีแบนด์วิดท์สูง จะทำให้ตัวจำแนกการไหลตัดสินใจว่าการไหลที่เข้ามานี้จะควรได้รับการบริการในเส้นทางแบบสวิตช์ จึงทำให้จำนวนของวีซีในวีซีเอสเปซหมดลงเร็วกว่าการไหลที่มีช่วงชีวิตสั้นหรือมีแบนด์วิดท์ต่ำ แต่ก็ เป็นผลดีต่อคุณภาพของการให้บริการของไอพีสวิตช์ เพราะการที่การไหลที่สร้างปริมาณการจราจรในเครือข่ายที่สูงนี้ถูกบริการในเส้นทางแบบสวิตช์ จะทำให้การไหลนี้ได้รับคุณภาพของการให้บริการที่สูง คุณภาพโดยรวมของการไหลในเครือข่ายจึงสูงตามไปด้วย แต่ทั้งหมดนี้จะต้องให้ไอพีสวิตช์ทั้งระบบสามารถรับมือกับปริมาณการจราจรที่สูง โดยไม่ให้เกิดความคับคั่ง (Congestion) ทางจราจรของเครือข่ายขึ้นได้ ซึ่งเป็นเหตุผลที่เรานำเอาอัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุทบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์ เพื่อหลีกเลี่ยงความคับคั่งของการจราจร

สุดท้ายเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการกีดกัน หรือเปอร์เซ็นต์ของการไหลที่ถูกสวิตช์ที่เราต้องการแล้ว เราก็จะสามารถประเมินจำนวนวิธีในวิธีสเปซที่ต้องการใช้ในระบบ (ระบบที่เราคาดหวังว่าจะมีการไหลเข้ามาในอัตราเท่าใด) ได้อย่างถูกต้อง

6.2.2 การจำลองผลทางด้านเวลาในการให้บริการของไอพีสวิตช์

เพื่อศึกษาถึง ขนาดของบัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ต, ขนาดของบัฟเฟอร์ใน ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์, ประสิทธิภาพของทั้งไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์และเอทีเอ็มสวิตช์ที่มีผลต่อดีเลย์ที่เกิดขึ้นในเอทีเอ็มสวิตช์ขาเข้า, ดีเลย์ที่เกิดขึ้นในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์, ดีเลย์ที่เกิดขึ้นในเอทีเอ็มสวิตช์ขากลับ, สัดส่วนของดีเลย์ในเส้นทางแบบสวิตช์เทียบกับดีเลย์ในเส้นทางแบบส่งผ่าน, และความน่าจะเป็นที่ดาต้าแกรมถูกกีดกัน ณ. ที่ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลโดยตรงต่อคุณภาพของการให้บริการของไอพีสวิตช์ ที่ให้บริการกับการไหลที่เข้ามายังอินพุทพอร์ต i เราได้ทำการเขียนโปรแกรมดังนี้

```
% lambda_i อัตราการไหลที่เข้ามายังอินพุทพอร์ต i
% Ps ความน่าจะเป็นที่การไหลนี้ถูกเลือกให้ถูกสวิตช์ในเลขที่ 2
% ui ค่าเฉลี่ยอัตราการให้บริการที่ไอพีสวิตช์ให้บริการแก่การไหล
% I จำนวนของอินพุทพอร์ต
% gamma_i อัตราเฉลี่ยของดาต้าแกรมที่เข้ามาของการไหลทั้งหมดบนอินพุทพอร์ต i
% gamma_di อัตราเฉลี่ยของดาต้าแกรมที่เข้ามาของการไหลเดี่ยวบนอินพุทพอร์ต i
% gamma_f อัตราเฉลี่ยของดาต้าแกรมที่เข้ามายังไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์
% gamma_f2 อัตราเฉลี่ยของดาต้าแกรมที่เข้ามายังเอทีเอ็มสวิตช์ขากลับ
% cta_A อัตราการให้บริการดาต้าแกรมเฉลี่ยของเอทีเอ็มสวิตช์
% eta_f อัตราการให้บริการดาต้าแกรมเฉลี่ยของไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์
% S ขนาดของบัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ตในเทอมของจำนวนของดาต้าแกรม
% C ขนาดของบัฟเฟอร์ใน ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ในเทอมของจำนวนดาต้าแกรม
% P_isB ความน่าจะเป็นที่ดาต้าแกรมถูกกีดกัน ณ. ที่อินพุทพอร์ต i ของเอทีเอ็มสวิตช์
% P_fb ความน่าจะเป็นที่ดาต้าแกรมถูกกีดกัน ณ. ที่ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์
% P_isB2 ความน่าจะเป็นที่ดาต้าแกรมถูกกีดกัน ณ. อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์ขา
กลับ
% Ts1 ดีเลย์ที่เกิดขึ้นในเอทีเอ็มสวิตช์ขาเข้า
% Ts2 ดีเลย์ที่เกิดขึ้นในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทซึ่งมีเนื้อหาทั้งหมดเป็นของเอกชน มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
% Ts3      ดิเล่ย์ที่เกิ่ดขึ้นในเอทีเอ็มสวิตซ์จากลับ
% Beta     สั้คส่วนของดิเล่ย์ในเส้ันทางแบบสวิตซ์เทียบกับดิเล่ย์ในเส้ันทางมาถบส่งค่าบ
```

```
lambda_i = [0:0.001:1];
```

```
I=5;
```

```
Ps=0.7;
```

```
gamma_di = 20;
```

```
ui = 0.01;
```

```
S = 100;
```

```
C = 300;
```

```
eta_A = 1000;
```

```
eta_f = 200;
```

```
%*****
```

```
for l = 1:1:1001
```

```
    gamma_i(l) = (lambda_i(l)*gamma_di)/ui;
```

```
    a_s1(l) = gamma_i(l)/eta_A;
```

```
    if a_s1(l) == 1
```

```
        p_s10(l) = 1/(S+2);
```

```
    else
```

```
        p_s10(l) = (1-a_s1(l))/(1-a_s1(l)^(S+2));
```

```
    end
```

```
    P_isB(l) = (a_s1(l)^(S+1))*p_s10(l);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
sum1(I1) = 0;
```

```
for k = 1:1:S+1
```

```
sum1(I1)=sum1(I1)+((k-1)*(a_s1(I1)^k)*(p_s10(I1)));
```

```
end
```

```
Ts1(I1) = (1+sum1(I1)-p_s10(I1))/(gamma_i(I1)*(1-P_isB(I1)));
```

```
%-----
```

```
gamma_f(I1) = (1-P_isB(I1))*(1-Ps)*gamma_i(I1)*I;
```

```
a_f(I1) = gamma_f(I1)/eta_f;
```

```
if a_f(I1) == 1
```

```
p_f0(I1) = 1/(C+2);
```

```
else
```

```
p_f0(I1) = (1-a_f(I1))/(1-a_f(I1)^(C+2));
```

```
end
```

```
P_fB(I1) = (a_f(I1)^(C+1))*p_f0(I1);
```

```
sum2(I1) = 0;
```

```
for k = 1:1:C+1
```

```
sum2(I1)=sum2(I1)+((k-1)*(a_f(I1)^k)*(p_f0(I1)));
```

```
end
```

```
Ts2(I1) = (1+sum2(I1)-p_f0(I1))/(gamma_f(I1)*(1-P_fB(I1)));
```

```
gamma_f2(I1) = (1-P_fB(I1))*gamma_f(I1);
```

```
a_s2(I1) = gamma_f2(I1)/eta_A;
```

```
if a_s2(I1) == 1
```

```
p_s20(I1) = 1/(S+2);
```

```
else
```

```
p_s20(I1) = (1-a_s2(I1))/(1-a_s2(I1)^(S+2));
```

```
end
```

```
P_isB2(I1) = (a_s2(I1)^(S+1))*p_s20(I1);
```

```
sum3(I1) = 0;
```

```
for k = 1:1:S+1
```

```
sum3(I1)=sum3(I1)+((k-1)*(a_s2(I1)^k)*(p_s20(I1)));
```

```
end
```

```
Ts3(I1) = (1+sum3(I1)-p_s20(I1))/(gamma_f2(I1)*(1-P_isB2(I1)));
```

```
Beta1(I1) = Ts1(I1)/(Ts1(I1)+Ts2(I1)+Ts3(I1));
```

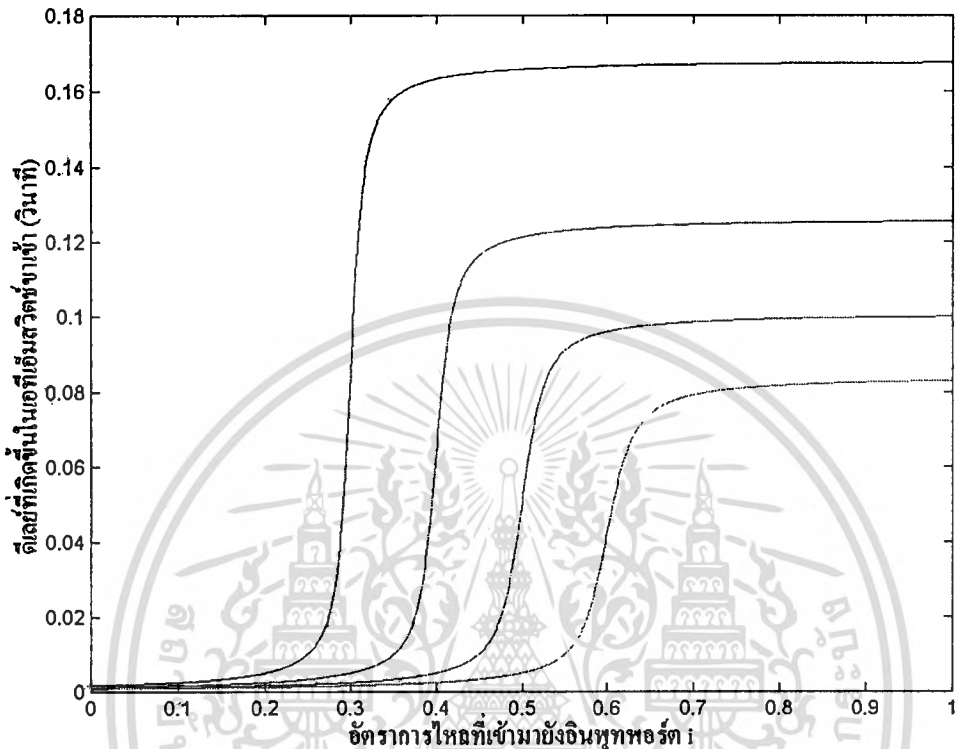
```
end
```

```
%*****
```

โปรแกรมข้างบนต่างจากโปรแกรมจำลองผลสมรรถภาพของไอทีสวีทซ์ (หัวข้อที่ 6.2.1)

ตรงที่มีจำนวนของการสุ่มตัวอย่างของอัตราการไหลที่เข้ามาถึง 1,000 ตัวอย่างจึงจะได้ผลการ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

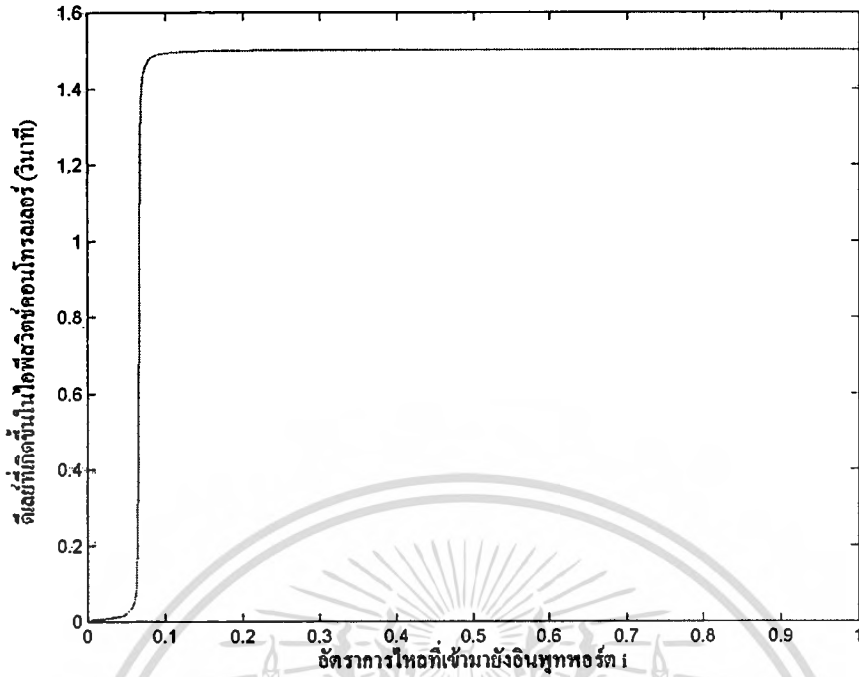
ทดลองที่ละเอียดขึ้น จากนั้นไปจำลองผลการทำงานโดยโปรแกรม MathLAB ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ (เพื่อความสะดวกในการนำเสนอ คำอธิบายผลการทดลองจะกล่าวหลังจากที่ได้นำเสนอผลการทดลองจนเสร็จแล้ว)



รูปที่ 6.8 ผลของ η_A ที่มีผลต่อ T_{s1} ที่ $\eta_f = 200, S = 100, C = 300$

โดยที่สีของกราฟมีความหมายดังนี้

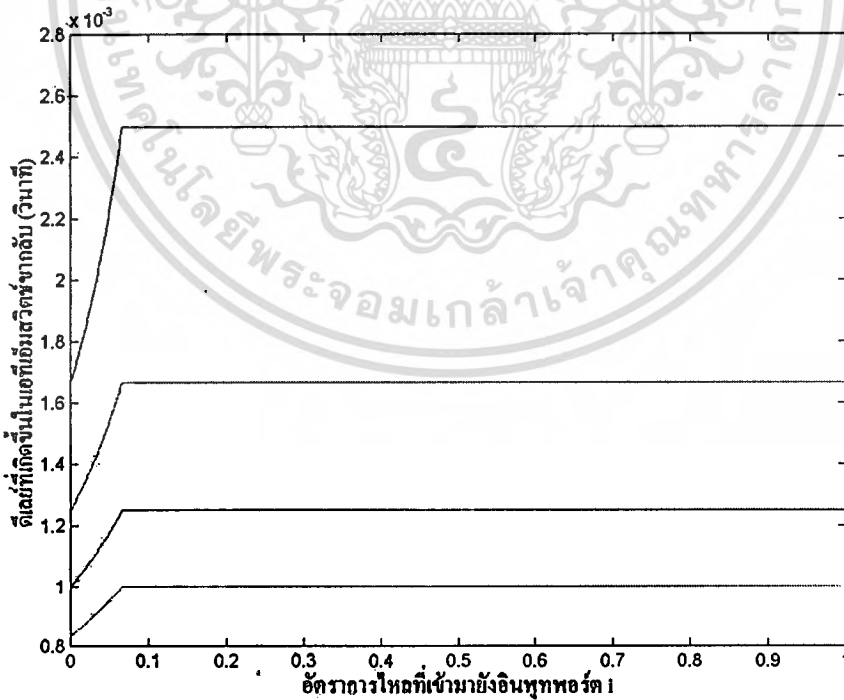
สีน้ำเงิน $\eta_A = 600$, สีเขียว $\eta_A = 800$, สีแดง $\eta_A = 1000$,



รูปที่ 6.9 ผลของ η_A ที่มีผลต่อ T_2 ที่ $\eta_f = 200, S = 100, C = 300$

โดยที่สี่ของกราฟมีความหมายดังนี้ (ในรูปนี้ทั้ง 4 เส้นซ้อนกันอยู่)

สีน้ำเงิน $\eta_A = 600$, สีเขียว $\eta_A = 800$, สีแดง $\eta_A = 1000$,



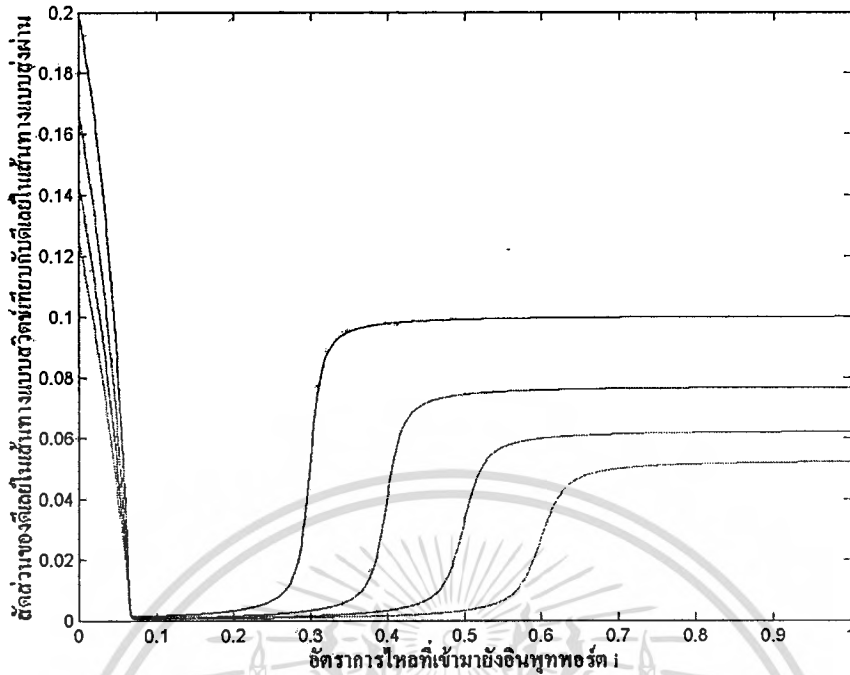
รูปที่ 6.10 ผลของ η_A ที่มีผลต่อ T_3 ที่ $\eta_f = 200, S = 100, C = 300$

โดยที่สี่ของกราฟมีความหมายดังนี้

สีน้ำเงิน $\eta_A = 600$, สีเขียว $\eta_A = 800$, สีแดง $\eta_A = 1000$,

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

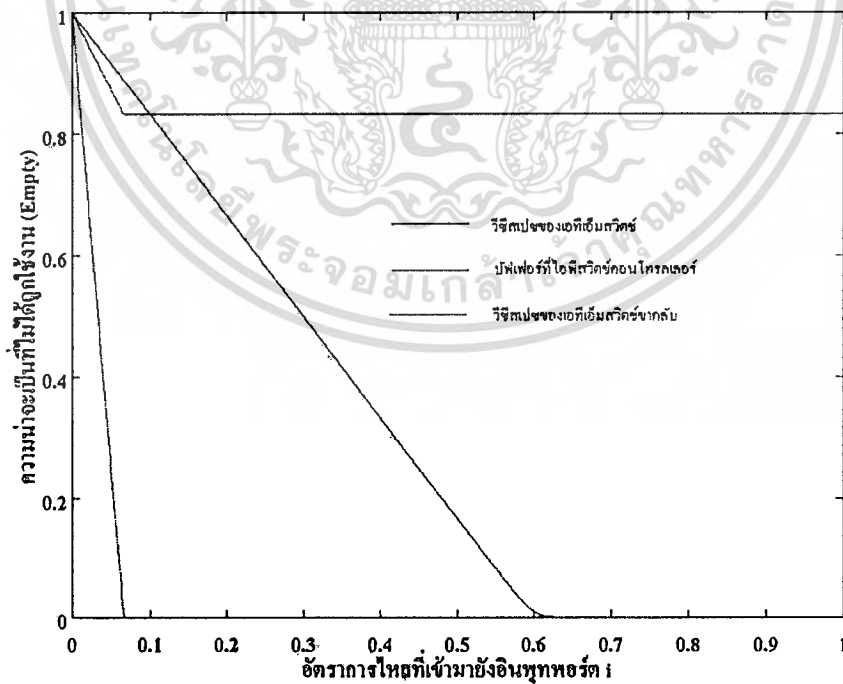
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.11 ผลของ η_A ที่มีผลต่อ β ที่ $\eta_f = 200, S = 100, C = 300$

โดยที่สีของกราฟมีความหมายดังนี้

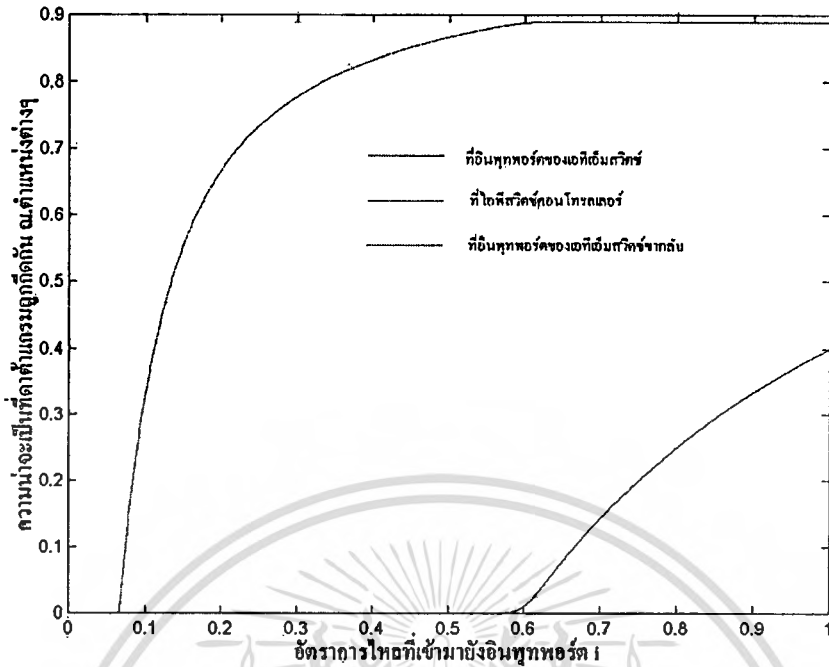
สีน้ำเงิน $\eta_A = 600$, สีเขียว $\eta_A = 800$, สีแดง $\eta_A = 1000$,



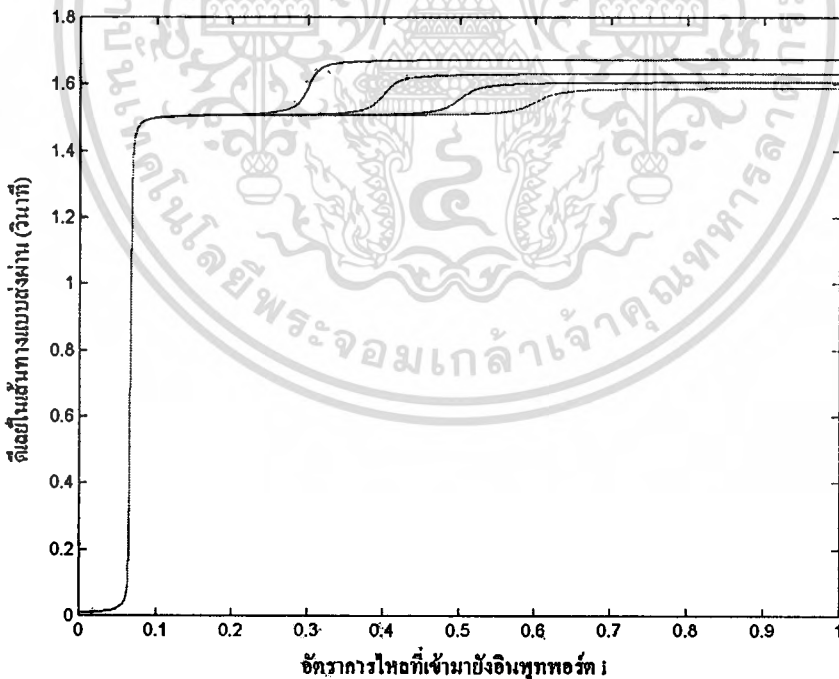
รูปที่ 6.12 ความน่าจะเป็นที่ทรัพยากร ณ. ตำแหน่งที่พิจารณาไม่ได้ถูกใช้งาน

เมื่อ $\eta_A = 1200, \eta_f = 200, S = 100, C = 300$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



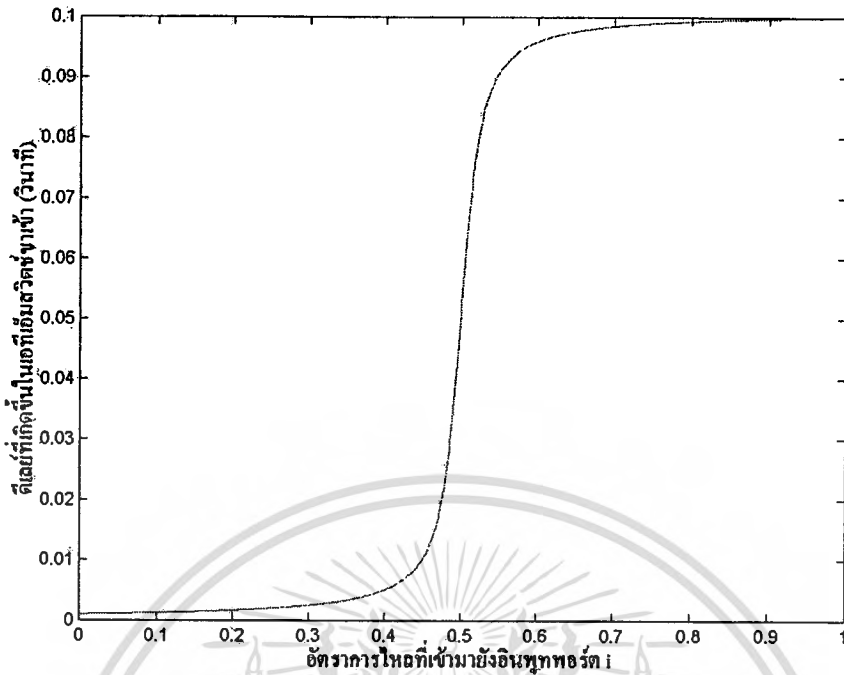
รูปที่ 6.13 ความน่าจะเป็นที่ค่าตัวแปรถูกกีดกัน ณ.ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ
เมื่อ $\eta_A = 1200, \eta_f = 200, S = 100, C = 300$



รูปที่ 6.14 ผลของ η_A ที่มีผลต่อ D_f ที่ $\eta_f = 200, S = 100, C = 300$

โดยที่สีของกราฟมีความหมายดังนี้

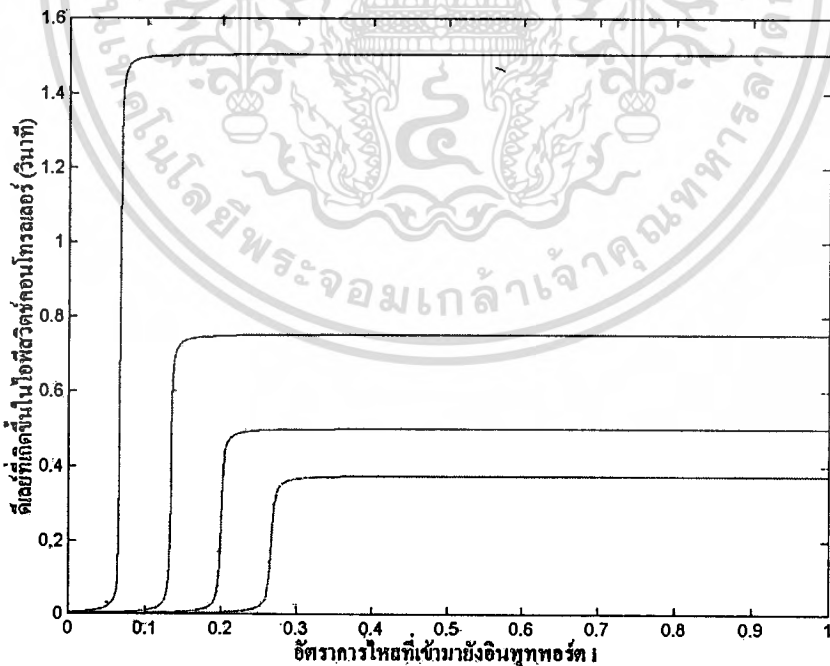
สีน้ำเงิน $\eta_A = 600$, สีเขียว $\eta_A = 800$, สีแดง $\eta_A = 1000$,



รูปที่ 6.15 ผลของ η_f ที่มีผลต่อ T_{s1} ที่ $\eta_A = 1000, S = 100, C = 300$

โดยที่สี่ของกราฟมีความหมายดังนี้ (ในรูปนี้ทั้ง 4 เส้นซ้อนกันอยู่)

สีน้ำเงิน $\eta_f = 200$, สีเขียว $\eta_f = 400$, สีแดง $\eta_f = 600$,



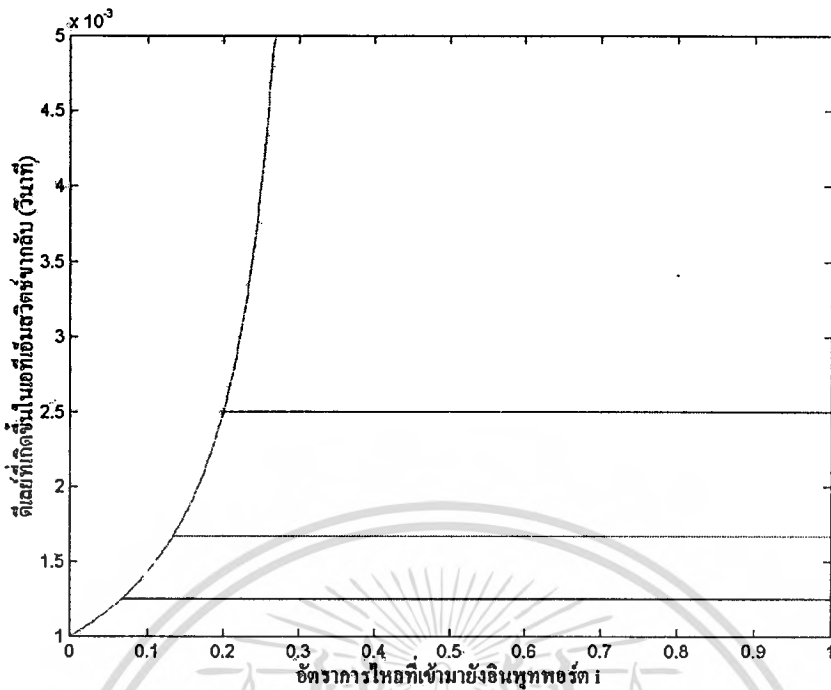
รูปที่ 6.16 ผลของ η_f ที่มีผลต่อ T_{s2} ที่ $\eta_A = 1000, S = 100, C = 300$

โดยที่สี่ของกราฟมีความหมายดังนี้

สีน้ำเงิน $\eta_f = 200$, สีเขียว $\eta_f = 400$, สีแดง $\eta_f = 600$,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

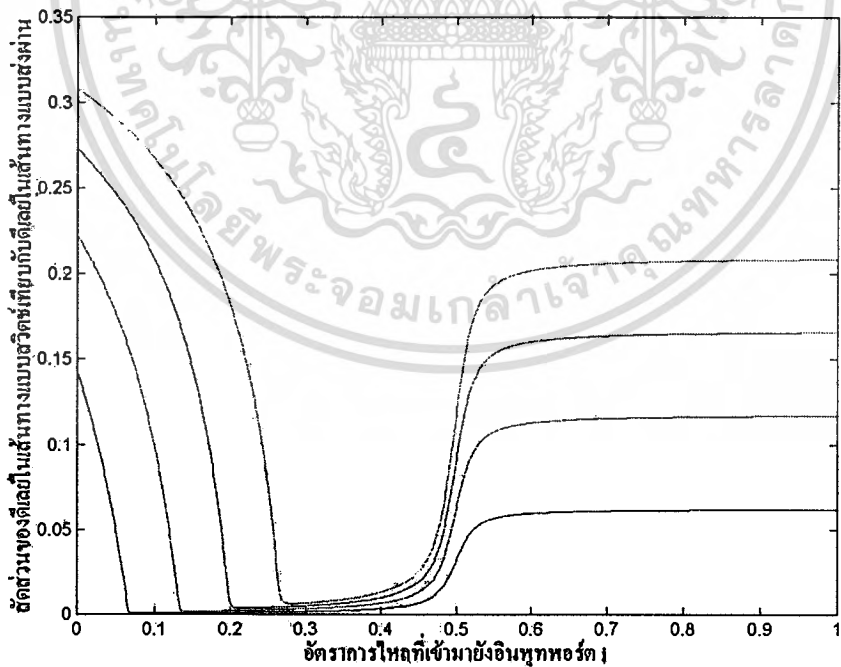
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.17 ผลของ η_f ที่มีผลต่อ T_{r3} ที่ $\eta_A = 1000, S = 100, C = 300$

โดยที่สี่ของกราฟมีความหมายดังนี้

สีน้ำเงิน $\eta_f = 200$, สีเขียว $\eta_f = 400$, สีแดง $\eta_f = 600$,



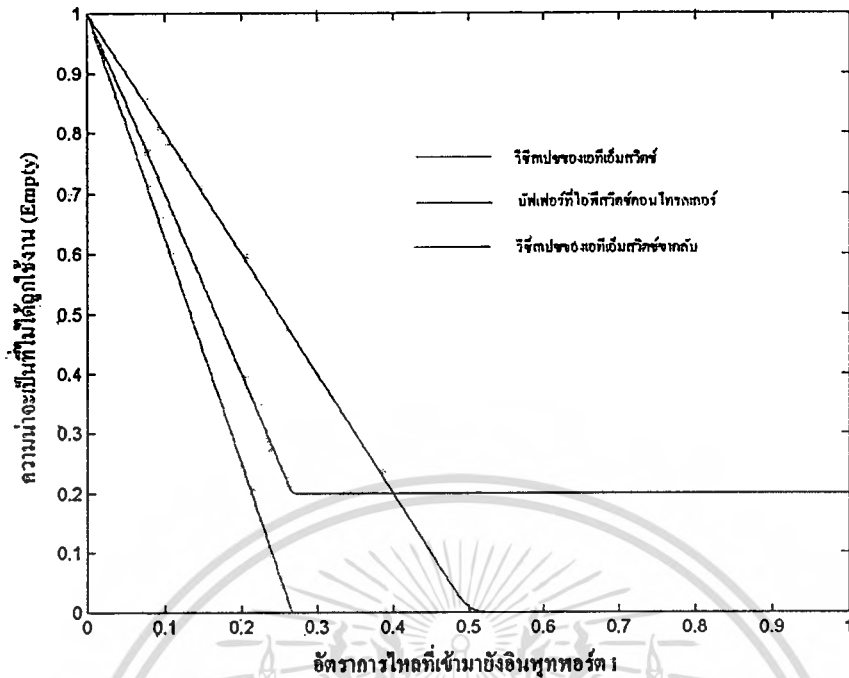
รูปที่ 6.18 ผลของ η_f ที่มีผลต่อ β ที่ $\eta_A = 1000, S = 100, C = 300$

โดยที่สี่ของกราฟมีความหมายดังนี้

สีน้ำเงิน $\eta_f = 200$, สีเขียว $\eta_f = 400$, สีแดง $\eta_f = 600$,

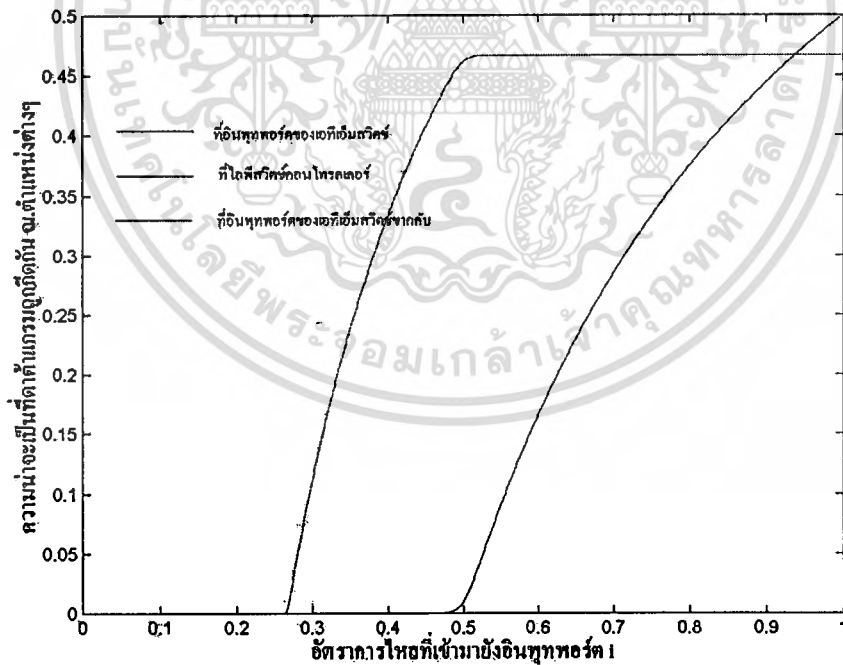
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.19 ความน่าจะเป็นที่ทรัพยากร ณ ตำแหน่งที่พิจารณาไม่ได้ถูกใช้งาน

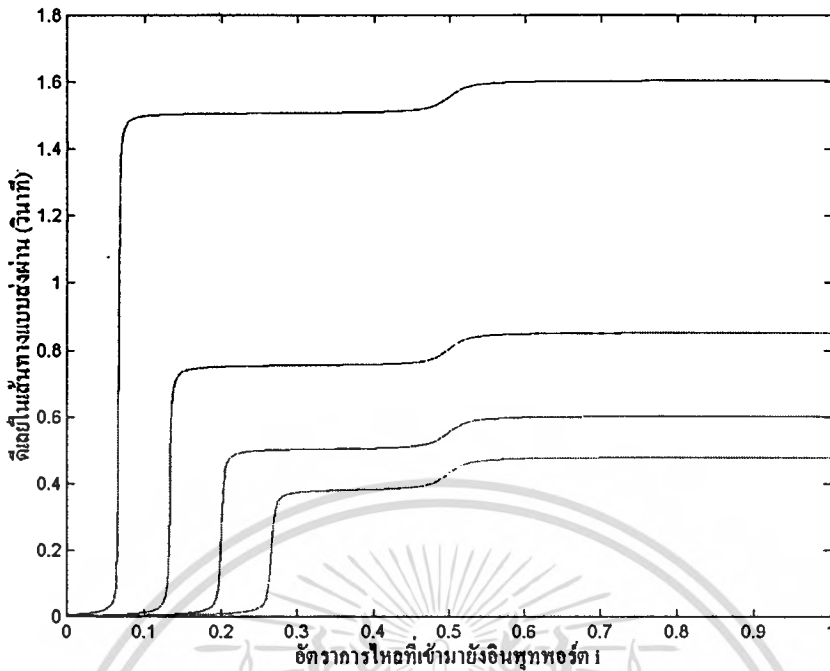
เมื่อ $\eta_A = 1000, S = 100, C = 300$



รูปที่ 6.20 ความน่าจะเป็นที่ค้ำตำแหน่งถูกยึดด้วย ณ ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ

เมื่อ $\eta_A = 1000, S = 100, C = 300$

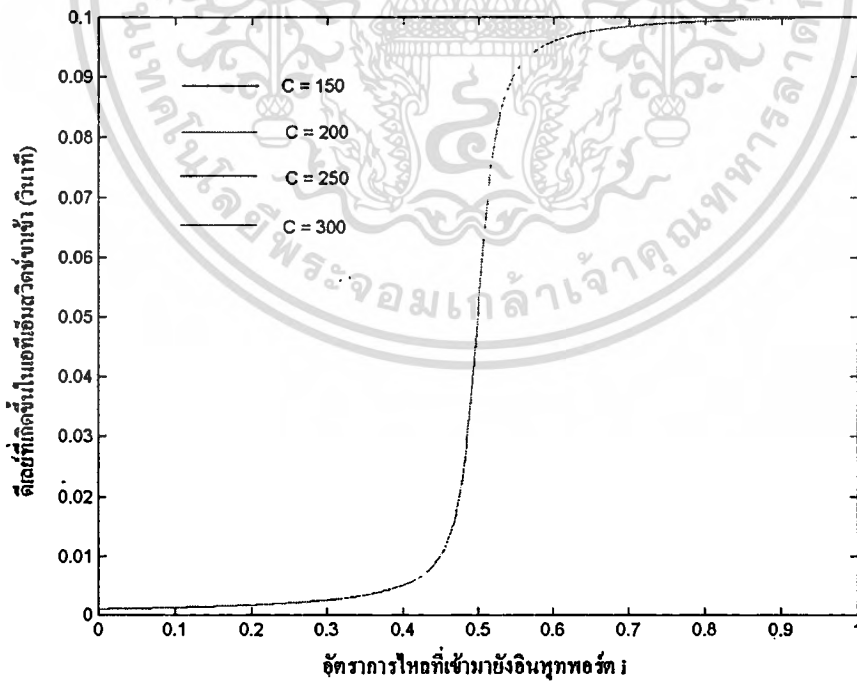
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.21 ผลของ η_f ที่มีผลต่อ D_f ที่ $\eta_A = 1000, S = 100, C = 300$

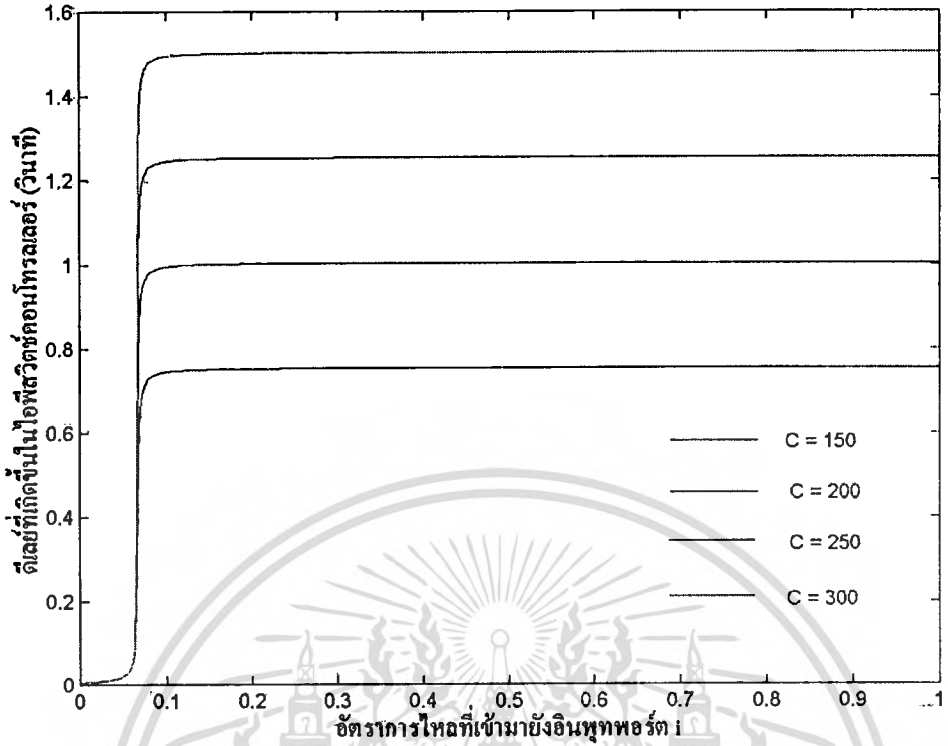
โดยที่สี่ของกราฟมีความหมายดังนี้

สีน้ำเงิน $\eta_f = 200$, สีเขียว $\eta_f = 400$, สีแดง $\eta_f = 600$,

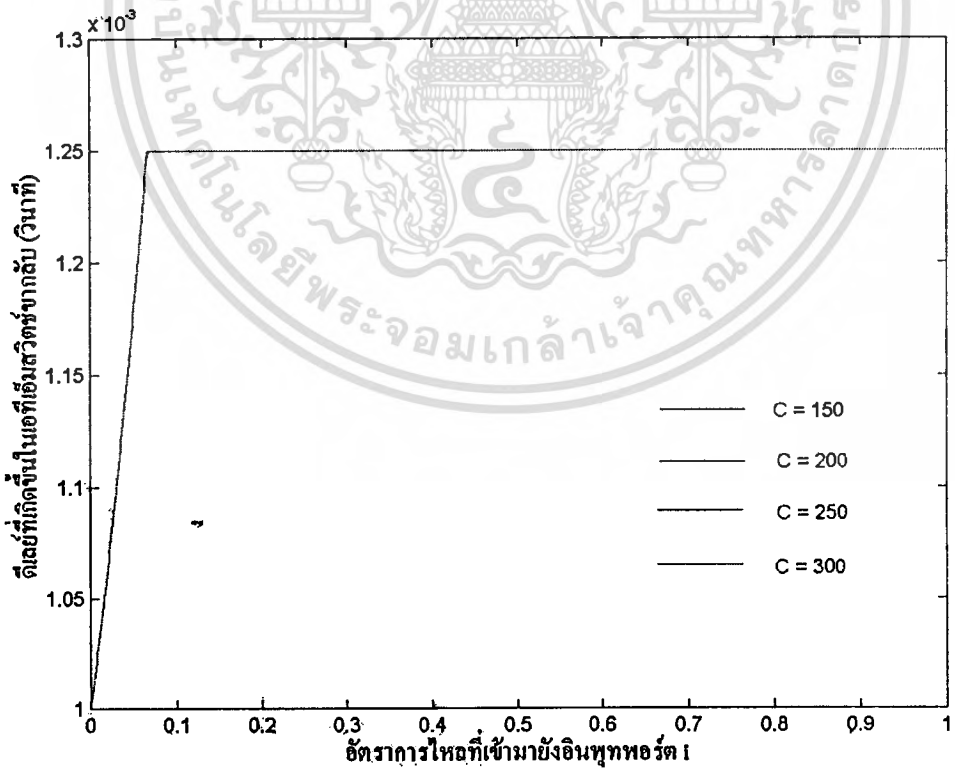


รูปที่ 6.22 ผลของ C ที่มีผลต่อ T_{r1} เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, S = 100$

(ในรูปนี้กราฟทั้ง 4 เส้นซ้อนกันอยู่)



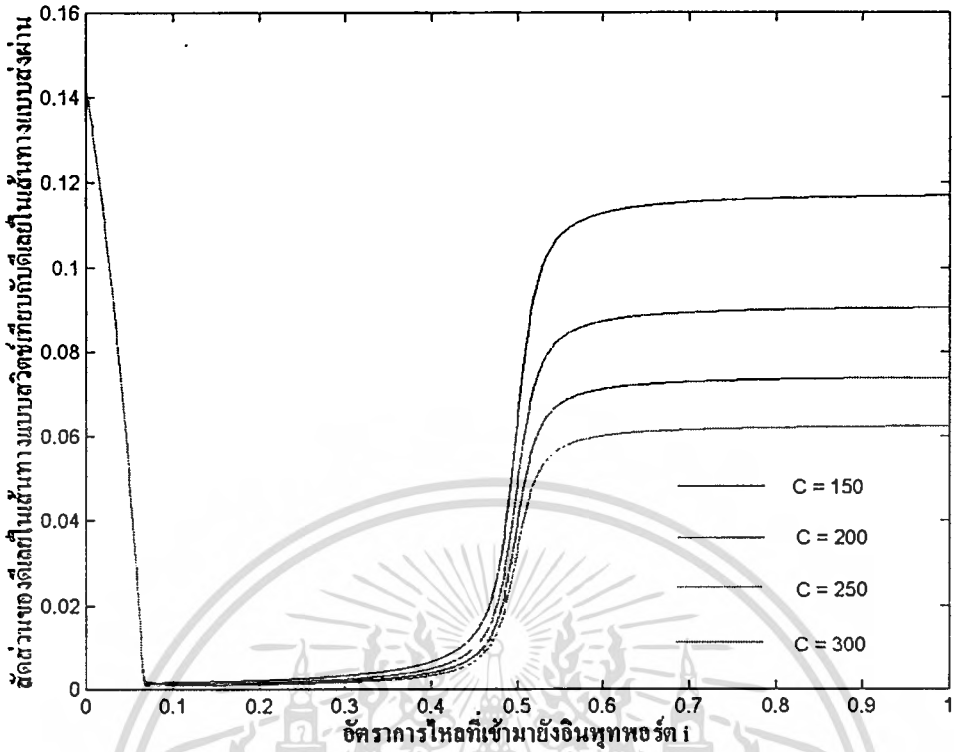
รูปที่ 6.23 ผลของ C ที่มีผลต่อ T_{s2} เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, S = 100$



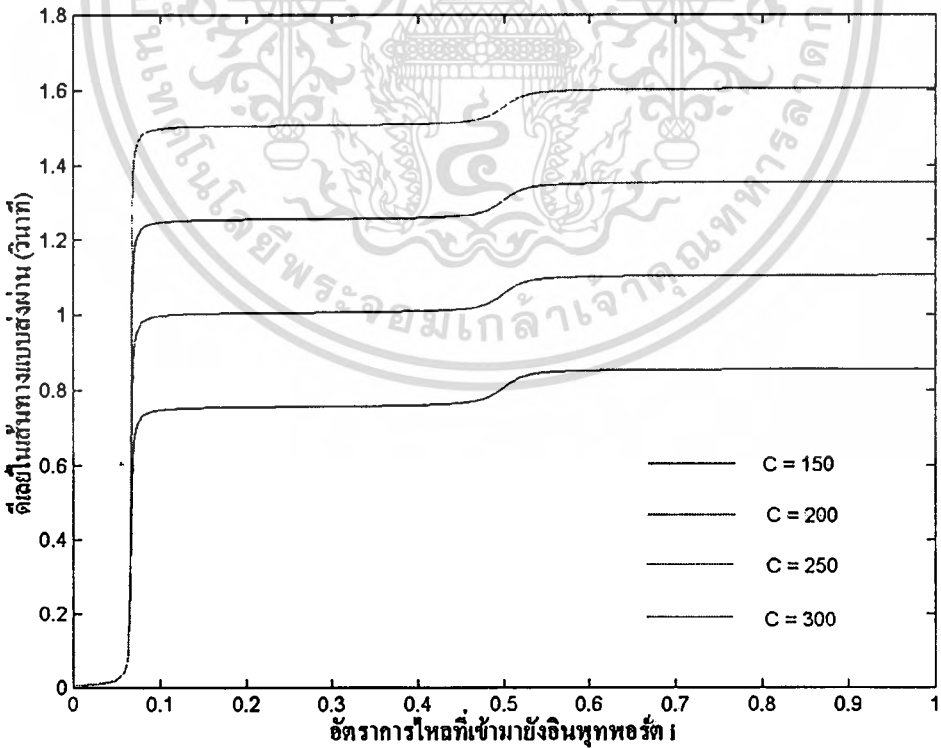
รูปที่ 6.24 ผลของ C ที่มีผลต่อ T_{s3} เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, S = 100$

(ในรูปนี้กราฟทั้ง 4 เส้นซ้อนกันอยู่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

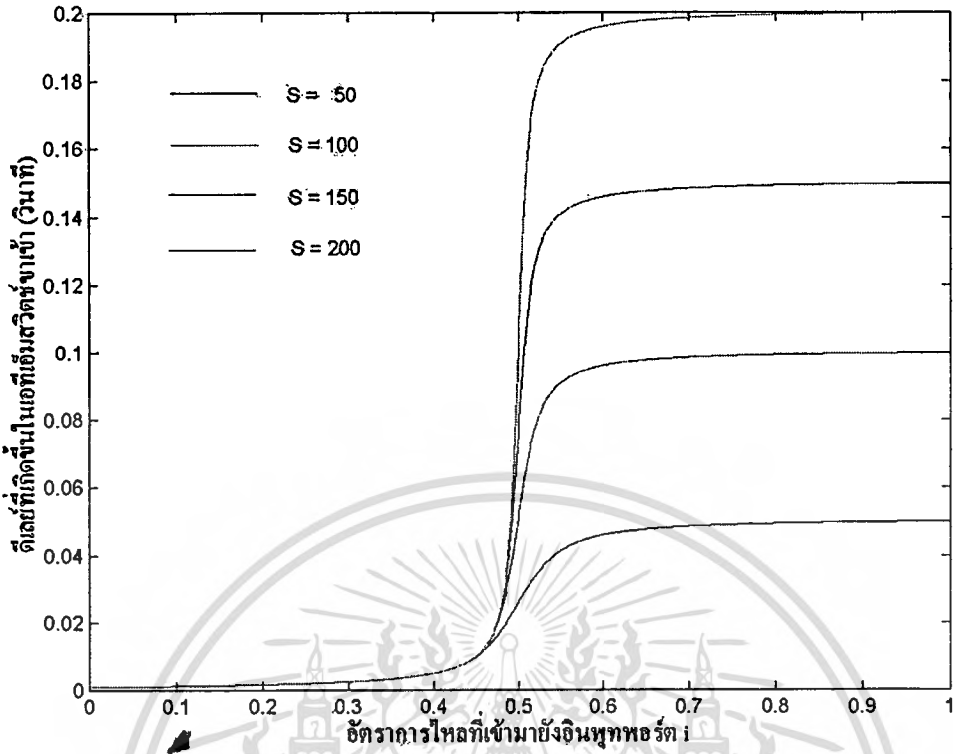


รูปที่ 6.25 ผลของ C ที่มีผลต่อ β เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, S = 100$

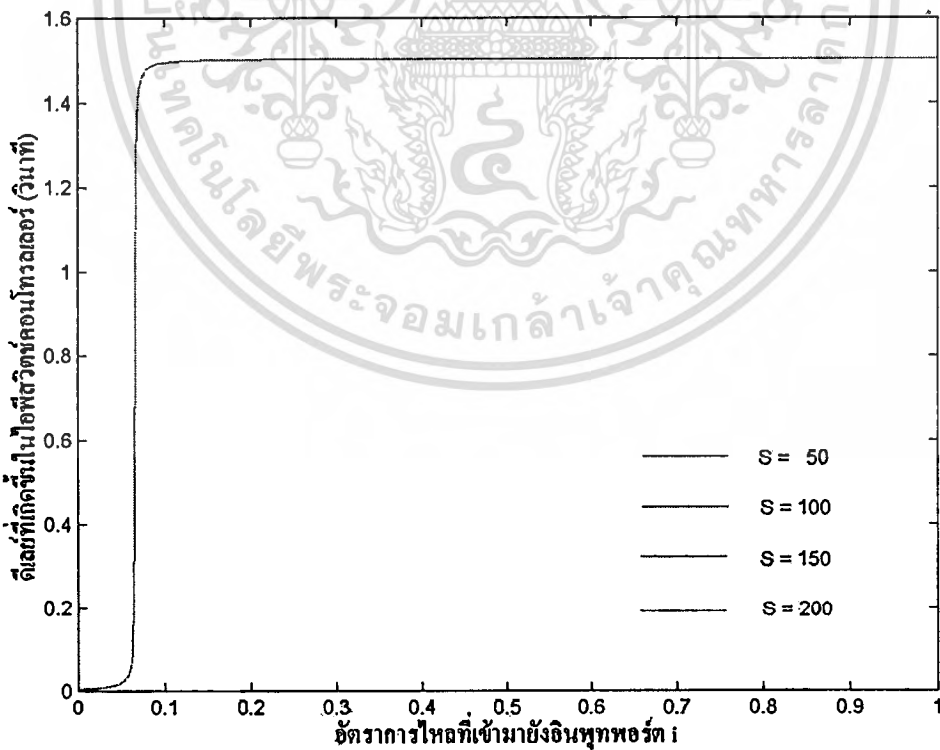


รูปที่ 6.26 ผลของ C ที่มีผลต่อ D_f เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, S = 100$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



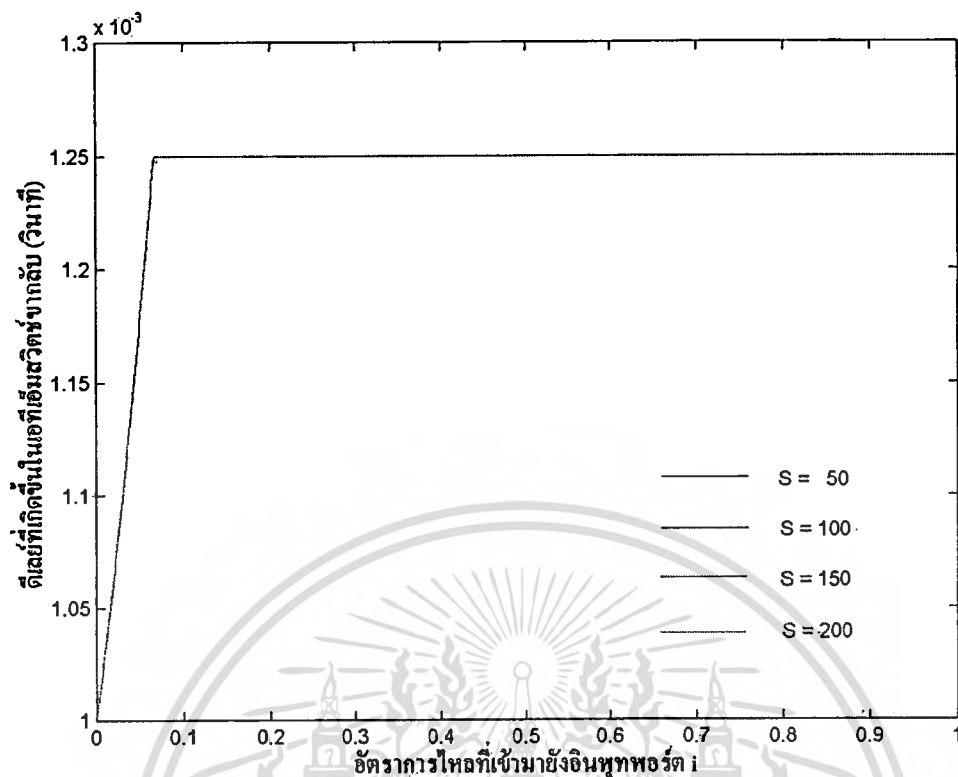
รูปที่ 6.27 ผลของ S ที่มีผลต่อ T_{r1} เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, C = 300$



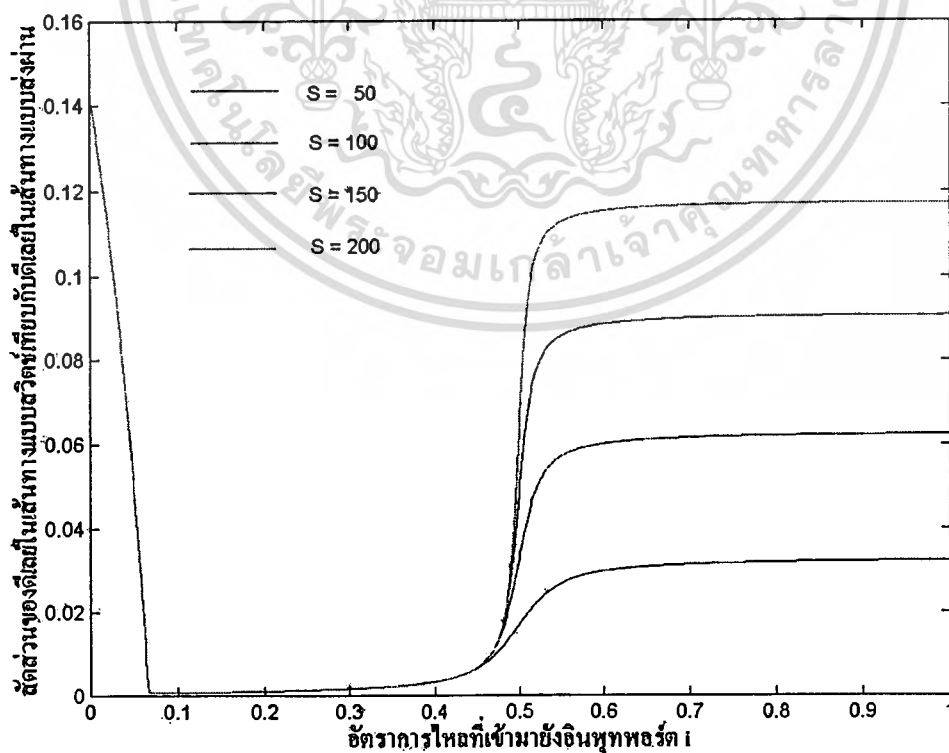
รูปที่ 6.28 ผลของ S ที่มีผลต่อ T_{r2} เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, C = 300$

(ในรูปนี้กราฟทั้ง 4 เส้นซ้อนกันอยู่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



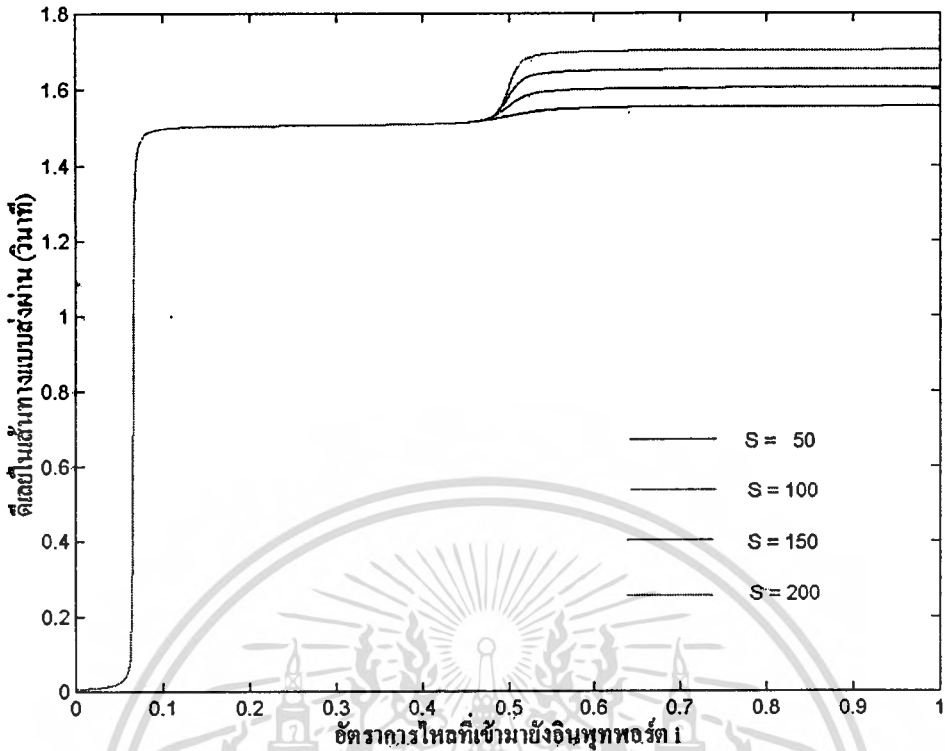
รูปที่ 6.29 ผลของ S ที่มีผลต่อ T_{r3} เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, C = 300$
(ในรูปนี้กราฟทั้ง 4 เส้นซ้อนกันอยู่)



รูปที่ 6.30 ผลของ S ที่มีผลต่อ β เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, C = 300$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.31 ผลของ S ที่มีผลต่อ D_s เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, C = 300$

คำอธิบายผลการทดลอง 1 : รูปที่ 6.8 จนถึงรูปที่ 6.14 แสดงถึง ผลกระทบจากอัตราการใช้บริการค่าต่ำแกรมเฉลี่ยของเอทีเอ็มสวิตช์ (η_A) ที่มีต่อพารามิเตอร์ทางด้านเวลาของไอพีสวิตช์ โดยกำหนดให้ $I = 5, P_s = 0.7, \mu_i = 0.01, \gamma'_i = 20, \eta_f = 200, S = 100, C = 300$ เมื่อ η_A มีค่าเป็น 600, 800, 1000, 1200 ค่าต่ำแกรมต่อวินาที อันที่จริงแล้ว อัตราการใช้บริการค่าต่ำแกรมเฉลี่ยของเอทีเอ็มสวิตช์ (η_A) ก็คือประสิทธิภาพหรือความเร็วในการให้บริการของเอทีเอ็มสวิตช์นั่นเอง

รูปที่ 6.8 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากอัตราการใช้บริการค่าต่ำแกรมเฉลี่ยของเอทีเอ็มสวิตช์ (η_A) ที่มีต่อดีเลย์ที่เกิดขึ้นในเอทีเอ็มสวิตช์ขาเข้า (T_{s1}) (นอกจากนี้ยังกล่าวได้ว่า T_{s1} คือดีเลย์ที่เกิดขึ้นในเส้นทางแบบสวิตช์ (D_s)) จะพบว่าเมื่อเอทีเอ็มสวิตช์มีความเร็วในการให้บริการมากเท่าไร T_{s1} จะมีค่าน้อยลงด้วยแต่การลดลงของ T_{s1} ไม่ได้ลดลงในแบบเชิงเส้น ในขณะที่การไหลมีค่าน้อย T_{s1} จะมีค่าต่ำมากจนถึงจุดหนึ่งค่าของ T_{s1} จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและขึ้นไปคงที่อยู่ ณ.ค่าหนึ่งตามความเร็วของเอทีเอ็มสวิตช์ที่ใช้ จากกราฟนี้คุณภาพของการให้บริการของไอพีสวิตช์จะเกิดจากความเร็วนั้นของเอทีเอ็มสวิตช์เป็นหลัก

รูปที่ 6.9 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากอัตราการใช้บริการค่าต่ำแกรมเฉลี่ยของเอทีเอ็มสวิตช์ (η_A) ที่มีต่อดีเลย์ที่เกิดขึ้นในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ (T_{s2}) จะพบว่าความเร็วของเอทีเอ็มสวิตช์ไม่มีผลต่อ T_{s2} (เส้นกราฟทั้ง 4 เส้นซ้อนเป็นแนวเดียวกัน)

รูปที่ 6.10 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากอัตราการใช้บริการคาค่าแถมเฉลี่ยของเอทีเอ็ม สวิตช์ (η_A) ที่มีต่อคิเลย์ที่เกิดขึ้นในเอทีเอ็มสวิตช์ขากลับ (T_{33}) จะพบว่าคิเลย์ที่เกิดขึ้นในเอทีเอ็ม สวิตช์ขากลับ (T_{33}) มีค่าน้อยกว่าคิเลย์ที่เกิดขึ้นในเอทีเอ็มสวิตช์ขาเข้า (T_{31}) อยู่ประมาณ 75-80 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากการสร้างช่องสี่สารเสมือนไว้ก่อนแล้วนั่นเอง โดยใช้ช่องสี่สารที่เป็นช่องโดยปริยาย (Default) (เมื่อการไหลใหม่ที่เข้ามายังไอพีสวิตช์ ดูรูปที่ 6.2 (b) เมื่อตัวจำแนกการไหลตัดสินใจแล้วว่าการไหลนี้สมควรที่จะได้รับบริการในเส้นทางแบบส่งผ่าน มันก็จะส่งคาค่าแถมที่เข้ามาออกไปทางเอทีเอ็มสวิตช์โดยใช้ช่องสี่สารเสมือนที่กำหนดไว้โดยปริยาย การตัดสินใจและการหาเส้นทางได้ถูกกระทำที่ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์แล้ว เพราะฉะนั้นในช่วงเวลา T_{33} จึงเป็นการส่งคาค่าแถมให้กับเอทีเอ็มสวิตช์ ทำการสวิตช์คาค่าแถมออกไปทางเอาท์พุทพอร์ตที่ต้องการ)

รูปที่ 6.11 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากอัตราการใช้บริการคาค่าแถมเฉลี่ยของเอทีเอ็ม สวิตช์ (η_A) ที่มีต่อสัดส่วนของคิเลย์ในเส้นทางแบบสวิตช์เทียบกับคิเลย์ในเส้นทางแบบส่งผ่าน (β) ค่าของ β มีค่าน้อยยิ่งเป็นผลดีต่อคุณภาพของการให้บริการของไอพีสวิตช์ (จากตอนที่ 6.2.1 เราพบว่าคุณภาพในการจราจรของเครือข่ายจะสูงขึ้น ถ้าหากการไหลที่สร้างปริมาณการจราจรให้กับเครือข่ายสูง ได้รับการบริการจากเครือข่ายในแบบสวิตช์ที่ให้ความเร็วที่สูงกว่าแบบส่งผ่าน) เพราะเป็นการแสดงว่าการไหลที่ได้รับบริการในแบบสวิตช์ใช้เวลาในการเดินทางน้อยกว่าเส้นทางแบบส่งผ่าน ในช่วงเริ่มต้นของระบบ เมื่อการไหลที่เข้ามา มีปริมาณน้อยมาก จะพบว่าค่าของ β มีค่าที่สูง เพราะเนื่องจากว่าช่องสี่สารเสมือนในเส้นทางแบบสวิตช์ของการไหลที่เข้ามาแต่ละตัว ยังไม่ถูกจัดตั้งขึ้น ทำให้การไหลใหม่ที่เข้ามา ต้องใช้เส้นทางแบบส่งผ่านไปก่อน เมื่อจัดตั้งช่องสี่สารเสมือนเสร็จแล้วจึงเปลี่ยนมาใช้เส้นทางแบบสวิตช์ (เฉพาะการไหลที่ตัวจำแนกการไหลตัดสินใจแล้วว่าควรได้รับบริการในแบบสวิตช์) ต่อมาเมื่อการไหลที่เข้ามา มีปริมาณที่สูงขึ้น ค่าของ β จะสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่งที่มีค่าคงที่

รูปที่ 6.12 แสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นที่ทรัพยากร ณ ตำแหน่งที่พิจารณาไม่ได้ถูกใช้งาน เมื่อ $\eta_A = 1200, \eta_f = 200, S = 100, C = 300$ จากกราฟพบว่าบัพเฟอร์ในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ จะถูกใช้หมดไปอย่างรวดเร็วเมื่อมีการไหลเข้ามาเนื่องจากไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์โครงสร้างของมันประกอบขึ้นจากตัวประมวลผลกลาง (CPU) ทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์หาเส้นทาง (เหมือนกับตัวหาเส้นทางทั่วไป) มันจึงมีอัตราการให้บริการที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับเอทีเอ็มสวิตช์ ดังนั้นเมื่อการไหลถูกส่งมาจากเอทีเอ็มสวิตช์ขาเข้า มันจึงรับมือไม่คอยทัน จากรูปกราฟขนาดของวีชีสเปซของเอทีเอ็มสวิตช์ขากลับ เมื่อการไหลที่เข้ามา มีปริมาณสูงขึ้นแต่กลับพบว่าจำนวนของวีชีที่ว่างอยู่มีค่าคงที่ ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าการไหลที่เข้ามายังเอทีเอ็มสวิตช์ขากลับนั้นมาจากไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ที่ทำงานได้ช้ากว่า ดังนั้นไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์จึงเป็นเหมือนตัวกรองปริมาณการจราจรให้กับเอทีเอ็มสวิตช์ขากลับ

รูปที่ 6.13 แสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นที่ค่าค่าแกรมถูกกีดกัน ณ.ตำแหน่งต่างๆ ของระบบ เมื่อ $\eta_A = 1200, \eta_f = 200, S = 100, C = 300$ สอดคล้องกับผลการทดลองในรูปที่ 6.12 พบว่าความน่าจะเป็นที่ค่าค่าแกรมถูกกีดกันที่ไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามปริมาณการไหลที่เข้ามาจนถึงจุดหนึ่งที่มีค่าคงที่ประมาณ 90% ในส่วนของอินพุตพอร์ตของเอทีเอ็มสวิทช์ (ขาเข้า) ในช่วงต้นสามารถรับมือกับการไหลที่เข้ามาได้เป็นอย่างดี จนเมื่อการไหลที่เข้ามามีปริมาณหนึ่ง (ขึ้นอยู่กับความสามารถของเอทีเอ็มสวิทช์) ความน่าจะเป็นที่ค่าค่าแกรมถูกกีดกันที่อินพุตพอร์ตของเอทีเอ็มสวิทช์ (ขาเข้า) จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และสุดท้าย ในกรณีของความน่าจะเป็นที่ค่าค่าแกรมถูกกีดกันที่อินพุตพอร์ตของเอทีเอ็มสวิทช์ (ขากลับ) จะพบว่ามีค่าเป็นศูนย์ (ไม่มีการกีดกันเลย)

รูปที่ 6.14 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากอัตราการให้บริการค่าค่าแกรมเฉลี่ยของเอทีเอ็มสวิทช์ (η_A) ที่มีต่อคิเลียบในเส้นทางแบบส่งผ่าน (D_f) พบว่าความเร็วในการให้บริการของเอทีเอ็มสวิทช์ (η_A) ที่สูงขึ้นจะทำให้คิเลียบในเส้นทางแบบส่งผ่าน (D_f) ลดลงแต่มีสัดส่วนที่น้อยมากเนื่องจากคิเลียบในเส้นทางแบบส่งผ่าน (D_f) จะขึ้นกับคิเลียบที่เกิดขึ้นในไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์ (T_{s2}) เป็นหลัก

คำอธิบายผลการทดลอง 2 : รูปที่ 6.15 จนถึงรูปที่ 6.21 แสดงถึง ผลกระทบจากอัตราการให้บริการค่าค่าแกรมเฉลี่ยของไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์ (η_f) ที่มีต่อพารามิเตอร์ทางด้านเวลาของไอพีสวิทช์ โดยกำหนดให้ $I = 5, P_s = 0.7, \mu_i = 0.01, \gamma_i = 20, \eta_A = 1000, S = 100, C = 300$ เมื่อ η_f มีค่าเป็น 200, 400, 600, 800 ค่าค่าแกรมต่อวินาที อันที่จริงแล้วอัตราการให้บริการค่าค่าแกรมเฉลี่ยของไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์ (η_f) ก็คือประสิทธิภาพหรือความเร็วในการให้บริการของไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์นั่นเอง

รูปที่ 6.15 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากอัตราการให้บริการค่าค่าแกรมเฉลี่ยของไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์ (η_f) ที่มีต่อคิเลียบที่เกิดขึ้นในเอทีเอ็มสวิทช์ขาเข้า (T_{s1}) พบว่าความเร็วของไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์ (η_f) ไม่มีผลต่อ T_{s1} (เส้นกราฟทั้ง 4 เส้นซ้อนเป็นแนวเดียวกัน)

รูปที่ 6.16 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากอัตราการให้บริการค่าค่าแกรมเฉลี่ยของไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์ (η_f) ที่มีต่อคิเลียบที่เกิดขึ้นในไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์ (T_{s2}) พบว่าเมื่อไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์มีความเร็วในการให้บริการ (η_f) มากเท่าไรค่าคิเลียบ T_{s2} จะมีค่าน้อยลงด้วย แต่การลดลงของ T_{s2} ไม่ได้ลดลงในแบบเชิงเส้น ในขณะที่การไหลมีค่าน้อย T_{s2} จะมีค่ามากจนถึงจุดหนึ่งค่าของ T_{s2} จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและขึ้นไปคงที่อยู่ ณ.ค่าหนึ่งตามความเร็วของไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์ที่ใช้ จากกราฟนี้หากเราต้องการลดคิเลียบในเส้นทางแบบส่งผ่านเราต้องเพิ่มความเร็วในการทำงาน ไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นไปได้ยากเนื่องจากมีข้อจำกัดหลายประการ

ครั้งที่ได้กล่าวไว้ในบทต้นๆ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.17 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากอัตราค่าบริการค้ำแกรมเฉลี่ยของไอพี สวิตช์คอนโทรลเลอร์ (η_f) ที่มีต่อคิเล่ย์ที่เกิดขึ้นในเอทีเอ็มสวิตช์ขากลับ (T_{33}) พบว่าหากความเร็ว ในการให้บริการของไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ (η_f) มีค่าสูงจะทำให้มีคิเล่ย์ที่เกิดขึ้นในเอทีเอ็ม สวิตช์ขากลับ (T_{33}) สูงขึ้นตามมาด้วย เนื่องจากมีปริมาณการไหลเข้ามาที่เอทีเอ็มสวิตช์ขากลับได้ มากขึ้นนั่นเอง

รูปที่ 6.18 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากอัตราค่าบริการค้ำแกรมเฉลี่ยของไอพี สวิตช์คอนโทรลเลอร์ (η_f) ที่มีต่อ สัดส่วนของคิเล่ย์ในเส้นทางแบบสวิตช์เทียบกับคิเล่ย์ในเส้นทาง แบบส่งผ่าน (β) พบว่าถ้า η_f มีค่ามากขึ้นจะทำให้ค่าของ β เพิ่มขึ้น

รูปที่ 6.19 แสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นที่ทรัพยากร ณ. ตำแหน่งที่พิจารณาไม่ได้ถูกใช้ งาน เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 800, S = 100, C = 300$ จากกราฟเมื่อเทียบกับรูปที่ 6.12 พบว่าบัพ เฟอร์ในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์จะหมดลงช้ากว่าในรูปที่ 6.12 เนื่องจากไอพีสวิตช์ คอนโทรลเลอร์มีความเร็วในการทำงานสูงขึ้น แต่มันก็หมดไปในที่สุดเมื่อมีการไหลเข้ามาอย่างต่อเนื่อง ในส่วนของกราฟของวิชีสเปซของเอทีเอ็มสวิตช์ขากลับ เมื่อการไหลที่เข้ามาปริมาณสูงขึ้น แต่กลับพบว่าจำนวนของวิชีที่ว่างอยู่มิค่าคงที่ แต่ก็มิต่ำที่น้อยกว่าในรูปที่ 6.12 ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า การไหลที่เข้ามายังเอทีเอ็มสวิตช์ขากลับนั้นมีอัตราที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ ทำงานได้เร็วขึ้นนั่นเอง

รูปที่ 6.20 แสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นที่ค้ำแกรมถูกกีดกัน ณ.ตำแหน่งต่างๆ ของ ระบบ เมื่อ $\eta_A = 1000, \eta_f = 800, S = 100, C = 300$ สอดคล้องกับผลการทดลองในรูปที่ 6.19 พบว่าความน่าจะเป็นที่ค้ำแกรมถูกกีดกันที่ไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตาม ปริมาณการไหลที่เข้ามาจนถึงจุดหนึ่งที่มีค่าคงที่ประมาณ 45% แต่เมื่อเทียบกับรูปที่ 6.13 แล้วพบว่า ความชันของเส้นกราฟได้ลดลง ในส่วนของอินพุตพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์ (ขาเข้า) ในช่วงต้น สามารถรับมือกับการไหลที่เข้ามาได้เป็นอย่างดี จนเมื่อการไหลที่เข้ามาปริมาณหนึ่ง (ขึ้นอยู่กับ ความสามารถของเอทีเอ็มสวิตช์) ความน่าจะเป็นที่ค้ำแกรมถูกกีดกันที่อินพุตพอร์ตของเอทีเอ็ม สวิตช์ (ขาเข้า) จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และสุดท้าย ในกรณีของความน่าจะเป็นที่ค้ำแกรมถูกกีดกันที่อิน พุตพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์ (ขากลับ) พบว่ามีค่าเป็นศูนย์ (ไม่มีการกีดกันเลย)

รูปที่ 6.21 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากอัตราค่าบริการค้ำแกรมเฉลี่ยของไอพี สวิตช์คอนโทรลเลอร์ (η_f) ที่มีต่อคิเล่ย์ในเส้นทางแบบส่งผ่าน (D_f) พบว่าความเร็วในการให้ บริการของไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ (η_f) มีผลอย่างมากต่อคิเล่ย์ในเส้นทางแบบส่งผ่าน (D_f) โดยความเร็วที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าคิเล่ย์ D_f ลดลง แต่การลดลงเป็นไปในแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น

คำอธิบายผลการทดลอง 3 : รูปที่ 6.22 จนถึงรูปที่ 6.26 แสดงถึง ผลกระทบจากขนาดของ บัฟเฟอร์ในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ในเทอมของจำนวนคาต้าแกรม (C) ที่มีต่อพารามิเตอร์ทาง ด้านเวลาของไอพีสวิตช์ โดยกำหนดให้ $I=5, P_s=0.7, \mu_i=0.01, \gamma'_i=20, \eta_A=1000, \eta_f=200, S=100$ เมื่อ C มีค่าเป็น 150, 200, 250, 300 คาต้าแกรม

รูปที่ 6.22 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากขนาดของบัฟเฟอร์ในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ (C) ที่มีต่อคิเล็ที่เกิเกิดขึ้นในเอทีเอ็มสวิตช์ขาเข้า ($T_{s,1}$) พบว่าขนาดของบัฟเฟอร์ในไอพีสวิตช์ คอนโทรลเลอร์ ไม่มีผลต่อ $T_{s,1}$ (เส้นกราฟทั้ง 4 เส้นซ้อนเป็นแนวเดียวกัน)

รูปที่ 6.23 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากขนาดของบัฟเฟอร์ในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ (C) ที่มีต่อคิเล็ที่เกิเกิดขึ้นในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ ($T_{s,2}$) พบว่าเมื่อขนาดของบัฟเฟอร์ในไอพี สวิตช์คอนโทรลเลอร์ (C) มากเท่าไรค่าคิเล็ $T_{s,2}$ จะเพิ่มสูงขึ้นในแบบเชิงเส้น เนื่องจากขนาดของ บัฟเฟอร์ที่ใหญ่ขึ้นจะสามารถเก็บคาต้าแกรมที่เข้ามาได้มากขึ้น (เก็บไว้ก็จริงแต่ยังรอการบริการอยู่ ในคิว) ในกรณีนี้ไม่เป็นผลดีต่อเวลาในการให้บริการแต่จะเป็นผลดีต่อการกีดกัน ณ.ที่ไอพีสวิตช์ คอนโทรลเลอร์ ทำให้มีการกีดกันที่น้อยลง

รูปที่ 6.24 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากขนาดของบัฟเฟอร์ในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ (C) ที่มีต่อคิเล็ที่เกิเกิดขึ้นในเอทีเอ็มสวิตช์ขาถับ ($T_{s,3}$) พบว่าขนาดของบัฟเฟอร์ในไอพีสวิตช์ คอนโทรลเลอร์ ไม่มีผลต่อ $T_{s,3}$ เช่นเดียวกับ $T_{s,1}$ (เส้นกราฟทั้ง 4 เส้นซ้อนเป็นแนวเดียวกัน)

รูปที่ 6.25 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากขนาดของบัฟเฟอร์ในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ (C) ที่มีต่อ สัดส่วนของคิเล็ในเส้นทางแบบสวิตช์เทียบกับคิเล็ในเส้นทางแบบส่งผ่าน (β) พบ ว่าถ้า C มีค่ามากขึ้นจะทำให้ค่าของ β ลดลง

รูปที่ 6.26 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากขนาดของบัฟเฟอร์ในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ (C) ที่มีต่อคิเล็ในเส้นทางแบบส่งผ่าน (D_f) พบว่าขนาดของบัฟเฟอร์ในไอพีสวิตช์ คอนโทรลเลอร์ (C) มีผลอย่างมากต่อคิเล็ในเส้นทางแบบส่งผ่าน (D_f) โดยขนาดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าคิเล็ D_f สูงขึ้นตามไปด้วยในแบบเชิงเส้น

คำอธิบายผลการทดลอง 4 : รูปที่ 6.27 จนถึงรูปที่ 6.31 แสดงถึง ผลกระทบจากขนาดของ บัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์ในเทอมของจำนวนของคาต้าแกรม (S) ที่มีต่อพารา มิเตอร์ทางด้านเวลาของไอพีสวิตช์ โดยกำหนดให้ $I=5, P_s=0.7, \mu_i=0.01, \gamma'_i=20, \eta_A=1000, \eta_f=200, C=300$ เมื่อ S มีค่าเป็น 50, 100, 150, 200 คาต้าแกรม

รูปที่ 6.27 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากขนาดของบัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็ม สวิตช์ (S) ที่มีต่อคิเล็ที่เกิเกิดขึ้นในเอทีเอ็มสวิตช์ขาเข้า ($T_{s,1}$) พบว่าเมื่อขนาดของอินพุทพอร์ต ของเอทีเอ็มสวิตช์ (S) มากเท่าไรค่าคิเล็ $T_{s,1}$ จะเพิ่มสูงขึ้นในแบบเชิงเส้น เนื่องจากขนาดของบัฟ เฟอร์ที่ใหญ่ขึ้นจะสามารถเก็บคาต้าแกรมที่เข้ามาได้มากขึ้น (เก็บไว้ก็จริงแต่ยังรอการบริการอยู่ใน คิว) ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิว) ในกรณีนี้ไม่เป็นผลดีต่อเวลาในการให้บริการแต่จะเป็นผลดีต่อการกีดกัน ณ.ที่อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์ ทำให้มีการกีดกันที่น้อยลง

รูปที่ 6.28 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากขนาดของบัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์ (S) ที่มีต่อคิเลย์ที่เกิดขึ้นในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ ($T_{s,2}$) พบว่าขนาดของบัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์ ไม่มีผลต่อ $T_{s,2}$ (เส้นกราฟทั้ง 4 เส้นซ้อนเป็นแนวเดียวกัน)

รูปที่ 6.29 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากขนาดของบัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์ (S) ที่มีต่อคิเลย์ที่เกิดขึ้นในเอทีเอ็มสวิตช์ขากลับ ($T_{s,3}$) พบว่าขนาดของบัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์ ไม่มีผลต่อ $T_{s,3}$ เช่นเดียวกับ $T_{s,2}$ (เส้นกราฟทั้ง 4 เส้นซ้อนเป็นแนวเดียวกัน) เนื่องจากการไหลในช่วง $T_{s,3}$ จะถูกสวิตช์อย่างทันทีจึงไม่ได้ใช้บัฟเฟอร์

รูปที่ 6.30 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากขนาดของบัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์ (S) ที่มีต่อ สัดส่วนของคิเลย์ในเส้นทางแบบสวิตช์เทียบกับคิเลย์ในเส้นทางแบบส่งผ่าน (β) พบว่าถ้า S มีค่ามากขึ้นจะทำให้ค่าของ β เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อคุณภาพการให้บริการของไอพีสวิตช์ (ด้านเวลาในการให้บริการ) แต่การสูญหายของเซลจะลดลง

รูปที่ 6.31 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากขนาดของบัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์ (S) ที่มีต่อคิเลย์ในเส้นทางแบบส่งผ่าน (D_f) พบว่าขนาดของบัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์ (S) มีผลน้อยมากต่อคิเลย์ในเส้นทางแบบส่งผ่าน (D_f) เนื่องจากคิเลย์ในเส้นทางแบบส่งผ่าน (D_f) จะขึ้นอยู่กับคิเลย์ในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ ($T_{s,2}$) เป็นหลักโดยขนาดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าคิเลย์ D_f สูงขึ้นเล็กน้อยในแบบเชิงเส้น

6.3 การจำลองผลการทำงานของเอทีเอ็มสวิตช์

การจำลองผลการทำงานของเอทีเอ็มสวิตช์โดยใช้โปรแกรมเอทีเอ็ม/เอชเอฟซี เน็ตเวิร์ค ซิมูเลเตอร์ ของสถาบันนิช แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง คือ

1. การจำลองผลการทำงานของเอทีเอ็มสวิตช์ที่ไม่มีการควบคุมอัตราการสูญหายของเซล โดยใช้อัลกอริทึมแบบถ่วงน้ำรั้วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุทบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์ ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า Lab A
2. การจำลองผลการทำงานของเอทีเอ็มสวิตช์ที่มีการควบคุมอัตราการสูญหายของเซล โดยใช้อัลกอริทึมแบบถ่วงน้ำรั้วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุทบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์แบบใช้อินพุทบัฟเฟอร์ ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า Lab B
3. การจำลองผลการทำงานของเอทีเอ็มสวิตช์ที่มีการควบคุมอัตราการสูญหายของเซล โดยใช้อัลกอริทึมแบบถ่วงน้ำรั้วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุทบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็ม

สวิตช์แบบใช้โทเก้นบัฟเฟอร์ร่วมกับบัฟเฟอร์แจ้งเตือน ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า Lab C

การดำเนินการนี้เป็นการดำเนินการที่จำเป็นในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเอทีเอ็มสวิตช์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อศึกษาถึงปริมาณของเซลล์ที่สูญหาย เมื่อเอทีเอ็มสวิตช์เกิดความคับคั่งขึ้น เราจึงได้สร้างสถานการณ์ ขึ้นกับเอทีเอ็มสวิตช์ดังนี้ (ใช้กับทั้ง 3 การทดลอง)

1. กำหนดให้ใช้พอร์ตของเอทีเอ็มสวิตช์จำนวน 4 พอร์ตที่มีความเร็ว 155 Mbit/s
 2. สมมติว่าไม่มีดีเลย์ในการทำงาน (Delay to process a cell = 0)
 3. กำหนดให้หน่วยเวลาในการจำลองผลเป็น 1 usec และเก็บผลทุกๆ 100 usec (หากมีการเปลี่ยนแปลง) ทำให้สามารถจำลองผลการทำงานสูงสุดได้ 70 นาที
 4. ขนาดของอินพุตบัพเฟอร์เป็น 2000 เซลล์
 5. ระยะห่างของแต่ละ โหนดเป็น 100 เมตร
 6. ค่าเวลาในการสุ่มตัวอย่างเป็น (Seed) 1003828716 ทั้ง 3 การทดลอง
 7. พอร์ตที่ 1 ต่อเข้ากับ 1 การไหล CBR1 ความเร็ว 100 Mbit/s
 8. พอร์ตที่ 3 ต่อเข้ากับ 1 การไหล CBR2 ความเร็ว 100 Mbit/s
 9. พอร์ตที่ 4 ต่อเข้ากับ 1 การไหล CBR4 ความเร็ว 100 Mbit/s
- และพอร์ตที่ทำการเก็บผลการทดลองคือพอร์ตที่ 2 ต่อเข้ากับ 4 การไหลในบริการแบบ

ต่างๆ ดังนี้ (รูปที่ 6.32 - 6.34)

1. การไหลของ CBR3 ความเร็ว 50 Mbit/s
2. การไหลของ VBR1 (Poisson) ความเร็ว 100 Mbit/s ค่าเฉลี่ยช่วงเวลาพุ่งพล่าน (Mean Burst Length) เป็น 10,000 usec ช่วงเวลาระหว่างความพุ่งพล่านเฉลี่ย (Mean Interval Between Bursts) เป็น 10,000 usec
3. การไหลของ VBR2 (Poisson) ความเร็ว 100 Mbit/s ค่าเฉลี่ยช่วงเวลาพุ่งพล่าน (Mean Burst Length) เป็น 2,000 usec ช่วงเวลาระหว่างความพุ่งพล่านเฉลี่ย (Mean Interval Between Bursts) เป็น 3,000 usec
4. การไหลของ VBR3 (Poisson) ความเร็ว 100 Mbit/s ค่าเฉลี่ยช่วงเวลาพุ่งพล่าน (Mean Burst Length) เป็น 1,000 usec ช่วงเวลาระหว่างความพุ่งพล่านเฉลี่ย (Mean Interval Between Bursts) เป็น 5,000 usec

จากรูปที่ 6.32 มีกราฟอยู่ 3 รูปคือ กราฟรูปบนแสดงปริมาณการไหลของเซลล์ใน Link3 (เป็นกราฟแบบ History) กราฟล่างขวาแสดงจำนวนของเซลล์ในอินพุตบัพเฟอร์ (เป็นกราฟแบบ History) กราฟล่างซ้ายแสดงจำนวนของเซลล์ที่สูญหายในพอร์ต 2 (เป็นกราฟแบบ Delta)

ในการทดลอง เวลาในการทำงานของเอทีเอ็มสวิตช์เป็น 1 ชม. แต่เก็บผลการทดลองในช่วง 7 นาที ส่วนเวลาที่ใช้จำลองผลการทำงานจริงๆ คือ 6-48 ชม. ขึ้นอยู่กับสมรรถภาพของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ที่ใช้จำลองผล (ในเครื่องที่ใช้จำลองผลนี้ใช้เวลาประมาณ 6-8 ชม. ต่อการทำงานของ เอทีเอ็มสวิตช์ 1 ชม.)

ผลการทดลอง 1 ชม. ของการทำงานของเอทีเอ็มสวิตช์ จะเกิดข้อมูลประมาณ 100 Mbytes ส่วนใน 7 นาที จะเกิดข้อมูลประมาณ 10 Mbytes แม้ว่าจะเป็นเพียงแค่ 7 นาทีแต่ก็มีข้อมูลปริมาณ มหาศาล ทำให้ดูผลได้ไม่ชัดเจน จึงได้ทำการแบ่งช่วงของผลการทดลองออกเป็น 7 ส่วน

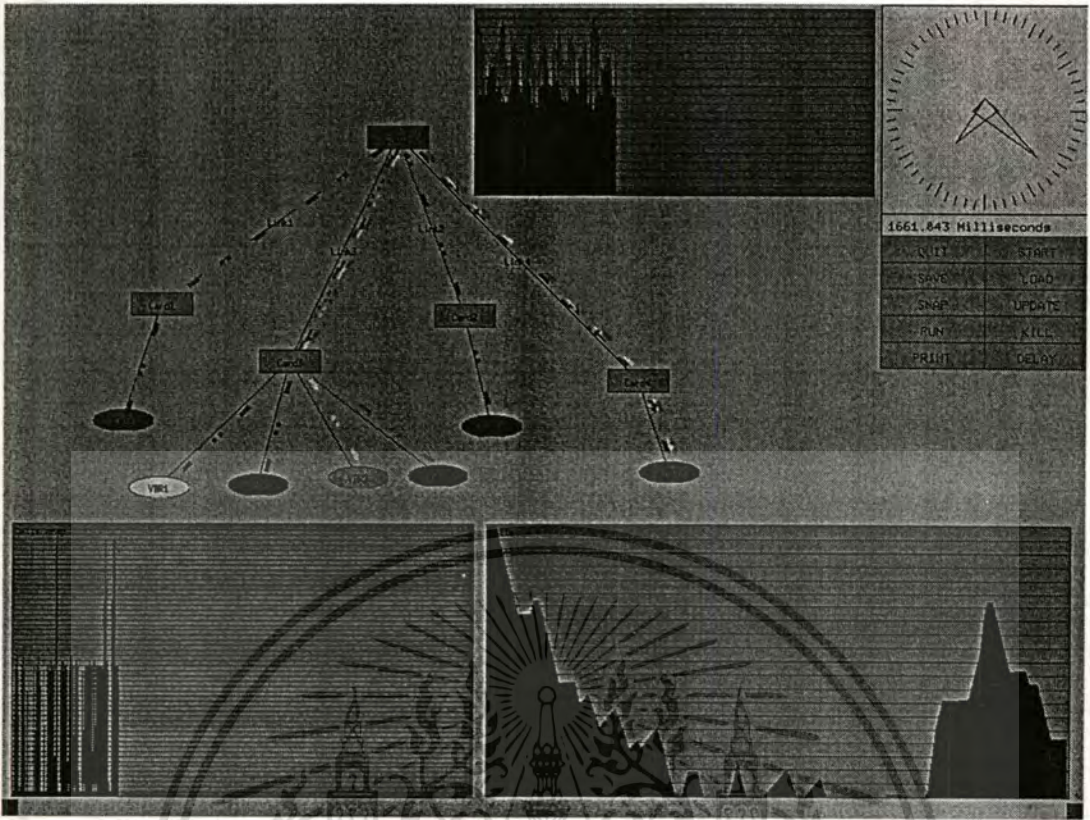
การนำเสนอผลการทดลอง จะนำเสนอไปพร้อมๆ กันทั้ง 3 การทดลองเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่าง ของผลการทดลองที่ได้ และเพื่อความเรียบร้อย จะนำเสนอผลการทดลองให้เสร็จก่อนทั้งหมด ส่วนคำอธิบายผลการทดลองจะอยู่ที่ท้ายสุด

รูปที่ 6.32 รูปที่ 6.33 และรูปที่ 6.34 แสดงภาพในขณะที่จำลองผลการทำงานของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ

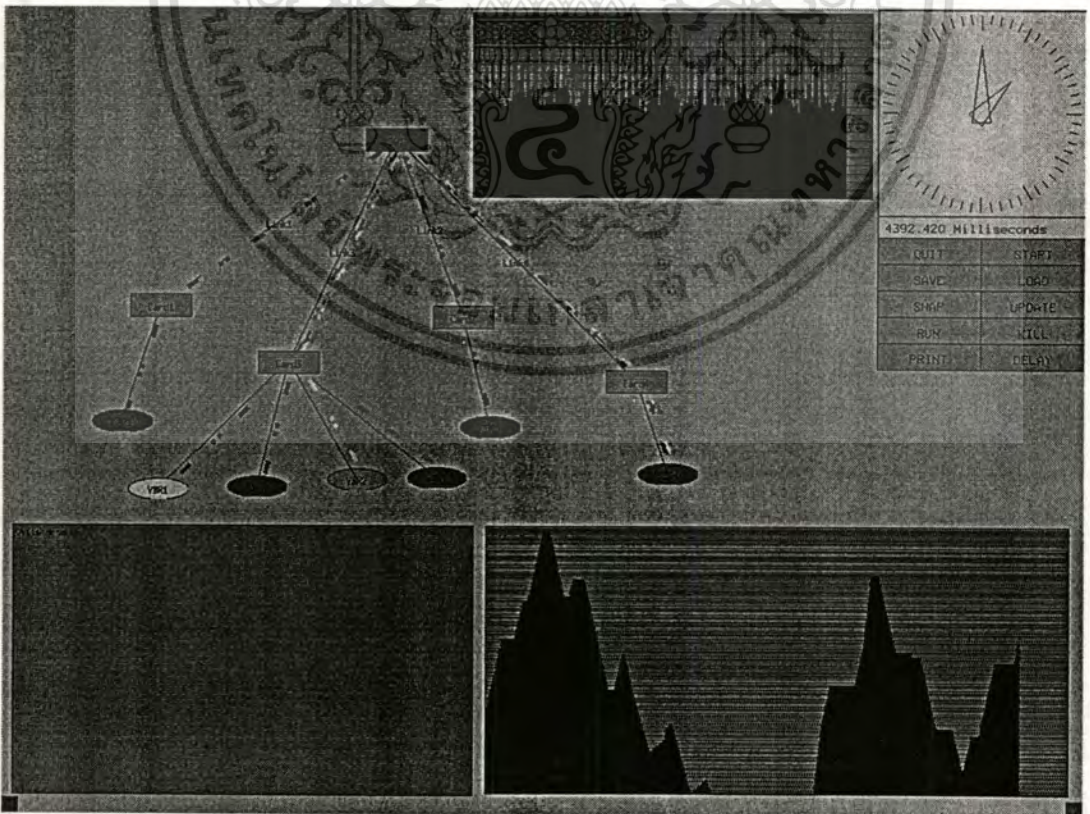


รูปที่ 6.32 ภาพในขณะที่จำลองผลการทำงานของ Lab A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

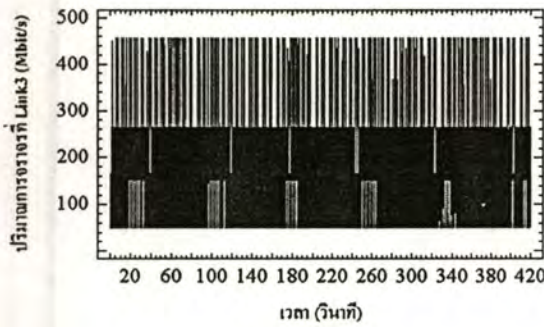


รูปที่ 6.33 ภาพในขณะที่จำลองผลการทำงานของ Lab B

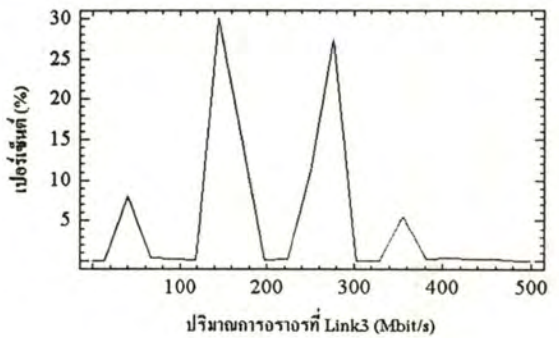


รูปที่ 6.34 ภาพในขณะที่จำลองผลการทำงานของ Lab C
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ทางปัญญาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

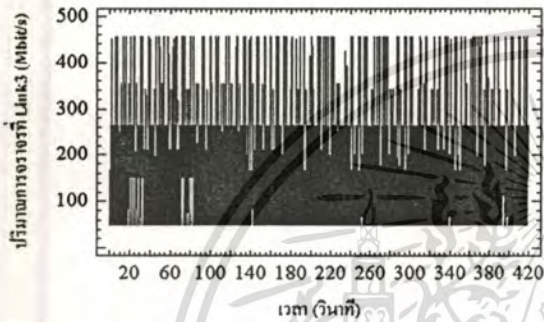
6.3.1 ผลการวัดปริมาณการจราจรที่ Link3



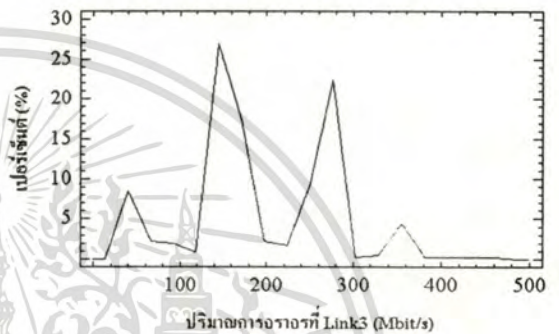
Lab A



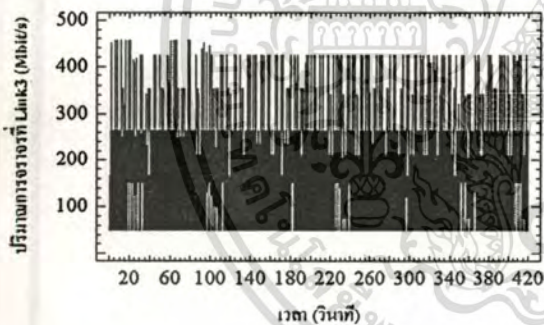
Lab A



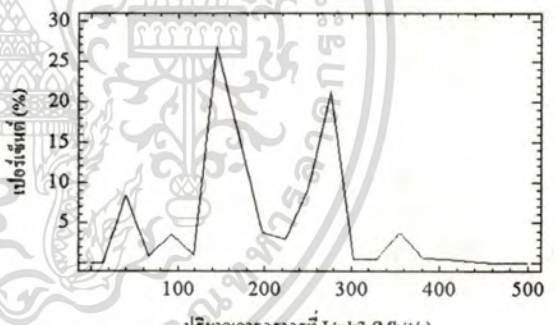
Lab B



Lab B

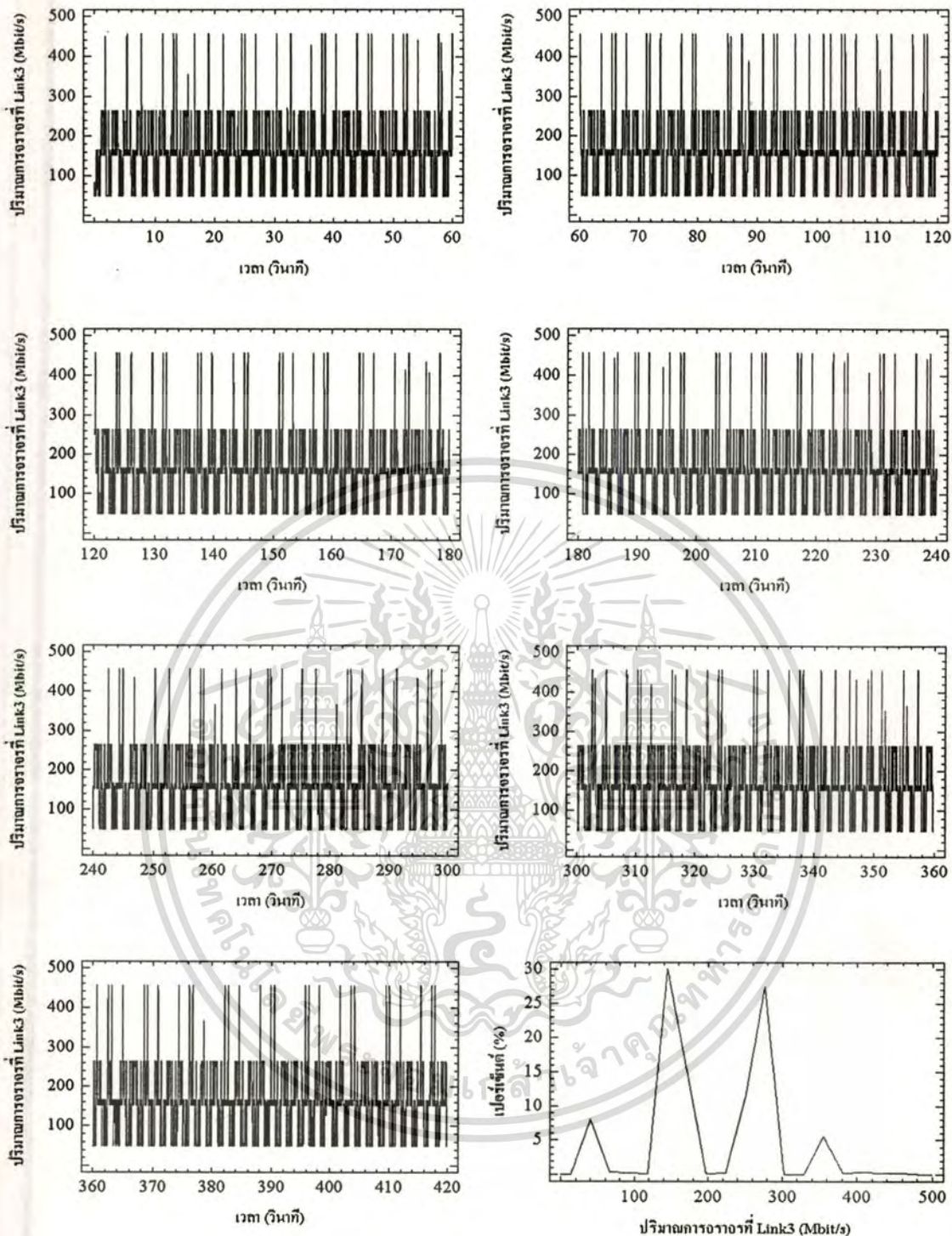


Lab C



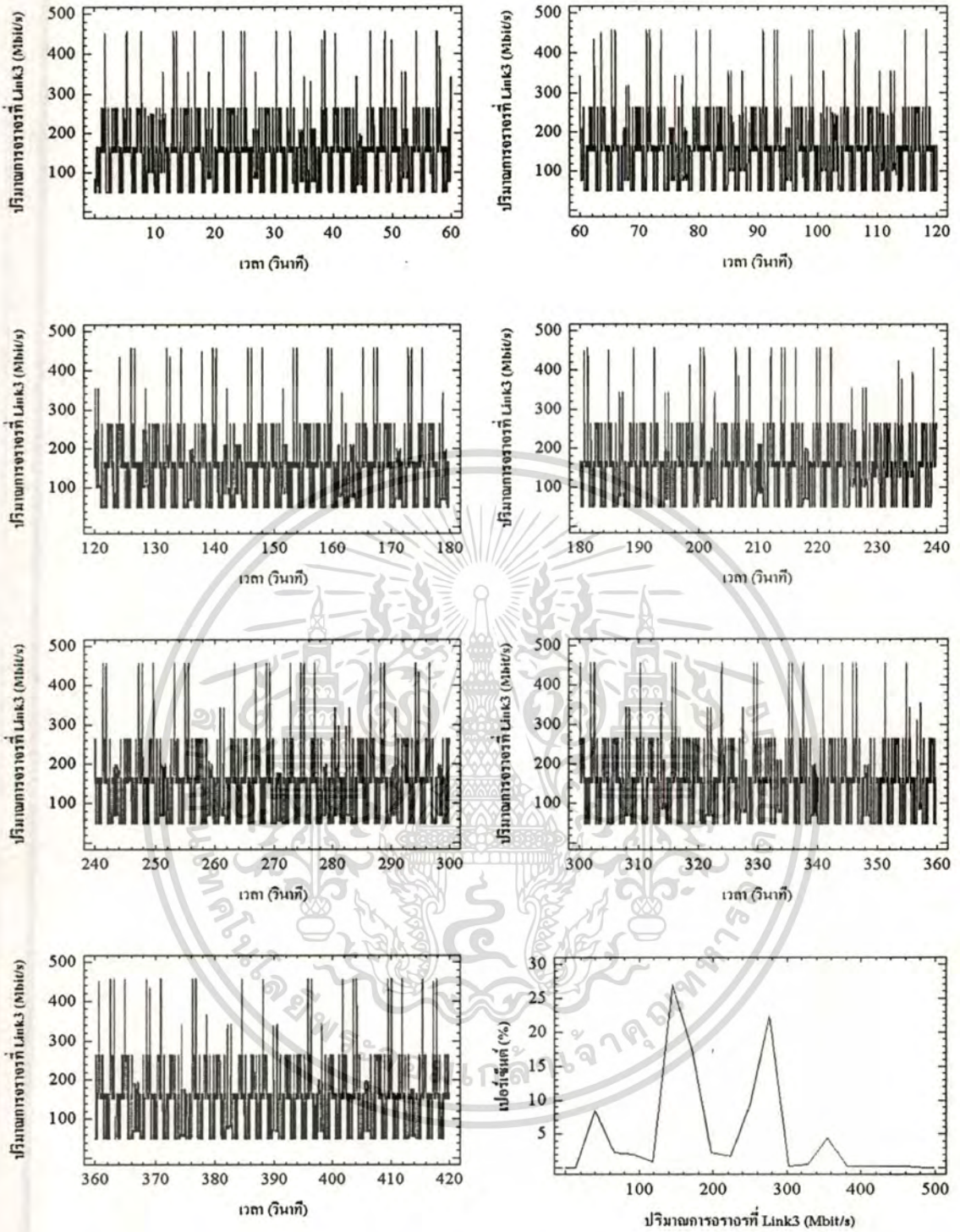
Lab C

รูปที่ 6.35 ปริมาณการจราจรที่ Link3 ในช่วงเวลา 7 นาที ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ
 ด้านซ้าย ปริมาณการจราจรเทียบกับเวลา
 ด้านขวา ความถี่ของปริมาณการจราจร



รูปที่ 6.36 ปริมาณการจราจรที่ Link3 ในช่วงนาทีที่ 1 ถึง นาทีที่ 7 ของ Lab A
 รูปล่างขวา ความถี่ของปริมาณการจราจรของ Lab A

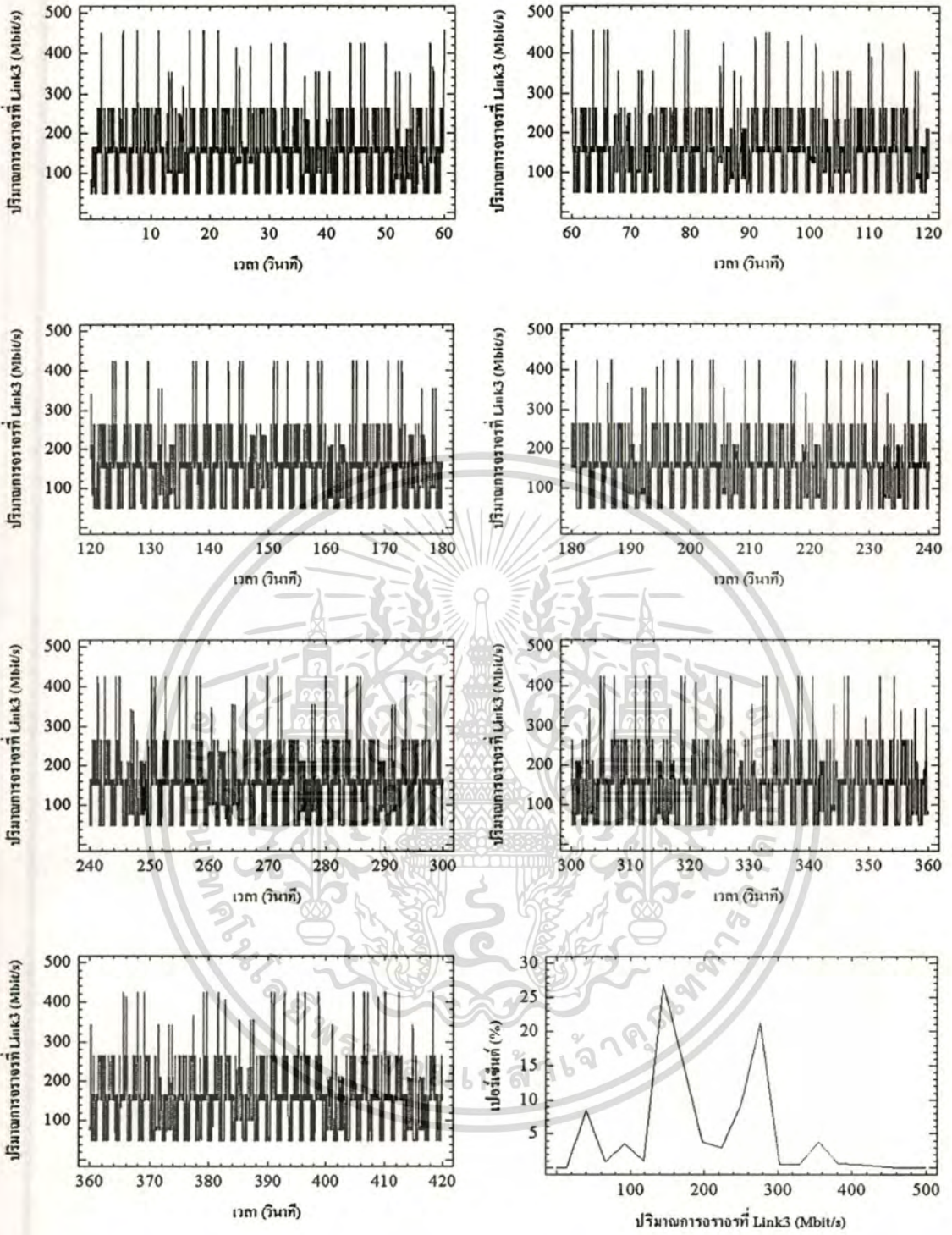
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.37 ปริมาณการจราจรที่ Link3 ในช่วงนาทีที่ 1 ถึง นาทีที่ 7 ของ Lab B

รูปต่างๆ ความถี่ของปริมาณการจราจรของ Lab B

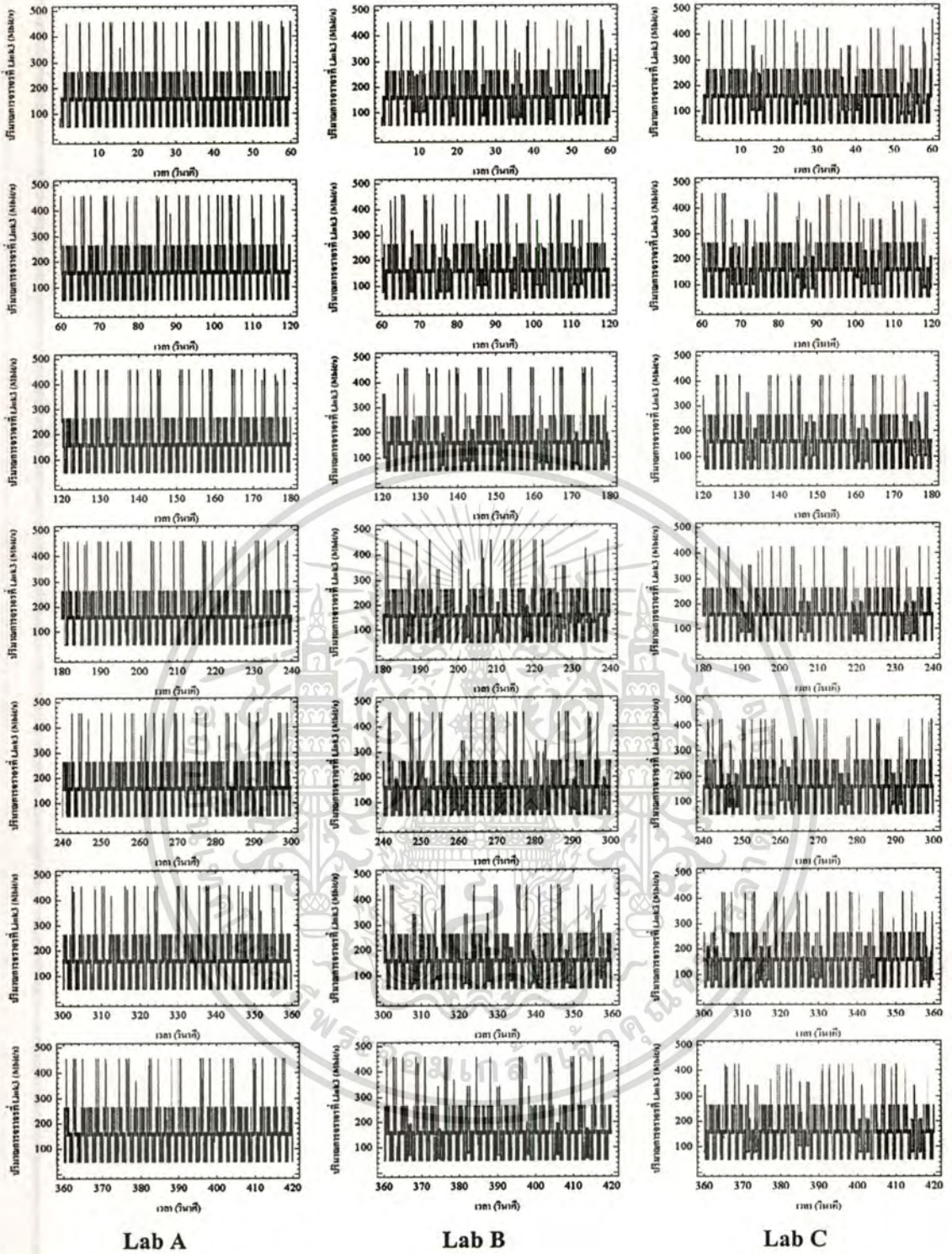
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.38 ปริมาณการจราจรที่ Link3 ในช่วงนาทีที่ 1 ถึง นาทีที่ 7 ของ Lab C

รูปล่างขวา ความถี่ของปริมาณการจราจรของ Lab C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.39 ปริมาณการจرازที่ Link3 ในช่วงนาทีที่ 1 ถึงนาทีที่ 7 ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายผลการทดลอง 1 : รูปที่ 6.35 จนถึงรูปที่ 6.39 เป็นผลการวัดปริมาณการจราจรที่ Link3 เพื่อศึกษาถึงปริมาณการจราจรของทั้ง 3 การทดลอง ว่าแต่ละอัลกอริทึมทำให้เกิดปริมาณการจราจรอย่างไร จากรูปจะเห็นว่าปริมาณการจราจรที่ Link3 มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 450 Mbit/s ซึ่งเกิดจาก VBR1 (100 Mbit/s), VBR2 (100 Mbit/s), VBR3 (100 Mbit/s), CBR3 (50 Mbit/s), CBR4 (50 Mbit/s) ดังที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น

รูปที่ 6.35 ด้านซ้าย แสดงให้เห็นว่าการควบคุมอัตราการสูญหายของเซลโดยใช้อัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตบัพเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์นั้นมีผลต่อปริมาณการจราจรที่จะเข้ามายังเอทีเอ็มสวิตช์ โดยใน Lab A จะมีปริมาณการจราจรที่หนาแน่นมาก (อันเป็นผลให้เกิดเซลสูญหาย) ส่วนใน Lab B และ Lab C จะมีปริมาณการจราจรลดลงกันไปตามลำดับ รูปที่ 6.35 ด้านขวา แสดงความถี่ของปริมาณการจราจรในแต่ละการทดลอง จะเห็นได้ว่า ปริมาณการจราจรใน Link3 ที่พบบ่อยที่สุด 2 ค่าแรกคือ ประมาณ 155 Mbit/s และ 280 Mbit/s ตามลำดับ (ทั้ง 3 การทดลอง)

รูปที่ 6.36 แสดงปริมาณการจราจรที่ Link3 ในช่วงนาฬิกาที่ 1 ถึง นาฬิกาที่ 7 ของ Lab A รูปที่ 6.36 ด้านล่างขวา แสดงความถี่ของปริมาณการจราจรของ Lab A

รูปที่ 6.37 แสดงปริมาณการจราจรที่ Link3 ในช่วงนาฬิกาที่ 1 ถึง นาฬิกาที่ 7 ของ Lab B รูปที่ 6.37 ด้านล่างขวา แสดงความถี่ของปริมาณการจราจรของ Lab B

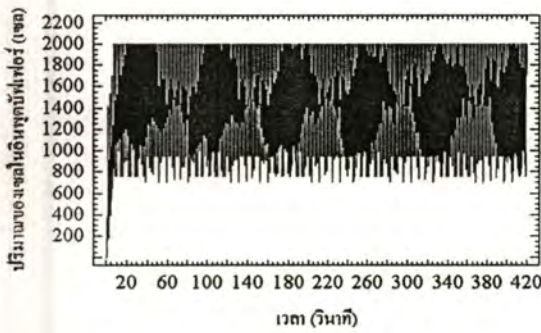
รูปที่ 6.38 แสดงปริมาณการจราจรที่ Link3 ในช่วงนาฬิกาที่ 1 ถึง นาฬิกาที่ 7 ของ Lab C รูปที่ 6.38 ด้านล่างขวา แสดงความถี่ของปริมาณการจราจรของ Lab C

รูปที่ 6.39 แสดงปริมาณการจราจรที่ Link3 ในช่วงนาฬิกาที่ 1 ถึงนาฬิกาที่ 7 ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ

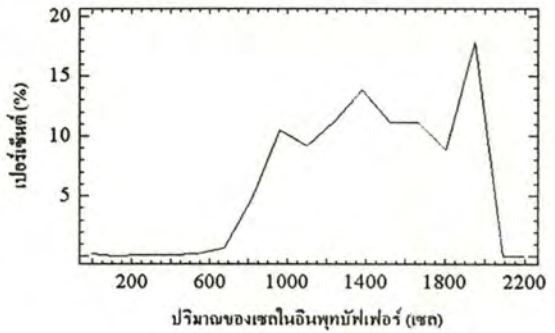
จากผลการทดลองพบว่าปริมาณการจราจรที่ Link3 ในการทดลองที่ใช้อัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตบัพเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์นั้น จะมีปริมาณการจราจรที่ลดลง แต่การลดลงนั้นไม่ได้ลดลงในแบบแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ทั้งนี้เป็นเพราะว่าอัลกอริทึมที่นำมาใช้ไม่ได้ลดปริมาณการจราจรที่มาจากสถานีต้นทางโดยถาวร แต่มันจะอนุญาตให้สถานีต้นทางเพิ่มปริมาณการจราจรขึ้น เมื่อความคับคั่งที่เอทีเอ็มสวิตช์หมดไปแล้ว จึงทำให้ในเวลาต่อมาปริมาณการจราจรก็จะเพิ่มขึ้น วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่ใช้แบนด์วิดธ์ได้อย่างคุ้มค่า

ในกรณีของอัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตบัพเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์แบบโทแกนบัพเฟอร์ร่วมกับบัพเฟอร์แฉ่งเดือนนั้น จะพบว่ามีความไวต่อปริมาณการจราจรที่เข้ามา มากกว่าในแบบอินพุตบัพเฟอร์ ทั้งนี้เป็นเพราะไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์จะทำการเจรจา กับสถานีต้นทางเพื่อลดปริมาณการจราจรในทันทีที่ $B_d > 0$

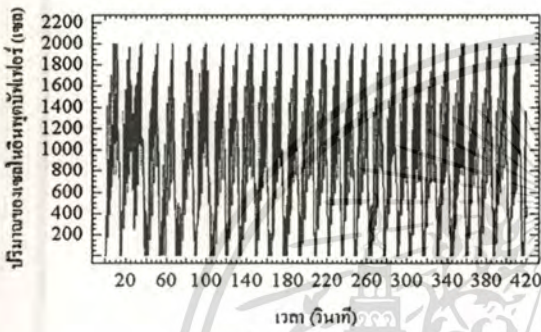
6.3.2 ผลการวัดจำนวนเซลล์ตกค้างในอินทูปหับเฟอร์



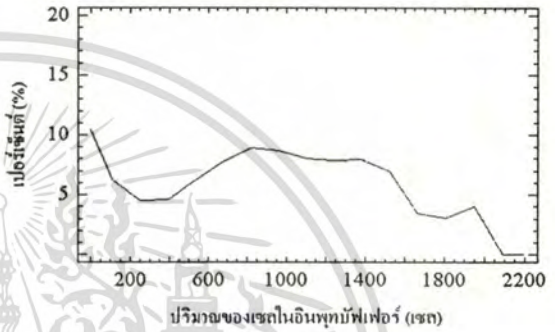
Lab A



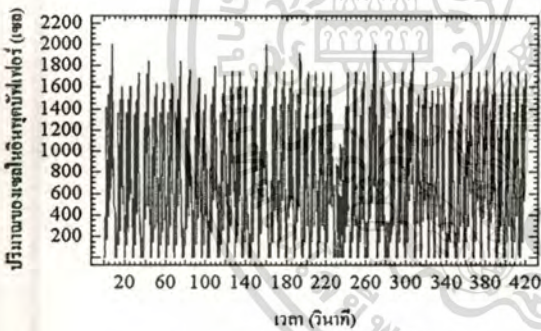
Lab A



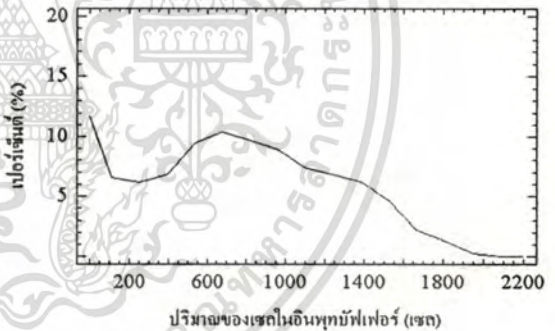
Lab B



Lab B



Lab C

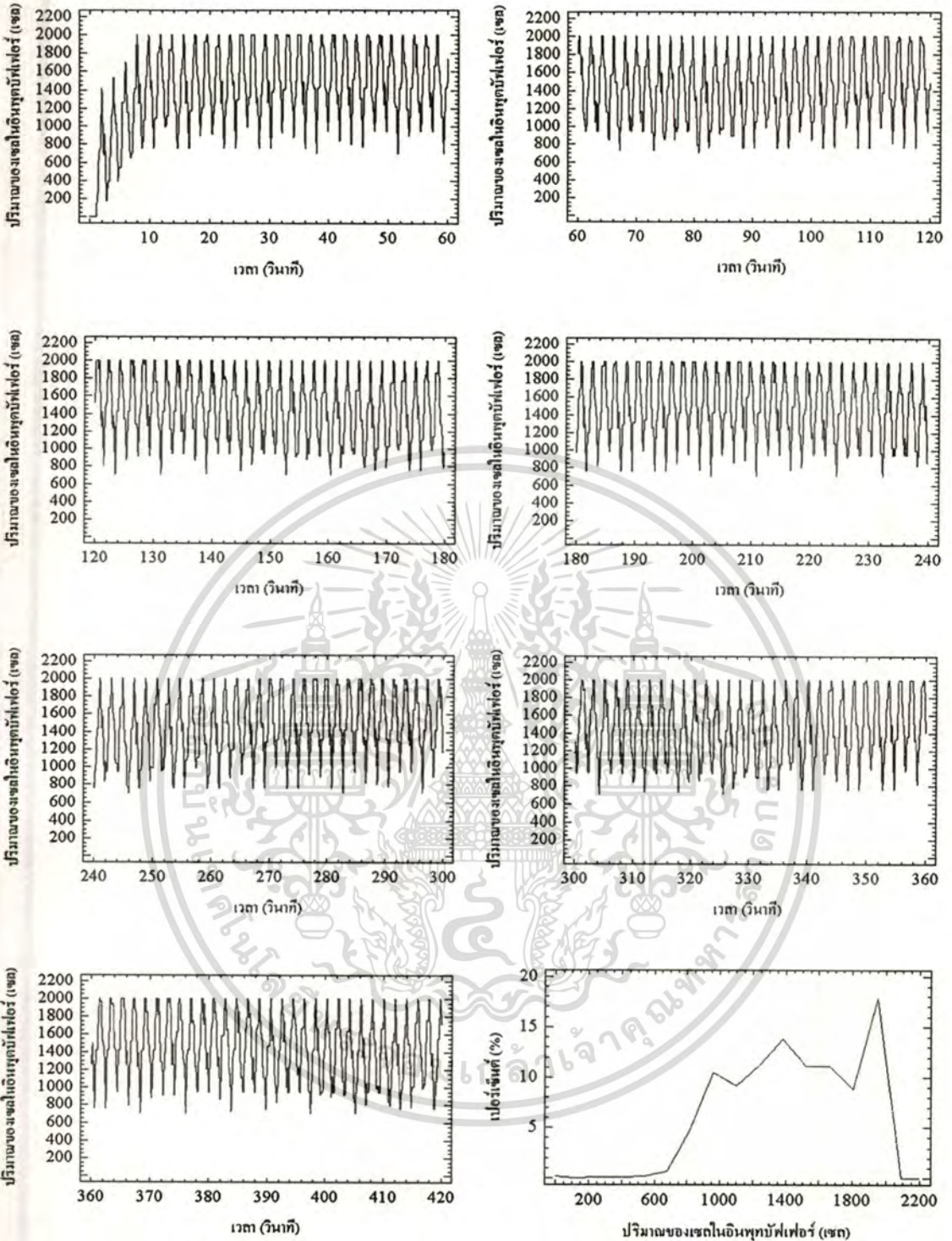


Lab C

รูปที่ 6.40 จำนวนเซลล์ที่ตกค้าง ในช่วงเวลา 7 นาที ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ

ด้านซ้าย จำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินทูปหับเฟอร์เทียบกับเวลา

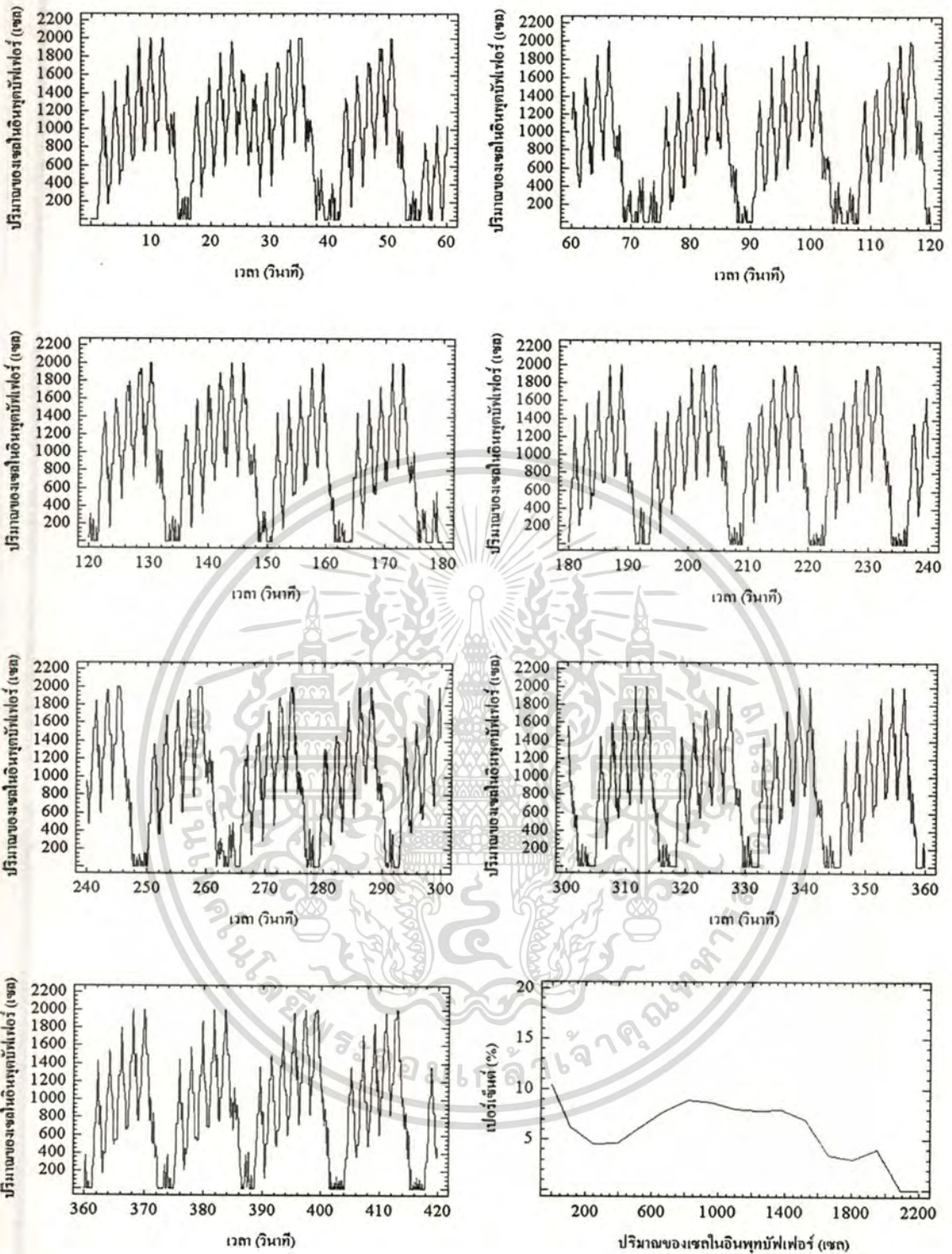
ด้านขวา ความถี่ของจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินทูปหับเฟอร์



รูปที่ 6.41 จำนวนเชลที่ตกค้ำงในช่วงนาที่ที่ 1 ถึงนาที่ที่ 7 ของ Lab A

รูปล่่างชว ความถึของจำนวนเชลที่ตกค้ำงที่อินทุบัพไฟฟ้ ของ Lab A

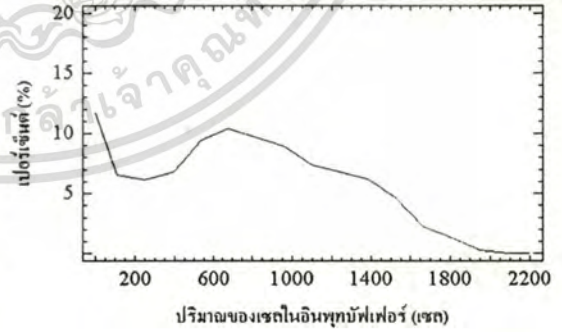
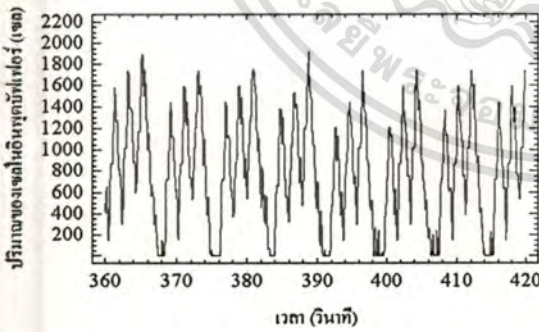
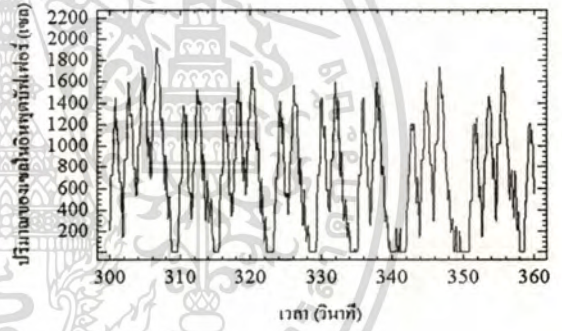
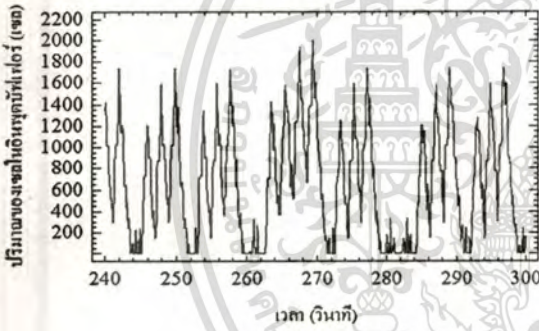
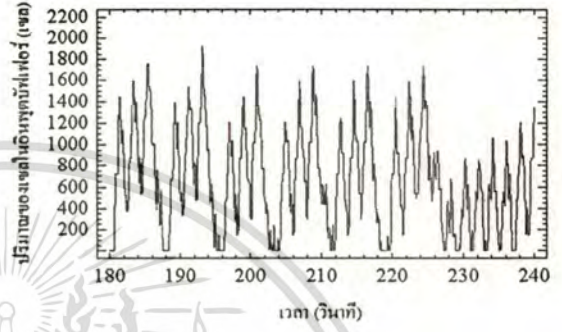
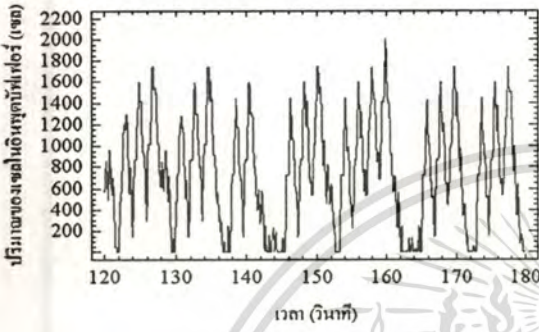
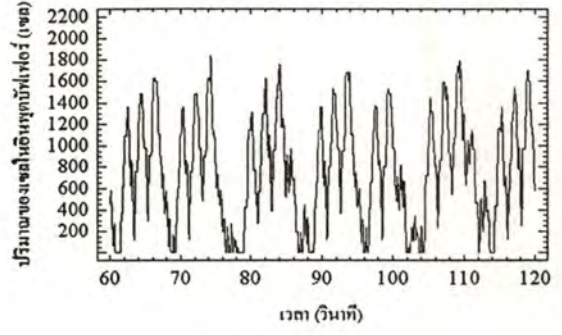
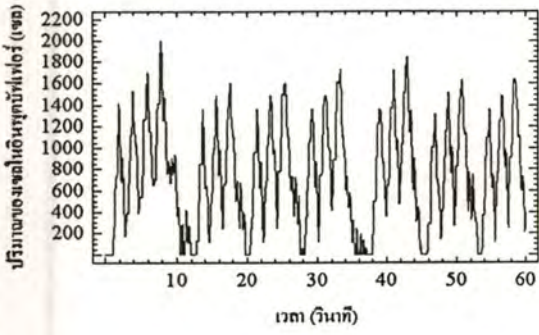
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.42 จำนวนเชลที่ตคค้ำงในช่วงนทที่ 1 ถึงนทที่ 7 ของ Lab B

รูปล่างขวา ความถี่ของจำนวนเชลที่ตคค้ำงที่อินทูปท์เฟอร์ ของ Lab B

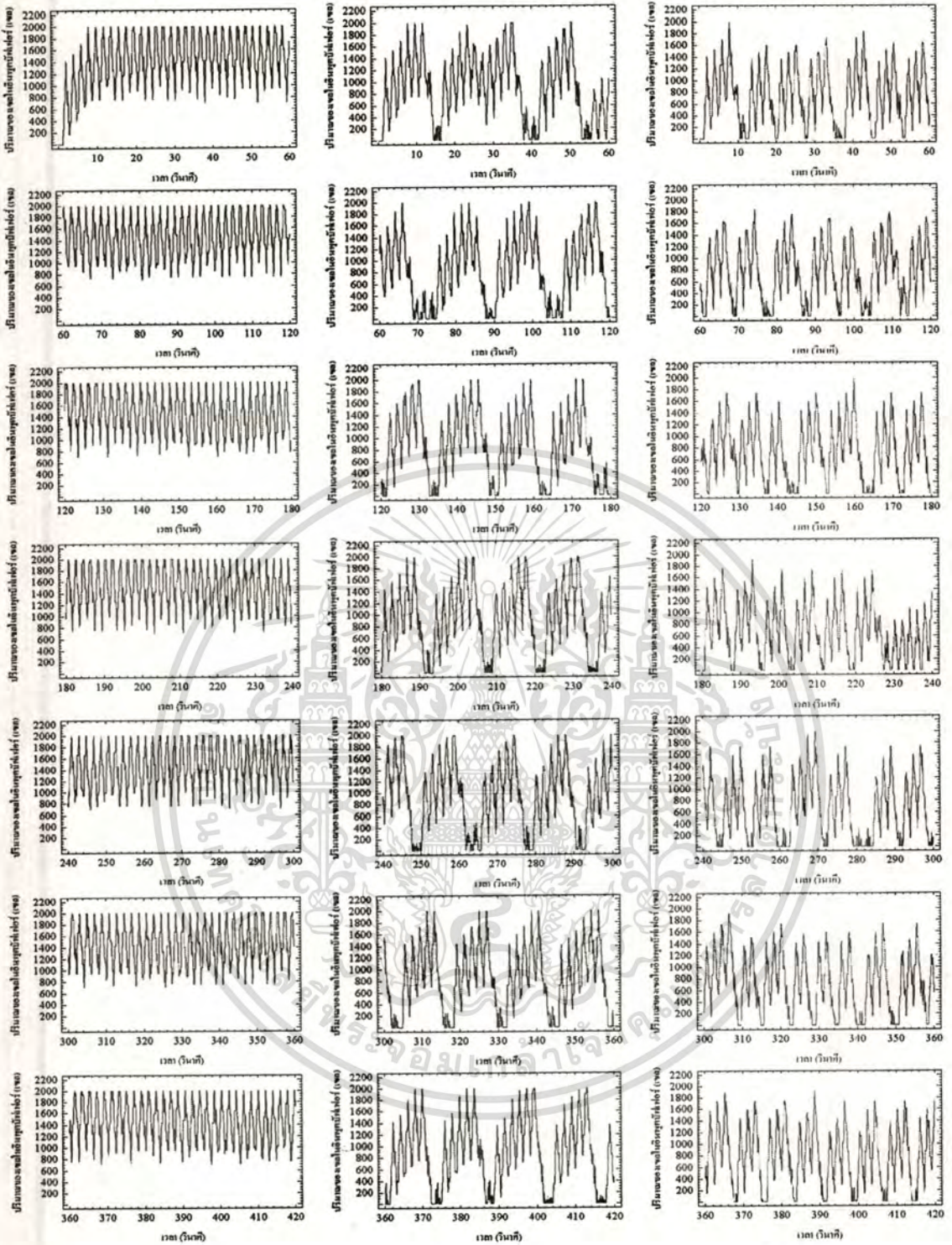
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.43 จำนวนเซลล์ที่ตกค้างในช่วงนาทีที่ 1 ถึงนาทีที่ 7 ของ Lab C

รูปล่างขวา ความถี่ของจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุตพัลส์ของ Lab C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Lab A

Lab B

Lab C

รูปที่ 6.44 จำนวนเซลล์ที่ตกค้างในช่วงนาทีที่ 1 ถึงนาทีที่ 7 ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ

ลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายผลการทดลอง 2 : รูปที่ 6.40 จนถึงรูปที่ 6.44 เป็นผลการวัดจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ เพื่อศึกษาว่าแต่ละอัลกอริทึมที่มีจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์เป็นจำนวนเท่าไร เนื่องจากเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเซลล์สูญหาย การทดลองนี้กำหนดให้อินพุทบัฟเฟอร์มีขนาด 2000 เซลล์

รูปที่ 6.40 ด้านซ้าย แสดงให้เห็นว่าการควบคุมอัตราการสูญหายของเซลล์โดยใช้อัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุทบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์นั้นมีผลต่อจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ โดยใน Lab A จะมีจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์ในปริมาณที่สูงอยู่ตลอดเวลา ส่วนใน Lab B และ Lab C จำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์จะลดลงกันไปตามลำดับ รูปที่ 6.40 ด้านขวา แสดงความถี่ของจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ในแต่ละการทดลอง จะเห็นได้ว่า ใน Lab A เกือบตลอดเวลาที่มีจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ในปริมาณ 1000-2000 เซลล์ ใน Lab B จะมีช่วงที่ไม่มีเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์อยู่ประมาณ 10 % (ถือว่าเป็นช่วงที่ความคับคั่งหมดไป) ปริมาณเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ที่พบได้บ่อยใน Lab B คือช่วงประมาณ 800-1400 เซลล์ และในส่วน Lab C จะมีช่วงที่ไม่มีเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์อยู่ประมาณ 12 % และแทบจะไม่พบปริมาณเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ที่เกินกว่า 1900 เซลล์เลย

รูปที่ 6.41 แสดงจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ ของ Lab A ในช่วงนาฬิกาที่ 1 ถึง นาฬิกาที่ 7 รูปที่ 6.41 ด้านล่างขวา แสดงความถี่ของจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ของ Lab A

รูปที่ 6.42 แสดงจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ ของ Lab B ในช่วงนาฬิกาที่ 1 ถึง นาฬิกาที่ 7 รูปที่ 6.42 ด้านล่างขวา แสดงความถี่ของจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ของ Lab B

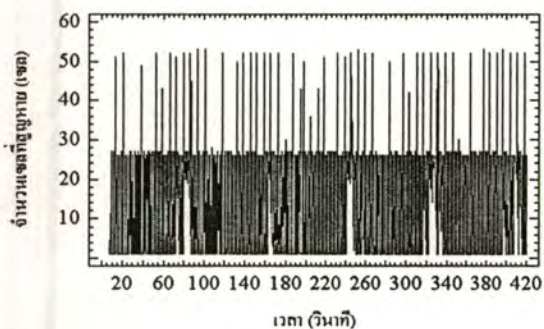
รูปที่ 6.43 แสดงจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ ของ Lab C ในช่วงนาฬิกาที่ 1 ถึง นาฬิกาที่ 7 รูปที่ 6.43 ด้านล่างขวา แสดงความถี่ของจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ของ Lab C

รูปที่ 6.44 แสดงจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ ในช่วงนาฬิกาที่ 1 ถึงนาฬิกาที่ 7 ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ

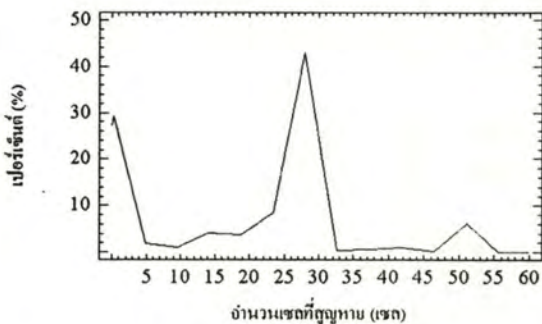
จากผลการทดลองพบว่า เมื่อนำอัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุทบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์เข้ามาใช้ จำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ได้ลดลงอย่างมาก จากที่ไม่มีบัฟเฟอร์ว่างกลายเป็นมีบัฟเฟอร์ว่างอยู่ประมาณ 10-12 % ของช่วงเวลาทั้งหมด

ความแตกต่างระหว่าง Lab B กับ Lab C ก็คือความถี่ของจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ของ Lab B อยู่ในช่วงบน ส่วนใน Lab C อยู่ในช่วงล่าง และที่ 2000 เซลล์ Lab B มีอยู่ประมาณ 4 % ขณะที่ Lab C มีค่าอยู่ที่ไม่ถึง 1 %

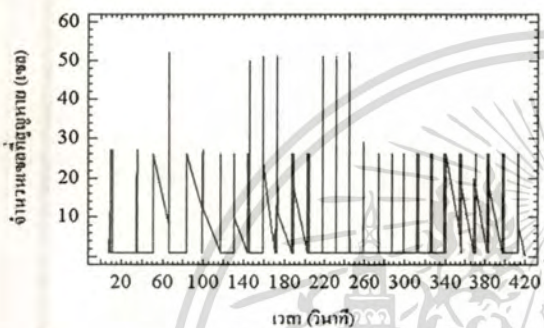
6.3.3 ผลการวัดจำนวนเซลล์สุญหาย



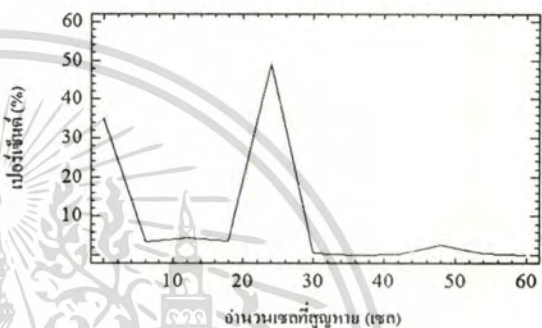
Lab A



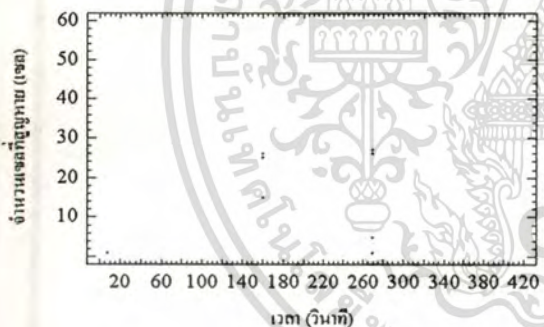
Lab A



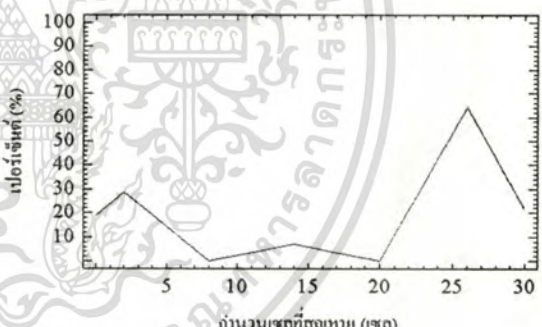
Lab B



Lab B



Lab C

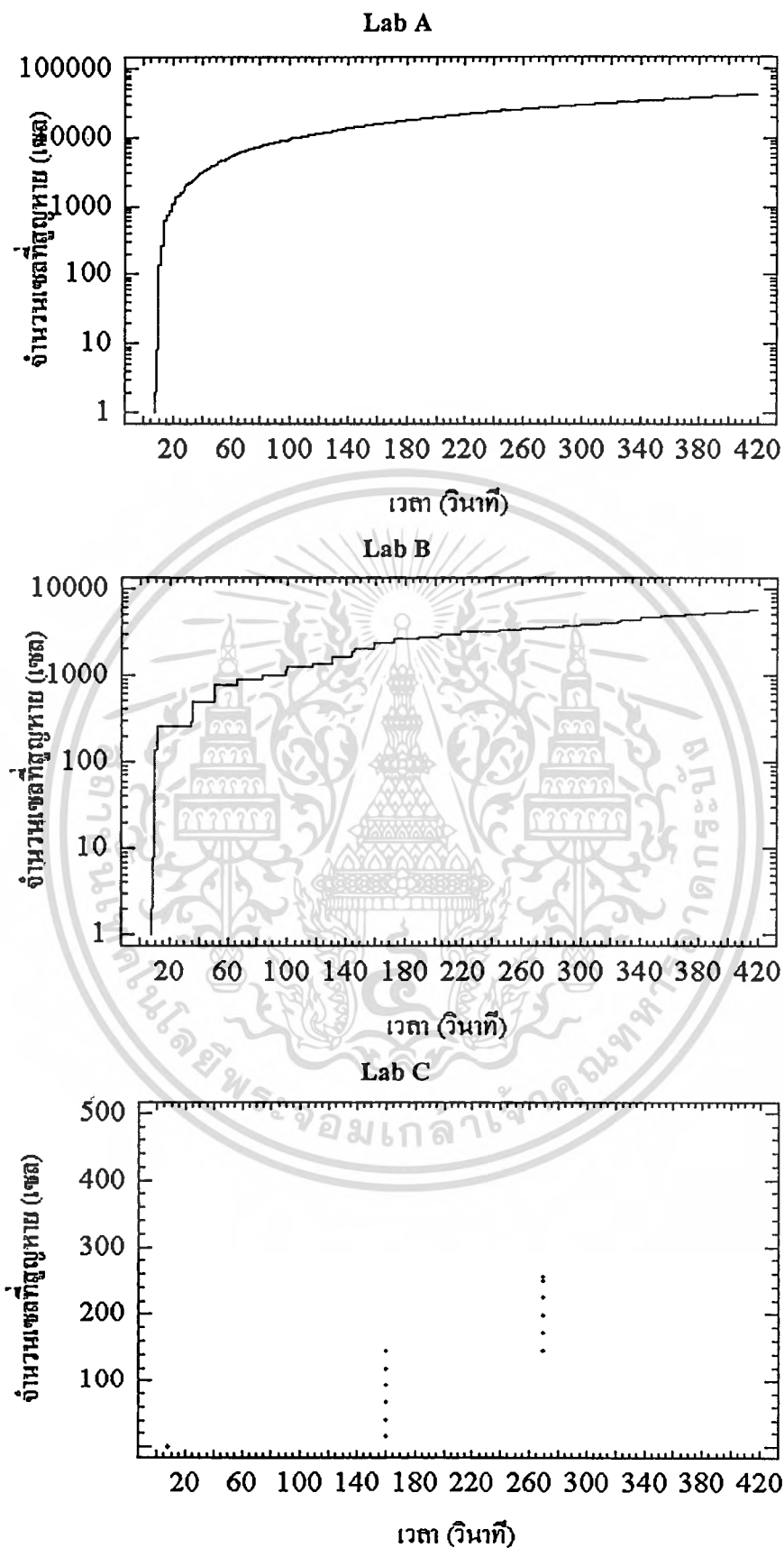


Lab C

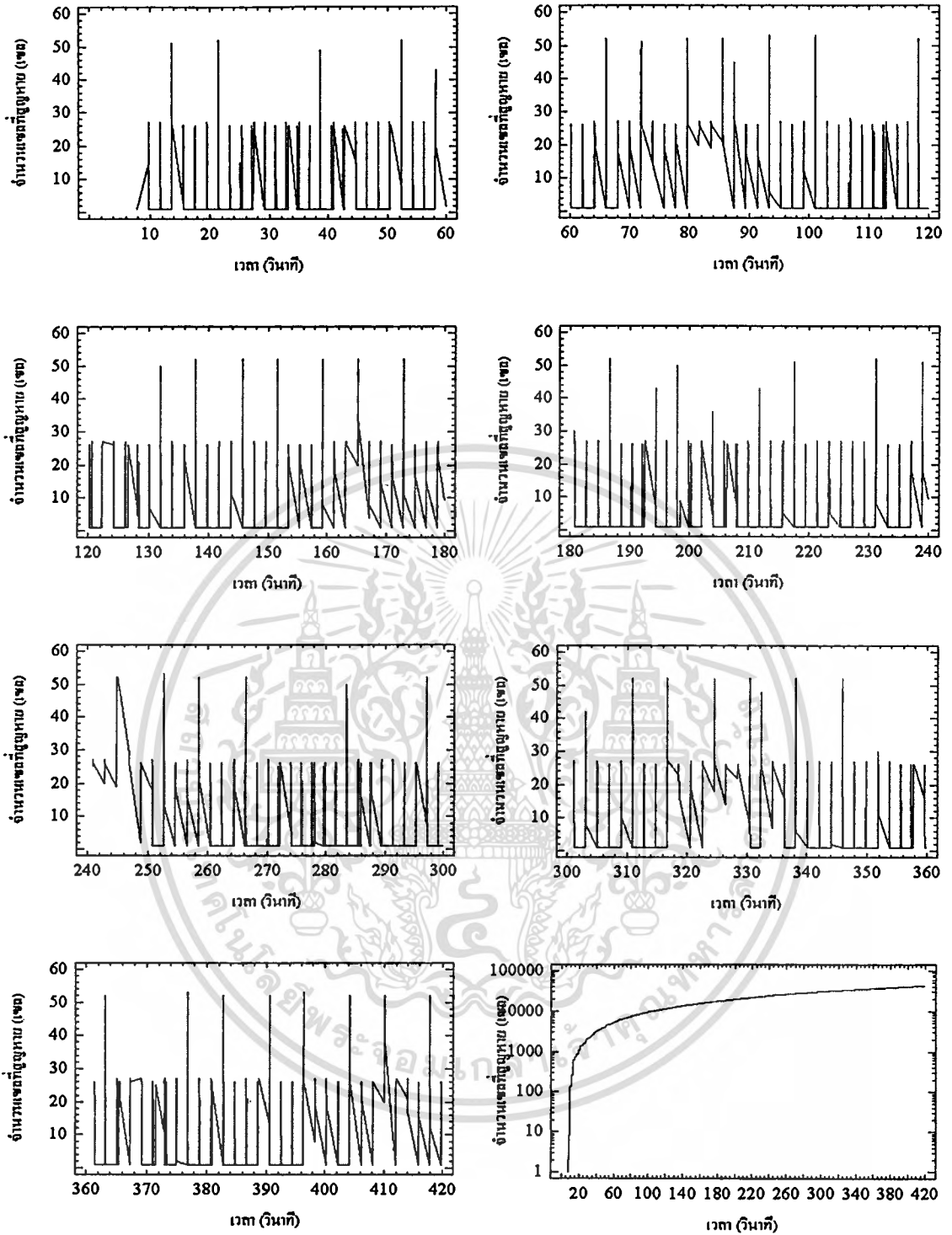
รูปที่ 6.45 จำนวนเซลล์สุญหาย ในช่วงเวลา 7 นาที ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ

ด้านซ้าย จำนวนเซลล์สุญหายเทียบกับเวลา

ด้านขวา ความถี่ของจำนวนเซลล์สุญหาย



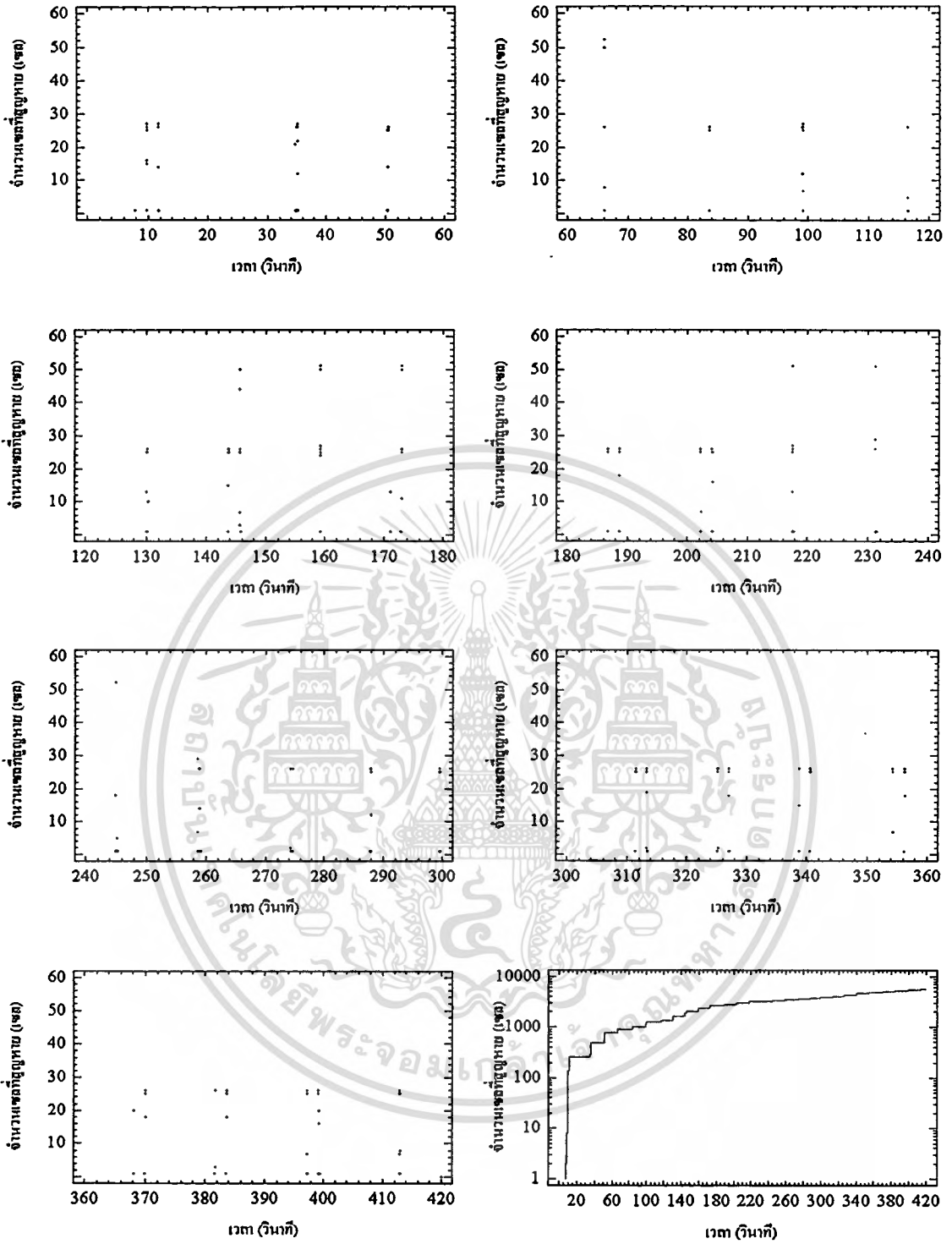
รูปที่ 6.46 จำนวนเซลล์สูญหายทั้งหมด ในช่วงเวลา 7 นาที ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขอรับการดำเนินการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.47 จำนวนเซลล์จุลินทรีย์ ในช่วงนาทีที่ 1 ถึง 7 ของ Lab A

รูปด้านล่าง จำนวนเซลล์จุลินทรีย์ทั้งหมด ในช่วงเวลา 7 นาที ของ Lab A

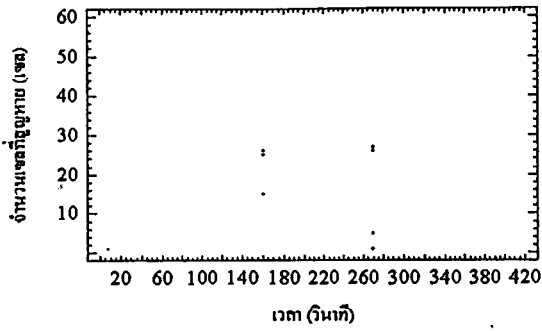
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



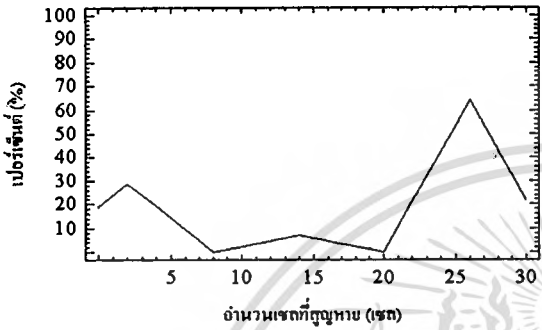
รูปที่ 6.48 จำนวนเซลล์สูญหาย ในช่วงเวลาที่ 1 ถึง 7 ของ Lab B

รูปล่างขวา จำนวนเซลล์สูญหายทั้งหมด ในช่วงเวลา 7 นาที ของ Lab B

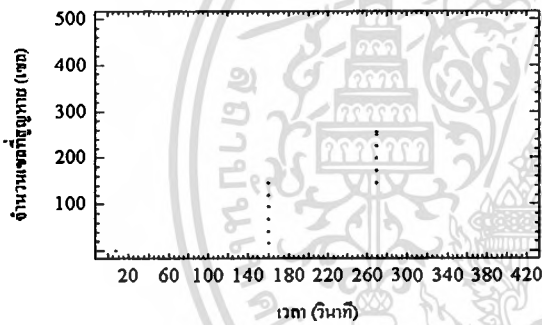
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จำนวนเซลล์สุญหาย
ในช่วงเวลา 7 นาที ของ Lab C

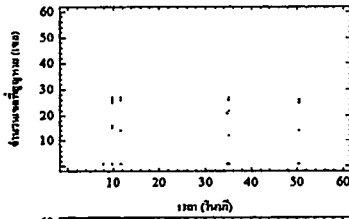
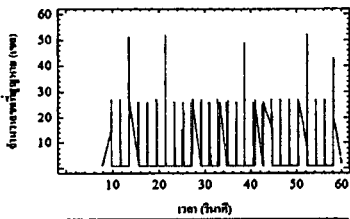


ความถี่ของจำนวนเซลล์สุญหาย
ในช่วงเวลา 7 นาที ของ Lab C

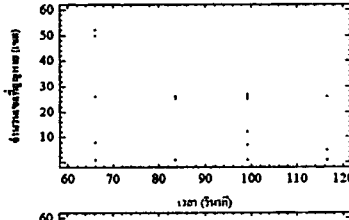
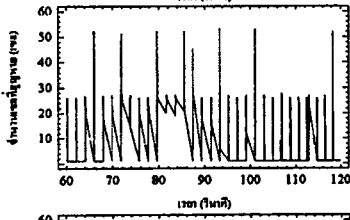


จำนวนเซลล์สุญหายทั้งหมด
ในช่วงเวลา 7 นาที ของ Lab C

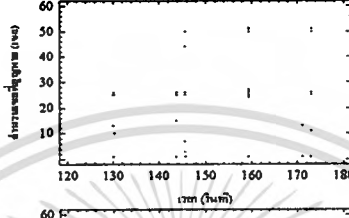
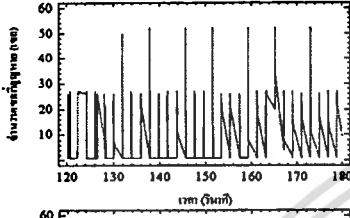
รูปที่ 6.49 จำนวนเซลล์สุญหาย ในช่วงนาทีที่ 1 ถึง 7 ของ Lab C



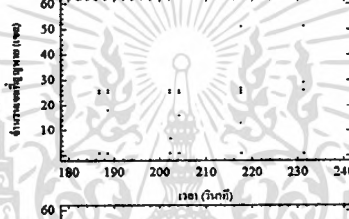
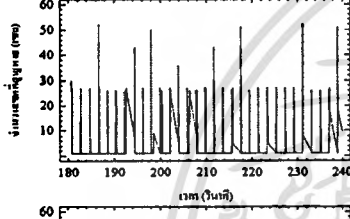
Lab C คูตารางที่ 6.1



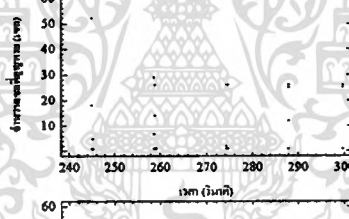
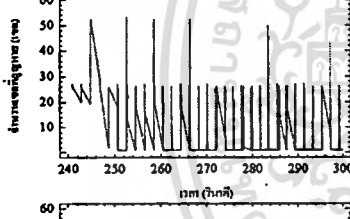
Lab C คูตารางที่ 6.1



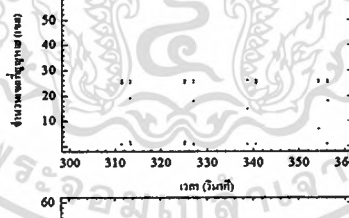
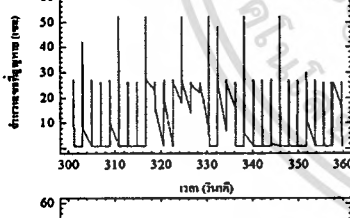
Lab C คูตารางที่ 6.1



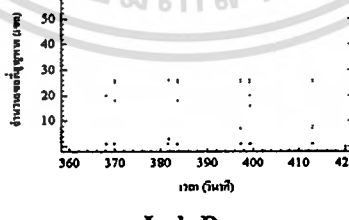
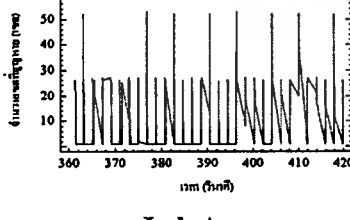
Lab C คูตารางที่ 6.1



Lab C คูตารางที่ 6.1



Lab C คูตารางที่ 6.1



Lab C คูตารางที่ 6.1

Lab A

Lab B

รูปที่ 6.50 จำนวนเซลล์สุญหาย ในช่วงนาฬิกาที่ 1 ถึง 7 ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 จำนวนเซลล์สูญหาย ในช่วงนาฬิกาที่ 1 ถึง 7 ของ Lab C

เวลา (ไมโครวินาที)	จำนวนเซลล์ที่สูญหาย (เซลล์)
7769600	1
159843100	15
159853200	26
159863600	26
159873700	26
159883800	25
159894000	26
269286000	1
269296400	26
269306700	26
269317400	27
269327500	26
269344500	5
269386900	1
421972700	1

คำอธิบายผลการทดลอง 3 : รูปที่ 6.45 จนถึงรูปที่ 6.50 เป็นผลการวัดจำนวนเซลล์สูญหาย เพื่อศึกษาว่าอัลกอริทึมที่ใช้มีผลต่อเซลล์สูญหายที่เกิดขึ้นในระบบอย่างไร

รูปที่ 6.45 ด้านซ้าย ใน Lab A พบว่ามีเซลล์สูญหายในปริมาณที่สูงมากเมื่อมีการจราจรเข้ามาที่เอทีเอ็มสวิตช์อย่างหนาแน่น จากการวัดค่าในช่วงเวลา 7 นาที จะเกิดเซลล์สูญหายทั้งหมด 42,889 เซลล์ จากจำนวน 1,577,002 เซลล์ ที่สถานีต้นทางส่งยังเอทีเอ็มสวิตช์ คิดเป็นร้อยละ 2.7197 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนเซลล์ที่ส่งมา ใน Lab B จะเกิดการสูญหายของเซลล์อยู่บ้างแต่ไม่หนาแน่นเท่า Lab A โดยมีเซลล์สูญหายทั้งหมด 5,587 เซลล์ จากจำนวน 1,486,161 เซลล์ ที่สถานีต้นทางส่งยังเอทีเอ็มสวิตช์ คิดเป็นร้อยละ 0.3759 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนเซลล์ที่ส่งมา ใน Lab C การสูญหายของเซลล์เกิดขึ้นน้อยมากๆ แทบว่าจะไม่สูญหายเลย โดยมีเซลล์สูญหายทั้งหมด 395 เซลล์ จากจำนวน 1,471,961 เซลล์ ที่สถานีต้นทางส่งยังเอทีเอ็มสวิตช์ คิดเป็นร้อยละ 0.0268 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนเซลล์ที่ส่งมา แสดงให้เห็นว่าการควบคุมอัตราการสูญหายของเซลล์โดยใช้อัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ในการจราจรที่อินพุตพอร์เตอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์นั้นมีผลต่อจำนวนเซลล์สูญหายเป็นอย่างมาก รูปที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเหมาเป็เซบระะเยชช่นด้านกรค้ ไม้ว่ากรณใ้ดงท้ั้งสััน อึ้กท้ั้งห้้ามมึให้ดัดแปลงนื้อหา และต้องอ้างอึ้งถึ้งเจ้้าของเอกสารทุ้กครั้งท้ึม่การน้้าไปใ้

6.45 ด้านขวา แสดงความถี่ของจำนวนเซลล์ที่สูญเสียในแต่ละครั้ง พบว่าสำหรับรูปแบบการจราจรที่ใช้ในการทดลองนี้ (ที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น) จำนวนเซลล์ที่สูญเสียในแต่ละครั้งจะอยู่ในช่วง 25-30 เซลล์ ทั้ง 3 การทดลอง

รูปที่ 6.46 แสดงจำนวนเซลล์สูญเสียทั้งหมด ในช่วงเวลา 7 นาที ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ ใน Lab A จากการวัดค่าในช่วงเวลา 7 นาที จะเกิดเซลล์สูญเสียทั้งหมด 42,889 เซลล์ ใน Lab B มีเซลล์สูญเสียทั้งหมด 5,587 เซลล์ ใน Lab C มีเซลล์สูญเสียทั้งหมด 395 เซลล์

รูปที่ 6.47 ถึงรูปที่ 6.49 แสดงจำนวนเซลล์สูญเสีย ในช่วงนาทีที่ 1 ถึง 7 ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ เพื่อขยายให้เห็นถึงรายละเอียดของแต่ละช่วงเวลา แต่ใน Lab C มีปริมาณข้อมูลน้อยมาก จึงไม่สามารถนำมาพล็อตเป็นช่วงๆ ได้

รูปที่ 6.50 แสดงจำนวนเซลล์สูญเสีย ในช่วงนาทีที่ 1 ถึง 7 ของ Lab A, Lab B, และ Lab C ตามลำดับ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของจำนวนเซลล์สูญเสียในแต่ละการทดลอง ส่วนใน Lab C สามารถดูผลได้จาก ตารางที่ 6.1 จะชัดเจนกว่า

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อนำอัลกอริทึมแบบถ่วงน้ำหนักมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตบัพเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์เข้ามาใช้ จะสามารถลดอัตราส่วนการสูญเสียของเซลล์ (Cell Loss Ratio /CLR) ลงได้อย่างมาก โดยใน Lab A (ไม่มีการควบคุม) จะมีอัตราส่วนการสูญเสียของเซลล์เป็น 2.7197 % ส่วนใน Lab B (มีการควบคุม) จะมีอัตราส่วนการสูญเสียของเซลล์เป็น 0.3759 % และใน Lab C (ใช้โทเก้นบัพเฟอร์ร่วมกับบัพเฟอร์แจ้งเตือน) จะมีอัตราส่วนการสูญเสียของเซลล์เป็น 0.0268 %

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 บทนำ

ในการวิจัยเรื่องการควบคุมคุณภาพของแพคเกจบนเน็ตเวิร์กเลเยอร์สวิตช์ ผู้วิจัยได้เลือกเอา ไอพีสวิตช์ ซึ่งเป็นเน็ตเวิร์กเลเยอร์สวิตช์ที่โดดเด่นเพราะได้รวมเอาข้อดีของไอพีและฮาร์ดแวร์ของ เอทีเอ็มสวิตช์เข้าด้วยกัน โดยที่มีความซับซ้อนน้อยและให้ประสิทธิภาพสูง [24] มาเป็นตัวหลักในการศึกษาถึงการควบคุมคุณภาพของการให้บริการ (QoS) ในเน็ตเวิร์กเลเยอร์สวิตช์

การควบคุมคุณภาพของการให้บริการของไอพีสวิตช์กระทำกับส่วนของเอทีเอ็มสวิตช์ โดยควบคุมผ่านโพรโตคอลจีเอสเอ็มพี (GSMP) [2] และในปัจจุบันการควบคุมความคับคั่งทางการจราจร (Congestion Control) จะทำที่เอาท์พุทบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์ [28] ซึ่งหากใช้กับการจราจรที่มีความพุ่งพล่านสูง ก็จะเกิดเซลล์สูญหายได้ ซึ่งนอกจากจะทำให้คุณภาพของการให้บริการลดลงแล้ว ยังทำให้สถานีต้นทางต้องทำการส่งเซลล์ที่สูญหายนั้นกลับมาอีกครั้งหนึ่งก่อให้เกิดปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้น

จากพารามิเตอร์ที่สำคัญของการควบคุมคุณภาพของการให้บริการ (QoS) ที่กำหนดโดย ATM Forum [5] คือ อัตราส่วนของการสูญหายของเซลล์ (Cell Loss Ratio), เวลาหน่วงสูงสุดในการส่งมอบเซลล์ (Maximum Cell Transfer Delay), ความผันผวนเวลาหน่วงของเซลล์จากจุดสูงถึงจุดต่ำ (Peak-to-Peak Cell Delay Variation) ซึ่งถ้าสามารถควบคุมพารามิเตอร์เหล่านี้ได้แล้วก็จะได้คุณภาพของการให้บริการที่ต้องการได้

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงการควบคุมคุณภาพของการให้บริการ (QoS) ในไอพีสวิตช์โดยจะพิจารณาถึงค่าทางสมรรถภาพ (Performance Factor) ต่างๆ ของไอพีสวิตช์ เวลาหน่วง (Delay Time) ที่เกิดขึ้นในระบบ [25] และการควบคุม อัตราส่วนเซลล์สูญหาย (Cell Loss Ratio) โดยใช้ อัลกอริทึมแบบถังน้ำรั่ว (Leaky-Bucket Algorithm) ควบคุมที่อินพุทบัฟเฟอร์ (Input Buffer) ของเอทีเอ็มสวิตช์ ซึ่งจะสามารถควบคุมปริมาณการไหล (Flow) ที่มาจากแหล่งกำเนิด เพื่อไม่ให้เกินความสามารถของไอพีสวิตช์ที่จะรับได้ อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เซลล์สูญหาย

7.2 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น การวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของการให้บริการของไอพีสวิตช์ เราสามารถแยกออกเป็น 4 ปัจจัยดังนี้

1. เฟอร์เซ็นต์ของการไหลที่ได้รับบริการในเส้นทางแบบสวิตช์ (α_i)
2. ดิเลย์ที่เกิดขึ้นในเส้นทางแบบสวิตช์ (D_s)
3. ดิเลย์ที่เกิดขึ้นในเส้นทางแบบส่งผ่าน (D_f)
4. อัตราส่วนเซลสูญหาย (CLR)

7.2.1 เฟอร์เซ็นต์ของการไหลที่ได้รับบริการในเส้นทางแบบสวิตช์

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อวีซีเอสเปชมีขนาดใหญ่ขึ้น ความน่าจะเป็นในการกีดกันจะลดลง และด้วยเหตุนี้เฟอร์เซ็นต์ของการไหลที่ถูกสวิตช์ (α_i) จะเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการไหลที่เข้ามามีค่าน้อยมากจะไม่มีกรไหลถูกกีดกันที่วีซีเอสเปช และด้วยเหตุนี้เฟอร์เซ็นต์ของการไหลที่ถูกสวิตช์จึงมีค่าคงที่ ในกรณีนี้ขนาดของวีซีเอสเปชมีผลน้อยมากกับสมรรถภาพของไอพีสวิตช์ และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลที่เข้ามาความน่าจะเป็นในการกีดกันจะเพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว ซึ่งมีผลให้เฟอร์เซ็นต์ของการไหลที่ถูกสวิตช์มีค่าลดลง อันเป็นผลให้คุณภาพของการบริการลดลงไปด้วย

เมื่อการไหลที่เข้ามาส่วนใหญ่เป็นการไหลที่มีช่วงชีวิตยาวหรือมีแบนด์วิดท์สูง จะทำให้ตัวจำแนกการไหลตัดสินใจว่าการไหลที่เข้ามานี้จะควรได้รับการบริการในเส้นทางแบบสวิตช์ จึงทำให้จำนวนของวิธีในวีซีเอสเปชหมดลงเร็วกว่าการไหลที่มีช่วงชีวิตสั้นหรือมีแบนด์วิดท์ต่ำ แต่ก็เป็นผลดีต่อคุณภาพของการให้บริการของไอพีสวิตช์ เพราะการที่การไหลที่สร้างปริมาณการจราจรในเครือข่ายที่สูงนี้ถูกบริการในเส้นทางแบบสวิตช์ จะทำให้การไหลนี้ได้รับคุณภาพของการให้บริการที่สูง คุณภาพโดยรวมของการไหลในเครือข่ายจึงสูงตามไปด้วย แต่ทั้งหมดนี้จะต้องให้ไอพีสวิตช์ทั้งระบบสามารถรับมือกับปริมาณการจราจรที่สูง โดยไม่ให้เกิดความคับคั่ง (Congestion) ทางจราจรของเครือข่ายขึ้นได้ ซึ่งเป็นเหตุผลที่เรานำเอาอัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุตเฟิร์ทของเอทีเอ็มสวิตช์ เพื่อหลีกเลี่ยงความคับคั่งของการจราจร

สุดท้ายเมื่อกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการกีดกัน หรือเฟอร์เซ็นต์ของการไหลที่ถูกสวิตช์ที่เราต้องการแล้ว เราก็จะสามารถประเมินจำนวนวิธีในวีซีเอสเปชที่ต้องการใช้ในระบบได้อย่างถูกต้อง

7.2.2 ดีเลย์ที่เกิดขึ้นในเส้นทางแบบสวิทช์

พารามิเตอร์ที่มีผลต่อดีเลย์ที่เกิดขึ้นในเส้นทางแบบสวิทช์ (D_s) คือ ความเร็วในการให้บริการของเอทีเอ็มสวิทช์ (η_A) และ ขนาดของบัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิทช์ (S) จากผลการทดลองพบว่า η_A ยิ่งมีค่าสูงจะทำให้ D_s มีค่าลดลง และถ้าขนาดของ S เพิ่มขึ้นจะทำให้ D_s เพิ่มขึ้นด้วย

การทำให้ D_s มีค่าต่ำลงเป็นผลดีต่อคุณภาพในการให้บริการของไอพีสวิทช์ เพราะว่าในการใช้งานไอพีสวิทช์ให้มีประสิทธิภาพสูงนั้นการไหลส่วนใหญ่จะต้องได้รับการในเส้นทางแบบสวิทช์ (เป็นการไหลที่มีช่วงชีวิตยาวหรือมีแบนด์วิดท์สูง) และในปัจจุบันการเพิ่มค่า η_A ทำได้ง่ายกว่าการเพิ่มค่าความเร็วในการให้บริการของไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์ η_f [1] เนื่องจากไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์โครงสร้างของมันประกอบขึ้นจากตัวประมวลผลกลาง (CPU) ทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์หาเส้นทาง (เหมือนกับตัวหาเส้นทางต่างๆ ไป)

แต่การเพิ่มขนาดของบัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิทช์ S นั้นไม่เป็นผลดีต่อเวลาในการให้บริการในเส้นทางแบบสวิทช์แต่จะเป็นผลดีต่ออัตราการสูญหายของเซลล์แทน แต่การลดอัตราการสูญหายของเซลล์โดยเพิ่มขนาดของบัฟเฟอร์ให้ใหญ่ขึ้น นั้นไม่เป็นผลดีต่อระบบ เพราะถ้ามีบัฟเฟอร์ที่มีขนาดที่ใหญ่มาก จำนวนเซลล์ที่รอการบริการอยู่ในบัฟเฟอร์ก็จะยิ่งมาก ทำให้เวลาในการให้บริการสูงขึ้นเกิดดีเลย์ในการบริการสูงขึ้นตามมา และเนื่องจากทุกๆ เซลล์มีช่วงชีวิตของมันในการเดินทาง และหากเกินช่วงเวลานี้ก็จะทำให้สถานีต้นทางที่เป็นเจ้าของเซลล์ทำการส่งเซลล์นี้มาซ้ำ โดยที่คิดว่าเซลล์นี้สูญหายไปแล้ว (ทั้งที่ยังอยู่ในบัฟเฟอร์) ก็ยิ่งเป็นการเพิ่มความคับคั่งในเครือข่ายให้สูงขึ้น

7.2.3 ดีเลย์ที่เกิดขึ้นในเส้นทางแบบส่งผ่าน

พารามิเตอร์ที่มีผลต่อดีเลย์ที่เกิดขึ้นในเส้นทางแบบส่งผ่าน (D_f) คือ ความเร็วในการให้บริการของไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์ (η_f) และ ขนาดของบัฟเฟอร์ในไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์ (C) ส่วนความเร็วในการให้บริการของเอทีเอ็มสวิทช์ (η_A) และ ขนาดของบัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ตของเอทีเอ็มสวิทช์ (S) นั้นจากผลการทดลองพบว่าทั้ง η_A และ S มีผลน้อยมากต่อ D_f

แม้ว่าดีเลย์ที่เกิดขึ้นในเส้นทางแบบส่งผ่าน (D_f) จะมีค่าสูงกว่า ดีเลย์ที่เกิดขึ้นในเส้นทางแบบสวิทช์ (D_s) ก็ตาม (จากผลการทดลองประมาณ 10-50 เท่า) แต่ในความเป็นจริงแล้วในการทำงานของไอพีสวิทช์การไหลที่เข้ามาส่วนใหญ่จะได้รับการในเส้นทางแบบสวิทช์ตามที่ได้มีการศึกษาไว้ใน [7] ทำให้ดีเลย์เฉลี่ยของระบบมีค่าใกล้เคียงกับ D_s

การเพิ่มค่า η_f จะทำให้ D_f ลดลงแต่การเพิ่มค่า η_f ของไอพีสวิทช์คอนโทรลเลอร์นั้นทำได้ไม่ถนัดนักดังที่กล่าวมาแล้ว เพราะเป็นการเพิ่มความเร็วในการทำงานของซอฟต์แวร์และความเร็วของตัวประมวลผลกลาง ในส่วนของ S ค่า S ที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดดีเลย์สูงขึ้นตามมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารของศูนย์วิจัยเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.4 อัตราส่วนเซลล์สูญหาย

จากผลการทดลองพบว่าปริมาณการจราจรที่ Link3 ในการทดลองที่ใช้อัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุทบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์นั้น จะมีปริมาณการจราจรที่ลดลง แต่การลดลงนั้นไม่ได้ลดลงในแบบแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ทั้งนี้เป็นเพราะว่าอัลกอริทึมที่นำมาใช้ไม่ได้ลดปริมาณการจราจรที่มาจากสถานีต้นทางโดยถาวร แต่มันจะอนุญาตให้สถานีต้นทางเพิ่มปริมาณการจราจรขึ้น เมื่อความคับคั่งที่เอทีเอ็มสวิตช์หมดไปแล้ว จึงทำให้ในเวลาต่อมาปริมาณการจราจรก็จะเพิ่มขึ้น วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่ใช้แบนด์วิดท์ได้อย่างคุ้มค่า

ในกรณีของอัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุทบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์แบบโทเก้นบัฟเฟอร์ร่วมกับบัฟเฟอร์แข็งเดื่อนั้น จะพบว่ามีความไวต่อปริมาณการจราจรที่เข้ามา มากกว่าในแบบอินพุทบัฟเฟอร์ ทั้งนี้เป็นเพราะไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์จะทำการเจรจา กับสถานีต้นทางเพื่อลดปริมาณการจราจรในทันทีที่ $B_A > 0$

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อนำอัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุทบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์เข้ามาใช้ จำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ได้ลดลงอย่างมาก จากที่ไม่มีบัฟเฟอร์ว่างกลายเป็นมีบัฟเฟอร์ว่างอยู่ประมาณ 10-12 % ของช่วงเวลาทั้งหมด

ความแตกต่างระหว่าง Lab B กับ Lab C ก็คือความถี่ของจำนวนเซลล์ที่ตกค้างที่อินพุทบัฟเฟอร์ของ Lab B อยู่ในช่วงบน ส่วนใน Lab C อยู่ในช่วงล่าง และที่ 2000 เซลล์ Lab B มีอยู่ประมาณ 4 % ขณะที่ Lab C มีค่าอยู่ที่ไม่ถึง 1 %

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อนำอัลกอริทึมแบบดึงน้ำรั่วมาใช้ควบคุมการจราจรที่อินพุทบัฟเฟอร์ของเอทีเอ็มสวิตช์เข้ามาใช้ จะสามารถลดอัตราส่วนการสูญหายของเซลล์ (Cell Loss Ratio /CLR) ลงได้อย่างมาก โดยใน Lab A พบว่ามีเซลล์สูญหายในปริมาณที่สูงมากเมื่อมีการจราจรเข้ามาที่เอทีเอ็มสวิตช์อย่างหนาแน่น จากการวัดค่าในช่วงเวลา 7 นาที จะเกิดเซลล์สูญหายทั้งหมด 42,889 เซลล์ จากจำนวน 1,577,002 เซลล์ ที่สถานีต้นทางส่งยังเอทีเอ็มสวิตช์ คิดเป็นร้อยละ 2.7197 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนเซลล์ที่ส่งมา ใน Lab B จะเกิดการสูญหายของเซลล์อยู่บ้างแต่ไม่หนาแน่นเท่า Lab A โดยมีเซลล์สูญหายทั้งหมด 5,587 เซลล์ จากจำนวน 1,486,161 เซลล์ ที่สถานีต้นทางส่งยังเอทีเอ็มสวิตช์ คิดเป็นร้อยละ 0.3759 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนเซลล์ที่ส่งมา ใน Lab C การสูญหายของเซลล์เกิดขึ้นน้อยมากๆ แทบว่าจะไม่สูญหายเลย โดยมีเซลล์สูญหายทั้งหมด 395 เซลล์ จากจำนวน 1,471,961 เซลล์ ที่สถานีต้นทางส่งยังเอทีเอ็มสวิตช์ คิดเป็นร้อยละ 0.0268 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนเซลล์ที่ส่งมา

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปช่วยในการออกแบบไอพีสวิตช์ที่มีการควบคุมคุณภาพในการให้บริการได้ โดยพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพในการให้บริการของไอพีสวิตช์ ไม่ว่าจะเป็น เปอร์เซ็นต์ของการไหลที่ให้บริการในเส้นทางแบบสวิตช์ (α_i), ดีเลย์ที่เกิดขึ้นในเส้นทางแบบสวิตช์ (D_i), ดีเลย์ที่เกิดขึ้นในเส้นทางแบบส่งผ่าน (D_f), และอัตราส่วนเซลล์สูญหาย (CLR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Newman et al., "IP Switching-ATM Under IP", IEEE/ACM Trans. Networking, Apr. 1998, vol. 6, no. 2, pp. 117-129.
- [2] P. Newman et al., "Ipsilon's General Switch Management Protocol Specification Version 1.1", IETF RFC 1987, Aug. 1996.
- [3] Constantin M. Adam et al., "QOS Extensions to GSMP Draft Version", OPENSIG-DRAFT, May 1997
- [4] P. Newman et al., "Ipsilon Flow Management Protocol Specification for IPv4," IETF RFC 1953, May 1996.
- [5] W. Stallings "High-Speed Networks: TCT/IP and ATM Design Principles", Prentice Hall, 1998
- [6] D. Gross "Fundamentals of Queuing Theory", 3rd Edition, John Wiley & Sons, 1998
- [7] S. Lin and McKcown, "A Simulation Study of IP Switching", in Proc, ACM SIGCOMM, Cannes, France, Sept. 1997, pp. 15-24.
- [8] P. Newman et al., "Transmission of Flow Labelled IPv4 on ATM Data Links," IETF RFC 1954, May 1996.
- [9] Y. Katsube, K. Nagami, and H. Esaki, "Toshiba's router architecture extensions for ATM: Overview," IETF RFC 2098, Feb. 1997.
- [10] Y. Rekhter et al., "Cisco Sytems' tag switching architecture overview," IETF RFC 2105, Feb. 1997.
- [11] R. Braden et al., "Resource ReSerVation Protocol Version 1 functional specification," IETF Internet Draft, draft-ietf-rsvp-spec-16.ps, Jun. 1997.
- [12] R. Woundy, "ARIS: Aggregate route-based IP switching," IETF Internet Draft, draft-woundy-aris-ipswitching-00.txt, Nov. 1996.
- [13] L. Zhang et al., "RSVP: A new resource ReSerVation Protocol," IEEE Network Mag., Sep. 1993, 8-18.
- [14] M. Laubach, "Classical IP and ARP over ATM," IETF RFC 1577, Jan. 1994.
- [15] C. Perkins and J. Crowcroft, "Real-time audio and video transmission of IEEE Globecom '96 over the Internet (MBONE)," Proc. Engineer Conf., Network+Interop, Las Vegas, E 5, May 1997.

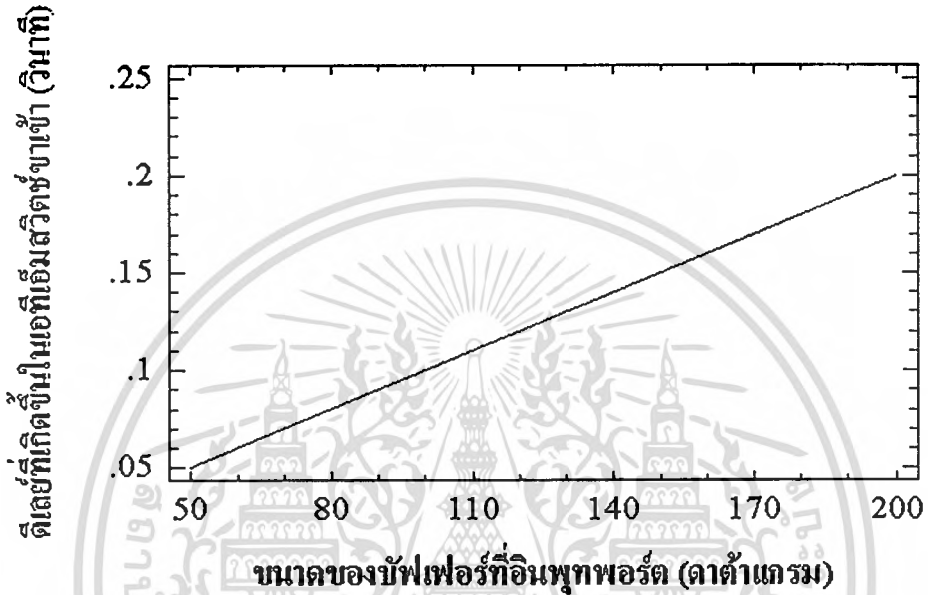
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] G. Parulkar, D. C. Schmidt, J. S. Turner, "IP/ATM: A strategy for integrating IP with ATM," In Proc. ACM SIGCOMM, Cambridge MA, Sep. 1995, page 49. 1997.
- [17] C. Partridge et al., "A fifty gigabit per second IP router," submitted to IEEE/ACM Trans. Networking.
- [18] J. V. Luciani, D. Katz, D. Piscitello, and B. Cole, "NBMA next hop resolution protocol (NHRP)," IETF Internet Draft, draft-ietf-rolc-nhrp-11.txt, Mar. 1997.
- [19] "LAN emulation over ATM (LANE)," The ATM Forum, version 1.0, Jan. 1995.
- [20] P. Newman, G. Minshall, T. Lyon, and L. Huston, "IP switching and gigabit routers," IEEE Commun. Mag., Jan. 1997.
- [21] P. Newman, T. Lyon, G. Minshall, "Flow labelled IP: A connectionless approach to ATM," Proc. IEEE Infocom, San Francisco, Mar. 1996, 1251-1260.
- [22] "Multiprotocol over ATM Specification," The ATM Forum, version 1.0, Jul. 1997.
- [23] J. Heinanen and R. Govindan, "NBMA address resolution protocol (NARP)," IETF RFC 1735, Dec. 1994.
- [24] D. Minoli and A. Schmidt, "Network Layer Switched Services", John Wiley & Sons, 1998
- [25] J. Zheng and V.O.K. Li, "Performance Modeling and Analysis of IP Switching",
- [26] W. Stallings, "Data and Computer Communications", 5th Edition, Prentice Hall, 1997
- [27] Andrew S. Tanenbaum, "Computer Network", 3rd Edition, Prentice Hall, 1996
- [28] N. Golmie et al., "The NIST ATM/HFC Network Simulator Operation and Programming Guide", Version 4.0, Dec. 1998

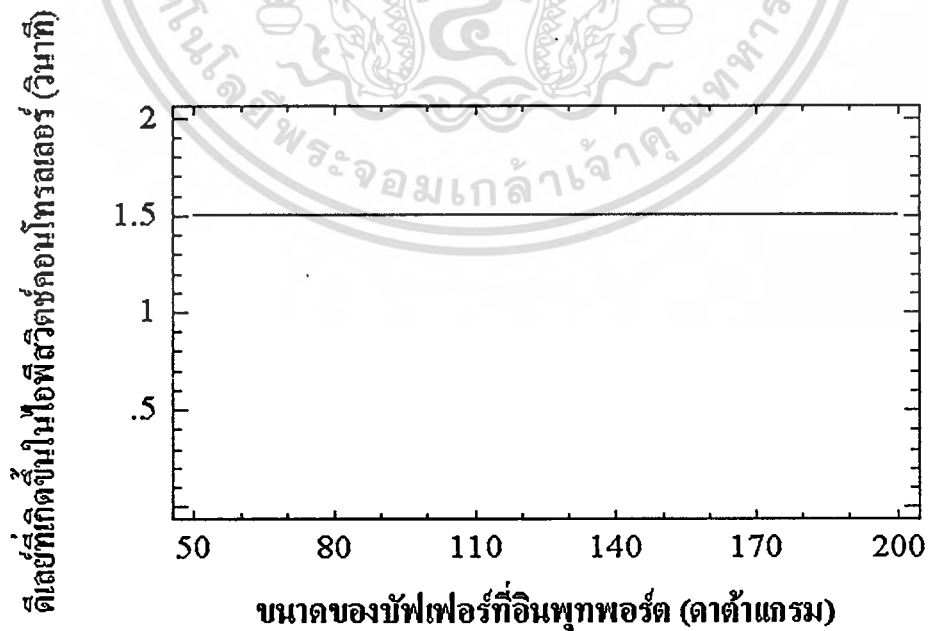
ภาคผนวก

ก. ขนาดของบัฟเฟอร์ที่อินพุทพอร์ตที่มีผลต่อดีเลย์ในระบบ

โดยที่ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, C = 300$

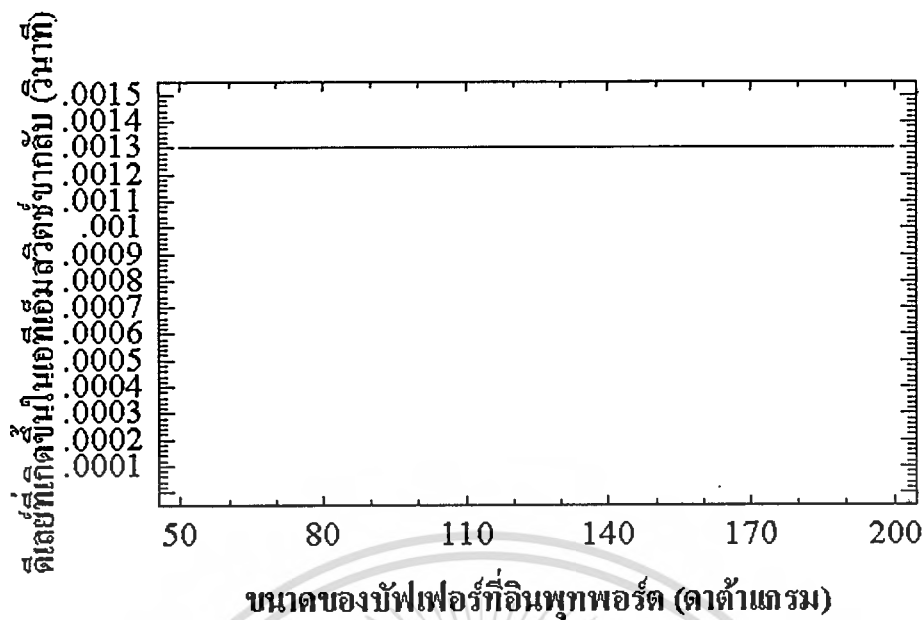


รูปที่ก.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{S1} กับขนาดของ S

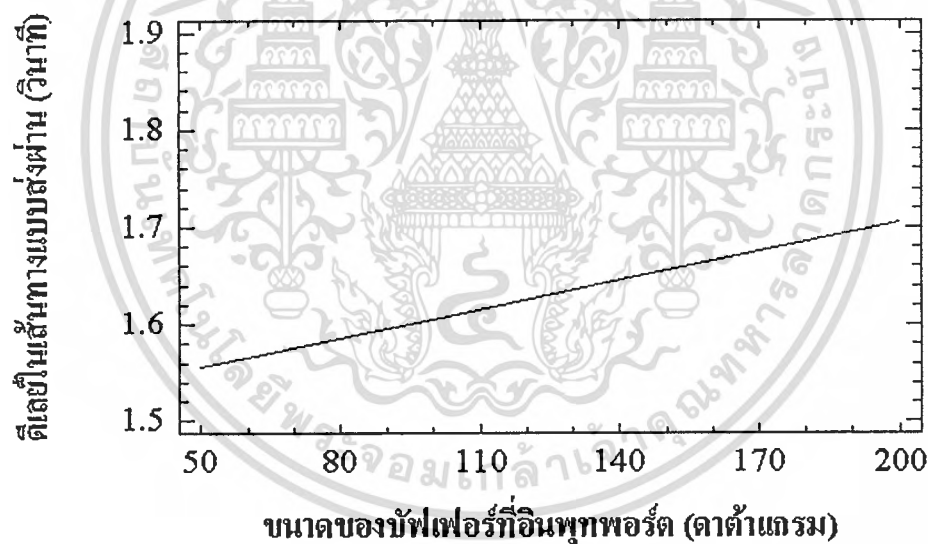


รูปที่ก.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{S2} กับขนาดของ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



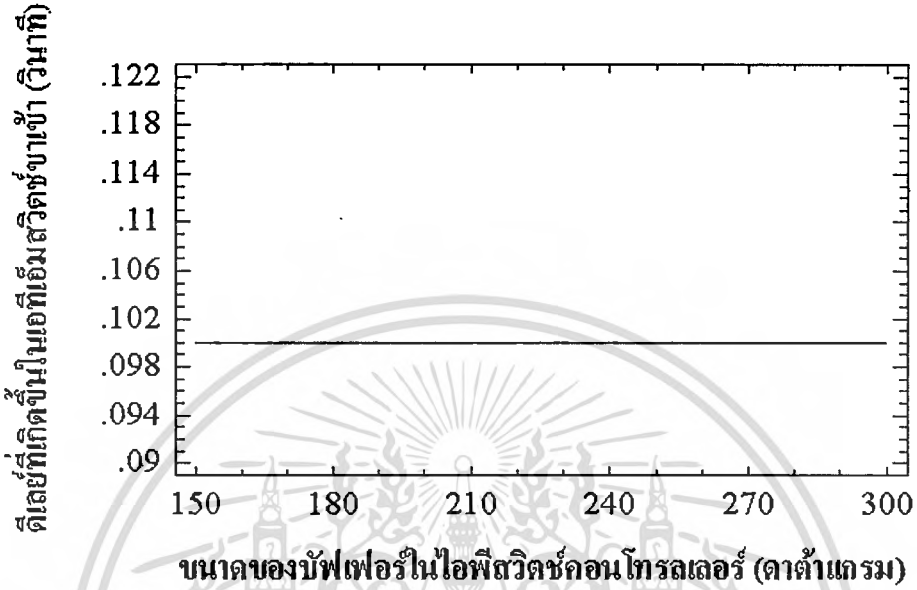
รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{33} กับขนาดของ S



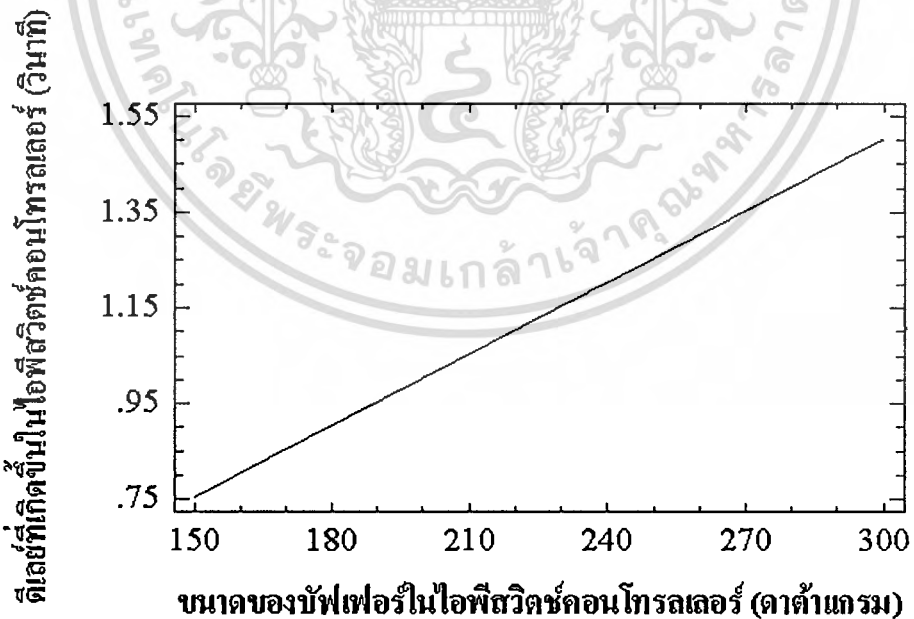
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง D_f กับขนาดของ S

ข. ขนาดของบัฟเฟอร์ในไอพีสวิตช์คอนโทรลเลอร์ที่มีผลต่อดีเลย์ในระบบ

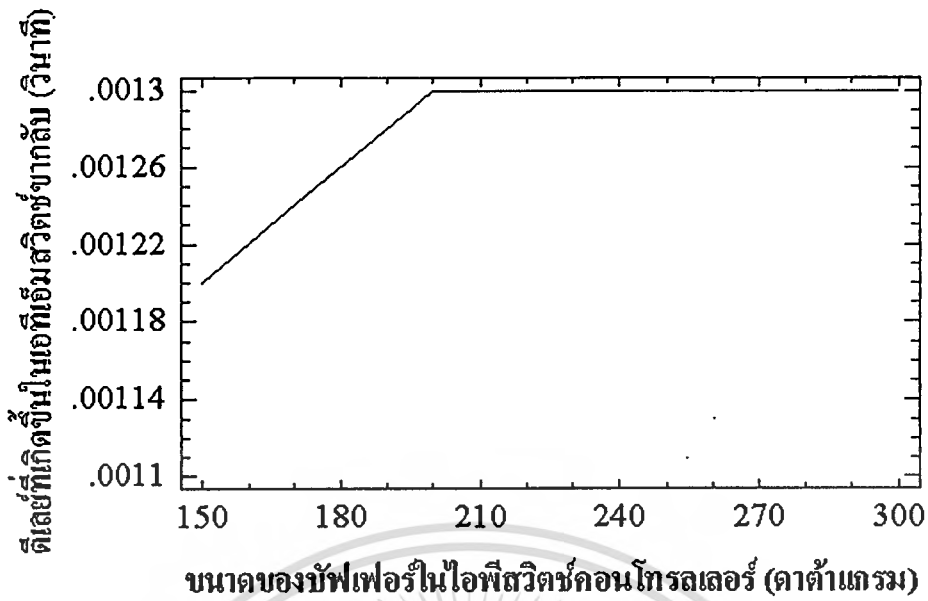
โดยที่ $\eta_A = 1000, \eta_f = 200, S = 100$



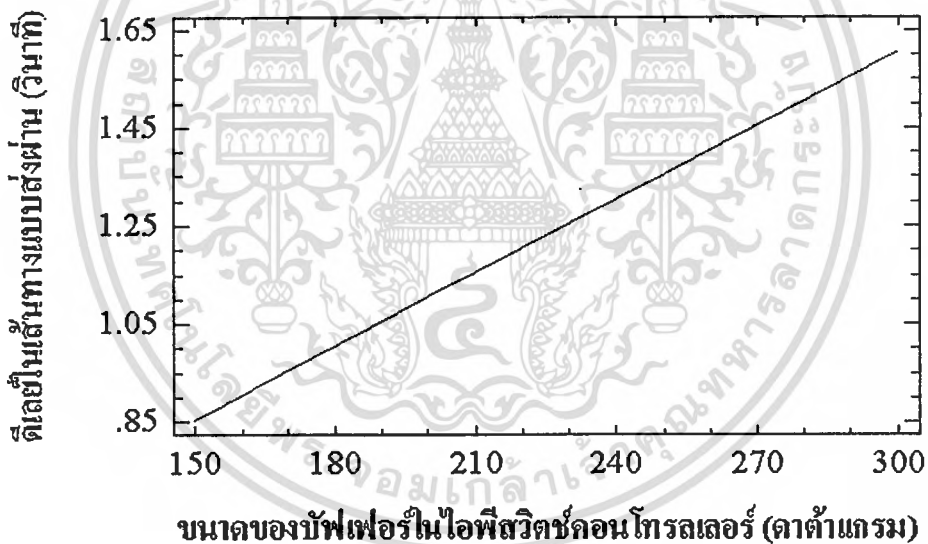
รูปที่ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{S1} กับขนาดของ C



รูปที่ข.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{S2} กับขนาดของ C



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{s3} กับขนาดของ C



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง D_r กับขนาดของ C

ประวัติผู้เขียน

นายชนะธิป รักชลธิ เกิดเมื่อวันที่ 13 กันยายน 2515 ที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2538 และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (อิเล็กทรอนิกส์) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ ปีการศึกษา 2535

ปี พ.ศ. 2539 เข้ารับราชการในตำแหน่ง นักวิชาการคอมพิวเตอร์ 3 สังกัดสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง จนได้ระดับ 4 และตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 จนถึงปัจจุบันเป็นอาจารย์พิเศษ ในสถาบันราชภัฏพระนคร และมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

