

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงสมรรถนะให้กับสวิตชิงแบบแพ็กเกตทางแสงที่มี
บัฟเฟอร์ร่วมทางแสงด้วยเทคนิคการกำหนดบุริมสิทธิ์

IMPROVEMENTS ON PERFORMANCE OF PHOTONIC PACKET
SWITCHING WITH OPTICAL PARTIALLY SHARED BUFFER
BY PRIORITY ASSIGNMENTS TECHNIQUE



จिरากร ศรีคุณ
CHIRAKORN SRIKOON

เลขทศ.....
เลขทะเบียน... 47515
วัน, เดือน, ปี... 19 ส.ค. 2546

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในหอสมุดที่โอนสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**IMPROVEMENTS ON PERFORMANCE OF PHOTONIC PACKET
SWITCHING WITH OPTICAL PARTIALLY SHARED BUFFER
BY PRIORITY ASSIGNMENTS TECHNIQUE**



**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**

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ ISBN 974 - 324 - 228 - 7 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงสมรรถนะให้กับสวิตชิงแบบแพ็กเกตทางแสงที่มี บัฟเฟอร์ร่วมทางแสงด้วยเทคนิคการกำหนดบุริมสิทธิ
นักศึกษา	นายจิรากร ศรีคุณ
รหัสประจำตัว	42061077
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผ.ศ.ดร.สุทธิชัย นพนาศิพงษ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเทคนิคและการวิเคราะห์การปรับปรุงสมรรถนะให้กับสถาปัตยกรรมการสวิตซ์ทางแสงแบบแพ็กเกตสวิตซ์ทางแสง โดยจะเน้นถึงการลดการประวิงของแพ็กเกตข้อมูลแสงภายในระบบการสวิตซ์ลง ซึ่งการประวิงนี้เกิดขึ้นจากการนำเอาบัฟเฟอร์ทางแสงมาใช้งานเพื่อรองรับข้อมูลแสงที่อาจจะเกิดการสูญหายไปอันเนื่องมาจากเกิดการชนงันกันของข้อมูลขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประวิงที่เกิดจากแพ็กเกตแสงที่ถูกส่งอยู่ระหว่างสวิตซ์และแชร์บัฟเฟอร์มากกว่า 1 รอบ หรือเรียกแพ็กเกตแสงชนิดนี้ว่า “แพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด” ซึ่งหากแพ็กเกตแสงดังกล่าวเป็นแพ็กเกตแสงที่มีระดับความสำคัญของข้อมูลสูง ก็จะส่งผลกระทบต่อให้สมรรถนะของระบบการสวิตซ์ลดลง ทั้งนี้ยังได้นำเสนอโครงสร้างการจัดการการลัดคิวให้กับแพ็กเกตแสงอย่างง่าย ด้วยการใส่เส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงเป็นส่วนประกอบหลัก ที่ทำให้สามารถลัดคิวแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดไปได้โดยที่ไม่มีการสูญหายของแพ็กเกตแสงเกิดขึ้นที่แชร์บัฟเฟอร์ ด้วยเทคนิคนี้จะสามารถลดการประวิงของแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดลงได้โดยมีผลกระทบต่อการทำงานประวิงโดยรวมของแพ็กเกตข้อมูลแสงอื่นๆน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Improvements on performance of photonic packet switching with optical partially shared buffer by priority assignments technique.
Student	Mr. Chirakorn Srikoon
Student ID	42061077
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Suthichai Noppanakepong

ABSTRACT

This thesis should introduce the technique and analysis of improving performance for optical packet switching architecture, by emphasizing upon optical data packet delay reduction. Delay was generated from the optical buffer that used for serving the contending packets which might be loss from contention, especially the "worst delay packet" that re-circulated between switch and shared buffer of more than 1 time. If this optical packet is very important, the degradation of the switching system was occurred. The article also introduce the simple queuing structure by using fiber delay lines as the main component to evade the "worst delay packet" without any packet loss at the shared buffer. Because of this technique, the delay of "worst delay packet" should be reduced with fewer side effects to overall delay of the other packets.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี ด้วยการให้คำปรึกษาและคำแนะนำแนวทางในการทำวิจัย ประกอบกับเชื้ออำนวยการวิจัย ตลอดจนตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาวิทยานิพนธ์จาก ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาศิพงษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ บิดาและมารดา นายโกมุท ศรีคุณ และนางอัญชติ ศรีคุณ ที่ได้อบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจอย่างใกล้ชิดมาโดยตลอดจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ นางสาวสมปอง วรรณระถาวรเดช และ นางสาวจุฑามาศ ศรีคุณ ที่ช่วยเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมา จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัท ทศท. คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ที่ให้โอกาสผู้วิจัยสามารถทำการวิจัยได้อย่างเต็มเวลา

ขอขอบคุณพี่ๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

จิรากร ศรีคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	XIV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 แนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา	2
1.5 โครงร่างวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสถาปัตยกรรมการสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเกตสวิตช์.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 ทำไมต้องเป็นแพ็กเกตสวิตช์ทางแสง.....	4
2.2.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการแปลงและไม่แปลงสัญญาณ.....	5
2.2.1.1 การแปลงสัญญาณจาก แสง-ไฟฟ้า-แสง (OEO).....	5
2.2.1.2 การใช้สัญญาณทางแสงเพียงอย่างเดียว (OOO).....	6
2.3 ความแตกต่างในการประวิงของแพ็กเกตที่พบได้ในสวิตช์ทางแสงแบบ	7
แพ็กเกตสวิตช์	
2.3.1 การประวิงที่ไม่เท่ากันของแพ็กเกตระหว่างโหนดต่างๆในโครงข่าย.....	7
2.3.2 การประวิงที่ไม่เท่ากันของแพ็กเกตภายในโหนดของสวิตช์.....	8
2.4 ฟังก์ชันการทำงานที่สำคัญของแพ็กเกตสวิตช์ทางแสง.....	9
2.5 สถาปัตยกรรมต่างๆของแพ็กเกตสวิตช์ทางแสง.....	9
2.6 ประเภทของโครงข่ายการสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเกตสวิตช์.....	10
2.6.1 โครงข่ายแบบร่อง (Slotted network)	10
2.6.2 โครงข่ายแบบไม่มีร่อง (Unslotted network)	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 โครงสร้างของสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเกตสวิตช์.....	12
2.8 การทำการเข้าจังหวะกัน (synchronization) ของโครงข่ายแบบร่อง.....	12
2.8.1 ผลกระทบที่เกิดจากรูปแบบของแพ็กเกตทางแสง.....	12
2.8.2 วิธีการทำการเข้าจังหวะ (synchronization schemes).....	15
2.9 การทำการเข้าจังหวะและการทำการแยกรายละเอียดของแพ็กเกตของ โครงข่ายแบบไม่มีร่อง.....	17
2.10 การแก้ปัญหาการชนกันของข้อมูล.....	17
2.10.1 การทำบัฟเฟอร์ทางแสง.....	17
2.10.2 การกำหนดเส้นทางการเหของแพ็กเกตข้อมูลแสง.....	19
2.10.3 การเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นแสง.....	19
2.11 การแบ่งประเภทของแพ็กเกตสวิตช์ทางแสง.....	19
2.11.1 สวิตช์แบบขั้นเดียว (single stage switches).....	20
2.11.1.1 OASIS (single stage, feed-forward delays).....	20
2.11.1.2 Broadcast-and-select switch (single stage, feed-forward delays)	20
2.11.1.3 Multiwavelength loop (single stage, feedback delays)	22
2.11.1.4 SMOP (shared memory optical packet switch) (single stage, feedback delays)	22
2.11.2 สวิตช์แบบหลายระดับขั้น (multistage switches).....	23
2.11.2.1 Wave-mux (multistage, feed-forward delays).....	23
2.11.2.2 Cascaded 2 x 2 switches (multistage, feed-forward delays)	25
2.11.2.3 Switch with large optical buffers (SLOB) (multistage, feed-forward delays)	27
บทที่ 3 บัฟเฟอร์ทางแสง.....	29
3.1 กล่าวนำ.....	29
3.2 หลักการทำงานของบัฟเฟอร์ทางแสง.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 สถาปัตยกรรมบัฟเฟอร์ทางแสงที่ใช้ FDL แบบต่างๆ 30 (แบ่งตามลักษณะทางโครงสร้าง)	
3.3.1 Fixed delay line หรือ Feed-forward delay line 31	
3.3.2 Variable delay line หรือ Feedback delay line 31	
3.3.3 Hybrid delay line 32	
3.4 สถาปัตยกรรมบัฟเฟอร์ทางแสงที่ใช้ FDL แบบต่างๆ 32 (แบ่งตามลักษณะการทำงาน)	
3.4.1 Feed-forward delay line 32	
3.4.2 Feedback delay line 33	
3.5 ตัวอย่างบัฟเฟอร์แบบป้อนไปข้างหน้า (feed – forward) 33	
3.6 ตัวอย่างบัฟเฟอร์แบบป้อนไปข้างหลัง (feed – backward) 34 หรือ fiber loop buffer memory	
3.7 ตัวอย่างของเส้นใยแก้วนำแสงที่ถูกนำมาใช้เป็น FDL ที่มีใช้งานจริง 35	
3.7.1 คุณลักษณะที่สำคัญ 36	
3.7.2 การนำไปใช้งาน 36	
3.7.3 คุณสมบัติทางเทคนิค 36	
บทที่ 4 แพ็กเกตสวิตช์ทางแสงที่มีการปรับปรุงสมรรถนะด้วยบัฟเฟอร์ทางแสง 37	
4.1 กล่าวนำ 37	
4.2 ปัญหาสำคัญที่พบได้ในสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเกตสวิตช์ 37	
4.3 การแก้ปัญหาการสูญหายไปของแพ็กเกต 37	
4.4 โครงสร้างและหลักการทำงานของสวิตช์ทางแสงที่มีการแก้ปัญหา..... 38 การสูญหายไปของข้อมูลด้วยพาร์เทียลลีแชร์บัฟเฟอร์	
4.5 การวิเคราะห์การสวิตช์แบบแพ็กเกตสวิตช์ทางแสง 40	
4.5.1 เงื่อนไขที่ทำให้เกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด 40	
4.5.2 แนวคิดในการแก้ไขแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด 40	
4.5.3 แนวทางในการแก้ปัญหาการประวิงของแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด.. 41	
4.5.3.1 โครงสร้างแพ็กเกตหรือรีดอร์ริงทางแสงแบบสายประวิงคงที่.... 42 (fixed delay line)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.3.2 โครงสร้างแพ็กเก็ตหรือออร์เดอร์ริงทางแสงแบบสายประวิง.....	43
แบบปรับเปลี่ยนได้ (variable delay line)	
4.6 ทฤษฎีและการคำนวณ.....	44
4.6.1 การกำหนดบริมสัทธาให้กับข้อมูลแพ็กเก็ต.....	45
4.6.2 ตัวอย่างการคำนวณการประวิงเมื่อไม่มีการลัดคิวเทียบกับเมื่อ.....	47
มีการลัดคิวให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดตามทฤษฎี	
บทที่ 5 การวิเคราะห์สมรรถนะของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ใช้	51
พาร์เชียลลิเชอร์บัพเฟอร์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์	
5.1 กล่าวนำ.....	51
5.2 แบบจำลองระบบแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	51
5.3 แบบจำลองการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์.....	52
5.4 การวิเคราะห์เอาต์พุตบัพเฟอร์.....	54
5.5 การวิเคราะห์บัพเฟอร์แบบพาร์เชียลลิเชอร์บัพเฟอร์.....	57
5.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธีการค่าเฉลี่ยในการกำหนดบริมสัทธาให้กับ.....	63
แพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด	
5.7 แผนภูมิโปรแกรมการคำนวณเพื่อวิเคราะห์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์.....	63
5.8 ผลการทดลอง.....	66
5.8.1 ผลการทดลองของสวิตช์ที่ใช้เอาต์พุตบัพเฟอร์.....	67
5.8.2 ผลการทดลองของสวิตช์ที่ใช้บัพเฟอร์แบบพาร์เชียลลิเชอร์บัพเฟอร์.....	69
5.9 สรุปผลการทดลอง.....	78
บทที่ 6 การวิเคราะห์สมรรถนะของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ใช้บัพเฟอร์ทางแสงแบบ	82
พาร์เชียลลิเชอร์บัพเฟอร์ด้วยวิธีการจำลองแบบการทำงานของระบบ	
6.1 กล่าวนำ.....	82
6.2 ระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	82
6.3 อัลกอริทึมของโปรแกรม.....	85
6.3.1 การทำงานของโปรแกรมจำลองแบบหลัก.....	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.3.2 การทำงานของโปรแกรมย่อยการจำลองการทำงานของแพ็กเกต.....	88
ทางแสงทั้งที่มีการกำหนดบุริมสิทธิและไม่มีกำหนดบุริมสิทธิ	
6.3.3 การทำงานของโปรแกรมย่อยการสร้างการเข้ามาถึงของแพ็กเกต	88
แบบสุ่ม	
6.3.4 การทำงานของโปรแกรมย่อยของเอาต์พุตบัฟเฟอร์และเซิร์ฟบัฟเฟอร์.....	88
ที่มีการทำงานในแบบ FIFO (first in first out)	
6.3.5 การทำงานของโปรแกรมย่อยสวิตช์	88
6.3.6 การทำงานของโปรแกรมฟังก์ชันย่อย กรณี N	91
6.3.7 การทำงานของโปรแกรมฟังก์ชันย่อย กรณี Recir N.....	91
6.3.8 โปรแกรมย่อยการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด.	92
(แบบสายประวิงคงที่)	
6.3.9 โปรแกรมย่อยการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด.	94
(แบบสายประวิงปรับเปลี่ยนได้)	
6.4 ผลการทดลอง.....	95
6.5 สรุปผลการทดลอง.....	111
บทที่ 7 บทสรุป.....	114
7.1 กล่าวนำ.....	114
7.2 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีทาง	115
คณิตศาสตร์กับผลที่ได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	
7.3 ปัญหาที่พบและแนวทางการพัฒนาต่อไป	116
เอกสารอ้างอิง.....	118
ภาคผนวก.....	121
ก. ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	122
ข. ตัวอย่างอุปกรณ์ทางแสง.....	123
ประวัติผู้เขียน.....	133

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การสวิตช์ทางแสงเบื้องต้น.....	5
2.2 การสวิตช์ที่มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณข้อมูลจาก แสง-ไฟฟ้า-แสง.....	6
2.3 การสวิตช์ทางแสงเพียงอย่างเดียวโดยไม่มี การแปลงสัญญาณข้อมูล.....	7
2.4 โครงสร้างและองค์ประกอบที่สำคัญของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง.....	9
2.5 สถาปัตยกรรมแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงแบบ Shared medium และแบบ Interchanger.....	10
2.6 โครงข่ายแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงแบบวง.....	11
2.7 โครงข่ายแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงแบบอ้อม.....	11
2.8 การทำการเข้าจังหวะของแพ็กเก็ตข้อมูลภายในโครงข่ายแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง.....	13
2.9 รูปแบบที่เป็นไปได้ของแพ็กเก็ต ซึ่งใช้สำหรับกำหนดวิธีการเข้าจังหวะ.....	13
2.10 การเข้าจังหวะของแพ็กเก็ตแสงที่ด้านอินพุตของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง.....	15
2.11 การเข้าจังหวะโดยการใช้การเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นแสง และเส้นใยแก้วนำแสงแบบมีการแพร่กระจายตามความถี่สูง	16
2.12 บัฟเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมสวิตช์ OASIS.....	21
2.13 บัฟเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมสวิตช์ broadcast-and-select.....	21
2.14 บัฟเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมสวิตช์ multiwavelehgth loop.....	22
2.15 บัฟเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมสวิตช์ shared memory optical packet switch....	23
2.16 (a) บัฟเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมสวิตช์ wave-mux.....	24
2.16 (b) ขั้นตอนการทำ IGM.....	24
2.16 (c) การจัดเรียงลำดับใน IGM.....	24
2.16 (d) การทำงานของ OGM.....	25
2.17 (a) มอดูล track changer (TC) สำหรับ COD.....	25
2.17 (b) มอดูลแบบ track changer คู่ (TTC) สำหรับ COD.....	26
2.18 บัฟเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมการสวิตช์ switched delay line (SDL).....	26
2.19 บัฟเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมการสวิตช์ logarithmic delay line (LDL).....	27
2.20 บัฟเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมสวิตช์ switched with large optical buffer (SLOB).....	27
3.1 ลักษณะการจัดเรียงลำดับของแพ็กเก็ตแสงภายในบัฟเฟอร์ทางแสง.....	30
3.2 บัฟเฟอร์ทางแสงแบบ Fixed delay line หรือ Feed-forward delay line.....	31
3.3 บัฟเฟอร์ทางแสงแบบ Variable delay line หรือ Feedback delay line.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 แสดงบัพเฟอร์ทางแสงแบบไฮบริด (hybrid).....	32
3.5 แสดงลักษณะการทำงานของ feed-forward delay line.....	32
3.6 แสดงลักษณะการทำงานของ feed-backward delay line.....	33
3.7 แสดงตัวอย่างบัพเฟอร์ทางแสงแบบป้อนไปข้างหน้า (feed-forward).....	34
3.8 แสดงตัวอย่างบัพเฟอร์ทางแสงแบบป้อนวนกลับหลัง (feed-backward).....	35
3.9 แสดงเส้นใยแก้วนำแสงที่ถูกนำมาใช้เป็น FDLs.....	35
4.1 สถาปัตยกรรมการสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเกตสวิตช์ที่ใช้บัพเฟอร์ แบบพาร์เชียลลิเชอร์บัพเฟอร์.....	39
4.2 รูปแบบการจัดคิวของสถาปัตยกรรมการสวิตช์ แบบแพ็กเกตสวิตช์ทางแสง ที่มีเอาต์พุตและเชอร์บัพเฟอร์ทำงานร่วมกัน.....	39
4.3 โครงสร้างแพ็กเกตรีออร์เดอร์ริงแบบสายประวิงคงที่ (fixed delay line).....	42
4.4 โครงสร้างแพ็กเกตรีออร์เดอร์ริงแบบสายประวิงแบบปรับเปลี่ยนได้ (variable delay line).....	43
4.5 การเปรียบเทียบความเข้มทางทราฟฟิกต่างๆกับการประวิงที่เกิดขึ้นจากทั้งวิธีการที่ ไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิและมีการกำหนดบุริมสิทธิ.....	50
5.1 แบบจำลองระบบแพ็กเกตสวิตช์ทางแสงที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	52
5.2 การเปลี่ยนสถานะของแพ็กเกตภายในเอาต์พุตบัพเฟอร์.....	53
5.3 แบบจำลองการทำงานของบัพเฟอร์ ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างวิสัยสามารถและ ภาระของบัพเฟอร์ทั้งของเอาต์พุตบัพเฟอร์และเชอร์บัพเฟอร์.....	54
5.4 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมการคำนวณเพื่อวิเคราะห์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์.....	65
5.5 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายเทียบกับขนาดของสวิตช์ ($\rho=0.8$).....	66
5.6 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตในบัพเฟอร์เทียบกับขนาดของสวิตช์ ($\rho=0.8$).....	66
5.7 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายที่ภาระทางทราฟฟิกต่างๆเทียบกับ ขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์.....	68
5.8 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายที่เอาต์พุตบัพเฟอร์ขนาดต่างๆเทียบกับ ภาระทางทราฟฟิก.....	68
5.9 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตที่เอาต์พุตบัพเฟอร์เทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์ (ให้ภาระทางทราฟฟิกมีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ตามลำดับ).....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตที่แชร์บีทเฟออร์จะสูญหายเทียบกับภาระทางทราฟฟิก 70 (เอาต์พุตบีทเฟออร์มีขนาด 10 ร่องเวลา)	70
5.11 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตที่แชร์บีทเฟออร์จะสูญหายเทียบกับภาระทางทราฟฟิก 70 (แชร์บีทเฟออร์มีขนาดเท่ากับ 5 ร่องเวลา)	70
5.12 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตที่แชร์บีทเฟออร์จะสูญหายเทียบกับขนาดของแชร์บีทเฟออร์ 71 (ภาระทางทราฟฟิกมีค่าเท่ากับ 0.8)	71
5.13 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในสวิตช์ ที่เอาต์พุตบีทเฟออร์และแชร์บีทเฟออร์มีการทำงาน .. 72 ร่วมกันเทียบกับภาระทางทราฟฟิก (เอาต์พุตบีทเฟออร์มีขนาดเท่ากับ 10 ร่องเวลา)	72
5.14 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจากแชร์บีทเฟออร์จะถูกส่งกลับเข้ามายังสวิตช์เทียบกับ 73 ภาระทางทราฟฟิก (แชร์บีทเฟออร์มีขนาดเท่ากับ 5 ร่องเวลา)	73
5.15 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตที่ถูกส่งกลับมายังสวิตช์จะถูกส่งออกไปยังเอาต์พุตบีทเฟออร์ .. 74 หรือแพ็กเก็ตที่วนกลับมาจะถูกส่งไปยังแชร์บีทเฟออร์เทียบกับภาระทางทราฟฟิก (แชร์บีทเฟออร์มีขนาดเท่ากับ 5 ร่องเวลา)	74
5.16 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการวนเวียนอยู่ระหว่างสวิตช์และแชร์บีทเฟออร์เทียบกับ ..75 ภาระทางทราฟฟิก (เอาต์พุตบีทเฟออร์มีขนาด 5 และ 10 ร่องเวลา, แชร์บีทเฟออร์มี ขนาดเท่า กับ 1 และ 10 ร่องเวลา)	75
5.17 ความน่าจะเป็นของการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดเทียบกับภาระทางทราฟฟิก... 76 (แชร์บีทเฟออร์มีขนาดเท่ากับ 5 ร่องเวลา)	76
5.18 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตต่างๆภายในแชร์บีทเฟออร์ เมื่อมีการกำหนดนุริมลิตีและ ... 77 ไม่กำหนดนุริมลิตีให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดเทียบกับภาระทางทราฟฟิก (เอาต์พุตบีทเฟออร์มีขนาดเท่ากับ 10 ร่องเวลา แชร์บีทเฟออร์มีขนาดเท่ากับ 5 ร่องเวลา)	77
5.19 เปรียบเทียบเวลาคอยเฉลี่ยที่ลดลงของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดและเวลาคอย..... 78 เฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของแพ็กเก็ตอื่นๆที่ไม่ใช่แพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดภายในแชร์บีท เฟออร์เมื่อมีการกำหนดนุริมลิตีเทียบกับภาระทางทราฟฟิก	78
6.1 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมจำลองแบบหลัก87	87
6.2 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมการทำงานของแพ็กเก็ตทางแสงทั้งที่มีการกำหนด.....89 นุริมลิตีและไม่มีการกำหนดนุริมลิตี	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.3 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมย่อยของเอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชร์บัฟเฟอร์ให้มี การทำงานในแบบ FIFO (first in first out)	90
6.4 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมสวิตช์	90
6.5 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมฟังก์ชันย่อย กรณี N	91
6.6 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมฟังก์ชันย่อย กรณี Recir N	92
6.7 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมย่อยการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มี การประวิงแย่งที่สุด (แบบสายประวิงคงที่)	93
6.8 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมย่อยการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มี การประวิงแย่งที่สุด (แบบสายประวิงปรับเปลี่ยนได้)	94
6.9 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ และขนาดของแชร์บัฟเฟอร์	96
6.10 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์	96
6.11 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายเทียบกับขนาดของแชร์บัฟเฟอร์ และเอาต์พุตบัฟเฟอร์	98
6.12 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายเทียบกับขนาดของแชร์บัฟเฟอร์	98
6.13 เวลาคอยเฉลี่ยเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์และขนาดของแชร์บัฟเฟอร์	99
6.14 เวลาคอยเฉลี่ยเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์เมื่อกำหนดให้แชร์บัฟเฟอร์ มีค่าคงที่ เท่ากับ 10 ร่องเวลา	99
6.15 เวลาคอยเฉลี่ยเทียบกับขนาดของแชร์บัฟเฟอร์และเอาต์พุตบัฟเฟอร์	100
6.16 เวลาคอยเฉลี่ยเทียบกับขนาดของแชร์บัฟเฟอร์ เมื่อกำหนดให้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ มีขนาดคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา	100
6.17 ความน่าจะเป็นการเกิดการวนของแพ็กเก็ตเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ และขนาดของแชร์บัฟเฟอร์	102
6.18 ความน่าจะเป็นการเกิดการวนของแพ็กเก็ตเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ เมื่อกำหนดให้แชร์บัฟเฟอร์มีค่าคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา	102
6.19 ความน่าจะเป็นการเกิดการวนของแพ็กเก็ตเทียบกับขนาดของแชร์บัฟเฟอร์ และขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.20 ความน่าจะเป็นการเกิดการวนของแพ็กเกตเทียบกับขนาดของทั้งเซิร์ฟเฟอร์และ.....	103
และขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์ เมื่อเอาต์พุตบัพเฟอร์มีขนาดค่าคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา	
6.21 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์ ..	104
และขนาดของเซิร์ฟเฟอร์	
6.22 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์...	104
และขนาดของเซิร์ฟเฟอร์ เมื่อกำหนดให้เซิร์ฟเฟอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา	
6.23 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเทียบกับขนาดของเซิร์ฟเฟอร์	105
และขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์	
6.24 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเทียบกับขนาดของเซิร์ฟเฟอร์	106
เมื่อกำหนดให้เอาต์พุตบัพเฟอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา	
6.25 ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเทียบกับขนาดของ.....	106
เอาต์พุตบัพเฟอร์ และขนาดของเซิร์ฟเฟอร์	
6.26 ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเทียบกับขนาดของ.....	107
เอาต์พุตบัพเฟอร์ เมื่อกำหนดให้เซิร์ฟเฟอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา	
6.27 ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเทียบกับขนาดของเซิร์ฟเฟอร์ ..	108
และขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์	
6.28 ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเทียบกับขนาดของเซิร์ฟเฟอร์ ..	109
เมื่อกำหนดให้เอาต์พุตบัพเฟอร์มีค่าคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา	
6.29 จำนวนครั้งที่ต้องหยุดการกำหนดบุริมสิทธิเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์	110
6.30 จำนวนครั้งที่ต้องหยุดการกำหนดบุริมสิทธิเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์เมื่อ.....	110
กำหนดให้ เซิร์ฟเฟอร์มีค่าคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สรุปเทคโนโลยีการทำบัพเฟอร์ทางแสงในปัจจุบัน	28
3.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของ Fiber Delay Coil	36
4.1 ความสัมพันธ์ของปัญหา สาเหตุ และการแก้ปัญหของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารโทรคมนาคมในปัจจุบัน ข้อมูลต่างๆที่ถูกส่งผ่านในระบบสื่อสารข้อมูลจะอยู่ในรูปของแสง จากข้อดีต่างๆของการสื่อสารข้อมูลทางแสงทำให้เกิดแนวความคิดที่จะทำให้อุปกรณ์การสื่อสารทั้งหมดอยู่ในรูปแบบแสงเท่านั้น ดังนั้นโครงข่ายทางแสงทั้งหมด (All optical network) จึงได้ถูกนำเสนอขึ้นมา เพื่อให้สามารถเป็นโครงข่ายทางแสงทั้งหมดได้ จึงจำเป็นต้องมีส่วนการสวิตช์ข้อมูลทางแสงด้วยเช่นกัน โดยที่ไม่จำเป็นต้องมีการแปลงสัญญาณแสงไปเป็นไฟฟ้าหรือสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสง ดังนั้นการสวิตช์แบบแพ็กเกตสวิตช์ทางแสง (optical packet switching) จึงถูกแนะนำขึ้นมาเพื่อรองรับความต้องการเหล่านี้

ปัญหาสำคัญที่พบได้ในสวิตช์แบบแพ็กเกตสวิตช์ก็คือการชนกันของข้อมูล (contention) ซึ่งทำให้เกิดการสูญหายของข้อมูลเกิดขึ้น สวิตช์แบบแพ็กเกตสวิตช์ทางแสงก็เช่นกันที่มีปัญหาการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้น ในแพ็กเกตสวิตช์แบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถแก้ปัญหาการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลได้โดยการใช้บัฟเฟอร์ (buffer) เพื่อรองรับข้อมูลแพ็กเกตที่อาจจะสูญหายไปเหล่านั้น ซึ่งวิธีการทำบัฟเฟอร์ให้กับแพ็กเกตสวิตช์ทางอิเล็กทรอนิกส์นี้สามารถทำได้ด้วยหน่วยความจำทางอิเล็กทรอนิกส์ (RAM) แต่ในสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเกตสวิตช์นั้นจำเป็นต้องใช้การทำบัฟเฟอร์ที่ต่างไป เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีเทคโนโลยีหน่วยความจำทางแสง บัฟเฟอร์ทางแสงที่สร้างขึ้นจากกลุ่มของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิง (fiber delay line) จึงได้ถูกนำมาใช้เสมือนกับหน่วยความจำในการทำบัฟเฟอร์ทางแสงให้กับแพ็กเกตสวิตช์ทางแสง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ปัญหาต่างๆ ที่จะต้องพิจารณาในการพัฒนาระบบการสวิตช์แบบแพ็กเกตสวิตช์ทางแสงนั้นมีมากมาย แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการพิจารณาเฉพาะเรื่องของการเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบการสวิตช์ที่มีการใช้บัฟเฟอร์ทางแสงแบบพาร์เชียลแชร์บัฟเฟอร์ (partially shared buffer) โดยจุดประสงค์ก็เพื่อต้องการที่จะลดการสูญหายของแพ็กเกตลง อีกทั้งยังพยายามเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบการสวิตช์ขึ้น ด้วยการพยายามเสนอวิธีการลดการประวิง (delay) ของแพ็กเกต อันเนื่องมาจากการใช้บัฟเฟอร์ลงด้วย ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอถึงวิธีการ การวิเคราะห์การทำงานของแพ็กเกตสวิตช์ทางแสงที่ใช้บัฟเฟอร์ทางแสงแบบพาร์เชียลแชร์บัฟเฟอร์ ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่พิจารณา โดยผลของการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมรรถนะของระบบ ซึ่งส่วนใหญ่จะพิจารณาจากค่าความน่าจะเป็นการสูญหายไปของแพ็กเก็ต และค่าเวลาคอยเฉลี่ย จะได้มาจากการคำนวณด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์และการจำลองแบบ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.3 แนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับหลักการใหม่ที่จะได้ทำการเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ก็คือ แนวคิดที่ว่าอาจจะมีการแพ็กเก็ตข้อมูลทางแสงบางแพ็กเก็ต ที่เกิดการส่งวนอยู่ระหว่างแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง และ แชนด์บัฟเฟอร์ มากกว่า 1 รอบการสวิตช์ โดยนิยามให้แพ็กเก็ตดังกล่าวมีชื่อว่า “แพ็กเก็ตที่มีการประวิงที่แย่มากที่สุด” หรือ “Worst Delay Packet” โดยผลของการนำเอาบัฟเฟอร์มาใช้งานก็เพื่อลดการสูญหายไปของแพ็กเก็ตลง ซึ่งจะทำให้เกิดค่าการประวิงที่สูงขึ้น อีกทั้งยังก่อให้เกิดโอกาสที่จะเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงที่แย่มากที่สุดสูงขึ้นด้วย ดังนั้นจึงได้มีความคิดหาว่าหากสามารถทำให้แพ็กเก็ตดังกล่าวมีค่าการการประวิงที่น้อยลง ก็น่าจะเพิ่มสมรรถนะให้กับระบบการสวิตช์ได้ โดยการลดการประวิงของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงที่แย่มากที่สุดลงนั้น จะทำได้โดยกำหนดให้แพ็กเก็ตที่มีการประวิงที่แย่มากที่สุดนี้มีระดับความสำคัญสูงกว่าแพ็กเก็ตอื่นๆที่คอยคิวอยู่ในแชนด์บัฟเฟอร์ หรือการกำหนดบุริมสิทธิ (priority) จากนั้นจึงทำการลัดคิวให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงที่แย่มากที่สุดนี้ โดยไม่ต้องเข้าคิวเหมือนกับแพ็กเก็ตอื่นๆ และจากการที่ลักษณะการจัดคิวของข้อมูลทางแสงนั้นจะเป็นไปในลักษณะทางด้านเวลา ดังนั้นจึงได้แนะนำโครงสร้างการจัดการการลัดคิวให้กับข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ทางแสง เพื่อที่จะสามารถทำการลัดคิวได้โดยที่ข้อมูลแสงที่คอยคิวอยู่ก่อนหน้าในลำดับแรกสุดจะไม่สูญหายไป จากแนวความคิดต่างๆเหล่านี้ จึงน่าจะปรับปรุงทำให้แพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงมีสมรรถนะที่ดีเพิ่มขึ้นได้

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

ในการวิเคราะห์จะสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่ออธิบายถึงสมรรถนะและการทำงานของระบบการสวิตช์ โดยในที่นี้จะใช้แบบจำลองของมาร์คอฟ (Markov) จากนั้นจึงจะนำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ ไปคำนวณเพื่อหาความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายไป, เวลาคอยเฉลี่ย, ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงที่แย่มากที่สุด, เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงที่แย่มากที่สุด เมื่อมีการกำหนดและไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิและอื่นๆ เพื่อที่จะชี้แจงถึงสมรรถนะของระบบ อีกทั้งยังทำการจำลองแบบให้กับระบบการสวิตช์ดังกล่าวนี้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นการยืนยันว่าผลที่ได้จากวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์นั้น มีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงไร อีกทั้งยังทำให้ทราบถึงพฤติกรรมบางอย่างที่ไม่สามารถอธิบายได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์อีกด้วย โดยที่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมุ่งเน้นพิจารณาที่สมรรถนะของ

ระบบการสวิตช์ที่จะพิจารณาจากการสูญหายไปของข้อมูลแพ็กเก็ตและการประวิงที่เกิดขึ้นกับระบบเป็นหลัก

1.5 โครงร่างวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทคัดย่อ และ Abstract

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ

บทที่ 2 กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสถาปัตยกรรมการสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตช์

บทที่ 3 กล่าวถึงบัฟเฟอร์ทางแสง

บทที่ 4 กล่าวถึงแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่มีการปรับปรุงสมรรถนะด้วยบัฟเฟอร์ทางแสง

บทที่ 5 กล่าวถึงการวิเคราะห์สมรรถนะของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ใช้บัฟเฟอร์ทางแสงแบบพาร์เชียลลิแชรบัฟเฟอร์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์

บทที่ 6 กล่าวถึงการวิเคราะห์สมรรถนะของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ใช้บัฟเฟอร์ทางแสงแบบพาร์เชียลลิแชรบัฟเฟอร์ ด้วยวิธีการจำลองแบบการทำงานของระบบ

บทที่ 7 กล่าวสรุปผลการวิจัย, ปัญหาที่พบ, และแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้งาน

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสถาปัตยกรรมการสวิตช์ทางแสง แบบแพ็กเก็ตสวิตช์

2.1 กล่าวนำ

การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของทราฟฟิก (traffic) ข้อมูลในปัจจุบัน ทำให้มีความต้องการ ความจุของโครงข่ายมากยิ่งขึ้น โครงข่ายทางแสงจึงเป็นทางเลือกสำหรับการสื่อสารโทรคมนาคมที่ ทันสมัย เทคโนโลยีด้านการสื่อสารทางแสงในปัจจุบัน ทำให้เราสามารถส่งข้อมูลบนโครงข่ายเชิง แสงได้ในปริมาณมหาศาล เพื่อที่จะทำให้โครงข่ายทางแสงทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงมีการ พัฒนา สวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตช์ขึ้นมา (optical packet switch) ทำให้สามารถใช้งาน แบนด์วิดท์ (bandwidth) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตช์ซึ่งนั้น ส่วน ของข้อมูลหรือสัมภาระบรรทุก (payload) จะยังคงอยู่ในรูปแบบของแสง ในขณะที่เฮดเดอร์ (header) อาจจะถูกจัดการในรูปแบบทางแสงหรือในรูปแบบทางอิเล็กทรอนิกส์ก็ได้ ในบทนี้จะได้ กล่าวถึงหลักการเบื้องต้นของการสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตช์ ปัจจัยต่างๆที่จำเป็นและมีผล ต่อแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง โครงสร้างและส่วนประกอบที่สำคัญของสวิตช์ทางแสง รวมไปถึงเทคนิค ที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบการสวิตช์

2.2 ทำไมต้องเป็นแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง

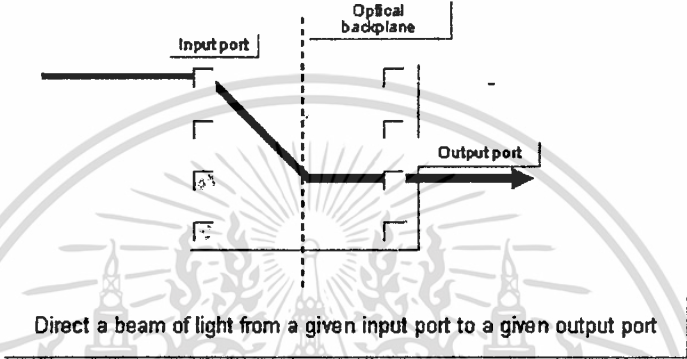
สวิตช์คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับจัดสร้างการเชื่อมต่อเส้นทางจากต้นทางของข้อมูลไปยังปลายทาง ที่ต้องการให้กับข้อมูลต่างๆได้อย่างถูกต้อง การสื่อสารโทรคมนาคมในปัจจุบันมีข้อมูลซึ่งมี ลักษณะที่แตกต่างกัน เช่นอัตราการสื่อสารข้อมูล รูปแบบของข้อมูล และอื่นๆ ดังนั้นเพื่อให้การ สื่อสารเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเลือกการสวิตช์ที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลจะทำให้ ได้การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น แพ็กเก็ตสวิตช์จึงเข้ามามีบทบาทเนื่องจากความ สามารถที่จะสามารถจัดการข้อมูลที่หลากหลายต่าง ๆ นั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อแพ็กเก็ต สวิตช์นั้นจะจัดการข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารสัญญาณโดยจะแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆเรียกว่าแพ็กเก็ต การเชื่อมต่อระหว่างต้นทางและปลายทางที่ต้องการจะทำได้โดยข้อมูลพิเศษที่ส่วนหัวของแพ็กเก็ต ที่เรียกว่าเฮดเดอร์ ซึ่งจะเก็บรายละเอียดความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งต้นทางและปลายทางที่ ต้องการจะส่งไปของข้อมูลนั้นๆ การเชื่อมต่อสื่อสารของแพ็กเก็ตสวิตช์จะทำเพียงชั่วคราวเท่านั้น เมื่อข้อมูลได้ถูกส่งออกไปยังปลายทางที่ต้องการแล้ววงจรการเชื่อมต่อที่ถูกสร้างขึ้นชั่วคราวนี้ นี้ก็จะถูกยกเลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าแพ็คเกจสวิตช์ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับโครงข่ายข้อมูลที่อัตราของข้อมูลมีลักษณะขึ้นลงเป็นช่วงๆ ในช่วงเวลาที่ไม่แน่นอน ทำให้สามารถใช้งานการเชื่อมต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในเซอริกิตสวิตช์หากมีข้อมูลลักษณะนี้มากๆ (โดยเฉพาะช่วงที่ไม่มีข้อมูลเข้ามาพร้อมๆ กัน) ก็จะทำให้เกิดการใช้งานการเชื่อมต่อวงจรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ

Space Switching



รูปที่ 2.1 การสวิตช์ทางแสงเบื้องต้น

ปัจจุบันข้อมูลที่ถูส่งผ่านระบบสื่อสัญญาณส่วนใหญ่มักจะใช้เส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งสามารถนำแสงเข้ามาได้ด้วยอัตราที่สูงมาก ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าวิสัยสามารถที่ได้จากการเชื่อมต่อที่มีเส้นใยแก้วนำแสงเป็นสื่อกลางนั้นจะมีค่าสูงและมีแบนด์วิดท์ที่กว้างมาก แม้ว่าเทคโนโลยีการสวิตช์ทางอิเล็กทรอนิกส์สามารถที่จะสวิตช์ข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงอย่างมากแล้วก็ตาม แต่ก็มีความเป็นไปได้ที่สวิตช์ทางอิเล็กทรอนิกส์จะไม่สามารถรองรับหรือสนับสนุนต่อแบนด์วิดท์ที่เส้นใยแก้วนำแสงสามารถให้ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่แบนด์วิดท์ของการสื่อสัญญาณของสวิตช์จะต้องเข้ากันได้กับแบนด์วิดท์ที่เส้นใยแก้วนำแสงสามารถให้ได้ การสวิตช์ทางแสงโดยไม่มีการแปลงสัญญาณข้อมูลแสงไปเป็นไฟฟ้าหรือจากสัญญาณไฟฟ้ากลับไปเป็นสัญญาณแสงจึงจำเป็นต่อความต้องการดังกล่าว โดยที่ข้อดีข้อเสียของการแปลงสัญญาณเป็นดังนี้

2.2.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการแปลงและไม่แปลงสัญญาณ

2.2.1.1 การแปลงสัญญาณจาก แสง-ไฟฟ้า-แสง (OEO)

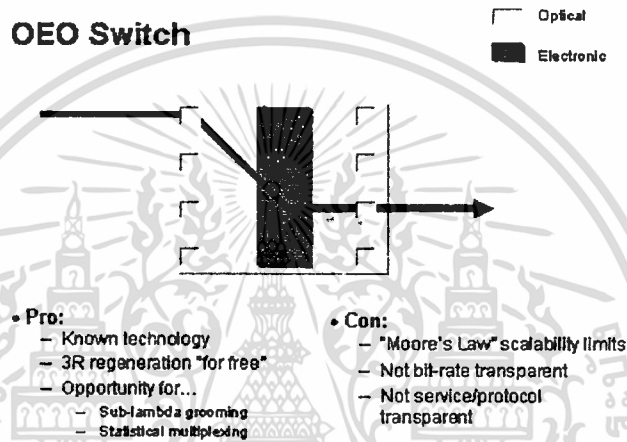
ข้อได้เปรียบจากการแปลงสัญญาณ OEO ก็คือเทคโนโลยีดังกล่าวนี้ได้รับการศึกษามาอย่างดีและนำมาใช้ได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ด้วยการที่สามารถสร้างสัญญาณทางดิจิทัลได้ใหม่อย่างครบวงจร (การกำหนดทวนรูปร่างสัญญาณ, การกำหนดทวนสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านเวลา และการกำหนดทวนสัญญาณการเข้าจังหวะของสัญญาณนั้นๆ) ได้อย่างอิสระภายในส่วนของกระบวนการแปลงสัญญาณจากสัญญาณแสงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า

ข้อด้อยของวิธีนี้คือ การจัดการสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์อาจไม่สามารถรองรับอัตราการสื่อสารของข้อมูลที่สูงๆได้ เมื่ออัตราการสื่อสารข้อมูลในอนาคตมีแนวโน้มทางที่จะสูงขึ้นอย่างมากอันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีทางการสื่อสารโทรคมนาคม การที่ต้องใช้อุปกรณ์ทางดิจิทัลต่าง ๆ นั้น สวิตช์แบบ OEO จะมีผลขึ้นกับอัตราการสื่อสารข้อมูล อีกทั้งยังต้องการโพรโตคอลการจัดการต่างๆที่เหมาะสม

OEO Switch



รูปที่ 2.2 การสวิตช์ที่มีการแปลงสัญญาณข้อมูลจาก แสง – ไฟฟ้า - แสง

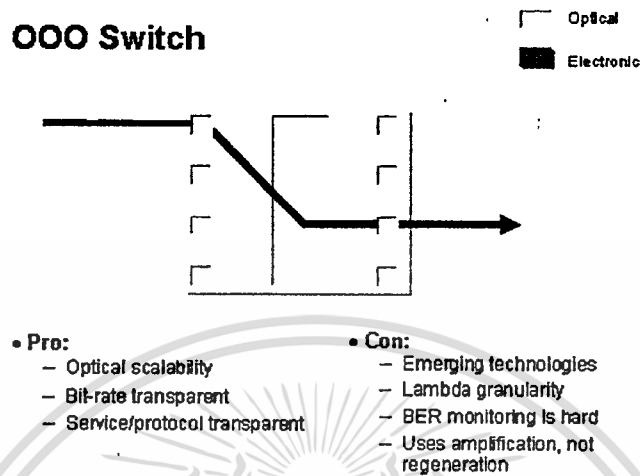
2.2.1.2 การใช้สัญญาณทางแสงเพียงอย่างเดียว (OOO)

สวิตช์ในแบบที่เป็นสัญญาณทางแสงทั้งหมดนั้น จะเปรียบได้กับอุปกรณ์ที่เป็นแบบแอนะล็อกทั้งหมด ซึ่งทั้งส่วนของอินพุตและเอาต์พุตและส่วนโครงสร้างหลักจะมีการจัดการในทางแสงเท่านั้น

ข้อดีของการที่ใช้อุปกรณ์แสงทั้งหมดก็คือความสามารถในการรองรับการสื่อสารข้อมูลในปริมาณมหาศาลได้เมื่อเทียบกับแบบ OEO โดยความเป็นจริงแล้วสวิตช์แบบเชิงแสงทั้งระบบจะเป็นแบบ bit-rate transparent อีกทั้งยังเป็น protocol transparent ด้วย ทำให้มีความสามารถต่างๆดีเยี่ยม

ข้อด้อยคือ เนื่องมาจากอุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมดเป็นแบบแอนะล็อก จึงไม่สามารถตรวจจับอัตราความผิดพลาดบิต (bit error rate) ที่เกิดขึ้นได้ด้วยวิธีการธรรมดาทั่วไป อีกทั้งยังจำเป็นต้องใช้การขยายสัญญาณเพื่อเพิ่มกำลังสัญญาณต่างๆภายในสวิตช์

ด้วยเหตุผลเบื้องต้นต่างๆนี้เองที่ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการใช้เทคโนโลยีการสวิตช์ที่เหมาะสมเพื่อช่วยให้การสื่อสารโทรคมนาคมเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 2.3 การสวิตช์ทางแสงเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการแปลงสัญญาณข้อมูล

2.3 ความแตกต่างในการประวิงของแพ็กเก็ตที่พบได้ในสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตช์

ในโครงข่ายแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง หากข้อมูลแพ็กเก็ตทางแสงเดินทางจากต้นทางไปถึงยังปลายทางด้วยเวลาที่ไมเท่ากันแล้วย่อมมีผลต่อการทำงานโดยรวมของโครงข่ายการสวิตช์ การประวิงที่ไม่เท่ากันของแพ็กเก็ตในโครงข่ายสามารถเกิดได้จากหลายๆสาเหตุด้วยกัน เราสามารถจำแนกการประวิงที่ไม่เท่ากันในโครงข่ายแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงได้เป็น 2 ประเภทดังนี้คือ

2.3.1 การประวิงที่ไม่เท่ากันของแพ็กเก็ตระหว่างโนดต่างๆในโครงข่าย

เวลาที่แพ็กเก็ตใช้เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงที่กำหนดนั้นจะขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง , การกระจายตามความถี่แบบโครมาติก (chromatic dispersion) และความแตกต่างทางอุณหภูมิ (temperature variation) การกระจายตามความถี่แบบโครมาติกนั้นก็คือเหตุการณ์ที่แพ็กเก็ตต่างๆมีความเร็วในการแพร่กระจายแพ็กเก็ตที่แตกต่างกัน เพราะแพ็กเก็ตต่างๆ นั้นถูกส่งออกไปด้วยความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำให้เกิดการประวิงที่ไม่เท่ากันในการแพร่กระจายแพ็กเก็ตนั้นไป ดังตัวอย่างเช่นการแพร่กระจายของเส้นใยแก้วนำแสงแบบธรรมดาจะมีค่าการกระจายอยู่ที่ 20 ps/nm/km เมื่อ ps คือหน่วยสำหรับ ความต่างในการประวิง (delay variation) , nm (นาโนเมตร) คือหน่วยของความแตกต่างทางความยาวคลื่น และ km (กิโลเมตร) คือหน่วยของระยะทางที่มีการแพร่กระจายแพ็กเก็ตไป ดังนั้นถ้าหากมีความแตกต่างทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวคลื่นที่ 30 นาโนเมตร (โดยใช้ค่าจากเส้นใยแก้วนำแสงแบบเออร์เบียมโดป ที่มี ความยาวคลื่น 1530 และ 1560 นาโนเมตร) และระยะทางในการแพร่กระจายแพ็กเก็ตเท่ากับ 100 กิโลเมตร ดังนั้นความต่างในการประวิงสำหรับการแพร่กระจายแพ็กเก็ตไป (propagation delay variation) จะมีค่าเท่ากับ 60 นาโนวินาที ถ้าหากมีการนำเอาเส้นใยแก้วนำแสงชนิดที่มีการ ขดเคี้ยวการแพร่กระจายมาใช้ จะทำให้สามารถลดขนาดของความต่างในการประวิงลงไปได้ 1 ลำดับ

ความเร็วในการแพร่กระจายแพ็กเก็ตนั้นสามารถแปรเปลี่ยนได้ด้วยอุณหภูมิเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ด้วยค่าประมาณ 40 ps/C/km ในเส้นใยแก้วนำแสงขนาดยาว 100 กิโลเมตร ภายใต้ อุณหภูมิในช่วงที่มีความต่าง 0-25 องศาเซลเซียส จะมีความต่างทางการประวิงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 100 นาโนวินาที

ความต่างทางการประวิงดังที่ได้กล่าวมานี้ จะมีค่าช้ามากเมื่อเทียบกับเวลาซึ่งพวก มันสามารถถูกทดแทนได้ในแบบสถิต (static) แทนที่จะเป็นแบบพลวัต (dynamic) (บนพื้นฐาน แพ็กเก็ต-ต่อ-แพ็กเก็ต)

2.3.2 การประวิงที่ไม่เท่ากันของแพ็กเก็ตภายในโนดของสวิตช์

สิ่งที่จะเกิดขึ้นกับแต่ละแพ็กเก็ตภายในโนดจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสวิตช์และวิธีการ แกะไขการชั่งกันของข้อมูล ในโครงข่ายแบบร่อนที่ใช้เส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงเป็น เสมือนกับบัพเฟอร์ทางแสง แพ็กเก็ตข้อมูลสามารถใช้เส้นทางภายในโครงสร้างของสวิตช์ที่ แตกต่างกันได้ที่มีความยาวที่ไม่เท่ากันก็ได้ Fast time jitter ซึ่งเกิดขึ้นได้จากการแพร่กระจาย ระหว่างความยาวคลื่นต่างๆที่แตกต่ากันและเส้นทางเดินของแพ็กเก็ตแสงที่ไม่เท่ากัน ซึ่งแปรผัน จากแพ็กเก็ตที่อื่นหลุดไปยังแพ็กเก็ตที่เอาต์พุตของสวิตช์ ดังนั้นการเชื่อมต่อแบบเข้าจังหวะกันอย่าง รวดเร็วที่ทางด้านเอาต์พุต (fast output synchronization) จึงมีความจำเป็นต่อระบบ ในขณะที่ผล กระทบจากอุณหภูมิจะมีค่าน้อยกว่า อันเนื่องมาจากอุณหภูมิจะมีการแปรผันน้อยและสามารถ ควบคุมได้โดยง่ายจากภายในโนด

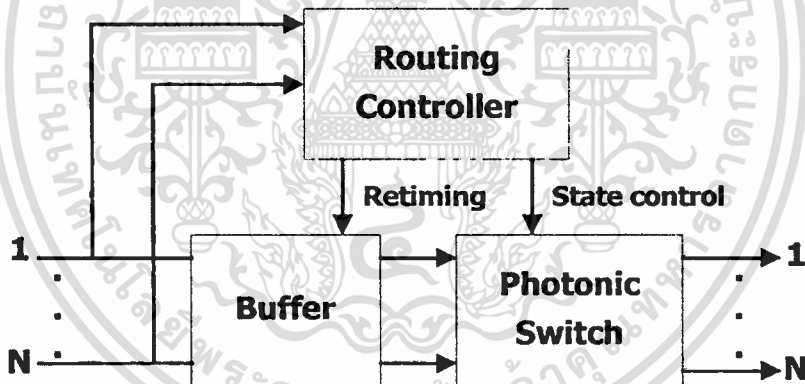
ในโครงข่ายสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตช์ แต่ละโนดของสวิตช์จะทำงานโดย เทียบจังหวะกับสัญญาณนาฬิกาภายในของตัวโครงข่ายสวิตช์เอง ดังเช่นการทำงานทั่วไปของ SDH/SONET ที่ซึ่งสัญญาณนาฬิกาจะเป็นตัวกำหนดการเข้าจังหวะกันของโครงข่าย (network synchronization) ซึ่งถูกส่งกระจายออกมาทั่วทั้งโครงข่าย สัญญาณรบกวนทางเฟส (phase noise) ของอุปกรณ์ออสซิลเลเตอร์ต่างๆ (oscillator) จะเกิดขึ้นได้จากการสะสมการกระจาย สัญญาณนาฬิกาและผลกระทบทางอุณหภูมิต่อพาหะทางแสงซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อ สัญญาณการเข้าจังหวะกันนี้ได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ฟังก์ชันการทำงานที่สำคัญของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง

แพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 ก็คืออุปกรณ์ที่สามารถกำหนดเส้นทางให้กับสัญญาณแสงจากอินพุตจำนวน N อินพุตไปยังเอาต์พุตจำนวน N เอาต์พุตได้ ในขณะที่ยังคงรูปแบบสัญญาณทางแสงไว้ สัญญาณต่างๆจากอินพุตจะอยู่ในรูปแบบของแพ็กเก็ต ซึ่งจะประกอบด้วยสัมภาระบรรทุกที่บรรจุบิตต่างๆของข้อมูล โดยจะถูกจัดการส่งออกไปได้ด้วยเฮดเดอร์ที่บรรจุตำแหน่งของที่หมาย, ความยาวของแพ็กเก็ต และข้อมูลตรวจสอบความผิดพลาดเอาไว้ หน้าที่สำคัญของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงคือ

1. จัดการกำหนดเส้นทางให้กับแพ็กเก็ตทางแสงต่างๆจากอินพุตไปยังเอาต์พุต ด้วยการอ่านข้อมูลปลายทางจากเฮดเดอร์และตั้งค่าการสวิตช์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ข้อมูลเหล่านี้จะถูกอ่านออกมาโดยส่วนควบคุมการวางเส้นทาง (routing controller)
2. การแก้ปัญหาการชนกันของข้อมูลของแพ็กเก็ตที่เข้ามาจากอินพุตต่างๆและถูกส่งออกไปยังเอาต์พุตเดียวกัน
3. การเข้าจังหวะกันของแพ็กเก็ตข้อมูลที่ทางเข้าออกทางด้านอินพุต



รูปที่ 2.4 โครงสร้างและองค์ประกอบที่สำคัญของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง

2.5 สถาปัตยกรรมต่างๆของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง

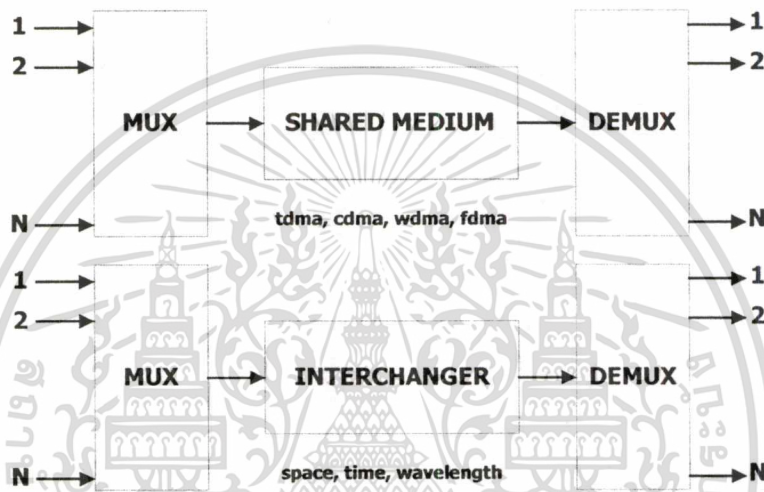
แพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆคือ แบบ shared-medium และ แบบ interchanger ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.5

1. ในสถาปัตยกรรมแบบ shared-medium นั้นสื่อกลางที่ใช้ในการสื่อสารสัญญาณ (ณ ที่นี้คือเส้นใยแก้วนำแสง) จะถูกใช้งานร่วมกันจากโหนดต่างๆ ด้วยโพรโตคอลแบบ multiaccess รูปแบบของ shared-medium อาจจะเป็นได้ทั้งแบบ star, ring หรือ lan วิธีการเข้าถึงของ shared-medium สามารถทำได้โดยรูปแบบ TDMA, FDMA, CDMA, WDMA และในแบบ CSMA/CD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สถาปัตยกรรมแบบ interchanger การสวิตช์จะถูกจัดการโดยตรงในแบบการทำแผนที่ข้อมูล ในสวิตช์แบบ space-interchanger หรือ สวิตช์แบบ crossbar สัญญาณที่เข้ามาจะถูกแลกเปลี่ยนตำแหน่งภายในจากอินพุตไปยังเอาต์พุตด้วยโครงสร้างของสวิตช์ ในขณะที่การ สวิตช์แบบ time-interchanger, wavelength-interchanger และ frequency-interchanger ที่ซึ่งสัญญาณข้อมูลจะถูกมัลติเพล็กซ์มาบนเส้นใยแก้วนำแสงเดียวกันนั้น จะถูกวางเส้นทางจากอินพุตไปยังเอาต์พุตโดยการเปลี่ยนตำแหน่งกันของร่องเวลา, ร่องความยาวคลื่น และร่องของความถี่ตามลำดับ



รูปที่ 2.5 สถาปัตยกรรมแพ็กเกตสวิตช์ทางแสงแบบ Shared medium และแบบ Interchanger

2.6 ประเภทของโครงข่ายการสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเกตสวิตช์

สวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเกตสวิตช์จะมีหลักการทำงานเหมือนกันกับแพ็กเกตสวิตช์ทางอิเล็กทรอนิกส์ แพ็กเกตข้อมูลต่างๆจากอินพุตต่างๆอาจจะเข้ามาถึงยังสวิตช์ด้วยเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องพิจารณาด้วยว่าควรมีการเรียงเรียงแพ็กเกตต่างๆให้มีจังหวะเวลาที่เท่ากันก่อนที่จะเข้ามายังโครงสร้างของสวิตช์หรือไม่

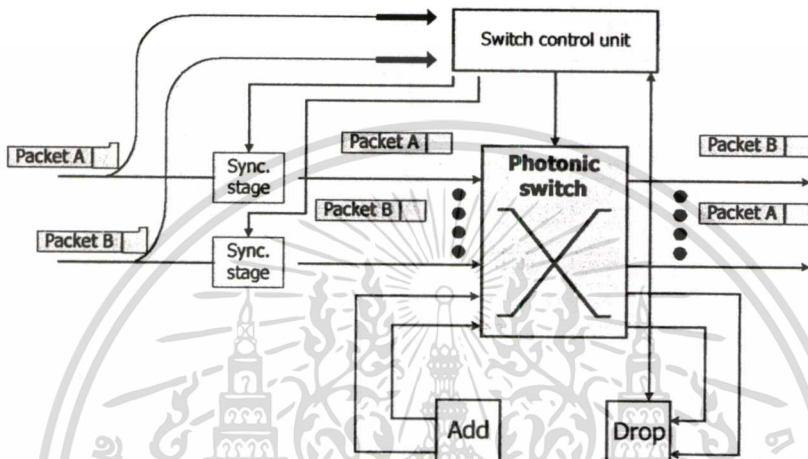
โดยทั่วไปแล้ว เราสามารถแบ่งโครงข่ายการสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเกตสวิตช์ได้ออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. โครงข่ายแบบร่อง (synchronous)
2. โครงข่ายแบบไม่มีร่อง (asynchronous)

2.6.1 โครงข่ายแบบร่อง (Slotted network)

ในโครงข่ายการสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเกตสวิตช์แบบร่อง ข้อมูลแพ็กเกตทั้งหมดจะมีขนาดที่เท่ากัน แพ็กเกตเหล่านี้จะถูกวางตำแหน่งไว้ด้วยกันในเฮดเดอร์ที่อยู่ภายในร่องเวลาแบบคงที่ โครงข่ายแบบร่องได้ถูกศึกษากันอย่างกว้างขวาง ในขณะที่เส้นใยแก้วนำแสงได้ถูกนำมาใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

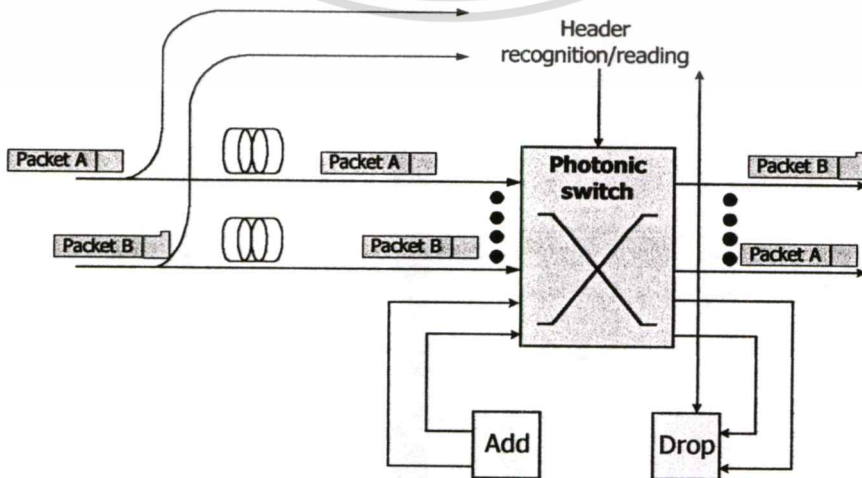
เป็นเสมือนกับบัฟเฟอร์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการชนกันของข้อมูลแบบ store-and-forward ในกรณีส่วนใหญ่แล้วการทำบัฟเฟอร์ทางแสง จะทำขึ้นจากการใช้เส้นใยแก้วนำแสงที่มีการส่งวนกลับ (fiber loops) หรือเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิง (delay line) ที่มีการประวิงการแพร่กระจาย (propagation delay) คงที่และเท่ากัน ซึ่งประเด็นนี้นำไปสู่ความต้องการที่ว่าแพ็กเก็ตที่เข้ามาทางทางเข้าออกอินพุตทั้งหมดจะต้องมีขนาดที่เท่ากัน และถูกจัดเรียงมาในแบบตรงเฟสกัน ด้วยการอ้างอิงกับสัญญาณนาฬิกาภายในระบบรายละเอียดดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงข่ายแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงแบบร่อง

2.6.2 โครงข่ายแบบไม่มีร่อง (Unslotted network)

ในโครงข่ายแบบไม่มีร่อง ข้อมูลแพ็กเก็ตต่างๆอาจจะมีขนาดที่เท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ แพ็กเก็ตต่างๆที่เข้ามายังสวิตช์จะเข้ามาโดยที่ไม่มีระเบียบเรียง ดังนั้นการสวิตช์ในแบบที่ละ 1 แพ็กเก็ตจะสามารถถูกนำมาแทนที่ในขณะใดก็ได้ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าโครงข่ายแบบไม่มีร่องนี้มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการชนกันของข้อมูลสูงกว่า เพราะว่าพฤติกรรมที่ไม่สามารถคาดเดา



รูปที่ 2.7 โครงข่ายแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงแบบไม่มีร่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้และความขาดระเบียบของแพ็กเก็ตต่างๆที่เข้ามานั้นเอง แต่ในทางกลับกันโครงข่ายแบบไม่มีร่องนั้นกลับสามารถสร้างขึ้นได้ง่ายและมีราคาถูก รวมทั้งมีความคงทนและมีความยืดหยุ่นมากกว่าโครงข่ายในแบบร่อง

2.7 โครงสร้างของสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตช์

ในสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตช์ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ 4 ส่วน ดังนี้

1. ขอบร่วมทางด้านอินพุต (input interface) ซึ่งมีการทำการเข้าจังหวะ และการทำการแยกรายละเอียดของแพ็กเก็ต (packet delineation)
2. โครงสร้างสวิตช์ที่กำหนดวางเส้นทางให้กับแพ็กเก็ตต่างๆไปยังเอาต์พุตที่ถูกต้องและทำการแก้ปัญหาการชนกันของข้อมูล
3. ส่วนควบคุม (control unit) ที่ควบคุมโครงสร้างการสวิตช์ข้อมูล โดยใช้ข้อมูลที่ได้มาจากเฮดเดอร์
4. ขอบร่วมทางด้านเอาต์พุต (output interface) ซึ่งจะจัดการเข้าจังหวะทางด้านเอาต์พุต, การสร้างข้อมูลกลับขึ้นมาใหม่ (regenerated data) และการเขียนเฮดเดอร์ขึ้นมาใหม่ (rewritten header)

ในการที่จะสร้างสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตช์ พบว่ามีข้อจำกัดทางเทคนิคหลายอย่างที่ต้องมองข้ามไป ไม่ใช่เพียงแค่ว่าจะต้องเป็นการสวิตช์อย่างรวดเร็วที่เป็นหลักสำคัญเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการไม่มีหน่วยความจำทางแสงสำหรับการทำบัฟเฟอร์ด้วย ทางเลือกในการแก้ปัญหาก็คือใช้เส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิง (fiber delay lines) หรือ FDLs ซึ่งจะใช้เวลาของเส้นใยแก้วนำแสงและการประวิงจากการแพร่กระจาย (propagation delay) ซึ่งเกิดจากความเร็วของแสง เพื่อเก็บข้อมูลทางแสงนี้ไว้ ด้วยการใช้ FDLs นี้จึงต้องจำกัดขนาดของแพ็กเก็ตและใช้แพ็กเก็ตที่มีความยาวคงที่ ซึ่งสิ่งนี้จำเป็นต้องทำให้มีการใช้ทั้งการแยกรายละเอียดของแพ็กเก็ต และการเข้าจังหวะ สำหรับการทำการรู้จำแพ็กเก็ต (packet recognition) และการทำการปรับแนวแพ็กเก็ต (packet alignment)

2.8 การทำการเข้าจังหวะกัน (synchronization) ของโครงข่ายแบบร่อง

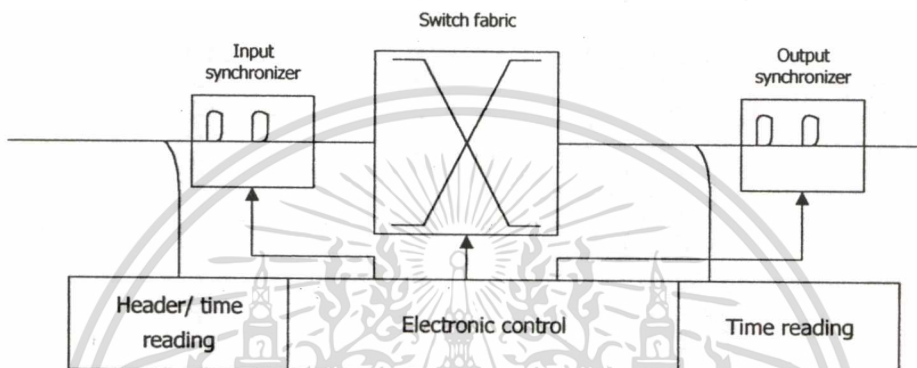
2.8.1 ผลกระทบที่เกิดจากรูปแบบของแพ็กเก็ตทางแสง

รูปที่ 2.8 แสดงถึงระดับการเข้าจังหวะภายในโนด ตัวแยกทางแสง (optical splitter) จะส่งกำลังงานจำนวนน้อยๆออกมาจากแพ็กเก็ตต่างๆที่เข้ามา วงจรสำหรับใช้อ่านเฮดเดอร์ของแพ็กเก็ตจะจดจำสายข้อมูลได้ด้วยรูปแบบพิเศษที่ตอนต้นของแพ็กเก็ต และเตรียมพร้อมที่

จะอ่านข้อมูลของเฮดเดอร์นั้นออกมา วงจรนี้จะส่งข้อมูลทางด้านเวลาของข้อมูลแพ็กเก็ตที่เข้ามา

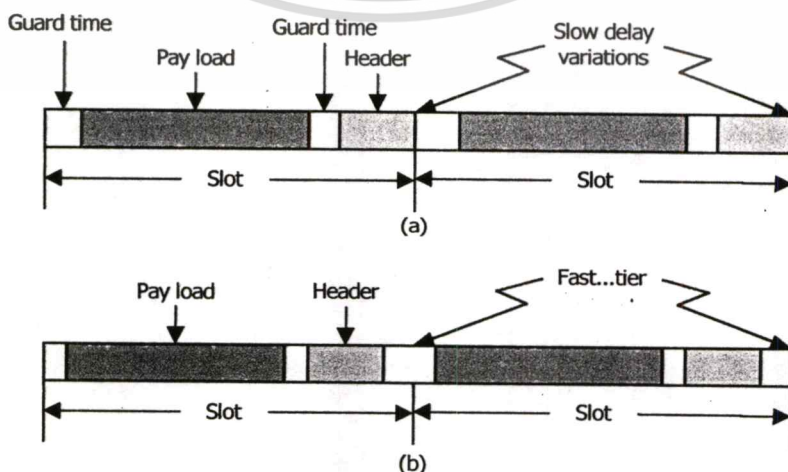
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปยังหน่วยควบคุมเพื่อที่จะจัดการระดับสถานะการทำการเข้าจังหวะของระบบ และโครงแบบภายในสวิตช์ ในด้านการทำการเข้าจังหวะของระบบทางด้านอินพุตนั้นข้อมูลแพ็กเก็ตจะถูกจัดเรียงไว้ก่อนที่จะเข้ามายังสวิตช์ ในขณะที่ส่วนการทำการเข้าจังหวะของระบบทางด้านเอาต์พุต (output synchronization stage) จะทำการชดเชยจิตเตอร์ (jitter) ที่เกิดขึ้นภายในโนดให้กับแพ็กเก็ตต่างๆ ซึ่งส่วนการทำการเข้าจังหวะของระบบทางด้านเอาต์พุต อาจจะจำเป็นต้องมีหรือไม่มีก็ได้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของแพ็กเก็ตและสถาปัตยกรรมของโนด



รูปที่ 2.8 การทำการเข้าจังหวะของแพ็กเก็ตข้อมูลภายในโครงข่ายแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง

โดยทั่วไปแล้วสิ่งที่ต้องการในการแก้ปัญหาของการทำการเข้าจังหวะของระบบ (ต้องปรับตำแหน่งของแพ็กเก็ตที่เข้ามาให้ดีขึ้นขนาดไหน) จะขึ้นอยู่กับรูปแบบของแพ็กเก็ต (เช่นขนาด และตำแหน่งของเฮดเดอร์, สัมภาระบรรทุก และ เวลาคุม (guard time)) ยิ่งแพ็กเก็ตมีขนาดยาวมากเท่าไรเราก็สามารถใส่เวลาคุมลงไปแพ็กเก็ตได้มากโดยไม่มีผลต่อการใช้ประโยชน์จากสายการเชื่อมต่อ (link utilization) และการที่มีเวลาคุมมากก็ยิ่งหมายความว่าเราสามารถจัดเรียงแพ็กเก็ตได้โดยง่ายด้วยนั่นเอง



รูปที่ 2.9 รูปแบบที่เป็นไปได้ของแพ็กเก็ต ซึ่งใช้สำหรับกำหนดวิธีการเข้าจังหวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการพิจารณาที่ตำแหน่งของสัมภาระบรรทุก, เฮดเดอร์ และเวลาคุม จะพบว่า เราต้องพิจารณาในประเด็นสำคัญถึง 2 กรณีดังนี้

- เฮดเดอร์จะระบุถึงตำแหน่งเริ่มต้นของร่องเวลา ในกรณีนี้ถ้าเราต้องการแค่เพียงอ่านข้อมูลที่อยู่ภายในเฮดเดอร์ ตำแหน่งทั้งหมดของร่องจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ด้วยความแตกต่างของเวลาประวิงการแพร่กระจาย และการเลื่อนของความถี่สัญญาณนาฬิกาท้องถิ่น ซึ่งเราไม่จำเป็นต้องห่วงในเรื่องของเวลา จิตเตอร์ ที่ก่อนและหลังสัมภาระบรรทุก
- เวลาคุม จะถูกวางอยู่ระหว่างเฮดเดอร์กับส่วนตอนต้นของร่องหรือสัมภาระบรรทุก ในกรณีนี้แพ็กเก็ตต่างๆที่ตามต่อเนื่องกันมา ซึ่งเข้ามาจากสายการเชื่อมต่อเดียวกันสามารถมีความแตกต่างของความผิดพลาดทางการจัดเรียงได้ และการทำ fast clock recovery สำหรับการอ่านเฮดเดอร์นั้น จะต้องทำอยู่บนพื้นฐานของการอ่านที่ละแพ็กเก็ต

ในกรณีแรกเฮดเดอร์จะถูกเรียงอย่างถูกต้องที่ตอนต้นของร่องเวลา ดังนั้นเฮดเดอร์ของแพ็กเก็ตที่ตามมาจะเข้ามาถึงโนดด้วยช่วงเวลาที่ยาวที่เมื่อเทียบกับโนดก่อนหน้านี้ เฮดเดอร์ นั้นจะปรากฏเฉพาะที่ตอนต้นของแต่ละร่องเวลาและเราต้องการเพียงแค่มองไปที่เฮดเดอร์แล้วทำการสวิตช์ข้อมูลแพ็กเก็ตนั้นออกไปได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นการทำการแยกรายละเอียดของแพ็กเก็ต ซึ่งส่วนควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ของการทำการเข้าจังหวะทางด้านอินพุต (input synchronizer) จะถูกนำมาใช้งาน

ขั้นตอนการทำการเข้าจังหวะทางด้านอินพุต (input synchronization stage) นั้นจะควบคุมดูแลเฉพาะการเปลี่ยนแปลงการประวิงแบบช้าๆเท่านั้น อย่างไรก็ตามจะต้องพยายามทุกอย่างเพื่อให้เฮดเดอร์ถูกจัดเรียงกันอย่างดีภายในขอบเขตบริเวณของร่อง รูปที่ 2.8 ที่ขั้นตอนการทำการเข้าจังหวะทางด้านเอาต์พุต จะต้องมีการแก้ปัญหาอย่างรวดเร็วและละเอียดเพื่อชดเชยให้กับจิตเตอร์ของเฮดเดอร์ที่เกิดขึ้นในเส้นทางการเดินทางของแพ็กเก็ตแสงที่แตกต่างกันภายในโครงสร้างสวิตช์ บนพื้นฐานแบบแพ็กเก็ต-ต่อ-แพ็กเก็ต

ในกรณีที่ 2 เมื่อเวลาคุม นั้นถูกกำหนดให้อยู่ระหว่างเฮดเดอร์และขอบปลายบริเวณร่องเวลา และจิตเตอร์ทางเฮดเดอร์นั้นอาจจะเกิดขึ้นได้ ดังนั้นการอ่านค่าเฮดเดอร์ในแบบอิเล็กทรอนิกส์จึงต้องทำด้วย fast clock recovery และจิตเตอร์ของเฮดเดอร์บนพื้นฐานแบบแพ็กเก็ต-ต่อ-แพ็กเก็ต หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างว่าสวิตช์ซึ่งโนดจะไม่สามารถคาดเดาได้อย่างแม่นยำถึงเวลาการเข้ามาที่แท้จริงของเฮดเดอร์ เมื่อมันรู้แค่เพียงเวลาเมื่อร่องนั้นจะเริ่มต้น ซึ่งจะอยู่ตรงช่วงกลางของช่วงเวลาคุม ขั้นตอนการทำการเข้าจังหวะทางด้านเอาต์พุต ที่มีความละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

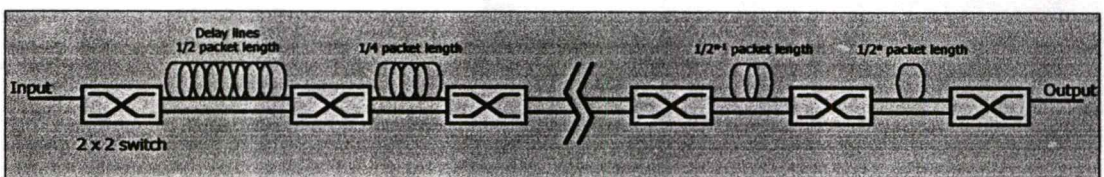
สูงจึงถูกนำมาเป็นทางเลือก เพราะว่าจิตเตอร์ของเฮดเดอร์นั้นจะถูกควบคุมดูแลด้วยการอ่านเฮดเดอร์ในแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่โหนดที่ต่ออยู่หลังขั้นตอนการทำงานการเข้าจังหวะทางด้านอินพุต

การทำงานแยกรายละเอียดของแพ็กเกต นั้นมีความจำเป็นต่อทั้งโครงข่ายแบบร่องและแบบไม่มีร่อง ในระหว่างการทำการแยกรายละเอียดของแพ็กเกตนั้น ข้อมูลในระดับบิตต่างๆที่เข้ามาจะถูกล๊อคให้ตรงเฟสกับสัญญาณนาฬิกาท้องถิ่น ในแบบเรียงลำดับกับโหนด เพื่ออ่านข้อมูลของเฮดเดอร์ ดังที่ได้อธิบายไว้ว่ารูปแบบของแพ็กเกตที่แน่นอนนั้นมีความจำเป็นต่อการทำการเข้าจังหวะ ในระดับบิตหรืออาจกล่าวได้อีกอย่างว่าโหนดนั้นจะต้องสามารถทำการเข้าจังหวะกันกับเฮดเดอร์ได้ด้วยสัญญาณนาฬิกาภายในของมันเองด้วยข้อมูลในระดับบิตต่างๆทั้งหมด

2.8.2 วิธีการทำการเข้าจังหวะ (synchronization schemes)

เมื่อแพ็กเกตต่างๆเข้ามายังโหนดจากเส้นทางเชื่อมโยงที่ต่างกันแพ็กเกตต่างๆนั้นอาจจะเข้ามาอย่างไม่ตรงเฟสกันเลยทีเดียวกับแพ็กเกตอื่นๆก็ได้ รูปที่ 2.10 แสดงถึงการทำการเข้าจังหวะกันที่ประกอบไปด้วยสวิตช์ต่างๆและเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงต่างๆที่ต่ออนุกรมกันอยู่ ดังเช่นที่ปรากฏที่ขั้นตอนการทำงานการเข้าจังหวะทางด้านอินพุตของโหนด เมื่อรูปแบบของข้อมูลระดับบิตภายในแพ็กเกตเฮดเดอร์ได้ถูกจดจำและการทำการแยกรายละเอียดของแพ็กเกต ได้ถูกจัดการเรียบร้อยแล้ว เวลาในการเริ่มต้นของแพ็กเกตจะถูกระบุออกมาและหน่วยควบคุมจะได้คำนวณถึงค่าเวลาการประวิงที่จำเป็นและจัดหาเส้นทางที่ถูกต้องโดยตลอดในเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิง ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงจะถูกจัดการในรูปแบบลำดับทางอนุกรมระหว่างสวิตช์ทางแสงขนาด 2×2 ดังนั้นเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงเส้นแรกจะต้องมีขนาดการประวิงเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ของร่องเวลา ในขณะที่เส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงเส้นที่ 2 จะมีขนาดการประวิงเท่ากับ $\frac{1}{4}$ ของร่องเวลา ต่อเนื่องกันไปตามลำดับ ดังนั้นเราสามารถเขียนสมการแสดงขนาดของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงได้เป็น $\frac{1}{2^n}$ ร่องเวลา เมื่อ n เป็นจำนวนเส้นของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิง ชนิดของวิธีการทำการเข้าจังหวะกัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบหลักๆ คือ

1. แบบสถิตหรือ static (slow) synchronization
2. แบบพลวัต หรือ dynamic (fast) synchronization



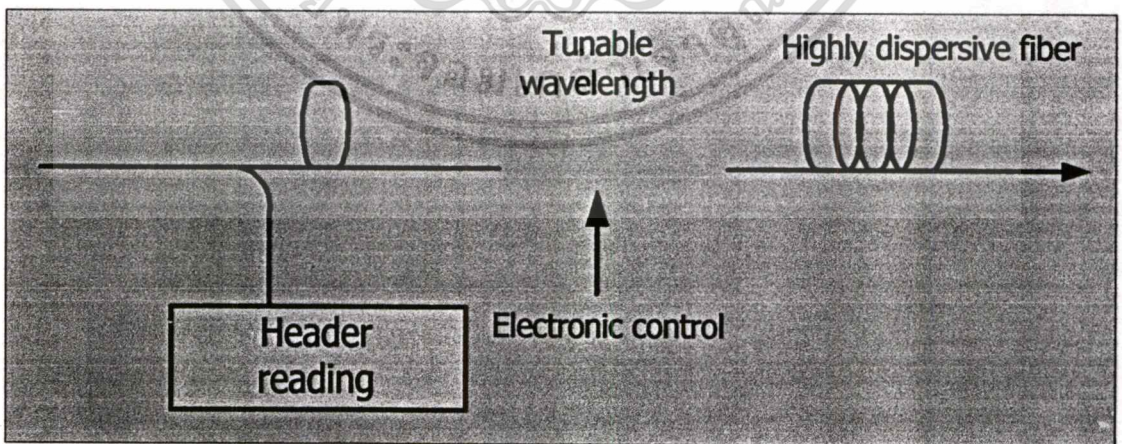
รูปที่ 2.10 การเข้าจังหวะของแพ็กเกตแสงที่ด้านอินพุตของแพ็กเกตสวิตช์ทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ ส่วนการเริ่มต้นระบบ การทำการเข้าจ้งหะกันแบบแพ็กเกต จะถูกตั้งค่าเพื่อชดเชยความแปรเปลี่ยนทางค่าการประวิงระหว่างอินพุตต่างๆที่แตกต่างกัน และเก็บรักษาค่าที่ตั้งไว้นี้ไปตลอดการปฏิบัติการของระบบ (static) สำหรับการทำการเข้าจ้งหะกันในแบบแพ็กเกต (dynamic) จะจำเป็นที่จะต้องใช้สวิตซ์ทางแสงที่มีความเร็วสูงกว่าเพื่อที่จะสามารถทำงานได้ในระหว่างเวลาคุมของแพ็กเกต

วิธีการนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากการใส่แทรก (insertion loss) และการสูญเสียเนื่องจากการไขว้แทรก (crosstalk) อันเนื่องมาจาก การนำเอาสวิตซ์ทางแสงมาใช้งานร่วมด้วย การที่มีการนำเอาสวิตซ์ทางแสงมาต่อกันจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องให้การขยายกำลังงานทางแสง (optical amplification) ซึ่งส่งผลทำให้มีการลดลงของค่าเปรียบเทียบกับสัญญาณเทียบกับสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio) ในขณะที่การสูญเสียเนื่องจากการไขว้แทรกที่สะสมอยู่ที่สวิตซ์ทางแสงจะยังคงทำให้อัตราความผิดพลาดบิต (bit error rate) เพิ่มขึ้น ในโครงข่ายแบบหลายโนดค่า power penalty ที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการเข้าจ้งหะกันทั้งหมดอาจส่งผลกระทบต่อสมรรถนะโดยรวมของระบบได้

อีกวิธีหนึ่งในการทำการเข้าจ้งหะกันคือการใช้อุปกรณ์ที่สามารถปรับเปลี่ยนความยาวคลื่นของแพ็กเกตแสงได้ (tunable wavelength converter) และเส้นใยแก้วนำแสงแบบที่มีการกระจายตามความถี่สูง (high dispersive) เมื่อความเร็วในการเดินทางของแสงในเส้นใยแก้วนำแสงแบบที่มีการกระจายตามความถี่สูง นี้จะขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแพ็กเกต โดยอาศัยการแปลงกลับความยาวคลื่นอย่างเหมาะสมของแพ็กเกตที่เข้ามาก็จะทำให้เราได้ค่าเวลาการประวิงที่เราต้องการ



รูปที่ 2.11 การเข้าจ้งหะโดยการใช้การเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นแสงและเส้นใยแก้วนำแสงแบบมีการแพร่กระจายตามความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การทำการเข้าจังหวะและการทำการแยกรายละเอียดของแพ็กเก็ตของโครงข่ายแบบไม่มีร่อง

รูปที่ 2.7 แสดงถึงสถาปัตยกรรมทั่วไปของโหนด รวมทั้งพฤติกรรมทั่วไปของแพ็กเก็ตทางแสงของโครงข่ายแบบไม่มีร่อง (โครงข่ายนี้จะไม่มีขั้นตอนการทำการเข้าจังหวะ และการจัดเรียงแพ็กเก็ต) เส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงที่มีความยาวที่แน่นอนได้ถูกนำมาใช้เพื่อรองรับแพ็กเก็ตเมื่อเฮดเดอร์ของแพ็กเก็ตและโครงสร้างของสวิตช์ได้ถูกจัดการ เมื่อไม่มีการจัดเรียงแพ็กเก็ตและแพ็กเก็ตต่าง ๆ นั้นได้ถูกส่งเข้ามาที่สวิตช์ด้วยขนาดการประวิงที่เท่าๆกันตามตำแหน่งที่พวกมันเข้ามา ดังนั้นจึงไม่มีการช่วงชิงกันของข้อมูลเกิดขึ้น แต่ถ้าหากจะมีการช่วงชิงกันของข้อมูลเกิดขึ้นก็จำเป็นต้องนำวิธีการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงกันของข้อมูลโดยเฉพาะมาใช้

2.10 การแก้ปัญหาการช่วงชิงกันของข้อมูล

ในโครงข่ายแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง ข้อมูลแพ็กเก็ตแต่ละแพ็กเก็ตจะส่งผ่านไปยังสวิตช์ย่อยๆต่างๆไปจนถึงปลายทางที่ต้องการ เมื่อแพ็กเก็ตข้อมูลได้ถูกสวิตช์ไปยังเอาต์พุตอาจจะมีการช่วงชิงกันของข้อมูลเกิดขึ้นได้หากมีแพ็กเก็ตตั้งแต่ 2 แพ็กเก็ตขึ้นไปพยายามที่จะออกไปยังเอาต์พุตเดียวกันในเวลาพร้อมกัน ในการแก้ปัญหาการช่วงชิงกันของข้อมูลให้ได้นั้นจะส่งผลอย่างยั้งต่อสมรรถนะของโครงข่าย วิธีการแก้ไขการช่วงชิงกันของข้อมูลให้กับแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงมีอยู่ 3 แบบหลัก ดังนี้คือ

1. การทำบัฟเฟอร์ทางแสง (optical buffering)
2. การกำหนดเส้นทางการเหวของแพ็กเก็ตข้อมูลแสง (deflection routing)
3. การเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นแสง (wavelength conversion)

2.10.1 การทำบัฟเฟอร์ทางแสง

การช่วงชิงกันของแพ็กเก็ตข้อมูลในอุปกรณ์จัดวางเส้นทาง (router) ทางอิเล็กทรอนิกส์นั้นสามารถแก้ไขได้โดยวิธีการ “สโตร์แอนด์ฟอร์เวิร์ด” (store-and forward) ซึ่งหมายความว่า แพ็กเก็ตต่างๆที่อยู่ในช่วงที่เกิดการช่วงชิงกันของข้อมูลนั้นจะถูกเก็บไว้ชั่วคราวในคิวของบัฟเฟอร์แล้วจึงถูกส่งออกไปที่เอาต์พุตที่ต้องการที่ละ 1 แพ็กเก็ต ซึ่งหลักการดังนี้สามารถทำได้หากเรามีหน่วยความจำทางอิเล็กทรอนิกส์ (RAM) แต่ในการสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตช์นั้นจำเป็นต้องใช้วิธีที่แตกต่างออกไปเพื่อใช้สำหรับจัดคิวแพ็กเก็ตแสงที่เราต้องการ ด้วยเหตุผลที่ว่าในปัจจุบันนี้ยังไม่มีเทคโนโลยีหน่วยความจำทางแสงที่สามารถรองรับความต้องการดังกล่าวได้ ความแตกต่างอย่างหลักระหว่างหน่วยความจำทางอิเล็กทรอนิกส์และหน่วยความจำทางแสงหรือบัฟเฟอร์ทางแสงก็คือ บัฟเฟอร์ทางแสงนั้นจะถูกสร้างขึ้นมาจากเส้นใยแก้วนำแสง

ทางแสงนั้นถูกส่งเข้ามายังเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงนี้แล้ว มันจะถูกส่งออกมาที่อีกปลายด้านหนึ่งของเส้นใยแก้วนำแสงหลังจากผ่านช่วงเวลาที่เหมาะสมช่วงหนึ่งไปแล้ว โดยที่เราไม่สามารถจะรับแพ็กเก็ตทางแสงนี้ได้ก่อนหน้านั้น

บัฟเฟอร์ที่ทำมาจากเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงนี้ ได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. feed-forward หรือ ประเภทป้อนไปข้างหน้า
2. feedback หรือ ประเภทป้อนวนกลับ

ในบัฟเฟอร์ทางแสงประเภท feed-forward นั้น จะประกอบไปเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิง ที่มีความยาวแตกต่างกันทำงานร่วมกับสวิตช์ทางแสงต่างๆ เวลาที่ใช้ในการเก็บแพ็กเก็ตทางแสงจะถูกกำหนดได้โดยความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิง ในรูปแบบนี้ ถ้าหากเราต้องการเพิ่มปริมาณเวลาในการประวิง เราก็จะต้องเพิ่มจำนวนของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงและขนาดของสวิตช์ทางแสงด้วย บัฟเฟอร์ทางแสงอีกประเภทหนึ่งก็คือ บัฟเฟอร์ทางแสงแบบ feedback ซึ่งจะมีวงรอบที่มีเวลาในการวนกลับของแพ็กเก็ตทางแสงเท่ากับเวลาในการเดินทางของแพ็กเก็ต 1 แพ็กเก็ตในช่วงเวลา 1 รอบเวลา ในบัฟเฟอร์ทางแสงประเภทนี้จะมี ความซับซ้อนมากกว่า เมื่อมีความต้องการในการที่จะเพิ่มจำนวนเวลาในการประวิงโดยการวนกลับในวงรอบ อย่างไรก็ตามสัญญาณทางแสงของแพ็กเก็ตทางแสงก็จะต้องถูกขยายเพิ่มไปด้วย ในระหว่างที่มีการวนวงรอบแต่ละวงรอบเพื่อที่จะชดเชยการสูญเสียทางกำลังงาน ซึ่งข้อนี้เองทำให้เกิดสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับขยายสัญญาณทางกำลังของแสง (optical amplifier) และทำให้เกิดการระเหิมขึ้นของสัญญาณ ซึ่งในที่สุดก็จะทำให้เกิดการจำกัดค่าเวลาในการประวิงสูงที่สุดของบัฟเฟอร์ทางแสงนี้ได้ การทำบัฟเฟอร์ทางแสงนี้มีปัญหามากมาย เนื่องมาจากว่ามันจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนอย่างมาก ปัญหาเหล่านี้รวมไปถึงการสูญเสียต่างๆ ภายในเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงและสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมต่ออุปกรณ์ขยายสัญญาณหลายๆตัวเข้าด้วยกัน จึงได้มีการพัฒนาเทคนิค 2 เทคนิคขึ้นมาเพื่อหลีกเลี่ยงหรือลดปัญหาต่างๆในการทำบัฟเฟอร์ทางแสง โดยที่เทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นมาดังกล่าวก็คือ การกำหนดเส้นทางของแพ็กเก็ตข้อมูลแสง และการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นแสง

สถาปัตยกรรมการทำบัฟเฟอร์ทางแสงนั้นสามารถทำได้เหมือนกับสถาปัตยกรรมการทำบัฟเฟอร์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจจึงใช้การเปรียบเทียบกับการทำบัฟเฟอร์ทางอิเล็กทรอนิกส์ทำให้สามารถจำแนกแบบสถาปัตยกรรมการทำบัฟเฟอร์ทางแสงได้หลักๆดังนี้

1. การทำอินพุตบัฟเฟอร์ (input buffering)
2. การทำเอาต์พุตบัฟเฟอร์ (output buffering)
3. การทำแชร์บัฟเฟอร์ (shared buffering)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การทำพาร์เชียลรีซีร์บัพเฟอร์ (recirculating buffering หรือ partially shared buffering)

2.10.2 การกำหนดเส้นทางการเหของแพ็กเก็ตข้อมูลแสง

ในวิธีการกำหนดเส้นทางการเหของแพ็กเก็ตข้อมูลแสงนั้น พวกแพ็กเก็ตทางแสงที่เกิดการชนกันขึ้นจะถูกกำหนดให้เหออกไปยังเอาต์พุตที่ยังไม่ถูกกำหนด และที่เหลือก็ต้องพยายามไปให้ถึงในปลายทางที่กำหนดไว้โดยเส้นทางเมื่อเลือกให้ได้ นี่ทำให้ง่ายต่อการนำมาทำให้เป็นฮาร์ดแวร์ (hardware) เมื่อเปรียบเทียบกับการทำบัพเฟอร์ทางอิเล็กทรอนิกส์แล้ว ข้อเสียของการวางเส้นทางให้กับแพ็กเก็ตทางแสงให้ไปผิดที่นั้นก็คือจะมีเวลาการประวิงเกิดขึ้นมากกว่า และแพ็กเก็ตสวิตช์นี้จะให้วิสัยสมารถได้น้อยกว่า เพื่อที่จะแก้ไขปัญหานี้ จึงได้มีการนำเอาบัพเฟอร์ทางแสงขนาดเล็กมาใช้ในการกำหนดเส้นทางการเห อันทำให้วิธีการกำหนดเส้นทางการเหนี้ สามารถถูกออกแบบได้ในหลายๆทางเลือก แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นเช่นการจัดเรียงลำดับแพ็กเก็ตใหม่ (packet reordering) และการวนวงรอบไม่สิ้นสุด (deadlock) ก็ยังคงเป็นปัญหาสำคัญที่จะต้องพิจารณาแก้ไขกันต่อไป

2.10.3 การเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นแสง

การเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นแสง สามารถนำมาใช้เพื่อลดจำนวนของบัพเฟอร์ทางแสงที่จะนำมาใช้ การช่วงชิงกันของข้อมูลแพ็กเก็ตทางแสงระหว่างแพ็กเก็ต 2 แพ็กเก็ตสามารถถูกแก้ไขได้โดยการส่งแพ็กเก็ตทางแสงทั้งสองนั้นออกไปด้วยความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน วิธีการที่ใช้ในสวิตช์แบบ wavelength switched packet network (WASPNET) นั้นรวมเอาบัพเฟอร์ทางแสงที่ทำมาจากเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงแบบป้อนวนกลับที่มี arrayed waveguide grating (AWGs) เข้าไว้ด้วยกัน การใช้การเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นแสงนั้นยังมีการระงับสัญญาณรบกวน (noise suppression) และการทวนจัดรูปร่างของสัญญาณ (signal reshaping) ด้วย ในอนาคตอาจจะเป็นไปได้ที่จะรวมเอาทั้งบัพเฟอร์ทางแสง, การกำหนดเส้นทางการเหของแพ็กเก็ตข้อมูลแสง และการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นแสงเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งอาจนำไปสู่ทางแก้ปัญหการช่วงชิงกันของข้อมูล ซึ่งเป็นผลทำให้ได้อุปกรณ์ที่มีราคาต่ำและยังคงให้สรรณะของโครงข่ายที่ดี

2.11 การแบ่งประเภทของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง

เท่าที่มีการแนะนำขึ้นมาสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีหลักๆ ดังนี้

- วิธีอย่างแรกคือแบ่งได้ตามลักษณะระดับจำนวนชั้นของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงที่ใช้ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สวิตช์แบบชั้นเดียว (single stage switch)
 2. สวิตช์แบบหลายระดับชั้น (multi stage switch)
- แบ่งออกตามลักษณะการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลแสง
 1. feed-forward หรือ ประเภทป้อนไปข้างหน้า
 2. feedback หรือ ประเภทป้อนวนกลับ

โดยที่ประเภทป้อนไปข้างหน้า (feed-forward) นั้น เส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงจะส่งแพ็กเก็ตแสงนั้นต่อเนื่องไปยังระดับชั้นต่อไปของสวิตช์ โดยจะส่งต่อไปตลอดตามเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงที่คงที่ ในขณะที่ประเภทป้อนวนกลับ (feedback) นั้น เส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงจะส่งแพ็กเก็ตแสงนั้นกลับเข้ามายังอินพุตที่ระดับสวิตช์ชั้นเดิม โดยเวลาในการประวิงจะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่มีการส่งแพ็กเก็ตแสงนั้นกลับ

เมื่อใช้การจำแนกประเภททั้ง 2 วิธีมาทำการจำแนกประเภทชนิดของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ได้มีการแนะนำขึ้นมาแล้วร่วมกันนั้น (โดยให้การแบ่งประเภทตามลักษณะระดับจำนวนชั้นของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงเป็นหลัก และให้การแบ่งประเภทตามลักษณะการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลแสงเป็นรอง) เราจะสามารถแบ่งประเภทของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงต่างๆที่ได้มีการแนะนำขึ้นมาแล้วได้ดังนี้

1. สวิตช์แบบชั้นเดียว (single stage switches)
 2. สวิตช์แบบหลายระดับชั้น (multi stage switches)
- 2.11.1 สวิตช์แบบชั้นเดียว (single stage switches)

2.11.1.1 OASIS (single stage, feed-forward delays)

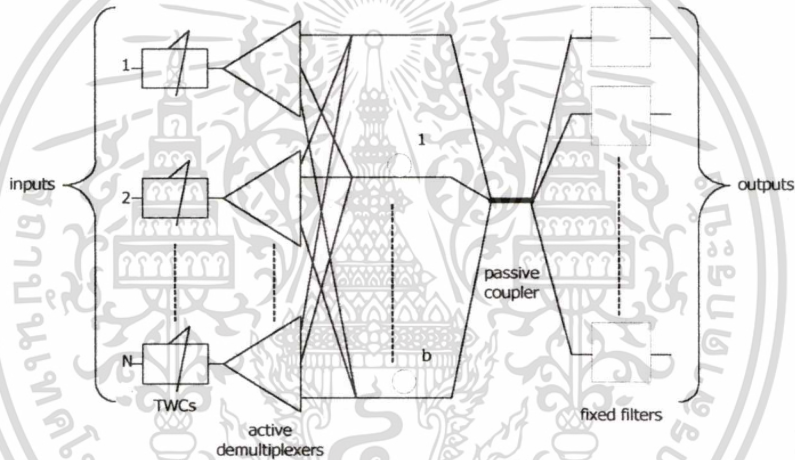
แพ็กเก็ตทางแสงจากอินพุตต่างๆจะถูกส่งเข้ามาถึงสวิตช์ และแพ็กเก็ตแสงเหล่านั้นจะถูกส่งไปยังเอาต์พุตที่ต้องการได้ทั้งจากอุปกรณ์ต่อเชื่อมแบบพาสซีฟ (passive coupler) และอุปกรณ์ array waveguide grating (AWG) โดยที่อุปกรณ์ array waveguide grating จะมีค่าการสูญเสียที่ต่ำกว่าอุปกรณ์ต่อเชื่อมแบบพาสซีฟ ดังนั้นแพ็กเก็ตสวิตช์แบบ OASIS ที่ใช้อุปกรณ์ AWG จึงให้สมรรถนะที่ดีกว่าแพ็กเก็ตสวิตช์แบบ OASIS ที่ใช้อุปกรณ์ต่อเชื่อมแบบพาสซีฟ (passive coupler) แพ็กเก็ตสวิตช์แบบ OASIS นี้จะมีลักษณะการทำงานของบัพเฟอร์ทางแสงในแบบเอาต์พุตบัพเฟอร์โดยทั่วไป ดังนั้นสมรรถนะที่ได้จากแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง OASIS นี้จะเหมือนกันกับแพ็กเก็ตสวิตช์ที่ใช้เอาต์พุตบัพเฟอร์ที่มีขนาด b

2.11.1.2 Broadcast-and-select switch (single stage, feed-forward delays)

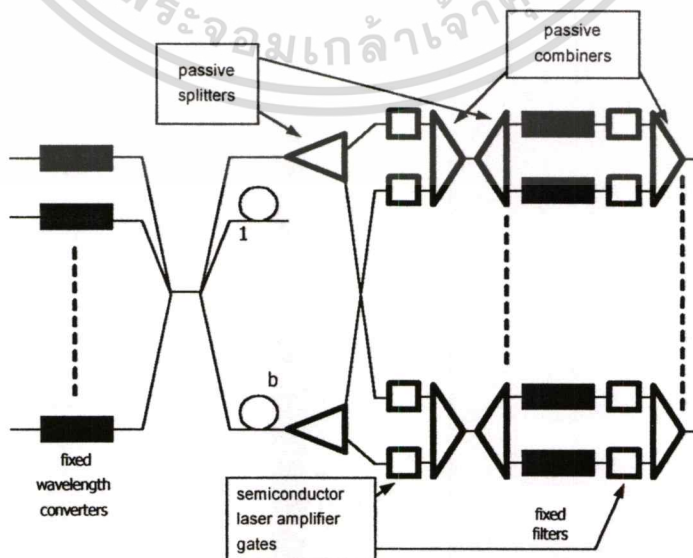
ในแพ็กเก็ตสวิตช์แบบ broadcast-and-select switch จะใช้อุปกรณ์

เอกสารปรับเปลี่ยนความยาวคลื่นในการเข้ารหัสสายข้อมูลแพ็กเก็ตต่างๆที่เข้ามาถึงยังอินพุต โดยที่นั่นแพ็กเก็ตไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกตที่อินพุตต่างๆจะสามารถจำแนกออกจากกันได้โดยความยาวคลื่นที่แยกจากกัน สายข้อมูลแพ็กเกตจะถูกรวมกันเข้าและกระจายออกไปยังเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิง ด้วยการใช้อุปกรณ์สวิตช์ SOA (semiconductor optical amplifier) และอุปกรณ์รวมสัญญาณแบบพาสซีฟ (passive combiner) แล้ว เอาต์พุตแต่ละเอาต์พุตจะสามารถเลือกสัญญาณจากเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงมาได้ 1 เส้น หลังจากนั้นอุปกรณ์ที่แต่ละเอาต์พุตก็จะเลือกแพ็กเกตจากอินพุตที่ถูกต้องโดยใช้ช่องว่างของตัวกรอง (filter) เมื่อการทำบัพเฟอร์ในสวิตช์แบบนี้มีลักษณะการทำงานเหมือนกันกับเอาต์พุตบัพเฟอร์ดังนั้นสมรรถนะที่ได้จากสวิตช์แบบนี้จะเหมือนกับสมรรถนะที่ได้จากเอาต์พุตบัพเฟอร์ ยิ่งไปกว่านั้นแพ็กเกตบางแพ็กเกตจะถูกส่งกระจายไปยังเอาต์พุตทุกเอาต์พุตด้วยเวลาในการประวิงเท่าที่จะทำได้ ดังนั้นสวิตช์แบบนี้จึงสามารถทำงานในแบบที่สามารถกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตข้อมูลได้



รูปที่ 2.12 บัพเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมสวิตช์ OASIS



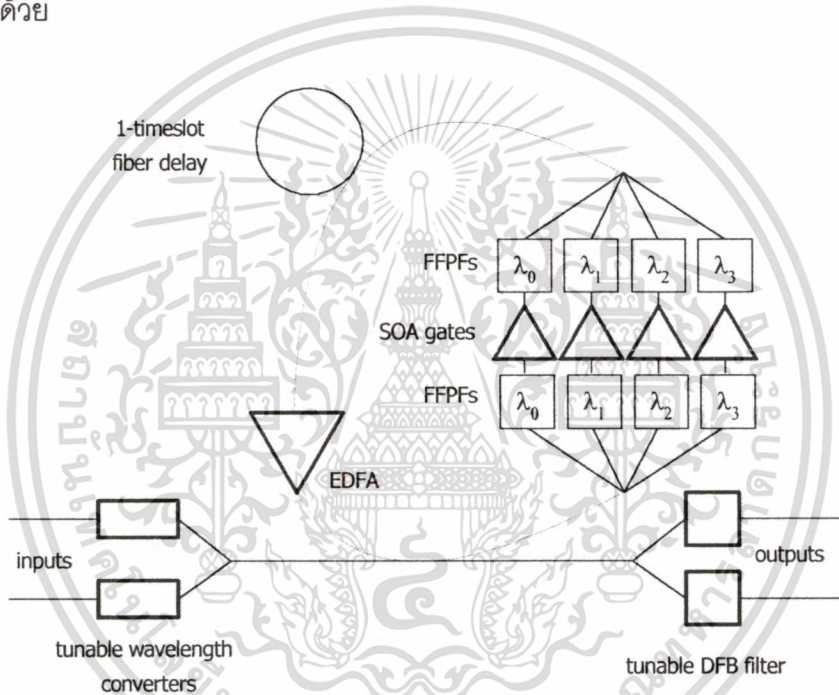
รูปที่ 2.13 บัพเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมการสวิตช์ broadcast – and - select

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1.3 Multiwavelength loop (single stage, feedback delays)

สวิตช์แบบนี้จะเก็บแพ็กเกตต่างๆที่มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันไว้ในเส้นใยแก้วนำแสงที่มีการวนรอบภายในเส้นเดียวกัน อุปกรณ์ปรับเปลี่ยนความยาวคลื่นที่ทางอินพุตจะถูกใช้งานที่ทุกๆช่วงระยะเวลา ดังนั้นจึงไม่มีการชนกันระหว่างแพ็กเกตที่เข้ามาใหม่และแพ็กเกตที่วนอยู่ในวงรอบเกิดขึ้นในกรณีแพ็กเกตที่เข้ามาใหม่นั้นได้ถูกส่งเข้าไปในวงรอบ หากเมื่อต้องการนำแพ็กเกตออกมาจากวงรอบก็สามารถทำได้โดยอุปกรณ์กรองสัญญาณ DFB filter ที่ติดตั้งอยู่ทางด้านเอาต์พุต ซึ่งจะถูปรับให้มีความยาวคลื่นเหมือนกันกับความยาวคลื่นของแพ็กเกตนั้นๆ รวมทั้งอุปกรณ์ SOA gate และอุปกรณ์ FFPF (fiber Fabry-Parot filter) ที่จะต้องทำงานไปพร้อมๆกันด้วย



รูปที่ 2.14 บัพเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมการสวิตช์ multiwavelength loop

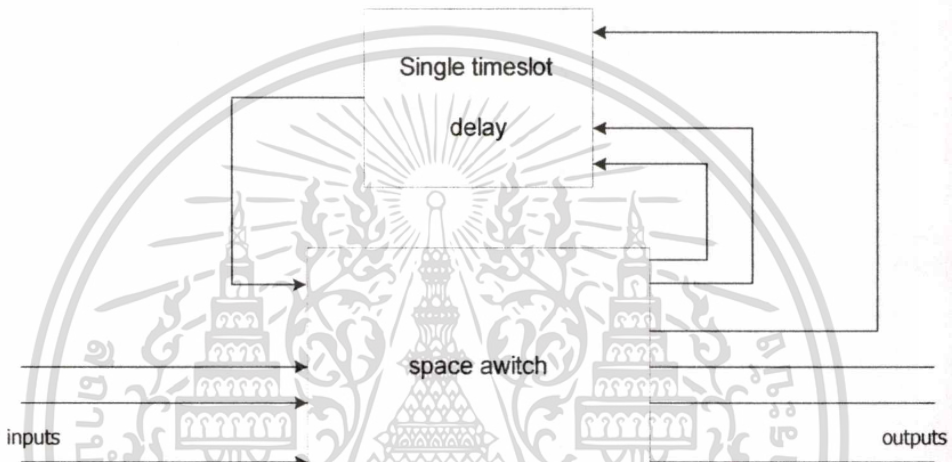
2.11.1.4 SMOP (shared memory optical packet switch) (single stage, feedback delays)

SMOP (shared memory optical packet switch) คือ สวิตช์ที่มีวงรอบการวนของแพ็กเกตที่ใช้เส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงที่มีขนาด 1, 2, 3 จนถึง m และสวิตช์จะเป็น สวิตช์แบ่งเส้นทางขนาด $(N + m) \times (N + m)$ เมื่อข้อมูลเข้ามาถึงยังสวิตช์และได้ถูกกำหนดไปยังเอาต์พุตที่ต้องการแล้ว แพ็กเกตต่างๆ จะถูกจัดการโดยมีเงื่อนไวดังนี้

- แพ็กเกตที่เข้ามาจากเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงต่างๆ ที่พร้อมที่จะถูกส่งออกไปยังเอาต์พุตจะถูกกำหนดให้ออกไปยังเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แพ็กเก็ตใดๆที่เข้ามายังอินพุตของ SMOP ที่สามารถตรงไปยังเอาต์พุตของ SMOP ได้เลยนั้นจะถูกกำหนดให้ออกไปยังเอาต์พุต
- ถ้าหากมีแพ็กเก็ตใดเข้ามาถึงยังเอาต์พุตหลังจากถูกส่งวนไปแค่เพียง 1 รอบแล้ว แพ็กเก็ตนั้นจะถูกส่งไปวนแค่เพียง 1 รอบหลังจากส่งวนแล้วจึงออกจากสวิตช์ไป
- แพ็กเก็ตต่างๆที่เหลืออยู่จะถูกกำหนดไว้อยู่ในเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวง เพื่อที่จะพยายามหลีกเลี่ยงการที่จะมีแพ็กเก็ตมากกว่า 1 แพ็กเก็ตถูกส่งออกไปยังเอาต์พุตที่ต้องการในทันทีหลังจากถูกส่งวนรายละเอียดดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 บัพเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมสวิตช์ shared memory optical packet switch

2.11.2 สวิตช์แบบหลายระดับชั้น (multistage switches)

2.11.2.1 Wave-mux (multistage, feed-forward delays)

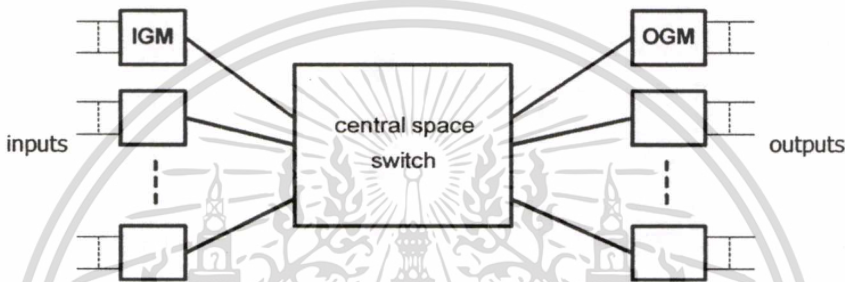
ในแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงแบบ wave-mux เป็นการสวิตช์ชั้นกลางที่มีการเปลี่ยนแปลงทุกๆรอบเวลานั้นจะมีการทำงานแบบซ้ำๆตามตาราง อินพุตต่างๆจะถูกแบ่งออกไปเป็นกลุ่มย่อยๆ ซึ่งแต่ละกลุ่มย่อยนี้จะมี input group module (IGM) ของตัวเอง ในส่วนของเอาต์พุตก็จะมีกลุ่มย่อยของตัวเองเช่นกันเรียกว่า output group module (OGM) ซึ่งแต่ละคู่ของ IGM/OGM นั้นจะถูกกำหนดระยะเวลาเป็นการเฉพาะรวมไปถึงแพ็กเก็ตที่กำลังเข้ามาที่บัพเฟอร์ จนกระทั่งพวกมันถูกส่งออกไปถึงส่วนกลางการสวิตช์ด้วยระยะเวลาที่ถูกต้อง แต่ละเซลล์ที่อยู่ในรอบเวลานั้นจะผ่านไปถึงส่วนกลางการสวิตช์ด้วยเส้นทางที่กำหนดเฉพาะและจะให้ความยาวคลื่นที่ไม่เหมือนกัน

แพ็กเก็ตที่เข้ามายัง IGM จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบทางไฟฟ้าเพื่อจะสามารถอ่านแฮดเดอร์และทำบัพเฟอร์ได้ก่อนที่จะแปลงไปเป็นสัญญาณแสง บัพเฟอร์ทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกนำมาใช้เนื่องจากความต้องการบัพเฟอร์ในปริมาณมากๆ เพื่อให้ได้

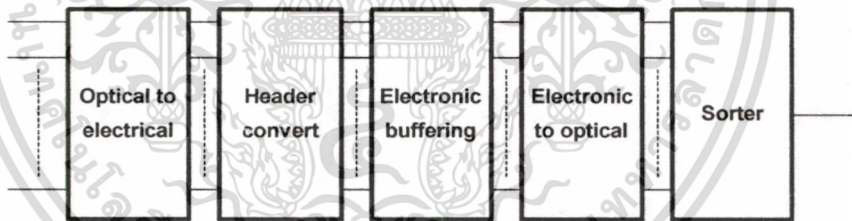
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่เสียประโยชน์ใด ๆ การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

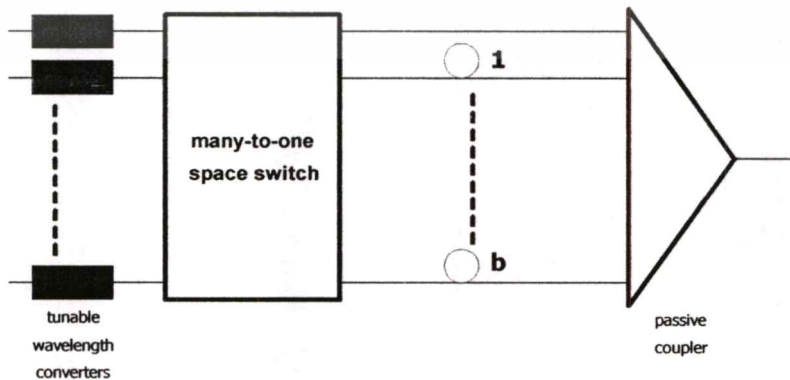
สมรรถนะตามที่ต้องการ เมื่อมีการจัดการหน่วยความจำให้กับบัฟเฟอร์ แพ็กเกตต่างๆจากอินพุตสามารถเข้ามายังอุปกรณ์จัดเรียง (sorter) ได้ในทันที โดยไม่มีการชนกันแบบเฮดออฟไลน์ (head of line) อุปกรณ์จัดเรียงถูกนำมาใช้เพื่อให้แน่ใจว่าแพ็กเกตที่เข้ามายังส่วนกลางการสวิตช์ด้วยช่องเวลาที่ถูกต้องนั้น จะถูกส่งออกไปยังเอาต์พุตที่ถูกต้องได้ อุปกรณ์แปลงความยาวคลื่นถูกนำมาใช้เพื่อให้แพ็กเกตต่างสามารถถูกส่งไปยังส่วนกลางการสวิตช์ด้วยเส้นทางเดียวกันได้ในทันที OGM จะส่งแพ็กเกตแต่ละแพ็กเกต ออกไปยังเอาต์พุตที่ถูกต้องอย่างเป็นลำดับ ด้วยวิธีใช้เส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิง, สวิตช์แบบแบ่งเส้นทาง และฟิลเตอร์ที่ปรับเปลี่ยนค่าได้เข้ามาช่วย



รูปที่ 2.16 (a) บัฟเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมการสวิตช์ wave-mux

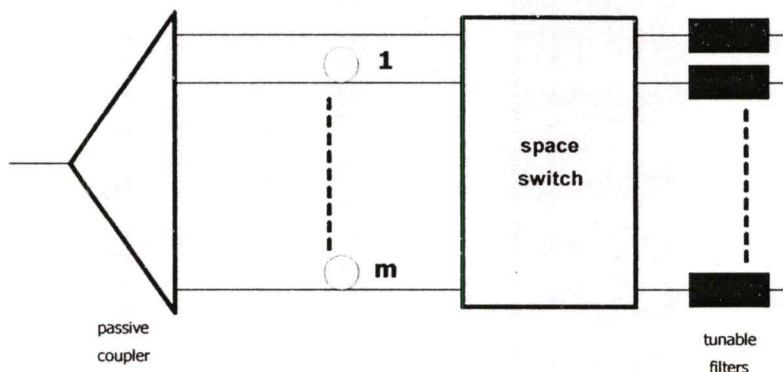


รูปที่ 2.16 (b) ขั้นตอนการทำ IGM



รูปที่ 2.16 (c) การจัดเรียงลำดับใน IGM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



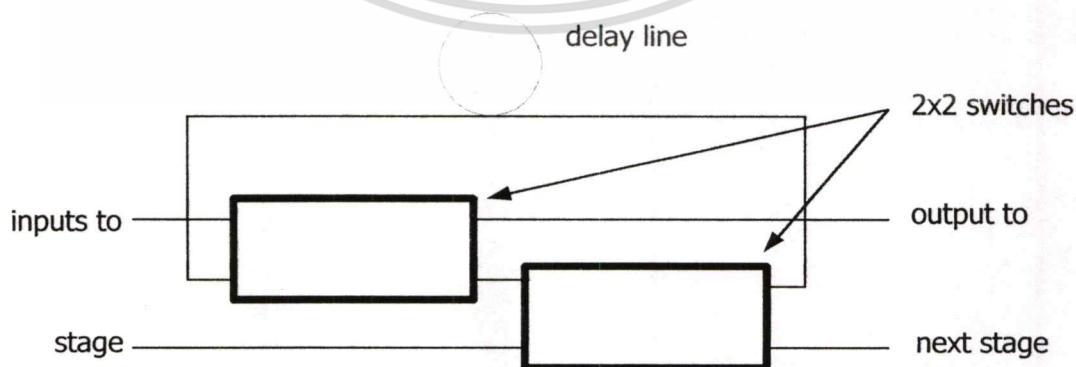
รูปที่ 2.16 (d) การทำงานของ OGM

2.11.2.2 Cascaded 2 x 2 switches (multistage, feed-forward delays)

สามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 4 แบบ หลักได้ดังนี้

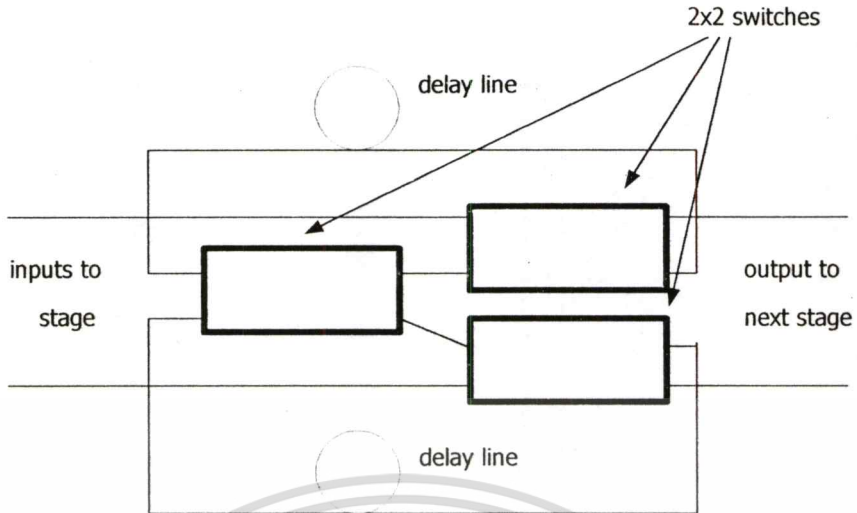
1. COD (cascaded optical delay line)

ในสวิตช์แบบ COD นี้ อุปกรณ์สวิตช์ขนาด 2x2 แต่ละตัวจะเรียงแพ็กเกตทางแสงที่เข้ามาซึ่งเรียกว่า “smart crossbar” การเลือกให้แพ็กเกตมีการประวิงนานเท่าใดขึ้นอยู่กับสวิตช์ว่าจะจัดการแพ็กเกตให้วนอยู่ในวงรอบของสายประวิงนานเท่าใด หากไม่ต้องการการประวิงอีก สวิตช์ก็จะส่งแพ็กเกตออกมาจากวงรอบ โดยที่สามารถแบ่งสวิตช์แบบนี้ ออกได้เป็น 2 แบบ อีกคือ แบบ track changer (TC) และแบบ twin track changer (TTC) จะเห็นได้ว่าสวิตช์แบบนี้จะสิ้นเปลืองฮาร์ดแวร์มากกว่าสวิตช์แบบอื่นหากต้องการค่าการประวิงที่มีค่ามากขึ้น รายละเอียดดังรูปที่ 2.17(a), 2.17(b)



รูปที่ 2.17(a) มอดูล track changer (TC) สำหรับ COD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17(b) มอดูล track changer คู่ (TTC) สำหรับ COD

2. SDL (switched fiber delay lines)

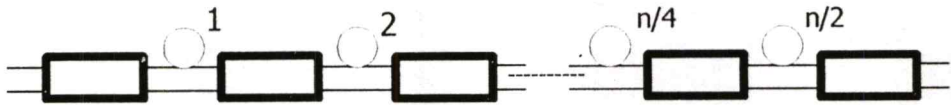
สถาปัตยกรรมสวิตช์แบบ 2 x 1 นี้ จะประกอบขึ้นจากสายประวิงที่มี 2 ระดับชั้น สวิตช์แบบนี้สามารถรองรับการเข้ามาถึงพร้อมกันยังสวิตช์ของแพ็กเกตต่างๆได้โดยไม่เกิดการชน โดยสวิตช์จะทำการเลือกแพ็กเกตที่ต้องการให้ส่งออกไปก่อน ให้ส่งผ่านออกไปได้เลยโดยไม่มี การประวิง ในขณะที่แพ็กเกตอื่นๆ ที่ต้องการส่งออกไปจะถูกส่งไปยังสายประวิงต่างๆ ด้วยค่าการประวิงที่ไม่เท่ากัน รายละเอียดดังรูปที่ 2.18 ซึ่งโครงสร้างอย่างนี้ถูกออกแบบมาให้สำหรับเพื่อหลีกเลี่ยงการส่งแพ็กเกตออกไปจากสวิตช์ หรือ สายประวิงทั้ง 2 เส้นพร้อมกันมากกว่า 1 แพ็กเกต



รูปที่ 2.18 บัฟเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมการสวิตช์ switch delay line (SDL)

3. Logarithmic delay line switch

บัฟเฟอร์ทางแสงแบบนี้ค่าการประวิงที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณฮาร์ดแวร์ในแบบลอการิทึม โดยที่บัฟเฟอร์แบบนี้จะมีการทำงานในแบบเอาต์พุตบัฟเฟอร์ รายละเอียดดังรูปที่ 2.19



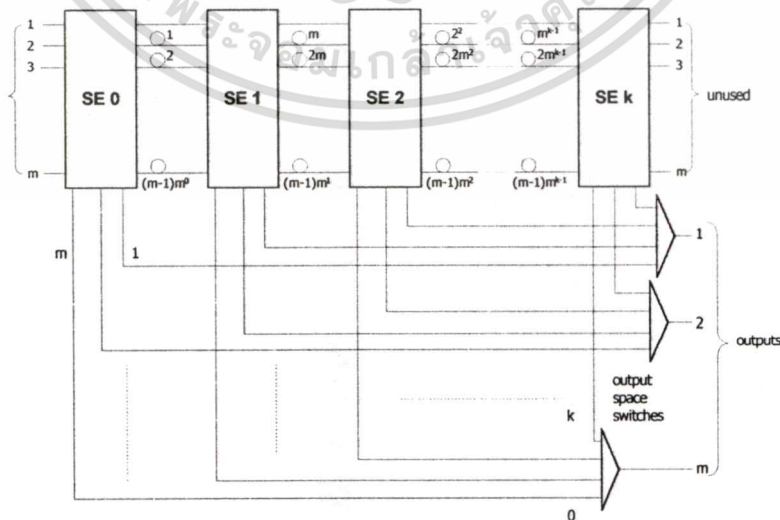
รูปที่ 2.19 บัฟเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมการสวิตช์ logarithmic delay line (LDL)

4. Single – Buffer deflection routing switch

บัฟเฟอร์ที่ใช้สวิตช์แบบนี้จะเป็นแบบพิเศษ จากกรณีของสายประวิงแบบลอกการิทึม เมื่อให้ $n=2$ บัฟเฟอร์แบบนี้จะประกอบขึ้นจากสวิตช์ขนาด 2×2 โดยมีแค่เพียง 1 สายประวิง สวิตช์แบบนี้จะให้ค่าความลึกของบัฟเฟอร์ได้น้อยกว่า ดังนั้น สถาปัตยกรรมบัฟเฟอร์ทางแสงแบบนี้จึงเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ ที่สามารถทนทานต่อความน่าจะเป็นที่มีการหักเหสูงๆ ได้

2.11.2.3 Switch with large optical buffers (SLOB)
(multistage, feed-forward delays)

แพ็กเกตสวิตช์ทางแสงแบบ SLOB นี้จะต่อสวิตช์ขนาดเล็กหลายๆ ตัวเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างเป็นสวิตช์ที่มีขนาดใหญ่กว่าและมีขนาดของบัฟเฟอร์มากขึ้น สวิตช์แบบ SLOB นี้จะถูกควบคุมด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ แต่เส้นทางของแพ็กเกตภายในสวิตช์นั้นจะอยู่ในรูปแบบทางแสงซึ่งมีอินพุตและเอาต์พุตจำนวน N ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงจะเพิ่มขึ้นในแบบเอกซ์โพเนนเชียลจากทางด้านซ้ายไปขวาตามแบบของโครงสร้าง ซึ่งบัฟเฟอร์แต่ละอันจะมีขนาดเท่ากับ $nk-1$ แพ็กเกต เมื่อ k คือจำนวนของชั้นภายในสวิตช์



รูปที่ 2.20 บัฟเฟอร์ทางแสงที่ใช้สถาปัตยกรรมการสวิตช์ switch with large optical buffer (SLOB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สรุปเทคโนโลยี การทำบัฟเฟอร์ทางแสงในปัจจุบัน

Switch	Buffer depth	Packet priorities	Internal use of wavelength	Control
OASIS(AWG)	Medium	No	Yes	Output buffer simulation
Broadcast and select	Medium	Yes	Yes	Output buffer Simulation
Multi length loop	Small	Yes	Yes	Shared Buffering
SMOP	Medium or large	Yes	Yes	Output buffer Simulation plus scheduling
Wave-Mux	Large	No	Yes	Scheduled Packet Transport over central space Switch
CORD	Small	No	No	Various
COD	Medium or large	No	No	Self-routing
Logarithmic Delay-Lone	Medium or large	No	No	Output buffer simulation
SLOB	Large	No	Yes	Output buffer simulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

บัฟเฟอร์ทางแสง

3.1 กล่าวนำ

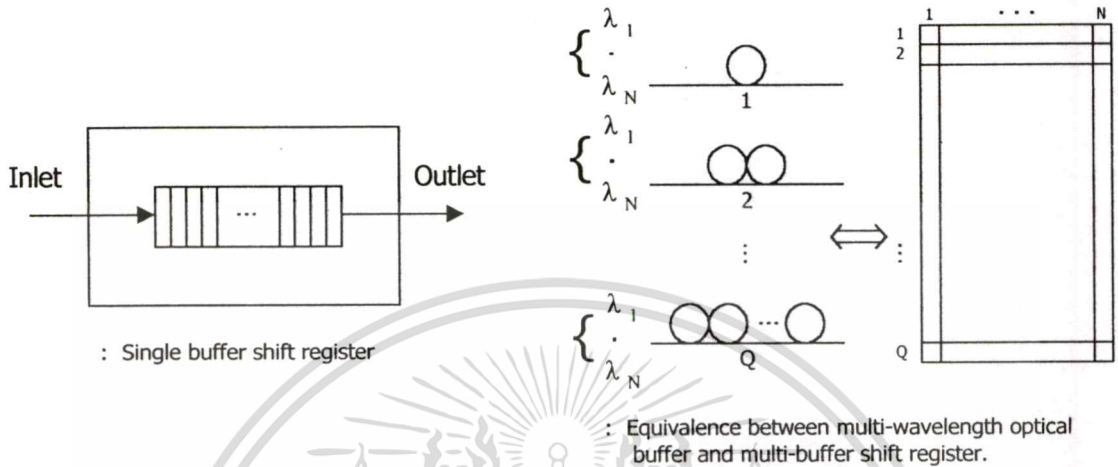
ในแพ็คเกจสวิตช์ทางอิเล็กทรอนิกส์ การแก้ปัญหาการสูญหายไปของแพ็คเก็ตอันเนื่องมาจากการชนกันของแพ็คเก็ตข้อมูลนั้นทำได้โดยใช้บัฟเฟอร์หรือหน่วยความจำทางอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อที่จะสามารถจัดเก็บข้อมูลไว้ชั่วคราวสำหรับส่งออกไปยังเอาต์พุตที่ต้องการในระยะเวลาถัดไป แต่ในสวิตช์ทางแสงที่ต้องมีการจัดการข้อมูลในรูปแบบทางแสงเพียงอย่างเดียวนั้น จำเป็นต้องมีการจัดคิวของข้อมูลแพ็คเก็ตในรูปแบบทางแสงเท่านั้น โดยไม่มีการแปลงสัญญาณข้อมูลจากแสงไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและจากสัญญาณทางไฟฟ้ากลับไปเป็นสัญญาณแสง จึงจำเป็นต้องมีหน่วยความจำทางแสงขึ้นมาเพื่อรองรับความต้องการนี้ แต่เนื่องจากในปัจจุบันยังไม่มีหน่วยความจำทางแสงที่มีความสามารถเหมือนหน่วยความจำทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ จึงมีการนำเอาเส้นใยแก้วนำแสงที่มีความยาวต่างๆ และอุปกรณ์ทางแสงอื่นๆ มาใช้เพื่อประวิงเวลาการเดินทางหรือประวิงข้อมูลแพ็คเก็ตทางแสงด้วยระยะเวลาที่แตกต่างกัน ในบทนี้จะได้กล่าวถึงบัฟเฟอร์ทางแสงทั้งในหลักการและโครงสร้าง

3.2 หลักการทำงานของบัฟเฟอร์ทางแสง

เป้าหมายของการทำบัฟเฟอร์ทางแสงก็คือ การที่จะสามารถจัดการกับข้อมูลที่อยู่ในรูปของแสงในลักษณะการจัดเรียงลำดับได้ ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าบัฟเฟอร์ทางแสงนั้นจะมีลักษณะของระบบการทำงานในแบบร่องของเวลา โดยหลักการแล้วบัฟเฟอร์ทางแสงนี้สามารถสร้างขึ้นได้จากกลุ่มของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิง (fiber delay lines หรือ FDLs) ที่มีความยาวที่แตกต่างกัน บัฟเฟอร์ทางแสงที่ประกอบขึ้นจากกลุ่มของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิง จะถูกใช้สำหรับให้ข้อมูลแสงเดินทางอยู่ภายใน FDLs นั้นๆตามช่วงเวลาที่กำหนด โดยหลักการแล้วจะเหมือนกับบัฟเฟอร์ทั่วไป แพ็คเก็ตแสงต่างๆจะเข้ามาและถูกประวิงชั่วคราวอยู่ในบัฟเฟอร์ (FDLs) และจะมีเพียง 1 แพ็คเก็ตเท่านั้นที่ถูกส่งออกมาจากบัฟเฟอร์ (FDLs) เวลาที่ต้องการใช้ในการประวิงข้อมูลแพ็คเก็ตแสงจะขึ้นอยู่กับความยาวของ FDLs เช่นข้อมูลแบบเซลล์ของ ATM ที่มีอัตราการสื่อสารสัญญาณที่ 2.488 Gbit/s ซึ่ง 1 เซลล์จะถูกส่งไปในเวลา 154 ns หรือ 1 ร่องเวลา จะเท่ากับ 154 ns เมื่อแสงมีความเร็วในการเดินทางภายในเส้นใยแก้วนำแสงแบบซิลิกาที่ 2×10^8 ต่อ 1 เมตร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ FDLs ที่มีความยาวที่เซลล์ข้อมูลจะเดินทางได้ในเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

154 ns ซึ่งในที่นี่จะยาวประมาณ 32 เมตร แต่อย่างไรก็ตามการทำบัพเฟอร์ทางแสงนั้นจำเป็นต้องใช้ FDLs ที่มีความยาวอย่างต่ำ 1 ร่องเวลา



รูปที่ 3.1 ลักษณะการจัดเรียงลำดับของแพ็กเก็ตแสงภายในบัพเฟอร์ทางแสง

คิวข้อมูลแพ็กเก็ตแสงในบัพเฟอร์ทางแสงจะถูกจัดการในแบบ FIFO (first in first out) เส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงทุกเส้นนั้นสามารถรองรับข้อมูลแสงได้ N ความยาวคลื่น ดังนั้นบัพเฟอร์ทางแสงจึงสามารถรองรับการสื่อสารสัญญาณที่มีการมัลติเพล็กซ์มาในแบบ WDM (wavelength division multiplexing) ได้ จำนวนของ FDLs และความยาวของ FDLs ที่ต้องการสำหรับใช้ทำบัพเฟอร์ตามขนาดที่ต้องการนั้น จะขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมที่นำมาใช้สำหรับบัพเฟอร์ทางแสง โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งสถาปัตยกรรมบัพเฟอร์ทางแสงที่สร้างขึ้นจาก FDLs ตามลักษณะทางโครงสร้างได้ 3 ประเภทหลักๆ ดังนี้

1. Fixed delay line หรือ Feed-forward delay line
2. Variable delay line หรือ Feedback delay line
3. Hybrid

และสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะการทำงานได้ 2 ประเภทคือ

1. Feed – forward delay line
2. Feed – backward delay line

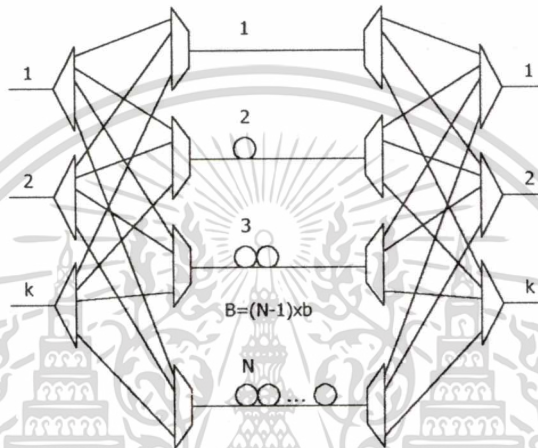
3.3 สถาปัตยกรรมบัพเฟอร์ทางแสงที่ใช้ FDL แบบต่างๆ (แบ่งตามลักษณะทางโครงสร้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 Fixed delay line หรือ Feed-forward delay line

บัฟเฟอร์ชนิดนี้ จะมีเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงจำนวน K เส้น แต่ละเส้นมีการประวิงเวลาการเดินทางที่แตกต่างกัน (ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิง) แต่จะมีค่าตายตัวจาก 0 ร่องเวลาไปจนถึงถึง เวลาการประวิงเวลาที่ต้องการมากที่สุด B ร่องเวลา เมื่อ b คือ ค่าการประวิงเวลาในเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงรายละเอียดดังรูปที่ 3.2 โดยที่ขนาดของ B หาได้จากสมการดังนี้

$$B = (K - 1) \times b \quad (2)$$

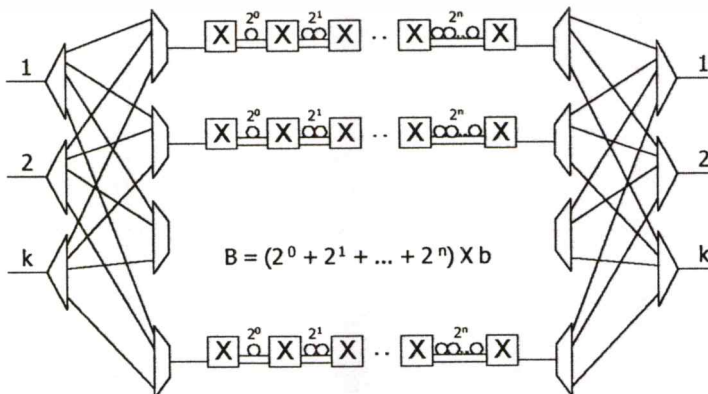


รูปที่ 3.2 บัฟเฟอร์ทางแสงแบบ Fixed delay line หรือ Feed-forward delay line

3.3.2 Variable delay line หรือ Feedback delay line

บัฟเฟอร์แบบนี้ จะมีจำนวนเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงจำนวน K เส้น แต่ละเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงสามารถให้ค่าการประวิงเวลาที่ปรับเปลี่ยนได้จาก 0 ร่องเวลา ไปจนถึง B ร่องเวลา โดยการใช้สวิตช์ทางแสงขนาด 2×2 เพื่อกำหนดเส้นทางการประวิงเวลาให้กับแพ็กเก็ตข้อมูล รายละเอียดดังรูปที่ 3.3 โดยที่ขนาดของ B หาได้จากสมการดังนี้

$$B = (K - 1) \times b = (2^0 + 2^1 + \dots + 2^n) \times b \quad (3)$$



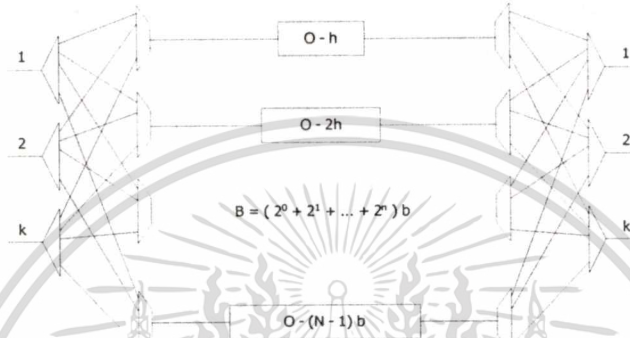
เอกสารรูปที่ 3.3 บัฟเฟอร์ทางแสงแบบ Variable delay line หรือ Feedback delay line ระเบียบข้อดำเนินการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 Hybrid delay line

บัฟเฟอร์แบบนี้จะรวมเอาความสามารถของทั้งบัฟเฟอร์ในแบบ fixed delay line และแบบ variable delay line ที่สามารถมีการประวิงเวลาแบบแปรผันได้แต่จะแตกต่างกันตรงที่แต่ละขนาดสูงสุดในการประวิงของแต่ละลำดับนั้นจะเหมือนกับ fixed fiber delay line ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่ b ไปจนถึง $(K-1) \times b$ โดยที่ขนาดของบัฟเฟอร์หรือ B หาได้จากสมการดังนี้

$$B = (K - 1) \times b = (2^0 + 2^1 + \dots + 2^{n-1}) b \quad (4)$$

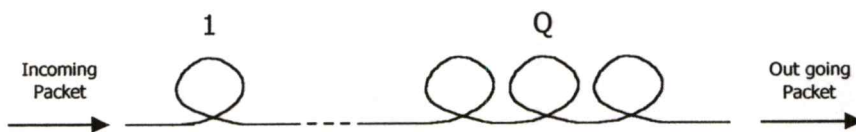


รูปที่ 3.4 แสดงบัฟเฟอร์ทางแสงแบบไฮบริด (hybrid)

3.4 สถาปัตยกรรมบัฟเฟอร์ทางแสงที่ใช้ FDL แบบต่างๆ (แบ่งตามลักษณะการทำงาน)

3.4.1 Feed-forward delay line

บัฟเฟอร์ทางแสงแบบนี้จะใช้สวิตช์ทางแสงขนาด 2×2 ต่อกันแบบอนุกรม เส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงจะต่ออยู่ระหว่างสวิตช์ดังกล่าว เวลาที่ใช้ในการประวิงเวลาการเดินทางหรือเวลาการประวิงจะกำหนดได้โดยสวิตช์ ซึ่งสามารถกำหนดข้อมูลไปยัง FDLs เส้นใยก็ได้ตามโครงสร้างเพื่อเวลาในการประวิงที่ต้องการ บัฟเฟอร์แบบป้อนไปข้างหน้า (feed - forward) นี้จะมีช่วงเวลาการประวิงที่จำกัด สาเหตุเนื่องมาจากว่าแพ็กเก็ตจะถูกส่งต่อไปด้านหน้าเรื่อยๆจนไปถึงปลายทางที่ทางด้านเอาต์พุตของบัฟเฟอร์

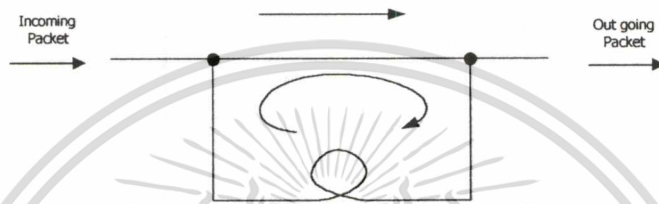


รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะการทำงานของ feed-forward delay line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 Feedback delay line

บัฟเฟอร์ทางแสงแบบป้อนวนกลับหลัง (feed-backward) จะต่อเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงจากเอาต์พุตกลับเข้ามายังอินพุต โดยมีสวิตช์ทางแสงเป็นตัวกำหนดเส้นทางของแพ็กเก็ต ในบัฟเฟอร์แบบป้อนกลับหลังนี้จะสามารถประวิงข้อมูลแพ็กเก็ตได้ไม่จำกัด เนื่องจากสามารถกำหนดให้แพ็กเก็ตดังกล่าวเดินทางวนอยู่ในเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงโดยไม่จำกัดได้



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการทำงานของ feed backward delay line

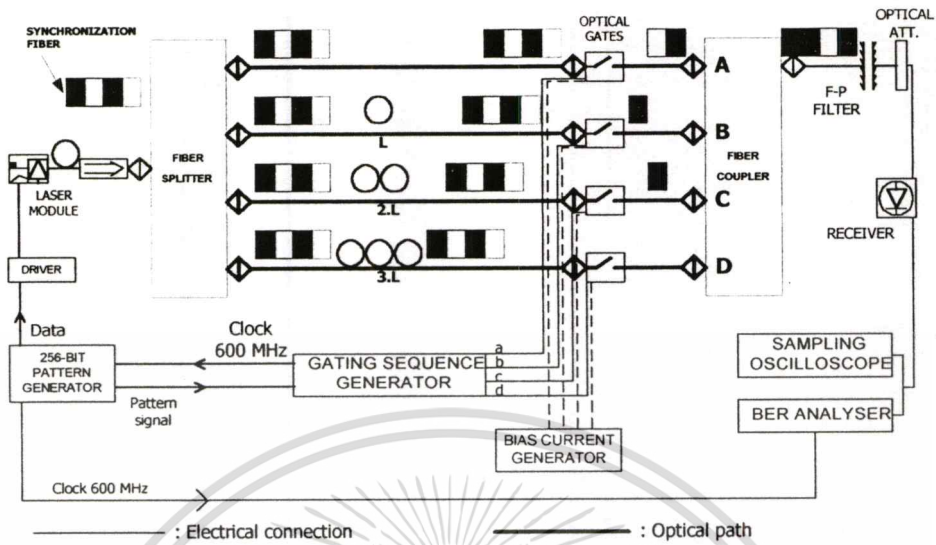
3.5 ตัวอย่างบัฟเฟอร์แบบป้อนไปข้างหน้า (feed – forward)

จากบทความ Fiber Delay Lines Optical Buffer for ATM Photonic Switching Application ได้นำเสนอบัฟเฟอร์ทางแสงขนาด 4 ช่องเวลาที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.7 โดยที่เส้นใยแก้วนำแสงด้านเข้าจะถูกต่อเชื่อมกับตัวแยกทางแสงขนาด 1×4 เพื่อส่งข้อมูลแสงเข้าไปยังเส้นใยแก้วนำแสงแบบ FDLs ทั้ง 4 เส้นโดยที่แต่ละเส้นจะมีความยาวหรือช่วงเวลาในการประวิงเพิ่มขึ้นต่างกัน 1 ช่องเวลาตามลำดับ ที่ด้านปลายของ FDLs แต่ละเส้นจะต่อเข้ากับ SCOA-Gs (SemiConductor Optical Amplifier as Gate) และต่อรวมเข้ากับตัวเชื่อมต่อนขนาด 4×1 ที่ต่อเข้ากับตัวกรองแบบ Fabry-Perot ข้อมูลแสงที่ส่งออกมาจากตัวกรองนี้จะถูกส่งต่อไปยังอุปกรณ์ลดทอนทางแสง (optical attenuator) , อุปกรณ์ภาครับ และอุปกรณ์วิเคราะห์การสื่อสารสัญญาณ (transmission analyzer) ตามลำดับ โดยที่จะมีอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ 256 bit analyzer เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบอัตราความผิดพลาดบิต (BER) ของข้อมูลแพ็กเก็ตแสง

ในการทำงานของบัฟเฟอร์ทางแสงนั้น เมื่อมีแพ็กเก็ตแสงเข้ามาที่อินพุตของบัฟเฟอร์ แพ็กเก็ตแสงนั้นจะถูกส่งเข้าไปยังแต่ละ FDLs ดังนั้นแพ็กเก็ตแสงเหล่านั้นจะเดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสงที่มีความยาวต่างๆกัน หรือก็คือแพ็กเก็ตแสงนั้นจะมีการประวิงที่ไม่เท่ากันในแต่ละ FDLs ประตูควบคุมหรือ SOCA-Gs จะถูกใช้เป็นประตูสำหรับเปิดหรือปิด ที่อัตราความเร็วเดียวกันและเข้าจังหวะกันกับอัตราการสื่อสารสัญญาณข้อมูลของสวิตช์ทางแสง ด้วยการทำงานของอุปกรณ์ gating sequence generator แล้ว จะมีเพียงประตูเดียวเท่านั้นที่เปิดให้แพ็กเก็ตแสงจาก FDLs นั้นผ่านออกมายังตัวเชื่อมต่อนเพื่อส่งออกไปจากบัฟเฟอร์ทางแสงนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างบัฟเฟอร์ทางแสงแบบป้อนไปข้างหน้า (feed-forward)

การเข้าจ้งหะกันระหว่างสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้ควบคุมการเปิดปิดของประตู (SOCA-Gs) และสัญญาณทางแสงของข้อมูลแพ็คเก็ตที่เดินทางอยู่ใน FDLs สามารถทำได้โดยวิธีการทางไฟฟ้า ด้วยการเข้าจ้งหะของอุปกรณ์ gating sequence generator พร้อมทั้งการใช้สัญญาณรูปแบบเฉพาะจากอุปกรณ์ pattern generator และในวิธีการทางแสงสามารถทำได้โดยการปรับตั้งเวลาการประวิงในการเดินทางของสัญญาณข้อมูลแพ็คเก็ตแสงระหว่างเลเซอร์และประตูต่างๆ ซึ่งบัฟเฟอร์ในแบบนี้จะใช้การเข้าจ้งหะสัญญาณของ FDLs ระหว่างเลเซอร์และตัวแยก

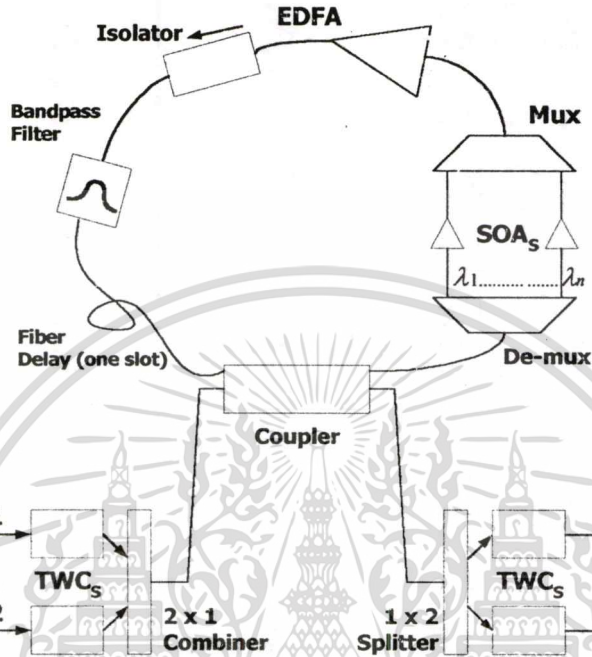
3.6 ตัวอย่างบัฟเฟอร์แบบป้อนวนกลับหลัง (feed-backward) หรือ fiber loop buffer memory

จากบทความ Simulation of fiber loop buffer memory of all-optical packet switch ได้นำเสนอบัฟเฟอร์ทางแสงแบบ feed-backward ไว้ โดยที่แพ็คเก็ตแสงที่เกิดการชนกันจะถูกส่งเข้าไปในวงวนรอบโดยผ่านอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนความยาวคลื่นแสง (tunable wavelength converter) โดยมีตัวเชื่อมต่อเป็นอุปกรณ์สื่อกลางการส่งผ่าน ภายในวงวนรอบจะมีอุปกรณ์ขยายสัญญาณแสงแบบเส้นใยแก้วนำแสงเออร์เบียมโดป (erbium doped fiber amplifier) เพื่อให้สำหรับชดเชยกำลังงานที่สูญเสียไปในแต่ละรอบที่มีการส่งแพ็คเก็ตวนอยู่ในวงวนรอบของเส้นใยแก้วนำแสง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้เส้นใยแก้วนำแสงแบบเออร์เบียมโดปต้องมีค่าการขยายกำลังเท่ากับกำลังงานที่สูญเสียไปในกระบวนการวนรอบ 1 รอบ อุปกรณ์ตัวแยกโดดเดี่ยว (isolator) และอุปกรณ์วงจรรองผ่านแถบความถี่ (band pass filter) ถูกนำมาใช้เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นเอง (amplified

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

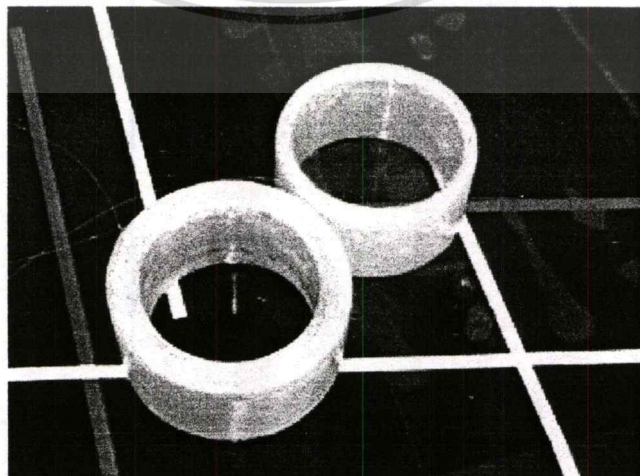
spontaneous emission noise) ในขณะที่อุปกรณ์สวิตช์ทางแสงที่มีการขยายสัญญาณแสงแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor optical amplifier (SOA) switch) ซึ่งอยู่ภายในวงรอบจะถูกใช้เพื่อนำแพ็กเก็ตที่วนอยู่ในวงรอบนั้นออกมา รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างบัฟเฟอร์ทางแสงแบบป้อนวนกลับหลัง (feed-backward)

3.7 ตัวอย่างของเส้นใยแก้วนำแสงที่ถูกนำมาใช้เป็น FDL ที่มีใช้งานจริง

Fiber Delay Coil หรือเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวงที่ใช้สำหรับการทำบัฟเฟอร์ทางแสงของบริษัท General Photonics Corporation เว็บไซต์ <http://www.generalphotonics.com/productmain.htm> แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงเส้นใยแก้วนำแสงที่ถูกนำมาใช้เป็น FDLs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1 คุณลักษณะที่สำคัญ

- Compact for easy integration into modules
- Low insertion loss
- Customized delay length
- Ruggedized construction
- Variety of fiber types
- Wide spectral response range
- Plug 'n' Play for easy use

3.7.2 การนำไปใช้งาน

- Optical buffer for optical networks
- Gyroscope, sensing, and signal processing
- Radar calibration and instrument calibration
- Laser spectroscopic measurement
- Fiber laser
- Time delay for opto-electronics oscillators
- Nonlinear fiber loop
- Optical network testing and analyzing
- Optical packet switching, buffering, routing and input/output synchronization

3.7.3 คุณสมบัติทางเทคนิค

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของ Fiber Delay Coil

Insertion loss	< 0.3 dB / km (typical), < 0.5 dB / km (maximum) (above intrinsic loss)
Fiber length	From 10 m up to 4 km
Optic delay	Nanosecond to microsecond depending on fiber length and type
Wavelength	480 ~ 1620 nm (1290-1620 nm standard, call for other wavelengths)
Fiber type	SMF-28, Corning LEAF, dispersion shifted, polarization maintaining, dispersion compensating fiber
Operation temperature	-40 to + 80 °C
PDL	< 0.01 dB / km
Interface	Pigttailed, connectorized or No tail version
Dimensions	1.5" (L) x 3.125" (diameter) for fiber length of 1 km; 3.5" (L) x 3.125" (diameter) for fiber length of 2 km;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่มีการปรับปรุงสมรรถนะ ด้วยบัฟเฟอร์ทางแสง

4.1 กล่าวนำ

ปัญหาที่ส่งผลกระทบต่ออย่างยิ่งต่อสมรรถนะโดยรวมของสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตช์ก็คือ การสูญหายไปของข้อมูลแพ็กเก็ตที่เป็นผลมาจากการชนกันของข้อมูล ในการเพิ่มสมรรถนะให้ กับสถาปัตยกรรมการสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตช์ สามารถทำได้โดยลดการสูญหายของข้อมูลแพ็กเก็ตลงด้วยการนำบัฟเฟอร์มาใช้เพื่อรองรับแพ็กเก็ตข้อมูลที่อาจจะสูญหายไปเหล่านี้ ใน บทนี้จะได้กล่าวถึงโครงสร้างและหลักการทำงานของแบบจำลองสถาปัตยกรรมการสวิตช์ที่ใช้เอาต์ พุดบัฟเฟอร์และแชร์บัฟเฟอร์ซึ่งทำงานร่วมกันหรือพาร์เชียลแชร์บัฟเฟอร์ (partially shared buffer) เพื่อรองรับข้อมูลแพ็กเก็ตที่อาจจะสูญหายไปเหล่านั้น

4.2 ปัญหาสำคัญที่พบได้ในสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตช์

ปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในการสวิตช์แบบแพ็กเก็ตสวิตช์ ก็คือการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล หรือ contention โดยที่การชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลนี้จะเกิดขึ้นเมื่อแพ็กเก็ตต่างๆที่เข้ามายัง สวิตช์ได้ถูกกำหนดไปยังเอาต์พุดเดียวกันในเวลาเดียวกัน แต่จะมีเพียง 1 แพ็กเก็ตเท่านั้นที่ สามารถส่งออกไปยังเอาต์พุดที่ต้องการได้ ในขณะที่แพ็กเก็ตอื่นๆจะถูกละทิ้งหรือเกิดการสูญหาย ไปได้ ซึ่งการสูญหายไปของแพ็กเก็ตนี้เองที่ส่งผลทำให้สมรรถนะของสวิตช์ลดลง

4.3 การแก้ปัญหาการสูญหายไปของแพ็กเก็ต

การสูญหายไปของแพ็กเก็ตสามารถแก้ไขได้โดยนำเอาบัฟเฟอร์มาใช้เพื่อรองรับข้อมูลแพ็กเก็ตที่อาจจะสูญหายไปในขณะที่เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลขึ้น โดยลักษณะประเภทของ บัฟเฟอร์ที่นำมาใช้จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งทางกายภาพที่ใช้บัฟเฟอร์ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ

1. อินพุตบัฟเฟอร์
2. เอาต์พุตบัฟเฟอร์
3. แชร์บัฟเฟอร์

อินพุตบัฟเฟอร์ คือบัฟเฟอร์ที่ถูกใช้เพื่อรองรับแพ็กเก็ตที่ทุกๆอินพุตทางด้านอินพุตของสวิตช์

เอาต์พุตบัฟเฟอร์คือบัฟเฟอร์ที่รองรับแพ็กเก็ตที่ทุกๆเอาต์พุตทางด้านเอาต์พุตของสวิตช์ ในขณะที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แชร์บัฟเฟอร์จะรองรับแพ็กเก็ตที่ล้นเกินมาจากเอาต์พุตบัฟเฟอร์ต่างๆ หรือยอมให้แพ็กเก็ตต่างๆ จากเอาต์พุตต่างเข้ามาเข้าคิวได้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ปัญหาการสูญหายไปของแพ็กเก็ตข้อมูลอันเนื่องมาจากการช่วงชิงกันของแพ็กเก็ตข้อมูล สามารถแก้ไขได้โดยการใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชร์บัฟเฟอร์ ให้มีการทำงานร่วมกัน ซึ่งเรียกบัฟเฟอร์ชนิดที่ทำงานร่วมกันนี้ว่า “พาร์เชียลลีแชร์บัฟเฟอร์” (partially shared buffer)

4.4 โครงสร้างและหลักการทำงานของสวิตช์ทางแสงที่มีการแก้ปัญหาการสูญหายไปของข้อมูลด้วยพาร์เชียลลีแชร์บัฟเฟอร์

แบบจำลองสถาปัตยกรรมการสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตช์จะประกอบขึ้นจากสวิตช์ที่ไม่มีกีดขวางภายในหรือ non-blocking สวิตช์ ขนาด $N \times N$ ที่แต่ละเส้นใยแก้วนำแสงทางด้านอินพุตจะนำพาข้อมูลแพ็กเก็ตและส่งเข้าไปยังสวิตช์ ข้อมูลแพ็กเก็ตจะถูกส่งออกไปจากสวิตช์โดยผ่านทางเส้นใยแก้วนำแสงทางด้านเอาต์พุต

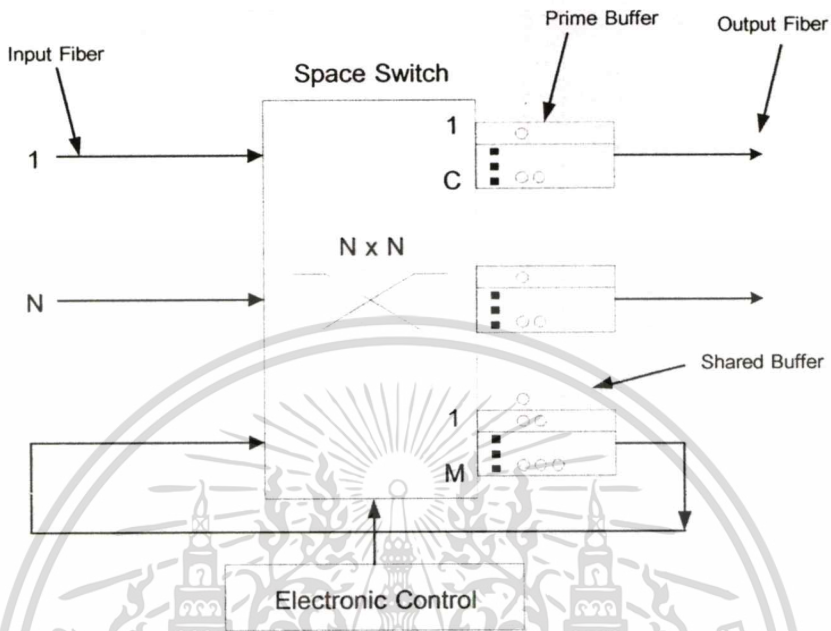
ในสถาปัตยกรรมการสวิตช์นี้จะใช้บัฟเฟอร์ทางแสงซึ่งก็คือกลุ่มของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิง หรือ fiber delay lines (FDLs) ขนาดความจุ C อยู่ที่แต่ละเอาต์พุต ในที่นี้จะเรียกว่า “โพรมีบัฟเฟอร์” หรือ “เอาต์พุตบัฟเฟอร์” ที่ทำหน้าที่รองรับแพ็กเก็ตต่างๆ ที่เอาต์พุตในขณะที่เกิดการช่วงชิงกันของแพ็กเก็ตขึ้น อีกทั้งยังมีบัฟเฟอร์อีก 1 ชนิดที่มีขนาดความจุ M ซึ่งต่อรวมอยู่กับเอาต์พุตทุกเอาต์พุต อยู่ทางด้านเอาต์พุตของสวิตช์ ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า “แชร์บัฟเฟอร์” บัฟเฟอร์ชนิดนี้จะทำหน้าที่รองรับแพ็กเก็ตต่างๆ จากเอาต์พุตบัฟเฟอร์ ต่างๆ ในกรณีที่เกิดการช่วงชิงกันของแพ็กเก็ตขึ้นและเอาต์พุตบัฟเฟอร์นั้นๆ ได้ถูกใช้ไปจนหมดแล้ว ดังนั้นเมื่อรวมเอาแชร์บัฟเฟอร์ซึ่งมีส่วนที่ต่อเชื่อมกลับไปยังอินพุตของสวิตช์เข้าไปในสวิตช์ด้วยแล้ว รูปแบบการสวิตช์จะเป็นแบบ $(N+1) \times (N+1)$ และเรียกสวิตช์ที่มีการใช้งานบัฟเฟอร์ทั้ง 2 ร่วมกันนี้ว่า พาร์เชียลลีแชร์บัฟเฟอร์ แพ็กเก็ตต่างๆ ทั้งหมดจะถูกสมมุติให้เป็นแบบที่มีขนาดตายตัวเช่นเดียวกับข้อมูลทราฟฟิกทาง ATM โดยทั่วไป และแพ็กเก็ตจะถูกนำพาไปด้วยความยาวคลื่นตามที่กำหนด ซึ่งสามารถนำพาแพ็กเก็ตไปได้ 1 แพ็กเก็ต ในช่วง 1 ร่องเวลา แพ็กเก็ตต่างๆ ที่เข้ามาถึงสวิตช์ต้องเข้ามาถึงแบบเข้าจังหวะกันด้วย (synchronized) เมื่อแพ็กเก็ตเข้ามาถึงยังอินพุตแล้ว แพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงนี้จะสวิตช์แพ็กเก็ตจากอินพุตต่างๆ ออกไปยังเอาต์พุตที่ต้องการในช่วงเวลา 1 ร่องเวลา โดยใช้ข้อมูลจุดหมายปลายทางที่ต้องการจากเฮดเดอร์ของแพ็กเก็ตนั้นๆ

ในกรณีที่เกิดการช่วงชิงกันของแพ็กเก็ตขึ้น แพ็กเก็ตเหล่านั้นจะถูกเก็บไว้ชั่วคราวที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์ หลังจากนั้นจึงส่งแพ็กเก็ตนั้นๆ ออกไปจากเอาต์พุตบัฟเฟอร์ในร่องเวลาถัดไป หากเมื่อเกิดการช่วงชิงกันของแพ็กเก็ตขึ้นและเอาต์พุตบัฟเฟอร์ได้ถูกใช้ไปจนหมดแล้ว แพ็กเก็ตนั้นๆ จะถูก

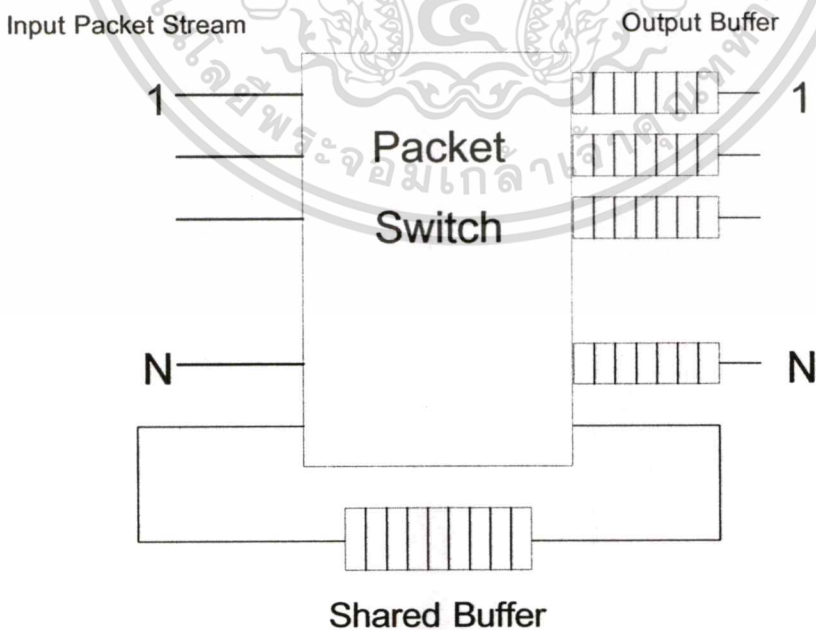
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นชอบใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งมาเก็บไว้ชั่วคราวที่แชนแนลรับเฟออร์ เมื่อถึงรื่องเวลาถัดมาแพ็กเก็ตที่ถูกเก็บอยู่ในแชนแนลรับเฟออร์จะถูกส่งกลับมายังอินพุตของสวิตซ์อีกครั้ง เพื่อจะได้สวิตซ์ออกไปยังเอาต์พุตที่ต้องการ



รูปที่ 4.1 สถาปัตยกรรมการสวิตซ์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตซ์ที่มีการใช้บัฟเฟอร์แบบพาร์เชียลแชนแนลรับเฟออร์



รูปที่ 4.2 รูปแบบการจัดคิวของสถาปัตยกรรมการสวิตซ์แบบแพ็กเก็ตสวิตซ์ทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มีเอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชนแนลรับเฟออร์ทำงานร่วมกัน อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การวิเคราะห์การสวิตช์แบบแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง

ในการปรับปรุงสมรรถนะของสถาปัตยกรรมการสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเก็ตสวิตช์ให้ดีขึ้นนั้น จะมุ่งเน้นลงไปที่การแก้ปัญหาการสูญหายของข้อมูล อันเนื่องมาจากการเกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลขึ้น โดยการแก้ปัญหาการสูญหายของข้อมูลสามารถแก้ไขได้ด้วยการนำบัฟเฟอร์เข้ามาใช้เพื่อรองรับแพ็กเก็ตข้อมูลที่อาจจะเกิดการสูญหายไปในขณะที่เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูล เมื่อมีการนำเอาบัฟเฟอร์เข้ามาใช้เพื่อลดการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลก็จะทำให้เกิดมีการประวิงของแพ็กเก็ตนั้นๆ ที่มีผลทำให้การประวิงของระบบเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งแพ็กเก็ตที่ถูกส่งกลับเข้ามาที่เซิร์ฟเวอร์อีกครั้ง หลังจากที่เคยถูกส่งเข้ามาที่เซิร์ฟเวอร์ก่อนหน้านี้แล้ว เราจะเรียกแพ็กเก็ตชนิดนี้ว่า “แพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด” (worst delay packet) หรือ “WDP” และเรียกกรณีที่เกิดแพ็กเก็ตชนิดนี้ขึ้นว่า “การประวิงที่แย่งที่สุดของแพ็กเก็ต” (worst packet delay)

จากกรณีการประวิงที่แย่งที่สุดของแพ็กเก็ต เมื่อเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดขึ้นก็น่าจะมีผลต่อการประวิงโดยรวมของระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดนั้นเป็นแพ็กเก็ตข้อมูลที่มีความสำคัญสูง ก็น่าจะทำให้สมรรถนะของสวิตช์นั้นลดลงด้วย ถ้าหากมีวิธีการใดๆที่สามารถแก้ไขแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดหรือลดเวลาการประวิงของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดนี้ได้ ก็น่าจะทำให้สมรรถนะของสวิตช์สูงขึ้นด้วย การเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยเงื่อนไขต่างๆดังนี้

4.5.1 เงื่อนไขที่ทำให้เกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด

1. แพ็กเก็ตนั้นต้องเป็นแพ็กเก็ตที่เคยถูกส่งเข้ามายังเซิร์ฟเวอร์แล้ว
2. เกิดการชนกันของแพ็กเก็ตข้อมูลขึ้นในช่องเวลาที่ส่งแพ็กเก็ตออกจากสวิตช์ไปยังเอาต์พุต
3. เอาต์พุตบัฟเฟอร์ถูกใช้ไปจนหมด
4. ยังมีที่ว่างให้กับแพ็กเก็ตในเซิร์ฟเวอร์

4.5.2 แนวคิดในการแก้ไขแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด

ในสถาปัตยกรรมการสวิตช์แบบแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ได้แนะนำมานี้ แพ็กเก็ตที่เข้ามายังเซิร์ฟเวอร์ จะมีทั้งแพ็กเก็ตที่ถูกส่งมาจากอินพุตอื่นนอกจากอินพุตที่ต่อมาจากเซิร์ฟเวอร์ (ถูกส่งมายังเซิร์ฟเวอร์เป็นครั้งแรก) และแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด แนวความคิดในการแก้ไขคือหากเราสามารถลัดคิวให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด โดยให้ส่งแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดนี้กลับไปยังสวิตช์ได้ภายในช่วงระยะเวลาถัดไป โดยที่ไม่ต้องเข้าคิวคอยต่ออยู่ข้างหลังแพ็กเก็ตอื่นๆที่เซิร์ฟเวอร์เพื่อรอที่จะถูกส่งกลับเข้าไปยังสวิตช์อีก ซึ่งอาจจะต้องใช้เวลาใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรอคิวนาน ทำให้เวลาการประวิงโดยรวม ทั้งของแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดและแพ็กเกตอื่นๆในเซิร์ฟเฟอร์นี้มีค่าสูง หากเมื่อเราลัดคิวให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดนี้แล้ว ก็น่าจะเพิ่มโอกาสที่แพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดนี้ จะสามารถถูกส่งออกจากสวิตช์ไปยังบัพเฟอร์ที่ต้องการได้และน่าจะทำให้การประวิงโดยรวมของระบบลดลง

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของปัญหา สาเหตุ และการแก้ปัญหาของแพ็กเกตสวิตช์ทางแสง

ลำดับที่	ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ปัญหา
1	แพ็กเกตสูญหาย	1. การชนงกันของแพ็กเกตข้อมูล 2. บัพเฟอร์ถูกใช้จนหมด	1. ใช้บัพเฟอร์ 2. ใช้บัพเฟอร์ที่มีขนาดเหมาะสม
2	การประวิงของแพ็กเกต	ขนาดของบัพเฟอร์	ใช้บัพเฟอร์ที่มีขนาดเหมาะสม
3	แพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด	แพ็กเกตถูกส่งวนอยู่ระหว่างสวิตช์และเซิร์ฟเฟอร์	กำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด

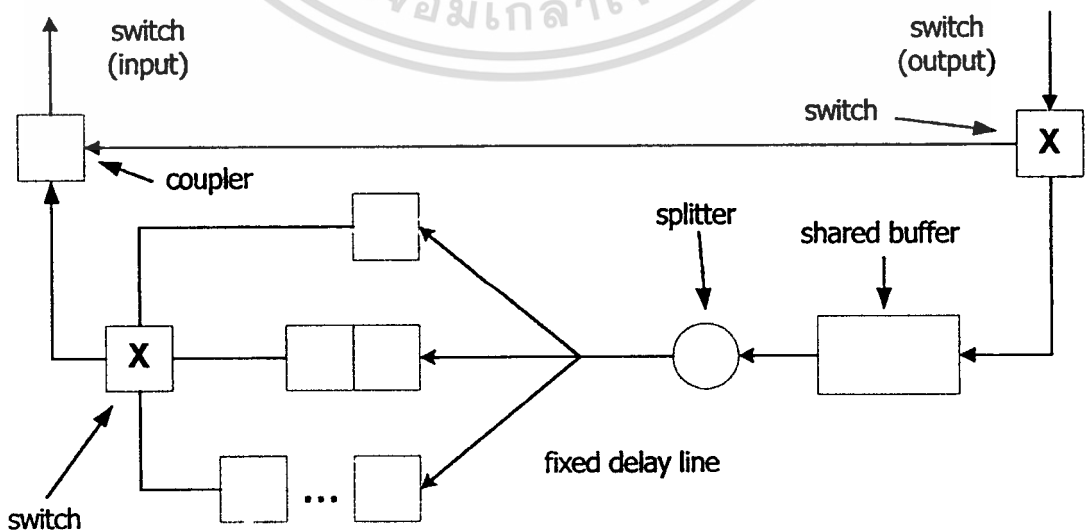
4.5.3 แนวทางในการแก้ปัญหาการประวิงของแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด

บัพเฟอร์ทางแสงหรือหน่วยความจำทางแสงที่มีความสามารถแบบเดียวกันกับหน่วยความจำทางอิเล็กทรอนิกส์นั้นยังไม่สามารถทำได้ในปัจจุบัน ที่ทำได้เพียงแคื่อยืดเวลาในการเดินทางเท่านั้น ถ้าหากต้องการทำการกำหนดบุริมสิทธิและลัดคิวให้กับแพ็กเกตข้อมูลทางแสงแล้ว (priority queuing) ก็จะทำให้แพ็กเกตอื่นๆที่รอคิวอยู่ก่อนจะถูกชะทิ้งไปในระยะเวลาที่มีการลัดคิวนั้น การที่จะทำให้แพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดที่กลับเข้ามาแย่งเซิร์ฟเฟอร์อีกครั้งนั้น และถูกส่งกลับเข้าไปยังสวิตช์ได้อีกในช่วงรอนเวลาถัดไป โดยที่แพ็กเกตที่รอคิวอยู่ที่ตำแหน่งแรกสุดในเซิร์ฟเฟอร์จะไม่ถูกชะทิ้งไปนั้น จำเป็นต้องมีโครงสร้างการจัดการแพ็กเกตทางแสงซึ่งในที่นี้ก็คือ “แพ็กเกตรีออร์เดอร์ริง” (optical packet reordering structure) เพื่อใช้จัดการทั้งแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดและแพ็กเกตอื่นๆ ที่รอคิวอยู่ในเซิร์ฟเฟอร์ โครงสร้างดังกล่าวจะสามารถจัดเรียงแพ็กเกตที่จะถูกชะทิ้งในระยะเวลาที่มีการลัดคิวไม่ให้สูญหายและอยู่ในลำดับที่ถูกต้อง โดยจะเก็บแพ็กเกตไว้ชั่วคราวเพื่อที่จะรอส่งกลับไปยังสวิตช์ในช่วงรอนเวลาถัดไป โครงสร้างของแพ็กเกตรีออร์เดอร์ริงอาจจะมีได้ 2 แบบดังนี้

1. โครงสร้างแพ็กเกตรีออร์เดอร์ริงทางแสงแบบสายประวิงคงที่ (fixed delay line)
2. โครงสร้างแพ็กเกตรีออร์เดอร์ริงทางแสงแบบสายประวิงปรับเปลี่ยนได้ (variable delay line)

4.5.3.1 โครงสร้างแพ็กเก็ตโรอ์เตอร์แบบสายประวิงคังที่ (fixed delay line)

โครงสร้างการจัดการแบบแพ็กเก็ตโรอ์เตอร์แบบสายประวิงคังนี้ จะใช้คุณลักษณะของ บัฟเฟอร์ทางสายประวิงคังที่ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.3 โดยแพ็กเก็ตที่เข้ามาจะถูกส่งออกไปยัง FDLs ทุกๆเส้นในโครงสร้างด้วยตัวแยก (splitter) ซึ่ง FDLs แต่ละเส้นนี้จะมีช่วงเวลาการประวิงที่แตกต่างกันเส้นละ 1 ร่องเวลาตามลำดับ ในขณะที่ยังไม่มีการลัดคิวนั้น ข้อมูลแพ็กเก็ตจะถูกส่งกลับไปยังสวิตช์ผ่านทางเส้น FDLs ที่มีช่วงการประวิงน้อยที่สุด ต่อเมื่อมีการลัดคิวแล้ว แพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่มากที่สุดจะถูกส่งตรงกลับไปยังสวิตช์ (ใช้เวลา 1 ร่องเวลา) โดยไม่ต้องผ่านแชร์บัฟเฟอร์อีก ในขณะที่แพ็กเก็ตใน FDLs ที่มีช่วงการประวิงน้อยที่สุดจะถูกทิ้งไป (แพ็กเก็ตเดียวกันนี้ยังคงถูกเก็บอยู่ใน FDLs ในลำดับถัดมาตามลำดับ) และสวิตช์ทางด้านปลายกลุ่ม FDLs จะเลื่อนที่มายัง FDLs เส้นที่มีช่วงการประวิงมากขึ้น 1 ร่องเวลาอันถัดไป (จะเลื่อนลงไปเท่ากับจำนวนครั้งที่ทำการกำหนดคิวนั้น) ในร่องเวลาถัดไปหากมีแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่มากที่สุดถูกส่งกลับเข้ามาอีก ทั้งแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่มากที่สุดและแพ็กเก็ตต่างๆใน FDLs นี้ก็จะถูกจัดการด้วยวิธีการเดิมตามลำดับ แต่ถ้าหากไม่มีแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่มากที่สุดถูกส่งกลับเข้ามาที่แชร์บัฟเฟอร์ แพ็กเก็ตในแชร์บัฟเฟอร์ที่ถูกลัดคิวไปก็จะถูกส่งออกไปยังสวิตช์ (ตอนนี้สวิตช์ทางปลายกลุ่ม FDLs จะชี้มาที่ FDLs เส้นที่ยังเก็บแพ็กเก็ตที่ถูกลัดคิวไป) ด้วยวิธีการดังกล่าวนี้ แพ็กเก็ตที่ถูกทิ้งไปในร่องเวลาที่มีการลัดคิว ก็จะสามารถถูกส่งออกไปได้ในช่วงร่องเวลาถัดไปโดยไม่มีการสูญหาย แต่โครงสร้างแพ็กเก็ตโรอ์เตอร์แบบนี้จะสามารถกำหนดคิวนั้นได้เท่ากับจำนวนของ FDLs เท่านั้น หลังจากนั้นจะต้องรอโดยไม่มีการกำหนดคิวนั้นให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่มากที่สุดเป็นเวลาต่อเนื่องเท่ากับจำนวนของสายประวิงเช่นกัน



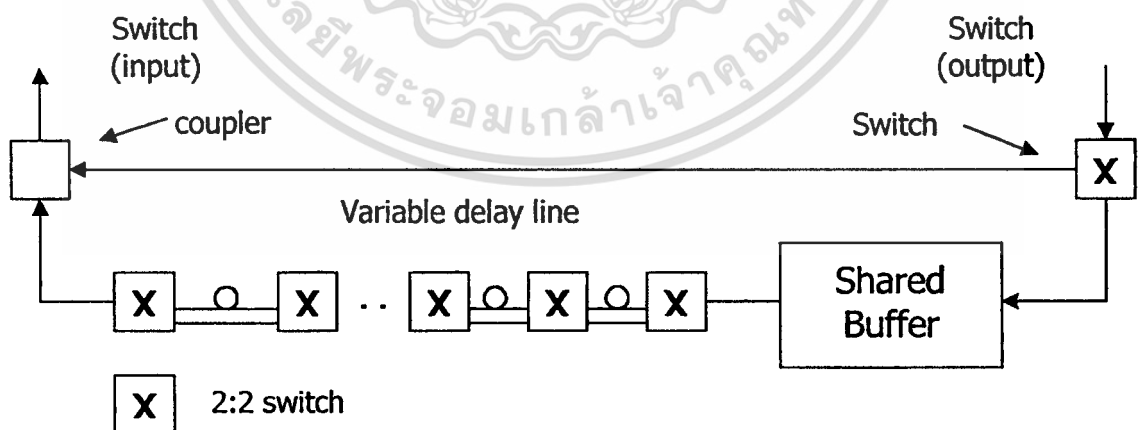
รูปที่ 4.3 โครงสร้างแพ็กเก็ตโรอ์เตอร์แบบสายประวิงคังที่ (fixed delay line)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3.2 โครงสร้างแพ็กเก็ตหรือรีจิสเตอร์ทางแสงแบบสายประวิงแบบปรับ เปลี่ยนได้ (variable delay line)

โครงสร้างการจัดการนี้จะใช้คุณลักษณะของบัพเฟอร์ทางแสงแบบสายประวิงแบบปรับเปลี่ยนได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 โดยแพ็กเก็ตที่เข้ามาจะถูกส่งไปรอคิวอยู่ในโครงสร้าง FDLs แบบสายประวิงแบบปรับเปลี่ยนได้ ในขณะที่ยังไม่มีคิวลัดคิวนั้น ข้อมูลแพ็กเก็ตจะถูกส่งกลับไปยังสวิตช์ โดยที่สวิตช์ภายในโครงสร้างสายประวิงแบบปรับเปลี่ยนได้ จะกำหนดเส้นทางที่ไม่มีคิวประวิงให้กับแพ็กเก็ต ต่อเมื่อมีการลัดคิวแล้ว แพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดจะถูกส่งตรงกลับไปยังสวิตช์ (ใช้เวลา 1 ร่องเวลา) โดยไม่ผ่านแชร์บัพเฟอร์ ในขณะที่แพ็กเก็ตในสายประวิงแบบปรับเปลี่ยนได้ ที่ตำแหน่งแรกสุดจะถูกสวิตช์เลื่อนไปยัง FDLs เส้นถัดไป (แพ็กเก็ตยังคงอยู่ในสายประวิงแบบปรับเปลี่ยนได้ โดยที่สวิตช์ภายในสายประวิงแบบปรับเปลี่ยนได้ จะเลื่อนแพ็กเก็ตไปเก็บไว้ใน FDLs ถัดไป) เมื่อถึงร่องเวลาถัดมา หากมีแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดถูกส่งกลับเข้ามาอีก แพ็กเก็ตนั้นก็จะถูกจัดการด้วยวิธีการเดิมไปตามลำดับ แต่ถ้าหากไม่มีแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดถูกส่งกลับเข้ามา แพ็กเก็ตที่ถูกเลื่อนเวลากการประวิงภายในสายประวิงแบบปรับเปลี่ยนได้ ที่ตำแหน่งแรกสุดก็จะถูกส่งออกไปยังสวิตช์ เพื่อส่งออกไปยังเอาต์พุตที่ต้องการต่อไป แต่โครงสร้างแพ็กเก็ตหรือรีจิสเตอร์แบบนี้จะสามารถกำหนดบุริมสิทธิได้อย่างต่อเนื่องไปจนปลายสุดของโครงสร้าง หลังจากนั้นจะต้องรอโดยไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเป็นเวลาอย่างน้อยเท่ากับ 1 ร่องเวลา



รูปที่ 4.4 โครงสร้างแพ็กเก็ตหรือรีจิสเตอร์แบบสายประวิงแบบปรับเปลี่ยนได้
(variable delay line)

4.6 ทฤษฎีและการคำนวณ

การกำหนดบุริมสิทธิและการลำดับคิวที่จะนำมาใช้เพื่อลดการประวิงของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด ในแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงนี้เป็นแบบไม่แทรกแซงแพ็กเก็ตอื่นที่กำลังรับบริการอยู่หรือ non-preemptive priority queuing แพ็กเก็ตข้อมูลต่างๆที่เข้ามายังแชร์บัพเฟอร์จะถูกจัดคิวในรูปแบบ M/D/1 การวิเคราะห์ด้วยวิธีการค่าเฉลี่ยในการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดนั้นจะต้องพิจารณาให้แพ็กเก็ตที่มีการส่งวนระหว่างสวิตช์และแชร์บัพเฟอร์หรือแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดถูกกำหนดระดับความสำคัญให้มีความสำคัญสูงกว่าแพ็กเก็ตอื่นๆที่รอคิวอยู่ในแชร์บัพเฟอร์เป็นครั้งแรก ดังนั้นหากพิจารณาที่แชร์บัพเฟอร์ จะพบว่าแพ็กเก็ตภายในแชร์บัพเฟอร์จะมีระดับความสำคัญอยู่สองระดับ (ให้แพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดมีระดับความสำคัญเท่ากับ 1 ในขณะที่แพ็กเก็ตอื่นมีระดับความสำคัญเป็น 2) โดยการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดทำได้โดยวิธีกำหนดบุริมสิทธิแบบไม่แทรกแซงแพ็กเก็ตอื่นที่กำลังรับบริการอยู่

การจัดคิวให้กับแพ็กเก็ตภายในบัพเฟอร์ทางแสงจะใช้หลักการเดียวกันกับบัพเฟอร์ทางไฟฟ้า โดยมีสมการที่สำคัญต่างๆดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นทราฟฟิก หรือ traffic intensity } (\rho) = \frac{\lambda}{\mu} \quad (4.1)$$

โดยที่ λ คือ อัตราการเข้ามาของเซอร์เวอร์ของแพ็กเก็ตข้อมูลโดยเฉลี่ย

μ คือ อัตราการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลออกจากเซอร์เวอร์โดยเฉลี่ย

ให้ $E(n)$ คือ เวลาในการใช้คิวโดยเฉลี่ย และ

$E(T)$ คือ เวลาคอยของแพ็กเก็ตในคิวโดยเฉลี่ย

จากการวิเคราะห์การจัดคิวแบบ M/G/1 ในบัพเฟอร์จะพบว่า

$$E(n) = \left(\frac{\rho}{1-\rho} \right) \left[1 - \frac{\rho}{2} (1 - \mu^2 \sigma^2) \right] \quad (4.2)$$

$$E(T) = \frac{E(n)}{\lambda} = \left(\frac{1/\mu}{1-\rho} \right) \left[1 - \frac{\rho}{2} (1 - \mu^2 \sigma^2) \right] \quad (4.3)$$

ในรูปแบบการจัดคิวแบบ M/D/1 นั้นเวลาในการบริการจะคงที่ เพราะฉะนั้น $\sigma^2 = 0$ จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E(n) = \left(\frac{\rho}{1-\rho} \right) \left[1 + \frac{\rho}{2} \right] \quad \text{และ} \quad (4.4)$$

$$E(T) = \left(\frac{1/\mu}{1-\rho} \right) \left[1 + \frac{\rho}{2} \right] \quad (4.5)$$

$E(W)$ คือเวลาในการรอโดยเฉลี่ย

$$E(W) = E(T) - 1/\mu \quad \text{จากสมการที่ 4.3 จะได้} \quad (4.6)$$

$$E(W) = \frac{\lambda E(\tau^2)}{2(1-\rho)} \quad \text{โดยที่ } E(\tau^2) \text{ มีสมการดังนี้} \quad (4.7)$$

$$E(\tau^2) = \sigma^2 + 1/\mu^2 \quad (4.8)$$

4.6.1 การกำหนดบุริมสิทธิให้กับข้อมูลแพ็กเกต

ความต้องการในการที่จะจัดเตรียมการกำหนดบุริมสิทธิให้กับข้อมูลแพ็กเกตที่มีระดับความสำคัญที่แตกต่างกันในระบบการจัดเรียงคิวได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น การกำหนดบุริมสิทธิสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักคือ แบบไม่แทรกแซงแพ็กเกตอื่นที่กำลังรับบริการอยู่หรือ non-preemptive priority และแบบแทรกแซงแพ็กเกตอื่นที่กำลังรับบริการอยู่หรือ preemptive priority

ในการกำหนดบุริมสิทธิแบบไม่แทรกแซงแพ็กเกตอื่นที่กำลังรับบริการอยู่นั้น ข้อมูลแพ็กเกตที่ต้องการการกำหนดบุริมสิทธินั้น (แพ็กเกตที่มีระดับความสำคัญสูงกว่า) จะถูกย้ายตำแหน่งให้ไปอยู่ที่ตำแหน่งหน้าสุดของแถวการรอคิว แต่จะไม่มีแทรกแซงคิวต่อแพ็กเกตที่กำลังถูกให้บริการจากเซิร์ฟเวอร์อยู่ (ทั้งแพ็กเกตที่มีระดับความสำคัญสูงกว่า และแพ็กเกตที่มีระดับความสำคัญต่ำกว่า) ในขณะที่การกำหนดบุริมสิทธิแบบแทรกแซงแพ็กเกตอื่นที่กำลังรับบริการอยู่นั้น แพ็กเกตที่มีระดับความสำคัญสูงกว่าและต้องการลัดคิวหรือกำหนดบุริมสิทธิ จะถูกย้ายตำแหน่งไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อเข้ารับบริการ โดยไม่สนใจว่ามีแพ็กเกตใดๆ (ทั้งที่มีระดับความสำคัญสูงกว่าและต่ำกว่า) กำลังรับบริการจากเซิร์ฟเวอร์อยู่ก่อนหรือไม่ โดยแพ็กเกตดังกล่าวจะถูกขับออกมา

จากเซิร์ฟเวอร์และรอคิวอยู่ในตำแหน่งหน้าสุดเพื่อเข้ารับบริการจากเซิร์ฟเวอร์อีกครั้งหลังจากแพ็กเกตที่มีการกำหนดบุริมสิทธินั้นได้รับบริการเรียบร้อยแล้ว

ในระบบการจัดคิวที่ผู้เข้ารับบริการ (ข้อมูลแพ็กเกต) นั้นมีระดับความสำคัญที่หลากหลายและแตกต่างกัน r ระดับนั้น แต่ละระดับความสำคัญจะมีอัตราการเข้ามาของข้อมูลแพ็กเกตที่แตกต่างกันตั้งแต่ $\lambda_1 \dots \lambda_r$ ซึ่งจะทำให้เวลาในการให้บริการโดยเฉลี่ยกับแพ็กเกตต่างๆ เหล่านั้นมีค่าเท่ากับ $1/\mu_k$ สำหรับแพ็กเกตที่มีระดับความสำคัญ k โดยที่ k จะอยู่ในช่วงระหว่าง $1 \dots r$ ระดับความสำคัญที่มีระดับความสำคัญสูงสุดจะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 ในขณะที่ระดับความสำคัญ r จะมีระดับความสำคัญต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาถึงการกำหนดบุริมสิทธิแบบไม่แทรกแซง แพ็กเกตอื่นที่กำลังรับบริการอยู่ด้วยวิธีการคำนวณแบบค่าเฉลี่ย พิจารณาที่ระดับความสำคัญ ρ โดยเฉพาะ ให้แพ็กเกตที่รอรับบริการในระดับความสำคัญนี้เข้ามาถึงยังคิวในเวลา t_0 ดังนั้นเวลาในการรอคอยคิวโดยเฉลี่ยแบบสุ่มหรือ w_ρ ที่เริ่มต้นจับเวลาตั้งแต่เวลาที่แพ็กเกตเข้ามาถึงยังคิว จนกระทั่งแพ็กเกตดังกล่าวได้เข้ารับบริการ ซึ่งมีช่วงเวลาที่เกี่ยวข้องต่อเนื่องด้วยกัน 3 ช่วงเวลาดังนี้คือ 1. แพ็กเกตจะต้องรอดด้วยเวลาอย่างสุ่ม T_0 จนกระทั่งแพ็กเกตอื่นที่กำลังรับบริการอยู่ได้รับบริการจนเสร็จ 2. แพ็กเกตจะต้องรอคอยด้วยเวลาสุ่ม T_k จนกระทั่งแพ็กเกตที่มีระดับความสำคัญ k ซึ่งมีระดับความสำคัญสูงกว่าหรือเท่ากับระดับความสำคัญ ρ ได้ถูกจัดเรียงคิว ณ เวลาที่แพ็กเกตเข้ามา t_0 จนกระทั่งได้รับบริการเสร็จ 3. แพ็กเกตจะต้องรอคอยด้วยเวลา T'_k เพื่อบริการลูกค้าต่างๆ ที่มีระดับความสำคัญ k ที่สูงกว่าระดับ ρ ที่เข้ามาในระหว่างเวลาที่คอย เมื่อรวมค่าที่ได้จากการสังเกตต่างๆ เข้าด้วยกันจะได้

$$w_\rho = T_0 + \sum_{k=1}^{\rho} T_k + \sum_{k=1}^{\rho-1} T'_k \quad (4.9)$$

เมื่อ

$$E(w_\rho) = E(T_0) + \sum_{k=1}^{\rho} E(T_k) + \sum_{k=1}^{\rho-1} E(T'_k) \quad (4.10)$$

$$E(T_k) = E(m_k) / \mu_k \quad (4.11)$$

$$E(m_k) = \lambda_k E(w_k) \quad (4.12)$$

$$E(T_k) = \rho_k E(w_k) \text{ เมื่อ } \rho_k = \lambda_k / \mu_k \quad (4.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหากเรากำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด (ในระบบจะมีระดับความสำคัญของข้อมูล 2 ระดับคือ 1 และ 2 ตามลำดับ) เราจะสามารถเขียนสมการเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตได้ดังนี้

จากสมการข้างต้นจะได้

$$E(T_0) = \frac{\lambda E(\tau^2)}{2} = \sum_{k=1}^r \frac{\lambda_k E(\tau_k^2)}{2} \quad (4.14)$$

$$E(W_p) = \frac{E(T_0)}{(1-\sigma_p)(1-\sigma_{p-1})} \quad (4.15)$$

โดยที่

$$\sigma_p \equiv \sum_{k=1}^p \rho_k, \quad \rho_k = \frac{\lambda_k}{\mu_k} \quad (4.16)$$

ดังนั้นในการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่เซิร์ฟเฟอร์

$$E(W_1) = \frac{E(T_0)}{(1-\sigma_1)} \quad (4.17)$$

$$E(W_2) = \frac{E(W_1)}{(1-\sigma_2)} \quad (4.18)$$

เมื่อ $E(W_1)$ คือ เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิให้

$E(W_2)$ คือ เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตอื่นๆภายในเซิร์ฟเฟอร์

4.6.2 ตัวอย่างการคำนวณการประวิงเมื่อไม่มีการลัดคิวเทียบกับเมื่อมีการลัดคิวให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดตามทฤษฎี

กำหนดให้แพ็กเกตสวิตช์ทางแสง (optical packet switching) มีอัตราการสื่อสารสัญญาณ ระหว่างสวิตช์และเซิร์ฟเฟอร์ที่อัตราความเร็ว 10 Gbps

ข้อมูลมีโครงสร้างแบบ ATM ดังนี้คือ

1. เซลเดออร์มีขนาด 5 ไบต์ (40 บิต) และ

2. สัมภาะบรรทุกมีขนาด 48 ไบต์ (384 บิต) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซตเดออร์จะถูกจัดการทางอิเล็กทรอนิกส์ ในขณะที่สัณการะบรรทุกจะถูกส่งเข้าภายในสวิตช์ ดังนั้นจึงมีแค่สัณการะบรรทุกภายในสวิตช์เท่านั้นที่จะถูกวิเคราะห์ เมื่อพิจารณาที่เฉพาะเซิร์ฟเฟอร์ เราสามารถกำหนดตัวแปรต่างๆได้ดังนี้

1. ให้ขนาดของเซิร์ฟเฟอร์มีค่าอนันต์
2. กำหนดให้หมายเลขกำกับ (label) 1 แทนแพ็กเก็ตชนิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด
3. กำหนดให้หมายเลขกำกับ (label) 2 แทนแพ็กเก็ตที่เข้ามาแย่งเซิร์ฟเฟอร์เป็นครั้งแรก เพราะฉะนั้น 1 บิต ของสัณการะบรรทุก จะถูกส่งออกไปจากคิวของเซิร์ฟเฟอร์ด้วยอัตราดังนี้

$$\mu_1 = \mu_2 = \frac{10 \times 10^9}{384} \text{ บิต/วินาที}$$

ทำให้ข้อมูล 1 บิต ถูกส่งออกไปจากคิวของเซิร์ฟเฟอร์ในเวลา

$$\frac{1}{\mu_1} = \frac{1}{\mu_2} = 38.4 \times 10^{-9} \text{ วินาที}$$

- กำหนดให้ความเข้มของกราฟฟิกทางด้านเอาต์พุต (output traffic intensity) $(\rho) = 0.5$
- เนื่องจากโครงสร้างของสัณการะบรรทุกเป็นแบบตายตัว ดังนั้น $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = 0$
- ให้ λ คืออัตราการเข้ามาที่เซิร์ฟเฟอร์ของแพ็กเก็ตข้อมูลโดยเฉลี่ย

กำหนดให้ 5% ของกราฟฟิกทางเอาต์พุต ที่เข้ามาแย่งเซิร์ฟเฟอร์นั้นคือแพ็กเก็ตข้อมูลแบบแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด และกำหนดให้ 95% ของกราฟฟิกทางเอาต์พุต ที่เข้ามาแย่งเซิร์ฟเฟอร์ นั้นคือแพ็กเก็ตข้อมูลที่เข้ามาแย่งเซิร์ฟเฟอร์เป็นครั้งแรก

ดังนั้นจะได้ $\lambda_1 = 0.05\lambda$

และ $\lambda_2 = 0.95\lambda$

เมื่อ $\rho = \rho_1 + \rho_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของศูนย์ฯ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho = \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2}$$

แทนค่าลงในสมการจะได้ λ ดังนี้

$$\lambda = 13.020833 \text{ Mbps}$$

จากสมการที่ 11 หา $E(\tau_1^2) = E(\tau_2^2)$ ได้ค่าดังนี้

$$E(\tau_1^2) = E(\tau_2^2) = 1.47456 \times 10^{-15}$$

จากสมการที่ 10 และ 11 เราสามารถหา $E(\tau^2)$ ได้ดังนี้

$$E(\tau^2) = 1.47456 \times 10^{-15}$$

จากสมการที่ 10 จะได้

$$E(W) = 19.2 \times 10^{-9} \text{ วินาที}$$

เมื่อ $E(W)$ คือการประวิงโดยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตทุกๆแพ็กเก็ตที่เข้ามายังเซิร์ฟเฟอร์ เพราะฉะนั้นเมื่อยังไม่มีการทำการกำหนดบุริมสิทธิ จะทำให้แพ็กเก็ตทั้งหมดภายในคิวของเซิร์ฟเฟอร์ (ทั้งแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดและแพ็กเก็ตที่เข้ามายังเซิร์ฟเฟอร์เป็นครั้งแรก) ต้องรอคิวเพื่อจะส่งออกไปยังสวิตช์เป็นเวลา 19.2×10^{-9} วินาที

เมื่อมีการทำการกำหนดบุริมสิทธิ เราสามารถหาเวลาประวิงของแพ็กเก็ตทั้ง 2 แบบได้ ดังนี้

จากสมการที่ 12 และ 4 เราจะได้

$$E(\tau_0) = 9 \times 10^{-9}$$

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} = 24.99 \times 10^{-9}$$

หา $E(W_1)$ ได้จากสมการที่ 13 โดยแทนค่า $E(\tau_0)$ ลงในสมการ ดังนี้

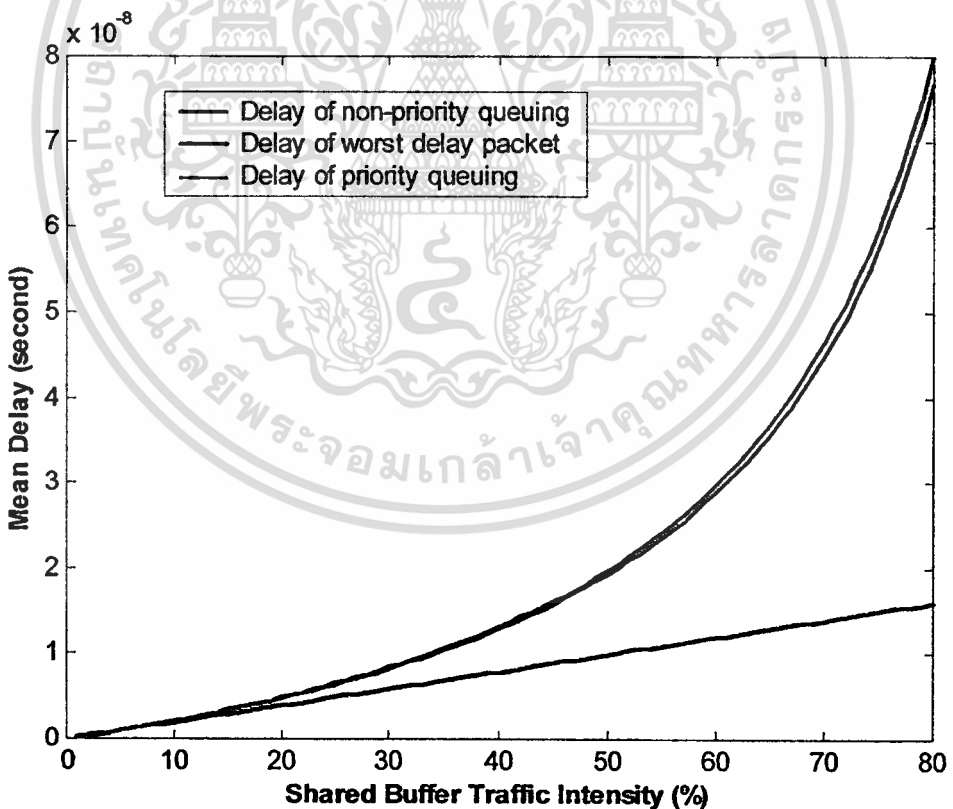
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน $E(W_1) \approx 9.84615 \times 10^{-9}$ วินาที นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หา $E(W_2)$ ได้จากสมการที่ 13 โดยแทนค่า $E(W_1)$ และ ρ ลงในสมการ จะได้

$$E(W_2) \approx 19.69231 \times 10^{-9} \text{ วินาที}$$

เมื่อ $E(W_1)$ คือเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดและ $E(W_2)$ คือเวลาประวิงโดยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่รอคิวอยู่ในแชนแนล ซึ่งผลการคำนวณหาการประวิงโดยเฉลี่ยเมื่อมีการทำการกำหนดบุริมสิทธิ ได้แสดงให้เห็นว่าเวลาประวิงของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด นั้นลดลงไปอย่างมาก โดยที่เวลาประวิงโดยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตอื่นๆ ในแชนแนลเพอร์นั้น มีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ($E(W) = 19.2 \times 10^{-9}$ มีค่าใกล้เคียงกับ $E(W_2) = 19.69231 \times 10^{-9}$)

การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างความเข้มทางทราฟฟิกต่างๆ (traffic intensity) กับเวลาการประวิง จากทั้งวิธีการไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิและมีการกำหนดบุริมสิทธิได้ถูกนำมาแสดงไว้ด้วยกราฟ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบความเข้มทางทราฟฟิกต่างๆกับการประวิงที่เกิดขึ้นจากทั้งวิธีการที่ไม่มีกำหนดบุริมสิทธิและมีการกำหนดบุริมสิทธิ

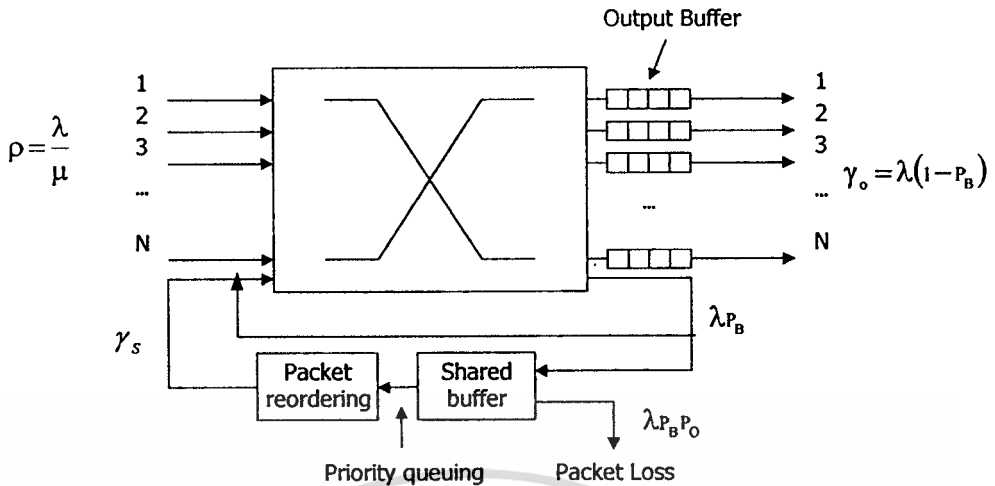
การวิเคราะห์สมรรถนะของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ใช้ พาร์เชียลลิเชอร์บัพเฟอร์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะเป็นการวิเคราะห์ถึงสมรรถนะของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่มีการใช้เอาต์พุตบัพเฟอร์และเชอร์บัพเฟอร์ทำงานร่วมกันหรือพาร์เชียลลิเชอร์บัพเฟอร์ และการวิเคราะห์สมรรถนะที่ได้จากการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตแสงที่มีการวนเวียนอยู่ระหว่างสวิตช์กับเชอร์บัพเฟอร์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ โดยจะกำหนดระบบการสวิตช์ที่ใช้บัพเฟอร์ทั้งสองซึ่งทำงานร่วมกันสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ขึ้นมา จากนั้นจึงทำการศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่ออธิบายถึงความเป็นไปในระบบการจัดคิวของแพ็กเก็ตแสงทั้งในเอาต์พุตบัพเฟอร์และเชอร์บัพเฟอร์ โดยที่สมรรถนะของระบบการสวิตช์จะสามารถทราบได้จากความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายและเวลาคอยของแพ็กเก็ตในบัพเฟอร์โดยเฉลี่ย

5.2 แบบจำลองระบบแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ใช้ในการวิเคราะห์

แบบจำลองแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ใช้จะถูกสมมติให้เป็นสวิตช์แบบแบ่งเส้นทางที่ไม่มีการช่วงชิงกันของข้อมูลแพ็กเก็ตภายในสวิตช์ (non-blocking space switch) โดยมีขนาด $N \times N$ ข้อมูลแพ็กเก็ตทางแสงที่ลำแสงผ่านมาทางเส้นใยแก้วนำแสงจะเข้ามาที่แต่ละอินพุตของสวิตช์อย่างอิสระ เสดเดอร์ของแพ็กเก็ตแสงจะถูกอ่านและจัดการเพื่อกำหนดเส้นทางไปยังเอาต์พุตที่ต้องการให้กับข้อมูลสัมภาระบรรทุก (payload) แต่ละเอาต์พุตจะมีบัพเฟอร์ทางแสงที่สามารถรองรับแพ็กเก็ตแสงได้จำกัดต่ออยู่ ซึ่งจะมีเพียง 1 แพ็กเก็ตแสงเท่านั้นที่สามารถออกไปจากบัพเฟอร์ได้ใน 1 รอบเวลา ในกรณีที่เกิดการช่วงชิงกันของข้อมูลแพ็กเก็ตแสงที่เอาต์พุตใดๆ แล้วและเอาต์พุตบัพเฟอร์ถูกใช้จนหมด ข้อมูลแพ็กเก็ตแสงนั้นจะถูกส่งต่อมายังเชอร์บัพเฟอร์ เพื่อจัดเก็บและส่งข้อมูลแพ็กเก็ตแสงกลับไปยังสวิตช์ใหม่อีกครั้ง การกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตแสงจะทำต่อหลังจากเชอร์บัพเฟอร์ หากแพ็กเก็ตแสงที่เข้ามายังเชอร์บัพเฟอร์เป็นแพ็กเก็ตที่เคยเวียนอยู่ระหว่างสวิตช์และเชอร์บัพเฟอร์มาก่อนแล้ว ส่วนการกำหนดบุริมสิทธิจึงจัดการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตดังกล่าว (priority queuing) ด้วยการลัดคิวส่งแพ็กเก็ตนี้ให้กลับออกไปยังสวิตช์ก่อนหน้าแพ็กเก็ตอื่นๆ ที่เข้าคิวคอยอยู่ในเชอร์บัพเฟอร์ ทั้งนี้ส่วนการกำหนดบุริมสิทธิจะจัดการให้แพ็กเก็ตที่รอคิวอยู่ก่อนหน้าไม่สูญหายไปจากการลัดคิวนี้ด้วย รายละเอียดของระบบการสวิตช์ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แบบจำลองระบบแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ใช้ในการวิเคราะห์

5.3 แบบจำลองการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์

กำหนดให้ข้อมูลแพ็กเก็ตแสงมีลักษณะและขนาดที่ตายตัวเช่นเดียวกับข้อมูล ATM โดยสมมติให้แพ็กเก็ตแสงที่เข้ามาถึงสวิตช์นั้นเข้ามาแบบเข้าจังหวะกัน (synchronize) ให้แพ็กเก็ตที่เข้ามาที่แต่ละอินพุตนั้นเป็นแบบอิสระและเป็นแบบกระบวนการ Bernoulli ดังนั้นที่ระยะเวลาใดๆ ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะเข้ามาถึงแต่ละอินพุตนั้นคือ p แต่ละแพ็กเก็ตจะมีความน่าจะเป็นเท่ากับ $1/N$ ในการที่จะถูกกำหนดตำแหน่งไปยังเอาต์พุตจำนวน N เอาต์พุตใดๆ ดังนั้นด้วยพื้นฐานของแบบจำลอง Bernoulli ความน่าจะเป็นที่จะมี k แพ็กเก็ตเข้ามายังเอาต์พุตหรือ a_k สามารถแสดงได้โดยสมการดังนี้

$$a_k = \binom{N}{k} \left(\frac{p}{N}\right)^k \left(1 - \frac{p}{N}\right)^{N-k} \tag{5.1}$$

โดยที่ $k=0,1,\dots,N$ และ p คือความน่าจะเป็นที่มีแพ็กเก็ตเกิดขึ้นในช่องเวลานั้นๆหรือความเข้มของข้อมูล

ในส่วนของวิเคราะห์การจัดเรียงคิวของแพ็กเก็ตภายในบัฟเฟอร์ของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่มีการใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชร์บัฟเฟอร์ทำงานร่วมกัน จะใช้แบบจำลองการทำงานของเอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชร์บัฟเฟอร์ที่เหมือนกัน โดยที่การจัดการคิวของแพ็กเก็ตแสงทั้งในเอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชร์บัฟเฟอร์จะเป็นแบบ First In First Out (FIFO) หรือ First Come First Serve (FCFS) ที่แต่ละบัฟเฟอร์จะมีเซอร์เวอร์ในการให้บริการเพียง 1 เซอร์เวอร์ และในช่วง 1 ช่องเวลาของการสวิตช์จะมีเพียง 1 แพ็กเก็ตแสงเท่านั้นที่สามารถส่งออกไปจากบัฟเฟอร์ได้ ในการวิเคราะห์นี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาก็เท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นใบใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ขนาดของแพ็กเก็ตแสงมีขนาดคงที่ ทำให้เวลาในการให้บริการภายในบัฟเฟอร์นั้นจะเป็นแบบคงที่ เมื่อการเข้ามาถึงของแพ็กเก็ตแสงเป็นไปตามกระบวนการ Bernoulli แล้ว รูปแบบการจัดคิวในบัฟเฟอร์ทั้ง 2 แบบนี้จึงเป็นแบบ B/D/1

รูปแบบการจัดเรียงคิวของแพ็กเก็ตแสงภายในเอาต์พุตบัฟเฟอร์สามารถจำลองได้จากความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะ (ตำแหน่ง) ของแพ็กเก็ตแสงภายในเอาต์พุตบัฟเฟอร์ซึ่งสัมพันธ์กับการเข้ามาถึงยังเอาต์พุตบัฟเฟอร์ของแพ็กเก็ตแสงด้วย Markov chain state transition probability diagram รายละเอียดดังรูปที่ 5.2 แต่ในการวิเคราะห์รูปแบบการจัดเรียงคิวของแชนแนลบัฟเฟอร์จะแตกต่างจากเอาต์พุตบัฟเฟอร์เล็กน้อย เมื่อการจัดเรียงคิวของแพ็กเก็ตแสงภายในแชนแนลบัฟเฟอร์นั้น การเข้ามาถึงยังแชนแนลบัฟเฟอร์ของแพ็กเก็ตแสงจะเป็นผลต่อเนื่องมาจากปัจจัย 2 อย่างคือ จำนวนแพ็กเก็ตแสงที่เข้ามายังเอาต์พุตบัฟเฟอร์และจำนวนแพ็กเก็ตแสงที่คอยคิวภายในเอาต์พุตบัฟเฟอร์นั้นๆ และยังใช้ความสัมพันธ์ระหว่างวิสัยสามารถ (throughput) และภาระ (load) ของบัฟเฟอร์ที่ได้ถูกจัดการคิวของบัฟเฟอร์เพื่อวิเคราะห์ถึงผลการทำงานของระบบแพ็กเก็ตสวิตซ์ทางแสงทั้งระบบ รายละเอียดดังรูปที่ 5.3 โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างวิสัยสามารถและภาระของบัฟเฟอร์มีสมการดังนี้

$$\gamma = \lambda(1 - P_B) = \mu(1 - p_0) \quad (5.2)$$

เมื่อกำหนดให้

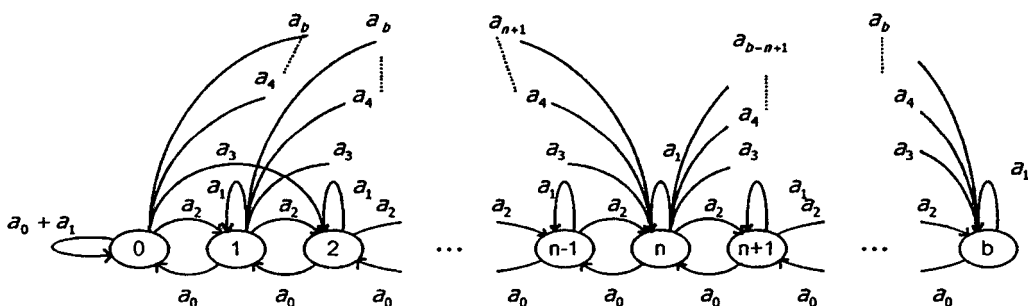
λ คืออัตราการเข้ามาของแพ็กเก็ตหรือภาระของบัฟเฟอร์

P_B คือความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหาย

γ คือวิสัยสามารถของบัฟเฟอร์

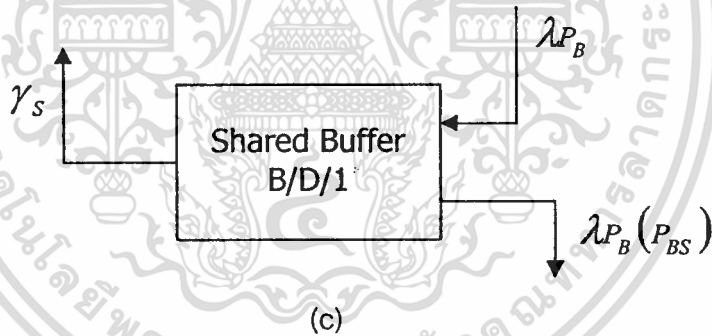
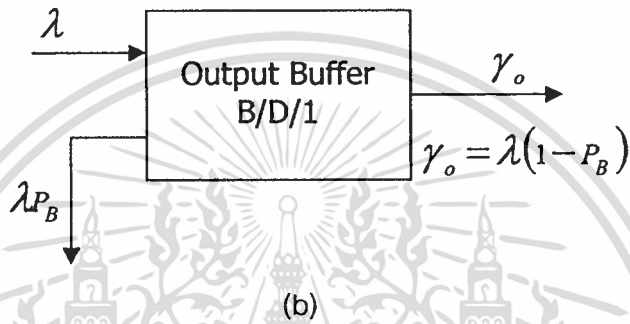
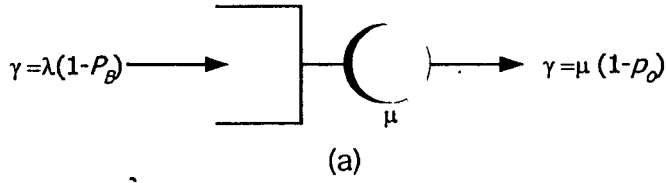
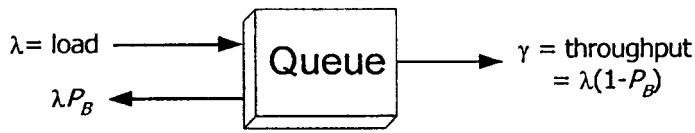
μ คือเวลาที่บัฟเฟอร์ใช้เพื่อให้บริการโดยเฉลี่ย

p_0 คือความน่าจะเป็นที่ไม่มีการใช้คิวภายในบัฟเฟอร์



เอกสารนี้รูปที่ 5.2 การเปลี่ยนสถานะของแพ็กเก็ตภายในเอาต์พุตบัฟเฟอร์ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แบบจำลองการทำงานของบัฟเฟอร์ ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างวิสัยสมารถและภาระของบัฟเฟอร์ทั้งของเอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชร์บัฟเฟอร์

5.4 การวิเคราะห์เอาต์พุตบัฟเฟอร์

การจัดเรียงลำดับในเอาต์พุตบัฟเฟอร์จะจัดทำในแบบ FIFO (First-in-First-out) โดยที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์แต่ละอันที่แต่ละเอาต์พุตจะสามารถรองรับแพ็กเก็ตได้จำนวน ob แพ็กเก็ต ด้วยการทำงานของเอาต์พุตบัฟเฟอร์แบบ FIFO จะสามารถแสดงได้ตามสมการดังนี้

$$Qo_m = \min \{ \max (0, Qo_{m-1} + Ao_m - 1), ob \} \tag{5.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยให้

Q_{0_m} คือจำนวนแพ็กเกตแสงภายในคิวของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่ปลายของร่องเวลาที่ m

$Q_{0_{m-1}}$ คือจำนวนแพ็กเกตแสงภายในคิวของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่ร่องเวลาก่อนหน้าร่องเวลา m

A_{0_m} คือจำนวนแพ็กเกตที่เข้ามายังเอาต์พุตบัฟเฟอร์ในระหว่างร่องเวลา m

ซึ่งในกรณีที่ $Q_{0_{m-1}} = 0$ และ $A_{0_m} > 0$

แพ็กเกตแรกที่เข้ามายังเอาต์พุตบัฟเฟอร์นั้นจะถูกส่งออกไปทันทีในช่วงระหว่างร่องเวลาที่ m โดยไม่มีการประวิงซึ่งนี่ก็คือการที่แพ็กเกตถูกส่งผ่านในสวิตช์โดยที่ไม่มีการประวิง

ส่วนในกรณีที่ขนาดของอินพุตมีค่าอนันต์ ($N = \infty$) และขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีค่าอนันต์ ($b = \infty$) การหาขนาดของ Q_{0_m} จะสามารถจำลองแบบการจัดคิวได้ด้วยรูปแบบการคิวแบบ M/D/1

ในขณะที่เมื่อขนาดของอินพุต (N) และขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ (ob) มีค่าจำกัด เราจะสามารถหาค่าขนาดของ Q_{0_m} ได้โดยใช้ discrete time Markov chain ที่มีความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะภายในบัฟเฟอร์ (state transition probability) หรือ $P_{0_{ij}}$ ดังนี้

$$P_{0_{ij}} = \Pr[Q_{0_m} = j | Q_{0_{m-1}} = i] \quad (5.4)$$

หรือความน่าจะเป็นที่มีแพ็กเกตจำนวน j แพ็กเกตอยู่ในเอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่ร่องเวลา m และมีแพ็กเกตจำนวน i แพ็กเกตอยู่ภายในเอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่ร่องเวลา $m-1$ โดยมีเงื่อนไขการจัดคิวต่างๆ ภายในเอาต์พุตบัฟเฟอร์ดังนี้

$$P_{0_{ij}} = \left\{ \begin{array}{ll} a_0 + a_i & i=0, j=0 \\ a_0 & 1 \leq i \leq ob, j=i-1 \\ a_{j-i+1} & 1 \leq j \leq ob-1, 0 \leq i \leq j \\ \sum_{m=j-i+1}^N a_m & j=ob, 0 \leq i \leq j \\ 0 & \text{otherwise} \end{array} \right\} \quad (5.5)$$

เมื่อ a_k สำหรับค่า $N < \infty$ หาได้จากสมการที่ 5.1

เมื่อเราทำการแทนค่า $P_{0_{ij}}$ และแก้สมการ Markov chain balance equation แล้วเราจะ

ได้ความน่าจะเป็นที่มีจำนวนแพ็กเกตต่างๆอยู่ภายในคิวของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q_{0_1} = \Pr[Q=1] = \left(\frac{1-a_0-a_1}{a_0} \right) \cdot q_{0_0} \quad (5.6)$$

โดยที่ q_{0_1} คือความน่าจะเป็นที่มีแพ็กเกตจำนวน 1 แพ็กเกตอยู่ในคิวของเอาต์พุตบัฟเฟอร์

$$q_{0_n} = \Pr[Q=n] = \left(\frac{1-a_1}{a_0} \right) \cdot q_{0_{n-1}} - \sum_{k=2}^n \frac{a_k}{a_0} \cdot q_{0_{n-k}} \quad 2 \leq n \leq ob \quad (5.7)$$

q_{0_n} คือความน่าจะเป็นที่มีแพ็กเกตจำนวน n แพ็กเกตอยู่ในคิวของเอาต์พุตบัฟเฟอร์

$$q_{0_0} = \Pr[Q=0] = \frac{1}{1 + \sum_{n=1}^b \frac{q_{0_n}}{q_{0_0}}} \quad (5.8)$$

โดยที่

q_{0_0} คือความน่าจะเป็นที่ไม่มีแพ็กเกตใดๆอยู่ในคิวของเอาต์พุตบัฟเฟอร์
พิจารณารูปแสดงแบบจำลองเอาต์พุตบัฟเฟอร์ แพ็กเกตแสงจะเข้ามาที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์ด้วยอัตรา λ แบบจำลองเอาต์พุตบัฟเฟอร์นี้จะมีวิสัยสามารถเท่ากับ $\gamma = \lambda(1 - \rho_{0_0})$ หรือ $\gamma = \mu(1 - \rho_{0_0})$ โดยที่อัตราของการที่แพ็กเกตจะเกิดการชนกันของแพ็กเกตจะมีค่าเท่ากับ λP_B ดังนั้นจึงได้ความสัมพันธ์

$$\gamma = \lambda(1 - \rho_{0_0}) = \mu(1 - \rho_{0_0}) \quad (5.9)$$

จะไม่มีการส่ง แพ็กเกต ออกไปยังเอาต์พุตในช่วงระหว่างระยะเวลาที่ m ถ้าหากว่า $Q_{0_{m-1}}$ และ A_{0_m} มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นถ้าให้ ρ_{0_0} นั้นคือวิสัยสามารถของสวิตช์หรือความน่าจะเป็นที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์มีแพ็กเกตจำนวนใดๆเข้าคิวรอรับบริการอยู่ เราจะได้

$$\rho_{0_0} = 1 - q_{0_0} a_0 \quad (5.10)$$

โดยที่ $q_{0_0} a_0$ คือความน่าจะเป็นที่คิวที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์ว่างโดยไม่มีบริการใดๆกับแพ็กเกตภายในบัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาการจัดคิวที่เอาต์พุตเฟอร์ ดังนั้นความน่าจะเป็นในการสูญหายไปของแพ็กเกตที่เอาต์พุตเฟอร์สามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$1 = P_{o_{loss}} + P_{o_{out}} \quad (5.11)$$

จากรูป $\gamma = \lambda(1 - P_o)$ ดังนั้นจะได้ $P_o = 1 - \frac{\gamma}{\lambda}$ โดยที่ $\gamma = \mu(1 - \rho_{o_0})$

ดังนั้นจะได้ความน่าจะเป็นในการสูญหายไปของแพ็กเกต

$$P_o = 1 - \frac{\mu}{\lambda} (1 - \rho_{o_0} a_0) \quad (5.12)$$

เมื่อ $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ ดังนั้น

$$P_o[\text{packetloss}] = 1 - \frac{\rho_{o_0}}{\rho} \quad (5.13)$$

เมื่อแพ็กเกตแสงถูกเข้าคิวอยู่ในเอาต์พุตเฟอร์ ย่อมต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งถึงจะสามารถออกไปจากเอาต์พุตเฟอร์ไปยังเอาต์พุตได้ ซึ่งเราเรียกเวลาในการรอคิวในบัฟเฟอร์นี้ว่าการประวิง จากทฤษฎีของลิตเติล (Little's Law) เราสามารถหาเวลาในการรอคิวหรือการประวิงเป็นค่าโดยเฉลี่ยได้ดังนี้

$$\overline{W_o} = \frac{\overline{Q_o}}{\rho_{o_0}} = \frac{\sum_{n=1}^{ob} n q_{o_n}}{1 - \rho_{o_0} a_0} \quad (5.14)$$

5.5 การวิเคราะห์บัฟเฟอร์แบบพาร์เซียลลิแชรร์บัฟเฟอร์

เมื่อเอาต์พุตเฟอร์ได้ถูกใช้จนหมดแล้ว แพ็กเกตแสงที่ถูกปฏิเสธจากเหตุการณ์การช่วงชิงกันของแพ็กเกตที่เอาต์พุตจะถูกส่งต่อมายังแชรร์บัฟเฟอร์ เพื่อจัดเก็บไว้ชั่วคราวและส่งต่อออกไปยังสวิตช์ในช่วงรอนเวลาถัดไปตามลำดับ การจัดการของคิวข้อมูลแพ็กเกตในแชรร์บัฟเฟอร์นั้นจะมีการจัดการในแบบ FIFO เช่นเดียวกับเอาต์พุตเฟอร์ ดังนั้นการจัดการคิวภายในแชรร์บัฟเฟอร์จะเป็นไปตามสมการดังนี้

$$Q_{s_m} = \min \{ \max (0, Q_{s_{m-1}} + A_{s_m} - 1), s_b \} \quad (5.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับเอาต์พุตบัพเฟอร์

Qs_m คือ จำนวนของแพ็กเก็ตแสงที่อยู่ในแชนแนลบัพเฟอร์ที่รอมเวลา m

Qs_{m-1} คือ จำนวนของแพ็กเก็ตแสงที่อยู่ในแชนแนลบัพเฟอร์ที่รอมเวลาก่อนหน้ารอมเวลาที่ m

As_m คือจำนวนของแพ็กเก็ตแสงที่เข้ามายังแชนแนลบัพเฟอร์ที่รอมเวลา m

แพ็กเก็ตที่เข้ามายังแชนแนลบัพเฟอร์จะเป็นผลต่อเนื่องมาจากจำนวนแพ็กเก็ตที่เข้ามายังเอาต์พุต และจำนวนของแพ็กเก็ตภายในเอาต์พุตบัพเฟอร์ ด้วยอัตราการเข้ามาที่แชนแนลบัพเฟอร์เท่ากับ λp_B โดยเราสามารถทำนายความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะ (ตำแหน่ง) ภายในแชนแนลบัพเฟอร์ของแพ็กเก็ตต่างๆได้ด้วย markov chain ที่มีเงื่อนไขเช่นเดียวกับเอาต์พุตบัพเฟอร์ แต่ความน่าจะเป็นในการเข้ามาถึงยังแชนแนลบัพเฟอร์ของแพ็กเก็ตต่างๆจะขึ้นอยู่กับจำนวนแพ็กเก็ตที่เข้ามายังเอาต์พุต และจำนวนของแพ็กเก็ตภายในเอาต์พุตบัพเฟอร์ โดยจะมีความสัมพันธ์

$$As = Ak - (ob - Qb) - 1 \quad (5.16)$$

โดยที่

As คือจำนวนแพ็กเก็ตที่เข้ามายังแชนแนลบัพเฟอร์

Ak จำนวน แพ็กเก็ตที่เข้ามายังเอาต์พุตบัพเฟอร์

ob คือขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์

Qb คือจำนวนแพ็กเก็ตที่อยู่ภายในเอาต์พุตบัพเฟอร์

ดังนั้นจึงสามารถหาความน่าจะเป็นที่จะมีแพ็กเก็ตจำนวน n แพ็กเก็ตเข้ามายังแชนแนลบัพเฟอร์ได้จากความสัมพันธ์ $a_k q_b$

เมื่อ a_k คือความน่าจะเป็นที่จะมีแพ็กเก็ตเข้ามายังเอาต์พุตบัพเฟอร์ k แพ็กเก็ต

และ q_b คือความน่าจะเป็นที่จะมีแพ็กเก็ตอยู่ในเอาต์พุตบัพเฟอร์ b แพ็กเก็ต

โดยที่ความน่าจะเป็นที่จะมีแพ็กเก็ตจำนวนใดๆเข้ามายังแชนแนลบัพเฟอร์สามารถหาได้จากสมการดังนี้

ความน่าจะเป็นที่ไม่มีแพ็กเก็ตเข้ามายังแชนแนลบัพเฟอร์ $Ps(0)$

$$Ps(0) = (a_0 + a_1 + a_2) \sum_{n=0}^b qs_n + \dots + a_k \sum_{n=0}^{b-k+1} qs_n \quad (5.17)$$

ความน่าจะเป็นที่มี 1 แพ็กเก็ตเข้ามายังแชนแนลบัพเฟอร์ $Ps(1)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Ps(1) = a_2 q_0 b + a_3 q_0 b_{-1} + a_4 q_0 b_{-2} + \dots + a_k q_0 b_{-k+2} \quad (5.18)$$

ความน่าจะเป็นที่มี 2 แพ็กเกตเข้ามายังเซิร์ฟเฟอร์ $Ps(2)$

$$Ps(2) = a_3 q_0 b + a_4 q_0 b_{-1} + a_5 q_0 b_{-2} + \dots + a_k q_0 b_{-k+3} \quad (5.19)$$

ความน่าจะเป็นที่มี 3 แพ็กเกตเข้ามายังเซิร์ฟเฟอร์ $Ps(3)$

$$Ps(3) = a_4 q_0 b + a_5 q_0 b_{-1} + a_6 q_0 b_{-2} + \dots + a_k q_0 b_{-k+4} \quad (5.20)$$

ไปจนถึงความน่าจะเป็นที่มีแพ็กเกตเข้ามายังเซิร์ฟเฟอร์ $k-1$ แพ็กเกต หรือ $Ps(k-1)$

$$Ps(k-1) = a_k q_0 b \quad (5.21)$$

โดยที่

$$1 = Ps(0) + Ps(1) + Ps(2) + \dots + Ps(N-1) \quad (5.22)$$

ในการคำนวณหาความน่าจะเป็นที่จะมีแพ็กเกตจำนวนใดๆอยู่ในเซิร์ฟเฟอร์สามารถหาได้จากเมตริกความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนตำแหน่งของแพ็กเกต ด้วยความน่าจะเป็นที่จะมีแพ็กเกตจำนวน sb แพ็กเกตอยู่ในเซิร์ฟเฟอร์ซึ่งสามารถหาได้จาก state transition probability ต่างๆนี้แล้วและนำไปแทนค่าใน Markov chain และ balance equation เราจึงจะสามารถหาสมการได้ดังนี้

กำหนดให้เมตริกความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะ P ซึ่งประกอบไปด้วยความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะต่างๆ P_{ij} ดังนี้

$$P = [P_{ij}] \quad (5.23)$$

ให้ π คือเวกเตอร์ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้น

$$\pi = [\pi_0, \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_k] \quad (5.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความสัมพันธ์

$$\pi = \pi P \quad (5.25)$$

เมื่อ π คือเวกเตอร์ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ต่างๆ

ดังนั้นถ้าให้ π คือเวกเตอร์ความน่าจะเป็นที่จะมีแพ็กเกตจำนวน 0 ถึง $k-1$ แพ็กเกตอยู่ในเซิร์ฟเวอร์ ดังนั้นเราจึงได้ความสัมพันธ์ $\pi = Qs$ โดยที่

$$Qs = [Qs_0, Qs_1, Qs_2, \dots, Qs_{sb}] \quad (5.26)$$

ดังนั้นเมื่อเราแก้สมการ (25) แล้วเราจะได้ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจำนวน 0 จนถึง ความน่าจะเป็นที่มีแพ็กเกตจำนวน $k-1$ อยู่ในเซิร์ฟเวอร์ โดยที่เมตริกความน่าจะเป็นการเปลี่ยนสถานะ P_{ij} สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$P = [P_{ij}] = \begin{bmatrix} P_{s_{00}} & P_{s_{01}} & P_{s_{02}} & \dots \\ P_{s_{10}} & P_{s_{11}} & P_{s_{12}} & \dots \\ P_{s_{20}} & P_{s_{21}} & P_{s_{22}} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \quad (5.27)$$

เมื่อ

$P_{s_{ij}}$ คือความน่าจะเป็นที่มีแพ็กเกตอยู่ในเซิร์ฟเวอร์จำนวน i แพ็กเกตที่ร้องเวลาก่อนหน้าและมีแพ็กเกตอยู่ในเซิร์ฟเวอร์จำนวน j แพ็กเกตที่ร้องเวลาปัจจุบัน โดยที่กรณีที่ $i - j \geq 2$ นั้นไม่มีทางเกิดขึ้นได้ (ความน่าจะเป็นเท่ากับ 0)

เมื่อพิจารณา $P_{s_{ij}}$ พบว่ามีความสัมพันธ์กับจำนวนแพ็กเกตที่เข้ามายังเซิร์ฟเวอร์ โดยที่

$$A_s = j - i + 1 \quad (5.28)$$

A_s คือจำนวนแพ็กเกตที่เข้ามายังเซิร์ฟเวอร์

ดังนั้นจากความสัมพันธ์จากสมการ จึงได้สมการความน่าจะเป็น $P_{s_{ij}}$ ดังนี้

$P_{s_{10}}$ หรือความน่าจะเป็นที่ไม่มีแพ็กเกตใดๆเข้ามายังเซิร์ฟเวอร์ จะมีสมการดังนี้

$$P_{s_{10}} = (a_0 + a_1 + a_2) \sum_{n=0}^b q_{s_n} + \dots + a_k \sum_{n=0}^{b-k+1} q_{s_n} \quad (5.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานันทนาการ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ps_{11} จะมีค่าเท่ากับ Ps_{22} , Ps_{33} ไปจนถึง Ps_{bb} ตามลำดับ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นที่มี 1 แพ็กเกตเข้ามายังเซิร์ฟเฟอร์ จะมีสมการดังนี้

$$Ps_{bb} = a_2 q_0 b + a_3 q_0 b_{-1} + a_4 q_0 b_{-2} + \dots + a_k q_0 b_{-k+2} \quad (5.30)$$

Ps_{01} จะมีค่าเท่ากับ Ps_{12} , Ps_{23} ไปจนถึง $Ps_{(b-1)b}$ ตามลำดับ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นที่มี 2 แพ็กเกตเข้ามายังเซิร์ฟเฟอร์

$$Ps_{(b-1)b} = a_3 q_0 b + a_4 q_0 b_{-1} + a_5 q_0 b_{-2} + \dots + a_k q_0 b_{-k+3} \quad (5.31)$$

Ps_{02} จะมีค่าเท่ากับ Ps_{13} , Ps_{24} ไปจนถึง $Ps_{(b-2)b}$ ตามลำดับ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นที่มี 3 แพ็กเกตเข้ามายังเซิร์ฟเฟอร์ จะมีสมการดังนี้

$$Ps_{(b-2)b} = a_4 q_0 b + a_5 q_0 b_{-1} + a_6 q_0 b_{-2} + \dots + a_k q_0 b_{-k+4} \quad (5.32)$$

Ps_{00} ความน่าจะเป็นที่มี 1 แพ็กเกตเข้ามาและความน่าจะเป็นที่ไม่มีแพ็กเกตเข้ามายังเซิร์ฟเฟอร์ มีสมการดังนี้

$$Ps_{00} = (a_0 + a_1 + a_2) \sum_{n=0}^b qs_n + a_3 \sum_{n=0}^{b-1} qs_n + \dots + a_k \sum_{n=0}^{b-k+2} qs_n \quad (5.33)$$

Ps_{20} และกรณีอื่นๆที่ $i - j \geq 2$ ซึ่งเป็นกรณีที่ไม่เกิดขึ้นที่เซิร์ฟเฟอร์ดังนั้น

$$Ps_{ij} = 0 \text{ เมื่อ } i - j \geq 2 \quad (5.34)$$

ในส่วนของความน่าจะเป็นการสูญหายไปของแพ็กเกตและเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตที่เซิร์ฟเฟอร์สามารถหาได้ด้วยวิธีเช่นเดียวกับเอาต์พุตบัพเฟอร์ โดยที่

$$\rho s_0 = 1 - qs_0 a s_0 \quad (5.35)$$

ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายไปที่เซิร์ฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Ps[\text{packetloss}] = 1 - \frac{\rho s_0}{\lambda P_B} \quad (5.36)$$

และเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตในเซิร์ฟเวอร์

$$\bar{w}_s = \frac{\bar{Q}_s}{\rho s_0} = \frac{\sum_{n=1}^{sb} n q s_n}{1 - q s_0 a s_0} \quad (5.37)$$

ในระบบแพ็กเกตสวิตช์ที่แพ็กเกตจากเซิร์ฟเวอร์ถูกส่งกลับเข้ามายังสวิตช์เพื่อสวิตช์ออกไปยังเอาต์พุตที่ต้องการนั้น แพ็กเกตดังกล่าวอาจจะถูกส่งออกไปยังเอาต์พุตที่ต้องการได้เลยหรือถูกเก็บไว้ชั่วคราวภายในเอาต์พุตเซิร์ฟเวอร์หรือเซิร์ฟเวอร์ก็ได้ ในกรณีที่แพ็กเกตดังกล่าวถูกส่งกลับเข้ามายังเซิร์ฟเวอร์อีกครั้ง (มากกว่า 1 ครั้ง) เราจะเรียกแพ็กเกตชนิดนี้ว่า "แพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุด" เมื่อพิจารณากระบวนการสวิตช์แล้ว แพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะถูกส่งเข้ามายังสวิตช์ได้โดยผ่านทางอินพุตที่ต่อกลับมาจากเซิร์ฟเวอร์เท่านั้น ดังนั้นความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตที่เข้ามายังเอาต์พุตจำนวน k แพ็กเกตโดยที่ 1 ในแพ็กเกตนั้นมาจากอินพุตดังกล่าวสามารถหาได้จาก

$$a_{rc}(k) = Pr * a_k \quad (5.38)$$

เมื่อ

$$Pr = \frac{\binom{N-1}{k-1}}{\binom{N}{k}} \quad (5.39)$$

และ a_k เท่ากับสมการที่ 5.1

ดังนั้นความน่าจะเป็นในการเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะเท่ากับผลรวมของความน่าจะเป็นที่มี 1 แพ็กเกตเข้ามายังเซิร์ฟเวอร์และแพ็กเกตนั้นเป็นแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุด

$$P_{wdp}(1) = \frac{1}{2} a_2 q_0 b + \frac{1}{3} a_3 q_0 b_{-1} + \frac{1}{4} a_4 q_0 b_{-2} + \dots + \frac{1}{k} a_k q_0 b_{-k+2} \quad (5.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความน่าจะเป็นที่มี 2 แพ็กเกตเข้ามายังเซิร์ฟเฟอร์และ 1 ในนั้นเป็นแพ็กเกตที่มีการประวิง
แย่งที่สุด

$$P_{wdp}(2) = \frac{2}{3}a_3q_0b + \frac{1}{2}a_4q_0b_{-1} + \frac{2}{5}a_5q_0b_{-2} + \dots + \frac{2}{k}a_kq_0b_{-k+3} \quad (5.41)$$

ความน่าจะเป็นที่มี 3 แพ็กเกตเข้ามายังเซิร์ฟเฟอร์และ 1 ในนั้นเป็นแพ็กเกตที่มีการประวิง
แย่งที่สุด

$$P_{wdp}(3) = \frac{3}{4}a_4q_0b + \frac{3}{5}a_5q_0b_{-1} + \frac{1}{2}a_6q_0b_{-2} + \dots + \frac{3}{k}a_kq_0b_{-k+4} \quad (5.42)$$

จนถึง ความน่าจะเป็นที่มีแพ็กเกตเข้ามายังเซิร์ฟเฟอร์ $k-1$ แพ็กเกตและ 1 ในนั้นเป็นแพ็ก
เกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด

$$P_{wdp}(k-1) = \frac{k-1}{k}a_kq_0b \quad (5.43)$$

ดังนั้นความน่าจะเป็นโดยเฉลี่ยที่มีแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเข้ามายังเซิร์ฟเฟอร์จะเท่า
กับ

$$\overline{P}_{wdp} = \sum_{n=0}^{k-1} nP_{wdp}(n) \quad (5.44)$$

5.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธีการค่าเฉลี่ยในการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการ การประวิงแย่งที่สุด

ในการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ จะใช้สมการดังมีรายละเอียดตามสมการที่ 4.1 – 4.18 ในบทที่ 4
ตามลำดับ โดยที่ตัวแปรที่สำคัญในการวิเคราะห์คือ เวลาประวิงของแพ็กเกตทางแสงที่มีการ
ประวิงแย่งที่สุดโดยเฉลี่ย ทั้งเมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิและไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกต
ที่มีการประวิงแย่งที่สุด (สมการที่ 4.17 - 4.18) ตามลำดับ

5.7 แผนภูมิโปรแกรมการคำนวณเพื่อวิเคราะห์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์

การคำนวณค่าต่างๆด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์จะใช้โปรแกรม Maple ในการเขียนโปรแกรม

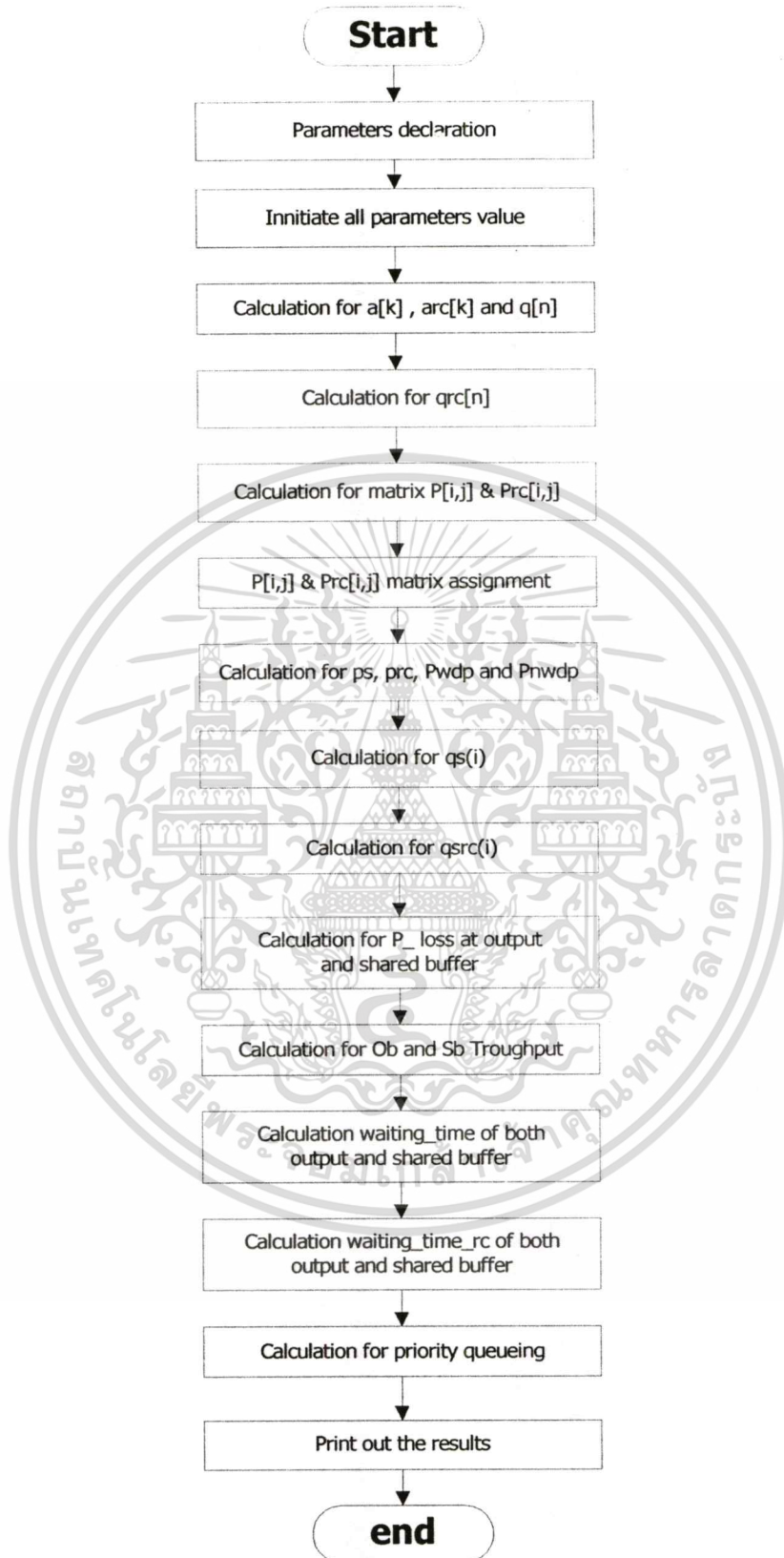
โดยจะมีอัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม
2. กำหนดค่าเริ่มต้นในการทำงานและตัวแปรต่างๆของโปรแกรม โดยตัวแปรในการคำนวณของโปรแกรมที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าเพื่อตรวจสอบได้ คือ
 - rho = ความเข้มทางทราฟฟิก
 - N = ขนาดของสวิตช์
 - b = ขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์
 - sb = ขนาดของเซิร์ฟบัฟเฟอร์
3. คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่มีแพ็กเก็ตเข้ามาที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์ (a(k)) และความน่าจะเป็นที่จะมีแพ็กเก็ตวนกลับมายังเอาต์พุตบัฟเฟอร์อีกครั้ง (arc(k))
4. คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่มีแพ็กเก็ตจำนวน n เข้าคิวอยู่ในเอาต์พุตบัฟเฟอร์ (q(n)) และความน่าจะเป็นที่จะมีแพ็กเก็ตที่วนกลับมา (re-circulating packet) จำนวน n อยู่ในคิวของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ (qrc(n))
5. คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนตำแหน่งของแพ็กเก็ตในคิว หรือ P(i,j) พร้อมทั้งกำหนดค่าต่างๆลงในเมตริก P(i,j) โดยที่ P[1,0] จะเท่ากับ P[2,1] มีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นที่ไม่มีแพ็กเก็ตใดถูกส่งมาที่เซิร์ฟบัฟเฟอร์
6. คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนตำแหน่งของแพ็กเก็ตที่มีการวนในคิว หรือ Prc(i,j) พร้อมทั้งกำหนดค่าต่างๆลงในเมตริก Prc(i,j) โดยที่ Prc[1,0] จะเท่ากับ Prc[2,1] มีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นที่ไม่มีแพ็กเก็ตใดถูกส่งมาที่เซิร์ฟบัฟเฟอร์
7. คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตที่ถูกส่งวน (re-circulating packet) จะวนกลับมาเข้ามายังเซิร์ฟบัฟเฟอร์อีกครั้ง และคำนวณหาทั้งความน่าจะเป็นที่จะเกิดและไม่เกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด พร้อมทั้งความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนตำแหน่งของแพ็กเก็ตภายในคิวของบัฟเฟอร์ P(i,j) ของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด
8. คำนวณความน่าจะเป็นที่มีแพ็กเก็ตจำนวนใดๆ (i) อยู่ภายในเซิร์ฟบัฟเฟอร์ qs(i)
9. คำนวณความน่าจะเป็นที่มีแพ็กเก็ตที่ถูกส่งวน จำนวน i อยู่ภายในเซิร์ฟบัฟเฟอร์ qsrc(i)
10. คำนวณหาความน่าจะเป็นของการสูญหายไปของแพ็กเก็ต ทั้งที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์และที่เซิร์ฟบัฟเฟอร์
11. คำนวณหาค่าวิสัยสามารถของทั้งเอาต์พุตบัฟเฟอร์และเซิร์ฟบัฟเฟอร์
12. คำนวณหาค่าเวลาคอยโดยเฉลี่ยของทั้งเอาต์พุตบัฟเฟอร์และเซิร์ฟบัฟเฟอร์
13. คำนวณการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด
14. แสดงผลการคำนวณ

เอกสารนี้ 15. ฉบับการทำงานของโปรแกรม งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

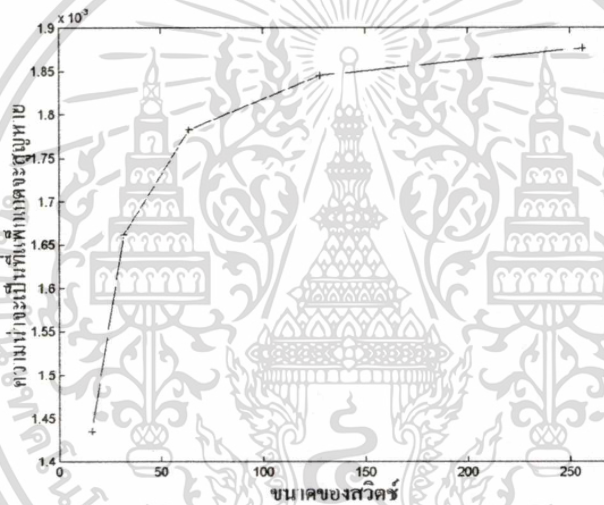


รูปที่ 5.4 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมการคำนวณเพื่อวิเคราะห์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์

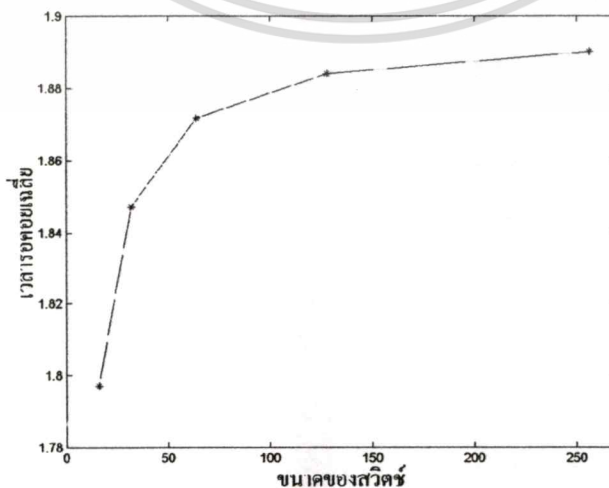
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 ผลการทดลอง

ในการทดลองจะแสดงผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบถึงสมรรถนะของสวิตช์ที่ได้จากการใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ และสวิตช์ที่ใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์และเซิร์ฟเฟอร์ทำงานร่วมกัน โดยตัวแปรหลักที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบสมรรถนะของสวิตช์ที่ได้คือ ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหาย และเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกต ในการทดลองพบว่าแนวโน้มของทั้งความน่าจะเป็นในการสูญหายไปของแพ็กเกตข้อมูลและเวลารอคอยโดยเฉลี่ยของแพ็กเกตจะเพิ่มขึ้นเมื่อสวิตช์มีขนาดใหญ่ขึ้น รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 5.5 ดังนั้นเพื่อให้เห็นผลจากการทดลองอย่างชัดเจน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงวิเคราะห์เอาต์พุตบัฟเฟอร์และเซิร์ฟเฟอร์ที่ใช้สวิตช์ที่มีขนาดเดียวกันวิเคราะห์ (กำหนดให้สวิตช์มีขนาดเท่ากับ 32X32)



รูปที่ 5.5 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายเทียบกับขนาดของสวิตช์ ($\rho=0.8$)



รูปที่ 5.6 เวลาารคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตในบัฟเฟอร์เทียบกับขนาดของสวิตช์ ($\rho=0.8$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

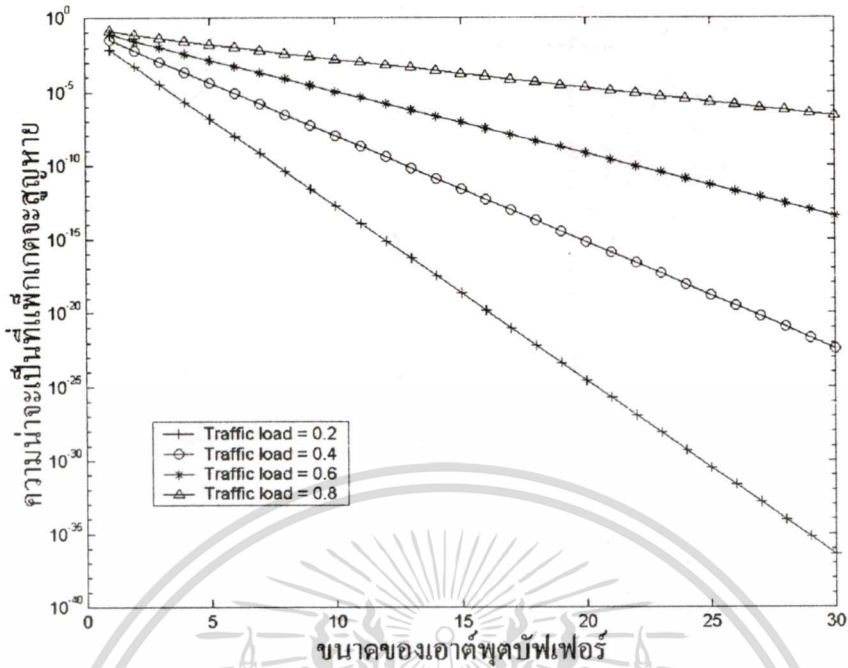
5.8.1 ผลการทดลองของสวิตช์ที่ใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์

ผลการทดลองของสวิตช์ที่ใช้เฉพาะเอาต์พุตบัฟเฟอร์แสดงไว้ในรูปที่ 5.7 ถึง 5.9

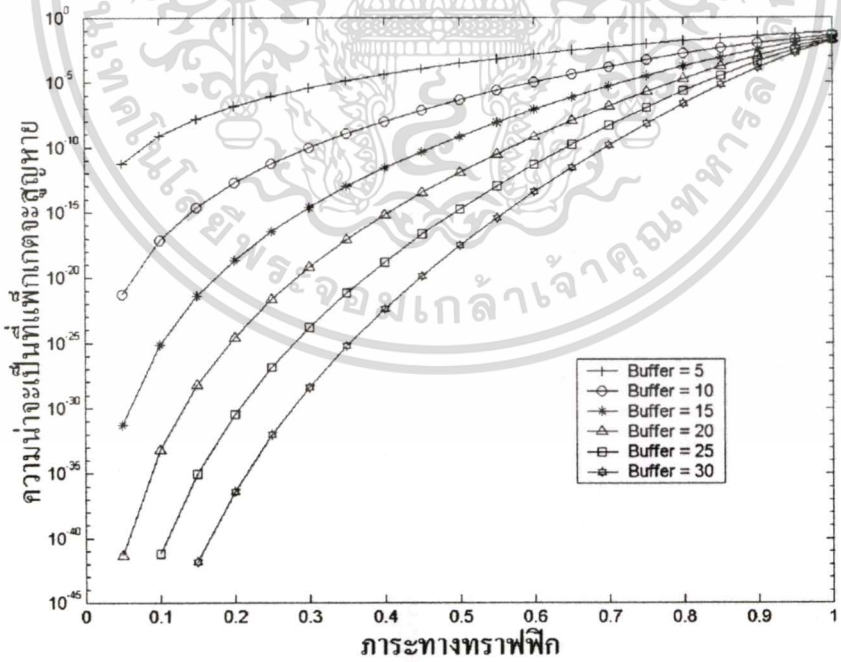
ในการวิเคราะห์แพ็กเก็ตสวิตช์ที่นำเอาเอาต์พุตบัฟเฟอร์มาใช้งานเพื่อรองรับแพ็กเก็ตที่อาจจะสูญหายไป เนื่องมาจากการชนกันของข้อมูลแพ็กเก็ตทางด้านเอาต์พุต จะพบว่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายไป จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับภาระทางทราฟฟิก (traffic load) นั่นคือยิ่งภาระทางทราฟฟิกมีค่าสูงเท่าไร (0-1) ค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายก็จะสูงขึ้นตาม เอาต์พุตบัฟเฟอร์สามารถลดค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายลงได้ และยังใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะยิ่งทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายไปลดลงมากยิ่งขึ้น แต่ในขณะที่เดียวกันก็จะทำให้เวลารอคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่ถูกรองรับไว้ที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์มีค่าสูงขึ้น โดยเวลารอคอยเฉลี่ยจะมีลักษณะแปรผันโดยตรงกับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ แต่เมื่อเพิ่มขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์จนถึงค่าหนึ่งแล้วเวลารอคอยเฉลี่ยจะเริ่มมีลักษณะอ้อมตัว

ในรูปที่ 5.7 จะแสดงผลการทดลองถึงความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่ภาระทางทราฟฟิกต่างๆ (0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8) โดยกำหนดให้ขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีค่าตั้งแต่ 0-30 ส่วนในรูปที่ 5.8 นั้นเป็นการแสดงผลการทดลองความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายเทียบกับภาระทางทราฟฟิก เมื่อกำหนดให้เอาต์พุตบัฟเฟอร์มีค่าเท่ากับ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 ตามลำดับ ซึ่งจากทั้ง 2 รูป ให้ผลการทดลองไปในแนวทางเดียวกันคือ เมื่อภาระทางทราฟฟิกมีค่ามากขึ้น ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายก็จะเพิ่มมากขึ้นตาม แต่ถ้าหากมีการใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่มีขนาดมากขึ้นความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายก็จะมีค่าลดลง

รูปที่ 5.8 แสดงผลการทดลองเวลารอคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตภายในเอาต์พุตบัฟเฟอร์เทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ ซึ่งกำหนดให้ภาระทางทราฟฟิกมีค่า 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ตามลำดับ โดยจะกำหนดให้เอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดตั้งแต่ 1 จนถึง 30 ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่อสวิตช์มีภาระทางทราฟฟิกสูงขึ้นเวลารอคอยเฉลี่ยก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วย และเมื่อเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ขึ้นเวลารอคอยเฉลี่ยก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยมีแนวโน้มที่จะเริ่มมีค่าคงที่ เมื่อเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ขึ้นจนถึงค่าค่าหนึ่ง แต่ทั้งนี้ยังพบว่าเวลารอคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์ ที่ซึ่งมีภาระทางทราฟฟิกน้อยจะเริ่มคงที่ และอ้อมตัวได้เร็วกว่าเอาต์พุตบัฟเฟอร์ ที่มีภาระทางทราฟฟิกสูง (ที่ภาระทางทราฟฟิก 0.2 เวลารอคอยเฉลี่ยจะเริ่มคงที่เมื่อเอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่มีขนาดประมาณ 2 ในขณะที่เวลารอคอยเฉลี่ยเมื่อภาระทางทราฟฟิกมีค่า 0.8 จะเริ่มคงที่เมื่อเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดประมาณ 15)

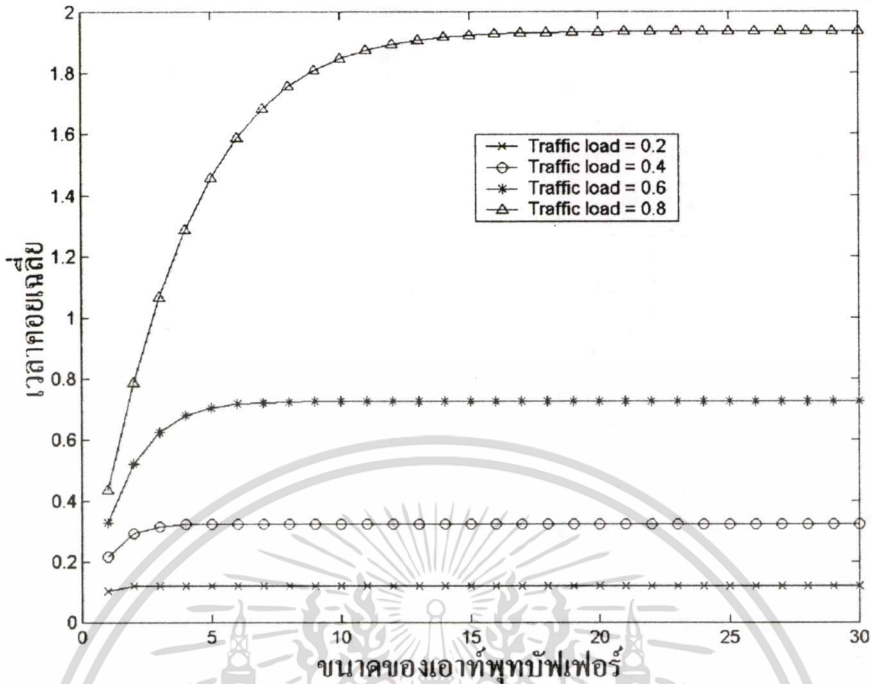


รูปที่ 5.7 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายที่ภาระทางทราฟฟิกต่างๆเทียบกับขนาดของเอادتพุตบัฟเฟอร์



รูปที่ 5.8 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายที่เอادتพุตบัฟเฟอร์ขนาดต่างๆเทียบกับภาระทางทราฟฟิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

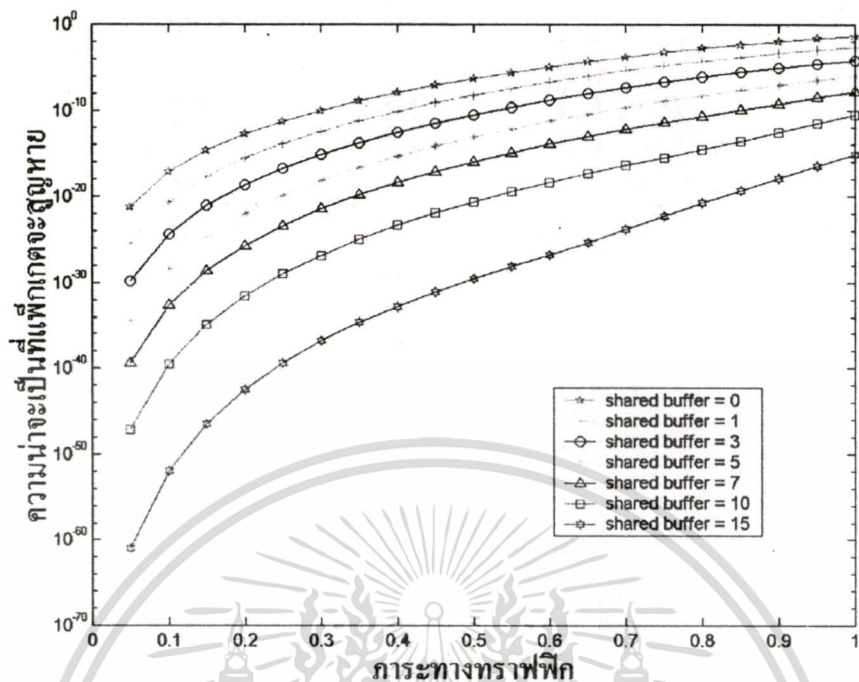


รูปที่ 5.9 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์เทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ (ให้ภาระทางทราฟฟิกมีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 ตามลำดับ)

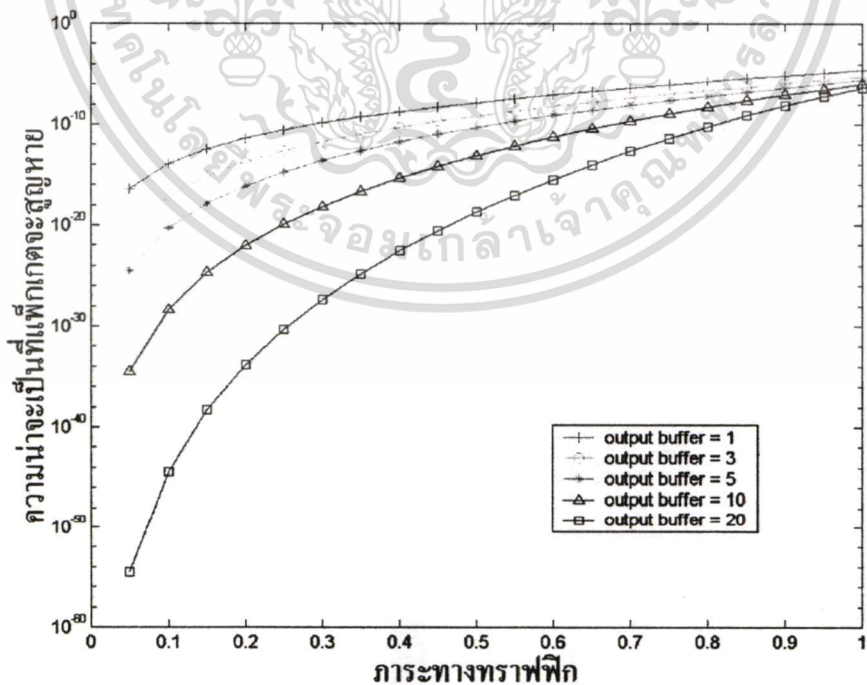
5.8.2 ผลการทดลองของสวิตช์ที่ใช้บัฟเฟอร์แบบพาร์เซียลลิแคร์บัฟเฟอร์

ในการทดลองจะใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ขนาด 10 ร่องเวลาเป็นหลักเพื่อไว้สำหรับให้เปรียบเทียบ โดยผลการทดลองที่ได้จะแสดงไว้ในรูปที่ 5.10 ถึง 5.13

รูปที่ 5.10 แสดงผลการทดลองความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายเทียบกับภาระทางทราฟฟิกของสวิตช์ที่ใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ทำงานร่วมกับแคร์บัฟเฟอร์ เมื่อกำหนดให้เอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 10 และภาระทางทราฟฟิกมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ทั้งนี้เพื่อเป็นการดูแนวโน้มของสวิตช์ที่ใช้แคร์บัฟเฟอร์ขนาดต่างๆ จึงได้แสดงผลการทดลองด้วยการกำหนดให้แคร์บัฟเฟอร์มีขนาดตั้งแต่ 0 (หรือไม่มีเลย), 1, 3, 5, 7, 10, และ 15 เพื่อเปรียบเทียบตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่อภาระทางทราฟฟิกมีค่าสูงขึ้นความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายก็จะมีค่าสูงมากขึ้น แต่ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายจะมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนัก เมื่อภาระทางทราฟฟิกมีค่ามากขึ้น (ภาระทางทราฟฟิกในช่วง 0.5 จนถึง 1) โดยขนาดของแคร์บัฟเฟอร์ที่ใช้จะมีผลต่อความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหาย คือ หากแคร์บัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ขึ้นความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายไปจะมีค่าน้อยลง (ที่แคร์บัฟเฟอร์มีขนาด 10 พบว่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายมีค่าต่ำกว่า 10^{-26})



รูปที่ 5.10 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตที่แชร์บัฟเฟอร์จะสูญหายเทียบกับภาระทางทราฟฟิก (เอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาด 10 ร่องเวลา)



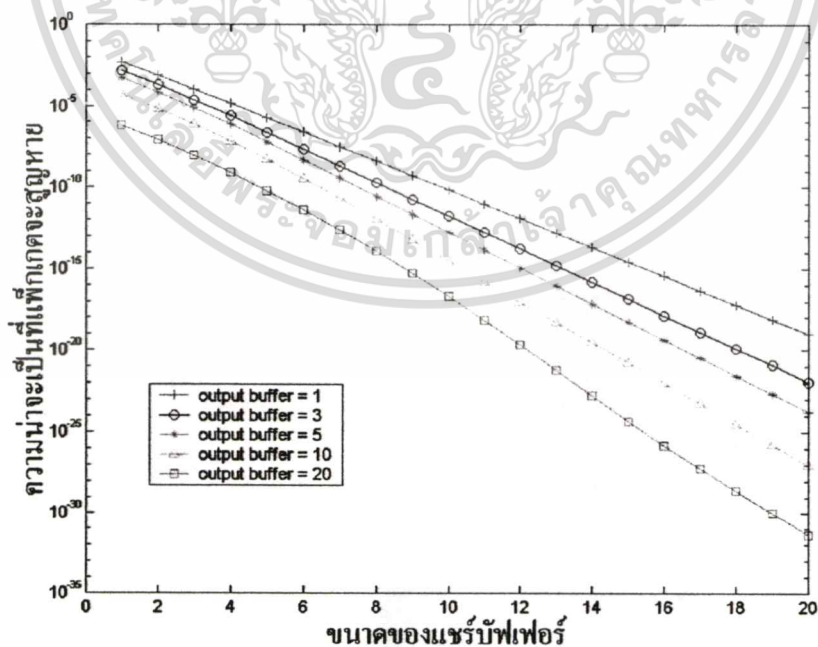
รูปที่ 5.11 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตที่แชร์บัฟเฟอร์จะสูญหายเทียบกับภาระทางทราฟฟิก (แชร์บัฟเฟอร์มีขนาดเท่ากับ 5 ร่องเวลา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.11 แสดงผลการทดลองความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายเทียบกับภาระทางทราฟฟิกของสวิตช์ที่ใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ทำงานร่วมกับแคร์รับบัฟเฟอร์ โดยการทดลองนี้จะกำหนดให้แคร์รับบัฟเฟอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 5 ในขณะที่ภาระทางทราฟฟิกมีค่าตั้งแต่ 0.6 ถึง 1 และเพื่อแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่มีต่อสวิตช์ที่ใช้แคร์รับบัฟเฟอร์ทำงานร่วมกันอย่างชัดเจน จึงได้แสดงผลเอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่มีขนาด 1, 3, 5, 10 และ 20 เพื่อใช้เปรียบเทียบตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าสวิตช์ที่ใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์และแคร์รับบัฟเฟอร์ทำงานร่วมกันนั้น หากให้แคร์รับบัฟเฟอร์มีค่าคงที่แล้ว เอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายที่มากกว่าตั้งแต่ภาระทางทราฟฟิกที่ต่ำ ในขณะที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายที่ต่ำกว่า แต่ก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อภาระทางทราฟฟิกมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ

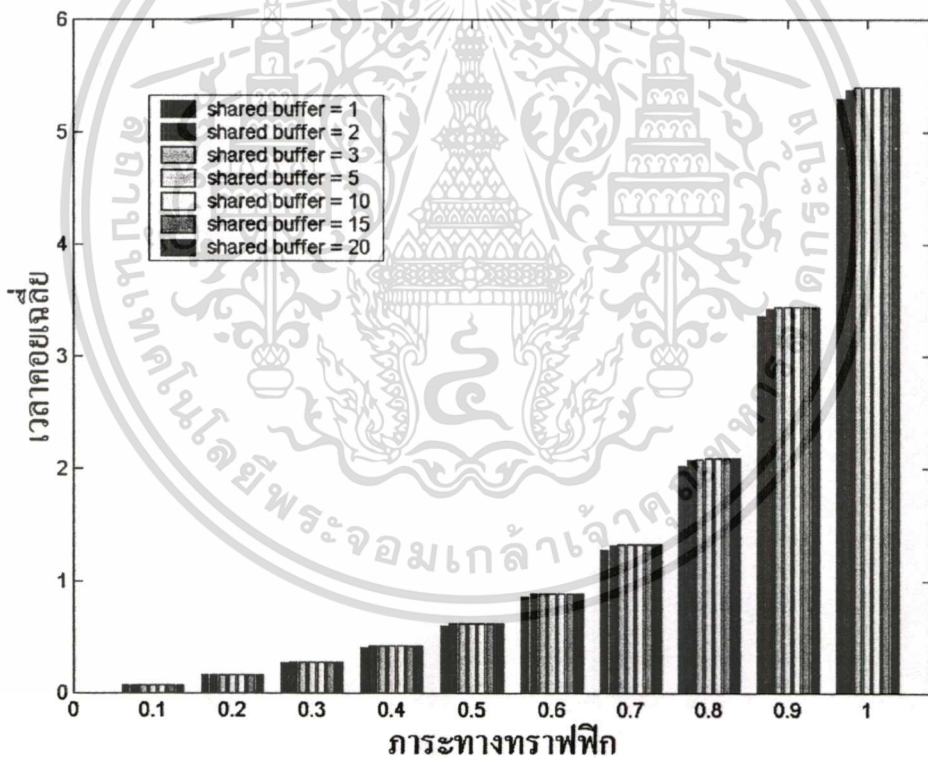
รูปที่ 5.12 แสดงผลการทดลอง ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายเทียบกับขนาดของทั้งเอาต์พุตบัฟเฟอร์และแคร์รับบัฟเฟอร์ โดยจะกำหนดให้ภาระทางทราฟฟิกของสวิตช์มีขนาดคงที่เท่ากับ 0.8 ขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีค่าเท่ากับ 1, 3, 5, 10 และ 20 ตามลำดับ และแคร์รับบัฟเฟอร์มีขนาดตั้งแต่ 1 จนถึง 20 ผลการทดลองที่ได้จะมีลักษณะเดียวกับผลการทดลองที่ได้จากรูปที่ 5.11 แต่จะแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์และขนาดของแคร์รับบัฟเฟอร์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะสามารถลดความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายลงไปได้มากขึ้นตามด้วย



รูปที่ 5.12 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตที่แคร์รับบัฟเฟอร์จะสูญหายเทียบกับขนาดของแคร์รับบัฟเฟอร์ (ภาระทางทราฟฟิกมีค่าเท่ากับ 0.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

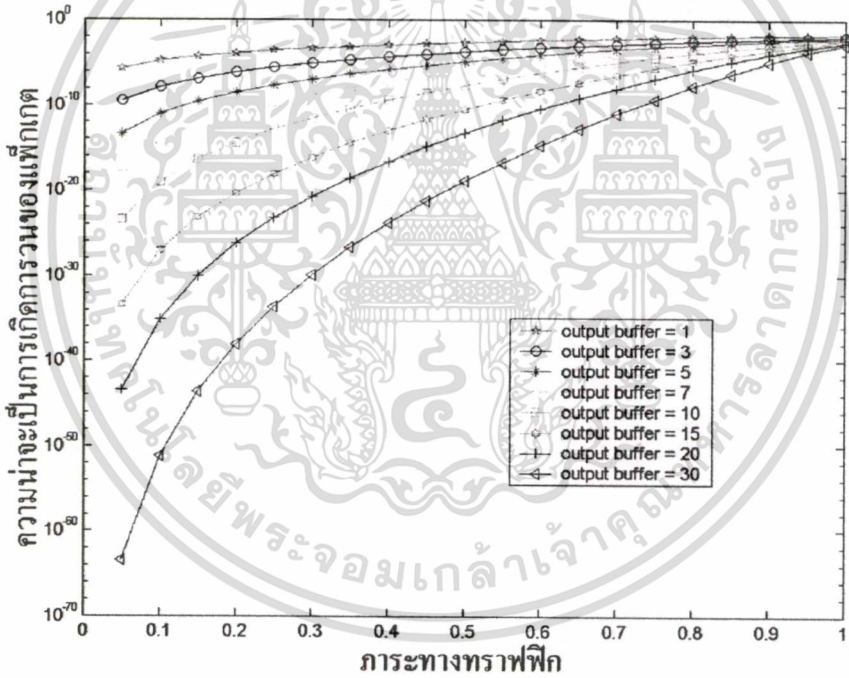
รูปที่ 5.13 แสดงผลการทดลอง เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตทั้งที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชร์บัฟเฟอร์เทียบกับภาระทางทราฟฟิก ของสวิตช์ที่ใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ทำงานร่วมกับแชร์บัฟเฟอร์ ด้วยการกำหนดให้ภาระทางทราฟฟิกมีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง 1 และกำหนดให้เอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 10 ในขณะที่แชร์บัฟเฟอร์มีขนาด 1, 2, 3, 4, 5 และ 10 จากผลการทดลองที่ได้พบว่าเวลารอคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตจะแปรผันโดยตรงกับค่าภาระทางทราฟฟิก ยิ่งภาระทางทราฟฟิกมีค่ามากขึ้นเวลาคอยเฉลี่ยก็จะยิ่งมีค่าสูงมากขึ้น และยังพบว่าเมื่อภาระทางทราฟฟิกมีค่าน้อย (น้อยกว่า 0.5) เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตของสวิตช์ที่ใช้แชร์บัฟเฟอร์ที่มีขนาดแตกต่างกันจะมีค่าใกล้เคียงกันอย่างมาก อีกทั้งเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตเหล่านั้นจะมีค่าแตกต่างกันและเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (คงที่) เมื่อแชร์บัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ขึ้นจนถึงค่าค่าหนึ่ง (ขนาดใหญ่กว่า 3 ร่องเวลาขึ้นไป)



รูปที่ 5.13 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในสวิตช์ที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชร์บัฟเฟอร์มีการทำงานร่วมกันเทียบกับภาระทางทราฟฟิก (เอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดเท่ากับ 10 ร่องเวลา)

รูปที่ 5.14 แสดงผลการทดลอง ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่ส่งวนกลับเข้ามายังสวิตช์เทียบกับภาระทางทราฟฟิก โดยจะกำหนดให้ภาระทางทราฟฟิกมีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง 1 และเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาด 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 และ 30 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การเอกลำดับเป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ เมื่ออนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

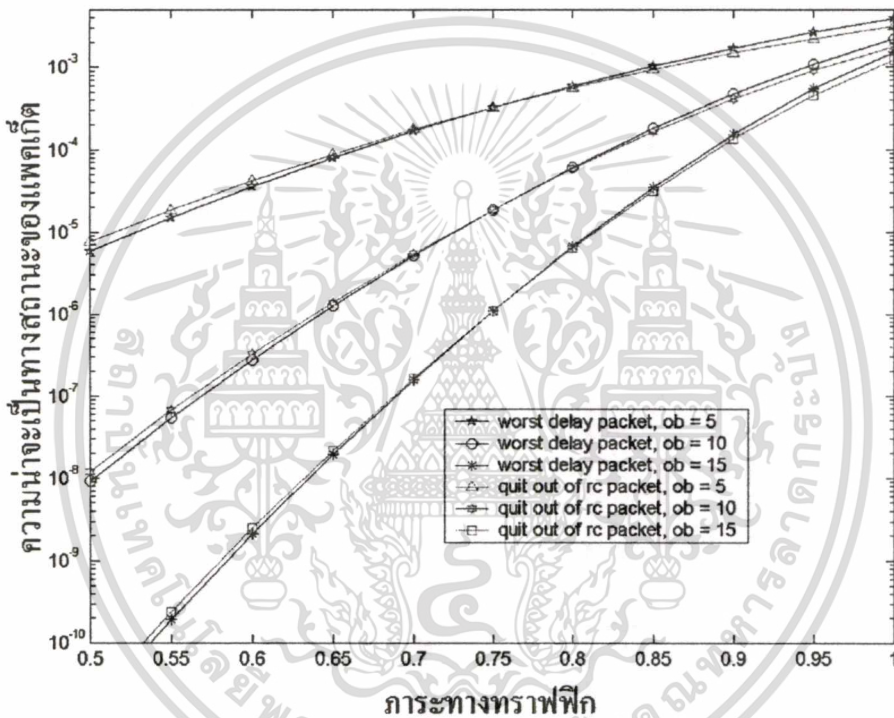
เกิดแพ็กเก็ตที่วนกลับเข้ามายังสวิตช์นั้นจะแปรผันโดยตรงกับภาระทางทราฟฟิก คือหากภาระทางทราฟฟิกมีค่าสูงขึ้นความน่าจะเป็นในการที่จะเกิดแพ็กเก็ตที่วนกลับมาเข้าสวิตช์ก็จะสูงขึ้นตาม และยังพบว่าขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์จะมีผลกระทบที่สำคัญอย่างมากต่อโอกาสการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงที่แย่ที่สุด โดยสวิตช์ที่ใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีโอกาสที่จะเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงที่แย่ที่สุดสูงกว่าสวิตช์ที่ใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่มีขนาดใหญ่ ในขณะที่ขนาดของแชนันบัฟเฟอร์จะไม่มีผลกระทบใดๆต่อความน่าจะเป็นของการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงที่แย่ที่สุด (จากการทดลองพบว่าที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์ขนาด 10 และแชนันบัฟเฟอร์ขนาด 1 จะมีค่าความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่ส่งวนกลับเข้ามายังสวิตช์เท่ากับ $0.3820e-23$ และเมื่อเอาต์พุตบัฟเฟอร์ขนาด 1 และแชนันบัฟเฟอร์ขนาด 10 ค่าความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่ส่งวนกลับเข้ามายังสวิตช์จะเท่ากับ $0.3820e-23$)



รูปที่ 5.14 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจากแชนันบัฟเฟอร์จะถูกส่งกลับเข้ามายังสวิตช์เทียบกับภาระทางทราฟฟิก(แชนันบัฟเฟอร์มีขนาดเท่ากับ 5 ร่องเวลา)

รูปที่ 5.15 แสดงผลการทดลอง ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตที่วนเข้ามาจะถูกส่งออกไปที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์และความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตที่วนเข้ามาจะถูกส่งออกไปที่แชนันบัฟเฟอร์เทียบกับภาระทางทราฟฟิก กำหนดให้แชนันบัฟเฟอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 5 เอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาด 5, 10 และ 15 ตามลำดับ ภาระทางทราฟฟิกมีค่าอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1 จากผลการทดลองพบว่าในช่วง

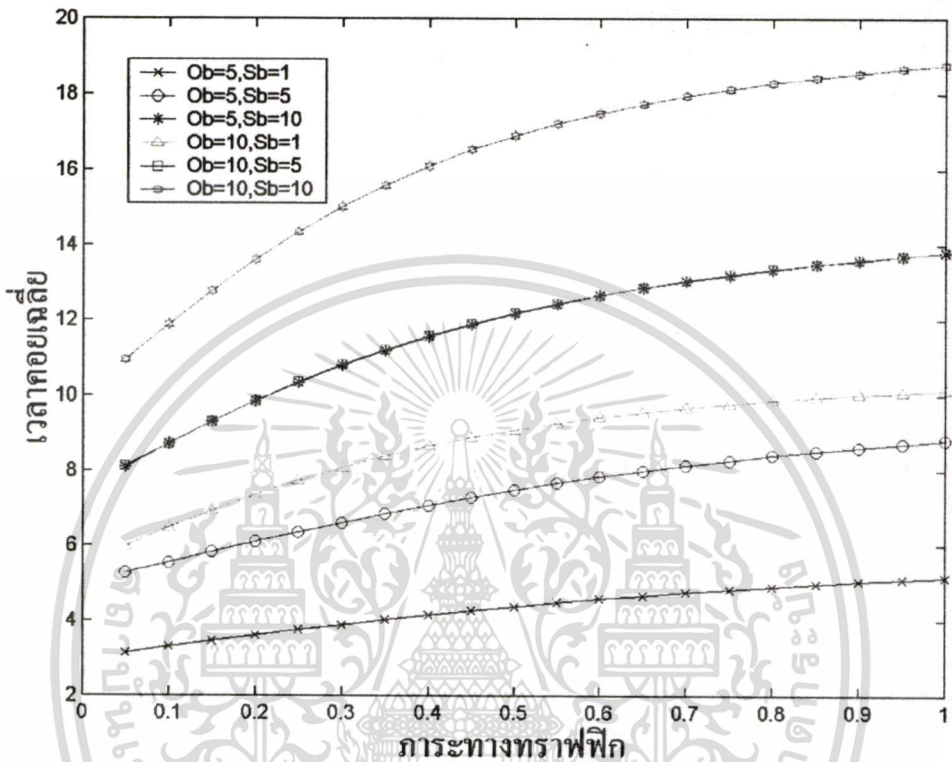
ภาระทางทราฟฟิกมีค่าน้อยกว่า 0.75 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตที่วนกลับมายังสวิตช์จะถูกส่งเข้าไปยังเอาต์พุตบัฟเฟอร์จะมีค่าสูงกว่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะถูกส่งเข้าไปยังแชรร์บัฟเฟอร์ (หรือโอกาสที่จะเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุด) แต่เมื่อภาระทางทราฟฟิกมีค่าสูงมาก (มากกว่า 0.75) พบว่าแพ็กเก็ตที่วนกลับมายังสวิตช์นั้นมีโอกาสที่จะถูกส่งกลับเข้าไปที่แชรร์บัฟเฟอร์สูงกว่าที่จะถูกส่งมาที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์ หรือที่ภาระทางทราฟฟิกมีค่าสูงมาก (มากกว่า 0.75) จะมีโอกาสที่จะเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดได้มากกว่าที่ภาระทางทราฟฟิกต่ำ (น้อยกว่า 0.75)



รูปที่ 5.15 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตที่ถูกส่งกลับมายังสวิตช์จะถูกส่งออกไปยังเอาต์พุตบัฟเฟอร์ หรือแพ็กเก็ตที่วนกลับมาจะถูกส่งไปยังแชรร์บัฟเฟอร์เทียบกับภาระทางทราฟฟิก (แชรร์บัฟเฟอร์มีขนาดเท่ากับ 5 ร่องเวลา)

รูปที่ 5.16 แสดงผลการทดลอง เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการส่งวนเทียบกับภาระทางทราฟฟิก ด้วยการกำหนดให้อาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาด 5 และ 10 แชรร์บัฟเฟอร์มีขนาด 1, 5 และ 10 ภาระทางทราฟฟิกมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 จากผลการทดลองพบว่าเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการวนจะมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่ไม่มีการวน (รูปที่ 5.13) โดยที่หากผลรวมทางขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชรร์บัฟเฟอร์มีค่าสูงมากเท่าไร เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตก็จะยิ่งมีค่าสูงมากขึ้น และยังพบว่าหากผลรวมของขนาดบัฟเฟอร์นั้นมีค่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากัน (เช่นเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาด 5 แชรรับ์เฟอร์มีขนาด 10 และ เอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาด 10 แชรรับ์เฟอร์มีขนาด 5) จะได้ว่าค่าเวลาคอยเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันมาก

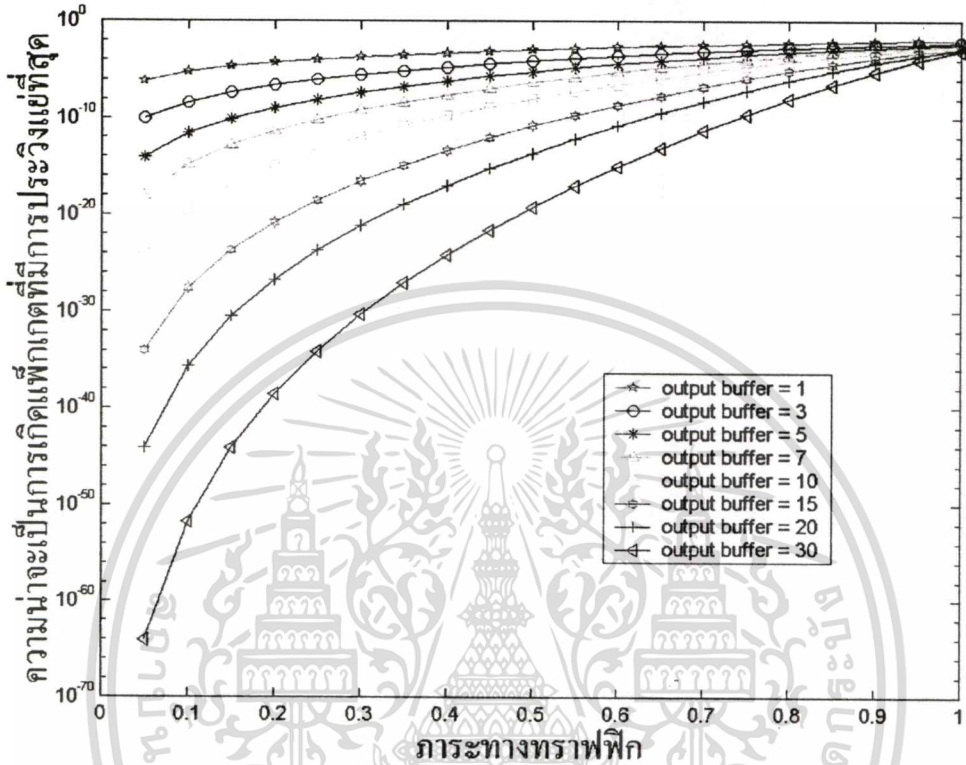


รูปที่ 5.16 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการรวมเวียนอยู่ระหว่างสวิตช์และแชรรับ์เฟอร์เทียบกับภาระทางทราฟฟิก (เอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาด 5 และ 10 ร่องเวลา, แชรรับ์เฟอร์มีขนาดเท่ากับ 1, 5 และ 10 ร่องเวลา)

รูปที่ 5.17 แสดงผลการทดลอง ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดหรือแพ็กเก็ตที่มีการส่งวนระหว่างสวิตช์กับแชรรับ์เฟอร์มากกว่า 1 รอบ ที่เกิดขึ้นภายในสวิตช์เทียบกับภาระทางทราฟฟิกของสวิตช์ที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชรรับ์เฟอร์มีการทำงานร่วมกัน โดยจะกำหนดให้แชรรับ์เฟอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 5 ภาระทางทราฟฟิกมีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง 1 และขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีค่า 1, 3, 5, 7, 10, 15, 20 และ 30 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดนั้น จะมีการแปรผันโดยตรงกับภาระทางทราฟฟิก คือหากภาระทางทราฟฟิกมีค่าสูงขึ้น ความน่าจะเป็นทั้งในการที่จะเกิดแพ็กเก็ตที่วนกลับมาเข้ายังเอาต์พุตบัฟเฟอร์และการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดก็จะสูงขึ้นตาม และยังพบว่าขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์จะมีผลกระทบที่สำคัญอย่างมากต่อโอกาสการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุด โดยสวิตช์

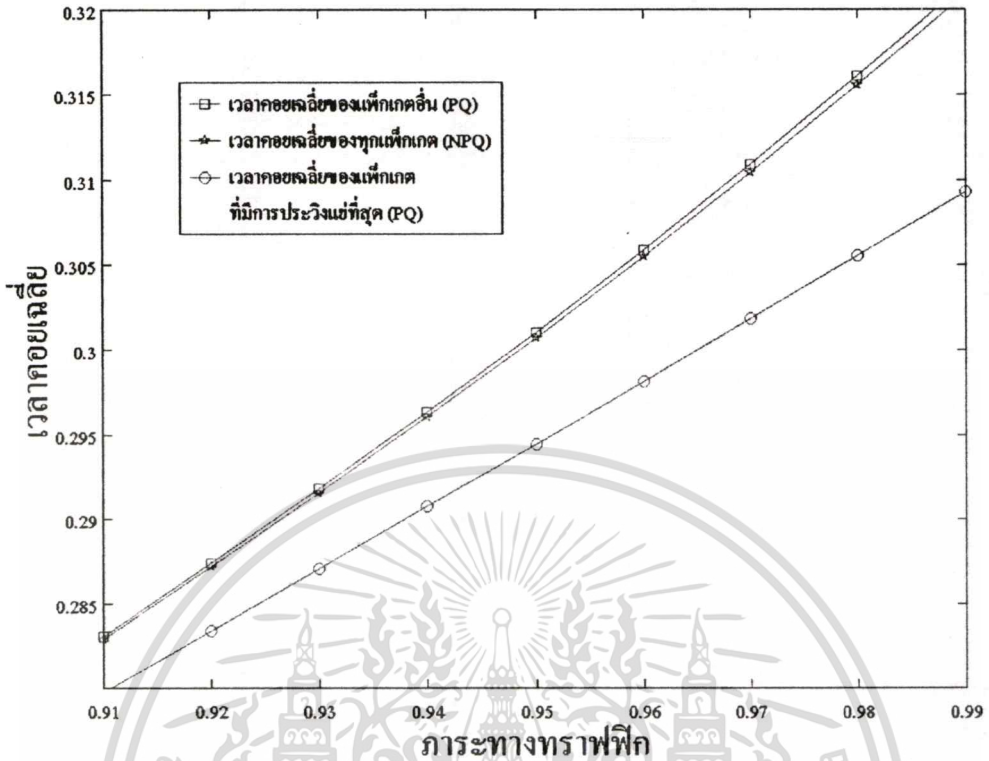
ที่ใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีโอกาสที่จะเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดสูงกว่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถิติที่ใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่มีขนาดใหญ่ ในขณะที่ขนาดของเซิร์ฟเวอร์จะไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อความน่าจะเป็นของการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุด



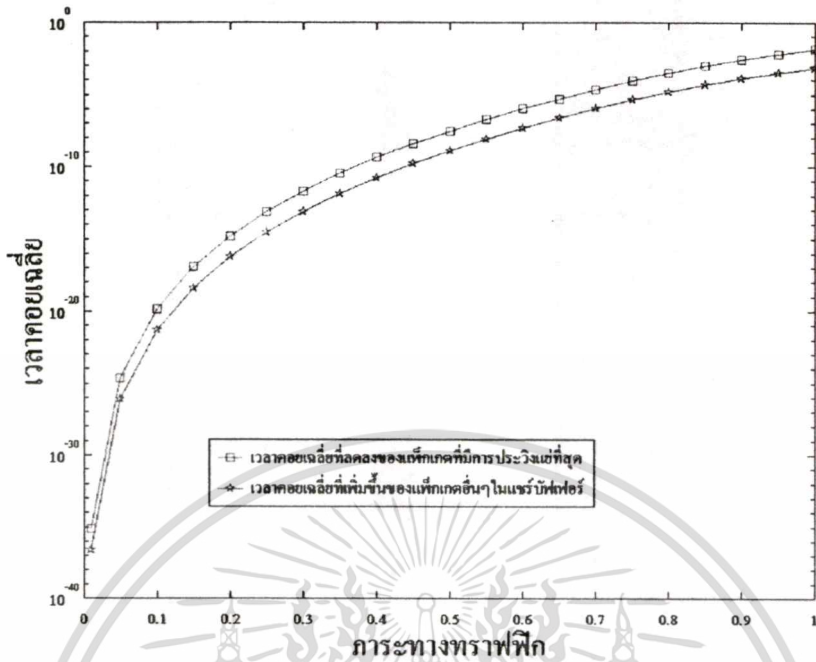
รูปที่ 5.17 ความน่าจะเป็นของการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดเทียบกับภาระทางทราฟฟิก (เซิร์ฟเวอร์มีขนาดเท่ากับ 5 ร่องเวลา)

รูปที่ 5.18 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตต่างๆ ภายในเซิร์ฟเวอร์เมื่อกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุด เทียบกับภาระทางทราฟฟิก กำหนดให้เอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 10 เซิร์ฟเวอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 5 และภาระทางทราฟฟิกมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 จากผลการทดลองที่ได้พบว่าเวลาคอยเฉลี่ยของทุกแพ็กเก็ตภายในเซิร์ฟเวอร์ (รวมทั้งแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุด) จะมีค่าสูงและแปรผันโดยตรงกับภาระทางทราฟฟิก เมื่อกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุด เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะมีค่าลดลงอย่างมาก เมื่อเทียบกับเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่ไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิ ในขณะที่เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตอื่นๆภายในเซิร์ฟเวอร์ (ไม่ใช่แพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุด) จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นไม่มากนักเมื่อเทียบกับเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตทั้งหมดที่เซิร์ฟเวอร์



รูปที่ 5.18 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตต่างๆภายในแชนันัลเฟออร์ เมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิและไม่กำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งเทียบกับภาระทางทราฟฟิก (เอาต์พุตบัฟเฟออร์มีขนาดเท่ากับ 10 ร่องเวลา แชนันัลเฟออร์มีขนาดเท่ากับ 5 ร่องเวลา)

รูปที่ 5.19 แสดงผลการทดลอง เปรียบเทียบเวลาคอยเฉลี่ยที่ลดลงของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเทียบกับเวลาคอยเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของแพ็กเก็ตอื่นๆภายในแชนันัลเฟออร์ โดยกำหนดให้เอาต์พุตบัฟเฟออร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 10 แชนันัลเฟออร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 5 ภาระทางทราฟฟิกมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 จากผลการทดลองที่ได้พบว่าเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตภายในแชนันัลเฟออร์ (ไม่ใช่แพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด) จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยอัตราส่วนน้อยกว่า ในขณะที่เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดจะมีอัตราส่วนการลดลงของเวลาคอยเฉลี่ยมากกว่าของแพ็กเก็ตอื่นๆที่ไม่ใช่แพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดซึ่งภายในแชนันัลเฟออร์เมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิเทียบกับภาระทางทราฟฟิก



รูปที่ 5.19 เปรียบเทียบเวลาคอยเฉลี่ยที่ลดลงของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดและเวลาคอยเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของแพ็กเก็ตอื่นๆที่ไม่ใช่แพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดในแชรฟ์เฟอร์เมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิเทียบกับภาระทางกราฟฟิก

5.9 สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองวิเคราะห์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1. การวิเคราะห์ทางด้านเอาต์พุตบัฟเฟอร์ 2. การวิเคราะห์พาร์เซียลลีแชรฟ์เฟอร์, การวิเคราะห์เกี่ยวกับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุด และ 3. การกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุด

จากการวิเคราะห์สมรรถนะของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์พบว่า ขนาดของสวิตช์และภาระทางกราฟฟิกจะส่งผลโดยตรงต่อทั้งความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหาย และเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในบัฟเฟอร์ ดังนั้นเมื่อกำหนดให้สวิตช์มีขนาดคงที่ (32X32) แล้วทำการวิเคราะห์ดูจะพบว่า หากเพิ่มขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ไปให้กับสวิตช์จะสามารถลดค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายลงได้มากกว่าสวิตช์ที่ใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่มีขนาดน้อยกว่า โดยค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายจะมีค่ามากขึ้นเมื่อภาระทางกราฟฟิกมีค่าสูงขึ้น (ขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์คงที่) และยังพบว่าถ้าหากภาระทางกราฟฟิกมีค่าสูง (เข้าใกล้ 1) ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายไป (ไม่ว่าจะใช้เอาต์พุตขนาดเท่าใด) ก็จะมีค่าเข้าใกล้กัน (ใกล้เคียงกัน) เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในเอาต์พุตบัฟเฟอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงตามขนาดของภาระทางกราฟฟิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากยิ่งภาระทางทราฟฟิกมีค่าสูงเท่าใดเวลาคอยเฉลี่ยก็จะมีค่าสูงขึ้นตาม โดยลักษณะการเพิ่มขึ้นของเวลาคอยเฉลี่ยเมื่อภาระทางทราฟฟิกมีค่าเพิ่มขึ้น จะมีลักษณะการเพิ่มขึ้นในแบบเอกซโปเนนเชียล ในขณะที่เมื่อทำการเพิ่มขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์แล้วพบว่า จะมีค่าเวลาคอยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น แต่จะเริ่มคงที่เมื่อเพิ่มขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ไปจนถึงค่าค่าหนึ่ง (≈ 10) ซึ่งก็คือเมื่อค่าภาระทางทราฟฟิกมีค่าสูงหรือปริมาณแพ็กเก็ตที่เข้ามายังสวิตช์มีมากแล้ว ก็จะส่งผลให้เกิดการสูญหายไปของแพ็กเก็ตอันเนื่องมาจากการเกิดการช่วงชิงกันขึ้นได้ ดังนั้นเมื่อมีการนำเอาเอาต์พุตบัฟเฟอร์มาใช้งาน แพ็กเก็ตต่างๆที่มักเกิดการช่วงชิงกันและอาจจะสูญหายไปนั้น จะถูกเก็บเอาไว้ชั่วคราวภายในเอาต์พุตบัฟเฟอร์ ดังนั้นแพ็กเก็ตที่ถูกเก็บเอาไว้ชั่วคราวดังกล่าวจึงมีเวลาคอยสูงขึ้นตามขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ จะเห็นว่าผลการทดลองที่ได้มีลักษณะสอดคล้องตรงตามทฤษฎี

ในการวิเคราะห์สมรรถนะของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ใช้บัฟเฟอร์แบบพาร์เชียลลีเชอร์บัฟเฟอร์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์นั้น พบว่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายจะมีค่าลดลง โดยเมื่อทำการกำหนดให้ขนาดเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีค่าคงที่แล้วลองเพิ่มขนาดของเชอร์บัฟเฟอร์ดู จะทำให้ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายมีค่าลดลงไปอย่างมาก ในทำนองเดียวกัน เมื่อทำการกำหนดให้เชอร์บัฟเฟอร์มีขนาดคงที่ แล้วเพิ่มขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์จะพบว่า ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายจะลดลงไปได้เช่นกัน โดยที่เมื่อภาระทางทราฟฟิกมีค่าต่ำๆ ค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายจะมีลักษณะลู่เข้าใกล้กัน ต่อเมื่อภาระทางทราฟฟิกมีค่าสูงๆแล้ว จะเห็นได้อย่างชัดเจนถึงความแตกต่าง เมื่อทำการวิเคราะห์เวลาคอยเฉลี่ยจากการใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์และเชอร์บัฟเฟอร์ทำงานร่วมกันแล้วพบว่า ยิ่งขนาดของเชอร์บัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่เท่าใด เวลาคอยเฉลี่ยก็จะมีค่าสูงมากขึ้น โดยเวลาคอยเฉลี่ยเมื่อใช้พาร์เชียลลีเชอร์บัฟเฟอร์จะแปรผันโดยตรงกับภาระทางทราฟฟิกด้วยเช่นเดียวกับเมื่อใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์เพียงอย่างเดียว ซึ่งก็คือเมื่อภาระทางทราฟฟิกของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงมีค่าสูงแล้ว ปริมาณของแพ็กเก็ตข้อมูลที่เข้ามายังสวิตช์ก็จะมีปริมาณมากด้วย ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดการสูญหายไปของแพ็กเก็ตข้อมูลอันเนื่องมาจากการช่วงชิงกันของข้อมูลมีมากขึ้น เมื่อมีการนำเอาต์พุตบัฟเฟอร์มาใช้งาน แพ็กเก็ตที่อาจจะสูญหายไปจากการช่วงชิงกันของแพ็กเก็ตจะถูกนำมาเก็บไว้ที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์ ในกรณีที่สวิตช์นั้นมีการใช้งานเชอร์บัฟเฟอร์ร่วมด้วย แพ็กเก็ตที่เกิดการช่วงชิงกันขึ้นซึ่งไม่สามารถถูกนำไปเก็บไว้ในเอาต์พุตบัฟเฟอร์ได้อันเนื่องมาจากเอาต์พุตบัฟเฟอร์ถูกใช้ไปจนหมดแล้วนั้น จะถูกส่งเข้ามาเก็บไว้ที่เชอร์บัฟเฟอร์นี้ จึงส่งผลทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายมีค่าน้อยกว่าเมื่อขณะที่ใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์เพียงอย่างเดียว แต่การมีเชอร์บัฟเฟอร์เพิ่มขึ้นมาแล้วก็จะทำให้แพ็กเก็ตที่เชอร์บัฟเฟอร์อาจจะถูกส่งกลับไปยังเอาต์พุตบัฟเฟอร์ก็ได้ ซึ่งทำให้เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในสวิตช์แบบที่ใช้พาร์เชียลลีเชอร์บัฟเฟอร์นี้มีค่าสูงมากกว่าสวิตช์ที่ใช้แต่เพียงเอาต์พุตบัฟเฟอร์ จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้มีลักษณะสอดคล้องกับสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ในตอนต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานวิจัย การคัดลอกทำนองอื่นโดยไม่ขออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์เกี่ยวกับแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดนั้น ได้นิยามไว้ว่าแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุด คือ แพ็กเกตที่เกิดการส่งวนอยู่ระหว่างสวิตช์กับเซิร์ฟเวอร์มากกว่า 1 ครั้ง ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดขึ้นนั้นคือ แพ็กเกตนั้นเคยเข้ามาคอยคิวอยู่ในเซิร์ฟเวอร์ก่อนหน้าแล้ว ต่อจากนั้นเอาต์พุตบัฟเฟอร์จะถูกใช้ไปจนเต็ม และแพ็กเกตได้ถูกส่งกลับเข้ามายังเซิร์ฟเวอร์อีกครั้งโดยที่เซิร์ฟเวอร์ยังไม่เต็ม โดยที่จากการวิเคราะห์พบว่า ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการวนของแพ็กเกตซึ่งจะมีค่าสูงขึ้น โดยมีลักษณะลู่ออกเข้าหากันเมื่อภาวะทางทราฟฟิกมีค่าสูงขึ้น และโอกาสที่แพ็กเกตที่จะเกิดการวนกันขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ด้วย โดยไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของเซิร์ฟเวอร์ โดยที่หากเมื่อเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดเพิ่มมากขึ้น โอกาสที่จะเกิดการวนของแพ็กเกตก็ยังมีค่าลดน้อยลง

แพ็กเกตที่เกิดการวนแล้วนั้น อาจจะถูกส่งออกจากสวิตช์เข้ามายังเอาต์พุตบัฟเฟอร์หรือเซิร์ฟเวอร์ก็ได้ โดยที่จากการวิเคราะห์พบว่า เมื่อภาวะทางทราฟฟิกมีค่าสูงถึงค่าค่าหนึ่งแล้ว ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตที่วนเข้ามา จะถูกส่งเข้าไปยังเซิร์ฟเวอร์จะมีค่าสูงขึ้นมากกว่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะถูกส่งออกจากสวิตช์ไปยังเอาต์พุตบัฟเฟอร์ ซึ่งในทำนองเดียวกัน หากภาวะทางทราฟฟิกมีค่าต่ำกว่าค่านี้แล้ว โอกาสที่แพ็กเกตที่วนมานั้นจะถูกส่งเข้าไปยังเซิร์ฟเวอร์ก็จะมีค่าต่ำกว่าโอกาสที่แพ็กเกตจะถูกส่งออกไปยังเอาต์พุตบัฟเฟอร์ เมื่อเกิดการวนหรือเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดขึ้นแล้วก็จะส่งผลทำให้เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตที่มีการส่งวนมีค่าสูงมากขึ้น โดยเวลาคอยเฉลี่ยจะแปรผันโดยตรงต่อทั้งขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์, เซิร์ฟเวอร์ และภาวะทางทราฟฟิก โดยที่ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะมีค่าต่ำกว่าที่ค่าภาวะทางทราฟฟิกมีค่าต่ำ แต่จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อภาวะทางทราฟฟิกมีค่าสูงมากขึ้น ขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์จะมีผลต่อความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดเช่นกัน เมื่อทำการกำหนดนบุรีมลิตีให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดแล้ว ก็จะส่งผลให้เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตอื่นๆ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งเมื่อเทียบกันแล้ว เวลาคอยที่ลดลงของแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะลดลงไปมากๆ เมื่อเทียบกับเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตอื่นที่เพิ่มสูงมากขึ้น

ซึ่งจะเห็นได้ว่า ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีลักษณะสอดคล้องกับสมมุติฐานที่ได้ตั้งไว้ว่า การกำหนดนบุรีมลิตีให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะสามารถลดเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดลงได้ แต่อย่างไรก็ตาม โอกาสที่จะเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดที่ได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์นั้นมีค่าน้อยมากๆ ซึ่งโอกาสที่จะเกิดขึ้นจะต้องมีภาวะทางทราฟฟิกที่มีค่าสูงมากๆ เช่นกัน ดังนั้นการเพิ่มสมรรถนะให้กับแพ็กเกตสวิตช์ทางแสง ซึ่งมีภาวะทางทราฟฟิกไม่สูงมากแล้ว ใช้แค่การเลือกใช้ค่าขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์และเซิร์ฟเวอร์ให้เหมาะสมก็พอ แต่หากเมื่อแพ็กเกตสวิตช์ทางแสงมีภาวะทางทราฟฟิกสูงมากแล้ว การกำหนดนบุรีมลิตีให้กับ

แพ็กเกจที่มีการประวิงแย่งที่สุดก็น่าจะช่วยให้เพิ่มสมรรถนะให้กับระบบแพ็กเกจสวิตช์ทางแสงได้ดีเช่นเดียวกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การวิเคราะห์สมรรถนะของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ใช้ บัฟเฟอร์ทางแสงแบบพาร์เซียลลีแซร์บัฟเฟอร์ ด้วยวิธีการจำลองแบบการทำงานของระบบ

6.1 กล่าวนำ

ในบทนี้เป็นการวิเคราะห์ผลของการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดภายในแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์และแซร์บัฟเฟอร์ทำงานร่วมกัน โดยวิธีการจำลองแบบก็คือการจำลองหรือเลียนแบบเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งบางครั้งเราไม่สามารถทดลองเหตุการณ์ต่างๆเหล่านั้นด้วยของจริงได้ การจำลองเหตุการณ์นั้นสามารถทำได้โดยหลายวิธีด้วยกัน เช่นการจำลองโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ การจำลองโดยใช้การโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ โดยในบทนี้จะเป็นการจำลองเหตุการณ์โดยใช้การโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ในการจำลองการทำงานของสวิตช์ที่ใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์และแซร์บัฟเฟอร์ทำงานร่วมกัน ซึ่งการใช้การโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ในการจำลองจะประสบความสำเร็จมากน้อยเพียงไรนั้น จะขึ้นอยู่กับโปรแกรมที่เขียนขึ้นมาว่าครอบคลุมกับเหตุการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นได้จริงเพียงใด โดยในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถเขียนโปรแกรมจำลองเหตุการณ์ที่เหมือนจริงกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงได้ทั้งหมดหรือเหมือนกับการทดลองจริงๆได้ทุกอย่าง แต่การโปรแกรมก็สามารถจำลองเหตุการณ์ให้ได้ใกล้เคียงกับความจริงที่เกิดขึ้นที่สุด นอกจากนี้การจำลองเหตุการณ์ยังมีข้อดีคือ สามารถปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อพิจารณาถึงผลความแตกต่างของการจำลองเหตุการณ์ได้ ซึ่งหากเป็นการทดลองจริงๆแล้วจะต้องสูญเสียทรัพยากรต่างๆอย่างมาก

จุดประสงค์สำคัญที่สุดในส่วนนี้คือ ใช้การจำลองเหตุการณ์เพื่อตรวจสอบเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงไร รวมทั้งเหตุการณ์บางอย่างที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้เพียงอย่างเดียว

6.2 ระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์

ระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ จะมีลักษณะเหมือนกันกับระบบที่ใช้วิธีทางคณิตศาสตร์วิเคราะห์ โดยจะกำหนดให้ข้อมูลแสงนั้นมีขนาดคงที่ (ให้ข้อมูลแสงมีขนาด 1 แพ็กเก็ตต่อ 1 ร่องเวลา ดังนั้นขนาดของบัฟเฟอร์จะมีหน่วยเป็นเป็น 1 แพ็กเก็ตหรือ 1 ร่องเวลา) ระบบการสวิตช์จะประกอบด้วยสวิตช์ขนาด $N \times N$ (ในที่นี้กำหนดให้ N เท่ากับ 32) การเข้ามาถึงยังสวิตช์ของแพ็กเก็ตจะเข้ามาถึง

ในแบบสุ่ม แพ็กเก็ตต่างๆจะถูกสวิตช์ออกไปยังเอาต์พุตที่ต้องการ โดยที่แต่ละเอาต์พุตจะมีเอาต์พุต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พุดบัพเฟอร์ (กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 5, 10, 15 และ 20 ร่องเวลา) และมีแชร์บัพเฟอร์ (กำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 5, 10, 15 และ 20 ร่องเวลา) ในกรณีที่มีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด จะต้องมีการจัดการแพ็กเกตหรือคอขวดร่วมกันด้วย

ในการจำลองแบบนั้นจะต้องทำการจำลองเหตุการณ์ต่างๆดังนี้

1. การจำลองเหตุการณ์การทำงานของแพ็กเกตสวิตช์ทางแสงแบบไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด
2. การจำลองเหตุการณ์การทำงานของแพ็กเกตสวิตช์ทางแสงที่มีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด โดยการใช้โครงสร้างการจัดการแบบสายประวิงคงที่ (fixed delay line)
3. การจำลองเหตุการณ์การทำงานของแพ็กเกตสวิตช์ทางแสงที่มีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด โดยการใช้โครงสร้างการจัดการแบบสายประวิงปรับเปลี่ยนได้ (variable delay line)

เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำจึงจำเป็นต้องให้มีการจำลองเหตุการณ์ต่างๆ ดังกล่าว ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องทำการจำลองแบบเหตุการณ์ต่างๆ ไปพร้อมๆ กัน

เมื่อทำการรันโปรแกรมแล้ว โปรแกรมจะทำงานตามค่าของตัวแปรต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในแต่ละรอบของการทำงานของโปรแกรมนั้น และจะทำการเก็บค่าตัวแปรต่างๆ ที่ต้องการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วย โดยที่ตัวแปรของโปรแกรมที่สำคัญๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีดังนี้

1. จำนวนแพ็กเกตทั้งหมดที่เข้ามาถึงยังสวิตช์
2. จำนวนแพ็กเกตทั้งหมดที่ถูกส่งออกไปยังเอาต์พุตที่ต้องการ
3. จำนวนแพ็กเกตที่เกิดการสูญหายหรือถูกทิ้งไป
4. เวลาคอยทั้งหมดของแพ็กเกต
5. เวลาคอยของแพ็กเกตต่างๆ ที่เอาต์พุตบัพเฟอร์
6. เวลาคอยของแพ็กเกตต่างๆ ที่แชร์บัพเฟอร์
7. เวลาคอยของแพ็กเกตที่เกิดการวนที่เอาต์พุตบัพเฟอร์
8. จำนวนทั้งหมดของแพ็กเกตภายในระบบบัพเฟอร์
9. จำนวนแพ็กเกตทั้งหมดที่เข้าคิวอยู่ในเอาต์พุตบัพเฟอร์
10. จำนวนแพ็กเกตทั้งหมดที่เข้าคิวอยู่ในแชร์บัพเฟอร์
11. จำนวนแพ็กเกตที่เกิดการวนอยู่ระหว่างสวิตช์และแชร์บัพเฟอร์
12. จำนวนครั้งที่เกิดเหตุการณ์การประวิงแย่งที่สุดของแพ็กเกต
13. จำนวนแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดทั้งหมดที่เกิดขึ้น
14. เวลาคอยของแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดที่เอาต์พุตบัพเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้ที่นำข้อมูลนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. เวลาคอยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดที่เซิร์ฟเฟอร์

16. เวลาคอยทั้งหมดของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุด

ในการวิเคราะห์จะนำค่าต่างๆ เหล่านี้ที่ได้จากโปรแกรมการจำลองแบบมาทำการคำนวณหา ค่าเฉลี่ยต่างๆ เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ระบบแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง โดยสมการที่ใช้ในการ คำนวณมีรายละเอียด ดังนี้

$$\begin{aligned} - \text{ Avg. Traffic load} \\ = \frac{\text{Total No. of income packets}}{(\text{Total sim time} \times \text{switch_size})} \dots\dots\dots (6.1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Avg. Throughput} \\ = \frac{\text{Total No. of completed switched packets}}{\text{Total No. of income packets.}} \dots\dots\dots (6.2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Avg. Packet loss at output} \\ = \frac{[\text{Output buffer size} + \text{Total No. of income packets} - \text{switch_size}] \times 100}{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots (6.3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Avg. Packet loss at shared} \\ = \frac{\text{No. of loss packets}}{\text{Total No. of income packets.}} \dots\dots\dots (6.4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Avg. Delay time in queue} \\ = \frac{\text{Total delayed time}}{\text{No. of delayed packet in queue system}} \dots\dots\dots (6.5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Avg. Delay time at output buffer} \\ = \frac{\text{Delay time for output buffer}}{\text{No. of delayed packet in output buffer}} \dots\dots\dots (6.6) \end{aligned}$$

- Avg. Delay time in shared buffer

$$= \frac{\text{Delay time for shared buffer}}{\text{No. of delayed packet in shared buffer}} \dots\dots\dots (6.7)$$
- Prob. that recir packet occurred

$$= \frac{\text{No. of recir-packet in system}}{[\text{Switch_size} \times \text{Total sim time}]} \dots\dots\dots (6.8)$$
- Prob. that recir packet occurred (only the packet inside buffer)

$$= \frac{\text{No. of recir packet in system}}{[\text{Switch_size} \times \text{Total sim time}]} \dots\dots\dots (6.9)$$
- Prob. that WDP occurred

$$= \frac{\text{No. of worst delayed packet event}}{[\text{Switch_size} \times \text{Total sim time}]} \dots\dots\dots (6.10)$$
- Avg. Delay time of WDP

$$= \frac{\text{Total delay time for worst delayed packet}}{\text{No. of worst delayed packet}} \dots\dots\dots (6.11)$$
- Prob. That WDP will recired agian

$$= \frac{\text{No. of worst delayed packet event}}{\text{No. of worst delayed packet}} \dots\dots\dots (6.12)$$

6.3 อัลกอริทึมของโปรแกรม

อัลกอริทึมของโปรแกรมจำลองแบบ ใน 1 ร่องเวลามีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆในการทำงานของโปรแกรม และสร้างตัวแปรต่างๆเพื่อเก็บข้อมูลต่างๆที่เกิดขึ้นจากการจำลองเหตุการณ์
2. สร้างการทำงานของคิวทั้งในเอาต์พุตบัฟเฟอร์และแร็บบัฟเฟอร์
3. สร้างการเข้ามาถึงยังสวิตช์ของแพ็กเก็ตข้อมูลต่างๆ รวมทั้งกำหนดที่หมายให้กับแพ็กเก็ตข้อมูลต่างๆ ด้วยการเข้ามาถึงและการกำหนดที่หมายปลายทางให้กับ

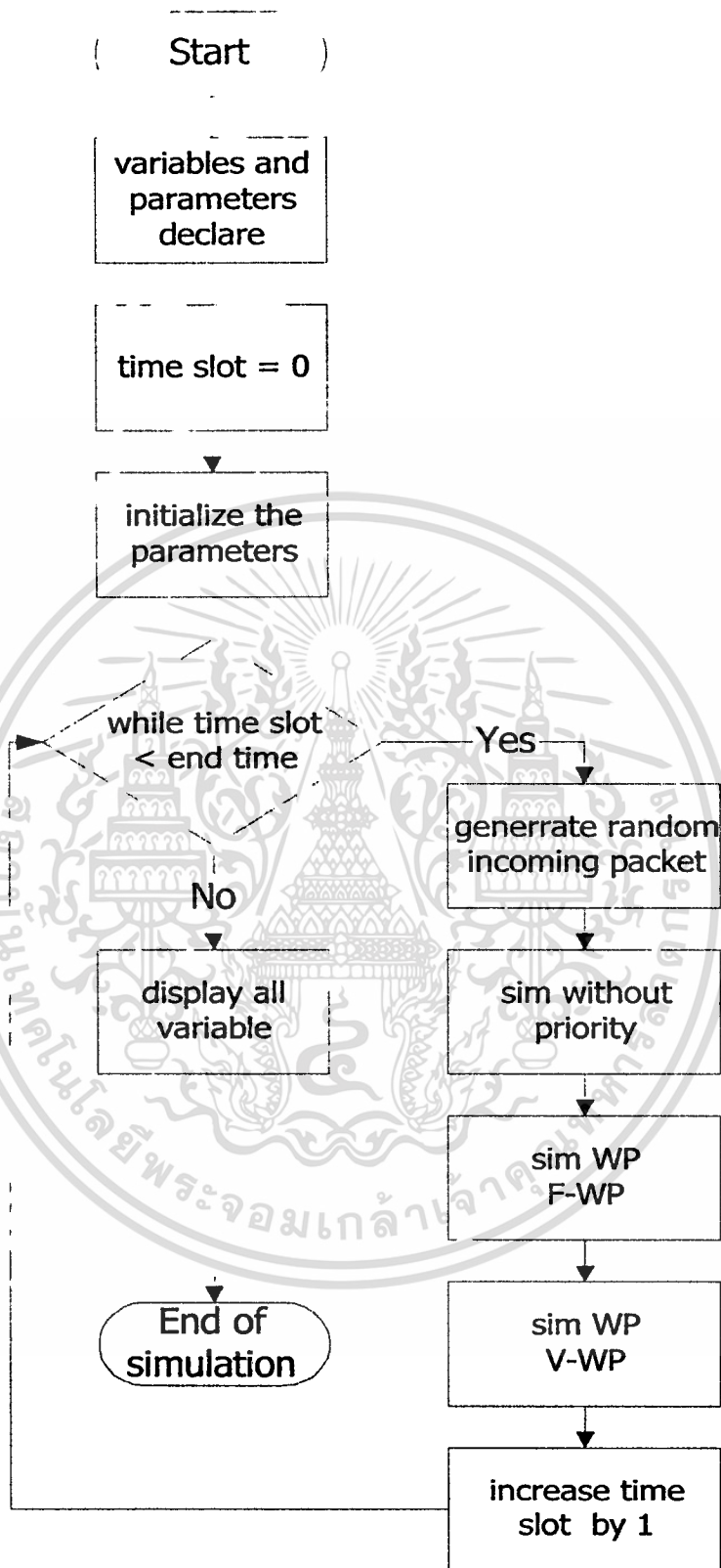
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แพ็กเก็ตแบบสุ่ม (ข้อมูลจะเข้ามาและออกไปจากสวิตช์ที่อินพุตและเอาต์พุตใดๆ ของสวิตช์ก็ได้)
4. สวิตช์หรือส่งแพ็กเก็ตข้อมูลต่างๆที่เข้ามาออกไปยังเอาต์พุตที่ต้องการ (รวมทั้งแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งวนกลับมาจากเซิร์ฟเฟอร์ด้วย)
 - 4.1 ถ้าหากมีแพ็กเก็ตถูกส่งออกไปยังเอาต์พุตเดียวกันมากกว่า 1 แพ็กเก็ต และเอาต์พุตบัพเฟอร์ยังไม่ถูกใช้ไปจนหมด ให้นำแพ็กเก็ตที่เข้ามาถึงภายหลังไปจัดเก็บไว้ในเอาต์พุตบัพเฟอร์
 - 4.2 หากมีแพ็กเก็ตถูกส่งออกไปยังเอาต์พุตเดียวกันมากกว่า 1 แพ็กเก็ต และเอาต์พุตบัพเฟอร์ถูกใช้ไปจนหมดแล้ว ให้นำแพ็กเก็ตที่เข้ามาถึงภายหลังไปจัดเก็บไว้ในเซิร์ฟเฟอร์
 - 4.3 หากแพ็กเก็ตที่ถูกส่งมายังเซิร์ฟเฟอร์เป็นแพ็กเก็ตที่เคยเข้ามาคอยคิวอยู่ก่อนหน้านี้แล้ว ให้กำหนดแพ็กเก็ตดังกล่าวให้เป็นแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด
 - 4.4 หากมีแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเข้ามาที่เซิร์ฟเฟอร์ ให้ทำการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตดังกล่าว
 5. จัดเก็บข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์ลงในไฟล์ข้อมูลที่ต้องการ
 6. จบการทำงานใน 1 รอบเวลา

6.3.1 การทำงานของโปรแกรมจำลองแบบหลัก

การทำงานของโปรแกรมจำลองแบบหลักจะมีดังนี้ คือ กำหนดและประกาศตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองแบบ จากนั้นทำการตั้งค่าเริ่มต้นให้กับการจำลองแบบ ในการจำลองแบบ จะทำการจำลองทั้งสิ้นเท่ากับจำนวนรอบเวลาที่ได้ตั้งไว้ (end time) โดยที่ใน 1 รอบเวลานั้นจะมีการทำงานของโปรแกรม ดังนี้คือ

เริ่มต้นสร้างค่าการเข้ามาถึงของแพ็กเก็ตยังสวิตช์และที่หมายที่จะส่งแพ็กเก็ตออกไปยังเอาต์พุต หลังจากนั้นจะทำการเรียกโปรแกรมย่อยเพื่อทำการจำลองแบบการทำงานของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด เมื่อโปรแกรมย่อยนี้ทำงานเสร็จ ก็จะมีการเรียกโปรแกรมย่อย เพื่อทำการจำลองแบบการทำงานของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่มีการกำหนดบุริมสิทธิทั้งแบบใช้สายประวิงคงที่ และแบบที่ใช้สายประวิงที่ปรับเปลี่ยนได้ และทำการเพิ่มค่าให้กับตัวแปร timeslot อีกตามลำดับ เมื่อโปรแกรมตรวจพบว่าได้ทำการจำลองแบบจนครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว ก็จะแสดงผลการทำงานของโปรแกรม โดยแสดงค่าของตัวแปรต่างๆ ตามที่ต้องการ เป็นอันเสร็จสิ้นการทำงานของโปรแกรมจำลองแบบ ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมจำลองแบบหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.2 การทำงานของโปรแกรมย่อยการจำลองการทำงานของแพ็กเก็ตทางแสงทั้งที่มีการกำหนดบุริมสิทธิและไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิ

โปรแกรมย่อยในการจำลองแบบการทำงานของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ไม่มีการกำหนดและมีการกำหนดบุริมสิทธิ จะเริ่มต้นจาก การประกาศค่าตัวแปรภายในต่างๆ และรับค่าแพ็กเก็ตข้อมูลที่เข้ามารวมทั้งปลายทางที่ต้องการไปยังเอาต์พุต หลังจากนั้นจะทำการจำลองการทำงานของบัพเฟอร์ทั้งเอาต์พุตบัพเฟอร์และแชนน์บัพเฟอร์ โดยให้แพ็กเก็ตที่อยู่ในตำแหน่งข้างหน้าเลื่อนไปด้านหน้าอีกหนึ่งตำแหน่ง เมื่อเสร็จแล้วจะนำข้อมูลต่างๆ มาทำการเรียกโปรแกรมย่อยการสวิตช์ และเมื่อเสร็จสิ้นการทำงานของโปรแกรมการสวิตช์แล้ว ก็จะเรียกโปรแกรมย่อยการสวิตช์สำหรับแพ็กเก็ตที่ส่งกลับมาจากแชนน์บัพเฟอร์ โดยถ้าไม่มีแพ็กเก็ตที่วนกลับเข้ามา ก็จะไม่มีการทำงาน (recir-packet=0) แต่ถ้ามีแพ็กเก็ตจากแชนน์บัพเฟอร์เข้ามาก็จะทำงานตามขั้นตอนในฟังก์ชันย่อยการสวิตช์สำหรับแพ็กเก็ตที่ส่งกลับมาจากแชนน์บัพเฟอร์ เมื่อเสร็จสิ้นดังนั้นแล้ว ก็จะจบการทำงานของโปรแกรมย่อยการจำลองการทำงานของแพ็กเก็ตทางแสง ทั้งที่มีการกำหนดบุริมสิทธิและไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิ ดังรูปที่ 6.2

6.3.3 การทำงานของโปรแกรมย่อยการสร้างการเข้ามาถึงของแพ็กเก็ตแบบสุ่ม

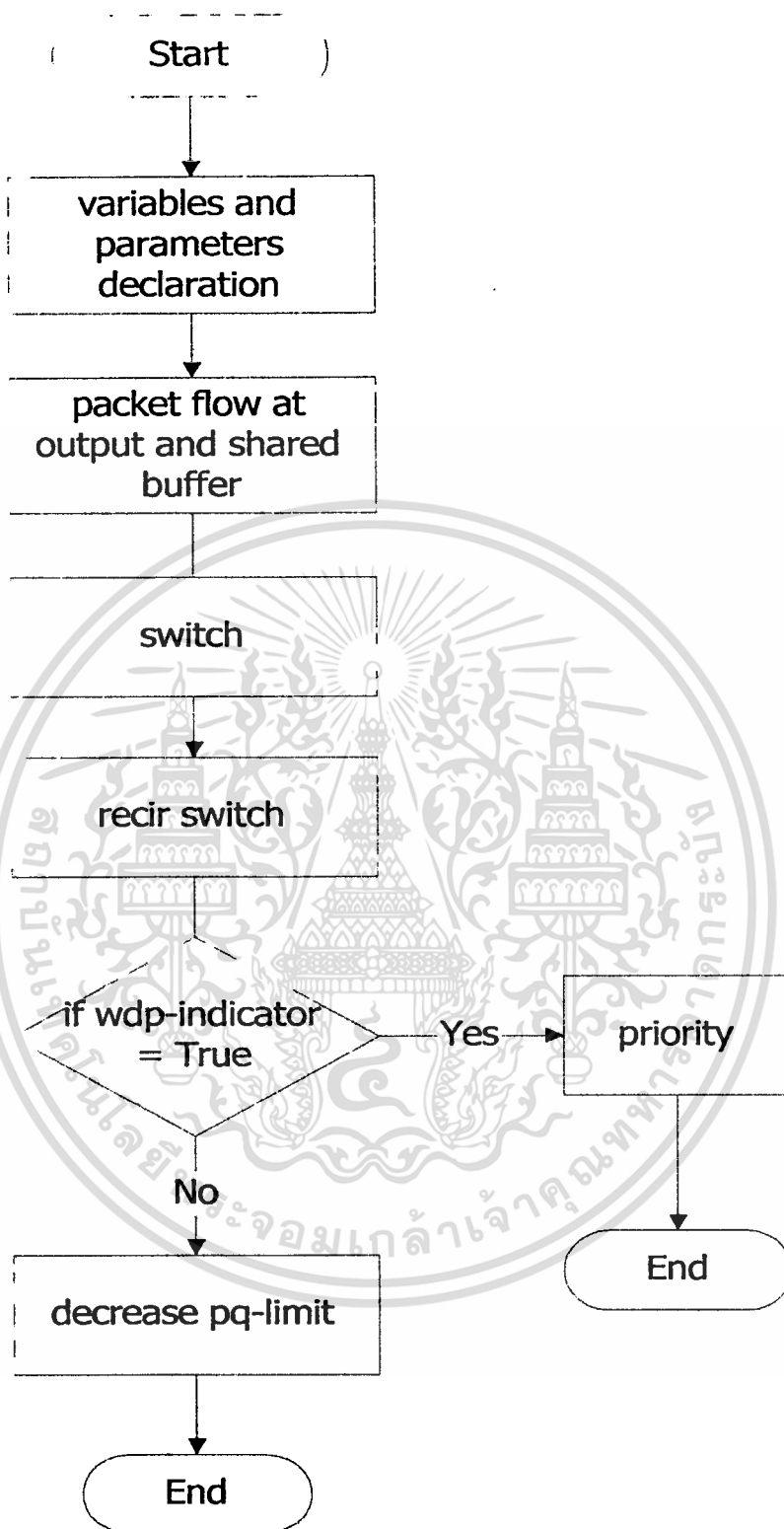
โปรแกรมจะทำการสุ่มตัวเลขจาก 0 จนถึง N (ขนาดของสวิตช์) ขึ้นมาในแต่ละเอาต์พุตของสวิตช์ เพื่อกำหนดว่ามีแพ็กเก็ตเข้ามาที่สวิตช์หรือไม่และถูกส่งไปยังเอาต์พุตเท่าใด เช่น ที่ตำแหน่งอินพุตที่ 3 สุ่มค่าออกมาได้เท่ากับ 5 ก็จะหมายความว่า อินพุตที่ 3 มีแพ็กเก็ตเข้ามาโดยที่แพ็กเก็ตที่เข้ามาต้องการจะออกไปยังเอาต์พุตที่ 5 เป็นต้น โดยจะต้องทำการสุ่มให้กับทุกอินพุตของสวิตช์ในแต่ละ 1 รอบเวลาหรือ 1 รอบการสวิตช์

6.3.4 การทำงานของโปรแกรมย่อยของเอาต์พุตบัพเฟอร์และแชนน์บัพเฟอร์ที่มีการทำงานในแบบ FIFO (first in first out)

เมื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรมย่อย จะทำการประกาศตัวแปรภายในและตั้งค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรต่างๆ หลังจากนั้นจะทำการจำลองการทำงานของบัพเฟอร์ทั้งเอาต์พุตบัพเฟอร์และแชนน์บัพเฟอร์ให้มีการทำงานในแบบ FIFO (first in first out) โดยจะกำหนดให้ตำแหน่งท้ายสุดในบัพเฟอร์มีค่าเท่ากับศูนย์และตำแหน่งบัพเฟอร์ต่างๆ จะมีค่าเท่ากับค่าที่อยู่เมื่อตำแหน่งก่อนหน้านี้ ดังรูปที่ 6.3

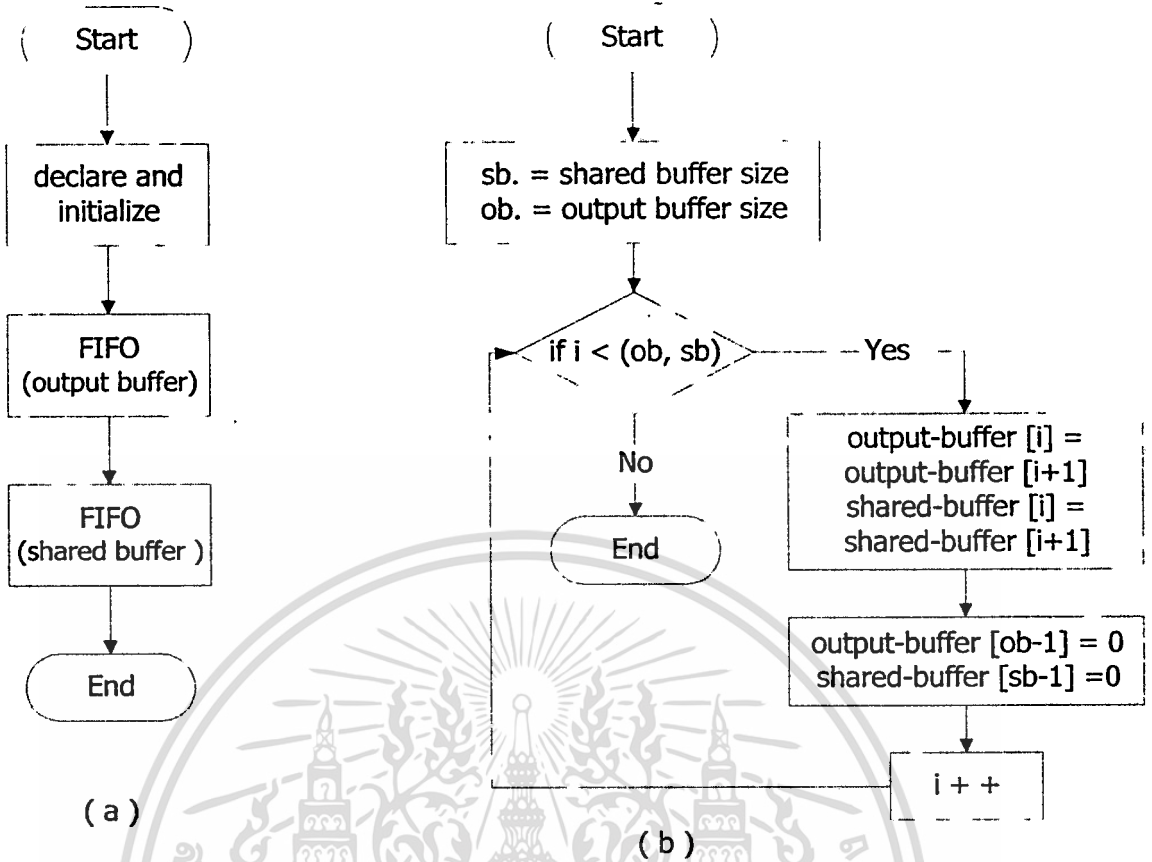
6.3.5 การทำงานของโปรแกรมย่อยสวิตช์

โปรแกรมย่อยสวิตช์จะรับข้อมูลจากโปรแกรมหลักมา แล้วจึงทำการเปรียบเทียบดูว่าข้อมูลที่ได้มานี้ตรงกับกรณีใด แล้วจึงทำการเรียกกรณีนั้นให้ทำงาน ดังรูปที่ 6.4

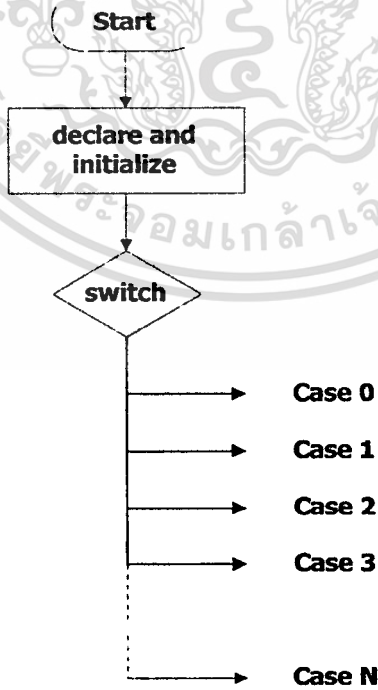


รูปที่ 6.2 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมการทำงานของแพ็กเกตทางแสงทั้งที่มีการกำหนด
บุริมสิทธิและไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมย่อยของเอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชร์บัฟเฟอร์ให้ม
การทำงานในแบบ FIFO (first in first out)

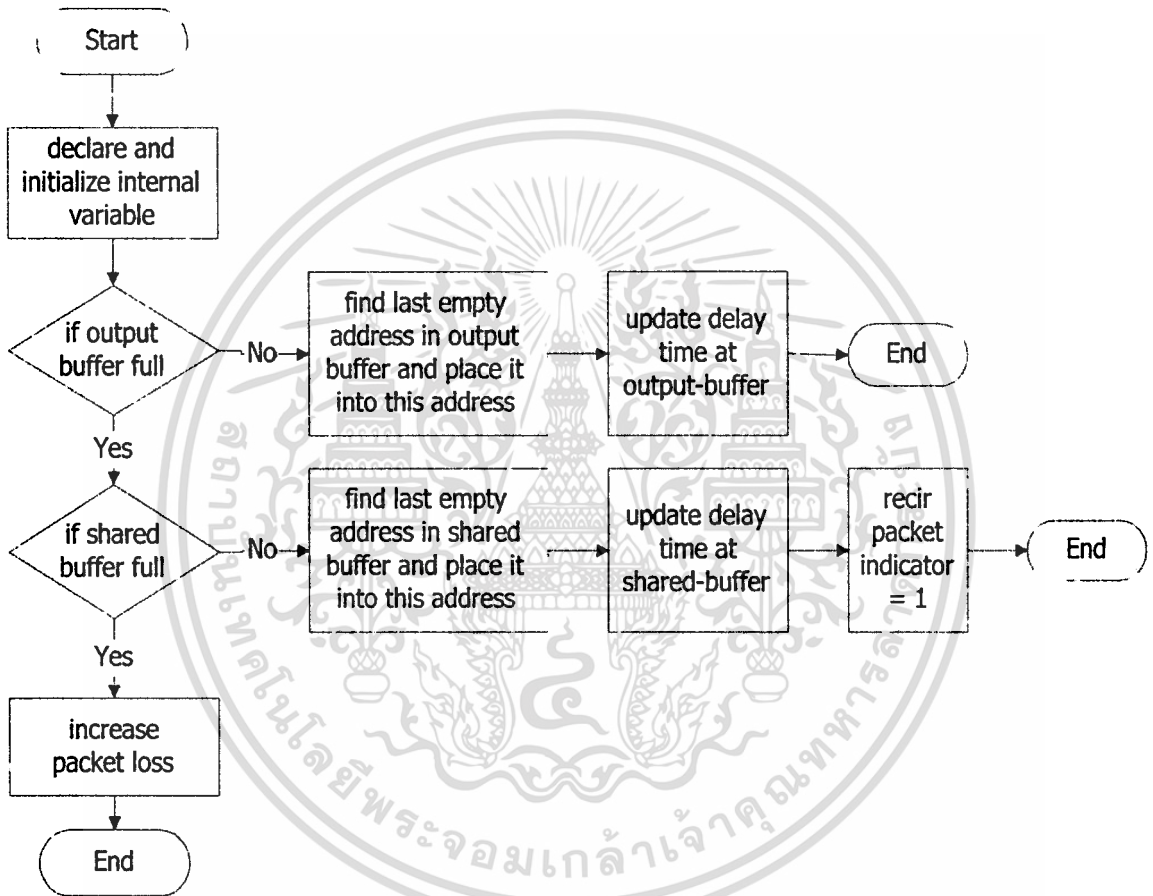


รูปที่ 6.4 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.6 การทำงานของโปรแกรมฟังก์ชันย่อย กรณี N

ฟังก์ชันย่อยกรณี N จะตรวจสอบดูว่าขณะนั้นเอาต์พุตบัฟเฟอร์ยังว่างอยู่หรือไม่ ถ้าหากยังว่างให้หาตำแหน่งท้ายสุดของคิวในเอาต์พุตบัฟเฟอร์ แล้วใส่ค่าข้อมูลที่รับมาลงในคิวที่ว่างนั้น ถ้าไม่ว่างจะทำการตรวจสอบต่อว่าแชร์บัฟเฟอร์ยังว่างอยู่หรือไม่ ถ้าว่างก็จะหาตำแหน่งท้ายสุดของคิวในแชร์บัฟเฟอร์ แล้วใส่ข้อมูลลงไปหลังจากนั้นกำหนดการตรวจจบการวนของแพ็กเก็ตให้เป็น 1 แต่ถ้าแชร์บัฟเฟอร์เต็มให้เพิ่มจำนวนแพ็กเก็ตที่สูญหายขึ้นอีก 1 ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมฟังก์ชันย่อย กรณี N

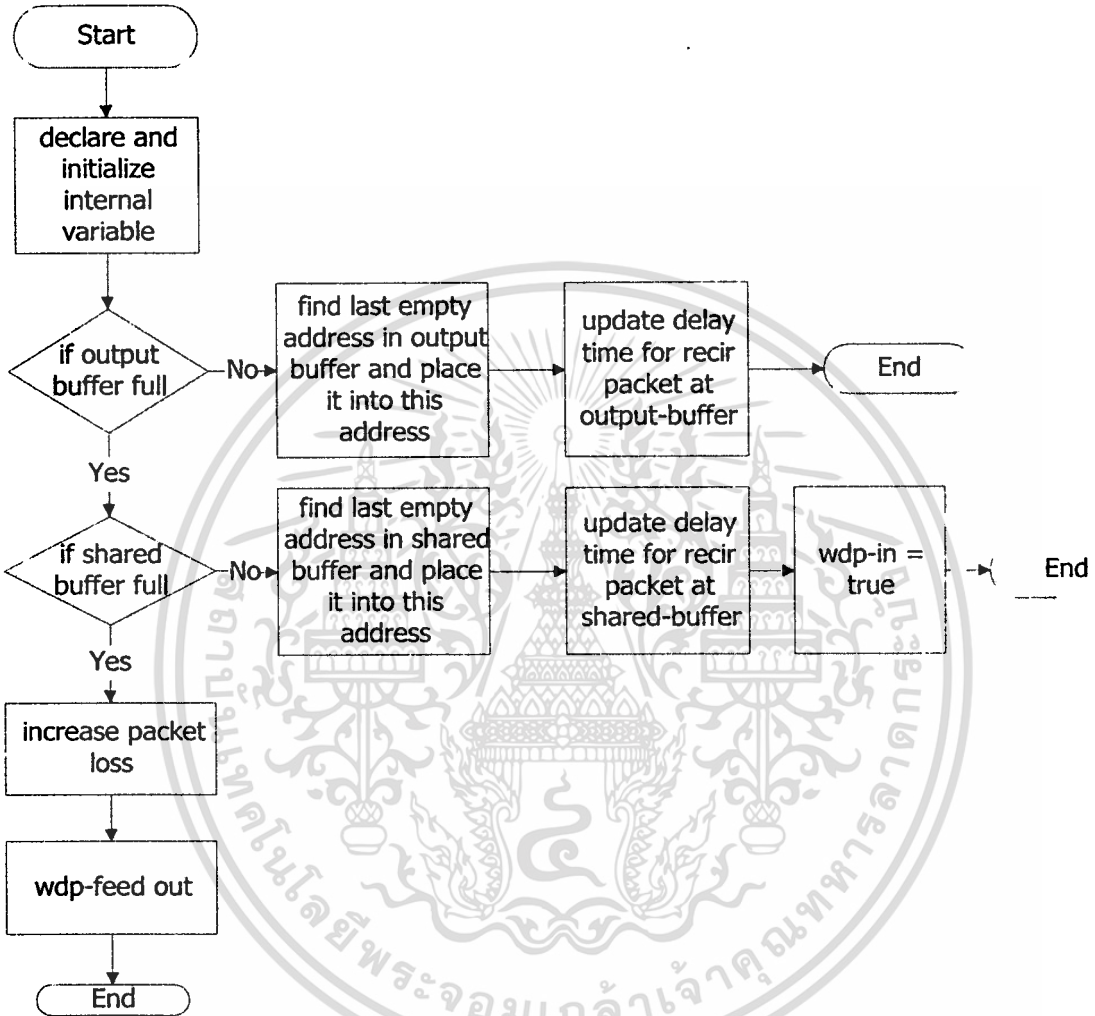
6.3.7 การทำงานของโปรแกรมฟังก์ชันย่อย กรณี Recir N

ฟังก์ชันย่อย กรณี recir N จะทำงานเหมือนกับฟังก์ชันย่อย กรณี N ทุกประการ จะต่างกันคือ ฟังก์ชันย่อย กรณี recir N จะมีการตั้งค่ากำหนดการเกิดขึ้นของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดแทนที่จะเป็นแพ็กเก็ตที่เกิดการวนธรรมดา ในส่วนที่มีการกำหนดทั้งแพ็กเก็ตที่มีการวนและแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดของทั้ง 2 ฟังก์ชันย่อยนี้ จะมีการสร้างอาร์เรย์ (array) ขึ้นมาเพื่อเก็บข้อมูลแพ็กเก็ตที่เกิดการวนและแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดอย่างแยกจากกัน เพื่อให้ตรวจสอบได้ว่า แพ็กเก็ตนี้เป็นแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดหรือแพ็กเก็ตที่คว่นธรรมดาหรือไม่ และยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์จึงนำเอกสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมไปถึงการใช้เพื่อตรวจสอบว่าแพ็กเกตที่สูญหายไปนั้น คือแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะทำการลบข้อมูลแพ็กเกตนั้นออกไปจากอาเรย์ เมื่อขั้นตอนต่างๆ ได้ดำเนินการเสร็จแล้ว ฟังก์ชันย่อยนี้ก็จะส่งค่าต่างๆ ตามที่กำหนด กลับคืนสู่โปรแกรมต้นทางตามลำดับ ดังรูปที่ 6.6

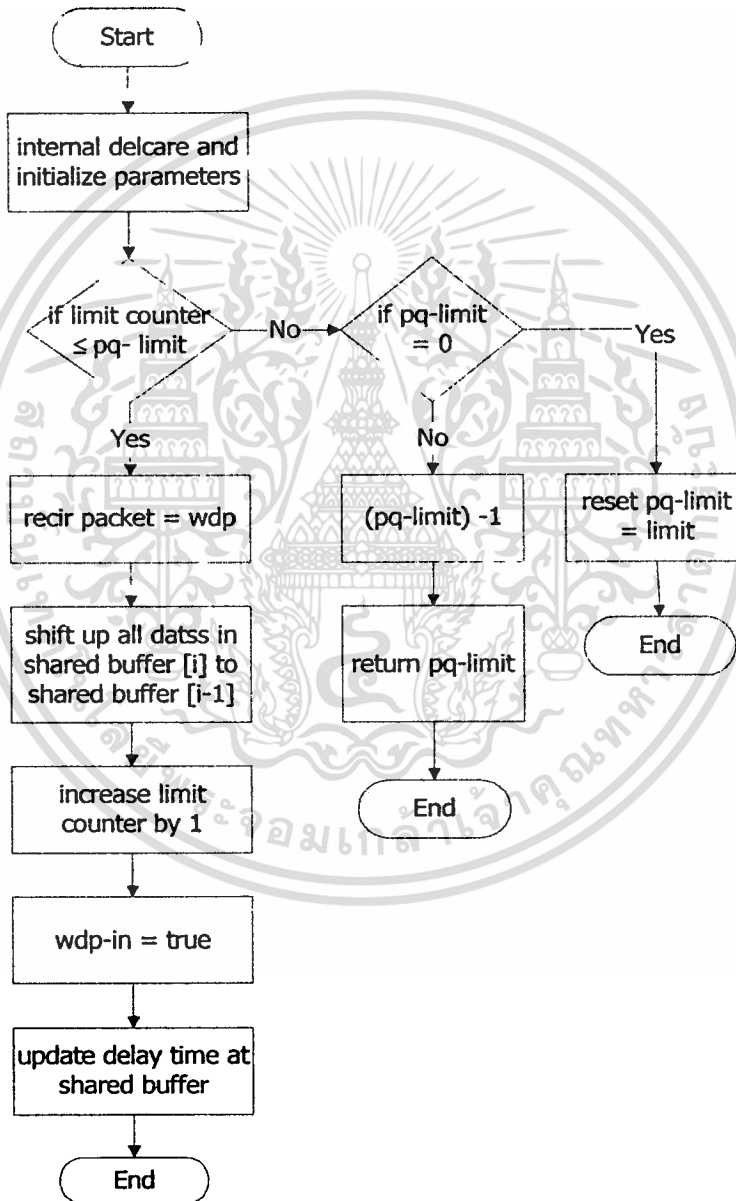


รูปที่ 6.6 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมฟังก์ชันย่อย กรณี Recir N

6.3.8 โปรแกรมย่อยการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุด (แบบสายประวิงคงที่)

ในการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุด เริ่มต้นจะตรวจสอบว่า ได้ทำการกำหนดบุริมสิทธิหรือลัดคิวไปแล้วกี่ครั้ง ถ้าอย่างน้อยกว่าข้อจำกัดที่ตั้งไว้ก็จะทำการลัดคิวได้ โดยให้แพ็กเกตที่ส่งออกไปยังสวิตช์คือแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุด จากนั้นจึงทำการเลื่อนข้อมูลในแอสซายเฟอ์จากตำแหน่งปัจจุบัน ขึ้นไปใส่ในตำแหน่งก่อนหน้า หรือ $\text{shared-buffer}[i] = \text{shared-buffer}[i+1]$ โดยที่แอสซายเฟอ์ตำแหน่งแรกสุด หรือ $\text{shared-buffer}[0]$ จะเท่ากับ recir- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

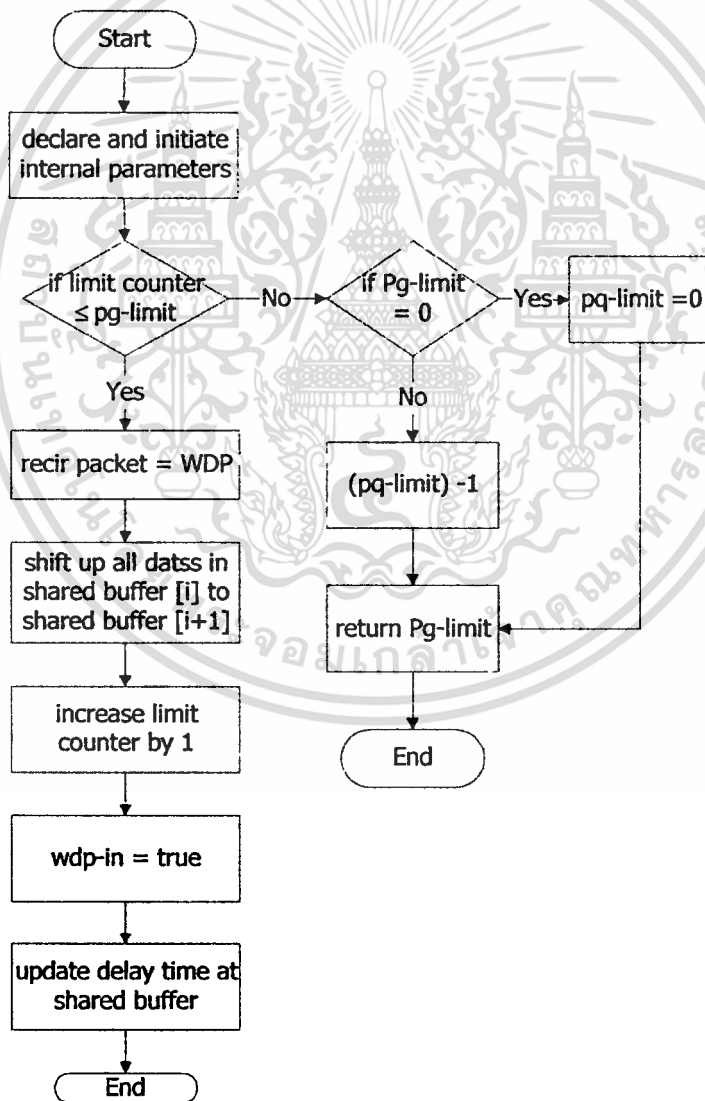
packet หลังจากนั้นจะทำการเพิ่มค่าการนับให้กับตัวแปรที่ใช้ตรวจสอบดูจำนวนครั้งของการทำการกำหนดบุริมสิทธิ และทำการปรับค่าเวลาในการประวิง รวมทั้งกำหนดให้ตัวแปร wdp-in เป็นจริงตามลำดับ แต่ถ้าหากว่าทำการตรวจเทียบดูแล้วพบว่าตัวแปรที่ใช้ตรวจสอบมีค่าเท่ากับ 0 ก็จะตั้งค่าให้สามารถกำหนดบุริมสิทธิได้ใหม่อีกครั้ง แต่ถ้าไม่ใช่ ก็จะลดค่าตัวแปรที่ใช้ตรวจสอบดังกล่าว (pq-limit) ลง 1 และส่งค่ากลับไปยังโปรแกรมหลัก เพื่อจะได้ทำการลดค่าในกรณีที่ไม่มีการเกิดที่มีการประวิงแย่งที่สุดเข้ามาได้ ดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมย่อยการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด (แบบสายประวิงคงที่)

6.3.9 โปรแกรมย่อยการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด (แบบสายประวิงปรับเปลี่ยนได้)

การทำงานของโปรแกรมย่อยการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด (แบบสายประวิงปรับเปลี่ยนได้) จะมีลักษณะการทำงานที่คล้ายกันกับแบบสายประวิงคงที่ แต่จะแตกต่างกันตรงเงื่อนไขที่ใช้ตรวจสอบว่าจะสามารถทำการกำหนดบุริมสิทธิได้หรือไม่ โดยที่โปรแกรมย่อยการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด (แบบสายประวิงปรับเปลี่ยนได้) นี้ จะตรวจสอบว่าจำนวนครั้งที่สามารถกำหนดได้เหลืออยู่ไม่เกินข้อจำกัด ถ้าเกินจะไม่สามารถกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดได้ และจะตรวจสอบว่าค่าตัวแปรที่ใช้ตรวจสอบเท่ากับ 0 หรือไม่ ถ้าตรวจสอบแล้วเท่ากันก็จะให้มีค่าเท่ากับ 0 คงเดิม แต่ถ้าไม่เท่ากันจะลดค่าลงไป 1 แล้วจึงส่งค่ากลับไปให้โปรแกรมเบื้องต้น



รูปที่ 6.8 อัลกอริทึมการทำงานของโปรแกรมย่อยการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด (แบบสายประวิงปรับเปลี่ยนได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากว่าตรวจสอบดูแล้วพบว่ายังไม่เกินค่าที่จำกัด ก็จะทำตามขั้นตอนเช่นเดียวกับที่ได้ อธิบายไว้ในโปรแกรมย่อยการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด (แบบสาย ประวิงคงที่)

6.4 ผลการทดลอง

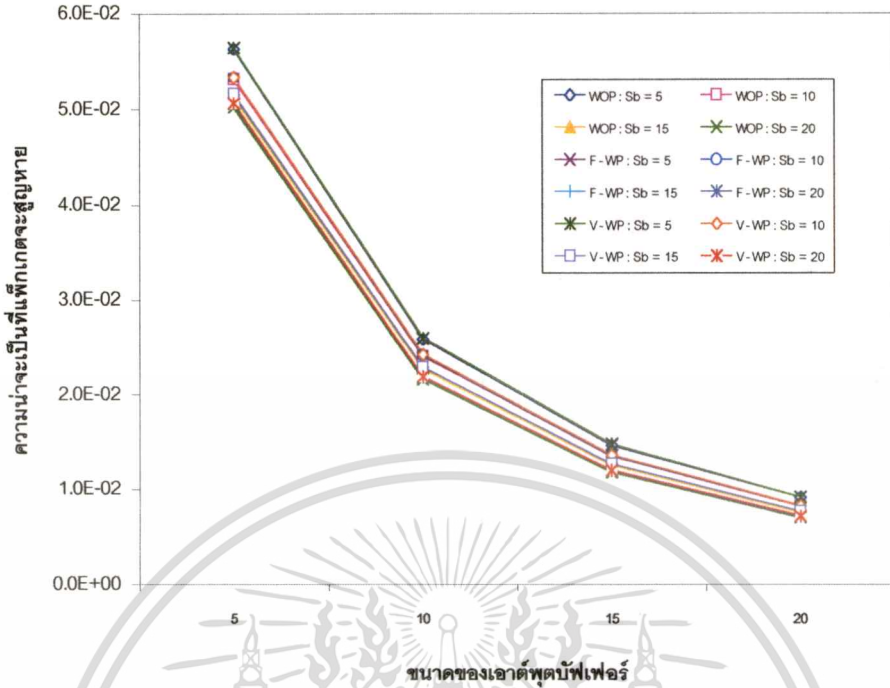
จากการทดลองรันโปรแกรมการจำลองการทำงานของแพ็กเกตสวิตช์ทางแสงแล้ว พบว่าแบบจำลองที่กำหนดขึ้นมาแล้วเขียนเป็นโปรแกรมนั้น จะมีค่าเฉพาะตัวดังนี้คือ ภาระทางกราฟฟิกมีค่าประมาณ 0.969 ที่ทุกๆขนาดของเอาต์พุตและเซิร์ฟเฟอร์ และจะให้ค่าวิสัยสามารถโดยเฉลี่ยประมาณ 0.94 – 0.99 ซึ่งจะมีค่าต่ำเมื่อใช้บัฟเฟอร์ที่มีขนาดเล็ก แต่จะให้ค่าสูงขึ้นเมื่อบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น ในส่วนความน่าจะเป็นในการสูญหายไปของแพ็กเกตที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์นั้น จะมีค่าอยู่ประมาณ 0.0303 ที่ทุกๆค่าขนาดเอาต์พุตบัฟเฟอร์และเซิร์ฟเฟอร์ จะเห็นได้ว่าการจำลองแบบโดยการโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ (เมื่อกำหนดให้ขนาดของสวิตช์ 32X32) จะให้ค่าเฉพาะตัวของสวิตช์ดังที่กล่าวมา โดยการแสดงผลด้วยกราฟนั้น จะมีสัญลักษณ์ที่สำคัญอยู่ 3 อย่าง ดังนี้ WOP คือ การจำลองแบบในกรณีที่ไม่กำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด, F-WP คือการจำลองแบบที่มีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด โดยใช้โครงสร้างการจัดการแพ็กเกตแบบสายประวิงคงตัว และ V-WP คือการจำลองแบบที่มีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด โดยใช้โครงสร้างการจัดการแพ็กเกตแบบสายประวิงที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ ซึ่งผลการรันโปรแกรมได้ถูกนำมาวิเคราะห์และแสดงเป็นกราฟต่างๆ ดังนี้

รูป 6.9 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหาย เทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ จากกราฟจะพบว่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหาย จะมีค่าสูงเมื่อใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่มีขนาดเล็ก หากเมื่อมีการเพิ่มขนาดเอาต์พุตบัฟเฟอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะทำให้ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายมีค่าน้อยลง โดยการลดลงของค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่เพิ่มขึ้น จะมีค่าลดลงในแบบไม่เป็นเชิงเส้น จากกราฟยังจะเห็นได้อีกว่าขนาดของเซิร์ฟเฟอร์ที่ใช้ก็มีผลต่อค่าความน่าจะเป็นการสูญหายของแพ็กเกตเหมือนกัน โดยค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายจะมีค่าน้อยเมื่อเซิร์ฟเฟอร์ที่ใช้มีขนาดใหญ่ขึ้น

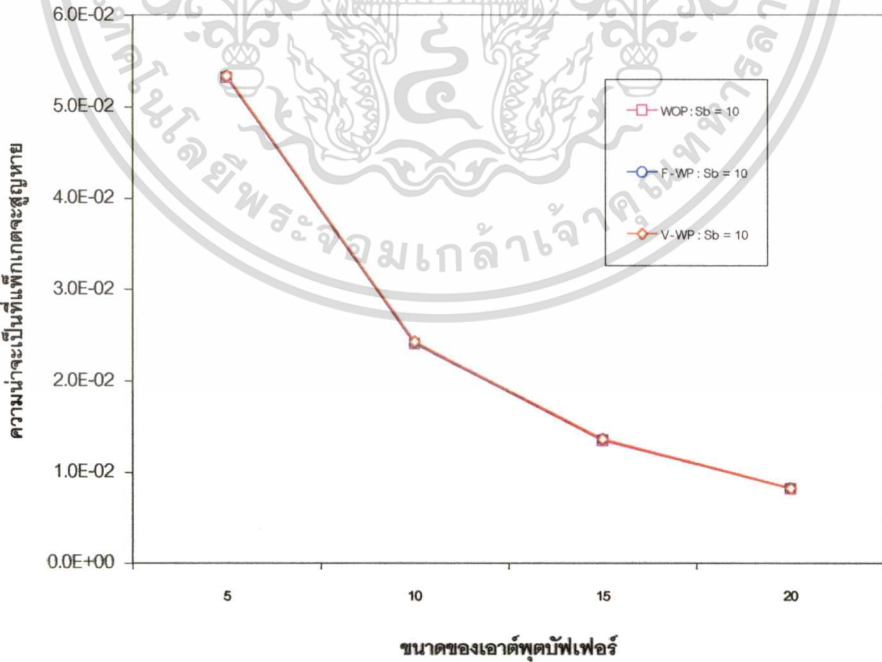
รูปที่ 6.10 แสดงถึงความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายไปเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ โดยกำหนดให้เซิร์ฟเฟอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 10 จากรูปจะเห็นได้ว่า ด้วยวิธีการกำหนดบุริมสิทธิที่แตกต่างกัน จะให้ค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายไม่แตกต่างกันมากนัก โดย WOP จะให้ค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายไปต่ำที่สุด, V-WP จะให้ค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายไปสูงที่สุด โดยที่ F-WP จะให้ค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายไปต่ำกว่า V-WP เล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.9 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์และขนาดของแชนแนลบัพเฟอร์



รูปที่ 6.10 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.11 แสดงถึงความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายเทียบกับขนาดของแชนแนลเฟเดอร์ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเหมือนกันทุกประการกับผลการทดลองในรูปที่ 6.10 เพียงแต่เป็นการแสดงให้เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายกับขนาดของแชนแนลเฟเดอร์

รูปที่ 6.12 เปรียบเทียบความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายเทียบกับขนาดของแชนแนลเฟเดอร์ โดยกำหนดให้เอาต์พุตแชนแนลเฟเดอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 10 ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่ามีลักษณะเหมือนกับรูปที่ 6.9, 6.10, 6.11 ทุกประการ นั่นคือ เมื่อแชนแนลเฟเดอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายจะมีค่าลดลง โดยที่เมื่อไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดแล้ว จะได้ค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายต่ำกว่าเมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด ซึ่งจากกราฟจะพบว่าการกำหนดบุริมสิทธิในแบบใช้สายประวิงที่ปรับค่าได้ จะมีค่าความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายสูงกว่าวิธีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดด้วยสายประวิงแบบคงที่

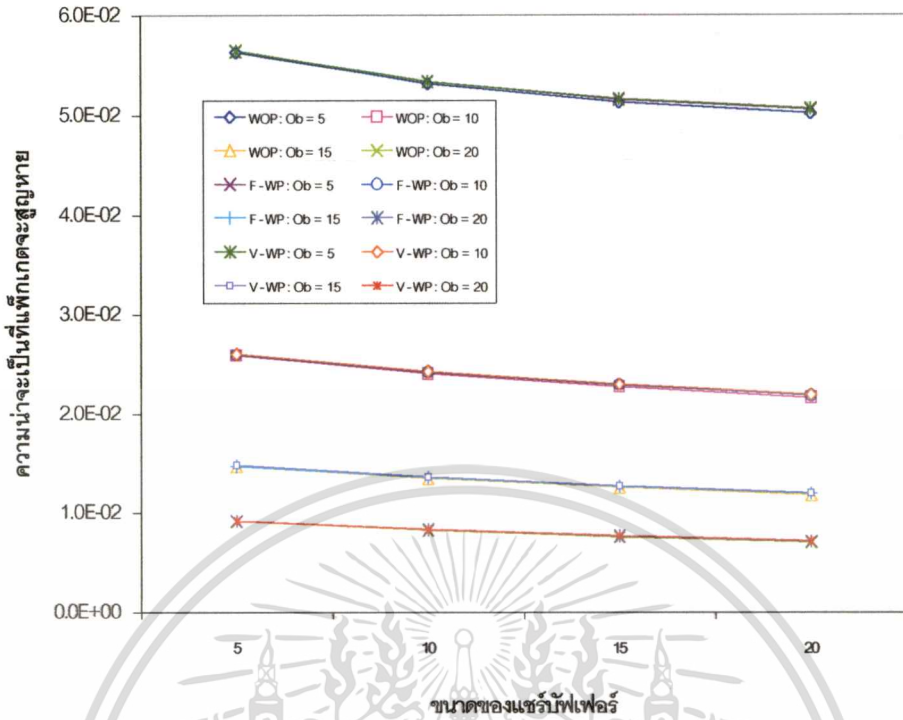
รูปที่ 6.13 แสดงให้เห็นว่าเวลารอคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตจะแปรผันโดยตรงกับขนาดของทั้งเอาต์พุตแชนแนลเฟเดอร์และแชนแนลเฟเดอร์ คือเมื่อเพิ่มขนาดของทั้งเอาต์พุตแชนแนลเฟเดอร์และแชนแนลเฟเดอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เวลารอคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตต้องมีค่าสูงขึ้น โดยจากกราฟแล้วจะไม่เห็นถึงความแตกต่างทางเวลารอคอยเฉลี่ยระหว่างวิธีการที่ไม่กำหนดบุริมสิทธิหรือกำหนดบุริมสิทธิ โดยใช้สายประวิงคงที่ และกำหนดบุริมสิทธิโดยใช้สายประวิงเปลี่ยนค่าได้อย่างชัดเจนมากนัก

รูปที่ 6.14 เมื่อกำหนดให้แชนแนลเฟเดอร์มีค่าคงที่ (เท่ากับ 10) แล้วทำการรันโปรแกรมจะได้ผลลัพธ์ดังรูปภาพ ซึ่งจะเห็นว่า เวลารอคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้แชนแนลเฟเดอร์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่จะยังไม่เห็นถึงความแตกต่างทางเวลารอคอยเฉลี่ยของทั้ง 3 วิธีมากนัก

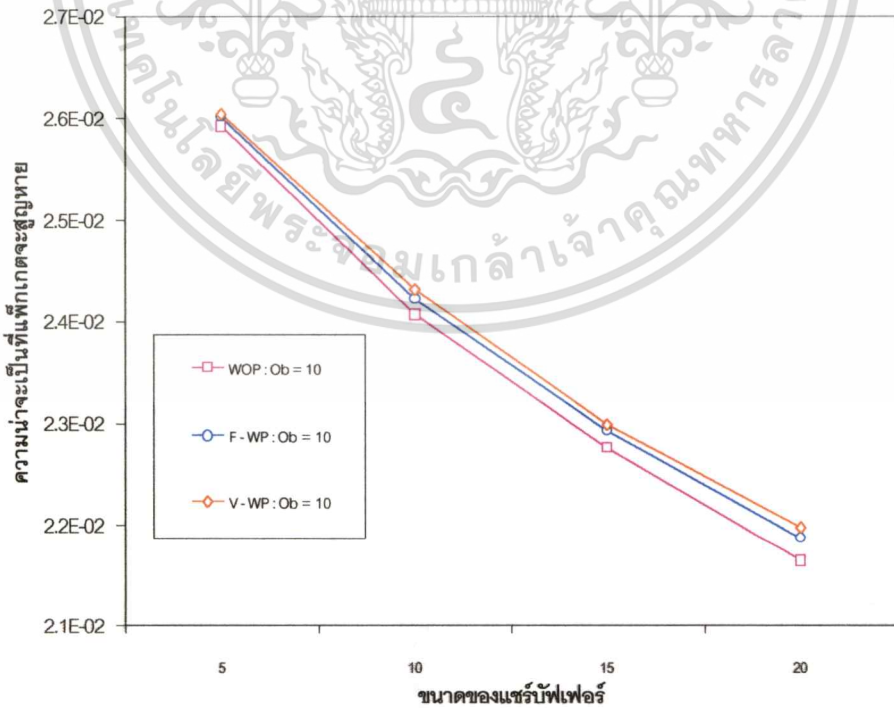
รูปที่ 6.15 ผลลัพธ์ดังที่ได้แสดงในรูป จะให้ผลที่เหมือนกันทุกประการกับ รูปที่ 6.13

รูปที่ 6.16 แสดงให้เห็นถึงเวลารอคอยเฉลี่ยว่าแปรผันตรงกับขนาดของแชนแนลเฟเดอร์ อีกทั้งยังทำให้ทราบด้วยว่า การไม่กำหนดบุริมสิทธิจะให้เวลารอคอยเฉลี่ยสูงกว่าวิธีการที่มีการกำหนดบุริมสิทธิ โดยที่วิธีการกำหนดบุริมสิทธิแบบสายประวิงที่เปลี่ยนแปลงได้นั้นจะให้เวลารอคอยเฉลี่ยที่ต่ำกว่าวิธีการกำหนดบุริมสิทธิแบบใช้สายประวิงคงตัวเล็กน้อย

รูปที่ 6.17 ผลลัพธ์จากกราฟในรูปที่ 6.13 แสดงให้เห็นว่า ขนาดของทั้งเอาต์พุตแชนแนลเฟเดอร์และแชนแนลเฟเดอร์จะส่งผลต่อการเกิดการวนของแพ็กเกตขึ้น คือ เมื่อเอาต์พุตแชนแนลเฟเดอร์และแชนแนลเฟเดอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น ความน่าจะเป็นการเกิดการวนของแพ็กเกตก็จะมีค่าลดลง

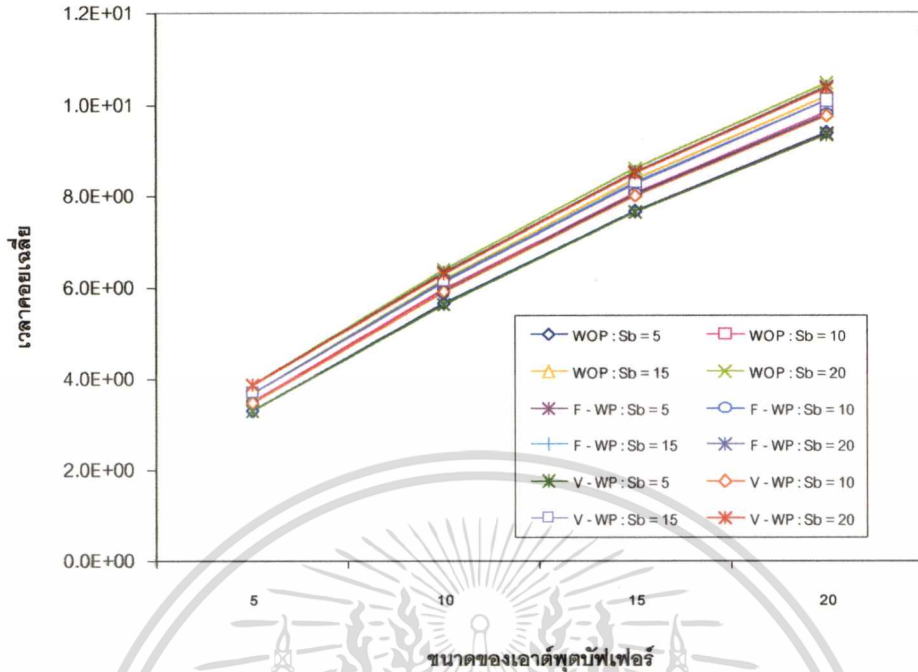


รูปที่ 6.11 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายเทียบกับขนาดของเซิร์ฟเวอร์และเฮดที่ชุดบัพเฟอร์

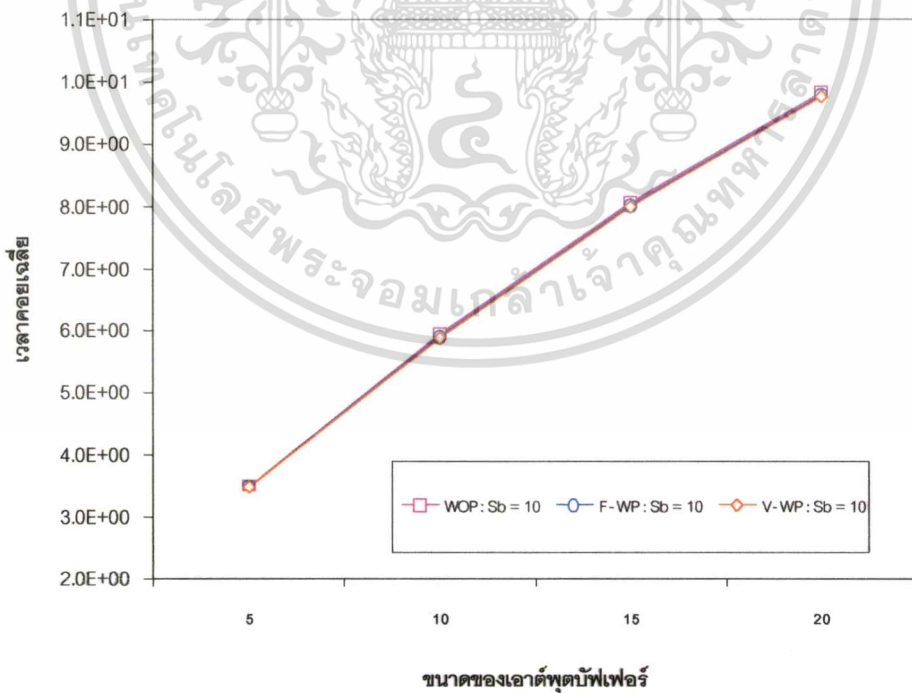


รูปที่ 6.12 ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายเทียบกับขนาดของเซิร์ฟเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

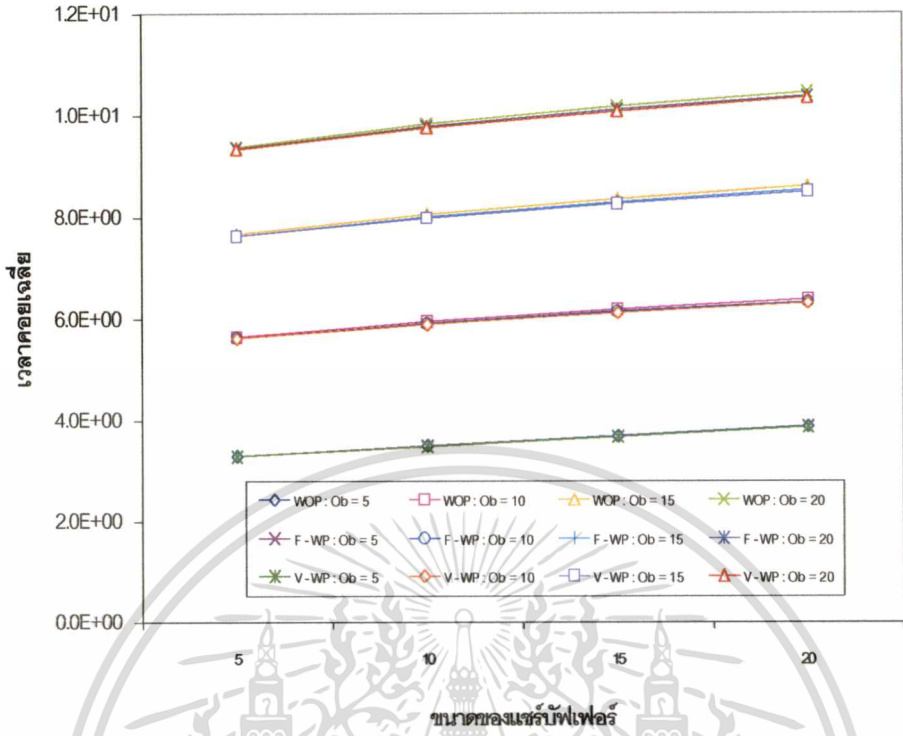


รูปที่ 6.13 เวลาคอยเฉลี่ยเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์และขนาดของแชนันบัพเฟอร์

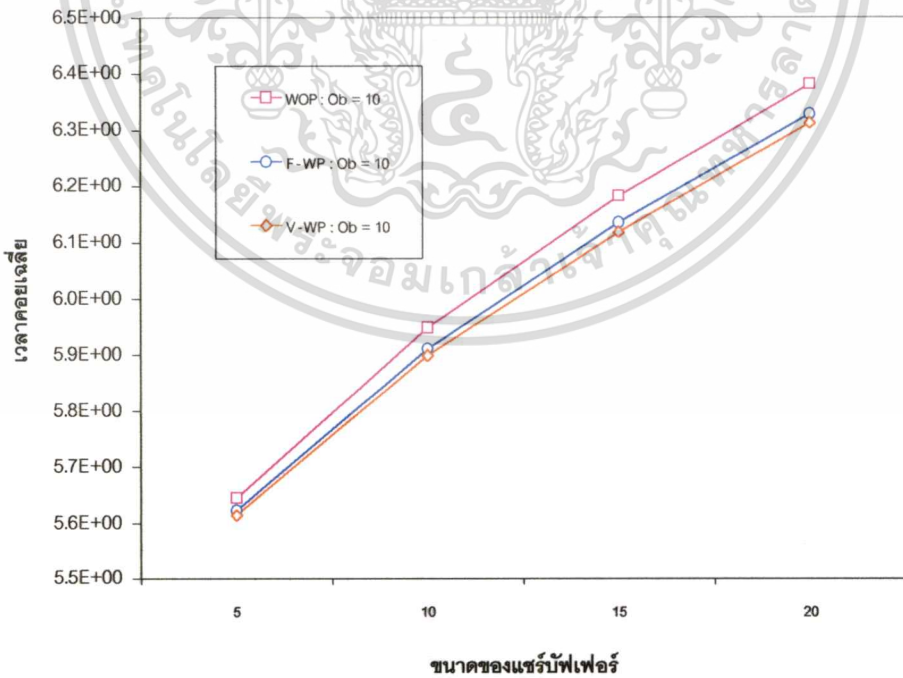


รูปที่ 6.14 เวลาคอยเฉลี่ยเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์เมื่อกำหนดให้แชนันบัพเฟอร์มีค่าคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.15 เวลาคอยเฉลี่ยเทียบกับขนาดของเซิร์ฟเวอร์และเอาต์พุตบัฟเฟอร์



รูปที่ 6.16 เวลาคอยเฉลี่ยเทียบกับขนาดของเซิร์ฟเวอร์ เมื่อกำหนดให้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ มีขนาดคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.18 เมื่อกำหนดให้แชนร์บัพเฟอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 10 แล้วพบว่าความน่าจะเป็น การเกิดการรวนของแพ็กเกตจะแปรผกผันกับขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์ ดังเช่นที่ได้อธิบายไว้ในรูป ที่ 6.17 แต่ในกราฟรูปนี้จะแสดงให้เห็นได้ชัดเจนขึ้นว่า ความน่าจะเป็นการเกิดการรวนของแพ็กเกต เมื่อไม่มีการกำหนดบรูมิสสิททิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดจะมีค่ามากกว่า ความน่าจะเป็น การเกิดการรวนของแพ็กเกตเมื่อมีการกำหนดบรูมิสสิททิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด โดยการ กำหนดบรูมิสสิททิแบบใช้สายประวิงที่ปรับเปลี่ยนค่าได้ จะมีค่าความน่าจะเป็นการเกิดการรวนกัน ของแพ็กเกตต่ำที่สุด

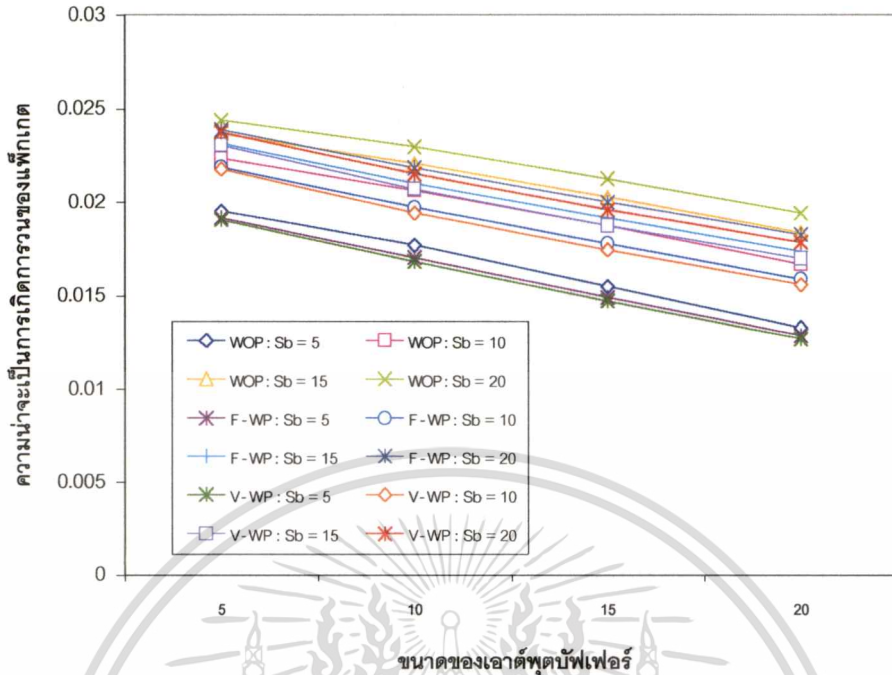
รูปที่ 6.19 แสดงให้เห็นว่า ความน่าจะเป็นการเกิดการรวนของแพ็กเกตในสวิตซ์จะเป็นผล มาจากขนาดของแชนร์บัพเฟอร์และขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์ โดยจะมีผลลัพธ์เหมือนกับดังที่ได้ อธิบายไว้ในรูปที่ 6.17 ทุกประการ

รูปที่ 6.20 แสดงความน่าจะเป็นการเกิดการรวนของแพ็กเกตเทียบกับขนาดของแชนร์ บัพเฟอร์เมื่อกำหนดให้เอาต์พุตบัพเฟอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 10 ซึ่งจากกราฟจะพบว่าค่าความน่า จะเป็นการเกิดการรวนของแพ็กเกต จะแปรผันโดยตรงกับขนาดของทั้งเอาต์พุตบัพเฟอร์และแชนร์ บัพเฟอร์ โดยเมื่อไม่มีการกำหนดบรูมิสสิททิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดแล้ว จะได้ค่าความ น่าจะเป็นการเกิดการรวนของแพ็กเกตสูงกว่าวิธีที่มีการกำหนดบรูมิสสิททิ โดยวิธีการกำหนด บรูมิสสิททิในแบบสายประวิงที่เปลี่ยนแปลงได้จะมีความน่าจะเป็นการเกิดการรวนของแพ็กเกตต่ำที่สุด

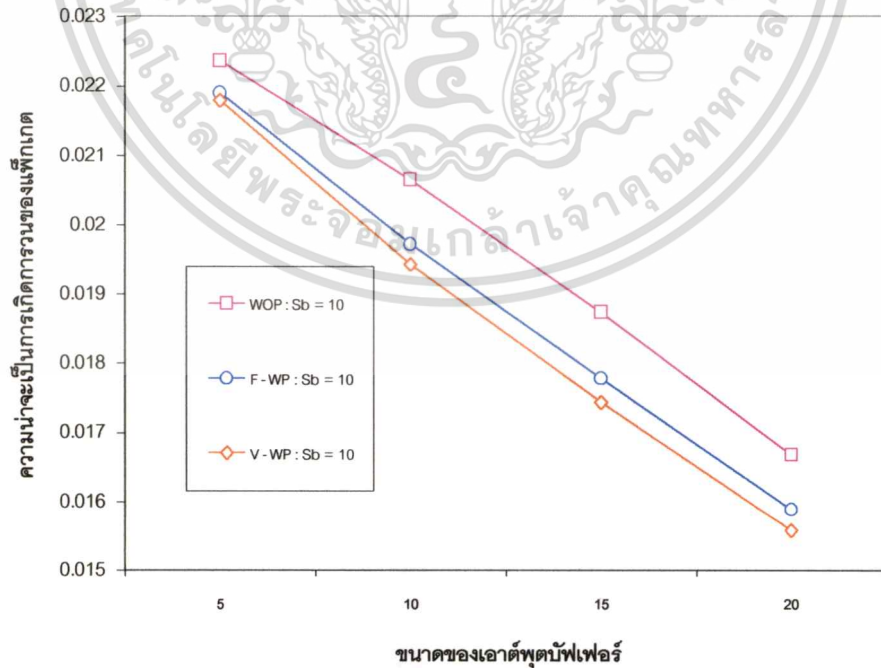
รูปที่ 6.21 แสดงเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด เทียบกับขนาดของทั้ง เอาต์พุตบัพเฟอร์และแชนร์บัพเฟอร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์มีค่าสูงขึ้น เวลา คอยเฉลี่ยของแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วย และเมื่อขนาดของแชนร์บัพเฟอร์มี ค่าสูงขึ้นด้วยนั้น เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดที่ไม่มีการกำหนดบรูมิสสิททิจะมี ค่าสูงกว่าเวลาคอยเฉลี่ยของวิธีที่มีการกำหนดบรูมิสสิททิอย่างเห็นได้ชัด

รูปที่ 6.22 จะเห็นได้จากกราฟอย่างชัดเจนว่า เมื่อมีการกำหนดบรูมิสสิททิให้กับแพ็กเกต ที่มีการประวิงแย่งที่สุดแล้ว เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดจะลดลงไปอย่างมาก ในขณะที่เมื่อมีการกำหนดบรูมิสสิททิด้วยวิธีการทั้ง 2 แล้ว จะได้เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตที่มีการ ประวิงแย่งที่สุดที่ใกล้เคียงกัน โดยที่เวลาคอยเฉลี่ยจากวิธีการกำหนดบรูมิสสิททิแบบใช้สายประวิงที่ ปรับเปลี่ยนได้นั้นจะมีเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดน้อยกว่าวิธีการกำหนด บรูมิสสิททิแบบใช้สายประวิงคงตัวอยู่เล็กน้อย

รูปที่ 6.23 ผลการทดลองที่แสดงไว้ในรูปนี้ จะให้ผลที่เหมือนกันทุกประการกับผลการ ทดลองในรูปที่ 6.21



รูปที่ 6.17 ความน่าจะเป็นการเกิดการรบกวนของแพ็กเกตเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์ และขนาดของเซิร์ฟเฟอร์

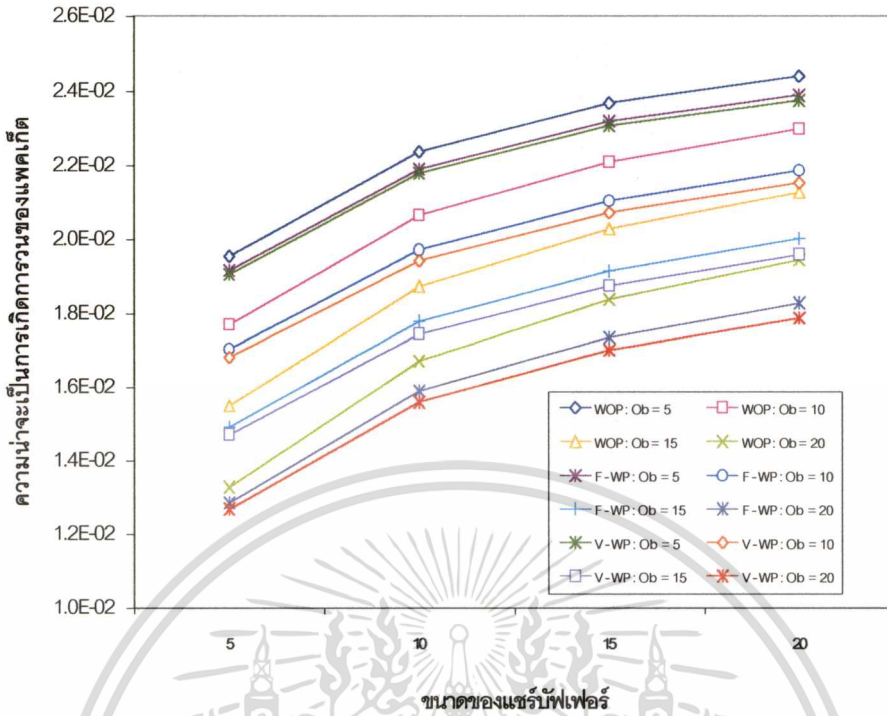


รูปที่ 6.18 ความน่าจะเป็นการเกิดการรบกวนของแพ็กเกตเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์

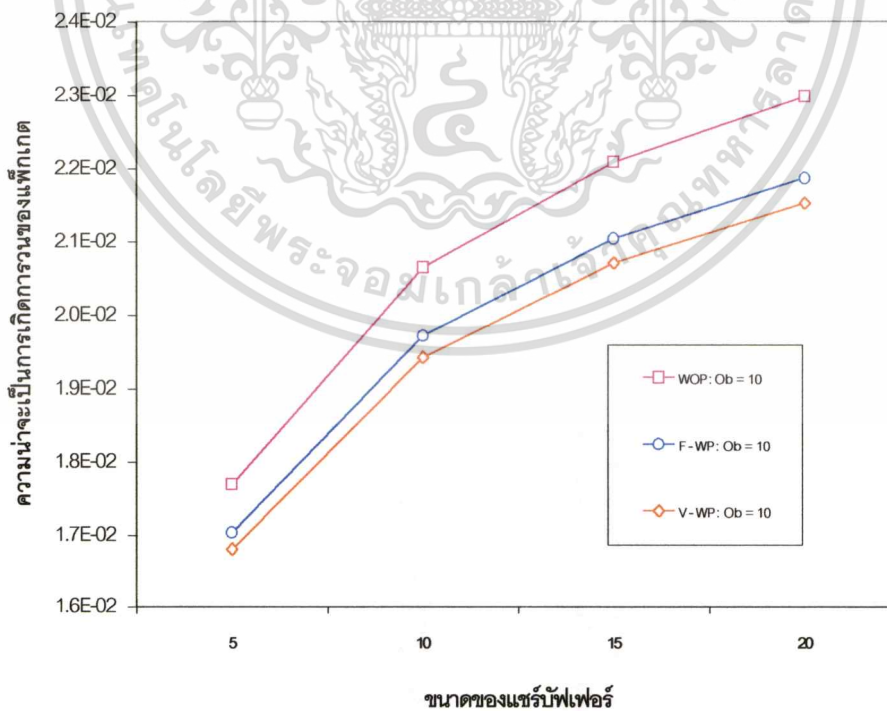
เมื่อกำหนดให้เซิร์ฟเฟอร์มีค่าคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.19 ความน่าจะเป็นการเกิดการรวมของแพ็กเก็ตเทียบกับขนาดของเซิร์ฟเฟอร์และขนาดของเอาต์พุตเซิร์ฟเฟอร์

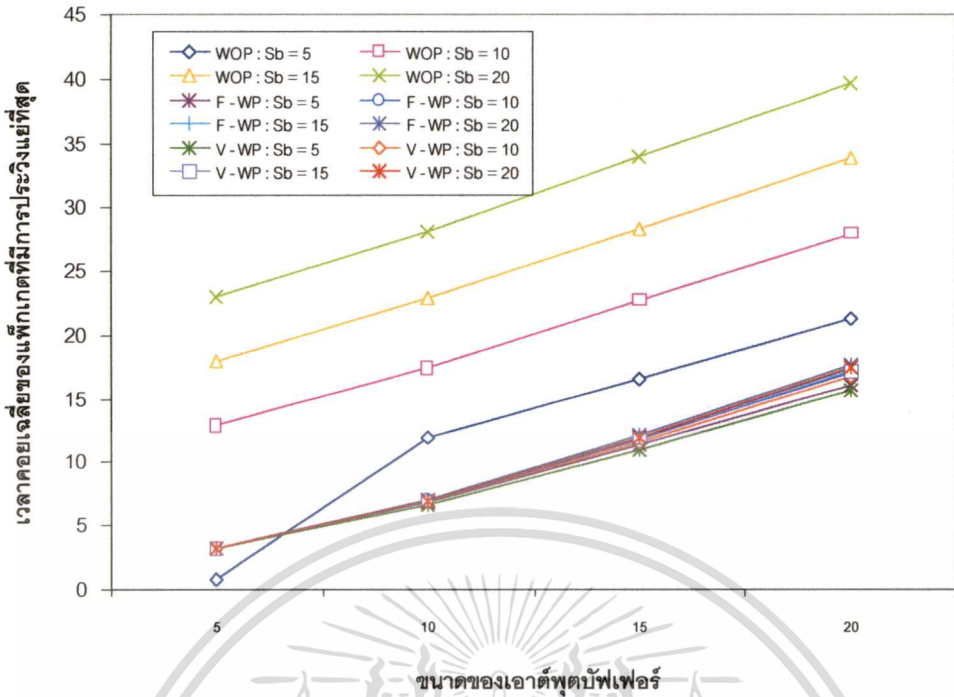


รูปที่ 6.20 ความน่าจะเป็นการเกิดการรวมของแพ็กเก็ตเทียบกับขนาดของทั้งเซิร์ฟเฟอร์และ

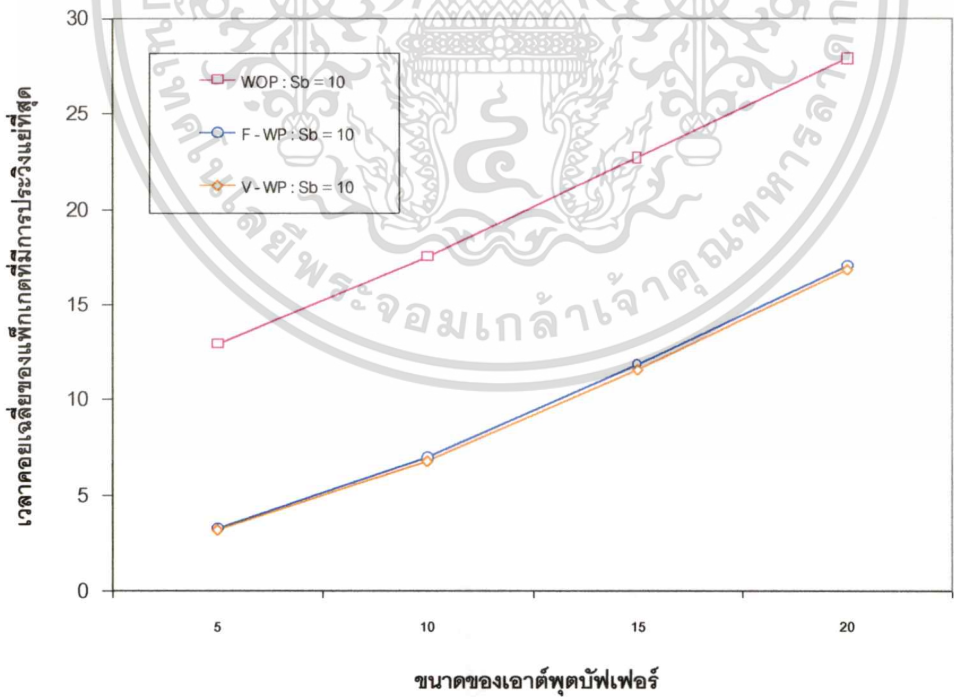
ขนาดของเอาต์พุตเซิร์ฟเฟอร์ เมื่อเอาต์พุตเซิร์ฟเฟอร์มีขนาดค่าคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

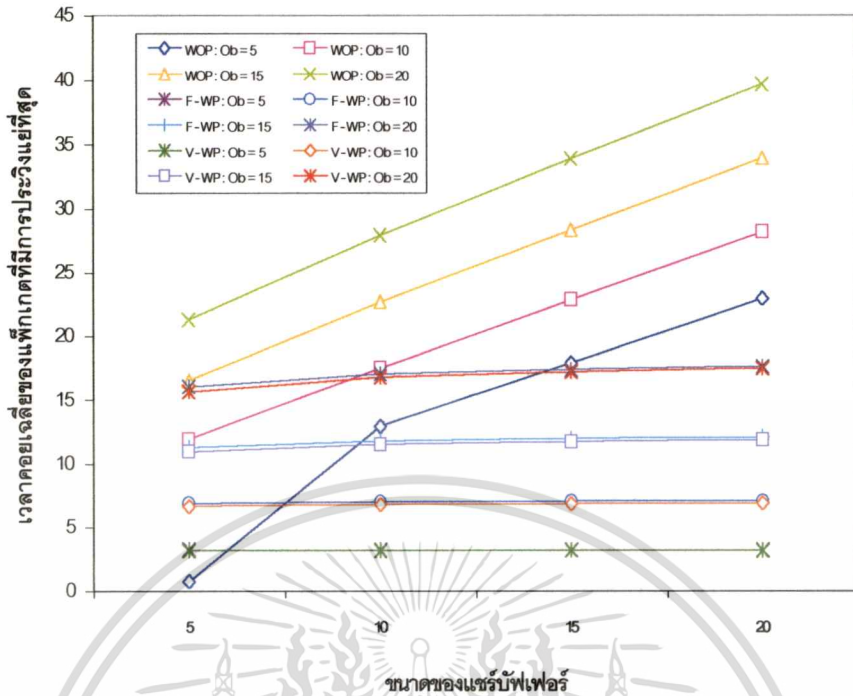


รูปที่ 6.21 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดเทียบกับขนาดของเซตฟุตบอล และขนาดของเซตรับฟุตบอล



รูปที่ 6.22 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดเทียบกับขนาดของเซตฟุตบอล และขนาดของเซตรับฟุตบอล เมื่อกำหนดให้เซตรับฟุตบอลมีขนาดคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



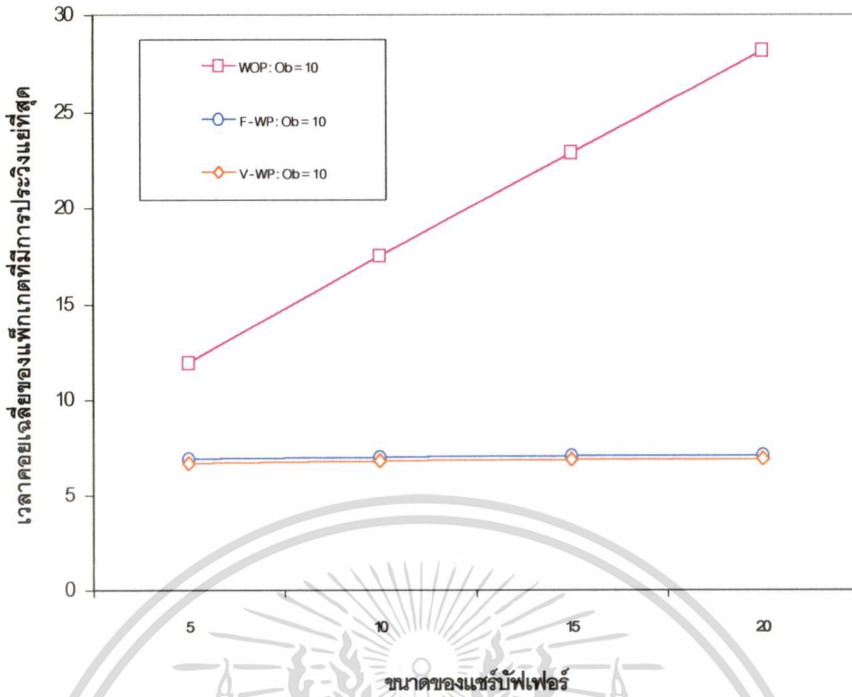
รูปที่ 6.23 เวลาเฉลี่ยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดเทียบกับขนาดของเครือข่ายและขนาดของเอาต์พุตเครือข่าย

รูปที่ 6.24 แสดงให้เห็นถึงเวลาเฉลี่ยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดเมื่อไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิและมีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุด รูปกราฟแสดงให้เห็นว่า เมื่อกำหนดให้ขนาดของเอาต์พุตเครือข่ายคงที่ (เท่ากับ 10) เวลาเฉลี่ยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดเมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิจะมีลักษณะคงที่ ไม่ว่าจะเครือข่ายจะมีขนาดเท่าใด โดยที่เวลาเฉลี่ยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดที่กำหนดบุริมสิทธิในแบบสายประวิงที่เปลี่ยนแปลงได้ จะมีค่าต่ำกว่าวิธีที่กำหนดบุริมสิทธิในแบบสายประวิงคงที่เล็กน้อย ในขณะที่เวลาเฉลี่ยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดที่ไม่ได้มีการกำหนดบุริมสิทธิ จะมีค่าสูงกว่าเวลาเฉลี่ยเฉลี่ยในวิธีการที่มีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดนี้มาก

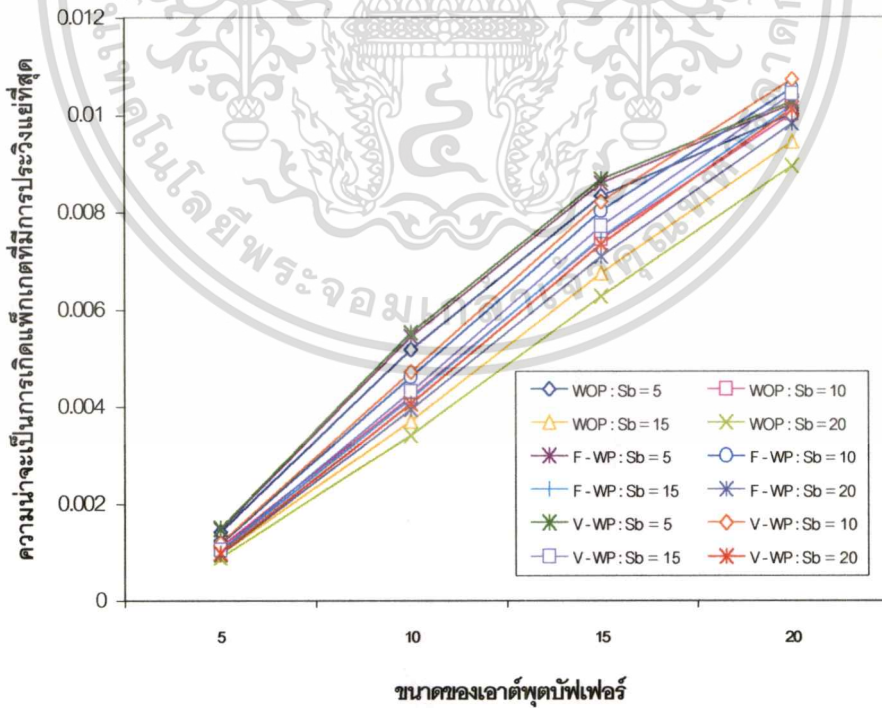
รูปที่ 6.25 ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อขนาดของเอาต์พุตเครือข่ายมีค่าสูงมากขึ้น แต่ในทางกลับกันพบว่า เมื่อเครือข่ายมีขนาดใหญ่มากขึ้น ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะมีค่าลดลง และหากเครือข่ายมีค่าน้อยกว่าเอาต์พุตเครือข่ายมากๆ แล้ว อัตราการเพิ่มขึ้นของความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะมีการลดลงอย่างไม่เป็นเชิงเส้น และในทำนองเดียวกันหากเอาต์พุตเครือข่ายมีขนาดน้อยกว่าเครือข่ายมากๆ แล้ว อัตราการเพิ่มขึ้นของความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะมีการเพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นเชิงเส้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



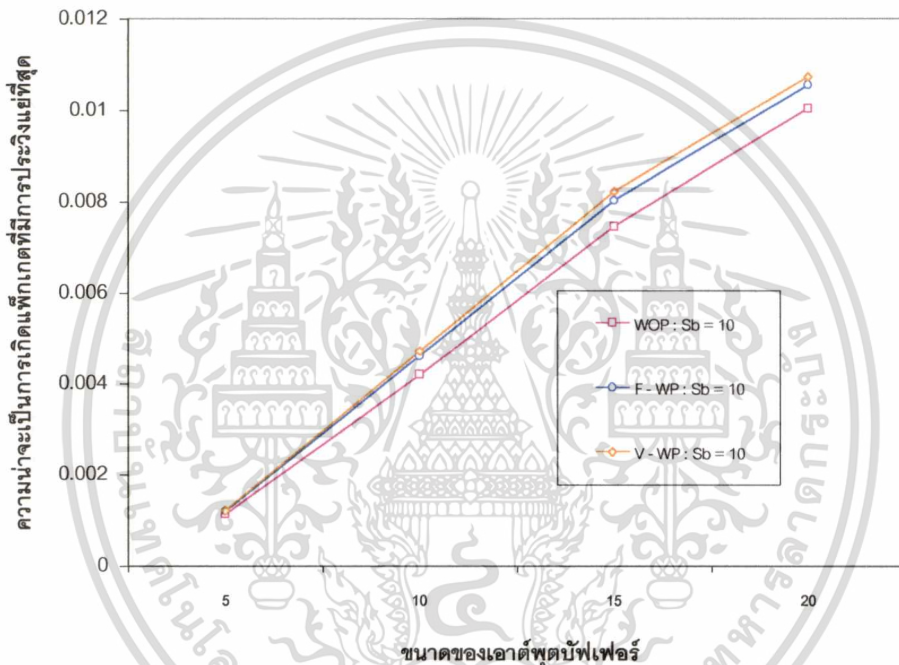
รูปที่ 6.24 เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดเทียบกับขนาดของแอตทุบัพเฟอร์เมื่อกำหนดให้แอตทุบัพเฟอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา



รูปที่ 6.25 ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดเทียบกับขนาดของแอตทุบัพเฟอร์และขนาดของแอตทุบัพเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.26 แสดงให้เห็นว่าความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น และยังแสดงให้เห็นว่า การกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดนั้น จะทำให้ค่าความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดมีค่าสูงขึ้นกว่าการที่ไม่กำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุด อีกทั้งเมื่อเพิ่มขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ให้มีความมากกว่าแซร์บัฟเฟอร์มากๆแล้ว อัตราการเพิ่มขึ้นของความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดเมื่อเพิ่มขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นลดลง

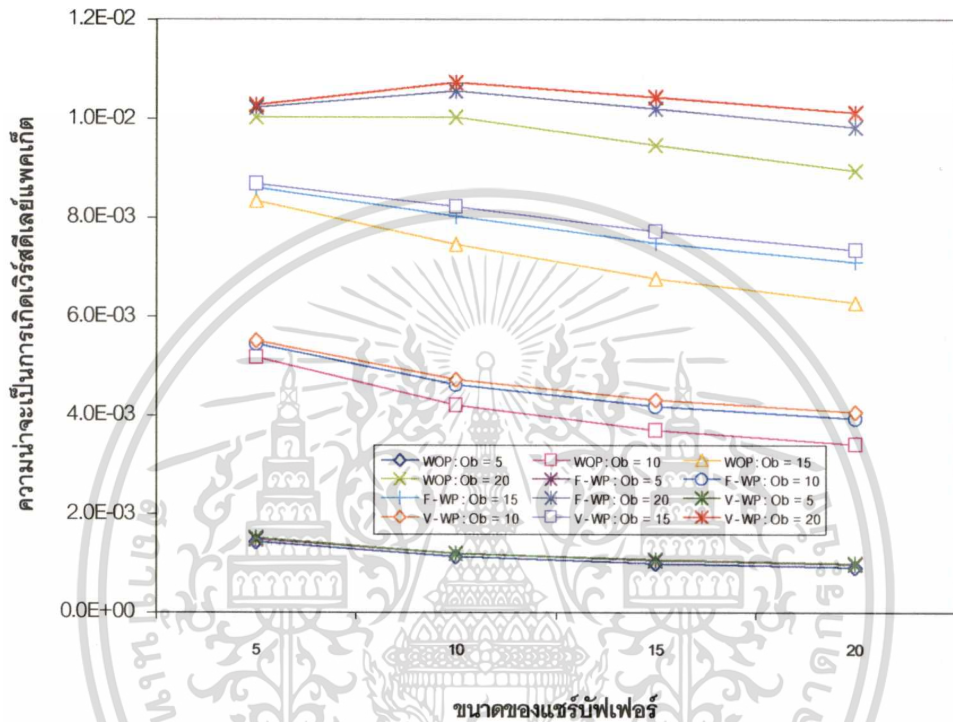


รูปที่ 6.26 ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์เมื่อกำหนดให้แซร์บัฟเฟอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา

รูปที่ 6.27 แสดงความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดเทียบกับขนาดของแซร์บัฟเฟอร์และขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ ซึ่งจากรูปกราฟจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะมีค่าน้อยหากเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดเล็ก แต่จะมีค่าสูงมากขึ้นเมื่อเพิ่มขนาดของแซร์บัฟเฟอร์ให้ใหญ่ขึ้น ดังนั้นในการใช้บัฟเฟอร์แบบพาร์ติชันลิสแซร์บัฟเฟอร์ หากมีความต่างระหว่างขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์และแซร์บัฟเฟอร์ จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดดังรูป เมื่อเอาต์พุตบัฟเฟอร์เท่ากับ 20 และเพิ่มขนาดแซร์บัฟเฟอร์จาก 5 ไปจนถึง 20 นั้น พบว่าที่ค่าแซร์บัฟเฟอร์เท่ากับ

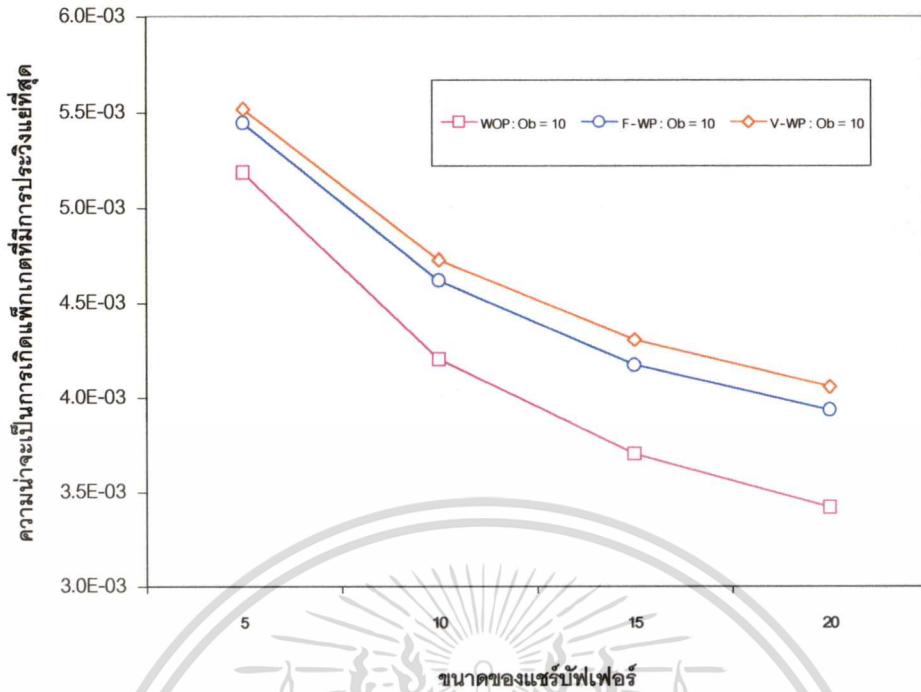
10 ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะมีค่าสูงขึ้น ต่อจากนั้นจึงจะเริ่มลดลง ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(เมื่อแชรพ์เฟอร์มากกว่า 10) ในขณะที่เมื่อเอาต์พุตบัพเฟอร์เท่ากับ 15 และทำการเพิ่มค่าขนาดของแชรพ์เฟอร์ จะพบว่าความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดจะมีแต่ค่าลดลงเท่านั้น ซึ่งผลจากเหตุการณ์ทั้ง 2 นี้ เป็นผลมาจากความต่างของขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์และขนาดของแชรพ์เฟอร์นั่นเอง



รูปที่ 6.27 ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเทียบกับขนาดของแชรพ์เฟอร์ และขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์

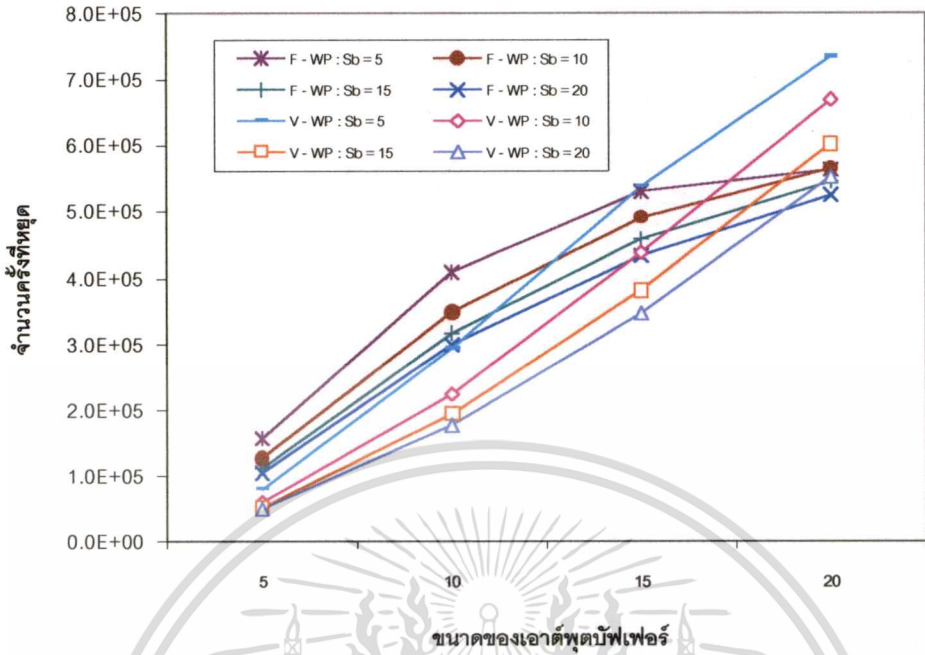
รูปที่ 6.28 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า เมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดแล้ว ค่าความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดจะมีค่าสูงกว่าการที่ไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิ โดยที่การกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดในแบบสายประวิงที่เปลี่ยนแปลงได้ จะมีค่าความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดสูงกว่าการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดในแบบสายประวิงคงที่อยู่เล็กน้อย และยังแสดงให้เห็นว่า ขนาดของแชรพ์เฟอร์ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดมีค่าลดลง



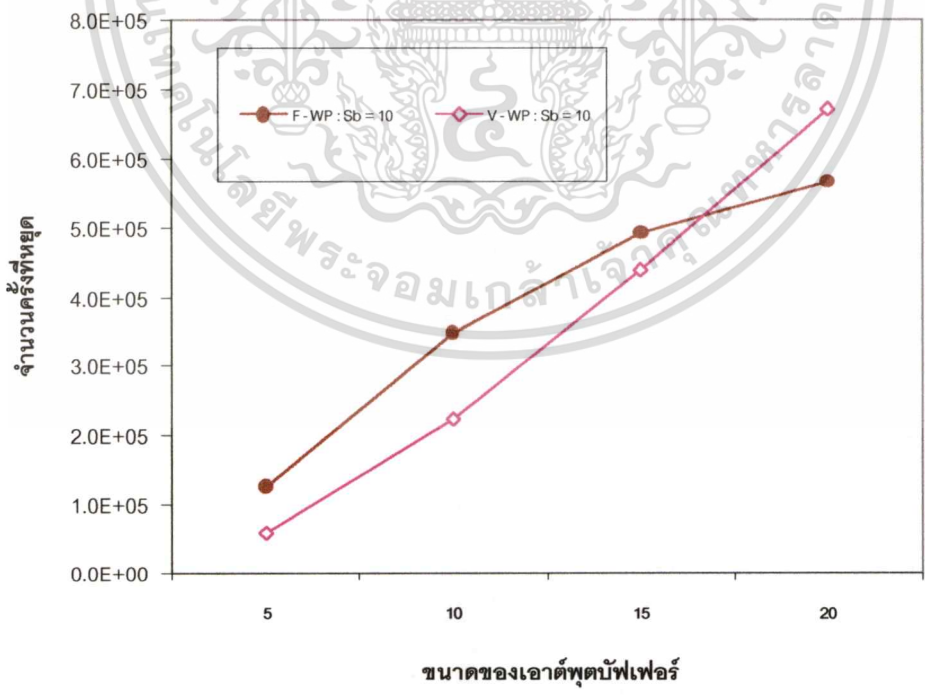
รูปที่ 6.28 ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดเทียบกับขนาดของแอสเซมบลีเฟอว์ เมื่อกำหนดให้เอาต์พุตบัพเฟอว์มีค่าคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา

รูปที่ 6.29 แสดงให้เห็นถึงจำนวนครั้งที่ต้องหยุดทำการกำหนดบุริมสิทธิ เมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดทั้งแบบที่ใช้สายประวิงคงตัวและแบบที่ใช้สายประวิงแบบเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งพบว่า การกำหนดบุริมสิทธิแบบที่ใช้สายประวิงแบบเปลี่ยนแปลงได้จะต้องหยุดด้วยจำนวนครั้งที่น้อยกว่าแบบที่ใช้สายประวิงคงตัว (เมื่อเอาต์พุตบัพเฟอว์มีขนาดไม่ใหญ่นัก) และการเพิ่มขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอว์จะทำให้จำนวนครั้งที่ต้องหยุดนั้นเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกัน ถ้าหากเพิ่มขนาดของแอสเซมบลีเฟอว์ขึ้นแล้วจำนวนครั้งที่ต้องหยุดจะมีค่าลดลง

รูปที่ 6.30 แสดงให้เห็นชัดเจนยิ่งขึ้นว่าการกำหนดบุริมสิทธิแบบใช้สายประวิงที่เปลี่ยนแปลงได้จะต้องหยุดด้วยจำนวนครั้งที่น้อยกว่าแบบที่ใช้สายประวิงคงตัว (เมื่อเอาต์พุตบัพเฟอว์มีขนาดไม่ใหญ่นัก) แต่เมื่อขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอว์เพิ่มขึ้นมากๆ แล้วจำนวนครั้งที่ต้องหยุดของการกำหนดบุริมสิทธิแบบที่ใช้สายประวิงคงตัวจะเริ่มมีลักษณะคงที่ ในขณะที่การกำหนดบุริมสิทธิแบบที่ใช้สายประวิงที่เปลี่ยนแปลงได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก (จะมีจำนวนครั้งที่ต้องหยุดมากกว่าแบบที่ใช้สายประวิงแบบคงตัวเมื่อเอาต์พุตบัพเฟอว์มีขนาดใหญ่จนถึงค่าค่าหนึ่ง)



รูปที่ 6.29 จำนวนครั้งที่ต้องหยุดการกำหนดบรูมิลลิตีเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์



รูปที่ 6.30 จำนวนครั้งที่ต้องหยุดการกำหนดบรูมิลลิตีเทียบกับขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์เมื่อ

กำหนดให้เซิร์ฟเฟอร์มีค่าคงที่เท่ากับ 10 ร่องเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ให้กับระบบการสวิตช์ทางแสงแบบแพ็กเกตสวิตช์ ซึ่งได้กำหนดให้สวิตช์มีขนาดเท่ากับ 32×32 พบว่า ภาวะทางทราฟฟิกโดยเฉลี่ยที่ได้จากการกำหนดรูปแบบการเข้ามาถึงยังสวิตช์ของแพ็กเกตให้เป็นแบบสุ่ม รวมทั้งพารามิเตอร์ของระบบการสวิตช์อื่นๆ มีค่าประมาณ 0.969 เมื่อลองทำการลดขนาดของสวิตช์ลง พบว่า ภาวะทางทราฟฟิกโดยเฉลี่ยที่ได้มีค่าลดน้อยลง วิสัยสามารถโดยเฉลี่ยของระบบการสวิตช์จะอยู่ในช่วงระหว่าง 0.94 – 0.99 ขึ้นอยู่กับขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์และขนาดของแชนน์บัพเฟอร์ โดยที่เมื่อมีการใช้บัพเฟอร์ที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น ก็จะได้วิสัยสามารถโดยเฉลี่ยของระบบมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกันความน่าจะเป็นที่จะเกิดการสูญหายของแพ็กเกตขึ้นที่เอาต์พุตบัพเฟอร์ก็จะมีค่าประมาณ 0.303 โดยที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของทั้งเอาต์พุตบัพเฟอร์และแชนน์บัพเฟอร์ แต่จะพบว่า จะเกิดการสูญหายไปของแพ็กเกตที่แชนน์บัพเฟอร์เพิ่มขึ้นหากแชนน์บัพเฟอร์ที่ใช้มีขนาดเล็ก และจะมีความน่าจะเป็นการสูญหายไปของแพ็กเกตที่น้อยมากเมื่อใช้แชนน์บัพเฟอร์ที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น

จากรูปกราฟที่ 6.9 – 6.16 เป็นผลการทดลองและวิเคราะห์ถึงขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์และขนาดของแชนน์บัพเฟอร์ รวมทั้งวิธีการกำหนดหรือไม่กำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุด ว่ามีผลต่อความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายและเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตอย่างไร

ซึ่งจากรูปกราฟสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มขนาดของทั้งเอาต์พุตบัพเฟอร์และแชนน์บัพเฟอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นแล้ว ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายจะมีค่าลดลง ในขณะที่เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเกตจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ลักษณะการลดลงของความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายจะลดลงอย่างไม่เป็นเชิงเส้นเมื่อมีการทำการเพิ่มขนาดของทั้งเอาต์พุตบัพเฟอร์และแชนน์บัพเฟอร์ ในขณะที่เวลาคอยเฉลี่ยก็มีลักษณะการเพิ่มขึ้นในแบบไม่เป็นเชิงเส้นเช่นเดียวกัน แต่จะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มขนาดของเอาต์พุตบัพเฟอร์ และขนาดของแชนน์บัพเฟอร์ให้มีค่าสูงมากๆ แล้ว อีกทั้งยังพบว่าเมื่อทำการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดแล้ว (ทั้ง 2 วิธี) จะทำให้ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกตจะสูญหายมีค่าสูงขึ้นมากกว่าเมื่อไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิ ซึ่งเมื่อตรวจสอบดูแล้วพบว่า ในขณะที่เกิดแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดขึ้นนั้น เอาต์พุตบัพเฟอร์จะถูกใช้จนหมด ในขณะที่เมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธินั้นก็ยังเป็นช่วงเวลาใกล้เคียงกับเวลาที่เอาต์พุตบัพเฟอร์ถูกใช้จนหมดอยู่ รวมไปถึงโอกาสที่จะแพ็กเกตอื่นๆจะเข้ามายังแชนน์บัพเฟอร์ในช่วงเวลานั้นอีกด้วย ดังนั้นเมื่อกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดแล้วจึงทำให้อยู่ในช่วงที่มีโอกาสจะเกิดการสูญหายไปได้สูงกว่านั่นเอง (แพ็กเกตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเกิดการสูญหาย) ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวนี้ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีการวิเคราะห์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในรูปกราฟที่ 6.17 – 6.20 เป็นผลการทดลองและวิเคราะห์ถึงผลของการใช้ขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์และขนาดของแชนด์บัฟเฟอร์ ว่ามีผลต่อความน่าจะเป็นการเกิดการรวนของแพ็กเก็ตอย่างไร ซึ่งจากรูปกราฟดังกล่าวสรุปได้ว่า เมื่อขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ความน่าจะเป็นการเกิดการรวนของแพ็กเก็ตมีค่าลดลง ในขณะที่เมื่อเพิ่มขนาดของแชนด์บัฟเฟอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ความน่าจะเป็นการเกิดการรวนของแพ็กเก็ตจะมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายความว่าเมื่อใช้เอาต์พุตบัฟเฟอร์ที่มีขนาดใหญ่ โอกาสที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์จะถูกใช้ไปจนหมดนั้นมีน้อยกว่า จึงทำให้เกิดโอกาสที่จะมีแพ็กเก็ตวนนั้นน้อย ในขณะที่เมื่อแชนด์บัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น โอกาสที่จะมีแพ็กเก็ตเข้ามายังแชนด์บัฟเฟอร์ก็จะมีมากขึ้น ทำให้มีโอกาสที่แพ็กเก็ตจากแชนด์บัฟเฟอร์จะถูกส่งวนนั้นจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และยังพบว่าเมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดแล้ว ไม่ว่าจะโดยวิธีใดก็จะให้ความน่าจะเป็นการเกิดการรวนของแพ็กเก็ตน้อยกว่าการที่ไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุด

รูปกราฟที่ 6.21 – 6.24 เป็นผลการทดลองและวิเคราะห์ถึงขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ขนาดของแชนด์บัฟเฟอร์ รวมทั้งวิธีการกำหนดหรือไม่กำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดว่ามีผลต่อเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดอย่างไร ซึ่งจากรูปผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เมื่อเอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชนด์บัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น จะส่งผลทำให้เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดมีค่าสูงขึ้น โดยที่วิธีการที่ไม่กำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะให้เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดมีค่าสูงกว่าเมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิทั้ง 2 วิธีอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุด สามารถลดเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดลงได้ และยังพบว่าเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดเมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิแล้วนั้น จะมีลักษณะค่อนข้างคงที่เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของขนาดของแชนด์บัฟเฟอร์

รูปกราฟที่ 6.25 - 6.28 เป็นผลการทดลองและวิเคราะห์ถึงความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์และขนาดของแชนด์บัฟเฟอร์ รวมทั้งวิธีการกำหนดหรือไม่กำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดด้วย ว่ามีผลกระทบต่อความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดอย่างไร ซึ่งจากผลการทดลองที่แสดงไว้ในกราฟต่างๆ สรุปได้ว่า เมื่อเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะมีค่าสูงมากขึ้น แต่ในทางกลับกัน เมื่อให้แชนด์บัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ขึ้นกลับพบว่า ความน่าจะเป็นในการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะลดลง และยังพบว่าความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดจะมีค่าน้อยลงเมื่อไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุด แต่เมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิแล้ว จะมีค่าความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแยะที่สุดสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปกราฟที่ 6.29 - 6.30 เป็นผลการทดลองและวิเคราะห์ถึงจำนวนครั้งที่ต้องหยุดระหว่างการกำหนดบุริมสิทธิของวิธีการกำหนดบุริมสิทธิในแบบที่ใช้สายประวิงแบบคงตัวและการกำหนดบุริมสิทธิในแบบที่ใช้สายประวิงปรับเปลี่ยนได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดไม่มากนักการกำหนดบุริมสิทธิแบบที่ใช้สายประวิงคงตัวจะต้องหยุดการกำหนดบุริมสิทธิเป็นจำนวนครั้งที่มากกว่าแบบที่ใช้สายประวิงปรับเปลี่ยนได้ แต่เมื่อขนาดเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่มากพอแล้ว จำนวนครั้งที่ต้องหยุดการกำหนดบุริมสิทธิของแบบที่ใช้สายประวิงแบบคงตัวจะเริ่มคงที่และมีค่าน้อยกว่าแบบที่ใช้สายประวิงปรับเปลี่ยนได้ โดยจำนวนครั้งที่ต้องหยุดการกำหนดบุริมสิทธิของทั้ง 2 วิธีจะแปรผันโดยตรงกับขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

บทสรุป

7.1 กล่าวนำ

ในบทที่ 1 ได้กล่าวถึงที่มาของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ใช้บัฟเฟอร์แบบพาร์เซียลลีแซร์ บัฟเฟอร์ ว่ามาจากแนวคิดที่จะต้องลดการสูญเสียหรือสูญหายไปของแพ็กเก็ตให้มากที่สุด แต่จากการใช้พาร์เซียลลีแซร์บัฟเฟอร์นี้เองที่ทำให้เกิดความคิดว่า อาจจะมีแพ็กเก็ตบางแพ็กเก็ตที่อาจจะเกิดการวนอยู่ระหว่างสวิตช์กับแซร์บัฟเฟอร์ ซึ่งอาจส่งผลโดยรวมต่อสมรรถนะของระบบการสวิตช์

ในบทที่ 2 ได้กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง โดยเริ่มจากอธิบายถึงหลักการทำงาน องค์ประกอบต่างๆ ที่จำเป็น รวมไปถึงเทคโนโลยีของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่มีอยู่ในปัจจุบัน

ในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นของบัฟเฟอร์ทางแสง ว่ามีหลักการทำงานอย่างไร โดยการใช้โครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงแบบต่างๆ มาทำเป็นบัฟเฟอร์ทางแสงได้อย่างไร รวมไปถึงการจำแนกประเภทของบัฟเฟอร์ทางแสงและตัวอย่างของบัฟเฟอร์ทางแสงตามเทคโนโลยีที่คิดค้นขึ้นได้ในปัจจุบัน

ในบทที่ 4 ได้กล่าวถึงการปรับปรุงสมรรถนะให้กับแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงด้วยบัฟเฟอร์ทางแสง โดยจะกล่าวถึงปัญหาต่างๆ ที่พบได้ในแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง พร้อมกับวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ เหล่านั้น อีกทั้งยังแนะนำโครงสร้างการจัดการ การกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดโดยที่แพ็กเก็ตแสงที่รอคิวอยู่ก่อนหน้าในแซร์บัฟเฟอร์จะไม่สูญหายไป รวมไปถึงทฤษฎีต่างๆ ที่ใช้สำหรับเพื่อคำนวณหาสมรรถนะของระบบการสวิตช์

ในบทที่ 5 ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์สมรรถนะให้กับแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสงที่ใช้พาร์เซียลลีแซร์บัฟเฟอร์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยได้แสดงถึงขั้นตอนต่างๆ ในการคำนวณหาความน่าจะเป็นการสูญหายไปของแพ็กเก็ต, เวลาคอยเฉลี่ย, ความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด, เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดเมื่อมีการกำหนดและไม่กำหนดบุริมสิทธิและอื่นๆ โดยผลลัพธ์ในการทดลองและการวิเคราะห์ได้แสดงอยู่ในรูปกราฟต่างๆ ซึ่งใช้สำหรับบ่งบอกถึงสมรรถนะในการทำงานของระบบ

ในบทที่ 6 จะได้กล่าวถึงการวิเคราะห์สมรรถนะของแพ็กเก็ตสวิตช์ทางแสง ด้วยการจำลองแบบทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยจะจำลองการทำงานของสวิตช์ดังกล่าวด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะแบ่งการทำงานต่างๆ ออกเป็นส่วนๆ ที่มีการทำงานร่วมกัน พร้อมทั้งอธิบายหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของโปรแกรมส่วนต่างๆด้วย ผลการทดลองและการวิเคราะห์จะได้แสดงตามรูปภาพ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของสวิตซ์ทั้งเมื่อไม่มีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดและมีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด ทั้งในแบบที่ใช้สายประวิงแบบคงตัวและในแบบที่ใช้สายประวิงแบบเปลี่ยนแปลงค่าได้ (fix delay line และ variable delay line)

7.2 การเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธีทาง

คณิตศาสตร์กับผลที่ได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้จากบทที่ 5 (การวิเคราะห์โดยวิธีทางคณิตศาสตร์) มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองบทที่ 6 (การวิเคราะห์โดยวิธีจำลองแบบ) จะพบว่าให้ผลที่เหมือนกัน โดยที่ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายจะแปรผกผันกับขนาดของทั้งเอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชนด์บัฟเฟอร์ คือเมื่อบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่แล้วความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตจะสูญหายจะน้อยลง เวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตต่างๆ ก็ขึ้นอยู่กัขนาดของทั้งเอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชนด์บัฟเฟอร์เช่นกัน โดยจะแปรผันโดยตรงกับขนาดของบัฟเฟอร์ทั้ง 2 แบบ เวลาคอยเฉลี่ยเมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด จะมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับเวลาที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยของแพ็กเก็ตอื่นๆ แต่ก็มีตัวแปรบางอย่างที่มีความแตกต่างกันระหว่างการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์กับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการจำลองแบบ คือ ค่าความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดที่ได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์จะมีค่าลดลงเมื่อขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับผลการทดลองด้วยวิธีการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ผลลัพธ์เมื่อขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดมีค่าสูงขึ้นและเมื่อแชนด์บัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ขึ้นความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดจะมีค่าลดลง ซึ่งสาเหตุของความแตกต่างนี้อาจจะเป็นเพราะผลบางอย่างจากสมภาวะที่ใช้ในการทดลองที่แตกต่างกัน ในส่วนของผลการวิเคราะห์เมื่อกำหนดบุริมสิทธิแบบใช้สายประวิงคงตัวเปรียบเทียบกับแบบที่ใช้สายประวิงเปลี่ยนแปลงได้ จะพบว่าในการกำหนดบุริมสิทธิแบบที่ใช้สายประวิงแบบที่เปลี่ยนแปลงได้จะมีจำนวนครั้งที่ต้องหยุดการกำหนดบุริมสิทธิบ่อยครั้งกว่าเมื่อขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดเล็ก แต่จะมีจำนวนครั้งที่ต้องหยุดมากกว่าแบบที่ใช้สายประวิงคงตัวเมื่อเอาต์พุตบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่มากขึ้น ซึ่งเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ต้องจะมีการหาขนาดของทั้งเอาต์พุตบัฟเฟอร์และแชนด์บัฟเฟอร์ที่เหมาะสม

โดยภาพรวมแล้วการใช้พาร์เซียลลีแชนด์บัฟเฟอร์สามารถเพิ่มสมรรถนะให้กับแพ็กเก็ตสวิตซ์ทางแสงได้ด้วยการลดการสูญหายไปของแพ็กเก็ตลง แต่การใช้บัฟเฟอร์แบบพาร์เซียลลีแชนด์บัฟเฟอร์นี้ก็ทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการวนของแพ็กเก็ตหรือแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด ซึ่งใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอถึงการลดการประวิงของแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดนี้ลง ด้วยการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดดังกล่าว ซึ่งจากผลการทดลองและการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีพบว่าสามารถลดการประวิงที่เกิดขึ้นจากแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดนี้ได้ โดยจะมีผลกระทบต่อเวลาประวิงของแพ็กเก็ตอื่นๆเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อีกทั้งจะยังสังเกตเห็นได้อีกว่า ผลการทดลองต่างๆ จะมีผลขึ้นอยู่กับขนาดของทั้งเอาต์พุตบัฟเฟอร์และเซิร์ฟบัฟเฟอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด ซึ่งจะมีค่าน้อยมากหากเมื่อภาระทางทราฟฟิกมีค่าต่ำ ดังนั้นหากเป็นระบบการสวิตช์ที่มีภาระทางทราฟฟิกไม่สูงแล้วก็น่าจะใช้แค่เพียงการเลือกใช้ขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์และเซิร์ฟบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมก็พอ และจากผลการทดลองและการวิเคราะห์ที่ต่างๆ แล้วพบว่า การจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างทางความน่าจะเป็นการเกิดแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุด, เวลาคอยเฉลี่ย และค่าอื่นๆ ซึ่งสามารถใช้เพื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีการกำหนดหรือไม่กำหนดบุริมสิทธิได้อย่างชัดเจนกว่า หรือแสดงถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ดีกว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์

7.3 ปัญหาที่พบและแนวทางการพัฒนาต่อไป

จากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการจำลองแบบ พบว่าเมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดแล้วจะทำให้มีโอกาสที่แพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดสูญหายไปสูงขึ้นด้วย ซึ่งส่งผลต่อการสูญหายไปโดยรวมของแพ็กเก็ตข้อมูล ดังนั้นจึงควรต้องทำการศึกษาดังลักษณะเหตุการณ์ดังกล่าวเพิ่มเติม เพื่อหาวิธีหรือขั้นตอนการจัดการที่เหมาะสม ที่ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตที่มีการประวิงแย่งที่สุดได้ โดยที่ค่าการเกิดการสูญหายของแพ็กเก็ตจะไม่มีค่าสูงขึ้นตาม รวมไปถึงศึกษาถึงผลการทดลองที่ไม่สอดคล้องกันระหว่างการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์กับวิธีการจำลองแบบด้วย ในส่วนโครงสร้างการจัดการแพ็กเก็ตเมื่อมีการกำหนดบุริมสิทธิหรือแพ็กเก็ตวีลอร์ริงที่ได้แนะนำมานั้น เป็นเพียงแค่แนวความคิดที่จะทำการกำหนดบุริมสิทธิให้กับแพ็กเก็ตทางแสงได้ แต่ถ้าหากต้องการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงก็จำเป็นจะต้องพิจารณาถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในโครงสร้าง การสูญเสียทางกำลังและอื่นๆ รวมไปถึงเหตุผลที่ว่า การวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ทำอยู่บนพื้นฐานการวิเคราะห์ทางการจัดคิวของบัฟเฟอร์ตามทฤษฎีการจัดคิวเพียงอย่างเดียว โดยไม่ได้คำนึงถึงการสูญเสียทางด้านกำลังต่างๆอันเนื่องมาจากการทำบัฟเฟอร์ทางแสงเลย จึงน่าจะมีการทำการศึกษาดังผลกระทบที่เกิดขึ้นทางด้านกำลังงาน หากเมื่อมีการนำเอาเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงนี้มาใช้สร้างเป็นบัฟเฟอร์ทางแสงจริง รวมไปถึงการพิจารณาถึงพฤติกรรมต่างๆที่ไม่สามารถคาดเดาได้ของแพ็กเก็ตทางแสง ไม่ว่าจะเป็นเรื่องขนาดที่ไม่แน่นอนของแพ็กเก็ตทางแสงหรือการเดินทางด้วยความเร็วที่ไม่เท่ากัน อีกทั้งหากการสื่อสารสัญญาณในสวิตช์ทางแสงนี้เป็นไปด้วยอัตราที่ไม่แน่นอนแล้ว ก็ย่อมจะมีผลต่อการใช้บัฟเฟอร์ทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในพ็อกเก็ตบุ๊กเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงที่สร้างขึ้นจากกลุ่มของเส้นใยแก้วนำแสงแบบสายประวิงด้วยเช่นกัน ในขณะที่เดียวกันโครงสร้างต่างๆดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จำเป็นจะต้องใช้การควบคุมในแบบทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นหลัก ดังนั้นจึงต้องคำนึงด้วยการทำการควบคุมด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความสัมพันธ์กับการสวิตซ์ทางแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นจะทำได้อย่างไร พร้อมกับภาระงานของเอาต์พุตบัฟเฟอร์และเซิร์ฟเวอร์ที่เหมาะสมที่สุดต่อทั้งขนาดของสวิตซ์และปริมาณข้อมูลที่เข้ามา เพื่อจะได้ความน่าจะเป็นการสูญหายของแพ็กเก็ตและเวลาคอยเฉลี่ยของแพ็กเก็ตที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ได้แพ็กเก็ตสวิตซ์ทางแสงที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดต่อระบบการสื่อสารโทรคมนาคม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] David K. Hunter, Member, IEEE, Meow C. Chia, and Ivan Andonovic, Senior Member, IEEE, Member, OSA, "Buffering in Optical Packet Switches.", *Journal of Lightwave Technology.*, vol.16, No. 12, 1998 : 2081-2094
- [2] D. K. Hunter, W. D. Cornwell, T. H. Gilfedder, A. Franzen, and I. Andonovic, "SLOB: A switch with large optical buffers for packet switching", *J.Lightwave Technol.*, vol. 16, Oct. 1998. pp.1725-1736.
- [3] Dominique Chiaroni, Bruno Lavigne, Amaury Jourdan, M. Sotom, Laure Hamon, Corinne Chauzat, Jean-Claude Jacquinet, Angeline Barroso, Thierry Zami, Francois Dorgeuille, Christopher Janz, Jean-Yves Emery, Emmanuel Gard, and Monique Renaud, "Physical and Logical Validation of a Network Based on All-Optical Packet Switching Systems", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 16, No. 12, December 1998.
- [4] F. Masetti, J. Benoit, F. Brillouet, J. M. Gabrielaagues, A. Jourdan, M. Renaud, D. Bottle, G. Eilenberger, K. Wunstel, M. Schilling, D. Chiaroni, P. Ganignet, J. B. Jacob, G. Bendelli, P. Cinato, P. Gambini, M. Puleo, T. Martinson, P. Vogel, T. Durhuus, C. Joergensen, K. Stubkjaer, R. Baets, P. Van Daele, J. C. Bouley, R. Lefevre, M. Bachmann, W. Hunziker, H. Melchior, A. McGuire, F. Ratovelomanana, and N. Vodjdani, "High Speed, High Capacity ATM Optical Switches for Future Telecommunication Transport Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 14, No. 5, June 1996.
- [5] Imrich Chlamtac, Andrea Fumagalli, L. G. Kazovsky, Pual Melman, William H. Nelson, Pierluigi Poggiolini, Mauro Cerisola, A. N. M. Masum Choudhury, Thomas K. Fong, Adisak Mekkittikul, Delfin Jay M. Sabido IX, Chang-Jin Suh and Eric W. M. Wong, "CORD: Contention Resolution by Delay Lines", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 14, No. 5, June 1996. pp.1014-1029.
- [6] John E. Midwinter. 1993. *Photonics in Switching Volume I*, San Diego : ACADEMIC PRESS.

- [7] John E. Midwinter. 1993. *Photonics in Switching Volume II System*, San Diego : ACADEMIC PRESS.
- [8] Juan Diao and Pak L. Chu, "Analysis of Partially Shared Buffering for WDM Optical Packet Switch", *Journal of Lightwave Technology*, Vol 17, No 12, December 1999, pp.2461-2469.
- [9] Leonard Kleinrock. 1975. *QUEUEING SYSTEMS VOLUME I : THEORY*. Canada : John Wiley & Sons.
- [10] Michael G. Hluchyj and Mark J. Karol, "Queueing in High-Performance Packet Switching", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 6, No. 9, December 1988.
- [11] MISCHA SCHWARTZ. 1988. *Telecommunication Networks: Protocols, Modeling and Analysis*. Addison-Wesley Publishing Company.
- [12] Myungsik Yoo, Chunming and Sudhir Dixit, "QoS Performance of Optical Burst Switching in IP-Over-WDM Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 18, No. 10, October 2000, pp.2062-2071.
- [13] Paul E. Green Jr., Larry A. Coldren, Kristina M. Johnson, James G. Lewis, Cal M. Miller, John F. Morrison, Robert Olshansky, Rajiv Ramaswami, and Edmund H. Smith, "All-Optical Packet-Switched Metropolitan-Area Network Proposal", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 11, No. 5/6, May/June 1993.
- [14] Rajiv Ramaswami., Kumar N. Sivarajan. 1998. *Optical Networks : A Practical Perspective*. United States of America : Morgan Kaufmann Publishers.
- [15] Shun Yao and Biswanath Mukherjee, University of California, Sudhir Dixit, Nokia Research Center, "Advances in Photonic Packet Switching: An Overview.", *IEEE Communications Magazine.*, February 2000 : 84 - 94
- [16] S. J. B. Yoo, "Wavelength Conversion Technologies for WDM Network Applications", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 14, No. 6, June 1996.
- [17] Soeren Lykke Danielson, Benny Mikkelsen, Carsten Joergensen, Terji Durhuus, and Kristian E. Stubkjaer, "WDM Packet Switch Architectures and Analysis of the Influence of Tuneable Wavelength Converters on the Performance", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 15, No. 2, February 1997.

- [18] Soeren Lykke Danielsen, Peter Bukhave Hansen, and Kristian E. Stubkjaer, "Wavelength Conversion in Optical Packet Switching", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 16, No. 12, December 1998.
- [19] Vincenzo Eramo and Marco Listanti, "Packet Loss in a Bufferless Optical WDM Switch Employing Shared Tunable Wavelength Converters ", *J. Lightwave Technol.*, vol. 18, NO. 12. Dec. 2000. pp.1818-1933.
- [20] รศ.ดร.ปรีชา ยุพาพิน. 2541. **เครือข่ายใยแก้วนำแสง**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [21] ธันวา ศรีประโมง. 2537. **การเขียนโปรแกรมภาษาซีสำหรับวิศวกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

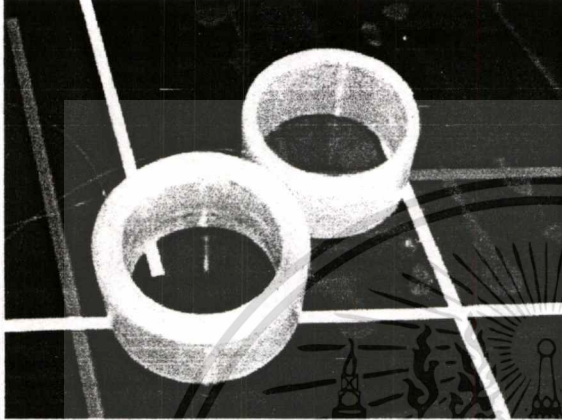
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

- 1) Jirakorn Srikoon, Sittipol Neittanit, Suthichai Nopphanakeepong "Performance Improving Techniques for WDM Optical Packet Switching Architecture." KMITL Science Journal, Vol.1 No.1, January-December 2001, Page 60 – 67.
- 2) Jirakorn Srikoon, Natthapong Kitsuwon, Preecha Thongyad and Suthichai Nopphanakeepong "Performance Analysis of Partially Shared Buffering for Packet Switching." Extended Abstracts The 3rd National Symposium on Graduate Research, July 2002, Page 231 – 232.
- 3) N. Kitsuwon, C. Srikoon, W. Singhaudom, S. Nopphanakeepong " The Evaluation of Optimal Output Buffer Size in Optical Switching" Proceeding of the International Conference on Telecommunications 2002, Beijing, China, Volume 1, Page 1310 - 1313



ภาคผนวก ข.
ตัวอย่างอุปกรณ์ทางแสง

FIBER DELAY COIL



Product Summary

Winding a large fiber spool is easy; but making compact and low loss fiber coils demands attention, precision, and skills. With specially designed & computerized machinery and proprietary manufacturing process, we can produce extremely low insertion loss fiber coils that fit your budget and tight space. No more large fiber spools to occupy your precious space and no more high loss associated with the small size! Our optic fiber coil fills a long overdue vacuum in the photonics market, where large time delay and small size are essential. Each coil is ruggedly packaged to withstand various environments in field applications. Bare coils are available for OEM applications.

Features

- Compact for easy integration into modules
- Low insertion loss
- Customized delay length
- Rugged construction
- Variety of fiber types
- Wide spectral response range

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications

- Optical buffer for optical networks
- Gyroscope, sensing, and signal processing
- Radar calibration and instrument calibration
- Laser spectroscopic measurement
- Fiber laser
- Time delay for opto-electronics oscillators
- Nonlinear fiber loop
- Optical network testing and analyzing
- Optical packet switching, buffering, routing and input/output synchronization

Specifications

Insertion Loss	< 0.3 dB / km (typical), < 0.5 dB / km (maximum) (above intrinsic loss)
Fiber Length	From 10 m up to 4 km
Optic Delay	Nanosecond to microsecond depending on fiber length and type
Wavelength	480 ~ 1620 nm (1290-1620 nm standard, call for other wavelengths)
Fiber Type	SMF-28, Corning LEAF, dispersion shifted, polarization maintaining, dispersion compensating fiber
Operation Temperature	-40 to + 80 ° C
PDL	< 0.01 dB / km
Interface	Pigtailed, connectorized or NoTail version
Dimensions	1.5" (L) x 3.125" (diameter) for fiber length of 1 km; 3.0" (L) x 3.125" (diameter) for fiber length of 2 km

SINGLE MODE TREE/STAR COUPLERS



Features

- Low Excess Loss
- Compact Size
- Various Coupling Ratios
- Excellent Uniformity
- High Quality and Attractively Priced
- Exceptional Environmental Stability

Applications

- Long-haul Telecommunication
- Digital, Hybrid and AM-Video System
- High Speed Local Area Networks
- Military & Aerospace Systems
- Fiber Sensors
- CATV Systems

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

■ Single Window Standard for 1310nm or 1550 nm:

Parameters		Unit	nx4 (n=1, 2, 4)	nx8 (n=1,2,8)	nx16 (n=1,2,16)
Insertion Loss	Max.	dB	6.9	10.5	14.0
Uniformity	Max.	dB	0.9	1.3	1.8
Directivity	Max.	dB	-50		
Operating Wavelength		nm	1310 or 1550		
Bandwidth		nm	± 10		
Operating Temperature		°C	-20 to +70		
Storage Temperature		°C	-20 to +70		
Dimensions		Inch	4.72 x 3.15 x 0.51	5.7 x 4.13 x 0.63	5.7 x 4.13 x 0.63

■ Single Window Wideband for 1310 nm or 1550 nm:

Parameters		Unit	nx4 (n=1, 2, 4)	nx8 (n=1,2,8)	nx16 (n=1,2,16)
Insertion Loss	Max.	dB	7.2	10.8	14.5
Uniformity	Max.	dB	1.2	1.8	2.4
Directivity	Max.	dB	-50		
Operating Wavelength		nm	1310 or 1550		
Bandwidth		nm	± 50		
Operating Temperature		°C	-20 to +70		
Storage Temperature		°C	-20 to +70		
Dimensions		Inch	4.72 x 3.15 x 0.51	5.7 x 4.13 x 0.63	5.7 x 4.13 x 0.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Dual Window for both 1310 & 1550 nm:

Parameters		Unit	nx4 (n=1, 2, 4)	nx8 (n=1,2,8)	nx16 (n=1,2,16)
Insertion Loss	Max.	dB	7.6	10.8	15.5
Uniformity	Max.	dB	1.7	2.6	3.5
Directivity	Max.	dB	-50		
Operating Wavelength		nm	1310 and 1550		
Bandwidth		nm	± 50		
Operating Temperature		°C	-20 to +70		
Storage Temperature		°C	-20 to +70		
Dimensions		lnc	4.72 x 3.15 x	5.7 x 4.13	5.7 x 4.13 x
		h	0.51	x 0.63	0.63

EDFA PUMP WDMs



Product Summary

Our EDFA Pump WDMs are manufactured under strict engineering specifications and tested under rigorous environmental conditions. They are ruggedly built to function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

reliably in a wide variety of environments, and ideal for incorporating in OEM productions

EDFA PUMP WDMs @ 980/1550nm, 1480/1550nm

- Low Excess Loss
- High Wavelength Isolation
- Compact
- Exceptional Environmental and Mechanical Stability
- High Quality and Attractively Priced

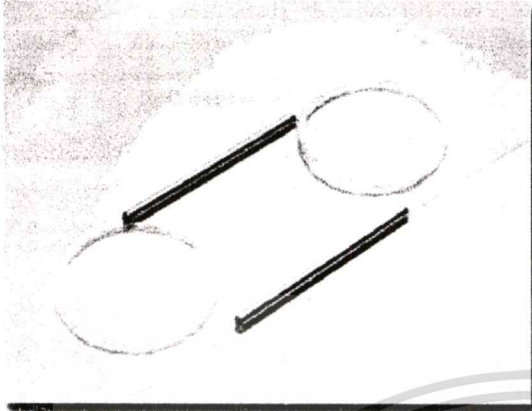
Applications

Er+ Doped Fiber Amplifiers (EDFA)

Specifications

Specifications	980/1550 nm WDM		1480/1550 nm WDM	
	A	B	A	B
Excess Loss (Typical) (dB)	0.3	0.5	0.2	0.3
Max. Insertion Loss (dB)	0.5	0.7	0.6	0.8
Wavelength Isolation (dB)	20	18	11	10
Polarization Sensitivity (dB)	≤0.1	≤0.15	≤0.2	≤0.3
Return Loss (Directivity) (dB)	> 55 (1x2), > 65(2x2)			
Operating Wavelength (nm)	980/1550 □ 20		1480/1550 □ 5	
Operating Temperature (°C)	-40 ~ +85			
Storage Temperature (°C)	-40 ~ +85			
Thermal Stability	0.1 dB typical			
Fiber Size	Corning Flexcore		Corning SMF-28	
Pigtail Length (m)	0.75 or Per Request			
Package	Cylindrical, Diameter: 3 mm (0.12"); Length: 60 mm (2.36")			

FUSED COUPLERS



Product Summary

These are not your ordinary couplers. Our fused couplers are manufactured under strict engineering specifications and tested under rigorous environmental conditions. They are ruggedly built to function reliably in a wide variety of environments, and ideal for mass incorporating in OEM productions.

Features

- High Quality and Attractively Priced
- Available in a Variety of Coupling Ratios
- Compact
- Exceptional Environmental and Mechanical Stability
- Low Excess Loss

Applications

- Long-haul Telecommunication
- Digital, Hybrid and AM-Video System
- Local Area Networks
- Fiber Sensors
- CATV Systems

Specifications

Fused Singlemode Standard Couplers

Coupling Ratio (%)	50		30		10	
Grade	Premium	A	Premium	A	Premium	A
Excess Loss (Typical) (dB)	0.1	0.15	0.1	0.15	0.1	0.15
Max. Insertion Loss (dB)	3.4	3.6	1.8/5.6	1.9/5.9	0.7/10.7	0.9/11.5
Polarization Sensitivity (dB)	≤0.1	≤0.15	≤0.1	≤0.15	≤0.1	≤0.15
Operating Wavelength (nm)	1310, 1550					
Return Loss (Directivity) (dB)	> 55 (1x2), > 65(2x2)					
Operating Wavelength (nm)	1310/1550 ± 10					
Operating Temperature (°C)	-40 ~ +85					
Storage Temperature (°C)	-40 ~ +85					
Thermal Stability	0.1 dB typical					
Fiber Size	Corning SMF – 28 Singlemode					
Pigtail Length (m)	0.75 or Per Request					
Package	Cylindrical, Diameter: 3 mm (0.12"); Length: 54 mm (2.12")					
Coupling Ratio (%)	50		30		10	
Grade	Premium	A	Premium	A	Premium	A
Excess Loss (Typical) (dB)	0.1	0.15	0.1	0.15	0.1	0.15
Max. Insertion Loss (dB)	3.4	3.6	1.8/5.6	1.9/5.9	0.7/10.7	0.9/11.5
Polarization Sensitivity (dB)	≤0.1	≤0.15	≤0.1	≤0.15	≤0.1	≤0.15
Operating Wavelength (nm)	1310, 1550					
Return Loss (Directivity) (dB)	> 55 (1x2), > 65(2x2)					
Operating Wavelength (nm)	1310/1550 ± 10					
Operating Temperature (°C)	-40 ~ +85					
Storage Temperature (°C)	-40 ~ +85					
Thermal Stability	0.1 dB typical					
Fiber Size	Corning SMF – 28 Singlemode					
Pigtail Length (m)	0.75 or Per Request					
Package	Cylindrical, Diameter: 3 mm (0.12"); Length: 54 mm (2.12")					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOTAIL™ DROP-IN COUPKER & WDM



Product Summary

These connecterized couplers and WDMs, smallest in the world, are free of fiber pigtailed and ready to be inserted in optical systems without the headaches of tinkering with fragile and messy fiber tails. Another main feature of these devices is their short optical path delay (~30 cm) between the input and the output, desirable in many systems where the optical path balance is important, such as interferometric systems and fiber laser systems. Additionally, these devices have four strong magnets mounted on the back for temporary and yet secure placement on standard optical tables.

Features

- Short optical path delay
- Compact
- Rugged
- Low excess loss
- Temperature stable
- Environmentally stable
- Easy to insert into fiber optical system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications

Specifications		Couplers	WDMs
Operating Wavelengths (nm)		1310, 1550	1310/1550
Operation Bandwidth		+/- 10 or 50 nm (specify)	+/-20 nm
Wavelength Isolation (dB)		N/A	16 dB min.
Excess Loss (typical/max.)	Intrinsic	0.1/0.3 dB	0.1/0.3 dB
	With Connectors	add 0.5 dB total for 2 connectors	add 0.5 dB total for 2 connectors
Return Loss (directivity)	Intrinsic	1x2:> 55 dB, 2x2: > 65 dB	1x2: > 55 dB, 2x2: > 65 dB
	With Connectors	PC:> 45 dB, APC: intrinsic value	PC:> 45 dB, APC: intrinsic value
Polarization Sensitivity (dB)		+/- 0.1 dB max.	+/- 0.1 dB max.
Thermal Stability		0.1 dB typical	0.1 dB typical
Operating Temperature		-40°C to 85°C	-40°C to 85°C
Storage Temperature		-40°C to 85°C	-40°C to 85°C
Port Configuration		1x2 or 2x2	1x2 or 2x2
Package Dimension		3.5"(L) x 1.5" (W) x 5/8" (H)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน นายจิรากร ศรีคุณ
 วันเดือนปีเกิด วันที่ 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2516
 สถานที่เกิด จังหวัด กรุงเทพมหานคร
 วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าคอมพิวเตอร์
 สถานที่สำเร็จการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
 ปีที่สำเร็จการศึกษา ปีการศึกษา 2539



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 . ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้