

การศึกษาและแก้ไขผลกระทบจากการไม่ตรงกันของตำแหน่งช่องสัญญาณใน
ระบบเครือข่าย W-TDM

STUDYING AND SOLVING THE EFFECT OF UNSYNCHRONIZED
TIME SLOT IN W-TDM NETWORK

สุพรรณณี รัตนวิทย์
SUPANNEE RATTANAWIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974-15-1236-8

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาและแก้ไขผลกระทบจากการไม่ตรงกันของตำแหน่งช่องสัญญาณใน
ระบบเครือข่าย W-TDM

STUDYING AND SOLVING THE EFFECT OF UNSYNCHRONIZED
TIME SLOT IN W-TDM NETWORK



สุพรรณณี รัตนะวิศ

SUPANNEE RATTANAWIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 58574
วัน,เดือน,ปี 26 ส.ค. 2549

พ.ศ. 2547

ISBN 974-15-1236-8



**STUDYING AND SOLVING THE EFFECT OF UNSYNCHRONIZED
TIME SLOT IN W-TDM NETWORK**

SUPANNEE RATTANAWIT

**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**

2004

ISBN 974-15-1236-8

COPYRIGHT 2004

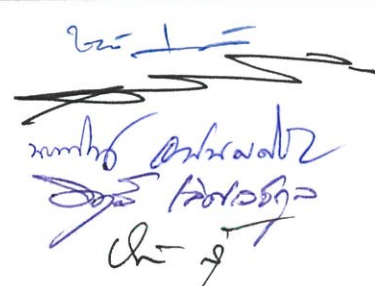
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาและแก้ไขผลกระทบจากการไม่ตรงกันของตำแหน่งช่องสัญญาณในระบบ
เครือข่าย W-TDM
STUDYING AND SOLVING THE EFFECT OF UNSYNCHRONIZED
TIME SLOT IN W-TDM NETWORK

ชื่อนักศึกษา นางสาวสุพรรณณี รัตนะวิศ
รหัสประจำตัว 43061093
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ปิติเขต ผู้รักษา

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ชวลิต เบญจางคประเสริฐ	
ผศ.อุทัย ศรีธีระวิโรจน์	
ผศ.นภพินท์ อนันตรศิริชัย	
ผศ.มยุรี เลิศเวชกุล	
รศ.ดร.ปิติเขต ผู้รักษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 29 กรกฎาคม 2547 เวลา 11.30-13.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (E12-404)



วันที่ ๑๙ เดือน กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๔๗

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาและแก้ไขผลกระทบจากการไม่ตรงกันของตำแหน่งช่องสัญญาณในระบบเครือข่าย W-TDM
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุพรรณิ รัตนะวิศ
รหัสนักศึกษา	43061093
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร.ปิติเขต สุรักษา

บทคัดย่อ

ระบบการสื่อสารแบบ W-TDM เป็นการสื่อสารที่มีการกำหนดช่องสัญญาณเวลาในเฟรม และกำหนดช่วงเวลายอมรับการให้บริการ (service-window) ซึ่งช่วงเวลายอมรับการให้บริการนี้มีไว้เพื่อรองรับความคลาดเคลื่อนของเวลามาถึงของแพ็คเก็ต ทำให้เกิดความยืดหยุ่นของเวลาในการรับและส่งแพ็คเก็ตในแต่ละโหนด ความยืดหยุ่นของเวลานี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของช่วงเวลายอมรับการให้บริการในส่วนของกำหนัดช่องสัญญาณเวลาในเฟรมนั้น เนื่องจากตำแหน่งช่องสัญญาณที่จองได้ในแต่ละโหนดที่อยู่ต่อเนื่องกันอาจจะไม่ตรงกันพอดี มีผลทำให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น เกิดความล่าช้าในการส่งแพ็คเก็ต, การสูญหายของแพ็คเก็ต เป็นต้น ดังนั้นจึงทำการศึกษาถึงผลกระทบของขนาดของช่วงเวลายอมรับการให้บริการ และการไม่ตรงกันของตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาในระบบ W-TDM และศึกษาถึงลักษณะการจองช่องสัญญาณเวลาที่จะทำให้ผลเสียดังกล่าวข้างต้นเกิดขึ้นน้อยที่สุด

Thesis Title	Studying and Solving the Effect of Unsynchronized Time Slot in W-TDM Network
Student	Miss Supanee Rattanawit
Student ID.	43061093
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Pitikhate Sooraksa

ABSTRACT

Window based TDM-like scheduling (W-TDM) is a frame-based with time slot allocation strategy. The system services a packet only if the packet associates with one of the connection determined by a service window at that time. Service-window is supported the flexibility of packet arrival time. The flexibility is depended on service-window size. The effect of this scheduling may occur delay jitter and cell lost because of unsynchronized time slot allocation in a next node relation along the path. The proposal is presented the studying and solving the effect of unsynchronized time slot and size of service-window.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. ปิติเขต สุรักษา และผศ.มยุรี เลิศเวชกุล ที่แนะแนวทางและให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งยังให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าในด้านต่าง ๆ เสมอมาข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณความดีงามของท่านทั้งสองเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และความห่วงใยข้าพเจ้าอยู่เสมอ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ห้อง Data Communication Analysis & Design Laboratory รวมทั้งเพื่อน ๆ ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ และสร้างรอยยิ้มให้แก่ข้าพเจ้าอย่างสม่ำเสมอ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัยฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่บิดาและมารดาซึ่งมีพระคุณที่สุดในชีวิต

สุพรรณณี รัตนะวิศ

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.3	สถาปัตยกรรมภายในสวิตช์ของการสื่อสารระบบ W-TDM.....14
2.1.3.1	ส่วนกรองแพ็กเกต (Windowed-filter).....14
2.1.3.2	ทรานสเลเตอร์ (Translator).....14
2.1.3.3	การจัดลำดับการนำส่งแพ็กเกต (Scheduler).....14
2.1.4	การจัดการหน่วยความจำชั่วคราวหรือบัฟเฟอร์.....15
2.1.4.1	บัฟเฟอร์สำหรับทราฟฟิกที่ต้องการการรับประกันคุณภาพการ ให้บริการ (Guarantee buffer).....15
2.1.4.2	บัฟเฟอร์สำหรับช่องสัญญาณเวลาสำรองเพื่อใช้กรณีที่ทราฟฟิก มาไม่คงที่ (Bursty buffer).....15
2.1.4.3	บัฟเฟอร์สำหรับทราฟฟิกที่ไม่ต้องการการรับประกันคุณภาพการ ให้บริการ (Best effort buffer).....16
2.1.5	ส่วนส่งออกแพ็กเกต.....17
2.1.6	ส่วนบงชี้ลำดับของแพ็กเกต.....18
2.2	วิธีการสำรองแบนด์วิดท์แบบต่าง ๆ.....18
2.2.1	วิธีการจองช่องสัญญาณแบบตายตัว.....18
2.2.2	วิธีการจองช่องสัญญาณแบบไดนามิค.....19
2.2.2.1	วิธีการจองช่องสัญญาณแบบอ้างอิงการใช้งานบัฟเฟอร์.....19
2.2.2.2	วิธีการจองช่องสัญญาณแบบอะแดปทีฟ.....20
2.2.2.3	วิธีการจองช่องสัญญาณแบบเรียงตามลำดับ.....21
2.2.2.4	วิธีการจองช่องสัญญาณแบบ Rate-base dynamic.....21
2.2.3	วิธีการจองช่องสัญญาณเวลาโดยใช้วิธีคำนวณคาตคะเนเวลา ของแพ็กเกต.....22
2.2.3.1	Packetized generalized processor sharing.....23
2.2.3.2	Self-clocked fair queuing.....23
2.2.3.3	Non-idling virtual clock.....24
2.2.3.4	Idling virtual clock.....24
2.2.4	วิธีการจองช่องสัญญาณแบบ Weighted Round Robin.....25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.5 วิธีการจองช่องสัญญาณแบบกระจายช่องสัญญาณเวลา	27
บทที่ 3 ปัญหาที่พบและวิธีการแก้ไขปัญหาในระบบการสื่อสารแบบ W-TDM.....	28
3.1 การนำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาในระบบการสื่อสารแบบ W-TDM.....	28
3.1.1 ขนาดของช่วงเวลาการให้บริการ (service-window).....	29
3.1.1.1 เวลาหน่วง	29
3.1.1.2 อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต.....	31
3.1.1.3 การปฏิเสธการร้องขอ.....	32
3.1.2 การจองช่องสัญญาณเวลาภายในเฟรม.....	34
3.1.2.1 การจองช่องสัญญาณเวลาแบบค้นหาตามลำดับ.....	37
3.1.2.2 การจองช่องสัญญาณเวลาแบบสุ่มเลือก.....	39
3.1.2.3 การจองช่องสัญญาณเวลาแบบผสม.....	41
3.1.3 การกระจายของช่องสัญญาณในเฟรม.....	44
3.1.3.1 การกระจายการจองช่องสัญญาณแบบค้นหาตามลำดับ.....	46
3.1.3.2 การกระจายการจองช่องสัญญาณเวลาแบบสุ่มเลือก.....	47
3.1.3.3 การกระจายการจองช่องสัญญาณเวลาแบบผสม.....	48
3.2 ออกแบบการทดลอง.....	51
3.2.1 การออกแบบโมเดลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบจำลอง.....	51
3.2.1.1 โหนดต้นทางหรือโหนดปลายทาง.....	51
3.2.1.1.1 ทราานโมดูล	52
3.2.1.1.2 เอ็นโมดูล.....	52
3.2.1.2 สวิตซ์ชิงโหนด.....	57
3.2.1.2.1 ทราานโมดูล.....	57
3.2.1.2.2 โมดูลการจัดการ.....	58
3.2.1.2.3 สวิตซ์ชิงโหนด.....	65
3.2.1.3 โหนดควบคุม.....	70

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	70
4.1 กระบวนการจำลองระบบเครือข่ายและการทดลอง.....	70
4.2 ผลการทดลอง.....	74
4.2.1 ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดวินโดว์ต่อประสิทธิภาพของ ระบบ.....	74
4.2.2 ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของรูปแบบการจองช่องสัญญาณเวลาต่อ ประสิทธิภาพของระบบ.....	77
4.2.3 ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของการกระจายการจองช่องสัญญาณ เวลาต่อประสิทธิภาพของระบบ.....	78
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	80
5.1 สรุปผลการออกแบบและการวิเคราะห์.....	80
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา	81
เอกสารอ้างอิง	82
ภาคผนวก	84
ภาคผนวก ก บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์	85
ประวัติผู้เขียน	91

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางเส้นทาง.....	61
3.2 ตารางรายละเอียดการเชื่อมโยง.....	64
3.3 ตารางจัดลำดับแพ็คเกจเพื่อส่งออก.....	64

สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
2.1 โครงสร้างของเฟรม (Frame Structure).....	10
2.2a ช่วงเวลาขอรับบริการให้บริการ (service window) หรือ วินโดว์ ณ เวลา t_3	11
2.2b การเลื่อนวินโดว์จากช่องสัญญาณเวลาตำแหน่งที่ 4 ไปยังตำแหน่งที่ 5.....	11
2.2c ขอบเขตการตัดสินใจให้บริการของวินโดว์ ในช่องสัญญาณเวลาที่ 7 ซึ่งสำรองไว้ให้ การเชื่อมโยง A	11
2.3 ให้เห็นถึงช่องสัญญาณเวลาแบบ B (Bursty slot) และ E (Best effort slot) ที่สามารถได้รับ การบริการเนื่องจากอยู่ในช่วงของวินโดว์โดยตลอด.....	12
2.4 โครงสร้างของสวิตช์ในหลักการของ W-TDM.....	14
2.5a ส่วนหัวของบัพเฟอร์สำหรับทราฟฟิกที่ไม่ต้องการการรับประกันคุณภาพ การให้บริการ	16
2.5b ส่วนส่งออก (Forwarding) ที่สัมพันธ์กับวินโดว์ซึ่งครอบคลุม 10 ช่องสัญญาณเวลา.....	16
2.5c การสำรองบัพเฟอร์สำหรับทราฟฟิกที่ไม่ต้องการการรับประกันคุณภาพการให้บริการ ของ 6 ช่องสัญญาณเวลา.....	17
2.6 แบบจำลองสถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อแบบ 2 โหนด.....	18
2.7a อัลกอริทึมการจองช่องสัญญาณเวลาแบบตามลำดับช่องสัญญาณ.....	26
2.7b อัลกอริทึมการจองช่องสัญญาณเวลาแบบกระจายช่องสัญญาณ.....	27
2.8 การส่งแพ็กเก็ตโดยใช้การจองช่องสัญญาณแบบกระจายช่องสัญญาณเวลา.....	28
3.1 แสดงลักษณะการให้บริการโดยใช้หลักการของวินโดว์.....	29
3.2 ลักษณะการจองช่องสัญญาณเวลาในแต่ละเฟรมย่อย.....	35
3.3 กระบวนการของการเชื่อมต่อเส้นทาง.....	36
3.4 ขอบเขตการพิจารณาการจองตำแหน่งช่องสัญญาณเวลา.....	36
3.5 การพิจารณาเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบค้นหาตามลำดับ.....	37
3.5 การพิจารณาเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบค้นหาตามลำดับ (ต่อ).....	38
3.6 การพิจารณาเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบสุ่มเลือก.....	40
3.7 การพิจารณาเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบผสม.....	42
3.8 แสดงการจองช่องสัญญาณแบบชิงโครน์ตรงตามช่องสัญญาณเวลา.....	43

สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
3.9	การจองช่องสัญญาณเวลาโดยไม่มีการกระจายตำแหน่งในการจองช่องสัญญาณเวลา.....44
3.10	ขอบเขตของการจองช่องสัญญาณเวลาโดยพิจารณาการกระจายช่องสัญญาณ.....46
3.11	การพิจารณาตำแหน่งแรกของเฟรมย่อยเพื่อหาช่องสัญญาณที่ต้องการ.....49
3.12	การกระจายการจองช่องสัญญาณเวลา.....50
3.13	โครงสร้างโมเดลภายในโหนดต้นทางหรือโหนดปลายทาง.....51
3.14	โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในทรานโมดูล.....52
3.15	โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในเอ็นโมดูล.....53
3.16	โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในกระบวนการสร้างแพ็กเก็ตร้องขอเพื่อ เชื่อมโยงเส้นทางย่อย.....54
3.17	โครงสร้างของแพ็กเก็ตร้องขอเพื่อเชื่อมโยงเส้นทาง.....54
3.18	โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในกระบวนการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลย่อย.....55
3.19	โครงสร้างแพ็กเก็ตข้อมูล.....56
3.20	โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในสวิตช์โมดูลของโหนดต้นทางและปลายทาง.....57
3.21	โครงสร้างแบบจำลองภายในสวิตช์ชิงโหนด.....57
3.22	โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในโมดูลการจัดการ.....58
3.23	การพิจารณาหาตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่ชิงโครนัสกัน.....61
3.24	โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในสวิตช์โมดูล.....66
3.25	ขั้นตอนการทำงานของสถานะรับแพ็กเก็ตข้อมูล (data state) ภายในสวิตช์โมดูล.....68
3.26	โครงสร้างแบบจำลองภายในโหนดควบคุม.....69
3.27	โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในโมดูลควบคุม.....69
4.1	ระบบเครือข่าย W-TDM.....70
4.2	ระยะทางระหว่างอุปกรณ์แต่ละตัวภายในระบบเครือข่าย W-TDM.....71
4.3	ประสิทธิภาพกระบวนการเชื่อมโยงข้อมูลเมื่อกำหนดให้ขนาดวินโดว์ เท่ากับ 10 ช่องสัญญาณเวลา.....74
4.4	ประสิทธิภาพกระบวนการเชื่อมโยงข้อมูลเมื่อกำหนดให้ขนาดวินโดว์ เท่ากับ 15 ช่องสัญญาณเวลา.....74

สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
4.5 ประสิทธิภาพกระบวนการเชื่อมโยงข้อมูลเมื่อกำหนดให้ขนาดวินโดว์ เท่ากับ 20 ช่องสัญญาณเวลา.....	75
4.6 เวลาหน่วงเฉลี่ยที่เมื่อใช้วินโดว์ขนาด 10, 15 และ 20 ช่องสัญญาณเวลา.....	75
4.7 อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลโดยเฉลี่ยเมื่อใช้วินโดว์ ที่มีขนาด 10, 15 และ 20 ช่องสัญญาณเวลา.....	76
4.8 อัตราการเกิดการปฏิเสธการร้องขอเมื่อทำการใช้วิธีการจองช่องสัญญาณต่าง ๆ กัน.....	77
4.9 อัตราการเกิดการการสูญหายของแพ็กเก็ตเมื่อไม่ใช้วิธีการกระจายช่องสัญญาณเวลา และใช้วิธีการกระจายช่องสัญญาณเวลา.....	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบ W-TDM เป็นวิธีการที่ถูกนำเสนอขึ้นมาใหม่เพื่อนำมาใช้ในการบริหารทรัพยากรในระบบเครือข่ายสลับแพ็กเก็ตในการให้บริการโดยกำหนดช่วงเวลายอมรับการให้บริการ (Service window) หรือวินโดว์มาประยุกต์ใช้กับการให้บริการแบบ TDM (Time Division Multiplexing) ซึ่งวิธีการนี้จะให้บริการกับช่องสัญญาณบนเฟรมเฉพาะช่องสัญญาณที่ถูกพิจารณาโดยวินโดว์ ณ เวลาใดๆ เท่านั้น วินโดว์จะถูกใช้ในการพิจารณาการให้บริการและจะเลื่อนไปที่ละช่องสัญญาณเวลาในทิศทางเดิมเสมอซึ่งวิธีการนี้จะคล้ายกับการจัดการแบบหมุนวนแต่มีขอบเขตการให้บริการอยู่ภายในขอบเขตของวินโดว์ นั่นคือแพ็กเก็ตที่เข้ามา ณ เวลาใด ๆ จะได้รับบริการส่งผ่านไปยังสวิตช์เพื่อส่งไปยังบัพเฟอร์ขาออกได้ก็ต่อเมื่อแพ็กเก็ตนั้นเป็นแพ็กเก็ตของช่องสัญญาณที่ได้สำรองช่องสัญญาณเวลาเอาไว้แล้ว และช่องสัญญาณนั้นกำลังอยู่ภายในขอบเขตการพิจารณาของวินโดว์ ณ ขณะนั้นเท่านั้น

หลักการของ W-TDM อาจอธิบายได้ว่าเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบกึ่งซิงโครนัส (Semi-Synchronous transfer mode) โดยอาศัยการกำหนดขนาดของเฟรมและหลักการของวินโดว์จึงทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการให้บริการได้มากกว่าการบริการของ TDM อีกทั้งการกำหนดขนาดของวินโดว์จะทำให้การจัดการบริหารทรัพยากรเป็นไปได้ง่ายขึ้น และลดความยุ่งยากในการออกแบบทั้งส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ควบคุม นอกจากนี้การให้บริการในลักษณะกราฟฟิคที่ต้องการแบนด์วิดท์คงที่ (CBR : Constant Bit Rate) ในหลักการของ W-TDM นั้น จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น (ทำให้กราฟฟิค มีระบบระเบียบมากขึ้น) คล้ายกับการให้บริการของ STM ในระบบ Q-STM และหลักการของวินโดว์ยังทำให้เกิดการรับประกันการบริการในการสื่อสารแบบกราฟฟิคที่ต้องการแบนด์วิดท์ไม่คงที่ (VBR : Variable Bit Rate) และ ABR (Avariable Bit Rate) โดยทำให้มีขอบเขตของเวลาหน่วง (delay – bound) และทำให้เกิดการแกว่งของเวลาหน่วงน้อยลงด้วย (small delay-jitter) และการที่จะทำให้น่าจะเป็นของการสูญหายแพ็กเก็ตลดลงสามารถทำได้โดยการเพิ่มช่องสัญญาณเวลาแบบนี้สำรองไว้สำหรับการใช้งานของการสื่อสารของกราฟฟิคที่มีอัตราการส่งไม่คงที่มารองรับ

ส่วนที่เป็นการจัดการโครงสร้างของเฟรมนั้นจะพิจารณาเวลาโดยแบ่งออกเป็นเฟรม ซึ่งอาจจะกำหนดให้มีขนาดคงที่หรือไม่คงที่ก็ได้ แต่ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดลองโดยกำหนดขนาดของเฟรมให้คงที่ แนวคิดในการจัดการช่องสัญญาณเวลานั้นจะทำการจัดสรรช่องสัญญาณเวลาใน

เฟรมขนาดคงที่ ซึ่งจะมีผลต่อการทำการซิงโครไนส์ (Synchronous) และทำให้การจัดการง่ายขึ้น แพ็กเก็ตที่เข้ามาจะถูกเก็บในบัฟเฟอร์ในช่วง 1 หรือ 2 เฟรม เพื่อให้เกิดการซิงโครไนส์ระหว่างช่องสัญญาณเวลาของเส้นทางเชื่อมโยงขาเข้า (incoming link) และช่องสัญญาณเวลาของเส้นทางเชื่อมโยงขาออก (outgoing link) ของทุกๆ ช่องสื่อสาร (channel) นอกจากนี้การกำหนดช่องสัญญาณเวลาในเฟรมนั้น ตำแหน่งช่องสัญญาณที่จะได้ในแต่ละโหนดที่อยู่ต่อเนื่องกันอาจจะไม่ตรงกันพอดี คือของตำแหน่งที่ไม่อยู่ภายในช่วงเวลายอมรับการให้บริการ ดังนั้นจึงไม่ได้รับการให้บริการในทันทีทำให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น เกิดความล่าช้าในการส่งแพ็กเก็ต, การสูญหายของแพ็กเก็ต เป็นต้น จึงต้องหาวิธีการจองช่องสัญญาณให้ตรงกันพอดีกับบริเวณที่อยู่ภายในช่วงเวลายอมรับการให้บริการ

เนื่องจากระบบการสื่อสารแบบ W-TDM เป็นระบบการสื่อสารที่มีการกำหนดช่องสัญญาณเวลาที่ตายตัวในเฟรมให้แก่ช่องสัญญาณและกำหนดช่วงเวลายอมรับการให้บริการ ดังนั้นขนาดของช่วงเวลายอมรับการให้บริการจึงมีความสำคัญมากเพราะถ้าหากว่าช่วงเวลายอมรับการให้บริการมีขนาดใหญ่เกินไป ขอบเขตในการพิจารณาก็จะมากทำให้เกิดความล่าช้าในการค้นหาข้อมูลของเส้นทาง แต่ถ้าช่วงเวลายอมรับการให้บริการมีขนาดเล็กเกินไปเวลาที่ใช้รอช่วงเวลายอมรับการให้บริการจะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงต้องหาขนาดของช่วงเวลายอมรับการให้บริการที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

- วิจัยและศึกษาถึงขนาดของวินโดวให้เหมาะสมกับเฟรมของระบบการสื่อสารแบบ W-TDM โดยวัดผลกระทบที่มีต่อระบบ เช่น เวลาหน่วงการประมวลผล เวลาหน่วงการบัฟเฟอร์ของข้อมูล เวลาหน่วงในการส่งแพ็กเก็ตจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง และอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต

- วิจัยและศึกษาวิธีการเลือกตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่ต้องการภายในเฟรมของระบบการสื่อสารแบบ W-TDM โดยการใช้การพิจารณาเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบค้นหาตามลำดับ การพิจารณาเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบสุ่มเลือกและการพิจารณาเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบผสม

- วิจัยและศึกษาการกระจายช่องสัญญาณในเฟรมของระบบการสื่อสารแบบ W-TDM ในกรณีที่เกิดจากความต้องการของการเชื่อมโยงต้องการช่องสัญญาณน้อยกว่า 1 ช่องสัญญาณภายใน 1 เฟรมโดยใช้หลักการแบ่งเฟรมเป็นเฟรมย่อยขนาดเท่า ๆ กัน แล้วจึงทำการจองช่องสัญญาณให้แก่การเชื่อมโยงนั้นโดยกระจายช่องสัญญาณหนึ่งแพ็กเก็ตของการเชื่อมโยงต่อหนึ่งเฟรมย่อย

1.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.3.1 หลักการสื่อสารแบบ W-TDM

- W-TDM เป็นแบบหลักการสื่อสารแบบที่ต้องมีการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางก่อนการส่งข้อมูลที่ต้องมีการสำรองช่องสัญญาณก่อนใช้ โดย W-TDM สามารถให้บริการได้ทั้งในลักษณะทราฟฟิกที่ต้องการแบนด์วิดท์คงที่ (CBR : Constant Bit Rate) และแบนด์วิดท์ไม่คงที่ (VBR : Variable Bit Rate)

- ช่องสัญญาณรวมจะถูกแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณย่อยที่เรียกว่าช่องสัญญาณเวลา โดยช่องสัญญาณเวลานี้จะมีจำนวนจำกัดและจะได้รับบริการในลักษณะวนรอบเช่นเดียวกับการให้บริการแบบหมุนวนโดยช่วงเวลาในการวนรอบเรียกว่าช่วงเวลาเฟรม

- ช่องสัญญาณเวลาทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณเวลาที่ต้องการการรับประกันการให้บริการและช่องสัญญาณเวลาที่ใช้งานร่วมกัน

- การเชื่อมโยงใดๆ (connection) จะได้รับการรับประกันการให้บริการก็ต่อเมื่อสามารถสำรองช่องสัญญาณเวลาที่สามารถรองรับการใช้งานได้ตามที่ต้องการแล้วเท่านั้น

- ทราฟฟิกของการเชื่อมโยงใดๆ จะได้รับการประกันคุณภาพของการให้บริการตามระดับที่ตกลงกันไว้ก็ต่อเมื่อ การเชื่อมโยงนั้นๆ ได้ปรับแต่งทราฟฟิกของตนให้สอดคล้องกับกฎเกณฑ์ของระบบ W-TDM ด้วย

1.3.1.1 ข้อดีของระบบการสื่อสารแบบ W-TDM

- เนื่องจากขอบเขตของการให้บริการมีจำกัดทำให้ความต้องการทรัพยากรในสวิตช์โหนดลดน้อยลง ทั้งขนาดของบัพเฟอร์ และความเร็วของ CPU แต่ยังสามารถควบคุมเวลามากที่สุดที่ต้องใช้ในการค้นหาข้อมูลในตารางทรานสเลชันได้ด้วย

- การสูญหายในชั้นของการควบคุมแพ็กเก็ตอาจจะไม่เกิดขึ้นเลย ถ้าหากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกของแต่ละการเชื่อมโยงสามารถปรับแต่งทราฟฟิกให้เหมาะสมกับช่องสัญญาณเวลาที่จับจองไว้ได้

- พฤติกรรมการสื่อสารของแต่ละการเชื่อมโยงไม่อาจจะส่งผลกระทบต่อเชื่อมโยงอื่นๆ ได้เพราะเป็นการให้บริการที่แยกการรับประกันการบริการตามความต้องการของแต่ละการเชื่อมต่อ

1.3.1.2 ข้อเสียของระบบการสื่อสารแบบ W-TDM

- แพ็กเก็ตของการเชื่อมต่อที่มีถึงช้ากว่าเวลาที่กำหนด จะถูกลบทิ้งดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มอัตราการทำสูญหายของแพ็กเก็ตได้

- W-TDM จะมีประสิทธิภาพลดลงถ้านำไปเป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูลที่มีแหล่งกำเนิดทราฟฟิกเป็นโฮสต์หรือระบบเครือข่ายที่ไม่มีการจัดรูปแบบของทราฟฟิกให้สอดคล้องกับช่องสัญญาณเวลาที่จองไว้ในระบบ W-TDM

1.4 วิธีการที่นำเสนอ

เป็นการนำเสนอการศึกษากระบวนการสื่อสารแบบ W-TDM และหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ เนื่องจากระบบ W-TDM เป็นวิธีการที่ถูกนำเสนอขึ้นใหม่เพื่อนำมาใช้ในการบริหารทราฟฟิกในระบบเครือข่ายสลับแพ็กเก็ตในการให้บริการโดยกำหนดช่วงเวลายอมรับการให้บริการ ดังนั้นระบบ W-TDM จึงรับประกันคุณภาพการให้บริการเฉพาะแพ็กเก็ตที่มีมาตรงตามเวลาที่จองช่องสัญญาณเวลาไว้ แต่ก็อาจจะยืดหยุ่นเวลาการมาถึงของแพ็กเก็ตให้อยู่ในช่วงเวลาที่ยอมรับการให้บริการได้ ดังนั้นจึงเสนออัลกอริทึมการจองช่องสัญญาณเวลาภายในเฟรมให้อยู่ในช่วงเวลาที่ยอมรับการให้บริการ และอัลกอริทึมการกระจายการจองช่องสัญญาณเวลาในกรณีที่มีการเชื่อมโยงนั้นต้องการช่องสัญญาณเวลามากกว่า 1 ช่องสัญญาณต่อหนึ่งเฟรม เพื่อลดเวลาการรอคอยการให้บริการ และอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต นอกจากนี้ยังเสนอขนาดของช่วงเวลาที่ยอมรับการให้บริการที่เหมาะสมต่อทราฟฟิก โดยคำนึงถึงผลกระทบต่าง ๆ เช่น เวลาหน่วงของระบบ, อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต และอัตราการปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยง

1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- จำลองหลักการ W-TDM บนโปรแกรมจำลองการทำงานระบบเครือข่าย Opnet โดยจะทำการพิจารณาเฉพาะช่องสัญญาณเวลาแบบที่ต้องการการรับประกันการให้บริการที่ให้บริการแก่ทราฟฟิกแบบ CBR หรือคงที่เท่านั้น

- ในการพิจารณาการให้บริการแก่แพ็กเก็ตนั้นจะใช้หลักการของวินโดว์ คือ จะบริการเมื่อแพ็กเก็ตนั้นอยู่ภายในวินโดว์ ถ้าแพ็กเก็ตนั้นมาหลังจากช่วงเวลาการให้บริการแพ็กเก็ตนั้นจะถูกลบทิ้ง

- พัฒนาการกระจายช่องสัญญาณในเฟรมของระบบการสื่อสารแบบ W-TDM โดยใช้หลักการแบ่งเฟรมเป็นเฟรมย่อยขนาดเท่า ๆ กัน แล้วจึงทำการจองช่องสัญญาณให้แก่การเชื่อมโยงนั้น โดยกระจายช่องสัญญาณหนึ่งแพ็กเก็ตของการเชื่อมโยงต่อหนึ่งเฟรมย่อย ในกรณีที่เกิดจากความต้องการของการเชื่อมโยงต้องการช่องสัญญาณย่อยมากกว่า 1 ช่องสัญญาณภายใน 1 เฟรม โดยพิจารณาเฉพาะภายในโหนด

- วิจัยและศึกษาวิธีการหาตำแหน่งช่องสัญญาณที่ต้องการภายในเฟรมของระบบการสื่อสารแบบ W-TDM โดยการใช้การพิจารณาเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบค้นหาตามลำดับ การ

พิจารณาเลือกของช่องสัญญาณเวลาแบบสุ่มเลือกและการพิจารณาเลือกของช่องสัญญาณเวลาแบบผสม

- หาขนาดของวินโดวให้เหมาะสมกับเฟรมของระบบการสื่อสารแบบ W-TDM โดยวัดผลกระทบที่มีต่อระบบ เช่น เวลาหน่วงการประมวลผล เวลาหน่วงการบัฟเฟอร์ของข้อมูล เวลาหน่วงในการส่งแพ็กเก็ตจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง และอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต

1.6 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์

1. กำหนดจุดประสงค์ หัวข้อ และขอบเขตการทำวิทยานิพนธ์
2. ศึกษาทฤษฎี หลักการพื้นฐาน ข้อมูล และแนวคิดที่จะนำมาใช้ในการทำวิทยานิพนธ์
3. ออกแบบและสร้างโมเดลจำลองการทำงานของระบบการสื่อสารแบบ W-TDM ลงบนโปรแกรมจำลองการทำงานระบบเครือข่าย Opnet
4. ออกแบบ สร้างโมเดลจำลองและทำการทดลองวิธีการกระจายช่องสัญญาณ, การหาตำแหน่งช่องสัญญาณที่ต้องการจอง และหาขนาดวินโดวให้เหมาะสมสำหรับระบบสื่อสารแบบ W-TDM บนโปรแกรมจำลองระบบเครือข่าย Opnet
5. สรุป วิเคราะห์ผลการทดลอง และนำเสนอแนวทางในการทำวิจัยต่อไป
6. จัดทำเอกสารประกอบวิทยานิพนธ์

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้กล่าวถึงความเป็นมา ความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ทฤษฎี และหลักการที่นำมาใช้ในงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ขั้นตอนการทำงาน และโครงสร้างของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

- ระบบการสื่อสารแบบ W-TDM
- วิธีการสำรองแบนด์วิดท์แบบต่าง ๆ

บทที่ 3 ปัญหาที่พบและวิธีการแก้ไขปัญหาในระบบการสื่อสารแบบ W-TDM

ในบทนี้จะอธิบายถึงปัญหาที่พบและวิธีการแก้ไขปัญหาในระบบการสื่อสารแบบ W-TDM รวมทั้งวิธีการทดลองและผลการทดลอง

- การออกแบบโมเดลจำลองระบบสื่อสารแบบ W-TDM
- การออกแบบโมเดลจำลองการจองช่องสัญญาณสำหรับระบบสื่อสารแบบ W-TDM

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5 บทสรุปและแนวทางในการพัฒนา อธิบายถึงบทสรุปและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันระบบการสื่อสารมีการให้บริการอยู่หลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทมีความต้องการการบริการและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน เช่น การสื่อสารแบบอัตราเร็วคงที่ (Constant bit rate, CBR) ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลซึ่งต้องการความทนทานต่อการสูญหายของข้อมูล (cell lost tolerance) และไม่มีแกว่งของเวลาหน่วง (delay jitter) ส่วนการสื่อสารที่มีอัตราเร็วไม่คงที่ เช่น Available Bit Rate (ABR) และ Variable Bit rate (VBR) มีทั้งการสื่อสารข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Real time) และแบบไม่ต่อเนื่อง (Non - real time) ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดที่สร้างทราฟฟิก (Traffic) ออกมาและคุณสมบัติในการใช้งาน (Usage characteristics) ของการสื่อสารระบบนั้น การสื่อสารที่เป็นแบบไม่ต่อเนื่องส่วนใหญ่จะต้องการความสามารถในการรวมข้อมูลหลายประเภท และรองรับการไม่คงที่ของทราฟฟิก (Bursty traffic) ขณะที่การสื่อสารแบบต่อเนื่องจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ Non-adaptive real time application และ Adaptive real time application ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะสร้างทราฟฟิกออกมาอย่างต่อเนื่อง อัตราการส่งอาจจะเป็นแบบคงที่หรืออาจจะเป็นแบบไม่คงที่ขึ้นอยู่กับเทคนิคการบีบอัดข้อมูล (Data compression) แต่แพ็กเก็ตของทราฟฟิกแบบต่อเนื่องจะไม่มี ความหมายเลยหากแพ็กเก็ตมาไม่ตรงเวลา นั่นคือทราฟฟิกแบบนี้จะทำการควบคุม ไม่มีการแกว่งของเวลาหน่วงเกิดขึ้นเนื่องมาจากการสื่อสารข้อมูล สิ่งที่แตกต่างกันของ Adaptive และ Non-adaptive real time จะต่างกันที่ความทนทานต่อเวลาหน่วง (Delay Tolerance) ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติของบัฟเฟอร์ข้อมูลที่ตัวรับ (Data buffering) จะต้องทำงานสัมพันธ์กับสถานะของทราฟฟิกที่ส่งมาในระบบ (Network traffic situation) และเนื่องจากการสื่อสารแต่ละประเภท ต้องการการรับประกันการบริการ (Quality of service guarantee) ในระดับที่ต่างกัน เช่น ความต้องการแบนด์วิดท์ (bandwidth) ในการใช้งาน ความทนทานต่อเวลาหน่วง และการแกว่งของเวลาหน่วง วิธีการหนึ่งที่จะเตรียมการรับประกันคุณภาพให้เฉพาะสำหรับการสื่อสารแต่ละประเภท คือ การนำการจัดลำดับการนำส่งแพ็กเก็ต (scheduling) เฉพาะสำหรับการสื่อสารแต่ละแบบมา เพิ่มลงในสวิตชิงโหนดในระบบการสื่อสารนั้น ๆ การทำงานของการกำหนดการเป็นการทำงาน ของสวิตชิงโหนดในส่วนที่ทำการจัดเรียงลำดับชุดข้อมูลแพ็กเก็ตและจัดลำดับการส่งออกไปยัง พอร์ตขาออก (output port) ซึ่งการจัดลำดับการนำส่งแพ็กเก็ตที่จะอธิบายในบทนี้ใช้การจัดเรียง ข้อมูลตามลำดับความสำคัญ (sorted-priority) และรูปแบบการจัดการเฟรม (frame-based strategy)

ส่วนที่เป็นการจัดเรียงตามลำดับความสำคัญนั้นจะมีตัวแปรที่อ้างอิงถึงเวลาที่สัมพันธ์กับ เส้นทางเชื่อมโยงขาออก (outgoing-link) ของแต่ละสวิตช์และแพ็กเก็ตที่ได้รับเข้ามาก็จะมีการ

บันทึกเวลาเข้าตามจริง การจัดลำดับการนำส่งแพ็กเก็ตจะทำการแยกและจัดเรียงแพ็กเก็ตในบัฟเฟอร์ขาออก (output buffer) ของสวิตช์ตามเวลาการเข้ามาที่บันทึกไว้และส่งผ่านไปยังบัฟเฟอร์ขาออกที่จองไว้ ตัวอย่างที่พบอยู่ใน Virtual clock [3] Weighted fair Queuing [4] และ Delay - EDD [5]

แนวคิดในการจัดการช่องสัญญาณเวลานั้นจะทำการจัดสรรช่องสัญญาณเวลาในเฟรมขนาดคงที่ ซึ่งจะมีผลต่อการซิงโครนัส (Synchronous) และทำให้การจัดการง่ายขึ้น แพ็กเก็ตที่เข้ามาจะถูกเก็บในบัฟเฟอร์ในช่วง 1 หรือ 2 เฟรม เพื่อให้เกิดการซิงโครนัสระหว่างช่องสัญญาณเวลาของเส้นทางเชื่อมโยงขาเข้า (incoming link) และช่องสัญญาณเวลาของเส้นทางเชื่อมโยงขาออก (outgoing link) ของทุก ๆ ช่องสื่อสาร (channel) ในเอกสารอ้างอิง [7] จะพบปัญหาในเรื่องของเวลาหน่วงในการจัดคิวในสวิตช์ชนิด (intermediate node) ซึ่งบัฟเฟอร์คิว (queuing buffer) ที่ว่างอยู่จะทำให้เสียแบนด์วิดท์ (bandwidth) โดยเปล่าประโยชน์ วิธีการที่จะแก้ไขคือให้ทราบที่พิดของการเชื่อมโยง (connection) ขึ้นใช้งานช่องสัญญาณเวลาว่างเหล่านี้ได้ [8]

หลักการของ Q-STM [8] สามารถรองรับการสื่อสารระบบ Static STM และ Statistically ATM ซึ่ง STM นั้นจะได้รับการบริการแบบรับประกันการบริการในขณะที่ ATM เป็นการให้บริการแบบไม่รับประกันคุณภาพ (Best Effort Connection) การจัดการสำหรับ ATM นั้นเป็นการจัดการเพื่อใช้ช่องสัญญาณเวลาว่างที่เหลือจาก STM โดยไม่ทำให้เสียแบนด์วิดท์ไป ซึ่งผลที่ได้ช่วยลดการสูญหายของข้อมูล (cell lost ratio) ลดเวลาหน่วงในการส่งผ่านแพ็กเก็ต (cell transmission delay) ลดการแกว่งของเวลาหน่วง (cell delay various) สำหรับการส่งผ่านแบบ STM แต่ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับภาระงานทั้งหมด (โดยภาระงานทั้งหมดต้องไม่เกิน 75 %) ดังนั้นวิธีการ Q-STM จึงค่อนข้างจะสิ้นเปลืองที่จะนำมาใช้จริง

ดังนั้นการเตรียมการรับประกันคุณภาพของการบริการในระบบ B-ISDN นั้นจะต้องมีโมเดลการสื่อสารและการจัดการช่องสัญญาณเวลาที่แยกการรับประกันคุณภาพการบริการตามประเภทของ ทราฟฟิกที่มาจาก การเชื่อมโยงต่าง ๆ เช่น การให้บริการการสื่อสารแบบอัตราเร็วคงที่ (Constant Bit Rate, CBR) จะเป็นเหมือนการสื่อสารระบบ TDM (Time Division multiplex) เนื่องจากการให้บริการแบบ TDM นั้นมีการสำรองช่องสัญญาณเวลาให้แบบคงที่ และมีการใช้งานช่องสัญญาณเวลาตามที่ได้ทำการจองเอาไว้ และใช้เวลาในการสวิตช์แพ็กเก็ตในการจัดแพ็กเก็ตลงในเฟรมและให้บริการเฉพาะช่องสื่อสารที่ได้รับการสำรองช่องสัญญาณเวลาไว้ให้เท่านั้น วิธีการส่งแบบนี้เป็นผลดีกับการแยกทราฟฟิกอย่างชัดเจน เพราะไม่มีการอนุญาตให้ทราฟฟิกอื่นมาใช้งานช่องสัญญาณเวลาที่จองไว้แล้ว แต่ข้อเสียคือทำให้การจัดการเป็นไปแบบตายตัวเกิดการสูญเสียแบนด์วิดท์ในแต่ละช่องสื่อสารได้หากมีช่องสัญญาณเวลาว่าง และช่องสื่อสารอื่นไม่สามารถมาร่วมใช้ช่องสัญญาณเวลาที่ว่างนั้นได้ จึงทำให้การใช้งานทรัพยากรในระบบไม่เต็มที่

2.1 การสื่อสารแบบ W-TDM [1]

ระบบ W-TDM เป็นวิธีการใหม่ในการให้บริการโดยกำหนดช่วงเวลายอมรับการให้บริการ (Service window) หรือวินโดว์มาใช้กับการทำงานของระบบ TDM ซึ่งวิธีการนี้จะให้บริการกับช่องสัญญาณเวลาที่ถูกพิจารณาโดยวินโดว์ ณ เวลาขณะหนึ่งจะมีการกำหนดขอบเขตของวินโดว์บนเฟรม เพื่อให้บริการเฉพาะช่องสัญญาณเวลาที่กำหนดให้เท่านั้น การทำงานของวินโดว์จะทำการบริการและจะเลื่อนไปที่ช่องสัญญาณเวลาในทิศทางเดิมเสมอซึ่งวิธีการนี้จะคล้ายกับการให้บริการแบบหมุนวน (Round Robin) แต่มีขอบเขตอยู่ภายในขอบเขตของวินโดว์ นั่นคือ แพ็กเก็ตที่เข้ามาในช่วงเวลาของวินโดว์จะได้รับบริการส่งผ่านไปยังสวิตช์เพื่อส่งออก และการพิจารณาช่องสัญญาณเวลาที่จะสำรองไว้ให้แพ็กเก็ตในแต่ละช่องสื่อสารนั้นจะต้องอยู่ในขอบเขตของเฟรมที่กำหนด

2.1.1 โครงสร้างของเฟรม

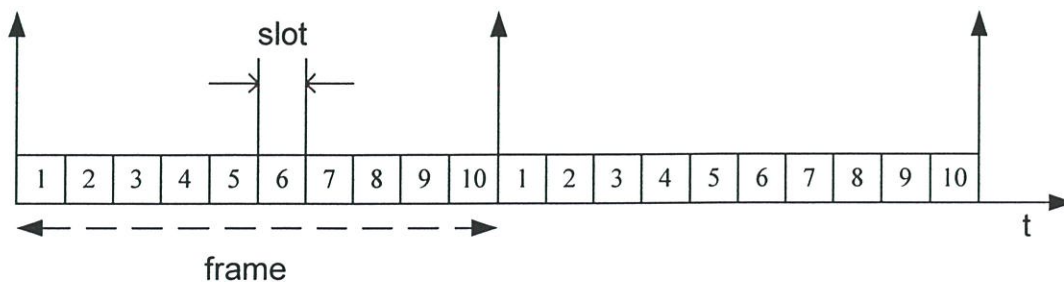
คล้ายกับการจัดการเฟรมทั่วไป เฟรมที่ยาวจะทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการจัดสรรแบนด์วิดท์แต่จะมีเวลาหน่วงมาก ในขณะที่ขนาดของเฟรมในระบบเครือข่ายแบบ W-TDM นั้นหากนำหลักการของวินโดว์เข้ามาใช้จะลดเวลาหน่วงในช่วงเวลาหมุนวน (Time cycle) ในสวิตช์ได้ในขณะที่ยังรักษาความยืดหยุ่นในการจัดสรรแบนด์วิดท์ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างของเฟรม, ช่องสัญญาณเวลา และวินโดว์มีนิยามดังต่อไปนี้

2.1.1.1 เฟรม

ประกอบด้วยช่องสัญญาณเวลาจำนวนหนึ่ง (N) ซึ่งจะได้รับบริการตามลำดับเวลาและทุก ๆ ช่องสัญญาณเวลาในเฟรมจะได้รับบริการในลักษณะของการจัดการแบบหมุนวน

2.1.1.2 ช่องสัญญาณเวลา

เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดที่จะถูกสำรองไว้ให้การเชื่อมโยงที่ร้องขอการติดต่อ ซึ่งช่องสัญญาณเวลาอาจจะมองได้อีกอย่างหนึ่งว่าเป็นหน่วยย่อยของแบนด์วิดท์



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเฟรม (Frame Structure)

ในรูปที่ 2.1 เป็นการแสดงโครงสร้างของเฟรมที่กำหนดให้มีช่องสัญญาณเวลาจำนวน 10 ช่องสัญญาณ แสดงว่าการจอง 1 ช่องสัญญาณเวลาเป็นการสำรอง 1 ใน 10 ของแบนด์วิดท์ และด้วยเงื่อนไขนี้จะเห็นว่าการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณเวลาในลักษณะนี้เป็นอิสระจากการกำหนดขนาดของช่องสัญญาณเวลา ในขณะที่การกำหนดขนาดของช่องสัญญาณจะมีผลต่อขนาดของเฟรม ดังนั้นการแบ่งแบนด์วิดท์ออกเป็นส่วนย่อยๆ ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณเวลา ตัวอย่างเช่น อัตราการส่งผ่านข้อมูล (link speed) เป็น 622 เมกกะบิตต่อวินาที ถ้าทำการแบ่งแบนด์วิดท์ออกเป็น 100 ส่วน จะได้เฟรมที่มีช่องสัญญาณเวลาทั้งหมด 100 ช่องสัญญาณเวลา ซึ่งแต่ละช่องสัญญาณเวลามีขนาด 6.22 เมกกะบิตต่อวินาที เป็นต้น การดำเนินการลักษณะนี้สามารถเขียนออกมาเป็นสมการได้เป็น

$$r = R/N \tag{2.1}$$

เมื่อ

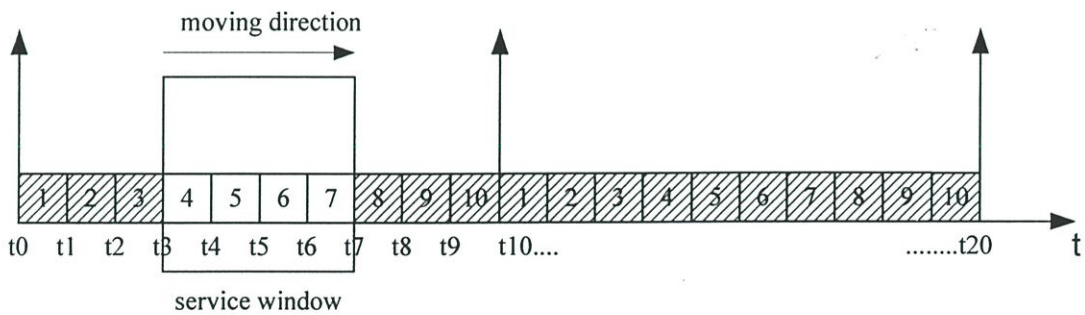
r เป็นแบนด์วิดท์ในหนึ่งช่องสัญญาณเวลา

R เป็นอัตราการส่งผ่านข้อมูล

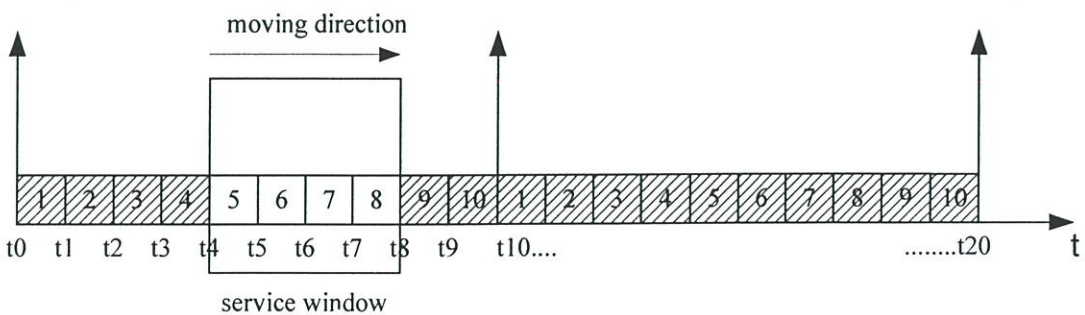
N เป็นจำนวนช่องสัญญาณเวลาใน 1 เฟรม

2.1.1.3 ช่วงเวลาขอรับบริการให้บริการ (service window) หรือ วินโดว์

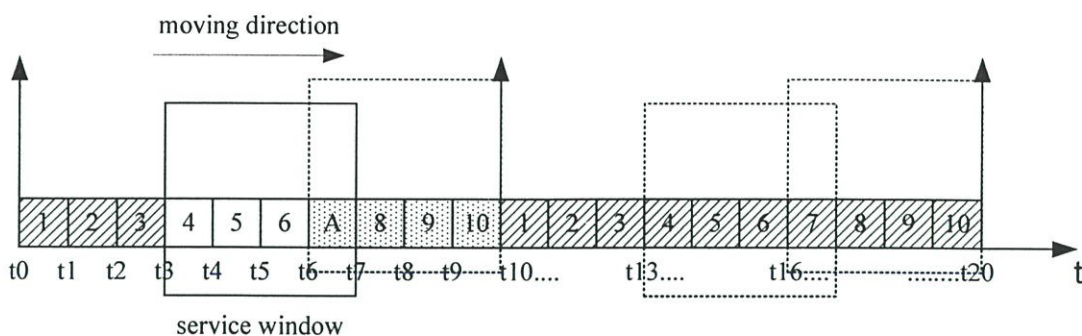
เป็นช่วงเวลาที่กำหนดให้มีขนาดคงที่ซึ่งจะครอบคลุมช่องสัญญาณเวลาจำนวน n ช่องสัญญาณเวลา วินโดว์นี้จะเลื่อนไปตามเวลาบนเฟรมในลักษณะของการจัดการแบบหมุนวนเช่นกัน



รูปที่ 2.2a ช่วงเวลาขอรับบริการให้บริการ (service window) หรือ วินโดว์ ณ เวลา t_3



รูปที่ 2.2b การเลื่อนวินโดว์จากช่องสัญญาณเวลาตำแหน่งที่ 4 ไปยังตำแหน่งที่ 5

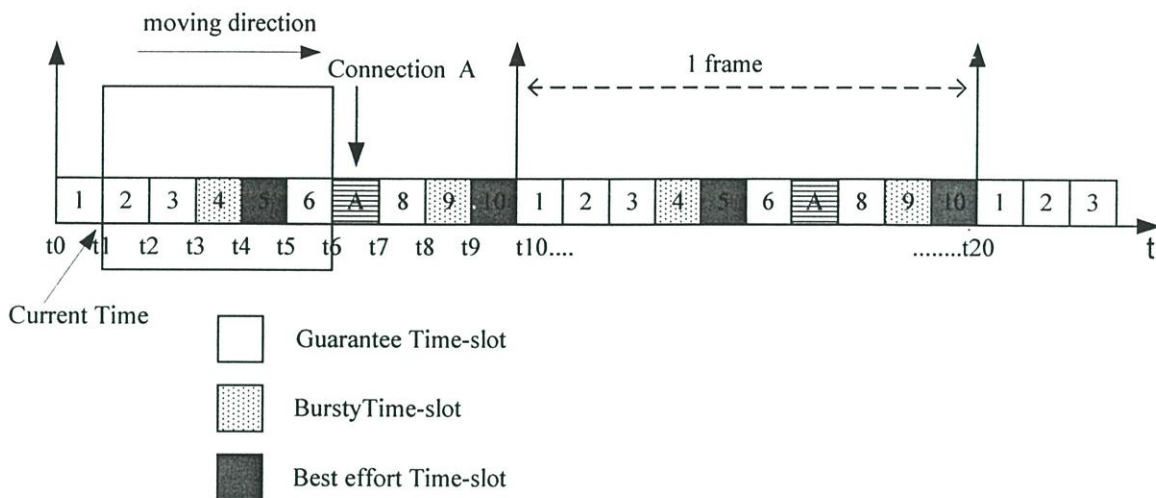


รูปที่ 2.2c ขอบเขตการตัดสินใจให้บริการของวินโดว์ ในช่องสัญญาณเวลาที่ 7 ซึ่งสำรองไว้ให้
การเชื่อมโยง A

ในรูปที่ 2.2a แสดงถึงเฟรมที่มีช่องสัญญาณเวลาจำนวน 10 ช่องสัญญาณและมีวินโดว์ที่มีขนาดเท่ากับ 4 ช่องสัญญาณเวลา และในรูปจะเห็นว่าช่วงเวลาของวินโดว์จะครอบคลุมตั้งแต่ช่องสัญญาณเวลาที่ 4 จนถึงช่องสัญญาณเวลาที่ 7 ที่เวลา t_3 ช่องสัญญาณเวลาที่อยู่ด้านซ้ายสุดภายในวินโดว์ ซึ่งก็คือช่องสัญญาณเวลาที่ 4 เป็นช่องสัญญาณเวลาที่ได้รับการบริการ ณ ขณะนั้น ในรูป 2.2b แสดงการเลื่อนของวินโดว์จะเลื่อนจากซ้ายไปขวา และจะเห็นว่าช่องสัญญาณเวลาที่ 4 จะได้รับการบริการอีกครั้งในเฟรมถัดไป ในขณะที่เดียวกันหากแพ็กเก็ตเข้ามาในช่องสัญญาณเวลาที่ 7 จะได้รับการบริการในช่วงเวลาของช่องสัญญาณเวลาที่ 7 นั้นเอง

ต่อไปนี้จะอธิบายขอบเขตของวินโดว์ที่สามารถรองรับการบริการให้สำหรับการเชื่อมโยง A ในรูปที่ 2.2c ให้ช่องสัญญาณเวลาที่ 7 ถูกสำรองไว้ให้การเชื่อมโยง A จากรูปจะเห็นว่าวินโดว์อยู่สองลักษณะ คือ วินโดว์ที่เป็นเส้นทึบ และวินโดว์ที่เป็นเส้นประตัวที่เป็นเส้นทึบจะแสดงขอบเขตของวินโดว์ ซึ่งช่องสัญญาณเวลาที่ 7 อยู่ด้านขวามือสุด ในขณะที่ตัวที่เป็นเส้นประแสดงถึงช่องสัญญาณเวลาที่ 7 ขณะที่อยู่ด้านซ้ายมือสุด ซึ่งการเชื่อมโยง A จะได้รับการบริการตั้งแต่ช่วงที่เป็นเส้นทึบคือ ณ เวลา t_3 จนถึง t_6 ในช่วงเวลาของเฟรมปัจจุบันหลังจากนั้นจะได้รับการบริการอีกครั้ง ณ เวลา t_{13} ถึง t_{16} ในช่วงเวลาของ เฟรมหน้าซึ่งเป็นสีเทา จากตัวอย่างรูปที่ 2.2c แสดงการนำหลักการ W-TDM มาใช้ในกรณีที่เกิดเข้ามาถึงในเวลาซึ่งไม่ใช่เวลาที่ถูกล่วงไว้ให้ นั่นคือมาถึงก่อนเวลาที่กำหนด

2.1.2 การแบ่งประเภทช่องสัญญาณเวลา



รูปที่ 2.3 ให้เห็นถึงช่องสัญญาณเวลาแบบ B (Bursty slot) และ E (Best effort slot) ที่สามารถได้รับการบริการเนื่องจากอยู่ในช่วงของวินโดวโดยตลอด

ช่องสัญญาณเวลาใน W-TDM จะแบ่งช่องสัญญาณเวลาโดยสำรองไว้ให้สำหรับทราฟฟิก 3 ประเภท คือการสื่อสารข้อมูลที่มีอัตราเร็วในการส่งข้อมูลแบบคงที่หรือ CBR จะใช้ช่องสัญญาณเวลาที่มีการรับประกันการบริการหรือช่องสัญญาณเวลาแบบ G (Guarantee slot) เท่านั้น, ส่วนการสื่อสารข้อมูลที่มีอัตราการส่งผ่านไม่คงที่เช่น ABR และ VBR นั้นสามารถใช้ช่องสัญญาณเวลาได้ทั้งที่เป็น ช่องสัญญาณเวลาแบบ G และแบบ B (Bursty slot) ในขณะที่การสื่อสารแบบ UBR นั้นไม่จำเป็นต้องรับประกันคุณภาพจึงสำรองไว้ให้เป็นแบบ E (Best effort slot) ตามที่แสดงในรูปที่ 2.3

2.1.2.1 ช่องสัญญาณเวลาแบบ G (Guarantee Slot)

ช่องสัญญาณเวลาแบบนี้จะถูกทำการสำรองไว้ให้ตั้งแต่การทำการเชื่อมต่อช่องสัญญาณและเมื่อสำรองไว้ให้แล้วก็สามารถรับประกันการบริการของการเชื่อมโยงที่ร้องขอนั้นได้ทุกช่องสัญญาณเวลา

2.1.2.2 ช่องสัญญาณเวลาแบบ B (Bursty Slot)

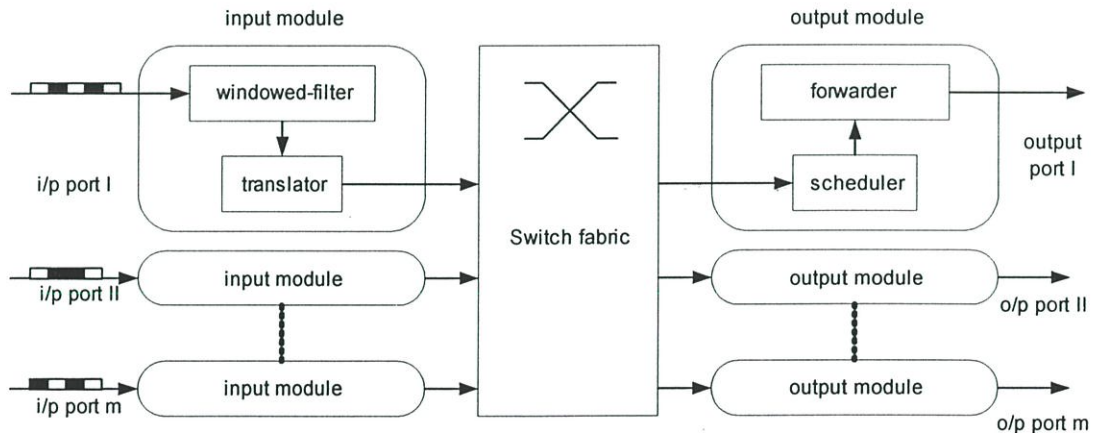
ช่องสัญญาณเวลาแบบนี้สำรองไว้สำหรับการใช้งานของการสื่อสารแบบ VBR และ ABR กรณีที่มีแพ็กเก็ตเข้ามาในขณะที่ช่องสัญญาณเวลาที่สำรองไว้ให้เต็มเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของทราฟฟิก แพ็กเก็ตที่เข้ามาเกินนี้จะถูกจัดเก็บและถูกส่งออกไปในช่วงเวลาของช่องสัญญาณเวลาแบบ B (Bursty slot)

2.1.2.3 ช่องสัญญาณเวลาแบบ E (Best Effort Slot)

เป็นช่องสัญญาณเวลาที่ถูกสำรองไว้ให้สามารถใช้งานร่วมกันได้ ซึ่งจะถูกสำรองไว้ให้ทราฟฟิคที่เป็นแบบ UBR เพื่อรองรับในกรณีที่มีทราฟฟิคเข้ามามากกว่าที่มีการจัดสรรแบนด์วิดท์ไว้ให้ ซึ่งทำตั้งแต่การทำการสร้างเส้นทางเชื่อมโยง

จุดประสงค์ที่แบ่งเป็นช่องสัญญาณเวลาแบบ Bursty เพื่อให้รองรับการบริการในระบบการสื่อสารแบบ VBR และ ABR ได้ด้วย ในการทำการสร้างเส้นทางเชื่อมโยงนั้นการเชื่อมโยงแบบ VBR ต้องการการสำรองช่องสัญญาณเวลาวางตามค่าพารามิเตอร์ของทราฟฟิคที่ร้องขอมากับการสร้างเส้นทางเชื่อมโยงนั้นคือ SCR ส่วนการเชื่อมโยงแบบ ABR นั้นจะใช้ค่าพารามิเตอร์ MCR มาคำนวณหาช่องสัญญาณเวลาวางที่ต้องสำรองไว้ให้ ดังนั้นช่องสัญญาณเวลาแบบ B (Bursty slot) จึงมีประโยชน์ทั้งสำหรับการเชื่อมโยงแบบ VBR และ ABR ในรูปที่ 2.3 นั้นจะเห็นว่าจะมีช่องสัญญาณเวลาที่เป็น ช่องสัญญาณเวลาแบบ B อยู่ 2 ตำแหน่งไม่ว่าแพ็กเก็ตที่เข้ามาจะมาถึงก่อนหรือหลังช่องสัญญาณเวลาที่ถูกสำรองไว้ให้ก็ยังคงได้รับการบริการ เพราะอยู่ในช่วงของวินโดว์เช่นเดียวกันกับช่องสัญญาณเวลาแบบ E (Best effort slot)

2.1.3 สถาปัตยกรรมภายในสวิตช์ของการสื่อสารระบบ W-TDM



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของสวิตช์ในหลักการของ W-TDM

โครงสร้างภายในสวิตช์ซึ่งหนดแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนอินพุต, เอาท์พุทและ switching fabric ตามทฤษฎีของ W-TDM ต้องการให้ space-switch เพื่อสวิตช์แพ็กเก็ตจากต้นทางไปยังปลายทาง จากรูปที่ 2.4 ภายในส่วนอินพุตประกอบด้วยส่วนกรองแพ็กเก็ต (windowed-filter) และทรานสเลเตอร์ ซึ่งมีหน้าที่ดังนี้

2.1.3.1 ส่วนกรองแพ็กเก็ต (Windowed-filter)

มีหน้าที่กรองแพ็กเก็ตที่เข้ามาจากอินพุทโดยใช้หลักการของวินโดว์ โดยการพิจารณาเฉพาะแพ็กเก็ตที่มาถึงภายในช่วงเวลาการพิจารณาของวินโดว์

2.1.3.2 ทรานสเลเตอร์ (Translator)

มีหน้าที่แปลและเปลี่ยนข้อมูลที่ส่วนหัวของแพ็กเก็ต (packet header) ที่เข้ามาพร้อมกับข้อมูลในตารางทรานสเลชัน ซึ่งได้จากการหาเส้นทาง ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ใช้การหาเส้นทางแบบคงที่ (static) เพื่อลดความยุ่งยากในการควบคุม ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบค่า Virtual circuit identifier (VCI) จากแพ็กเก็ตที่ได้รับเข้ามากับค่า VCI ในตารางเพื่อหาค่า VCI ที่จะส่งไปยังสวิตช์โหนดถัดไป และนอกจากนี้ ทรานสเลเตอร์ต้องอ่านอื่นข้อมูลเกี่ยวกับการจัดลำดับการนำส่งแพ็กเก็ตต้องการด้วย เช่น ตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่บัฟเฟอร์ขาออกซึ่งถูกสำรองไว้ให้ที่พอร์ตขาออก

2.1.3.3 การจัดลำดับการนำส่งแพ็กเก็ต (Scheduler)

ขอบเขตการให้บริการของการจัดลำดับการนำส่งแพ็กเก็ตจะถูกกำหนดโดยวินโดว์ นั่นคือวินโดว์ที่พอร์ตขาเข้า (input port) ทุกพอร์ตจะต้องซิงโครนัสกับวินโดว์ที่พอร์ตขาออกของการจัดลำดับการนำส่งแพ็กเก็ตทุกพอร์ตโดยใช้บัฟเฟอร์วงกลม (circular buffer) ที่แต่ละเอาต์พุทพอร์ตเพื่อจำกัดช่วงเวลาคงที่ให้สำหรับ ทราฟฟิกที่ต้องการการรับประกันการให้บริการในช่วงเวลาหนึ่งวินโดว์ หนึ่งหน่วยของบัฟเฟอร์จะถูกใช้งานสำหรับหนึ่งแพ็กเก็ตที่ออกมาจากการกรองของวินโดว์ โดยจะเก็บแพ็กเก็ตนั้นในบัฟเฟอร์ ณ ตำแหน่งที่สำรองไว้ให้การใช้หลักการของวินโดว์จะช่วยจำกัดขนาดของบัฟเฟอร์ตามจำนวนของแพ็กเก็ตที่สามารถส่งออกได้ในเส้นทางเชื่อมต่อโยงขาออกด้วย

2.1.4 การจัดการหน่วยความจำชั่วคราวหรือบัฟเฟอร์

บัฟเฟอร์ขาออกของสวิตช์ ในหลักการ W-TDM มี 3 ส่วน ดังรูปที่ 2.5b ดังนี้

2.1.4.1 บัฟเฟอร์สำหรับทราฟฟิกที่ต้องการการรับประกันคุณภาพการให้บริการ (Guaranteed-buffer)

เป็นจำนวนของหน่วยความจำชั่วคราวที่สำรองไว้สำหรับช่องสัญญาณเวลาที่มีการรับประกันการบริการหรือช่องสัญญาณเวลาแบบ G โดยช่องสัญญาณเวลาแบบ G จะอนุญาตให้เพียงแค่การเชื่อมโยงเดียวเท่านั้นในแต่ละช่วงเวลาของวินโดว์ซึ่งบัฟเฟอร์สำหรับทราฟฟิกที่ต้องการการรับประกันคุณภาพการให้บริการจะถูกใช้งานด้วยวิธีการแบบหมุนวนในระหว่างที่ทำการระบวนการอ่านเพื่อส่งออก แต่ในกระบวนการเขียนเพื่อเก็บข้อมูลลงในบัฟเฟอร์นั้น เนื่องจากการสื่อสาร

แบบที่มีอัตราเร็วคงที่ จึงต้องทำการคำนวณหาข้อมูลของสัญญาณเวลาถัดไปจากแพ็กเก็ตซึ่งจะทำให้รู้ตำแหน่งของบัฟเฟอร์ที่จะเก็บแพ็กเก็ตนั้น

2.1.4.2 บัฟเฟอร์สำหรับช่องสัญญาณเวลาสำรองเพื่อใช้รองรับกรณีที่กราฟฟิคมาไม่คงที่ (Bursty buffer)

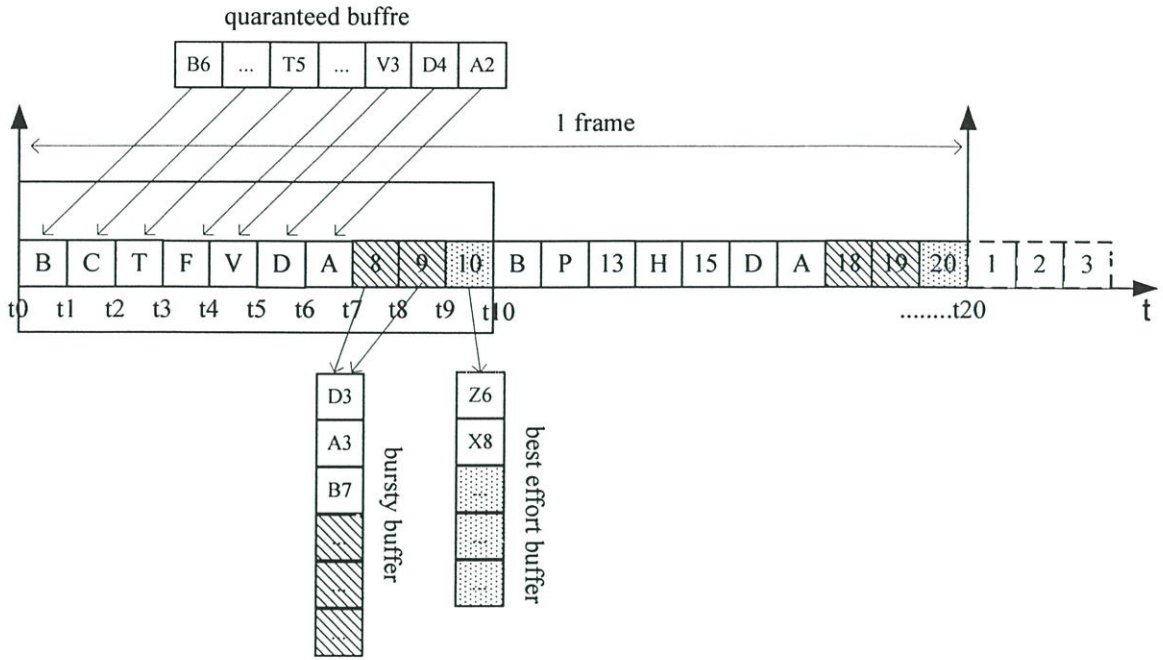
เป็นจำนวนของหน่วยความจำชั่วคราวซึ่งจะถูกใช้ร่วมกันระหว่างกราฟฟิคที่ไม่คงที่ (bursty) ของ filter-VBR กับ filter-ABR ซึ่ง Bursty buffer จะประกอบด้วยจำนวนของหน่วยความจำของช่องสัญญาณเวลาซึ่งจะใช้วิธีการหมุนวนทั้งกระบวนการอ่านและเขียนกราฟฟิคที่มาแบบไม่คงที่นี้ จะมีบัฟเฟอร์ซึ่งสำรองไว้ให้สำหรับส่วนที่ต้องการการรับประกันการบริการ นั่นคือค่า PCR และต้องสำรองบัฟเฟอร์สำหรับช่องสัญญาณว่างกรณีที่กราฟฟิคมาไม่คงที่ด้วย โดยคำนวณจากค่า SCR ในกรณีที่เป็นกราฟฟิคแบบ VBR และ คำนวณจากค่า MCR ในกรณีที่เป็นกราฟฟิคแบบ ABR ซึ่งการมาถึงของแพ็กเก็ตอาจจะมาแบบไม่เรียงลำดับ และในการอ่านและเขียนลงใน Bursty Buffer อาจจะทำให้เกิดการไม่เรียงลำดับของข้อมูลได้ ดังนั้นต้องมีการพิจารณาการเรียงลำดับของการอ่านบัฟเฟอร์เพื่อส่งออกให้เป็นไปตามลำดับการเขียนข้อมูลลงในบัฟเฟอร์เพื่อจัดการให้การส่งข้อมูลเป็นไปตามลำดับ

2.1.4.3 บัฟเฟอร์สำหรับกราฟฟิคที่ไม่ต้องการการรับประกันคุณภาพการให้บริการ (Best effort buffer)

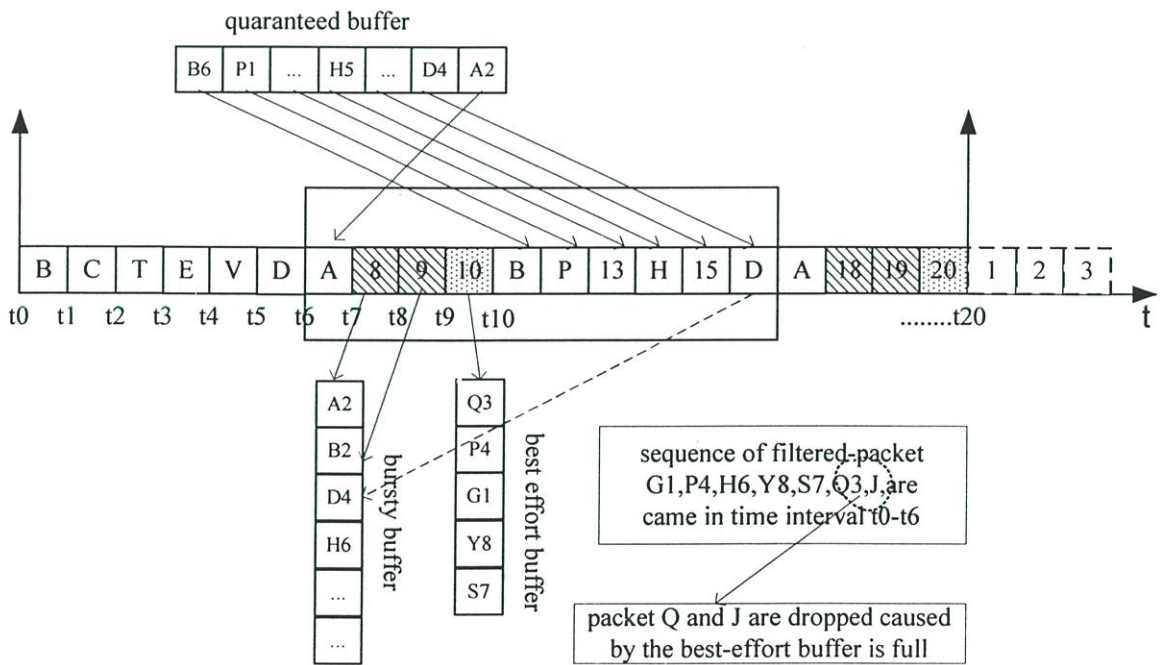
จะคล้ายกับ bursty buffer แต่จะถูกกำหนดไว้ให้สำหรับ UBR เท่านั้น ปัญหาเรื่องการใช้งานของ best effort buffer เนื่องจาก best effort buffer จะใช้วิธีการของบัฟเฟอร์แบบ FIFO

Valid bit	Inverted pointer	Overflow qty	Disordering bit
-----------	------------------	--------------	-----------------

รูปที่ 2.5a ส่วนหัวของบัฟเฟอร์สำหรับกราฟฟิคที่ไม่ต้องการการรับประกันคุณภาพการให้บริการ



รูปที่ 2.5b ส่วนส่งออก (Forwarding) ที่สัมพันธ์กับวินโดวซึ่งครอบคลุม 10 ช่องสัญญาณเวลา



รูปที่ 2.5c การสำรองบัฟเฟอร์สำหรับทราฟฟิกที่ไม่ต้องการการรับประกันคุณภาพการให้บริการ
ของ 6 ช่องสัญญาณเวลา

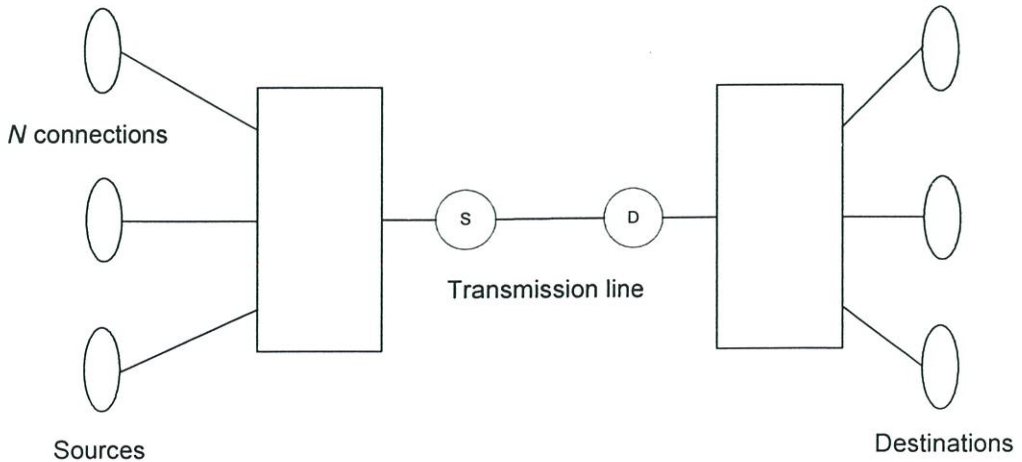
2.1.5 ส่วนส่งออกแพ็กเกต (Forwarder)

หน้าที่ของส่วนส่งออกแพ็กเกตคือส่งแพ็กเกตออกไปยังเส้นทางการเชื่อมโยงขาออกตามลำดับที่ระบุไว้โดยวิธีการส่งผ่านจำนวนของแพ็กเกต (ในที่นี้กำหนดให้เป็น 1 เซลล์) ที่เก็บไว้ในบัฟเฟอร์สำหรับทราฟฟิคที่ต้องการการรับประกันคุณภาพการให้บริการโดยจะส่งที่ละช่องสัญญาณเวลาในกรณีที่ช่องสัญญาณเวลายังว่างนั้นส่วนส่งออกแพ็กเกตจะนำแพ็กเกตที่รออยู่ในแถวคอยของบัฟเฟอร์สำหรับทราฟฟิคที่มาจากบัฟเฟอร์ก่อนแล้วจึงนำแพ็กเกตที่บัฟเฟอร์สำหรับทราฟฟิคที่ต้องการการรับประกันคุณภาพการให้บริการถัดไป ถ้าแถวคอยของบัฟเฟอร์สำหรับทราฟฟิคที่มาจากบัฟเฟอร์ว่าง ส่วนส่งออกแพ็กเกตจะทำการพิจารณาส่งแพ็กเกตที่รออยู่ในแถวคอยของบัฟเฟอร์สำหรับทราฟฟิคที่ไม่ต้องการการรับประกันคุณภาพการให้บริการแทน ทั้งนี้เพื่อที่จะใช้ประสิทธิภาพของการใช้เส้นทางการเชื่อมโยงขาออก ซึ่งจะบรรลุวัตถุประสงค์ได้โดยการนำวิธีการใช้งานแถวคอยร่วมกันมาใช้โดยให้ บัฟเฟอร์สำหรับทราฟฟิคที่มาจากบัฟเฟอร์และบัฟเฟอร์สำหรับทราฟฟิคที่ไม่ต้องการการรับประกันคุณภาพการให้บริการเปรียบเสมือนบัฟเฟอร์ที่ใช้งานร่วมกันในสวิตช์ของ W-TDM ซึ่งแพ็กเกตของทราฟฟิคที่มาจากบัฟเฟอร์ที่อยูใกล้กันไม่ควรได้รับการบริการติดต่อกัน โดยควรที่จะเก็บไว้ในบัฟเฟอร์และรอการให้บริการรอบถัดไป

2.1.6 ส่วนบงชี้ลำดับของแพ็กเกต (Inverted link pointer)

ลำดับของแพ็กเกตอาจจะเกิดความผิดพลาดขึ้นได้เนื่องจากการใช้งานร่วมกันของบัฟเฟอร์ภายในหนึ่งการเชื่อมโยง ดังนั้นจึงเพิ่มส่วนหัวของข้อมูลในบัฟเฟอร์แต่ละช่องสัญญาณเวลา การค้นหาลำดับที่ผิดพลาดสามารถทำได้โดยการตรวจสอบบิตที่ผิดพลาดในส่วนหัวของข้อมูล หลังจากนั้นจึงทำการแก้ไขในลำดับที่ผิดพลาดเพื่อรักษาลำดับของแพ็กเกตในแต่ละการเชื่อมโยง

2.2 วิธีการสำรองแบนด์วิดท์แบบต่าง ๆ (Slot assignment methods)



รูปที่ 2.6 แบบจำลองสถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อแบบ 2 โหนด

จากรูปที่ 2.6 มีจำนวนการเชื่อมต่อในโหนดต้นทางเท่ากับ N การเชื่อมโยง และแต่ละโหนดต้นทางมีจำนวนบัฟเฟอร์เท่ากับ N อัลกอริทึมของการจองช่องสัญญาณเวลานี้จะแบ่งเวลาออกเป็นรอบของการให้บริการ ภายในรอบของการให้บริการจะแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณเวลาจำนวนหนึ่งแต่ละช่องสัญญาณเวลาถูกใช้ในการส่งข้อมูลโดยหนึ่งช่องสัญญาณเวลาต่อหนึ่งการเชื่อมโยง ซึ่งวิธีการจองช่องสัญญาณเวลาสามารถจำแนกออกได้เป็นการจองช่องสัญญาณเวลาแบบตายตัวและการจองช่องสัญญาณเวลาแบบไดนามิกดังนี้ [11,12]

2.2.1 วิธีการจองช่องสัญญาณแบบตายตัว (Static slot assignment method) [11]

วิธีการจองช่องสัญญาณแบบตายตัวจะกำหนดให้เฟรมและช่องสัญญาณเวลามีขนาดคงที่ภายในเฟรมมีจำนวนของช่องสัญญาณ R ช่องสัญญาณ และมีการเชื่อมโยงเป็นจำนวน N การเชื่อมโยง ช่องสัญญาณเวลาจะถูกจองโดยกำหนดส่วนแบ่งช่องสัญญาณคงที่ในแต่ละเฟรมจำนวนของช่องสัญญาณที่จองให้แก่การเชื่อมโยง i กำหนดให้เป็น w_i ดังสมการ

$$\max \sum_{i=0}^{N-1} w_i = R \quad (2.2)$$

ในแต่ละรอบของการให้บริการ N การเชื่อมโยง โดยเรียงตามลำดับ $0, 1, \dots, N-1$

ตัวอย่างเช่น กำหนดให้ $R = 20, N = 2$, และ $w_0 = w_1 = 10$ ดังนั้น 10 ช่องสัญญาณแรกของรอบการให้บริการที่ 1 จะถูกจองให้แก่การเชื่อมโยง 0 และ 10 ช่องสัญญาณถัดไปจะถูกจองให้กับการเชื่อมโยง 1 จากนั้น 10 ช่องสัญญาณแรกในรอบการให้บริการที่ 2 จะถูกจองให้แก่การเชื่อมโยง 0 และ 10 ช่องสัญญาณถัดไปจะถูกจองให้กับการเชื่อมโยง 1 แพ้กเกิดจากการเชื่อมโยง 0 จะถูกส่งโดยการให้ช่องสัญญาณที่จองไว้ให้กับการเชื่อมโยง 0 ถ้าช่วงเวลาใดที่การเชื่อมโยง 0 ไม่มีแพ้กเกิดที่จะส่งแต่มีกลุ่มของแพ้กเกิดจากการเชื่อมโยง 1 ที่ต้องการส่งอยู่ ช่องสัญญาณที่ถูกจองไว้ให้กับการเชื่อมโยง 0 ก็จะได้ไม่ได้ถูกใช้งานและทำให้เสียช่องสัญญาณไปโดยเปล่าประโยชน์ ทำให้แพ้กเกิดที่เป็นของการเชื่อมโยง 1 นั้นเกิดการล่าช้า วิธีการจองช่องสัญญาณแบบตายตัวนี้เป็นการใช้แบบตวิติที่ไม่คุ้มค่าเพราะแต่ละการเชื่อมโยงสามารถให้ช่องสัญญาณเวลาได้เท่ากับจำนวนที่ตนเองมีเท่านั้น ไม่สามารถให้ช่องสัญญาณเวลาของการเชื่อมโยงอื่นที่ว่างได้

2.2.2 วิธีการจองช่องสัญญาณแบบไดนามิก

2.2.2.1 วิธีการจองช่องสัญญาณแบบอ้างอิงการใช้งานบัฟเฟอร์ (Buffer-population-based dynamic slot assignment method) [11]

วิธีการนี้จะกำหนดให้ขนาดของเฟรมคงที่เช่นเดียวกับวิธีการจองช่องสัญญาณแบบตายตัวแต่ มีการแบ่งจำนวนช่องสัญญาณเวลาให้กับแต่ละการเชื่อมโยงไม่เท่ากัน โดยช่องสัญญาณจะถูก จองให้แก่การเชื่อมโยงที่ตำแหน่งเริ่มต้นของแต่ละเฟรม จำนวนของช่องสัญญาณในเฟรมที่จองไว้ ให้แก่การเชื่อมโยงจะเป็นสัดส่วนกับจำนวนของแพ็กเกตในบัฟเฟอร์ที่เป็นของการเชื่อมโยงนั้น ณ เวลาที่ทำการจอง สมมติให้ขนาดของเฟรมมีขนาดเท่ากับ R และจุดเริ่มต้นของเฟรมคือ j ซึ่งมี จำนวนแพ็กเกตเท่ากับ x_i แพ็กเกตในบัฟเฟอร์ที่เป็นของการเชื่อมโยง i โดยที่ $0 \leq i \leq N-1, j \geq 1$ ดังนั้นจำนวนของช่องสัญญาณที่จองให้กับการเชื่อมโยง i กำหนดให้เท่ากับ w_i ดังสมการ

$$g_i = \left[\frac{x_i R}{\sum_{i=0}^{N-1} x_i} \right] \quad (2.3)$$

$$w_i = \min(C_d, g_i) \quad (2.4)$$

โดยที่ C_d คือ จำนวนมากที่สุดของช่องสัญญาณที่สามารถจองให้กับการเชื่อมโยงใด ๆ เนื่องจาก $\sum w_i$ อาจมีค่าน้อยกว่า R ดังนั้นจะยังคงเหลือช่องสัญญาณที่ไม่ถูกจองภายในหนึ่งรอบของการให้บริการ วิธีการที่ดีวิธีการหนึ่งคือจะทำการจองช่องสัญญาณเหล่านี้โดยใช้จำนวนที่มากที่สุดของแพ็กเกตในบัฟเฟอร์เนื่องจากการเชื่อมโยง มีความจำเป็นในการใช้ช่องสัญญาณสูงมาก ณ เวลาที่ทำการจองช่องสัญญาณ อีกวิธีการหนึ่งคือจะทำการจองช่องสัญญาณเหล่านี้ให้มีจำนวนตามจำนวนแพ็กเกตในบัฟเฟอร์

จำนวนมากที่สุดของช่องสัญญาณในการเชื่อมโยงใด ๆ ที่สามารถส่งออกไปได้ในหนึ่งรอบของการให้บริการ (C_d) นั้นทำให้มั่นใจได้ว่าการเชื่อมโยงนั้น ๆ จะไม่จองช่องสัญญาณมากกว่า ความต้องการ ดังนั้นการเชื่อมโยงที่มีกาจำนวนแพ็กเกตมากเกินไปจะไม่สามารถได้ส่วนแบ่งของแบนด์วิดท์ของการเชื่อมโยงอื่นๆ

จากวิธีการข้างต้นวิธีการ "exhaustive" จึงได้ถูกนำมาใช้สำหรับส่งหนึ่งแพ็กเกตต่อหนึ่งรอบของการให้บริการ โดยกำหนดให้แพ็กเกตหนึ่งแพ็กเกตนั้นคือ X ซึ่งเป็นของการเชื่อมโยง i มาถึงหลังจากที่ทำการกำหนดช่องสัญญาณในรอบของการให้บริการ โดยที่ X จะถูกส่งในรอบของการให้บริการนั้นในกรณีที่ช่องสัญญาณที่ถูกจองไว้สำหรับการเชื่อมโยง i วางเท่านั้น อย่างไรก็ตาม X จะไม่ถูกส่งออกไปโดยใช้ช่องสัญญาณของการเชื่อมโยงอื่น ๆ ถึงแม้ว่าแพ็กเกตทั้งหมดของการเชื่อมโยงอื่น ๆ จะถูกส่งออกไปหมดแล้วและช่องสัญญาณที่ถูกจองไว้ให้แก่การเชื่อมโยงอื่น ๆ นั้นว่างอยู่ก็ตาม

2.2.2.2 วิธีการจองช่องสัญญาณแบบอะแดปทีฟ (Adaptive slot assignment method) [11]

วิธีการจองช่องสัญญาณแบบอะแดปทีฟจะกำหนดให้ขนาดของเฟรมไม่คงที่ การเชื่อมโยงจะถูกให้บริการตามลำดับที่ $0, 1, 2, \dots, N-1$ ในหนึ่งเฟรม เวลาการส่งออกของแพ็กเก็ตของการเชื่อมโยง i ที่เริ่มต้นในเฟรมที่ j สมมติให้มีจำนวนแพ็กเก็ต x_i แพ็กเก็ตของการเชื่อมโยง i ในบัพเฟอร์ ดังนั้นจำนวนของช่องสัญญาณของการเชื่อมโยง i ในเฟรมที่ j ที่จะส่งออกไปเป็นดังสมการ

$$h_i = \min(C_d, x_i) \quad (2.5)$$

โดยที่ C_d จำนวนมากที่สุดของช่องสัญญาณในการเชื่อมโยงนั้นที่สามารถส่งออกไปได้ในเฟรม หลังทำการส่งแพ็กเก็ตออกจากการเชื่อมโยง i ก็จะมีการย้ายการให้บริการไปเป็นของการเชื่อมโยง $i+1$ ในกรณีที่มีจำนวนของแพ็กเก็ตมากกว่าจำนวนสูงสุดที่กำหนดไว้ ก็จะมีการส่งแพ็กเก็ตชุดแรก (จำนวน C_d แพ็กเก็ต) ไปก่อน แพ็กเก็ตที่เหลืออยู่ของการเชื่อมโยง i จะถูกส่งในเฟรมที่ $j+1$ หรือเฟรมต่อ ๆ ไป

2.2.2.3 วิธีการจองช่องสัญญาณแบบเรียงตามลำดับ (First-come, first-serve slot assignment method) [11]

วิธีการนี้จะไม่มีเฟรม แต่ละแพ็กเก็ตจะถูกส่งออกไปแบบมาถึงก่อนก็ส่งออกไปก่อนโดยไม่ต้องกังวลว่าจะมาจากการเชื่อมโยงใด วิธีการนี้มีประโยชน์น้อยที่สุดเมื่อมีการเชื่อมโยงที่มีจำนวนแพ็กเก็ตมาก ทำให้ได้รับส่วนแบ่งของแบนด์วิธมากและส่งผลให้การเชื่อมโยงอื่น ๆ มีแบนด์วิธไม่เพียงพอ

2.2.2.4 วิธีการจองช่องสัญญาณแบบ Rate-base dynamic (Rate-based dynamic slot assignment method) [11]

วิธีการจองช่องสัญญาณแบบ Rate-base dynamic ทั้งขนาดของเฟรมและจำนวนของช่องสัญญาณที่ทำการจองในเฟรมจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา โดยจำนวนช่องสัญญาณเวลาจะขึ้นอยู่กับอัตราการส่งข้อมูลของแต่ละการเชื่อมโยง แต่ในการเชื่อมโยงใด ๆ จะมีช่องสัญญาณเวลาอย่างน้อยที่สุด 1 ช่องสัญญาณเวลาในหนึ่งเฟรม วิธีการนี้ช่วยให้ช่องสัญญาณเวลาที่ไม่ได้ใช้งานมีจำนวนลดน้อยลง

วิธีการจองช่องสัญญาณแบบ Rate-base dynamic เป็นวิธีการจองช่องสัญญาณในอัตราส่วนของอัตราการสร้างแพ็กเก็ต อย่างไรก็ตามเนื่องจากช่องสัญญาณถูกจองให้กับการเชื่อมโยง

ใด ๆ ถึงแม้ว่าจะไม่มีการสร้างแพ็กเกตมาก็ตามช่องสัญญาณที่ถูกจองไว้ให้กับการเชื่อมโยงนั้นก็ จะเสียไปโดยเปล่าประโยชน์

จากการศึกษาต่างๆ สามารถสรุปได้ว่า วิธีการจองช่องสัญญาณแบบอ้างอิงการใช้งานบัฟเฟอร์, วิธีการจองช่องสัญญาณแบบอะแดปทีฟและวิธีการจองช่องสัญญาณแบบเรียงตามลำดับ จะมีคุณสมบัติด้านอัตราเวลาหน่วงเฉลี่ยน้อยกว่าวิธีการจองช่องสัญญาณแบบตายตัวและวิธีการจองช่องสัญญาณแบบ Rate-base dynamic ดังนี้

- จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าวิธีการจองช่องสัญญาณแบบเรียงตามลำดับไม่สามารถป้องกันการการเชื่อมโยงจากจำนวนแพ็กเกตที่มากเกินไปจนจำนวนใช้งานจริงได้และไม่สามารถป้องกันการใช้แบนด์วิธอย่างสิ้นเปลือง

- วิธีการจองช่องสัญญาณแบบอะแดปทีฟและวิธีการจองช่องสัญญาณแบบเรียงตามลำดับ เป็นวิธีที่ดีเนื่องจากไม่มีช่องสัญญาณสิ้นเปลืองหรือไม่ได้ใช้งาน

- วิธีการจองช่องสัญญาณแบบตายตัวและวิธีการจองช่องสัญญาณแบบ Rate-base dynamic ช่องสัญญาณจะไม่ได้ใช้งานเมื่อการเชื่อมโยงไม่ได้กำหนดแพ็กเกตมาให้กับช่องสัญญาณ เพราะแพ็กเกตกำลังรอข้อมูลอยู่จากแหล่งข้อมูลอื่น

เมื่อมีการเปรียบเทียบอัตราเวลาหน่วงเฉลี่ยกับการใช้ประโยชน์ของการเชื่อมโยงจะพบว่า

- อัตราเวลาหน่วงเฉลี่ยของวิธีการจองช่องสัญญาณแบบเรียงตามลำดับจะมีค่าใกล้เคียงกับวิธีการจองช่องสัญญาณแบบอะแดปทีฟเมื่อมีอัตราการใช้งานการเชื่อมโยงตลอดทั้งช่วง

- อัตราเวลาหน่วงเฉลี่ยของวิธีการจองช่องสัญญาณแบบอ้างอิงการใช้งานบัฟเฟอร์มีค่ามากกว่าวิธีการจองช่องสัญญาณแบบเรียงตามลำดับเมื่อมีอัตราการใช้งานการเชื่อมโยงในระดับต่ำ

- อัตราเวลาหน่วงเฉลี่ยของวิธีการจองช่องสัญญาณแบบอ้างอิงการใช้งานบัฟเฟอร์จะมีค่าใกล้เคียงกับวิธีการจองช่องสัญญาณแบบเรียงตามลำดับเมื่อมีอัตราการใช้งานการเชื่อมโยงตลอดทั้งช่วง

2.2.3 วิธีการจองช่องสัญญาณเวลาโดยใช้วิธีคำนวณคาดคะเนเวลาของแพ็กเกต

(Virtual finishing time methods) [3],[12]

เครือข่ายความเร็วสูงรองรับการส่งข้อมูลได้หลายรูปแบบ เช่น เสียง รูปภาพ ภาพเคลื่อนไหว เป็นต้น ซึ่งข้อมูลแต่ละชนิดต่างก็มีความต้องการคุณภาพการบริการที่แตกต่างกัน ในวิธีนี้ (แสดงดังรูปที่ 2.7) แต่ละโหนดต่างก็มีหลายบัฟเฟอร์ โดยแต่ละบัฟเฟอร์จะเก็บข้อมูลแยกตามตามรูปแบบของการให้บริการ และบัฟเฟอร์เหล่านี้มีการจัดการแบบเรียงตามลำดับ คือให้บริการตามลำดับของการมาถึง ดังนั้นเมื่อทุกบัฟเฟอร์จะต้องใช้สายส่งสัญญาณอันเดียวกัน

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวิธีการว่าบัฟเฟอร์เหล่านี้จะใช้แบนวิดธ์ร่วมกันได้อย่างไร โดยใช้วิธีการคาดคะเนช่วงเวลากារเกิดการร้องขอใช้เครือข่าย หรือ virtual finishing time (VFT) สำหรับการคำนวณ VFT จะเป็นการกำหนดอัตราตายตัวและเวลาหน่วงเฉลี่ย (average delay) ของการให้บริการแต่ละประเภท กำหนดให้ C_l^m คือแพ็กเกตที่ l ที่มายังบัฟเฟอร์ลำดับที่ m และ VFT (F_l^m) คือเวลาที่คาดว่าแพ็กเกต l ออกจากบัฟเฟอร์ m

2.2.3.1 Packetized generalized processor sharing (PGPS) [12]

วิธีนี้จะทำการแจกแบนวิดธ์ที่ว่างในเทอมของตัวแปร ϕ ของบัฟเฟอร์ที่ไม่ว่าง ทุกๆ ช่วงเวลา t โดยกำหนดค่า F_l^m ให้กับแต่ละ C_l^m โดยแพ็กเกตที่มีค่า VFT น้อยที่สุดจะได้รับการบริการก่อน แต่ถ้ามีหลายแพ็กเกตที่มีค่า VFT เท่ากันรออยู่ที่บัฟเฟอร์แต่ละตัว ก็จะพิจารณาการให้บริการตามลำดับการส่งแพ็กเกต ออกจากบัฟเฟอร์ ค่า VFT แสดงได้ดังสมการ

$$VFT = F_l^m = \max[F_{l-1}^m, V(a_l^m)] + \frac{1}{\phi_m} \quad (F_l^m = 0), \quad (2.6)$$

เมื่อ ϕ_m คือ พารามิเตอร์การแบ่งแบนวิดธ์ของบัฟเฟอร์ n ($\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \dots + \phi_M \leq 1$)

a_l^m คือ เวลาที่แพ็กเกต C_l^m มาถึงบัฟเฟอร์

V คือ ฟังก์ชันเวลาของโหนด

กำหนดให้เวลาเสมือน $V(t)$ มีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อช่องสัญญาณว่าง สำหรับช่วงเวลาที่ช่องสัญญาณไม่ว่าง เวลาเริ่มต้นถูกตั้งค่าให้เท่ากับศูนย์ [$V(0) = 0$] ดังนั้น $V(t)$ จะเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V(t_{j-1} + \tau) = V(t_{j-1}) + \frac{\tau}{\sum_{l \in B_j} \phi_l} \quad \tau \leq t_j - t_{j-1}, j = 2, 3, \dots, \quad (2.7)$$

เมื่อ B_j คือ กลุ่มแพ็กเกตที่ถูกส่งในช่วงเวลา (t_{j-1}, t_j)

สำหรับวิธี PGPS สามารถสรุปได้ว่าเวลาหน่วงของแพ็กเกตขึ้นอยู่กับขนาดของคิวในบัฟเฟอร์ ซึ่งวิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อมีจำนวนผู้ใช้เครือข่ายน้อยหรือมีการส่งแพ็กเกตในปริมาณน้อย

2.2.3.2 Self-clocked fair queuing (SCFQ)

วิธีนี้ใช้หลักการเดียวกันกับวิธี PGPS แต่แตกต่างกันที่ค่า $V(t)$ สำหรับวิธี SCFQ นี้ค่า $V(t)$ จะหมายถึง VFT ของแพ็กเก็ตสุดท้ายก่อนเวลา t ในกรณีที่ไม่มีแพ็กเก็ตสุดท้ายก็กำหนดให้ $V(t) = 0$

$$V(t) = \begin{cases} 0 \\ F_t^m \end{cases} \quad (2.8)$$

วิธีนี้มีการเพิ่มขอบเขตเวลาหน่วงของแพ็กเก็ตในแต่ละโหนด ทำให้มีค่าเวลาหน่วงเฉลี่ยสูงกว่าวิธี PGPS แต่วิธี SCFQ นี้ให้การกระจายแบนด์วิดท์ที่ดีกว่า และการคำนวณค่า VFT ก็ทำได้ง่ายกว่าวิธีการ PGPS

2.2.3.3 Non-idling virtual clock

แนวคิดของวิธีการนี้ใช้หลักการเดียวกันกับวิธี PGPS แต่แตกต่างกันที่ค่า VFT โดยค่า VFT หาจากสมการดังนี้

$$VFT = F_t^m = \max(F_{t-1}^m, a_t^m) + \frac{1}{\phi_n} \quad (F_0^m = 0) \quad (2.9)$$

วิธีนี้จะมีค่าเวลาหน่วงเฉลี่ยน้อยกว่าวิธี PGPS และวิธี SCFQ ข้อดีของวิธีการนี้คือ ไม่ต้องมีการคำนวณเวลา $V(t)$ เพราะสามารถนำค่า $V(t)$ จากแต่ละแพ็กเก็ตไปใช้ได้เลย

2.2.3.4 Idling virtual clock

วิธีนี้มีแนวคิดคล้ายกับวิธี PGPS และใช้การคำนวณ VFT จากสมการที่ (2.9) แต่มีข้อแตกต่างอยู่ที่วิธีการจัดการเมื่อเกิดความคับคั่งในเครือข่ายและการจัดการแพ็กเก็ตที่มีการบริการแบบไม่ต้องการการรับประกันการให้บริการ โดยบัฟเฟอร์จะถูกพิจารณาว่ามีความหนาแน่นเมื่อมีจำนวนแพ็กเก็ตสูงกว่าระดับที่กำหนดไว้

ทั้งสองวิธีข้างต้นนี้ วิธีแรกจะสนับสนุนแพ็กเก็ตที่มีทราฟฟิกหนาแน่นโดยไม่พิจารณาถึงแพ็กเก็ตที่ไม่ต้องการการรับประกันการให้บริการ ในขณะที่วิธีที่สองนั้นสนับสนุนแพ็กเก็ตที่มีทราฟฟิกหนาแน่น แต่สำหรับแพ็กเก็ตที่เป็นแพ็กเก็ตที่ไม่ต้องการการรับประกันการให้บริการจะไม่ถูกนำมารวมในการพิจารณาความหนาแน่นของทราฟฟิก

- การพิจารณาบัฟเฟอร์ที่มีแพ็กเก็ตหนาแน่น (Favoring congested buffers) ที่เวลา t ใดๆ ค่า VFT ของบัฟเฟอร์จะคำนวณจาก

- กรณีที่บัฟเฟอร์ไม่หนาแน่น แพ็กเก็ตจากบัฟเฟอร์ l ที่มีค่า VFT (F_l^m) น้อยที่สุดจะถูกให้บริการเป็นอันดับแรก

- กรณีที่มีบัฟเฟอร์อย่างน้อยหนึ่งตัวมีความหนาแน่น จะสามารถหาค่า VFT ของบัฟเฟอร์ j ที่มีความหนาแน่นด้วยค่าที่น้อยที่สุดของ VFT (F_j^m) และหาบัฟเฟอร์ l ที่มีแพ็กเก็ตรอส่งออกจากบัฟเฟอร์ทั้งหมดด้วยค่าที่น้อยที่สุดของ VFT (F_l^m)

ถ้า $t \geq F_l^m$ และ $F_l^m < F_j^m$ แล้วแพ็กเก็ต c_l^m จะถูกส่งออก แต่ถ้าเป็นกรณีอื่นแพ็กเก็ต c_j^m จะถูกส่งออก

- กรณีที่บัฟเฟอร์อื่นๆ ว่าง บัฟเฟอร์ที่มีแพ็กเก็ตที่เป็นแพ็กเก็ตที่ไม่ต้องการการรับประกันการให้บริการก็จะถูกส่งออกโดยอัตโนมัติ

- พิจารณาบัฟเฟอร์ที่มีแพ็กเก็ตหนาแน่นก่อนพิจารณาแพ็กเก็ตที่ไม่ต้องการการรับประกันการให้บริการ (Favoring congested buffers, then best-effort traffic)

วิธีนี้จะให้ความสำคัญกับบัฟเฟอร์ที่มีความหนาแน่นก่อนบัฟเฟอร์ของแพ็กเก็ตที่ไม่ต้องการการรับประกันการให้บริการโดยเวลาใดๆ t ค่า VFT ของบัฟเฟอร์คำนวณจาก

- กรณีที่ไม่มีบัฟเฟอร์หนาแน่นและบัฟเฟอร์สำหรับ best-effort ว่าง แพ็กเก็ตของบัฟเฟอร์ l ที่มีค่า VFT (F_l^n) น้อยที่สุดจะถูกส่งออกเป็นอันดับแรก

- กรณีที่ไม่มีบัฟเฟอร์หนาแน่นและบัฟเฟอร์สำหรับ best-effort ไม่ว่าง วิธีการนี้จะหาบัฟเฟอร์ l ที่มีค่า VFT (F_l^n) น้อยที่สุด แล้วพิจารณาค่า F_l^n ถ้าค่า $F_l^n \leq t$ แล้ว c_l^n จะถูกส่งออกเป็นอันดับแรก แต่ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขดังกล่าวแพ็กเก็ตของบัฟเฟอร์ best-effort จะได้รับการส่งออก

- กรณีที่บัฟเฟอร์อย่างน้อยหนึ่งตัวมีความหนาแน่นของแพ็กเก็ต จะสามารถหาค่า VFT ของบัฟเฟอร์ j ที่มีความหนาแน่นด้วยค่าที่น้อยที่สุดของ VFT (F_j^m) และหาบัฟเฟอร์ l ที่มีแพ็กเก็ตรอส่งออกจากบัฟเฟอร์ทั้งหมดด้วยค่าที่น้อยที่สุดของ VFT (F_l^m)

ถ้า $t \geq F_l^m$ และ $F_l^m < F_j^m$ แล้วแพ็กเก็ต c_l^m จะถูกส่งออก แต่ถ้าเป็นกรณีอื่นแพ็กเก็ต c_j^m จะถูกส่งออก

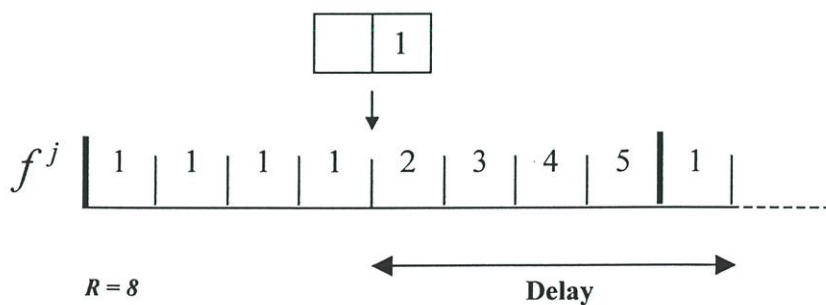
วิธี Idling virtual clock นี้จะให้ความสำคัญกับบัฟเฟอร์ที่มีแพ็กเก็ตหนาแน่นเท่ากับบัฟเฟอร์ที่พร้อมส่งแพ็กเก็ตออก ทำให้วิธีการนี้มีค่าเวลาหน่วงเฉลี่ยสำหรับทุกแพ็กเก็ตอยู่ในระดับต่ำ

2.2.4 วิธีการจองช่องสัญญาณแบบ Weighted Round Robin [14]

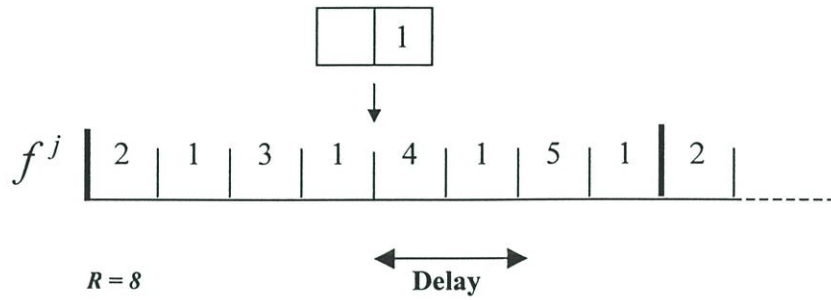
วิธีการจองช่องสัญญาณแบบ Weighted Round Robin (WRR) จะกำหนดลำดับการเชื่อมโยงที่ถูกให้บริการโดยการคำนวณไว้ก่อนแล้ว และกำหนดจำนวนช่องสัญญาณภายในเฟรมคงที่เวลาที่ใช้ในการส่งต่อหนึ่งแพ็กเก็ตมีค่าเท่ากับ L_c / C โดยที่ L_c และ C คือขนาดของแพ็กเก็ต

และความจุ (capacity) ของสายสื่อสารตามลำดับ จำนวนช่องสัญญาณในหนึ่งเฟรมกำหนดให้เป็นขนาดของรอบการให้บริการ (R) ให้ช่องสัญญาณ j ($0 \leq j \leq R-1$) แสดงถึงช่องสัญญาณที่ j ในเฟรมและกำหนดให้เฟรมเริ่มต้นที่ช่องสัญญาณที่ 0 แต่ละช่องสัญญาณจะถูกกำหนดให้กับการเชื่อมโยงซึ่งมีลำดับความสำคัญในการถูกให้บริการช่องสัญญาณ ให้ การเชื่อมโยง f^j แสดงถึงการเชื่อมโยงที่ถูกกำหนดช่องสัญญาณไว้ที่ช่องสัญญาณที่ j ดังนั้น f^j จะแสดงถึงลำดับการให้บริการภายในเฟรม

พิจารณา f^j โดยให้ N , ρ_i และ w_i เป็นจำนวนของการเชื่อมโยงที่ใช้ลิงค์ร่วมกัน, อัตราการให้บริการการจงให้กับการเชื่อมโยง i และจำนวนของช่องสัญญาณที่ถูกจงให้กับการเชื่อมโยง i ใน เฟรมตามลำดับ เมื่อ $\sum_{i=1}^N w_i = R$ โดย WRR server พยายามที่จะส่งแพ็กเก็ตของการเชื่อมโยง i ด้วยอัตรา $C \cdot w_i / R$ ดังนั้น w_i / R ต้องเท่ากับอัตราการจงการให้บริการแบบปกติของการเชื่อมโยง i คือ $r_i = \rho_i / C$ วิธีการที่ง่ายที่สุดในการตัดสินใจ f^j คือการกำหนดช่องสัญญาณตามลำดับ w_i ของการเชื่อมโยง i เมื่อ $i = 1$ ถึง N โดยเรียกวิธีการนี้ว่า batch assignment หรือวิธีการจงช่องสัญญาณแบบตามลำดับช่องสัญญาณเวลานั่นเอง ดังที่กล่าวมาแล้วว่าวิธีการนี้มีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากแพ็กเก็ตของการเชื่อมโยง i จะมาถึงเป็นลำดับต่อเนื่องกัน ช่องสัญญาณ w_i อาจจะมาซ้ำอย่างน้อยที่สุด $R - w_i + 1$ ช่องสัญญาณ ดังนั้นถ้ากำหนดให้ w_i เป็นช่องสัญญาณของการเชื่อมโยง i แล้วช่วงระยะเวลาว่างช่องสัญญาณที่จงให้กับการเชื่อมต่อใด ๆ ควรมีค่าใกล้เคียงกับ R/w_i ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่าการจงช่องสัญญาณแบบ ideal uniform หรือวิธีการจงช่องสัญญาณเวลาแบบกระจายช่องสัญญาณดังรูปที่ 2.7b ซึ่งแสดงความแตกต่างกันของเวลาหน่วงระหว่างวิธีการจงช่องสัญญาณทั้งสองวิธีเมื่อ $N = 5$, $R = 8$, $w_1 = 4$ และ $w_i = 1 (2 \leq i \leq 5)$



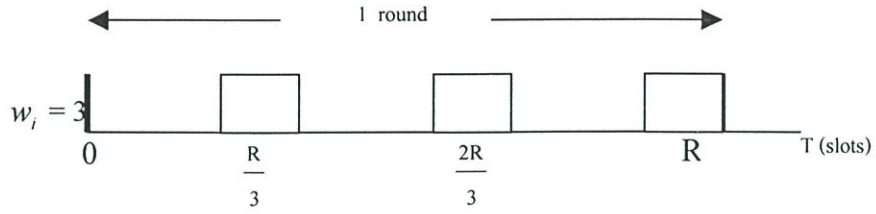
รูปที่ 2.7a อัลกอริทึมการจงช่องสัญญาณเวลาแบบตามลำดับช่องสัญญาณ



รูปที่ 2.7b อัลกอริทึมการจองช่องสัญญาณเวลาแบบกระจายช่องสัญญาณ

2.2.5 วิธีการจองช่องสัญญาณแบบกระจายช่องสัญญาณเวลา [14]

จากวิธีการจองช่องสัญญาณแบบกระจายช่องสัญญาณ (ideal uniform) การส่งข้อมูลของแพ็กเก็ต w_i , แพ็กเก็ตของการเชื่อมโยง i ควรจะสิ้นสุดลงที่ช่องสัญญาณเวลาที่ $R/w_i, 2R/w_i, \dots, R$ หลังจากการเริ่มต้นเฟรมดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยจะกำหนดช่วงเวลาสิ้นสุด (virtual finishing time : VFT) มีค่าเท่ากับ kR/w_i แนบไปในแต่ละแพ็กเก็ต w_i ของการเชื่อมโยง i เมื่อ $k = 1, 2, \dots, w_i$ แล้วจึงทำการแยกกลุ่มแพ็กเก็ตทั้งหมดของการเชื่อมโยงทั้งหมดเมื่อลำดับของช่วงเวลาสิ้นสุดเพิ่มมากขึ้น เมื่อวิธีการจำกัดการหยุด (tie breaking) จะเลือกแพ็กเก็ตของการเชื่อมโยงที่มีตัวบ่งชี้ที่น้อยที่สุด การจองช่องสัญญาณจะถูกพิจารณาโดยลำดับของแพ็กเก็ต กล่าวคือถ้าแพ็กเก็ตที่ j ของการเชื่อมโยง i คือช่องสัญญาณ j ที่ถูกกำหนดให้กับการเชื่อมโยง i โดยที่ $j = 0, 1, \dots, R-1$ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการรองรับการเชื่อมโยง 6 การเชื่อมโยงที่ใช้ลิงค์ร่วมกันและการเชื่อมโยงที่ 1 มีการจองแบนด์วิดท์ภายในลิงค์เท่ากับ 50% ส่วน การเชื่อมโยงที่ 2-6 มีการจองแบนด์วิดท์ภายในลิงค์เท่ากับ 10% ในกรณีนี้เมื่อ $R=10$ ผลของการจองช่องสัญญาณตามวิธีข้างต้นจะได้ $f^i = \{1, 1, 1, 1, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ เนื่องจาก $R/w_1 = 2$ และ $R/w_i = 10$ เมื่อ $2 \leq i \leq 6$ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงทำการเพิ่มเงื่อนไขโดยการแยกกลุ่มแพ็กเก็ต แพ็กเก็ตที่มี VFT ของ kR/w_i ต้องถูกกำหนดที่ต้องหลังจากที่ผ่านไปแล้วยังน้อยที่สุด $[(k-1)R/w_i]$ แพ็กเก็ตการดังนั้นจะได้ตำแหน่งที่จองช่องสัญญาณดังนี้ $\{1, 2, 1, 3, 4, 5, 1, 6\}$ เนื่องจากช่องสัญญาณที่ k ของ การเชื่อมโยง 1 ต้องถูกแทนที่หลังจากที่ต้องผ่านไปแล้วยังน้อย $(k-1)*2$ ช่องสัญญาณ เมื่อ $k = 1, 2, \dots, 5$



รูปที่ 2.8 การส่งแพ็กเก็ตโดยใช้การจองช่องสัญญาณแบบกระจายช่องสัญญาณเวลา

กำหนดให้ v_i^j เป็นจำนวนช่องสัญญาณที่กำหนดไว้ให้การเชื่อมโยง i ระหว่างช่องสัญญาณที่ 0 ถึงช่องสัญญาณที่ j เพื่อความเหมาะสมกำหนดให้ $v_i^{-1} \equiv 0$ สำหรับทุก i ดังนั้นค่าของ v_i^j เมื่อ $0 \leq j \leq R-1$ เป็นดังสมการ

$$v_i^j = \begin{cases} v_i^{j-1} + 1 & f^j = i \\ v_i^{j-1} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.10)$$

วิธีการจองช่องสัญญาณแบบกระจายช่องสัญญาณเวลามีขั้นตอนดังนี้ จาก $j = 0$ ถึง $j = R - 1$

1. กำหนดให้ E_j เป็นชุดข้อมูลของการเชื่อมโยง i โดยที่ $v_i^{j-1} / r_i \leq j$ เมื่อ $r_i = w_i / R$
2. กำหนดให้ $f^j = k \in E_j$ โดยที่ $(v_k^{j-1} + 1) / r_k = \min_{i \in E_j} \{(v_i^{j-1} + 1) / r_i\}$ ในกรณีที่หลาย ๆ การเชื่อมโยงมีค่าน้อยที่สุดเหมือนกัน tie breaking จะเลือกการเชื่อมโยง k ซึ่งมีค่าของ k น้อยที่สุด

บทที่ 3

ปัญหาที่พบและวิธีการแก้ไขปัญหาในระบบ การสื่อสารแบบ W-TDM

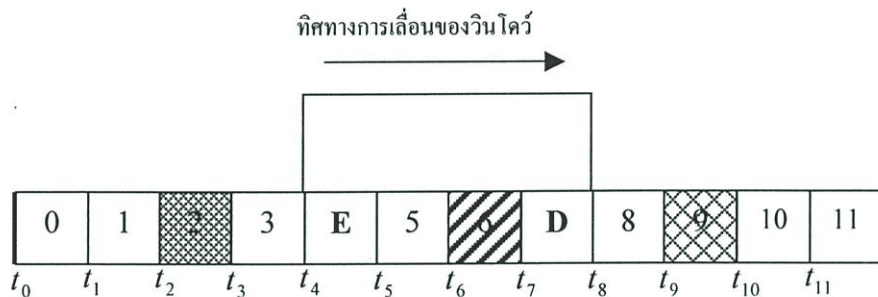
3.1 การนำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาในระบบการสื่อสารแบบ W-TDM

เนื่องจากระบบการสื่อสารแบบ W-TDM เป็นการสื่อสารที่มีการกำหนดช่องสัญญาณเวลาในเฟรม และกำหนดช่วงเวลาการให้บริการ (service-window) หรือวินโดว์ ซึ่งวินโดว์นี้มีไว้เพื่อรองรับความคลาดเคลื่อนของเวลามาถึงของแพ็กเก็ต โดยวินโดว์จะถูกใช้ในการพิจารณาการให้บริการ และจะเลื่อนไปที่ช่องสัญญาณเวลาในทิศทางเดิมเสมอซึ่งวิธีการนี้จะคล้ายกับการจัดการแบบหมุนวน (Round Robin) แต่จำกัดขอบเขตการให้บริการให้อยู่ภายในขอบเขตของวินโดว์ นั่นคือแพ็กเก็ตที่เข้ามา ณ เวลาใด ๆ จะได้รับการส่งผ่านไปยังสวิตช์เพื่อส่งไปยังบัพเฟอร์ขาออกได้ก็ต่อเมื่อแพ็กเก็ตนั้นเป็นแพ็กเก็ตของช่องสัญญาณที่ได้สำรองช่องสัญญาณเวลาเอาไว้แล้ว และช่องสัญญาณนั้นกำลังอยู่ภายในขอบเขตการพิจารณาของวินโดว์ ณ ขณะนั้นเท่านั้น ถ้าแพ็กเก็ตมาถึงหลังจากช่องสัญญาณเวลาของทราฟฟิกเฟรมนั้นได้ผ่านพ้นการพิจารณาของวินโดว์ไปแล้ว แพ็กเก็ตนั้นจะไม่ได้รับการให้บริการ ส่วนแพ็กเก็ตที่มาถึงช่องสัญญาณเวลาของทราฟฟิกเฟรมนั้นก่อนการพิจารณาของวินโดว์ก็จะรอจนกว่าการพิจารณาของวินโดว์จะมาถึงจึงได้รับการให้บริการ ซึ่งพิจารณาแล้วเห็นว่าอาจจะมีข้อเสียอยู่บ้างในส่วนที่อาจจะทำให้เกิดการสูญหายของแพ็กเก็ต (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะพฤติกรรมของทราฟฟิกนั้น ๆ)

ในส่วนของ การกำหนดช่องสัญญาณเวลาในเฟรมนั้น เนื่องจากตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่จองได้ในแต่ละโหนดที่อยู่ต่อเนื่องกันถ้าตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่ว่างอยู่ไม่ตรงกันพอดี มีผลทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ เช่น เกิดความล่าช้าในการส่งแพ็กเก็ต, การสูญหายของแพ็กเก็ต เป็นต้น ดังนั้นจึงทำการศึกษาถึงผลกระทบของขนาดของช่วงเวลาการให้บริการและการไม่ตรงกันของตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาในระบบ W-TDM และศึกษาถึงลักษณะการจองช่องสัญญาณเวลาที่จะทำให้ผลเสียดังกล่าวข้างต้นเกิดขึ้นน้อยที่สุด

3.1.1 ขนาดของช่วงเวลาการให้บริการ (service-window)

เนื่องจากระบบการสื่อสารแบบ W-TDM เป็นการสื่อสารที่มีการกำหนดช่องสัญญาณเวลาในเฟรมและนำหลักการของวินโดว์มาใช้เป็นขอบเขตการพิจารณาการให้บริการของแพ็กเก็ต โดยวินโดว์จะเลื่อนไปที่ละช่องสัญญาณเวลาในทิศทางเดิมเสมอ นั่นคือแพ็กเก็ตที่เข้ามา ณ เวลาใด ๆ จะได้รับการส่งผ่านไปยังสวิตช์เพื่อส่งไปยังบัพเฟอร์ขาออกได้ก็ต่อเมื่อแพ็กเก็ตนั้นเป็นแพ็กเก็ตของช่องสัญญาณเวลาที่ได้สำรองช่องสัญญาณเวลาเอาไว้แล้ว และช่องสัญญาณเวลานั้นกำลังอยู่ภายในขอบเขตการพิจารณาของวินโดว์ ณ ขณะนั้นเท่านั้น จากรูปที่ 3.1 ถ้า ณ เวลาปัจจุบันขอบเขตการพิจารณาของวินโดว์อยู่ในช่วง t_4 ถึง t_8 และมีการสำรองช่องสัญญาณที่ 7 ไว้ให้กับการเชื่อมโยง D ถ้าแพ็กเก็ตจากการเชื่อมโยง D มาถึงในช่องสัญญาณเวลาที่ 2 แพ็กเก็ตนั้นจะถูกลบทิ้งเนื่องจากแพ็กเก็ตนั้นมาถึงหลังจากช่องสัญญาณเวลานั้นได้ผ่านพ้นการพิจารณาของวินโดว์ไปแล้ว แต่ถ้าแพ็กเก็ตนั้นมาถึงในช่องสัญญาณเวลาที่ 6 แพ็กเก็ตจะได้รับการให้บริการเนื่องจากอยู่ภายในขอบเขตการพิจารณาของวินโดว์



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการให้บริการโดยใช้หลักการของวินโดว์

ขนาดของวินโดว์ส่งผลกระทบต่อระบบการสื่อสารแบบ W-TDM เช่น อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต, เวลาหน่วงการประมวลผล (processing delay) และอัตราการปฏิเสธการร้องขอ (call blocking rate) นั่นคือเมื่อวินโดว์มีขนาดใหญ่จะให้ความยืดหยุ่นในการพิจารณาการให้บริการกับแพ็กเก็ตมากกว่าวินโดว์ที่มีขนาดเล็กทำให้อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตและอัตราการปฏิเสธการร้องขอจะมีค่าน้อยกว่า ในทางกลับกันเมื่อขนาดวินโดว์มีขนาดเล็กจะทำให้ processing delay น้อยกว่าวินโดว์ที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นปัจจัยในการหาขนาดของวินโดว์ที่เหมาะสมมีดังนี้

3.1.1.1 เวลาหน่วง (Delay)

เวลาหน่วงทั้งหมดในระบบประกอบด้วยผลรวมของเวลาหน่วงของสื่อสัญญาณ (link propagation delay, D_p), เวลาหน่วงการประมวลผล (processing delay, D_s) และเวลาหน่วงการส่งข้อมูล (transmission delay, D_t) รวมทั้งเวลาหน่วงการบัพเฟอร์ของข้อมูล (buffering

delay , D_b) ที่เกิดจากการจัดลำดับแพ็กเก็ตเพื่อการนำส่ง (scheduling)

$$D_{total,k} = \sum D_{p,k}^i + \sum D_{s,k}^i + \sum D_{t,k}^i + \sum D_{b,k}^i \quad (3.1)$$

เวลาหน่วงการประมวลผลของการจัดลำดับแพ็กเก็ตเพื่อการนำส่ง (scheduling-processing delay) คือเวลาที่ใช้ในการแปลและเปลี่ยนข้อมูลส่วนหัวของแพ็กเก็ตที่เข้ามาพร้อมกับข้อมูลในตารางทรานสเลชัน (translation) ซึ่งได้จากการหาเส้นทาง โดยจะทำการเปรียบเทียบเลขที่วงจรเสมือน (Virtual Channel Identifier, VCI) จากแพ็กเก็ตที่ได้รับเข้ามาพร้อมกับค่า VCI ในตารางทรานสเลชัน เพื่อหาค่า VCI ที่จะส่งไปยังสวิตช์ซึ่งโหนดถัดไป โดยปกติแล้วระบบส่วนใหญ่จะมีการเข้าถึงตารางทรานสเลชันตลอดทั้งตารางเพื่อที่จะหาค่า VCI ที่ตรงกันกับแพ็กเก็ตของการเชื่อมโยงนั้น ๆ เวลาที่ใช้ในการค้นหาค่า VCI เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับนั้นจะมากขึ้นตามจำนวนการเชื่อมโยงและเพื่อที่จะลดปัญหานี้ระบบการสื่อสารแบบ W-TDM จึงเสนอการใช้วินโดว์เพื่อจำกัดขอบเขตของ processing delay นี้ โดยเวลาที่ใช้ในการค้นหาค่า VCI ของแพ็กเก็ตที่ในกรณีที่เวลาการมาถึงของแพ็กเก็ตอยู่ในวินโดว์แต่ไม่ตรงกับช่องสัญญาณเวลาที่จองไว้แสดงได้ดังสมการที่ 3.2 ส่วนเวลาที่ใช้ในการค้นหาค่า VCI ของแพ็กเก็ตในกรณีที่เวลาการมาถึงของแพ็กเก็ตของช่องสัญญาณเวลาที่อยู่นอกวินโดว์นั้นจะใช้เวลาการค้นหาค่า VCI ของช่องสัญญาณเวลาทั้งหมดภายในวินโดว์แสดงได้ดังสมการที่ 3.3

$$\Delta s = e\rho \quad (3.2)$$

$$\Delta s = w\rho \quad (3.3)$$

โดยที่

Δs คือ เวลาที่ใช้ในการค้นหาข้อมูลของการเชื่อมโยงที่ต้องการ

e คือ จำนวนของช่องสัญญาณที่แพ็กเก็ตมาถึงก่อนตำแหน่งที่จองไว้

w คือ ขนาดของวินโดว์

ρ คือ เวลาที่ใช้ในการค้นหาข้อมูลหนึ่งข้อมูลภายในตารางทรานสเลชัน

เวลาหน่วงที่เกิดจากการบัฟเฟอร์นั้นเกิดขึ้นที่ส่วนการส่งต่อแพ็กเก็ต (forwarder) หน้าทีของ forwarder คือส่งแพ็กเก็ตออกไปยังเส้นทางการเชื่อมโยงขาออกตามลำดับ โดยแพ็กเก็ตจะถูกเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ที่สำรองไว้สำหรับแพ็กเก็ตที่มีการรับประกันการส่งข้อมูล (guaranteed buffer) เมื่อแพ็กเก็ตเข้ามาตรงกับตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่จองไว้ก็จะถูกส่งออกไปทันที แต่ถ้าเวลาการมาถึงของแพ็กเก็ตอยู่ในขอบเขตการพิจารณาของวินโดว์แต่มาถึงก่อนช่องสัญญาณเวลาที่จองไว้

ก็จะถูกส่งไปเก็บที่บัฟเฟอร์ที่ใช้ในการส่งต่อข้อมูล (forwarding buffer) เพื่อที่จะรอเวลาที่ได้รับการให้บริการ ดังนั้นเวลาหน่วงที่เกิดจากการบัฟเฟอร์จะเปลี่ยนไปตามเวลาการมาถึงของแพ็กเกตว่ามาถึงก่อนช่องสัญญาณเวลาที่จองก็ช่องสัญญาณเวลา ดังสมการที่ 3.4 ถึงแม้ว่าเวลาหน่วงที่เกิดจากการบัฟเฟอร์ในระบบการสื่อสารแบบ W-TDM นั้นจะสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้แต่ก็จะอยู่ภายในขอบเขตของวินโดว์ดังสมการที่ 3.5 ซึ่งแสดงถึงค่าเวลาหน่วงที่เกิดจากการบัฟเฟอร์ที่มากที่สุด นั่นคือเวลาหน่วงที่เกิดจากการบัฟเฟอร์ที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากับศูนย์

$$D_{b,k}^i = t_{p,k}^i - t_{A,k}^i \quad (3.4)$$

$$\max D_{b,k}^i = t_{p,k}^i - t_{E,k}^i = (w-1)\tau \quad (3.5)$$

โดยที่

$t_{p,k}^i$ คือ เวลาที่คาดว่าแพ็กเกต k^h จะมาถึงสวิตช์ i^h

$t_{E,k}^i$ คือ เวลาการมาถึงของแพ็กเกต k^h ที่เร็วที่สุดที่สามารถเป็นไปได้

$t_{A,k}^i$ คือ เวลาการมาถึงของแพ็กเกต k^h ที่มาถึงสวิตช์ i^h

3.1.1.2 อัตราการสูญหายของแพ็กเกต

ระบบการสื่อสารแบบ W-TDM จะมีความยืดหยุ่นมากกว่าระบบการสื่อสารแบบ TDM ในเรื่องของช่วงเวลาการพิจารณาการให้บริการของแพ็กเกต คือถ้าแพ็กเกตมาไม่ตรงกับช่องสัญญาณเวลาที่จองไว้แต่อยู่ภายในขอบเขตการพิจารณาของวินโดว์แพ็กเกตนั้นก็จะได้รับการให้บริการ แต่ถ้าเวลามาถึงของแพ็กเกตนั้นอยู่นอกเหนือขอบเขตการพิจารณาของวินโดว์ ก็อาจจะทำให้เกิดการสูญหายของแพ็กเกตได้ นั่นคือถ้าวินโดว์มีขนาดใหญ่มากโอกาสที่จะเกิดอัตราการสูญหายของแพ็กเกตก็จะน้อยเนื่องจากขอบเขตในการพิจารณาการให้บริการของแพ็กเกตก็จะเพิ่มมากขึ้นตามขนาดของวินโดว์ นอกจากขนาดของวินโดว์แล้วปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการสูญหายของแพ็กเกตอีกอย่างคือเวลาการมาถึงของแพ็กเกต ซึ่งเวลาการมาถึงของแพ็กเกตนั้นจะขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของทราฟฟิกซึ่งแต่ละชนิดก็จะส่งผลต่ออัตราการสูญหายของแพ็กเกตต่างกันไป ดังนั้นการสูญหายของแพ็กเกตอาจจะไม่เกิดขึ้นเลยถ้าหากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกของแต่ละการเชื่อมโยงสามารถปรับแต่งทราฟฟิกให้สอดคล้องกับช่องสัญญาณเวลาที่จองได้

แพ็กเกตของการเชื่อมโยงที่ k จะได้รับการให้บริการถ้าเวลาการมาถึงของแพ็กเกตอยู่ในขอบเขตดังแสดงไว้ในสมการ

$$t_{E,k} \leq t_{A,k} \leq t_{L,k} \quad (3.6)$$

$$t_L = t_o + A\tau + nF\tau \quad (3.7)$$

$$t_E = t_o + (A - w + 1)\tau + nF\tau \quad (3.8)$$

โดยที่

$t_{E,k}$ คือ เวลาการมาถึงของแพ็กเก็ตของการเชื่อมโยง k ที่สามารถมาได้เร็วที่สุดที่สามารถได้รับการบริการได้ภายในวินโดว์

$t_{L,k}$ คือ เวลาการมาถึงของแพ็กเก็ตของการเชื่อมโยง k ที่สามารถมาได้ช้าที่สุดที่สามารถได้รับการบริการได้ภายในวินโดว์

t_o คือ เวลาเริ่มต้นของเฟรม

A คือ ตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่จอง $(0, 1, \dots, F-1)$

F คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาภายในหนึ่งเฟรม

n คือ จำนวนเต็ม $0, 1, 2, \dots$

3.1.1.3 การปฏิเสธการร้องขอ (Call blocking rate)

ก่อนที่จะทำการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางนั้นจะต้องทำการร้องขอการเชื่อมต่อเส้นทาง ซึ่งจะต้องทำการขออนุญาตระบบเครือข่ายที่จะทำการสำรองทรัพยากร ในระบบเครือข่าย W-TDM การซิงโครนัส (synchronous) ของวินโดว์ระหว่างการเชื่อมโยงขาเข้า (incoming link) และการเชื่อมโยงขาออก (outgoing link) อาจจะมีผลกระทบต่ออัตราการปฏิเสธการร้องขอ เนื่องจากการจองช่องสัญญาณเวลาที่เหมาะสมของระบบการสื่อสารแบบ W-TDM นั้นควรซิงโครนัสกันโดยนำขนาดของวินโดว์มาพิจารณา ดังนั้นความน่าจะเป็นที่การเชื่อมโยง k สามารถจองช่องสัญญาณเวลาที่สวิตช์ j^{th} สำเร็จด้วยจำนวนช่องสัญญาณ $N_{C,k}$ คือ P^{ij} ณ เวลาใด ๆ ดังแสดงตามสมการที่ (3.9).

$$P^{ij} = \begin{cases} \leq 1 & N_{C,k} < N_w^j \\ 0 & N_{C,k} > F - b^j \end{cases} \quad (3.9)$$

โดย

P^{ij} คือ ความน่าจะเป็นที่สามารถจองช่องสัญญาณเวลาระหว่างสวิตช์ซึ่งโหนดที่ i และ j โดยที่สวิตช์ซึ่งโหนด $j = i+1$

F คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาภายในหนึ่งเฟรม

b^j คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาของสวิตช์ j^{th} ที่ถูกจองแล้ว ณ เวลาที่พิจารณา

$N_{C,k}$ คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาที่ต้องการจองของการเชื่อมโยง k

N_w^j คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาที่ว่างภายในวินโดว์ ณ เวลาที่พิจารณาของสวิตช์ j^{th}

โดยที่ความน่าจะเป็นที่สามารถจองช่องสัญญาณเวลาระหว่างสวิตซ์ซึ่งไหนดที่ i และ j โดยที่สวิตซ์ซึ่งไหนด $j = i+1$ เป็นดังสมการ

$$P^{ij} = \binom{W}{b} * \frac{N_i!}{(N_i - b)!} * \frac{(F - W)!}{F!} * \frac{(F - N)!}{(F - (W + N_i - b))!} \quad (3.10)$$

เมื่อ

- N_i คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลารว่างในเฟรมมีหน่วยเป็นช่องสัญญาณเวลา
- F คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาภายในหนึ่งเฟรมมีหน่วยเป็นช่องสัญญาณเวลา
- b คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาที่ถูกจองแล้ว ณ เวลาที่พิจารณา มีหน่วยเป็นช่องสัญญาณเวลา
- W คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาภายในหนึ่งวินโดว์มีหน่วยเป็นช่องสัญญาณเวลา

ความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณเวลา 1 ช่องสัญญาณเวลาในสวิตซ์ที่ j โดยที่สวิตซ์ซึ่งไหนด $j = i+1$ เป็นดังสมการ

$$P^{ij} = \sum_{b=1}^N \binom{W}{b} * \frac{N_i!}{(N_i - b)!} * \frac{(F - W)!}{F!} * \frac{(F - N_i)!}{(F - (W + N_i - b))!} \quad (3.11)$$

$$\binom{W}{b} = \frac{W!}{(W - b)!b!} \quad (3.12)$$

ความน่าจะเป็นที่สามารถจองช่องสัญญาณเวลาจำนวน $N_{c,k}$ ช่องสัญญาณในสวิตซ์ที่ j โดยที่สวิตซ์ซึ่งไหนด $j = i+1$ เป็นดังสมการ

$$P^{ij} = \sum_{b=N_{c,k}}^N \binom{W}{b} * \frac{N_i!}{(N_i - b)!} * \frac{(F - W)!}{F!} * \frac{(F - N_i)!}{(F - (W + N_i - b))!} \quad (3.13)$$

เมื่อ $N \leq W$

ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการปฏิเสธการร้องขอ B แสดงได้ดังสมการ

$$B = 1 - \prod_{i=1}^{N_p-1} (P^{ij}) \quad (3.14)$$

โดย

N_p คือ จำนวนของสวิตช์ซึ่งโหนดทั้งหมดภายในเส้นทางนั้น

ดังนั้นจะทำให้ความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางเมื่อต้องการจองช่องสัญญาณเวลาจำนวน $N_{c,k}$ ช่องสัญญาณตลอดทั้งเส้นทาง เป็นดังสมการ

$$B^{ln} = 1 - \prod_{i=2}^n \sum_{b=N_{c,k}}^N \binom{W}{b} * \frac{N_i!}{(N_i - b)!} * \frac{(F - W)!}{F!} * \frac{(F - N_i)!}{(F - (W + N_i - b))!} \quad (3.15)$$

โดย

B^{ln} คือ โอกาสที่จะเกิดการปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางจากโหนดที่ 1 ถึงโหนดที่ I

ในกรณีที่แบ่งเฟรมออกเป็นเฟรมย่อยและทำการจองช่องสัญญาณเวลาภายในเฟรมย่อยหรือที่เรียกว่าวิธีการกระจายการจองช่องสัญญาณช่องสัญญาณเวลาโอกาสที่จะเกิดการปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางจากโหนดที่ 1 ถึงโหนดที่ I

$$B^{ln} = 1 - \prod_{i=2}^n \sum_{b=N_{c,k}}^N \binom{W}{b} * \frac{\left(\frac{N_i}{b}\right)!}{\left(\frac{N_i}{b} - b\right)!} * \frac{\left(\frac{F}{b} - W\right)!}{\left(\frac{F}{b}\right)!} * \frac{\left(\frac{F - N_i}{b}\right)!}{\left(\frac{F}{b} - \left(W + \frac{N_i}{b} - b\right)\right)!} \quad (3.16)$$

กรณีที่โหนดแรกใช้วิธีการจองช่องสัญญาณเวลาแบบค้นหาตามลำดับความน่าจะเป็นของการปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางจะเพิ่มขึ้นตามการแกว่งหรือการกระจายทราฟฟิกในระบบ

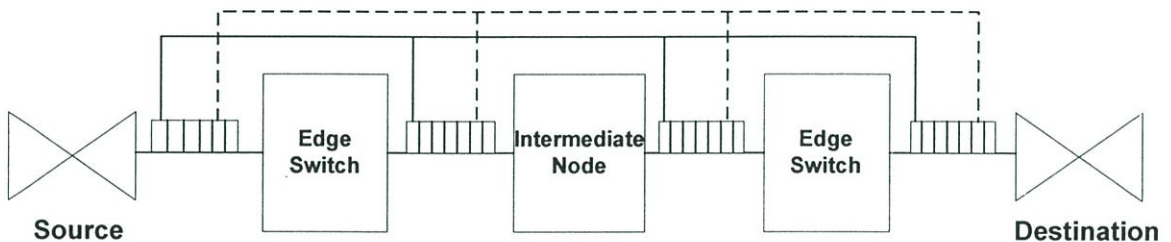
3.1.2 การจองช่องสัญญาณเวลาภายในเฟรม

ระบบ W-TDM ต้องการกระบวนการการร้องขอเพื่อจัดตั้งเส้นทางสื่อสาร (call admission) ให้เหมาะสมกับระบบ W-TDM เนื่องจากการสำรองช่องสัญญาณในระบบ W-TDM ต้องการสำรองช่องสัญญาณเวลาหนึ่งช่องสัญญาณเวลาต่อหนึ่งแพ็กเก็ต โดยมีเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

- ในการร้องขอเพื่อจัดตั้งเส้นทางสื่อสารในระบบ W-TDM นั้นจะแบ่งเฟรมออกเป็นช่องสัญญาณเวลาโดยจำนวนช่องสัญญาณเวลาที่ถูกรสงไว้ให้ W-TDM ในแต่ละเฟรมจะต้องทำ

กันและจะต้องเป็นช่องสัญญาณเวลาที่ซึ่งโครนัสกันหรืออยู่ภายใต้ขนาดของวินโดวในทุก ๆ โหนดตลอดเส้นทาง เช่นในรูปที่ 3.2

- เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้นแต่ละโหนดจะต้องทำหน้าที่คำนวณหาช่องสัญญาณเวลาที่จัดสรรให้ในแต่ละเฟรมสำหรับการเชื่อมต่อใด ๆ
- หลังจากตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่จะสำรองช่องสัญญาณเวลาได้แล้ว ซึ่งเป็นตำแหน่งสำหรับการสับเปลี่ยนเวลาในการจับคู่ช่องสัญญาณเวลาขาเข้าของโหนดก่อน (previous node) และช่องสัญญาณเวลาขาออกที่จะส่งไปยังโหนดถัดไป (next node) ก็จะทำกาเลือกเส้นทางนั้น



รูปที่ 3.2 ลักษณะการจองช่องสัญญาณเวลาในแต่ละเฟรมย่อย

การร้องขอเพื่อจัดตั้งเส้นทางสื่อสารของระบบ W-TDM มีขั้นตอนดังนี้

- การตัดสินใจเลือกเส้นทาง

โหนดต้นทางจะต้องตรวจหาเส้นทางระหว่างต้นทางกับปลายทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยใช้หลักการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด โดยคำนึงถึงจำนวนสวิตซ์ซึ่งโหนดทั้งหมดในเส้นทางและเก็บเส้นทางเหล่านี้ไว้ในตารางตามลำดับเรียงจากเส้นทางที่สั้นที่สุด

- เลือกตำแหน่งของช่องสัญญาณที่จะอนุญาตให้ใช้งานในแต่ละการเชื่อมต่อ

จากรูปที่ 3.3(a) ทุกสวิตซ์ซึ่งโหนดในเส้นทางจะเลือกหาตำแหน่งของช่องสัญญาณเวลาที่จะใช้ในการเชื่อมโยงของจุดเชื่อมต่อที่ใช้ในการเชื่อมโยงไปยังปลายทาง เมื่อคำนวณหาตำแหน่งที่ต้องการได้แล้วก็จะทำการสำรองตำแหน่งนั้นเพื่อใช้ในการเชื่อมโยงดังรูปที่ 3.3(b) ถ้ามีการรับการร้องขออื่นเข้ามาในช่วงเวลาการร้องขอเพื่อติดตั้งการเชื่อมโยงนี้ ในการคำนวณอาจให้ข้อมูลจำนวนช่องสัญญาณเวลาว่างผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มการควบคุม call admission control ให้แยกแต่ละการร้องขอออกจากกันระหว่างที่มีการจัดตั้งเส้นทางสื่อสาร

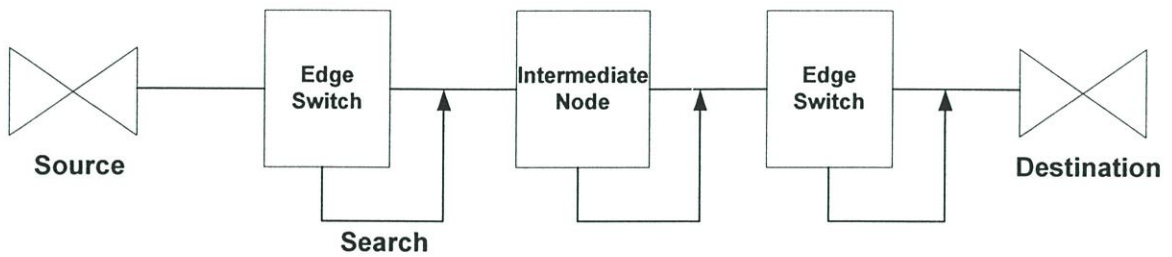
- จัดจำตำแหน่งของช่องสัญญาณเวลาที่อนุญาตให้ใช้งาน

เมื่อการขออนุญาตการเชื่อมต่อมาถึงปลายทาง ทุก ๆ โหนดต้องรายงานตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่อนุญาตให้ใช้งานกลับไปยังโหนดก่อนหน้าโดยมีทิศทางจากปลายทางไปยังต้น

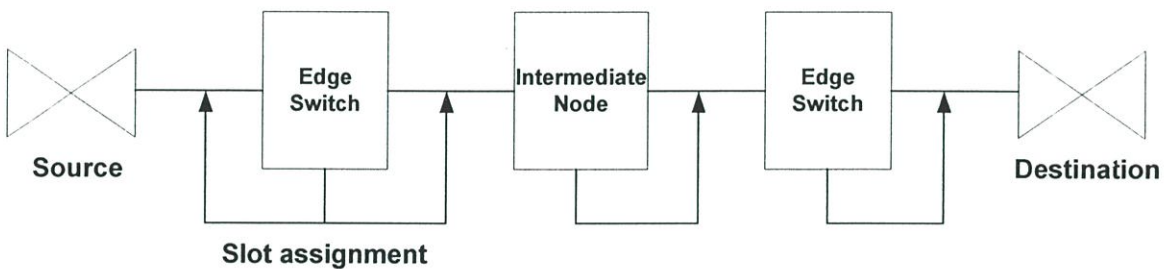
ทาง แต่ละโหนดจะต้องทำการจดจำตำแหน่งช่องสัญญาณเวลานี้ของ upper side link ไว้ด้วยเช่นกัน

- ทำการเชื่อมต่อ

เมื่อโหนดต้นทางได้รับการรายงานการขออนุญาตเสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะถือว่าเป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการร้องขอ และเริ่มส่งข้อมูลชุดแรกไปยังปลายทางตามเส้นทางที่เชื่อมต่อ



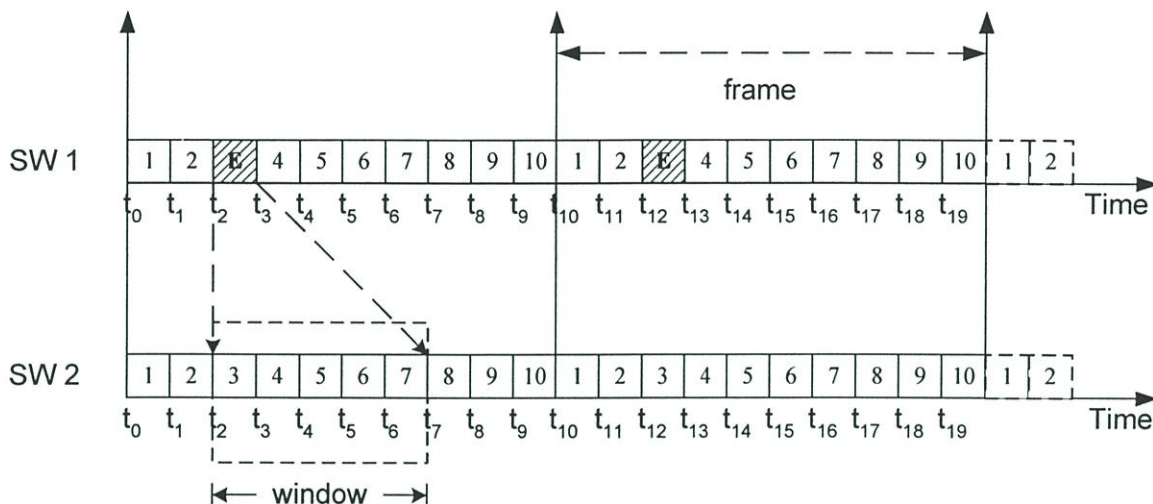
(a) การรายงานจำนวนช่องสัญญาณเวลาที่ว่างอยู่



(b) การตัดสินใจของช่องสัญญาณเวลาในแต่ละเฟรม

รูปที่ 3.3 กระบวนการของการเชื่อมต่อเส้นทาง

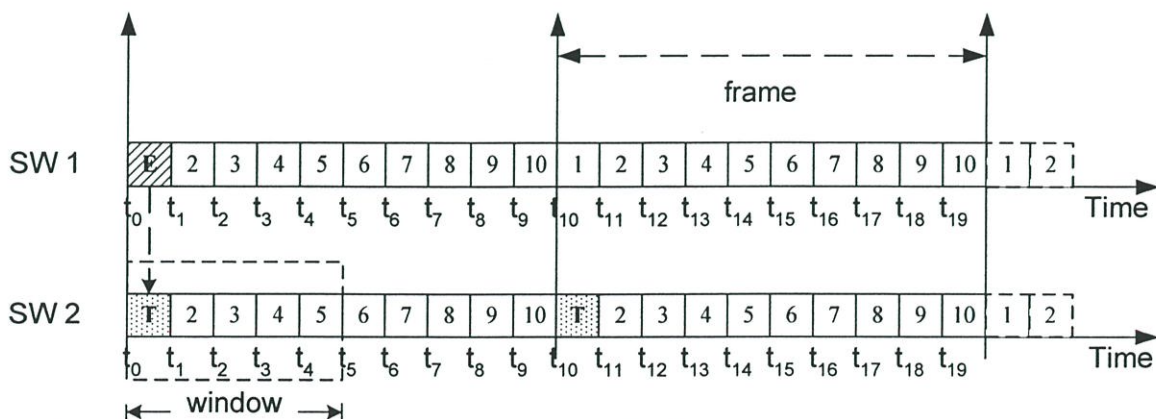
จากกระบวนการเพื่อร้องขอเชื่อมต่อเส้นทางของระบบ W-TDM ข้างต้น ในขั้นตอนของการตัดสินใจของตำแหน่งช่องสัญญาณเวลานั้น แต่ละสวิตช์ซึ่งโหนดควรจะพิจารณาตำแหน่งการจองช่องสัญญาณเวลาให้ซึ่งใคร่นัสกับตำแหน่งที่จองไว้ที่สวิตช์ซึ่งโหนดก่อนหน้านั้นกล่าวคือรวมเวลาทั้งหมดที่ส่งผ่านแพ็กเกตจากสวิตช์ที่ 1 ไปถึงยังสวิตช์ที่ 2 พอดีโดยอยู่ในขอบเขตการพิจารณาการให้บริการของวินโดว์ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขอบเขตการพิจารณาการจองตำแหน่งช่องสัญญาณเวลา

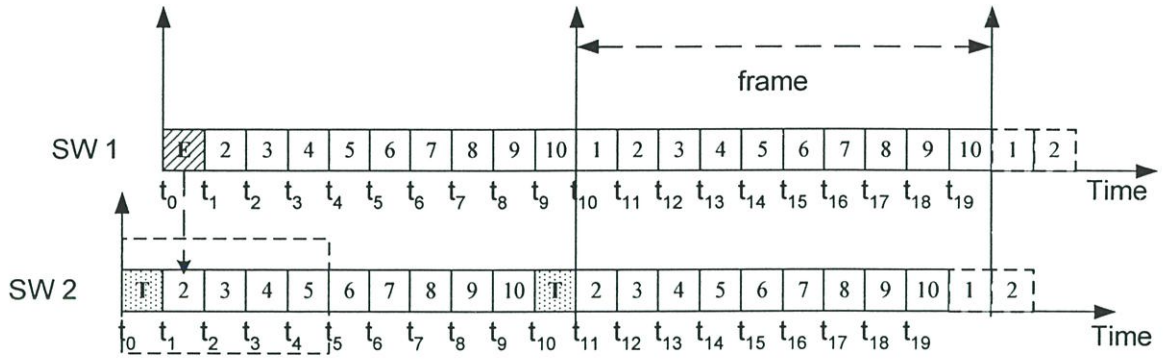
จากรูปที่ 3.4 สมมติว่าช่องสัญญาณเวลาของสวิตช์ที่ 1 และสวิตช์ที่ 2 ซึ่งโครนัสกัน การเชื่อมโยง E จองตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่ 3 ของสวิตช์ที่ 1 ดังนั้นในการจองตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่สวิตช์ที่ 2 ในกรณีที่กำหนดให้ขนาดของวินโดว์มีค่าเท่ากับ 5 จึงสามารถพิจารณาตำแหน่งการจองได้ตั้งแต่ช่องสัญญาณเวลาที่ 3 ถึง 7 ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอหลักการพิจารณาจองช่องสัญญาณเวลา 3 รูปแบบด้วยดังนี้

3.1.2.1 การจองช่องสัญญาณเวลาแบบค้นหาตามลำดับ (Sequence-Sequence Slot Assignment) สวิตช์ซึ่งไหนดแรกจองช่องสัญญาณเวลาว่างช่องสัญญาณเวลาแรกที่พบภายในเฟรม ส่วนสวิตซ์ซึ่งไหนดถัดไปจะจองช่องสัญญาณเวลาว่างช่องสัญญาณเวลาแรกที่พบภายในวินโดว์ ซึ่งซึ่งโครนัสกับตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่จองไว้ของสวิตซ์ซึ่งไหนดก่อนหน้า

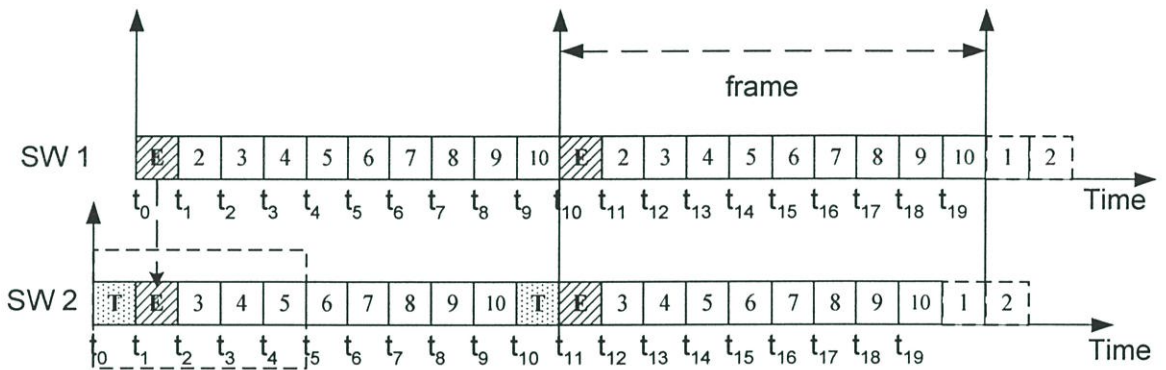


a. เริ่มต้นพิจารณาตำแหน่งช่องสัญญาณของสวิตช์ที่ 1 ที่ช่องสัญญาณแรกที่ว่างและพิจารณาตำแหน่งช่องสัญญาณของสวิตช์ที่ 2 ที่ซึ่งโครนัสกับช่องสัญญาณของสวิตช์ที่ 1

รูปที่ 3.5 การพิจารณาเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบค้นหาตามลำดับ



b. ในกรณีที่ช่องสัญญาณที่ตรงกันไม่ว่าง ทำการพิจารณาช่องสัญญาณตำแหน่งถัดไป



c. จองช่องสัญญาณว่างและอยู่ภายในขอบเขตของวินโดว์

รูปที่ 3.5 การพิจารณาเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบค้นหาตามลำดับ (ต่อ)

จากรูปที่ 3.5a เมื่อแพ็กเก็ตที่มาจาก การเชื่อมโยง E เข้ามาที่สวิตช์ที่ 1 จะพบช่องสัญญาณเวลาแรกว่างอยู่ที่จองช่องสัญญาณเวลานี้ ซึ่งมีโอกาสที่จะจองช่องสัญญาณเวลา 1 ช่องสัญญาณเวลาที่สวิตช์ที่ 1 สำเร็จเป็นดังสมการ

$$P^i = \frac{F - b^i}{F} \tag{3.17}$$

เมื่อ F คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาภายในหนึ่งเฟรม

b^i คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาของสวิตช์ i^{th} ที่ถูกจองแล้ว ณ เวลาที่พิจารณา

จากนั้นจึงทำการพิจารณาที่สวิตช์ที่ 2 โดยเริ่มต้นพิจารณาจากตำแหน่งที่ซึ่งโครนัสกับตำแหน่งที่จองช่องสัญญาณของสวิตช์ที่ 1 ซึ่งสมมติให้เป็นตำแหน่งที่ 1 ของสวิตช์ที่ 2 แต่จากการพิจารณาพบว่าตำแหน่งช่องสัญญาณนี้ถูกจองไว้สำหรับการเชื่อมโยง T แล้ว ดังนั้นจึงเลื่อนการพิจารณาไป

ที่ตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่ 2 ดังรูปที่ 3.5b เมื่อพบว่าตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่ 2 ว่างและ อยู่ภายในขอบเขตของวินโดว์จึงจองช่องสัญญาณเวลานี้ให้กับการเชื่อมโยง E ดังรูปที่ 3.5c ดังนั้น โอกาสที่จะจองช่องสัญญาณเวลา 1 ช่องสัญญาณเวลาที่สวิตช์ที่ 2 ได้นั้นจึงอยู่ภายในขอบเขต ของวินโดว์ แสดงได้ดังสมการ

$$P^j = \frac{w - \left(\frac{b^j}{F} \times w \right)}{w} \quad (3.18)$$

เมื่อ P^j คือ ความน่าจะเป็นที่สามารถจองช่องสัญญาณเวลาสวิตช์ที่ j ($j = i+1$)

F คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาภายในหนึ่งเฟรม

w คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาภายในวินโดว์

b^j คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาของสวิตช์ j^{th} ที่ถูกจองแล้ว ณ เวลาที่พิจารณา

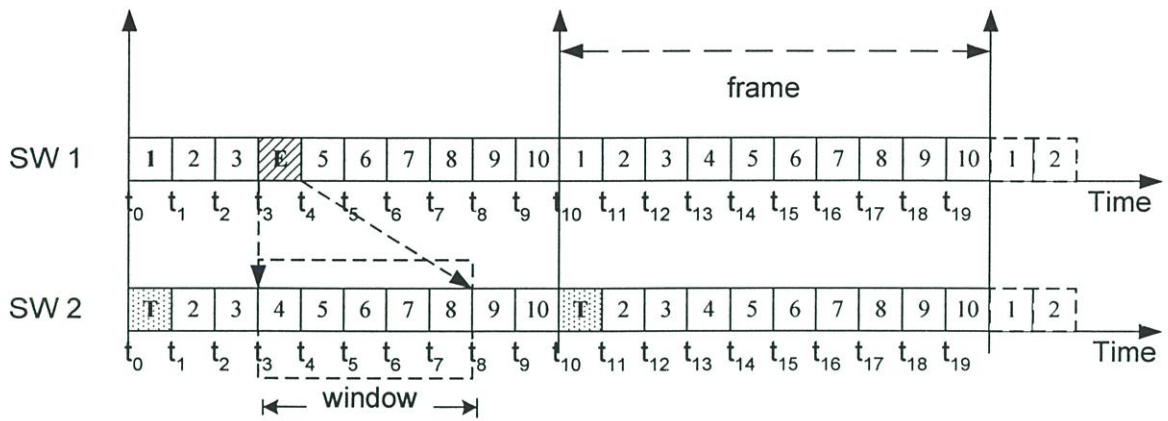
จากสมการที่ (3.17) และ (3.18) ทำให้เราสามารถหาโอกาสที่สามารถจองช่องสัญญาณเวลา 1 ช่องสัญญาณระหว่างสวิตช์ซึ่งไหนดที่ i และ j โดยที่สวิตช์ซึ่งไหนด $j = i+1$ ตลอดเส้นทางได้ดัง สมการ

$$P^{ij} = \prod_{i=1}^{N_r} \left(\frac{F - b^i}{F} \right) \quad (3.18)$$

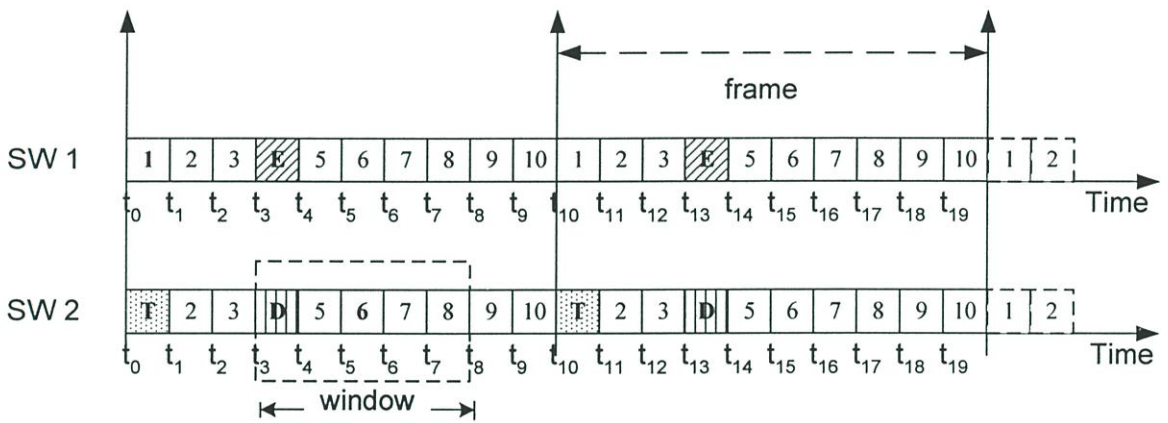
โดย P^{ij} คือ ความน่าจะเป็นที่สามารถจองช่องสัญญาณเวลาระหว่างสวิตช์ซึ่งไหนดที่ i และ j

N_r คือ จำนวนสวิตช์ซึ่งไหนดทั้งหมดในเส้นทาง r

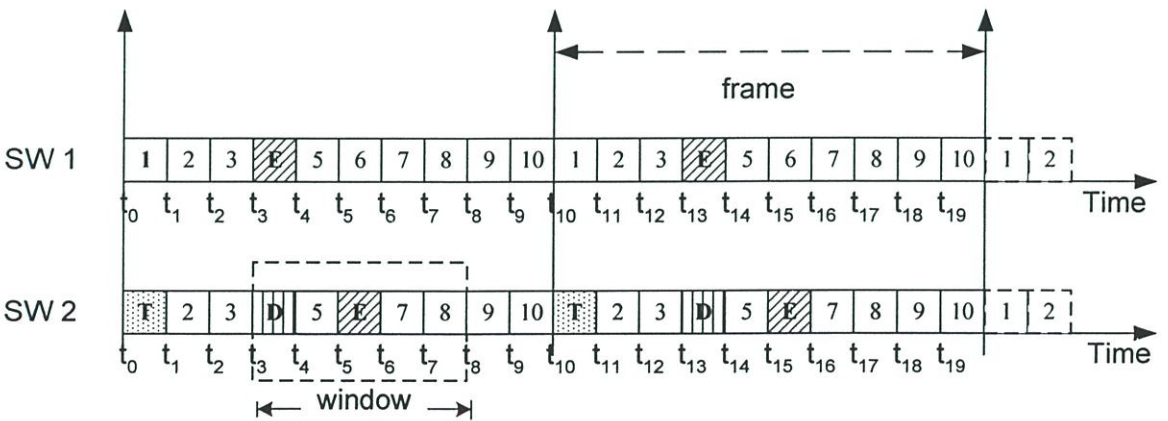
3.1.2.2 การจองช่องสัญญาณเวลาแบบสุ่มเลือก (Random-Random Slot Assignment) สวิตช์ซึ่งไหนดแรกจะทำการสุ่มจองช่องสัญญาณเวลาว่างภายในเฟรม จากนั้น สวิตช์ซึ่งไหนดถัดไปจะสุ่มจองช่องสัญญาณเวลาว่างภายในวินโดว์ ซึ่งซึ่งโครนัสกับตำแหน่งช่อง สัญญาณเวลาที่จองไว้ของสวิตช์ซึ่งไหนดก่อนหน้า



a. พิจารณาตำแหน่งช่องสัญญาณของสวิตช์ที่ 1 ที่ช่องสัญญาณโดยวิธีการสุ่มเลือกภายในเฟรม



b. พิจารณาตำแหน่งช่องสัญญาณของสวิตช์ที่ 2 ที่ช่องสัญญาณโดยวิธีการสุ่มเลือกภายในวินโดว์



c. จงช่องสัญญาณว่างและอยู่ภายในขอบเขตของวินโดว์

รูปที่ 3.6 การพิจารณาเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบสุ่มเลือก

จากรูปที่ 3.6a เมื่อแพ็กเก็ตที่มาจากการเชื่อมโยง E เข้ามาที่สวิตช์ที่ 1 จะใช้วิธีการสุ่มเลือกช่องสัญญาณว่างโดยมีขอบเขตภายในเฟรม ซึ่งมีโอกาสที่จะจองช่องสัญญาณเวลา 1 ช่องสัญญาณเวลาที่สวิตช์ที่ 1 สำเร็จเป็นดังสมการ

$$P^i = \frac{F - \left(n_L + \frac{b^i}{F} \right)}{F} \quad (3.19)$$

เมื่อ F คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาภายในหนึ่งเฟรม

b^i คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาของสวิตช์ i^{th} ที่ถูกจองแล้ว ณ เวลาที่พิจารณา

n_L คือ จำนวนการเชื่อมโยงจนถึง ณ เวลาที่พิจารณา

จากนั้นจึงทำการพิจารณาที่สวิตช์ที่ 2 โดยใช้หลักการเดียวกันคือสุ่มเลือกช่องสัญญาณเวลาว่าง ซึ่งมีขอบเขตภายในวินโดวซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะคล้ายกับสมการที่ (3.19) ดังนั้นโอกาสที่สามารถจองช่องสัญญาณเวลา 1 ช่องสัญญาณระหว่างสวิตช์ซึ่งโหนดที่ i และ j โดยที่สวิตช์ซึ่งโหนด $j = i+1$ ตลอดเส้นทางได้ดังสมการ

$$P^{ij} = \prod_{i=1}^{N_r} \left(\frac{F - \left(n_L + \frac{b^i}{F} \right)}{F} \right) \quad (3.20)$$

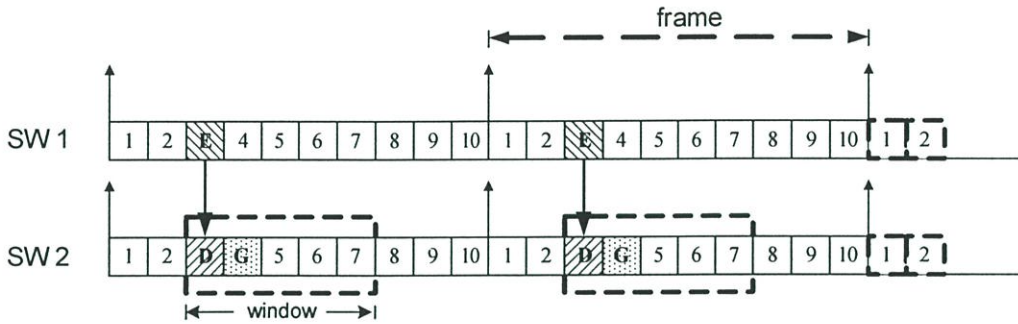
โดย

P^{ij} คือ ความน่าจะเป็นที่สามารถจองช่องสัญญาณเวลาระหว่างสวิตช์ซึ่งโหนดที่ i และ j

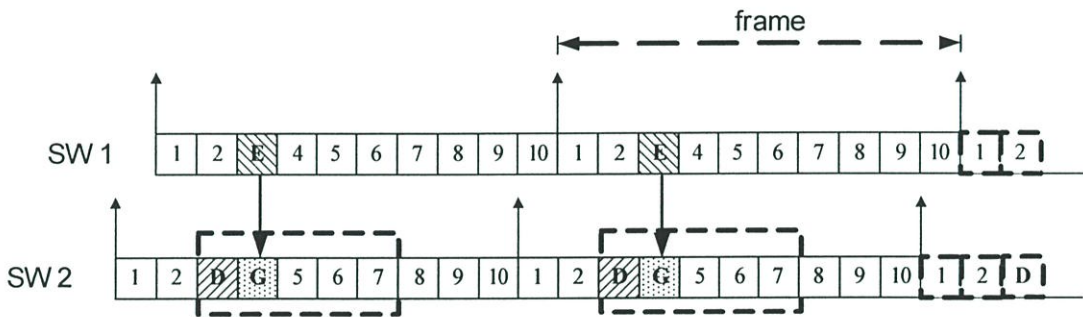
N_r คือ จำนวนสวิตช์ซึ่งโหนดทั้งหมดในเส้นทาง r

3.1.2.3 การจองช่องสัญญาณเวลาแบบผสม (Random-Sequence Slot Assignment) สวิตช์ซึ่งโหนดแรกจะทำการสุ่มจองช่องสัญญาณเวลาว่างภายในเฟรม จากนั้นสวิตช์ซึ่งโหนดถัดไปจะเลือกจองช่องสัญญาณเวลาว่างแรกที่พบภายในวินโดว ซึ่งซึ่งโครนัสกับตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่จองไว้ของสวิตช์ซึ่งโหนดก่อนหน้า ดังแสดงในรูปที่ 3.7a คือการเชื่อมโยง E มาถึงสวิตช์แรกจะทำการสุ่มเลือกช่องสัญญาณเวลาว่างโดยมีขอบเขตภายในเฟรม สมมติว่าเลือกได้ช่องสัญญาณเวลาที่ 3 จากนั้นก็จะพิจารณาจองช่องสัญญาณเวลาที่สวิตช์ที่ 2 โดยกำหนดให้ช่องสัญญาณเวลาของสวิตช์ที่ 2 ที่ซึ่งโครนัสกับช่องสัญญาณเวลาที่ 3 ของสวิตช์ที่ 1 คือช่องสัญญาณเวลาที่ 3 จึงเริ่มพิจารณาหาช่องสัญญาณเวลาว่างแรกปรากฏว่าช่องสัญญาณเวลาที่ 3 และ 4 ของสวิตช์ที่ 2 ถูกจองไว้ให้กับการเชื่อมโยง D และ G ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อทำการพิจารณาหาช่อง

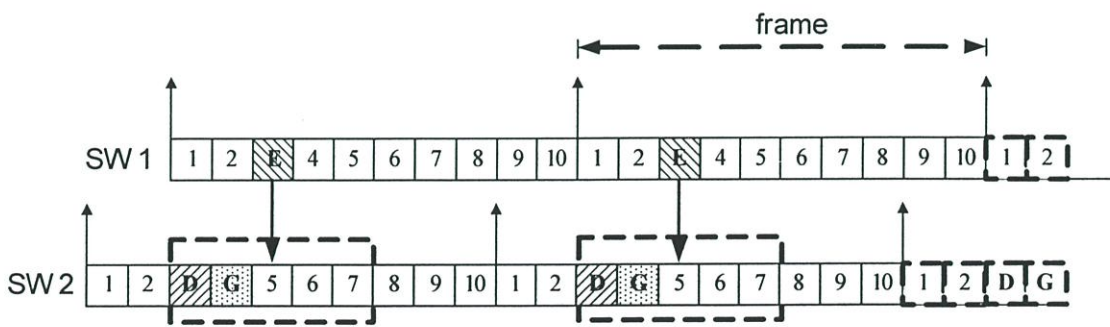
สัญญาว่างให้กับการเชื่อมโยง E ที่ช่องสัญญาณเวลาที่ 3 และ 4 จึงไม่สามารถจองได้ดังรูปที่ 3.7b เมื่อทำการพิจารณาถึงช่องสัญญาณเวลาที่ 5 แล้วพบว่าไม่ถูกจองช่องสัญญาณเวลาให้กับการเชื่อมโยงใด ๆ เมื่อพบว่าช่องสัญญาณเวลานั้นว่างจึงทำการจองให้กับการเชื่อมโยง E ดังรูปที่ 3.7d



a. เริ่มต้นพิจารณาดำเนินช่องสัญญาณของสวิตช์ที่ 2 ที่ซึ่งโครนัสกับช่องสัญญาณของสวิตช์ที่ 1

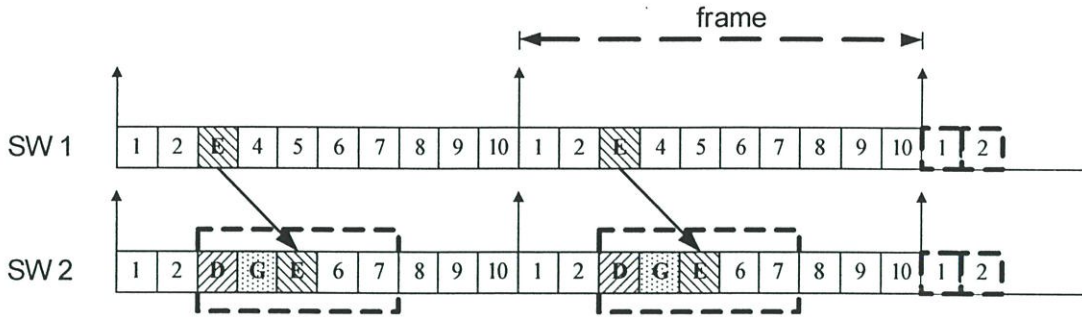


b. ในกรณีที่ช่องสัญญาณที่ตรงกันไม่ว่าง ทำการพิจารณาช่องสัญญาณตำแหน่งถัดไป



c. พิจารณาหาตำแหน่งช่องสัญญาณว่างโดยขอบเขตในการพิจารณาอยู่ภายในวินโดว์

รูปที่ 3.7 การพิจารณาเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบผสม



d. ช่องช่องสัญญาณว่างและอยู่ภายในขอบเขตของวินโดว์

รูปที่ 3.7 การพิจารณาเลือกช่องสัญญาณเวลาแบบผสม (ต่อ)

โอกาสที่จะจองช่องสัญญาณเวลา 1 ช่องสัญญาณเวลาที่สวิตช์ที่ 1 สำเร็จเป็นดังสมการ (3.19) และโอกาสที่จะจองช่องสัญญาณเวลา 1 ช่องสัญญาณเวลาที่สวิตช์ที่ 2 ได้นั้นจึงอยู่ภายในขอบเขตของวินโดว์จะเป็นดังสมการ (3.17) ดังนั้นโอกาสที่สามารถจองช่องสัญญาณเวลา 1 ช่องสัญญาณระหว่างสวิตช์ซึ่งโหนดที่ i และ j โดยที่สวิตช์ซึ่งโหนด $j = i+1$ ตลอดเส้นทางได้ดังสมการ

$$P^{ij} = \left(\frac{F - (n_L + \frac{b^i}{F})}{F} \right) \times \prod_{i=2}^{N_r} \left(\frac{F - b^i}{F} \right) \quad (3.21)$$

โดย

P^{ij} คือ ความน่าจะเป็นที่สามารถจองช่องสัญญาณเวลาระหว่างสวิตช์ซึ่งโหนดที่ i และ j

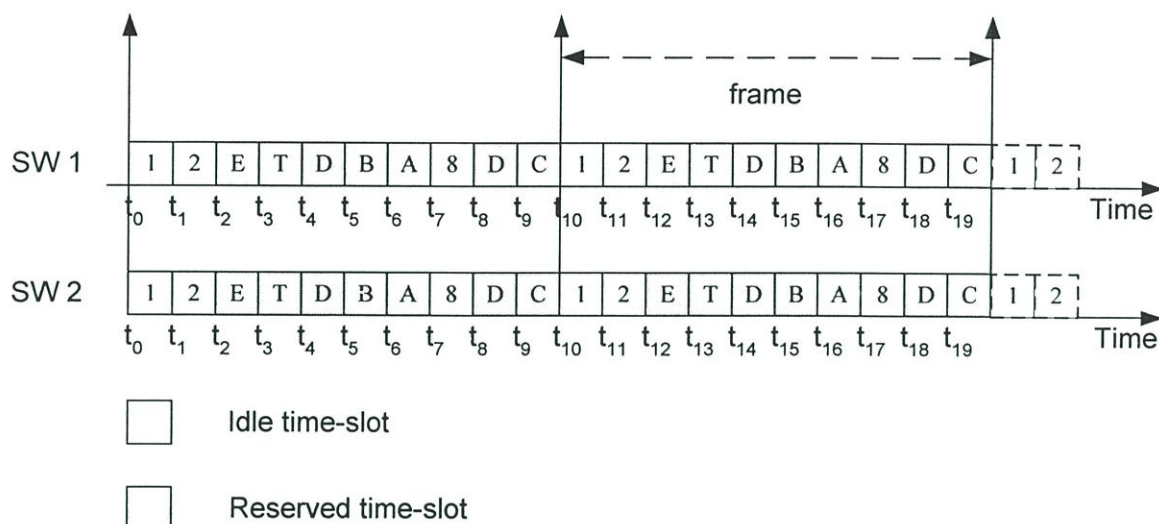
N_r คือ จำนวนสวิตช์ซึ่งโหนดทั้งหมดในเส้นทาง r

F คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาภายในหนึ่งเฟรม

b^i คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาของสวิตช์ i^{th} ที่ถูกจองแล้ว ณ เวลาที่พิจารณา

n_L คือ จำนวนการเชื่อมโยงจนถึง ณ เวลาที่พิจารณา

ในกรณีที่ต้องการให้บริการกับทราฟฟิกแบบเรียลไทม์ที่ต้องการความรวดเร็วในการส่งข้อมูลมาก ๆ นั้นเวลาหน่วงของระบบเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก ดังนั้นตลอดทั้งเส้นทางการส่งข้อมูลควรจะจองช่องสัญญาณเวลาให้ถึงครั้นตรงตามเวลาของแพ็กเก็ต ดังรูปที่ 3.8

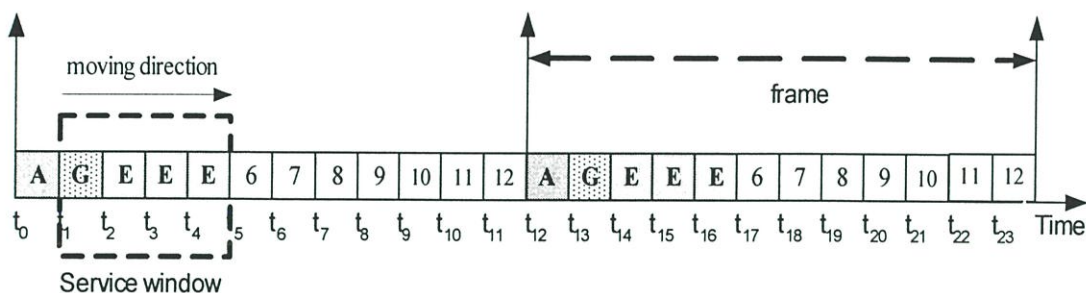


รูปที่ 3.8 แสดงการจองช่องสัญญาณแบบชิงโครนัสตรงตามช่องสัญญาณเวลา

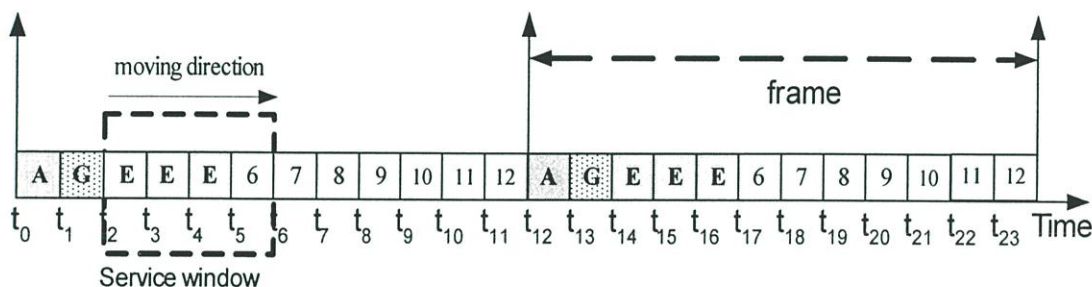
จากรูปถ้าเฟรมข้อมูลของสวิตช์ที่ 1 และสวิตช์ที่ 2 มีการจองช่องสัญญาณเวลาที่ตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่ตรงกันแล้ว จะทำให้ถ้าแพ็กเก็ตจากการเชื่อมโยง E มาถึงสวิตช์ที่ 1 ที่ช่องสัญญาณเวลาที่ 3 แพ็กเก็ตจากการเชื่อมโยง E จะได้รับการให้บริการในทันที เนื่องจากช่องสัญญาณเวลาที่จองไว้ของแพ็กเก็ตอยู่ที่ตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่ 3 เมื่อทำให้แพ็กเก็ตนั้นมาถึงสวิตช์ที่ 2 ที่ช่องสัญญาณเวลาที่ 3 ซึ่งจะทำให้ได้รับการให้บริการทันทีเช่นเดียวกัน ดังนั้นเวลาหน่วงเนื่องจากการค้นหาข้อมูลภายในตารางทรานสเลชัน (searching) และการบัฟเฟอร์จะน้อยกว่าการจองช่องสัญญาณเวลาที่ชิงโครนัสกันแต่มีการเยื้องช่องสัญญาณเวลาภายในขอบเขตของวินโดว์

3.1.3 การกระจายของช่องสัญญาณในเฟรม

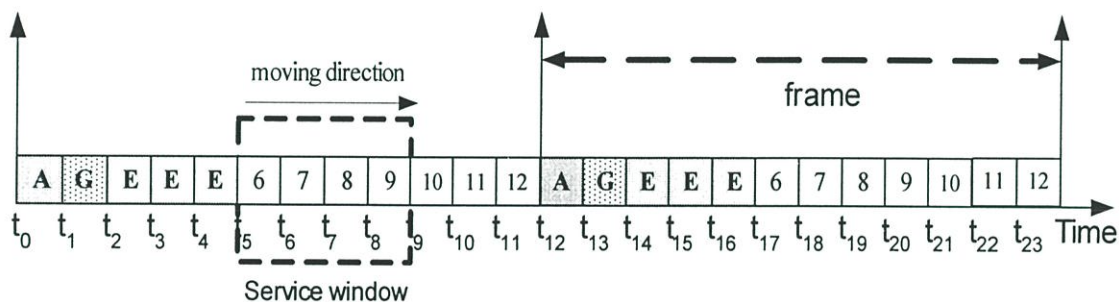
เนื่องจากทราฟฟิกแต่ละทราฟฟิกอาจจะมีความต้องการส่งข้อมูลไม่เท่ากันและบางทราฟฟิกต้องการส่งข้อมูลมากกว่าหนึ่งแพ็กเก็ตต่อหนึ่งเฟรม ดังนั้นจึงมีอัลกอริทึมในการกระจายการจองช่องสัญญาณเวลาเพื่อให้รองรับกับวิธีการจองช่องสัญญาณเวลาสำหรับความต้องการที่แตกต่างกัน เช่นสมมติให้ 3.392 เมกะบิตต่อวินาที เป็นอัตราที่ต้องการส่งข้อมูลต่ำสุด ถ้าการเชื่อมโยง E ต้องการส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 10.17 เมกะบิตต่อวินาที ดังนั้นการเชื่อมโยง E ต้องการจองช่องสัญญาณเวลาโดยเฉลี่ย 3 แพ็กเก็ตต่อหนึ่งเฟรม ดังนั้นถ้าพิจารณาให้อยู่ภายในขอบเขตการให้บริการของวินโดว์ ณ ขณะนั้นทั้งหมดก็อาจจะไม่เหมาะสมกับระบบได้ดังรูปที่ 3.9a ซึ่งการเชื่อมโยง E ทำการจองช่องสัญญาณเวลาที่ 3, 4 และ 5 เมื่อเวลาเท่ากับ t_1 ถ้ามีแพ็กเก็ตจากการเชื่อมโยง E มากก็จะได้รับการให้บริการ เมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับ t_2 ถ้ามีแพ็กเก็ตจากการเชื่อมโยง E ก็ยังได้รับการให้บริการดังรูปที่ 3.9b แต่ถ้าเวลาผ่านไปเท่ากับ t_5 ถึง t_{11} ถ้ามีแพ็กเก็ตจากการเชื่อมโยง E แพ็กเก็ตนั้นจะไม่ได้การให้บริการ



a. ขอบเขตของการพิจารณาการให้บริการเมื่อเวลาเท่ากับ t_1



b. ขอบเขตของการพิจารณาการให้บริการเมื่อเวลาเท่ากับ t_2



c. ขอบเขตของการพิจารณาการให้บริการเมื่อเวลาเท่ากับ t_5

รูปที่ 3.9 การจองช่องสัญญาณเวลาโดยไม่มีกระจายตำแหน่งในการจองช่องสัญญาณเวลา

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงได้นำเสนอหลักการวิธีการกระจายการจองช่องสัญญาณเวลาเมื่อทราบฟิคมีความต้องการจะจองช่องสัญญาณเวลามากกว่าหนึ่งช่องสัญญาณเวลาต่อหนึ่งเฟรมโดยนำหลักการของ uniform round robin มาปรับปรุงใช้ในระบบการสื่อสารแบบ W-TDM โดยกำหนดให้หนึ่งรอบของ uniform round robin มีขนาดเท่ากับหนึ่งเฟรม และแบ่งเฟรมออกเป็นเฟรมย่อย โดยที่ช่องสัญญาณ $s_{l,n}$ เป็นช่องสัญญาณที่ n โดย $(1 \leq n \leq N_c)$ ที่ถูกจองไว้ให้กับการเชื่อมโยง l คุณสมบัติของสมาชิกทุก ๆ ตัวของ N การเชื่อมโยงเมื่อช่องสัญญาณในเฟรมถูกจองโดยการใช้วิธีการแบบ uniform คือ

1. จำนวนช่องสัญญาณที่จองให้สำหรับการเชื่อมโยง l ในหนึ่งเฟรมมีค่าเท่ากับ N_c เมื่อ

$$1 \leq l \leq N$$

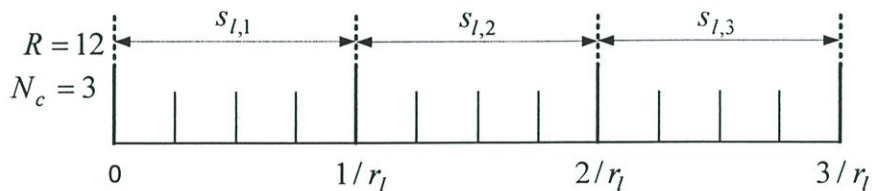
2. เมื่อ $1 \leq l \leq N$ และ $1 \leq n \leq N_c$ แล้ว $s_{l,n}$ มีขอบเขตดังนี้

$$(n-1)/r_l \leq s_{l,n} \leq n/r_l \quad (3.22)$$

โดย n คือ จำนวนของช่องสัญญาณเวลาที่ต้องการจองให้สำหรับการเชื่อมโยง l ระหว่างช่องสัญญาณเวลาที่ 0 ถึงช่องสัญญาณเวลาที่ $s_{l,n}$

r_l คือ แบนด์วิทที่สำรองไว้สำหรับการเชื่อมโยง l

โดยมีขอบเขตบนและขอบเขตล่างของจุดเริ่มต้นในการจองช่องสัญญาณที่ n ของการเชื่อมโยง l เป็นดังรูปที่ 3.10 ซึ่ง แสดงขอบเขตของ $s_{l,n}$ เมื่อ $F = 12$ และ $N_c = 3$ ($r_l = 3/12$) จากตัวอย่างในรูป ช่องสัญญาณที่ $s_{l,1}$ ต้องเลือกจองตำแหน่งช่องสัญญาณที่ 0, 1, 2 หรือ 3 เพียงตำแหน่งเดียว ในขณะที่ช่องสัญญาณที่ $s_{l,2}$ ต้องเลือกจองตำแหน่งช่องสัญญาณที่ 4, 5, 6 หรือ 7 เพียงตำแหน่งเดียว เหมือนกับช่องสัญญาณที่ $s_{l,3}$ ที่ต้องเลือกจองตำแหน่งช่องสัญญาณที่ 8, 9, 10 หรือ 11 เพียงตำแหน่งเดียวเช่นกัน จากรูปจะเห็นว่า การจองตำแหน่งช่องสัญญาณของการเชื่อมโยง l จะกระจายอยู่ในเฟรมโดยมีขอบเขตของการจองต่อหนึ่งช่องสัญญาณอยู่ในช่วงของเฟรมย่อย



รูปที่ 3.10 ขอบเขตของการจองช่องสัญญาณเวลาโดยพิจารณาการกระจายช่องสัญญาณ

เมื่อทำการแบ่งเฟรมออกเป็นเฟรมย่อยแล้วขั้นตอนต่อไปคือการเลือกจองตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาโดยใช้วิธีการเลือกจองเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบค้นหาตามลำดับ เลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบสุ่มเลือกและเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบผสมมาใช้ในการพิจารณาการจองช่องสัญญาณเวลาภายในเฟรมย่อยดังนี้

3.1.3.1 การกระจายการจองช่องสัญญาณเวลาแบบค้นหาตามลำดับ (Sequence-Sequence Slot Assignment) สวิตซ์ซึ่งโหนดแรกจองช่องสัญญาณเวลารว่างช่องสัญญาณเวลาแรกที่พบภายในเฟรมย่อย สมมติให้ข้อมูลมีการกระจายแบบคงที่ ดังนั้นในเฟรมย่อยถัดไปจะจองช่องสัญญาณเวลารว่างแรกที่พบภายในเฟรมย่อยเช่นเดียวกัน ส่วนสวิตซ์ซึ่งโหนดถัดไปจะจองช่องสัญญาณเวลารว่างช่องสัญญาณเวลาแรกที่พบภายในวินโดว์ ซึ่งซึ่งโครนัสกับตำแหน่งช่อง

สัญญาณเวลาที่จองไว้ของสวิตช์ซึ่งไหนดก่อนหน้า ดังนั้นโอกาสที่จะจองช่องสัญญาณเวลา $N_{l,c}$ ช่องสัญญาณเวลาที่สวิตช์ที่ 1 สำเร็จเป็นดังสมการ

$$P^i = \frac{f - (\frac{b^i}{N_{l,c}})}{f} \quad (3.23)$$

เมื่อ f คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาภายในเฟรมย่อย ($s_{l,n}$)

b^i คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาของสวิตช์ i^{th} ที่ถูกจองแล้ว ณ เวลาที่พิจารณา

$N_{l,c}$ คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาที่ต้องการจองของการเชื่อมโยง l

จากนั้นจึงทำการพิจารณาที่สวิตช์ที่ 2 โดยเริ่มต้นพิจารณาจากตำแหน่งที่ซึ่งโครนัสกับตำแหน่งที่จองช่องสัญญาณของสวิตช์ที่ 1 จากมีลักษณะคล้ายกับสมการที่ (3.23) ทำให้เราสามารถหาโอกาสที่สามารถจองช่องสัญญาณเวลา 1 ช่องสัญญาณระหว่างสวิตช์ซึ่งไหนดที่ i และ j โดยที่สวิตช์ซึ่งไหนด $j = i+1$ ตลอดเส้นทางได้ดังสมการ

$$P^{ij} = \prod_{i=1}^{N_r} \left(\frac{F - b^i}{F} \right)^{N_{l,c}} \quad (3.24)$$

โดย

P^{ij} คือ ความน่าจะเป็นที่สามารถจองช่องสัญญาณเวลาระหว่างสวิตช์ซึ่งไหนดที่ i และ j

N_r คือ จำนวนสวิตช์ซึ่งไหนดทั้งหมดในเส้นทาง r

3.1.3.2 การกระจายการจองช่องสัญญาณเวลาแบบสุ่มเลือก (Random-Random Slot Assignment) สวิตช์ซึ่งไหนดแรกจะทำการสุ่มจองช่องสัญญาณเวลารว่างภายในเฟรมย่อยแรก ซึ่งโอกาสที่จะจองช่องสัญญาณเวลาภายในเฟรมย่อยแรกสำเร็จเป็นดังสมการ

$$P_{s_{l,1}}^i = \frac{\frac{F}{N_{l,c}} - [n_L + (\frac{b^i - n_L}{F - n_L})f]}{\frac{F}{N_{l,c}}} \quad (3.25)$$

เมื่อ $P_{s_{l,1}}^i$ คือ โอกาสที่จองช่องสัญญาณเวลาได้ในเฟรมย่อยที่ 1 ของสวิตช์ i^{th}

f คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาภายในเฟรมย่อย ($s_{l,1}$)

b^i คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาของสวิตช์ i^{th} ที่ถูกจองแล้ว ณ เวลาที่พิจารณา

$N_{l,c}$ คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาที่ต้องการจองของการเชื่อมโยง l
 n_L คือ จำนวนการเชื่อมโยงจนถึง ณ เวลาที่พิจารณา

จากนั้นจึงทำการพิจารณาโอกาสที่จะจองช่องสัญญาณเวลาในเฟรมย่อยถัดไปโดยสมมติให้ช่องสัญญาณเวลาของสวิตช์ i^{th} ที่ถูกจองไปแล้วมีการกระจายแบบคงที่ดังนั้นจะได้สมการดังนี้

$$P_{s_{l,m}}^i = f \left(\frac{b^i - n_L}{f - n_L} \right) \quad (3.26)$$

เมื่อ $P_{s_{l,m}}^i$ คือโอกาสที่จองช่องสัญญาณเวลาได้ในเฟรมย่อยที่ m ของสวิตช์ i^{th}
 โดย $1 < m < n$

f คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาภายในเฟรมย่อย ($s_{l,m}$)

b^i คือ จำนวนช่องสัญญาณเวลาของสวิตช์ i^{th} ที่ถูกจองแล้ว ณ เวลาที่พิจารณา

n_L คือ จำนวนการเชื่อมโยงจนถึง ณ เวลาที่พิจารณา

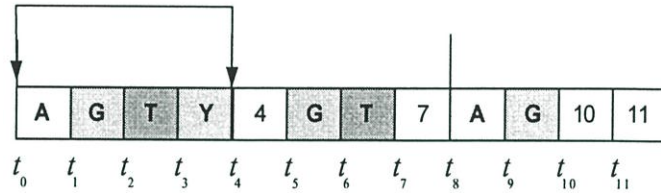
ดังนั้นโอกาสที่จะจองช่องสัญญาณเวลา $N_{l,c}$ ช่องสัญญาณเวลาที่สวิตช์ที่ i^{th} สำเร็จเป็นดังสมการ

$$P^i = \frac{\frac{F}{N_{l,c}} - [n_L + (\frac{b^i - n_L}{F - n_L})f]}{\frac{F}{N_{l,c}}} \times \prod_{m=2}^n P_{s_{l,m}}^i \quad (3.27)$$

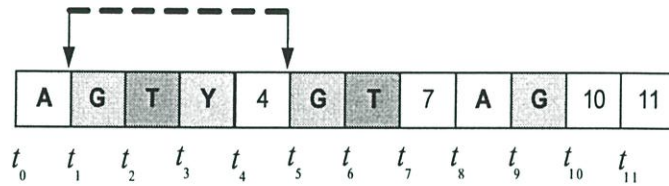
3.1.3.3 การกระจายการจองช่องสัญญาณเวลาแบบผสม (Random-Sequence Slot Assignment) สวิตช์ซึ่งโหนดแรกจะทำการสุ่มจองช่องสัญญาณเวลาว่างภายในเฟรม จากนั้นสวิตช์ซึ่งโหนดถัดไปจะเลือกจองช่องสัญญาณเวลาว่างแรกที่พบภายในวินโดว์ ซึ่งซึ่งโครนัสกับตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่จองไว้ของสวิตช์ซึ่งโหนดก่อนหน้า

ในกรณีที่อาจเกิดปัญหาขึ้นได้อีกกรณีคือเมื่อเฟรมย่อยไม่มีช่องสัญญาณเวลาว่างที่จะสามารถจองให้กับการเชื่อมโยงนั้นจึงได้ทำการแก้ปัญหาโดยการเลื่อนตำแหน่งแรกของเฟรมย่อยทุก ๆ เฟรมย่อยไปที่ละหนึ่งช่องสัญญาณและทำการหาช่องสัญญาณว่างให้แก่การเชื่อมโยงนั้น ดังรูปที่ 3.11 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อเฟรมย่อยแรกไม่มีช่องสัญญาณว่าง ดังนั้นจึงทำการเลื่อน

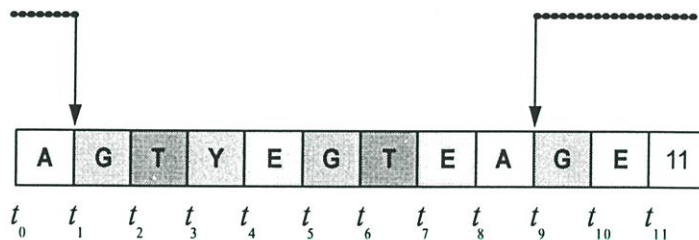
ตำแหน่งแรกของเฟรมย่อยจาก t_0 มาเป็น t_1 จะพบว่าตำแหน่งช่องสัญญาณที่ 4 ว่าง จึงทำการจองช่องสัญญาณนั้น และเฟรมย่อยที่สองก็เลื่อนตำแหน่งแรกของเฟรมย่อยจาก t_4 มาเป็น t_5 ในการหาตำแหน่งช่องสัญญาณเพื่อทำการจองช่องสัญญาณนั้นช่องสัญญาณของการเชื่อมโยงเดียวกันไม่ควรจะอยู่ติดกันดังรูป ส่วนและเฟรมย่อยสุดท้ายจะเลื่อนตำแหน่งแรกของเฟรมย่อยจาก t_8 มาเป็น t_9 และจุดสิ้นสุดของเฟรมย่อยสุดท้ายจะเป็น t_1



a. การแบ่งเฟรมเป็นเฟรมย่อยพิจารณาตำแหน่งแรกของเฟรมย่อย



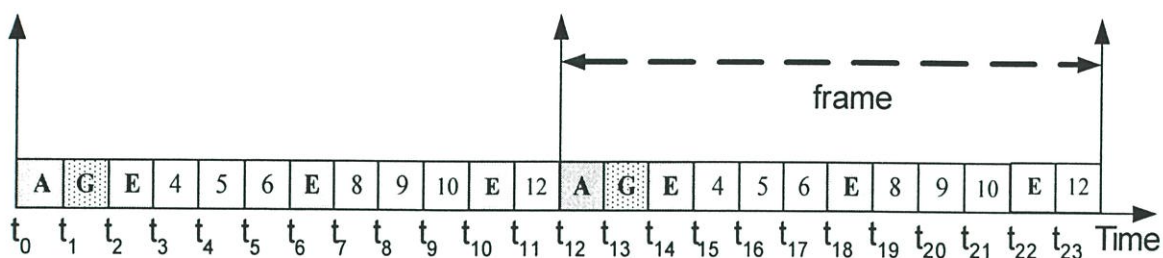
b. เลื่อนตำแหน่งแรกของเฟรมย่อยไปหนึ่งช่องสัญญาณเพื่อหาตำแหน่งช่องสัญญาณที่ว่าง



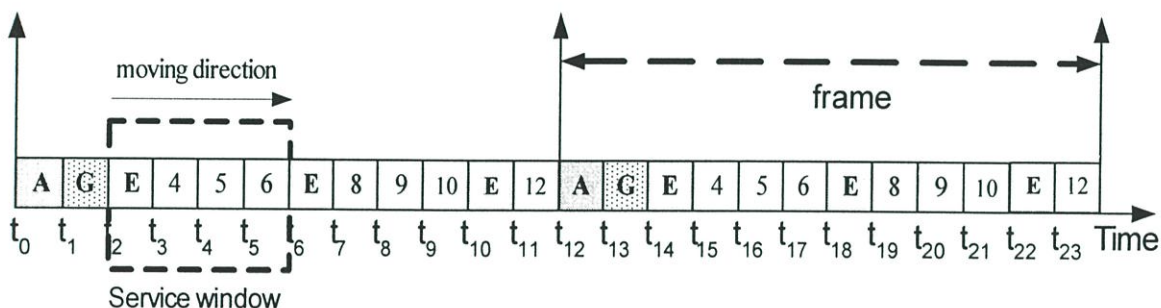
c. จองช่องสัญญาณที่ต้องการภายในเฟรมย่อย

รูปที่ 3.11 การพิจารณาตำแหน่งแรกของเฟรมย่อยเพื่อหาช่องสัญญาณที่ต้องการ

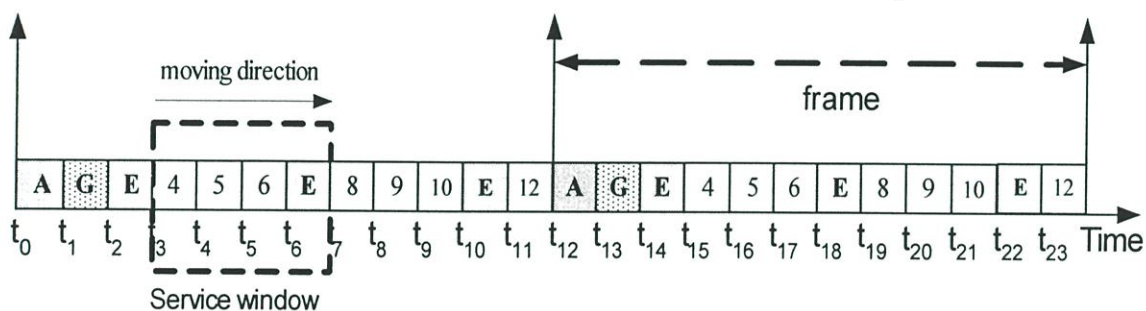
ดังนั้นจากตัวอย่างรูปที่ 3.9 เมื่อการเชื่อมโยง E ทำการจองช่องสัญญาณโดยพิจารณาหลักการกระจายการจองช่องสัญญาณเวลาดังกล่าวข้างต้นด้วยแล้วผลที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.12



a. ลักษณะการจองช่องสัญญาณเวลาโดยมีการกระจายช่องสัญญาณ



b. ขอบเขตของการพิจารณาการให้บริการเมื่อเวลาเท่ากับ t_2



c. ขอบเขตของการพิจารณาการให้บริการเมื่อเวลาเท่ากับ t_3

รูปที่ 3.12 การกระจายการจองช่องสัญญาณเวลา

จากรูปที่ 3.12 จะเห็นว่าถ้าทำการกระจายการจองช่องสัญญาณเวลาแล้วเมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับ t_2 ถ้ามีแพ็กเกตมาจากการเชื่อมโยง E มาถึงแพ็กเกตนั้นจะได้รับการพิจารณาการให้บริการ ดังรูปที่ 3.12b . และถ้าเวลาผ่านไปถึงเวลาที่ t_3 ถ้ามีแพ็กเกตมาจากการเชื่อมโยง E มาถึงแพ็กเกตนั้นจะยังได้รับการพิจารณาการให้บริการ ดังรูปที่ 3.12c.

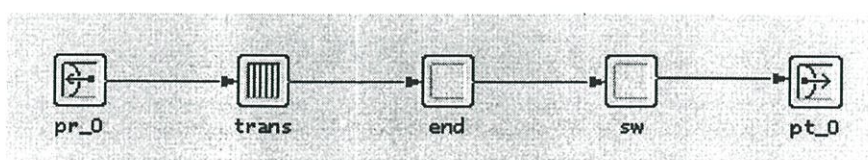
3.2 ออกแบบการทดลอง

เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นการศึกษาและแก้ไขผลกระทบจากการไม่ตรงกันของตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาในระบบเครือข่าย W-TDM เพื่อหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ W-TDM ดังนั้นจึงทำการจำลองหลักการ W-TDM บนโปรแกรมจำลองการทำงานระบบเครือข่าย Opnet ซึ่งระบบเครือข่ายที่จำลองขึ้นนั้นจะประกอบด้วยโหนดต้นทางหรือโหนดปลายทาง (End node) , สวิตซ์ซึ่งโหนด (switching node) และโหนดควบคุม (controller node)

กระบวนการทำงานของระบบจำลอง W-TDM นั้น เมื่อโหนดต้นทางต้องการส่งข้อมูลจะต้องสร้างแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลและส่งมายังสวิตซ์ซึ่งโหนดเพื่อที่จะค้นหาเส้นทางที่จะส่งข้อมูลไปยังปลายทางที่กำหนดไว้จากตารางเส้นทางโดยคำนวณหาได้จากเส้นทางที่สั้นที่สุด เมื่อได้เส้นทางแล้ว สวิตซ์ซึ่งโหนดจะส่งแพ็กเก็ตร้องขอการโยงข้อมูลไปยังสวิตซ์ซึ่งโหนดถัดไปตามเส้นทางนั้น เมื่อได้รับแพ็กเก็ตร้องขอการโยงข้อมูลสวิตซ์ซึ่งโหนดก็จะทำการเลือกตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาให้แก่การร้องขอตามหลักการข้างต้น ในกรณีที่สามารถจองช่องสัญญาณเวลาที่เลือกได้นั้นก็จะส่งแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลไปยังสวิตซ์ซึ่งโหนดถัดไปตามเส้นทางนั้น จนถึงปลายทาง แต่ถ้าไม่สามารถจองช่องสัญญาณที่ต้องการได้ก็จะส่งแพ็กเก็ตปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลกลับไปยังโหนดต้นทางเพื่อให้สร้างและส่งแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลมายังสวิตซ์ซึ่งโหนดเพื่อใช้เส้นทางที่สามารถเป็นไปได้เส้นทางอื่น เมื่อการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลสำเร็จโหนดปลายทางจะส่งแพ็กเก็ตตอบรับการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลกลับมายังโหนดต้นทางโดยใช้เส้นทางเดียวกับที่ส่งแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูล จากนั้นโหนดต้นทางจะสร้างและส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางโดยใช้เส้นทางเดิม

3.2.1 การออกแบบโมเดลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบจำลอง

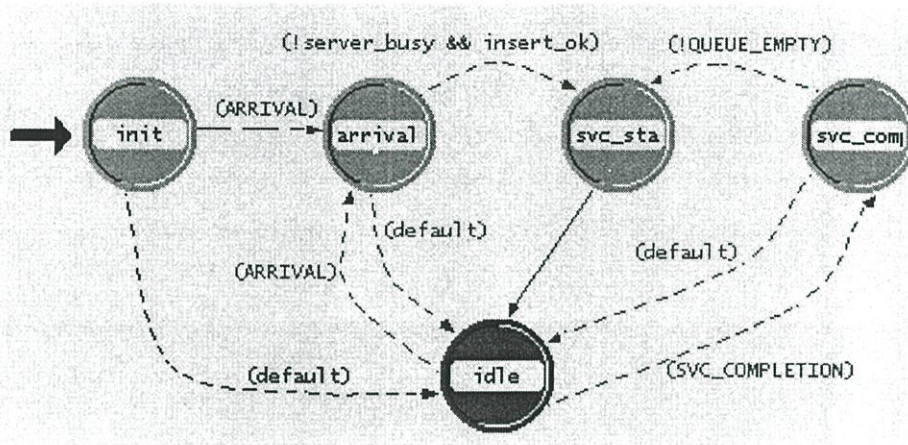
3.2.1.1 โหนดต้นทางหรือโหนดปลายทาง



รูปที่ 3.13 โครงสร้างโมเดลภายในโหนดต้นทางหรือโหนดปลายทาง

โหนดต้นทางหรือโหนดปลายทางนี้ประกอบด้วยพอร์ตขาเข้า (pr) และพอร์ตขาออก (pt) ซึ่งพอร์ตขาเข้าจะเชื่อมต่อกับทรานโมดูล (trans module) ที่มีหน้าที่รับแพ็กเก็ตเข้ามาในโหนดและเก็บแพ็กเก็ตนั้นไว้ในบัฟเฟอร์เพื่อที่จะส่งต่อไปให้ยังเอ็นโมดูล (end module)

3.2.1.1.1 ทรานโมดูล ทำหน้าที่จัดเก็บแพ็กเก็ตที่เข้ามาภายในโหนดลงในบัฟเฟอร์แล้วส่งต่อไปยังเอ็นโมดูลมีโครงสร้างการทำงานดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในทรานโมดูล

จากรูปที่ 3.14 ทรานโมดูลประกอบด้วยสถานะ (state) 5 สถานะคือ init, arrival, svc_start, svc_compl และ idle

- สถานะเริ่มต้น (init state) เป็นสถานะเริ่มต้นในการทำงานของกระบวนการทรานโมดูลนี้ ซึ่งจะทำการกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปรต่างๆ และจะมีการเปลี่ยนสถานะไปยังสถานะรับแพ็กเก็ต (arrival state) เมื่อมีแพ็กเก็ตเข้ามาในทรานโมดูล หรือสถานะรอการอินเตอร์รัพท์ (idle state) เมื่อไม่มีแพ็กเก็ตเข้ามาภายในทรานโมดูล

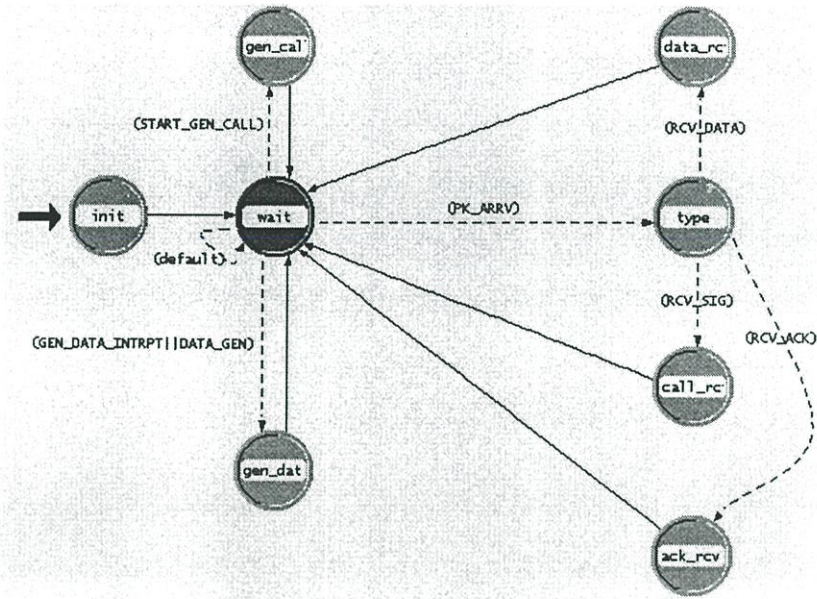
- สถานะรอการอินเตอร์รัพท์ (idle state) เป็นสถานะสำหรับรออินเตอร์รัพท์เพื่อเปลี่ยนไปยังสถานะรับแพ็กเก็ตเมื่อมีแพ็กเก็ตเข้ามาในทรานโมดูล หรือสถานะ svc_compl เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้ใน การส่งแพ็กเก็ตแล้ว

- สถานะรับแพ็กเก็ต (arrival state) ซึ่งจะตรวจสอบแพ็กเก็ตและเก็บข้อมูลต่าง ๆ ของแพ็กเก็ตและจัดเก็บแพ็กเก็ตไว้ในบัฟเฟอร์ และจะมีการเปลี่ยนสถานะไปยังสถานะ svc_start เมื่อขณะนั้นไม่มีส่งแพ็กเก็ตและสามารถเก็บแพ็กเก็ตไว้ในบัฟเฟอร์เรียบร้อยแล้ว

- สถานะ svc_start จะทำการคำนวณเวลารอคอยและตั้งเวลาในการอินเตอร์รัพท์เพื่อนำแพ็กเก็ตออกจากบัฟเฟอร์

- สถานะ svc_compl จะนำแพ็กเก็ตออกจากบัฟเฟอร์และส่งไปยังเอ็นโมดูล

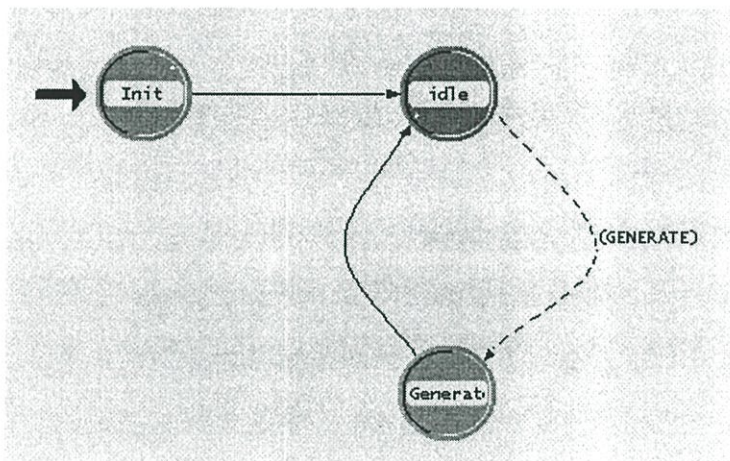
3.2.1.1.2 เอ็นโมดูล เป็นกระบวนการภายในของโหนดต้นทางหรือโหนดปลายทางมีโครงสร้างเป็นดังรูปที่ 3.15



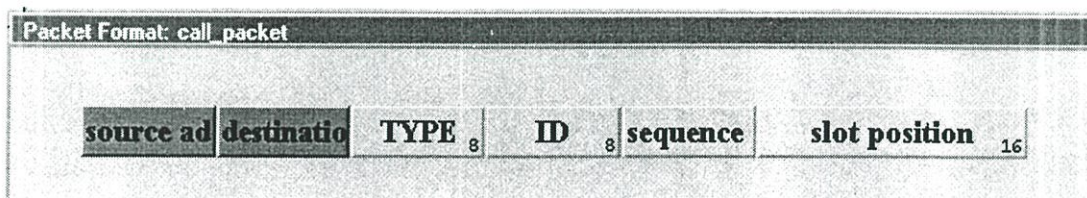
รูปที่ 3.15 โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในเอ็นโมดูล

- สถานะเริ่มต้น (init state) จะทำหน้าที่รับค่าคุณสมบัติ (attributed) มาจากผู้ใช้งานและทำการสุ่มค่าเวลาในการสร้างแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทาง เมื่อถึงเวลาที่ได้จากการสุ่มก็จะเข้าสู่สถานะสร้างแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยง
- สถานะสร้างแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยง (gen_call state) จะทำการสุ่มเลือกรูปแบบฟังก์ชันการกระจายซึ่งจะมีอยู่ 2 แบบคือแบบอัตราเร็วคงที่ (constant distribution) กับแบบเอกซ์โปเนนเชียล (exponential distribution) จากนั้นก็จะทำการสุ่มปลายทางที่ต้องการส่งข้อมูลแล้วจะเก็บข้อมูลที่ได้จากการสุ่มลงในตารางข้อมูลการสร้างแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยง จากนั้นจะเรียกสถานะสร้างแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางย่อย (call child process) ขึ้นมาทำงาน โดยที่สถานะสร้างแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทาง (Generate state) จะสร้างแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงโดยนำค่าจากตารางข้อมูลการสร้างแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงมากำหนดลงไปในส่วนหัว (header) ของแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางดังในรูปที่ 3.17 กล่าวคือหมายเลขของโหนดต้นทางที่สร้างแพ็กเก็ตร้องขอ การเชื่อมโยงเส้นทางจะถูกบรรจุลงในฟิลด์ source address และทำการระบุหมายเลขโหนดปลายทาง ลงในฟิลด์ destination address ในฟิลด์ TYPE จะระบุว่าเป็นแพ็กเก็ตร้องขอเพื่อเชื่อมโยงเส้นทาง (type call packet) ส่วน ฟิลด์ ID จะระบุหมายเลขลำดับของแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางซึ่ง จะใช้เป็นหมายเลขชี้เฉพาะของทราฟฟิก หมายเลขนี้จะถูกบรรจุลงในแพ็กเก็ตตอบรับและแพ็กเก็ตข้อมูลด้วย เพื่อระบุว่าเป็นแพ็กเก็ตตอบรับและแพ็กเก็ตข้อมูลของทราฟฟิกใดฟิลด์ sequence เป็นการระบุหมายเลขลำดับแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลว่าเป็นแพ็กเก็ตที่เท่าไรของทราฟฟิกนี้ และฟิลด์ slot position จะเป็นกำหนด

ค่าเริ่มต้นของช่องสัญญาณเวลาที่ต้องการจองของทราฟฟิกเพื่อนำไปใช้ในการเลือกช่องสัญญาณเวลาที่สอดคล้องกันที่สวิตช์โมดูลจากนั้นส่งแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางออกไปยังอุปกรณ์ส่วนที่เป็นสวิตช์ แพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางจะถูกส่งไปเรื่อยจนกระทั่งถึงโหนดปลายทางเมื่อทำการส่งแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางออกไป แล้วก็จะเปลี่ยนมาอยู่ในสถานะการรอ (idle state) เพื่อรอผลการตอบรับการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางว่าสำเร็จหรือไม่ ถ้าสำเร็จก็จะนำข้อมูลในตารางข้อมูลการสร้างแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงของหมายเลข ลำดับของแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทาง (CALL ID) ไปใช้ในการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลที่สถานะสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลถ้าการเชื่อมโยงนี้ไม่สำเร็จก็จะทำการสร้างแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงอีกครั้ง



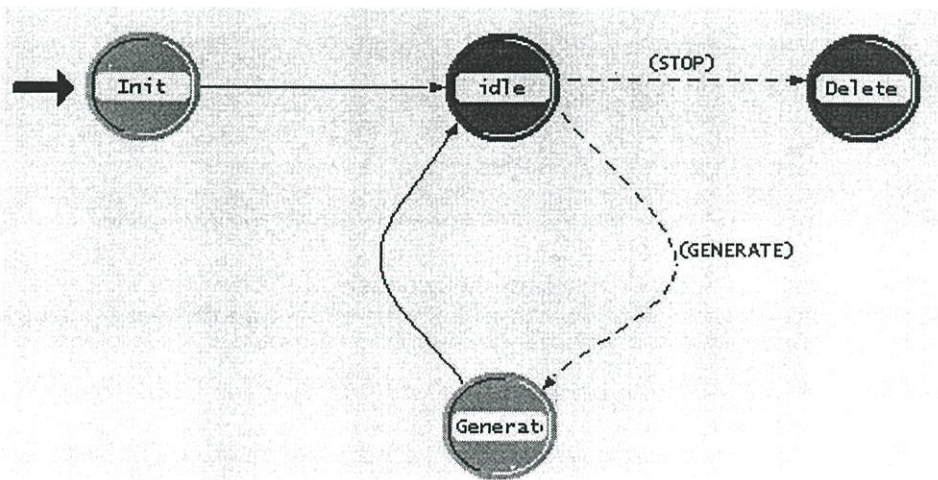
รูปที่ 3.16 โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในกระบวนการสร้างแพ็กเก็ตร้องขอเพื่อเชื่อมโยงเส้นทางย่อย



รูปที่ 3.17 โครงสร้างของแพ็กเก็ตร้องขอเพื่อเชื่อมโยงเส้นทาง

- สถานะแยกชนิดแพ็กเก็ต (type state) จะทำหน้าที่พิจารณาส่วนหัวของแพ็กเก็ตเพื่อดูว่าเป็นแพ็กเก็ตประเภทไหน จากนั้นจึงจะแยกแพ็กเก็ตไปตามสถานะที่ต้องจัดการกับแพ็กเก็ตประเภทนั้นๆ หากแพ็กเก็ตที่รับเข้ามาเป็นแบบแพ็กเก็ตข้อมูลโปรแกรมจะมาทำงานที่ขั้นตอนรับแพ็กเก็ตข้อมูล แต่ถ้าแพ็กเก็ตที่ได้รับเป็นแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางโปรแกรมจะมาทำงานที่ขั้นตอนรับแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยง หากแพ็กเก็ตที่ได้รับเป็นแพ็กเก็ตตอบรับโปรแกรมจะมาทำงานที่ขั้นตอนสร้างแพ็กเก็ตตอบรับ

- สถานะรับแพ็กเก็ตข้อมูล (data_rcv state) ซึ่งจะทำหน้าที่เก็บและนับแพ็กเก็ตแยกตามหมายเลข CALL ID เพื่อหาค่าอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตและเวลาหน่วง (end-to-end delay)
- สถานะรับแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยง (call_rcv state) ซึ่งจะดึงแพ็กเก็ตออกมาจากบัฟเฟอร์และดึงข้อมูลต่างๆออกมาจากแพ็กเก็ต จากนั้นจะนำข้อมูลเหล่านี้มาพิจารณาเพื่อสร้างแพ็กเก็ตตอบรับเป็นแบบตอบรับ (ACK) และส่งกลับคืนไปยังโหนดต้นทาง
- สถานะสร้างแพ็กเก็ตตอบรับ (ack_rcv state) จะทำการพิจารณาหมายเลขลำดับของแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทาง (CALL ID) และพิจารณาว่าแพ็กเก็ตนั้นเป็นแบบตอบรับหรือแบบปฏิเสธถ้าเป็นแบบปฏิเสธจะต้องทำการสร้างแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางใหม่อีกครั้ง โดยตรวจสอบหมายเลขลำดับของแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางที่ถูกส่งมากับแพ็กเก็ตตอบรับแบบปฏิเสธและนำค่าหมายเลขลำดับของแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางไปหาลำดับของข้อมูลในตารางข้อมูลการสร้างแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทาง และทำกระบวนการเรียกการสร้างแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางย่อยของหมายเลขลำดับแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางนี้อีกครั้ง เมื่อสร้างแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางใหม่ได้แล้วก็จะส่งไปโมดูล sw ต่อไป หากแพ็กเก็ตที่ได้รับนั้นเป็นแบบตอบรับ จะพิจารณาว่าเป็นแพ็กเก็ตตอบรับของแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางหมายเลขใด จากนั้นจึงนำข้อมูลตัวแปรของแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางนั้นไปเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูล
- สถานะสร้างแพ็กเก็ตข้อมูล (gen_data state) จะเรียกกระบวนการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลย่อย (data child process) โดยกระบวนการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลย่อยจะดึงข้อมูลจากตารางข้อมูลการสร้างแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยงมาใช้ในการสร้างแพ็กเก็ต จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาทำการสุ่มเวลาในการสร้างแพ็กเก็ตตัวต่อไปโดยเมื่อถึงเวลาที่จะทำการสร้างการแพ็กเก็ตแล้วส่งออกไปยังสวิตช์และกระบวนการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลย่อยดังแสดงในรูปที่ 3.18 ซึ่งมีสถานะต่าง ๆ ดังนี้

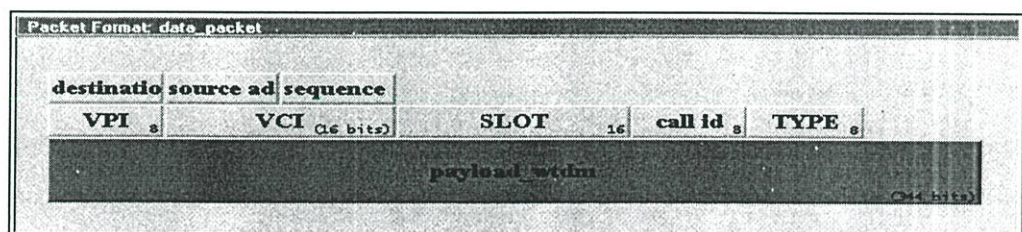


รูปที่ 3.18 โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในกระบวนการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลย่อย

- สถานะเริ่มต้น (init state) จะนำข้อมูลตัวแปรต่าง ๆ ของทราฟฟิกตามการอ้างของตัวที่จากตารางข้อมูลการสร้างแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงมาเก็บลงในตารางการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลต่อไป ซึ่งระยะห่างในการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการกระจายของทราฟฟิก และคาบเวลาที่สุ่มเอาไว้ในสถานะการสร้างแพ็กเก็ตการเชื่อมโยงเส้นทางจากนั้นนำคาบเวลาและรูปแบบการกระจายมาหาเวลาในการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูล และจะกำหนดเป็นเวลาในการอินเทอร์รัพท์เพื่อไปทำงานที่สถานะการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูล (Generate data state) และเมื่อถึงเวลาหยุด โปรแกรมจะย้ายไปทำงานที่สถานะยกเลิกการสร้างแพ็กเก็ตและออกจากการทำงานของกระบวนการย่อย (delete state)

- สถานะการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูล (Generate data state) จะทำการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลซึ่งมีโครงสร้างของแพ็กเก็ตดังรูปที่ 3.19 แพ็กเก็ตถูกระบุค่าโหนดต้นทางลงในฟิลด์ source address ระบุค่าโหนดปลายทางลงในฟิลด์ destination address ระบุหมายเลขลำดับของแพ็กเก็ตข้อมูลลงในฟิลด์ data sequence ระบุประเภทของแพ็กเก็ตลงในฟิลด์ TYPE เป็นประเภทแพ็กเก็ตข้อมูล ระบุหมายเลขลำดับของทราฟฟิกในฟิลด์ call id ส่วนฟิลด์ VCI และ SLOT นั้นจะถูกระบุค่าให้ที่อุปกรณ์สวิตซ์ซึ่ง เมื่อทำการระบุข้อมูลลงในฟิลด์ต่าง ๆ แล้วจะส่งแพ็กเก็ตออกไปยังสวิตซ์โมดูล และรอการอินเทอร์รัพท์ที่สถานะ idle เพื่อสร้างแพ็กเก็ตต่อไป

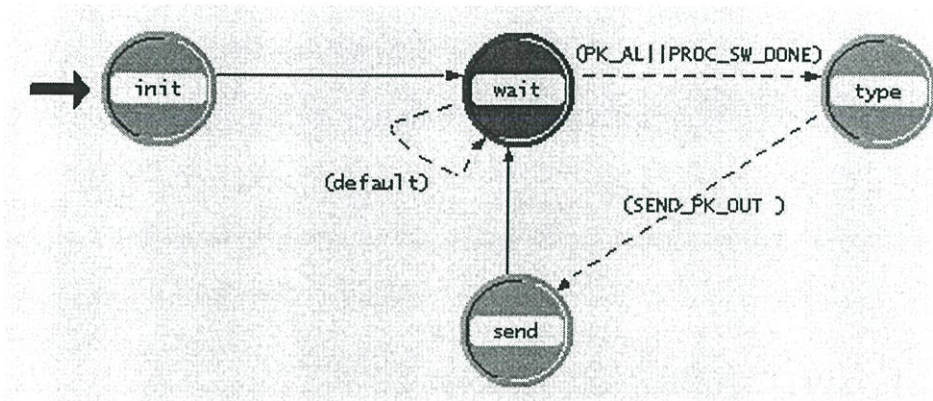
- สถานะยกเลิกกระบวนการย่อย (delete state) สถานะนี้จะทำการยกเลิก การสร้างแพ็กเก็ตข้อมูล และยกเลิกการทำงานของกระบวนการย่อยในการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูล แล้วส่งแพ็กเก็ต เพื่อยกเลิกการใช้งานเส้นทาง (release packet) ออกไปยังสวิตซ์โมดูล



รูปที่ 3.19 โครงสร้างแพ็กเก็ตข้อมูล

ที่โหนดต้นทางและโหนดปลายทางแพ็กเก็ตที่ออกจากเอ็นโอดจะเข้าสู่สวิตซ์โมดูลซึ่งจะทำหน้าที่เก็บแพ็กเก็ตลงบัฟเฟอร์และนำส่งที่ละแพ็กเก็ตเรียงตามลำดับ การทำงานของสวิตซ์โมดูลที่โหนดต้นทางและโหนดปลายทางมีโครงสร้างกระบวนการทำงานดังรูปที่ 3.20 โดยที่สถานะเริ่มต้น นั้นจะเป็นการเก็บข้อมูลและกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับแพ็กเก็ตการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทาง จากนั้นจะไปรอการอินเทอร์รัพท์ที่สถานะรอการอินเทอร์รัพท์เพื่อรอการอินเทอร์รัพท์เมื่อมีแพ็กเก็ตเข้ามาที่กระบวนการนี้ จากนั้นแพ็กเก็ตจะถูกส่งไปที่สถานะแยกชนิดของแพ็กเก็ต

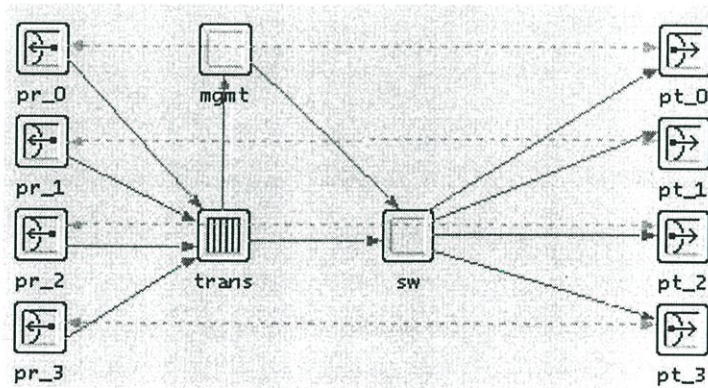
ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลของ แพ็กเก็ตในแต่ละทราฟฟิกก่อนที่จะส่งไปที่สถานะส่งออกแพ็กเก็ต เพื่อส่งแพ็กเก็ตออกไปยังสวิตช์ซึ่งหนด



รูปที่ 3.20 โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในสวิตช์โมดูลของโหนดต้นทางและปลายทาง

3.2.1.2 สวิตช์ซึ่งหนด

ในส่วนของสวิตช์ซึ่งหนดนี้ได้กำหนดให้มีพอร์ตขาเข้า (pr) และพอร์ตขาออก (pt) ขนาด 4x4 ดังแสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 โครงสร้างแบบจำลองภายในสวิตช์ซึ่งหนด

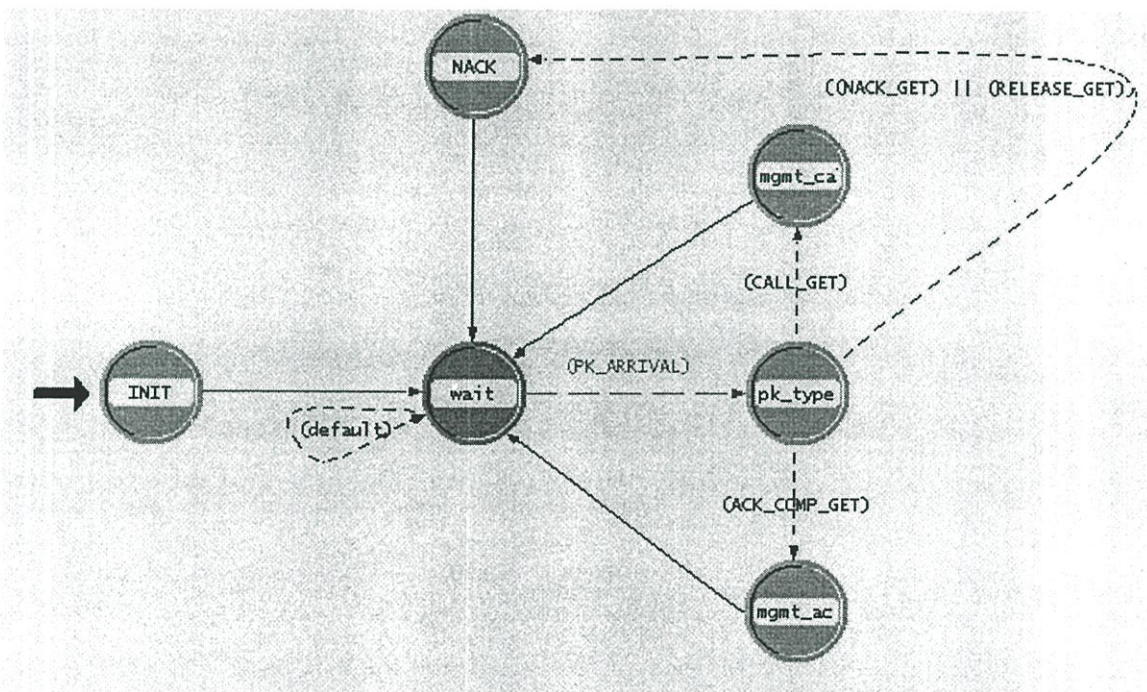
3.2.1.2.1 ทรานโมดูล (trans module)

ทรานโมดูลที่สวิตช์ซึ่งหนดจะทำหน้าที่ต่างจากที่โหนดปลายทางหรือต้นทางแค่ว่าเพียงที่ทรานโมดูลสวิตช์ซึ่งหนดจะแยกประเภทของแพ็กเก็ตว่าเป็นแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทาง (signaling) หรือแพ็กเก็ตข้อมูล (data packet) ถ้าแพ็กเก็ตเป็น signaling แพ็กเก็ตนั้นจะถูกส่งไปยังโมดูลการจัดการ (mgmt module) แต่ถ้าแพ็กเก็ตนั้นเป็น data packet แพ็กเก็ตนั้นจะถูกส่งไปยังสวิตช์โมดูล (sw module) โดยทรานโมดูลที่สวิตช์ซึ่งหนดทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์โดยจะจัดเก็บแพ็ก

เกตที่เข้ามาภายในโหนดลงในบัพเฟอร์ซึ่งมีเวลารอในบัพเฟอร์เมื่อถึงเวลาที่กำหนดจึงจะทำการส่งแพ็กเกตออกจากบัพเฟอร์

3.2.1.2.2 โมดูลการจัดการ (mgmt module)

จะทำหน้าที่จัดการกับแพ็กเกตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทาง (signaling) ซึ่งมีทั้งที่เป็นแพ็กเกตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทาง แพ็กเกตตอบรับ และแพ็กเกตที่เกี่ยวข้องกับการยกเลิกการเชื่อมโยงเส้นทาง ดังนั้นจึงได้ทำการการพัฒนาอัลกอริทึมของการจองช่องสัญญาณเวลาการทำงานที่โมดูลการจัดการนี้โดยให้เหมาะสมกับการสื่อสารแบบ W-TDM



รูปที่ 3.22 โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในโมดูลการจัดการ (mgmt module)

จากรูปที่ 3.22 โมดูลการจัดการจะเริ่มที่สถานะเริ่มต้น (init state) จากนั้นก็จะไปรอที่สถานะรอการอินเทอร์รัพท์ (wait state) เมื่อมีแพ็กเกตเข้ามาแพ็กเกตจะถูกแยกประเภทที่สถานะแยกประเภทของแพ็กเกต (pk type) โดยแพ็กเกตที่เป็นแพ็กเกตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลจะเข้าสู่สถานะการจัดการแพ็กเกตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูล (mgmt call) ถ้าเป็นแพ็กเกตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลแบบตอบรับจะเข้าสู่สถานะการจัดการแพ็กเกตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลแบบตอบรับ (mgmt ack) และแพ็กเกตปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูล หรือแพ็กเกตยกเลิกการเชื่อมโยงข้อมูลจะเข้าสู่สถานะการจัดการแพ็กเกตปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูล ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดดังต่อไปนี้

- สถานะเริ่มต้น (init state) จะทำการกำหนดค่าเริ่มต้นต่าง ๆ รวมทั้งสร้างและกำหนดหน่วยความจำให้กับลิสต์และตารางต่าง ๆ ที่จะต้องใช้ในโมดูล โดยกำหนดให้เวลาถูกแบ่งออกเป็น เฟรม และกำหนดให้เฟรมมีขนาดคงที่เท่ากับ 125 ไมโครวินาที เฟรมจะถูกแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณเวลาที่มีขนาดคงที่เท่ากับ 53 ไบท์ และกำหนดให้การสื่อสารที่ใช้ในระบบนี้มีอัตราเร็วในการส่งข้อมูลเท่ากับ 155 เมกะบิตต่อวินาที ดังนั้นจึงสามารถแบ่งเฟรม 1 เฟรมออกเป็นช่องสัญญาณเวลาได้ 46 ช่องสัญญาณดังกล่าว

$$\text{จำนวนช่องสัญญาณเวลา} = \frac{(155 \times 10^6) \times (125 \times 10^{-6})}{53 \times 8} \quad (3.28)$$

การกำหนดค่าสถานะการใช้งานช่องสัญญาณเวลานั้นจะทำการนับจำนวนพอร์ตขาออกที่ใช้งาน โดย 1 พอร์ตจะมี 1 เฟรมและใน 1 เฟรมจะถูกกำหนดให้มี 46 ช่องสัญญาณเวลา และกำหนดค่าสถานะการใช้งานช่องสัญญาณเวลาเป็น 1 เพื่อบอกสถานะช่องสัญญาณเวลาว่าง และกำหนดค่าสถานะการใช้งานช่องสัญญาณเวลาเป็น 0 เพื่อบอกสถานะช่องสัญญาณเวลาถูกจองหรือกำลังให้บริการ เริ่มต้นกำหนดให้ค่าสถานะการใช้งานช่องสัญญาณเวลาเป็นสถานะว่างหรือเป็น 1 ทุกช่องสัญญาณเวลาดังนั้น แล้วจึงทำการแปลงค่าเป็นเลขฐาน 16 จะได้เป็น FFFFFFFF0C เพื่อนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการเลือกช่องสัญญาณเวลาในขั้นตอนต่อไป

- รอการอินเตอร์รัพท์ (wait state) เมื่อมีแพ็กเก็ตเข้ามาจะทำการอินเตอร์รัพท์จากสถานะเริ่มต้นไปสู่สถานะแยกประเภทแพ็กเก็ต

- สถานะแยกประเภทของแพ็กเก็ต (pk type) จะตรวจสอบจากส่วนหัวของแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลฟิลด์ TYPE ว่าเป็นแพ็กเก็ตประเภทใด

- ถ้าเป็น TYPE CALL ก็แสดงว่าเป็นแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลจะเข้าสู่สถานะการจัดการแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูล (mgmt call)

- ถ้าเป็น TYPE ACK ก็แสดงว่าเป็นแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลแบบตอบรับจะเข้าสู่สถานะการจัดการแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลแบบตอบรับ (mgmt ack)

- ถ้าเป็น TYPE NACK ก็แสดงว่าเป็นแพ็กเก็ตปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลหรือเป็น TYPE RELEASE ก็แสดงว่าเป็นแพ็กเก็ตยกเลิกการเชื่อมโยงจะเข้าสู่สถานะการจัดการแพ็กเก็ตปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูล (mgmt nack)

- สถานะการจัดการแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูล (mgmt call)

เมื่อมีแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลเข้ามาสู่สถานะนี้ขั้นตอนแรกจะทำการตรวจสอบและเก็บค่าไหนดต้นจากฟิลด์ source address ค่าไหนดปลายจากฟิลด์ destination address หมายเลขลำดับของแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางจากฟิลด์ sequence หมายเลขลำดับของ

ทราบพิดจาก พิลด์ call id และตำแหน่งการจองช่องสัญญาณเวลาของโหนดก่อนหน้านี้จากพิลด์ slot position ในกรณีที่เป็นแพ็กเกตที่มาจากโหนดต้นทางก็จะเป็นตำแหน่งที่โหนดต้นทางกำหนดมาให้ จากนั้นก็จะทำการตรวจสอบว่าแพ็กเกตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางนี้เข้ามาที่สวิตซ์ซึ่งโหนดโดยใช้เส้นการเชื่อมโยงใดเพื่อใช้ในการเลือกช่องสัญญาณเวลาที่ชิงโครนัสกันระหว่างเส้นการเชื่อมโยงขาเข้ากับเส้นการเชื่อมโยงขาออก การหาเส้นการเชื่อมโยงขาออกจะได้อาจมาจากการนำโหนดปลายทางที่ได้จากแพ็กเกตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลไปหาเส้นทางที่สั้นที่สุดไปยังปลายทางโดยใช้ฟังก์ชันการหาเส้นทางของ OPNET ซึ่งฟังก์ชันนี้จะนำข้อมูลจากโหนดควบคุมมาใช้ในการหาเส้นทางทั้งหมดที่เป็นไปได้ จากนั้นก็นำเซตเส้นทางทั้งหมดนี้ไปหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณาจากจำนวนสวิตซ์ซึ่งโหนด เมื่อได้เส้นทางแล้วจึงนำไปเก็บไว้ในตารางเส้นทาง

ตารางที่ 3.1 ตารางเส้นทาง

Route_Table		คำอธิบาย
Objid	Destination_id	หมายเลขเฉพาะของโหนดปลายทาง
Route*	Route_ptr	ตัวชี้เส้นทางอ้างอิงถึงเส้นทางที่จะไปยังโหนดปลายทาง
int	Allocate_position	ช่องสัญญาณเวลาที่จอง

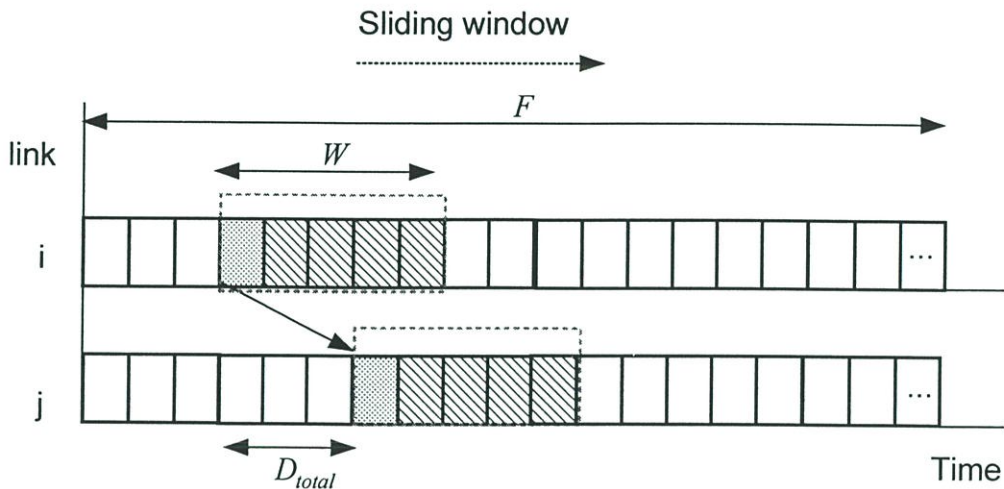
เมื่อได้เส้นทางที่จะใช้ในการส่งแพ็กเกตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลแล้วก็นำเส้นทางนี้มาพิจารณาหา สวิตซ์ซึ่งโหนดถัดไปจะทำให้รู้ว่าจะต้องส่งแพ็กเกตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลออกทางพอร์ตใดและใช้เส้นการเชื่อมโยงใดโดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมไว้ที่โหนดควบคุม หลังจากนั้นก็นำเส้นการเชื่อมโยงนั้นมาตรวจสอบว่าต่ออยู่กับโหนดที่ต้องการหรือไม่เนื่องจากเส้นการเชื่อมโยงนั้นอาจถูกตัดขาดภายหลังได้ ถ้าใช่ก็จะได้เวลาหน่วงของสื่อสัญญาณและอัตราเร็วในการส่งข้อมูลของเส้นการเชื่อมโยงของเส้นการเชื่อมโยงนั้น แล้วนำมาคำนวณหาเวลาหน่วงทั้งหมดในการส่งผ่านข้อมูลเพื่อใช้ในการเลือกช่องสัญญาณเวลาที่ชิงโครนัสกัน โดยเริ่มจากการคำนวณหาเวลาในการส่งผ่านแพ็กเกตข้อมูล 1 แพ็กเกต (τ) มีหน่วยเป็นวินาที และกำหนดให้เป็นคาบเวลาในการให้บริการ 1 ช่องสัญญาณเวลา ได้ดังสมการ

$$\tau = \frac{l}{R} \quad (3.29)$$

โดย l เป็นขนาดของแพ็กเกต (packet length) ซึ่งกำหนดให้มีขนาดเท่ากับเซลล์ ATM มีขนาดเท่ากับ $53 \times 8 = 424$ บิต

R เป็นอัตราเร็วในการส่งข้อมูลของเส้นการเชื่อมโยงของเส้นการเชื่อมโยงนี้ (transmission rate)

ดังนั้นในระบบที่ทำการวิจัยวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้อัตราเร็วในการส่งผ่านแพ็กเก็ตมีค่าเท่ากับ 155 เมกะบิตต่อวินาทีดังนั้นคาบเวลาในการให้บริการ 1 ช่องสัญญาณเวลามีค่าเท่ากับ 2.735 ไมโครวินาที



รูปที่ 3.23 การพิจารณาหาตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่ชิงโครนัสกัน

ดังนั้นเวลาหน่วงทั้งหมดในการส่งผ่านข้อมูลของเส้นการเชื่อมโยงนี้มีค่าดังสมการ

$$D_{total} = D_p + D_t \quad (3.30)$$

โดย D_{total} คือเวลาหน่วงทั้งหมดในการส่งผ่านข้อมูลของเส้นการเชื่อมโยง

D_p คือเวลาหน่วงของสื่อสัญญาณของเส้นการเชื่อมโยง

D_t คือเวลาหน่วงการส่งข้อมูลของเส้นการเชื่อมโยง

เมื่อได้เวลาหน่วงทั้งหมดในการส่งผ่านข้อมูลของเส้นการเชื่อมโยงแล้วก็นำมาหาจำนวนช่องสัญญาณเวลาที่เลื่อนไปตามเวลาหน่วงนี้เพื่อหาตำแหน่งของช่องสัญญาณเวลาที่ชิงโครนัสกันระหว่างเส้นการเชื่อมโยงขาเข้ากับเส้นการเชื่อมโยงขาออก โดยจำนวนช่องสัญญาณเวลาที่เลื่อนไปตามเวลาหน่วง (N_s) คำนวณได้ดังสมการ

$$N_s = \frac{D_{total}}{\tau} \quad (3.31)$$

เมื่อได้จำนวนช่องสัญญาณเวลาที่เลื่อนไปตามเวลาหน่วงแล้วก็นำไปรวมกับตำแหน่งช่องสัญญาณที่จองไว้ของเส้นการเชื่อมโยงขาเข้าที่เอามาจากฟิลด์ slot position ของแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางข้อมูลก็จะได้ตำแหน่งที่ใช้ในการพิจารณาเลือกช่องสัญญาณเวลาตำแหน่ง

แรกโดยมีขอบเขตในการพิจารณาเท่ากับขนาดของวินโดว์ จากนั้นก็เข้าก็เข้าสู่กระบวนการเลือกช่องสัญญาณที่ต้องการดั่งอัลกอริทึมต่อไปนี้

อัลกอริทึมของการจองช่องสัญญาณแบบค้นหาตามลำดับ

```

Find  $N_c$ ;
While  $N_c > 0$ 
{
allocate_position = slot_position % translation_size;
Find  $N_s$ ;
synchronus_position = allocate_position +  $N_s$ ;
bound_window = synchronus_position +(win_size-1);
compare bit position between synchronus_position and same position at out-going link ;
bit_position = 0;
compare_result = FAIL;
while ( compare_result == FAIL)
    {
        check (synchronus_position + bit_position) not exceed bound_window
        if (it exceed bound_window)
            {
                no_idle_slot=1;
                compare_result = FAIL;
            } else
            {
                result = bit_position AND 1;
                if(result == 1) {
                    (synchronus_position + bit_position) AND 0;
                    compare_result = OK;
                }else compare_result = FAIL;
            }
        bit_position = bit_position+1;
    }
 $N_c$  -1;
}

```

อัลกอริทึมของการจองช่องสัญญาณแบบสุ่มเลือก

```

Find  $N_c$ ;
While  $N_c > 0$ 
{
allocate_position = slot_position % translation_size;
Find  $N_s$ ;
synchronus_position = allocate_position +  $N_s$ ;
bound_window = synchronus_position +(win_size-1);
compare bit position between synchronus_position and same position at out-going link ;
random to find bit_position within window size;
compare_result = FAIL;
while ( compare_result == FAIL)
    {
        check (synchronus_position + bit_position) not exceed bound_window
        if (it exceed bound_window)
            {
                no_idle_slot=1;
                compare_result = FAIL;
            } else
            {
                result = bit_position AND 1;
                if(result == 1) {
                    (synchronus_position + bit_position) AND 0;
                    compare_result = OK;
                } else compare_result = FAIL;
            }
        random to find next bit_position within window size;
    }
 $N_c$  -1;
}

```

นำตำแหน่งที่ต้องการจองมา AND กับ 0 เพื่อเปลี่ยนสถานะการใช้งานช่องสัญญาณเวลา เป็นสถานะถูกใช้งานหรือไม่ว่าง เพื่อเป็นการจองช่องสัญญาณเวลาในขั้นต้นจากนั้นก็เก็บ หมายเลขลำดับของ ทราฟฟิก ตำแหน่งที่จองช่องสัญญาณเวลาและจำนวนช่องสัญญาณเวลาที่จองไว้ในตารางรายละเอียดการเชื่อมโยงเพื่อรอการยืนยันหรือยกเลิกการจองช่องสัญญาณเวลา

ตารางที่ 3.2 ตารางรายละเอียดการเชื่อมโยง

Route_Table		คำอธิบาย
int	Call_id	หมายเลขลำดับของทราฟฟิก
int	Allocate_position	ตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่จองที่เส้นการเชื่อมโยงขาออก
int	Previous_position	ตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่จองที่เส้นการเชื่อมโยงขาเข้า
int	Allocate_number	จำนวนช่องสัญญาณเวลาที่จอง
Objid	Destination_id	หมายเลขเฉพาะของโหนดปลายทาง
Objid	Source_id	หมายเลขเฉพาะของโหนดต้นทาง

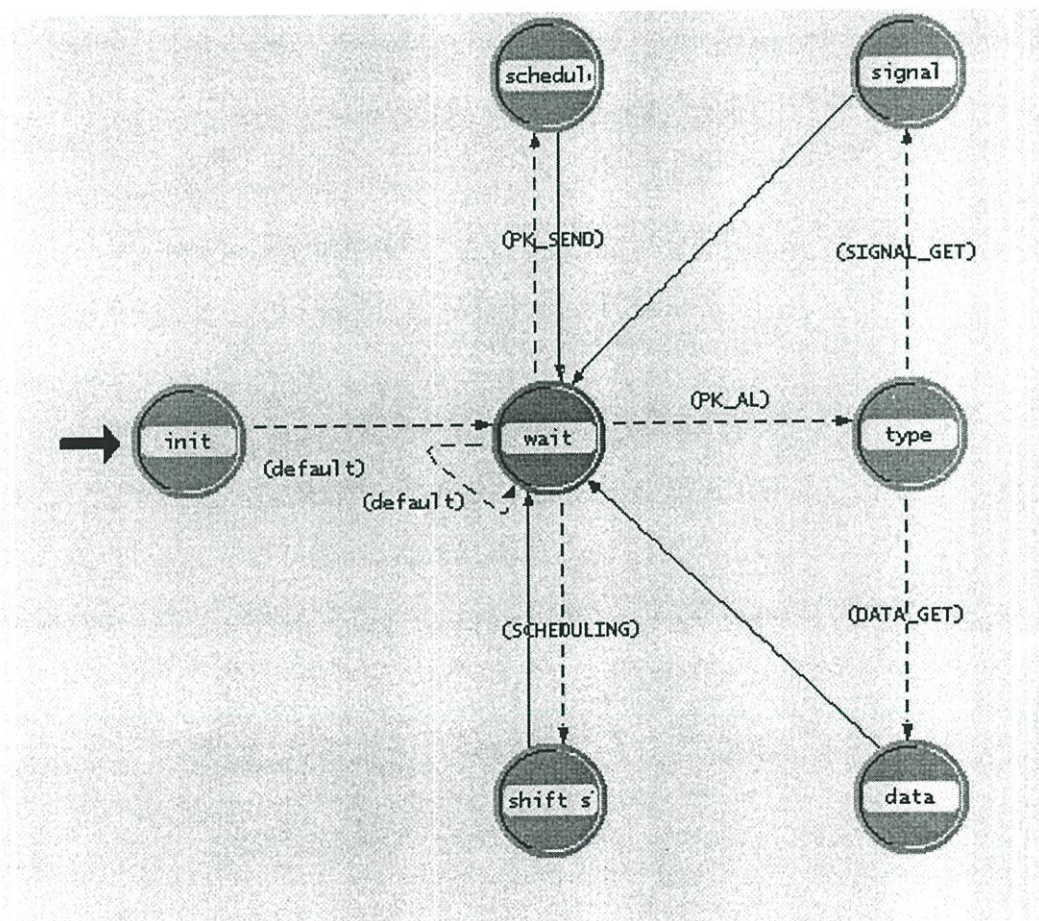
- สถานะการจัดการแพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลแบบตอบรับ (mgmt ack) เมื่อได้รับ แพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลแบบตอบรับก็จะทำการรับเอาโหนดต้นทางค่าโหนดต้นจากฟิลด์ source address ค่าโหนดปลายทางจากฟิลด์ destination address หมายเลขลำดับของทราฟฟิกจากฟิลด์ call id มาค้นหาในตารางรายละเอียดการเชื่อมโยงว่าการเชื่อมโยงนี้จองช่องสัญญาณตำแหน่งใดบ้าง เพื่อนำค่านี้ไปจองช่องสัญญาณเวลาที่ตารางตารางจัดลำดับแพ็กเก็ตเพื่อส่งออก

ตารางที่ 3.3 ตารางจัดลำดับแพ็กเก็ตเพื่อส่งออก

TR_Des_Table		คำอธิบาย
Objid	Source_id	หมายเลขเฉพาะของโหนดต้นทางที่ส่งแพ็กเก็ต
int	Call_id	หมายเลขลำดับเฉพาะของทราฟฟิก
int	VCI_IN	ตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่จองที่เส้นการเชื่อมโยงขาเข้า
int	VCI_OUT	ตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่จองที่เส้นการเชื่อมโยงขาออก
List*	Buffer_lptr	ตัวชี้บัพเฟอร์ที่อ้างถึงบัพเฟอร์ที่เก็บแพ็กเก็ตเพื่อส่งออก

- สถานะการจัดการแพ็กเก็ตปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูล (mgmt nack) เมื่อได้รับแพ็กเก็ต แพ็กเก็ตปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูล (TYPE_NACK) หรือเป็นแพ็กเก็ตยกเลิกการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูล (TYPE RELEASE) ก็จะทำกรับเอาไหนดต้นทางค่าไหนดต้นจากฟิลด์ source address ค่าไหนดปลายทาง จาก ฟิลด์ destination address หมายเลขลำดับของทราฟฟิก จากฟิลด์ call id มาค้นหาในตารางรายละเอียดการเชื่อมโยงเพื่อเปลี่ยนสถานะการใช้งานช่องสัญญาณเวลากลับเป็นสถานะว่าง

3.2.1.2.3 สวิตช์ชิงโหนด การทำงานของสวิตช์โมดูลในสวิตช์ชิงโหนดเป็นดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในสวิตช์โมดูล

ที่สวิตช์โมดูลแพ็กเก็ตข้อมูลนั้นจะต้องถูกพิจารณาการให้บริการตามหลักการของ W-TDM และรอในบัฟเฟอร์ส่งออกแพ็กเก็ตโดยกระบวนการทำงานภายในสวิตช์โมดูล ประกอบด้วยสถานะต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.24 ซึ่งแต่ละสถานะมีหน้าที่ดังนี้

- สถานะเริ่มต้น (init state) เป็นขั้นตอนเริ่มแรกเมื่อเข้าสู่กระบวนการกำหนดการให้บริการกับแพ็กเก็ต (scheduling) จะทำการเซตค่าเริ่มต้นต่าง ๆ รวมทั้งสร้างและกำหนดหน่วยความจำ

ให้กับลิสต์และตารางต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในโมดูลมีการติดตั้งและเก็บข้อมูลการเชื่อมโยงภายในระบบเครือข่ายจำลองและมีการกำหนดตัวชี้ เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลในตารางวงจรเสมือนจากนั้นจะไปรอที่สถานะ รอคอยเพื่อรอรับอินเทอร์รัพต์ต่าง ๆ

- สถานะรอคอย (wait state) รอรับอินเทอร์รัพต์ต่าง ๆ ซึ่งในโมดูลสวิตช์นี้จะมีการอินเทอร์รัพต์ของเหตุการณ์ เมื่อได้รับแพ็กเก็ตเข้ามา จะถูกแยกสถานะของแพ็กเก็ตที่สถานะแยกประเภทขอแพ็กเก็ตและอินเทอร์รัพต์โดยเวลา เพื่อทำการเลื่อนตัวชี้ในตารางวงจรเสมือน และตัวชี้ที่บัพเฟอร์ ฆ่าออกซึ่งมีความสัมพันธ์กัน

- สถานะแยกประเภทของแพ็กเก็ต (type state) เมื่อมีแพ็กเก็ตเข้ามาจะทำการเข้าถึงข้อมูลใน แพ็กเก็ตเพื่อตรวจสอบว่าเป็นแพ็กเก็ตประเภทใด จากนั้นจะทำการส่งแพ็กเก็ตไปทำกระบวนการในสถานะอื่นที่สัมพันธ์กับประเภทของแพ็กเก็ตต่อไป โดยเก็บแพ็กเก็ตลงในลิสต์ของสถานะ นั้น

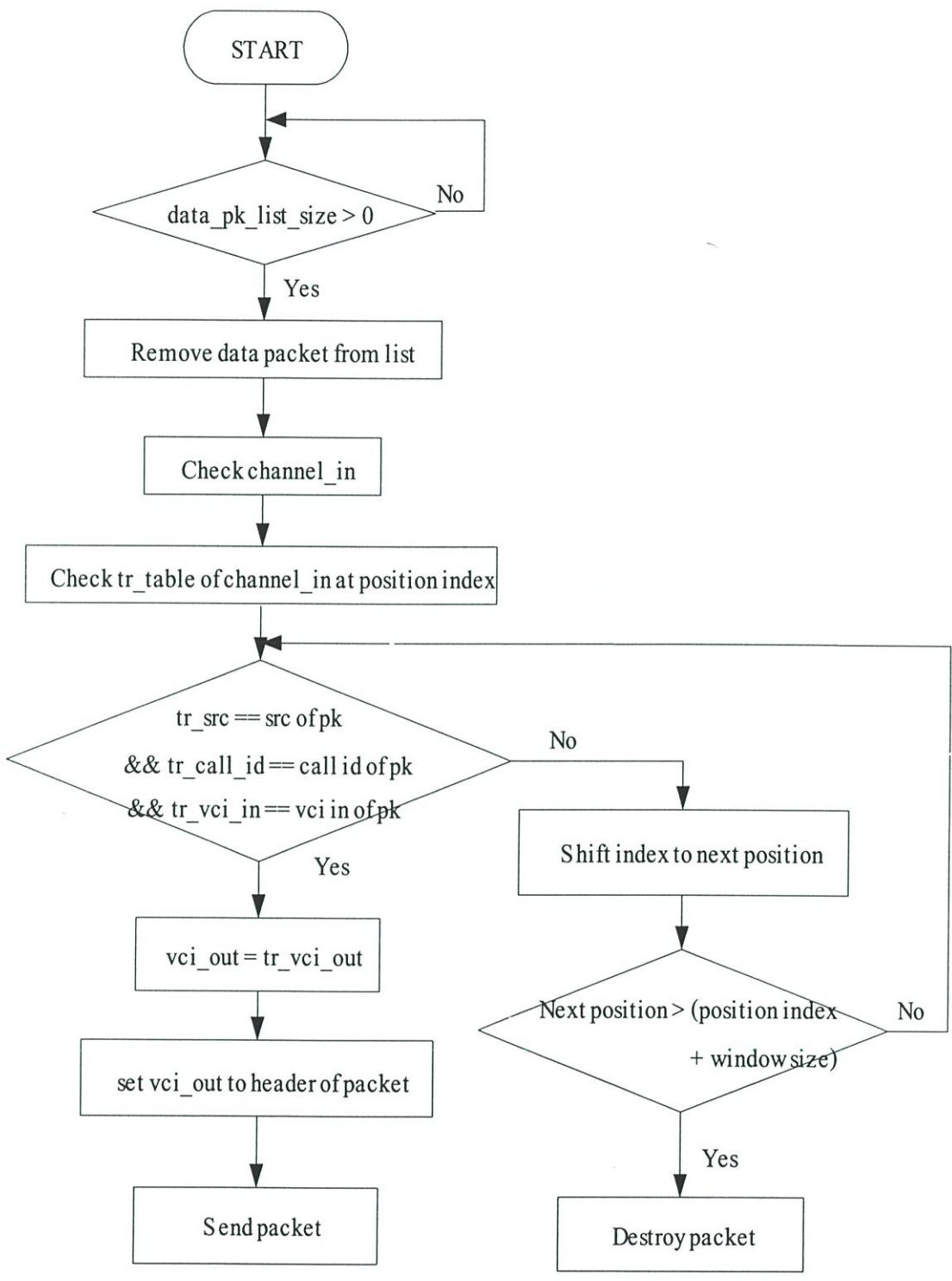
- สถานะจัดการแพ็กเก็ตควบคุม (signal state) ในสถานะนี้จะพิจารณาแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางและแพ็กเก็ตตอบรับซึ่งจะมีทิศทางการส่งแบบไปข้างหน้าและทิศทางย้อนกลับหากเป็น แพ็กเก็ตร้องขอการเชื่อมโยงจะทำการเข้าถึงข้อมูลในเส้นทางที่แนบมากับแพ็กเก็ต แล้วหาค่าโหนดถัดไป เมื่อทราบหมายเลขโหนดถัดไปจะทราบหมายเลขเส้นทางเชื่อมโยงหมายเลขพอร์ต และหมายเลขช่องสื่อสารที่จะส่งแพ็กเก็ตออกไปได้ส่วนแพ็กเก็ตตอบรับนั้นหากโหนดปัจจุบันเป็นสวิตช์โหนด จะพิจารณาแยกกรณีที่เป็นแบบตอบรับ และปฏิเสธหากเป็นแบบตอบรับต้องพิจารณาก่อนว่า หมายเลขโหนดแรกสุดในเส้นทางมีค่าเท่ากับหมายเลขของสวิตช์ซึ่งโหนดหรือไม่ ถ้าเท่าแสดงว่าสวิตช์ปัจจุบันเป็นสวิตช์ต้นทาง ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับโหนดต้นทางที่เป็นโหนดข้างเคียง ดังนั้นจะพิจารณาหมายเลขโหนดต้นทางในแพ็กเก็ตแล้วส่งออกไปทางพอร์ต ซึ่งจะไปยังโหนดต้นทางนั้น กรณีที่หมายเลขโหนดแรกสุดในเส้นทางมีค่าไม่เท่ากับหมายเลขของสวิตช์ซึ่งโหนดปัจจุบันแสดงว่าสวิตช์ปัจจุบันเป็นสวิตช์ปลายทางดังนั้นจะ พิจารณาโหนดที่อยู่ในตำแหน่งถัดไปในทิศทางย้อนกลับแล้วส่งออกไปยังพอร์ตที่จะไปยังโหนดนั้น ส่วนกรณีที่เป็นแพ็กเก็ตตอบรับแบบปฏิเสธนั้น หากเป็นสวิตช์ต้นทางก็ส่งแพ็กเก็ตนั้นไปยังโหนดต้นทางเพื่อสร้างแพ็กเก็ตร้องขอเพื่อเชื่อมโยงเส้นทางอีกครั้ง

- สถานะจัดการแพ็กเก็ตข้อมูล (data state) ที่สถานะจัดการแพ็กเก็ตข้อมูลนี้จะรับแพ็กเก็ตเข้ามาแล้วพิจารณาตัวชี้ตำแหน่งในตารางวงจรเสมือน ณ ขณะนั้นและทำการจัดการข้อมูลส่วนหัวของแพ็กเก็ตโดยเปรียบเทียบค่า VCI ของแพ็กเก็ตกับ VCI_IN ในตารางจัดลำดับแพ็กเก็ตเพื่อส่งออก ณ ตำแหน่งที่ชื่ออยู่ในปัจจุบัน เมื่อค่า VCI ของแพ็กเก็ตตรงกับค่า VCI_IN ในตารางจัดลำดับแพ็กเก็ตเพื่อ ส่งแพ็กเก็ตออกก็จะนำค่า VCI_OUT มากำหนดลงไปในแพ็กเก็ตแทน ซึ่งค่า VCI_OUT นี้จะถูกนำไป ใช้ในกระบวนการจัดลำดับแพ็กเก็ตเพื่อส่งออกในโหนดถัดไป แต่หากค่า

VCI ณ ตำแหน่งที่ที่อยู่ใน ปัจจุบันมีค่าไม่ตรงกันจะต้องทำการเข้าถึงที่ตำแหน่งอื่นในตารางจัดลำดับแพ็กเกต โดยเลื่อนลำดับการตรวจสอบไปยังตำแหน่งถัดไป ซึ่งขอบเขตในการพิจารณานี้สามารถเลื่อนไปได้เท่ากับขนาดของวินโดวโดยเริ่มนับตั้งแต่ตำแหน่งของตัวชี้ปัจจุบันเป็นต้นไปดังรูปที่ 4.12

- สถานะการให้บริการกับแพ็กเกต (schedule state) จะทำหน้าที่คล้ายกับบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการเก็บแพ็กเกตเพื่อส่งต่อ (forwarding buffer) กล่าวคือจะทำหน้าที่ส่งแพ็กเกตให้สอดคล้องกับเวลาการให้บริการของแพ็กเกตนั้น กับเวลาที่จองช่องสัญญาณเวลาภายในตารางจัดลำดับแพ็กเกต โดย forwarding buffer นี้จะมีขนาดเท่ากับขนาดของวินโดวและจะทำการเลื่อนตำแหน่งในการพิจารณาแพ็กเกตที่อยู่ในบัฟเฟอร์โดยใช้ช่วงเวลาในการเลื่อนเท่ากับช่วงเวลาในการเลื่อนช่องสัญญาณเวลาของวินโดวในการพิจารณาแพ็กเกต ในกรณีที่แพ็กเกตมาตรงกับช่องสัญญาณเวลาที่จองไว้พอดีแพ็กเกตนั้นก็ไม่ต้องรอใน forwarding buffer

- สถานะเลื่อนลำดับตัวชี้ในการจัดลำดับเพื่อส่งออก (shift state) ในสถานะนี้จะมีการตั้งเวลาอินเตอร์รัพท์เพื่อเลื่อนลำดับตัวบ่งชี้เวลาที่ใช้ในการอินเตอร์รัพท์ซึ่งถูกกำหนดไว้ให้เท่ากับเวลา 1 ช่องสัญญาณเวลาเพื่อเป็นเวลาในการให้บริการแพ็กเกตในกระบวนการจัดลำดับแพ็กเกตเพื่อส่งออกซึ่งอยู่ในสถานะจัดการแพ็กเกตข้อมูลและตัวบ่งชี้นี้จะสัมพันธ์กับตัวชี้ตำแหน่งในบัฟเฟอร์ขาออกซึ่งอยู่ในสถานะการให้บริการกับแพ็กเกต ดังนั้นการให้บริการในกระบวนการจัดลำดับแพ็กเกตเพื่อส่งออกและกระบวนการส่งแพ็กเกตออกไปยังโหนดถัดไปจึงทำงานสอดคล้องกัน



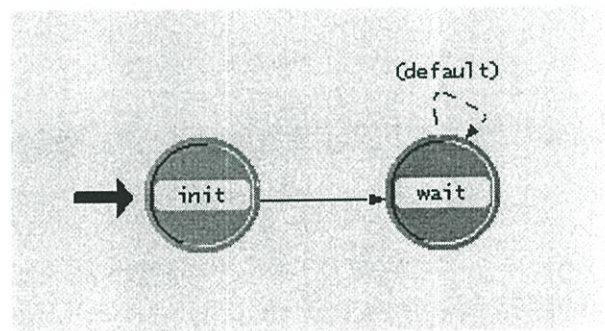
รูปที่ 3.25 ขั้นตอนการทำงานของสถานะรับแพ็กเก็ตข้อมูล (data state) ภายในสวิตช์โมดูล

3.2.1.3 โหนดควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมระบบซึ่งจะมีข้อมูลของโทโปโลยีในระบบเครือข่ายทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 โครงสร้างแบบจำลองภายในโหนดควบคุม

ภายในโมดูลควบคุมนี้ประกอบไปด้วยสถานะเริ่มต้น (init state) ซึ่งทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลของ โทโปโลยีทั้งหมดประกอบไปด้วยโหนดต้นทาง โหนดปลายทาง สวิตช์ซึ่งโหนด และการเชื่อมโยงระหว่างโหนดต่าง ๆ ในระบบเก็บไว้ในตารางข้อมูลเพื่อให้โมดูลการจัดการภายในสวิตช์ซึ่งโหนดนำไปหาเส้นทางที่เหมาะสมและสถานะรอการอินเตอร์รัพท์ (wait state)



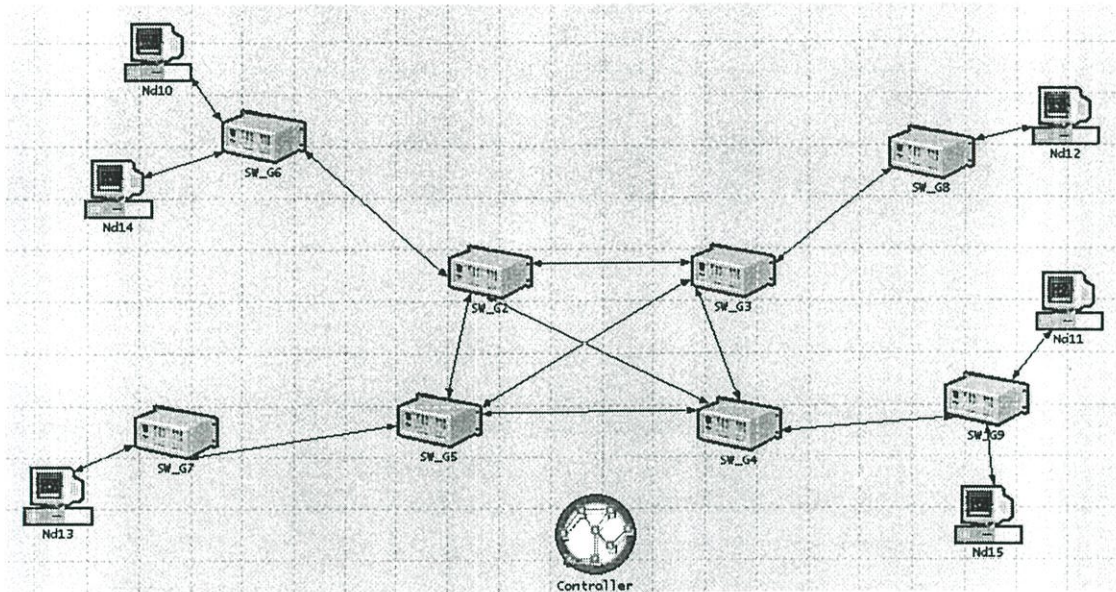
รูปที่ 3.27 โครงสร้างกระบวนการทำงานภายในโมดูลควบคุม

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

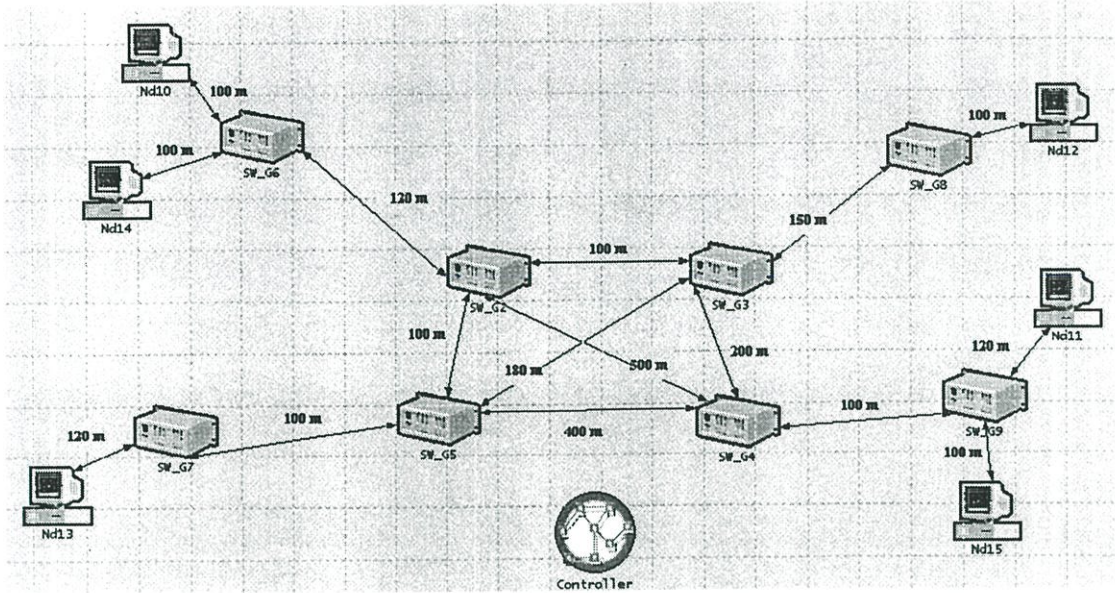
4.1 กระบวนการจำลองระบบเครือข่ายและการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้สร้างระบบเครือข่ายจำลองการทำงานของระบบเครือข่าย W-TDM ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ระบบเครือข่าย W-TDM

จากรูปที่ 4.1 ระบบเครือข่ายจำลองจะประกอบด้วย โหนดต้นทางหรือโหนดปลายทางอยู่ 6 โหนด คือโหนด Nd10, Nd11, Nd12, Nd13, Nd14 และ Nd15 เชื่อมต่ออยู่กับสวิตซ์ซึ่งโหนดซึ่งประกอบไปด้วยสวิตซ์ซึ่งโหนด SW_G2, SW_G3, SW_G4, SW_G5, SW_G6, SW_G7, SW_G8 และ SW_G9 และมีโหนดควบคุมที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ของระบบเครือข่ายจำลองนี้คือ โหนด Controller โดยลักษณะระบบเครือข่ายจำลองจะเป็นดังรูปที่ 4.1 คือโหนด Nd10 และ Nd14 เชื่อมต่ออยู่กับสวิตซ์ซึ่งโหนด SW_G6 โหนด Nd13 เชื่อมต่ออยู่กับสวิตซ์ซึ่งโหนด SW_G7 โหนด Nd12 เชื่อมต่ออยู่กับสวิตซ์ซึ่งโหนด SW_G8 และโหนด Nd14 และ Nd15 เชื่อมต่ออยู่กับสวิตซ์ซึ่งโหนด SW_G9 ภายในระบบเครือข่ายจำลองยังมีสวิตซ์ซึ่งโหนดอีก 4 โหนด คือ SW_2 SW_3, SW_4 และ SW_5 ซึ่งทำการเชื่อมต่อกันโดยผ่านเส้นการเชื่อมโยง



รูปที่ 4.2 ระยะทางระหว่างอุปกรณ์แต่ละตัวภายในระบบเครือข่าย W-TDM

ในการทดลองได้กำหนดระยะทางให้การเชื่อมโยงต่าง ๆ ภายในระบบเครือข่ายจำลองนี้ เพื่อนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการหาเส้นทางมีรายละเอียดดังรูปที่ 4.2 ซึ่งระยะทางของเส้นการเชื่อมโยงมีหน่วยเป็นเมตร เส้นการเชื่อมโยงทั้งหมดมีความเร็วในการส่งผ่านสื่อเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที และมีอัตราการส่งผ่านข้อมูลเท่ากับ 155 เมกะบิตต่อวินาที ดังนั้นถ้าโหนด Nd10 ต้องการส่งผ่านข้อมูลไปยังโหนด Nd11 ต้องใช้เส้นทางเริ่มต้นโดยผ่าน SW_G6, SW_2, SW_3, SW_4 และ SW_G9 เนื่องจากเริ่มต้นนั้นแบนด์วิดท์ภายในการเชื่อมต่อนั้นจะมีค่าเท่ากัน ดังนั้นในการคำนวณหาเส้นทางเริ่มต้นที่เราเตอร์จึงได้เส้นทางที่สั้นที่สุด เมื่อได้เส้นทางแล้ว Nd10 สร้างและส่งแพ็กเก็ต การร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลตามเส้นทางที่ได้จากเราเตอร์ไปยัง Nd11

ในการทดลองได้กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับระบบเครือข่ายดังนี้

- โหนดต้นทาง

- การกำหนดเวลาเริ่มต้นที่ต้องการสร้างแพ็กเก็ตร้องขอเพื่อเชื่อมโยงเส้นทางข้อมูลนั้นจะ ใช้การสุ่มค่าหาเวลาตั้งแต่ 0 ถึง 20 วินาที และใช้คาบเวลาในการสร้างแพ็กเก็ตร้องขอเพื่อเชื่อมโยงเส้นทางของ ทราฟฟิกถัดไปโดยใช้การสุ่มค่าทางเวลาตั้งแต่ 0 ถึง 20 วินาที แล้วจึงนำไปรวมกับเวลาของการสร้างแพ็กเก็ตก่อนหน้า เหตุผลที่ต้องมีการสุ่มหาเวลาในการสร้างสร้างแพ็กเก็ต ร้องขอเพื่อเชื่อมโยงเส้นทางข้อมูลนั้นเพื่อที่จะไม่ให้ทุกทราฟฟิกเริ่มต้นสร้างแพ็กเก็ตร้องขอเพื่อเชื่อมโยงเส้นทางข้อมูลเวลาเดียวกัน

- สุ่มค่าเพื่อเลือกฟังก์ชันการกระจายซึ่งจะมีอยู่ 4 กรณีคือ การกระจายแบบคงที่ (constant function) การกระจายแบบนอร์มอล (normal function) การกระจายแบบยูนิฟอร์ม

(uniform function) และแบบเอกซ์โปเนนเชียล (exponential function) เพื่อนำฟังก์ชันนี้ไปใช้ในการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลเพื่อทำการศึกษาความยืดหยุ่นในการให้บริการกับกราฟฟิกประเภทต่าง ๆ เมื่อขนาดของวินโดว์มีการเปลี่ยนแปลง

- สุ่มค่าหมายเลขโหนดปลายทางจากหมายเลขอุปกรณ์สื่อสารปลายทางจำลองทั้งหมดในระบบเครือข่าย

- สุ่มค่าทางเวลาตั้งแต่ 10 ถึง 40 วินาทีเพื่อหาเวลาที่ต้องการหยุดส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของแต่ละกราฟฟิกเพื่อทำการปลดปล่อยเส้นทางเชื่อมโยงและคืนทรัพยากรแก่ระบบ

● อุปกรณ์สถิติ

- กำหนดจำนวนช่องสัญญาณเวลาในเฟรมเท่ากับ 46 ช่องสัญญาณและสามารถเลือกขนาดของวินโดว์ตามต้องการเพื่อใช้ในการทดลองหาค่าวินโดว์ที่เหมาะสมกับระบบนี้

- ค่าสถานะการใช้งานช่องสัญญาณเวลาในเฟรมของพอร์ตขาออกทุกพอร์ตต้องมีสถานะการใช้งานว่างคือเป็น 1 ทั้ง 46 ช่องสัญญาณเวลา

- กำหนดเวลาในการเลือกการพิจารณาของวินโดว์ต่อ 1 ช่องสัญญาณเวลาคือ 2.735 ไมโครวินาที

- สามารถเลือกวิธีการเลือกของช่องสัญญาณเวลาจากวิธีทั้ง 3 วิธีคือ วิธีการเลือกของช่องสัญญาณเวลาแบบค้นหาตามลำดับ วิธีการเลือกของช่องสัญญาณเวลาแบบสุ่มเลือกและวิธีการเลือกของช่องสัญญาณเวลาแบบผสมเพื่อเปรียบเทียบผลกระทบจากวิธีการเลือกของช่องสัญญาณเวลาทั้ง 3 วิธีโดยใช้โทโปโลยีและค่าที่กำหนดอื่น ๆ เหมือนกัน

โครงสร้างของระบบเครือข่ายจำลองนี้จะถูกใช้ในการทดลองเรื่องแรกคือการวิเคราะห์และหาผลกระทบของขนาดวินโดว์เพื่อหาขนาดของวินโดว์ที่เหมาะสมกับระบบ โดยการทดลองจะเริ่มที่การทำงานของโหนดสื่อสารปลายทางซึ่งแต่ละโหนดเป็นอิสระต่อกัน ตัวแปรของแต่ละกราฟฟิกจะต่างกันไป เช่นในการสร้างแพ็กเก็ตเพื่อร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทาง การติดตั้งค่าโหนดปลายทางจะการใช้การสุ่มหมายเลขโหนดปลายทางทางทุกครั้ง เวลาที่ใช้ในการสร้างและส่งแพ็กเก็ตร้องขอการใช้งานเส้นทางเชื่อมโยงจะเป็นเวลาที่ได้จากการสุ่ม รูปแบบการกระจายในการสร้างและส่งแพ็กเก็ตข้อมูลของแต่ละกราฟฟิกจะเป็นการเลือกแบบสุ่มระหว่างการกระจายแบบอัตราเร็วคงที่ การกระจายแบบนอร์มอล การกระจายแบบยูนิฟอร์มและการกระจายแบบฟังก์ชันเอกซ์โปเนนเชียล การกำหนดระยะเวลาของการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลและเวลาในการหยุดสร้างแพ็กเก็ตเพื่อแจ้งคืนทรัพยากรแก่ระบบก็จะใช้การสุ่มค่าทางเวลาเช่นเดียวกัน ดังนั้นการทำงานของโหนดสื่อสารปลายทางจึงเสมือนเป็นการจำลองอุปกรณ์จริงที่ไม่มีการกำหนดค่าแบบตายตัว ซึ่งจะใกล้เคียงระบบจริงได้ในระดับหนึ่งเนื่องจากกราฟฟิกที่เราสนใจเป็นเฉพาะแบบที่มีอัตราเร็วคงที่ ส่วนกราฟฟิกอื่น ๆ ในระบบกำหนดมาเพื่อศึกษาถึงผลกระทบเมื่อมีการแกว่งและการกระจายของกราฟฟิก

จึงนำมาแทนกราฟฟิกที่ถูกส่งออกมาแบบไม่คงที่แล้วใช้คุณสมบัติของบัพเฟอริชออกที่สวิตช์ต้นทางในการบังคับอัตราเร็วในการส่งแพ็กเก็ตให้คงที่อีกที

การกำหนดค่าต่าง ๆ ในอุปกรณ์สวิตช์ จะกำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้ ขนาดของเฟรมคงที่เท่ากับ 46 ช่องสัญญาณเวลา กำหนดให้ 1 ช่องสัญญาณเวลาให้บริการส่งผ่านข้อมูล 1 แพ็กเก็ตและเวลาในการเลื่อนตัวชี้ตำแหน่งในตารางข้อมูลการจัดลำดับแพ็กเก็ตเพื่อส่งออกและตัวชี้ตำแหน่งในบัพเฟอริชออกเท่ากับ 2.735 ไมโครวินาที ส่วนขนาดของวินโดว์ที่สวิตช์จะทำการปรับขนาดของวินโดว์ให้มีขนาดต่างกัันดังนี้ ขนาดวินโดว์เท่ากับ 10 15 และ 20 ตามลำดับ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อขนาดของวินโดว์เปลี่ยนรูปแบบการจองใช้เป็นแบบผสม (Random-Sequence slot assigment) เวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมดเป็น 60 วินาที และเวลาหยุดสร้างแพ็กเก็ตร้องขอเพื่อเชื่อมโยงเส้นทางของแต่ละโหนดกำหนดเป็น 40 วินาที แล้วตรวจวัดค่าอัตราการปฏิเสธในกระบวนการร้องขอเพื่อเชื่อมโยงเส้นทาง ตรวจสอบขอบเขตของเวลาหน่วง และการสูญหายของแพ็กเก็ต โดยวิธีการตรวจวัดอัตราการปฏิเสธการร้องขอเพื่อเชื่อมโยงเส้นทางในระบบนั้นจะเท่ากับอัตราส่วนของจำนวนของการสร้างแพ็กเก็ตตอบรับแบบปฏิเสธในระบบต่อจำนวนแพ็กเก็ตร้องขอเพื่อเชื่อมโยงเส้นทางที่ส่งออกมาจากราท์เตอร์ต้นทางทั้งหมด และในการพิจารณาอัตราการใช้งานช่องสัญญาณเวลาในระบบนั้นจะพิจารณาจากอัตราส่วนของปริมาณช่องสัญญาณเวลาที่มีการจองในระบบต่อจำนวนช่องสัญญาณเวลาทั้งหมดในระบบ หรือจะเรียกอีกอย่างว่าเป็นการวัดประสิทธิภาพการใช้งานทรัพยากรของระบบ

การวัดเวลาหน่วงในกระบวนการสร้างเส้นทางเชื่อมโยงนั้นจะจับเวลาเริ่มส่งแพ็กเก็ตร้องขอเพื่อเชื่อมโยงเส้นทางจากราท์เตอร์ต้นทางจนกระทั่งได้รับแพ็กเก็ตตอบรับแบบตอบรับกลับมาถึงราท์เตอร์ต้นทางอีกครั้งจึงจะถือว่าการสร้างเส้นทางนั้นประสบความสำเร็จ การจับเวลาจะพิจารณาแยกตามกราฟฟิกแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของเวลาในการสร้างเส้นทางทั้งระบบในขณะใด ๆ การวัดอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลนั้นจะพิจารณาอัตราส่วนของจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่เกิดการสูญหายต่อจำนวนของแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งออกมาทั้งหมด

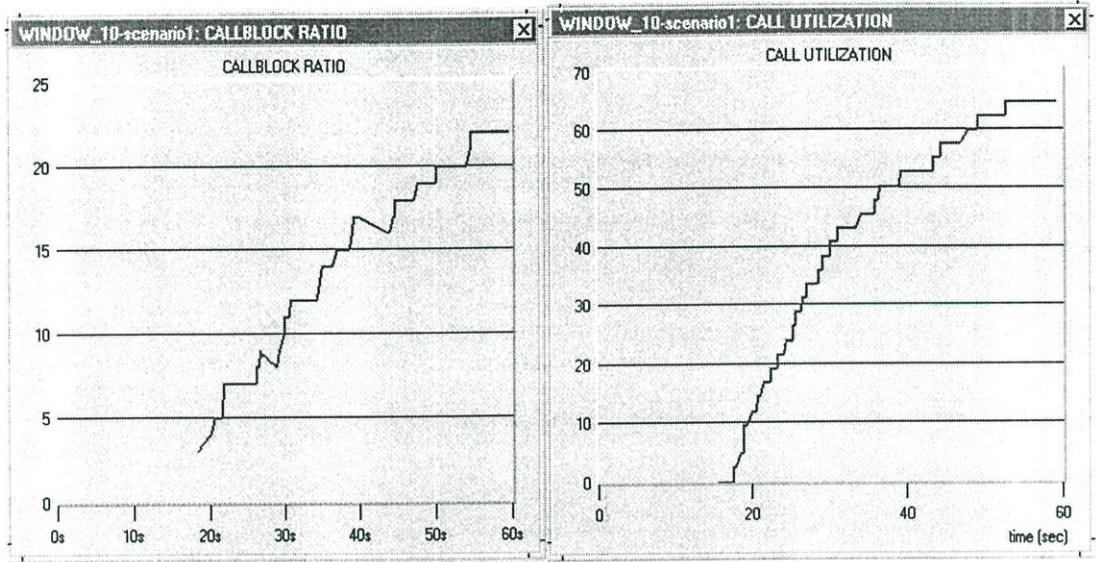
เรื่องที่สองในการทดลองคือการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอันเนื่องมาจากการเลือกใช้วิธีการเลือกจอง 3 รูปแบบคือการเลือกจองช่องสัญญาณแบบค้นหาตามลำดับ การเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบสุ่มเลือกและการเลือกจองช่องสัญญาณเวลาแบบผสม โดยให้หลักการกำหนดเหมือนกับการทดลองเรื่องการศึกษาผลกระทบอันเนื่องมาจากขนาดของวินโดว์ แต่มีการปรับเปลี่ยนในเรื่องรูปแบบการจองช่องสัญญาณเวลาโดยใช้วิธีทั้งสามดังกล่าวข้างต้น และกำหนดขนาดของวินโดว์ให้มีขนาดคงที่คือ 10 ช่องสัญญาณเวลา

เรื่องสุดท้ายของการทดลองคือการศึกษาประสิทธิภาพของระบบเมื่อทำการเลือกจองช่องสัญญาณเวลาให้มีการกระจายในกรณีที่กราฟฟิกนั้นต้องการส่งแพ็กเก็ตมากกว่า 1 แพ็กเก็ตใน

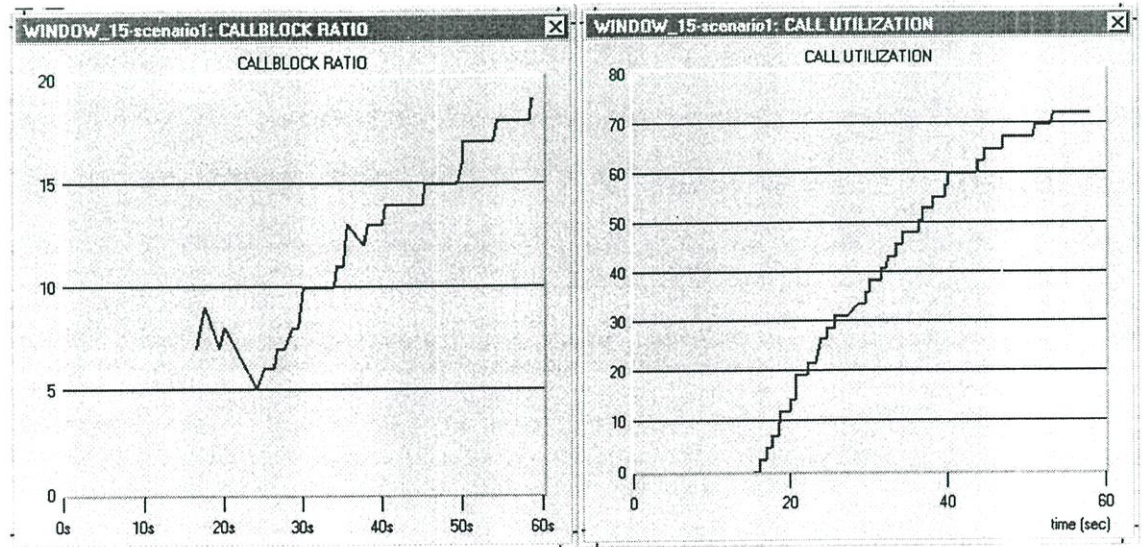
หนึ่งเฟรมซึ่งจะมีการกำหนดค่าต่าง ๆ คล้ายคลึงกับการทดลองศึกษาประสิทธิภาพของระบบอันเนื่องมาจากการเลือกใช้วิธีการเลือกจองแต่มีการกำหนดให้โหนดต้นทางทำการสุ่มเวลาที่ใช้ในการสร้างแพ็กเก็ตข้อมูล 1 แพ็กเก็ตให้อยู่ในช่วงระหว่าง 2.735 ไมโครวินาที และ 5.47 ไมโครวินาที

4.2 ผลการทดลอง

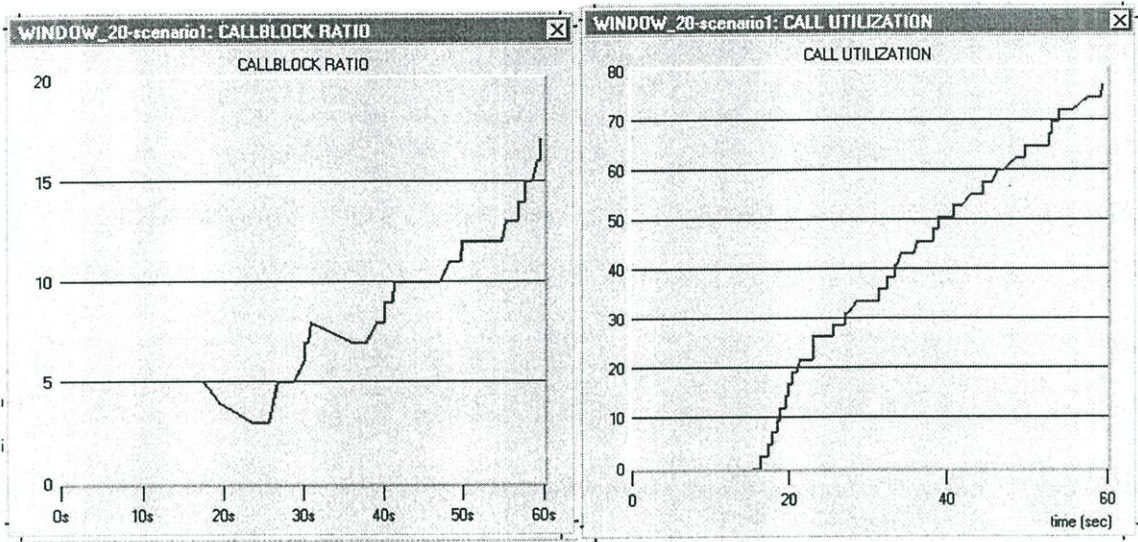
4.2.1 ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดวินโดว์ต่อประสิทธิภาพของระบบ



รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพกระบวนการเชื่อมโยงข้อมูลเมื่อกำหนดให้ขนาดวินโดว์เท่ากับ 10 ช่องสัญญาณเวลา

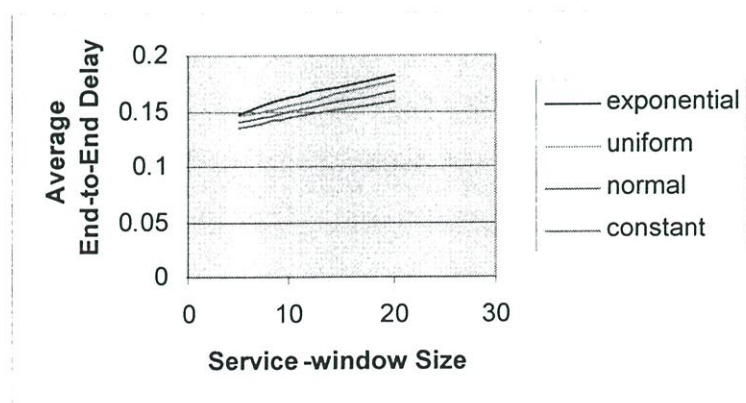


รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพกระบวนการเชื่อมโยงข้อมูลเมื่อกำหนดให้ขนาดวินโดว์เท่ากับ 15 ช่องสัญญาณเวลา



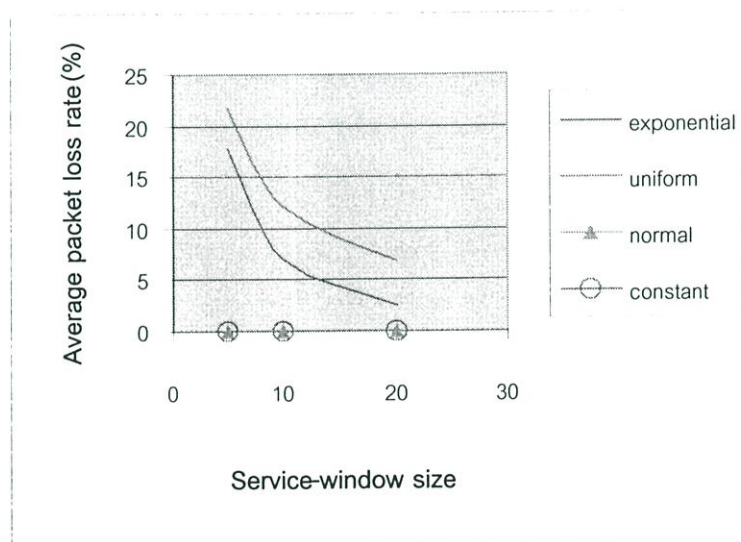
รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพกระบวนการเชื่อมโยงข้อมูลเมื่อกำหนดให้ขนาดวินโดว์เท่ากับ 20 ช่องสัญญาณเวลา

จากรูปที่ 4.3 , 4.4 และ 4.5 จะสังเกตว่าเส้นกราฟจะเริ่มต้นที่เวลาประมาณ 18 วินาที เนื่องจากโหนดต้นทางทำการสุ่มค่าเริ่มต้นในการสร้างแพ็กเก็ตแล้วได้ค่าเริ่มต้น ณ เวลานั้น และกำหนดเวลาสิ้นสุดการทดลองที่เวลา 60 วินาที จากผลการทดลองพบว่าเมื่อขนาดวินโดว์มีขนาดใหญ่ขึ้น อัตราการเกิดการปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลจะลดลง และพบว่าอัตราการเกิดการปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลโดยเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการใช้งานการเชื่อมโยงข้อมูลของระบบ คือเมื่อมีการใช้งานการเชื่อมโยงข้อมูลของระบบเพิ่มมากขึ้นอัตราการเกิดการปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลก็จะเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.6 เวลาหน่วงเฉลี่ยที่เมื่อใช้วินโดว์ขนาด 10, 15 และ 20 ช่องสัญญาณเวลา

รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดลองเมื่อทำการปรับขนาดของวินโดว์เป็นขนาดต่าง ๆ กัน โดยใช้ทราฟฟิกต่างชนิดกันนั่นคือมีรูปแบบการกระจายแบบคงที่ การกระจายแบบนอร์มอล การกระจายแบบยูนิฟอร์ม และการกระจายแบบเอ็กโปเนนเชียล เพื่อวัดค่าเวลาหน่วงของระบบ ซึ่งผลที่ออกมาพบว่าระบบที่ใช้ขนาดวินโดว์ใหญ่จะทำให้เกิดเวลาหน่วงมากกว่าระบบที่ใช้วินโดว์ที่มีขนาดเล็ก ทั้งนี้เนื่องจากวินโดว์ที่มีขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการค้นหาข้อมูล (searching delay) และเวลาที่ใช้รอในบัฟเฟอร์มากกว่าวินโดว์ที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากระบบ W-TDM ใช้ขอบเขตของวินโดว์เป็นขอบเขตในการพิจารณาการให้บริการแก่แพ็กเกตดังนั้นในการค้นหาข้อมูลภายในตารางทรานสเลชันจึงค้นหาอยู่ภายในขอบเขตของวินโดว์ และทราฟฟิกที่มีอัตราการแกว่งมากจะมีเวลามากกว่าทราฟฟิกที่มีอัตราการแกว่งน้อยหรือไม่มีการแกว่งเลย เนื่องจากทราฟฟิกที่มีการแกว่งมากนั้นอัตราเร็วในการส่งแพ็กเกตจะแตกต่างกันมากทำให้เวลาระหว่างการส่งแพ็กเกต 2 แพ็กเกตนั้นแตกต่างกัน ดังนั้นแพ็กเกตอาจจะมาไม่ตรงกับตำแหน่งที่จองไว้จึงต้องใช้เวลาในการค้นหาข้อมูลภายในตารางทรานสเลชันมากกว่าแพ็กเกตที่ส่งมาด้วยอัตราเร็วคงที่

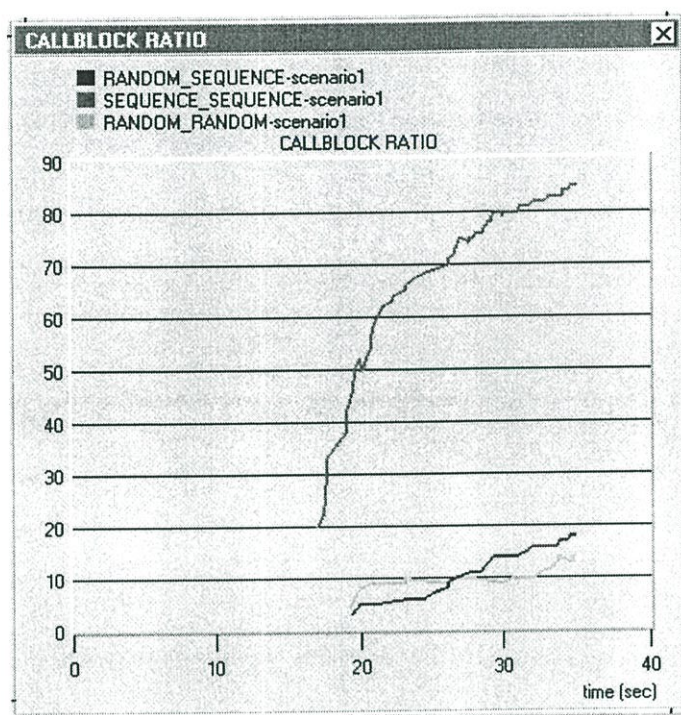


รูปที่ 4.7 อัตราการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลโดยเฉลี่ยเมื่อใช้วินโดว์ที่มีขนาด 10, 15 และ 20 ช่องสัญญาณเวลา

จากรูปที่ 4.7 พบว่าแพ็กเกตจากทราฟฟิกที่มีอัตราเร็วในการส่งคงที่จะไม่มีการสูญหายเลยเมื่ออยู่ในระบบ W-TDM ส่วนแพ็กเกตจากทราฟฟิกที่ส่งด้วยอัตราเร็วไม่คงที่นั้นจะมีการสูญหายของแพ็กเกตบ้างแตกต่างกันไปตามประเภทการกระจายของข้อมูล และเมื่อขนาดวินโดว์เพิ่มมากขึ้นอัตราการสูญหายของแพ็กเกตจะลดลง

4.2.2 ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของรูปแบบการจองช่องสัญญาณเวลาต่อประสิทธิภาพของระบบ

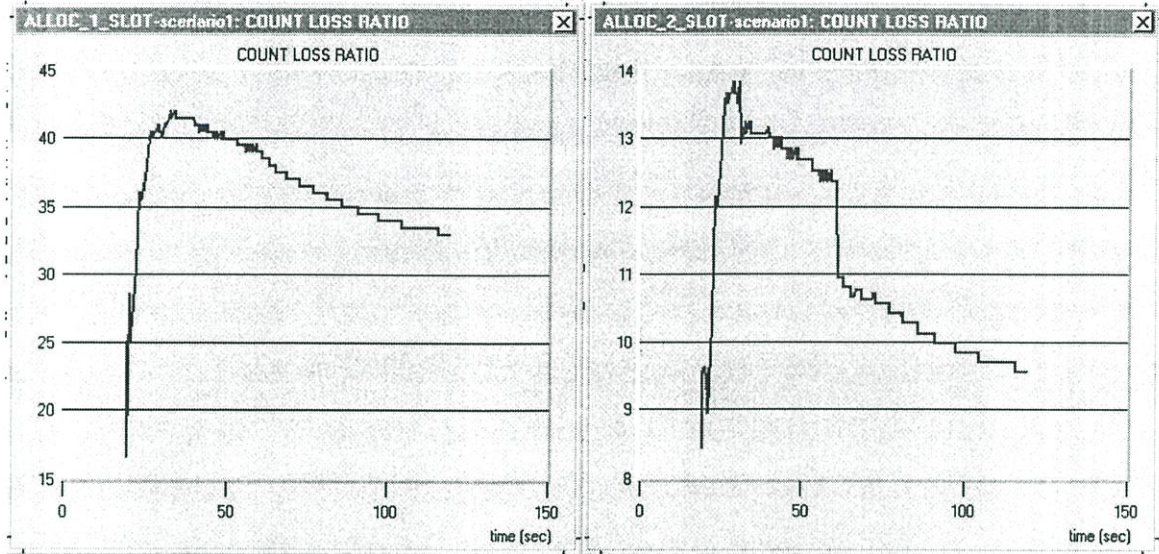
ภาพของระบบ



รูปที่ 4.8 อัตราการเกิดการปฏิเสธการร้องขอเมื่อทำการใช้วิธีการจองช่องสัญญาณต่าง ๆ กัน

จากรูปที่ 4.8 พบว่าการจองช่องสัญญาณเวลาแบบค้นหาตามลำดับจะเกิดอัตราการปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงมากที่สุดเนื่องจากการพิจารณาการเลือกช่องสัญญาณเวลาว่างแรกที่เจอตั้งนั้นทุก ๆ การเชื่อมโยงก็จะทำการพิจารณาเช่นเดียวกันทำให้การพิจารณาเลือกช่องสัญญาณเวลาจะเน้นไปที่ต้นเฟรมดังนั้นอัตราการปฏิเสธแพ็กเก็ตเกิดการร้องขอการเชื่อมโยงข้อมูลจึงมากกว่าวิธีที่มีการกระจายการพิจารณาการจอง จากผลการทดลองการจองช่องสัญญาณเวลาแบบสุ่มเลือกจะดีในช่วงแรกเนื่องจากการสุ่มเลือกแต่เมื่อเวลาผ่านไปโอกาสในการสุ่มอาจจะซ้ำกันได้

4.2.3 ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของการกระจายการจองช่องสัญญาณเวลาต่อประสิทธิภาพของระบบ



รูปที่ 4.9 อัตราการเกิดการสูญหายของแพ็กเก็ตเมื่อไม่ใช้วิธีการกระจายช่องสัญญาณเวลา และใช้วิธีการกระจายช่องสัญญาณเวลา

จากรูปที่ 4.9 แสดงถึงอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตเมื่อไม่ใช้วิธีการกระจายช่องสัญญาณเวลาจะมากกว่าอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตเมื่อใช้วิธีการกระจายช่องสัญญาณเวลา เนื่องจากถ้าทำการจองช่องสัญญาณเวลาโดยจองช่องสัญญาณเวลาติด ๆ กัน เมื่อเวลาผ่านไปโอกาสที่แพ็กเก็ตมาถึงแล้วอยู่นอกเหนือขอบเขตการพิจารณาการให้บริการจะมากกว่าเมื่อทำการกระจายการจองช่องสัญญาณเวลา

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการออกแบบและการวิเคราะห์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอผลการศึกษาและวิธีการแก้ไขปัญหอันเนื่องมาจากการไม่ตรงกันของตำแหน่งช่องสัญญาณเวลาที่อยู่ต่อเนื่องกันภายในเส้นทางเนื่องจากระบบการสื่อสารแบบ W-TDM เป็นการสื่อสารที่มีการกำหนดช่องสัญญาณเวลาในเฟรม และกำหนดช่วงเวลายอมรับการให้บริการหรือวินโดว์ ซึ่งช่วงเวลายอมรับการให้บริการนี้มีไว้เพื่อรองรับความคลาดเคลื่อนของเวลามาถึงของแพ็คเก็ต ทำให้เกิดความยืดหยุ่นของเวลาในการรับและส่งแพ็คเก็ตในแต่ละโหนด ความยืดหยุ่นของเวลานี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของช่วงเวลายอมรับการให้บริการ (service-window scope) และตำแหน่งของการจองช่องสัญญาณเวลาของโหนดที่อยู่ต่อเนื่องกัน ดังนั้นจึงเสนออัลกอริทึมการจองช่องสัญญาณเวลาภายในเฟรมให้อยู่ในช่วงเวลายอมรับการให้บริการ และอัลกอริทึมการกระจายการจองช่องสัญญาณเวลาในกรณีที่มีการเชื่อมโยงนั้นต้องการช่องสัญญาณเวลามากกว่า 1 ช่องสัญญาณต่อหนึ่งเฟรม เพื่อลดเวลารอคอยการให้บริการ และอัตราการสูญหายของแพ็คเก็ต

ในส่วนของ การทดลองได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบต่าง ๆ เกิดขึ้นเนื่องจากการจองช่องสัญญาณเวลาที่คลาดเคลื่อนกันของโหนดที่อยู่ต่อเนื่องกัน และจากผลการทดลองพบว่าผลการทดลองเมื่อจองช่องสัญญาณเวลาแบบใช้วิธีการเลือกพิจารณาแบบสุ่มเลือกและแบบผสมนั้นมีอัตราการปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางน้อยกว่าแบบค้นหาตามลำดับ เนื่องจากว่าวิธีการเลือกพิจารณาแบบสุ่มเลือกและแบบผสมนั้นมีการกระจายการพิจารณา ทำให้ไม่ทำการพิจารณาเฉพาะที่ส่วนต้นเฟรมแบบวิธีการเลือกพิจารณาช่องสัญญาณเวลาแบบค้นหาตามลำดับ เราสามารถเลือกตำแหน่งที่ต้องการที่จะจองช่องสัญญาณเวลา ได้ นั่นคือทำการจองช่องสัญญาณเวลาซึ่งโครนัสตรงตามช่องสัญญาณเวลาของสวิตช์แต่ละคู่ ดังนั้นทุก ๆ ทราฟฟิกจะมีเวลาหน่วงเนื่องจากการค้นหาข้อมูลในตารางทรานสเลชันและการบัฟเฟอร์น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการจองช่องสัญญาณเวลาที่ซึ่งโครนัสกันแต่มีการแย่งช่องสัญญาณเวลาภายในขอบเขตของวินโดว์

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการพัฒนา

ปัจจุบันระบบการสื่อสารมีการให้บริการอยู่หลายประเภท เช่น การสื่อสารแบบอัตราเร็วคงที่ (Constant bit rate, CBR) ซึ่งใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลซึ่งต้องการความทนทานต่อการสูญหายของข้อมูล และไม่มีแกว่งของเวลาหน่วง ส่วนการสื่อสารที่มีอัตราเร็วไม่คงที่ เช่น Available Bit Rate (ABR) และ Variable Bit rate (VBR) มีทั้งการสื่อสารข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Real time) และแบบไม่ต่อเนื่อง (Non - real time) ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดที่สร้างทราฟฟิก (Traffic) ดังนั้นระบบการสื่อสารแบบ W-TDM จึงแบ่งช่องสัญญาณเวลาออกเป็น 3 ประเภท คือ Guarantee slot, Bursty slot และ Best effort slot ซึ่งแบ่งเพื่อเตรียมการรับประกันการบริการในการสื่อสารระบบ VBR และ ABR ด้วย สำหรับการสื่อสารแบบ CBR นั้น จะใช้ช่องสัญญาณเวลาที่มีการรับประกันการบริการ guarantee slot เท่านั้น ส่วนการสื่อสารข้อมูลที่มีอัตราการส่งผ่านไม่คงที่เช่น ABR และ VBR นั้นสามารถใช้ช่องสัญญาณเวลาได้ทั้งที่เป็น Guarantee และ Bursty ในขณะที่การสื่อสารแบบ UBR นั้นไม่จำเป็นต้องรับประกันคุณภาพ จึงสำรองไว้ให้เป็นแบบ Best Effort

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ให้ความสนใจกับช่องเวลาที่เป็นแบบ Guarantee เนื่องจากช่องสัญญาณเวลาแบบนี้จะถูกทำการสำรองไว้ให้ตั้งแต่การทำการร้องขอการเชื่อมโยงเส้นทางและเมื่อสำรองไว้ให้แล้วก็สามารถรับประกันการบริการของการเชื่อมโยงที่ร้องขอนั้นได้ทุกช่องสัญญาณเวลา ดังนั้นถ้าจะทำให้ระบบ W-TDM ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นจึงควรศึกษาผลกระทบและหาวิธีการแก้ไขปัญหาสำหรับช่องสัญญาณแบบ Bursty และ Best Effort อีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบมากต่อระบบการสื่อสารแบบ W-TDM คือขนาดของวินโดวซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการทดลองหาขนาดวินโดวที่เหมาะสมโดยปัจจัยที่นำมาคำนึงถึงคือรูปแบบของทราฟฟิกซึ่งขนาดของวินโดวที่ทำการทดลองจะมีขนาดคงที่ทั้งระบบ ถ้ารูปแบบของทราฟฟิกมาแบบไม่คงที่จึงอาจจะใช้วิธีการปรับเปลี่ยนขนาดของวินโดวตามลักษณะทราฟฟิกขณะนั้นได้ตามความเหมาะสมของระบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mayuree L., "QoS guarantee in ATM network employing Window-based TDM-like Scheduling", Asia-Pacific Symposium on Broadcasting and Communications , p383-388, 2000.
- [2] Ajchara K., Supannee R., Mayuree L. and Pitikate S. "The Effect of Unsynchronized Time Slot Allocation on W-TDM Network." (ISCIT 2003), September 3-5, Pp. 656-659.
- [3] L. Zhang, "Virtual Clock: A new traffic control algorithm for packet switching networks", ACM Transaction on Computer Systems, vol. 9, pp. 101-124, May 1991.
- [4] A. Demers, S. Keshav, and S. Shenker, "Analysis and Simulation of a fair queuing algorithm", Internetworking: Research and Experience, vol. 1 no. 1, pp. 3-26, 1990.
- [5] D. Ferrari and D. Verma, "A Scheme for Real-time Channel establishment in wide-area networks " IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 8, pp. 368-379, April 1990.
- [6] C. Kalmanek, H. Kanakia, and S.Keshev, "Rate Controlled servers for very high-speed networks", in IEEE Global Telecommunications Conference, pp. 300.3.1-300.3.9, December 1990.
- [7] S. Golestani, "A framing strategy for congestion management", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 9, pp. 1064-1077, September 1991.
- [8] N. Kamiyama, C. Ohta and H. Tode, "Quasi-STM Transmission method based on ATM Network", IEEE Global Telecommunications Conference, vol. 3, 1994.
- [9] M. Katevenis, S. Sidilopoulos, and C. Courcoubetis, "Weighted Round-Robin cell multiplexing in general purpose ATM switch chip", IEEE Journal on Selected Areas in Communication, vol. 9, pp. 1265-79, October 1991.
- [10] M. Sheedhar and G. Varghese, "Efficient fair queuing using deficit round robin", in Proceedings of ACM SIGCOMM' 95, pp. 231-242, September 1995.
- [11] Shyamal K. Chowdhury, Kazem Sohraby, "Alternative Bandwidth Allocation Algorithms for Packet Video in ATM Networks." INFOCOM, pp.1061-1068, 1992

- [12] I.A Saroit , "Bandwidth Problems in high-speed networks", IBM Journal of Research and Development, vol. 44, pp.919-938, 2000.
- [13] Song Wang, Yu-Chung Wang and Kwei-Jay Lin, "Integrating the Fixed Priority Scheduling and the Total Bandwidth Server for Aperiodic Tasks", Seventh International Conference on Real-Time Systems and Applications, pp.215-222, 2000
- [14] Norio Matsufuru, Kouji Nishimura and Reiji Aibara, "Efficient Fair Queueing for ATM Networks Using Uniform Round Robin", IEICE TRANS. COMMUN., Vol. E83-B, No.6, pp.1330-1341, 2000
- [15] Martin de Prycker, Asynchronous Transfer Mode, Solution for Broadband ISDN, 3rd edition, Prentice Hall 1995.
- [16] สมพร กันทะวงศ์, มยุรี เลิศเวชกุล และประกิจ ตั้งติสานนท์, "อัลกอริทึมสร้างเส้นทางแบบคำนึงถึงคุณภาพของการให้บริการที่มีความสามารถในการตอบสนองต่อความผิดพลาดของการกำหนดเส้นทาง", วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 20, ฉบับที่ 2, มิถุนายน 2546, หน้า 94-99

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์

- [1] S. Rattanawit, M. Lertwatechakul and P. Sooraksa. "The Delay-Bounded Source Model ", Proceedings of the International Conference on Scientific & Engineering Computation, December 3-5 2002, pp 340-343

Proceedings of the International Conference on Scientific & Engineering Computation (IC-SEC) 2002

Recent Advances in Computational Science & Engineering

Editors

H. P. Lee

K. Kumar

Imperial College Press

THE DELAY-BOUNDED SOURCE MODEL

S. RUTTANAWIT, M. LERTWATECHAKUL AND P. SOORAKSA

*Research Center for Communications and Information Technology (ReCCIT), and entific
Department of Information Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
E-mail: s3061093@kmitl.ac.th, klmavure@kmitl.ac.th, kspitikh@kmitl.ac.th*

This paper proposes a new traffic source model, called Delay-Bounded Source model. A packet stream could be generated in constant distribution and user can adjust the generating time of the packets under a limited time interval. As a result, the source model generates a constant rate packet stream, which its packet generated delay time (compare to constant distribution) is fallen within the assigned time interval. In this model, the generated delay time distribution pattern could be generated in exponential distribution or normal distribution.

1 Introduction

Information Technology (IT) is growing rapidly, various types of application is emerged. Many of which work well in best-try sharing network environment, such as e-mail, FTP and WWW. On the other hand, many applications need a certain resource to fulfill their user satisfaction, such as multimedia application, voice and video on demand. To provide certain resource for a traffic flow, we need such kind of protocols to negotiate a set of traffic parameters corresponding to the specified service class (QoS). The user QoS of traffic flow would be obtained whenever their behavior is conformed to the contract agreement.

Nowadays, there are many network technologies were developed. To achieve QoS on a specific network, end system has to follow the network discipline. For example, users are assigned fixed time slots in Time Division Multiplexing (TDM) network. A user's QoS is deterministic, predictable and isolated from the other users.

The ATM (Asynchronous Transfer Mode) defines a set of traffic management functions to support a flexible set of services offering different QoS. While the service-window concept introduced in W-TDM (Window based TDM-like Scheduling) [4] is to enhance TDM method in service-time flexibility.

In this paper, we propose a new traffic source model, called Delay-Bounded Source (DBS) model. The model was developed in the OPNET modeler 6.0. Using DBS model and other sources model, we could evaluate the QoS performance of a network model such as ATM, W-TDM etc. through difference kinds of traffic source.

2 Source Models

There are two basic philosophies for characterizing source traffic parameter: deterministic and random. The deterministic traffic model (which is control by leaky bucket algorithm) clearly defines the source characteristics as understood by the user and the network. The other philosophy for modeling traffic source behavior utilizes random models to define traffic parameters. Here, we describe some popular traffic models including the mathematical method for generating random variables from them.

2.1 The Constant Distribution Process

It has a probability distribution function represented as:

$$P(x) = \begin{cases} 1 & x = C \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

It has an expected value $E(x) = C$, Naturally the parameter C must be an integer.

2.2 Exponential Distribution

The exponential distribution process has an exponentially distributed inter-arrival times with rate parameter \bar{e} . The probability density function is represented as:

$$f(x) = \begin{cases} be^{-bx} & x \geq 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases}$$

It has an expected value $E(x) = 1/b$.

1.3 Normal Distribution Process

The normal (or Gaussian) distribution process has the probability density function is represented as:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

It has an expected value $E(x) = \mu$.

3 Delay-Bounded Source (DBS) model

1.1 Delay-Bounded Source (DBS) algorithm

Some network model discipline allows packets of a traffic flow to be sent periodically with some relax delay (such as W-TDM). Constant distribution function periodically generates the packet stream represented as:

$$t_p^k = t_p^{k-1} + \frac{1}{\lambda}$$

where t_p^k is the generating time of the packet k^{th} , \bar{e} representative of mean packet generating rate.

The DBS The generating packets are concerned there are two ways of how we consider a discrete-time queuing model. That is early generating (t_e) and lately generating (t_l), when the generating packet early than its reference time (t_p) we assign DBS generates the packet by constant distribution function minus with delay time. When the generating packet lately than its reference time we assign DBS generates the packet by constant distribution function plus with delay time represented as:

$$t_G^k = (t_p^k) \pm \tau$$

where τ is generated with exponential distribution function or normal distribution function. User can defined maximum delay time (τ) under a limited time (d), $\tau \leq d$.

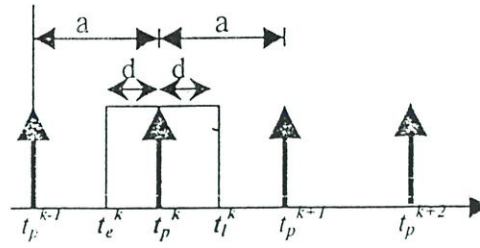


Figure 1. Delay-Bounded Source Algorithm

1.2 Delay-Bounded Source (DBS) process

We explain the state transition diagram of the OPNET process model, as shown in Fig. 2. The transition diagram of the DBS algorithm consists of four states: init state, wait state, send state and end state. The init state load user specified parameter such as distribution model and maximum delay jitter time (τ) and transfer to the wait state. In the wait state, the process waits for self-interrupt which is scheduled in a table for activating the process to generate a new packet in send state.

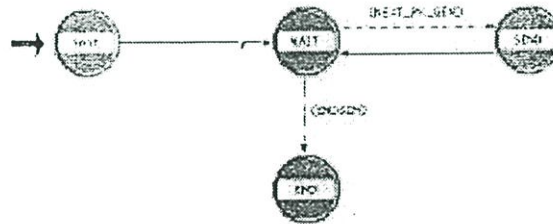


Figure 2. Delay-Bounded Source Process

1.3 Delay-Bounded Source (DBS) result

We compare the simulation result of DBS model with different distribution pattern for generating delay time (τ). The average generating rate ($\bar{\theta}$) was defined as 0.2 packets/second and generating delay time (τ) equal to 2 for every traffic source. Fig.3 and fig.4 show packet-generating time of the constant-packet stream compared to a DBS-packet stream with exponential distribution and normal distribution accordingly. The results show that the DBS model could generate a packet stream with a specified generating rate while its generating time could be vary under a defined boundary.

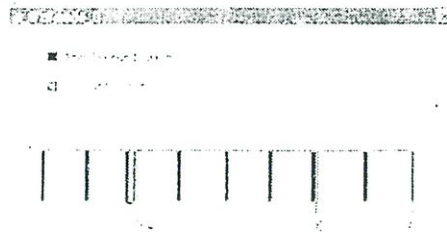


Figure 3. Constant source and DBS with exponential distribution, $\tau=2$ sec, $1/\lambda=5$ sec.

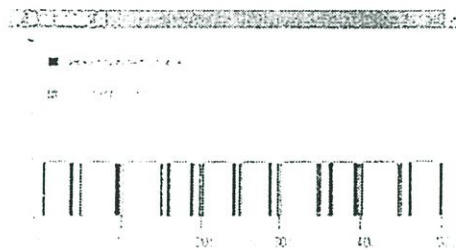


Figure 4. Constant source and DBS with normal distribution, $\tau=2$ sec, $1/\lambda=5$ sec.

2 Conclusion

The Delay-Bounded Source (DBS) model is a new traffic source model developed on the OPNET Modeler 6.0. Using the DBS model, users can generate a packet stream in λ packets/sec under specified generating delay time bound. The DBS traffic shape is look seem like the output of leaky bucket which is working in full load but its generated time is variant by specified distribution function. As a result, the DBS model could be used as a traffic source to determine the effect of different source models on performance of a network model.

References

1. Edward R. Doughety, Probability and statistics for the engineering, computing and physical sciences, Prentice Hall (1990)
2. John J. Komo, Random signal analysis in engineering systems, *Academic Press* (1987)
3. K. Sam Shanmugan and A. M. Breipohl, Random signals detection, Estimation and data analysis, *John Wiley & Sons* (1988)
4. M. Lertwatechakul, R.Warakulsiripunth, QoS quarantine in ATM network Employing Window-based TDM-like Scheduling, *In Proceeding of Asia-Pacific Symposium on Broadcasting and Communications*, (2000) pp. 383-388.
5. Gerd Keiser, David Freeman, Carrie Carter, 1995. ATM Test Traffic Generation Algorithms. *In Proceedings of Fourth International Conference on Computer Communications and Networks*. (1995) pp. 462-469.
6. Chukwuemeka N. Aduba, Matthew N. O. Sadiku, Simulation and Analysis of different Traffic Models for ATM Networks, *In Proceedings IEEE Southeast Conference*, (2002) pp. 73-75
7. OPNET Contributed Model Depot <http://www.opnet.com/services/depot/home.html>

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุพรรณิ รัตนะวิศ เกิดเมื่อวันที่ 16 กันยายน พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดสกลนคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ปีการศึกษา 2542 และเข้ารับการศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2543

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์นอกเหนือจากวิทยานิพนธ์

1. S. Rattanawit, M. Lertwatechakul, A. Kaewthep, and P. Sooraksa. "The Optimum Service-window Size of W-TDM Network", The 4th Information and Computer Engineering Postgraduate Workshop, 22-26 January 2004, pp 203-208.
2. Ajchara K., Supanee R., Mayuree L. and Pitikate S. "The Effect of Unsynchronized Time Slot Allocation on W-TDM Network." (ISCIT 2003), 3-5 September 2003, pp. 656-659.