สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ให้สอดคล้องกับอัตราการให้บริการจริงเพื่อปรับปรุงมัลติเพล็กซิ่งเกนของระบบเครือข่าย

DYNAMIC EFFECTIVE BANDWIDTH ALLOCATION TO IMPROVE NETWORK MULTIPLEXING GAIN

T 060442

กฤตยพรรณ ขำโพธิ์

KRITTAYAPHAN KHAMPHO

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....60442
วัน,เดือน,ปี.....29 มิ.ย. 2549

b.....11546372.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2548

ISBN 974-15-1754-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DYNAMIC EFFECTIVE BANDWIDTH ALLOCATION TO IMPROVE NETWORK MULTIPLEXING GAIN

KRITTAYAPHAN KHAMPHO

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

2005

ISBN 974-15-1754-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	**การคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ให้สอดคล้องกับอัตราการให้บริการจริงเพื่อปรับปรุงมัลติเพล็กซิ่งเกนของระบบเครือข่าย**
นักศึกษา	**นางสาวกฤตยพรรณ ขำโพธิ์**
รหัสนักศึกษา	43061098
ปริญญา	**วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**
สาขาวิชา	**วิศวกรรมไฟฟ้า**
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. มยุรี เลิศเวชกุล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ สำหรับทราฟฟิกแบบ rt-VBR เพื่อปรับปรุงมัลติเพล็กซิ่งเกนของระบบเครือข่าย โดยอัตราการสำรองแบนด์วิดท์นี้ให้การรับประกันคุณภาพการบริการทั้งอัตราการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลและเวลาหน่วงในการส่งข้อมูล วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเอาค่าตัวแปรแสดงคุณลักษณะทราฟฟิก อัตราการสูญหายของข้อมูล และเวลาหน่วงในการส่งข้อมูลที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ มาทำการคำนวณหาค่าแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมเพื่อใช้สำรองแบนด์วิดท์ในกระบวนการจัดตั้งเส้นทางก่อนการส่งข้อมูล นอกจากนี้ในขณะที่ทำการส่งข้อมูล ระบบเครือข่ายจะมีการจัดการแบนด์วิดท์แบบเปลี่ยนแปลงได้ (Dynamic Bandwidth Allocation) โดยทำการปรับเปลี่ยนอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ให้สอดคล้องกับทราฟฟิกจริงเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้เครือข่าย และทำให้ระบบเครือข่ายสามารถรองรับผู้ใช้ได้มากขึ้น วิทยานิพนธ์นี้ใช้แบบจำลองแหล่งกำเนิดข้อมูลแบบเปิด-ปิด ที่มีความสัมพันธ์ของช่วงเวลาเปิด-ปิดเป็นแบบเอ็กซ์โพเน็นเชียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Dynamic Effective Bandwidth Allocation to Improve Network Multiplexing Gain
Student	Miss Krittayaphan Khampho
Student ID	43061098
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2548
Thesis Advisor	Asst. Prof. Mayuree Lertwetchakul

ABSTRACT

This thesis presents an effective bandwidth model for real-time variable bit rate (rt-VBR) traffic's resource allocation. The model could improve network multiplexing gain while still compliance to the application's quality of service (QoS) requirement both in term of packet loss and delay constraints. The proposed effective bandwidth model uses traffic descriptors, QoS requirement, allowable packet loss and delay constraints to calculate the allocating bandwidth in call admission control process. In addition we also propose a dynamic bandwidth allocation based on the effective bandwidth calculation model. As to investigate our proposed model's performance, we have simulated the model through numerical simulation method. The ON-OFF source model based on the fluid flow model, which in a two-state Markov process with exponential state transition. The simulation results have shown that the network multiplexing gain could be increased by applying the proposed model compare to the other effective bandwidth allocation models those concern only on packet loss or delay constraints.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. มยุรี เลิศเวชกุล ที่ให้ความช่วยเหลือ ชี้แนะแนวทาง ให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณความดีงามของท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศทุกท่าน ที่กรุณาให้การอบรมสั่งสอนและให้ความรู้เสมอมา

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในห้องปฏิบัติการเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแนะนำในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

และทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

สำหรับคุณงานความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

กฤตยพรรณ ขำโพธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง IX

สารบัญรูป X

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 2

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา 2

1.4 วิธีการที่นำเสนอ 3

1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 4

1.6 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์ 4

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 เทคโนโลยีการส่งผ่านข้อมูล (Message Transport Technology) 6

2.1.1 เซอร์กิตสวิตชิ่ง (Circuit Switching) 6

2.1.2 เมสเสจสวิตชิ่ง (Message Switching) 7

2.1.3 แพ็กเกตสวิตชิ่ง (Packet Switching) 8

2.1.3.1 การเชื่อมต่อแบบต่อเนื่อง (Connection Oriented) 10

2.1.3.2 การเชื่อมต่อแบบไม่ต่อเนื่อง (Connectionless) 10

2.1.4 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเทคนิคสวิตชิ่ง 11

2.2 ข้อตกลงเกี่ยวกับทราฟฟิกสำหรับแพ็กเกตสวิตชิ่ง (Traffic Contract) 13

2.2.1 ประเภทของการบริการ (Service Categories) 13

2.2.1.1 การให้บริการด้วยอัตราความเร็วคงที่ (CBR Service) 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.2.1.2 การให้บริการด้วยอัตราความเร็วไม่คงที่ (VBR Service) 14

2.2.1.2.1 แบบกำหนดเวลาโต้ตอบ

(Real-Time: RT-VBR) 15

2.2.1.2.2 แบบไม่กำหนดเวลาโต้ตอบ

(Non Real-Time: NRT-VBR) 15

2.2.1.3 การให้บริการด้วยอัตราความเร็วตามสภาพพร้อมใช้งาน

(ABR Service) 15

2.2.1.4 การให้บริการด้วยอัตราความเร็วที่ไม่มีการรับประกัน

(UBR Service) 16

2.2.2 ตัวแปรแสดงคุณภาพของการให้บริการ (Quality of Service Parameters) 18

2.2.2.1 อัตราการสูญหายข้อมูล (Packet Loss Ratio: PLR) 18

2.2.2.2 เวลาหน่วงของการส่งข้อมูล (Time Delay) 19

2.2.2.2.1 เวลาหน่วงมากที่สุดของการถ่ายโอน

(Maximum Transfer Delay) 20

2.2.2.2.1 การกระเพื่อมมากที่สุดของเวลาหน่วง

(Packet Delay Deviation) 20

2.2.3 ตัวแปรแสดงคุณลักษณะทราฟฟิก (Traffic Descriptors) 21

2.2.3.1 อัตราความเร็วสูงสุด (Peak Rate) 21

2.2.3.2 อัตราความเร็วเฉลี่ย (Mean Rate) 21

2.2.3.3 อัตราความเร็วต่ำสุด (Minimum Rate) 22

2.2.3.4 กลุ่มข้อมูลขนาดใหญ่ที่สุดที่ถูกส่งต่อเนื่องกัน

ด้วยอัตราความเร็วสูงสุด (Maximum Burst Size) 22

2.3 การควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อ

(Call Admission Control: CAC) 23

2.3.1 มัลติเพล็กซิ่งเกน (Multiplexing Gain) 24

2.3.1.1 Deterministic Multiplexing 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.1.2 Statistical Multiplexing 25

2.3.2 การควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อ
สำหรับทราฟฟิก CBR 26

2.3.3 การควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อ
สำหรับทราฟฟิก VBR 26

2.3.4 การควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อ
สำหรับทราฟฟิก ABR 27

2.4 การสำรองแบนด์วิดท์สำหรับทราฟฟิก VBR 28

2.4.1 การจัดสรรแบนด์วิดท์แบบตายตัว (Static Bandwidth Allocation) 28

2.4.1.1 การสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุด
(Peak Rate Allocation) 29

2.4.1.2 การสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วเฉลี่ย
(Mean Rate Allocation) 29

2.4.1.3 การสำรองแบนด์วิดท์ด้วยปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสม
(Effective Bandwidth Allocation) 29

2.4.1.3.1 แบบจำลองแหล่งจ่ายข้อมูล (Source Model) 31

2.4.1.3.2 วิธีการของ Kelly 32

2.4.1.3.3 วิธีการของ Elwalid 32

2.4.1.3.4 วิธีการของ Gibbens และ Hunt 33

2.4.1.3.5 วิธีการของ Courcoubetis 35

2.4.1.3.6 วิธีการของ Guerin 35

2.4.2 การสำรองแบนด์วิดท์แบบเปลี่ยนแปลงได้
(Dynamic Bandwidth Allocation) 36

2.4.2.1 การวัดค่าคุณลักษณะของแหล่งจ่าย (Source Measurement) 36

2.4.2.2 การวัดคุณภาพการให้บริการ (QoS Measurement) 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ 38

3.1 บทนำ 38

3.2 การคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดท์แบบตายตัว 39

3.2.1 การรับประกันการสูญหายของแพ็กเกต 40

3.2.2 การรับประกันเวลาหน่วงในการส่งแพ็กเก็ต 42

3.2.3 การรับประกันการสูญหายและเวลาหน่วงของแพ็กเกต 43

3.3 การคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดท์แบบเปลี่ยนแปลงได้ 43

3.3.1 การรับประกันการสูญหายของแพ็กเกต 44

3.3.2 การรับประกันเวลาหน่วงโดยพิจารณาจากความยาวคิวในบัฟเฟอร์ 45

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 48

4.1 การคำนวณแบนด์วิดท์แบบตายตัว 48

4.1.1 การทดลอง 48

4.1.2 ผลการทดลอง 49

4.2 การคำนวณแบนด์วิดท์แบบเปลี่ยนแปลงได้ 56

4.2.1 การทดลอง 56

4.2.2 ผลการทดลอง 56

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 67

5.1 สรุปผลการวิจัย 67

5.2 ข้อเสนอแนะ 67

เอกสารอ้างอิง 68

ภาคผนวก 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทความวิจัยที่ได้รับการพิมพ์ 73

ประวัติผู้เขียน 78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การเปรียบเทียบข้อดีข้อด้อยระหว่างเทคนิคสวิตชิ่ง 12

2.2 คุณลักษณะของการให้บริการแต่ละประเภท 16

2.3 รูปแบบการใช้งานและตัวอย่างการใช้งานของการให้บริการแบบต่าง ๆ 17

2.4 การรับประกันการให้บริการสำหรับการส่งข้อมูลแบบต่าง ๆ 21

2.5 ความสัมพันธ์ของคุณภาพการให้บริการและตัวแปรคุณลักษณะทราฟฟิก
สำหรับการให้บริการแบบต่าง ๆ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การส่งข้อมูลด้วยเทคนิคเซอร์กิตสวิตชิ่ง 6

2.2 ขั้นตอนเวลาที่เกิดเหตุการณ์เซอร์กิตสวิตชิ่ง เมสเสจสวิตชิ่ง แพ็กเกตสวิตชิ่ง 8

2.3 การส่งข้อมูลด้วยเทคนิคแพ็กเกตสวิตชิ่ง 9

2.4 การให้บริการทราฟฟิกสำหรับการส่งผ่านข้อมูลแบบแพ็กเกตสวิตชิ่ง 17

2.5 ฟังก์ชั่นการกระจายตัวของเวลาหน่วงมากที่สุด 20

2.6 การมัลติเพล็กซิ่งของทราฟฟิกจาก 2 แหล่งจ่าย 25

2.7 ลักษณะทราฟฟิกที่ได้จากการมัลติเพล็ก 2 ทราฟฟิก 25

2.8 เปรียบเทียบปริมาณการใช้แบนด์วิดท์โดยวิธี Deterministic และ Statistical Multiplexing 26

2.9 แหล่งกำเนิดข้อมูลแบบเปิด-ปิด 31

3.1 แสดงคาบเวลาการพิจารณาอัตราการสำรองแบนด์วิดท์แบบเปลี่ยนแปลงได้ 47

4.1 เปรียบเทียบการสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราการส่งข้อมูลสูงสุด
วิธีการของ Gibbens&Hunt (สมการ 4.1) และวิธีการของ Courcoubetis (สมการ 4.2) 49

4.2 มัลติเพล็กซิ่งเกนที่ได้จากการสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราการส่งข้อมูลสูงสุด
วิธีการของ Gibbens&Hunt (สมการ 4.1) และวิธีการของ Courcoubetis (สมการ 4.2) 49

4.3 อัตราการสำรองแบนด์วิดท์จากวิธีของ Courcoubetis (สมการ 4.2)
เมื่ออัตราการสูญหายของข้อมูลที่ผู้ใช้ยอมรับได้มีค่าต่างกัน 50

4.4 มัลติเพล็กซิ่งเกนจากอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ของ Courcoubetis (สมการ 4.2)
เมื่ออัตราการสูญหายของข้อมูลที่ผู้ใช้ยอมรับได้มีค่าต่างกัน 50

4.5 อัตราการสำรองแบนด์วิดท์จากวิธีของ Courcoubetis (สมการ 4.2)
เมื่ออัตราความเร็วเฉลี่ยของทราฟฟิกมีค่าต่างกัน 51

4.6 มัลติเพล็กซิ่งเกนจากอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ของ Courcoubetis (สมการ 4.2)
เมื่ออัตราความเร็วเฉลี่ยของทราฟฟิกมีค่าต่างกัน 51

4.7 เปรียบเทียบการสำรองแบนด์วิดท์ด้วยวิธีของ Courcoubetis (สมการ 4.2)
และวิธีพิจารณาจากเวลาหน่วงเพียงอย่างเดียว (สมการ 4.3) 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.8 เปรียบเทียบการสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุด วิธีของ Courcoubetis (สมการ 4.2) และวิธีที่พิจารณาจากเวลาหน่วงและอัตราสูญหายของแพ็กเกต (สมการ 4.4) 52

4.9 เปรียบเทียบมัลติเพล็กซิ่งเกนระหว่างการสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุด วิธีของ Courcoubetis (สมการ 4.2) และวิธีพิจารณาจากเวลาหน่วงและอัตราสูญหายของแพ็กเกต (สมการ 4.4) 53

4.10 อัตราการสำรองแบนด์วิดท์จากวิธีพิจารณาจากเวลาหน่วงและอัตราสูญหายของแพ็กเกต (สมการ 4.4) เมื่อเวลาหน่วงที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้มีค่าเข้มงวดมากขึ้น 52

4.11 เปรียบเทียบอัตราการสำรองแบนด์วิดท์จากวิธีพิจารณาจากเวลาหน่วงและอัตราสูญหายของแพ็กเกต (สมการ 4.4) เมื่อขนาดของบัฟเฟอร์แตกต่างกัน 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบสื่อสารในปัจจุบันถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับการใช้งานร่วมกันระหว่างระบบสื่อสารที่แตกต่างกันไป ทั้งแบบซิงโครนัส (Synchronous) เช่น TDM (Time Divisions Multiplex) SONET SDH เป็นต้น และแบบกึ่งอะซิงโครนัส (Semi-Asynchronous) ซึ่งสามารถให้การรับประกันคุณภาพของการบริการ (Quality of Service: QoS) ได้สำหรับทราฟฟิกหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นแบบอัตราเร็วคงที่ (Constant Bit Rate: CBR) ลักษณะให้บริการการส่งผ่านสำหรับทราฟแบบที่มีอัตราเร็วไม่คงที่ (Variable Bit Rate: VBR) ซึ่งแบ่งออกเป็นแบบกำหนดเวลาโต้ตอบ (Real-time VBR: rt-VBR) และแบบไม่กำหนดเวลาโต้ตอบ (Non Real-time VBR: nrt-VBR) ในบริการที่เป็นแบบ rt-VBR เหมาะกับแอพพลิเคชั่นที่มีข้อกำหนดของช่วงเวลารับส่ง เช่น การส่งข้อมูลภาพเคลื่อนไหวที่มีการบีบอัดข้อมูล เช่น MPEG (Moving Picture Expert Group) ซึ่งใช้เทคนิคการสร้างเฟรมและส่งเฟรมออกมาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นอัตราการส่งผ่านจะไม่คงที่จึงต้องมีการจัดการกับเวลาหน่วง (Time Delay) ที่ดี ส่วนแบบ nrt-VBR นั้นจะไม่กำหนดเวลา เช่น การส่งภาพเคลื่อนไหวไปพร้อมจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) และ Web browser เป็นต้น ส่วนการสื่อสารแบบการให้บริการด้วยอัตราความเร็วตามสภาพพร้อมใช้งาน (Available Bit Rate: ABR) เป็นระบบที่มีการส่งข้อมูลกลับ เพื่อแจ้งให้โหนดต้นทางปรับเปลี่ยนอัตราเร็วในการส่งตามความคับคั่งของทราฟฟิกในเครือข่าย และสำหรับระบบสื่อสารแบบการให้บริการด้วยอัตราความเร็วที่ไม่มีการรับประกัน (Unspecified Bit Rate: UBR) ซึ่งไม่มีการประกันคุณภาพการบริการและไม่บอกสถานการณ์การส่งข้อมูล เช่นการให้บริการสำหรับแพ็กเกตอินเตอร์เนต (IP Packet) เป็นต้น

ในการส่งข้อมูลแบบ rt-VBR นั้น ผู้ใช้ต้องการการรับประกันคุณภาพการบริการจากระบบเครือข่ายทั้งการสูญหายของแพ็กเกต (Packet Loss) และเวลาหน่วงของการส่งแพ็กเกต วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการคำนวณค่าอัตราการสำรองแบนด์วิดท์สำหรับทราฟฟิกแบบ rt-VBR ให้มีค่าสอดคล้องกับอัตราการใช้งานจริงบนเครือข่ายให้มากที่สุด เพื่อนำไปสำรองแบนด์วิดท์ในเครือข่ายสำหรับการเชื่อมต่อแบบต่อเนื่อง (Connection-Oriented) โดยเครือข่ายจะนำไปพิจารณาว่าจะสามารถให้บริการและรับประกันคุณภาพการบริการตามที่ผู้ใช้ต้องการได้หรือไม่ภายใต้ทรัพยากรเครือข่ายที่มีอยู่จำนวนจำกัด จุดประสงค์ของการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ก็คือเพื่อให้เกิดการใช้งานเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด หรือให้เกิดการสูญเสียแบนด์วิดท์โดยเปล่าประโยชน์น้อยที่สุดนั่นเอง ซึ่งทำให้เครือข่ายได้รับค่ามัลติเพล็กซิ่งเกนเพิ่มขึ้นและสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้บริการแก่ผู้ใช้ได้จำนวนมากขึ้น โดยที่ยังรับประกันคุณภาพการบริการของทุกทราฟฟิกในคลาสที่ต้องการการรับประกันบนเครือข่ายด้วย

โดยส่วนใหญ่แล้วการสื่อสารแบบ VBR ระบบจะทำการสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดเพราะง่ายต่อการดำเนินการ แต่เนื่องจากทราฟฟิกมีอัตราการส่งไม่คงที่จึงทำให้มีแบนด์วิดท์จำนวนมากที่ไม่ถูกใช้งานและต้องสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ เนื่องจากระบบเครือข่ายถูกสร้างขึ้นด้วยต้นทุนที่สูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจัดการระบบที่ดีเพื่อให้เกิดการใช้งานอย่างคุ้มค่า นอกจากนี้ในกรณีที่เกิดความต้องการใช้เครือข่ายพร้อม ๆ กันเป็นจำนวนมาก ระบบที่ดีจะต้องมีการจัดการให้สามารถให้บริการแก่ผู้ใช้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ สิ่งที่ท้าทายอีกอย่างหนึ่งก็คือการคำนวณค่าแบนด์วิดท์นี้จะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า เครือข่ายจะต้องรักษาระดับการรับประกันคุณภาพการให้บริการแก่ผู้ใช้เครือข่ายด้วย

ดังนั้นปัญหาก็คือ จะมีการจัดการอย่างไรให้แบนด์วิดท์ซึ่งเป็นทรัพยากรเครือข่ายที่มีอยู่จำกัดเกิดการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถให้บริการแก่ผู้ใช้ได้จำนวนมากที่สุดโดยที่ยังรักษาคุณภาพการให้บริการกับทุกทราฟฟิกบนเครือข่ายด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้แบนด์วิดท์ในระบบเครือข่าย โดยการเลือกใช้ค่าแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมและสอดคล้องกับลักษณะของทราฟฟิกจริงในการสำรองแบนด์วิดท์ในกระบวนการจัดตั้งเส้นทาง ทำให้ระบบเครือข่ายเกิดการใช้แบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถให้บริการแก่ผู้ใช้ได้จำนวนมากขึ้น โดยจะต้องมีการรับประกันคุณภาพการให้บริการด้วย นอกจากนี้ในขณะที่ทำการส่งข้อมูล เครือข่ายยังมีการปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์ตามสภาวะการใช้งานก่อนหน้า สภาวะการใช้งานปัจจุบัน และค่าคุณลักษณะทราฟฟิก (Traffic Descriptor) ที่กำหนดเอาไว้ เพื่อให้อัตราการสำรองแบนด์วิดท์มีความสอดคล้องกับอัตราการใช้งานจริงมากที่สุด ทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แบนด์วิดท์และมัลติเพล็กซิ่งเกนในเครือข่าย วิทยานิพนธ์นี้ทำการศึกษาวิจัยกับเทคโนโลยีการส่งผ่านข้อมูลแบบแพ็กเกตสวิตชิ่งบนระบบสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Transmission System) โดยพิจารณาทราฟฟิกแบบ rt-VBR ซึ่งต้องการการรับประกันคุณภาพการบริการทั้งการสูญหายของข้อมูลและเวลาหน่วงในการส่งข้อมูล

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1. ระบบเครือข่ายมีการคำนวณอัตราสำรองแบนด์วิดท์ ที่เหมาะสมกับทราฟฟิกจริงสำหรับทราฟฟิกแบบ rt-VBR ทำให้เกิดการใช้เครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีปัจจุบัน ซึ่งส่วนใหญ่ทราฟฟิกแบบ rt-VBR ระบบจะทำการสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลสูงสุด โดยที่วิธีการที่นำเสนอนี้สามารถรับประกันคุณภาพการบริการทั้งการสูญหายของข้อมูลและเวลาหน่วงในการส่งข้อมูล

2. ระบบเครือข่ายมีวิธีการจัดการแบนด์วิดท์แบบเปลี่ยนแปลงได้ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้เครือข่ายและเพิ่มค่ามัลติเพล็กซิ่งเกนในระบบ โดยที่ยังคงรับประกันคุณภาพการบริการแก่ผู้ใช้ตามที่ตกลงไว้ในกระบวนการจัดตั้งเส้นทางการเชื่อมต่อ

1.4 วิธีการที่นำเสนอ

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดท์แบบตายตัว (Static Effective Bandwidth) สำ หรับทราฟฟิกแบบ rt-VBR ให้สอดคล้องกับอัตราการใช้งานจริงเพื่อปรับปรุงมัลติเพล็กซิงเกนของระบบเครือข่าย โดยใช้ความต้องการคุณภาพการบริการของผู้ใช้มาเป็นตัวแปรในการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ เพื่อให้เครือข่ายสามารถรับประกันคุณภาพการบริการตามที่ผู้ใช้ต้องการ จากนั้นจะใช้ค่าที่คำนวณได้นี้ในการสำรองแบนด์วิดท์หรือช่องสัญญาณสื่อสารบนเครือข่ายในขั้นตอนการการจัดตั้งเส้นทางการสื่อสาร (Call Set-up) โดยทราฟฟิกแบบ rt-VBR จะต้องการคุณภาพการบริการทั้งการรับประกันการสูญหายของแพ็กเกต (Packet Loss) และเวลาหน่วง (Delay) ในการส่งแพ็กเกต ดังนั้นจึงนำเอาค่าอัตราการสูญหายของแพ็กเกตและเวลาหน่วงที่ผู้ใช้ต้องการมาใช้คำนวณค่าอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ โดยวิทยานิพนธ์นี้ใช้แบบจำลองแหล่งกำเนิดข้อมูลแบบเปิด-ปิด (ON/OFF model) ที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาเปิด-ปิดเป็นแบบเอ็กซ์โพเน็นเชียน (Exponential)

นอกจากนี้เมื่อผู้ใช้ได้รับการตอบรับให้ใช้เครือข่ายและเริ่มทำการส่งข้อมูล วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการจัดสรรแบนด์วิดท์ในเครือข่ายแบบเปลี่ยนแปลงได้ (Dynamic Bandwidth Allocation) ทุกๆ ช่วงเวลาที่เท่ากันเพื่อปรับเปลี่ยนอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ให้สอดคล้องกับลักษณะทราฟฟิกจริงมากที่สุด โด ยทำการปรับเปลี่ยนอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ตามสภาวะการใช้งานก่อนหน้า สภาวะการใช้งานปัจจุบัน และค่าคุณลักษณะทราฟฟิกที่กำหนดเอาไว้ โดยที่ระบบเครือข่ายยังรักษาคุณภาพการบริการแก่ทราฟฟิกในเครือข่ายไว้ด้วย วิธีการนี้ทำให้อัตราการสูญเปล่าของแบนด์วิดท์ลดลง ส่งผลให้เครือข่ายมีค่ามัลติเพล็กซิงเกนสูงขึ้น

วิทยานิพนธ์นี้ได้พัฒนามาจากวิธีคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ของทราฟฟิกแบบ VBR ด้วยวิธีการของ Courcoubetis [12] ซึ่งทำการคำนวณค่าอัตราการสำรองแบนด์วิดท์จากอัตราการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลที่ผู้ใช้กำหนดเท่านั้น แต่สำหรับการสื่อสารแบบ rt-VBR ซึ่งต้องการการตอบสนองที่รวดเร็วนั้น เวลาหน่วงจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณาด้วย ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอวิธีการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดท์จากความต้องการคุณภาพการบริการของผู้ใช้ ทั้งอัตราการสูญหายของข้อมูลและค่าของเวลาหน่วงที่ต้องการมาใช้คำนวณค่าอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมสำหรับทราฟฟิกแบบ rt-VBR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาวิจัยบนเทคโนโลยีการส่งผ่านข้อมูลแบบแพ็กเกตสวิตชิ่ง สำหรับระบบสื่อสารแบบอะซิงโครนัส

2. ศึกษาวิจัยทราฟฟิกแบบ rt-VBR

3. เสนอวิธีการจัดสรรช่องสื่อสารแบบตายตัวสำหรับทราฟฟิก rt-VBR

4. เสนอวิธีการจัดสรรช่องสื่อสารแบบเปลี่ยนแปลงได้สำหรับทราฟฟิก rt-VBR

5. การทดลองโดยการจำลองด้วยฟังก์ชั่นคณิตศาสตร์ และวัดผลที่ได้เทียบกับวิธีการคำนวณแบบอื่น ๆ

1.6 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์

1. กำหนดจุดประสงค์ หัวข้อ และขอบเขตการทำวิทยานิพนธ์

2. ศึกษาทฤษฎี หลักการพื้นฐาน ข้อมูล และแนวคิดที่จะนำมาใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

3. ศึกษาและพัฒนาวิธีการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบตายตัวและแบบเปลี่ยนแปลงได้

4. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทดลอง และวัดประสิทธิภาพของวิธีการที่พัฒนาขึ้น

5. สรุป วิเคราะห์ผลการทดลอง และนำเสนอแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ต่อไป

6. จัดทำเอกสารประกอบวิทยานิพนธ์

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานของการศึกษา วิธีการที่นำเสนอ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการวิทยานิพนธ์ และโครงสร้างของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

- เทคโนโลยีการส่งผ่านข้อมูล (Message Transport Technology)
- ข้อตกลงเกี่ยวกับทราฟฟิกสำหรับแพ็กเกตสวิตชิ่ง (Traffic Contract)
- การควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อ (Call Admission Control)
- มัลติเพล็กซิ่งเกน (Multiplexing Gain)
- การจัดสรรช่องสื่อสารแบบตายตัว (Static Bandwidth Allocation)
- การจัดสรรช่องสื่อสารแบบเปลี่ยนแปลงได้ (Dynamic Bandwidth Allocation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีการที่นำเสนอ

- การคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดท์แบบตายตัวสำหรับ rt-VBR โดยมีการรับประกันคุณภาพการบริการทั้งการสูญหายของแพ็กเกตและเวลาหน่วงของการส่งแพ็กเกต

- การคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดท์แบบเปลี่ยนแปลงได้สำหรับ rt-VBR โดยคำนึงถึงสภาวะการใช้งานก่อนหน้า สภาวะการใช้งานปัจจุบัน และค่าคุณลักษณะของทราฟฟิกที่กำหนดไว้

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

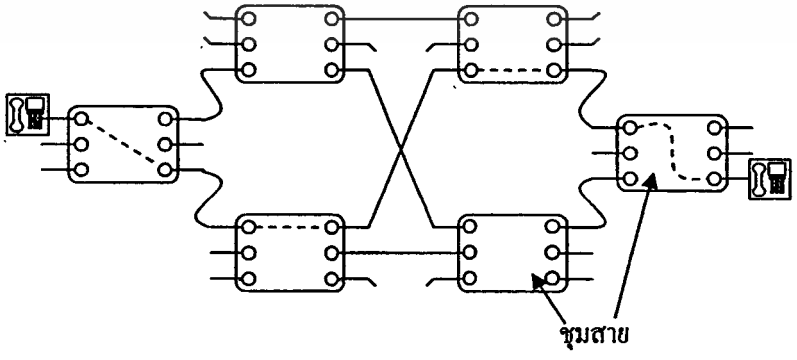
2.1 เทคโนโลยีการส่งผ่านข้อมูล (Message Transport Technology)

เทคโนโลยีของระบบเครือข่ายแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ แบบที่สร้างช่องสัญญาณแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) และแบบที่สร้างช่องสัญญาณแบบแพร่กระจาย (Broadcast) ซึ่งแบบจุดต่อจุดนั้นจะใช้เทคนิคของการสลับช่องสัญญาณข้อมูลระหว่างโหนดต่าง ๆ ของเครือข่ายจากต้นทางถึงปลายทาง เทคนิคนี้อาจแบ่งได้เป็น 3 แบบคือ

- เซอร์กิตสวิตชิ่ง (Circuit Switching)
- เมสเสจสวิตชิ่ง (Message Switching)
- แพ็กเกตสวิตชิ่ง (Packet Switching)

2.1.1 เซอร์กิตสวิตชิ่ง (Circuit Switching)

เซอร์กิตสวิตชิ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการส่งข้อมูลของระบบโทรศัพท์ ซึ่งเมื่อมีการเรียกติดต่อระหว่างต้นทาง-ปลายทาง อุปกรณ์สวิตชิ่งในระบบโทรศัพท์จะหาช่องสัญญาณกายภาพ (Physical Channel) หรือเส้นทางผ่านจริงของสัญญาณ (Physical Path) เพื่อเชื่อมส่งข้อมูลตลอดเส้นทางระหว่างผู้ใช้ทั้งสอง รูปที่ 2.1 แสดงการส่งข้อมูลโดยใช้เทคนิคการส่งข้อมูลแบบเซอร์กิตสวิตชิ่งกล่องสี่เหลี่ยมในรูปแสดงตู้ชุมสายโทรศัพท์ ซึ่งแต่ละตู้ชุมสายมีสายเข้า 3 สาย และสายออก 3 สาย เมื่อมีสัญญาณการเรียกติดต่อผ่านตู้ชุมสาย ก็จะทำให้มีการเชื่อมระหว่างสายเข้ากับสายออก (ซึ่งแสดงโดยเส้นประ) ทำให้มีช่องสัญญาณสำหรับส่งข้อมูลระหว่างต้นทางและปลายทาง ซึ่งช่องสัญญาณกายภาพนี้จะถูกใช้ส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้ทั้งสองเท่านั้น และช่องสัญญาณจะถูกยกเลิกเมื่อผู้ใช้ทั้งสองเลิกการติดต่อ ในทางปฏิบัติแล้วช่องสัญญาณกายภาพอาจเป็นสายทองแดง คลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ หรือเส้นใยนำแสงก็ได้



รูปที่ 2.1 แสดงการส่งข้อมูลด้วยเทคนิคเซอร์กิตสวิตชิ่ง

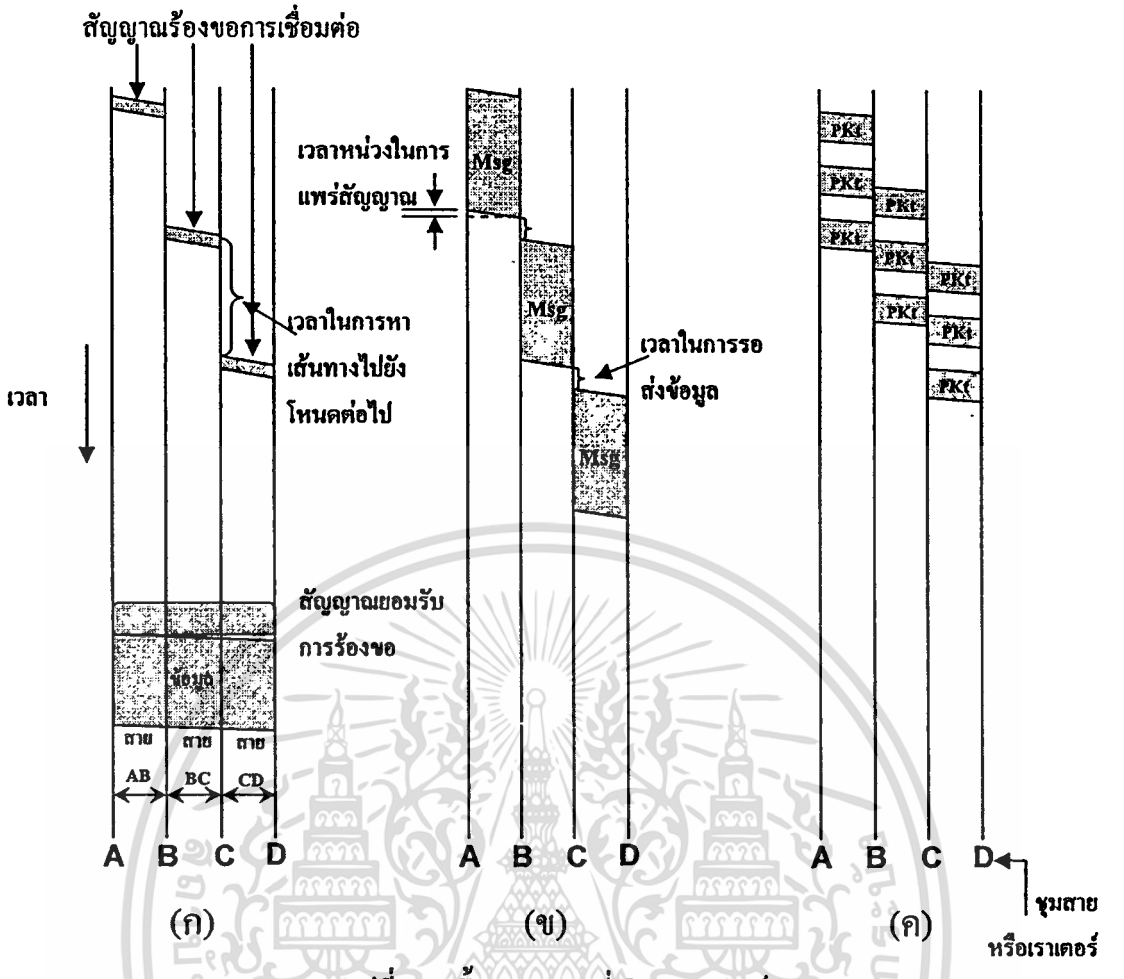
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับลักษณะสำคัญอย่างหนึ่งของเซอร์กิตสวิตชิ่งก็คือ ก่อนที่จะส่งข้อมูลได้ต้องสร้างการติดต่อเพื่อให้ได้ช่องสัญญาณเชื่อมระหว่างปลายทั้งสอง ซึ่งช่วงเวลาของการสร้างการติดต่อ (เช่น เวลาตั้งแต่หมุนเสร็จจนถึงเริ่มได้ยินเสียงเรียก) ประมาณ 10 วินาที แต่ถ้าเป็นการโทรทางไกลหรือติดต่อระหว่างประเทศจะใช้เวลามากกว่า ในช่วงเวลานี้ระบบโทรศัพท์จะหาช่องสัญญาณกายภาพผ่านชุมสายต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ก) ดังนั้นจะเห็นว่าก่อนส่งข้อมูลได้จะต้องเสียเวลาในการสร้างการติดต่อ โดยมีการส่งสัญญาณการติดต่อจนถึงปลายทางและรอสัญญาณตอบรับกลับมา เทคนิคนี้จึงอาจไม่เหมาะสำหรับงานประยุกต์ที่ต้องการความเร็วในการส่งข้อมูล เช่น งานตรวจสอบเครดิตการ์ด เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อทำการติดต่อได้แล้ว การส่งข้อมูลจะสามารถส่งติดต่อกันได้โดยไม่มีการติดขัด (Congestion) การส่งจึงเหมือนน้ำไหลผ่านท่อ ซึ่งการส่งข้อมูลแบบนี้จะเสียเวลาให้กับความหน่วงในการแพร่สัญญาณแค่ประมาณ 5-7 ไมโครวินาทีต่อกิโลเมตรเท่านั้น อีกทั้งไม่ต้องเสียเวลาให้กับความหน่วงในการเก็บรอและส่งออก (Store-And-Forward Delay) จึงเหมาะสำหรับการส่งข้อมูลยาวๆ ต่อเนื่องกัน เช่นการโอนย้ายไฟล์ เป็นต้น

2.1.2 เมสเสจสวิตชิ่ง (Message Switching)

เทคนิคเซอร์กิตสวิตชิ่งนั้นหากผู้ใช้ปลายทางใดๆ ไม่พร้อมรับข้อมูลแล้ว ผู้ใช้ต้นทางในระบบเครือข่ายต้องเก็บข้อมูลซึ่งจะส่งให้แก่ผู้ใช้ปลายทางนั้นไว้ นอกจากนั้นหากผู้ใช้คู่หนึ่งกำลังติดต่อข้อมูลกันอยู่ ผู้ใช้รายอื่นๆ จะไม่สามารถส่งข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ทั้งสองนั้นได้ ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะแก้ไขได้โดยใช้เทคนิคแบบเมสเสจสวิตชิ่ง โดยผู้ส่งจะส่งบล็อกของข้อมูล (Message) ไปยังชุมสายแรกของเมสเสจสวิตชิ่ง ชุมสายจะเก็บข้อมูล (Store) ไว้จนกว่าชุมสายที่ติดกันต่อไปจะมีบัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลนั้น ชุมสายแรกจึงจะส่งข้อมูล (Forward) ไปให้แก่ชุมสายต่อไป ซึ่งก็จะทำงานเช่นเดียวกันคือ เก็บข้อมูลไว้ก่อนแล้วจึงส่งข้อมูลออกไปยังชุมสายต่อๆ ไปจนกว่าจะถึงปลายทาง ในช่วงของการเก็บข้อมูลไว้ที่แต่ละชุมสายนั้นอาจมีการประมวลผลข้อมูล เช่น ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล หากถูกต้องก็จะส่งการตอบรับ (Acknowledgement) กลับไป หรืออาจมีการเปลี่ยนรหัสตลอดจนรูปแบบของข้อมูล เป็นต้น สำหรับเครือข่ายซึ่งใช้เทคนิคแบบนี้เรียกว่า เครือข่ายแบบเก็บรอและส่งออก (Store-and-Forward Network) รูปที่ 2.2 (ข) แสดงลักษณะของการส่งข้อมูลแบบเมสเสจสวิตชิ่ง ดังนั้นจะเห็นว่าด้วยการส่งข้อมูลลักษณะนี้ จะทำให้เราสามารถส่งข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ปลายทาง ซึ่งกำลังส่งข้อมูลติดต่อกับผู้ใช้รายอื่นได้ โดยข้อมูลของเราจะถูกเก็บและส่งผ่านชุมสายต่างๆ จนถึงผู้รับปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



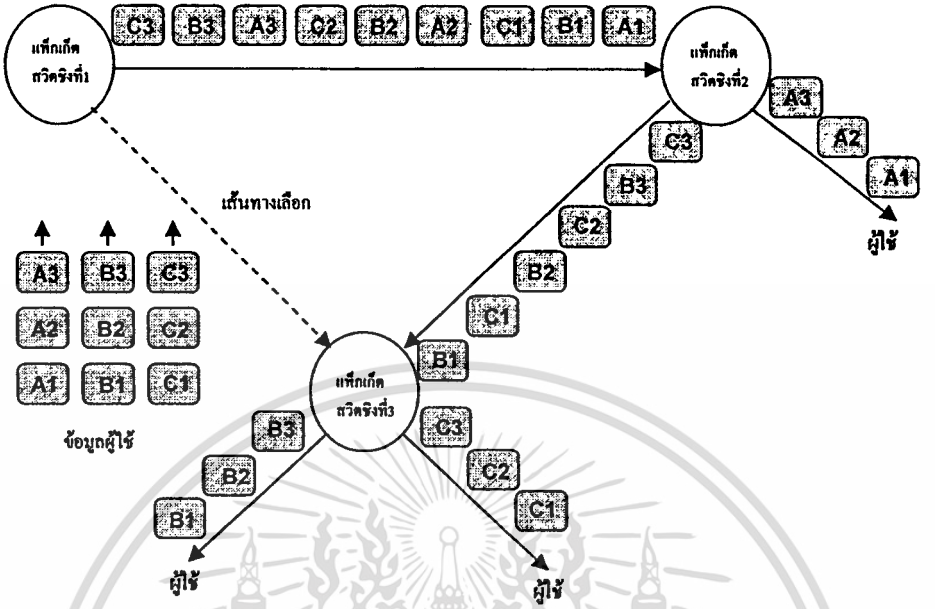
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนเวลาที่เกิดเหตุการณ์
(ก) เซอร์กิตสวิตชิ่ง
(ข) เมสเสจสวิตชิ่ง
(ค) แพ็กเกตสวิตชิ่ง

2.1.3 แพ็กเกตสวิตชิ่ง (Packet Switching)

ถึงแม้ว่าเมสเสจสวิตชิ่งจะทำให้มีการส่งข้อมูลระหว่างหลายปลายทางได้พร้อมกัน แต่เนื่องจากเมสเสจสวิตชิ่งไม่จำกัดขนาดของบล็อกข้อมูล ทำให้แต่ละชุมสายต้องมีดิสก์สำหรับเก็บข้อมูลเหล่านี้ก่อนจะส่งออกไป นอกจากนั้นการส่งข้อมูลขนาดใหญ่ของผู้ใช้รายหนึ่ง ทำให้มีการใช้ช่องสัญญาณของการส่งเป็นเวลาหลายนาที ในระหว่างนั้นข้อมูลของผู้ใช้รายอื่นต้องรอการส่งที่ชุมสายเป็นเวลานาน จึงทำให้เมสเสจสวิตชิ่งไม่เหมาะสำหรับการสื่อสารข้อมูลที่ต้องการการโต้ตอบ (Interactive) ซึ่งปัญหานี้แก้ไขโดยใช้เทคนิคการส่งข้อมูลแบบแพ็กเกตสวิตชิ่ง ซึ่งเทคนิคนี้ข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็นเซกเมนต์เล็กๆ เรียกว่า แพ็กเกต (Packet) และแพ็กเกตเหล่านี้จะถูกส่งผ่านโหนดต่างๆ แบบเก็บรอและส่งออก โดยแต่ละแพ็กเกตจะถูกส่งผ่านเส้นทางซึ่งอาจไม่ซ้ำกันจนกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะถึงจุดปลายทาง เมื่อถึงปลายทางแพ็กเกตของข้อมูลเดียวกันก็จะถูกรวมเป็นข้อมูลอีกครั้งหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การส่งข้อมูลด้วยเทคนิคแพ็กเกตสวิตชิ่ง

การส่งแบบแพ็กเกตสวิตชิ่งนี้มีการกำหนดขนาดสูงสุดของแพ็กเกตไว้แน่นอน ดังนั้นเมื่อแพ็กเกตเข้าสู่โหนดจึงอาจเก็บแพ็กเกตในหน่วยความจำหลักของโหนดแทนที่จะเป็นดิสก์ นอกจากนั้นแพ็กเกตสวิตชิ่งทำให้ข้อมูลของผู้ใช้ต่าง ๆ ส่งสลับกันไปได้ไม่ต้องรอจนกว่าข้อมูลทั้งหมดของผู้ใช้ก่อนหน้าส่งไปหมดก่อน จึงทำให้การส่งแพ็กเกตข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนใช้เวลาในช่วงไม่กี่มิลลิวินาที ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการส่งข้อมูลแบบกำหนดเวลาในการโต้ตอบ

รูปที่ 2.2 (ค) แสดงลักษณะสำคัญอย่างหนึ่งของแพ็กเกตสวิตชิ่ง ซึ่งจะเห็นว่าแพ็กเกตที่สองและแพ็กเกตที่สามของข้อมูลจะถูกส่งออกไปได้ถึงแม้แพ็กเกตแรกยังไม่ถึงปลายทาง ทำให้หลายแพ็กเกตของข้อมูลเดียวกันสามารถส่งไปได้พร้อม ๆ กัน เป็นการลดความล่าช้าตลอดจนเพิ่มปริมาณงานในการส่ง (Throughput) ซึ่งเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า ไปป์ไลนิงเอฟเฟกต์ (Pipelining Effect) ดังนั้นเครือข่ายคอมพิวเตอร์จึงมักใช้การส่งข้อมูลแบบแพ็กเกตสวิตชิ่ง มีส่วนน้อยที่เป็นแบบเซอร์กิตสวิตชิ่ง

สำหรับการส่งผ่านข้อมูลแบบแพ็กเกตสวิตชิ่งจะมีการเชื่อมต่อ 2 แบบ คือ

1. การเชื่อมต่อแบบต่อเนื่อง (Connection Oriented)
2. และการเชื่อมต่อแบบไม่ต่อเนื่อง (Connectionless)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 การเชื่อมต่อแบบต่อเนื่อง (Connection Oriented)

การสนทนาผ่านระบบโทรศัพท์ทั่วไป จะเริ่มโดยการที่คนใดคนหนึ่งหมุนโทรศัพท์ไปหาอีกคนหนึ่ง อุปกรณ์ที่ชุมสายโทรศัพท์ของผู้เรียกและผู้ถูกเรียกจะต้องมีการติดต่อซึ่งกันและกัน ถ้าการติดต่อประสบผลสำเร็จ ชุมสายทั้งสองจะต้องเชื่อมต่อโทรศัพท์ของผู้เรียกและผู้ถูกเรียกเข้าด้วยกันและจะต้องคงสภาพการเชื่อมต่อนี้ไว้ตลอดเวลา เมื่อทั้งสองฝ่ายวางสาย (เลิกการสนทนา) สภาพการเชื่อมต่อนี้จะถูกยกเลิก สภาพการเชื่อมต่อที่คงอยู่ตลอดเวลาในระหว่างการสนทนานี้เรียกว่าบริการเชื่อมโยงแบบต่อเนื่อง (Connection Oriented Services) การให้บริการนี้มักจะนำมาใช้สำหรับการถ่ายทอดข้อมูลปริมาณมากที่ต้องการทำให้เสร็จในคราวเดียวกัน เช่น การส่งแฟ้มข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย

การให้บริการเชื่อมโยงแบบต่อเนื่องยังแบ่งออกเป็นสองแบบคือ แบบกำหนดขอบเขตข้อมูล (Message Sequence) และแบบไม่กำหนดขอบเขตข้อมูล (Byte Streams) โดยปกติข้อมูลแต่ละชุดจะถูกเก็บไว้เป็นแพ็กเกต โดยจะมีข้อมูลพิเศษเพื่อบอกคุณสมบัติต่างๆ เช่น บอกขนาดและการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเพิ่มเติมไว้ในแต่ละแพ็กเกต การส่งแบบกำหนดของเขตข้อมูล ข้อมูลจะถูกส่งมาทั้งแพ็กเกตซึ่งอาจเป็นหลายๆ อันติดต่อกัน ทางผู้ใช้จะต้องแยกข้อมูลพิเศษออกก่อนที่จะนำข้อมูลจริงไปใช้ แต่ในการส่งแบบไม่กำหนดขอบเขตข้อมูลนั้น ผู้ส่งจะแยกข้อมูลพิเศษออกจากที่จะนำข้อมูลจริงไปใช้ แต่ในการส่งแบบไม่กำหนดขอบเขตข้อมูลนั้น ผู้ส่งจะแยกข้อมูลพิเศษออกจากข้อมูลจริงให้หมดทุกแพ็กเก็ตเสียก่อน จากนั้นจึงจะส่งเฉพาะข้อมูลจริงไปให้ผู้ใช้ การส่งข้อมูลแบบนี้จะเหมาะกับงานประเภท การสื่อสารระหว่างเทอร์มินอลกับคอมพิวเตอร์ ส่วนการใช้บริการคอมพิวเตอร์เครือข่าย (printer server) จะเหมาะกับการส่งแบบกำหนดขอบเขตข้อมูลมากกว่า

2.1.3.2 การเชื่อมต่อไม่แบบต่อเนื่อง (Connectionless)

การให้บริการแบบไม่ต่อเนื่อง (Connectionless Services) เปรียบได้กับการให้บริการของการส่งจดหมายทางไปรษณีย์ จดหมายแต่ละฉบับที่ได้รับการจ่าหน้าอย่างถูกต้องจะประกอบด้วยชื่อและที่อยู่ของผู้รับ และชื่อและที่อยู่ของผู้ส่ง พนักงานไปรษณีย์จะรับจดหมายจากตู้รับจดหมายนำมาที่ทำการไปรษณีย์เพื่อแยกจดหมายทั้งหมดออกเป็นกลุ่ม ๆ ที่เหมาะสม จากนั้นจะขนส่งไปยังที่ทำการไปรษณีย์ ที่อยู่ในเขตของผู้รับแล้วจึงนำจดหมายไปส่งให้แก่ผู้รับ ในแต่ละขั้นตอนที่กล่าวถึงนี้เรียกได้ว่ามีการทำงานที่เป็นอิสระแก่กันและกัน จะไม่มีขั้นตอนใดเลยที่จะต้องหยุดรอให้ขั้นตอนต่อไปทำงานให้เสร็จเสียก่อนแล้วจึงทำงานต่อไป ข้อมูลที่ส่งผ่านระบบที่ให้บริการเป็นแบบไม่ต่อเนื่องก็จะทำงานในลักษณะเดียวกันนี้

ตัวอย่างของการสื่อสารที่ใช้บริการแบบไม่ต่อเนื่องได้แก่ การส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ ผู้ส่งจดหมายจะส่งจดหมายในลักษณะของการฝากส่ง คือข้อมูลจะได้รับการฝากส่งในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครือข่ายย่อยไปเรื่อยๆ เหมือนกับการทำงานของพนักงานไปรษณีย์ ท้ายที่สุดข้อมูลก็จะไปถึงผู้รับได้ การฝากส่งแบบนี้จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยการเชื่อมโยงตลอดเวลา (คือตั้งแต่ผู้ส่งเริ่มส่งจดหมายจนกระทั่งผู้รับได้รับจดหมาย) ข้อมูลที่ถูกส่งโดยใช้วิธีการส่งข้อมูลแบบจดหมายอิเล็กทรอนิกส์นี้มีชื่อเรียกเป็นการเฉพาะว่าดาต้าแกรม (Datagram)

การให้บริการแบบใดก็ตามจะต้องมีการพิจารณาคุณภาพของการให้บริการด้วยเสมอ การวัดคุณภาพนั้นดูได้จากอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต ระบบที่มีการสูญหายมีค่าเป็นศูนย์เป็นระบบที่มีคุณภาพดีที่สุด วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบการสูญหายของแพ็กเก็ตคือ ภายหลังจากที่ผู้ส่งได้ส่งข้อมูลไปแล้ว ผู้ส่งจะต้องรอสัญญาณตอบรับ (Acknowledgement) จากผู้รับข้อมูล ถ้าไม่ได้รับสัญญาณนี้ก็อาจเป็นไปได้ว่าข้อมูลนั้นสูญหายไปแล้ว ผู้ส่งก็จะต้องส่งแพ็กเก็ตนั้นใหม่ การใช้สัญญาณตอบรับนี้ทำให้การรับส่งข้อมูลมีคุณภาพสูง แต่ก็ทำให้ระบบมีความซับซ้อนมากขึ้นและเพิ่มข้อมูลในระบบมากขึ้นด้วย

2.1.4 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของเทคนิคสวิตชิ่ง

เซอร์กิตสวิตชิ่งและแพ็กเกตสวิตชิ่งมีข้อแตกต่างที่สำคัญคือ เซอร์กิตสวิตชิ่งจะมีการจับจองใช้ช่องสัญญาณตลอดการส่งข้อมูลโดยผู้ใช้คู่หนึ่ง แต่แพ็กเกตสวิตจะใช้ช่องสัญญาณเมื่อมีแพ็กเกตส่งมาเท่านั้น ดังนั้นเซอร์กิตสวิตชิ่งจะทำให้เกิดความสูญเสียความสามารถในการส่งหากไม่มีการส่งข้อมูลในขณะที่การเชื่อมโยงยังคงดำเนินอยู่ ส่วนแพ็กเกตสวิตชิ่งนั้นความสามารถในการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณจะถูกใช้ในการส่งแพ็กเกตโดยผู้ใช้หลายคนได้เพราะช่องสัญญาณไม่ถูกจับจองโดยผู้ใช้คู่ใด ทำให้การใช้ช่องสัญญาณเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้เนื่องจากแพ็กเกตสวิตชิ่งมีการเก็บข้อมูลไว้ที่สวิตชิ่งโหนดที่แพ็กเกตผ่าน มันจึงสามารถทำการเปลี่ยนอัตราส่งและเปลี่ยนรหัสของข้อมูลตลอดจนทำการแก้ไขความผิดพลาดของการส่งได้ แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการส่งข้อมูลแบบแพ็กเกตสวิตชิ่งแบบการเชื่อมต่อไม่ต่อเนื่องนั้น อาจทำให้แพ็กเกตของข้อมูลเดียวกันไปถึงปลายทางโดยไม่เรียงลำดับ ดังนั้นที่ปลายทางจึงต้องทำการเรียงลำดับแพ็กเกตใหม่ให้ถูกต้อง

สำหรับเซอร์กิตสวิตชิ่งนั้นยังทำให้ผู้ใช้สามารถส่งข้อมูลได้ตามที่ตนเองต้องการกล่าวคือ ผู้ส่งและผู้รับสามารถกำหนดอัตราส่งข้อมูลและรูปแบบของข้อมูลเอง แต่สำหรับแพ็กเกตสวิตชิ่งนั้นผู้ให้บริการเครือข่ายมักจะเป็นฝ่ายกำหนดตัวแปรต่างๆ ของการส่ง

นอกจากนี้ยังมีข้อแตกต่างของการส่งข้อมูลทั้งสองเทคนิคในแง่ของการเก็บเงินค่าบริการ ซึ่งการคิดค่าบริการของแพ็กเกตสวิตชิ่งนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนไบต์ (หรือแพ็กเกต) ที่ถูกส่ง และเวลาที่ผู้ใช้ติดต่อส่งข้อมูลกับชุมสาย (โหนด) ของผู้ให้บริการ แต่จะไม่ขึ้นอยู่กับระยะทาง ยกเว้นในกรณีของการส่งข้อมูลระหว่างประเทศ แต่ก็เป็นสัดส่วนที่ไม่มาก ส่วนแบบเซอร์กิตสวิตชิ่งนั้นจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิดบริการตามระยะทาง ตามอัตราการส่งของช่องสัญญาณที่ใช้ และเวลาของการติดต่อส่งข้อมูลแต่ไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลที่ส่งจริง สำหรับตารางที่ 2.1 แสดงข้อแตกต่างของเทคนิคทั้งสามแบบ

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบข้อดีข้อด้อยระหว่างเทคนิคสวิตชิ่ง

ลำดับ	คุณลักษณะ	คุณค่า	เซอร์กิตสวิตชิ่ง	เมสเสจสวิตชิ่ง	แพ็กเกตสวิตชิ่ง
1	สามารถเปลี่ยนอัตราส่งข้อมูล	+	ไม่ได้	ได้	ได้
2	ไปป์ไลนิงเอฟเฟ็กต์	+	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้
3	สามารถเปลี่ยนรูปแบบและรหัสในระหว่างการส่งข้อมูล	+	ไม่ได้	ได้	ได้
4	สามารถเปลี่ยนเส้นทางการส่งข้อมูลให้เร็วขึ้นเมื่อมีความคับคั่งในเส้นทาง	+	ไม่ได้ ⊥	ได้	ได้
5	สามารถส่งข้อมูลที่มีขนาดสั้นก่อนข้อมูลที่มีขนาดยาว ทำให้การรอคอย (Queue) ของการส่งข้อมูลไม่ยาวมาก	+	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้
6	สามารถควบคุมความผิดพลาดในการส่งข้อมูล	+	บางชนิด	ได้	ได้
7	ต้องมีบัฟเฟอร์ในการเก็บข้อมูลที่แต่ละโหนด	-	ไม่ต้อง ⊥	ต้อง	ต้อง
8	อาจมีการรอคอยการส่งข้อมูล และการแน่นขนัดภายในเครือข่ายขณะส่งข้อมูล	-	ไม่ต้อง ⊥	ต้อง	ต้อง
9	ต้องมีการหาเส้นทางส่งข้อมูลให้ถึงปลายทางและควบคุมการไหลของข้อมูลระหว่างโหนด	-	ไม่ต้อง	ต้อง	ต้อง
10	ต้องมีการให้หมายเลขลำดับของข้อมูลที่ส่ง	-	ไม่ต้อง	บางชนิด	ต้อง
11	ต้องแบ่งข้อมูลเป็นแพ็กเกตแล้วรวบรวมแพ็กเกตกลับที่ปลายทาง	-	ไม่ต้อง	ไม่ต้อง	ต้อง
12	สามารถส่งข้อมูลที่ขึ้นอยู่กับเวลา เช่น ข้อมูลเสียง ข้อมูลการแพร่ภาพ	+	ได้	ไม่ได้	กำลังพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+ หมายถึง ข้อดี

– หมายถึง ข้อเสีย

⊥ ยกเว้นในช่วงของการสร้างการติดต่อ

Δ การควบคุมการไหลของข้อมูลเพื่อไม่ให้ผู้ส่งส่งข้อมูลเร็วเกินไป จนผู้รับไม่สามารถรับข้อมูลได้ทัน ทำให้ข้อมูลใหม่ไปทับข้อมูลเดิมที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของผู้รับ

2.2 ข้อตกลงเกี่ยวกับทราฟฟิกสำหรับแพ็กเกตสวิตชิ่ง (Traffic Contract)

การให้บริการที่แตกต่างกันบนระบบเครือข่ายแพ็กเกตสวิตชิ่งที่ให้บริการการเชื่อมต่อแบบต่อเนื่อง สำหรับรูปแบบการใช้งาน (Application) ที่แตกต่างกันนั้น จำเป็นต้องมีข้อตกลงของทราฟฟิกที่เป็นมาตรฐานเดียวกันเพื่อให้ใช้เครือข่ายร่วมกันได้ โดยข้อตกลงทราฟฟิกต่างๆ มีดังนี้

- การแยกประเภทของการให้บริการ (Service Categories)
- ความต้องการคุณภาพการบริการ (QoS Requirement)
- ตัวแปรแสดงคุณลักษณะของทราฟฟิก (Traffic Descriptor)
- ข้อกำหนดที่ทราฟฟิกควรปฏิบัติตาม (Conformance Definition)

2.2.1 ประเภทของการบริการ (Service Categories)

การให้บริการรับประกันคุณภาพการบริการ (Quality of Service) แก่รูปแบบการใช้งานที่แตกต่างกันเป็นสิ่งที่ยากและซับซ้อน ตัวอย่างเช่น สัญญาณเสียง (Voice) ซึ่งต้องการการรับประกันเวลาหน่วง (Time Delay) ในการสื่อสารแต่กลับไม่ต้องการการรับประกันการสูญหายของแพ็กเกต แต่สำหรับข้อมูล (Data) กลับต้องการรับประกันการสูญหายของแพ็กเกตโดยไม่คำนึงถึงการรับประกันเวลาหน่วงของการส่งมากนัก ในขณะที่รูปแบบการใช้งานอื่น ๆ อาจจะต้องการคุณภาพการบริการทั้งการสูญหายของข้อมูลและเวลาหน่วงในการส่งข้อมูลด้วย ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการจัดการจึงได้แบ่งประเภทของการบริการออกเป็น 4 ประเภท โดยแบ่งตามระดับความต้องการคุณภาพการบริการที่แตกต่างกัน

- การให้บริการด้วยอัตราความเร็วคงที่ (Constant Bit Rate: CBR)
- การให้บริการด้วยอัตราความเร็วไม่คงที่ (Variable Bit Rate: VBR)
- การให้บริการด้วยอัตราความเร็วตามสภาพพร้อมใช้งาน (Available Bit Rate: ABR)
- การให้บริการด้วยอัตราความเร็วที่ไม่มีการรับประกัน (Unspecified Bit Rate: UBR)

สำหรับการให้บริการด้วย CBR และ VBR นั้น จะมีการสำรองแบนด์วิดท์สำหรับการเชื่อมต่อนั้นในกระบวนการควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อ (Call Admission Control: CAC) โดยจะสำรองแบนด์วิดท์เท่ากันตลอดระยะการเชื่อมต่อ โดยปกติการเชื่อมต่อจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ได้ใช้แบนด์วิดท์ทั้งหมดตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แบนด์วิดท์จึงได้เกิดการให้บริการแบบปรับเปลี่ยนค่าแบนด์วิดท์ได้ในระหว่างการเชื่อมต่อ นั่นก็คือการให้บริการทราฟฟิกแบบ ABR และแบบ UBR

2.2.1.1 การให้บริการด้วยอัตราความเร็วคงที่ (CBR Service)

สำหรับการใช้งานแบบกำหนดระยะเวลาโต้ตอบ เช่น ข้อมูลวีดีโอ (Video) และออดิโอ (Audio) นั้นต้องการรับประกันคุณภาพการบริการในเรื่องของเวลาหน่วง และการรับประกันการกระเพื่อมของเวลาหน่วง (Jitter) เป็นอย่างมาก ซึ่งการใช้งานรูปแบบนี้ทราฟฟิกจะมีลักษณะขึ้น ๆ ลง ๆ ไม่สม่ำเสมอ (Bursty) แต่เครือข่ายจะทำการสำรองแบนด์วิดท์ให้ด้วยอัตราความเร็วสูงสุดตลอดระยะเวลาการเชื่อมต่อ ถึงแม้ว่าการเชื่อมต่อนั้นจะไม่จำเป็นที่จะใช้แบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุดตลอดเวลาก็ตาม

การให้บริการด้วยอัตราความเร็วคงที่นั้น ได้รับการออกแบบมาเพื่อการใช้งานในรูปแบบที่มีการกำหนดเวลาโต้ตอบ ซึ่งต้องการคุณภาพการบริการที่มีอัตราการสูญหายของแพ็กเกตและเวลาหน่วงต่ำ ค่าคุณลักษณะทราฟฟิกที่ต้องการใช้คืออัตราความเร็วสูงสุด (Peak Rate) โดยที่ทราฟฟิกอาจจะไม่ใช้แบนด์วิดท์ทั้งหมดที่เครือข่ายสำรองให้ แต่เมื่อใดที่ทราฟฟิกต้องการใช้แบนด์วิดท์มาก ๆ ก็จะสามารถใช้งานได้ทันที ทั้งนี้เพื่อให้ได้รับคุณภาพการบริการเรื่องเวลาหน่วงและการกระเพื่อมของเวลาหน่วงนั่นเอง โดยปกติแล้วการให้บริการรูปแบบนี้จะมีการสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุดของทราฟฟิก ทำให้ระบบเครือข่ายไม่ได้รับมัลติเพล็กซิ่งเกนสำหรับการให้บริการรูปแบบนี้

ประเภทการให้บริการด้วยอัตราความเร็วคงที่ถูกกำหนดขึ้นมาสำหรับการสื่อสารผ่านสายลวดทองแดงหรือสายใยแก้ว โดยข้อมูลแต่ละบิตจะถูกส่งเข้าในสายสื่อสารทางปลายด้านหนึ่งและออกมาที่ปลายอีกด้านหนึ่งของสายสื่อสาร โดยไม่มีการตรวจสอบความผิดพลาด ไม่มีการควบคุมการไหล หรือกระบวนการอื่นใดเกิดขึ้นเลย วิธีการนี้ได้รับความนิยมในการนำไปใช้กับระบบโทรศัพท์ในปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากการส่งข้อมูลประเภทการสนทนาด้วยเสียงของมนุษย์นั้นไม่ต้องการความถูกต้องบริบูรณ์ แต่ต้องการความเร็วอย่างสม่ำเสมอในการรับ-ส่งข้อมูลและเป็นประเภทที่ใช้จังหวะสัญญาณนาฬิกาจังหวะเดียวกัน ตัวอย่างของข้อมูลได้แก่การส่งสัญญาณเสียงและภาพเคลื่อนไหวที่ไม่ผ่านการบีบอัดข้อมูล

2.2.1.2 การให้บริการด้วยอัตราความเร็วไม่คงที่ (VBR Service)

การให้บริการการนำส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็วไม่คงที่แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ แบบกำหนดเวลาโต้ตอบ (Real-Time: rt-VBR) และแบบไม่กำหนดเวลาโต้ตอบ (Non Real-Time: nrt-VBR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2.1 แบบกำหนดเวลาโต้ตอบ (Real-time: rt-VBR)

การให้บริการแบบกำหนดเวลาในการตอบโต้ถูกออกแบบมาสำหรับทราฟฟิกที่มีอัตราความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลที่ไม่คงที่ และมีการกำหนดเวลาสำหรับข้อมูลที่จะต้องได้รับภายในเวลาอันจำกัด เช่น การให้บริการประชุมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ต้องส่งสัญญาณข้อมูลภาพเคลื่อนไหวแบบมีการบีบอัดข้อมูล เป็นต้น เนื่องจากเทคโนโลยีที่มีการใช้ในปัจจุบันคือ MPEG (Moving Picture Expert Group) และอื่น ๆ ได้ใช้เทคนิคการส่งภาพโดยการสร้างภาพเบื้องต้น (Based frame) ตามด้วยชุดของภาพที่เป็นภาพเฉพาะส่วนที่มีการเคลื่อนไหว ดังนั้นอัตราการส่งข้อมูลจึงไม่คงที่ ระบบจึงต้องมีความสามารถในการส่งชุดข้อมูลเหล่านี้ด้วยความเร็วแตกต่างกันโดยไม่ทำให้เกิดการสะดุดของภาพปรากฏขึ้นที่ผู้ใช้ นั่นคือจะต้องมีการบริหารการถ่วงเวลา ในระบบอย่างเข้มงวด

2.2.1.2.2 แบบไม่กำหนดเวลาโต้ตอบ (Non Real-time: nrt-VBR)

การให้บริการแบบไม่กำหนดเวลาในการโต้ตอบจะไม่การกำหนดเวลาตอบโต้ที่เข้มงวดมากนัก เช่นการส่งภาพเคลื่อนไหวไปพร้อมกับจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ หรือการใช้โปรแกรมประเภทการค้นหาเวป (Web browser) ซึ่งข้อมูลที่ถูกส่งมาอาจเกิดการชะงักได้เป็นครั้งคราว

2.2.1.3 การให้บริการด้วยอัตราความเร็วตามสภาพพร้อมใช้งาน (ABR Service)

การให้บริการด้วยอัตราความเร็วตามสภาพพร้อมใช้งานหรือ ABR ได้รับการออกแบบมาใช้งานในระบบเครือข่ายที่มีปริมาณการไหลเวียนค่อนข้างสูงทำให้ไม่ทราบอัตราการส่งข้อมูลที่แน่นอน ตัวอย่างเช่น องค์กรที่มีการใช้สายเช่าจำนวนหนึ่ง โดยปกติอัตราความเร็วของสายเช่าจะต้องมากพอที่จะสามารถใช้งานในช่วงที่มีการส่งข้อมูลในปริมาณสูงสุดในแต่ละวัน แต่ในช่วงเวลาอื่นสายเช่าแทบไม่ได้ใช้งานเลย

บริการแบบ ABR ช่วยแก้ไขปัญหานี้เพื่อไม่ต้องใช้สายเช่าที่มีช่องสัญญาณกว้างมาก (มีราคาแพงมากด้วย) เช่น อาจใช้สายเช่าที่มีช่องสัญญาณขนาด 5 ล้านบิตต่อวินาทีสำหรับองค์กรที่มีการส่งสัญญาณสูงสุดที่ 10 ล้านบิตต่อวินาที ระบบจะสามารถรับประกันในการส่งข้อมูลขนาด 5 ล้านบิตต่อวินาทีตลอดเวลาโดยจะสามารถให้บริการส่งข้อมูลขนาด 10 ล้านบิตต่อวินาทีเมื่อต้องการใช้และระบบเครือข่ายมีแบนด์วิดท์เหลือและให้บริการได้ แต่ก็ไม่รับประกันให้ว่าจะสามารถส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราสูงสุดที่ต้องการหรือไม่

บริการแบบ ABR เป็นบริการแบบเดียวที่มีความสามารถในการส่งข้อมูลกลับไปยังผู้ส่งเพื่อขอให้ส่งข้อมูลช้าลงเมื่อเกิดความคับคั่งขึ้นในระบบเครือข่าย ถ้าผู้ส่งทำตามคำแนะนำแล้วจะทำให้อัตราการสูญหายของข้อมูลอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ข้อมูลที่รอการนำส่งจะอยู่ในสภาพเตรียมพร้อมซึ่งจะถูกนำส่งในทันทีที่สามารถทำได้และจะต้องรอต่อไปถ้ายังไม่สามารถนำส่งข้อมูลได้

โดยทั่วไปการส่งข้อมูลแบบ ABR จะใช้สำหรับการส่งข้อมูลที่ต้องการการรับประกันคุณภาพการบริการ เช่น การใช้งานมีโอกาสที่จะเกิดการสูญหายของข้อมูลต่ำและมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดพลาดน้อย (Low Probability of Loss and Error) โดยบางรูปแบบการใช้งานก็มีความต้องการการรับประกันเวลาหน่วงด้วย แต่จะไม่ให้ความสำคัญมากเท่ากับการสูญหายและความผิดพลาดของข้อมูล เนื่องจากรูปแบบการใช้งานในทางธุรกิจจะไม่สามารถคาดเดาปริมาณทราฟฟิกข้อมูลได้ ดังนั้นแหล่งกำเนิดข้อมูลจึงมีการปรับเปลี่ยนอัตราความเร็วทราฟฟิกตามอัตราการเกิดความคับคั่งในเครือข่ายเพื่อให้เกิดการสูญหายของแพ็กเกตน้อย และมีการใช้แบนด์วิดท์ที่เหมาะสม โดยแบนด์วิดท์ที่ทราฟฟิก ABR สามารถใช้งานได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหลือจากการสำรองให้ทราฟฟิกแบบ CBR และ VBR

2.2.1.4 การให้บริการด้วยอัตราความเร็วที่ไม่มีการรับประกัน (UBR Service)

การบริการแบบสุดท้ายคือการให้บริการด้วยอัตราความเร็วที่ไม่มีการรับประกันหรือ UBR ซึ่งจะไม่มีการรับประกันอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล และไม่บอกสถานะความคับคั่งของระบบ เหมาะกับการส่งแพ็กเกตอินเตอร์เนตเป็นอย่างยิ่ง เพราะแพ็กเกตอินเตอร์เนตไม่มีการรับประกันการนำส่งข้อมูลเหมือนกัน โดยสวิตซ์ทุกตัวจะรับแพ็กเกตที่ส่งมาทั้งหมดและจะจัดส่งแพ็กเกตเหล่านั้นในทันทีที่ทำได้ ถ้าเกิดความคับคั่งขึ้นแพ็กเกตแบบ UBR จะถูกลบทิ้งโดยไม่มีการแจ้งกลับไปยังผู้ส่งและระบบก็ไม่ได้คาดหวังว่าผู้ส่งจะส่งข้อมูลช้าลง บริการประเภทนี้เป็นที่น่าสนใจเพราะมีอัตราค่าบริการที่ถูกที่สุด จึงเหมาะสำหรับโปรแกรมประยุกต์ที่มีการควบคุมข้อผิดพลาดด้วยตัวเอง เช่น การจัดส่งแฟ้มข้อมูลผ่านเครือข่าย การส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

การบริการรูปแบบนี้ถูกออกแบบมาให้ใช้แบนด์วิดท์ที่เหลือจากการให้บริการนำส่งทราฟฟิกแบบ CBR VBR และ ABR โดยที่เครือข่ายจะไม่มีการรับประกันคุณภาพการบริการใด ๆ เลย จึงเหมาะกับรูปแบบการใช้งานที่ไม่ต้องการความระมัดระวังมาก ซึ่งยอมรับการสูญหายและความล่าช้าของการส่งข้อมูลได้

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของการให้บริการแต่ละประเภท

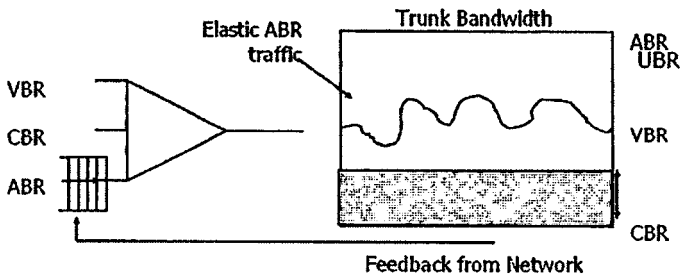
คุณลักษณะของการให้บริการ	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	ABR	UBR
มีการรับประกันอัตราความเร็วในการส่งหรือแบนด์วิดท์	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ไม่ใช่
เหมาะสำหรับทราฟฟิกแบบกำหนดเวลาโต้ตอบ (Real-time)	ใช่	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
เหมาะสำหรับกับทราฟฟิกแบบ Bursty	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ใช่	ใช่	ใช่
การแจ้งกลับไปยังผู้ส่งเมื่อเกิดความคับคั่งในระบบเครือข่าย	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ใช่	ไม่ใช่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตาราง 2.3 รูปแบบการใช้งานและตัวอย่างการใช้งานของการให้บริการแบบต่าง ๆ

Category	Application Class	Example Applications
CBR	Interactive Video	Video Conference, Distributed Classroom
	Interactive Audio	Telephone
	Interactive Text/Data	Banking transactions, Credit Card Verification
	Interactive Image	Multimedia Conferencing
rt-VBR	Video Messaging	Multimedia Email
	Audio Messaging	Voice Mail
	Text/Data Messaging	Email, telex, Fax
	Image Messaging	High Resolution Fax
nrt-VBR	Video Distribution	Television
	Audio Distribution	Radio, Audio Feed
	Text Distribution	News Feed, Netnews
	Image Distribution	Weather Satellite picture
ABR	Video Retrieval	Video on Demand (VOD)
	Audio Retrieval	Audio Library
	Text/Data Retrieval	File Transfer
	Image Retrieval	Library Browsing
UBR	Aggregate LAN	LAN Interconnection or Emulation
	Remote Terminal	Telecommuting, telnet
	RPC	Distributed Simulation



รูปที่ 2.4 การให้บริการทราฟฟิกสำหรับการส่งผ่านข้อมูลแบบแพ็กเกตสวิตชิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
60442

รูปที่ 2.4 แสดงการใช้งานช่องสัญญาณสื่อสาร (Trunk Bandwidth) ของการให้บริการแบบ CBR VBR ABR และ UBR ซึ่งทั้งหมดจะมีการใช้ช่องสัญญาณสื่อสารร่วมกัน และปริมาณการใช้แบนด์วิดท์ของการให้บริการแบบ ABR และ UBR จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาของการเชื่อมต่อโดยขึ้นอยู่กับปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหลือจากการให้บริการแบบ CBR และ VBR

2.2.2 ตัวแปรแสดงคุณภาพของการให้บริการ (Quality of Service Parameters)

คุณภาพการให้บริการจะถูกแสดงด้วยตัวแปรต่าง ๆ ที่แสดงถึงประสิทธิภาพความต้องการของการเชื่อมต่อนั้น ตัวแปรที่ใช้วัดประสิทธิภาพของเครือข่ายโดยทำการพิจารณาระหว่างโหนดปลายทาง (End System) กับเครือข่าย (Network) แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

ตัวแปรประสิทธิภาพที่อยู่ในข้อตกลงทราฟฟิก

- อัตราการสูญหายของข้อมูล (Packet Loss)
- เวลาหน่วงมากที่สุดของการนำส่ง (Maximum Transfer Delay)
- การกระเพื่อมมากที่สุดของเวลาหน่วง (Packet Delay Deviation)

ตัวแปรประสิทธิภาพที่ไม่อยู่ในข้อตกลงทราฟฟิก

- อัตราการผิดพลาดของข้อมูล (Packet Error Ratio)
- อัตราการปฏิเสธการเชื่อมต่อ (Blocking Ratio)
- อัตราการส่งข้อมูลผิดเนื่องจากความผิดพลาดของส่วนหัวของแพ็กเกต (Misinsertion Rate)

2.2.2.1 อัตราการสูญหายข้อมูล (Packet Loss Ratio: PLR)

การสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลเกิดจากการล้นจากบัฟเฟอร์เนื่องจากมีการมาถึงพร้อม ๆ กันของทราฟฟิกที่อัตราความเร็วสูง (Bursty Traffic) จากหลายการเชื่อมต่อ และอัตราการสูญหายของข้อมูลอาจจะเกิดจากความผิดพลาดของอุปกรณ์ และการป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายกับสวิตช์ โดยอัตราการสูญหายของข้อมูลจะพิจารณาสำหรับแต่ละการเชื่อมต่อได้ดังสมการ (2.1)

$$PLR = \frac{LostPacket}{TotalTransmittedPackets} \qquad (2.1)$$

เมื่อแพ็กเกตที่สูญหาย (Loss Packet) ไปประกอบด้วย

- แพ็กเกตที่เดินทางไม่ถึงปลายทาง
- แพ็กเกตที่ส่งผิดเนื่องจากความผิดพลาดของส่วนหัวของแพ็กเกต
- แพ็กเกตข้อมูลที่เกิดความผิดเพี้ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแพ็กเกตทั้งหมดที่ถูกส่ง (Total Transmitted Packets) คือจำนวนแพ็กเกตทั้งหมดที่ส่งไปภายในระยะเวลาหนึ่ง โดยอัตราการสูญหายของแพ็กเกตจะไม่รวมถึงแพ็กเกตที่ไม่ปฏิบัติตามค่าแสดงคุณลักษณะของทราฟฟิกที่ได้ประกาศไว้

2.2.2.2 เวลาหน่วงของการส่งข้อมูล (Delay Parameters)

การวัดค่าเวลาหน่วงในการนำส่งข้อมูล (Transfer Delay) นั้นวัดจากเวลาที่ผ่านระหว่างเวลาที่แพ็กเกตเดินทางออกจากแหล่งกำเนิดข้อมูล และแพ็กเกตเดินทางมาถึงปลายทาง เวลาหน่วงในการนำส่งข้อมูลของเครือข่ายเป็นผลรวมของเวลาหน่วงในการนำส่งข้อมูลในแต่ละโหนด ซึ่งประกอบด้วย

- เวลาหน่วงที่เกิดจากการรอคิวและการส่งข้อมูลภายในโหนด (Internal queuing and transmission delay) คือเวลาที่ต้องการในการรอคิวและเวลาของการส่งบิตข้อมูลบนการเชื่อมต่อภายในโหนดนั้น โดยเวลาหน่วงนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณทราฟฟิกในเครือข่ายและชนิดของอัลกอริทึม (Algorithm) ที่นำมาใช้จัดการคิว ซึ่งโครงสร้างภายในสวิตซ์ที่ต่างกันก็จะมีค่าเวลาหน่วงของการสวิตซ์แพ็กเกตที่แตกต่างกันด้วย

- เวลาหน่วงที่เกิดจากการรอคิวบนบัฟเฟอร์ขาออก (External Queuing) คือเวลาที่ใช้ในการรอคิวในบัฟเฟอร์บนการเชื่อมต่อขาออก (Output Link) โดยเวลาหน่วงนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณทราฟฟิกในเครือข่ายและชนิดของอัลกอริทึมที่นำมาใช้ในการจัดการคิว

- เวลาหน่วงที่เกิดจากการส่งบิตข้อมูลสู่ภายนอกโหนด (Transmission Delay) คือเวลาที่ใช้ในการส่งบิตข้อมูลบนการเชื่อมต่อขาออกจากโหนดสู่สื่อส่งสัญญาณ โดยเวลาหน่วงนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการส่งของโหนดและความเร็วของของสายสื่อสัญญาณ

- เวลาหน่วงของการแพร่กระจายบนสื่อสัญญาณ (Propagation Delay) คือเวลาที่ต้องการใช้สำหรับการแพร่ไปบนสายส่งสัญญาณ (Physical Media) โดยปัจจัยสำคัญสำหรับเวลาหน่วงของการแพร่กระจายบนสื่อสัญญาณคือเวลาที่สัญญาณเดินทางระหว่างโหนด 2 โหนด ซึ่งขึ้นอยู่กับสื่อกลางที่ใช้และชนิดของสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไปแพร่กระจายที่ 0.2 – 0.6 เท่าของความเร็วแสง เวลาหน่วงของการแพร่กระจายบนสื่อสัญญาณสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.2) เมื่อ Propagation factor มีค่าระหว่าง 0.2 และ 0.6 [1]

$$\text{Propagation Delay} = \frac{\text{Distance}}{\text{Propagation Factor} \times \text{Speed Of Light}} \qquad (2.2)$$

- เวลาหน่วงที่เกิดจากการประมวลผล (Processing Delay) เวลาที่เกิดจากการประมวลผลแพ็กเกต เช่น การวิเคราะห์และปรับปรุงส่วนหัวของแพ็กเกต การหาข้อมูลเส้นทางในตารางข้อมูลเส้นทาง (Routing Table) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาคุณภาพการบริการระหว่างต้นทางถึงปลายทางมีตัวแปรเวลาที่สำคัญที่นำมาพิจารณาคือ

- เวลาหน่วงมากที่สุดของการนำส่ง (Maximum Transfer Delay: Max-TD)
- การกระเพื่อมมากที่สุดของเวลาหน่วง (Peak-to-peak Delay Deviation: P2P-DV)

2.2.2.2.1 เวลาหน่วงมากที่สุดของการนำส่ง (Max-TD)

เวลาหน่วงของการนำส่งแพ็กเกตข้อมูลสามารถแสดงได้โดยการใช้ฟังก์ชั่นการกระจายความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function: PDF) เมื่อแพ็กเกตที่มีเวลาหน่วงมากเกินกว่าที่ยอมรับได้แพ็กเกตนั้นจะถูกลบทิ้งไป ซึ่งนับเป็นการสูญหายของข้อมูล โดยค่าเวลาหน่วงที่พิจารณานั้นรวมเวลาหน่วงที่เกิดขึ้นในทุกโหนดที่มีหน้าที่นำส่งข้อมูล และบนสายสื่อสารจนถึงปลายทาง

$$B = \frac{\max(TD_q)}{QueueServiceRate} \tag{2.3}$$

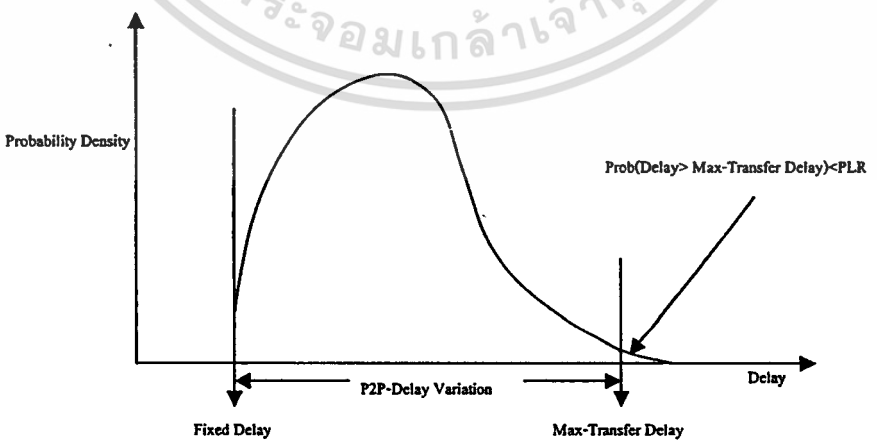
เมื่อ B คือ ขนาดของบัฟเฟอร์ มีหน่วยเป็น บิต หรือ แพ็กเกต

$\max(TD_q)$ คือ เวลาหน่วงมากที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในคิวนั้น มีหน่วยเป็น วินาที

$QueueServiceRate$ คืออัตราการให้บริการของคิวนั้น มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

2.2.2.2.1 การกระเพื่อมมากที่สุดของเวลาหน่วง (P2P-DV)

การกระเพื่อมมากที่สุดของเวลาหน่วงคือเวลาที่แตกต่างกันระหว่างเวลาการนำส่งที่มากที่สุดกับเวลาการนำส่งที่น้อยที่สุดระหว่างโหนดต้นทางกับโหนดปลายทาง แสดงดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 ฟังก์ชั่นการกระจายตัวของเวลาหน่วงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.4 การรับประกันการให้บริการสำหรับการส่งข้อมูลแบบต่าง ๆ

ประเภทของการให้บริการ	CBR	RT-VBR	NRT-VBR	ABR	UBR
การรับประกันแบนด์วิดท์	ใช่	ใช่	ใช่	ใช่	ไม่ใช่
การรับประกันการกระเพื่อมของเวลาหน่วง	ใช่	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
การรับประกัน Throughput	ใช่	ใช่	ไม่ใช่	ได้บ้าง	ไม่ใช่

2.2.3 ตัวแปรแสดงลักษณะทราฟฟิก (Traffic Descriptors)

สำหรับตัวแปรที่ใช้แสดงคุณลักษณะของแต่ละทราฟฟิกที่เกิดจากแหล่งกำเนิดข้อมูลหนึ่งประกอบไปด้วย

- อัตราความเร็วสูงสุด (Peak Rate)
- อัตราความเร็วเฉลี่ย (Mean Rate)
- อัตราความเร็วต่ำสุด (Minimum Rate)
- กลุ่มข้อมูลขนาดใหญ่ที่สุดที่ถูกส่งต่อเนื่องกันด้วยอัตราความเร็วในการนำส่งสูงสุด (Maximum Burst Size)

2.2.3.1 อัตราความเร็วสูงสุด (Peak Rate)

ตัวแปรอัตราความเร็วสูงสุด คือการกำหนดอัตราความเร็วสูงสุดที่ผู้ใช้วางแผนหรือคาดว่าจำเป็นต้องใช้ซึ่งอาจจะต่ำกว่าค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ เช่น สายสื่อสารมีความสามารถในการส่งข้อมูลที่ความเร็วสูงสุด 1 ล้านแพ็กเกตต่อวินาที หรือ 1 แพ็กเกตในทุก ๆ 1 ไมโครวินาที แต่ผู้ใช้อาจกำหนดอัตราความเร็วสูงสุดเป็น 250000 แพ็กเกตต่อวินาที หรือ 1 แพ็กเกตในทุก ๆ 4 ไมโครวินาทีก็ได้

2.2.3.2 อัตราความเร็วเฉลี่ย (Mean Rate)

เป็นตัวแปรระบุอัตราความเร็วโดยเฉลี่ยของแพ็กเกตของการเชื่อมต่อ ตัวแปรนี้ใช้กับการให้บริการแบบ VBR โดยผู้ส่งจะต้องมีการประกาศตัวแปรในกระบวนการร้องขอจัดตั้งเส้นทางโดยอัตราความเร็วเฉลี่ยจะแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (2.4) [2]

$$MeanRate = \frac{\lambda\gamma}{\lambda+\mu} \tag{2.4}$$

เมื่อใช้แบบจำลองแหล่งจ่ายข้อมูลแบบเปิด-ปิด (On-Off Source Model) และตัวแปรต่าง ๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MeanRate คืออัตราความเร็วเฉลี่ยของทราฟฟิก มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

$1/\lambda$ คือ ช่วงเวลาปิดเฉลี่ย มีหน่วยเป็น วินาที

$1/\mu$ คือ ช่วงเวลาเปิดเฉลี่ย มีหน่วยเป็น วินาที

γ คือ อัตราความเร็วสูงสุด มีค่าคงที่ มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

2.2.3.3 อัตราความเร็วต่ำสุด (Minimum Bit Rate)

คือการกำหนดค่าความเร็วต่ำสุดในการส่งข้อมูลที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ และระบบเครือข่ายจะต้องสามารถรับประกันข้อมูลในอัตราความเร็วนี้ได้ มิฉะนั้นจะต้องปฏิเสธการจัดตั้งวงจรเสมือนนั้น สำหรับการให้บริการแบบ ABR จะมีการเปลี่ยนแปลงอัตราความเร็วได้ตลอดช่วงเวลาการส่งข้อมูลแต่จะต้องอยู่ระหว่างอัตราความเร็วต่ำสุดและอัตราความเร็วสูงสุด ถ้ายินยอมให้อัตราความเร็วต่ำสุดมีค่าเท่ากับศูนย์แล้ว การให้บริการแบบ ABR จะมีลักษณะเดียวกันกับบริการแบบ UBR

2.2.3.4 กลุ่มข้อมูลขนาดใหญ่ที่สุดที่ถูกส่งต่อเนื่องกันด้วยอัตราความเร็วสูงสุด (Maximum Burst Size: MBS)

คือขนาดของกลุ่มแพ็กเกตข้อมูลมากที่สุดที่ผู้ส่งสามารถส่งได้ที่อัตราความเร็วสูงสุด มีหน่วยเป็นบิต หรือแพ็กเกต ซึ่งค่า MBS นี้จะสัมพันธ์กับช่วงเวลาที่แหล่งจ่ายหยุดการส่งแพ็กเกตข้อมูลด้วย สำหรับแบบจำลองแหล่งจ่ายข้อมูลแบบเปิด-ปิด ความสัมพันธ์แสดงได้ดังสมการ (2.5) [2]

$$MBS = \left(\frac{\gamma}{\mu}\right) \times \left(\frac{\lambda + \mu}{\mu}\right) \tag{2.5}$$

ตาราง 2.5 ความสัมพันธ์ของคุณภาพการให้บริการและตัวแปรคุณลักษณะทราฟฟิกสำหรับการให้บริการแบบต่าง ๆ

คุณสมบัติ	CBR	RT-VBR	NRT-VBR	ABR	UBR
Peak Rate	ระบุ	ระบุ	ระบุ	ระบุ	ระบุ
Mean Rate	ไม่ระบุ	ระบุ	ระบุ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
MBS	ไม่ระบุ	ระบุ	ระบุ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ
Minimum Rate	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ไม่ระบุ	ระบุ	ไม่ระบุ
Packet Loss	รับประกัน	รับประกัน	รับประกัน	ไม่รับประกัน	ไม่รับประกัน
Max-CTD	รับประกัน	รับประกัน	ไม่รับประกัน	ไม่รับประกัน	ไม่รับประกัน
P2P-CDV	รับประกัน	รับประกัน	ไม่รับประกัน	ไม่รับประกัน	ไม่รับประกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อ (Call Admission Control: CAC)

หนึ่งในเรื่องที่สำคัญซึ่งยังไม่มีการแก้ไขปัญหาให้เป็นที่น่าพอใจก็คือ กระบวนการควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อ (Call Admission Control) เมื่อผู้ใช้ (User) ร้องขอการเชื่อมต่อใหม่ เครือข่ายจะต้องทำการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธการเชื่อมต่อนั้น และถ้าเครือข่ายยอมรับการเชื่อมต่อ เครือข่ายจะต้องทำการสร้างเส้นทางและสำรองทรัพยากรหรือแบนด์วิดท์สำหรับการเชื่อมต่อนั้น สำหรับเครือข่ายเซอร์กิตสวิตชิ่งจะมีการแสดงผลของกระบวนการควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อในรูปของอัตราการปฏิเสธการร้องขอเชื่อมต่อกับอัตราการร้องขอทั้งหมด (Connection Blocking Ratio) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณแบนด์วิดท์ของการร้องขอมีค่ามากกว่าปริมาณแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้งานได้

เนื่องจากทราฟฟิกแบบ VBR มีอัตราการส่งที่ไม่แน่นอนและความต้องการแบนด์วิดท์เฉลี่ยจะเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนแหล่งจ่ายทราฟฟิก ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากในการแสดงลักษณะทราฟฟิกของการเชื่อมต่อนั้น ปัญหานี้มีการแก้ไขด้วยการสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุดการเชื่อมต่อ (Deterministic Multiplexing) ซึ่งจะเหมือนกับการให้บริการแบบ CBR อย่างไรก็ตามโดยอาศัยคุณสมบัติของทราฟฟิกแบบ VBR ซึ่งมีอัตราการส่งที่ไม่แน่นอนแต่อยู่ภายใต้ขอบเขตที่จำกัดไว้ (Statistical Nature) เมื่อมีการนำส่งร่วมกันของการเชื่อมต่อแบบ VBR จำนวนมาก ๆ อัตราแบนด์วิดท์ที่ต้องการสำหรับการนำส่งทราฟฟิกทั้งหมดนั้นมักจะมีค่าต่ำกว่าผลรวมของปริมาณอัตราแบนด์วิดท์สูงสุดของทราฟฟิกทั้งหมดอยู่มาก ซึ่งวิธีการนี้ช่วยลดปริมาณการใช้แบนด์วิดท์ในระบบได้ แต่อาจจะทำให้เกิดการสูญหายของแพ็กเกตหรือเกิดเวลาหน่วงที่มากขึ้นได้เมื่อแต่ละทราฟฟิกมีการนำส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็วสูงสุดพร้อมกัน โดยคุณภาพการบริการที่ลดลงนี้ถูกแสดงด้วยตัวแปรคุณภาพการบริการ (QoS Parameter)

จุดประสงค์ของการควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อก็คือ เพื่อรักษาคุณภาพการให้บริการของการเชื่อมต่อที่ให้บริการอยู่แล้วในระบบเครือข่าย ณ ขณะใด ๆ โดยจำกัดจำนวนของการเชื่อมต่อการใช้งานเครือข่ายและพิจารณาปริมาณทรัพยากรที่เหลืออยู่กับปริมาณที่การร้องขอเชื่อมต่อต้องการ ซึ่งการพิจารณาว่าเครือข่ายจะยอมรับหรือปฏิเสธการร้องขอการเชื่อมต่อนั้น จำเป็นต้องพิจารณาจากหลายองค์ประกอบ เช่น การพิจารณาจากพฤติกรรมของทราฟฟิกนั้น (Traffic Behavior) โดยดูจากค่าแสดงคุณลักษณะทราฟฟิก ได้แก่ อัตราการส่งข้อมูลสูงสุด อัตราการส่งข้อมูลเฉลี่ย ความยาวมากที่สุดของช่วงที่มีการส่งด้วยอัตราความเร็วสูงสุด และอัตราการส่งข้อมูลต่ำสุด การพิจารณาจากความต้องการคุณภาพการบริการของผู้ใช้ (Quality of Service Requirement) ได้แก่ อัตราการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลที่ยอมรับได้ เวลาหน่วงที่ยอมรับได้ และค่าการกระเพื่อมของเวลาหน่วงที่ยอมรับได้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการพิจารณาจากสถานะปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเครือข่าย เป็นการวัดสถานการณ์ใช้งานจริงของเครือข่ายในขณะนั้น โดยการวัดประสิทธิภาพของการใช้เครือข่ายเช่น การวัดอัตราการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูล การวัดเวลาหน่วงที่เกิดขึ้นในแต่ละโหนด การวัดความยาวแถวรอคอย (Queue) เป็นต้น แล้วนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้พิจารณาเพื่อตัดสินใจ โดยเครือข่ายจะยอมรับการเชื่อมต่อเมื่อการเชื่อมต่อนั้นไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อผู้ใช้งานอื่น ๆ ในเครือข่าย

2.3.1 มัลติเพล็กซิ่งเกน (Multiplexing Gain)

ข้อดีที่สำคัญของระบบสื่อสารแบบแพ็กเกตสวิตชิ่งคือการมัลติเพล็กซิ่ง (Multiplexing) ซึ่งก็คือวิธีการจัดการให้ทราฟฟิกจากแต่ละแหล่งจ่ายใช้ช่องสัญญาณสื่อสารร่วมกัน ทำให้เกิดการใช้เครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยประสิทธิภาพของการมัลติเพล็กซิ่งแสดงได้จากค่ามัลติเพล็กซิ่งเกน (Multiplexing Gain) ดังสมการ (2.6) [3]

$$MultiplexingGain = \frac{\sum_{i=1}^{N} PeakRate_i}{\sum_{i=1}^{N} AllocatedBandwidth_i} \qquad (2.6)$$

เมื่อ $PeakRate_i$ คืออัตราความเร็วสูงสุดของทราฟฟิก i (บิตต่อวินาที)

$AllocatedBandwidth_i$ คืออัตราการสำรองแบนด์วิดท์ของทราฟฟิก i (บิตต่อวินาที)

การมัลติเพล็กซิ่งในระบบสื่อสารแบบแพ็กเกตสวิตชิ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. Deterministic Multiplexing
2. Statistical Multiplexing

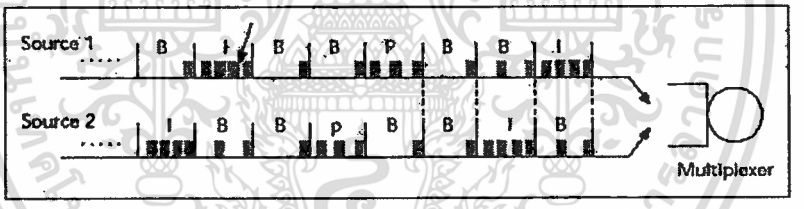
2.3.1.1 Deterministic Multiplexing

เป็นรูปแบบของการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่ใช้กันมานานในเครือข่ายสื่อสารโทรคมนาคม ซึ่งทราฟฟิกแต่ละชนิดจะมีอัตราความเร็วในการส่งที่แน่นอน (Inherent Bit Rate) เช่นทราฟฟิกเสียงสำหรับระบบโทรศัพท์มีอัตราความเร็วเท่ากับ 64 กิโลบิตต่อวินาที (Bit/Second) โดยมีค่าเท่ากันตลอดระยะเวลาของการเชื่อมต่อ ข้อดีของวิธีการนี้คือง่ายต่อการดำเนินการ เหมาะสำหรับทราฟฟิกที่มีการส่งข้อมูลต่อเนื่องตลอดเวลาและมีอัตราการส่งคงที่ (CBR) แต่ไม่เหมาะกับทราฟฟิกแบบ VBR เพราะเครือข่ายจะต้องทำการสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุด ทำให้เกิดข้อเสียคือเป็นการใช้แบนด์วิดท์อย่างไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้ทราฟฟิกด้วยอัตราความเร็วสูงสุดจะทำให้ความสามารถในการทำงานของเครือข่ายเสียไปโดยไร้ประโยชน์

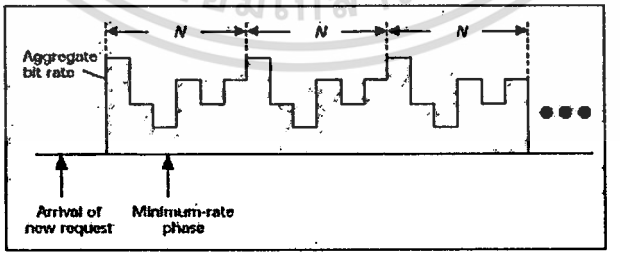
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 Statistical Multiplexing

โดยอาศัยคุณสมบัติของทราฟฟิกแบบ VBR ซึ่งมีอัตราการส่งที่ไม่แน่นอนแต่อยู่ภายใต้ขอบเขตที่จำกัดไว้ (Statistical Nature) เมื่อมีการนำส่งร่วมกันของการเชื่อมต่อแบบ VBR จำนวนมาก ๆ อัตราแบนด์วิดท์ที่ต้องการสำหรับการนำส่งทราฟฟิกทั้งหมดนั้นมักจะมีค่าต่ำกว่าผลรวมของปริมาณอัตราแบนด์วิดท์สูงสุดของทราฟฟิกทั้งหมดอยู่มาก วิธีการนี้ช่วยลดปริมาณการใช้แบนด์วิดท์ในระบบได้ ซึ่งโดยทั่วไปแหล่งจ่ายข้อมูลทั้งหมดจะไม่นำส่งด้วยการอัตราการส่งสูงสุดในเวลาเดียวกัน ถ้าอัตราความเร็วสูงและอัตราความเร็วต่ำเกิดความสมดุลกันเครือข่ายจะสามารถให้บริการแก่ผู้ใช้ได้จำนวนมากขึ้น ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานเครือข่ายและเพิ่มมัลติเพล็กซึ่งเกนให้กับระบบ สำหรับข้อเสียคือรับประกันคุณภาพการบริการได้ไม่เต็ม 100% วิธีการของ Statistical Multiplexing คือ ขั้นแรกทำการรวบรวมทราฟฟิกจากหลายแหล่งจ่ายแล้วทำการส่งไปบนช่องสัญญาณเดียว โดยเครือข่ายจะจัดสรรแบนด์วิดท์ให้กับทราฟฟิกรวมทำให้ลดปริมาณแบนด์วิดท์ที่จะต้องให้แต่ละทราฟฟิกลง ซึ่งวิธีการนี้มีประโยชน์ในการพิจารณาความต้องการแบนด์วิดท์สำหรับทราฟฟิก rt-VBR ซึ่งไม่สามารถทราบลักษณะทราฟฟิกได้ การใช้งานเหมาะสำหรับการให้บริการแบบ rt-VBR ซึ่งมีทราฟฟิกจากหลายแหล่งจ่ายรวมกันแล้วจึงถูกส่งออกไปบนช่องสัญญาณเดียว



รูปที่ 2.6 การมัลติเพล็กซิ่งของทราฟฟิกจาก 2 แหล่งจ่าย



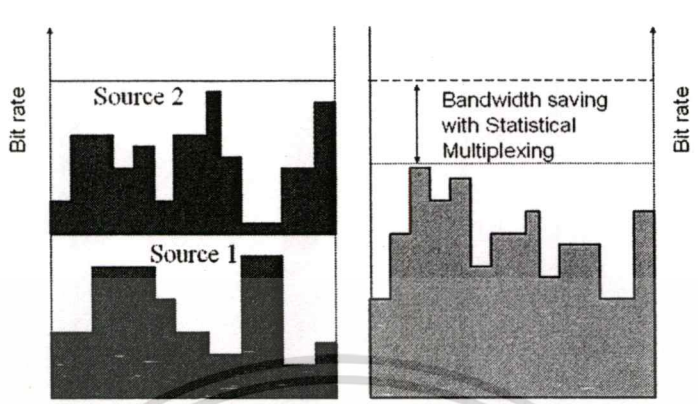
รูปที่ 2.7 ลักษณะทราฟฟิกที่ได้จากการมัลติเพล็ก 2 ทราฟฟิก

อุปสรรคของวิธี Statistical Multiplexing คือ [4]

- การอธิบายลักษณะของทราฟฟิกที่ถูกส่งออกไปจาก Statistical multiplexer นั้นทำได้ยาก
- การดำเนินการยากกว่า Deterministic Multiplexing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบจำลองทราฟฟิกแบบวิดีโอ (Video) ที่มีอัตราการนำส่งไม่คงที่ ยังไม่มีรูปแบบที่ดีพอ และยังไม่มีมาตรฐานรองรับ



รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบปริมาณการใช้แบนด์วิดท์โดยวิธี Deterministic และ Statistical Multiplexing

2.3.2 การควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อสำหรับทราฟฟิก CBR

สำหรับทราฟฟิกแบบ CBR แหล่งจ่ายจะปล่อยแพ็กเกตทุก ๆ คาบเวลา T ซึ่งเท่ากับส่วนกลับของอัตราความเร็วสูงสุด กระบวนควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อที่ง่ายที่สุดคือการพิจารณาการสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุด ดังนั้นอัลกอริทึมกระบวนควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อสำหรับการให้บริการแบบ CBR สามารถแสดงสัมพันธ์ได้ดังสมการ (2.7)

$$\sum_{i=1}^{N} PeakRate_i \le LinkCapacity \qquad (2.7)$$

เมื่อ i คือลำดับของผู้ใช้ระบบเครือข่าย $(i = 1,2,3,...,N)$

$PeakRate_i$ คืออัตราความเร็วสูงสุดของทราฟฟิก i มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

$LinkCapacity$ คืออัตราความเร็วของช่องสัญญาณสื่อสาร มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

2.3.3 การควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อสำหรับทราฟฟิก VBR

ทราฟฟิกแบบ VBR จะมีตัวแปรที่ใช้แสดงลักษณะทราฟฟิกคือ อัตราความเร็วสูงสุด อัตราความเร็วเฉลี่ย และกลุ่มข้อมูลขนาดใหญ่ที่สุดที่ถูกส่งต่อเนื่องกันด้วยอัตราความเร็วสูงสุด สำหรับตัวแปรที่ใช้ในการรับประกันคุณภาพการให้บริการสำหรับทราฟฟิกแบบ rt-VBR คือ อัตราการสูญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หายของแพ็กเกต เวลาหน่วงของการส่งข้อมูล และอัตราการกระเพื่อมของเวลาหน่วงที่ผู้ใช้ยอมรับได้ ในขณะที่ทราฟฟิกแบบ nrt-VBR นั้นต้องการเฉพาะการรับประกันอัตราการสูญหายของแพ็กเกตเท่านั้น

สำหรับทราฟฟิกแบบ VBR นั้นจะมีค่าความแปรปรวน (Burstiness) เป็นตัวแสดงลักษณะความไม่แน่นอนของอัตราการส่งทราฟฟิก โดยหาได้จากอัตราส่วนของความเร็วเฉลี่ยต่ออัตราความเร็วสูงสุดของทราฟฟิก ซึ่งค่านี้มีผลอย่างมากต่อมัลติเพล็กซิ่งเกน ถ้า Burstiness มีค่าน้อยกว่า 1 มาก ๆ แล้วกระบวนควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อด้วยวิธีการสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุดจะมีประสิทธิภาพต่ำอย่างมาก สำหรับทราฟฟิกแบบ VBR เครือข่ายจะยอมรับการเชื่อมต่อเมื่อ

$$\sum_{i=1}^{N} \alpha_i \leq LinkCapacity \tag{2.8}$$

โดยที่ α_i คือปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสม (Effective Bandwidth) ของการเชื่อมต่อลำดับที่ i ซึ่งมีค่ามากกว่าอัตราความเร็วเฉลี่ยและน้อยกว่าอัตราความเร็วสูงสุดของทราฟฟิก มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

จะเห็นว่าสมการ (2.8) นั้นทำให้ระบบเครือข่ายได้รับมัลติเพล็กซิ่งเกนจากวิธีการ กระบวนควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อด้วยการสำรองแบนด์วิดท์ด้วยปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสม

$$MultiplexingGain = \frac{\sum_{i=1}^{N} PeakRate_i}{\sum_{i=1}^{N} \alpha_i} \tag{2.9}$$

2.3.4 การควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อสำหรับทราฟฟิก ABR

การให้บริการแบบ ABR ระบบจะให้การรับประกันคุณภาพการบริการด้วยอัตราการส่งต่ำสุดที่ผู้ใช้ได้ประกาศไว้ในกระบวนควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อ และทราฟฟิกแบบ ABR สามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่มากขึ้นได้ถ้ามีแบนด์วิดท์เหลือจากการใช้งานของการให้บริการแบบ CBR และ VBR แต่ระบบเครือข่ายจะไม่รับประกันการนำส่งที่ใช้อัตราความเร็วมากกว่าอัตราความเร็วต่ำสุดที่ร้องขอไว้ของทราฟฟิก สมการของกระบวนควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อทราฟฟิกแบบ ABR แสดงได้ดังสมการ (2.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_{i=1}^{N} MinimumRate_i \leq LinkCapacity \qquad (2.10)$$

เมื่อ $MinimumRate_i$ คืออัตราความเร็วสูงสุดของทราฟฟิก i มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

$LinkCapacity$ คืออัตราความเร็วของช่องสัญญาณสื่อสาร มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

2.4 การสำรองแบนด์วิดท์สำหรับทราฟฟิก VBR (Bandwidth Allocation for VBR Traffic)

ประเภทของวิธีการจัดสรรทรัพยากรเครือข่ายแบ่งตามรูปแบบของการคำนวณ คือ มีการคำนวณและจัดสรรก่อนการส่งข้อมูล (Off-line) หรืออีกแบบหนึ่งก็คือมีการคำนวณและจัดสรรในระหว่างการนำส่งข้อมูล (On-line) ซึ่งวิธีการคำนวณและจัดสรรก่อนการส่งข้อมูลสามารถแบ่งออกเป็นสองวิธีคือ การจัดสรรแบนด์วิดท์แบบตายตัว (Static Allocation) และการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบเปลี่ยนแปลงได้ (Dynamic Allocation) สำหรับการคำนวณและจัดสรรในระหว่างการนำส่งข้อมูลนั้นถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือการวัดค่าจากแหล่งกำเนิดข้อมูล (Source Measurement) และการวัดค่าจากคุณภาพการให้บริการ (QoS Measurement) โดยแต่ละรูปแบบที่กล่าวมาต่างก็มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป การเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับชนิด จำนวน และระดับความสำคัญของข้อมูลที่ส่ง

การคำนวณและจัดสรรแบนด์วิดท์ก่อนการส่งข้อมูล โดยทั่วไปจะทำโดยการพิจารณาจากค่าคุณลักษณะทราฟฟิก ในกรณีของไฟล์วิดีโอที่ถูกบีบอัดข้อมูลแบบ MPEG นั้น จะเหมาะกับวิธีการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบคำนวณและจัดสรรก่อนการส่งข้อมูล โดยทำการพิจารณาจากค่าคุณลักษณะ ทราฟฟิก ได้แก่ อัตราส่วนของความเร็วสูงสุดต่อความเร็วเฉลี่ยของทราฟฟิก (Peak-to-Mean Ratio) สำหรับการคำนวณและจัดสรรก่อนการส่งข้อมูลนี้มีการแบ่งย่อยออกเป็นสองแบบคือ การจัดสรรแบนด์วิดท์แบบตายตัว และการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบตายตัวจะจัดสรรแบนด์วิดท์ด้วยปริมาณเท่ากันตลอดระยะการเชื่อมต่อ ในขณะที่การจัดสรรแบนด์วิดท์แบบเปลี่ยนแปลงได้จะมีการปรับเปลี่ยนปริมาณแบนด์วิดท์ตามแกนเวลา ดังนั้นปริมาณแบนด์วิดท์จะมีค่าไม่เท่ากันตลอดสำหรับการเชื่อมต่อนั้น โดยการปรับเปลี่ยนค่าสามารถพิจารณาได้จากหลายวิธี เช่น การวัดคุณภาพการบริการ หรือการพิจารณาจากคุณลักษณะทราฟฟิกก่อนหน้านั้น เป็นต้น

2.4.1 การจัดสรรแบนด์วิดท์แบบตายตัว (Static Bandwidth Allocation)

การสำรองแบนด์วิดท์รูปแบบนี้จะเกิดขึ้นในกระบวนการจัดตั้งเส้นทาง โดยค่าแบนด์วิดท์ที่ระบบเครือข่ายทำการสำรองให้กับผู้ใช้ จะพิจารณาจากค่าตัวแปรคุณลักษณะทราฟฟิก เช่น อัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วสูงสุด อัตราความเร็วเฉลี่ย เป็นต้น สำหรับการจัดสรรอัตราการสำรองแบนด์วิดท์แบบตายตัว โดยทั่วไปแบ่งออกเป็นดังนี้

- การสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุด (Peak Rate Allocation)
- การสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วเฉลี่ย (Mean Rate Allocation)
- การสำรองแบนด์วิดท์ด้วยปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสม (Effective Bandwidth Allocation)

2.4.1.1 การสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุด (Peak Rate Allocation)

เป็นการสำรองแบนด์วิดท์ให้แก่ผู้ใช้ด้วยอัตราความเร็วสูงสุดของทราฟฟิกนั้น ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นวิธีเดียวกับ Deterministic Multiplexing การจัดสรรแบนด์วิดท์แบบนี้จะไม่ทำให้เกิดการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลเลย แต่มีข้อเสียที่สำคัญก็คือจะมีแบนด์วิดท์เสียไปโดยไร้ประโยชน์เมื่อแหล่งกำเนิดข้อมูลไม่ได้นำส่งข้อมูลด้วยอัตราความเร็วสูงสุดตลอดระยะเวลาการเชื่อมต่อ ดังนั้นปริมาณแบนด์วิดท์ที่เสียไปโดยไร้ประโยชน์ จึงขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความเร็วสูงสุดต่อความเร็วเฉลี่ยของทราฟฟิกนั่นเอง ซึ่งก็คือค่าแสดงคุณลักษณะความแปรปรวนของทราฟฟิก (Burstiness) [1]

$$Burstiness_i = \frac{PeakRate_i}{MeanRate_i} \tag{2.11}$$

ดังนั้นการสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุดจะให้ค่ามัลติเพล็กซิ่งเกนของระบบเท่ากับ 1 เนื่องจากผลรวมของการจัดสรรแบนด์วิดท์มีค่าเท่ากับผลรวมของอัตราความเร็วสูงสุด

2.4.1.2 การสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วเฉลี่ย (Mean Rate Allocation)

ด้วยการสำรองแบนด์วิดท์วิธีนี้ เครือข่ายจะจัดสรรแบนด์วิดท์ให้แก่การเชื่อมต่อด้วยอัตราการส่งข้อมูลเฉลี่ยของทราฟฟิกนั้น จากหลักการวิธีการนี้สามารถส่งทราฟฟิกได้ทั้งหมดแต่ต้องใช้ระยะเวลานาน ข้อเสียคือเกิดเวลาหน่วงขึ้นเมื่อทราฟฟิกมีลักษณะเป็น Bursty และอาจจะทำให้เครือข่ายไม่สามารถรับประกันคุณภาพการส่งภายในขอบเขตของเวลาหน่วงที่ผู้ใช้ต้องการได้

การสำรองแบนด์วิดท์ด้วยอัตราความเร็วเฉลี่ยจะให้ระบบได้ค่ามัลติเพล็กซิ่งเกนมากกว่า 1 เนื่องจากผลรวมของการสำรองแบนด์วิดท์มีค่าน้อยกว่าผลรวมของอัตราความเร็วสูงสุด ดังนั้นวิธีการนี้จึงมีข้อดีคือทำให้เครือข่ายได้ค่ามัลติเพล็กซิ่งเกนมาก แต่ข้อเสียคือคุณภาพการบริการต่ำทั้งในเรื่องของการสูญหายของข้อมูลและความล่าช้าในการส่งข้อมูล

2.4.1.3 การสำรองแบนด์วิดท์ด้วยปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสม (Effective Bandwidth Allocation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมจะแยกแต่ละการเชื่อมต่อออกจากกัน โดยการนำตัวแปรต่าง ๆ ของแต่ละทราฟฟิกมาคำนวณหาค่าแบนด์วิดท์ที่คาดว่าใกล้เคียงกับอัตราการใช้งานจริงมากที่สุดสำหรับการเชื่อมต่อนั้น เพื่อให้ได้รับการรับประกันคุณภาพการบริการ ดังนั้นปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมจึงถูกแบ่งเป็นส่วนของคุณลักษณะของทราฟฟิก และอีกส่วนคือจะเกี่ยวข้องกับกฎ-เกณฑ์ของกระบวนควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อด้วย โดยมีสมการแสดงความสัมพันธ์ดังสมการ (2.12)

$$\sum_{i=1}^{N} \alpha_i \leq LinkCapacity \tag{2.12}$$

เมื่อ α_i คือปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมของทราฟฟิกลำดับที่ i เมื่อ $i = [1,2,3,...,N]$ มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

จากสมการ (2.12) จะเห็นว่าการเชื่อมต่อนั้นจะถูกยอมรับการร้องขอทรัพยากรถ้าเครือข่ายมีแบนด์วิดท์เหลือเพียงพอสำหรับการเชื่อมต่อลำดับที่ i หรือถ้าเป็นไปในทางตรงกันข้ามการเชื่อมต่อนั้นก็จะถูกปฏิเสธไป สำหรับทราฟฟิก VBR ซึ่งมีอัตราความเร็วสูงสุดและอัตราความเร็วเฉลี่ยเป็นตัวแสดงคุณลักษณะทราฟฟิก ปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมจะมีค่าอยู่ระหว่างอัตราความเร็วเฉลี่ยและอัตราความเร็วสูงสุด [5]

$$MeanRate_i \leq \alpha_i \leq PeakRate_i \tag{2.13}$$

ประโยชน์ของการใช้ค่าปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมในกระบวนการควบคุมการร้องขอทรัพยากรเพื่อสร้างการเชื่อมต่อคือ ระบบได้รับค่ามัลติเพล็กซิ่งเกน ทำให้ระบบเครือข่ายสามารถรองรับผู้ใช้ได้จำนวนมากขึ้น โดยทั่วไปถ้าบัฟเฟอร์มีขนาดเล็กค่าปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมต้องประมาณให้มีค่าเข้าใกล้อัตราความเร็วสูงสุด แต่ถ้าบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ค่าปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมสามารถประมาณให้มีค่าใกล้เคียงกับอัตราความเร็วเฉลี่ยได้ และข้อดีของการใช้การประมาณค่าปริมาณแบนด์วิดท์อีกประการหนึ่งก็คือ

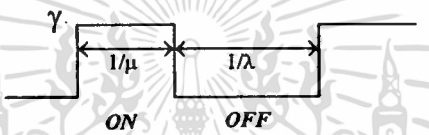
- จำนวนรวมของปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมของการเชื่อมต่อจำนวน N แหล่งจ่ายจะมีค่าเท่ากับผลรวมของปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมของแต่ละการเชื่อมต่อ
- ปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมของแต่ละการเชื่อมต่อจะขึ้นอยู่กับตัวแปรคุณลักษณะทราฟฟิกของการเชื่อมต่อนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับต่อไปจะอธิบายถึงวิธีการคำนวณปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมวิธีต่าง ๆ ที่ได้มีการศึกษาวิจัยมาแล้ว

2.4.1.3.1 แบบจำลองแหล่งจ่ายข้อมูล (Source Model)

สำหรับทราฟฟิกที่มีอัตราความเร็วไม่คงที่ (VBR) นั้น มักจะมีการใช้แบบจำลองแหล่งจ่ายแบบเปิด-ปิด (ON/OFF model) [2] [6] [7] [8] โดยแหล่งจ่ายทราฟฟิกมี 2 สถานการณ์ทำงานคือเปิดและปิด ในสถานะเปิดแหล่งจ่ายจะจ่ายทราฟฟิกข้อมูลออกมาด้วยอัตราความเร็วคงที่ด้วยอัตราเร็วสูงสุด และในสถานะปิดจะไม่มีการจ่ายข้อมูล โดยแหล่งจ่ายจะทำงานสลับกันไประหว่างสภาวะทั้งสอง โดยมีค่าการกระจายของการเปลี่ยนสถานะเปิด-ปิดเป็นแบบเอ็กซ์โพเน็นเชียน (Exponential) แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แหล่งกำเนิดข้อมูลแบบเปิด-ปิด

โดยที่ $1/\lambda$ คือ ช่วงเวลาปิดเฉลี่ย มีหน่วยเป็น วินาที

$1/\mu$ คือ ช่วงเวลาเปิดเฉลี่ย มีหน่วยเป็น วินาที

γ คือ อัตราความเร็วสูงสุด มีค่าคงที่ มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

เมื่อค่าอัตราการนำส่งเฉลี่ยคือ

$$MeanRate = \frac{\lambda\gamma}{\lambda + \mu} \tag{2.14}$$

ที่สวิตชิ่งโหนดจะมีบัฟเฟอร์สำหรับรองรับทราฟฟิก เมื่ออัตราความเร็วของการมาถึง (Arrival Bit Rate) มากกว่าอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล (Service Rate) ของสวิตชิ่งโหนดใด ๆ การคำนวณค่าปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมควรจะพิจารณาอัตราการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลและขนาดของบัฟเฟอร์ด้วย

วิธีการคำนวณปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมถูกแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือกรณีที่การบริการยอมรับให้มีการสูญหายของข้อมูลไม่ได้ (Lossless) และกรณีที่การบริการยอมรับให้มีการสูญหายของข้อมูลได้ (Loss-tolerant) โดยกรณีที่ยอมรับให้มีการสูญหายของข้อมูลไม่ได้คือไม่อนุญาตให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการสูญหายของข้อมูลได้เลย ส่วนแลกรณีที่ยอมรับให้มีการสูญหายของข้อมูลได้จะอนุญาตให้เกิดการสูญหายของข้อมูลได้ตามอัตราที่ผู้ใช้กำหนดให้

2.4.1.3.2 วิธีการของ Kelly [9]

Kelly ได้เสนอวิธีการคำนวณปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมสำหรับกรณีที่การบริการยอมรับให้มีการสูญหายของข้อมูลไม่ได้ โดยกำหนดให้ทราฟฟิกจากแหล่งจ่าย i เดินทางมาถึงด้วยอัตราความเร็ว r_i ด้วยฟังก์ชั่นกระจายตัวเป็นแบบ Poisson และทราฟฟิกนั้นมีฟังก์ชั่นความยาวคือ G_i จะได้สมการปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมของแหล่งจ่าย i ดังสมการ (2.15)

$$\alpha_i = r_i\left[\mu_i + \frac{1}{2B}\left(\mu_i^2 + \sigma_i^2\right)\right] \tag{2.15}$$

เมื่อ μ_i คือค่าเฉลี่ยของ G_i

σ_i^2 คือค่าความแปรปรวนของ G_i

B คือขนาดของบัฟเฟอร์ มีหน่วยเป็น บิต

2.4.1.3.3 วิธีการของ Elwalid [10]

Elwalid ได้เสนอวิธีการหาปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมโดยพิจารณากรณีที่รูปแบบทราฟฟิกเป็นไปตามอัลกอริทึมถังน้ำรั่ว (Leaky Bucket Algorithm) จะได้สมการปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อในกรณีที่การบริการยอมรับให้มีการสูญหายของข้อมูลไม่ได้ แยกเป็น 2 กรณีคือ

ถ้า $MeanRate_i \le \frac{B_T}{B/C}$ จะได้ปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมดังสมการ (2.16)

$$\alpha_j = \frac{\gamma_i}{1 + \frac{B(\gamma_i - MeanRate_i)}{B_T C}} \tag{2.16}$$

ถ้า $\frac{B_T}{B/C} \le MeanRate_i \le \gamma_i$ จะได้ปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมดังสมการ (2.17)

$$\alpha_i = MeanRate_i \tag{2.17}$$

เมื่อ B_T คือขนาดบัฟเฟอร์ของอัลกอริทึมถังน้ำรั่ว มีหน่วยเป็น บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$MeanRate_i$ คืออัตราความเร็วเฉลี่ยของการเชื่อมต่อ i มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

γ_i คืออัตราความเร็วสูงสุดของการเชื่อมต่อ i มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

B คือขนาดของบัฟเฟอร์ มีหน่วยเป็น บิต

C คืออัตราความเร็วของสื่อสัญญาณ มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

MBS_i คือกลุ่มแพ็กเกตขนาดใหญ่ที่สุดที่สามารถส่งได้ด้วยอัตราความเร็วสูงสุด (Maximum Burst Size) ของการเชื่อมต่อ i แสดงได้ดังสมการ (2.18)

$$MBS_i = B_T\left(\frac{\gamma_i}{\gamma_i - MeanRate_i}\right) \tag{2.18}$$

2.4.1.3.4 วิธีการของ Gibbens และ Hunt [11]

ความน่าจะเป็นของการเกิดอัตราการสูญหายของแพ็กเกต (Packet Loss Probability) เป็นฟังก์ชั่นของการกระจายตัวของความยาวคิวในบัฟเฟอร์ เมื่อกำหนดให้บัฟเฟอร์มีขนาดเท่ากับ B แล้วจะได้ความยาวคิวอยู่ในเทอมของเอ็กซ์โพเนนเชียน ดังสมการ (2.19)

$$P(QueueLength \geq B) \approx e^{-f(\alpha_i)B} \tag{2.19}$$

เมื่อฟังก์ชั่น $f(\alpha_i)$ สามารถหาได้จากคุณลักษณะทางสถิติของทราฟฟิก และ α_i คือปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมที่จำเป็นสำหรับการได้รับการรับประกันการสูญหายของข้อมูล ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ (2.20)

$$P(QueueLength \geq B) \leq PLP \tag{2.20}$$

จากสามการ (2.19) และ (2.20) จะได้สมการสำหรับการหาค่าปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมดังสมการ (2.21)

$$\alpha_i = f^{-1}\left(-\frac{(\ln PLP)}{B}\right) \tag{2.21}$$

เมื่อ

$$\frac{\ln PLP}{B} = z_0 \in [-\infty, 0] \tag{2.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแหล่งจ่ายข้อมูลแบบเปิด-ปิด ที่มีความสัมพันธ์ของช่วงเวลาเปิด-ปิดเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียน Gibbens และ Hunt ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมของแหล่งจ่ายได้ดังสมการ (2.23)

$$\alpha_i = \frac{(z_0\gamma_i + \mu_i + \lambda_i) - \sqrt{(z_0\gamma_i + \mu_i - \lambda_i)^2 + 4\lambda_i\mu_i}}{2z_0} \qquad (2.23)$$

เมื่อ $1/\mu_i$ คือช่วงเวลาเปิดเฉลี่ย มีหน่วยเป็น วินาที

$1/\lambda_i$ คือช่วงเวลาปิดเฉลี่ย มีหน่วยเป็น วินาที

γ_i คืออัตราความเร็วทราฟฟิกคงที่เมื่อแหล่งจ่ายเปิด มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

α_i คือปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมสำหรับแหล่งจ่าย i มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

จากสมการ (2.23) จะเห็นว่าเมื่อบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่จะทำให้ $z_0 \to 0$ และปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมจะมีค่าเท่ากับอัตราความเร็วเฉลี่ยของแหล่งจ่ายข้อมูล ดังสมการ (2.24)

$$\alpha_i = MeanRate_i = \frac{\lambda_i\gamma_i}{\lambda_i + \mu_i} \qquad (2.24)$$

สำหรับกรณีที่บัฟเฟอร์มีขนาดเล็กจะทำให้ $z_0 \to -\infty$ และปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมของแหล่งจ่ายนั้นจะมีค่าเท่ากับอัตราความเร็วสูงสุด ดังสมการ (2.25)

$$\alpha_i = \gamma_i \qquad (2.25)$$

สำหรับแบบจำลองแหล่งจ่ายแบบเปิด-ปิด ที่มีการประกาศตัวแปรคุณลักษณะทราฟฟิกในเทอมของอัตราความเร็วสูงสุด อัตราความเร็วเฉลี่ย อัตราการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลที่ผู้ใช้ยอมรับได้ และขนาดกลุ่มข้อมูลของแพ็กเกตเฉลี่ย (Average Burst Size: ABS) จากตัวแปรเหล่านี้สามารถแปลงให้อยู่ในรูปของตัวแปรที่สามารถนำไปคำนวณปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมได้ [1] ดังสมการ (2.26) (2.27) และ (2.28)

$$\mu_i = \frac{PeakRate_i}{ABS_i} \qquad (2.26)$$

(2.27)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda_i = \mu_i \times \frac{MeanRate_i}{PeakRate_i - MeanRate_i}$$

$$\gamma_i = PeakRate_i \tag{2.28}$$

สำหรับทราฟฟิกแบบ VBR แหล่งจ่ายจะไม่มีการประกาศค่า ABS แต่จะประกาศขนาดของกลุ่มแพ็กเกตข้อมูลในรูป Maximum Burst Size (MBS) ดังนั้นจะต้องมีการแปลงให้อยู่ในรูปตัวแปร ABS ก่อน โดยสามารถแปลงได้จากสมการ (2.29)

$$ABS_i = \left(\frac{PeakRate_i - MeanRate_i}{PeakRate_i} \right) \times MBS_i \tag{2.29}$$

2.4.1.3.5 วิธีการของ Courcoubetis [12]

จากวิธีการคำนวณค่าปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมของ Gibbens และ Hunt ได้มีการวิจัยพัฒนาโดย Elwalid และ Mitra ซึ่งได้นำเอาหลักการของ Statistical Multiplexing ด้วยแบบจำลองแหล่งจ่ายแบบ Markov-modulated fluid และหลักการของคิวในแหล่งจ่ายทราฟฟิกซึ่งเป็น Markov-modulated Poisson เมื่อพิจารณาบัฟเฟอร์ที่มีขนาดใหญ่มาก Courcoubetis ได้เสนอวิธีการวัดค่าโดยประมาณของปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมดังสมการ (2.30)

$$\alpha_i = m_i - \frac{z_0 \xi_i}{2} \tag{2.30}$$

เมื่อ m_i คืออัตราความเร็วเฉลี่ยของแหล่งจ่าย มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

ξ_i คือ Index of dispersion

$z_0 = \frac{\ln(PLP)}{B}$

สำหรับแบบจำลองแหล่งจ่ายแบบเปิด-ปิด ที่มีช่วงเวลาเปิดเฉลี่ยเป็น $1/\mu_i$ และช่วงเวลาปิดเฉลี่ยเป็น $1/\lambda_i$ และมีอัตราความเร็วสูงสุด γ_i จะได้สมการปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมดังสมการ (2.31)

$$\alpha_i = \frac{\lambda_i \gamma_i}{\lambda_i + \mu_i} - \frac{z_0 \lambda_i \mu_i \gamma_i^2}{(\lambda_i + \mu_i)^3} \tag{2.31}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.3.6 วิธีการของ Guerin [13]

Guerin ได้ใช้ค่าอัตราบิตรวมในการประมาณค่าปริมาณแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมของแหล่งจ่ายแบบเปิด-ปิด แสดงดังสมการ (2.32)

$$\alpha_i = \frac{\psi b(1-\rho)PeakRate_i - B + \sqrt{[\psi b(1-\rho)PeakRate_i - B]^2 + 4B\psi b\rho(1-\rho)PeakRate_i}}{2\psi b(1-\rho)} \quad \ldots(2.32)$$

เมื่อ $PeakRate_i$ คืออัตราความเร็วสูงสุด มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

ρ คืออัตราการใช้ประโยชน์ของระบบเครือข่าย (Utilization)

b คือช่วงเวลา Burst เฉลี่ย มีหน่วยเป็น วินาที

B คือความยาวคิวในบัฟเฟอร์ มีหน่วยเป็น บิต

ψ $= -\ln(PLP)$

2.4.2 การสำรองแบนด์วิดท์แบบเปลี่ยนแปลงได้ (Dynamic Bandwidth Allocation)

การสำรองแบนด์วิดท์แบบเปลี่ยนแปลงได้ แบ่งออกเป็นแบบที่มีการคำนวณและจัดสรรแบนด์วิดท์ก่อนการนำส่งข้อมูล และในระหว่างการนำส่งข้อมูล สำหรับแบบการคำนวณและจัดสรรแบนด์วิดท์ก่อนการนำส่งข้อมูลนั้นจะทำการเปลี่ยนปริมาณแบนด์วิดท์ตามแกนเวลา วิธีการนี้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อนำส่งไฟล์วิดีโอ (Stored video) โดยใช้หลักการของการรู้ลักษณะทราฟฟิกล่วงหน้าทั้งหมด ทำให้สามารถวางแผนในการจัดสรรปริมาณแบนด์วิดท์ตามลักษณะทราฟฟิกของไฟล์วิดีโอนั้นได้ โดยการใช้ประโยชน์จากการใช้บัฟเฟอร์ที่ผู้ใช้ปลายทาง ซึ่งช่วยป้องกันข้อมูลสูญหายในกรณีที่เกิด ทราฟฟิกแบบ Bursty ขึ้นในระบบเครือข่าย ผลก็คือการส่งไฟล์วิดีโอเป็นไปอย่างราบรื่น (Smooth Video Stream)

การสำรองแบนด์วิดท์แบบเปลี่ยนแปลงได้ แบบที่มีการคำนวณและจัดสรรแบนด์วิดท์ในระหว่างการนำส่งข้อมูลนั้น จะทำการวัดค่าต่าง ๆ เพื่อใช้ในการทำนายลักษณะทราฟฟิกช่วงเวลาถัดไป เช่น การวัดอัตราการสูญหายของแพ็กเกตในขณะนั้น เป็นต้น จากนั้นระบบเครือข่ายจะเป็นผู้ทำการจัดสรรอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ใหม่แก่ทราฟฟิก โดยจะมีการพิจารณาทุก ๆ ช่วงเวลาคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งจำนวนครั้งของการปรับเปลี่ยนปริมาณแบนด์วิดท์จะขึ้นอยู่กับค่าที่วัดได้ข้างต้น สำหรับเทคนิคการวัดแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือการวัดค่าคุณลักษณะของแหล่งจ่าย และการวัดคุณภาพการให้บริการในขณะนั้น ซึ่งแต่ละวิธีต่างก็มีข้อดี ข้อเสีย ความซับซ้อน และประสิทธิภาพที่แตกต่างกันไป จากบทความวิจัยต่าง ๆ สามารถนำมาสรุปวิธีการหลัก ๆ ได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.1 การวัดค่าคุณลักษณะของแหล่งจ่าย (Source Measurement)

หลักการของวิธีการนี้คือ การสังเกตและใช้คุณลักษณะเฟรม MPEG ปัจจุบันเพื่อทำนายลักษณะของเฟรมถัดไป ด้วยสมการคณิตศาสตร์ เช่น neural network เป็นต้น ข้อเสียของวิธีการนี้ก็คือ เป็นการคำนวณที่ซับซ้อน และจำนวนของข้อมูลควบคุมมีส่วนสำคัญต่อความถูกต้องแม่นยำของผลการทำนาย

2.4.2.2 การวัดคุณภาพการให้บริการ (QoS Measurement)

Errin [17] เสนอวิธีการจัดสรรแบนด์วิดท์แบบเปลี่ยนแปลงได้ โดยการวัดอัตราการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลในขณะนั้น เทียบกับค่าอัตราการสูญหายแพ็กเกตข้อมูลที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ ถ้าอัตราการสูญหายที่เกิดขึ้นในขณะนั้นมากกว่าอัตราการสูญหายที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ ระบบเครือข่ายจะทำการเพิ่มปริมาณแบนด์วิดท์ให้แก่ทราฟฟิก ในทางตรงกันข้ามถ้าอัตราการสูญหายที่เกิดขึ้นในขณะนั้นน้อยกว่าอัตราการสูญหายที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ ระบบอาจจะลดปริมาณแบนด์วิดท์ของทราฟฟิกนั้นลง เพื่อนำแบนด์วิดท์ที่ไม่ถูกใช้งานไปให้บริการแก่ผู้ใช้รายอื่น ๆ ได้ ด้วยหลักการนี้ทำให้ระบบเครือข่ายมีประสิทธิภาพการใช้งานสูงขึ้น สำหรับหลักการของ Errin แสดงได้ดังต่อไปนี้

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + \frac{K}{\tau} \times \ln \frac{P_n}{Q_l} \tag{2.33}$$

เมื่อ P_n คืออัตราการสูญหายของแพ็กเกตในช่วงเวลาลำดับที่ n

Q_l คืออัตราการสูญหายของแพ็กเกตที่ผู้ใช้ยอมรับได้

α_n คืออัตราการสำรองแบนด์วิดท์ ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

α_{n+1} คืออัตราการสำรองแบนด์วิดท์สำหรับช่วงเวลาถัดไป มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

K คือค่าคงที่ ใช้ขยายผลของอัตราความคลาดเคลื่อน มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

$$\tau = \begin{cases} 1 & if \quad P_n > Q_l \\ 2 & if \quad P_n \le Q_l \end{cases}$$

$$P_n = \frac{L_n}{A_n} \tag{2.34}$$

เมื่อ A_n คือจำนวนของแพ็กเกตที่มาถึงในช่วงเวลาลำดับที่ n มีหน่วยเป็นแพ็กเกต

L_n คือจำนวนของแพ็กเกตที่สูญหายไปในช่วงเวลาลำดับที่ n มีหน่วยเป็นแพ็กเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์

3.1 บทนำ

ในการสื่อสารมัลติมีเดียที่มีการกำหนดเวลาโต้ตอบ (Real-time Multimedia) เช่น การประชุมภาพทางโทรศัพท์ (Video Conference) ทราฟฟิกจะมีความเร็วการนำส่งที่ไม่แน่นอน (Variable Bit Rate: VBR) และไม่สามารถคาดเดาลักษณะทราฟฟิกได้ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการจัดการแบนด์วิดธ์เพื่อจัดสรรแบนด์วิดธ์ให้แต่ละทราฟฟิกด้วยปริมาณที่เหมาะสม และสอดคล้องกับลักษณะของทราฟฟิกจริงมากที่สุด เพื่อทำให้ระบบเครือข่ายเกิดการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยที่ยังสามารถรักษาคุณภาพการให้บริการแก่ทราฟฟิกในเครือข่าย เช่น การรับประกันอัตราการสูญหายของข้อมูล การรับประกันเวลาหน่วงในการส่งข้อมูล เป็นต้น

ในปัจจุบันสำหรับทราฟฟิกแบบ VBR ระบบจะสำรองแบนด์วิดธ์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุด จึงไม่เกิดการสูญหายของข้อมูลเลย แต่เนื่องจากความไม่คงที่ของทราฟฟิกทำให้มีแบนด์วิดธ์จำนวนมากที่ไม่ถูกใช้งานในระหว่างการเชื่อมต่อ ในทางตรงกันข้ามถ้าทราฟฟิกแบบ VBR สำรองแบนด์วิดธ์ด้วยอัตราที่ต่ำกว่าอัตราการส่งข้อมูลสูงสุด อาจจะทำให้เกิดการสูญหายของข้อมูลได้ อย่างไรก็ตามการใช้งานต่างรูปแบบก็ต้องการคุณภาพการให้บริการที่แตกต่างกัน เช่น การส่งแฟ้มข้อมูลต้องการการรับประกันการสูญหายของข้อมูลแต่ไม่สนใจเรื่องของเวลาหน่วงเลย ในขณะที่การสื่อสารด้วยเสียงต้องการการนำส่งที่รวดเร็วและยอมรับการสูญหายของข้อมูลได้บ้าง แต่สำหรับการประชุมทางโทรศัพท์นั้นต้องการการรับประกันทั้งอัตราการสูญหายของข้อมูล และเวลาหน่วงของการนำส่งข้อมูลด้วย ซึ่งเป็นเรื่องที่ท้าทายมากสำหรับการจัดการทรัพยากรเครือข่าย จึงจำเป็นต้องหาวิธีการจัดการที่เหมาะสมที่ทำให้ระบบเครือข่ายสามารถรับประกันคุณภาพการให้บริการ รวมถึงสามารถรองรับผู้ใช้จำนวนมาก ๆ ได้ในเวลาเดียวกัน ดังนั้นการประมาณค่าอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์เพื่อใช้สำรองแบนด์วิดธ์ในกระบวนการจัดตั้งเส้นทางจึงเป็นสิ่งที่สำคัญในกระบวนการร้องขอทรัพยากรเครือข่ายเพื่อจัดตั้งเส้นทาง และการควบคุมความหนาแน่นของทราฟฟิกในระบบเครือข่าย (Congestion Control) มีบทความวิจัยจำนวนมากที่กล่าวถึงการประมาณค่าอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ให้สอดคล้องกับอัตราการส่งข้อมูลจริง เช่น Gibbens [11] Courcoubetis [12] Guerin [13] และ Mark [14] ต่างก็เสนอวิธีการคำนวณค่าอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์จากแบบจำลองแหล่งกำเนิดข้อมูลแบบเปิด-ปิด ซึ่งวิธีการทั้งหมดดังกล่าวล้วนแต่คำนึงถึงเฉพาะการรับประกันอัตราการสูญหายของข้อมูลโดยไม่มีการคำนึงถึงเวลาหน่วงในการส่งข้อมูลเลย ซึ่งสำหรับการใช้งานแบบ rt-VBR นั้นมีการกำหนดเวลาโต้ตอบ ดังนั้นเครือข่ายจะต้องรับประกันคุณภาพการบริการในเรื่องของเวลาหน่วงของการนำส่งข้อมูลด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการคำนวณค่าอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์สำหรับทราฟฟิกแบบ rt-VBR ให้สอดคล้องกับลักษณะของทราฟฟิกจริง โดยพิจารณาจากคุณลักษณะทราฟฟิก อัตราการสูญหายของข้อมูล และค่าเวลาหน่วงที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ ซึ่งวิธีการที่นำเสนอนี้เป็นการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน จึงง่ายต่อการนำไปใช้งานจริงสำหรับการใช้งานแบบ rt-VBR โดยจะทำการวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรที่เกี่ยวข้องด้วย

3.2 การคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบตายตัว (Static Bandwidth Allocation)

สำหรับทราฟฟิกแบบ rt-VBR นั้น โดยทั่วไปแบบจำลองแหล่งจ่ายที่นำมาใช้คือแบบจำลองแบบเปิด-ปิด (ON/OFF model based on the fluid flow method) [2] [6] [7] [8] ซึ่งแหล่งจ่ายจะมี 2 สถานะคือสถานะเปิดและสถานะปิด โดยที่สถานะเปิดจะมีการจ่ายทราฟฟิกข้อมูลออกมาด้วยอัตราความเร็วสูงสุดซึ่งมีค่าคงที่ และในสถานะปิดจะไม่มีการจ่ายข้อมูล แหล่งจ่ายจะทำงานสลับกันไประหว่างสภาวะทั้งสอง โดยมีความสัมพันธ์เป็นแบบเอ็กโพเน็นเชียน สำหรับแบบจำลองแหล่งจ่ายแบบเปิด-ปิด (รูปที่ 2.9) จะได้ฟังก์ชั่นการกระจายของความยาวคิวในบัฟเฟอร์ดังนี้ [16]

$$F(x) = 1 - e^{z_0 x} \tag{3.1}$$

เมื่อ

$$z_0 = \frac{(\lambda+\mu)\alpha - \lambda\gamma}{(\alpha-\gamma)\alpha} \tag{3.2}$$

โดยที่ $1/\lambda$ คือช่วงเวลาปิดเฉลี่ย มีหน่วยเป็น วินาที

$1/\mu$ คือช่วงเวลาเปิดเฉลี่ย มีหน่วยเป็น วินาที

γ คืออัตราความเร็วสูงสุดเมื่อแหล่งจ่ายเปิด มีค่าคงที่ มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

α คืออัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ที่ใช้ในเครือข่าย มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

ดังนั้นจะได้ค่าอัตราการส่งเฉลี่ยของทราฟฟิก i คือ

$$MeanRate_i = \frac{\lambda_i \gamma_i}{\lambda_i + \mu_i} \tag{3.3}$$

เมื่อ i คือเลขลำดับทราฟฟิก $i = [1,2,3,..., N]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของกลุ่มข้อมูลสูงสุด (Maximum Burst Size: MBS) และขนาดของกลุ่มข้อมูลเฉลี่ย (Average Burst Size: ABS) แสดงได้ดังสมการ (3.4) และ (3.5) ตามลำดับ

$$MBS_i = \left(\frac{\gamma_i}{\mu_i}\right)\left(\frac{\lambda_i + \mu_i}{\mu_i}\right) \tag{3.4}$$

$$ABS_i = \frac{\gamma_i}{\mu_i} \tag{3.5}$$

จะพบว่า MBS ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาเปิด ปิด และอัตราการส่งข้อมูลในช่วงเวลาเปิด แต่สำหรับ ABS จะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาเปิด อัตราการส่งข้อมูลในช่วงเวลาเปิดเท่านั้น

3.2.1 การรับประกันการสูญหายของแพ็กเกต (Packet Loss Guarantee)

จากฟังก์ชั่นการกระจายตัวของความยาวคิว (สมการ 3.1) เมื่อกำหนดให้บัฟเฟอร์มีขนาดเท่ากับ B ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะเกิดการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูล (Packet Loss Probability: PLP) คือความน่าจะเป็นที่ความยาวคิวมีค่ามากกว่าขนาดบัฟเฟอร์ แสดงได้ดังสมการ (3.6)

$$P(queue_length \geq B) \approx e^{z_0 B} \tag{3.6}$$

ถ้าความยาวคิวมากกว่าขนาดบัฟเฟอร์จะทำให้แพ็กเกตล้นบัฟเฟอร์ และเกิดการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูล ดังนั้นสำหรับการรับประกันอัตราการสูญหายของข้อมูล ความน่าจะเป็นที่ความยาวคิวมากกว่าบัฟเฟอร์จะต้องมีค่าน้อยกว่าอัตราการสูญหายข้อมูลที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้

$$P(queue_length > B) \leq PLP \tag{3.7}$$

จากสมการ (3.6) และ (3.7) จะได้ความสัมพันธ์ของความน่าจะเป็นที่จะเกิดการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลดังสมการ (3.8)

$$PLP = e^{z_0 B} \tag{3.8}$$

$$z_0 = \frac{\ln PLP}{B} \tag{3.9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (3.2) และ (3.9) Gibbens และ Hunt [11] ได้เสนอวิธีการคำนวณค่าอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ที่เหมาะสมสำหรับแหล่งจ่ายข้อมูลที่ใช้แบบจำลองแหล่งจ่ายแบบเปิด-ปิด ที่มีฟังก์ชั่นการกระจายของช่างเวลาเปิด-ปิด เป็นแบบเอ็กโพเน็นเชียน ดังสมการ (3.10)

$$\alpha_{Gibbens\&Hunt} = \frac{(z_0\gamma + \mu + \lambda) - \sqrt{(z_0\gamma + \mu - \lambda)^2 + 4\lambda\mu}}{2z_0} \tag{3.10}$$

เมื่อ

$$z_0 \in [-\infty, 0] \tag{3.11}$$

พิจารณาสมการของ Gibbens และ Hunt จะพบว่า เมื่อบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่จะทำให้ $z_0 \to 0$ และค่าปริมาณแบนด์วิดธ์ที่เหมาะสม α จะมีค่าเท่ากับอัตราความเร็วเฉลี่ยของแหล่งจ่าย $\frac{\lambda\gamma}{\lambda+\mu}$ สำหรับบัฟเฟอร์ขนาดเล็กจะทำให้ $z_0 \to -\infty$ และจะได้ค่าปริมาณแบนด์วิดธ์ที่เหมาะสมเท่ากับอัตราความเร็วข้อมูลสูงสุดของแหล่งจ่าย γ

Courcoubetis [12] นำเอาสมการของ Gibbens และ Hunt มาประยุกต์ใช้ ได้สมการของการประมาณค่าอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์สำหรับทราฟฟิกแบบ VBR คือ

$$\alpha_{\text{Courcoubetis}} = \frac{\lambda\gamma}{\lambda+\mu} - \frac{z_0\lambda\mu\gamma^2}{(\lambda+\mu)^3} \tag{3.12}$$

สำหรับแหล่งจ่ายทราฟฟิกแบบเปิด-ปิด ที่มีการบอกคุณลักษณะทราฟฟิกด้วยค่าอัตราการส่งต่าง ๆ ได้แก่ อัตราความเร็วสูงสุด (Peak Rate) อัตราความเร็วเฉลี่ย (Mean Rate) ขนาดของกลุ่มข้อมูล (Burst Size) สามารถนำมาแปลงเป็นตัวแปรเพื่อใช้กับสมการข้างต้นได้ดังสมการ (2.26) (2.27) และ (2.28)

จะเห็นได้ว่าการคำนวณปริมาณแบนด์วิดธ์ที่เหมาะสมด้วยสมการของ Gibbens และ Hunt และสมการของ Courcoubetis เป็นการคำนวณที่ง่ายและไม่ซับซ้อน และ [1] แสดงให้เห็นว่าวิธีของ Courcoubetis ให้ค่ามัลติเพล็กซิ่งเกนแก่ระบบเครือข่ายดีกว่าวิธีของ Gibbens และ Hunt แต่ทั้งสองวิธีข้างต้นนั้นคำนึงถึงเฉพาะการรับประกันอัตราการสูญหายของข้อมูล โดยไม่มีการพิจารณาถึงเวลาหน่วงของการส่งข้อมูลเลย จึงเหมาะกับการส่งแบบ nrt-VBR เท่านั้น ส่วนการส่งแบบ rt-VBR ซึ่งมีการกำหนดเวลาโต้ตอบ จะต้องคำนึงถึงเวลาหน่วงของการส่งข้อมูลด้วย ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ที่เหมาะสมสำหรับทราฟฟิกแบบ rt-VBR โดยปริมาณแบนด์วิดธ์ที่คำนวณได้ จะให้การรับประกันคุณภาพการบริการทั้งอัตราการสูญหายและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาหน่วงในการนำส่งข้อมูล โดยที่ยังคงคำนึงถึงประสิทธิภาพการใช้งานแบนด์วิดธ์ในระบบเครือข่ายด้วย

3.2.2 การรับประกันเวลาหน่วงในการส่งแพ็กเก็ต (Delay Guarantee)

ในระบบเครือข่ายสื่อสารข้อมูล เวลาหน่วง (Delay) ในการนำส่งจากต้นทางไปยังปลายทางเกิดจากหลายส่วน ดังต่อไปนี้

- เวลาหน่วงจากการถ่ายโอนข้อมูลจากผู้ส่งสู่สื่อส่งสัญญาณ (Transmission delay: D_T)
- เวลาหน่วงจากการเดินทางบนสื่อสัญญาณ (Propagation delay: D_P)
- เวลาหน่วงจากการประมวลผลข้อมูล (Processing delay: D_C)
- เวลาหน่วงจากการรอคิวในบัฟเฟอร์ (Queue delay: D_Q)

จะเห็นว่าเวลาหน่วงสามเทอมแรกมีค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของระบบเครือข่ายนั้น ๆ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าเวลาหน่วงของการนำส่งข้อมูลในเครือข่ายจึงขึ้นอยู่กับเวลาหน่วงจากการรอคิวในบัฟเฟอร์

เมื่อกำหนดให้ $D_{\max}$ คือค่าเวลาหน่วงมากที่สุดที่ผู้ใช้ยอมรับได้ มีหน่วยเป็นวินาที จะได้ความสัมพันธ์ของเวลาหน่วงในระบบเครือข่ายดังนี้

$$D_{\max} \geq D_T + D_C + D_P + D_Q \tag{3.13}$$

จากสมการฟังก์ชั่นการกระจายของความยาวคิวในบัฟเฟอร์ (สมการ 3.1) นำมาพิจารณาในเทอมของเวลาหน่วงเฉลี่ย เมื่อกำหนดให้บัฟเฟอร์เท่ากับ B จะได้ [15]

$$D_{\bar{Q}}\gamma\frac{\lambda}{\lambda+\mu}z_0 + (z_0B-1)e^{z_0B} + 1 = 0 \tag{3.14}$$

โดยทั่วไป $PLP < 10^{-2}$ จะได้ $(z_0B-1)e^{z_0B} < 10^{-2}$ ดังนั้นสมการ (3.14) จะมีค่าประมาณดังสมการ (3.15)

$$D_{\bar{Q}} = -\frac{\lambda+\mu}{\lambda\gamma z_0} \tag{3.15}$$

เมื่อ $D_{\bar{Q}}$ คือค่าเวลาหน่วงเฉลี่ยของการรอคิว มีหน่วยเป็น วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการของ Courcoubetis (สมการ 3.12) เป็นการหาปริมาณแบนด์วิดธ์ที่เหมาะสมสำหรับการรับประกันอัตราการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูล โดยเทอมแรกคืออัตราการส่งทราฟฟิกเฉลี่ย และเทอมที่สองคือปริมาณแบนด์วิดธ์ที่เพิ่มขึ้นเพื่อรับประกันอัตราการสูญหายของข้อมูล ดังนั้นถ้าต้องการค่าปริมาณแบนด์วิดธ์ที่เหมาะสมเพื่อรับประกันเวลาหน่วงในการส่งข้อมูล เทอมที่สองจะต้องเป็นปริมาณทราฟฟิกที่เพิ่มขึ้นเพื่อรับประกันเวลาหน่วงของการนำส่งข้อมูล จากสมการ (3.15) และความสัมพันธ์ของ z_0 จะได้ค่าปริมาณแบนด์วิดธ์ที่เหมาะสมสำหรับการรับประกันเวลาหน่วงดังสมการ (3.16)

$$\alpha_{Delay} = \frac{\lambda\gamma}{\lambda+\mu} + \frac{\mu\gamma}{D_{\bar{Q}}(\lambda+\mu)^2} \tag{3.16}$$

3.2.3 การรับประกันการสูญหายและเวลาหน่วงของแพ็กเกต

จากสมการ (3.12) และ (3.16) เราจะได้ค่าอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ที่รับประกันคุณภาพการให้บริการทั้งอัตราการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลและเวลาหน่วงของการนำส่งคือ

$$\alpha = \frac{\lambda\gamma}{\lambda+\mu} - \frac{z_0\lambda\mu\gamma^2}{(\lambda+\mu)^3} + \frac{\mu\gamma}{D_Q(\lambda+\mu)^2} \tag{3.17}$$

สมการ (3.17) เทอมแรก $\frac{\lambda\gamma}{\lambda+\mu}$ คืออัตราการส่งข้อมูลเฉลี่ย เทอมที่สอง $\frac{z_0\lambda\mu\gamma^2}{(\lambda+\mu)^3}$ คือปริมาณแบนด์วิดธ์ที่เพิ่มขึ้นเพื่อรับประกันการสูญหายของข้อมูล และเทอมที่สาม $\frac{\mu\gamma}{D_{\bar{Q}}(\lambda+\mu)^2}$ คือปริมาณแบนด์วิดธ์ที่เพิ่มขึ้นเพื่อรับประกันเวลาหน่วงในการนำส่งข้อมูล ถ้าเป็นการนำส่งข้อมูลแบบไม่กำหนดเวลาโต้ตอบซึ่งไม่คำนึงถึงเวลาหน่วงของการส่งข้อมูล ($D_{\max} \to \infty$) ทำให้เทอมที่สามมีค่าเป็นศูนย์ นั่นก็คือสมการของ Courcoubetis นั่นเอง นอกจากนี้บางครั้งค่าปริมาณแบนด์วิดธ์ที่เหมาะสมสำหรับการรับประกันการสูญหายของข้อมูล อาจจะสามารถรับประกันเวลาหน่วงในการนำส่งข้อมูลได้ด้วย ดังนั้นเพื่อลดปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ไม่จำเป็น สมการ (3.17) สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\alpha = \frac{\lambda\gamma}{\lambda+\mu} + \max\left(\frac{-z_0\lambda\mu\gamma^2}{(\lambda+\mu)^3}, \frac{\mu\gamma}{D_Q(\lambda+\mu)^2}\right) \tag{3.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (3.18) เป็นการคำนวณค่าปริมาณแบนด์วิดธ์ที่เหมาะสมที่ให้การรับประกันคุณภาพการบริการทั้งอัตราการสูญหายของข้อมูลและเวลาหน่วงในการนำส่งข้อมูล ดังนั้นจึงเหมาะกับการสื่อสารแบบกำหนดเวลาโต้ตอบ และเนื่องจากสมการที่ได้มีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนทำให้ง่ายสำหรับการนำไปใช้งานจริง

3.3 การคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้ (Dynamic Bandwidth Allocation)

การสำรองแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้นี้ ระบบเครือข่ายจะเป็นผู้ทำการจัดสรรอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ใหม่สำหรับทราฟฟิกใด ๆ โดยจะมีการพิจารณาทุก ๆ ช่วงเวลาคงที่ค่าหนึ่ง จากบทที่ 2 ได้กล่าวถึงวิธีการต่าง ๆ ที่มีการศึกษาวิจัยมาแล้ว และในบทนี้ได้นำหลักการของการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบตายตัว และผลการศึกษาวิจัยดังกล่าวมานำเสนอวิธีการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้ โดยวิทยานิพนธ์นี้ทำการพิจารณาจากฟังก์ชั่นความยาวคิวสำหรับแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเปิด-ปิด ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

3.3.1 การรับประกันการสูญหายของแพ็กเกต

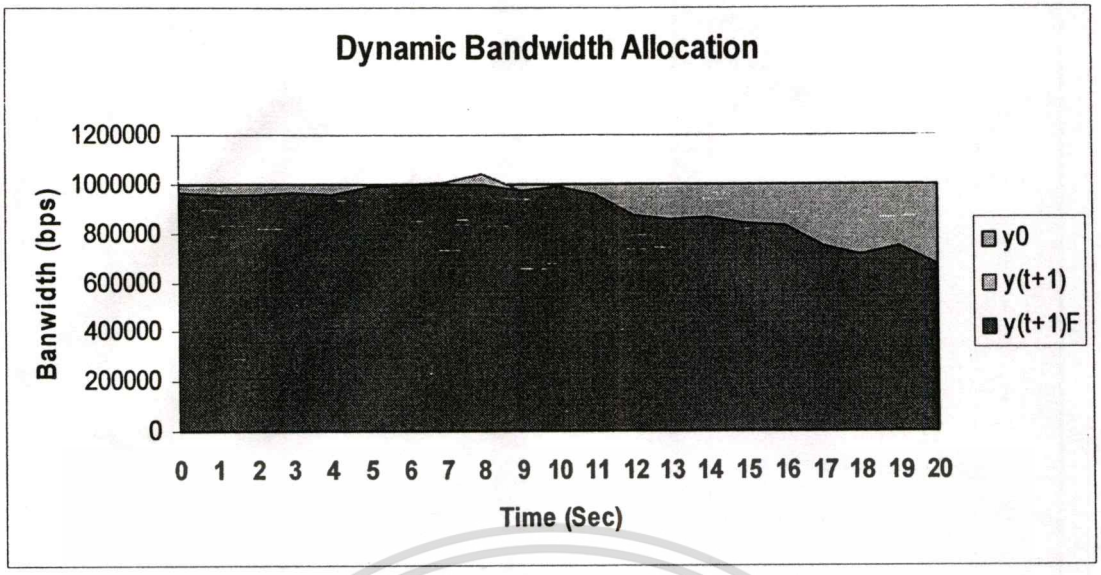
Errin [17] เสนอวิธีการจัดสรรแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้ โดยการวัดอัตราการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลในขณะนั้น เทียบกับค่าอัตราการสูญหายแพ็กเกตข้อมูลที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ ถ้าอัตราการสูญหายที่เกิดขึ้นในขณะนั้นมากกว่าอัตราการสูญหายที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ ระบบเครือข่ายจะทำการเพิ่มปริมาณแบนด์วิดธ์ให้แก่ทราฟฟิก ในทางตรงกันข้ามถ้าอัตราการสูญหายที่เกิดขึ้นในขณะนั้นน้อยกว่าอัตราการสูญหายที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ ระบบอาจจะลดปริมาณแบนด์วิดธ์ของทราฟฟิกนั้นลง เพื่อนำแบนด์วิดธ์ที่ไม่ถูกใช้งานไปให้บริการแก่ผู้ใช้รายอื่น ๆ ได้ ด้วยหลักการนี้ทำให้ระบบเครือข่ายมีประสิทธิภาพการใช้งานสูงขึ้น สำหรับหลักการของ Errin แสดงได้ดังต่อไปนี้

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + \frac{K}{\tau} \times \ln \frac{P_n}{Q_l} \tag{3.19}$$

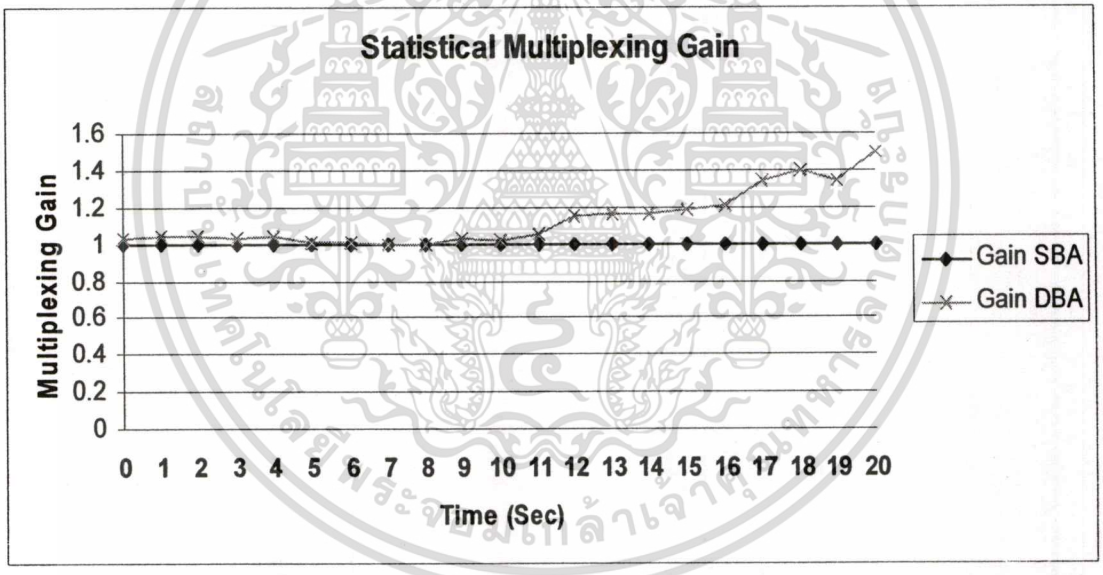
$$\tau = \begin{cases} 1 \ldots if & P_n > Q_l \\ 2 \ldots if & P_n \le Q_l \end{cases} \tag{3.20}$$

$$P_n = \frac{L_n}{A_n} \tag{3.21}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15(ง) กราฟแสดงปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบตายตัว (y0) และปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบเปลี่ยนแปลงได้ (y($t+1$)F)



รูปที่ 4.15(จ) กราฟแสดงมัลติเพล็กซิ่งเกนที่ได้จากการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบตายตัว (SBA) และที่ได้จากการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้ (DBA)

จากการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าการสำรองแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้นี้ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แบนด์วิดธ์ในเครือข่าย โดยสามารถวัดได้จากค่ามัลติเพล็กซิ่งเกนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบเครือข่ายมีการปรับเปลี่ยนปริมาณแบนด์วิดธ์ตามลักษณะของทราฟฟิกและการใช้งานจริง ทำให้ระบบเครือข่ายสามารถนำแบนด์วิดธ์ที่เหลือใช้ไปให้บริการแก่ผู้ใช้รายใหม่ได้ ส่งผลให้สามารถรองรับผู้ใช้ได้มากขึ้นและประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรเครือข่ายเพิ่มขึ้น โดยที่ยังคงรักษาคุณภาพการให้บริการไว้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ P_n คืออัตราการสูญหายของแพ็กเกตในช่วงเวลาลำดับที่ n

Q_l คืออัตราการสูญหายของแพ็กเกตที่ผู้ใช้ยอมรับได้

α_n คืออัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน

α_{n+1} คืออัตราการสำรองแบนด์วิดธ์สำหรับช่วงเวลาถัดไป

K คือค่าคงที่ ใช้ขยายผลของอัตราความคลาดเคลื่อน

A_n คือจำนวนของแพ็กเกตที่มาถึงในช่วงเวลาลำดับที่ n

L_n คือจำนวนของแพ็กเกตที่สูญหายไปในช่วงเวลาลำดับที่ n

เนื่องจากวิธีของ Errin ใช้อัตราการสูญหายของข้อมูลเปรียบเทียบกับอัตราการสูญหายที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ ในการปรับเปลี่ยนปริมาณแบนด์วิดธ์ กรณีที่เกิดการสูญหายมากกว่าอัตราการสูญหายที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ ระบบเครือข่ายจะต้องเพิ่มปริมาณแบนด์วิดธ์ให้แก่ทราฟฟิกเพื่อลดอัตราการสูญหายให้เป็นไปตาม QoS ที่กำหนดไว้ ซึ่งช่วงเวลาที่ระบบเครือข่ายวัดค่าอัตราการสูญหายของแพ็กเกตได้มากกว่าอัตราการสูญหายที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้นี้ แพ็กเกตได้มีการสูญหายไปเรียบร้อยแล้วก่อนที่ระบบเครือข่ายจะมีการปรับเพิ่มปริมาณแบนด์วิดธ์ให้แก่ทราฟฟิก ทำให้อัตราการสูญหายที่เกิดขึ้นจริงมีค่ามากกว่าอัตราการสูญหายที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ ดังนั้นกรณีนี้ระบบเครือข่ายจึงไม่สามารถรับประกันอัตราการสูญหายของแพ็กเกตได้จริง

3.3.2 การรับประกันเวลาหน่วงโดยพิจารณาจากความยาวคิวในบัฟเฟอร์

จากสมการ (3.1) และ (3.2) แสดงฟังก์ชั่นการกระจายตัวของความยาวคิวในบัฟเฟอร์หนึ่งสำหรับแหล่งจ่ายทราฟฟิกแบบเปิด-ปิด ดังนี้

$$F(x) = 1 - e^{z_0 B} \tag{3.22}$$

เมื่อ

$$z_0 = \frac{(\lambda_i + \mu_i)\alpha - \lambda_i \gamma_i}{(\alpha - \gamma_i)\alpha} \tag{3.23}$$

โดย B คือขนาดของบัฟเฟอร์ขาออกของโหนดใด ๆ

เมื่อพิจารณาเรื่องของเวลาหน่วง จะพบว่าเวลาหน่วงของการนำส่งข้อมูลที่เกิดขึ้นในระบบเครือข่ายจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาหน่วงที่เกิดจากการรอคิวในบัฟเฟอร์ เนื่องจากเวลาหน่วงที่เกิดจากปัจจัยอื่นมีค่าคงที่ตามโครงสร้างของระบบเครือข่ายนั้น ถ้ากำหนดให้เส้นทางของทราฟฟิก i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยโหนดต่าง ๆ จำนวน n โหนด ดังนั้นเวลาหน่วงของการรอคิวเฉลี่ยต่อโหนดที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้จะแสดงได้ด้วยสมการที่ (3.25)

$$D_{\bar{Q}} = \frac{D_Q}{n} \tag{3.24}$$

เมื่อ n คือจำนวนโหนดทั้งหมดในเส้นทางของทราฟฟิก i โดยที่ $n = [1,2,3,...,N]$

D_Q คือเวลาหน่วงของการรอคิวตลอดเส้นทางที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ (วินาที)

$D_{\bar{Q}}$ คือเวลาหน่วงเฉลี่ยของการรอคิวในโหนด n ที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ (วินาที)

สมการ (3.16) คือปริมาณแบนด์วิดธ์ที่เหมาะสมสำหรับการรับประกันเวลาหน่วงในการนำส่งข้อมูล ดังนั้นเมื่อผู้ใช้กำหนดค่าเวลาหน่วงที่สามารถยอมรับได้ จะได้ปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ต้องการใช้เพื่อรับประกันเวลาหน่วง คือ

$$\alpha_{Delay} = \frac{\lambda\gamma}{\lambda+\mu} + \frac{\mu\gamma}{D_{\bar{Q}}(\lambda+\mu)^2} \tag{3.25}$$

เมื่อได้ค่าปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ต้องการแล้ว จะใช้ความสัมพันธ์จากสมการการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ของ Courcoubetis เพื่อหาค่าความยาวคิวเฉลี่ยที่ทำให้ระบบเครือข่ายสามารถรับประกันเวลาหน่วงของการนำส่งข้อมูลได้

$$\bar{Q}_D = \frac{\lambda\mu\gamma^2 \ln(PLP)}{(\frac{\lambda\gamma}{\lambda+\mu} - \alpha)\times(\lambda+\mu)^3} \tag{3.26}$$

เมื่อ $\bar{Q}_D$ คือความยาวคิวเฉลี่ยในบัฟเฟอร์ ที่ทำให้ระบบเครือข่ายสามารถรับประกันเวลาหน่วงและอัตราการสูญหายของการนำส่งข้อมูลได้ มีหน่วยเป็นบิต

นั่นคือสำหรับบัฟเฟอร์ใด ๆ เมื่อความยาวคิวที่เกิดขึ้นจริงมีค่ามากกว่าความยาวคิวเฉลี่ยที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ อาจจะทำให้เวลาหน่วงรวมของทราฟฟิก มีค่าเกินกว่าค่าที่ผู้ใช้กำหนด ดังนั้นถ้าเกิดเหตุการณ์นี้ขึ้น ระบบเครือข่ายจะต้องเพิ่มปริมาณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ให้แก่ทราฟฟิกนั้น เพื่อทำให้ความยาวคิวในบัฟเฟอร์ลดลง หลักการดังกล่าวสามารถสรุปเป็นวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณค่าอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้ (Dynamic Allocation Algorithm) ดังสมการ (3.27)

$$\alpha_{t+1} = \alpha_t + K \times \ln \frac{Q_t}{\overline{Q}_D} \tag{3.27}$$

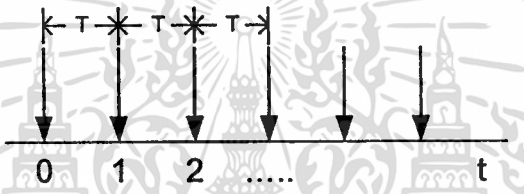
เมื่อ α_{t+1} คืออัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ที่เหมาะสมสำหรับช่วงเวลาถัดไป (บิตต่อวินาที)

α_t คืออัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ในช่วงเวลาปัจจุบัน (บิตต่อวินาที)

Q_t คือความยาวคิวที่ ณ เวลาปัจจุบัน (บิต)

K คือค่าคงที่ ใช้ขยายผลของอัตราความคลาดเคลื่อน (บิตต่อวินาที)

$\overline{Q}_D$ คือความยาวคิวเฉลี่ยในบัฟเฟอร์ สำหรับการรับประกัน QoS (บิต)



รูปที่ 3.1 แสดงคาบเวลาการพิจารณาอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้

สำหรับความยาวคิวที่ ณ เวลาเริ่มต้น $\alpha_{t=0}$ สามารถหาได้จากวิธีคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.3 ดังนั้นอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ที่เวลาใด ๆ α_t จะต้องมีค่าน้อยกว่าอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ ณ เวลาเริ่มต้น เนื่องจาก $\alpha_{t=0}$ เป็นอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์คงที่ที่สามารถรับประกันคุณภาพการบริการทั้งอัตราการสูญหายและเวลาหน่วงของการนำส่งข้อมูล แต่สำหรับการสำรองแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แบนด์วิดธ์ เนื่องจากอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์มีความสอดคล้องกับทราฟฟิกจริงมากขึ้น

สมการ (3.27) เมื่อความยาวคิวที่เวลาปัจจุบัน t มีค่ามากกว่าค่าความยาวคิวมากที่สุดที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ $\overline{Q}_D$ นั่นคือเกิด Bursty ในบัฟเฟอร์นั้น ระบบเครือข่ายจะต้องทำการเพิ่มอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์เพื่อเร่งให้แพ็กเก็ตถูกส่งออกมาจากบัฟเฟอร์โดยเร็ว มิเช่นนั้นแพ็กเก็ตอาจจะล้นบัฟเฟอร์และทำให้เกิดการสูญหายของข้อมูลเกิดขึ้นได้ ในทางตรงกันข้ามถ้าความยาวคิวที่เวลา t มีค่าน้อยกว่า $\overline{Q}_D$ นั่นแสดงว่ามีการใช้งานแบนด์วิดธ์น้อยกว่าที่ทำการสำรองไว้กับระบบเครือข่าย ดังนั้นระบบเครือข่ายจะทำการลดอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ลงตามอัตราความแตกต่างนั้นเพื่อปรับให้สอดคล้องกับอัตราการใช้งานจริงมากที่สุด ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรัพยากรเครือข่าย และทำให้ระบบเครือข่ายสามารถรองรับผู้ใช้ได้จำนวนมากขึ้นด้วย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือเป็นการเพิ่มค่ามัลติเพล็กซิ่งเกนให้กับระบบเครือข่ายนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การคำนวณค่าปริมาณแบนด์วิดธ์ที่เหมาะสมสำหรับทราฟฟิก แบบ rt-VBR

1. การคำนวณแบนด์วิดธ์แบบตายตัว (Static Bandwidth Allocation)
2. การคำนวณแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้ (Dynamic Bandwidth Allocation)

4.1 การคำนวณแบนด์วิดธ์แบบตายตัว

4.1.1 การทดลอง

ในส่วนนี้ได้ทำการจำลองโดยใช้ฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ ด้วยโปรแกรม MATLAB ทำการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบต่าง ๆ ได้แก่ การสำรองแบนด์วิดธ์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุดของทราฟฟิก ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและมีการใช้งานมากที่สุดในปัจจุบัน การสำรองแบนด์วิดธ์ด้วยปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากวิธีการของ Gibbens & Hunt การสำรองแบนด์วิดธ์ด้วยปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากวิธีการของ Courcoubetis และการสำรองแบนด์วิดธ์ด้วยปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

สำหรับฟังก์ชั่นที่ใช้ในการทดลอง สรุปได้ทั้งหมด 4 สมการ ดังต่อไปนี้

1) สมการของ Gibbens และ Hunt

$$\alpha_{Gibbens\&Hunt} = \frac{(z_0\gamma + \mu + \lambda) - \sqrt{(z_0\gamma + \mu - \lambda)^2 + 4\lambda\mu}}{2z_0} \tag{4.1}$$

2) สมการของ Courcoubetis

$$\alpha_{Courcoubetis} = \frac{\lambda\gamma}{\lambda+\mu} - \frac{z_0\lambda\mu\gamma^2}{(\lambda+\mu)^3} \tag{4.2}$$

3) สมการของที่พิจารณาการรับประกันเวลาหน่วง

$$\alpha_{Delay} = \frac{\lambda\gamma}{\lambda+\mu} + \frac{\mu\gamma}{D_{\bar{Q}}(\lambda+\mu)^2} \tag{4.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) สมการที่พิจารณาการรับประกันอัตราการสูญหายและเวลาหน่วง

$$\alpha = \frac{\lambda\gamma}{\lambda+\mu} + \max\left(\frac{-z_0\lambda\mu\gamma^2}{(\lambda+\mu)^3}, \frac{\mu\gamma}{D_Q(\lambda+\mu)^2}\right) \quad (4.4)$$

ในการทดลอง กำหนดให้ใช้แบบจำลองแหล่งจ่ายแบบเปิด-ปิด ที่มีความสัมพันธ์ของช่วงเวลาเปิด-ปิด เป็นแบบเอ็กโพเน็นเชียน และ 1 แพ็กเกตมีความยาวเท่ากับ 424 บิต หรือ 53 ไบท์ (แพ็กเกต เอ ที เอ็ม) อัตราทราฟฟิกที่ใช้ในการทดลองอ้างอิงสำหรับเครือข่ายแกนหลัก (Backbone Network) ในการส่งข้อมูลแบบดิจิตอล ซึ่งเป็นเครือข่ายขนาดใหญ่และมีปริมาณทราฟฟิกไหลเวียนสูง [1] โดยพิจารณาเป็น 1 ทราฟฟิกใหญ่ ซึ่งเกิดจากการรวมหลาย ๆ ทราฟฟิกเข้าด้วยกัน (Multiplexed traffic) และมีการกำหนดค่าคุณลักษณะทราฟฟิกของทราฟฟิกลำดับที่ i ดังนี้

$PeakRate_i$ อัตราความเร็วสูงสุด 100 เมกกะบิตต่อวินาที

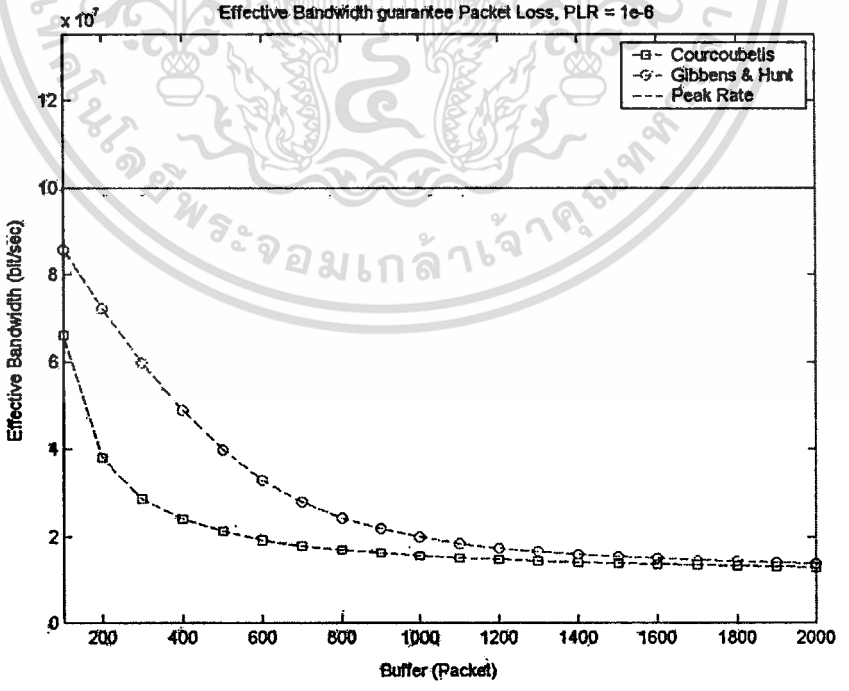
$MeanRate_i$ อัตราความเร็วเฉลี่ย 10 เมกกะบิตต่อวินาที

$AverageBurstSite_i$ ขนาดกลุ่มแพ็กเกตเฉลี่ย 10 แพ็กเกต หรือ 4240 บิต

$PacketLosRatio_i$ อัตราการสูญหายแพ็กเกตที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ 1e-6

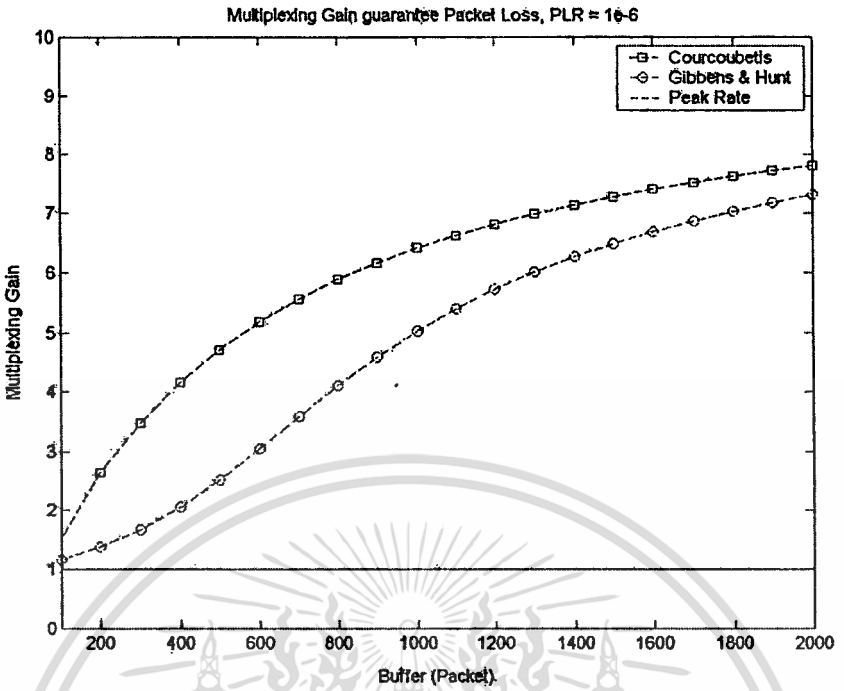
$AcceptableQueuingDelay_i$ เวลาหน่วงมากที่สุดของการรอคิวที่ผู้ใช้ยอมรับได้ 1 μs

4.1.1 ผลการทดลอง

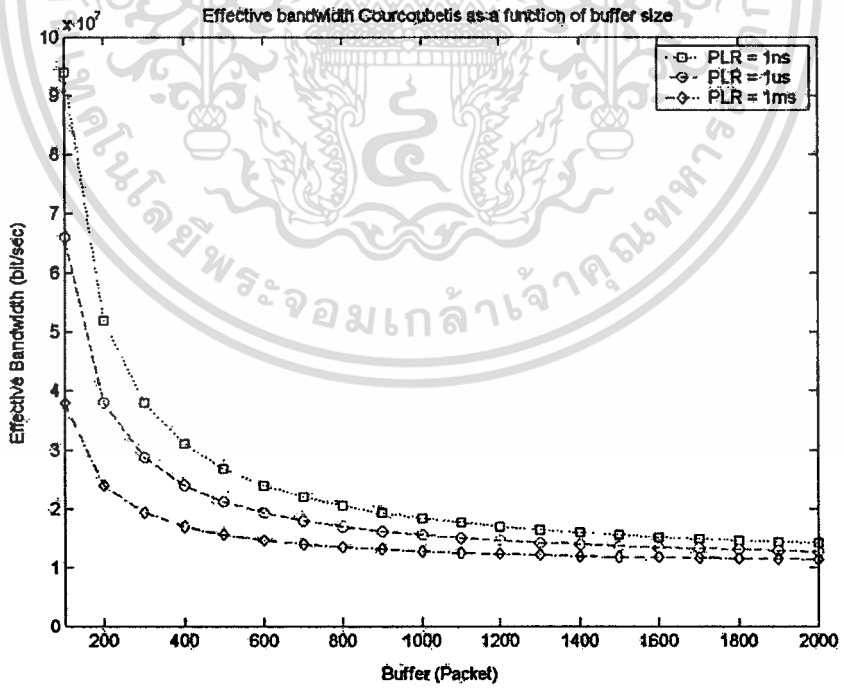


รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบการสำรองแบนด์วิดธ์ด้วยอัตราการส่งข้อมูลสูงสุด วิธีการของ Gibbens&Hunt (สมการ 4.1) และวิธีการของ Courcoubetis (สมการ 4.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

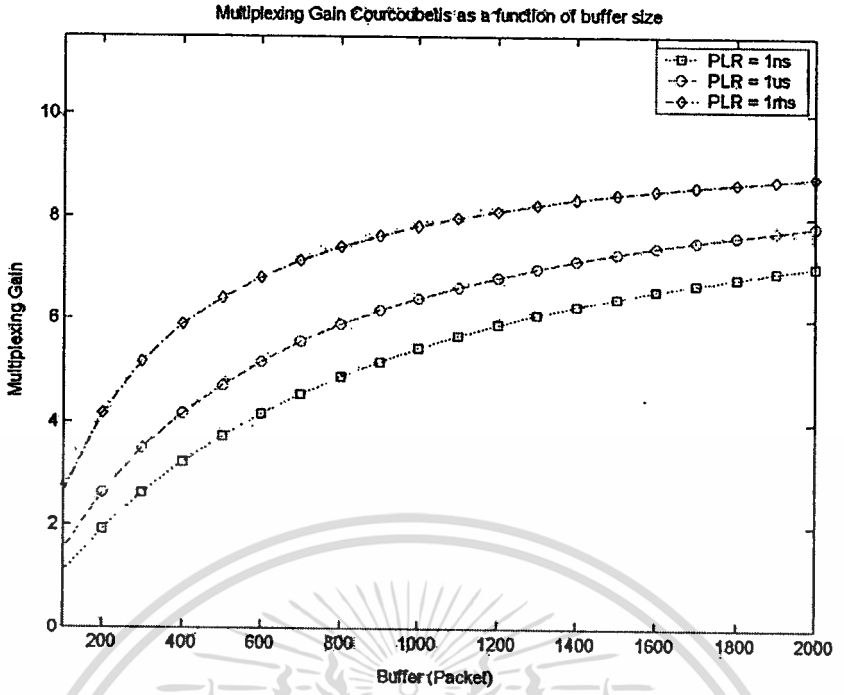


รูปที่ 4.2 มัลติเพล็กซิ่งเกนที่ได้จากการสำรองแบนด์วิดธ์ด้วยอัตราการส่งข้อมูลสูงสุด วิธีการของ Gibbens&Hunt (สมการ 4.1) และวิธีการของ Courcoubetis (สมการ 4.2)

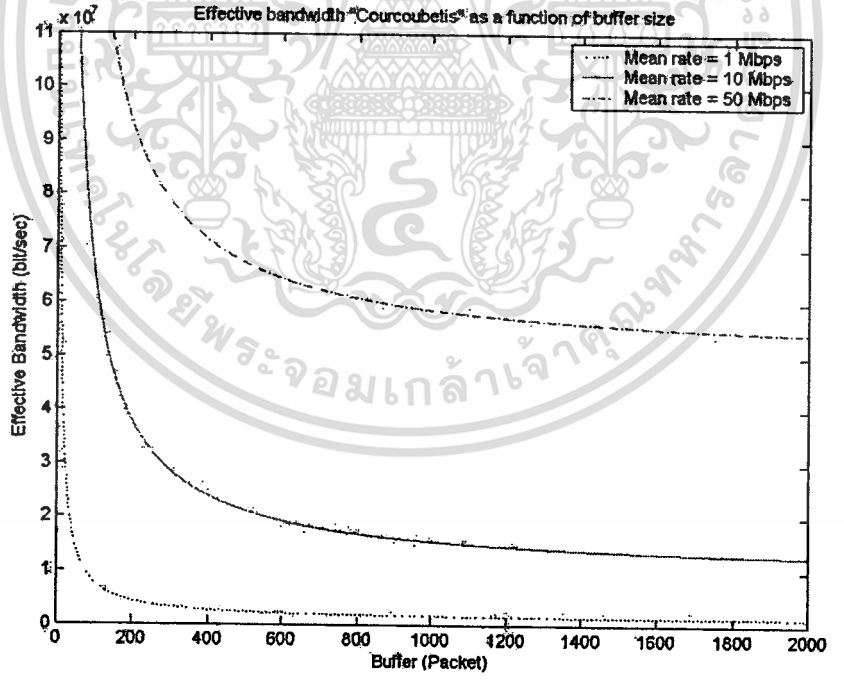


รูปที่ 4.3 อัตราการสำรองแบนด์วิดธ์จากวิธีของ Courcoubetis (สมการ 4.2) เมื่ออัตราการสูญหายของข้อมูลที่ผู้ใช้ยอมรับได้มีค่าต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

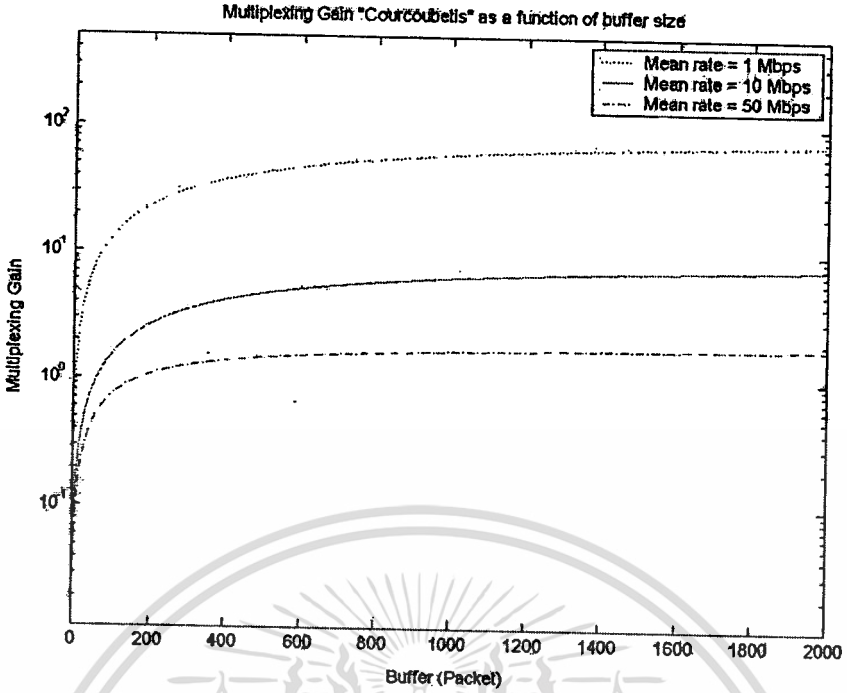


รูปที่ 4.4 มัลติเพล็กซิ่งเกนจากอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ของ Courcoubetis (สมการ 4.2) เมื่ออัตราการสูญหายของข้อมูลที่ผู้ใช้ยอมรับได้มีค่าต่างกัน

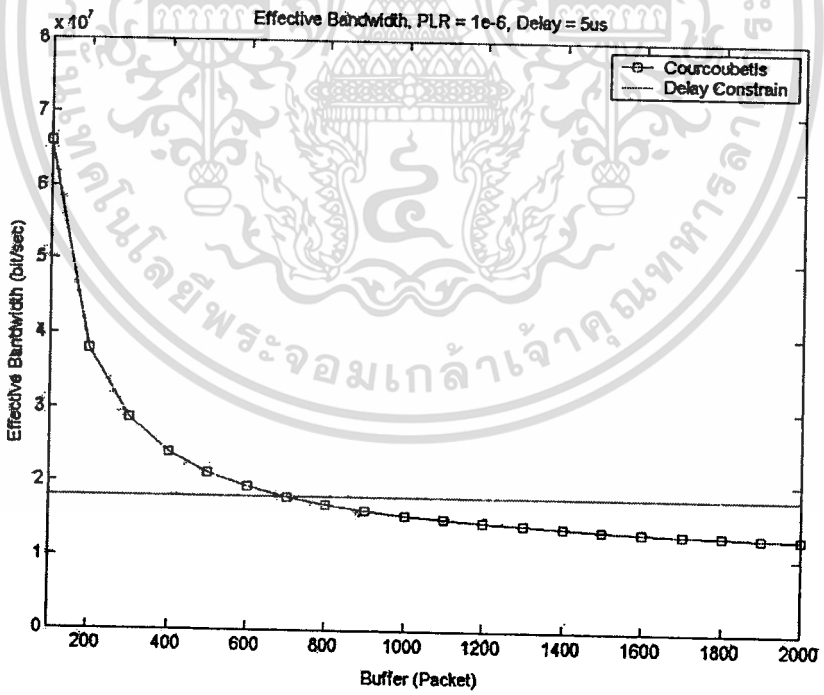


รูปที่ 4.5 อัตราการสำรองแบนด์วิดธ์จากวิธีของ Courcoubetis (สมการ 4.2) เมื่ออัตราความเร็วเฉลี่ยของทราฟฟิกมีค่าต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

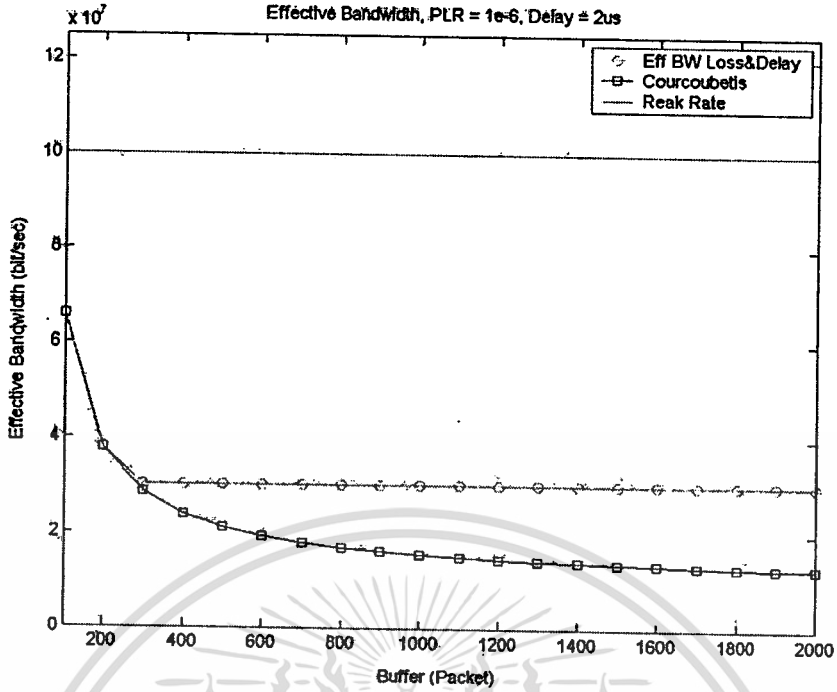


รูปที่ 4.6 มัลติเพล็กซิ่งเกนจากอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ของ Courcoubetis (สมการ 4.2) เมื่ออัตราความเร็วเฉลี่ยของทราฟฟิกมีค่าต่างกัน

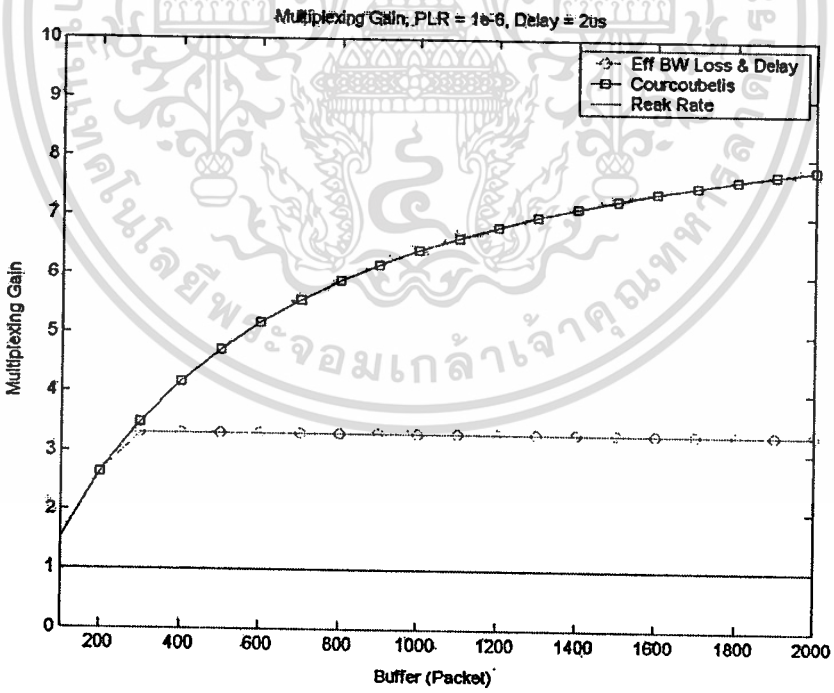


รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบการสำรองแบนด์วิดธ์ด้วยวิธีของ Courcoubetis (สมการ 4.2) และวิธีพิจารณาจากเวลาหน่วงเพียงอย่างเดียว (สมการ 4.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

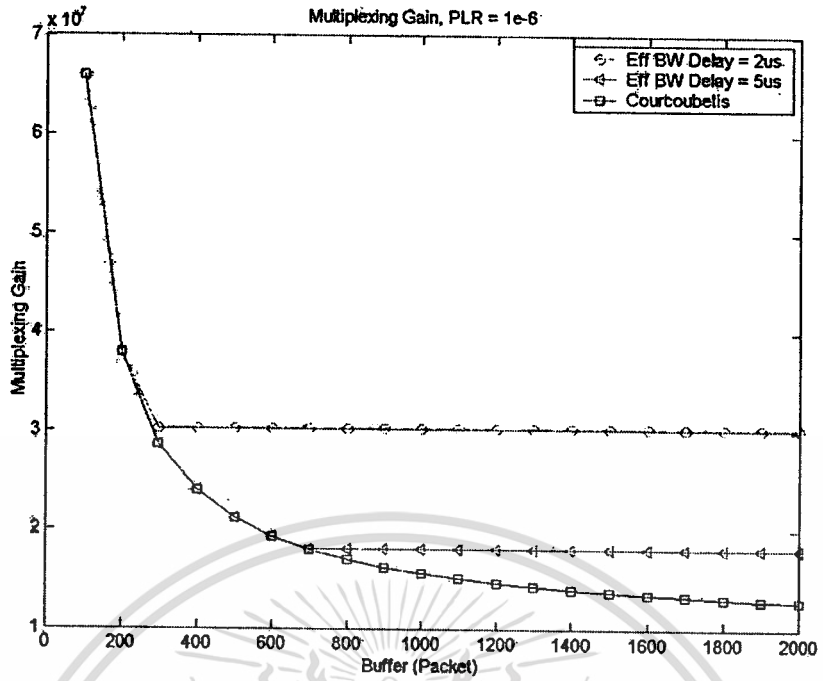


รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบการสำรองแบนด์วิดธ์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุด วิธีของ Courcoubetis (สมการ 4.2) และวิธีที่พิจารณาจากเวลาหน่วงและอัตราสูญหายของแพ็กเกต (สมการ 4.4)

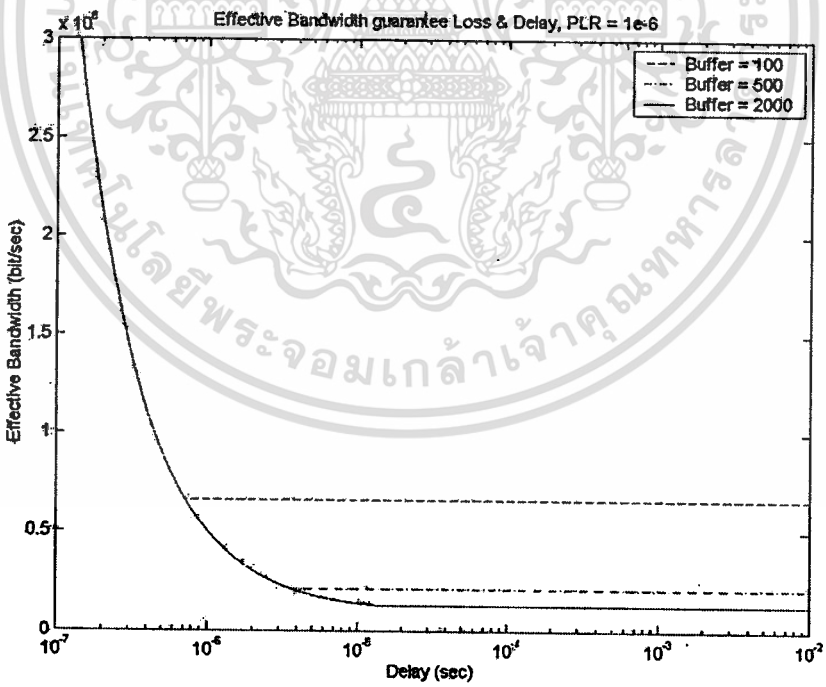


รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบมัลติเพล็กซิ่งเกนระหว่างการสำรองแบนด์วิดธ์ด้วยอัตราความเร็วสูงสุด วิธีของ Courcoubetis (สมการ 4.2) และวิธีพิจารณาจากเวลาหน่วงและอัตราสูญหายของแพ็กเกต (สมการ 4.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 อัตราการสำรองแบนด์วิดธ์จากวิธีพิจารณาจากเวลาหน่วงและอัตราสูญหายของแพ็กเกต (สมการ 4.4) เมื่อเวลาหน่วงที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้มีค่าเข้มงวดมากขึ้น



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์จากวิธีพิจารณาจากเวลาหน่วงและอัตราสูญหายของแพ็กเกต (สมการ 4.4) เมื่อขนาดของบัฟเฟอร์แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองข้างต้น รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบปริมาณแบนด์วิดธ์เมื่อทำการสำรองแบนด์วิดธ์ด้วยอัตราการส่งข้อมูลสูงสุด การสำรองแบนด์วิดธ์ด้วยวิธีการของ Gibbend และ Hunt และการสำรองแบนด์วิดธ์ด้วยวิธีการของ Courcoubetis พบว่าเมื่อกำหนดให้ตัวแปรทราฟฟิกต่าง ๆ และความต้องการคุณภาพการบริการ (QoS) เท่ากัน วิธีการของ Courcoubetis ให้ปริมาณแบนด์วิดธ์ที่น้อยกว่าสองวิธีแรก ซึ่งทำให้ระบบเครือข่ายได้รับค่ามัลติเพล็กซิ่งเกนสูงกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4.2

รูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงปริมาณแบนด์วิดธ์ด้วยวิธีการสำรองแบนด์วิดธ์ของ Courcoubetis เมื่ออัตราการสูญหายของข้อมูลที่ผู้ใช้ยอมรับได้และอัตราความเร็วเฉลี่ยมีค่าแตกต่างกัน พบว่าเมื่ออัตราการสูญหายของข้อมูลมีค่าเข้มงวดขึ้นหรืออัตราความเร็วเฉลี่ยสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ต้องการใช้มีค่าสูงขึ้นด้วยเพื่อให้ระบบเครือข่ายสามารถรับประกันคุณภาพการบริการได้ตามที่ผู้ใช้ต้องการ ซึ่งส่งผลให้มัลติเพล็กซิ่งเกนมีค่าลดลงดังรูป 4.4 และ 4.6 ตามลำดับ

รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบปริมาณแบนด์วิดธ์ระหว่างวิธีการสำรองแบนด์วิดธ์ของ Courcoubetis ซึ่งพิจารณาจากอัตราการสูญหายของแพ็กเกตเพียงอย่างเดียว และวิธีพิจารณาจากเวลาหน่วงเพียงอย่างเดียว พบว่าเมื่อบัฟเฟอร์มีขนาดเล็กปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากวิธีของ Courcoubetis จะมีค่ามากกว่าวิธีพิจารณาจากเวลาหน่วงเพียงอย่างเดียว ในทางตรงกันข้ามเมื่อบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากวิธีของ Courcoubetis จะมีค่าน้อยกว่าวิธีพิจารณาจากเวลาหน่วงเพียงอย่างเดียว ดังนั้นสำหรับทราฟฟิกแบบ rt-VBR ที่ต้องการการรับประกันคุณภาพการบริการทั้งอัตราการสูญหายของข้อมูลและเวลาหน่วงในการนำส่งข้อมูล จึงเลือกใช้ปริมาณแบนด์วิดธ์ที่มากที่สุดระหว่างสองค่าข้างต้นมาใช้ในการสำรองแบนด์วิดธ์ในระบบเครือข่าย

รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบปริมาณแบนด์วิดธ์เมื่อทำการสำรองแบนด์วิดธ์ด้วยอัตราการส่งข้อมูลสูงสุด การสำรองแบนด์วิดธ์ด้วยวิธีการของ Courcoubetis และวิธีที่พิจารณาจากเวลาหน่วงและอัตราการสูญหายของแพ็กเกต พบว่าเมื่อกำหนดให้ตัวแปรทราฟฟิกต่าง ๆ และความต้องการคุณภาพการบริการ (QoS) เท่ากัน วิธีการที่พิจารณาจากเวลาหน่วงและอัตราการสูญหายของแพ็กเกตจะให้ปริมาณแบนด์วิดธ์มากกว่าวิธีของ Courcoubetis ซึ่งพิจารณาอัตราการสูญหายของข้อมูลเพียงอย่างเดียว ทั้งสามวิธีดังกล่าวแสดงค่ามัลติเพล็กซิ่งเกนดังรูปที่ 4.9

รูปที่ 4.10 เมื่อเวลาหน่วงที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้มีค่าเข้มงวดน้อยลง จะทำให้ปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากวิธีพิจารณาเวลาหน่วงและอัตราสูญหายของแพ็กเกต มีค่าเข้าใกล้กับปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้วิธีการของ Courcoubetis ซึ่งไม่มีการคำนึงถึงการรับประกันเวลาหน่วงของการนำส่งเลย

รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์จากวิธีพิจารณาเวลาหน่วงและอัตราสูญหายของแพ็กเกตเมื่อขนาดของบัฟเฟอร์แตกต่างกัน พบว่าเมื่อบัฟเฟอร์มีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ต้องการใช้ลดลง เนื่องจากบัฟเฟอร์มากทำให้โอกาสที่จะเกิดการสูญหายของแพ็กเกตมีค่าน้อย ดังนั้นจึงต้องการอัตราการนำส่งที่น้อยลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การคำนวณแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้

4.2.1 การทดลอง

วิธีคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้ตามที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้แสดงดังสมการ (4.5)

$$\alpha_{t+1} = \alpha_t + K \times \ln \frac{Q_t}{\overline{Q}_D} \qquad (4.5)$$

เมื่อ α_{t+1} คืออัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ที่เหมาะสมสำหรับช่วงเวลาถัดไป (บิตต่อวินาที)

α_t คืออัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ในช่วงเวลาปัจจุบัน (บิตต่อวินาที)

Q_t คือความยาวคิวที่ ณ เวลาปัจจุบัน (บิต)

K คือค่าคงที่ ใช้ขยายผลของอัตราความคลาดเคลื่อน (บิตต่อวินาที)

$\overline{Q}_D$ คือความยาวคิวเฉลี่ยในบัฟเฟอร์ สำหรับการรับประกัน QoS (บิต)

ในการทดลองมีการกำหนดตัวแปรทราฟฟิกดังนี้

Q_t เป็นค่าที่เกิดจากการสุ่ม (Random) มีค่าอยู่ในช่วง 100 ถึง 1000 แพ็กเกต

$\overline{Q}_D$ เท่ากับ 700 แพ็กเกต โดยพิจารณาที่ PLP = 1e-6 และ $D_{\overline{Q}}$ = 5e-6 วินาที

α_0 เท่ากับ 1 เมกกะบิตต่อวินาที

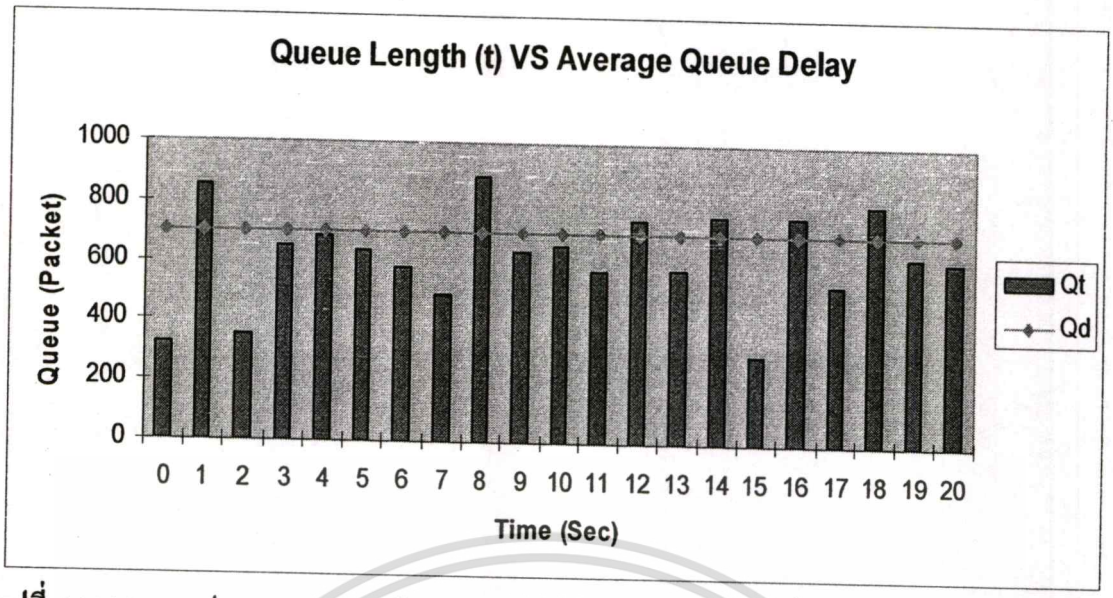
K เท่ากับ 100 กิโลบิตต่อวินาที [17]

โดยการทดลองทำการจะเปรียบเทียบผลของการคำนวณแบนด์วิดธ์แบบตายตัว (Static Bandwidth Allocation: SBA) กับการคำนวณแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้ (Dynamic Bandwidth Allocation: DBA) โดยค่ามัลติเพล็กซิ่งเกนจะเป็นวัดประสิทธิภาพของระบบเครือข่าย เมื่อมัลติเพล็กซิ่งเกนสูงทำให้ระบบสามารถรองรับผู้ใช้ได้จำนวนมาก นั่นคือเกิดการใช้งานเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพ

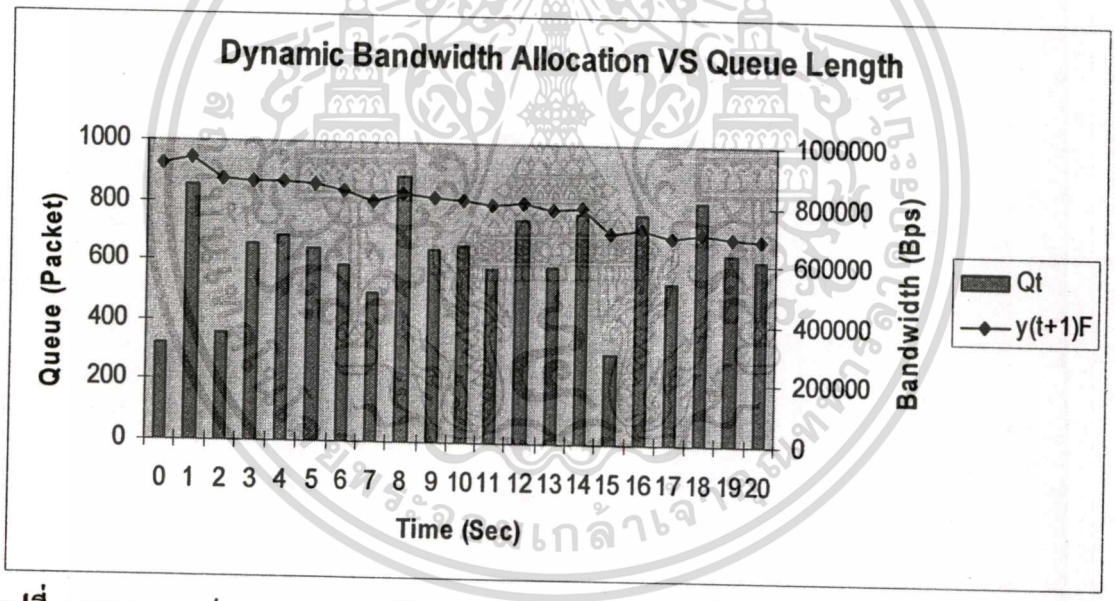
4.2.2 ผลการทดลอง

กรณีแรก ทราฟฟิกมีอัตราเร็วค่อนข้างคงที่ ทำให้ความยาวคิวมีอัตราการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และมีค่าใกล้เคียงกับ $\overline{Q}_D$ ทำให้ไม่เกิดการสูญหายของแพ็กเกต และทราฟฟิกได้รับการรับประกันเวลาหน่วงด้วย แสดงดังรูปที่ 4.12(ก) – 4.12(จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

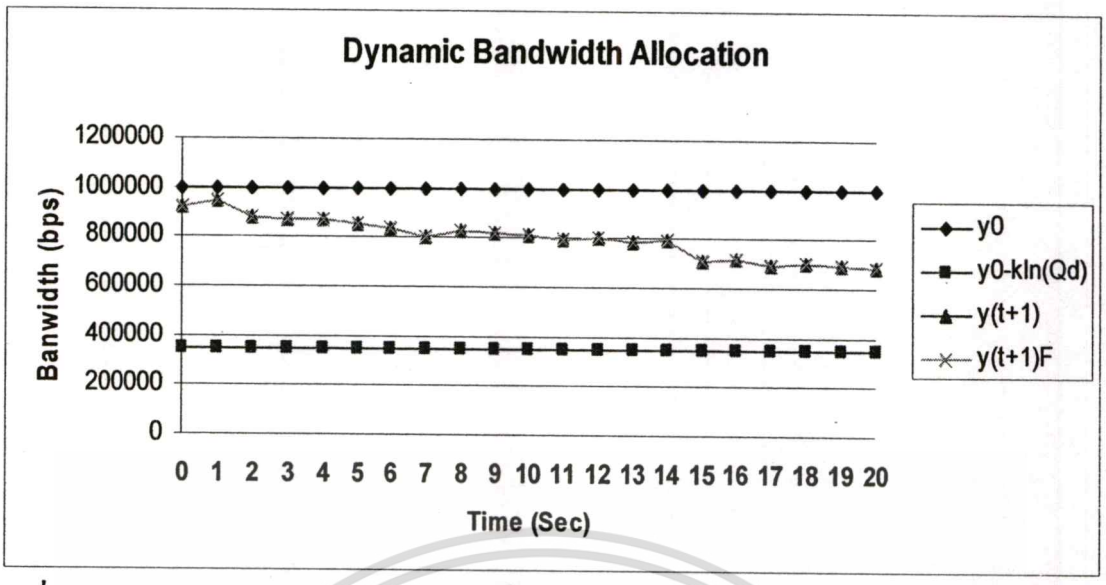


รูปที่ 4.12(ก) กราฟแสดงความยาวคิว ณ เวลา t และค่าความยาวคิวเฉลี่ยในโหนดใด ๆ ที่ทำให้เครือข่ายสามารถรับประกัน QoS ได้

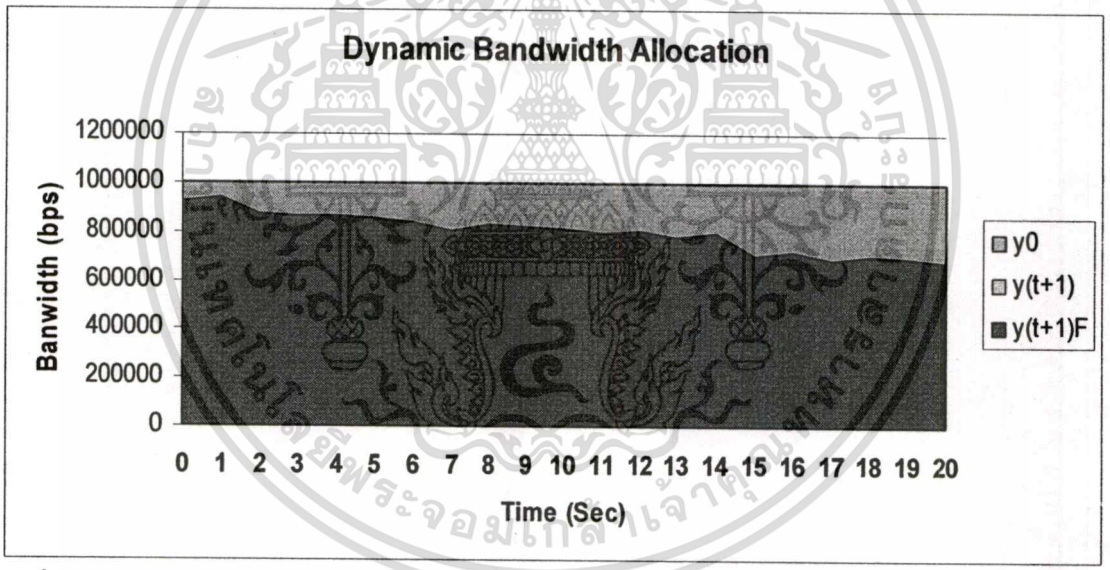


รูปที่ 4.12(ข) กราฟแสดงความยาวคิว ณ เวลา t และอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์สำหรับคาบเวลาถัดไป (เวลา t ถึงเวลา $t+1$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

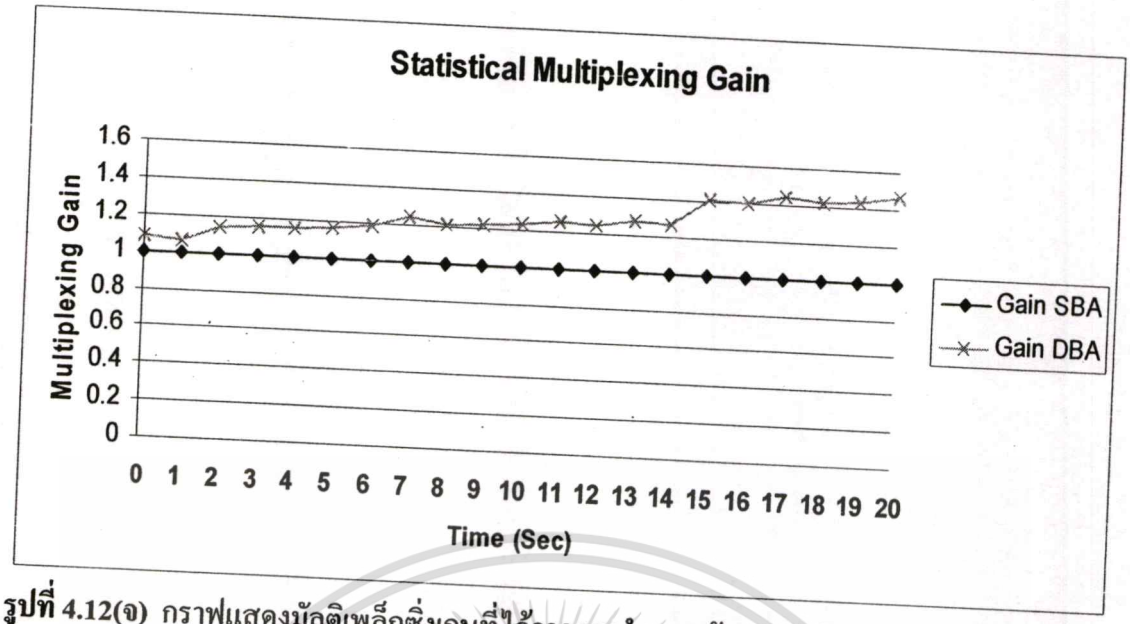


รูปที่ 4.12(ค) กราฟแสดงปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบตายตัว (y0) และปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบเปลี่ยนแปลงได้ (y($t+1$)F)



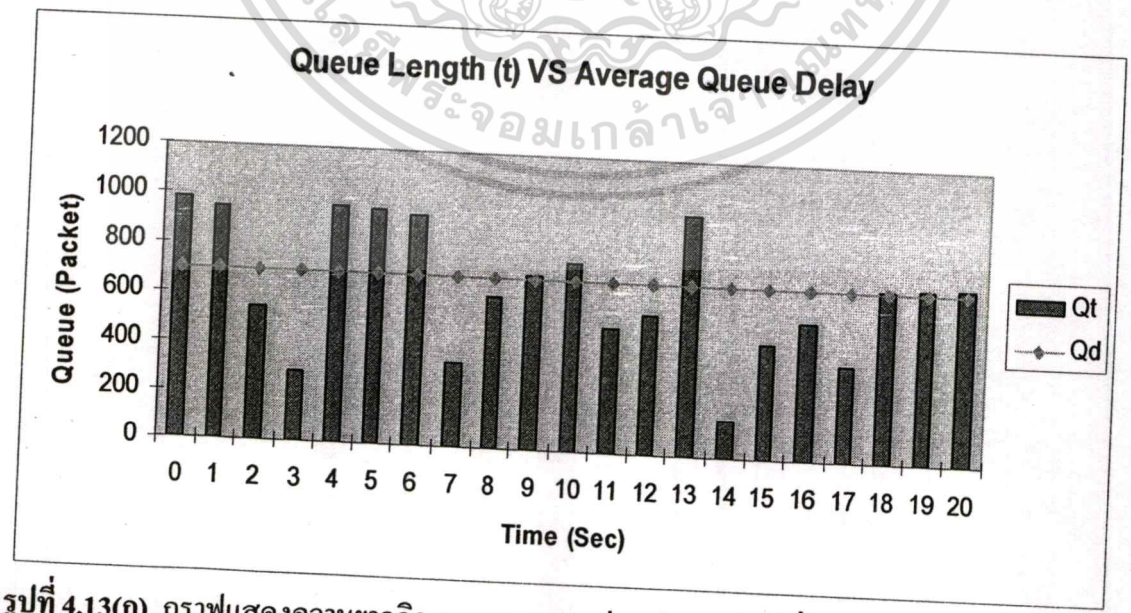
รูปที่ 4.12(ง) กราฟแสดงปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบตายตัว (y0) และปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบเปลี่ยนแปลงได้ (y($t+1$)F)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



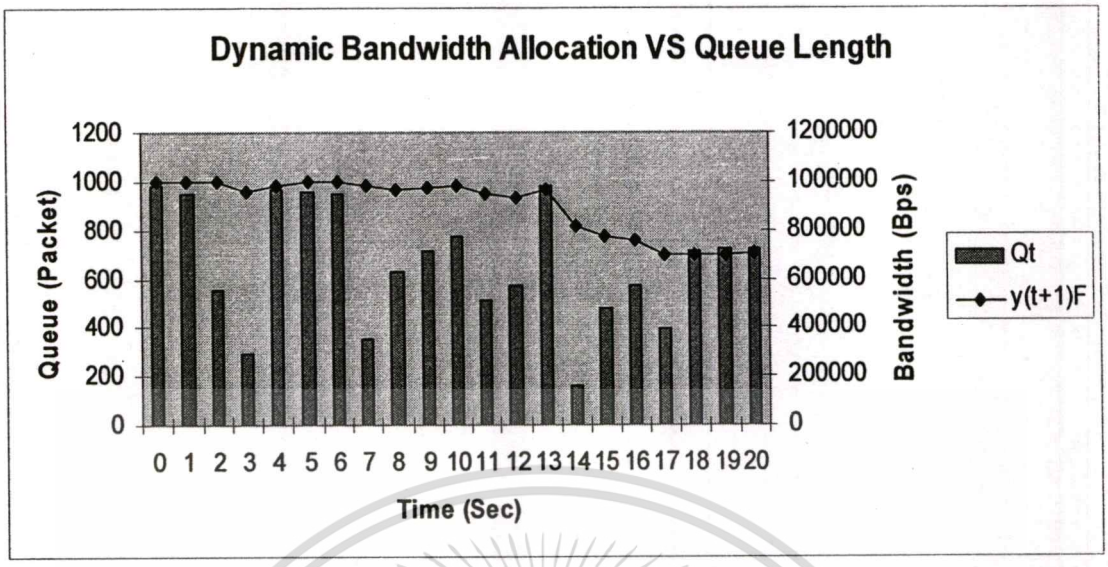
รูปที่ 4.12(จ) กราฟแสดงมัลติเพล็กซิ่งเกนที่ได้จากการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบตายตัว (SBA) และที่ได้จากการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้ (DBA)

กรณีที่ 2 ทราฟฟิกมีอัตราเร็วสูง ทำให้ความยาวคิวมาก ระบบเครือข่ายจึงต้องเพิ่มอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์เพื่อระบายแพ็กเกตออกจากบัฟเฟอร์ แต่ปริมาณแบนด์วิดธ์ที่เพิ่มขึ้นไม่จำเป็นต้องมากกว่าอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบตายตัว เนื่องจากอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบตายตัวนั้นสามารถรับประกันคุณภาพบริการได้ ดังนั้นอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ในคาบเวลาถัดไปจึงมีค่าไม่เกินอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบตายตัว ดังรูปที่ 4.13 (ก) – 4.13 (จ)

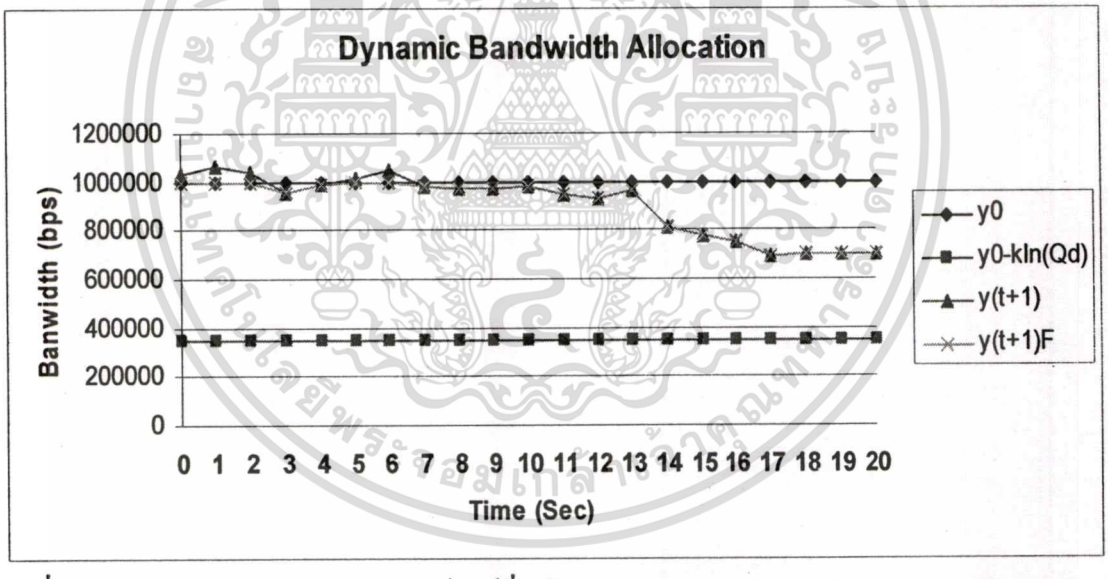


รูปที่ 4.13(ก) กราฟแสดงความยาวคิว ณ เวลา t และค่าความยาวคิวเฉลี่ยในโหนดใด ๆ ที่ทำให้เครือข่ายสามารถรับประกัน QoS ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

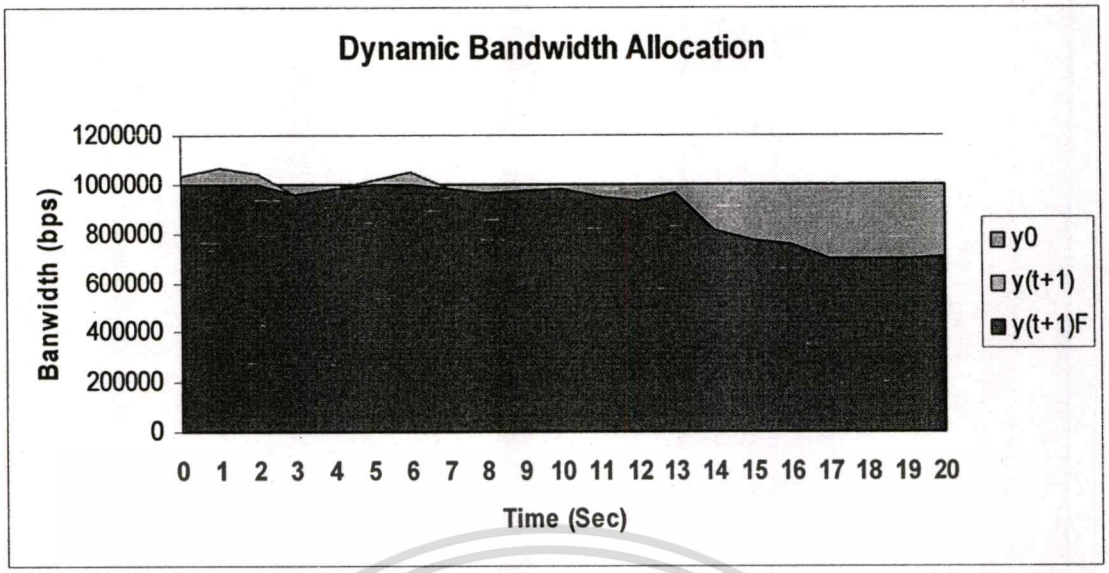


รูปที่ 4.13(ข) กราฟแสดงความยาวคิว ณ เวลา t และอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์สำหรับคาบเวลาถัดไป (เวลา t ถึงเวลา $t+1$)

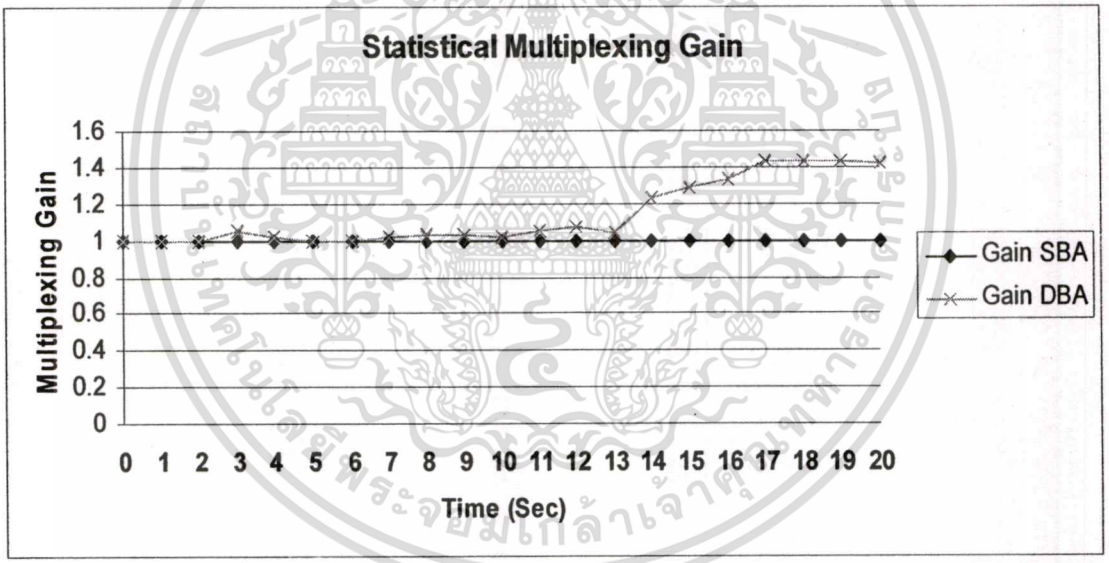


รูปที่ 4.13(ค) กราฟแสดงปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบตายตัว (y0) และปริมาณแบนด์วิดธ์ ที่ได้จากการคำนวณแบบเปลี่ยนแปลงได้ (y($t+1$)F)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



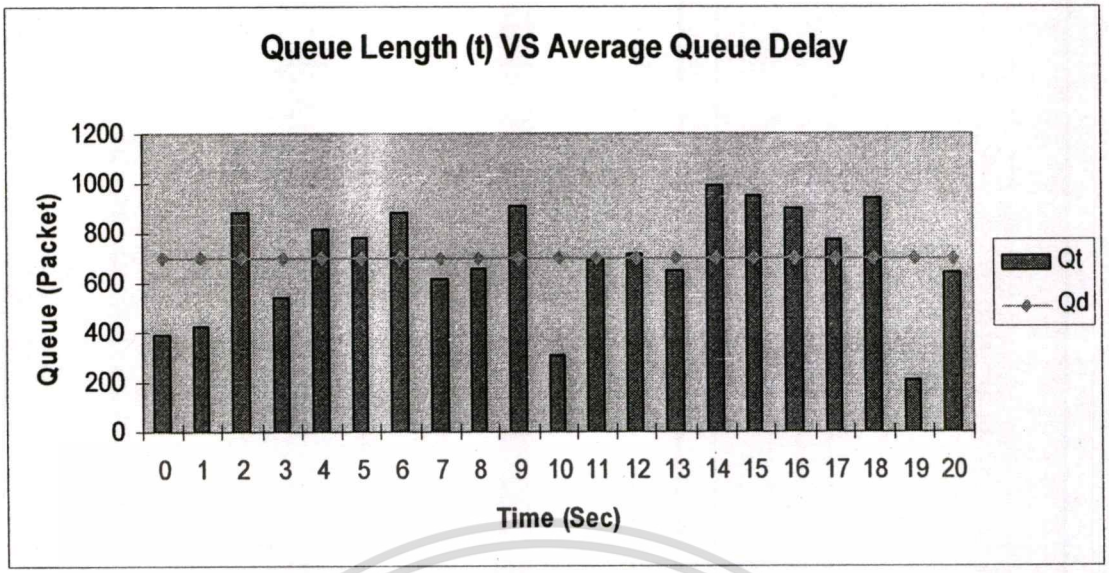
รูปที่ 4.13(ง) กราฟแสดงปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบตายตัว (y0) และปริมาณแบนด์วิดธ์ ที่ได้จากการคำนวณแบบเปลี่ยนแปลงได้ (y($t+1$)F)



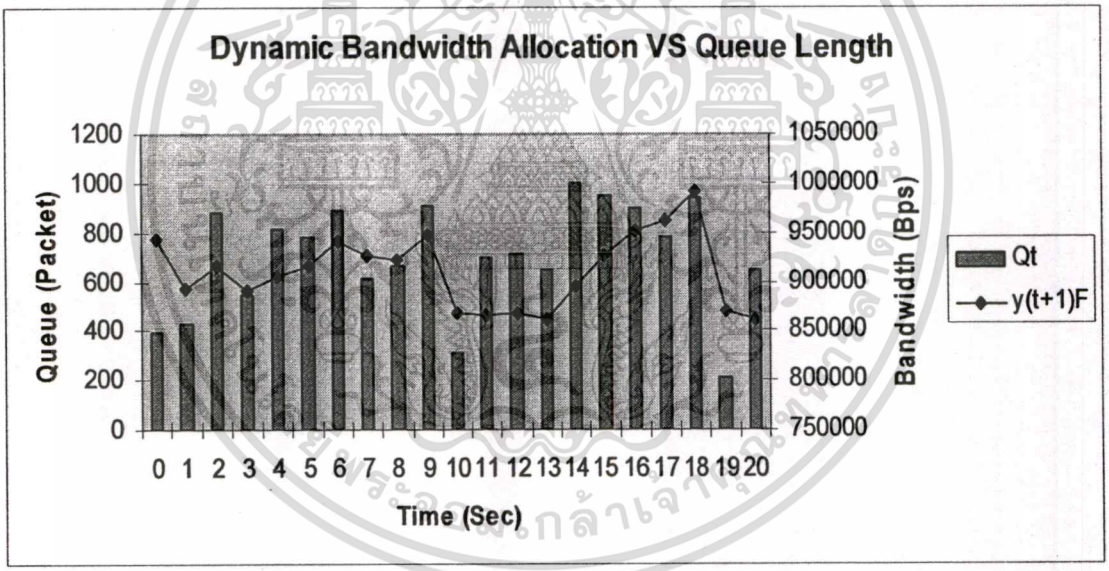
รูปที่ 4.13(จ) กราฟแสดงมัลติเพล็กซิ่งเกนที่ได้จากการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบตายตัว (SBA) และที่ได้จากการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้ (DBA)

กรณีที่ 3 ทราฟฟิกมีการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วสูง (Bursty Traffic) ทำให้ความยาวคิวและอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ที่คำนวณได้มีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว ดังรูป 4.14 (ก) – (จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

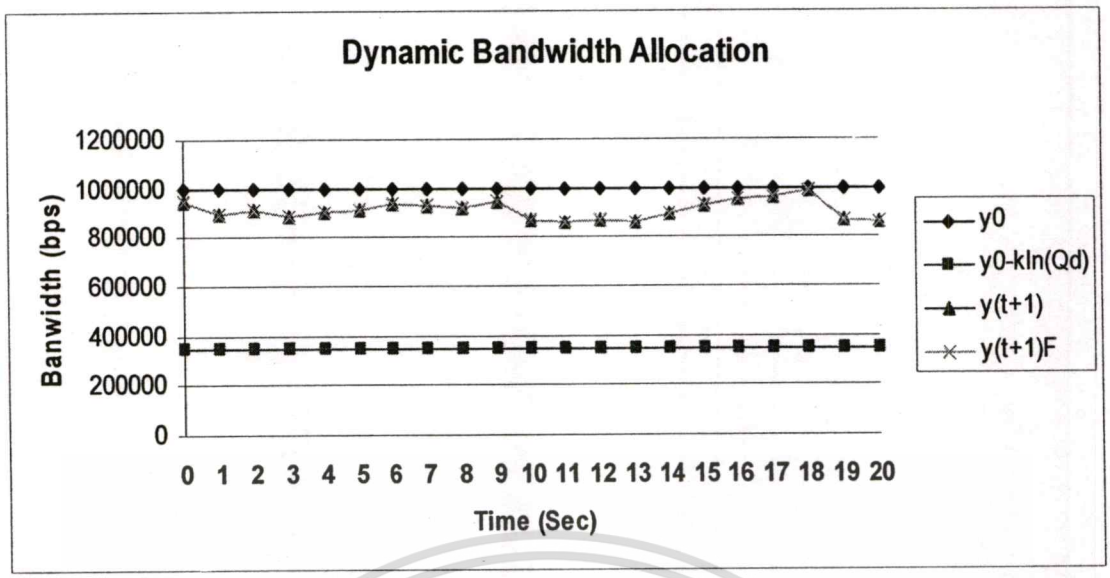


รูปที่ 4.14(ก) กราฟแสดงความยาวคิว ณ เวลา t และค่าความยาวคิวเฉลี่ยในโหนดใด ๆ ที่ทำให้เครือข่ายสามารถรับประกัน QoS ได้

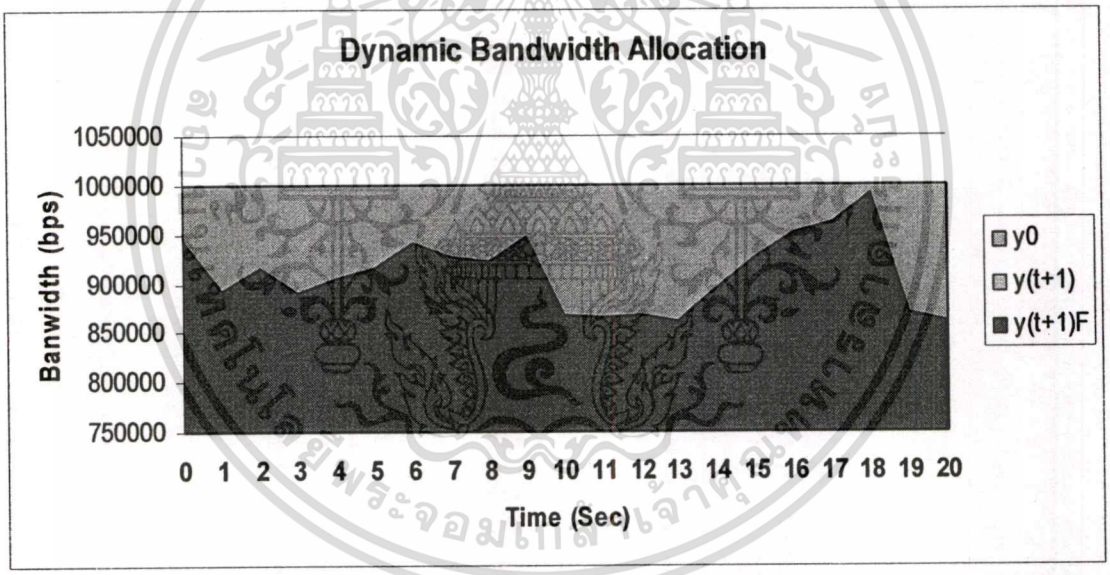


รูปที่ 4.14(ข) กราฟแสดงความยาวคิว ณ เวลา t และอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์สำหรับคาบเวลาถัดไป (เวลา t ถึงเวลา $t+1$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

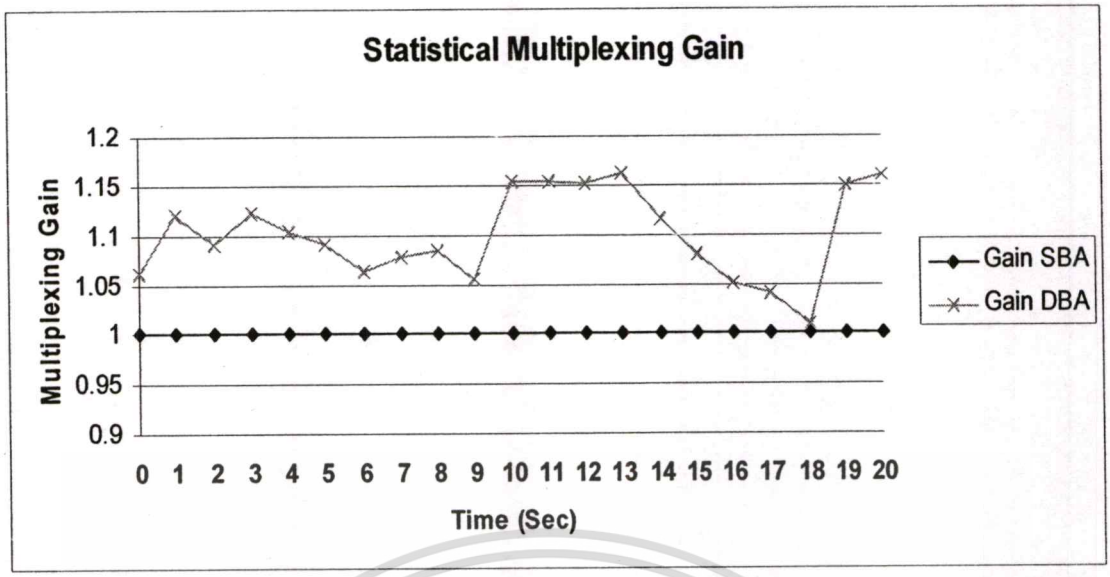


รูปที่ 4.14(ค) กราฟแสดงปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบตายตัว (y0) และปริมาณแบนด์วิดธ์ ที่ได้จากการคำนวณแบบเปลี่ยนแปลงได้ (y($t+1$)F)



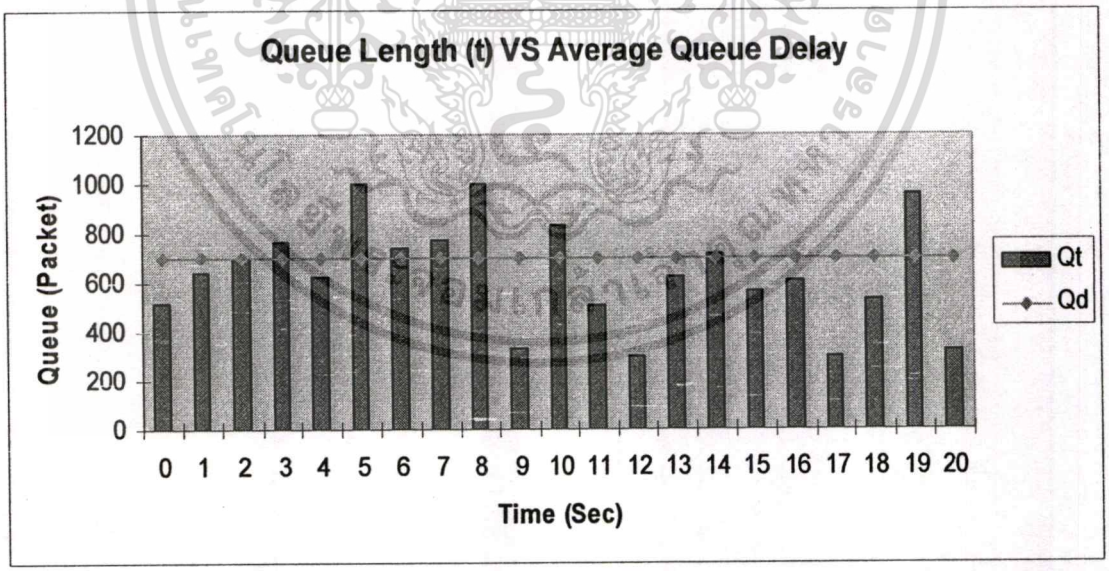
รูปที่ 4.14(ง) กราฟแสดงปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบตายตัว (y0) และปริมาณแบนด์วิดธ์ ที่ได้จากการคำนวณแบบเปลี่ยนแปลงได้ (y($t+1$)F)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



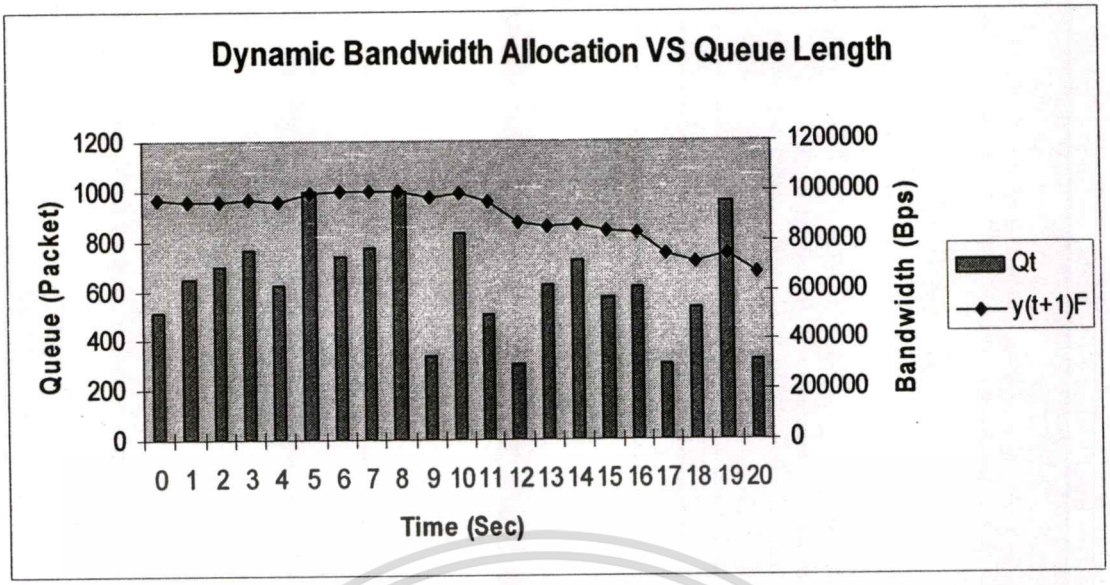
รูปที่ 4.14(จ) กราฟแสดงมัลติเพล็กซิ่งเกนที่ได้จากการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบตายตัว (SBA) และที่ได้จากการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้ (DBA)

กรณีสุดท้าย เป็นลักษณะของทราฟฟิกโดยส่วนใหญ่ ที่มีอัตราเร็วสูงเป็นบางช่วง ทำให้เกิดการสูญหายและเวลาหน่วงบ้าง แต่อยู่ในของเขตของคุณภาพการให้บริการที่ผู้ใช้ยอมรับได้ แสดงดังรูป 4.15 (ก) – (จ)

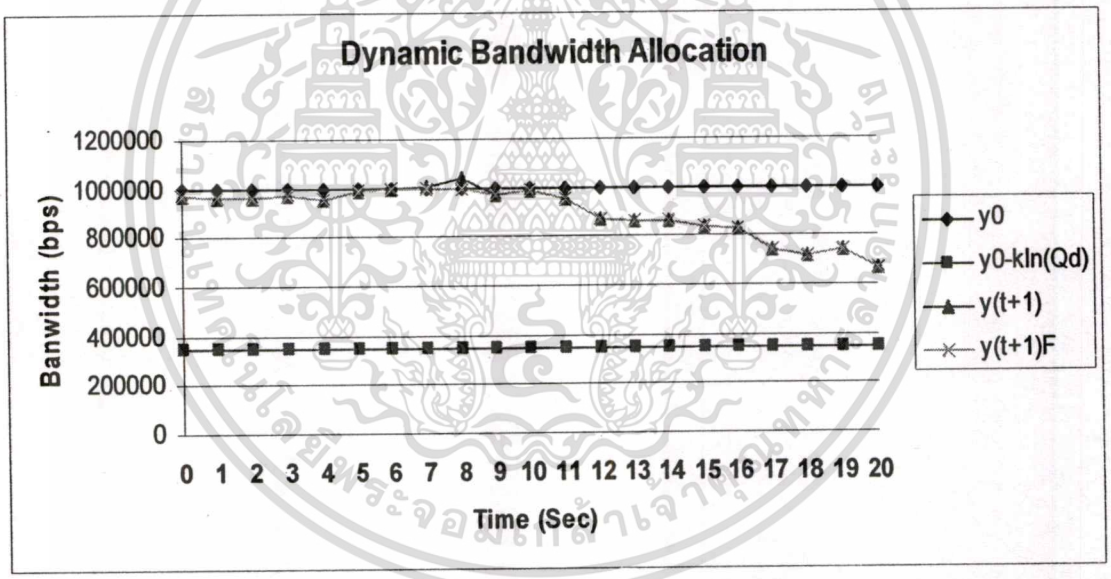


รูปที่ 4.15(ก) กราฟแสดงความยาวคิว ณ เวลา t และค่าความยาวคิวเฉลี่ยในโหนดใด ๆ ที่ทำให้เครือข่ายสามารถรับประกัน QoS ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

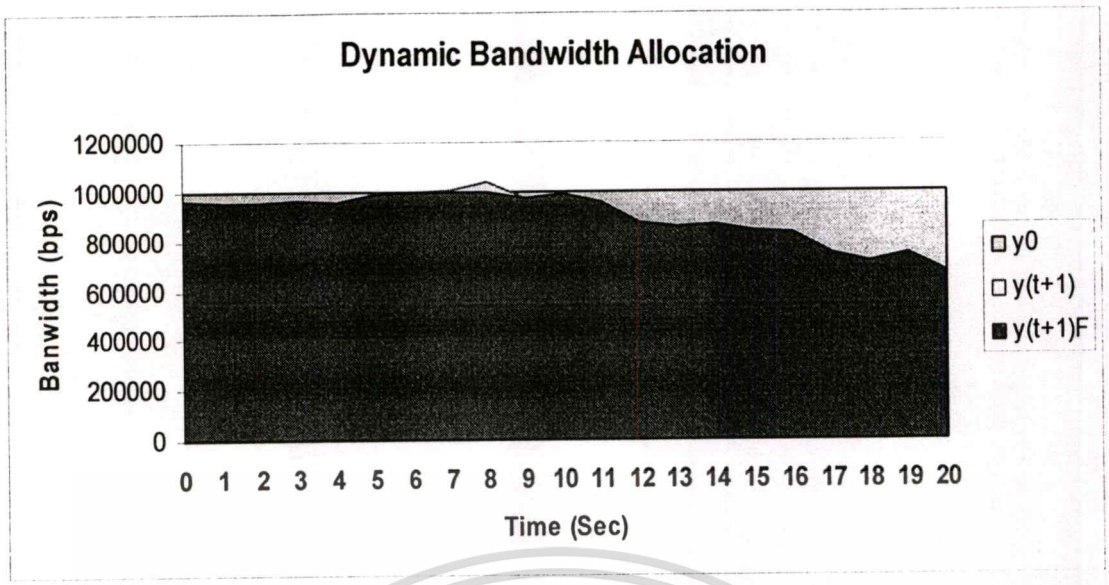


รูปที่ 4.15(ข) กราฟแสดงความยาวคิว ณ เวลา t และอัตราการส่งของแบนด์วิดธ์สำหรับคาบเวลาถัดไป (เวลา t ถึงเวลา $t+1$)

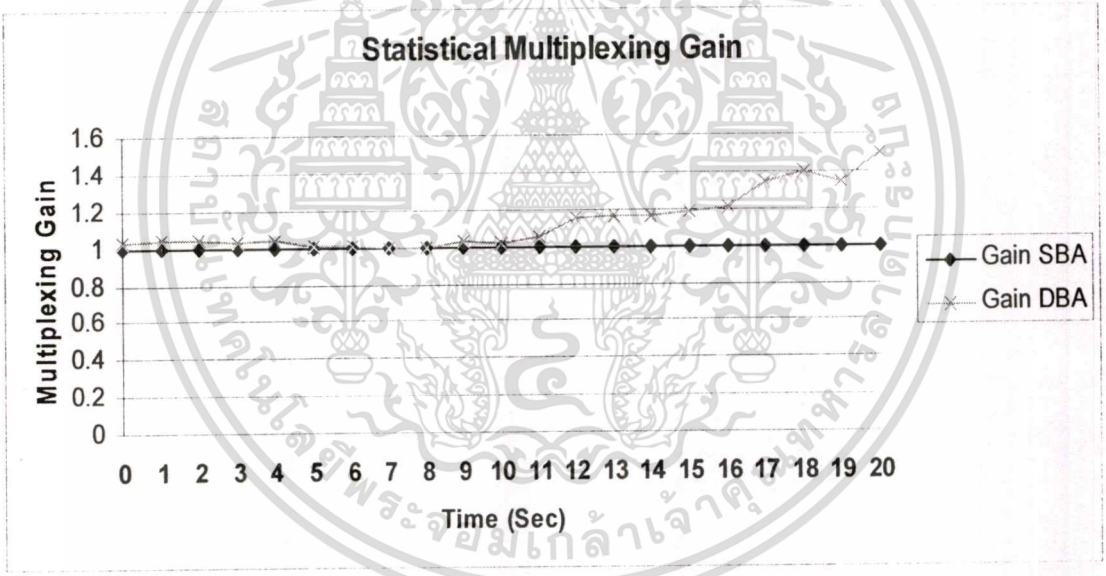


รูปที่ 4.15(ค) กราฟแสดงปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบตายตัว (y0) และปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบเปลี่ยนแปลงได้ (y($t+1$)F)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15(ง) กราฟแสดงปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบตายตัว (y0) และปริมาณแบนด์วิดธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบเปลี่ยนแปลงได้ (y($t+1$)F)



รูปที่ 4.15(จ) กราฟแสดงมัลติเพล็กซิ่งเกนที่ได้จากการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบตายตัว (SBA) และที่ได้จากการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้ (DBA)

จากการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าการสำรองแบนด์วิดธ์แบบเปลี่ยนแปลงได้นี้ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แบนด์วิดธ์ในเครือข่าย โดยสามารถวัดได้จากค่ามัลติเพล็กซิ่งเกนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบเครือข่ายมีการปรับเปลี่ยนปริมาณแบนด์วิดธ์ตามลักษณะของทราฟฟิกและการใช้งานจริง ทำให้ระบบเครือข่ายสามารถนำแบนด์วิดธ์ที่เหลือใช้ไปให้บริการแก่ผู้ใช้รายใหม่ได้ ส่งผลให้สามารถรองรับผู้ใช้ได้มากขึ้นและประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรเครือข่ายเพิ่มขึ้น โดยที่ยังคงรักษาคุณภาพการให้บริการไว้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการคำนวณอัตราการสำรองทรัพยากรเครือข่ายหรือแบนด์วิดท์สำหรับทราฟฟิกที่มีอัตราความเร็วในการส่งไม่คงที่ (Variable Bit Rate: VBR) และเป็นการส่งแบบกำหนดระยะเวลาโต้ตอบ (Real-time) โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้ปรับปรุงมาจากวิธีการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดท์สำหรับทราฟฟิก VBR ซึ่งใช้อัตราการสูญหายของข้อมูลที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้มาเป็นตัวแปรในการคำนวณค่าอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ แต่สำหรับการใช้งานที่มีการกำหนดเวลาในการโต้ตอบนั้น เวลาหน่วงของการส่งข้อมูลเป็นตัวแปรสำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณาด้วย ซึ่งวิธีการเดิมต่างก็คำนึงถึงเฉพาะคุณภาพการให้บริการเรื่องอัตราการสูญหายของข้อมูลโดยไม่มีการพิจารณาคุณภาพการให้บริการในเรื่องเวลาหน่วงของการส่งข้อมูล ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเอาทั้งอัตราการสูญหายของข้อมูล และเวลาหน่วงของการส่งข้อมูลที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้มาใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณหาอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ เพื่อให้ได้รับการรับประกันคุณภาพการให้บริการทั้งในเรื่องการสูญหายและเวลาหน่วงของการส่งข้อมูล ซึ่งวิธีการที่นำเสนอนี้เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการสื่อสารแบบ VBR ที่มีการกำหนดระยะเวลาในการโต้ตอบ

เนื่องจากในปัจจุบันระบบเครือข่ายมีการสูญเสียแบนด์วิดท์โดยเปล่าประโยชน์เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้เครือข่ายต่ำ ซึ่งสาเหตุเกิดจากการสำรองแบนด์วิดท์ที่มากเกินไปและไม่สอดคล้องกับลักษณะทราฟฟิกจริง ดังนั้นวิธีการคำนวณอัตราการสำรองแบนด์วิดท์ที่ได้เสนอนำในวิทยานิพนธ์นี้ นอกจากจะทำให้ผู้ใช้ได้รับการรับประกันการให้บริการแล้วยังช่วยให้ระบบเกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ระบบสามารถรองรับผู้ใช้ได้จำนวนมากขึ้นหรือได้มัลติเพล็กซิ่งเกนสูงขึ้นนั่นเอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับทราฟฟิกแบบ VBR ซึ่งมีอัตราเร็วไม่คงที่และไม่สามารถคาดเดาลักษณะทราฟฟิกได้ จึงเป็นเรื่องท้าทายสำหรับการจัดการในระบบเครือข่าย เพื่อให้เกิดการใช้เครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและให้การรับประกันคุณภาพการบริการตามที่ผู้ใช้ต้องการด้วย ดังนั้นถ้าจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้เครือข่ายสูงขึ้น ควรจะมีการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะของทราฟฟิกของการใช้งานแบบต่าง ๆ (Application) เพื่อที่จะเลือกใช้อัลกอลิทึมที่เหมาะสมกับการใช้งานนั้น ๆ มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] M.Schwartz, Broaddand Integrated Networks, Prentice Hall PTR, pp. 32-45, 1996.

[2] C. M. Aras, J. F. Kurose, D. S. Reeves, and H. Schulzrinne, "Real-time Communication in packet-switched networks," Proc. IEEE, vol. 82, Jan.1994.

[3] K.Sohraby, "On the Asymptotic Behavior of Heterogeneous Statistical Multiplexer with Applications", Proc. INFOCOM'92, pp. 839-847, 1992.

[4] A. Patel, C. Williamson: Statistical Multiplexing of Self-Similar Traffic: Theoretical and Simulation Results, Universityof Saskatchewan, Department of Computer Science, April 1997, http://www.cs.usask.ca/faculty/carey/papers/statmuxing.ps.

[5] N.Giroux and S.Ganti, Quality of service in ATM networks: State-of-the-Traffic Management, pp. 62-75, 1998.

[6] W.Whitt, "Heavy Traffic Approximations for Service Systems with Blocking", AT&T Bell Lab. Tech. J., 1984, Vol.63 (5):689-780

[7] R.Guerin, H.Ahmadi and M.Naghshineh, "Equivalent Capacity and Its Application to Bandwidth Allocation in High-Speed Networks", IEEE JSAC, Vol. 9(7), pp. 968-981, 1991.

[8] P.A.Skelly, et al., A Histogram-Based Model for Video Traffic Behavior in an ATM Multiplexer, IEEE/ACM Transaction on NetWorking, 1993, Vol.1 (4):446-459

[9] Kelly, F.P. "Effective Bandwidth at Multi-Class Queues," Queuing Systems, vol.9 (1991), 5-16.

[10] A.Elwalid, D.Mitra and H.Wentworth, "A New Approach for Allocating Buffers and Bandwidth to Heterogeneous, Regulated Traffic in an ATM Node", IEEE JSAC, Vol.13(6), pp. 1115:1127, 1995.

[11] Gibbens, R.J., Kelly, F.P., and Key, P.B. "Effective Bandwidth for Multi-Type UAS Channel." Queuing Systems, vol.9 (1991), 17-28

[12] Courcoubetis, C., Fouskas, G., and Weber, R. "On the Performance of an Effective Bandwidth Formular," Proceedings of the International Teletraffic Congress, ITC14 (1994), 201-212

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[13] R.Guerin, H.Ahmadi and M.Naghshineh, "Equivalent Capacity and Its Application to Bandwidth Allocation in High-Speed Networks", IEEE JSAC, Vol. 9(7), pp. 968-981, 1991.

[14] B.L.Mark and G.Ramamurty, "UPC based traffic descriptors for ATM: How to determine, interpret, and use them", Telecomunication System, Vol.5, pp. 109-122, 1996.

[15] P.Maryni, "Real-Time Estimation of the Link Capacity in Multimedia Networks", IFIP'97, Building QoS into Distributed Systems, pp. 101-112, 1997.

[16] Z.Zhang and Z.Qui, "A Novel Approach For Real-time Equivalent Bandwidth Estimation", International Conference on Communication Technology Proceedings, Vol.1, pp. 1470-1474, 2000.

[17] E.W.Fulp and D.S.Reeves, "Dynamic Bandwidth Allocation Techniques", Technical Report TR-97/08, Center for Advanced Computing and Communications, Aug 1997.

[18] 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

พิสูจน์สมการของ Gibbens และ Hunt

จากสมการความยาวคิว สำหรับแหล่งจ่ายแบบเปิด-ปิด ความสัมพันธ์ของช่วงเปิด-ปิด เป็นแบบเอ็กซ์โพเน็นเชียน

$$F(x) = 1 - e^{z_0 B}$$

เมื่อ

$$z_0 = \frac{(\lambda_i + \mu_i)\alpha - \lambda_i \gamma_i}{(\alpha - \gamma_i)\alpha}$$

แก้สมการเพื่อหาค่า α .

$$z_0(\alpha - \gamma_i)\alpha = (\lambda_i + \mu_i)\alpha - \lambda_i \gamma_i$$

$$z_0\alpha^2 - z_0\gamma_i\alpha = (\lambda_i + \mu_i)\alpha - \lambda_i \gamma_i$$

$$z_0\alpha^2 - z_0\gamma_i\alpha - (\lambda_i + \mu_i)\alpha + \lambda_i \gamma_i = 0$$

$$z_0\alpha^2 - (z_0\gamma_i + (\lambda_i + \mu_i))\alpha + \lambda_i \gamma_i = 0$$

$$\alpha = \frac{(z_0\gamma_i + \mu_i + \lambda_i) \pm \sqrt{(-z_0\gamma_i - (\mu_i + \lambda_i))^2 - 4z_0\lambda_i\gamma_i}}{2z_0}$$

$$\alpha = \frac{(z_0\gamma_i + \mu_i + \lambda_i) \pm \sqrt{(z_0\gamma_i)^2 + 2z_0\gamma_i(\mu_i + \lambda_i) + (\mu_i + \lambda_i)^2 - 4z_0\lambda_i\gamma_i}}{2z_0}$$

$$\alpha = \frac{(z_0\gamma_i + \mu_i + \lambda_i) \pm \sqrt{(z_0\gamma_i)^2 + 2z_0\gamma_i\mu_i + 2z_0\gamma_i\lambda_i + (\mu_i + \lambda_i)^2 - 4z_0\lambda_i\gamma_i}}{2z_0}$$

$$\alpha = \frac{(z_0\gamma_i + \mu_i + \lambda_i) \pm \sqrt{(z_0\gamma_i)^2 + 2z_0\gamma_i\mu_i - 2z_0\gamma_i\lambda_i + (\mu_i + \lambda_i)^2}}{2z_0}$$

$$\alpha = \frac{(z_0\gamma_i + \mu_i + \lambda_i) \pm \sqrt{(z_0\gamma_i)^2 + 2z_0\gamma_i(\mu_i - \lambda_i) + (\mu_i + \lambda_i)^2}}{2z_0}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha = \frac{(z_0\gamma_i + \mu_i + \lambda_i) \pm \sqrt{[(z_0\gamma_i)^2 + 2z_0\gamma_i(\mu_i - \lambda_i) + (\mu_i - \lambda_i)^2] - (\mu_i - \lambda_i)^2 + (\mu_i + \lambda_i)^2}}{2z_0}$$

$$\alpha = \frac{(z_0\gamma_i + \mu_i + \lambda_i) \pm \sqrt{(z_0\gamma_i + \mu_i - \lambda_i)^2 - (\mu_i^2 - 2\mu_i\lambda_i + \lambda_i^2) + (\mu_i^2 + 2\mu_i\lambda_i + \lambda_i^2)}}{2z_0}$$

$$\alpha = \frac{(z_0\gamma_i + \mu_i + \lambda_i) \pm \sqrt{(z_0\gamma_i + \mu_i - \lambda_i)^2 + 4\mu_i\lambda_i}}{2z_0}$$

ถ้าใช้เทอมบวก จะทำให้ $\alpha_i > \gamma_i$ ดังนั้นจะต้องเลือกใช้เทอมลบ สมการของ Gibbens และ Hunt จึงได้ดังนี้

$$\alpha_i = \frac{(z_0\gamma_i + \mu_i + \lambda_i) - \sqrt{(z_0\gamma_i + \mu_i - \lambda_i)^2 + 4\lambda_i\mu_i}}{2z_0}$$

พิจารณา Loss พบว่าบัฟเฟอร์จะเกิด Loss เมื่อ

$$P(queue_length > B) \le PLP$$

จากสมการความยาวคิว จะได้

$$P(queue_length \ge B) \approx e^{z_0 B}$$

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะเกิด Loss คือ

$$PLP = e^{z_0 B}$$

จะได้ความสัมพันธ์ของ z_0 กับขนาดบัฟเฟอร์ B เป็นดังนี้

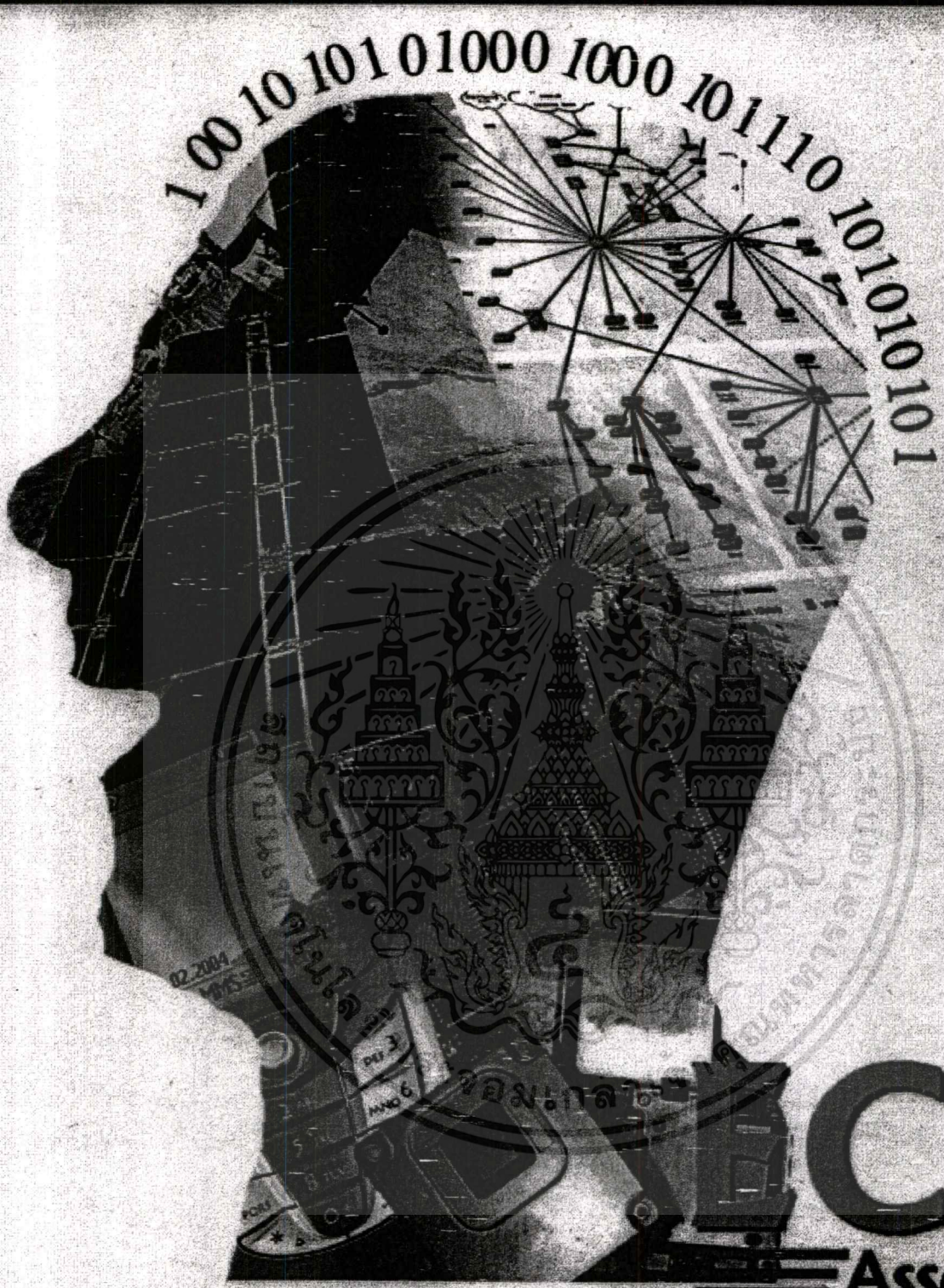
$$z_0 = \frac{\ln PLP}{B}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

B	ขนาดของบัฟเฟอร์ มีหน่วยเป็น บิต
B_T	ขนาดบัฟเฟอร์ของอัลกอริทึมถังน้ำรั่ว มีหน่วยเป็น บิต
$\max(TD_q)$	เวลาหน่วงมากที่สุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ในคิวนั้น มีหน่วยเป็น วินาที
γ_i	อัตราความเร็วสูงสุดของการเชื่อมต่อ i มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที
$MeanRate$	อัตราความเร็วเฉลี่ยของทราฟฟิก มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที
MBS_i	กลุ่มแพ็กเกตขนาดใหญ่ที่สุดที่สามารถส่งได้ด้วยอัตราความเร็วสูงสุด
$1/\lambda$	ช่วงเวลาปิดเฉลี่ย มีหน่วยเป็น วินาที
$1/\mu$	ช่วงเวลาเปิดเฉลี่ย มีหน่วยเป็น วินาที
α_i	ปริมาณแบนด์วิดธ์ที่เหมาะสม (Effective Bandwidth) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที
α_n	อัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที
α_{n+1}	อัตราการสำรองแบนด์วิดธ์สำหรับช่วงเวลาถัดไป มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที
C	อัตราความเร็วของสื่อสัญญาณ มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที
m_i	อัตราความเร็วเฉลี่ยของแหล่งจ่าย มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที
ξ_i	Index of dispersion
ρ	อัตราการใช้ประโยชน์ของระบบเครือข่าย (Utilization)
b	ช่วงเวลา Burst เฉลี่ย มีหน่วยเป็น วินาที
P_n	อัตราการสูญหายของแพ็กเกตในช่วงเวลาลำดับที่ n
Q_l	อัตราการสูญหายของแพ็กเกตที่ผู้ใช้ยอมรับได้
K	ค่าคงที่ ใช้ขยายผลของอัตราความคลาดเคลื่อน มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที
A_n	จำนวนของแพ็กเกตที่มาถึงในช่วงเวลาลำดับที่ n มีหน่วยเป็นแพ็กเกต
L_n	คือจำนวนของแพ็กเกตที่สูญหายไปในช่วงเวลาลำดับที่ n มีหน่วยเป็นแพ็กเกต
$QueueServiceRate$	อัตราการให้บริการของคิวนั้น มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที
$AllocatedBandwidth_i$	อัตราการสำรองแบนด์วิดธ์ของทราฟฟิก i มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Asia-Pacific Research Foundation

Effective Bandwidth Estimation for real-time Multimedia Applications

K Krittayaphan, L. Mayuree

Department of Information Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.
Email: s3061098@kmitl.ac.th, klmayure@kmitl.ac.th

ABSTRACT

In real-time multimedia applications, the delay is an important performance metric as well as packet loss probability. As to estimate the effective bandwidth of the multimedia, we need a computational method that must be simple and could give the accurate effective bandwidth. The calculated effective bandwidth should be met the multimedia applications' need in term of their QoS parameters such as delay tolerance and packet loss rate. In this paper, we propose a simple equation which could be used to estimate the allocating bandwidth for a multimedia application and that will satisfy the application's QoS requirement. The analysis of the equation has been investigated by using the numerical computation results of an ON/OFF Makov process source model.

Keywords: Effective Bandwidth, Quality of service, Real-time multimedia

1. INTRODUCTION

Presently, the real-time multimedia applications, such as video conferencing, video on demand are become the major services in future broadband network. The main service defined for transmitting video streams is variable bit rate (VBR) transmission. One of the main problem that has been studied recently, in the VBR service is how to estimate the effective bandwidth, which support certain quality of service (QoS) requirements such as the packet loss, packet delay while still achieves high network utilization.

Resource allocation by specifies the highest requirement according to the peak rate of the VBR traffic is the simplest way to prevent packet loss and too much delay. By the way, this method is wasteful for both the user and the network system. But allocating bandwidth by using the average rate may suffer the end user by experiencing too longer delay and excessive packet loss. As to compromise these problems, we need a proper formula to estimate the effective bandwidth that satisfy the QoS constrains.

Guaranteeing quality of service and bandwidth management problem are become the main challenge in future broadband networks. There are a lot of published papers about bandwidth estimation [1-6], Sohraby [2] has proposed an approximation for bandwidth estimation based on the asymptotic behavior of the tail of queue-length distribution. Saito [3] gave the effective bandwidth based on the number of packets arrived in a given interval and the maximum media number. Guerin [4] and Mark [5] have got the effective bandwidth based on the ON/OFF fluid flow model. All the equivalent bandwidths above are got based on the acceptable packet loss rate from the number of overflow packets without considering the delay constrain. As we know, delay is also the important constrain of real-time multimedia traffic that could not be negligible. Estimation method of delay-based effective bandwidth is developed by Maryni [7], the method used delay probability distribution function, but the parameters in his expression are difficult to estimate.

In this paper, we propose a computationally simple approximate expression for the effective bandwidth of the real-time multimedia applications based on their statistical characteristics and with the packet loss probability and the delay constrains. The numerical analysis was done by using ON/OFF Markov source model and we have considered the effective of the expression in term of multiplexing gain against the packet loss rate and delay.

The content of this paper is organized as follows. ON/OFF Markov traffic model was shown in section 2, the expression of effective bandwidth is got in section 3. The simulation results and the analysis have been investigated in section 4.

2. ON/OFF TRAFFIC MODEL

The multimedia traffic model investigated in this paper is an ON/OFF model based on the fluid flow methods, which is a two-state (ON state and OFF state) Markov process with exponential state transition rates (See Fig 1)

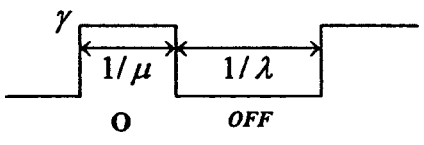


Fig. 1: Two-State Fluid Flow Model

The ON state duration and OFF state duration are exponentially distribute with parameters λ and μ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

respectively. When in OFF state the source is idle, while when in ON state the source generate packets at the peak rate, γ. The ON/OFF model may be described by (λ, μ, γ). Matching the real traffic's first-order and second-order moment to the ON/OFF model's with moment-matching techniques [8], Guerin [4] found the equivalent ON/OFF model can approximate the real model fairly well.

3. EFFECTIVE BANDWIDTH

3.1 Bandwidth Estimation under Packet Loss Probability (PLP)

The queuing length distribution function of a two-state fluid flow model (Fig 1) in a buffer can be written as [9]

$$F(x) = 1 - e^{z_0 x} \quad (1)$$

Where

$$z_0 = \frac{(\lambda+\mu)\alpha - \lambda\gamma}{(\alpha-\gamma)\alpha} \quad (2)$$

Let a source mean ON period be $1/\mu$ and its mean OFF period be $1/\lambda$. When the source is ON, it is assumed to produce information at a constant rate γ. The function z_0 is determined from the statistical properties of the traffic stream. The term α is the effective service rate or effective bandwidth needed to serve the connection in order to guarantee a given PLP.

For a giving buffer size B, the queue length tail probabilities are asymptotically exponential.

$$P(queue_length \geq B) \approx e^{z_0 B} \quad (3)$$

$$P(queue_length \geq B) \leq PLP \quad (4)$$

From equation (3) and (4), the packet lost probability the cells overflow the buffer is

$$PLP = e^{z_0 B}. \quad (5)$$

Thus

$$z_0 = \frac{\ln PLP}{B} \quad (6)$$

For ON/OFF source with exponentially distributed ON and OFF periods, Gibbens and Hunt [8] derived the effective bandwidths of a source. The effective bandwidth α of the source is given by Gibbens and Hunt as

$$\alpha_{G\&H} = \frac{(z_0\gamma + \mu + \lambda) - \sqrt{(z_0\gamma + \mu - \lambda)^2 + 4\lambda\mu}}{2z_0} \quad \ldots (7)$$

Where

$$z_0 \in [-\infty, 0] \quad (8)$$

Gibbens and Hunt's equation implies that for large B, $z_0 \to 0$ and α equals the mean rate of the source $\lambda\gamma/(\lambda+\mu)$. For small buffer B, $z_0 \to -\infty$ and the equivalent bandwidth of source will be $\alpha = \gamma$, the peak cell rate.

Courcoubetis [8] obtain two sets of results, one for a statistical multiplexing with general Markov-modulated fluid sources and the other for queues in which traffic sources are Markov-modulated Poisson or phase-renewal processes. Based on large deviation calculations, for large B, an approximate measure of equivalent bandwidth for a stationary sources will be

$$\alpha_{Courcoubetis} = \frac{\lambda\gamma}{\lambda+\mu} + \frac{\delta\lambda\mu\gamma^2}{B(\lambda+\mu)^3} \quad (9)$$

Where

$$\delta = \ln\frac{1}{PLP} \quad (10)$$

Equation (9) and (10), for large buffer B, second term $\delta\lambda\mu\gamma^2 / B(\lambda+\mu)^3 \to 0$ and α equals the mean rate of the source $\lambda\gamma/(\lambda+\mu)$. For small buffer B, second term will be increased and the equivalent bandwidth of source will be $\alpha = \gamma$, the peak cell rate.

For a connection that generates traffic using the ON/OFF model with traffic descriptors of peak rate, mean rate, average burst size. The above parameter can be mapped as

$$\gamma = PeakRate \quad (11)$$

$$\mu = \frac{PeakRate}{AverageBurstSize} \quad (12)$$

$$\lambda = \mu \times \frac{MeanRate}{PeakRate - MeanRate} \quad (13)$$

Note that for VBR connections, maximum burst size (MBS) and not average burst size (ABS) is indicated in the traffic descriptor. Therefore, another mapping is needed to translate the ABS into an MBS.

$$ABS = \frac{(PeakRate - MeanRate) \times MBS}{PeakRate} \quad (14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The equivalent bandwidth they provided is not only fairly precise but also computationally easy, and thus convenient for real-time bandwidth estimation and management. But because without considering the impact of delay, the equivalent bandwidth above is only available for data transfer, which need not consider the delay. The delay must be considered for real-time multimedia.

3.2 Bandwidth Estimation under Delay Constrains

From queuing length distribution function of a two-state fluid flow model (Fig 1), the evolvement of the average delay D with given buffer size B is given by [10]

$$D\gamma\frac{\lambda}{\lambda+\mu}z_0+(z_0B-1)e^{z_0B}+1=0 \qquad (15)$$

It can be proved that $(z_0B-1)e^{z_0B}<10^{-2}$ when $PLP<10^{-2}$. This paper is only to give an effective bandwidth, which is computationally simple and convenient to real-time control. So, it approximately is

$$D=-\frac{\lambda+\mu}{\lambda\gamma z_0} \qquad (16)$$

For a given average queue delay D, from Courcoubetis's equation (Eq.9) and equation (Eq.16), the effective bandwidth α_{Delay} is given by

$$\alpha_{Delay}=\frac{\lambda\gamma}{\lambda+\mu}+\frac{\mu\gamma}{D(\lambda+\mu)^2} \qquad (17)$$

α_{Delay} is effective bandwidth under delay constrains. The first term is source mean rate and the second term is service rate under delay constrains. So that the multimedia traffic effective bandwidth is defined by

$$\alpha_{Loss\&Delay}=\frac{\lambda\gamma}{\lambda+\mu}+\max\left(\frac{\delta\lambda\mu\gamma^2}{B(\lambda+\mu)^3},\frac{\mu\gamma}{D(\lambda+\mu)^2}\right) \qquad \ldots (18)$$

The equivalent bandwidth $\alpha_{Loss\&Delay}$ is the effective bandwidth under PLP and delay constrains respectively, which is not only can satisfies the PLP and delay requirements simultaneously but also compute simple and easy to real-time control.

4. MODEL ANALISIS

The numerical results of effective bandwidth are given in this section to investigate the impacts of buffer size, PLP and delay on effective bandwidth. The traffic characteristics for simulation are peak rate 100Mbps, mean rate 10Mbps, average burst size 10 packets. Fig 2 shows the comparison of effective bandwidth estimation with Gibbens and Hunt (Eq.7), Courcoubetis (Eq.9) and peak rate scheme, when PLP $1\,\mu s$. The result shows, effective bandwidth of Courcoubetis's scheme is better than the others.

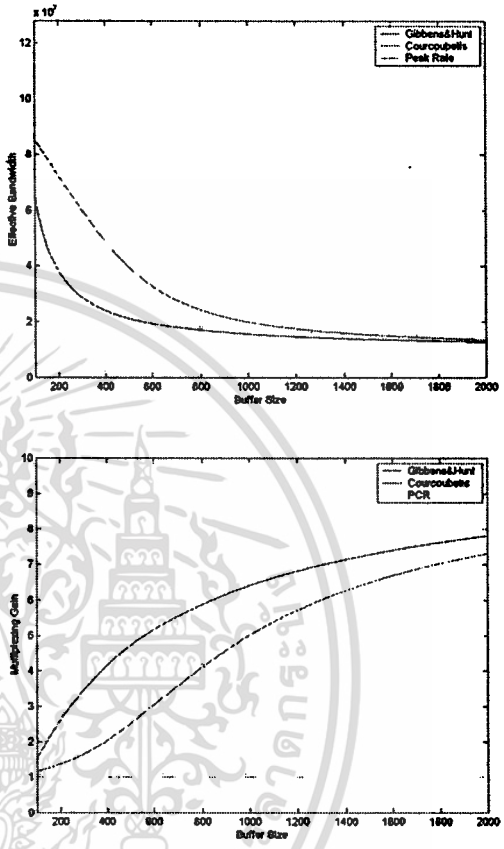
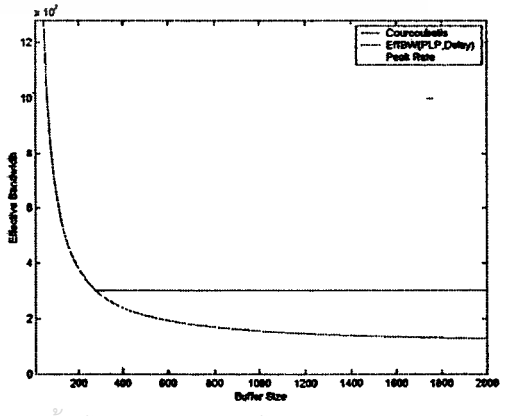


Fig. 2: Comparison of Effective Bandwidth schemes base on acceptable PLP

Fig 3 shows the comparison of effective bandwidth schemes with peak rate allocation, Courcoubetis's rate allocation (Eq.9) and effective bandwidth under PLP and delay constrain (Eq.18). The effective bandwidth will be increased when delay is considered.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

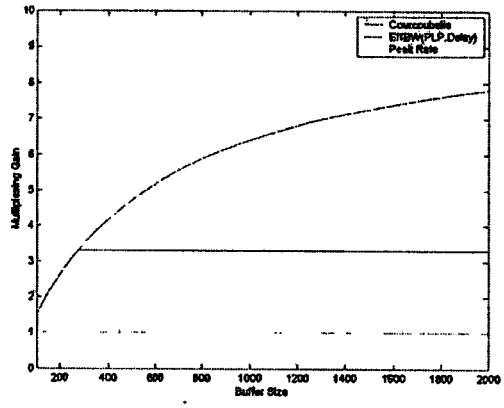


Fig. 3: Comparison of Effective Bandwidth schemes, Peak Rate, α_{PLP}, $\alpha_{PLP\&Delay}$

Fig 4 shows effective bandwidth under PLP and delay constrain (Eq.18), when varied allowable delay. If we increate allowable delay, the effective bandwidth will be closed to bandwidth of Courcoubetis's scheme.

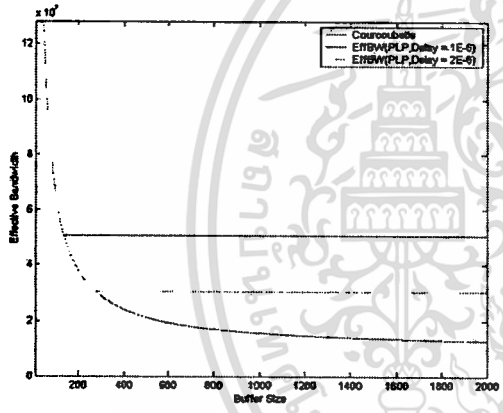


Fig. 4: Impact of allowable delay on effective bandwidth under PLP and Delay constrain

Fig 5 shows the impact of buffer size on effective bandwidth under PLP and Delay constrain scheme. The result shows, increasing buffer size, the effective bandwidth will be decreased.

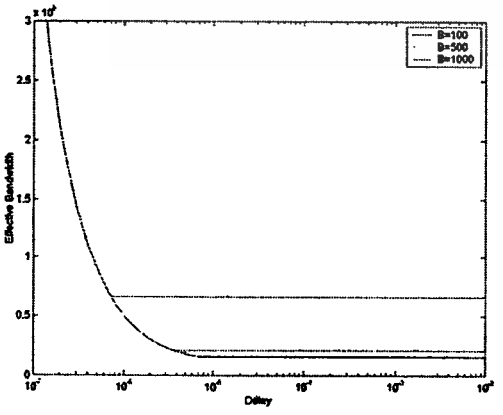


Fig. 5: Impact of buffer size on effective bandwidth under PLP and Delay constrain

5. SUMMARY

Delay is an important role in real-time multimedia applications. In this paper, an approximation method for effective bandwidth estimation of real-time multimedia application has been developed, considering both PLP and delay, based on fluid flow ON/OFF source model. This method is available for applications such as teleconference, videophone for its computationally simple, convenient for real-time bandwidth allocation and management.

6. REFERENCE

[1] M.Decina and T.Toiatti, "On bandwidth allocation to bursty virtual connections in ATM networks", *Proc. ICC'90*, pp. 844-851, 1990.

[2] K.Sohraby, "On the Asymptotic Behavior of Heterogeneous Statistical Multiplexer with Applications", *Proc. INFOCOM'92*, pp. 839-847, 1992.

[3] H.Saito, "Call Admission Control in an ATM Network Using UpperBound of Cell Loss Probability", *IEEE Trans Commun*, Vol. 40, pp. 1512-1521, 1992.

[4] R.Guerin, H.Ahmadi and M.Naghshineh, "Equivalent Capacity and Its Application to Bandwidth Allocation in High-Speed Networks", *IEEE JSAC*, Vol. 9(7), pp. 968-981, 1991.

[5] B.L.Mark and G.Ramamurty, "UPC based traffic descriptors for ATM: How to determine, interpret, and use them", *Telecomunication System*, Vol.5, pp. 109-122, 1996.

[6] A.Elwalid, D.Mitra and H.Wentworth, "A New Approach for Allocating Buffers and Bandwidth to Heterogeneous, Regulated Traffic in an ATM Node", *IEEE JSAC*, Vol.13(6), pp. 1115:1127, 1995.

[7] P.Maryni, "Real-Time Estimation of the Link Capacity in Multimedia Networks", *IFIP'97, Building QoS into Distributed Systems*, pp. 101-112, 1997.

[8] N.Giroux and S.Ganti, *Quality of service in ATM networks: State-of-the-Traffic Management*, pp. 62-75, 1998.

[9] M.Schwartz, *Broaddand Integrated Networks*, Prentice Hall PTR, pp. 32-45, 1996.

[10] Z.Zhang and Z.Qui, "A Novel Approach For Real-time Equivalent Bandwidth Estimation", *International Conference on Communication Technology Proceedings*, Vol.1, pp. 1470-1474, 2000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวกฤตยพรรณ ขำโพธิ์
วัน เดือน ปีเกิด	23 เมษายน 2522
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	866 หมู่ 10 ต.ชุมแพ อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น 40430 โทร.0-4340-2544

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2539 – 2543	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
พ.ศ. 2543 – 2548	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานทางวิชาการ

K Krittayaphan, L Mayuree, 2005. "Effective Bandwidth Estimation for real-time Multimedia Applications", ECTI-CON, Vol. 1, pp. 319-322.

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ.2545 – ปัจจุบัน	วิศวกรการผลิต บริษัท ซิเลซติกา จำกัด จ.ชลบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้