

การปรับปรุงอัลกอริทึมอีพีดีโดยใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนแบบพลวัตสำหรับ
ที่ซีพียูบริการแบบยูบิเอร์ในโครงข่ายเอทีเอ็ม

นายทักษยศ เกียรติสุข



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-332-993-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF EPD ALGORITHM USING DYNAMIC THRESHOLD TECHNIQUES
FOR TCP OVER UBR SERVICE IN ATM NETWORKS

Mr. Thaksayot Keadtisuke

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-332-993-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงอัลกอริทึมอีพีดีโดยใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนแบบพลวัตสำหรับ
ที่ซีพียูบริการแบบยูบีอาร์ในโครงข่ายเอทีเอ็ม

โดย นายทักษยศ เกียรติสุข

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคลการ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร.ลัญจกร วุฒิสีทธิกุลกิจ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

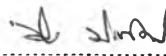
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กิระนันท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)



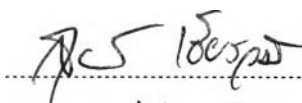
อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคลการ)



อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร.ลัญจกร วุฒิสีทธิกุลกิจ)



กรรมการ

(ดร.สุพจน์ เขียววุฒิ)

ทักษยศ เกียรติสุข: การปรับปรุงอัลกอริทึมอีพีดีโดยใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนแบบพลวัตสำหรับ
ทีซีพีบนบริการแบบยูบีอาร์ในโครงข่ายเอทีเอ็ม (IMPROVEMENT OF EPD ALGORITHM
USING DYNAMIC THRESHOLD TECHNIQUES FOR TCP OVER UBR SERVICE IN
ATM NETWORKS) อ. ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคล, อ. ที่ปรึกษา
ร่วม : ดร.ลัญจกร วุฒิสัทติกุลกิจ, 123 หน้า. ISBN 974-332-993-5

วิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการปรับปรุงสมรรถนะของทีซีพี บนการบริการยูบีอาร์ในโครงข่ายเอทีเอ็ม
โดยใช้อัลกอริทึมอีพีดีที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนแบบพลวัต เมื่อโครงข่ายเกิดความคับคั่งสมรรถนะของทีซีพีลด
ลงเนื่องมาจากการสูญเสียแบนด์วิดท์ที่ใช้งานบางส่วน ดังนั้นจึงเสนออัลกอริทึมอีพีดีเพื่อปรับปรุงสมรรถนะ
ของทีซีพี แต่เนื่องจากการทิ้งเซลล์แบบสุ่มจึงทำให้อัลกอริทึมอีพีดีไม่สามารถปรับปรุงความเท่าเทียมกันในการ
ส่งข้อมูลได้ขณะโครงข่ายเกิดความคับคั่ง มีหลายอัลกอริทึมที่สามารถปรับปรุงความเท่าเทียมกันในการส่งข้อ
มูลได้เช่น อัลกอริทึมอีพีดีที่ใช้เทคนิค per VC accounting ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนออัลกอริทึมอีพีดีที่ใช้
เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนแบบพลวัต ซึ่งอัลกอริทึมนี้จะใช้วิธีการเลือกทิ้งแพ็คเกจของ VC ที่มีการใช้แบนด์วิดท์สูง
กว่าที่จัดสรรออกไปก่อน โดยเทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนแบบพลวัตนี้ช่วยปรับปรุงวิสัยความสามารถและความเท่าเทียมกัน
จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมอีพีดีที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนแบบพลวัตสามารถปรับสมรรถนะ
ของทีซีพีได้ทั้งในกรณีวิสัยความสามารถและความเท่าเทียมกันเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอีพีดี ทำให้ใช้แบนด์วิดท์ของ
โครงข่ายอย่างมีประสิทธิภาพ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต ทักษยศ เกียรติสุข
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ประสิทธิ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ลัญจกร วุฒิสัทติกุลกิจ

#4070287421 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD:

EARLY PACKET DISCARD/ DYNAMIC THRESHOLD/ TRANSMISSION CONTROL
PROTOCOL/ UNSPECIFIED BIT RATE/ ATM NETWORKS

THAKSAYOT KEADTISUKE : IMPROVEMENT OF EPD ALGORITHM USING
DYNAMIC THRESHOLD TECHNIQUES FOR TCP OVER UBR SERVICE IN ATM
NETWORKS. THESIS ADVISOR : PROF. DR. PRASIT PRAPINMONGKOLKARN
THESIS CO-ADVISOR : DR. LUNCHAKORN WUTTISITIKULKIJ. 123 pp. ISBN
974-332-993-5

This thesis investigates the performance of TCP over UBR service in ATM networks with EPD algorithm using dynamic threshold. In congested networks, the performance of TCP is degraded due to the waste usage of the available bandwidth. Early Packet Discard (EPD) algorithm was proposed to improve the performance of TCP. However, The EPD algorithm can not improve the fairness in congested networks because the algorithm will discard packets randomly. Several algorithms can improve the fairness such as EPD algorithm using per VC accounting. This thesis proposes the EPD algorithm using dynamic threshold which selectively drop the data of traversing VC. The packet is selected to be discarded if that VC uses more bandwidth than the fair share among all sessions. This dynamic threshold techniques improve the performance in terms of throughput and fairness. Simulation are presented to show significant improve the performance of EPD algorithm using dynamic threshold techniques in terms of throughput and fairness compared with original EPD over UBR service in ATM networks.

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา..... 2542

ลายมือชื่อนิสิต..... กิ่งทอง เกษมธรรม
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ป. ป. น.
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... ลัญฉกร วุฒิจันทร์กุล



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒมงคลการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. ลัญจนกร วุฒิสัทติกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณ คุณธนัญ จารุวิทย์โกวิท และ คุณนริศ รังษีนพมาศ นิสิตปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในการทำวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆนิสิต สาขาระบบโทรคมนาคมทุกๆท่าน ที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน ซึ่งให้การสนับสนุน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นายทักษยศ เกียรติสุข

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 เป้าหมายและขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 การควบคุมความคับคั่งและการส่งข้อมูล TCP.....	4
2.1 การบริการของ ATM.....	4
2.2 การควบคุมความคับคั่งและการไหลของข้อมูลของ TCP.....	6
2.2.1 การควบคุมการส่งข้อมูลของ TCP.....	6
2.2.2 พื้นฐานการควบคุมความคับคั่งของ TCP.....	8
2.2.3 Slow Start และ Congestion Avoidance.....	10
2.2.4 Fast Retransmission และ Recovery.....	12
3 การปรับปรุงสมรรถนะของ TCP.....	15
3.1 พฤติกรรมของ TCP บนการบริการแบบ UBR.....	15
3.2 อัลกอริทึม Early Packet Discard (EPD).....	16
3.3 อัลกอริทึม Early Packet Discard ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting.....	18
3.4 ปัญหาที่พบในการบริการ UBR.....	21
3.5 อัลกอริทึม Early Packet Discard ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต.....	22
4 แบบการจำลอง.....	30

สารบัญ (ต่อ)

4.1 แบบจำลองการทำงาน.....	30
4.1.1 แบบจำลอง Peer to Peer.....	30
4.1.2 แบบจำลอง Parking Lot.....	31
4.1.3 แบบจำลอง Chain.....	33
4.2 การหาสมรรถนะของ TCP.....	34
5 ผลการจำลองและการวิเคราะห์.....	37
5.1 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลอง Peer to Peer.....	37
5.1.1 ผลการจำลองการทำงานโดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องทั้งหมด.....	37
5.1.2 ผลการจำลองการทำงานโดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องและแบบเบิรสต์.....	42
5.1.3 ผลการวิเคราะห์ของแบบจำลอง Peer to Peer.....	45
5.2 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลอง Parking Lot.....	48
5.2.1 ผลการจำลองการทำงานโดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องทั้งหมด.....	48
5.2.2 ผลการจำลองการทำงานโดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องและแบบเบิรสต์.....	53
5.2.3 ผลการวิเคราะห์ของแบบจำลอง Parking Lot.....	56
5.3 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลอง Chain.....	58
5.3.1 ผลการจำลองการทำงานโดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องทั้งหมด.....	58
5.3.2 ผลการจำลองการทำงานโดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องและแบบเบิรสต์.....	63
5.3.3 ผลการวิเคราะห์ของแบบจำลอง Chain.....	67
5.4 ผลการปรับระดับจุดเริ่มเปลี่ยนด้านสูง (High threshold) และด้านต่ำ(Low threshold).	69
5.5 ผลการจำลองในกรณีเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆของ TCP.....	73
5.5.1 ผลการจำลองเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนแหล่งกำเนิด.....	73
5.5.2 ผลการจำลองเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาด MTU.....	81
5.5.3 ผลการจำลองเมื่อเปลี่ยนแปลงค่า Retransmission Time Out (RTO).....	89
5.5.4 ผลการจำลองการใช้กลไก Fast retransmission และ recovery ของ TCP.....	100

สารบัญ (ต่อ)

5.6 ผลการหาระดับจุดเริ่มเปลี่ยนและขนาดบัฟเฟอร์.....	104
5.6.1 ผลการจำลองหาขนาดบัฟเฟอร์ที่น้อยที่สุดของแต่ละ TCP connections.....	104
5.6.2 ผลการจำลองหาระดับจุดเริ่มเปลี่ยนโดยไม่ทำให้เกิดเซกต์สูญเสีย.....	111
6 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ.....	116
6.1 สรุปผลการทดสอบ.....	116
6.2 ข้อดีข้อเสียของการใช้อัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต.....	119
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	120
รายการอ้างอิง.....	121
ประวัติผู้เขียน.....	123

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 กลไกการควบคุมการส่งข้อมูลของ TCP.....	7
รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบ ภาระ (Load) กับ ความล่าช้า (Delay) และ วัสดุสามารถ (Throughput).....	9
รูปที่ 2.3 กราฟ Congestion Window (CWND) ขณะ Slow Start และ Congestion Avoidance.....	12
รูปที่ 2.4 กลไก Fast retransmit.....	13
รูปที่ 2.5 Congestion window ของกลไก Fast retransmit and recovery.....	14
รูปที่ 3.1 การทำงานของอัลกอริทึม Early Packet Discard (EPD).....	17
รูปที่ 3.2 แผนภูมิการทำงานของอัลกอริทึม Early Packet Discard (EPD).....	18
รูปที่ 3.3 อัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting.....	20
รูปที่ 3.4 แผนภูมิการทำงานของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting.....	21
รูปที่ 3.5 แผนภูมิการทำงานของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนแบบพลวัต.....	27
รูปที่ 3.6 การทำงานของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนแบบพลวัต.....	28
รูปที่ 4.1 แบบจำลอง Peer to Peer.....	31
รูปที่ 4.2 แบบจำลอง Parking Lot ที่มีหลาย hop.....	32
รูปที่ 4.3 แบบจำลอง Chain ที่มีแหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องทั้งหมด.....	33
รูปที่ 4.4 แบบจำลอง Chain ที่มีแหล่งกำเนิดแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องและแบบเบริสต์.....	34
รูปที่ 4.5 ลำดับชั้นและ โครงสร้าง Protocol Data Units ของ TCP/IP บน โครงข่าย ATM.....	35
รูปที่ 5.1 (ก) Effective Throughput (ข) ความยาวคิว ของอัลกอริทึม Early Packet Discard ใน โครงข่าย LAN.....	38
รูปที่ 5.2 (ก) Effective Throughput (ข) ความยาวคิว ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting ใน โครงข่าย LAN.....	39
รูปที่ 5.3 (ก) Effective Throughput (ข) ความยาวคิว ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่ม เปลี่ยนพลวัต ใน โครงข่าย LAN.....	39
รูปที่ 5.4 (ก) Effective Throughput (ข) ความยาวคิว ของอัลกอริทึม Early Packet Discard ใน โครงข่าย WAN.....	40
รูปที่ 5.5 (ก) Effective Throughput (ข) ความยาวคิว ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting ใน โครงข่าย WAN.....	41

สารบัญรูปรภาพ (ต่อ)

รูปที่ 5.6 (ก) Effective Throughput (ข) ความยาวคิว ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต ในโครงข่าย WAN.....	41
รูปที่ 5.7 (ก) Effective Throughput (ข) ความยาวคิว ของอัลกอริทึม Early Packet Discard โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลตลอดเวลาและแบบเบิรสต์ ในโครงข่าย LAN.....	43
รูปที่ 5.8 (ก) Effective Throughput (ข) ความยาวคิว ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องและแบบเบิรสต์ ในโครงข่าย LAN.....	44
รูปที่ 5.9 (ก) Effective Throughput (ข) ความยาวคิว ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัตโดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องและแบบเบิรสต์ ในโครงข่าย LAN.....	44
รูปที่ 5.10 (ก) Effective Throughput (ข) Cell Loss ของอัลกอริทึม Early Packet Discard โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่อง ในโครงข่าย LAN.....	49
รูปที่ 5.11 (ก) Effective Throughput (ข) Cell Loss ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่อง ในโครงข่าย LAN.....	49
รูปที่ 5.12 (ก) Effective Throughput (ข) Cell Loss ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัตโดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องในโครงข่าย LAN.....	50
รูปที่ 5.13 (ก) Effective Throughput (ข) Cell Loss ของอัลกอริทึม Early Packet Discard โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่อง ในโครงข่าย WAN.....	51
รูปที่ 5.14 (ก) แสดง Effective Throughput (ข) Cell Loss ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่อง ในโครงข่าย LAN.....	51
รูปที่ 5.15 (ก) แสดง Effective Throughput (ข) Cell Loss ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัตโดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่อง ในโครงข่าย WAN.....	52
รูปที่ 5.16 (ก) Effective Throughput (ข) Cell Loss ของอัลกอริทึม Early Packet Discard โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องและแบบเบิรสต์ ในโครงข่าย LAN.....	54
รูปที่ 5.17 (ก) Effective Throughput (ข) Cell Loss ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องและแบบเบิรสต์ ในโครงข่าย LAN.....	55
รูปที่ 5.18 (ก) Effective Throughput (ข) Cell Loss ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้จุดเริ่มเปลี่ยนพลวัตโดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องและแบบเบิรสต์ ในโครงข่าย LAN.....	55

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 5.19 (ก) Effective Throughput (ข) ความยาวคิว ของอัลกอริทึม Early Packet Discard โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่อง ในโครงข่าย LAN.....	59
รูปที่ 5.20 (ก) แสดง Effective Throughput (ข) ความยาวคิว ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่อง ในโครงข่าย LAN.....	59
รูปที่ 5.21 (ก) Effective Throughput (ข) ความยาวคิว ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องในโครงข่าย LAN.....	60
รูปที่ 5.22 (ก) Effective Throughput (ข) ความยาวคิว (ค) Cell Loss ของอัลกอริทึม Early Packet Discard โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่อง ในโครงข่าย WAN.....	61
รูปที่ 5.23 (ก) Effective Throughput (ข) ความยาวคิว (ค) Cell Loss ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่อง ในโครงข่าย WAN.....	61
รูปที่ 5.24 (ก) Effective Throughput (ข) ความยาวคิว (ค) Cell Loss ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องในโครงข่าย WAN.....	62
รูปที่ 5.25 (ก),(ข) Effective Throughput (ค) ความยาวคิว (ง) Cell Loss ของอัลกอริทึม Early Packet Discard โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องและแบบเบิรสต์ ในโครงข่ายแบบ LAN.....	64
รูปที่ 5.26 (ก),(ข) Effective Throughput (ค) ความยาวคิว (ง) Cell Loss ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้ per-VC accounting โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่อง และ แบบเบิรสต์ ในโครงข่ายแบบ LAN.....	65
รูปที่ 5.27 (ก),(ข) Effective Throughput (ค) ความยาวคิว (ง) Cell Loss ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้จุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลต่อเนื่องและแบบเบิรสต์ ในโครงข่ายแบบ LAN.....	66
รูปที่ 5.28 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ TCP เมื่อปรับจุดเริ่มเปลี่ยนด้านสูง.....	70
รูปที่ 5.29 ผลการจำลองการเปลี่ยนจำนวนแหล่งกำเนิดของอัลกอริทึม Early Packet Discard.....	74
รูปที่ 5.30 ผลการจำลองการเปลี่ยนจำนวนแหล่งกำเนิดของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting.....	76
รูปที่ 5.31 ผลการจำลองการเปลี่ยนจำนวนแหล่งกำเนิดของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต.....	78

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 5.32 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD เมื่อ ขนาด MTU = 1500 bytes.....	82
รูปที่ 5.33 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD เมื่อขนาด MTU = 4352 bytes.....	82
รูปที่ 5.34 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD เมื่อขนาด MTU = 8192 bytes.....	83
รูปที่ 5.35 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD เมื่อขนาด MTU = 9180 bytes.....	83
รูปที่ 5.36 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้ เทคนิค per-VC accounting เมื่อขนาด MTU = 1500 bytes.....	84
รูปที่ 5.37 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้ เทคนิค per-VC accounting เมื่อขนาด MTU = 4352 bytes.....	84
รูปที่ 5.38 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้ เทคนิค per-VC accounting เมื่อขนาด MTU = 8192 bytes.....	84
รูปที่ 5.39 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้ เทคนิค per-VC accounting เมื่อขนาด MTU = 9180 bytes.....	85
รูปที่ 5.40 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้ เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต เมื่อขนาด MTU = 1500 bytes.....	85
รูปที่ 5.41 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้ เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต เมื่อขนาด MTU = 4352 bytes.....	86
รูปที่ 5.42 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้ เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต เมื่อขนาด MTU = 8192 bytes.....	86
รูปที่ 5.43 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้ เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต เมื่อขนาด MTU = 9180 bytes.....	86
รูปที่ 5.44 แสดงประสิทธิภาพของ โครงข่ายของแต่ละอัลกอริทึม เมื่อมีการเปลี่ยนขนาด MTU.....	87
รูปที่ 5.45 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD และ (ค) ขนาดของ Congestion Window เมื่อค่า Retransmission Time Out = 50 ms.....	90
รูปที่ 5.46 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD และ (ค) ขนาดของ Congestion Window เมื่อค่า Retransmission Time Out = 100 ms.....	90

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 5.47 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD และ (ค) ขนาดของ Congestion Window เมื่อค่า Retransmission Time Out = 250 ms..... 91

รูปที่ 5.48 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD และ (ค) ขนาดของ Congestion Window เมื่อค่า Retransmission Time Out = 500 ms..... 91

รูปที่ 5.49 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting และ (ค) ขนาดของ Congestion Window เมื่อค่า Retransmission Time Out = 50 ms..... 92

รูปที่ 5.50 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting และ (ค) ขนาดของ Congestion Window เมื่อค่า Retransmission Time Out = 100 ms..... 93

รูปที่ 5.51 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting และ (ค) ขนาดของ Congestion Window เมื่อค่า Retransmission Time Out = 250 ms..... 93

รูปที่ 5.52 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting และ (ค) ขนาดของ Congestion Window เมื่อค่า Retransmission Time Out = 500 ms..... 94

รูปที่ 5.53 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต และ (ค) ขนาดของ Congestion Window เมื่อค่า Retransmission Time Out = 50 ms..... 95

รูปที่ 5.54 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต และ (ค) ขนาดของ Congestion Window เมื่อค่า Retransmission Time Out = 100 ms..... 95

รูปที่ 5.55 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต และ (ค) ขนาดของ Congestion Window เมื่อค่า Retransmission Time Out = 250 ms..... 96

รูปที่ 5.56 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวที่สวิตช์ EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต และ (ค) ขนาดของ Congestion Window เมื่อค่า Retransmission Time Out = 500 ms..... 96

รูปที่ 5.57 การเปรียบเทียบความเท่าเทียมของการส่งข้อมูลของแต่ละอัลกอริทึม..... 98

รูปที่ 5.58 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายของแต่ละอัลกอริทึม..... 99

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่ 5.59 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวของอัลกอริทึม EPD เมื่อใช้กลไก Fast retransmission และ recovery.....	101
รูปที่ 5.60 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting เมื่อใช้กลไก Fast retransmission และ recovery.....	102
รูปที่ 5.61 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิวของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต เมื่อใช้กลไก Fast retransmission และ recovery.....	102
รูปที่ 5.62 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขนาดบัฟเฟอร์ที่จุดวิกฤตและพันจุดวิกฤต.....	106
รูปที่ 5.63 ผลการเปรียบเทียบความเท่าเทียมกันของขนาดบัฟเฟอร์ที่จุดวิกฤตและพันจุดวิกฤต.....	107
รูปที่ 5.64 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิว (ค) จำนวนเซลล์ที่ สูญเสีย (ง) ขนาด Congestion window ที่ขนาดบัฟเฟอร์อยู่บนจุดวิกฤต.....	107
รูปที่ 5.65 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิว (ค) จำนวนเซลล์ที่ สูญเสีย (ง) ขนาด Congestion window ที่ขนาดบัฟเฟอร์พันจุดวิกฤต.....	108
รูปที่ 5.66 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิว (ค) เซลล์ที่สูญเสีย (ง) Congestion Window sizes ของแต่ละแหล่งกำเนิด โดยตั้งจุดเริ่มเปลี่ยนที่ทำให้ไม่ เกิดเซลล์สูญเสีย.....	113
รูปที่ 5.67 (ก) Effective Throughput ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ข) ความยาวคิว (ค) เซลล์ที่สูญเสีย (ง) Congestion Window sizes ของแต่ละแหล่งกำเนิด โดยตั้งจุดเริ่มเปลี่ยนที่ทำให้เกิด เซลล์สูญเสีย.....	114

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.1 ผลการจำลองของแหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลตลอดเวลา ในโครงข่ายแบบ LAN.....	38
ตารางที่ 5.2 ผลการจำลองของแหล่งกำเนิดเป็นแบบส่งข้อมูลตลอดเวลา ในโครงข่ายแบบ WAN.....	40
ตารางที่ 5.3 ผลการจำลองของแบบจำลอง Peer to Peer โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบ ส่งข้อมูลต่อเนื่องและแบบเบิรสต์ ในโครงข่ายแบบ LAN.....	43
ตารางที่ 5.4 ผลการจำลองของแบบจำลอง Parking Lot โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบ ส่งข้อมูลต่อเนื่อง ในโครงข่ายแบบ LAN.....	48
ตารางที่ 5.5 ผลการจำลองของแบบจำลอง Parking Lot โดยที่แหล่งกำเนิดเป็นแบบ ส่งข้อมูลต่อเนื่อง ในโครงข่ายแบบ WAN.....	50
ตารางที่ 5.6 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลอง Parking Lot โดยมีแหล่งกำเนิดแบบ ส่งข้อมูลต่อเนื่องและแบบเบิรสต์ ในโครงข่ายแบบ LAN.....	54
ตารางที่ 5.7 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลอง Chain โดยที่มีแหล่งกำเนิด ส่งข้อมูลต่อเนื่อง ในโครงข่ายแบบ LAN.....	58
ตารางที่ 5.8 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลอง Chain โดยที่มีแหล่งกำเนิด ส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ในโครงข่ายแบบ WAN.....	60
ตารางที่ 5.9 ผลการจำลองการทำงานของแบบจำลอง Chain โดยมีแหล่งกำเนิด ที่ส่งข้อมูลต่อเนื่องและแบบเบิรสต์ ในโครงข่ายแบบ LAN.....	64
ตารางที่ 5.10 ประสิทธิภาพ TCP โดยการปรับจุดเริ่มเปลี่ยนด้านสูงและ จุดเริ่มเปลี่ยนด้านต่ำคงที่.....	69
ตารางที่ 5.11 ค่าความเท่าเทียมกัน โดยการปรับจุดเริ่มเปลี่ยนด้านสูงและ จุดเริ่มเปลี่ยนด้านต่ำคงที่.....	70
ตารางที่ 5.12 ประสิทธิภาพของ TCP โดยกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยนด้านสูงให้คงที่ และ ปรับจุดเริ่มเปลี่ยนด้านต่ำ.....	70
ตารางที่ 5.13 ผลการจำลองการเปลี่ยนจำนวนแหล่งกำเนิด ของอัลกอริทึม Early Packet Discard.....	74
ตารางที่ 5.14 ผลการจำลองการเปลี่ยนจำนวนแหล่งกำเนิดของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting.....	76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 5.15 ผลการจำลองการเปลี่ยนจำนวนแหล่งกำเนิด ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต.....	78
ตารางที่ 5.16 ผลการจำลองการเปลี่ยนขนาด MTU ของอัลกอริทึม Early Packet Discard.....	82
ตารางที่ 5.17 ผลการจำลองการเปลี่ยนขนาด MTU ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting.....	83
ตารางที่ 5.18 ผลการจำลองการเปลี่ยนขนาด MTU ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต.....	85
ตารางที่ 5.19 ผลการจำลองการเปลี่ยนค่า Retransmission Time Out ของอัลกอริทึม Early Packet Discard.....	89
ตารางที่ 5.20 ผลการจำลองการเปลี่ยนค่า Retransmission Time Out ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting.....	92
ตารางที่ 5.21 ผลการจำลองการเปลี่ยนค่า Retransmission Time Out ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้ เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนแบบพลวัต.....	94
ตารางที่ 5.22 ผลการจำลองของแบบจำลอง Peer to Peer เมื่อใช้กลไก Fast retransmission และ recovery.....	101
ตารางที่ 5.23 ผลการเปรียบเทียบขนาดของบัฟเฟอร์น้อยที่สุดที่ทำให้ความเท่าเทียมกัน ไม่วิกฤต โดยการคำนวณและการจำลอง.....	105
ตารางที่ 5.24 ผลการจำลองขนาดบัฟเฟอร์ที่จุดวิกฤตของแต่ละ connection ของอัลกอริทึม Early Packet Discard.....	105
ตารางที่ 5.25 ผลการจำลองขนาดบัฟเฟอร์ที่จุดวิกฤตของแต่ละ connection ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting.....	106
ตารางที่ 5.26 ผลการจำลองขนาดบัฟเฟอร์ที่จุดวิกฤตของแต่ละ connection ของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิคจุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต.....	106
ตารางที่ 5.27 ผลการเปรียบเทียบระดับจุดเริ่มเปลี่ยนที่ได้จากการคำนวณและจากการจำลอง ของแต่ละอัลกอริทึม.....	112
ตารางที่ 5.28 ผลการจำลองขนาดจุดเริ่มเปลี่ยนมากที่สุดที่ไม่มีแพ็กเกจสูญเสียบของอัลกอริทึม Early Packet Discard.....	112
ตารางที่ 5.29 ผลการจำลองขนาดจุดเริ่มเปลี่ยนมากที่สุดที่ไม่มีแพ็กเกจสูญเสียบของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค per-VC accounting.....	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 5.30 ผลการจำลองขนาดจุดเริ่มเปลี่ยนมากที่สุดที่ไม่มีเพิกแกงสูญเสียบของอัลกอริทึม EPD ที่ใช้เทคนิค จุดเริ่มเปลี่ยนพลวัต.....	112
--	-----