การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเข้าถึงหลายทางที่มีเงื่อนไขของเวลา

นายวิธพล เจาะจิตต์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-605-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19436646

EFFICIENCY ANALYSIS OF TIME-CONSTRAINED MULTIPLE-ACCESS SYSTEM

MR. WITTAPON JAWJIT

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2543

ISBN 974-346-605-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเข้าถึงหลายทางที่มีเงื่อนไขของเวลา
โดย	นายวิธพล เจาะจิตต์
ภาควิชา	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ทีฆพุฒิ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ อยู่ถนอม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ทีฆพุฒิ)

..... กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

วิธพล เจาะจิตต์ : การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเข้าถึงหลายทางที่มีเงื่อนไขของเวลา. (EFFICIENCY ANALYSIS OF TIME-CONSTRAINED MULTIPLE-ACCESS SYSTEM)
อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ประสิทธิ์ ทีฆพุฒิ, 80 หน้า. ISBN 974-346-605-3

ในระบบสื่อสารแพ็คเก็ตแบบเข้าถึงหลายทางซึ่งผู้ใช้ในระบบเข้าใช้ช่องสัญญาณอย่างสุ่ม ปัญหาเฉพาะที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสารแบบดั้งเดิมคือ การลดลงของปริมาณงานออก การเพิ่มขึ้นของค่าหน่วงเวลาโดยเฉลี่ย และเสถียรภาพที่ไม่ดีของระบบ นอกจากนี้แนวโน้มความต้องการของระบบสื่อสารในปัจจุบันเกี่ยวกับค่าเงื่อนไขของเวลายังเป็นความต้องการหลักสำคัญของผู้ใช้ในระบบซึ่ง Panwar และคณะได้แสดงให้เห็นถึงโพรโตคอลที่มีค่าสูญเสียน้อย หากแต่ไม่ได้แสดงถึงการคำนวณค่าปริมาณงานออก ในวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ได้เสนอโพรโตคอลที่มีความสามารถในการยกระดับปริมาณงานออกของระบบอย่างมีนับสำคัญไปยังระดับ 0.630 และ 0.550 ในกรณีผู้ใช้ในระบบจำนวน 5 และ 15 สถานีตามลำดับ

ในขณะที่ในกรณีของผู้ใช้ในระบบจำนวน 500 สถานี ปริมาณงานออกจะอยู่ที่ระดับ 0.510 นอกจากนี้เมื่อปริมาณทราฟฟิคของช่องสัญญาณสูง โพรโตคอลยังสามารถรักษาระดับปริมาณงานออกในระดับระหว่าง 0.400-0.500 ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงเสถียรภาพที่ดีขึ้นของระบบ อย่างไรก็ตามโพรโตคอลที่เสนอในวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ยังไม่สามารถลดค่าปัจจัยความสูญเสียได้อย่างมีนัยสำคัญ

ภาควิชา ....วิศวกรรมไฟฟ้า.....
สาขาวิชา ...วิศวกรรมไฟฟ้า (ระบบโทรคมนาคม)....
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

##3972883321 MAJOR: ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : EFFICIENCY/ TIME-CONSTRAINED/ MULTIPLE-ACCESS

WITTAPON JAWJIT: EFFICIENCY ANALYSIS OF TIME-CONSTRAINED MULTIPLE-ACCESS BASIS

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PRASIT TEEKAPUT

80 pp. ISBN 974-346-605-3

In multiple-access packet communication, which all users randomly access the channel, the inherent problems usually found in conventional system are such as decreasing in channel throughput, increasing of average packet delay and poor stability of system. Furthermore, in modern communication system, there exists a trend of time-constrained multiple-access channel for bursty requirements which Panwar et.al, [4] presented a low loss collision resolution algorithm without analysis of any throughput. Proposed here, it is a protocol leverage level of channel which shows that the throughput is significantly improved to 0.630 and 0.550 in case of 5 and 15 users respectively.

Meanwhile, in case of 500 users, throughput level will be 0.510. In addition, the proposed protocol will maintain level of throughput between 0.400-0.500 when channel traffic is high resulting in higher stability of the system. However, this proposed protocol presents its weakness by exhibiting higher loss factor than that of Panwar et.al, [4] when compared at the same level of channel traffic.

ภาควิชา ....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา ...วิศวกรรมไฟฟ้า (ระบบโทรคมนาคม).... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ทีฆพุฒิ ที่ได้ให้ความไว้วางใจ และความเชื่อมั่นในตัวผู้เขียน ตลอดจนให้โอกาสในการได้รับการศึกษาในระดับปริญญามหาบัณฑิตในครั้งนี้ พร้อมกันนี้ ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ ที่ได้มอบความไว้วางใจให้ปฏิบัติหน้าที่การงานสำคัญ พร้อมทั้งการให้ความกรุณา ช่วยเหลือ ตักเตือน และสนับสนุนการทำวิจัยของผู้เขียนเสมอมา ตลอดระยะเวลาการศึกษา และผู้เขียนใคร่ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์เชาวลีย์ พงศาติโรจน์ ที่ได้ช่วยให้คำแนะนำในการทำงาน และอยู่เบื้องหลังความสำเร็จในการทำงานของผู้เขียน

ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่สุดต่อความรัก ความกรุณา การดูแล ของรองศาสตราจารย์ ตรีพล เจาะจิตต์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิมล เจาะจิตต์ บิดาและมารดาของผู้เขียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเป็นแบบอย่างในการดำเนินชีวิตที่ดี ในด้านของความซื่อตรงและการยึดมั่นในแนวทางที่ถูกต้อง การเสียสละและรับผิดชอบต่อหน้าที่การงานและส่วนรวม ผู้เขียนคงไม่สามารถก้าวมาถึงจุดปัจจุบันของชีวิตได้ หากปราศจากการนำทางและการดูแลของบุพการีทั้งสอง

ผู้เขียนใคร่ขอแสดงความชอบคุณต่อเพื่อนร่วมงาน ณ สำนักบริการธุรกิจและที่ปรึกษา ซึ่งไม่ได้เป็นเพียงเพื่อนร่วมงานเท่านั้น หากแต่ยังเป็นเสมือนเพื่อนที่คอยช่วยเหลือและสนับสนุนในทางอ้อมต่อการทำวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอแสดงความขอบคุณต่อคุณพงษ์รัตน์ อัมพรพูลสุข และคุณเฉลิมพร เก้าเอี้ยน ที่มีส่วนช่วยเหลือเป็นอย่างยิ่งในช่วงท้ายของการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายที่สุด และสำคัญที่สุด ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณ คุณจีริสุดา เจาะจิตต์ คู่ชีวิตของผู้เขียน ซึ่งเป็นแรงบันดาลใจสำคัญในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และเป็นทั้งผู้ดูแล ผู้เสียสละ อุทิศเวลาทั้งหมดในการช่วเหลือผู้เขียนในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และเป็นผู้ซึ่งทำให้ผู้เขียนได้ทราบความหมายของการร่วมทุกข์ร่วมสุข และคุณค่าที่สูงยิ่งของการมีคู่ชีวิตที่เป็นเสมือนทุกสิ่งในชีวิตของผู้เขียน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญรูป..... ญ
คำอธิบายสัญญลักษณ์..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์..... 3
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... 3
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4
บทที่ 2 การสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา..... 5
2.1 ระบบการเข้าถึงหลายทางแบบสามัญ..... 6
2.2 โพรโตคอลสำหรับระบบเข้าถึงหลายทางแบบทรี อัลกอริธึม..... 11
2.3 โพรโตคอลการเข้าถึงหลายทางที่มีเงื่อนไขของเวลา..... 19
2.4 กรอบแนวคิดของโพรโตคอลที่เสนอในวิทยานิพนธ์..... 21
บทที่ 3 การวิเคราะห์ทางทฤษฎี..... 24
3.1 แบบจำลองระบบและสมมติฐานสำคัญในการศึกษา..... 24
3.2 อัลกอริธึมและกระบวนการทำงานของอัลกอริธึม..... 25
3.3 ข้อสรุปเกี่ยวกับผลของค่าเงื่อนไขของเวลาที่มีต่อระบบ..... 39
3.4 การประเมินสมรรถนะของระบบเมื่อผู้ใช้ในระบบมีจำนวนมาก..... 40
3.5 การประเมินเสถียรภาพของระบบ
และเงื่อนไขของเสถียรภาพของระบบ..... 61
3.6 ข้อสรุปจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี..... 62
บทที่ 4 การสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบผลทางทฤษฎี..... 64
4.1 ภาพรวมของการสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบผลทางทฤษฎี..... 64
4.2 ผลของการจำลองแบบการทำงานของโพรโตคอล..... 71
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 75
5.1 ข้อสรุปเกี่ยวกับสมรรถนะของโพรโตคอลที่เสนอ..... 75

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเลือกใช้ค่าเงื่อนไขของเวลา..... 76

5.3 ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม..... 78

รายการอ้างอิง..... 79

ประวัติผู้เขียน..... 81

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3-1 แสดงองค์ประกอบของ Transitional Probability Matrix ในกรณีผู้ใช้ในระบบจำนวน 5 สถานี และไม่มีเงื่อนไขของเวลา..... 29

ตารางที่ 3-2 แสดงพารามิเตอร์สำคัญของระบบในกรณีผู้ใช้ในระบบจำนวน 5 สถานี และไม่มีเงื่อนไขของเวลา..... 33

ตารางที่ 3-3 แสดงพารามิเตอร์สำคัญของระบบในกรณีผู้ใช้ในระบบจำนวน 5 สถานี จากการคำนวณของโมเดลลดรูป..... 46

ตารางที่ 3-4 แสดงค่าพารามิเตอร์ของระบบในกรณีผู้ใช้ในระบบจำนวน 15 สถานี จากการคำนวณของโมเดลลดรูป..... 50

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2-1	ลักษณะ Bistable ของโพรโตคอลการเข้าถึงหลายทาง แบบสล็อตเต็ด อโลฮา.....	8
รูปที่ 2-2	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณงานออก และค่าหน่วงเวลาที่ค่า K ต่างๆ ของโพรโตคอลการเข้าถึงหลายทางแบบสล็อตเต็ด อโลฮา.....	10
รูปที่ 2-3	แสดงโครงสร้างของ ไบนารี ทรี ในกรณีที่มีผู้ใช้ในระบบจำนวน 16 ราย..	13
รูปที่ 2-4	แสดงคู่ไทม์สล็อต และลำดับการทำงานของอัลกอริธึมแบบไบนารี ทรี ในการแบ่งกลุ่มการส่งแพ็คเก็ต และการแก้ไขปัญหาข้อขัดแย้ง ในการส่งแพ็คเก็ต.....	14
รูปที่ 2-5	แสดงปริมาณงานออกและค่าหน่วงเวลา (Algorithm Step) ของ Static Tree Algorithm.....	18
รูปที่ 2-6	แสดงค่าปัจจัยการสูญเสียของแพ็คเก็ต (Loss Factor) ที่ค่าเงื่อนไข K และปริมาณทราฟฟิคของช่องสัญญาณ λ ต่างๆ.....	20
รูปที่ 3-1	แสดงลักษณะการทำงานของโพรโตคอล.....	26
รูปที่ 3-2	โมเดลประมาณการสถานะของระบบในกรณีผู้ใช้จำนวน 5 ราย และไม่มีเงื่อนไขของเวลา.....	28
รูปที่ 3-3	แสดงปริมาณงานออกของระบบที่ค่าทราฟฟิคต่างๆ ของช่องสัญญาณ....	34
รูปที่ 3-4	แสดง Average Backlogged Time ที่ค่าทราฟฟิคต่างๆ ของช่องสัญญาณ.....	34
รูปที่ 3-5	แสดงโมเดลประมาณการโครงสร้างสถานะของระบบ เมื่อเงื่อนไขของเวลาเท่ากับ 2 ไทม์สล็อต.....	35
รูปที่ 3-6	แสดงโมเดลประมาณการโครงสร้างสถานะของระบบ เมื่อเงื่อนไขของเวลาเท่ากับ 4 ไทม์สล็อต.....	36
รูปที่ 3-7	แสดงปริมาณงานออกที่ค่าเงื่อนไขเวลาต่างๆ.....	36
รูปที่ 3-8	แสดงค่า Average Backlogged Time ที่ค่าเงื่อนไขเวลาต่างๆ.....	37
รูปที่ 3-9	แสดงค่า Loss Factor ที่ค่าเงื่อนไขเวลาต่างๆ.....	38
รูปที่ 3-10	แสดงค่าหน่วงเวลาโดยเฉลี่ยที่ค่าเงื่อนไขเวลาต่างๆ.....	38
รูปที่ 3-11	โมเดลลดรูปสำหรับการประมาณการสมรรถนะของระบบ (กรณีผู้ใช้ในระบบจำนวน 3 ราย).....	41
รูปที่ 3-12	แสดงค่าปริมาณงานออกในกรณีผู้ใช้ในระบบจำนวน 5 สถานี จากการคำนวณของโมเดลลดรูป.....	47

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3-13	แสดงค่า Average Backlogged Time ในกรณีผู้ใช้ในระบบ จำนวน 5 สถานี จากการคำนวณของโมเดลลดรูป.....	47
รูปที่ 3-14	แสดงค่าปริมาณงานออกของระบบในกรณีผู้ใช้ในระบบ จำนวน 15 สถานี จากการคำนวณของโมเดลลดรูป.....	50
รูปที่ 3-15	แสดงค่าปริมาณงานออกของระบบเปรียบเทียบระหว่างกรณี ผู้ใช้ในระบบจำนวน 5 และ 15 สถานี จากการคำนวณของโมเดลลดรูป..	51
รูปที่ 3-16	แสดงค่า Average Backlogged Time ของระบบเปรียบเทียบ ระหว่างกรณีผู้ใช้ในระบบจำนวน 5 และ 15 สถานี จากการคำนวณของโมเดลลดรูป.....	52
รูปที่ 3-17	แสดงค่า Stationary Probability Distribution ของระบบ ที่สถานะ "0" เปรียบเทียบระหว่างกรณีผู้ใช้ในระบบจำนวน 5 และ 15 สถานี จากการคำนวณของโมเดลลดรูป.....	53
รูปที่ 3-18	แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณงานออกกรณีผู้ใช้ในระบบ จำนวน 5 สถานี ระหว่างการคำนวณของโมเดลประมาณการ และจากการคำนวณของโมเดลลดรูป.....	54
รูปที่ 3-19	แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณงานออกกรณีผู้ใช้ในระบบ จำนวน 15 สถานี ระหว่างการคำนวณของโมเดลประมาณการ และจากการคำนวณของโมเดลลดรูป.....	54
รูปที่ 3-20	แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณงานออกระหว่างกรณีผู้ใช้ในระบบ จำนวน 5 15 50 100 และ 150 สถานีและเปรียบเทียบกับ Slotted Aloha	56
รูปที่ 3-21	แสดงการเปรียบเทียบค่า Average Backlogged Time ระหว่างกรณีผู้ใช้ในระบบจำนวน 5 15 50 100 และ 150 สถานี.....	57
รูปที่ 3-22	แสดงการเปรียบเทียบค่า Average Backlogged Time ระหว่างกรณีผู้ใช้ในระบบจำนวน 5 15 50 100 และ 150 สถานี และกรณีของ Slotted Aloha.....	58
รูปที่ 3-23	แสดงค่า Loss Factor ในกรณีผู้ใช้จำนวน 15 สถานี ที่ค่าเงื่อนไขเวลาค่าต่าง ๆ.....	60
รูปที่ 4-1	แสดงการทำงานของโปรแกรมโดยการสุ่มเลือกผู้ใช้ในระบบรายหนึ่ง.....	65
รูปที่ 4-2	แสดงการทำงานของโปรแกรมโดยการสุ่มเลือกผู้ใช้ ในระบบจำนวน 3 ราย.....	66

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4-3	แสดงปริมาณทราฟฟิคของช่องสัญญาณกรณีผู้ใช้ 15 สถานี และ 1,000 ไทม์สล็อต.....	66
รูปที่ 4-4	แสดงปริมาณทราฟฟิคของช่องสัญญาณ และข้อขัดแย้งจากการส่งแพ็คเก็ตเข้าสู่ช่องสัญญาณ.....	67
รูปที่ 4-5	อธิบายการทำงานของโพรโตคอล.....	68
รูปที่ 4-6	แสดงผลการทำงานของโพรโตคอลสำหรับจำนวน ผู้ใช้ในระบบ 15 รายและใช้ระยะเวลาการสุ่มจำนวน 1,000 ไทม์สล็อต	70
รูปที่ 4-7	แสดงผลการทำงานของโพรโตคอลระหว่างไทม์สล็อตที่ 1-20.....	71
รูปที่ 4-8	แสดงผลการทำงานของโพรโตคอลระหว่างไทม์สล็อตที่ 111-131.....	71
รูปที่ 4-9	แสดงผลการคำนวณปริมาณงานออกจากโปรแกรมจำลองแบบ โดยเปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี กรณีผู้ใช้ 15 สถานี.....	72
รูปที่ 4-10	แสดงผลการคำนวณปริมาณงานออกจากโปรแกรมจำลองแบบ โดยเปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี กรณีผู้ใช้ 5 สถานี.....	72
รูปที่ 4-11	แสดงผลการคำนวณค่าหน่วงเวลาโดยเฉลี่ย (Average Backlogged Time) โดยเปรียบเทียบ กับการคำนวณทางทฤษฎี กรณีผู้ใช้ 15 สถานี.....	73
รูปที่ 4-12	แสดงผลการคำนวณค่าหน่วงเวลาโดยเฉลี่ย (Average Backlogged Time) โดยเปรียบเทียบ กับการคำนวณทางทฤษฎี กรณีผู้ใช้ 5 สถานี.....	73
รูปที่ 5-1	แสดงค่าปริมาณงานออกที่ค่าเงื่อนไขเวลาต่างๆ กรณีผู้ใช้ 5 สถานี.....	77
รูปที่ 5-2	แสดงค่าหน่วงเวลาโดยเฉลี่ยของแพ็คเก็ต ที่ค่าเงื่อนไขเวลาต่างๆ กรณีผู้ใช้ 5 สถานี.....	78

คำอธิบายสัญญลักษณ์

π	เวกเตอร์ของค่าความน่าจะเป็นในการพบระบบอยู่ ณ สถานะใดสถานะหนึ่ง (Stationary Probability Distribution)
P	เมตริกซ์ของค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของระบบ
S	ปริมาณงานออก (Throughput)
n	จำนวนผู้ใช้ที่มีปัญหาจากการส่งแพ็คเก็ต (Backlogged User)
$S(n)$	ปริมาณงานออกที่สถานะ n
K	ค่าเงื่อนไขเวลาซึ่งกำหนดให้โพรโตคอลแก้ไขปัญหาในจำนวน K ไทม์สล็อต
$E(n)$	ค่าเฉลี่ยของจำนวน Backlogged User
ρ_{ij}	ค่าความน่าจะเป็นที่ระบบจะเปลี่ยนสถานะจากสถานะ i ไปยังสถานะ j
α	ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้ในระบบจะส่งแพ็คเก็ตในไทม์สล็อตหนึ่ง ๆ
λ	ปริมาณทราฟฟิคของช่องสัญญาณ
$L(\lambda,K)$	ค่าปัจจัยความสูญเสียซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าทราฟฟิคของช่องสัญญาณ และค่าเงื่อนไขเวลาที่กำหนดไว้
τ_r	ความยาวของแพ็คเก็ตซึ่งสมมูลกับระยะเวลาในการประมวลผลแพ็คเก็ต