

การปรับปรุงถั้วแบบดั้งเดิมในการควบคุมพารามิเตอร์การใช้เอทีเอ็ม
โดยการใช้เครดิตโทเค้นและฟัซซี่ลอจิก



นายสัญญา พิწყกุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

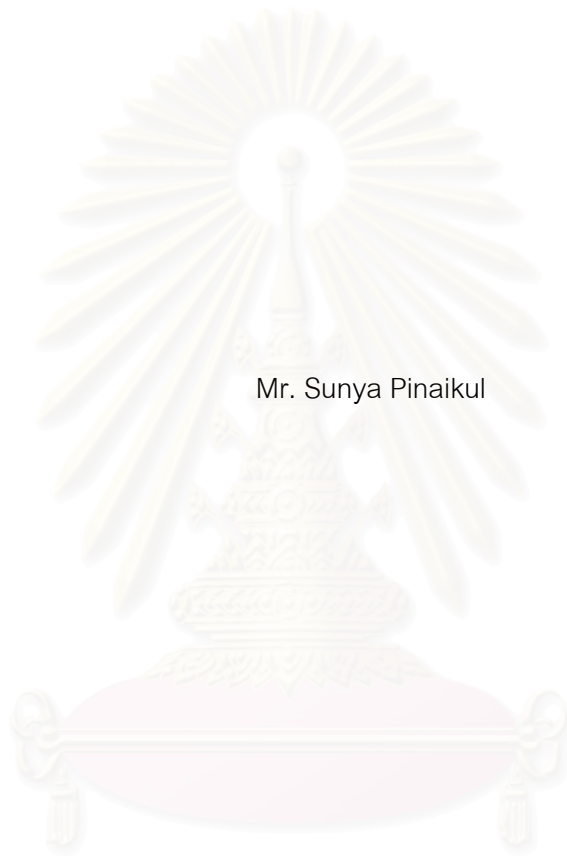
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0350-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF CONVENTIONAL LEAKY BUCKET IN ATM
USAGE PARAMETER CONTROL USING CREDIT TOKEN AND FUZZY LOGIC



Mr. Sunya Pinaikul

สถาบันวิทยบริการ

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 2001

ISBN 974-03-0350-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงถังรับแบบดั้งเดิมในการควบคุมพารามิเตอร์การใช้เอทีเอ็ม

โดยการใช้เครดิตโทเค้นและพีซีซีแอลจิก

โดย

นายสัญญา พิณกุล

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เภมจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เภมจพลกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลัญจกร วุฒิสิริทกุลกิจ)

สัญญา วิทยานุกูล : การปรับปรุงถังรับแบบดั้งเดิมในการควบคุมพารามิเตอร์การใช้เอทีเอ็มโดยการใช้
เครดิตโทเค้นและฟัซซีลอจิก. (IMPROVEMENT OF CONVENTIONAL LEAKY BUCKET
IN ATM USAGE PARAMETER CONTROL USING CREDIT TOKEN AND FUZZY
LOGIC) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วาทีต เบญจพลกุล, 82 หน้า. ISBN 974-03-0350-1.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการในการปรับปรุงถังรับแบบดั้งเดิมที่ใช้เป็นหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การ
ใช้ในโครงข่ายเอทีเอ็มที่มีข้อบกพร่องเกี่ยวกับสภาพเลือกเฟ้นและความไว วิธีที่เสนอจะมีการดัดแปลงถังรับ
แบบดั้งเดิมให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้มีการตัดสินใจที่เร็วขึ้นและตัดบัพเฟอร์ด้านเข้าออกเพื่อไม่ให้มีการหน่วง
เวลาซึ่งจะทำให้ถังรับแบบใหม่มีความเหมาะสมกับกราฟฟิกที่ต้องการความเป็นเวลาจริง และมีการใช้โทเค้น
พิเศษที่เรียกว่าเครดิตโทเค้น เครดิตโทเค้นนี้ได้มาจากการทำนายของตัวทำนายปริมาณเครดิตโทเค้นแบบฟัซซี
ซึ่งจะทำนายจากปริมาณกราฟฟิกที่ผ่านเข้าไปในขณะนั้น ทำให้ระบบมีการปรับเปลี่ยนตัวเองตามเวลาและ
ปริมาณข้อมูลที่เข้ามาตลอดเวลา ปริมาณเครดิตโทเค้นที่ได้จากการทำนายเป็นปริมาณโทเค้นที่จะให้สำหรับ
ข้อมูลเบิสต์ถัดไปที่กำลังจะวิ่งเข้ามาเพื่อแสดงถึงจำนวนของเซลล์ที่ยังสามารถผ่านเข้าสู่ระบบได้ แม้ว่าถังรับจะ
เต็มแล้วโดยที่ไม่โดนคัตทิ้งหรือโดนแท็ก วิธีการนี้สามารถทำให้ถังรับชนิดใหม่ทำงานได้แม่นยำและรวดเร็ว
นอกจากนี้คุณลักษณะทางสถิติของแหล่งกำเนิดที่หลากหลายยังส่งผลถึงประสิทธิภาพการทำงานของถังรับแบบ
ใหม่นี้ได้น้อยลง

ผลจากการทดสอบในงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าถังรับแบบเครดิตโทเค้นมีความสามารถทางด้านสภาพ
เลือกเฟ้นสูงกว่าถังรับแบบดั้งเดิม สามารถลดปริมาณเซลล์ส่วนเกินจากอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงไว้ไม่ให้เข้าสู่
โครงข่ายได้ดีกว่าถังรับแบบดั้งเดิม ถึง 90%, 8% และ 77% ในกรณีของแหล่งกำเนิดเสียง ภาพนิ่ง และวิดีโอ
โฟนตามลำดับ โดยรักษาคุณภาพของการบริการที่ต้องการไว้ได้ และยังสามารถป้องกันการละเมิดอัตราข้อมูล
ที่ตกลงกันไว้จากแหล่งกำเนิดที่มีการจัดรูปร่างข้อมูลให้มีลักษณะเหมือนกับแหล่งกำเนิดประเภท MMDP
(Markov Modulated Deterministic Process) ได้ โดยช่วยลดอัตราข้อมูลส่วนเกินที่ผ่านเข้าสู่โครงข่ายได้
ถึง 39%, 88% และ 55% ในกรณีของแหล่งกำเนิดเสียง ภาพนิ่ง และวิดีโอโฟนตามลำดับ ในขณะที่ถังรับ
แบบดั้งเดิมไม่สามารถป้องกันการละเมิดด้วยวิธีนี้ได้ ส่วนความสามารถทางด้านความไวนั้น ถังรับแบบ

โทเค้นมีความสามารถทางด้านนี้ใกล้เคียงกับถังรับแบบดั้งเดิม คือมีความไวที่ดีกว่าสำหรับแหล่งกำเนิดข้อมูล
เสียงและวิดีโอโฟนที่มีค่า Burstiness ไม่สูงมากนัก แต่สำหรับแหล่งกำเนิดภาพนิ่งซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่มีค่า
Burstiness สูง ถังรับแบบเครดิตโทเค้นจะให้ความไวที่ดีกว่าถังรับแบบดั้งเดิมเล็กน้อย

ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา	2544	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4070561321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: ATM / UPC / FUZZY LOGIC / LEAKY BUCKET / CREDIT TOKEN

SUNYA PINAIKUL : THESIS TITLE (IMPROVEMENT OF CONVENTIONAL LEAKY BUCKET IN ATM USAGE PARAMETER CONTROL USING CREDIT TOKEN AND FUZZY LOGIC). THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DR. WATIT BENJAPOLAKUL, 82 pp. ISBN 974-03-0350-1.

This thesis proposes a method to improve the conventional Leaky Bucket (LB) in ATM Usage Parameter Control (UPC) that lacks selectivity and sensitivity performance. The proposed method has a small bufferless leaky bucket as a part of UPC system. These concepts yield a new system with more sensitive decision and less delay when applying to realtime traffic. Special tokens called "credit tokens" are used, the number of which is predicted out from fuzzy credit token predictor. This fuzzy predictor monitors trailing data passing through the UPC into network. The information from these monitored data makes the system dynamically adaptable to traffic condition. Credit tokens give special rights to the data cells for entering the network. The number of credit tokens which is equal to the number of cells that can enter network although the internal leaky bucket is fully filled. Credit token lifetime is valid only in a specific burst and a new group of credit tokens will be generated for the next burst. This new model, named Credit Token Leaky Bucket (CTLB), has good selectivity, good sensitivity and more tolerance to the statistical variation of the burst length.

The simulation results show that CTLB has higher selectivity than Conventional LB. CTLB returns fewer excessive cells entering ATM networks than LB does (90%, 8% and 77% reduction of excessive cell) while CTLB maintains the negotiated QOS for non-violating sources. The CTLB can prevent the violation caused by MMDP (Markov Modulated Deterministic Process) sources (39%, 88% and 55% reduction of excessive cell) while sensitivity is not much different from that of LB. CTLB sensitivity

DepartmentElectrical Engineering..... Student's signature

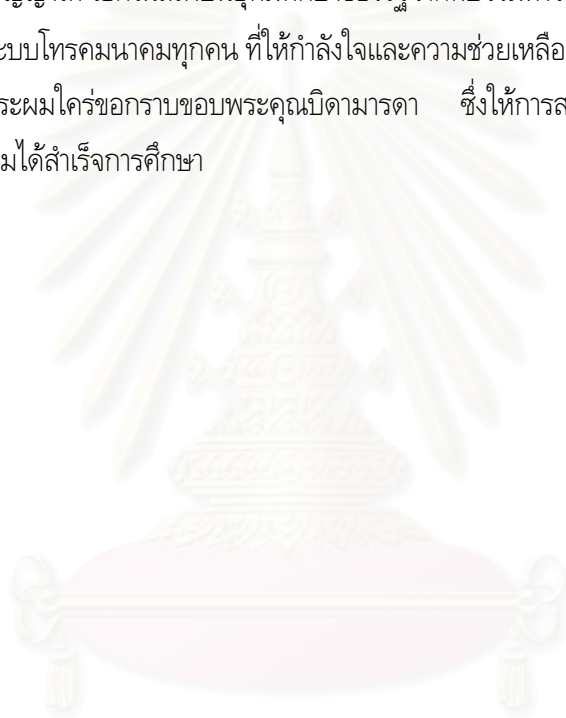
Field of studyElectrical Engineering..... Advisor's signature

Academic year2001..... Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี กระผมใคร่ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบนจพลกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ เกี่ยวกับการวิจัยด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอกในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐจากทบวงมหาวิทยาลัย นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นิสิตสาขาระบบโทรคมนาคมทุกคน ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือมาตลอด

สุดท้ายนี้กระผมใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ซึ่งให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่กระผมตลอดเวลา จนกระผมได้สำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 เป้าหมายและขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
2 การควบคุมพารามิเตอร์การใช้ด้วยวิธีถังรั่วแบบดั้งเดิมและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ พีซีลจิก.....	4
2.1 การควบคุมความคับคั่งในโครงข่ายเอทีเอ็ม (Congestion Control in ATM Networks).....	4
2.1.1 การควบคุมความคับคั่ง (Congestion Control).....	5
2.1.1.1 การควบคุมความคับคั่งแบบโต้ตอบ (Reactive Congestion Control).....	5
2.1.1.2 การควบคุมความคับคั่งแบบป้องกัน (Preventive Congestion Control).....	5
2.1.2 การควบคุมพารามิเตอร์การใช้ (Usage Parameter Control หรือ UPC).....	6
2.1.3 การวัดประสิทธิภาพของหน่วยควบคุมการใช้พารามิเตอร์.....	7
2.1.3.1 วิธีการคิดจากอัตราส่วนทิ้งเซลล์ (Cell Discard Ratio Method).....	7
2.1.3.2 วิธีการคิดจากความรวดเร็วในการรับรู้การล้นละเมิดทราฟฟิก.....	7
2.2 การควบคุมพารามิเตอร์การใช้ด้วยกลไกถังรั่ว (Leaky Bucket Mechanism UPC).....	8
2.2.1 ถังรั่วแบบดั้งเดิม (Conventional Leaky Bucket).....	9
2.2.2 สมรรถนะของถังรั่วแบบดั้งเดิม.....	11
2.2.2.1 อัตราส่วนทิ้งเซลล์ของถังรั่ว.....	13

2.2.2.2 ความยาวคิวเฉลี่ยและค่าประวิงเวลาของถังรั้ว.....	15
2.2.2.3 การนำผลการวิเคราะห์มาใช้งาน.....	16
2.3 ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic).....	17
2.3.1 Fuzzy Set and Classical Set.....	17
2.3.2 ฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function).....	19
2.3.2.1 ฟังก์ชันสมาชิกแบบสามเหลี่ยม (Triangle Membership Function)	19
2.3.2.2 ฟังก์ชันสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function).....	20
2.3.2.3 ฟังก์ชันสมาชิกแบบเกาส์ (Gaussian Membership Function)	20
2.3.2.4 ฟังก์ชันสมาชิกแบบระฆัง (Generalized Bell Membership Function)	20
2.3.3 ระบบฟัซซี (Fuzzy System).....	22
2.3.3.1 ฟังก์ชันสมาชิกด้านเข้า (Input Membership Function)	22
2.3.3.2 ฟัซซีฟัซซิฟายเออร์ (Fuzzy Fuzzifier)	22
2.3.3.3 กฎฟัซซี (Fuzzy Rule)	22
2.3.3.4 ส่วนลงความเห็น (Fuzzy Inference Engine).....	22
2.3.3.5 ฟังก์ชันสมาชิกด้านออก (Output Membership Function)	23
2.3.3.6 ฟัซซีดีฟัซซิฟายเออร์ (Fuzzy Defuzzifier).....	23
3 ถังรั้วแบบเครดิตโทเค็นควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก.....	24
3.1 ข้อดีของถังรั้วแบบเครดิตโทเค็นควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก.....	24
3.2 หลักการทำงานของถังรั้วแบบเครดิตโทเค็นควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก.....	24
3.3 พารามิเตอร์ของถังรั้วแบบเครดิตโทเค็นควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก.....	27
3.3.1 อัตราเข้าของถังรั้วแบบเครดิตโทเค็น R_C	27
3.3.2 ขนาดของถังรั้วแบบเครดิตโทเค็น B_C	28
3.3.3 ขนาด Credit Token Pool K	28
3.3.4 ช่วงของการวัด i	28
3.3.5 พารามิเตอร์ในหน่วยทำนายปริมาณเครดิตโทเค็น.....	29
3.4 หน่วยทำนายปริมาณเครดิตโทเค็นด้วยฟัซซีลอจิก.....	29
3.4.1 ตัวแปรด้านเข้า (Crisp Input).....	30
3.4.2 ตัวแปรด้านออก (Crisp Output).....	33
3.4.3 กฎฟัซซี (Fuzzy Rules).....	34
3.4.4 ฟัซซีดีฟัซซิฟายเออร์ (Fuzzy Defuzzifier).....	36

4	แบบจำลองและวิธีการจำลอง.....	38
4.1	แบบจำลองแหล่งกำเนิดข้อมูล.....	38
4.2	แบบจำลองเครื่องจักรจำลองและวิธีการจำลอง.....	41
4.2.1	วิธีการจำลองแบบ.....	41
4.2.2	แบบจำลองถังร้วแบบดั้งเดิม.....	43
4.2.3	การทดสอบความถูกต้องของการจำลองแบบระบบถังร้วแบบดั้งเดิม.....	45
4.3	ข้อกำหนดของแบบจำลองและการจำลองแบบ.....	50
5	ผลการจำลองแบบและการวิเคราะห์ผล.....	52
5.1	การทดสอบประสิทธิภาพทางด้านสภาพเลือกเฟ้น.....	52
5.1.1	ค่าพารามิเตอร์ของการจำลองแบบและวิธีการจำลองแบบ.....	52
5.1.2	ผลการทดสอบประสิทธิภาพสภาพเลือกเฟ้น.....	53
5.1.3	วิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านสภาพเลือกเฟ้น.....	55
5.2	การทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไว.....	59
5.2.1	ค่าพารามิเตอร์ของการจำลองแบบและวิธีการจำลองแบบ.....	59
5.2.2	ผลการทดสอบประสิทธิภาพความไว.....	59
5.2.2.1	ผลการทดสอบประสิทธิภาพความไวในกรณีของแหล่งกำเนิดเสียง.....	60
5.2.2.2	ผลการทดสอบประสิทธิภาพความไวในกรณีของแหล่งกำเนิดภาพนิ่ง.....	62
5.2.2.3	ผลการทดสอบประสิทธิภาพความไวในกรณีของแหล่งกำเนิดวิดีโอโฟน.....	64
5.2.3	การวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไว.....	66
5.3	การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิด MMDP.....	66
5.3.1	ค่าตัวแปรของการจำลองแบบและวิธีการจำลองแบบ.....	67
5.3.2	ผลการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิดMMDP.....	67
5.3.3	การวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิด MMDP.....	69
6	สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ.....	71
6.1	ข้อดีและข้อเสียของถังร้วแบบเครติตโทเค้น.....	71
6.2	ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยต่อไป.....	73
	รายการอ้างอิง.....	74
	ภาคผนวก.....	75
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	82

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ตารางกฎฟิสิกส์ If $\sigma_F=A$ and $Z_F=B$ then $Q_F=C$	36
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดชนิดต่างๆ โดยให้แต่ละเซลล์บรรจุข้อมูล 48 ไบต์	40
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณด้วยทฤษฎีคิว และการจำลองแบบด้วยแบบจำลองถึงรั่วแบบดั้งเดิม.....	46
ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบแหล่งกำเนิด ถึงรั่วแบบดั้งเดิม และถึงรั่วแบบเครดิตโทเค็น เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพด้านสภาพเลือกเฟ้น.....	53
ตารางที่ 5.2 ระยะเวลาในหน่วยของจำนวนเซลล์ที่ถึงรั่วแบบดั้งเดิมและถึงรั่วแบบเครดิตโทเค็น ใช้ในการรับรู้ถึงการละเมิดของแหล่งกำเนิดที่อัตรา 1.5 เท่าของอัตราอัตราที่ตกลงกันไว้ของแหล่งกำเนิดประเภท เสียง, ภาพนิ่ง และวิดีโอโฟน.....	66
ตารางที่ 5.3 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบของแหล่งกำเนิด ถึงรั่วแบบดั้งเดิม และถึงรั่วแบบเครดิตโทเค็น เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิด MMDP.....	67
ตารางที่ 5.4 อัตราข้อมูลที่สูงที่สุดของแหล่งกำเนิดชนิด MMDP เมื่อเทียบกับอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ ที่สามารถผ่านเข้าสู่โครงข่ายโดยผ่านระบบถึงรั่วแบบดั้งเดิม และถึงรั่วแบบเครดิตโทเค็น โดยมีอัตราส่วนเซลล์สูญหายเป็นไปตามอัตราส่วนเซลล์สูญหายที่ได้ตกลงกันไว้ ในกรณีของแหล่งกำเนิดเสียง, ภาพนิ่ง และวิดีโอโฟน.....	69
ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของถึงรั่วแบบเครดิตโทเค็นกับถึงรั่วแบบดั้งเดิมในเรื่องต่างๆ.....	71

สารบัญรูปรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	โครงข่ายเอทีเอ็มและระบบควบคุมความคับคั่งชนิดป้องกัน.....	4
รูปที่ 2.2	กราฟแสดงประสิทธิภาพเรื่องสภาพเลือกเฟ้นของหน่วยควบคุมการใช้พารามิเตอร์.....	7
รูปที่ 2.3	กราฟแสดงประสิทธิภาพเรื่องความไวของหน่วยควบคุมการใช้พารามิเตอร์.....	8
รูปที่ 2.4	ถังรับแบบดั้งเดิมชนิดไม่มีบัฟเฟอร์.....	9
รูปที่ 2.5	ถังรับแบบดั้งเดิมชนิดมีบัฟเฟอร์.....	10
รูปที่ 2.6	ถังรับชนิดใช้โทเค็น.....	11
รูปที่ 2.7	การพิจารณาถังรับชนิดมีบัฟเฟอร์ (Buffered Leaky Bucket) ในมุมมองของทฤษฎีคิว.....	12
รูปที่ 2.8	ขนาดรวมของถังรับที่รวมกับคิวบัฟเฟอร์ที่ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการทิ้งเซลล์ที่ $\gamma = 0.1$	17
รูปที่ 2.9	ขนาดรวมของถังรับที่รวมกับคิวบัฟเฟอร์ที่ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการทิ้งเซลล์ที่ $\rho = 0.8$	17
รูปที่ 2.10	ฟังก์ชันสมาชิกของคนที่มีความสูงมาก.....	18
รูปที่ 2.11	ฟังก์ชันสมาชิกของค่า Linguistic Value ทั้งสามคือ Young, Middle Aged และ Old.....	19
รูปที่ 2.12	ลักษณะรูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกแบบต่างๆ กัน.....	21
รูปที่ 2.13	ผลจากการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันสมาชิกแบบระฆัง.....	21
รูปที่ 2.14	ระบบฟัซซี (Fuzzy System).....	22
รูปที่ 3.1	บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการทำงานของถังรับแบบเครดิตโทเค็นควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก.....	25
รูปที่ 3.2	โพลีชาร์ตการทำงานของถังรับแบบเครดิตโทเค็นควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก.....	26
รูปที่ 3.3	หลักการทำงานของหน่วยทำนายปริมาณเครดิตโทเค็นแบบฟัซซีลอจิก.....	29
รูปที่ 3.4	ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรอัตราเร็วฟัซซีที่วัดได้ (r_{MF}).....	31
รูปที่ 3.5	ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรอัตราเร็วมาตรฐานฟัซซี (Z_F).....	32
รูปที่ 3.6	ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรฟัซซีจำนวนเครดิตโทเค็นที่นอร์มัลไลซ์แล้ว (Q_F).....	34
รูปที่ 3.7	กฎการลงความเห็นในแบบจำลองฟัซซีของมัดดาณีแบบ MIN-MAX.....	35
รูปที่ 3.8	ลักษณะพื้นผิวด้านออกของระบบฟัซซีทำนายปริมาณเครดิตโทเค็น.....	37
รูปที่ 4.1	แบบจำลองแหล่งกำเนิดแบบเปิดปิดสองสถานะ.....	38

รูปที่ 4.2	แบบจำลองแหล่งกำเนิดแบบ 2 Phase Deterministic.....	41
รูปที่ 4.3	หลักการจำลองแบบไปตามแต่ละเหตุการณ์ (Discrete Event Simulation)	42
รูปที่ 4.4	ถังรับแบบตั้งเดิมชนิดไม่มีบัฟเฟอร์ (Unbuffered Leaky Bucket).....	43
รูปที่ 4.5	โพลีชาร์ตโปรแกรมหลักของการจำลองแบบถังรับแบบตั้งเดิมชนิดไม่มีบัฟเฟอร์	44
รูปที่ 4.6	โพลีชาร์ตโปรแกรมย่อยเมื่อถังรับถึงเหตุการณ์ลดค่าในถังรับ (Leaky Event Subroutine) (เป็นส่วนหนึ่งของโพลีชาร์ตในรูปที่ 4.5)....	45
รูปที่ 4.7	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเซลล์สูญหายกับทราฟฟิกไหลของแบบจำลองและการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคิว	
	a) สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดเสียง	47
	b) สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดภาพนิ่ง.....	47
	c) สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดวิดีโอโฟน.....	48
รูปที่ 4.8	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ที่ถูกตัดสินใจทิ้งระหว่างการจำลองแบบถังรับและการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคิว	
	a) สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดเสียง	48
	b) สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดภาพนิ่ง.....	49
	c) สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดวิดีโอโฟน.....	49
รูปที่ 5.1	ผลการทดสอบอัตราการทิ้งเซลล์ของถังรับในอุดมคติ ถังรับแบบตั้งเดิมและถังรับแบบเครดิตโทเค็นในกรณีของแหล่งกำเนิด a) เสียง b) ภาพนิ่ง และ c) วิดีโอโฟน.....	55
รูปที่ 5.2	การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์เซลล์ส่วนเกินที่ผ่านเข้าสู่โครงข่ายในการใช้งานระหว่างถังรับแบบตั้งเดิมกับถังรับแบบเครดิตโทเค็น และเปอร์เซ็นต์เซลล์ส่วนเกินที่ได้รับการปรับปรุงขึ้นในกรณีของแหล่งกำเนิด a) เสียง b) ภาพนิ่ง และ c) วิดีโอโฟน เมื่อเทียบกับเซลล์ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิด.....	57
รูปที่ 5.3	เปอร์เซ็นต์เซลล์ส่วนเกินที่ลดลงเมื่อเทียบกับเซลล์ส่วนเกินเดิม เมื่อนำถังรับแบบเครดิตโทเค็นมาใช้แทนที่ถังรับแบบตั้งเดิม ในกรณีของแหล่งกำเนิด a) เสียง b) ภาพนิ่ง และ c) วิดีโอโฟน.....	58
รูปที่ 5.4	ผลตอบสนองด้านความไวเมื่อนำถังรับแบบตั้งเดิมและถังรับแบบเครดิตโทเค็นไปทำงานร่วมกับแหล่งกำเนิดเสียง.....	61
	a) ถังรับแบบตั้งเดิมในช่วงระยะสั้น 3,000 เซลล์	
	b) ถังรับแบบตั้งเดิมในช่วงระยะยาว 20,000 เซลล์	
	c) ถังรับแบบเครดิตโทเค็นในช่วงระยะสั้น 3,000 เซลล์	

- d) ถังรั่วแบบเครดิโทเค้นในช่วงระยะยาว 20,000 เซลล์
- e) เปรียบเทียบความไวถังรั่วแบบดั้งเดิมและถังรั่วแบบเครดิโทเค้นที่โหลด 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ในช่วงระยะสั้น 3,000 เซลล์
- f) เปรียบเทียบความไวถังรั่วแบบดั้งเดิมและถังรั่วแบบเครดิโทเค้นที่โหลด 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ในช่วงระยะยาว 20,000 เซลล์

รูปที่ 5.5 ผลตอบสนองด้านความไวเมื่อนำถังรั่วแบบดั้งเดิมและถังรั่วแบบเครดิโทเค้นไปทำงานร่วมกับแหล่งกำเนิดภาพหนึ่ง.....

63

- a) ถังรั่วแบบดั้งเดิมในช่วงระยะสั้น 3000 เซลล์
- b) ถังรั่วแบบดั้งเดิมในช่วงระยะยาว 20000 เซลล์
- c) ถังรั่วแบบเครดิโทเค้นในช่วงระยะสั้น 3000 เซลล์
- d) ถังรั่วแบบเครดิโทเค้นในช่วงระยะยาว 20000 เซลล์
- e) เปรียบเทียบความไวถังรั่วแบบดั้งเดิมและถังรั่วแบบเครดิโทเค้นที่โหลด 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ในช่วงระยะสั้น 3000 เซลล์
- f) เปรียบเทียบความไวถังรั่วแบบดั้งเดิมและถังรั่วแบบเครดิโทเค้นที่โหลด 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ในช่วงระยะยาว 20000 เซลล์

รูปที่ 5.6 ผลตอบสนองด้านความไวเมื่อนำถังรั่วแบบดั้งเดิมและถังรั่วแบบเครดิโทเค้นไปทำงานร่วมกับแหล่งกำเนิดวิดีโอหนึ่ง.....

65

- a) ถังรั่วแบบดั้งเดิมในช่วงระยะสั้น 3000 เซลล์
- b) ถังรั่วแบบดั้งเดิมในช่วงระยะยาว 20000 เซลล์
- c) ถังรั่วแบบเครดิโทเค้นในช่วงระยะสั้น 3000 เซลล์
- d) ถังรั่วแบบเครดิโทเค้นในช่วงระยะยาว 20000 เซลล์
- e) เปรียบเทียบความไวถังรั่วแบบดั้งเดิมและถังรั่วแบบเครดิโทเค้นที่โหลด 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ในช่วงระยะสั้น 3000 เซลล์
- f) เปรียบเทียบความไวถังรั่วแบบดั้งเดิมและถังรั่วแบบเครดิโทเค้นที่โหลด 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ในช่วงระยะยาว 20000 เซลล์

รูปที่ 5.7 กราฟผลการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิด
ชนิด MMDP

- | | |
|--|----|
| a) สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดเสียง..... | 68 |
| b) สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดภาพนิ่ง..... | 68 |
| c) สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดวิดีโอโฟน..... | 69 |



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โครงข่าย Asynchronous Transfer Mode (ATM) เป็นโครงข่ายที่มีแนวโน้มที่จะเป็นระบบสื่อสารที่ทันสมัยในอนาคต เพราะ ATM สามารถรองรับทราฟฟิกได้หลากหลายชนิด, ความเร็ว, คุณลักษณะ หรือ QOS ไม่ว่าจะเป็นการส่งสัญญาณภาพ สัญญาณวิดีโอ สัญญาณเสียง หรือการส่งข้อมูลคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้เนื่องจาก ATM ใช้หลักการมัลติเพล็กซ์เชิงสถิติ (Statistical Multiplexing) ทำให้ดูเหมือนว่า ATM สามารถจัดสรรแบนด์วิดท์ให้แก่ทราฟฟิกหลายทราฟฟิกที่มีความต้องการแบนด์วิดท์โดยรวมสูงกว่าแบนด์วิดท์ที่มีอยู่ได้ ATM จึงจำเป็นต้องมีกลไกการควบคุมความคับคั่ง (Congestion Control) ที่ดีเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการติดขัดอันเนื่องมาจากการส่งข้อมูลออกมาจากแหล่งกำเนิดพร้อมๆ กันหลายๆ แหล่งกำเนิด หน่วยควบคุมตอบรับการเรียก (Call Admission Control : CAC) และ หน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ (Usage Parameter Control : UPC) เป็นกลไกควบคุมความคับคั่งชนิดป้องกัน (Preventive Congestion Control) ที่ทำงานร่วมกันในระดับแหล่งกำเนิด CAC จะทำหน้าที่ตัดสินใจว่าจะยอมรับทราฟฟิกใหม่ที่เข้ามาหรือไม่ ถ้าผลการตัดสินใจแสดงให้เห็นว่าโครงข่ายมีแบนด์วิดท์เหลือพอ และจะไม่ไปกระทบต่อทราฟฟิกที่ต่ออยู่เดิมในโครงข่าย ก็จะตัดสินใจยอมรับการต่อ (Connection Request) ใหม่ที่เข้ามา หลังจากนั้นก็เป็นหน้าที่ของ UPC ที่จะคอยดูแล ไม่ให้ทราฟฟิกนั้นส่งข้อมูลเข้ามา มากกว่าที่ได้ตกลงกันไว้ในขั้นตอน CAC ถ้ามีการละเมิดแบนด์วิดท์ UPC ก็จะเลือกปฏิบัติต่อเซลล์ที่ละเมิดได้สามวิธีคือ พักเซลล์ไว้ในบัฟเฟอร์ (Buffering), ทิ้ง (Discarding) เซลล์ที่วิ่งเข้ามา หรือแท็ก (Tagging) เซลล์ที่มีความสำคัญต่ำลงเพื่อว่าในโครงข่ายข้างหน้าจะได้เลือกทิ้งเฉพาะเซลล์นี้ได้ถ้าหากเกิดความคับคั่งขึ้นจริง

วิธีการควบคุมความคับคั่งที่ดีนั้นต้องมีสภาพเลือกเฟ้นสูงและมีความไวสูงด้วย ซึ่งเป็นสมรรถนะที่ค่อนข้างจะมีแนวโน้มที่สวนทางกันในหลายๆ วิธีการ ไม่ว่าจะเป็นกลไกถังรั่ว (Leaky Bucket Mechanism), กลไกหน้าต่าง (Windows Mechanism), วิธีการ EFCI (Explicit Forward Congestion Indication), วิธีการ EBCI (Explicit Backward Congestion Indication) หรือ OAM Cell (Operation and Maintenance Cell) ซึ่งถ้าระบบควบคุมความคับคั่งมีประสิทธิภาพแล้ว ไม่เพียงแต่ผู้ใช้จะสามารถส่งข้อมูลได้ครบตามอัตราที่กำหนดให้ แต่ยังไม่เป็นการรบกวนผู้ใช้รายอื่นและแบนด์วิดท์ส่วนรวมอีกด้วย อีกทั้งยังสามารถป้องกันการละเมิดต่อทราฟฟิกโดยผู้ใช้ที่ไม่ประสงค์ดีต่อโครงข่ายอีกด้วย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการปรับปรุงการควบคุมความคับคั่งของวิธีการถังรั่วแบบดั้งเดิมด้วยแนวคิดใหม่โดยการนำแนวคิดโทเค็นมาใช้ร่วมกับพัชชีลอจิก เพื่อให้เกิดเป็นถังรั่วแบบใหม่ที่มีสมรรถนะทางด้านสภาพการเลือกเฟ้นที่ดีและรวดเร็ว มีความไวสูง โดยเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง

สถานการณ์กับถั่วแบบดั้งเดิม สมรรถนะที่น่าสนใจคือ สภาพเลือกเฟ้น ความไว และ เสถียรภาพของ ประสิทธิภาพที่เกิดจากความหลากหลายของแหล่งกำเนิด

1.2 วัตถุประสงค์

1. เขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของถั่วแบบดั้งเดิมและศึกษาประสิทธิภาพของระบบควบคุมความ คับคั่งของถั่วแบบดั้งเดิมโดยการต่อเข้ากับผู้ใช้คนเดียว
2. ปรับปรุงสมรรถนะของการควบคุมพารามิเตอร์การใช้เอทีเอ็มของผู้ใช้ ในระบบถั่วให้สภาพเลือกเฟ้น ดีขึ้น
3. แก้ไขข้อบกพร่องของระบบถั่วในเรื่องสภาพเลือกเฟ้นเพื่อป้องกันการละเมิดปริมาณกราฟฟิก และใน เรื่องความไวเพื่อให้สามารถตรวจสอบได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น
4. ปรับปรุงเสถียรภาพของระบบถั่วให้สามารถรับผลกระทบจากความหลากหลายของแหล่งกำเนิดได้ดี ขึ้น

1.3 เป้าหมายและขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. เปรียบเทียบผลการทำงานระหว่าง ถั่วแบบดั้งเดิม กับถั่วที่ได้ทำการวิจัย ในด้าน ความสามารถในการเลือกทิ้งเซลล์ และความสามารถทางด้านความไว
2. พิสูจน์ด้วยการจำลองสถานการณ์ในเครื่องคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบว่าแบบจำลองถั่วแบบ เครดิตโทเค็นควบคุมด้วยพัลส์ลอจิกนี้ สามารถทำงานได้จริงและให้ผลเป็นที่น่าพอใจเมื่อเทียบกับระบบถั่ว แบบดั้งเดิม [E. P. Rathgeb, 1991]
3. จำลองการทำงานโนดที่ใช้ตรวจสอบกราฟฟิกระหว่างผู้ใช้กับโครงข่าย, แบบจำลองทั้งแหล่งกำเนิด แบบ On-Off 2 State MMPP และ 2 Phase Deterministic ที่ผู้ใช้จะส่งข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบ เสถียรภาพของระบบป้องกันความคับคั่ง
4. เปรียบเทียบผลของพารามิเตอร์ทางสถิติของแหล่งกำเนิดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของ ระบบตรวจสอบปริมาณกราฟฟิก

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษามาตรฐานและทฤษฎีต่างๆ ของ ATM ทางด้านการตรวจสอบปริมาณกราฟฟิก และส่วนที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาถึงงานวิจัยที่ผ่านมา ในเรื่องเดียวกันนี้
3. ศึกษาหลักการและวิธีการเขียนแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์, ภาษาซี และภาษาแมตแลบ
4. สร้างแบบจำลองแหล่งกำเนิดและระบบถังรับแบบดั้งเดิม และตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานโดยอาศัยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับงานวิจัยอื่นๆ และการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎี
5. สร้างแบบจำลองถังรับที่ใช้เครดิตโทเค็นร่วมกับพีซีลอจิกจากแบบจำลองถังรับแบบดั้งเดิม แล้วเปรียบเทียบการทำงานกับแบบจำลองถังรับแบบดั้งเดิม ทางด้านพารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดเดียวกัน คือสภาพเลือกเฟ้น และความไว ในการเลือกทิ้งเซลล์
6. เปรียบเทียบให้เห็นถึงข้อเสียของถังรับแบบดั้งเดิมเมื่อนำไปใช้กับแหล่งกำเนิดที่มีความไม่แน่นอนในด้านพารามิเตอร์ทางสถิติ
7. ปรับปรุงพารามิเตอร์ของถังรับแบบที่ใช้เครดิตโทเค็นร่วมกับพีซีลอจิก ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น
8. ตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาด
9. สรุปผลงานที่ได้นำเสนอ
10. เขียนและพิมพ์วิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

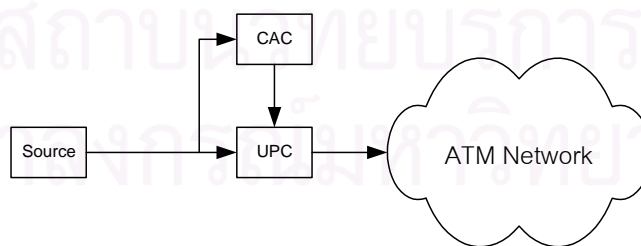
1. ทราบถึงพื้นฐานการทำงานของโครงข่าย ATM ในการส่งข้อมูล หลักการเขียนแบบจำลองระบบต่างๆ ด้วยภาษาคอมพิวเตอร์
2. โครงข่ายจะทำการเลือกเฟ้นปริมาณกราฟฟิกที่ดีขึ้น และป้องกันการละเมิดของผู้ใช้งานได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับถังรับแบบเดิม
3. โครงข่ายสามารถรองรับความหลากหลายของแหล่งกำเนิดที่จะทำการตรวจสอบได้ ไม่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางสถิติที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เพื่อป้องกันการละเมิดและยังส่งผลไปถึงส่วนอื่นๆ ของโครงข่ายเอทีเอ็มมิให้เกิดการติดขัดของข้อมูลได้อีกด้วย

บทที่ 2

การควบคุมพารามิเตอร์การใช้ด้วยวิธีถังร่วแบบดั้งเดิม และความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพีซีลจิก

2.1 การควบคุมความคับคั่งในโครงข่ายเอทีเอ็ม (Congestion Control in ATM Networks)

โครงข่าย Asynchronous Transfer Mode (ATM) เป็นโครงข่ายที่มีแนวโน้มจะเป็นระบบสื่อสารที่ทันสมัยในอนาคต เพราะ ATM สามารถรองรับทราฟฟิกได้หลากหลายชนิด, ความเร็ว, คุณลักษณะ หรือ QoS ทั้งนี้เนื่องจาก ATM ใช้หลักการมัลติเพล็กซ์เชิงสถิติ (Statistical Multiplexing) ทำให้ดูเหมือนว่า ATM สามารถให้บริการทราฟฟิกที่มีความต้องการแบนด์วิดท์รวมสูงกว่าแบนด์วิดท์ที่มีอยู่ ATM จึงจำเป็นต้องมีกลไกการควบคุมความคับคั่ง (Congestion Control) ที่ดีเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการติดขัดอันเนื่องมาจากการส่งข้อมูลออกจากแหล่งกำเนิดพร้อมๆ กันหลายๆ แหล่งกำเนิด CAC (Call Admission Control) และ UPC (Usage Parameter Control) เป็นกลไกควบคุมความคับคั่งชนิดป้องกัน (Preventive Congestion Control) ดังรูปที่ 2.1 ที่ทำงานร่วมกันโดย CAC จะทำหน้าที่ตัดสินใจว่าจะยอมรับทราฟฟิกใหม่ที่เข้ามาหรือไม่ ถ้าผลการตัดสินใจแสดงให้เห็นว่าโครงข่ายมีแบนด์วิดท์เหลือพอ และจะไม่ไปกระทบต่อทราฟฟิกที่มีอยู่เดิมในโครงข่าย ก็จะตัดสินใจยอมรับการต่อใหม่ที่ขอเข้ามา (Connection Request) หลังจากนั้นก็จะทำหน้าที่ของ UPC ที่จะคอยดูแลไม่ให้แหล่งกำเนิดนั้นส่งข้อมูลเข้ามามากกว่าที่ได้ตกลงกันไว้ในขั้นตอน CAC ถ้ามีการละเมิดแบนด์วิดท์ UPC ก็จะทำอะไรบางอย่างเช่นทิ้ง (Discard) เซลล์ที่วิ่งเข้ามาหรือพักเซลล์ข้อมูลไว้ในบัฟเฟอร์ก่อน หรือแท็ก (TAG) เซลล์ให้มีความสำคัญต่ำลงเพื่อว่าในโครงข่ายข้างหน้าจะได้เลือกทิ้งเฉพาะเซลล์นี้ได้ถ้าหากเกิดความคับคั่งขึ้นจริง



รูปที่ 2.1 โครงข่ายเอทีเอ็มและระบบควบคุมความคับคั่งชนิดป้องกัน

Leaky Bucket (LB) หรือถังรั่ว เป็นวิธีการของ UPC ที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากความเหมาะสมในด้านราคาและประสิทธิภาพ ดังนั้นงานวิจัยเกี่ยวกับถังรั่วจึงได้มีการตีพิมพ์ออกมาอย่างต่อเนื่อง และพัฒนาไปในหลายแนวทาง

2.1.1 การควบคุมความคับคั่ง (Congestion Control)

นิยามอย่างหนึ่งของความคับคั่งในโครงข่ายคอมพิวเตอร์ก็คือ สถานะที่มีอัตราข้อมูลเข้าสู่ระบบมากกว่าอัตราข้อมูลที่ออกจากระบบ [V. Mannem and R. Sankar, 1995] หน่วยควบคุมความคับคั่ง (Congestion Control Unit) จึงมีความสำคัญในการควบคุมไม่ให้เกิดความคับคั่งในโครงข่าย

หลังจากที่โครงข่ายเอทีเอ็มยอมรับการต่อใหม่ที่เข้ามาแล้ว ก็ต้องคอยติดตามเผื่อเพื่อไม่ให้เกิดความคับคั่ง วิธีการที่จะไม่ให้โครงข่ายเกิดความคับคั่งแบ่งตามลักษณะการแก้ปัญหาได้สองวิธีใหญ่ๆ คือ

2.1.1.1 การควบคุมความคับคั่งแบบโต้ตอบ (Reactive Congestion Control)

วิธีนี้เป็นการควบคุมความคับคั่งโดยการแก้ไขสถานการณ์ความคับคั่งที่เกิดขึ้นแล้วในโครงข่าย และโน้ดต้นทางจะรับทราบได้จากข้อมูลที่มีการส่งกลับมาให้โน้ดต้นทางหรืออาจจะทำให้โน้ดปลายทางลดอัตราการแชนด์เชกกับต้นทางมีผลทำให้โน้ดต้นทางลดอัตราการส่งข้อมูลลง การควบคุมวิธีนี้มีข้อดีคือ สามารถใช้ทรัพยากรของโครงข่ายได้เต็มความสามารถ แต่ถ้าเกิดความคับคั่งขึ้นมา หน่วยควบคุมความคับคั่งจะมีวิธีการแก้ไขปัญหาซึ่งวิธีหลักก็คือ ต้องให้แหล่งกำเนิดลดอัตราการส่งข้อมูลลง โดยเฉพาะแหล่งกำเนิดข้อมูลที่มีความสำคัญต่ำ เช่น แหล่งกำเนิดชนิด ABR (Available Bit Rate) หน่วยควบคุมความคับคั่งประเภทนี้วัดประสิทธิภาพด้วยระยะเวลาที่ใช้แก้ไขปัญหา ระบบที่ดีต้องสามารถตอบสนองเหตุการณ์และแก้ไขได้ทัน่วงทีและต้องมีเสถียรภาพ ก่อนที่จะเกิดการสูญหายของข้อมูลซึ่งจะส่งผลให้ต้องมีการส่งจากแหล่งกำเนิดใหม่อีกครั้ง ตัวอย่างการควบคุมแบบนี้ได้แก่ FMMRA (Fast Max Min Rate Allocation), EFCI (Explicit Forward Congestion Indication), EBCI (Explicit Backward Congestion Indication), OAM (Operation Administration and Maintenance cell method) และ Feed Back Method เป็นต้น

2.1.1.2 การควบคุมความคับคั่งแบบป้องกัน (Preventive Congestion Control)

วิธีนี้เป็นการควบคุมความคับคั่งโดยใช้หลักการป้องกันไม่ให้ข้อมูลปริมาณส่วนเกิน เข้าไปในโครงข่าย การควบคุมวิธีนี้มีข้อดีคือจะไม่มีการเกิดความคับคั่งเลยถ้าหน่วยควบคุมทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ประสิทธิภาพของระบบควบคุมความคับคั่งแบบป้องกันวัดได้จากความสามารถในการแยกแยะข้อมูลว่าเป็นปริมาณข้อมูลในส่วนที่เกินมาหรือไม่ โดยดูจากอัตราส่วนการเลือกทิ้งเซลล์ (Cell Discarded Ratio) ซึ่งมีค่าเท่ากับจำนวนเซลล์ที่ถูกป้องกันไว้ไม่ให้วิ่งเข้าสู่ระบบ (หรือเซลล์ที่ถูกแก้ก) ต่อจำนวนเซลล์ที่วิ่งเข้าสู่ระบบ ระบบที่ดีต้องมีความสามารถในการเลือกทิ้งเซลล์สูง (High Selectivity) นอกจากนั้นยังต้องมีความไวสูง (High Sensitivity) หน่วยควบคุมความคับคั่งที่อยู่ใหม่ประเภทนี้ได้แก่ CAC (Call Admission

Control) ซึ่งทำหน้าที่เป็นหน่วยตัดสินใจว่าจะยอมรับการร้องขอทราฟฟิกใหม่หรือไม่ ขึ้นอยู่กับทรัพยากรที่ยังเหลืออยู่ในโครงข่าย และ UPC (Usage Parameter Control) ซึ่งเป็นหน่วยตรวจสอบปริมาณทราฟฟิกมิให้เข้าสู่โครงข่ายในปริมาณที่เกินไปจากที่ตกลงกันไว้เพื่อป้องกันความคับคั่งที่อาจเกิดขึ้นกับโครงข่ายได้ UPC แบ่งออกได้หลายลักษณะการทำงานดังที่จะได้กล่าวต่อไป

2.1.2 การควบคุมพารามิเตอร์การใช้ (Usage Parameter Control หรือ UPC)

UPC หรือเรียกอีกคำหนึ่งว่า Policing Function เป็นหน่วยควบคุมความคับคั่งประเภทป้องกันที่ใช้ในโครงข่ายเอทีเอ็ม หลักการของ UPC คือจะเฝ้าดูเซลล์ที่วิ่งเข้ามาในโครงข่ายเอทีเอ็ม แล้วเปรียบเทียบกับปริมาณทราฟฟิกที่วิ่งเข้ามาในโครงข่ายกับค่าปริมาณทราฟฟิกที่ได้ตกลงกันไว้ในขั้นตอนการควบคุมยอมรับการเรียก (Call Admission Control) ว่าได้ส่งข้อมูลเข้ามาเกินปริมาณที่ได้ตกลงกันไว้หรือไม่ ถ้าหากไม่เกินอัตราที่ตกลงกัน ข้อมูลส่วนนั้นก็จะสามารถผ่านเข้าไปในโครงข่ายได้เสมือนว่าไม่มีอะไรมาขัดขวาง (Transparency) แต่ถ้าหากเป็นปริมาณข้อมูลที่เกินจากปริมาณที่ได้ตกลงกันไว้ UPC ก็จะมีวิธีการต่างๆ ที่จะจัดการกับเซลล์ส่วนเกินนั้นหลายวิธี เช่น อาจจะทิ้งเซลล์นั้นไม่ให้เข้าไปในโครงข่าย, แหกเซลล์เพื่อให้โนดข้างหน้าในโครงข่ายทราบว่าถ้าเกิดการติดขัดก็ให้เลือกทิ้งเซลล์ที่โดนแตกเป็นอันดับแรกหรือพักเซลล์ไว้ในบัฟเฟอร์ เมื่อพิจารณาแล้วเห็นว่าการผ่านเซลล์เข้าไปจะไม่ทำให้โครงข่ายเกิดความคับคั่ง ก็จะปล่อยเซลล์ออกจากบัฟเฟอร์ให้เข้าสู่โครงข่ายต่อไป

การตรวจสอบปริมาณทราฟฟิกนั้นจะต้องตรวจสอบทั้งอัตราการส่งข้อมูลสูงสุด (Peak Cell Rate Policing) และอัตราการส่งข้อมูลเฉลี่ย (Mean Cell Rate Policing) UPC ที่ใช้สำหรับการตรวจสอบอัตราการส่งข้อมูลสูงสุด สามารถสร้างได้ง่ายและมีสภาพเลือกเฟ้นสูง จึงไม่เป็นปัญหาสำหรับการพัฒนา แต่เนื่องจากโครงข่ายเอทีเอ็มเป็นโครงข่ายที่ใช้ลักษณะการมัลติเพล็กซ์เชิงสถิติ การที่จะตรวจสอบอัตราเฉลี่ยเป็นเรื่องที่ต้องระวังอย่างมาก ซึ่งทำให้นักวิจัยแตกแขนงออกไปในหลายแนวทาง ดังนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่มักจะทำเพื่อหาระบบ UPC ที่ใช้ในการตรวจสอบอัตราเซลล์เฉลี่ย ให้ได้สภาพการเลือกเฟ้นที่ดีที่สุดและรวดเร็วตามคุณสมบัติของ UPC ที่ดี

คุณลักษณะของ UPC ที่ดี มีดังนี้

1. High Selectivity มีความสามารถในการแยกแยะเซลล์ส่วนเกินได้ในปริมาณที่แม่นยำ จะต้องยอมให้ปริมาณเซลล์ที่ยังอยู่ในขอบเขตสามารถผ่านไป (Transparency Characteristic) ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับปริมาณที่ตกลงกันไว้มากที่สุดและต้องไม่ทิ้งเซลล์ในปริมาณข้อมูลที่ถูกต้อง (Misidentified)
2. High Responsiveness มีความสามารถที่จะรับรู้ถึงการล้นล้นได้ในระยะเวลานับตั้งแต่แหล่งกำเนิดได้ทำการส่งข้อมูลในปริมาณที่สูงกว่าที่ตกลงไว้เข้ามา
3. สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ง่าย ทำงานได้เร็ว ราคาไม่แพง

UPC สามารถแบ่งได้ตามโครงสร้างหลักๆ ที่เป็นที่ยอมรับได้สองวิธีคือ กลไกหน้าต่าง (Windows Mechanism) และ กลไกถังรั่ว (Leaky Bucket Mechanism) งานวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นไปทางพัฒนากลไกถังรั่ว จึงไม่ขอกล่าวถึงหลักการของกลไกหน้าต่าง

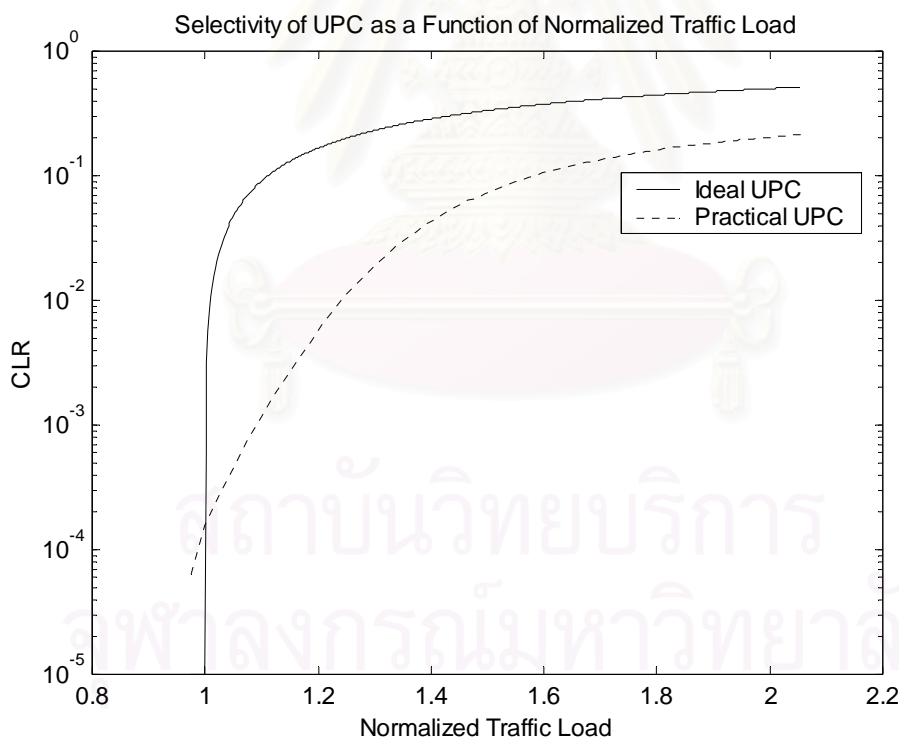
2.1.3 การวัดประสิทธิภาพของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้

วิธีการวัดประสิทธิภาพของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้มีได้หลายวิธีแตกต่างกัน แต่วิธีที่นิยมนำไปวัดประสิทธิภาพในงานวิจัยที่ผ่านมามีดังนี้

2.1.3.1 วิธีการคิดจากอัตราส่วนทิ้งเซลล์ (Cell Discard Ratio Method)

วิธีนี้เป็นวิธีการหาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ในด้านสภาพเลือกเฟ้น [V. Catania, et. al., 1995] โดยใช้วิธีการจำลองระบบออกมาเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทิ้งเซลล์ที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อแหล่งกำเนิดเพิ่มปริมาณทราฟฟิกและส่งข้อมูลเข้ามามากกว่าที่ตกลงกันไว้ดังในรูปที่ 2.2

หน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ที่ดีจะให้เส้นกราฟที่มีแนวโน้มเข้าใกล้เส้นกราฟของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ในอุดมคติและตัดกับเส้นกราฟในอุดมคติ ณ อัตราส่งข้อมูลเท่ากับที่ตกลงกันไว้ (Normalized Load = 1) ในระดับอัตราส่วนทิ้งเซลล์ ที่เป็นที่ยอมรับได้สำหรับการบริการชนิดของทราฟฟิกนั้น

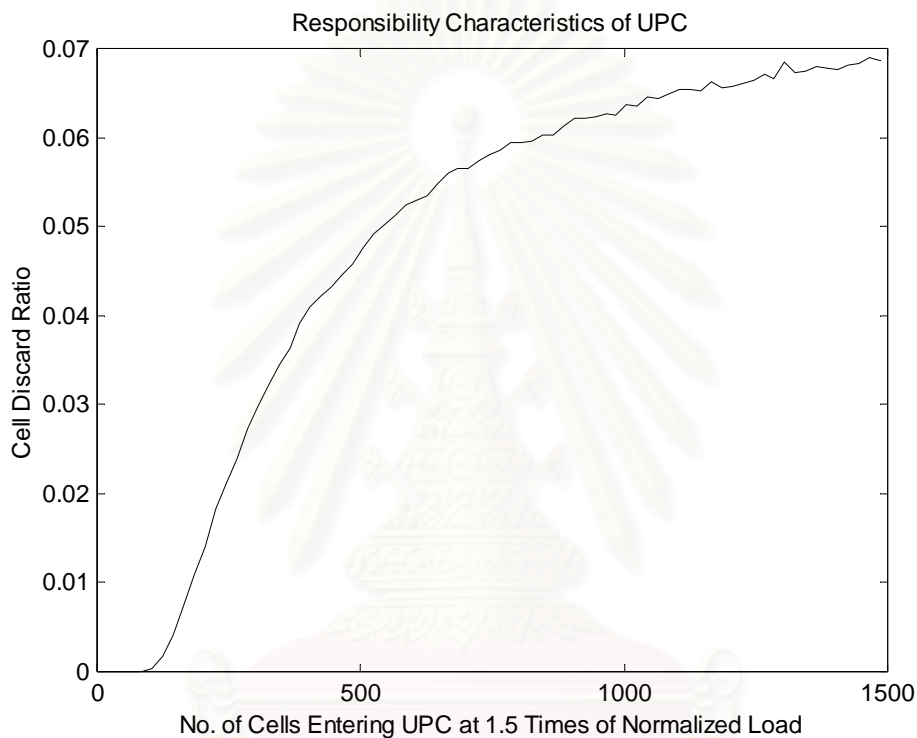


รูปที่ 2.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพเรื่องสภาพเลือกเฟ้นของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้

2.1.3.2 วิธีการคิดจากความรวดเร็วในการรับรู้การล้นละเมิดทราฟฟิก

วิธีนี้ใช้สำหรับการหาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ในด้านความไว [V. Catania, et. al., 1995] โดยมีหลักการดังนี้คือ หลังจากที่ให้แหล่งกำเนิดที่กำหนดให้ส่งข้อมูลด้วย

อัตราข้อมูลตามที่ตกลงกันได้แล้วในช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว จากนั้นก็ให้แหล่งกำเนิดปรับอัตราการส่งข้อมูลให้สูงกว่าอัตราที่ได้ตกลงกันได้ (ในงานวิจัยนี้จะใช้ที่อัตรา 1.5 เท่าของอัตราที่ตกลงกันได้) และเริ่มนับจำนวนเซลล์ที่วิ่งเข้าสู่โครงข่ายพร้อมทั้งวัดอัตราส่วนทิ้งเซลล์ไปด้วย จากนั้นทดลองซ้ำหลายๆ ครั้งโดยค่อยๆ เพิ่มจำนวนเซลล์ที่ละเมิดอัตราที่ตกลงกันได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และทำซ้ำหลายๆ รอบเพื่อหาผลเฉลี่ย ก็จะได้เส้นกราฟดังรูปที่ 2.3 ซึ่งสามารถตีความได้ว่าหน่วยควบคุมพารามิเตอร์นี้สามารถรับรู้การล้นละเมิดได้ภายในระยะเวลาเท่าไรและปรับตัวเพื่อรองรับการทิ้งเซลล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงไร



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงประสิทธิภาพเรื่องความไวของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้

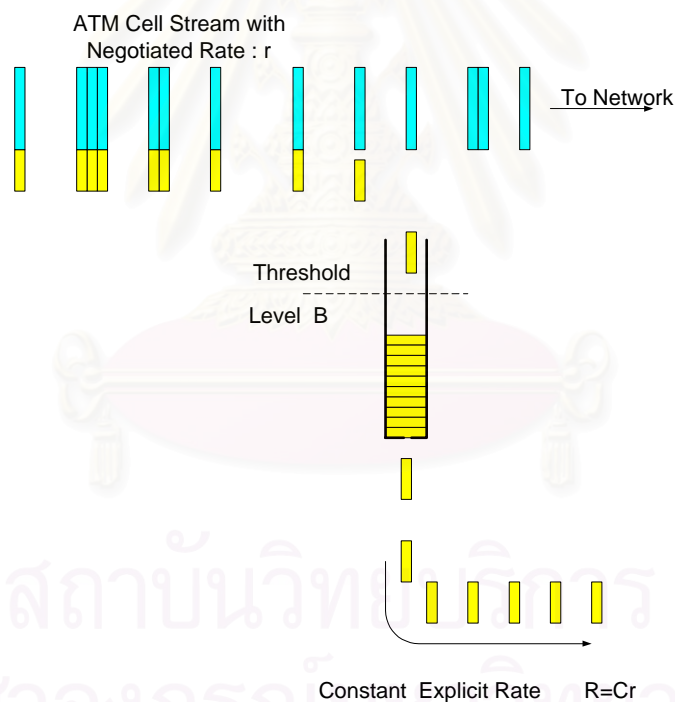
2.2 การควบคุมพารามิเตอร์การใช้ด้วยกลไกถังรั่ว (Leaky Bucket Mechanism UPC)

กลไกถังรั่ว (Leaky Bucket Mechanism) หรือการควบคุมพารามิเตอร์การใช้ด้วยวิธีถังรั่วเป็นหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ชนิดป้องกันที่ใช้งานในโครงข่ายเอทีเอ็ม ด้วยข้อดีของกลไกในตัวเองที่สามารถทำงานได้เร็ว มีสภาพเลือกเฟ้นที่ดี และนำไปสร้างเป็นฮาร์ดแวร์ความเร็วสูงได้ง่าย ทำให้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับถังรั่วออกมามากมาย ในบทความนี้จะวิเคราะห์ประสิทธิภาพและการทำงานของถังรั่วแบบพื้นฐานที่ใช้ทำหน้าที่ควบคุมอัตราเซลล์ข้อมูลเฉลี่ยที่เข้ามาในโครงข่าย และแนะนำถังรั่วแบบต่างๆ ในงานวิจัยที่ผ่านมา

2.2.1 ถังรั่วแบบดั้งเดิม (Conventional Leaky Bucket)

ถังรั่วแบบนี้เป็นถังรั่วยุคแรก [V. Catania, et. al., 1995] [E. P. Rathgeb, 1991] มีหลักการทำงานที่ง่าย ไม่ซับซ้อนเทียบได้กับถังที่มีน้ำบรรจุอยู่ ความสูงของน้ำในถังหรือค่าของวงจรมันจะลดลงด้วยอัตราคงที่ ถังรั่วแบบดั้งเดิมนี้สามารถแยกออกได้เป็นสองแบบคือชนิดมีบัฟเฟอร์กับไม่มีบัฟเฟอร์ เพื่อให้เกิดผลของการเลือกปฏิบัติต่อข้อมูลส่วนเกินที่ต่างกัน โครงสร้างแต่ละแบบของถังรั่วที่เลือกใช้ พารามิเตอร์ที่สำคัญของถังรั่วมีไม่มากนักจึงทำให้นำไปใช้งานได้ง่ายและสามารถที่จะหาพารามิเตอร์ของถังรั่วจากพารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดได้อย่างรวดเร็ว

ถังรั่วชนิดไม่มีบัฟเฟอร์ (ดังแสดงในรูปที่ 2.4) มีโครงสร้างเป็นวงจรมันที่มีอัตราการรั่วหรืออัตราการนับแบบลดลงที่คงที่ (Explicit Rate, R) ในขณะเดียวกันข้อมูลที่วิ่งเข้ามาแต่ละเซลล์จะทำให้ค่าในวงจรมันเพิ่มขึ้นตามจำนวนเซลล์ที่จะถูกส่งเข้าไปในโครงข่าย แต่ถ้าเซลล์ใดทำให้ค่าในวงจรมันมีค่าเกินค่าเริ่มเปลี่ยน (Threshold) หรือขนาดถังรั่ว (B) (ซึ่งมีความยาวพอที่จะรองรับเบิรสต์ได้) เซลล์นั้นก็就会被กักจัดไม่ให้เข้าไปในโครงข่าย



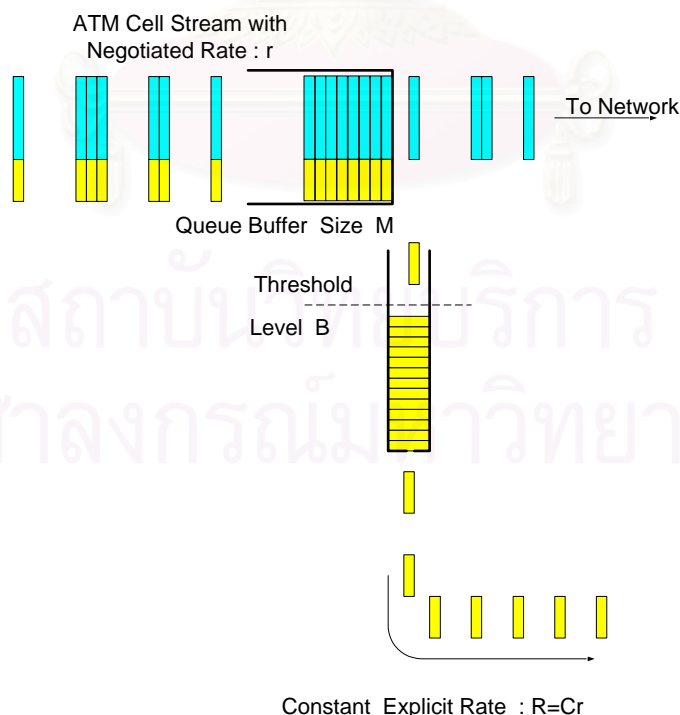
รูปที่ 2.4 ถังรั่วแบบดั้งเดิมชนิดไม่มีบัฟเฟอร์

ถ้าหากว่าอัตราการรั่วของถังรั่ว (Explicit Rate : R) มีค่าเท่ากับอัตราเซลล์เฉลี่ยของแหล่งกำเนิดที่ได้ตกลงไว้ (Negotiated Rate , r) ระบบจะสามารถทำงานได้ดีเมื่อขนาดของถังรั่วมีความยาวค่อนข้างมาก จึงทำให้ถังรั่วแบบนี้มีข้อดีเรื่องความไว โดยเฉพาะในช่วงที่ข้อมูลขาดหายไปนาน ทำให้ค่าวงจรมันในถังรั่วมีค่าน้อย ซึ่งเป็นจังหวะที่สามารถละเมิดทราฟฟิกได้ จึงได้มีการนำเอาค่า Overdimensioning Factor ($C > 1$)

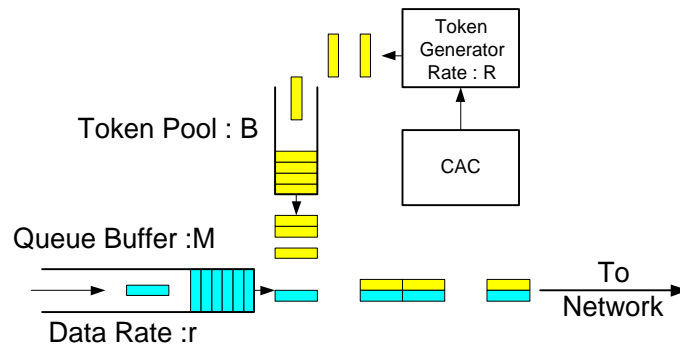
มาใช้โดยให้ $R=Cr$ เพื่อให้ใช้ค่าเริ่มเปลี่ยนที่น้อยลง ทำให้ความไวของระบบสูงขึ้น ค่า C จะขึ้นอยู่กับค่า Burstiness ของแหล่งกำเนิด ค่า C ที่นิยมนำมาใช้กันในงานวิจัยที่ผ่านมาขึ้นอยู่กับค่า Burstiness ถ้า C ที่ใช้มีค่ามากก็จะทำให้ค่าในวงจรนั้นมีค่าเป็น 0 บ่อยครั้งหมายความว่ามีความไวของแหล่งกำเนิดสามารถละเมิดกราฟได้ง่าย แต่ถ้า C มีค่าน้อยเกินไปก็จะทำให้สภาพเลือกเฟ้นต่ำ ค่าในวงจรนั้นมีค่าสูง จะเกิดการทิ้งเซลล์ปกติที่เข้ามาในลักษณะเบิรสต์ได้ง่าย การใช้ค่า C จะทำให้ขนาดของถังลดลง ทำให้มีความไวสูงกว่าถังที่มีค่า $C=1$ ดังจะได้อธิบายในหัวข้อถัดไป

สิ่งสำคัญที่แสดงให้เห็นถึงข้อเสียของการใช้หลักการค่า Overdimensioning Factor คือ ถ้าผู้ใช้จะละเมิดโดยตั้งใจที่จะจัดรูปร่างเซลล์ให้มีการส่งที่สม่ำเสมอ (Deterministic Pattern) ผู้ใช้ก็จะสามารถส่งข้อมูลเข้าไปในโครงข่ายได้มากกว่าที่ได้ตกลงกันไว้ก่อนหน้านี้เป็นปริมาณ Cr [E. P. Rathgeb, 1991]

นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาให้ถังรับชนิดนี้มีการให้เครดิตแก่เซลล์ที่ตามหลังเบิรสต์ให้สามารถพักอยู่ในคิวบัฟเฟอร์ได้ในขณะที่ค่าในถังรับสูงเกินค่าเริ่มเปลี่ยน เมื่อใดที่ค่าในถังรับลดลง ระบบถังรับก็จะให้เซลล์ที่อยู่ในบัฟเฟอร์เข้าสู่โครงข่ายต่อไป แต่ถ้าหากว่าเซลล์ที่เข้ามาแล้วพบว่าค่าในถังรับสูงถึงค่าเต็มและบัฟเฟอร์ก็เต็มด้วย ก็จะมีการทิ้งเซลล์ที่พักอยู่ลึกสุดในบัฟเฟอร์ ซึ่งเป็นการเพิ่มสภาพเลือกเฟ้นให้แก่ระบบทางหนึ่ง ถังรับชนิดนี้เรียกว่า ถังรับชนิดมีบัฟเฟอร์ (Buffered Leaky Bucket) ดังรูปที่ 2.5 ซึ่งมีคุณสมบัติในการเลือกกระทำแก่ข้อมูลส่วนเกินเพิ่มขึ้นจากการทิ้งเซลล์เป็นการพักและจัดรูปร่างกราฟฟิก บทความบางฉบับก็มีการดัดแปลงความเข้าใจในการทำงานหรือให้เหมาะสมกับการสร้างฮาร์ดแวร์เรียกว่า ถังรับชนิดใช้โทเค็น (Token Leaky Bucket) [T.D. Ndousse, 1994] [Z. Jiang and Z. Liu, 1996] ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 ถังรับแบบดั้งเดิมชนิดมีบัฟเฟอร์



รูปที่ 2.6 ถังรั้วชนิดใช้โทเค็น

รูปที่ 2.6 แสดงหลักการทำงานของถังรั้วชนิดใช้โทเค็น โดยใช้วงจรนับทำหน้าที่เป็น Token Pool และเป็นตัวกำหนดเครดิตจำนวนเซลล์ที่สามารถผ่านเข้าไปในโครงข่ายได้ ค่าของ Token Pool จะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราโทเค็นซึ่งมีค่าเท่ากับ $R=Cr$ ส่วนเซลล์ที่วิ่งเข้ามาจะนำไปพักใน Queue Buffer ถ้ามีโทเค็นว่างเหลืออยู่ใน Token Pool เซลล์ก็จะสามารถจับคู่กับโทเค็นและวิ่งเข้าไปในโครงข่ายได้ ถ้าหากว่าโทเค็นใน Token Pool หมด เซลล์จะต้องถูกพักไว้ใน Queue Buffer ก่อน ซึ่งจะเป็นการประวิงเวลาเล็กน้อย แต่ถ้าหากว่า Queue Buffer เกิดเต็มไปด้วยเซลล์ จะทำให้มีการทิ้งเซลล์ที่อยู่ลึกที่สุดในคิวบัฟเฟอร์เพื่อรักษาลำดับของข้อมูลให้มีความถูกต้อง

2.2.2 สมรรถนะของถังรั้วแบบดั้งเดิม

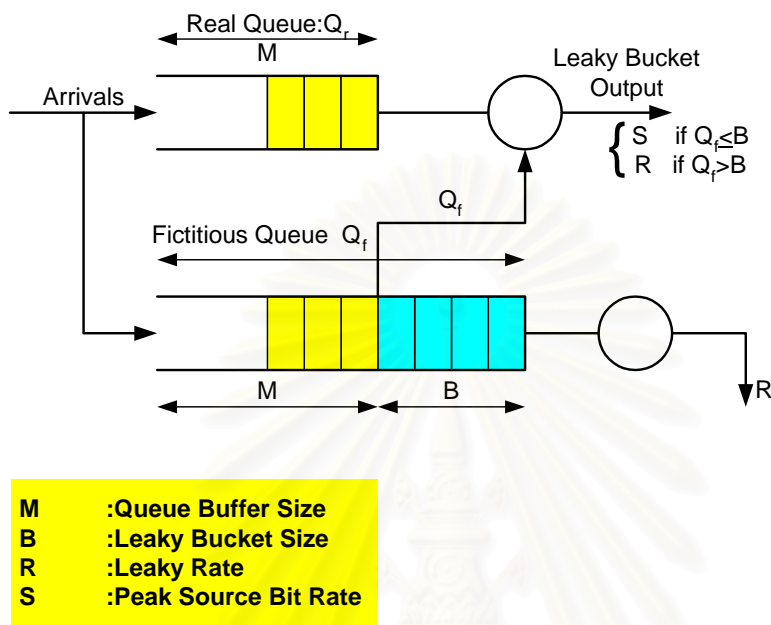
ถังรั้วแบบดั้งเดิมนั้นสามารถนำมาวิเคราะห์ได้ด้วยทฤษฎีคิว (Queueing Theory) [N. Yin and M. G. Hluchyj, 1991] โดยมองถังรั้วเป็นระบบคิวแบบ M/D/1/K (Arrival Process/Departure Process/Numbers of Servers/Queue Buffer) เมื่อนำไปวิเคราะห์ร่วมกับแหล่งกำเนิดแบบปิดเปิด จะได้ลักษณะการเข้ามาแบบเบตซ์ (Batch Arrival) ของกลุ่มแพ็กเก็ตข้อมูลมีการแจกแจงแบบปัวร์ซอง (Poisson Distribution :M) ส่วนระยะเวลาการให้บริการสำหรับแต่ละเซลล์ในแพ็กเก็ตจะมีค่าคงที่ (Deterministic Service Time :D) ด้วยอัตรา $1/R$ ด้วยจำนวนเซิร์ฟเวอร์ 1 เซิร์ฟเวอร์ (Server :1) และมีคิวเสมือนก็คือขนาดของถังรั้วเพื่อให้เซลล์มาพักเพื่อรอรับการบริการจำนวน B+M เซลล์ (Buffersize :K)

การมองระบบถังรั้วชนิดมีบัฟเฟอร์นี้ในรูปของทฤษฎีคิวนั้น จะมองในรูปของระบบ M/D/1/K เช่นกัน ในรูปที่ 2.5 คิวบัฟเฟอร์ที่ใช้ในระบบจริงจะใช้ขนาด M ซึ่งมีขนาดเท่ากับคิวบัฟเฟอร์ที่ใช้พักข้อมูล แต่การวิเคราะห์จำเป็นที่จะต้องสร้างคิวที่เป็นคิวสมมุติ (Fictitious Queue : Q_f) ซึ่งมีขนาดเป็นผลรวมของขนาดถังรั้วร่วมกับขนาดคิวบัฟเฟอร์ ($Q_f=B+M$) และจะมองเป็นกรณีไป โดยอัตราการให้บริการข้อมูลที่อยู่ในคิวบัฟเฟอร์จะขึ้นกับค่า Q_f ในขณะนั้นด้วย ดังรูปที่ 2.7 ถ้าค่าใน Q_f มีค่าน้อยกว่า B ถังรั้วก็จะให้บริการในอัตราเร็วสูงสุดของแหล่งกำเนิด (S) (หมายถึงให้ผ่านไปได้เลย ในแง่ของเซลล์จริง) แต่ถ้าค่าใน Q_f มีค่ามากกว่า B แต่น้อยกว่า B+M ถังรั้วก็จะให้บริการด้วยอัตรา r ค่าของคิวทั้งสองจะสามารถพิจารณาได้จากค่าของ $Q_f=Q_f-B$ ตลอดเวลาที่ $Q_f>B$ หรือได้ว่า

$$\Pr[Q_r \leq q] = \Pr[Q_f \leq B + q] ; 0 \leq q \leq M \tag{2.1}$$

และ $\Pr[Q_r = 0] = \Pr[Q_f \leq B] \tag{2.2}$

โดยที่ q คือตำแหน่งคิวใดๆ ที่อยู่ใน Q_r และ $\Pr[X]$ คือความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ X



รูปที่ 2.7 การพิจารณาถึงรั้วชนิดมีบัฟเฟอร์ (Buffered Leaky Bucket) ในมุมมองของทฤษฎีคิว

เมื่อมีข้อมูลเข้ามาในปริมาณมากๆ จะทำให้คิวบัฟเฟอร์เต็ม ($Q_r > M$) เช่นเดียวกับกับคิวสมมุติ ($Q_f > B + M$) ถึงรั้วจะต้องทิ้งเซลล์ เซลล์ที่จะเลือกทิ้งต้องเป็นเซลล์ที่อยู่ตอนต้นของคิวบัฟเฟอร์เพื่อรักษาลำดับของข้อมูลให้ถูกทิ้งให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม หรือถ้าถึงรั้วเลือกที่จะแท็กเซลล์ ก็สามารถแท็กเซลล์ตอนต้นบัฟเฟอร์ (หรือตอนท้ายบัฟเฟอร์ก็ได้ แต่ไม่ค่อยจะเหมาะสมเท่าใดนัก) และปล่อยเซลล์ที่ตอนต้นบัฟเฟอร์ให้เข้าไปในโครงข่ายเท่านั้น จากผลการวิเคราะห์ [N. Yin and M. G. Hluchyj, 1991] พบว่าความน่าจะเป็นที่เซลล์จะสูญหาย (Loss Probability) และความน่าจะเป็นที่จะแท็กเซลล์ (Tagging Probability) สำหรับถึงรั้วนี้มีค่าเท่ากัน และขึ้นอยู่กับค่าของผลรวมระหว่างขนาดถึงรั้วและคิวบัฟเฟอร์ ($B + M$) โดยไม่ขึ้นอยู่กับขนาดแยกของบัฟเฟอร์แต่ละตัว ผลรวมของขนาดถึงรั้วและคิวบัฟเฟอร์ ($B + M$) เป็นสิ่งกำหนด Burstiness ของแหล่งกำเนิดหรือของข้อมูลที่จะเข้ามาสู่ระบบและผ่าน UPC เข้าไปในโครงข่ายด้วย QOS ที่ต้องการได้ แต่ถ้าแยกพิจารณาแล้วจะพบว่า ขนาดถึงรั้ว (B) เป็นตัวกำหนดขนาดความยาวข้อมูลในเบิรสต์แต่ละเบิรสต์ที่จะเข้าสู่โครงข่าย (พิจารณาเฉพาะเซลล์ที่ไม่โดนแท็กเท่านั้น) หรือเป็นพารามิเตอร์ของการจัดรูปร่าง (Shaping) ของทราฟฟิกให้ดีขึ้น การวิเคราะห์ต่อไปนี้จะสามารถนำไปใช้ได้ทั้งถึงรั้วแบบที่มีบัฟเฟอร์และปราศจากบัฟเฟอร์ (โดยให้ค่า $M = 0$)

2.2.2.1 อัตราส่วนทิ้งเซลล์ของถังรั่ว

เมื่อกำหนดให้แหล่งกำเนิดเป็นชนิดปิดเปิดดังจะได้กล่าวในบทที่ 3 พารามิเตอร์ต่างๆ ของถังรั่วดังเดิมมีเพียงสองตัวดังนี้

R เป็นอัตราการลดลงของข้อมูลในถังรั่วมีค่าคงที่มีหน่วยเป็น bps

B เป็นขนาดของถังรั่วมีหน่วยเป็น บิต

พารามิเตอร์ทั้งสองค่านี้สามารถหาได้จากพารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดสามตัวคือ

S เป็นอัตราข้อมูลสูงสุดเมื่อแหล่งกำเนิดอยู่ในสถานะเปิด มีหน่วยเป็น bps

L เป็นจำนวนบิตข้อมูลเฉลี่ยต่อเบิรสต์ มีหน่วยเป็น บิต

และ r เป็นอัตราข้อมูลเฉลี่ยเมื่อพิจารณาในช่วงเวลาที่นานพอสมควร มีหน่วยเป็น bps

อัตราส่วนการอยู่ในสถานะเปิด (On Probability) หรือ Source Utilization (γ) มีการกำหนดดังนี้

$$\gamma = \frac{r}{S} \quad (2.3)$$

ส่วนโหลดของถังรั่ว (Leaky Bucket Load) (ρ) = $1/C$ กำหนดดังนี้

$$\rho = \frac{r}{R} \quad (2.4)$$

ด้วยรูปแบบการแจกแจงของช่วงเวลาเงียบและช่วงเวลาเบิรสต์ที่มีรูปแบบการแจกแจงแบบ

เอ็กซ์โพเนนเชียลเชิงลบ แบบจำลองที่ใช้จึงเป็นห่วงโซ่มาร์คอฟสองสถานะ (Two States Markov Chain)

จะได้อัตราการเปลี่ยนสถานะ (Transition Rate) จากสถานะปิดไปสู่สถานะเปิดมีค่าเท่ากับ $\frac{\gamma S}{L(1-\gamma)}$ และ

จากสถานะเปิดไปสู่สถานะปิดมีค่าเท่ากับ $\frac{S}{L}$ [N. Yin and M. G. Hluchyj, 1991]

ตัวแปรความน่าจะเป็น F_1 และ F_0 กำหนดดังนี้

$$F_1(q) = \Pr[\text{On State}; Q_f \leq q] \quad (2.5)$$

$$F_0(q) = \Pr[\text{Off State}; Q_f \leq q] \quad (2.6)$$

ซึ่งมีเงื่อนไขขอบเขตว่า

$$F_1(0) = 0 \quad (2.7)$$

และ

$$F_0(B + M) = 1 - \gamma \quad (2.8)$$

ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (pdf) ของความยาวในคิวสมมุติ (Q_f) มีค่าเป็น

$$P_f(q) = \Pr[Q_f \leq q] = F_1(q) + F_0(q) \quad (2.9)$$

ซึ่งสามารถทำให้อยู่ในรูปต่อไปนี้

$$P_f(q) = \frac{1 - \rho e^{\xi q}}{1 - \frac{\rho - \gamma}{1 - \gamma} e^{\xi(B+M)}} \quad (2.10)$$

โดย ξ เป็นค่าไอเกน (Eigenvalue) ที่ไม่เท่ากับ 0 และมีค่าน้อยกว่า 0 สำหรับ $\rho < 1$

$$\xi = - \frac{\rho(1 - \rho)}{L(1 - \gamma)(\rho - \gamma)} \quad (2.11)$$

ส่วนฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของความยาวคิวในคิวบัฟเฟอร์ (Q_f) จะหาได้จากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นของความยาวคิวในคิวสมมุติ ดังนี้

$$P_r(q) = \Pr[Q_f \leq q] = \Pr[Q_f \leq B + q] = P_f(B + q) = \frac{1 - \rho e^{\xi(B+q)}}{1 - \frac{\rho - \gamma}{1 - \gamma} e^{\xi(B+M)}} \quad (2.12)$$

ความน่าจะเป็นที่คิวสมมุติมีข้อมูลอยู่เต็มคือ

$$\begin{aligned} \Pr[Q_f = B + M] &= 1 - \Pr[Q_f < B + M] \\ &= \frac{\gamma(1 - \rho)e^{\xi(B+M)}}{(1 - \gamma)\left(1 - \frac{\rho - \gamma}{1 - \gamma} e^{\xi(B+M)}\right)} \end{aligned} \quad (2.13)$$

ในขณะที่คิวบัฟเฟอร์หรือคิวจริงมีค่าเต็มแล้วเซลล์ส่วนเกินที่เข้ามาจะถูกแท็กหรือทิ้งด้วยอัตรา $S - R$ ในขณะนั้น แต่ถ้ามองในระยะเวลายาวๆ อัตราทิ้งเซลล์เฉลี่ยคือ $(S - R)\Pr[Q_f = B + M]$ ดังนั้นอัตราส่วนทิ้งเซลล์หรือแท็กเซลล์เฉลี่ย คือ

$$\begin{aligned} P_{\text{loss}} &= \frac{(S - R)}{\gamma} \Pr[Q_f = B + M] \\ &= \frac{(\rho - \gamma)(1 - \rho)e^{\xi(B+M)}}{\rho(1 - \gamma)\left(1 - \frac{\rho - \gamma}{1 - \gamma} e^{\xi(B+M)}\right)} \end{aligned} \quad (2.14)$$

ส่วนอัตราข้อมูลออกสำหรับเซลล์ที่ไม่สูญหายหรือไม่ถูกแท็กคือ

$$R_{\text{out}} = r - (S - R)\Pr[Q_f = B + M] \quad (2.15)$$

เมื่อพิจารณาจาก สมการที่ (2.11) และ (2.15) แล้วจะเห็นว่า การกำหนดอัตราส่วนนอร์แมลไลซ์ของขนาดผลรวมของคิวบัฟเฟอร์และขนาดถังรับเมื่อเทียบกับจำนวนบิตข้อมูลเฉลี่ยในหนึ่งเบิสต์เมื่อกำหนดอัตราส่วนเซลล์ที่จะสูญหาย (P_{loss}) เอาไว้แล้ว ก็คือ

$$\frac{B + M}{L} = \frac{(1 - \gamma)(\rho - \gamma)}{\rho(1 - \rho)} \ln \left\{ \frac{(\rho - \gamma)(1 - \rho(1 - P_{\text{loss}}))}{\rho(1 - \gamma)P_{\text{loss}}} \right\} \quad (2.16)$$

และสำหรับ P_{loss} ที่น้อยกว่า 1 มากๆ เราสามารถลดรูปสมการโดยการประมาณได้เป็น

$$\frac{B+M}{L} \approx \frac{(1-\gamma)(\rho-\gamma)}{\rho(1-\rho)} \ln \left\{ \frac{(\rho-\gamma)(1-\rho)}{\rho(1-\gamma)P_{\text{loss}}} \right\} \quad (2.17)$$

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขนาดรวมของถังรับกับคิวบัฟเฟอร์จะเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นตามความยาวเบิร์ตส์เฉลี่ย และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเป็นลอการิทึมเมื่ออัตราส่วนเซลล์สูญหายที่ต้องการมีค่าลดลง ส่วนการนำค่าการวิเคราะห์นั้นไปใช้กับถังรับชนิดไม่มีบัฟเฟอร์สามารถดัดแปลงได้ง่ายโดยให้ค่า $M=0$

2.2.2.2 ความยาวคิวเฉลี่ยและค่าประวิงเวลาของถังรับ

ความยาวคิวเฉลี่ยในคิวบัฟเฟอร์ (\bar{Q}_r) หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟความน่าจะเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \bar{Q}_r &= \int_0^{M^-} q d(P_r(q)) + M \Pr[Q_r = M] \\ &= -\frac{\rho e^{\xi B}}{\xi \left(1 - \frac{\rho-\gamma}{1-\gamma} e^{\xi(B+M)}\right)} \left\{ 1 - e^{\xi M} \left(1 - \frac{\rho-\gamma}{\rho(1-\gamma)} \xi M\right) \right\} \end{aligned} \quad (2.18)$$

แต่สำหรับถังรับชนิดไม่มีบัฟเฟอร์แล้ว ค่า \bar{Q}_r จะมีค่าเป็น 0

ค่าประวิงเวลาเฉลี่ย (\bar{D}) สำหรับข้อมูลที่อยู่ในคิวบัฟเฟอร์หาได้โดย

$$\bar{D} = \frac{\bar{Q}_r}{(1-P_{\text{loss}})r} = -\frac{e^{\xi B} \left\{ 1 - e^{\xi M} \left(1 - \frac{\rho-\gamma}{\rho(1-\gamma)} \xi M\right) \right\}}{R \xi \left(1 - \frac{\rho-\gamma}{\rho(1-\gamma)} e^{\xi(B+M)}\right)} \quad (2.19)$$

หรือในกรณีที่ไม่มีบัฟเฟอร์เป็นอนันต์

$$\bar{D} = -\frac{e^{\xi B}}{R \xi} \quad \text{สำหรับค่า } M \rightarrow \infty \quad (2.20)$$

และมีค่าเป็น 0 สำหรับถังรับชนิดไม่มีบัฟเฟอร์

ซึ่งจะทำให้หาอัตราส่วนนอร์แมลไลซ์ของขนาดถังรับต่อจำนวนบิตข้อมูลเฉลี่ยในหนึ่งเบิร์ตส์เมื่อกำหนดค่าประวิงเวลาเฉลี่ยให้ได้เป็น

$$\frac{B}{L} = \frac{(1-\gamma)(\rho-\gamma)}{\rho(1-\rho)} \ln \left\{ \frac{(1-\gamma)(\rho-\gamma)}{\rho(1-\rho)} \frac{L}{\bar{D}R} \right\} \quad (2.21)$$

หรือถ้าให้ \bar{D}_0 เป็นค่าประวิงเวลาที่มีหน่วยเป็นจำนวนเท่าของช่วงความยาวเบิร์ตส์เฉลี่ยจะได้เป็น

$$\frac{B}{L} = \frac{(1-\gamma)(\rho-\gamma)}{\rho(1-\rho)} \ln \left\{ \frac{(1-\gamma)(\rho-\gamma)}{\rho(1-\rho)\bar{D}_0} \right\} \quad (2.22)$$

จะเห็นได้ว่าขนาดถังรับที่นอร์แมลไลซ์กับจำนวนบิตข้อมูลเฉลี่ยต่อเบิร์ตส์แล้ว มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเป็นลอการิทึมเมื่อค่าประวิงเวลาสัมพันธ์กับความยาวเบิร์ตส์มีค่าลดลง

2.2.2.3 การนำผลการวิเคราะห์มาใช้งาน

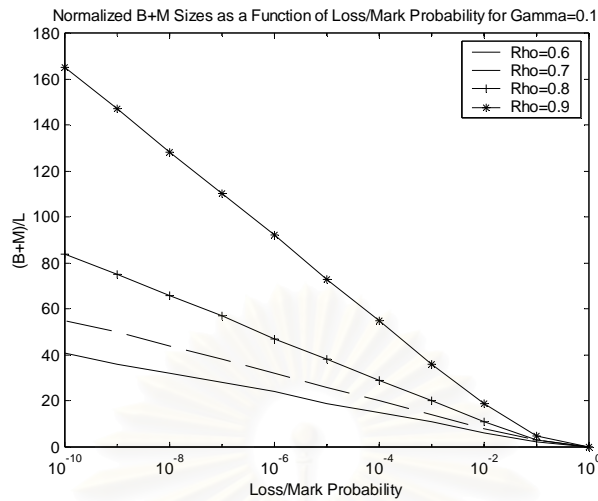
ในการวิจัยนี้จะนำถึงรูปแบบดั้งเดิมชนิดไม่มีบัฟเฟอร์มาเปรียบเทียบกับงานวิจัย ดั่งนั้นจะขอพิจารณาประสิทธิภาพในด้านอัตราส่วนทั้งเซลล์ที่มีค่าใกล้เคียงอุดมคติ และ เรื่องความไวต่อการละเมิด

จากสมการที่ (2.16) เมื่อพล็อตกราฟระหว่าง $(B+M)/L$ กับอัตราส่วนทั้งเซลล์ โดยให้ $\gamma=0.1$ และ ρ มีค่าเป็น 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เราจะพบว่าถึงแม้จะมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างเป็นฟังก์ชันลอการิทึมเมื่อค่าอัตราส่วนทั้งเซลล์ที่ต้องการมีค่าลดลงอย่างเป็นเชิงเส้น และการเลือกใช้ถึงรั้วที่มีค่า ρ ที่น้อยก็สามารถลดขนาดของถึงรั้วที่จะต้องใช้ได้

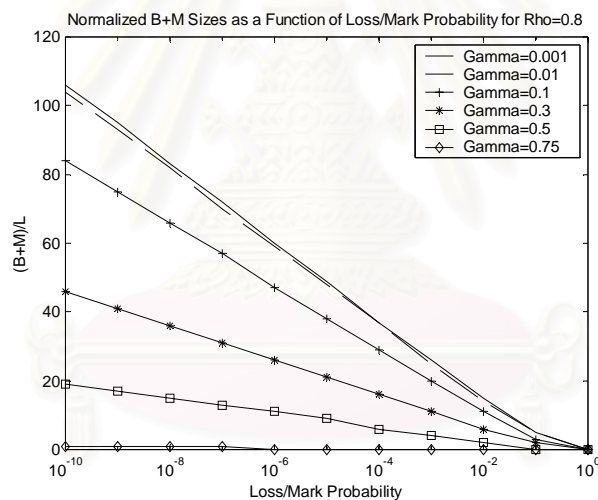
สำหรับรูปที่ 2.9 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนทั้งเซลล์กับขนาดรวมถึงรั้วกับคิวบัฟเฟอร์ที่นอร์มัลไลซ์กับความยาวเฉลี่ยเซลล์ข้อมูลแล้ว โดยกำหนดค่า $\rho=0.8$ และดูผลจากการเปลี่ยนค่า γ ระหว่าง 0 ถึง 0.75 ตามลำดับจะเห็นว่าค่า $(B+M)/L$ มีค่าเพิ่มขึ้นแบบลอการิทึม เมื่อลดค่าอัตราส่วนทั้งเซลล์ลง และ ยังบอกได้อีกว่า $(B+M)/L$ สามารถลดลงได้เมื่อนำไปใช้กับแหล่งกำเนิดที่มีค่า γ เข้าใกล้ 1 หรือแหล่งกำเนิดที่มีค่า Burstiness น้อยลง

เพื่อให้มีความเข้าใจมากขึ้นเราจะพบว่าค่า Overdimensioning Factor (C) มีค่าเท่ากับอัตรารั้วของถึงรั้วต่ออัตราเซลล์เฉลี่ยที่ได้ตกลงไว้ของข้อมูลที่เข้ามาหรือ $C = \frac{R}{r} = \frac{1}{\rho}$ นั่นเอง

การใช้ค่า C ที่เหมาะสมจะทำให้ถึงรั้วมีคุณสมบัติทางด้านประสิทธิภาพในการเลือกทั้งเซลล์เข้าใกล้หน่วยควบคุมพารามิเตอร์ในอุดมคติ เช่นงานวิจัยก่อนหน้านี้หลายชิ้นนิยมที่จะใช้ค่า $C=1.42$ หรือ $\rho=0.7$ สำหรับแบบจำลองแหล่งกำเนิดเสียงดังที่ได้กล่าวในบทที่ 4



รูปที่ 2.8 ขนาดรวมของถังรั้วที่รวมกับคิวบัฟเฟอร์ที่ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการทิ้งเซลล์ที่ $\gamma = 0.1$



รูปที่ 2.9 ขนาดรวมของถังรั้วที่รวมกับคิวบัฟเฟอร์ที่ลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการทิ้งเซลล์ที่ $\rho = 0.8$

2.3 ฟัชซีลอจิก (Fuzzy Logic) [J.-S. R. Jang, et. al., 1997]

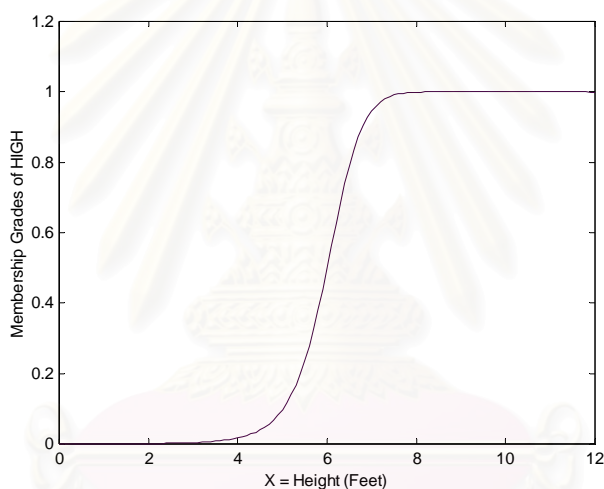
2.3.1 Fuzzy Set and Classical Set

Classical Set คือเซตที่มีขอบเขตอย่างชัดเจน ยกตัวอย่างเช่น เซต A เป็นเซตของเลขจำนวนจริงที่มีค่ามากกว่า 6 หรือระบุได้ว่า

$$A = \{X \mid X > 6\}$$

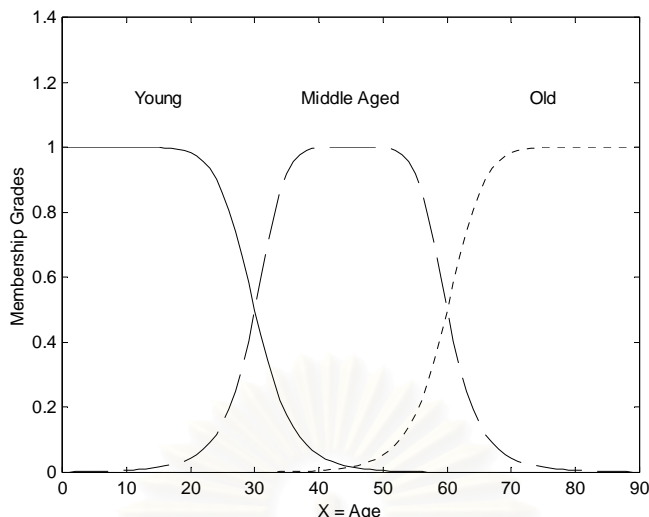
ซึ่งมีความชัดเจนในความหมายดังที่กล่าวมาอยู่แล้ว แต่เซตบางอย่างจะใช้ Classical Set ในการระบุแบบนี้ไม่ได้เช่น เซต B เป็นเซตของคนที่มีส่วนสูงมาก หรือ เซต C เป็นเซตของคนที่มีน้ำหนักมาก ซึ่งยากแก่การเข้าใจว่าสูงเท่าใดจึงเรียกว่าสูงมาก และหนักเท่าใดจึงเรียกว่าหนักมาก ยกตัวอย่างเช่นคนที่มีส่วนสูงมากคือคนที่สูงกว่า 6 ฟุต แต่จะกล่าวว่าคนที่มีส่วนสูง 5.999 ฟุตเป็นคนเดียวเนื่องจากไม่อยู่ในเซตก็ได้ จึงได้นิยามฟัซซีเซต ไว้ดังนี้

ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) คือเซตที่มีขอบเขตไม่ชัดเจน ที่รอยต่อของความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต และความไม่เป็นสมาชิกมีค่าต่อเนื่องและเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกัน โดยเส้นกราฟที่แสดงค่าคุณสมบัติของความเป็นสมาชิกนี้เรียกว่า ฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function) และจะใช้ค่าความรู้สึกลิงกิสติก (Linguistic Value) หรือศัพท์ที่แสดงถึงปริมาณความรู้สึกลิงกิสติกที่มนุษย์จะเข้าใจเช่น สูงมาก สูงปานกลาง หรือ เตี้ย เป็นชื่อกำกับฟังก์ชันสมาชิกนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ฟังก์ชันสมาชิกของคนที่มีความสูงมาก

เมื่อนำเอาค่าความรู้สึกลิงกิสติกหลายๆ ค่าที่สามารถนำมาประกอบกันเป็นเซตที่สามารถครอบคลุมค่าในช่วงที่ต้องการได้จะเรียกเซตนี้ว่า ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) หรือตัวแปรความรู้สึกลิงกิสติก (Linguistic Variable) เช่นฟัซซีเซต A คือ อายุ ที่ประกอบไปด้วยค่าความรู้สึกลิงกิสติกสามค่าคือ Young , Middle และ Old โดยค่าความรู้สึกลิงกิสติกแต่ละค่าจะมีเส้นกราฟฟังก์ชันสมาชิกเป็น μ_{Young} μ_{Middle} และ μ_{Old} ตามลำดับดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ฟังก์ชันสมาชิกของค่า Linguistic Value ทั้งสามคือ Young, Middle Aged และ Old

ดังนั้นสำหรับคนอายุ 30 ปีแล้วจำเป็นต้องได้รับการระบุถึงระดับของความเป็นสมาชิกใน Linguistic Value แต่ละค่าว่าเป็นอายุที่มีค่าความเป็นสมาชิกของความเป็น Young อยู่ที่ 0.5, ค่าความเป็นสมาชิกของความเป็น Middle Aged อยู่ที่ 0.5 และ ค่าความเป็นสมาชิกของความเป็น Old อยู่ที่ 0

2.3.2 ฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function)

ฟังก์ชันสมาชิกคือความสัมพันธ์ระหว่างค่าจริงของตัวแปรอินพุตหรือเอาต์พุตและค่าความเป็นสมาชิกของค่าความรู้สึกคำนั้นๆ ที่นิยามด้วยสมการคณิตศาสตร์ ตัวอย่างฟังก์ชันสมาชิกที่จะยกตัวอย่างต่อไปนี้เป็นฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรหนึ่งมิติ

2.3.2.1 ฟังก์ชันสมาชิกแบบสามเหลี่ยม (Triangle Membership Function)

ประกอบไปด้วยค่าพารามิเตอร์สามค่าคือ $\{a, b, c\}$ โดย $a < b < c$ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กำหนดตำแหน่งจุดมุมของรูปสามเหลี่ยมในเส้นกราฟฟังก์ชันสมาชิกดังรูปที่ 2.12(a) การหาค่าความเป็นสมาชิกทำได้โดย

$$\text{triangle}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \\ \frac{x - a}{b - a} & , a \leq x \leq b \\ \frac{c - x}{c - b} & , b \leq x \leq c \\ 0 & , c \leq x \end{cases} \quad (2.23)$$

หรือ

$$\text{triangle}(x; a, b, c) = \max(\min(\frac{x - a}{b - a}, \frac{c - x}{c - b}), 0) \quad (2.24)$$

2.3.2.2 ฟังก์ชันสมาชิกแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function)

ฟังก์ชันสมาชิกแบบนี้มีพารามิเตอร์สี่ตัวคือ $\{a, b, c, d\}$ โดยที่ $a < b < c < d$ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กำหนดจุดตำแหน่งมุมเช่นเดียวกับฟังก์ชันสมาชิกแบบสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 2.12(b) การหาค่าความเป็นสมาชิกทำได้โดย

$$\text{trapezoidal}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ 1 & , b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & , c \leq x \leq d \\ 0 & , d \leq x \end{cases} \quad (2.25)$$

หรือ

$$\text{trapezoidal}(x; a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right) \quad (2.26)$$

2.3.2.3 ฟังก์ชันสมาชิกแบบเกาส์ (Gaussian Membership Function)

ฟังก์ชันสมาชิกแบบเกาส์นี้มีพารามิเตอร์สองตัวคือ $\{c, \sigma\}$ โดยที่ c เป็นจุดศูนย์กลางของฟังก์ชัน ส่วน σ คือ ความกว้างของฟังก์ชัน ดังรูปที่ 2.12(c)

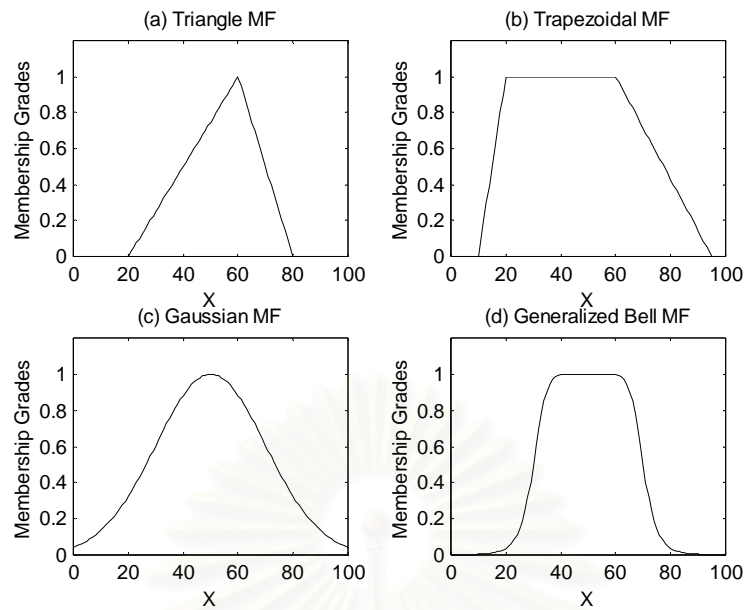
$$\text{gaussian}(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \quad (2.27)$$

2.3.2.4 ฟังก์ชันสมาชิกแบบระฆัง (Generalized Bell Membership Function)

ฟังก์ชันสมาชิกแบบระฆังนี้กำหนดขึ้นได้ด้วยพารามิเตอร์สามตัวคือ $\{a, b, c\}$ ดังรูปที่ 2.12(d) โดยที่ a เป็นความกว้างของฟังก์ชัน, b มักจะมีค่าเป็นบวก (ถ้าเป็นลบจะได้รูประฆังหงายแทน) กำหนดให้เป็นความสูงชันของระฆัง, c เป็นจุดศูนย์กลางของฟังก์ชัน ซึ่งดูได้จากรูปที่ 2.13 ค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันสมาชิกแบบนี้หาได้จาก

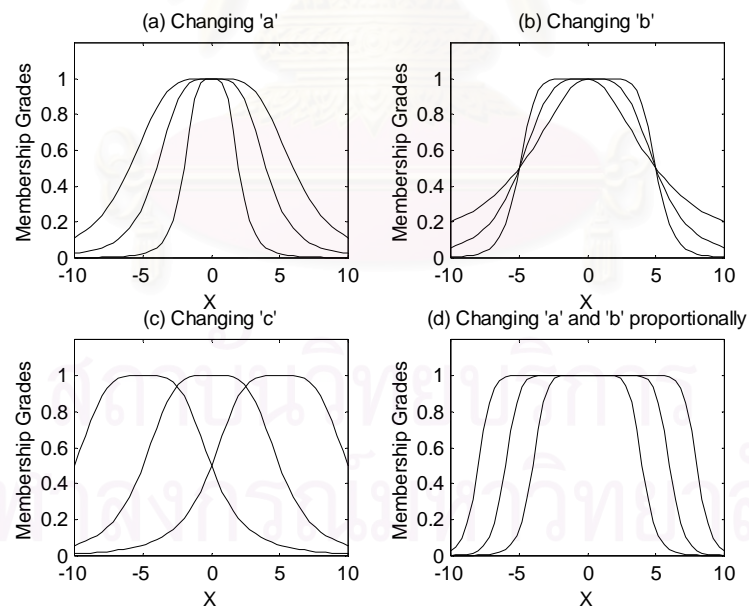
$$\text{bell}(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \quad (2.28)$$

รูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นถึงรูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกทั้งสี่แบบที่กล่าวข้างต้น และรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นผลจากการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันสมาชิกแบบระฆัง



รูปที่ 2.12 ลักษณะรูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกแบบต่างๆ กัน

- a) Triangle MF b) Trapezoidal MF
c) Gaussian MF d) Generalized Bell MF

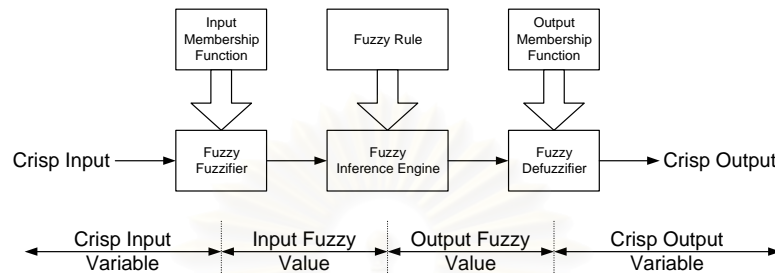


รูปที่ 2.13 ผลจากการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชันสมาชิกแบบระฆัง

- a) เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ a b) เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ b
c) เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ c d) เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ a และ b อย่างเป็นสัดส่วนกัน

2.3.3 ระบบฟัซซี (Fuzzy System)

ระบบฟัซซีประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ หลายส่วนดังรูปที่ 2.14 เพื่อทำหน้าที่ในการหาค่าตัวแปรด้านออก (Crisp Output) จากตัวแปรด้านเข้า (Crisp Input) โดยผ่านกระบวนการต่างๆ กันเพื่อให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านออกกับด้านเข้าให้เป็นไปตามที่ผู้ออกแบบต้องการ ส่วนประกอบที่สำคัญต่างๆ มีดังนี้



รูปที่ 2.14 ระบบฟัซซี (Fuzzy System)

2.3.3.1 ฟังก์ชันสมาชิกด้านเข้า (Input Membership Function)

ฟังก์ชันสมาชิกด้านเข้าเป็นฟังก์ชันกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรด้านเข้า (Crisp Input) กับแต่ละตัวแปรความรู้สึกด้านเข้า (Input Linguistic Variable) ซึ่งจะบอกว่าตัวแปรด้านเข้านั้นมีค่าความเป็นสมาชิกตรงกับตัวแปรความรู้สึกด้านเข้าอย่างไร ความสัมพันธ์นี้ถ้ามองในรูปเส้นกราฟของฟังก์ชันสมาชิกด้านเข้า สามารถแยกออกได้หลายประเภทเช่น สามเหลี่ยม (Triangle), ลีเหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal), เกาส์ (Gaussian) หรือ ระฆัง (Generalized Bell) เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จะใช้แบบสามเหลี่ยมเนื่องจากทำฟัซซีฟายเออร์ได้ง่าย และจำลองแบบผลได้รวดเร็ว

2.3.3.2 ฟัซซีฟัซซีฟายเออร์ (Fuzzy Fuzzifier)

ฟัซซีฟัซซีฟายเออร์มีหน้าที่ในการเปลี่ยนค่าตัวแปรด้านเข้า ให้เป็นค่าความเป็นสมาชิกของค่าความรู้สึกด้านเข้าสำหรับตัวแปรความรู้สึกด้านเข้าแต่ละชนิดโดยใช้ฟังก์ชันสมาชิก แล้วส่งค่าตัวแปรความรู้สึกล่าให้แก่ส่วนลงความเห็น (Fuzzy Inference Engine) ต่อไป

2.3.3.3 กฎฟัซซี (Fuzzy Rule)

กฎฟัซซีมีหน้าที่กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างชนิดตัวแปรความรู้สึกด้านเข้ากับชนิดตัวแปรความรู้สึกด้านออก ในกฎแต่ละข้อจะมีลักษณะเป็น IF A Then B โดย A เป็นชนิดตัวแปรความรู้สึกด้านเข้า และ B เป็นชนิดตัวแปรความรู้สึกด้านออก

2.3.3.4 ส่วนลงความเห็น (Fuzzy Inference Engine)

ส่วนลงความเห็นมีหน้าที่ใช้กฎฟัซซีเพื่อลงความเห็นหาค่าตัวแปรความรู้สึกด้านออกจากค่าตัวแปรความรู้สึกด้านเข้า ส่วนลงความเห็นมีวิธีการที่สำคัญหลายวิธี เช่น Binary Relation, Max-Min

Composition หรือ Max-Product Composition แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้วิธี Max-Min Composition เนื่องจากเป็นวิธีที่สมเหตุสมผล ใช้งานกันแพร่หลาย และสามารถนำไปสร้างฮาร์ดแวร์ได้ง่าย

2.3.3.5 ฟังก์ชันสมาชิกด้านออก (Output Membership Function)

เป็นฟังก์ชันกำหนดความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าตัวแปรด้านออก (Crisp Output) กับตัวแปรความรู้สึกด้านออก (Output Linguistic Variable) แต่ละตัว ซึ่งจะบอกว่าค่าตัวแปรด้านออกค่านี้มีค่าความเป็นสมาชิกตรงกับตัวแปรความรู้สึกด้านออกอย่างไรเช่นเดียวกันกับฟังก์ชันสมาชิกด้านเข้าทุกประการ ความสัมพันธ์ที่ใช้ในฟังก์ชันสมาชิกด้านออก ก็จะมีวิธีที่หลากหลายเหมือนกับฟังก์ชันสมาชิกด้านเข้า ซึ่งก็ควรจะใช้ฟังก์ชันชนิดเดียวกัน

2.3.3.6 ฟัชซีดีฟัซซิฟายเออร์ (Fuzzy Defuzzifier)

ฟัชซีดีฟัซซิฟายเออร์มีหน้าที่ในการคำนวณหาค่าตัวแปรด้านออกจากตัวแปรความรู้สึกด้านออก ที่ได้รับมาจากส่วนลงความเห็น โดยใช้ ฟังก์ชันสมาชิกด้านออก วิธีต่างๆ ที่ ฟัชซีดีฟัซซิฟายเออร์สามารถนำมาใช้ได้ มีหลายวิธีเช่น Smallest of MAX, Largest of MAX, Centroid of Area, Bisector of Area, Mean of MAX เป็นต้น งานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธี Centroid of Area เนื่องจากเป็นวิธีที่สมเหตุสมผล ใช้งานกันแพร่หลายและให้ความเสมอภาคแก่ข้อมูลทุกส่วนได้ดีกว่า

บทที่ 3

ถึงร้วแบบเครดิตโทเค็นควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก

3.1 ข้อดีของถึงร้วแบบเครดิตโทเค็นควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก

แบบจำลองถึงร้วที่ใช้สำหรับควบคุมพารามิเตอร์การใช้ในโครงข่ายเอทีเอ็มที่จะนำเสนอ นั้น ได้ดัดแปลงขึ้นมาจากถึงร้วแบบดั้งเดิมโดยพิจารณาจากข้อดีและช่วงการทำงานต่างๆ ให้เป็นถึงร้วแบบเครดิตโทเค็นขึ้นโดยข้อดีที่ได้จากถึงร้วแบบเครดิตโทเค็นชนิดใหม่มีดังนี้

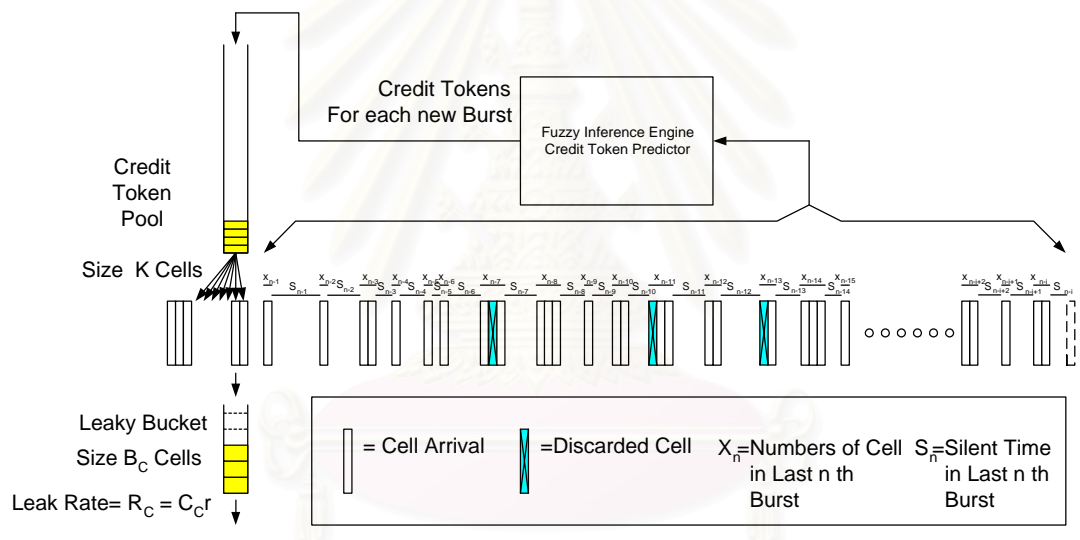
1. ไม่มีการประวิงเวลาซึ่งเป็นผลมาจากการพักเซลล์ข้อมูลในคิวบัฟเฟอร์ เพราะระบบนี้ไม่มีคิวบัฟเฟอร์
2. ประสิทธิภาพการทำงานจะได้รับผลกระทบจากรูปแบบของชนิดการแจกแจงของข้อมูลทางสถิติของแหล่งกำเนิดที่น้อยลง เพราะระบบจะวัดค่าเซลล์เฉลี่ยในขณะนั้นมาร่วมพิจารณาในขณะทำงานด้วย
3. ผู้ใช้จะไม่สามารถส่งข้อมูลส่วนที่เกินไปจากที่ตกลงกันได้ ด้วยวิธีการส่งแบบ Deterministic เข้ามาในโครงข่ายได้เนื่องจากระบบนี้ มีการใช้ค่า Overdimensioning Factor (C) มีค่าเข้าใกล้ 1

3.2 หลักการทำงานของถึงร้วแบบเครดิตโทเค็นควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก

จากการเฝ้าสังเกตค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของถึงร้วแบบดั้งเดิมในระหว่างการจำลองแบบ พบว่าในขณะที่แหล่งกำเนิดทำการส่งข้อมูลที่อัตราข้อมูลปกติตามที่ตกลงกันได้ ก็ยังมีโอกาสที่จะได้พบกับการตัดสินใจที่ทิ้งเซลล์ได้ การตัดสินใจทิ้งเซลล์นี้มักจะเกิดขึ้นแก่เซลล์ข้อมูลลำดับแรกๆ ของเบิสต์ซึ่งตามหลังเบิสต์ข้อมูลก่อนหน้านั้นที่มีขนาดความยาวมากเป็นพิเศษ อันเนื่องมาจากถึงร้วเต็มหรือโทเค็นไม่เพียงพอ (ในกรณีของถึงร้วแบบดั้งเดิมชนิดใช้โทเค็น) นอกจากนี้เมื่อแหล่งกำเนิดได้รับการจำลองแบบให้มีการส่งข้อมูลในอัตราที่สูงกว่าอัตราที่ได้ตกลงกันได้ การทิ้งเซลล์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นยังไม่มากพอที่จะทำให้เซลล์ที่ผ่านระบบถึงร้วเข้าสู่โครงข่ายอยู่ในอัตราข้อมูลปกติตามที่ตกลงกันได้ เซลล์ส่วนเกินที่เข้าสู่โครงข่ายนั้นผ่านถึงร้วได้ในจังหวะที่ค่าวงจรมีค่าต่ำ (หรือมีโทเค็นเหลืออยู่มากในกรณีของถึงร้วแบบดั้งเดิมชนิดใช้โทเค็น) เนื่องมาจากเบิสต์ข้อมูลก่อนหน้านั้นมีขนาดความยาวไม่มาก ทั้งหมดนี้เป็นข้อดีของถึงร้วแบบดั้งเดิมคือ การตัดสินใจในช่วงเวลาสั้นๆ ระดับความยาวเบิสต์นั้นได้รับผลกระทบจากข้อมูลในอดีตทั้งสิ้น เพื่อลดผลกระทบจากความยาวเบิสต์ในอดีต การปรับปรุงพัฒนาถึงร้วแบบดั้งเดิมจะตั้งอยู่บนหลักการลดผลกระทบของพารามิเตอร์ของถึงร้วที่มาจากข้อมูลในอดีตโดยการนำเครดิตโทเค็น (Credit Token) และฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) มาใช้

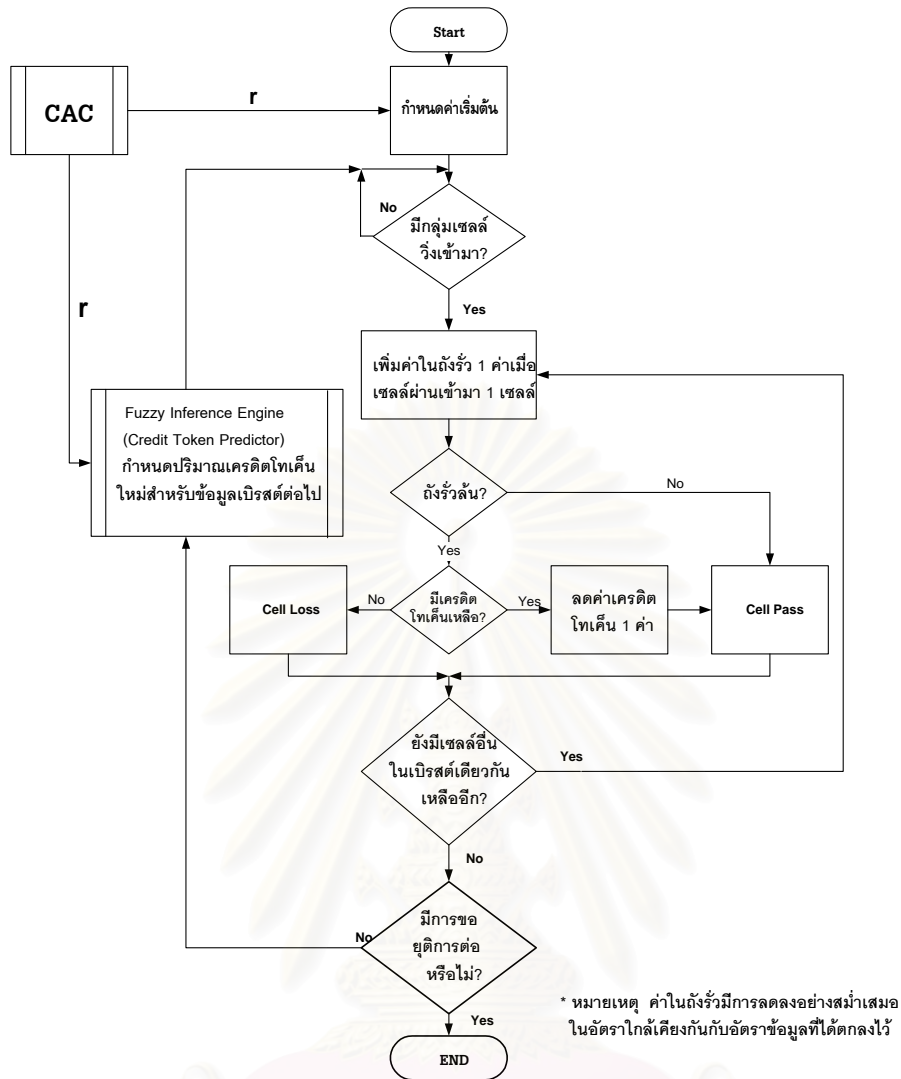
ถึงร้วแบบเครดิตโทเค็นควบคุมด้วยฟัซซีลอจิกนี้จะทำให้ระบบควบคุมพารามิเตอร์การใช้มีประสิทธิภาพเลือกเฟ้นที่สูงขึ้นเข้าใกล้ระบบ UPC ในอุดมคติ ในขณะที่เดียวกันก็มีความไวเพียงพอต่อการเปลี่ยนแปลงของทราฟฟิกได้ เพราะใช้ระบบฟัซซีลอจิกในการตัดสินใจ โครงสร้างหลักของถึงร้วชนิดเครดิตโทเค็นควบคุมด้วยฟัซซีลอจิกมีความคล้ายคลึงกับถึงร้วแบบโทเค็นมาก แต่ความแตกต่างอยู่ตรงที่ส่วนที่ใช้สร้าง

โทเค็นจะนำส่วนทำนายเครดิตโทเค็นด้วยฟัซซีลอจิกมาใช้กำหนดปริมาณเครดิตโทเค็น เครดิตโทเค็นที่ใช้นี้ถ้าจะเปรียบเทียบกับโทเค็นที่ใช้ในถังรับแบบโทเค็นก็มีความหมายเดียวกัน คือเป็นสิ่งที่กำหนดสิทธิให้แก่เซลล์ที่ผ่านเข้ามาว่าจะสามารถผ่านเข้าไปในโครงข่ายได้ไม่มากไปกว่าโทเค็นที่มีอยู่ แต่สิ่งที่ทำให้เครดิตโทเค็นแตกต่างจากโทเค็นปกติคือ เครดิตโทเค็นไม่ได้สร้างออกมาที่ละโทเค็นในอัตราที่คงที่ แต่จะสร้างออกมาเป็นจำนวนค่าหนึ่งพร้อมๆ กันโดยอาศัยการวัดปริมาณทราฟฟิกหรือการวัดทรัพยากรอื่นๆ ในโครงข่ายมาเป็นตัวกำหนดปริมาณเครดิตโทเค็นที่ได้ และลักษณะการใช้เครดิตโทเค็นนี้จะเป็นปริมาณเครดิตโทเค็นสำหรับเบิรสต์ข้อมูลต่อไปแต่ละครั้ง ความแตกต่างที่สำคัญคือเครดิตโทเค็นที่ได้มานั้นจะมีอายุการใช้งานสำหรับเซลล์ที่อยู่ภายในเบิรสต์เดียวกันเท่านั้น เมื่อเซลล์ข้อมูลเบิรสต์ปัจจุบันผ่านไป เครดิตโทเค็นที่เหลือจะต้องถูกเคลียร์ให้หมดและคำนวณหาปริมาณจำนวนเครดิตโทเค็นที่จะให้กับเบิรสต์ต่อไปใหม่ เราสามารถอธิบายหลักการทำงานได้ดังรูปที่ 3.1 ส่วนรูปที่ 3.2 แสดงโพลีชาร์ตหลักการทำงานของถังรับชนิดเครดิตโทเค็นควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงหลักการการทำงานของถังรับแบบเครดิตโทเค็นควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของถังรับแบบเครดิตโทเคนควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก

หลักการการทำงานของถังรับแบบเครดิตโทเคนควบคุมด้วยฟัซซีลอจิกมีประเด็นใหญ่อยู่ 3 ข้อคือ

1. เซลล์ข้อมูลที่วิ่งมาจากแหล่งกำเนิดของผู้ใช้งานจะทำให้ค่าของถังรับเพิ่มขึ้นหนึ่งค่า ถ้าหากว่าค่าที่เพิ่มขึ้นมีค่าไม่เกินค่าเริ่มเปลี่ยน เซลล์นั้นก็วิ่งเข้าสู่โครงข่ายได้โดยถือว่าเป็นปริมาณข้อมูลที่อยู่ในกำหนด ส่วนค่าของถังรับจะลดลงครั้งละหนึ่งค่าในอัตราใกล้เคียงกันกับอัตราเซลล์เฉลี่ย ($R: Leaky Rate \Rightarrow r: Negotiated Cell Rate$) ที่ได้ตกลงกันไว้ในขั้นตอนการต่อ
2. ถ้าเซลล์ที่วิ่งเข้ามาทำให้ค่าในถังรับมีค่าเกินค่าเริ่มเปลี่ยน (B_c) ก็จะต้องพิจารณาเพิ่มเติมต่อไปอีกว่า ใน บ่อเก็บเครดิตโทเคนมีเครดิตโทเคนเหลืออยู่หรือไม่ ถ้ามีเซลล์นั้นก็ยังสามารถผ่านเข้าไปในโครงข่ายได้ และปริมาณเครดิตโทเคนในบ่อเก็บเครดิตโทเคนก็จะมีค่าลดลงหนึ่งค่า
3. ระบบทำงานตามข้อ 1 และ 2 เมื่อมีเซลล์วิ่งผ่านเข้ามาจนกระทั่งระบบตรวจวัดพบการขาดหายไปของเซลล์ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการมาถึงของช่วงเงียบ ระบบจะต้องทำการกำหนดปริมาณเครดิตโทเคนขึ้นใหม่อีกครั้งสำหรับข้อมูลที่จะวิ่งเข้ามาในแต่ละเบสต่อไป ด้วยวิธีการวัดหาอัตราเฉลี่ยได้โดยการเก็บ

ข้อมูลที่เพิ่งผ่านเข้าไปล่าสุดในปริมาณที่เพียงพอ โดยให้ X_i เป็นค่าจำนวนเซลล์ข้อมูลที่วัดได้ในเบิรสต์ที่ i และ S_i เป็นช่วงเวลาทีวัดได้ในช่วงเงียบของเบิรสต์ที่ i ค่าทั้งสองค่านี้เพียงพอที่จะใช้เพื่อวัดว่าในขณะที่นั้นข้อมูลที่เข้ามาปริมาณอัตราเฉลี่ยเป็นเท่าไรและมีแนวโน้มอย่างไร ซึ่งก็จะให้เป็นการด้านเข้าของระบบพีชชีลอจิกเพื่อกำหนดปริมาณเครดิตโทเค้นที่จะอนุมัติให้กับเบิรสต์ต่อไป ถ้าหากยังมีเครดิตโทเค้นของเบิรสต์ที่แล้วเหลือค้างอยู่ในบ่อเก็บเครดิตโทเค้น ก็ให้เคลียร์ให้หมดเพราะไม่ต้องการใช้อีกต่อไปแล้ว

3.3 พารามิเตอร์ของถังรับแบบเครดิตโทเค้นควบคุมด้วยพีชชีลอจิก

โดยทั่วไปแล้วพารามิเตอร์ต่างๆ ของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้จะต้องถูกกำหนดให้มีความเหมาะสมสำหรับแหล่งกำเนิดข้อมูลต่างๆ กัน ดังนั้นในการยอมรับการร้องขอที่อนุญาตให้มีการต่อเพื่อส่งข้อมูลกันได้ หน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้จะต้องสร้างถังรับขึ้นมาโดยพารามิเตอร์ของถังรับนั้นจำเป็นต้องสร้างมาจากพารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิด (Source Parameters)

ยกตัวอย่างเช่นพารามิเตอร์ของถังรับแบบดั้งเดิมมีไม่มาก จึงสามารถกำหนดขึ้นมาได้โดยง่ายตามลำดับดังตัวอย่างนี้

1. Overdimensioning factor (C) เพื่อใช้กำหนดอัตราถังรับของถังรับ (R) กำหนดให้มีค่าประมาณเท่ากับ 0.5 เท่าของค่า Burstiness ของแหล่งกำเนิด หาได้จาก อัตราข้อมูลเฉลี่ย (r) และอัตราข้อมูลสูงสุด (S) ของแหล่งกำเนิด
2. B เป็นขนาดของถังรับหาค่าได้จาก สมการที่ (2.16) และ (2.17) โดยการกำหนดอัตราข้อมูลเฉลี่ย (r), อัตราข้อมูลสูงสุด (S), ความยาวเฉลี่ยของเบิรสต์ข้อมูล (L) และ อัตราถังรับของถังรับ (R) ให้สมการที่ (2.16) และ (2.17)

ในงานวิจัยแต่ละงาน จะมีการสร้างพารามิเตอร์ของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในด้านต่างๆ ของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ด้วยและเนื่องจากถังรับแบบเครดิตโทเค้นเป็นถังรับที่มีพารามิเตอร์มากกว่าถังรับแบบดั้งเดิมและเป็นเรื่องที่ยังไม่สามารถหาอ้างอิงข้อมูลเกี่ยวกับพารามิเตอร์จากที่อื่นได้ ดังนั้นพารามิเตอร์ที่ใช้บางตัวจึงจำเป็นต้องระบุค่าให้มีช่วงที่แคบลง เพื่อที่จะศึกษาจากผลการทำงานเป็นหลัก พารามิเตอร์ที่ใช้ในถังรับแบบเครดิตโทเค้นสำหรับงานวิจัยนี้มีดังนี้

3.3.1 อัตราถังรับของถังรับแบบเครดิตโทเค้น R_C

อัตราถังรับของถังรับแบบดั้งเดิม (R) นั้นจะมีอัตราการรับที่มากกว่าอัตราข้อมูลเฉลี่ยอยู่ด้วยค่า Overdimensioning Factor (C) ดังสมการที่ (3.1) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความไวของระบบให้มีค่าลดลงได้

$$R = Cr \quad (3.1)$$

แต่แนวความคิดของถังรับแบบเครดิตโทเค้นนั้นจะเน้นเรื่องของอัตราถังรับของถังรับแบบเครดิตโทเค้นให้มีค่าเข้าใกล้กับอัตราข้อมูลเฉลี่ย โดยใช้ค่า Overdimensioning Factor สำหรับถังรับแบบเครดิตโทเค้น

($C_c=1.005-1.05$) มีค่าเข้าใกล้ 1 ดังนั้นอัตราเร็วของถังร้วแบบเครดิตโทเค้น (R_c) จะมีค่าเกือบเท่ากับอัตราข้อมูลเฉลี่ยตามสมการที่ (3.2) ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมข้อมูลที่เข้าสู่โครงข่ายให้มีสภาพเลือกเฟ้นได้ดีขึ้น

$$R_c = C_c r \quad (3.2)$$

3.3.2 ขนาดของถังร้วแบบเครดิตโทเค้น B_c

ขนาดของถังร้วที่ใช้ในถังร้วแบบเครดิตโทเค้นนั้นจะมีค่าเล็กกว่าที่ใช้ในถังร้วแบบดั้งเดิมมาก เนื่องจากถ้ามองในอีกแง่มุมหนึ่งแล้ว ส่วนขยายของขนาดถังร้วแบบเครดิตโทเค้นนั้นจะอยู่ในรูปของเครดิตโทเค้นซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงค่าไปตามทราฟฟิกที่วัดได้ ขนาดของถังร้วแบบดั้งเดิมนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ (2.17) แต่ขนาดของถังร้วแบบเครดิตโทเค้น (B_c) ในหน่วยของเซลล์ ให้มีค่าใกล้เคียงกับจำนวนเซลล์เฉลี่ยในเบิรสต์ข้อมูลแต่ละเบิรสต์ ($E(X)$) ดังสมการที่ (3.3)

$$B_c = \lfloor E(X) \rfloor \quad (3.3)$$

โดยที่ $\lfloor X \rfloor$ คือ เลขจำนวนเต็มมากที่สุดที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ X (ปัดลงเป็นจำนวนเต็ม)

B_c คือ ขนาดของถังร้วที่ใช้ในระบบถังร้วแบบเครดิตโทเค้น โดยมีค่าเป็นจำนวนเต็มที่เกิดจากการปัดค่าจำนวนเซลล์ข้อมูลเฉลี่ยในแต่ละเบิรสต์ลง

3.3.3 ขนาด Credit Token Pool K

ขนาดของ Credit Token Pool จะเป็นสิ่งที่กำหนดปริมาณของเครดิตโทเค้นที่มากที่สุดที่จะให้กับข้อมูลในแต่ละเบิรสต์ได้ ซึ่งขนาดของ Credit Token Pool นี้จะแปรผันกับค่า Burstiness ของแหล่งกำเนิดและยังแปรผันกับขนาดถังร้วแบบดั้งเดิมเมื่อใช้ Overdimensioning Factor (C) ที่เป็นค่าเดียวกันกับในถังร้วแบบเครดิตโทเค้น (C_c) ตามสมการที่ (3.4) และ (3.5)

$$K \propto B * \frac{S}{r}, \quad C = C_c \quad (3.4)$$

$$\text{หรือ} \quad K = k B * \frac{S}{r}, \quad C = C_c \quad (3.5)$$

โดยที่ k คือค่าคงที่การแปรผันซึ่งจากการจำลองแบบจำนวนมากเพื่อหาค่า k ที่เหมาะสมจะได้ค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.70-0.75

3.3.4 ช่วงของการวัด i

ช่วงของการวัด i นี้แสดงถึงจำนวนของเบิรสต์ข้อมูลที่เพิ่งผ่านเข้าไปเป็นจำนวน i เบิรสต์เพื่อที่จะนำมาใช้ในการทำนายลักษณะทราฟฟิกในขณะนั้น ช่วงของการวัดหรือปริมาณเบิรสต์ข้อมูลล่าสุดจะนำมาใช้เป็นด้านเข้าให้กับหน่วยพัชชีลอจิกเพื่อใช้ทำนายหาค่าปริมาณเครดิตโทเค้น ช่วงของการวัดนี้ถ้าหากมีค่าน้อยจะทำให้ระบบสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราข้อมูลได้ในระยะเวลานั้นหรือมีความไวสูงขึ้นแต่ในขณะเดียวกันถ้าหากว่านำไปใช้กับแหล่งกำเนิดที่มีค่า Burstiness สูงนั้นจะทำให้ค่าที่วัดได้มีช่วงกว้าง

ค่อนข้างมากจะทำให้หน่วยทำนายปริมาณเครดิตโทเค็นทำงานผิดพลาดได้ แต่ถ้าหากให้มีค่าที่มากเกินไป ระบบจะสามารถวัดอัตราข้อมูลได้ถูกต้องมากขึ้นแต่อาจจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราข้อมูลค่อนข้างช้า ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อระบบเอง ในการทดสอบส่งข้อมูลจากอัตราเฉลี่ยที่คงที่แต่เปลี่ยนแปลงค่า Burstiness แล้ว สุ่มวัดค่าอัตราเฉลี่ยที่วัดได้โดยปรับค่า i ไปเรื่อยๆจะได้ค่า i ที่น้อยที่สุดโดยที่ยังสามารถวัดค่าได้ถูกต้องและ แกว่งไปตามการปิดเปิดของแหล่งกำเนิดน้อยที่สุด พบว่ามีความสัมพันธ์กับค่า Burstiness เป็นแบบเชิงเส้น ดังนั้นค่าช่วงของการวัดที่ใช้จะแปรผันตรงกับค่า Burstiness ตามสมการที่ (3.6)

$$i = \eta \frac{S}{r} \tag{3.6}$$

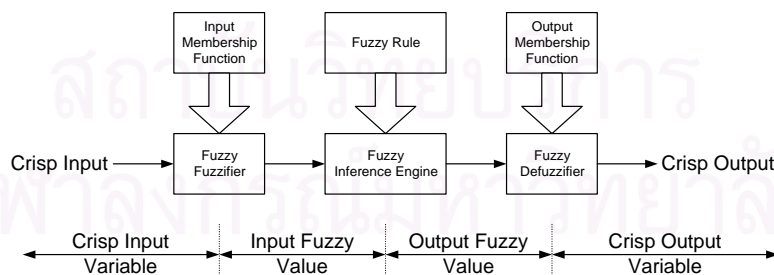
โดยที่ η คือ สัมประสิทธิ์ช่วงของการวัดซึ่งได้จากการจำลองแบบจำนวนมาก ซึ่งมีค่าประมาณ 45-55 จะสามารถวัดอัตราเฉลี่ยข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3.5 พารามิเตอร์ในหน่วยทำนายปริมาณเครดิตโทเค็น

หน่วยทำนายปริมาณเครดิตโทเค็นมีหน้าที่ในการตรวจวัดข้อมูลที่เพิ่งจะผ่านเข้าไปในโครงข่ายและทำนายปริมาณเครดิตโทเค็นสำหรับข้อมูลในเบริสต์ถัดไปที่กำลังจะเข้ามาด้วยฟัซซีลอจิก พารามิเตอร์ในหน่วยทำนายปริมาณเครดิตโทเค็นก็จะเป็นพารามิเตอร์ในส่วนของฟัซซีทั้งหมด ซึ่งจะขอยกยอไว้กล่าวในหัวข้อต่อไป

3.4 หน่วยทำนายปริมาณเครดิตโทเค็นด้วยฟัซซีลอจิก

หน่วยทำนายปริมาณเครดิตโทเค็นด้วยฟัซซีลอจิก (รูปที่ 3.3) มีหน้าที่ทำนายปริมาณเครดิตโทเค็นที่จะนำไปเก็บไว้ในบ่อเก็บเครดิตโทเค็นสำหรับข้อมูลในเบริสต์ถัดไปโดยพารามิเตอร์ที่ใช้มีดังนี้



รูปที่ 3.3 หลักการทำงานของหน่วยทำนายปริมาณเครดิตโทเค็นแบบฟัซซีลอจิก

3.4.1 ตัวแปรด้านเข้า (Crisp Input)

งานวิจัยนี้วางแผนให้ใช้ตัวแปรด้านเข้าสองตัว คืออัตราเซลล์เฉลี่ยที่วัดได้จาก i เบิร์สต์สุดท้าย (r_{Mi}) และ อัตราเซลล์มาตรฐานของอัตราเซลล์เฉลี่ย $i/10$ เบิร์สต์สุดท้าย เมื่อเทียบกับอัตราเซลล์เฉลี่ยที่วัดจาก $i/2$ เบิร์สต์สุดท้าย

อัตราเซลล์เฉลี่ยที่วัดได้จาก i เบิร์สต์สุดท้าย (r_{Mi}) หาได้จากสมการที่ (3.7)

$$\bar{r}_{Mi} = \frac{\sum_{n=1}^i X_n}{i \sum_{n=1}^i (\Delta \cdot X_n + S_n)} \quad (3.7)$$

โดยที่ X_n คือ จำนวนเซลล์ที่อยู่ในเบิร์สต์ที่ n ล่าสุดที่เพิ่งผ่านเข้าไป
 S_n คือ เวลาของช่วง Idle ที่ตามหลังเบิร์สต์ที่ n
 Δ คือ เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลหนึ่งเซลล์

แต่ก่อนที่จะนำไปเป็นค่าด้านเข้าของระบบฟuzzyลอจิกค่านี้จะต้องได้รับการทำนอร์มัลไลซ์ก่อน เพื่อให้หน่วยฟuzzyลอจิกสามารถทำงานได้เป็นอิสระไม่ขึ้นกับอัตราข้อมูลเฉลี่ยของแหล่งกำเนิด ค่าของอัตราข้อมูลเฉลี่ยของเซลล์ข้อมูลที่วัดได้ซึ่งนอร์มัลไลซ์เทียบกับอัตราข้อมูลเฉลี่ยที่ได้ตกลงกันไว้ (σ_M) มีค่าเท่ากับ

$$\sigma_M = \frac{\bar{r}_{Mi}}{r} \quad (3.8)$$

หลังจากนั้นเมื่อพิจารณาตามรูปที่ 3.3 แล้ว ตัวแปรด้านเข้าที่ได้ซึ่งเป็นอัตราข้อมูลเฉลี่ยนอร์มัลไลซ์ของข้อมูลที่วัดได้จะถูกนำไปทำการฟuzzyฟายให้ออกมาเป็นค่าตัวแปรฟuzzyโดยฟuzzyฟuzzyฟายเออร์ ฟuzzyฟuzzyฟายเออร์จะแบ่งช่วงของด้านเข้าที่เป็นค่าของอัตราข้อมูลเฉลี่ยนอร์มัลไลซ์ของข้อมูลที่วัดได้ (σ_M) ออกเป็นส่วนๆ แล้วทำการฟuzzyฟายโดยใช้ฟังก์ชันสมาชิกแบบสามเหลี่ยม (Triangle Membership Function) (เพื่อให้เครื่องจักรจำลองสามารถทำงานได้เร็วและยังเป็นฟังก์ชันสมาชิกพื้นฐานที่มีใช้กันในฮาร์ดแวร์เพื่องานฟuzzyลอจิกทั่วไป) ค่าที่ได้ออกมาจากฟuzzyฟuzzyฟายเออร์จะเป็นตัวแปรฟuzzyชื่อ อัตราข้อมูลฟuzzyที่วัดได้ (r_{MF}) ซึ่งประกอบไปด้วยค่าทางควมรู้สึก 12 ค่าโดยให้ฟังก์ชันสมาชิกทั้งหมดเป็นดังนี้

$$\mu_{\sigma_{M0.90}} = \text{Trapezoidal}(\sigma_M; 0, 0.01, 0.90, 0.95)$$

$$\mu_{\sigma_{M0.95}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 0.90, 0.95, 1.00)$$

$$\mu_{\sigma_{M1.00}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 0.95, 1.00, 1.05)$$

$$\mu_{\sigma_{M1.05}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 1.00, 1.05, 1.10)$$

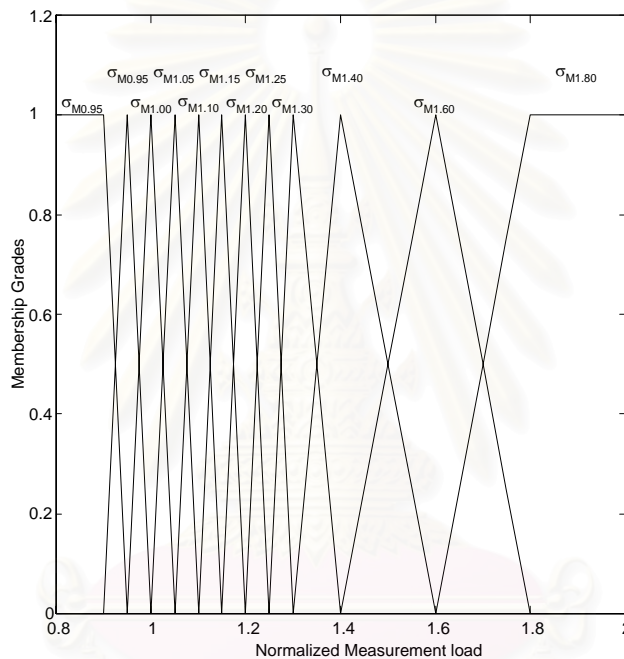
$$\mu_{\sigma_{M1.10}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 1.05, 1.10, 1.15)$$

$$\mu_{\sigma_{M1.15}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 1.10, 1.15, 1.20)$$

$$\mu_{\sigma_{M1.20}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 1.15, 1.20, 1.25)$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{\sigma_{M1.25}} &= \text{Triangle}(\sigma_M; 1.20, 1.25, 1.30) \\
 \mu_{\sigma_{M1.30}} &= \text{Triangle}(\sigma_M; 1.25, 1.30, 1.40) \\
 \mu_{\sigma_{M1.40}} &= \text{Triangle}(\sigma_M; 1.30, 1.40, 1.60) \\
 \mu_{\sigma_{M1.60}} &= \text{Triangle}(\sigma_M; 1.40, 1.60, 1.80) \\
 \mu_{\sigma_{M1.80}} &= \text{Trapezoidal}(\sigma_M; 1.60, 1.80, 100.0, 120.0)
 \end{aligned} \tag{3.9}$$

หรือกำหนดเป็นกราฟความสัมพันธ์ของฟังก์ชันสมาชิกเทียบกับข้อมูลด้านเข้าได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรอัตราข้อมูลฟuzzyที่วัดได้ (r_{MF})

ดังนั้นตัวแปรอินพุตอัตราข้อมูลที่ได้ในอร์แมลไลซ์กับอัตราที่ได้ตกลงกันไว้แล้ว (σ_M) จะถูกเปลี่ยนเป็นอัตราข้อมูลฟuzzy (σ_F) ซึ่งจะอยู่ในรูปของการนิยามตัวแปรฟuzzyในสมการที่ (3.10)

$$\sigma_F = \mu_{\sigma_M}(\sigma_M) / \sigma_M \tag{3.10}$$

อธิบายนิยามที่ (3.10) ได้ว่า ตัวแปรฟuzzy σ_F หาได้จากตัวแปรขาเข้า σ_M ด้วยกลุ่มฟังก์ชันสมาชิก μ_{σ_M}

การเปลี่ยนแปลงอัตราข้อมูลที่ได้ในอร์แมลไลซ์กับอัตราที่ได้ตกลงกันไว้แล้วที่มีค่าใกล้เคียง 1 ต้องแบ่งฟังก์ชันสมาชิกของระบบฟuzzyให้มีค่าละเอียดเพื่อที่จะได้ติดตามเตรียมรับรู้ถึงการละเมิดของแหล่งกำเนิดได้ทันทั่วถึงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสภาพเลือกเฟ้นและความไว ดังจะเห็นได้ในรูปที่ 3.4 ซึ่งมีการใช้

Linguistic Variable จำนวนมาก

ส่วนตัวแปรด้านเข้าตัวที่สองคือ อัตราข้อมูลมาตรฐานของข้อมูลเฉลี่ย $i/10$ เบิร์สต์สุดท้ายโดยเทียบกับข้อมูล $i/2$ เบิร์สต์สุดท้ายที่ผ่านเข้ามาในโครงข่ายเพื่อใช้ดูแนวโน้มของอัตราข้อมูลเฉลี่ยของข้อมูลเบิร์สต์ถัดไปที่เพิ่งเข้ามา

$$Z_{ri/10} = \frac{\bar{r}_{Mi/10} - \bar{r}_{Mi/2}}{SD_{ri/2}} \quad (3.11)$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่วัดได้จาก $i/2$ เบิร์สต์สุดท้ายคำนวณได้จากสมการที่ (3.12)

$$SD_{ri/2} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{i/2} (r_{Mn} - \bar{r}_{Mi/2})^2}{i/2 - 1}} \quad (3.12)$$

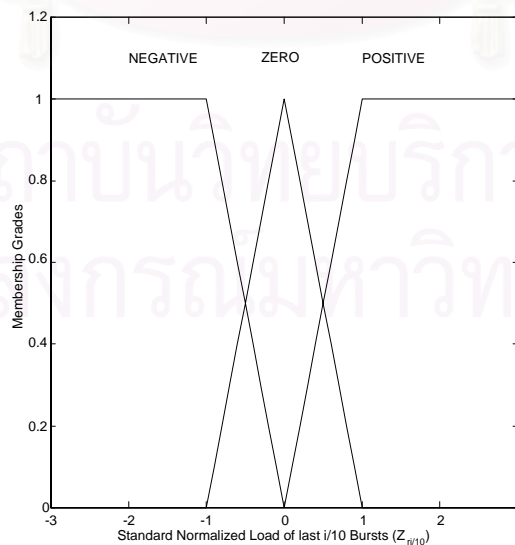
โดยที่ r_{Mi} คืออัตราเซลล์เฉลี่ยของเบิร์สต์ที่ i หรือ

$$r_{Mi} = \frac{X_i}{(\Delta \cdot X_i + S_i)} \quad (3.13)$$

ค่าของอัตราข้อมูลมาตรฐานของข้อมูลเฉลี่ย $i/10$ เบิร์สต์สุดท้ายจะถูกนำมาฟัซซีฟายเช่นเดียวกันกับตัวแปรด้านเข้าตัวอื่นออกเป็นสามช่วงคือ μ_{r10NEG} , $\mu_{r10ZERO}$ และ μ_{r10POS} โดยมีฟังก์ชันสมาชิกเป็นแบบสามเหลี่ยมเช่นกัน ดังสมการที่ (3.14)

$$\begin{aligned} \mu_{Z_{ri/10}NEG} &= \text{Trapezoidal}(Z_{r10}; -4, -3, -1, 0) \\ \mu_{Z_{ri/10}ZERO} &= \text{Triangle}(Z_{r10}; -1, 0, 1) \\ \mu_{Z_{ri/10}POS} &= \text{Trapezoidal}(Z_{r10}; 0, 1, 3, 4) \end{aligned} \quad (3.14)$$

หรือกำหนดเป็นกราฟความสัมพันธ์ของฟังก์ชันสมาชิกเทียบกับข้อมูลด้านเข้าได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรอัตราข้อมูลมาตรฐานฟัซซี (Z_F)

ดังนั้นตัวแปรด้านเข้า $Z_{ri/10}$ จะถูกเปลี่ยนเป็นอัตราข้อมูลมาตรฐานฟuzzy Z_F ซึ่งจะอยู่ในรูปของสมการที่ (3.15)

$$Z_F = \mu_{Z_{ri/10}}(Z_{ri/10}) / Z_{ri/10} \quad (3.15)$$

อธิบายสมการที่ (3.15) ได้ว่า ตัวแปรฟuzzy Z_F หาได้จากตัวแปรขาเข้า $Z_{ri/10}$ ด้วยกลุ่มฟังก์ชันสมาชิก $\mu_{Z_{ri/10}}$

3.4.2 ตัวแปรด้านออก (Crisp Output)

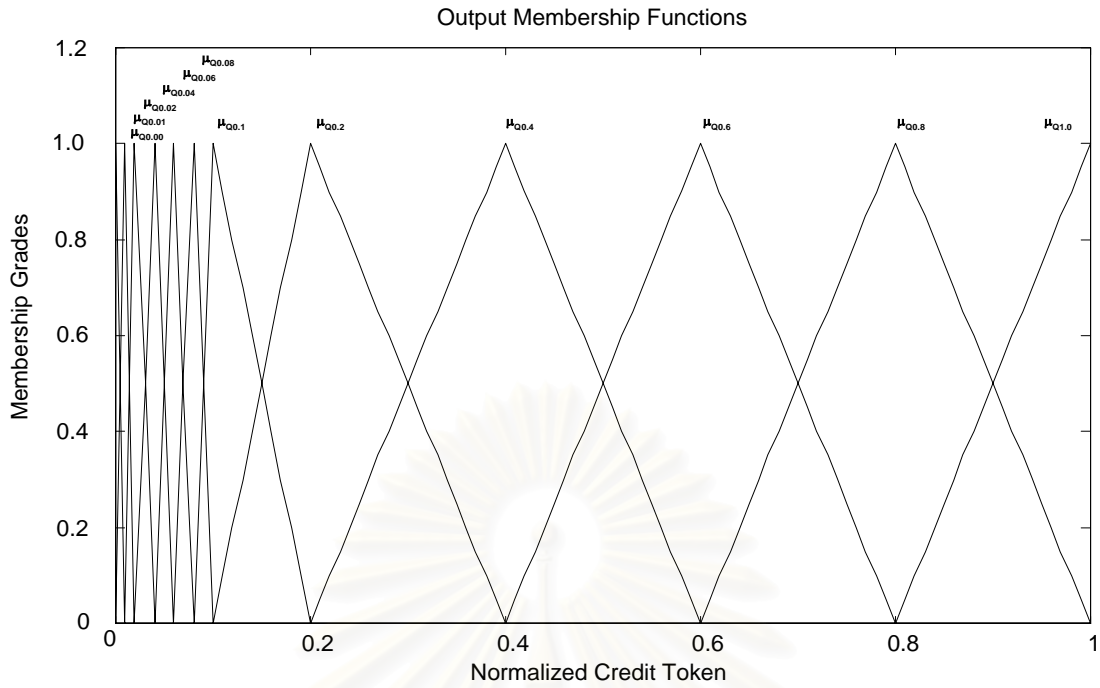
ตัวแปรด้านออกสำหรับระบบนี้จะมีตัวแปรเดียวคือปริมาณเครดิตโทเค็น (Q) ซึ่งถูกกำหนดออกมาโดยระบบฟuzzyลอจิก โดยจะมีค่าระหว่าง 0 และ ขนาดของบ่อเก็บเครดิตโทเค็น (K) , $0 \leq Q \leq K$

ฟังก์ชันสมาชิกของปริมาณเครดิตโทเค็นนี้จะกำหนดให้มี 12 ฟังก์ชันสมาชิกโดยใช้ฟังก์ชันชนิดสามเหลี่ยมเช่นกันดังนี้

$$\begin{aligned} \mu_{Q0.0} &= \text{Triangle}(Q;0.0,0.0,0.01) \\ \mu_{Q0.01} &= \text{Triangle}(Q;0,0.01,0.02) \\ \mu_{Q0.02} &= \text{Triangle}(Q;0.01,0.02,0.04) \\ \mu_{Q0.04} &= \text{Triangle}(Q;0.02,0.04,0.06) \\ \mu_{Q0.06} &= \text{Triangle}(Q;0.04,0.06,0.08) \\ \mu_{Q0.08} &= \text{Triangle}(Q;0.06,0.08,0.1) \\ \mu_{Q0.1} &= \text{Triangle}(Q;0.08,0.1,0.2) \\ \mu_{Q0.2} &= \text{Triangle}(Q;0.1,0.2,0.4) \\ \mu_{Q0.4} &= \text{Triangle}(Q;0.2,0.4,0.6) \\ \mu_{Q0.6} &= \text{Triangle}(Q;0.4,0.6,0.8) \\ \mu_{Q0.8} &= \text{Triangle}(Q;0.6,0.8,1.0) \\ \mu_{Q1.0} &= \text{Triangle}(Q;0.8,1.0,1.0) \end{aligned} \quad (3.16)$$

กำหนดเป็นกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 3.6

วิทยาลัยการศึกษาระดับปริญญาตรี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรฟuzzyจำนวนเครดิตโทเค็นที่นอร์มัลไลซ์แล้ว (Q_F)

หรือสามารถเขียนในรูปสมการที่ (3.17)

$$Q_F = \mu_Q(Q) / Q \tag{3.17}$$

อธิบายสมการที่ (3.17) ได้ว่า ตัวแปรขาออก Q หาได้จากกลุ่มฟังก์ชันสมาชิก μ_Q และตัวแปรฟuzzy Q_F

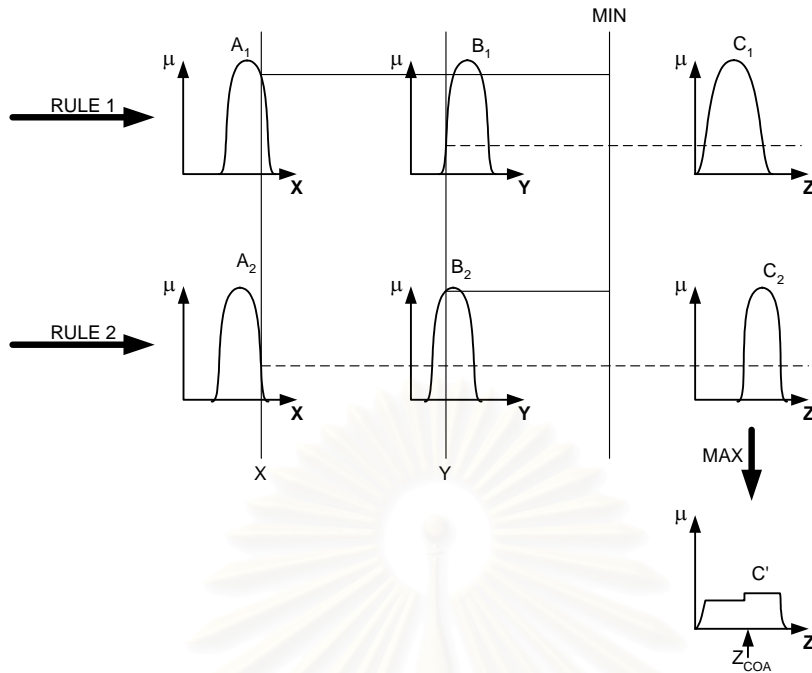
ช่วงฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรฟuzzy Q_F ช่วงต่างๆจะถูกนำไปใช้งานในช่วงที่มีการละเมิดต่อเนื่องจากแหล่งกำเนิดจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนปริมาณเครดิตโทเค็นที่จ่ายให้กับแต่ละเบิรสต์และปรับเปลี่ยนค่าได้อยู่บ่อยๆ เพื่อป้องกันอัตราส่วนการทิ้งเซลล์ไม่ให้สูงไปกว่าอัตราการทิ้งเซลล์ของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ในอุดมคติ เนื่องจากถังรั่วขนาดเล็กที่อยู่ในโครงสร้างของถังรั่วแบบเครดิตโทเค็นมีขนาดเล็ก และมีค่าเกือบเต็มหรือล้นอยู่ตลอดเวลา ดังจะเห็นได้ในรูปที่ 3.6 ซึ่งมีการใช้ Linguistic Variable จำนวนมากในช่วงบริเวณที่ $Q_F < 0.1$

3.4.3 กฎฟuzzy (Fuzzy Rules)

กฎฟuzzyมีหน้าที่ในการลงความเห็นว่าจะให้ค่าด้านออกเป็นค่าความรู้สึกตัวไหนบ้างและมีค่าความเป็นสมาชิกเท่าไรในแต่ละตัว กฎฟuzzyที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองฟuzzyของมัดดานี (Mamdani Fuzzy Models) ชนิด MIN-MAX [J.-S. R. Jang, et. al., 1997] โดยตัวแปรฟuzzyด้านเข้าจะได้รับการลงความเห็นโดยกฎฟuzzyที่มีใจความในลักษณะตัวอย่างแบบสองกฎว่า

$$\begin{aligned} \text{If } X=A_1 \text{ and } Y=B_1 \text{ then } Z=C_1 \\ \text{If } X=A_2 \text{ and } Y=B_2 \text{ then } Z=C_2 \end{aligned} \tag{3.18}$$

ซึ่งอาศัยรูปภาพประกอบคำอธิบายได้ดังในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 กฎการลงความเห็นในแบบจำลองฟัซซีของมัมดานี้แบบ MIN-MAX

ค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันสมาชิกด้านออกแต่ละค่าจะมาจากค่าความเป็นสมาชิกของด้านเข้าที่มีค่าน้อยที่สุดในกฎข้อเดียวกัน และฟังก์ชันสมาชิก (C') ของด้านออกจะเป็นค่าที่มากที่สุดของค่าความเป็นสมาชิกในแต่ละกฎมารวมกัน เพื่อส่งฟังก์ชันนี้ให้แก่ส่วนฟัซซีดีฟัซซีฟายเออร์เพื่อหาค่าด้านออกต่อไป

กฎฟัซซีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ก็จะอยู่ในรูป If X=A and Y=B then Z=C เช่นกัน หลังจากแทนค่าตัวแปรฟัซซีลงไปแล้ว กฎฟัซซีที่ได้คือ

$$\text{If } \sigma_F=A \text{ and } Z_F=B \text{ then } Q_F=C$$

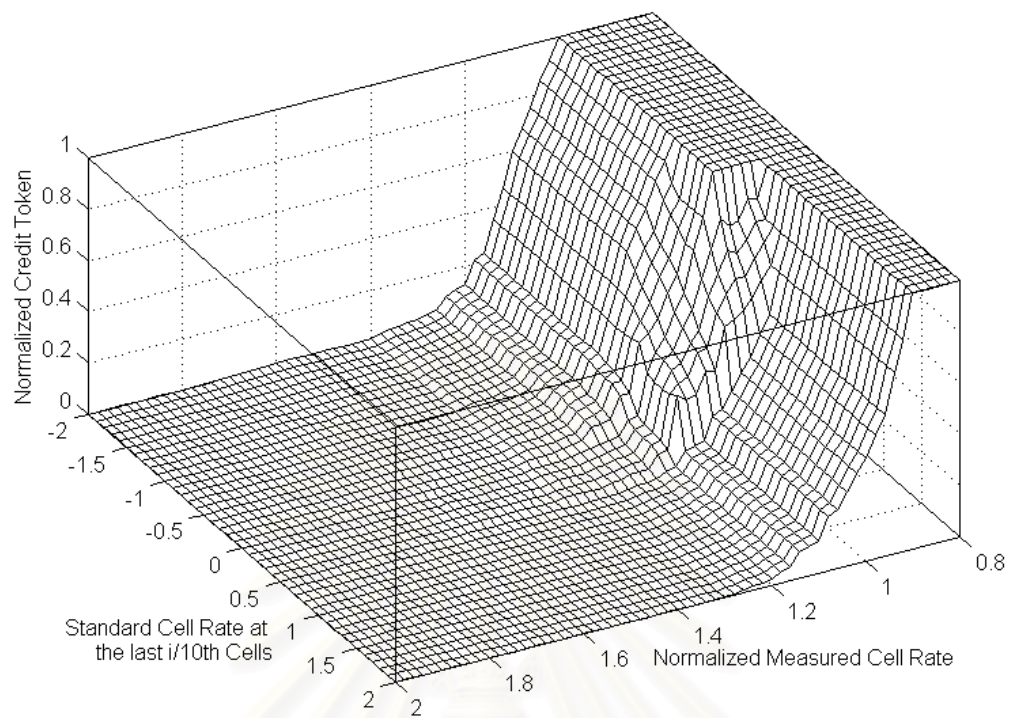
โดย ฟังก์ชันสมาชิก A, B และ C มีความสัมพันธ์กันดังตารางที่ 3.1 การกำหนดกฎฟัซซีจะถือหลักใหญ่ๆ ว่า หากค่าตัวแปรอัตราข้อมูลฟัซซีที่วัดได้ (r_{MF}) มีส่วนประกอบของฟังก์ชันสมาชิกค่าน้อย ก็จะลงความเห็นให้ตัวแปรฟัซซีจำนวนเครดิตโทเค็นที่นอร์แมลไลซ์แล้ว (Q_F) มีส่วนประกอบของฟังก์ชันสมาชิกที่มีค่ามากเพื่อรองรับเบิรสต์ที่กำลังจะเข้ามา ในขณะเดียวกัน หากว่าค่าตัวแปรอัตราข้อมูลมาตรฐานฟัซซี (Z_F) มีส่วนประกอบของฟังก์ชันสมาชิกที่มีค่ามาก เป็นการแสดงให้เห็นว่า แนวโน้มของกราฟฟักมีอัตราข้อมูลเพิ่มขึ้น ก็จะลงความเห็นให้ตัวแปรฟัซซีจำนวนเครดิตโทเค็นที่นอร์แมลไลซ์แล้ว (Q_F) มีส่วนประกอบฟังก์ชันสมาชิกที่มีค่าลดลงเล็กน้อย

ตารางที่ 3.1 ตารางกฎฟัซซี่ If $\sigma_F=A$ and $Z_F=B$ then $Q_F=C$

B A	$\mu_{Z_F/10} \text{NEG}$	$\mu_{Z_F/10} \text{ZERO}$	$\mu_{Z_F/10} \text{POS}$
$\mu_{\sigma_{M0.90}}$	C: $\mu_{Q1.0}$	C: $\mu_{Q1.0}$	C: $\mu_{Q1.0}$
$\mu_{\sigma_{M0.95}}$	C: $\mu_{Q1.0}$	C: $\mu_{Q1.0}$	C: $\mu_{Q0.6}$
$\mu_{\sigma_{M1.00}}$	C: $\mu_{Q1.0}$	C: $\mu_{Q1.0}$	C: $\mu_{Q0.4}$
$\mu_{\sigma_{M1.05}}$	C: $\mu_{Q0.8}$	C: $\mu_{Q0.6}$	C: $\mu_{Q0.2}$
$\mu_{\sigma_{M1.10}}$	C: $\mu_{Q0.6}$	C: $\mu_{Q0.4}$	C: $\mu_{Q0.1}$
$\mu_{\sigma_{M1.15}}$	C: $\mu_{Q0.2}$	C: $\mu_{Q0.1}$	C: $\mu_{Q0.06}$
$\mu_{\sigma_{M1.20}}$	C: $\mu_{Q0.1}$	C: $\mu_{Q0.06}$	C: $\mu_{Q0.02}$
$\mu_{\sigma_{M1.25}}$	C: $\mu_{Q0.06}$	C: $\mu_{Q0.04}$	C: $\mu_{Q0.01}$
$\mu_{\sigma_{M1.30}}$	C: $\mu_{Q0.04}$	C: $\mu_{Q0.02}$	C: μ_{Q0}
$\mu_{\sigma_{M1.40}}$	C: $\mu_{Q0.01}$	C: $\mu_{Q0.01}$	C: μ_{Q0}
$\mu_{\sigma_{M1.60}}$	C: $\mu_{Q0.01}$	C: μ_{Q0}	C: μ_{Q0}
$\mu_{\sigma_{M1.80}}$	C: μ_{Q0}	C: μ_{Q0}	C: μ_{Q0}

3.4.4 ฟัซซี่ดีฟัซซี่ฟายเออร์ (Fuzzy Defuzzifier)

ค่าด้านออกที่ยังเป็นตัวแปรความรู้สึกร่วมกับค่าความเป็นสมาชิกของแต่ละค่า จะถูกนำมาดีฟัซซี่ฟายเพื่อหาค่าด้านออกที่แท้จริงด้วยวิธีการหาเซนทรอยด์ของพื้นที่ (Centroid of Area) ออกมาเป็นจำนวนเครดิตโทเค็นที่นอร์มัลไลซ์ด้วยขนาดบ่อเครดิตโทเค็น เมื่อจะนำไปใช้งานต้องนำค่าด้านออกที่ได้นี้ ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ไปคูณกับขนาดบ่อเครดิตโทเค็น (K) เสียก่อน ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างด้านเข้ากับด้านออกออกเป็นแผนภาพพื้นผิวดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของระบบพัสดุที่ทำนายปริมาณเครดิตโทเค็น

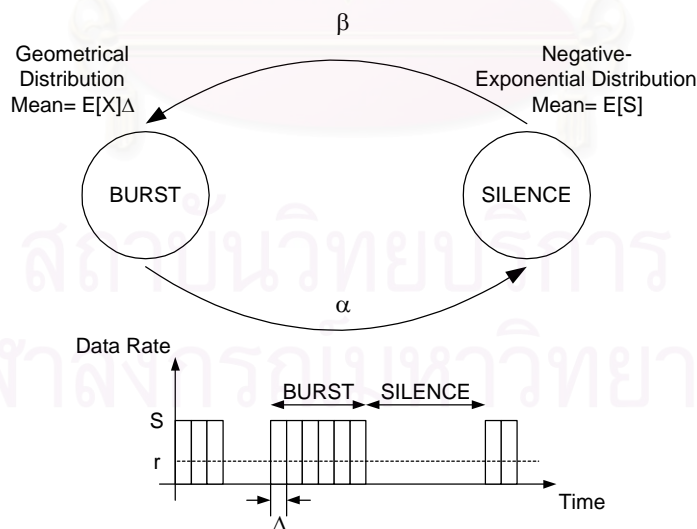
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

แบบจำลองและวิธีการจำลองแบบ

4.1 แบบจำลองแหล่งกำเนิดข้อมูล

หัวข้อนี้กล่าวถึงแบบจำลองของแหล่งกำเนิดที่ใช้ในการจำลองแบบร่วมกับหน่วยควบคุมพารามิเตอร์ การใช้ที่ได้นำเสนอคือ ถึงร้วแบบเครติโตโทเค็นควบคุมด้วยพัซซีลลจิก หน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้นี้ใช้งานร่วมกับการต่อเสมือน (Virtual Connection, VC) เพียงหนึ่งการต่อที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดมากที่สุด ดังนั้นประสิทธิภาพการทำงานของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้จึงขึ้นกับคุณลักษณะของแหล่งกำเนิดค่อนข้างมาก เนื่องจากแหล่งกำเนิดที่ใช้งานจริงในงานโครงข่ายคอมพิวเตอร์ มีความหลากหลายของชนิด ประเภท ปริมาณและลักษณะของแหล่งกำเนิดข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงไม่มีแบบจำลองใดที่สามารถจะแทนคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกได้อย่างสมบูรณ์ แต่ก็มีแบบจำลองบางชนิดที่ประพตติตัวได้ใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดทราฟฟิกจริง แบบจำลองที่จะนำมาใช้เป็นหลักในการทำวิจัยนี้เป็นแบบจำลองที่มีการใช้มานานในงานวิจัยก่อนหน้าี้ ดังนั้นแบบจำลองแหล่งกำเนิดซึ่งในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้แบบจำลองแหล่งกำเนิดแบบเปิดปิด (ON-OFF source) [E. P. Rathgeb, 1991] ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในการทดสอบหาประสิทธิภาพของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ ไม่ว่าจะเป็นการจำลองแบบแหล่งกำเนิดเสียงแบบแพ็กเกต, ภาพนิ่งหรือแม้แต่ข้อมูล [E. P. Rathgeb, 1991] โดยแบบจำลองแหล่งกำเนิดนี้ทำงานดังในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แบบจำลองแหล่งกำเนิดแบบเปิดปิดสองสถานะ

แบบจำลองแหล่งกำเนิดนี้ เป็นแบบจำลองเปิดปิดสองสถานะ (2 State Markov Modulated Poisson Process (MMPP)) แหล่งกำเนิดประเภทนี้เมื่อมีการส่งข้อมูล ช่วงเปิดจะส่งข้อมูลออกมาด้วยอัตราสูงสุด และจะตามมาด้วยช่วงปิดหรือช่วง Idle ซึ่งจะเป็นช่วงเงียบไม่มีข้อมูลที่ส่งออกมา

พารามิเตอร์ของแบบจำลองนี้มีสี่ค่าคือ $E[X]$, $E[S]$, Δ , N_{MAX} โดยที่

1. พารามิเตอร์ $E[X]$ เป็นจำนวนเซลล์ต่อเบิร์ตเฉลี่ย โดยที่จำนวนเซลล์ในแต่ละเบิร์ตมีการแจกแจงในแบบเรขาคณิตดิสครีต (Discrete Geometric Distribution) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $E[X]$
2. พารามิเตอร์ $E[S]$ เป็นค่าเฉลี่ยทางเวลาของช่วงเงียบ โดยที่ระยะเวลาของช่วงเงียบมีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลเชิงลบแบบต่อเนื่อง (Continuous Negative Exponential Distribution) ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ $E[S]$
3. พารามิเตอร์ Δ เป็นระยะเวลาระหว่างการมาถึงของแต่ละเซลล์ มีค่าคงที่
4. พารามิเตอร์ N_{MAX} แสดงถึงจำนวนเซลล์มากที่สุดในเบิร์ตเดียวกันที่แหล่งกำเนิดจะกำเนิดออกมา และสามารถผ่านถึงรั้วที่วางแปลมาได้โดยไม่มีเซลล์สูญหายอันเป็นเหตุมาจากโครงสร้างของตัวถังรั้วเลย จะถือว่าเป็นจำนวนเซลล์ที่มากที่สุดที่แหล่งกำเนิดจะส่งออกมาได้ในหนึ่งเบิร์ต สามารถวัดด้วยการส่งข้อมูลเบิร์ตยาวๆเข้าไปในถึงรั้วที่วางแปลได้ โดย

$$N_{MAX} = \frac{B}{1 - R/S} \quad (4.1)$$

เพื่อให้การจำลองแบบสามารถเห็นผลได้ในระยะเวลาอันสั้น จำเป็นต้องกำหนดพารามิเตอร์ N_{MAX} เพื่อมิให้แบบจำลองแหล่งกำเนิดส่งเซลล์ข้อมูลที่มีความยาวมากกว่า N_{MAX} ออกมา (ซึ่งสอดคล้องกับแหล่งกำเนิดข้อมูลจริงที่ต้องบอกแก่โครงข่ายด้วยว่าจะส่งข้อมูลออกมายาวที่สุดเท่าไร) ถ้าหากไม่มีการกำหนดในเรื่องนี้แล้วเบิร์ตข้อมูลยาวนั้นจะทำให้เกิดเซลล์สูญหายได้แน่นอน และจะต้องใช้การจำลองแบบเป็นจำนวนรอบที่มากขึ้นกว่าเดิมมากเพื่อให้ผลที่ถูกต้อง

ถ้าให้ $\alpha^{-1} = E[X]\Delta$ (4.2)

และ $\beta^{-1} = E[S]$ (4.3)

โดยที่ α^{-1} คือ ระยะเวลาเฉลี่ยในขณะที่แหล่งกำเนิดอยู่ในสถานะเปิด

และในทางกลับกัน β^{-1} คือ ระยะเวลาเฉลี่ยในขณะที่แหล่งกำเนิดอยู่ในสถานะปิด

จะได้อัตราเซลล์เฉลี่ยของแหล่งกำเนิดเป็น γ โดยที่

$$\gamma = (\Delta + \alpha\Delta/\beta)^{-1} \quad (4.4)$$

การปรับอัตราเซลล์เฉลี่ยของแบบจำลองแหล่งกำเนิดชนิดนี้ สามารถทำได้สองวิธีคือ

1. โดยให้พารามิเตอร์จำนวนเซลล์ต่อเบิร์ตเฉลี่ย $E[X]$ มีค่าคงที่ จากนั้นก็ปรับพารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยความยาวช่วงเงียบ $E[S]$ ให้ได้ค่าอัตราเซลล์เฉลี่ยตามต้องการ หรือ

2. โดยให้พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยความยาวช่วงเงียบ $E[S]$ มีค่าคงที่ จากนั้นก็ปรับพารามิเตอร์จำนวนเซลล์เฉลี่ยต่อเบิรสต์ $E[X]$ ให้มีค่ามากขึ้นหรือน้อยลงจนได้อัตราค่าเซลล์เฉลี่ยตามต้องการ

ความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากการเลือกใช้วิธีการปรับค่าอัตราเซลล์เฉลี่ยทั้งสองวิธี เมื่อนำไปทดสอบกับถึงรั้วแบบดั้งเดิม [E. P. Rathgeb, 1991] มีความแตกต่างกันน้อยมาก แต่การใช้วิธีที่สอง จะให้ค่าอัตราเซลล์สูญหายสูงกว่าวิธีที่หนึ่ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธีการปรับอัตราเซลล์เฉลี่ยด้วยการปรับจำนวนเซลล์เฉลี่ยต่อเบิรสต์ (วิธีที่ 2) เพื่อที่ถึงรั้วแบบเครดิทโทเค็นควบคุมด้วยพีซีซีลอจิกให้คำตอบที่ดีกว่าของ [E.P. Rathgeb, 1991] และสามารถเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น [V. Mannem and R. Sankar, 1995], [V. Catania, et. al., 1995] ที่ใช้แบบจำลองแหล่งกำเนิดแบบเดียวกันได้ด้วย

ค่าพารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดต่างๆ [Z. Jiang and Z. Liu, 1996], [E. P. Rathgeb, 1991] สามารถดูได้จากตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดชนิดต่างๆ โดยให้แต่ละเซลล์บรรจุข้อมูล 48 ไบต์

แหล่งกำเนิด	$E(X)$ (cell)	$E(S)$ (s)	Δ (ms)	Mean Bit Rate (kbps)	Peak Bit Rate (kbps)	Burstines s	P_{Loss}
Packetized Voice (ADPCM)	5.0	0.1108	12	11.24	32	2.847	1×10^{-4}
Still Picture	4.2	0.01774	0.192	86.96	2000	22.999	1×10^{-6}
Video Phone	4.0	0.000248 6	0.036312	3900	10575	2.712	1×10^{-6}

พารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดในขณะที่ใช้แบบจำลองแหล่งกำเนิดนี้ถูกนำมาใช้คือ

-r อัตราเซลล์เฉลี่ย มีค่าเท่ากับ

$$r = \frac{48 \cdot 8 \cdot E(X)}{\Delta \cdot E(X) + E(S)} \quad \text{bps} \quad (4.5)$$

-s อัตราเซลล์สูงสุด มีค่าเท่ากับ

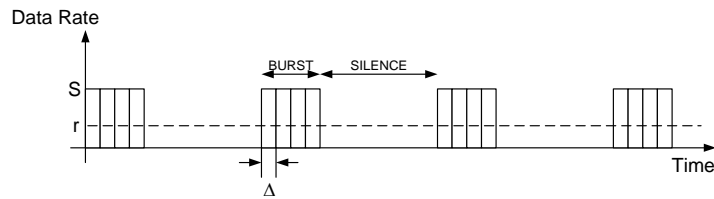
$$S = \frac{48 \cdot 8}{\Delta} \quad \text{bps} \quad (4.6)$$

-L ความยาวบิตข้อมูลเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ

$$L = 8 \cdot 48 \cdot E(X) \quad \text{bit} \quad (4.7)$$

แบบจำลองแหล่งกำเนิดอีกแบบจำลองหนึ่งที่เสนอขึ้นมาเพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบข้อได้เปรียบเสียเปรียบระหว่างถึงรั้วชนิดใหม่ที่น่าเสนอและถึงรั้วแบบดั้งเดิม เป็นแบบจำลองแบบ MMDP (Markov Modulated Deterministic Process) [T. Yang and D.H.K. Tsang, 1995], [E. P. Rathgeb,

1991], [V. Catania, et. al., 1995] ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งมีรูปแบบของเซลล์ที่แน่นอนมีค่าอัตราเซลล์เฉลี่ยและอัตราเซลล์สูงสุดเท่ากันกับแบบจำลองแหล่งกำเนิดข้างต้น จะนำมาทดสอบร่วมกัน เพื่อแสดงให้เห็นถึงจุดอ่อนของถึงรูปแบบดั้งเดิมที่ได้รับผลกระทบจากความไม่แน่นอนของรูปแบบการแจกแจงทางสถิติ



รูปที่ 4.2 แบบจำลองแหล่งกำเนิดแบบ 2 Phase Deterministic

แบบจำลองแหล่งกำเนิดแบบ 2 Phase Deterministic นี้ เป็นแบบจำลองแบบเปิดปิดที่สามารถหลอกลวงหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ให้แหล่งกำเนิดสามารถส่งข้อมูลผ่านเข้าไปในโครงข่ายเกินอัตราเซลล์ที่ตกลงไว้ พารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดประเภทนี้มีสามค่าคือ

1. $E[X]$ จำนวนเซลล์ข้อมูลเฉลี่ยในหนึ่งเบิสต์
2. S ระยะเวลาช่วงเงียบ
3. Δ ระยะเวลาระหว่างการมาถึงของแต่ละเซลล์

ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งสามค่านี้มีค่าคงที่ และในกรณีที่มีค่า $E[X]$ มีค่าจำนวนเต็ม จำนวนเซลล์ในแต่ละเบิสต์จะมีการแจกแจงเป็นแบบแบร์นูลลี แต่ละเบิสต์จะมีจำนวนเซลล์ข้อมูลเพียงสองค่าคือ $\lfloor E[X] \rfloor$ หรือ $\lceil E[X] \rceil$

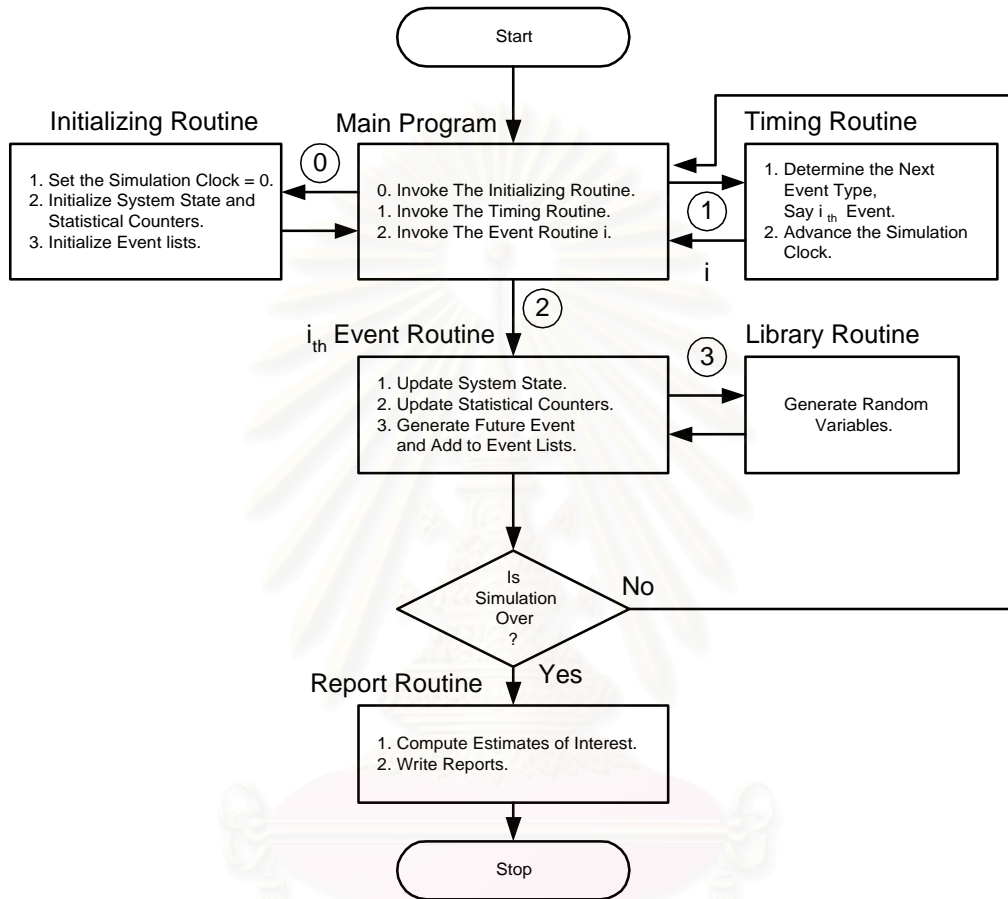
โดยที่ $\lfloor X \rfloor$ คือ เลขจำนวนเต็มมากที่สุดที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ X
 $\lceil X \rceil$ คือ เลขจำนวนเต็มน้อยที่สุดที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ X

4.2. แบบจำลองของเครื่องจักรจำลองแบบและวิธีการจำลองแบบ

4.2.1 วิธีการจำลองแบบ

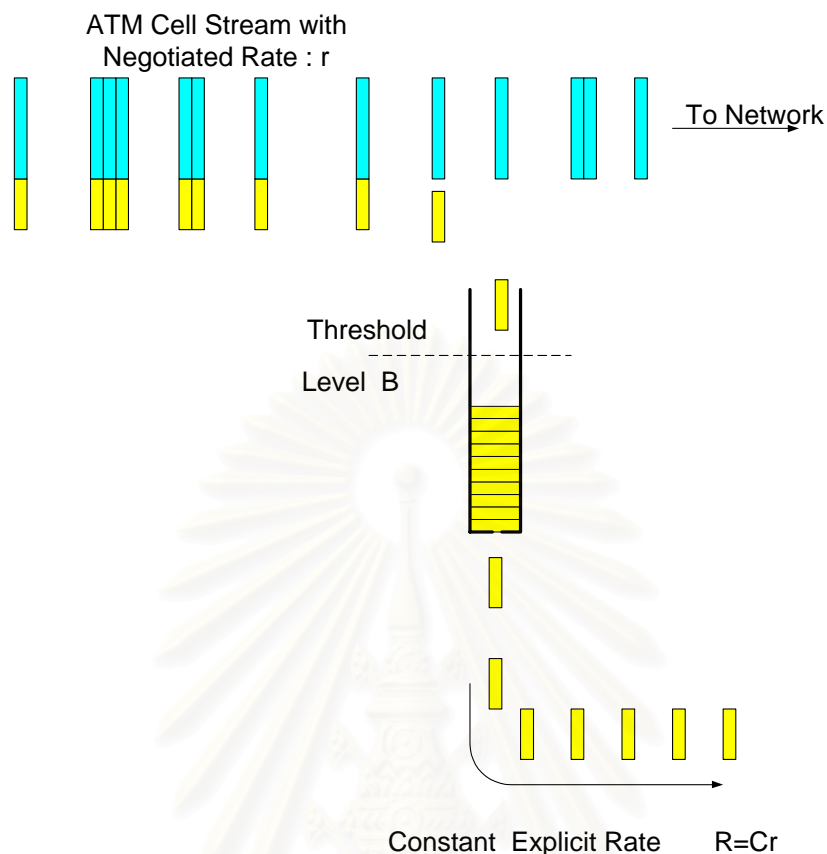
แบบจำลองของเครื่องจักรจำลองแบบ (Simulation Engine Model) ที่จะใช้ในงานวิจัยนี้สร้างขึ้นมาจากพื้นฐานของภาษาซีพลัสพลัส เพื่อให้สามารถจำลองแบบได้รวดเร็ว ติดตามผลและแก้ไขได้ง่าย โดยใช้หลักการจำลองแบบไปตามที่เหตุการณ์ (Discrete Event Simulation) ที่จะเกิดขึ้นตามเวลาดังรูปที่ 4.3 ระบบจะจำแนกเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในระบบออกเป็นเหตุการณ์ย่อยๆ และครอบคลุมทุกเหตุการณ์อันอาจจะเกิดขึ้นได้ในระบบ และ คอยติดตามค่าเวลาที่เกิดขึ้นสำหรับแต่ละเหตุการณ์ในครั้งต่อไป (Next Event Time Advance Mechanism) [A. M. Law and W. D. Kelton, 1991] ว่าเหตุการณ์ใดควรจะเป็นเหตุการณ์ลำดับถัดไป (มีค่าเวลาที่เหตุการณ์นั้นใกล้ค่าปัจจุบันที่สุด) เมื่อระบบพบว่าเหตุการณ์ใดจะ

เกิดขึ้นเป็นลำดับถัดไป ระบบจำลองแบบก็จะจำลองสถานการณ์ของเหตุการณ์นั้น จนเมื่อเงื่อนไขการยุติการจำลองแบบมีค่าเป็นจริงและทำการจำลองแบบซ้ำใหม่อีกหลายครั้งจนได้จำนวนรอบของการจำลองแบบเท่าที่ต้องการ การจำลองแบบก็จะสิ้นสุดลงพร้อมทั้งมีการทำรายงานออกมาในลักษณะของแฟ้มข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการวิจัยต่อไป



รูปที่ 4.3 หลักการจำลองแบบไปตามแต่ละเหตุการณ์ (Discrete Event Simulation)

4.2.2 แบบจำลองถังรั่วแบบดั้งเดิม



รูปที่ 4.4 ถังรั่วแบบดั้งเดิมชนิดไม่มีบัฟเฟอร์ (Unbuffered Leaky Bucket)

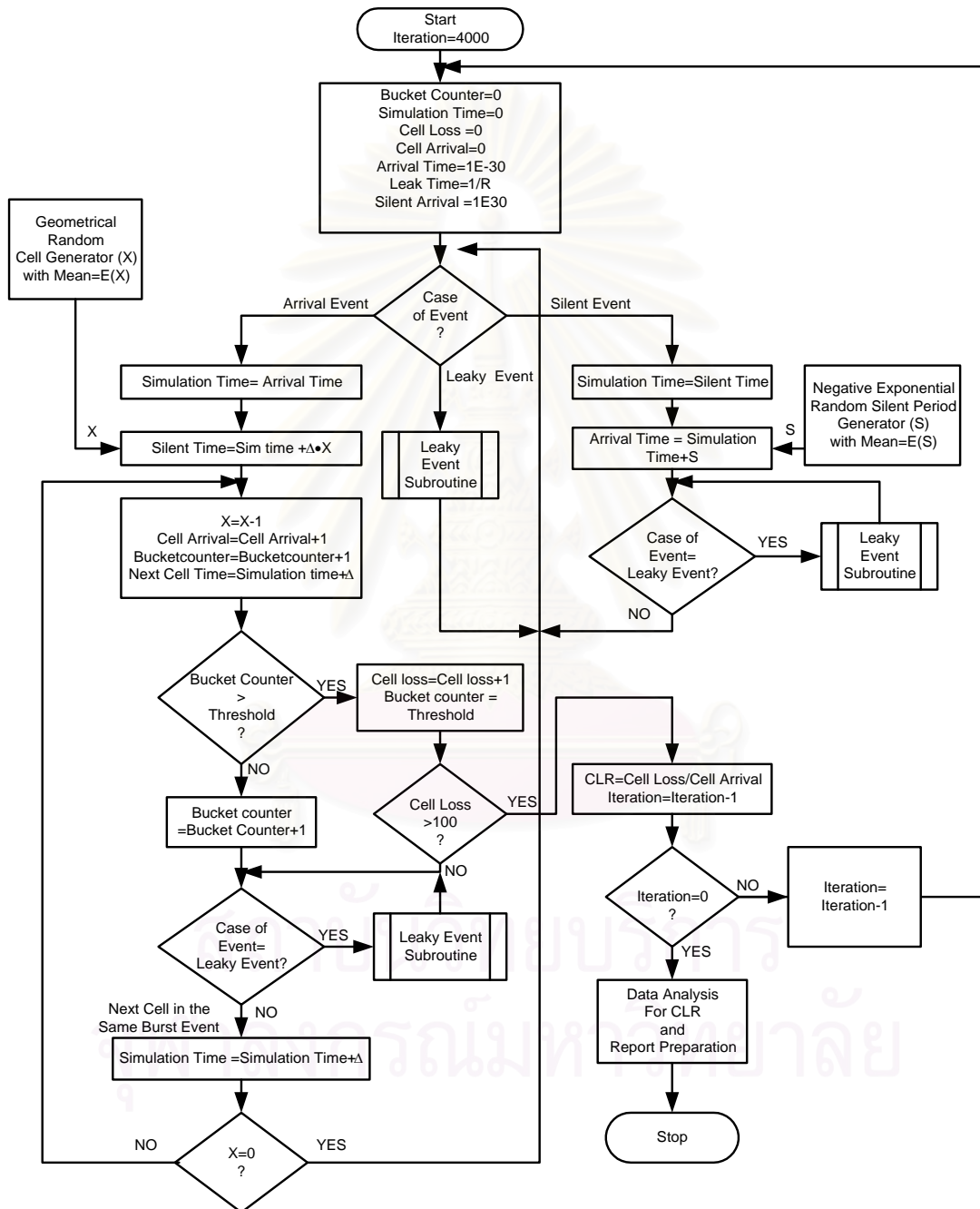
ถังรั่วแบบดั้งเดิมมีหลักการทำงานดังรูปที่ 4.4 และโพล์ชาร์ตดังรูปที่ 4.5 ถังรั่วมีลักษณะการทำงานเป็นวงจรมีค่าเริ่มเปลี่ยน B เมื่อใดที่มีเซลล์ข้อมูลเข้ามาสู่โครงข่ายถังรั่วจะมีค่าในวงจรมีเพิ่มขึ้นหนึ่งค่าและมีค่าลดลงทีละหนึ่งค่าในอัตราคงที่ R ซึ่งจะนำมาจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างเครื่องจักรการจำลองแบบไปตามแต่ละเหตุการณ์ที่รับเซลล์ข้อมูลจากแหล่งกำเนิดแบบเปิดปิด

เมื่อเริ่มการจำลองแบบ ระบบจำลองแบบก็จะตั้งค่าเริ่มต้นต่างๆของระบบ และเริ่มเดินทางฟิสิกของการจำลองแบบหลังจากนั้นจะจำแนกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้สามเหตุการณ์ว่าเหตุการณ์ใดจะเกิดขึ้นเป็นลำดับต่อไป โดยแต่ละเหตุการณ์คือ

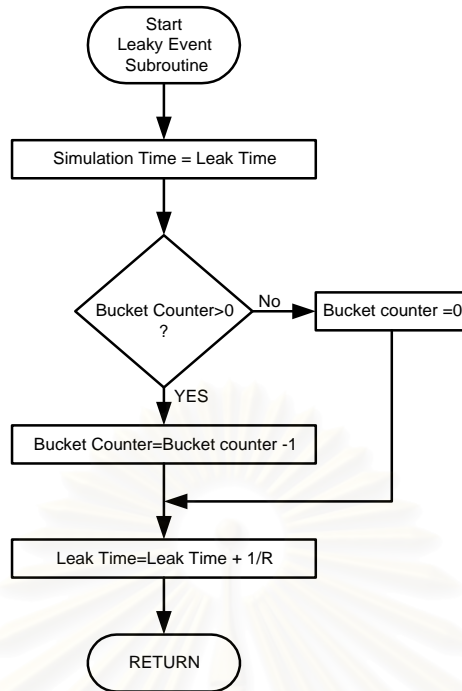
1. เหตุการณ์เมื่อมีเซลล์เข้าสู่โครงข่าย (แหล่งกำเนิดอยู่ในสถานะเปิด)
2. เหตุการณ์เมื่อถึงช่วงจังหวะเวลาที่แหล่งกำเนิดอยู่ในสถานะปิด
3. เหตุการณ์เมื่อค่าของวงจรมีในถังรั่วมีค่าลดลง

และจะกระโดดไปทำโปรแกรมย่อยที่ออกแบบมาสำหรับเหตุการณ์แต่ละเหตุการณ์โดยเฉพาะพร้อมกับการกำหนดเวลาล่วงหน้าทีเหตุการณ์นั้นจะเกิดขึ้นได้อีก จากนั้นก็จะตรวจเงื่อนไขการสิ้นสุดการจำลองแบบ ถ้าหากว่าเงื่อนไขสิ้นสุดการจำลองแบบเป็นจริง เครื่องจักรจำลองแบบจะหยุดทำงานและทำรายงานออกมาให้ทราบดังโพล์ชาร์ตในรูปที่ 4.5

ถึงรุ่นแบบดั้งเดิมที่จะนำมาทำการจำลองแบบเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความไวกับถึงรุ่นชนิดใหม่ที่เสนอนี้ มีหลักการดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 แล้ว โดยดูจากรูปที่ 4.4 แล้วสามารถกำหนดแนวทางการจำลองแบบเพื่อหาประสิทธิภาพด้านสภาพเลือกเฟ้นโดยมีโพล์ชาร์ตหลักดังรูปที่ 4.5 นี้



รูปที่ 4.5 โพล์ชาร์ตโปรแกรมหลักของการจำลองแบบถึงรุ่นแบบดั้งเดิมชนิดไม่มีบัฟเฟอร์



รูปที่ 4.6 โฟลว์ชาร์ตโปรแกรมย่อยเมื่อถังรั่วถึงเหตุการณ์ลดค่าในถังรั่ว (Leaky Event Subroutine) (เป็นส่วนหนึ่งของโฟลว์ชาร์ตในรูปที่ 4.5)

4.2.3 การทดสอบความถูกต้องของการจำลองแบบระบบถังรั่วแบบดั้งเดิม

การทดสอบความถูกต้องของระบบจำลองแบบถังรั่วแบบดั้งเดิมด้วยการจำลองแบบ โดยใช้แบบจำลองแหล่งกำเนิดข้อมูลสามชนิด [Z. Jiang and Z. Liu, 1996], [E.P. Rathgeb, 1991] จากตารางที่ 4.1 คือ Packetized Voice (ADPCM), Still Picture และ Video Phone ผู้วิจัยหาค่าประสิทธิภาพทางด้านสภาพเลือกเฟ้นเปรียบเทียบกับระหว่างการใช้ทฤษฎีคิวในสมการที่ (2.14) และ การจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับแหล่งกำเนิดทั้งสามที่จะนำไปใช้ในการคำนวณ (จากตอนที่ 2.2.2) และการจำลองแบบ (จากตอนที่ 4.1) มีแสดงดังตารางที่ 4.2

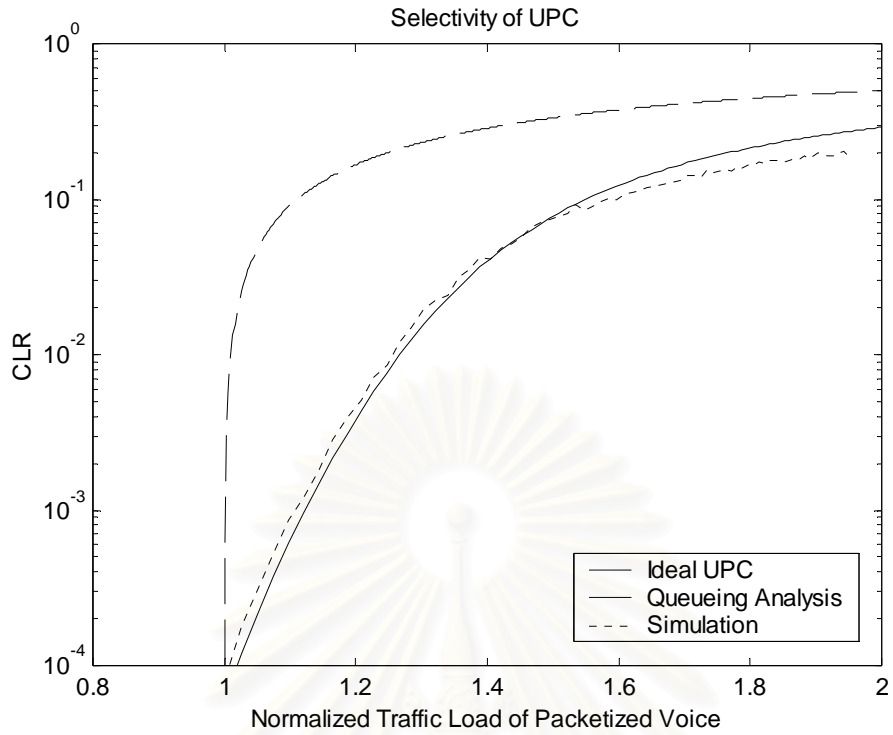
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณด้วยทฤษฎีคิว
และ การจำลองแบบด้วยแบบจำลองถึงร้วแบบดั้งเดิม

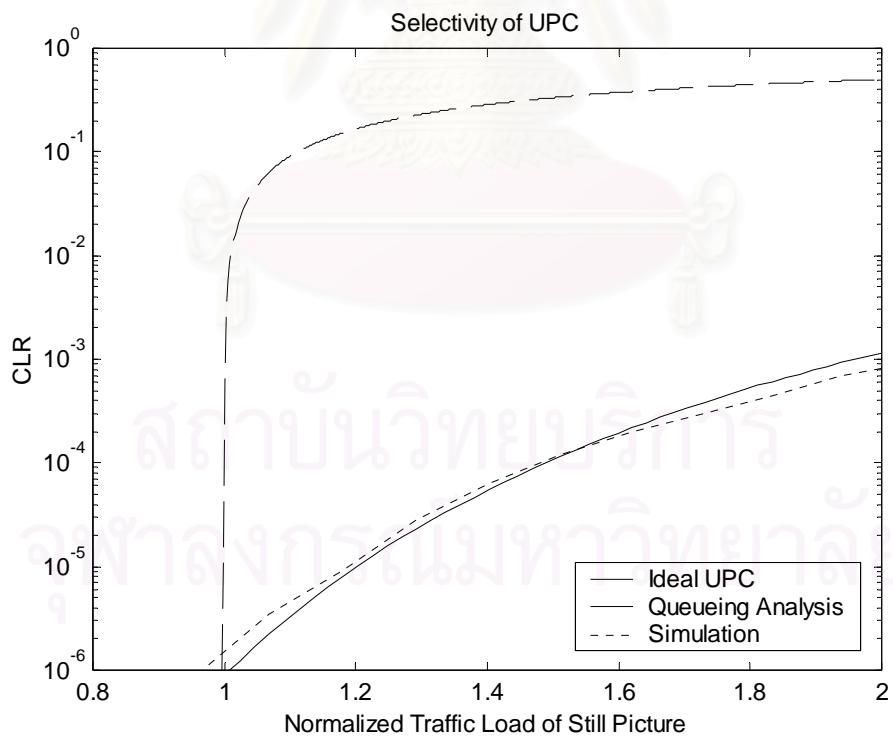
	Packetized Voice (ADPCM)	Still Picture	Video Phone
ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการ คำนวณหาอัตราส่วนเซลล์ สูญเสียด้วย ทฤษฎีคิว	S=32,000 bps r=11,240 bps L=1,920 bits B=16,512 bits M=0 bit $\rho=0.70422$ $\gamma=0.3513$ $P_{\text{loss}}=10^{-4}$	S=2,000,000 bps r=86,960 bps L=1,613 bits B=11,136 bits M=0 bit $\rho=0.086956$ $\gamma=0.043478$ $P_{\text{loss}}=10^{-6}$	S=10,575 kbps r=3,900 kbps L=1,536 bits B=19,200 bits M=0 bit $\rho=0.70422$ $\gamma=0.3689$ $P_{\text{loss}}=10^{-6}$
ค่าพารามิเตอร์ของ แบบจำลองถึงร้วแบบดั้งเดิม	E(X)=5.0 cells E(S)=0.1108 sec $\Delta=0.012$ sec $N_{\text{MAX}}=85$ cells C=1.42 B=43 cells	E(X)=4.2 cells E(S)=0.02112 sec $\Delta=0.000192$ sec $N_{\text{MAX}}=57$ cells C=11.5 B=29 cells	E(X)=4.0 cells E(S)=0.0002486 sec $\Delta=0.000036312$ sec $N_{\text{MAX}}=104$ cells C=1.36 B=50 cells

ผลที่ได้นำเสนอด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพเลือกเฟ้นที่ได้จากหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ชุดมคติ, จากการจำลองแบบ และ จากการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคิว ของแหล่งกำเนิดชนิดภาพนิ่ง เสียง และ ภาพเคลื่อนไหว ในรูปที่ 4.7(a), 4.7(b) และ 4.7(c) ตามลำดับ

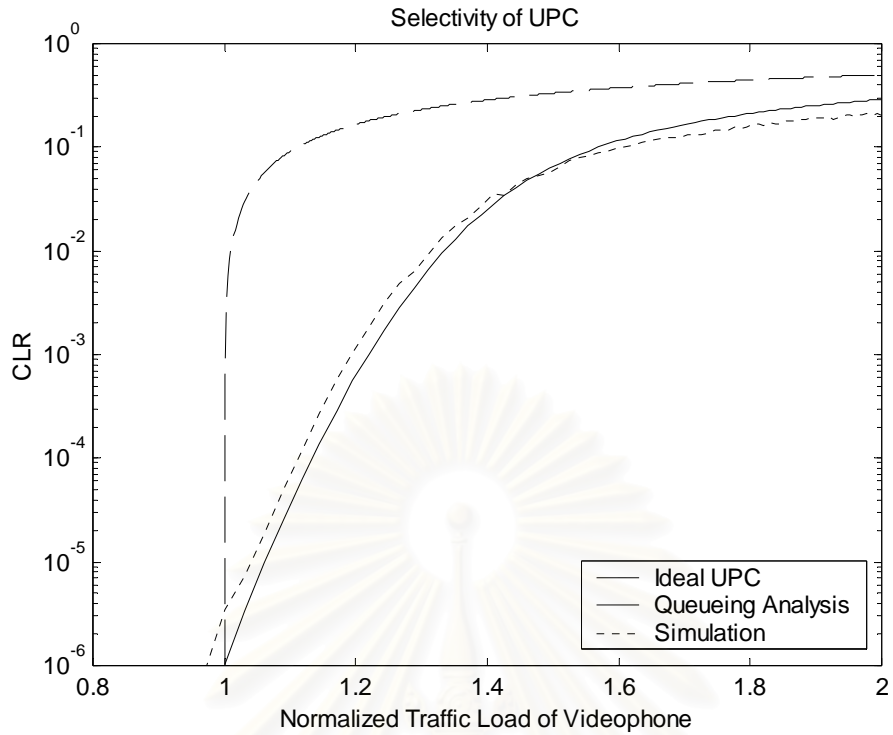
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพเลือกเฟ้นกับกราฟฟิกโพลดของแบบจำลองเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคิว ในรูปที่ 4.7(a), 4.7(b) และ 4.7(c) สำหรับแหล่งกำเนิดเสียง, ภาพนิ่ง และวิดีโอโฟนตามลำดับแล้ว ปรากฏว่าผลของการจำลองแบบมีค่าใกล้เคียงและมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคิวทั้งหมด ส่วนค่าความแตกต่างของเซลล์ที่สูญเสียเนื่องจากการตัดลิ้นใจที่เซลล์ของถึงร้วระหว่างการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคิวและการจำลองแบบมีค่าไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับจำนวนเซลล์ที่เข้าสู่ถึงร้วสำหรับแหล่งกำเนิด เสียง, ภาพนิ่ง และวิดีโอโฟน ในรูปที่ 4.8(a), 4.8(b) และ 4.8(c) ตามลำดับ



รูปที่ 4.7(a) การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเซลล์สูญหายกับกราฟฟิกโพลดของแบบจำลองและการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคิว สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดเสียง

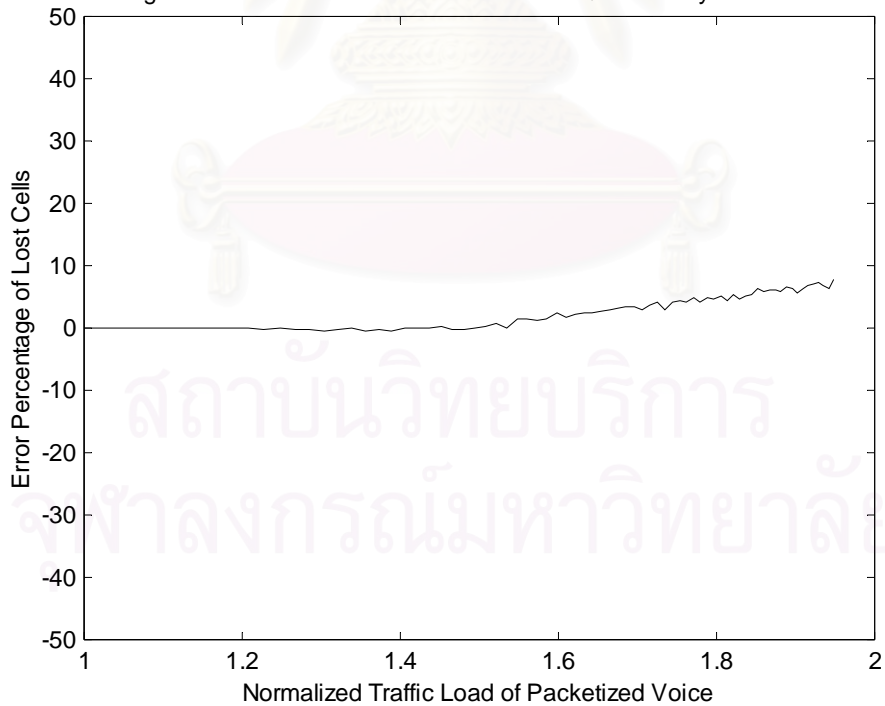


รูปที่ 4.7(b) การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเซลล์สูญหายกับกราฟฟิกโพลดของแบบจำลองและการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคิว สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดภาพนิ่ง

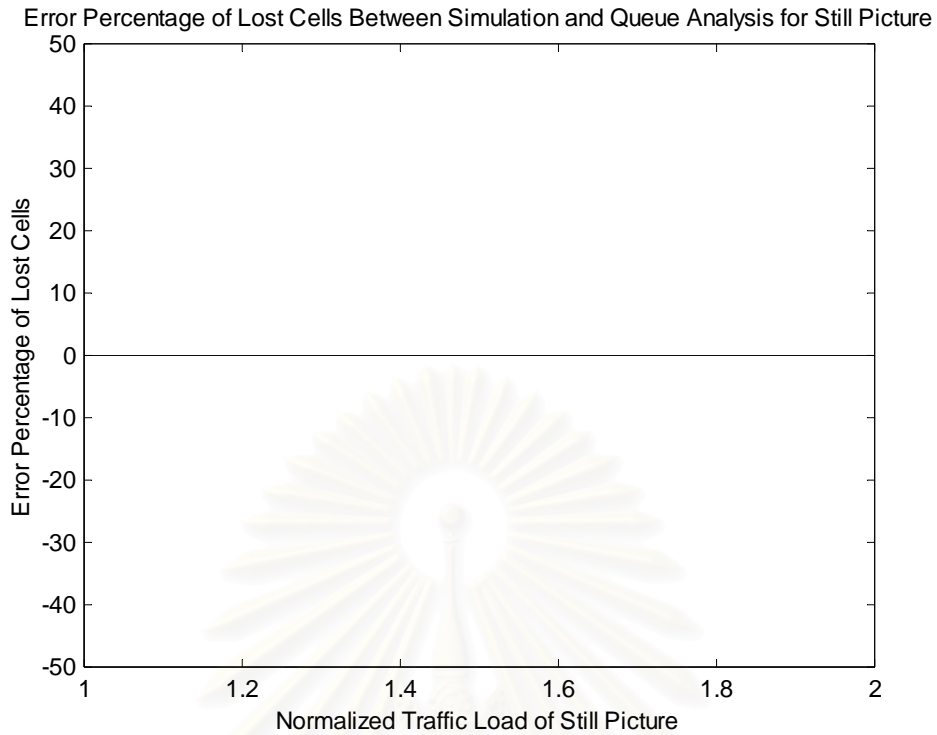


รูปที่ 4.7(c) การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเซลล์สูญหายกับทราฟฟิกโหลดของแบบจำลองและการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคิว สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดวิดีโอโฟน

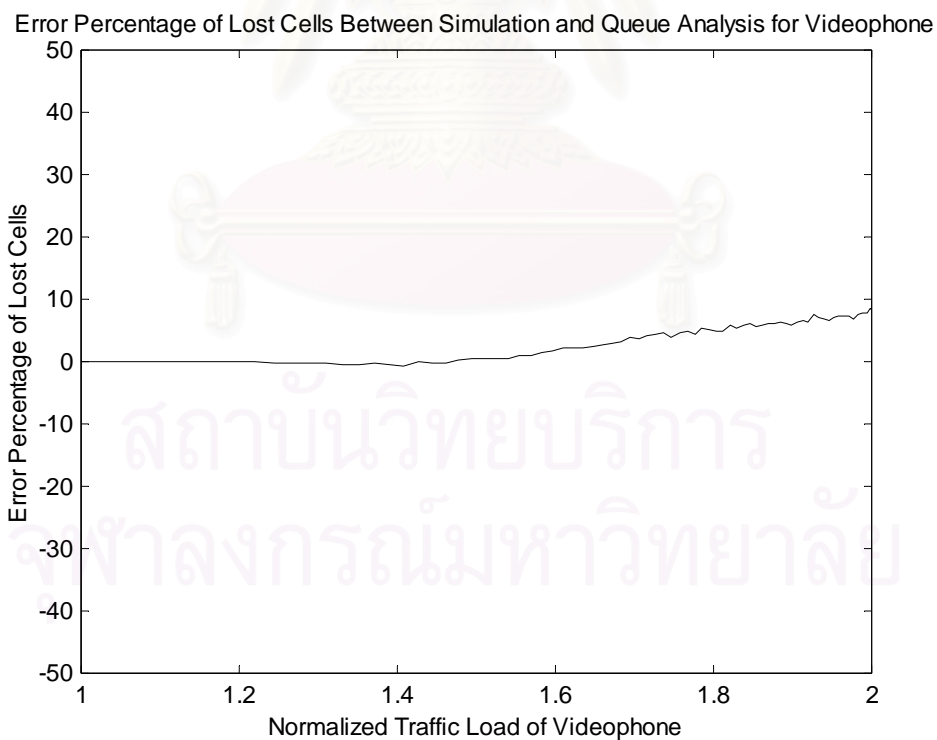
Error Percentage of Lost Cells Between Simulation and Queue Analysis for Packetized Voice



รูปที่ 4.8(a) เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ที่ถูกตัดทิ้งระหว่างการจำลองแบบถึงเร็วและการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคิว สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดเสียง



รูปที่ 4.8(b) เปรอ์เซ็นต์ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ที่ถูกตัดสินใจทิ้ง ระหว่างการจำลองแบบถึงรั้วและการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคิว สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดภาพนิ่ง



รูปที่ 4.8(c) เปรอ์เซ็นต์ความแตกต่างของจำนวนเซลล์ที่ถูกตัดสินใจทิ้ง ระหว่างการจำลองแบบถึงรั้วและการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคิว สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดวิดีโอโฟน

ความแตกต่างที่เกิดขึ้นในผลการทดสอบแบบจำลองเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคิวเป็นผลที่เกิดจากการใช้ค่าพารามิเตอร์บางตัวที่มีในระบบการจำลองแบบแต่ไม่มีในส่วนของทฤษฎีคิว เช่น

-ค่า N_{MAX} ซึ่งเป็นค่าจำนวนเซลล์ที่มากที่สุดในหนึ่งเบิสต์ของข้อมูลที่แหล่งกำเนิดจะสร้างออกมาได้ ซึ่งจะทำให้ไม่ต้องทำการทดสอบจำลองผลในจำนวนการทดสอบที่มากครั้งจนเกินไป ทั้งนี้เนื่องจากค่าความยาวเบิสต์ข้อมูล ที่มีค่ามากๆ เพียงครั้งเดียวนั้น จะทำให้ผลการจำลองแบบแกว่งไปในปริมาณที่มากได้ ซึ่งจะต้องใช้การจำลองแบบเป็นจำนวนครั้งที่มาจนเกินไปได้ ซึ่งเหมือนกับแหล่งกำเนิดจริงที่ต้องมีการกำหนดค่าความยาวเบิสต์ที่มากที่สุดไว้ แต่ก็ยังมีค่าน้อยกว่า N_{MAX} ซึ่งจะให้ผลการทำงานจริงที่มีความเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น

-ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะเป็นค่าพารามิเตอร์ชนิดบิต ซึ่งการนำไปใช้ในการวิเคราะห์และการจำลองแบบมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนชนิดของหน่วยจากบิตเป็นเซลล์ ซึ่งจะส่งผลต่อผลการทดสอบบ้างเล็กน้อย โดยเฉพาะส่วนกำเนิดจำนวนเซลล์แบบสุ่มในระบบการจำลองแบบจำเป็นต้องกำเนิดจำนวนเซลล์ออกมาเป็นจำนวนเต็มต่างกับการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคิวที่สามารถวิเคราะห์ได้ในระดับจำนวนจริงได้

อย่างไรก็ตามผลการทดสอบแสดงให้เห็นได้ว่า เครื่องจักรจำลองแบบระบบถังร่วแบบดั้งเดิมมีความสามารถที่จะจำลองแบบออกมาได้ในแนวทางที่ถูกต้องและสามารถนำไปดัดแปลงเพื่อนำไปจำลองแบบระบบถังร่วแบบเครดิตโทเค็นควบคุมด้วยพีซีซิลิกได้

4.3 ข้อกำหนดของแบบจำลองและการจำลองแบบ

1. ค่าเริ่มต้นของแบบจำลองทั้งถังร่วแบบดั้งเดิมและถังร่วแบบเครดิตโทเค็นจะมีค่าว่างเปล่าเมื่อเริ่มทำการจำลองแบบ [E. P. Rathgeb, 1991], [V. Catania, et. al., 1995]

2. เมื่อเริ่มทำการจำลองแบบเพื่อหาประสิทธิภาพทางด้านสภาพเลือกเฟ้น ระบบถังร่วจะได้รับการผ่านข้อมูลในอัตราที่ได้ตกลงกันไว้ในเวลาอันสมควรก่อนแล้วจึงปรับอัตราข้อมูลของแหล่งกำเนิดเป็นอัตราที่ต้องการทดสอบ พร้อมกับเริ่มนับเซลล์ที่ผ่านเข้าไปและเซลล์ที่สูญหายเนื่องจากการตัดสินใจที่เซลล์ของถังร่ว การจำลองแบบจะสิ้นสุดลงเมื่อมีเซลล์สูญหาย 100 เซลล์ และหาอัตราส่วนเซลล์สูญหายได้โดยใช้ 100 เป็นตัวตั้งและหารด้วยจำนวนเซลล์ที่ผ่านเข้าสู่โครงข่ายไป และทดสอบหลายๆ ครั้งโดยใช้ค่าเริ่มต้นในส่วนกำเนิดเลขสุ่มต่างๆ กันออกไป จากนั้นจึงนำผลลัพธ์มาเฉลี่ยกัน ในจำนวนที่เพียงพอที่จะสามารถวิเคราะห์เส้นกราฟที่ได้จากการจำลองแบบด้วยสายตาว่ามีการกระจายตัวของจุดค่าข้อมูลไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการประมาณด้วยสายตา จำนวนรอบที่จะต้องใช้ในการจำลองแบบจะขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งกำเนิด แหล่งกำเนิดที่มีค่า Burstiness สูง จะให้ผลลัพธ์ที่มีการเบี่ยงเบนสูงจำเป็นต้องทดสอบที่จำนวนรอบสูงขึ้น [E. P. Rathgeb, 1991], [V. Catania, et. al., 1995] จำนวนรอบของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแบบจะทราบหลังการจำลองแบบสิ้นสุดลง

3. เมื่อเริ่มจำลองแบบเพื่อหาประสิทธิภาพทางด้านความไว จำเป็นต้องให้สายข้อมูลที่มีอัตราข้อมูลปกติผ่านเข้าไปในโครงข่ายในระยะหนึ่งก่อนเช่นกัน จากนั้นก็ปรับอัตราข้อมูลของแหล่งกำเนิดเป็น 1.5 เท่าของอัตราปกติ และนับเซลล์ที่ผ่านเข้าไปตั้งแต่เริ่มปรับอัตราให้เป็น 1.5 เท่า โดยทดสอบหลายๆ ครั้ง โดยแต่ละครั้งก็เพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้นเรื่อยๆ แล้วหาอัตราเซลล์สูญหายออกมา จากจำนวนเซลล์ที่สูญหายหารด้วยจำนวนเซลล์ที่เข้าสู่โครงข่าย และหาค่าเฉลี่ยของผลการจำลองแบบด้วยการทดสอบหลายๆรอบ จนเพียงพอที่จะสามารถวิเคราะห์เส้นกราฟที่ได้ด้วยสายตาว่ามีการเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยในปริมาณที่ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์สำหรับแหล่งกำเนิดที่มีค่า Burstiness ต่ำ (ได้แก่แหล่งกำเนิดเสียงและวิดีโอโฟน) และไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์สำหรับแหล่งกำเนิดที่มีค่า Burstiness สูง (แหล่งกำเนิดภาพนิ่ง) ทำให้จำนวนรอบที่จะใช้ในการจำลองแบบขึ้นกับชนิดของแหล่งกำเนิด [E. P. Rathgeb, 1991], [V. Catania, et. al., 1995] การทดสอบวิธีเดียวกันนี้จะทำอีกครั้งที่ทุกๆ อัตราข้อมูล โดยเริ่มตั้งแต่ 1.0-1.9 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้เพื่อหาประสิทธิภาพทางด้านความไวเมื่อเทียบกับอัตราเซลล์ที่สูญละเมิด

4. เมื่อเริ่มทำการจำลองแบบเพื่อหาประสิทธิภาพทางด้านการป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิด MMDP จำเป็นต้องให้สายข้อมูลที่มีอัตราข้อมูลปกติจากแหล่งกำเนิดชนิด MMPP ผ่านเข้าไปในโครงข่ายในระยะหนึ่งก่อนเช่นกัน จากนั้นก็ให้ปรับอัตราข้อมูลให้ตรงกับทราฟฟิกโหลดที่ต้องการและเปลี่ยนลักษณะของแหล่งกำเนิดให้เป็นชนิด MMDP พร้อมกับเริ่มนับเซลล์ที่ผ่านเข้าไปและเซลล์ที่สูญหายเนื่องจากการตัดสินใจทิ้งเซลล์ของถังรับ การจำลองแบบจะสิ้นสุดลงเมื่อมีเซลล์สูญหาย 100 เซลล์ และหาอัตราส่วนเซลล์สูญหายได้โดยเอา 100 หารด้วยจำนวนเซลล์ที่ผ่านเข้าสู่โครงข่ายไป และทดสอบหลายๆ ครั้งโดยใช้ค่าเริ่มต้นในส่วนกำเนิดเลขสุ่มต่างๆ ค่ากันออกไป จากนั้นจึงนำผลลัพธ์มาเฉลี่ยกัน ในจำนวนที่เพียงพอที่จะสามารถวิเคราะห์เส้นกราฟที่ได้จากการจำลองแบบด้วยสายตาว่ามีการกระจายตัวของจุดข้อมูลไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการประมาณด้วยสายตา จำนวนรอบที่จะต้องใช้ในการจำลองแบบจะขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งกำเนิด แหล่งกำเนิดที่มีค่า Burstiness สูง จะให้ผลลัพธ์ที่มีการเบี่ยงเบนสูงทำให้จำเป็นต้องทดสอบที่จำนวนรอบที่สูงขึ้น จำนวนรอบของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแบบ จะทราบหลังการจำลองแบบสิ้นสุดลง

บทที่ 5

ผลการจำลองแบบและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะได้นำระบบถังร้วแบบเครดิตโทเค้นที่ได้กล่าวในบทที่ 3 มาจำลองแบบตามหลักการในบทที่ 4 เพื่อศึกษาผลการทำงานทั้งในด้านสภาพเลือกเฟ้น, ความไว และความสามารถในการป้องกันการละเมิดจากการส่งข้อมูลด้วยวิธี MMDP เมื่อนำไปตรวจสอบกราฟฟิคที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดต่างๆในบทที่ 4 คือ แหล่งกำเนิดเสียง, ภาพนิ่งและ วิดีโอโฟน ให้ผลการทดสอบออกมาดังนี้

5.1 การทดสอบประสิทธิภาพทางด้านสภาพเลือกเฟ้น

จุดประสงค์ของการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านสภาพเลือกเฟ้นของถังร้วแบบดั้งเดิมและถังร้วแบบเครดิตโทเค้น เพื่อเปรียบเทียบการแยกแยะเซลล์ส่วนเกินออกจากเซลล์ข้อมูลที่ส่งมามากกว่าปกติเพื่อให้มีเซลล์ส่วนเกินเข้าสู่โครงข่ายน้อยลง

5.1.1 ค่าพารามิเตอร์ของการจำลองแบบและวิธีการจำลองแบบ

ระบบถังร้วแบบเครดิตโทเค้นที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพทางด้านสภาพเลือกเฟ้น จะใช้ระบบเดียวกันตลอดเมื่อนำไปใช้กับแหล่งกำเนิดต่างกัน ระบบถังร้วแบบเครดิตโทเค้นที่นำมาทดสอบนั้นจะมีวิธีการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาจากพารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดดังนี้

1. Overdimensioning factor (C_c) = 1.05
2. ขนาดของถังร้วแบบเครดิตโทเค้น (B_c) = จำนวนเซลล์เฉลี่ยในแต่ละเบิรสต์ที่ปิดค่าลงเป็นจำนวนนับ ($\lfloor E(X) \rfloor$)
3. ขนาด Credit Token Pool (K) คำนวณจาก $K = 0.7B \cdot \frac{S}{r}$ โดยที่ B คือขนาดของถังร้วแบบดั้งเดิม เมื่อคิดอัตราเร็วเท่ากับอัตราเซลล์ที่ตกลงกันได้ ($C=C_c=1.05$) ที่ค่าอัตราส่วนเซลล์สูญหายเดียวกัน
4. ช่วงของการวัด (i) คำนวณจาก $i = 53 \frac{S}{r}$
5. พารามิเตอร์ของหน่วยทำนายเครดิตโทเค้นด้วยพีซีลจิกใช้ตามหัวข้อที่ 3.4

นำไปทดสอบหาประสิทธิภาพพร้อมกับถังร้วแบบดั้งเดิม

ตารางที่ 5.1 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบโดยสรุปมาจากพารามิเตอร์ของแบบจำลองแหล่งกำเนิดในหัวข้อที่ 4.1, พารามิเตอร์ของถังร้วแบบดั้งเดิมในหัวข้อที่ 4.2.3 และพารามิเตอร์ของถังร้วแบบเครดิตโทเค้นในหัวข้อที่ 3.3

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบแหล่งกำเนิด ถังรั่วแบบดั้งเดิม และถังรั่วแบบเครดิตโทเค็น เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพด้านสภาพเลือกเฟ้น

	Parameter	Packetized Voice	Still Picture	Video Phone
Source	Peak Bit Rate (S)	32 kbps	2,000 kbps	10,575 kbps
Model	Mean Bit Rate (r)	11.24 kbps	86.96 kbps	3,900 kbps
Parameters	Burstiness (S/r)	2.847	22.999	2.712
	Mean Burst Length (E(X))	5.0 cells	4.2 cells	4.0 cells
	Mean Silent Period (E(S))	110.8 ms	17.74 ms	0.2486 ms
	Intercell Arrival Time (Δ)	12 ms	0.192 ms	0.036312 ms
	Lost Probability Requirement (P_{LOSS})	10^{-4}	10^{-6}	10^{-6}
	Maximum Cells in a Burst (N_{MAX})	85 Cells	884 Cells	104 Cells
	Convention al Leaky Bucket Parameters	Overdimensioning factor (C)	1.42	11.50
Leaky Bucket Sizes (B)		48 cells	461 Cells	50 Cells
Credit Token Leaky Bucket Parameters	Overdimensioning factor (C_c)	1.05	1.05	1.05
	ขนาดของถังรั่ว (B_c)	5 cells	4 cells	4 cells
	ขนาดถังรั่วแบบดั้งเดิม (B) เมื่อให้ค่า P_{LOSS} เท่ากับที่ต้องการที่ $C=C_c$	264 cells	867 cells	349 cells
	ขนาด Credit Token Pool (K)	526 cells	13,958 cells	662 cells
	ช่วงของการวัด (i)	151	1,218	144
	พารามิเตอร์ของพัลส์ลอสจิก	ใช้ตามบทที่ 3	ใช้ตามบทที่ 3	ใช้ตามบทที่ 3

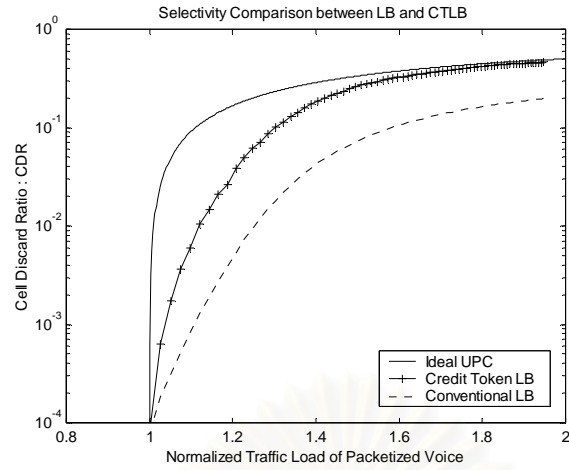
5.1.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านสภาพเลือกเฟ้น

ข้อมูลผลการทดสอบที่ได้จะถูกนำเสนอในกราฟของรูปที่ 5.1(a), 5.1(b) และ 5.1(c) โดยเป็นผลการทดสอบของแหล่งกำเนิดเสียง ภาพนิ่งและวิดีโอโฟนตามลำดับ แขนงนอนคืออัตราข้อมูลของแหล่งกำเนิดที่เทอร์แมลไลซ์กับอัตราข้อมูลเฉลี่ยที่ได้ตกลงกันไว้ของแหล่งกำเนิดแล้ว ส่วนแกนตั้งเป็นอัตราการทิ้งเซลล์เนื่องมาจากการตรวจพบว่าเป็นเซลล์ที่ละเมิดโดยถึงรั้วสามชนิดคือ หน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ในอุดมคติ ถึงรั้วแบบดั้งเดิม และถึงรั้วแบบเครดิตโทเค็น

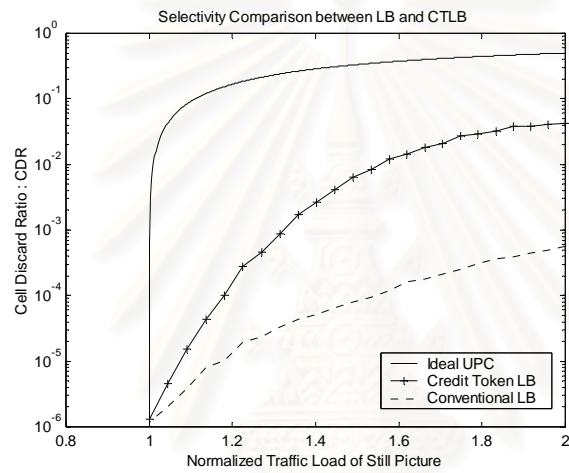
เส้นกราฟของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ในอุดมคติจะเป็นข้อมูลที่ใช้อ้างอิงถึงอัตราส่วนการทิ้งเซลล์ที่อัตราข้อมูลที่ได้เทอร์แมลไลซ์กับอัตราข้อมูลเฉลี่ยที่ได้ตกลงกันไว้ ระบบถึงรั้วหรือหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ใดๆที่นำมาใช้งานจริงจะสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพได้กับเส้นกราฟของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ในอุดมคติ ระบบควบคุมพารามิเตอร์การใช้ใดๆที่ให้เส้นกราฟที่เข้าใกล้เส้นกราฟในอุดมคติมากเพียงใด จะแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีมากขึ้นเพียงนั้น แต่อย่างไรก็ตามระบบควบคุมพารามิเตอร์การใช้ในความเป็นจริงจะต้องถือหลักว่าจะไม่ทำการทิ้งเซลล์ในอัตราส่วนที่มากไปกว่าอัตราส่วนการทิ้งเซลล์ของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ในอุดมคติ แต่จะยอมให้เซลล์ส่วนเกินเข้าสู่โครงข่ายได้ โดยถือว่าเส้นกราฟของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ใดๆที่ให้เส้นกราฟที่อยู่ใต้ และอยู่ชิดกับเส้นกราฟของหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้ในอุดมคติมากเพียงใด แสดงให้เห็นว่า เซลล์ส่วนเกินที่เข้าสู่โครงข่ายยังมีค่าน้อย และระบบควบคุมพารามิเตอร์การใช้นั้นมีสภาพการเลือกเฟ้นที่เข้าใกล้อุดมคติมากขึ้นเพียงนั้น

กราฟของรูปที่ 5.1(a), 5.1(b) และ 5.1(c) แสดงให้เห็นว่าระบบถึงรั้วแบบเครดิตโทเค็นมีความสามารถทางด้านสภาพเลือกเฟ้นที่ดีกว่าถึงรั้วแบบดั้งเดิม ให้ค่าอัตราส่วนการทิ้งเซลล์ที่สูงกว่าถึงรั้วแบบดั้งเดิมแต่ก็ไม่มากไปกว่าหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้แบบอุดมคติ ซึ่งก็หมายความว่าถึงรั้วแบบเครดิตโทเค็นจะปล่อยให้เซลล์ส่วนเกินเข้าสู่โครงข่ายได้น้อยกว่าถึงรั้วแบบดั้งเดิม โดยถึงรั้วทั้งสองชนิดยังคงรักษาคุณภาพการให้บริการสำหรับแหล่งกำเนิดที่ส่งข้อมูลในอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้อย่างถูกต้อง (ค่า Normalized Traffic Load ในแกนนอนมีค่าเท่ากับ 1) คือ คุณภาพการให้บริการอยู่ในระดับ 10^{-4} สำหรับแหล่งกำเนิดเสียง และ 10^{-6} สำหรับแหล่งกำเนิดภาพนิ่งและวิดีโอโฟน

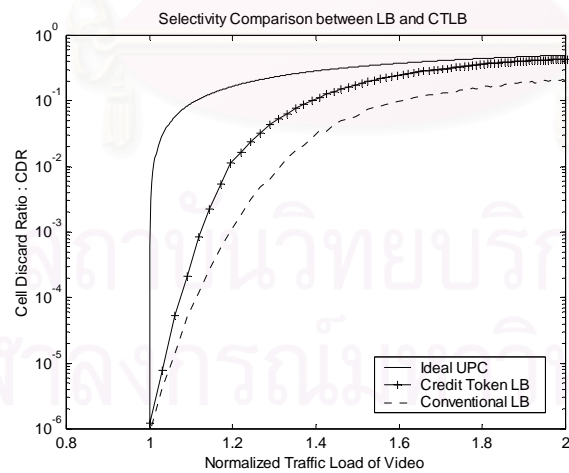
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



...รูปที่ 5.1(a)



...รูปที่ 5.1(b)



...รูปที่ 5.1(c)

รูปที่ 5.1 ผลการทดสอบอัตราการทิ้งเซลล์ของถังรับในอุดมคติ ถังรับแบบดั้งเดิม และถังรับแบบเครดิตโทเค็นในกรณีของแหล่งกำเนิด a) เสียง b) ภาพนิ่ง และ c) วิดีโอโฟน

5.1.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านสภาพเลือกเฟ้น

ระบบควบคุมพารามิเตอร์การใช้ที่ยังไม่มีสภาพเลือกเฟ้นเทียบเท่าระบบในอุดมคติจะยึดถือหลักการที่จะเลือกยอมปล่อยเซลล์ละเมิดเข้าไปในโครงข่ายมากกว่าระบบในอุดมคติเมื่อแหล่งกำเนิดส่งข้อมูลในอัตราที่สูงกว่าอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันได้ เพื่อรักษาคุณภาพของการบริการให้ได้ตามที่ตกลงกันได้ ดังนั้นเมื่อเทียบความสามารถของถังรับแบบเครดิตโทเค็นแล้วจะเห็นได้ว่า ในรูปที่ 5.1(a), 5.1(b) และ 5.1(c) ถังรับแบบเครดิตโทเค็นจะปล่อยเซลล์ส่วนเกินเข้าสู่โครงข่ายได้น้อยกว่าถังรับแบบดั้งเดิม (เนื่องจากตำแหน่งเส้นกราฟที่สูงกว่าของถังรับแบบดั้งเดิมแต่ก็ยังอยู่ภายใต้เส้นกราฟอัตราทิ้งเซลล์ในอุดมคติ) ในรูปที่ 5.1(b) จะเห็นได้ว่าสภาพเลือกเฟ้นจะได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นมากสำหรับแหล่งกำเนิดที่มีค่า Burstiness สูงๆ

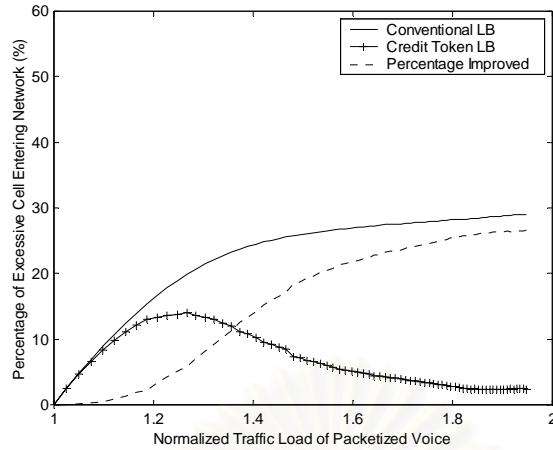
ในรูปที่ 5.2(a), 5.2(b) และ 5.2(c) แสดงถึงเปอร์เซ็นต์เซลล์ส่วนเกินที่ผ่านเข้าสู่โครงข่ายในการใช้งานระหว่างถังรับแบบดั้งเดิมกับถังรับแบบเครดิตโทเค็น และเปอร์เซ็นต์เซลล์ส่วนเกินที่ลดลงในกรณีของแหล่งกำเนิด เสียง ภาพนิ่ง และวิดีโอตามลำดับ เมื่อเทียบกับเซลล์ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิด

ปริมาณเซลล์ส่วนเกินที่ผ่านถังรับแบบดั้งเดิมและถังรับแบบเครดิตโทเค็นและเปอร์เซ็นต์ของเซลล์ส่วนเกินที่ได้รับการปรับปรุง เมื่อเทียบกับจำนวนเซลล์ทั้งหมดที่ออกมาจากแหล่งกำเนิด สามารถดูได้จากกราฟในรูปที่ 5.2(a), 5.2(b) และ 5.2(c) สำหรับแหล่งกำเนิดเสียง ภาพนิ่ง และวิดีโอตามลำดับ

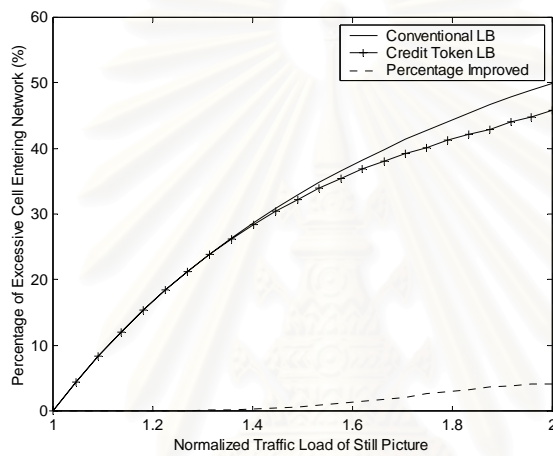
รูปที่ 5.2(a) แสดงกรณีที่ใช้งานร่วมกับแหล่งกำเนิดเสียง จะเห็นได้ว่าถังรับแบบเครดิตโทเค็นมีสภาพเลือกเฟ้นสูงขึ้นเมื่อแหล่งกำเนิดส่งข้อมูลออกมามากขึ้น โดยเซลล์ส่วนเกินที่มากที่สุดที่สามารถเข้าสู่โครงข่ายได้ อยู่ที่ 13 เปอร์เซ็นต์ที่โหลด 1.26 แต่สำหรับถังรับแบบดั้งเดิมแล้วเซลล์ส่วนเกินจะมากขึ้นเรื่อยๆ ตามโหลดที่แหล่งกำเนิดส่งเข้ามาซึ่งไม่เป็นผลดีต่อโครงข่าย เซลล์ส่วนเกินที่ลดลงได้เนื่องจากการเปลี่ยนมาใช้ถังรับแบบเครดิตโทเค็นก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามโหลดของแหล่งกำเนิดเช่นกัน

รูปที่ 5.2(b) แสดงกรณีที่ใช้งานร่วมกับแหล่งกำเนิดภาพนิ่งซึ่งแหล่งกำเนิดชนิดนี้เมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดเสียงแล้วมีค่า Burstiness สูงกว่ามาก ผลการทำงานของถังรับแบบเครดิตโทเค็นจะปล่อยให้เซลล์ส่วนเกินเข้าสู่โครงข่ายน้อยลงกว่าถังรับแบบดั้งเดิมไม่มาก เปอร์เซ็นต์เซลล์ส่วนเกินจะสามารถลดลงเนื่องจากการนำถังรับแบบเครดิตโทเค็นมาใช้ ได้ 5 เปอร์เซ็นต์ที่กราฟฟิกโหลดเท่ากับ 2 ดูแล้วประโยชน์ของถังรับแบบเครดิตโทเค็นเมื่อนำมาใช้กับแหล่งกำเนิดที่มีค่า Burstiness สูงๆ จะเห็นผลได้ชัดเมื่อแหล่งกำเนิดส่งข้อมูลออกมาเป็นกราฟฟิกโหลดที่มากกว่าอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันได้ 2 เท่าหรือมากกว่า

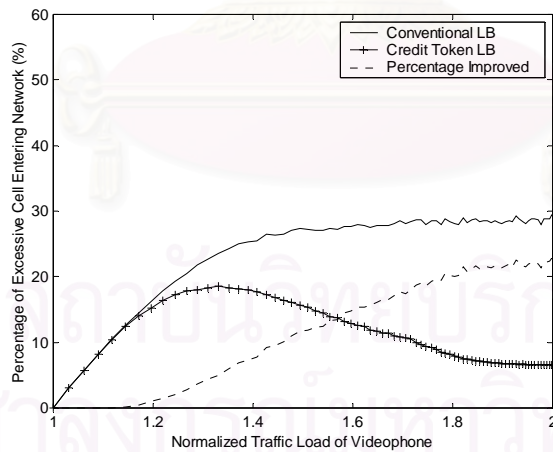
รูปที่ 5.2(c) แสดงกรณีที่ใช้งานร่วมกับแหล่งกำเนิดวิดีโอ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่มีค่า burstiness ใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดเสียงแต่มีค่าอัตราข้อมูลเฉลี่ยสูงกว่ามาก ซึ่งเห็นได้ว่ามีผลการทำงานในระดับที่ใกล้เคียงกับการนำไปใช้ร่วมกับแหล่งกำเนิดเสียง โดยเซลล์ส่วนเกินที่มากที่สุดที่สามารถเข้าสู่โครงข่ายได้ อยู่ที่ 18 เปอร์เซ็นต์ที่กราฟฟิกโหลด 1.32 สำหรับถังรับแบบดั้งเดิมแล้วเซลล์ส่วนเกินที่เข้าสู่โครงข่ายได้จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ ตามกราฟฟิกโหลดและเริ่มมีค่าคงที่เมื่อกราฟฟิกโหลดมีค่าเพิ่มมากขึ้นที่ 29 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับถังรับแบบเครดิตโทเค็นจะมีเซลล์ส่วนเกินลดลงตามกราฟฟิกโหลดที่เพิ่มขึ้นและเริ่มมีค่าคงที่ที่ 8 เปอร์เซ็นต์ ที่กราฟฟิกโหลดมากกว่า 2



...รูปที่ 5.2(a)



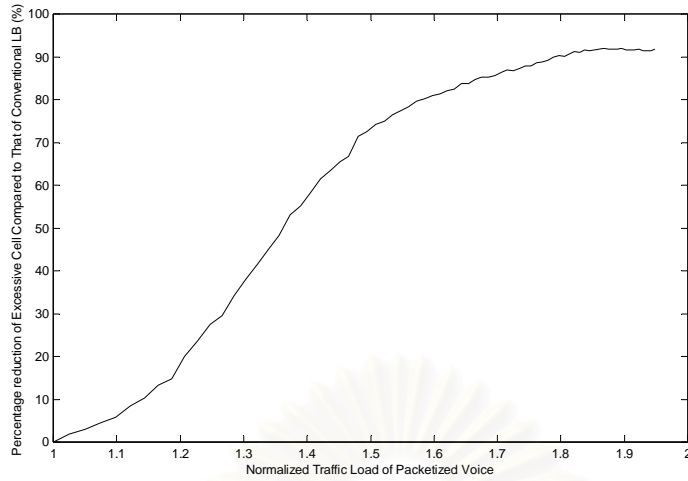
...รูปที่ 5.2(b)



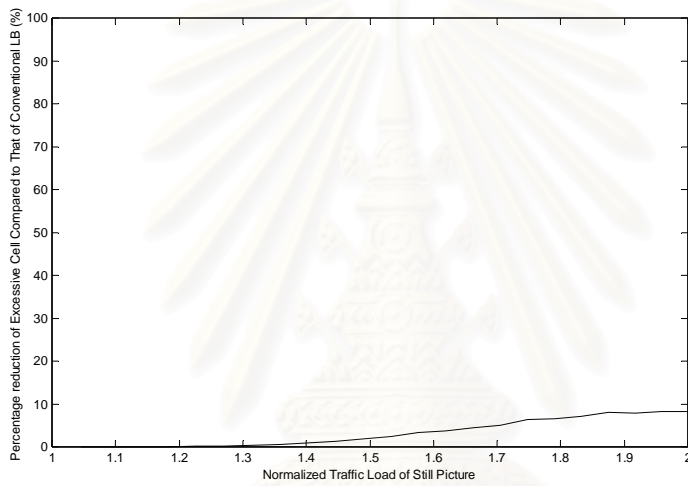
...รูปที่ 5.2(c)

รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์เซลล์ส่วนเกินที่ผ่านเข้าสู่โครงข่ายในการใช้งานระหว่างถึงรูปแบบดั้งเดิม กับถึงรูปแบบเครดิตโทเค้น และเปอร์เซ็นต์เซลล์ส่วนเกินที่ได้รับการปรับปรุงขึ้นเมื่อใช้ถึงรูปแบบเครดิตโทเค้น แทนที่ถึงรูปแบบดั้งเดิม เมื่อเทียบกับจำนวนเซลล์ทั้งหมดที่ออกมาจากแหล่งกำเนิด

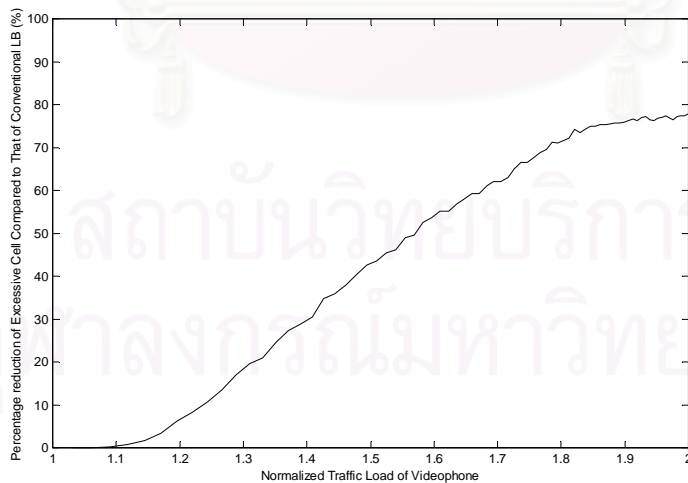
ในกรณีของแหล่งกำเนิด a) เสียง b) ภาพนิ่ง และ c) วิดีโอโฟน



....รูปที่ 5.3(a)



....รูปที่ 5.3(b)



....รูปที่ 5.3(c)

รูปที่ 5.3 เปรอ์เซนต์เซลล์ส่วนเกินที่ลดลงเมื่อเทียบกับเซลล์ส่วนเกินเดิม เมื่อนำถ่วงร่วแบบเครดิตโทเค็น มาใช้แทนที่ถ่วงร่วแบบดั้งเดิม ในกรณีของแหล่งกำเนิด a) เสียง b) ภาพนิ่ง และ c) วิดีโอโฟน

รูปที่ 5.3 แสดงเปอร์เซ็นต์เซลล์ส่วนเกินที่ลดลงของการใช้ถังร้วแบบเครดิตโทเค้น เมื่อเทียบกับเซลล์ส่วนเกินที่เคยผ่านถังร้วแบบดั้งเดิม จะเห็นได้ว่า สำหรับแหล่งกำเนิดเสียง ถังร้วแบบเครดิตโทเค้นที่ทราฟฟิกโพลดีมีค่าเป็น 2 สามารถลดเซลล์ส่วนเกินลงได้จากที่เคยพบในถังร้วแบบดั้งเดิมได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ สำหรับแหล่งกำเนิดภาพนิ่งลดลงได้ 8 เปอร์เซ็นต์ และ สำหรับวิดีโอโพลีลดลงได้ 77 เปอร์เซ็นต์

5.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไว

จุดประสงค์ของการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไวของถังร้วทั้งสองชนิดคือ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเริ่มต้นจิตใจทั้งเซลล์เมื่อแหล่งกำเนิดเริ่มทำการละเมิดอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ โดยส่งข้อมูลเข้ามาในอัตราที่สูงกว่าอัตราที่ได้ตกลงกันไว้

5.2.1 ค่าพารามิเตอร์ของการจำลองแบบและวิธีการจำลองแบบ

ถังร้วแบบดั้งเดิม และถังร้วแบบเครดิตโทเค้น ที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไว จะใช้ระบบเดียวกันกับการทดสอบทางด้านสภาพเลือกเฟ้นในหัวข้อที่ 5.1 การจำลองแบบเริ่มต้นด้วยการให้แหล่งกำเนิดส่งข้อมูลในอัตราที่ตกลงกันไว้ผ่านเข้าไปสู่ถังร้วแบบดั้งเดิมในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งจะผ่านเซลล์ข้อมูลมากกว่า 1,000 เท่าของขนาดถังร้วแบบดั้งเดิม หลังจากนั้นจะให้แหล่งกำเนิดเริ่มปรับอัตราการส่งให้สูงกว่าอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ในอัตราที่ต่างกันเริ่มตั้งแต่ 1.0 ไปจนถึง 1.9 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ โดยห่างกันทุกๆ 0.1 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ พร้อมกับเริ่มนับเซลล์ที่ผ่านเข้าไปสู่ถังร้วแบบดั้งเดิม และนับเซลล์ที่ถูกถังร้วแบบดั้งเดิมตัดจิตใจว่าถูกทิ้งในเวลาเดียวกันด้วย

การทดสอบกับถังร้วแบบเครดิตโทเค้นจะใช้วิธีเดียวกัน แต่แตกต่างกันในตอนเริ่มต้นที่ให้แหล่งกำเนิดส่งข้อมูลในอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ผ่านเข้าไปสู่ถังร้วแบบเครดิตโทเค้นในช่วงเวลาหนึ่งนั้น จะต้องใช้เซลล์ข้อมูลที่เป็นจำนวนเบิรสต์ที่มากกว่า 1,000 เท่าของช่วงการวัด (i) เพื่อให้แน่ใจว่าสถานะของระบบในรอบการจำลองแบบแต่ละรอบอยู่ในสถานะสุ่มจริงๆ

การทดสอบสำหรับแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่งจะแบ่งเป็นสองชุด คือชุดแรกจะเป็นการวัดผลในระยะสั้น ซึ่งจะสุ่มวัดผลทุก 50 เซลล์ที่ผ่านเข้าไปจนกระทั่งมีเซลล์ผ่านเข้าไป 3,000 เซลล์ ในชุดที่สองจะเป็นการวัดผลในระยะยาว ซึ่งเป็นการสุ่มวัดผลทุก 500 เซลล์ที่ผ่านเข้าไปจนกระทั่งได้ครบ 20,000 เซลล์ การทดสอบในแต่ละชุดจะถูกทำซ้ำกันหลายๆ ครั้ง แล้วเฉลี่ยผลที่ได้เพื่อให้เส้นกราฟผลลัพธ์ราบเรียบขึ้น

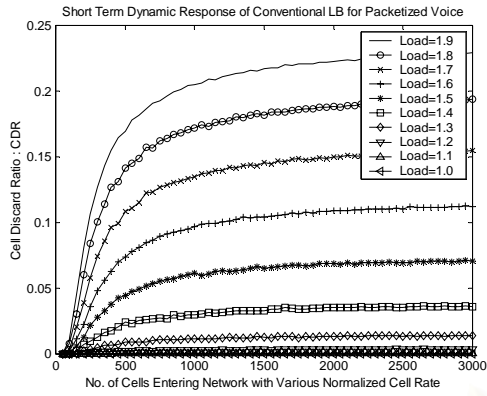
5.2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไว

ข้อมูลผลการทดสอบในด้านความไวที่ได้ถูกนำเสนอในรูปแบบของกราฟที่ 5.4(a)–5.4(f) , 5.5(a)–5.5(f) และ 5.6(a)–5.6(f) โดยเป็นผลการทดสอบของแหล่งกำเนิดเสียง, ภาพนิ่งและวิดีโอโพลีตามลำดับ แกนนอนของกราฟผลการทดสอบคือจำนวนเซลล์ที่ผ่านระบบถังร้วทั้งสองเข้าไป ส่วนแกนตั้งแสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนเซลล์สูญหายที่ถูกระบบถังร้วทั้งสองตัดจิตใจทิ้ง

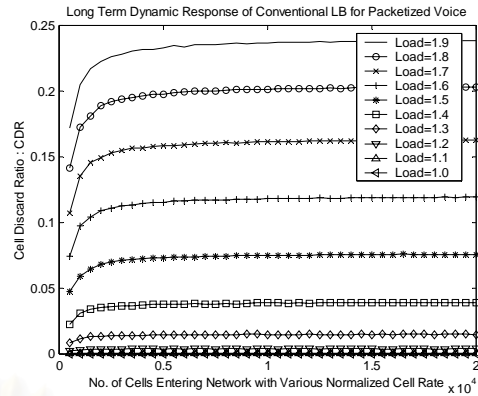
5.2.2.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไวในกรณีของแหล่งกำเนิดเสียง

รูปกราฟผลการทดสอบดังในรูปที่ 5.4(a) และ 5.4(b) เป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไวของถังร้วแบบดั้งเดิมระยะสั้นและยาวตามลำดับ ส่วนรูปกราฟผลการทดสอบดังในรูปที่ 5.4(c) และ 5.4(d) เป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไวของถังร้วแบบเครดิตโทเค็นระยะสั้นและยาวตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสำหรับการละเมิดอย่างทันทีทันใดและเป็นการละเมิดต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ถังร้วแบบดั้งเดิมจะใช้เวลาในการปรับตัวเพื่อรองรับการละเมิดและทำให้ค่าอัตราส่วนเซลล์สูญหายเริ่มมีค่าคงตัวเมื่อแหล่งกำเนิดเริ่มส่งข้อมูลในอัตราข้อมูลที่ละเมิดเข้าไปประมาณ 2,000 เซลล์ แต่สำหรับถังร้วแบบเครดิตโทเค็นจะต้องใช้เวลาประมาณ 6,000 เซลล์ (คิดที่ 90% ของอัตราส่วนเซลล์สูญหายที่ทราฟฟิกโหลด 2.0 สำหรับแต่ละกรณีของถังร้วแบบดั้งเดิมและถังร้วแบบเครดิตโทเค็น) รูปที่ 5.4(b) แสดงให้เห็นว่าเวลาที่ต้องใช้ปรับตัวสำหรับถังร้วแบบดั้งเดิมไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากทราฟฟิกโหลดมากนัก ต่างกับในรูปที่ 5.4(d) ซึ่งถังร้วแบบเครดิตโทเค็นต้องการเวลาในการปรับตัวมากขึ้นเมื่อทราฟฟิกโหลดสูงขึ้น

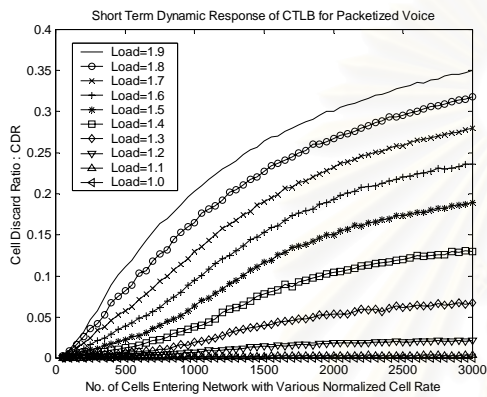
รูปที่ 5.4(e) และ 5.4(f) เป็นเส้นกราฟการทดสอบความไวที่ทราฟฟิกโหลด 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้สำหรับถังร้วทั้งสองระบบ ในระยะสั้นและยาวตามลำดับ ในรูปที่ 5.4(e) ถังร้วแบบดั้งเดิมมีความสามารถในการตรวจพบการละเมิดที่อัตรา 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ตกลงกันไว้ที่ 200 เซลล์ ข้อมูลตั้งแต่เริ่มมีการละเมิด แต่สำหรับถังร้วแบบเครดิตโทเค็นจะมีความสามารถตรวจพบได้ที่ 80 เซลล์ ข้อมูล ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถังร้วแบบเครดิตโทเค็นมีความไวในการตรวจพบที่สูงกว่า เส้นกราฟทั้งสองเส้นมีการปรับตัวไปสู่สถานะที่จะรองรับทราฟฟิกที่ละเมิดได้ใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากถังร้วแบบเครดิตโทเค็นมีประสิทธิภาพทางด้านสภาพเลือกเฟ้นสูงกว่าจึงต้องใช้เวลาานกว่าที่อัตราส่วนเซลล์สูญหายที่มีค่าสูงขึ้น แต่ถ้าหากเป็นการละเมิดระยะสั้นๆ ถังร้วแบบเครดิตโทเค็นจะสามารถตรวจพบได้เร็วกว่าถังร้วแบบดั้งเดิม



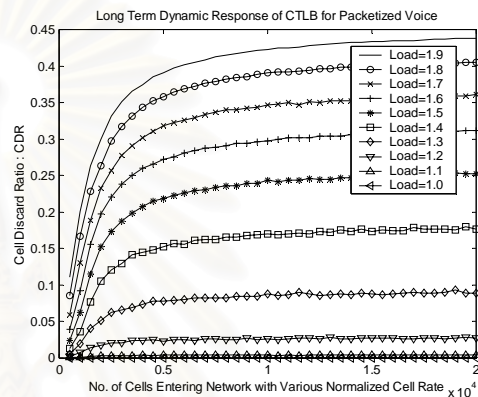
รูปที่ 5.4(a)



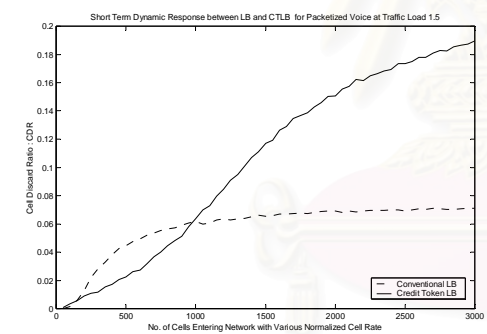
รูปที่ 5.4(b)



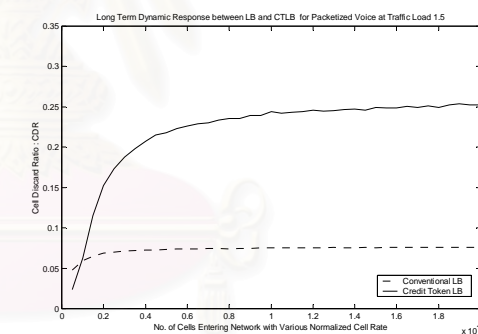
รูปที่ 5.4(c)



รูปที่ 5.4(d)



รูปที่ 5.4(e)



รูปที่ 5.4(f)

รูปที่ 5.4 ผลตอบสนองด้านความไวเมื่อนำถึงรูปแบบดั้งเดิมและถึงรูปแบบเครดิตโทเค็น
ไปทำงานร่วมกับแหล่งกำเนิดเสียง

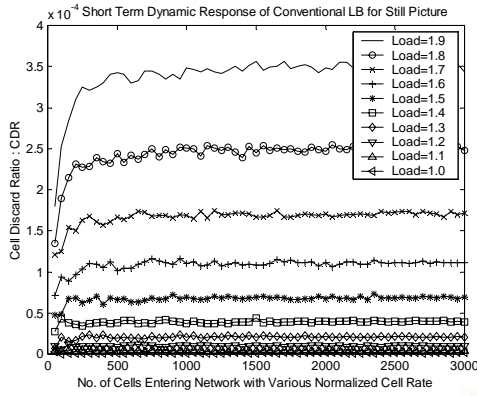
- ถึงรูปแบบดั้งเดิมในระยะสั้น 3,000 เซลล์
- ถึงรูปแบบดั้งเดิมในระยะยาว 20,000 เซลล์
- ถึงรูปแบบเครดิตโทเค็นในระยะสั้น 3,000 เซลล์
- ถึงรูปแบบเครดิตโทเค็นในระยะยาว 20,000 เซลล์
- เปรียบเทียบความไวถึงรูปแบบดั้งเดิมและถึงรูปแบบเครดิตโทเค็นที่โหลด 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ ในระยะสั้น 3,000 เซลล์

- f) เปรียบเทียบความไวถึงรบกวนแบบดั้งเดิมและถึงรบกวนแบบเครดิตโทเค็นที่โหลด 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ ในระยะยาว 20,000 เซลล์

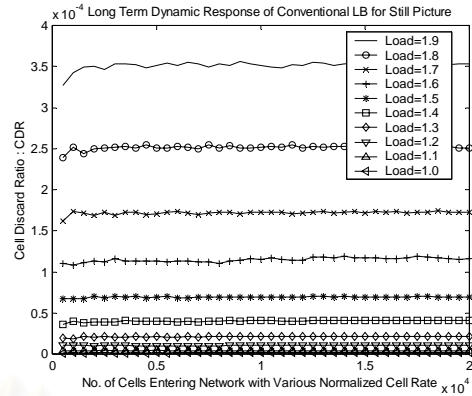
5.2.2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไวในกรณีของแหล่งกำเนิดภาพนิ่ง

รูปที่ 5.5(a) และ 5.5(b) เป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไวของถึงรบกวนแบบดั้งเดิมในระยะสั้นและยาวตามลำดับ ส่วนรูปที่ 5.5(c) และ 5.5(d) เป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไวของถึงรบกวนแบบเครดิตโทเค็นระยะสั้นและยาวตามลำดับ สำหรับการละเมิดอย่างทันทีทันใดและการละเมิดแบบต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จะเห็นได้ว่าถึงรบกวนแบบดั้งเดิมจะใช้เวลาในการปรับตัวเพื่อรองรับการละเมิดและทำให้ค่าอัตราส่วนเซลล์สูญหายเริ่มมีค่าคงตัวที่ต้องใช้เวลาประมาณ 200 เซลล์ (คิดที่ 90% ของอัตราส่วนเซลล์สูญหายที่ทราฟฟิกโหลด 2.0 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ สำหรับแต่ละกรณีถึงรบกวนแบบดั้งเดิมและถึงรบกวนแบบเครดิตโทเค็น) แต่สำหรับถึงรบกวนแบบเครดิตโทเค็นต้องใช้เวลาประมาณ 5,000 เซลล์ ในรูปที่ 5.5(b) แสดงให้เห็นว่าเวลาที่ต้องใช้ปรับตัวสำหรับถึงรบกวนแบบดั้งเดิมไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากทราฟฟิกโหลดมากนัก ต่างกับในรูปที่ 5.5(d) ซึ่งถึงรบกวนแบบเครดิตโทเค็นต้องการเวลาในการปรับตัวมากขึ้นเมื่อทราฟฟิกโหลดสูงขึ้น แต่ก็ไม่มีผลมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไวในกรณีที่แหล่งกำเนิดเป็นแหล่งกำเนิดเสียง

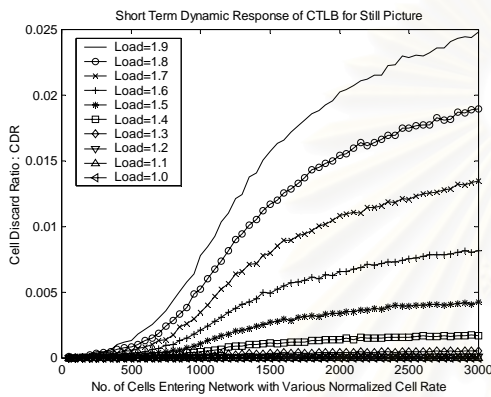
รูปที่ 5.5(e) และ 5.5(f) เป็นเส้นกราฟการทดสอบความไวที่ทราฟฟิกโหลด 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้สำหรับถึงรบกวนทั้งสองระบบ ในระยะสั้นและยาวตามลำดับ ในรูปที่ 5.5(e) ถึงรบกวนแบบดั้งเดิมมีความสามารถในการตรวจพบการละเมิดที่ทราฟฟิกโหลด 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ที่ 50 เซลล์ข้อมูลตั้งแต่เริ่มมีการละเมิด แต่สำหรับถึงรบกวนแบบเครดิตโทเค็นจะมีความสามารถตรวจพบได้ที่ 80 เซลล์ข้อมูล ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถึงรบกวนแบบเครดิตโทเค็นมีความไวในการตรวจพบที่ใกล้เคียงกันกับถึงรบกวนแบบดั้งเดิม แต่เนื่องจากถึงรบกวนแบบเครดิตโทเค็นมีประสิทธิภาพทางด้านสภาพเลือกเฟ้นสูงกว่าจึงต้องใช้เวลาานกว่าที่อัตราส่วนเซลล์สูญหายจะมีค่าสูงขึ้นจนมีค่าคงที่ แต่ถ้าหากเป็นการละเมิดระยะสั้นๆ ถึงรบกวนแบบเครดิตโทเค็นจะมีความสามารถในด้านความไวในการตรวจพบเซลล์ที่ละเมิดใกล้เคียงกับถึงรบกวนแบบดั้งเดิม



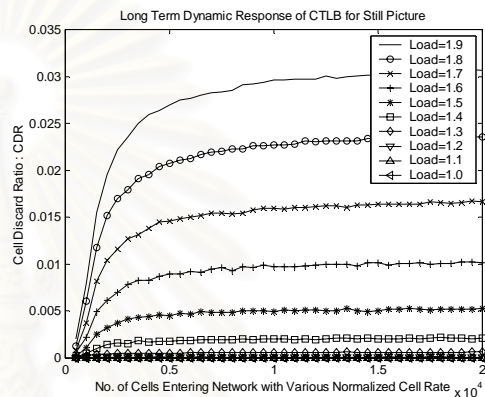
รูปที่ 5.5(a)



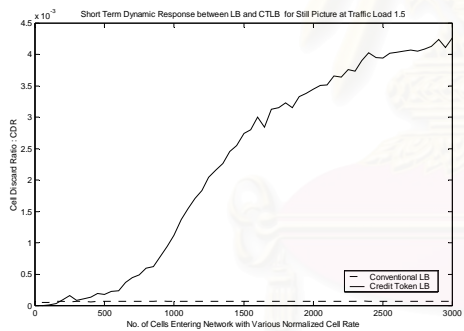
รูปที่ 5.5(b)



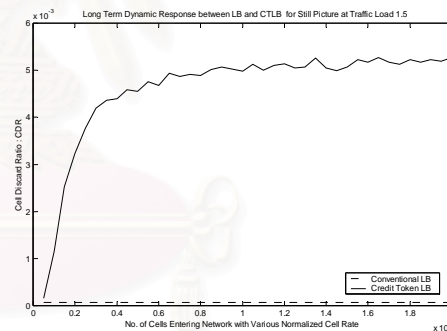
รูปที่ 5.5(c)



รูปที่ 5.5(d)



รูปที่ 5.5(e)



รูปที่ 5.5(f)

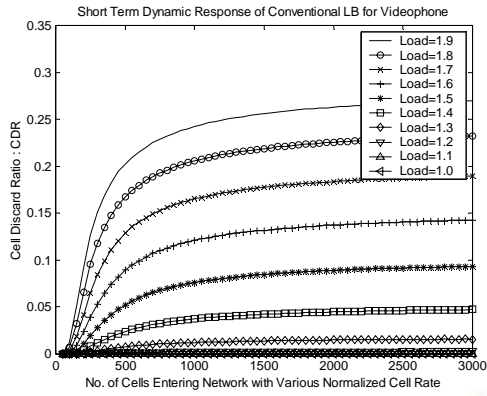
รูปที่ 5.5 ผลตอบสนองทางด้านความไวเมื่อนำถึงระบบดั้งเดิมและถึงระบบเครดิตโทเค็น
ไปทำงานร่วมกับแหล่งกำเนิดภาพหนึ่ง

- ถึงระบบดั้งเดิมในระยะสั้น 3000 เซลล์
- ถึงระบบดั้งเดิมในระยะยาว 20000 เซลล์
- ถึงระบบเครดิตโทเค็นในระยะสั้น 3000 เซลล์
- ถึงระบบเครดิตโทเค็นในระยะยาว 20000 เซลล์
- เปรียบเทียบความไวถึงระบบดั้งเดิมและถึงระบบเครดิตโทเค็นที่โหลด 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ ในระยะสั้น 3000 เซลล์
- เปรียบเทียบความไวถึงระบบดั้งเดิมและถึงระบบเครดิตโทเค็นที่โหลด 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ในระยะยาว 20000 เซลล์

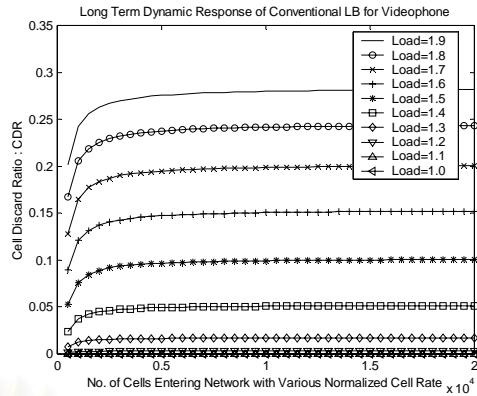
5.2.2.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไวในกรณีของแหล่งกำเนิดวิดีโอโฟน

รูปที่ 5.6(a) และ 5.6(b) เป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไวของถังรับแบบดั้งเดิมใน ระยะสั้นและยาวตามลำดับ ส่วนรูปที่ 5.6(c) และ 5.6(d) เป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไว ของถังรับแบบเครดิตโทเค็นในระยะสั้นและยาวตามลำดับ สำหรับการละเมิดอย่างทันทีทันใดและการละเมิด แบบต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จะเห็นได้ว่าถังรับแบบดั้งเดิมจะใช้เวลาในการปรับตัวเพื่อรองรับการละเมิดและทำให้ค่า อัตราส่วนเซลล์สูญหายเริ่มมีค่าคงตัวที่ประมาณ 1,500 เซลล์ แต่สำหรับถังรับแบบเครดิตโทเค็นต้องใช้เวลา ประมาณ 4,500 เซลล์ (คิดที่ 90% ของอัตราส่วนเซลล์สูญหายที่กราฟฟิกโพลด 2.0 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ ตกกลงกันได้ สำหรับแต่ละกรณีของถังรับแบบดั้งเดิมและถังรับแบบเครดิตโทเค็น) รูปที่ 5.6(b) แสดงให้เห็น ว่าเวลาที่ต้องใช้ปรับตัวสำหรับถังรับแบบดั้งเดิมไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากกราฟฟิกโพลดมากนัก ต่างกับใน รูปที่ 5.6(d) ซึ่งถังรับแบบเครดิตโทเค็นต้องการเวลาในการปรับตัวมากขึ้นเมื่อกราฟฟิกโพลดสูงขึ้น

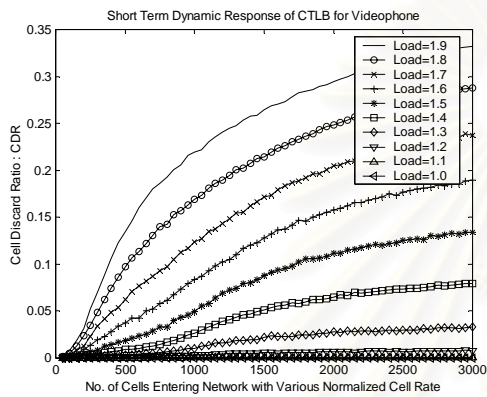
รูปที่ 5.6(e) และ 5.6(f) เป็นเส้นกราฟการทดสอบความไวที่กราฟฟิกโพลด 1.5 เท่าของอัตรา อัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันได้สำหรับถังรับทั้งสองระบบ ในระยะสั้นและยาวตามลำดับ ในรูปที่ 5.6(e) ถังรับ แบบดั้งเดิมมีความสามารถในการตรวจพบการละเมิดที่กราฟฟิกโพลด 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันได้ 100 เซลล์ข้อมูลตั้งแต่เริ่มมีการละเมิด แต่สำหรับถังรับแบบเครดิตโทเค็นจะมีความสามารถตรวจพบได้ที่ 50 เซลล์ข้อมูล ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถังรับแบบเครดิตโทเค็นมีความไวในการตรวจพบที่สูงกว่า เส้นกราฟทั้งสอง เส้นมีค่าความชันสูงสุดใกล้เคียงกันกล่าวคือมีการปรับตัวไปสู่สถานะที่จะรองรับกราฟฟิกที่ละเมิดได้ใกล้เคียง กัน แต่เนื่องจากถังรับแบบเครดิตโทเค็นมีประสิทธิภาพทางด้านสภาพเลือกเฟ้นสูงกว่าจึงต้องใช้เวลาหนานกว่าที่ อัตราส่วนเซลล์สูญหายจะมีค่าสูงขึ้นจนมีค่าคงที่ แต่ถ้าหากเป็นการละเมิดช่วงสั้นๆ ถังรับแบบเครดิตโทเค็น จะสามารถตรวจพบการละเมิดได้เร็วกว่าถังรับแบบดั้งเดิม



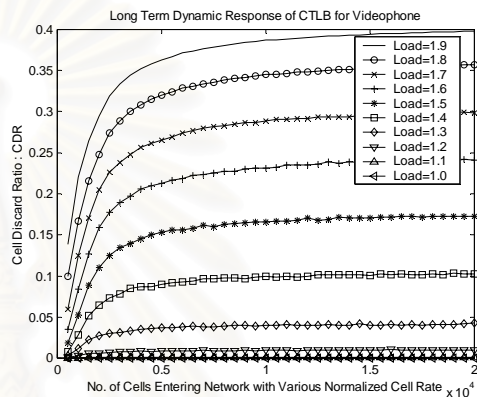
รูปที่ 5.6(a)



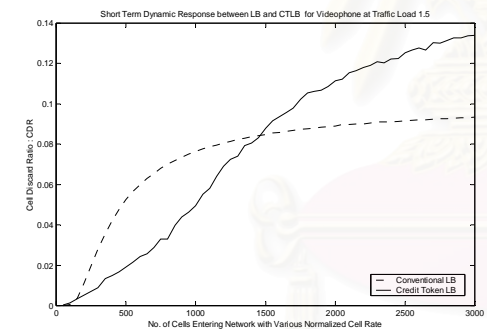
รูปที่ 5.6(b)



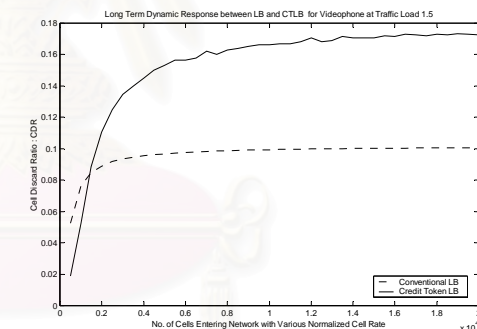
รูปที่ 5.6(c)



รูปที่ 5.6(d)



รูปที่ 5.6(e)



รูปที่ 5.6(f)

รูปที่ 5.6 ผลตอบสนองทางด้านความไวเมื่อนำถึงร้วแบบดั้งเดิมและถึงร้วแบบเครดิตโทเค้น
ไปทำงานร่วมกับแหล่งกำเนิดวิดีโอโฟน

- ถึงร้วแบบดั้งเดิมในระยะสั้น 3000 เซลล์
- ถึงร้วแบบดั้งเดิมในระยะยาว 20000 เซลล์
- ถึงร้วแบบเครดิตโทเค้นในระยะสั้น 3000 เซลล์
- ถึงร้วแบบเครดิตโทเค้นในระยะยาว 20000 เซลล์
- เปรียบเทียบความไวถึงร้วแบบดั้งเดิมและถึงร้วแบบเครดิตโทเค้นที่โหลด 1.5 เท่าของอัตราที่ได้ตกลงกันไว้ ในระยะสั้น 3000 เซลล์
- เปรียบเทียบความไวถึงร้วแบบดั้งเดิมและถึงร้วแบบเครดิตโทเค้นที่โหลด 1.5 เท่าของอัตราที่ได้ตกลงกันไว้ ในระยะยาว 20000 เซลล์

5.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านความไว

ระบบควบคุมพารามิเตอร์การใช้ที่มีประสิทธิภาพทางด้านความไวที่ดี จะต้องเริ่มทิ้งเซลล์ให้เร็วที่สุดตั้งแต่ระบบควบคุมพารามิเตอร์การใช้วินิจฉัยได้ว่าได้เกิดการละเมิดอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้จากแหล่งกำเนิด ผลการทดสอบเมื่อให้แหล่งกำเนิดทั้งสามชนิดละเมิดที่อัตรา 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ ในรูปที่ 5.4(e), 5.5(e) และ 5.6(e) แกนนอนแสดงจำนวนเซลล์ที่เข้าสู่โครงข่ายนับตั้งแต่มีการละเมิดเกิดขึ้น จุดที่กราฟตัดแกนนอนแสดงให้เห็นว่าถึงรั้วทั้งสองระบบสามารถเริ่มทิ้งเซลล์ได้ภายหลังที่เริ่มมีการละเมิดในช่วงเวลาของจำนวนเซลล์ที่เข้าสู่โครงข่ายดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ระยะเวลาในหน่วยของจำนวนเซลล์ที่ถึงรั้วแบบดั้งเดิมและถึงรั้วแบบเครดิตโทเค็นใช้ในการรับรู้ถึงการละเมิดของแหล่งกำเนิดที่อัตรา 1.5 เท่าของอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ของแหล่งกำเนิดประเภท เสียง, ภาพนิ่ง และวิดีโอโฟน

Type of LB	Packetized Voice	Still Picture	Video Phone
Conventional LB	80	40	110
Credit Token LB	30	75	80

สำหรับแหล่งกำเนิดประเภทเสียงและวิดีโอโฟน ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่มีอัตราข้อมูลเฉลี่ยต่างกัน แต่มีค่า Burstiness ใกล้เคียงกัน เห็นได้ว่าระบบถึงรั้วแบบเครดิตโทเค็นจะมีความไวในการเริ่มทิ้งเซลล์ได้เร็วกว่าถึงรั้วแบบดั้งเดิม แต่สำหรับแหล่งกำเนิดภาพนิ่ง ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดข้อมูลที่มีค่า Burstiness สูง ถึงรั้วแบบเครดิตโทเค็นจะมีความไวในการทิ้งเซลล์ช้ากว่าถึงรั้วแบบดั้งเดิมเล็กน้อย

รูปที่ 5.4(b) และ 5.4(d) สำหรับแหล่งกำเนิดประเภทเสียง แสดงให้เห็นว่าถึงรั้วแบบดั้งเดิมใช้เวลาในการปรับตัวรับสภาวะการละเมิดที่ทราบฟีกโหลดต่าง ๆ กันไม่มากนัก ต่างจากถึงรั้วแบบเครดิตโทเค็น เนื่องจากที่ทราบฟีกโหลดเดียวกันถึงรั้วแบบเครดิตโทเค็นมีประสิทธิภาพทางด้านสภาพเลือกเฟ้นที่สูงกว่าจึงต้องใช้เวลาช้านกว่าเพื่อให้อัตราส่วนเซลล์สูญหายเริ่มมีค่าคงตัว เช่นเดียวกันกับ รูปที่ 5.5(b) , 5.5(d) , 5.6(b) และ 5.6(d) สำหรับแหล่งกำเนิดภาพนิ่งและวิดีโอโฟนตามลำดับ

5.3 การทดสอบประสิทธิภาพทางด้านการป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิด

MMDP

จุดประสงค์ของการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านการป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิด MMDP เนื่องจากแหล่งกำเนิดชนิดนี้มีความแตกต่างในด้านการแจกแจงจำนวนเซลล์ข้อมูลในแต่ละเบิร์สต์จากแหล่งกำเนิดแบบเปิดปิด โดยแหล่งกำเนิดชนิด MMDP จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจำนวนเซลล์ใน

แต่ละบิตส์ต่ำกว่า ซึ่งจะสามารถผ่านถึงรับแบบดั้งเดิมด้วยอัตราที่สูงกว่าอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ไปได้โดยง่าย

5.3.1 ค่าพารามิเตอร์ของการจำลองแบบและวิธีการจำลองแบบ

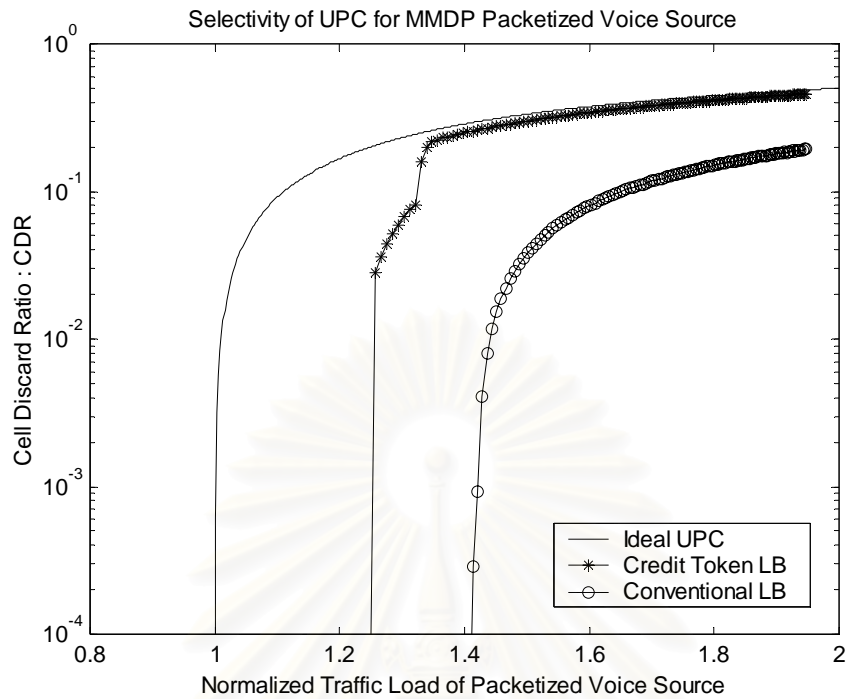
ระบบถึงรับแบบดั้งเดิมและถึงรับแบบเครดิตโทเค็นที่จะนำมาทดสอบประสิทธิภาพทางด้านการป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิด MMDP เป็นระบบเดียวกันกับที่ได้ใช้ทดสอบประสิทธิภาพทางด้านสภาพเลือกเฟ้นในหัวข้อที่ 5.1 แหล่งกำเนิดชนิด MMDP ที่ใช้ทดสอบจะใช้แบบจำลองในหัวข้อที่ 4.1 โดยมีพารามิเตอร์ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ตารางสรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบของแหล่งกำเนิด ถึงรับแบบดั้งเดิม และถึงรับแบบเครดิตโทเค็น เพื่อให้ทดสอบประสิทธิภาพทางด้านการป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิด MMDP

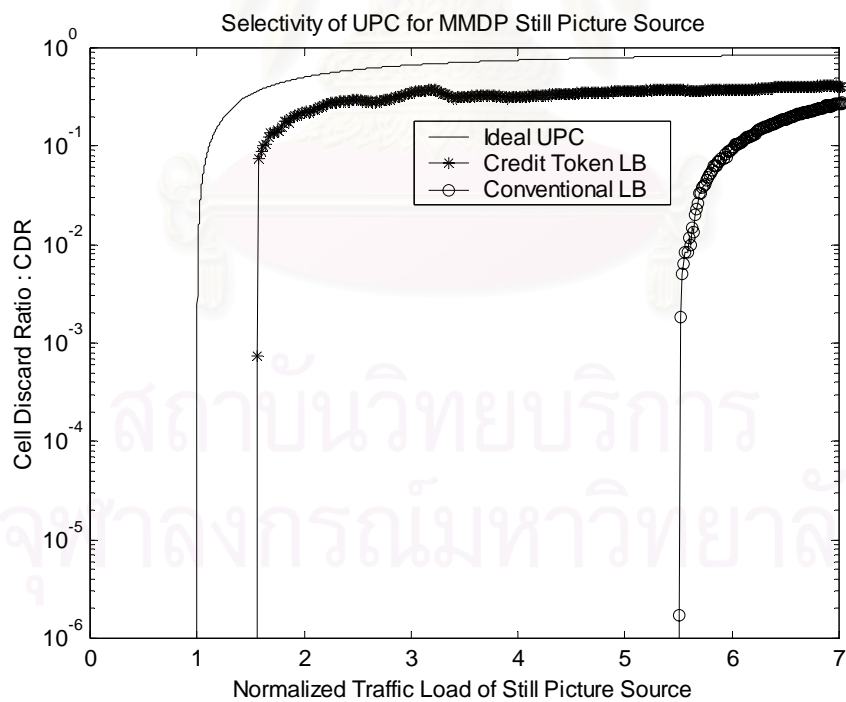
	Parameter	Packetized Voice	Still Picture	Video Phone
Source	Peak Bit Rate (S)	32 kbps	2,000 kbps	10,575 kbps
Model	Mean Bit Rate (r)	11.24 kbps	86.96 kbps	3,900 kbps
Parameters	Burstiness (S/r)	2.847	22.999	2.712
	Mean Burst Length (E(X))	5.0 cells	4.2 cells	4.0 cells
	Silent Period (S)	110.8 ms	17.74 ms	0.2486 ms
	Intercell Arrival Time (Δ)	12 ms	0.192 ms	0.036312 ms
	P_{Loss}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-6}

5.3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านการป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิด MMDP

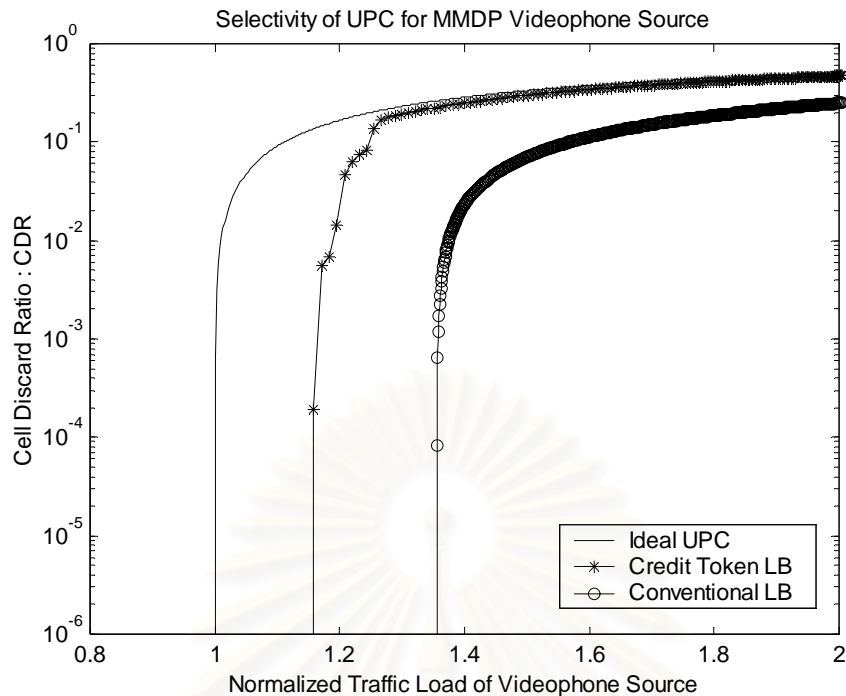
ข้อมูลผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านการป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิด MMDP ถูกนำเสนอในรูปแบบเดียวกันกับผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้านสภาพเลือกเฟ้นในหัวข้อที่ 5.1.2 โดยผลการทดสอบได้จากแหล่งกำเนิดเสียง, ภาพนิ่ง และวิดีโอโฟน ถูกนำเสนอในกราฟรูปที่ 5.7(a), 5.7(b) และ 5.7(c) ตามลำดับ แกนนอนคืออัตราข้อมูลของแหล่งกำเนิดที่นอร์แมลไลซ์ด้วยอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้หรือทราฟฟิกโหลด ส่วนแกนตั้งเป็นอัตราการทิ้งเซลล์เนื่องมาจากการตรวจพบว่าเป็นเซลล์ที่ละเมิดโดยถึงรับสามชนิดคือ ถึงรับในอุดมคติ ถึงรับแบบดั้งเดิม และถึงรับแบบเครดิตโทเค็น



รูปที่ 5.7a กราฟผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้าน การป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิด MMDP สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดเสียง



รูปที่ 5.7b กราฟผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้าน การป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิด MMDP สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดภาพนิ่ง



รูปที่ 5.7c กราฟผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้าน การป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิด MMDP สำหรับกรณีแหล่งกำเนิดวิดีโอโฟน

5.3.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้าน การป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิด ชนิด MMDP

ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางด้าน การป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิด MMDP ทั้งสาม ชนิดคือ เสียง, ภาพนิ่ง และวิดีโอโฟน ในรูปที่ 5.7(a), 5.7(b) และ 5.7(c) ตามลำดับ แสดงอัตราข้อมูลของ แหล่งกำเนิดชนิด MMDP ที่เทียบกับอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ (ทราฟฟิกโหลด) รูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ถึงระบบเครดิตโทเค้นสามารถป้องกันการละเมิดด้วยวิธีการส่งข้อมูลแบบ MMDP ได้ โดยตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบทราฟฟิกโหลดที่แหล่งกำเนิดข้อมูลแบบ MMDP ยังสามารถส่งผ่านข้อมูลเข้าสู่โครงข่ายได้โดยที่ มีอัตราส่วนเซลล์สูญหายเท่ากับอัตราที่ตกลงกันไว้กับหน่วยควบคุมพารามิเตอร์การใช้

ตารางที่ 5.4 อัตราข้อมูลที่สูงสุดของแหล่งกำเนิดชนิด MMDP เมื่อเทียบกับอัตราข้อมูลที่ได้ตกลงกันไว้ ที่ สามารถผ่านเข้าสู่โครงข่ายโดยผ่านระบบถึงระบบดั้งเดิม และถึงระบบเครดิตโทเค้น โดยมีอัตราส่วนเซลล์ สูญหายเป็นไปตามอัตราส่วนเซลล์สูญหายที่ได้ตกลงกันไว้ ในกรณีของแหล่งกำเนิดเสียง, ภาพนิ่ง และวิดีโอโฟน

Type of LB	Packetized Voice	Still Picture	Video Phone
Conventional LB	1.41	5.51	1.36
Credit Token LB	1.25	1.52	1.16
% Reduction of Excessive Traffic	39.0 %	88.4 %	55.6 %

ตารางที่ 5.4 แสดงว่าถึงรูปแบบเครดิตโทเค็นสามารถลดผลกระทบที่เกิดจากการเจตนาส่งข้อมูลเข้ามาในรูปแบบของ MMDP โดยเฉพาะแหล่งกำเนิดที่มีค่า Burstiness สูง เช่นแหล่งกำเนิดภาพยังสามารถลดอัตราข้อมูลจากเดิมเคยผ่านถึงรูปแบบดั้งเดิมเข้าสู่โครงข่าย ด้วยทราฟฟิกโหลด 5.5 เท่าของอัตราที่ได้ตกลงกันได้ เหลือเพียง 1.5 เท่าของอัตราที่ได้ตกลงกันได้ ส่วนแหล่งกำเนิดชนิดอื่นคือ แหล่งกำเนิดเสียงถึงรูปแบบเครดิตโทเค็นสามารถลดอัตราข้อมูลจากเดิมที่เคยผ่านถึงรูปแบบดั้งเดิมเข้าสู่โครงข่ายจาก 1.42 เหลือเพียง 1.24 เท่าของอัตราที่ได้ตกลงกันได้ และ แหล่งกำเนิดวิดีโอโฟน ถึงรูปแบบเครดิตโทเค็นสามารถลดอัตราข้อมูลจากเดิมที่เคยผ่านถึงรูปแบบดั้งเดิมเข้าสู่โครงข่ายจาก 1.36 เหลือ 1.16 เท่าของอัตราที่ได้ตกลงกันได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบในบทที่ 5 สามารถสรุปข้อดีข้อเสียของถึงร้วแบบเครดิตโทเค็นเทียบกับถึงร้วแบบดั้งเดิมและข้อเสนอแนะต่างๆ ได้ดังนี้

6.1 ข้อดีและข้อเสียของถึงร้วแบบเครดิตโทเค็น

ข้อดีและข้อเสียของถึงร้วแบบเครดิตโทเค็นเมื่อเปรียบเทียบกับถึงร้วแบบดั้งเดิมแสดงดังตารางที่

6.1

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของถึงร้วแบบเครดิตโทเค็นกับถึงร้วแบบดั้งเดิม

หัวข้อที่เปรียบเทียบ	ถึงร้วแบบดั้งเดิม	ถึงร้วแบบเครดิตโทเค็น
1. การจัดตั้ง (Implementation)	ง่าย ไม่ยุ่งยาก	ง่าย ไม่ยุ่งยาก
2. ความซับซ้อน (Complexity)	น้อย	ปานกลาง
3. ทรัพยากรที่ต้องการ (Required Resources)	น้อย	มีความต้องการใช้ตัวประมวลผลที่เร็วขึ้นเมื่อแหล่งกำเนิดมีค่า Burstiness สูงขึ้น เพื่อใช้ในการทำนายปริมาณเครดิตโทเค็น
4. การรองรับคุณภาพของการให้บริการ (QOS Support)	สามารถทำได้ในระดับที่ตกลงกันได้	สามารถทำได้ในระดับที่ตกลงกันได้
5. สภาพเลือกเฟ้น (Selectivity)	ดีกว่าถึงร้วแบบเครดิตโทเค็น เมื่อระบบถูกละเมิดด้วยการส่งข้อมูลในอัตราที่สูงกว่าที่ได้ตกลงกันได้ ถึงร้วแบบดั้งเดิมให้อัตราสวนการทิ้งเซลล์ที่ต่ำกว่าถึงร้วแบบเครดิตโทเค็น แต่ก็ไม่มากไปกว่าอัตราสวนการทิ้งเซลล์ของระบบควบคุมพารามิเตอร์การใช้ในอุดมคติ	ดีกว่าถึงร้วแบบดั้งเดิม เมื่อระบบถูกละเมิดด้วยการส่งข้อมูลในอัตราที่สูงกว่าที่ได้ตกลงกันได้ ถึงร้วแบบเครดิตโทเค็นสามารถให้อัตราสวนการทิ้งเซลล์ที่สูงกว่าถึงร้วแบบดั้งเดิม แต่ก็ไม่มากไปกว่าอัตราสวนการทิ้งเซลล์ของระบบควบคุมพารามิเตอร์การใช้ในอุดมคติ โดยเฉพาะแหล่งกำเนิดที่มีค่า Burstiness

		ไม่สูงมากอย่างเช่นแหล่งกำเนิดเสียงและวิดีโอโฟน ถึงรั้วแบบเคอร์ติตโทเค็นสามารถที่จะลดปริมาณเซลล์ส่วนเกินที่เข้าสู่โครงข่ายได้มากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ของเซลล์ส่วนเกินเดิมที่เคยผ่านถึงรั้วแบบดั้งเดิม
6. ความยืดหยุ่นในการปรับสมรรถนะของถึงรั้ว (Flexibility in Performance Adjustment)	น้อยกว่า เพราะมีจำนวนพารามิเตอร์ให้ปรับปรุงในตัวถึงรั้วแบบดั้งเดิมไม่มาก	มากกว่า เนื่องจากค่าพารามิเตอร์มีมากมาย และปรับเปลี่ยนได้ทันทีทันใด โดยเฉพาะอย่างยิ่งพารามิเตอร์ในส่วนของตัวทำนายปริมาณเครดิตโทเค็นด้วยพีชชีลอจิก เช่นการจัดตั้งฟังก์ชันสมาชิก หรือ กฎพีชชี สามารถเปลี่ยนแปลงได้ง่ายและสะดวก
7. ความไว (Sensitivity)	ค่อนข้างที่จะมีความไวสูงกว่าถึงรั้วแบบเครดิตโทเค็นสำหรับแหล่งกำเนิดที่มีค่า Burstiness สูงเช่นแหล่งกำเนิดภาพนิ่ง และมีความไวต่ำกว่าสำหรับแหล่งกำเนิดที่มีค่า Burstiness ต่ำเช่นแหล่งกำเนิดวิดีโอโฟน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นแหล่งกำเนิดที่มีความต้องการคุณภาพของการบริการที่ต่ำกว่าก็จะมี ความไวต่ำลงไปด้วยเช่นแหล่งกำเนิดเสียง	มีความไวไม่ค่อยแตกต่างจากถึงรั้วแบบดั้งเดิมมากนัก แต่ความไวของระบบ จะไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากความหลากหลายของพารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิด ความไวของระบบค่อนข้างมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับแหล่งกำเนิดเสียง, ภาพนิ่ง และวิดีโอโฟนรวมทั้งสามชนิด ซึ่งมีความแตกต่างกันในด้านอัตราข้อมูลเฉลี่ย ค่า Burtiness และคุณภาพของการให้บริการที่ต้องการ
8. การป้องกันการละเมิดจากแหล่งกำเนิดชนิด MMDP	ป้องกันไม่ได้	ป้องกันได้ และจะเห็นผลได้มากชัดเจนยิ่งขึ้นถ้าเป็นแหล่งกำเนิดที่มีค่า Burstiness สูง อย่างเช่นแหล่งกำเนิดภาพนิ่ง

6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยต่อไป

1. โครงสร้างของถังร้วแบบเครดิตโทเค็นที่ผู้วิจัยคิดค้นขึ้น มีพารามิเตอร์มากมายที่ยังสามารถวิจัยหาแนวทางการกำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีอื่นได้อีก เนื่องจากต้นแบบที่ได้ทำการวิจัยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ไปในทางเดียวกันเพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบกับถังร้วแบบดั้งเดิมที่ใช้วิธีกำหนดค่าพารามิเตอร์นี้เช่นเดียวกัน
2. เนื่องจากส่วนโครงสร้างที่เป็นปัญญาประดิษฐ์เป็นการเลือกใช้ระบบฟัซซีลอจิกซึ่งสามารถที่จะกำหนดทางเลือกในการทำงานเพื่อหาหนทางในการสร้างโครงสร้างถังร้วได้หลายวิธี ดังนั้นในการวิจัยต่อไปสามารถเลือกใช้ปัญญาประดิษฐ์อื่นๆได้อีกด้วย หรืออาจจะมีวิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันขึ้นจากค่า Burstiness ที่รับทราบจากขั้นตอนการต่อการเรียก (Call Connection) เพื่อให้เกิดความเหมาะสมสำหรับแต่ละแหล่งกำเนิดที่มีคุณลักษณะแตกต่างกัน

รายการอ้างอิง

- A. M. Law and W. D. Kelton. Simulation Modeling and Analysis. 2 nd ed. Singapore: McGraw-Hill, 1991
- E. P. Rathgeb. Modeling and Performance Comparison of Policing Mechanisms for ATM Networks. Selected Areas in Communications, IEEE Journal on. Vol. 9, pp. 325 - 334, Apr. 1991
- J. -S. R. Jang, C. -T. Sun and E. Mizutani. Neuro-Fuzzy and Soft Computing, A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. USA: Prentice-Hall, 1997
- N. Yin and M. G. Hluchyj. Analysis of the Leaky Bucket Algorithm for On-Off Data Sources. Global Telecommunications Conference, 1991. GLOBECOM '91. Countdown to the New Millennium. Featuring a Mini-Theme on: Personal Communications Services. pp. 254 -260, Vol. 1, 1991
- T. D. Ndousse. Fuzzy Neural Control of Voice Cells in ATM Networks. Selected Areas in Communications, IEEE Journal on. Vol.12, pp. 1488-1494, Dec. 1994
- T. Yang and D. H. K. Tsang. A Novel Approach to Estimating the Cell Loss Probability of an ATM Multiplexer Loaded with Homogeneous On-Off Sources. Communications, IEEE Transactions on. Vol. 43, Issue 1, pp. 117-126, Jan. 1995
- V. Catania, G. Ficili, S. Palazzo and D. Panno. A Fuzzy Expert System for Usage Parameter Control in ATM Networks. Global Telecommunications Conference, 1995. GLOBECOM '95., IEEE. Vol. 2, pp. 1338-1342, 1995
- V. Mannem and R. Sankar. Improved Dual Leaky Bucket Policing Algorithm for ATM Networks. Southeastcon '95. Visualize the Future, Proceedings, IEEE. pp. 6-11, 1995
- Z. Jiang and Z. Liu. An Improved Algorithm of Usage Parameter Control in ATM Networks. Communication Technology Proceedings, 1996. ICCT'96., 1996 International Conference on. Vol. 1, pp. 24-27, 1996

ภาคผนวก

บทความทางวิชาการจากงานประชุมทางวิชาการ The 9th IEEE International Conference on Networks ICON2001 ซึ่งจัดขึ้นในวันที่ 10-12 ตุลาคม พ.ศ.2544 ที่โรงแรมสยามอินเตอร์คอนติเนนตัล, กรุงเทพมหานคร



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Credit Token Leaky Bucket Algorithm with Fuzzy Logic in ATM Networks

Sunya Pinaikul and Watit Benjapolakul

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering

Chulalongkorn University, Pratumwan, Bangkok 10330, THAILAND

Email: d0hyung@ee.eng.chula.ac.th

watit@ee.eng.chula.ac.th

Abstract

This paper proposes a new model of Leaky Bucket (LB) called Credit Token Leaky Bucket (CTLB). Since the leaky rate of conventional LB is more than the negotiated mean cell rate, the performance of Usage Parameter Control (UPC) depends on the burstiness of source and the statistical characteristics of cell stream passing through UPC. Therefore, the lower performance, easily caused by malicious user, may happen. In practical application, fuzzy logic is chosen to be an artificial intelligent part which makes this mechanism work dynamically. Simulation results obviously show that the sensitivity of this proposed algorithm is better than that of conventional LB and is also close to that of ideal UPC. Furthermore, in the simulation results, CTLB returns fewer excessive cells going into ATM networks than the conventional LB does, while CTLB maintains the negotiated Quality of Service(QoS) for conformable sources, it passes cells without delay and still works with acceptable sensitivity.

1. Introduction

ATM is a flexible network for broadband communication. Due to using statistical multiplexing technology, it can serve more kinds of traffic with different characteristics such as data rates, QoS, etc.

UPC recommended by CCITT in I.371 recommendation [1] is a major key technology for controlling the contracted connection agreed by Call Admission Control (CAC) in call set up phase. Function of UPC will be activated when the accounted connection violates the aggregate data rate in order to prevent the other connection's QoS from decreasing down below the guaranteed QoS.

Conventional Leaky Bucket (LB) is one of the most frequently used preventive UPC because of its simplicity in hardware implementation, low complexity and good performance on selectivity and sensitivity. Conventional LB is continuously researched and developed in many ways [2]. By the way,

each of conventional LB's parameters is uniquely defined from source characteristics for the specific connection. Conventional LB's performance depends on source characteristics such as mean burst length, burstiness value, Peak Cell Rate (PCR), Mean Cell Rate (MCR) and especially on the statistical distribution of data stream. The disadvantage of conventional LB is found when cell stream is shaped in order to form the deterministic pattern by malicious user [2][3].

2. Traffic source model

The widely used source model for simulation in UPC topics is the two-phase Markov-Modulated Poisson Process (MMPP) or on-off source model [3]. This model is most similar to the realistic ATM packetized source. Cell stream that comes out from the on-off source contains two phases of data rate. **Figure 1** shows the cycle of 2 phases in the on-off source model. The first phase is the burst phase and followed by the silent phase which is the second phase. After the silent phase, Source will regenerate data in burst phase alternatively again. In burst phase, source generates data stream at Peak Cell Rate (S). The number of cells in each burst are geometrically distributed with mean $E(X)$ and each cell consumes a constant time period Δ . In the silent phase, source does not generate anything. This silent period is exponentially distributed with mean $E(S)$. α and β are the transition rates between the two phases. Three on-off sources, Packetized voice, Still picture and videophone [3][4], is selected for testing the new leaky bucket called Credit Token Leaky Bucket (CTLB). **Table 1** shows their on-off parameters.

3. Credit Token Leaky Bucket (CTLB)

The advantage of conventional unbuffered LB is the easily formed parameters. Only 2 parameters, leaky rate (R) and bucket sizes (B), are solved from source characteristics. Leaky rate (R) of conventional LB

must be more than source mean bit rate (r) with overdimensioning factor ($C > 1$) in the relation $R = Cr$.

$$B = L \frac{(1 - \gamma)(\rho - \gamma)}{\rho(1 - \rho)} \ln \left\{ \frac{(\rho - \gamma)(1 - \rho(1 - P_{LOSS}))}{\rho(1 - \gamma)P_{LOSS}} \right\} \quad (1)$$

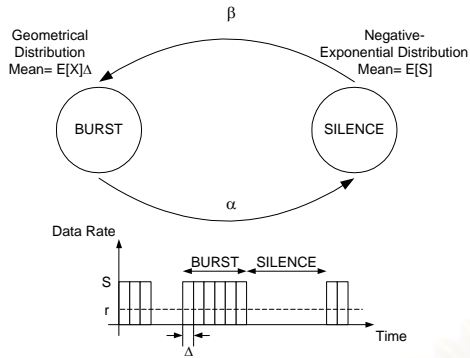


Figure 1: On-off source model

Usually, overdimensioning factor (C) which is equal to the half of burstiness value is sufficient for acceptable selectivity. By Using probability theory [5] the bucket sizes (B) can be estimated from mean burst length (L), source utilization ($\gamma = r/S$) and leaky bucket load ($\rho = r/R = 1/C$) as shown in (1).

Where P_{LOSS} is an acceptable QoS of each source.

The main concept that makes CTLB (in Figure 2) more tolerant to random distribution of burst and silent period is the credit token. **Credit tokens**, generated from credit token predictor, are the special rights for data cells that cannot enter into network when the counter of leaky bucket is more than threshold. It means that even though leaky bucket is filled, the excessive cell can enter network with one cell per one credit token. The maximum number of credit tokens is limited by **credit token pool's** sizes (K). Credit token's lifetime is valid only during specific burst duration. The **credit token predictor** which is controlled by fuzzy logic must regenerate the new group of credit token for the next burst duration. Mini **leaky bucket**, whose size is equal to mean burst length, has a constant leaky rate (R_C) approaching source mean cell rate (r) with the overdimensioning factor ($C_C \rightarrow 1$) according to $R_C = C_C r$. This idea can prevent preshaped cell stream coming from malicious source.

Table 1: On-off source parameters

Source	Peak Bit Rate (S) (kbps)	Mean Bit Rate (r) (kbps)	Mean Burst Length (L) (ms)	Burstiness	P_{LOSS}
Voice	32	11.24	60	2.847	10^{-4}
Still Picture	2000	86.96	500	22.999	10^{-6}
Videophone	10575	3900	0.1452	2.712	10^{-6}

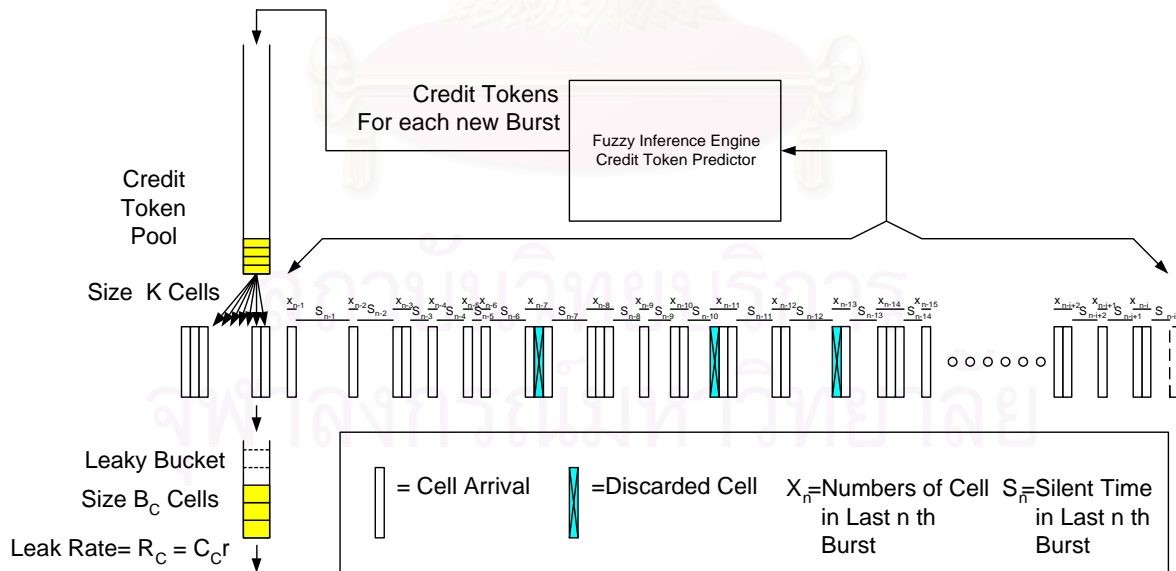


Figure 2: Credit Token Leaky Bucket (CTLB) with fuzzy logic control.

The fuzzy credit token predictor monitors the last i bursts and silent periods passing through UPC. These measured data are very important for prediction. Credit token pool's sizes (K) can be considered as the maximum expanded bucket. Expanded bucket for each cell burst is the amount of credit tokens filled in the credit token pool. Token pool size can be found by observation on the relation between burstiness (S/r) and LB's size (B) with leaky rate of CTLB (R_c) at the same P_{Loss} as shown in (2) and (3).

$$K \propto B \frac{S}{r} \quad (2)$$

$$\text{or } K = kB \frac{S}{r} \quad (3)$$

Where k is a constant

4. Fuzzy Credit Token Predictor

The Mamdani fuzzy model [6] with two inputs and one output monitors the last i bursts and predicts appropriate credit tokens for the new coming burst. The range of monitoring (i) depends on source's burstiness, $i = \eta S/r$ (η is a constant value of monitoring).

The first crisp input is mean cell rate of the last i bursts normalized by the negotiated source mean cell rate (σ_M), as shown in (4) and (5), where X_n is the numbers of cells in the n -th burst and S_n is the silent period of the n -th silence.

$$\bar{r}_{Mi} = \frac{\sum_{n=1}^i X_n}{i \sum_{n=1}^i (\Delta \cdot X_n + S_n)} \quad (4)$$

$$\sigma_M = \frac{\bar{r}_{Mi}}{r} \quad (5)$$

The normalized monitored mean cell rate will be fuzzified by a set of membership function in Table 2. The output of fuzzifier is a fuzzy variable named fuzzy normalized MCR (σ_F)

The another crisp input is the standard mean cell rate ($Z_{ri/10}$) of $i/10$ samples with respect to $i/2$ samples's MCR and standard deviation, as shown in (6),(7) and (8).

$$Z_{ri/10} = \frac{\bar{r}_{Mi/10} - \bar{r}_{Mi/2}}{SD_{ri/2}} \quad (6)$$

$$SD_{ri/2} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{i/2} (\bar{r}_{Mn} - \bar{r}_{Mi/2})^2}{i/2 - 1}} \quad (7)$$

$$\bar{r}_{Mi} = \frac{X_i}{(\Delta \cdot X_i + S_i)} \quad (8)$$

Table 2. Fuzzy normalized MCR (σ_F) membership functions

σ_F MF	Membership Function
$\mu_{\sigma_{M0.90}}$	$\mu_{\sigma_{M0.90}} = \text{Trapezoid}(\sigma_M; 0,0.01,0.90,0.95)$
$\mu_{\sigma_{M0.95}}$	$\mu_{\sigma_{M0.95}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 0.90,0.95,1.00)$
$\mu_{\sigma_{M1.00}}$	$\mu_{\sigma_{M1.00}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 0.95,1.00,1.05)$
$\mu_{\sigma_{M1.05}}$	$\mu_{\sigma_{M1.05}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 1.00,1.05,1.10)$
$\mu_{\sigma_{M1.10}}$	$\mu_{\sigma_{M1.10}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 1.05,1.10,1.15)$
$\mu_{\sigma_{M1.15}}$	$\mu_{\sigma_{M1.15}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 1.10,1.15,1.20)$
$\mu_{\sigma_{M1.20}}$	$\mu_{\sigma_{M1.20}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 1.15,1.20,1.25)$
$\mu_{\sigma_{M1.25}}$	$\mu_{\sigma_{M1.25}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 1.20,1.25,1.30)$
$\mu_{\sigma_{M1.30}}$	$\mu_{\sigma_{M1.30}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 1.25,1.30,1.40)$
$\mu_{\sigma_{M1.40}}$	$\mu_{\sigma_{M1.40}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 1.30,1.40,1.60)$
$\mu_{\sigma_{M1.60}}$	$\mu_{\sigma_{M1.60}} = \text{Triangle}(\sigma_M; 1.40,1.60,1.80)$
$\mu_{\sigma_{M1.80}}$	$\mu_{\sigma_{M1.80}} = \text{Trapezoid}(\sigma_M; 1.60,1.80,100.0,120.0)$

This $i/10$ samples standard MCR ($Z_{ri/10}$) can imply the trend of traffic fluctuation to predictor, as same as the first fuzzy input. The $i/10$ samples standard MCR will be fuzzified by three membership functions in Table 3. The output of fuzzifier is a fuzzy variable named fuzzy standard MCR (Z_F).

Table 3. Fuzzy standard MCR (Z_F) membership functions

Z_F MF	Membership Function
$\mu_{Z_{ri/10}^{NEG}}$	$\mu_{Z_{ri/10}^{NEG}} = \text{Trapezoid}(Z_{ri/10}; -10, -9, -1, 0)$
$\mu_{Z_{ri/10}^{ZERO}}$	$\mu_{Z_{ri/10}^{ZERO}} = \text{Triangle}(Z_{ri/10}; -1, 0, 1)$
$\mu_{Z_{ri/10}^{POS}}$	$\mu_{Z_{ri/10}^{POS}} = \text{Trapezoid}(Z_{ri/10}; 0, 1, 9, 10)$

With 36 fuzzy rules, in form of "If $\sigma_F=A$ and $Z_F=B$ then $Q_F=C$ ", in Table 4 and Mamani max-min inference engine, the output fuzzy variable (Q_F) is a set of weighted value on triangular output membership functions in Table 5. Centroid of area defuzzification [6] of these output membership functions yields amount of credit token normalized by token pool's size ($0 \leq Q \leq 1$). The number of credit tokens of next burst is QK tokens.

Table 4. Fuzzy rules table

"If $\sigma_F=A$ and $Z_F=B$ then $Q_F=C$ "

A \ B	$\mu_{Z_r/10}^{NEG}$	$\mu_{Z_r/10}^{ZERO}$	$\mu_{Z_r/10}^{POS}$
$\mu_{\sigma_{M0.90}}$	C: $\mu_{Q1.0}$	C: $\mu_{Q1.0}$	C: $\mu_{Q1.0}$
$\mu_{\sigma_{M0.95}}$	C: $\mu_{Q1.0}$	C: $\mu_{Q1.0}$	C: $\mu_{Q0.6}$
$\mu_{\sigma_{M1.00}}$	C: $\mu_{Q1.0}$	C: $\mu_{Q1.0}$	C: $\mu_{Q0.4}$
$\mu_{\sigma_{M1.05}}$	C: $\mu_{Q0.8}$	C: $\mu_{Q0.6}$	C: $\mu_{Q0.2}$
$\mu_{\sigma_{M1.10}}$	C: $\mu_{Q0.6}$	C: $\mu_{Q0.4}$	C: $\mu_{Q0.1}$
$\mu_{\sigma_{M1.15}}$	C: $\mu_{Q0.2}$	C: $\mu_{Q0.1}$	C: $\mu_{Q0.06}$
$\mu_{\sigma_{M1.20}}$	C: $\mu_{Q0.1}$	C: $\mu_{Q0.06}$	C: $\mu_{Q0.02}$
$\mu_{\sigma_{M1.25}}$	C: $\mu_{Q0.06}$	C: $\mu_{Q0.04}$	C: $\mu_{Q0.01}$
$\mu_{\sigma_{M1.30}}$	C: $\mu_{Q0.04}$	C: $\mu_{Q0.02}$	C: μ_{Q0}
$\mu_{\sigma_{M1.40}}$	C: $\mu_{Q0.01}$	C: $\mu_{Q0.01}$	C: μ_{Q0}
$\mu_{\sigma_{M1.60}}$	C: $\mu_{Q0.01}$	C: μ_{Q0}	C: μ_{Q0}
$\mu_{\sigma_{M1.80}}$	C: μ_{Q0}	C: μ_{Q0}	C: μ_{Q0}

5. Simulation results and analysis

Our discrete event simulation [7] is based on C++ programming language. MCRs of three source types, normalized with negotiated load, are adjusted by decreasing or increasing $E(X)$ in source models. Conventional LB and CTLB are formed by source characteristics as follows. Conventional LB's overdimensioning factor is equaled to the half of burstiness value but CTLB's overdimension factor is 1.05. Bucket size of conventional LB can be known from (1) and is equaled to mean burstlength in case of CTLB. In addition to CTLB's parameter, $\eta=50$ and $k=0.7$.

For objective in selectivity performance. Let both systems are flooded with negotiated cell rate for enough long period without cell loss counting. After that, we start to count the number of emitting cells and loss cells.

The simulation ending is at 100 lost cells. Simulation will be continued for the next realization until the average result can be acceptable. Figure 3, 4 and 5 show that CTLB shows better selectivity than conventional LB (Fund. LB) and can maintain false alarm probability at required QOS. Figure 6,7 and 8 show how many nonconformable cells can violate into the network in percentage of excessive cells. CTLB lets 14%, more than 45% and 17% of all excessive cells enter network in case of packetized voice, still picture and videophone respectively. It is less when compared with

the case of using conventional LB. The percentage of improvement, caused by migrating from using conventional LB to CTLB, is increased as the fuction of traffic load.

Table 5: Fuzzy normalized credit token (Q_c) membership functions

Q_c MF	Membership Function
μ_{Q0}	$\mu_{Q0.0} = \text{Triangle}(Q;0,0,0,0.01)$
$\mu_{Q0.01}$	$\mu_{Q0.01} = \text{Triangle}(Q;0,0,0.01,0.02)$
$\mu_{Q0.02}$	$\mu_{Q0.02} = \text{Triangle}(Q;0,0.01,0.02,0.04)$
$\mu_{Q0.04}$	$\mu_{Q0.04} = \text{Triangle}(Q;0,0.02,0.04,0.06)$
$\mu_{Q0.06}$	$\mu_{Q0.06} = \text{Triangle}(Q;0,0.04,0.06,0.08)$
$\mu_{Q0.08}$	$\mu_{Q0.08} = \text{Triangle}(Q;0,0.06,0.08,0.1)$
$\mu_{Q0.1}$	$\mu_{Q0.1} = \text{Triangle}(Q;0,0.08,0.1,0.2)$
$\mu_{Q0.2}$	$\mu_{Q0.2} = \text{Triangle}(Q;0,0.1,0.2,0.4)$
$\mu_{Q0.4}$	$\mu_{Q0.4} = \text{Triangle}(Q;0,0.2,0.4,0.6)$
$\mu_{Q0.6}$	$\mu_{Q0.6} = \text{Triangle}(Q;0,0.4,0.6,0.8)$
$\mu_{Q0.8}$	$\mu_{Q0.8} = \text{Triangle}(Q;0,0.6,0.8,1.0)$
$\mu_{Q1.0}$	$\mu_{Q1.0} = \text{Triangle}(Q;0,0.8,1.0,1.0)$

For sensitivity characteristics. After the cell stream is emitted at negotiated cell rate for long enough period, traffic load will increase to 1.5 times of negotiated cell rate. Emitting cells and loss cells are counted. Simulation will end when the both systems count the emitting cell up to 3000 cells and repeat simulation for a new realization. Figure 9, 10 and 11 show cell discard ratio as a function of the number of cells emitted to network. For packetized voice and videophone sources, Sensitivity of CTLB is better than that of conventional LB. CTLB starts to drop cells after 80 cells of packetized voice source's violation and 130 cells in case of conventional LB. For videophone source, it starts to drop cell at 50 cells in case of CTLB and 120 cells in case of conventional LB. High bursty still picture source does not clearly show what type of leaky bucket gives more sensitivity. This unidentified rising point happening from the selectivities at traffic load 1.5 times of normal MCR are different more than 10^2 . It is consistent from high bursty source and long burst period yield the big sized leaky bucket (B_c) and long period of monitoring (i) in CTLB.

6. Conclusion and future works

The simulation results show that this prototype CTLB can improve conventional LB's selectivity and sensitivity. CTLB's

selectivity is close to that of ideal UPC [8] than that of conventional LB while it can maintain connection's QOS. However, a lot of parameters give many opportunity for another researcher to find out the optimum rules for various source's characteristics. With the monitoring section, it is another point for the future work to prove that it is a good method to use with preshaped cell stream and to protect two-phase Markov-Modulated Deterministic Process (MMDP) for violation [9]. Fuzzy logic can be replaced by another artificial intelligence such as neural-network aiming high speed prediction. for the sensitivity performance improvement. CTLB is better than conventional LB. However High bursty source should be treated with the different way of parameters forming. This prototype formula may be appropriate for only medium bursty source. Future research may specify how to optimize these parameters.

References

- [1] Z. Jiang, Z. Liu, Z. Zhou and F. Lu, "A Multiplexer Controlled by Fuzzy Associated Memory Leaky Bucket in ATM Networks", Circuits and Systems, 1997. ISCAS '97., Proceedings of 1997 IEEE International Symposium, vol.1, pp.669 -672, 1997
- [2] V. Catania, G. Ficili, S. Palazzo and D. Panno, "A Fuzzy Expert System for Usage Parameter Control in ATM Networks", Global Telecommunications Conference, 1995. GLOBECOM '95., IEEE, vol. 2, pp. 1338 -1342, 1995
- [3] E. P. Rathgeb, "Modeling and Performance Comparison of Policing Mechanisms for ATM Networks", Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, vol. 9, pp. 325 -3343, Apr. 1991
- [4] Z. Jiang, "An Improved Algorithm of Usage Parameter Control in ATM Networks", Communication Technology Proceedings, 1996. ICCT'96., 1996 International Conference on, vol. 1, pp. 24 -27, 1996
- [5] N. Yin and M. G. Hluchyj, "Analysis of the Leaky Bucket Algorithm for On-Off Data Sources", Global Telecommunications Conference, 1991. GLOBECOM '91. Countdown to the New Millennium. Featuring a Mini-Theme on: Personal Communications Services, pp.254 -260, vol.1, 1991
- [6] J.-S. R. Jang, C.-T. Sun and E. Mizutani, "Neuro-Fuzzy and Soft Computing", A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, USA, Prentice-Hall, 1997
- [7] A. M. Law and W. D. Kelton, "Simulation Modeling and Analysis", 2nd ed., Singapore, McGraw-Hill, 1991
- [8] F. Vakil and H. Saito, "On Congestion Control in ATM Networks", IEEE LTS, vol. 2, pp. 55 -56, Aug. 1991
- [9] T. Yang and D. H. K. Tsang, "A Novel Approach to Estimating the Cell Loss Probability of an ATM Multiplexer Loaded with Homogeneous Bursty Sources", Global Telecommunications Conference, 1992. Conference Record., GLOBECOM'92. Communication for Global Users, IEEE, vol. 1, pp. 511 -517, 1992

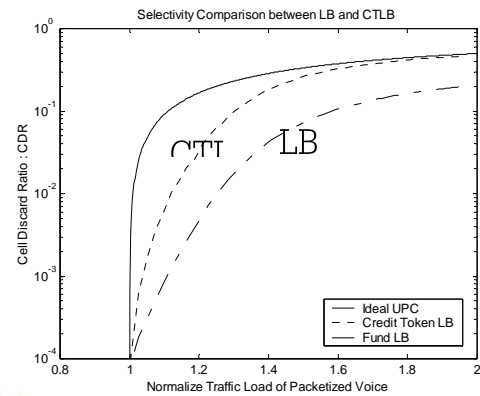


Figure 3. Selectivity performance in case of packetized voice source

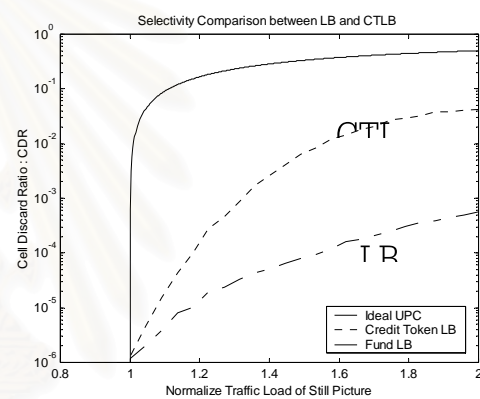


Figure 4. Selectivity performance in case of still picture source

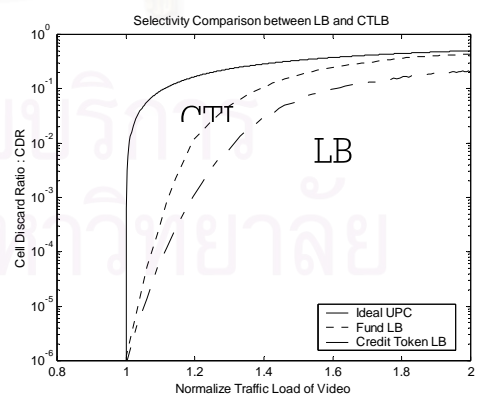


Figure 5. Selectivity performance in case of videophone source

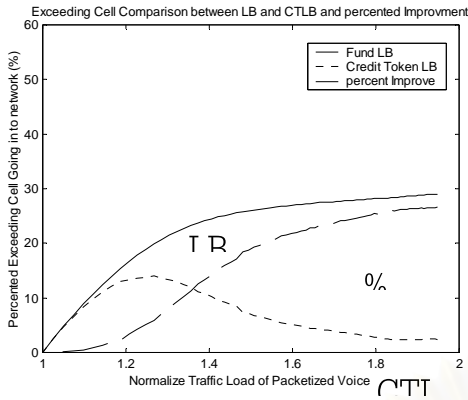


Figure 6. Percentage of excessive cells entering network in case of packetized voice source

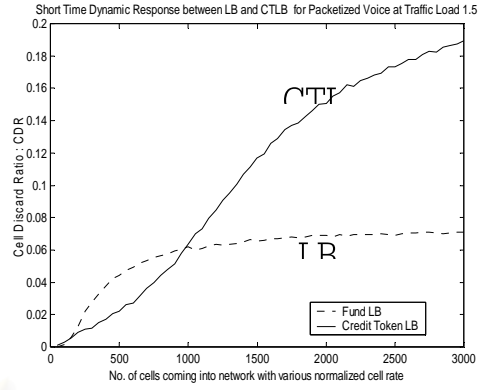


Figure 9. Sensitivity performance in case of packetized voice source

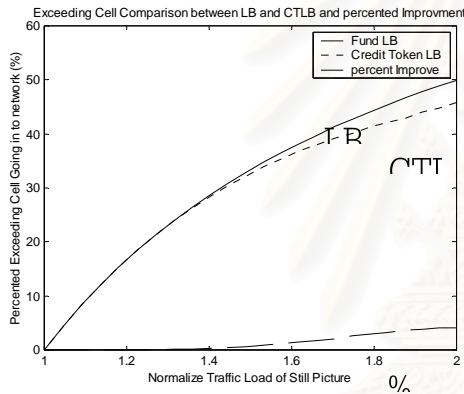


Figure 7. Percentage of excessive cells entering network in case of still picture source

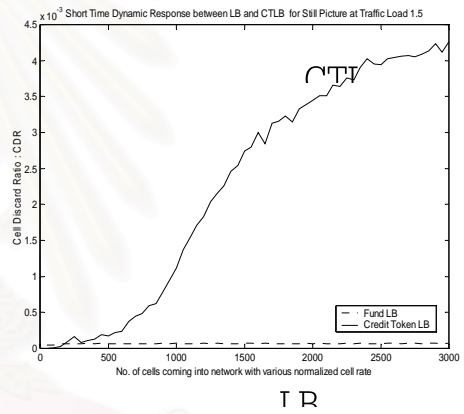


Figure 10. Sensitivity performance in case of still picture source

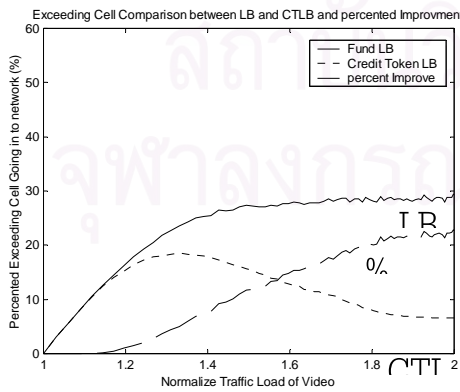


Figure 8. Percentage of excessive cells entering network in case of videophone source

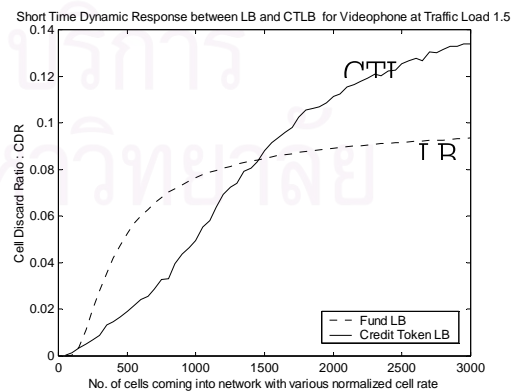


Figure 11. Sensitivity performance in case of videophone source

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสัญญา พิณกุล เกิดเมื่อวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ.2516 ที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2539 และได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรติดตั้งระบบสื่อสารวิทยุ ดาวเทียม VSAT ระบบ TES (Telephony Earth Station) และระบบสื่อสารวิทยุด้วยสายใยแก้วนำแสงในโครงการโทรศัพท์พื้นฐาน ให้กับบริษัท จัสมินเทลคอมส์ซิสเต็ม จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทในเครือ บริษัท จัสมินอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (มหาชน) จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า (โทรคมนาคม) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย