

การปรับปรุงอัลกอริทึมอี-เอฟเอ็มเอ็มอาร์เอสสำหรับบริการเอบีอาร์ในโครงข่ายเอทีเอ็ม



นายบุญช่วง ตันสุเทพวิรวงศ์

สถาบันวิทิตยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542


ISBN 974-332-976-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๙ ๙๙๖๒๖๙๐

12 ส.ย. 2545

IMPROVEMENT OF E-FMMRA ALGORITHM FOR ABR SERVICE IN ATM NETWORKS



Mr. Boonchoung Tansuthepverawongse

สถาบันวิทยบริการ

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

Department of Electrical Engineering

Graduate School

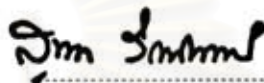
Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-332-976-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงอัลกอริทึมอี-เอฟเอ็มเอ็มอาร์เอสสำหรับบริการเอบีอาร์ในโครงข่ายเอทีเอ็ม
โดย นายบุญช่วง ตันสุเทพวีรวงศ์
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิริทกุลกิจ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

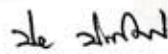


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา กีระนันท์)

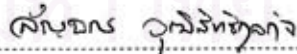
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



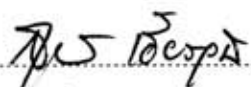
..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิริทกุลกิจ)



..... กรรมการ
(ดร.สุพจน์ เขียวรุฒิ)

บุญช่วง ต้นสุเทพวีรวงศ์ : การปรับปรุงอัลกอริทึมอี-เอฟเอ็มเอ็มอาร์เอสำหรับบริการเอบีอาร์ในโครงข่าย เอทีเอ็ม (IMPROVEMENT OF E-FMMRA ALGORITHM FOR ABR SERVICE IN ATM NETWORKS) อ. ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคลการ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร. ลัญฉกร วุฒิลิทธิกุลกิจ, 136 หน้า. ISBN 974-332-976-5

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA (Enhanced-Fast Max Min Rate Allocation) ที่เป็นแบบแผนการควบคุมความคับคั่งของบริการ ABR ในโครงข่าย ATM ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากที่สุดโดยที่ (1) การแบ่งอัตราการส่งให้ทุกแหล่งกำเนิดถูกต้อง เท่าเทียมกันทุกแหล่งกำเนิด (2) การใช้งานข่ายเชื่อมโยงเต็มที่ และ (3) การประวิงเวลาในคิวที่เหมาะสม จากการศึกษาพบว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม เกิดปัญหาในการจัดการทรัพยากรของโครงข่ายทำให้เกิดการสูญหายของเซลล์และไม่มีความเท่าเทียมกัน สาเหตุมาจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมในการทำงานที่ไม่เหมาะสม, การปรับค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสม และการจัดการขนาดของข้อมูลในคิวที่ไม่ดี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA โดยใช้การกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ย, การควบคุมระดับคิว, การปรับค่าพารามิเตอร์แบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัดและแบนด์วิดท์ที่ข่ายเชื่อมโยงแนะนำ และท้ายสุดจะเป็นการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA ทั้งหมด ผลการจำลองทำงานแสดงว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดสามารถทำงานได้ดีกว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ในด้านการควบคุมคิว และการแบ่งอัตราการส่งให้ถูกต้อง

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ลายมือชื่อนิสิต บุญช่วง ต้นสุเทพวีรวงศ์.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ศ. ประสิทธิ์.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ลัญฉกร วุฒิลิทธิกุลกิจ.....

4070321021

ELECTRICAL ENGINEERING

E-FMMRA / DYNAMIC AVERAGE INTERVAL / QUEUE CONTROL / ABR / ATM /

BOONCHOUNG TANSUTHEPVERAWONGSE : IMPROVEMENT OF E-FMMRA ALGORITHM FOR ABR SERVICE IN ATM NETWORKS. THESIS ADVISOR : PROF. DR. PRASIT PRAPINMONGKOLKARN. THESIS COADVISOR : DR. LUNCHAKORN WUTTISITIKULKIJ. 136 pp. ISBN 974-332-976-5

This thesis is concerned with modifying the E-FMMRA (Enhanced-Fast Max Mix Rate Allocation) algorithm, which is a congestion control scheme for ABR service in an ATM network. The objective of this thesis is to [i] allocate the bandwidth among connections accurately and fairly [ii] allow full link utilization and [iii] maintain appropriate queuing delay. The conventional E-FMMRA algorithm has problem in managing the resources of ATM networks, e.g., inappropriate and incorrect setting parameter average interval (AI) and recorded bottleneck-bandwidth (C_b) and worse queue length management.

This thesis presents a modified version of the E-FMMRA algorithm. The modification includes setting AI, controlling queue length and adjusting both C_b and advertised rate (A_{max}). It is finally shown by simulation that the proposed modification E-FMMRA works better than the conventional E-FMMRA in terms of control queue length and correct rate allocation.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ลายมือชื่อนิสิต บุญจง ดัมลัดเทพวรวิรัตน์.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ประสิทธิ์.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ลุงจอร์จ วุฒิสิติกุลกิจ.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร.ลัญจกร วุฒิสถิตกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณ คุณธนัญ จารุวิทย์โกวิท และคุณนริศ รังษีนพมาศ นิสิตปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ นิสิต กลุ่มวิชาการระบบโทรคมนาคมทุก ๆ ท่าน ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือมาตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน ซึ่งให้การสนับสนุนและกำลังใจ แก่ผู้วิจัยเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา

นายบุญช่วง ดันสุเทพวีรวงศ์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพ	ฅ
สารบัญตาราง	ณ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 การควบคุมความคับคั่งบนโครงข่ายเอทีเอ็ม	4
2.1 ATM Service Architecture	4
2.2 บริการ ABR	6
2.3 การควบคุมความคับคั่งแบบ Rate-Based	8
2.4 อัลกอริทึม FMMRA	9
2.5 อัลกอริทึม E-FMMRA	13
2.6 ปัญหาที่พบในการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA	17
3 วิธีการที่เสนอในการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA	19
3.1 การปรับค่าพารามิเตอร์เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ย AI	19
3.2 การตรวจจับค่าแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัดติดพลาต	23
3.3 การควบคุมคิว	34
3.4 การปรับค่าพารามิเตอร์เมื่อได้รับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย	40
3.5 การปรับค่าพารามิเตอร์ Advertised Rate ที่ไม่เหมาะสม	42
3.6 การปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA	51
4 การจำลองการทำงานและการวิเคราะห์	55
4.1 แบบจำลองการทำงาน	55
4.1.1 Peer to Peer Configuration	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2 Parking Lot Configuration	56
4.1.3 VRB & ABR Configuration	58
4.1.4 Generic Fair Configuration 1	58
4.1.5 Generic Fair Configuration 2	59
4.2 ลักษณะการทำงานของแหล่งกำเนิด	61
4.2.1 แหล่งกำเนิดของบริการ ABR	61
4.2.2 แหล่งกำเนิดของบริการ VBR	62
4.3 การจำลองการทำงานเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม FMMRA และ E-FMMRA	62
4.3.1 การทำงานของอัลกอริทึม FMMRA	62
4.3.2 การทำงานของอัลกอริทึม FMMRA with Buffer Control	64
4.3.3 การทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA	68
4.4 การจำลองปัญหาของอัลกอริทึม E-FMMRA	69
4.4.1 ผลการจำลองการทำงานการตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ย	69
4.4.2 ผลการจำลองการทำงานการปรับปรุงค่าแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัด	81
4.4.3 ผลการจำลองการทำงานการควบคุมระดับคิว	85
4.4.4 ผลการจำลองการทำงานการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย	92
4.4.5 ผลการจำลองการทำงานการปรับปรุงค่าอัตราการส่งที่แนะนำ	98
4.5 ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง	101
4.5.1 ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง Peer to Peer	101
4.5.2 ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง Parking Lot	109
4.5.3 ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง VBR & ABR	116
4.5.4 ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง GFC1	122
4.5.5 ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง GFC2	126
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	130
5.1 สรุป	130
5.2 ข้อดีและข้อเสียของการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA ทั้งหมด	132
5.3 ข้อเสนอแนะ	132
รายการอ้างอิง	134
ประวัติผู้วิจัย	136

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การส่งเซลล์ข้อมูล และเซลล์ RM ในการควบคุมความคับคั่งแบบ Rate-Based	6
รูปที่ 2.2 การปรับค่าเซลล์ RM ที่สวิตช์	7
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของเซลล์ RM	7
รูปที่ 2.4 การปรับอัตราการส่งที่แนะนำกรณีที่มีการเชื่อมไม่ติดขัด	10
รูปที่ 2.5 การปรับอัตราการส่งที่แนะนำกรณีทุกการเชื่อมติดขัด	11
รูปที่ 2.6 การทำงานของอัลกอริทึม FMMRA	12
รูปที่ 2.7 การคำนวณค่าโหลดแฟคเตอร์	13
รูปที่ 2.8 การทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA	17
รูปที่ 3.1 การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยทางเวลา และช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์	20
รูปที่ 3.2 การตั้งค่า AI จำนวนเซลล์ที่น้อยเกินไป และเหมาะสม	21
รูปที่ 3.3 การตั้งค่า AI จำนวนเซลล์ที่เหมาะสม และมากเกินไป	21
รูปที่ 3.4 แบบจำลอง Parking lot	24
รูปที่ 3.5 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_1	25
รูปที่ 3.6 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_2	25
รูปที่ 3.7 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_3	26
รูปที่ 3.8 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_4	26
รูปที่ 3.9 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_5	27
รูปที่ 3.10 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_6	27
รูปที่ 3.11 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_7	28
รูปที่ 3.12 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_8	28
รูปที่ 3.13 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_9	29
รูปที่ 3.14 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_{10}	29
รูปที่ 3.15 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_{11}	30
รูปที่ 3.16 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_{12}	30
รูปที่ 3.17 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_{13}	31
รูปที่ 3.18 การปรับปรุงการตรวจจับค่าแบนด์วิธของการเชื่อมต่อที่ติดขัดผิดพลาดอัลกอริทึม E-FMMRA	31
รูปที่ 3.19 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงค่า C_b เวลา t_{12}	32
รูปที่ 3.20 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงค่า C_b เวลา t_{13}	32
รูปที่ 3.21 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงค่า C_b เวลา t_{14}	32
รูปที่ 3.22 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงค่า C_b เวลา t_{15}	33
รูปที่ 3.23 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงค่า C_b เวลา t_{16}	33

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.24 ระดับคิวต่ำกว่าระดับคิวแรก QT ค่าฟังก์ชันคิวมากกว่า 1	35
รูปที่ 3.25 ระดับคิวอยู่ระหว่างระดับคิวแรก QT และระดับคิวสอง DOT ค่าฟังก์ชันคิวเท่ากับ 1	35
รูปที่ 3.26 ระดับคิวสูงกว่าระดับคิวสอง DOT ค่าฟังก์ชันคือน้อยกว่า 1	35
รูปที่ 3.27 ฟังก์ชันของคิวที่เทียบกับระดับข้อมูลในคิว	36
รูปที่ 3.28 การควบคุมคิวที่เพิ่มขึ้นในอัลกอริทึม E-FMMRA	39
รูปที่ 3.29 การปรับค่าพารามิเตอร์เซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย ในอัลกอริทึม E-FMMRA	41
รูปที่ 3.30 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{11}	44
รูปที่ 3.31 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{12}	44
รูปที่ 3.32 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{13}	45
รูปที่ 3.33 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{14}	45
รูปที่ 3.34 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{15}	46
รูปที่ 3.35 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{16}	46
รูปที่ 3.36 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{15}	47
รูปที่ 3.37 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{18}	47
รูปที่ 3.38 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{19}	48
รูปที่ 3.39 การปรับค่าพารามิเตอร์ A_{max} ให้เหมาะสมในอัลกอริทึม E-FMMRA	48
รูปที่ 3.40 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง และปรับค่า A_{max} ที่เวลา t_{12}	49
รูปที่ 3.41 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง และปรับค่า A_{max} ที่เวลา t_{13}	49

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.42 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b , ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง และปรับค่า A_{max} ที่เวลา t_{13} .	50
รูปที่ 3.43 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b , ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง และปรับค่า A_{max} ที่เวลา t_{14} .	50
รูปที่ 3.44 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด	54
รูปที่ 4.1 แบบจำลองโครงข่ายแบบ Peer to peer configuration	56
รูปที่ 4.2 แบบจำลองโครงข่ายแบบ Parking lot configuration ที่มีแหล่งกำเนิดแทรกเข้าและแทรกออก	57
รูปที่ 4.3 แบบจำลองโครงข่ายแบบ Parking lot configuration ที่แหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้นอย่างเดียว	57
รูปที่ 4.4 แบบจำลองโครงข่ายแบบ VRB & ABR configuration	58
รูปที่ 4.5 แบบจำลองโครงข่ายแบบ GFC 1	59
รูปที่ 4.6 แบบจำลองโครงข่ายแบบ GFC 2	60
รูปที่ 4.7 อัลกอริทึม FMMRA ระยะทางในโครงข่าย LAN	63
รูปที่ 4.8 อัลกอริทึม FMMRA ระยะทางในโครงข่าย WAN	63
รูปที่ 4.9 อัลกอริทึม FMMRA with buffer control แบบจำลอง Peer to peer	65
รูปที่ 4.10 อัลกอริทึม FMMRA with buffer control แบบจำลอง Peer to peer บางแหล่งกำเนิดมีการส่งข้อมูลแบบ burst	65
รูปที่ 4.11 อัลกอริทึม FMMRA with buffer control แบบจำลอง Parking lot	66
รูปที่ 4.12 อัลกอริทึม FMMRA with buffer control แบบจำลอง Parking lot บางแหล่งกำเนิดมีการส่งข้อมูลแบบ burst	67
รูปที่ 4.13 อัลกอริทึม E-FMMRA แบบจำลอง Parking lot บางแหล่งกำเนิดมีการส่งข้อมูลแบบ burst	68
รูปที่ 4.14 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยทางเวลา แบบจำลอง Peer to peer	70
รูปที่ 4.15 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ แบบจำลอง Peer to peer	70
รูปที่ 4.16 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 100 เซลล์ แบบจำลอง Peer to peer	71
รูปที่ 4.17 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 1000 เซลล์ แบบจำลอง Peer to peer	71
รูปที่ 4.18 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 2000 เซลล์ แบบจำลอง Peer to peer	72
รูปที่ 4.19 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์พลวัต แบบจำลอง Peer to peer	73
รูปที่ 4.20 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 1000 เซลล์ แบบจำลอง Peer to peer ที่มีแหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้น	73
รูปที่ 4.21 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์พลวัต แบบจำลอง Peer to peer ที่มีแหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้น	74
รูปที่ 4.22 อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR ในการจำลองทำงานการกำหนดค่าช่วงเวลาเฉลี่ย	75

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.23 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยแบบเวลา แบบจำลอง VBR&ABR	76
รูปที่ 4.24 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ แบบจำลอง VBR&ABR	76
รูปที่ 4.25 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 100 เซลล์ แบบจำลอง VBR&ABR	77
รูปที่ 4.26 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 1000 เซลล์ แบบจำลอง VBR&ABR	77
รูปที่ 4.27 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 2000 เซลล์ แบบจำลอง VBR&ABR	78
รูปที่ 4.28 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์พลวัต แบบจำลอง VBR&ABR	78
รูปที่ 4.29 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ 100 เซลล์ แบบจำลอง VBR&ABR ลดระดับตัดสินใจคิว QT และ DOT	79
รูปที่ 4.30 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ 1000 เซลล์ แบบจำลอง VBR&ABR ลดระดับตัดสินใจคิว QT และ DOT	79
รูปที่ 4.31 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่มีปัญหาการปรับค่าแบนด์วิดท์ที่ติดขัด แบบจำลอง Parking lot ระยะทางในโครงข่าย LAN	82
รูปที่ 4.32 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงการคำนวณแบนด์วิดท์ที่ติดขัด แบบจำลอง Parking lot ระยะทางในโครงข่าย LAN	82
รูปที่ 4.33 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่มีปัญหาการปรับค่าแบนด์วิดท์ที่ติดขัด แบบจำลอง Parking lot ระยะทางในโครงข่าย WAN	83
รูปที่ 4.34 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงการคำนวณแบนด์วิดท์ที่ติดขัด แบบจำลอง Parking lot ระยะทางในโครงข่าย WAN	84
รูปที่ 4.35 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่มีปัญหาการควบคุมระดับคิว แบบจำลอง Peer to peer ระยะทางในโครงข่าย LAN	86
รูปที่ 4.36 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว แบบจำลอง Peer to peer ระยะทางในโครงข่าย LAN	86
รูปที่ 4.37 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่มีปัญหาการควบคุมระดับคิว แบบจำลอง Peer to peer ระยะทางในโครงข่าย WAN	87
รูปที่ 4.38 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว แบบจำลอง Peer to peer ระยะทางในโครงข่าย WAN	87
รูปที่ 4.39 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่มีปัญหาการควบคุมระดับคิว แบบจำลอง Parking lot ระยะทางในโครงข่าย LAN	88
รูปที่ 4.40 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว แบบจำลอง Parking lot ระยะทางในโครงข่าย LAN	88
รูปที่ 4.41 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่มีปัญหาการควบคุมระดับคิว แบบจำลอง Parking lot ระยะทางในโครงข่าย WAN	89
รูปที่ 4.42 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว แบบจำลอง Parking lot ระยะทางในโครงข่าย WAN	89
รูปที่ 4.43 อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR ในการจำลองทำงานปัญหาการควบคุมระดับคิว	90

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.44 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่มีปัญหาการควบคุมระดับคิว แบบจำลอง VBR&ABR	90
รูปที่ 4.45 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว แบบจำลอง VBR&ABR	91
รูปที่ 4.46 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม มีการปรับเซลล์ RM หลายครั้ง แบบจำลอง Peer to peer ระยะทางในโครงข่าย WAN	93
รูปที่ 4.47 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง แบบจำลอง Peer to peer ระยะทางในโครงข่าย WAN	93
รูปที่ 4.48 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม มีการปรับเซลล์ RM หลายครั้ง แบบจำลอง Peer to peer มีแหล่งกำเนิดที่ส่งข้อมูลแบบ burst ระยะทางในโครงข่าย LAN	94
รูปที่ 4.49 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง แบบจำลอง Peer to peer มีแหล่งกำเนิดที่ส่งข้อมูล burst ระยะทางในโครงข่าย LAN	94
รูปที่ 4.50 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม มีการปรับเซลล์ RM หลายครั้ง แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิดส่งข้อมูลไม่พร้อมกัน ระยะทางในโครงข่าย WAN	95
รูปที่ 4.51 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิดส่งข้อมูลไม่พร้อมกัน ระยะทางในโครงข่าย WAN	96
รูปที่ 4.52 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม มีการปรับเซลล์ RM หลายครั้ง แบบจำลอง Parking lot ระยะทางในโครงข่าย WAN	96
รูปที่ 4.53 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง แบบจำลอง Parking lot ระยะทางในโครงข่าย WAN	97
รูปที่ 4.54 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงการคำนวณค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อการเชื่อมต่อ	99
รูปที่ 4.55 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงการคำนวณค่า C_b ปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อการเชื่อมต่อ และการปรับค่า A_{max}	99
รูปที่ 4.56 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด ABR 5 ตัว ระยะทางในโครงข่าย LAN	102
รูปที่ 4.57 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด ABR 5 ตัว ระยะทางในโครงข่าย LAN	102
รูปที่ 4.58 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด ABR 300 ตัว ระยะทางในโครงข่าย LAN	103
รูปที่ 4.59 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด ABR 300 ตัว ระยะทางในโครงข่าย LAN	103

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.75 อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับปรุงทั้งหมดแบบจำลอง Parking lot แบนด์วิดท์ขยายเชื่อมโยงไม่เท่ากัน ระยะทางในโครงข่าย WAN	114
รูปที่ 4.76 อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR ในแบบจำลอง VBR&ABR	116
รูปที่ 4.77 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 5 ตัว ระยะทางในโครงข่าย LAN	117
รูปที่ 4.78 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 5 ตัว ระยะทางในโครงข่าย LAN	117
รูปที่ 4.79 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 2 ตัว ระยะทางในโครงข่าย LAN	118
รูปที่ 4.80 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 2 ตัว ระยะทางในโครงข่าย LAN	118
รูปที่ 4.81 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 2 ตัว ระยะทางในโครงข่าย WAN	119
รูปที่ 4.82 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 2 ตัว ระยะทางในโครงข่าย WAN	119
รูปที่ 4.83 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 2 ตัว ระยะทางในโครงข่าย WAN แหล่งกำเนิด VBR เพิ่มคาบการส่งและหยุดส่ง	120
รูปที่ 4.84 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 2 ตัว ระยะทางในโครงข่าย WAN แหล่งกำเนิด VBR เพิ่มคาบการส่งและหยุดส่ง	120
รูปที่ 4.85 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง GFC1 ระยะทางในโครงข่าย LAN	123
รูปที่ 4.86 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง GFC1 ระยะทางในโครงข่าย LAN	123
รูปที่ 4.87 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง GFC1 ระยะทางในโครงข่าย WAN	124
รูปที่ 4.88 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง GFC1 ระยะทางในโครงข่าย WAN	124
รูปที่ 4.89 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง GFC2 ระยะทางในโครงข่าย LAN	127
รูปที่ 4.90 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง GFC2 ระยะทางในโครงข่าย LAN	127
รูปที่ 4.91 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง GFC2 ระยะทางในโครงข่าย WAN	128
รูปที่ 4.92 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง GFC2 ระยะทางในโครงข่าย WAN	128

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 ฟังก์ชันของข้อมูลในคิว	37
ตาราง 3.2 จำนวนพารามิเตอร์ที่เพิ่มของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด	51



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โครงข่าย ATM (Asynchronous Transfer Mode) เป็นโครงข่ายความเร็วสูงที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับทราฟฟิกแบบต่างๆ เช่น เสียงพูด (Voice), ภาพวิดีโอ (Video) และข้อมูล (Data) ที่มีการรับรองคุณภาพของการให้บริการ (Quality of Service) ซึ่งสามารถแบ่งการให้บริการตามระดับความสำคัญออกได้เป็นบริการ CBR (Constant Bit Rate), บริการ VBR (Variable Bit Rate), บริการ ABR (Available Bit Rate) และบริการ UBR (Unspecified Bit Rate) ตามลำดับของความสำคัญจากมากไปน้อย

บริการ ABR เป็นบริการที่มีการใช้งานทรัพยากร ซึ่งประกอบด้วยแบนด์วิดท์ (Bandwidth) และที่ว่างในคิว (Queue) ที่เหลือจากบริการ CBR และ VBR ซึ่งมีระดับความสำคัญสูงกว่า การใช้งานของทรัพยากรที่เหลือจำเป็นจะต้องมีระบบแผนการควบคุมความคับคั่ง (Congestion Control Scheme) เพื่อช่วยในการจัดการกับบริการ ABR ไม่ให้เกิดการสูญหายหรือการล่าช้าของเซลล์ข้อมูลที่ส่งไปปลายทางมากเกินไป โดยแหล่งกำเนิดจะส่งเซลล์ข้อมูล (Data Cell) ร่วมกับเซลล์ RM (Resource Management Cell) ไปยังปลายทาง เซลล์ RM เป็นเซลล์พิเศษที่ออกแบบมาเพื่อรายงานสถานะและข่าวสารของโครงข่ายขณะนั้นให้กับแหล่งกำเนิดที่ได้รับเซลล์ RM กลับไป ซึ่งแหล่งกำเนิดจะต้องทำการปรับอัตราการส่งให้สอดคล้องกับสถานะของโครงข่าย เพื่อให้โครงข่ายมีการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการออกแบบแผนการควบคุมความคับคั่งในโครงข่ายจึงจำเป็นต้องพิจารณาการทำงานในส่วนของคุณภาพ (Fairness) ของทุกแหล่งกำเนิดที่มีระดับการให้บริการที่เท่ากัน การใช้งานสายเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อในโครงข่าย (Link Utilization) เต็มประสิทธิภาพ ไม่มีช่วงเวลาใดที่ไม่มีการใช้งานหรือส่งข้อมูล และการประวิงเวลาในคิว (Queuing Delay) ก็เหมาะสมไม่มากหรือน้อยจนเกินไป

ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการออกแบบอัลกอริทึมที่ใช้ในการควบคุมความคับคั่งของโครงข่าย ATM หลายลักษณะ ตัวอย่างเช่น อัลกอริทึม E-FMMRA (Enhance Fast Max Min Rate Allocation) เป็นอัลกอริทึมที่ออกแบบมาเพื่อใช้งานกับทราฟฟิกที่มีลักษณะต่อเนื่องตลอดเวลา (Persistence) และแบบรายคาบ (Period, Burst) ประกอบด้วยคาบของการส่งข้อมูล (Burst) และคาบของการหยุดส่งข้อมูล (Silence) อัลกอริทึม E-FMMRA มีการแบ่งอัตราที่แนะนำให้แก่แต่ละการเชื่อมต่อ (Connection) หรือแหล่งกำเนิด (Source) ที่เชื่อมต่อในโครงข่ายให้มีอัตราการส่งที่เท่ากัน ถ้ามีแหล่งกำเนิดที่ไม่สามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราที่แนะนำได้ก็จะแบ่งอัตราการส่งที่ไม่สามารถส่งได้ให้กับแหล่งกำเนิดอื่นที่สามารถเพิ่มอัตราการส่งได้ โดยแบบแผนการควบคุมการคับคั่งจะส่งข่าวสารรวมทั้งอัตราการส่งที่แนะนำของโครงข่ายในเซลล์ RM ที่ส่งจากแหล่งกำเนิดผ่านสวิตช์ที่อยู่ในโครงข่ายไปปลายทางแล้วย้อนกลับไปยังแหล่งกำเนิดอีกครั้งหนึ่ง

วิทยานิพนธ์นี้ทำการศึกษาถึงหลักการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ซึ่งทำงานได้กับแหล่งกำเนิดที่มีการส่งข้อมูลทุกลักษณะของทราฟฟิค และทุกลักษณะของโครงข่าย ทำให้พบว่าอัลกอริทึม E-FMMRA มีข้อจำกัดการทำงานอยู่บางด้านไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีการสูญหายของเซลล์ข้อมูล ไม่มีความเท่าเทียมกัน และมีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเพื่อให้อัลกอริทึม E-FMMRA สามารถใช้งานได้กับทุกทราฟฟิคและลักษณะโครงข่าย โดยจะพิจารณาในส่วนแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่งกำเนิดส่งข้อมูลได้เท่าเทียมกัน มีการประวิงเวลาในคิวที่เหมาะสม และมีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงอย่างเต็มที่

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงแบบแผนการควบคุมความคับคั่งของอัลกอริทึม E-FMMRA ทำให้

1. เพิ่มสมรรถนะการส่งข้อมูลบริการแบบ ABR บนโครงข่าย ATM โดยมีความเท่าเทียมกันของทุกแหล่งกำเนิด มีการประวิงเวลาในคิวที่น้อย (Low Queuing Delay) ไม่เกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูล และมีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงเต็มความจุ (Full Link Utilization) ทำให้ระบบโครงข่ายสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่เกิดการสูญเสียของทรัพยากร (Resource)
2. มีการคำนวณค่าอัตราการส่งของแต่ละการเชื่อมต่ออย่างถูกต้องและคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการใช้งานอัลกอริทึม E-FMMRA ทำให้มีการใช้งานอย่างคุ้มค่ามากที่สุด สามารถส่งข้อมูลของบริการ ABR ได้พร้อมกับบริการที่มีระดับความสำคัญสูงกว่า

1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงสามารถจำลองการทำงานร่วมกับบนโครงข่าย ATM ของแหล่งกำเนิดแบบ Persistent และแหล่งกำเนิดแบบ Burst
2. เปรียบเทียบการใช้งานข่ายเชื่อมโยง, การประวิงเวลาในคิว และความเท่าเทียมกันในการส่งข้อมูล บนโครงข่าย ATM ของ อัลกอริทึมพื้นฐาน FMMRA และ E-FMMRA ดั้งเดิม กับอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุง
3. ปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมให้มีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ไม่ให้มีการสูญหายของเซลล์ข้อมูล

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษามาตรฐานและทฤษฎีต่าง ๆ ของ ATM ในส่วนของการจัดการทราฟฟิค และส่วนที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาแบบแผนในการควบคุมความคับคั่งอัลกอริทึม FMMRA และ E-FMMRA ในสวิตช์ ATM
3. ทดสอบปรับปรุงการตั้งค่า Explicit Rate ของอัลกอริทึม FMMRA และ E-FMMRA ในสวิตช์ ATM
4. เขียนโปรแกรมสร้างแบบแผนเพื่อปรับปรุงอัลกอริทึม FMMRA และ E-FMMRA

5. เขียนโปรแกรมสร้างแบบจำลอง เพื่อทดสอบกับแบบแผนที่ปรับปรุงขึ้นมาและเปรียบเทียบกับ อัลกอริทึม FMMRA และ E-FMMRA

6. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบจากแบบจำลองในส่วนของ ความเท่าเทียมกันของแหล่งกำเนิด, การประวิงเวลาในคิว และการใช้งานข่ายเชื่อมโยง ระหว่างอัลกอริทึม FMMRA และ E-FMMRA กับแบบแผนที่มีการปรับปรุงแล้ว

7. ตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาด

8. สรุปผลงานที่ได้นำเสนอ เขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงพื้นฐานการทำงานของโครงข่าย ATM ในการส่งข้อมูล
2. ปรับปรุงการควบคุมคับคั่งของสวิตซ์ทำให้มีการใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ในการบริการแบบ ABR
3. สามารถทำให้แหล่งกำเนิดแต่ละแหล่งส่งข้อมูลได้เท่าเทียมกันมากขึ้น มีการประวิงเวลาในคิวที่พอเหมาะ และมีการใช้งาน ข่ายเชื่อมโยงอย่างเต็มที่
4. ทำให้มีการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่เกิดผลกระทบจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น และการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ผิดพลาด

ในบทที่ 2 จะกล่าวถึงบริการ ABR ในโครงข่าย ATM รวมทั้งแบบแผนการควบคุมความคับคั่งอัลกอริทึม FMMRA และ E-FMMRA โดยอธิบายปัญหาของอัลกอริทึม E-FMMRA ในบทที่ 3 และแสดงผลการจำลองการทำงานปัญหาในบทที่ 4 และ บทที่ 5 สรุปผลการจำลองและการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การควบคุมความคับคั่งบนโครงข่ายเอทีเอ็ม

โครงข่าย ATM เป็นโครงข่ายความเร็วสูงที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับทราฟฟิก และประเภทของการให้บริการ (Application) ที่มีอยู่อย่างหลากหลาย เช่น เสียงพูด ภาพวิดีโอ และข้อมูล ซึ่งมีการรับรองคุณภาพของการให้บริการ (Quality of Service, QoS) ให้สามารถส่งบริการต่าง ๆ ไปพร้อมกัน [1-3] การควบคุมทราฟฟิก (Traffic) ของโครงข่าย ATM เป็นพื้นฐานที่มีความสำคัญบนความสามารถในการใช้งานโครงข่าย เพื่อให้บริการกับ ทราฟฟิกหรือบริการประเภทต่าง ๆ ของโครงข่ายที่มีการรับรองคุณภาพของการให้บริการที่แตกต่างกันอย่างเหมาะสม ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการกำหนดส่วนของการจัดการทราฟฟิก (Traffic Management) เพื่อให้ได้คุณภาพของการให้บริการสำหรับทุกทราฟฟิกหรือบริการ เป้าหมายหลักของการจัดการทราฟฟิก คือเพื่อป้องกันโครงข่าย รวมทั้งแหล่งกำเนิดและปลายทางของระบบ ไม่ให้เกิดความคับคั่ง ซึ่งทำให้มีการใช้งานทรัพยากรของโครงข่ายอย่างเต็มประสิทธิภาพ

2.1 ATM Service Architecture

บริการที่ใช้งานบนโครงข่าย ATM จะมีความสัมพันธ์กับลักษณะของทราฟฟิก และคุณภาพของการให้บริการ ซึ่งลักษณะของบริการในโครงข่าย ATM สามารถแบ่งได้เป็น บริการที่รองรับการใช้งานแบบ real time และ non real time ที่ขึ้นกับคุณภาพของการให้บริการในส่วนของเวลา (Delay) ที่ต้องการ เช่น CDV (Cell Delay Variation) และ CTD (Cell Transfer Delay) โดยการใช้งานแบบ real time สามารถแบ่งได้เป็นบริการ CBR และ real time VBR ส่วนการใช้งานแบบ non real time แบ่งได้เป็นบริการ non real time VBR, UBR และ ABR โดยมีองค์กรที่กำหนดมาตรฐานของโครงข่าย ATM คือ ATM Forum ได้กำหนดมาตรฐานสำหรับการจัดการทราฟฟิก คือ Traffic Management 4.0 [4] จะกำหนดในส่วนคุณภาพของการให้บริการ และข้อตกลงต่าง ๆ โดยบริการแบบ real time จะต้องส่งข้อมูลในเวลาที่กำหนด ซึ่งคุณภาพของการบริการจะขึ้นกับการประวิงเวลาในโครงข่าย เช่น เสียงพูด, ภาพวิดีโอ, เสียง (audio) และ ภาพเคลื่อนไหว (animation) ส่วนบริการแบบ non real time เป็นบริการที่สามารถรอการประวิงเวลาได้ เช่น จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) โดยอาจจะแบ่งบริการออกเป็น บริการที่มีการควบคุมย้อนกลับจากโครงข่าย และบริการที่ไม่มีการควบคุมย้อนกลับจากโครงข่าย การแบ่งบริการของโครงข่าย ATM ตามลำดับของความสำคัญ ประกอบด้วย

- บริการ CBR (Constant Bit Rate)

บริการ CBR เป็นบริการที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อที่มีการร้องขอแบนด์วิดท์ทั้งหมดที่คงที่ หรือมีทราฟฟิกที่ส่งอย่างสม่ำเสมอ จะมีการใช้งานอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาที่หมดของการเชื่อมต่อ บริการ CBR ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการใช้งานแบบ real time ที่มีความต้องการประวิงเวลาเปลี่ยนแปลง (delay variation) ที่แน่นอน เช่น เสียงหรือวิดีโอที่มีการส่งอย่างต่อเนื่อง ปริมาณแบนด์วิดท์ของบริการ CBR จะใช้ค่าแบนด์วิดท์สูงสุด PCR (Peak Cell Rate) เป็นอัตราการส่ง หรือแบนด์วิดท์ที่แหล่งกำเนิดนั้นต้องการสูงสุด โครงข่ายจะยอมรับการใช้งานของบริการ CBR

โดยการจองทรัพยากรที่กำหนดไว้ตอนเริ่มต้นการเชื่อมต่อ (connection establish) และจะมีการรับรองคุณภาพของการให้บริการซึ่งโครงข่ายจะต้องรับรองในส่วนของการประวิงเวลา

- บริการ rt-VBR (Real time Variable Bit Rate)

บริการ real time VBR จะมีลักษณะที่คล้ายกับบริการ CBR ต่างกันที่เป็นบริการมีลักษณะการส่งข้อมูลแบบไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงตามเวลา มากกว่าที่จะส่งข้อมูลด้วยอัตราคงที่เมื่อเทียบกับเวลา ซึ่งเป็นบริการที่ใช้กับงานที่มีลักษณะแบบ real time มีความต้องการค่าประวิงเวลา และการประวิงเวลาเปลี่ยนแปลงที่แน่นอน จะเหมาะสมสำหรับงานประเภท เสียง และวีดีโอ โดยทราฟฟิกแบบ VBR จะมีการกำหนดค่า PCR และค่าแบนด์วิดท์เฉลี่ย SCR (Sustainable Cell Rate) แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลด้วยอัตราที่แปรเปลี่ยนตามเวลา ซึ่งมีลักษณะทราฟฟิกเป็นแบบ burst โดยเซลล์จะมีการประวิงเวลาอยู่ในช่วงค่าสูงสุดของ CTD ที่กำหนดให้ ซึ่งจะลดลงตามการใช้งาน

- บริการ nrt-VBR (Non real time Variable Bit Rate)

บริการ non real time VBR จะกำหนดพารามิเตอร์ของทราฟฟิกที่เหมือนกับบริการ rt-VBR ทั้ง PCR และ SCR ที่มีลักษณะของทราฟฟิกเป็นแบบ burst แต่ nrt-VBR เป็นบริการที่ไม่ต้องการการส่งข้อมูลทันที โดยจะต้องมีการรับรองแบนด์วิดท์ตามค่า PCR แต่ไม่มีการรับรองขอบเขตของการประวิงเวลา และมีอัตราการสูญหายของเซลล์ CLR (Cell Loss Ratio) ต่ำ

- บริการ ABR (Available Bit Rate)

บริการ ABR ถูกออกแบบสำหรับบริการประเภท non real time ที่ต้องการให้มีค่าอัตราการสูญหายของเซลล์ให้อยู่ในระดับต่ำ บริการ ABR พยายามที่จะปรับปรุงการแบ่งส่วนของแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ระหว่างบริการ ABR ทั้งหมดที่ทำให้เกิดความเท่าเทียมกัน เมื่อโครงข่ายมีการใช้งานบริการอื่นอย่างเบาบาง (low load) การใช้งานบริการ ABR ควรจะมีการส่งที่อัตราสูงขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่าย ทำให้เกิดการใช้งานทรัพยากรของโครงข่ายที่ใช้งานได้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น บริการ ABR จะใช้กลไกการควบคุมย้อนกลับ (feedback control mechanism) ในการกำหนดอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดให้มีความสอดคล้องกับเงื่อนไขของการใช้งานโครงข่ายขณะนั้น แหล่งกำเนิดบริการ ABR จะทำการปรับอัตราการส่งข้อมูลให้สอดคล้องกับอัตราการส่งหรือข่าวสารที่ถูกกำหนดส่งย้อนกลับมา ซึ่งจะป้องกันการสูญหายของเซลล์ และมีการแบ่งแบนด์วิดท์อย่างเท่าเทียมกัน (fairshare) ค่าทราฟฟิกพารามิเตอร์ของบริการ ABR คือ PCR, CDVT และ MCR (Minimum Cell Rate) โดยค่า MCR คือแบนด์วิดท์ที่ต่ำสุดที่บริการ ABR จะต้องรับรองสำหรับการใช้งาน หรือการใช้งานบริการ ABR ควรจะส่งที่อัตราต่ำสุด MCR หรือมากกว่า ถ้ากำหนดค่า MCR มีค่าเท่ากับ 0 จะไม่มีการรับรองให้กับแบนด์วิดท์สำหรับการใช้งานบริการ ABR

- บริการ UBR (Unspecified Bit Rate)

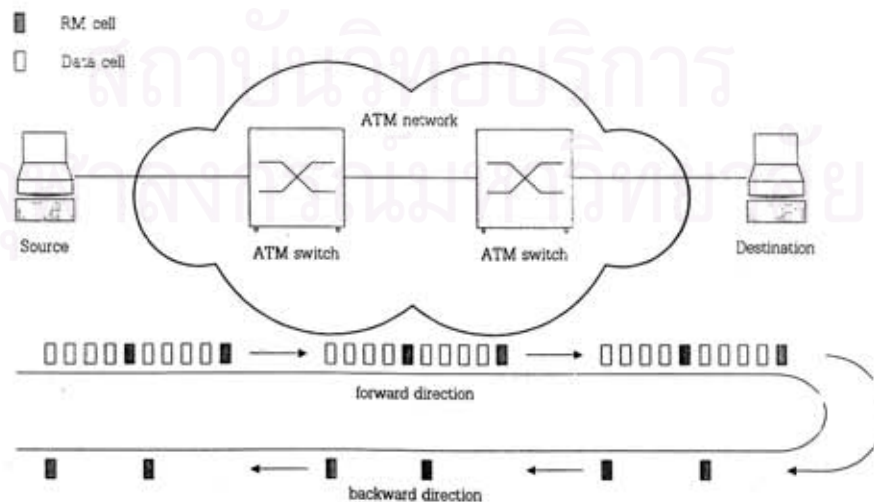
บริการ UBR เป็นบริการที่รองรับการใช้งานแบบ non real time ซึ่งต้องการเพียงแค่ว่าบริการที่พยายามส่งให้ดีที่สุด (best effort) ดังนั้นจะไม่ต้องการการรับรอง QoS ในส่วนของทราฟฟิกพารามิเตอร์ เช่น PCR และ CDVT ซึ่งพารามิเตอร์สามารถจะกำหนดได้ในบริการ UBR แต่ไม่มีความจำเป็น โดยขึ้นอยู่กับโครงข่ายที่จะตัดสินใจว่าค่า PCR เป็นส่วนหนึ่งในส่วนของการจัดการทราฟฟิก (traffic policing) ปัญหาที่พบในการใช้บริการ UBR คือไม่มีการรับรองค่าอัตราการสูญหายของเซลล์ สำหรับบริการต่าง ๆ

ในงานวิจัยนี้มีความสนใจบริการประเภท ABR เนื่องจากเป็นบริการที่มีการใช้งานทรัพยากรที่เหลือจากบริการที่มีระดับความสำคัญสูงกว่า โดยบริการ CBR, rt-VBR และ nrt-VBR จะไม่มีการควบคุมการส่งข้อมูล อาจทำให้โครงข่ายไม่มีการใช้งานเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งบริการ ABR มีการควบคุมการส่งข้อมูล ทำให้สามารถใช้งานข่ายเชื่อมโยงได้เต็มประสิทธิภาพ

2.2 บริการ ABR

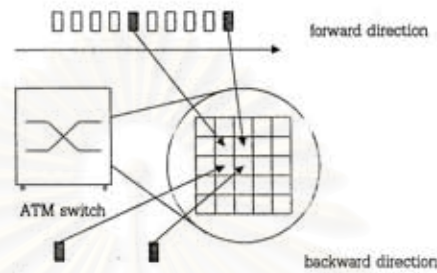
บริการ ABR สามารถรองรับการใช้งานที่ทนต่อการประวิงเวลาได้ แต่ไม่สามารถทนต่อเซลล์ที่หายได้ การเชื่อมโยงแบบ ABR (ABR connection) ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชนิด คือ เซลล์ข้อมูล และเซลล์ RM ตามที่ ATM Forum กำหนด [4] เซลล์ข้อมูลจะบรรจุข้อมูลจากแหล่งกำเนิด ไปยังปลายทาง ส่วนเซลล์ RM ใช้ในการควบคุมการส่งข้อมูล ซึ่งจะส่งจากแหล่งกำเนิดไปปลายทางแล้วกลับไปแหล่งกำเนิด บริการ ABR จะทำการจัดการกับทรัพยากร (แบนด์วิดท์และที่ว่างในบัฟเฟอร์) ของโครงข่ายที่ไม่มีการใช้งาน เมื่อมีแหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้นจำนวนมากทำให้เกิดการแย่งชิงทรัพยากรของโครงข่ายกัน ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดความคับคั่ง ดังนั้นจำเป็นต้องมีแบบแผนการควบคุมความคับคั่ง (Congestion Control Scheme) เพื่อจัดการการแบ่งแบนด์วิดท์ให้มีการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ไม่ให้เกิดความคับคั่ง

บริการ ABR สามารถแบ่งแบบแผนการควบคุมความคับคั่งเป็น 2 ลักษณะ คือ Credit-Based และ Rate-Based โดยการควบคุมความคับคั่งแบบ Credit-Based จะแบ่งการควบคุมความคับคั่งเป็นส่วน ๆ ระหว่างสวิตช์ 2 ตัว โดยสวิตช์ด้านรับจะส่งข้อมูลไปสวิตช์ด้านส่งว่าสามารถรองรับข้อมูลที่ถูกส่งมาได้เท่าไรบ้าง [2,5] ส่วนการควบคุมความคับคั่งแบบ Rate-Based จะเป็นการควบคุมตั้งแต่แหล่งกำเนิดจนถึงปลายทางตลอดทั้งเส้นทาง [2, 5-7] ตามรูปที่ 2.1 ซึ่งการควบคุมความคับคั่งแบบ Rate-Based เป็นการควบคุมตลอดทั้งเส้นทางโดยใช้เซลล์ RM ที่ส่งจากแหล่งกำเนิดต้นทางจนถึงด้านรับปลายทางแล้วย้อนกลับไปแหล่งกำเนิด รูปที่ 2.2 แสดงการปรับเซลล์ RM ที่สวิตช์แต่ละตัวที่อยู่ในเส้นทางจะปรับเซลล์ RM ตามที่สวิตช์ตรวจสอบสถานะได้ ทั้งในทิศทางด้านหน้า (forward direction) และทิศทางย้อนกลับ (backward direction)



รูปที่ 2.1 การส่งเซลล์ข้อมูล และเซลล์ RM ในการควบคุมความคับคั่งแบบ Rate-Based

แบบแผนการควบคุมความคับคั่งสวิตช์จะทำการส่งข้อมูลของโครงข่ายกลับไปยังแหล่งกำเนิดโดยผ่านเซลล์ RM ซึ่งมีขนาดเท่ากับเซลล์ข้อมูล โดยเซลล์ข้อมูลมีขนาด 53 octets ประกอบด้วย header 5 octets และส่วนข้อมูล 48 octets ส่วนเซลล์ RM จะประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของเซลล์ RM โดยส่วนข้อมูลประกอบด้วย บิตระบุทิศทางของเซลล์ RM (DIR, Direction of RM cell), บิตที่ระบุความคับคั่ง (CI, Congestion Indication), บิตที่ระบุให้แหล่งกำเนิดเพิ่มอัตราการส่ง (NI, No Increase), อัตราการส่งสูงสุด (PCR), อัตราการส่งต่ำสุด (MCR), อัตราการส่งขณะนั้น (CCR, Current Cell Rate) และอัตราการส่งที่โครงข่ายแนะนำ (ER, Explicit Rate) เป็นต้น



รูปที่ 2.2 การปรับค่าเซลล์ RM ที่สวิตช์

อัลกอริทึมการควบคุมความคับคั่งจะมีอยู่หลายอัลกอริทึมซึ่งมีการปรับเซลล์ RM ที่ไม่เหมือนกัน ทำให้แต่ละอัลกอริทึมทำงานได้ประสิทธิภาพไม่เท่ากัน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะศึกษา และพัฒนาเฉพาะการควบคุมความคับคั่งแบบ Rate-Based โดย ATM Forum ไม่มีการกำหนดอัลกอริทึมที่ควรใช้ในการควบคุมความคับคั่งที่สวิตช์ในปรับอัตราการส่งของแต่ละการเชื่อมต่อ แต่ละอัลกอริทึมจะมีการปรับค่าในเซลล์ RM ไม่เหมือนกัน ทุกอัลกอริทึมมีเป้าหมายหลักในการคำนวณอัตราการส่งให้มีความเท่าเทียมกันและมีการใช้งานโครงข่ายมากที่สุด สำหรับทุกการเชื่อมต่อของทุกโหนดสวิตช์ในโครงข่าย ATM

8	7	6	5	4	3	2	1	
Header								octet 1 - 5
ID								octet 6
DIR	BN	CI	NI	RA	Res	Res	Res	octet 7
ER								octet 8 - 9
CCR								octet 10 - 11
MCR								octet 12 - 13
QL								octet 14 - 17
SN								octet 18 - 21
Reserved								octet 22 - 51
Res						CRC		octet 52
CRC								octet 53

รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของเซลล์ RM

2.3 การควบคุมความคับคั่งแบบ Rate-Based

การออกแบบอัลกอริทึมการควบคุมความคับคั่งนั้น เป้าหมายในการออกแบบเพื่อให้สวิตช์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อระบบเข้าสู่สถานะอยู่ตัว (steady state) ประกอบด้วย [6-7]

- การใช้งานข่ายเชื่อมโยง คือการใช้งานให้เต็มความจุของข่ายเชื่อมโยงตลอดเวลา
 - การประวิงเวลาในคิว คือการประวิงเวลาในคิวเหมาะสม และใช้ขนาดของคิวน้อย
 - ความเท่าเทียมกันของแหล่งกำเนิด คือการที่ทุกแหล่งกำเนิดที่มีระดับความสำคัญบริการเท่ากันจะต้องส่งข้อมูลด้วยอัตราที่เท่าเทียมกัน
 - การเข้าหาสถานะอยู่ตัว (Convergence) คือโครงข่ายจะปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัว แต่ละแหล่งกำเนิดจะมีอัตราการส่งที่เหมาะสม
 - การตอบสนองกับอัลกอริทึม (Responsiveness) คือการใช้เวลาน้อยที่สุดเพื่อให้อัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิดเข้าใกล้อัตราการส่งที่เหมาะสม
 - ความทนทาน (Robustness) คือโครงข่ายสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด โครงข่ายเกิดความผิดพลาด หรือการปรับพารามิเตอร์ผิดพลาด
 - ข้อจำกัดของขนาด (Scalability) คืออัลกอริทึมควรจะสามารถรองรับการเพิ่มขนาดของโครงข่ายได้ในอนาคต
 - มีความเข้ากันได้ (Compatibility) คืออัลกอริทึมมีการทำงานในมาตรฐาน ATM Forum Traffic Management
 - ความซับซ้อนในการทำงาน (Implementation Complexity) คือความซับซ้อนการออกแบบและใช้งาน
- การออกแบบอัลกอริทึมแบบแผนการควบคุมความคับคั่งในโครงข่าย แบ่งเป็น EFCI (Explicit Forward Congestion Indication) marking, Relative Rate marking และ Explicit Rate marking [7]

1. EFCI Marking

เมื่อโครงข่ายเกิดความคับคั่ง (ระดับคิวในสวิตช์มีขนาดมากกว่าระดับที่กำหนด) สวิตช์จะตั้งค่าบิต EFCI เป็นส่วนของ header ในเซลล์ข้อมูลที่ส่งจากแหล่งกำเนิดในทิศทางด้านหน้าจนถึงปลายทาง ที่ปลายทางจะเก็บค่าบิต EFCI ของเซลล์ข้อมูลตัวสุดท้าย เมื่อปลายทางได้รับเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้า ถ้าค่า EFCI ที่เก็บไว้ที่ปลายทางเป็น 1 ปลายทางก็จะตั้งค่าบิต CI ในเซลล์ RM เป็น 1 แต่ถ้าสวิตช์เก็บค่า EFCI เป็น 0 จะตั้งค่าบิต CI เป็น 0 ด้วย แล้วปลายทางจะทำการส่งเซลล์ RM กลับไปแหล่งกำเนิดในทิศทางย้อน โดยสวิตช์กลางทางจะไม่มีกรปรับค่า CI เมื่อเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับถึงแหล่งกำเนิด ถ้าในเซลล์ RM ค่า CI=1 ค่า Allowed cell rate (ACR) ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิด จะลดลงอย่างน้อย $ACR \cdot RDF$ แต่จะไม่ต่ำกว่าค่า MCR ซึ่งเป็นอัตราการส่งต่ำสุด โดยค่า Rate Decrease Factor (RDF) เป็นสัดส่วนการลดอัตราการส่ง เช่น 1/4

2. Relative Rate marking

เมื่อโครงข่ายเกิดความคับคั่ง สวิตช์กลางทางและปลายทางจะตั้งค่าบิต CI และบิต NI ในเซลล์ RM ทั้งทิศทางด้านหน้าและย้อนกลับ เมื่อบิต CI และ NI มีการตั้งค่าแล้วจะไม่มีกรปรับค่าใหม่ เมื่อแหล่งกำเนิดได้รับเซลล์ RM

ทิศย้อนกลับที่มี $CI = 1$ ค่า ACR จะลดลงเหมือนในกรณีของ EFCI marking ถ้า $CI=0$ และ $NI=0$ ค่า ACR อาจจะไม่เพิ่มอัตราการส่งโดยการเพิ่มแต่ละครั้งจะไม่เกิน $RIF \cdot PCR$ ซึ่งอัตราการส่งจะไม่เกิน PCR ที่เป็นอัตราการส่งสูงสุดของแหล่งกำเนิด ถ้า $NI=1$ ค่า ACR จะไม่มีการปรับค่าเพิ่มขึ้น โดยค่า Rate Increase Factor (RIF) เป็นสัดส่วนการเพิ่มอัตราการส่ง เช่น 1/4

3. Explicit Rate marking

สวิตช์กลางทางและปลายทาง จะปรับค่า ER รวมทั้งบิต CI และ NI ในเซลล์ RM เพื่อให้สอดคล้องกับสถานะทราฟฟิกขณะนั้นที่สวิตช์และข่ายเชื่อมโยงสามารถรองรับได้ โดยค่า ER เริ่มต้นจะตั้งเป็นค่า PCR ที่แหล่งกำเนิด เมื่อผ่านสวิตช์กลางทางค่า ER จะลดลงเรื่อย ๆ หรือคงที่ ขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมการควบคุมความคับคั่ง เมื่อแหล่งกำเนิดได้รับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับ ค่า ACR ของแต่ละแหล่งกำเนิดจะเริ่มปรับให้สอดคล้องกับ CI และ NI ก่อน ซึ่งค่า ACR จะต้องไม่มากกว่าค่า ER ถ้าค่า ER ที่ได้รับน้อยกว่าค่า MCR แหล่งกำเนิดจะตั้งค่า ACR เป็น MCR ทันที ซึ่งค่า ER ใน RM เซลล์จะบอกถึงอัตราการส่งที่โครงข่ายแนะนำให้กับทุกแหล่งกำเนิด เพื่อให้โครงข่ายไม่เกิดความคับคั่ง เช่นอัลกอริทึม ERICA [8], UCSC [9], Phantom [10]

อัลกอริทึม FMMRA (Fast Max Min Rate Allocation) เป็นอัลกอริทึมการควบคุมความคับคั่งแบบ Rate-Based แบบหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมความคับคั่งโครงข่าย ATM ที่ดัดแปลงจากอัลกอริทึม ERICA และ UCSC

2.4 อัลกอริทึม FMMRA

อัลกอริทึม FMMRA [11-12] เป็นอัลกอริทึมที่หาอัตราการส่งสูงสุดที่ลิงค์ (Link) หรือข่ายเชื่อมโยงนั้นแบ่งให้กับทุกการเชื่อมต่อในโครงข่าย หรืออัตราการส่งที่สวิตช์แนะนำ (Advertised rate) ทุกข่ายเชื่อมโยงในโครงข่าย ATM การหาอัตราการส่งอัลกอริทึมจะแบ่งการเชื่อมต่อที่มีการแข่งขันให้ได้แบนด์วิดท์ที่สวิตช์นั้นเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. การเชื่อมต่อที่ติดขัด (Bottleneck connection) คือ การเชื่อมต่อที่ไม่สามารถได้รับแบนด์วิดท์ที่แบ่งให้เท่าเทียมกันที่ลิงค์ เนื่องจากถูกจำกัดด้วยอัตราการส่งสูงสุด หรือถูกจำกัดโดยแบนด์วิดท์ที่ข่ายเชื่อมโยงอื่นแบ่งให้การเชื่อมต่อนี้

2. การเชื่อมต่อที่ไม่ติดขัด (Non-bottleneck connection) คือ การเชื่อมต่อที่ได้รับแบนด์วิดท์จำกัดตามที่ข่ายเชื่อมโยงนี้กำหนดให้

ค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

Advertised rate (γ หรือ A_{max}) คือ อัตราการส่งสูงสุดที่อัลกอริทึมแบ่งให้แต่ละการเชื่อมต่อที่ไม่ติดขัดมีค่าเท่ากัน ที่สถานะอยู่ตัวอัตราการส่งที่สวิตช์แนะนำมีค่าเท่ากับค่าสูงสุดของอัตราการส่งที่แบ่งให้ในแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็นพารามิเตอร์ร่วมของแต่ละการเชื่อมต่อ

Per-connection status เป็นสถานะภาพหรือพารามิเตอร์ของแต่ละการเชื่อมต่อ แบ่งเป็น

- Bottleneck status (β) แสดงว่าเป็นการเชื่อมต่อที่ติดขัดหรือไม่
- Bottleneck bandwidth (λ) แสดงค่าแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัด

อัลกอริทึม FMMRA จะทำการปรับค่า ER ในเซลล์ RM ทั้งทิศทางด้านหน้าและย้อนกลับเมื่อสวิตช์ได้รับ เซลล์ RM โดยเปรียบเทียบค่า ER ที่รับเข้ามาในเซลล์ RM กับค่าอัตราการส่งที่สวิตช์แนะนำ ทุกครั้งที่รับเซลล์ RM ตามสมการ (2.1)

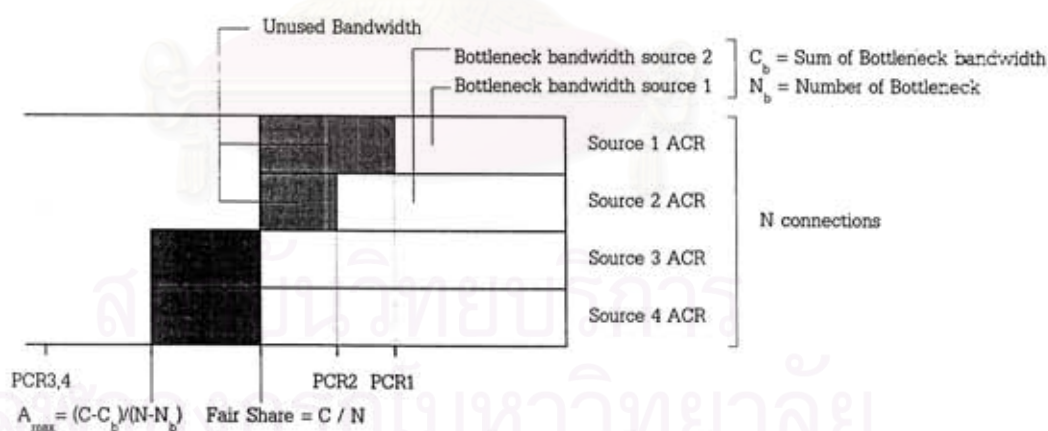
$$ER \text{ in RM cell} = \min (ER \text{ in RM cell}, A_{\max}) \quad (2.1)$$

ถ้าการเชื่อมต่อไม่สามารถใช้ค่าอัตราการส่งที่สวิตช์แนะนำได้ ($ER < A_{\max}$) จะระบุการเชื่อมต่อนั้นว่าเป็นการเชื่อมต่อที่ติดขัด และทำการบันทึกแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัดไว้ ซึ่งแบนด์วิดท์ที่เหลือจากการเชื่อมต่อที่ติดขัด จะทำการแบ่งให้กับการเชื่อมต่ออื่นที่เป็นการเชื่อมต่อที่ไม่ติดขัด โดยจะคำนวณค่าอัตราการส่งที่สวิตช์แนะนำและจำนวนสถานะของการเชื่อมต่อที่ติดขัดใหม่ ค่าสถานะของแต่ละการเชื่อมต่อ β เป็น 1 และ λ เป็นค่า ER

ถ้าการเชื่อมต่อสามารถใช้ค่าอัตราการส่งที่สวิตช์แนะนำได้ ($ER > A_{\max}$) จะระบุการเชื่อมต่อนั้นว่าเป็นการเชื่อมต่อที่ไม่ติดขัด ก็จะปรับอัตราการส่งที่สวิตช์แนะนำเป็นค่า ER ในเซลล์ RM ค่าของแบนด์วิดท์การเชื่อมต่อที่ติดขัด จะถูกตั้งเป็น 0 ค่าสถานะของแต่ละการเชื่อมต่อ β เป็น 0 และ λ เป็นค่า 0

สวิตช์จะทำการปรับค่าอัตราการส่งที่สวิตช์แนะนำ และค่าสถานะของแต่ละการเชื่อมต่อ ทุกครั้งที่มีการรับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับ โดย A_{\max} มีการปรับในรูปที่ 2.4 ตามสมการ (2.2)

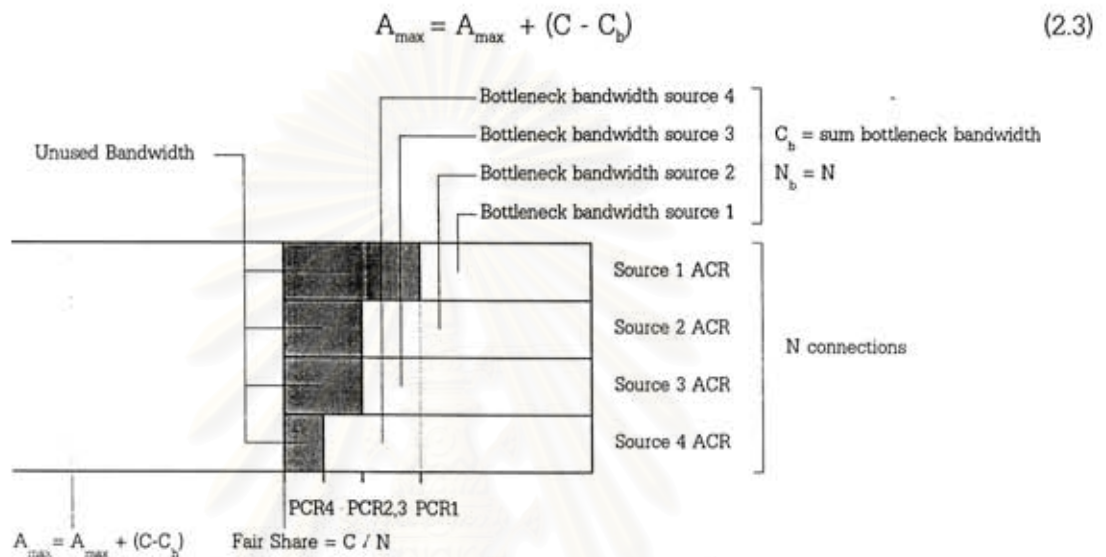
$$A_{\max} = (C - C_b) / (N - N_b) \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.4 การปรับอัตราการส่งที่แนะนำกรณีที่มีการเชื่อมต่อไม่ติดขัด

ค่า C เป็นแบนด์วิดท์ที่บริการ ABR สามารถใช้งานได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับแบนด์วิดท์ที่ใช้ได้ทั้งหมดของข่าย เชื่อมโยงนั้นลบด้วยค่าแบนด์วิดท์ของบริการ CBR และบริการ VBR ที่มีระดับการให้บริการที่สูงกว่า ค่า C_b เป็นแบนด์ วิดท์ของการเชื่อมต่อ ABR ทั้งหมดที่เป็นการเชื่อมต่อที่ติดขัด ค่า N เป็นจำนวนการเชื่อมต่อทั้งหมดที่เป็นการเชื่อมต่อ ABR ส่วน N_b เป็นจำนวนการเชื่อมต่อที่ติดขัดทั้งหมด

การทำงานของอัลกอริทึม FMMRA เมื่อสวิตช์ได้รับเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้า จะทำการปรับค่า ER ในเซลล์ RM ตามสมการ (2.1) แล้วทำการส่งเซลล์ RM ต่อไปจนถึงปลายทางแล้ว ปลายทางจะส่งย้อนกลับมาที่สวิตช์อีกครั้ง สวิตช์จะทำการปรับ ER อีกครั้งตามสมการ (2.1) หลังจากนั้นจะทำการปรับค่าสถานะของการเชื่อมต่อที่หน้าเป็นการเชื่อมต่อที่ติดขัด หรือการเชื่อมต่อที่ไม่ติดขัด แล้วจึงปรับค่า A_{max} ตามสมการ (2.2) ในกรณีที่จำนวนการเชื่อมต่อทั้งหมดมากกว่าจำนวนการเชื่อมต่อที่ติดขัด แต่ถ้าจำนวนการเชื่อมต่อทั้งหมดเท่ากับจำนวนการเชื่อมต่อที่ติดขัด สวิตช์จะทำการปรับค่า A_{max} ในรูปที่ 2.5 ตามสมการ (2.3)



รูปที่ 2.5 การปรับอัตราการส่งที่แนะนำกรณีทุกการเชื่อมต่อติดขัด

หลังจากนั้นจะส่งเซลล์ RM กลับไปยังแหล่งกำเนิด เมื่อแหล่งกำเนิดได้รับเซลล์ RM จากโครงข่ายแล้วจะทำการปรับอัตราการส่งให้สอดคล้องกับค่า ER ในเซลล์ RM เพื่อไม่ให้เกิดความคับคั่งในโครงข่าย ดังนั้นการทำงานของอัลกอริทึม FMMRA แสดงในรูปที่ 2.6

การใช้งานแบบแผนการควบคุมความคับคั่งอัลกอริทึม FMMRA ในโครงข่าย ATM อาจเกิดปัญหาในการปรับค่า ER ในเซลล์ RM [13] เนื่องจาก

1. อัลกอริทึม FMMRA จะไม่มีการตรวจนับจำนวนของการเชื่อมต่อที่มีการส่งข้อมูล หรือจำนวนของการเชื่อมต่อในระบบทั้งหมด ดังนั้นเมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ย (Average Interval) ที่แน่นอน จำเป็นจะต้องมีการตรวจนับการทำงานของแต่ละการเชื่อมต่อ ถ้าในช่วงเวลาเฉลี่ยไม่มีเซลล์ของการเชื่อมต่อที่นั้นจะถือว่าการเชื่อมต่อที่นั้นไม่มีการส่งข้อมูลหรือไม่มีการทำงาน ส่วนการเชื่อมต่อที่มีการส่งเซลล์ที่ช่วงเวลาเฉลี่ยจะถือว่าเป็นการเชื่อมต่อที่มีการทำงาน ดังนั้นจำนวนการเชื่อมต่อบริการ ABR ทั้งหมด (N) จะเป็นการเชื่อมต่อที่ทำงานในช่วงเวลาเฉลี่ย ทำให้การคำนวณค่า A_{max} ตามสมการ (2.2) ได้ถูกต้อง โดยสังเกตว่าการประมาณค่าที่มากเกินไปของจำนวนการเชื่อมต่อ จะทำให้เกิดการใช้งานข่ายเชื่อมโยงที่น้อยเกินไป (under utilization) เพราะมีบางการเชื่อมต่อที่ไม่มีการใช้งาน (ไม่มีข้อมูลส่งผ่านโครงข่าย) แต่โครงข่ายแบ่งแบนด์วิดท์ให้



รูปที่ 2.6 การทำงานของอัลกอริทึม FMMRA

2. อัลกอริทึม FMMRA จะแบ่งอัตราการส่งให้กับแหล่งกำเนิดที่มีการส่งข้อมูลแบบ burst เท่ากับแหล่งกำเนิดที่ส่งข้อมูลแบบตลอดเวลา ซึ่งแหล่งกำเนิดที่มีการส่งข้อมูลแบบ burst อาจจะมีอัตราการส่งข้อมูลตามที่สวิตช์แบ่งให้ในช่วงคาบการส่ง (on period) แต่ค่าเฉลี่ยของอัตราการส่งจะลดต่ำลงเนื่องจากช่วงคาบการหยุดส่ง (off period) มีอัตราการส่งข้อมูลที่น้อยกว่าช่วงคาบการส่งหรือไม่มีการส่งข้อมูล ซึ่งแหล่งกำเนิดที่มีการส่งข้อมูลตลอดเวลาสามารถส่งข้อมูลตามที่สวิตช์แบ่งให้แหล่งกำเนิดแบบ burst มีผลทำให้การใช้งานชายเชื่อมโยงลดลงในช่วงคาบการหยุดส่ง ดังนั้นโหลดแฟกเตอร์ (load factor) จะเป็นตัวประกอบที่ใช้ในการแก้ไขการคำนวณค่า A_{max} เพื่อตั้งค่า ER

อัลกอริทึม FMMRA เมื่อมีแหล่งกำเนิดที่ไม่สามารถใช้อัตราการส่งตามที่โครงข่ายแนะนำหรือค่า ER ในเซลล์ RM ที่ตรงข้าม (ค่า ACR น้อยกว่าค่า ER ในเซลล์ RM ที่แหล่งกำเนิดได้รับ) ทำให้การใช้งานชายเชื่อมโยงลดลง จะมีการปรับปรุงโดยใช้ค่าโหลดแฟกเตอร์ช่วยในการตั้งค่า ER เรียกว่าอัลกอริทึม FMMRA with buffer control

ค่าโหลดแฟกเตอร์ (z) เป็นสัดส่วนระหว่างอัตราการส่งเข้าที่สวิตช์ของบริการ ABR ทารด้วยอัตราส่งออกจากสวิตช์ของบริการ ABR ทั้งหมดที่ใช้ได้ ซึ่งค่า z สามารถเป็นตัวบอกระดับของความคับคั่งที่ชายเชื่อมโยงได้ตามรูปที่ 2.7 ถ้า $z \gg 1$ แสดงว่าโครงข่ายเริ่มเกิดความคับคั่งอย่างรุนแรง ถ้า $z < 1$ แสดงว่าชายเชื่อมโยงมีการใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพ ถ้า $z = 1$ มีการใช้งานชายเชื่อมโยงเต็มที่ การคำนวณค่า z ตามสมการ (2.4)

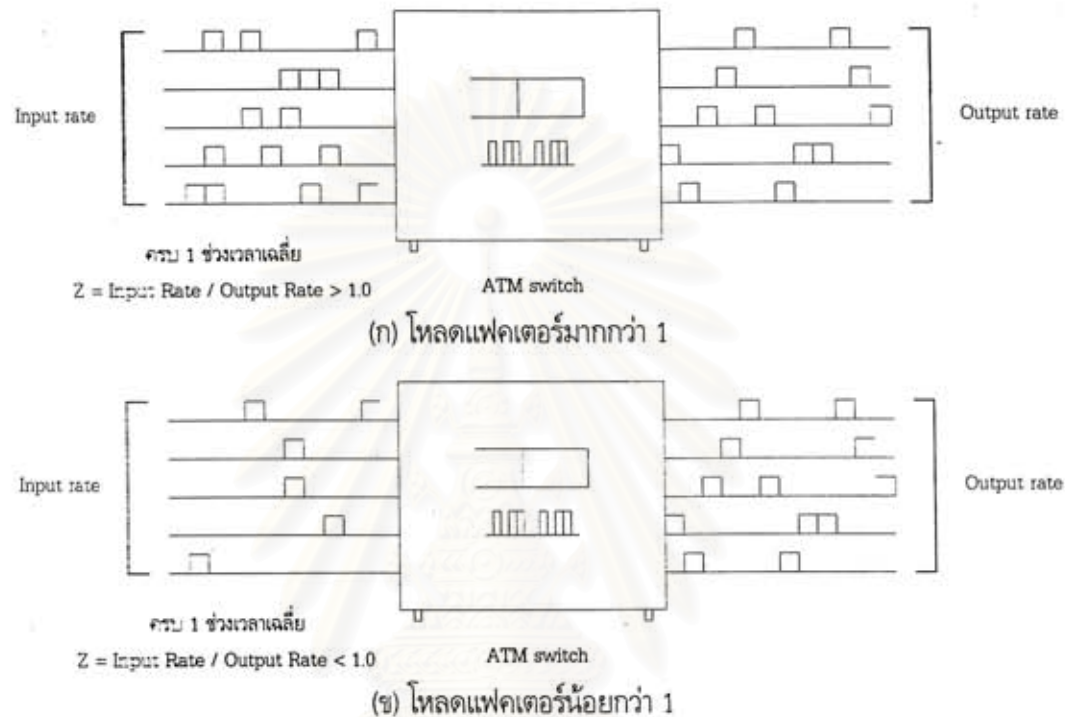
$$z = (\text{ABR Input Rate}) / (\text{Target ABR Capacity}) \quad (2.4)$$

อัลกอริทึม FMMRA with buffer control มีการปรับค่า ER ในเซลล์ RM ใหม่สำหรับการเชื่อมต่อที่ไม่ติด

ชุด คือ

$$ER \text{ in RM cell} = \min (ER \text{ in RM cell}, \max (A_{\max}, CCR/z)) \quad (2.5)$$

แต่ถ้าเป็นการเชื่อมต่อที่ติดขัดจะปรับ ER ตามสมการ (2.1) โดยค่า CCR เป็นค่าอัตราการส่งขณะนั้นที่อยู่ในเซลล์ RM ที่ได้รับล่าสุดก่อนที่จะทำการปรับค่า ER ในเซลล์ RM



รูปที่ 2.7 การคำนวณค่าโหลดแพคเตอร์

2.5 อัลกอริทึม E-FMMRA

อัลกอริทึม E-FMMRA (Enhance Fast Max Min Rate Allocation) [13] ใช้โหลดแพคเตอร์และค่าน้ำหนักเฉลี่ยของค่า ER ในเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับในการคำนวณค่า ER โดยการปรับค่า ER ในเซลล์ RM จะใช้ค่าน้ำหนักเฉลี่ย ER แทนที่ค่า CCR ในเซลล์ RM ของอัลกอริทึม FMMRA with buffer control เพราะค่า CCR ไม่ใช่อัตราการส่งจริงที่แหล่งกำเนิดส่งข้อมูล เป็นเพียงอัตราที่แหล่งกำเนิดถูกแนะนำให้ส่งข้อมูล หรือค่า ER ในเซลล์ RM ที่แหล่งกำเนิดได้รับ อัลกอริทึม E-FMMRA จะใช้ค่าน้ำหนักเฉลี่ย ER ร่วมกับค่าโหลดแพคเตอร์ในการตั้งค่า ER ซึ่งค่าน้ำหนักเฉลี่ย ER จะมีผลตามการเปลี่ยนแปลงอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดทุกตัวที่เชื่อมต่อกับสวิตช์นั้น โดยจะนำค่า ER ที่เปลี่ยนแปลงมาทำการปรับน้ำหนักเฉลี่ย ดังนั้นการปรับค่า ER ในเซลล์ RM ที่มีการใช้ค่าน้ำหนักเฉลี่ย ER ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงร่วมกันของทุกแหล่งกำเนิดจะมีการปรับค่าที่สัมพันธ์กัน ในช่วงสถานะชั่วคราว (transient state) จุดอ้างอิงจะมีการเคลื่อนที่ แต่จะไม่แตกต่างกันมากเพราะมีการปรับค่าน้ำหนัก ซึ่งทุกการเชื่อมต่อจะได้รับค่า ER ที่ใกล้เคียงกัน

และระบบจะเข้าสู่สถานะอยู่ตัว ค่าโหลดแพ็คเกจจะประมาณ 1 ทำให้ค่า ER จะปรับเข้าหาค่าที่ทุกแหล่งกำเนิดได้รับเท่าเทียมกัน (fairshare)

อัลกอริทึม E-FMMRA จะกำหนดพารามิเตอร์ที่ช่วยในการปรับค่า ER ในเซลล์ RM ประกอบด้วย

1. ER_{max} เป็นค่านำหนักเฉลี่ย ER หรือค่าที่มีการปรับตาม ER ในเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับที่ผ่านสวิตช์นั้นทุกการเชื่อมต่อ และจะคำนวณทุกครั้งที่ได้รับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับ ตามสมการ (2.6) โดยใช้การปรับน้ำหนักค่าเฉลี่ยแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (running exponential weight average) ค่า Alpha เป็นค่าปรับเฉลี่ย (average factor) เช่น Alpha มีค่าเท่ากับ 1/8

$$ER_{max} = (1-\text{Alpha}) * ER_{max} + \text{Alpha} * \max \{ \text{ER in RM cell} , ER_{adjust} \} \quad (2.6)$$

2. ER_{adjust} เป็นค่าอัตราการส่งที่มีการปรับตัวตามสภาพทราฟฟิกของโครงข่าย โดยเกิดจากค่านำหนักเฉลี่ย ER กับค่าโหลดแพ็คเกจ ถ้าโหลดแพ็คเกจต่ำกว่า 1 แสดงว่ามีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงน้อย ควรที่จะเพิ่มอัตราการส่งข้อมูล ค่า ER_{adjust} จะต้องมากขึ้น แต่ถ้าโหลดแพ็คเกจสูงกว่า 1 แสดงว่าอาจจะเกิดความคับคั่ง ควรที่จะลดอัตราการส่งข้อมูล ค่า ER_{adjust} จะต้องน้อยลง ค่า ER_{adjust} จะมีการคำนวณทุกครั้งที่ได้รับเซลล์ RM ตามสมการ (2.7)

$$ER_{adjust} = ER_{max} / z \quad (2.7)$$

ค่า ER_{max} จะบอกถึงอัตราเฉลี่ยที่มีการเปลี่ยนแปลงของแต่ละการเชื่อมต่อ ดังนั้นค่า ER_{adjust} จะช่วยให้แต่ละแหล่งกำเนิดมีการปรับตัวตามทราฟฟิก คือใช้ค่าอัตราเฉลี่ยสำหรับทุกการเชื่อมต่อปรับตามค่าโหลดแพ็คเกจ เพื่อให้ข่ายเชื่อมโยงสามารถเข้าหาสถานะอยู่ตัวได้หรืออัตราการส่งเข้าที่สวิตช์เท่ากับอัตราที่ส่งออกจากสวิตช์ ซึ่งทั้งค่า ER_{max} และ ER_{adjust} จะต้องมีค่าไม่มากกว่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ของบริการ ABR ทั้งหมด (C) และจะต้องไม่มีค่าติดลบ เนื่องจากแหล่งกำเนิดจะไม่สามารถส่งได้มากกว่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ของบริการ ABR หรือที่ข่ายเชื่อมโยงรองรับได้ ดังนั้นค่า ER ในเซลล์ RM จะต้องมีค่าไม่ติดลบ และไม่มากกว่าค่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ ส่วนค่า ER ในเซลล์ RM จะมีการตั้งค่าทั้งเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้าและทิศทางย้อนกลับ และทำการคำนวณค่า Advertised rate (A_{max}) ทุกครั้งที่ได้รับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับ ที่สวิตช์

การทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA จะเริ่มเมื่อสวิตช์ได้รับเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้า สวิตช์จะทำการปรับค่า ER_{adjust} ตามสมการ (2.7) แล้วก็จะทำการปรับค่า ER ในเซลล์ RM โดยสวิตช์จะแยกประเภทของการเชื่อมต่อ ถ้าเป็นการเชื่อมต่อที่ไม่ติดขัด จะมีการตั้งค่า ER ตามสมการ (2.8)

$$\text{ER in RM cell} = \min \{ \text{ER in RM cell} , \max(A_{max} , ER_{adjust}) \} \quad (2.8)$$

ถ้าเป็นการเชื่อมต่อที่ติดขัดจะมีการตั้งค่า ER ตามสมการ (2.1) หลังจากนั้นก็จะส่งเซลล์ RM ต่อไปยังสวิตช์ถัดไป ซึ่งสวิตช์จะส่งสลับกับเซลล์ข้อมูลผ่านสวิตช์ต่อไปจนถึงปลายทาง เมื่อปลายทางได้รับเซลล์ข้อมูลก็จะนำข้อมูลที่ได้รับไปใช้งาน และส่งเซลล์ RM ในทิศทางย้อนกลับไปยังแหล่งกำเนิด

เมื่อสวิตช์ได้รับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับ สวิตช์จะตรวจจบบความคับคั่งของโครงข่ายที่สวิตช์นี้จากขนาดของคิว (queue length) เพื่อควบคุมการใช้งานและความต้องการของคิวจะมีระดับที่ตรวจจบบในการเปรียบเทียบอยู่ 2 จุด คือ OT และ DOT โดยระดับตรวจจบบจะนำไปเปรียบเทียบกับขนาดของคิวที่สวิตช์เวลานั้น สวิตช์จะทำการปรับค่า ER_{adjust} ตามสมการ (2.7) แล้วทำการเปรียบเทียบขนาดของคิวขณะนั้นกับระดับที่ตรวจจบบ แบ่งเป็น

- ถ้าความยาวของคิวขณะนั้นต่ำกว่าระดับตรวจจบบ OT สวิตช์จะตัดสินใจว่าไม่เกิดความคับคั่ง (not congestion) ในกรณีนี้โหนดแฟกเตอร์จะเป็นตัวแก้ (correction factor) และค่า ER จะถูกตั้งโดยดูจากประเภทของการเชื่อมต่อ ถ้าเป็นการเชื่อมต่อที่ติดขัดจะตั้ง ER ตามสมการ (2.1) แต่ถ้าเป็นการเชื่อมต่อที่ไม่ติดขัดจะตั้ง ER ตามสมการ (2.8) หลังจากนั้นค่า ER_{max} จะมีการปรับตัวตามสมการ (2.6)

- ถ้าความยาวของคิวขณะนั้นอยู่ระหว่างระดับตรวจจบบ OT และระดับตรวจจบบ DOT สวิตช์จะตัดสินใจว่าเกิดความคับคั่งปานกลาง (moderate congestion) ถ้าโหนดแฟกเตอร์มีค่ามากกว่า 1 ทำให้ระบบพิจารณาว่าเกิดความคับคั่งขึ้น ซึ่งอาจจะรุนแรงได้ ดังนั้นอัตราที่แบ่งให้ควรมีค่าลดลง โดยจะปรับค่า ER_{max} ตามสมการ (2.6) หลังจากนั้นจะปรับค่า ER จะใช้สมการ (2.8) ถ้าเป็นการเชื่อมต่อที่ไม่ติดขัด ซึ่งค่าที่กำหนดให้ ER_{adjust} จะต่ำกว่าค่า ER_{max} แต่ถ้าเป็นการเชื่อมต่อที่ติดขัดจะปรับค่า ER ตามสมการ (2.1) แต่ถ้าค่าโหนดแฟกเตอร์มีค่าน้อยกว่า 1 ถึงแม้ว่าอัตราการส่งเข้าที่สวิตช์ยังคงน้อยกว่าอัตราที่ส่งออกจากสวิตช์ แต่ยังคงจะลดอัตราการส่งลง เพื่อที่จะลดขนาดความยาวของคิว ซึ่งค่า ER_{adjust} จะสูงกว่าค่า ER_{max} เมื่อการเชื่อมต่อนั้นไม่ติดขัดจะตั้งค่า ER เป็น

$$ER \text{ in RM cell} = \min \{ ER \text{ in RM cell}, \max(A_{\text{max}}, ER_{\text{max}}) \} \quad (2.9)$$

แต่ถ้าการเชื่อมต่อติดขัดจะตั้งค่า ER ตามสมการ (2.1) เมื่อปรับค่า ER แล้วปรับค่า ER_{max} ตามสมการ (2.6)

- ถ้าความยาวของคิวขณะนั้นเพิ่มสูงมากกว่าระดับตรวจจบบ DOT สวิตช์จะตัดสินใจว่าเกิดความคับคั่งอย่างรุนแรง (severe congestion) ดังนั้นควรจะลดอัตราการส่งอย่างรวดเร็ว โดยใช้ค่า A_{max} ในการกำหนดค่า ER เป็น

$$ER \text{ in RM cell} = \min (ER \text{ in RM cell}, A_{\text{max}}) \quad (2.10)$$

ระดับของความคับคั่งที่สูงมากจะเป็นตัวชี้ว่า ER_{max} มีค่ามากเกินไป การปรับ ER_{max} จะใช้

$$ER_{\text{max}} = \max (A_{\text{max}}, ER_{\text{adjust}}) \quad (2.11)$$

เมื่อทำการปรับค่า ER ในเซลล์ RM แล้ว สวิตช์จะทำการปรับค่าสถานะของการเชื่อมต่อประกอบด้วยสถานะของการเชื่อมต่อที่ติดขัด (β) และแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัด (λ) แล้วก็จะทำการปรับค่า C_b ที่เป็นแบนด์วิดท์

ของการเชื่อมต่อที่ติดขัดทั้งหมด, N_b เป็นจำนวนการเชื่อมต่อที่การเชื่อมต่อที่ติดขัดทั้งหมด โดยจะทำการเปรียบเทียบระหว่างค่า A_{max} และ ER ในเซลล์ RM ถ้าค่า A_{max} มากกว่าค่า ER การเชื่อมต่อจะถูกตั้งว่าติดขัด ตามสมการ (2.12)

$$\left. \begin{aligned} N_b &= N_b - \beta + 1 \\ \beta &= 1 \\ C_b &= C_b + ER \text{ in RM cell} - \lambda \\ \lambda &= ER \text{ in RM cell} \end{aligned} \right\} \quad (2.12)$$

ถ้าค่า A_{max} น้อยกว่าค่า ER การเชื่อมต่อจะถูกตั้งว่าไม่ติดขัด ปรับสถานะตามสมการ (2.13)

$$\left. \begin{aligned} N_b &= N_b - \beta \\ \beta &= 0 \\ C_b &= C_b - \lambda \\ \lambda &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

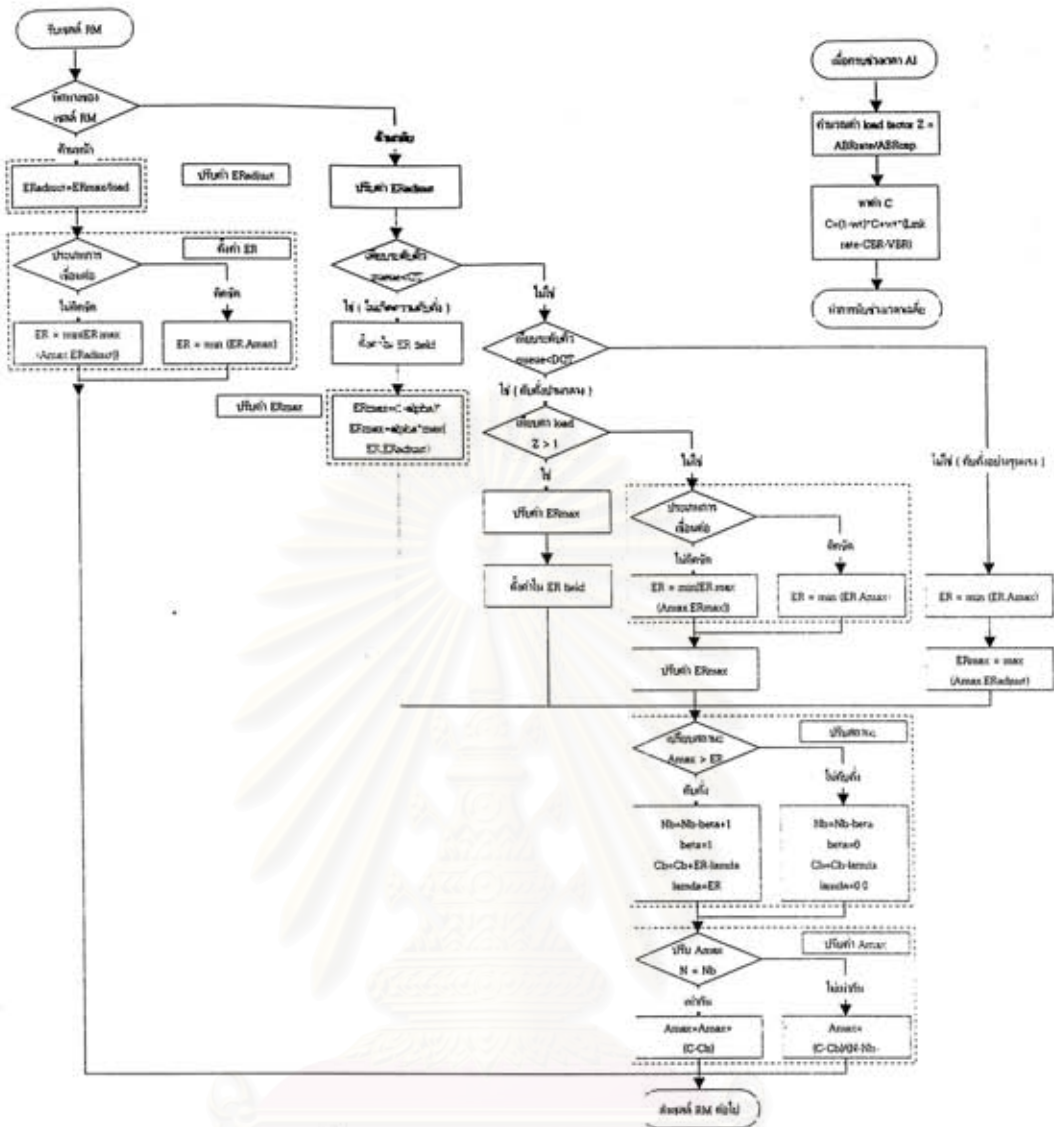
หลังจากนั้นจะทำการปรับค่า A_{max} โดยเปรียบเทียบค่า N กับค่า N_b ถ้าค่า N เท่ากับ N_b จะมีการปรับค่า A_{max} ตามสมการ (2.3) แต่ถ้าค่า N ไม่เท่ากับ N_b จะมีการปรับค่า A_{max} ตามสมการ (2.2) แล้วจึงทำการส่งเซลล์ RM ต่อไปยังแหล่งกำเนิด

การปรับค่า ER ตามความยาวของคิวจะทำในทิศทางย้อนกลับเท่านั้น แต่ถ้าทำการปรับทิศทางด้านหน้าขึ้นกับค่าความยาวของคิวด้วยจะทำให้มีการปรับเพียงแค่น้อย หรืออาจจะทำให้มีการปรับตัวที่เร็วเกินไปเนื่องจากเซลล์ RM ใช้เวลานานกว่าที่จะย้อนกลับมาทางด้านกลับ ทำให้ระบบมีการเปลี่ยนแปลงไปแล้ว ซึ่งการปรับค่า ER ลดลงแล้วไม่สามารถเพิ่มค่าได้ โดยการที่ตั้งค่า ER ในเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้าเพื่อให้เป็นตัวบอกให้กับสวิตช์ทางด้านปลายทาง (downstream) รู้ถึงสถานะของสวิตช์ต้นทาง (upstream) ซึ่งการปรับค่าของ ER ในทิศทางย้อนกลับมีความสำคัญมากกว่า

อัลกอริทึม E-FMMRA เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ย (AI) แล้วสวิตช์จะทำการหาค่าแบนด์วิดท์ของบริการ ABR ที่ใช้งานได้ทั้งหมด (C) จะหาจากแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงทั้งหมดที่รองรับได้ ลบด้วยแบนด์วิดท์ของบริการ CBR และบริการ VBR ที่มีระดับบริการสูงกว่า โดยมีการปรับน้ำหนักค่าเฉลี่ยแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

$$C = (1-\text{Alpha}_c) * C + \text{Alpha}_c * (\text{Target bandwidth} - \text{CBR bandwidth} - \text{VBR bandwidth}) \quad (2.14)$$

ค่า Alpha_c เป็นค่าปรับเฉลี่ย เช่น Alpha_c มีค่าเท่ากับ 1/10 และหาค่าโพลด์แฟคเตอร์ตามสมการ (2.4) การทำงานของ อัลกอริทึม E-FMMRA แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA

2.6 ปัญหาที่พบในการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA

อัลกอริทึม E-FMMRA จะจัดการทรัพยากรให้กับบริการ ABR บนโครงข่าย ATM ซึ่งการทำงานของอัลกอริทึมนี้พยายามที่จะทำให้โครงข่ายมีประสิทธิภาพการใช้งานข่ายเชื่อมโยงเต็มที่ โดยอัลกอริทึม E-FMMRA จะมีการปรับค่าพารามิเตอร์ในเซลล์ RM ทั้งทิศทางด้านหน้า และทิศทางย้อนกลับ ซึ่งอัลกอริทึมที่มีการตั้งค่าพารามิเตอร์ในเซลล์ RM ทั้งทิศทางด้านหน้า และย้อนกลับจะมีข้อดี คือ

- สวิตช์ที่อยู่ด้านปลายทาง (Downstream) รู้สถานะของสวิตช์ที่อยู่ด้านต้นทาง (Upstream) เมื่อมีการตั้งเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้า และสวิตช์ที่อยู่ด้านต้นทางรู้สถานะของสวิตช์ที่อยู่ด้านปลายทางเมื่อมีการตั้งเซลล์ RM ทิศทางด้านหลัง ทำให้สวิตช์รู้สถานะของโครงข่ายทั้งหมด ทำให้สามารถคำนวณอัตราการส่งได้ถูกต้อง

- แหล่งกำเนิดสามารถปรับตัวตามสภาวะของโครงข่ายได้อย่างรวดเร็ว เพราะมีการตั้งค่าในทิศทางด้านหน้า และด้านย้อนกลับ

ข้อเสียของการตั้งค่าพารามิเตอร์ในเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้า คือ

- การตั้งค่า ER ในเซลล์ RM ไม่สามารถปรับค่าให้เพิ่มขึ้นได้ เมื่อมีการปรับในเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้า จะไม่สามารถเพิ่มค่า ER เมื่อได้รับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับ

ดังนั้นอัลกอริทึมที่มีการตั้งค่าพารามิเตอร์ในเซลล์ RM ทั้งทิศทางด้านหน้าและย้อนกลับ จะมีการทำงานที่ดี และเร็วกว่าอัลกอริทึมที่มีการตั้งค่าพารามิเตอร์ในเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับ ซึ่งอัลกอริทึม E-FMMRA มีการปรับเซลล์ RM ทั้งทิศทางด้านหน้าและย้อนกลับ แต่จะพบปัญหาที่สำคัญในการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA คือ

1. การกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจะต้องมีความเหมาะสม เพื่อทำการวัดปริมาณการใช้งานโครงข่ายของบริการทุกระดับเมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยเพื่อจัดการทรัพยากรในช่วงเวลาเฉลี่ยถัดมา ถ้ามีการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยไม่ดี จะทำให้การวัดทรัพยากรผิดพลาด ซึ่งจะทำให้เกิดการจัดการที่ผิดพลาด

2. การปรับค่าพารามิเตอร์ร่วมทุกครั้งที่ได้รับเซลล์ RM จะมีขอบเขตด้านบน (upper bound) และขอบเขตด้านล่าง (lower bound) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับแบนด์วิดท์ของบริการ ABR จะกำหนดขอบเขตด้านบนไม่เกินค่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ของบริการ ABR ทั้งหมด (C) ส่วนขอบเขตด้านล่างจะต้องไม่ต่ำกว่าศูนย์ไม่เป็นค่าติดลบ โดยพารามิเตอร์ร่วมแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัดทั้งหมด (C_p) มีการกำหนดขอบเขตทำให้การคำนวณค่า C_p ผิดพลาดได้

3. อัลกอริทึม E-FMMRA ไม่สามารถควบคุมการใช้งานของคิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ การทำงานบางครั้งข้อมูลอยู่ในคิวต่ำกว่าระดับที่กำหนด เมื่อมีแหล่งกำเนิดบริการ VBR ที่มีระดับการให้บริการสูงกว่าอยู่ในคาบการหยุดส่ง ทำให้สวิตช์ต้องส่งข้อมูลที่อยู่ในคิวออกไปทั้งหมดจนไม่มีข้อมูลในคิวที่จะส่งเข้าโครงข่าย ทำให้การใช้งานข่ายเชื่อมโยงไม่เต็มที่ บางครั้งข้อมูลในคิวสูงกว่าระดับที่กำหนด เมื่อแหล่งกำเนิด VBR อยู่ในคาบการส่งข้อมูล ข้อมูลของบริการ ABR จะต้องส่งเข้าไปในคิวก่อนที่จะมีการส่งเข้าไปในโครงข่าย ซึ่งการส่งข้อมูลเพิ่มเข้าไปในคิวที่เต็มไม่สามารถรองรับข้อมูลได้ ทำให้มีการสูญหายของเซลล์

จากการวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหาและปรับปรุงการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA จะมีการนำเสนอในบทที่ 3 และแสดงปัญหาที่เกิดจากแบบจำลองการทำงานในบทที่ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการที่เสนอในการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA

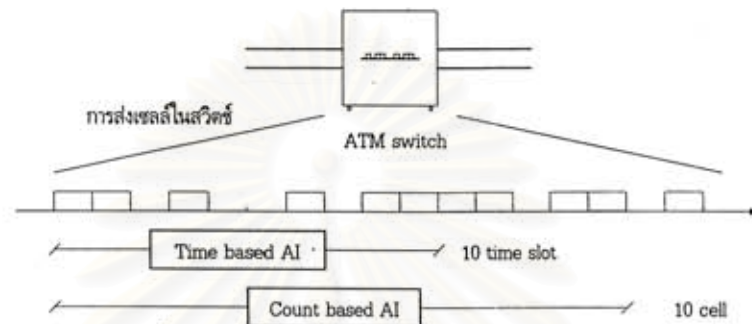
การทำงานของสวิตช์ในโครงข่าย ATM มีการใช้แบบแผนการควบคุมความคับคั่งเพื่อช่วยในการควบคุมการใช้งานทรัพยากรของโครงข่ายให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด อัลกอริทึม E-FMMRA เป็นแบบแผนการควบคุมความคับคั่งหนึ่งที่มีการนำเสนอโดย [11-13] อัลกอริทึม E-FMMRA จำเป็นจะต้องปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมเพื่ออัลกอริทึมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การปรับค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสมอาจไม่สามารถป้องกันความคับคั่งที่จะเกิดในโครงข่ายได้ ทำให้โครงข่ายถูกใช้งานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ จากการศึกษาและวิจัยพบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA คือช่วงเวลาเฉลี่ย แบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัดทั้งหมด และระดับของข้อมูลในคิว

3.1 การปรับค่าพารามิเตอร์เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ย AI

การทำงานของแบบแผนการควบคุมความคับคั่งจำเป็นจะต้องมีการหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณาสำหรับแต่ละการเชื่อมต่อ หรือสถานะของสวิตช์ที่เวลานั้น เพื่อใช้ในการคำนวณอัตราการส่งให้แต่ละการเชื่อมต่อ ทำให้โครงข่ายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์ สถานะของสวิตช์ รวมทั้งสถานะของแต่ละการเชื่อมต่อ จำเป็นจะต้องติดตามการเปลี่ยนแปลงของสวิตช์อยู่ตลอดเวลา แต่การปรับค่าพารามิเตอร์อยู่ตลอดเวลาจะทำให้สวิตช์มีการทำงานที่เกินความจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากถ้าสวิตช์ได้รับเซลล์หนึ่งแล้วต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์ทุกครั้งทำให้แหล่งกำเนิดตอบสนองต่อโครงข่ายที่มีการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใด แต่อาจจะทำให้ผิดพลาดได้เนื่องจากการตอบสนองที่เร็วเกินไป ถ้าโครงข่ายอยู่ในสภาวะอยู่ตัวการปรับค่าพารามิเตอร์ทุกครั้งที่ได้รับเซลล์จะเป็นการสิ้นเปลืองการทำงานมากเกินไปเนื่องจากระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงมีการเสนอการกำหนดการวัดปริมาณการใช้งานของโครงข่ายในแต่ละช่วงเวลาที่เหมาะสมเป็นค่าช่วงเวลาเฉลี่ย (Average Interval) [8,10,13] เพื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการป้อนย้อนกลับสำหรับช่วงเวลาเฉลี่ยถัดไป ช่วงเวลาเฉลี่ยหนึ่งสวิตช์จะทำการตรวจนับจำนวนของการเชื่อมต่อที่ทำงานอยู่สถานะของโครงข่าย หรือปริมาณการใช้งานของโครงข่ายในช่วงเวลานั้น การแบ่งช่วงเวลาเฉลี่ยนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ประกอบด้วย

1. ช่วงเวลาเฉลี่ยทางเวลา (Time based) การกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยทางเวลา จะทำการกำหนดช่วงเวลาตามขนาดของช่องทางเวลา (Time slot) ที่บรรจุเซลล์ของบริการ ABR ซึ่งในกรณีที่ข่ายเชื่อมโยงสามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 149.76 Mbps ในเวลา 1 วินาที จะนับเซลล์ได้เท่ากับ 353207 เซลล์ เมื่อครบช่วงเวลาที่กำหนดก็จะนับจำนวนเซลล์ที่สวิตช์รับได้ทั้งหมด เพื่อคำนวณเป็นค่าอัตราการส่งที่ใช้งานในช่วงเวลาเฉลี่ยก่อนหน้าที่เพิ่งครบกำหนดสำหรับการใช้งานบริการในโครงข่าย โดยอาจจะแบ่งเซลล์ข้อมูลออกตามระดับการให้บริการเป็น บริการ CBR, บริการ VBR, และบริการ ABR หลังจากนั้นสวิตช์จะทำงานตามที่อัลกอริทึมกำหนด

2. ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ (Count cell based) การกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยตามจำนวนเซลล์จะทำการนับจำนวนเซลล์ที่สวิตช์นั้นรับได้ทั้งหมด เมื่อครบตามจำนวนที่กำหนดแล้วถือว่าครบช่วงเวลาเฉลี่ย โดยจะนับจำนวนของช่องเวลาที่สวิตช์นั้นใช้ในการนับจำนวนเซลล์ที่กำหนด เพื่อคำนวณหาอัตราการส่งต่างๆ ซึ่งการนับจำนวนเซลล์อาจทำการนับแต่เซลล์ข้อมูลของบริการ ABR ตามจำนวนเซลล์ที่กำหนดเป็นช่วงเวลาเฉลี่ยในการปรับพารามิเตอร์ แต่ยังคงนับจำนวนเซลล์ของบริการ CBR และบริการ VBR ด้วย เพื่อหาอัตราการส่งสำหรับบริการ CBR และบริการ VBR ตามลำดับ หรืออาจจะนับเซลล์ข้อมูลของบริการต่างๆ รวมกันทั้งหมดตามจำนวนที่กำหนด รูปที่ 3.1 แสดงการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบเวลาและจำนวนเซลล์



รูปที่ 3.1 การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยทางเวลา และช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์

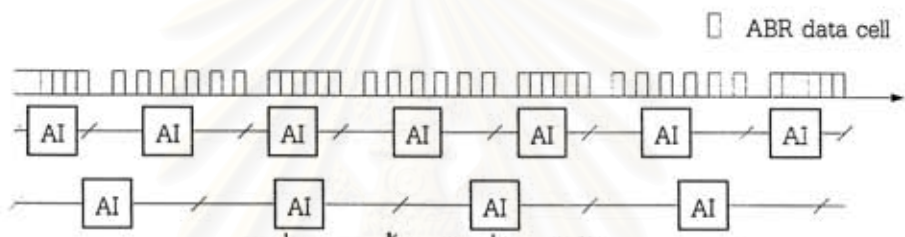
อัลกอริทึม E-FMMRA มีจุดทำงานเท่ากับ 1 คือบริเวณของค่าโหลดแพคเตอร์ เมื่อโครงข่ายอยู่ในสถานะอยู่ตัวจะมีอัตราการส่งเข้าไปที่สวิตช์ของบริการ ABR ทั้งหมด เท่ากับอัตราที่สวิตช์นั้นส่งบริการ ABR ออกไปยังข่ายเชื่อมโยง ถ้าโครงข่ายอยู่ในสภาวะอยู่ตัวเมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยที่ทำการวัดจะมีจำนวนเซลล์ที่สวิตช์รับเข้าไปเท่ากับช่วงเวลาที่ใช้ในการวัด ดังนั้นจะมีการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยเป็นแบบช่วงเวลาเฉลี่ยทางเวลา หรือช่วงเวลาเฉลี่ยตามจำนวนเซลล์ เนื่องจากขนาดของเวลาที่ใช้กับจำนวนเซลล์เท่ากันทำให้การนับช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์หรือเวลามีผลการทำงานที่เหมือนกันสำหรับแหล่งกำเนิด ABR ที่ส่งข้อมูลตลอดเวลา แต่สำหรับโครงข่ายที่มีการเชื่อมต่อบริการ CBR หรือ VBR หรือ ABR ที่มีการส่งข้อมูลแบบ burst จะมีช่วงคาบการส่งข้อมูล และหยุดส่งข้อมูล ถ้าโครงข่ายมีการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์บริการ ABR อย่างเดียว จะใช้เวลาจนครบจำนวนเซลล์ที่เป็นค่าช่วงเวลาเฉลี่ยที่กำหนด ถ้ากำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ของทุกระดับบริการ บางช่วงเวลาเฉลี่ยอาจจะมีเฉพาะเซลล์ของบริการ CBR หรือ VBR ทำให้ช่วงเวลาเฉลี่ยถัดไปจะไม่มีแบนด์วิดท์ของบริการ ABR ที่ใช้งานได้ แหล่งกำเนิดต้องหยุดส่งข้อมูล แต่ถ้ามีการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยทางเวลาเมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยอาจจะมีจำนวนเซลล์บริการ ABR ที่น้อยมากหรือมีแต่เซลล์ของบริการ CBR และ VBR โดยไม่มีเซลล์ของบริการ ABR ทำให้ค่าแบนด์วิดท์ของบริการ ABR ที่ใช้งานได้ทั้งหมดมีค่าน้อย ดังนั้นการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์บริการ ABR จะทำงานได้ดีกว่าการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบอื่น

อัลกอริทึม E-FMMRA เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยที่กำหนดแล้ว อัลกอริทึมจะทำการคำนวณอัตราการส่งของแต่ละบริการ ทั้งบริการ CBR, บริการ VBR และบริการ ABR ในช่วงเวลาเฉลี่ยที่ผ่านมา รวมทั้งคำนวณแบนด์วิดท์ที่บริการ ABR สามารถใช้งานได้ในช่วงเวลาถัดไป ดังนั้นการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยเพื่อใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ควรจะมีค่าที่เหมาะสม โดยค่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ของบริการ ABR ทั้งหมด (C) หาได้จากแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงที่ใช้งานได้ทั้งหมดของโครงข่าย (Link Rate) ลบด้วยแบนด์วิดท์ที่ใช้งานของบริการ CBR และบริการ VBR ที่ใช้

งานในช่วงเวลาเฉลี่ยก่อนหน้านั้น โดยทำการปรับตามน้ำหนักตามสมการ (2.14) หลังจากนั้นทำการคำนวณค่าโหลดแพคเตอร์ของช่วงเวลาเฉลี่ยก่อนหน้านั้นตามสมการ (2.4)

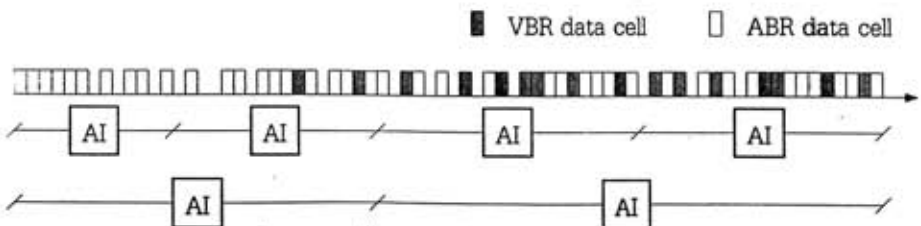
การทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA จำเป็นจะต้องมีการกำหนดค่าช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ที่เหมาะสม เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของอัลกอริทึมในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการอ้างอิงการปรับอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิด คือค่าโหลดแพคเตอร์ และ C

- การกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ที่น้อย ที่สถานะทันทีทันใด หรือสถานะชั่วคราว (Transient state) จะมีการปรับตัวได้อย่างรวดเร็วแต่ระดับคิวที่ล้นนั้นจะมีระดับที่ต่ำ โดยอาจจะมีความต่ำกว่าที่กำหนดไว้ทำให้เกิดความเสี่ยงที่จะเกิดการใช้งานข่ายเชื่อมโยงที่ต่ำ (เป็นปัญหาที่เกี่ยวกับระดับของข้อมูลในการควบคุมระดับคิว) และถ้าโครงข่ายมีแหล่งกำเนิดแบบ burst จะทำให้ในการนับจำนวนเซลล์อาจจะครบตามจำนวนเซลล์ได้อย่างรวดเร็วหรืออาจใช้เวลานาน ค่าโหลดแพคเตอร์และอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วมากเกินไปในรูปที่ 3.2 ซึ่งการตั้งค่า AI น้อยมีการหาค่าโหลดแพคเตอร์ที่ต่างกันมาก ถ้าตั้งค่า AI เหมาะสมจะทำให้เฉลี่ยค่าโหลดแพคเตอร์ได้ดี



รูปที่ 3.2 การตั้งค่า AI ที่น้อยเกินไป และเหมาะสม

- การกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์มาก ที่สถานะทันทีทันใดจะมีการรอจำนวนเซลล์ให้ครบใช้เวลาที่นาน ถ้ากำหนดอัตราการส่งเริ่มต้นที่ค่อนข้างน้อย จะทำให้ค่าโหลดแพคเตอร์มีค่าค่อนข้างต่ำเนื่องจากกว่าจะครบช่วงเวลาเฉลี่ยที่นับตามจำนวนเซลล์นั้นจะใช้เวลามาก ซึ่งจะทำให้อัตราการส่งมีค่าสูงเนื่องจากโครงข่ายเห็นว่ามีการใช้งานที่ค่อนข้างต่ำเนื่องจากค่าโหลดแพคเตอร์ ดังนั้นจะทำให้อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดสูงกว่าค่า fairshare มากก็ทำให้เกิดการสะสมของคิวที่สูงมาก และเมื่ออยู่ในสภาวะอยู่ตัวระดับของคิวจะไม่มีลดลงเนื่องจากทุกแหล่งกำเนิดจะมีการส่งข้อมูลที่เท่ากับอัตราที่ล้นนั้น จะทำให้ค่าโหลดแพคเตอร์มีค่าเป็น 1.0 (เป็นปัญหาที่เกี่ยวกับการควบคุมระดับคิว) แต่ถ้ามีแหล่งกำเนิดที่ส่งแบบ burst หรือบริการ VBR เมื่ออยู่ในคาบของการส่ง หรือคาบของการหยุดส่ง จะทำให้อัลกอริทึมปรับตัวไม่ทันเนื่องจากช่วงเวลาเฉลี่ยค่อนข้างมาก อาจจะทำให้ระดับของคิวเพิ่มขึ้นจนอาจจะทำให้คิวเต็มจนเกิดการสูญหายของเซลล์ หรือมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงข่ายที่ช้า แต่บริการ ABR จะมีการรับรองการสูญหายของเซลล์ ดังนั้นจำเป็นจะต้องมีการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยที่เหมาะสมในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การตั้งค่า AI ที่เหมาะสม และมากเกินไป

การตั้งค่า AI มากเกินไปจะทำให้เกิดการประมาณที่ไม่ดี เช่นที่ช่วงเวลาเฉลี่ยหนึ่งมีข้อมูลของบริการ VBR ต่ำ เมื่อถึงช่วงเวลาเฉลี่ยใหม่จะมีข้อมูลบริการ VBR มาก (เพิ่มอย่างมาก) ในรูปที่ 3.3 แต่ถ้าตั้งค่า AI เหมาะสมที่เวลาเฉลี่ยน้อยกว่าปริมาณข้อมูลของบริการ VBR จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น

- การกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบพลวัต (Dynamic AI) [14] ถ้ากำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยที่น้อยเกินไป อาจทำให้บางแหล่งกำเนิดที่เชื่อมกับสวิตช์นั้นมีการปรับตามพารามิเตอร์ที่ไม่เหมือนกัน เนื่องจากพารามิเตอร์ร่วมมีการปรับตัวกันคนละช่วงเวลาเฉลี่ย ซึ่งค่าที่ปรับอาจจะแตกต่างกันมาก จะทำให้เกิดการแกว่งตัวของอัตราการส่งข้อมูลรวมทั้งค่าโหลดแพ็คเกจ แต่ถ้ามีการกำหนดค่าช่วงเวลาเฉลี่ยมากเกินไป จะทำให้สถานะของสวิตช์เปลี่ยนไปแล้วแต่สวิตช์ยังคงส่งข้อมูลข่าวสารเก่ากลับไปยังแหล่งกำเนิดว่ายังมีสถานะเดิม ดังนั้นจึงมีการเสนอวิธีการกำหนดค่าช่วงเวลาเฉลี่ยที่มีการปรับค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบพลวัต โดยมีการปรับค่าเวลาเฉลี่ยตามจำนวนของแหล่งกำเนิดที่มีการทำงานอยู่ในช่วงเวลาเฉลี่ยก่อนหน้านั้น ทุกแหล่งกำเนิดได้รับจากเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับที่ใช้ค่าพารามิเตอร์ในการปรับตัวเดียวกันในช่วงเวลาเดียวกัน จะปรับค่าช่วงเวลาเฉลี่ยตามสมการ (3.1) โดยค่า N_{rm} คือจำนวนของเซลล์ข้อมูลรวมกับเซลล์ RM เป็นชุดที่แหล่งกำเนิดส่ง และ number of active VC เป็นจำนวนการเชื่อมต่อที่ทำงานในช่วงเวลาเฉลี่ยก่อนนั้น ช่วงเวลาเฉลี่ยใหม่จะปรับทุกครั้งที่ครบช่วงเวลาเฉลี่ยก่อนหน้า

$$AI = N_{rm} * (\text{number of active VC}) \quad (3.1)$$

การปรับค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบพลวัตของอัลกอริทึม E-FMMRA เมื่อมีการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยคงที่น้อยกว่า การกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบพลวัตจะทำให้โครงข่ายเกิดการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้ามีการกำหนดค่าช่วงเวลาเฉลี่ยคงที่สูงค่าหนึ่งตลอดเวลาที่โครงข่ายทำงานอยู่ก็ไม่จำเป็นจะต้องใช้การปรับค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบพลวัต เพราะการที่อัลกอริทึม E-FMMRA มีการใช้พารามิเตอร์ร่วม ER_{max} ร่วมกับโหลดแพ็คเกจ ซึ่ง ER_{max} จะมีการปรับค่าให้สอดคล้องกับทุกแหล่งกำเนิดตามสมการ (2.7) เมื่อมีบางแหล่งกำเนิดที่ไม่มีการปรับค่า ER ในเซลล์ RM ช่วงเวลาเฉลี่ยเดียวกันนั้นไม่เกิดปัญหาเนื่องจากค่า ER_{max} เป็นพารามิเตอร์ร่วมของทุกแหล่งกำเนิด ดังนั้นไม่จำเป็นจะต้องมีการปรับค่า ER ในช่วงเวลาเฉลี่ยเดียวกัน ซึ่ง ER_{max} เป็นค่าอ้างอิงตัวเดียวกันสำหรับแต่ละการเชื่อมต่อทั้งหมด สภาวะอยู่ตัวจะมีจุดทำงานค่าโหลดแพ็คเกจที่เท่ากับ 1 ดังนั้นการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบพลวัตจะทำงานไม่แตกต่างจากการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยที่พอเหมาะถ้ามีจำนวนการเชื่อมต่อที่มาก แต่การกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบพลวัตจะมีความซับซ้อนที่มากกว่าการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยที่พอเหมาะ ซึ่งการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบพลวัตถ้ามีจำนวนการเชื่อมต่อที่น้อย เช่น โครงข่ายที่มีแหล่งกำเนิด 2 ตัว เมื่อมีแหล่งกำเนิดแบบ burst หรือแหล่งกำเนิดบริการ VBR ผลการทำงานจะเหมือนการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยต่ำ ซึ่งได้ผลการทำงานที่ไม่ดีเมื่อเทียบกับการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยที่เหมาะสม ดังนั้นอัลกอริทึม E-FMMRA ไม่จำเป็นต้องมีการปรับค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบพลวัต

- การกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยที่เหมาะสม จะทำให้อัลกอริทึม E-FMMRA สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควรจะมีการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ที่มากพอสมควร จากการจำลองการทำงานในบทที่ 4 จะได้ค่าที่เหมาะสมประมาณ 1000 เซลล์ โดยเซลล์ข้อมูลบริการ ABR ผ่านสวิตช์ครบ 1000 เซลล์ก็จะครบช่วงเวลาเฉลี่ยสวิตช์ จะทำการปรับค่าพารามิเตอร์

3.2 การตรวจจับค่าแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัด (C_b) ผิดพลาด

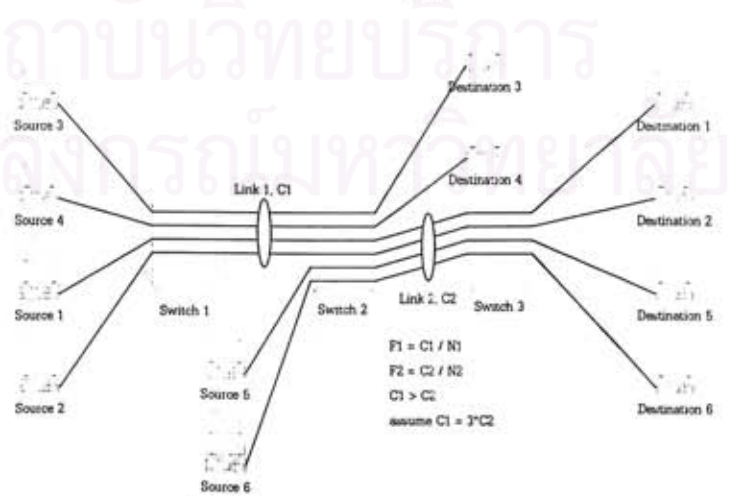
การกำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่างแบนด์วิดท์ในอัลกอริทึม E-FMMRA ทำให้เกิดการคำนวณที่ผิดพลาด โดยอัลกอริทึม E-FMMRA จะปรับค่าแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัด (C_b) เมื่อมีการหาสถานะของแต่ละการเชื่อมต่อ ถ้าค่า ER ที่อยู่ในเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับมีค่าน้อยกว่าอัตราการส่งที่สวิทช์แนะนำ (A_{max}) การเชื่อมต่อจะถูกระบุว่าเกิดความติดขัด (bottleneck connection) สวิทช์ก็จะทำการตั้งค่าประเภทการเชื่อมต่อ (β) ว่าเกิดการติดขัดและปรับค่า C_b โดยการเพิ่มด้วยค่า ER ในเซลล์ RM และลดด้วยค่าแบนด์วิดท์ที่เคยเป็นการเชื่อมต่อที่ติดขัดรอบก่อนหน้า ($C_b = C_b - \lambda + ER$) ส่วนค่าแบนด์วิดท์ที่ติดขัด (λ) มีค่าเท่ากับ ER ในเซลล์ RM ตามสมการ (2.12) แต่ถ้าค่า ER ในเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับมากกว่าอัตราการส่งที่สวิทช์แนะนำ สวิทช์จะตัดสินใจว่าเป็นการเชื่อมต่อไม่ติดขัด ตั้งค่าประเภทการเชื่อมต่อว่าไม่ติดขัด ค่า C_b จะลดด้วยค่าอัตราที่เคยเป็นการเชื่อมต่อที่ติดขัดรอบก่อน ($C_b = C_b - \lambda$) ส่วนค่าแบนด์วิดท์ที่ติดขัดใหม่มีค่าเท่ากับ 0 ($\lambda = 0$) ตามสมการ (2.13) โดยค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับแบนด์วิดท์ของอัลกอริทึม E-FMMRA จะมีการกำหนดขอบเขตบน และขอบเขตล่างของค่าพารามิเตอร์ ซึ่งขอบเขตบนของพารามิเตอร์จะมีค่าไม่เกินแบนด์วิดท์ของบริการ ABR ที่ใช้งานได้ทั้งหมด (C) และขอบเขตล่างของพารามิเตอร์จะไม่ติดลบ

อัลกอริทึม E-FMMRA เมื่อมีการส่งในโครงข่ายแบบ Parking lot ที่มีแหล่งกำเนิดแทรกเข้าและแทรกออกซึ่งผ่านสวิทช์ที่มีอัตราการส่งของแต่ละข่ายเชื่อมโยงไม่เท่ากัน ถ้าระยะทางที่เชื่อมต่อกันอยู่ระยะไม่ไกลมากหรือทุกแหล่งกำเนิดสามารถปรับตัวได้พร้อมกันทั้งหมดในหนึ่งช่วงเวลาเฉลี่ย (เกิดการปรับค่าไม่ผิดพลาด) สวิทช์จะมีการปรับค่า ER_{max} , ER_{adjust} , A_{max} และ C_b ไม่ผิดพลาด ตามอัลกอริทึม E-FMMRA โดยอัลกอริทึมจะทำงานได้ปกติแต่ถ้าระยะทางที่เชื่อมต่อของแต่ละการเชื่อมต่อมากจะทำให้การปรับค่าใน C_b ผิดพลาดตามตัวอย่างต่อไป สมมุติโครงข่าย Parking lot ประกอบด้วยแหล่งกำเนิด 3 กลุ่ม ต่อผ่านสวิทช์ 3 ตัว คือแหล่งกำเนิดกลุ่มที่หนึ่งจะเชื่อมโยงผ่านสวิทช์ทั้ง 3 ตัว แหล่งกำเนิดกลุ่มที่สองจะเชื่อมโยงผ่านสวิทช์ 2 ตัวแรก ส่วนแหล่งกำเนิดกลุ่มที่สามจะเชื่อมโยงผ่านสวิทช์ 2 ตัวหลัง แบนด์วิดท์ข่ายเชื่อมโยงที่ต่อกับสวิทช์ตัวแรกมีค่ามากกว่าแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงที่ต่อกับสวิทช์ตัวที่สอง ช่วงเวลาเริ่มต้นที่แหล่งกำเนิดส่งข้อมูลค่าอัตราการส่งเริ่มต้น (ICR) ของแต่ละแหล่งกำเนิด (ค่า ICR ควรจะมีค่าต่ำ) มีค่าต่ำกว่า A_{max} (ค่า A_{max} เริ่มต้นจะเท่ากับค่า Fair share เป็นค่าที่อัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดมีค่าเท่ากันทั้งหมดคือแบนด์วิดท์ที่ใช้ได้ของบริการ ABR ทหารด้วยจำนวนการเชื่อมต่อบนข่ายเชื่อมโยงนั้น) เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยในช่วงแรกนั้นค่าโหลดแฟคเตอร์ (Z) มีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากอัตราที่ส่งเข้าไปสวิทช์ตัวแรกที่ต่อกับข่ายเชื่อมโยงต่ำเท่ากับผลรวมของค่าอัตราการส่งเริ่มต้นของทุกการเชื่อมต่อรวมกัน ทหารด้วยอัตราการส่งของบริการ ABR ทั้งหมดซึ่งมีค่ามากกว่าเมื่อค่าโหลดแฟคเตอร์ต่ำทำให้ค่า ER_{adjust} ที่ปรับตามสมการ (2.6) มีค่าเพิ่มขึ้นสูง เมื่อค่า ER_{adjust} มีค่าสูงขึ้นมากกว่า A_{max} ทำให้ค่า ER_{max} มีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม และในช่วงแรกนั้นค่า A_{max} มีค่าเท่ากับ fairshare ดังนั้นในแหล่งกำเนิดที่อยู่ไกลก็จะได้รับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับ ซึ่งสวิทช์จะแนะนำให้ส่งด้วยอัตราเท่ากับ fairshare ก่อนที่เซลล์ RM ของแหล่งกำเนิดที่มีการติดขัดที่สวิทช์ด้านหลัง (Downstream) จากสวิทช์นี้ส่งกลับมา เมื่อสวิทช์นี้ได้รับเซลล์ RM ของแหล่งกำเนิดติดขัดที่สวิทช์ด้านหลัง การปรับค่า A_{max} ตามสมการ (2.2) ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่า C_b เพิ่มขึ้น และจำนวนการเชื่อมต่อที่ไม่ติดขัดลดลง แต่เซลล์ RM ของแหล่งกำเนิดที่อยู่ไกลส่งกลับมาในทิศทางย้อนกลับ (ซึ่งมีการปรับค่าให้ต่ำลงในเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้า) มีค่าน้อยกว่าค่า A_{max} ดังนั้นทำให้มีการตั้งค่าการเชื่อมต่อว่าเกิดการติด

ชัด เมื่อทุกแหล่งกำเนิดที่ผ่านสวิตช์นั้นถูกตั้งค่าว่าติดขัดทุกการเชื่อมต่อ ทำให้ค่า A_{max} ตามสมการ (2.2) มีการปรับตัวที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จนใกล้เคียงกับอัตราที่ขายเชื่อมโยงใช้งานได้ทั้งหมด (C) รวมทั้งค่า ER_{max} และ ER_{adjust} เมื่อค่า A_{max} มีค่าสูงขึ้น ทำให้ค่า ER ในเซลล์ RM ปรับตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อตอนได้รับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับ ค่า ER ยังคงน้อยกว่าค่า A_{max} ทำให้ทุกแหล่งกำเนิดยังคงเป็นการเชื่อมต่อที่ติดขัด ทำให้ค่า C_b มีค่าเพิ่มขึ้นแต่ไม่เกินค่า C ซึ่งค่า λ ทุกการเชื่อมต่อรวมกันอาจจะมากกว่าค่า C

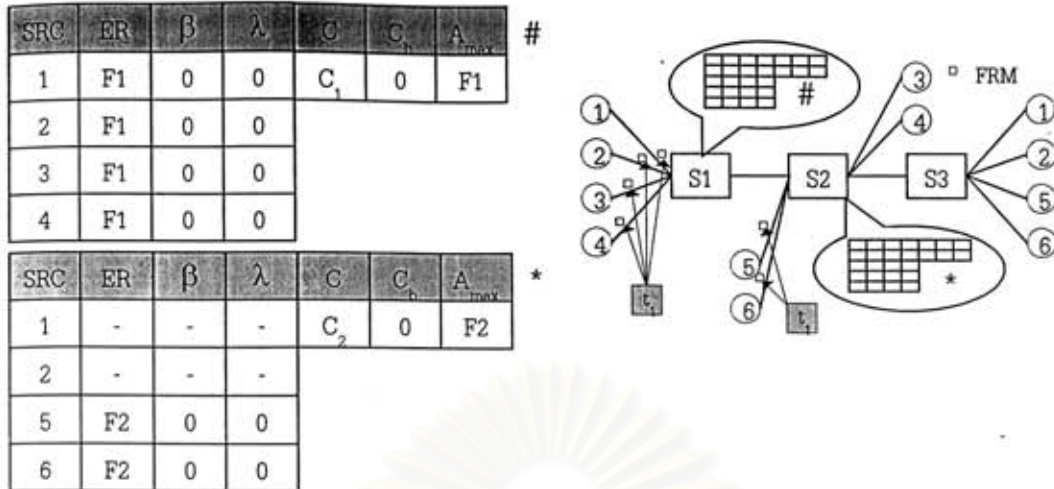
เมื่อค่า ER ในเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับเพิ่มจนใกล้เคียงค่า C ทำให้แหล่งกำเนิดส่งข้อมูลด้วยอัตรา ER ต่อมาเมื่อสวิตช์ได้รับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับที่ค่า ER เท่ากับค่า A_{max} (ค่า A_{max} ใกล้เคียงกับค่า C) ทำให้สวิตช์ระบุว่าการเชื่อมต่อที่นั้นไม่ติดขัดแล้วมีการปรับสถานะตามสมการ (2.13) ซึ่งค่า C_b ที่ลดลงนั้นจะลดด้วยค่า λ ก่อนที่จะมีการปรับค่า C_b สูงเนื่องจากการเชื่อมต่อแบนด์วิธที่เพิ่มขึ้นตามค่า A_{max} ทำให้แหล่งกำเนิดเพิ่มอัตราการส่งเพื่อไม่ให้ติดขัด ค่าที่ลดลงนั้น C_b จะต้องไม่ต่ำกว่า 0 ซึ่งอาจจะไม่เท่ากับค่าของ λ ทุกการเชื่อมต่อที่รวมกันทำให้ค่า C_b ผิดพลาด เมื่อค่า C_b ผิดจะทำให้อัตราที่แบ่งให้กับทุกการเชื่อมต่อคือค่า A_{max} มีการคำนวณที่ผิดพลาด ถ้าทุกการเชื่อมต่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงจะทำให้ค่า C_b ยังคงผิดอยู่ เนื่องจากการปรับค่า C_b สำหรับการเชื่อมต่อที่ติดขัดนั้นจะเพิ่มและลดด้วยค่าที่เท่ากันทำให้ค่า C_b เท่าเดิม ถ้าการเชื่อมต่อไม่ติดขัดค่า C_b ยังไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนสวิตช์ที่ต่อกับขายเชื่อมโยงที่มีแบนด์วิธต่ำกว่าจะแบ่งอัตราการส่งค่า ER ในเซลล์ RM เท่ากับค่า A_{max} ตลอดการทำงาน

ตัวอย่างการคำนวณค่าแบนด์วิธของการเชื่อมต่อที่ติดขัดทั้งหมดที่ผิดพลาดในแบบจำลอง Parking lot รูปที่ 3.4 แสดงการปรับในรูปที่ 3.5 - 3.17 ขายเชื่อมโยง 1 (ขายเชื่อมโยงระหว่างสวิตช์ 1 และสวิตช์ 2) มีความจุเท่ากับ $C_1 = C$ และขายเชื่อมโยง 2 (ระหว่างสวิตช์ 2 และสวิตช์ 3) มีความจุเท่ากับ C_2 สมมติให้ขายเชื่อมโยง 2 มีความจุน้อยกว่าความจุของขายเชื่อมโยง 1 อยู่ 3 เท่า ($C_1 = 3 * C_2$) ดังนั้นค่า fairshare ขายเชื่อมโยง 1 (F1) เท่ากับ $C/4$ มีจำนวนการเชื่อมต่อเท่ากับ 4 ส่วนค่า fairshare ของขายเชื่อมโยง 2 (F2) เท่ากับ $C/12$ มีจำนวนการเชื่อมต่อเท่ากับ 4 ดังนั้นค่า $F1 = C/4$ และ $F2 = C/12$ จะไม่พิจารณาการปรับอัตราการส่งตามค่าโหลดแพคเตอร์ ตารางในรูปแสดงค่าที่เก็บอยู่ในสวิตช์ ประกอบด้วยพารามิเตอร์ของแต่ละแหล่งกำเนิด คืออัตราการส่งที่จะใส่ในเซลล์ RM (ER), บิตสถานะการเชื่อมต่อที่ติดขัด (β) และแบนด์วิธของการเชื่อมต่อที่ติดขัด (λ) ส่วนพารามิเตอร์ร่วมของสวิตช์ คืออัตราการส่งขายเชื่อมโยงส่งได้ (C), แบนด์วิธของการเชื่อมต่อที่ติดขัดทั้งหมด (C_b) และอัตราการส่งที่สวิตช์แนะนำ (A_{max})



รูปที่ 3.4 แบบจำลอง Parking lot

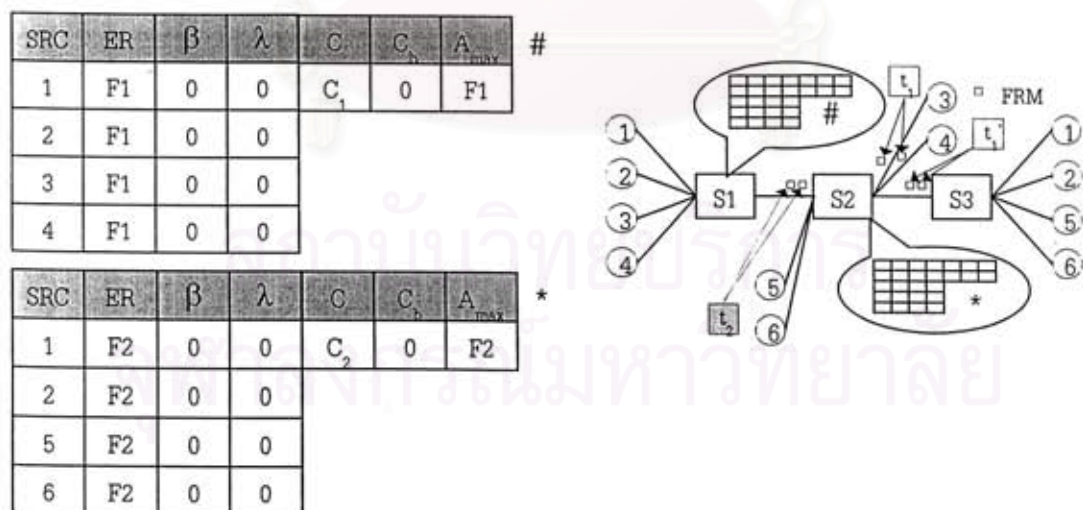
1. เซลล์ FRM ชุดแรกของแหล่งกำเนิด 1 - 4 ถึงสวิตช์ S1 และแหล่งกำเนิด 5 - 6 ถึงสวิตช์ S2 ที่เวลา t_1



รูปที่ 3.5 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่เวลา t_1

ในรูปที่ 3.5 เริ่มต้นการส่งข้อมูล แหล่งกำเนิด 1-4 ส่งเซลล์ข้อมูล และเซลล์ RM ไปถึงสวิตช์ S1 ตามรูป อัลกอริทึมจะทำการปรับค่า ER ในเซลล์ FRM (Forward RM cell) ของแหล่งกำเนิดเป็นค่า A_{max} หรือค่า F1 (fair share ที่ขายเชื่อมโยง 1) เท่านั้น เมื่อรับเซลล์ FRM อัลกอริทึมจะไม่มีค่าพารามิเตอร์ประเภทการเชื่อมต่อ (β) และแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัด (λ) ตามตาราง โดยค่าแบนด์วิดท์ของขายเชื่อมโยง 1 มีค่าเท่ากับ C หรือ C_1 , ค่า A_{max} เท่ากับ F1 และค่า C_b เท่ากับ 0 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่สวิตช์ในการปรับค่า ER ในเซลล์ RM และแหล่งกำเนิด 5 - 6 ส่งเซลล์ FRM ถึงสวิตช์ S2 มีการตั้งค่า ER เท่ากับ F2

2. เซลล์ FRM ชุดแรกของแหล่งกำเนิด 1 - 2 ถึงสวิตช์ S2 ที่เวลา t_2



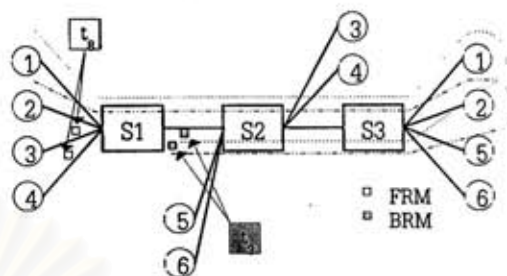
รูปที่ 3.6 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่เวลา t_2

ในรูปที่ 3.6 เมื่อเซลล์ FRM ของแหล่งกำเนิด 1 - 4 ผ่านที่สวิตช์ S1 เข้าไปในขายเชื่อมโยง 1 ถึงที่สวิตช์ S2 แต่เซลล์ FRM ของแหล่งกำเนิด 3 - 4 จะผ่านสวิตช์ S2 โดยตรงไม่มีการจัดการ ส่วนเซลล์ FRM ของแหล่งกำเนิด

1 - 2 จะเข้าไปในสวิตช์ S2 และมีการตั้งค่า ER ในเซลล์ FRM เท่ากับค่า F2 ตามตาราง หลังจากนั้น เซลล์ FRM และ BRM ของแหล่งกำเนิด 1, 2, 5 และ 6 ที่ผ่านสวิตช์ S2 จะมีการตั้งค่า ER เท่ากับ F2 ทั้งหมด

3. เซลล์ BRM ชุดแรกของแหล่งกำเนิด 1 - 2 ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_3 (ปรับเซลล์ FRM สวิตช์ S1 เวลา t_2)

SRC	ER	β	λ	C_s	C_{max}	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C_1	(1)	(2)	
2	F2	1	F2	(1) $2 \cdot F2$			
3	F1	0	0	(2) $(C - 2 \cdot F2) / 2$			
4	F1	0	0				

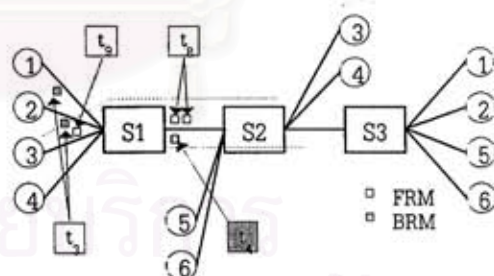


รูปที่ 3.7 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_3

ในรูปที่ 3.7 เซลล์ BRM (Backward RM cell) ของแหล่งกำเนิด 1, 2 ชุดแรกที่มีการปรับที่เวลา t_2 ส่งไปปลายทางแล้วย้อนกลับมาที่สวิตช์ S1 (เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3, 4 มีการส่งผ่านกลับไปแหล่งกำเนิดก่อน) โดยค่า ER ในเซลล์ RM ก่อนที่ถึงสวิตช์มีค่าเท่ากับ F2 (fair share ที่ชายเชื่อมโยง 2) ซึ่งมีค่าน้อยกว่า F1 ดังนั้นสวิตช์จะตั้งค่า β ว่าติดขัด ($\beta = 1$) และตั้งค่า λ เท่ากับค่า F2 ของแหล่งกำเนิด 1 และ 2 แล้วมีการปรับค่า C_s เท่ากับค่า $2 \cdot F2$ หรือ $C/6$ (จากค่า λ ของแหล่งกำเนิด 1 และ 2 ที่ปรับตามสมการ (2.12)) และค่า A_{max} ตามสมการ (2.3) เท่ากับ $(C - 2 \cdot F2) / 2$ หรือเท่ากับ $5C/12$ ดังนั้นเซลล์ FRM ของแหล่งกำเนิด 3, 4 (เป็นเซลล์ BRM ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_3) มีการปรับค่า ER เท่ากับค่า $5C/12$ ด้วย ซึ่งเซลล์ FRM ของทุกแหล่งกำเนิดก่อนหน้ามีการตั้งค่า ER เท่ากับ F1

4. เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3 ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_4

SRC	ER	β	λ	C_s	C_{max}	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C_1	(3)	(4)	
2	F2	1	F2	(3) $2 \cdot F2 + F1$			
3	F1	1	F1	(4) $(C - 2 \cdot F2 - F1) / 1$			
4	F1	0	0				

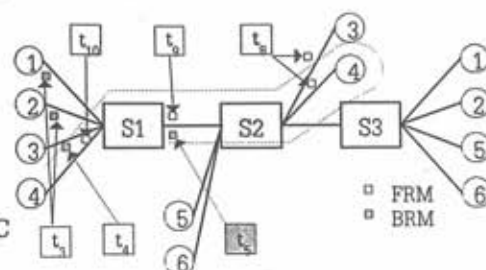


รูปที่ 3.8 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_4

ในรูปที่ 3.8 เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3 เซลล์ถัดมาหลังจากเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 1, 2 ชุดแรกผ่านสวิตช์ S1 ซึ่งค่า ER ของแหล่งกำเนิด 3 มีค่าเท่ากับ F1 น้อยกว่าค่า A_{max} สวิตช์จะปรับค่าพารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิด 3 ค่า β ว่าติดขัด และตั้งค่า λ เท่ากับค่า F1 แล้วอัลกอริทึมจะปรับค่า C_s เท่ากับ $2 \cdot F2 + F1$ หรือ $5C/12$ และ A_{max} จะตั้งค่าเป็น $(C - 2 \cdot F2 - F1)$ หรือ $7C/12$ ซึ่งเซลล์ FRM ของแหล่งกำเนิด 3 (เป็นเซลล์ BRM ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_4) มีการปรับค่า ER เท่ากับ $7C/12$

5. เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_5

SRC	ER	β	λ	C	C_n	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	(5)	(6)	
2	F2	1	F2	(5) $2 \cdot F2 + 2 \cdot F1$			
3	F1	1	F1	(6) $((C - 2 \cdot F2 - F1)/1) + C - (2 \cdot F2 +$			
4	F1	1	F1	$2 \cdot F1) = 2 \cdot C - 4 \cdot F2 - 3 \cdot F1 = 11/12 C$			

รูปที่ 3.9 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่เวลา t_5

ในรูปที่ 3.9 เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 ตามเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3 ที่ผ่านสวิตช์ S1 แล้ว ค่า ER ในเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 มีค่าเท่ากับ F1 แต่ค่าของ A_{max} ที่มีการปรับเมื่อรับเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3 เท่ากับ $7C/12$ ซึ่งมากกว่า F1 ดังนั้นสวิตช์จะตัดสินใจว่าแหล่งกำเนิด 4 ติดขัด จะตั้งค่า β และตั้งค่า λ เท่ากับค่า F1 แล้วอัลกอริทึมจะทำการปรับค่า C_n โดยนำค่า C_n เดิมบวกค่า λ ของแหล่งกำเนิด 4 ที่ติดขัดใหม่ เท่ากับ $2 \cdot F1 + 2 \cdot F2$ หรือ $2C/3$ และค่า A_{max} จะมีการปรับตามสมการ (2.3) เท่ากับค่า A_{max} ที่มีการปรับเมื่อสวิตช์ได้รับ BRM เซลล์ก่อนหน้ารวมกับผลต่างของแบนด์วิดท์ช่วยเชื่อมโยงของบริการ ABR ทั้งหมดกับแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัดทั้งหมด มีค่าเท่ากับ $11C/12$ ซึ่งเซลล์ FRM ของแหล่งกำเนิด 4 (เป็นเซลล์ BRM ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_5) ปรับค่า ER เท่ากับ $11C/12$

6. เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 1 ถึงสวิตช์ S1 ถัดมา ที่เวลา t_6

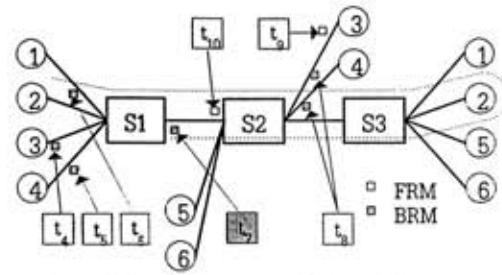
SRC	ER	β	λ	C	C_n	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	(7)	(8)	
2	F2	1	F2	(7) $2 \cdot F2 + 2 \cdot F1$			
3	F1	1	F1	(8) $(11/12 C) + C - (2 \cdot F2 + 2 \cdot F1)$			
4	F1	1	F1	$= 15/12 C$ then $A_{max} = C$			

รูปที่ 3.10 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่เวลา t_6

ในรูปที่ 3.10 เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 1 ตามเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 ปรับตามเวลา t_6 ที่สวิตช์ S1 ค่า ER ในเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 1 มีค่าเท่ากับ F2 ที่มีการปรับค่า ER จากสวิตช์ S2 แต่ค่าของ A_{max} ที่มีการปรับเมื่อรับเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 เท่ากับ $11C/12$ ดังนั้นสวิตช์ตัดสินใจว่าแหล่งกำเนิด 1 ยังคงติดขัดอยู่ ค่า β เท่ากับ 1 และค่า λ ยังคงเท่ากับ F2 แล้วอัลกอริทึมจะปรับค่า C_n ตามสมการ (2.12) คือค่า C_n เดิมลบด้วยค่า λ ของการเชื่อมต่อนี้ก่อนที่จะปรับเป็นค่า ER บวกค่า ER ในเซลล์ BRM ของการเชื่อมต่อนี้ที่ติดขัด เท่ากับ $(2 \cdot F2 + 2 \cdot F1) - F1 + F1$ หรือ $2 \cdot F2 + 2 \cdot F1$ และค่า A_{max} ยังปรับตามสมการ (2.3) มีค่าเท่ากับ $15C/12$ แต่เนื่องจากการกำหนดขอบเขตบนของค่า A_{max} จะต้องมีค่าไม่มากกว่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ของบริการ ABR เพื่อไม่ให้แหล่งกำเนิดส่งข้อมูลสูงกว่าแบนด์วิดท์ที่ช่วยเชื่อมโยงรองรับได้ซึ่งทำให้เกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูล ดังนั้นค่า A_{max} เท่ากับ C

7. เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 2 ถึงสวิตช์ S1 ถัดมา ที่เวลา t_7

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	(9)	(10)	
2	F2	1	F2	(9) $2 \cdot F2 + 2 \cdot F1$			
3	F1	1	F1	(10) $C + C - (2 \cdot F2 + 2 \cdot F1)$			
4	F1	1	F1	$= 16/12 C$ then $A_{max} = C$			

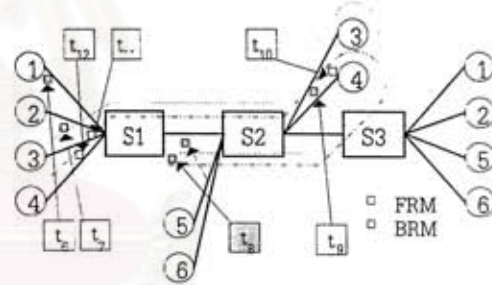


รูปที่ 3.11 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ดังเดิม ที่เวลา t_7

ในรูปที่ 3.11 เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 2 ตามเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 1 ปรับตามเวลา t_7 ที่สวิตช์ S1 ค่า ER ในเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 2 เท่ากับ F2 (ค่า ER ในเซลล์ FRM ปรับที่สวิตช์ S1 เท่ากับ F1 และค่า ER ในเซลล์ FRM และ BRM ปรับที่สวิตช์ S2 เท่ากับ F2) ค่าของ A_{max} ที่มีการปรับเมื่อรับเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 1 เท่ากับ C ดังนั้นแหล่งกำเนิด 2 ยังคงติดขัดอยู่ค่า β เท่ากับ 1 และค่า λ ยังคงเท่ากับ F2 แล้วอัลกอริทึมจะปรับค่า C_b ตามสมการ (2.12) เท่ากับ $2 \cdot F2 + 2 \cdot F1$ และค่า A_{max} ยังปรับตามสมการ (2.3) เท่ากับ $16C/12$ ดังนั้นค่า A_{max} เท่ากับ C

8. เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3 - 4 ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_8 (มีการปรับ FRM สวิตช์ S1 ที่เวลา t_8)

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	(12)	(13)	
2	F2	1	F2	(11) $(C - 2 \cdot F2) / 2$			
3	(11)	1	(11)	(12) $2 \cdot F2 + C - 2 \cdot F2 = C$			
4	(11)	1	(11)	(13) $A_{max} = C$			

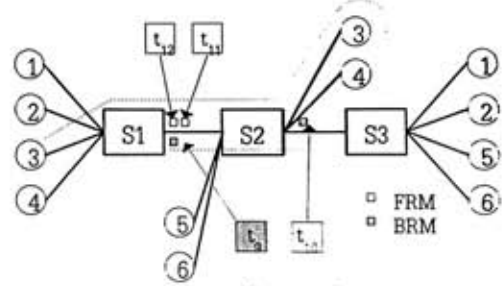


รูปที่ 3.12 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ดังเดิม ที่เวลา t_8

ในรูปที่ 3.12 เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3, 4 ที่มีการปรับเซลล์ FRM เวลา t_8 ที่สวิตช์ S1 ค่า ER ในเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3, 4 เท่ากับ $5C/12$ แต่ค่า A_{max} ที่มีค่าเท่ากับ C มากกว่า ดังนั้นแหล่งกำเนิด 3, 4 ก็ยังคงติดขัด สวิตช์จะมีการปรับค่า β ยังเท่ากับ 1 และค่า λ มีการเปลี่ยนแปลงไป โดยค่า λ ของแต่ละแหล่งกำเนิดเท่ากับ $5C/12$ อัลกอริทึมจะทำการปรับค่า C_b เท่ากับ $2 \cdot F2 + C - 2 \cdot F2$ หรือ C และค่า A_{max} ที่มีการปรับยังมากกว่าค่า C ดังนั้นค่า A_{max} จะเท่ากับ C หลังจากนั้นเซลล์ FRM ของแหล่งกำเนิด 3 - 4 ถึงที่สวิตช์ S1 (เป็นเซลล์ BRM ที่ถึงสวิตช์ S1 เวลา t_{11} และ t_{12} ตามลำดับ) จะมีการปรับค่า ER ในเซลล์ FRM มีค่าเท่ากับค่า A_{max} แล้วส่งต่อไปสวิตช์ S2 โดยค่า C_b และค่า A_{max} ไม่มีการปรับค่าเมื่อรับเซลล์ FRM

9. เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3 ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_9 (มีการปรับ FRM สวิตช์ S1 ที่เวลา t_9)

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	(15)	(16)	
2	F2	1	F2	(14) $C - 2 \cdot F2 - F1 = 7/12 C$			
3	(14)	1	(14)	(15) $C - [(C - 2 \cdot F2) / 2] + [C - 2 \cdot F2 - F1] = C$			
4	(11)	1	(11)	(16) $C + C - C = C$			

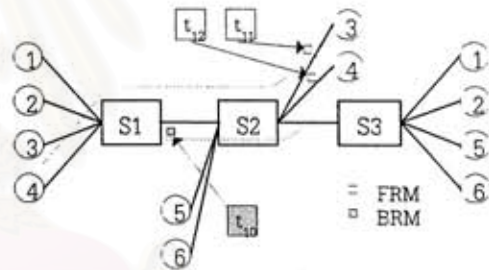


รูปที่ 3.13 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่เวลา t_9

ในรูปที่ 3.13 เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3 ที่มีการปรับเซลล์ FRM เวลา t_9 ที่สวิตช์ S1 ค่า ER ในเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3 เท่ากับ $7C/12$ ซึ่งน้อยกว่าค่า A_{max} ที่เท่ากับค่า C ดังนั้นสวิตช์ตัดสินใจว่าแหล่งกำเนิด 3 ยังติดขัดค่า β เท่ากับ 1 และค่า λ มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็น $7C/12$ อัลกอริทึมทำการปรับ C_b จากค่า λ และค่า ER ในเซลล์ BRM ที่เข้ามาถึงที่สวิตช์ ของแหล่งกำเนิด 3 มีค่าเกิน C แต่ขอบเขตบนของค่า C_b จะไม่มากกว่าค่า C ดังนั้นค่า C_b เท่ากับค่า C และค่า A_{max} ที่มีการปรับใหม่มีค่าเท่ากับ C

10. เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_{10} (มีการปรับ FRM สวิตช์ S1 ที่เวลา t_9)

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	(18)	(16)	
2	F2	1	F2	(17) $2 \cdot C - 4 \cdot F2 - 3 \cdot F1 = 11/12 C$			
3	(14)	1	(14)				
4	(17)	1	(17)	(18) $C - [(C - 2 \cdot F2) / 2] + C = C$			

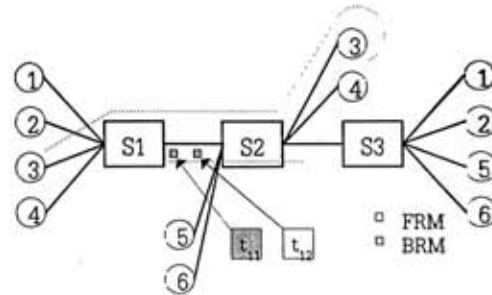


รูปที่ 3.14 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่เวลา t_{10}

ในรูปที่ 3.14 เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 ที่มีการปรับ FRM สวิตช์ S1 เวลา t_9 ค่า ER ในเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 เท่ากับ $11C/12$ น้อยกว่าค่า A_{max} สวิตช์ตัดสินใจว่าแหล่งกำเนิด 4 ยังติดขัด ค่า β เท่ากับ 1 และค่า λ มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็น $11C/12$ อัลกอริทึมจะปรับค่า C_b มีค่ามากกว่า C แต่จากขอบเขตบนที่กำหนดค่า C_b จะมีค่าเท่ากับ C และ A_{max} มีค่าเท่ากับ C

11. เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3 ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_{11} (มีการปรับ FRM ที่ t_8 ปรับค่า ER เท่ากับค่า C)

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	(19)	(20)	
2	F2	1	F2	$(19) C - 7/12 C = 5/12 C$			
3	C	0	0	$(20) (C - 5/12 C) / 1$			
4	(17)	1	(17)				



รูปที่ 3.15 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_{11}

ในรูปที่ 3.15 เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3 ที่มีการปรับ FRM เวลา t_8 ที่สวิตช์ S1 มีการตั้งค่า ER ใน 3MR เท่ากับ C ซึ่งมีค่าเท่ากับค่า A_{max} ดังนั้นสวิตช์จะตัดสินใจว่าแหล่งกำเนิด 3 ไม่ติดขัด ค่า β มีการปรับเป็น 0 และค่า λ เปลี่ยนเป็น 0 อัลกอริทึมจะปรับค่า C_b โดยใช้สมการ (2.13) ค่า C_b เท่ากับค่า C_b เดิมลบด้วยค่า λ ของแหล่งกำเนิด 3 มีค่าเท่ากับ $C - 7C/12$ หรือ $5C/12$ ดังนั้นค่า A_{max} มีการปรับตามสมการ (2.3) เท่ากับ $7C/12$

12. เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_{12} (มีการปรับ FRM ที่ t_8 ปรับค่า ER เท่ากับค่า C)

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	(21)	(22)	
2	F2	1	F2	$(21) 5/12 C - 11/12 C$			
3	C	0	0	$= -6/12 C$ then $C_b = 0$			
4	C	0	0	$(22) (C - 0) / 2 = C/2$			

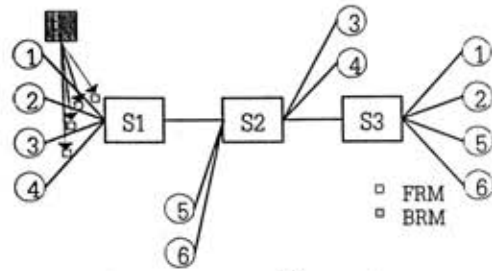


รูปที่ 3.16 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_{12}

ในรูปที่ 3.16 เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 ที่มีการปรับ FRM เวลา t_8 ที่สวิตช์ S1 มีการตั้งค่า ER ใน BMR เท่ากับ C ซึ่งมีค่าเท่ากับค่า A_{max} ดังนั้นสวิตช์จะตัดสินใจว่าแหล่งกำเนิด 4 ไม่ติดขัด ค่า β มีการปรับเป็น 0 และค่า λ เปลี่ยนเป็น 0 อัลกอริทึมจะปรับค่า C_b เท่ากับ $(5C/12 - 7C/12)$ หรือ $(-6C/12)$ ซึ่งมีค่าติดลบ แต่ค่า C_b มีการกำหนดขอบเขตล่างโดยไม่ให้มีค่าที่ต่ำกว่า 0 ดังนั้นค่า C_b จะเท่ากับ 0 ค่า A_{max} มีการปรับตามสมการ (2.3) เท่ากับ $C/2$

13. เซลล์ FRM ของแหล่งกำเนิด 1 - 4 ถึงที่สวิตช์ S1

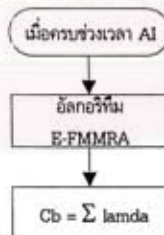
SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	0	C/2	
2	F2	1	F2				
3	C/2	0	0				
4	C/2	0	0				



รูปที่ 3.17 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ที่เวลา t_{13}

ในรูปที่ 3.17 หลังจากนั้นที่สวิตช์ S1 จะมีการตั้งค่า ER ในเซลล์ FRM เท่ากับ $C/2$ ทั้งหมด และค่า ER ในเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3, 4 ก่อนที่ FRM ที่ปรับเวลานี้จะย้อนกลับมาที่สวิตช์ S1 มีค่าสูงกว่า A_{max} ดังนั้นแหล่งกำเนิด 3, 4 จะไม่ถูกตั้งว่าติดขัด โดยแหล่งกำเนิด 1, 2 ยังคงเป็นแหล่งกำเนิดที่ติดขัดเนื่องจากการปรับค่า ER ที่สวิตช์ S2 ทำให้ค่า C_b ที่สวิตช์ S1 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นค่า A_{max} ที่คำนวณได้จึงผิดพลาด

วิธีการปรับปรุงที่นำเสนอ คือจะทำการคำนวณค่า C_b จากการรวมกันของ λ ทุกการเชื่อมต่อเมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยทำให้ค่าของ C_b ที่ผิดพลาดสามารถแก้ไขได้ แต่โครงข่ายยังคงมีความผิดพลาดในช่วงเวลาก่อนที่จะครบช่วงเวลาเฉลี่ย ซึ่งการปรับค่า C_b ทุกครั้งที่หมดช่วงเวลาเฉลี่ยทำให้ค่า A_{max} ที่กำหนดให้แต่ละการเชื่อมต่อมีการผิดพลาดอยู่เล็กน้อยในช่วงก่อนที่จะครบช่วงเวลาเฉลี่ยแล้ว จะมีการคำนวณค่าให้ถูกต้อง ซึ่งทุกแหล่งกำเนิดสามารถส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้องตามอัตราที่กำหนดค่า ER ในเซลล์ RM ซึ่งการปรับปรุงอาจจะเพิ่มความซับซ้อนให้กับระบบ เนื่องจากอาจมีการคำนวณที่ไม่เกิดประโยชน์ขึ้นเมื่อค่า C_b ไม่ผิดพลาดแสดงในรูปที่ 3.18

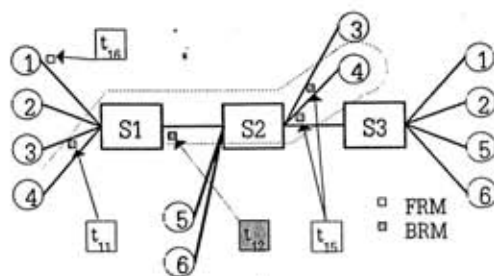


รูปที่ 3.18 การปรับการตรวจจับค่าแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัดผิดพลาด ในอัลกอริทึม E-FMMRA

การปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA ในส่วนของการคำนวณแบนด์วิดท์ที่ติดขัดใหม่เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ย มีตัวอย่างแสดงการปรับปรุงจากกรณีที่มีการคำนวณผิดพลาด แบบจำลองรูปที่ 3.4 เมื่อโครงข่ายมีการปรับตามอัลกอริทึม E-FMMRA ในรูปที่ 3.5 - 3.15 ถึงเวลา t_{11} แล้วอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงจะมีการทำงานต่อไปในรูปที่ 3.19 - 3.23

1. ที่เวลา t_{12} เซลล์ BRM แห่งกำเนิด 4 ถึงสวิตช์ S1 (มีการปรับ FRM ที่เวลา t_0) ปรับค่า ER เท่ากับ C

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	(18)	(19)	
2	F2	1	F2	(18)	$5/12 C - C$		
3	C	0	0		$= -7/12 C$ then $C_b = 0$		
4	C	0	0	(19)	$(C - 0) / 2 = C/2$		

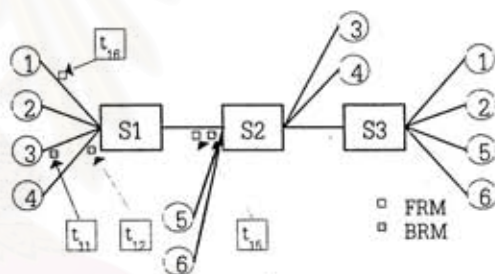


รูปที่ 3.19 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงค่า C_b เวลา t_{12}

ในรูปที่ 3.19 เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 ที่มีการปรับ FRM เวลา t_0 ที่สวิตช์ S1 มีการตั้งค่า ER ใน 3MR เท่ากับ C ซึ่งมีค่าเท่ากับค่า A_{max} ดังนั้นสวิตช์จะตัดสินใจว่าแหล่งกำเนิด 4 ไม่ติดขัด ค่า β มีการปรับเป็น 0 และค่า λ เปลี่ยนเป็น 0 อัลกอริทึมจะปรับค่า C_b เท่ากับ $5C/12 - 7C/12$ หรือ $-6C/12$ ซึ่งมีค่าติดลบ แต่ค่า C_b มีการกำหนดขอบเขตล่างโดยไม่ให้มีค่าที่ต่ำกว่า 0 ดังนั้นค่า C_b จะเท่ากับ 0 ค่า A_{max} มีการปรับตามสมการ (2.3) เท่ากับ $C/2$

2. หลังจากผ่านเวลา t_{12} ก่อนครบช่วงเวลาเฉลี่ยสวิตช์ S1 ที่เวลา t_{13}

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	0	$C/2$	
2	F2	1	F2				
3	$C/2$	0	0				
4	$C/2$	0	0				

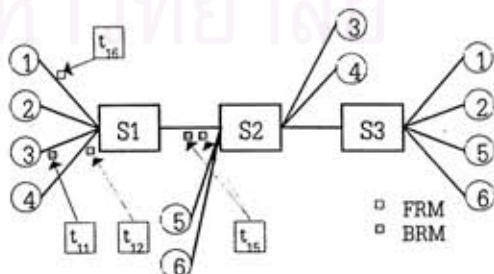


รูปที่ 3.20 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงค่า C_b เวลา t_{13}

ในรูปที่ 3.20 ก่อนที่จะครบช่วงเวลาเฉลี่ย ค่า C_b และค่า A_{max} ยังคงมีความผิดพลาดอยู่ โดยค่า C_b เท่ากับ 0 และค่า A_{max} เท่ากับ $C/2$

3. เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยสวิตช์ S1 แล้ว ที่เวลา t_{14}

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	$2 \cdot F2$	$C/2$	
2	F2	1	F2				
3	$C/2$	0	0				
4	$C/2$	0	0				

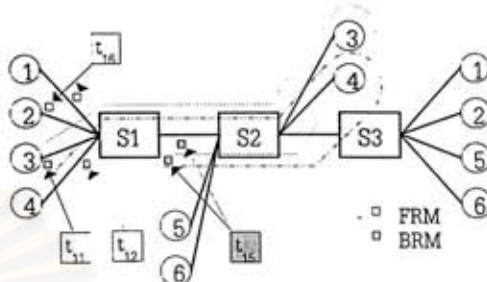


รูปที่ 3.21 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงค่า C_b เวลา t_{14}

ในรูปที่ 3.21 เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ย จะมีการปรับค่า C_b ใหม่ โดยเป็นผลรวมแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัดทั้งหมด มีค่าเท่ากับ $2 * F2$ แต่ค่า A_{max} ยังไม่มีการปรับค่าใหม่

4. เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3 - 4 ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_{15}

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	$2 * F2$	(20)	
2	F2	1	F2				
3	(20)	0	0				
4	(20)	0	0				
(20) (C - 2 * F2) / 2							

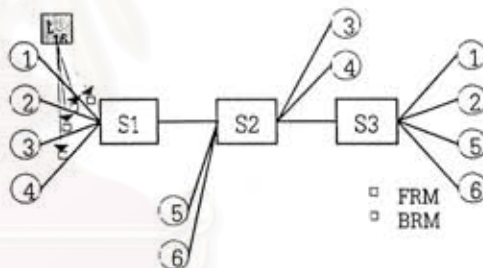


รูปที่ 3.22 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงค่า C_b เวลา t_{15}

ในรูปที่ 3.22 หลังจากครบช่วงเวลาเฉลี่ย เมื่อมีเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3, 4 ถึงสวิตช์ S1 ก็จะมีการปรับค่า ER ใน BRM และมีการปรับค่า A_{max} ตามสมการ (2.3) มีค่าเท่ากับ $(C - 2 * F2) / 2$ หรือ $5C / 12$

5. เซลล์ FRM ของแหล่งกำเนิด 1 - 4 ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_{16}

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	$2 * F2$	(20)	
2	F2	1	F2				
3	(20)	0	0				
4	(20)	0	0				



รูปที่ 3.23 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงค่า C_b เวลา t_{16}

ในรูปที่ 3.23 เมื่อมีการปรับค่า A_{max} ถูกต้อง จะมีการตั้งค่า ER ทั้งเซลล์ FRM และ BRM ทำให้โครงข่ายเข้าหาสภาวะอยู่ตัว

เมื่ออัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงการคำนวณค่า C_b แล้ว จะมีแบ่งอัตราการส่งให้ทุกการเชื่อมต่อที่ถูกต้อง ทำให้ระดับไม่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและไม่เกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูล

3.3 การควบคุมคิว (Queue Control)

ขนาดของเซลล์ข้อมูลที่อยู่ในคิวจะเป็นตัวบอกความสามารถของอัลกอริทึมในการป้องกันความคับคั่งในโครงข่าย โดยโครงข่ายจะมีการใช้งานสายเชื่อมโยงอย่างเต็มที่ถ้ามีข้อมูลอยู่ในคิว ส่วนความคับคั่งนั้นจะเกิดจากการที่เซลล์ข้อมูลไม่สามารถเก็บไว้ในคิวได้เนื่องจากคิวในสวิตช์มีข้อมูลอยู่เต็มจนทำให้เกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูล ดังนั้นอัลกอริทึมจำเป็นต้องป้องกันไม่ให้มีเซลล์ข้อมูลอยู่ในคิวมากเกินไปในระดับที่กำหนด ซึ่งตามหลักการนั้นควรจะมีข้อมูลอยู่ในคือน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้หรือไม่มีอยู่ในคิว แต่การที่ไม่มีข้อมูลหรือข้อมูลอยู่ในคือน้อยเกินไปอาจจะทำให้การใช้งานสายเชื่อมโยงไม่เต็มที่เนื่องจากบางแหล่งกำเนิดไม่สามารถส่งข้อมูลได้ตามที่สวิตช์แนะนำให้ส่ง ทำให้มีเวลาที่สายเชื่อมโยงไม่มีข้อมูลส่งเข้าไปในโครงข่าย

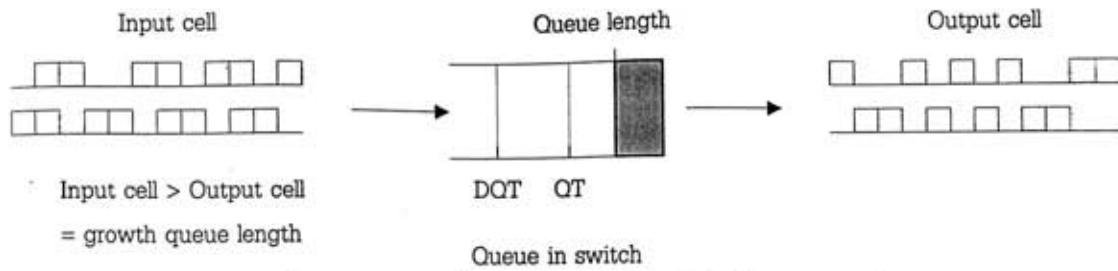
การที่อัลกอริทึม E-FMRA ไม่สามารถควบคุมคิวได้นั้น สถานะชั่วคราวสวิตช์มีการปรับค่า ER ในเซลล์ RM ให้แหล่งกำเนิดส่งข้อมูลมากกว่าที่สายเชื่อมโยงสามารถรองรับได้เล็กน้อยทำให้มีเซลล์ข้อมูลรออยู่ที่คิวเล็กน้อยเพื่อส่งเซลล์เข้าไปในโครงข่าย ซึ่งจะทำให้โครงข่ายมีการใช้งานส่วนของการประวิงเวลาในคิวต่ำ แต่ถ้าในโครงข่ายมีแหล่งกำเนิด VBR ที่มีการส่งข้อมูลแบบ burst ประกอบด้วยคาบของการส่งและคาบการหยุดส่ง เมื่อสวิตช์มีข้อมูลอยู่ในคิวต่ำและแหล่งกำเนิด VBR อยู่ในคาบการหยุดส่งพอดี จะทำให้ข้อมูลที่อยู่คิวไหลออกไปยังโครงข่าย โดยแหล่งกำเนิด ABR มีการส่งข้อมูลเข้าไปในโครงข่ายน้อย (แบนด์วิดท์ของสายเชื่อมโยงส่วนใหญ่แบ่งให้บริการ VBR) หลังจากข้อมูลในคิวหมดจะทำให้สวิตช์ไม่มีข้อมูลที่จะส่งต่อ ดังนั้นสวิตช์จะไม่มีการส่งข้อมูลการใช้งานสายเชื่อมโยงก็จะไม่เต็มประสิทธิภาพ

ถ้าสวิตช์มีการปรับค่า ER ในเซลล์ RM ให้แหล่งกำเนิดทั้งหมดส่งข้อมูลสูงกว่าที่สายเชื่อมโยงรองรับได้มากจะทำให้สวิตช์มีข้อมูลอยู่ในคิวค่อนข้างมาก โกล์จะเต็มความจุของคิวที่สวิตช์รองรับได้ ถ้าโครงข่ายมีแหล่งกำเนิด VBR มีการส่งข้อมูลแบบ burst ช่วงคาบของการหยุดส่งจะทำให้สวิตช์ส่งข้อมูลที่อยู่ในคิวไหลออกมีการใช้งานสายเชื่อมโยงเต็มประสิทธิภาพ แต่ถ้าแหล่งกำเนิด VBR อยู่ในช่วงคาบของการส่ง แหล่งกำเนิดพยายามจะส่งข้อมูลเข้าไปในคิวมากกว่าข้อมูลในคิวไหลออก ดังนั้นคิวเต็มและเกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูลเนื่องจากสวิตช์ไม่สามารถรองรับข้อมูลได้ทั้งหมด

วิธีการปรับปรุงที่นำเสนอ [8,15] คือการปรับเพิ่มอัตราการส่งของแต่ละการเชื่อมต่อเมื่อระดับข้อมูลในคิวต่ำทำให้ระดับของคิวเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่ต้องการ โดยอัตราการส่งที่เพิ่มขึ้นนั้นข้อมูลเข้าจำนวนมากกว่าข้อมูลที่ออกจากสวิตช์ทำให้มีข้อมูลเหลือ ดังนั้นระดับคิวของข้อมูลมีขนาดเพิ่มมากขึ้น และการปรับอัตราการส่งของแต่ละการเชื่อมต่อลดลงเมื่อระดับข้อมูลในคิวสูง เพื่อให้แบนด์วิดท์ที่เหลือจากอัตราการส่งที่ลดลงนั้นส่งข้อมูลที่อยู่ในคิวแทนทำให้ระดับของคิวลดลง โดยลดอัตราการส่งจากอัตราที่สวิตช์แนะนำให้ส่ง ทำให้เมื่อระดับคิวอยู่บริเวณที่กำหนดไว้อัตราการส่งของแต่ละการเชื่อมต่อจะเท่ากับอัตราที่สวิตช์แนะนำไว้ อัตราการส่งเข้าที่สวิตช์เท่ากับอัตราที่สวิตช์ส่งต่อไปยังสายเชื่อมโยง

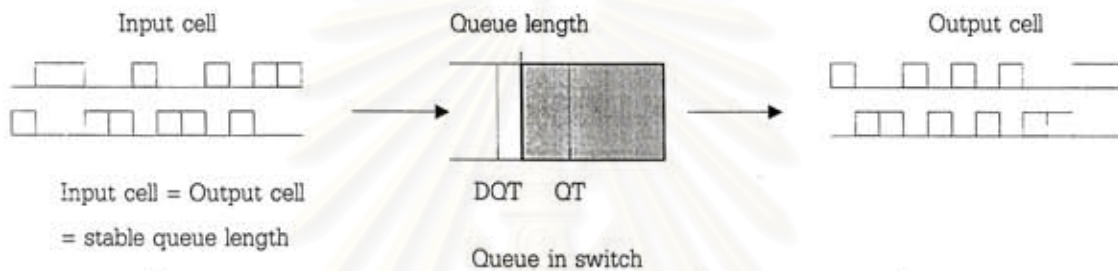
การออกแบบฟังก์ชันของการควบคุมคิว (Function queue, F(queue)) [15] จะแปรผกผันตามขนาดของคิวขณะนั้น โดยกำหนดระดับของคิวที่ต้องการอยู่ระหว่าง QT และ DQT ดังนี้

- ถ้าขนาดข้อมูลของคิวในสวิตช์มีค่าต่ำมาก (ระดับคิวต่ำกว่า QT) อาจจะมีการใช้งานสายเชื่อมโยงมีค่าต่ำ ค่าฟังก์ชันของคิวควรจะมากขึ้นเพื่อแหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลได้มากขึ้น โดยสวิตช์ยังคงส่งข้อมูลตามที่สายเชื่อมโยงรองรับได้ ส่วนผลต่างของข้อมูลเหลือที่สวิตช์ไม่สามารถส่งได้ก็จะเก็บไว้ในคิว ดังนั้นค่าฟังก์ชันของคิวมากกว่า 1 ในรูปที่ 3.24



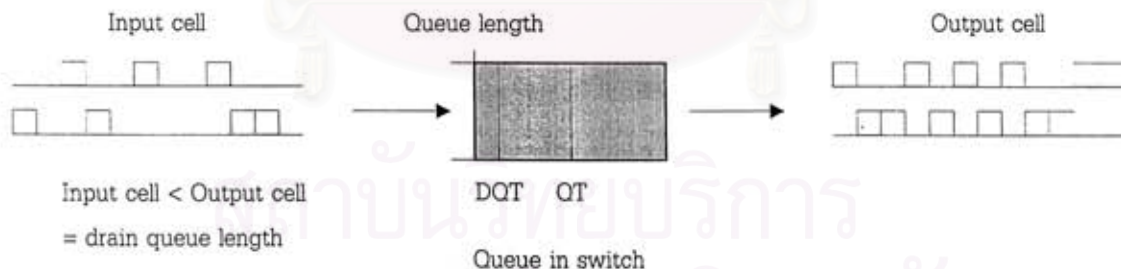
รูปที่ 3.24 ระดับคิวต่ำกว่าระดับแรก QT ค่าฟังก์ชันคิวมากกว่า 1

- ถ้าขนาดข้อมูลของคิวอยู่ในระดับที่เหมาะสมหรือโครงข่ายอยู่ในสถานะหยุดตัว (ระดับคิวอยู่ระหว่าง QT และ DQT) สวิตช์จะมีข้อมูลในคิวอยู่บนขอบเขตที่กำหนด และอัตราการส่งข้อมูลเข้าสวิตช์เท่ากับอัตราการส่งข้อมูลออกของสวิตช์ทำให้ขนาดของคิวแกว่งอยู่ในระดับที่กำหนดไว้ ดังนั้นค่าฟังก์ชันของคิวจะเท่ากับ 1 ในรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ระดับคิวอยู่ระหว่างระดับแรก QT และระดับที่สอง DQT ค่าฟังก์ชันคิวเท่ากับ 1

- ถ้าขนาดข้อมูลของคิวในสวิตช์มีค่าสูง (ระดับคิวมากกว่า DQT) สวิตช์จะใช้แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงส่วนหนึ่งเพื่อส่ง ข้อมูลในคิวไหลออกไป ค่าฟังก์ชันของคิวจะน้อยกว่า 1 โดยข้อมูลที่ส่งออกจากสวิตช์ไปข่ายเชื่อมโยงจะประกอบด้วยข้อมูลที่อยู่ในคิวกับข้อมูลที่แหล่งกำเนิดส่งขณะนั้น ในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ระดับคิวสูงกว่าระดับที่สอง DQT ค่าฟังก์ชันคือน้อยกว่า 1

- ถ้าขนาดข้อมูลของคิวอยู่ในระดับที่สูงมากจนเกิดความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูล มีการตั้งค่าระดับต่ำสุดของฟังก์ชันคิว คือ Queue Drain Limit Factor (QDLF) เพื่อไม่ให้ใช้ความจุทั้งหมดที่มีอยู่ใช้สำหรับส่งข้อมูลที่อยู่ในคิวทั้งหมดโดยแหล่งกำเนิดไม่ได้ส่งข้อมูลเลย ทำให้มีข้อมูลในคิวไหลออกอย่างจำกัด

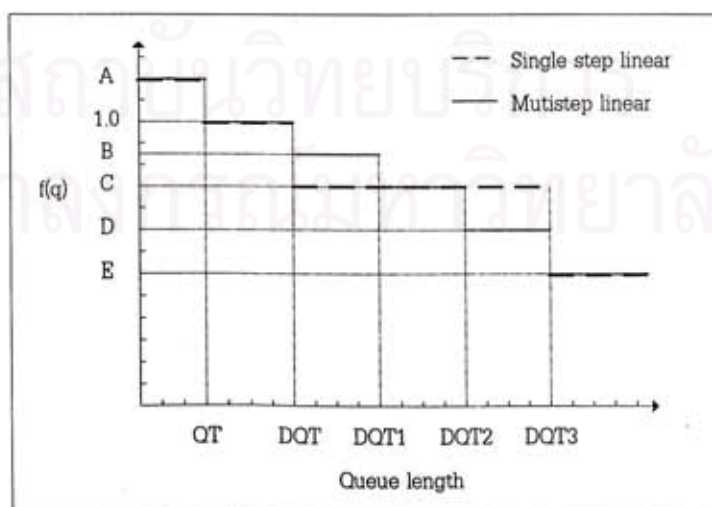
การออกแบบฟังก์ชันควบคุมคิวจะมีรูปแบบทั่วไป คือ

$$F(\text{queue}) \begin{cases} > 1, & \text{queue length} > \text{first threshold} \\ = 1, & \text{second threshold} > \text{queue length} > \text{first threshold} \\ < 1, & \text{last threshold} > \text{queue length} > \text{second threshold} \\ = \text{ODLF}, & \text{last threshold} < \text{queue length} \end{cases} \quad (3.2)$$

ฟังก์ชันสามารถแบ่งตามการเปลี่ยนแปลงระหว่างข้อมูลที่อยู่ในคิวเทียบกับระดับข้อมูล 0 ถึงระดับคิวแรก (first threshold) และระดับคิวที่สอง (second threshold) ถึงระดับคิวสุดท้าย (last threshold) สามารถแบ่งเป็น step function, linear function และ hyperbolic function [15] โดยแต่ละฟังก์ชันสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การควบคุมคิวแบบ step function จะมีการทำงานที่ง่าย และซับซ้อนน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับ linear function และ hyperbolic function ซึ่ง step function จะมีฟังก์ชันของคิวมีการทำงานตามสมการ (3.3)

$$F(\text{queue}) = \begin{cases} A, & \text{queue length} > \text{first threshold} \\ 1, & \text{second threshold} > \text{queue length} > \text{first threshold} \\ B, & \text{last threshold} > \text{queue length} > \text{second threshold} \\ \text{ODLF}, & \text{last threshold} < \text{queue length} \end{cases} \quad (3.3)$$

โดยค่า A มีค่ามากกว่า 1 และค่า B มีค่าน้อยกว่า 1 ดังนั้นการออกแบบการควบคุมคิวของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ใช้ในการควบคุมความคับคั่งจะทำการปรับระดับของคิวที่สวิตช์ให้อยู่ในระดับคิวแรก (OT) และระดับคิวที่สอง (DQT) ซึ่งในช่วงของการปรับค่าที่มากกว่า 1 (A) หรือน้อยกว่า 1 (B) จนถึงค่า ODLF อาจจะมีการแบ่งออกเป็นหลายระดับมากขึ้น เช่นถ้าข้อมูลในคิวอยู่ระหว่างระดับคิวที่สองถึงระดับคิวสุดท้าย จะแบ่งระดับของคิวเพิ่มขึ้นโดยอาจจะมียกระดับคิวที่สาม ระดับคิวที่สี่ ซึ่งค่าของฟังก์ชันก็จะมีค่าเพิ่มเป็น C, D เมื่อระดับคิวอยู่ระหว่างระดับคิวที่สองกับระดับคิวที่สาม ระหว่างระดับคิวที่สามกับระดับคิวที่สี่ตามลำดับ เป็นต้น เพื่อให้มีการปรับระดับของคิวอย่างต่อเนื่องมากกว่าที่จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด ตามรูปที่ 3.27 แสดงฟังก์ชันของคิวที่เปลี่ยนแปลงระดับเดียว และหลายระดับ



รูปที่ 3.27 ฟังก์ชันของข้อมูลในคิว

การควบคุมคิวของอัลกอริทึม E-FMMRA จะใช้ฟังก์ชันของข้อมูลในคิวแบบ Multistep linear ซึ่งค่าระดับคิวแรก QT กำหนดเท่ากับ 500 เซลล์ และระดับคิวที่สอง DOT เท่ากับ 2000 เซลล์ ตาราง 3.1 แสดงฟังก์ชันระดับคิว

ตาราง 3.1 ฟังก์ชันของข้อมูลในคิว

ระดับของคิว	ฟังก์ชันของคิว
$0 < \text{queue} < 500$	1.005
$500 < \text{queue} < 2000$	1
$2000 < \text{queue} < 4000$	0.9995
$4000 < \text{queue} < 6000$	0.998
$6000 < \text{queue} < 8000$	0.9
$\text{queue} < 8000$	0.6

การควบคุมคิวของอัลกอริทึม E-FMMRA จะทำการแบ่งการปรับปรุงอัลกอริทึมเป็น

1. การควบคุมระดับคิวเพื่อให้มีขนาดของข้อมูลในคิวเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยการปรับให้แบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ของข่ายเชื่อมโยงสำหรับบริการ ABR (C) ให้มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามฟังก์ชันของขนาดคิวขณะนั้น เพื่อใช้ในการส่งข่าวสารในเซลล์ RM กลับไปยังแหล่งกำเนิด แบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ของบริการ ABR จะลดลงเมื่อขนาดของคิวเพิ่มขึ้น โครงข่ายจะเข้าสู่สถานะอยู่ตัวขนาดของคิวจะอยู่ในระดับที่ออกแบบแล้วค่าฟังก์ชันของคิวเท่ากับ 1 การปรับให้ข้อมูลส่งออกจากคิวเร็วเพิ่มขึ้นเพื่อลดขนาดของคิว ซึ่งแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ของบริการ ABR น้อยลง ถ้าต้องการเพิ่มขนาดของคิวแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ของบริการ ABR จะต้องเพิ่มมากขึ้น การปรับค่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ของบริการ ABR จะทำเมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยแล้ว จะทำการปรับค่า C ตามสมการ (2.16) แล้วมีการปรับตามขนาดของคิวตามสมการ (3.4)

$$C = F(\text{queue}) * C \quad (3.4)$$

โดยการปรับค่า C พร้อมกับฟังก์ชันของคิวจะต้องไม่นำไปปรับค่า C ในช่วงเวลาถัดไปตามสมการ (2.16) การปรับค่า C ที่ช่วงเวลาถัดไปจะต้องใช้ค่า C ที่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามค่า F(queue)

2. การปรับอัตราการส่งสำหรับแต่ละแหล่งกำเนิด เพื่อช่วยปรับขนาดของคิวจะต้องปรับค่า ER ในเซลล์ RM สำหรับแต่ละแหล่งกำเนิดที่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของคิว ซึ่งจะปรับค่า ER ตามทิศทางของเซลล์ RM ที่สวิตช์ได้รับแบ่งเป็น

2.1 การปรับค่า ER ในเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้า โดยการปรับค่า ER ในเซลล์ RM ตามข้อกำหนดของ Traffic Management 4.0 [4] จะเริ่มต้นตั้งค่า ER ด้วยค่า PCR สำหรับแต่ละแหล่งกำเนิดแล้วปรับค่าที่สวิตช์ให้ค่า ER ลดลงหรือคงที่เท่ากันไม่สามารถเพิ่มได้ ดังนั้นการปรับค่า ER ในเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้าให้สอดคล้องกับขนาดของคิวนั้นจำเป็นจะต้องมีการปรับในกรณีที่มีขนาดของคิวต่ำกว่าระดับคิวแรกที่กำหนดหรือค่า F(queue) มากกว่า 1 เท่านั้น เพราะถ้าระดับของคิวสูงกว่าระดับคิวที่สองสวิตช์ต้องการที่จะส่งข้อมูลออกจากคิวมากขึ้น เมื่อเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้าถึงที่สวิตช์ค่า ER จะลดลงเนื่องจากค่า F(queue) ต่ำกว่า 1 แล้วส่งต่อไปปลายทางย้อนกลับไปที่สวิตช์ เมื่อ

สวิตช์ได้รับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับและปรับระดับคิวให้ต่ำกว่าระดับคิวแรกหรือระดับคิวที่สองทำให้ค่า ER ในเซลล์ RM ที่ตั้งในทิศทางด้านหน้า (ค่า $F(\text{queue})$ ต่ำกว่า 1) ต่ำกว่าค่า ER ที่จะตั้งเมื่อได้รับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับ (ค่า $F(\text{queue})$ สูงกว่าหรือเท่ากับ 1) แต่จากข้อกำหนดทำให้ค่า ER ที่ตั้งในเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้าไม่สามารถเพิ่มทำให้ระดับของคิวไม่สามารถเพิ่มได้ ดังนั้นการปรับค่า ER ในเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้าจะมีการปรับตามสมการ (3.5)

$$ER = ER * F(\text{queue}) \quad (3.5)$$

เมื่อค่า $F(\text{queue})$ มากกว่า 1 หรือเมื่อระดับคิวอยู่ต่ำกว่าระดับคิวที่สอง

2.2 การปรับค่า ER ในเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับ โดยการปรับค่า ER ในเซลล์ RM นั้นจะไม่สามารถปรับค่าให้เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการปรับค่า ER จะแปรตามขนาดของคิวได้ ตามสมการ (3.5) เมื่อค่า $F(\text{queue})$ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1

3. การปรับค่า ER ในเซลล์ RM ที่อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดเปลี่ยนแปลงตามขนาดของคิว อาจจะทำให้การตรวจจับสถานะการเชื่อมต่อของแต่ละการเชื่อมต่อมีความผิดพลาดได้ เพราะถ้าขนาดของคิวในสวิตช์มีค่าสูงกว่าระดับคิวที่สองที่ใช้ในการเปรียบเทียบทำให้ค่า $F(\text{queue})$ มีค่าต่ำกว่า 1 ค่า ER ที่ปรับตามขนาดของคิวลดลงต่ำกว่าค่า ER ที่ไม่มีการปรับตามขนาดของคิว การตรวจจับสถานะการเชื่อมต่อโดยทำการเปรียบเทียบค่า ER กับค่า A_{max} ซึ่งถ้าไม่มีการปรับค่า ER ตามขนาดของคิว สวิตช์จะตรวจจับว่าการเชื่อมต่อนั้นไม่ติดขัด (ค่า ER มากกว่าค่า A_{max}) แต่ถ้ามีการปรับค่า ER ตามขนาดของคิวในกรณีที่ขนาดของคิวสูงกว่าระดับคิวที่สองจะทำให้ค่า ER น้อยกว่าค่า A_{max} ซึ่งสวิตช์จะตรวจจับว่าการเชื่อมต่อติดขัด (ค่า ER ตามขนาดคิวจะน้อยกว่าค่า A_{max}) ทำให้เกิดการตรวจจับสถานะของการเชื่อมต่อที่ผิดและการคำนวณค่า A_{max} ผิดพลาดตาม ดังนั้นจำเป็นจะต้องมีการกำหนดตัวแปรเพื่อช่วยในการตรวจสอบสถานะของการเชื่อมต่อ กำหนด ER_{range} เพื่อช่วยขยายค่าอัตราการส่งที่ช่วยในการตรวจจับสถานะสำหรับแต่ละการเชื่อมต่อเฉพาะในกรณีที่ขนาดของคิวสูงกว่าระดับคิวที่สองจะทำการคำนวณค่า ER_{range} ทุกครั้งที่ครบช่วงเวลาเฉลี่ย

$$ER_{\text{range}} = (1-F(\text{queue})) * C \quad (3.6)$$

โดยจะใช้ค่า C ที่ได้จากการปรับตามสมการ (2.14) ที่ยังไม่มีการปรับค่า C กับขนาดของคิวตามสมการ (3.4) และจะนำไปเพิ่มให้กับค่า ER ในเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับเพื่อช่วยในการตรวจจับสถานะของการเชื่อมต่อเท่านั้น โดยก่อนที่จะทำการตรวจจับสถานะจะมีการปรับค่า ER

$$ER = ER_{\text{range}} + ER \quad (3.7)$$

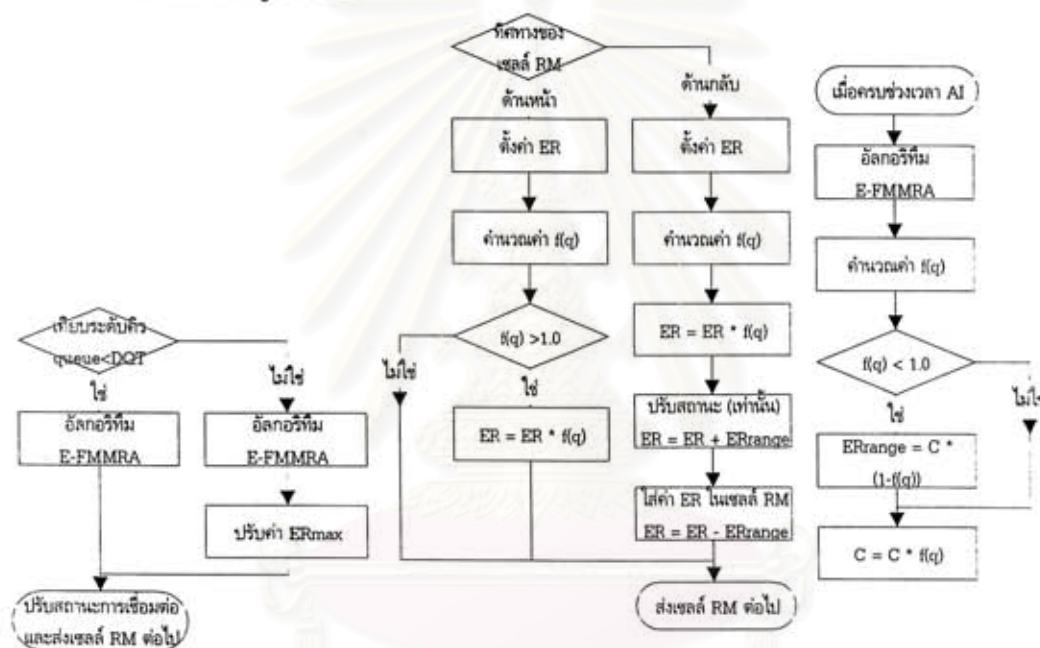
หลังจากเปรียบเทียบกับค่า A_{max} เพื่อหาสถานะของการเชื่อมตอก็จะปรับค่า ER ใน RM เซลล์ทิศทางย้อนกลับอีกครั้ง

$$ER = ER_{\text{range}} - ER \quad (3.8)$$

แต่จะไม่มีการเพิ่มให้กับ ER ในเซลล์ RM ที่ติดทางด้านหน้า เพราะเมื่อสวิตช์รับเซลล์ RM ด้านหน้าจะไม่มีการตรวจจับสถานะของการเชื่อมต่อ

4. การปรับค่า ER_{max} ของอัลกอริทึม E-FMMRA ตามสมการ (2.11) เมื่อขนาดของคิวมีค่าสูงกว่าระดับคิวที่สอง ค่า ER_{max} ถ้าไม่สามารถปรับตามค่าอัตราการส่งได้ ดังนั้น ER_{max} ต้องมีการปรับตามค่า ER ในเซลล์ RM เหมือนในกรณีของขนาดคิวอยู่ต่ำกว่า DOT ตามสมการ (2.7) เพื่อช่วยให้มีการปรับอัตราการส่งที่ต่อเนื่อง

การควบคุมขนาดของคิวจำเป็นจะต้องปรับทั้งแบนด์วิดท์ของบริการ ABR ที่ใช้งานได้ทั้งหมด และอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดทุกตัวด้วย เพราะจุดทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นในการคำนวณค่าไหลดแฟลคเตอร์ในส่วนอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดเปลี่ยนแปลงตามขนาดของคิวแล้ว ทำให้แบนด์วิดท์ของบริการ ABR ที่ใช้งานได้ทั้งหมดจะต้องเปลี่ยนแปลงตามขนาดของคิวด้วย เพื่อให้ค่าไหลดแฟลคเตอร์มีค่าเท่ากับ 1 ด้วย การควบคุมขนาดของคิวทั้งหมดแสดงในรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 การควบคุมคิว ในอัลกอริทึม E-FMMRA

การปรับปรุงปัญหาอัลกอริทึม E-FMMRA นั้นจะทำให้อัลกอริทึมสามารถทำงานได้ถูกต้อง ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของอัลกอริทึมจะมีการเสนอการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA เพิ่ม คือ

1. การปรับค่าพารามิเตอร์ของแต่ละการเชื่อมต่อทุกครั้งที่ได้รับเซลล์ RM รวมทั้งพารามิเตอร์ร่วมของทุกการเชื่อมต่อที่มีการปรับทุกครั้งที่ครบช่วงเวลาเฉลี่ย ถ้าช่วงเวลาเฉลี่ยมีค่ามากกว่าการปรับค่าพารามิเตอร์ของแต่ละการเชื่อมต่อด้วยพารามิเตอร์ร่วมมากจะทำให้เกิดการปรับตัวเร็วเกินไป เช่น ค่าไหลดแฟลคเตอร์มีค่าต่ำทำให้การปรับค่า ER_{max} ทุกครั้งที่รับเซลล์ RM เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อโครงข่ายอยู่ในสภาวะอยู่ตัวการปรับพารามิเตอร์ทุกครั้งที่ได้รับเซลล์ RM จะเป็นการปรับที่ไม่จำเป็น

2. การปรับค่าพารามิเตอร์ร่วม A_{max} กรณีที่มีบางการเชื่อมต่อที่ไม่ติดขัด ค่าแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัดทั้งหมด (C_c) เท่ากับค่าของแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ของบริการ ABR ทั้งหมด (C) ทำให้ค่า A_{max} มีค่าเป็น 0

3.4 การปรับค่าพารามิเตอร์เมื่อได้รับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย

สวิตช์ในโครงข่ายที่ใช้แกนอัลกอริทึม E-FMMRA จะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในเซลล์ RM ทุกครั้งที่ได้รับเซลล์ RM ทั้งทิศทางด้านหน้า คือ ER_{adjust} และทิศทางย้อนกลับ ประกอบด้วย ER_{max} , ER_{adjust} , A_{max} ที่เป็นพารามิเตอร์ร่วมกันของการเชื่อมต่อ และ λ , β ที่เป็นพารามิเตอร์สำหรับการเชื่อมต่อ โดยทุกครั้งที่ครบช่วงเวลาเฉลี่ยสวิตช์จะมีการปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับระบบโครงข่ายประกอบด้วย C และค่าโหลดแฟคเตอร์เท่ากับ 1

การปรับค่า ER_{adjust} จะคำนวณจากค่า ER_{max} ทหารด้วยค่าโหลดแฟคเตอร์ตามสมการ (2.6) ถ้าค่าโหลดแฟคเตอร์มีค่าน้อยกว่า 1 จะทำให้ค่า ER_{adjust} มีค่ามากกว่า ER_{max} เมื่อทำการปรับค่า ER_{max} ตามสมการ (2.7) หรือสมการ (2.11) ค่า ER_{adjust} ซึ่งมากกว่าค่า A_{max} จะทำให้ค่า ER_{max} มีค่าเพิ่มขึ้น ถ้ามีการกำหนดค่าช่วงเวลาเฉลี่ยมาก (เพื่อช่วยให้มีการประมาณทราฟฟิกที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด) การปรับค่าโหลดแฟคเตอร์จะต้องรองจนกว่าจะครบช่วงเวลาเฉลี่ยจึงทำการปรับค่าใหม่ ดังนั้นใน 1 ช่วงเวลาเฉลี่ยการปรับค่า ER_{adjust} ทุกครั้งที่ได้รับเซลล์ RM และค่าโหลดแฟคเตอร์มีค่าน้อยกว่า 1 ทำให้ค่า ER_{max} อาจจะมีค่าเพิ่มสูงและเร็วมากเกินไปจนอาจจะเท่ากับค่าแบนด์วิดท์ของบริการ ABR ที่ใช้ได้ทั้งหมด (C) การปรับอัตราการส่ง ER ในเซลล์ RM ตามสมการ (2.9) เนื่องจากค่า ER_{adjust} มากกว่าค่า A_{max} (ค่าที่สวิตช์คิดว่าเหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อที่ไม่ติดขัด) ทำให้อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยแล้วจะทำให้ค่าโหลดแฟคเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่น กรณีโหลดแฟคเตอร์มีค่าเท่ากับ 0.8 ถ้ากำหนดค่าช่วงเวลาเฉลี่ย 1000 เซลล์และมีแหล่งกำเนิดบริการ ABR ทั้งหมด 5 ตัว เมื่อสวิตช์ได้รับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับทั้งหมด 32 เซลล์ใน 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย ดังนั้นเมื่อปรับค่า ER_{adjust} เท่ากับ $ER_{max}/0.8$ และค่า ER_{max} ใหม่มีค่าเท่ากับ $0.875ER_{max} + 0.125ER_{max}/0.8$ หรือ $1.03125ER_{max}$ เทียบกับ ER_{max} เดิมก่อนปรับ ใน 1 ช่วงเวลาเฉลี่ยค่า ER_{max} มีค่าเพิ่มขึ้น $(1.03125)^{32}ER_{max}$

ในทางกลับกันถ้าโหลดแฟคเตอร์มีค่ามากกว่า 1 เมื่อสวิตช์ได้รับเซลล์ RM จะทำการปรับค่า ER_{adjust} ซึ่งค่าโหลดแฟคเตอร์มากกว่า 1 จะทำให้ค่า ER_{adjust} มีค่าน้อยกว่า ER_{max} แต่ยังคงมากกว่า A_{max} ถ้าค่า ER_{max} มีค่ามากกว่า A_{max} หลังจากสวิตช์ได้รับเซลล์ RM สำหรับการเชื่อมต่อถัดมาก็จะทำการปรับค่า ER_{adjust} ในช่วงเวลาเฉลี่ยนั้นจนค่า ER_{adjust} น้อยกว่า A_{max} แต่การปรับค่า ER_{max} นั้นยังคงมีค่ามากกว่า A_{max} ซึ่งการเชื่อมต่อก็จะส่งด้วยอัตรา ER ในเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับที่มีการปรับตามสมการ (2.9) ซึ่งค่า ER_{adjust} น้อยกว่าค่า A_{max} ทำให้ค่า ER มีค่าเท่ากับ A_{max} เป็นการลดอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ทำให้ในช่วงต่อมาค่าโหลดแฟคเตอร์เข้าใกล้ค่า 1 แต่ระดับของคิวมีค่าสูงขึ้น

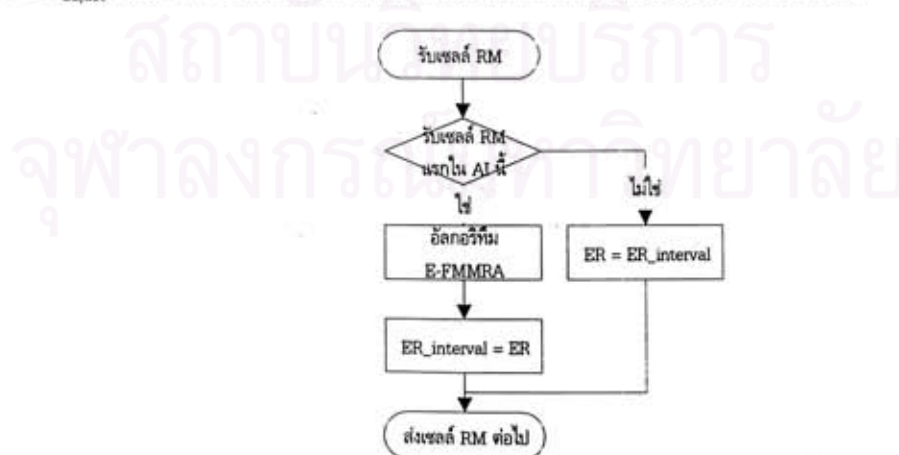
การที่อัลกอริทึม E-FMMRA มีการปรับค่าพารามิเตอร์ทุกครั้งที่ได้รับเซลล์ RM ถ้ากำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยที่ห่างพอเหมาะ จะทำให้มีการปรับค่าโหลดแฟคเตอร์ใกล้เคียงกับค่าจริงแต่จะทำให้ระบบตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงซ้ำ ซึ่งการที่ปรับทุกครั้งที่ได้รับเซลล์ RM อาจจะทำให้เกิดปรับค่าพารามิเตอร์บางตัวที่มากเกินไปได้ เช่น ER_{adjust} , ER_{max} เป็นต้น และเมื่อโครงข่ายอยู่ในสถานะอยู่ตัว (steady state) การที่สวิตช์ปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับการเชื่อมต่อทุกครั้งที่ได้รับเซลล์ RM อาจจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากเกินไป เนื่องจากระบบไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ดังนั้นวิธีการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA เพื่อไม่ให้เกิดการปรับค่าพารามิเตอร์มากเกินไป ซึ่งอาจจะทำให้ค่า ER ในเซลล์ RM ที่แหล่งกำเนิดส่งข้อมูลมีการแกว่งค่อนข้างมากตามค่าพารามิเตอร์ที่มีการปรับในสวิตช์ และช่วย

ให้อัลกอริทึมลดความซับซ้อนให้กับระบบ จะใช้วิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในเซลล์ RM ทั้งทิศทางด้านหน้าและทิศทางย้อนกลับเพียงแค่ 1 ครั้ง ของทุกการเชื่อมต่อ ในช่วงเวลาเฉลี่ยหนึ่ง จะทำให้จำนวนครั้งในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ลดลง และช่วยลดการแกว่งของค่า ER_{adjust} , ER_{max} และ A_{max} ที่คำนวณได้ โดยเมื่อสวิตช์ได้รับเซลล์ RM ทั้งทิศทางด้านหน้าและย้อนกลับ สวิตช์จะคำนวณพารามิเตอร์ที่ใช้รับเซลล์ RM แค่ครั้งเดียวของแต่ละการเชื่อมต่อ เมื่อเซลล์ RM ของการเชื่อมต่อที่มีการปรับแล้วมาถึงที่สวิตช์ สวิตช์จะใช้ค่าเดิมที่ปรับเซลล์ RM ครั้งแรกในช่วงเวลาเฉลี่ยนี้

ถ้ากรณีนี้แหล่งกำเนิดมีข้อมูลที่จะให้ส่งอยู่ตลอดเวลา (มีข้อมูลไม่จำกัด สามารถส่งได้ตามอัตราที่โครงข่ายแนะนำในเซลล์ RM) เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะอยู่ตัวโหลดแพคเตอร์ของแต่ละสวิตช์จะมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นการปรับค่าพารามิเตอร์ทุกครั้งที่ได้รับเซลล์ RM ทั้งทิศทางด้านหน้า และทิศทางย้อนกลับ อาจจะเป็นการสิ้นเปลืองการคำนวณมากเกินไป ซึ่งการปรับค่าพารามิเตอร์ โดยการตั้งค่าในเซลล์ RM เพียงแค่ 1 ครั้ง ต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ยจะช่วยลดการทำงานและความซับซ้อนของสวิตช์ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของแต่ละการเชื่อมต่อ

ถ้าในกรณีนี้แหล่งกำเนิดมีการส่งแบบ burst นั้นแหล่งกำเนิดจะมีคาบเวลาการส่งข้อมูลและคาบเวลาการหยุดส่งข้อมูล ถ้าแหล่งกำเนิดอยู่ในช่วงคาบของการส่งข้อมูลแล้วเปลี่ยนเป็นคาบของการหยุดส่ง จะทำให้ค่าโหลดแพคเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ ถ้าสวิตช์มีการปรับค่าพารามิเตอร์แหล่งกำเนิดบางส่วนอยู่ในช่วงที่ไม่มีการส่งข้อมูล เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยใหม่ทำให้ค่าโหลดแพคเตอร์มีค่าน้อยกว่า 1 ในช่วงเวลาเฉลี่ยถัดมาแหล่งกำเนิดอาจจะอยู่ในช่วงที่มีการส่งข้อมูล แต่ค่าโหลดแพคเตอร์ในช่วงเวลาเฉลี่ยก่อนหน้านั้นน้อยกว่า 1 ทำให้มีการปรับพารามิเตอร์อย่างต่อเนื่องในช่วงนี้ให้แหล่งกำเนิดเพิ่มอัตราการส่ง แต่แหล่งกำเนิดมีการส่งข้อมูลในช่วงเวลาเฉลี่ยที่ผ่านมา เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยถัดมามีข้อมูลส่งเข้าที่สวิตช์มากค่าโหลดแพคเตอร์จะมีค่าสูงกว่า 1 มาก ดังนั้นการปรับค่าพารามิเตอร์ทุกครั้งที่มีการรับเซลล์ RM อาจจะทำให้เปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์มากเกินไปและเกิดการเปลี่ยนแปลงไปมาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นถ้าปรับโดยการตั้งค่าในเซลล์ RM เพียงแค่ 1 ครั้ง ต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย ในรูปที่ 3.29 จะทำให้มีการปรับพารามิเตอร์ที่ไม่มากเกินไป ถ้าการปรับค่าพารามิเตอร์ทุกครั้งที่ได้รับเซลล์ RM เมื่อบางแหล่งกำเนิดอยู่ในคาบของการหยุดส่งข้อมูลจะทำให้ค่าโหลดแพคเตอร์ที่น้อย ทำให้การปรับค่า ER_{max} และ ER_{adjust} มีค่าเพิ่มขึ้นจนอาจจะเท่ากับแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ของบริการ ABR ที่สวิตช์นั้น ซึ่งการปรับพารามิเตอร์แค่ 1 ครั้งใน 1 ช่วงเวลาเฉลี่ยจะทำให้มีการปรับค่า ER_{max} และ ER_{adjust} ที่ไม่มากเกินไป และลดการแกว่งตัวของอัตราการส่งแต่ละแหล่งกำเนิด



รูปที่ 3.29 การปรับค่าพารามิเตอร์เซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย ในอัลกอริทึม E-FMMRA

3.5 การปรับค่าพารามิเตอร์ Advertised rate (A_{max}) ที่ไม่เหมาะสม

ค่า A_{max} เป็นอัตราที่แนะนำให้แต่ละการเชื่อมต่อส่งข้อมูลเข้าในโครงข่ายของแต่ละข่ายเชื่อมโยง โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ A_{max} ในอัลกอริทึม E-FMMRA จะมีการคำนวณเมื่อเปรียบเทียบสถานะของแต่ละการเชื่อมต่อแล้วจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือการเชื่อมต่อทั้งหมดมีความติดขัดจะมีการปรับค่า A_{max} ตามสมการ (2.3) และกรณีที่การเชื่อมต่อมีความติดขัดไม่ทั้งหมดจะมีการปรับค่า A_{max} ตามสมการ (2.4) ซึ่งการปรับค่า A_{max} จะมีการปรับที่ไม่เหมาะสม

อัลกอริทึม E-FMMRA การปรับค่า A_{max} เมื่อบางการเชื่อมต่อไม่ติดขัด บางครั้งอาจจะมีค่า C เท่ากับค่า C_b ทำให้เกิดการปรับที่ผิดพลาดได้ เช่น การปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA โดยการปรับค่าแบนด์วิธของการเชื่อมต่อที่คับคั่ง (C_b) จะมีการคำนวณค่าแบนด์วิธของการเชื่อมต่อที่คับคั่งทุกครั้งที่ครบช่วงเวลาเฉลี่ย โดยทำการรวมค่าแบนด์วิธของการเชื่อมต่อที่คับคั่ง (λ) ของแต่ละการเชื่อมต่อทั้งหมดในรอบก่อนหน้าเป็นค่า C_c การคำนวณค่า C_b ใหม่จะทำการแก้ปัญหาในส่วนที่มีการปรับค่า C_b ผิดพลาด เนื่องจากการลดลงด้วยค่าแบนด์วิธของการเชื่อมต่อที่คับคั่งในรอบก่อนหน้านั้นตามสมการ (2.13) ทำให้ค่า A_{max} มีการปรับค่าที่ผิดพลาดแหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลด้วยอัตราที่สวิทช์แนะนำหรือค่า ER ในเซลล์ RM ซึ่งสวิทช์อาจทำให้เกิดปัญหาขึ้นเนื่องจากค่า C_b เท่ากับค่า C และจำนวนการเชื่อมต่อของบริการ ABR ทั้งหมดมีค่ามากกว่าจำนวนการเชื่อมต่อของบริการ ABR ที่เกิดความติดขัด ก็จะทำให้ค่า A_{max} ที่มีการปรับตามสมการ (2.4) มีค่าเป็น 0

เมื่อทำการปรับปรุงการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA โดยกำหนดให้มีการปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับแต่ละการเชื่อมต่อ 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ และต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย ทำให้ช่วยลดความซับซ้อนของสวิทช์ในการคำนวณค่า A_{max} และการปรับค่าแบนด์วิธของการเชื่อมต่อที่คับคั่ง โดยการรวมแบนด์วิธของการเชื่อมต่อที่คับคั่งของการเชื่อมต่อจะคำนวณทุกครั้งที่ครบช่วงเวลาเฉลี่ย

โครงข่าย Parking lot ที่มีแหล่งกำเนิดแทรกเข้าและแทรกออกที่สวิทช์ต่างกัน แบนด์วิธข่ายเชื่อมโยงที่ต่อกับสวิทช์ตัวแรกมีค่ามากกว่าแบนด์วิธของข่ายเชื่อมโยงที่ต่อกับสวิทช์ตัวที่สอง การปรับค่าที่ผิดพลาดเกิดจากการที่ค่า C_b ยังมีค่าสูงเท่ากับค่า C แต่จำนวนการเชื่อมต่อที่ติดขัดมีน้อยกว่าจำนวนการเชื่อมต่อของบริการ ABR ทำให้สวิทช์ตัวแรกมีการปรับค่า A_{max} , ER_{max} และ ER_{adjust} ผิดพลาดเนื่องจากการปรับลดค่า C_c ผิด เมื่ออยู่ในสถานะทันทีทันใดโครงข่ายมีการปรับตัวจนค่า C_b เพิ่มเข้าหาค่า C จำนวนการเชื่อมต่อทั้งหมดเป็นการเชื่อมต่อที่ติดขัดทั้งหมดทำให้ค่า A_{max} เพิ่มจนมีค่าเท่ากับค่า C การเชื่อมต่อที่สามารถส่งได้ตามค่า ER ในเซลล์ RM เมื่อสวิทช์ได้รับเซลล์ RM การเชื่อมต่อจะถูกระงับไม่เกิดความติดขัดจากช่วงเวลาที่ผ่านมาเคยติดขัด จะทำให้ค่า C_b ที่มีค่าเท่ากับ C ลดลง แต่การเชื่อมต่ออื่นยังคงมีค่าแบนด์วิธที่ติดขัดที่สูงอยู่จำนวนการเชื่อมต่อที่ติดขัดจะน้อยกว่าจำนวนการเชื่อมต่อของบริการ ABR ทั้งหมด เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยก็จะมีค่าพารามิเตอร์สำหรับช่วงเวลาเฉลี่ยใหม่จะมีการปรับค่า C_b โดยรวมแบนด์วิธของการเชื่อมต่อที่ติดขัดทั้งหมดมีค่าเท่ากับ C เมื่อสวิทช์ได้รับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับ ก็จะมีการคำนวณค่า ER_{adjust} , ER_{max} แล้วทำการปรับสถานะการเชื่อมต่อ ถ้าการเชื่อมต่อไม่ติดขัดค่า C_b ไม่มีการเปลี่ยนค่าหรือเป็นการเชื่อมต่อที่ติดขัด ค่าที่เพิ่มและลดจาก C_b มีค่าเท่ากัน เมื่อทำการปรับค่า A_{max} ตามสมการ (2.3) เนื่องจากค่า C เท่ากับค่า C_b แต่จำนวนการเชื่อมต่อของบริการ ABR ทั้งหมด มีค่ามากกว่าจำนวนการเชื่อมต่อของบริการ ABR ที่ติดขัด ทำให้

ค่า A_{max} ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0 ดังนั้นการเชื่อมต่อถัดไปจะถูกกำหนดค่า ER ในเซลล์ RM เท่ากับ 0 ทำให้ช่วงเวลาเฉลี่ยนี้แหล่งกำเนิดที่ได้รับเซลล์ RM ที่มีค่า ER เท่ากับ 0 จะส่งข้อมูลด้วยอัตราเท่ากับ 0 Mbps คือ ไม่มีการส่งข้อมูล หลังจากนั้นการเชื่อมต่อจะไม่ตั้งว่าเกิดความติดขัดขึ้น เนื่องจากอัตราการส่ง ER ในเซลล์ RM ที่ศทางย้อนกลับที่เข้ามาหลังจากการปรับค่า A_{max} เป็น 0 จะถูกกำหนดว่าไม่ติดขัด ดังนั้นค่า C_b จะมีค่าที่ลดลงด้วยค่าแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อ นั้น ซึ่งก่อนหน้านี้ถูกตั้งว่าติดขัดเมื่อทำการปรับค่า A_{max} ใหม่ นั้นจะมีค่าที่มากกว่า 0 เนื่องจากค่า C มากกว่าค่า C_b และจำนวนการเชื่อมต่อของบริการ ABR ทั้งหมดมีค่ามากกว่าจำนวนการเชื่อมต่อของบริการ ABR ที่เกิดความติดขัด หลังจากนั้นจะมีการปรับค่าที่ถูกต้อง

ตัวอย่างการปรับค่าอัตราการส่งที่แนะนำที่ผิด โดยใช้แบบจำลอง Parking lot รูปที่ 3.4 สมมุติพารามิเตอร์เหมือนตัวอย่างการคำนวณแบนด์วิดท์ที่ติดขัดผิดพลาด ตัวอย่างเริ่มการทำงานในรูปที่ 3.5 - 3.14 หลังจากนั้นจะมีการทำงานตามรูปที่ 3.30 - รูปที่ 3.38

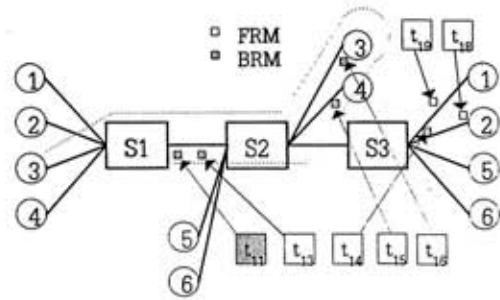


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ที่เวลา t_{11} เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3 ถึงสวิตช์ S1 (มีการปรับ FRM ที่เวลา t_0) ก่อนครบช่วงเวลา

เฉลี่ย

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	(16)	(17)	
2	F2	1	F2	(16)	$C - 7/12 C = 5/12 C$		
3	C	0	0	(17)	$(C - 5/12 C) / 1$		
4	C	1	C				

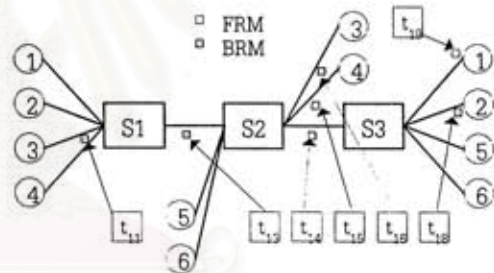


รูปที่ 3.30 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{11}

ในรูปที่ 3.30 เมื่อเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3 ถึงสวิตช์ S1 ค่า ER ในเซลล์ BRM มีค่าเท่ากับ C ซึ่งมีค่าเท่ากับ A_{max} ที่ช่วงเวลาก่อนหน้า ดังนั้นสวิตช์จะตัดสินใจว่าแหล่งกำเนิด 3 ไม่ติดขัด ตั้งค่า β เป็น 0 และค่า λ เท่ากับ 0 เมื่อมีการปรับพารามิเตอร์ร่วม C_b โดยนำค่า λ เดิมหักออก ค่า C_b จะมีค่าเท่ากับ $5C/12$ ค่า A_{max} เท่ากับ $7C/12$

2. เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยสวิตช์ S1 ที่เวลา t_{12}

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	C	(17)	
2	F2	1	F2				
3	C	0	0				
4	C	1	C				

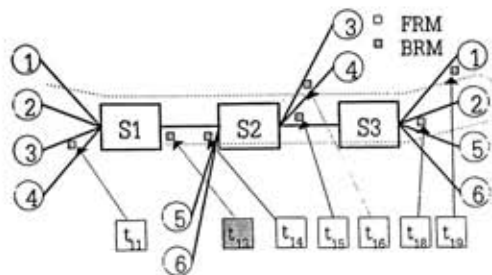


รูปที่ 3.31 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{12}

ในรูปที่ 3.31 เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยที่สวิตช์ S1 โดยอัลกอริทึม E-FMMRA มีการปรับปรุงในส่วนของปริมาณแบนด์วิดท์ที่ติดขัดทั้งหมด ซึ่งค่า C_b จะมีค่ามากกว่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ของบริการ ABR ทั้งหมด แต่ขอบเขตบนของพารามิเตอร์จะต้องไม่มากกว่าค่า C ดังนั้นค่า C_b จะเท่ากับ C

3. ที่เวลา t_{13} เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 2 ถึงสวิตช์ S1

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	C	(18)	(18) $(C - C) / 2 = 0$
2	F2	1	F2				
3	C	0	0				
4	C	1	C				

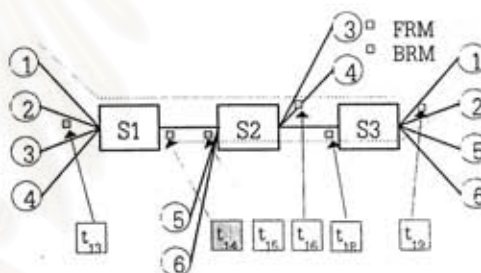


รูปที่ 3.32 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{13}

ในรูปที่ 3.32 เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยแล้ว เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 2 ถึงสวิตช์ S1 ค่า ER ในเซลล์ BRM น้อยกว่าค่า A_{max} สวิตช์จะตัดสินใจว่าแหล่งกำเนิด 2 ยังคงติดขัดอยู่ ค่า C_b ยังไม่เปลี่ยนแปลง ค่า A_{max} จะมีค่าเท่ากับ 0 เพราะค่า C เท่ากับค่า C_b โดยที่มีบางแหล่งกำเนิดไม่ติดขัด

4. ที่เวลา t_{14} เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 1 ถึงสวิตช์ S1

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	0	0	0	C	(19)	(20)	(19) $C - F2$ (20) $(C - C + F2) / 2 = F2 / 2$
2	F2	1	F2				
3	C	0	0				
4	C	1	C				

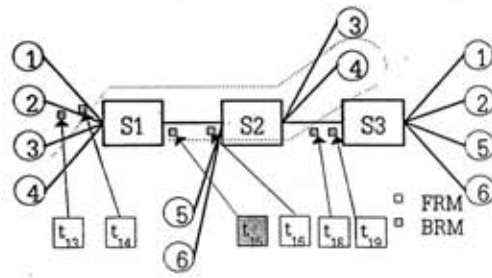


รูปที่ 3.33 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{14}

ในรูปที่ 3.33 เมื่อเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 1 ถึงสวิตช์ S1 ค่า ER ในเซลล์ BRM จะมีการตั้งค่าเท่ากับ A_{max} ซึ่งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0 Mbps. ดังนั้นสวิตช์จะตัดสินใจว่าแหล่งกำเนิด 1 ไม่ติดขัด จะมีการปรับค่า β เป็น 0 และค่า λ เท่ากับ 0 แล้วจะปรับค่า C_b เท่ากับ $C - F2$ และค่า A_{max} เท่ากับ $F2 / 2$

5. ที่เวลา t_{15} เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 ถึงสวิตช์ S1

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	0	0	0	C	(21)	(22)	
2	F2	1	F2				(21) $C-F2-C = -F2=0$
3	C	0	0				(22) $(C-0)/3 = C/3$
4	(20)	0	0				

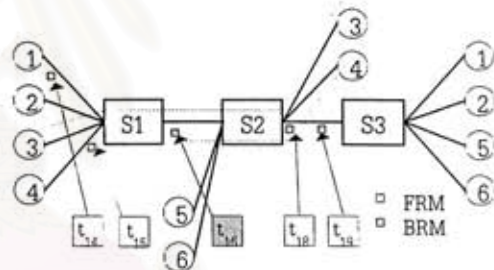


รูปที่ 3.34 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{15}

ในรูปที่ 3.34 เมื่อเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 ถึงสวิตช์ S1 ค่า ER ในเซลล์ BRM จะตั้งค่าเท่ากับ A_{max} ก่อนที่เท่ากับ $F2/2$ ดังนั้นสวิตช์ตัดสินใจว่าแหล่งกำเนิด 4 ไม่ติดขัด ปรับค่า β เป็น 0 และค่า λ เท่ากับ 0 แล้วปรับค่า C_b ใหม่เท่ากับ $-F2$ แต่ขอบเขตของแบนด์วิดท์ที่ติดขัดทั้งหมดจะไม่ติดลบ ดังนั้นปรับค่า C_b เท่ากับ 0 แล้วปรับค่า A_{max} เท่ากับ C

6. ที่เวลา t_{16} เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3 ถึงสวิตช์ S1

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	0	0	0	C	0	$C/3$	
2	F2	1	F2				
3	$C/3$	0	0				
4	(20)	0	0				

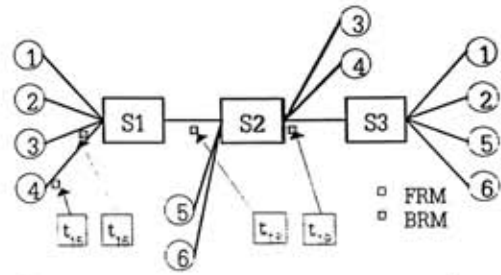


รูปที่ 3.35 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{16}

ในรูปที่ 3.35 เมื่อเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 3 ถึงสวิตช์ S1 ค่า ER ในเซลล์ BRM เท่ากับค่า A_{max} แหล่งกำเนิด 3 จะไม่ติดขัด ค่า C_b และค่า A_{max} ไม่เปลี่ยนแปลง หลังจากนั้นก่อนครบช่วงเวลาเฉลี่ยจะไม่มีการปรับพารามิเตอร์ในเซลล์ RM อีก แต่จะมีการตั้งค่า ER ในเซลล์ RM

7. เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยสวิตช์ S1 ที่เวลา t_{17}

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	0	0	0	C	F2	C/3	
2	F2	1	F2				
3	C/3	0	0				
4	(20)	0	0				



รูปที่ 3.36 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{15}

ในรูปที่ 3.36 ครบช่วงเวลาเฉลี่ยมีการปรับค่า C_b ใหม่เท่ากับ F2

8. ที่เวลา t_{16} เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 2 ถึงสวิตช์ S1

SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	0	0	0	C	F2	(23)	
2	F2	1	F2				
3	C/3	0	0				(23) (C-F2) / 3
4	(20)	0	0				



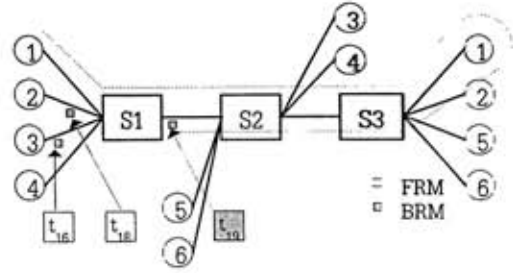
รูปที่ 3.37 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{18}

ในรูปที่ 3.37 เมื่อเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 2 ถึงสวิตช์ S1 ค่า ER ในเซลล์ BRM ยังคงมีค่าเท่ากับ F2 ดังนั้นแหล่งกำเนิด 2 จะติดขัดอยู่ ค่า β และค่า λ เท่าเดิม ค่า C_b เท่ากับ F2 แต่ค่า A_{max} เท่ากับ (C-F2)/3



9. ที่เวลา t_{19} เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 1 ถึงสวิตช์ S1

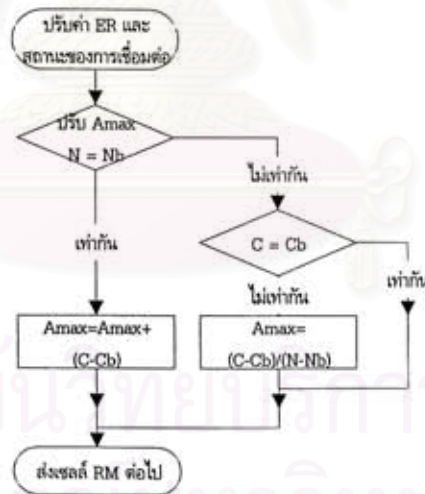
SRC	ER	β	λ	C	C_b	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	$2 \cdot F2$	(24)	
2	F2	1	F2	$(24) (C - 2 \cdot F2) / 2$			
3	C/3	0	0				
4	(20)	0	0				



รูปที่ 3.38 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ที่เวลา t_{19}

ในรูปที่ 3.38 เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 1 ถึงสวิตช์ S1 ค่า ER ในเซลล์ BRM ก่อนปรับค่าเท่ากับ F2 ซึ่งน้อยกว่าค่า A_{max} ดังนั้นแหล่งกำเนิด 1 ติดขัด ตั้งค่า β เป็น 1 และค่า λ เท่ากับ F2 แล้วค่า C_b เท่ากับ $2 \cdot F2$ และค่า A_{max} เท่ากับ $(C - 2 \cdot F2) / 2$ หลังจากนั้นเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 และ 3 ถึงสวิตช์ S1 ตามลำดับ จะมีการปรับค่า ER ในเซลล์ BRM ตามค่า A_{max} ใหม่ที่คำนวณได้ซึ่งเป็นค่าที่ถูกต้อง ทำให้ระบบปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัว

วิธีปรับปรุงที่นำเสนอ คือจะทำการปรับค่า A_{max} ตามสมการ (2.2) ก็ต่อเมื่อค่า $C > C_b$ เท่านั้น ถ้าเกิดค่า $C = C_b$ และค่า $N = N_b$ ก็จะใช้ค่า A_{max} ค่าเดิมที่เคยคำนวณเมื่อได้รับเซลล์ RM ก่อนหน้านั้นจะทำให้ค่า A_{max} ไม่เท่ากับ 0 ซึ่งจะทำให้แหล่งกำเนิดไม่มีการหยุดส่งข้อมูล ตามค่า ER ในเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับในรูปที่ 3.39

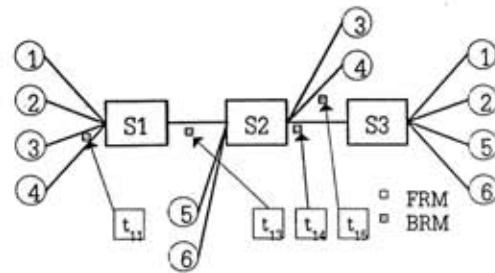


รูปที่ 3.39 การปรับค่าพารามิเตอร์ A_{max} ให้เหมาะสม ในอัลกอริทึม E-FMMRA

ตัวอย่างของการปรับปรุงค่า A_{max} แสดงเริ่มต้นในรูปที่ 3.5 - 3.14 และรูปที่ 3.30 แล้วต่อในรูปที่ 3.40 - 3.43

1. เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยสวิตช์ S1 ที่เวลา t_{12}

SRC	ER	β	λ	C	C_c	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	C	(17)	(17) (C - 5/12 C) / 1
2	F2	1	F2				
3	C	0	0				
4	C	1	C				



รูปที่ 3.40 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b , ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง และปรับค่า A_{max} ที่เวลา t_{12}

ในรูปที่ 3.40 เมื่อสวิตช์ S1 ครบช่วงเวลาเฉลี่ยจะมีการคำนวณค่า C_c ใหม่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $C + 2 \cdot F2$ มากกว่าขอบเขตบนของแบนด์วิดท์การเชื่อมต่อที่ติดขัดทั้งหมด ดังนั้นค่า C_b เท่ากับ C

2. เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 2 ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_{13} ไม่มีการปรับค่า A_{max} ใหม่

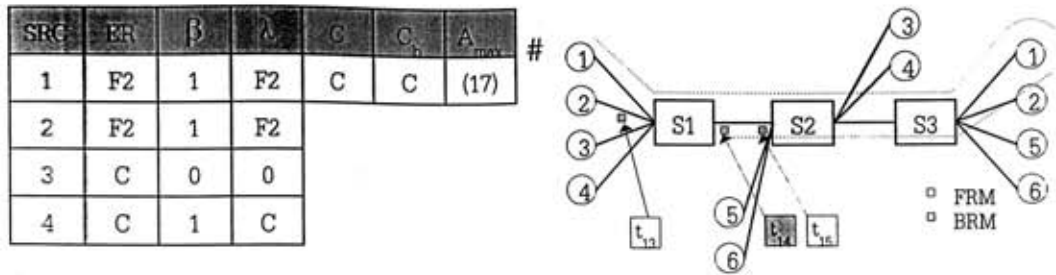
SRC	ER	β	λ	C	C_c	A_{max}	#
1	F2	1	F2	C	C	(17)	
2	F2	1	F2				
3	C	0	0				
4	C	1	C				



รูปที่ 3.41 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b , ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง และปรับค่า A_{max} ที่เวลา t_{13}

ในรูปที่ 3.41 เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 2 ถึงสวิตช์ S1 ค่า ER ในเซลล์ BRM น้อยกว่าค่า A_{max} แหล่งกำเนิดยังคงติดขัด ค่า β , ค่า λ และค่า C_b เท่าเดิม โดยค่า A_{max} ยังเท่าเดิมเพราะค่า C_b เท่ากับ C และมีแหล่งกำเนิดที่ไม่ติดขัดอยู่

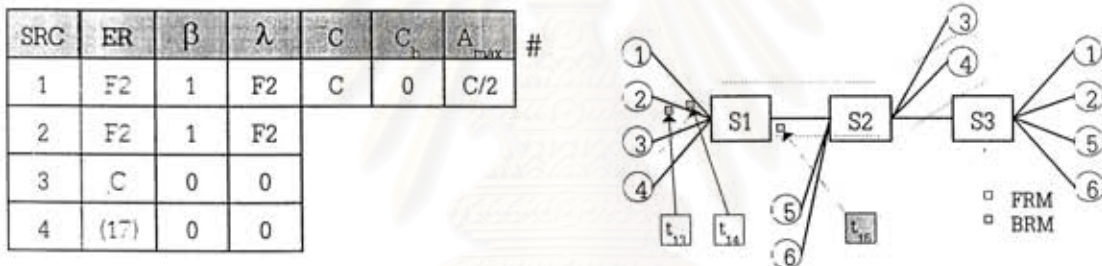
3. เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 1 ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_{14} ไม่มีการปรับค่า A_{max} ใหม่



รูปที่ 3.42 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b , ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง และปรับค่า A_{max} ที่เวลา t_{13}

ในรูปที่ 3.42 เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 1 ถึงสวิตช์ S1 ค่า ER ในเซลล์ BRM น้อยกว่าค่า A_{max} เหมือนแหล่งกำเนิด 2 ที่ยังติดขัดอยู่ ค่า β , ค่า λ และค่า C_b เท่าเดิม โดยค่า A_{max} ยังเท่าเดิมเพราะค่า C_b เท่ากับ C และมีแหล่งกำเนิดที่ไม่ติดขัดอยู่

4. เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 ถึงสวิตช์ S1 ที่เวลา t_{15} มีการปรับค่า C_b ใหม่



รูปที่ 3.43 การทำงานจำลองของแบบจำลอง Parking lot อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับค่า C_b , ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง และปรับค่า A_{max} ที่เวลา t_{14}

ในรูปที่ 3.43 เซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 ถึงสวิตช์ S1 ค่า ER ในเซลล์ BRM มากกว่าค่า A_{max} ดังนั้นแหล่งกำเนิด 4 จะถูกตั้งว่าไม่ติดขัด จะปรับค่า ค่า β และค่า λ เท่ากับ 0 ค่า C_b ใหม่เท่ากับค่า C_b เก้าลบด้วยแบนด์วิดท์ที่ติดขัดของแหล่งกำเนิด 4 ซึ่งเท่ากับค่า C โดยค่า C_b ใหม่เท่ากับ 0 ดังนั้นค่า A_{max} ใหม่เท่ากับ $C/2$

ต่อมาเซลล์ BRM ของแหล่งกำเนิด 4 ถึงสวิตช์ S1 จะมีการปรับค่าเท่าเดิม ก่อนที่ครบช่วงเวลาเฉลี่ยเซลล์ BRM ของทุกแหล่งกำเนิดจะใช้ค่าที่มีการปรับที่ครั้งล่าสุด หลังจากนั้นเมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยใหม่จะมีการคำนวณค่า C_b ที่ถูกต้องอีกครั้งหนึ่ง และสวิตช์จะแบ่งอัตราการส่งที่ถูกต้องให้ทุกแหล่งกำเนิด

3.6 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด (Modified E-FMMRA algorithm)

อัลกอริทึม E-FMMRA มีปัญหาที่เกิดจากการปรับค่าอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ซึ่งทำให้การทำงานของโครงข่ายเกิดความคับคั่ง และขยายเชื่อมโยงมีการทำงานที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ โดยปัญหาที่พบประกอบด้วย

1. ตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ย
2. การปรับค่า C_0 ที่ผิดพลาด
3. การปรับระดับข้อมูลในคิว
4. การปรับค่าพารามิเตอร์บ่อยครั้งเกินไป
5. การปรับค่า A_{max} ไม่เหมาะสม

ดังนั้นเพื่อให้อัลกอริทึม E-FMMRA สามารถทำงานตามเป้าหมายในการออกแบบอัลกอริทึม มีการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA ทั้งหมดตามปัญหาที่พบทั้งหมด ตามรูปที่ 3.44 แสดงการทำงานทั้งหมดของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมด

อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงแล้วในส่วนของความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย

1. ความซับซ้อนในส่วนของจำนวนพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป

พารามิเตอร์ที่เพิ่มขึ้นประกอบด้วยค่า $ER_interval_forward$, $ER_interval_backward$, ER_{range} , $f(q)$ และตารางสำหรับการเปรียบเทียบระดับของคิว ดังแสดงจำนวนในตาราง 3.2

ตาราง 3.2 จำนวนพารามิเตอร์ที่เพิ่มของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด

ตัวแปร	จำนวนตัวแปร
$ER_interval_forward$	N
$Mark_ER_forward$	N
$ER_interval_backward$	N
$Mark_ER_backward$	N
ER_{range}	1
$f(q)$	1
ตารางระดับคิวกับฟังก์ชันคิว	
- ค่าของฟังก์ชันคิว	L
- ค่าระดับขนาดของคิว	L - 1

กำหนดมีจำนวน N การเชื่อมต่อ โดยพารามิเตอร์ที่เพิ่มขึ้น คือ $ER_interval_forward$, $ER_interval_backward$ เป็นค่าของ ER ในเซลล์ RM ที่มีการตั้งค่าครั้งแรกในช่วงเวลาเฉลี่ยทิศทางด้านหน้าและย้อนกลับตามลำดับ ส่วน $Mark_ER_forward$, $Mark_ER_backward$ เป็นค่าที่บอกว่าเซลล์ RM มีการตั้งค่าในช่วงเวลาเฉลี่ยนี้หรือไม่ทิศทางด้านหน้าและทิศทางย้อนกลับตามลำดับ ส่วนค่า ER_range เป็นการขยายค่าของ ER เมื่อมีการควบคุมคิว ค่า $f(q)$ เป็นค่าฟังก์ชันที่เปรียบเทียบกับระดับคิว ส่วนค่าของฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงของการควบคุมคิวมี L ระดับ และระดับที่เปรียบเทียบกับคิว $L - 1$ ตัว

2. ความซับซ้อนในส่วนของการคำนวณที่เปลี่ยนไป

2.1 การคำนวณที่เพิ่มขึ้น

การคำนวณที่เพิ่มขึ้นของอัลกอริทึม E-FMMRA แบ่งตามทิศทางของเซลล์ RM ที่สวิตช์ได้รับแบ่งเป็น

1) เมื่อสวิตช์ได้รับเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้า มีการคำนวณเพิ่ม 7 ครั้ง คือ

- เมื่อสวิตช์รับเซลล์ RM แล้วเปรียบเทียบกับมีการรับเซลล์ RM ในช่วงเวลาเฉลี่ยนี้หรือไม่
- เมื่อสวิตช์รับเซลล์ RM ครั้งแรกในช่วงเวลาเฉลี่ยใหม่ คำนวณค่า $f(q)$
- เปรียบเทียบค่าของฟังก์ชัน $f(q)$ ว่ามีค่ามากกว่า 1 หรือไม่
- กรณีที่ฟังก์ชัน $f(q)$ มากกว่า 1 จะปรับค่า ER ตามสมการ (3.5)
- ตั้งค่า $ER_interval_forward$ เท่ากับค่า ER
- ตั้งค่า $Mark_ER_forward$ ว่ารับเซลล์ RM ในช่วงเวลาเฉลี่ยนี้แล้ว
- กรณีที่มีการรับเซลล์ RM ในช่วงเวลาเฉลี่ยนี้แล้วจะมีการปรับค่า ER ในเซลล์ RM เท่ากับ $ER_interval_forward$

กับ $ER_interval_forward$

2) เมื่อสวิตช์ได้รับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับ มีการคำนวณเพิ่มขึ้น 9 ครั้ง คือ

- เมื่อสวิตช์รับเซลล์ RM แล้วเปรียบเทียบกับมีการรับเซลล์ RM ในช่วงเวลาเฉลี่ยนี้หรือไม่
- เมื่อสวิตช์รับเซลล์ RM ครั้งแรกในช่วงเวลาเฉลี่ยใหม่คำนวณค่า $f(q)$
- ปรับค่า ER ตามสมการ (3.5)
- ปรับค่า ER เพิ่มตามสมการ (3.7) เพื่อเปรียบเทียบสถานะการเชื่อมต่อ
- กรณีที่มีการเชื่อมต่อไม่ติดขัด เปรียบเทียบค่า C เท่ากับค่า C_0 หรือไม่ ถึงจะมีการปรับ

ค่า A_{max} ตามสมการ (2.2)

- ปรับค่า ER ลดตามสมการ (3.8) เมื่อเปรียบเทียบสถานะการเชื่อมต่อแล้ว
- ตั้งค่า $ER_interval_backward$ เท่ากับค่า ER
- ตั้งค่า $Mark_ER_backward$ ว่ารับเซลล์ RM ในช่วงเวลาเฉลี่ยนี้แล้ว
- กรณีที่มีการรับเซลล์ RM ในช่วงเวลาเฉลี่ยนี้แล้วมีการปรับค่า ER ในเซลล์ RM เท่ากับ

$ER_interval_backward$

3) เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ย มีการคำนวณเพิ่มขึ้น $5+3N$ ครั้ง คือ

- คำนวณค่า $f(q)$
- เปรียบค่าของฟังก์ชัน $f(q)$ ว่ามีค่ามากกว่า 1 หรือไม่
- กรณีที่ฟังก์ชัน $f(q)$ น้อยกว่า 1 จะปรับค่า ER_{range} ตามสมการ (3.9)
- ปรับค่า C ตามขนาดของระดับคิว ตามสมการ (3.4)
- คำนวณค่า C_b จากค่าแบนด์วิดท์ที่ติดขัดของทุกการเชื่อมต่อ
- ปรับค่า $Mark_ER_forward$ และ $Mark_ER_backward$ ให้ยังไม่มีารรับเซลล์ RM

ดังนั้นการคำนวณเพิ่มขึ้นจำนวน $21+3N$ ครั้ง ในการปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง (อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดเปรียบเทียบกับ อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม)

2.2 การคำนวณที่เปลี่ยนไป

การคำนวณจะมีการเปลี่ยนแปลงจากอัลกอริทึม E-FMMRA ในส่วนของการคำนวณค่า ER_{max} กรณีที่ระดับคิวที่ค่าสูงกว่าระดับ DOT การคำนวณเปลี่ยน 1 ครั้งจากสมการ (2.11) เป็นสมการ (2.7) ในการปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง

2.3 การคำนวณที่ลดลง

การคำนวณที่ลดลงจะมีตามจำนวนของการกำหนดค่าช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ AI ถ้ามีจำนวน N การเชื่อมต่อ และมีการส่งเซลล์ RM ทุกการส่งเซลล์ข้อมูลจำนวน N_{rm} เซลล์ของบริการ ABR ดังนั้นจะมีการปรับเซลล์ RM ที่สวิตช์เท่ากับ $AI/(N_{rm} \cdot N)$ ครั้งของแต่ละแหล่งกำเนิด ถ้าปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA จะมีการปรับเซลล์ RM เพียงแค่ครั้งเดียวแทนที่จะมีการปรับ $AI/(N_{rm} \cdot N)$ ใน 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย ดังนั้นการคำนวณลดลงเท่ากับ $(AI/N_{rm} - N)$ ครั้ง ที่สวิตช์ได้รับเซลล์ RM ทั้งหมด AI/N_{rm} ครั้ง (แต่ละเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้าและทิศทางย้อนกลับ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



การจำลองการทำงานและการวิเคราะห์

การทำงานของแบบแผนการควบคุมความคับคั่งจะพิจารณาจากการจำลองการทำงานของแบบจำลองโครงข่ายในลักษณะต่างๆ เพื่อนำไปพิจารณาการใช้งานแบบแผนการควบคุมความคับคั่งว่าเหมาะสมสำหรับโครงข่ายแบบใดบ้าง ดังนั้นอัลกอริทึม E-FMMRA จึงจำเป็นต้องทดสอบการทำงานเพื่อนำไปปรับปรุงอัลกอริทึมให้สามารถทำงานได้ประสิทธิภาพมากที่สุด ในโครงข่ายต่างๆ

4.1 แบบจำลองการทำงาน

แบบจำลองการทำงาน (Configuration) ที่ใช้ทดสอบแบบแผนการควบคุมความคับคั่งประกอบด้วยแบบจำลองการทำงานที่ถูกออกแบบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมในสภาวะการณ์ต่าง ๆ โดยสนใจการทำงานในส่วนของความเท่าเทียมกันของแหล่งกำเนิดแต่ละตัว การใช้งานข่ายเชื่อมโยงอย่างเต็มประสิทธิภาพ การคำนวณอัตราการส่งของแต่ละการเชื่อมต่อที่ถูกต้องไม่ให้เกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูล และมีเซลล์ข้อมูลอยู่ในระดับของคิวราคาต่ำที่ตั้งไว้ แบบจำลองการทำงานที่ใช้ทดสอบการทำงานแต่ละลักษณะประกอบด้วย

1. Peer to Peer Configuration
2. Parking Lot Configuration
3. VRB & ABR Configuration
4. Generic Fair Configuration 1
5. Generic Fair Configuration 2

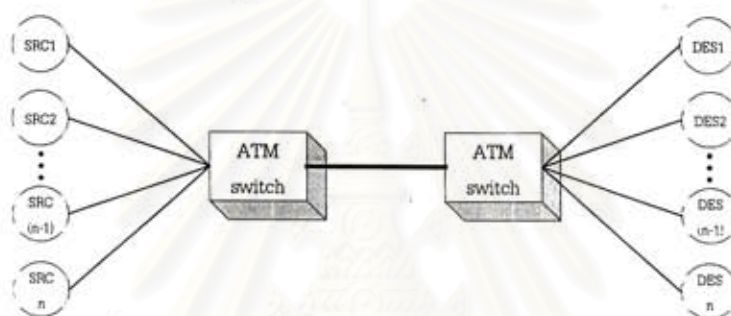
แบบจำลองการทำงานที่มีความซับซ้อน มากจะมีข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายที่รองรับการเชื่อมต่อของแหล่งกำเนิดที่ข่ายเชื่อมโยงติดขัดด้านหน้า (Upstream bottleneck link) และการเชื่อมต่อที่มีข่ายเชื่อมโยงที่ติดขัดด้านหลัง (Downstream bottleneck link) อัลกอริทึมต้องมีการควบคุมและยอมให้การเชื่อมต่อที่มีการติดขัดที่อื่นให้ส่งข้อมูลตามอัตรานั้น (ซึ่งจะเป็นอัตราที่ต่ำกว่าอัตราที่แบ่งให้เท่าเทียมกันที่ข่ายเชื่อมโยงนี้) และนำส่วนของแบนด์วิดท์ที่เหลือใช้ของข่ายเชื่อมโยงที่การเชื่อมต่อติดขัดที่อื่นไม่ใช้แล้วแบ่งให้แต่ละการเชื่อมต่ออย่างเท่าเทียมกันที่ข่ายเชื่อมโยงนั้น

การทดสอบความเท่าเทียมกันจะใช้แบบจำลองการทำงานที่มีอย่างน้อย 1 ข่ายเชื่อมโยงที่มีการเชื่อมต่อติดขัดที่ข่ายเชื่อมโยงด้านหน้า, ติดขัดที่ข่ายเชื่อมโยงด้านหลัง หรือติดขัดที่ข่ายเชื่อมโยงนั่นเอง ซึ่งความเท่าเทียมกันต้องพิจารณาจากแต่ละข่ายเชื่อมโยงที่ติดต่อกันอยู่ทั้งโครงข่าย แบบจำลองการทำงานจำเป็นต้องแสดงถึงความสามารถของอัลกอริทึมให้แต่ละแหล่งกำเนิดได้รับความเท่าเทียมกันที่สถานะอยู่ตัว โดยการทดสอบการใช้งานข่ายเชื่อมโยงจะใช้แบบจำลองการทำงานที่มีบริการ CBR หรือบริการ VBR ที่มีระดับการบริการสูงกว่าบริการ ABR เพราะบริการ CBR และบริการ VBR แหล่งกำเนิดไม่สามารถปรับอัตราการส่งข้อมูล ดังนั้นอัลกอริทึมต้องปรับอัตราการส่งบริการ ABR ให้ใช้

งานข่ายเชื่อมโยงส่วนที่เหลือ การใช้งานของคิวในสวิตช์เพื่อไม่ให้เกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูลและมีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงอย่างเต็มประสิทธิภาพ เมื่อมีแหล่งกำเนิดมาการส่งข้อมูลชั่วขณะ (Transient source) อัลกอริทึมยังสามารถปรับตัวข่ายเข้าสู่สถานะอยู่ตัวได้ โดยข่ายเชื่อมโยงอาจจะมีระยะทางและความจุของข่ายเชื่อมโยงที่ไม่เท่ากันสำหรับแต่ละสวิตช์และแต่ละการเชื่อมต่อ

4.1.1 Peer to Peer Configuration

แบบจำลอง Peer to peer [11-12] เป็นแบบจำลองการทำงานธรรมดาที่เชื่อมโยงระหว่างแหล่งกำเนิด N ตัวส่งผ่านสวิตช์ 2 ตัวไปยังปลายทาง N ตัว โดยข่ายเชื่อมโยงระหว่างสวิตช์จะถูกแบ่งแบนด์วิธจากแหล่งกำเนิดจำนวน N ตัว แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองธรรมดาทั่วไปที่ศึกษาถึงความเท่าเทียมกันของแหล่งกำเนิด ถ้าทุกแหล่งกำเนิดได้รับการแบ่งแบนด์วิธของข่ายเชื่อมโยงเท่ากันทุกแหล่งกำเนิดแสดงว่าสวิตช์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



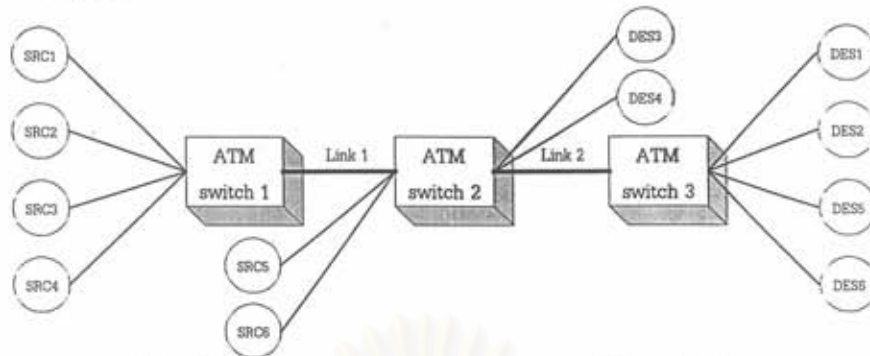
รูปที่ 4.1 แบบจำลองโครงข่ายแบบ Peer to peer configuration

จากรูปที่ 4.1 แสดงการเชื่อมต่อของแบบจำลอง Peer to peer แต่ละแหล่งกำเนิดจะได้รับการแบ่งแบนด์วิธที่เท่ากับ ความจุของข่ายเชื่อมโยงหารด้วยจำนวนการเชื่อมต่อ (N) โดยจะต้องมีค่าที่เท่ากันและสวิตช์มีระดับข้อมูลในคิวตามที่ต้องการ

4.1.2 Parking Lot Configuration

แบบจำลอง Parking lot เป็นแบบจำลองที่ใช้ทดสอบการทำงานในส่วนของความเท่าเทียมกัน โดยแหล่งกำเนิดแต่ละตัวจะส่งข้อมูลผ่านจำนวนสวิตช์ในโครงข่ายไม่เท่ากัน หรือระยะทางของแต่ละแหล่งกำเนิดไปปลายทางไม่เท่ากัน โครงข่ายจะมีแหล่งกำเนิดที่ส่งข้อมูลผ่านสวิตช์ไปถึงปลายทางได้ก่อนแหล่งกำเนิดอื่น และแหล่งกำเนิดอื่นมีการส่งข้อมูลแทรกเข้าที่สวิตช์ถัดมาในโครงข่ายไปปลายทางที่ไกลออกไป ร่วมกับแหล่งกำเนิดที่ส่งจากจุดเริ่มต้นของโครงข่ายถึงปลายทางสุดท้ายที่ผ่านสวิตช์หลายตัว เมื่อมีแหล่งกำเนิดที่ส่งข้อมูลเข้าและออกจากโครงข่ายจะทำให้แต่ละสวิตช์หรือข่ายเชื่อมโยงมีจำนวนการเชื่อมต่อที่ไม่เท่ากัน ทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้แต่ละสวิตช์มีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งอัตราการส่งของแต่ละการเชื่อมต่อก็จะมีค่าที่ไม่เท่ากันสอดคล้องกับแบนด์วิธของข่ายเชื่อมโยงของแต่ละสวิตช์ที่แหล่งกำเนิดนั้นส่งข้อมูลผ่าน โดยแบบจำลอง Parking lot สามารถแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

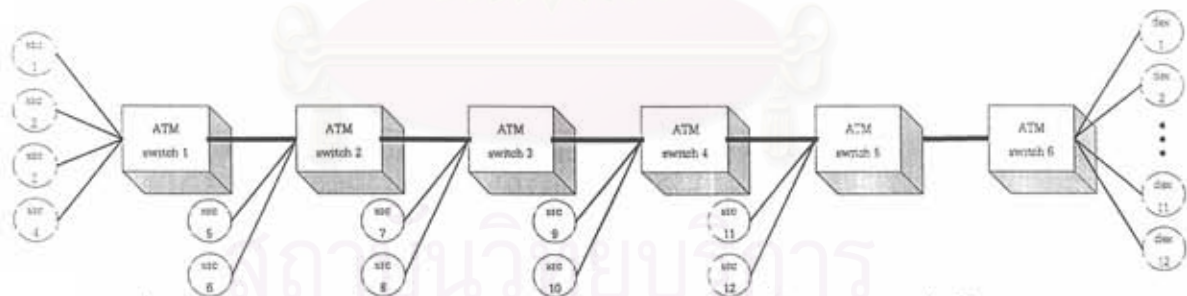
1. Parking lot configuration ที่มีแหล่งกำเนิดแทรกเข้าและแทรกออกจากโครงข่าย ดัดแปลงจากแบบจำลอง Peer to peer โดยเพิ่มจำนวนแหล่งกำเนิดและจำนวนสวิตช์ให้มีการแทรกเข้าและแทรกออก



รูปที่ 4.2: แบบจำลองโครงข่ายแบบ Parking lot configuration ที่มีแหล่งกำเนิดแทรกเข้าและแทรกออก

จากรูปที่ 4.2 แสดงการเชื่อมต่อของแบบจำลอง Parking lot ที่มีแหล่งกำเนิดแทรกเข้าและแทรกออกแบ่งการเชื่อมโยงออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยแหล่งกำเนิด 2 ตัว (SRC1 - SRC2) เชื่อมโยงผ่านสวิตช์ 1, สวิตช์ 2 และผ่านสวิตช์ 3 ไปปลายทาง (DES1 - DES2), กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอีก 2 ตัว (SRC3 - SRC4) ส่งผ่านสวิตช์ 1 และสวิตช์ 2 ไปปลายทาง (DES3 - DES4) และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยแหล่งกำเนิด 2 ตัว (SRC5 - SRC6) ผ่านสวิตช์ 2 และสวิตช์ 3 ไปยังปลายทาง (DES5 - DES6) โดยสายเชื่อมโยงระหว่าง ATM switch 1 กับ ATM switch 2 และ ATM switch 2 กับ ATM switch 3 อาจจะมีแบนด์วิดท์ความจุที่ไม่เท่ากันทำให้แหล่งกำเนิดแต่ละกลุ่มส่งข้อมูลด้วยอัตราไม่เท่ากันเนื่องจากแหล่งกำเนิดแต่ละกลุ่มผ่านสายเชื่อมโยงที่ไม่เท่ากัน

2. Parking lot configuration [13] ที่มีแหล่งกำเนิดแทรกเข้าไปในโครงข่ายแล้วส่งออกจากโครงข่ายพร้อมกัน



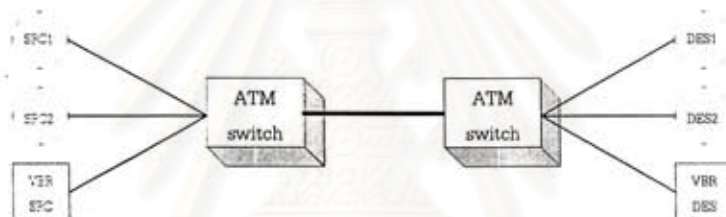
รูปที่ 4.3 แบบจำลองโครงข่ายแบบ Parking lot configuration ที่แหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้นอย่างเดียว

จากรูปที่ 4.3 แสดงการเชื่อมต่อของแบบจำลอง Parking lot ที่มีแหล่งกำเนิดแทรกเข้าอย่างเดียว ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดทั้งหมด 12 ตัว แหล่งกำเนิด 4 ตัวแรก SRC1 ถึง SRC4 ส่งข้อมูลผ่านจากสวิตช์ตัวที่ 1 จนถึงสวิตช์ตัวสุดท้ายตัวที่ 6 ส่วนแหล่งกำเนิดที่เหลือกลุ่มละ 2 ตัวต่อแทรกเข้าที่สวิตช์ตัวถัดมาส่งข้อมูลผ่านไปยังปลายทางที่สวิตช์ตัวที่ 6 ทั้งหมด SRC5 กับ SRC6 ส่งเข้าที่สวิตช์ 2 ผ่านจนถึงสวิตช์ 6, SRC7 กับ SRC8 ส่งเข้าที่สวิตช์ 3 ผ่านจนถึงสวิตช์ 6, SRC9 กับ SRC10 ส่งเข้าที่สวิตช์ 4 ผ่านจนถึงสวิตช์ 6, SRC11 กับ SRC12 ส่งเข้าที่สวิตช์ 5 ต่อจนถึงสวิตช์ 6

การจำลองการทำงานแบบจำลอง Parking lot ที่มีแหล่งกำเนิดแทรกเข้าอย่างเดียว จะมีลักษณะคล้ายกับแบบจำลอง Peer to peer แตกต่างที่ระยะทางของแต่ละแหล่งกำเนิด โดยแหล่งกำเนิดที่ผ่านสวิตช์มากกว่าจะมีระยะทางในโครงข่ายที่มากกว่าแหล่งกำเนิดที่ผ่านสวิตช์น้อยกว่า ดังนั้นแบบจำลอง Parking lot ที่มีแหล่งกำเนิดแทรกเข้าอย่างเดียวยังจะใช้เพื่อทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึม FMMRA และ E-FMMRA ดังเดิมเท่านั้น ส่วนการทดสอบอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดจะใช้แบบจำลอง Parking lot ที่มีแหล่งกำเนิดแทรกเข้าและแทรกออกในรูปแบบที่ 4.2

4.1.3 VRB & ABR Configuration

แบบจำลอง VRB & ABR เป็นแบบจำลองการทำงานที่เชื่อมโยงระหว่างแหล่งกำเนิดบริการ ABR 2 ตัว และแหล่งกำเนิดบริการ VBR 1 ตัว ปรับปรุงจากแบบจำลอง Peer to peer ที่มีแต่แหล่งกำเนิด ABR ส่งผ่านสวิตช์ 2 ตัวไปยังปลายทางที่เป็นบริการ ABR และ VBR ตามลำดับ โดยสายเชื่อมโยงระหว่างสวิตช์จะถูกแบ่งแบนด์วิดท์ให้กับแหล่งกำเนิดบริการ VBR และ ABR แบบจำลองนี้จะศึกษาสวิตช์อัลกอริทึมการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อมีแหล่งกำเนิดบริการ VBR ที่มีระดับความสำคัญสูงกว่าแหล่งกำเนิดข้อมูล ABR ส่งข้อมูลอยู่ด้วย ซึ่งสวิตช์จะต้องให้ความสำคัญกับแหล่งกำเนิด VBR ก่อนแหล่งกำเนิด ABR



รูปที่ 4.4 แบบจำลองโครงข่ายแบบ VRB & ABR configuration

จากรูปที่ 4.4 แหล่งกำเนิดบริการ VBR จะส่งข้อมูลตามที่การใช้งานกำหนดไม่สามารถบังคับอัตราการส่งข้อมูลได้ แต่สำหรับแหล่งกำเนิดบริการ ABR จำเป็นจะต้องมีการปรับการส่งข้อมูลให้สอดคล้องกับแบนด์วิดท์ของโครงข่ายที่เหลือจากบริการ VBR ซึ่งอัลกอริทึมจะต้องปรับให้การใช้งานสายเชื่อมโยงเต็มประสิทธิภาพและไม่มีการสูญหายของเซลล์ข้อมูล

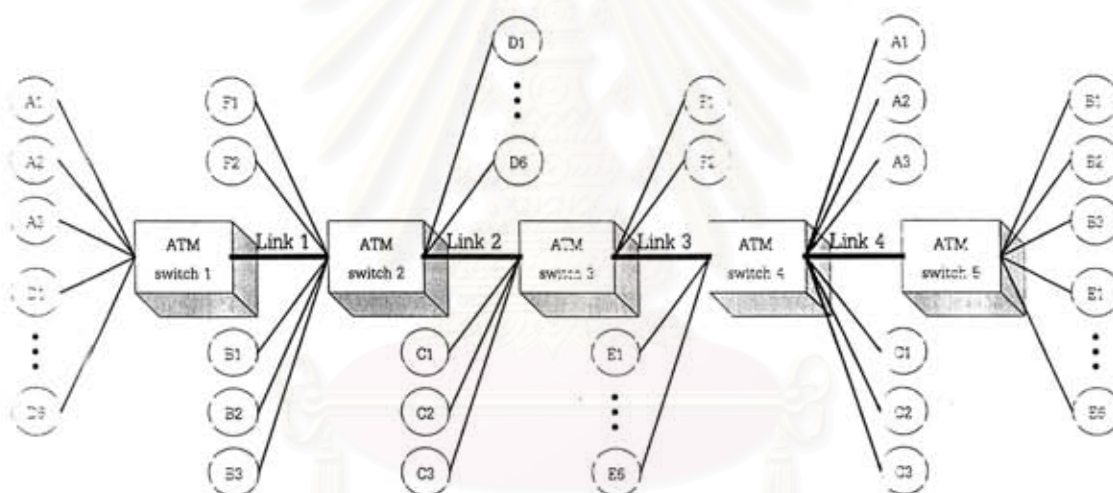
4.1.4 Generic Fair Configuration 1

แบบจำลอง Generic Fair Configuration 1 [16] เป็นแบบจำลองการทำงานที่ปรับปรุงมาจากแบบจำลอง Parking lot เพื่อทดสอบการใช้งานของสายเชื่อมโยง, ขนาดของคิวและความเท่าเทียมกัน แบบจำลองการทำงานจะแบ่งการเชื่อมต่อออกเป็นกลุ่มจากแหล่งกำเนิดกลุ่มหนึ่ง ไปยังปลายทางอีกกลุ่มหนึ่ง

จากรูปที่ 4.5 แสดงแบบจำลองการทำงาน GFC1 ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดทั้งหมด 6 กลุ่มการเชื่อมต่อ ในโครงข่ายที่มีสวิตช์ 5 ตัว ซึ่งแต่ละกลุ่มจะมีจำนวนแหล่งกำเนิดที่ไม่เท่ากัน คือ กลุ่ม A มี 3 การเชื่อมต่อ, กลุ่ม B มี 3 การเชื่อมต่อ, กลุ่ม C มี 3 การเชื่อมต่อ, กลุ่ม D มี 6 การเชื่อมต่อ, กลุ่ม E มี 6 การเชื่อมต่อ และกลุ่ม F มี 2 การ

เชื่อมต่อ รวมทั้งหมดมีแหล่งกำเนิด 23 การเชื่อมต่อ โดยแหล่งกำเนิดทั้งกลุ่มจะเชื่อมต่อเข้าไปที่สวิตช์ตัวเดียวกัน และปลายทางทั้งกลุ่มก็ออกจากสวิตช์ตัวเดียวกัน กำหนดให้ความจุของสายเชื่อมโยงระหว่าง ATM switch 1 กับ ATM switch 2 มีค่าเท่ากับ 50 Mbps. (Mbit/second) ส่วน ATM switch 4 กับ ATM switch 5 มีค่าความจุเท่ากับ 100 Mbps. สายเชื่อมโยงที่เหลือระหว่าง ATM switch 2 กับ ATM switch 3, ATM switch 3 กับ ATM switch 4, แหล่งกำเนิดแต่ละกลุ่มกับ ATM switch และ ATM switch กับปลายทางแต่ละกลุ่ม มีค่าความจุเท่ากับ 150 Mbps. และระยะทางของแต่ละสายเชื่อมโยงจะเท่ากันที่กำหนดในการจำลองการทำงาน ซึ่งแต่แหล่งกำเนิดแต่ละกลุ่มจะมีอัตราการส่งข้อมูล คือ

การเชื่อมต่อของกลุ่ม A แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลได้ 1/9 ของ 50 Mbps.	= 5.55 Mbps.
การเชื่อมต่อของกลุ่ม B แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลได้ 1/9 ของ 100 Mbps.	= 11.11 Mbps.
การเชื่อมต่อของกลุ่ม C แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลได้ 1/3 ของ 150 Mbps. - กลุ่ม A - กลุ่ม B =	33.35 Mbps.
การเชื่อมต่อของกลุ่ม D แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลได้เท่ากับการเชื่อมต่อกลุ่ม A	= 5.55 Mbps.
การเชื่อมต่อของกลุ่ม E แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลได้เท่ากับการเชื่อมต่อกลุ่ม B	= 11.11 Mbps.
การเชื่อมต่อของกลุ่ม F แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลได้ 1/2 ของ 150 Mbps. - กลุ่ม A - กลุ่ม B =	50.03 Mbps.



รูปที่ 4.5 แบบจำลองโครงข่ายแบบ GFC 1

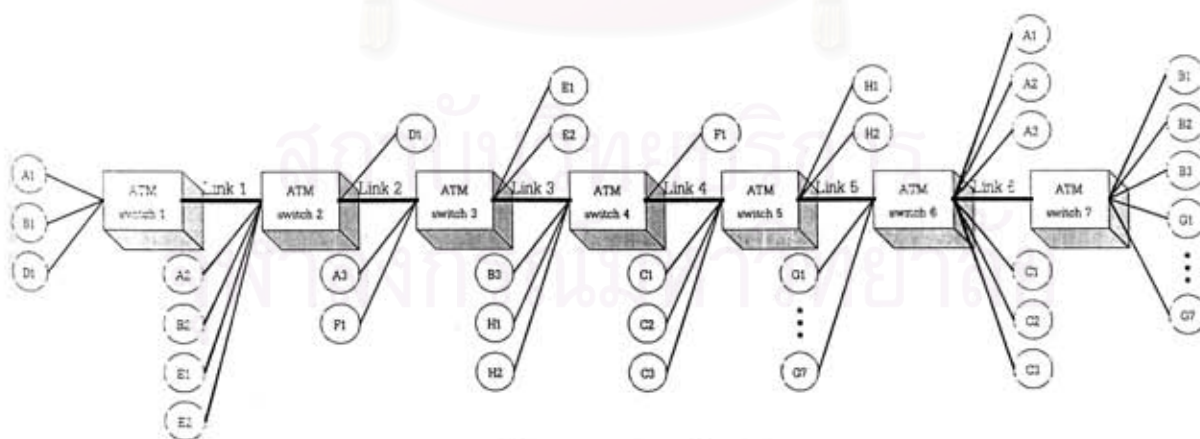
4.1.5 Generic Fair Configuration 2

แบบจำลอง Generic Fair Configuration 2 [16] เป็นแบบจำลองการทำงานที่ปรับปรุงมาจาก GFC1 ข้อแตกต่างระหว่าง GFC1 และ GFC2 คือตำแหน่งของแหล่งกำเนิดบางตัวเปลี่ยนแปลงไป โดยแหล่งกำเนิดในแต่ละกลุ่มอาจจะมีการเชื่อมต่อเข้ากับสวิตช์คนละตัวทำให้ แหล่งกำเนิดในกลุ่มเดียวกันส่งข้อมูลผ่านสวิตช์จำนวนไม่เท่ากันและระยะทางจากแหล่งกำเนิดไปปลายทางไม่เท่ากัน

จากรูปที่ 4.6 แสดงแบบจำลองการทำงาน GFC2 ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดทั้งหมด 8 กลุ่มการเชื่อมต่อ ในโครงข่ายที่มีสวิตช์ 7 ตัว ซึ่งแหล่งกำเนิดแต่ละกลุ่มจะมีจำนวนแหล่งกำเนิดไม่เท่ากัน คือ กลุ่ม A มี 3 การเชื่อมต่อ,

กลุ่ม B มี 3 การเชื่อมต่อ, กลุ่ม C มี 3 การเชื่อมต่อ, กลุ่ม D มี 1 การเชื่อมต่อ, กลุ่ม E มี 2 การเชื่อมต่อ, กลุ่ม F มี 1 การเชื่อมต่อ, กลุ่ม G มี 7 การเชื่อมต่อ และกลุ่ม H มี 2 การเชื่อมต่อ รวมทั้งหมดมีแหล่งกำเนิด 22 การเชื่อมต่อ โดยแหล่งกำเนิดแต่ละตัวในกลุ่มเดียวกันบางกลุ่มจะเชื่อมต่อเข้าไปที่สวิตช์คนละตัว แต่ปลายทางทั้งกลุ่มก็ออกจากสวิตช์ตัวเดียวกัน กำหนดให้ความจุของข่ายเชื่อมโยงระหว่าง ATM switch 1 กับ ATM switch 2, ATM switch 3 กับ ATM switch 4 และ ATM switch 6 กับ ATM switch 7 มีค่าเท่ากับ 50 Mbps. ส่วนข่ายเชื่อมโยง ATM switch 2 กับ ATM switch 3 มีค่าความจุเท่ากับ 100 Mbps. ส่วนข่ายเชื่อมโยงที่เหลือระหว่าง ATM switch 4 กับ ATM switch 5, ATM switch 5 กับ ATM switch 6, แหล่งกำเนิดแต่ละตัว กับ ATM switch และ ATM switch กับปลายทางแต่ละกลุ่ม มีค่าความจุเท่ากับ 150 Mbps. แต่ระยะทางของแต่ละข่ายเชื่อมโยงจะไม่เท่ากัน จะมีความสัมพันธ์ด้วยค่าระยะทาง D ที่เปลี่ยนแปลงตามการกำหนด โดยระหว่าง ATM switch 1 กับ ATM switch 2 ระยะทาง $4 \cdot D$ ส่วน ATM switch 2 กับ ATM switch 3 และ ATM switch 6 กับ ATM switch 7 ระยะทาง $2 \cdot D$ ที่เหลือระหว่าง ATM switch 3 กับ ATM switch 4, ATM switch 4 กับ ATM switch 5, ATM switch 5 กับ ATM switch 6, แหล่งกำเนิดแต่ละตัว กับ ATM switch และ ATM switch กับปลายทางแต่ละกลุ่มระยะทาง D ซึ่งแต่แหล่งกำเนิดแต่ละกลุ่มจะมีอัตราการส่งข้อมูล คือ

การเชื่อมต่อของกลุ่ม A แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลได้ $1/4$ ของ 40 Mbps.	= 10 Mbps.
การเชื่อมต่อของกลุ่ม B แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลได้ $1/10$ ของ 50 Mbps.	= 5 Mbps.
การเชื่อมต่อของกลุ่ม C แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลได้ $1/3$ ของ 105 Mbps.	= 35 Mbps.
การเชื่อมต่อของกลุ่ม D แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลได้	= 35 Mbps.
การเชื่อมต่อของกลุ่ม E แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลได้ $1/2$ ของ 70 Mbps.	= 35 Mbps.
การเชื่อมต่อของกลุ่ม F แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลได้	= 10 Mbps.
การเชื่อมต่อของกลุ่ม G แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลได้ $1/10$ ของ 50 Mbps.	= 5 Mbps.
การเชื่อมต่อของกลุ่ม H แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลได้ $1/2$ ของ 105 Mbps.	= 52.5 Mbps.



รูปที่ 4.6 แบบจำลองโครงข่ายแบบ GFC 2

4.2 ลักษณะการทำงานของแหล่งกำเนิด (Source characteristic)

การจำลองการทำงานของแบบแผนการควบคุมความคับคั่งจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดระดับบริการต่างๆ ในโครงข่าย ATM ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดสำหรับบริการ ABR และบริการ VBR ซึ่งมีลักษณะการทำงานไม่เหมือนกันคือ

4.2.1 แหล่งกำเนิดของบริการ ABR

แหล่งกำเนิดของบริการ ABR บนโครงข่าย ATM สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะการส่งข้อมูลผ่านโครงข่าย ประกอบด้วย

1. แหล่งกำเนิดบริการ ABR ที่มีข้อมูลในการส่งไม่สิ้นสุด (Persistent หรือ greedy source) จะมีข้อมูลที่ใช้ส่งจากแหล่งกำเนิดไปปลายทางอย่างไม่จำกัด สามารถส่งข้อมูลได้ตลอดเวลาด้วยอัตราที่สวิตช์ยอมให้ส่งได้ (ACR)
2. แหล่งกำเนิดบริการ ABR ที่มีการส่งข้อมูลแบบ burst หรือ period จะมีข้อมูลที่ใช้ในการส่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา จะมีคาบของการส่งข้อมูล (burst period, on state) และคาบของการหยุดส่ง (silent period, off state) ในช่วงคาบของการส่งจะมีข้อมูลที่ใช้งาน ส่วนคาบของการหยุดส่งจะไม่มีการส่งข้อมูลเลย มีการกระจายตัวแบบ Geometric

แหล่งกำเนิดของบริการ ABR มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับแต่ละแหล่งกำเนิดในการส่งข้อมูล ประกอบด้วย

1. อัตราการส่งข้อมูลสูงสุด (PCR) เป็นอัตราการส่งที่แต่ละแหล่งกำเนิดสามารถส่งข้อมูลได้สูงสุด
2. อัตราการส่งข้อมูลต่ำสุด (MCR) เป็นอัตราการส่งที่แต่ละแหล่งกำเนิดจะต้องส่งข้อมูลได้น้อยสุด
3. แฟคเตอร์ของอัตราการส่งที่เพิ่มขึ้น (RIF) เป็นอัตราที่แต่ละแหล่งกำเนิดสามารถเพิ่มอัตราการส่งในการรับเซลล์ RM 1 เซลล์ โดยเพิ่มด้วยอัตรา $RIF \cdot PCR$ แต่อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดจะสูงได้ไม่เกิน PCR
4. แฟคเตอร์ของอัตราการส่งที่ลดลง (RDF) เป็นอัตราที่แต่ละแหล่งกำเนิดจะลดอัตราการส่งในการรับเซลล์ RM 1 เซลล์เทียบกับอัตราการส่งขณะนั้น (ACR) โดยลดด้วยอัตรา $RDF \cdot ACR$ แต่อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดจะไม่ต่ำกว่า MCR
5. อัตราการส่งข้อมูลเริ่มต้น (ICR) เป็นอัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิดเมื่อเริ่มต้นการทำงานหรือสำหรับแหล่งกำเนิดที่ไม่มีการส่งข้อมูลมานาน เมื่อกลับมาเริ่มส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูลเริ่มต้น
6. จำนวนของเซลล์ข้อมูลต่อจำนวนเซลล์ RM (N_{rm}) แหล่งกำเนิดจะทำการส่งเซลล์ข้อมูลจำนวน $N_{rm} - 1$ เซลล์ หลังจากนั้นจะทำการส่งเซลล์ RM ที่มีการตั้งค่าที่แหล่งกำเนิดแล้วเข้าไปในโครงข่ายต่อไป มีค่าเท่ากับ 32

4.2.2 แหล่งกำเนิดของบริการ VBR

แหล่งกำเนิดของบริการ VBR บนโครงข่าย ATM แหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จะมีการส่งข้อมูลแบบ burst มีสถานะของการส่ง และหยุดส่ง โดยช่วงสถานะการส่งจะส่งที่อัตราการส่งหนึ่ง ส่วนในช่วงสถานะหยุดส่งนั้นจะไม่มี การส่งข้อมูลเลย ประกอบด้วยพารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดคือ

1. ช่วงคาบเวลาที่มีการส่งข้อมูล (burst time) เป็นช่วงเวลาที่แหล่งกำเนิดมีการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง
2. ช่วงคาบเวลาที่หยุดส่งข้อมูล (silent time) เป็นช่วงเวลาที่แหล่งกำเนิดมีการหยุดส่งข้อมูล
3. อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดเมื่ออยู่คาบการส่งข้อมูล

4.3 การจำลองการทำงานเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม FMMRA และ E-FMMRA

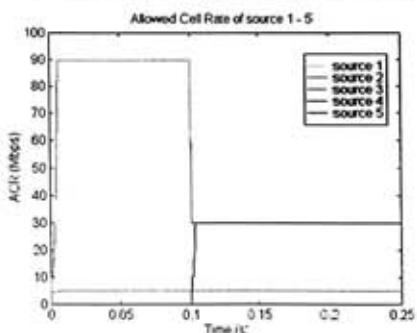
อัลกอริทึม FMMRA และอัลกอริทึม E-FMMRA เป็นอัลกอริทึมที่ถูกออกแบบมาให้ควบคุมความคับคั่งของโครงข่าย ATM โดยอัลกอริทึม FMMRA จะมีการทำงานเพื่อใช้งานข่ายเชื่อมโยงเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งพิจารณาในส่วน ของจำนวนแหล่งกำเนิดมากกว่าสภาพทราฟฟิกของแหล่งกำเนิด มีการกำหนดให้แหล่งกำเนิดสามารถส่งข้อมูลได้ตลอดเวลาและมีข้อมูลไม่จำกัดตามข่าวสารของโครงข่ายในเซลล์ RM ส่วนอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงจากอัลกอริทึม FMMRA เพื่อให้มีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงอย่างเต็มประสิทธิภาพโดยใช้โหนดแพคเตอร์ เพื่อทำให้โครงข่ายทราบถึงสถานะของทราฟฟิกของสวิตช์แต่ละตัว ทำให้สวิตช์รองรับแหล่งกำเนิดที่ไม่สามารถส่งได้ตามที่ข่าวสารของโครงข่ายในเซลล์ RM การจำลองการทำงานของอัลกอริทึมประกอบด้วย

4.3.1 การทำงานของอัลกอริทึม FMMRA

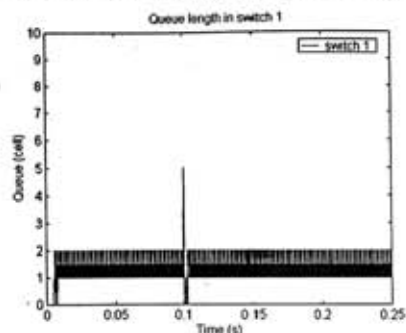
การจำลองการทำงานของแบบแผนการควบคุมความคับคั่งอัลกอริทึม FMMRA [12] จะใช้แบบจำลองการทำงานรูปที่ 4.1 โดยประกอบด้วยแหล่งกำเนิดทั้งหมด 5 ตัว ส่งข้อมูลจากแหล่งกำเนิดผ่านสวิตช์ไปยังปลายทาง แบบจำลองการทำงานจะสนใจในส่วนของการใช้งานข่ายเชื่อมโยง และความเท่าเทียมกันของแหล่งกำเนิดที่มีระดับการให้บริการเหมือนกัน สมมุติให้แหล่งกำเนิดมีข้อมูลให้ส่งได้ไม่จำกัดและส่งที่อัตราสูงสุด ACR ได้ สวิตช์ไม่มีการติดขัด (block) ของข้อมูล มีแหล่งกำเนิด 5 ตัวต่อผ่านสวิตช์ 2 ตัวไปปลายทาง ผลการจำลองการทำงานจะแสดงอัตราการส่งข้อมูล (ACR) ของแต่ละแหล่งกำเนิด และระดับของคิวที่เก็บข้อมูลในสวิตช์

กำหนดระยะทางของโครงข่ายแบ่งออกเป็น LAN (Local Area Network) และ WAN (Wide Area Network) ค่าประวิงเวลาแพร่กระจาย (propagation delay) 5 μ s. ต่อกิโลเมตร เป็นเวลาที่เซลล์ของโครงข่าย ATM เดินทาง, ทุกข่ายเชื่อมโยงจะมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 100 Mbps., แหล่งกำเนิด SRC1 กับ SRC3 เป็นแหล่งกำเนิดที่ติดขัด โดยมีค่า PCR เท่ากับ 5 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด SRC2, SRC4 และ SRC5 มีค่า PCR เท่ากับ 150 Mbps. โดย SRC1, SRC2 และ SRC3 เริ่มส่งข้อมูลที่ 0 s. ส่วน SRC4 และ SRC5 เริ่มต้นส่งข้อมูลที่ 0.1 s. ช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 100 เซลล์ ค่า RIF เท่ากับ 1/8 และค่า RDF เท่ากับ 1/256 อัตราการส่งเริ่มต้นทุกแหล่งกำเนิดเท่ากับ 2 Mbps.

1. ระยะเวลาข่ายเชื่อมโยงทั้งหมดเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร, ระยะเวลาการจำลองทำงานเท่ากับ 0.25 s.



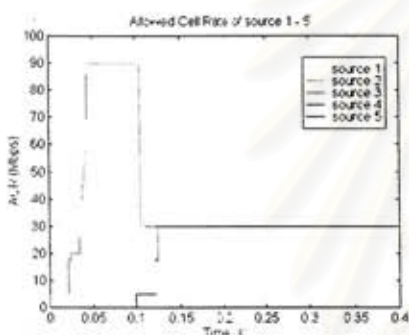
(ก) ACR ของแหล่งกำเนิด 1 - 5



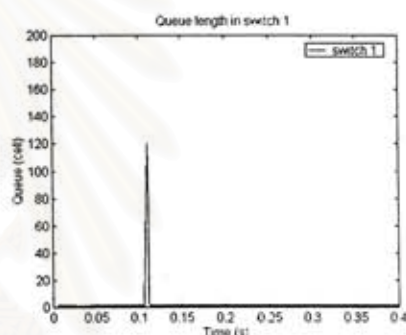
(ข) ขนาดของคิวในสวิตช์ 1

รูปที่ 4.7 อัลกอริทึม FMMRA ที่มีระยะเวลาโครงข่ายเป็น LAN

2. ระยะเวลาของโครงข่ายทั้งหมดเป็น WAN คือ ระยะเวลาของแหล่งกำเนิดกับสวิตช์, ปลายทางกับสวิตช์ทุกตัวเท่ากับ 1,000 กิโลเมตร และระยะเวลาระหว่างสวิตช์เท่ากับ 100 กิโลเมตร ระยะเวลาการจำลองทำงานเท่ากับ 0.4 s.



(ก) ACR ของทุกแหล่งกำเนิด 1 - 5



(ข) ขนาดของคิวในสวิตช์ 1

รูปที่ 4.8 อัลกอริทึม FMMRA ที่มีระยะเวลาโครงข่ายเป็น WAN

จากการจำลองการทำงานทั้งแบบจำลองที่มีระยะเวลาในโครงข่ายเป็น LAN และ WAN ในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ เห็นได้ว่าเมื่อแหล่งกำเนิดเริ่มต้นส่งข้อมูลจะทำให้ แหล่งกำเนิด SRC1 - SRC3 เริ่มส่งด้วยอัตรา ICR ที่กำหนดไว้ จนกว่าเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับมาถึงที่แหล่งกำเนิด ดังนั้นแหล่งกำเนิดจะทำการปรับอัตราการส่งข้อมูลตามค่า ER ในเซลล์ RM ทำให้แหล่งกำเนิด SRC1 และ SRC3 จะมีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากับ 5 Mbps. ซึ่งเป็นอัตราการส่งที่สูงสุด ส่วนแหล่งกำเนิด SRC2 จะมีอัตราการส่งเท่ากับ 90 Mbps. เนื่องจากมีแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัดเท่ากับ 10 Mbps. ระดับข้อมูลในคิวจะมีค่าต่ำประมาณ 1 - 2 เซลล์ เมื่อถึงเวลา 0.1 s. แหล่งกำเนิด SRC4 และ SRC5 เริ่มต้นการส่งข้อมูลด้วยอัตรา ICR ทำให้ระดับคิวในสวิตช์เพิ่มขึ้นถึงขนาด 5 และ 120 เซลล์เมื่อโครงข่ายมีระยะเวลาในโครงข่ายเป็น LAN และ WAN ตามลำดับ เพราะแหล่งกำเนิด SRC1 - SRC 5 มีการส่งข้อมูลทั้งหมดมากกว่าที่ข่ายเชื่อมโยงรองรับได้ หลังจากนั้นแหล่งกำเนิด SRC2 ลดอัตราการส่งข้อมูลเร็วกว่าแหล่งกำเนิด SRC4 และ SRC5 เพิ่มอัตราการส่งเท่ากับอัตราการส่งที่สวิตช์แนะนำทำให้ระดับคิวลดลงจนไม่มีข้อมูลอยู่ในเซลล์ เมื่อแหล่งกำเนิด SRC1 - SRC5 ได้รับเซลล์ RM ทิศทาง

ย้อนกลับทั้งหมดแล้ว แหล่งกำเนิดจะทำการปรับอัตราการส่งข้อมูลตามเซลล์ RM โดย SRC1 และ SRC3 ยังคงส่งข้อมูลที่ 5 Mbps. ส่วน SRC2, SRC4 และ SRC5 ก็จะส่งด้วยอัตรา 30 Mbps. เนื่องจากแบนด์วิดท์ที่เหลือจากการเชื่อมต่อที่ติดขัดเท่ากับ 90 Mbps. แต่มีจำนวนการเชื่อมต่อที่ไม่ติดขัดเท่ากับ 3 ดังนั้นทุกแหล่งกำเนิดที่ไม่มีการติดขัดจะได้รับการแบ่งอัตราการส่งที่เท่ากัน ซึ่งเท่ากับ 30 Mbps. และระดับของคิวมีค่าต่ำประมาณ 1 - 2 เซลล์

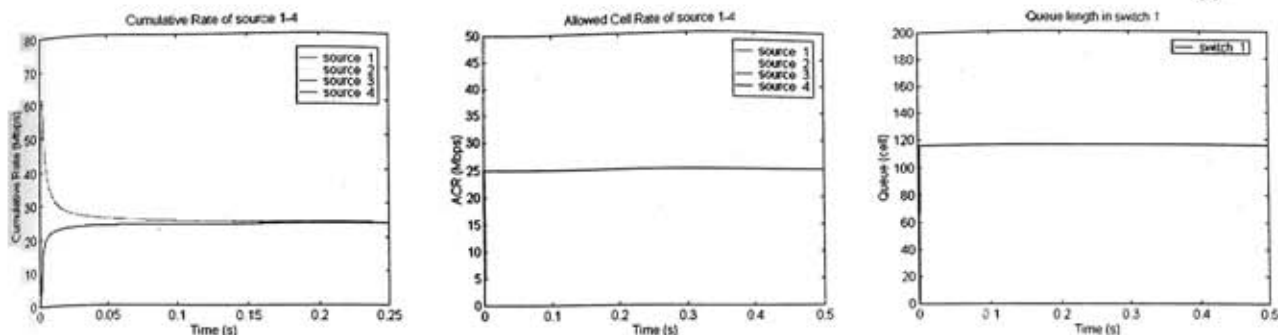
4.3.2 การทำงานของอัลกอริทึม FMMRA with Buffer Control

อัลกอริทึม FMMRA with buffer control [13] มีการปรับปรุงจากอัลกอริทึม FMMRA เพื่อให้โครงข่ายพยายามควบคุมระดับของคิว โดยการปรับค่า ER ในเซลล์ RM ด้วยค่า A_{max} ร่วมกับค่าโหนดแฟลคเตอร์เพื่อให้มีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงเต็มที่ สำหรับแหล่งกำเนิดที่มีการส่งข้อมูลไม่เท่ากับอัตราที่โครงข่ายแนะนำ

การจำลองการทำงานของแบบแผนการควบคุมความคับคั่ง FMMRA with buffer control จะใช้แบบจำลองในรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.3 กำหนดค่าประวิงเวลาแพร่กระจาย 5 μ s. ต่อกิโลเมตร โดยแบบจำลองรูปที่ 4.1 จะมีแหล่งกำเนิดทั้งหมด 4 ตัวส่งผ่านสวิตช์ไปยังปลายทางโดยตรง สมมติให้แหล่งกำเนิดมีข้อมูลให้ส่งได้ไม่จำกัดและส่งที่อัตราสูงสุด ACR ได้ สวิตช์ไม่มีการติดขัดของข้อมูล มีแหล่งกำเนิด 4 ตัวต่อผ่านสวิตช์ 2 ตัวไปปลายทาง ผลการจำลองการทำงานจะแสดงอัตราการส่งข้อมูล (ACR) ของแต่ละแหล่งกำเนิด, ระดับของคิวที่เก็บข้อมูลในสวิตช์ รวมทั้งอัตราการส่งข้อมูลจริง (cumulative rate) เป็นอัตราส่วนของจำนวนเซลล์ข้อมูลทั้งหมดต่อเวลาของการส่งข้อมูล โดยอัตราการส่งข้อมูลจริงจะดีกว่าอัตราการส่งข้อมูลเพราะอัตราการส่งข้อมูลเป็นอัตราการส่งที่โครงข่ายแนะนำ แต่แหล่งกำเนิดไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูลตามที่โครงข่ายแนะนำ อัตราการส่งข้อมูลจริงเป็นอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดจริงที่คำนวณจากจำนวนเซลล์ข้อมูล

การจำลองการทำงานจะแบ่งตามลักษณะของแหล่งกำเนิด คือแหล่งกำเนิดที่ส่งข้อมูลได้ตามอัตราที่โครงข่ายแนะนำมีข้อมูลไม่จำกัดในการส่งและแหล่งกำเนิดที่มีการส่งข้อมูลแบบ burst มีคาบการส่งและคาบการหยุดส่ง, ทุกข่ายเชื่อมโยงจะมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 100 Mbps. แหล่งกำเนิด SRC1 ถึง SRC4 มี PCR เท่ากับ 150 Mbps. เมื่อเริ่มการจำลองการทำงานทุกแหล่งกำเนิดจะเริ่มส่งข้อมูลไปปลายทาง ค่า RIF เท่ากับ 1 และค่า RDF เท่ากับ 1/256 อัตราการส่งเริ่มต้นทุกแหล่งกำเนิดเท่ากับ 5 Mbps.

1. โครงข่ายมีแหล่งกำเนิดสามารถส่งข้อมูลได้อย่างไม่จำกัดตามค่า ACR โดยระยะทางจากแหล่งกำเนิด SRC1 ถึงสวิตช์เท่ากับ 10 กิโลเมตร ส่วนระยะทางจากแหล่งกำเนิด SRC2 ถึง SRC4 เท่ากับ 100 กิโลเมตร ส่วนระยะทางระหว่างสวิตช์และระยะทางจากสวิตช์ไปถึงปลายทางทุกตัวเท่ากับ 1 กิโลเมตร ระยะเวลาการจำลองการทำงานเท่ากับ 0.5 s.

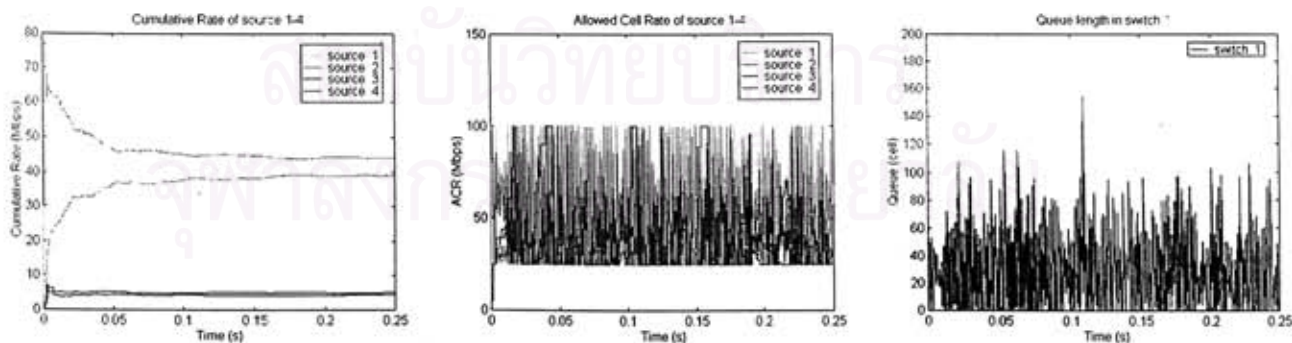


(ก) Cumulative rate แหล่งกำเนิด 1 - 4 (ข) ACR แหล่งกำเนิด 1 - 4 (ค) ขนาดของคิวในสวิตช์ 1

รูปที่ 4.9 อัลกอริทึม FMMRA with buffer control การเชื่อมต่อแบบ peer to peer

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.9 ที่สถานะชั่วคราวแหล่งกำเนิด SRC1 จะส่งข้อมูลด้วยอัตราเท่ากับ 50 Mbps. โดยแหล่งกำเนิด SRC2 - SRC4 มีการส่งข้อมูลที่อัตราเท่ากับ 25 Mbps. เพราะระยะทางที่แหล่งกำเนิด SRC1 ไปปลายทางเร็วกว่าของแหล่งกำเนิด SRC2 - SRC4 ทำให้แหล่งกำเนิด SRC1 มีการปรับอัตราการส่งที่สูงและเร็วกว่าแหล่งกำเนิดอื่น ส่วนค่าอัตราการส่งจริงของแหล่งกำเนิด SRC1 จะเริ่มส่งข้อมูลที่อัตรา 60 Mbps. แล้วค่อย ๆ ลดลงเข้าหาอัตราการส่งจริงของแหล่งกำเนิด SRC2 - SRC4 ที่ค่อย ๆ เพิ่มอัตราการส่งจนมีค่าเท่ากับ 25 Mbps. ซึ่งมีค่าเท่ากับค่า ACR หลังจากนั้นทุกแหล่งกำเนิด SRC1 ถึง SRC4 จะต้องได้รับการแบ่งด้วยอัตราที่เท่ากัน ซึ่งแต่ละแหล่งกำเนิดจะส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่ง 25 Mbps. ถึงแม้ว่าทุกแหล่งกำเนิดจะมีระยะทางในการส่งข้อมูลจากแหล่งกำเนิดไปปลายทางที่ต่างกัน ระดับของคิวจะอยู่ที่คงที่เท่ากับ 115 เซลล์

2. โครงข่ายมีแหล่งกำเนิดแบบ burst โดยแหล่งกำเนิด SRC1 และ SRC2 จะส่งข้อมูลได้อย่างไม่จำกัดตามค่า ACR ส่วนแหล่งกำเนิด SRC3 และ SRC4 จะส่งข้อมูลแบบ burst ที่มีการส่งข้อมูลอย่างเบาบาง (light load) 5% ซึ่งจะเทียบช่วงระยะเวลาเฉลี่ยของการส่ง (active) เท่ากับ 500 เซลล์ ส่วนช่วงเวลาเฉลี่ยของการหยุดส่ง (silent) เท่ากับ 9,500 เซลล์ ระยะทางจากแหล่งกำเนิด SRC1 ถึงสวิตช์เท่ากับ 10 กิโลเมตร ส่วนระยะทางจากแหล่งกำเนิด SRC2 ถึง SRC4 เท่ากับ 100 กิโลเมตร ส่วนระยะทางระหว่างสวิตช์และระยะทางจากสวิตช์ไปถึงปลายทางทุกตัว เท่ากับ 1 กิโลเมตร ค่า QT เท่ากับ 50 และค่า DQT เท่ากับ 500



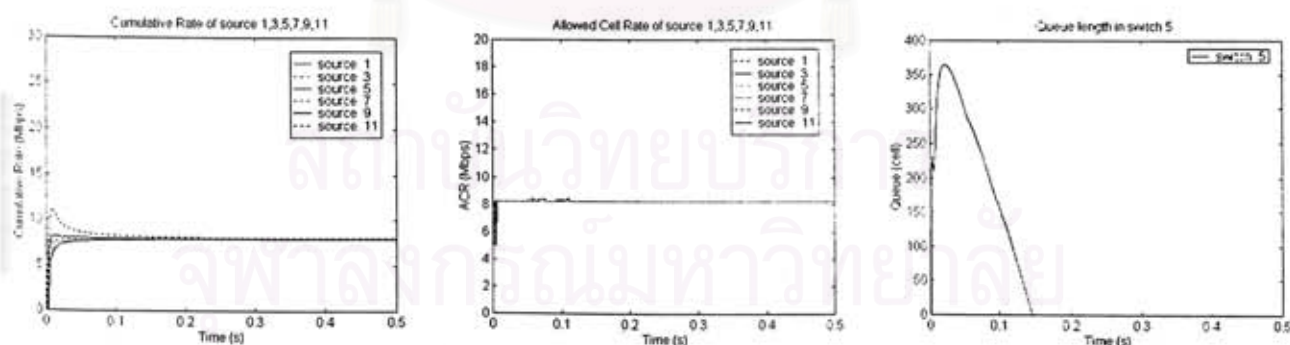
(ก) Cumulative rate แหล่งกำเนิด 1 - 4 (ข) ACR แหล่งกำเนิด 1 - 4 (ค) ขนาดของคิวในสวิตช์ 1

รูปที่ 4.10 อัลกอริทึม FMMRA with buffer control การเชื่อมต่อแบบ peer to peer แหล่งกำเนิดแบบ burst

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.10 ที่สถานะชั่วคราวแหล่งกำเนิด SRC1 จะส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งจริงเท่ากับ 77 Mbps. สูงกว่าอัตราการส่งจริงของแหล่งกำเนิด SRC2, SRC3 และ SRC4 โดยแหล่งกำเนิด SRC2 มีอัตราการส่งจริงเท่ากับ 20 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด SRC3 และ SRC4 มีอัตราการส่งจริงเท่ากับ 5 Mbps. ซึ่งอัตราการส่งจริงของแหล่งกำเนิด SRC1 มากกว่า SRC2 เพราะระยะทางในโครงข่ายของแหล่งกำเนิด SRC1 น้อยกว่าแหล่งกำเนิด SRC2 ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่มีระยะทางการส่งข้อมูลที่น้อยกว่าจะได้แบนด์วิดท์ในการส่งข้อมูลที่มากกว่าแหล่งกำเนิดที่มีระยะทางในการส่งข้อมูลไกลกว่า เนื่องจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ใกล้กว่าจะมีการปรับตัวได้เร็วกว่าแหล่งกำเนิดที่อยู่ไกลกว่า ที่สถานะอยู่ตัวอัตราการส่งจริงของแหล่งกำเนิด SRC3 และ SRC4 อยู่ที่ 5 Mbps. ซึ่งอัตราการส่งจริงของแหล่งกำเนิด SRC1 และ SRC2 ควรจะเท่ากันที่ 45 Mbps. แต่ตามการจำลองการทำงานอัตราการส่งจริงของแหล่งกำเนิด SRC1 และ SRC2 เท่ากับ 47 และ 37 Mbps. ตามลำดับ ซึ่งแหล่งกำเนิด SRC1 จะมีอัตราการส่ง ACR ที่มากกว่าแหล่งกำเนิด SRC2 โดยมีอัตราการส่ง ACR ที่สูงกว่าโดยจะมีการแกว่งตัวตลอดเวลา แหล่งกำเนิด SRC3 และ SRC4 ที่มีอัตราการส่งจำกัดในการส่งข้อมูลเพราะข้อกำหนดของแหล่งกำเนิดที่มีการส่งข้อมูลอย่างเบาบาง ระดับคิวในสวิตช์มีการแกว่งตัวระหว่าง 0 - 80 เซลล์

การจำลองการทำงานที่ใช้แบบจำลองรูปที่ 4.3 จะแบ่งตามลักษณะของแหล่งกำเนิด คือ แหล่งกำเนิดที่ส่งข้อมูลส่งได้ตามที่โครงข่ายแนะนำหรือมีข้อมูลไม่จำกัดในการส่ง และแหล่งกำเนิดกำหนดแบบ burst ที่มีคาบการส่งและคาบการหยุดส่ง ทุกข่ายเชื่อมโยงจะมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 100 Mbps., แหล่งกำเนิด SRC1 ถึง SRC12 มี PCR เท่ากับ 150 Mbps., ทุกแหล่งกำเนิดจะเริ่มส่งข้อมูลในเวลา 0 s., ระยะทางระหว่างสวิตช์กับสวิตช์มีค่าเท่ากับ 100 กิโลเมตร. ระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดไปยังสวิตช์ และระหว่างสวิตช์ไปปลายทางเท่ากับ 1 กิโลเมตร ผลการจำลองการทำงานจะแสดงอัตราการส่งข้อมูล (ACR) ของแต่ละแหล่งกำเนิด, ระดับของคิวที่เก็บข้อมูลในสวิตช์ รวมทั้งอัตราการส่งข้อมูลจริง (cumulative rate) ค่า RIF เท่ากับ 1 และค่า RDF เท่ากับ 1/256 อัตราการส่งเริ่มต้นทุกแหล่งกำเนิดเท่ากับ 5 Mbps.

1. แหล่งกำเนิดทั้งหมด SRC1 ถึง SRC12 มีการส่งข้อมูลอย่างไม่จำกัด



(ก) Cumulative rate แหล่งกำเนิด 1 - 11

(ข) ACR แหล่งกำเนิด 1 - 11

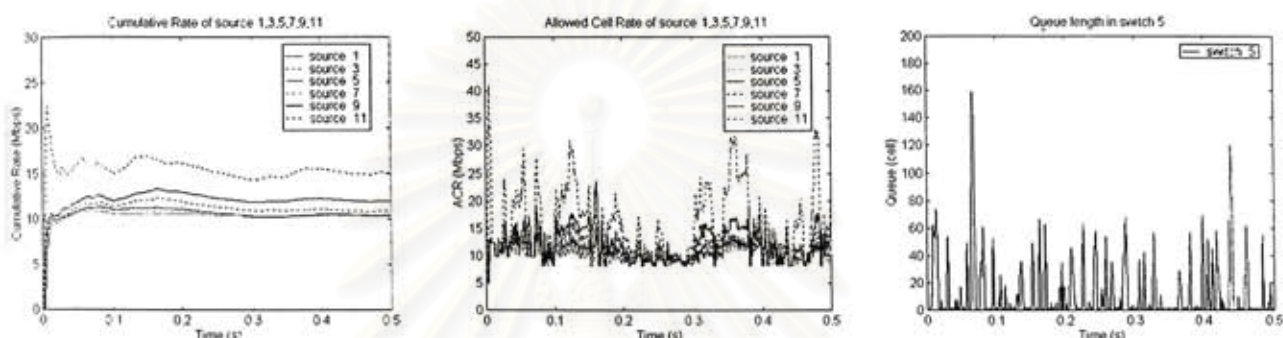
(ค) ขนาดของคิวในสวิตช์ 5

รูปที่ 4.11 อัลกอริทึม FMMRA with buffer control การเชื่อมต่อแบบ parking lot

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.11 ที่สถานะชั่วคราวแหล่งกำเนิด SRC11 จะส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งจริงเท่ากับ 12 Mbps. โดยแหล่งกำเนิด SRC1, SRC3, SRC5, SRC7 และ SRC9 มีการส่งข้อมูลที่อัตราการส่งจริงมาก

กว่า 8.3 Mbps. เล็กน้อย เพราะระยะทางที่แหล่งกำเนิด SRC11 ไปปลายทางเร็วกว่าของแหล่งกำเนิด SRC1, SRC3, SRC5, SRC7 และ SRC9 ทำให้ขนาดคิวในสวิตช์เท่ากับ 350 เซลล์ หลังจากนั้นทุกแหล่งกำเนิดพยายามที่จะปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวมีอัตราการส่งจริงเท่ากับ 8.3 Mbps. ระดับคิวลดลงจนอยู่ที่ประมาณ 1 - 2 เซลล์ ซึ่งอัตราการส่งจริงของทุกแหล่งกำเนิดเท่ากับอัตราการส่ง ACR ที่โครงข่ายแนะนำ

2. แหล่งกำเนิดเลขคู่ SRC1, SRC3, SRC5, SRC7, SRC9 และ SRC11 จะส่งข้อมูลได้อย่างไม่จำกัดตามค่า ACR ส่วนแหล่งกำเนิดเลขคี่ SRC2, SRC4, SRC6, SRC8, SRC10 และ SRC12 จะส่งข้อมูลแบบ burst มีการส่งข้อมูลอย่างเบาบางเท่ากับ 5% คือช่วงระยะเวลาเฉลี่ยของการส่งเท่ากับ 500 เซลล์ ส่วนช่วงเวลาเฉลี่ยของการหยุดส่งเท่ากับ 9,500 เซลล์ ค่า QT เท่ากับ 50 และค่า DOT เท่ากับ 500



(ก) Cumulative rate แหล่งกำเนิด 1 - 11 (ข) ACR แหล่งกำเนิด 1 - 11

(ค) ขนาดของคิวในสวิตช์ 5

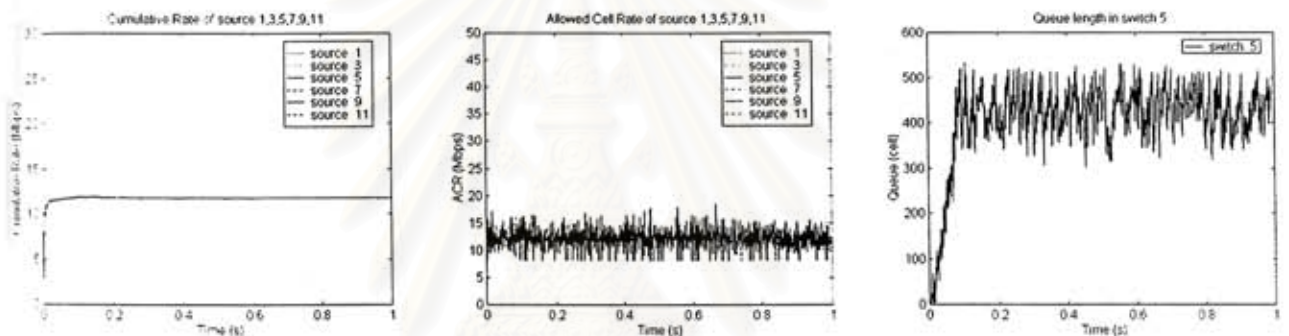
รูปที่ 4.12 อัลกอริทึม FMMRA with buffer control การเชื่อมต่อแบบ parking lot บางแหล่งกำเนิดแบบ burst

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.12 แหล่งกำเนิดจากการจำลองการทำงานแหล่งกำเนิดที่สามารถส่งตามค่า ACR ซึ่งอยู่ใกล้กับสวิตช์ตัวสุดท้ายจะได้รับการแบ่งแบนด์วิดท์มากกว่าแหล่งกำเนิดที่ส่งตามค่า ACR อยู่ไกลออกมาจากสวิตช์ตัวสุดท้าย เนื่องจากที่สวิตช์ตัวสุดท้ายตัวที่ 6 จะทำการแบ่งแบนด์วิดท์สำหรับแต่ละการเชื่อมต่อเนื่องจากมีแหล่งกำเนิดที่มีการส่งแบบ burst อยู่ด้วย ดังนั้นถ้าทำการแบ่งให้กับทุกแหล่งกำเนิดได้เท่ากัน แต่สำหรับแหล่งกำเนิดที่ส่งแบบ burst ในช่วงคาบการหยุดส่งจะทำให้โครงข่ายมีแบนด์วิดท์ที่ไม่มีการใช้งาน ดังนั้นเพื่อให้มีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นจะใช้ค่าโหลดแฟคเตอร์ช่วยโดยแบ่งให้กับแหล่งกำเนิดที่สามารถเพิ่มอัตราการส่งได้ตามค่า ACR ถ้าแหล่งกำเนิดที่อยู่ใกล้กว่าสามารถเพิ่มอัตราการส่งได้เร็วกว่าแหล่งกำเนิดที่อยู่ไกลกว่า เมื่อแหล่งกำเนิดที่อยู่ใกล้กับปลายทางมีการปรับอัตราการส่งตามที่โครงข่ายแนะนำแล้วสวิตช์ตรวจพบว่าโครงข่ายมีการใช้งานอย่างเต็มที่แล้ว ทำให้แหล่งกำเนิดที่อยู่ไกลจากสวิตช์ตัวสุดท้ายออกไปไม่จำเป็นจะต้องเพิ่มอัตราการส่ง ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่อยู่ใกล้กับสวิตช์ตัวสุดท้ายมากกว่าจะได้รับแบนด์วิดท์ที่มากกว่าแหล่งกำเนิดที่อยู่ไกลจากสวิตช์ถัดมา ซึ่งอัตราการส่งจริงของแหล่งกำเนิด SRC11 จะมีอัตราการส่งมากกว่าแหล่งกำเนิดอื่น โดยแหล่งกำเนิด SRC9 ก็จะมีอัตราการส่งจริงมากกว่าแหล่งกำเนิด SRC1, SRC3, SRC5 และ SRC7 ที่มีอัตราการส่งจริงใกล้เคียงกัน ดังนั้นแต่ละแหล่งกำเนิดไม่สามารถส่งได้เท่าเทียมกัน

4.3.3 การทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA

อัลกอริทึม E-FMMRA [13] มีการปรับปรุงเพิ่มเติมจากอัลกอริทึม FMMRA with buffer control ทำให้มีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงเต็มประสิทธิภาพและปรับปรุงส่วนของความเท่าเทียมกัน เนื่องจากการใช้ค่า CCR ในเซลล์ RM ไม่ใช่อัตราการส่งที่แหล่งกำเนิดส่งข้อมูลแท้จริงแต่เป็นเพียงค่า ACR ของแหล่งกำเนิดเท่านั้น อัลกอริทึม E-FMMRA จะใช้ค่าที่ปรับตามคำนวณการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักเฉลี่ยของค่า ER ทิศทางย้อนกลับแทนค่า CCR ซึ่งเป็นการใช้ค่าเฉลี่ยของแต่ละแหล่งกำเนิดที่คาดว่าจะส่งข้อมูลได้

การจำลองการทำงานของแบบแผนการควบคุมความคับคั่ง E-FMMRA จะใช้แบบจำลองในรูปที่ 4.3 ซึ่งมีการกำหนดค่าตามการจำลองการทำงานของ FMMRA with buffer control ในส่วนที่มีแหล่งกำเนิดแบบ burst แหล่งกำเนิดเลขคี่จะส่งข้อมูลได้อย่างไม่จำกัดตามค่า ACR ส่วนแหล่งกำเนิดเลขคู่จะส่งข้อมูลแบบ burst มีการส่งข้อมูลอย่างบางเท่ากับ 5% ค่า QT เท่ากับ 50 และค่า DQT เท่ากับ 500 ค่า RIF เท่ากับ 1 และค่า RDF เท่ากับ 1/256 อัตราการส่งเริ่มต้นทุกแหล่งกำเนิดเท่ากับ 5 Mbps.



(ก) Cumulative rate แหล่งกำเนิด 1 - 11 (ข) ACR แหล่งกำเนิด 1 - 11 (ค) ขนาดของคิวในสวิตช์ 5

รูปที่ 4.13 อัลกอริทึม E-FMMRA การเชื่อมต่อแบบ parking lot บางแหล่งกำเนิดส่งแบบ burst

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.13 ที่สถานะชั่วคราวแหล่งกำเนิดทุกแหล่งกำเนิด SRC1, SRC3, SRC5, SRC7, SRC9 และ SRC11 มีอัตราการส่งจริงที่เท่ากันถึงแม้ว่าระยะทางของแต่ละแหล่งกำเนิดจะไม่เท่ากัน โดยมีอัตราการส่งจริงประมาณ 12 Mbps. ซึ่งแต่ละแหล่งกำเนิดสามารถส่งได้ตามค่า ACR ที่สวิตช์คำนวณได้ซึ่งมีการแกว่งตัวตลอดเวลา จากอัตราการส่งจริงของทุกแหล่งกำเนิดมีค่าเท่ากันดังนั้นทุกแหล่งกำเนิดสามารถส่งข้อมูลได้เท่าเทียมกัน ระดับของคิวจะแกว่งตัวที่ระดับ 500 เซลล์

4.4 การจำลองปัญหาของอัลกอริทึม E-FMMRA

การจำลองปัญหาที่เกิดขึ้นและการปรับปรุงของอัลกอริทึม E-FMMRA เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยจะสนใจในส่วนของการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิด การใช้งานสายเชื่อมโยงส่วนของข้อมูลในคิว และความเท่าเทียมกันของแหล่งกำเนิดที่มีระดับการให้บริการเหมือนกัน การจำลองปัญหาจะแบ่งตามปัญหา คือ

4.4.1 ผลการจำลองการทำงานการตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ย

อัลกอริทึม E-FMMRA จะมีการปรับค่าพารามิเตอร์ร่วมเมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ย เพื่อใช้ในการปรับเซลล์ RM ซึ่งการตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยนั้นอาจจะทำให้มีการคำนวณค่าพารามิเตอร์ร่วมที่มีการเฉลี่ยค่าไม่ดี ทำให้อัตราการส่งมีการแกว่งตัวสูงกว่าค่าจริงและเกิดเซลล์สูญหาย

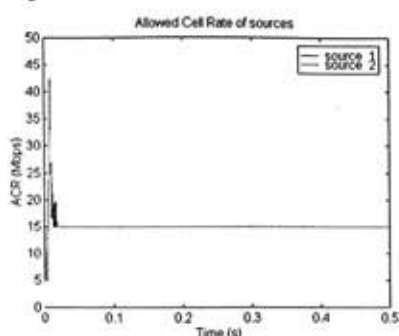
การจำลองการทำงานจะใช้แบบจำลองการทำงานรูปที่ 4.1 Peer to peer และรูปที่ 4.4 VBR & ABR การจำลองการทำงานจะแบ่งตามอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมที่มีการตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยขนาดต่าง ๆ จะแบ่งการจำลองเป็น

- แบบจำลอง Peer to peer ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดจำนวน N ตัว ส่งข้อมูลผ่านสวิตช์ 2 ตัวไปยังปลายทาง แบบจำลองสมมุติให้แหล่งกำเนิดมีข้อมูลให้ส่งได้ไม่จำกัด แหล่งกำเนิด SRC 1 ถึง SRC N มีค่าอัตราการส่งสูงสุด (PCR) เท่ากับ 150 Mbps. ค่าอัตราการส่งเริ่มต้น (ICR) เท่ากับ 5 Mbps. ทุกสายเชื่อมโยงมีค่าแบนด์วิดท์เท่ากับ 150 Mbps. ผลการจำลองการทำงานประกอบด้วยอัตราการส่ง (ACR) ของแต่ละแหล่งกำเนิด และ ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 ทุกแหล่งกำเนิดเริ่มส่งข้อมูลไม่พร้อมกัน ระยะเวลาการจำลองการทำงานเท่ากับ 0.5 s.

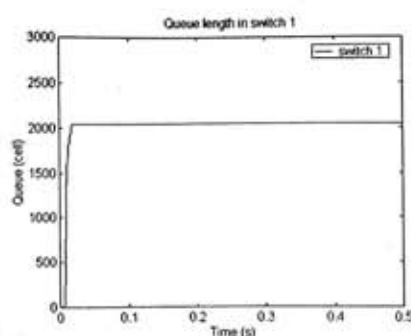
- แบบจำลอง VBR & ABR ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดบริการ VBR 1 ตัว และแหล่งกำเนิดบริการ ABR 2 ตัว ส่งข้อมูลผ่านสวิตช์ 2 ตัวไปยังปลายทาง แหล่งกำเนิด ABR เป็นแหล่งกำเนิดที่มีข้อมูลให้ส่งได้ไม่จำกัด ค่าอัตราการส่งสูงสุดเท่ากับ 150 Mbps. ค่าอัตราการส่งเริ่มต้นเท่ากับ 5 Mbps. แหล่งกำเนิดบริการ VBR มีอัตราการส่งคาบการส่งเท่ากับ 150 Mbps. ทุกสายเชื่อมโยงมีค่าแบนด์วิดท์เท่ากับ 150 Mbps. ผลการจำลองการทำงานประกอบด้วยอัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิด ABR และ VBR, ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 ทุกแหล่งกำเนิดเริ่มส่งข้อมูลในเวลา 0 s. ระยะเวลาการจำลองการทำงานเท่ากับ 0.4 s.

ทุกสายเชื่อมโยงมีระยะทางเท่ากัน สวิตช์ไม่มีการติดขัด (block) ค่าประวิงเวลาแพร่กระจาย 5 μ s. ต่อ กิโลเมตร ค่า RIF เท่ากับ 1 และค่า RDF เท่ากับ 1/256 ขนาดคิวของเซลล์บริการ ABR เท่ากับ 10,000 เซลล์ ระดับ QT เท่ากับ 500 เซลล์ และระดับ DQT เท่ากับ 2,000 เซลล์ (ระดับคิว QT และ DQT กำหนดมากกว่า [13] เพราะระดับ QT เท่ากับ 50 เซลล์มีขนาดต่ำ ทำให้เกิดความเสียหายที่มีการใช้สายเชื่อมโยงไม่เต็มที่ ดังนั้นระดับคิวที่เหมาะสมประมาณ 1,500 เซลล์ [8])

1) การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบเวลา (time based) แบบจำลอง Peer to peer มีแหล่งกำเนิด 10 ตัว ทุกแหล่งกำเนิดเริ่มส่งข้อมูลในเวลา 0 s. ช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 100 timeslot ระยะทางแต่ละสายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

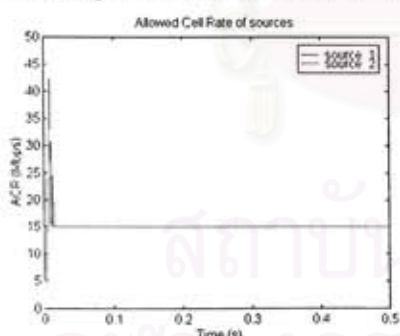


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

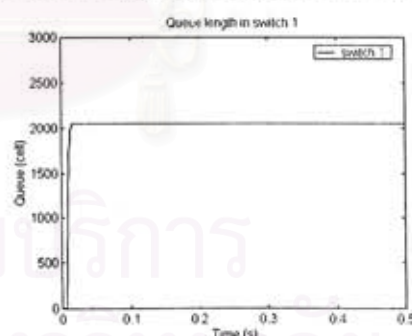
รูปที่ 4.14 อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยทางเวลา แบบจำลอง Peer to peer

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.14 อัลกอริทึม E-FMMRA กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยทางเวลา สถานะชั่วคราว (Transient state) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 10 เพิ่มขึ้นเท่ากับ 42 Mbps. เนื่องจากอัตราการส่งเริ่มต้นน้อยกว่าค่า fairshare (15 Mbps.) ค่าโพลคแพคเตอร์มีค่าต่ำกว่า 1 ดังนั้นอัตราการส่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าค่า fairshare เมื่อแหล่งกำเนิดส่งข้อมูลเพิ่มทำให้ค่าโพลคแพคเตอร์เพิ่มอัตราการส่งจะปรับลดลง ทำให้ระดับคิวในสวิตช์ 1 เท่ากับ 2,000 เซลล์ หลังจากนั้นเมื่อสวิตช์ปรับเข้าสู่สถานะอยู่ตัว (Steady state) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 10 เท่ากับ 15 Mbps. และระดับคิวคงที่

2) การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ (count based) แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด 10 ตัว ทุกแหล่งกำเนิดเริ่มส่งข้อมูลในเวลา 0 s. ช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 100 เซลล์ ระยะทางแต่ละสายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

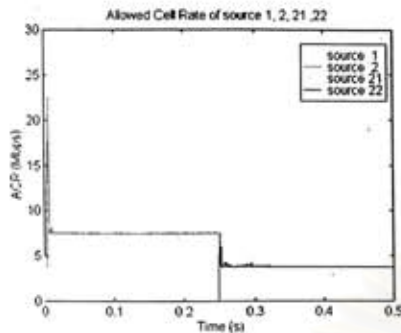


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

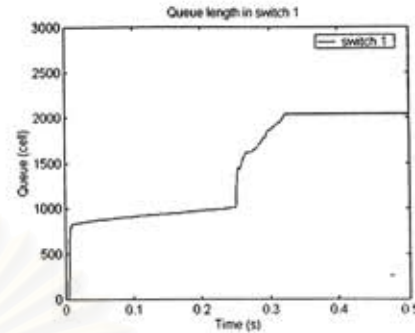
รูปที่ 4.15 อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ แบบจำลอง Peer to peer

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.15 อัลกอริทึม E-FMMRA กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ สถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 10 เพิ่มขึ้นเท่ากับ 42 Mbps. เพราะอัตราการส่งเริ่มต้นน้อยกว่าค่า fairshare แล้วอัตราการส่งจะลดลง ทำให้ระดับคิวสวิตช์ 1 เท่ากับ 2,000 เซลล์ หลังจากนั้นเมื่อสวิตช์ปรับเข้าสู่สถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 10 เท่ากับ 15 Mbps. และระดับคิวคงที่ ผลการทำงานจะเหมือนกับช่วงเวลาเฉลี่ยแบบเวลา

3) การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ 100 เซลล์ แบบจำลอง Peer to peer มีแหล่งกำเนิด 40 ตัว แหล่งกำเนิด 1 - 20 เริ่มส่งข้อมูลที่เวลา 0 s. ส่วนแหล่งกำเนิด 21 - 40 ส่งข้อมูลที่เวลา 0.25 s. ช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 100 เซลล์ ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 21, 22

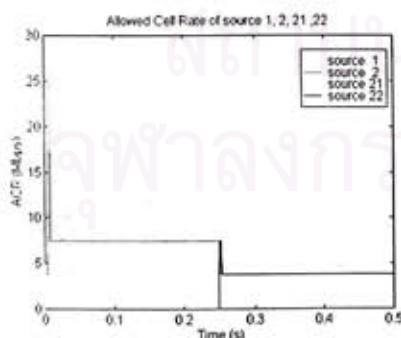


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

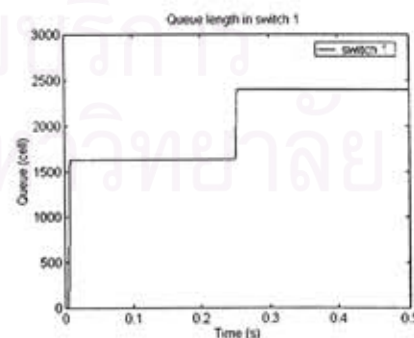
รูปที่ 4.16 อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 100 เซลล์ แบบจำลอง Peer to peer

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.16 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ขนาดต่ำ สถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 20 เริ่มส่งจะเพิ่มอัตราการส่งเท่ากับ 22 Mbps. ระดับคิวสวิตช์ 1 เท่ากับ 800 เซลล์ ที่สถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 20 มีการแกว่งที่ 7.5 Mbps. ระดับคิวค่อย ๆ เพิ่ม เมื่อถึงเวลา 0.25 s. แหล่งกำเนิด 21 - 40 เริ่มต้นส่งข้อมูล อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 21 - 40 ค่อย ๆ เพิ่มเท่ากับ 6 Mbps. เร็วกว่าแหล่งกำเนิด 1 - 20 ที่ลดอัตราการส่งเท่ากับ 3.75 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นเร็วถึงประมาณ 1,400 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 40 เท่ากับ 3.75 Mbps. ระดับคิวของสวิตช์ 1 มีการแกว่งตัวที่ระดับ 2,000 เซลล์

4) การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ 1,000 เซลล์ แบบจำลอง Peer to peer มีแหล่งกำเนิด 40 ตัว แหล่งกำเนิด 1 - 20 เริ่มส่งข้อมูลที่เวลา 0 s. ส่วนแหล่งกำเนิด 21 - 40 ส่งข้อมูลที่เวลา 0.25 s. ช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 1,000 เซลล์ ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 21, 22

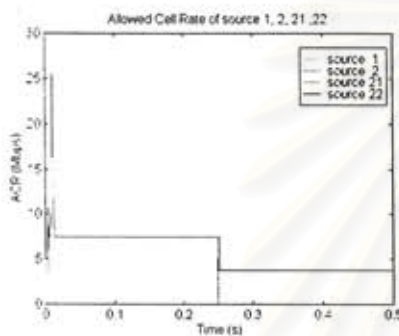


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

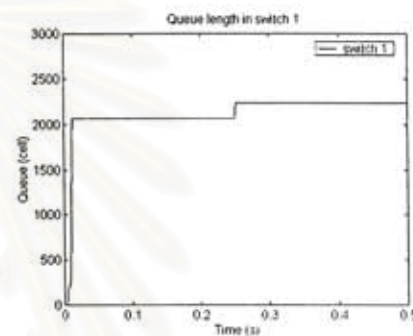
รูปที่ 4.17 อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 1,000 เซลล์ แบบจำลอง Peer to peer

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.17 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์เหมาะสม สถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 20 เพิ่มขึ้นเท่ากับ 27 Mbps. ระดับคิวสวิตช์ 1 เท่ากับ 1,600 เซลล์ ที่สถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 20 เท่ากับ 7.5 Mbps. ระดับคิวคงที่ เมื่อถึงเวลา 0.25 s. แหล่งกำเนิด 21 - 40 เริ่มต้นส่งข้อมูลอัตราการส่งค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเท่ากับ 5 Mbps. เร็วกว่าแหล่งกำเนิด 1 - 20 ที่ลดอัตราการส่งเท่ากับ 3.75 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นเร็วถึงประมาณ 2,400 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะ อยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 40 เท่ากับ 3.75 Mbps. ระดับคิวของสวิตช์ 1 เท่ากับ 2,400 เซลล์คงที่

5) การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ 2,000 เซลล์ แบบจำลอง Peer to peer มีแหล่งกำเนิด 40 ตัว แหล่งกำเนิด 1 - 20 เริ่มส่งข้อมูลในเวลา 0 s. ส่วนแหล่งกำเนิด 21 - 40 ส่งข้อมูลในเวลา 0.25 s. ช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 2,000 เซลล์ ระยะทางแต่ละสายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 21, 22

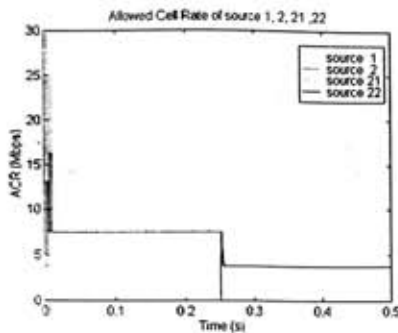


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

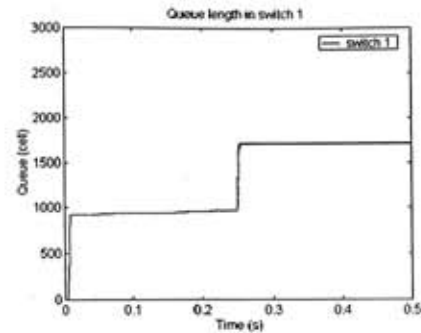
รูปที่ 4.18 อัลกอริทึม E-FMMRA ดังเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 2,000 เซลล์ แบบจำลอง Peer to peer

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.18 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์มาก สถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 20 เพิ่มขึ้นเท่ากับ 25 Mbps. ระดับคิวสวิตช์ 1 เท่ากับ 2,000 เซลล์ ที่สถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 20 เท่ากับ 7.5 Mbps. ระดับคิวคงที่ เมื่อถึงเวลา 0.25 s. แหล่งกำเนิด 21 - 40 เริ่มต้นส่งข้อมูลอัตราการส่งค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเท่ากับ 5 Mbps. เร็วกว่าแหล่งกำเนิด 1 - 20 ที่ลดอัตราการส่งเท่ากับ 3.75 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นเร็วถึงประมาณ 2,200 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะ อยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 40 เท่ากับ 3.75 Mbps. ระดับคิวของสวิตช์ 1 เท่ากับ 2,200 เซลล์คงที่

6) การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์พลวัต แบบจำลอง Peer to peer มีแหล่งกำเนิด 40 ตัว แหล่งกำเนิด 1 - 20 เริ่มส่งข้อมูลในเวลา 0 s. ส่วนแหล่งกำเนิด 21 - 40 ส่งข้อมูลในเวลา 0.25 s. ช่วงเวลาเฉลี่ยมีการเปลี่ยนแปลงตามจำนวนแหล่งกำเนิด ระยะทางแต่ละสายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 21, 22

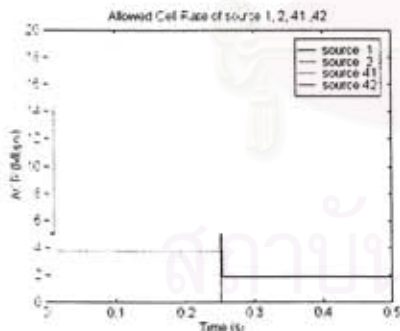


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

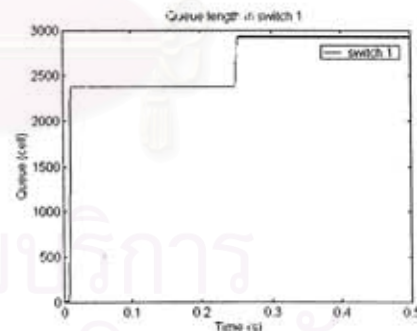
รูปที่ 4.19 อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์พลวัต แบบจำลอง Peer to peer

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.19 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์พลวัตสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 20 บางแหล่งกำเนิดเริ่มส่งจะเพิ่มอัตราการส่งสูงสุดเท่ากับ 30 Mbps. ระดับคิวสวิตช์ 1 เท่ากับ 900 เซลล์ ที่สถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 20 มากกว่า 7.5 Mbps. เล็กน้อยระดับคิวเพิ่มขึ้นช้า ๆ เมื่อถึงเวลา 0.25 s. แหล่งกำเนิด 21 - 40 เริ่มต้นส่งข้อมูลอัตราการส่งค่อย ๆ เพิ่มเท่ากับ 5 Mbps. เร็วกว่าแหล่งกำเนิด 1 - 20 ที่ลดอัตราการส่งเท่ากับ 3.75 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นเร็วถึงประมาณ 1,700 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 40 เท่ากับ 3.75 Mbps. ระดับคิวของสวิตช์ 1 เท่ากับ 1,700 เซลล์คงที่

7) การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ 1,000 เซลล์ แบบจำลอง Peer to peer มีแหล่งกำเนิด 80 ตัว แหล่งกำเนิด 1 - 40 เริ่มส่งข้อมูลที่เวลา 0 s. ส่วนแหล่งกำเนิด 41 - 80 ส่งข้อมูลที่เวลา 0.25 s. ช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 1,000 เซลล์ ระยะทางแต่ละสายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 41, 42



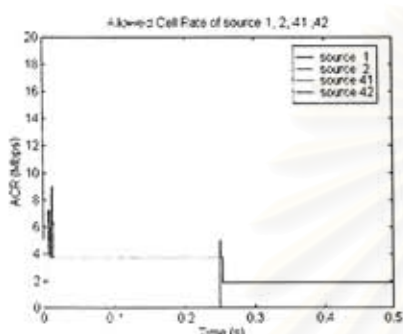
(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

รูปที่ 4.20 อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 1,000 เซลล์ แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้น

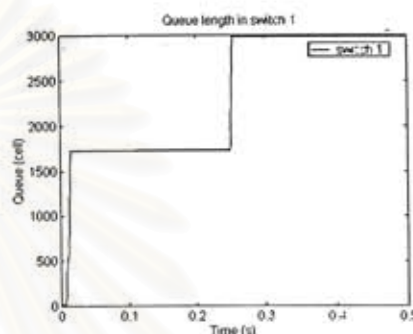
จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.20 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์เหมาะสมสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 40 เริ่มส่งจะเพิ่มอัตราการส่งเท่ากับ 14 Mbps. ระดับคิวสวิตช์ 1 เท่ากับ 2,400 เซลล์ ที่สถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 40 เท่ากับ 3.75 Mbps. ระดับคิวคงที่ เมื่อถึงเวลา 0.25

s. แหล่งกำเนิด 41 - 80 เริ่มต้นส่งข้อมูลอัตราการส่งค่อย ๆ เพิ่มเท่ากับ 5 Mbps. เร็วกว่าแหล่งกำเนิด 1 - 40 ที่ลดอัตราการส่งเท่ากับ 1.87 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นเร็วถึงประมาณ 2,900 เซลล์ หลังจากนั้นจะปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 80 เท่ากับ 1.87 Mbps. ระดับของคิวสวิตช์ 1 เท่ากับ 2,900 เซลล์

8) การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์พลวัต แบบจำลอง Peer to peer มีแหล่งกำเนิด 80 ตัว แหล่งกำเนิด 1 - 40 เริ่มส่งข้อมูลในเวลา 0 s. ส่วนแหล่งกำเนิด 41 - 80 ส่งข้อมูลในเวลา 0.25 s. ช่วงเวลาเฉลี่ยมีการเปลี่ยนแปลงตามจำนวนแหล่งกำเนิด ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 41, 42



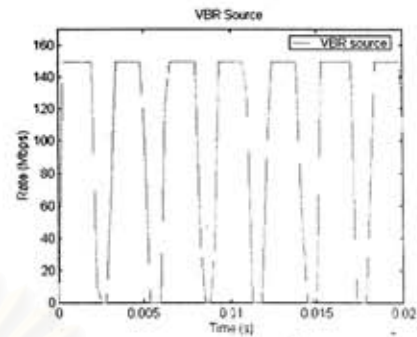
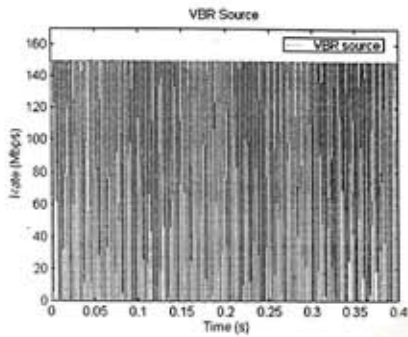
(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

รูปที่ 4.21 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์พลวัต แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้น

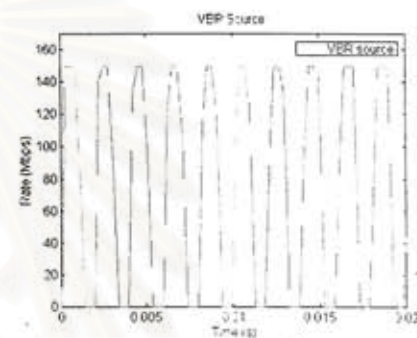
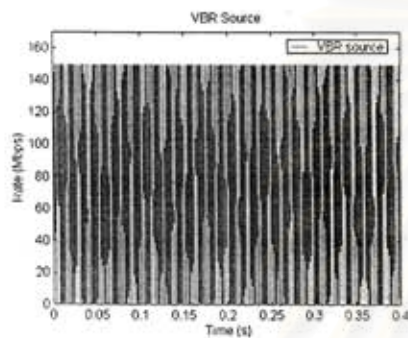
จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.21 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์พลวัตสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 40 เริ่มส่งจะเพิ่มอัตราการส่งเท่ากับ 9 Mbps. ระดับคิวสวิตช์ 1 เท่ากับ 1,700 เซลล์ ที่สถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 40 เท่ากับ 3.75 Mbps. ระดับคิวคงที่ เมื่อถึงเวลา 0.25 s. แหล่งกำเนิด 41 - 80 เริ่มต้นส่งข้อมูลอัตราการส่งค่อย ๆ เพิ่มเท่ากับ 5 Mbps. เร็วกว่าแหล่งกำเนิด 1 - 40 ที่ลดอัตราการส่งเท่ากับ 1.87 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นเร็วถึงประมาณ 3,000 เซลล์ หลังจากนั้นจะปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 80 เท่ากับ 1.87 Mbps. ระดับคิวของสวิตช์ 1 เท่ากับ 3,000 เซลล์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

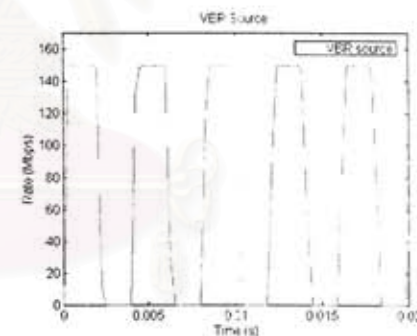
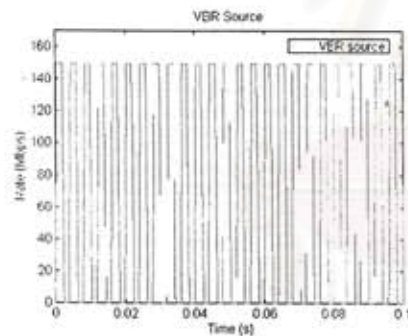
แหล่งกำเนิด VBR ในแบบจำลอง VBR&ABR จะมีการส่งข้อมูลตามคาบการส่งข้อมูลและการหยุดส่งข้อมูล โดยคาบการส่งข้อมูลและการหยุดส่งข้อมูลจะมีอัตราที่คาบการส่งข้อมูลและคาบหยุดส่งข้อมูลที่ไม่เท่ากันในรูปที่ 4.22 แสดงการส่งและหยุดส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิด VBR ที่ใช้จำลองการทำงาน



(ก) แหล่งกำเนิด VBR คาบส่ง 2 ms. คาบหยุดส่ง 1 ms. (ข) ขยายอัตราการส่งที่เวลา 0 - 0.002 s.



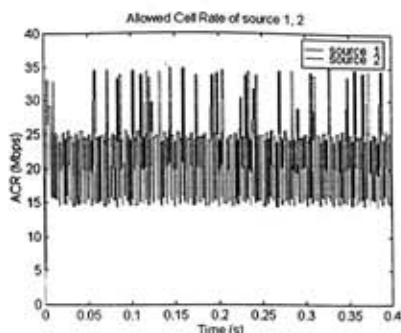
(ค) แหล่งกำเนิด VBR คาบส่ง 1 ms. คาบหยุดส่ง 1 ms. (ง) ขยายอัตราการส่งที่เวลา 0 - 0.002 s.



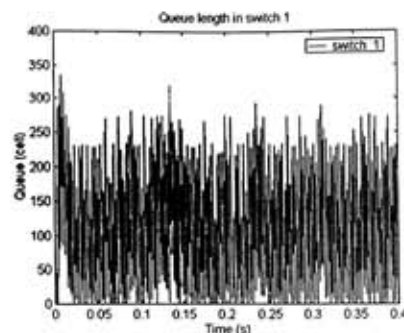
(จ) แหล่งกำเนิด VBR คาบส่ง 2 ms. คาบหยุดส่ง 2 ms. (ฉ) ขยายอัตราการส่งที่เวลา 0 - 0.002 s.

รูปที่ 4.22 อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR

9) การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบเวลา แบบจำลอง VBR & ABR แหล่งกำเนิด VBR คาบเวลาการส่ง 2 ms. และคาบหยุดส่ง 1 ms. ในรูปที่ 4.22(ก), (ข) ช่วงเวลาเฉลี่ย 100 timeslot ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

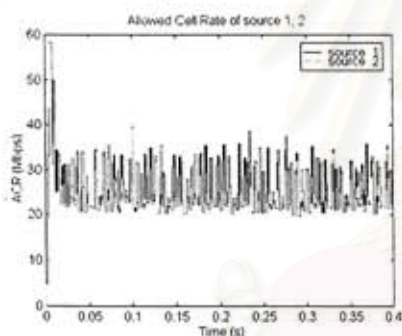


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

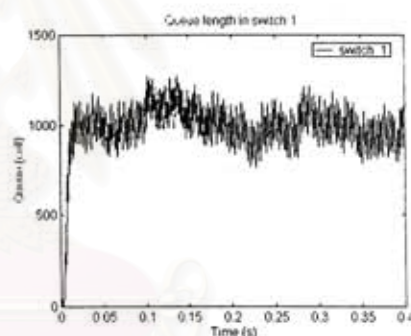
รูปที่ 4.23 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยแบบเวลา แบบจำลอง VBR&ABR

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.23 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยทางเวลา อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR มีการแกว่งอย่างมากตามเหตุผลในหัวข้อ 3.1 ระดับของคิวมีการแกว่งอย่างมาก ซึ่งบางช่วงเวลาก็จะไม่มีข้อมูลอยู่ในคิว ทำให้ไม่มีการใช้งานสายเชื่อมโยง อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เฉลี่ยประมาณ 100 Mbps. เพราะมีคาบการส่งข้อมูล 2 ms. คาบหยุดส่ง 1 ms. อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR ประมาณ 25 Mbps.

10) การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ แบบจำลอง VBR & ABR แหล่งกำเนิด VBR คาบเวลาการส่ง 2 ms. และหยุดส่ง 1 ms. ในรูปที่ 4.22(ก), (ข) ช่วงเวลาเฉลี่ย 100 เซลล์ ระยะทางแต่ละสายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

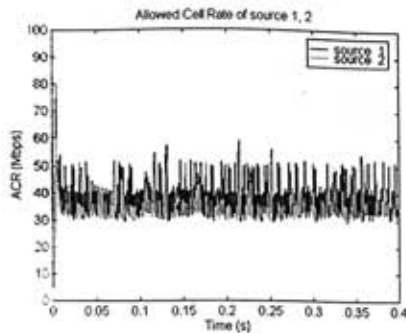


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

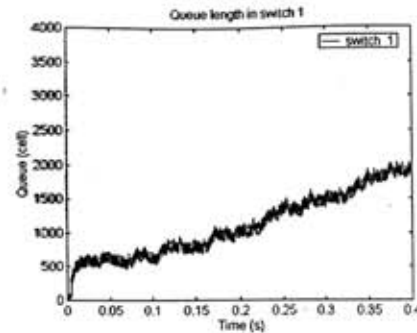
รูปที่ 4.24 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ แบบจำลอง VBR&ABR

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.24 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR มีการแกว่งน้อยกว่าอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR ที่มีการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยทางเวลา ระดับของคิวมีการแกว่งและมีข้อมูลอยู่ในคิวตลอดเวลา ทำให้มีการใช้งานสายเชื่อมโยงเต็มที่ซึ่งการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยทางเวลาจะมีการใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพ อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เฉลี่ยประมาณ 100 Mbps. อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR ประมาณ 25 Mbps.

11) การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ 100 เซลล์ แบบจำลอง VBR & ABR แหล่งกำเนิด VBR คาบเวลาการส่ง 1 ms. และหยุดส่ง 1 ms. ในรูปที่ 4.22(ค), (ง) ช่วงเวลาเฉลี่ย 100 เซลล์ ระยะทางแต่ละสายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

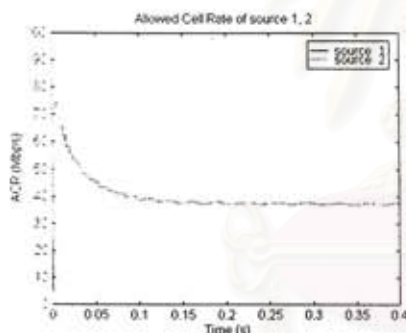


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

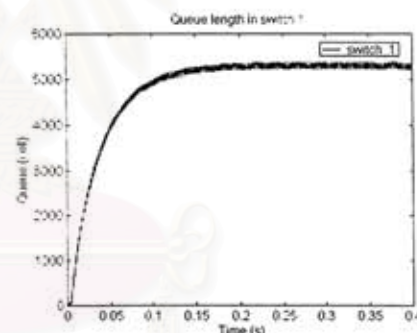
รูปที่ 4.25 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 100 เซลล์ แบบจำลอง VBR&ABR

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.25 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 100 เซลล์ อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR มีการแกว่งน้อยกว่าการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยทางเวลา ระดับของคิวมีการแกว่งและเพิ่มขึ้นจนถึงระดับคิวสอง 2,000 เซลล์ ทำให้มีการใช้งานหน่วยเชื่อมโยงตลอดเวลา อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เฉลี่ยประมาณ 75 Mbps. อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR มีค่าเฉลี่ยประมาณ 37.5 Mbps.

12) การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ 1,000 เซลล์ แบบจำลอง VBR & ABR แหล่งกำเนิด VBR คาบเวลาการส่ง 1 ms. และหยุดส่ง 1 ms. ในรูปที่ 4.22(ค), (ง) ช่วงเวลาเฉลี่ย 1,000 เซลล์ ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

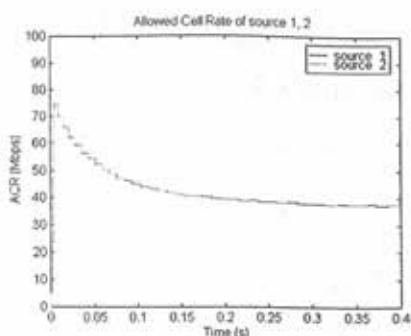


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

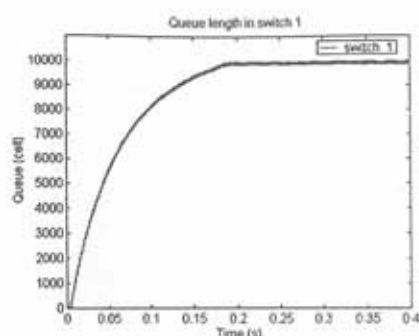
รูปที่ 4.26 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 1,000 เซลล์ แบบจำลอง VBR&ABR

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.26 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 1,000 เซลล์ ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR เพิ่มขึ้นเท่ากับ 75 Mbps. ระดับของคิวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึงประมาณ 3,000 เซลล์แล้วมีการเพิ่มต่อเนื่อง เมื่อเข้าสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR เปลี่ยนแปลงไม่มากมีค่าเฉลี่ยประมาณ 37.5 Mbps. ระดับคิวมีการแกว่งที่ระดับ 5,200 เซลล์ อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เฉลี่ยประมาณ 75 Mbps. ซึ่งอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR น้อยกว่ากรณีกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ย 100 เซลล์

13) การตั้งช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ 2,000 เซลล์ แบบจำลอง VBR & ABR แหล่งกำเนิด VBR คาบเวลาการส่ง 1 ms. และหยุดส่ง 1 ms. ในรูปที่ 4.22(ก), (ข) ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

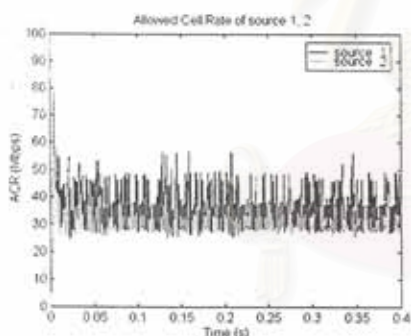


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

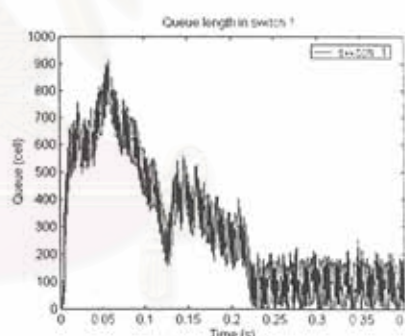
รูปที่ 4.27 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 2,000 เซลล์ แบบจำลอง VBR&ABR

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.27 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 2,000 เซลล์ ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR เพิ่มขึ้นเท่ากับ 75 Mbps. ระดับของคิวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึงประมาณ 5,000 เซลล์แล้วมีการเพิ่มอย่างต่อเนื่อง เมื่อเข้าสู่สถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR จะปรับเข้าหาค่าประมาณ 37.5 Mbps. แต่ระดับคิวมีการแกว่งที่ระดับ 10,000 เซลล์ ซึ่งบางครั้งระดับคิวจะเต็มทำให้เกิดการสูญหายของเซลล์ ABR ซึ่งอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เฉลี่ยประมาณ 75 Mbps.

14) การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์พลวัต แบบจำลอง VBR & ABR แหล่งกำเนิด VBR คาบเวลาการส่ง 1 ms. และหยุดส่ง 1 ms. ในรูปที่ 4.22(ค), (ง) ช่วงเวลาเฉลี่ยเปลี่ยนตามจำนวนแหล่งกำเนิด ระยะทางสายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

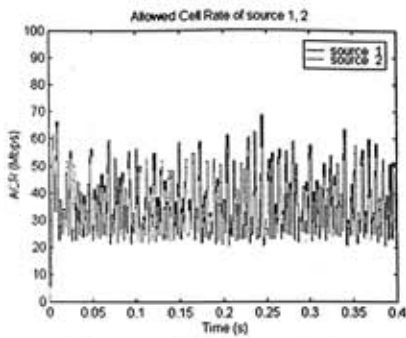


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

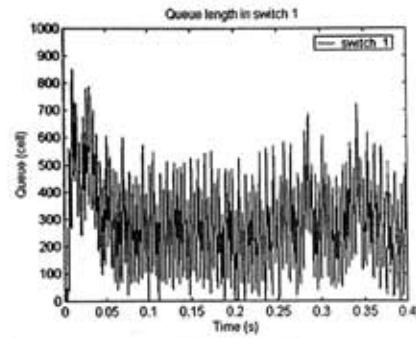
รูปที่ 4.28 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์พลวัต แบบจำลอง VBR&ABR

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.28 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์พลวัต ซึ่งช่วงเวลาเฉลี่ยแบบพลวัตจะน้อยกว่าการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ย 100 เซลล์ ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR มีการแกว่งมากกว่าการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ย 1,000 เซลล์ ระดับของคิวมีการแกว่งอย่างมากที่ระดับคิวหนึ่งประมาณ 500 เซลล์ หลังจากนั้นระดับคิวจะลดลงอย่างต่อเนื่องจนอยู่ที่ประมาณ 100 เซลล์ ซึ่งมีบางช่วงเวลาที่ไม่มีคิว ทำให้มีการใช้งานสายเชื่อมโยงไม่เต็มประสิทธิภาพ อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เฉลี่ยประมาณ 75 Mbps. อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR แกว่งมากมีค่าเฉลี่ยประมาณ 37.5 Mbps.

15) การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ 100 เซลล์ แบบจำลอง VBR & ABR แหล่งกำเนิด VBR คาบการส่ง 2 ms. และหยุดส่ง 2 ms. ในรูปที่ 4.22(จ), (ฉ) ระยะทางสายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร ค่า $QT = 50$, $DOT = 500$



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

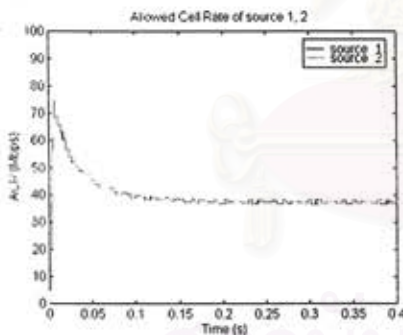


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

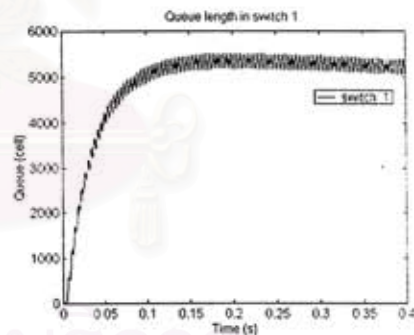
รูปที่ 4.29 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 100 เซลล์ แบบจำลอง VBR&ABR ลดระดับคิว

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.29 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 100 เซลล์ เมื่อปรับระดับ QT และ DOT จะทำให้ระดับคิวอยู่ต่ำกว่าที่กำหนดค่า QT และ DOT สูงกว่าในรูปที่ 4.25 โดยอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR ประมาณ 37.5 Mbps. และแหล่งกำเนิด VBR เท่ากับ 75 Mbps. ซึ่งการกำหนดค่าระดับคิวต่ำจะทำให้เกิดการใช้งานสายเชื่อมโยงไม่เต็มที่ คือมีช่วงเวลาที่ไม่มีเซลล์ส่งในโครงข่าย

16) การตั้งค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ 1,000 เซลล์ แบบจำลอง VBR & ABR แหล่งกำเนิด VBR คาบการส่ง 2 ms. และหยุดส่ง 2 ms. ในรูปที่ 4.22(จ), (ฉ) ระยะทางสายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร ค่า $QT = 50$, $DOT = 500$



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2



(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

รูปที่ 4.30 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 1,000 เซลล์ แบบจำลอง VBR&ABR ลดระดับคิว

จากการจำลองการทำงานในรูปที่ 4.30 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ 1,000 เซลล์ เมื่อปรับระดับ QT และ DOT ผลการทำงานจะคล้ายกับกรณีที่ไม่มีการลดระดับคิวในรูปที่ 4.26 อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR ประมาณ 37.5 Mbps. และแหล่งกำเนิด VBR ประมาณ 75 Mbps ระดับคิวอยู่ที่ 5,000 เซลล์

การวิเคราะห์ผลการจำลองการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ย

จากผลการจำลองการทำงานการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยในรูปที่ 4.14 - 4.30 แบบจำลอง Peer to peer อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบเวลา และแบบจำนวนเซลล์ในรูปที่ 4.14 - 4.15 มีผลการทำงานที่ใกล้เคียงกัน ถ้าแบบจำลอง VBR & ABR ในรูปที่ 4.23 - 4.24 จะเห็นว่ากำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ที่มีการนับเซลล์ ABR อย่างเดียวจะทำงานได้ดีกว่าการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบเวลา เนื่องจากถ้ากำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบเวลาเมื่อมีบริการ VBR ทำให้สวิตช์นับจำนวนเซลล์ของบริการ VBR เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยทำให้มีแต่การใช้งานของบริการ VBR ทำให้ไม่สามารถแบ่งแบนด์วิดท์ให้กับบริการ ABR ได้ที่ช่วงเวลาเฉลี่ยใหม่ ดังนั้นอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR จึงมีการแกว่งมากกว่าการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ ทำให้บางช่วงเวลาแหล่งกำเนิด ABR ไม่มีการส่งข้อมูลและเซลล์ข้อมูลที่อยู่ในสวิตช์ถูกส่งออกไปขายเชื่อมโยงจนหมด จึงเกิดการใช้งานขายเชื่อมโยงไม่เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นอัลกอริทึม E-FMMRA ควรจะกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ที่นับแต่เซลล์ ABR อย่างเดียว

การกำหนดขนาดของช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์แบ่งเป็น 100, 1000, 2,000 และพลวัตที่ปรับตามจำนวนแหล่งกำเนิดที่ทำงานอยู่ ตามลำดับ การจำลองการทำงานแบบจำลอง Peer to peer อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยทุกขนาดในรูปที่ 4.16 - 4.21 การแบ่งอัตราการส่งข้อมูลของสวิตช์ให้ทุกแหล่งกำเนิดที่กำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยไม่เท่ากันสามารถทำงานได้ใกล้เคียงกัน แต่ขนาดของคิวจะแตกต่างกันเล็กน้อย แต่การทำงานในแบบจำลอง VBR & ABR การกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ย 100 เซลล์ในรูปที่ 4.25 อัตราการส่งและระดับคิวมีการแกว่งตัวมากกว่าการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ย 1,000 เซลล์ในรูปที่ 4.26 โดยอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดค่อนข้างคงที่ระดับคิวยังมีการแกว่งตัว การกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ย 2,000 เซลล์ในรูปที่ 4.27 ทำให้อัตราการส่งคงที่มากกว่าการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ย 1,000 เซลล์ แต่ระดับคิวเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับขนาดคิวที่รองรับได้ทำให้เสี่ยงที่เกิดการสูญหายของเซลล์ สำหรับการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยพลวัตในรูปที่ 4.28 เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดบริการ ABR 2 ตัว ทำให้ขนาดของช่วงเวลาเฉลี่ยใกล้เคียงกับช่วงเวลาเฉลี่ย 100 เซลล์ ทำให้เกิดการแกว่งตัวของอัตราการส่งและระดับคิว

ดังนั้นอัลกอริทึม E-FMMRA จะกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ 1,000 เซลล์มากกว่ากำหนดแบบพลวัต เพราะการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบพลวัต ถ้ามีแหล่งกำเนิดจำนวนน้อยทำให้มีขนาดต่ำ และที่สถานะอยู่ตัวการปรับขนาดช่วงเวลาเฉลี่ยใหม่ทุกครั้งที่ครบช่วงเวลาเฉลี่ยเป็นการสิ้นเปลืองการคำนวณมากเกินไป ซึ่งการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ 1,000 เซลล์ ถ้าแหล่งกำเนิด VBR มีค่าคาบของการส่งและหยุดส่งไม่เกินค่าช่วงเวลาเฉลี่ย โดยการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยต่ำจะทำให้แหล่งกำเนิดตอบสนองต่อระบบอย่างรวดเร็วดังนั้นอัตราการส่งจะแกว่งตัวอย่างรวดเร็ว แต่ถ้ามีการกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการส่งลดการแกว่งตัวมีการเฉลี่ยที่ดีขึ้น แต่ตอบสนองได้ช้า ถ้าจำนวนแหล่งกำเนิด ABR เพิ่มขึ้นจะทำให้การกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยพลวัตดีขึ้น แต่ถ้ามีจำนวนแหล่งกำเนิด ABR มากเกินไปจะทำให้ช่วงเวลาเฉลี่ยพลวัตมากเกินไป ดังนั้นจะกำหนดให้ค่าช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 1,000 เซลล์

การกำหนดระดับคิวจากผลการทำงานรูปที่ 4.29 - 4.30 การกำหนดระดับคิวต่ำอาจจะมีการใช้งานขายเชื่อมโยงไม่เต็ม ที่ ดังนั้นควรกำหนดระดับคิวเพิ่มขึ้นระดับคิวแรก QT และ DOT เท่ากับ 500 และ 2,000 เซลล์ตามลำดับ

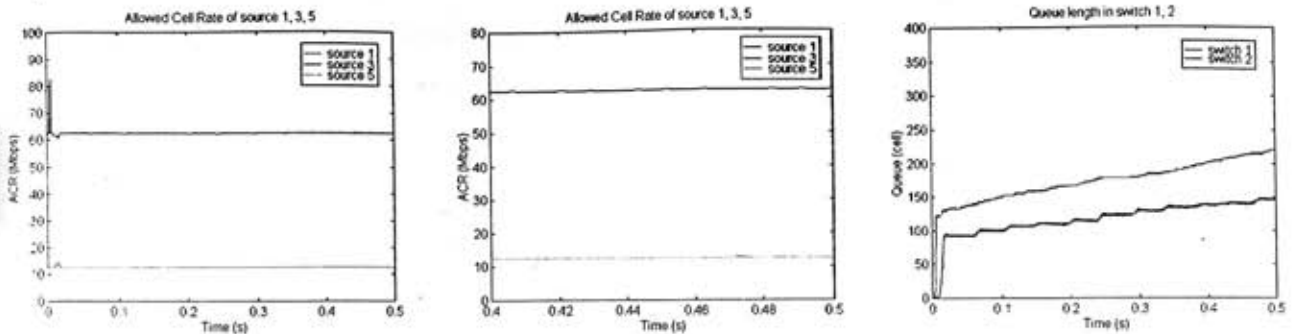
4.4.2 ผลการจำลองการทำงานการปรับปรุงค่าแบนด์วิธของการเชื่อมต่อที่ติดขัด (C_u)

อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมมีการทำงานที่ผิดพลาดเนื่องจากการกำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่างของค่าแบนด์วิธของการเชื่อมต่อที่ติดขัด ในแบบจำลองที่มีการเชื่อมต่อผ่านหลายโครงข่ายที่มีแบนด์วิธของข่ายเชื่อมโยงแตกต่างกัน

การจำลองการทำงานจะใช้แบบจำลองการทำงานรูปที่ 4.2 Parking lot ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดทั้งหมด 3 กลุ่ม ส่งข้อมูลจากแหล่งกำเนิดผ่านสวิตช์ 3 ตัวไปยังปลายทาง สมมุติให้แหล่งกำเนิดมีข้อมูลให้ส่งได้ไม่จำกัดและส่งที่อัตราสูงสุด ACR ได้ กำหนดระยะทางของโครงข่ายแบ่งออกเป็น LAN และ WAN การจำลองการทำงานจะแบ่งตามระยะทางของแต่ละข่ายเชื่อมโยงที่เป็น LAN กับ WAN และตามอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมกับอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงส่วนของการคำนวณค่าแบนด์วิธที่ติดขัด ผลการจำลองการทำงานประกอบด้วยอัตราการส่ง (ACR) ของแต่ละแหล่งกำเนิด, ส่วนขยายของอัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิดที่เวลา 0.4-0.5 s. ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2

ข่ายเชื่อมโยงทั้งหมดยกเว้นข่ายเชื่อมโยง 2 (เชื่อมต่อระหว่างสวิตช์ 2 และสวิตช์ 3) จะมีค่าแบนด์วิธเท่ากับ 150 Mbps. ส่วนข่ายเชื่อมโยง 2 มีค่าแบนด์วิธเท่ากับ 50 Mbps. ทุกแหล่งกำเนิด SRC1 ถึง SRC6 มีค่าอัตราสูงสุดเท่ากับ 150 Mbps. กำหนดค่าอัตราการส่งเริ่มต้นเท่ากับ 5 Mbps ทุกข่ายเชื่อมโยงมีระยะทางเท่ากัน สวิตช์ไม่มีการติดขัดของข้อมูล ค่าประวิงเวลาแพร่กระจาย 5 μ s ต่อกิโลเมตร ค่า RIF เท่ากับ 1 และค่า RDF เท่ากับ 1/256 ค่าช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 1,000 เซลล์ ขนาดของคิวเท่ากับ 10,000 เซลล์ ระดับ QT เท่ากับ 500 เซลล์ และระดับ DOT เท่ากับ 2,000 เซลล์ เริ่มต้นส่งข้อมูลทีเวลา 0 s. ระยะเวลาการจำลองการทำงานเท่ากับ 0.5 s.

1) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร

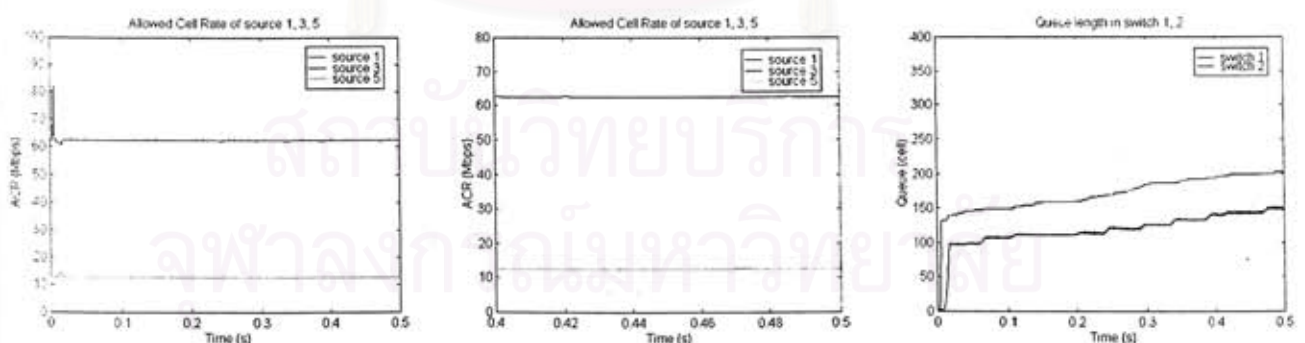


(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5 (ข) อัตราการส่งที่เวลา 0.3-0.4 s. (ค) ขนาดของคิวสวิตช์ 1 และ 2

รูปที่ 4.31 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Parking lot, LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.31 ที่มีระยะทางในโครงข่ายเป็น LAN มีการทำงานที่ถูกต้อง อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 เท่ากับแหล่งกำเนิด 2 ส่วนแหล่งกำเนิด 3 เท่ากับแหล่งกำเนิด 4 และแหล่งกำเนิด 5 เท่ากับแหล่งกำเนิด 6 โดยอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 5 และ 6 มีการแบ่งแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงที่ 2 ทำให้แต่ละแหล่งกำเนิดมีอัตราการส่งที่เท่ากันคือ 12.5 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด 3 และ 4 ที่มีการเชื่อมผ่านข่ายเชื่อมโยง 1 เท่านั้น จะได้รับแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงที่ 1 มากกว่าแหล่งกำเนิด 1 และ 2 ที่มีการเชื่อมต่อผ่านข่ายเชื่อมโยงที่ 2 ด้วย ซึ่งการปรับอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดมีการปรับได้ในช่วงเวลาเฉลี่ยเดียวกัน (ระยะเวลาตั้งแต่สวิตช์รับเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้าถึงเวลาที่สวิตช์ได้รับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับ) ทำให้แหล่งกำเนิด 3 และ 4 สามารถปรับอัตราการส่งข้อมูลถูกต้องเท่ากับ 62.5 Mbps. ตามรูป 4.31 (ข) ขยายในช่วงเวลา 0.4 - 0.5 s. ขนาดของคิวค้อย ๆ เพิ่มขึ้นและมีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงเต็มที่

2) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงการคำนวณค่าแบนด์วิดท์ที่ติดขัด ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร



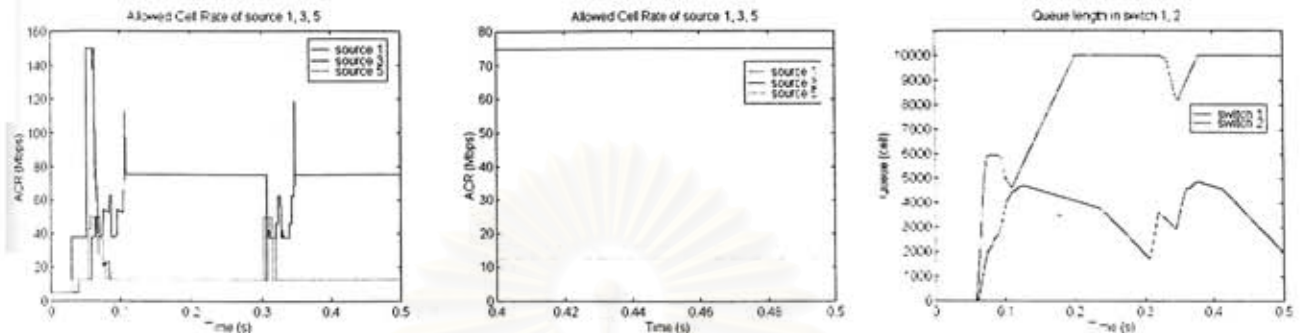
(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5 (ข) อัตราการส่งที่เวลา 0.3-0.4 s. (ค) ขนาดของคิวสวิตช์ 1 และ 2

รูปที่ 4.32 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงการคำนวณแบนด์วิดท์ที่ติดขัด แบบจำลอง Parking lot, LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงส่วนของการคำนวณค่า C_b ในรูปที่ 4.32 ที่มีระยะทางในโครงข่ายเป็น LAN จะมีผลการทำงานที่เหมือนกับอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม เพราะการ

ทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมนั้นมีการคำนวณค่า C_u ไม่ผิดพลาด สามารถแบ่งอัตราการส่งให้แต่ละแหล่งกำเนิดได้อย่างถูกต้อง ที่สถานะอยู่ตัวแหล่งกำเนิด 1, 2, 5 และ 6 ส่งข้อมูลด้วยอัตราเท่ากับ 12.5 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด 3, 4 อัตราการส่งเท่ากับ 62.5 Mbps. ซึ่งระดับของคิวค่อย ๆ เพิ่มขึ้นช้า

3) อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร

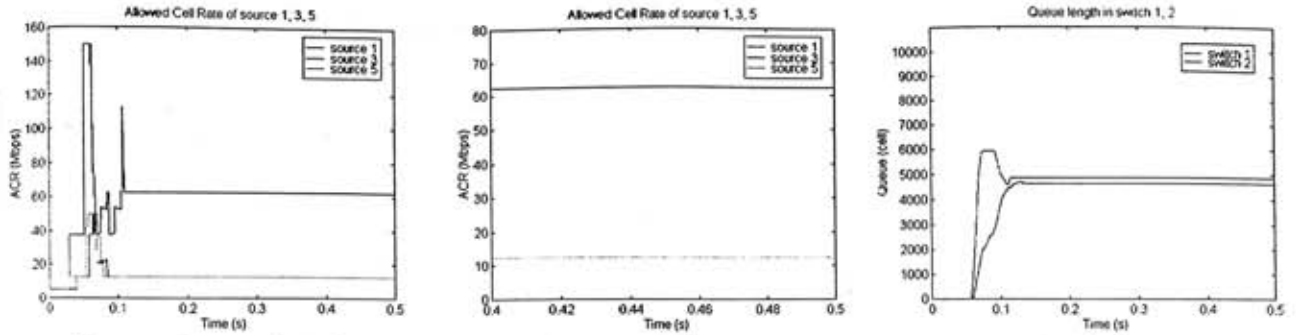


(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5 (ข) อัตราการส่งที่เวลา 0.3-0.4 s. (ค) ขนาดของคิวสวิตช์ 1 และ 2

รูปที่ 4.33 อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม แบบจำลอง Parking lot, WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมในรูปที่ 4.33 ระยะทางในโครงข่ายเป็น WAN อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมมีการทำงานที่ผิดพลาด เนื่องจากการคำนวณค่า C_u ผิดที่สวิตช์ 1 ที่ช่วงสถานะชั่วคราว อัตราการส่งทุกแหล่งกำเนิดเพิ่มอย่างรวดเร็วเพราะอัตราการส่งเริ่มต้นมีค่าต่ำทำให้ค่าไหลลดแฟคเตอร์น้อยกว่า 1 ดังนั้นอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมปรับอัตราการส่งแต่ละแหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้นสูงมากทำให้ระดับคิวสวิตช์ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นเร็วเท่ากับ 6,000 และ 5,000 เซลล์ ตามลำดับ หลังจากนั้นอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 5 และ 6 มีการแบ่งแบนด์วิธของข่ายเชื่อมโยงที่ 2 ทำให้มีอัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิดเท่ากับ 12.5 Mbps. แต่แหล่งกำเนิด 3 และ 4 ที่มีการเชื่อมผ่านข่ายเชื่อมโยง 1 หรือสวิตช์ 1 เท่านั้น ซึ่งมีการคำนวณค่า C_u เท่ากับ 0 Mbps. ทำให้ค่า A_{max} ที่กำหนดให้ทุกการเชื่อมต่อเท่ากับ 75 Mbps. จากเหตุผลในหัวข้อ 3.2 ทำให้แหล่งกำเนิด 3 และ 4 ส่งข้อมูลตามที่สวิตช์แนะนำเท่ากับ 75 Mbps. ตามรูปที่ขยายในช่วงเวลา 0.4 - 0.5 s. ซึ่งเป็นค่าที่ผิดพลาด โดยค่าที่ถูกต้องคือ 62.5 Mbps. ทำให้ขนาดของคิวเพิ่มขึ้นจนเกินระดับขนาดของคิวที่กำหนดเกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูล ที่ช่วงเวลา 0.3 s. แหล่งกำเนิด 1, 2, 5 และ 6 เพิ่มอัตราการส่งเพราะระดับคิวในสวิตช์ 2 ลดต่ำกว่า DOT ทำให้มีการใช้ค่า ER_{max} ช่วยในการแบ่งอัตราการส่งแต่ละแหล่งกำเนิดซึ่งมีค่าเท่ากับแบนด์วิธสูงสุดที่ข่ายเชื่อมโยง 2 รองรับได้ แหล่งกำเนิด 1, 2, 5 และ 6 จะมีอัตราการส่งเท่ากับ 50 Mbps. ทำให้ไหลลดแฟคเตอร์ที่สวิตช์ 1 มีค่ามากกว่า 1 สวิตช์จะลดอัตราการส่งเท่ากับ fairshare หลังจากนั้นจะมีการคำนวณค่า C_u ที่ผิดพลาดอย่างต่อเนื่อง

4) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงส่วนของการคำนวณค่าแบนด์วิธการเชื่อมต่อที่ติดขัด ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5 (ข) อัตราการส่งที่เวลา 0.3-0.4 s (ค) ขนาดของคิวสวิตช์ 1 และ 2
รูปที่ 4.34 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงการคำนวณแบนด์วิดท์ที่ติดขัด แบบจำลอง Parking lot, WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงส่วนของการคำนวณค่า C_c ในรูปที่ 4.34 ระยะทางในโครงข่ายเป็น WAN จะมีการปรับปรุงการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ที่มีการคำนวณค่า C_c ผิดพลาด ซึ่งผลการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงส่วนของการคำนวณค่า C_c จะมีการคำนวณค่า C_c ใหม่เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ย ทำให้อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 3 และ 4 ส่งข้อมูลด้วยอัตราที่สวิตช์แนะนำเท่ากับ 62.5 Mbps. ทำให้มีข้อมูลในคิวไม่เกินขนาดข้อมูลที่คิวรองรับได้ ไม่มีการสูญหายของเซลล์ข้อมูล ที่สถานะอยู่ตัวแหล่งกำเนิด 1, 2, 5 และ 6 จะส่งข้อมูลด้วยอัตรา 12.5 Mbps. ระดับสวิตช์ 1 และ 2 อยู่ที่ 4,900 และ 4,700 เซลล์ตามลำดับ

การวิเคราะห์ผลการจำลองการปรับปรุงค่าแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัด

จากผลการจำลองการทำงานปัญหาและปรับปรุงค่าแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัดในรูปที่ 4.31 - 4.34 แบบจำลอง Parking lot ที่มีแบนด์วิดท์ข่ายเชื่อมโยง 1 ไม่เท่ากับแบนด์วิดท์ข่ายเชื่อมโยง 2 ถ้าระยะของโครงข่ายแบบ LAN ทั้งอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม และอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับแบนด์วิดท์การเชื่อมต่อที่ติดขัดในรูป 4.31 - 4.32 สามารถคำนวณอัตราการส่งแต่ละแหล่งกำเนิดถูกต้อง ระดับคิวใกล้เคียงกัน แต่ถ้าระยะของโครงข่ายแบบ WAN การทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.33 มีการคำนวณค่า C_c ผิดทำให้แบ่งอัตราการส่งแต่ละแหล่งกำเนิดมากกว่าค่าที่ถูกต้อง ทำให้ระดับคิวเพิ่มขึ้นมากกว่าขนาดคิวที่รองรับได้เกิดการสูญหายของเซลล์ แต่ถ้าอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับแบนด์วิดท์การเชื่อมต่อที่ติดขัดทำงานในรูปที่ 4.34 จะคำนวณค่า C_c ถูกต้องทำให้สวิตช์แบ่งอัตราการส่งให้ทุกแหล่งกำเนิดถูกต้อง ระดับคิวไม่เกินขนาดคิวที่รองรับได้ ไม่เกิดการสูญหายของเซลล์

4.4.3 ผลการจำลองการทำงานการควบคุมระดับคิว

อัลกอริทึม E-FMMRA จะมีขนาดของข้อมูลเก็บอยู่ในคิวที่สวิตช์ไม่แน่นอนไม่สามารถควบคุมได้ในทุกสถานะ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูล

การจำลองการทำงานจะใช้แบบจำลองการทำงานรูปที่ 4.1 Peer to peer รูปที่ 4.2 Parking lot และรูปที่ 4.4 VBR & ABR การจำลองการทำงานจะแบ่งตามอัลกอริทึม E-FMMRA ดังเดิมกับอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว โดยใช้ฟังก์ชันควบคุมคิวในตารางที่ 3.1 จะแบ่งการจำลองเป็น

- แบบจำลอง Peer to peer ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดจำนวน N ตัว ส่งข้อมูลผ่านสวิตช์ 2 ตัวไปยังปลายทาง ทุกแหล่งกำเนิด SRC1 ถึง SRCN มีค่าอัตราการส่งสูงสุดเท่ากับ 150 Mbps. ค่าอัตราการส่งเริ่มต้นเท่ากับ 5 Mbps. ทุกสายเชื่อมโยงมีค่าแบนด์วิดท์เท่ากับ 150 Mbps. ผลการจำลองการทำงานประกอบด้วยอัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิด และ ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 เริ่มต้นส่งข้อมูลในเวลา 0 s. ระยะเวลาการจำลองการทำงานเท่ากับ 0.5 s.

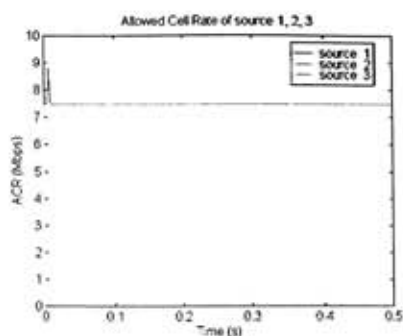
- แบบจำลอง Parking lot ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดทั้งหมด 3 กลุ่ม ส่งข้อมูลจากแหล่งกำเนิดผ่านสวิตช์ 3 ตัวไปยังปลายทาง ทุกแหล่งกำเนิด SRC1 ถึง SRC6 มีค่าอัตราการส่งสูงสุดเท่ากับ 150 Mbps. ค่าอัตราการส่งเริ่มต้นเท่ากับ 5 Mbps. สายเชื่อมโยงทั้งหมดยกเว้นสายเชื่อมโยง 2 (ระหว่างสวิตช์ 2 และสวิตช์ 3) จะมีค่าแบนด์วิดท์เท่ากับ 150 Mbps. ส่วนสายเชื่อมโยง 2 มีค่าแบนด์วิดท์เท่ากับ 50 Mbps. ผลการจำลองการทำงานจะมีอัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิด ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2 เริ่มต้นส่งข้อมูลในเวลา 0 s. ระยะเวลาการจำลองการทำงานเท่ากับ 0.5 s.

- แบบจำลอง VBR & ABR จะมีการเชื่อมต่อแบบ Peer to peer ที่มีแหล่งกำเนิด VBR 1 ตัว และแหล่งกำเนิด ABR 2 ตัว ค่าอัตราการส่งสูงสุดของแหล่งกำเนิด ABR เท่ากับ 150 Mbps. ค่าอัตราการส่งเริ่มต้นเท่ากับ 5 Mbps. ทุกสายเชื่อมโยงมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 150 Mbps. ผลการจำลองการทำงานประกอบด้วยอัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิด ABR และ VBR และขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 เริ่มต้นส่งข้อมูลในเวลา 0 s. ระยะเวลาการจำลองการทำงานเท่ากับ 0.4 s.

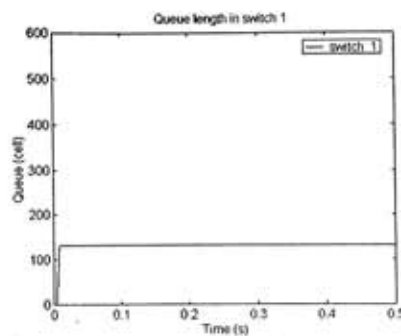
ทุกสายเชื่อมโยงมีระยะทางเท่ากัน สวิตช์ไม่มีการติดขัด ค่าประวิงเวลาแพร่กระจาย $5 \mu\text{s}$ ต่อกิโลเมตร ค่า RIF เท่ากับ 1 และค่า RDF เท่ากับ $1/256$ ค่าช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 1,000 เซลล์ ขนาดของคิวเท่ากับ 10,000 เซลล์ ระดับ QT เท่ากับ 500 เซลล์ และระดับ DOT เท่ากับ 2,000 เซลล์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- 1) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด 20 ตัว ระยะทางแต่ละขั้วเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 3

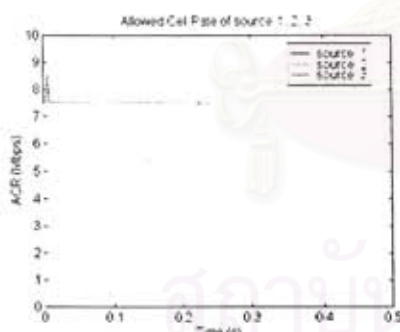


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

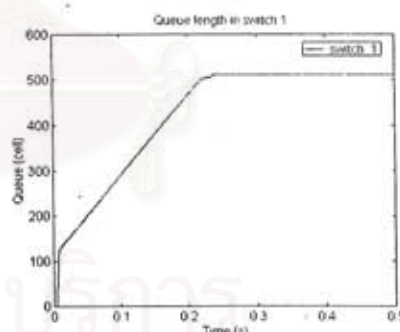
รูปที่ 4.35 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer, LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมที่ไม่มีการควบคุมคิวเพิ่มในรูปที่ 4.35 ช่วงสถานะชั่วคราว อัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับ 9 Mbps. ระดับของคิวเพิ่มถึงขนาด 130 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดที่ 7.5 Mbps. ระดับของคิวจะคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งไม่ถึงระดับที่ต้องการ ซึ่งตามที่กำหนดในการทำงานต้องการให้ข้อมูลในคิวอยู่ที่ระหว่างระดับ QT และ DOT คือ 500 และ 2,000 เซลล์ที่ออกแบบ

- 2) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด 20 ตัว ระยะทางแต่ละขั้วเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 3

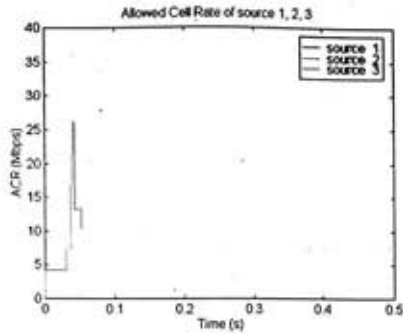


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

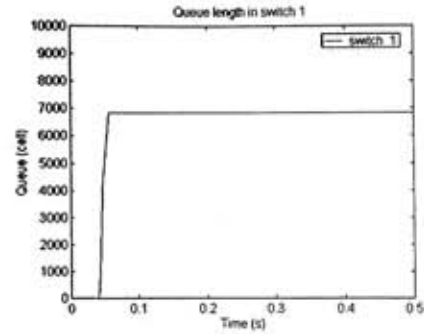
รูปที่ 4.36 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว แบบจำลอง Peer to peer, LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่เพิ่มการควบคุมคิวในรูปที่ 4.36 ช่วงสถานะชั่วคราว อัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับ 9 Mbps. ระดับของคิวเพิ่มถึงขนาด 130 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งมากกว่า 7.5 Mbps. เล็กน้อย ระดับของคิวจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงขนาดประมาณ 500 เซลล์ เป็นระดับที่ต้องการระหว่าง QT และ DOT คือ 500 และ 2,000 เซลล์ แล้วอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดเท่ากับ 7.5 Mbps.

3) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด 20 ตัว ระยะทางเท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 3

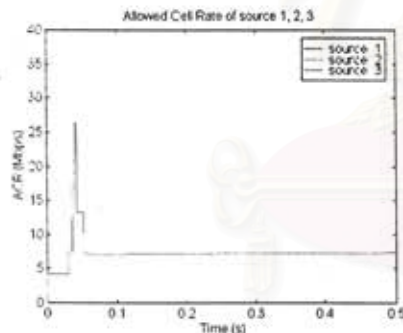


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

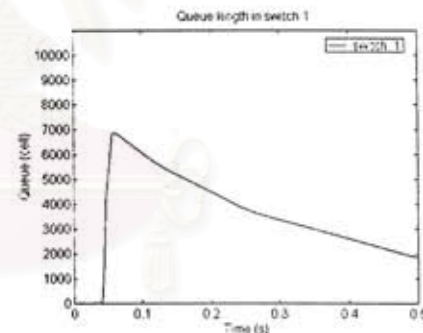
รูปที่ 4.37 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer, WAN .

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.37 ช่วงสถานะชั่วคราว อัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับ 25 Mbps. เพราะระยะทางไกลและอัตราการส่งเริ่มต้นมีค่าต่ำ ระดับของคิวเพิ่มถึงขนาด 6,900 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดที่ 7.5 Mbps. ระดับของคิวจะคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเกินระดับที่ต้องการ

4) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด 20 ตัว ระยะทางแต่ละขั้วเชื่อมโยงเท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 3

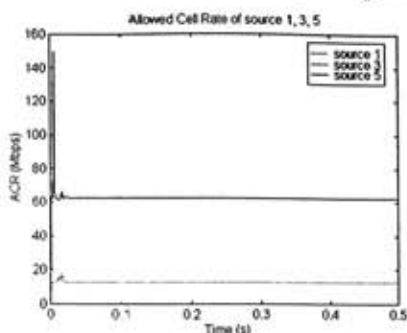


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

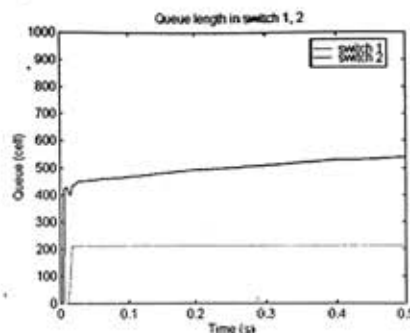
รูปที่ 4.38 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว แบบจำลอง Peer to peer, WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่เพิ่มการควบคุมคิวในรูปที่ 4.38 ช่วงสถานะชั่วคราว อัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับ 25 Mbps. ระดับของคิวเพิ่มถึงขนาด 7,000 เซลล์เหมือนอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดต่ำกว่า 7.5 Mbps. เล็กน้อย ระดับของคิวจะค่อย ๆ ลดลงตามฟังก์ชันของคิวจนถึงขนาดประมาณ 2,000 เซลล์ แล้วมีการแกว่งตัวของคิวเล็กน้อย เนื่องจากในช่วงที่ระดับคิวต่ำกว่า 2,000 เซลล์แล้วค่าฟังก์ชันของคิวเป็น 1 การปรับเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้าที่ผ่านไปแล้วมีการตั้งอัตราการส่งต่ำ (ระดับคิสูงกว่า 2,000 เซลล์) โหลดแฟคเตอร์ต่ำกว่า 1 ทำให้ช่วงเวลาเฉลี่ยถัดมามีการเพิ่มอัตราการส่งทำให้ระดับคิสูงกว่า 2000 เซลล์เล็กน้อย อัตราการส่งแกว่งที่ 7.5 Mbps.

5) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม (แก่ C_p) แบบจำลอง Parking lot ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5

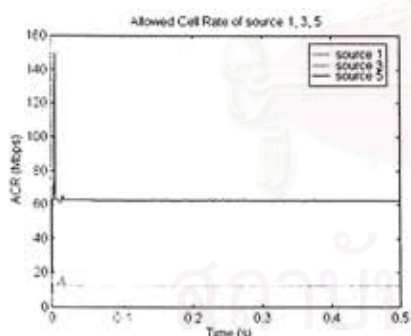


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2

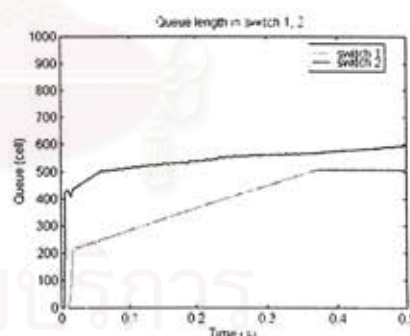
รูปที่ 4.39 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Parking lot, LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.39 ช่วงสถานะชั่วคราว อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 5 และ 6 จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับ 150 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด 1, 2, 3 และ 4 ส่งข้อมูลสูงกว่า 12.5 Mbps. เล็กน้อย ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นถึงขนาด 200 และ 450 เซลล์ตามลำดับ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งแหล่งกำเนิด 5 และ 6 เท่ากับ 62.5 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด 1, 2, 3 และ 4 ส่งข้อมูลเท่ากับ 12.5 Mbps. ระดับคิวของสวิตช์ 1 จะคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่ถึงระดับที่ต้องการ แต่ของสวิตช์ 2 จะค่อยเพิ่มจนถึงระดับ 500 เซลล์

6) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว (แก่ C_p) แบบจำลอง Parking lot ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5

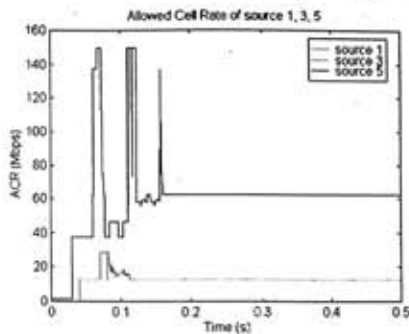


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2

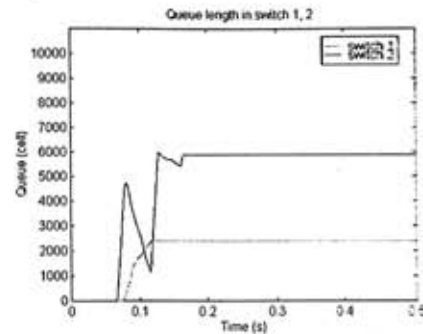
รูปที่ 4.40 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว แบบจำลอง Parking lot, LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่เพิ่มการควบคุมคิวในรูปที่ 4.40 ช่วงสถานะชั่วคราว อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 5 และ 6 จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับ 150 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด 1, 2, 3 และ 4 ส่งข้อมูลสูงกว่า 12.5 Mbps. เล็กน้อย ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นถึงขนาด 200 และ 450 เซลล์ตามลำดับ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งแหล่งกำเนิด 5 และ 6 เท่ากับ 62.5 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด 1, 2, 3 และ 4 ส่งข้อมูลเท่ากับ 12.5 Mbps. ระดับคิวของสวิตช์ 1 และ 2 จะค่อยเพิ่มจนถึงระดับ 500 เซลล์

7) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม (แก้ C_p) แบบจำลอง Parking lot ระยะทางสายเชื่อมโยงเท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5

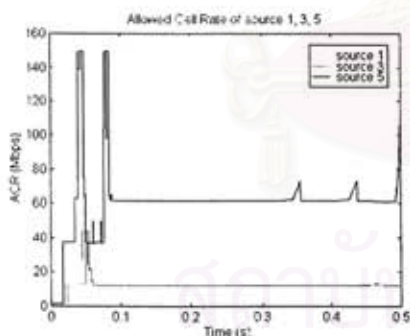


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2

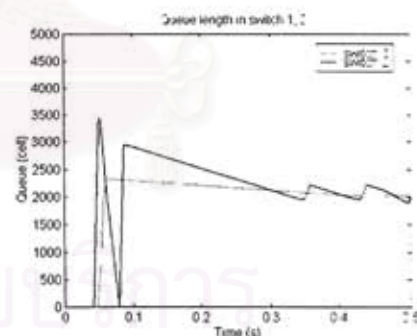
รูปที่ 4.41 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Parking lot, WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.41 ช่วงสถานะชั่วคราว อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 5 และ 6 จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับ 150 Mbps. ช่วงหนึ่งก่อนที่จะลดเท่ากับ fairshare ของสายเชื่อมโยง 1 เท่ากับ 37.5 Mbps. อัตราการส่งทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วขนาด 2,500 และ 4,500 เซลล์ตามลำดับ ส่วนแหล่งกำเนิด 1, 2, 3 และ 4 ส่งข้อมูลสูงกว่า 12.5 Mbps. เล็กน้อย หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งแหล่งกำเนิด 5 และ 6 เท่ากับ 62.5 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด 1, 2, 3 และ 4 ส่งข้อมูลเท่ากับ 12.5 Mbps. ระดับคิวของสวิตช์ 1 และ 2 เท่ากับ 2,500 และ 6,000 เซลล์ ไม่เกิดปัญหาค่า C_p

8) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว (แก้ C_p) แบบจำลอง Parking lot ระยะทางสายเชื่อมโยงเท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5

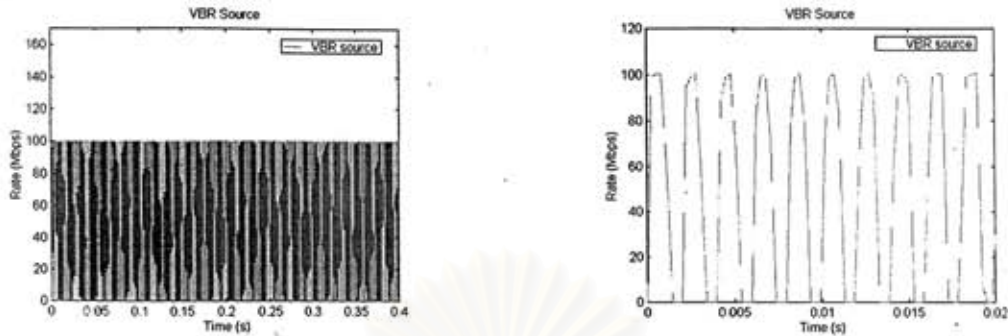


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2

รูปที่ 4.42 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว แบบจำลอง Parking lot, WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิวในรูปที่ 4.42 ช่วงสถานะชั่วคราว อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 5 และ 6 จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับ 150 Mbps. ช่วงหนึ่งก่อนที่จะลดอัตราการส่งทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึง 2,300 และ 3,500 เซลล์ตามลำดับ ส่วนแหล่งกำเนิด 1-4 ส่งข้อมูลสูงกว่า 12.5 Mbps. เล็กน้อย หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งแหล่งกำเนิด 5 และ 6 เท่ากับ 62.5 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด 1 - 4 ส่งข้อมูลเท่ากับ 12.5 Mbps. ระดับคิวสวิตช์ 1 และ 2 ประมาณ 2,000 เซลล์

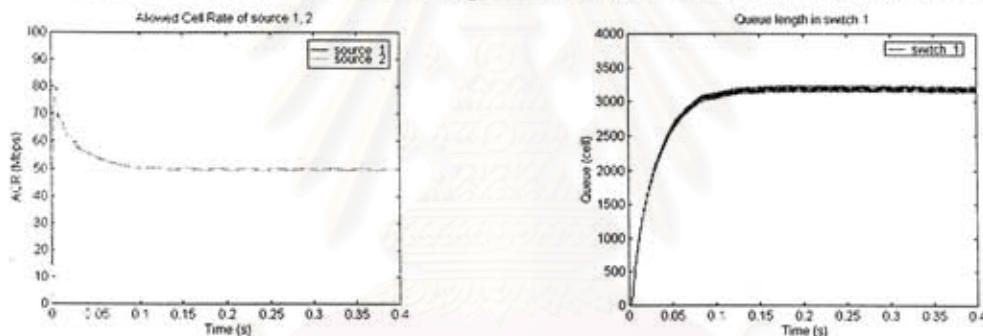
แหล่งกำเนิด VBR ในแบบจำลอง VBR&ABR จะมีการส่งข้อมูลตามคาบการส่งข้อมูลและการหยุดส่งข้อมูล อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เมื่ออยู่ในคาบการส่งข้อมูลเท่ากับ 100 Mbps. ในรูปที่ 4.43 แสดงการส่งและหยุดส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิด VBR ที่ใช้จำลองการทำงาน



(ก) แหล่งกำเนิด VBR คาบส่ง 1 ms. คาบหยุดส่ง 1 ms. (ข) ขยายอัตราการส่งที่เวลา 0 - 0.002 s.

รูปที่ 4.43 อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR ที่คาบการส่งเท่ากัน

9) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง VBR & ABR แหล่งกำเนิด VBR คาบเวลาการส่ง 1 ms. อัตราการส่งเท่ากับ 100 Mbps. และคาบเวลาหยุดส่ง 1 ms. ในรูปที่ 4.43(ก), (ข) ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



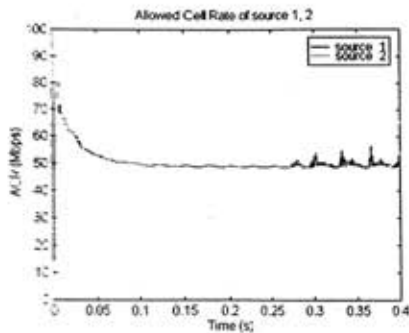
(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

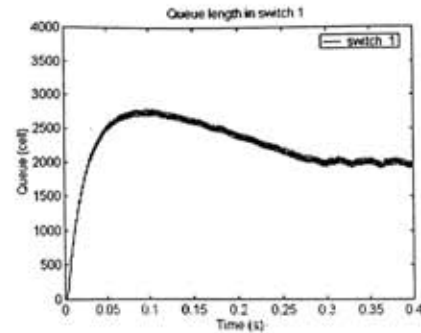
รูปที่ 4.44 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง VBR&ABR

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.44 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิด ABR จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับ 80 Mbps. ระดับของคิวเพิ่มถึงขนาด 2,000 เซลล์ อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เฉลี่ยประมาณ 50 Mbps. หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR แกว่งตัวประมาณ 50 Mbps. ระดับของคิวจะแกว่งที่ระดับ 3,100 เซลล์ซึ่งมากกว่าระดับคิวที่ออกแบบ

10) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว แบบจำลอง VBR & ABR แหล่งกำเนิด VBR คาบเวลาการส่ง 1 ms. อัตราการส่งเท่ากับ 100 Mbps. และคาบเวลาหยุดส่ง 1 ms. ในรูปที่ 4.43(ก), (ข) ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2



(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

รูปที่ 4.45 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิว แบบจำลอง VBR&ABR

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการควบคุมคิวเพิ่มในรูปที่ 4.45 ช่วงสถานะชั่วคราว อัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิด ABR จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับ 80 Mbps. ระดับของคิวเพิ่มถึงขนาด 2,000 เซลล์ อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เหลือประมาณ 50 Mbps. หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัว อัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิด ABR ลดลงอย่างช้า ทำให้ระดับคิวเพิ่มขึ้นถึง 2,800 เซลล์ แล้วแหล่งกำเนิดจะแกว่งตัว ประมาณ 50 Mbps. เล็กน้อย ระดับของคิวจะลดลงไปแกว่งที่ระดับ 2,000 เซลล์ อัตราการส่งจะแกว่งขึ้นมาเล็กน้อย เนื่องจากการปรับในทิศทางด้านหน้า และทิศทางย้อนกลับ

การวิเคราะห์ผลการจำลองการควบคุมระดับคิว

จากผลการจำลองการทำงานการควบคุมระดับคิวในรูปที่ 4.35 - 4.45 แบบจำลอง Peer to peer ทั้งอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมและอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ควบคุมระดับคิว รวมทั้งระยะของโครงข่ายแบบ LAN และ WAN ในรูปที่ 4.35 - 4.38 จะแบ่งอัตราการส่งให้แต่ละแหล่งกำเนิดถูกต้อง แต่ระดับคิวของสวิตช์อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมมีค่าน้อยกว่าระดับคิวแรก และมากกว่าระดับคิวที่สองสำหรับระยะของโครงข่ายแบบ LAN และ WAN ตามลำดับ ซึ่งอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ควบคุมระดับคิว สามารถควบคุมให้ระดับคิวอยู่ในระดับที่กำหนด สำหรับแบบจำลอง Parking lot ที่ระยะของโครงข่ายแบบ LAN และ WAN ในรูปที่ 4.39 - 4.42 จะมีลักษณะการทำงานที่คล้ายกับกรณีของแบบจำลอง Peer to peer ที่อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมไม่สามารถควบคุมระดับคิว แต่อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ควบคุมระดับคิวทำให้ระดับคิวอยู่ที่ระดับที่กำหนดได้ และอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดมีการแบ่งอย่างถูกต้อง ส่วนแบบจำลอง VBR & ABR ในรูปที่ 4.44 - 4.45 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมทำให้ระดับคิวสูงกว่าระดับที่กำหนด แต่อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ควบคุมระดับคิวจะลดระดับของคิวให้อยู่ระดับที่กำหนด ซึ่งอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม อัตราการส่งจะอยู่คงที่ทำให้ระดับคิวคงที่ แต่อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ควบคุมคิว อัตราการส่งจะต่ำกว่าที่สถานะอยู่ตัวเพื่อลดระดับคิว และอาจจะมีการแกว่งตัวเล็กน้อยเมื่อมีการลดระดับคิวให้อยู่ที่กำหนดแต่ไม่มีการสูญหายของเซลล์ข้อมูล

4.4.4 ผลการจำลองการทำงานการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย

อัลกอริทึม E-FMMRA จะมีการปรับค่าพารามิเตอร์ในเซลล์ RM ทุกครั้งที่ได้รับทั้งทิศทางด้านหน้า และทิศทางย้อนกลับ อาจจะทำให้เกิดการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เร็วเกินไปเกิดการแกว่งตัวอย่างรุนแรงของอัตราการส่ง และเพื่อลดการคำนวณเมื่อโครงข่ายอยู่ในสถานะอยู่ตัว ดังนั้นจึงปรับปรุงโดยการลดการปรับเซลล์ RM

การจำลองการทำงาน จะใช้แบบจำลองการทำงานรูปที่ 4.1 Peer to peer และรูปที่ 4.2 Parking lot การจำลองการทำงานจะแบ่งตามอัลกอริทึม E-FMMRA ดังเดิมกับอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย แบ่งการจำลองเป็น

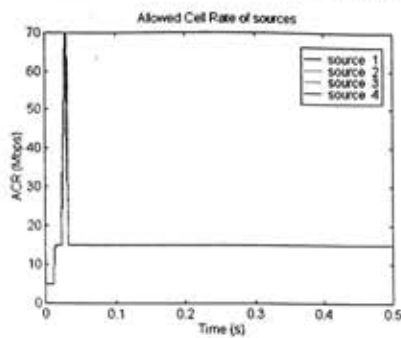
- แบบจำลอง Peer to peer ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดจำนวน N ตัว ส่งข้อมูลผ่านสวิตช์ 2 ตัวไปยังปลายทาง สมมุติให้แหล่งกำเนิดมี 2 กลุ่ม คือแหล่งกำเนิดมีข้อมูลให้ส่งได้ไม่จำกัดและส่งที่อัตราสูงสุด กับแหล่งกำเนิดที่ส่งข้อมูลแบบ burst ทุกแหล่งกำเนิด SRC1 ถึง SRCN มีค่าอัตราการส่งสูงสุดเท่ากับ 150 Mbps. ค่าอัตราการส่งเริ่มต้นเท่ากับ 5 Mbps. ทุกข่ายเชื่อมโยงมีค่าแบนด์วิดท์เท่ากับ 150 Mbps. ผลการจำลองการทำงาน ประกอบด้วยอัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิด และขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 ทุกแหล่งกำเนิดเริ่มส่งข้อมูลไม่พร้อมกัน แหล่งกำเนิดเริ่มต้นส่งข้อมูลไม่พร้อมกัน ระยะเวลาการจำลองการทำงานเท่ากับ 0.5 s. สำหรับแบบจำลองที่มีแหล่งกำเนิดส่งข้อมูลแบบ burst จะมีผลการจำลองในส่วนของอัตราการส่งจริง (Cumulative rate)

- แบบจำลอง Parking lot ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดทั้งหมด 3 กลุ่ม ส่งข้อมูลจากแหล่งกำเนิดผ่านสวิตช์ 3 ตัวไปยังปลายทาง แหล่งกำเนิดมีข้อมูลให้ส่งได้ไม่จำกัด ทุกแหล่งกำเนิด SRC1 ถึง SRC6 มีค่าอัตราการส่งสูงสุดเท่ากับ 150 Mbps. ค่าอัตราการส่งเริ่มต้นเท่ากับ 5 Mbps. ทุกข่ายเชื่อมโยงทั้งหมดจะมีค่าแบนด์วิดท์เท่ากับ 150 Mbps. ผลการจำลองการทำงานมีอัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิด ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2 เริ่มต้นส่งข้อมูลในเวลา 0 s. ระยะเวลาการจำลองการทำงานเท่ากับ 0.5 s.

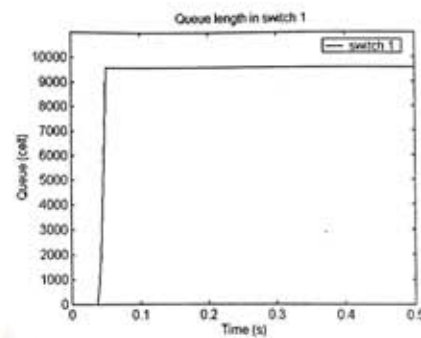
ทุกข่ายเชื่อมโยงมีระยะทางเท่ากัน สวิตช์ไม่มีการติดขัด ค่าประวิงเวลาแพร่กระจาย 5 μ s. ต่อกิโลเมตร ค่า RIF เท่ากับ 1 และค่า RDF เท่ากับ 1/256 ค่าช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 1,000 เซลล์ ขนาดของคิวเท่ากับ 10,000 เซลล์ ระดับ QT เท่ากับ 500 เซลล์ และระดับ DOT เท่ากับ 2,000 เซลล์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด 10 ตัว เริ่มต้นส่งข้อมูลที่ 0 s. ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 4

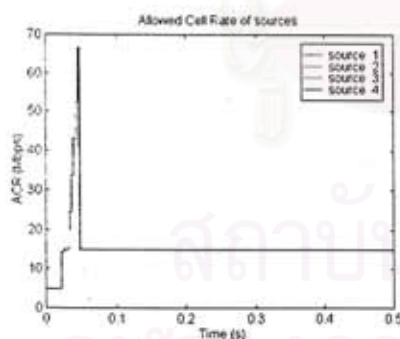


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

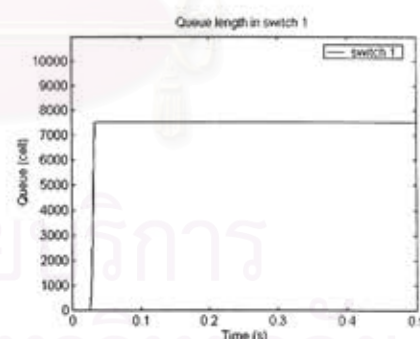
รูปที่ 4.46 อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมในรูปที่ 4.46 จะมีการปรับเซลล์ RM ทุกครั้งที่สวิตช์ได้รับ ช่วงสถานะชั่วคราว อัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะในช่วงเริ่มต้นการจำลองการทำงานค่าโหลตแพคเตอร์มีค่าต่ำกว่า 1 เพราะระยะทางในโครงข่ายห่างทำให้ผลการคำนวณที่ได้เพิ่มขึ้นมากกว่าระยะทางใกล้ ทำให้แต่ละแหล่งกำเนิดมีการส่งข้อมูลอัตราเท่ากับ 70 Mbps. ในช่วงแรกของการทำงานระดับของคิวเพิ่มถึงขนาด 9,500 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดที่ 15 Mbps. ระดับของคิวจะคงที่เท่ากับ 9,500 เซลล์

2) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด 10 ตัว เริ่มต้นส่งข้อมูลที่ 0 s. ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 4



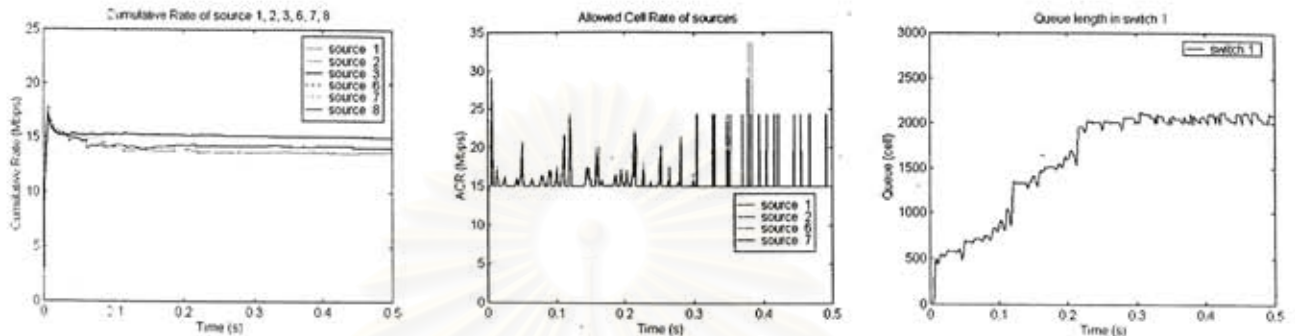
(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

รูปที่ 4.47 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง แบบจำลอง Peer to peer WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ยในรูปที่ 4.47 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดจะเพิ่มขึ้นลดลงจากอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม แหล่งกำเนิดมีการส่งข้อมูลอัตราสูงสุดเท่ากับ 65 Mbps. ซึ่งน้อยกว่าการปรับที่สถานะชั่วคราวของ

อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ระดับของคิวเพิ่มช้ากว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม จนถึงประมาณ 7,500 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดที่ 15 Mbps. ระดับของคิวจะคงที่

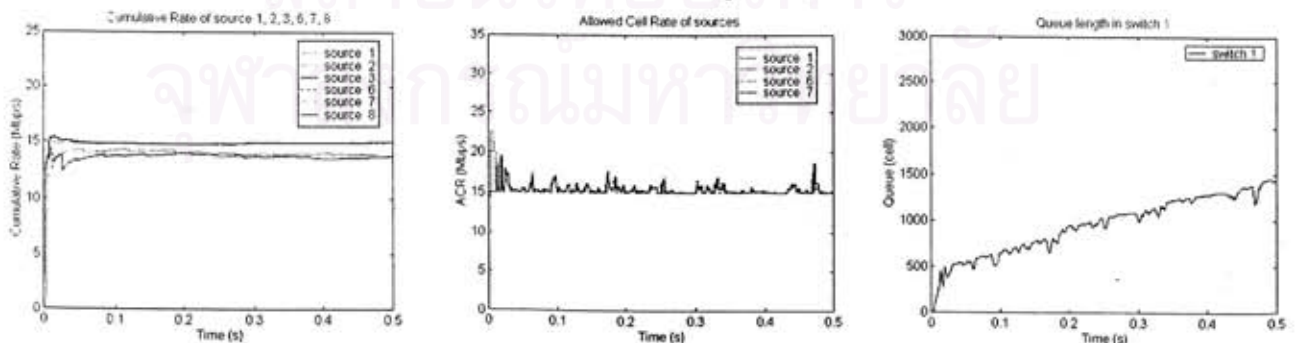
3) อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด 10 ตัว เริ่มต้นส่งข้อมูลที่ 0 s. ระยะทางแต่ละสายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร แหล่งกำเนิด 1-5 มีการส่งข้อมูลแบบ burst ส่วนแหล่งกำเนิด 6-10 ส่งข้อมูลแบบ persistence



(ก) Cumulative rate แหล่งกำเนิด 1,2,3,6,7,8 (ข) อัตราการส่งแหล่งกำเนิด 1,2,6,7 (ค) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 รูปที่ 4.48 อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer มีแหล่งกำเนิดแบบ burst, LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมในรูปที่ 4.48 จะมีการปรับเซลล์ RM ทุกครั้งที่ได้รับ สำหรับบางแหล่งกำเนิดที่มีการส่งข้อมูลแบบ burst ทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลตามที่สวิตช์แนะนำ ดังนั้นจะใช้ค่าโหนดแฟคเตอร์เพื่อปรับให้มีการใช้งานในส่วนที่เหลือได้ ทุกการเชื่อมต่อจะมีอัตราการส่งต่ำสุดที่ 15 Mbps. ถ้าอยู่ในช่วงคาบหยุดส่งเมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยค่าโหนดแฟคเตอร์จะน้อยกว่า 1 ช่วงเวลาเฉลี่ยถัดไปอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดจะเพิ่มขึ้นเพื่อให้โหนดแฟคเตอร์มีค่าเป็น 1 การปรับเซลล์ RM ทุกครั้งที่ได้รับจะทำให้มีอัตราการส่งเพิ่มขึ้นเร็วเกิดการแกว่งตัวของอัตราการส่งมาก ค่าคิวเพิ่มถึงระดับที่ต้องการคือ 2,000 เซลล์ อัตราการส่งจริงใกล้เคียงกัน

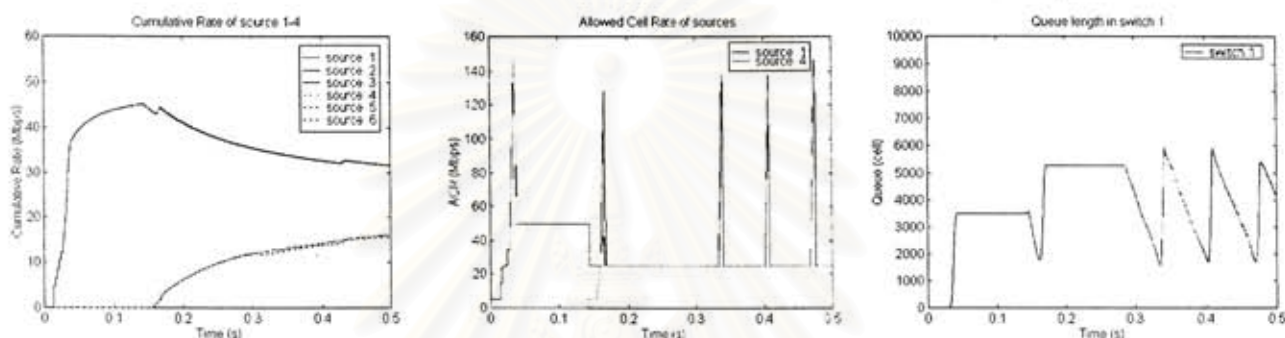
4) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด 10 ตัว เริ่มต้นส่งข้อมูลที่ 0 s. ระยะทางแต่ละสายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร แหล่งกำเนิด 1-5 มีการส่งข้อมูลแบบ burst ส่วนแหล่งกำเนิด 6-10 ส่งข้อมูลแบบ persistence



(ก) Cumulative rate แหล่งกำเนิด 1,2,3,6,7,8 (ข) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1,2,6,7 (ค) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 รูปที่ 4.49 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง แบบจำลอง Peer to peer มีแหล่งกำเนิด burst, LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ยในรูปที่ 4.49 สำหรับบางแหล่งกำเนิดที่มีการส่งข้อมูลแบบ burst ทุกการเชื่อมต่อจะมีอัตราการส่งต่ำสุดที่ 15 Mbps. ค่าโหลดแพ็คเกจจะน้อยกว่า 1 การปรับเซลล์ RM แค่อครั้งเดียวใน 1 ช่วงเวลาเฉลี่ยทำให้มีอัตราการส่งเพิ่มขึ้นน้อยกว่าและใช้เวลานานกว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม การแกว่งตัวของอัตราการส่งลดลงแต่ระดับของคิวค่อยๆ เพิ่ม อัตราการส่งจริงใกล้เคียงกันเหมือนอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม

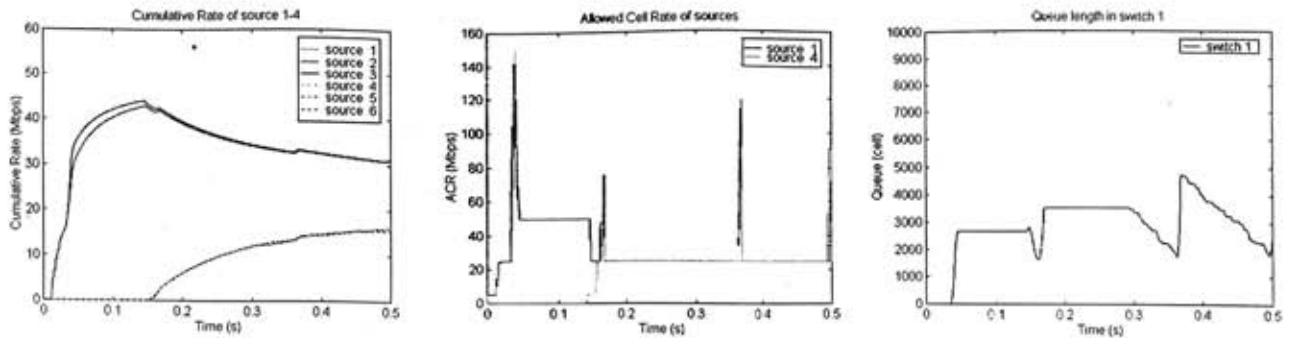
5) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด 6 ตัว ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร แหล่งกำเนิด 1-3 มีการส่งข้อมูลแบบ persistence ที่เวลา 0 s. ส่วนแหล่งกำเนิด 4-6 เริ่มส่งข้อมูลแบบ persistence ที่เวลา 0.14 s. แล้วมีการเปลี่ยนเป็นส่งข้อมูลแบบ burst ที่เวลา 0.28 s.



(ก) Cumulative rate แหล่งกำเนิด 1-6 (ข) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 4 (ค) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1
รูปที่ 4.50 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิดส่งข้อมูลไม่พร้อมกัน WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.50 จะมีการปรับเซลล์ RM ทุกครั้งที่ได้รับ ช่วงแรกมีแหล่งกำเนิดที่มีการส่งข้อมูลแบบ persistence 3 ตัว ทำให้สถานะชั่วคราวมีอัตราการส่งเท่ากับ 150 Mbps. ระดับข้อมูลในคิวถึงขนาด 3,500 เซลล์ เมื่อแหล่งกำเนิดอีก 3 ตัวเริ่มส่งข้อมูลแบบ persistence อัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดปรับตัวอยู่ที่ 25 Mbps. ระดับคิวเพิ่มขึ้นที่ 5,000 เซลล์ เมื่อแหล่งกำเนิด 3 ตัวที่เริ่มส่งซ้ำมีการปรับตัวให้มีการส่งข้อมูลแบบ burst ทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลตามที่สวิตช์แนะนำ ทุกการเชื่อมต่อจะมีอัตราการส่งต่ำสุดที่ 25 Mbps. การปรับเซลล์ RM ทุกครั้งที่ได้รับจะทำให้มีอัตราการส่งเพิ่มขึ้นเร็ว เกิดการแกว่งตัวของอัตราการส่งมากถึง 150 Mbps. ค่าคิวมีการแกว่งตัว อัตราการส่งจริงของแต่ละแหล่งกำเนิดจะใกล้เคียงกัน

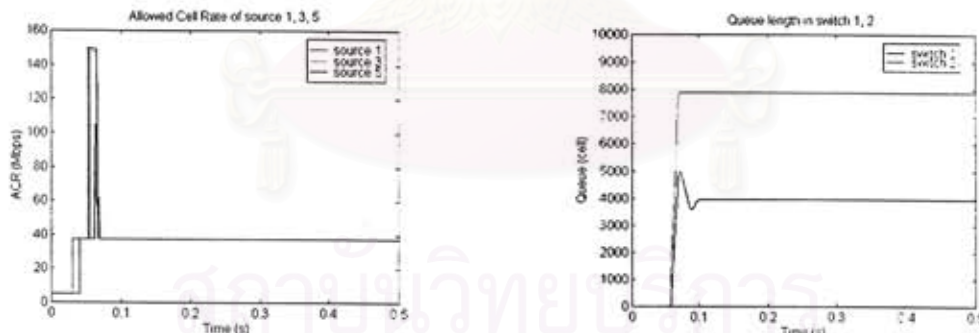
6) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด 6 ตัว ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงทั้งหมดเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร แหล่งกำเนิด 1-3 มีการส่งข้อมูลแบบ persistence ที่เวลา 0 s. ส่วนแหล่งกำเนิด 4-6 เริ่มส่งข้อมูลแบบ persistence ที่เวลา 0.14 s. แล้วมีการเปลี่ยนเป็นส่งข้อมูลแบบ burst ที่เวลา 0.28 s.



(ก) Cumulative rate แหล่งกำเนิด 1-6 (ข) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 4 (ค) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1
รูปที่ 4.51 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิดส่งข้อมูล
ไม่พร้อมกัน WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ยในรูปที่ 4.51 ช่วงแรกมีแหล่งกำเนิดที่มีการส่งข้อมูลแบบ persistence 3 ตัว ทำให้สถานะชั่วคราวมีอัตราการส่งเท่ากับ 150 Mbps. ซึ่งใช้เวลาส่งข้อมูลนานกว่าอัตราการส่ง 150 Mbps.ของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม เนื่องจากการปรับเซลล์ RM แค่ 1 ครั้งทำให้ตอบสนองช้ากว่าการปรับเซลล์ RM ทุกครั้ง ทำให้ระดับข้อมูลในคิวเพิ่มถึงขนาด 2,700 เซลล์ เมื่อแหล่งกำเนิดอีก 3 ตัวเริ่มส่งข้อมูลแบบ persistence อัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดปรับตัวที่ 25 Mbps. ระดับคิวเพิ่มขึ้น 3,500 เซลล์ เมื่อแหล่งกำเนิด 3 ตัวที่เริ่มส่งซ้ำมีการปรับตัวส่งข้อมูลแบบ burst ทุกการเชื่อมต่อจะมีอัตราการส่งต่ำสุดที่ 25 Mbps. เกิดการแกว่งตัวอัตราการส่งถึง 120 Mbps. แต่ความถี่ในการแกว่งตัวน้อยกว่าแบบอัลกอริทึม E-FMMRA มาก ค่าคิวมีการแกว่งตัวที่น้อยกว่า อัตราการส่งจริงใกล้เคียงกัน

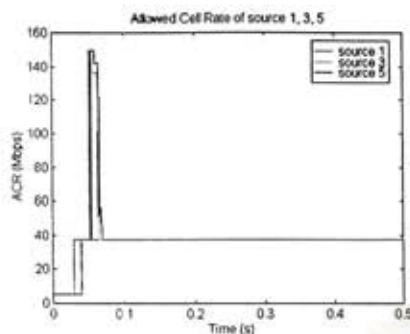
7) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Parking lot ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN 1,000 กิโลเมตร



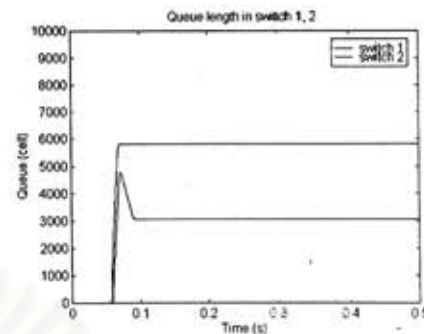
(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5 (ข) ขนาดของคิวสวิตช์ 1 และ 2
รูปที่ 4.52 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Parking lot, WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.52 จะมีการปรับเซลล์ RM ทุกครั้งที่ได้รับ ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งแต่ละแหล่งกำเนิดมีการส่งข้อมูลอัตราเท่ากับ 150 Mbps. ระดับคิวของสวิตช์ 1 และ 2 เพิ่มถึงขนาด 8,000 และ 4,000 เซลล์ตามลำดับ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดที่ 37.5 Mbps. ระดับของคิวจะค่อยๆ เพิ่ม ใน 1 ช่วงเวลาเฉลี่ยแหล่งกำเนิด 1 ตัวจะมีการปรับเซลล์ RM ที่สวิตช์ 10 ครั้ง

8) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย แบบจำลอง Parking lot ระยะทางแต่ละขั้วเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5



(ข) ขนาดของคิวสวิตช์ 1 และ 2

รูปที่ 4.53 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง แบบจำลอง Parking lot, WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ยในรูปที่ 4.53 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดจะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แต่ใช้เวลานานกว่าที่จะเข้าสู่สถานะหยุดตัว โดยการปรับเซลล์ RM แค่ 1 ครั้งใน 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย แทนที่จะมีการปรับ 10 ครั้ง ทำให้แต่ละแหล่งกำเนิดมีการส่งข้อมูลอัตราสูงสุดเท่ากับ 150 Mbps. ซึ่งใกล้เคียงกับการปรับที่สถานะชั่วคราวของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แต่ระดับของคิวสวิตช์ 1 และ 2 เท่ากับ 6,000 และ 3,000 เซลล์ตามลำดับ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะหยุดตัวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดที่ 37.5 Mbps.

การวิเคราะห์ผลการจำลองการปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย ต่อ 1 การเชื่อมต่อ

จากผลการจำลองการทำงานการปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย ต่อ 1 การเชื่อมต่อในรูปที่ 4.46 - 4.53 ในแบบจำลอง Peer to peer ที่แหล่งกำเนิดส่งข้อมูลตลอดเวลาและระยะทางในโครงข่ายแบบ WAN อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมรูปที่ 4.46 จะมีอัตราการส่งที่สถานะชั่วคราวมากกว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง รูปที่ 4.47 แต่อัตราการส่งลดลงช้ากว่าเพราะมีจำนวนการปรับที่น้อยกว่าและระดับคิวที่ต่ำกว่า ส่วนแบบจำลอง Peer to peer ที่มีแหล่งกำเนิดแบบ burst ร่วมกับแหล่งกำเนิดส่งข้อมูลตลอดเวลา อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.48 จะมีอัตราการส่งที่แกว่ง และระดับคิวเพิ่มมากกว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับเซลล์ RM 1 ครั้งในรูปที่ 4.49 ที่ระดับคิวเพิ่มช้ากว่า และแบบจำลอง Peer to peer ที่แหล่งกำเนิดแบบ burst เริ่มส่งข้อมูลช้ากว่าแหล่งกำเนิดที่ส่งข้อมูลตลอดเวลา อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.50 มีอัตราการส่งและระดับคิวที่แกว่งมากกว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับเซลล์ RM 1 ครั้งในรูปที่ 4.51 ถ้าแบบจำลอง Parking lot ทั้งอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมและอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับเซลล์ RM 1 ครั้งในรูปที่ 4.50 - 4.51 แบ่งอัตราการส่งถูกต้องให้ทุกแหล่งกำเนิด แต่อัตราการส่งที่สถานะชั่วคราวของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมสูงกว่าแต่ใช้เวลาที่น้อยกว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง

4.4.5 ผลการจำลองการทำงานการปรับปรุงค่าอัตราการส่งที่แนะนำ

อัลกอริทึม E-FMMRA มีการทำงานที่ผิดพลาดเนื่องจากค่าแบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัด (C_b) เมื่อทำการปรับปรุงในส่วนของการปรับค่า C_b ร่วมกับการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย เพื่อให้อัลกอริทึม E-FMMRA มีการทำงานที่ถูกต้องและไม่เร็วเกินไป ทำให้เกิดปัญหาในการปรับค่า A_{max}

การจำลองการทำงานจะใช้แบบจำลองการทำงานรูปที่ 4.2 Parking lot เหมือนการจำลองการทำงานของค่า C_b ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดทั้งหมด 3 กลุ่ม ส่งข้อมูลจากแหล่งกำเนิดผ่านสวิตช์ 3 ตัวไปยังปลายทาง การจำลองการทำงานแบ่งตามอัลกอริทึม E-FMMRA ดังเดิม, อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงส่วนของการคำนวณค่า C_b , อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ใช้การปรับปรุงส่วนของการคำนวณค่า C_b กับการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย และอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงในส่วนการคำนวณค่า A_{max} ผลการจำลองการทำงานประกอบด้วยอัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิด และขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2

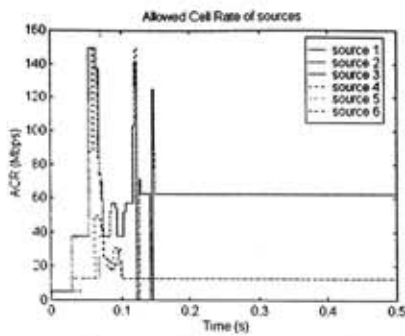
สายเชื่อมโยงทั้งหมดยกเว้นสายเชื่อมโยง 2 จะมีค่าแบนด์วิดท์เท่ากับ 150 Mbps. ส่วนสายเชื่อมโยง 2 มีค่าแบนด์วิดท์เท่ากับ 50 Mbps. ทุกแหล่งกำเนิด SRC1 - SRC6 มีค่าอัตราการส่งสูงสุดเท่ากับ 150 Mbps. กำหนดค่าอัตราอัตราการส่งเริ่มต้นเท่ากับ 5 Mbps. โดย SRC1 - SRC2 เริ่มส่งข้อมูลที่เวลา 0.01 s. ส่วน SRC3 - SRC6 เริ่มต้นส่งข้อมูลที่เวลา 0 s. ระยะเวลาการจำลองการทำงานเท่ากับ 0.5 s.

สวิตช์ไม่มีการติดขัดของข้อมูล กำหนดระยะทางแต่ละสายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร ค่าประวิงเวลาแพร่กระจาย 5 μ s. ต่อกิโลเมตร ค่า RIF เท่ากับ 1 และค่า RDF เท่ากับ 1/256 ค่าช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 1,000 เซลล์ ขนาดของคิวเท่ากับ 10,000 เซลล์ ระดับ QT เท่ากับ 500 เซลล์ และระดับ DQT เท่ากับ 2,000 เซลล์

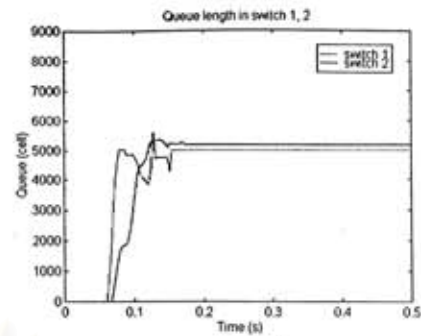
อัลกอริทึม E-FMMRA มีการทำงานที่ผิดพลาดในการคำนวณค่า C_b สำหรับแบบจำลอง Parking lot โครงข่ายที่มีระยะทางในโครงข่ายเป็น WAN ในรูปที่ 4.33 และการปรับปรุงการคำนวณค่า C_b ในรูปที่ 4.34

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ใช้การปรับปรุงส่วนของการคำนวณค่า C_b กับการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 6

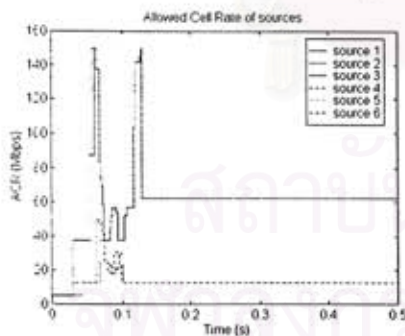


(ข) ขนาดของคิวสวิตช์ 1 และ 2

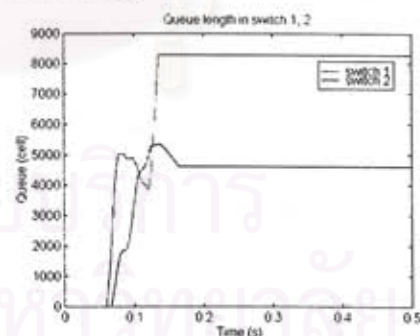
รูปที่ 4.54 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงการคำนวณค่า C_b และปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อการเชื่อมต่อ

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงส่วนของการคำนวณค่า C_b กับการปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ยในรูปที่ 4.54 โดยจะมีการคำนวณค่า C_b ใหม่เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ย การปรับค่าในเซลล์ RM 1 ครั้ง ต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย ทำให้มีการปรับพารามิเตอร์ที่ไม่พร้อมกัน เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยสวิตช์มีการคำนวณค่า C_b จากค่าของแบนด์วิดท์ที่ติดขัดของทุกการเชื่อมต่อเท่ากับค่า C ทำให้ค่า A_{max} ที่เป็นอัตราที่สวิตช์แนะนำให้แก่การเชื่อมต่อมีค่าเป็น 0 Mbps. ทำให้มีช่วงเวลาหนึ่งที่บางแหล่งกำเนิดมีอัตราการส่งเท่ากับ 0 Mbps. แต่หลังจากนั้นจะมีการปรับที่ถูกต้อง แหล่งกำเนิด 3 และ 4 ส่งข้อมูลด้วยอัตราเท่ากับ 62.5 Mbps. ทำให้มีข้อมูลในคิวไม่เกินขนาดข้อมูลที่คิวรองรับได้ ซึ่งแหล่งกำเนิด 1, 2, 5 และ 6 จะส่งข้อมูลด้วยอัตรา 12.5 Mbps.

2) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงเพิ่มในส่วนการคำนวณค่า A_{max}



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 6



(ข) ขนาดของคิวสวิตช์ 1 และ 2

รูปที่ 4.55 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงการคำนวณค่า C_b , ปรับเซลล์ RM 1 ครั้งต่อการเชื่อมต่อ และการปรับค่า A_{max}

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงค่าอัตราการส่งที่แนะนำ (A_{max}) ให้เหมาะสม โดยมีการปรับเพิ่มจากการคำนวณค่า C_b กับการปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง ต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลา

เฉลี่ยในรูปที่ 4.55 ในการคำนวณค่า A_{max} ถ้าค่า C เท่ากับค่า C_b จะไม่มีการคำนวณใหม่ การปรับค่าในเซลล์ RM 1 ครั้ง ต่อ 1 การเชื่อมต่อ ต่อ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย ทำให้มีการปรับพารามิเตอร์ที่ไม่พร้อมกัน เมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ยสวิตช์มีการคำนวณค่า C_b ที่เท่ากับค่า C ก็จะไม่มีการปรับค่า A_{max} ทำให้ไม่มีแหล่งกำเนิดที่ส่งข้อมูลอัตรา 0 Mbps. ที่สถานะอยู่ตัวแหล่งกำเนิด 3 และ 4 ส่งข้อมูลด้วยอัตราเท่ากับ 62.5 Mbps. ทำให้มีข้อมูลในคิวไม่เกินขนาดข้อมูลที่คิวรองรับได้ แหล่งกำเนิด 1, 2, 5 และ 6 จะส่งข้อมูลด้วยอัตรา 12.5 Mbps.

การวิเคราะห์ผลการจำลองการปรับปรุงค่าอัตราการส่งที่แนะนำ

จากผลการจำลองการทำงานปรับปรุงค่าอัตราการส่งที่แนะนำในรูปที่ 4.33 - 4.34 และ 4.54 - 4.55 แบบจำลอง Parking lot ที่มีแบนด์วิดท์ขยายเชื่อมโยง 1 ไม่เท่ากับแบนด์วิดท์ขยายเชื่อมโยง 2 ถ้าใช้อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมหรือสวิตช์การทำงานในรูปที่ 4.33 เกิดการคำนวณค่า C_b ที่ผิดพลาดทำให้สวิตช์แบ่งอัตราการส่งข้อมูลสำหรับทุกแหล่งกำเนิดผิดพลาดระดับคิวในสวิตช์เพิ่มจนเต็ม ทำให้เกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูล เมื่อทำการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA ส่วนการคำนวณค่า C_b ในรูปที่ 4.34 การคำนวณค่า C_b ใหม่จะทำให้สวิตช์แบ่งอัตราการส่งสำหรับทุกแหล่งกำเนิดอย่างถูกต้อง ระดับคิวไม่เกินขนาดคิวที่รองรับได้ไม่เกิดการสูญหายของเซลล์ แต่ถ้ามีการปรับอัลกอริทึม E-FMMRA ในส่วนการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งสำหรับ 1 ช่วงเวลาเฉลี่ยร่วมกับการคำนวณค่า C_b ใหม่ในรูปที่ 4.54 เมื่อมีการปรับค่า C_b ที่ผิดพลาดและต้องรอครบช่วงเวลาเฉลี่ยจะคำนวณค่า C_b ใหม่เพื่อแบ่งอัตราการส่งให้แก่แต่ละแหล่งกำเนิด แล้วมีการปรับค่าอัตราการส่งที่แนะนำโดยมีบางการเชื่อมต่อที่ไม่ติดขัด ครบช่วงเวลาเฉลี่ยคำนวณค่า C_b ใหม่ผิดพลาดเท่ากับแบนด์วิดท์ที่ขยายเชื่อมโยงรองรับได้ทำให้สวิตช์สั่งให้แหล่งกำเนิดหยุดส่ง ดังนั้นแหล่งกำเนิดมีช่วงเวลาที่หยุดส่งข้อมูล จึงมีการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA เพิ่มในการคำนวณอัตราการส่งที่แนะนำในรูปที่ 4.55 ทำให้ไม่มีช่วงเวลาที่แหล่งกำเนิดหยุดส่งข้อมูล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง

การปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA จะต้องพิจารณาในส่วนของการทำงานที่มีการปรับปรุงจากอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจำเป็นต้องเปรียบเทียบการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมด กับอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ในส่วนของประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมการควบคุมความคับคั่งในโครงข่าย โดยจะจำลองการทำงานจากแบบจำลองทั้งหมดประกอบด้วย

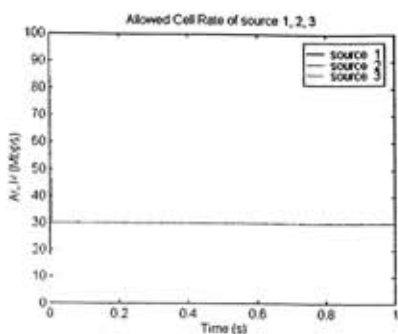
4.5.1 ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง Peer to Peer

การจำลองการทำงานใช้แบบจำลองรูปที่ 4.1 Peer to peer การจำลองการทำงานจะแบ่งตามอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมกับอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุง ผลการจำลองการทำงานประกอบด้วย อัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิด และขนาดของคิวที่สวิตช์ทั้งหมด

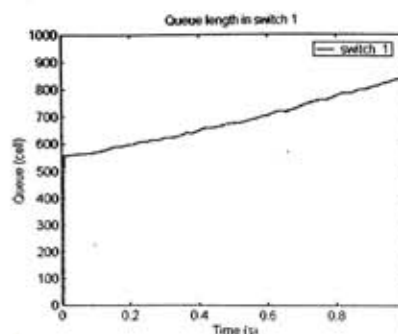
แบบจำลอง Peer to peer จะแบ่งการจำลองการทำงานเป็น จำนวนของแหล่งกำเนิดที่เปลี่ยนแปลง และอัตราการส่งสูงสุดของแต่ละแหล่งกำเนิดไม่เท่ากัน แหล่งกำเนิดมีข้อมูลให้ส่งได้ไม่จำกัดและส่งที่อัตราสูงสุด สวิตช์ไม่มีการติดขัด ค่าประวิงเวลาแพร่กระจาย $5 \mu\text{s}$ ต่อกิโลเมตร โครงข่ายมีแหล่งกำเนิดทั้งหมด N แหล่งกำเนิด กำหนดค่าอัตราการส่งเริ่มต้นเท่ากับ 5 Mbps . แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 150 Mbps . และทุกข่ายเชื่อมโยงระยะทางเท่ากัน ค่า RIF เท่ากับ 1 และค่า RDF เท่ากับ $1/256$ ค่าช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ $1,000$ เซลล์ ขนาดของคิวเท่ากับ $10,000$ เซลล์ ระดับ OT เท่ากับ 500 เซลล์ และระดับ DOT เท่ากับ $2,000$ เซลล์ เริ่มต้นส่งข้อมูลที่เวลา 0 s . ระยะเวลาการจำลองการทำงานเท่ากับ 1 s .

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แหล่งกำเนิดทั้งหมด 5 ตัว ค่า PCR ของทุกแหล่งกำเนิดเท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 3

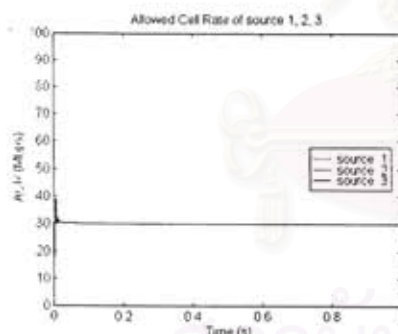


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

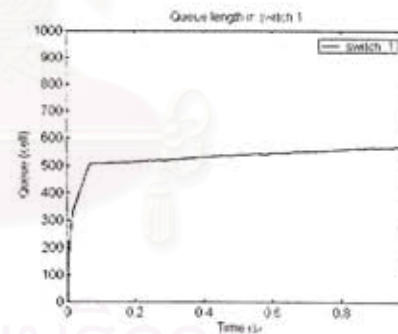
รูปที่ 4.56 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด ABR 5 ตัว LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.56 มีแหล่งกำเนิด 5 ตัว ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 จะเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 80 Mbps. เพราะค่าโหนดแพคเตอร์ต่ำ ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นประมาณ 550 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 เท่ากับ 30 Mbps. มีการแกว่งตัวเล็กน้อย ระดับคิวของสวิตช์ 1 มีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมด แหล่งกำเนิดทั้งหมด 5 ตัว ค่า PCR ของทุกแหล่งกำเนิดเท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 3

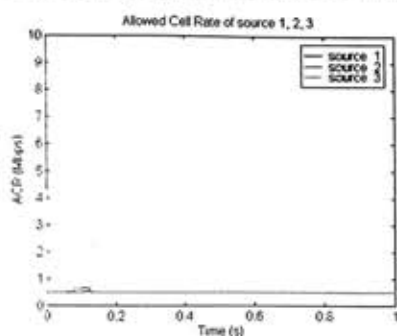


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

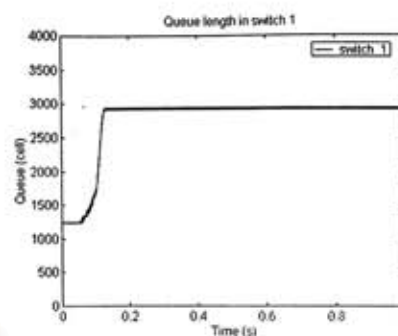
รูปที่ 4.57 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด ABR 5 ตัว LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.57 มีแหล่งกำเนิด 5 ตัว ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 จะเพิ่มประมาณ 40 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นประมาณ 500 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 เท่ากับ 30 Mbps. มีการแกว่งตัวเล็กน้อย ระดับคิวของสวิตช์ 1 มีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องช้า ๆ

3) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แหล่งกำเนิดทั้งหมด 300 ตัว ค่า PCR ของทุกแหล่งกำเนิดเท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละสายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 3

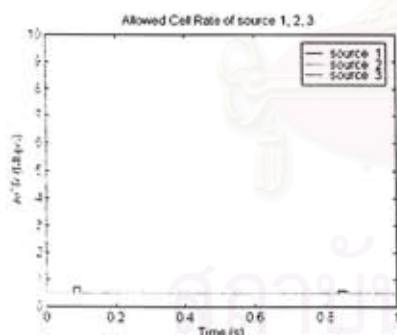


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

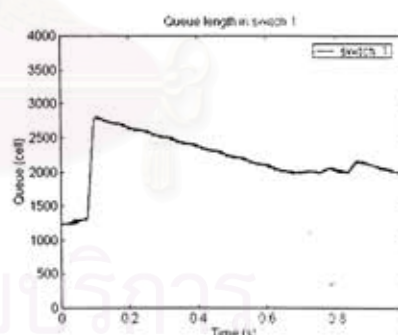
รูปที่ 4.58 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด ABR 300 ตัว LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.58 มีแหล่งกำเนิด 300 ตัว ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 300 เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 4 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นประมาณ 1,250 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 300 ประมาณ 0.6 Mbps. ระดับคิวของสวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึงประมาณ 3,000 เซลล์ ซึ่งเกินระดับคิวสองที่กำหนด แล้วอัตราการส่งจะปรับลดเหลือ 0.5 Mbps. ทำให้ระดับคิวมีค่าคงที่

4) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมด แหล่งกำเนิดทั้งหมด 300 ตัว ค่า PCR ของทุกแหล่งกำเนิดเท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละสายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 3

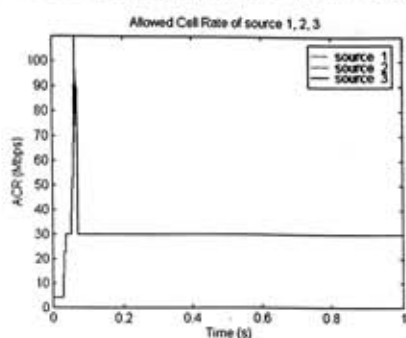


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

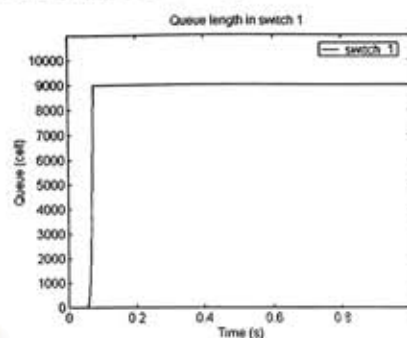
รูปที่ 4.59 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด ABR 300 ตัว LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.59 มีแหล่งกำเนิด 300 ตัว ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 300 เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 4 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นประมาณ 1,250 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 300 ประมาณ 0.6 Mbps. ทำให้ระดับคิวของสวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึงประมาณ 2,800 เซลล์ ซึ่งเกินระดับคิวสองที่ออกแบบ ดังนั้นการควบคุมคิวจะลดระดับของคิวให้อยู่ที่ระดับคิวที่สอง 2,000 เซลล์

5) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แหล่งกำเนิดทั้งหมด 5 ตัว ค่า PCR ของทุกแหล่งกำเนิดเท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร ค่า ICR เท่ากับ 0.15 Mbps.



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 3

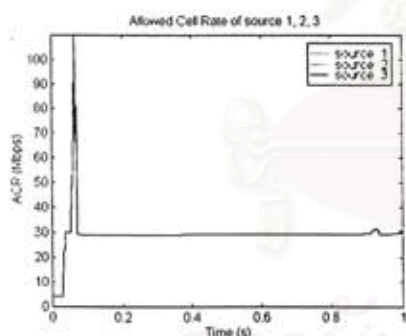


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

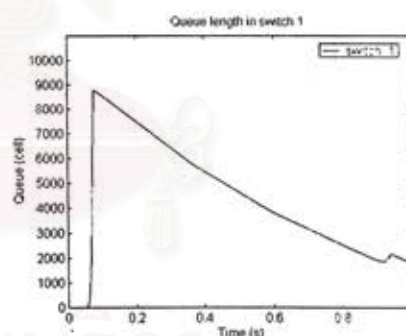
รูปที่ 4.60 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด ABR 5 ตัว WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.60 มีแหล่งกำเนิด 5 ตัว ระยะทางไกลทำให้ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึงประมาณ 110 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นประมาณ 9,000 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 เท่ากับ 30 Mbps. มีการแกว่งตัวเล็กน้อย ระดับคิวของสวิตช์ 1 คงที่

6) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แหล่งกำเนิดทั้งหมด 5 ตัว ค่า PCR แหล่งกำเนิดเท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร ค่า ICR เท่ากับ 0.15 Mbps.



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 3



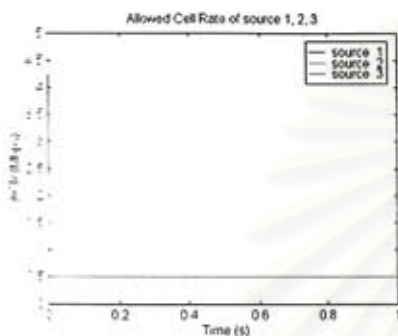
(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

รูปที่ 4.61 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด ABR 5 ตัว WAN

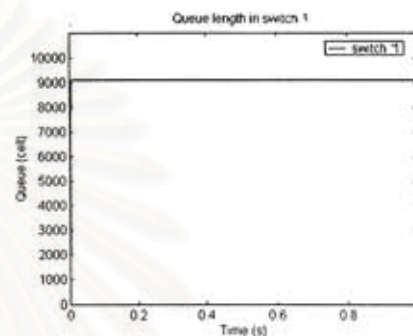
จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.61 แหล่งกำเนิด 5 ตัว กำหนดค่า ICR ต่ำอัตราการส่งจะเพิ่มอย่างรวดเร็วมากเพราะระยะทางในโครงข่ายมาก ระยะทางไกลทำให้ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึงประมาณ 110 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นประมาณ 9,000 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวโดยการควบคุมคิวทำให้อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 น้อยกว่า 30 Mbps. เพื่อลดระดับคิวของสวิตช์ 1 จนขนาดของคิวเหลือประมาณระดับคิวที่สอง 2,000 เซลล์ แล้วอัตราการส่งจะมีการแกว่งตัวทำให้ระดับคิวมีการแกว่งตาม เพราะเมื่อระดับคิวต่ำกว่าระดับคิวที่สอง

ค่าฟังก์ชันของคิวเท่ากับ 1 ส่วนค่าโหนดแฟคเตอร์ยังคงน้อยกว่า 1 คือมีอัตราการส่งออกสวิตช์มากกว่าอัตราส่งเข้าสวิตช์ การปรับค่า ER ในเซลล์ RM ทิศทางด้านหน้าจะใช้ค่า ER_{adjust} ที่มากกว่า A_{max} เพราะค่าโหนดแฟคเตอร์น้อยกว่า 1 และค่า ER ในเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับมีค่าเท่าเดิม แหล่งกำเนิดเพิ่มอัตราการส่งมากกว่าค่า fairshare (A_{max}) ดังนั้นระดับของคิวเพิ่มขึ้นมากกว่าระดับคิวสอง ดังนั้นการควบคุมคิวจะปรับค่า ER ในเซลล์ RM ให้ลดลงระดับคิวก็จะลดลงทำให้โหนดแฟคเตอร์น้อยกว่า 1 ทำให้อัตราการส่งจึงมีการแกว่งตัว

7) อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม แหล่งกำเนิดทั้งหมด 300 ตัว ค่า PCR ทุกแหล่งกำเนิดเท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร ค่า ICR เท่ากับ 1 Mbps.



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 3

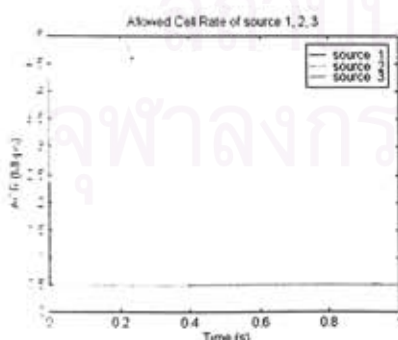


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

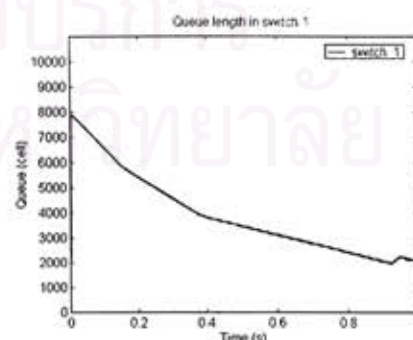
รูปที่ 4.62 อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด ABR 300 ตัว WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมในรูปที่ 4.62 มีแหล่งกำเนิด 300 ตัว เมื่อสถานะชั่วคราวของแหล่งกำเนิดอัตราการส่งเพิ่มเท่ากับ 4 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นเท่ากับ 9,000 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 300 เท่ากับ 0.5 Mbps. ระดับคิวของสวิตช์ 1 มีค่าประมาณ 9,000 เซลล์

8) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แหล่งกำเนิด 300 ตัว ค่า PCR ทุกแหล่งกำเนิดเท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร ค่า ICR เท่ากับ 1 Mbps.



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 3

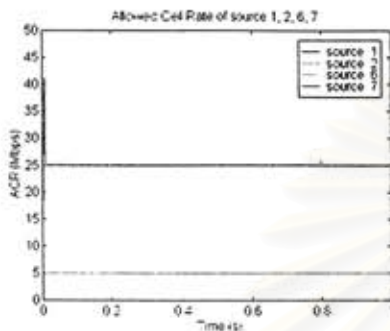


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

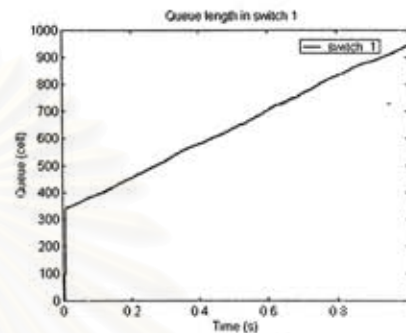
รูปที่ 4.63 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง Peer to peer แหล่งกำเนิด ABR 300 ตัว WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.63 มีแหล่งกำเนิด 300 ตัว เมื่อสถานะชั่วคราวของแหล่งกำเนิดอัตราการส่งเพิ่มเท่ากับ 4.2 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นถึง 8,000 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 300 น้อยกว่า 0.5 Mbps. เล็กน้อย ทำให้ระดับคิวของสวิตช์ 1 ลดลงน้อยกว่าระดับคิวสอง 2,000 เซลล์ แล้วอัตราการส่งมีค่าเท่ากับ 0.5 Mbps.

9) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แหล่งกำเนิด 10 ตัว ค่า PCR แหล่งกำเนิด 1 - 5 และ 6 - 10 เท่ากับ 5 Mbps. และ 150 Mbps. ตามลำดับ ระยะเวลาแต่ละฝ่ายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 6, 7

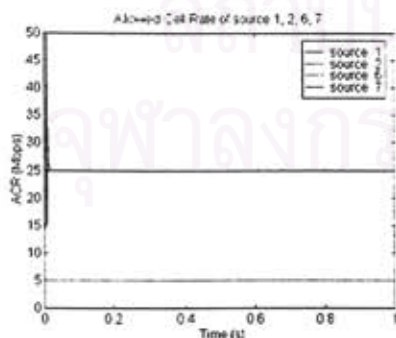


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

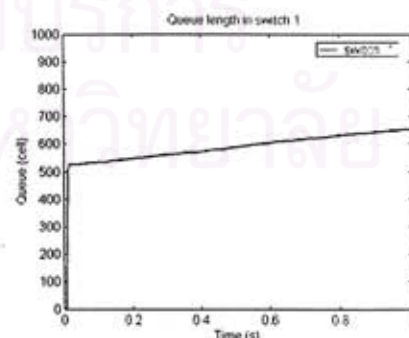
รูปที่ 4.64 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer อัตราการส่งสูงสุดไม่เท่ากัน LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.64 แหล่งกำเนิด 10 ตัว ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 จะเพิ่มขึ้นแต่ไม่เกินอัตราการส่งสูงสุด 5 Mbps. แต่แหล่งกำเนิด 6 -10 สามารถเพิ่มอัตราการส่งเท่ากับ 40 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นประมาณ 350 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 เท่ากับ 5 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด 6 - 10 มีอัตราการส่งมากกว่า 25 Mbps. เล็กน้อย ระดับคิวของสวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

10) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แหล่งกำเนิด 10 ตัว ค่า PCR แหล่งกำเนิด 1 - 5 และ 6 - 10 เท่ากับ 5 Mbps. และ 150 Mbps. ตามลำดับ ระยะเวลาแต่ละฝ่ายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 6, 7

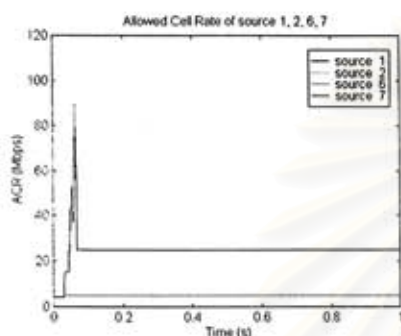


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

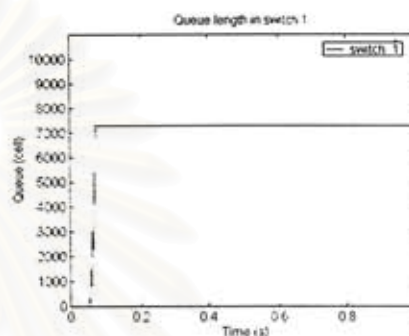
รูปที่ 4.65 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง Peer to peer อัตราการส่งสูงสุดไม่เท่ากัน LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.65 มีแหล่งกำเนิด 10 ตัว ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 จะเพิ่มขึ้นแต่ไม่เกินอัตราการส่งสูงสุด 5 Mbps. แต่แหล่งกำเนิด 6 - 10 สามารถเพิ่มอัตราการส่งเท่ากับ 50 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นประมาณ 510 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 เท่ากับ 5 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด 6 - 10 มีอัตราการส่งมากกว่า 25 Mbps. เล็กน้อย ระดับคิวของสวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องช้า ๆ

11) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แหล่งกำเนิด 10 ตัว ค่า PCR แหล่งกำเนิด 1 - 5 และ 6 - 10 เท่ากับ 5 Mbps. และ 150 Mbps. ตามลำดับ ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 6, 7



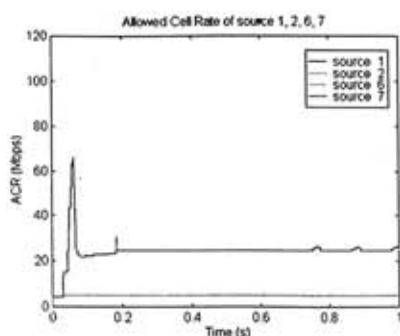
(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

รูปที่ 4.66 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Peer to peer อัตราการส่งสูงสุดไม่เท่ากัน WAN

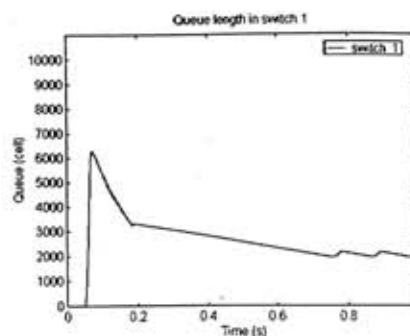
จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.66 มีแหล่งกำเนิด 10 ตัว ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 จะเพิ่มขึ้นแต่ไม่เกินอัตราการส่งสูงสุด 5 Mbps. แต่ระยะทางในโครงข่ายมากทำให้แหล่งกำเนิด 6 - 10 สามารถเพิ่มอัตราการส่งอย่างรวดเร็วเท่ากับ 90 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นประมาณ 7,200 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 เท่ากับ 5 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด 6 - 10 มีอัตราการส่งเท่ากับ 25 Mbps. ระดับคิวของสวิตช์ 1 เท่ากับ 7,200 เซลล์คงที่

12) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมด แหล่งกำเนิดทั้งหมด 10 ตัว ค่า PCR ของแหล่งกำเนิด 1 - 5 และแหล่งกำเนิด 6 - 10 เท่ากับ 5 Mbps. และ 150 Mbps. ตามลำดับ ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2, 6, 7



(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

รูปที่ 4.67 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง Peer to peer อัตราการส่งสูงสุดไม่เท่ากัน WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.67 มีแหล่งกำเนิด 10 ตัว ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 จะเพิ่มขึ้นแต่ไม่เกินอัตราการส่งสูงสุด 5 Mbps. แต่ระยะทางในโครงข่ายมากทำให้แหล่งกำเนิด 6 - 10 สามารถเพิ่มอัตราการส่งอย่างรวดเร็วเท่ากับ 70 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นประมาณ 6,300 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวโดยมีการควบคุมคิวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 น้อยกว่า 5 Mbps. เล็กน้อย ส่วนแหล่งกำเนิด 6 - 10 มีอัตราการส่งน้อยกว่า 25 Mbps. เล็กน้อย ซึ่งจะมีการใช้ฟังก์ชันของคิว 2 ระดับในช่วงแรกระดับคิวจะลดเร็วกว่าในช่วงถัดมาจนระดับคิวของสวิตช์ 1 เหลือประมาณ 2,000 เซลล์ แล้วอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 5 เท่ากับ 5 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด 6 - 10 มีอัตราการส่งเท่ากับ 25 Mbps.

การวิเคราะห์ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง Peer to Peer

จากผลการจำลองการทำงานแบบจำลองในรูปที่ 4.56 - 4.67 กรณีจำนวนของแหล่งกำเนิด ABR เปลี่ยนแปลงที่ระยะโครงข่ายแบบ LAN และ WAN ทั้งอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม และอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.56 - 4.63 สามารถแบ่งอัตราการส่งให้ทุกแหล่งกำเนิดเท่าเทียมกัน แต่อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมไม่สามารถควบคุมระดับคิวในสวิตช์ได้ ซึ่งอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดมีการเพิ่มส่วนการควบคุมคิว ทำให้สามารถควบคุมระดับคิวให้อยู่ที่ระดับที่กำหนดได้ ถ้าการจำลองการทำงานกำหนดอัตราการส่งสูงสุดของแหล่งกำเนิด ABR ไม่เท่ากันในรูปที่ 4.64 - 4.67 ทั้ง 2 อัลกอริทึมก็ยังสามารถคำนวณอัตราการส่งแต่ละแหล่งกำเนิดได้ถูกต้องทั้งระยะโครงข่ายแบบ LAN และ WAN อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมมีระดับคิวที่เพิ่มขึ้นมากกว่าระดับแรกที่กำหนด และคงที่ซึ่งมากกว่าระดับสองที่กำหนดสำหรับระยะโครงข่ายแบบ LAN และ WAN ตามลำดับ แต่อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดระดับคิวอยู่ระหว่างระดับแรกและระดับสองที่กำหนด

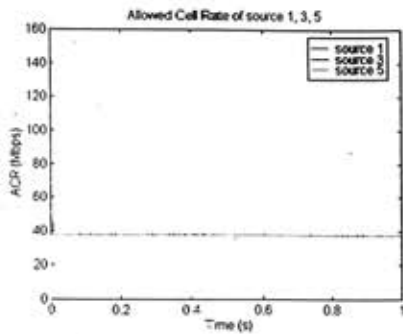
4.5.2 ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง Parking Lot

การจำลองการทำงานใช้แบบจำลองรูปที่ 4.2 Parking lot การจำลองการทำงานจะแบ่งตามอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมกับอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุง ผลการจำลองการทำงานประกอบด้วย อัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิด และขนาดของคิวที่สวิตช์ทั้งหมด

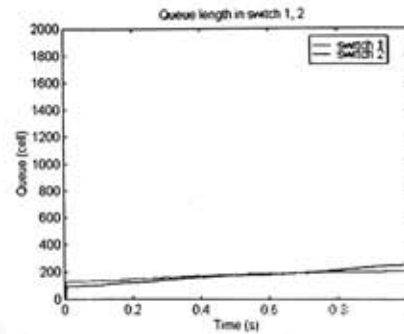
แบบจำลอง Parking lot จะแบ่งการจำลองตามแบนด์วิดท์ของทั้ง 2 ข่ายเชื่อมโยงเป็น แบนด์วิดท์ของทั้ง 2 ข่ายเชื่อมโยงเท่ากันมีค่าเท่ากับ 150 Mbps. และแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อระหว่างสวิตช์ 1 และสวิตช์ 2 (ข่ายเชื่อมโยง 1) เท่ากับ 50 Mbps. และข่ายเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อระหว่างสวิตช์ 2 และสวิตช์ 3 (ข่ายเชื่อมโยง 2) เท่ากับ 150 Mbps. ซึ่งจะคล้ายกับกรณีแบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยง 1 เท่ากับ 150 Mbps. และข่ายเชื่อมโยง 2 เท่ากับ 50 Mbps. ส่วนข่ายเชื่อมโยงอื่นมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 150 Mbps. แหล่งกำเนิดมีข้อมูลให้ส่งได้ไม่จำกัดและส่งที่อัตราสูงสุด สวิตช์ไม่มีการติดขัด ทุกข่ายเชื่อมโยงมีระยะทางเท่ากัน ค่าประวิงเวลาแพร่กระจาย $5 \mu s$ ต่อกิโลเมตร แบบจำลองมีแหล่งกำเนิดทั้งหมด 6 ตัว กำหนดอัตราการส่งเริ่มต้นเท่ากับ 5 Mbps. ทุกแหล่งกำเนิดมีอัตราการส่งสูงสุดเท่ากับ 150 Mbps. ค่า RIF เท่ากับ 1 และค่า RDF เท่ากับ $1/256$ ค่าช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 1,000 เซลล์ ขนาดของคิวเท่ากับ 10,000 เซลล์ ระดับ QT เท่ากับ 500 เซลล์ และระดับ DQT เท่ากับ 2,000 เซลล์ เริ่มต้นส่งข้อมูลเป็นเวลา 0 s. ระยะเวลาการจำลองการทำงานเท่ากับ 1 s.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบด์วิทซ์ของทั้ง 2 ข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5

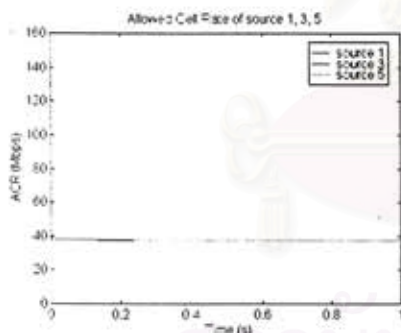


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1, 2

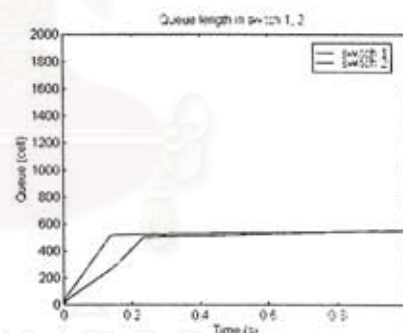
รูปที่ 4.68 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Parking lot แบบด์วิทซ์ข่ายเชื่อมโยงเท่ากัน LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.68 แบบด์วิทซ์ของทั้ง 2 ข่ายเชื่อมโยงเท่ากัน ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 6 จะเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 50 Mbps. ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นประมาณ 100 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 6 เท่ากับ 37.5 Mbps. มีการแกว่งตัวเล็กน้อย ระดับคิวของสวิตช์ 1 และ 2 มีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมด แบบด์วิทซ์ของทั้ง 2 ข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5

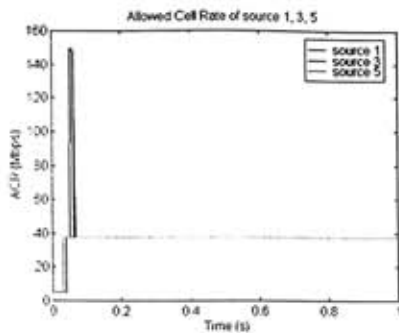


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1, 2

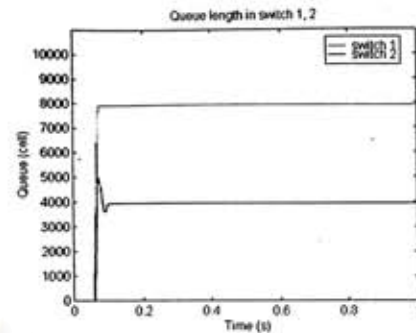
รูปที่ 4.69 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง Parking lot แบบด์วิทซ์ข่ายเชื่อมโยงเท่ากัน LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.69 แบบด์วิทซ์ของทั้ง 2 ข่ายเชื่อมโยงเท่ากัน ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 6 มีค่าใกล้เคียงกับที่สถานะอยู่ตัว ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นประมาณ 50 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 6 มีค่ามากกว่า 37.5 Mbps. เล็กน้อย เพื่อปรับระดับคิวของสวิตช์ 1 และ 2 ให้มีระดับคิวอยู่ที่ระดับคิวแรก 500 เซลล์ เมื่อระดับคิวเท่ากับ 500 เซลล์แล้วอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 6 จะมีค่าเท่ากับ 37.5 Mbps. และค่าระดับคิวของสวิตช์ 1 และ 2 มีการปรับขึ้นเล็กน้อยมาก

3) อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม แบนด์วิดท์ของทั้ง 2 ข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5

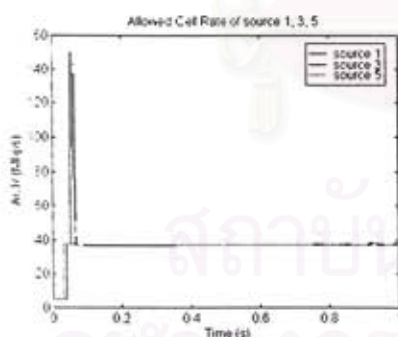


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1, 2

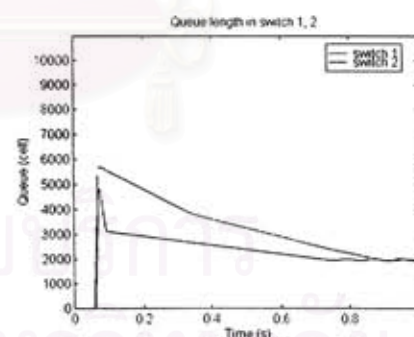
รูปที่ 4.70 อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม แบบจำลอง Parking lot แบนด์วิดท์ข่ายเชื่อมโยงเท่ากัน WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมในรูปที่ 4.70 แบนด์วิดท์ของทั้ง 2 ข่ายเชื่อมโยงเท่ากัน ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 6 จะเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 150 Mbps. เนื่องจากระยะทางในโครงข่ายมากแหล่งกำเนิดส่งข้อมูลที่อัตราการส่งเริ่มต้นทำให้ค่าไหลลดแฟลคเตอร์ต่ำ เมื่อสวิตช์ทำการปรับอัตราการส่งค่าไหลลดแฟลคเตอร์ต่ำทำให้สวิตช์เพิ่มอัตราการส่งให้ทุกแหล่งกำเนิดมาก ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ประมาณ 8,000 และ 5,000 เซลล์ตามลำดับ หลังจากนั้นปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 6 เท่ากับ 37.5 Mbps. ระดับคิวของสวิตช์ 1 มีค่าคงที่ 8,000 เซลล์ แต่ระดับคิวของสวิตช์ 2 ลดลงที่ 4,000 เซลล์

4) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมด แบนด์วิดท์ของทั้ง 2 ข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5



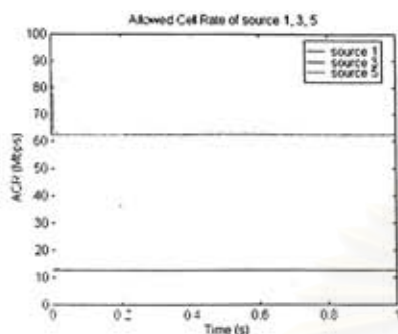
(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1, 2

รูปที่ 4.71 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง Parking lot แบนด์วิดท์ข่ายเชื่อมโยงเท่ากัน WAN

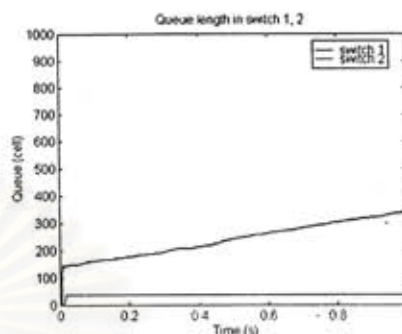
จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.71 แบนด์วิดท์ของทั้ง 2 ข่ายเชื่อมโยงเท่ากัน ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 6 มีค่าเพิ่มขึ้นมากเท่ากับ 150 Mbps. เนื่องจากระยะทางโครงข่ายมาก ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นรวดเร็วประมาณ 6,000 และ 5,000 เซลล์ตามลำดับ หลังจากนั้นปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 6 มีค่าต่ำกว่า 37.5 Mbps. เล็กน้อย

เพื่อปรับระดับคิวของสวิตช์ 1 และ 2 ให้อยู่ที่ระดับคิวสอง 2,000 เซลล์ เมื่อระดับคิวลดลงอยู่ที่ระดับ 2,000 เซลล์ แล้วอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 6 จะมีค่าเท่ากับ 37.5 Mbps. และค่าระดับคิวของสวิตช์ 1 และ 2 คงที่

5) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบด์วิตซ์ของข่ายเชื่อมโยง 1 เท่ากับ 50 Mbps. และข่ายเชื่อมโยง 2 เท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5

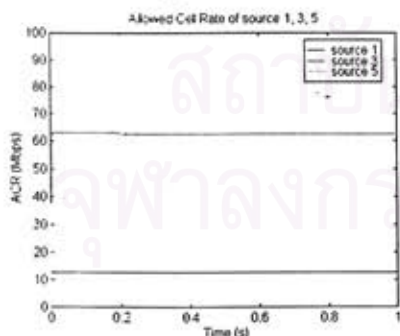


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1, 2

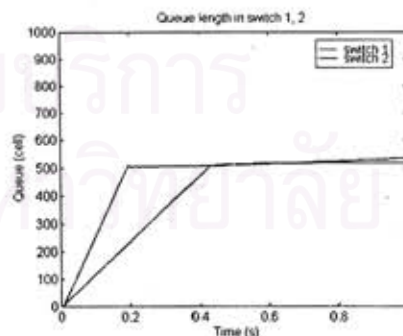
รูปที่ 4.72 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Parking lot แบบด์วิตซ์ข่ายเชื่อมโยงไม่เท่ากัน LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.72 แบบด์วิตซ์ของข่ายเชื่อมโยง 2 มากกว่าข่ายเชื่อมโยง 1 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 5 และ 6 จะเพิ่มขึ้นประมาณ 85 Mbps. แล้วมีการปรับตัวลดลง ส่วนแหล่งกำเนิด 1 - 4 มีอัตราการส่งใกล้เคียงกับอัตราการส่งที่สถานะอยู่ตัว ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2 ประมาณ 40 และ 140 เซลล์ตามลำดับ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 4 เท่ากับ 12.5 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด 5 และ 6 มีอัตราเท่ากับ 62.5 Mbps. มีการแกว่งตัวเล็กน้อย ระดับคิวของสวิตช์ 1 มีค่าคงที่ 40 เซลล์ แต่ระดับคิวของสวิตช์ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นต่อเนื่องช้า ๆ

6) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมด แบบด์วิตซ์ของข่ายเชื่อมโยง 1 เท่ากับ 50 Mbps. และข่ายเชื่อมโยง 2 เท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5

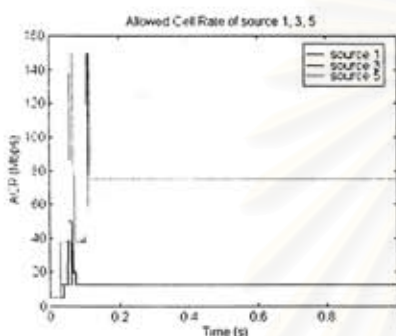


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1, 2

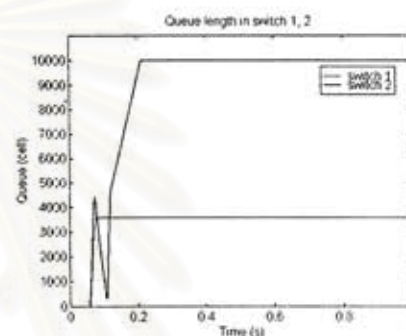
รูปที่ 4.73 อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง Parking lot แบบด์วิตซ์ข่ายเชื่อมโยงไม่เท่ากัน LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.73 แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยง 2 มากกว่าข่ายเชื่อมโยง 1 ช่วงสถานะชั่วคราวแหล่งกำเนิด 1 - 6 มีอัตราการส่งใกล้เคียงกับอัตราการส่งที่สถานะอยู่ตัว ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2 อยู่ที่ระดับต่ำมากประมาณ 1 - 2 เซลล์ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัว อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 4 มากกว่า 12.5 Mbps. เล็กน้อย และแหล่งกำเนิด 5 และ 6 มีอัตรา มากกว่า 62.5 Mbps. เล็กน้อย เพราะการปรับระดับคิวที่สวิตช์ 1 - 2 ให้อยู่ที่ระดับแรก 500 เซลล์ หลังจากนั้นจะเข้าสถานะอยู่ตัว โดยแหล่งกำเนิด 1 - 4 มีอัตราการส่ง 12.5 Mbps. และแหล่งกำเนิด 5 และ 6 มีอัตราการส่ง 62.5 Mbps. ระดับคิวของสวิตช์ 1 และ 2 อยู่ที่ระดับคิวประมาณ 500 เซลล์

7) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยง 1 เท่ากับ 50 Mbps. และข่ายเชื่อมโยง 2 เท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5

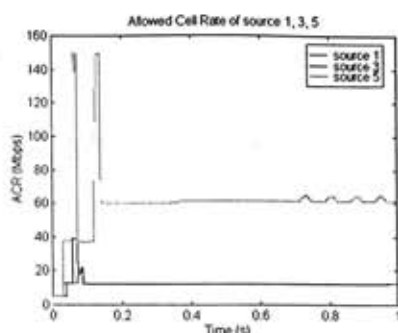


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1, 2

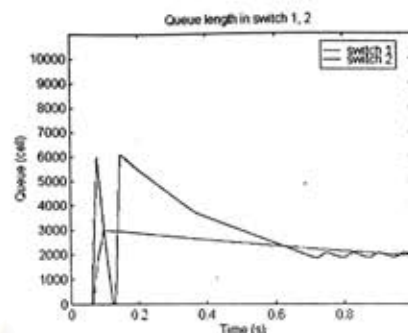
รูปที่ 4.74 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง Parking lot แบนด์วิดท์ข่ายเชื่อมโยงไม่เท่ากัน WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.74 แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยง 2 มากกว่าข่ายเชื่อมโยง 1 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 5 และ 6 จะเพิ่มขึ้นมากถึงประมาณ 150 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด 1 - 4 เพิ่มอัตราการส่งประมาณ 50 Mbps. (ข่ายเชื่อมโยง 1 รองรับอัตราการส่งสูงสุดได้เท่ากับ 50 Mbps.) เนื่องจากระยะทางในโครงข่ายมากทำให้แหล่งกำเนิดส่งข้อมูลที่อัตราการส่งเริ่มต้นทำให้ค่าโหลดแพคเตอร์มีค่าต่ำ เมื่อสวิตช์ทำการปรับอัตราการส่งค่าโหลดแพคเตอร์ต่ำทำให้สวิตช์เพิ่มอัตราการส่งให้ทุกแหล่งกำเนิดมาก ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 3,500 และ 4,500 เซลล์ตามลำดับ แล้วระดับคิวที่สวิตช์ 2 จะลดลงอย่างรวดเร็วประมาณ 200 เซลล์ (มีการปรับให้เท่ากับ fairshare ที่ข่ายเชื่อมโยง 2 เท่ากับ 37.5 Mbps. ทำให้ระดับคิวลดลง) แล้วระดับคิวเพิ่มขึ้นในสถานะอยู่ตัว หลังจากนั้นจะมีการพยายามปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัว โดยอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 4 เท่ากับ 12.5 Mbps. แต่อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 5 และ 6 เท่ากับ 75 Mbps. ซึ่งอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 5 และ 6 ที่ถูกต้องเท่ากับ 62.5 Mbps. การที่อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 5 และ 6 ผิดมาจากการคำนวณค่า C_s ผิดพลาดเป็นปัญหาที่พบของอัลกอริทึม E-FMMRA ในหัวข้อ 3.2 ทำให้ระดับคิวของสวิตช์ 1 มีค่าคงที่ 3,500 เซลล์ แต่ระดับคิวของสวิตช์ 2 ที่มีแหล่งกำเนิด 5 และ 6 เชื่อมอยู่ ส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งที่ผิด ทำให้ระดับคิวมีค่าเพิ่มขึ้นจนขนาดเท่ากับ 10,000 เซลล์ที่สวิตช์รองรับได้ ทำให้เกิดการสูญหายของเซลล์

8) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมด แบนด์วิดท์ของสายเชื่อมโยง 1 เท่ากับ 50 Mbps. และสายเชื่อมโยง 2 เท่ากับ 150 Mbps. ระยะทางแต่ละสายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 3, 5



(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1, 2

รูปที่ 4.75 อัลกอริทึม E-FMMRA ปรับปรุงทั้งหมดแบบจำลอง Parking lot แบนด์วิดท์สายเชื่อมโยงไม่เท่ากัน WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.75 แบนด์วิดท์ของสายเชื่อมโยง 2 มากกว่าสายเชื่อมโยง 1 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 5 และ 6 จะเพิ่มขึ้นมากถึงประมาณ 150 Mbps. ส่วนแหล่งกำเนิด 1 - 4 เพิ่มอัตราการส่งประมาณ 40 Mbps. เนื่องจากระยะทางในโครงข่ายระดับของคิวที่สวิตช์ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 3,000 และ 6,000 เซลล์ตามลำดับ แต่ระดับคิวในสวิตช์ 2 จะปรับลดลงอย่างรวดเร็วถึงประมาณ 100 เซลล์แล้วมีการเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 6,000 เซลล์ หลังจากนั้นสวิตช์ปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1 - 4 ต่ำกว่า 12.5 Mbps. เล็กน้อย และแหล่งกำเนิด 5 และ 6 มีอัตราต่ำกว่า 62.5 Mbps. เล็กน้อย เพราะปรับระดับคิวที่สวิตช์ 1 และ 2 ลดลงอยู่ระดับคิวสอง 2,000 เซลล์ เพื่อปรับเข้าสู่สถานะอยู่ตัว โดยแหล่งกำเนิด 1 - 4 มีอัตราการส่ง 12.5 Mbps. และแหล่งกำเนิด 5 และ 6 มีอัตราการส่ง 62.5 Mbps. แกว่งตัวเล็กน้อย ระดับของคิวสวิตช์ 1 และ 2 อยู่ระดับคิว 2,000 เซลล์ แต่ระดับคิวสวิตช์ 2 แกว่งเล็กน้อย

การวิเคราะห์ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง Parking Lot

จากผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง Parking lot ในรูปที่ 4.68 - 4.75 ถ้าแบนด์วิดท์ทั้ง 2 สายเชื่อมโยงเท่ากัน ระยะทางในโครงข่าย LAN และ WAN ทั้งอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม และอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.68 - 4.71 สามารถแบ่งอัตราการส่งให้ทุกแหล่งกำเนิดเท่ากัน ไม่เกิดความผิดพลาด แต่อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมไม่สามารถควบคุมระดับคิวได้ สำหรับโครงข่าย LAN ระดับคิวจะต่ำกว่าระดับที่กำหนด ถ้าโครงข่าย WAN ระดับคิวจะสูงกว่าระดับที่กำหนด สำหรับอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดสามารถควบคุมระดับคิวที่ระยะทางในโครงข่าย LAN และ WAN ให้อยู่ในระดับที่กำหนดได้ กรณีแบนด์วิดท์ของสายเชื่อมโยง 1 มากกว่าแบนด์วิดท์ของสายเชื่อมโยง 2 จะคล้ายกับกรณีแบนด์วิดท์ของสายเชื่อมโยง 1 น้อยกว่าแบนด์วิดท์ของสายเชื่อมโยง 2 ถ้าระยะทางในโครงข่าย LAN ทั้งอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม และอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.72 - 4.73 ทำการแบ่งอัตราการส่งให้ทุกแหล่งกำเนิดอย่างถูกต้อง มีความเท่าเทียมกันและใช้งานสายเชื่อมโยงเต็มประสิทธิภาพ อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดสามารถควบคุมคิวให้อยู่ระดับที่กำหนด แต่ อัลก

อริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมระดับคิวต่ำกว่าระดับที่กำหนด ถ้าระยะทางในโครงข่าย WAN อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมในรูปที่ 4.74 ค่าพารามิเตอร์ C_b ผิดเพราะการกำหนดขอบเขตของค่า C_b ในปัญหาของอัลกอริทึม E-FMMRA ในหัวข้อ 3.2 ทำให้สวิตช์แบ่งอัตราการส่งให้แก่แต่ละแหล่งกำเนิดผิดพลาด มีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงมากกว่าที่ข่ายเชื่อมโยงรองรับได้ ทำให้ระดับคิวในสวิตช์เพิ่มขึ้นจนไม่สามารถรองรับได้จนเกิดการสูญหายของเซลล์ แต่อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.75 จะค่าพารามิเตอร์ C_b ถูกต้องแล้วแบ่งอัตราการส่งให้ทุกแหล่งกำเนิดถูกต้อง และควบคุมระดับคิวอยู่ที่ระดับที่กำหนด



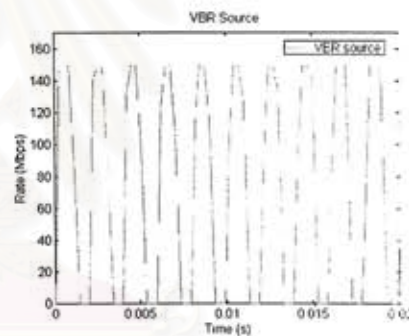
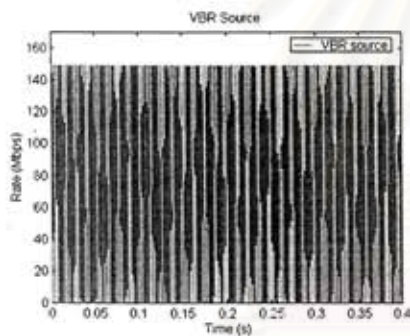
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.3 ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง VBR & ABR

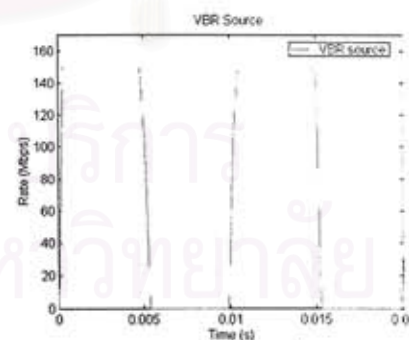
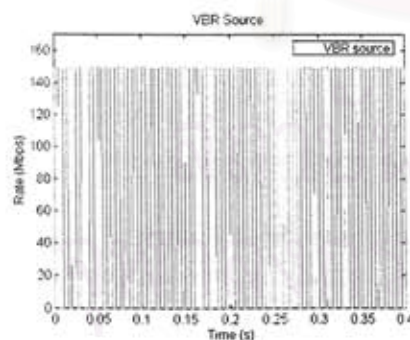
การจำลองการทำงานใช้แบบจำลองรูปที่ 4.4 VBR & ABR การจำลองการทำงานจะแบ่งตามอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมกับอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุง ผลการจำลองการทำงานประกอบด้วย อัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิดของแหล่งกำเนิด ABR และ VBR ขนาดของคิวที่สวิตช์ทั้งหมด

แบบจำลอง VBR & ABR จะมีแบนด์วิดท์ของสายเชื่อมโยงทั้งหมดเท่ากับ 150 Mbps. และทุกสายเชื่อมโยงมีระยะทางเท่ากัน สวิตช์ไม่มีการติดขัด ค่าประวิงเวลาแพร่กระจาย 5 μ s. ต่อกิโลเมตร แบบจำลองมีแหล่งกำเนิด VBR 1 ตัว และแหล่งกำเนิด ABR ทั้งหมด N ตัวมีข้อมูลให้ส่งได้ไม่จำกัด แหล่งกำเนิด ABR มีอัตราการส่งสูงสุดเท่ากับ 150 Mbps. กำหนดค่าอัตราการส่งเริ่มต้นเท่ากับ 5 Mbps. ค่า RIF เท่ากับ 1 และค่า RDF เท่ากับ 1/256 ค่าช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 1,000 เซลล์ ขนาดของคิวเท่ากับ 10,000 เซลล์ ระดับ QT เท่ากับ 500 เซลล์ และระดับ DOT เท่ากับ 2,000 เซลล์ เริ่มต้นส่งข้อมูลเป็นเวลา 0 s. ระยะเวลาการจำลองการทำงานเท่ากับ 1 s.

แหล่งกำเนิด VBR ในแบบจำลอง VBR&ABR จะมีการส่งข้อมูลตามคาบการส่งข้อมูลและการหยุดส่งข้อมูล โดยคาบการส่งข้อมูลและการหยุดส่งข้อมูลจะมีอัตรา การส่งที่คาบการส่งข้อมูลและคาบหยุดส่งข้อมูลที่ไม่เท่ากันในรูปที่ 4.76 แสดงการส่งและหยุดส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิด VBR ที่ใช้จำลองการทำงาน



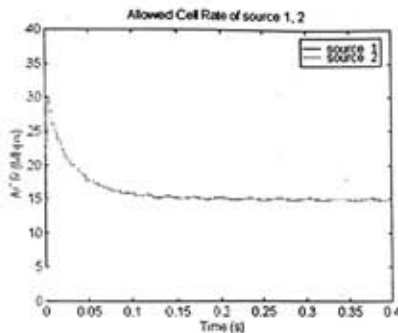
(ก) แหล่งกำเนิด VBR คาบส่ง 1 ms. คาบหยุดส่ง 1 ms. (ข) ขยายอัตราการส่งที่เวลา 0 - 0.002 s.



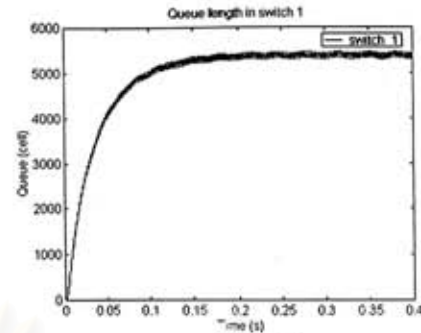
(ค) แหล่งกำเนิด VBR คาบส่ง 5 ms. คาบหยุดส่ง 5 ms. (ง) ขยายอัตราการส่งที่เวลา 0 - 0.002 s.

รูปที่ 4.76 อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR ในแบบจำลอง VBR&ABR

1) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แหล่งกำเนิด ABR 5 แหล่ง และแหล่งกำเนิด VBR คาบการส่ง 1 ms. และหยุดส่ง 1 ms. อัตราการส่ง 150 Mbps. ในรูปที่ 4.76(ก), (ข) ระยะทางแต่ละสายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

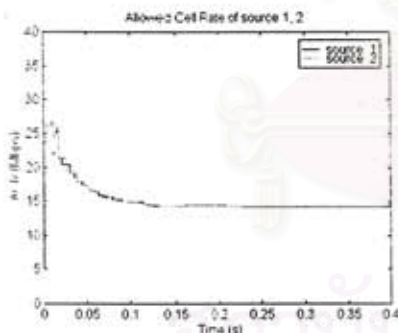


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

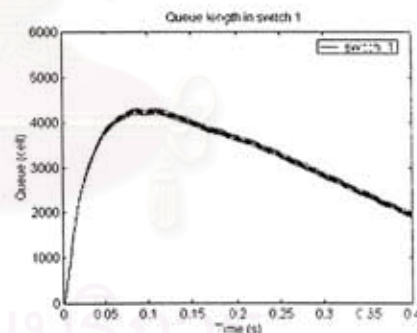
รูปที่ 4.77 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 5 ตัว LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.77 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 30 Mbps. ระดับของคิวเพิ่มถึงขนาด 3,000 เซลล์ อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เฉลี่ยประมาณ 75 Mbps. หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดที่แกว่งตัวประมาณ 15 Mbps. ระดับของคิวจะแกว่งที่ระดับ 5,400 เซลล์

2) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แหล่งกำเนิด ABR 5 แหล่ง และแหล่งกำเนิด VBR คาบการส่ง 1 ms. และหยุดส่ง 1 ms. อัตราการส่ง 150 Mbps. ในรูปที่ 4.76(ก), (ข) ระยะทางแต่ละสายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

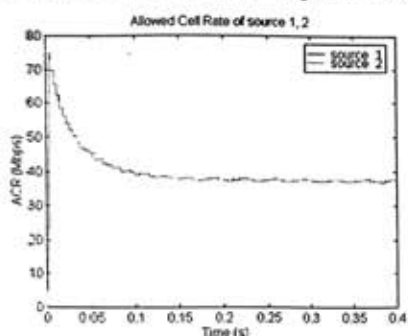


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

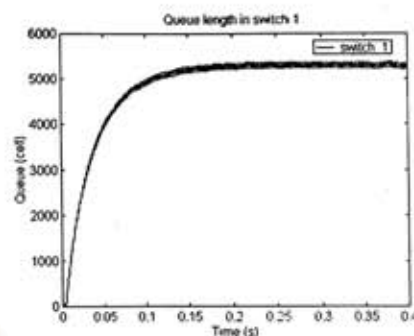
รูปที่ 4.78 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 5 ตัว LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.78 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 27 Mbps. จนระดับของคิวเพิ่มถึงขนาด 2,500 เซลล์ อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR จะลดอยู่ประมาณ 15 Mbps. อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เฉลี่ยประมาณ 75 Mbps. หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดที่แกว่งตัวประมาณ 15 Mbps เรียบมากกว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ระดับของคิวจะลดถึงระดับ 2,000 เซลล์

3) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แหล่งกำเนิด ABR 2 แหล่ง และแหล่งกำเนิด VBR คาบการส่ง 1 ms. และหยุดส่ง 1 ms. อัตราการส่ง 150 Mbps. ในรูปที่ 4.76(ก), (ข) ระยะทางแต่ละฝ่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

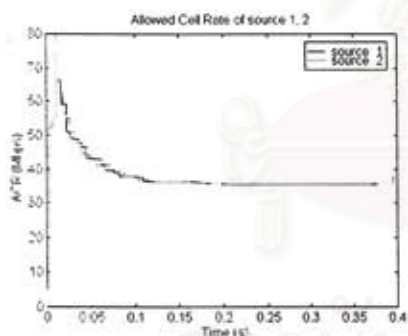


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

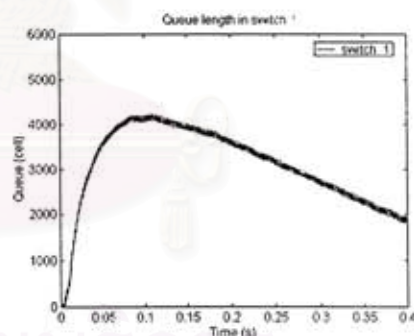
รูปที่ 4.79 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 2 ตัว LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.79 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 75 Mbps. ทำให้ระดับของคิวเพิ่มถึงขนาด 3,500 เซลล์ อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เฉลี่ยประมาณ 75 Mbps. หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดที่แกว่งตัวประมาณ 37.5 Mbps. ระดับของคิวจะแกว่งที่ระดับ 5,300 เซลล์

4) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แหล่งกำเนิด ABR 2 แหล่ง และแหล่งกำเนิด VBR คาบการส่ง 1 ms. และหยุดส่ง 1 ms. อัตราการส่ง 150 Mbps. ในรูปที่ 4.76(ก), (ข) ระยะทางแต่ละฝ่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

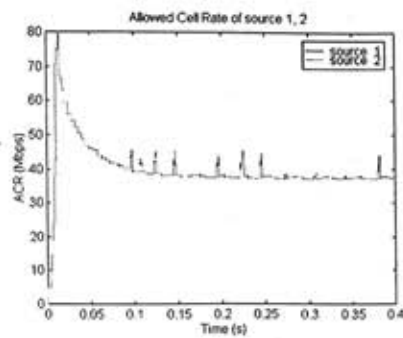


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

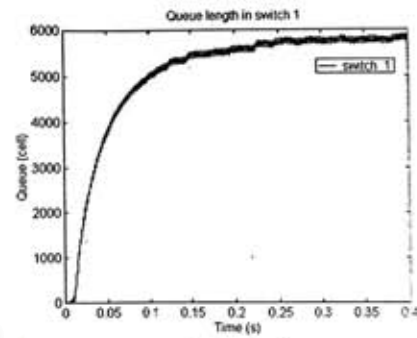
รูปที่ 4.80 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 2 ตัว LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.80 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 80 Mbps. จนระดับของคิวเพิ่มถึงขนาด 3,000 เซลล์ อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR จะลดอยู่ประมาณ 35 Mbps. อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เฉลี่ยประมาณ 75 Mbps. หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดที่แกว่งตัวประมาณ 37 Mbps. ซึ่งเรียบมากกว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ระดับของคิวจะอยู่ที่ระดับ 2,000 เซลล์

5) อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม แหล่งกำเนิด ABR 2 แหล่ง และแหล่งกำเนิด VBR คาบการส่ง 1 ms. และหยุดส่ง 1 ms. อัตราการส่ง 150 Mbps. ในรูปที่ 4.76(ก), (ข) ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

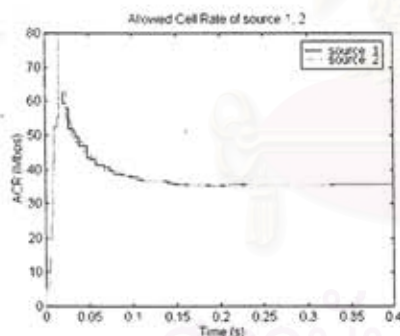


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

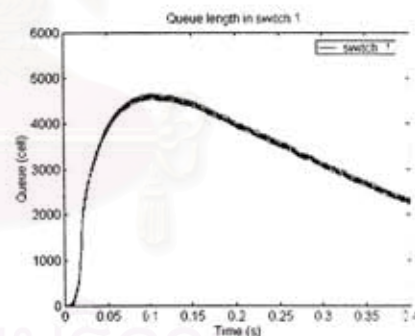
รูปที่ 4.81 อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 2 ตัว WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมในรูปที่ 4.81 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 800 Mbps. ทำให้ระดับของคิวเพิ่มถึงประมาณ 3,000 เซลล์ อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เหลือประมาณ 37 Mbps. หลังจากนั้นสวิตช์จะพยายามปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัว อัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดมีการแกว่งเล็กน้อย ระดับของคิวจะเพิ่มขึ้นแกว่งที่ประมาณ 5,600 เซลล์

6) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แหล่งกำเนิด ABR 2 แหล่ง และแหล่งกำเนิด VBR คาบการส่ง 1 ms. และหยุดส่ง 1 ms. อัตราการส่ง 150 Mbps. ในรูปที่ 4.76(ก), (ข) ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

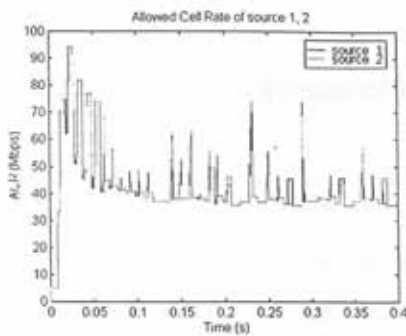


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

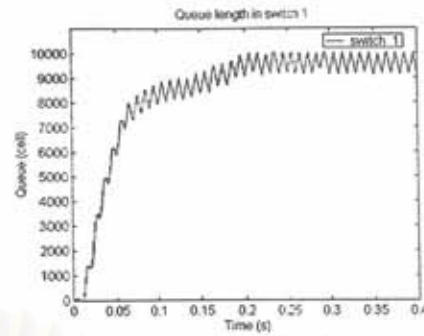
รูปที่ 4.82 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 2 ตัว WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.82 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 80 Mbps. จนระดับของคิวเพิ่มถึงขนาด 3,500 เซลล์ อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR จะลดอยู่ประมาณ 35 Mbps. อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เหลือประมาณ 75 Mbps. หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดประมาณ 35 Mbps. เพื่อระดับของคิวจะลดอยู่ที่ระดับ 2,000 เซลล์

7) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แหล่งกำเนิด ABR 2 แหล่ง และแหล่งกำเนิด VBR คาบการส่งเท่ากับ 5 ms. และหยุดส่ง 5 ms. อัตราการส่ง 150 Mbps. ในรูปที่ 4.76(ค), (ง) ระยะทางแต่ละฝ่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2

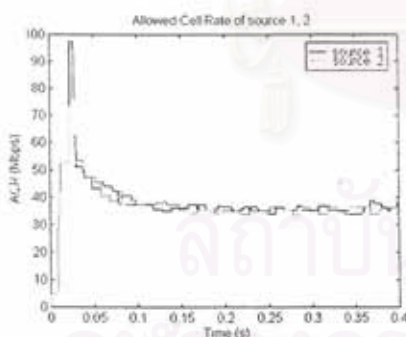


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

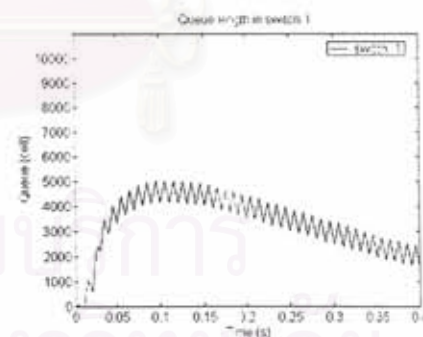
รูปที่ 4.83 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 2 ตัว WAN แหล่งกำเนิด VBR เพิ่มคาบการส่งและหยุดส่ง

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูป 4.83 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 95 Mbps. ทำให้ระดับของคิวเพิ่มถึงประมาณ 7,000 เซลล์ อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR เฉลี่ยประมาณ 75 Mbps. หลังจากนั้นสวิตช์จะพยายามปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดที่แกว่งตัวค่อนข้างมากประมาณ 35 ถึง 60 Mbps. ระดับของคิวจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนขนาดของคิวในสวิตช์ไม่สามารถรองรับได้ ทำให้เกิดการสูญหายของเซลล์

8) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แหล่งกำเนิด ABR 2 แหล่ง และแหล่งกำเนิด VBR คาบการส่ง 5 ms. และหยุดส่ง 5 ms. อัตราการส่ง 150 Mbps. ในรูปที่ 4.76(ค), (ง) ระยะทางแต่ละฝ่ายเชื่อมโยงเท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด 1, 2



(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1

รูปที่ 4.84 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง VBR&ABR แหล่งกำเนิด ABR 2 ตัว WAN แหล่งกำเนิด VBR เพิ่มคาบการส่งและหยุดส่ง

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.84 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณ 95 Mbps. จนระดับของคิวเพิ่มถึงขนาด 2,000 เซลล์ อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR ค่าเฉลี่ยจะลดอยู่ประมาณ 35 Mbps. อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด VBR

เฉลี่ยประมาณ 75 Mbps. หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR แกว้างตัวประมาณ 37 Mbps. ซึ่งมีการแกว่งน้อยกว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ระดับของคิวจะลดอยู่ที่ระดับ 2,000 เซลล์

การวิเคราะห์ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง VBR & ABR

จากผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง VBR & ABR ในรูปที่ 4.77 - 4.84 ถ้ากำหนดมีแหล่งกำเนิด ABR 5 แหล่ง และแหล่งกำเนิด VBR 1 แหล่ง มีคาบการส่งและการหยุดส่งเท่ากับ 0.1 ms. ระยะทางในโครงข่ายแบบ LAN อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.77 อัตราการส่งของแหล่งกำเนิด ABR ค่อนข้างเรียบมากกว่าแบบอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมด ในรูปที่ 4.78 แต่อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงสามารถควบคุมระดับคิวให้อยู่ที่ระดับคิวที่กำหนด (การแกว่งถี่มากที่ระดับกำหนด) มากกว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมที่มีระดับคิวสูงกว่า (แกว่งมากกว่าระดับที่กำหนด) ถ้าลดจำนวนแหล่งกำเนิด ABR เหลือ 2 แหล่งผลการทำงานในรูปที่ 4.79 - 4.80 จะมีผลการทำงานที่คล้ายกับกรณีจำนวนแหล่งกำเนิด ABR 5 แหล่ง ถ้ากำหนดจำนวนแหล่งกำเนิด ABR 2 แหล่ง ระยะทางในโครงข่ายแบบ WAN ระยะทางที่ไกลทำให้อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.81 มีการควบคุมแหล่งกำเนิด ABR ได้ยาก อัตราการส่งมีการแกว่งตัวมากกว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.82 รวมทั้งอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดสามารถควบคุมระดับคิวที่กำหนดได้ แต่อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมระดับคิวเพิ่มขึ้นจนเกินระดับที่รองรับได้ทำให้เกิดการสูญหายของเซลล์ ถ้าเพิ่มคาบการส่งและการหยุดส่งของแหล่งกำเนิด VBR เท่ากับ 1 ms. และแหล่งกำเนิด ABR 2 แหล่ง ระยะทางในโครงข่าย WAN การทำงานในรูปที่ 4.83 - 4.84 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมมีอัตราการส่งที่แกว่งตัวมาก และคิวเพิ่มขึ้นไม่สามารถรองรับได้ทำให้เกิดการสูญหายของเซลล์ แต่อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดลดอัตราการแกว่งตัวและสามารถควบคุมระดับคิวได้ ทำให้ไม่เกิดการสูญหายของเซลล์

แบบจำลอง VBR & ABR อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดจะแบ่งอัตราการส่งให้แหล่งกำเนิดแกว่งตัวถี่มากกว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมแต่ระดับการแกว่งต่ำกว่า และสามารถควบคุมระดับคิวดีกว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.4 ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง GFC1

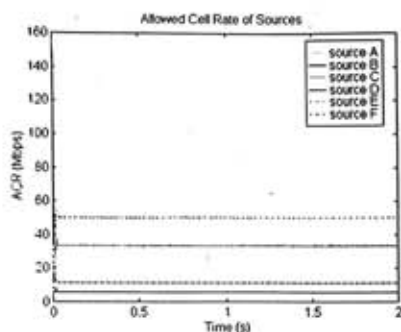
การจำลองการทำงานใช้แบบจำลองรูปที่ 4.5 GFC1 การจำลองการทำงานจะแบ่งตามอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมกับอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมด ผลการจำลองการทำงานประกอบด้วย อัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิด และขนาดของคิวที่สวิตช์ทั้งหมด

แบบจำลอง GFC1 ทุกข่ายเชื่อมโยงมีค่าแบนด์วิดท์ไม่เท่ากันตามแบบจำลองในรูปที่ 4.5 ทุกข่ายเชื่อมโยงมีระยะทางเท่ากัน แหล่งกำเนิดมีข้อมูลให้ส่งได้ไม่จำกัด สวิตช์ไม่มีการติดขัด ค่าประวิงเวลาแพร่กระจาย 5 μ s. ต่อ กิโลเมตร ทุกแหล่งกำเนิดมีอัตราการส่งสูงสุดเท่ากับ 150 Mbps. อัตราการส่งเริ่มต้นเท่ากับ 5 Mbps. ค่า RIF เท่ากับ 1 และค่า RDF เท่ากับ 1/256 ค่าช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 1,000 เซลล์ ขนาดของคิวเท่ากับ 10,000 เซลล์ ระดับ QT เท่ากับ 500 เซลล์ และระดับ DQT เท่ากับ 2,000 เซลล์ เริ่มต้นส่งข้อมูลที่เวลา 0 s. ระยะเวลาการจำลองการทำงานเท่ากับ 2 s.

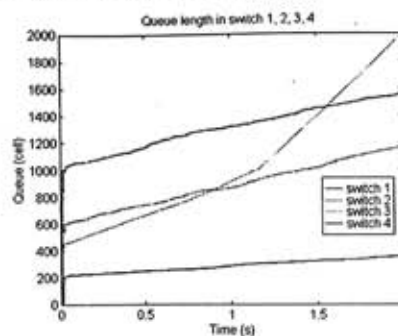


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A - F

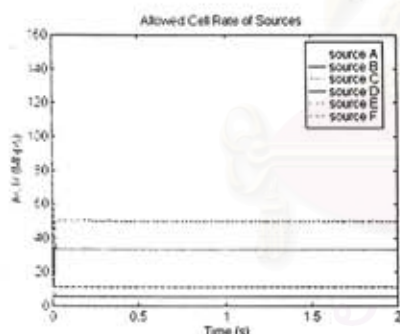


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 - 4

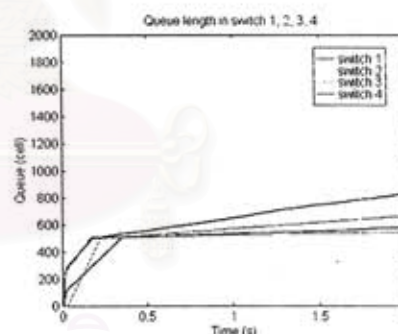
รูปที่ 4.85 อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม แบบจำลอง GFC1 ระยะทางโครงข่าย LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมในรูปที่ 4.85 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม F และ C จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเท่ากับ 150 และ 110 Mbps. ตามลำดับ ส่วนอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A, B, D, E มีค่าเท่ากับ 20, 30, 20 และ 50 Mbps. ตามลำดับ ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 4 เพิ่มขึ้นถึงขนาด 1,000 เซลล์ ส่วนของสวิตช์ 1, 2, 3 มีขนาดคิวเท่ากับ 200, 400 และ 600 เซลล์ตามลำดับ หลังจากนั้นจะมีการปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A, B, C, D, E, F มีค่าประมาณ 6, 11, 33, 6, 11 และ 50 Mbps. ตามลำดับ ระดับของคิวของสวิตช์ 1 - 4 มีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมด ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น LAN เท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A - F

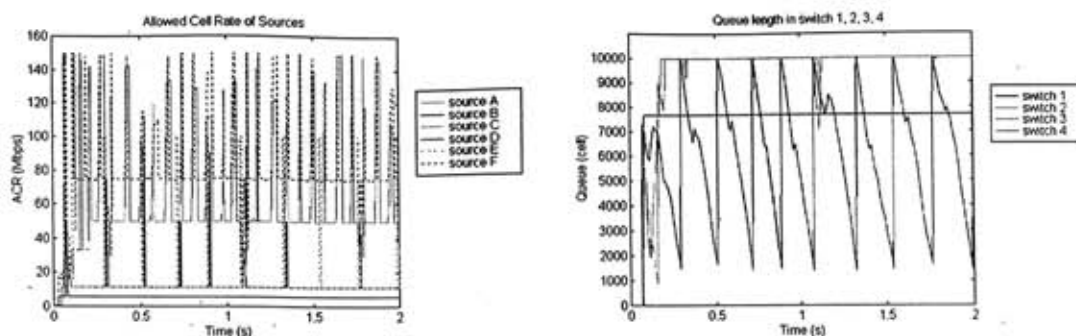


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 - 4

รูปที่ 4.86 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง GFC1 ระยะทางโครงข่าย LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.86 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม F จะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 55 Mbps. ส่วนอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A, B, C, D, E มีการปรับค่าที่ใกล้เคียงกับสถานะอยู่ตัว เพราะการปรับเซลล์ RM 1 ครั้งใน 1 ช่วงเวลาเฉลี่ย ระดับคิวของสวิตช์ 1, 2, 3, 4 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อโครงข่ายเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A, B, C, D, E, F มีค่าประมาณ 6, 11, 33, 6, 11 และ 50 Mbps. ระดับของคิวของสวิตช์ 1 - 4 มีขนาดเพิ่มขึ้นอยู่ในระดับคิวแรก 500 เซลล์ และมีการเพิ่มอย่างช้า ๆ เพราะการควบคุมคิวของอัลกอริทึม E-FMMRA

3) อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



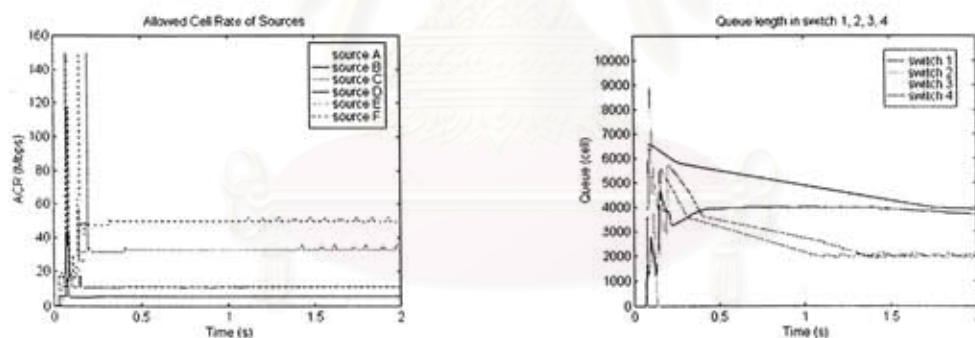
(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A - F

(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 - 4

รูปที่ 4.87 อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม แบบจำลอง GFC1 ระยะทางโครงข่าย WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมในรูปที่ 4.87 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดทุกกลุ่มจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสูงมากเพราะระยะทางในโครงข่ายไกลมาก ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 เพิ่มขึ้นถึงขนาด 7,500 เซลล์ ส่วนของสวิตช์ 2, 3, 4 มีขนาดคิวเท่ากับ 5,500, 5,000 และ 7,000 เซลล์ตามลำดับ หลังจากนั้นโครงข่ายไม่สามารถปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวได้เนื่องจากการคำนวณค่า C_s ผิดพลาดและอัตราการส่งมีค่าสูงกว่าค่าจริง ข้อมูลในคิวเพิ่มขึ้นจนถึงขนาดคิวที่สวิตช์รองรับได้ทำให้เกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูล

4) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมด ระยะทางแต่ละข่ายเชื่อมโยงเป็น WAN เท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A - F

(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 - 4

รูปที่ 4.88 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง GFC1 ระยะทางโครงข่าย WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.88 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดทุกกลุ่มจะเพิ่มขึ้นมีค่าประมาณ 150 Mbps. เนื่องจากระยะทางการส่งเซลล์ RM ชุดแรกใช้เวลานานกว่าจะกลับมาถึงแหล่งกำเนิดทำให้ค่าโหลดแพคเตอร์ต่ำ อัตราการส่งจึงมีค่าเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอัตราการส่งสูงสุดของแต่ละแหล่งกำเนิด ระดับคิวของสวิตช์ 1, 2, 3, 4 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ระดับประมาณ 6,500, 6,500, 9,000 และ 3,000 เซลล์ เมื่อโครงข่ายเข้าหาสถานะอยู่ตัวในเวลาประมาณ 0.4 s. อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A, B, C, D, E, F เท่ากับ 6, 11, 33, 6, 11 และ 50 Mbps. ระดับของคิวของสวิตช์ 1 - 4 ขนาดลดลงอยู่ที่ระดับคิวที่สองโดยที่สวิตช์ 1 และ 4 ค่อยปรับตัวลดลงอย่างต่อเนื่องเพื่อให้อยู่ระดับคิวที่สอง แต่สวิตช์ 2 และ 3 ลดยู่ระดับคิวสอง

การวิเคราะห์ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง GFC1

จากผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง GFC1 ในรูปที่ 4.85 - 4.88 เมื่อแบบจำลองมีระยะทางในโครงข่ายแบบ LAN ทั้งอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมและอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.85 - 4.86 สามารถทำงานได้ถูกต้อง โดยมีการแบ่งอัตราการส่งให้กับทุกกลุ่มแหล่งกำเนิดได้ถูกต้อง ในช่วงการจำลองการทำงาน ระดับคิวของทุกสวิตช์ที่ใช้อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมมีระดับคิวที่เพิ่มขึ้นต่อเนื่องอย่างรวดเร็วแต่ก็ยังอยู่ที่ระดับกำหนด สำหรับสวิตช์ที่ใช้อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดระดับคิวจะเพิ่มขึ้นช้ากว่าอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แต่ถ้าระยะทางในโครงข่ายแบบ WAN อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.87 จะเกิดการคำนวณค่า C_b ที่ผิดพลาด ทำให้สวิตช์แบ่งอัตราการส่งให้กับกลุ่มแหล่งกำเนิดมากกว่าอัตราการส่งที่ถูกต้อง ระดับของคิวเพิ่มขึ้นจนไม่สามารถรองรับได้เกิดการสูญหายของเซลล์ ซึ่งอัตราการส่งของแต่ละกลุ่มแหล่งกำเนิดจะมีการแกว่งตัวที่มากกว่าค่าถูกต้อง แต่อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดมีการแก้ไขในส่วนของการคำนวณค่า C_b และการควบคุมคิวในรูปที่ 4.88 ทำให้สวิตช์แบ่งอัตราการส่งให้กับทุกกลุ่มแหล่งกำเนิดถูกต้องและพยายามควบคุมให้ระดับคิวของทุกสวิตช์อยู่ที่ระดับกำหนด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5.5 ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง GFC2

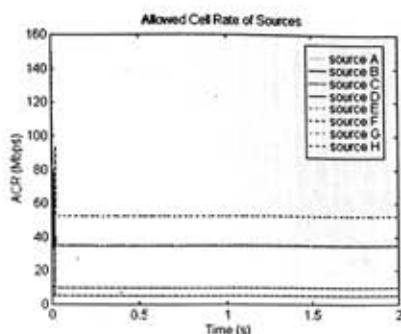
การจำลองการทำงานใช้แบบจำลองรูปที่ 4.6 GFC2 การจำลองการทำงานจะแบ่งตามอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมกับอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุง ผลการจำลองการทำงานประกอบด้วย อัตราการส่งของทุกกลุ่ม แหล่งกำเนิด และขนาดของคิวที่สวิตช์ทั้งหมด

แบบจำลอง GFC2 ทุกสายเชื่อมโยงมีค่าแบนด์วิดท์และระยะทางของโครงข่ายไม่เท่ากัน โดยมีความสัมพันธ์กับค่า D ตามรูปที่ 4.6 แหล่งกำเนิดมีข้อมูลให้ส่งได้ไม่จำกัดและส่งที่อัตราสูงสุด สวิตช์ไม่มีการติดขัด ค่าประวิงเวลาแพร่กระจาย 5 μ s. ต่อกิโลเมตร ทุกแหล่งกำเนิดมีอัตราการส่งสูงสุดเท่ากับ 150 Mbps. อัตราการส่งเริ่มต้นเท่ากับ 5 Mbps. ค่า RIF เท่ากับ 1 และค่า RDF เท่ากับ 1/256 ค่าช่วงเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 1,000 เซลล์ ขนาดของคิวเท่ากับ 20,000 เซลล์ ระดับ QT เท่ากับ 500 เซลล์ และระดับ DQT เท่ากับ 2,000 เซลล์ เริ่มต้นส่งข้อมูลที่เวลา 0 s. ระยะเวลาการจำลองการทำงานเท่ากับ 2 s.

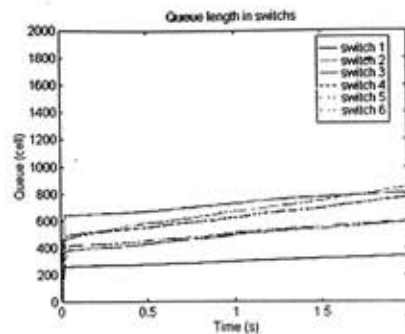


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม ระยะทางโครงข่ายทั้งหมดเป็น LAN สัมพันธ์กับค่า D มีค่าเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A - H

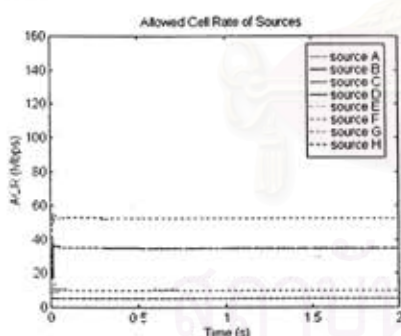


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 - 6

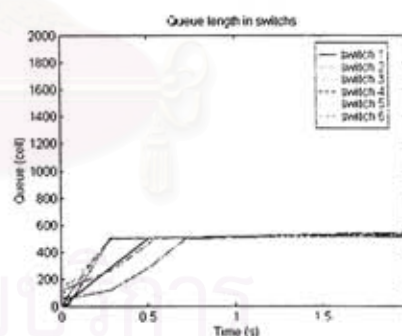
รูปที่ 4.89 อัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิม แบบจำลอง GFC2 ระยะทางโครงข่าย LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ตั้งเดิมในรูปที่ 4.89 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม H จะเพิ่มขึ้นรวดเร็วเท่ากับ 150 Mbps. อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม C และ E จะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 90 Mbps. ส่วนอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A, B, D, F และ G อยู่ใกล้อัตราการส่งที่สถานะอยู่ตัว ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 6 เพิ่มขึ้นประมาณ 600 เซลล์ ส่วนของสวิตช์ 1, 2, 3, 4 และ 5 มีขนาดคิวประมาณ 400 เซลล์ หลังจากนั้นโครงข่ายจะมีการปรับเข้าสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A, B, C, D, E, F, G และ H เท่ากับ 10, 5, 35, 35, 35, 10, 5 และ 52.5 Mbps. ระดับของคิวของสวิตช์ 1 - 6 มีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอย่างช้า ๆ

2) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมด ระยะทางโครงข่ายทั้งหมดเป็น LAN สัมพันธ์กับค่า D มีค่าเท่ากับ 1 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A - H

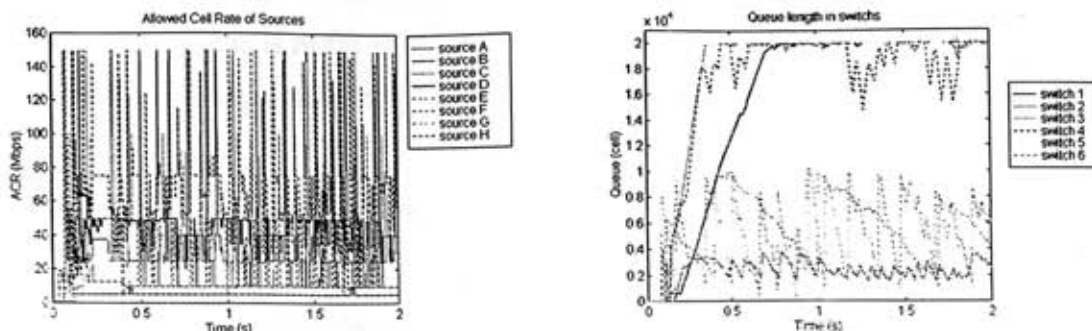


(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 - 6

รูปที่ 4.90 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง GFC2 ระยะทางโครงข่าย LAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.90 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดทุกกลุ่มจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นใกล้กับอัตราการส่งที่สถานะอยู่ตัว ทำให้ระดับของคิวที่สวิตช์ 1 - 6 มีขนาดคิวประมาณ 50 เซลล์ หลังจากนั้นโครงข่ายจะปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A, B, C, D, E, F, G และ H ประมาณ 10, 5, 35, 35, 35, 10, 5 และ 52.5 Mbps. ระดับของคิวสวิตช์ 1 - 6 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนระดับคิวอยู่ที่ระดับคิวแรก 500 เซลล์ แล้วมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

3) อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ระยะทางโครงข่ายทั้งหมดเป็น WAN สัมพันธ์กับค่า D ค่าเท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



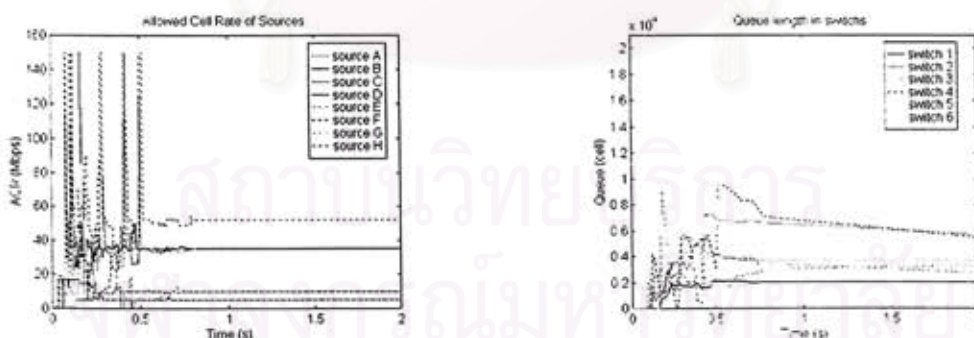
(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A - H

(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 - 6

รูปที่ 4.91 อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม แบบจำลอง GFC2 ระยะทางโครงข่าย WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.91 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดทุกกลุ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วบางแหล่งกำเนิดเท่ากับ 150 Mbps. ทำให้ระดับของคิวสวิตช์ 5 และ 6 เพิ่มขึ้นประมาณ 8,000 เซลล์ ส่วนสวิตช์ 1, 2, 3 และ 4 มีขนาดคิวประมาณ 2,000 เซลล์ หลังจากนั้นโครงข่ายพยายามปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวแต่มีการคำนวณค่า C_u ผิดพลาด ทำให้สวิตช์คำนวณค่าอัตราการส่งของแต่ละแหล่งกำเนิดผิด โดยอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดทุกกลุ่มมากกว่าอัตราการส่งที่ต้องการ ระดับของคิวสวิตช์ 1, 2 และ 4 มีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเกินขนาดที่สวิตช์รองรับได้ (20,000 เซลล์) ดังนั้นสวิตช์จำเป็นต้องทิ้งเซลล์ที่เข้ามาทำให้เกิดการสูญหายของเซลล์ ส่วนระดับคิวสวิตช์ 3, 5 และ 6 มีการแกว่งตัวมาก โครงข่ายไม่สามารถปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวได้

4) อัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมด ระยะทางโครงข่ายทั้งหมดเป็น WAN สัมพันธ์กับค่า D มีค่าเท่ากับ 1,000 กิโลเมตร



(ก) อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A - H

(ข) ขนาดของคิวที่สวิตช์ 1 - 6

รูปที่ 4.92 อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แบบจำลอง GFC2 ระยะทางโครงข่าย WAN

จากผลการจำลองการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่มีการปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.92 ช่วงสถานะชั่วคราวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดทุกกลุ่มจะเพิ่มสูงกว่าอัตราการส่งที่สถานะอยู่ตัว บางกลุ่มแหล่งกำเนิดมีอัตราการส่งเท่ากับ 150 Mbps. ทำให้ระดับของคิวสวิตช์ 5 เพิ่มขึ้นรวดเร็วประมาณ 10,000 เซลล์ ส่วนระดับคิวที่สวิตช์ 1, 2, 3, 4

และ 6 ประมาณ 4,000 เซลล์ เมื่อถึงเวลา 0.6 s. โคร่งข่ายจะปรับเข้าหาสถานะอยู่ตัวอัตราการส่งของแหล่งกำเนิดกลุ่ม A, B, C, D, E, F, G และ H เท่ากับ 10, 5, 35, 35, 10, 5 และ 52.5 Mbps. ตามลำดับ ระดับของคิวสวิตซ์ 1 - 6 พยายามลดลงอย่างช้า ๆ จนระดับคิวอยู่ที่ระดับคิวที่สอง 2,000 เซลล์

การวิเคราะห์ผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง GFC2

จากผลการจำลองการทำงานแบบจำลอง GFC2 ในรูปที่ 4.89 - 4.92 เมื่อแบบจำลองมีระยะทางในโครงข่ายแบบ LAN ทั้งอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมและอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดในรูปที่ 4.89 - 4.90 สามารถทำงานได้ถูกต้อง โดยมีการแบ่งอัตราการส่งให้กับทุกกลุ่มแหล่งกำเนิดได้ถูกต้อง ในช่วงการจำลองการทำงานระดับคิวของทุกสวิตซ์อยู่ที่ระดับกำหนด แต่ถ้าระยะทางในโครงข่ายแบบ WAN อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในรูปที่ 4.91 จะเกิดการคำนวณค่า C_b ที่ผิดพลาด ทำให้สวิตซ์แบ่งอัตราการส่งให้กับกลุ่มแหล่งกำเนิดมากกว่าอัตราการส่งที่ถูกต้อง ระดับของคิวเพิ่มจนไม่สามารถรองรับได้เกิดการสูญหายของเซลล์ แต่อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดมีการแก้ไขในส่วนของการคำนวณค่า C_b และการควบคุมคิวในรูปที่ 4.92 ทำให้สวิตซ์แบ่งอัตราการส่งให้กับทุกกลุ่มแหล่งกำเนิดถูกต้องและพยายามควบคุมให้ระดับคิวของทุกสวิตซ์อยู่ที่ระดับกำหนด ซึ่งผลการทำงานคล้ายกับการจำลองการทำงานของแบบจำลอง GFC1

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

อัลกอริทึม FMMRA พื้นฐานนั้น ไม่มีการใช้ค่าโหลดแพคเตอร์ช่วยในการคำนวณอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิด ดังนั้นถ้าแหล่งกำเนิดไม่สามารถส่งข้อมูลได้ตลอดเวลาอัลกอริทึม FMMRA พื้นฐานจะไม่สามารถใช้งานช่วยเชื่อมโยงได้เต็มประสิทธิภาพ

อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในบางโครงข่าย เช่นโครงข่ายที่มีลักษณะการเชื่อมต่อของแหล่งกำเนิดแบบ Peer to peer เป็นการเชื่อมต่อระหว่างแหล่งกำเนิดผ่านข่ายเชื่อมโยงที่มีแบนด์วิดท์แต่ละข่ายเชื่อมโยงเท่ากันทั้งหมด และลักษณะการเชื่อมต่อของแหล่งกำเนิดแบบ Parking lot ที่มีแหล่งกำเนิดแทรกเข้าและออกจากแต่ละข่ายเชื่อมโยงโดยแต่ละข่ายเชื่อมโยงจะมีแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้เท่ากัน เป็นต้น แต่สำหรับบางโครงข่าย อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นโครงข่ายที่มีลักษณะของการเชื่อมต่อแบบ Parking lot มีที่แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงที่ไม่เท่ากัน การเชื่อมต่อแบบ GFC1 และ GFC2 เป็นต้น อาจจะทำให้เกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูลและไม่เกิดความเท่าเทียมกันของแต่ละแหล่งกำเนิด

ปัญหาที่เกิดขึ้นของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ประกอบด้วย

- การตั้งค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึม E-FMMRA ประกอบด้วยค่าช่วงเวลาเฉลี่ย (AI) และระดับการตัดสินใจของคิว (QT และ DOT) ถ้าตั้งค่าพารามิเตอร์ไม่ดีพอจะทำให้อัลกอริทึม E-FMMRA ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- การกำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่างของพารามิเตอร์อัลกอริทึม E-FMMRA ที่เกี่ยวกับแบนด์วิดท์ที่ใช้งาน ทำให้เกิดการคำนวณที่ผิดพลาดของอัลกอริทึม โดยขอบเขตบนคือค่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ของบริการ ABR (C) และขอบเขตล่างเท่ากับศูนย์ ซึ่งถ้าไม่มีการกำหนดขอบเขตจะทำให้เกิดการผิดพลาดได้ เช่น อัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดรวมกันมากกว่าที่แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงสามารถรองรับได้ทั้งหมดมาก ทำให้เกิดความเสี่ยงที่คิวในสวิตช์จะรองรับได้ พารามิเตอร์ที่เกิดการผิดพลาดคือ แบนด์วิดท์ของการเชื่อมต่อที่ติดขัดทั้งหมด (C_p) และอัตราการส่งที่สวิตช์แนะนำ (A_{max})

- การควบคุมระดับคิวของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิม ไม่สามารถควบคุมให้อยู่ระดับที่ต้องการได้ ถ้าไม่มีข้อมูลอยู่ในคิวจะทำให้เกิดการใช้งานข่ายเชื่อมโยงไม่เต็มประสิทธิภาพ ถ้าข้อมูลอยู่ในคิวมากเกินไปจนคิวไม่สามารถรองรับได้ทำให้เกิดการสูญหายของเซลล์ ซึ่งบริการ ABR จะไม่สามารถทนต่อการสูญหายของเซลล์ได้

ดังนั้นการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA เพื่อให้ใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพทุกโครงข่ายนั้น จำเป็นต้องแก้ไขปัญหาของอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมในแต่ละส่วน ประกอบด้วย

การตั้งค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึม E-FMMRA

อัลกอริทึม E-FMMRA จะมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ค่าช่วงเวลาเฉลี่ย เพื่อหาค่าเฉลี่ยการใช้งานข่ายเชื่อมโยง และช่วยในการคำนวณอัตราการส่งของทุกแหล่งกำเนิดโดยใช้ค่าช่วงเวลาเฉลี่ยแบบจำนวนเซลล์ ซึ่งถ้ามีการกำหนดน้อยเกินไปจะทำให้มีการประมาณค่าที่มีการเฉลี่ยน้อยไปเกิดการตอบสนองเร็วทำให้เกิดการแกว่งตัว ถ้ากำหนดมากเกินไปจะทำให้โครงข่ายตอบสนองช้าต่อการเปลี่ยนแปลงในส่วนของ การปรับค่าโหนดแพคเตอร์ที่ช้า ดังนั้นเพื่อให้อัลกอริทึม E-FMMRA ทำงานได้ดีจะกำหนดช่วงเวลาเฉลี่ยจำนวนเซลล์ขนาด 1000 เซลล์ ส่วนการกำหนดระดับคิวที่ใช้ในการตัดสินใจความคับคั่งของโครงข่ายจะกำหนดระดับการตัดสินใจแรก OT เท่ากับ 500 เซลล์ และระดับการตัดสินใจที่สอง DOT เท่ากับ 2000 เซลล์

การปรับพารามิเตอร์เมื่อตั้งค่าขอบเขตบนและขอบเขตล่าง

อัลกอริทึม E-FMMRA มีการตั้งค่าขอบเขตบนและขอบเขตล่างของพารามิเตอร์เกี่ยวกับแบนด์วิดท์ โดยปัญหาของอัลกอริทึม E-FMMRA ที่เกิดขึ้นประกอบด้วยพารามิเตอร์ C_b และ A_{max} โดยพารามิเตอร์ C_b มีการปรับผิดพลาดเมื่ออยู่ในโครงข่าย Parking lot ที่แบนด์วิดท์ข่ายเชื่อมโยงไม่เท่ากันและระยะทางโครงข่ายแบบ WAN การปรับค่า C_b ทุกครั้งเมื่อได้รับเซลล์ RM ทิศทางย้อนกลับ ทำให้อัลกอริทึม E-FMMRA มีการแบ่งอัตราการส่งให้ทุกแหล่งกำเนิดที่ผิดพลาด ข้อมูลในคิวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูล วิธีแก้ไขอัลกอริทึม E-FMMRA คือมีการปรับค่า C_b ใหม่ทุกครั้งเมื่อครบช่วงเวลาเฉลี่ย แล้วจะแบ่งอัตราการส่งใหม่ให้ทุกแหล่งกำเนิดถูกต้อง ส่วนพารามิเตอร์ A_{max} จะมีการปรับค่าที่ผิดพลาดเมื่อค่า C เท่ากับค่า C_b ทำให้ค่า A_{max} มีค่าเท่ากับศูนย์ คือโครงข่ายแนะนำให้แหล่งกำเนิดหยุดส่งข้อมูล ซึ่งเป็นการผิดพลาด ดังนั้นวิธีแก้ไขคือเมื่อค่า C เท่ากับ C_b จะไม่มีการปรับค่า A_{max}

การควบคุมระดับคิว

การควบคุมระดับคิวของอัลกอริทึม E-FMMRA ยังไม่มีประสิทธิภาพ กล่าวคือบางโครงข่ายไม่สามารถควบคุมให้ระดับคิวอยู่ที่ระดับกำหนดได้ ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงการควบคุมระดับคิวของอัลกอริทึม E-FMMRA เพื่อให้ข้อมูลในคิวอยู่ในระดับที่ออกแบบ ไม่ให้เกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูล และมีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงเต็มประสิทธิภาพ

การปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA เพิ่มเติม

อัลกอริทึม E-FMMRA มีการปรับอัตราการส่งที่แนะนำให้แหล่งกำเนิดทุกครั้งที่ได้รับเซลล์ RM ซึ่งที่สถานะอยู่ตัวจะเป็นการสิ้นเปลืองการทำงานของอัลกอริทึม และมีการปรับที่บ่อยครั้งมากเกินไป ดังนั้นเพื่อลดความซับซ้อนในการทำงานของอัลกอริทึม E-FMMRA จะทำการปรับเซลล์ RM ของแต่ละแหล่งกำเนิดแค่ 1 ครั้งใน 1 ช่วงเวลาเฉลี่ยที่ทำการหาปริมาณการใช้งานของข่ายเชื่อมโยง

ดังนั้นอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด จะมีการปรับปรุงในส่วนการกำหนดพารามิเตอร์ให้เหมาะสม ข้อกำหนดในการปรับพารามิเตอร์ การตรวจสอบพารามิเตอร์ให้มีการปรับค่าถูกต้อง และการควบคุมคิวให้อยู่ระดับที่กำหนด การทดสอบอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดกับแบบจำลอง Peer to peer และแบบจำลอง Parking lot ที่อัลกอริทึม E-FMMRA สามารถทำงานได้ถูกต้อง อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดสามารถทำงานได้ถูกต้อง แหล่งกำเนิดส่งข้อมูลได้เท่าเทียมกัน มีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงเต็มประสิทธิภาพ และการประวิงเวลาที่เหมาะสมสามารถควบคุมระดับคิวให้อยู่ระดับที่กำหนดได้

การทดสอบอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดกับแบบจำลอง Parking lot แบบจำลอง GFC1 แบบจำลอง GFC2 และแบบจำลองที่มีแหล่งกำเนิด VBR และ ABR ซึ่งอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมไม่สามารถควบคุมการทำงานได้ถูกต้อง อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงสามารถแบ่งแบนด์วิดท์ให้กับทุกการเชื่อมต่อถูกต้อง ไม่มีการสูญหายของเซลล์ข้อมูล

อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมสามารถแบ่งอัตราการส่งได้เท่าเทียมกันและมีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงได้เต็มประสิทธิภาพเทียบกับอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด แต่ในส่วนของประวิงเวลาในคิวนั้นอัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมไม่สามารถควบคุมให้อยู่ในระดับที่กำหนดได้ ซึ่งอัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดสามารถควบคุมระดับคิวให้อยู่ที่ระดับที่กำหนดได้จึงมีการประวิงเวลาตามที่กำหนด และการสูญหายของเซลล์ข้อมูล อัลกอริทึม E-FMMRA ดั้งเดิมมีการสูญหายเมื่อทำงานในแบบจำลองที่มีแบนด์วิดท์ของแต่ละข่ายเชื่อมโยงแตกต่างกันมาก แต่อัลกอริทึม E-FMMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมดสามารถคำนวณอัตราการส่งให้ทุกแหล่งกำเนิดถูกต้องทำให้ไม่มีการสูญหายของเซลล์ข้อมูล

5.2 ข้อดีและข้อเสียของการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA ทั้งหมด

ข้อดีและข้อเสียของการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA ทั้งหมดแยกเป็น

ข้อดีของการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA ทั้งหมด

1. สามารถแบ่งอัตราการส่งให้ทุกแหล่งกำเนิดถูกต้องในโครงข่ายที่ซับซ้อน ซึ่งอัลกอริทึม E-FMMRA เกิดการทำงานที่ผิดพลาด
2. สามารถควบคุมระดับคิวให้อยู่ระดับที่ต้องการได้ ไม่เกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูล
3. มีการใช้งานข่ายเชื่อมโยงได้เต็มประสิทธิภาพ ไม่เกิดช่วงเวลาที่ข่ายเชื่อมโยงไม่มีการใช้งาน (เวลาที่สวิตช์ส่งข้อมูลเข้าไปในโครงข่าย)

ข้อเสียของการปรับปรุงอัลกอริทึม E-FMMRA ทั้งหมด

1. เพิ่มความซับซ้อนในการทำงานของอัลกอริทึม เช่นการปรับปรุงการคำนวณค่า C_u ซึ่งจะต้องทำทุกครั้งที่ครบช่วงเวลาเฉลี่ย และการควบคุมระดับคิวที่ต้องเปรียบเทียบกับระดับคิวในสถิติกับระดับที่กำหนด เป็นต้น โดยจำนวนพารามิเตอร์ที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ $4N+11$ ตัว ซึ่งค่า N เป็นจำนวนแหล่งกำเนิดของบริการ ABR และการคำนวณที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ $21+3N$ ครั้งในการปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง การคำนวณที่เปลี่ยนไปเท่ากับ 1 ครั้ง ในการปรับเซลล์ RM 1 ครั้ง และการคำนวณที่ลดลงในการปรับเซลล์ RM เท่ากับ $(AI/N_{rm} - N)$ ครั้ง โดยที่ค่า AI เป็นช่วงเวลาเฉลี่ยที่กำหนด
2. ถ้าระบบโคจรขายอยู่ในสถานะอยู่ตัว (steady state) ส่วนอัลกอริทึมที่ปรับปรุงทำให้โครงข่ายทำงานมากกว่าเดิม
3. ระบบสามารถควบคุมระดับคิวได้ แต่อัตราการส่งของแหล่งกำเนิดอาจจะมีการแกว่งตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในสถานะอยู่ตัว

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังไม่มีการจำลองการทำงานประเภทของแหล่งกำเนิดประเภทอื่น เช่นแหล่งกำเนิด ABR ที่มีการกำหนดค่าอัตราการส่งต่ำสุด (MCR) โดยแหล่งกำเนิดจะต้องส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งต่ำสุดเท่ากับ MCR แหล่งกำเนิดที่มีการส่งข้อมูลด้วยอัตราที่น้อยกว่าค่า ER ในเซลล์ RM ที่โครงข่ายแนะนำอัตราการส่งให้กับแหล่งกำเนิด แหล่งกำเนิดบริการ ABR ที่มีการควบคุมอัตราการส่งด้วยโปรโตคอล TCP เป็นต้น
2. การทำงานร่วมกันระหว่างอัลกอริทึม E-FMRA ที่ปรับปรุงทั้งหมด กับอัลกอริทึมควบคุมความคับคั่งแบบ rate-based อื่น ซึ่งการทำงานระหว่างอัลกอริทึมในโครงข่ายเดียวกันจะมีการปรับค่า ER ในเซลล์ RM ที่แตกต่างกัน อาจจะทำให้เกิดปัญหาในการทำงานทำให้มีการใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพ ควรจะศึกษาผลกระทบของการใช้งานร่วมกันของหลายอัลกอริทึม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. W. Stallings. *High-Speed Networks:TCP/IP and ATM Design Principles*. Prentice Hall, 1998.
2. T. - H. Wu, and N. Yoshikai. *ATM Transport and Network Integrity*. Academic press, 1997.
3. R. Handel, M. N. Huber, and S. Schroder. *ATM Networks Concept, Protocols, Applications*. second edition, Addison-Wesley publishing company , 1994.
4. The ATM Forum. *The ATM Forum Traffic Management Specification Version 4.0*, Apr. 1996.
5. K. K. Ramakrishnan, and P. Newman. Integration of Rate and Credit Schemes for ATM Flow Control. *IEEE Network*, Vol 9, Issue 2, pp.25-39, Mar.-Apr. 1995.
6. N. Yin. Rate-based Flow Control and It's Application in IP/ATM Internetwork. *Proceeding of Electronics Industries Forum of New England*, 1997.
7. F. Bonomi, and K. W. Fendick. The Rate-Based Flow Control Framework for the Available Bit Rate ATM Service. *IEEE Network*, Vol 9, Issue 2, pp.25-39, Mar.-Apr. 1995.
8. R. Jain, S. Kalyanaraman, R. Goyal, S. Fahmy, and R. Viswanathan. ERICA Switch Algorithm: A Complete Description. *ATM Forum/96-1172*.
9. L. Kalampoukas, A. Varma, and K. K. Ramakrishnan. Dynamics of an Explicit Rate Allocation Algorithm for Available Bit Rate (ABR) Service in ATM Networks. *Proceedings of International IEEE-IFIP Conference on Broadband Communications*, Montreal, Canada, Apr. 1996.
10. Y. Afek. Y. Mansour, and Z. Ostfeld. Phantom : A Simple and Effective Flow Control Scheme. *Proceedings of ACM SIGCOMM*, Aug. 1996.
11. A. Arulambalam, X. Chen, and N. Ansari. Allocating Fair Rates for Available Bit Rate Service in ATM Networks. *IEEE Communications Magazine*, Vol 34, Issue 11, pp.92-100, Nov. 1996.
12. A. Arulambalam, X. Chen, and N. Ansari. An Intelligent Explicit Rate Control Algorithm for Available Bit Rate Service in ATM Network. *Proceedings of International Conference on Communications 1997*, pp.200-204, Montreal Canada, Jun. 1997.
13. F. M. Chiussi, A. Arulambalam, Y. Xia, and X. Chen. Explicit Rate ABR Scheme Using Traffic Load as Congestion Indicator. *Proceedings of Computer Communications and Network 1997*, pp.76-84, Aug. 1997.
14. B. Kim, B. G. Kim, and H. Chong. Dynamic Averaging Interval Algorithm for ERICA ABR Control Scheme. *ATM Forum / 96-0062*.
15. B. Vandalore, R. Jain, R. Goyal, and S. Fahmy. Design and Analysis of Queue Control Function for Switch Schemes. *ATM Forum / 97-1087R1*.

16. R. J. Simcoe. Test Configurations for Fairness and Other Tests. ATM Forum / 94-0557.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน



นายบุญช่วง ต้นสุเทพวีรวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2518 ที่เขตบางรัก จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย