หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
การควบคุมทราฟฟิกในโครงข่ายเอทีเอ็ม

2.1 การควบคุมทราฟฟิกในโครงข่าย ATM

ATM Forum Traffic Management 4.0 [1] ได้แบ่งระดับการให้บริการของโครงข่าย ATM ตามประเภทของแหล่งกำเนิดข้อมูล เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานแบบต่าง ๆ ได้ ระดับการให้บริการของโครงข่าย ATM จะเป็นดังนี้

1. CBR (Constant Bit Rate) ใช้รองรับแหล่งกำเนิดข้อมูลที่ต้องการอัตราการส่งข้อมูลคงที่ที่ Peak Cell Rate (PCR) โดยไม่ต้องการให้เกิดการสูญเสียข้อมูลและเกิดการหน่วงเวลาขึ้นในระหว่างการส่ง เช่น โทรศัพท์ และ สัญญาณภาพวีดีโอในลักษณะที่ยังไม่ได้รับการบีบอัด

2. rt-VBR (Real-Time Variable Bit Rate) ใช้รองรับแหล่งกำเนิดข้อมูลที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ และต้องการใช้งานในการส่งแบบ Real-time เช่น สัญญาณภาพวีดีโอที่ได้รับการบีบอัดแล้ว เซลล์ข้อมูลที่ส่งแบบนี้จะได้รับประกันโดยโครงข่ายว่าจะไม่มีการสูญหายของเซลล์ข้อมูล และ มีการหน่วงเวลาอยู่ในระดับต่ำตามที่ต้องการ การต่อเชื่อมประเภทนี้จะควบคุมการส่งโดยมีตัวแปรได้แก่ PCR, Sustainable Cell Rate (SCR) และ Maximum Burst Size (MBS)

3. nrt-VBR (Non-Real-Time Variable Bit Rate) ใช้รองรับแหล่งกำเนิดข้อมูลที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามเวลาได้ และไม่ต้องการการใช้งานแบบเวลาจริง (Non-Real-time) เช่น การสื่อสารข้อมูลแบบ Bursty traffic ข้อมูลที่อยู่บนการเชื่อมต่อประเภท nrt-VBR จะได้รับการรับประกันการสูญหายของข้อมูล แต่จะไม่ได้รับประกันเวลาประวิง การต่อเชื่อมประเภทนี้จะควบคุมการส่งโดยมีตัวแปรได้แก่ PCR, SCR และ MBS

4. UBR (Unspecified Bit Rate) ใช้รองรับแหล่งกำเนิดข้อมูลที่ไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูลที่อัตราส่งที่แน่นอน และการส่งผ่านข้อมูลก็อาจเกิดการสูญเสียของเซลล์ข้อมูลได้ เช่น การสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์ที่ไม่ต้องการคุณภาพการส่งมากนัก

5. ABR (Available Bit Rate) ใช้รองรับแหล่งกำเนิดข้อมูลที่ไม่จำเป็นต้องส่งข้อมูลที่มีอัตราส่งที่แน่นอน และ ไม่ต้องการให้เกิดการสูญเสียของเซลล์ข้อมูล แต่ยอมให้มีการหน่วงเวลาในการส่งได้ เช่น การสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์ การควบคุมความคับคั่งของทราฟฟิกจะทำได้โดยอาศัยการป้อนกลับของข้อมูลที่แสดงถึงสถานะของโครงข่ายมายังผู้ส่ง เพื่อให้แหล่งกำเนิดสามารถคำนวณอัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสมที่โครงข่ายสามารถรับได้จริง ทำให้สามารถใช้แบนด์วิดท์ของโครงข่ายที่เหลือจากการบริการแบบอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของระดับการให้บริการต่าง ๆ จะเป็นดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของการให้บริการแบบต่าง ๆ ในโครงข่าย ATM

คุณสมบัติ	ประเภทการให้บริการ				
	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	UBR	ABR
Traffic Parameter:					
PCR and CDVT(4,5)	Specified			Specified$_2$	Specified$_3$
SCR, MBS, CDVT (4,5)	N/A	Specified		N/A	
MCR$_4$	N/A			N/A	Specified
QoS Parameters :					
Peak-to-peak CDV	Specified		Unspecified		
MaxCTD	Specified		Unspecified		
CLR$_4$	Specified			Unspecified	See Note 1
คุณสมบัติอื่น ๆ :					
Feedback	Unspecified				Specified$_6$

Note :

1. CLR มีค่าต่ำเมื่อมีการปรับอัตราการส่งเซลล์ตามข้อมูลป้อนกลับจากโครงข่าย
2. ไม่ใช้ CAC และ UPC ควบคุม
3. แสดงค่าสูงสุดที่ส่งได้ ค่าที่ใช้ในการส่งจริงจะพิจารณาจากข้อมูลป้อนกลับจากโครงข่าย
4. เป็นตัวแปรที่บ่งบอกแน่นอนหรือบ่งบอกโดยนัยสำหรับ PVCs (Permanent VCs) หรือ SVCs (Switched VCs)
5. CDVT คือ Cell Delay Variation Tolerance ไม่เป็นค่าเฉพาะสำหรับการเชื่อมต่อใด ๆ
6. ดูรายละเอียดใน ABR Flow Control

2.2 การควบคุมการส่งข้อมูลบนการให้บริการแบบ ABR ในโครงข่าย ATM

การให้บริการแบบ ABR นั้นถูกออกแบบมาให้ใช้งานในการส่งข้อมูลคอมพิวเตอร์ โดยพยายามให้การสูญเสียข้อมูลน้อยที่สุด ในขณะที่สามารถใช้งานทรัพยากรที่เหลือจากการให้บริการแบบอื่นของโครงข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการป้อนกลับสถานะความคับคั่งมาจากโครงข่าย โดย ATM Forum Traffic Management 4.0 ได้กำหนดคุณลักษณะของการส่งข้อมูลบนการให้บริการแบบ ABR ไว้เป็นแบบการควบคุมอัตราการส่ง (Rate based Flow Control) [2] โดยปรับอัตราส่งตามข่าวสารความคับคั่งที่ป้อนกลับจากสวิตช์ในโครงข่าย สวิตช์จะตรวจสอบปริมาณทราฟฟิก และ คำนวณแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่จากการให้บริการแบบอื่น พร้อมทั้งคำนวณอัตราส่งที่เท่าเทียมกันสำหรับทุก ๆ การเชื่อมต่อ และ ตัดสินสถานะความคับคั่งของโครงข่าย จากนั้นจะป้อนกลับข้อ

มูลดังกล่าวกลับไปสู่แหล่งกำเนิดโดยใช้เซลล์ RM (Resource Management Cell – RM cell) ข่าวสารความคับคั่งที่อยู่ในเซลล์ RM ได้แก่

1. CI (congestion indication) เป็นค่าที่แสดงถึงสถานะความคับคั่งของโครงข่าย หากมีค่าเป็น 1 แสดงว่าเกิดความคับคั่งขึ้นในโครงข่าย และ แหล่งกำเนิดควรปรับอัตราส่งให้ลดลง เพื่อลดความคับคั่งในโครงข่าย และหากมีค่าเป็น 0 แสดงว่าไม่เกิดความคับคั่ง ทำให้แหล่งกำเนิดสามารถเพิ่มอัตราส่งได้อีก

2. NI (No increase) ในบางกรณีนั้นโครงข่ายยังไม่เกิดความคับคั่งขึ้น แต่มีแนวโน้มที่จะเกิดความคับคั่งขึ้นหากว่ามีการเพิ่มอัตราส่งขึ้นอีก ดังนั้น NI จึงมีค่าเป็น 1 เพื่อเป็นการห้ามมิให้แหล่งกำเนิดกำเนิดเพิ่มอัตราส่งขึ้นอีก ซึ่งอาจจะทำให้โครงข่ายเกิดความคับคั่งขึ้นอีก

3. ER (explicit rate) คือ อัตราส่งที่โครงข่ายสามารถรองรับได้โดยไม่ก่อให้เกิดความคับคั่งขึ้นในโครงข่าย ในขณะปัจจุบัน

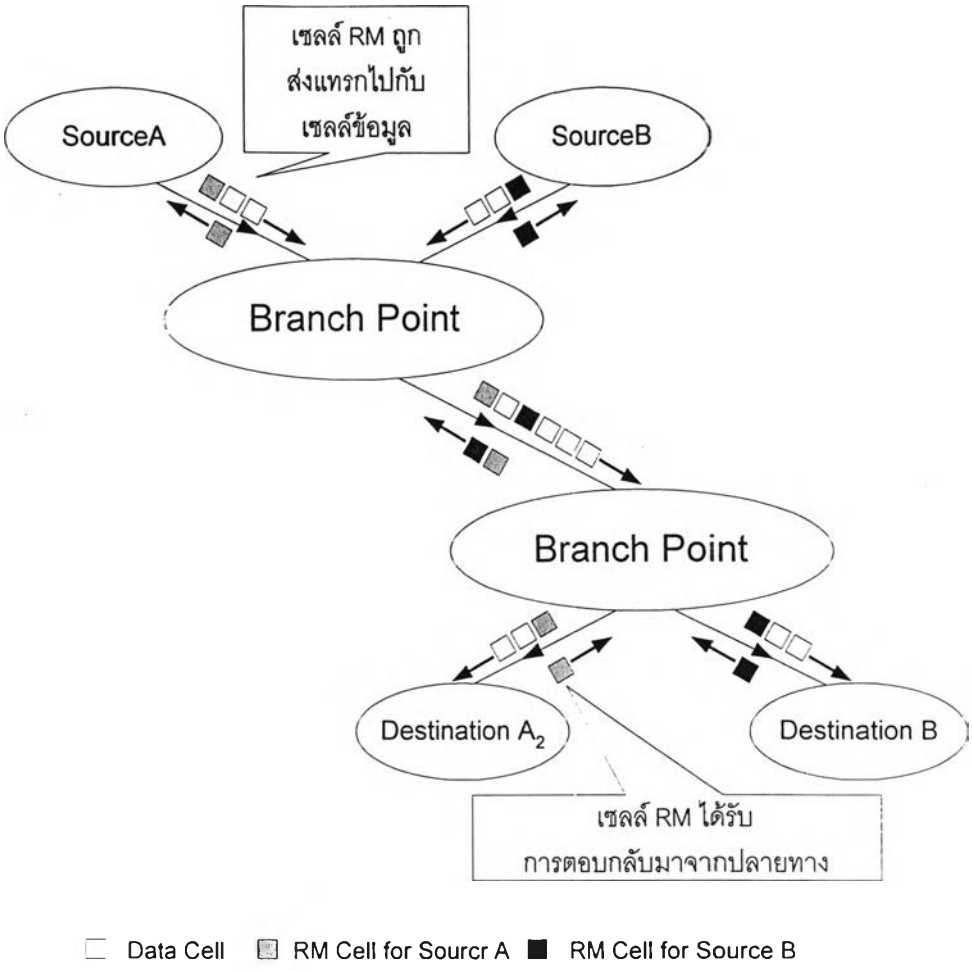
วิธีการที่สวิตช์ใช้ในการคำนวณข่าวสารความคับคั่งดังกล่าว เรียกว่า วิธีควบคุมความคับคั่ง ซึ่งมีจุดมุ่งหมายดังต่อไปนี้

1. เพื่อหลีกเลี่ยงความคับคั่งของโครงข่าย อันจะเป็นการนำไปสู่การสูญเสียเซลล์ข้อมูล ซึ่งเป็นสิ่งที่ยอมรับไม่ได้สำหรับการให้บริการแบบ ABR

2. เพื่อให้สามารถใช้งานแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่จากการให้บริการแบบอื่น ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

3. เพื่อให้เกิดการเท่าเทียมกันในการส่งข้อมูลระหว่างการเชื่อมต่อ

แหล่งกำเนิดทำหน้าที่สร้างเซลล์ RM และ ส่งเซลล์ RM แทรกไปพร้อมกับเซลล์ข้อมูล เพื่อใช้ในการรวมรวมข่าวสารความคับคั่งจากสวิตช์ในโครงข่าย โดยที่มีระยะห่างระหว่างการส่งเซลล์ RM 1 เซลล์ต่อการส่งเซลล์ข้อมูลเป็นค่า NRM เซลล์ RM จะถูกส่งไปตามเส้นทางพร้อมกับเซลล์ข้อมูล เรียกว่า เซลล์ FRM (Forward RM cell) และ เมื่อส่งไปถึงปลายทาง ๆ จะส่งกลับเซลล์ RM นั้นไปตามเส้นทางเดิม เรียกว่า เซลล์ BRM ในระหว่างการเดินทางของเซลล์ RM นั้น สวิตช์มีหน้าที่ใช้วิธีควบคุมความคับคั่งเพื่อปรับข้อมูลในเซลล์ RM ให้เหมาะสมกับสถานะของโครงข่าย เมื่อแหล่งกำเนิดได้รับสถานะความคับคั่งที่ได้รับการป้อนกลับจากโครงข่ายก็จะปรับอัตราการส่งข้อมูลให้เหมาะสมกับข่าวสารที่ได้รับ แบบจำลองการต่อเชื่อมประเภท ABR จะเป็นดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แบบจำลองโครงข่าย ATM บนการเชื่อมต่อประเภท ABR อย่างง่าย

2.3 คุณลักษณะของแหล่งกำเนิดข้อมูล

หลังจากแหล่งกำเนิดนั้นสร้างการเชื่อมต่อระหว่างต้นทางและปลายทางสำเร็จแล้ว จะคำนวณค่า ICR (Initial Cell Rate) จาก round-tip time จากต้นทางไปสู่ปลายทาง โดยค่า ICR ที่คำนวณได้นั้นหากมีค่ามากกว่า PCR จะปรับให้เป็นค่า PCR และ หากมีค่า น้อยกว่า MCR จะถูกปรับให้เป็น MCR โดย แหล่งกำเนิดจะเริ่มส่งข้อมูลที่อัตราส่ง ICR และตั้งค่า ACR (Allowed Cell Rate) ซึ่งเป็นค่าอัตราส่งที่ได้รับอนุญาตให้ส่ง ให้เป็นค่า ICR โดยเซลล์ที่ส่งเซลล์แรกได้แก่ เซลล์ RM เพื่อเป็นการรวบรวมข่าวสารการป้อนกลับจากโครงข่าย

เมื่อแหล่งกำเนิดข้อมูลได้รับเซลล์ RM ก็จะทำการปรับอัตราส่งให้เหมาะสมกับข่าวสารการป้อนกลับที่ได้รับ แหล่งกำเนิดจะปรับอัตราส่งโดยการปรับค่า ACR โดยมีวิธีการปรับเป็นลำดับดังนี้

1. หากค่าบิต CI ในเซลล์ RM ที่รับได้มีค่าเป็น 1 แสดงว่าเกิดความคับคั่งขึ้นและจะปรับค่า ACR ลดลงเป็น

$$ACR = maximum\ (ACR \times RDF\ ,\ MCR) \quad (2.1)$$

โดย RDF (Rate Decease Factor) คือ อัตราคูณลดลง

MCR (Minimum Cell Rate) คือ อัตราส่งต่ำที่สุดที่ยอมรับได้

2. หากค่าบิต NI ในเซลล์ RM ที่รับได้มีค่าเป็น 1 แสดงว่าโครงข่ายมีแนวโน้มที่จะเกิดความคับคั่งขึ้น ดังนั้นแหล่งกำเนิดจะไม่มีการปรับค่า ACR

3. หาก บิต CI และ NI มีค่าเป็น 0 แสดงว่าโครงข่ายไม่มีความคับคั่ง และสามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกที่เพิ่มขึ้นได้ แหล่งกำเนิดจะเพิ่มค่า ACR เป็น

$$ACR = minimum\ (ACR + PCR^{*}\ RIF\ ,\ ER\ ,\ PCR) \quad (2.2)$$

โดย RIF คืออัตราคูณเพิ่มขึ้น

PCR คือค่าอัตราส่งสูงสุดที่เป็นไปได้

การใช้ค่า ER ในการจำกัดอัตราส่งร่วมกับ PCR ด้วยนั้น เนื่องจากค่า ER เป็นค่าอัตราส่งที่โครงข่ายแนะนำไว้ ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่งจึงไม่ควรเพิ่มไปมากกว่าค่า ER

จะเห็นว่าการปรับค่า RIF และ RDF นั้นมีความสำคัญมาก เนื่องจากมีผลต่ออัตราส่งที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงโดยตรง อย่างไรก็ตามหากวิธีควบคุมความคับคั่งสามารถคำนวณ ER ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ค่า RIF สามารถปรับให้มีค่าเป็น 1 เพื่อให้ค่า ACR สามารถเพิ่มเป็นค่าอัตราส่งที่โครงข่ายรองรับได้อย่างรวดเร็ว

นอกจากนี้ แหล่งกำเนิดยังต้องทำหน้าที่ควบคุมอัตราส่งให้ได้เท่ากับ ACR และควบคุมการส่งเซลล์ RM ทุก ๆ การส่งเซลล์ข้อมูล NRM-1 ตัว และสามารถส่ง out-of-rate RM cell ในกรณีที่แหล่งกำเนิดมีอัตราส่งน้อยมากซึ่งจะทำให้จำนวนเซลล์ RM น้อยเกินไปสำหรับรวบรวมสถานะของโครงข่ายในปัจจุบัน ทำให้แหล่งกำเนิดต้องส่งเซลล์ RM เพิ่มนั่นคือ out-of-rate RM cell ตารางที่ 2.2 แสดงตัวแปรสำหรับแหล่งกำเนิด และ ตารางที่ 2.3 แสดงค่าต่าง ๆ ในเซลล์ RM

ตารางที่ 2.2 ABR parameter descriptions

ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย และ ขอบเขตของตัวแปร	ค่าเริ่มต้น
PCR	ค่าอัตราส่งสูงสุดที่แหล่งกำเนิดสามารถส่งได้	หน่วย Cell/sec ขอบเขต 0 ถึง 16777215	กำหนดโดยแหล่งกำเนิดและ ได้รับอนุญาตระหว่างการสร้างการเชื่อมต่อ
MCR	อัตราส่งต่ำสุดที่แหล่งกำเนิดต้องการส่ง	หน่วย Cell/sec ขอบเขต 0 ถึง 16777215	0
ICR	ค่าอัตราส่งเริ่มต้นของแหล่งกำเนิดหลังจากการสร้างการเชื่อมต่อเสร็จสิ้น	หน่วย Cell/sec ขอบเขต 0 ถึง 16777215	PCR
RIF	อัตราการเพิ่มของอัตราส่งที่แหล่งกำเนิดเมื่อไม่เกิดความคับคั่งในโครงข่าย	ไม่มีหน่วย ขอบเขต 1/32768 ถึง 1	1
Nrm	จำนวนสูงสุดของเซลล์ข้อมูลต่อการส่งเซลล์ RM 1 ครั้ง	หน่วย เซลล์ ขอบเขต 2 ถึง 256	32
Mrm	ค่าที่ใช้ควบคุมอัตราส่งของแบนด์วิดท์ระหว่างเซลล์ข้อมูล เซลล์ FRM และ เซลล์ BRM	ไม่มีหน่วย มีค่าคงที่ที่ 2	2
RDF	อัตราการลดลงของอัตราส่งที่แหล่งกำเนิดเมื่อเกิดความคับคั่งในโครงข่าย	ไม่มีหน่วย ขอบเขต 1/32768 ถึง 1	1/32768
ACR	อัตราส่งที่แหล่งกำเนิดได้รับอนุญาตให้ส่ง	หน่วย Cell/secs ขอบเขต MCR ถึง PCR	ICR
CRM	ค่าสูงสุดของการส่ง FRM เมื่อไม่ได้รับเซลล์ BRM	ไม่แน่นอน	-
ADTF	ค่า ACR จะถูกปรับให้เป็น ICR หาก เวลาระหว่างการส่งเซลล์ RM มากกว่า ADTF	หน่วย second ขอบเขต 0.01 ถึง 10.23 วินาที	0.5
Trm	เวลาที่มากที่สุดระหว่างการส่งเซลล์ RM	หน่วย milliseconds ขอบเขต $100*2^{-7}$ ถึง $100*2^{0}$	100
FRTT	ค่าเวลาประวิงการแพร่กระจายระหว่างแหล่งกำเนิดไปสู่ปลายทาง รวมถึงเส้นทางกลับ	หน่วย milliseconds ขอบเขต 0 ถึง 16.7 second	ได้จากระหว่างการสร้างการเชื่อมต่อ
TBE	จำนวนเซลล์ที่ส่งได้ระหว่างเริ่มต้นการส่ง ก่อนที่จะได้รับเซลล์ BRM ตัวแรก	หน่วย เซลล์ ขอบเขต 0 ถึง 16,777,215	16,777,215
CDF	อัตราการลดลงของอัตราส่งที่แหล่งกำเนิดเมื่อจำนวนเซลล์ FRM ที่ส่งไป โดยไม่ได้รับเซลล์ BRM มากกว่า CRM	ไม่มีหน่วย ขอบเขต 1/64 ถึง 1	1/16
TCR	ขอบเขตสูงสุดของค่าอัตราส่งที่แหล่งกำเนิดที่จะส่ง out-of-rate RM cell	มีค่าคงที่ที่ 10 Cells/seconds	10 Cells/seconds

ตารางที่ 2.3 Fields and their position in RM-cells

FIELD	OCTET	BIT(s)	DESCRIPTION	Initial Value	
				If source-generated	If switch-generated or destination-generated
Header	1-5	All	ATM Header	RM-VPC : VCI=6 and PTI=110 RM-VCC : PTI =110	
ID	6	All	Protocol Identifier	1	
DIR	7	8	Direction	0	1
BN	7	7	BECN Cell	0	1
CI	7	6	Congestion Indication	0	Either CI=1 or NI=1 or both
NI	7	5	No Increase	0 or 1	
RA	7	4	Request/ Acknowledge	0 or set in accordance with I.371-draft	
Reserved	7	3-1	Reserved	0	
ER	8-9	All	Explicit Cell Rate	A rate not greater than PCR parameter	Any rate value
CCR	10-11	All	Current Cell Rate	ACR parameter	0
MCR	12-13	All	Minimum Cell Rate	MCR parameter	0
QL	14-17	All	Queue Length	0 or set in accordance with I.371-draft	
SN	18-21	All	Sequence Number	0 or set in accordance with I.371-draft	
Reserved	22-51	All	Reserved	6A (hex) for each octet	
Reserved	52	8-3	Reserved	0	
CRC-10	52	2-1	CRC-10	See ITU-T Recommendation I.610	
	53	All			

2.4 วิธีการควบคุมความคับคั่ง (Congestion Control Scheme)

ในปัจจุบันการควบคุมความคับคั่งแบบควบคุมอัตราส่งถูกพัฒนาขึ้นมามากมาย โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพในการจัดการทรัพยากรของโครงข่าย , อัตราการสูญเสียเซลล์ข้อมูล , ความซับซ้อนในการใช้งานจริง และ ความสามารถในการทำให้เกิดความยุติธรรมระหว่างการเชื่อมต่อที่ผ่านสวิตช์นั้น วิธีการควบคุมความคับคั่งแต่ละอย่างจะมีคุณสมบัติ และวิธีที่การป้อนกลับข่าวสารต่างกัน หากแบ่งวิธีการควบคุมความคับคั่งตาม ข่าวสารที่ใช้ป้อนกลับ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

2.4.1. วิธีการป้อนกลับบิตเดียว (Binary Feedback Schemes)

ข้อมูลการป้อนกลับที่ส่งไปบอกผู้ส่งจะเป็นลักษณะบิตเดียว เช่น วิธี EFCI (Explicit Forward Congestion Indicate) [3] สวิตช์จะตรวจสอบความคับคั่งของตัวเองจากขนาดหน่วยความจำปัจจุบัน หากขนาดหน่วยความจำมีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้จะถือว่าเกิดความคับคั่งขึ้น และ สวิตช์จะตั้งค่าบิต EFCI ในเซลล์ขาไป เพื่อบอกให้ผู้รับทราบว่าเกิดความคับคั่งขึ้นแล้ว เมื่อผู้รับได้รับเซลล์ข้อมูลที่แจ้งว่าเกิดความคับคั่งจะทำการตั้งค่าบิต CI (Congestion indicate) ของเซลล์ RM ขากลับเพื่อบอกให้แหล่งกำเนิดลดอัตราการส่งลงมา ถ้าแหล่งได้รับเซลล์ RM ขากลับที่ไม่มีการตั้งค่า CI ผู้ส่งจะทำการปรับอัตราการส่งเพิ่มขึ้นได้ และบางกรณีสามารถตั้งค่าบิต NI ได้ โดยใช้ค่าที่กำหนดไว้อีกค่าหนึ่ง เรียกว่าเป็นค่ากำหนดระดับต่ำ นอกจากนี้วิธี Reletive Rate Marking ซึ่งเป็นวิธีการป้อนกลับแบบบิตเดียวอีกแบบหนึ่งจะทำการตั้งค่าทั้งบิต CI และ NI แต่จะตั้งค่าให้กับเซลล์ BRM เท่านั้น

ข้อดีของวิธีการป้อนกลับแบบนี้คือเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว มีความซับซ้อนน้อย เนื่องจากมีการตั้งค่าเพียงบิตเดียว และ ไม่จำเป็นต้องแก้ไขข้อมูลขากลับอีกด้วย

ข้อเสียของวิธีการนี้คือหากโครงข่ายเกิดความคับคั่งขึ้น ตัวส่งไม่สามารถปรับอัตราการส่งได้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงข่ายเนื่องจากต้องเสียเวลาในการป้อนกลับมาก ซึ่งอาจทำให้เกิดการสูญหายของข้อมูลได้ และมีค่าการครอบครองสายต่ำในกรณีที่ไม่เกิดความคับคั่งอีกด้วย

นอกจากนี้ยังเกิดปัญหาเมื่อเซลล์ RM ที่มีการตั้งค่า CI ไว้สูญหายไปในโครงข่ายระหว่างเส้นทางขากลับ ทำให้ผู้ส่งไม่ได้รับเซลล์ RM ที่แสดงถึงการลดอัตราการส่ง และโครงข่ายที่ติดขัดอยู่แล้วจะยิ่งมีปัญหามากขึ้นไปอีก

ปัญหาเรื่องความยุติธรรม (fairness) ระหว่างการต่อเชื่อมที่มีขนาดสั้นและขนาดยาว การต่อเชื่อมที่ผ่านสวิตช์หลายตัวจะมีโอกาสการถูกลดอัตราการส่งมากกว่าการต่อเชื่อมที่ผ่านสวิตช์น้อย เนื่องจากข่าวสารการป้อนกลับจะถูกส่งผ่านหลายสวิตช์ทำให้โอกาสในการถูกตั้งค่า CI มากกว่าการต่อเชื่อมที่ผ่านสวิตช์น้อยกว่า ทำให้อัตราการส่งของแต่ละการต่อเชื่อมไม่เท่ากัน เรียกปัญหานี้ว่า beat-down วิธีแก้ปัญหาต่าง ๆ ของการป้อนกลับบิตเดียวคือใช้การป้อนกลับแน่นอน (Explicit Rate Feedback Schemes)

2.4.2. วิธีการป้อนกลับค่าอัตราส่งแน่นอน (Explicit Rate Feedback Schemes)

วิธีการนี้ สวิตช์จะต้องทำหน้าที่ต่อไปนี้

1. คำนวณแบ่งแบนด์วิดท์ ให้แต่ละ VC ด้วยความเท่าเทียมกัน (fairshare calculation) โดยการปรับแต่งค่า ER ในเซลล์ RM ขากลับ

2. วัดระดับการใช้งานของแต่ละ VC ซึ่งสามารถวัดได้โดยการวัดขนาดของคิว , อัตราการเพิ่มของขนาดหน่วยความที่สวิตช์ หรือ วัดปริมาณทราฟฟิกจริงที่ผ่านสวิตช์นั้น

3. คำนวณค่าอัตราส่งที่แนะนำ (explicit rate) เพื่อส่งให้แหล่งกำเนิด ทำการปรับอัตราส่งให้เหมาะสมต่อไป

การคำนวณ ความเท่าเทียมกันในการส่ง (fairness) นั้น มีหลักการที่ใช้งานอยู่ 2 แบบ ได้แก่

1. Proportional allocation มีหลักการโดยมีการแบ่งค่าสัดส่วนของแบนด์วิดท์ จำนวนหนึ่งที่มีค่าแน่นอนให้กับแต่ละการเชื่อมต่อ โดยสัดส่วนดังกล่าวได้มีการจัดสรรให้มีความเท่าเทียมกันไว้ก่อนแล้ว

2. Max-Min fairness มีหลักการโดยพยายามให้ทุกการเชื่อมต่อได้รับแบนด์วิดท์จำนวนเท่ากันให้มากที่สุด และหากการเชื่อมต่อใด ไม่ต้องการใช้งานแบนด์วิดท์ที่จัดสรรให้ได้เต็มที่ ก็จะนำแบนด์วิดท์ส่วนที่เหลือนั้นมาแบ่งเพิ่มให้กับการเชื่อมต่ออื่น ตัวอย่าง เช่น มีสายสัญญาณขนาด 100 Mbps โดยมีการเชื่อมต่อ 3 เส้นทาง แต่ละเส้นทางมีความต้องการส่งที่ 10 , 50 และ 60 Mbps ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อคำนึงถึง Max-Min Fairness ค่าแบนด์วิดท์ที่คำนวณได้สำหรับแต่ละการเชื่อมต่อจะเป็นดังตารางที่ 2.4 โดยสังเกตว่าการเชื่อมต่อที่ 1 นั้นใช้งานแบนด์วิดท์ได้เพียง 10 ดังนั้นจึงถูกจัดสรรให้ได้รับเพียง 10 Mbps เท่านั้น ส่วนที่เหลือคือ 90 Mbps นั้นถูกแบ่งให้กับการเชื่อมต่ออีก 2 อัน

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างของการใช้ Max-Min Fairness คำนวณหาแบนด์วิดท์ที่เท่าเทียมกัน

VC	ความต้องการแบนด์วิดท์ (Mbps)	จัดสรรให้ (Mbps)
1	10	10
2	50	45
3	60	45

การควบคุมความคับคั่งแบบมีผู้พัฒนามาหลากหลายวิธี แต่วิธีที่ที่ได้รับความนิยมได้แก่ ERICA และ FMMRA ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้

2.5 วิธี ERICA (Explicit Rate Indicate for Congestion Avoidance)

ERICA [4] เป็นวิธีที่ปรับค่าอัตราส่งแน่นอนโดยคำนึงถึง Max-Min Fairness โดยมีจุดประสงค์เพื่อจัดสรรแบนด์วิดท์ของโครงข่ายให้มีประสิทธิภาพและมีความเท่าเทียมกัน โดยอาศัยการตรวจสอบแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ และ ความต้องการการส่งของแหล่งกำเนิด ERICA เป็นวิธีการที่ทำงานต่อหนึ่งเส้นทางขาออกหนึ่ง ๆ ของสวิตช์ สวิตช์จะคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ ทุก ๆ ช่วงเวลาหนึ่งซึ่งค่าเหล่านี้จะแสดงสถานะของโครงข่าย ปริมาณทราฟฟิกขาเข้า และ จำนวนการเชื่อมต่อที่ผ่านสวิตช์นั้น จากนั้นนำ

มาคำนวณค่า Z ตามสมการ (2.3) และ ค่า Fairshare คือค่าอัตราการส่งข้อมูลที่ยุติธรรมระหว่างทุก ๆ การส่งแต่ละเส้นทาง ซึ่งคำนวณจากค่าแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้หารด้วยจำนวนการต่อเชื่อมที่ส่งผ่านเส้นทางขาออกหนึ่งในสวิตช์นั้น นอกจากนี้สวิตช์ยังทำการคำนวณแบนด์วิดท์ที่เหลือจากการให้บริการแบบอื่น และ สามารถนำมาแบ่งสรรให้แก่การเชื่อมต่อประเภท ABR ได้ ค่า Z นั้นแสดงถึงระดับความคับคั่งของเส้นทางขาออกนั้น และ เป็นตัวแปรที่สำคัญในคำนวณค่า ER เพื่อใช้ในการป้อนกลับต่อไป

$$Z = \frac{\text{แบนวิดธ์ขาเข้า}}{\text{แบนวิดธ์เป้าหมาย}} \tag{2.3}$$

โดย แบนด์วิดท์ขาเข้า คือ แบนด์วิดท์รวมที่ส่งเข้ามาสู่สวิตช์สำหรับทุก ๆ การเชื่อมต่อ สามารถหาได้จากการวัดปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามาช่วงเวลาหนึ่ง

แบนด์วิดท์เป้าหมาย คือ ค่าอัตราการส่งข้อมูลขาออกที่ต้องการ มีค่าเท่ากับแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้งานได้ คูณ ด้วย ค่าการใช้งานสายผ่านเป้าหมาย (การใช้งานสายผ่านที่ต้องการ)

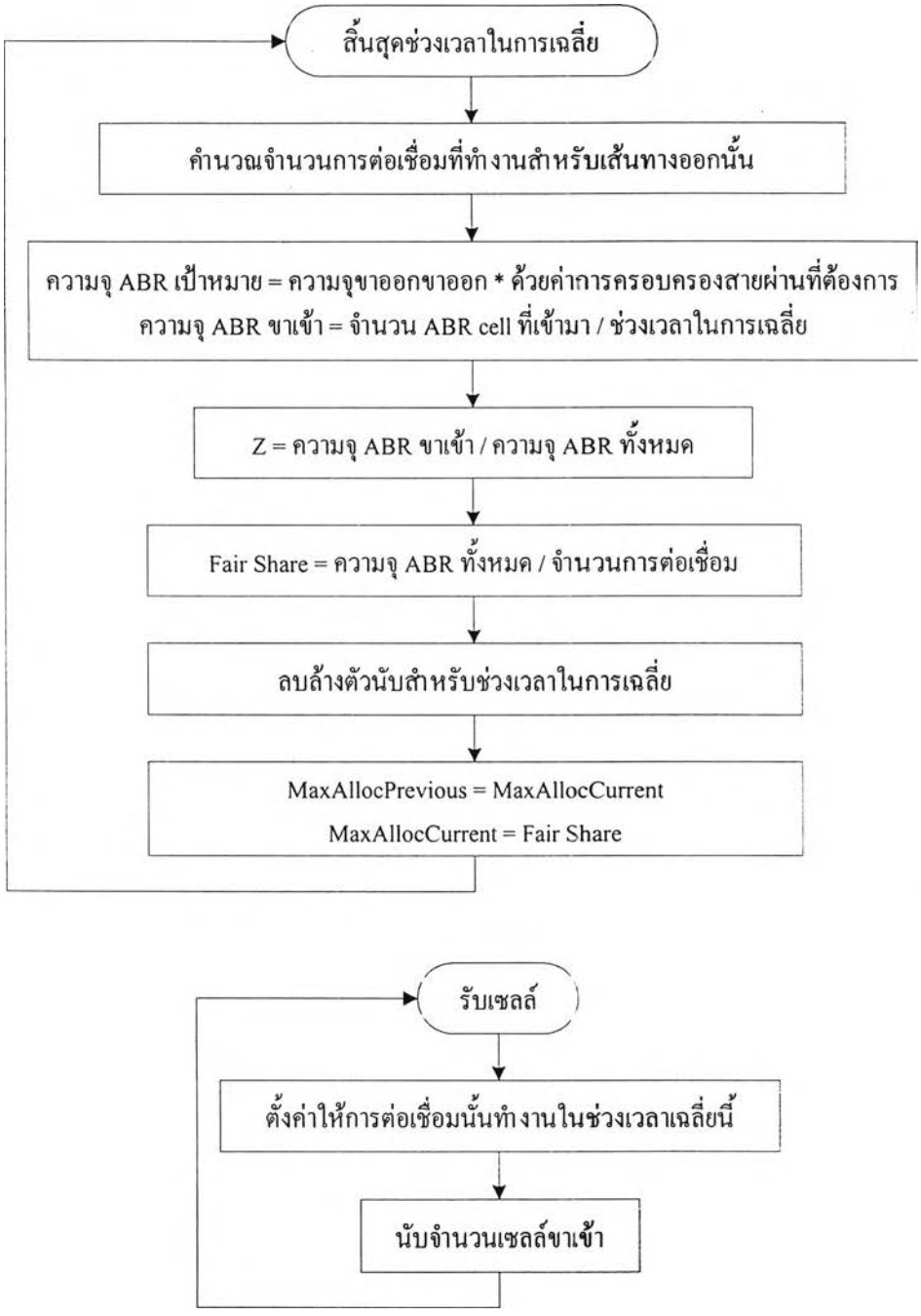
การคำนวณหาค่า Z ใหม่จะเกิดขึ้นทุกครั้งที่สิ้นสุดช่วงระยะเวลาหนึ่งเรียกว่า ช่วงเวลาในการเฉลี่ย (Averaging Interval –AI) ERICA เป็นวิธีที่พยายามจัดการทราฟฟิกให้มี ค่า Z เข้าใกล้ 1 ค่า ER จะถูกคำนวณเพื่อคำนึงถึงความเท่าเทียมกันระหว่างการเชื่อมโยงต่าง ๆ เมื่อค่า $Z < 1.1$ จะถือว่าไม่มีความคับคั่งให้ ER มีค่าประมาณกับค่าที่ส่งเดิม แต่หากค่า $Z > 1.1$ แสดงว่าเกิดความคับคั่งและจะให้ค่า ER เป็นค่า Fairshare จะเห็นว่าค่า ER ที่ได้นั้นจะที่เท่าเทียมสำหรับทุก ๆ การเชื่อมต่อ เมื่ออยู่ในสถานะคงตัวแล้วค่า Z จะมีค่าประมาณ 1 ถึง 1.1 ซึ่งแสดงถึงการใช้ความจุของสายส่งได้อย่างคุ้มค่า การให้ค่า Z ที่สภาวะคงตัวมีค่ามากกว่า 1 เล็กน้อยเพื่อชดเชยการนำค่าการใช้งานสายสัญญาณเป้าหมายมาคูณกับแบนด์วิดท์ที่ใช้งานได้ นอกจากนี้ ERICA สามารถแก้ปัญหาเรื่องความเท่าเทียมกัน ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อใดที่ไม่สามารถส่งได้ที่อัตราส่งเท่ากับ Fairshare ทำให้เกิด แบนด์วิดท์ส่วนที่เหลือจาก Fairshare นั้นไม่ได้ถูกใช้งาน ดังนั้น ERICA จึงเพิ่มตัวแปร VCshare เพื่อแก้ปัญหานี้ โดย VCshare จะมีค่าตามสมการที่ 2.4

$$\text{VCshare} = \frac{\text{CCR}}{Z} \tag{2.4}$$

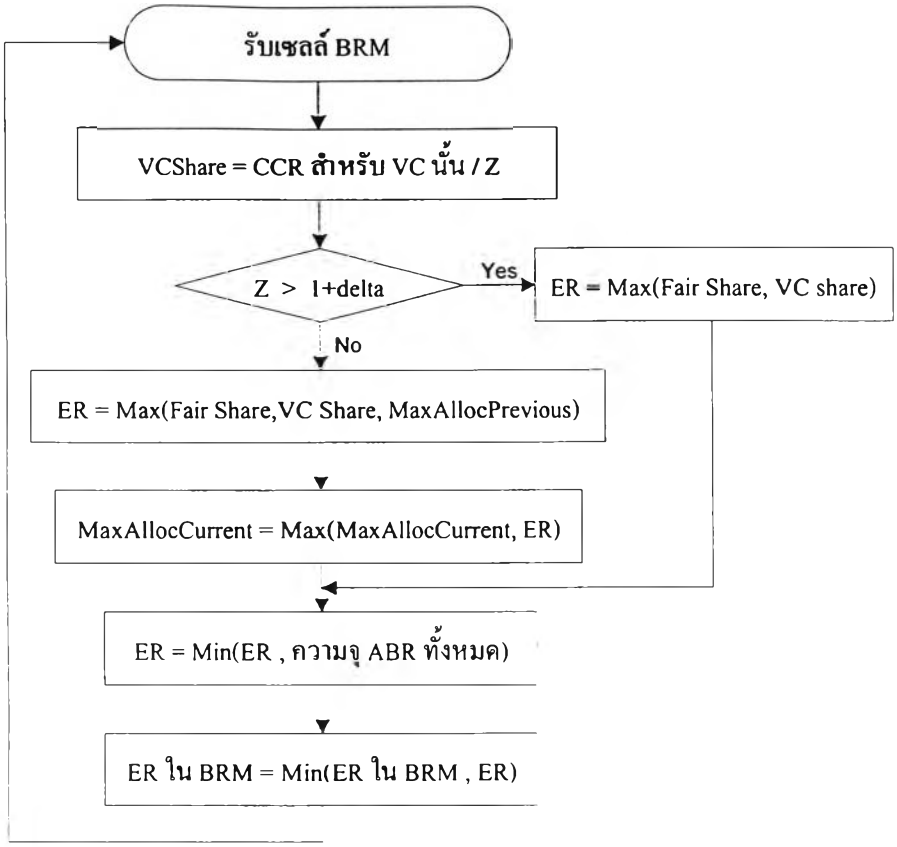
โดย CCR คือ ความเร็วในการส่งข้อมูลของผู้ส่ง

เมื่อมีแหล่งกำเนิดหนึ่งที่ใช้งานได้ไม่ถึง Fairshare จะทำให้ค่า Z น้อยกว่าหนึ่ง และค่า VCshare จะมีค่ามากขึ้น ทำให้การต่อเชื่อมอื่น สามารถเพิ่มอัตราการส่งของตนเองให้เป็น VCshare ซึ่งมากกว่า Fairshare ได้ ซึ่งเป็นการชดเชยกับความสามารถในการส่งที่เสียไปกับแหล่งกำเนิดที่ส่งได้ไม่เต็มที่ ให้กับแหล่งกำเนิดอื่น ๆ

ค่า ER ที่จะส่งกลับไปในเซลล์ RM นั้นจะเป็นค่ามากที่สุดระหว่าง VCshare และ Fairshare แต่มีค่าไม่เกินแบนด์วิดท์ที่สามารถใช้งานได้ และ ไม่เกินค่า ER เดิมที่อยู่ในเซลล์ RM ลำดับการทำงานของวิธี ERICA สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วิธีการควบคุมความคับคั่งแบบ ERICA



รูปที่ 2.2 วิธีการควบคุมความคับคั่งแบบ ERICA (ต่อ)

นอกจากนี้ ERICA ยังได้รับการปรับปรุงให้เป็น ERICA+ [4] ที่สามารถควบคุมขนาดหน่วยความจำได้ โดยการปรับค่าความจุเป้าหมายให้เหมาะสมกับขนาดหน่วยความจำในปัจจุบัน ซึ่งมีค่าตามสมการ 2.5

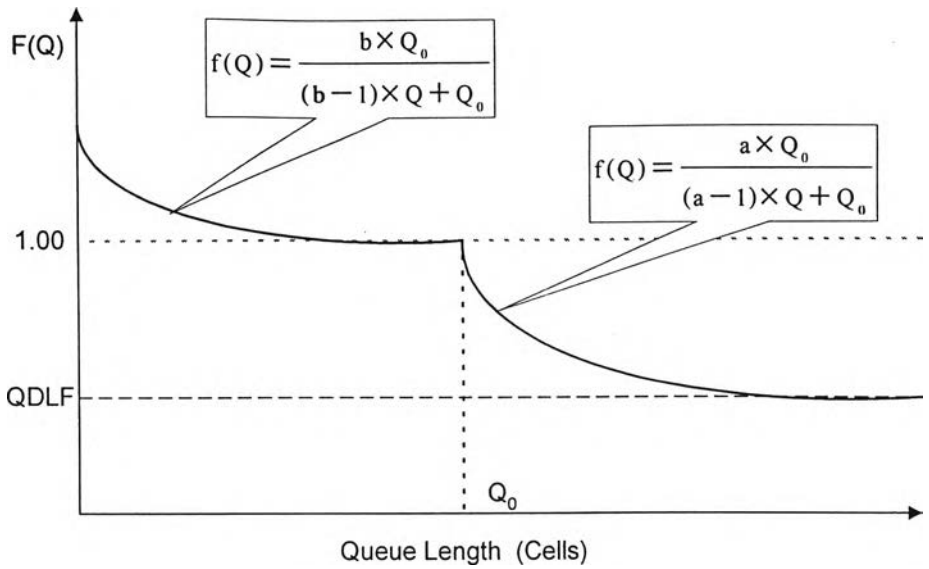
$$\text{อัตราข้อมูลเป้าหมาย} = f(Q) \times \text{อัตราข้อมูลทั้งหมดของ ABR}$$

และ
$$f(Q) = \begin{cases} \max(QDLF, \dfrac{a \times Q_0}{(a-1) \times Q + Q_0}) & \text{for } Q > Q_0 \\ \dfrac{b \times Q_0}{(b-1) \times Q + Q_0} & \text{for } 0 \le Q \le Q_0 \end{cases} \qquad (2.5)$$

โดย QDLF คือ Queue Drain Limit Factor ซึ่งเป็นค่า f(Q) ต่ำสุดที่ตั้งไว้

a , b คือ เป็นค่าคงที่ที่แสดงถึงความเร็วในการลดลงของค่า f(Q)

Q_0 คือ ขนาดหน่วยความจำที่แสดงถึงความคับคั่ง โดยถูกตั้งค่าไว้ที่ค่าที่เหมาะสม



รูปที่ 2.3 วิธีการควบคุมหน่วยความจำใน ERICA+

เมื่อนำวิธี ERICA มาใช้บนการส่งแบบหนึ่งจุดไปสู่หลายจุด ไม่จำเป็นต้องปรับแต่งตัวแปรต่าง ๆ ให้เหมาะสม และสามารถใช้ร่วมกับวิธีการรวบรวมข้อมูลการป้อนกลับทุกวิธีได้

2.6 วิธี FMMRA (Fast Max-Min Rate Allocation)

FMMRA [5,6,7] เป็นวิธีที่ปรับค่าอัตราส่งแน่นอนโดยใช้วิธีการ Max-Min Fairness การต่อเชื่อมที่ผ่านเส้นทางขาออกเดียวกันของสวิตช์จะถูกแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- Bottlenecked connection เป็นการต่อเชื่อมที่ไม่สามารถปรับอัตราส่งของมันได้เท่ากับอัตราส่งยุติธรรมของสวิตช์นี้ เนื่องจากได้รับอัตราส่งที่น้อยกว่าจากสวิตช์อื่น หรือ ขีดจำกัดที่อัตราส่งสูงสุดของการต่อเชื่อมนี้
- Non-bottlenecked connection หรือ bottlenecked link เป็นการต่อเชื่อมที่อัตราส่งของมันถูกจำกัดอยู่ด้วยความจุของสายส่ง

FMMRA จะคำนวณค่า avertised rate - γ_l ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการป้อนกลับไปเป็นค่าอัตราส่งแน่นอน ถ้าหากการต่อเชื่อมไหนไม่สามารถส่งได้เท่ากับ γ_l ก็จะถูกตั้งให้เป็น bottlenecked connections และ จะได้รับการจำค่าแบนด์วิดท์ของมันไว้เป็น bottlenecked bandwidth เพื่อที่สามารถนำแบนด์วิดท์ส่วนที่เหลือไปเพิ่มให้กับการต่อเชื่อมอื่น ๆ ได้ โดยการปรับค่า γ_l ให้เหมาะสม ตัวแปร β และ λ ใช้ในการแสดงสถานะ Bottleneck ของการต่อเชื่อมนั้น ๆ และ ขนาดแบนด์วิดท์สำหรับแต่ละการต่อเชื่อม ตามลำดับ

ตัวแปรต่าง ๆ ในวิธีการนี้จะได้รับการปรับแต่งทุก ๆ ครั้งที่ได้รับเซลล์ RM ขากลับ สวิตช์จะทำการคำนวณค่า $\Delta\lambda$, $\Delta\beta$ และ $\gamma_l(t^+)$ ตามสมการ 2.6

$$\Delta\lambda = \begin{cases} \lambda_i^{ER} - \lambda_l^i \beta_l^i & \text{if } \lambda_i^{ER} < \gamma_l, \\ -\lambda_l^i \beta_l^i & \text{if } \lambda_i^{ER} \geq \gamma_l. \end{cases}$$

$$\Delta\beta = \begin{cases} 1 - \beta_l^i & \text{if } \lambda_i^{ER} < \gamma_l, \\ -\beta_l^i & \text{if } \lambda_i^{ER} \geq \gamma_l. \end{cases} \qquad (2.6)$$

$$\gamma_l(t^+) = \begin{cases} C_l^A & \text{if } N_l = 0, \\ \dfrac{C_l^A - \overline{C}_l(t^+)}{N_l - \overline{N}_l(t^+)} & \text{if } N_l > \overline{N}_l \\ \gamma_l & \text{if } N_l = \overline{N}_l \end{cases}$$

โดย λ_i^{ER} คือ ค่า ER ที่รับได้จากเซลล์ RM ขากลับที่เข้ามา

λ_l^i คือ bottlenecked bandwidth ของ VCI นั้นที่สายส่ง l

β_l^i คือ bottlenecked connections ของ VCI นั้นที่สายส่ง l

N_l คือ จำนวนการต่อเชื่อมทั้งหมดที่ผ่านสายส่ง l

$\overline{N}_l(t)$ คือ จำนวนการต่อเชื่อมที่เป็น bottlenecked connection

C_l^A คือ ความจุทั้งหมดของการให้บริการแบบ ABR

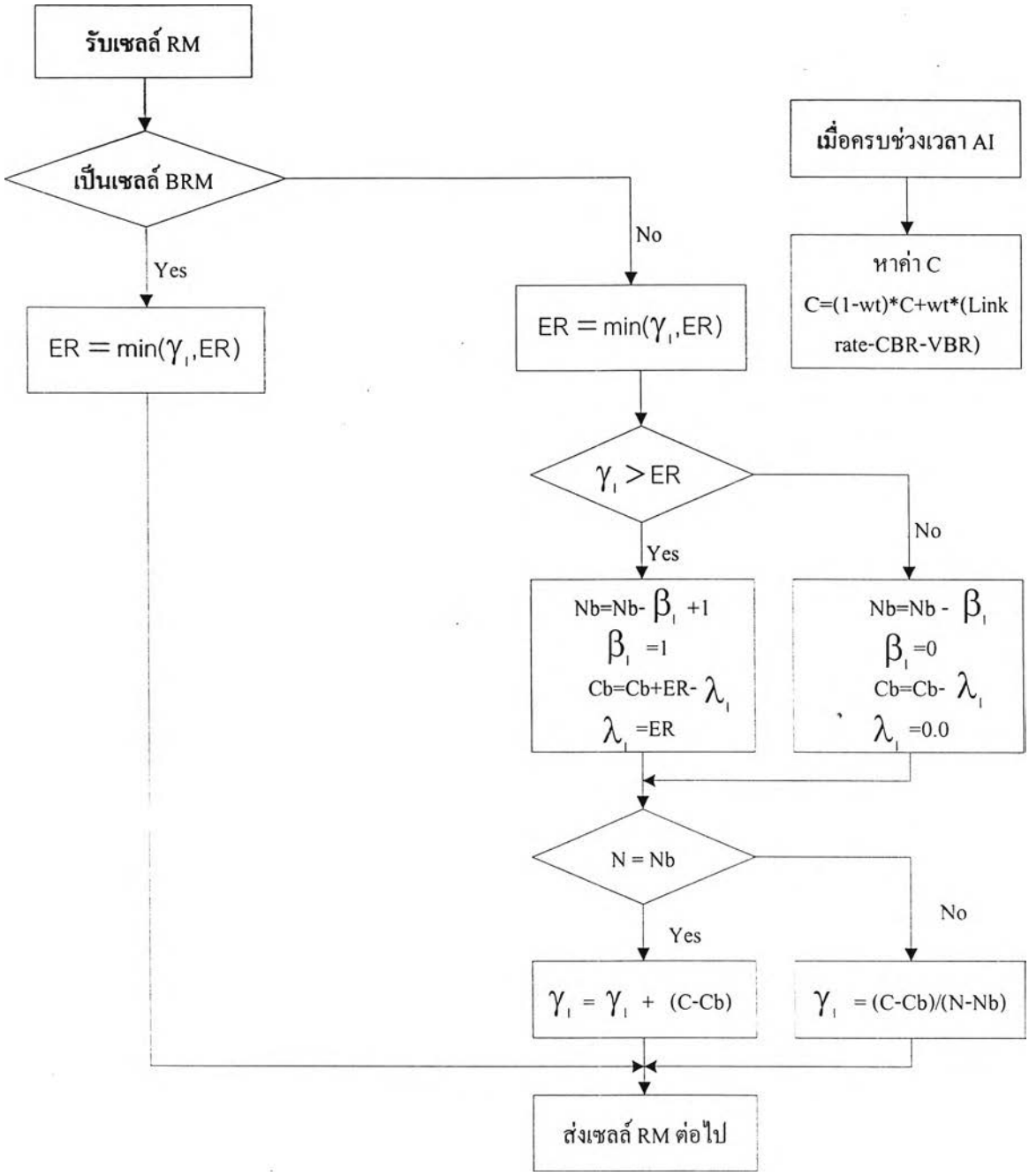
$\overline{C}_l(t)$ คือ ความจุ bottlenecked bandwidth ทั้งหมดที่สายส่ง l

จากนั้นสวิตช์จะคำนวณค่าตัวแปร λ , β และ N_l ใหม่สำหรับการคำนวณในรอบต่อไปและ ส่งกลับค่า ER ตามสมการ 2.7

$$ER_in_RM = \min(\gamma_l, \lambda_l^{ER}) \qquad (2.7)$$

นอกจากนี้วิธี FMMRA ยังสามารถปรับแต่งค่า ER ในเซลล์ RM ทั้งทางด้านขาไปและขากลับ ทำให้สวิตช์สามารถรับข่าวสารความคับคั่งได้จากสองทางคือด้าน upstream และ downstream มีผลทำให้การป้อนกลับมีความเร็วมากยิ่งขึ้น ลำดับการทำงานของวิธี FMMRA นั้นแสดงในรูปที่ 2.4

เมื่อนำวิธี FMMRA มาใช้บนการส่งแบบหนึ่งจุดไปสู่หลายจุด จำเป็นต้องเพิ่มความซับซ้อนของตัวแปร β และ λ เพิ่มขึ้นมา โดยปกติตัวแปรทั้งสองเป็นตัวแปรที่มีทุก ๆ การเชื่อมต่อ แต่เมื่อนำมาใช้ในการส่งแบบหนึ่งจุดไปหลายจุด ซึ่งทำให้ VC หนึ่ง ๆ อาจมีเส้นทางออกได้หลายทาง ดังนั้นตัวแปรดังกล่าวจึงต้องเพิ่มปริมาณให้รองรับจำนวนเส้นทางออกให้ได้ทุกเส้นทาง โดยเพิ่มจำนวนตัวแปรให้มีมิติเท่ากับจำนวนเส้นทางขาออกสำหรับ VC นั้น



รูปที่ 2.4 วิธีการควบคุมความคับคั่งแบบ FMMRA