# การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมสำหรับการควบคุมความคับคั่งในโครงข่ายเอทีเอ็ม

**นายสุรเชษฐ์ สุขเจริญ**

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**
**สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า**
**บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**
**ปีการศึกษา 2542**

ISBN 974-332-977-3

**ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

# COMMON BUFFER MANAGEMENT FOR CONGESTION CONTROL IN ATM NETWORKS

Mr. Surachet Sookjaroen

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 974-332-977-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมสำหรับการควบคุมความคับคั่งในโครงข่ายเอทีเอ็ม
โดย นายสุรเชษฐ์ สุขเจริญ
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร. ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

........................................ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
( รองศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กีระนันทน์ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

........................................ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
( อาจารย์ ดร. ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ )

........................................ กรรมการ
( ดร. สุพจน์ เธียรวุฒิ )

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุรเชษฐ์ สุขเจริญ : การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมสำหรับการควบคุมความคับคั่งในโครงข่ายเอทีเอ็ม (COMMON BUFFER MANAGEMENT FOR CONGESTION CONTROL IN ATM NETWORKS) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ.ดร. ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ, 82 หน้า. ISBN 974-332-977-3

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเสนอการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบสโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วม เพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนของสวิตช์ที่เป็นแบบเครดิตเบส และเพิ่มวิสัยสามารถและความเท่าเทียมกันในโครงข่าย เนื่องจากสวิตช์เครดิตเบสแบบเดิมมีความซับซ้อนสูงซึ่งขึ้นกับจำนวนการเชื่อมต่อ และการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสแบบเดิมจะให้วิสัยสามารถและความเท่าเทียมกันไม่ดีเนื่องจากมีการควบคุมและการคำนวณเป็นแบบแยกแต่ละการเชื่อมต่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแสดงผลการจำลองแบบการใช้งานการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสโดยใช้แบบแผนที่นำเสนอ ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสแบบเดิม ผลการจำลองแบบจะแสดงให้เห็นว่าการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมสามารถลดความซับซ้อนของสวิตช์ลงได้โดยที่ประสิทธิภาพไม่ได้ด้อยกว่าการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสเดิมเลย นอกจากนี้ในโครงข่ายที่มีผลของระยะทางหรือการส่งข้อมูลในลักษณะที่เป็นเบิรสต์ก็จะให้ค่าวิสัยสามารถและความเท่าเทียมกันสูงกว่าด้วย

| | |
|---|---|
| ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า | ลายมือชื่อนิสิต สุรเชษฐ์ สุขเจริญ |
| สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา [signature] |
| ปีการศึกษา 2542 | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ |

## # 4070476721: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD: COMMON BUFFER / CREDIT-BASED / CONGESTION CONTROL / ATM NETWORKS

SURACHET SOOKJAROEN : COMMON BUFFER MANAGEMENT FOR CONGESTION CONTROL IN ATM NETWORKS. THESIS ADVISOR : PROF. DR. PRASIT PRAPINMONGKOLKARN. THESIS CO-ADVISOR : DR. LUNCHAKORN WUTTISITTIKULKIJ. 82 pp. ISBN 974-332-977-3.

This thesis proposes a novel credit-based congestion control using common buffer management in order to reduce complexity and increase throughput and fairness in conventional credit-based scheme. The conventional scheme computes the credit based on a per-connection manner. Hence, the implementation complexity is very high. In addition, the conventional scheme performs worse for the throughput and fairness issues due to the computation behavior.

This thesis presents the simulation results to evaluate the performance of the proposed scheme. Moreover, the performance is compared with the conventional scheme. The simulation results indicate that the performance of the common buffer management is not worse than the conventional scheme while the computation complexity is significantly reduced. In addition, the common buffer management performs even better in terms of throughput and fairness when the network has the effect from the length of transmission lines or bursty traffic behavior of data sources.

| | |
|---|---|
| ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า | ลายมือชื่อนิสิต สุรเชษฐ์ สุขเจริญ |
| สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา |
| ปีการศึกษา 2542 | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ |

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดร. ประสิทธิ์ ประพิณมงคลการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณ คุณธนัญ จารุวิทย์โกวิท และคุณนริศ รังษีนพมาศ นิสิตปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในการวิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆนิสิต สาขาระบบโทรคมนาคมทุกๆท่าน ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือมาตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน ซึ่งให้การสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นายสุรเชษฐ์ สุขเจริญ

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ........ ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ........ จ

กิตติกรรมประกาศ ........ ฉ

สารบัญ ........ ช

สารบัญรูปภาพ ........ ฌ

สารบัญตาราง ........ ฐ

บทที่

1 บทนำ ........ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ........ 1

1.2 วัตถุประสงค์ ........ 2

1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ........ 2

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน ........ 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ........ 2

2 โครงข่ายเอทีเอ็มและการควบคุมความคับคั่ง ........ 3

2.1 โครงข่ายเอทีเอ็ม ........ 3

2.2 การให้บริการบนโครงข่ายเอทีเอ็ม ........ 5

2.3 การควบคุมความคับคั่งบนโครงข่ายเอทีเอ็ม ........ 6

3 การควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส ........ 10

3.1 การทำงานของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส ........ 11

3.2 มาตรฐานการคิดค่าเครดิต ........ 11

3.3 แบบแผนของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส ........ 12

3.4 การประยุกต์ใช้งาน ........ 16

3.5 ข้อด้อยของการควบคุมความคับคั่งแบบเดิมของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส ........ 18

3.6 การควบคุมความคับคั่งโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วม ........ 19

3.7 การควบคุมความคับคั่งโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมและใช้ค่า load factor ........ 22

4 ผลการจำลองแบบ ........ 26

4.1 แบบจำลองและข้อกำหนดของแบบจำลอง ........ 28

4.2 ผลการจำลองแบบผลกระทบของตัวแปร ........ 36

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลการจำลองแบบโครงข่าย 46
5 วิเคราะห์ผลการจำลองแบบ 59
5.1 วิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปร 59
5.2 วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบการควบคุมความคับคั่ง 65
6 สรุป 69
6.1 สรุปผลการจำลองแบบ 69
6.2 ข้อดีข้อเสียของการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วม 70
6.3 ข้อเสนอแนะ 70
รายการอ้างอิง 72
ภาคผนวก 74
ประวัติผู้เขียน 82

## สารบัญรูปภาพ

หน้า


รูปที่ 2.1 User to Network Interface ( UNI ) ........ 3

รูปที่ 2.2 Network to Network Interface ( NNI ) ........ 4

รูปที่ 2.3 การใช้งานร่วมของ แต่ละ VC ........ 6

รูปที่ 2.4 การควบคุมความคับคั่งแบบเรตเบสในโครงข่ายเอทีเอ็ม ........ 7

รูปที่ 2.5 การควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบสในโครงข่ายเอทีเอ็ม ........ 8

รูปที่ 3.1 การจัดสรรบัฟเฟอร์ของการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส ........ 10

รูปที่ 3.2 มาตรฐานการคิดค่าเครดิต ( Credit update protocol ) ........ 11

รูปที่ 3.3 การจักสรรหน่วยความจำของการควบคุม N123 ........ 12

รูปที่ 3.4 การจักสรรหน่วยความจำของการควบคุม N123+ ........ 13

รูปที่ 3.5 การจักสรรหน่วยความจำของการควบคุม N23 ........ 14

รูปที่ 3.6 แผนภาพแสดงการควบคุมความคับคั่ง N23 ........ 16

รูปที่ 3.7 การใช้ Credit บน AN2 ........ 17

รูปที่ 3.8 การจัดสรรหน่วยความจำของการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วม ........ 19

รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงการควบคุมความคับคั่งโดยใช้บัฟเฟอร์ร่วม ........ 21

รูปที่ 3.10 การจักสรรหน่วยความจำของการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมที่มีการใช้ค่า load factor ........ 23

รูปที่ 3.11 แผนภาพแสดงการควบคุมความคับคั่งโดยใช้บัฟเฟอร์ร่วมโดยใช้ค่า load factor ........ 24

รูปที่ 4.1 โครงข่าย 1 hop แบบปกติ ........ 29

รูปที่ 4.2 โครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน ........ 30

รูปที่ 4.3 โครงข่าย 1 hop แบบการส่งข้อมูลไม่เต็มที่ ........ 30

รูปที่ 4.4 โครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่ง ........ 31

รูปที่ 4.5 โครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง ........ 31

รูปที่ 4.6 โครงข่าย GFC2 ........ 32

รูปที่ 4.7 เซลล์ข้อมูลที่รับได้ของการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสบนโครงข่าย GFC2 ........ 33

รูปที่ 4.8 อัตราการรับข้อมูลในแต่ละกลุ่มของการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสบนโครงข่าย GFC2 ........ 33

รูปที่ 4.9 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 350 เซลล์ , N2 50 เซลล์, จำนวน 5 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม. ........ 38

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.10 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 500 เซลล์ , N2 50 เซลล์, จำนวน 5 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม. 38
รูปที่ 4.11 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 650 เซลล์ , N2 50 เซลล์, จำนวน 5 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม. 39
รูปที่ 4.12 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 500 เซลล์ , N2 25 เซลล์, จำนวน 5 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม. 40
รูปที่ 4.13 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 500 เซลล์ , N2 50 เซลล์, จำนวน 5 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม. 40
รูปที่ 4.14 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 500 เซลล์ , N2 75 เซลล์, จำนวน 5 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม. 41
รูปที่ 4.15 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 500 เซลล์ , N2 50 เซลล์, จำนวน 3 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม. 42
รูปที่ 4.16 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 500 เซลล์ , N2 50 เซลล์, จำนวน 5 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม. 42
รูปที่ 4.17 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 500 เซลล์ , N2 50 เซลล์, จำนวน 7 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม. 43
รูปที่ 4.18 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 500 เซลล์ , N2 50 เซลล์, จำนวน 5 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม. 44

**สารบัญรูปภาพ (ต่อ)**

หน้า

รูปที่ 4.19 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 500 เซลล์ , N2 50 เซลล์, จำนวน 5 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 10 กม. ..... 44
รูปที่ 4.20 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 500 เซลล์ , N2 50 เซลล์, จำนวน 5 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 12 กม. ..... 45
รูปที่ 4.21 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส N23 บนโครงข่าย 1 hop แบบปกติ ..... 47
รูปที่ 4.22 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมบนโครงข่าย 1 hop แบบปกติ ..... 47
รูปที่ 4.23 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส N23 บนโครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน ..... 49
รูปที่ 4.24 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมบนโครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน ..... 49
รูปที่ 4.25 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส N23 บนโครงข่าย 1 hop แบบการส่งข้อมูลไม่เต็มที่ ..... 51
รูปที่ 4.26 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมบนโครงข่าย 1 hop แบบการส่งข้อมูลไม่เต็มที่ ..... 51
รูปที่ 4.27 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส N23 บนโครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่ง ..... 53
รูปที่ 4.28 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมบนโครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่ง ..... 53
รูปที่ 4.29 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส N23 บนโครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง ..... 55
รูปที่ 4.30 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมบนโครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง ..... 55

**สารบัญรูปภาพ (ต่อ)**

หน้า

รูปที่ 4.31 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมและค่า load factor บนโครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง ..... 57
รูปที่ ค.1 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมและการคิดค่าเฉลี่ยจากเซลล์ที่ส่งบนโครงข่าย 1 hop แบบปกติ ..... 78
รูปที่ ค.2 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมและการคิดค่าเฉลี่ยจากเซลล์ที่ส่งบนโครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน ..... 79
รูปที่ ค.3 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมและการคิดค่าเฉลี่ยจากเซลล์ที่ส่งบนโครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่ง ..... 79
รูปที่ ค.4 คิวของสวิตช์และอัตราการรับข้อมูลโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมและการคิดค่าเฉลี่ยจากเซลล์ที่ส่งบนโครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง ..... 80

## สารบัญตาราง

หน้า


ตารางที่ 2.1 การรับประกันของการให้บริการ ..... 5

ตารางที่ 4.1 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 350,500 และ650 เซลล์ , N2 50 เซลล์, จำนวน 5 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม. ..... 39

ตารางที่ 4.2 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 500 เซลล์ , N2 25 , 50 และ 75 เซลล์, จำนวน 5 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม. ..... 41

ตารางที่ 4.3 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 500 เซลล์ , N2 50 เซลล์, จำนวน 3 , 5 และ 7 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม. ..... 43

ตารางที่ 4.4 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมที่ใช้ค่าบัฟเฟอร์สวิตช์ 500 เซลล์ , N2 50 เซลล์, จำนวน 5 ต้นทางและระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 , 10 และ 12 กม. ..... 45

ตารางที่ 4.5 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส N23 บนโครงข่าย 1 hop แบบปกติ ..... 47

ตารางที่ 4.6 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมบนโครงข่าย 1 hop แบบปกติ ..... 47

ตารางที่ 4.7 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส N23 บนโครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน ..... 49

ตารางที่ 4.8 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมบนโครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน ..... 49

ตารางที่ 4.9 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส N23 บนโครงข่าย 1 hop แบบการส่งข้อมูลไม่เต็มที่ ..... 52

ตารางที่ 4.10 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมบนโครงข่าย 1 hop แบบการส่งข้อมูลไม่เต็มที่ ..... 52

ตารางที่ 4.11 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส N23 บนโครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่ง ..... 54

ตารางที่ 4.12 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมบนโครงข่าย 1 hop แบบสายส่งคับคั่ง ..... 54

# สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.13 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส N23 บนโครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง ..... 56
ตารางที่ 4.14 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมบนโครงข่าย 1 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง ..... 56
ตารางที่ 4.15 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมและค่า load factor บนโครงข่าย 1 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง ..... 58
ตารางที่ 5.1 สรุปผลกระทบของตัวแปรต่อสภาวะโครงข่าย ..... 59
ตารางที่ 5.2 ผลการเปรียบเทียบการควบคุมความคับคั่ง ..... 65
ตารางที่ ค.1 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมและการคิดค่าเฉลี่ยจากเซลล์ที่ส่งบนโครงข่าย 1 hop แบบปกติ ..... 79
ตารางที่ ค.2 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมและการคิดค่าเฉลี่ยจากเซลล์ที่ส่งบนโครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน ..... 79
ตารางที่ ค.3 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมและการคิดค่าเฉลี่ยจากเซลล์ที่ส่งบนโครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่ง ..... 80
ตารางที่ ค.4 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่งโดยใช้การควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส โดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมและการคิดค่าเฉลี่ยจากเซลล์ที่ส่งบนโครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง ..... 81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในโครงข่ายเอทีเอ็มที่มีการส่งข้อมูลจากหลายต้นทาง ต้องมีการใช้งานร่วมกันของสายส่ง หน่วยความจำที่สวิตช์ เมื่อใช้งานร่วมกันอาจเกิดการสูญหายของเซลล์ข้อมูลที่สวิตช์เนื่องมาจากหน่วยความจำที่สวิตช์มีไม่พอสำรองให้กับเซลล์ข้อมูลที่ส่งมาจากต้นทางมากเกินไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมเพื่อให้เกิดการส่งข้อมูลให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดการสูญหายของข้อมูล

การควบคุมในโครงข่ายเอทีเอ็มนี้ได้แบ่งออกเป็นสองแนวทางคือ การควบคุมเรตเบส และการควบคุมเครดิตเบส การควบคุมแบบเรตเบสนั้นจัดเป็นการควบคุมแบบ end-to-end flow control ส่วนการควบคุมเครดิตเบสนี้จัดเห็นการควบคุมแบบ hop-by-hop flow control การควบคุมแบบเครดิตเบสนั้นสามารถรับประกันว่าจะไม่เกิดการสูญหายของข้อมูล เพราะมีการส่งข้อมูลกลับมาบอกในรูปของหน่วยความจำที่ว่างอยู่ของสวิตช์

ในงานวิจัยที่ผ่านมานั้น แบบแผนต่าง ๆ ของการควบคุมแบบเครดิตเบสจะเป็นแบบ per-vc computation ซึ่งการคิดคำนวณในลักษณะนี้จะทำให้สวิตช์ในโครงข่ายมีความซับซ้อนสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อโครงข่ายมีขนาดใหญ่ ๆ จะยิ่งมีความซับซ้อนมาก

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการใช้การควบคุมแบบเครดิตเบสโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วม ซึ่งจะสามารถช่วยลดความซับซ้อนของสวิตช์ในโครงข่ายลง ในขณะที่ประสิทธิผลโดยรวมไม่ได้ด้อยกว่าการควบคุมเครดิตเบสโดยใช้แบบแผนเดิมเท่าไรนัก และในบางโครงข่ายก็ยังมีประสิทธิผลมากกว่าด้วย

ค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิผลของโครงข่ายในที่นี้คือ ค่าเซลล์ที่รับได้ของปลายทาง ( Throughput Cells ) , ค่าความเท่าเทียมกันของโครงข่าย ( Fairness ) และค่าจำนวนเครดิตเซลล์ที่สวิตช์ส่งไปยังต้นทาง

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดความยุ่งยากของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส
2. เพื่อปรับปรุงวิสัยสามารถและความเท่าเทียมกันของโครงข่ายที่ใช้การควบคุมความคับคั่งแบบ เครดิตเบสให้ดีขึ้น

## 1.3 เป้าหมายและขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ปรับปรุงโครงสร้างการทำงานของสวิตช์แบบเครดิตเบสเพื่อลดความยุ่งยาก
2. ปรับปรุงระบบการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบสเพื่อให้ค่าวิสัยสามารถและความเท่าเทียมกันดีขึ้น

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษามาตรฐานและทฤษฎีต่างๆของ ATM และส่วนที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาการให้บริการแบบต่าง ๆ ของโครงข่าย ATM
3. ศึกษาวิธีการควบคุมความคับคั่งแบบต่าง ๆ ของการบริการแบบ ABR ของโครงข่าย ATM
4. ศึกษาการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส
5. เขียนและทดสอบโปรแกรมสร้างแบบจำลองการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส
6. ปรับปรุงโปรแกรมสร้างแบบจำลองเพื่อนำมาทดสอบกับกลไกที่ปรับปรุงขึ้นมา
7. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบจากแบบจำลอง
8. ตรวจสอบและแก้ไขข้อผิดพลาด
9. สรุปผลงานที่ได้นำเสนอ
10. เขียนและพิมพ์วิทยานิพนธ์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงพื้นฐานการทำงานของโครงข่าย ATM
2. ทำให้เข้าใจการทำงานของการควบคุมความคับคั่งแบบต่าง ๆ
3. สามารถลดความยุ่งยากของสวิตช์ที่ใช้ในการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส
4. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายในแง่ของวิสัยสามารถและความเท่าเทียมกัน

# บทที่ 2

# โครงข่ายเอทีเอ็มและการควบคุมความคับคั่ง

## 2.1 โครงข่ายเอทีเอ็ม

โครงข่ายเอทีเอ็ม ( Asynchronous Transfer Mode ) เป็นเทคโนโลยีการจัดสรรเส้นทางและบริหารความคับคั่งภายในโครงข่ายของผู้ใช้งานด้วยความเร็วสูง ซึ่งมีเวลาประวิงต่ำ โดยแบ่งข้อมูลของผู้ใช้งานออกเป็นหน่วยขนาดเล็ก ๆ เท่า ๆ กันเรียกว่า เซลล์ ภายใน 1 เซลล์มี 53 ไบท์ แบ่งเป็นส่วนหัว ( header ) 5 ไบท์ และส่วนข้อมูล ( payload ) 48 ไบท์ โดยตรงส่วนหัวจะเก็บข้อมูลในส่วนของการ relay traffic คือ Vertual Path Identifier ( VPI ) และ Virtual Channel Identifier ( VCI )

เอทีเอ็มสามารถรองรับการใช้งานได้หลายประเภท โดยมีการ switch และ multiplex traffic ในแบบ asynchronous multiplexing คือไม่จำเป็นจะต้องมีช่วงเวลาส่งที่แน่นอนเหมือนกับ synchronous multiplexing ดังนั้นจะสามารถใช้ช่วงแถบความถี่ในกรณีที่ไม่มีการส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้จะต้องขึ้นกับการตกลงระหว่างผู้ใช้งานและโครงข่าย ซึ่งการส่งข้อมูลในแบบ asynchronous นี้จะทำให้เอทีเอ็มมีลักษณะเป็น bandwidth on demand

เซลล์ข้อมูลของเอทีเอ็มมีขนาด 53 ไบท์แบ่งเป็นส่วนหัว 5 ไบท์และส่วนข้อมูล 48 ไบท์ ซึ่งเอทีเอ็มเซลล์มี 2 แบบ คือ เอทีเอ็มเซลล์สำหรับ User to Network Interface ( UNI ) และ เอทีเอ็มเซลล์สำหรับ Network to Network Interface ( NNI ) ทั้ง 2 แบบนี้จะต่างกันตรงที่เอทีเอ็มเซลล์สำหรับ UNI มีส่วนของ Generic Flow Control ( GFC ) เอทีเอ็มเซลล์สำหรับ NNI จะไม่มีส่วน GFC แต่ตรงตำแหน่งนี้จะเป็นส่วนของ VPI ดังรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 ตามลำดับ

<table>
<tr><td>GFC</td><td colspan="2">VPI</td></tr>
<tr><td>VPI</td><td colspan="2">VCI</td></tr>
<tr><td colspan="3">VCI</td></tr>
<tr><td>VCI</td><td>PT</td><td>CLP</td></tr>
<tr><td colspan="3">HEC</td></tr>
</table>

รูปที่ 2.1 User to Network Interface ( UNI )

<table>
<tr><td colspan="3">VPI</td></tr>
<tr><td>VPI</td><td colspan="2">VCI</td></tr>
<tr><td colspan="3">VCI</td></tr>
<tr><td>VCI</td><td>PT</td><td>CL<br>P</td></tr>
<tr><td colspan="3">HEC</td></tr>
</table>

รูปที่ 2.2 Network to Network Interface ( NNI )

ส่วนต่าง ๆ ภายในส่วนหัวของเอทีเอ็มเซลล์มีหน้าที่ดังนี้

1) Generic Flow Control ( GFC ) มีขนาด 4 บิต ใช้เก็บข้อมูลของ flow control ในการส่งข้อมูลระหว่างผู้ใช้กับโครงข่าย
2) Virtual Path Identifier ( VPI ) แสดงค่าเส้นทางเสมือน Virtual Path ของเอทีเอ็มเซลล์นั้น ถ้าเป็นเอทีเอ็มเซลล์สำหรับ UNI จะมีขนาด 8 บิต ส่วนเอทีเอ็มเซลล์สำหรับ NNI จะมีขนาด 12 บิต
3) Virtual Vhannel Identifier ( VCI ) มีขนาด 16 บิต แสดงค่าช่องสัญญาณเสมือน Virtual Channel ของเอทีเอ็มเซลล์นั้น
4) Payload Type ( PT ) มีขนาด 3 บิต แสดงค่าชนิดของข้อมูลที่อยู่ในส่วนข้อมูล Payload Type ซึ่งอาจเป็นข้อมูลของผู้ใช้งานหรือข้อมูลที่ใช้บริหารโครงข่าย นอกจากนี้ยังใช้แจ้งสภาวะความคับคั่งภายในโครงข่ายด้วย
5) Cell Loss Priority ( CLP ) มีขนาด 1 บิต แสดงค่าความสำคัญของข้อมูลในเซลล์นั้น โดยหาก CLP เป็น 1 หมายความว่าข้อมูลของเซลล์นั้นมีความสำคัญน้อยสามารถทิ้งได้ก่อนในกรณีที่สวิตช์มีความจำเป็นต้องละทิ้งเซลล์ข้อมูลในสภาวะเกิดความคับคั่งขึ้นในโครงข่าย
6) Header Error Control ( HEC ) มีขนาด 8 บิต มีไว้เพื่อตรวจสอบข้อมูลในส่วนหัวนี้ ซึ่งหากมีการผิดพลาดเพียงบิตเดียวก็จะทำการแก้ไขได้ แต่ถ้าผิดพลาดมากกว่า 1 บิตก็จำเป็นต้องละทิ้งเซลล์นั้นไป

## 2.2 การให้บริการบนโครงข่ายเอทีเอ็ม

โครงข่ายเอทีเอ็มได้กำหนดชั้นในการให้บริการข้อมูลออเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ซึ่งแต่ละชั้นก็มีการส่งข้อมูลต่างกันออกไป มีตัวแปรและการรับประกัน Qos ต่างกันออกไป ผู้ใช้จึงสามารถเลือกใช้การบริการส่งข้อมูลได้ตามการใช้งานดังนี้

1. CBR (Constant Bit Rate) ได้ถูกออกแบบให้มีการส่งข้อมูลจำพวก voice traffic , continuous bit rate video โดย CBR จะรองรับช่วงแถบความถี่ที่ต้องการส่งข้อมูลไว้ให้ เพื่อให้มีการเกิดการสูญหายของข้อมูลและเวลาประวิงน้อยสุด

2. VBR (Variable Bit Rate) ในชั้นนี้มีการกำหนดขอบเขตของการเกิดเวลาประวิงในขณะส่งข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่ส่งได้แก่ข้อมูลจำพวก video , voice และ ลักษณะ transaction data

3. ABR (Available Bit Rate) จะเป็นการให้บริการโดยใช้ช่วงแถบความถี่ที่เหลือจากการใช้โดย CBR และ VBR โดยจะมีการป้อนกลับของข้อมูลที่บอกถึงสภาวะของโครงข่ายให้กับทางต้นทางเพื่อลดอัตราการส่งข้อมูลที่จะทำให้เกิดการสูญหายของข้อมูล การให้บริการแบบนี้เหมาะกับการส่งข้อมูลใน LAN และข้อมูลที่ส่งแบบไม่อาจคาดเดาได้

4. UBR (Unspecified Bit Rate) จะเป็นการบริการที่ใช้ช่วงแถบความถี่ที่เหลือจาก CBR และ VBR เหมือน ABR ต่างกันตรงที่ UBR จะไม่มีการป้อนกลับของข้อมูลโครงข่าย ดังนั้น UBR จะไม่รับประกันในเรื่องของการสูญหายของข้อมูลและเวลาประวิง

สำหรับในเรื่องของการรับประกัน Qos นั้นสามารถเขียนสรุปได้ดังตารางที่ 2.1 ซึ่ง Qos ที่ใช้นั้นจะมี การสูญหายของข้อมูล (Loss) , การประวิงเวลา (Delay) และ แถบความถี่ (Bandwidth)

| การบริการ | การรับประกัน | | |
|---|---|---|---|
| | Loss | Delay | Bandwidth |
| CBR | มี | มี | มี |
| VBR | มี | มี | มี |
| ABR | มี | ไม่มี | มี |
| UBR | ไม่มี | ไม่มี | ไม่มี |

ตารางที่ 2.1 การรับประกันของการให้บริการ

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าการให้บริการแบบ ABR ไม่มีการรับประกันการประวิงเวลาเพราะจะมีอัตราการส่งที่เปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ส่วนจะมีการรับประกันช่วงแถบความถี่ให้ใช้งานอยู่

ระหว่างค่า PCR ( Peak Cell Rate ) และ MCR ( Minimum Cell Rate ) ส่วนการบริการแบบ นั้นจะไม่มีการรับประกันอะไรเลย หากเกิดการคับคั่งขึ้นในโครงข่ายก็จะ drop เซลล์ข้อมูลทิ้งทันทีและอาจให้มีการส่งใหม่แล้วแต่กลไกในการควบคุม

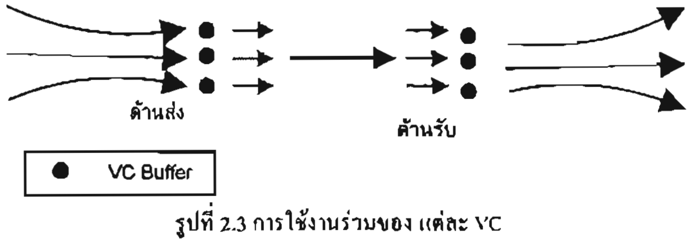
### 2.3 การควบคุมความคับคั่งในโครงข่ายเอทีเอ็ม

โครงข่ายที่มีประสิทธิภาพควรจะต้องสามารถรองรับทราฟฟิกได้มาก ๆ โดยที่มีค่า network utilization ที่สูงสุดซึ่งโดยปกติค่า network utilization มีค่าต่ำกว่า 100 เปอร์เซนต์ซึ่งหมายความว่ายังสามารถรองรับทราฟฟิกได้อีก ซึ่งหากไม่สามารถรองรับได้ก็จะเกิดความคับคั่งขึ้นในโครงข่าย ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการควบคุมความคับคั่งของโครงข่ายมิฉะนั้นก็จะเกิดการสูญหายของข้อมูลได้ อันเป็นผลให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายลดลง

ตามการใช้งานจริงของโครงข่ายแล้วในระหว่างตัวส่งและตัวรับ ซึ่งภายในการเชื่อมต่อประกอบไปด้วยหลาย ๆ เส้นทางการส่งหรือหลาย ๆ VCI (Virtual Channel Identify) โดยทุก VCI ใช้งานของสายส่ง ตัวส่งและตัวรับร่วมกัน ตามรูปที่ 2.3 ซึ่งจำเป็นต้องมีการแบ่งใช้งานของแต่ละส่วนด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมให้เป็นดังนี้

- ข้อมูลที่ส่งเข้าที่ sender จากทุก ๆ VCI จะต้องเก็บไว้ที่หน่วยความจำของตัวส่ง ซึ่งหากไม่มีตัวควบคุมจะเกิดกรณีที่ข้อมูลเก็บในหน่วยความจำมากเกิน ซึ่งข้อมูลส่วนที่เกินมานี้จะต้องสูญหายไป หรือต้องส่งใหม่ ซึ่งประสิทธิภาพโดยรวมของโครงข่ายจะลดลง แต่หากมีการควบคุมที่ไม่ให้มีการล้นของข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำของตัวส่งก็จะช่วยให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายดีขึ้น

- ข้อมูลที่ส่งมาจาก sender ไปยัง receiver นั้นจะต้องเก็บในหน่วยความจำของตัวรับ ซึ่งหากไม่มีการควบคุมจะเกิดกรณีที่ข้อมูลที่จะมาเก็บในหน่วยความจำของตัวรับเกิน ซึ่งข้อมูลส่วนที่เกินมานี้จะต้องสูญหายไป หรือต้องส่งใหม่ ซึ่งประสิทธิภาพโดยรวมของโครงข่ายจะลดลง แต่หากมีการควบคุมที่ไม่ให้มีการล้นของข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำของตัวรับก็จะช่วยให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายดีขึ้น




รูปที่ 2.3 การใช้งานร่วมของ แต่ละ VC

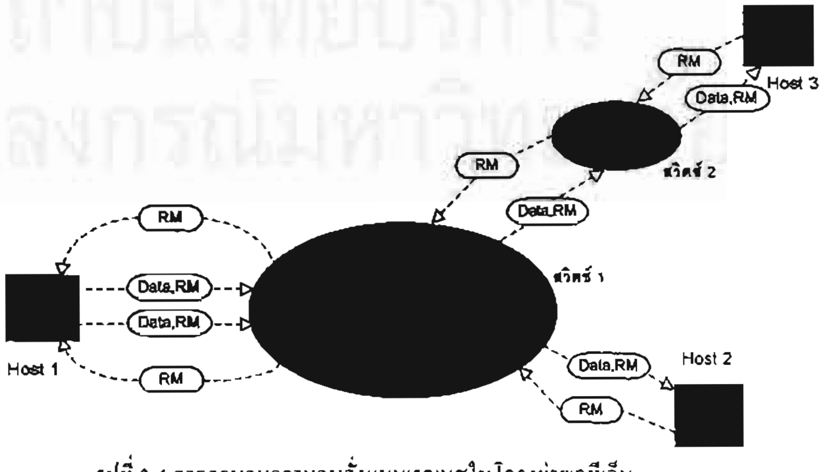
ATM Forum ได้แบ่งการควบคุมความคับคั่งของการบริการ ABR เป็น 2 แนวทางคือ Rate Based Flow Control และ Credit Based Flow Control ซึ่งแต่ละแนวทางก็มีข้อดีต่างกันออกไป

### 2.3.1 การควบคุมความคับคั่งแบบเรตเบส

การควบคุมแบบ Rate จัดเป็นการควบคุมแบบ Close loop ซึ่งจะมีการส่งข้อมูลบ่งบอกสถานะของความคับคั่งของโครงข่ายกลับไปบอกยังแหล่งที่ส่งข้อมูลในรูปแบบของ ATM Resource Management ( RM ) ซึ่งหากแหล่งที่ส่งข้อมูลได้รับข้อมูลที่บอกว่าในโครงข่ายมีสภาวะความคับคั่ง แหล่งส่งข้อมูลนั้นก็จะค่อย ๆ ลดอัตราการส่งลงโดยที่จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการส่งเดิมที่ส่งอยู่ ในทางกลับกันหากไม่มีความคับคั่งเกิดขึ้นในโครงข่ายแหล่งส่งข้อมูลก็จะเพิ่มอัตราการส่งโดยที่จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการส่งเดิมเช่นกัน

ต่อมาได้มีการนำเสนอโดยในการเพิ่มอัตราการส่งนั้นจะให้เพิ่มแบบ Linear ส่วนการลดอัตราการส่งจะให้ลดลงแบบ exponential เพื่อจะได้ลดการสูญหายของข้อมูลเนื่องมาจากการคับคั่งของโครงข่าย เพราะเมื่อจะเพิ่มการส่งให้ช้าลง และลดอัตราการส่งให้เร็วขึ้นข้อมูลก็จะไม่คงอยู่ในโครงข่ายมากทั้งในสภาวะที่คับคั่งและไม่คับคั่ง ดังนั้นอัตราการสูญหายของข้อมูลก็จะน้อยลงแต่ประสิทธิผลก็จะน้อยลงตามด้วย

สำหรับการคิดค่าอัตราส่งข้อมูลที่จะส่งกลับไปบอกยังต้นทางนั้นจะมีหลายวิธีที่คิดได้ซึ่งส่วนใหญ่จะคิดให้มีความยุติธรรมระหว่างแต่ละ VC คือถ้าการเชื่อมต่อใดมีความต้องการส่งข้อมูลมากก็ควรได้รับการจัดสรรให้ส่งข้อมูลที่อัตราที่สูงกว่า ในขณะที่การเชื่อมต่อใดที่ไม่มีความต้องการส่งก็ควรแบ่งช่วงความถี่ให้การเชื่อมต่อที่ต้องการส่งมาก ( Fair Share ) โดยจะเกิดจากการแบ่งช่วงความถี่ที่ยังว่างอยู่ หักจากค่าของสายที่ใช้งานอย่างเต็มที่ตามจำนวนสายที่ต้องการทั้งหมด โดยจะหักจากสายที่คิดค่าของช่วงความถี่ไปแล้ว



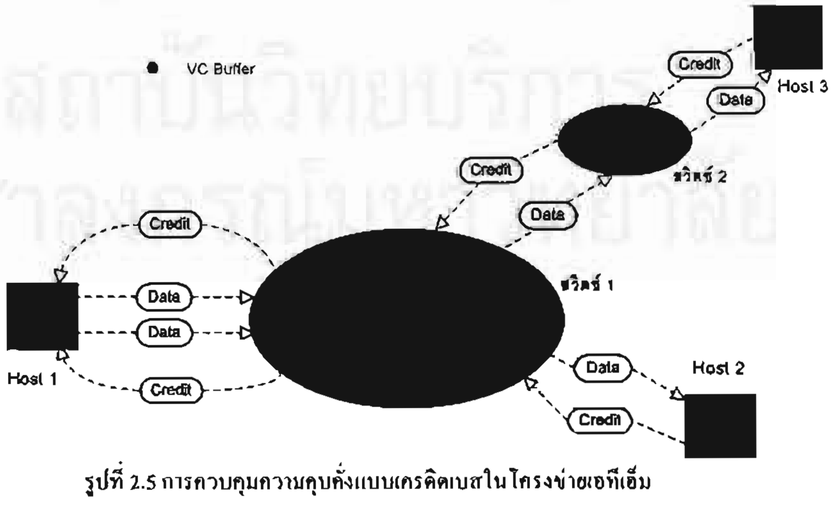

รูปที่ 2.4 การควบคุมความคับคั่งแบบเรตเบสในโครงข่ายเอทีเอ็ม

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิจารณาจากรูปที่ 2.4 จะเป็นรูปโครงข่ายโดยใช้การควบคุมแบบ Rate ซึ่งจะมีการส่ง Resource Management Cells ( RM Cells ) จากต้นทางไปกับเซลล์ข้อมูลซึ่งจะมีอัตราระหว่างเซลล์ข้อมูลต่อ RM เซลล์เป็น NRM หมายความว่า ในการส่งเซลล์ข้อมูลทั้งหมด NRM เซลล์ข้อมูล ต้นทางจะส่ง RM เซลล์ไปอีก 1 เซลล์ ซึ่งโดยทั่วไป NRM นี้จะมีค่า 32 เมื่อ RM เซลล์วิ่งผ่านสวิตช์แต่ละตัวจนถึงปลายทางแล้ว ทางปลายทางจะทำการส่ง RM เซลล์นี้กลับมายังต้นทาง ซึ่งหมายความว่า RM เซลล์นี้จะออกจากต้นทางไปยังปลายทางและกลับจากปลายทางมายังต้นทางครบรอบพอดี การควบคุมแบบนี้เองจัดเป็นการควบคุมแบบ close loop end-to-end flow control และในการควบคุมแบบนี้ที่แต่ละโนดจะซึ่ง RM เซลล์ผ่านจะมีการบอกข้อมูลลงใน RM เซลล์นี้เอง ซึ่งข้อมูลที่บอกนี้จะเป็นอัตราการส่งข้อมูลที่จะกำหนดไว้ให้ต้นทาง และอาจให้ค่าอื่น ๆ อีก ซึ่งทั้งนี้แล้วแต่แบบแผนการควบคุม แบบแผนการควบคุมของ Rate-Based flow control นี้มีมากมาย เช่น ERICA , FMMRA เป็นต้น

### 2.3.2 การควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส

การควบคุมแบบเครดิตเบสจะเป็นการควบคุมแบบ hop-by-hop โดยจะคิดถึงขนาดของหน่วยความจำของตัวสวิตช์เป็นหลัก ซึ่งการควบคุมแบบนี้จะควบคุมในแต่ละ VC และทำนองเดียวกันก็จะมีการส่งข้อมูลกลับมาบอกถึงสภาวะของโครงข่ายซึ่งจะบอกมาในรูปของขนาดของหน่วยความจำที่ทางปลายทางรับได้ หากปลายทางสามารถรับได้มากก็แสดงว่ายังไม่มีสภาวะคับคั่งเกิดขึ้น แต่ในทางกลับกันหากปลายทางรับข้อมูลได้น้อยหรือไม่สามารถรับได้เลยก็แสดงว่าได้เกิดสภาวะคับคั่งขึ้นในโครงข่ายและทางต้นทางก็จะส่งข้อมูลมาน้อยลงหรือยังไม่ส่งมาอีกเลยจนกว่าความคับคั่งจะหมดไป




รูปที่ 2.5 การควบคุมความคุบคั่งแบบเครดิตเบสในโครงข่ายเอทีเอ็ม

พิจารณาจากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าการควบคุมแบบเครดิตเบสจะเป็นแบบ hop-by-hop โดยข้อมูลจะส่งออกไปจากต้นทางที่ Host 1 ไปยัง Host 3 และจาก Host 1 ไปยัง Host 2 ซึ่งจะใช้ 2 VC ในการส่งข้อมูลและระหว่างทางจะมีสวิตช์อยู่ ซึ่งการควบคุมจะแบ่งแยกกันออกไปในแต่ละ VC อีกทั้งจะเกิดขึ้นเพียง 2 node เท่านั้น คือ เมื่อข้อมูลถูกส่งออกไปจากจนถึง node ถัดไปก็จะมีเครดิตเซลล์กลับมาโดยที่ภายในเครดิตเซลล์นี้จะเก็บข้อมูลของขนาดหน่วยความจำที่ทาง node ปลายทางรองรับได้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 3

# การควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบสจะมีลักษณะเป็นแบบ hop-by-hop flow control ซึ่งจะควบคุมเฉพาะคู่โนดใด ๆ ทุกคู่โนดที่อยู่บนโครงข่ายเท่านั้น และนอกจากนั้นยังมีการคำนวณการส่งข้อมูลแบบ per VC

สำหรับในแต่ละ VC ที่ผ่านโนดปัจจุบัน จะมีการจัดแบ่งขนาดของหน่วยความจำที่แต่ละ VC ได้โดยจะมีนิยามการแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ N1 , N2 และ N3 ตามรูปที่ 3.1

| | | |
|---|---|---|
| N1 | N2 | N3 |

รูปที่ 3.1 การจัดสรรบัฟเฟอร์ของการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส

โดยที่ N1 จะเป็นบริเวณป้องกันการที่ข้อมูลจะไหลมาเกินขนาดของหน่วยความจำที่ได้ ซึ่งจะต้องคลอบคลุมค่าเวลาประวิงที่เกิดจาก round-trip time ระหว่างโนดปัจจุบันและโนดก่อนหน้านี้

N2 จะเป็นบริเวณที่มีข้อมูลอยู่บ่อยมาก และจะเป็นตัวควบคุมถึงการส่งเครดิตเซลล์เพื่อควบคุมความคับคั่งที่จะเกิดขึ้นของโนดปัจจุบัน โดยจะมีเงื่อนไขว่าจะสามารถส่งเครดิตเซลล์ได้ก็ต่อเมื่อส่งเซลล์ข้อมูลออกไปแล้ว N2 เซลล์

N3 จะเป็นบริเวณป้องกันการที่ข้อมูลจะต่ำเกินไปในหน่วยความจำ

คุณลักษณะของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบสนั้นสามารถสรุปได้เป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. รับประกันว่าจะไม่เกิดการสูญหายของข้อมูล
2. ใช้งานสายส่งได้เต็มที่และประสิทธิภาพของโครงข่ายสูง
3. ใช้โปรโตคอลที่ง่ายเพราะมีการส่งข้อมูลอยู่เพียง 2 ชนิด
4. ใช้หน่วยความจำของสวิตช์น้อย
5. ทนทานต่อทราฟฟิกที่ไม่อาจคาดเดาได้
6. ง่ายที่จะปรับค่าต่าง ๆ ของระบบ
7. สามารถรองรับการใช้งานแบบ multicast
8. มีการควบคุมแยกเป็น VC

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.1 การทำงานของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส

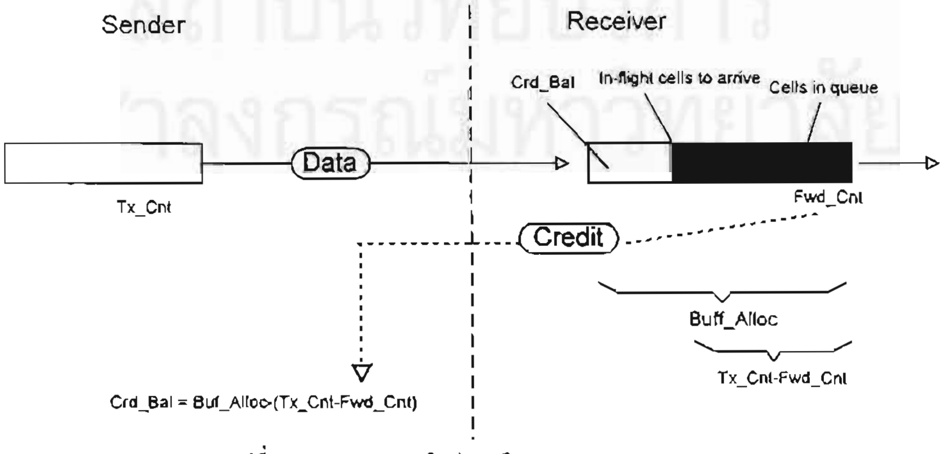
ในการทำงานของการควบคุมแบบเครดิตเบสนี้เป็นแบบ hop-by-hop ซึ่งจะคำนึงถึงโนดใด ๆ ที่ต้องการควบคุมเป็นหลัก โดยจะเรียกโนดนี้ว่า current node และโนดที่ส่งข้อมูลมายัง current node นี้จะเรียกเป็น upstream node และโนดที่ current node ส่งข้อมูลไปจะเรียกเป็น downstream node การทำงานจะพิจารณาที่ current node ซึ่งจะต้องควบคุมบริหารค่าเครดิต หน่วยความจำของทาง upstream node เมื่อเซลล์ข้อมูลส่งออกจาก upstream node ผ่านทางสายส่ง ทาง upstream node ก็จะหักค่าเครดิตของตัวเองลงทีละ 1 โดยทาง upstream node ยังจะสามารถส่งเซลล์ข้อมูลมาได้ก็ต่อเมื่อยังมีค่าเครดิตของตัวเองนี้อยู่ และทาง current node จะทำการส่งค่าเครดิตกลับไปบอก upstream node เมื่อได้ทำการส่งเซลล์ข้อมูลไปยัง downstream node แล้วจำนวน N2 เซลล์ โดยนับจากการส่งเครดิตเซลล์ครั้งก่อน และเครดิตเซลล์นี้จะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ VC และจำนวนขนาดของหน่วยความจำที่ยังว่างอยู่สำหรับ VC นั้น ๆ ที่ current node ซึ่งคือจำนวนเซลล์ที่จะส่งมาแล้วไม่ทำให้เกินขนาดของหน่วยความจำ

### 3.2 มาตรฐานของการคิดค่าเครดิต

มาตรฐานของการคิดค่าเครดิตจะแสดงดังรูปที่ 3.2 เป็นกระบวนการคิดค่าอัตราการส่งข้อมูลของการควบคุมแบบเครดิตเบส ซึ่งจะเห็นว่าข้อมูลได้ส่งจากทางด้านส่งไปยังด้านรับและที่ทางด้านรับจะมีการคิดหาขนาดของหน่วยความจำที่ยังว่างอยู่ซึ่งเมื่อรับข้อมูลจากทางด้านส่งแล้วจะมีขนาดของหน่วยความจำเหลือ

$$Crd_Bal = Buf_Alloc - (Tx_Cnt - Fwd_Cnt) \quad (3.1)$$

โดยที่ $Buf_Alloc$ คือขนาดของหน่วยความจำที่ด้านรับ ส่วน $(Tx_Cnt - Fwd_Cnt)$ คือขนาด




รูปที่ 3.2 มาตรฐานการคิดค่าเครดิต ( Credit Update Protocol )

ของหน่วยความจำที่ยังคงเหลืออยู่หลังจากที่ได้รับข้อมูลและส่งข้อมูลต่อไปแล้วที่ทางด้านตัวรับ และจะส่งข้อมูลนี้กลับไปยังตัวส่งไปกับเครดิตเซลล์ โดยที่จะมีเงื่อนไงการส่งก็ต่อเมื่อได้ทำการส่ง cell ออกไปแล้ว N2 cells และทางด้านส่งเมื่อได้รับเครดิตเซลล์ แล้วก็จะทำการคิดหาค่าอัตราการส่งซึ่งจะดูจากค่า Round Trip Time จะคิดว่าสามารถส่งข้อมูลได้โดยไม่เกินตามค่าเครดิตที่ได้รับนั้น

### 3.3 แบบแผนของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส

แบบแผนที่ใช้ในการควบคุมแบบเครดิตเบสมีได้หลายแบบแผน ซึ่งแล้วแต่ผู้ใช้งานจะต้องการใช้โดยจะยังคงแนวทางหลักของการควบคุมแบบเครดิตเบสเอาไว้ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น และในที่นี้จะขอยกตัวอย่าง แบบแผน N123 , N123+ และ N23 ซึ่งเป็นแบบแผนข้างต้นของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส

แบบแผน N123

เป็นแบบแผนขั้นแรกของการควบคุม ซึ่งจะแบ่งพื้นที่ของหน่วยความจำออกเป็น 3 ส่วน ตามรูปที่ 3.3 โดยจะมีเงื่อนไขการส่งเครดิตเซลล์ ก็ต่อเมื่อโนดปัจจุบันได้ส่งเซลล์ข้อมูลไปแล้ว N2 เซลล์นับจากการส่งครั้งล่าสุด ซึ่งเครดิตเซลล์จะเก็บค่าของหน่วยความจำที่ยังว่างอยู่ของพื้นที่ N2 และ N3

| N1 | N2 | N3 |
|---|---|---|

รูปที่ 3.3 การจัดสรรหน่วยความจำของการควบคุม N123

ทางโนดก่อนหน้า เมื่อได้รับเครดิตเซลล์ก็จะสามารถส่งเซลล์ข้อมูลได้ตามจำนวนข้อมูลที่เครดิตเซลล์ได้บอกไว้และจะไม่สามารถส่งได้เกินจำนวนนั้น

สำหรับวิธีนี้ $N1 = R*B_{link}/Cell_size$

$N3 = R*B_{vc}/Cell_size$

โดยที่ R คือค่าเวลาประวิง Round Trip Time คิดรวมจากการส่งข้อมูลจากต้นทางถึงปลายทางและจากปลายทางกลับมายังต้นทาง

$B_{link}$ คือค่าแถบความถี่ของสายส่งทั้งหมด

$B_{vc}$ คือค่าแถบความถี่ที่ได้มาของ VC ที่กำลังพิจารณา

หน่วยความจำที่ใช้สำหรับการเก็บค่าตัวแปรมีดังนี้

- Credit คือค่าจำนวนเซลล์ที่ทางโนดปลายยอมรับได้ ซึ่งทางโนดปัจจุบันจะไม่ส่งเซลล์ข้อมูลไม่เกินค่าเครดิตนี้ ค่านี้เกิดจากการ update ค่าที่ติดมากับเครดิตเซลล์ของทางโนดปลายทางที่ส่งมาให้
- Fwd_Cnt คือค่าจำนวนเซลล์ที่ทางโนดปัจจุบันส่งข้อมูลออกไปยังโนดปลายทาง จะมีการ update ค่านี้ทุก ๆ ครั้งที่มีการส่งเซลล์ข้อมูลออกไปยังโนดปลายทาง
- Tx_Cnt คือค่าจำนวนเซลล์ที่ทางโนดต้นทางส่งมาและเข้ามาเก็บไว้ยังหน่วยความจำของสวิตช์แล้ว จะมีการ update ค่านี้ทุก ๆ ครั้งที่มีการรับข้อมูลเข้ามาเก็บไว้ยังหน่วยความจำของสวิตช์
- Buff_Alloc คือค่าหน่วยความจำของสวิตช์( เป็นจำนวนเซลล์ ) ที่ได้รับการจัดสรรจากทางสวิตช์มาให้ จะมีการ update ค่านี้ทุกครั้งที่เริ่มการเชื่อมต่อ
- Q_max คือค่าหน่วยความจำของสวิตช์ที่รองรับได้สูงสุด
- Q_length คือค่าหน่วยความจำของสวิตช์ที่ได้มีการใช้งานรองรับเซลล์ข้อมูลอยู่

ซึ่งการคิดคำนวณทั้งหมดจะกระทำทุก ๆ VC หรือเป็นการคิดแบบ per-VC Computation

แบบแผน N123+

เป็นแบบแผนที่พัฒนามาจากแบบแผน N123 จะมีการแบ่งพื้นที่หน่วยความจำเหมือนกันดังรูปที่ 3.4 โดยจะมีการเพิ่มเงื่อนไขของการส่งเครดิตเซลล์ซึ่งนอกจากจะส่งได้เมื่อโนดปัจจุบันส่งข้อมูลจำนวน N2 เซลล์แล้วยังสามารถส่งได้เมื่อครบกำหนดเวลาที่ได้ตั้งไว้ เพราะเนื่องจากการส่งเครดิตเซลล์ช้ามีสาเหตุมาจากไม่มีเซลล์ข้อมูลให้ส่งจนครบ N2 เซลล์ เกิดได้จากข้อมูลไม่มีส่งจริงหรืออาจเกิดความคับคั่งอย่างมากในโครงข่าย ดังนั้นจึงควรให้ส่งข้อมูลสภาวะของโครงข่ายกลับไปบอกยังโนดต้นทาง เพื่อจะให้ทางโนดต้นทางได้ ปรับตัวให้ทันกับสภาวะของโครงข่ายในปัจจุบัน

| N1 | N2 | N3 |
|---|---|---|

รูปที่ 3.4 การจัดสรรหน่วยความจำของการควบคุม N123+

ทางโนดก่อนหน้า เมื่อได้รับเครดิตเซลล์ก็จะสามารถส่งเซลล์ข้อมูลได้ตามจำนวนข้อมูลที่เครดิตเซลล์ได้บอกไว้และจะไม่สามารถส่งได้เกินจำนวนนั้น

สำหรับวิธีนี้ $N1 = \min(N2+N3 , R*B_{link}/Cell_size)$

$N3 = R*B_{vc}/Cell_size$

หน่วยความจำที่ใช้สำหรับการเก็บค่าตัวแปรมีดังนี้

- Credit คือค่าจำนวนเซลล์ที่ทางโนดปลายยอมรับได้ ซึ่งทางโนดปัจจุบันจะไม่ส่งเซลล์ข้อมูลไม่เกินค่าเครดิตนี้ ค่านี้เกิดจากการ update ค่าที่ติดมากับเครดิตเซลล์ของทางโนดปลายทางที่ส่งมาให้
- Fwd_Cnt คือค่าจำนวนเซลล์ที่ทางโนดปัจจุบันส่งข้อมูลออกไปยังโนดปลายทาง จะมีการ update ค่านี้ทุก ๆ ครั้งที่มีการส่งเซลล์ข้อมูลออกไปยังโนดปลายทาง
- Tx_Cnt คือค่าจำนวนเซลล์ที่ทางโนดต้นทางส่งมาและเข้ามาเก็บไว้ยังหน่วยความจำของสวิตช์แล้ว จะมีการ update ค่านี้ทุก ๆ ครั้งที่มีการรับข้อมูลเข้ามาเก็บไว้ยังหน่วยความจำของสวิตช์
- Buff_Alloc คือค่าหน่วยความจำของสวิตช์( เป็นจำนวนเซลล์ ) ที่ได้รับการจัดสรรจากทางสวิตช์มาให้ จะมีการ update ค่านี้ทุกครั้งที่เริ่มการเชื่อมต่อ
- Q_max คือค่าหน่วยความจำของสวิตช์ที่รองรับได้สูงสุด
- Q_length คือค่าหน่วยความจำของสวิตช์ที่ได้มีการใช้งานรองรับเซลล์ข้อมูลอยู่
- Timer คือค่าเวลานับจากการส่งเครดิตเซลล์กลับไปยังโนดต้นทางครั้งล่าสุด ซึ่งหากค่าเวลา Timer นี้เกินค่าเวลาหนึ่ง สวิตช์ก็จะทำการส่งเครดิตเซลล์กลับไปยังโนดต้นทาง เพื่อบอกสภาวะของโครงข่ายในปัจจุบัน ค่านี้จะมีการ reset ทุกครั้งที่มีการส่งเครดิตเซลล์ไปยังโนดต้นทาง

ซึ่งการคิดคำนวณทั้งหมดจะกระทำทุก ๆ VC หรือเป็นการคิดแบบ per-VC Computation

**แบบแผน N23**

วิธีแบบ N23 จะแบ่งหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วน คือ N2 และ N3 ตามรูปที่ 3.5 และจะมีเงื่อนไขการส่งเครดิตเซลล์เหมือนกับแบบแผน N123+ คือจะส่งเครดิตเซลล์ได้ก็ต่อเมื่อ โนดปัจจุบันส่งข้อมูลจำนวน N2 เซลล์หรือส่งได้เมื่อครบกำหนดเวลาที่ได้ตั้งไว้

| | |
|---|---|
| N2 | N3 |

รูปที่ 3.5 การจัดสรรหน่วยความจำของการควบคุม N23

ส่วนทางโนดก่อนหน้า เมื่อได้รับเครดิตเซลล์ก็จะสามารถส่งเซลล์ข้อมูลได้ตามจำนวนข้อมูลที่เครดิตเซลล์ได้บอกไว้หักออกด้วยค่าที่เผื่อของการชดเชยของเวลาประวิง round trip time และจะไม่สามารถส่งได้เกินจำนวนนั้น

สำหรับวิธีนี้ $N1 = 0$

$N3 = R*B_{vc}/Cell_size$

หน่วยความจำที่ใช้สำหรับการเก็บค่าตัวแปรมีดังนี้

- Credit คือค่าจำนวนเซลล์ที่ทางโนดปลายยอมรับได้ ซึ่งทางโนดปัจจุบันจะไม่ส่งเซลล์ข้อมูลไม่เกินค่าเครดิตนี้ ค่านี้เกิดจากการ update ค่าที่ติดมากับเครดิตเซลล์ของทางโนดปลายทางที่ส่งมาให้
- Fwd_Cnt คือค่าจำนวนเซลล์ที่ทางโนดปัจจุบันส่งข้อมูลออกไปยังโนดปลายทาง จะมีการ update ค่านี้ทุก ๆ ครั้งที่มีการส่งเซลล์ข้อมูลออกไปยังโนดปลายทาง
- Tx_Cnt คือค่าจำนวนเซลล์ที่ทางโนดต้นทางส่งมาและเข้ามาเก็บไว้ยังหน่วยความจำของสวิตช์แล้ว จะมีการ update ค่านี้ทุก ๆ ครั้งที่มีการรับข้อมูลเข้ามาเก็บไว้ยังหน่วยความจำของสวิตช์
- Buff_Alloc คือค่าหน่วยความจำของสวิตช์( เป็นจำนวนเซลล์ ) ที่ได้รับการจัดสรรจากทางสวิตช์มาให้ จะมีการ update ค่านี้ทุกครั้งที่เริ่มการเชื่อมต่อ
- Q_max คือค่าหน่วยความจำของสวิตช์ที่รองรับได้สูงสุด
- Q_length คือค่าหน่วยความจำของสวิตช์ที่ได้มีการใช้งานรองรับเซลล์ข้อมูลอยู่
- Timer คือค่าเวลานับจากการส่งเครดิตเซลล์กลับไปยังโนดต้นทางครั้งล่าสุด ซึ่งหากค่าเวลา Timer นี้เกินค่าเวลาหนึ่ง สวิตช์ก็จะทำการส่งเครดิตเซลล์กลับไปยังโนดต้นทาง เพื่อบอกสภาวะของโครงข่ายในปัจจุบัน ค่านี้จะมีการ reset ทุกครั้งที่มีการส่ง credit เซลล์ไปยังโนดต้นทาง

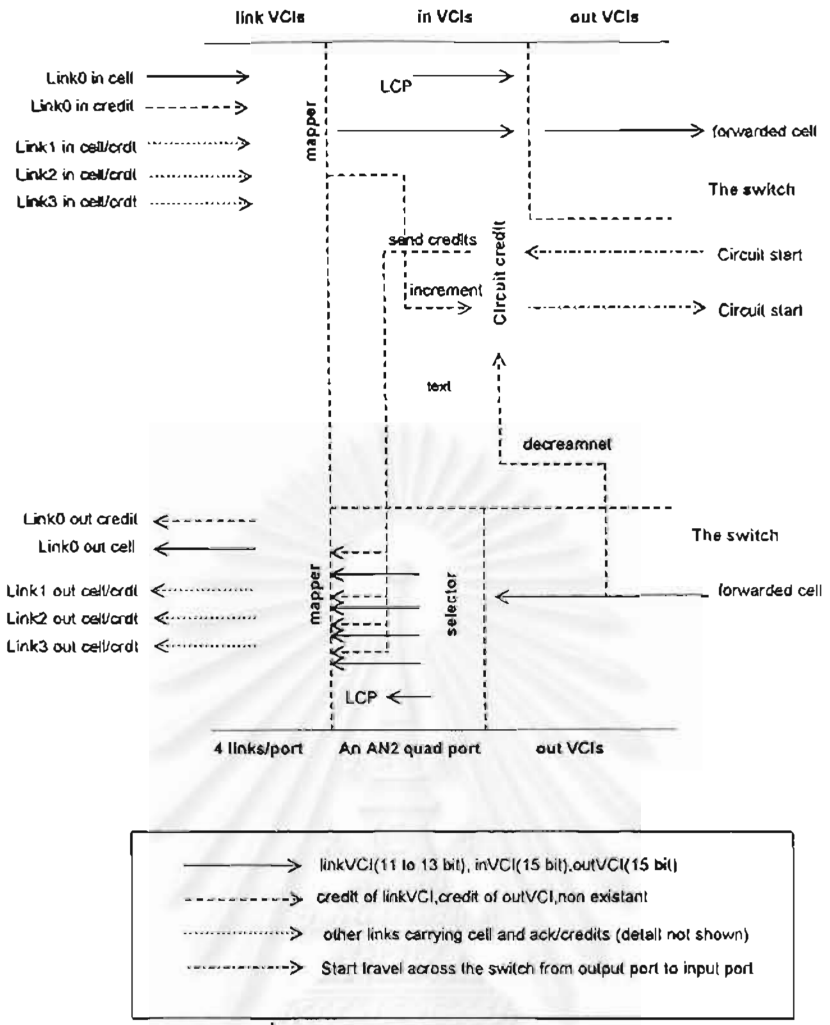
การคิดคำนวณทั้งหมดจะกระทำทุก ๆ VC หรือเป็นการคิดแบบ per-VC Computation ตามแผนภาพในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 แผนภาพแสดงการควบคุมความคับคั่ง N23

จากรูปที่ 3.6 จะเป็นแผนภาพการทำงานของการควบคุมความคับคั่ง N23 ซึ่งจะเห็นว่าจำเป็นต้องมีการอ่านค่า VCI ของเซลล์ที่ส่งข้อมูลออกทุกครั้งเพื่อทำการควบคุมในแต่ละ VC และมีการคำนวณซึ่งเป็นการคำนวณแบบ per-VC Computation

### 3.4 การประยุกต์ใช้งาน

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างสวิตช์ AN2 ซึ่งสร้างโดยบริษัท Digital Equipment Corporation (DEC) โครงสร้างของสวิตช์เป็นแบบ crossbar ทำงานที่ 12.8 Gb/s ขณะที่ แต่ละ 16 port มีแถบความถี่ 800 Mb/s ด้วยโครงสร้างการทำงานที่ไม่ติดขัด ( Non Blocking ) สวิตช์ AN2 เป็นแบบเครดิตเบส ซึ่งจะจัดการเป็นแบบ per VC สำหรับทุก ๆ การให้บริการแบบ VBR , CBR ซึ่งสวิตช์แสดงดังรูปที่ 3.7




รูปที่ 3.7 การใช้งานเครดิตเบสบนสวิตช์ AN2

สำหรับ Wide Area Networks ( WAN ) ระยะทางจะส่งผลให้ค่าเวลาประวิงสำหรับการส่งข้อมูลมีค่ามากกว่าค่าเวลาประวิงเนื่องจากการเข้าคิว ขนาดของหน่วยความจำที่จะต้องการในระบบการควบคุมแบบเครดิตเบส จึงทำไม่ได้เนื่องจากค่าเวลาประวิงจากระยะทางที่ไกลของสายส่งนี้ ดังนั้นระบบเครดิตเบส ที่สามารถใช้กับ WAN ได้จึงต้องมีการจัดสรรหน่วยความจำแบบ dynamic และความเร็วที่จะใช้กับโครงข่ายแบบ WAN จะปรับเปลี่ยนได้จะขึ้นกับค่าประวิงเวลาและจะช้ากว่าในโครงข่ายแบบ LAN

ในการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส แบบ per VC ค่าข้อมูลสูญหายจะมีค่าเป็น ค่าข้อมูลสูญหายเป็นศูนย์นี้จะส่งผลต่อค่าตัวแปรอื่นในการใช้งาน protocol ที่เกี่ยวข้องด้วย เช่น ค่าเวลาส่งใหม่ของ TCP protocol , การเปลี่ยนของ window size เมื่อมีการส่งใหม่ , ความไวของกระบวนการส่งใหม่ เป็นต้น และในการควบคุมแบบเครดิตเบส นี้จะมีการจัดสรรขนาดของหน่วยความจำได้ดี จึงทำให้มีการใช้งานของหน่วยความจำได้อย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้มีการใช้งานของช่วงความถี่ได้ดี

### 3.5 ข้อด้อยของการควบคุมความคับคั่งแบบเดิมของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส

หากเราพิจารณาแบบแผนต่าง ๆ ของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบสจะพบว่า ทุก ๆ แบบแผนจะมุ่งเน้นเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยจะพยายามให้มีการใช้ทรัพยากรของโครงข่ายให้คุ้มค่ามากสุด ซึ่งในทุกแบบแผนจะใช้การควบคุมและบริหารข้อมูลเป็นแบบแยกแต่ละ VC ( per VC ) ซึ่งผลที่ตามมาก็คือจะทำให้ระบบมีความซับซ้อน ( Complexity ) สูง

ค่าความซับซ้อนของระบบนี้สามารถพิจารณาได้ในสองแนวทางคือ ในส่วนของหน่วยความจำ ( memory usage ) ที่ต้องสิ้นเปลืองไปกับการเก็บค่าตัวแปร ( parameter ) ที่ใช้ในการควบคุมสภาวะของโครงข่าย และในส่วนของการคำนวณ ( cpu usage ) ที่ต้องใช้ในการคำนวณค่าต่าง ๆ จากตัวแปรของโครงข่าย

1 ) ในส่วนของหน่วยความจำที่ใช้นั้น พิจารณาจากแบบแผนต่าง ๆ ของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบสซึ่งเป็นการควบคุมแบบ per VC จะพบว่า หน่วยความจำที่ต้องใช้นั้นแปรผันตามจำนวน VC ที่ต้องควบคุมของโนดต้นทาง หากมีจำนวน VC ที่ต้องควบคุมมากก็ต้องเสียหน่วยความจำมากตาม ยกตัวอย่างการควบคุมความคับคั่งโดยใช้แบบแผน N23 จะต้องเสียหน่วยความจำดังนี้

$$\begin{aligned} Mem_{total} = N_{vc} * [Credit + Fwd_Cnt + Tx_Cnt + Buff_Alloc + Timer] \\ + Q_\max + Q_length \end{aligned} \quad (3.2)$$

$N_{vc}$ คือจำนวน VC ที่เชื่อมต่อกับสวิตช์ที่กำลังพิจารณา

พิจารณาในแต่ละตัวแปร เช่น Fwd_Cnt จะพบว่าตัวแปร Fwd_Cnt ของแต่ละ VC สามารถเก็บค่าได้สูงสุดเท่ากับ X ดังนั้นต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บค่าเท่ากับ $\log_2 X$ บิตต่อ VC รวมทุก VC จะได้ว่าต้องใช้หน่วยความจำทั้งหมด $N_{vc} * \log_2 X$ บิต ซึ่งหากเปรียบเทียบในการใช้งานจริงระหว่างโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่แล้วจะพบว่า $N_{vc}$ จะมีค่ามาก ซึ่งจะส่งให้เสียเนื้อที่ของหน่วยความจำไปสูง ยกตัวอย่างเช่น โครงข่ายที่มีจำนวน 100 VC ก็จะใช้เนื้อที่ของหน่วยความจำสูงกว่าโครงข่ายที่มีจำนวน 10 VC ถึงประมาณ 10 เท่าตัว เป็นต้น

2 ) ในส่วนของการคำนวณนั้น พิจารณาจากแบบแผนต่าง ๆ ของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบสซึ่งเป็นการควบคุมแบบ per VC จะพบว่า จำนวนรอบที่ต้องใช้ในการคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ นั้น จะแปรผันตามจำนวน VC ที่ต้องควบคุมของโนดต้นทาง หากมีจำนวน VC ที่ต้องควบคุมมากก็ต้องมีการคำนวณของ cpu มากครั้งตาม ยกตัวอย่างการควบคุมความคับคั่งโดยใช้แบบแผน N23 จะต้องมีการคำนวณค่าเครดิต ดังนี้

- ต้องมีการอ่านค่า $Buf_Alloc$ , $Tx_Cnt$ , $Fwd_Cnt$ เพื่อมาคำนวณเป็นค่า $Crd_Bal$
- คำนวณค่า $Crd_Bal$ ตามสมการ

$$Crd_Bal = Buff_Alloc - (Tx_Cnt - Fwd_Cnt) \tag{3.3}$$

ซึ่งการคำนวณดังกล่าวจะเกิดขึ้นทุกครั้งที่มีการส่งเครดิตเซลล์ไปยังโนดต้นทาง หรือทุกครั้งที่มีการส่งเซลล์ข้อมูลออกไปยังโนดปลายทางแล้ว N2 เซลล์ข้อมูล หากพิจารณาโดยรวมแล้วจะพบว่าสำหรับโครงขายที่มีจำนวน VC มากหรือจำนวน VC น้อยก็ตาม ถ้ามีวิสัยสามารถพอ ๆ กัน จะมีการคำนวณเป็นจำนวนครั้งเท่า ๆ กัน ไม่ต่างกันมากนัก

ถึงแม้ว่าจำนวน VC จะไม่มีผลกระทบกับการคำนวณ แต่หากพิจารณาทั้งหมดจะพบว่ามีจำนวนครั้งที่ต้องคำนวนสูงอยู่มาก ซึ่งจะทำให้ cpu ทำงานในการคิดคำนวณบ่อยครั้งและจะส่งผลให้การทำงานของสวิตช์ล่าช้าลงไป

### 3.6 การควบคุมความคับคั่งโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วม

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.5 ว่า การควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบสเดิมนั้นมีความซับซ้อนสูงมาก ทั้งทางด้านของตัวแปรทางระบบและทางด้านการคิดคำนวณเกี่ยวกับตัวแปรเหล่านั้น ซึ่งจะเป็นผลเสียอย่างมากหากโครงข่ายมีขนาดใหญ่ เพราะความซับซ้อนจะยิ่งสูงขึ้นมากตาม

การควบคุมแบบการใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดความซับซ้อนของสวิตช์ลงได้ ซึ่งหลักการโดยทั่วไปจะให้มีการจัดสรรบัฟเฟอร์รวมกันโดยไม่ต้องแบ่งแยกเป็นแต่ละ VC เหมือนดังการควบคุมแบบเดิม ๆ มีเงื่อนไขในการส่งเครดิตเซลล์ คือเมื่อทางสวิตช์ได้ส่งเซลล์ข้อมูลไปยังโนดถัดไป ( downstream node ) แล้ว N*N2 เซลล์ (N2 ในกรณีนี้เทียบได้กับ N2 ของการควบคุมแบบอื่น ๆ ) และการส่งเครดิตเซลล์นี้จะส่งกลับไปยังโนดต้นทาง ( upstream node ) ทุก ๆ VC เครดิตเซลล์เหล่านี้จะเก็บค่าของหน่วยความจำที่ยังว่างอยู่ซึ่งได้รับการแบ่งโดยเฉลี่ยตามจำนวน VC แล้วดังสมการ

$$Credit = Crd_Bal / N \tag{3.4}$$

โดยที่ N จะหมายถึงจำนวน VC ทั้งหมดที่จัดส่งข้อมูลผ่านสวิตช์ที่กำลังพิจารณา สำหรับการแบ่งพื้นที่ของหน่วยความจำจะแบ่งตามรูปที่ 3.8 จะมีการแบ่งหน่วยความจำคล้าย ๆ กับการควบคุมความคับคั่ง N23 คือแบ่งออกเป็น 2 ส่วนต่างกันตรงที่ของการควบคุมความคับคั่ง N23 จะแยกเป็นของแต่ละ VC ส่วนของการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมนี้จะไม่แบ่งแยกของแต่ละ VC โดยจะคิดรวมกันทั้งหมด

| N2 | N3 |
|---|---|

รูปที่ 3.8 การจัดสรรหน่วยความจำของการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วม

ส่วนค่า $Crd_Bal$ เป็นค่าบัฟเฟอร์ที่เหลือว่างอยู่ซึ่งได้ชดเชยเอาไว้แล้วสำหรับเวลาประวิง round trip time ของโครงข่าย ค่าชดเชยนี้ของเวลาประวิงนี้จะคิดตามสมการ

$$Crd_Bal = Buff_Alloc - (Tx_Cnt - Fwd_Cnt) - R * B_{link} \qquad (3.5)$$

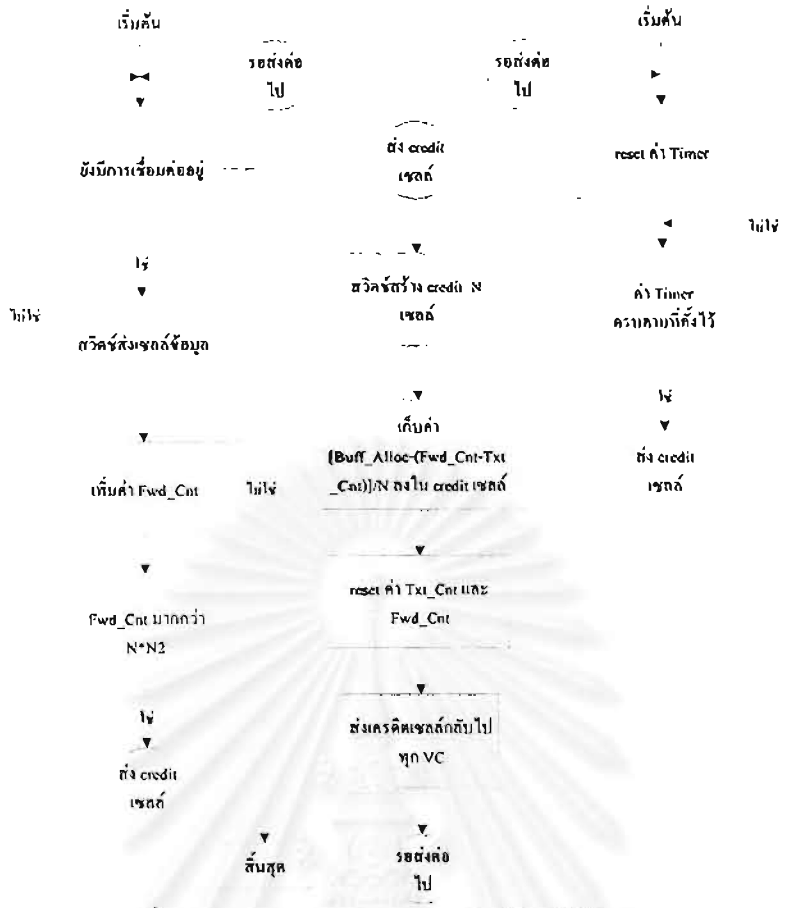
สำหรับทางโนดต้นทางเมื่อได้รับเครดิตเซลล์ ก็จะสามารถส่งเซลล์ข้อมูลได้ตามจำนวนที่เครดิตเซลล์ และจะไม่สามารถส่งได้เกินจำนวนนั้น โดยอัตราการส่งข้อมูลจะคิดประมาณว่าในช่วงที่ได้รับเครดิตเซลล์ถัดไปจะใช้เวลาเท่ากับเวลาที่ใช้ในการรอรับเครดิตเซลล์ปัจจุบัน หรือคิดว่าระบบได้เข้าสู่ในสภาวะอยู่ตัวแล้ว (steady state) ดังนั้นการส่งเซลล์ข้อมูลจึงควรส่งข้อมูลตามค่าเครดิตที่ได้รับให้หมดทันในช่วงเวลานี้ อัตราการส่งข้อมูลจึงได้เป็น

$$ACR = Credit_now / RT \qquad (3.6)$$

โดยที่ RT คือช่วงเวลาระหว่างเครดิตเซลล์ก่อนหน้าและเครดิตเซลล์ปัจจุบัน

สำหรับการควบคุมแบบการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมนี้ใช้หน่วยความจำในการเก็บค่าตัวแปรดังนี้

- Credit คือค่าจำนวนเซลล์ที่ทางโนดปลายยอมรับได้ ซึ่งทางโนดปัจจุบันจะไม่ส่งเซลล์ข้อมูลไม่เกินค่าเครดิตนี้ ค่านี้เกิดจากการ update ค่าที่ติดมากับเครดิตเซลล์ของทางโนดปลายทางที่ส่งมาให้
- Fwd_Cnt คือค่าจำนวนเซลล์ที่ทางโนดปัจจุบันส่งข้อมูลออกไปยังโนดปลายทาง จะมีการ update ค่านี้ทุก ๆ ครั้งที่มีการส่งเซลล์ข้อมูลออกไปยังโนดปลายทาง
- Tx_Cnt คือค่าจำนวนเซลล์ที่ทางโนดต้นทางส่งมาและเข้ามาเก็บไว้ยังหน่วยความจำของสวิตช์แล้ว จะมีการ update ค่านี้ทุก ๆ ครั้งที่มีการรับข้อมูลเข้ามาเก็บไว้ยังหน่วยความจำของสวิตช์
- Buff_Alloc คือค่าหน่วยความจำของสวิตช์ ( เป็นจำนวนเซลล์ ) ที่ได้รับการจัดสรรจากทางสวิตช์มาให้ จะมีการ update ค่านี้ทุกครั้งที่เริ่มการเชื่อมต่อ
- Q_max คือค่าหน่วยความจำของสวิตช์ที่รองรับได้สูงสุด
- Q_length คือค่าหน่วยความจำของสวิตช์ที่ได้มีการใช้งานรองรับเซลล์ข้อมูลอยู่
- Timer คือค่าเวลานับจากการส่งเครดิตกลับไปยังโนดต้นทางครั้งล่าสุด ซึ่งหากค่าเวลา Timer นี้เกินค่าเวลาหนึ่ง สวิตช์ก็จะทำการส่งเครดิตเซลล์กลับไปยังโนดต้นทาง เพื่อบอกสภาวะของโครงข่ายในปัจจุบัน ค่านี้จะมีการ reset ทุกครั้งที่มีการส่งเครดิตเซลล์ไปยังโนดต้นทาง



รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงการควบคุมความคับคั่งโดยใช้บัฟเฟอร์ร่วม

จากแผนภาพในรูปที่ 3.9 จะเห็นว่าในการควบคุมความคับคั่งแบบบัฟเฟอร์ร่วมนั้น การคิดคำนวณไม่ได้กระทำแบ่งแยกแต่ละ VC การคิดคำนวณจะทำพร้อมกันทุก VC โดยทำการคำนวณเพียงครั้งเดียวและจัดส่งเครดิตเซลล์ออกไปทุก VC

สำหรับความซับซ้อนนั้นหากพิจารณาตามหัวข้อ 3.5 แล้วสามารถแบ่งออกพิจารณาเป็นสองกรณีคือ

1 ) ในส่วนของหน่วยความจำที่ต้องใช้นั้น สำหรับการควบคุมความคับคั่งโดยใช้บัฟเฟอร์ร่วมนี้จะเห็นว่าจะสามารถลดหน่วยความจำที่ต้องใช้ไปได้มาก กล่าวคือจะสามารถลดจำนวนตัวแปรที่เดิมต้องเก็บแยกแต่ละ VC เหลือเพียงตัวแปรที่เก็บรวมทั้งหมด เช่น ค่า Txt_Cnt เป็นต้น ดังนั้นหากคิดรวมหน่วยความจำที่ต้องสูญเสียไปจะได้ดังนี้

$$Mem_{total} = N_{vc} * [Credit] + Txt_Cnt + Fwd_Cnt_Buff_Alloc + Timer + Q_\max + Q_length \quad (3.7)$$

พิจารณาในแต่ละตัวแปร เช่น Fwd_Cnt จะพบว่าในกรณีใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมค่าที่ตัวแปร Fwd_Cnt ใช้เก็บจะต้องเพิ่มจากเดิมเป็น $N_{vc}$ เท่าทั้งนี้เพราะไม่มีการแบ่งแยกแต่ละ VC เดิมค่าที่ตัวแปร Fwd_Cnt เก็บค่าได้สูงสุด X เมื่อใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมดังนั้นตัวแปร Fwd_Cnt

ต้องเก็บค่าให้ได้สูงสุดเท่ากับ $N_{vc}$ *X ดังนั้น ต้องใช้หน่วยความจำในการเก็บ $\log_2(N_{vc}*X) = \log_2 N_{vc} + \log_2 X$ บิต จะเห็นว่าเมื่อใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมจะสามารถลดหน่วยความจำที่ต้องใช้จากเดิม $N_{vc} * \log_2 X$ บิต เหลือเพียง $\log_2 N_{vc} + \log_2 X$ บิตเท่านั้น ซึ่งจะพบว่าสามารถลดหน่วยความจำที่ใช้ไปได้มากพอสมควร ยิ่งกรณีโครงข่ายที่มีจำนวน VC มาก ๆ แล้วจะลดได้เหลือเพียงประมาณ 1 ใน 5 ของการควบคุมความคับคั่ง N23 เลยทีเดียว

2 ) ในส่วนของการคำนวณนั้น สำหรับการควบคุมความคับคั่งโดยใช้บัฟเฟอร์ร่วมนี้ จะเห็นว่าการคำนวณจะคิดเพียงครั้งเดียวเท่านั้นคือตอนที่จะส่งเครดิตเซลล์ ซึ่งกว่าจะต้องคำนวณนั้นต้องใช้เวลารอเซลล์ข้อมูลถึง N*N2 เซลล์ข้อมูลซึ่งจะนานกว่าการคำนวณแต่ละครั้งของการควบคุม N23 ถึงประมาณ N เท่า ส่วนการคำนวณจะต้องมีการคำนวณดังนี้

- ต้องมีการอ่านค่า $Buf_Alloc$ , $Tx_Cnt$ , $Fwd_Cnt$ เพื่อมาคำนวณเป็นค่า $Credit$
- คำนวณค่า $Credit$ ตามสมการ

$$Credit=[Buff_Alloc-(Tx_Cnt-Fwd_Cnt)-R*B_{link}]/N \qquad (3.8)$$

ซึ่งจะเห็นว่าในส่วนของการคำนวนนั้นแทบจะไม่ค่อยแตกต่างจากการควบคุมความคับคั่ง N23 นัก แต่ว่ากว่าที่จะต้องมาคำนวณนั้นกินเวลามากกว่าการควบคุมแบบ N23 นั้นหมายความว่าจะในระยะเวลาเท่า ๆ กันจะมีการคำนวณน้อยครั้งกว่าการควบคุมแบบ N23 ถึงประมาณ N เท่าทีเดียว

### 3.7 การควบคุมความคับคั่งโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมและใช้ค่า load factor

สำหรับการควบคุมความคับคั่งโดยใช่บัฟเฟอร์ร่วมนั้นสามารถใช้การประยุกต์การใช้งานค่า load factor (Z) เข้ามาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่าย ซึ่งค่า load factor นี้คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนเซลล์ที่ส่งเข้าสู่สวิตช์ ($AI_Txt$) กับจำนวนเซลล์ที่สวิตช์ทำการส่งออก ($AI_Fwd$) โดยนับในช่วงเวลา AI ซึ่งเป็นค่าเวลาคงที่ค่าหนึ่ง ดังสมการ 3.9

$$Z = AI_Txt / AI_Fwd \qquad (3.9)$$

กรณีค่า $Z$ นี้มีค่ามากกว่า 1 หมายความว่ามีการรับเซลล์ข้อมูลเข้ามามากกว่าที่ได้ส่งออกไป นั่นคือหากเป็นอย่างนี้ต่อไปเรื่อย ๆ โครงข่ายจะเริ่มเข้าสู่สภาวะคับคั่ง

กรณีค่า $Z$ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 หมายความว่ามีการรับเซลล์ข้อมูลเข้ามาน้อยกว่าที่ได้ส่งออกไป นั่นคือหากเป็นอย่างนี้ต่อไปเรื่อย ๆ โครงข่ายจะไม่มีความคับคั่งเกิดขึ้น

เมื่อคำนวนค่า $Z$ มาได้ จากนั้นทุก ๆ ครั้งที่มีการส่งเครดิตเซลล์จะมีการคิดค่า $Crd_Bal$ เพิ่มคือให้มีการคำนึงถึงสภาวะของโครงข่ายด้วย โดยการนำค่า load factor นี้มาคิด ดังสมการ

$$Crd_Bal = [Buff_Alloc - (Txt_Cnt - Fwd_Cnt) - R * B_{link}] / Z \qquad (3.10)$$

จะสังเกตุว่ากรณีที่ค่า $Z < 1$ จะทำให้ค่า $Crd_Bal$ สูงขึ้นจากเดิมดังนั้นต้องมีการกันกรณีที่ค่า $Crd_Bal$ สูงเกินเพราะจะส่งผลให้ค่าเครดิตสูงเกินขนาดของหน่วยความจำซึ่งจะทำให้เกินขนาดของหน่วยความจำ อาจทำให้เกิดการสูญหายของข้อมูลได้ ดังนั้นจึงจะให้มีการเผื่อขนาดของหน่วยความจำไว้อีกเล็กน้อยส่วนหนึ่ง (N1) ซึ่งจะได้การแบ่งพื้นที่ของหน่วยความจำดังรูปที่ 3.10

| N1 | N2 | N3 |
|---|---|---|

รูปที่ 3.10 การจัดสรรหน่วยความจำของการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมที่มีการใช้ค่า load factor

สำหรับการควบคุมแบบการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมโดยใช้ load factor นี้ จะต้องเพิ่มหน่วยความจำในการเก็บค่าตัวแปรจากการควบคุมความคับคั่งแบบบัฟเฟอร์ร่วมดังนี้

- Z คือค่า load factor ซึ่งเป็นตัววัดความคับคั่งของโครงข่ายแบบหนึ่ง ซึ่งค่านี้จะนำไปคำนวณกับค่าบัฟเฟอร์เพื่อใช้เป็นค่าเครดิตส่งกลับไปบอกยังต้นทาง
- AI_Txt คือค่าจำนวนเซลล์ที่ทางโนดต้นทางส่งมาและเข้ามาเก็บไว้ยังหน่วยความจำของสวิตช์แล้ว จะมีการ update ค่านี้ทุก ๆ ครั้งที่มีการรับข้อมูลเข้ามาเก็บไว้ยังหน่วยความจำของสวิตช์
- AI_Fwd คือค่าจำนวนเซลล์ที่ทางโนดปัจจุบันส่งข้อมูลออกไปยังโนดปลายทาง จะมีการ update ค่านี้ทุก ๆ ครั้งที่มีการส่งเซลล์ข้อมูลออกไปยังโนดปลายทาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.11 แผนภาพแสดงการควบคุมความคับคั่งโดยใช้บัฟเฟอร์ร่วมโดยใช้ค่า load factor

จากแผนภาพในรูปที่ 3.11 จะเห็นว่าในการควบคุมความคับคั่งแบบบัฟเฟอร์ร่วมโดยใช้ค่า load factor นั้น การคิดคำนวณไม่ได้กระทำแบ่งแยกแต่ละ VC การคิดคำนวณจะทำพร้อมกันทุก VC โดยทำการคำนวณเพียงครั้งเดียวโดยต้องมีการคำนวณเพิ่มขึ้นในส่วนของ load factor และจัดส่งเครดิตเซลล์ออกไปทุก VC

สำหรับความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นมาจากการควบคุมความคับคั่งแบบบัฟเฟอร์ร่วมนั้น หากแยกพิจารณาเป็นสองแนวทางจะได้ดังนี้

1 ) ในส่วนของหน่วยความจำที่ใช้ นั้นจะต้องมีการใช้เพิ่มเพื่อเก็บตัวแปรที่ต้องใช้เพิ่มขึ้นอีก 3 ค่า ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ได้เก็บทุก VC ดังนั้นหน่วยความจำที่ต้องใช้จึงเพิ่มขึ้นมาจากการควบคุมความคับคั่งแบบบัฟเฟอร์ร่วมอีกเล็กน้อยเท่านั้นดังสมการ

$$
\begin{aligned}
Mem_{total} = N_{vc} * [Credit] + Txt_Cnt + Fwd_Cnt_Buff_Alloc + Timer \\
+ Q_\max + Q_length + AI_Txt + AI_Fwd + Z
\end{aligned} \tag{3.11}
$$

ซึ่งจะเห็นว่าหากเทียบกับการควบคุมแบบ N23 แล้วยังคงใช้หน่วยความจำน้อยกว่าอยู่มากทีเดียว

2 ) ในส่วนของการคำนวนนั้น เนื่องจากการคิดค่า load factor จะไม่เกี่ยวข้องกับการคิดค่าเครดิตเลย ดังนั้นการคำนวณตรงจุดนี้จะเพิ่มขึ้นจากการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วม ซึ่งการคำนวณค่า load factor นี้จะคำนวณก็ต่อเมื่อครบค่าเวลา AI ซึ่งคล้ายกับการคำนวณการส่งเครดิตเซลล์ที่ต้องมีเซลล์ครบ N2 เซลล์ ดังนั้นหากค่า AI นี้มาก ก็จะคำนวณน้อยครั้งกว่าค่า AI ที่น้อยเช่นเดียวกับค่า N2

สำหรับการใช้ค่า AI นี้ จะเห็นว่าการใช้ค่า AI น้อย ๆ จะมีการปรับค่า Z บ่อย ๆ ซึ่งจะส่งผลให้ค่า Z เปลี่ยนแปลงเร็วกว่าการใช้ค่า AI มาก ๆ ซึ่งค่า Z ที่เปลี่ยนแปลงไปนี้จะมีผลกระทบต่ออัตราการส่งข้อมูลของต้นทางและค่าคิวของสวิตช์ เมื่อพิจารณาการใช้ค่า AI มาก ๆ จะเห็นว่ายิ่งค่า AI มาก ๆ ระบบจะมีการปรับค่า Z นานครั้งกว่า ซึ่งหากค่า AI มากระบบก็อาจเหมือนไม่ได้ใช้ค่า AI และ load factor เลยก็ได้ ซึ่งจะทำให้การควบคุมเป็นแบบการใช้บัฟเฟอร์ร่วมธรรมดา

# บทที่ 4

## ผลการจำลองแบบ

ในส่วนของผลการจำลองแบบนี้ จะแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกจะเป็นการจำลองถึงผลกระทบของตัวแปรบางตัวที่มีผลกับประสิทธิภาพของโครงข่าย ซึ่งในส่วนนี้จะจำลองแบบบนโครงข่ายแบบ 1 hop แบบปกติซึ่งจะไม่มีความแตกต่างระหว่างการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส N23 และการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสแบบการใช้บัฟเฟอร์ร่วม ในอีกส่วนนั้นจะเป็นการจำลองแบบเปรียบเทียบผลระหว่างการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสแบบ N23 กับการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสแบบการใช้บัฟเฟอร์ร่วม ซึ่งจะเปรียบเทียบกันโดยทดลองกับโครงข่ายลักษณะต่าง ๆ ที่มีความคับคั่งต่างกันออกไป

ในส่วนของผลการจำลองแบบนั้นจะเปรียบเทียบกันในส่วนของอัตราข้อมูลที่รับได้ด้านปลายทาง , จำนวนเซลล์ที่รับได้ของด้านปลายทาง , จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่งจากสวิตช์ , ระดับคิวของสวิตช์ และความเท่าเทียมกันของแต่ละ VC

- **อัตราข้อมูลที่รับได้ของปลายทาง** ในที่นี้คืออัตราการรับเซลล์ที่ปลายทางโดยจะวัดแยกเป็นของแต่ละ VC มีหน่วยเป็น Bit/sec แสดงค่าอยู่ในกราฟซึ่งจะแสดงตลอดช่วงเวลาทั้งหมดที่ทำการจำลองแบบ ซึ่งค่านี้สามารถแสดงได้ถึงประสิทธิภาพของโครงข่ายในแง่ของวิสัยสามารถ

- **เซลล์ที่รับได้ของทางปลายทาง** ในที่นี้คือจำนวนเซลล์ทั้งหมดที่รับได้ที่ทางปลายทาง ทั้งนี้จะไม่รวมถึงเซลล์ที่อยู่ระหว่างสายส่งในขณะที่หยุดทำการจำลองแบบ โดยจะวัดแยกเป็นของแต่ละ VC มีหน่วยเป็นเซลล์ ในวิทยานิพนธ์นี้จะแสดงค่าเป็นค่าเดียวซึ่งคิดรวมแล้วจากช่วงเวลาที่ทำการจำลองแบบ ค่านี้สามารถแสดงได้ถึงประสิทธิภาพของโครงข่ายในแง่ของวิสัยสามารถและความเท่าเทียมกันของแต่ละ VC

- **จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่งจากสวิตช์** ในที่นี้คือจำนวนเครดิตเซลล์ที่สวิตช์ได้ทำการส่งออกไปยังต้นทาง โดยจะวัดแยกเป็นของแต่ละ VC มีหน่วยเป็นเซลล์ จะแสดงค่าเป็นค่าเดียวซึ่งคิดรวมแล้วจากช่วงเวลาที่ทำการจำลองแบบ ค่านี้สามารถแสดงได้ถึงประสิทธิภาพของโครงข่ายในแง่ของการใช้ทรัพยากรของโครงข่าย

- **ระดับคิวของสวิตช์** ในที่นี้คือระดับคิวของสวิตช์ที่กำลังพิจารณา มีหน่วยเป็นเซลล์ แสดงค่าอยู่ในกราฟซึ่งจะแสดงตลอดช่วงเวลาทั้งหมดที่ทำการจำลองแบบ ซึ่งค่านี้สามารถแสดงได้ถึงประสิทธิภาพของโครงข่ายในแง่ของการใช้ทรัพยากรของโครงข่าย

- **ความเท่าเทียมกันของแต่ละ VC** ในที่นี้คือตัวเลขที่จะแสดงถึงความเท่าเทียมกันของแต่ละ VC ในโครงข่าย ซึ่งหามาจากจำนวนเซลล์ที่รับได้ที่ทางปลายทางของแต่ละ VC ที่ใช้งานสายส่งคับคั่งเส้นเดียวกัน การคำนวณจะเป็นไปตามสมการ

$$\frac{\left(\sum x_i\right)^2}{N \bullet \sum x_i^2} \qquad (4.1)$$

  N คือจำนวน VC และ $x_i$ คือจำนวนเซลล์ที่รับได้ของทางปลายทางของ VC ที่ i ค่าความเท่าเทียมกันนี้ไม่มีหน่วย จะแสดงค่าเป็นค่าเดียวซึ่งคิดรวมแล้วจากช่วงเวลาที่ทำการจำลองแบบ ค่านี้สามารถแสดงได้ถึงประสิทธิภาพของโครงข่ายในแง่ของความเท่าเทียมกันของแต่ละ VC

ส่วนค่าอื่น ๆ ที่ไม่ได้แสดงนั้นเนื่องจากไม่มีความจำเป็นที่จะต้องนำเสนอ ซึ่งค่าดังกล่าวมีหลายค่าดังนี้

- *Link Utilization* สามารถดูได้จากกราฟของระดับคิวของสวิตช์คือในช่วงที่คิวของสวิตช์มีค่าเซลล์ตกค้างอยู่หมายความว่า ณ ขณะนั้นค่า Link Utilization มีค่า 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงที่คิวของสวิตช์มีค่าเป็นศูนย์นั้น ค่า Link Utilization อาจมีค่า 100 เปอร์เซนต์หรือต่ำกว่านั้นก็ได้ ซึ่งโดยทั่วไปของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบสแล้วค่าคิวของสวิตช์มักจะมีอยู่เสมอ ทำให้ Link Utilization มักจะมีค่า 100 เปอร์เซนต์ตลอดเวลา

- *Cell loss* ตามหลักการของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบสแล้วจะไม่มีการสูญหายเซลล์เลย ดังนั้นค่า Cell loss นี้จะเป็น 0 ทุกครั้ง

- *จำนวนเซลล์ที่รับได้เป็นช่วงเวลา* จำนวนเซลล์ที่รับได้นี้ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาลงไปถึงช่วงเวลาต่าง ๆ ดูเพียงค่าท้ายสุดของการจำลองแบบก็เพียงพอที่จะบอกได้ว่าประสิทธิภาพของโครงข่ายสูงมากน้อยเพียงไร

ในส่วนของการจำลองแบบและข้อกำหนดของแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองแบบเพื่อทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้การควบคุมความคับคั่งแบบต่าง ๆ นั้น จะต้องมีการกำหนดให้เหมาะสมเพื่อให้สามารถทดสอบการทำงานการควบคุมความคับคั่งได้ในสถานการณ์ต่างกันออกไป

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**4.1 แบบจำลองและข้อกำหนดของแบบจำลอง**

สำหรับแบบจำลองนั้นในโครงข่ายที่ใช้จะแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ดังนี้

- ต้นทางหรือแหล่งกำเนิด ( Sources)

สำหรับต้นทางในที่นี้จะเป็นลักษณะต้นทางแบบ ABR ซึ่งในแบบจำลองนี้จะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

- ต้นทางที่มีการส่งแบบตลอดเวลาไม่สิ้นสุด สามารถส่งข้อมูลได้ตลอด โดยจะมีการควบคุมการส่งได้โดยอาศัยจากการควบคุมอัตราการส่งข้อมูลทางขาออก

- ต้นทางที่มีการส่งเป็นคาบ ซึ่งจะมีช่วงเวลาการส่ง (on state) และหยุดส่ง (off state) ซึ่งช่วงเวลาหยุดส่งนั้นจะไม่สามารถส่งข้อมูลได้เลย และช่วงเวลาส่งและหยุดส่งนี้จะมีการกระจายแบบ Geometric

สำหรับแหล่งกำเนิดในแบบจำลองนี้จะมีการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

*MCR (Minimum Cell Rate)* เป็นค่าอัตราการส่งข้อมูลต่ำสุดที่ยอมรับได้ ซึ่งในการจำลองแบบนี้ได้กำหนดค่า MCR นี้เป็น 0 Mbps

*PCR (Peak Cell Rate)* เป็นค่าอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดที่ยอมรับได้ ซึ่งในการจำลองแบบนี้ได้กำหนดค่า MCR นี้เป็น 150 Mbps

*ICR (Initial Cell Rate)* เป็นค่าอัตราการส่งเริ่มแรกที่แหล่งกำเนิดทำการส่งข้อมูลเข้าสู่โครงข่าย ซึ่งในการจำลองแบบนี้ได้กำหนดค่า ICR นี้เป็น 15 Mbps

- สวิตซ์ (Switch)

สำหรับสวิตซ์ที่ใช้ในการจำลองแบบนั้นจะใช้เป็นสวิตซ์แบบเครดิตเบสซึ่งมีการควบคุมโดยใช้การควบคุมความคับคั่งตามแบบแผนที่ต้องการใช้ซึ่งในที่นี้จะใช้แบบแผนการควบคุม N23 , การจัดการแบบบัฟเฟอร์ร่วม และการจัดการแบบบัฟเฟอร์ร่วมโดยใช้ค่า load factor ซึ่งค่าตัวแปรต่าง ๆ ของสวิตซ์นี้จะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

- ปลายทาง (Destinations)

สำหรับปลายทางที่รับข้อมูลนี้จะเป็นที่สำหรับรับข้อมูลแล้วจะไม่มีการส่งต่อออกต่อไป ดังนั้นจะไม่มีการกำหนดลักษณะพิเศษแต่อย่างใด ซึ่งในการจำลองแบบนี้มีการวัดค่าต่าง ๆ ที่ทางปลายทางนี้ด้วย

- สายส่ง (Lines)

สำหรับสายส่งที่ใช้ในแบบจำลองนี้จะเป็นสายส่งชนิดที่มีการประวิงเวลาที่ขึ้นกับระยะทาง โดยสายส่งที่ใช้นี้จะมีค่าแถบความถี่ของสายส่งที่ใช้ซึ่งแล้วแต่แบบจำลองจะกำหนด โดยสายส่งเส้นที่เชื่อมต่อระหว่างต้นทางและสวิตช์นั้นจะมีช่วงแถบความถี่ 150 Mbps มีการประวิงเวลาของเซลล์ตามแสดงในภาคผนวก ก.

**แบบจำลองโครงข่าย**

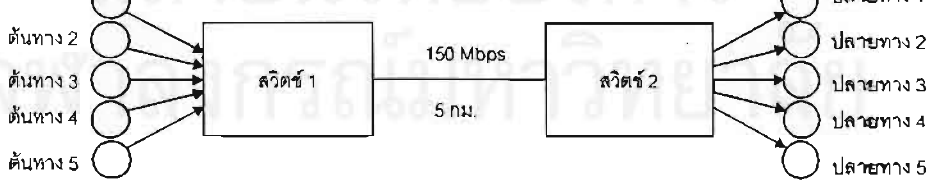
แบบจำลองโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบการควบคุมความคับคั่งนั้นจะต้องมีลักษณะต่าง ๆ กัน เพื่อให้เห็นการทำงานของการควบคุมความคับคั่งที่ทดสอบในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งแบบจำลองที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้โครงข่ายดังนี้

- โครงข่าย 1 hop แบบปกติ
- โครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน
- โครงข่าย 1 hop แบบการส่งข้อมูลไม่เต็มที่
- โครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่ง
- โครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าและออกของต้นทางและปลายทาง

ซึ่งโครงข่ายข้างต้นนี้ จะสามารถดูผลในส่วนต่าง ๆ ของโครงข่ายได้ ตามการใช้งาน และการเปรียบเทียบผลการจำลองแบบจากการควบคุมความคับคั่งทั้งสองแบบนี้จะมุ่งเน้นเพื่อดูค่าวิสัยสามารถของระบบ และค่าความเท่าเทียมกันของแต่ละ VC ซึ่งได้ใช้งานสายส่งคับคั่งเส้นเดียวกัน

- โครงข่าย 1 hop แบบปกติ

โครงข่าย 1 hop แบบปกตินี้จัดเป็นโครงข่ายพื้นฐานของการส่งข้อมูลของหลาย ๆ VC ร่วมกันในสายส่งเส้นเดียวกัน ซึ่งโครงข่ายที่ใช้ทดสอบนั้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.1



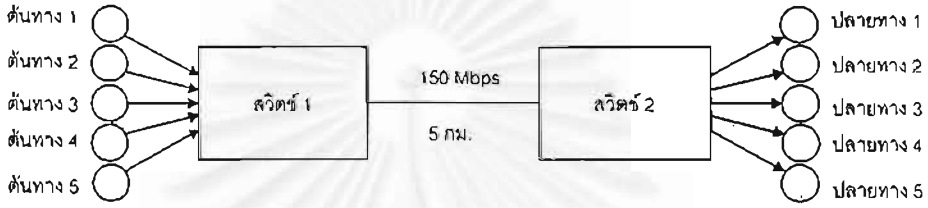

รูปที่ 4.1 โครงข่าย 1 hop แบบปกติ

โครงข่ายนี้จะมีต้นทางและปลายทางทั้งหมด 5 คู่ส่งข้อมูลอย่างเต็มที่ผ่านสวิตช์สองตัวคือสวิตช์ 1 และสวิตช์ 2 สายส่งระหว่างสวิตช์ 1 กับสวิตช์ 2 มีช่วงความถี่ 150 Mbps ระยะทางระหว่างแต่ละ

ต้นทางไปยังสวิตช์ 1 เป็น 1 กม. ส่วนระยะทางระหว่างสวิตช์ 1 กับสวิตช์ 2 เป็น 5 กม. หน่วยความจำของสวิตช์แต่ละตัวเป็น 500 เซลล์ ใช้ค่า N2 50 เซลล์ในการจำลองแบบ

- <u>โครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน</u>

โครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากันนี้ จัดเป็นโครงข่ายที่มีการส่งข้อมูลของหลาย ๆ VC ร่วมกันในสายส่งเส้นเดียวกัน โดยจะคำนึงถึงผลของระยะทางระหว่างต้นทางและสวิตช์ ซึ่งจะส่งผลให้เวลาประวิงของ VC ที่กำลังพิจารณาไม่เท่ากันกับ VC อื่น ๆ โครงข่ายที่ใช้ทดสอบนั้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.2

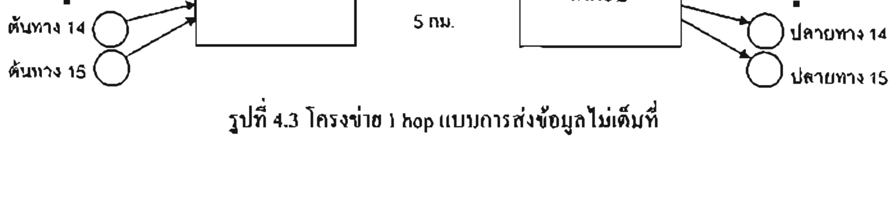



รูปที่ 4.2 โครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน

โครงข่ายนี้จะมีต้นทางและปลายทางทั้งหมด 5 คู่ส่งข้อมูลอย่างเต็มที่ผ่านสวิตช์สองตัวคือสวิตช์ 1 และสวิตช์ 2 สายส่งระหว่างสวิตช์ 1 กับสวิตช์ 2 มีช่วงความถี่ 150 Mbps ระยะทางระหว่างต้นทาง 1-3 ไปยังสวิตช์ 1 เป็น 1 กม. และระยะทางระหว่างต้นทาง 4-5 ไปยังสวิตช์ 1 เป็น 12 กม.ส่วนระยะทางระหว่างสวิตช์ 1 กับสวิตช์ 2 เป็น 5 กม. หน่วยความจำของสวิตช์แต่ละตัวเป็น 500 เซลล์ ใช้ค่า N2 50 เซลล์ในการจำลองแบบ

- <u>โครงข่าย 1 hop แบบการส่งข้อมูลไม่เต็มที่</u>

โครงข่าย 1 hop แบบการส่งข้อมูลไม่เต็มที่นี้เป็นโครงข่ายที่มีของการส่งข้อมูลของหลาย ๆ VC ร่วมกันในสายส่งเส้นเดียวกัน โดยแต่ละ VC ที่ส่งข้อมูลเข้ามานั้นไม่ได้จัดส่งอย่างเต็มที่ตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดสอบคล้ายกับการใช้งานจริง ซึ่งโครงข่ายที่ใช้ทดสอบนั้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.3

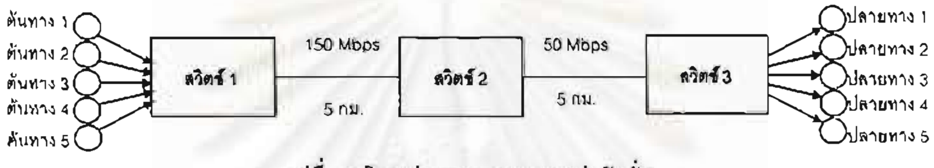



รูปที่ 4.3 โครงข่าย 1 hop แบบการส่งข้อมูลไม่เต็มที่

โครงข่ายนี้จะมีต้นทางและปลายทางทั้งหมด 15 คู่ส่งข้อมูลร้อยละ 20 เปอร์เซนต์ของช่วงเวลาผ่านสวิตช์สองตัวคือสวิตช์ 1 และสวิตช์ 2 สายส่งระหว่างสวิตช์ 1 กับสวิตช์ 2 มีช่วงความถี่ 150 Mbps ระยะทางระหว่างแต่ละต้นทางไปยังสวิตช์ 1 เป็น 1 กม. ส่วนระยะทางระหว่างสวิตช์ 1 กับสวิตช์ 2 เป็น 5 กม. หน่วยความจำของสวิตช์แต่ละตัวเป็น 500 เซลล์ ใช้ค่า N2 50 เซลล์ในการจำลองแบบ

- <u>โครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่ง</u>

โครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่งนี้เป็นโครงข่ายที่มีการส่งข้อมูลของหลาย ๆ VC ร่วมกันผ่านสายส่งเดียวกัน ซึ่งสายส่งที่ส่งข้อมูลผ่านจะมีสองส่วนในส่วนหลังจะมีช่วงความถี่ที่น้อยกว่าในส่วนแรกจึงทำให้มีการคับคั่งของข้อมูลในส่วนของสวิตช์กลางทาง ซึ่งโครงข่ายที่ใช้ทดสอบนั้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.4

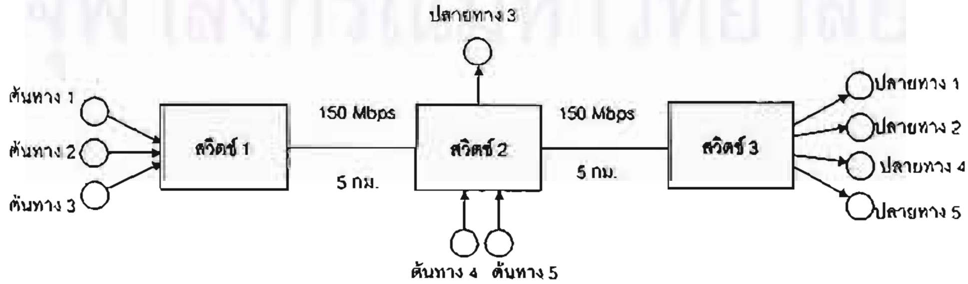



รูปที่ 4.4 โครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่ง

โครงข่ายนี้จะมีต้นทางและปลายทางทั้งหมด 5 คู่ส่งข้อมูลอย่างเต็มที่ผ่านสวิตช์สามตัวคือสวิตช์ 1 , สวิตช์ 2 และสวิตช์ 3 สายส่งระหว่างสวิตช์ 1 กับสวิตช์ 2 มีช่วงความถี่ 150 Mbps ส่วนสายส่งระหว่างสวิตช์ 2 กับสวิตช์ 3 มีช่วงความถี่ 50 Mbps ระยะทางระหว่างแต่ละต้นทางไปยังสวิตช์ 1 เป็น 1 กม. ส่วนระยะทางระหว่างสวิตช์ 1 กับสวิตช์ 2 และสวิตช์ 2 กับสวิตช์ 3 เป็น 5 กม. หน่วยความจำของสวิตช์แต่ละตัวเป็น 500 เซลล์ ใช้ค่า N2 50 เซลล์ในการจำลองแบบ

- <u>โครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าและออกของต้นทางและปลายทาง</u>

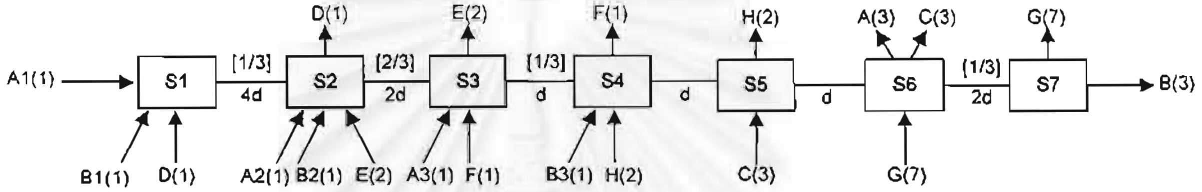
โครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทางเป็นโครงข่ายที่มีการส่งข้อมูลของหลาย ๆ VC ร่วมกันในสายส่งเส้นเดียวกัน และมีบาง VC ที่มีปลายทางออกกลางทาง และบาง VC ที่มีต้นทางเข้าที่กลางทางเช่นกัน ซึ่งโครงข่ายที่ใช้ทดสอบนั้นจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.5




รูปที่ 4.5 โครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง

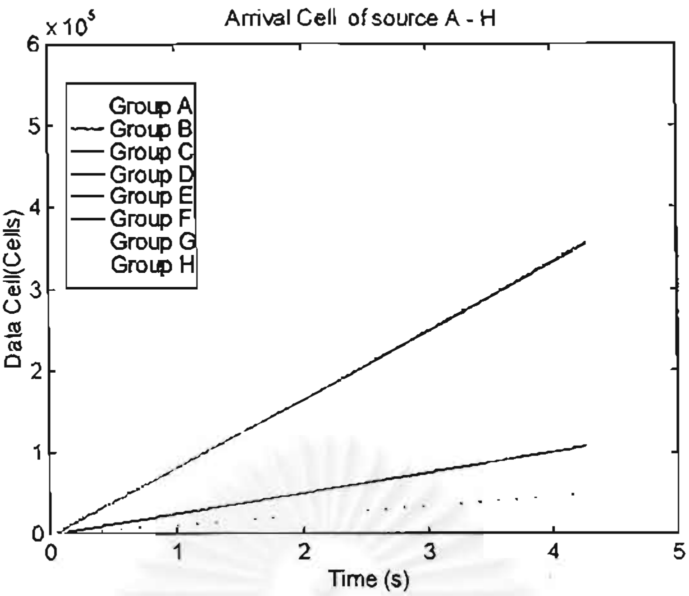
โครงข่ายนี้จะมีต้นทางและปลายทางทั้งหมด 5 คู่ส่งข้อมูลอย่างเต็มที่ผ่านสวิตช์สามตัวคือสวิตช์ 1 , สวิตช์ 2 และสวิตช์ 3 ซึ่งต้นทาง 1-3 ส่งผ่านสายส่ง 1 กม. ไปยังสวิตช์ 1 , ต้นทาง 4-5 ส่งผ่านสายส่ง 1 กม. ไปยังสวิตช์ 2 โดยจะมีปลายทาง 3 ออกที่สวิตช์ 2 นี้ด้วย ส่วนปลายทางอื่นออกทางสวิตช์ 3 สายส่งระหว่างสวิตช์ 1 กับสวิตช์ 2 และระหว่างสวิตช์ 2 กับสวิตช์ 3 มีช่วงความถี่ 150 Mbps และมีระยะทางเป็น 5 กม. หน่วยความจำของสวิตช์แต่ละตัวเป็น 500 เซลล์ ใช้ค่า N2 50 เซลล์ในการจำลองแบบ

สำหรับโครงข่ายที่ใช้ทดสอบการควบคุมความคับคั่งตามบทความ [6] นั้นจะใช้โครงข่าย GFC2 (Generic Fairness Configuration 2) ในการจำลองแบบ โครงข่าย GFC2 ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.6

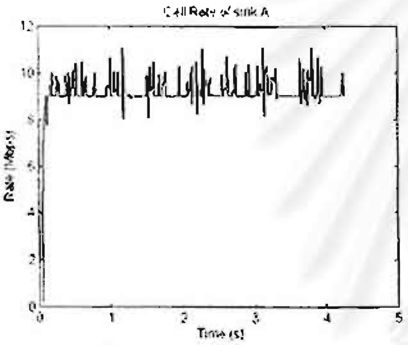



รูปที่ 4.6 โครงข่าย GFC2

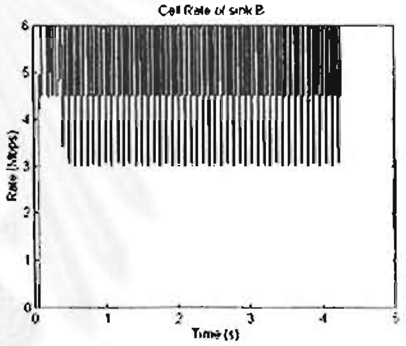
ซึ่งโครงข่ายมีสวิตช์ 7 ตัวซึ่งมีจำนวนคู่ต้นทางปลายทางทั้งหมด 22 คู่โดยจะแบ่งออกเป็นกลุ่มทั้งหมด 8 กลุ่มตามปลายทางที่ออกและการผ่านสายส่งที่คับคั่ง ซึ่งระยะทางระหว่างสวิตช์แต่ละตัวนั้นจะแตกต่างกันโดยจะเป็นจำนวนเท่าของระยะทาง d และสายส่งระหว่างสวิตช์นั้นจะมีช่วงแถบความถี่ต่างกันออกไปด้วยซึ่งจะเป็นจำนวนเท่าของสายส่งเส้นที่มีความจุสูงสุด ซึ่งในแบบจำลองนี้ใช้สายส่งที่มีแถบความถี่สูงสุดเป็น 150 Mbps ดังนั้นระหว่างสวิตช์ S1 กับสวิตช์ S2 จะมีช่วงแถบความถี่เป็น 50 Mbps ซึ่งในแบบจำลองจะได้ผลการจำลองแบบดังนี้



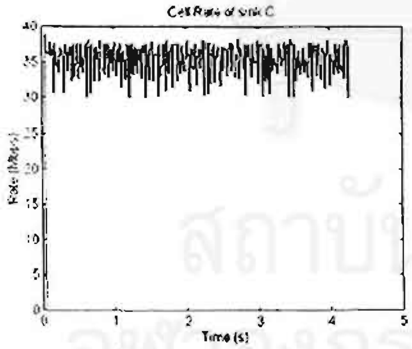

รูปที่ 4.7 เซลล์ข้อมูลที่รับได้



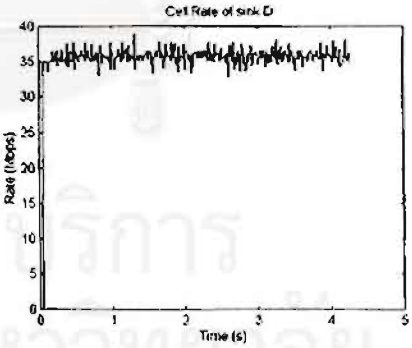

รูปที่ 4.8ก อัตราการรับข้อมูลของกลุ่ม A




รูปที่ 4.8ข อัตราการรับข้อมูลของกลุ่ม B

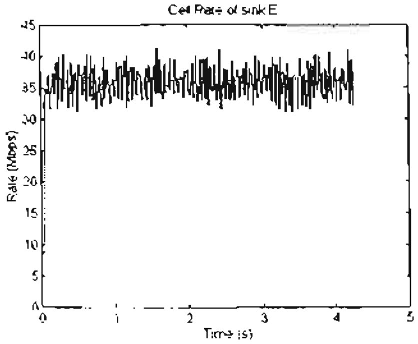



รูปที่ 4.8ค อัตราการรับข้อมูลของกลุ่ม C

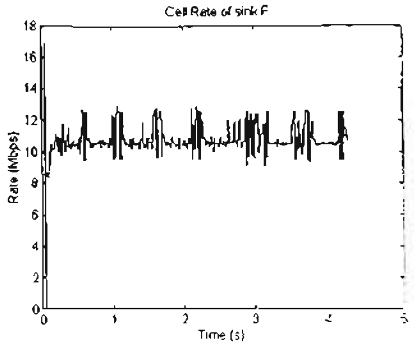



รูปที่ 4.8ง อัตราการรับข้อมูลของกลุ่ม D

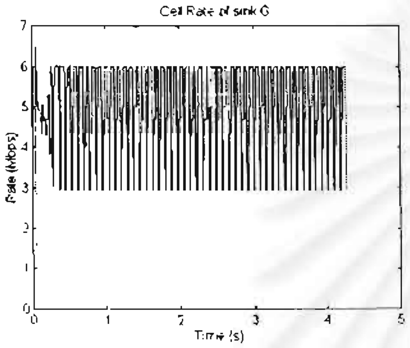
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



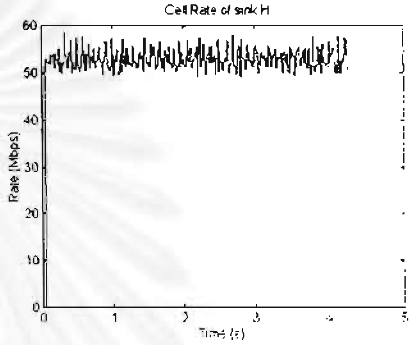

รูปที่ 4.8จ อัตราการรับข้อมูลของกลุ่ม E




รูปที่ 4.8ฉ อัตราการรับข้อมูลของกลุ่ม F




รูปที่ 4.8ช อัตราการรับข้อมูลของกลุ่ม G




รูปที่ 4.8ซ อัตราการรับข้อมูลของกลุ่ม H

ซึ่งจากแบบจำลองจะเห็นว่าข้อมูลที่รับได้ของแต่ละกลุ่มจะเป็นลักษณะดังนี้

กลุ่ม A มีอัตราการรับข้อมูลประมาณ 10 Mbps
กลุ่ม B มีอัตราการรับข้อมูลประมาณ 5 Mbps
กลุ่ม C มีอัตราการรับข้อมูลประมาณ 35 Mbps
กลุ่ม D มีอัตราการรับข้อมูลประมาณ 35 Mbps
กลุ่ม E มีอัตราการรับข้อมูลประมาณ 35 Mbps
กลุ่ม F มีอัตราการรับข้อมูลประมาณ 10 Mbps
กลุ่ม G มีอัตราการรับข้อมูลประมาณ 5 Mbps
กลุ่ม H มีอัตราการรับข้อมูลประมาณ 52.5 Mbps

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึ่งเมื่อพิจารณาผลจากบทความ [10] จะได้ผลซึ่งสอดคล้องกัน ซึ่งหากพิจารณาจากโครงข่ายจะเห็นว่าในสายส่งเส้นระหว่างสวิตช์ 6 และ สวิตช์ 7 จะเป็นสายส่งเส้นที่คับคั่งที่สุดดังนั้นในสายส่งเส้นนั้นแต่ละ VC ที่ผ่าน (กลุ่ม B และ กลุ่ม G) ควรมีอัตราส่งประมาณ 50/10 = 5Mbps และสายส่งเส้นถัดมาที่คับคั่งคือสายส่งระหว่างสวิตช์ 3 และสวิตช์ 4 ซึ่ง แต่ละ VC ที่ผ่านที่เหลือ (กลุ่ม A และกลุ่ม F ) ควรมีอัตราส่งประมาณ (50-10)/4 = 10 Mbps และในสายส่งเส้นที่เหลือแต่ละกลุ่มจะได้ใช้ช่วง

แถบความถี่ส่วนที่เหลือ ซึ่งจะได้ ระหว่างสวิตช์ 1 กับสวิตช์ 2 กลุ่ม D ควรมีอัตราส่งประมาณ (50-15) = 35 Mbps , ระหว่างสวิตช์ 2 กับสวิตช์ 3 กลุ่ม E ควรมีอัตราส่งประมาณ (100-30)/2 = 35 Mbps , ระหว่างสวิตช์ 4 กับสวิตช์ 5 กลุ่ม H ควรมีอัตราส่งประมาณ (150-45)/2 = 52.5 Mbps และระหว่างสวิตช์ 5 กับสวิตช์ 6 กลุ่ม C ควรมีอัตราส่งประมาณ (150-45)/3 = 35 Mbps ตามลำดับ

**4.2 ผลการจำลองแบบผลกระทบของตัวแปร**

ในส่วนนี้จะเป็นการจำลองแบบการทำงานของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบสโดยจะพิจารณาหาผลกระทบของค่าตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งเป็นตัวแปรที่ผู้ดูแลระบบต้องทำการเลือกใช้ก่อนที่จะมีการใช้งานจริง โครงข่ายที่ใช้ทำการจำลองแบบคือโครงข่าย 1 hop แบบปกติ ซึ่งจัดเป็นโครงข่ายพื้นฐานของการส่งข้อมูลของหลาย ๆ VC ร่วมกันในสายส่งเส้นเดียวกัน และในส่วนนี้ยังไม่มีการวิจารณ์ถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดผลการจำลองแบบดังที่เป็น

ค่าที่จะทำการพิจารณาบนโครงข่ายนี้แบ่งออกเป็น 4 ค่าด้วยกันคือ

- <u>ตัวแปร N2</u> คือขนาดบัฟเฟอร์ส่วนหนึ่งของสวิตช์ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ค่า N2 จะเป็นตัวกำหนดอัตราการส่งเครดิตเซลล์ ถ้าค่า N2 มีค่าน้อย สวิตช์จะทำการส่งเครดิตเซลล์ในความถี่ที่สูงกว่าค่า N2 มาก การส่งเครดิตเซลล์ที่มากจะช่วยให้ทางต้นทางได้รับข้อมูลของสภาวะโครงข่ายอย่างรวดเร็ว สภาวะความคับคั่งที่สวิตช์ก็จะน้อยลง แต่ในทางกลับกันหากมองในทางที่ว่าการส่งเครดิตเซลล์มาก ๆ จะเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรโครงข่าย ก็จะกำหนดค่านี้ให้น้อยลงมาได้ แต่หากน้อยเกินไปก็จะทำให้ต้นทางรับเครดิตเซลล์น้อย อาจส่งผลให้เกิดความคับคั่งขึ้นในโครงข่ายได้

- <u>ขนาดของหน่วยความจำที่สวิตช์</u> ค่าบัฟเฟอร์ที่สวิตช์นี้ตามปกติจะไม่ส่งผลกระทบใดๆ เลยในการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส แต่หากค่าบัฟเฟอร์นี้มีค่าน้อยเกินไป ( พิจารณาจากตัวแปรอื่น ๆ ในโครงข่ายโดยรวม ) ก็อาจมีผลกระทบบ้างและมีมากขึ้นตามหากบัฟเฟอร์ยิ่งน้อยลง ผลกระทบที่อาจมีนั้นก็จะทำให้ข้อมูลส่งได้น้อยลง นั่นคือประสิทธิภาพโดยรวมของโครงข่ายนี้จะน้อยลงด้วย

- <u>จำนวนต้นทางที่เชื่อมต่อกับสวิตช์</u> จำนวนของต้นทางที่เชื่อมต่อเข้าที่สวิตช์ ตามจริงแล้วจะส่งผลกระทบทางอ้อมกับสวิตช์ เพราะว่ายิ่งมีจำนวนต้นทางมากขึ้นเพียงไรก็หมายความว่าจะมีการแบ่งกันใช้บัฟเฟอร์ที่สวิตช์มากขึ้น ซึ่งโดยรวมแต่ละต้นทางจะได้รับการแบ่งบัฟเฟอร์ที่สวิตช์น้อยลง ผลกระทบก็จะคล้าย ๆ กับกรณีขนาดของหน่วยความจำที่สวิตช์

- <u>ระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์</u> ค่าระยะทางจะส่งผลกระทบกับโครงข่ายทำให้การส่งเซลล์และเครดิตเซลล์จากต้นทางไปยังสวิตช์และจากสวิตช์กลับมายังต้นทางช้าและสวิตช์จะต้องมีการชดเชยในการที่เซลล์ข้อมูลและเครดิตเซลล์ช้านี้ด้วย ซึ่งหาก

ระยะทางนี้มีค่ามาก ( พิจารณาจากโครงข่ายโดยรวม ) ก็อาจส่งผลให้เซลล์ข้อมูลส่งได้มาน้อยลง ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของโครงข่ายน้อยลงด้วย

ในการจำลองแบบผลกระทบของตัวแปรนี้เนื่องจากใช้โครงข่าย 1 hop แบบปกติจะไม่มีผลต่างระหว่าง VC ใดๆ เลย ดังนั้นในส่วนนำเสนอผลนั้นจะไม่ได้แบ่งแยกจำนวนเซลล์ที่รับได้ และจำนวนเครดิตเซลล์ที่ทำการส่ง โดยจะแสดงในค่ารวมทั้งหมดเป็นค่าเดียว ในทุกแบบจำลอง และนอกจากนั้นจะไม่แสดงค่าความเท่าเทียมกันอีกด้วยเนื่องจากค่าความเท่าเทียมกันจะประมาณ 1 อยู่แล้วเนื่องจากไม่มีความแตกต่างกันในระหว่าง VC

### 4.2.1 ผลกระทบของขนาดของหน่วยความจำที่สวิตช์

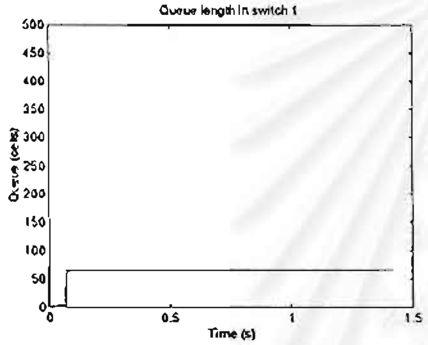
ในการวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดของหน่วยความจำที่สวิตช์นี้ จากโครงข่ายจำเป็นต้องกำหนดค่าต่าง ๆ นอกจากขนาดของหน่วยความจำที่สวิตช์ให้คงที่แล้วปรับค่าหน่วยความจำที่สวิตช์ ซึ่งในการจำลองแบบจะกำหนดค่าคงที่ต่าง ๆ ดังนี้

<u>ค่าคงที่</u> N2 50 เซลล์, จำนวนต้นทาง 5 ต้นทาง , ระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม.

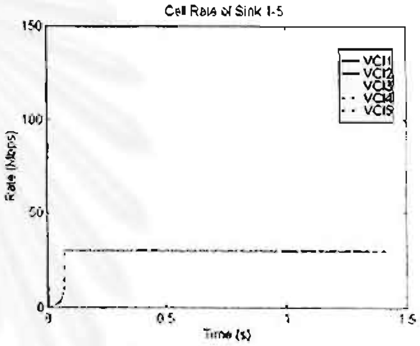
<u>ค่าที่ปรับ</u> บัฟเฟอร์ที่สวิตช์ 350 เซลล์ , 500 เซลล์ และ 650 เซลล์

ได้ผลการจำลองแบบดังนี้

<u>บัฟเฟอร์สวิตช์ 350 เซลล์</u>

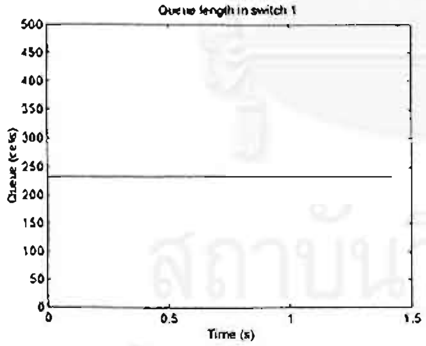


รูปที่ 4.9ก คิวของสวิตช์ 1

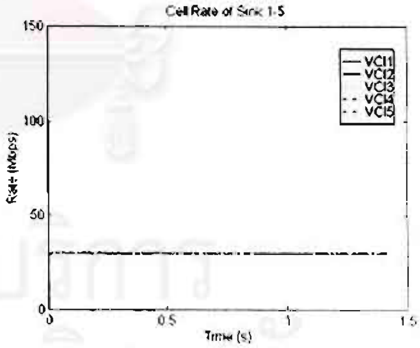


รูปที่ 4.9ข อัตราการรับข้อมูล

<u>บัฟเฟอร์สวิตช์ 500 เซลล์</u>



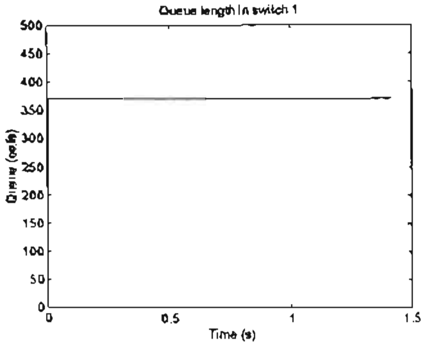
รูปที่ 4.10ก คิวของสวิตช์ 1



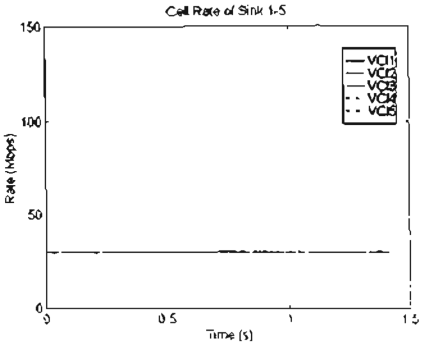
รูปที่ 4.10ข อัตราการรับข้อมูล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัฟเฟอร์สวิตช์ 650 เซลล์




รูปที่ 4.11ก คิวของสวิตช์ 1




รูปที่ 4.11ข อัตราการรับข้อมูล

| บัฟเฟอร์สวิตช์ | 350 เซลล์ | 500 เซลล์ | 650 เซลล์ |
|---|---|---|---|
| จำนวนเซลล์ที่รับได้ทั้งหมด | 478603 | 499973 | 499988 |
| จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง | 9575 | 10000 | 10000 |

ตารางที่ 4.1 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่ง

จากผลการจำลองแบบเมื่อทำการปรับบัฟเฟอร์สวิตช์ จะเห็นว่ากรณีที่บัฟเฟอร์สวิตช์มีค่าน้อย ( 350 เซลล์ ) จำนวนเซลล์ที่รับได้ทั้งหมดจะน้อยกว่ากรณีที่บัฟเฟอร์สวิตช์มาก จากกราฟตามรูปที่ 4.9ข ก็จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกนี้ค่าอัตราการรับเซลล์จะไม่เต็ม 30 Mbps และทำนองเดียวกันในส่วนของคิวของสวิตช์ 1 นั้น ตามรูปที่ 4.9ก ในช่วงแรกจะไม่มีเซลล์ตกค้างอยู่จึงส่งผลให้ Link Utilization ไม่เต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ อัตราการรับเซลล์ข้อมูลจึงไม่เต็มที่ตามที่กล่าวมา ต่างกับกรณีบัฟเฟอร์สวิตช์ 500 และ 650 เซลล์ ตามรูปที่ 4.10ก และ 4.11ก ซึ่งจะมีคิวอยู่ตลอดช่วงเวลา

ส่วนจำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่งนั้นจะเห็นว่าจำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่งจะต้องแปรตามค่า N2 ซึ่งในที่นี้คือ 50 เซลล์ ดังนั้น จำนวนเครดิตเซลล์ที่สวิตช์ต้องทำการส่งนั้นควรจะประมาณ 10000 เซลล์ ตามผลการจำลองแบบผลของ N2 ในหัวข้อต่อไป แต่กรณีบัฟเฟอร์สวิตช์เป็น 350 เซลล์นั้น จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่งจากสวิตช์จะน้อยกว่ากรณีอื่น ทั้งนี้เป็นเพราะในช่วงแรกที่มีการใช้งาน Link Utilization ไม่ครบ ทำให้มีการส่งเซลล์น้อยกว่าที่ควร จะส่งผลให้เครดิตเซลล์ซึ่งจะส่งได้เมื่อมีเซลล์ข้อมูลครบตามจำนวนนั้นส่งได้ล่าช้ากว่ากรณีอื่นเช่นกัน จึงทำให้จำนวนเครดิตเซลล์รวมแล้วน้อยกว่า ซึ่งตรงจุดนี้ไม่ได้เป็นข้อดีประการใดเลยเพราะหมายถึงเซลล์ข้อมูลได้ถูกจัดส่งน้อยกว่าปกติ

สำหรับสาเหตุที่ส่งเซลล์และคิวได้ออกมาดังนี้จะกล่าวถึงในส่วนของวิจารณ์ผลต่อไป

### 4.2.2 ผลกระทบของตัวแปร N2

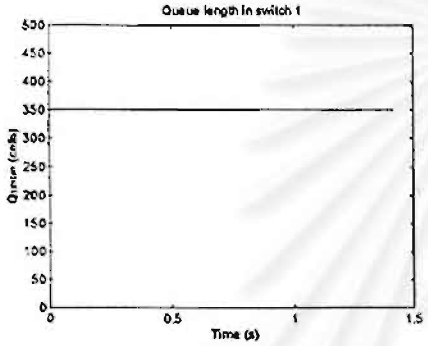
ในการวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปร N2 นี้ จากโครงข่ายจำเป็นต้องกำหนดค่าต่าง ๆ นอกจาก N2 ให้คงที่แล้วปรับค่า N2 ซึ่งในการจำลองแบบจะกำหนดค่าคงที่ต่าง ๆ ดังนี้

<u>ค่าคงที่</u> บัฟเฟอร์ที่สวิตช์ 500 เซลล์ , จำนวนต้นทาง 5 ต้นทาง , ระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม.

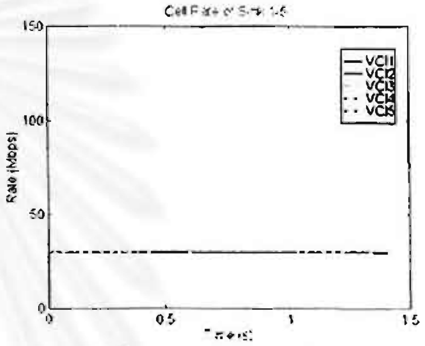
<u>ค่าที่ปรับ</u> N2 25 เซลล์ , 50 เซลล์ และ 75 เซลล์

ได้ผลการจำลองแบบดังนี้

<u>ค่า N2 25 เซลล์</u>

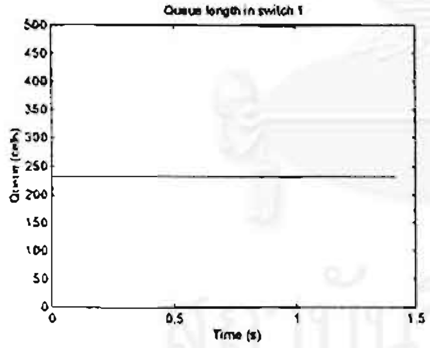


รูปที่ 4.12ก คิวของสวิตช์ 1

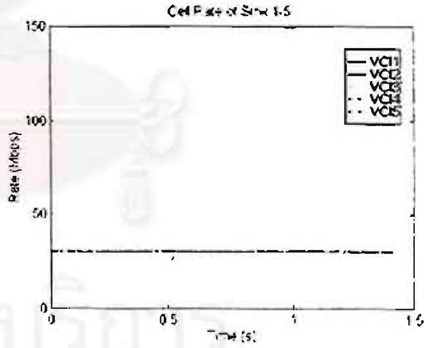


รูปที่ 4.12ข อัตราการรับข้อมูล

<u>ค่า N2 50 เซลล์</u>

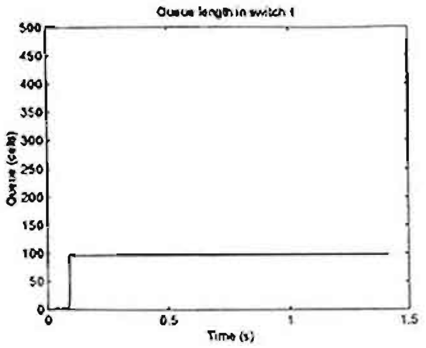


รูปที่ 4.13ก คิวของสวิตช์ 1

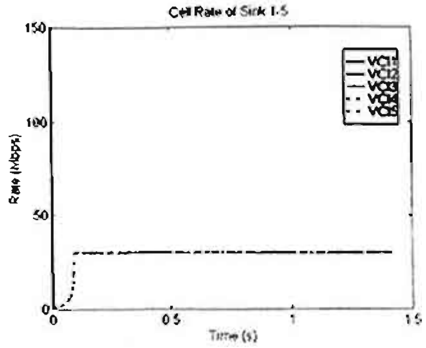


รูปที่ 4.13ข อัตราการรับข้อมูล

ค่า N2 75 เซลล์




รูปที่ 4.14ก คิวของสวิตช์ 1




รูปที่ 4.14ข อัตราการรับข้อมูล

| ค่า N2 | 25 เซลล์ | 50 เซลล์ | 75 เซลล์ |
|---|---|---|---|
| จำนวนเซลล์ที่รับได้ทั้งหมด | 499988 | 499973 | 474437 |
| จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง | 20000 | 10000 | 6330 |

ตารางที่ 4.2 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่ง

จากผลการจำลองโครงข่ายจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปรับค่า N2 โดยให้ค่า N2 เพิ่มขึ้นเป็น 25 , 50 และ 75 เซลล์ ตามลำดับ จำนวนเซลล์ที่ได้รับทั้งหมดจะลดลงตามลำดับเช่นกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟอัตราการรับข้อมูลจะเห็นได้ชัดว่า กรณีที่ N2 เป็น 75 เซลล์ตามรูปที่ 4.14ข อัตราการรับเซลล์ในช่วงแรก ๆ จะไม่มี VC ใดที่สามารถส่งได้ถึง 30 Mbps ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยให้แต่ละ VC แต่ในรูปที่ 4.12ข และ 4.13ข อัตราการรับข้อมูลนั้นค่อนข้างจะครบ 30 Mbps ตลอดช่วงเวลาที่ทำการจำลองแบบ

ส่วนผลของคิวของสวิตช์นั้นจะ ให้ผลสอดคล้องกับอัตราการรับข้อมูลและจำนวนเซลล์ที่รับได้ทั้งหมด กล่าวคือ ในกรณีที่ N2 เป็น 75 เซลล์ ตามรูปที่ 4.14ก นั้นในช่วงแรก ๆ คิวของสวิตช์ 1 นั้นแทบจะไม่มีเซลล์ตกค้างอยู่เลย จึงทำให้ค่า Link Utilization ไม่เต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงนี้จึงไม่สามารถใช้งานแถบความถี่ได้ครบ 150 Mbps จึงให้กราฟเซลล์ที่รับได้ทั้งหมดไม่ถึง 30 Mbps ในช่วงแรก

หากพิจารณาในส่วนของการส่งเครดิตเซลล์นั้นจะเห็นว่าจำนวนเครดิตเซลล์ที่สวิตช์ทำการส่งจะแปรผกผันกับค่า N2 ซึ่งหากใช้ค่า N2 น้อย ก็ต้องมีการส่งเครดิตเซลล์มาก ทำให้ต้องเสียทรัพยากรโครงข่ายมากตามด้วย

สำหรับสาเหตุที่ส่งเซลล์และคิวได้ออกมาดังนี้จะกล่าวถึงในส่วนของวิจารณ์ผลต่อไป

### 4.2.3 ผลกระทบของจำนวนต้นทางที่เชื่อมต่อกับสวิตช์

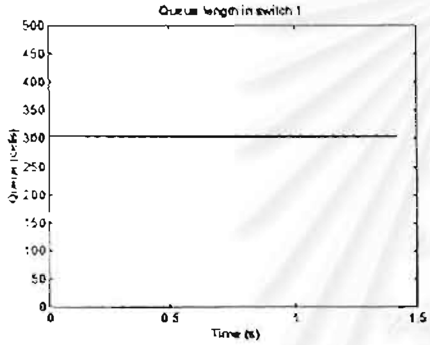
ในการวิเคราะห์ผลกระทบของจำนวนต้นทางที่เชื่อมต่อกับสวิตช์นี้ จากโครงข่ายจำเป็นต้องกำหนดค่าต่าง ๆ นอกจากจำนวนต้นทางให้คงที่แล้วปรับค่าจำนวนต้นทาง ซึ่งในการจำลองแบบจะกำหนดค่าคงที่ต่าง ๆ ดังนี้

<u>ค่าคงที่</u> บัฟเฟอร์ที่สวิตช์ 500 เซลล์ , N2 50 เซลล์ , ระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม.

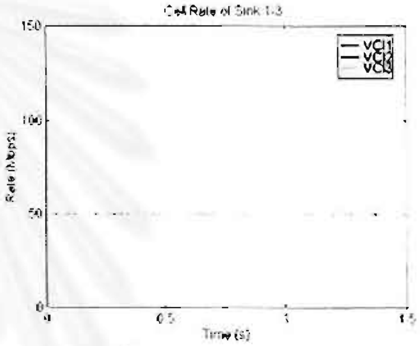
<u>ค่าที่ปรับ</u> จำนวนต้นทาง 3 ต้นทาง , 5 ต้นทาง และ 7 ต้นทาง

ได้ผลการจำลองแบบดังนี้

<u>จำนวนต้นทาง 3 ต้นทาง</u>

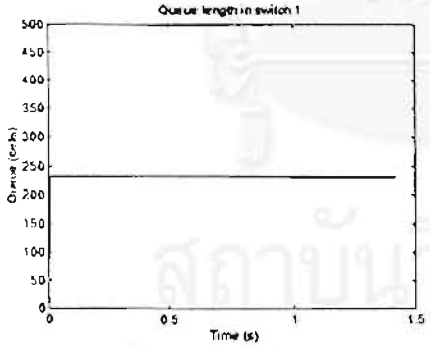



รูปที่ 4.15ก คิวของสวิตช์ 1

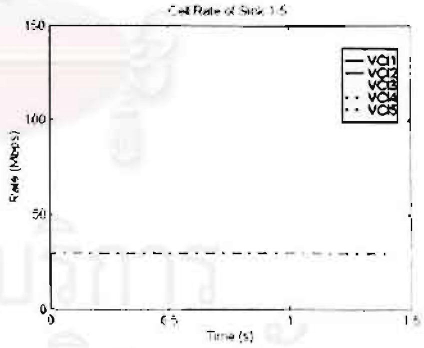



รูปที่ 4.15ข อัตราการรับข้อมูล

<u>จำนวนต้นทาง 5 ต้นทาง</u>

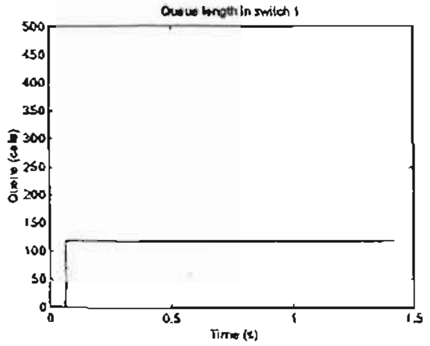



รูปที่ 4.16ก คิวของสวิตช์ 1

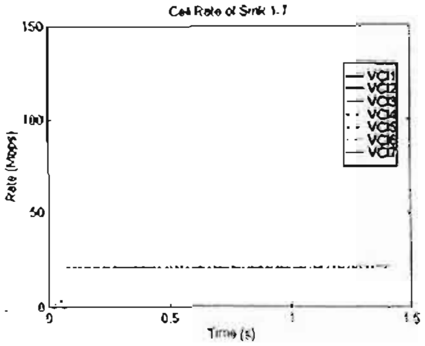



รูปที่ 4.16ข อัตราการรับข้อมูล

<u>จำนวนต้นทาง 7 ต้นทาง</u>




รูปที่ 4.17ก คิวของสวิตช์ 1




รูปที่ 4.17ข อัตราการรับข้อมูล

| จำนวนต้นทาง | 3 ต้นทาง | 5 ต้นทาง | 7 ต้นทาง |
|---|---|---|---|
| จำนวนเซลล์ที่รับได้ทั้งหมด | 499988 | 499976 | 481374 |
| จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง | 10002 | 10000 | 9632 |

ตารางที่ 4.3 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่ง

จากผลการจำลองแบบโดยทำการเปลี่ยนจำนวนของต้นทางซึ่งในที่นี้คือ 3 , 5 และ 7 ต้นทางตามลำดับ จะเห็นว่ากรณี 7 ต้นทางจำนวนเซลล์ที่รับได้ทั้งหมดของปลายทางจะน้อยกว่ากรณีอื่น และเมื่อพิจารณาจากกราฟอัตราการรับเซลล์ของกรณี 7 ต้นทางในรูปที่ 4.17ข จะพบว่าในช่วงแรก ๆ อัตราการรับเซลล์จะได้ไม่เต็มที่ คือไม่ถึง 21.42 Mbps ซึ่งเป็นค่าที่เท่าเทียมกันของแต่ละ VC ต่างจากอีกสองกรณีที่อัตราการส่งจะได้ครบตามค่าความเท่าเทียมกัน คือ 50 และ 30 Mbps ในกรณี 3 และ 5 ต้นทางตามลำดับ และคิวของสวิตช์กรณี 7 ต้นทางในรูปที่ 4.17ก ในช่วงแรกไม่มีเซลล์ค้างอยู่เช่นกัน จึงส่งผลให้อัตราการรับและเซลล์ที่รับได้ทั้งหมดน้อยกว่าปกติ

ส่วนจำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่งนั้น เนื่องจากใช้ค่า N2 เป็น 50 ดังนั้นสวิตช์ควรส่งเครดิตเซลล์ทั้งหมดประมาณ 10000 เซลล์ ตามผลการจำลองแบบผลของ N2 แต่ในกรณี 7 ต้นทางนี้จะส่งได้น้อยกว่า เป็นเพราะในช่วงแรกสวิตช์ได้ส่งเครดิตเซลล์น้อยกว่าปกติ คล้ายกรณีบัฟเฟอร์น้อย ๆ ในหัวข้อ 4.2.1 ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

สำหรับสาเหตุที่ส่งเซลล์และคิวได้ออกมาดังนี้จะกล่าวถึงในส่วนของวิจารณ์ผลต่อไป

### 4.2.4 ผลกระทบของระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์

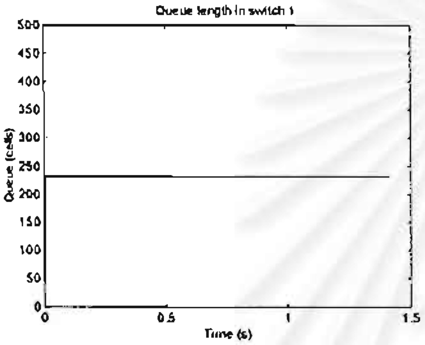
ในการวิเคราะห์ผลกระทบของระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์นี้ จากโครงข่ายจำเป็นต้องกำหนดค่าต่าง ๆ นอกจากระยะทางให้คงที่แล้วปรับค่าระยะทาง ซึ่งในการจำลองแบบจะกำหนดค่าคงที่ต่าง ๆ ดังนี้

<u>ค่าคงที่</u> บัฟเฟอร์ที่สวิตช์ 500 เซลล์ , N2 50 เซลล์ , จำนวนต้นทาง 5 ต้นทาง

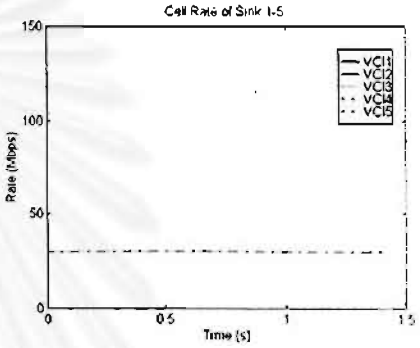
<u>ค่าที่ปรับ</u> ระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม. , 10 กม. และ 12 กม.

ได้ผลการจำลองแบบดังนี้

<u>ระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 กม.</u>

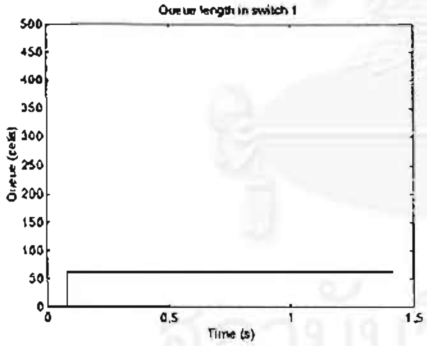



รูปที่ 4.18ก คิวของสวิตช์ 1

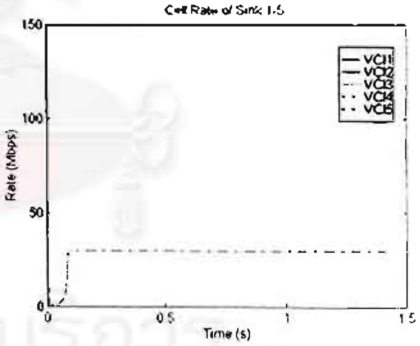



รูปที่ 4.18ข อัตราการรับข้อมูล

<u>ระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 10 กม.</u>

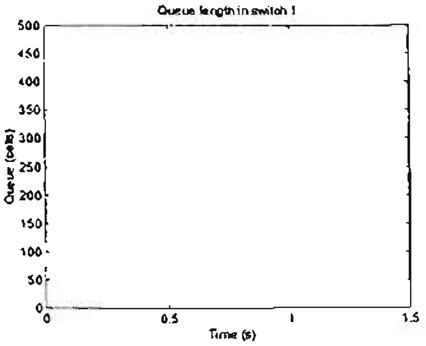



รูปที่ 4.19ก คิวของสวิตช์ 1

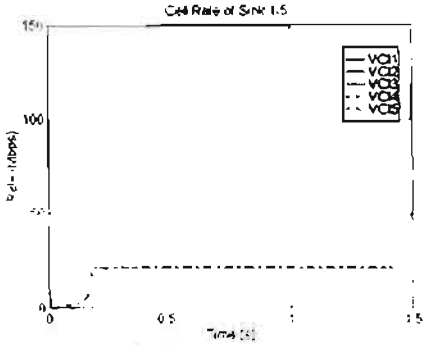



รูปที่ 4.19ข อัตราการรับข้อมูล

<u>ระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 12 กม.</u>




รูปที่ 4.20ก คิวของสวิตช์ 1




รูปที่ 4.20ข อัตราการรับข้อมูล

| ระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ | 1 กม. | 10 กม. | 12 กม. |
|---|---|---|---|
| จำนวนเซลล์ที่รับได้ทั้งหมด | 499976 | 474966 | 318110 |
| จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง | 10000 | 9500 | 6365 |

ตารางที่ 4.4 จำนวนเซลล์ที่รับได้และเครดิตเซลล์ที่ส่ง

จากผลการจำลองแบบโดยทำการปรับค่าระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 เป็น 1 , 10 และ 12 กม. จะเห็นว่าระยะทางไกลจำนวนเซลล์จะรับได้น้อยลงและยิ่งไกลมาก ๆ จะน้อยลงมากยิ่งขึ้น และเมื่อพิจารณาจากกราฟอัตราการรับเซลล์ข้อมูลจะเห็นว่ากรณีระยะทางใกล้ 1 กม. ตามรูปที่ 4.18ข อัตราการรับเซลล์ข้อมูลจะเท่ากับค่าความเท่าเทียมกัน 30 Mbps ตลอดช่วงเวลา พอระยะทางมากขึ้น ( พิจารณาโดยรวมจากค่าตัวแปรอื่น ๆ ทั้งหมด ) เป็น 10 กม. ในช่วงแรก ๆ ของรูป 4.19ข อัตราการรับเซลล์ข้อมูลจะยังไม่ถึงค่าความเท่าเทียมกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าคิวของสวิตช์ตามรูปที่ 4.19ก ที่ในช่วงแรกยังไม่มีเซลล์ข้อมูลตกค้างอยู่ในสวิตช์เช่นกัน ส่วนกรณีระยะทางไกลมากขึ้นเป็น 12 กม. จะเห็นว่าค่าอัตราการรับข้อมูลตามรูปที่ 4.20ข ไม่สามารถถึงค่าความเท่าเทียมกัน 30 Mbps ตลอดช่วงเวลา ซึ่งสอดคล้องกับกราฟในรูปที่ 4.20ก ซึ่งจะเห็นว่าคิวของสวิตช์ไม่มีเซลล์ข้อมูลตกค้างอยู่เลย ทำให้ค่า Link Utilization ไม่เต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ โครงข่ายจึงไม่สามารถใช้งานช่วงแถบความถี่ได้ครบ 150 Mbps ดังนั้นอัตราที่รับข้อมูลได้ของแต่ละ VC จึงไม่ถึงค่าความเท่าเทียมกัน ตลอดช่วงเวลา

ส่วนจำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่งนั้น เนื่องจากใช้ค่า N2 เป็น 50 ดังนั้นสวิตช์ควรส่งเครดิตเซลล์ทั้งหมดประมาณ 10000 เซลล์ ตามผลการจำลองแบบผลของ N2 กรณีระยะทาง 12 กม. นี้จะส่งได้น้อยกว่ามาก เนื่องจากเซลล์ที่ส่งได้น้อย ดังนั้นเครดิตเซลล์จึงได้ส่งน้อยตามเช่นกัน ส่วนกรณีระยะทาง 10 กม. น้อยกว่าเล็กน้อยนั้นเป็นเพราะในช่วงแรกสวิตช์ได้ส่งเครดิตเซลล์น้อยกว่าปกติคล้ายกรณีบัฟเฟอร์น้อย ๆ ในหัวข้อ 4.2.1 ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

สำหรับสาเหตุที่ส่งเซลล์และคิวได้ออกมาดังนี้จะกล่าวถึงในส่วนของวิจารณ์ผลต่อไป

**4.3 ผลการจำลองแบบโครงข่าย**

ในส่วนนี้จะเป็นการจำลองแบบการทำงานของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบสโดยจะทำการเปรียบเทียบการทำงานระหว่างแบบแผน N23 และการใช้บัฟเฟอร์ร่วม ซึ่งโครงข่ายที่ใช้ทดสอบนั้นจะแตกต่างกันออกไปตามที่ได้กล่าวข้างต้นแล้วดังนี้

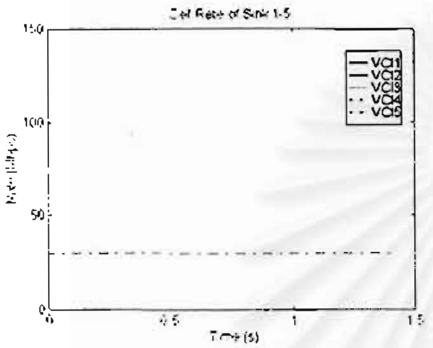
- โครงข่าย 1 hop แบบปกติ
- โครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน
- โครงข่าย 1 hop แบบการส่งข้อมูลไม่เต็มที่
- โครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่ง
- โครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าและออกของต้นทางและปลายทาง

และในส่วนท้ายจะมีการนำค่า load factor มาใช้กับการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพโครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง เนื่องจากการจัดการแบบบัฟเฟอร์ร่วมจะยังมีประสิทธิภาพไม่ดีนักกับโครงข่ายนี้ สำหรับการวิจารณ์ถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดผลออกมา จะอธิบายในบทวิจารณ์ผลซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อไป

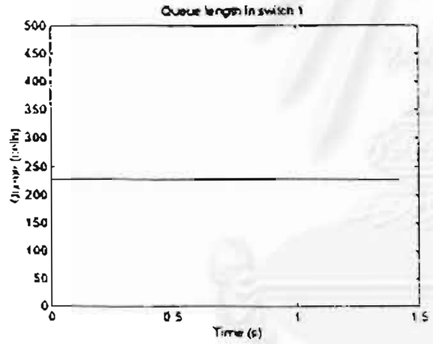
### 4.3.1 โครงข่าย 1 hop แบบปกติ

โครงข่าย 1 hop แบบปกตินี้จัดเป็นโครงข่ายพื้นฐานของการส่งข้อมูลของหลาย ๆ VC ร่วมกันในสายส่งเส้นเดียวกัน ซึ่งจะได้ผลการจำลองแบบเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมความคับคั่งแบบ N23 และการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมดังนี้

**Credit-Based N23**




รูปที่ 4.21ก อัตราการรับข้อมูล




รูปที่ 4.21ข คิวของสวิตช์ 1

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 99995 | 99996 | 99995 | 99995 | 99995 |

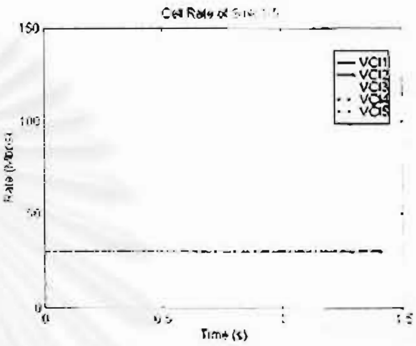
ตารางที่ 4.5ก จำนวนเซลล์ที่รับได้

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 |

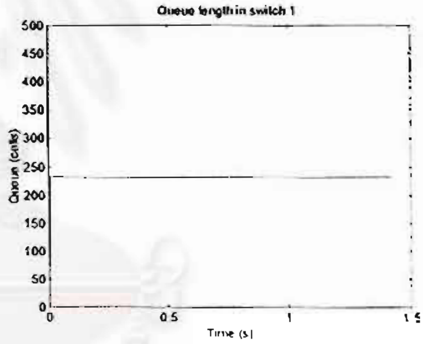
ตารางที่ 4.5ข จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง

ค่าความเท่าเทียมกัน = 1

**Credit-Based Common Buffer**




รูปที่ 4.22ก อัตราการรับข้อมูล




รูปที่ 4.22ข คิวของสวิตช์ 1

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 99994 | 99995 | 99995 | 99994 | 99995 |

ตารางที่ 4.6ก จำนวนเซลล์ที่รับได้

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 |

ตารางที่ 4.6ข จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง

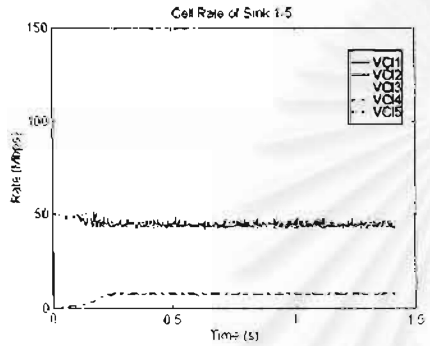
ค่าความเท่าเทียมกัน = 1

ในกรณีโครงข่าย 1 hop แบบปกติจะเห็นว่าทั้งการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส N23 และการควบคุมความคับคั่งแบบการใช้บัฟเฟอร์ร่วมผลที่ได้จะใกล้เคียงกันมาก ในทุก ๆ ด้านไม่ว่าจะเป็นจำนวนเซลล์ที่รับได้ในแต่ละ VC , อัตราการรับเซลล์ข้อมูล , คิวของสวิตช์ 1 และจำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่งจากสวิตช์ 1 ค่าทั้งหมดที่ใกล้เคียงกันนี้จึงทำให้ค่าความเท่าเทียมกันมีค่าเท่ากันอีกด้วย ซึ่งมองโดยรวมแล้วไม่มีความแตกต่างกันเลย ระหว่างการควบคุมทั้งสองแบบของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส ในโครงข่าย 1 hop แบบปกตินี้

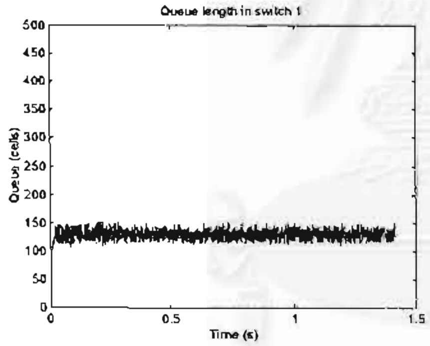
### 4.3.2 โครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน

โครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากันนี้ จัดเป็นโครงข่ายที่มีการส่งข้อมูลของหลาย ๆ VC ร่วมกันในสายส่งเส้นเดียวกัน โดยจะคำนึงถึงผลของระยะทางระหว่างต้นทางและสวิตช์ ซึ่งจะส่งผลให้เวลาประวิงของ VC ที่กำลังพิจารณาไม่เท่ากันกับ VC อื่น ๆ ซึ่งจะได้ผลการจำลองแบบเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมความคับคั่งแบบ N23 และการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมดังนี้

**Credit-Based N23**




รูปที่ 4.23ก อัตราการรับข้อมูล




รูปที่ 4.23ข คิวของสวิตช์ 1

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 150638 | 150597 | 150543 | 24066 | 24003 |

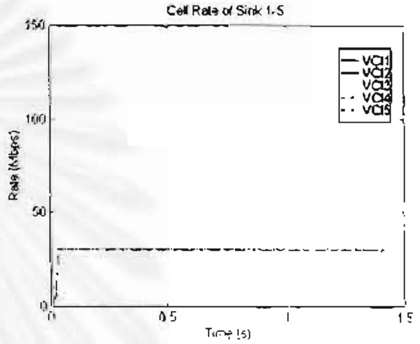
ตารางที่ 4.7ก จำนวนเซลล์ที่รับได้

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 3016 | 3007 | 3013 | 484 | 480 |

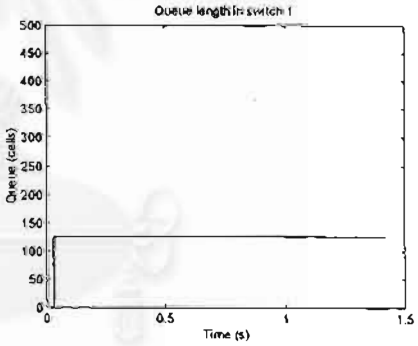
ตารางที่ 4.7ข จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง

ค่าความเท่าเทียมกัน = 0.722

**Credit-Based Common Buffer**




รูปที่ 4.24ก อัตราการรับข้อมูล




รูปที่ 4.24ข คิวของสวิตช์ 1

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 98526 | 98526 | 98527 | 98519 | 98519 |

ตารางที่ 4.8ก จำนวนเซลล์ที่รับได้

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 1971 | 1971 | 1971 | 1971 | 1971 |

ตารางที่ 4.8ข จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง

ค่าความเท่าเทียมกัน = 0.999

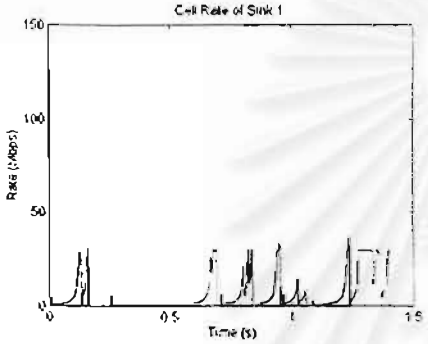
สำหรับโครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากันนี้จะเห็นว่าในการควบคุมแบบ N23 จำนวนเซลล์ที่รับได้ของ VC ที่มีระยะทางไกลกว่านั้นจะมีค่าน้อยกว่าจำนวนเซลล์ที่รับได้ของ VC ที่มีระยะทางใกล้ ๆ ซึ่งผลก็จะเป็นลักษณะดังในหัวข้อ 4.2.4 ข้างต้น ดังนั้นค่าความเท่าเทียมกันของโครงข่ายจึงน้อยลงตามไปด้วย กล่าวคือเหลือเพียง 0.722 เท่านั้น และค่าคิวของสวิตซ์ 1 ตามรูปที่ 4.23ข จะแกว่งไม่คงที่เนื่องจากเซลล์ข้อมูลของ VC ที่อยู่ไกลและเซลล์ข้อมูลของ VC ที่อยู่ใกล้เข้ามาที่สวิตช์ไม่พร้อมกัน ทำให้การส่งเครดิตเซลล์ออกไปจากสวิตช์ไม่ได้กระทำในช่วงเวลาเดียวกัน ดังนั้นคิวของสวิตช์ 1 จึงไม่คงที่ มีการแกว่งเล็กน้อยแต่ไม่มากนัก

ส่วนการใช้การควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมนั้นจะเห็นว่าจำนวนเซลล์ที่รับได้ทั้ง 5 VC จะมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งจะทำให้ค่าความเท่าเทียมกันใกล้เคียง 1 มากคือเป็น 0.999 ซึ่งสูงกว่าของกรณีที่ควบคุมแบบ N23 พอสมควร อัตราการรับข้อมูลตามรูปที่ 4.24ก ในช่วงแรกนั้นจะยังไม่เต็มตามค่าความเท่าเทียมกัน 30 Mbps เพราะเซลล์ในส่วนของระยะทางไกลยังส่งไปถึงทางด้านรับน้อยอยู่ ส่วนคิวที่สวิตช์ก็จะไม่มีการแกว่งเลย ทั้งนี้เนื่องจากมีการชดเชยจาก VC ที่อยู่ใกล้ให้กับ VC ที่อยู่ไกล ๆ ดังนั้นทั้งอัตราการรับเซลล์ข้อมูล และจำนวนเซลล์ที่รับได้ในแต่ละ VC จึงมีค่าใกล้เคียงกัน

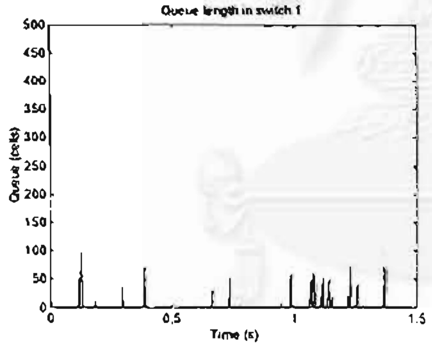
### 4.3.3 โครงข่าย 1 hop แบบการส่งข้อมูลไม่เต็มที่

โครงข่าย 1 hop แบบการส่งข้อมูลไม่เต็มที่นี้เป็นโครงข่ายที่มีของการส่งข้อมูลของหลาย ๆ VC ร่วมกันในสายส่งเส้นเดียวกัน โดยแต่ละ VC ที่ส่งข้อมูลเข้ามานั้นไม่ได้จัดส่งอย่างเต็มที่ตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดสอบคล้ายกับการใช้งานจริง ซึ่งจะได้ผลการจำลองแบบเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมความคับคั่งแบบ N23 และการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมดังนี้

**Credit-Based N23**

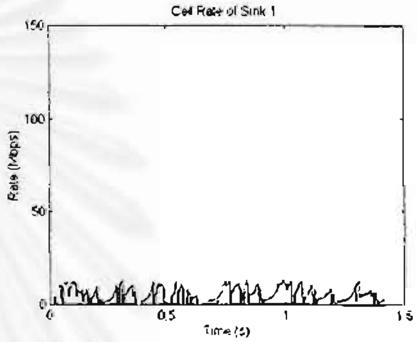



รูปที่ 4.25ก อัตราการรับข้อมูลต้นทาง 1

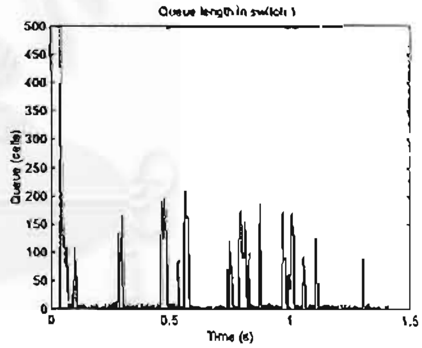



รูปที่ 4.25ข คิวของสวิตช์ 1

**Credit-Based Common Buffer**




รูปที่ 4.26ก อัตราการรับข้อมูลต้นทาง 1




รูปที่ 4.26ข คิวของสวิตช์ 1

**Credit Based N23**

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 20355 | 18839 | 13558 | 19600 | 24852 |
| VC 6 | VC 7 | VC 8 | VC 9 | VC 10 |
| 18938 | 22861 | 15914 | 15980 | 15809 |
| VC 11 | VC 12 | VC 13 | VC 14 | VC 15 |
| 19904 | 21467 | 11713 | 23741 | 10388 |

ตารางที่ 4.9ก จำนวนเซลล์ที่รับได้

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 407 | 377 | 271 | 394 | 497 |
| VC 6 | VC 7 | VC 8 | VC 9 | VC 10 |
| 379 | 457 | 319 | 320 | 318 |
| VC 11 | VC 12 | VC 13 | VC 14 | VC 15 |
| 398 | 430 | 234 | 476 | 208 |

ตารางที่ 4.9ข จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง

ค่าความเท่าเทียมกัน = 0.951

**Credit Based Common Buffer**

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 18226 | 18382 | 17605 | 18005 | 19705 |
| VC 6 | VC 7 | VC 8 | VC 9 | VC 10 |
| 18326 | 18473 | 18731 | 20156 | 18279 |
| VC 11 | VC 12 | VC 13 | VC 14 | VC 15 |
| 18149 | 19445 | 18194 | 17872 | 17885 |

ตารางที่ 4.10ก จำนวนเซลล์ที่รับได้

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 348 | 348 | 348 | 348 | 348 |
| VC 6 | VC 7 | VC 8 | VC 9 | VC 10 |
| 348 | 348 | 348 | 348 | 348 |
| VC 11 | VC 12 | VC 13 | VC 14 | VC 15 |
| 348 | 348 | 348 | 348 | 348 |

ตารางที่ 4.10ข จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง

ค่าความเท่าเทียมกัน = 0.998

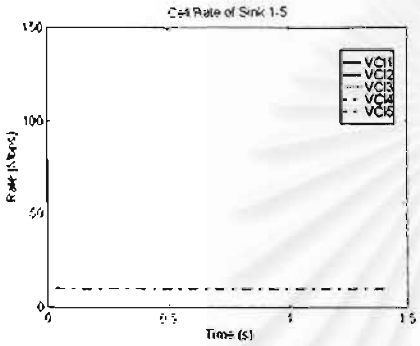
โครงข่าย 1 hop ที่มีการส่งข้อมูลไม่เต็มที่นี้จะใกล้เคียงการใช้งานจริงที่ผู้ใช้ไม่ได้มีการส่งข้อมูลอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจากผลการจำลองแบบจะเห็นว่าจำนวนเซลล์ที่รับได้ทั้งหมดของการควบคุมแบบ N23 จะได้ 273914 เซลล์ จะน้อยกว่าของการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมซึ่งได้จำนวนเซลล์ถึง 277433 เซลล์ และเมื่อดูอัตราการรับข้อมูลของการควบคุมแบบ N23 ตามรูปที่ 4.25ก จะเห็นว่าอัตราการรับจะไม่สม่ำเสมอเท่าของการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมดังรูปที่ 4.26ก ซึ่งเมื่อดูโดยรวมจากทุก VC แล้วค่าความเท่าเทียมกันของการควบคุมแบบ N23 ค่า 0.951 นี้จะน้อยกว่า ของการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมอีกเช่นกันซึ่งของการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมนี้จะมีค่าความเท่าเทียมกันใกล้ 1 มาก

ส่วนค่าคิวของสวิตช์ 1 นั้นจะเห็นว่าการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมจะมีค่าคิวโดยเฉลี่ยสูงกว่าของการควบคุมแบบ N23 ซึ่งหมายความว่าในการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมนั้นได้มีเซลล์ที่ตกค้างที่สวิตช์เพื่อรอการส่งข้อมูลออกต่อไป ทำให้ค่า Link Utilization สูงกว่าของการควบคุมแบบ N23 จึงส่งผลให้อัตราที่รับเซลล์และเซลล์ที่รับได้ทั้งหมดสูงกว่า

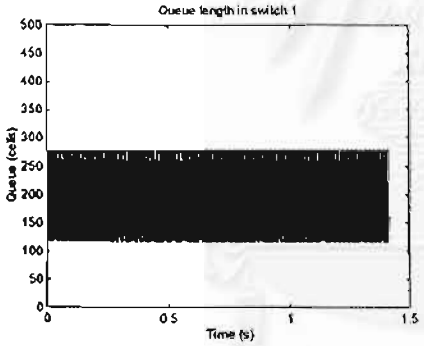
**4.3.4 โครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่ง**

โครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่งนี้เป็นโครงข่ายที่มีการส่งข้อมูลของหลาย ๆ VC ร่วมกันผ่านสายส่งเดียวกัน ซึ่งสายส่งที่ส่งข้อมูลผ่านจะมีสองส่วนในส่วนหลังจะมีช่วงความถี่ที่น้อยกว่าในส่วนแรกจึงทำให้มีการคับคั่งของข้อมูลในส่วนของสวิตช์กลางทาง ซึ่งจะได้ผลการจำลองแบบเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมความคับคั่งแบบ N23 และการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมดังนี้

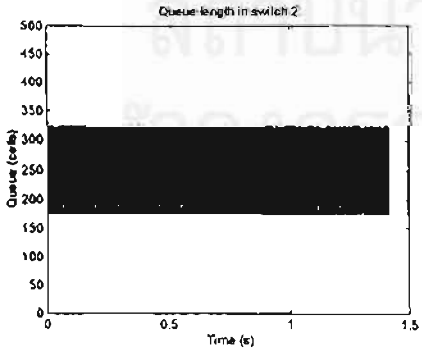
Credit-Based N23




รูปที่ 4.27ก อัตราการรับข้อมูล

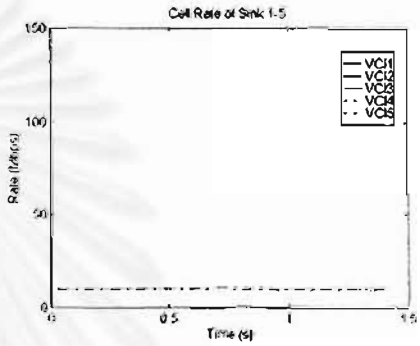



รูปที่ 4.27ข คิวของสวิตช์ 1

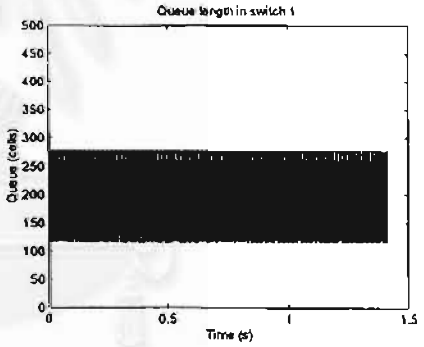



รูปที่ 4.27ค คิวของสวิตช์ 2

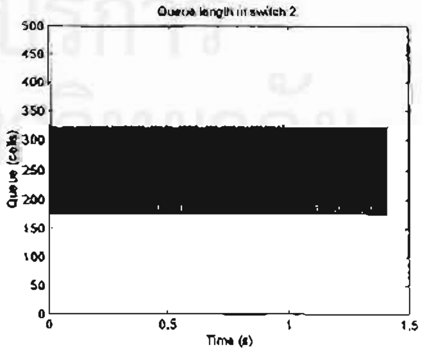
Credit-Based Common Buffer




รูปที่ 4.28ก อัตราการรับข้อมูล




รูปที่ 4.28ข คิวของสวิตช์ 1




รูปที่ 4.28ค คิวของสวิตช์ 2

| Credit Based N23 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
| 33333 | 33331 | 33332 | 33332 | 33332 |

ตารางที่ 4.11ก จำนวนเซลล์ที่รับได้

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 668 | 668 | 668 | 668 | 668 |

ตารางที่ 4.11ข จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง

ค่าความเท่าเทียมกัน = 1

| Credit Based Common Buffer | | | | |
|---|---|---|---|---|
| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
| 33332 | 33332 | 33333 | 33332 | 33331 |

ตารางที่ 4.12ก จำนวนเซลล์ที่รับได้

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 668 | 668 | 668 | 668 | 668 |

ตารางที่ 4.12ข จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง

ค่าความเท่าเทียมกัน = 1

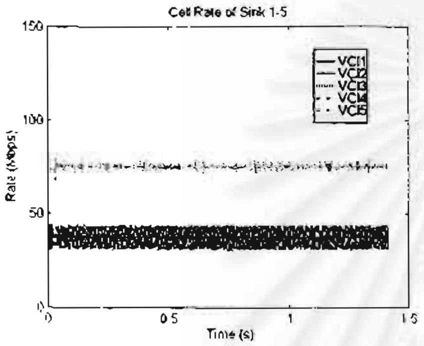
ในกรณีโครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่งนี้จะเห็นว่าทั้งการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส N23 และการควบคุมความคับคั่งแบบการใช้บัฟเฟอร์ร่วมผลที่ได้จะใกล้เคียงกันมาก ในทุก ๆ ด้านไม่ว่าจะเป็นจำนวนเซลล์ที่รับได้ในแต่ละ VC , อัตราการรับเซลล์ข้อมูล , คิวของสวิตช์ 1 และจำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่งจากสวิตช์ 1 ค่าทั้งหมดที่ใกล้เคียงกันนี้จึงทำให้ค่าความเท่าเทียมกันมีค่าเท่ากันอีกด้วย ซึ่งมองโดยรวมแล้วไม่มีความแตกต่างกันเลย ระหว่างการควบคุมทั้งสองแบบของการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบส ในโครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่งนี้

ส่วนค่าคิวของสวิตช์ทั้งสองตามรูปที่ 4.27ข , 4.27ค , 4.28ข และ 4.28ค มีค่าแกว่งขึ้นลงเป็นช่วง ๆ นั้นเนื่องจากผลของสายส่งในเส้นแรกและเส้นที่สองมีค่าแถบความถี่ไม่เท่ากันโดยจะทำให้เกิดความคับคั่งของสายส่งที่สวิตช์ 1 เซลล์ที่ส่งเข้าและออกจากสวิตช์ทั้งสองจะต้องมีการปรับอัตราการส่งตามแถบความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ดังนั้นค่าคิวที่สวิตช์ทั้งสองนี้จึงมีค่าแกว่งไปมาตลอดเวลาในช่วงค่าหนึ่ง ๆ ซึ่งไม่เกินค่าบัฟเฟอร์สูงสุดของสวิตช์

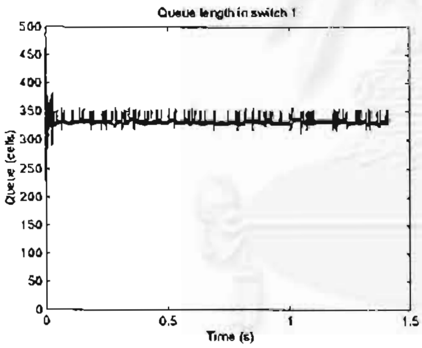
### 4.3.5 โครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าและออกของต้นทางและปลายทาง

โครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทางเป็นโครงข่ายที่มีการส่งข้อมูลของหลาย ๆ VC ร่วมกันในสายส่งเส้นเดียวกัน และมีบาง VC ที่มีปลายทางออกกลางทาง และบาง VC ที่มีต้นทางเข้าที่กลางทางเช่นกัน ซึ่งจะได้ผลการจำลองแบบเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมความคับคั่งแบบ N23 และการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมดังนี้

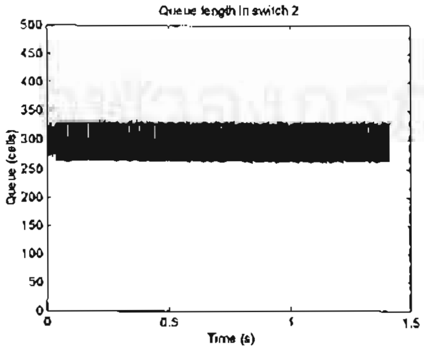
**Credit-Based N23**




**รูปที่ 4.29ก อัตราการรับข้อมูล**

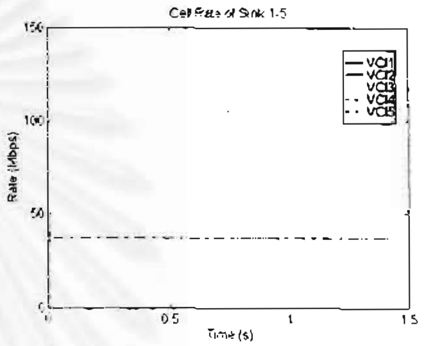



**รูปที่ 4.29ข คิวของสวิตช์ 1**

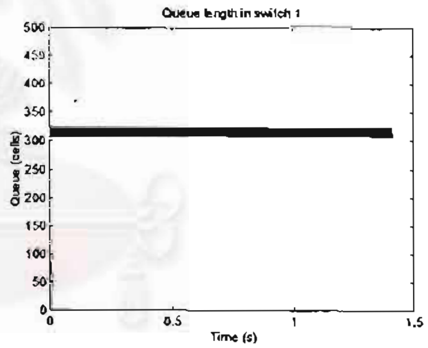



**รูปที่ 4.29ค คิวของสวิตช์ 2**

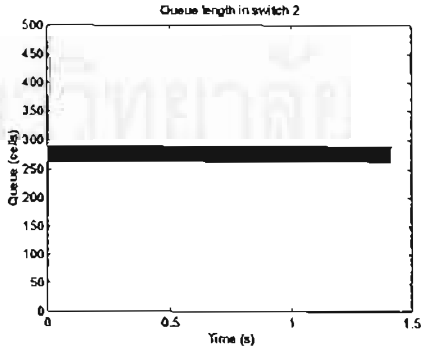
**Credit-Based Common Buffer**




**รูปที่ 4.30ก อัตราการรับข้อมูล**




**รูปที่ 4.30ข คิวของสวิตช์ 1**




**รูปที่ 4.30ค คิวของสวิตช์ 2**

| Credit Based N23 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
| 125017 | 125017 | 249781 | 125123 | 124831 |

ตารางที่4.13ก จำนวนเซลล์ที่รับได้

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 2501 | 2501 | 4999 | 2501 | 2501 |

ตารางที่4.13ข จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง

ค่าความเท่าเทียมกัน = 0.999

| Credit Based Common Buffer | | | | |
|---|---|---|---|---|
| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
| 124975 | 124975 | 125250 | ·125019 | 125019 |

ตารางที่ 4.14ก จำนวนเซลล์ที่รับได้

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 2503 | 2503 | 2503 | 2502 | 2502 |

ตารางที่ 4.14ข จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง

ค่าความเท่าเทียมกัน = 0.999

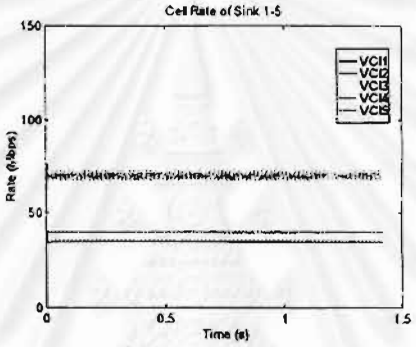
จากโครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทางจะเห็นว่าในโครงข่ายนี้ สายส่งระหว่างสวิตช์ 2 และสวิตช์ 3 จะเป็นสายส่งที่มีความคับคั่ง ดังนั้นในการคิดค่าความเท่าเทียมกันของโครงข่ายจะคิดเฉพาะ VC ที่ผ่านสายส่งเส้นนี้เท่านั้น ซึ่งประกอบด้วย ต้นทาง 1 ,ต้นทาง 2 , ต้นทาง 4 และต้นทาง 5 เท่านั้น ซึ่งผลที่ได้นั้นทั้งจากการควบคุมความคับคั่ง N23 และ การควบคุมความคับคั่งแบบบัฟเฟอร์ร่วม จำนวนเซลล์ที่รับได้จาก VC ดังกล่าวนี้จะมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความเท่าเทียมกันของโครงข่ายมีค่าเท่ากันคือ 0.999 อีกด้วย ส่วนคิวของสวิตช์การควบคุมทั้งสองแบบ มีการแกว่งขึ้นลงเล็กน้อยนั้น ผลจะคล้ายกับที่ผ่านสายส่งคับคั่งตามหัวข้อ 4.3.4

เมื่อพิจารณาถึง VC ที่ไม่ได้ผ่านสายส่งคับคั่งของโครงข่ายนี้ซึ่งคือ VC 3 จะเห็นว่าจำนวนเซลล์ที่รับได้ของการควบคุมความคับคั่งแบบ N23 จะมีค่าสูงกว่าของการควบคุมความคับคั่งแบบบัฟเฟอร์ร่วม ถึงประมาณเท่าตัว และเมื่อพิจารณาค่าอัตราการรับเซลล์ข้อมูลจะพบว่าอัตราการรับข้อมูลจากต้นทาง 3 ของการควบคุมแบบ N23 จะสูงกว่าการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมถึงเท่าตัวเช่นกัน กล่าวคือของการควบคุมแบบ N23 จะมีค่าที่ประมาณ 75 Mbps ส่วนการควบคุมความคับคั่งแบบบัฟเฟอร์ร่วมจะอยู่ที่ประมาณ 37.5 Mbps ซึ่งหมายความว่าในการใช้การควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมนั้นในส่วนของสายส่งที่ไม่ได้คับคั่งนั้น ( สายส่งระหว่างสวิตช์ 1 กับสวิตช์ 2 ) ไม่ได้ใช้งานแถบความถี่ครบ 150 Mbps เหมือนของการควบคุมแบบ N23

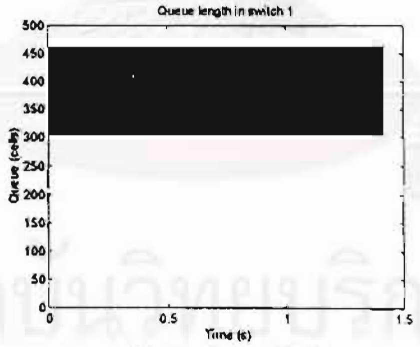
### 4.3.6 การใช้งาน load factor ร่วมในการควบคุมความคับคั่งโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วม

สำหรับการใช้งาน load factor เพิ่ม ซึ่งจะให้ความซับซ้อนมากกว่าการควบคุมความคับคั่งแบบการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมธรรมดา ดังนั้นการใช้งาน load factor นี้จึงไม่ควรเลือกใช้งานกับโครงข่ายที่ใช้การควบคุมความคับคั่งโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมได้ผลดีอยู่แล้ว หรืออาจนำมาใช้ได้แต่ใช้ค่า AI มาก ก็จะได้ผลที่เหมือนกับใช้การควบคุมความคับคั่งแบบการจัดการบัฟเฟอร์ร่วม

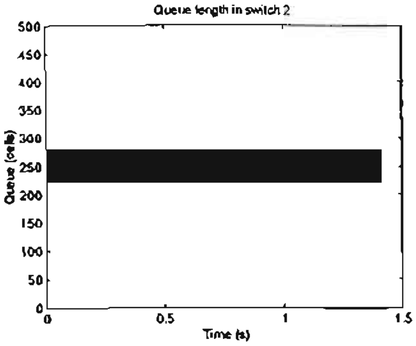
สำหรับโครงข่ายข้างต้นจะเห็นว่า ในกรณีโครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทางนี้จะพบว่าการควบคุมโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมมีประสิทธิภาพโดยรวมด้อยกว่าการควบคุมความคับคั่ง N23 ซึ่งตรงจุดนี้สามารถนำการค่า load factor เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่าย ซึ่งในการจำลองแบบนี้จะใช้ค่า AI = 150 ซึ่งจะได้ผลการจำลองแบบดังนี้




รูปที่ 4.31ก อัตราการรับข้อมูล




รูปที่ 4.31ข คิวของสวิตช์ 1




รูปที่ 4.31ค คิวของสวิตช์ 2

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 116687 | 116688 | 233260 | 133307 | 133307 |

ตารางที่ 4.15ก จำนวนเซลล์ที่รับได้

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 3336 | 3336 | 3336 | 2503 | 2503 |

ตารางที่ 4.15ข จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง

ค่าความเท่าเทียมกัน = 0.995

เมื่อพิจารณาจะเห็นว่าในกรณีที่ใช้ค่า load factor เข้าช่วยในโครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง ใน VC 3 ที่ไม่ได้ผ่านสายส่งที่คับคั่งนั้นสามารถส่งข้อมูลได้เพิ่มขึ้นอีกจากเดิม ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายเพิ่มขึ้นด้วย

# บทที่ 5

## วิเคราะห์ผลการจำลองแบบ

ในส่วนวิเคราะห์ผลการจำลองแบบนี้จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนของผลกระทบจากตัวแปรและส่วนของการเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้งานการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบส N23 กับการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสบัฟเฟอร์ร่วม ซึ่งในส่วนแรกนั้นจะวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่ตัวแปรต่าง ๆ มีผลกระทบต่อโครงข่ายในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นประสิทธิผลของโครงข่าย การใช้งานทรัพยากรของโครงข่าย เป็นต้น ในส่วนที่สองนั้นจะวิเคราะห์ถึงปัจจัยและสาเหตุที่ทำให้การใช้งานการควบคุมความคับคั่งที่พิจารณาทั้งสองนั้นมีข้อได้เปรียบและเสียเปรียบในเรื่องต่าง ๆ กันออกไป และจะวิเคราะห์ถึงผลของการใช้ค่า load factor ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายในกรณีที่ใช้การควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมแล้วผลออกมาได้ไม่ดีเท่าที่ควร

### 5.1 วิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปร

ตัวแปรต่างที่มีผลกระทบต่อสภาวะของโครงข่ายนั้น จากผลการจำลองแบบในหัวข้อที่ 4.1 นั้นสามารถสรุปผลกระทบต่อสภาวะโครงข่ายได้ดังตารางที่ 5.1

| ตัวแปร | | เซลล์ที่รับได้ | คิวของสวิตช์ | เครดิตเซลล์ที่ส่ง |
|---|---|---|---|---|
| N2 | น้อย | มาก | สูง | มาก |
| | มาก | น้อย | ต่ำ | น้อย |
| บัฟเฟอร์สวิตช์ | น้อย | น้อย | ต่ำ | ไม่ส่งผล |
| | มาก | มาก | สูง | ไม่ส่งผล |
| จำนวนต้นทาง | น้อย | มาก | สูง | ไม่ส่งผล |
| | มาก | น้อย | ต่ำ | ไม่ส่งผล |
| ระยะทาง | น้อย | มาก | สูง | ไม่ส่งผล |
| | มาก | น้อย | ต่ำ | ไม่ส่งผล |

ตารางที่ 5.1 ผลกระทบของตัวแปรต่อสภาวะโครงข่าย

จากผลกระทบของโครงข่ายดังตารางสามารถแบ่งการวิเคราะห์เป็น 3 หัวข้อคือเซลล์ที่ได้รับหรือวิสัยสามารถ , คิวของสวิตช์ และ เครดิตเซลล์

*จำนวนเซลล์ที่ได้รับ*

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าตัวแปรทุกตัวแปรจะมีผลกระทบทำให้จำนวนเซลล์ที่ได้รับนั้นมากหรือน้อยได้ ซึ่งหากพิจารณาจากกราฟอัตราการรับข้อมูลซึ่งมีความสัมพันธ์กับจำนวนเซลล์ที่ได้รับนั้นจะพบว่า กราฟในส่วนของกรณีที่รับเซลล์ได้น้อยนั้น ในช่วงแรก ๆ จะไม่ได้มีอัตราที่ครบตามความเท่าเทียมกันของโครงข่าย ยกเว้นกราฟในรูปที่ 4.20ข หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าการที่รับเซลล์ได้น้อยนั้นเป็นเพราะช่วงเวลาก่อนที่จะถึงค่าความเท่าเทียมกันมีมากเกินไป

พิจารณาจากสมการที่ 3.6 อัตราการส่งข้อมูลของต้นทาง $ACR = Credit_now / RT$ จะพบว่าค่า $Credit_now$ นี้คือค่าเครดิตที่สวิตช์ทำการจัดส่งมาให้ยังต้นทางตามสมการที่ 3.4 $Credit = Crd_Bal / N$ และค่า $Crd_Bal$ ก็สามารถแทนได้จากสมารที่ 3.5 เช่นกัน ดังนั้นจากสมการที่ 3.4 , 3.5 และ 3.6 จะสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$ACR = \frac{Buff_Alloc - [Txt_Cnt - Fwd_Cnt] - R * B_{link}}{N * RT} \qquad (5.1)$$

สามารถพิจารณาค่าต่าง ๆ จากสมการได้ดังนี้

1 ค่า $Buff_Alloc$ คือค่าหน่วยความจำที่ได้มาทั้งหมดจะมีค่าหมายถึงค่าบัฟเฟอร์ทั้งหมดหักด้วยจำนวนเซลล์เดิมที่ตกค้างอยู่ที่สวิตช์ ดังนั้นค่าหน่วยความจำนี้สามารถแทนได้เป็น

$$Buff_Alloc = Buff - Old_Cells \qquad (5.2)$$

ซึ่ง $Buff$ นี้คือบัฟเฟอร์ของสวิตช์ ส่วน $Old_Cells$ คือจำนวนเซลล์เดิมที่ตกค้างที่สวิตช์

2 ค่า $(Tx_Cnt - Fwd_Cnt)$ นี้เมื่อหักล้างกันแล้วก็จะหมายถึงค่าจำนวนเซลล์ที่ยังคงค้างอยู่ที่สวิตช์นับจากช่วงเวลาที่ส่งเครดิตเซลล์ก่อนหน้านี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีคือ

- กรณีที่การใช้งานสายส่งได้ไม่เต็มที่หรือ Link Utilization ไม่ครบ 100 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีนี้สวิตช์จะส่งเซลล์ข้อมูลออกจนหมดทำให้ค่า $(Tx_Cnt - Fwd_Cnt)$ เป็น 0
- กรณีการใช้งานสายส่งได้เต็มที่ ในกรณีนี้จะมีเซลล์ข้อมูลตกค้างที่สวิตช์ได้ ทำให้ $(Tx_Cnt - Fwd_Cnt)$ มีค่าเป็น

$$(Tx_Cnt - Fwd_Cnt) = N * N2 * [N * CCR / 150 - 1] \qquad (5.3)$$

ซึ่งค่า $CCR$ หมายถึงอัตราการส่งเซลล์ในปัจจุบัน

3. ค่า $R * B_{link}$ คือค่าที่ชดเชยสำหรับในกรณีนี้สายส่งที่ใช้มีขนาด 150 Mbps ดังนั้นจากภาคผนวก ก. จะมีเซลล์ที่ต้องชดเชยเนื่องจากเวลาประวิงของสายส่งเป็นจำนวน

$$R * B_{link} = N * 1.769 * 2L \tag{5.4}$$

โดย L คือระยะทางของสายส่งระหว่างต้นทางกับสวิตช์ 1 มีหน่วยเป็น กม.

4. ค่า $RT$ นี้คือระยะเวลาระหว่างเครดิตเซลล์ตัวปัจจุบันและตัวก่อนหน้าซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณีเช่นกัน คือ

- กรณีที่การใช้งานสายส่งได้ไม่เต็มที่หรือ Link Utilization ไม่ครบ 100 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีนี้การส่งเครดิตเซลล์จากสวิตช์จะส่งได้โดยใช้เวลาประมาณ

$$RT = N * N2 * 150/(N * CCR) + N2 \tag{5.5}$$

- กรณีการใช้งานสายส่งได้เต็มที่ ในกรณีนี้การส่งเครดิตเซลล์จากสวิตช์จะสามารถส่งได้โดยใช้เวลาประมาณ

$$RT = N * N2 \tag{5.6}$$

จากค่าต่าง ๆ ในสมการที่ 5.2 ถึง 5.6 เมื่อแทนลงในสมการที่ 5.1 จะได้เป็น

กรณีไม่มีคิว

$$ACR = \frac{Buff - OLD_Cell - N * 1.769 * 2L}{N * [N * N2 * 150/(N * CCR) + N2]} * 150 \tag{5.7ก}$$

กรณีมีคิว

$$ACR = \frac{Buff - OLD_Cell - N * N2 * (N * CCR/150 - 1) - N * 1.769 * 2L}{N * N * N2} * 150 \tag{5.7ข}$$

ซึ่งหากพิจารณาจากสมการ 5.7 แล้วจะพบว่า ค่าอัตราการส่งข้อมูลนี้จะขึ้นกับค่าตัวแปรหลายตัวคือ N2 , Buff ,N และ L และในช่วงแรกของการจำลองแบบนั้นค่าอัตราการส่งเซลล์ในปัจจุบันจะยังคงน้อยอยู่ไม่ถึงกับทำให้ได้ใช้งานสายส่งเต็มที่ ดังนั้นในการพิจารณาช่วงแรกจะใช้สมการที่ 5.7 ส่วนบน และเมื่อทำการพิจารณาผลกระทบจากแต่ละตัวแปรจะได้ดังนี้

- เมื่อเทียบผลกระทบจากตัวแปร N2 จะพบว่า ค่าอัตราการส่งตามสมการ 5.7ก จะแปรผกผันตามค่า N2 กล่าวคือหากค่า N2 น้อยกว่าจะสามารถให้ค่าอัตราการส่งที่สูงกว่าสำหรับช่วงต่อไป
- เมื่อเทียบผลกระทบจากค่า Buff จะพบว่า ค่าอัตราการส่งตามสมการ 5.7ก จะแปรผันตามค่า Buff กล่าวคือหากค่า Buff มากกว่าจะสามารถให้ค่าอัตราการส่งที่สูงกว่าสำหรับช่วงต่อไป

- เมื่อเทียบผลกระทบจากค่า N จะพบว่า ค่าอัตราการส่งตามสมการ 5.7ก จะมีค่า N อยู่ทั้งเศษและส่วนแต่เมื่อพิจารณาการใช้งานสายส่งทั้งหมด ( คิดทั้งหมด N VC ) ค่า N ในส่วนของส่วนนั้นจะหมดไปจึงเหลือเพียงส่วนที่อยู่ในเศษ และจะพบว่าค่าอัตราการส่งแปรผกผันตามค่า N กล่าวคือหากค่า N2 น้อยกว่าจะสามารถให้ค่าอัตราการส่งที่สูงกว่าสำหรับช่วงต่อไป
- เมื่อเทียบผลกระทบจากตัวแปร L จะพบว่า ค่าอัตราการส่งตามสมการ 5.7ก จะแปรผกผันตามค่า L กล่าวคือหากค่า L น้อยกว่าจะสามารถให้ค่าอัตราการส่งที่สูงกว่าสำหรับช่วงต่อไป

ผลจากอัตราการส่งนี้เองจะเป็นตัวกำหนดว่าทางปลายทางจะสามารถรับเซลล์ได้มากน้อยเพียงไร ซึ่งจากรูปกราฟอัตราการรับเซลล์ ตรงช่วงแรกที่ยังมีการรับเซลล์น้อยนั้นเป็นเพราะเริ่มแรกของการจำลองแบบได้ใช้อัตราการส่งเริ่มแรก Initial Cell Rate (ICR) เป็น 15 Mbps การคำนวณในช่วงรอบแรกจึงใช้สมการ 5.7ก เพราะผลรวมของอัตราการส่งทั้งหมดยังไม่ถึง 150 Mbps สำหรับกราฟผลการจำลองแบบจากหัวข้อ 4.1 ที่ช่วงแรกไม่สามารถถึงค่าความเท่าเทียมกัน 30 Mbps นั้นเป็นเพราะในรอบแรก ๆ การคำนวณตามสมการ 5.7 บนยังคงได้อัตราน้อยกว่า ต้องคำนวณใหม่หลายครั้ง เช่น กรณีที่บัฟเฟอร์สวิตช์มีค่าเพียง 350 เซลล์ N2 50 เซลล์ 5 ต้นทาง และระยะทาง 1 กม. จากการคำนวณจะได้ดังนี้

*รอบแรก ได้ ACR ≈ 150*[350-18]/[1250*150/(15*5)+250] = 18.11 Mbps*

*รอบที่ 2 ได้ ACR ≈ 150*332/[1250*150/(18.11*5)+250] = 21.46 Mbps*

*รอบที่ 3 ได้ ACR ≈ 150*332/[1250*150/(21.46*5)+250] = 24.93 Mbps*

*รอบที่ 4 ได้ ACR ≈ 150*332/[1250*150/(24.93*5)+250] = 28.39 Mbps*

*รอบที่ 5 ได้ ACR ≈ 150*332/[1250*150/(28.39*5)+250] = 31.70 Mbps*

ซึ่งต้องใช้เวลานานกว่าที่ค่าอัตราการส่งจะเพิ่มขึ้นจนเกินค่าความเท่าเทียมกันที่ 30 Mbps เทียบกับกรณีที่บัฟเฟอร์สวิตช์มีค่า 650 เซลล์ N2 50 เซลล์ 5 ต้นทาง และระยะทาง 1 กม. จากการคำนวณจะได้ดังนี้

*รอบแรก ได้ ACR ≈ 150* [650-18]/[1250*150/(15*5)+250] = 34.47 Mbps*

ซึ่งจะเห็นว่าใช้เวลาเพียงรอบเดียวก็สามารถเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลขึ้นจนเกินค่าความเท่าเทียมกันที่ 30 Mbps ที่ช่วงแรกสามารถรับเซลล์ได้ด้วยอัตราความเท่าเทียมกันที่ 30 Mbps

ส่วนกรณีที่บัฟเฟอร์สวิตช์มีค่า 500 เซลล์ N2 50 เซลล์ 5 ต้นทาง และระยะทาง 12 กม. นั้นไม่สามารถถึงค่าความเท่าเทียมกันได้เป็นเพราะค่าระยะทางไกลเกินไปและเมื่อคำนวณแล้วไม่

สามารถเพิ่มอัตราการส่งได้ อัตราการส่งจะอยู่ที่ประมาณ 21 Mbps เท่านั้นจากกราฟ เมื่อคำนวณตามสมการ 5.7ก โดยใช้ค่าอัตราการส่งเป็น 21 Mbps จะได้ดังนี้

*ACR ≈ 150* [500-215]/[1250*150/(21*5)+250] = 21 Mbps*

จะเห็นว่าค่า 21 Mbps สำหรับกรณีนี้จัดเป็นค่าในสภาวะอยู่ตัวของโครงข่ายดังนั้นการส่งเซลล์สำหรับกรณีนี้จึงทำได้น้อยกว่าปกติ

*คิวของสวิตช์*

ค่าคิวของสวิตช์นี้จะเป็นความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องมาจากอัตราการส่งเซลล์ซึ่งจากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่ากรณีที่รับเซลล์ได้สูง ค่าคิวก็จะสูงตามด้วย ค่าคิวนี้จะเกิดขึ้นในกรณีที่อัตราการส่งเซลล์เข้าสวิตช์มากกว่าอัตราที่เซลล์ออกจากสวิตช์ ซึ่งกรณีนี้จะเกิดขึ้นตอนที่ก่อนจะเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว ก็คือก่อนที่อัตราการส่งเซลล์ข้อมูลจะเข้าใกล้ค่าความเท่าเทียมกัน 30 Mbps ของแต่ละ VC ซึ่งช่วงเวลานี้เองหากมีเวลานานก็จะมีแนวโน้มที่ค่าคิวของสวิตช์จะมากขึ้นตามด้วย ยกตัวอย่างเช่นสองกรณีที่ยกตัวอย่างมาแล้ว เมื่อนำมาคำนวณต่อจนเข้าใกล้สภาวะคงตัวจะได้ดังนี้

*- กรณีที่บัฟเฟอร์สวิตช์มีค่าเพียง 350 เซลล์ N2 50 เซลล์ 5 ต้นทาง และระยะทาง 1 กม.*

*รอบที่ 6 ได้ ACR ≈ 150*[332-250*(5*31.70/150-1)]/1250 = 38.16 Mbps มีคิวเพิ่ม 14 เซลล์*

*รอบที่ 7 ได้ ACR ≈ 150*[318-250*(5*38.16/150-1)]/1250 = 30 Mbps มีคิวเพิ่ม 68 เซลล์*

ซึ่งจะได้คิวรวมทั้งหมดประมาณ 82 เซลล์

*- กรณีที่บัฟเฟอร์สวิตช์มีค่าเพียง 650 เซลล์ N2 50 เซลล์ 5 ต้นทาง และระยะทาง 1 กม.*

*รอบที่ 2 ได้ ACR ≈ 150*[632-250*(5*34.47/150-1)]/1250 = 71.40 Mbps มีคิวเพิ่ม 37 เซลล์*

*รอบที่ 3 ได้ ACR ≈ 150*[592-250*(5*71.40/150-1)]/1250 = 30 Mbps มีคิวเพิ่ม 345 เซลล์*

ซึ่งจะได้คิวรวมทั้งหมด 382 เซลล์

จะเห็นว่ากรณีบัฟเฟอร์ 650 เซลล์ ช่วงเวลาที่ปรับตัวเข้าสภาวะอยู่ตัวนั้นจะมีช่วงที่มีอัตราการส่งได้สูงกว่า ดังนั้นในช่วงนี้เองค่าคิวจึงเพิ่มขึ้นสูงกว่าในกรณีบัฟเฟอร์ 350 เซลล์

*จำนวนเครดิตเซลล์*

พิจารณาจากจำนวนเครดิตเซลล์ที่สวิตช์ทำการจัดส่งจะพบว่าจำนวนเครดิตเซลล์นี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับจำนวนเซลล์ที่ทำการจัดส่ง และค่า N2 ซึ่งจากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบกับจำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่งนั้นมีเพียงแค่ค่า N2 ที่ไม่เท่ากันเท่านั้น ซึ่งผลจากหัวข้อ 4.1.2 ในตารางที่ 4.1.2 จะเห็นว่าค่า จำนวนเครดิตเซลล์จะแปรผกผันกับค่า N2 ซึ่งก็เป็นไปตามหลักการควบ

คุมความคับคั่ง ตรงเงื่อนไขในการส่งเครดิตเซลล์จะทำได้ต่อเมื่อมีเซลล์ข้อมูลส่งผ่านแล้วจำนวน N2 เซลล์ข้อมูล ซึ่งหมายความว่าหากสวิตซ์ทำการส่งข้อมูลออกไปตลอดเวลาแล้ว ในจำนวนเวลาที่เท่ากันจะได้จำนวนเครดิตเซลล์ที่สวิตซ์ต้องทำการจัดส่งเป็นไปตามสมการ

$$N_{credit} = T / N2 \tag{5.8}$$

โดย T คือเวลาทั้งหมดหรือจำนวนเซลล์ที่ทำการส่งออกไปยังปลายทาง จากสมการ 5.8 จะเห็นว่าค่าจำนวนเครดิตเซลล์ที่สวิตซ์จัดส่งขึ้นกับค่า 2 ค่าเท่านั้นคือจำนวนเซลล์ที่ส่งและค่า N2

## 5.2 วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบการควบคุมความคับคั่ง

จากผลการจำลองแบบการเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมความคับคั่งแบบ N23 กับ การควบคุมความคับคั่งแบบการใช้บัฟเฟอร์ร่วมสามารถสรุปผลรวมได้ดังตารางที่ 6.2

| โครงข่าย | | เซลล์ที่รับได้ | คิวโดยเฉลี่ย | ความเท่าเทียมกัน |
|---|---|---|---|---|
| 1 hop แบบปกติ | N23 | ใกล้เคียงกัน | ใกล้เคียงกัน | ใกล้เคียงกัน |
| | บัฟเฟอร์ร่วม | ใกล้เคียงกัน | ใกล้เคียงกัน | ใกล้เคียงกัน |
| 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน | N23 | ใกล้เคียงกัน | ใกล้เคียงกัน | ต่ำกว่า |
| | บัฟเฟอร์ร่วม | ใกล้เคียงกัน | ใกล้เคียงกัน | สูงกว่า |
| 1 hop แบบการส่งข้อมูลไม่เต็มที่ | N23 | น้อยกว่า | น้อยกว่า | ต่ำกว่า |
| | บัฟเฟอร์ร่วม | มากกว่า | มากกว่า | สูงกว่า |
| 2 hop แบบสายส่งคับคั่ง | N23 | ใกล้เคียงกัน | ใกล้เคียงกัน | ใกล้เคียงกัน |
| | บัฟเฟอร์ร่วม | ใกล้เคียงกัน | ใกล้เคียงกัน | ใกล้เคียงกัน |
| 2 hop แบบมีการเข้าและออก | N23 | มากกว่า | ใกล้เคียงกัน | ใกล้เคียงกัน |
| | บัฟเฟอร์ร่วม | น้อยกว่า | ใกล้เคียงกัน | ใกล้เคียงกัน |

ตารางที่ 5.2 ผลการเปรียบเทียบการควบคุมความคับคั่ง

จากตารางที่ 5.2 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการจำลองแบบระหว่างการใช้งานการควบคุมความคับคั่งแบบ N23 และการควบคุมความคับคั่งแบบบัฟเฟอร์ร่วมจะพบสำหรับแต่ละการควบคุมก็จะให้ผลที่มีลักษณะต่าง ๆ กันออกไปตามโครงข่ายที่ใช้ดังนั้นในส่วนวิเคราะห์นี้จึงแบ่งการวิเคราะห์ออกตามลักษณะของโครงข่าย

<u>**โครงข่าย 1 hop แบบปกติ**</u>

สำหรับโครงข่าย 1 hop แบบปกตินี้จากผลการจำลองแบบจะเห็นว่าแทบไม่มีความแตกต่างกันเลยระหว่างการใช้งานการควบคุมความคับคั่งทั้งสองแบบ ที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะลักษณะของโครงข่ายเองที่ไม่มีความซับซ้อนและไม่มีความแตกต่างระหว่างแต่ละ VC ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้ผลการใช้งานควบคุมความคับคั่งทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างกันเลย

<u>**โครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน**</u>

สำหรับโครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากันนี้ต่างจากโครงข่าย 1 hop แบบปกติตรงที่ VC 4 และ 5 จะมีระยะทางไกลออกไปถึง 12 กม. ซึ่งจากการจำลองแบบในหัวข้อที่ 4.1.4 ระยะทาง

12 กม. นี้เมื่อเทียบกับค่าต่าง ๆ ของโครงข่ายนี้แล้วจะพบว่าค่านี้จัดเป็นระยะทางที่ไกลสามารถส่งผลกระทบต่อโครงข่ายได้ ซึ่งจากผลการจำลองแบบโดยใช้การควบคุมทั้งสองแบบนี้แล้วจะพบว่าสำหรับการควบคุมความคับคั่งแบบ N23 ซึ่งมีการควบคุมแบบ per VC นั้นโครงข่ายก็ยังคงส่งข้อมูลได้น้อยอยู่ในส่วนของ VC ที่ 4 และ 5 ทำให้ VC อื่น ส่งข้อมูลได้มากกว่าค่าความเท่าเทียมกันจึงน้อยมาก แต่สำหรับการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมนั้น เนื่องจากการคิดบัฟเฟอร์ร่วมดังนั้นการจัดสรรบัฟเฟอร์ก่อนที่จะทำการคิดค่าเครดิตเพื่อส่งกลับไปให้ยังต้นทางจึงทำให้ในส่วนบัฟเฟอร์ของ VC ที่ไกลนั้นไม่ได้รับความแตกต่างกับ VC ที่ใกล้ ดังนั้นการส่งข้อมูลจึงทำได้เหมือน ๆ กัน จำนวนเซลล์ที่รับได้ออกมาจึงมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าความเท่าเทียมกันจึงสูงมากและมีค่าใกล้เคียง 1 จากสมการ 5.7 จะเห็นว่าตรงส่วนของการชดเชย N*1.769*2L จะมีการชดเชยรวมกันทั้งหมด ซึ่งหลังจากที่ชดชเยแล้วจึงทำการคิดค่าเครดิตเซลล์เพื่อที่จะทำการจัดส่งกลับไปบอกยังต้นทาง ดังนั้นจึงทำให้ไม่มีความแตกต่างระหว่างระยะทางใกล้หรือไกล

<u>โครงข่าย 1 hop แบบการส่งข้อมูลไม่เต็มที่</u>

สำหรับโครงข่าย 1 hop แบบมีการส่งข้อมูลไม่เต็มที่ คล้ายการใช้งานจริงนั้นมีการเพิ่มจำนวน VC ขึ้นจาก 5 เป็น 15 VC เพื่อให้เห็นผลความแตกต่างชัดเจนขึ้น ซึ่งจากการใช้การควบคุมความคับคั่งทั้งสองแบบแล้วจะพบว่าจำนวนเซลล์ที่รับได้ของการควบคุมความคับคั่งแบบใช้บัฟเฟอร์ร่วมมีค่ามากกว่าการควบคุมความคับคั่ง N23 ที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะว่าทั้ง 15 VC มีการส่งบ้างและไม่ส่งบ้าง ซึ่งช่วงการส่งอาจมาตรงกัน สำหรับการควบคุมความคับคั่ง 23 นั้นจะแบ่งแยกแต่ละ VC ซึ่งทำให้ในช่วงเวลาที่ต้องส่งของแต่ละ VC จะมีบาง VC ที่ไม่ได้ส่งเนื่องจากบัฟเฟอร์ที่สวิตช์ของ VC นั้นกำลังเต็มอยู่ ค่าเครดิตจึงไม่มีให้ส่งทำให้ส่งไม่ได้ ซึ่งต่างจากการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมที่มีการคิดรวมบัฟเฟอร์ก่อน ดังนั้นในช่วงเวลาที่ต้องการส่งจึงมีเครดิตให้แต่ละ VC ส่งได้เสมอหากว่าคิวของสวิตช์ไม่ได้ถึงค่าสูงสุดซึ่งจากกราฟค่าคิวในรูปที่ 4.26ข นั้นค่าคิวก็ไม่ได้สูงมากจนเกินขนาดหน่วยความจำ นั่นย่อมหมายความว่ามีเครดิตให้ส่งได้อยู่ตลอดเวลา

ส่วนค่าคิวของสวิตช์นั้นจะเห็นว่าในการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมค่าคิวโดยเฉลี่ยจะสูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งตามที่ได้อธิบายมาแล้วเป็นเพราะว่าในการควบคุมความคับคั่งแบบบัฟเฟอร์ร่วมนั้น มีบางช่วงเวลาที่สามารถส่งข้อมูลมาได้มากกว่าจึงทำให้ค่าคิวโดยเฉลี่ยสูงกว่า

สำหรับค่าความเท่าเทียมกันนั้นจะเห็นว่าในการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมค่าความเท่าเทียมกันจะสูงกว่า ซึ่งเป็นเพราะต้นทางทั้ง 15 นั้นมีความสามารถส่งเท่า ๆ กัน และทางสวิตช์ก็ได้ให้เครดิตในการส่งเหมือน ๆ กันดังนั้นเซลล์ที่รับได้ของทั้ง 15 VC นี้ จึงไม่ค่อยจะแตกต่างกันมากนักจะต่างจากการควบคุมแบบ N23 ซึ่งจะส่งค่าเครดิตให้ไม่เหมือนกันทำให้ในบางช่วงเวลาจะมีบางต้นทางที่ไม่ได้ส่งและบางต้นทางที่ได้ส่งมาก ค่าความเท่าเทียมกันจึงน้อยกว่านั่นเอง

**โครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่ง**

สำหรับโครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่งนี้จากผลการจำลองแบบจะเห็นว่าแทบไม่มีความแตกต่างกันเลยระหว่างการใช้งานการควบคุมความคับคั่งทั้งสองแบบ ที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะลักษณะของโครงข่ายเองที่มีความซับซ้อนบ้าง แต่ไม่มีความแตกต่างระหว่างแต่ละ VC ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้ผลการใช้งานควบคุมความคับคั่งทั้งสองแบบไม่มีความแตกต่างกันเลย

**โครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง**

สำหรับโครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทางนั้น จากการใช้การควบคุมความคับคั่งทั้งสองแบบแล้วจะเห็นว่า ในการควบคุมความคับคั่งแบบบัฟเฟอร์ร่วมนั้นจะได้รับเซลล์ที่น้อยกว่า ซึ่งพิจารณาจากตารางที่ 4.13ก เทียบกับตารางที่ 4.14ก จะเห็นว่าตรงส่วนของ VC ที่ 3 นั้นจะได้รับจำนวนเซลล์น้อยกว่ามาก ส่วนใน VC อื่นก็จะได้รับเซลล์เท่า ๆ กัน ที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะว่า ในส่วนของ VC อื่นนั้นคือ VC ที่ 1,2,4 และ 5 ได้ผ่าน Bottleneck Link ซึ่งอยู่ระหว่างสวิตช์ 1 กับสวิตช์ 2 ดังนั้นค่าอัตราการส่งเซลล์จึงอยู่ที่ประมาณค่าความเท่าเทียมกันอยู่แล้ว ซึ่งทั้งสองการควบคุมก็ได้ค่าอยู่ที่ประมาณ 37.5 Mbps ตามกราฟในรูปที่ 4.29ก และ 4.30ก ส่วนใน VC ที่ 3 ที่ไม่ได้ผ่าน Bottleneck Link นั้นสำหรับการควบคุมแบบ N23 ซึ่งจัดแบ่งแยกการควบคุมในแต่ละ VC จะได้อัตราการส่งประมาณ 75 Mbps ตามกราฟในรูปที่ 4.29ก ซึ่งเป็นค่าแถบความถี่ที่เหลือจาก VC ที่ 1 และ 2 จึงทำให้จำนวนเซลล์ที่รับได้สูงดังตารางที่ 4.13ก ส่วนการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมนั้น ใน VC ที่ 3 ก็ยังคงได้อัตราการส่งประมาณเท่ากับ VC ที่ 1 และ 2 อยู่ ซึ่งทำให้จำนวนเซลล์ที่รับได้น้อยกว่า สาเหตุที่ไม่สามารถส่งได้ถึง 75 Mbps นั้นเป็นเพราะตามหลักการควบคุมนั้นสวิตช์ 1 จะส่งค่าเครดิตเซลล์ที่มีค่าเท่ากันมาให้กับต้นทาง 1,2 และ 3 ดังนั้นทั้งสาม VC นี้จึงไม่มีความแตกต่างกันเลยในเรื่องของเครดิตเซลล์ที่รับได้ ทำให้การจัดส่งเซลล์ได้ประมาณเท่า ๆ กัน

สำหรับค่าคิวของสวิตช์นั้น ทั้งสองการควบคุมจะมีค่าประมาณเท่า ๆ กัน ทั้งสองสวิตช์ ซึ่งค่าคิวนี้ในสวิตช์ 1 ส่วนใหญ่จะมาจากเซลล์ของ VC ที่ 1 และ 2 ที่รอการจัดส่งออกไปให้สวิตช์ 2 ผ่านทาง Bottleneck Link สำหรับใน VC ที่ 3 นั้นเซลล์ก็จะสามารถทำการส่งออกไปยังปลายทางที่ 3 ได้เลยดังนั้นจึงไม่ค่อยมีเซลล์จาก VC ที่ 3 ตกค้างในสวิตช์ และทั้งสองการควบคุมจึงมีค่าคิวไม่ต่างกันมากนักสำหรับในสวิตช์ 1 นี้

ส่วนค่าความเท่าเทียมกัน เมื่อพิจารณาตรงส่วนที่ผ่าน Bottleneck Link จะเห็นว่าค่าความเท่าเทียมกันจะสูงมากสำหรับทั้งสองการควบคุม ซึ่งจัดว่าไม่มีความแตกต่างกันเลยสำหรับค่าความเท่าเทียมกันใน Bottleneck Link

**การใช้ค่า load factor ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่าย**

สำหรับการใช้ค่า load factor นั้นเมื่อพิจารณาจากผลที่ได้ในหัวข้อ 4.2.6 แล้วจะเห็นว่าการใช้ค่า load factor นั้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายได้ในกรณีของโครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง ซึ่งจากตารางที่ 4.15ก จะเห็นว่าสามารถเพิ่มจำนวนเซลล์ที่รับได้ของทางปลายทางที่ 3 ที่ไม่ได้ผ่านสายส่งที่คับคั่ง ส่วนจำนวนเซลล์ใน VC ส่วนที่ผ่านสายส่งคับคั่งนั้นก็ยังมีประมาณเท่าเดิมอยู่ และมีค่าความเท่าเทียมกันสูงอยู่เหมือนเดิม

ในการใช้ค่า load factor นั้นจะเป็นการวัดค่า load เพื่อปรับให้ระบบโครงข่ายสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดความคับคั่ง ซึ่งการใช้ค่า load factor นี้มีจุดประสงค์ให้ค่า load factor นั้นมีค่าเป็น 1 หมายความว่าจำนวนเซลล์ที่ส่งเข้าเท่ากับจำนวนเซลล์ที่ส่งออกจากสวิตช์ จากกราฟของคิวในรูปที่ 4.31ข และรูปที่ 4.31ค จะเห็นว่าที่สวิตช์จะมีคิวอยู่เสมอ นั่นคือทางขาออกของสวิตช์จะต้องมีการส่งเซลล์ออกด้วยอัตราเท่ากับช่วงแถบความถี่ของสายส่งคือ 150 Mbps ดังนั้นเมื่อใช้ค่า load factor แล้วทางขาเข้าของสวิตช์จะถูกควบคุมให้มีการส่งเซลล์เข้าที่สวิตช์ด้วยอัตรา 150 Mbps ด้วย ดังนั้นสำหรับกรณีโครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทางนี้ในส่วนของ VC ที่ 3 ที่ไม่ได้ผ่านสายส่งที่คับคั่งจึงสามารถเพิ่มให้มีการส่งเข้าไปยังสวิตช์ที่ 1 ได้อีก

สำหรับการใช้ค่า load factor นี้ค่า AI ที่ใช้นี้หมายถึงค่าช่วงเวลาที่ทำการวัดค่า load ซึ่งในตอนแรก ๆ นั้นทุก ๆ ต้นทางจะเริ่มส่งด้วยอัตราการส่งที่ต่ำ ๆ ดังนั้นข้อมูลจะใช้เวลาเดินทางถึงสวิตช์และออกไปยังปลายทางต้องใช้เวลาช่วงหนึ่ง ซึ่งในตอนแรกนี้จะทำให้ข้อมูลที่ส่งออกจากสวิตช์มีค่าน้อย แต่ข้อมูลที่ส่งเข้าที่สวิตช์ซึ่งจะคิดรวมจากทุก ๆ VC มีค่ามากกว่าจึงทำให้ค่า load factor มีค่าสูง ซึ่งจะส่งผลให้สวิตช์ต้องส่งข้อมูลกลับไปบอกว่าต้องลดอัตราการส่งลงโดยที่ หากค่า AI ยิ่งน้อยมากก็จะทำให้ค่า load factor ยิ่งมาก ต้นทางก็ยิ่งลดค่าอัตราการส่งมากทำให้กรณีค่า AI น้อยนั้นระบบจะไม่มีเสถียรภาพและอาจทำให้ไม่สามารถส่งเซลล์ข้อมูลได้เลย

# บทที่ 6

# สรุป

## 6.1 สรุปผลการจำลองแบบ

จากการจำลองแบบจะสามารถ สามารถสรุปผลการจำลองแบบได้ดังนี้

1. โครงข่ายที่ใช้งานสวิตช์แบบใช้การควบคุมความคับคั่งแบบการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมจะมีความซับซ้อนขึ้นกับจำนวน VC ของโครงข่ายไม่มากนักและต่ำกว่าโครงข่ายที่ใช้งานสวิตช์แบบใช้การควบคุมความคับคั่งแบบ N23 ซึ่งจะมีความซับซ้อนขึ้นกับจำนวน VC มาก และหากโครงข่ายนั้นมีจำนวน VC มาก ความซับซ้อนของการควบคุมความคับคั่งแบบ N23 ก็จะมากยิ่งขึ้น

2. ในกรณีโครงข่ายที่ไม่มีความแตกต่างของแต่ละ VC เช่น โครงข่าย 1 hop แบบปกติและโครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่ง การใช้การควบคุมความคับคั่งทั้งแบบ N23 และการใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมจะให้ผลการทำงานที่เหมือนกันทุกอย่าง

3. ในกรณีโครงข่ายที่มีความแตกต่างกันระหว่างระยะทางของสายส่งในแต่ละ VC เช่น โครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน การใช้การควบคุมความคับคั่งแบบการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมจะให้ผลการทำงานที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการควบคุมความคับคั่งแบบ N23 ในแง่ของวิสัยสามารถของ VC ที่มีระยะทางที่ไกลและในแง่ของความเท่าเทียมกัน

4. ในกรณีโครงข่ายลักษณะที่มีการส่งข้อมูลไม่ตลอดเวลานั้น การใช้การควบคุมความคับคั่งแบบการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมจะให้ผลการทำงานที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการควบคุมความคับคั่งแบบ N23 ในแง่ของวิสัยสามารถโดยรวมและในแง่ของความเท่าเทียมกัน

5. ในกรณีโครงข่ายที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกระหว่างทาง และมี VC ที่ออกระหว่างทางโดยไม่ผ่านสายส่งที่คับคั่ง กรณีนี้การใช้การควบคุมความคับคั่งแบบ N23 จะให้ผลการทำงานที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการควบคุมความคับคั่งแบบการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมในแง่ของวิสัยสามารถ และการใช้ค่า load factor กับการควบคุมความคับคั่งแบบการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมจะช่วยเพิ่มค่าวิสัยสามารถขึ้นมาได้แต่ไม่สามารถได้เท่ากับการควบคุมความคับคั่งแบบ N23

6. ในการใช้ค่า N2 นั้นค่า N2 ที่น้อย จะช่วยให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายดีกว่าค่า N2 ที่มาก แต่จะทำให้โครงข่ายต้องเปลืองทรัพยากรในการส่งเครดิตเซลล์กลับไปมากเกินความจำเป็น

7. ในการใช้สวิตช์ของโครงข่ายที่มีบัฟเฟอร์มาก จะช่วยให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายดีกว่าสวิตช์ที่มีบัฟเฟอร์น้อย

8. จำนวนต้นทางที่ร่วมใช้ร่วมใช้สวิตช์และสายส่งเดียวกันหากมากเกินไปก็จะทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายลดลงได้

9. ระยะทางระหว่างต้นทางและสวิตช์ที่มากจะทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายลดลงและหากระยะทางไกลมาก ๆ ก็จะทำให้ส่งข้อมูลไม่ได้เลย

**6.2 ข้อดีข้อเสียของการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วม**

ข้อดีและข้อเสียของการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมสามารถสรุปเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

| ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|
| 1. สามารถลดความยุ่งยากซับซ้อนได้เนื่องจากไม่ต้องทำการควบคุมเป็นแบบ per-VC | 1. มีวิสัยสามารถไม่ดีในกรณีโครงข่ายที่มีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง ถึงแม้จะใช้ load factor เข้าช่วยแล้วก็ยังมีวิสัยสามารถต่ำกว่าการควบคุมแบบเดิม |
| 2. มีความเท่าเทียมกันและวิสัยสามารถดีในกรณีระยะทางระหว่างต้นทางกับสวิตช์ไม่ไม่เท่ากันและการส่งข้อมูลไม่ตลอดเวลา | |

**6.3 ข้อเสนอแนะ**

1. การใช้งานการควบคุมความคับคั่งแบบการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมนี้ถึงแม้จะมีความซับซ้อนน้อยมาก แต่ยังไม่เหมาะกับการใช้งานในโครงข่ายที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกระหว่างทาง ถึงแม้ว่าจะใช้ค่า load factor ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแล้วแต่ก็ยังได้ไม่เท่าการควบคุมโดยใช้แบบคุมแยกแต่ละ VC เช่นการควบคุมความคับคั่งแบบ N23 ซึ่งในปัญหานี้ได้มีการเสนอวิธีแก้โดยใช้การคิดจำนวนเซลล์ที่ส่งออกโดยเฉลี่ยร่วมกับการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมดังภาคผนวก ค. แต่ก็จัดว่ายังไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นน่าจะมีการเพิ่มอัลกอริทึมที่ใช้ควบคุมร่วมกับการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมให้ได้ผลออกมาดีเท่ากับการควบคุมแบบ per-VC

2. การใช้งานร่วมกันระหว่างสวิตช์เครดิตเบสโดยใช้การควบคุมความคับคั่งแบบการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมกับการควบคุมความคับคั่งโดยใช้แบบแผนอื่น น่าจะมีการศึกษาถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นได้

3. การนำสวิตช์เครดิตเบสที่มีการใช้การควบคุมความคับคั่งแบบการจัดการบัฟเฟอร์ร่วมไปใช้กับการส่งข้อมูลแบบ Multicast น่าจะมีการศึกษาว่าจะต้องมีการควบคุมการส่งและการคำนวณเปลี่ยนไปจากเดิมอย่างไรบ้างและมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างไรบ้าง

# รายการอ้างอิง

1. The ATM Forum. The ATM Forum Traffic Management Specification .Version 4.0 ,Apr.1996.
2. Edwin R.Coover . ATM Switches . Artech House,inc. 1997.
3. R.Händel , M. Huber and S. Schröder . ATM Networks . second edition ,Addison-Wesley Publishing Company, June 1994.
4. W. Stallings . High-Speed Networks:TCP/IP and Design Principles . Prentice-Hall,Inc.1998.
5. H.T.Kung , T. Blackwell and A. Chapman . ATM Forum /94-0282 . March 1994.
6. K.K. Ramakrishman and P. Newman . Integration of Rate and Credit Schemes for ATM Flow Control . IEEE Network , March/April 1995 pp.49-56.
7. H. C. Lauer. On the Duality of Rate-Based and Credit-based Flow Control. Proc. ACM SIGCOMM'95 Conference, August 30- September 1 ,1995.
8. R. Jain, S. Kalyanaraman. R. Goyal ,S. Fahmy and R. Viswanathan . ERICA Switch Algorithm : A Complete Description. ATM Forum/96-1172.
9. C. Özveren, R.Simcoe and G.Varghese. Reliable and Efficient Hop-by-Hop Flow Control. IEEE Journal on selected areas in communications, vol. 13,no.4 May 1995.
10. H.T.Kung , T.Blackwell and A.Chapman . Credit-Based Flow Control for ATM Networks: Credit Update Protocol, Adaptive Credit Allocation , and Statistical Multiplexing. Proc. ACM SIGCOMM ' 94 Symposium on Communications Architectures , Protocol and Applications , August 31 – September 2 , 1994 , pp. 101-114.
11. H.T.Kung and A.Chapman .The FCVC ( Flow Control Virtual Channels ) Proprsal for ATM Networks. Version 2.0 , 1993 A summary appears in Proc 1993 International Conf. On Network Protocols, San Francisco, California , October 19-22 , 1993 pp.116-127.
12. H.T.Kung and K.Chang . Receiver-Oriented Adaptive Buffer Allocation in Credit-Based Flow Control for ATM Networks. Proc.INFO-COM'95 ,April 1995 pp 239-252 vol 1 .

# รายการอ้างอิง (ต่อ)


13. S.Seetharam . Per Virtual Circuit Credit Based Flow Control On A Wide Area ATM Network . Master's thesis,Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, University of Kansas , 1994.
14. K. Chang . IP Layer Per-Flow Queueing and Credit Flow Control . Doctor's Dissertation , The division of Engineering and Applied Sciences , Harvard University , 1998.
15. B. Bensaou, K. T. Chan and D. H. K. Tsang. Credit-Based Fair Queueing (CBFQ) : A simple and feasible scheduling algorithm for packet networks. IEEE ATM Workshop 1997, Proceedings, 1997, Page(s) 589-594.
16. C. Kosak, D. Eckhardt, T. Mummert P. Steenkiste and A. Fisher. Buffer Management and Flow Control in the Credit Net ATM Host Interface. Local Computer Networks, 1995., Proceedings 20th Conference on,1995 Page(s) 370-378.
17. E. Oubagha, L. Massoulie and A. Simonian. Delay analysis of a credit based control for ABR transfer. IEEE ATM Workshop 1997. Proceedings, 1997 Page(s) 437.
18. S. Sookjaroen, T. Jaruvitayakovit, P.Prapinmongkolkarn and Lunchakorn Wuttisittikulkij. Common Buffer Computation Credit Based Flow Control in ATM Networks. IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems , December8-10, 1999.

# ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การคำนวณความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของสายส่งกับจำนวนเซลล์ที่ประวิงเนื่องจากสายส่ง

สำหรับเอทีเอ็มเซลล์เคลื่อนที่ด้วยเวลา $2*10^8$ เมตร/วินาที ที่มีระยะทาง L กม. จะทำให้เกิดเวลาประวิงไปเป็นจำนวน $\frac{L*1000}{2*10^8}$ วินาที

ส่วนการส่งเอทีเอ็มเซลล์ 52 ไบต์หรือ 424 บิตผ่านสายส่ง B Mbps นั้นใน 1 วินาทีจะส่งได้เป็นจำนวน $B*10^6/424$ เซลล์

ดังนั้นสำหรับสายส่ง B Mbps ที่มีระยะทาง L กม. จะมีเซลล์ที่ประวิงอยู่จำนวน

$$\frac{B*10^6}{424}*\frac{L*1000}{2*10^8} \text{ เซลล์}$$

ตัวอย่างเช่นกรณีสายส่ง 150 Mbps จะมีเซลล์ที่ประวิงไปตามระยะทางดังนี้

| ระยะทาง(กม.) | จำนวนเซลล์ (เซลล์) |
|---|---|
| 1 | 1.768 |
| 2 | 3.537 |
| 3 | 5.306 |
| 4 | 7.075 |

**ภาคผนวก (ต่อ)**

**ภาคผนวก ข** การคำนวณอัตราการส่งข้อมูลและค่าคิวของสวิตช์โดยประมาณของการควบคุมความคับคั่งเครดิตเบสโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมบนโครงข่าย 1 hop แบบปกติ

ทำการคำนวณตามสมการที่ 5.7 จนกระทั่งได้ค่าประมาณเท่ากับค่าความเท่าเทียมกันซึ่งถือว่าเป็นค่าที่สภาวะอยู่ตัว

<u>กรณีบัฟเฟอร์ 300 เซลล์ N2 50 เซลล์ 5 ต้นทาง ระยะทาง 1 กม.</u>

รอบที่ 1 ได้ ACR ≈ 150*[350-18]/[1250*150/(15*5)+250] = 18.11 Mbps

รอบที่ 2 ได้ ACR ≈ 150*332/[1250*150/(18.11*5)+250] = 21.46 Mbps

รอบที่ 3 ได้ ACR ≈ 150*332/[1250*150/(21.46*5)+250] = 24.93 Mbps

รอบที่ 4 ได้ ACR ≈ 150*332/[1250*150/(24.93*5)+250] = 28.39 Mbps

รอบที่ 5 ได้ ACR ≈ 150*332/[1250*150/(28.39*5)+250] = 31.70 Mbps

รอบที่ 6 ได้ ACR ≈ 150*[332-250*(5*31.70/150-1)]/1250 = 38.16 Mbps มีคิวเพิ่ม14 เซลล์

รอบที่ 7 ได้ ACR ≈ 150*[318-250*(5*38.16/150-1)]/1250 = 30.00 Mbps มีคิวเพิ่ม 68 เซลล์

รวมคิว 82 เซลล์

<u>กรณีบัฟเฟอร์ 500 เซลล์ N2 50 เซลล์ 5 ต้นทาง ระยะทาง 1 กม.</u>

รอบที่ 1 ได้ ACR ≈ 150*[500-18]/[1250*150/(15*5)+250] = 26.29 Mbps

รอบที่ 2 ได้ ACR ≈ 150*482/[1250*150/(26.29*5)+250] = 43.13 Mbps

รอบที่ 3 ได้ ACR ≈ 150*[482-250*(5*43.13/150-1)]/1250 = 44.76 Mbps มีคิวเพิ่ม109 เซลล์

รอบที่ 4 ได้ ACR ≈ 150*[373-250*(5*44.76/150-1)]/1250 = 30.00 Mbps มีคิวเพิ่ม 123 เซลล์

รวมคิว 232 เซลล์

<u>กรณีบัฟเฟอร์ 650 เซลล์ N2 50 เซลล์ 5 ต้นทาง ระยะทาง 1 กม.</u>

รอบที่ 1 ได้ ACR ≈ 150*[650-18]/[1250*150/(15*5)+250] = .34.47 Mbps

รอบที่ 2 ได้ ACR ≈ 150*[632-250*(5*34.47/150-1)]/1250 = 71.4 Mbps มีคิวเพิ่ม 37 เซลล์

รอบที่ 3 ได้ ACR ≈ 150*[595-250*(5*44.76/150-1)]/1250 = 30.00 Mbps มีคิวเพิ่ม 345 เซลล์

รวมคิว 382 เซลล์

**ภาคผนวก (ต่อ)**

<u>กรณีบัฟเฟอร์ 500 เซลล์ N2 25 เซลล์ 5 ต้นทาง ระยะทาง 1 กม.</u>

รอบที่ 1 ได้ ACR ≈ 150*[500-18]/[625*150/(15*5)+125] = .52.58 Mbps

รอบที่ 2 ได้ ACR ≈ 150*[482-125*(5*52.58/150-1)]/625 = 93.12 Mbps มีคิวเพิ่ม94 เซลล์

รอบที่ 3 ได้ ACR ≈ 150*[388-125*(5*93.12/150-1)]/625 = 30.00 Mbps มีคิวเพิ่ม 263 เซลล์

รวมคิว 357 เซลล์

<u>กรณีบัฟเฟอร์ 500 เซลล์ N2 75 เซลล์ 5 ต้นทาง ระยะทาง 1 กม.</u>

รอบที่ 1 ได้ ACR ≈ 150*[500-18]/[1875*150/(15*5)+375] = .17.53 Mbps

รอบที่ 2 ได้ ACR ≈ 150*482/[1875*150/(17.53*5)+375] = .20.17 Mbps

รอบที่ 3 ได้ ACR ≈ 150*482/[1875*150/(20.17*5)+375] = .22.85 Mbps

รอบที่ 4 ได้ ACR ≈ 150*482/[1875*150/(22.85*5)+375] = .25.49 Mbps

รอบที่ 5 ได้ ACR ≈ 150*482/[1875*150/(25.49*5)+375] = .28.00 Mbps

รอบที่ 6 ได้ ACR ≈ 150*482/[1875*150/(28.00*5)+375] = .30.33 Mbps

รอบที่ 7 ได้ ACR ≈ 150*[482-375*(5*30.33/150-1)]/1875 = 38.24 Mbps มีคิวเพิ่ม 4 เซลล์

รอบที่ 8 ได้ ACR ≈ 150*[478-375*(5*38.24/150-1)]/1875 = 30.00 Mbps มีคิวเพิ่ม 103 เซลล์

รวมคิว 107 เซลล์

<u>กรณีบัฟเฟอร์ 500 เซลล์ N2 50 เซลล์ 3 ต้นทาง ระยะทาง 1 กม.</u>

รอบที่ 1 ได้ ACR ≈ 150*[500-11]/[450*150/(15*3)+150] = 44.45 Mbps

รอบที่ 2 ได้ ACR ≈ 150*489/[450*150/(44.45*3)+150] = 111.78 Mbps

รอบที่ 3 ได้ ACR ≈ 150*[489-150*(3*111.78/150-1)]/450 = 101.33 Mbps มีคิวเพิ่ม185 เซลล์

รอบที่ 4 ได้ ACR ≈ 150*[304-150*(3*101.33/150-1)]/450 = 50.00 Mbps มีคิวเพิ่ม 154 เซลล์

รวมคิว 339 เซลล์

<u>กรณีบัฟเฟอร์ 500 เซลล์ N2 50 เซลล์ 7 ต้นทาง ระยะทาง 1 กม.</u>

รอบที่ 1 ได้ ACR ≈ 150*[500-25]/[2450*150/(15*7)+350] = 18.51 Mbps

รอบที่ 2 ได้ ACR ≈ 150*475/[2450*150/(18.51*7)+150] = 22.36 Mbps

รอบที่ 3 ได้ ACR ≈ 150*[475-350*(7*22.36/150-1)]/2450 = 28.16 Mbps มีคิวเพิ่ม 15 เซลล์

รอบที่ 4 ได้ ACR ≈ 150*[460-350*(7*28.16/150-1)]/2450 = 21.42 Mbps มีคิวเพิ่ม 110 เซลล์

รวมคิว 125 เซลล์

**ภาคผนวก (ต่อ)**

<u>กรณีบัฟเฟอร์ 500 เซลล์ N2 50 เซลล์ 5 ต้นทาง ระยะทาง 10 กม.</u>

รอบที่ 1 ได้ ACR ≈ 150*[500-177]/[1250*150/(15*5)+250] = 17.62 Mbps

รอบที่ 2 ได้ ACR ≈ 150*323/[1250*150/(17.62*5)+250] = 20.37 Mbps

รอบที่ 3 ได้ ACR ≈ 150*323/[1250*150/(20.37*5)+250] = 23.17 Mbps

รอบที่ 4 ได้ ACR ≈ 150*323/[1250*150/(23.17*5)+250] = 25.93 Mbps

รอบที่ 5 ได้ ACR ≈ 150*323/[1250*150/(25.93*5)+250] = 28.56 Mbps

รอบที่ 6 ได้ ACR ≈ 150*323/[1250*150/(28.56*5)+250] = 31.00 Mbps

รอบที่ 7 ได้ ACR ≈ 150*[323-250*(5*31.00/150-1)]/1250 = 37.80 Mbps มีคิวเพิ่ม 8 เซลล์

รอบที่ 8 ได้ ACR ≈ 150*[315-250*(5*37.80/150-1)]/1250 = 30.00 Mbps มีคิวเพิ่ม 65 เซลล์

รวมคิว 73 เซลล์

<u>กรณีบัฟเฟอร์ 500 เซลล์ N2 50 เซลล์ 5 ต้นทาง ระยะทาง 10 กม.</u>

รอบที่ 1 ได้ ACR ≈ 150*[500-212]/[1250*150/(15*5)+250] = 15.71 Mbps

รอบที่ 2 ได้ ACR ≈ 150*288/[1250*150/(15.71*5)+250] = 16.38 Mbps

รอบที่ 3 ได้ ACR ≈ 150*288/[1250*150/(16.38*5)+250] = 17.01 Mbps

รอบที่ 4 ได้ ACR ≈ 150*288/[1250*150/(17.01*5)+250] = 17.60 Mbps

รอบที่ i ได้ ACR ≈ 150*288/[1250*150/(22.76*5)+250] = 22.77 Mbps

รอบที่ i+1 ได้ ACR ≈ 150*288/[1250*150/(22.77*5)+250] = 22.77 Mbps

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ภาคผนวก (ต่อ)**

ภาคผนวก ค การควบคุมความคับคั่งโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมและการคิดเฉลี่ยจากเซลล์ที่ส่งออก

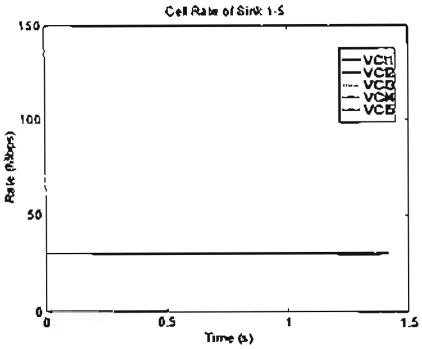
สำหรับแนวทางการแก้ปัญหาการส่งเซลล์ที่ไม่ครบแถบความถี่ของกรณีที่มีการว่างของ VC ที่ไม่ได้ผ่าน bottleneck link ในการควบคุมความคับคั่งแบบเครดิตเบสโดยใช้การจัดการบัฟเฟอร์ร่วมนั้น แนวทางหนึ่งคือการใช้การคิดเฉลี่ยการส่งเซลล์ออกจากสวิตช์แล้วนำไปแบ่งให้เป็นค่าเครดิตกับต้นทางซึ่ง จำเป็นต้องมีการวัดค่าเซลล์ที่ส่งออกของแต่ละ VC เพื่อใช้ในการคำนวณเฉลี่ย ตามสมการ

$$Credit_{vc} = \frac{NCells_{vc}}{NCells_{total}} * Crd_Bal \quad (ค.1)$$

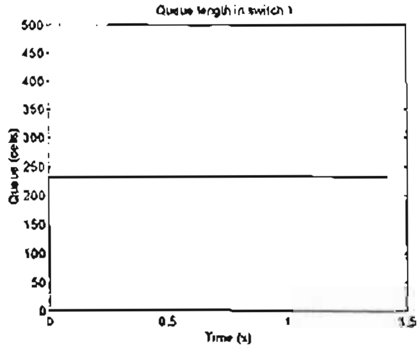
ซึ่งค่าในการคำนวณตามสมการนี้จำเป็นต้องมีการคำนวณทั้งหมดทุก VC เพื่อที่ทำการจัดส่งให้ในแต่ละ VC

เมื่อพิจารณาถึงความซับซ้อนของโครงข่ายจะพบว่า สำหรับจำนวนตัวแปรที่ใช้นั้นต้องใช้ตัวแปรเพิ่มจากการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมเป็นจำนวน N ตัวแปรตามจำนวน VC แต่ว่ายังคงน้อยกว่าของการควบคุมแบบ N23 อยู่ ในส่วนของการคำนวนนั้นจะพบว่าในการส่งเครดิตเซลล์แต่ละครั้งต้องมีการคำนวณทั้งหมด N ครั้งซึ่งมากกว่าการควบคุมแบบบัฟเฟอร์ร่วมถึง N เท่า และมีการคำนวณประมาณเท่ากับการควบคุม N23 ในระยะเวลาเท่า ๆ กัน จะได้ผลการจำลองแบบดังนี้

1 โครงข่าย 1 hop แบบปกติ




รูปที่ ค.1ก อัตราการรับข้อมูล




รูปที่ ค.1ข คิวของสวิตช์ 1

## ภาคผนวก (ต่อ)

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 99995 | 99994 | 99995 | 99995 | 99994 |

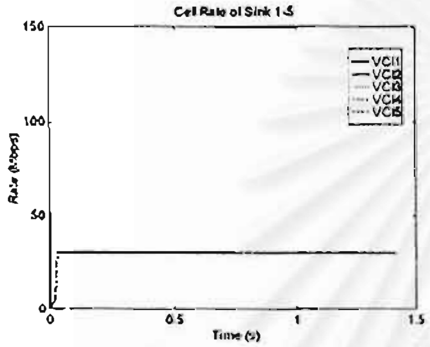
ตารางที่ ค.1ก จำนวนเซลล์ที่รับได้

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 |

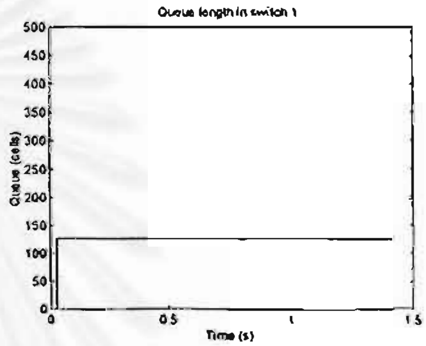
ตารางที่ ค.1ข จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง

ค่าความเท่าเทียมกัน = 1

2 โครงข่าย 1 hop แบบระยะทางไม่เท่ากัน




รูปที่ ค.2ก อัตราการรับข้อมูล




รูปที่ ค.2ข คิวของสวิตช์ 1

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 98451 | 98444 | 98451 | 98478 | 98479 |

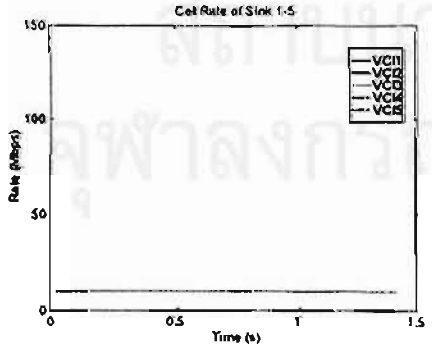
ตารางที่ ค.1ก จำนวนเซลล์ที่รับได้

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 1970 | 1970 | 1970 | 1970 | 1970 |

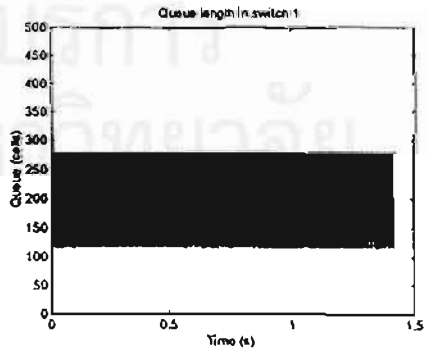
ตารางที่ ค.2ข จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง

ค่าความเท่าเทียมกัน = 0.999

3 โครงข่าย 2 hop แบบสายส่งคับคั่ง

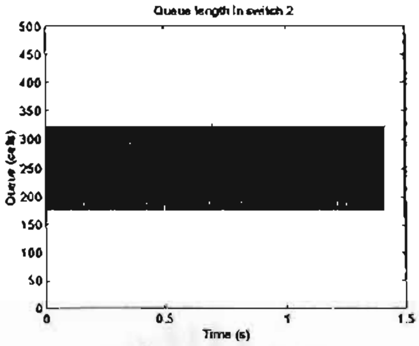



รูปที่ ค.3ก อัตราการรับข้อมูล




รูปที่ ค.3ข คิวของสวิตช์ 1

**ภาคผนวก (ต่อ)**




รูปที่ ค.3ค คิวของสวิตช์ 8

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 33331 | 33332 | 33332 | 33333 | 33332 |

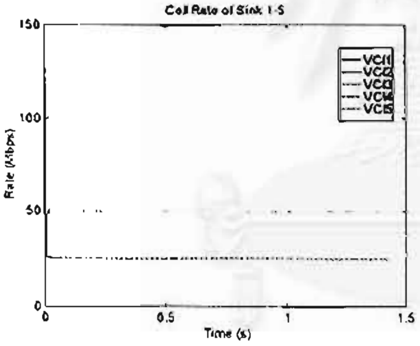
ตารางที่ ค.3ก จำนวนเซลล์ที่รับได้

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 664 | 664 | 664 | 664 | 664 |

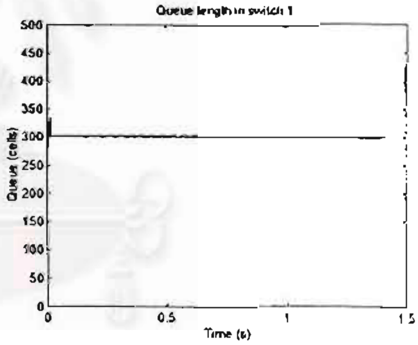
ตารางที่ ค.3ข จำนวนแครดิตเซลล์ที่ส่ง

ค่าความเท่าเทียมกัน = 1

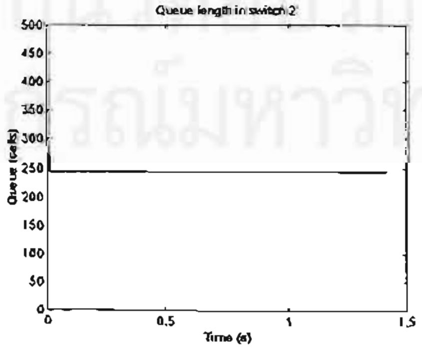
4 โครงข่าย 2 hop แบบมีการเข้าออกของต้นทางและปลายทาง




รูปที่ ค.4ก อัตราการรับข้อมูล




รูปที่ ค.4ข คิวของสวิตช์ 1




รูปที่ ค.4ค คิวของสวิตช์ 2

**ภาคผนวก (ต่อ)**

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 166342 | 166326 | 167122 | 83354 | 83354 |

ตารางที่ ค.4ก จำนวนเซลล์ที่รับได้

| VC 1 | VC 2 | VC 3 | VC 4 | VC 5 |
|---|---|---|---|---|
| 3334 | 3334 | 3334 | 2499 | 2499 |

ตารางที่ ค.4ข จำนวนเครดิตเซลล์ที่ส่ง

ค่าความเท่าเทียมกัน = 0.900

# ประวัติผู้เขียน

นายสุรเชษฐ์ สุขเจริญ เกิดวันที่ 8 กรกฎาคม พ.ศ. 2519 ที่อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณจิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2540

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย