

การประกันประสิทธิภาพการป้องกันการจัดเรียงตัวใหม่ของแพ็กเก็ต ในเราเตอร์แบบถ่วงสมดุลย์

กนกวรรณ ไวยนนท์¹, พิเชษฐ เขียวชนะกุล²

¹ศูนย์คอมพิวเตอร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 40002

²ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 40002

E-mail: ¹ kansoi@kku.ac.th, ² bhichi@kku.ac.th

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่เรียกว่า *Adaptation-Size-Frame-RR with Three Dimensional Queues (ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติ)* ที่สามารถแก้ปัญหาการจัดเรียงตัวที่ผิดลำดับของแพ็กเก็ตและปัญหาการจัดค่าคอนฟิเกอเรชั่นของสวิตช์แฟบรีคทุกสล็อตเวลาในเราเตอร์แบบถ่วงสมดุลย์ โดยจำลองการทำงานของระบบที่สถานะคงตัวเปรียบเทียบกับเราเตอร์ในอุดมคติ ผลการจำลองพบว่าค่าหน่วงเฉลี่ยอยู่ภายในขอบเขตและขั้นตอนวิธีนี้ให้ค่าประสิทธิภาพ 100 % ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์

ABSTRACT

This research, is to determine the performance of an algorithm called Adaptation-Size-Frame-RR with Three Dimensional Queues (ASF-RR with 3DQs) which can solve the problems of packets out of sequence and the reconfiguration of switch fabrics every time slot in the load-balanced router by simulation at the steady state, compare with an ideal router. The simulations show that the average delay of the ASF-RR with 3 DQs is within the

limit and this algorithm yields 100 % throughput as mathematical analysis.

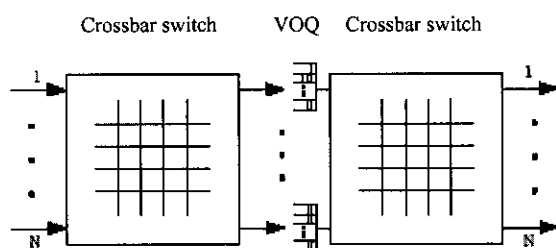
คำสำคัญ: เราเตอร์แบบถ่วงสมดุลย์ คิวเอาต์พุตเสมือน การจัดเรียงตัวใหม่ของแพ็กเก็ต

Key-Words: Load-Balanced Router, Virtual Output Queues, Packet Reordering

1. บทนำ

เราเตอร์แบบถ่วงสมดุลย์ [1] เป็นสถาปัตยกรรมเราเตอร์แบบหนึ่งที่ยืดหยุ่นมาให้มีประสิทธิภาพสูงและความเร็วสูง เป็นเราเตอร์ที่สามารถรองรับภาระงานในอินเทอร์เน็ตที่เพิ่มขึ้นอย่างมากได้ โดยไม่ต้องการตัวจัดกำหนดการส่วนกลางใด ๆ และสามารถรับประกันประสิทธิภาพ 100 % เราเตอร์แบบถ่วงสมดุลย์ ดังแสดงในภาพที่ 1 ประกอบด้วยสวิตช์แบบครอสบาร์สองขั้นตอนและคิวเอาต์พุตเสมือน (Virtual Output Queue: VOQ) ขั้นตอนแรกเป็นการกระจายแพ็กเก็ตที่มาถึงออกไปทั่วทุกไลน์คาร์ดของคิวเอาต์พุตเสมือน จากนั้นจะเป็นขั้นตอนการส่งต่อซึ่งจะส่งแพ็กเก็ตจากไลน์คาร์ดของคิวเอาต์พุตเสมือนไปยังปลายทาง เราเตอร์แบบถ่วงสมดุลย์ได้เผชิญกับปัญหาหลายอย่างที่สำคัณ

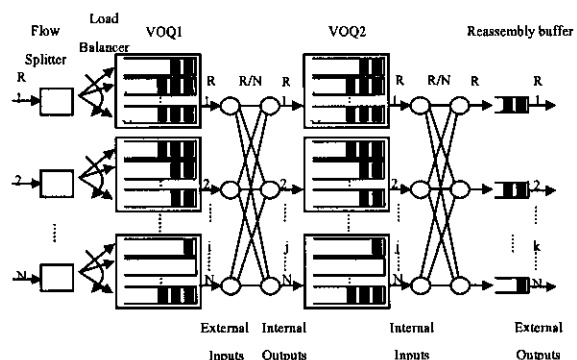
ได้แก่ การจัดเรียงตัวใหม่ของแพ็กเก็ตในสายข้อมูลเดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดลำดับ ผลที่สุดก็คือทีซีพี (TCP: โพรโทคอลควบคุมการส่งผ่าน) ทำงานได้ไม่ดีเมื่อแพ็กเก็ตที่เรียงตัวผิดลำดับมาถึงปลายทาง แพ็กเก็ตที่เรียงตัวผิดลำดับสามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงความเสียหายและทำให้เกิดการส่งใหม่ที่ไม่จำเป็นทำให้เกิดการหมดเวลาของทีซีพี (TCP timeouts) [2] การส่งใหม่และการหมดเวลาของทีซีพีเป็นสาเหตุให้ค่าประสิทธิภาพของทีซีพีลดลงและเพิ่มค่าหน่วงให้แก่แพ็กเก็ต เนื่องจากการจราจร (traffic) ของทีซีพีเป็นการจราจรส่วนใหญ่ของอินเทอร์เน็ต ดังนั้นเราเตอร์จะต้องไม่จัดเรียงแพ็กเก็ตใหม่ภายในสายข้อมูลเดียวกัน [3] และอีกปัญหาหนึ่งที่สำคัญที่เกิดขึ้นกับเราเตอร์แบบวงวนสมดุทธ์คือการจัดค่าคอนฟิกรูชันใหม่ของสวิตช์แพบริคย่อยทุกสล็อตเวลา ซึ่งจะส่งผลให้ความน่าเชื่อถือของระบบลดลงในการที่จะทำงานด้วยความเร็วสูง



ภาพที่ 1 ลักษณะของเราเตอร์แบบวงวนสมดุทธ์

การป้องกันการจัดเรียงตัวใหม่ของแพ็กเก็ตในเราเตอร์แบบวงวนสมดุทธ์ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง นักวิจัยทั้งหลายต่างก็พยายามพัฒนาขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาการจัดเรียงตัวใหม่ของแพ็กเก็ต เพื่อให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอินเทอร์เน็ตในปัจจุบันตลอดจนถึงในอนาคตได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ยกตัวอย่างเช่นขั้นตอนวิธี First Come First Serve (FCFS) และ Earliest Deadline First (EDF) [4] เป็นขั้นตอนวิธีที่แก้ปัญหาการจัดเรียงตัวใหม่ของแพ็กเก็ตในเราเตอร์แบบวงวนสมดุทธ์ แต่ทั้งสองวิธีนี้พบว่ามีข้อบกพร่องซึ่งไม่สามารถนำมา

ประยุกต์ใช้งานจริงได้ ขั้นตอนวิธี Full Frame First (FFF) [5] ขั้นตอนวิธีนี้เป็นขั้นตอนวิธีที่สามารถแก้ปัญหาการจัดเรียงตัวใหม่ของแพ็กเก็ตในเราเตอร์แบบวงวนสมดุทธ์ได้ รับประกันประสิทธิภาพ 100 % และรับประกันค่าหน่วงสามารถนำไปใช้งานได้จริง แต่พบว่ามีข้อบกพร่องที่ต้องได้รับการแก้ไข ได้แก่ ปัญหาที่มีการสะสมแพ็กเก็ตที่ผิดลำดับถ้าหากมีบางแพ็กเก็ตสูญหาย และปัญหาแพ็กเก็ตที่ไม่เต็มเฟรมจะไม่ได้รับการส่งถ้ามีแพ็กเก็ตที่เต็มเฟรมเข้ามาอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เนื่องจากต้องรอคอยจนกว่าแพ็กเก็ตที่เต็มเฟรมจะได้รับการส่งจนหมด จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นทำให้เกิดแนวทางในการพัฒนาขั้นตอนวิธีที่แตกต่างเพื่อที่จะแก้ปัญหาการจัดเรียงตัวใหม่ของแพ็กเก็ตในเราเตอร์แบบวงวนสมดุทธ์ได้อย่างสมบูรณ์แบบและสามารถที่จะนำไปใช้งานได้ ขั้นตอนวิธี ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติ [6] เป็นขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาของเราเตอร์แบบวงวนสมดุทธ์



ภาพที่ 2 สถาปัตยกรรมของ ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติ

สถาปัตยกรรมของ ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติ

ขั้นตอนวิธี ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติ ดังภาพที่ 2 ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาที่สำคัญสองอย่างที่เกิดขึ้นกับเราเตอร์แบบวงวนสมดุทธ์ ได้แก่ ปัญหาที่แพ็กเก็ตต่าง ๆ จากสายข้อมูลเดียวกันใช้เส้นทางที่ต่างกัน ทำให้เกิดปัญหาการจัดเรียงตัวใหม่ที่ผิดลำดับและปัญหาการจัดค่าคอนฟิกรูชันทุกสล็อตเวลา สถาปัตยกรรมของขั้นตอนวิธีนี้ประกอบด้วย เมชแพบริค N^2 ช่องสัญญาณจำนวน 2 ชุด

(N คือจำนวนไลน์การ์ด หรือจำนวนพอร์ต) เมฆแต่ละชุดมีการจัดตั้งค่าให้มีการวนรอบที่เหมือนกัน เมฆช่วยแก้ปัญหาการจัดค่าคอนฟิгурชันใหม่ทุกสล็อตเวลาของสวิตช์แพบริคแบบครอสบาร์ บัฟเฟอร์จำนวน 3 ชุด บัฟเฟอร์ชุดแรกหรือคิวเอทพุทเสมือน1 (VOQ1) ช่วยในการจำกัดขอบเขตจำนวนแพ็กเก็ตที่เรียงตัวผิดปกติ บัฟเฟอร์ชุดที่ 2 หรือคิวเอทพุทเสมือน2 (VOQ2) มีลักษณะเป็นคิวแบบสามมิติ ช่วยป้องกันปัญหาขัดขวางแพ็กเก็ตหัวแถว บัฟเฟอร์ชุดที่ 3 ใช้สำหรับการรวมตัวกลับคืนของแพ็กเก็ตเมื่อจะออกจากเราเตอร์ แพ็กเก็ตที่เข้ามาจะถูกแบ่งออกให้มีขนาดคงที่และถูกนำมาจัดกลุ่มรวมกันเรียกว่าเฟรม เฟรมที่เต็มจะมีแพ็กเก็ตเป็นจำนวน N

กลไกในการป้องกันการจัดเรียงตัวใหม่ของแพ็กเก็ต

ขั้นตอนวิธีนี้จะเลือกเฟรมที่เต็มเท่านั้นในทุก N สล็อตเวลาของแต่ละอินพุทแบบลำดับวนรอบ (round robin) ในการส่ง ถ้าเฟรมใดมีแพ็กเก็ตไม่เต็มเฟรมจะต้องเติมแพ็กเก็ตว่างที่มีขนาดเดียวกันเข้าไปจนเต็มเฟรม เมฆขั้นตอนที่ 1 จะส่งเฟรมเต็มที่มี N แพ็กเก็ตกระจายออกไปทั่วทุกไลน์การ์ดของคิวเอทพุทเสมือน2 เมื่อถึงรอบแพ็กเก็ตจากคิวเอทพุทเสมือน2 จะออกจากเราเตอร์โดยผ่านเมฆชุดที่ 2 ขั้นตอนวิธีนี้สามารถป้องกันการจัดเรียงตัวใหม่ของแพ็กเก็ตโดยการรักษาความยาวของคิวเอทพุทเสมือน2 ให้เท่ากัน

คำนวณเฉลี่ยของ ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติอยู่ภายในค่างที่ของเรเตอร์ในอุดมคติ (คิวเอทพุท)

ทฤษฎีต่อไปนี้ได้พิสูจน์ไว้ใน [6]

ทฤษฎี 1: ค่าหน่วยเฉลี่ยสำหรับ ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติมีค่าน้อยกว่าค่าหน่วยเฉลี่ยสำหรับคิวเอทพุทแบบหน่วยรวมกับค่างที่ $3N^2 - 2$

ทฤษฎี 2: ค่าหน่วยเฉลี่ยของ ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติมีค่าน้อยกว่าค่าหน่วยเฉลี่ยของคิวเอทพุทรวมกับค่างที่ $4N^2 + N - 3$

ทฤษฎี 3: ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติ และคิวเอทพุท มีค่าประสิทธิผลเหมือนกัน

2. วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อจะทดสอบประสิทธิภาพของ ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติเปรียบเทียบกับคิวเอทพุท (เราเตอร์ในอุดมคติที่มีประสิทธิผล 100 % และมีค่าหน่วยเฉลี่ยต่ำที่สุด) โดยการจำลองการทำงานของระบบในสถานะคงตัว (steady state) ผลการจำลองจะนำมาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ใน [6]

พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองแบบ

1. ค่าหน่วยเฉลี่ย คือระยะเวลาที่แพ็กเก็ตเข้ามาในระบบจนกระทั่งออกจากระบบมีหน่วยเป็นสล็อตเวลาเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งในการหาประสิทธิภาพของระบบสามารถหาได้จากค่าเฉลี่ยของแพ็กเก็ตในคิวที่สถานะคงตัว ซึ่งรวม 1 แพ็กเก็ตที่กำลังได้รับการ/ความน่าจะเป็นในการเข้ามาของระบบ

2. โหลดแฟกเตอร์ (load factor) คืออัตราส่วนระหว่างอัตราการเกิดและอัตราการดับของแพ็กเก็ตระบบจะมีความคงตัวถ้าค่านี้น้อยกว่า 1

3. ประสิทธิภาพ คืออัตราส่วนระหว่างจำนวนสะสมของแพ็กเก็ตที่เข้ามาในระบบต่อจำนวนสล็อตเวลาทั้งหมดเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งในการหาประสิทธิภาพของระบบ

4. คิวแบบ Geom/Geom/1 [7] เป็นคิวแบบไม่ต่อเนื่องทางเวลา (discrete time queue) ที่มีอัตราการเข้ามาแบบแบร์นูลลีและการบริการเป็นแบบแบร์นูลลีมี 1 เซิร์ฟเวอร์ที่ให้บริการ

5. สล็อตเวลาคือช่วงห่างของเวลาที่เท่ากันทุกช่วงในการทำงานของระบบหรือเรียกว่าสล็อต ใน 1 สล็อตเวลามีได้อย่างมากเพียง 1 แพ็กเก็ตที่เข้ามาในคิวหรือออกไปจากคิว สล็อตเวลาใช้เป็นหน่วยของค่าหน่วยเฉลี่ยในการทดลองครั้งนี้ (ซึ่งสามารถหารระยะเวลาในหน่วยของวินาทีได้คือ 1

สล็อตเวลาเท่ากับขนาดของแพ็กเก็ตที่เข้ามา / อัตราเร็วของเส้นทางเชื่อมต่อ)

ข้อกำหนดของแบบจำลอง

1. จำลองที่สถานะคงตัวโดยใช้คิวแบบ Geom/Geom/1 เนื่องจากการเข้ามาของแพ็กเก็ตที่อินพุตของเราเตอร์และการให้บริการ มีลักษณะเช่นเดียวกับแบบจำลองของคิวที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา

2. ทำการจำลองที่ความน่าจะเป็นในการเข้ามาของแพ็กเก็ตแบบแบร์นูลลี (p) เท่ากับ 0.5 เนื่องจากต้องการให้ความน่าจะเป็นของการเข้ามาของแพ็กเก็ตเท่ากับความน่าจะเป็นที่ไม่มีแพ็กเก็ตเข้ามา

3. จำนวนไบนารีคาร์ดหรือจำนวนพอร์ต N เท่ากับ 640 ซึ่งเป็นจำนวนพอร์ตใน [8]

4. ข้อมูลที่มีความยาวแบบแปรผันถูกแบ่งออกให้มีขนาดคงที่

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดด้วยกันดังนี้

ชุดที่ 1 ทดสอบเปรียบเทียบค่าหน่วยเฉลี่ยระหว่าง ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติและคิวเอาร์ทพุทที่โหลดแฟคเตอร์ต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.01-0.99 โดยกำหนดให้การเข้ามาของข้อมูลมีการแจกแจงแบบแบร์นูลลี ด้วยพารามิเตอร์ p เท่ากับ 0.5

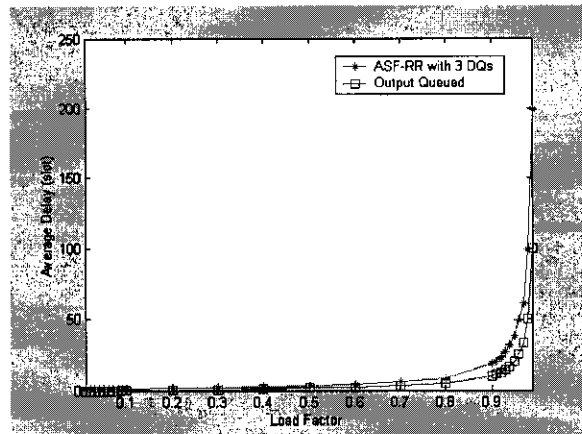
ชุดที่ 2 หาค่าประสิทธิภาพของ ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติ เป็นการหาประสิทธิภาพ ที่ความน่าจะเป็นในการเข้ามาของแพ็กเก็ตต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.1-1.0 โดยกำหนดให้การเข้ามาของข้อมูลมีการแจกแจงแบบแบร์นูลลี

3. ผลการทดลอง

ในส่วนนี้จะนำเสนอผลการจำลองซึ่งแสดงถึงค่าหน่วยเฉลี่ยของวิธีการที่ได้นำเสนอและเปรียบเทียบกับคิวเอาร์ทพุท

จากภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยเฉลี่ยกับค่าโหลดแฟคเตอร์ของ ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติเปรียบเทียบกับคิวเอาร์ทพุท จะเห็นว่าที่ค่าโหลดแฟคเตอร์น้อยกว่า 0.5 ค่าหน่วยเฉลี่ยของ ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติมี

ค่าใกล้เคียงกันกับคิวเอาร์ทพุท เมื่อโหลดแฟคเตอร์มีค่ามากกว่า 0.5 พบว่าค่าหน่วยเฉลี่ยของ ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติมีค่าสูงกว่าคิวเอาร์ทพุทเล็กน้อย เมื่อโหลดแฟคเตอร์มีค่ามากกว่า 0.9 ค่าหน่วยเฉลี่ยของกราฟทั้งสองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและ



ภาพที่ 3 ค่าหน่วยเฉลี่ยของ ASF-RR with 3 DQs เปรียบเทียบกับคิวเอาร์ทพุทที่โหลดแฟคเตอร์ต่างๆ

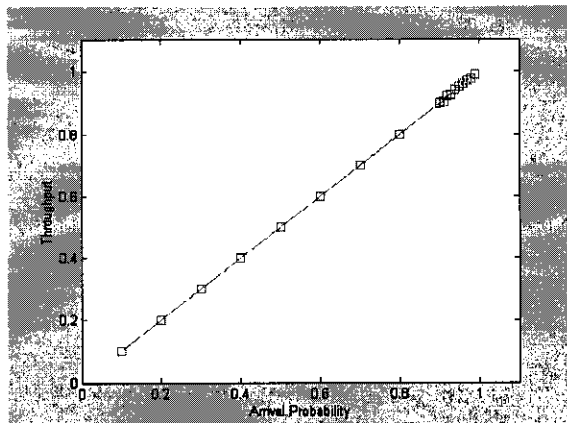
ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติมีค่าหน่วยเฉลี่ยที่สูงกว่าคิวเอาร์ทพุทไม่มากนัก ที่โหลดแฟคเตอร์ 0.99 พบว่า ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติมีค่าหน่วยเฉลี่ยประมาณ 200 สล็อต ในขณะที่คิวเอาร์ทพุทมีค่าหน่วยเฉลี่ย 100 สล็อต พบว่าค่าหน่วยเฉลี่ยประมาณ 200 สล็อตนี้ไม่เกินค่าขอบเขตบนตามทฤษฎีที่ 2

จากภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพและความน่าจะเป็นในการเข้ามาของแพ็กเก็ตต่าง ๆ จะเห็นว่า ถ้าอัตราการเข้ามาของแพ็กเก็ตมีค่ามากขึ้น ค่าประสิทธิภาพจะมีค่ามากขึ้นตามอย่างเป็นเชิงเส้น นอกจากนี้พบว่า ค่าประสิทธิภาพมีค่าเข้าใกล้ 1 ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติสามารถรับประกันค่าประสิทธิภาพได้ 100 %

4. บทสรุป

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการป้องกันการจัดเรียงตัวใหม่ของแพ็กเก็ตในเราเตอร์แบบวงวนสมดุทธ์ โดยการจำลองการทำงานของระบบที่สถานะคงตัว ผลการจำลอง

แสดงว่าขั้นตอนวิธี ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติให้ค่าหน่วยเฉลี่ยที่อยู่ในขอบเขตซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ 2 และให้



ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพของ ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติ

ประสิทธิภาพที่เท่ากับคิวเอทพุท ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ 3 นอกจากนี้ขั้นตอนวิธี ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติยังสามารถแก้ปัญหาของเราเตอร์แบบถ่วงสมดุลย์และสามารถรับประกันประสิทธิภาพได้อีกด้วย ที่สำคัญนอกเหนือจากนี้คือขั้นตอนวิธี ASF-RR ร่วมกับคิวสามมิติสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงและไม่เกิดปัญหาการสะสมของแพ็กเก็ตที่ผิดลำดับถ้าหากมีบางแพ็กเก็ตเกิดสูญหายแต่อย่างไรก็ตามขั้นตอนวิธีมีข้อเสียคือถ้ามีแพ็กเก็ตที่ไม่เต็มเฟรมเข้ามาที่แต่ละอินพุทบ่อยครั้งทำให้ต้องเติมแพ็กเก็ตว่างบ่อยครั้งตามไปด้วย ทำให้เกิดค่าหน่วยที่เพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าแพ็กเก็ตเข้ามาเต็มเฟรมตลอดโดยไม่ต้องเติมแพ็กเก็ตว่างจะทำให้ค่าหน่วยมีค่าใกล้เคียงกับค่าหน่วยของเราเตอร์ในอุดมคติ

เอกสารอ้างอิง

- [1] C.-S. Chang, D.-S. Lee and Y.-S. Jou, "Load balanced Birkhoff-von Neumann switches, Part I: one-stage buffering," *Computer Communications*, Vol. 25, No.6, pp. 611-622, 2002.
- [2] E. Blanton and M. Allman, "On making TCP more robust to packet reordering," *ACM Computer Communication Review*, Vol. 32, No. 1, pp. 20-30, Jan. 2002.
- [3] M. Fomenkov, K. Keys, D. Moore and K. Claffy, "A longitudinal study of internet traffic from 1998-2001: a view from 20 high performance sites," *Proc. Of WISICT'04*, Cancun, Mexico, Jan. 2004.
- [4] C. S. Chang, D. S. Lee and C. M. Lien, "Load balanced Birkhoff-von Neumann switches, Part II: multi-stage buffering," *Computer Communications*, Vol. 25, No. 6, pp. 623-634, 2002.
- [5] I. Keslassy and N. McKeown, "Maintaining packet order in two-stage switches," *IEEE Infocom'02*, Jun. 2002.
- [6] B. Chiewthanakul and K. Waiyanon, "The Performance on the Prevention of Packet Reordering in load-balanced Router." *Proceedings of the Technology and Innovation for Sustainable Development Conference (TISD)*. Khon Kaen, Thailand. 843-847. 2006.
- [7] N. McKeown, "Packet switch architectures: EE384X", 2001.
- [8] I. Keslassy, S. T. Chuang, K. Yu, D. Miller, M. Horowitz, O. Solgaard and N. McKeown, "Scaling internet routers using optics," *ACM SIGCOM'03*, Karlsruhe, Germany, Aug. 2003.