

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการใช้งานเน็ตเวิร์กด้วยแบนด์วิธแบบพลวัตตามจำนวนผู้ใช้งาน ซึ่งศึกษาการจัดการควบคุมแบนด์วิธ เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาการใช้งานให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

บทความและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การบริหารจัดการแบนด์วิธ (Bandwidth Management), สวิตชิง (Switching), การบริหารจัดการควบคุมปริมาณแบนด์วิธ (Traffic Control) และเครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจสอบค่าปริมาณแบนด์วิธ (Traffic Monitor) ซึ่งผู้จัดทำจะกล่าวถึงบทความและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังกล่าวเพียงสังเขป

การบริหารจัดการแบนด์วิธ (Bandwidth Management)

การบริหารจัดการแบนด์วิธ คือ การจัดการแบนด์วิธที่มีอยู่ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งปัจจุบันมีวิธีการที่หลากหลายโดยพิจารณาตามลำดับความสำคัญของผู้ใช้งาน ประเภทเว็บเซอร์วิส แอปพลิเคชันต่างๆ และขนาดแบนด์วิธสำหรับผู้ใช้งานแต่ละราย (เอกชัย ศรีปทุมภรณ์, 2551.)

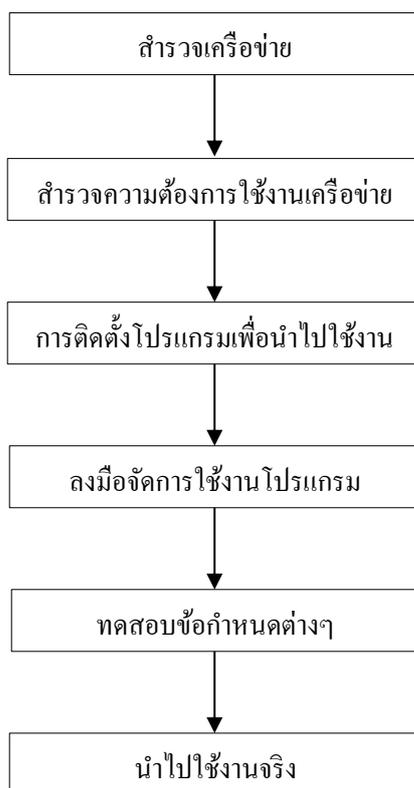
แบนด์วิธ คือ ความกว้างของปริมาณการรับส่งข้อมูลที่วิ่งเข้าออกระหว่างเครื่องเซิร์ฟเวอร์และเครื่องลูกข่าย

การทำงานรับส่งข้อมูลบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ก่อนการจัดการแบนด์วิธทั้งระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ภายใน (Intranet) และอินเทอร์เน็ต (Internet) มีการใช้งานแบบเข้าก่อนออกก่อน หากมีผู้ใช้งานพร้อมกันมากจะเกิดการแย่งการใช้งานแบนด์วิธ โดยค่าแบนด์วิธที่ได้แต่ละรายจะเท่ากับความเร็วสูงสุดของแบนด์วิธต่อความต้องการใช้งานแบนด์วิธซึ่งเกิดผลเสียต่อการใช้งานเมื่อมีจำนวนผู้ใช้งานที่มากและมีการใช้งานแอปพลิเคชันหลายตัวพร้อมกัน จึงต้องมีการจัดการแบนด์วิธเพื่อให้ประสิทธิภาพการใช้งาน

การจัดการแบนด์วิธในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ใช้สำหรับรองรับการใช้งานเพื่อความบันเทิงและการทำงานเป็นหลัก ประกอบด้วยเครือข่ายประเภทต่างๆเพื่อรองรับการใช้งานตามความสำคัญของเครือข่ายนั้นๆ เช่น เครือข่ายเพื่อการใช้งานภายในบ้าน (Home Network), สำนักงานขนาดเล็ก (Small and Home Office – SOHO), สำนักงานขนาดใหญ่ (Large Office)

และร้านอินเทอร์เน็ต (Inter Café) ซึ่งการแก้ไขปัญหของแบนด์วิธที่ไม่เพียงพอต่อการใช้งานสามารถแก้ไขด้วยวิธีต่างๆ เช่น การเพิ่มแบนด์วิธ, การออกนโยบายการใช้งานในเครือข่ายคอมพิวเตอร์, การเลือกติดตั้งอุปกรณ์การจัดการแบนด์วิธ และการเลือกติดตั้งโปรแกรมจัดการแบนด์วิธ เป็นต้น

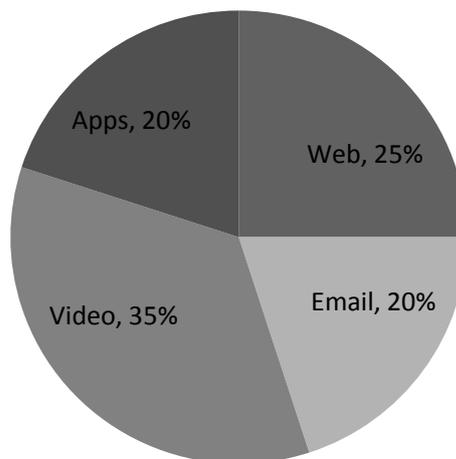
การจัดการแบนด์วิธควรมีการทำแผนการดำเนินงานเป็นขั้นตอนเพื่อกำหนดสิทธิ์การใช้งานแบนด์วิธสำหรับแต่ละผู้ใช้งาน โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 6 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการสำรวจเครือข่าย เริ่มจากการวาดภาพโครงข่ายและสำรวจอุปกรณ์ต่างๆ, ขั้นตอนการสำรวจความต้องการใช้งานเครือข่าย โดยดูความต้องการใช้งานแอปพลิเคชันต่างๆและสำรวจระดับความสำคัญของผู้ใช้งาน, ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรมเพื่อนำไปใช้งานโดยเลือกใช้งานโปรแกรมที่เหมาะสม, ขั้นตอนการลงมือจัดการใช้งานโปรแกรม โดยการกำหนดกฎและการแสดงผล, ขั้นตอนการทดสอบข้อกำหนดต่างๆ และขั้นตอนการนำไปใช้งานจริงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวางแผนจัดการแบนด์วิธ

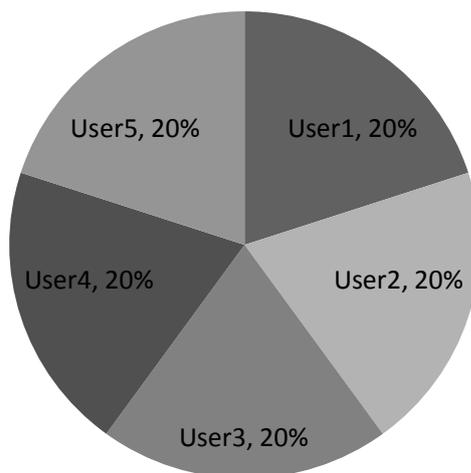
Traffic Shaping คือ ระบบที่เข้ามาช่วยควบคุมการรับส่งข้อมูลให้เกิดการหนาแน่นน้อยที่สุด โดยการส่งคำร้องขออุปกรณ์ต้นทางหรือปลายทางให้ส่งข้อมูลในความเร็วที่กำหนดตามกฎหมาย เป็นวิธีการจัดการควบคุมการรับส่งแบนด์วิธในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เพื่อประกันการทำงานการส่งข้อมูลในเครือข่าย ควบคุมการรับส่งข้อมูลให้เป็นไปตามที่กำหนด (Quality of Service) ซึ่งมีการบริหารจัดการที่หลากหลายรูปแบบ จากการศึกษาสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ การจัดการควบคุมแบนด์วิธจากประเภทของเว็บเซอร์วิส และการควบคุมแบนด์วิธตามรายบุคคล

1) การจัดการควบคุมแบนด์วิธจากประเภทของเว็บเซอร์วิสสามารถออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ รูปแบบการจัดการควบคุมแบนด์วิธโดยให้ความสำคัญจากปริมาณอัตราการใช้งานของประเภทบริการเว็บเซอร์วิสหรือแอปพลิเคชันต่างๆ ซึ่งสามารถกำหนดและให้ลำดับความสำคัญตามนโยบายขององค์กรนั้นๆ และรูปแบบการใช้งานแบนด์วิธโดยเพิ่มการแยกประเภทผู้ใช้งานตามความสำคัญหรือหน้าที่ ความต้องการใช้งาน และแบ่งอัตราการใช้งานให้เหมาะสมในกรณีที่มีความต้องการต่างกัน หรือมีลำดับความสำคัญที่สูงกว่า ดังตัวอย่างภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงการจัดการแบนด์วิธตามประเภทแอปพลิเคชัน

2) การควบคุมแบนด์วิธตามรายบุคคลสามารถจำแนกได้ 2 ส่วนคือ รูปแบบการควบคุมแบนด์วิธโดยให้สิทธิการใช้งานแบบค่าคงที่ด้วยการกำหนดค่าจำหน่ายแบนด์วิธในอัตราที่เท่ากัน และรูปแบบการควบคุมแบนด์วิธแบบพลวัตแบบแบ่งตามสัดส่วนโดยดูจากจำนวนของผู้ใช้งานบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์และให้ค่าแบนด์วิธในอัตราส่วนที่เท่ากัน ดังตัวอย่างภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงการจัดการแบนด์วิธตามจำนวนผู้ใช้งาน

Quality of Service เป็นตัวกำหนดชุดของคุณสมบัติประสิทธิภาพของการติดต่อ หรือเรียกว่าเป็นการส่งข้อมูลในเครือข่ายโดยรับประกันว่าการส่งข้อมูลจะเป็นไปตามคุณภาพหรือเงื่อนไขที่ต้องการ เช่น ค่าหน่วงเวลา, แบนด์วิธ, การเปลี่ยนแปลงของค่าหน่วงเวลา(jitter), อัตราการสูญหายของข้อมูล (loss) หลักการทั่วไปของ Quality of Service เป็นการตรวจวัดและควบคุมการไหลของข้อมูลให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยการตรวจวัดและควบคุมความเร็วของข้อมูลให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดประกอบด้วยวิธีพื้นฐาน 2 แบบ คือ Reservation และ Prioritization

Reservation เป็นวิธีการจองทรัพยากรของเครือข่ายก่อนที่จะเริ่มส่งข้อมูล คำนวณหาขนาดแบนด์วิธที่เหมาะสมเพื่อที่จะรักษาค่าหน่วงเวลาระหว่างต้นทางไปยังปลายทางโดยไม่ให้เกิดข้อจำกัด ในแต่ละการเดินทางของแพ็กเก็ตข้อมูล

Prioritization เป็นวิธีการกำหนดลำดับความสำคัญของการใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการการใช้งาน โดยช่วยให้เว็บ และแอปพลิเคชันที่มีความสำคัญสามารถใช้งานได้อย่างรวดเร็ว ไม่ต้องมีการจองทรัพยากรของเครือข่ายจึงสามารถใช้งานได้ในวงกว้าง แพ็กเก็ตจะถูกแบ่งออกเป็นคลาส หรือระดับความสำคัญ ข้อมูลในคลาสเดียวกันจะมีความสำคัญเท่ากัน ใช้ทรัพยากรทั้งหมดร่วมกัน

สวิตชิง (Switching)

การบริการในเครือข่ายแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือการบริการแบบมีการตอบรับ (Connection - Oriented Service) และการบริการแบบไม่มีการตอบรับ (Connection Less Service)

1) การบริการแบบมีการตอบรับ เป็นการตอบรับซึ่งมีลักษณะเลียนแบบการบริการของเครือข่ายโทรศัพท์คือ มีขั้นตอนการยกหูโทรศัพท์, หมุนหมายเลขโทรศัพท์, ปลายสายรับโทรศัพท์, พูดคุยแลกเปลี่ยนข่าวสาร จากนั้นก็วางโทรศัพท์ การส่งข้อมูลในการบริการแบบมีการตอบรับนี้มีลักษณะเช่นเดียวกันคือมีการกำหนดการติดต่อ เริ่มติดต่อส่ง-รับข้อมูล จากนั้นจึงยกเลิกการติดต่อ

2) การบริการแบบไม่มีการตอบรับ เป็นการเลียนแบบลักษณะการบริการของเครือข่ายไปรษณีย์ กล่าวคือในแต่ละข่าวสารจะบอกตำแหน่งที่อยู่ปลายทางของข่าวสารอย่างชัดเจน และแต่ละข่าวสารจะไปในเส้นทางของมันเอง ไม่ขึ้นกับข่าวสารอื่นใดสำหรับการบริการแบบนี้จะขาดความเชื่อถือในแง่ที่ว่า ไม่อาจแน่ใจได้ว่าข่าวสารจะถึงผู้รับจริงหรือไม่ เพราะไม่มีการตอบรับมาว่าได้รับข่าวสารหรือไม่ แต่ก็เป็นการประหยัดเวลากว่า เพราะจะไม่เสียเวลาในการตอบรับข่าวสาร

การเชื่อมต่อการสื่อสารบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์สามารถแบ่งตามหลักการทางเทคนิคได้ 3 แบบ คือ เซอร์กิตสวิตชิง (Circuit Switching), แมสเสจสวิตชิง (Message Switching) และแพ็กเก็ตสวิตชิง (Packet Switching)

1) เซอร์กิตสวิตชิง คือ เทคนิคที่สามารถรองรับอัตราการส่งข้อมูลที่แน่นอนได้ ซึ่งมีการกำหนดเส้นทางก่อนการส่งข้อมูล เมื่อต้นทางสามารถติดต่อกับปลายทางได้ การรับส่งข้อมูลจะดำเนินการได้ทันที โดยมีค่านำเวลาน้อยมาก แต่ในช่วงแรกของการสื่อสารอาจจำเป็นต้องรอก่อน เนื่องจากจำเป็นต้องมีการสร้างการเชื่อมต่อเพื่อไปยังปลายทาง เป็นการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุดเมื่อมีการรับส่งข้อมูลเสร็จต้องยกเลิกเส้นทางการสื่อสารเพื่อให้ผู้อื่นสามารถใช้เส้นทางสื่อสารได้

2) แมสเสจสวิตชิง คือ การส่งข้อมูลซึ่งข้อมูลจะถูกส่งและถูกเก็บไว้รอจนสายสัญญาณว่างจึงทำการส่งข้อมูลไปยังผู้รับ ผู้ส่งจะส่งข้อมูลไปยัง โหนดแรก เมื่อโหนดแรกได้รับข้อมูลจะเก็บข้อมูลไว้ในบัฟเฟอร์และติดต่อ ไปยัง โหนดต่อไป เมื่อหาเส้นทางไปยัง โหนดต่อไปได้แล้ว ก็จะทำการส่งข้อมูลที่เก็บไว้ในบัฟเฟอร์ออกไปยัง โหนดนั้นและไปจนกว่าจะถึงปลายทางเรียกหลักการนี้ว่า Store and Forward มีการหน่วงเวลาระหว่างผู้เรียกกับผู้ถูกเรียกไม่เหมาะสมกับงานที่ได้ตอบทันทีเพราะมีการหน่วงเวลาสูง การส่งข้อมูลมีขนาดใหญ่ทำให้มีการใช้ช่องสัญญาณเป็นเวลานาน เหมาะสำหรับการส่งข้อมูลแบบดิจิทัล โดยผู้ส่งจะส่งข้อมูลไปที่ละบล็อกข้อมูลซึ่งเรียกว่า แมสเสจ (Message)

3) แพ็กเก็ตสวิตซิง คือ เทคนิคที่มีความรวดเร็วในการส่งข้อมูลใช้ในการส่งข้อมูลที่ไม่ต้องรอการตอบรับ โดยการแบ่งข้อมูลที่ต้องการส่งระหว่างจุดสองจุดออกเป็นแพ็กเก็ตย่อยส่งออกไปทีละแพ็กเก็ตเรียงตามลำดับ แล้วส่งไปยังทุกๆเส้นทางโดยจะตรวจสอบเส้นทางที่จะส่งไปหากว่างจึงส่งไป เมื่อส่วนย่อยของข้อมูลทั้งหมดมาถึงปลายทางอาจมีการเรียงลำดับข้อมูลให้ถูกต้องก่อนที่จะส่งต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ปลายทาง ซึ่งการส่งข้อมูลใช้หลักการ Store and Forward หากเกิดความผิดพลาดในแพ็กเก็ตสวิตซิงใด สวิตซิงนั้นก็ทำการร้องขอให้ส่งเฉพาะแพ็กเก็ตที่ผิดพลาดนั้นมาใหม่โดยที่ไม่ต้องรอให้การส่งข้อมูลครบ ทัวไปแล้วแต่ละแพ็กเก็ตจะมีความยาวประมาณ 64 Byte (512 bits) ต่อหนึ่งแพ็กเก็ต ซึ่งแต่ละแพ็กเก็ตมีขนาดเล็ก ทำให้ใช้เวลาน้อยในการส่งแต่ละแพ็กเก็ต ส่งผลให้การรับ-ส่งแพ็กเก็ตเป็นไปได้อย่างรวดเร็วมาก

ค่าหน่วยเวลาแพ็กเก็ตสวิตซิงนั้นมีค่าน้อย โดยค่าหน่วยเวลาของแพ็กเก็ตแรกจะเกิดขึ้นเพียงชั่วครู่ ในขณะที่แพ็กเก็ตแรกนั้นผ่านจำนวนจุดต่างๆบนเส้นทางที่ใช้ หลังจากนั้นแพ็กเก็ตที่ส่งตามมาก็หลังก็จะทยอยส่งตามกันมาอย่างรวดเร็ว และหากมีการสื่อสารบนช่องทางความเร็วสูงแล้วค่าหน่วยเวลาที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่ำมาก

แพ็กเก็ตสวิตซิงสามารถแชร์แบนด์วิธได้มากกว่าเซอร์กิตสวิตซิงและมีความเรียบง่ายมีประสิทธิภาพกว่าและราคาถูกกว่าเซอร์กิตสวิตซิงในการนำมาใช้งาน แต่ก็ไม่เหมาะกับการนำมาใช้กับแอปพลิเคชันที่เป็นแบบเรียลไทม์เพราะจะมีความไม่แน่นอนในการเกิดค่าหน่วยเวลา การสื่อสารด้วยวิธีแพ็กเก็ตสวิตซิง แบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ Datagram Network ที่มีเส้นทางเป็นของตัวเอง มีการกำหนดทิศทางที่แน่นอน และ Virtual-Circuit Network คือ เส้นทางของข้อมูลจากโหนดสู่โหนดในเครือข่ายจะถูกกำหนดขึ้นก่อนการส่งข้อมูล ข้อมูลแต่ละแพ็กเก็ตจะส่งเรียงลำดับตามหมายเลขของแพ็กเก็ตทำให้เราสามารถควบคุมการไหลของข้อมูลและการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลได้ง่าย

สิ่งที่มีผลต่อคุณภาพการรับส่งข้อมูลวัดได้จาก Packet Loss คือ ข้อมูลที่สูญหายซึ่งเกิดจากปัญหาในเครือข่าย และค่าหน่วยเวลา คือ เวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งอาจจะเกิดได้จากระยะทางหรือเส้นทางที่ข้อมูลใช้ในการเดินทาง ความเร็วของเครือข่ายทำให้เวลาที่ใช้รับส่งข้อมูลมากขึ้น สามารถแบ่งค่าหน่วยเวลาออกเป็น 4 ส่วน คือ

1) Queuing Delay คือ ค่าหน่วยเวลาที่เกิดจากการรอคิวส่ง ช่วงเวลาที่ข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำสามารถเก็บได้มากหรือน้อยขึ้นกับการจัดคิวและขนาดของคิว ถ้าคิวขนาดใหญ่จะมีโอกาสที่หน่วยความจำจะเก็บข้อมูลได้มากทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าหน่วยเวลาสูง ถ้าคิวสั้นค่าเฉลี่ยของค่าหน่วยเวลาจะน้อยกว่าแต่ทำให้อัตราการสูญเสียมีมากขึ้น เนื่องจากแพ็กเก็ตถูกละทิ้งจากระบบ

2) Processing Delay คือ ค่าหน่วยเวลาที่เกิดจากการประมวลผลของอุปกรณ์

3) Transmission Delay คือ ค่าหน่วยเวลาที่เกิดจากการส่งข้อมูล ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแบนด์วิธ หากแบนด์วิธกว้างค่าหน่วยเวลาจะน้อย ขึ้นอยู่กับขนาดความยาวของแพ็กเก็ต และไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระยะทางระหว่างผู้รับและผู้ส่ง ดังสมการ

$$DT = N / R \text{ where}$$

โดย DT คือ Transmission Delay, N คือ จำนวน Bits, และ R คือ Rate of Transmission (Bits per Second)

4) Propagation Delay คือ ค่าหน่วยเวลาของสื่อที่ใช้ส่งข้อมูลเป็นเวลาในการเดินทางเบื้องต้นที่ใช้ของ แพ็กเก็ตระหว่าง 2 จุด ดังสมการ

$$\text{Propagation Delay} = d/s$$

โดย d คือ Distance และ s คือ The Speed.

อัตราความเร็วการส่งข้อมูลสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{Total Delay} = d_{\text{proc}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

โดย Total Delay คือ เวลาทั้งหมด, d_{proc} คือ เวลาที่อุปกรณ์ทำงาน, d_{queue} คือ เวลาที่ข้อมูลรอคิวเพื่อส่งอยู่, d_{trans} คือ เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลออกไป และ d_{prop} คือ เวลาที่ข้อมูลวิ่งผ่านสายจริง

การบริหารจัดการควบคุมปริมาณแบนด์วิธ (Traffic Control)

การบริหารจัดการแบนด์วิธด้วยคำสั่ง TC บนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ใช้ในการแสดงค่าและแก้ไขคอนฟิกการควบคุมปริมาณการรับส่งข้อมูลแบนด์วิธ โดยมีระบบคิวแบบการเข้าก่อนออกก่อน เข้าทีหลังออกทีหลัง คำสั่งประกอบด้วยการทำงาน 3 ส่วนคือ Queuing Discipline (Qdisc), Class และ Filter (R.Flickenger, 2006.)

1) Queuing Discipline (Qdisc) ทำหน้าที่บริหารจัดการข้อมูลที่เข้ามาในคิวและส่งข้อมูลออกจากคิวของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ตามลำดับที่กำหนดไว้ในชุดคำสั่ง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

Classless Qdisc เป็นคิวอย่างง่ายที่ไม่สามารถสร้างคลาสย่อยภายใต้ Root Qdisc เช่น TBF (Token Bucket Filter) ใช้ควบคุมไม่ให้แพ็กเก็ตถูกส่งออกเกินความเร็วที่ตั้งไว้ และSFQ (Stochastic Fairness Queuing) สามารถทำให้เกิดการเวียนส่งแพ็กเก็ตที่อยู่ในคิวอย่างเท่าเทียมกันเพื่อป้องกันการหยุดของแพ็กเก็ต

Classful Qdisc เป็นคิวที่สามารถสร้างคลาสย่อยได้หลายคลาสเพื่อจัดประเภทแพ็กเก็ตและกำหนดความเร็วในการจัดส่งได้ มี Filter ซึ่งทำหน้าที่กรองหรือกำหนดแพ็กเก็ตให้เข้าไปตามคลาสลูกต่างๆ หรือจะกำหนดให้ใช้ Classful Qdisc แบบไม่ต้องมีคลาสลูกได้ สามารถสร้างคลาสภายใต้ Root Class ให้มีลักษณะที่เป็นเชิงชั้นที่ซับซ้อนทำให้ผู้ใช้สามารถกำหนดให้คลาสที่อยู่ภายใต้คลาสแม่เดียวกัน ยืมแบนด์วิธที่เหลือของคลาสแม่มาใช้ได้ คลาสที่นำมาใช้งาน เช่น CBQ (Classes Based Queue) เป็นคิวที่ใช้สำหรับการจัดการแบนด์วิธสำหรับผู้ใช้หลายคนที่ใช้สายร่วมกัน โดยมีการรับประกันแบนด์วิธสำหรับผู้ใช้แต่ละคน ในช่วงเวลาที่มีการใช้สายอย่างหนาแน่น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการหยุดชะงักของผู้ใช้รายใดรายหนึ่ง รวมทั้งแบนด์วิธที่เหลือใช้อาจนำไปแบ่งให้กับผู้ใช้รายอื่นได้ด้วย และHTB (Hierarchical Token Bucket) ซึ่งได้นำคิวประเภท HTB มาใช้ในงานวิจัย มีลักษณะการทำงานคล้าย CBQ และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่มีความซับซ้อนน้อยกว่า เป็นการสร้างคลาสและจัดโครงสร้างคลาสตามกลุ่มผู้ใช้บริการ และกำหนดปริมาณแบนด์วิธของคลาสขั้นต่ำและขั้นสูงสุด รวมทั้งการให้ยืมแบนด์วิธที่เหลือใช้ระหว่างคลาสน้องที่อยู่ภายใต้คลาสแม่เดียวกัน

2) Class ทำหน้าที่ทำงานตามคำสั่ง Qdisc กำหนดคลาสแต่ละประเภท จำนวนค่าแบนด์วิธ ซึ่งคำสั่งของ Class นั้นประกอบไปด้วยกฎต่างๆที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์

3) Filter ทำหน้าที่สำหรับคัดแยกแพ็กเก็ตให้เข้าไปในคลาสที่กำหนดไว้ โดยที่คลาสหนึ่งคลาสอาจมีหลาย Filter ได้ นำข้อมูลให้ส่งไปทำงานตาม Class ต่างๆตามที่ Qdisc กำหนดอยู่ ซึ่งจะทำการกำหนดหมายเลขไอพีหรือชนิดของบริการเพื่อนำไปใช้ในกฎของ Class นั้นๆ

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจสอบค่าปริมาณแบนด์วิธ (Traffic Monitor)

Traffic Monitor คือโปรแกรมที่ใช้ตรวจจับการใช้งานของเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ซึ่งโปรแกรมมีความสำคัญอย่างมากทำหน้าที่ในการตรวจจับและป้องกันการใช้งานที่มีความผิดปกติหรือถูกบุกรุกได้ ปัจจุบันมีโปรแกรมการตรวจจับที่หลากหลาย

เช่น Nload, Ipraf, Nethogs, Bmon และ Iftop เป็นต้น (Jordi Domingo-Pascual, Yuval Shavitt, Steve Uhlig, 2011.)

เครื่องมือที่ผู้วิจัยได้นำมาศึกษาคือ Iftop โดยแสดงการอ่านค่าปริมาณแบนด์วิธของการรับส่งข้อมูลทั้งขาเข้าและขาออก ส่วนของการแสดงผลแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนการแสดงผลหมายเลขไอพีไอพีต้นทางและไอพีปลายทาง, ส่วนแสดงค่าแบนด์วิธจากค่าความเร็วในแต่ละช่วงเวลา 2, 10, 40 วินาทีตามลำดับ และส่วนแสดงผลรวมค่าแบนด์วิธจากการรับข้อมูล ส่งข้อมูล และผลรวมการรับส่งข้อมูลทั้งหมด ดังรูปที่ 2.4

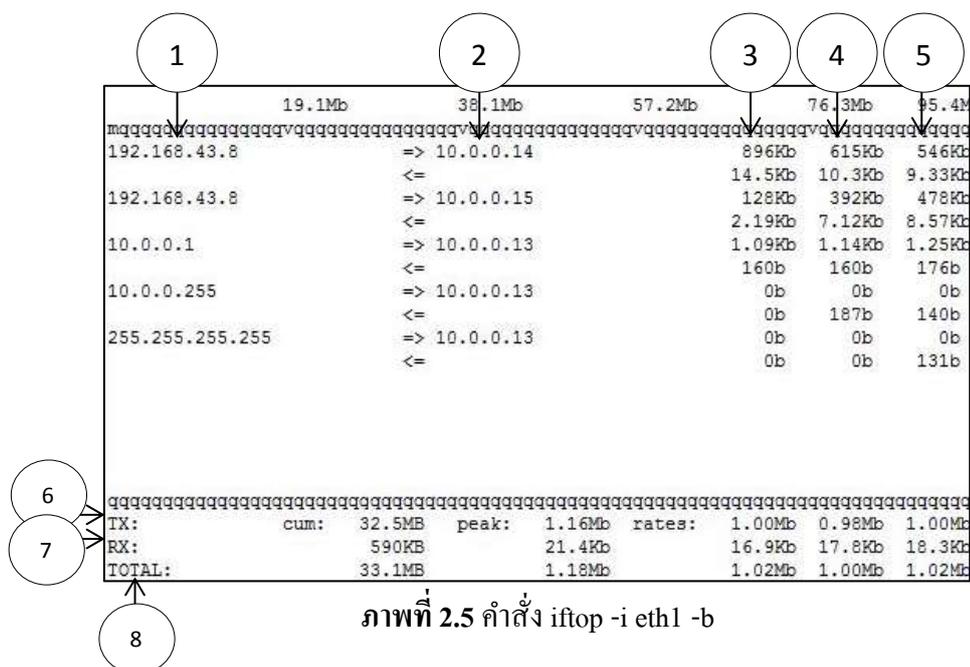
```
[root@localhost ~]# iftop -h
iftop: display bandwidth usage on an interface by host

Synopsis: iftop -h | [-npblNBP] [-i interface] [-f filter code]
          [-F net/mask] [-G net6/mask6]

-h          display this message
-n          don't do hostname lookups
-N          don't convert port numbers to services
-p          run in promiscuous mode (show traffic between other
          hosts on the same network segment)
-b          don't display a bar graph of traffic
-B          Display bandwidth in bytes
-i interface listen on named interface
-f filter code use filter code to select packets to count
          (default: none, but only IP packets are counted)
-F net/mask show traffic flows in/out of IPv4 network
-G net6/mask6 show traffic flows in/out of IPv6 network
-l          display and count link-local IPv6 traffic (default: off)
-P          show ports as well as hosts
-m limit    sets the upper limit for the bandwidth scale
-c config file specifies an alternative configuration file
```

ภาพที่ 2.4 คำสั่ง iftop -h

จากภาพที่ 2.4 คำสั่งที่ใช้คือ iftop -h แสดงรูปแบบและอธิบายถึงวิธีใช้คำสั่งการใช้งานหลักของโปรแกรมประกอบด้วยคำสั่งการแสดงผล



จากภาพที่ 2.5 คำสั่งที่ใช้คือ iftop -i eth1 -b ตัวอย่างการแสดงผลการรับส่งข้อมูลบนเครือข่าย eth1 แสดงหน่วยแบนด์วิธเป็นบิต โดยหมายเลขที่ 1 แสดงหมายเลขไอพีต้นทาง, หมายเลขที่ 2 แสดงหมายเลขไอพีปลายทาง, หมายเลขที่ 3 แสดงค่าแบนด์วิธเฉลี่ย 2 วินาที, หมายเลขที่ 4 แสดงค่าแบนด์วิธเฉลี่ย 10 วินาที, หมายเลขที่ 5 แสดงค่าแบนด์วิธเฉลี่ย 40 วินาที, หมายเลขที่ 6 แสดงค่าแบนด์วิธผลรวมการส่งข้อมูล, หมายเลขที่ 7 แสดงค่าแบนด์วิธผลรวมการรับข้อมูล และหมายเลขที่ 8 แสดงค่าแบนด์วิธผลรวมการรับส่งข้อมูล