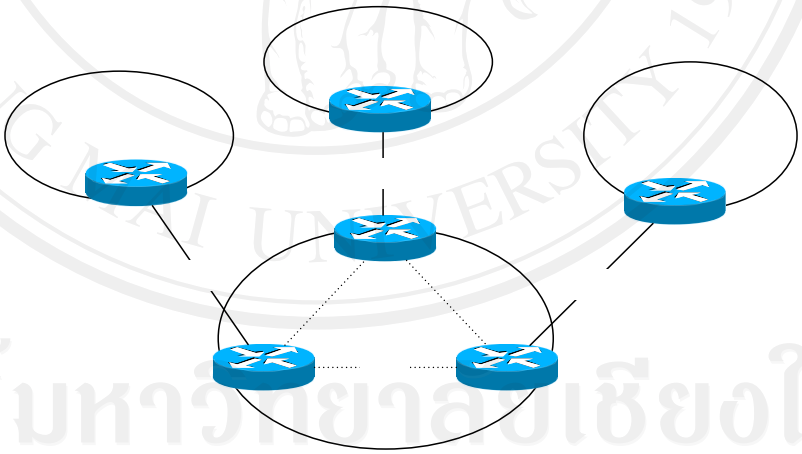
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการใช้บริการอินเทอร์เน็ต (Internet) เพิ่มปริมาณมากขึ้นอย่างรวดเร็ว องค์กรจึงจำเป็นที่จะต้องจัดหาแบนด์วิดท์ (Bandwidth) เพื่อเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยผ่านผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต (Internet Service Provider: ISP) รูปแบบการเชื่อมต่อระหว่างองค์กรสตับ (Stub) กับผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต โดยทั่วไปแล้วใช้หมายเลขระบบอัตโนมัติ (Autonomous System Number: AS Number) เป็นตัวกำหนดสถานีเชื่อมโยง (Node) ของเครือข่ายโพรโทคอลการจัดเส้นทาง (Routing Protocol) คือ โพรโทคอลการจัดเส้นทางบีจีพี (Border Gateway Protocol: BGP) โดยทั่วไปจะมีรูปแบบการเชื่อมต่อเป็นแบบมัลติโฮมเมดทูมัลติเปิลโพรวายเดอรส์ (Multihomed-to-Multiple Providers) ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การเชื่อมต่อแบบมัลติโฮมเมดทูมัลติเปิลโพรวายเดอรส์

ในระบบโครงสร้างที่เป็นแบบมัลติโฮมเมด (Multihomed) จะมีการทำงานทั้งที่เป็นแบบโดเมนสตับ และโดเมนส่งผ่าน (Transit Domain) ในงานวิจัยนี้จะใช้การเชื่อมต่อในรูปแบบนี้เป็นหลัก โดยที่สามารถทำงานได้ทั้งโดเมนสตับและโดเมนส่งผ่าน

โพรโทคอลการจัดเส้นทางบีจีพีจะเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดเพียงเส้นทางเดียวเท่านั้น โดยใช้กระบวนการตัดสินบีจีพี (BGP Decision Process) ซึ่งไม่คำนึงถึงแบนด์วิดท์ การหน่วง (Delay)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสูญเสียกลุ่มข้อมูล (Packet Loss) และไม่ได้ทดสอบเส้นทางก่อนว่า เหมาะสมหรือไม่ โดยทั่วไปแล้วบีจีพีจะเลือกตามเส้นทางระบบอัตโนมัติ (AS Path) ที่สั้นที่สุด ดังนั้นเส้นทางที่บีจีพีเลือกอาจจะไม่ได้ดังความต้องการของผู้ดูแลระบบหรืออาจทำให้การจราจรหนักไปข้างใดข้างหนึ่งหรือเสียดุลภาระ (Unbalance) และอาจจะมีผลถึงความรู้สึกของผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ตว่า การตอบสนองช้าลง ดังนั้นผู้ดูแลระบบจึงต้องทำการบริหารการจราจรของข้อมูลให้เหมาะสมที่สุด โดยใช้หลักวิศวกรรมการจราจร (Traffic Engineering: TE) ประเภทของการจราจรโดยทั่วไปแล้วจะมีอยู่ 2 ประเภท คือ

1. การจราจรยูนิแคสต์ (Unicast Traffic)
2. การจราจรมัลติแคสต์ (Multicast Traffic)

ข้อมูลทั่วไปที่ไหลระหว่างโดเมนในระบบเครือข่ายจะเป็นการจราจรยูนิแคสต์ ส่วนการจราจรมัลติแคสต์จะไม่ค่อยพบ เนื่องจากยังเป็นเรื่องใหม่ อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้จะมุ่งประเด็นไปที่การควบคุมการจราจร ทั้งแบบยูนิแคสต์และแบบมัลติแคสต์

การจัดสรรเส้นทางการจราจรต้องแยกพิจารณาเป็น 2 ประเด็น คือ

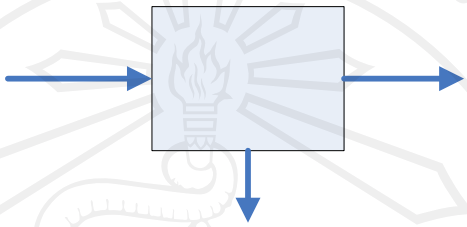
1. การจัดสรรเส้นทางการจราจรขาออก (Outbound Traffic)
2. การจัดสรรเส้นทางการจราจรขาเข้า (Inbound Traffic)

การจัดสรรเส้นทางการจราจรขาออกจะพิจารณาจากการจราจรที่ออกจากโดเมน ส่วนการจัดสรรเส้นทางการจราจรขาเข้าจะพิจารณาจากการจราจรที่เข้ามายังโดเมน การจัดสรรเส้นทางการจราจรขาออกจะทำได้ง่ายกว่าการจัดสรรเส้นทางการจราจรขาเข้า ซึ่งจะมีความยุ่งยากซับซ้อนมาก อาจก่อให้เกิดการผิดพลาด การตรวจสอบก็ทำได้ยาก

ความต้องการในการจัดสรรเส้นทางการจราจรระหว่างโดเมน (Interdomain Traffic) นี้ ทั้งการจราจรขาออกและการจราจรขาเข้า จำเป็นที่จะต้องมีการแก้ไขโครงแบบ (Configuration) ของอุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขต (Border Router) ทุกตัว ดังนั้นในกรณีที่องค์กร สตับ รวมถึงผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตเอง มีอุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขตจำนวนมาก การจัดสรรเส้นทางการจราจรระหว่างโดเมนเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการจะต้องทำการปรับ (Tuning) อุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขตทั้งหมด ซึ่งจะใช้เวลามาก ยุ่งยากซับซ้อน และอาจก่อให้เกิดการผิดพลาดได้ ในงานวิจัยนี้ได้สร้างและออกแบบระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ เพื่อทำหน้าที่จัดสรรและบริหารเส้นทางการจราจรแบบยูนิแคสต์และแบบมัลติแคสต์รวมที่ศูนย์กลาง และออกแบบการเชื่อมต่อแบบจำลองการจัดเส้นทางบีจีพี (BGP Routing Modeling) เพื่อให้สามารถใช้กับระบบนี้ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีลักษณะประจำโลคอลพรีเฟอเรนซ์ (Local Preference Attribute) เพื่อควบคุมการจราจรขาออก และใช้วิธีลักษณะประจำต่อเติมเส้นทางเลขระบบอัตโนมัติ (AS Path Prepend Attribute) เพื่อควบคุม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การจราจรขาเข้า ในการจัดสรรการจราจรบางครั้งต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของกลุ่มข้อมูล เช่น กลุ่มข้อมูลประเภทเสียงที่ทำงานบนไอพี วีดีโอ การประชุมออนไลน์ รวมถึงกลุ่มข้อมูลที่ต้องการความเร็วสูง เช่น การทำงานของระบบกริด (Grid) ซึ่งจะเรียกการจราจรประเภทนี้ว่า การจราจรที่ต้องการเสถียรภาพสูงความเร็วสูง โดยจะมีอัตราการทิ้ง (Drop) ของข้อมูลน้อยที่สุด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสำรองการจราจรเพื่อรองรับการจราจรประเภทนี้



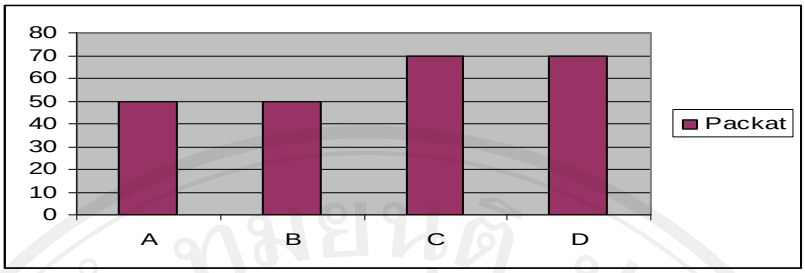
รูปที่ 1.2 อัตราการทิ้งของกลุ่มข้อมูล

รูปที่ 1.2 แสดงอัตราการทิ้งของกลุ่มข้อมูล โดยกลุ่มข้อมูลที่ส่งจากต้นทางในที่นี้คือ *Input* เมื่อผ่านเส้นทางของข้อมูลแล้วจะได้ผลออกมา ในที่นี้ คือ *Output* ผลต่างของ *Input* และ *Output* ก็คือ อัตราการทิ้งของกลุ่มข้อมูลดังนี้ $Drop = Input - Output$ โดย *Drop* คือ อัตราการทิ้งของกลุ่มข้อมูล

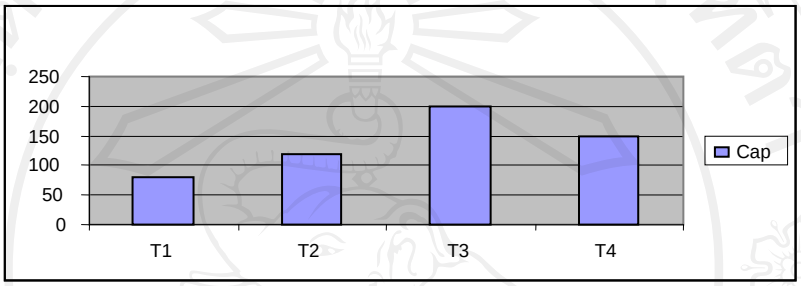
ในงานวิจัยนี้ได้เสนอการควบคุมการจราจรแบบลูกผสม (Hybrid Control) โดยผสมผสานระหว่างการควบคุมแบบด้วยมือ (Manual Control) และการควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control)

การควบคุมแบบด้วยมือ คือ ผู้ดูแลระบบสามารถกำหนดเส้นทางที่ชัดเจนให้กับการจราจรบางกลุ่มได้ โดยไม่ได้คำนึงว่า จะมีการใช้แบนด์วิดท์ในการรับส่งข้อมูลของลิงค์เต็มประสิทธิภาพแล้วหรือไม่ หรืออาจก่อให้เกิดอัตราการทิ้งของกลุ่มข้อมูลเพิ่มมากขึ้นหรือไม่ ตัวอย่าง เช่น ณ เวลาหนึ่ง ที่การจราจรไหลเข้า มีกลุ่ม A B C D โดยมีขนาดของกลุ่มข้อมูลเป็น 50 50 70 70 Mbps ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที 1.3 และมีขนาดความจุของลิงค์แสดงดังรูปที่ 1.4 คือ มีลิงค์ T1 T2 T3 T4 ขนาดความจุ คือ 80 120 200 150 Mbps ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

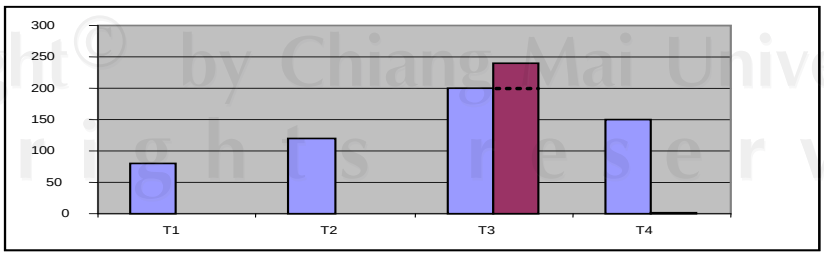


รูปที่ 1.3 ขนาดของกลุ่มข้อมูลของแต่ละกลุ่ม



รูปที่ 1.4 ขนาดความจุของลิงค์ที่สามารถใช้งานได้

จากตัวอย่าง อัตราการทิ้งของกลุ่มข้อมูลคือ $(240-550)=-310$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0 แสดงว่า ไม่มีการทิ้งของกลุ่มข้อมูล แต่หากมีการจัดสรรการจราจรแบบด้วยมือที่ไม่คำนึงถึงผลกระทบ หรือผู้ดูแลระบบไม่เข้าใจการทำงานและเห็นว่า ลิงค์ T3 มีขนาดมากที่สุด จึงใช้วิธีลักษณะประจำต่อเติมเส้นทางเลขระบบอัตโนมัติเพื่อควบคุมบังคับการจราจรของกลุ่ม A B C D ไหลเข้ามาที่ลิงค์ T3 ปริมาณกลุ่มข้อมูลที่จะไหลเข้า คือ *Input* = A+B+C+D หรือคือ 240 Mbps และ *Output* คือ การใช้แบนด์วิดท์ในการรับส่งข้อมูลของลิงค์ T3 คือ 200 Mbps ดังนั้น อัตราการทิ้งของกลุ่มข้อมูล $240-200=40$ Mbps ดังแสดงในรูปที่ 1.5 จะเห็นมีการทิ้งของกลุ่มข้อมูลเกิดขึ้นและทำให้การใช้ประสิทธิภาพของลิงค์ไม่เต็มประสิทธิภาพ

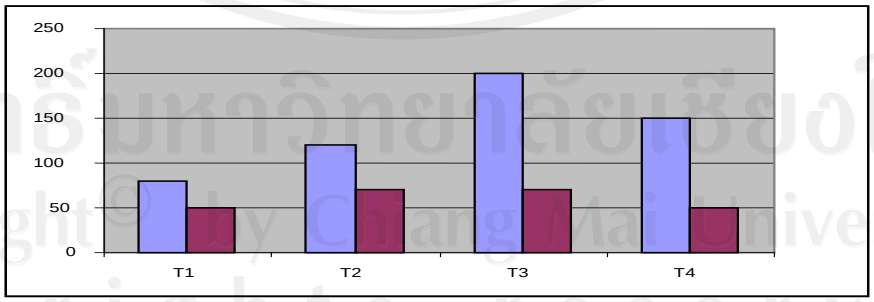


รูปที่ 1.5 ขนาดความจุของลิงค์กับขนาดของกลุ่มข้อมูลแต่ละกลุ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการทำงานนั้น ระบบจะใช้วิธีลักษณะประจำต่อเติมเส้นทางเลขระบบอัตโนมัติเพื่อควบคุมการจราจรไหลเข้าและวิธีลักษณะประจำโลคอลพรีเฟอเรนซ์เพื่อควบคุมการจราจรไหลออก ระบบจะทำนายผลของการบังคับเส้นทางการจราจรและปริมาณการจราจรก่อนที่จะนำมาใช้งานจริง โดยในงานวิจัยจะเปรียบเทียบผลจากการทำนายกับการทดลองจริงว่า มีการความคลาดเคลื่อนกี่เปอร์เซ็นต์ ทำให้ผู้ดูแลระบบสามารถรับทราบผลที่จะเกิดขึ้นก่อน เพื่อปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมได้

การควบคุมแบบอัตโนมัติ คือ การควบคุมเพื่อให้ใช้แบนด์วิดท์ในการรับส่งข้อมูลของลิงค์ได้เต็มประสิทธิภาพ และยังสามารถกำหนดขอบเขตของบางลิงค์ได้ เพื่อสำรองกับการจราจรที่ต้องการเสถียรภาพสูงและให้ความเร็วสูงสุด ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาภายใต้เงื่อนไขเมื่อเริ่มมีการทิ้งของกลุ่มข้อมูลเกิดขึ้น หรือเมื่อ $Input - Output > 0$ และจะพิจารณาภายใต้เงื่อนไขที่ต้องการสำรองการจราจรสำหรับกลุ่มข้อมูลที่ต้องการเสถียรภาพสูงความเร็วสูง ตัวอย่างของการควบคุมแบบอัตโนมัติแบบนี้ คือ จากตัวอย่างที่แล้ว สมมุติว่า ลิงค์ T3 มีประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลต่างประเทศดีมาก ลิงค์ T4 มีประสิทธิการรับส่งข้อมูลภายในประเทศดีมาก ถ้าหากต้องการสำรองลิงค์ T3 และ T4 ขนาด 50 Mbps และ 40 Mbps ตามลำดับ สำหรับการจราจรของกลุ่มข้อมูลที่ต้องการเสถียรภาพสูงความเร็วสูง เช่น สำรองสำหรับระบบกริดโดยใช้ลิงค์ T4 ที่ขนาด 40 Mbps การประชุมออนไลน์ใช้ลิงค์ T3 ที่ขนาด 50 Mbps เมื่อยังมีการบริหารเส้นทางแบบเดิมอยู่ คือ มี $Input$ = 240 Mbps และ $Output$ = 200 Mbps ผลที่ได้ คือ $Input - Output > 0$ นั้นคือ มีการทิ้งของข้อมูลเป็น 40 Mbps เมื่อนำระบบการควบคุมแบบอัตโนมัติมาใช้ผลที่ได้ ระบบอาจจะบริหารให้กลุ่ม A ใช้ลิงค์ T1 กลุ่ม C ใช้ลิงค์ T2 กลุ่ม D ใช้ลิงค์ T3 กลุ่ม B ใช้ลิงค์ T4 ดังแสดงในรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 ขนาดความจุของลิงค์กับขนาดของกลุ่มข้อมูลแต่ละกลุ่มที่ควบคุมแบบอัตโนมัติ

ผลที่ได้ คือ $Input - Output < 0$ นั้นคือ ไม่มีอัตราการทิ้งของกลุ่มข้อมูลและสามารถใช้แบนด์วิดท์ในการรับส่งข้อมูลได้เต็มประสิทธิภาพ ในขณะเดียวกันยังสามารถที่จะสำรองลิงค์ T3 และ T4 ไว้สำหรับการจราจรที่ต้องการเสถียรภาพสูงความเร็วสูงได้ ในงานวิจัยนี้ยังได้เสนอวิธีหาจุดสำรอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การจราจรสำหรับกลุ่มข้อมูลที่ต้องการเสถียรภาพสูงความเร็วสูง โดยใช้วิธีวิทยาการศึกษาสำนึก (Heuristics) ที่สามารถนำค่าที่ใกล้เคียงกับความต้องการจริง โดยในที่นี้จะวิเคราะห์ตามเวลาของแต่ละช่วงเวลาจากข้อมูลที่ผ่านมา โดยจุดนี้จะแปรเปลี่ยนเองได้ ซึ่งจะทำให้การใช้แบนด์วิดท์ในการรับส่งข้อมูลของลิงค์โดยรวมมีประสิทธิภาพมากที่สุดและอัตราการทิ้งของกลุ่มข้อมูลก็น่าจะน้อยที่สุด

การทำงานแบบลูกผสม ระบบจะควบคุมทั้งแบบอัตโนมัติและแบบด้วยมือ เพื่อใช้แบนด์วิดท์ในการรับส่งข้อมูลจากลิงค์แต่ละลิงค์ให้เต็มประสิทธิภาพและลดอัตราการทิ้งของกลุ่มข้อมูลให้น้อยที่สุด แล้วยังสามารถที่จะสำรองการจราจรสำหรับกลุ่มข้อมูลที่ต้องการเสถียรภาพสูงความเร็วสูงได้ และยังสามารถที่จะเลือกเส้นทางโดยผู้ดูแลระบบเองได้ โดยในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบอัตราการทิ้งของกลุ่มข้อมูล และค่าการใช้ประโยชน์ (Utilization) กับงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งน่าจะได้ค่าการใช้ประโยชน์ที่ใกล้เคียงหรือดีกว่ากับงานวิจัยที่เคยมีมา โดยยังสามารถที่จะสำรองการจราจรสำหรับกลุ่มข้อมูลที่ต้องการเสถียรภาพสูงความเร็วสูงได้อีกด้วย ดังนั้นการทำงานแบบลูกผสมจึงน่าจะเป็นการควบคุมการจราจรที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมวิศวกรรมการจราจรระหว่างโดเมนของการจราจรยูนิแคสต์และมัลติแคสต์ โดยใช้ความสามารถของบีจีพีที่มีอยู่ ประกอบด้วย 2 วิธี
    1) ออกแบบระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสม
    2) ออกแบบแบบจำลองการจัดเส้นทางบีจีพี เพื่อให้ระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสมทำการควบคุมจัดสรรเส้นทางการจราจรได้
2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองการจัดเส้นทางบีจีพีแต่ละแบบที่สามารถใช้งานกับระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสม
3) เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ ทั้งก่อนและหลังจากการนำระบบมาใช้ในการควบคุมการจราจร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1) องค์กร สตับ หรือผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต จะสามารถที่จะควบคุมการจราจรได้สะดวกและมีประสิทธิภาพสูงสุดและช่วยลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้
2) ช่วยลดภาระงานของผู้ดูแลระบบที่ต้องการควบคุมการจราจร โดยโปรแกรมสามารถที่จะให้ผู้ดูแลระบบทราบถึงปริมาณการไหลผ่านของการจราจรแต่ละลิงค์ได้

1.4 แผนดำเนินการ ขอบเขต และวิธีทำวิจัย

1.4.1 แผนการดำเนินการวิจัย

1) ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2) รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย
3) ศึกษาและออกแบบพัฒนาโปรแกรม
4) ทดสอบการทำงานของโปรแกรม
5) ทดสอบกับการใช้งานในระบบจริงของระบบเครือข่ายมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่
6) เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายสำนักงานบริหารเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อพัฒนาการศึกษา
7) สรุปผลและจัดทำวิทยานิพนธ์

1.4.2 ขอบเขตการทำวิจัย

1) พิจารณาการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายบีจีพีระหว่างองค์กร สตับ ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต แบบมัลติโฮมเมดทูมัลติเปิลโพรวายเดอรส์ ที่เป็นทั้งโดเมนสตับและโดเมนส่งผ่าน เพื่อการควบคุมการจราจรไหลเข้าและการจราจรไหลออก โดยพิจารณาการจราจรทั้งแบบยูนิแคสต์และแบบมัลติแคสต์ บนพื้นฐานการทำงานของกระบวนการตัดสินบีจีพีที่เหมาะสมที่สุด คือ วิธีลักษณะประจำโลคอลพรีเฟอเรนซ์ และวิธีลักษณะประจำต่อเติมเส้นทางเลขระบบอัตโนมัติ
2) ใช้เครื่องบริการที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการลีนุกซ์จำนวน 5 เครื่องสำหรับติดตั้งโปรแกรม Dynagen โปรแกรม Dynamips ใช้เครื่องบริการที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการวินโดวส์จำนวน 1 เครื่องสำหรับเป็นจอเฝ้าคุม (Console) ไปยังอุปกรณ์จัดเส้นทางที่เลียนแบบ ใช้อุปกรณ์สวิตช์ 2 เครื่องสำหรับเชื่อมต่อเครื่องบริการทั้งหมด
3) ใช้โปรแกรม Dynamips โปรแกรม Dynagen สำหรับเลียนแบบระบบเครือข่ายและอุปกรณ์จัดเส้นทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4) ใช้โปรแกรม Zebra บนระบบปฏิบัติการลีนุกซ์สำหรับทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์จัดเส้นทางและระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสม
5) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการออกแบบแบบจำลองการจัดเส้นทางบีจีพีแต่ละแบบที่จะใช้กับระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสม
6) เปรียบเทียบการควบคุมการจราจรแบบด้วยมือจากการทำนายกับการทดลองจริงว่ามีความคลาดเคลื่อนกี่เปอร์เซ็นต์
7) ใช้วิธีวิทยาการศึกษาสำนึก เพื่อพิจารณาหาจุดสำรองการจราจรสำหรับกลุ่มข้อมูลที่ต้องการเสถียรภาพสูงความเร็วสูง
8) เปรียบเทียบค่าการใช้ประโยชน์กับงานวิจัยที่ผ่านมาว่า การทำงานของระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสมจะสามารถใช้แบนด์วิดท์ในการส่งข้อมูลของลิงค์มีประสิทธิภาพมากว่างานวิจัยที่ผ่านมาหรือไม่
9) เปรียบเทียบอัตราการทิ้งของกลุ่มข้อมูลเมื่อใช้ระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสมกับงานวิจัยที่ผ่านมาว่า อัตราการทิ้งของกลุ่มข้อมูลลดลงหรือไม่
10) ทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้นมาบนระบบเครือข่ายของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายสำนักงานบริหารเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อพัฒนาการศึกษา

1.4.3 วิธีการทำวิจัย

1) ศึกษาทฤษฎีและการทำงานของโพรโทคอลการจัดเส้นทางบีจีพี การจัดเส้นทางมัลติแคสต์ (Multicast Routing) หลักการวิศวกรรมการจราจรและอื่นๆ สืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากอินเทอร์เน็ต ห้องสมุดและจากงานวิจัยที่มีอยู่
2) รวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากห้องสมุดและอินเทอร์เน็ต
3) ศึกษาและทดลองการใช้งานโปรแกรม Zebra โปรแกรม Dynamips โปรแกรม Dynagen
4) ศึกษาและทดลองการเขียนโปรแกรมภาษาเพิร์ล (Perl)
5) สร้างและออกแบบระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสม
6) ออกแบบแบบจำลองการจัดเส้นทางบีจีพี
7) ทดสอบการทำงานของโปรแกรมระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ แบบลูกผสม
8) แก้ไขโปรแกรมเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

9) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการออกแบบแบบจำลองการจัดเส้นทางบีจีพีแต่ละแบบว่า แบบใดจะมีประสิทธิภาพสูงสุดกับการทำงานของระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสมเพื่อใช้ในการควบคุมการจราจรแบบยูนิแคสต์และแบบมัลติแคสต์
10) ทดสอบการควบคุมการจราจรแบบด้วยมือ ซึ่งจะมีการทำนายผลก่อนแล้วนำมาเปรียบเทียบกับการทดลองจริงว่า มีความคลาดเคลื่อนกี่เปอร์เซ็นต์
11) ทดสอบหาจุดสำรองการจราจรสำหรับกลุ่มข้อมูลที่ต้องการเสถียรภาพสูงความเร็วสูง
12) ทดสอบประสิทธิภาพจากการจำลอง เพื่อหาค่าการใช้ประโยชน์ของระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสม
13) ทดสอบประสิทธิภาพจากการจำลอง เพื่อหาอัตราการทิ้งของกลุ่มข้อมูลของระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสม
14) ทดสอบกับการใช้งานในระบบจริงของระบบเครือข่ายมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายสำนักงานบริหารเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อพัฒนาการศึกษา
15) สรุปผลและจัดทำวิทยานิพนธ์

1.5 สถานที่ดำเนินงานวิจัยและรวบรวมข้อมูล

1.5.1 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
1.5.2 สถานบริการเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

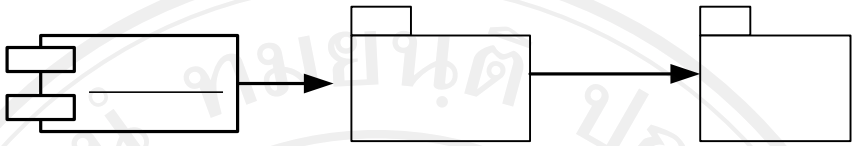
1.6 แนวความคิด

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบเพื่อใช้ในควบคุมการจราจรของข้อมูลให้มีประสิทธิภาพสูงสุด นั้นคือระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสม และนำระบบที่สร้างขึ้นทดสอบกับแบบจำลองแต่ละแบบ เพื่อเปรียบความสามารถ และประสิทธิภาพการทำงานเมื่อมีการนำระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสมมาใช้งาน ซึ่งมีขั้นตอน 2 ขั้นตอนด้วยกัน

1) ออกแบบและสร้างระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสม ระบบนี้จะทำหน้าที่บริหารจัดสรรเส้นทางจราจรจากจุดเดียว โดยจะไม่มีการไหลของการจราจรผ่านตัวมัน การทำงานจะรองรับหลักการวิศวกรรมการจราจรระหว่างโดเมน (Interdomain Traffic Engineering) ซึ่งเป็นหลักการควบคุมจัดสรรเส้นทางจราจรระหว่างโดเมนให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ในการสร้างระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสมจะพัฒนาโดยใช้โปรแกรมภาษาเพิร์ล (Perl Programming) เพื่อทำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หน้าที่ควบคุมอุปกรณ์จัดเส้นทางบีจีพีให้ควบคุมการจราจรได้ตามต้องการและสร้างโปรแกรมต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface) โดยใช้โปรแกรมภาษาเพิร์ลเช่นเดียวกัน เพื่อให้การทำงานระหว่างผู้ใช้งานและระบบทำได้ง่าย สะดวกขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรม

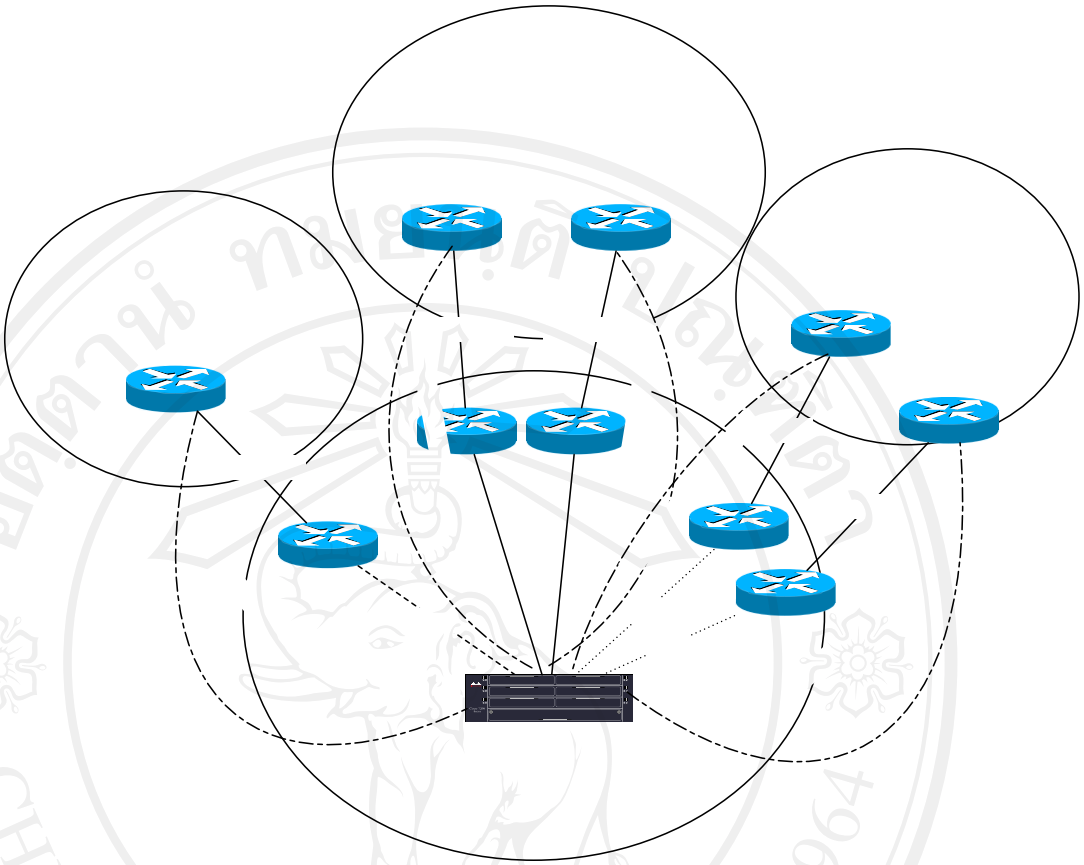
หลังจากนั้นนำไปทดสอบและใช้งานกับระบบตัวเลียนแบบ (Emulator) ตามที่ได้ออกแบบในระบบแบบจำลองการจัดเส้นทางบีจีพี

การควบคุมการจราจรที่ไหลเข้าแต่ละลิงค์โดยการต่อเติมเส้นทางเลขระบบอัตโนมัติจะเป็นดังนี้ $T1_i(R,n), i = 0,1,2,...$ โดย i คือ ลิงค์ที่ i, R คือ ปริมาณข้อมูลของกลุ่ม, n คือ จำนวนตัวเลขระบบอัตโนมัติที่เพิ่มเพื่อควบคุมการจราจรขาเข้า โดยที่ $T1_i$ มีหน่วยเป็น Mbps

การควบคุมการจราจรที่ไหลออกแต่ละลิงค์โดยการกำหนดค่าโลคอลพรีเฟอเรนซ์เป็น $T2_i(R,m), i = 0,1,2,...$ โดย i คือ ลิงค์ที่ i, R คือ ปริมาณข้อมูลของกลุ่ม m คือ ค่าโลคอลพรีเฟอ-เรนซ์ที่กำหนดเพื่อควบคุมการจราจรไหลออก โดยที่ $T2_i$ มีหน่วยเป็น Mbps

2) ออกแบบแบบจำลองการจัดเส้นทางบีจีพี (BGP Routing Modeling) เป็นการออกแบบเพื่อให้รองรับการทำงานของระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสม โดยจะพิจารณาการจราจรแบบยูนิแคสต์และแบบมัลติแคสต์ ในการออกแบบนั้นจะใช้เครื่องมือตัวเลียนแบบ Dynamips และ Dynagen เพื่อจำลองและทดสอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 1.8 แบบจำลองการจัดเส้นทางบีจีพี

ในการออกแบบแบบจำลองการจัดเส้นทางบีจีพีนั้น จะทำได้ดังในรูปที่ 1.8 จะเห็นว่า การควบคุมและจัดสรรการจราจรจะทำผ่านจุดศูนย์กลางซึ่งอาจเรียกว่า วิศวกรรมการจราจรแบบรวมศูนย์ (Centralized Traffic Engineering: Centralized TE) การที่ระบบควบคุมแบบรวมศูนย์จะสามารถควบคุมเส้นทางจราจรผ่านจุดเดียวได้นั้น ระบบจำเป็นที่จะต้องรับรู้เส้นทางจากอุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขตก่อน มีวิธีการ 2 วิธีที่ระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสมสามารถรับรู้เส้นทางจากอุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขตได้

1) อุปกรณ์จัดเส้นทางบีจีพีของ ISP สร้างอีบีจีพีมัลติฮอปเซสชัน (EBGP Multihop Session) หรือเพียริง (Peering) กับ Centralized TE โดยตรง วิธีนี้จะทำได้ง่ายและสะดวกมาก

2.) อุปกรณ์จัดเส้นทางบีจีพีของ ISP ทำการเพียริงกับอุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขตของโดเมนสตับ หรือโดเมนองค์กร แล้วให้อุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขตของโดเมนสตับหรือโดเมนองค์กรประกาศเส้นทางที่เรียนรู้จากอุปกรณ์จัดเส้นทางบีจีพีของ ISP มายัง Centralized TE และขณะเดียวกันก็เรียนรู้เส้นทางที่รับจาก Centralized TE ที่ประกาศออกมาด้วย การเพียริงระหว่าง

Provider 1
eBGP session
eBGP multihop session
Border Router

Centralized TE กับอุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขตนี้จะทำแบบถึงกันหมด (Full Mesh) หรือใช้ตัวสะท้อนเส้นทาง (Route Reflector: RR) ก็ได้

การควบคุมการไหลของการจราจรด้วยวิธีวิศวกรรมการจราจรแบบรวมศูนย์นั้น อุปกรณ์จัดเส้นทางที่ทำหน้าที่เป็น Centralized TE จะส่งการปรับสารไอบีจีพี (iBGP Update Messages) ไปยังอุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขตของโดเมนสตับ หรือโดเมนองค์กร ที่อยู่ภายในระบบอัตโนมัติเดียวกัน ในงานวิจัยนี้จะทำการจำลองทั้ง 2 รูปแบบว่า รูปแบบใดจะใช้งานกับระบบควบคุมแบบรวมศูนย์ลูกผสมนี้ได้สะดวกและมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.7 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารเกี่ยวข้อง

Chang และ Lo [3] ได้มุ่งประเด็นที่การควบคุมการจราจรขาเข้า โดยใช้วิธีการลักษณะประจำต่อเติมเส้นทางเลขระบบอัตโนมัติ โดยได้เสนอวิธีเติมอัตโนมัติ (AutoPrepend) ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ การวัดแพสซีฟ (Passive Measurement) เป็นการนับจำนวนของข้อมูลที่ไหลเข้า โดยใช้เน็ตโฟล (Netflow) โดยพิจารณาเฉพาะผู้ส่งที่ส่งกลุ่มข้อมูลมากที่สุด ส่วนที่สอง คือ การวัดแอ็กทีฟ (Active Measurement) คือ การทดสอบว่า การจราจรจะเข้ามาลิงค์ใดเมื่อมีการเติมเลขระบบอัตโนมัติ ซึ่งจะใช้วิธีทดสอบโดยการส่ง แล้วรอว่า ICMP จะตอบกลับมาในทิศทางใด ส่วนที่สาม คือ การทำนายผลการเปลี่ยนแปลงการจราจร (Traffic Change Prediction) ใช้วิธีเพิ่มค่า *n* โดย *n* คือ จำนวนตัวเลขระบบอัตโนมัติที่ทำการเพิ่ม การทำนายผลจะวิเคราะห์ผลจากการวัดแพสซีฟและการวัดแอ็กทีฟ และส่วนที่สี่ คือ การปรับปรุงเส้นทางระบบอัตโนมัติ (AS Path Update) โดยวิเคราะห์จุดที่ทำให้เกิดการจราจรหนาแน่นและใช้วิธีต่อเติมเลขระบบอัตโนมัติ เพื่อให้เติมเลขระบบอัตโนมัติเองได้ หลังนั้นการจราจรก็จะเปลี่ยนเส้นทางโดยอัตโนมัติ และยังได้ทำนายผลของการเปลี่ยนแปลงการจราจรว่า การจราจรจะไหลในทิศทางใด ในงานวิจัยไม่ได้คำนึงถึงผลที่จะตามมาจากการเปลี่ยนเส้นทาง ซึ่งอาจทำให้เกิดการทิ้งของกลุ่มข้อมูล และการใช้แบนด์วิดท์ในการส่งข้อมูลของลิงค์อาจไม่เต็มประสิทธิภาพ

Uhlig และ Bonaventure [4] ได้พิสูจน์ว่า การออกแบบเพื่อควบคุมวิศวกรรมจราจรบนพื้นฐานบีจีพีนั้นเป็นไปได้ งานวิจัยนี้ต้องการแก้ปัญหาวิศวกรรมจราจรเพื่อให้ผู้ดูแลระบบสามารถกำหนดนโยบายของการจราจรระหว่างโดเมนโดยมุ่งประเด็นไปที่การจราจรขาออกที่กระทำบนอุปกรณ์ควบคุมที่วางอยู่ในระบบอัตโนมัติ ในการควบคุมนั้น จะส่งสารสนเทศ iBGP กระจายไปทั่วในระบบอัตโนมัติ

งานวิจัยนี้เป็นรูปแบบและเครื่องมือที่ดีมากเพราะจะช่วยให้การควบคุมการจราจรทำได้ง่ายไม่ซับซ้อนลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ แต่งานวิจัยนี้สามารถใช้ได้เฉพาะโดเมนสตับ และเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การควบคุมการจราจรยูนิแคสต์รขาออกเท่านั้น จึงน่าจะเพิ่มเป็นการควบคุมการจราจรขาเข้าด้วย และสามารถที่จะใช้กับโดเมนส่งผ่าน(Transit Domain) เช่น ISP ได้ด้วย

Quoitin และคณะ [5] ได้จำลองและประเมินการควบคุมการจราจรขาเข้า ซึ่งการควบคุมการจราจรขาเข้าจะทำได้ยากมากเนื่องจากขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน โดยทั่วไปการควบคุมการจราจรขาเข้านั้น จะใช้วิธีลักษณะประจำต่อเติมเส้นทางเลขระบบอัตโนมัติและลักษณะประจำคอมมิวนิตี ในงานวิจัยนี้ได้ประเมินว่า การทำให้ได้ดุลภาระของการจราจรไหลเข้า โดยใช้วิธีลักษณะประจำต่อเติมเส้นทางเลขระบบอัตโนมัติทำได้ยากมาก ส่วนการเชื่อมต่อนั้น จะเป็นการเชื่อมต่อแบบโดเมนสตับกับ ISP หลายๆ อัน การจำลองระบบเป็นการจำลองระบบขนาดใหญ่เพื่อประเมินกระบวนการตัดสินบีจีพีและวิธีลักษณะประจำต่อเติมเส้นทางเลขระบบอัตโนมัติ พบว่า 30-50% ของการเลือกเส้นทางจะใช้กฎไทเบรก (Tie Break Rules)

การควบคุมการจราจรขาเข้าด้วยวิธีลักษณะประจำต่อเติมเส้นทางเลขระบบอัตโนมัติและลักษณะประจำคอมมิวนิตีนั้น ปัจจุบันเป็นวิธีที่อุปกรณ์จัดเส้นทางทุกตัวมีความสามารถนี้ ดังนั้นจึงน่าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด การควบคุมการจราจรขาเข้านั้น ผู้ดูแลระบบอาจไม่ได้ต้องการให้การจราจรขาเข้าเกิดดุลภาระเสมอไป เพราะการทำให้เกิดดุลภาระอาจจะไม่ใช่วิธีที่ดีเสมอไป เนื่องด้วยปัจจัยหลายอย่าง ผู้ดูแลระบบจะทราบดีว่าจะจัดการควบคุมการจราจรได้เช่นใด

Quoitin [6] ในงานวิจัยนี้ได้สร้างเครื่องมือสำหรับจำลองเครือข่ายบีจีพีขนาดใหญ่ที่ชื่อว่า C-BGP ซึ่งวัตถุประสงค์ในการสร้าง C-BGP นี้มี 2 ประการ คือ ให้ผู้ดูแลระบบของ ISP เข้าใจในเรื่องการจัดเส้นทางของตนเองได้ดีขึ้น และสามารถที่จะนำไปใช้ในงานวิจัยในการจัดเส้นทางอินเทอร์เน็ตขนาดใหญ่ได้

ในงานวิจัยนี้ยังได้ประเมินประสิทธิภาพในการควบคุมวิศวกรรมจราจรขาเข้าโดยวิธีลักษณะประจำต่อเติมเส้นทางเลขระบบอัตโนมัติ และวิธีลักษณะประจำคอมมิวนิตีซึ่งได้สรุปว่าเป็นเรื่องยากที่จะควบคุมให้การจราจรเกิดดุลภาระ จึงได้เสนอวิธีการทำเพียริงเสมือน (Virtual Peerings) ผลที่ได้ คือ สามารถที่จะทำให้การจราจรขาเข้าเกิดดุลภาระได้ โดยคำนึงปัจจัย แบนด์-วิดท์ การหน่วง และการสูญเสียกลุ่มข้อมูลมาพิจารณาด้วย

ในงานวิจัยนี้ C-BGP เป็นเครื่องมือจำลองบีจีพีโมเดลที่ดีมาก สะดวก และมีประสิทธิภาพสามารถที่จะแก้ไขโปรแกรมให้เป็นไปตามความต้องการของงานวิจัยได้ แต่ใช้ได้เฉพาะกับการจราจรยูนิแคสต์ไม่สามารถใช้กับการจราจรมัลติแคสต์ได้

Van der Merwe และคณะ [7] ได้เสนอระบบที่สามารถควบคุมวิเคราะห์การจราจรและการจัดเส้นทาง โดยสามารถที่จะควบคุมให้การจราจรไปที่ใดและทำอย่างไร การทำงานจะเป็นการส่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารสนเทศ iBGP ไปยังอุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขต เป็นการควบคุมภายในระบบเครือข่ายโดเมนส่งผ่านของ ISP แต่ไม่ใช่เป็นการควบคุมการจราจรระหว่างโดเมน

จากงานวิจัยนี้การควบคุมผ่านจุดเดียวทำให้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว โดยวัตถุประสงค์หลักของการควบคุม คือ เพื่อควบคุมการโจมตีของดีดอส (DDoS Attacks) การควบคุมทางออกของ VPN เมื่อต้องการปรับปรุงอุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขตก็สามารถที่จะควบคุมการจราจรไม่ให้ผ่านอุปกรณ์จัดเส้นทางที่จะทำการปรับปรุงนั้นได้ และควบคุมให้เกิดดุลภาระการจราจรภายในโดเมนส่งผ่านที่จะออกไปยัง ISP อื่นได้

Feamster และคณะ [8] มุ่งประเด็นไปที่การควบคุมการจราจรขาออกด้วยวิธีลักษณะประจำโลคอลพรีเฟอเรนซ์ โดยได้สร้างระบบทำนายพรีฟิกเส้นทาง (Route Prefix) ว่า เส้นทางพรี-ฟิกใดเป็นต้นเหตุทำให้เกิดการจราจรหนาแน่น ระบบยังสามารถทำนายผลกระทบกับการไหลของการจราจรหากมีการนำนโยบายเส้นทาง (Route Policies) มาใช้งานกับอุปกรณ์จัดเส้นทางขอบเขต ณ จุดที่ทำให้เกิดการจราจรหนาแน่นว่า จะได้ผลตามต้องการหรือไม่และมีผลกระทบอื่นอะไรบ้าง งานวิจัยนี้มุ่งประเด็นไปที่การควบคุมการจราจรยูนิแคสต์ขาออกและไม่ใช่เป็นการควบคุมแบบรวมศูนย์อาจทำให้การจัดการผิดพลาดได้

Pelsser และคณะ [9] ได้กล่าวถึงเทคนิคต่างๆ ของ BGP เพื่อใช้ในการควบคุมการจราจรระหว่างโดเมน และได้กล่าวถึงคุณสมบัติของการจราจรระหว่างโดเมน ในงานวิจัยได้เปรียบเทียบการควบคุมการจราจรขาออกว่าสามารถทำได้เที่ยงตรงกว่าการจราจรขาเข้า เนื่องจากการควบคุมการจราจรขาเข้าโดยใช้วิธีลักษณะประจำต่อเติมเส้นทางเลขระบบอัตโนมัตินั้น เป็นไปได้ยากที่จะเลือกจำนวนตัวเลขระบบอัตโนมัติที่จะมาเติมเพื่อให้การควบคุมการจราจรเป็นไปตามความต้องการ

Xiao-yong และ Xiao-lin [10] ได้กล่าวถึงการหาวิธีการรวมข้อดีของมัลติแคสต์และ MPLS เพื่อใช้ความสามารถของมัลติแคสต์ที่ทำให้ประหยัดการจราจร และ MPLS ที่สามารถบริหารจัดการวิศวกรรมจราจรในโดเมนที่สามารถทำ QOS และ VPN ได้ โดยได้หาวิธีการให้มัลติแคสต์ทำงานบน MPLS ได้เสนอขั้นตอนวิธีมัลติแคสต์เอ็มพีแอลเอสที่ปรับเปลี่ยน (Scalable MPLS Multicast Algorithm) โดยใช้เทคโนโลยีทันแนลลิง (Tunneling Technology) และเทคโนโลยีสถานีเชื่อมโยงสาขา (Branching Nodes Technology) ซึ่งสามารถที่จะรวมซอร์สทรี (Source Tree) และแชร์ทรี (Share Tree) ของมัลติแคสต์กับ MPLS ได้ การทำงานของ MPLS ใช้วิธีการทำสัญลักษณ์กับกลุ่มข้อมูลและกำหนดเส้นทางที่ชัดเจนกับกลุ่มข้อมูลนั้น โดยเมื่อกลุ่มข้อมูลมาถึงอุปกรณ์จัดเส้นทางที่สามารถทำงาน MPLS จะพิจารณาจากสัญลักษณ์เพื่อหาทิศทางที่จะส่งกลุ่มข้อมูล โดยไม่ได้พิจารณาจากตารางการจัดเส้นทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Long และคณะ [11] ได้เสนอขั้นตอนวิธี 3 ขั้นตอน เพื่อใช้ในการควบคุมวิศวกรรมจราจรให้เกิดดุลภาระโดยใช้ MPLS ขั้นตอนวิธีแรก คือ ขั้นตอนวิธีการได้ดุลภาระสถิตบนพื้นฐานโทโพโลยี (Topology-Based Static Load Balance Algorithm: TLSB) ขั้นตอนวิธีนี้จะพิจารณาจากระยะทางและปริมาณความจุที่เหลืออยู่เป็นหลัก ขั้นตอนวิธีที่สอง คือ ขั้นตอนวิธีการได้ดุลภาระสถิตบนพื้นฐานทรัพยากร (Resource-Based Static Load Balance Algorithm: RSLB) ขั้นตอนวิธีนี้จะพิจารณาจากปริมาณความจุที่เหลืออยู่เป็นหลัก ขั้นตอนวิธีที่สาม คือ ขั้นตอนวิธีดุลภาระพลวัต (Dynamic Load Balance Algorithm: DLB) ขั้นตอนวิธีนี้จะพิจารณาจากข้อบกพร่องของ 2 ขั้นตอนวิธีแรก โดยมันสามารถที่จะทำการเลือกเส้นทางใหม่เองได้ ในงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้ง 3 ขั้นตอนวิธี โดยใช้ตัวเลียนแบบเอนเอส2 (NS-2 simulator) ผลที่ได้คือทั้ง 3 ขั้นตอนวิธีจะทำงานดีกว่ากับการทำงานดั้งเดิมที่เป็นขั้นตอนวิธีเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest Path Algorithm) และพบว่า การทำงานของ RSLB และ DLB จะทำงานมีประสิทธิภาพมากว่า TSLB

Dasgupta และคณะ [12] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการควบคุมวิศวกรรมจราจรโดยใช้วิธีไอพีและเทคนิค MPLS ภายใต้การจราจรที่ผันผวน โดยมีปัจจัย 2 อย่างที่ก่อให้เกิดการผันผวนของการจราจร คือ สภาวะคงตัว (Steady State) และการขัดข้องของลิงค์ (Link Failures) การขัดข้องของลิงค์ทำให้ปริมาณการจราจรที่มีมากๆ ต้องมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางและก่อให้เกิดการหนาแน่นของการจราจร โดยในงานวิจัยพบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าตัววัดของลิงค์มีผลกระทบโดยตรงต่อการควบคุมวิศวกรรมจราจรโดยใช้วิธีไอพี แต่ตรงข้ามกันกับวิธี MPLS

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved