

การบริหารจัดการแบนด์วิดท์สำหรับ เครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น *

อนัตต์ เจ่าสกุล ¹⁾

¹⁾รองผู้อำนวยการฝ่ายวิชาการ ศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Email: arnut@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การแก้ปัญหาความไม่พอเพียงของแบนด์วิดท์จากการใช้งานที่ไม่เหมาะสม ทำให้หลายวิธีด้วยกัน
เช่น

1. การเพิ่มแบนด์วิดท์
2. การออกนโยบายการใช้งานเครือข่าย
3. การติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์

ในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ของเครือข่ายเพื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้ใช้วิธีการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ทั้ง 3 วิธี โดยเริ่มต้นด้วยการใช้นโยบายก่อน เนื่องจากการลงทุนที่ต่ำที่สุด จากนั้นตามด้วยการเพิ่มแบนด์วิดท์ และจบลงด้วยการใช้เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ หลังจากที่มีการใช้งานเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ พบว่าแอปพลิเคชันที่มีความสำคัญในระดับสูง ได้รับการประกันคุณภาพการให้บริการที่ดีขึ้น ไม่ถูกเบียดบังด้วยแอปพลิเคชันที่มีลำดับความสำคัญน้อยกว่า

คำสำคัญ: การบริหารจัดการแบนด์วิดท์

* รั้งต้นฉบับเมื่อวันที่ 11 มกราคม 2548

Bandwidth Management System for Academic Network at Khon Kaen University *

Arnut Chaosakul ¹⁾

¹⁾ Academic Deputy Director, Computer Centre, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

Email: arnut@kku.ac.th

Abstract

There are many ways to resolve bandwidth insufficiency from unsanctioned application. Those methods are as follow:

1. Increase bandwidth in both LAN side and WAN side.
2. Set up network policy for utilizing bandwidth according to an application behavior.
3. Install bandwidth management system for controlling bandwidth according to applications that are prioritized.

Khon Kaen University (KKU) has implemented those three methods for bandwidth management, starting from method 2, method 1 and then method 3 respectively. By using network policy, this method is easy to implement and cost effective. After KKU has installed bandwidth management system, we found that a critical mission application has got a service guarantee by this system, not to be disturbed by low priority application.

Keywords: Bandwidth management

* Original manuscript submitted: January 11, 2005

บทนำ

การใช้งานเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในมหาวิทยาลัยขอนแก่นในปัจจุบัน ประกอบด้วยผู้ใช้งานเครือข่ายหลายประเภท อาทิเช่น นักศึกษา อาจารย์และข้าราชการสายสนับสนุน เป็นต้น ลักษณะการใช้งานของผู้ใช้งานเครือข่ายแต่ละประเภท ก็มีลักษณะการใช้งานไม่เหมือนกัน นักศึกษามักใช้โปรแกรมประยุกต์ที่มีการใช้ความกว้างของช่องสัญญาณสูง (ต่อไปนี้จะใช้คำว่า แบนด์วิดท์แทน) ที่ก่อให้เกิดการใช้ภาระเกิน (Overload) ต่อเครือข่าย เช่น การดาวน์โหลดไฟล์เสียง การเล่นเกมออนไลน์ เป็นต้น เป็นผลให้เหลือแบนด์วิดท์ที่นำมาใช้เพื่อการเรียนการสอนและการบริหารการศึกษา ซึ่งเป็นงานที่มีความสำคัญยิ่งยวด (Mission-critical Application) น้อยลง ทำให้เวลาในการตอบสนองต่อการทำงานประเภทนี้มากขึ้น ก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานลดลง

การแก้ปัญหาความไม่พอเพียงของแบนด์วิดท์จากการใช้งานที่ไม่เหมาะสม ทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น

1. การเพิ่มแบนด์วิดท์ โดยการเพิ่มแบนด์วิดท์ทั้งข่ายงานเฉพาะถิ่นและข่ายงานบริเวณกว้าง
2. การออกนโยบายการใช้งานเครือข่าย โดยการกำหนดนโยบายที่เข้มงวดขึ้น
3. การติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์

ในบทความฉบับนี้ จะอธิบายถึงวิธีการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ของเครือข่ายเพื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ด้วยวิธีการทั้ง 3 วิธีที่กล่าวข้างต้น

ทางเลือกที่ 1 การเพิ่มแบนด์วิดท์

ทางเลือกนี้คือการเพิ่มขนาดของแบนด์วิดท์ให้สูงขึ้น สามารถทำได้ในระดับข่ายงานเฉพาะถิ่น (Lan) และข่ายงานบริเวณกว้าง การเพิ่มขนาดแบนด์วิดท์สามารถลดความล่าช้าจากการรอคอยของแพ็คเกจที่อยู่ในคิว เทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นในปัจจุบัน เช่น กิกะบิตอีเทอร์เน็ต หรือ 10 กิกะบิตอีเทอร์เน็ต ตัวอย่างหนึ่งของเทคโนโลยีที่ใช้ในการเพิ่มแบนด์วิดท์ของข่ายงานเฉพาะถิ่นของมหาวิทยาลัยขอนแก่น คือการปรับปรุงเป็นกิกะบิตอีเทอร์เน็ตในส่วนของคอร์แบคโบน ส่วนเครือข่ายระดับรองลงมาตามสถาบัน ศูนย์ สำนัก และคณะ ยังคงใช้เป็นฟาสอีเทอร์เน็ตเช่นเดิม

การเพิ่มขนาดแบนด์วิดท์ส่วนใหญ่จะดำเนินการในข่ายงานเฉพาะถิ่น (Lan) เป็นด้านหลัก เนื่องจากมีความคุ้มค่า ต่อการลงทุน โดยทำการปรับปรุงระบบใยแก้วนำแสง อุปกรณ์ตัดต่อ (Switch) ให้รองรับกับเทคโนโลยีดังกล่าว แต่การเพิ่มแบนด์วิดท์ในระดับข่ายงานบริเวณกว้าง พบว่าไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากมหาวิทยาลัยต้องทำการซื้อช่องสัญญาณจากหน่วยงานต่างๆ เช่น บจก. ทศท คอร์ปอเรชั่น หรือ หน่วยในการให้บริการอินเทอร์เน็ต เป็นต้น ปัจจุบันมหาวิทยาลัยได้ซื้อช่องสัญญาณขนาด 1 Mbps. จากบริษัท ซีเอส ล็อกอินโฟ จำกัด ในราคา 100,000 บาทต่อเดือน เพื่อนำช่องสัญญาณช่องนี้ มาเป็นช่องสัญญาณสำรอง กรณีที่ช่องสัญญาณหลักของเครือข่ายมหาวิทยาลัย (Uninet) เกิดความเสียหายหลังจากการเพิ่มแบนด์วิดท์ ในส่วนของข่ายงานบริเวณกว้าง(ดูแผนภาพเครือข่ายมหาวิทยาลัยขอนแก่น ประกอบ) พบว่า ความคับคั่งของการใช้งานเครือข่ายก็เกิดขึ้นเช่นเดิม เนื่องจากขนาดแบนด์วิดท์ของ

ข่างานเฉพาะถิ่น และขนาด แบนด์วิดท์ของข่างานบริเวณกว้างมีความแตกต่างกันมาก ในที่สุดก็ต้องเกิดภาวะรอยต่อที่อุปกรณ์เราเตอร์อยู่ดี เนื่องจาก พฤติกรรมการใช้งานเครือข่ายของผู้ใช้ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเพราะผู้ใช้ไม่เห็นความสำคัญของแบนด์วิดท์ เนื่องจากเห็นว่าเป็นทรัพยากรที่จับต้องไม่ได้ (Intangible Resource) เหมือนเช่นน้ำหรือไฟฟ้า จึงไม่ประหยัด ดังนั้นมาตรการเกี่ยวกับนโยบายการใช้งานเครือข่ายจึงเป็นเรื่องจำเป็น

ทางเลือกที่ 2 การออกนโยบายการใช้งานเครือข่ายที่เข้มงวด

ทางเลือกนี้เป็นทางเลือกที่ลงทุนต่ำที่สุด เพียงแต่กำหนดนโยบายที่เหมาะสม ให้สมดุลระหว่างความสะดวกของผู้ใช้กับประสิทธิภาพในการใช้งานเครือข่าย ขอยกกรณีศึกษาของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เดิมทางมหาวิทยาลัยให้อิสระกับสมาชิกในการตั้งเครื่องแม่ข่ายในการให้บริการต่างๆ เช่น เครื่องแม่ข่ายในการให้บริการทางเว็บ เป็นต้น แต่เครื่องแม่ข่ายเหล่านั้นขาดผู้ดูแลระบบที่ดี ได้ทำการปล่อยไว้อิสระปล่อยเครือข่าย ทำให้เครือข่ายมีภาระเกินเป็นจำนวนมาก ไม่สามารถให้บริการบริการอื่นที่จำเป็นได้ มหาวิทยาลัยจึงต้องกำหนดนโยบายในการใช้งานเครือข่ายเพิ่มขึ้น โดยเครื่องแม่ข่ายที่ต้องการให้บริการสาธารณะต่อผู้ใช้งานอื่น ต้องทำการลงทะเบียนและแจ้งชื่อผู้ดูแลระบบต่อศูนย์คอมพิวเตอร์ ทั้งนี้เพื่อสามารถติดต่อได้ทันทั่วทั้งที่ กรณีเกิดวิกฤติขึ้นมา

การกำหนดนโยบายการใช้งานเครือข่ายที่เหมาะสมเป็นเรื่องยาก เพราะเป็นเรื่องที่อยู่คนละด้านระหว่างสมาชิกผู้ใช้งานเครือข่ายกับผู้ดูแลระบบเครือข่ายของมหาวิทยาลัย กล่าวคือนโยบายการใช้งานเครือข่ายที่เข้มงวดย่อมขาดความสะดวกและความยืดหยุ่นในการใช้งาน ดังนั้นเพื่อให้นโยบายที่กำหนดขึ้นมามีผลบังคับใช้ จึงควรมีการระดมความคิดจากหลายฝ่าย กำหนดนโยบายร่วมกัน เพื่อกำหนดนโยบายที่ทุกคนยอมรับ หากมีข้อขัดแย้งที่ไม่สามารถยุติได้ อาจต้องอาศัยการตัดสินใจจากผู้บริหารระดับสูงของมหาวิทยาลัย

ตัวอย่างนโยบายที่ลดการใช้งานแบนด์วิดท์

การกระตุ้นให้ผู้ใช้งานเครือข่ายตระหนักว่าแบนด์วิดท์เป็นทรัพยากรที่มีค่า เป็นเรื่องที่ต้องตระหนักทำอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ผู้ใช้งานเครือข่ายเห็นคุณค่าของแบนด์วิดท์ มาตรการต่างๆ อาจออกมาเป็นระยะๆ ตามความจำเป็น มาตรการที่อาจออกตามมาเพื่อลดการใช้งานแบนด์วิดท์ในระดับข่างานบริเวณกว้าง เช่น

1. การรณรงค์ให้ผู้ใช้งานเครือข่ายใช้บัญชีผู้ใช้งานอีเมลที่ทางมหาวิทยาลัยจัดให้ การที่ผู้ใช้งานเครือข่ายใช้บัญชีผู้ใช้งานอีเมลจากภายนอก เช่น hotmail ทำให้ผู้ใช้นั้น ต้องทำการต่อเชื่อมเครื่องลูกข่ายของตนไปยังเครื่องแม่ข่ายในการให้บริการอีเมลซึ่งอยู่นอกข่างานเฉพาะถิ่น เป็นผลให้มีการใช้งานแบนด์วิดท์ของข่างานบริเวณกว้างเป็นจำนวนมาก ทำให้เหลือแบนด์วิดท์เพื่อการอื่นน้อยลง

2. การกำหนดเวลาในการถ่ายโอนไฟล์ที่มีขนาดใหญ่ผ่านทางเครือข่าย การถ่ายโอนไฟล์ในช่วงเวลาที่มีการใช้งานเครือข่ายในปริมาณสูง เช่น ระหว่างเวลา 8.30-10.00 น. เป็นต้น การโอนไฟล์ที่มีขนาดใหญ่ในช่วงเวลาดังกล่าวไม่ควรทำหรือหากทำได้ควรสามารถควบคุมปริมาณการถ่ายโอนได้ เนื่องจากในช่วงเวลา

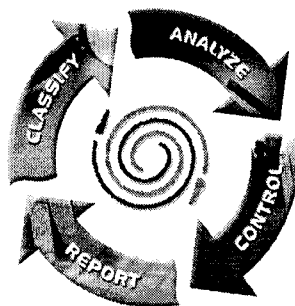
ในช่วงเวลาดังกล่าวไม่ควรทำหรือหากทำได้ควรสามารถควบคุมปริมาณการถ่ายโอนได้ เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีความคับคั่งของข้อมูลอยู่แล้ว การถ่ายโอนจะเป็นการเพิ่มภาระให้เครือข่าย การถ่ายโอนควรทำนอกเวลา เพื่อลดปริมาณการใช้งานแบนด์วิดท์ให้น้อยลง เพื่อให้เหลือแบนด์วิดท์สำหรับแอปพลิเคชันอื่นได้ใช้งานมากขึ้น

3. การใช้พร็อกซีเซิร์ฟเวอร์ ในการเก็บวัตถุ (Object) ที่จะมีการใช้งานภายหลังโดยเครื่องลูกข่ายจำนวนมากในมหาวิทยาลัย วิธีการนี้สามารถลดการใช้งานแบนด์วิดท์ของข่ายงานบริเวณกว้างลงไปได้ในระดับหนึ่งหากเครื่องลูกข่ายต่างๆ มีความต้องการใช้งานวัตถุแบบเดียวกัน เนื่องจากเครื่องลูกข่ายไม่จำเป็นต้องทำการเชื่อมโยงตัวเองเข้ากับเครื่องแม่ข่ายที่อยู่ระยะไกลทุกครั้งที่มีความต้องการการใช้งานเครื่องพร็อกซีเซิร์ฟเวอร์ที่เก็บวัตถุที่เครื่องลูกข่ายต้องการใช้จะเป็นผู้ให้บริการวัตถุที่ต้องการนั้นแทน กรณีที่วัตถุที่เครื่องลูกข่ายต้องการใช้งานไม่อยู่ในพร็อกซีเซิร์ฟเวอร์ เครื่องลูกข่ายยังคงจำเป็นต้องเชื่อมโยงตัวเองเข้ากับเครื่องแม่ข่ายที่มีวัตถุนั้นๆ กรณีนี้จึงไม่สามารถลดการใช้งานแบนด์วิดท์ของข่ายงานบริเวณกว้างลงไปได้

อย่างไรก็ตาม การออกนโยบายต่างๆ ไม่สามารถกำหนดอย่างเข้มงวดได้ เนื่องจากเครือข่ายต้องเปิดให้บริการบริการนั้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ยกตัวอย่างเช่น บริการทางเว็บโดยผ่านทางพอร์ต 80 เป็นบริการที่ต้องเปิด และแอปพลิเคชันอื่นๆ ก็ใช้พอร์ตนี้เช่นกันในการติดต่อสื่อสาร ดังนั้นพอร์ตนี้ย่อมไม่สามารถปิดได้ มิฉะนั้นก็จะไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้เลย

การแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น สามารถทำได้โดยการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ ที่มีคุณสมบัติในการแบ่งแยกแพคเกจที่วิ่งอยู่บนเครือข่าย โดยไม่ใช่เกณฑ์ของพอร์ตอย่างเดียว แต่อาจใช้เกณฑ์ที่หลากหลายมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้แอปพลิเคชันที่มีความสำคัญอย่างยิ่งยวดได้ใช้แบนด์วิดท์ของเครือข่ายก่อนแอปพลิเคชันที่มีความสำคัญระดับรอง

ทางเลือกที่ 3 การติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์



รูปที่ 1 ขั้นตอนในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ [Packeteer Inc.]

มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ดำเนินการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของแพคเกจเียร์ ที่มีคุณสมบัติที่ประกอบด้วยขั้นตอน 4 ขั้นตอนในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์

การจำแนกและจัดกลุ่มประเภทของแอปพลิเคชัน

คุณสมบัติในการจำแนกและจัดกลุ่มประเภทของแอปพลิเคชัน สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น จำแนกตามชนิดของแอปพลิเคชัน, ตามโปรโตคอล, ตามหมายเลขพอร์ต, ตามยูอาร์แอล ตามต้นทางหรือปลายทางของข้อมูล (Inbound /Outbound), ตามแทกของ MPLS เป็นต้น นอกจากนี้แพ็คเกจเก็ทยังมีความสามารถในการค้นพบแอปพลิเคชันที่สามารถเปลี่ยนแปลงหมายเลขพอร์ตได้เอง (Dynamic Port Assignment) สามารถติดตามแอปพลิเคชันที่ปรับเปลี่ยนหมายเลขพอร์ต โดยดูจากข้อมูลที่ส่งเข้ามาและสามารถแยกความแตกต่างของแอปพลิเคชันมากกว่าหนึ่งแอปพลิเคชันที่ใช้หมายเลขพอร์ตเดียวกันได้

การวิเคราะห์

คุณสมบัติในการวิเคราะห์เชิงเวลาจริงและบริหารจัดการแบนด์วิดท์ คุณสมบัตินี้แพ็คเกจเก็ทยังจะทำการรวบรวมแพ็คเกจที่วิ่งอยู่บนเครือข่าย และทำการวิเคราะห์แพ็คเกจตามตัวแปรต่างๆ ได้มากกว่า 30 ตัวแปร เช่น เวลาในการตอบสนอง ซึ่งสามารถแยกเป็นการหน่วงเวลาของเครือข่าย (Network Delay) และการหน่วงเวลาของเครื่องแม่ข่าย (Server Delay), การแสดงรายชื่อของเครื่องแม่ข่ายและเครื่องลูกข่ายที่ตอบสนองช้าที่สุด, การแสดงบัญชีผู้ใช้งานที่เป็นผู้ส่งหรือผู้รับข้อมูลที่ทำให้เกิดปริมาณข้อมูลบนเครือข่ายปริมาณมากที่สุดในแต่ละประเภทข้อมูลที่สนใจ, การแสดงเปอร์เซ็นต์ของแบนด์วิดท์ที่สิ้นเปลืองในการส่งข้อมูลซ้ำ (Retransmission) ตัวแปรที่สำคัญเหล่านี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้ดูแลระบบเครือข่าย ในการนำไปใช้ในการกำหนดนโยบายในการใช้งานเครือข่ายและบริหารจัดการแบนด์วิดท์ต่อไป

การกำกับขนาดและจัดรูปแบบการจราจร

คุณสมบัติในการกำหนดเพดานขั้นต่ำในการจัดสรรแบนด์วิดท์ให้แก่แต่ละแอปพลิเคชัน (Per-App Minimum) คุณสมบัตินี้ใช้ในการป้องกันการจราจรภายในคลัสเตอร์หนึ่งๆ โดยการทำการสำรองขนาดของท่อส่งข้อมูลเสมือน (Virtual Link) ขั้นต่ำ และทำการเลือกที่จะทำให้การส่งข้อมูลได้เกินขนาดที่สำรองไว้หรือไม่ ตัวอย่างเช่น การจองท่อส่งข้อมูลเสมือนขั้นต่ำให้กับ MS Exchange ไว้ที่ 20% ของแบนด์วิดท์ของข่ายงานบริเวณกว้าง และอนุญาตให้ MS Exchange ใช้แบนด์วิดท์เกินค่าที่กำหนด แต่ไม่เกิน 60% ของข่ายงานบริเวณกว้าง กรณีที่แบนด์วิดท์นั้นว่าง ไม่ถูกใช้งาน

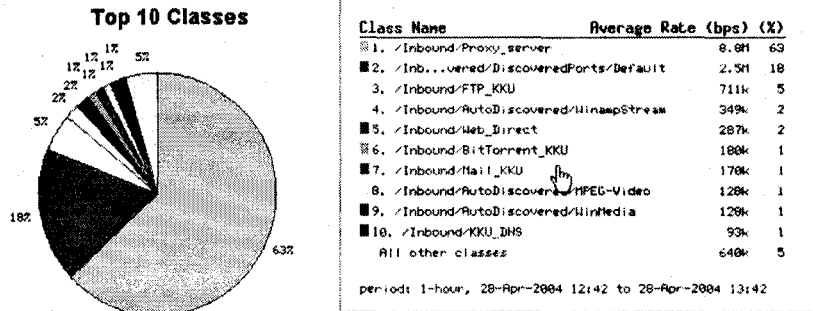
คุณสมบัติการควบคุมอัตราการไหลของทราฟฟิก คุณสมบัตินี้จะบังคับให้ปรับอัตราการส่งข้อมูลให้เรียบและสม่ำเสมอ ถึงแม้ว่าจะทำการส่งข้อมูลได้สูงก็ตาม เป็นผลให้การส่งซ้ำเกิดขึ้นน้อยลง ทำให้ทรูพุตโดยรวมสูงขึ้น

การจัดทำรายงาน

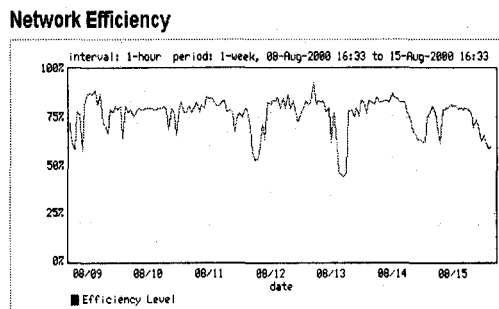
คุณสมบัติการรายงาน 10 อันดับสูงสุด คุณสมบัตินี้สามารถรายงานว่าแอปพลิเคชันประเภทใดสร้างภาระให้แก่เครือข่ายมากที่สุด 10 อันดับแรก ช่วยให้ผู้ใช้ดูแลระบบเครือข่ายค้นพบปัญหาและแก้ปัญหาได้

เร็ว ลดเวลาในการเรียนรู้ สามารถให้ข้อมูลยืนยันว่าแบนด์วิดท์ถูกใช้ในงานใดบ้าง เช่น การใช้งานเว็บ, การดาวน์โหลดเพลง หรืออื่นๆ เป็นต้น

รูปแบบของรายงาน มีหลากหลายรูปแบบตามมิติที่ผู้ดูแลระบบเครือข่ายต้องการ ทำให้ผู้ดูแลระบบเครือข่ายสามารถนำมาใช้ในการบริหารจัดการเครือข่ายได้ ตัวอย่างของรายงานที่น่าสนใจ เป็นดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3

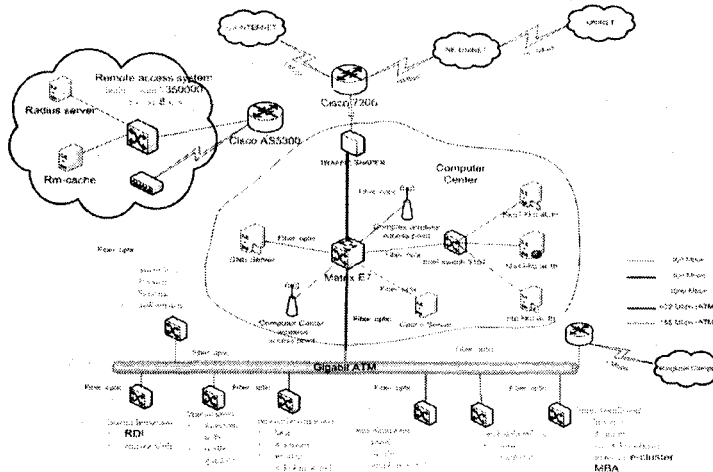


รูปที่ 2 แสดง 10 อันดับสูงสุดของคลาส



รูปที่ 3 แสดงสมรรถนะของเครือข่าย

แผนภาพเครือข่ายแสดงการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการบริหาร
จัดการแบนด์วิธ



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิธ

มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้ทำการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของแพคเกจเตอร์ โดยทำการติดตั้งไว้หลังเราเตอร์ (Router) จากนั้นทำการกำกับขนาดและจัดการแบนด์วิดท์ของแพคเกจทั้งการจราจรขาเข้าและการจราจรขาออก ให้สอดคล้องตามนโยบายที่กำหนดขึ้น ซึ่งต่างจากเราเตอร์ที่สามารถจัดการแพคเกจได้เพียงขาออกเท่านั้น

การควบคุมอัตราการไหลของทีซีพี (TCP Rate Control)

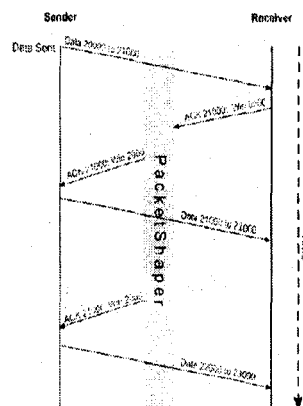
การควบคุมอัตราการไหลของทีซีพีเป็นกลไกในการหลีกเลี่ยงความคับคั่งของข้อมูลในการส่งต่อประเภทหนึ่ง โดยกลไกดังกล่าวสามารถป้องกันการเกิดความคับคั่ง ได้ทั้งการจราจรขาเข้า (Inbound) และการจราจรขาออก (Outbound) หลักการทำงานทำโดยการบอกให้เครื่องผู้รับชะลอการทำงาน บังคับให้ปรับอัตราการส่งข้อมูลให้เรียบและสม่ำเสมอ โดยการวัดค่าความหน่วงเวลาของเครือข่าย ทำนายเวลาที่แพ็คเกจจะมาถึง ปรับปริมาณการส่งโดยการปรับขนาดของหน้าต่าง เป็นผลให้การส่งสามารถจัดส่งข้อมูลได้แบบทันเวลา (Just-in-time Delivery) ลดการทิ้งแพ็คเกจที่รอคอยอยู่ในคิว ทำให้ทรัพยากรของระบบโดยรวมสูงขึ้น การทำงานของเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ จะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวกลางในการดักจับแพ็คเกจระหว่างผู้ส่งและผู้รับ และทำการควบคุมอัตราการไหลของข้อมูล โดยการทำการเปลี่ยนแปลงเฮดเดอร์

วิธีการควบคุมการไหลของทีซีพี มีขั้นตอนในการทำงานดังนี้

1. การวัดอัตราเร็วในการไหลของข้อมูลเชิงเวลาจริง ว่าใช้เวลาเท่าไรข้อมูลจึงจะไปถึงปลายทาง (การวัดค่าหนึ่งเวลา จะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป)
2. ทำนายเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถให้บริการที่สอดคล้องตามนโยบาย ลดการเกิดการหน่วงเวลาที่มากในเครือข่าย หลีกเลี่ยงการเกิดไทม์เอ้าท์ และนำค่าเหล่านี้ไปคำนวณ เพื่อกำหนดอัตราการส่งข้อมูลต่อไป
3. กำหนดอัตราการส่งข้อมูล โดยการปรับขนาดของหน้าต่าง
4. กำหนดเวลาในการส่ง ACK ของผู้ส่ง เพื่อให้ผู้ส่งส่งข้อมูลในเวลาที่เหมาะสม เป็นผลให้จัดส่งข้อมูลได้แบบทันเวลา

รูปที่ 5 เป็นรูปที่แสดงถึงการที่เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ ทำหน้าที่เป็นคนกลางในการควบคุมการไหลของข้อมูล จากรูป

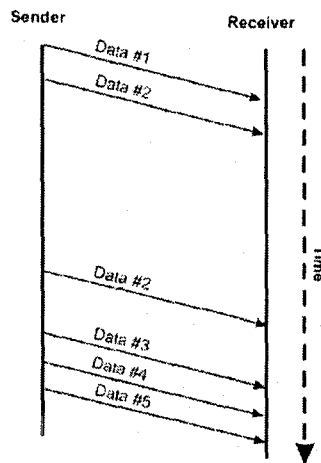
- ผู้ส่งส่งดาตาเซกเมนต์ไปยังผู้รับ
- ผู้รับได้รับข้อมูลครบ และตอบกลับด้วยเลข ACK 21000 เพื่อให้ผู้ส่งส่งเซกเมนต์ลำดับถัดไปมาให้ผู้รับ พร้อมทั้งประกาศขนาดของหน้าต่างเป็น 8000 ไบต์
- เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ ทำการดักค่าขนาดหน้าต่าง Win และกำหนดค่า Win ใหม่ ให้มีขนาดน้อยลง เพื่อให้การไหลมีความราบเรียบและสม่ำเสมอ ลดภาวะการรอคอยในคิว
- เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ ส่งค่าขนาดหน้าต่าง Win ใหม่ ไปยังผู้ส่ง ทำให้ผู้ส่งสามารถส่งข้อมูล ถัดไปได้ แต่ส่งในปริมาณที่น้อยลง ตามค่าของขนาดหน้าต่างใหม่ที่เปลี่ยนแปลงโดยเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์



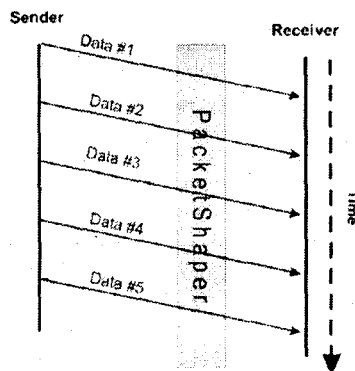
รูปที่ 5 เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ ทำหน้าที่เป็นคนกลางในการควบคุมการไหลข้อมูล
[Packeteer Inc.]

รูปที่ 6 เป็นรูปที่แสดงถึงข้อแตกต่างทางด้านเวลาที่มีการใช้เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ และไม่ได้ใช้ จากรูปที่ 6 เป็นตัวอย่างการใช้งานแบนด์วิดท์ในปริมาณที่มากและฉับพลัน เช่นการถ่ายโอนไฟล์ขนาดใหญ่ พบว่าทางด้านล่างของรูปมีการส่งเซกเมนต์ Data #2 ซ้ำ 2 ครั้ง อันเนื่องมาจากผู้รับไม่สามารถรับข้อมูลได้ทัน นอกจากนี้ช่วงเวลาในการส่งแต่ละเซกเมนต์ยังไม่สม่ำเสมอ ซึ่งต่างจากรูปที่ 7 ที่ช่วงเวลาในการส่งแต่ละเซกเมนต์มีความสม่ำเสมอ และไม่มีการส่งซ้ำ

การควบคุมอัตราการไหลของทีซีพี สามารถทำให้ทรูพุตโดยรวมของการใช้งานแบนด์วิดท์มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น การไหลของข้อมูลสม่ำเสมอและราบเรียบ อัตราการส่งผ่านคงเส้นคงวา และยังสามารถลดปริมาณการส่งซ้ำได้ด้วย



รูปที่ 6 แสดงการบริหารจัดการแบนด์วิดท์โดยไม่ใช้เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ ทำให้การไหลของข้อมูลไม่สม่ำเสมอ ใช้งานแบนด์วิดท์ในปริมาณที่มากและฉับพลัน มีปริมาณการส่งซ้ำมาก [Packeteer Inc.]



รูปที่ 7 แสดงการบริหารจัดการแบนด์วิดท์โดยใช้เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ ทำให้การไหลของข้อมูลราบเรียบและสม่ำเสมอ ลดปริมาณการส่งซ้ำ [Packeteer Inc.]

การวัดค่าน่วงเวลา

เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ ทำหน้าที่ในการติดตามการเชื่อมต่อระหว่างลูกข่ายกับแม่ข่ายที่ใช้กลไกการเชื่อมโยงของทีซีพี การวัดค่าน่วงเวลาเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเฝ้าดู และใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของทีซีพี รูปที่ 8 ใช้ในการอธิบายการวัดค่าน่วงเวลาของเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ที่เกิดขึ้น ลูกศรชี้แสดงถึงแพ็คเกจที่วิ่งอยู่บนเครือข่ายระหว่างลูกข่ายและแม่ข่าย เวลาจะเพิ่มขึ้นลงมาด้านล่าง เช่น T1 แทนเวลาของเหตุการณ์ที่ 1 ส่วน T22 แทนเวลาสุดท้าย ค่าน่วงเวลาที่สนใจ มีดังต่อไปนี้

1. ค่าน่วงเวลาทั้งไปและกลับระหว่างลูกข่ายกับแม่ข่าย (Round - Trip Time)
2. ค่าน่วงเวลาของแม่ข่าย (Server Delay)
3. ค่าน่วงเวลาทั้งหมด (Total Delay)

การหาค่าน่วงเวลาทั้งไปและกลับระหว่างลูกข่ายกับแม่ข่าย

ลูกข่ายจะทำการเริ่มต้นสถาปนาการเชื่อมโยงไปยังแม่ข่าย โดยการส่งสัญญาณ SYN ณ เวลา T1 เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ทำการบันทึกเวลาที่กว่าเวลา T2 แพ็คเกจได้รับและผ่านไปยังแม่ข่าย ณ เวลา T3 แม่ข่ายก็ทำการส่งสัญญาณ SYN-ACK เพื่อรับรู้าลูกข่ายต้องการที่จะสร้างการเชื่อมโยง เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์จะบันทึกเวลาที่กว่าเวลา T4 สัญญาณ SYN-ACK ได้ผ่านเครื่องมือไป

โดยทั่วไปแม่ข่ายที่ใช้ทีซีพีในการรับการเชื่อมโยง จะตอบสนองต่อสัญญาณ SYN-ACK ในเวลาที่น้อยมาก ดังนั้นจากรูปที่ 8 พบว่า SYN-ACK จะตามหลัง SYN เกือบจะทันทีทันใด ดังนั้นเวลาจาก T2 ถึง T4 ก็คือค่าน่วงเวลาในการส่งทั้งไปและกลับระหว่างเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์กับแม่ข่าย (Server Transit Delay: STD)

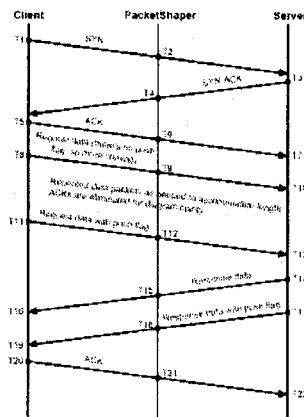
$$STD = T4 - T2$$

ณ เวลา T5 ลูกข่ายจะทำการรับ SYN-ACK และส่ง ACK กลับ ตามการเชื่อมโยงแบบแฮนด์เช็ค 3 ทาง จากนั้นเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์จะทำการบันทึกเวลาที่กว่าเวลา T6 สัญญาณ ACK ได้ผ่านเครื่องมือไป และเช่นเดียวกับการวัดค่า STD เราจะถือว่าเวลาที่ใช้ในการส่ง ACK ออกไป เมื่อได้รับ SYN-ACK กลับมา ถือว่ามีค่าน้อยมาก ดังนั้นจากเวลา T4 ถึงเวลา T6 ก็คือค่าน่วงเวลาในการส่งทั้งไปและกลับระหว่างลูกข่ายกับเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ (Client Transit Delay: CTD)

$$CTD = T6 - T4$$

ดังนั้นเมื่อนำ STD และ CTD มารวมกัน ค่าเวลาที่ได้ออกก็คือ ค่าน่วงเวลาทั้งหมดทั้งไปและกลับระหว่างลูกข่ายกับแม่ข่าย

$$RTT (Round-Trip Time) = STD + CTD$$



รูปที่ 8 แสดงการวัดค่าหน่วงเวลาของการเชื่อมโยงแบบทีซีพี [Packeteer Inc.]

การหาค่าหน่วงเวลาของแม่ข่าย

การหาค่าหน่วงเวลาของแม่ข่าย อยู่ในช่วงของการถ่ายโอนข้อมูลตามกลไกการเชื่อมโยงของทีซีพี โดยลูกข่ายจะเริ่มทำการร้องขอข้อมูลจากแม่ข่าย ณ เวลา T8 และการร้องขอนั้นมาถึงเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ ณ เวลา T9 สำหรับการร้องขอข้อมูลที่มีปริมาณมาก การร้องขอนั้นจะถูกแบ่งเป็นแพ็คเกจหลาย ๆ แพ็คเกจ ในรูปที่ 8 จะไม่แสดง ACK ตอบกลับทางด้านแม่ข่าย เนื่องจากเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์จะไม่นำ ACK ดังกล่าวมาใช้ในการคำนวณ ณ เวลา T11 เป็นการส่งแพ็คเกจสุดท้ายของการร้องขอข้อมูลครั้งนั้น จะเห็นว่าแฟล็ก Push จะถูกเซตเป็นหนึ่ง เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์จะรู้ได้ทันทีว่าที่เวลา T12 คือเวลาของแพ็คเกจสุดท้าย

หลังจากที่แพ็คเกจสุดท้ายมาถึงแม่ข่าย ณ เวลา T13 แม่ข่ายจะทำการประกอบแพ็คเกจเข้าด้วยกัน และที่เวลา T14 แม่ข่ายก็จะทำการส่งแพ็คเกจตอบกลับแรกออกไป ดังนั้นเวลา T13 ถึง T14 ก็คือเวลาที่ แม่ข่ายใช้ในการประมวลผล (Server Processing Time) โดยนับจากเวลาที่แพ็คเกจสุดท้ายมาถึงแม่ข่าย และแม่ข่ายตอบกลับแพ็คเกจแรกออกไป

ดังนั้นเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ จะรู้ค่าของเวลาที่แม่ข่ายใช้ในการประมวลผล (Server Delay) ได้จากเวลาที่เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ได้บันทึกไว้ ซึ่งก็คือเวลาจาก T12 ถึงเวลา T15 หักลบด้วยค่าของ STD บวกด้วยค่าของเวลาที่ใช้ในการจัดเตรียม ACK ตอบกลับของแม่ข่าย ในที่นี้สมมุติให้คือค่า ΔI ดังสูตร

$$\text{Server Delay} = (T15 - T12) - (\text{STD} + \Delta I)$$

การหาค่าหน่วงเวลาทั้งหมด

การหาค่าหน่วงเวลาทั้งหมด สามารถทำได้เมื่อมีการยกเลิกการเชื่อมโยงทรานแซกชันนั้นๆ ดังนั้น แฟล็ก Push จากแม่ข่ายและ ACK ที่สมนัยกันจากลูกข่าย จะเป็นตัวบอกถึงการสิ้นสุดการเชื่อมโยง กรณีที่ทรานแซกชันที่มีการส่งข้อมูลในปริมาณมาก อาจมีการส่งแฟล็ก Push ได้หลายครั้งตลอดทรานแซกชันนั้นๆ การเฝ้าดูแฟล็ก Push เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์จะใช้ตัวจับเวลาเป็นตัวติดตามทรานแซกชัน โดยยึดตามกฎดังนี้

- หากแฟล็ก Push ระบุว่าต้องการที่จะสิ้นสุดทรานแซกชัน แต่แม่ข่ายยังคงส่งข้อมูลอยู่ ให้ตัวจับเวลายังคงจับเวลาต่อ
- หากลูกข่ายต้องการที่จะร้องขอส่งข้อมูลใหม่ ให้เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ทำการสิ้นสุดทรานแซกชันนั้น และบันทึกเวลาสุดท้ายไว้
- หากไม่มีกิจกรรมใดๆ เกิดขึ้นระหว่างแม่ข่ายและลูกข่าย ให้เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์พิจารณาว่า ทรานแซกชันนั้นสมบูรณ์ และบันทึกเวลาสุดท้ายไว้
- เมื่อการเชื่อมโยงนั้นสิ้นสุด เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์จะพบกับแฟล็ก FIN และบันทึกเวลาสุดท้ายไว้

โดยการใช้กฎดังกล่าว เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ จะบันทึกเวลาสุดท้ายที่เวลา T18 และ ณ เวลา T19 ลูกข่ายก็จะได้รับแพ็คเกจสุดท้ายที่ตอบกลับมา ลูกข่ายจะทำการส่ง ACK และ ACK นั้นจะมาถึงเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ ณ เวลา T21 ดังนั้นค่าหน่วงเวลาทั้งหมด ก็คือค่าเวลาดังแต่ T9 ถึง T21 แล้วบวกด้วยค่าของเวลาที่ใช้ในการจัดเตรียมแพ็คเกจแรกเพื่อการร้องขอ ในที่นี้สมมุติให้คือค่า $\Delta 2$ ดังสูตร

$$\text{Total Delay} = (T21 - T9) + \Delta 2$$

ดังนั้น เมื่อเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์รู้ค่าของค่าหน่วงเวลาของแม่ข่ายและค่าหน่วงเวลาทั้งหมด การหาค่าหน่วงเวลาของเครือข่าย (Network Delay) สามารถทำได้ดังนี้

$$\text{Network Delay} = (\text{Total Delay}) - (\text{Server Delay})$$

ในขณะที่ ค่าหน่วงเวลาทั้งไปและกลับ (RTT : Round Trip Time) คือค่าเวลาในการส่งผ่านสำหรับหนึ่งรอบ ซึ่งก็คือค่าเวลาในการส่งแพ็คเกจๆ เดียวเท่านั้น ค่าหน่วงเวลาของเครือข่ายก็คือค่าที่สะท้อนถึงเวลาในการส่งผ่านแต่ละทรานแซกชัน ซึ่งประกอบด้วยเวลาที่แบ่งส่งแต่ละแพ็คเกจ ดังนั้นค่าหน่วงเวลาสำหรับเครือข่ายจะสะท้อนถึงค่าโสหุ้ยของระบบโดยรวม และค่าหน่วงเวลาสำหรับเครือข่ายไม่ใช่จำนวนเท่าของ RTT เนื่องจากการส่งหลายๆ แพ็คเกจไม่ได้ส่งแบบตามลำดับ แต่เป็นการส่งแบบหลายๆ แพ็คเกจและตอบรับแค่ครั้งเดียว

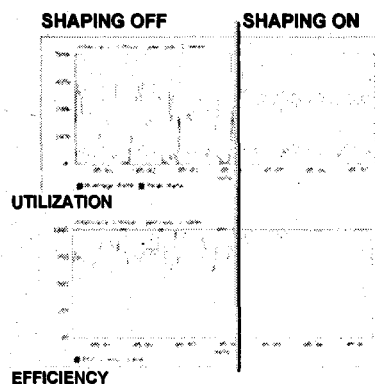
บทสรุปของการบริหารจัดการแบนด์วิดท์

การแก้ปัญหาความไม่พอเพียงของแบนด์วิดท์จากการใช้งานที่ไม่เหมาะสม มหาวิทยาลัยขอนแก่นได้ดำเนินการด้วย

1. การเพิ่มแบนด์วิดท์
2. การออกนโยบายการใช้งานเครือข่ายที่เข้มงวด
3. การติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์

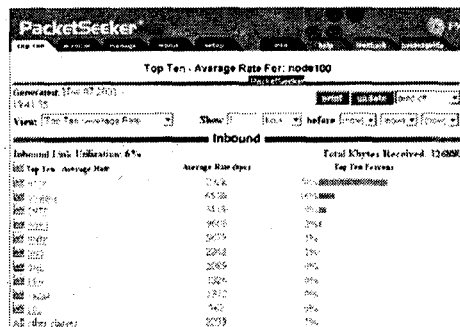
สำหรับการดำเนินการติดตั้งเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ พบว่าทำให้สมรรถนะโดยรวมของระบบเครือข่ายดีขึ้น ตัวอย่างเช่นแอปพลิเคชันทางด้าน e-Journal ที่ก่อนหน้านี้จะมีการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ โดยใช้เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ พบว่ามีความล่าช้าในการให้บริการ แต่ปัจจุบันหลังจากที่มีการบริหารจัดการแบนด์วิดท์โดยใช้เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ พบว่าความเร็วในการเข้าถึงเนื้อหาเร็วขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

รูปที่ 9 รูปบน แสดงอัตราเฉลี่ยและอัตราสูงสุดของการใช้งานแบนด์วิดท์ก่อนและหลังการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ด้วยเครื่องมือบริหารจัดการแบนด์วิดท์แพกเก็ตเทียร์ จะเห็นว่าอัตราเฉลี่ยและอัตราสูงสุดของการใช้งานแบนด์วิดท์ก่อนที่จะใช้งานเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ มีการกระเพื่อมสูง แต่หลังจากที่มีการใช้งานเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์แล้ว การไหลของข้อมูลมีความราบเรียบและสม่ำเสมอขึ้น เป็นผลให้ลดปริมาณการส่งซ้ำ สำหรับรูปที่ 9 รูปล่าง แสดงถึงการวัดประสิทธิภาพในช่วงเวลา 1 สัปดาห์ของการใช้งานแบนด์วิดท์เพื่อแอปพลิเคชันทางด้านการเงินภายในมหาวิทยาลัย อันเป็นงานที่มีความสำคัญยิ่งยวด ควรได้รับการประกันแบนด์วิดท์ การวัดแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกคือช่วงก่อนทำการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ และช่วงที่สองคือช่วงหลังการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ ในช่วงแรกพบว่าประสิทธิภาพมีการตกลงมาถึง 60% ซึ่งหมายความว่ามียออัตราการส่งซ้ำในปริมาณที่สูงถึงเกือบ 40% อันเนื่องมาจากความคับคั่งของการใช้งานแบนด์วิดท์ที่ไม่มีการบริหารจัดการ เป็นการสูญเสียแบนด์วิดท์อันมีค่าไปโดยเปล่าประโยชน์ ส่วนในช่วงที่ 2 หลังจากมีการบริหารจัดการแบนด์วิดท์แล้ว พบว่าประสิทธิภาพมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน



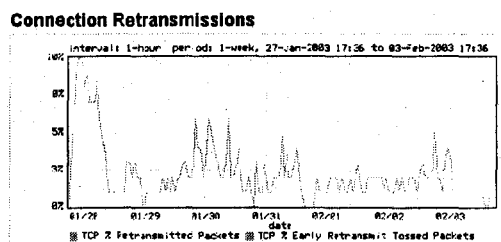
รูปที่ 9 แสดงอัตราเฉลี่ยการใช้งานแบนด์วิดท์และประสิทธิภาพก่อนและหลังการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ด้วยเครื่องมือบริหารจัดการแบนด์วิดท์แพกเก็ตเทียร์

รูปที่ 10 แสดง 10 อันดับแรกการใช้งานแบนด์วิดท์สูงสุดของคลาส คุณสมบัติดังกล่าวทำให้การบริหารจัดการแบนด์วิดท์มีความง่าย การเฝ้าระวังทำได้ง่าย การกำกับดูแล รวมทั้งการแก้ไขปัญหาสามารถทำได้อย่างทันทั่วทั้งที่



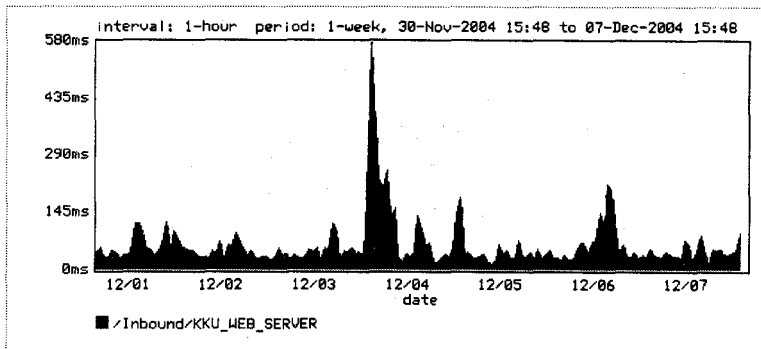
รูปที่ 10 แสดง 10 อันดับแรกการใช้งานแบนด์วิดท์สูงสุดของคลาส

รูปที่ 11 เป็นกราฟแสดงถึงเปอร์เซ็นต์การเชื่อมโยงที่มีการส่งซ้ำ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ของแพ็คเกจที่ส่งซ้ำจริงกับเปอร์เซ็นต์ของแพ็คเกจทั้งหมดที่รอส่งซ้ำ กราฟนี้ทำให้ผู้ดูแลระบบรู้ว่าแม่ข่ายใดตอบสนองการให้บริการได้ไม่ดี เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การเชื่อมโยงที่มีการส่งซ้ำสูง จำเป็นต้องปรับตั้งค่าการติดตั้งของแม่ข่ายใหม่ เพื่อให้แม่ข่ายตอบสนองได้ทันเวลา กราฟนี้จึงเป็นประโยชน์อย่างมากในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ สามารถลดค่าเสียหายของเครือข่ายได้



รูปที่ 11 แสดงเปอร์เซ็นต์การเชื่อมโยงที่มีการส่งซ้ำ

รูปที่ 12 แสดงค่าหน่วยเวลาของเครื่องแม่ข่ายที่เปิดให้บริการทางเว็บของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งปัจจุบันใช้ยูอาร์แอล <http://www.kku.ac.th> จากรูปเป็นกราฟแสดงค่าหน่วยเวลาในรอบ 1 สัปดาห์ของเครื่องแม่ข่ายเริ่มต้นจากวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 เวลา 15.48 น. ถึงวันที่ 7 ธันวาคม พ.ศ. 2547 เวลา 15.48 น. จากกราฟพบว่า ณ วันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2547 เวลาประมาณ 13.00-14.00 น. มีค่าหน่วยเวลาของเครื่องแม่ข่ายที่สูงมาก ในที่นี้ประมาณ 580 มิลลิวินาที ทำให้เราสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวิเคราะห์ต่อว่าเกิดจากสาเหตุอะไรที่ทำให้ค่าหน่วยเวลาของเครื่องแม่ข่ายดังกล่าวมีค่าสูงกว่าค่าหน่วยเวลาโดยเฉลี่ยของเครื่องแม่ข่ายที่มีค่าอยู่ประมาณ 20-30 มิลลิวินาที



รูปที่ 12 แสดงค่าหน่วงเวลาของเครื่องแม่ข่ายเครื่องให้บริการทางเว็บในรอบ 1 สัปดาห์

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ประโยชน์ที่ได้รับจากการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ด้วยเครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ มีประโยชน์หลายประการด้วยกัน ดังนี้

1. ช่วยเพิ่มหรือขยายขีดความสามารถของเครือข่ายและแบนด์วิดท์ที่มีอยู่เดิม
2. หลีกเลี่ยงการซื้อหรือลงทุนเพิ่ม เพื่อขยายแบนด์วิดท์และโครงสร้างพื้นฐาน
3. ปกป้องการลงทุนที่ลงไปแล้วกับแอปพลิเคชันที่มีความสำคัญต่อธุรกิจ เช่น SAP, Oracle, VoIP
4. ประกันได้ว่าการลงทุนทางด้านเครือข่ายและแบนด์วิดท์ใช้กับงานที่สำคัญต่อองค์กร ไม่ถูกนำไปใช้เพื่องานที่สำคัญน้อยกว่า

สำหรับการดำเนินการเรื่องการออกนโยบายการใช้งานเครือข่ายที่เข้มงวด มหาวิทยาลัยได้เลือกใช้การออกนโยบาย ซึ่งเป็นวิธีการที่ลงทุนน้อยที่สุด แต่ก็ประสบกับปัญหากับผู้ใช้ที่ได้รับผลกระทบจากการให้บริการ มหาวิทยาลัยจึงได้ดำเนินการเพิ่มแบนด์วิดท์ทั้งในส่วนของการขยายงานเฉพาะถิ่นและขยายงานบริเวณกว้าง แต่การเพิ่มแบนด์วิดท์ก็ไม่ใช่ทางแก้ไขที่สมบูรณ์ เพราะในไม่ช้าแบนด์วิดท์ก็ถูกใช้งานโดยแอปพลิเคชันที่ไม่พึงประสงค์ การดำเนินการที่ตามมาก็คือ การบริหารจัดการแบนด์วิดท์โดยใช้เครื่องมือในการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ ที่สามารถควบคุมการใช้งานแบนด์วิดท์ของแอปพลิเคชันในระดับตั้งแต่ 2 ถึง 7 ตามตัวแบบของไอเอสโอ

ดังนั้น จะเห็นได้ว่ามหาวิทยาลัยขอนแก่นได้เลือกใช้มาตรการหลายอย่าง เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ การเลือกที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการอย่างไร คงต้องขึ้นอยู่กับธรรมชาติของหน่วยงานนั้นๆ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอบพระคุณ รศ.ดร. สมชาย รัตนทองคำ ที่กรุณาพิสูจน์อักษรและให้คำแนะนำในการเขียนบทความ คุณอดิศร สิงห์ฤเดช จากบริษัท ไอทีดีเอสทีบิวชั่น จำกัด ที่ได้จัดหาข้อมูลทางด้านเทคนิคและรูปภาพประกอบในบทความ คุณพงษ์ศักดิ์ จำปาเทศ หัวหน้าฝ่ายปฏิบัติการ ศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในการให้คำแนะนำและนำประสบการณ์จริงมาเผยแพร่ คุณกนกวรรณ ไวยานนท์ นักวิชาการคอมพิวเตอร์ ศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้จัดหารูปภาพประกอบในบทความ และคุณอรุมา บรรพต ที่ช่วยจัดพิมพ์และจัดรูปแบบบทความ เป็นผลให้บทความนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

บรรณานุกรม

- สุรศักดิ์ สงวนพงษ์. 2543. สถาปัตยกรรมและโปรโตคอลทีซีพี/ไอพี. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- Packeteer, Inc. **Accelerating Throughput.** [online] 2002 [cited 2004 May 18] Available from: <http://support.packeteer.com/documentation/packetguide/6.1.0/documents/TpoPapers/Acceleration.pdf>
- Packeteer, Inc. **Accelerate Traffic.** [online] 2002 [cited 2004 May 18] Available from: <http://support.packeteer.com/documentation/packetguide/6.0.0/solutions/control/accelerate-traffic.htm>
- Packeteer, Inc. **Classifying Network Traffic -- What's Running on My Network?** [online] 2002 [cited 2004 May 18] Available from: <http://www.packeteer.com>
- Packeteer, Inc. **Controlling Bandwidth and Performance.** [online] 2002 [cited 2004 May 18] Available from: <http://support.packeteer.com/documentation/packetguide/6.1.0/documents/TpoPapers/ControlDrillDown.pdf>
- Packeteer, Inc. **Gaining Visibility into Application and Network Behavior.** [online] 2002 [cited 2004 May 18] Available from: <http://support.packeteer.com/documentation/packetguide/6.1.0/documents/TpoPapers/VisibilityDrillDown.pdf>
- Packeteer, Inc. **Managed Application Services.** [online] 2002 [cited 2004 May 18] Available from: http://www.packeteer.com/resources/prodsol/MAS_whitepaper.pdf
- Packeteer, Inc. **Response-Time Technology.** [online] 2002 [cited 2004 May 18] Available from: <http://www.packeteer.com>
- Packeteer, Inc. **Shaping Traffic Behavior.** [online] 2002 [cited 2004 May 18] Available from: <http://www.packeteer.com>
- Packeteer, Inc. **Strategies for Managing Application Traffic.** [online] 2002 [cited 2004 May 18] Available from: <http://support.packeteer.com/documentation/packetguide/6.1.0/documents/TpoPapers/MngAppTraf.pdf>
- Packeteer, Inc. **TCP Rate Control and Alternatives.** [online] 2002 [cited 2004 May 18] Available from: <http://www.packeteer.com>