

การพัฒนาระบบเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการอินเทอร์เน็ตของหน่วยงานด้วยการลดปริมาณ
ข้อมูลโดยใช้ระบบแม่ข่ายพักข้อมูล

THE DEVELOPMENT OF THE INTERNET SERVICE PERFORMANCE ENHANCING
SYSTEM IN THE ORGANIZATION BY DECREASING THE AMOUNT OF
INFORMATION WITH THE STORING SERVER

วิโรจน์ อภินันท์ธนากร¹

ศิริพร พัฒนธณกุลศิริ²

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบที่ช่วยทำให้ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตสามารถลดปริมาณข้อมูลคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ที่มีการส่งผ่านในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อใช้ในการจัดเก็บสำรองข้อมูลอินเทอร์เน็ตไว้บนเครื่องแม่ข่ายด้วยระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operating System) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่สเปก (Open Source) ลักษณะสำคัญของระบบที่มีผลต่อการวิจัยครั้งนี้คือการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการจัดเก็บสำรองข้อมูลเพื่อใช้ในการเข้าถึงเว็บไซต์ด้วยลักษณะของระบบที่มีความยืดหยุ่น วิธีการจัดเก็บทำได้ง่ายไม่ซับซ้อน ให้ความเร็วสูงต่อผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ต สามารถลดปริมาณข้อมูลที่มีความหนาแน่นของเครือข่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบที่พัฒนาขึ้นยังสามารถใช้เป็นทางเลือกให้หน่วยงานที่ประสบปัญหางบประมาณการจัดหาอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงซึ่งมีราคาแพงด้วยการใช้ซอฟต์แวร์ที่สเปก โดยเฉพาะระบบปฏิบัติการลินุกซ์ซึ่งเป็นฟรีซอฟต์แวร์ไม่มีปัญหาเรื่องลิขสิทธิ์ทำให้ต้นทุนการลงทุนต่ำ ในส่วนการทำงานและทดสอบระบบ ได้มีการจัดทำระบบเครือข่ายท้องถิ่น (LAN) สำหรับใช้ทดสอบและจัดเตรียมเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่มีการติดตั้งซอฟต์แวร์ระบบปฏิบัติการแบบรหัสเปิดและติดตั้งซอฟต์แวร์เสริมอื่น ๆ ที่จำเป็นพร้อมคอนฟิกค่าการทำงานต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้โดยการทำงานทั้งหมดจะกระทำผ่านเครื่องแม่ข่ายที่ทำหน้าที่สำรองข้อมูลอินเทอร์เน็ตเป็นหลักสำหรับผลการทดสอบระบบพบว่าความเร็วที่ได้จากการเข้าใช้งานในระบบใหม่ที่มีพัฒนาขึ้นมีความเร็วสูงเมื่อเทียบกับระบบเดิมที่นิยมใช้กันทั่วไป คือ ระบบพร็อกซี (Proxy) และเพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของระบบที่พัฒนาขึ้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความเที่ยงตรงของระบบโดยทำการทดสอบระบบซ้ำ ๆ ผลการทดสอบสามารถเชื่อถือได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นใหม่ดีกว่าระบบเดิมทุกประการ

คำสำคัญ : ซอฟต์แวร์ที่สเปกระบบปฏิบัติการลินุกซ์เครือข่ายอินเทอร์เน็ต

^{1,2}อาจารย์ประจำคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

Abstract

This research attempted to develop the system which could help the internet service providers decreased the information amount in the internet system by developed the software to store the performance internet information cache by using open source - Linux operating system. The main purpose of this study was to develop the software in storing the performance internet information cache to access the websites which were easy to store, high speed and could help reducing the network information system traffic. The development could be used as the selective choice for the organization with small budget. As this research was done by using the open source, free software with no license. The LAN system and the internet server, with Linux-CentOs and the other concerned software installed, were set in the trials. These trials worked through the proxy server computer. The result of this research showed that the trials could produce more speed than the former system. To be confirmed for its accuracy, the researcher had proved again and again, and the outcomes were not only could be relied on but also better.

Keyword : Open-Source, Linux Operating System, Internet Network

1. บทนำ

ในปัจจุบันการเชื่อมต่อเพื่อใช้งานอินเทอร์เน็ตมีการขยายตัวและเติบโตเป็นอย่างมากอันเป็นผลมาจากการพัฒนาการด้านความเร็วของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ความเร็วของหน่วยประมวลผลกลาง ขนาดของหน่วยความจำและความเร็วของสัญญาณอินเทอร์เน็ตที่ได้รับจากผู้ให้บริการซึ่งมีระดับความเร็วที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้จำนวนผู้ใช้งานมีมากขึ้นตามไปด้วย โดยอินเทอร์เน็ตจัดเป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ที่เชื่อมโยงเครือข่ายคอมพิวเตอร์ทั่วโลกเข้าด้วยกันเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ไซเบอร์สเปซ (Cyberspace) (วนิดา จันทจุจกร, 2537) อินเทอร์เน็ตมีบริการหลากหลายชนิด เช่น ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) , Gopher, Internet Relay Chat: IRC เป็นต้น (พรทิพย์ พัฒนานุสรณ์, 2544) แต่บริการที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางก็คือ เวิลด์ไวด์เว็บ (World Wide Web: WWW) (ณัฐ เพชรไม้, 2550) ซึ่งได้รับการพัฒนาจากนักวิจัยของห้องทดลองฟิสิกส์ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ที่มีชื่อว่า CERN โดยบริการ WWW นี้ได้รวมความสามารถในการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารบนอินเทอร์เน็ต โดยการใช้ Hypertext ซึ่งช่วยให้ง่ายต่อการใช้งาน สามารถใช้เพียงการคลิกผ่านจุดที่กำหนดในเอกสาร ก็สามารถจะเชื่อมโยงนำไปยังอีกเอกสารหนึ่งที่เกี่ยวข้องได้ในเวลาอันรวดเร็ว นอกจากนี้เหตุผลอีกประการหนึ่งที่ WWW ได้รับความนิยมมากก็

คือ ความสามารถในการนำเสนอรูปภาพ เสียง วิดีโอ และภาพเคลื่อนไหว ควบคู่กับตัวอักษรในเอกสารเว็บได้ ซึ่งถูกเรียกว่าเอกสาร HTML (Hypertext markup language) หรือ Web Pages การเรียกดูเอกสารเหล่านี้ จะกระทำผ่านโปรแกรมที่เรียกว่าบราวเซอร์ (web browser) ความสวยงามและความง่ายในการใช้งานนี้ ทำให้อินเทอร์เน็ตเป็นช่องทางที่ถูกใช้ประโยชน์ทางธุรกิจ ทางการศึกษา การแสดงความคิดเห็น การรายงาน เหตุการณ์ ตลอดจนเป็นช่องทางการสื่อสารระหว่างกันของบุคคลต่าง ๆ ทั่วโลก (จักรชัย โสอินทร์, อรุพงษ์ กัลยาสิริ, 2542) อินเทอร์เน็ตทำให้การเคลื่อนย้ายและส่งผ่านข่าวสารข้อมูลจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งกระทำได้ โดยง่ายโดยไม่จำกัดเรื่องระยะทางและเวลา สามารถส่งข้อมูลได้หลากหลายรูปแบบ เช่นส่งเป็นแบบข้อความ ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว เสียงโดยอาศัยเครือข่ายโทรคมนาคมเป็นตัวเชื่อมต่อเครือข่าย การเชื่อมโยงเครือข่าย จะใช้เครือข่ายสื่อสารโทรคมนาคม เช่น สายสัญญาณโทรศัพท์สายใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) สัญญาณไมโครเวฟ สัญญาณจากดาวเทียม เป็นต้น ทำให้การส่งผ่านข้อมูลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งสามารถ กระทำให้เป็นไปด้วยความรวดเร็วอินเทอร์เน็ตเป็นแหล่งรวบรวมข้อมูลแหล่งใหญ่ที่สุดของโลกและเป็นที่รวมทั้ง บริการและเครื่องมือสืบค้นข้อมูลหลายประเภทจนกระทั่งกล่าวได้ว่าอินเทอร์เน็ตเป็นเครื่องมือสำคัญอย่างหนึ่ง ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศทั้งในระดับบุคคลและองค์กร

การเติบโตดังกล่าวทั้งเรื่องจำนวนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มากขึ้นนั้น ขนาดของข้อมูลที่ส่งผ่านเข้าออกใน ระบบอินเทอร์เน็ตจากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่งก็มีขนาดใหญ่มากขึ้นด้วย (ชัยวัฒน์ นิลวรรณ, 2549) โดยข้อมูลที่ ผู้ใช้เข้าถึงในแต่ละวันแต่ละช่วงเวลามักเป็นข้อมูลเดิมจากเว็บไซต์ที่เดียวกัน ทำให้เกิดการกระทำกับข้อมูลเดิม ที่มีการเรียกใช้ซ้ำ ๆ ดังนั้นในทางการบริหารเครือข่ายเมื่อรับรู้ถึงลักษณะการใช้งานของผู้ใช้ในลักษณะนี้ และเพื่อใช้ประโยชน์จากการกระทำนี้ จึงพบว่ามีคนนำเอาระบบพรีอ็อกซ์หรือระบบแคชซึ่งเข้ามาใช้เพื่อช่วยลด ปริมาณของข้อมูลที่วิ่งผ่านเข้าออกระหว่างเครือข่ายภายในองค์กรกับอินเทอร์เน็ตภายนอก เพื่อช่วยลด ระยะเวลาในการดึงข้อมูลจากภายนอกด้วยการดึงข้อมูลบางอย่างจากเครื่องแม่ข่ายพรีอ็อกซ์เซิร์ฟเวอร์ภายใน เพื่อให้ใช้งานได้ทันทีโดยไม่ต้องร้องขอข้อมูลจากภายนอกทุกครั้ง ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดความหนาแน่นของ ข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ต และส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้งานอินเทอร์เน็ตตกลงในที่สุดเนื่องจาก ช่องสัญญาณหรือที่เรียกว่าแบนด์วิดท์มีน้อย

สำหรับความหมายของคำว่าแบนด์วิดท์ (Bandwidth) (เอกชัย ศรีปทุมภรณ์, 2551) เป็นคำที่ใช้วัด ความเร็วในการส่งข้อมูลของอินเทอร์เน็ตหรือจะเรียกอีกอย่างว่าเป็นความกว้างของช่องสัญญาณที่ใช้ในการ สื่อสารผ่านตัวกลางซึ่งก็คือระยะห่างระหว่างคลื่นสัญญาณความถี่สูงสุดและความถี่ต่ำสุดที่ใช้เป็นช่องทางของ การสื่อสารโดยแบนด์วิดท์ของระบบการสื่อสารบนเครือข่ายนั้นมี 2 รูปแบบ คือแบบBandwidth in Hertz และแบบ Bandwidth in Bits per seconds สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างแบนด์วิดท์ในเฮิรตซ์และในบิตต่อ วินาทีนั้น โดยพื้นฐานก็คือเมื่อมีการเพิ่มประสิทธิภาพของเครือข่ายโดยการเพิ่มแบนด์วิดท์ในเฮิรตซ์ ก็จะหมายถึง การเพิ่มประสิทธิภาพของแบนด์วิดท์ในบิตต่อวินาทีด้วย ในความหมายทั่วไปแบนด์วิดท์เป็นสัดส่วนโดยตรงของ จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ส่งผ่านหรือรับต่อหน่วยเวลา ในความหมายเชิงคุณภาพแบนด์วิดท์เป็นสัดส่วนของความ ชับซ้อนของข้อมูลสำหรับการทำงานของระบบที่รองรับได้เช่น การดาวน์โหลดไฟล์ทุกประเภทรูปภาพในหนึ่ง

วินาทีใช้แบนด์วิดท์มากกว่าการดาวน์โหลดข้อความในเวลาหนึ่งวินาที ส่วนไฟล์ประเภทเสียงขนาดใหญ่ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์และภาพเคลื่อนไหวต้องใช้แบนด์วิดท์มาก การนำเสนอแบบ Virtual reality (VR) และ ภาพแบบ 3 มิติ ชนิด Full-length ใช้ แบนด์วิดท์มากที่สุด

สำหรับการบริหารจัดการแบนด์วิดท์ด้วยการลดปริมาณข้อมูลที่หนาแน่นในระบบเครือข่ายที่ผ่านมา นั้น มีกระบวนการนำเอาระบบพรีอิกซี่ (ภัทระ เกียรติเสวี, 2542) หรือระบบแคชชิงเซิร์ฟเวอร์มาใช้โดยเน้นในเรื่องของการลดเวลาการเข้าถึงข้อมูลหรือเสมือนว่าทำให้ผู้ใช้เข้าถึงข้อมูลได้เร็วซึ่งมีประโยชน์มากกับเครือข่ายที่มีความเร็วสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบจำกัด โดยระบบของพรีอิกซี่จะทำงานเหมือนเป็นตัวกั้นกลางระหว่างผู้ใช้งานภายในองค์กรกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายนอกผ่านพอร์ต 80 หรือ 8080 เมื่อผู้ใช้เปิดโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ เพื่อใช้งานอินเทอร์เน็ตสัญญาณจะถูกบังคับให้วิ่งผ่านพอร์ตนี้เสมอ แต่ในความเป็นจริงสำหรับการใช้งานของผู้ใช้ยังมีลักษณะงานอีกประเภทหนึ่งซึ่งสร้างปัญหาทำให้ความเร็วของอินเทอร์เน็ตตกลงก็คือบริการที่เรียกว่าการดาวน์โหลดซึ่งทำงานอยู่บนพอร์ต 21 การดาวน์โหลดเป็นรูปแบบการรับส่งไฟล์ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่ายกับเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายโดยทำการติดต่อกันทางโปรโตคอล FTP (File Transfer Protocol) (สัลยุทธ์ สว่างวรรณ, 2543) การกระทำในลักษณะนี้จะใช้เวลาในการครอบครองช่องสัญญาณเป็นเวลานานเนื่องจากขนาดของไฟล์ข้อมูลที่ทำการดาวน์โหลดมีขนาดใหญ่และเล็กไม่เท่ากันซึ่งรวมแล้วก็มีขนาดใหญ่ เมื่อมีผู้ใช้ทำการดาวน์โหลดข้อมูลพร้อม ๆ กันยิ่งจะทำให้ช่องสัญญาณเกิดความหนาแน่นทำให้ความเร็วของการใช้งานอินเทอร์เน็ตโดยรวมตกลงไปจนเป็นอุปสรรคให้กับผู้ใช้อินเทอร์เน็ตรายอื่นที่มีความต้องการในเรื่องอื่น ๆ เช่นการสืบค้นข้อมูล การส่งไฟล์งานให้กันและกัน ซึ่งปัญหาจากการดาวน์โหลดข้อมูลนั้นระบบพรีอิกซี่ ที่มีอยู่ไม่สามารถจัดการกับเรื่องนี้ได้ ดังนั้นการพัฒนาระบบเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการอินเทอร์เน็ตของหน่วยงานด้วยการลดปริมาณข้อมูลโดยใช้ระบบแม่ข่ายพักข้อมูลด้วยระบบปฏิบัติการลินุกซ์จึงเป็นเรื่องที่จัดทำขึ้นเพื่อทำให้ปัญหาดังกล่าวมีทางออกและทำให้เกิดประโยชน์ต่อการใช้งานระบบอินเทอร์เน็ต ต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาระบบที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการอินเทอร์เน็ตของหน่วยงานด้วยการลดปริมาณข้อมูลโดยใช้ระบบแม่ข่ายพักข้อมูล มีรายละเอียดที่ต้องศึกษาและพัฒนาดังต่อไปนี้

- 1) ออกแบบระบบเพื่อใช้ในการบริหารจัดการเครือข่ายของหน่วยงาน
- 2) ศึกษากระบวนการทำงานพื้นฐานของอินเทอร์เน็ต และออกแบบพัฒนาส่วนบริหารจัดการข้อมูลที่เกิดจากการใช้งานของผู้ใช้ในรูปแบบของการเข้าถึงเว็บไซต์
- 3) ออกแบบพัฒนาส่วนบริหารจัดการข้อมูลที่เกิดจากการใช้งานของผู้ใช้ในรูปแบบของการดาวน์โหลด

3. เครื่องมือและวิธีดำเนินการวิจัย

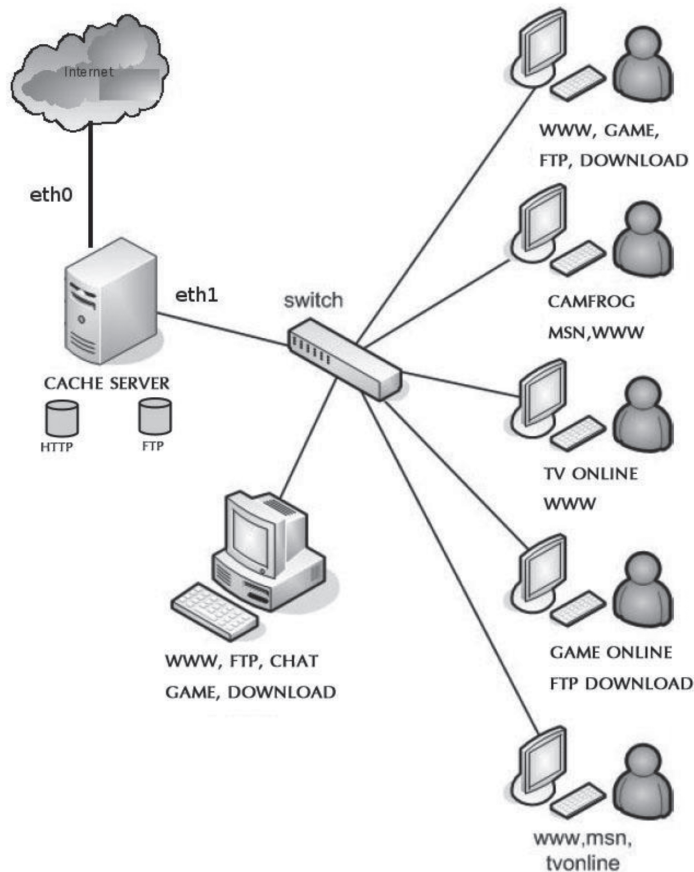
สำหรับระบบที่ออกแบบสำหรับงานวิจัยนี้ จะมีการใช้เครื่องแม่ข่ายซึ่งประกอบด้วยแลนการ์ด (Network Card) 2 การ์ด (eth0, eth1) และติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกซ์รวมถึงซอฟต์แวร์พร้อมแพ็คเกจที่จำเป็น เช่น สควิดพร็อกซี, พร็อก, ไอพีเทเบิล เป็นต้น บนเครื่องแม่ข่าย (CACHE SERVER) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) ติดตั้งเครื่องแม่ข่าย (CACHE SERVER) เพื่อให้บริการการเข้าถึงอินเทอร์เน็ต ในที่นี้ใช้ระบบปฏิบัติการ Linux Cent OS5.0
 - 2) ติดตั้งการ์ดแลนจำนวน 2 การ์ดลงในเครื่องแม่ข่าย โดยการ์ดที่ 1 ใช้เป็นการ์ดภายนอก (eth0) ติดต่อกับสัญญาณอินเทอร์เน็ต การ์ดที่ 2 ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับเครือข่ายภายใน (eth1)
 - 3) ติดตั้งโปรแกรมพร็อกซี (Proxy) ในที่นี้ใช้โปรแกรมสควิดพร็อกซี ซึ่งมีอยู่แล้วในแผ่นติดตั้งของ Linux CentOS5.0 เพื่อใช้เก็บแคชข้อมูลประเภทเว็บไซต์ทั่วไปที่ใช้หรือวิ่งผ่านโปรโตคอล HTTP
 - 4) ติดตั้งโปรแกรมเอฟทีพีพร็อกซี (Ftp Proxy) ในที่นี้ใช้โปรแกรม Frox สามารถหาดาวน์โหลดได้ทั่วไปเนื่องจากเป็น Open Source ใช้ได้ไม่มีลิขสิทธิ์
 - 5) ติดตั้งโปรแกรมไฟร์วอลล์ ในที่นี้ใช้ไฟร์วอลล์ที่มีมากับระบบปฏิบัติการ Linux Cent OS5.0 คือ Iptables Firewall โดยไฟร์วอลล์นี้จะเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้การแยกเก็บแคชข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง
- โดยระบบที่พัฒนาขึ้นมีพื้นฐานการทำงานทั้งหมดบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (บัณฑิต จามรภูติ, 2553) เวอร์ชัน CentOS เป็นหลัก โดยปรับแต่งไฟล์ที่มีอยู่แล้วในระบบซึ่งประกอบไปด้วยการปรับแต่งระบบพร็อกซี ระบบไฟร์วอลล์ (Firewall) การปรับแต่งไฟล์สำหรับระบบ FTP และเพิ่มเติมส่วนบริหารจัดการการใช้งานประเภทดาวน์โหลดผ่านโปรโตคอล FTP บนพอร์ต 21 โดยปรับแต่งให้ทั้งสองส่วนทำงานร่วมกันและแยกหน้าที่การทำงานตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ซึ่งมีขั้นตอนการพัฒนาโดยแบ่งขั้นตอน ดังนี้

3.1. ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาระบบ

3.1.1. ออกแบบระบบเพื่อใช้ในการบริหารจัดการเครือข่ายของหน่วยงาน

ระบบที่สร้างขึ้นจะมีการแยกส่วนการทำงานระหว่างข้อมูลการเข้าถึงเว็บจะเก็บไว้ที่ HTTP CACHE SERVER และข้อมูลการดาวน์โหลดจะเก็บไว้ที่ FTP CACHE SERVER ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระบบที่มีการจัดเก็บแคชข้อมูล

จากภาพที่ 1 จะพบว่าระบบมีการออกแบบที่ไม่ทำให้เกิดความซับซ้อนและยุ่งยากต่อการนำไปใช้งานจริง เหตุผลเพราะระบบปกติทั่วไปนั้นจะมีโครงสร้างแบบเดียวกับภาพที่ 1 นั่นก็คือระบบแคชข้อมูลจะมีเครื่องแม่ข่ายที่เรียกว่า CACHE SERVER ให้บริการอยู่ในระบบ HTTP อยู่แล้ว ดังนั้นสิ่งที่เพิ่มเติมเข้ามาในระบบของงานวิจัยนี้ก็คือมีการเพิ่มบริการเพียงในส่วนที่เรียกว่า FTP เท่านั้นเอง จึงทำให้ระบบนั้นง่ายและไม่ซับซ้อน

3.1.2. ส่วนบริหารจัดการข้อมูลที่เกิดจากการใช้งานของผู้ใช้ในรูปแบบของการเข้าถึงเว็บไซต์



ภาพที่ 2 การเข้าถึงอินเทอร์เน็ตโดยผ่าน CACHE SERVER (HTTP)

จากรูปที่ 2 เป็นกระบวนการบังคับให้เครื่องลูกข่ายที่ต้องการเข้าถึงอินเทอร์เน็ต จะต้องส่งข้อมูลที่ต้องการมายังเครื่องแม่ข่ายที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องพร็อกซีในการเก็บสำรองข้อมูลที่เคยมีการเรียกใช้จากเครื่องอื่นก่อนหน้านี้ หากข้อมูลที่ต้องการตรงกับข้อมูลที่เก็บไว้เครื่องลูกข่ายก็จะสามารถเข้าถึงเว็บไซต์ได้ทันทีทำให้เกิดความเร็วมากขึ้นกว่าเดิม แต่หากไม่พบในเครื่องพร็อกซี เครื่องแม่ข่ายก็จะส่งสัญญาณออกไปหาที่อยู่เว็บไซต์นั้น ๆ จากภายนอก ซึ่งขั้นตอนนี้จะใช้เวลามากกว่าการพบข้อมูลในเครื่องแม่ข่ายพร็อกซี โดยในส่วนของการทำงานของเครื่องแม่ข่ายที่ทำหน้าที่เป็นพร็อกซีจะใช้ซอฟต์แวร์พร็อกซีที่ได้รับความนิยมเป็นพื้นฐานทั่วไปอยู่แล้วคือโปรแกรมสควิดพร็อกซี (SquidProxy) ปรับแต่งค่าคอนฟิกเพื่อบังคับให้เครื่องลูกข่ายที่จะเข้าถึงเว็บไซต์ผ่านโปรโตคอล HTTP บนพอร์ต 80 สำหรับตัวอย่างในการคอนฟิกค่า เป็นดังนี้

การบังคับเครื่องลูกข่ายนั้นทำได้โดยการกำหนดโพลีซีในไฟล์คอนฟิกของสควิดพร็อกซี ในไดเรกทอรี /etc/squid/squid.conf มีรูปแบบและส่วนสำคัญ ดังนี้

1) cache_dirufs /var/spool/squid 20480 16 256 เป็นคำสั่งสำหรับการระบุสถานที่และขนาดในการเก็บแคชข้อมูล โดยให้ปรับตัวเลข 20480 ตามความเหมาะสมของระบบ โดยตัวเลขนี้มีหน่วยเป็น MB ในที่นี้จึงมีค่าเท่ากับ 20 GB ส่วน /var/spool/squid คือตำแหน่งไดเรกทอรีที่ใช้เก็บแคชข้อมูล

2) cache_mem 128 MB

หน่วยความจำของระบบสำหรับให้สควิดใช้ทำงานหากมีหน่วยความจำหลัก (Main Memory) อยู่ในระบบมาก ๆ ยิ่งดีและควรตั้งไว้ประมาณ 1/2 ของหน่วยความจำที่มี เช่น หน่วยความจำขนาด 1 GB ก็ควรกำหนดตัวเลขในส่วนนี้เป็น 512 MB

3) aclwebconfig_to_landst 192.168.x.x/24

ส่วนของคำสั่งที่ระบุอนุญาตให้หรือไม่ให้เครือข่ายใดใช้งานอินเทอร์เน็ตได้ โดยให้ทำการกำหนดหมายเลขให้ตรงกับเครือข่ายที่ใช้งานอยู่จริง ตัวอย่าง เช่น 192.168.2.0/24 เป็นต้น

1) http_port 192.168.2.254:3128 transparent และ

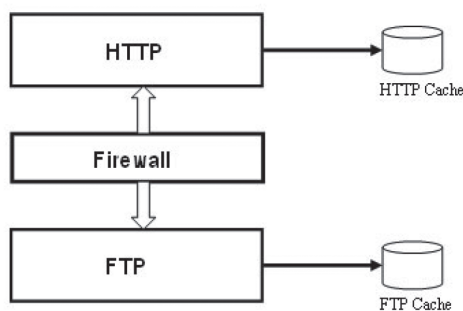
http_port 127.0.0.1:3128 transparent

ส่วนของคำสั่งระบุหมายเลขเครื่องแม่ข่ายที่ให้บริการเป็น Proxy Server โดยให้กำหนดหมายเลขไอพีจาก 192.168.2.254 แก่เป็นไอพีที่ใช้งานตามจริง และให้ ใส่คำว่า transparent ต่อท้ายด้วยเพื่อเป็นการสั่งให้ระบบทำงานเป็น Transparent Proxy ส่วนหมายเลข 3128 เป็นหมายเลขพอร์ตที่สควิดให้บริการ

3.1.3. ส่วนบริหารจัดการข้อมูลที่เกิดจากการใช้งานของผู้ใช้ในรูปแบบของการดาวน์โหลด

ระบบจัดเก็บพร็อกซีแบบเดิม หมายถึงระบบที่นิยมใช้กันทั่วไป จะมีการเข้าถึงข้อมูลอินเทอร์เน็ตโดยเครื่องลูกข่ายจะค้นหาข้อมูลผ่านเครื่องแม่ข่ายที่ให้บริการพร็อกซี (squid proxy) เท่านั้น ดังภาพที่ 2 สำหรับในระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น จะมีการบังคับให้เครื่องลูกข่ายจะต้องมีการวิ่งผ่าน Squid Proxy

สำหรับข้อมูลที่เป็นเว็บ ในที่นี้คือ CACHE SERVER (HTTP) และเพิ่มการบังคับให้ข้อมูลที่เป็นการดาวน์โหลดแยกไปเก็บอีกที่ซึ่งเป็นคนละที่กับเว็บหรือที่เรียกว่า CACHE SERVER (FTP) ดังแผนภาพการทำงาน ต่อไปนี้



ภาพที่ 3 แผนภาพการทำงานของระบบ CACHE SERVER

จากภาพที่ 3 เป็นการติดตั้งระบบที่มีการแยกการทำงานระหว่างการให้บริการเว็บไซต์ ซึ่งเป็นโปรโตคอลแบบ HTTP ไว้ในส่วนที่เรียกว่า HTTP Cache เก็บสำรองข้อมูลแยกกับส่วนการดาวน์โหลดข้อมูลที่ใช้โปรโตคอล FTP ไว้ในส่วนที่เรียกว่า FTP Cache โดยในส่วนการทำงานของระบบสำรองการดาวน์โหลดจะใช้ซอฟต์แวร์บริหารจัดการคือโปรแกรม Frox ทำปรับแต่งค่าคอนฟิกเพื่อบังคับให้เครื่องลูกข่ายที่ต้องการดาวน์โหลดผ่านโปรโตคอล FTP บนพอร์ต 21 สำหรับตัวอย่างในไฟล์คอนฟิกของโปรแกรม Frox ซึ่งเก็บอยู่ในไดเรกทอรี /etc/frox.conf ดังนี้

1) HTTPProxy 127.0.0.1:3128

HTTPProxy192.168.2.254:3128

ในส่วนนี้กำหนดเลขให้ตรงกับหมายเลขไอพีเครื่องแม่ข่ายที่ให้บริการตามจริง

2) #ForceHTTP yes

#CacheModule HTTP

3) CacheModule local

CacheSize 4000

กำหนดขนาดเนื้อที่สำหรับทำแคช ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 4 GB

เมื่อทำการคอนฟิกค่าที่จำเป็นใน Squid และ Frox แล้ว จะต้องกำหนดคำสั่งให้ระบบรู้กระบวนการทำงานที่สัญญาณอินเทอร์เน็ตวิ่งเข้าออกระบบผ่าน Squid และ Frox รวมถึงการดแลน โดยต้องกำหนดคำสั่งให้ไฟลวอลล์ (Iptables) ดังนี้

```
iptables -t nat -A PREROUTING -m multiport -p tcp -i eth1 --dport 88,80,9898 -j REDIRECT
-to 3128
```

คำสั่งนี้จะสั่งให้ Iptables ทำการ redirect port http ทุกอย่างที่ใช้มีการใช้งานผ่านโปรโตคอล HTTP ให้เก็บเข้าสู่สควิดพร็อกซีหรือให้ผ่านได้ตัวอย่างเช่น เมื่อเครื่องลูกข่ายเข้าใช้งาน port 88,80,9898 ระบบจะทำให้มีการผ่านเข้าสู่สควิดพร็อกซีโดยอัตโนมัติเสมอ และให้แก้ตรงคำว่า eth1 ให้ตรงกับการใช้งานจริงซึ่งเป็นการดัดแปลงด้านที่ต่ออยู่กับเครือข่ายภายในนั่นเอง สำหรับคำสั่งต่อมาให้ทำดังนี้

```
iptables -t nat -A PREROUTING -m multiport -p tcp -i eth1 -dport 6001,21,8021 -j REDIRECT --to 2121
```

คำสั่งนี้จะสั่งให้ Iptables ทำการ redirect port ftp ทุกอย่างที่ใช้มีการใช้งานผ่านโปรโตคอล FTP ให้เก็บเข้าพร็อกซีหรือให้ผ่านได้เสมอตัวอย่างเช่น เมื่อเครื่องลูกข่ายเข้าใช้งาน port 6001,21,8021 ระบบจะทำให้มีการบังคับผ่านพร็อกซีโดยอัตโนมัติ และให้แก้ตรงคำว่า eth1 ให้ตรงกับการใช้งานจริงซึ่งเป็นการดัดแปลงด้านที่ต่ออยู่กับเครือข่ายภายในเหมือนในการทำงานที่ผ่านมา

เมื่อเสร็จสิ้นการคอนฟิกค่าต่าง ๆ แล้ว ให้ทำการเริ่มการทำงานของ Squid และ Frox ใหม่อีกครั้ง ระบบก็จะสามารถให้บริการเก็บแคชข้อมูลดังที่ต้องการด้วยคำสั่ง # service squid restart และ service frox restart ตามลำดับ

4. การทดลองและอภิปรายผล

เพื่อให้เปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างของระบบใหม่ que พัฒนารับกับระบบแบบเดิม (แบบพร็อกซี) การทดลองทำโดยใช้ระบบเดิมและระบบใหม่ทำการดาวน์โหลดไฟล์ขนาดต่าง ๆ กัน จำนวน 10 ไฟล์ จากเว็บไซต์เดียวกัน เพื่อป้องกันความแตกต่างทางด้านความเร็วของเว็บที่ให้บริการซึ่งมีความเร็วในการให้บริการที่ต่างกัน รายละเอียดดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 จากนั้นใช้ข้อมูลในตารางที่ 1 ทำการทดสอบระบบ โดยเปิดระบบแบบเดิมคือมีพร็อกซีอย่างเดียว แต่ปิดเซอร์วิสของการดาวน์โหลดที่มีอยู่ในระบบใหม่ แล้วทำการทดสอบดาวน์โหลดไฟล์ตั้งแต่ไฟล์ที่ 1 ถึง ไฟล์ที่ 10 ผลการดาวน์โหลดด้วยระบบเดิม (ใช้พร็อกซีเพียงอย่างเดียว) ดังแสดงในตารางที่ 1 (A)

ขั้นตอนต่อมาใช้ข้อมูลในตารางที่ 1 เช่นเดียวกัน ทำการทดสอบระบบ โดยเปิดระบบแบบเดิมคือมีพร็อกซีอย่างเดียว และเปิดเซอร์วิสของการดาวน์โหลดที่มีอยู่ในระบบใหม่ด้วย แล้วทำการทดสอบดาวน์โหลดไฟล์ตั้งแต่ไฟล์ที่ 1 ถึง ไฟล์ที่ 10 ผลการดาวน์โหลดด้วยระบบเดิมพร้อมเปิดเซอร์วิสของระบบใหม่ (มีพร็อกซีและเซอร์วิสของการดาวน์โหลด) ผลทดสอบแสดงในตารางที่ 1 (B)

ตารางที่ 1 ขนาดไฟล์และผลการดาวน์โหลดด้วยระบบเดิมเปรียบเทียบกับระบบใหม่

ลำดับที่	ขนาดไฟล์ (เมกกะไบต์)	เวลาที่ใช้ดาวน์โหลด (นาทิจ)	
		ระบบเดิม (A)	ระบบใหม่ (B)
1	34	4	0.08
2	12	2.10	0.05
3	16	2.15	0.05
4	59	4.40	0.11
5	15	1.30	0.06
6	18	1.20	0.06
7	55	5.10	0.33
8	62	5.40	0.46
9	56	5.25	0.36
10	12.67	1.15	0.05
ค่าเฉลี่ย (Average)	33.96	3.20	0.16

ผลการทดสอบในตารางที่ 1 เห็นได้อย่างชัดเจนว่า เมื่อมีการเปิดเซิร์ฟเวอร์ของระบบใหม่ การดาวน์โหลดไฟล์ทั้ง 10 ไฟล์ สามารถกระทำได้เสร็จสิ้นโดยใช้เวลาน้อยกว่าระบบเดิมเป็นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น ไฟล์ที่ 8 ซึ่งมีขนาดใหญ่ที่สุด ใช้เวลาในการดาวน์โหลดเพียง 0.46 นาทิจ เท่านั้น ขณะที่ระบบเดิมใช้เวลาดาวน์โหลดนานถึง 5.40 นาทิจ

ในกระบวนการทดสอบในขั้นสุดท้าย เพื่อทดสอบความเสถียรของระบบในการใช้งานของระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้น ตารางที่ 2 แสดงการดาวน์โหลดข้อมูลโดยใช้ไฟล์ขนาด 34 เมกกะไบต์ ทดสอบดาวน์โหลดซ้ำจำนวน 20 ครั้ง และทำการบันทึกความเร็วในการทำงาน ค่าเฉลี่ย รวมถึงค่าความสำเร็จที่เรียกว่า TCP_MIS_HIT ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการดาวน์โหลดด้วยระบบใหม่จำนวน 20 ครั้ง

ลำดับที่	ขนาดไฟล์ (เมกกะไบต์)	เวลาที่ใช้ดาวน์โหลด (นาทิจ)	TCP_MIS_HIT
1	34	0.08	1
2	34	0.08	1
3	34	0.08	1
4	34	0.08	1
5	34	0.08	1
6	34	0.08	1

ลำดับที่	ขนาดไฟล์ (เมกะไบต์)	เวลาที่ใช้ดาวน์โหลด (นาทีก)	TCP_MISS_HIT
7	34	0.08	1
8	34	0.08	1
9	34	0.08	1
10	34	0.09	1
11	34	0.08	1
12	34	0.08	1
13	34	0.08	1
14	34	0.09	1
15	34	0.08	1
16	34	0.08	1
17	34	0.08	1
18	34	0.08	1
19	34	0.08	1
20	34	0.08	1

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 พบว่าความเร็วในการดาวน์โหลดทั้ง 20 ครั้ง มีค่าค่อนข้างไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือมีค่าเท่ากับ 0.08 นาทีก มีเพียงบางค่าคือลำดับที่ 10 และ 14 เท่านั้นที่มีค่า เวลาที่ใช้ในการดาวน์โหลดเท่ากับ 0.09 ซึ่งใช้เวลามากกว่าการดาวน์โหลดในลำดับอื่น ๆ ซึ่งค่าที่มากกว่านี้ เกิดขึ้นจากความหนาแน่นของเครือข่ายภายในระบบเอง บางเวลาอาจมีการหน่วง (Relay) หรือติดขัดภายใน ตัวอุปกรณ์เอง แต่โดยเฉลี่ยแล้วความเร็วก็ยังคงไม่แตกต่างจากการดาวน์โหลดโดยรวมซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.081 และจากการทดลองนี้ยังแสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของระบบที่พัฒนาขึ้นว่าสามารถใช้งานได้อย่าง แม่นยำถูกต้องในทุกๆ ครั้งของการใช้งานโดยดูจากค่าของ HIT RATE ในคอลัมน์ขวาสุดของตารางที่ 2 ค่า TCP_MISS_HIT หรือค่าที่บ่งบอกว่ามีการพบข้อมูลอยู่ภายในแคชของเครื่องแม่ข่าย (พบ มีค่าเท่ากับ 1 ไม่พบมีค่าเท่ากับ 0) สังเกตว่าค่าตั้งแต่ลำดับที่ 1 ถึง 20 มีค่าเท่ากับ 1 ทั้งหมด ซึ่งหมายความว่า การดาวน์โหลดพบข้อมูลในแคชทุกครั้ง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

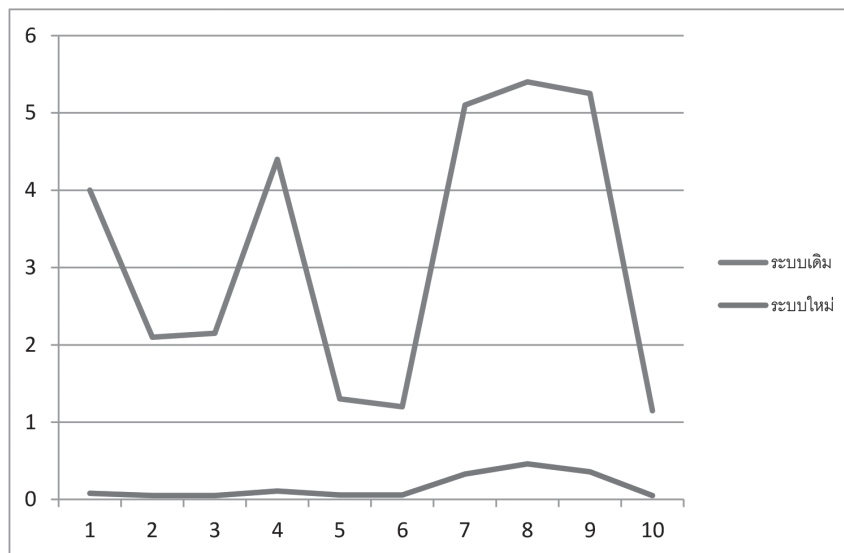
กำหนดให้ค่า (TCP_MISS_HIT) = TMH

จำนวนครั้งของการทดลองดาวน์โหลด = N

$$\text{HITRATE} = \frac{\sum_{i=1}^N TMH}{N} \times 100$$

$$\text{ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ของ HITRATE} = \frac{20}{20} \times 100 = 100$$

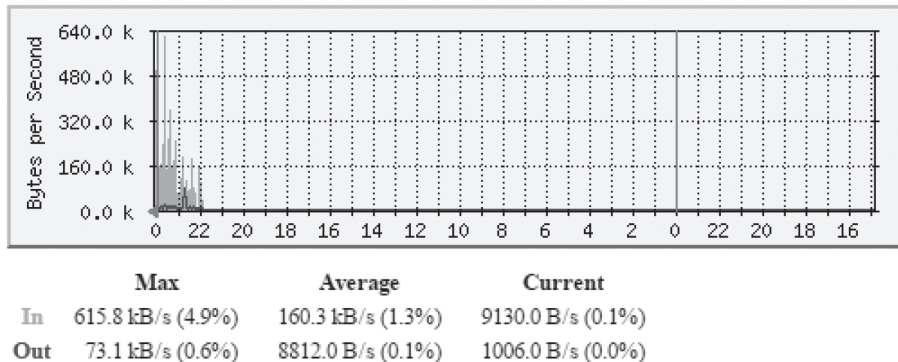
จากผลลัพธ์ของ HIT RATE ที่มีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซนต์แสดงให้เห็นว่าความเสถียรจากการใช้งานระบบใหม่มีความน่าเชื่อถือมากซึ่งรวมไปถึงระบบมีความเที่ยงตรงสม่ำเสมอต่อการให้บริการอีกด้วย



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความเร็วที่ใช้ในการดาวน์โหลดระหว่างระบบเดิมกับระบบใหม่

นอกจากนั้นกราฟภาพที่ 4 ยังแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าความเร็วในการโหลดข้อมูลของระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นนั้นเร็วกว่าระบบเดิม โดยรายละเอียดของภาพที่ 4 นั้นใช้ข้อมูลการดาวน์โหลดข้อมูลของระบบเดิมกับระบบใหม่ในสองคอลัมน์สุดท้ายของตารางที่ 1 มาทำการสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความเร็วกว่าที่แตกต่างกันได้อย่างชัดเจน เส้นกราฟสีน้ำเงินหมายถึงระบบเดิม เส้นกราฟสีแดงหมายถึงระบบใหม่ ตัวเลขในแกนแนวนอน เช่น 1, 2, 3, 4, ..., 10 คือจำนวนครั้งหรือครั้งที่ทำการดาวน์โหลด ส่วนตัวเลขในแกนแนวตั้งของกราฟ เช่น 1, 2, 3, 4, ..., 6 เป็นค่าของเวลา(นาทื) ตัวอย่างเช่น เลข 1 หมายถึงการดาวน์โหลดในครั้งนั้นใช้เวลาไป 1 นาที และถ้าดูจากในกราฟ ครั้งที่ 1 การดาวน์โหลดของระบบเดิม (สีน้ำเงิน) ใช้เวลาไปทั้งสิ้น 4 นาที ส่วนการดาวน์โหลดด้วยระบบใหม่ (สีแดง) ใช้เวลาไปทั้งสิ้น 0.08 นาทีจากรายละเอียดของกราฟในภาพที่4 นั้นสามารถบอกได้ว่าระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ผลลัพธ์การทำงาน คือการดาวน์โหลดข้อมูลได้เร็วกว่าระบบเดิมในทุก ๆ ครั้งของการทดสอบ (10 ครั้ง)

ผลจากการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้นยังสามารถแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพได้ชัดเจนว่าสามารถลดปริมาณข้อมูลที่มีอยู่ในระบบเครือข่ายได้ดี โดยดูจากกราฟ (MRTG) แสดงปริมาณข้อมูลของการเข้าใช้อินเทอร์เน็ตในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กราฟ MRTG

สำหรับภาพที่ 5 เป็นกราฟที่เกิดจากการสร้างด้วยโปรแกรมที่เรียกว่า MRTG สีเขียวที่ปรากฏในกราฟหมายถึงปริมาณข้อมูลที่มีการวิ่งเข้ามาในเครือข่าย ส่วนสีน้ำเงินหมายถึงข้อมูลที่มีการร้องขอออกไปภายนอก ถ้าสีน้ำเงินมีมากแสดงว่าความหนาแน่นของข้อมูลภายในมีมากหรือที่เรียกว่าช่องสัญญาณแน่น ทำให้อินเทอร์เน็ตมีอาการช้าลง ดังนั้นถ้าดูจากภาพที่ 3 จะพบว่าสีน้ำเงินมีอยู่เล็กน้อยโดยจะสูงในช่วงสั้นๆซึ่งหมายถึงตอนที่มีการดาวน์โหลดครั้งแรกจำเป็นต้องร้องขอข้อมูลออกไปภายนอกเครือข่าย แต่พอครั้งต่อมาสีน้ำเงินจะลดลงจนแทบไม่มีการสูงขึ้นอีกเลย นั่นหมายความว่ามีการร้องขอข้อมูลออกไปภายนอกมีน้อยเพราะระบบที่พัฒนาขึ้นได้ทำการเก็บแคชไว้แล้วภายในเครือข่ายเอง จึงไม่ต้องร้องขอออกไปภายนอกและทำให้ช่องสัญญาณของเครือข่ายภายในไม่มีความหนาแน่นหรือช่องสัญญาณว่างมากขึ้นดังนั้น จึงสรุปได้ว่างานวิจัยการพัฒนาระบบเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการอินเทอร์เน็ตของหน่วยงานด้วยการลดปริมาณข้อมูลโดยใช้ระบบแม่ข่ายพักข้อมูลด้วยระบบปฏิบัติการลินุกซ์ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้จริงตามที่ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ทุกประการ

5. สรุปผล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางในการจัดทำระบบเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการอินเทอร์เน็ตของหน่วยงานด้วยการลดปริมาณข้อมูลโดยใช้ระบบแม่ข่ายพักข้อมูลด้วยระบบปฏิบัติการลินุกซ์ที่สามารถใช้งานได้จริงและสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ ซึ่งระบบที่จัดทำขึ้นในครั้งนี้ใช้แนวทางเพื่อให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพสูง ต้นทุนต่ำแต่สามารถได้ระบบที่มีความรวดเร็ว อันเนื่องมาจากใช้ซอฟต์แวร์ที่สามารถหาได้ง่าย โดยเฉพาะใช้ระบบปฏิบัติการที่เป็นซอฟต์แวร์ที่สเปคเปิดหรือที่รู้จักกันในนามโอเพ่นซอร์ส (Open Source) จากการทดสอบระบบแสดงให้เห็นว่าระบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นนั้นให้ผลการทำงานจากการวัดประสิทธิภาพในเรื่องความเร็ว โดยวัดจากการทดลองดาวน์โหลดข้อมูลที่มีขนาดไฟล์ต่างกัน ให้ผลลัพธ์ที่เร็วกว่า

การทำงานของระบบเดิมซึ่งมีเพียงระบบพรีอ็อกซีเพียงอย่างเดียวรวมถึงยังมีความแม่นยำในการทำงานสูง
ดังปรากฏในผลการทดลองทุกประการ

6. บรรณานุกรม

- จักรชัย โสอินทร์, อรุพงษ์ กัลยาสิริ. (2542). *LINUX อินเทอร์เน็ตเซิร์ฟเวอร์*. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- ชัยวัฒน์นิลวรรณ. (2549). *ระบบจัดการสควิดพรีอ็อกซีโพลีซีโดยผ่านเว็บอินเตอร์เฟซ*. กรุงเทพฯ: สำนักหอสมุดกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ณัฐ เพชรไม้. (2550). *เรียนลัดหัดใช้อินเทอร์เน็ต*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ สวีตี้ ไอที.
- บัณฑิต จามรฤติ. (2553). *คัมภีร์ Ubuntu Linux Server เล่ม 2*. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- พรทิพย์ พัฒนานุสรณ์. (2544). *การแสวงหาข่าวสารเกี่ยวกับประเด็นทางเพศของวัยรุ่นไทยที่นำเสนอผ่านทางอินเทอร์เน็ต*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขานิเทศศาสตร์ ภาควิชาการประชาสัมพันธ์ คณะนิเทศศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภัทรเกียรติเสวี. (2542). *สร้างอินเทอร์เน็ตเซิร์ฟเวอร์ด้วย Linux*. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- วนิดาจันทร์จิรากร. (2537). *อินเทอร์เน็ตมิติใหม่แห่งการสื่อสาร*. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- สัลยุทธ์ สว่างวรรณ. (2543). *Computer Networks*. กรุงเทพฯ: เพียร์สันเอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า.
- เอกชัย ศรีปทุมภรณ์. (2551). *Bandwidth Management : บริหารโครงข่ายอย่างมีประสิทธิภาพด้วยตนเอง*. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).