บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเผยแพร่มัลติมีเดีย (Multimedia) แบบถ่ายทอดสดบนอินเตอร์เน็ตได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นการถ่ายทอดสดเหตุการณ์ต่างๆ รายการโทรทัศน์และวิทยุ ซึ่งข้อมูลมัลติมีเดียเหล่านี้ล้วนแล้วแต่มีขนาดใหญ่กว่าข้อมูลปกติหลายสิบหรือหลายร้อยเท่า ทำให้มีปริมาณทราฟฟิก (Traffic) เพิ่มขึ้นในขณะที่แบนด์วิดท์ (Bandwidth) ของเครือข่ายอินเตอร์เน็ตมีอยู่จำกัด ทำให้ผู้รับไม่สามารถดาวน์โหลดไฟล์ขนาดใหญ่เสร็จภายในเวลาอันรวดเร็วได้ เทคโนโลยีสตรีมมิง (Streaming Technology) จึงเกิดขึ้นและถูกใช้เพื่อช่วยให้ผู้รับสามารถรับชมหรือรับฟังมัลติมีเดียนั้นได้ทันทีตั้งแต่เริ่มดาวน์โหลดข้อมูล โดยไม่ต้องรอให้การดาวน์โหลดข้อมูลเสร็จสิ้น ซึ่งคุณภาพของการให้บริการสตรีมมิงขึ้นอยู่กับความสามารถในการรองรับปริมาณทราฟฟิกของอุปกรณ์ในเครือข่ายเป็นหลัก เช่น แบนด์วิดท์ และจิทเตอร์ดีเลย์ (Jitter Delay) เป็นต้น

การสื่อสารแบบมัลติคาสต์ในระดับชั้นแอพพลิเคชัน (Application-Level Multicast: ALM) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับการให้บริการสตรีมมิงบนเครือข่ายที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยมีโหนดผู้ส่งและผู้รับ (End-Host) ทำหน้าที่รับและส่งต่อข้อมูลไปยังผู้รับอื่นๆ ด้วยการส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์ (Unicast Communication) การส่งข้อมูลในลักษณะนี้ทำให้สามารถให้บริการสตรีมมิงบนอินเตอร์เน็ตได้โดยไม่ต้องอาศัยความสามารถพิเศษของเราเตอร์ (Router) ในการช่วยกระจายข้อมูล แต่การติดต่อสื่อสารแบบมัลติคาสต์จำเป็นต้องสร้างโครงสร้างมัลติคาสต์ (Multicast Structure) เพื่อจัดลำดับโหนดที่จะรับและส่งต่อสตรีมมิง จากการศึกษาการให้บริการถ่ายทอดสดพบว่าการส่งข้อมูลถ่ายทอดสดให้ถึงผู้ชมจำนวนมากในเวลาเดียวกันเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เพราะการส่งข้อมูลไปถึงโหนดแต่ละโหนดจะมีปัจจัยที่แตกต่างกัน เช่น ดีเลย์ แบนด์วิดท์และปริมาณทราฟฟิกในเครือข่าย นอกจากนี้ยังพบว่าการให้บริการถ่ายทอดสดโดยทั่วไปสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การถ่ายทอดสดผ่านดาวเทียม หรือการถ่ายทอดสดผ่านคลื่นวิทยุ เป็นต้น และการให้บริการถ่ายทอดสดเหล่านี้เป็นการให้บริการที่ไม่สามารถควบคุมข้อมูลให้ถึงผู้รับทั้งหมดพร้อมกันได้ ดังนั้นปัจจัยเรื่องเวลาที่ใช้ส่งข้อมูลจึงไม่ใช่ความต้องการหลักของการให้บริการถ่ายทอดสดและผู้รับไม่จำเป็นต้องได้รับข้อมูลพร้อมกันหรือต้องได้รับในเวลาที่รวดเร็วที่สุด แต่สิ่งสำคัญในการให้บริการคือคุณภาพของมัลติมีเดียที่ผู้ชมได้รับ ดังนั้นหากผู้ชมแต่ละคนรับชมการถ่ายทอดสดโดย

ไม่ติดขัด (Smooth) ในเวลาที่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อยจึงเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ ซึ่งการส่งข้อมูลให้ถึงผู้รับได้อย่างต่อเนื่องเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับแบนด์วิดท์โดยตรง

การให้บริการถ่ายทอดสดด้วยวิธีการติดต่อสื่อสารแบบมัลติคาสต์ระดับชั้นแอพพลิเคชันเป็นการให้บริการที่มีผู้เข้ารับชมจำนวนมาก การส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตที่มีแบนด์วิดท์จำกัด และการใช้การสื่อสารแบบยูนิคาสต์เป็นพื้นฐานมีส่วนทำให้ข้อมูลเดียวกันถูกส่งซ้ำเส้นทางเดิม ทำให้เกิดปัญหาเรื่องแพ็กเก็ตเดียวกันถูกส่งผ่านบนลิงค์เดียวกัน ส่งผลให้ต้องใช้แบนด์วิดท์มากขึ้นแต่ยังได้งานเท่าเดิม ซึ่งปัจจัยทั้งหมดดังที่กล่าวมาแล้วเป็นสาเหตุหลักทำให้การใช้แบนด์วิดท์ในการส่งข้อมูลสตรีมมิงมีประสิทธิภาพต่ำ การจัดการให้ใช้แบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพตามแบนด์วิดท์ที่มีอยู่จึงเป็นสิ่งสำคัญมากที่สุด การใช้โครงสร้างมัลติคาสต์เข้ามาช่วยจัดลำดับในการส่งข้อมูลจะช่วยให้การกระจายข้อมูลทำได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังสามารถให้บริการกับผู้ใช้จำนวนมากได้โดยที่ยังคงคุณภาพของมัลติมีเดียที่ให้บริการได้ ซึ่งโครงสร้างมัลติคาสต์ที่ดีสำหรับการให้บริการถ่ายทอดสดควรมีคุณสมบัติ 2 ข้อ คือ ใช้แบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพ (Bandwidth Efficiency) และรองรับผู้ใช้บริการจำนวนมาก (Scalability) การใช้แบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยให้ข้อมูลถูกส่งไปถึงปลายทางด้วยแบนด์วิดท์ที่ตรงตามแบนด์วิดท์ที่แอพพลิเคชันสตรีมมิงต้องการ ซึ่งจะช่วยให้ผู้รับได้ชมการถ่ายทอดสดอย่างต่อเนื่องไม่ติดขัด ส่วนการรองรับผู้ใช้งานจำนวนมากจะเน้นการใช้ทรัพยากรของระบบให้น้อยที่สุดและกระจายการใช้งานทรัพยากรให้ดีที่สุด เพื่อให้มีทรัพยากรคงเหลือมากเพียงพอที่จะให้บริการกับผู้ใช้รายอื่นได้

โครงสร้างมัลติคาสต์โดยทั่วไปมีสองแบบ คือ แบบเมช (Mesh-Based) และแบบทรี (Tree-Based) โครงสร้างแบบเมชเป็นโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากกว่า เพราะเป็นโครงสร้างที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ร่วมกันระหว่างโหนดผู้ส่งหลายๆ โหนด แต่มีจุดอ่อนในขั้นตอนการสร้างที่ต้องทราบข้อมูลการเชื่อมต่อทั้งหมดในเครือข่ายเสียก่อน และหากมีโหนดใดเพิ่มเข้าหรือออกจากโครงสร้างจะต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างอีกครั้ง จึงทำให้โครงสร้างแบบเมชมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อเทียบกับโครงสร้างแบบทรี งานวิจัยส่วนใหญ่จึงนิยมสร้างโครงสร้างแบบทรีและนิยมเรียกว่า มัลติคาสต์ทรี (Multicast Tree) เพราะสามารถรองรับการเพิ่มหรือลดโหนดได้ตลอดเวลา และมีประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูลมากกว่าเพราะสร้างขึ้นมาเฉพาะสำหรับโหนดผู้ส่งที่กำหนด ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบมัลติคาสต์ทรีอยู่หลายงาน โดยส่วนใหญ่จะเป็นการสร้างมัลติคาสต์ทรีระดับโหนด (Node Level) ที่แต่ละโหนดเป็นเพียงโฮสต์หนึ่งโฮสต์ งานวิจัยเหล่านี้ใช้มาตรวัด เช่น ดีเลย์ (Delay) [1, 2] จำนวนเน็ตเวิร์คฮ็อป (Total Number

of Network Hop) [1] โอเวอร์เฮดในการเพิ่มโหนดและลบโหนดออกจากทรี (Join/Leave Overhead) [1, 3] ความยาวพาธ (Length of Path) [1, 4, 5] และแบนด์วิดท์โดยรวมของทรี (Tree Bandwidth) [5] เป็นต้น ต่อมาได้มีอัลกอริทึมที่สร้างทรีจากกลุ่มโฮสต์ [1,6] มัลติคาสต์ทรีจึงเปลี่ยนเป็นทรีระดับคลัสเตอร์ (Cluster Level) แทนระดับโหนด ซึ่งโครงสร้างทรีในระดับคลัสเตอร์จะช่วยลดโอเวอร์เฮดในการเพิ่มและลบโฮสต์ออกจากทรี และยังช่วยลดการใช้ทรัพยากรเครือข่ายที่ใช้รับ-ส่งข้อมูล เพราะใช้การกระจายข้อมูลภายในคลัสเตอร์ อัลกอริทึมที่สร้างมัลติคาสต์ทรีระดับคลัสเตอร์ ได้แก่ ไนซ์ (NICE) [6] และซิกแซก (ZIGZAG) [1] เป็นต้น ซิกแซกเป็นอัลกอริทึมที่พัฒนามาจากไนซ์และมีชื่อเสียงมากในการสร้างเครือข่ายซ้อนทับ (Overlay Network) โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้เวลาในการส่งข้อมูลไปยังโหนดสุดท้ายน้อยที่สุด (Latency Optimization) และยังมีการจำกัดจำนวนโหนดส่งต่อ (Out-Degree) ให้เป็นค่าคงที่ เพื่อไม่ให้เกิดโอเวอร์โหลดที่โหนดส่งต่อ ถึงแม้ว่าซิกแซกสามารถสร้างมัลติคาสต์ทรีจากเครือข่ายอินเตอร์เน็ตที่มีแบนด์วิดท์จำกัด แต่อัลกอริทึมซิกแซกก็ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้จริงกับเครือข่ายในปัจจุบัน เพราะซิกแซกถูกออกแบบมาให้ใช้กับเครือข่ายเชิงกายภาพ (Physical Network) ที่แต่ละลิงค์มีแบนด์วิดท์ใกล้เคียงกัน ทั้งที่ความเป็นจริงแล้วแบนด์วิดท์ในเครือข่ายมีความแตกต่างกันอยู่อย่างมาก ดังนั้นมัลติคาสต์ทรีของซิกแซกจึงเป็นอัลกอริทึมที่ไม่สามารถใช้แบนด์วิดท์ที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต่อมาได้มีการสร้างมัลติคาสต์ทรีโดยการคำนึงถึงโครงสร้างการเชื่อมต่อ (Topology-Aware) เพื่อให้ใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและใช้เวลาส่งข้อมูลน้อยที่สุด งานวิจัยที่นำเสนอวิธีการสร้างมัลติคาสต์ทรีโดยใช้ข้อมูลเกี่ยวกับโครงข่ายและพยายามลดแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่าย ได้แก่ อัลกอริทึมเอ็มเอสเอ็มทีและเอ็มบีเอ็มที (MSMT/MBMT) [6] แต่การสร้างมัลติคาสต์ทรีจากอัลกอริทึมนี้ต้องทราบแบนด์วิดท์และดีเลย์ของทั้งเครือข่ายเสียก่อน ซึ่งเป็นเรื่องยากเพราะการหาข้อมูลของลิงค์ที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดต่างๆ ด้วยวิธีการปิง (Ping) จะเกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลจำนวนมาก และหากโหนดใดในเครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงเข้า-ออกจากทรี จะต้องมีการปิงซ้ำทั้งเครือข่ายอีกครั้ง จึงทำให้อัลกอริทึมเหล่านี้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้จริงกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ตที่มีขนาดใหญ่

งานวิจัยนี้นำเสนออัลกอริทึมที่สร้างมัลติคาสต์ทรีด้วยวิธีการจัดกลุ่มโหนดเป็นคลัสเตอร์โดยอาศัยธรรมชาติของโครงสร้างของเครือข่ายอินเตอร์เน็ตที่มีลักษณะเป็นเทียร์ (Tier) ซึ่งแนวความคิดพื้นฐานของอัลกอริทึมที่นำเสนอจะจำแนกลิงค์บนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตออกเป็นลิงค์ทรานสิต (Transit Link) และลิงค์สตับ (Stub Link) โดยมุ่งเน้นให้มัลติคาสต์ทรีใช้แบนด์วิดท์โลคอลด้วยการเพิ่มการใช้แบนด์วิดท์ที่ลิงค์สตับ และลดการใช้แบนด์วิดท์ที่ลิงค์ทรานสิต เพื่อให้

ได้มัลติคาสต์ทรีที่ใช้แบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพ รองรับผู้ใช้งานจำนวนมาก (Good Scalability) และสามารถนำไปใช้กับการให้บริการถ่ายทอดสดได้ การวัดผลการทำงานของอัลกอริทึมจะใช้วิธีจำลองเครือข่ายเชิงกายภาพ และทดสอบการทำงานของมัลติคาสต์ทรีที่ได้เทียบกับอัลกอริทึมซิกแซก เอ็มเอสเอ็มที และเอ็มบีเอ็มที ผลการทดลองพบว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถสร้างมัลติคาสต์ทรีที่ใช้แบนด์วิดท์โลคอลได้มากกว่าอัลกอริทึมอื่น มีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิตน้อยกว่าอัลกอริทึมอื่น ใช้เวลาในการส่งข้อมูลไปยังโหนดสุดท้ายน้อยกว่าอัลกอริทึมอื่น และมีสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ในเครือข่ายซ้อนทับต่ำกว่าอัลกอริทึมอื่น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสร้างมัลติคาสต์ทรีที่ให้บริการถ่ายทอดสดสำหรับผู้ใช้งานจำนวนมากด้วยวิธีการติดต่อสื่อสารแบบมัลติคาสต์ระดับชั้นแอพพลิเคชันโดยใช้แบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) ออกแบบอัลกอริทึมที่สร้างมัลติคาสต์ทรีเพื่อให้บริการถ่ายทอดสด ซึ่งเป็นแอพพลิเคชันมีผู้ส่งเพียงโหนดเดียวและมีผู้รับหลายโหนด
2) สร้างมัลติคาสต์ทรีด้วยการจัดกลุ่มโหนดเข้าด้วยกันเป็นคลัสเตอร์ โดยพิจารณาจากเขตที่ตั้งและลาเทนซี (Latency)
3) ทดสอบอัลกอริทึมด้วยการจำลองโดยใช้โปรแกรม NS2 จำลองเครือข่ายเชิงกายภาพ การรับ-ส่งข้อมูล และจำลองข้อมูลจากแอพพลิเคชันถ่ายทอดสด มีรายละเอียดดังนี้
    ก) เครือข่ายเชิงกายภาพอ้างอิงแบบจำลองทรานสิต-สตับ ประกอบด้วยโหนดทั้งหมด 1000 โหนด
    ข) เครือข่ายซ้อนทับ ประกอบด้วยโหนดจำนวน 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, และ 500 โหนด
    ค) การทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ
        — การทดลองในกรณีที่การระบุเขตที่ตั้งถูกต้องทั้งหมด ในการทดลองนี้ประกอบด้วย 3 การทดลองตามจำนวนโดเมนสตับ คือ
            - การทดลองบนเครือข่ายเชิงกายภาพที่มีโดเมนสตับเดียว ในการทดลองนี้เครือข่ายเชิงกายภาพประกอบด้วยโดเมนสตับจำนวน 1 โดเมน

- การทดลองบนเครือข่ายเชิงกายภาพที่มีโดเมนสตับปานกลาง ในการทดลองนี้เครือข่ายเชิงกายภาพประกอบด้วยโดเมนสตับจำนวน 5 โดเมน
- การทดลองบนเครือข่ายเชิงกายภาพที่มีโดเมนสตับมาก ในการทดลองนี้เครือข่ายเชิงกายภาพประกอบด้วยโดเมนสตับจำนวน 20 โดเมน

— การทดลองในกรณีที่การระบุเขตที่ตั้งถูกต้องเพียงบางโหนด

ง) ใช้โปรโตคอลยูดีพี (UDP) ในการส่งข้อมูลสตรีมมิง

จ) แพ็กเก็ตที่ส่งมีขนาด 1000 ไบต์ ส่งด้วยบิตเรตคงที่ (Constant Bit Rate: CBR) ที่อัตราเร็ว 250 กิโลบิตต่อวินาที (kbps)

4) เปรียบเทียบการทำงานกับอัลกอริทึมซิกแซก เอ็มเอสเอ็มที และเอ็มบีเอ็มที

5) ใช้มาตรวัดดังต่อไปนี้

ก) จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่มากที่สุดบนลิงค์ทรานสิต (Transit Link Stress)

ข) สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ในเครือข่ายซ้อนทับ (Overlay Utilization)

ค) สัดส่วนข้อมูลทรานสิต (Transit Byte Ratio)

ง) เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ (Overlay Delay)

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

การทำมัลติคาสต์ระดับชั้นแอพพลิเคชัน (Application Level Multicast: ALM) หมายถึง การส่งข้อมูลจากผู้ส่งโหนดเดียวไปยังกลุ่มผู้รับที่มีหลายโหนดโดยไม่ต้องอาศัยฟังก์ชันพิเศษของเราเตอร์เข้ามาช่วยการกระจายข้อมูล แต่จะใช้การส่งต่อระหว่างโหนดภายในกลุ่มมัลติคาสต์

การใช้แบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพ (Bandwidth Efficiency) หมายถึง การใช้แบนด์วิดท์อย่างเหมาะสมกับแบนด์วิดท์ที่มีอยู่ เช่น บนลิงค์ทรานสิตที่มักจะมีแบนด์วิดท์น้อยกว่าลิงค์สตับ จึงควรมีสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์น้อยกว่าลิงค์สตับ

การใช้แบนด์วิดท์โลคอล (Bandwidth Localization) หมายถึง ความพยายามเลือกใช้แบนด์วิดท์โลคอลมากกว่าใช้แบนด์วิดท์โกลบอล

โหนดต้นทาง (Source) หมายถึง โหนดที่ต้องการกระจายข้อมูลสตรีมมิง

การคำนึงถึงโครงสร้างการเชื่อมต่อ (Topology-Aware) หมายถึง การสร้างมัลติคาสต์ทรีโดยใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโหนดและลิงค์ เช่น ดีเลย์ แบนด์วิดท์ โหนดถัดไปที่ต่อเชื่อม ไอพีแอดเดรส เป็นต้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1) ได้มัลติคาสต์ทรีที่มีการใช้แบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพ ที่สามารถลดจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิต และเพิ่มปริมาณข้อมูลที่วิ่งบนลิงค์สตับได้

2) ได้อัลกอริทึมที่สร้างมัลติคาสต์ทรีที่ใช้แบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถรองรับผู้ใช้งานจำนวนมากได้ และสามารถนำไปใช้กับการให้บริการถ่ายทอดสดได้

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนออกเป็น

1) ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3) ออกแบบและสร้างอัลกอริทึมที่เหมาะสม
4) พัฒนาโปรแกรมเพื่อทดสอบอัลกอริทึม
5) ทดสอบและเปรียบเทียบผลการทดลอง
6) ปรับปรุงการทำงานของอัลกอริทึมและโปรแกรม
7) วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการวิจัย
8) เรียบเรียงและจัดทำวิทยานิพนธ์

1.7 โครงสร้างวิทยานิพนธ์

โครงสร้างวิทยานิพนธ์เล่มนี้ประกอบด้วยบทหลัก 6 บท คือ บทนำ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบบจำลองที่ใช้ทำมัลติคาสต์ การทำมัลติคาสต์โดยใช้เขตที่ตั้ง ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ โดยในบทแรกจะกล่าวถึงประวัติความเป็นมา ปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตในการวิจัย คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ วิธีการดำเนินงานวิจัย ลำดับขั้นตอนการนำเสนองานวิจัย และผลงานที่ตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์ ต่อมาในบทที่ 2 ได้อธิบายถึงทฤษฎีสื่อสตรีมมิง แบบจำลองล็อกพี การสื่อสารในเครือข่าย มัลติคาสต์ทรี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทที่ 3 กล่าวถึงแบบจำลอง คำนิยาม และสมมติฐานที่จำเป็นต่อการวิจัยซึ่งได้แก่ แบบจำลองเชิงกายภาพ แบบจำลองเชิงมโนภาพ แบบจำลองมัลติคาสต์ระดับชั้นแอพพลิเคชัน การคำนึงถึงโครงสร้างการเชื่อมต่อ การวัดประสิทธิภาพมัลติคาสต์ระดับชั้นแอพพลิเคชัน และการนำมัลติคาสต์ทรีไปใช้ในงานจริง บทที่ 4 กล่าวถึง โครงสร้างลำดับชั้นของการจัดกลุ่มโหนดตามพื้นที่ การสร้างมัลติคาสต์ทรีโดยใช้เขตที่ตั้ง การแบ่งและการรวมคลัสเตอร์ การลบโหนดออกจากทรี บทที่ 5 อธิบายถึงเครื่องมือที่ใช้ในการ

วิจัย ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง และในบทสุดท้าย บทที่ 6 อธิบายสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงงานวิจัย

1.8 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์เป็นบทความทางวิชาการในหัวข้อเรื่อง "Minimizing Multicast Communication Latency in WAN-Based Environment" โดย นางสาวกาญจนา ศิลาวราเวทย์ และ ดร.ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์ ในงานประชุมวิชาการนานาชาติ "The International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD' 2006)" ณ เมืองลาสเวกัส ประเทศสหรัฐอเมริกา ระหว่างวันที่ 19-20 มิถุนายน 2549