เครือข่ายซ้อนทับที่มีประสิทธิภาพของการทำมัลติคาสต์ระดับชั้นแอพพลิเคชันบนเพียร์ทูเพียร์สำหรับการถ่ายทอดสด

นางสาวกาญจนา ศิลาวราเวทย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AN EFFICIENT OVERLAY NETWORK OF PEER-TO-PEER APPLICATION-LEVEL MULTICAST FOR LIVE MULTIMEDIA STREAMING DATA

Miss Kanchana Silawarawet

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Computer Engineering
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

511491

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครือข่ายซ้อนทับที่มีประสิทธิภาพของการทำมัลติคาสต์ ระดับชั้นแอพพลิเคชันบนเพียร์ทูเพียร์สำหรับการถ่ายทอดสด
โดย	นางสาวกาญจนา ศิลาวราเวทย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ยรรยง เต็งอำนวย)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เหมืองสิน)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภุชงค์ อุทโยภาศ)

กาญจนา ศิลาวราเวทย์ : เครือข่ายซ้อนทับที่มีประสิทธิภาพของการทำมัลติคาสต์ระดับชั้นแอพพลิเคชันบนเพียร์ทูเพียร์สำหรับการถ่ายทอดสด. (AN EFFICIENT OVERLAY NETWORK OF PEER-TO-PEER APPLICATION-LEVEL MULTICAST FOR LIVE MULTIMEDIA STREAMING DATA) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ. ดร. ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์, 86 หน้า.

การขยายตัวอย่างรวดเร็วของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ส่งผลให้การให้บริการมัลติมีเดียแบบสตรีมมิงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย การสื่อสารแบบมัลติคาสต์ระดับชั้นแอพพลิเคชันเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้เผยแพร่สตรีมมิงผ่านอินเตอร์เน็ต แต่การสื่อสารชนิดนี้อาศัยการส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์เข้ามาช่วย จึงอาจทำให้ข้อมูลเดียวกันถูกส่งซ้ำเส้นทางเดิม ส่งผลให้มีการใช้แบนด์วิดท์อย่างไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้การทำสตรีมมิงไม่สามารถรองรับผู้ใช้จำนวนมากได้

งานวิจัยนี้นำเสนออัลกอริทึมที่ใช้สร้างมัลติคาสต์ทรีด้วยวิธีการจัดกลุ่มโหนดตามพื้นที่ (Locality-Aware Clustering: LAC) โดยใช้เขตที่ตั้ง (Landmark) เป็นข้อมูลช่วยเหลือในการจัดโครงสร้างของทรีเพื่อให้ได้มัลติคาสต์ทรีที่ใช้แบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพ รองรับผู้ใช้งานจำนวนมาก และนำไปใช้จริงกับการให้บริการถ่ายทอดสดได้ การทดสอบอัลกอริทึมจะใช้การจำลองเครือข่ายเชิงกายภาพ และวิเคราะห์การทำงานของมัลติคาสต์ทรีเทียบกับอัลกอริทึมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ได้แก่ ซิกแซก (ZIGZAG) เอ็มบีเอ็มที (MBMT) และเอ็มเอสเอ็มที (MSMT) ผลที่ได้พบว่าการจัดกลุ่มโดยใช้เขตที่ตั้งทำให้ได้มัลติคาสต์ทรีที่มีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำน้อยกว่าอัลกอริทึมอื่น ใช้เวลาในการส่งข้อมูลไปยังโหนดสุดท้ายน้อยกว่าอัลกอริทึมอื่น และมีสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวดต่ำกว่าอัลกอริทึมอื่น แสดงให้เห็นว่ามัลติคาสต์ทรีที่มีการจัดกลุ่มโดยใช้เขตที่ตั้งนี้สามารถใช้แบนด์วิดท์ในเครือข่ายซ้อนทับได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าอัลกอริทึมอื่น ซึ่งทำให้สามารถรองรับผู้ใช้งานได้มากขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต กาญจนา ศิลาวราเวทย์

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2551

4771802421 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS : LOCALITY-AWARE CLUSTERING / APPLICATION-LEVEL MULTICAST / LANDMARK / BANDWIDTH LOCALIZATION / BANDWIDTH EFFICIENTCY

KANCHANA SILAWARAWET : AN EFFICIENT OVERLAY NETWORK OF PEER-TO-PEER APPLICATION-LEVEL MULTICAST FOR LIVE MULTIMEDIA STREAMING DATA. ADVISOR : NATAWUT NUPAIROJ, Ph.D., 86 pp.

With the rapid growth of Internet, media streaming plays an important role for growing demand of media service. Application Level Multicast (ALM) has emerged as a key alternative to enable broadcast the streaming media over the Internet. However, ALM uses the unicast communication in background. Thus, this will generate to a lot of link stresses, or packets duplication, in the same physical links. As the result, many ALMs cannot utilize bandwidth efficiently and become poorly scalable when being used in media streaming services.

This research proposed an ALM algorithm approach called Locality-Aware Clustering (LAC), which utilizes the knowledge of network topology, called landmarks, as hints to construct an efficient ALM multicast tree. Our proposed algorithm is bandwidth efficient, highly scalable, and practical for live streaming services. Our proposed algorithm is evaluated by comparing with ZIGZAG, MSMT, and MBMT using simulation. The results show that our LAC tree has lesser stress, lesser overlay delay, and lesser utilization on bottleneck link. Hence, the LAC tree demonstrates better overlay utilization and offers better scalability than other traditional ALM approaches.

Department : Computer Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Computer Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2008

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ และความช่วยเหลืออย่างยิ่งจาก อาจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ หนูไพโรจน์ ซึ่งเป็นผู้เสียสละเวลาให้ข้อคิด แนวทาง และคำปรึกษาตลอดจนเป็นผู้ตรวจทานแก้ไข ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ให้ความเมตตา ช่วยเหลือ รวมทั้งโอกาสและสิ่งที่ดีแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ประภาส จงสถิตย์วัฒนา อาจารย์ ดร.ยรรยง เต็งอำนวย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ เหมืองสิน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภุชงค์ อุทโยภาศ ประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้อันมีค่ายิ่งแก่ผู้วิจัย

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่ให้ความรัก ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานที่ให้การสนับสนุนมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการไอเซล (ISEL) ซึ่งเป็นสถานที่ในการทำวิจัย รวมไปถึงเพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่ร่วมทุกข์ร่วมสุข เป็นกำลังใจ ให้ความช่วยเหลือ ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำ จนผู้วิจัยทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 5

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 6

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย 6

1.7 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย 6

1.8 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์ 7

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 8

2.1.1 สื่อสตรีมมิ่ง 8

2.1.2 แบบจำลองล็อกพี 9

2.1.3 การสื่อสารในเครือข่าย 10

2.1.4 มัลติคาสต์ทรี 12

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13

3 แบบจำลองที่ใช้ทำมัลติคาสต์ 17

3.1 แบบจำลองเชิงกายภาพ 17

บทที่		หน้า
	3.2 แบบจำลองเชิงมโนภาพ	20
	3.3 แบบจำลองมัลติคาสต์ระดับชั้นแอพพลิเคชัน	21
	3.4 การคำนึงถึงโครงสร้างการเชื่อมต่อ	24
	3.5 การวัดประสิทธิภาพมัลติคาสต์ระดับชั้นแอพพลิเคชัน	26
	3.6 การนำไปใช้จริง	28
4	การทำมัลติคาสต์โดยใช้เขตที่ตั้ง	29
	4.1 โครงสร้างลำดับชั้นของการจัดกลุ่มตามพื้นที่	29
	4.2 การสร้างมัลติคาสต์ทรีโดยใช้เขตที่ตั้ง	32
	4.3 การแบ่งและการรวมคลัสเตอร์	34
	4.4 การลบโหนดออกจากทรี	42
5	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	43
	5.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	43
	5.2 ผลการทดลอง	45
	5.2.1 ผลการทดลองกรณีที่การระบุเขตที่ตั้งถูกต้องทั้งหมด	45
	5.2.1.1 ผลการทดลองบนเครือข่ายเชิงกายภาพที่มีโดเมนสตับเดียว	45
	5.2.1.2 ผลการทดลองบนเครือข่ายเชิงกายภาพที่มีโดเมนสตับปานกลาง	49
	5.2.1.3 ผลการทดลองบนเครือข่ายเชิงกายภาพที่มีโดเมนสตับมาก	60
	5.2.2 ผลการทดลองกรณีที่การระบุเขตที่ตั้งถูกต้องเพียงบางโหนด	67
	5.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง	73
6	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	81
	6.1 สรุปผลการวิจัย	81
	6.2 ข้อเสนอแนะ	82
รายการอ้างอิง		83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์		86

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	รายละเอียดของมัลติคาสต์ทรีในรูปที่ 4.1	31
5.1	ค่าที่ใช้สร้างเครือข่ายเชิงกายภาพ	43
5.2	ค่าที่ใช้ในการจำลองเครือข่ายเชิงกายภาพ	44
5.3	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดในเครือข่ายซ้อนทับ	46
5.4	สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวด	47
5.5	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวด	48
5.6	เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ	49
5.7	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดในเครือข่ายซ้อนทับ	50
5.8	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิต	53
5.9	สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวด	54
5.10	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวด	55
5.11	สัดส่วนข้อมูลทรานสิต	56
5.12	เปอร์เซ็นต์การใช้ลิงค์สตับ	57
5.13	เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ	59
5.14	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดในเครือข่ายซ้อนทับ	60
5.15	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิต	61
5.16	สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวด	62
5.17	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวด	63
5.18	สัดส่วนข้อมูลทรานสิต	64
5.19	เปอร์เซ็นต์การใช้ลิงค์สตับ	65
5.20	เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ	66
5.21	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดในเครือข่ายซ้อนทับ	68
5.22	สัดส่วนข้อมูลทรานสิต	69
5.23	สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ในเครือข่ายซ้อนทับ	70
5.24	เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ	72
5.25	เส้นทางการส่งข้อมูลในมัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมเอ็มเอสเอ็มที	74
5.26	เส้นทางการส่งข้อมูลในมัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมเอ็มบีเอ็มที	75

5.27 เส้นทางการส่งข้อมูลในมัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมซิกแซก..... 78
5.28 เส้นทางการส่งข้อมูลในมัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมแอลเอซี..... 78

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตจากต้นทางไปยังปลายทาง	9
2.2	เส้นทางการไหลของแพ็กเก็ตในไอพีมัลติคาสต์	11
2.3	เส้นทางการไหลของแพ็กเก็ตในมัลติคาสต์ระดับชั้นแอพพลิเคชัน	12
2.4	ตัวอย่างของมัลติคาสต์ทรี	13
3.1	องค์ประกอบของแบบจำลองทรานสิต-สตับ	18
3.2	เครือข่ายเชิงกายภาพตามแบบจำลองทรานสิต-สตับ	19
3.3	เครือข่ายเชิงมโนภาพแบบสมบูรณ์	20
3.4	เครือข่ายซ้อนทับ	22
3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองทั้งสาม	23
3.6	เครือข่ายเชิงกายภาพ	25
4.1	ตัวอย่างของมัลติคาสต์ทรีที่จัดกลุ่มตามพื้นที่	30
4.2	การเพิ่มโหนดใหม่ลงในทรีจนกระทั่งคลัสเตอร์มีขนาดเกินกำหนด	33
4.3	คลัสเตอร์หลังการจัดเรียงตามเขตที่ตั้ง	36
4.4	คลังเตอร์หลังการจัดเรียงตามจำนวนโหนดในเขตที่ตั้ง	37
4.5	คลัสเตอร์หลังการจัดเรียงตามดีเลย์	37
4.6	ตำแหน่งแบ่งแยก	38
4.7	คลัสเตอร์ที่ได้หลังจากแบ่งคลัสเตอร์	38
4.8	มัลติคาสต์ทรีที่ได้หลังจากการเชื่อมคลัสเตอร์	39
4.9	กระบวนการแบ่งคลัสเตอร์และการเชื่อมคลัสเตอร์	40
4.10	มัลติคาสต์ทรีที่ใช้เขตที่ตั้ง	41
4.11	เครือข่ายซ้อนทับที่ใช้เขตที่ตั้ง	41
5.1	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่ายซ้อนทับ	46
5.2	สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวด	47
5.3	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวด	48
5.4	เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ	49
5.5	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่ายซ้อนทับ	51
5.6	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิตและลิงค์สตับ	52

5.7 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิต..... 53
5.8 สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวด..... 54
5.9 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวด..... 55
5.10 สัดส่วนข้อมูลทรานสิต..... 57
5.11 เปอร์เซ็นต์การใช้ลิงค์สตับ..... 58
5.12 เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ..... 59
5.13 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่ายซ้อนทับ..... 60
5.14 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิตและลิงค์สตับ..... 61
5.15 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิต..... 62
5.16 สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวด..... 63
5.17 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวด..... 64
5.18 สัดส่วนข้อมูลทรานสิต..... 65
5.19 เปอร์เซ็นต์การใช้ลิงค์สตับ..... 66
5.20 เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ..... 67
5.21 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่ายซ้อนทับเมื่อข้อมูลเขตที่ตั้งมีความผิดพลาด..... 68
5.22 สัดส่วนข้อมูลทรานสิตเมื่อเข้อมูลเขตที่ตั้งมีความผิดพลาด..... 69
5.23 สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ในเครือข่ายซ้อนทับเมื่อข้อมูลเขตที่ตั้งมีความผิดพลาด 71
5.24 เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับเมื่อข้อมูลเขตที่ตั้งผิดพลาด..... 72
5.25 ตัวอย่างมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมเอ็มเอสเอ็มที..... 73
5.26 ตัวอย่างมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมเอ็มบีเอ็มที..... 73
5.27 ตัวอย่างมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมซิกแซก..... 77
5.28 ตัวอย่างมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมการจัดกลุ่มโหนดโดยใช้เขตที่ตั้ง..... 77