สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกกล่าวถึงเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ส่วนที่สองกล่าวถึงผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 **เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย** (Simulation Environment)

งานวิจัยนี้ประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำเสนอโดยใช้แบบจำลองทรานสิต-สตับ ที่ชื่อว่าจีที-ไอทีเอ็ม (GT-ITM) [22] โดยตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการสร้างเครือข่ายเชิงกายภาพตามที่ระบุในตาราง 5.1 และตารางที่ 5.2 ใช้โปรแกรม NS2 [28] จำลองการทำงานของอัลกอริทึม

ตารางที่ 5.1 ค่าที่ใช้สร้างเครือข่ายเชิงกายภาพ

ค่าที่ใช้	โดเมนสตับเดียว	โดเมนสตับปานกลาง	โดเมนสตับมาก
จำนวนโดเมนทรานสิต	1	1	1
จำนวนโดเมนสตับต่อโดเมนทรานสิต	1	1	1
จำนวนโหนดทรานสิต	1	5	20
จำนวนโหนดต่อโดเมนสตับ	999	199	49

จากค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว เมื่อนำมาสร้างเครือข่ายเชิงกายภาพจะได้เครือข่ายเชิงกายภาพที่มีจำนวนโดเมนสตับต่างกัน 3 รูปแบบ คือ แบบโดเมนสตับเดียว แบบโดเมนสตับปานกลาง และแบบโดเมนสตับมาก โดยเครือข่ายเชิงกายภาพทั้งสามรูปแบบจะมีคุณสมบัติเหมือนกัน คือ มีโดเมนทรานสิตจำนวน 1 โดเมน และแต่ละโดเมนทรานสิตจะเชื่อมต่อกับโดเมนสตับจำนวน 1 โดเมน และกำหนดเครือข่ายเชิงกายภาพมีจำนวนโหนดทั้งหมดเท่ากับ 1000 โหนด เครือข่ายเชิงกายภาพทั้ง 3 รูปแบบมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) แบบโดเมนสตับเดียว (Single Stub Domain) เครือข่ายเชิงกายภาพชนิดนี้สร้างขึ้นเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในกรณีที่โหนดทั้งหมดในเครือข่ายตั้งอยู่บนพื้นที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นในเครือข่ายเชิงกายภาพนี้จึงประกอบโดเมนทรานสิตที่มีโหนดทรานสิตจำนวน 1 โหนด ทำให้เครือข่ายนี้มี

โดเมนสตับได้เพียงโดเมนเดียว และภายในโดเมนสตับนั้นประกอบด้วยโหนดจำนวน 999 โหนด ในการทดลองจะสุ่มเลือกโหนดเพื่อสร้างมัลติคาสต์ทรีเป็นจำนวน 50, 100, 300 และ 500 โหนด

2) แบบโดเมนสตับปานกลาง (Moderate Stub Domain) เครือข่ายเชิงกายภาพชนิดนี้สร้างขึ้นเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในกรณีที่เครือข่ายมีจำนวนโดเมนสตับไม่มากหรือน้อยจนเกินไป ในการทดลองนี้กำหนดให้โดเมนทรานสิตประกอบด้วยโหนดทรานสิตจำนวน 5 โหนด ทำให้เครือข่ายนี้มีโดเมนสตับจำนวน 5 โดเมน และแต่ละโดเมนสตับประกอบด้วยโหนดจำนวน 199 โหนด ในการทดลองจะสุ่มเลือกโหนดเพื่อสร้างมัลติคาสต์ทรีเป็นจำนวน 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 และ 500 โหนด
3) แบบโดเมนสตับมาก (Extreme Stub Domain) เครือข่ายเชิงกายภาพชนิดนี้สร้างขึ้นเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในกรณีที่เครือข่ายมีโดเมนสตับหลายโดเมน ในการทดลองนี้กำหนดให้ในโดเมนทรานสิตประกอบด้วยโหนดทรานสิต 20 โหนด และแต่ละโดเมนสตับประกอบด้วยโหนดจำนวน 49 โหนด ในการทดลองจะสุ่มเลือกโหนดเพื่อสร้างมัลติคาสต์ทรีเป็นจำนวน 50, 100, 300 และ 500 โหนด

ตารางที่ 5.2 ค่าที่ใช้ในการจำลองเครือข่ายเชิงกายภาพ

ตัวแปร	โดเมนสตับ	โดเมนทรานสิต
ลาเทนซี (มิลลิวินาที, msec)	0.2-0.5	9-20
แบนด์วิดท์ของลิงค์ (เมกกะบิตต่อวินาที, Mbps)	80-100	8-10
ขนาดแพ็กเก็ต (ไบต์, byte)	1000	1000
อัตราเร็วของสตรีมมิง (กิโลบิตต่อวินาที, Kbps)	250	250

จากตารางที่ 5.2 ค่าที่ใช้ในการจำลองเครือข่ายเชิงกายภาพเป็นค่าที่ได้มาจากการทดลองใน [29] เมื่อนำมาใช้สร้างเครือข่ายเชิงมโนภาพที่มีสองกลุ่มโดเมน คือ โดเมนทรานสิตและโดเมนสตับ ในแต่ละโดเมนค่าลาเทนซีและแบนด์วิดท์จะถูกสุ่มอยู่ในช่วงค่าที่กำหนดไว้ในตาราง เช่น ค่าแบนด์วิดท์อยู่ระหว่าง 80-100 เมกกะบิตต่อวินาทีเป็นแบนด์วิดท์ของลิงค์สตับ ส่วนลิงค์ทรานสิตจะสุ่มค่าแบนด์วิดท์ระหว่าง 8-10 เมกกะบิตต่อวินาที เป็นต้น ในการทดลองนี้จะส่งสตรีมมิงความยาว 5 วินาที ด้วยอัตราเร็วคงที่ๆ 250 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้

ทั่วไปสำหรับส่งทั้งภาพและเสียง [30] และได้สร้างมัลติคาสต์ทรีโดยใช้เขตที่ตั้ง (แอลเอซี) เปรียบเทียบกับมัลติคาสต์ทรีที่ได้จากอัลกอริทึมซิกแซก เอ็มเอสเอ็มทีและเอ็มบีเอ็มที และเพื่อให้เกิดความมั่นใจในผลการทดลอง การทดลองของแต่ละรูปแบบเครือข่ายจะมีการทดสอบ 9 ครั้ง โดยทดสอบบนเครือข่ายจำลองเชิงกายภาพที่ต่างกันจำนวน 3 เครือข่าย และในแต่ละเครือข่ายเชิงกายภาพการทดสอบจะเกิดจากการสุ่มโหนดในเครือข่ายซ้อนทับเป็นจำนวนอีก 3 ครั้ง โดยทุกครั้งจะทำการทดลองที่เป็นอิสระแยกจากกัน หลังจากนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยผลการทดลอง ซึ่งเมื่อนับจำนวนการทดลองทั้งหมดที่ทำ เพื่อทดสอบมัลติคาสต์ทรีที่สร้างขึ้นโดยใช้เขตที่ตั้งและอัลกอริทึมเปรียบเทียบมีจำนวนรวมทั้งสิ้น 432 การทดลอง

5.2 ผลการทดลอง

การประเมินประสิทธิภาพการทำมัลติคาสต์ระดับชั้นแอพพลิเคชันจากมัลติคาสต์ทรีที่สร้างขึ้นโดยใช้เขตที่ตั้งแบ่งออกเป็นสองการทดลองใหญ่ คือ การประเมินประสิทธิภาพในกรณีที่การระบุเขตที่ตั้งของแต่ละโหนดถูกต้องทั้งหมด และการประเมินประสิทธิภาพในกรณีที่การระบุเขตที่ตั้งของแต่ละโหนดถูกต้องเพียงบางโหนด

5.2.1 ผลการทดลองกรณีที่การระบุเขตที่ตั้งถูกต้องทั้งหมด

การทดลองในกรณีที่การระบุเขตที่ตั้งถูกต้องทั้งหมด ประกอบด้วยการทดลอง 3 แบบตามเครือข่ายจำลองเชิงกายภาพทั้งสามแบบ คือ การทดลองบนเครือข่ายเชิงกายภาพที่มีโดเมนสตับเดียว การทดลองบนเครือข่ายเชิงกายภาพที่มีโดเมนสตับปานกลาง และการทดลองบนเครือข่ายเชิงกายภาพที่มีโดเมนสตับมาก

5.2.1.1 ผลการทดลองบนเครือข่ายเชิงกายภาพที่มีโดเมนสตับเดียว

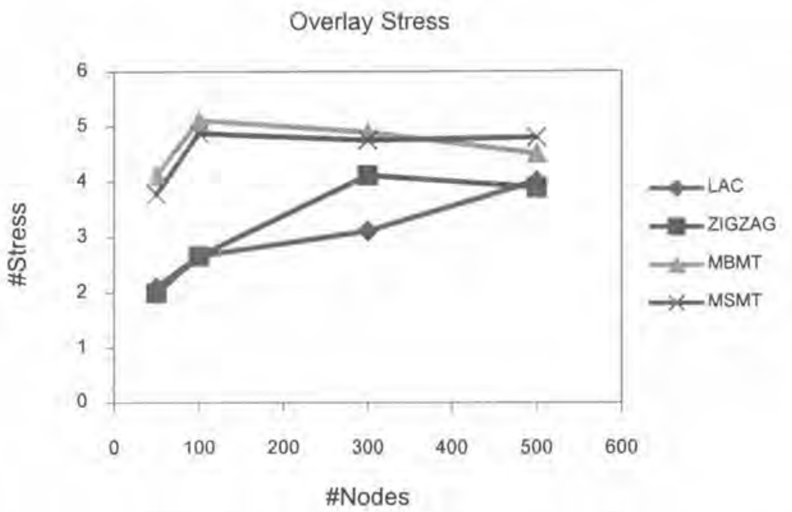
ในการทดลองนี้กำหนดให้เครือข่ายเชิงกายภาพประกอบด้วยโดเมนสตับจำนวน 1 โดเมน โหนดทั้งหมดในเครือข่ายเชิงกายภาพจึงตั้งอยู่ในเขตที่ตั้งเดียวกัน การประเมินประสิทธิภาพมัลติคาสต์ทรีที่สร้างขึ้นจากเครือข่ายเชิงกายภาพที่มีโดเมนสตับเดียวนี้ จึงใช้มาตรวัด 3 ตัว ซึ่งประกอบด้วย จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่มากที่สุดบนลิงค์ทรานสิต สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ในเครือข่ายซ้อนทับ และเวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ

ก) **จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่มากที่สุดในเครือข่ายซ้อนทับ** (Overlay Stress)

ในเครือข่ายเชิงกายภาพที่มีโดเมนลดับเดียวจะมีลิงค์ลดับเพียงชนิดเดียวที่เชื่อมต่อทุกโหนด ทุกลิงค์จึงมีแบนด์วิดท์และดีเลย์ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่มากที่สุดในเครือข่ายซ้อนทับจึงมีค่าเท่ากับจำนวนแพ็กซ้ำที่มากที่สุดบนลิงค์ลดับ

ตารางที่ 5.3 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดในเครือข่ายซ้อนทับ

จำนวนโหนด	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดในเครือข่ายซ้อนทับ			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	2	2	4	4
100	3	3	5	5
300	3	4	5	5
500	4	4	5	5



รูปที่ 5.1 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่ายซ้อนทับ

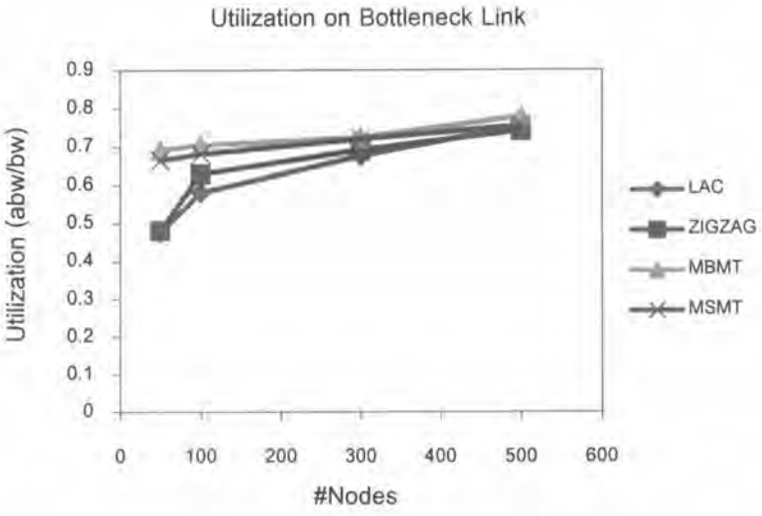
จากตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.1 พบว่าจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำของอัลกอริทึมทั้ง 4 สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มที่มีค่าใกล้เคียงกัน คือ มัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมเอ็มบีเอ็มที และเอ็มเอสเอ็มที และมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมซิกแซกและอัลกอริทึมที่จัดกลุ่มโหนดตามเขตที่ตั้ง สาเหตุที่จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำของมัลติคาสต์ทรีที่จัดกลุ่มโหนดตามเขตที่ตั้งมีค่า

ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมซิกแซก เนื่องจากทุกโหนดในเครือข่ายเชิงกายภาพตั้งอยู่ในพื้นที่เดียวกัน การค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะเชื่อมต่อในมัลติคาสต์ทรีจึงพิจารณาจากค่าดีเลย์เป็นหลัก เช่นเดียวกับอีก 3 อัลกอริทึม ทำให้จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่มากที่สุดในเครือข่ายซ้อนทับที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก

ข) สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ในเครือข่ายซ้อนทับ (Overlay Utilization)

ตารางที่ 5.4 สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวด

จำนวนโหนด	สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวด			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	0.476	0.482	0.693	0.665
100	0.580	0.630	0.705	0.682
300	0.677	0.692	0.724	0.721
500	0.753	0.742	0.779	0.755

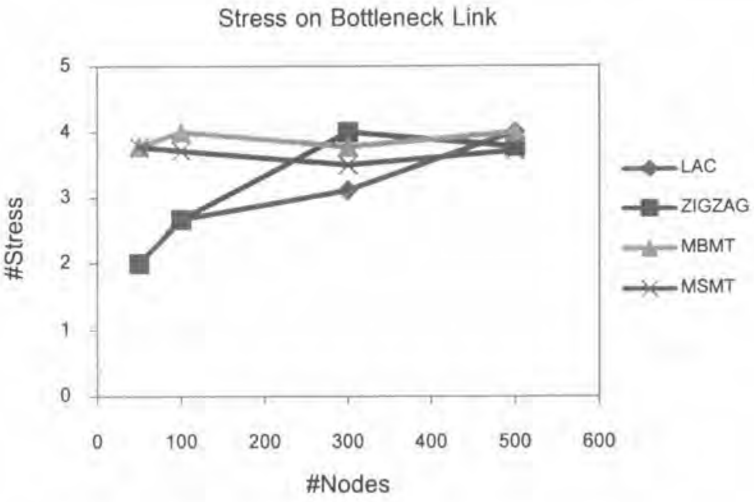


รูปที่ 5.2 สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวด

จากรูปที่ 5.2 แสดงให้เห็นถึงค่าสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ของทั้ง 4 อัลกอริทึมที่สัมพันธ์กับจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนโหนดเพิ่มมากขึ้นค่าสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวดยิ่งใกล้เคียงกันมากขึ้น และถึงแม้ว่าค่าสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์จะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่าสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวดของมัลติคาสต์ทรีที่จัดกลุ่มโหนดตามเขตที่ตั้งยังมีค่าต่ำกว่าอัลกอริทึมอื่นเล็กน้อย

ตารางที่ 5.5 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวด

จำนวนโหนด	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวด			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	2	2	4	4
100	3	3	4	4
300	3	4	4	4
500	4	4	4	4



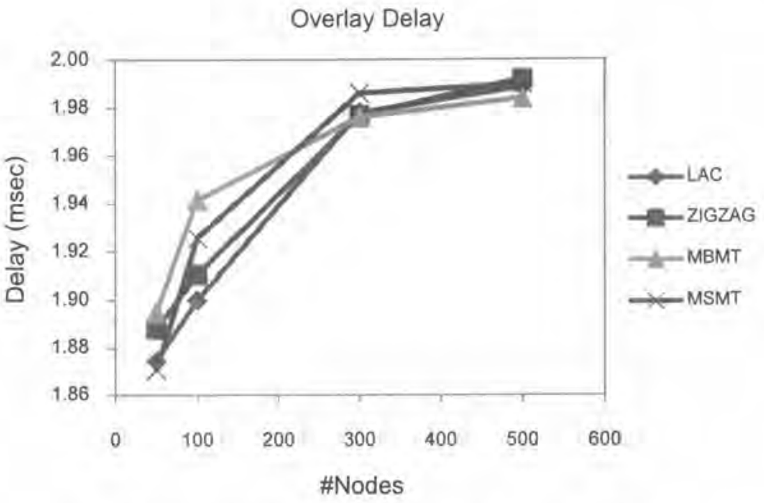
รูปที่ 5.3 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวด

จากรูปที่ 5.3 เมื่อพิจารณาจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวดพบว่าจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวดมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย

ค) เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ (Overlay Delay)

ตารางที่ 5.6 เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ

จำนวนโหนด	เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ (มิลลิวินาที)			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	1.8747	1.8880	1.8951	1.8707
100	1.9000	1.9107	1.9415	1.9257
300	1.9780	1.9769	1.9760	1.9860
500	1.9887	1.9920	1.9840	1.9898



รูปที่ 5.4 เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ

จากรูปที่ 5.4 พบว่าเมื่อโหนดทั้งหมดตั้งอยู่ในเขตที่ตั้งเดียวกัน มัลติคาสต์ทรีที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 4 ตัวจะใช้เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับไม่แตกต่างกันมากนัก

5.2.1.2 ผลการทดลองบนเครือข่ายเชิงกายภาพที่มีโดเมนสตับปานกลาง

ในการทดลองนี้กำหนดให้เครือข่ายเชิงกายภาพประกอบด้วยโดเมนทรานสิตและโดเมนสตับ โดยในโดเมนทรานสิตประกอบด้วยโหนดทรานสิต จำนวน 5 โหนด ดังนั้นในเครือข่ายเชิงกายภาพนี้จึงประกอบด้วยโดเมนสตับจำนวน 5 โดเมน การประเมินประสิทธิภาพมัลติคาสต์ทรีที่สร้างขึ้นจากเครือข่ายเชิงกายภาพโดเมนสตับปานกลางนี้จึงใช้มาตร

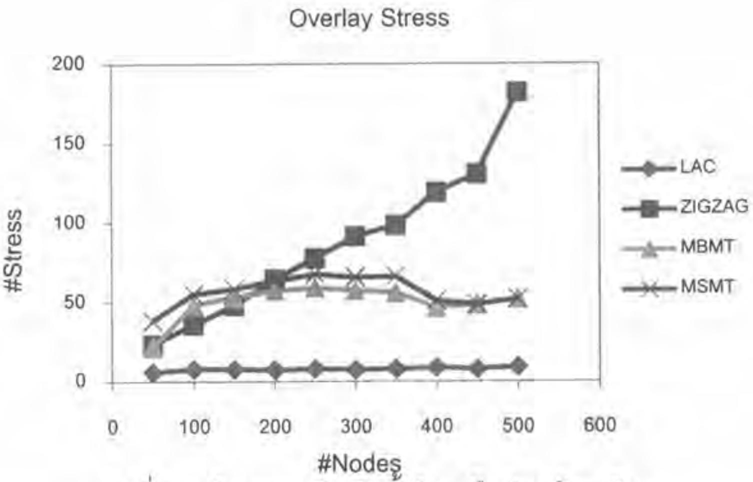
วัด 4 ตัว ซึ่งประกอบด้วย จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่มากที่สุดบนลิงค์ทรานสิต สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ในเครือข่ายซ้อนทับ สัดส่วนข้อมูลทรานสิต และเวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ

ก) **จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่มากที่สุดบนลิงค์ทรานสิต** (Transit Link Stress)

ในมาตรวัดทั้งหมดนี้ จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำเป็นมาตรวัดที่สำคัญที่สุดที่สามารถแสดงถึงความสามารถในการรองรับการขยายตัวของมัลติคาสต์ทรี อัลกอริทึมที่ใช้สร้างมัลติคาสต์ทรีที่ดีควรจะลดจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำได้ โดยเฉพาะบนลิงค์ทรานสิตเพื่อให้ใช้ลิงค์สตับซึ่งเป็นลิงค์โลคอลให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

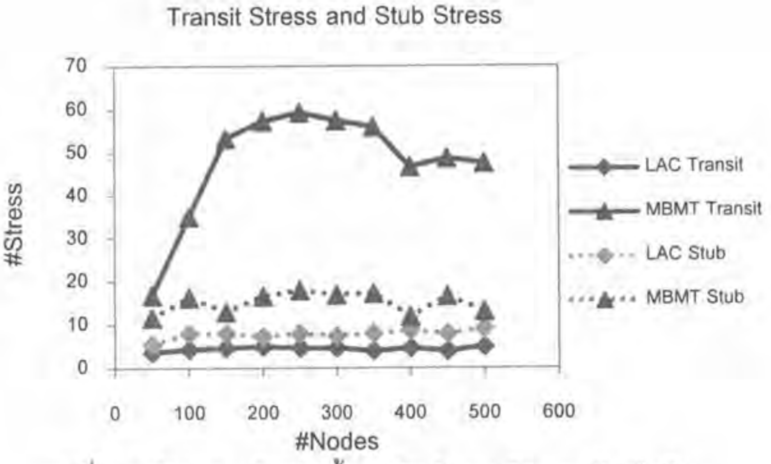
ตารางที่ 5.7 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดในเครือข่ายซ้อนทับ

จำนวนโหนด	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดในเครือข่ายซ้อนทับ			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	6	24	22	38
100	8	36	48	65
150	8	24	27	29
200	7	32	29	32
250	8	39	30	34
300	8	92	58	66
350	8	49	28	33
400	9	60	23	26
450	8	65	24	24
500	9	174	48	51



รูปที่ 5.5 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่ายซ้อนทับ

จากรูปที่ 5.5 และตารางที่ 5.7 แสดงให้เห็นถึงจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่ายซ้อนทับที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีจำนวนโหนดเพิ่มขึ้น จากรูปพบว่ามัลติคาส์ทรีของซิกแซกมีจำนวนแพ็กเก็ตสูงสุดเพราะเป็นมัลติคาสต์ทรีที่สร้างขึ้นจากดีเลย์เพียงอย่างเดียว ในขณะที่มัลติคาสต์ที่สร้างโดยใช้การจัดกลุ่มตามเขตที่ตั้งซึ่งมุ่งเน้นใช้แบนด์วิดท์โลคอลจะมีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำต่ำสุด ส่วนมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมเอ็มบีเอ็มทีและเอ็มเอสเอ็มทีมีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงแต่ก็ยังต่ำกว่าอัลกอริทึมซิกแซก ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากอัลกอริทึมเอ็มเอสเอ็มทีและเอ็มบีเอ็มทีเป็นมัลติคาสต์ทรีแบบเมชที่สร้างขึ้นจากดีเลย์ และการพยายามลดแพ็กเก็ตซ้ำด้วยการเลือกตัดลิงค์ที่มีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดออกจึงมีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำต่ำกว่าซิกแซก แต่เอ็มเอสเอ็มทีและเอ็มบีเอ็มทีก็ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการใช้ลิงค์สตับที่เป็นลิงค์หลักได้ ดังนั้นอัลกอริทึมนี้จึงไม่สามารถลดจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่เกิดขึ้นบนลิงค์หลักได้มากเท่าที่ควร จากรูปที่ 5.5 พบว่าอัลกอริทึมที่มีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำดีที่สุดคือ มัลติคาสต์ที่ใช้เขตที่ตั้งและเอ็มบีเอ็มที

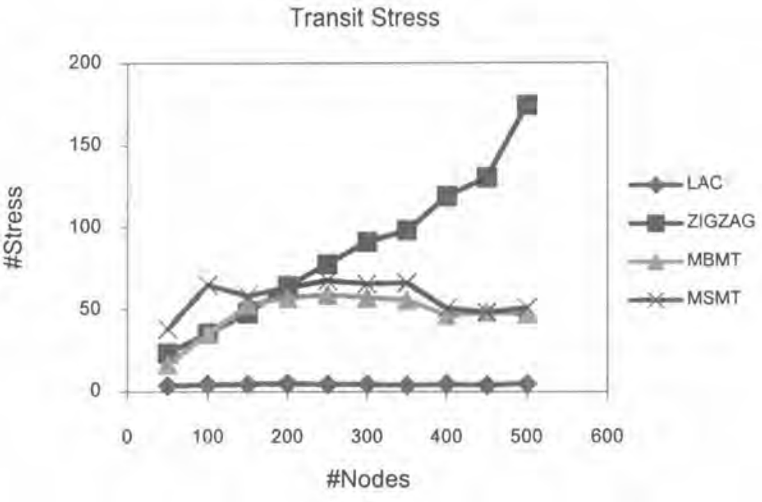


รูปที่ 5.6 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิตและลิงค์สตับ

จากรูปที่ 5.6 เป็นการจำแนกจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำตามชนิดของลิงค์ โดยแยกระหว่างลิงค์สตับกับลิงค์ทรานสิตของทั้งสองอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ แอลเอซีและเอ็มบีเอ็มที พบว่ามัลติคาสต์ทรีที่ใช้เขตที่ตั้งจะมีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิตมากกว่าจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์สตับ ซึ่งตรงข้ามกับอัลกอริทึมเอ็มบีเอ็มทีที่จำนวนแพ็กซ้ำส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ลิงค์ทรานสิต และจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่เกิดขึ้นไม่มีความสัมพันธ์กับจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้น สาเหตุเนื่องมาจากโครงสร้างมัลติคาสต์ของทั้งสองอัลกอริทึมมีลักษณะการกระจายการส่งข้อมูลเป็นกลุ่มๆ ดังนั้นจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้นจึงไม่มีทำให้จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำเพิ่มขึ้นมากนัก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของผู้ใช้ (Scalability) ได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 5.8 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิต

จำนวนโหนด	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิต			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	4	24	17	38
100	4	36	35	65
150	5	48	53	59
200	5	65	57	64
250	5	78	59	68
300	5	92	58	66
350	4	99	56	67
400	5	119	47	51
450	4	131	49	49
500	5	174	48	51



รูปที่ 5.7 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิต

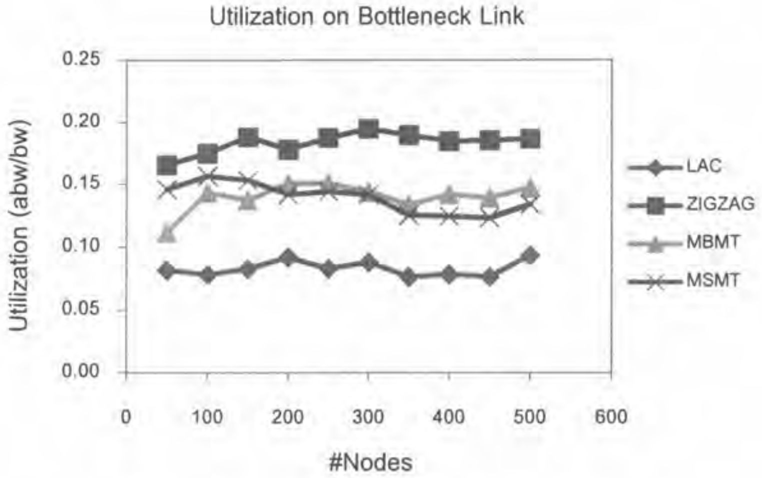
รูปที่ 5.7 แสดงผลการวัดจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิต ซึ่งเป็นลิงค์ที่มักจะเป็นคอขวดของระบบเพราะมีสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์สูง จากรูปพบว่ามัลติคาสต์ทรีที่ได้จากการจัดกลุ่มโหนดตามใช้เขตที่ตั้งมีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิตต่ำกว่าอัลกอริทึมอื่น ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามัลติคาสต์ทรีที่จัดกลุ่มโหนดตามเขตที่ตั้งใช้แบนด์วิดท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่ามัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมอื่น

ข) สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ในเครือข่ายซ้อนทับ (Overlay Utilization)

การวัดสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวดซึ่งเป็นลิงค์ที่มีการใช้งานสูง เป็นการตรวจสอบความสามารถในการรองรับจำนวนโหนด

ตารางที่ 5.9 สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวด

จำนวนโหนด	สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวด			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	0.506	0.447	0.453	0.249
100	0.659	0.707	0.530	0.384
150	0.752	0.664	0.567	0.536
200	0.824	0.768	0.651	0.728
250	0.939	0.636	0.643	0.664
300	0.806	0.637	0.720	0.754
350	0.856	0.534	0.753	0.747
400	0.813	0.633	0.839	0.839
450	0.902	0.609	0.878	0.779
500	0.898	0.672	0.859	0.828

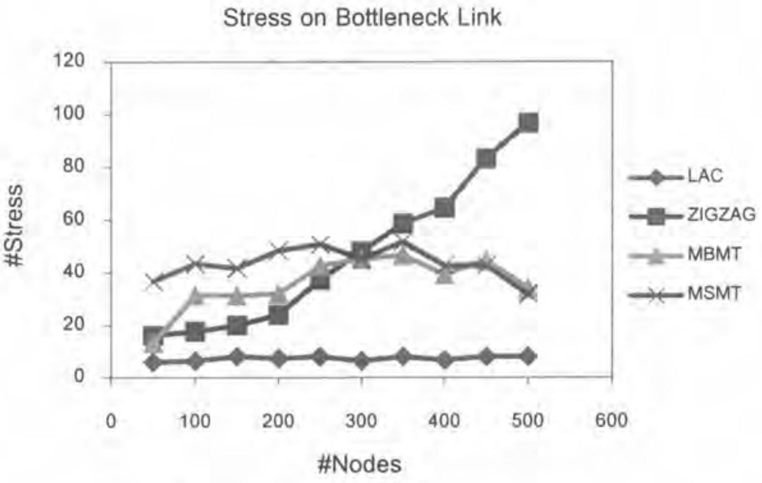


รูปที่ 5.8 สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวด

จากรูปที่ 5.8 พบว่าอัลกอริทึมที่จัดกลุ่มโหนดตามเขตที่ตั้งมีปริมาณการใช้เครือข่ายบนลิงค์คอขวดต่ำกว่าอัลกอริทึมอื่น และมัลติคาสต์ทรีที่จัดกลุ่มโหนดตามเขตที่ตั้งพยายามลดการใช้ลิงค์ทรานสิต ส่งผลให้แบนด์วิดท์ที่ใช้บนลิงค์ทรานสิตลดลงตามไปด้วย จึงทำให้ค่าสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวดลดลงตามไปด้วย

ตารางที่ 5.10 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวด

จำนวนโหนด	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวด t			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	6	16	13	37
100	6	18	31	43
150	8	20	31	42
200	7	24	32	48
250	8	37	43	51
300	6	48	45	45
350	8	59	47	52
400	7	65	39	43
450	8	83	45	43
500	8	97	34	32



รูปที่ 5.9 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวด

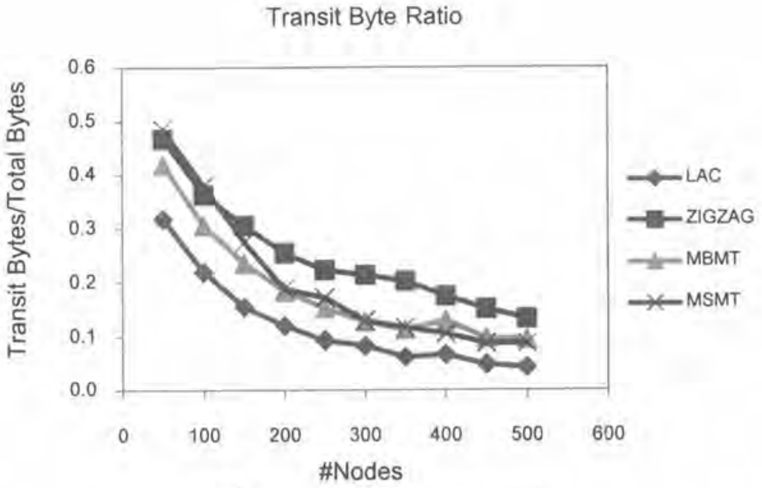
จากรูปที่ 5.9 พบว่าเมื่อใช้ลิงค์คอขวดลดลงจะทำให้จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวดนั้นลดลงไปด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวดและสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวดนั้นมีความสอดคล้องกัน ดังนั้นในอัลกอริทึมซิกแซกที่มีสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวดสูงสุด จึงมีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวดสูงสุดตามไปด้วย โดยจำนวนแพ็กเก็ตที่เกิดขึ้นน้อยลงนี้ช่วยให้เครือข่ายมีแบนด์วิดท์คงเหลือมากขึ้น ดังนั้นการจัดกลุ่มโหนดตามพื้นที่จึงใช้แบนด์วิดท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าอัลกอริทึมอื่น

ค) สัดส่วนข้อมูลทรานสิต (Transit Byte Ratio)

มาตรวัดนี้แสดงถึงการใช้ประโยชน์จากลิงค์โลคอล ประกอบด้วยสัดส่วนข้อมูลทรานสิต และเปอร์เซ็นต์ของลิงค์สตับที่ถูกใช้เทียบกับจำนวนลิงค์ทั้งหมดในเครือข่ายซ้อนทับ

ตารางที่ 5.11 สัดส่วนข้อมูลทรานสิต

จำนวนโหนด	สัดส่วนข้อมูลทรานสิต			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	0.318	0.467	0.418	0.485
100	0.220	0.363	0.306	0.379
150	0.155	0.306	0.236	0.275
200	0.121	0.255	0.184	0.188
250	0.093	0.223	0.152	0.172
300	0.083	0.214	0.129	0.129
350	0.062	0.203	0.113	0.117
400	0.066	0.175	0.131	0.106
450	0.048	0.152	0.097	0.088
500	0.043	0.134	0.095	0.088

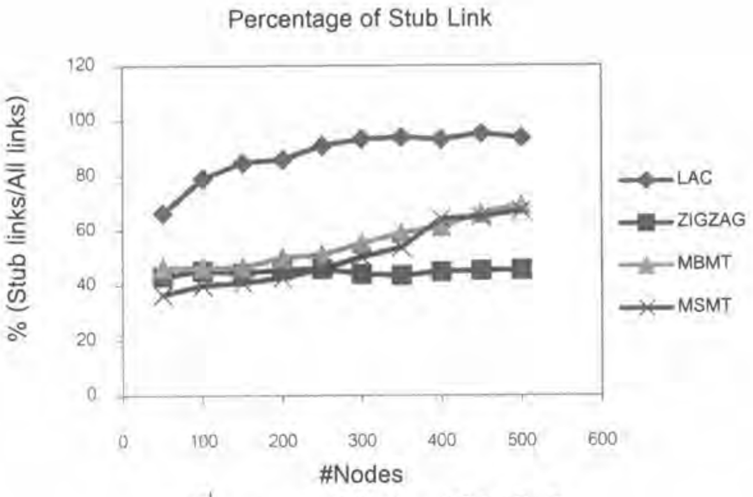


รูปที่ 5.10 สัดส่วนข้อมูลทรานสิต

จากการทดลองพบว่าเขตที่ตั้งช่วยให้เกิดการส่งข้อมูลผ่านลิงค์สตับมากกว่าลิงค์ทรานสิต ซึ่งพิจารณาได้จากสัดส่วนข้อมูลทรานสิต จากรูปที่ 5.10 แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมทั้งโหมดมีแนวโน้มที่สัดส่วนไบต์ข้อมูลทั้งหมดที่ผ่านลิงค์ทรานสิตลดลงเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้น สัดส่วนไบต์ข้อมูลทั้งหมดได้ผ่านลิงค์สตับมากขึ้น และมัลติคาสต์ทรีที่สร้างโดยใช้เขตที่ตั้งเป็นมัลติคาสต์ทรีที่มีไบต์ข้อมูลผ่านลิงค์สตับมากที่สุด เพราะมีค่าสัดส่วนข้อมูลทรานสิตต่ำที่สุด

ตารางที่ 5.12 เปอร์เซ็นต์การใช้ลิงค์สตับ

จำนวนโหนด	เปอร์เซ็นต์การใช้ลิงค์สตับ			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	66	43	46	37
100	79	45	46	40
150	85	45	47	41
200	86	46	50	43
250	91	46	51	46
300	93	44	55	50
350	94	43	59	54
400	93	45	61	64
450	95	45	66	65
500	94	45	69	67



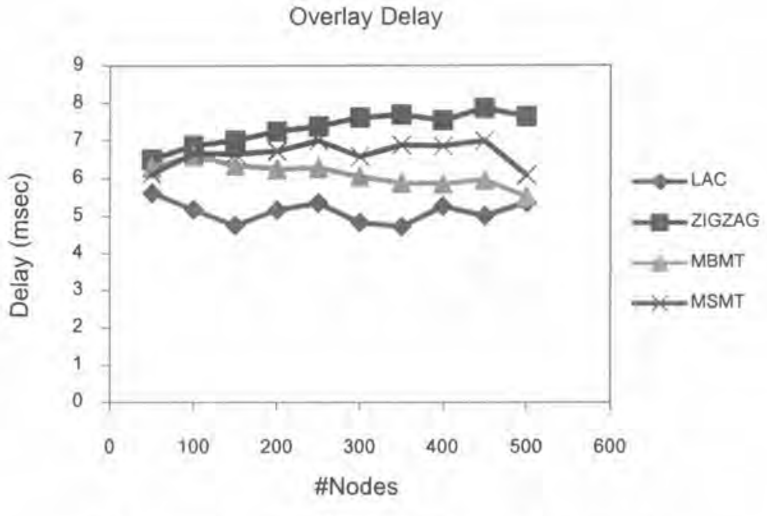
รูปที่ 5.11 เปอร์เซ็นต์การใช้ลิงค์สตับ

จากรูปที่ 5.11 พบว่ามัลติคาสต์ทรีที่นำเสนอมีจำนวนลิงค์สตับสูงกว่าอัลกอริทึมอื่นเป็นอย่างมาก โดยลิงค์สตับที่ถูกใช้มีจำนวนมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายถึงลิงค์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในเครือข่ายซ้อนทับเป็นลิงค์สตับ ซึ่งแตกต่างจากอัลกอริทึมที่เหลือที่มีเปอร์เซ็นต์การใช้ลิงค์สตับใกล้เคียงกับ 50 เปอร์เซ็นต์ในขณะที่เครือข่ายซ้อนทับมีขนาดเล็ก (< 300 โหนด) ทำให้เครือข่ายซ้อนทับของอัลกอริทึมเหล่านี้มีการใช้ลิงค์สตับและลิงค์ทรานสิตในจำนวนเท่าๆ กัน และเมื่อเครือข่ายซ้อนทับมีขนาดใหญ่ขึ้นจำนวนลิงค์สตับที่ใช้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และน้อยกว่าเครือข่ายซ้อนทับที่ได้มาจากการใช้เขตที่ตั้ง

ง) **เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ** (Overlay Delay)

ตารางที่ 5.13 เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ

จำนวนโหนด	เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ (มิลลิวินาที)			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	5.624	6.515	6.287	6.114
100	5.171	6.872	6.599	6.669
150	4.745	7.009	6.351	6.651
200	5.164	7.251	6.254	6.724
250	5.349	7.384	6.286	7.000
300	4.821	7.617	6.053	6.583
350	4.721	7.697	5.884	6.892
400	5.264	7.540	5.859	6.859
450	5.007	7.867	5.964	6.996
500	5.368	7.646	5.521	6.093



รูปที่ 5.12 เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ

จากรูปที่ 5.12 พบว่ามัลติคาสต์ทรีที่มีการจัดกลุ่มโหนดตามพื้นที่ใช้เวลาส่งข้อมูลน้อยกว่าอัลกอริทึมอื่นทั้งหมด และเมื่อโหนดเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

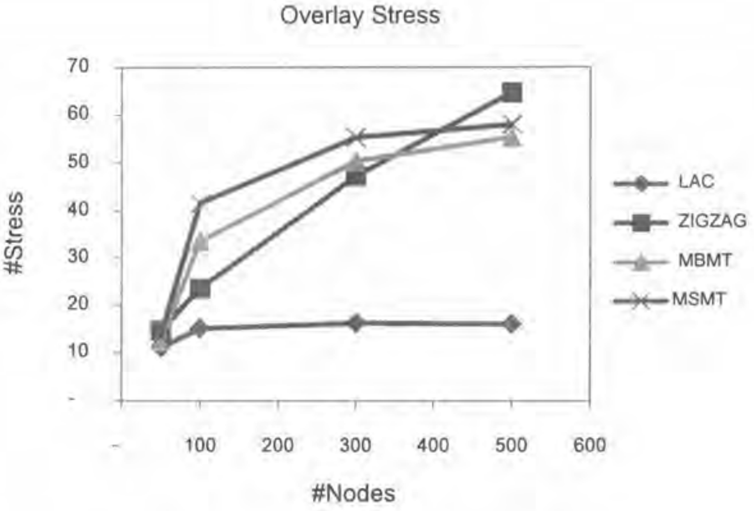
5.2.1.3 ผลการทดลองบนเครือข่ายเชิงกายภาพที่มีโดเมนสตับมาก

ในการทดลองนี้กำหนดให้เครือข่ายเชิงกายภาพประกอบด้วยโดเมนทรานสิตและโดเมนสตับ โดยในโดเมนทรานสิตประกอบด้วยโหนดทรานสิต จำนวน 20 โหนด ดังนั้นในเครือข่ายเชิงกายภาพนี้จึงประกอบด้วยโดเมนสตับจำนวน 20 โดเมน การประเมินประสิทธิภาพมัลติคาสต์ทรีที่สร้างขึ้นจากเครือข่ายเชิงกายภาพนี้จึงใช้มาตรวัด 4 ตัว

ก) จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่มากที่สุดบนลิงค์ทรานสิต (Transit Link Stress)

ตารางที่ 5.14 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดในเครือข่ายซ้อนทับ

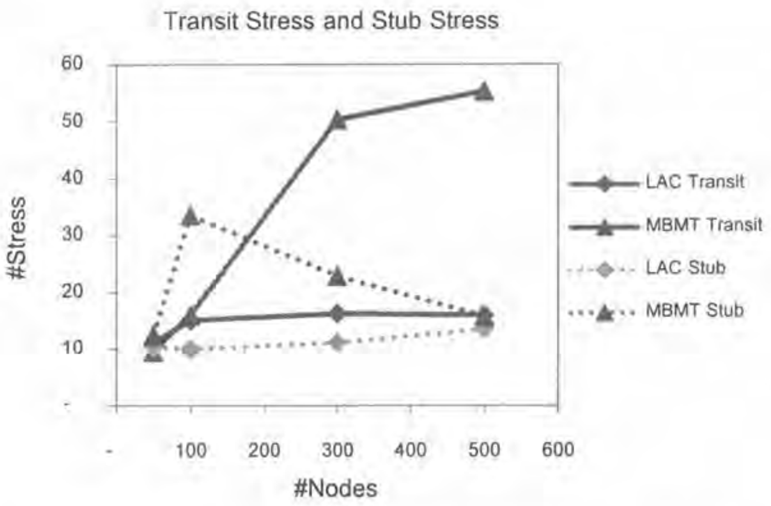
จำนวนโหนด	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดในเครือข่ายซ้อนทับ			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	11	15	12	14
100	15	24	34	42
300	16	47	50	55
500	16	65	55	58



รูปที่ 5.13 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่ายซ้อนทับ

จากรูปที่ 5.13 พบว่ามัลติคาสต์ทรีที่สร้างโดยใช้เขตที่ตั้ง ทำให้เกิดจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่ายซ้อนทับต่ำกว่าอัลกอริทึมอื่น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากเครือข่ายเชิง

กายภาพที่นำมาทดสอบเป็นเครือข่ายที่มีความหลากหลายของเขตที่ตั้ง ดังนั้นการส่งข้อมูลข้ามเขตที่ตั้งจึงมีมากขึ้น และเพราะจำนวนลิงค์ทรานสิตที่เชื่อมระหว่างโหนดที่อยู่ต่างเขตที่ตั้งมีน้อยกว่าจำนวนลิงค์สตับที่เชื่อมระหว่างโหนดภายในเขตที่ตั้งเดียวกัน การสร้างมัลติคาสต์ทรีโดยไม่คำนึงถึงเขตที่ตั้งจึงทำให้เกิดจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสะสมบนลิงค์ที่มีการใช้งานสูง (เช่น ลิงค์ทรานสิต) ได้มากกว่ามัลติคาสต์ทรีที่มีการกระจายของจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำไปยังลิงค์สตับที่ใช้ส่งข้อมูลภายในเขตที่ตั้งเดียวกัน

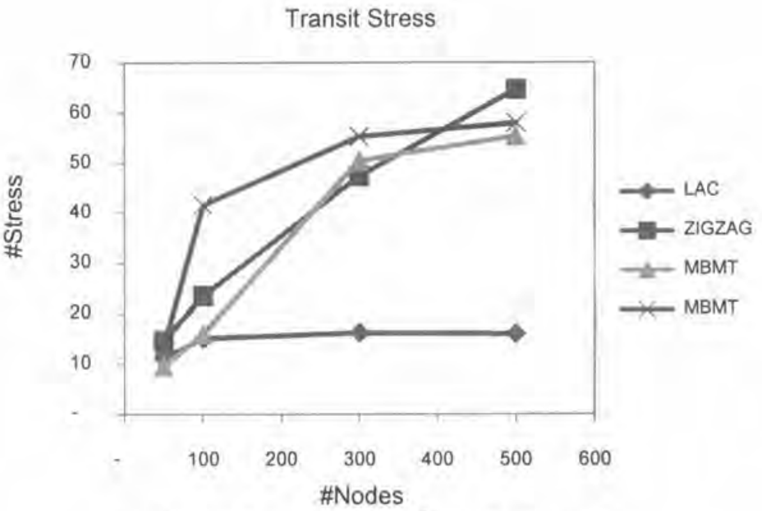


รูปที่ 5.14 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิตและลิงค์สตับ

จากรูปที่ 5.14 เมื่อนำจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่ายซ้อนทับที่มีค่าน้อยที่สุดสองอัลกอริทึม คือ อัลกอริทึมการจัดกลุ่มโหนดโดยใช้เขตที่ตั้งและอัลกอริทึมเอ็มบีเอ็มทีมาจำแนกตามชนิดของลิงค์ ซึ่งพบว่าจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่ายซ้อนทับของมัลติคาสต์ทรีที่สร้างโดยใช้เขตที่ตั้งเกิดขึ้นที่ลิงค์ทรานสิตเช่นเดียวกันกับอัลกอริทึมเอ็มบีเอ็มที แต่มีค่าที่น้อยกว่า สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากมีการใช้ลิงค์สตับมากขึ้นทำให้จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำกระจายอยู่บนลิงค์สตับเหล่านั้น

ตารางที่ 5.15 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิต

จำนวนโหนด	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิต			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	11	15	10	14
100	15	24	16	42
300	16	47	50	55
500	16	65	55	58



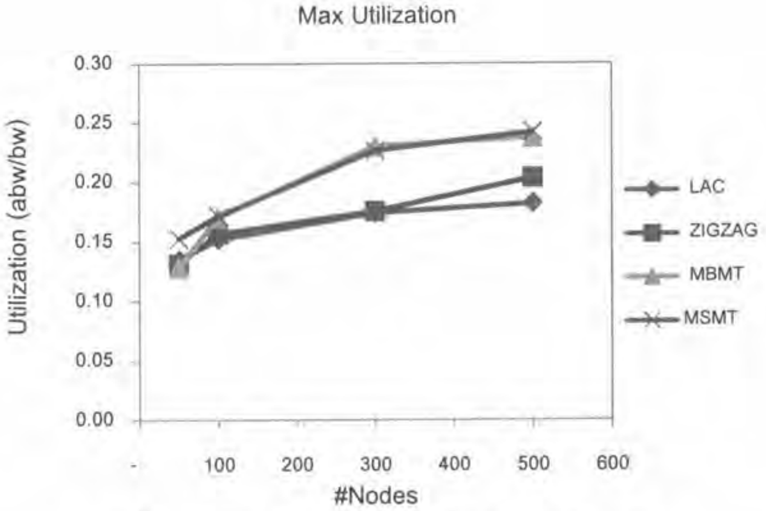
รูปที่ 5.15 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิต

เนื่องจากลิงค์ทรานสิตเป็นเป็นลิงค์ที่มีแบนด์วิดท์ต่ำกว่าลิงค์สตับมาก การส่งข้อมูลเดียวกันบนลิงค์ทรานสิตเดิมจะมีส่วนทำให้ใช้แบนด์วิทด์ของลิงค์ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ จากรูปที่ 5.15 ซึ่งแสดงจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิตของทั้ง 4 อัลกอริทึม พบว่ามัลติคาสต์ทรีที่สร้างโดยใช้เขตที่ตั้งทำให้เกิดจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิตต่ำกว่าอัลกอริทึมอื่น และนอกจากนี้จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิตนี้มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้น

ข) สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ในเครือข่ายซ้อนทับ (Overlay Utilization)

ตารางที่ 5.16 สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวด

จำนวนโหนด	สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวด transit			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็ลเอ็มที
50	0.135	0.132	0.128	0.153
100	0.152	0.157	0.171	0.172
300	0.174	0.176	0.230	0.226
500	0.182	0.204	0.237	0.242

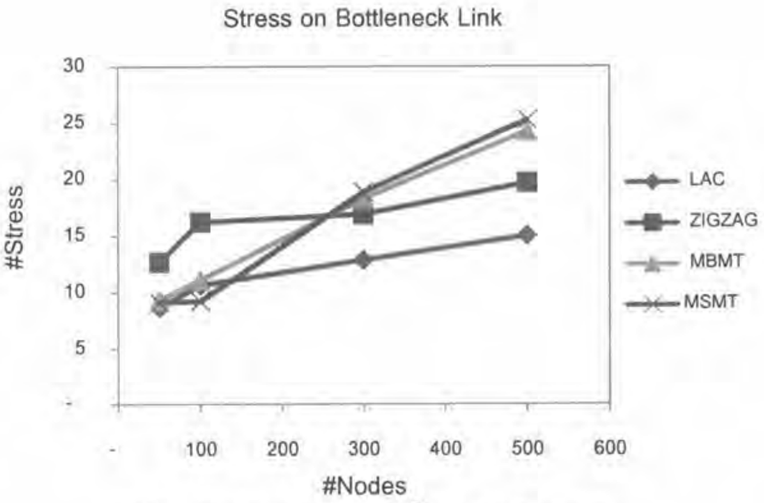


รูปที่ 5.16 สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวด

จากรูปที่ 5.16 แสดงให้เห็นถึงค่าสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ของมัลติคาสต์ทรีที่สร้างโดยใช้เขตที่ตั้งที่มีค่าต่ำกว่าอัลกอริทึมอื่น จากการทดลองพบว่าลิงค์ที่มีปริมาณการใช้งานสูงมักจะเป็นลิงค์ทรานสิตซึ่งเป็นลิงค์ที่มีแบนด์วิดท์ต่ำ ดังนั้นค่าสัดส่วนแบนด์วิดท์ที่มีค่าต่ำกว่าจึงแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการกระจายข้อมูลที่ดีกว่า

ตารางที่ 5.17 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวด

จำนวนโหนด	จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวด			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	9	13	9	9
100	11	16	11	9
300	13	17	18	19
500	15	20	24	25



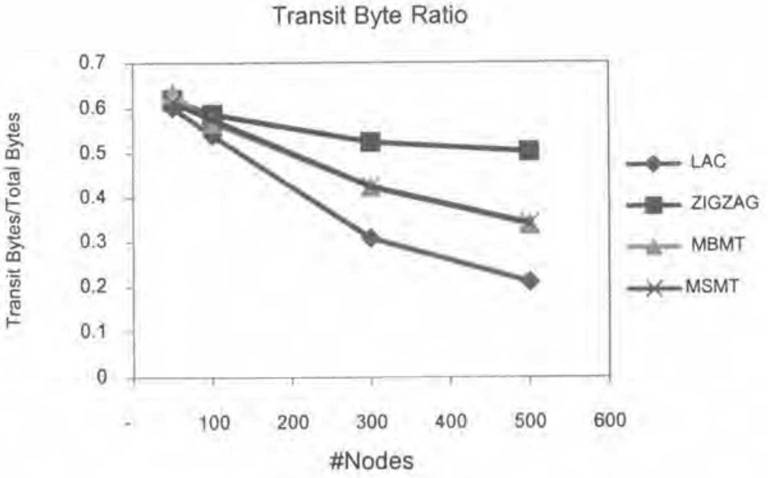
รูปที่ 5.17 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวด

เมื่อนำจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวดนั้นมาพิจารณา ดังรูปที่ 5.17 พบว่ามัลติคาสต์ทรีที่มีค่าสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ต่ำกว่าจะมีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์คอขวดต่ำกว่ามัลติคาสต์ทรีที่มีค่าสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวดที่สูงกว่า จากค่าที่ได้จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์มีผลกับจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในนั้น

ค) **สัดส่วนข้อมูลทรานสิต** (Transit Byte Ratio)

ตารางที่ 5.18 สัดส่วนข้อมูลทรานสิต

จำนวนโหนด	สัดส่วนข้อมูลทรานสิต			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	0.602	0.620	0.634	0.614
100	0.540	0.587	0.569	0.575
300	0.308	0.524	0.423	0.424
500	0.210	0.502	0.338	0.341

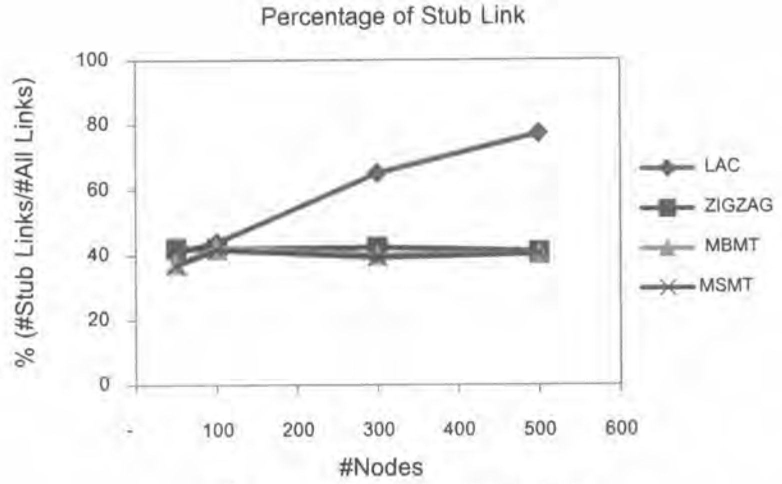


รูปที่ 5.18 สัดส่วนข้อมูลทรานสิต

จากรูปที่ 5.18 พบว่าสัดส่วนข้อมูลทรานสิตมีค่าลดลงตามจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายซ้อนทับมีมากขึ้นลิงค์สตับถูกเรียกใช้มากขึ้น ซึ่งทำให้สัดส่วนระหว่างข้อมูลที่วิ่งผ่านลิงค์ทรานสิตและข้อมูลทั้งหมดในเครือข่ายมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากค่าดีเลย์เพียงอย่างเดียว ยังคงมีค่าสัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ที่สูงกว่ามัลติคาสต์ทรีที่สร้างโดยใช้เขตที่ตั้ง

ตารางที่ 5.19 เปอร์เซ็นต์การใช้ลิงค์สตับ

จำนวนโหนด	เปอร์เซ็นต์การใช้ลิงค์สตับ			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	41	42	37	37
100	44	42	42	42
300	65	42	40	39
500	77	41	40	40



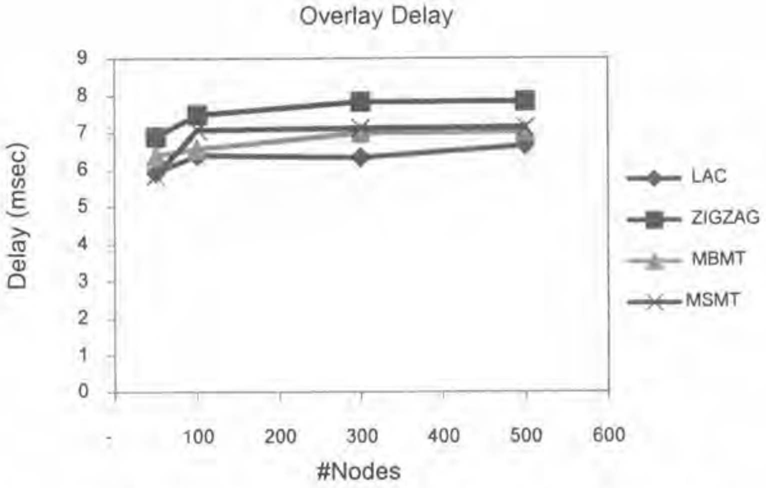
รูปที่ 5.19 เปอร์เซ็นต์การใช้ลิงค์สตับ

จากรูปที่ 5.19 แสดงให้เห็นว่ามัลติคาสต์ทรีที่สร้างโดยใช้เขตที่ตั้งสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์การลิงค์สตับที่ถูกใช้ในเครือข่ายซ้อนทับได้มากขึ้นตามจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างจาก 3 อัลกอริทึมที่เหลือที่เปอร์เซ็นต์การใช้ลิงค์สตับไม่แปรผันตามจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้น

ง) เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ (Overlay Delay)

ตารางที่ 5.20 เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ

จำนวนโหนด	เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ (มิลลิวินาที)			
	แอลเอซี	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอ็สเอ็มที
50	5.925	6.895	6.395	5.847
100	6.395	7.486	6.574	7.076
300	6.333	7.826	6.993	7.119
500	6.648	7.837	7.028	7.148



รูปที่ 5.20 เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ

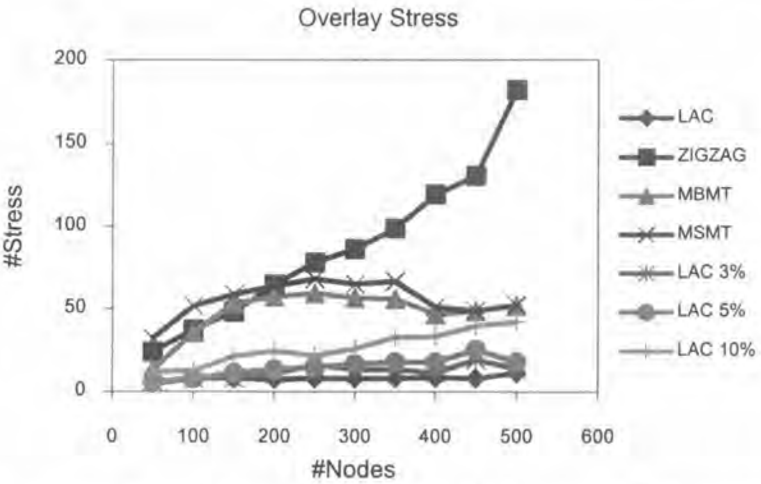
จากรูปที่ 5.20 ซึ่งแสดงเวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ โดยทั้ง 4 อัลกอริทึมมีค่าเวลาสูงสุดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จากรูปแสดงให้เห็นว่าจำนวนโหนดที่เพิ่มมากขึ้นไม่มีผลต่อเวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ

5.2.2 ผลการทดลองกรณีที่การระบุเขตที่ตั้งถูกต้องเพียงบางโหนด

การทดลองนี้ได้ทำการทดสอบการกระจายของมัลติคาสต์ทรีที่สร้างขึ้นโดยใช้เขตที่ตั้งบนเครือข่ายเชิงกายภาพที่มีโดเมนสตับปานกลาง ในกรณีที่การระบุเขตที่ตั้งมีความผิดพลาดเกิดขึ้น 3, 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนโหนดในเครือข่ายซ้อนทับ

ตารางที่ 5.21 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดในเครือข่ายซ้อนทับ

จำนวนโหนด	แอลเอซี	แอลเอซี (ผิดพลาด 3%)	แอลเอซี (ผิดพลาด 5%)	แอลเอซี (ผิดพลาด 10%)	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอสเอ็มที
50	5	6	6	12	24	13	32
100	8	8	8	13	37	35	52
150	8	8	11	21	48	53	59
200	7	11	13	25	65	57	64
250	8	16	15	22	78	59	68
300	8	13	17	26	86	57	65
350	8	13	18	33	99	56	67
400	9	11	18	33	119	47	51
450	8	19	25	40	131	49	49
500	11	14	18	42	182	52	52



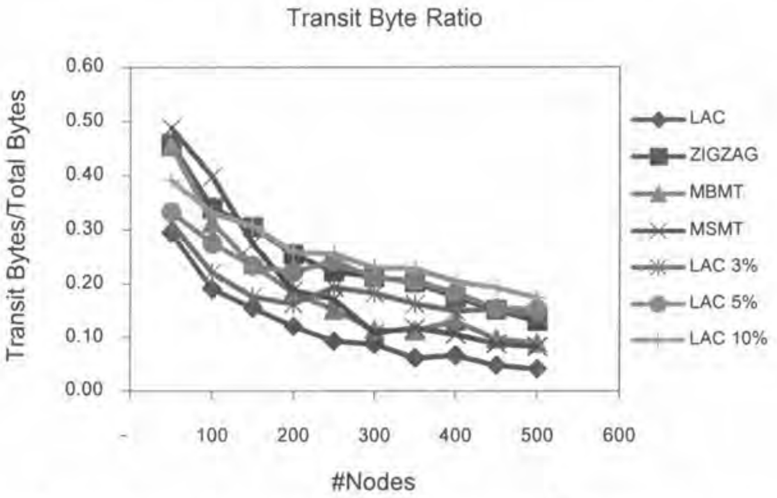
รูปที่ 5.21 จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่ายซ้อนทับเมื่อข้อมูลเขตที่ตั้งมีความผิดพลาด

จากรูปที่ 5.21 พบว่าข้อมูลเขตที่ตั้งที่ผิดพลาดส่งผลให้จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่ายซ้อนทับมีค่าสูงขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ พบว่าเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มมากขึ้น จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำยิ่งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อข้อมูลเขตที่ตั้งมีความผิดพลาดสูงถึง 10% จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำมีค่าสูงกว่าอัลกอริทึมเอ็มเอสเอ็มทีและเอ็มบีเอ็มที สาเหตุ

ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากเขตที่ตั้งซึ่งใช้เป็นตัวแปรบอกเขตที่ตั้งไม่ถูกต้อง ทำให้เกิดการจัดกลุ่มผิดพลาด ส่งผลให้ข้อมูลถูกส่งผ่านลิงค์ที่ไม่เหมาะสม และโดยส่วนใหญ่จะเป็นลิงค์ที่มีแบนด์วิดท์ต่ำเช่นลิงค์ทรานสิต จึงทำให้จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิตเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5.22 สัดส่วนข้อมูลทรานสิต

จำนวนโหนด	แอลเอซี	แอลเอซี (ผิดพลาด 3%)	แอลเอซี (ผิดพลาด 5%)	แอลเอซี (ผิดพลาด 10%)	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอสเอ็มที
50	0.295	0.313	0.333	0.391	0.459	0.454	0.488
100	0.191	0.221	0.276	0.332	0.341	0.314	0.399
150	0.155	0.176	0.234	0.307	0.306	0.236	0.275
200	0.121	0.162	0.222	0.260	0.255	0.184	0.188
250	0.093	0.193	0.243	0.256	0.223	0.152	0.172
300	0.087	0.183	0.211	0.230	0.214	0.115	0.108
350	0.062	0.163	0.205	0.229	0.203	0.113	0.117
400	0.066	0.149	0.183	0.205	0.175	0.131	0.106
450	0.048	0.152	0.154	0.194	0.152	0.097	0.088
500	0.041	0.139	0.153	0.175	0.130	0.089	0.082

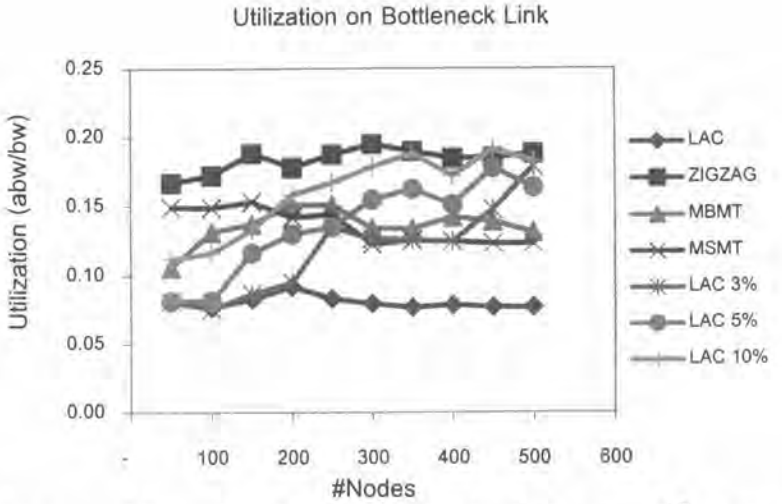


รูปที่ 5.22 สัดส่วนข้อมูลทรานสิตเมื่อข้อมูลเขตที่ตั้งมีความผิดพลาด

จากรูปที่ 5.22 แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนข้อมูลทรานสิตที่มีค่าสูงขึ้นตามข้อมูลเขตที่ตั้งที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่สูงขึ้น ซึ่งค่าสัดส่วนข้อมูลทรานสิตที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงกว่าสัดส่วนข้อมูลทรานสิตที่ได้จากมัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมซิกแซก เอ็มเอสเอ็มทีและเอ็มบีเอ็มที สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เป็นผลเนื่องมาจากข้อมูลเขตที่ตั้งที่ผิดพลาดทำให้อัลกอริทึมเข้าใจผิด จึงสร้างมัลติคาสต์ทรีที่มีการใช้ลิงค์ทรานสิตเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนโหนดเพิ่มขึ้น ทำให้มีจำนวนไบต์ข้อมูลบนลิงค์ทรานสิตเพิ่มขึ้น เมื่อนำจำนวนไบต์มาหาความสัมพันธ์กับจำนวนไบต์ข้อมูลทั้งหมด จึงทำให้สัดส่วนข้อมูลทรานสิตมีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 5.23 สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ในเครือข่ายซ้อนทับ

จำนวนโหนด	แอลเอซี	แอลเอซี (ผิดพลาด 3%)	แอลเอซี (ผิดพลาด 5%)	แอลเอซี (ผิดพลาด 10%)	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอสเอ็มที
50	0.0802	0.0814	0.0814	0.1117	0.1667	0.1055	0.1490
100	0.0765	0.0753	0.0815	0.1162	0.1720	0.1312	0.1489
150	0.0828	0.0864	0.1162	0.1331	0.1878	0.1371	0.1530
200	0.0918	0.0946	0.1297	0.1582	0.1778	0.1506	0.1417
250	0.0830	0.1349	0.1349	0.1668	0.1872	0.1507	0.1440
300	0.0793	0.1266	0.1546	0.1782	0.1946	0.1340	0.1226
350	0.0765	0.1257	0.1621	0.1876	0.1895	0.1336	0.1252
400	0.0784	0.1246	0.1511	0.1717	0.1844	0.1420	0.1244
450	0.0767	0.1475	0.1773	0.1909	0.1851	0.1391	0.1231
500	0.0766	0.1785	0.1634	0.1824	0.1878	0.1311	0.1231

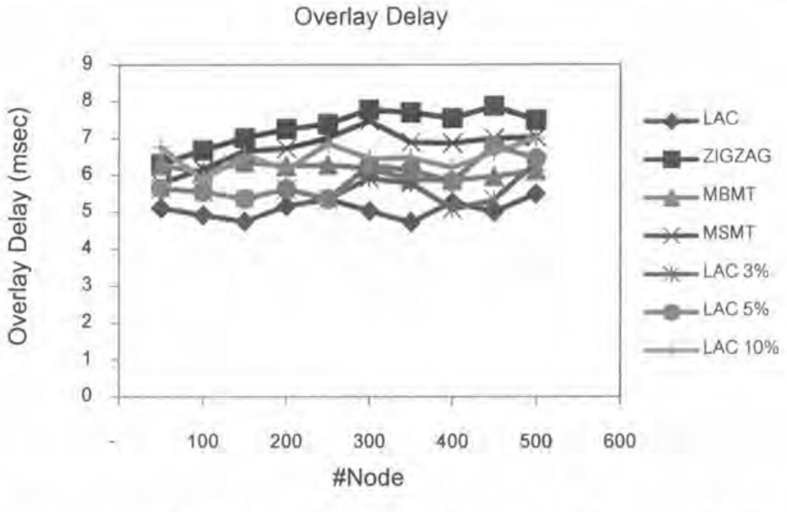


รูปที่ 5.23 สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ในเครือข่ายซ้อนทับเมื่อข้อมูลเขตที่ตั้งมีความผิดพลาด

เมื่อจำนวนลิงค์ทรานสิตถูกใช้มากขึ้น นอกจากจะทำให้สัดส่วนข้อมูลที่ลิงค์ทรานสิตเพิ่มมากขึ้นจากรูปที่ 5.22 แล้ว ยังมีผลทำให้สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ที่ลิงค์คอขวดสูงขึ้นตามไปด้วยดังรูปที่ 5.23 ซึ่งพบว่ายิ่งข้อมูลเขตที่ตั้งมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเพิ่มขึ้นเท่าไร ยิ่งส่งผลให้สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์สูงขึ้นเท่านั้น เมื่อพิจารณาที่ค่าความผิดพลาด 5% และ 10% พบว่าค่าสัดส่วนข้อมูลทรานสิตมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกันโดยมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และมีค่าสูงกว่าสัดส่วนข้อมูลทรานสิตของมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมเอ็มเอสเอ็มทีและเอ็มบีเอ็มที แต่ยังมีค่าต่ำกว่าสัดส่วนข้อมูลทรานสิตของมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมซิกแซกซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดอีกด้วย

ตารางที่ 5.24 เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับ

จำนวนโหนด	แอลเอซี	แอลเอซี (ผิดพลาด 3%)	แอลเอซี (ผิดพลาด 5%)	แอลเอซี (ผิดพลาด 10%)	ซิกแซก	เอ็มบีเอ็มที	เอ็มเอสเอ็มที
50	1.751	5.641	5.6413	2.055	6.307	6.275	5.780
100	1.740	5.548	5.5480	2.027	6.678	6.091	6.170
150	1.648	5.357	5.3573	2.181	7.009	6.351	6.651
200	1.721	5.617	5.6173	2.050	7.251	6.254	6.724
250	1.783	5.349	5.3493	2.282	7.384	6.286	7.000
300	1.676	5.908	6.2607	2.152	7.772	6.182	7.470
350	1.574	5.781	6.1367	2.156	7.697	5.884	6.892
400	1.755	5.073	5.8233	2.068	7.540	5.859	6.859
450	1.669	5.323	6.7973	2.204	7.867	5.964	6.996
500	1.893	6.335	6.4453	2.333	7.488	6.121	7.029



รูปที่ 5.24 เวลาสูงสุดที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับเมื่อข้อมูลเขตที่ตั้งผิดพลาด

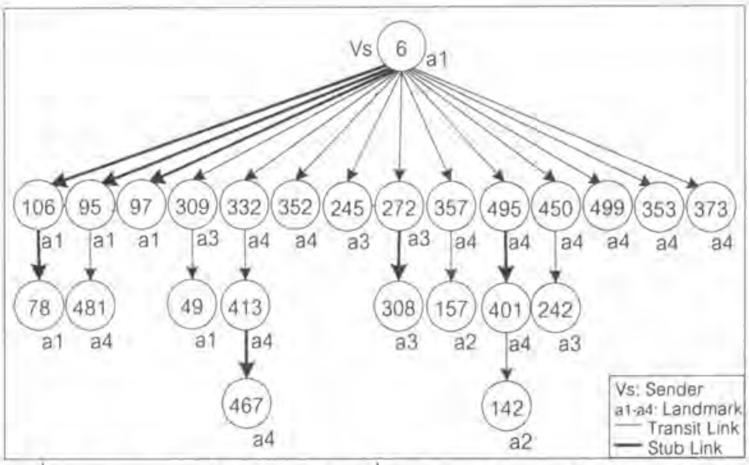
จากรูป 5.24 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ใช้เวลาในการส่งข้อมูลเพิ่มมากขึ้น แต่จากเส้นกราฟที่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยแสดงให้เห็นว่า จำนวนโหนดเพิ่มขึ้นทำให้เวลาที่ใช้เพิ่มขึ้นทีละน้อย และนอกจากนี้ยังพบว่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ 5% สูงกว่า 3% ตั้งแต่เครือข่ายมีขนาดเกินกว่า 250 โหนด ถึงแม้ว่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจะเพิ่มขึ้น

แต่อย่างไรก็ตาม เวลาที่ใช้ส่งข้อมูลในเครือข่ายซ้อนทับยังมีค่าต่ำกว่าอัลกอริทึมซิกแซกและเอ็มเอสเอ็มทีอยู่

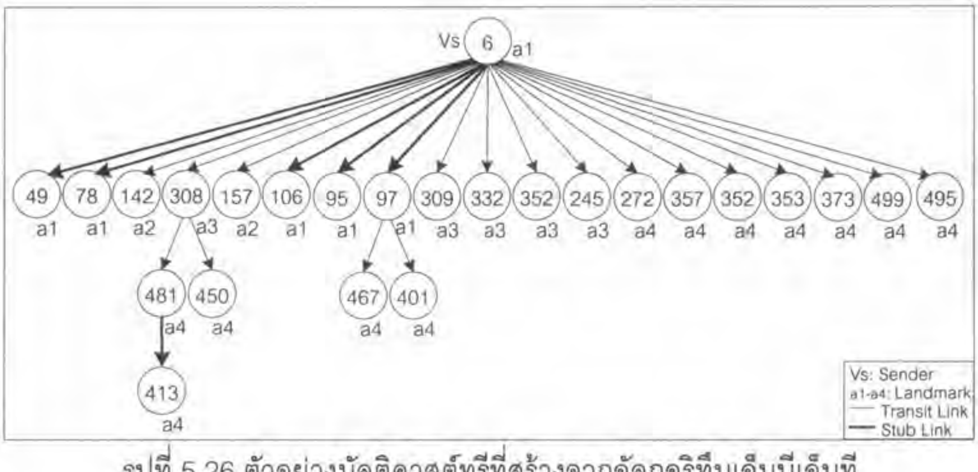
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่กล่าวมาแล้ว พบว่ามัลติคาสต์ทรีที่สร้างโดยใช้เขตที่ตั้งสามารถใช้แบนด์วิดท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าอัลกอริทึมอื่นๆ และยังมีความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของผู้ใช้ได้ดีขึ้น ถึงแม้ว่าการระบุเขตที่ตั้งมีการคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น แต่ประสิทธิภาพของมัลติคาสต์ทรีที่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านดีเลย์ก็ยังถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี

การอธิบายผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้จากมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมเอ็มเอสเอ็มที เอ็มบีเอ็มที ซิกแซกและการจัดกลุ่มโดยใช้เขตที่ตั้งได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.25 ตัวอย่างมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมเอ็มเอสเอ็มที



รูปที่ 5.26 ตัวอย่างมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมเอ็มบีเอ็มที

จากมัลติคาสต์ทรีในรูปที่ 5.25 และ 5.26 พบว่าโหนดต้นทาง v_s จะส่งข้อมูลกระจายไปยังโหนดลูกต่างๆ โดยตรงเกือบทั้งหมด และมีเพียงบางโหนดเท่านั้นที่รับข้อมูลจากโหนดอื่น จากรูปดังกล่าวเมื่อเลือกพิจารณาการส่งข้อมูลจากโหนดต้นทาง (โหนด 6) และโหนดผู้รับ 97, 272, 413, 467 และ 481 ตามเขตที่ตั้งพบว่า

โหนด 6 และ 97 อยู่ในเขตที่ตั้ง a1

โหนด 272 อยู่ในเขตที่ตั้ง a3

โหนด 413, 467 และ 481 อยู่ในเขตที่ตั้ง a4

โดยเส้นทางการส่งข้อมูลในมัลติคาสต์ทรีดังกล่าวเป็นดังนี้

ตารางที่ 5.25 แสดงเส้นทางการส่งข้อมูลในมัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมเอ็มเอสเอ็มที

โหนดผู้รับ	โหนดต้นทาง	โหนด	โหนด	โหนด
97	6 (a1)	97 (a1)		
272	6 (a1)	272 (a3)		
413	6 (a1)	332 (a4)	413 (a4)	
467	6 (a1)	332 (a4)	413 (a4)	467 (a4)
481	6 (a1)	95 (a1)	481 (a4)	

จากตารางที่ 5.25 ซึ่งแสดงเส้นทางการส่งข้อมูลในมัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมเอ็มเอสเอ็มที โดยรายละเอียดของเส้นทางการส่งข้อมูล เป็นดังนี้

- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 97 เป็นโหนดที่อยู่ในเขตที่ตั้งเดียวกัน จึงใช้ลิงค์สตับในการส่งข้อมูล
- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 272 เป็นการส่งข้อมูลข้ามเขตที่ตั้งซึ่งต้องใช้ลิงค์ ทรานสิต โดยจะส่งจากเขตที่ตั้ง a1 ไปยังเขตที่ตั้ง a3
- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 413 จะเกิดการส่งข้อมูลทั้งข้ามเขตที่ตั้งและภายในเขตที่ตั้งเดียวกัน การส่งข้ามเขตที่ตั้งจะเป็นการส่งจากโหนดต้นทาง 6 ซึ่งอยู่ในเขตที่ตั้ง a1 ไปยังโหนด 332 ซึ่งอยู่เขตที่ตั้ง a4 ส่วนการส่งภายในเขตที่ตั้งเป็นการส่งระหว่างโหนด 332 และ 413 ซึ่งอยู่ในเขตที่ตั้ง a4 เหมือนกัน
- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 467 จะใช้เส้นทางการส่งข้อมูลร่วมกับโหนด 413 และเมื่อโหนด 413 ได้รับข้อมูลแล้ว จะส่งข้อมูลนั้นต่อมา

ให้กับโหนด 467 โดยทั้งสองโหนดเป็นโหนดที่อยู่ในเขตที่ตั้ง a4 เช่นเดียวกัน

- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 481 จะมีการส่งข้อมูลภายในเขตที่ตั้ง a1 และส่งระหว่างเขตที่ตั้ง a1 ไปยัง a4 ซึ่งเป็นการใช้ลิงค์ทรานสิตเพิ่มขึ้นอีก 1 ลิงค์

ตารางที่ 5.26 เส้นทางการส่งข้อมูลในมัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมเอ็มบีเอ็มที

โหนดผู้รับ	โหนดต้นทาง	โหนด	โหนด	โหนด
97	6 (a1)	97 (a1)		
272	6 (a1)	272 (a3)		
413	6 (a1)	308 (a3)	481 (a4)	413 (a4)
467	6 (a1)	97 (a1)	467 (a4)	
481	6 (a1)	308 (a3)	481 (a4)	

จากตารางที่ 5.26 ซึ่งแสดงเส้นทางการส่งข้อมูลในมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมเอ็มบีเอ็มที พบว่ามีเส้นทางการส่งข้อมูลทั้งหมด 5 เส้นทางตามจำนวนโหนดผู้รับ แต่เนื่องจากมัลติคาสต์ระดับชั้นแอพพลิเคชันอาศัยการโหนดต่างๆ ในการส่งต่อข้อมูล ดังนั้นการส่งข้อมูลจากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 308 และจากโหนด 308 ไปยังโหนด 481 จึงถือว่าการส่งข้อมูลผ่านเส้นทางนี้เกิดขึ้นเพียงครั้งเดียว โดยรายละเอียดการของเส้นทางการส่งข้อมูล เป็นดังนี้

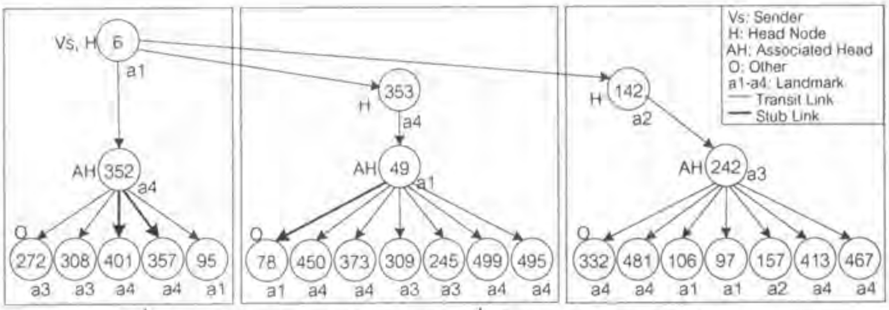
- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 97 โดยทั้งสองโหนดอยู่บนเขตที่ตั้งเดียวกัน ดังนั้นการส่งข้อมูลระหว่างทั้งสองโหนดนี้จึงใช้ลิงค์สตับ
- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 272 เป็นการส่งข้อมูลข้ามเครือข่าย เนื่องโหนดต้นทางต้นทางและโหนดปลายทางตั้งอยู่คนละเขตที่ตั้ง คือเขตที่ตั้ง a1 และ a3 ดังนั้นการส่งข้อมูลในเส้นทางนี้จะต้องใช้ลิงค์ทรานสิตโดยไม่ต้องผ่านโหนดใดเพราะเป็นการส่งถึงผู้รับโดยตรง
- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 481 เป็นการส่งข้อมูลข้ามเครือข่าย จากเขตที่ตั้ง a1 ไปยังเขตที่ตั้ง a3 และจากเขตที่ตั้ง a3 ไปยังเขตที่ตั้ง a4 ซึ่งการส่งครั้งนี้จะทำให้เกิดการใช้ลิงค์ทรานสิตจากเขตที่ตั้ง a1 ไปยังเขตที่ตั้ง a3 เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งลิงค์ และนอกจากนี้ยังต้องใช้ลิงค์ทรานสิตส่ง

ข้อมูลจากโหนด 308 ไปยังโหนด 481 ซึ่งตั้งอยู่ในเขตที่ตั้ง a3 และ a4 ตามลำดับ

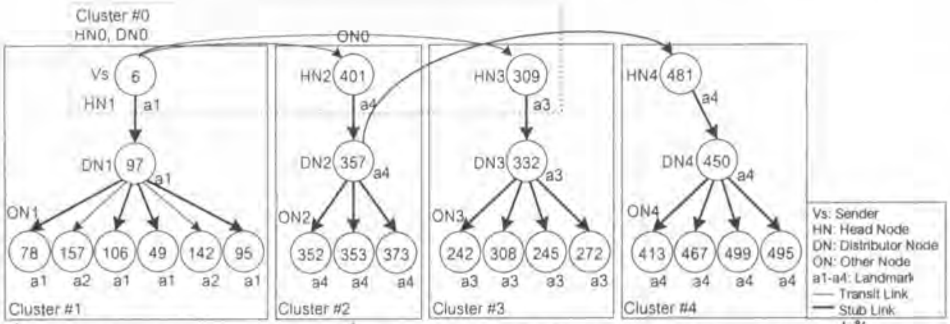
- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 413 ในเส้นทางนี้เป็นการส่งข้อมูลข้ามเครือข่าย จากเขตที่ตั้ง a3 ไปยังเขตที่ตั้ง a4 ดังนั้นการส่งข้อมูลครั้งนี้จึงต้องใช้ลิงค์ทรานสิต
- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 467 โดยผ่านโหนด 97 ดังนั้นในเส้นทางนี้จะประกอบด้วยการส่งข้อมูลระหว่างโหนดที่อยู่ในเขตที่ตั้งเดียวกันและการส่งข้อมูลระหว่างโหนดที่ตั้งอยู่คนละเขตที่ตั้ง ในการส่งข้อมูลครั้งนี้จะทำให้เกิดการใช้ลิงค์ทรานสิตเพื่อส่งข้อมูลจากเขตที่ตั้ง a1 ไปยัง a4 ซ้ำอีกครั้ง

จากการวิเคราะห์เส้นทางการส่งข้อมูลของมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมเอ็มเอสเอ็มทีและเอ็มบีเอ็มที ตามตารางที่ 5.24 และ 5.25 ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าการกระจายข้อมูลโดยที่โหนดผู้ส่งส่งข้อมูลให้กับโหนดผู้รับโดยตรงมักจะทำให้เกิดจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่โหนดผู้ส่งมากขึ้นซึ่งอาจทำให้เกิดโอเวอร์โหลดที่โหนดผู้ส่งได้ และโดยส่วนใหญ่โหนดที่เป็นผู้รับมักจะอยู่คนละเครือข่ายกับโหนดผู้ส่ง การส่งข้อมูลถึงกันโดยตรงต้องอาศัยลิงค์ทรานสิต ทำให้มัลติคาสต์ทรีมีจำนวนลิงค์ทรานสิตเพิ่มขึ้นไม่จำกัด ดังนั้นการนำมัลติคาสต์ทรีชนิดนี้มาใช้กระจายข้อมูลจึงไม่สามารถใช้แบนด์วิดท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะอัลกอริทึมนี้ไม่สามารถควบคุมจำนวนลิงค์ทรานสิตที่ใช้ส่งข้อมูลข้ามเครือข่ายได้

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว เมื่อนำโครงสร้างมัลติคาสต์ทรีทั้งสองชนิดนี้มาวิเคราะห์พบว่าทั้งสองอัลกอริทึมมีโครงสร้างพื้นฐานมาจากโครงสร้างแบบเมชที่สร้างจากค่าดีเลย์ ถึงแม้ว่าจะมีการนำมัลติคาสต์ทรีที่ได้นั้นมาปรับแต่งโดยจะคัดเลือกลิงค์ที่มีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดออก แล้วจัดหาลิงค์ใหม่ที่มีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่น้อยกว่ามาแทนที่และการคัดเลือกลิงค์ที่มีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดออกในแต่ละครั้งจะช่วยลดจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำในเครือข่ายซ้อนทับได้ แต่จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำสูงสุดที่ได้ยังมีความไม่แน่นอนและไม่สามารถรับรองว่าจะได้มัลติคาสต์ทรีที่มีจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำต่ำสุด นอกจากนี้การคัดเลือกลิงค์ใหม่เพื่อให้ได้จำนวนแพ็กเก็ตซ้ำที่ต่ำกว่าอาจจะต้องใช้เวลานานเพราะต้องคัดออกและเลือกลิงค์ใหม่จำนวนหลายครั้ง



รูปที่ 5.27 ตัวอย่างมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมซิกแซก



รูปที่ 5.28 ตัวอย่างมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมการจัดกลุ่มโดยใช้เขตที่ตั้ง

จากรูปที่ 5.27 และ 5.28 เป็นมัลติคาสต์ทรีที่มีโครงสร้างเป็นทรีของคลัสเตอร์ ซึ่งมีการกระจายข้อมูลภายในกลุ่มโดยเริ่มจากโหนดต้นทาง เมื่อพิจารณามัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมซิกแซกพบว่าทุกคลัสเตอร์มีจำนวนโหนดใกล้เคียงกันและโหนดสมาชิกในแต่ละคลัสเตอร์มีค่าเขตที่ตั้งแตกต่างกัน ทำให้เกิดการส่งข้อมูลผ่านลิงค์ที่มีแบนด์วิดท์ต่ำเช่นลิงค์ทรานสิต ซึ่งแตกต่างจากมัลติคาสต์ทรีที่สร้างโดยใช้เขตที่ตั้ง ที่โหนดภายในคลัสเตอร์มักจะเป็นโหนดที่อยู่ในเครือข่ายโลคอลเดียวกันจึงสามารถส่งข้อมูลถึงกันด้วยลิงค์สตับ และโดยส่วนใหญ่การส่งข้อมูลด้วยลิงค์ทรานสิตซึ่งเป็นการส่งข้ามเครือข่ายจะเกิดขึ้นเฉพาะบางส่วนของมัลติคาสต์ทรี เช่น ที่โหนดต้นทาง หรือโหนดแจกจ่าย เป็นต้น

จากมัลติคาสต์ทรีในรูปที่ 5.27 และ 5.28 เมื่อเลือกพิจารณาการส่งข้อมูลจากโหนดต้นทาง (โหนด 6) และโหนดผู้รับ 97, 272, 413, 467 และ 481 จะพบเส้นทางการส่งข้อมูลดังตารางที่ 5.27 และตารางที่ 5.28

ตารางที่ 5.27 เส้นทางการส่งข้อมูลในมัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมซิกแซก

โหนดผู้รับ	โหนดต้นทาง	โหนด	โหนด	โหนด
97	6 (a1)	142 (a2)	242 (a3)	97 (a1)
272	6 (a1)	352 (a4)	272 (a3)	
413	6 (a1)	142 (a2)	242 (a3)	413 (a4)
467	6 (a1)	142 (a2)	242 (a3)	467 (a4)
481	6 (a1)	142 (a2)	242 (a3)	

จากตารางที่ 5.27 ซึ่งแสดงเส้นทางการส่งข้อมูลในมัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมซิกแซก พบว่าโครงสร้างแบบทรีของคลัสเตอร์ที่ทำให้เกิดการกระจายข้อมูลในกลุ่มย่อยๆ มีส่วนทำให้มีเส้นทางการส่งข้อมูลร่วมกันมากขึ้น โดยตัวอย่างบางส่วนของเส้นทางการส่งข้อมูลเป็นดังนี้

- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 97 จะเกิดการส่งข้อมูลข้ามเขตที่ตั้งเป็นจำนวน 3 ครั้ง และสุดท้ายต้องส่งข้อมูลกลับมาเขตที่ตั้ง a1 ซึ่งเป็นเขตที่ตั้งเดียวกับโหนดผู้ส่ง
- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 272 จะเกิดการส่งข้อมูลข้ามเขตที่ตั้งเป็นจำนวน 2 ครั้ง โดยมีการส่งข้อมูลจากเขตที่ตั้ง a1 ไปยังเขตที่ตั้ง a4 และส่งจากเขตที่ตั้ง a4 ไปยังเขตที่ตั้ง a3
- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 413, 467 และ 481 จะใช้เส้นทางการส่งข้อมูลร่วมกัน

ตารางที่ 5.28 เส้นทางการส่งข้อมูลในมัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมแอลเอซี

โหนดผู้รับ	โหนดต้นทาง	โหนด	โหนด	โหนด	โหนด	โหนด
97	6 (a1)	97 (a1)				
272	6 (a1)	309 (a3)	332 (a3)	272 (a3)		
413	6 (a1)	401 (a4)	357(a4)	481 (a4)	450 (a4)	413 (a4)
467	6 (a1)	401 (a4)	357(a4)	481 (a4)	450 (a4)	467 (a4)
481	6 (a1)	401 (a4)	357(a4)	481 (a4)		

จากตารางที่ 5.28 ซึ่งแสดงเส้นทางการส่งข้อมูลในมัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมแอลเอซี พบว่าการจัดกลุ่มโหนดทำให้โหนดที่อยู่ในกลุ่มย่อยๆ เป็นโหนดที่อยู่ในพื้นที่เดียวกัน โดยรายละเอียดของเส้นทางการส่งข้อมูล เป็นดังนี้

- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 97 ใช้ลิงค์สตับเพราะเป็นการส่งภายในเขตที่ตั้ง
- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 272 จะเกิดการส่งข้อมูลข้ามเขตที่ตั้งเพียงครั้งเดียว คือการส่งจากโหนด 6 ซึ่งอยู่ในเขตที่ตั้ง a1 ไปยังโหนด 309 ที่อยู่ในเขตที่ตั้ง a3 หลังจากนั้นจะเป็นการส่งภายในเขตที่ตั้งเดียวกันตลอดทั้งเส้นทาง จนกระทั่งโหนด 272 ได้รับข้อมูล
- จากโหนดต้นทาง 6 ไปยังโหนด 413, 467 และ 481 จะเกิดการส่งข้อมูลข้ามเขตที่ตั้ง คือจาก a1 ไปยัง a4 เพียงครั้งเดียวและหลังจากนั้นจะเกิดการส่งข้อมูลระหว่างโหนดที่อยู่ในเขตที่ตั้งเดียวกันผ่านลิงค์สตับ นอกจากการส่งข้อมูลจะเกิดขึ้นภายในเขตที่ตั้งเดียวกัน และยังเป็นการส่งข้อมูลที่เกิดขึ้นภายในคลัสเตอร์เดียวกันอีกด้วย

จากการวิเคราะห์เส้นทางการส่งข้อมูลของมัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากอัลกอริทึมซิกแซกและการจัดกลุ่มโดยใช้เขตที่ตั้ง ตามตารางที่ 5.27 และ 5.28 ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถสรุปได้ว่ามัลติคาสต์ทรีที่มีลักษณะเป็นทรีของคลัสเตอร์ช่วยให้ลดการเกิดโอเวอร์โหลดที่โหนดผู้ส่งเพราะสามารถจำกัดจำนวนโหนดส่งต่อได้ แต่มัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมซิกแซกอาจจะทำให้เกิดการส่งข้อมูลข้ามเขตที่ตั้งสลับไปสลับมา ทำให้เกิดการใช้ลิงค์ทรานสิตมากเกินความจำเป็น ซึ่งตรงข้ามกับมัลติคาสต์ทรีที่สร้างโดยพิจารณาเขตที่ตั้งที่เส้นทางการส่งข้อมูลมีการส่งข้อมูลข้ามเขตที่ตั้งน้อยมาก โดยส่วนใหญ่เป็นการส่งภายในเขตที่ตั้ง ทำให้มัลติคาสต์ทรีชนิดนี้ใช้ลิงค์สตับซึ่งเป็นลิงค์ที่มีแบนด์วิดท์มากเพิ่มขึ้น และยังช่วยลดจำนวนลิงค์ทรานสิตที่ใช้ได้อย่างมาก

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า มัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมการจัดกลุ่มโดยใช้เขตที่ตั้งในกรณีที่ข้อมูลเขตที่ตั้งไม่มีความผิดพลาด เป็นมัลติคาสต์ทรีที่มีประสิทธิภาพมากในเครือข่ายที่จำแนกความแตกต่างของแบนด์วิดท์เป็นสองระดับ เพราะสามารถลดจำนวนแพ็กเก็ตซ้ำบนลิงค์ทรานสิตได้เป็นอย่างมาก และโครงสร้างของทรีที่เป็นคลัสเตอร์ยังทำให้โหนดภายในคลัสเตอร์ส่วนใหญ่เป็นโหนดที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน การส่งข้อมูลภายในคลัสเตอร์ส่วนใหญ่จึงผ่านลิงค์สตับ ทำให้ใช้ลิงค์สตับเพิ่มขึ้นและมากกว่าอัลกอริทึมอื่น เมื่อนำจำนวนไบต์ข้อมูลทั้งหมดที่ผ่านลิงค์สตับมาหาความสัมพันธ์กับจำนวนไบต์ข้อมูลทั้งหมดในเครือข่าย

พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่วิ่งผ่านลิงค์สตับ ส่งผลให้สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์บนลิงค์คอขวดซึ่งส่วนใหญ่เป็นลิงค์ทรานสิตลดลงด้วย นอกจากนี้การใช้ลิงค์สตับยังช่วยให้ใช้เวลาในการส่งข้อมูลไปยังโหนดสุดท้ายน้อยกว่าอัลกอริทึมอื่น เพราะไม่ต้องส่งข้อมูลผ่านลิงค์ทรานสิตที่มีดีเลย์มากกว่า ดังนั้น มัลติคาสต์ทรีที่จัดกลุ่มโหนดโดยใช้เขตที่ตั้งจึงเป็นมัลติคาสต์ทรีที่ใช้แบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เครือข่ายมีแบนด์วิดท์คงเหลือพอให้บริการกับผู้รับอื่นๆ ได้อีกเป็นจำนวนมาก

ส่วนมัลติคาสต์ทรีของอัลกอริทึมการจัดกลุ่มโดยใช้เขตที่ตั้งในกรณีที่ข้อมูลเขตที่ตั้งมีความผิดพลาดบางโหนด ซึ่งมักจะเป็นความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการแปลงไอพีแอดเดรสไปเป็นรหัสประเทศ ที่มาจากฐานข้อมูลที่รวบรวมการลงทะเบียนไอพีแอดเดรสของอินเตอร์เน็ตเฉพาะโซน (Regional Internet Registries: RIPs) [31] ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่ใช้แสดงผลคำสั่งไอพีฮูอีส เนื่องจากไอพีแอดเดรสซึ่งมีขนาด 32 บิต ทำให้สามารถให้ไอพีแอดเดรสที่แตกต่างกันประมาณ 4.3 พันล้านไอพี แต่ไอพีทั้งหมดนี้ไม่ได้นำมาใช้เป็นไอพีจริงในเครือข่ายอินเตอร์เน็ตทั้งหมด ดังนั้นการแปลงไอพีแอดเดรสจากฐานข้อมูลที่ไม่มีข้อมูล จึงไม่สามารถให้ค่าเขตที่ตั้งที่ถูกต้องได้ และนอกจากนี้ข้อมูลเขตที่ตั้งอาจเกิดจากความผิดพลาดในการตั้งค่าของผู้ใช้งานเอง ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีที่ผู้ใช้ใช้ไอพีแอดเดรสที่กำหนดขึ้นภายในองค์กร (Local IP Address) โดยไม่ทราบไอพีแอดเดรสแท้จริงที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ต จึงทำให้ไม่สามารถใช้คำสั่งไอพีฮูอีสแปลงไอพีแอดเดรสนั้นได้โดยตรง ผู้ใช้จึงจำเป็นต้องเป็นผู้ตั้งค่าเขตที่ตั้งนั้นเอง

มัลติคาสต์ทรีที่สร้างจากข้อมูลเขตที่ตั้งที่ผิดพลาดส่งผลให้มีการใช้ลิงค์ทรานสิตเพิ่มมากขึ้น ทำให้สัดส่วนการใช้แบนด์วิดท์ที่ลิงค์ทรานสิต สัดส่วนข้อมูลทรานสิต และเวลาที่ใช้ส่งข้อมูลเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดยิ่งเพิ่มขึ้นยิ่งส่งผลให้ค่าเหล่านี้ยิ่งสูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้มัลติคาสต์ทรีที่จัดกลุ่มโหนดตามเขตที่ตั้งมีประสิทธิภาพลดลง