บทที่ 4

ผลการทดสอบ

เนื้อหาบทนี้กล่าวถึงผลการศึกษาวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย โดยผู้วิจัยทำการจำลองการใช้งาน IPTV โดยใช้ Video Source จากภาพยนต์แบบ 3มิติ โดยภาพยนต์มีความละเอียดอยู่ที่ 1920 X 1080p การทดสอบจะแบ่งสภาพแวดล้อมของโครงข่ายเป็นสามแบบคือ PIM-Dense Mode, PIM-Sparse Mode และ Bi-directional PIM โดยทั้งสามแบบมี Background Traffic ที่โดยกำหนดส่งที่ขนาด 50MB และ100MB จนครบหรือจบการจำลอง โดยเริ่มส่ง ณ วินาทีที่ 1 และวินาทีที่ 100 ตามลำดับ และมีขนาดของบัฟเฟอร์คือ 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ และแบนวิธด์ขนาด 20Mbps, 40Mbps, 60Mbps และ 80Mbps ซึ่งจะได้แสดงผลไว้ตามกราฟในส่วนถัดไป

4.1 Average Packet loss

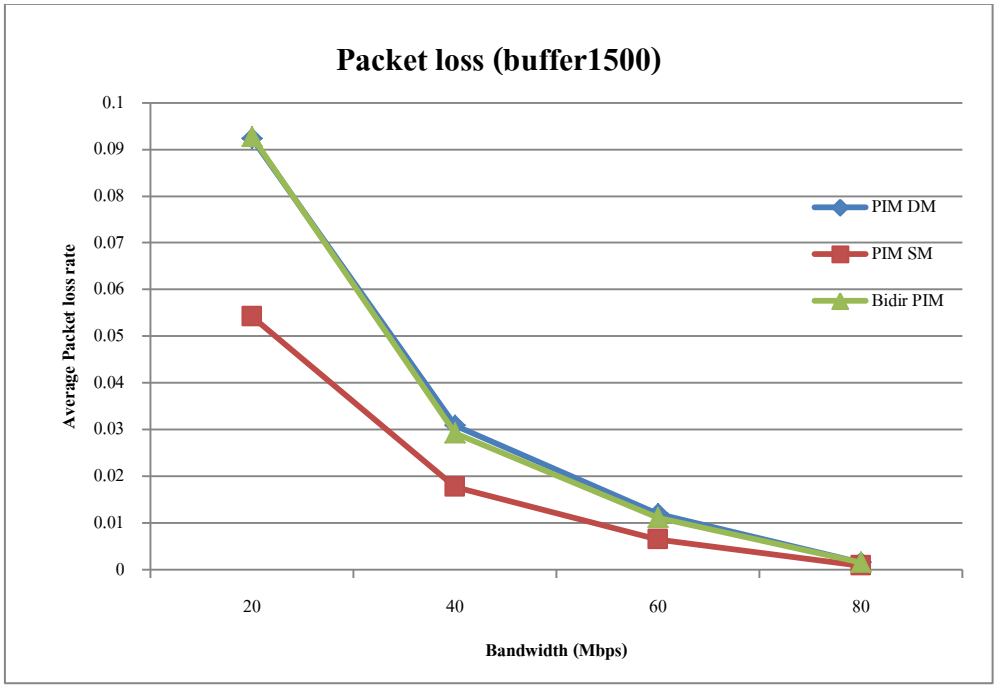
4.1.1 Average Packet loss ของ PIM-DM, PIM-SM และ Bidir-PIM

ตารางที่ 4.1 แสดงอัตรการสูญหายของข้อมูลของโพรโทคอลมัลติคาสต์ทั้งสามแบบ แบบ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ปรากฏว่า ที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.092313, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.054117 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.092718 ที่แบนวิธด์ 40Mbps มีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.030789, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.017625 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.029213 ที่แบนวิธด์ 60Mbps มีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.011916, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.006455 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.011138และที่แบนวิธด์ 80Mbps มีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.001516, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.000773 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.001428

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate ที่ขนาดบัฟเฟอร์1500 แพ็คเกจ

Bandwidth	PIM-DM	PIM-SM	Bidir-PM
20	0.092313	0.054117	0.092718
40	0.030789	0.017625	0.029213
60	0.011916	0.006455	0.011138
80	0.001516	0.000773	0.001428

รูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าที่แบนวิธด์ 20Mbps มีอัตราการสูญหายของข้อมูลมากที่สุด และลดลงตามลำดับตามขนาดของแบนวิธด์ที่เพิ่มมากขึ้น และน้อยสุดที่แบนวิธด์ 80Mbps เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสูญหายของข้อมูลของทั้งสามโพรโทคอลมัลติคาสต์ไม่ต่างกันมากนัก แต่จะพบว่า PIM-Sparse Mode มีการอัตราการสูญหายของข้อมูลน้อยกว่าโพรโทคอลมัลติคาสต์แบบ PIM-Dense Mode และ Bi-directional PIM



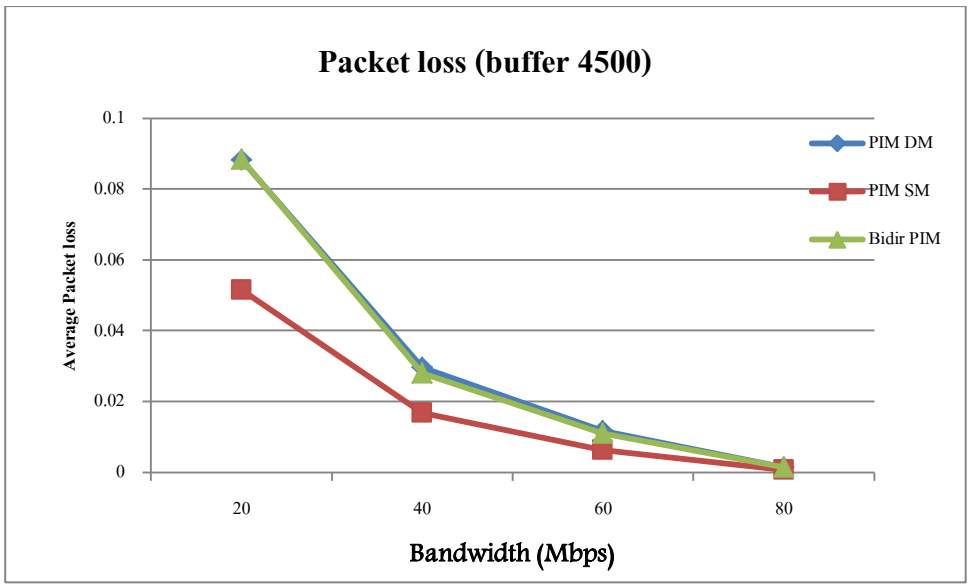
รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate ที่บัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ

แสดงอัตรการสูญหายของข้อมูลของโพรโทคอลมัลติคาสต์ทั้งสามแบบ บัฟเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ปรากฏว่า ที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.088295, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.051504 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.088368 ที่แบนวิธด์ 40Mbps มีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.029617, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.016776 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.02793 ที่แบนวิธด์ 60Mbps มีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.011649, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.006226 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.010905 และที่แบนวิธด์ 80Mbps มีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.001395, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.00065 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.001331 อ้างอิงจากตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate ที่ขนาดบัพเฟอร์4500 แพ็คเกจ

Bandwidth	PIM-DM	PIM-SM	Bidir-PM
20	0.088295	0.051504	0.088368
40	0.029617	0.016776	0.02793
60	0.011649	0.006226	0.010905
80	0.001395	0.00065	0.001331

อัตรการสูญหายของข้อมูลของโพรโทคอลมัลติคาสต์ทั้งสามแบบ บัฟเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ปรากฏว่า ที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลมากที่สุด และลดลงตามลำดับตามขนาดของแบนวิธด์ที่เพิ่มมากขึ้น และน้อยสุดที่แบนวิธด์ 80Mbps เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสูญหายของข้อมูลของทั้งสามโพรโทคอลมัลติคาสต์ไม่ต่างกันมากนัก แต่จะพบว่า PIM-Sparse Mode มีการอัตราการสูญหายของข้อมูลน้อยกว่าโพรโทคอลมัลติคาสต์แบบ PIM-Dense Mode และ Bi-directional PIM



รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate ที่บัฟเฟอร์ขนาด 4500 แพ็คเกจ

ในการทดลองของพบว่า PIM-Spares Mode มีการอัตราการสูญหายข้อมูลน้อยสุด ทั้งในขนาดบัพเฟอร์1500 และ 4500 ทั้งนี้เนื่องจาก PIM-Spares Mode ทำการส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์ ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลเพียงแพคเกจเดียวจนไปถึงจุด RP จึงทำให้อัตราการสูญหายน้อยที่สุด ส่วน PIM-Dense Mode จะส่งข้อมูลไปในระบบตามจำนวนปลายทางที่รับ และทำการ pruning เพื่อหาเส้นทางอยู่เสมอ เช่นนี้ทำให้สิ้นเปลืองแบนวิดธ์และบัพเฟอร์ที่มีในระบบ เป็นเหตุให้เกิดการสูญหายของข้อมูลเพิ่มมาขึ้นได้เช่นกัน และ Bi-dir PIM จะส่งแพคเกจตามจำนวนของ share tree ดังนั้นจะทำให้จำนวนแพคเกจในระบบนั้นมากขึ้น อีกทั้งขนาดของแบนวิธด์และขนาดบัพเฟอร์ที่จำกัดจึงทำให้เกิดคอขวดในระบบ ดังนั้นจึงมีอัตราการสูญหายของข้อมูลเพิ่มมากขึ้นในโครงข่ายที่แบนวิดธ์น้อย และจะลดลงเมื่อแบนวิธด์เพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากระบบสามารถส่งข้อมูลออกไปยังปลายทางได้มากขึ้นและการเกิดคอขวดในระบบลดลง

4.1.2 Average Packet Loss Rate ของ PIM-DM

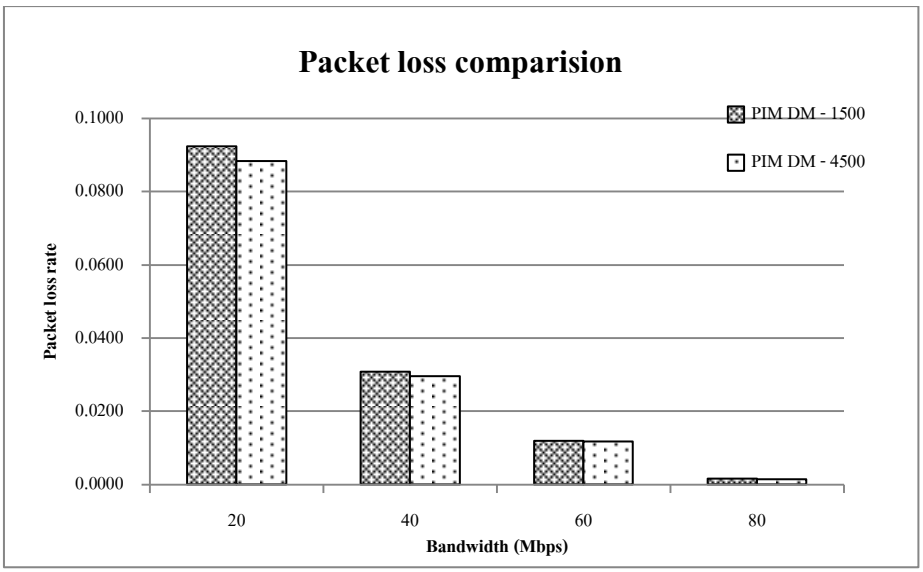
ตารางที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate ของ PIM-DM เปรียบเทียบระหว่างขนาดบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ปรากฏว่าที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0923

และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0883 แบนวิธด์ 40Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0308 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0296 แบนวิธด์ 60Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0119และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0116 และที่แบนวิธด์ 80Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0015 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0014

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate เปรียบเทียบระหว่างบัพเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

Bandwidth (Mbps)	**PIM-DM-1500**	**PIM-DM-4500**
20	0.0923	0.0883
40	0.0308	0.0296
60	0.0119	0.0116
80	0.0015	0.0014

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate ของ PIM-DM เปรียบเทียบระหว่างขนาดบัพเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ พบว่าอัตรการสูญหายของข้อมูลของโพรโทคอลมัลติคาสต์ แบบ PIM-DM ที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลมากที่สุด และลดลงตามลำดับตามขนาดของแบนวิธด์ที่เพิ่มมากขึ้น และน้อยสุดที่แบนวิธด์ 80Mbps เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสูญหายของข้อมูลของโทคอลมัลติคาสต์แบบ PIM-DM ไม่ต่างกันมากนัก แต่จะพบว่าที่บัพเฟอร์ 4500 แพ็คเกจ มีการอัตราการสูญหายของข้อมูลน้อยกว่า ขนาดพับเฟอร์ 1500 แพ็คเกจ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate เปรียบเทียบระหว่างบัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

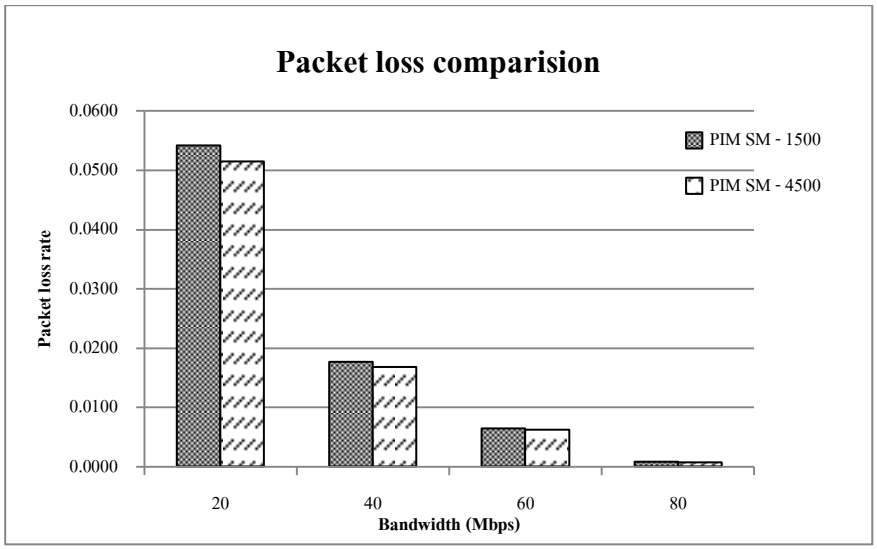
4.1.3 Average Packet Loss Rate ของ PIM-SM

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate ของ PIM-SM เปรียบเทียบระหว่างขนาดบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ และขนาดบัฟเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ปรากฏว่าที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0541 และขนาดบัฟเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0515 แบนวิธด์ 40Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0176 และขนาดบัฟเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0168 แบนวิธด์ 60Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0065และขนาดบัฟเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0062 และที่แบนวิธด์ 80Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0008 และขนาดบัฟเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0007

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate เปรียบเทียบระหว่างบัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

Bandwidth (mbps)	PIM-SM-1500	PIM-SM-4500
20	0.0541	0.0515
40	0.0176	0.0168
60	0.0065	0.0062
80	0.0008	0.0007

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate ของ PIM-SM เปรียบเทียบระหว่างขนาดบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ พบอัตรการสูญหายของข้อมูลของโพรโทคอลมัลติคาสต์ แบบ PIM-SM ที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลมากที่สุด และลดลงตามลำดับตามขนาดของแบนวิธด์ที่เพิ่มมากขึ้น และน้อยสุดที่แบนวิธด์ 80Mbps เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสูญหายของข้อมูลของโทคอลมัลติคาสต์แบบ PIM-SM ไม่ต่างกันมากนัก แต่จะพบว่าที่พับเฟอร์ 4500 แพ็คเกจ มีการอัตราการสูญหายของข้อมูลน้อยกว่า ขนาดพับเฟอร์ 1500 แพ็คเกจ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ค่า Packet Loss Rate ของ PIM-SM เปรียบเทียบระหว่างขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

4.1.4 Average Packet Loss Rate ของ Bidir-PM

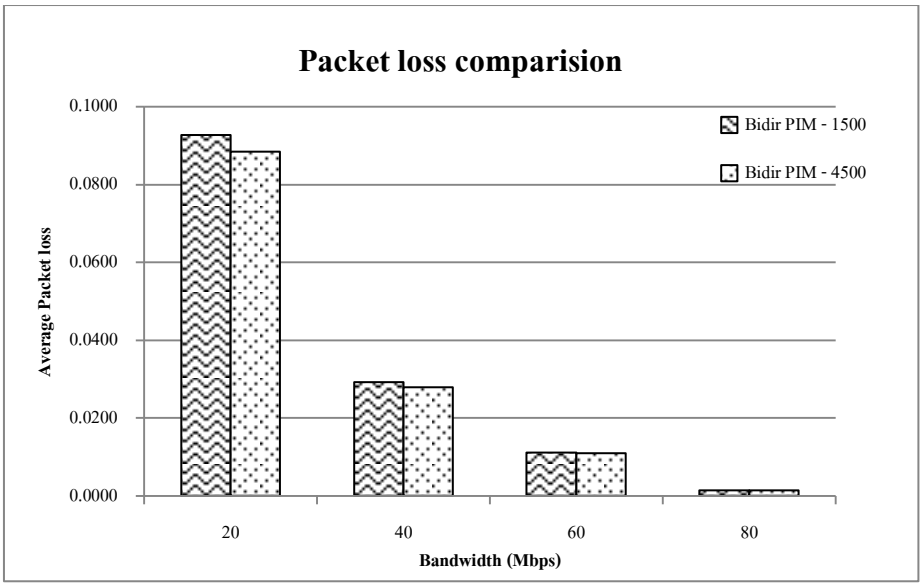
ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate ของ Bidir-PM เปรียบเทียบระหว่างขนาดบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ปรากฏว่าที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0927 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0884 แบนวิธด์ 40Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0292 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0279 แบนวิธด์ 60Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0111 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0109 และที่แบนวิธด์ 80Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0014 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0013

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate เปรียบเทียบระหว่างบัพเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

Bandwidth (Mbps)	**Bidir-PM-1500**	**Bidir-PM-4500**
20	0.0927	0.0884
40	0.0292	0.0279
60	0.0111	0.0109
80	0.0014	0.0013

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate ของ Bidir-PIM เปรียบเทียบระหว่างขนาดบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ พบว่าอัตรการสูญหายของข้อมูลของโพรโทคอลมัลติคาสต์ แบบ Bidir-PIM ที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลมากที่สุด และลดลงตามลำดับตามขนาดของแบนวิธด์ที่เพิ่มมากขึ้น และน้อยสุดที่แบนวิธด์ 80Mbps เมื่อเปรียบเทียบอัตราการสูญหายของข้อมูลของโทคอลมัลติคาสต์แบบ Bidir-PIM ไม่

ต่างกันมากนัก แต่จะพบว่าที่พับเฟอร์ 4500 แพ็คเกจ มีการอัตราการสูญหายของข้อมูลมากกว่าขนาดพับเฟอร์ 1500 แพ็คเกจ ที่แบนวิธด์ขนาด 20Mbps และ 40Mbps ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ค่า Packet Loss Rate ของ Bidir-PIM เปรียบเทียบระหว่างขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

เมื่อเปรียบเทียบในส่วนของบัพเฟอร์ของทั้งสามโพรโทคอล ผลปรากฏว่า เมื่อขนาดของบัพเฟอร์ใหญ่ขึ้นทำให้อัตราการสูญหายลดลง จะสามารถเห็นได้ชัดเชนว่าที่แบนวิดธ์ 20 Mbps และ 40 Mbps นั้น จะมีอัตราการสูญหายของข้อมูลมากและลดลงเรื่อยๆ ที่แบนวิดธ์ 60 Mbps และ 80 Mbps ทั้งนี้เป็นผลมาจากที่ระบบที่อุปกรณ์เนตเวิร์คมีบัพเฟอร์มากขึ้น จะสามารถสำรองข้อมูลได้มากกว่าจึงสามารถรองรับข้อมูลที่ส่งมาได้ดีกว่า ส่งออกไปยังปลายทางได้อย่างต่อเนื่องและราบรื่น โดยมีอัตราการสูญหายของข้อมูลน้อยกว่าอุปกรณ์ที่บัพเฟอร์น้อย

4.2 Average Delay

4.2.1 Average Delay ของ PIM-DM, PIM-SM และ Bidir-PIM

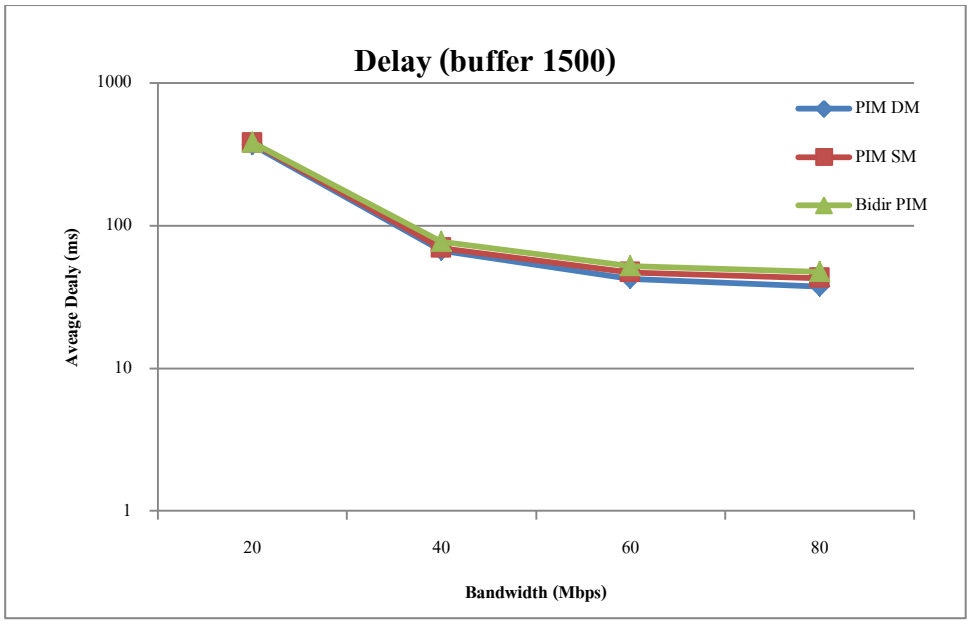
ตารางที่ 4.6 แสดงอัตรล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของโพรโทคอลมัลติคาสต์ทั้งสามแบบ แบบบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ปรากฏว่า ที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 366.8847 milliseconds, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 376.415 milliseconds และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 381.5969 milliseconds ที่แบนวิธด์ 40Mbps มีอัตราล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 66.75049 milliseconds, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 69.7441 milliseconds และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 76.73718 milliseconds ที่แบนวิธด์ 60Mbps มีอัตราล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 42.23324 milliseconds, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 46.7727 milliseconds และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 52.2138 milliseconds และที่แบนวิธด์ 80Mbps มีอัตราล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 37.25188 milliseconds , PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 42.5666 milliseconds และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 47.2405 milliseconds

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย Delay เปรียบเทียบที่บัพเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ

Bandwidth	PIM-DM (ms)	PIM-SM (ms)	Bidir-PM (ms)
20	366.8847	376.415	381.5969
40	66.75049	69.7441	76.73718
60	42.23324	46.7727	52.2138
80	37.25188	42.5666	47.2405

อัตราล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของโพรโทคอลมัลติคาสต์ทั้งสามแบบที่บัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ ปรากฏว่า ที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราการล่าช้าทางเวลามากที่สุด และลดลงตามลำดับตามขนาดของแบนวิดธ์ที่เพิ่มมากขึ้น และน้อยสุดที่แบนวิธด์ 80Mbps เมื่อเปรียบเทียบอัตราการล่าช้าของเวลาของทั้งสามโพรโทคอลมัลติคาสต์พบว่า PIM-Sparse Mode มีอัตราการ

ล่าช้าของเวลาน้อยว่า PIM-Dense Mode และ Bi-directional PIM อย่างเห็นได้ชัดเจน ในขณะที่ PIM-Dense Mode และ Bi-directional PIM มีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.6



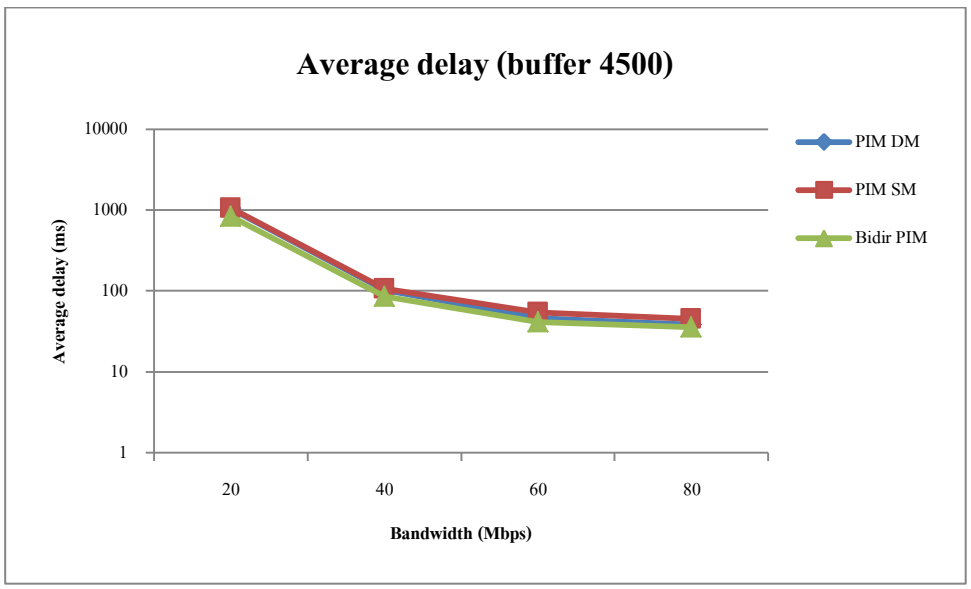
รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ย Delay ที่บัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ

อัตราล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของโพรโทคอลมัลติคาสต์ทั้งสามแบบ โดยมีบัฟเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ผลปรากฏว่าที่แบนวิธด์ 20Mbps อัตราล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1036.717 milliseconds, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1055.676 milliseconds และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 841.9843 milliseconds ที่แบนวิธด์ 40Mbps มีอัตราล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 102.6034 milliseconds, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 106.6717 milliseconds และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 85.33665 milliseconds ที่แบนวิธด์ 60Mbps มีอัตราล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 45.61716 milliseconds, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 54.23246 milliseconds และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 40.92923 และที่แบนวิธด์ 80Mbps มีอัตราล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 38.09191 milliseconds , PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ 45.06894 milliseconds และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ 35.62546 milliseconds ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย Delay เปรียบเทียบที่บัพเฟอร์ขนาด 4500 แพ็คเกจ

Bandwidth(Mbps)	PIM-DM (ms)	PIM-SM (ms)	Bidir-PM (ms)
20	1036.717	1055.676	841.9843
40	102.6034	106.6717	85.33665
60	45.61716	54.23246	40.92923
80	38.09191	45.06894	35.62546

อัตราล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของโพรโทคอลมัลติคาสต์ทั้งสามแบบที่พับเฟอร์ขนาด 4500 แพ็คเกจ ปรากฏว่าที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราการล่าช้าทางเวลามากที่สุด และลดลงตามลำดับตามขนาดของแบนวิดธ์ที่เพิ่มมากขึ้น และน้อยสุดที่แบนวิธด์ 80Mbps เมื่อเปรียบเทียบอัตราการล่าช้าของเวลาของทั้งสามโพรโทคอลมัลติคาสต์พบว่า PIM-Sparse Mode มีอัตราการล่าช้าของเวลาน้อยว่า PIM-Dense Mode และ Bi-directional PIM อย่างเห็นได้ชัดเจน ในขณะที่ PIM-Dense Mode และ Bi-directional PIM มีผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ย Delay ที่บัฟเฟอร์ขนาด 4500 แพ็คเกจ

เมื่อเปรียบเทียบอัตรการล่าช้าทางเวลาของข้อมูลที่ส่งผ่านทั้งสามโพรโทคอลที่ขนาดบัพเฟอร์ 1500 และ 4500 ผลปรากฏว่าผลของอัตราการล่าช้าทางเวลาไม่ต่างกันมากนัก ผลปรากฏว่าเมื่อขนาดของแบนวิดธ์เพิ่มมาขึ้นทำให้อัตราการล่าช้าของข้อมูลลดลง ทั้งนี้เนื่องจากว่าขนาดของแบนวิดธ์ที่มากขึ้นจะทำให้การส่งผ่านข้อมูลได้มากขึ้น และอุปกรณ์ในระบบไม่จำเป็นต้องบัพเฟอร์ข้อมูลไว้ที่อุปกรณ์นั้นๆ แล้ว จึงค่อยส่งผ่านไปในระบบ

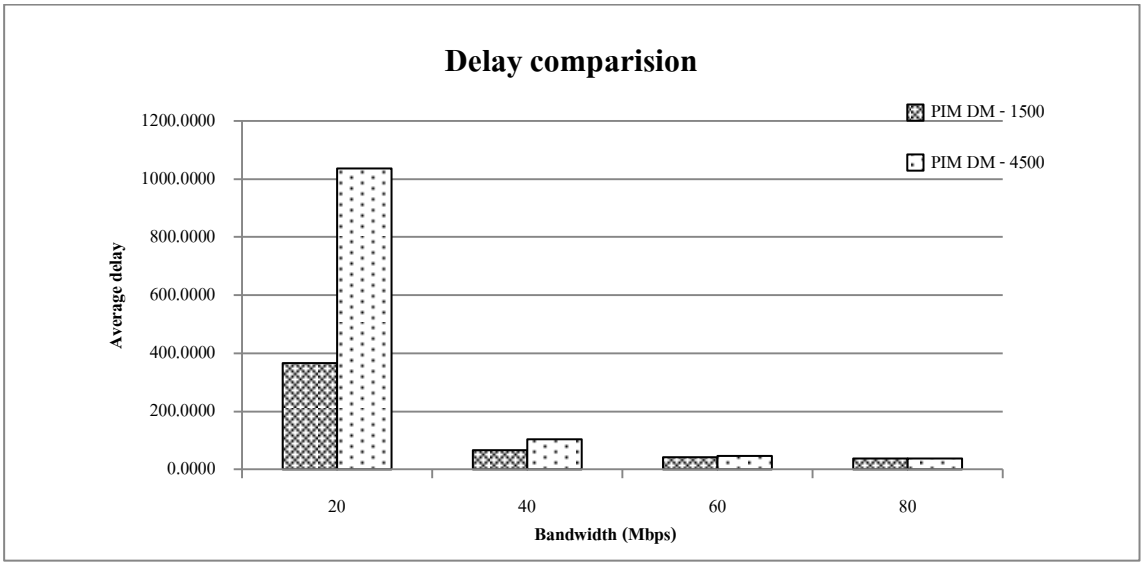
4.2.2 Average Delay ของ PIM-DM

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Delay ของ PIM-DM เปรียบเทียบระหว่างขนาดบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ปรากฏว่า ที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 366.8847 milliseconds 0. และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1036.7171milliseconds แบนวิธด์ 40Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 66.7505 milliseconds และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 102.6034 milliseconds แบนวิธด์ 60Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 42.2332 milliseconds และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 45.6172 milliseconds และที่แบนวิธด์ 80Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 37.2519 milliseconds และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 38.0919 milliseconds

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ย Delay เปรียบเทียบระหว่างบัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

Bandwidth (Mbps)	**PIM-DM-1500 (ms)**	**PIM-DM-4500 (ms)**
20	366.8847	1036.7171
40	66.7505	102.6034
60	42.2332	45.6172
80	37.2519	38.0919

อัตราล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของโพรโทคอลมัลติคาสต์แบบ PIM-Dense Mode เปรียบเทียบบัพเบฟอร์ระหว่างขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการล่าช้าของเวลาของโพรโทคอลมัลติคาสต์แบบ PIM-Dense Mode พบว่าที่พับเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ มีอัตราการล่าช้าของเวลาโดยคิดเป็น 35.38% ที่ แบนวิดธ์ 20Mbps, 65.05% ที่แบนวิดธ์ 40 Mbps, 92.58% ที่แบนวิดธ์ 60Mbps, 97.79% ที่แบนวิดธ์ 80Mbps ของขนาดบัพเฟอร์ 4500 แพ็คเกจ โดยทั้งพับเฟอร์ขนาด 1500 และ 4500 แพ็คเกจ พบว่าที่แบนวิธด์ 20Mbps มีอัตราการล่าช้าทางเวลามากที่สุด และลดลงตามลำดับตามขนาดของแบนวิดธ์ที่เพิ่มมากขึ้นและน้อยสุดที่แบนวิธด์ 80Mbps ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ค่า Average Delay ของ PIM-DM เปรียบเทียบระหว่างขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

4.2.3 Average Delay ของ PIM-Sparse Mode

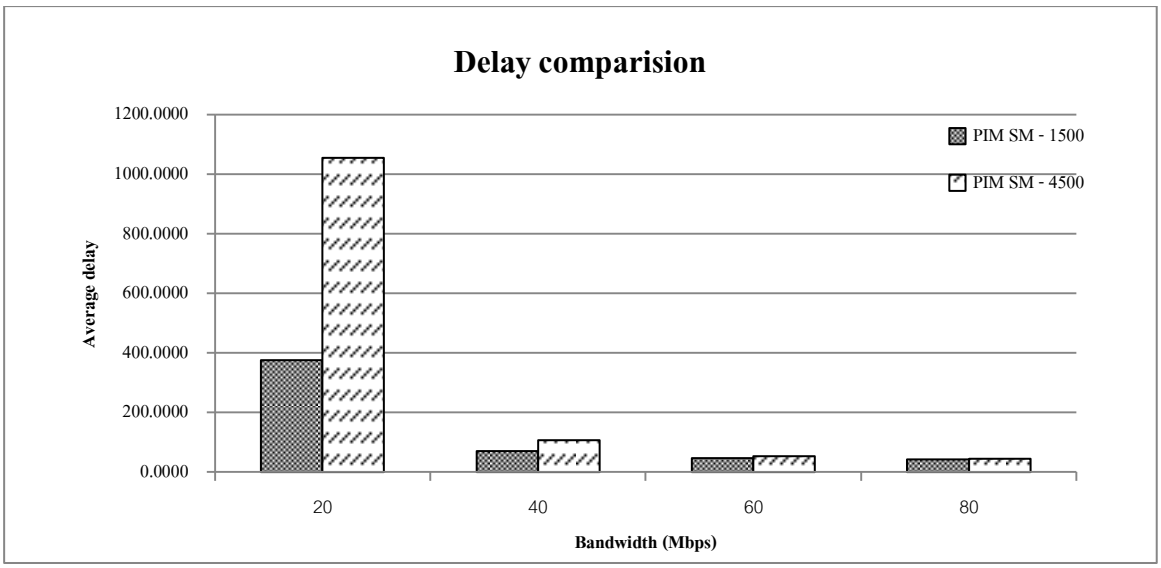
ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Delay ของ PIM-Spare Mode เปรียบเทียบระหว่างขนาดบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ปรากฏว่าที่แบนวิธด์ 20Mbps มีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 376.4150 milliseconds และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1055.6759 milliseconds แบนวิธด์

40Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 69.7441 milliseconds และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 106.6717 milliseconds แบนวิธด์ 60Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 46.7727 milliseconds และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 54.2325 milliseconds และที่แบนวิธด์ 80Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 42.5666 milliseconds และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 45.0689 milliseconds

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ย Delay ของ PIM-SM ระหว่างบัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

Bandwidth	PIM-SM - 1500	PIM-SM - 4500
20	376.4150	1055.6759
40	69.7441	106.6717
60	46.7727	54.2325
80	42.5666	45.0689

รูปที่ 4.9 แสดงอัตราล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของโพรโทคอลมัลติคาสต์แบบ PIM-Sparse Mode เปรียบเทียบบัพเบฟอร์ระหว่างขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการล่าช้าของเวลาของโพรโทคอลมัลติคาสต์แบบ PIM-Sparse Mode พบว่าที่พับเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ มีอัตราการล่าช้าคิดเป็น 35.66% ที่ แบนวิดธ์ 20Mbps, 65.38% ที่แบนวิดธ์ 40 Mbps, 86.24% ที่แบนวิดธ์ 60Mbps, 94.45% ที่แบนวิดธ์ 80Mbps ของขนาด 4500 แพ็คเกจ โดยทั้งพับเฟอร์ขนาด 1500 และ 4500 แพ็คเกจ พบว่าที่แบนวิธด์ 20Mbps มีอัตราการล่าช้าทางเวลามากที่สุด และลดลงตามลำดับตามขนาดของแบนวิดธ์ที่เพิ่มมากขึ้น และน้อยสุดที่แบนวิธด์ 80Mbps



รูปที่ 4.9 ค่า Average Delay ของ PIM-SM เปรียบเทียบระหว่างขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

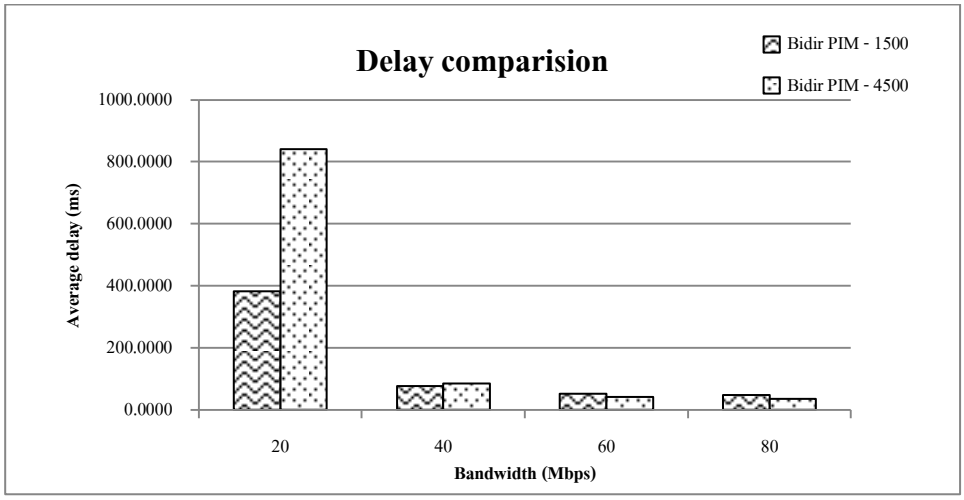
4.2.4 Average Delay ของ Bi-directional PIM

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Delay ของ Bi-directional PIM เปรียบเทียบระหว่างขนาดบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ปรากฏว่า ที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 381.5969 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 841.9843 milliseconds แบนวิธด์ 40Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 76.7372 milliseconds และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 85.3367 milliseconds แบนวิธด์ 60Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 52.2138 milliseconds และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 40.9292 milliseconds และที่แบนวิธด์ 80Mbps พบว่ามีอัตราการสูญหายของข้อมูลของ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 47.2405 milliseconds และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 35.6255 milliseconds

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ย Delay ของ Bi-directional PIM ระหว่างบัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

Bandwidth	Bidir PIM - 1500	Bidir PIM - 4500
20	381.5969	841.9843
40	76.7372	85.3367
60	52.2138	40.9292
80	47.2405	35.6255

รูปที่ 4.10 แสดงอัตราล่าช้าทางเวลาเฉลี่ยของโพรโทคอลมัลติคาสต์แบบ Bi-directional PIM เปรียบเทียบบัพเบฟอร์ระหว่างขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ เมื่อเปรียบเทียบอัตราการล่าช้าของเวลาของโพรโทคอลมัลติคาสต์แบบ Bi-directional PIM พบว่าที่พับเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ มีอัตราการล่าช้าของเวลาคิดเป็น 45.32% ที่แบนวิดธ์ 20Mbps, 89.92% ที่แบนวิดธ์ 40 Mbps, 127.57% ที่แบนวิดธ์ 60Mbps, 132.60% ที่แบนวิดธ์ 80Mbps ของขนาด 4500 แพ็คเกจ โดยทั้งพับเฟอร์ขนาด 1500 และ 4500 แพ็คเกจ พบว่าที่แบนวิธด์ 20Mbps มีอัตราการล่าช้าทางเวลามากที่สุด และลดลงตามลำดับตามขนาดของแบนวิดธ์ที่เพิ่มมากขึ้น และน้อยสุดที่แบนวิธด์ 80Mbps



รูปที่ 4.10 ค่า Average Delay ของ Bidir-PIM เปรียบเทียบระหว่างขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราล่าช้าทางเวลาจะพบว่า บัพเฟอร์ที่มีขนาด 4500 จะมีอัตราล่าช้าทางเวลามากกว่า บัพเฟอร์ขนาด 1500 ทั้งนี้เนื่องจากว่า อุปกรณ์เนตเวิร์คที่มีบัพเฟอร์ขนาดใหญ่จะสามารถบัพเฟอร์ข้อมูลได้มากก่อนที่จะส่งออกไปยังเนตเวิร์ค ดังนั้นอัตราการสูญหายของข้อมูลก็จะลดลงด้วยเช่นกัน จากผลการทดลองปรากฏว่า บัพเฟอร์ขนาด 1500 มีอัตราล่าช้าทางเวลาน้อยซึ่งควรจะเป็นระบบที่มีความสเถียร แต่เมื่อศึกษาในรายละเอียดมากขึ้นพบว่า ขนาดของบัพเฟอร์ 1500 นั้น มีอัตราการสูญหายของข้อมูลมากกว่า บัพเฟอร์ 4500 ทั้งนี้เนื่องจาก ขนาดของบัพเฟอร์ที่เล็กกว่า เป็นผลให้การเก็บข้อมูลน้อยกว่า และเมื่อข้อมูลที่ส่งมาเรื่อยๆ เต็มความจุของบัพเฟอร์แล้ว อุปกรณ์นั้นๆ จะทำการดรอปข้อมูลทิ้งไปและไม่สามารถส่งไปยังปลายทางได้ อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองยังพบว่าแนวโน้มของอัตรล่าช้าทางเวลาของบัพเฟอร์ทั้งสองขนาดจะลดลงเรื่อยๆ ตามขนาดของแบนวิดธ์ที่เพิ่มมากถึงซึ่งจะส่งผลให้ระบบมีความสเถียรมากยิ่งขึ้น

4.3 Average Jitter

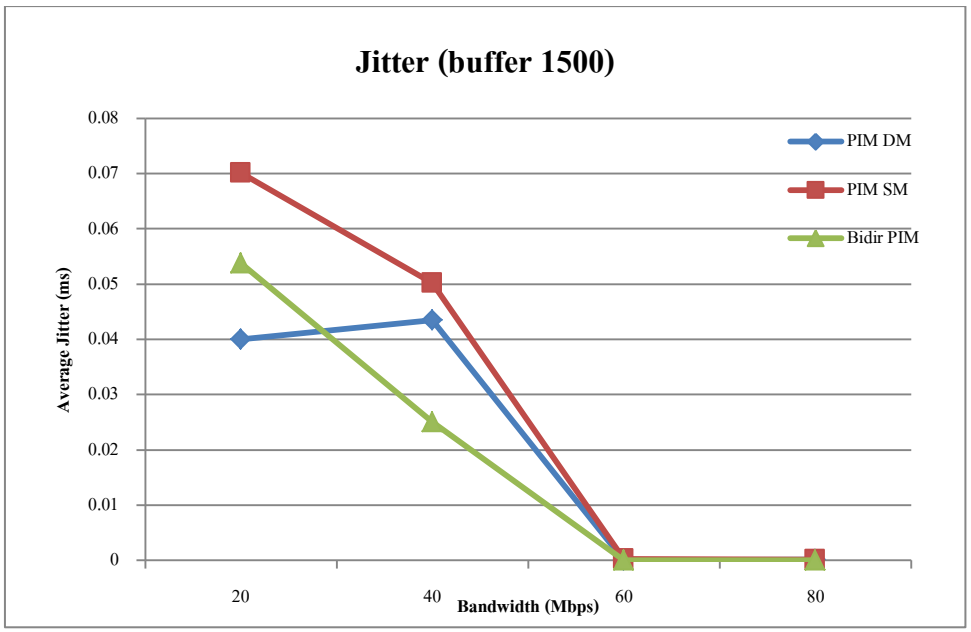
4.3.1 Average Jitter ของ PIM-DM, PIM-SM และ Bidir-PIM

ตารางที่ 4.11 แสดงอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของโพรโทคอลมัลติคาสต์ทั้งสามแบบ แบบ บัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ปรากฏว่า ที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.03999, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.070132 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.053840 ที่แบนวิธด์ 40Mbps มีอัตราอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.04343, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.050240 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.025080 ที่แบนวิธด์ 60Mbps มีอัตราอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.000006, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.000277 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.000002 และที่แบนวิธด์ 80Mbps มีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.000116, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.000075 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.000012

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ย Jitter เปรียบเทียบที่บัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ

Bandwidth	PIM-DM	PIM-SM	Bidir PIM
20	0.03999	0.070132	0.053840
40	0.04343	0.050240	0.025080
60	0.000006	0.000277	0.000002
80	0.000116	0.000075	0.000012

รูปที่ 4.11 แสดงอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของโพรโทคอลมัลติคาสต์แบบ PIM-Dense Mode, PIM-Sparse Mode และ Bi-directional PIM พบว่าผลของอัตราความเบี่ยงเบนทางเวลาของทั้งสามโพรโทคอลนั้นมีความแตกต่างอย่างชัดเจนที่แบนวิธด์ 20Mbps และ40Mbps เนื่องจากอัตราความล่าช้าของเวลาในระบบมีเพิ่มมากขึ้นจะเกิดการสูญหายของแพ็คเกจจึงทำให้แพ็คเกจถัดมาถูกส่งมาเร็วกว่าเวลาที่ควรจะเป็นจึงทำให้ระบบคำนวณว่าไม่มีการเกิดค่าความผิดพลาดของหน่วยเวลาเป็นผลให้ค่าจิตเตอร์ของ PIM-Sparse Mode และ Bi-directional PIM เป็นค่าติดลบ จากนั้นเมื่ออัตราความล่าช้าของหน่วยเวลาลดลงจึงส่งผลให้อัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของทั้งสามโพรโทคอลมัลติคาสต์มีความคงที่มากขึ้น เมื่อแบนวิธด์มีค่าที่ 60Mbps และ 80Mbps อย่างไรก็ตามอัตราความเบี่ยงเบนทางเวลาของโพรโทคอล Bi-directional PIM มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อแบนด์วิดธ์มีค่าเพิ่มมากขึ้น



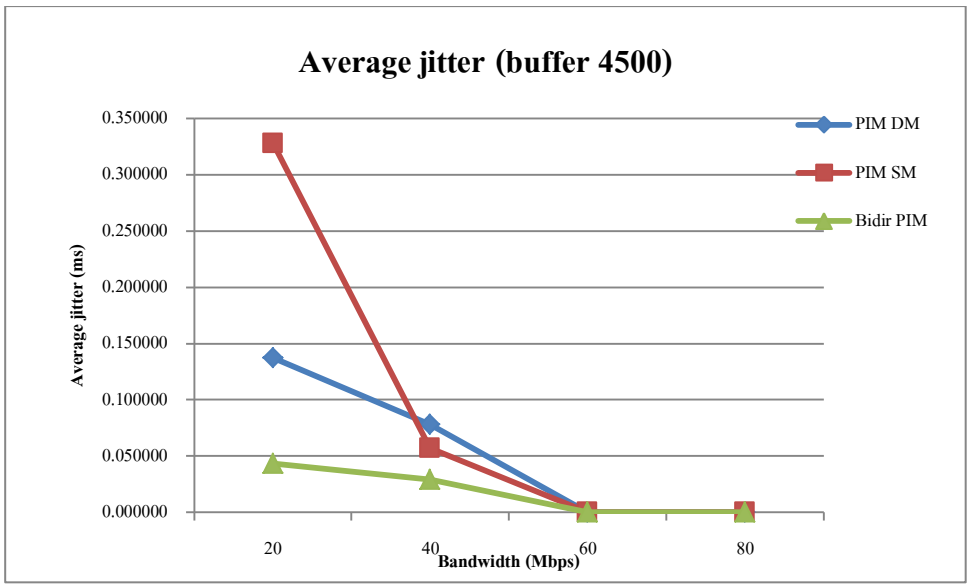
รูปที่ 4.11 ค่าเฉลี่ย Jitter ที่บัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ

ตารางที่ 4.12 แสดงอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของโพรโทคอลมัลติคาสต์ทั้งสามแบบ แบบ บัฟเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ปรากฏว่า ที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.137263, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.327674 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.043389 ที่แบนวิธด์ 40Mbps มีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.078317, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.057067 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.029193 ที่แบนวิธด์ 60Mbps มีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ -0.000108, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.000219 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.000356 และที่แบนวิธด์ 80Mbps มีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของ PIM-Dense Mode ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.000009, PIM-Sparse Mode ค่าเฉลี่ยอยูที่ 0.000137 และ Bi-directional PIM ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.000071

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ย Jitter เปรียบเทียบที่บัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ

Bandwidth	PIM-DM	PIM-SM	Bidir PIM
20	0.137263	0.327674	0.043389
40	0.078317	0.057067	0.029193
60	0.000108	0.000219	0.000356
80	0.000009	0.000137	0.000071

แสดงอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของโพรโทคอลมัลติคาสต์แบบ PIM-Dense Mode, PIM-Sparse Mode และ Bi-directional PIM พบว่าผลของอัตราความเบี่ยงเบนทางเวลาของทั้งสามโพรโทคอล ที่บัฟเฟอร์ 4500 แพ็คเกจ มีความแตกต่างอย่างชัดเจนที่แบนวิธด์ 20Mbps และ 40Mbps เนื่องจากอัตราความล่าช้าของเวลาในระบบมีเพิ่มมากขึ้นจะเกิดการสูญหายของแพ็คเกจจึงทำให้แพ็คเกจถัดมาถูกส่งมาเร็วกว่าเวลาที่ควรจะเป็นจึงทำให้ระบบคำนวณว่าไม่มีการเกิดค่าความผิดพลาดของหน่วยเวลาเป็นผลให้ค่าจิตเตอร์ของ PIM-Sparse Mode และ Bi-directional PIM เป็นค่าติดลบ จากนั้นเมื่ออัตราความล่าช้าของหน่วยเวลาลดลงจึงส่งผลให้อัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของทั้งสามโพรโทคอลมัลติคาสต์มีความคงที่มากขึ้น เมื่อแบนวิธด์มีค่าที่ 60Mbps และ 80Mbps อย่างไรก็ตามอัตราความเบี่ยงเบนทางเวลาของโพรโทคอล Bi-directional PIM มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อแบนด์วิดธ์มีค่าเพิ่มมากขึ้น อ้างอิงจาก รูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ค่า Average Jitter ที่บัฟเฟอร์ขนาด 4500 แพ็คเกจ

จากผลการทดลองปรากฏว่าค่าเฉลี่ยอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของทั้งสามโพรโทรคอลมีความผันผวนในช่วงแบนวิดธ์ขนาด 20 Mbps และ 40 Mbps และระบบจะมีความสเถียรมากขึ้นเมื่อแบนวิดธ์ขนาดใหญ่ขึ้นในช่วงแบนวิดธ์ 60Mbps และ 80Mbps อัตราล่าช้าทางเวลา (Delay) มีผลโดยตรงกับอัตราความเบี่ยงเบนทางเวลา (Jitter) ซึ่งถ้าอัตราล่าช้าทางเวลาของระบบมีความสเถียรมากขึ้น อัตราความเบี่ยงเบนทางเวลาก็มีความสเถียรมากขึ้นเช่นกัน โดยสังเกตจากผลการทดลองซึ่งกราฟจะวิ่งเข้าหา 0

4.3.2 Average Jitter ของ PIM-Dense Mode

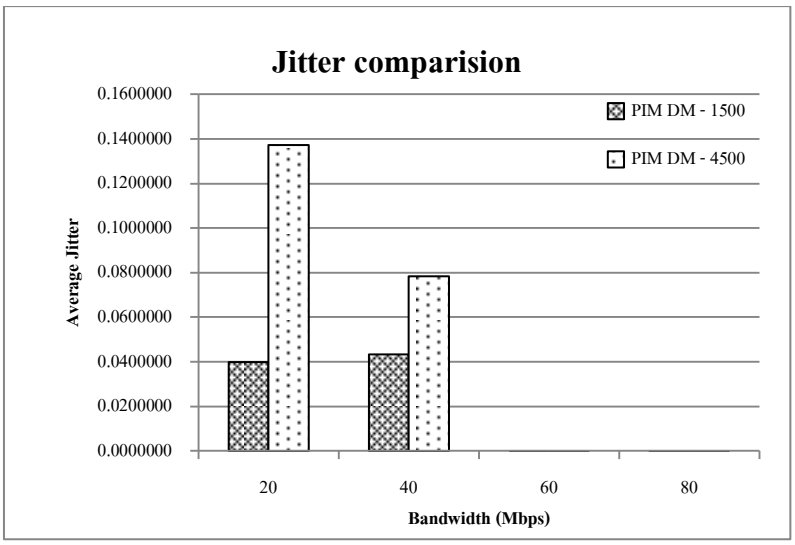
ตารางที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Jitter ของ PIM-Dense Mode เปรียบเทียบระหว่างขนาดบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ปรากฏว่า ที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ -0.0399922 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.1372628 แบนวิธด์ 40Mbps พบว่ามีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0434344 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0783174 แบนวิธด์ 60Mbps พบว่ามีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0000065 และขนาดบัพเฟอร์ที่

4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0001076 และที่แบนวิธด์ 80Mbps พบว่ามีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0001156 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0000095

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ย Jitter ของ PIM-DM ระหว่างบัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

Bandwidth	PIM-DM - 1500	PIM-DM - 4500
20	0.0399922	0.1372628
40	0.0434344	0.0783174
60	0.0000065	0.0001076
80	0.0001156	0.0000095

แสดงอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของโพรโทคอลมัลติคาสต์แบบ PIM-Dense Mode พบว่าผลของอัตราความเบี่ยงเบนทางเวลา ที่บัฟเฟอร์ 4500 แพ็คเกจ และ บัฟเฟอร์ 1500 มีความแตกต่างอย่างชัดเจนที่แบนวิธด์ 20Mbps และ40Mbps เนื่องจากอัตราความล่าช้าของเวลาในระบบมีเพิ่มมากขึ้นจะเกิดการสูญหายของแพ็คเกจจึงทำให้แพ็คเกจถัดมาถูกส่งมาเร็วกว่าเวลาที่ควรจะเป็นจึงทำให้ระบบคำนวณว่าไม่มีการเกิดค่าความผิดพลาดของหน่วยเวลาเป็นผลให้ค่าจิตเตอร์ของบัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ เป็นค่าติดลบ ส่วนที่ขนาดบัพเฟอร์ 4500 แพ็คเกจ มีการสูญหายของแพ็คเกจน้อยกว่าแต่แพ็คเกจถูกส่งมาล่าช้ากว่าที่ควรจะเป็นจึงเป็นผลให้ค่าจิตเตอร์ที่เกิดขึ้นนั้นมากกว่าแต่จะไม่มีค่าติดลบ เมื่อขนาดของแบนวิดธ์เพิ่มมากขึ้นอัตราความล่าช้าของหน่วยเวลาลดลงจึงส่งผลให้อัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของ PIM-Dense Mode ความคงที่มากขึ้น เมื่อแบนวิธด์มีค่าที่ 60Mbps และ 80Mbps อย่างไรก็ตามอัตราความเบี่ยงเบนทางเวลาของบัพเฟอร์ขนาด 4500 แพ็คเกจ มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ค่า Average Jitter ของ PIM-DM เปรียบเทียบระหว่างขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

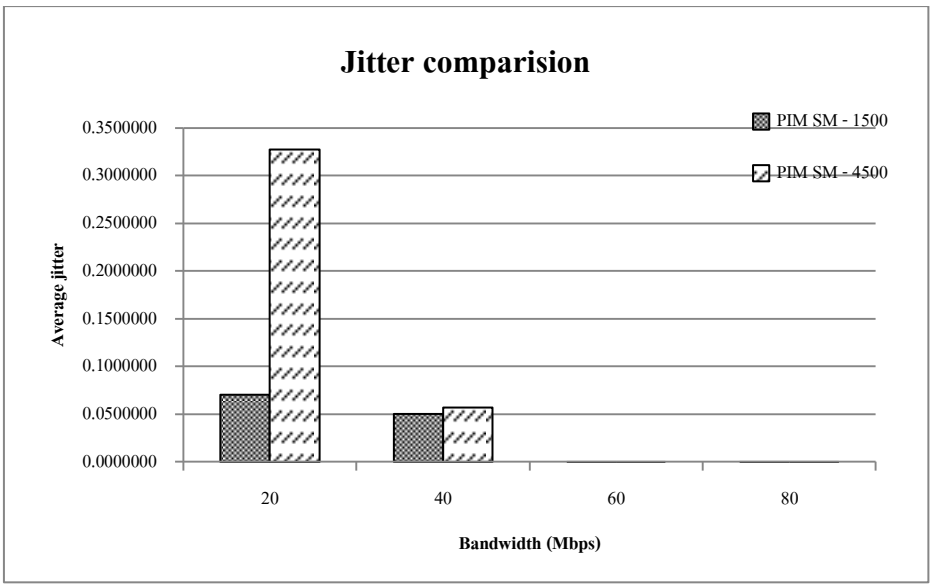
4.3.3 Average Jitter ของ PIM-Sparse Mode

ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Jitter ของ PIM-Sparse Mode เปรียบเทียบระหว่างขนาดบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ปรากฏว่า ที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0701323 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.3276738 แบนวิธด์ 40Mbps พบว่ามีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0502396 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0570672 แบนวิธด์ 60Mbps พบว่ามีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0002773 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0002187และที่แบนวิธด์ 80Mbps พบว่ามีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0000746 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0001369

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ย Jitter ของ PIM-SM ระหว่างบัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

Bandwidth	PIM-SM - 1500	PIM-SM - 4500
20	0.0701323	0.3276738
40	0.0502396	0.0570672
60	0.0002773	0.0002187
80	0.0000746	0.0001369

แสดงอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของโพรโทคอลมัลติคาสต์แบบ PIM-Sparse Mode พบว่าผลของอัตราความเบี่ยงเบนทางเวลา ที่บัฟเฟอร์ 4500 แพ็คเกจ และ บัฟเฟอร์ 1500 มีความแตกต่างอย่างชัดเจนที่แบนวิธด์ 20Mbps และ40Mbps เนื่องจากอัตราความล่าช้าของเวลาในระบบมีเพิ่มมากขึ้นจะเกิดการสูญหายของแพ็คเกจจึงทำให้แพ็คเกจถัดมาถูกส่งมาเร็วกว่าเวลาที่ควรจะเป็นจึงทำให้ระบบคำนวณว่าไม่มีการเกิดค่าความผิดพลาดของหน่วยเวลาเป็นผลให้ค่าจิตเตอร์ของบัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ และ บัพเฟอร์ 4500 แพ็คเกจ เป็นค่าติดลบเมื่อขนาดของแบนวิดธ์เพิ่มมากขึ้นอัตราความล่าช้าของหน่วยเวลาลดลงจึงส่งผลให้อัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของ บัพเฟอร์ 4500 แพ็คเกจ ความคงที่มากขึ้น เมื่อแบนวิธด์มีค่าที่ 60Mbps และ 80Mbps อย่างไรก็ตามอัตราความเบี่ยงเบนทางเวลาของบัพเฟอร์มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อแบนวิดธ์เพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ค่า Average Jitter ของ PIM-SM เปรียบเทียบระหว่างขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

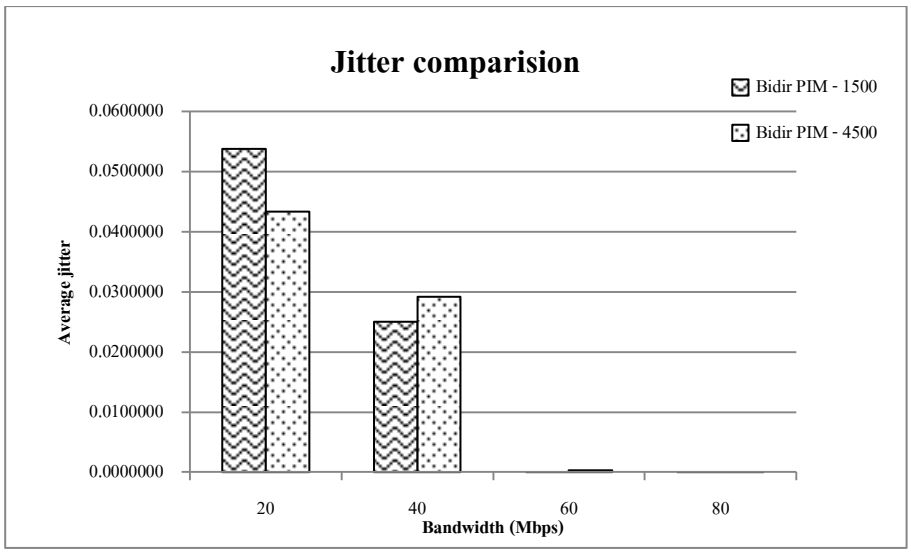
4.3.4 Average Jitter ของ Bi-directional PIM

ตารางที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย Jitter ของ Bi-directional PIM เปรียบเทียบระหว่างขนาดบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ปรากฏว่า ที่แบนวิธด์ 20Mbps พบว่ามีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0538398 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0433891 แบนวิธด์ 40Mbps พบว่ามีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0250800 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0291932 แบนวิธด์ 60Mbps พบว่ามีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0000018 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0003565และที่แบนวิธด์ 80Mbps พบว่ามีอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของบัฟเฟอร์ที่ 1500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0000119 และขนาดบัพเฟอร์ที่ 4500 แพ็คเกจ ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0000711

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ย Jitter ของ PIM-SM ระหว่างบัฟเฟอร์ขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

Bandwidth	Bidir PIM - 1500	Bidir PIM - 4500
20	0.0538398	0.0433891
40	0.0250800	0.0291932
60	0.0000018	0.0003565
80	0.0000119	0.0000711

แสดงอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของโพรโทคอลมัลติคาสต์แบบ Bi-directional PIM พบว่าผลของอัตราความเบี่ยงเบนทางเวลา ที่บัฟเฟอร์ 4500 แพ็คเกจ และ บัฟเฟอร์ 1500 แพ็คเกจ มีความแตกต่างอย่างชัดเจนที่แบนวิธด์ 20Mbps และ40Mbps เนื่องจากอัตราความล่าช้าของเวลาในระบบมีเพิ่มมากขึ้นจะเกิดการสูญหายของแพ็คเกจจึงทำให้แพ็คเกจถัดมาถูกส่งมาเร็วกว่าเวลาที่ควรจะเป็นจึงทำให้ระบบคำนวณว่าไม่มีการเกิดค่าความผิดพลาดของหน่วยเวลาเป็นผลให้ค่าจิตเตอร์ของบัฟเฟอร์ 4500 แพ็คเกจ เมื่อขนาดของแบนวิดธ์เพิ่มมากขึ้นอัตราความล่าช้าของหน่วยเวลาลดลงจึงส่งผลให้อัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของ บัพเฟอร์ 4500 แพ็คเกจ ความคงที่มากขึ้น เมื่อแบนวิธด์มีค่าที่ 60Mbps และ 80Mbps อย่างไรก็ตามอัตราความเบี่ยงเบนทางเวลาของบัพเฟอร์มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อแบนวิดธ์เพิ่มมากขึ้น รูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ค่า Average Jitter ของ Birdir-PIM เปรียบเทียบระหว่างขนาด 1500 แพ็คเกจ และ 4500 แพ็คเกจ

ผลของอัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลาของโพรโทคอลมัลติคาสต์ ทั้งสามแบบเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อขนาดแบนวิดธ์เพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้อัตราความเบี่ยงเบนทางหน่วยเวลามีความคงที่มากยิ่งขึ้น โดยจะเห็นว่าผลของการทดลองนั้นเข้าใกล้ศูนย์มากเท่าได ก็แสดงว่าระบบมีความสเถียรมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อบัฟเฟอร์และขนาดของแบนวิดธ์มีผลกับอัตราเบี่ยงเบนทางเวลา ที่ขนาดแบนวิดธ์ 20 Mbps - 40 Mbps และพับเฟอร์ 4500 จะมีความผันผวนของอัตราเบียงเบนทางเวลามาก เนื่องจากมีการเก็บข้อมูลไว้บนอุปกรณ์เนตเวิร์คได้มากขึ้นแต่แบนวิดธ์ที่ใช้ในการส่งออกไปยังปลายทางนั้นยังไม่ดีเท่าที่ควรจึงทำให้เกิดการสูญหายของข้อมูลและจึงเป็นเหตุให้เกิดความผันผวนของอัตราความเบียงเบนทางเวลา