# วิทยานิพนธ์

**การปรับปรุงประสิทธิภาพโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบโซนด้วยการลดปริมาณแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทาง**

# Improved Zone Routing Protocol with Route Request Packet Reduction

**นายธนิตย์ องค์ธนะสุข**

**บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

**พ.ศ. 2550**

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

# การปรับปรุงประสิทธิภาพโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบโซนด้วยการลดปริมาณแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทาง

Improved Zone Routing Protocol with Route Request Packet Reduction


โดย

นายธนิตย์ องค์ธนะสุข


เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์)
พ.ศ. 2550


ISBN 974-16-2905-2

ธนิตย์ องค์ธนะสุข 2550: การปรับปรุงประสิทธิภาพโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบโซนด้วยการลดปริมาณแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทาง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาการคอมพิวเตอร์) สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา: อาจารย์ชวลิต ศรีสถาพรพัฒน์, Ph.D. 104 หน้า
ISBN 974-16-2905-2

การค้นหาเส้นทางบนเครือข่ายไร้สายแบบเฉพาะกิจ โดยทั่วไปสามารถจัดแบ่งได้ 3 ประเภทคือ 1. การค้นหาเส้นทางแบบ Proactive ซึ่งแต่ละโหนดมีการเก็บข้อมูลเส้นทางไว้อยู่แล้ว ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ทันทีเมื่อต้องการ 2. การค้นหาเส้นทางแบบ Reactive แต่ละโหนดจะค้นหาเส้นทางเมื่อต้องการส่งข้อมูลเป็นการใช้ช่องทางการส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพและ 3. การค้นหาเส้นทางแบบ Hierarchical หรือ Hybrid Protocols เหมาะสำหรับเครือข่ายที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่และจำนวนโหนดที่เกาะกลุ่มกัน เช่นเทคนิคการค้นหาเส้นทางแบบ Zone Routing Protocol (ZRP) เป็นเทคนิคหนึ่งที่นำเอาข้อดีของการค้นหาเส้นทางแบบ Proactive และ Reactive มาผสมผสานกัน แต่เนื่องจาก ZRP มีการกำหนดขอบเขตโซนการทำงานของแต่ละโหนด ทำให้มีการเหลื่อมล้ำของแต่ละโซนมีผลต่อการทำ Rebordercast ของโหนดที่อยู่ขอบโซน (peripheral node) เพื่อส่งแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทาง (Route Request - RREQ) ไปยังโหนดที่ข้างเคียงกัน และการสร้าง RREP (Route Reply - RREP) ที่ซ้ำซ้อน ทำให้จำนวนแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทางในเครือข่ายเพิ่มขึ้นและลดประสิทธิภาพการทำงานของ ZRP

ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้เสนอแนวทางลดปริมาณแพ็คเก็ต ในเครือข่ายของ ZRP และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ ZRP โดยการตรวจสอบหา peripheral node ที่อยู่ข้างเคียงและลดการสร้าง RREP ซึ่งเราเรียกวิธีการนี้ว่า Improved Zone Routing Protocol with Route Request Packet Reduction (IZRP) เราได้วัดประสิทธิภาพการทำงานของงานวิจัยโดยอาศัยการจำลองสถานการณ์การทำงานของเครือข่าย ZRP ด้วยโปรแกรม GloMoSim

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| _____ | _____ | ___ | / | ___ | / ___ |
| ลายมือชื่อนิสิต | ลายมือชื่อประธานกรรมการ | | | | |

Thanit Ongthanasuk 2007: Improved Zone Routing Protocol with Route Request Packet Reduction. Master of Science (Computer Science), Master Field: Computer Science, Department of Computer Science. Thesis Advisor: Mr.Chalavit Srisathapornphat, Ph.D. 104 pages.
ISBN 974-16-2905-2

Routing protocols in ad hoc networks can be classified into three main categories: proactive (table-driven) approach, reactive (demand-driven) approach and hybrid approach. Hybrid approach, such as Zone Routing Protocol (ZRP), combines the advantages of both proactive and reactive approaches. ZRP uses query control mechanisms based on the bordercast techniques in order to reduce traffic in the network. Even though, ZRP achieves higher performance than several other protocols, it still places a significant amount of control packets to the network. This results in data forwarding inefficiency. In this research, we propose a new method, which utilizes detects nearby peripheral nodes and records route reply packet to reduce the number of unnecessary control packets. The technique is called Improve Zone Routing Protocol with Route Request Packet Reduction (IZRP). We measure the efficiency of IZRP compared to ZRP by using GloMoSim. Simulation results indicate the improvement of IZRP over ZRP by reducing the number of control packets and increasing the efficiency of data packet forwarding in the network.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

# กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร.ชวลิต ศรีสถาพรพัฒน์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา และ ผศ.ดร สุขุมาล กิติสิน กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอกที่ได้ช่วยเหลือพร้อมให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และขอกราบขอบพระคุณ ดร.ชัยพร ใจแก้ว กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัยและความช่วยเหลือด้านต่างๆ รวมทั้ง รศ.ดร.มงคล รักษาพัชรวงศ์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้กำลังใจเสมอมา และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในห้องปฏิบัติการปริญญาโท ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ หากปราศจากบุคคลดังกล่าวข้างตนงานวิจัยฉบับนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้

ธนิตย์ องค์ธนะสุข

มีนาคม 2550

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| สารบัญ | (1) |
| สารบัญตาราง | (3) |
| สารบัญภาพ | (5) |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ | (10) |
| คำนำ | 1 |
| วัตถุประสงค์ | 3 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| ขอบเขตของงานวิจัย | 3 |
| การตรวจเอกสาร | 4 |
| ระบบเครือข่ายไร้สายและโพรโทคอลการจัดเส้นทาง | 4 |
| 1. ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless Local Area Network - WLAN) | 4 |
| 2. โพรโทคอลการจัดเส้นทาง (Routing Protocols) | 5 |
| โพรโทคอลจัดเส้นทางแบบโซน (Zone Routing Protocol - ZRP) | 7 |
| สถาปัตยกรรมของโพรโทคอลการจัดหาเส้นทางแบบโซน | 7 |
| การจัดเส้นทาง | 10 |
| กลไกควบคุมการส่งแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทาง | 13 |
| 1. Query Detection (QD) | 13 |
| 2. Early Termination (ET) | 14 |
| 3. Loop-back Termination (LT) | 15 |
| การพัฒนาการส่งแพ็คเก็ตค้นเส้นทาง | 16 |
| 1. Random Query-Processing Delay (RQPD) | 16 |
| การเลือกใช้ขั้นตอนวิธีใน Zone Routing Protocol | 18 |
| 1. แนวทางการเลือกใช้ขั้นตอนวิธีโพรโทคอลการจัดเส้นทาง | 18 |
| 2. การเลือกใช้ขั้นตอนวิธีโพรโทคอลการจัดเส้นทางสำหรับ IARP | 19 |
| 3. การเลือกใช้ขั้นตอนวิธีโพรโทคอลการจัดเส้นทางสำหรับ IERP | 19 |
| 4. การเลือกใช้ขั้นตอนวิธีโพรโทคอลการจัดเส้นทางสำหรับ BRP | 20 |
| การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอลการจัดเส้นทาง | 20 |

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 1. การวัดประสิทธิภาพของโพรโทคอลการจัดเส้นทาง | 20 |
| 2. การวัดปริมาณแพ็คเก็ตที่เกิดขึ้น | 21 |
| 3. การกำหนดขนาดโซนที่เหมาะสม | 21 |
| อุปกรณ์ ซอฟต์แวร์และวิธีการ | 24 |
| อุปกรณ์ | 24 |
| ซอฟต์แวร์ | 24 |
| วิธีการ | 24 |
| 1. การวางแผนการทดลอง | 29 |
| 2. สถานที่ทำการทดลอง | 37 |
| 3. ระยะเวลาในการทดลอง | 38 |
| ผลและวิจารณ์ | 39 |
| ผล | 39 |
| 1. จำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดขึ้นใน IERP | 39 |
| 2. จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จ | 48 |
| 3. การวัดจำนวนโอเวอร์เฮด | 57 |
| 4. การวัดอัตราการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลสำเร็จ | 66 |
| 5. การวัดค่าเฉลี่ยระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง | 75 |
| วิจารณ์ | 86 |
| สรุปและข้อเสนอแนะ | 99 |
| สรุป | 99 |
| ข้อเสนอแนะ | 101 |
| เอกสารและสิ่งอ้างอิง | 102 |

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจากการทำงาน IERP ของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด | 86 |
| 2 | ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจากการทำงาน IERP ของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด | 87 |
| 3 | ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจากการทำงาน IERP ของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด | 87 |
| 4 | ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จ โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด | 88 |
| 5 | ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จ โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด | 89 |
| 6 | ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จ โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด | 90 |
| 7 | ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมด โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด | 90 |
| 8 | ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมด โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด | 91 |
| 9 | ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมด โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด | 92 |
| 10 | ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นความสำเร็จในการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด | 93 |
| 11 | ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นความสำเร็จในการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด | 94 |
| 12 | ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นความสำเร็จในการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด | 95 |
| 13 | ค่าแสดงประสิทธิภาพค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด | 96 |

# สารบัญตาราง (ต่อ)

**ตารางที่** **หน้า**

14 ค่าแสดงประสิทธิภาพค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด 97
15 ค่าแสดงประสิทธิภาพค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด 98

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ตัวอย่างโซนขนาด 2 ฮอพ | 8 |
| 2 | ตัวอย่างการกำหนดเส้นทางการส่งแพ็คเก็ต | 9 |
| 3 | สถาปัตยกรรมของ ZRP | 10 |
| 4 | ตัวอย่างการค้นหาเส้นทางของ ZRP | 12 |
| 5 | ตัวอย่างการทำงานของ QD1 และ QD2 | 14 |
| 6 | ตัวอย่างการทำงานของ Early Termination | 15 |
| 7 | ตัวอย่างการทำงานของ Loop-back Termination | 16 |
| 8 | การส่งแพ็คเก็ตโดยปราศจากการทำงานของ RQPD | 17 |
| 9 | การส่งแพ็คเก็ตโดยมีการทำงานของ RQPD | 17 |
| 10 | ตัวอย่างกลไกการทำงานของ Min searching | 22 |
| 11 | ตำแหน่งบริเวณโซนที่เหมาะสม | 22 |
| 12 | ตัวอย่างการส่งแพ็คเก็ตที่ซ้ำซ้อน | 25 |
| 13 | ตัวอย่างการส่ง RREP และ REXT ที่ซ้ำซ้อน | 26 |
| 14 | ตัวอย่างการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของ rebordercast แพ็คเก็ตซ้ำ | 27 |
| 15 | ตัวอย่างการปรับปรุงประสิทธิภาพการส่ง RREP และ REXT ที่ซ้ำซ้อน | 28 |
| 16 | แผนภาพขั้นตอนการทำงานของ IZRP เมื่อได้รับแพ็คเก็ต RREQ | 31 |
| 17 | แผนภาพขั้นตอนการทำงานของ IZRP เมื่อได้รับ RREP | 33 |
| 18 | จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด | 39 |
| 19 | จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด | 40 |
| 20 | จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด | 41 |
| 21 | จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด | 42 |

# สารบัญภาพ (ต่อ)


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 22 | จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด | 43 |
| 23 | จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด | 44 |
| 24 | จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด | 45 |
| 25 | จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด | 46 |
| 26 | จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด | 47 |
| 27 | จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด | 48 |
| 28 | จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด | 49 |
| 29 | จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด | 50 |
| 30 | จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด | 51 |
| 31 | จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด | 52 |
| 32 | จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด | 53 |
| 33 | จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด | 54 |
| 34 | จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด | 55 |

# สารบัญภาพ (ต่อ)


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 35 | จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด | 56 |
| 36 | จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด | 57 |
| 37 | จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด | 58 |
| 38 | จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด | 59 |
| 39 | จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด | 60 |
| 40 | จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด | 61 |
| 41 | จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด | 62 |
| 42 | จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด | 63 |
| 43 | จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด | 64 |
| 44 | จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด | 65 |
| 45 | อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด | 66 |
| 46 | อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด | 67 |

# สารบัญภาพ (ต่อ)

**ภาพที่** **หน้า**


47 อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด 68

48 อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด 69

49 อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด 70

50 อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด 71

51 อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด 72

52 อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด 73

53 อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด 74

54 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด 76

# สารบัญภาพ (ต่อ)

**ภาพที่** **หน้า**


55 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด 77

56 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด 78

57 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด 79

58 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด 80

59 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด 81

60 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด 82

61 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด 83

62 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด 84

# คำอธิบายสัญลักษณ์และอักษรย่อ

| | | |
|---|---|---|
| RREQ | = | แพ็คเก็ตร้องขอเส้นทาง |
| RREP | = | แพ็คเก็ตตอบกลับเส้นทาง |
| REXT | = | แพ็คเก็ตร้องขอเส้นทางแบบส่งต่อ |
| ZRP | = | Zone Routing Protocol |
| IZRP | = | Improve Zone Routing Protocol with Route Request Packet Reduction |

# การปรับปรุงประสิทธิภาพโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบโซนด้วยการลดปริมาณแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทาง

# Improved Zone Routing Protocol with Route Request Packet Reduction

## คำนำ

ระบบเครือข่ายไร้สายแบบเฉพาะกิจ (Ad hoc network) คือระบบเครือข่ายไร้สายที่เกิดจากการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ไร้สาย โดยมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างเครือข่ายได้ตลอดเวลา และไม่มีการควบคุมจากส่วนกลาง ส่งผลให้ไม่สามารถกำหนดโครงสร้างของเครือข่าย (infrastructure) ไว้ล่วงหน้าได้ (C.-K. Toh, 2002) ดังนั้นอุปกรณ์สื่อสารไร้สายจำเป็นต้องออกแบบการติดต่อสื่อสารให้สามารถรับและส่งข้อมูลต่อๆ กันเพื่อรองรับขนาดพื้นที่ของเครือข่ายต่างๆ ได้ จึงมีการพัฒนาโพรโทคอลการจัดเส้นทาง (routing protocol) ให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับสภาพเครือข่ายไร้สายในรูปแบบต่างๆ กัน

ระบบเครือข่ายไร้สายแบบเฉพาะกิจมีวิธีการจัดเส้นทางอยู่หลายวิธี โดยทั่วไปสามารถจัดแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ ประเภทที่ 1 เป็นวิธีการจัดเส้นทางโดยแต่ละโหนดมีการเก็บข้อมูลเส้นทางการส่งไว้ล่วงหน้าอยู่แล้วทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ทันทีเมื่อต้องการทาง จะเหมาะสมกับสภาพโครงสร้างเครือข่ายไร้สายที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อย เรียกทำงานแบบนี้ว่า Proactive routing protocol ส่วนประเภทที่ 2 เป็นวิธีการจัดเส้นทางที่ทำการค้นหาเส้นทางการส่งข้อมูลเมื่อมีความต้องการจะส่งข้อมูล จะเรียกการทำงานแบบนี้ว่า Reactive routing protocol เป็นวิธีการจัดเส้นทางที่ใช้การสื่อสารบนความกว้างแถบความถี่ (bandwidth) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเหมาะสมกับสภาพโครงสร้างเครือข่ายไร้สายที่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อย และประเภทที่ 3 เป็นการค้นหาเส้นทางแบบ Hierarchical หรือ Hybrid Protocol เป็นวิธีการนำเอาข้อดีของวิธีการจัดเส้นทางทั้ง 2 ประเภทดังกล่าวมาผสมผสานใช้งานรวมกันโดยมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารระหว่างกัน

สำหรับเครือข่ายที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่และจำนวนโหนดที่เกาะกลุ่มกัน จะเหมาะสมกับโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบโซน (Zone Routing Protocol - ZRP) ซึ่งจัดอยู่ในประเภท Hybrid Protocol เนื่องจากเป็นขั้นตอนวิธีโพรโทคอลการจัดเส้นทางวิธีหนึ่งที่นำเอาข้อดีของการจัดเส้นทาง

แบบ Proactive และ Reactive มาผสมผสานกัน โดยมีการควบคุมการส่งแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทาง (Route Request Packet - RREQ) เพื่อทำให้การค้นหาเส้นทางมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่ง ZRP มีการกำหนดขอบเขตการทำงานของแต่ละโหนด เรียกว่าโซน โดยสามารถมีการเหลื่อมล้ำของโซนในแต่ละโหนดได้ และมีวิธีการเลือกเส้นทางสำหรับส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซน (peripheral node) ถ้าโหนดปลายทางไม่ได้เป็นสมาชิกภายในโซนถูกเรียกการส่งแบบนี้ว่า Rebordercast

จากกลไกการส่ง RREQ รวมทั้งกลไกการส่งแพ็คเก็ตตอบกลับ (Route Reply Packet - RREP) และการส่งแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทางแบบส่งต่อ (Route Query Extension Packet - REXT) ที่ยังมีการส่งแพ็คเก็ตซ้ำซ้อนใน ZRP จากการส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ข้างเคียงในการทำ Rebordercast รวมทั้งการสร้าง RREP และ REXT เมื่อได้รับ RREQ ซ้ำ ทำให้จำนวนแพ็คเก็ตในเครือข่ายเพิ่มขึ้น และลดประสิทธิภาพการทำงานของ ZRP

ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้เสนอแนวทางลดปริมาณแพ็คเก็ตที่ใช้ค้นหาเส้นทางของ ZRP เพื่อลดจำนวนแพ็คเก็ตโดยรวมในเครือข่าย และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ ZRP โดยการลดการจำนวน RREP และ REXT รวมทั้ง RREQ ด้วยการตรวจสอบหาโหนดที่อยู่ข้างเคียงจากโหนดที่อยู่ขอบโซนและได้รับ RREQ เดียวกัน เพื่อจำกัดจำนวนของแพ็คเก็ตที่จะส่งไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนดังกล่าว และการเก็บบันทึกการสร้าง RREP และ REXT เพื่อลดการสร้างแพ็คเก็ตดังกล่าวซ้ำเมื่อได้รับ RREQ ซ้ำ ซึ่งเราเรียกวิธีการนี้ว่า การปรับปรุงประสิทธิภาพโพรโทคอลจัดเส้นทางแบบโซนด้วยการลดปริมาณแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทาง (Improved Zone Routing Protocol with Route Request Packet Reduction - IZRP) เราได้วัดประสิทธิภาพการทำงานของงานวิจัยโดยอาศัยการจำลองสถานการณ์การทำงานของเครือข่ายของ IZRP ด้วยโปรแกรม GloMoSim

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาการทำงานของ Zone Routing Protocol ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
2. เพื่อศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพการส่ง RREQ, RREP และ REXT ของโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบโซน
3. เพื่อพัฒนาการส่ง RREQ โดยใช้ความรู้ของโหนดที่อยู่ข้างเคียงก่อนการส่ง RREQ ไปยังโหนดถัดต่อไป
4. สามารถลดปริมาณแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับค้นหาเส้นทางของ Zone Routing Protocol ให้ลดน้อยลง

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้ค้นหาเส้นทางของ Zone Routing Protocl บนเครือข่ายไร้สายแบบเฉพาะกิจ
2. สามารถนำงานวิจัยไปประยุกต์ใช้งานได้จริงกับสถานะการณ์ที่มีกลุ่มผู้ใช้อุปกรณ์สื่อสารไร้สายขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. ผู้วิจัยได้ประสบการณ์และเข้าใจการพัฒนาโพรโทคอลบนเครือข่ายไร้สายแบบเฉพาะกิจ รวมทั้งการวัดประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอลบนเครือข่ายไร้สายแบบเฉพาะกิจ

## ขอบเขตของงานวิจัย

1. การศึกษาการทำงานของงานวิจัยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์การทำงานของเครือข่าย GloMoSim
2. โพรโทคอลที่ใช้ศึกษาการทำงาน Zone Routing Protocol
3. กำหนดปัจจัยแปรผันที่มีผลกระทบต่อการทดลองคือ จำนวนโหนด อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนด และจำนวนโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต
4. การวัดประสิทธิภาพของ Zone Routing Protocol วัดจากจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้ในเครือข่าย อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลแพ็คเก็ต และระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลแพ็คเก็ต

# การตรวจเอกสาร

## ระบบเครือข่ายไร้สายและโพรโทคอลการจัดเส้นทาง

1. ระบบเครือข่ายแลนไร้สาย (Wireless Local Area Network - WLAN)

ระบบเครือข่ายแลนไร้สาย เป็นระบบเครือข่ายที่อนุญาตให้สามารถใช้ทรัพยากรร่วมกัน เช่น เครื่องพิมพ์ เอกสาร หรือการติดต่อสื่อสารผ่านอินเตอร์เน็ต โดยใช้คลื่นสัญญาณความถี่วิทยุ หรือคลื่นสัญญาณอินฟราเรด (Infrared) ในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยแต่ละเครื่องคอมพิวเตอร์จำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำหรับติดต่อสื่อสารกัน เรียกว่า Network Adapter เพื่อใช้ส่งสัญญาณผ่านอากาศ ทะลุกำแพง เพดาน หรือสิ่งก่อสร้างอื่น โดยปราศจากการเดินสายสัญญาณ ซึ่งสามารถแบ่งรูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สายออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก (Murthy and Manoj, 2004) คือ

1.1 ระบบเครือข่ายไร้สายแบบมีโครงสร้าง (Infrastructured Wireless Network) หรือระบบเครือข่ายไร้สายแบบลูกข่ายและแม่ข่าย (Client/Server) เป็นลักษณะเครือข่ายที่มีการรับส่งข้อมูลโดยอาศัยจุดรับส่งสัญญาณ (Access Point - AP) หรือเรียกว่า “Hot spot” ซึ่งทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างระบบเครือข่ายแบบใช้สายกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (Client) ที่ใช้อุปกรณ์ไร้สายในการเชื่อมต่อเครือข่าย โดยอุปกรณ์ AP จะกระจายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเพื่อรับและส่งข้อมูลเป็นรัศมีโดยรอบ ซึ่งอุปกรณ์ AP 1 จุด สามารถให้บริการเครื่องลูกข่ายได้ถึง 15-50 อุปกรณ์ เหมาะสำหรับการนำไปขยายเครือข่ายหรือใช้ร่วมกับระบบเครือข่ายแบบใช้สายเดิมในสำนักงาน ห้องสมุด หรือในห้องประชุม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้มากขึ้น

1.2 ระบบเครือข่ายไร้สายแบบเฉพาะกิจ (Wirless Ad Hoc Network) คือระบบเครือข่ายที่มีรูปแบบการเชื่อมต่อสื่อสารในระดับเดียวกัน (peer to peer) เป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายโดยตรงระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยกัน โดยที่เครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องมีสิทธิเท่าเทียมกันสามารถทำงานของตนเองและขอใช้บริการเครื่องอื่นได้ ซึ่งโครงสร้างของเครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา โดยไม่มีการควบคุมจากส่วนกลาง ทำให้ไม่สามารถกำหนดโครงสร้างของเครือข่ายไว้ล่วงหน้าได้ และเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถที่จะเข้าหรือออกจากเครือข่ายได้ตลอดเวลา เหมาะสำหรับการนำมาใช้งานเพื่อจุดประสงค์ในด้านความรวดเร็วหรือติดตั้งได้โดยง่ายเมื่อไม่มี

โครงสร้างพื้นฐานที่จะรองรับ ตัวอย่างเช่น ในศูนย์ประชุม หรือการประชุมที่จัดขึ้นนอกสถานที่ เป็นต้น

2. <u>โพรโทคอลการจัดเส้นทาง (Routing Protocols)</u>

โพรโทคอลการจัดเส้นทางเป็นวิธีการค้นหาเส้นทางเพื่อใช้สำหรับส่งข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง โดยทำหน้าที่ให้ข้อมูลเส้นทางการส่งจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางในระดับชั้นเครือข่าย (Network Layer) ซึ่งโพรโทคอลการจัดเส้นทางของเครือข่ายแบบมีสายไม่สามารถนำมาประยุกต์กับเครือข่ายไร้สายแบบเฉพาะกิจได้โดยตรง ยกเว้นใช้กับเครือข่ายไร้สายแบบมีโครงสร้าง ดังนั้นในเครือข่ายไร้สายแบบเฉพาะกิจจึงมีการพัฒนาโพรโทคอลการจัดเส้นทางอยู่เป็นจำนวนมากมาย ซึ่งสามารถจัดตามประเภทตามคุณลักษณะการปรับปรุงข้อมูลเส้นทางเป็น 3 ประเภท ได้แก่ Proactive, Reactive และ Hierarchical/Hybrid Routing Protocols (Murthy and Manoj, 2004)

2.1 Proactive หรือ Table-Driven Routing Protocols เป็นโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบหาเส้นทางล่วงหน้าที่อนุญาตให้แต่ละโหนดจัดเตรียมและเก็บข้อมูลเส้นทางการส่งไว้ในหน่วยความจำของตนเองล่วงหน้า ซึ่งจะต้องเก็บข้อมูลเส้นทางที่สั้นที่สุดไปยังทุกโหนดในเครือข่าย เพื่อใช้เป็นเส้นทางในการส่งข้อมูลไปให้โหนดปลายทางได้ทันที เมื่อได้รับแพ็คเก็ตข้อมูลมาจากระดับชั้นประยุกต์ (Application Layer) และเนื่องจากสภาพโครงสร้างเครือข่ายไร้สายมีการเปลี่ยนแปลงจากการเคลื่อนที่ของโหนด ดังนั้นโหนดต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางเพื่อปรับปรุงตารางข้อมูลเส้นทางตามช่วงเวลาที่กำหนด โดยส่งตารางข้อมูลเส้นทางที่ตนเองมีอยู่ให้ครอบคลุมทุกโหนดในเครือข่าย (Murthy and Manoj, 2004) ยกตัวอย่างโพรโทคอลที่จัดอยู่ในประเภท Proactive ได้แก่ Destination Sequenced Distance-Vector Routing Protocol (DSDV) เป็นโพรโทคอลที่ใช้วิธีจัดเส้นทางแบบรู้เวกเตอร์ระยะทาง ซึ่งจะกำหนดให้ตารางข้อมูลเส้นทางของแต่ละโหนดจัดเก็บเฉพาะโหนดถัดไปที่สามารถส่งไปหาโหนดอื่นในเครือข่าย โดยต้องเป็นระยะทางสั้นที่สุด, Optimized Link State Routing Protocol (OLSR) เป็นโพรโทคอลที่ใช้วิธีจัดเส้นทางแบบรู้สถานะเชื่อมโยงเรียกว่า Link State Routing Protocol ซึ่งมีการเลือกโหนดเพื่อใช้สำหรับทำการส่งแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางต่อเรียกว่า multipoint relays (MPRs) เพื่อลดจำนวนแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางจากการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลเส้นทางแบบกระจายทุกทิศทาง (flooding) ในเครือข่าย และแต่ละโหนดจะเก็บการเชื่อมโยงของโครงสร้างเครือข่ายไว้ ฯลฯ

2.2 Reactive หรือ On-Demand Routing Protocols เป็นโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบไม่มีการจัดเตรียมเส้นทางไว้ล่วงหน้า ที่ไม่มีความจำเป็นต้องเรียนรู้สภาพโครงสร้างเครือข่ายทั้งหมด แต่จะทำการค้นหาเส้นทางเมื่อต้องการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง ซึ่งทำให้เกิดหน่วงเวลา (delay time) ของแพ็คเก็ตข้อมูลแรกจากการค้นหาเส้นทางการส่ง ถ้าหากภายในหน่วยความจำของโหนดต้นทางไม่มีข้อมูลเส้นทางส่งไปยังโหนดปลายทาง โดยวิธีการจัดเส้นทางจะทำการส่ง RREQ ให้ครอบคลุมทุกโหนดในเครือข่ายแล้วรอคอยการตอบกลับของ RREP จากโหนดปลายทาง ซึ่งจะเหมาะสมกับสภาพโครงสร้างเครือข่ายที่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อย (Murthy and Manoj, 2004) โพรโทคอลที่จัดอยู่ในประเภท Reactive ตัวอย่างเช่น Dynamic Source Routing (DSR) และ Ad Hoc On Demand Vector Routing (AODV) โดย DSR เป็นโพรโทคอลจัดหาเส้นทางที่โหนดต้นทางจะต้องรู้เส้นทางการส่งข้อมูลตั้งแต่โหนดต้นทางไปจนถึงโหนดปลายทาง โดยโหนดต้นทางจะเก็บเส้นทางไว้ในหน่วยความจำของตนเองในช่วงระยะเวลาหนึ่ง และถ้าหากมีการส่งข้อมูลจะนำเอาข้อมูลเส้นทางในหน่วยความจำของตนเองบรรจุไว้ในส่วนหัวของแพ็คเก็ตข้อมูลก่อนส่งไปในเครือข่าย สำหรับ AODV เป็นโพรโทคอลที่นำเอาตารางข้อมูลเส้นทางมาประยุกต์ใช้ โดยโหนดผู้ส่งและโหนดที่รับส่งแพ็คเก็ตจะเก็บเฉพาะข้อมูลโหนดถัดไปที่สามารถส่งข้อมูลไปถึงโหนดต้นทางหรือโหนดปลายทางเท่านั้น ฯลฯ

2.3 Hybrid Routing Protocols เป็นโพรโทคอลการจัดเส้นทางที่ผสมผสานข้อดีของการทำงานแบบ Proactive และ Reactive โดยมีการกำหนดกลุ่มการทำงาน (cluster) ซึ่งแต่ละโหนดที่อยู่ในบริเวณกลุ่มการทำงานเดียวกันจะเรียนรู้สภาพโครงสร้างของเครือข่ายเฉพาะบริเวณกลุ่มการทำงานที่ถูกกำหนดเท่านั้น แต่สำหรับโหนดปลายทางที่อยู่นอกบริเวณกลุ่มการทำงาน โหนดต้นทางจะพยายามส่งแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางไปยังโหนดที่ทำหน้าที่เป็นหัวกลุ่ม (header cluster) เพื่อให้โหนดหัวกลุ่มทำการค้นหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทางต่อไป ในบางโพรโทคอลการจัดเส้นทางมีการรวมโหนดหัวกลุ่มเข้าด้วยกันเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางระหว่างกัน ซึ่งถูกเรียกว่าการทำงานแบบลำดับชั้น (Murthy and Manoj, 2004) ตัวอย่างโพรโทคอลที่จัดอยู่ประเภท Hybrid Routing Protocol เช่น Hierarchical State Routing Protocol (HSR) เป็นโพรโทคอลจัดหาเส้นทางที่มีการแบ่งลำดับชั้นของค้นหาเส้นทาง ด้วยการจัดกลุ่มของโหนดหัวกลุ่มเข้าด้วยกันโดยในแต่ลำดับชั้นจะมีการจัดการสมาชิกของแต่ละลำดับชั้น สำหรับ Zone Routing Protocol (ZRP) เป็นโพรโตคอลที่อนุญาตให้แต่ละกลุ่มการทำงานสามารถเหลื่อมล้ำกันได้ และไม่มีการเลือกโหนดหัวกลุ่มเพื่อใช้สำหรับส่งแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางระหว่างกลุ่มการทำงาน

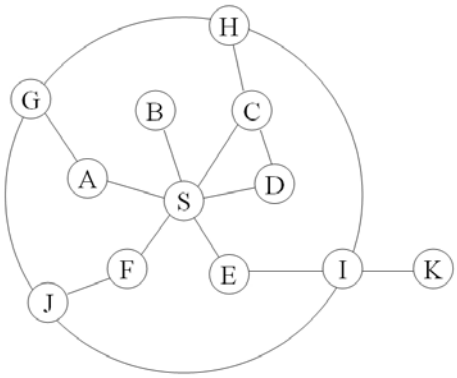
## โพรโทคอลจัดเส้นทางแบบโซน (Zone Routing Protocol - ZRP)

จากประโยชน์ของโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบ Proactive ที่สามารถส่งข้อมูลได้ทันทีเมื่อต้องการส่งข้อมูล เนื่องจากมีการจัดเตรียมเส้นทางการส่งข้อมูลไว้ในหน่วยความจำของแต่ละโหนด ซึ่งเหมาะสมกับโปรแกรมแบบเวลาจริง (real-time application) ส่วนโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบ Reactive อาจจะมีหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นในแพ็คเก็ตแรกของข้อมูลเพื่อค้นหาเส้นทาง ถ้าหากโหนดไม่มีเส้นทางไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการในหน่วยความจำ แต่เป็นโพรโทคอลที่ใช้ความกว้างแทบความถี่ได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งเหมาะสมกับสภาพโครงสร้างเครือข่ายที่เปลี่ยนแปลงบ่อย ดังนั้น Zone Routing Protocol (ZRP) เป็นโพรโทคอลจัดเส้นทางที่นำเอาข้อดีของทั้ง Proactive และ Reactive มาผสมผสานใช้งานร่วมกัน ซึ่งทำให้เกิดประสิทธิภาพและการค้นหาเส้นทางได้อย่างรวดเร็วในสภาพเครือข่ายที่มีขนาดใหญ่ และจำนวนโหนดมาก

ในการทำงานของ ZRP ในส่วนของโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบ Proactive มีการกำหนดขอบเขตการส่งแพ็คเก็ตไปยังโหนดเพื่อนบ้าน ซึ่งถูกเรียกว่าโซน (zone) โดยแต่ละโหนดจะถูกกำหนดขนาดของโซนให้เท่ากัน เพื่อให้มีการจัดการข้อมูลของการค้นหาเส้นทางภายในโซนได้ง่ายขึ้น ดังนั้นทำให้จำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้ค้นหาเส้นทางมีจำนวนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบ Proactive ทั่วไป แต่ถ้าหากโหนดปลายทางอยู่ภายนอกโซนการทำงานของ Proactive ZRP จะเลือกใช้โพรโทคคอลการจัดเส้นทางแบบ Reactive โดยแต่ละโหนดใช้ข้อมูลที่ได้จากการทำงานของ Proactive เพื่อมาใช้สร้างเส้นทางการส่ง RREQ ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพมากกว่าการส่งแพ็คเก็ตร้องขอแบบกระจายทุกทิศทาง ที่ส่งแพ็คเก็ตไปถึงทุกโหนดในเครือข่าย (Haas, Samar and Pearlman, 2002)

## สถาปัตยกรรมของโพรโทคอลการจัดหาเส้นทางแบบโซน

การทำงานของ Zone Routing Protocol มีลักษณะการทำงานแบบแบ่งเป็นโซน โดยกำหนดให้ขนาดโซนเท่ากันสำหรับแต่ละโหนด และแต่ละโซนสามารถเหลื่อมล้ำกันได้ ซึ่งขนาดของโซนสามารถถูกเลือกกำหนดได้จากหลายปัจจัย เช่น กำหนดจากจำนวนช่วงเชื่อมต่อเรียกว่าฮอพ (Hop) หรือพลังงานที่ใช้ในการส่งแพ็คเก็ตของโหนด หรือขนาดของพื้นที่ในเครือข่าย แต่ส่วนใหญ่จะเลือกใช้จำนวนฮอพในการกำหนดขนาดของโซน ซึ่งจำนวนสมาชิกภายในโซนคือโหนดที่มีระยะทางไม่เกินกว่าขนาดจำนวนฮอพที่กำหนด (Haas, Samar and Pearlman, 1999)




ภาพที่ 1 ตัวอย่างโซนขนาด 2 ฮอพ

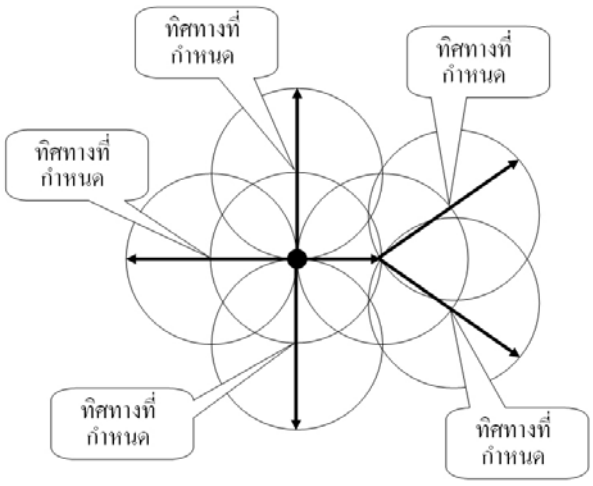
ดังตัวอย่างภาพที่1 รูปวงกลมแสดงเปรียบเสมือนขนาดโซนของโหนด S ซึ่งกำหนดขนาดโซนเท่ากับ 2 ฮอพ โดยมีโหนด A ถึง J เป็นสมาชิก แต่สำหรับโหนด K ไม่ใช่สมาชิกของโซนโหนด S เนื่องจากมีระยะทางของฮอพห่างจากโหนด S มากกว่า 2 ฮอพ ซึ่งเป็นขนาดโซนของโหนด S ที่กำหนดไว้เริ่มต้น

ภายในโซนจะประกอบด้วยโหนดต่างๆ โดยสามารถแบ่งแยกตามคุณสมบัติได้ดังนี้ โหนดอยู่ศูนย์กลางโซน เรียกว่า central node ส่วนโหนดที่อยู่ขอบโซน ซึ่งต้องมีระยะทางสั้นสุดห่างจากโหนดศูนย์กลางเท่ากับขนาดโซน เรียกว่า peripheral node แต่สำหรับโหนดที่อยู่ระหว่างโหนดศูนย์กลางกับโหนดที่อยู่ขอบโซน เรียกว่า Interior Node จากตัวอย่างภาพที่ 1 โหนด S มีคุณสมบัติเป็น Central Node ส่วนโหนด A ถึง F มีคุณสมบัติเป็น interior node และโหนด G ถึง J มีคุณสมบัติเป็น peripheral node (Haas, Samar and Pearlman, 1999, 2002)

ตามข้อกำหนดของ Zone Routing Protocol กำหนดให้การทำงานภายในโซนเรียกว่า IntrA-zone Routing Protocol (IARP) โดยเลือกใช้การทำงานแบบ Proactive Routing Protocol ส่วนการทำงานภายนอกโซนเรียกว่า IntEr-zone Routing Protocol (IERP) แต่เลือกใช้การทำงานแบบ Reactive Routing Protocol ซึ่งการทำงานทั้ง IARP และ IERP ของ ZRP ไม่ได้มีการกำหนดรูปแบบการทำงานอย่างเฉพาะเจาะจง แต่การทำงานของ IARP อาจมีลักษณะการทำงานคล้ายกับการทำงานของ Link-State Routing Protocol เนื่องจาก IARP จำเป็นต้องจัดการข้อมูลของเส้นทางไปยังทุกโหนดที่อยู่ภายในโซนของตนเอง เช่นเดียวกับการทำงานของ IERP ที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกับกลุ่มของ Reactive Routing Protocol ที่ทำการค้นหาและจัดการเส้นทางส่งข้อมูล แต่ IERP จะอาศัย

ข้อมูลเส้นทางของ IARP ช่วยในการค้นหาและจัดการเส้นทางส่งข้อมูลด้วย (Haas, Samar and Pearlman, 2002)

เมื่อแต่ละโหนดต้องการค้นหาเส้นทางส่งข้อมูลที่อยู่นอกโซนของตนเอง จำเป็นต้องสร้างและส่ง RREQ ออกไป แต่การส่ง RREQ ด้วยเทคนิคการแพร่สัญญาณไปทุกโหนดในเครือข่าย (Broadcasting Packet) ทำให้เกิดแพ็คเก็ตในเครือข่ายมากเกินไป ดังนั้น ZRP จึงเลือกใช้เทคนิคการส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่บริเวณขอบโซน (Bordercasting Packet) เพื่อลดจำนวน RREQ ในเครือข่ายจากการส่งแบบแพร่สัญญาณไปทุกโหนด ซึ่ง ZRP เรียกเทคนิคดังกล่าวว่า Bordercast Resolution Protocol (BRP) โดย BRP จะใช้ข้อมูลเส้นทางจากการทำงาน IARP สำหรับกำหนดเส้นทางการส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซน รวมทั้งอาศัยกลไกควบคุมการส่งแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทาง เพื่อสามารถกำหนดเส้นทางการส่งไม่ผ่านไปยังบริเวณของเครือข่ายที่ได้ถูกค้นพบแล้ว ดังภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างการกำหนดเส้นทางไปยังบริเวณที่ต้องการส่งแพ็คเก็ต

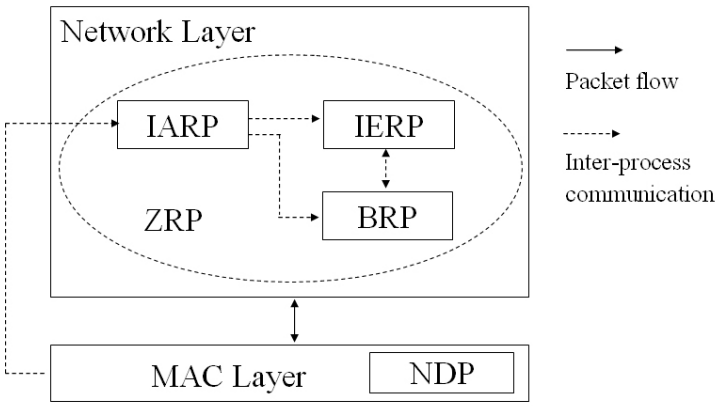



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการกำหนดเส้นทางการส่งแพ็คเก็ต

สำหรับการตรวจสอบเพื่อค้นหาโหนดที่มาเชื่อมต่อใหม่ หรือสถานะการเชื่อมต่อที่ล้มเหลวกับโหนดข้างเคียง ZRP เลือกใช้ Neighbor Discovery Protocol (NDP) ที่อยู่ในระดับชั้น Media Access Control (MAC Layer) โดย NDP ทำหน้าที่ส่งแพ็คเก็ตขนาดเล็ก (“HELLO” beacons) ตามช่วงระยะเวลาที่กำหนด ถ้าได้รับแพ็คเก็ตขนาดเล็กดังกล่าวจากโหนดข้างเคียงใดภายในช่วงระยะเวลาที่กำหนด จะทำการตรวจสอบและปรับปรุงตารางข้อมูลเส้นทางใน IARP ของตนเอง แต่ถ้าไม่ได้รับแพ็คเก็ตขนาดเล็กภายในช่วงเวลาที่กำหนดจากโหนดข้างเคียงใด ก็ทำการลบ

เส้นทางเชื่อมต่อของโหนดข้างเคียงนั้นออกจากตารางข้อมูลเส้นทางใน IARP ของตนเอง ซึ่งถ้าหากระดับชั้น MAC ไม่ได้จัดเตรียมการทำงานของ NDP ก็จะต้องถูกจัดการโดย IARP แทน (Haas, Samar and Pearlman, 1999, 2004)

ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่างๆ ของ ZRP แสดงให้เห็นดังภาพที่ 3 ตามลูกศรเส้นปะแสดงให้เห็นการส่งเฉพาะข้อมูลข่าวสารภายในโพรโทคอลของ ZRP ส่วนลูกศรเส้นทึบแสดงให้เห็นการส่งข้อมูลในแต่ละแพ็คเก็ตระหว่างระดับชั้นเครือข่ายกับระดับชั้น MAC สำหรับการตั้งเวลาของ NDP เปรียบเสมือนระยะเวลาการตรวจสอบและปรับปรุงข้อมูลตารางเส้นทางที่แจ้งให้ IARP ทราบ ส่วน IERP จะใช้ข้อมูลตารางเส้นทางของ IARP เพื่อประโยชน์ในการค้นหาเส้นทางส่งข้อมูล โดย IERP ทำการส่ง RREQ ไปยัง BRP แล้ว BRP ก็จะใช้ตารางเส้นทางของ IARP เพื่อกำหนดเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตร้องขอที่มาจากโหนดต้นทาง (Haas, Samar and Pearlman, 2004)




ภาพที่ 3 สถาปัตยกรรมของ ZRP

## การจัดเส้นทาง

การจัดเส้นทางของ Zone Routing Protocol มีการแบ่งการจัดเส้นทางเป็น 2 ส่วน คือการจัดเส้นทางภายในโซน กับการจัดเส้นทางภายนอกโซน โดยเมื่อมีการร้องขอให้ส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางจากระดับชั้นประยุกต์ (Application Layer) ในระดับชั้นเครือข่ายจะเรียกใช้บริการค้นหาเส้นทางจากโพรโทคอล ZRP โดย ZRP จะเรียกใช้การทำงานของ IARP เพื่อตรวจสอบหาโหนดปลายทางอยู่ภายในโซนของตนเองหรือไม่ ถ้าหากโหนดปลายทางอยู่ภายในโซนของตนเองก็จะค้นหาเส้นทางในตารางเส้นทางของ IARP เพื่อส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางทันที แต่ถ้าหาก

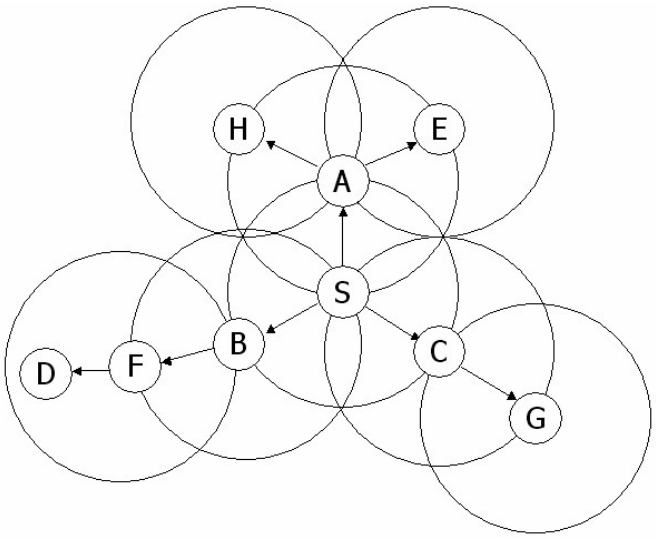
โหนดปลายทางอยู่ภายนอกโซนของตนเอง ZRP จะเรียกใช้การทำงานของ IERP โดย IERP จะสร้าง RREQ ขึ้นมาซึ่งประกอบด้วยหมายเลขประจำตัวของโหนดต้นทาง (Node ID) และหมายเลขค่าร้องขอ (Request Number) แล้วส่ง RREQ ไปยัง BRP เพื่อเลือกและสร้างเส้นทางการส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนภายในโซนของตนเอง ซึ่งระหว่างเส้นทางของการส่ง RREQ โหนดใดได้รับ RREQ จะตรวจสอบกับข้อมูลในหน่วยความจำของตนเอง เพื่อลดการส่ง RREQ ที่ซ้ำซ้อน โดยถ้าโหนดเคยได้รับ RREQ มาแล้วจะทำการหยุดการส่ง RREQ นั้นทันที แต่ถ้าไม่เคยได้รับ RREQ ดังกล่าวก็จะทำการส่งแพ็คเก็ตต่อจนถึงโหนดที่อยู่ขอบโซนถัดไป โดยระหว่างการส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนถัดไป โหนดที่อยู่ระหว่างทางการส่งแพ็คเก็ตได้รับ RREQ จะตรวจสอบหาโหนดปลายทางภายในโซนของตนเอง ซึ่งถ้าหากโหนดปลายทางอยู่ภายในโซนของตนเองก็จะสร้าง RREP เพื่อส่งกลับไปเส้นทางเดิมจนถึงโหนดต้นทาง พร้อมทั้งสร้าง REXT เพื่อส่งแพ็คเก็ตแจ้งไปยังโหนดปลายทางซึ่งเป็นการส่งแพ็คเก็ตแบบสองทิศทาง แต่ถ้าตรวจสอบไม่พบโหนดปลายทางภายในโซนของตนเองก็จะแจ้งให้ BRP เพื่อสร้างเส้นทางการส่งไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนถัดไป โดยทำขั้นตอนการส่งแพ็คเก็ตวนซ้ำตั้งแต่การเลือกและสร้างเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนจนพบโหนดปลายทาง

เมื่อโหนดต้นทางได้รับ RREP หรือโหนดปลายทางได้รับ REXT จะสร้างแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทาง (Route Accumulation) เพื่อใช้กำหนดเส้นทางการส่งข้อมูล โดยทำการเพิ่มข้อมูลหมายเลขประจำตัวโหนดและเลขลำดับของตนเองลงในแพ็คเก็ตก่อนส่งแพ็คเก็ตกลับไปตามเส้นทางเดิมต่อไป ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกเก็บสะสมลงในแพ็คเก็ตจากโหนดต้นทางไปจนถึงโหนดปลายทาง (Haas and Pearlman, 2001; Haas, Samar and Pearlman, 2002)

ในขั้นตอนการส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนสำหรับการส่งแบบการแพร่สัญญาณเฉพาะกลุ่ม (multicast) นั้น สามารถแบ่งได้ 2 วิธี คือการส่งแบบหนึ่งต่อหลากหลาย (one-to-many) โดยเป็นวิธีที่กำหนดให้โหนดที่สร้างเส้นทางการส่งจะนำเอาข้อมูลเส้นทางทั้งหมดใส่ไปในแต่ละ RREQ ด้วย ซึ่งถ้าหากขนาดโซนมีขนาดใหญ่ขึ้นจำนวนแพ็คเก็ตทั้งหมดที่เกิดจากการจัดเส้นทางจะเพิ่มขึ้นในลักษณะกราฟเส้นตรง ซึ่งมีผลทำให้จำนวนการส่งแพ็คเก็ตมากขึ้นใน IERP โดยเรียกวิธีการดังกล่าวว่า Root-Directed Bordercasting (RDB) ส่วนอีกวิธีการหนึ่งเป็นการส่งแบบให้แต่ละโหนดสร้างเส้นทางการส่งของตนเอง แต่จำเป็นต้องให้ interior node เรียนรู้ข้อมูลโครงสร้างเครือข่ายนอกเหนือจากภายในโซนของตนเอง โดยสมมุติถ้าหาก interior node มีขนาดโซนเท่ากับ p ฮอพ ดังนั้นโหนดดังกล่าวจำเป็นต้องเรียนรู้ข้อมูลโครงสร้างด้วยขนาด $p + (p - 1) = 2p - 1$ ฮอพ ซึ่ง

วิธีการนี้จะเพิ่มจำนวนความหนาแน่นของการส่งแพ็คเก็ตให้กับการทำงานของ IARP แต่จะลดจำนวนการส่งแพ็คเก็ตของ IERP แทน ซึ่งเรียกวิธีการดังกล่าวว่า Distributed Bordercasting (DB) ดังนั้นการเลือกวิธีการส่งแพ็คเก็ตแบบไหนต้องคำนึงถึงข้อดีและข้อเสียที่จะเกิดขึ้นใน IARP หรือ IERP (Haas, Samar and Pearlman, 2004)

ตัวอย่างการค้นหาเส้นทางของ ZRP ซึ่งแสดงให้เห็นดังภาพที่ 4 โหนดต้นทางคือโหนด S ต้องส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางคือโหนด D โดยโหนด S จะเริ่มทำการตรวจสอบว่าโหนด D เป็นสมาชิกอยู่ภายในโซนของตนเองหรือไม่ ถ้าโหนด D อยู่ภายในโซนของโหนด S ก็จะทำการส่งข้อมูลไปยังโหนด D ทันที แต่ถ้าโหนด D ไม่ได้อยู่ภายในโซนของโหนด S ดังนั้นโหนด S จะทำการสร้าง RREQ แล้วส่งไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนคือโหนด A B และ C ในช่วงนี้แต่ละโหนดที่ได้รับ RREQ จะทำการตรวจสอบว่าโหนด D อยู่ภายในโซนของตนเองหรือไม่ ถ้าไม่ก็จะส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนของตนเองต่อไป ในตัวอย่างโหนด B ส่ง RREQ ไปยังโหนด F หลังจากโหนด F ตรวจสอบแพ็คเก็ตพบว่าโหนด D อยู่เป็นสมาชิกอยู่ภายในโซนของตน ก็จะทำการสร้าง RREP แล้วส่งกลับไปยังโหนดต้นทางตามเส้นทางเดิมของ RREQ และสร้างแพ็คเก็ต REXT เพื่อส่งไปยังโหนด D ซึ่งเมื่อโหนดต้นทางหรือโหนดปลายทางได้รับแพ็คเก็ตดังกล่าวก็จะสามารถสร้างแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางขึ้นมาแล้วส่งกลับไปเส้นทางเดิมเพื่อใช้กำหนดเส้นทางสำหรับการส่งข้อมูล ซึ่งโหนดต้นทางจะได้เส้นทาง (S-B-F-D) ส่วนโหนดปลายทางจะได้รับเส้นทาง (D-F-B-S)




ภาพที่ 4 ตัวอย่างการค้นหาเส้นทางของ ZRP

## กลไกควบคุมการส่งแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทาง

Zone Routing Protocol เลือกการส่ง RREQ ด้วยวิธี Bodercasting ซึ่งเป็นการส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนเท่านั้น และมีประสิทธิภาพมากการส่ง RREQ ด้วยวิธีแบบกระจายทุกทิศทาง (flooding) ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับเทคนิคการส่งแพ็คเก็ตแบบการแพร่สัญญาณเฉพาะกลุ่มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แต่เนื่องจากแต่ละโหนดภายในโซนจะมีโซนเป็นของตนเอง ทำให้เกิดการเลื่อมล้ำของโซนในแต่ละโหนด ดังนั้นการส่ง RREQ ไปยังโหนดถัดไปอาจจะมีบาง RREQ ถูกส่งมายังบริเวณโซนที่เคยได้รับ RREQ แล้ว ส่งผลให้มีจำนวนแพ็คเก็ตในเครือข่ายมากเกินไป และสูญเสียช่องทางการส่งแพ็คเก็ตจากความหนาแน่นของแพ็คเก็ตในเครือข่าย ซึ่งบางทีเมื่อเปรียบเทียบปริมาณแพ็คเก็ตในเครือข่ายอาจจะมีมากกว่าการส่งแบบแพร่กระจาย (Haas and Pearlman, 2004)

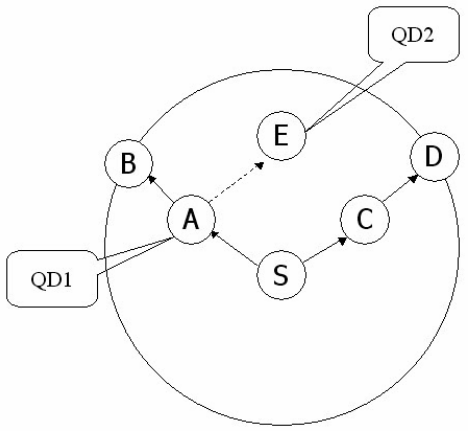
ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ZRP จำเป็นต้องนำเทคนิคกลไกควบคุมการส่งแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางมาใช้ เพื่อสามารถกำหนดทิศทางของ RREQ จากโซนที่เคยได้รับ RREQ แล้ว และหยุดการส่ง RREQ ก่อนที่จะถูกส่งไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนซึ่งเคยได้รับ RREQ แล้ว ซึ่งเทคนิคกลไกควบคุมการส่งแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางของ ZRP ประกอบด้วย 3 เทคนิคย่อย ดังนี้

1. Query Detection (QD)

จากการนำเอาเทคนิค bordercasting มาใช้ใน ZRP โดยโซนที่ถูกค้นพบครั้งแรกคือโซนของโหนดที่ทำหน้าที่ bordercast เพื่อส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนของตนเอง แล้วโหนดที่อยู่ขอบโซนของตนเองได้รับแพ็คเก็ตและทำการ bordercast ซ้ำเพื่อส่ง RREQ ต่อไปเพราะโหนดปลายทางไม่ได้เป็นสมาชิกภายในโซนของตนเอง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ส่งแพ็คเก็ตกลับมายังบริเวณโซนซึ่งเคยได้รับ RREQ แล้ว ดังนั้น BRP จัดเตรียมเทคนิคการตรวจสอบ RREQ ไว้ 2 ส่วน เพื่อให้ทุกโหนดภายในโซนของตนเองสามารถรับรู้การส่ง RREQ โดยไม่เพิ่มจำนวนแพ็คเก็ต ซึ่งส่วนแรกคือโหนดที่อยู่ระหว่างเส้นทางของการส่ง RREQ จะสามารถเก็บข้อมูล RREQ ในหน่วยความจำของตนเองและตรวจสอบว่าโซนของตนเองครอบคลุมโหนดปลายทางที่โหนดต้นทางต้องการหรือไม่ ซึ่งการตรวจสอบส่วนแรกเรียกว่า Query Detection 1 (QD1) และสำหรับส่วนที่ 2 จะใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลเพียงช่องสัญญาณรับทอดทางเดียว (Single Channel) โดยโหนดใดภายใน

โซนไม่ได้ถูกเลือกเป็นเส้นทางส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนจะต้องรับรู้การส่งของแพ็คเก็ตด้วยการดักฟังสัญญาณของการส่ง ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า Query Detection 2 (QD2) (Haas and Pearlman, 2004)

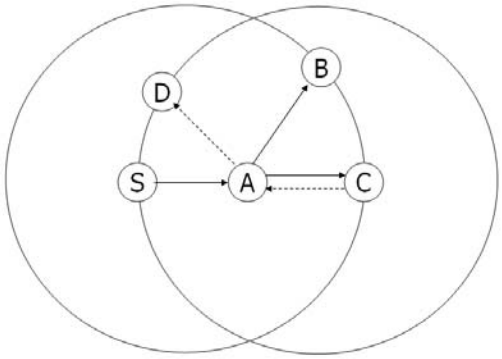
ดังตัวอย่างภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าโหนด S ทำการสร้างเส้นทางของการส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซน คือโหนด B และโหนด D ส่วนโหนด A และโหนด C มีหน้าที่รับและส่ง RREQ ต่อไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซน ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าสมาชิกภายในโซนของโหนด S ที่ถูกเลือกใช้เป็นเส้นทางของการส่ง RREQ จะมีการตรวจสอบข้อมูล RREQ เพื่อหาโหนดปลายทางกับข้อมูลสมาชิกภายในโซนของตนเองเป็นตรวจสอบด้วยวิธี QD1 ในขณะที่เครือข่ายที่มีช่องสัญญาณรับทอดทางเดียวสามารถแอบดักฟังการรับส่งข้อมูลของโหนดอื่นได้ ดังตัวอย่างโหนด E จะสามารถดักฟังการส่ง RREQ ของโหนด A ได้ เป็นการตรวจสอบด้วยวิธี QD2




ภาพที่ 5 ตัวอย่างการทำงานของ QD1 และ QD2

2. Early Termination (ET)

Early Termination เป็นการป้องกันการส่ง RREQ ไปยังบริเวณซึ่งเคยได้รับ RREQ แล้ว โดยเทคนิคนี้จะใช้ข้อมูลที่ได้จากการทำงานของ Query Detection รวมกับข้อมูลโซนของตนเองเพื่อยุติการส่ง RREQ ต่อไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซน ซึ่งโหนดดังกล่าวอาจอยู่ในบริเวณโซนที่เคยได้รับ RREQ แล้ว โดยข้อมูลสมาชิกภายในโซนที่ Early Termination ใช้ตรวจสอบนั้นจะต้องสามารถเรียนรู้ข้อมูลสมาชิกโซนขยายมากขึ้นเป็น 2p – 1 เมื่อ p คือจำนวนฮอพ (Haas and Pearlman, 2004)

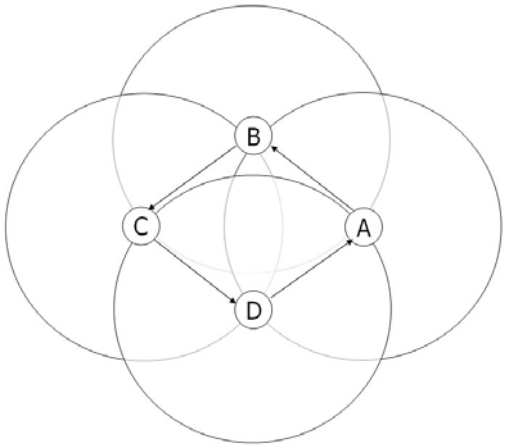



ภาพที่ 6 ตัวอย่างการทำงานของ Early Termination

ดังตัวอย่างภาพที่ 6 แสดงให้เห็นการทำงานของ Early Termination โดยโหนด S ทำการ bordercast เพื่อส่ง RREQ ไปยังโหนด B และ C ซึ่งเป็นโหนดที่อยู่ขอบโซน โดยผ่านทางโหนด A ซึ่งโหนด A จะทำการเก็บข้อมูลแพ็คเก็ตที่ได้รับจากการทำ QD1 หลังจากนั้นโหนด C จะทำการ rebordercast แพ็คเก็ตซ้ำ โดยส่งไปยังโหนด D ซึ่งเป็นโหนดที่อยู่ขอบโซนของโหนด C โดยผ่านทางโหนด A เมื่อโหนด A ได้รับ RREQ ดังกล่าวซ้ำจากทางโหนด C ก็จะทำการยุติการส่งต่อไปยังโหนด D เนื่องจากโหนด A จะเรียนรู้ว่าโหนด D เป็นสมาชิกของโซน S

3. Loop-back Termination (LT)

เป็นเทคนิคการป้องกันเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตวนกลับมายังบริเวณโซนที่เคยอยู่ในเส้นทางการส่งข้อมูลแล้ว โดยตรวจสอบจากข้อมูลเส้นทางการส่งที่ถูกเก็บสะสมไว้ในแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางเพื่อทำการกำจัดเส้นทางที่เกิดการส่งวนกลับ ดังตัวอย่างภาพที่ 7 โหนด A ทำการ bordercast แพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางไปยังโหนด B เช่นเดียวกันกับโหนด B เมื่อได้รับแพ็คเก็ตจะ bordercast แพ็คเก็ตส่งต่อไปยังโหนด C แล้วโหนด C ก็ส่งแพ็คเก็ตต่อไปยังโหนด D และโหนด D ก็จะส่งต่อไปยังโหนด A ซึ่งเมื่อโหนด A ได้รับแพ็คเก็ตก็จะทำการกำจัดแพ็คเก็ตเนื่องจากเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตเกิดวนกลับมายังโหนดเดิม




ภาพที่ 7 ตัวอย่างการทำงานของ Loop-back Termination

## การพัฒนาการส่งแพ็คเก็ตค้นเส้นทาง

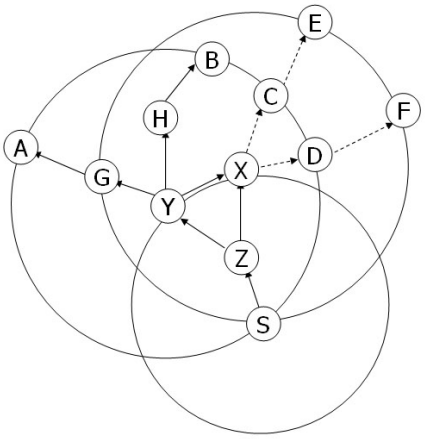
1. Random Query-Processing Delay (RQPD)

เมื่อโหนดมีการสร้างและส่ง RREQ ออกไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนแล้ว โหนดที่อยู่ขอบโซนซึ่งได้รับ RREQ จะต้องตรวจสอบ Query Detection ก่อนทำการส่ง RREQ ต่อไป ในช่วงเวลาตรวจสอบดังกล่าวอาจจะได้รับ RREQ เดิมจากโหนดอื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียงที่ส่งแพ็คเก็ตในเวลาใกล้เคียงกัน ซึ่งโหนดดังกล่าวที่ได้รับแพ็คเก็ตก็จะต้องสูญเสียเวลาและเพิ่มจำนวนแพ็คเก็ตในเครือข่ายจากการตรวจสอบและส่ง RREQ ซ้ำต่อไปอีกครั้ง (Haas and Pearlman, 2001)

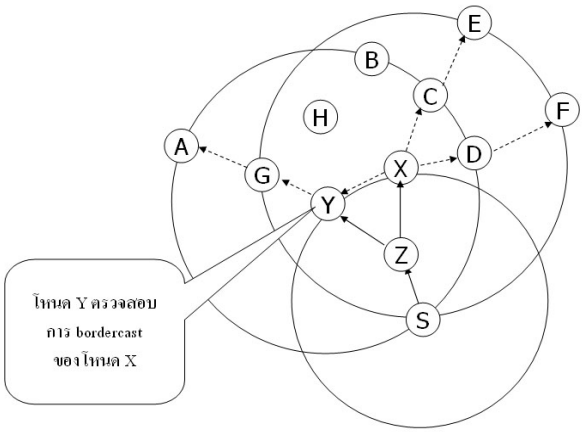
ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีนักวิจัยเสนอวิธีการแก้ไขด้วยการให้แต่ละโหนดที่จะทำการ Rebordercast RREQ ด้วยการสุ่มเวลาสำหรับการรอคอยก่อนการส่ง RREQ ซึ่งในช่วงเวลาของการสุ่มถ้าหากได้รับ RREQ เดิมก็ทำ Early Termination และตัดเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตไปยังโหนดที่ส่งแพ็คเก็ตมาให้ ดังนั้นเพื่อลดเวลาความล่าช้าของการค้นหาเส้นทาง อาจจะนำระยะเวลาที่สุมได้ไปใช้รวมกับระยะเวลาการรอคอยก่อนการส่ง (jitter time) (Haas and Pearlman, 2001)

ภาพที่ 8-9 แสดงการทำงานของ RQPD โดยภาพที่ 8 แสดงให้เห็นการส่งแพ็คเก็ตที่ซับซ้อนโดยปราศจากการทำงานของ RQPD ซึ่งถ้าหากโหนด X และ Y ได้รับ RREQ ในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน แล้วทำการสร้างเส้นทางการส่ง RREQ เพื่อ rebordercast แพ็คเก็ตไปยังโหนดที่อยู่

บริเวณขอบโซนของตนเอง จะเกิดการส่งแพ็คเก็ตที่ซับซ้อนกันอยู่ระหว่างโหนด X และ Y แต่ถ้าหากมีการใช้ RQPD ดังภาพที่ 9 โหนด X และโหนด Y จะใช้การสุ่มเวลาด้วยเทคนิควิธี back off ก่อนการส่ง RREQ ในตัวอย่างนี้ช่วงระยะเวลาการรอคอยของโหนด Y จะสามารถตรวจสอบ RREQ ที่ส่งมาจากโหนด X และทำการกำจัดเส้นทางการส่ง RREQ ที่ผ่านไปยังโซนของโหนด X




ภาพที่ 8 การส่งแพ็คเก็ตโดยปราศจากการทำงานของ RQPD




ภาพที่ 9 การส่งแพ็คเก็ตโดยมีการทำงานของ RQPD

## การเลือกใช้ขั้นตอนวิธีใน Zone Routing Protocol

ถึงแม้ว่าใน ZRP จะมีการออกเป็นข้อกำหนด (Haas, Samar and Pearlman, 2004) แต่ก็ไม่ได้กำหนดการเลือกใช้ขั้นตอนวิธีโพรโทคอลใน IARP และ IERP ไว้อย่างชัดเจน ซึ่งมีแต่การอธิบายถึง รูปแบบของแพ็คเก็ต (packet format), โครงสร้างของข้อมูล (data structure), การเปลี่ยนแปลงของสถานะการทำงาน (state machine) และ รหัสเทียม (pseudo code) รวมทั้งแนวทางการนำเอาโพรโทคอลที่มีอยู่มาปรับประยุกต์ใช้ใน IARP และ IERP

1. แนวทางการเลือกใช้ขั้นตอนวิธีโพรโทคอลการจัดเส้นทาง

โพรโทคอลการจัดเส้นทางที่สามารถปรับประยุกต์ใช้กับการทำงานของ IARP ได้ต้องเป็นโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบ Proactive ยกตัวอย่างเช่นโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบรู้สถานะเชื่อมโยง เพราะสามารถกำหนดขนาดโซนได้ด้วยจำนวนฮอพ การกำหนดขนาดโซนสามารถนำไปใช้ร่วมกับขอบเขตข้อมูล (Time To Live - TTL) ของแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับการปรับปรุงตารางข้อมูลของโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบรู้สถานะเชื่อมโยง โดยเมื่อโหนดต้นทางสร้างและส่งแพ็คเก็ตออกไปขอบเขตข้อมูล TTL จะมีค่าจำนวนฮอพลบทีละหนึ่ง และเมื่อโหนดใดได้รับแพ็คเก็ตที่มีขอบเขตข้อมูลเท่ากับศูนย์ ก็จะทำการหยุดการส่งแพ็คเก็ตนั้นเสีย แต่ถ้ามีการค้นพบโหนดใหม่ในบริเวณโซนของตนเองโหนดจะส่งตารางเส้นทางข้อมูลที่มีอยู่ให้กับโหนดใหม่โดยไม่ส่งเส้นทางข้อมูลที่มีระยะทางเกินกว่าขนาดโซนที่กำหนด

สำหรับการทำงานของ IERP โพรโทคอลการจัดเส้นทางที่เลือกใช้ได้ควรเป็นโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบ Reactive โดยโพรโทคอลการจัดเส้นทางที่ใช้ต้องสามารถนำเอาข้อมูลตารางเส้นทางของ IARP มาใช้สำหรับการค้นหาเส้นทางและสามารถใช้รูปแบบข้อมูลร่วมกับตารางเส้นทางของ IARP ซึ่งโพรโทคอลการจัดเส้นทางดังกล่าวจะต้องไม่มีการทำเกี่ยวกับวิธีปรับปรุงข้อมูลเส้นทางของกลุ่มโหนด และวิธีการตรวจสอบค้นหาโหนดใหม่ที่อยู่ใกล้เคียง เนื่องจากวิธีการดังกล่าวถูกจัดการโดย IARP เรียบร้อยแล้ว และสำหรับการ broadcasting เพื่อส่ง RREQ โพรโทคอลการจัดเส้นทางดังกล่าวต้องสามารถเปลี่ยนเป็นการทำ bordercast เพื่อส่ง RREQ ได้ ซึ่งถูกจัดการโดย BRP แทน และสำหรับเทคนิคการลดจำนวนแพ็คเก็ตที่ซ้ำซ้อนของโพรโทคอลการจัดเส้นทางดังกล่าวจะไม่ถูกนำมาใช้ เนื่องจาก BRP ได้จัดเตรียมเทคนิคการตรวจสอบและลดจำนวนแพ็คเก็ตที่ซ้ำซ้อนไว้แล้ว ยกเว้นกรณีตรวจสอบตามเงื่อนไขอื่น เช่น การตรวจสอบความสำเร็จของ

เส้นทางการส่งข้อมูล, การวัดจากคุณภาพบริการ (Quality of Service - QoS) และระยะเวลาของแพ็คเก็ต (Time To Live - TTL)

2. การเลือกใช้ขั้นตอนวิธีโพรโทคอลการจัดเส้นทางสำหรับ IARP

ในข้อกำหนดของ ZRP ได้ยกตัวอย่างโพรโทคอลที่ใช้ใน IARP ไว้ 2 โพรโทคอล คือโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบรู้สถานะเชื่อมโยง (link state) กับ โพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบรู้เวกเตอร์ระยะทาง (distance vector) โดยแต่ละโหนดจะมีการกำหนดช่วงเวลาของการปรับปรุงตารางข้อมูลเส้นทางในโซนของตนเอง ซึ่งรูปแบบแพ็คเก็ตของการปรับปรุงตารางข้อมูลเส้นทางจะประกอบด้วย โหนดปลายทาง, ซับเนตมาส (subnet mark) และจำนวนตัววัด (metric) ต่างๆ โดยขอบเขตของการปรับปรุงตารางข้อมูลเส้นทางสามารถควบคุมได้โดยใช้ขอบเขตข้อมูล ซึ่งจะเริ่มด้วยค่า p – 1 เมื่อ p คือขนาดโซนที่กำหนด

3. การเลือกใช้ขั้นตอนวิธีโพรโทคอลการจัดเส้นทางสำหรับ IERP

ในข้อกำหนดของ ZRP ได้นำเสนอการทำงานของ IERP แบบง่ายๆ ด้วยการกำหนดให้โหนดที่จะเริ่มทำการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลเป็นผู้กำหนดเส้นทางการส่งข้อมูลตั้งแต่โหนดต้นทางจนถึงโหนดปลายทาง โดยการระบุเส้นทางไว้ที่หัวแพ็คเก็ต (source routing) นั้นคือเมื่อใดที่โหนดต้นทางไม่มีเส้นทางส่งไปยังโหนดปลายทางก็ทำการสร้างและส่ง RREQ โดยแจ้งให้ BRP ทำการสร้างเส้นทางการส่งแพ็คเก็ต และเมื่อโหนดใดได้รับ RREQ ก็จะตรวจสอบหาโหนดปลายทางกับข้อมูลของตนเอง ถ้าหากไม่พบโหนดปลายในข้อมูลของตนเองก็จะทำการเพิ่มข้อมูลเลขที่อยู่ไอพีของตนเอง และค่าตัววัดต่างๆ ใน RREQ พร้อมทั้งให้ BRP หาเส้นทางการส่งเพื่อส่ง RREQ ต่อไป แต่ถ้าหากพบโหนดปลายทางอยู่ในข้อมูลของตนเองโหนดนั้นก็เพิ่มข้อมูลเลขที่อยู่ไอพีของตนเองใน RREQ พร้อมทั้งสร้าง RREP โดยส่งกลับไปยังโหนดต้นทางโดยใช้เส้นทางเดิมของ RREQ และสร้าง REXT ส่งต่อไปยังโหนดปลายทาง

เมื่อใดที่ตารางเส้นทางข้อมูลของ IARP มีการเปลี่ยนแปลงจะมีผลกระทบต้องเส้นทางการส่งข้อมูลของ IERP ดังนั้น IARP จะต้องแจ้งให้ IERP ทราบเพื่อให้ IERP สามารถซ่อมแซมเส้นทางการส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนรูปแบบโครงสร้างแพ็คเก็ตของ RREQ และ RREP จะมีลักษณะคล้ายกัน แต่จะต้องมีขอบเขตข้อมูลส่วนหนึ่งเพื่อใช้แยกความแตกต่างของแพ็คเก็ตดังกล่าว

ซึ่งโครงสร้างของแพ็คเก็ตดังกล่าวจะต้องสามารถเก็บเลขที่อยู่ไอพีของแต่ละโหนดเพื่อใช้สำหรับสร้างเส้นทางการส่งข้อมูล โดยรวมถึงเลขหมาย RREQ ของโหนดต้นทาง, จำนวนของโหนดระหว่างทาง และเลขหมายโหนดปลายทาง โดยโครงสร้างแพ็คเก็ตดังกล่าวสามารถใช้สำหรับจำแนกว่าควรส่งแพ็คเก็ตไปยังโหนดใดเป็นโหนดถัดไป และสำหรับเลขหมาย RREQ ของโหนดต้นทางควรใช้เป็นเลขที่ไม่ซ้ำกัน เพื่อใช้สำหรับกำหนดการส่ง RREQ ในเครือข่าย

4. <u>การเลือกใช้ขั้นตอนวิธีโพรโทคอลการจัดเส้นทางสำหรับ BRP</u>

สำหรับการทำงานของ BRP ในข้อกำหนดของ ZRP ก็ไม่ได้กำหนดวิธีการใช้งานไว้อย่างชัดเจน แต่จะกล่าวถึงโครงสร้างการทำงานของ BRP โดยมีหน้าสำหรับสร้างเส้นทางและส่ง RREQ ของ IERP ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนและเมื่อโหนดที่อยู่ขอบโซนได้รับ RREQ การทำงานของ BRP จะส่งแพ็คเก็ตกลับไปยังให้ IERP เพื่อทำงานต่อ

โพรโทคอลที่จะนำมาประยุกต์ใช้จำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลแพ็คเก็ตเพื่อรู้ว่าโหนดตนเองได้ถูกค้นพบจากการได้รับ RREQ แล้ว โดยเมื่อมีโหนดใดทำการ bordercast เพื่อส่ง RREQ ออกไป โหนดที่อยู่ระหว่างเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตได้รับ RREQ โหนดดังกล่าวจะเรียนรู้ว่าตนเองได้ถูกค้นพบจากการได้รับ RREQ แล้ว แต่ถ้าเป็นโหนดที่อยู่ขอบโซนได้รับ RREQ จะทำการ rebordercast แพ็คเก็ตซ้ำ เพื่อส่งแพ็คเก็ตต่อไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนของตนเองต่อไป ซึ่งจะทำงานตามขั้นตอนดังกล่าววนซ้ำตั้งแต่การทำ bordercast เพื่อส่ง RREQ จนถึงโหนดปลายทาง

## <u>การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอลการจัดเส้นทาง</u>

1. <u>การวัดประสิทธิภาพของโพรโทคอลการจัดเส้นทาง</u>

การวัดประสิทธิภาพของโพรโทคอลการจัดเส้นทางสามารถใช้ตัววัดได้หลายชนิดแต่มี 4 ชนิดที่สำคัญสำหรับการวัดประสิทธิภาพของโพรโทคอลการจัดเส้นทางคือ อัตราส่วนของแพ็คเก็ตข้อมูลที่โหนดปลายทางได้รับกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งออกมาจากโหนดต้นทาง ค่าหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการส่งข้อมูล จำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้ค้นหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งไปยังโหนดปลายทาง และจำนวนแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางที่การจากระดับชั้น MAC ประกอบด้วยจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจากการจับคู่ระหว่างหมายเลขที่อยู่ไอพี (IP Address) กับหมายเลขที่อยู่

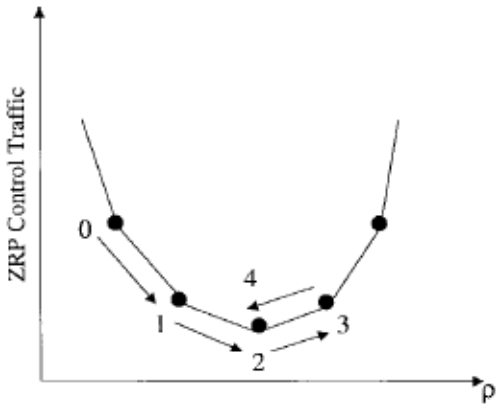
อุปกรณ์ (Address Resolution Protocol - ARP) และรวมทั้งจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้ควบคุมการส่งสัญญาณ เช่น Request to Send - RTS, Clear to Send - CTS, Acknowledgement - ACK (Perkins, Elizabeth, Samir and Marina, 2001)

2. <u>การวัดปริมาณแพ็คเก็ตที่เกิดขึ้น</u>

ปริมาณแพ็คเก็ตสำหรับค้นหาเส้นทางที่เกิดขึ้นใน ZRP มาจากกลไกควบคุมการส่งแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทาง ซึ่งการทำงานของ IARP มีผลต่อปริมาณแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางถ้าหากขนาดของโซน IARP ขยายใหญ่ขึ้นปริมาณการส่งแพ็คเก็ตสำหรับปรับปรุงตารางข้อมูลเส้นทางภายในโซนจะเพิ่มมากขึ้นถึง $p^2$ เมื่อ p คือขนาดโซน ดังนั้นค่าใช้จ่ายของการจัดการข้อมูลภายในโซนก็จะเพิ่มมากขึ้นตามขนาดโซน ซึ่งการส่งแพ็คเก็ตแบบ Distributed Bordercasting - DB จะมีค่าใช้จ่ายสำหรับการปรับปรุงตารางเส้นทางภายในโซนมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการส่งแพ็คเก็ตแบบ Root-Directed Bordercasting – RDB ที่จะมีค่าใช้จ่ายสำหรับการปรับปรุงตารางเส้นทางภายในโซนตามแบบเดิมของโพรโทคอลการจัดเส้นทางที่เลือกใช้ และสำหรับจำนวนแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางที่เกิดจาก IERP ทั้งวิธีการส่งแบบ RDB และ DB จะมีปริมาณแพ็คเก็ตที่ใกล้เคียงกัน แต่ขนาดของแพ็คเก็ตในของวิธีการส่งแบบ RDB จะมีขนาดที่ใหญ่มากกว่าวิธีการส่งแบบ DB เนื่องจากจะต้องบรรจุข้อมูลตารางเส้นทางการส่ง RREQ ลงไปในแพ็คเก็ตด้วย

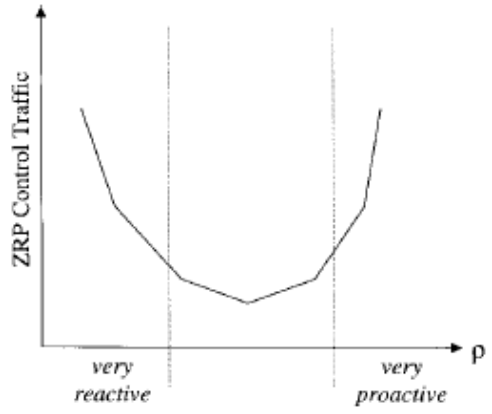
3. <u>การกำหนดขนาดโซนที่เหมาะสม</u>

การเลือกขนาดโซนที่เหมาะสมนั้นจะทำให้จำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้ในการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายมีจำนวนต่ำสุด เนื่องจากในแต่ละสภาพเครือข่ายการกำหนดขนาดโซนให้เหมาะสมจะต้องแตกต่างกันไป ดังนั้นเพื่อให้ได้ขนาดโซนที่เหมาะสมปัจจัยที่มีผลกระทบได้แก่ ขนาดโซน ขนาดพื้นที่เครือข่าย จำนวนโหนด ค่าเฉลี่ยจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของแต่ละโหนด และความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนด การเลือกขนาดโซนที่เหมาะสมมี 2 เทคนิคคือ เทคนิคที่ 1 เป็นการเลือกแบบ min-searching คือทำการแปลงเปลี่ยนขนาดโซนด้วยการเพิ่มหรือลดขนาดโซนที่ละ 1 ฮอพตามทุกช่วงเวลาที่กำหนด แล้วสังเกตุจำนวนแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางทั้งหมดของ ZRP มีจำนวนแพ็คเก็ตเพิ่มขึ้นหรือลดลง




ภาพที่ 10 ตัวอย่างกลไกการทำงานของ Min searching

ภาพที่ 10 เป็นกลไกการทำงานของ min-searching โดยจะกำหนดค่าเริ่มต้น p = 0 เมื่อ p คือขนาดโซนแล้วค่อยเพิ่มค่า p ที่ละ 1 ฮอพ ซึ่งระหว่างการเพิ่มค่า p ก่อนค่า p = 3 จำนวนแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางมีจำนวนลดลง แต่เมื่อค่า p = 3 จำนวนของแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางมีปริมาณมากกว่าขนาดโซนก่อนหน้า นอกจากนี้การทำงานของ min-searching สามารถจะใช้เป็นตัวกำหนดจุดเริ่มต้นของการเลือกขนาดโซนที่มีปริมาณแพ็คเก็ตน้อยที่สุด แต่ปัญหาของเทคนิคที่ 1 คือการกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนแปลงขนาดโซนเพื่อวิเคราะห์สภาพเครือข่ายในขณะนั้น (Haas, Pearlman and Samar, 2004)




ภาพที่ 11 ตำแหน่งบริเวณโซนที่เหมาะสม

สำหรับเทคนิคที่ 2 เป็นการเลือกแบบ traffic adaptive โดยดูความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางของ IARP กับ IERP โดยเมื่อใดขนาดโซนมีขนาดน้อยกว่าขนาดโซนที่

กำหนดเริ่มต้นและจำนวนแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางมีจำนวนมากกว่าจำนวนแพ็คเก็ตของโซนกำหนดเริ่มต้น แสดงว่าจำนวนแพ็คเก็ตที่เพิ่มขึ้นมาจากการทำงานของ IERP แต่ถ้าขนาดโซนมีขนาดใหญ่กว่าขนาดโซนเริ่มต้นและจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้ควบคุมการส่งมีจำนวนมากกว่าจำนวนแพ็คเก็ตของขนาดโซนเริ่มต้น แสดงว่าจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้ควบคุมการส่งเกิดจากการทำงานของ IARP ดังตัวอย่างภาพที่ 11 แสดงให้เห็นว่าการทำงานแบบ reactive และ proactive มีผลต่อจำนวนแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทาง ซึ่งเทคนิค Traffic adaptive จะทำการตรวจสอบอัตราส่วนระหว่างจำนวนแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางของ IERP กับ IARP เปรียบเทียบกับค่าขนาดโซนเริ่มต้นที่กำหนด

# อุปกรณ์ ซอฟต์แวร์และวิธีการ

## อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ Note book
2. เครื่องคอมพิวเตอร์เซฟร์เวอร์

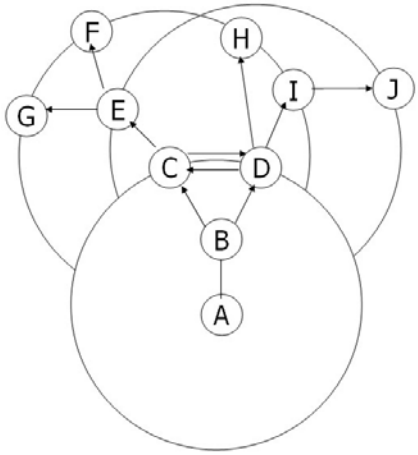
## ซอฟต์แวร์

1. ระบบปฏิบัติการ Linux
2. โปรแกรมจำลองเครือข่าย GloMoSim
3. ภาษาเขียนโปรแกรมซี
4. ตัวคอมไพเลอร์ GNU ซี
5. vim editor

## วิธีการ

จากการทำงานของ ZRP งานวิจัยฉบับนี้ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของ ZRP ด้วยกัน 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการส่ง RREQ ที่ซ้ำซ้อนในช่วงการทำ bordercast เพื่อส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนถัดไป และส่วนที่ 2 เป็นการสร้างและส่ง RREP และ REXT ที่ซ้ำซ้อน เมื่อโหนดที่อยู่ระหว่างเส้นทางการส่ง RREQ ได้ค้นพบโหนดปลายทางซึ่งอยู่ภายในบริเวณโซนของตนเอง ในส่วนแรกของการส่ง RREQ ที่ซ้ำซ้อนเกิดจากการเหลื่อมล้ำของโซนในแต่ละโหนดดังตัวอย่างภาพที่ 12 สำหรับส่วนที่ 2 การสร้างและส่ง RREP และ REXT ที่ซ้ำซ้อนเกิดมาจากกลไกลการทำงานของ ZRP ในช่วงโหนดที่อยู่ระหว่างเส้นทางการส่ง RREQ จะต้องรับแพ็คเก็ตที่มาจากเส้นทางเดิมของโหนดที่ทำหน้าที่เป็น bordercaster เท่านั้น ซึ่งในการส่งแพ็คเก็ตจะต้องระบุเลขประจำตัวแต่ละโหนดผู้รับไว้ในแต่ละแพ็คเก็ต ทำให้มีจำนวนแพ็คเก็ตที่สร้างขึ้นและส่งเท่ากับจำนวนโหนดที่อยู่ขอบโซน ซึ่งถ้าหากโหนดที่ทำหน้าที่ส่งแพ็คเก็ตต่อไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนตรวจสอบพบโหนดปลายทางอยู่ภายในบริเวณโซนของตนเองก็จะสร้าง RREP ส่งกลับไปยังโหนดต้นทาง และสร้าง REXT ส่งต่อไปยังโหนดปลายทาง โดยอาจจะต้องสร้าง RREP และ REXT ที่ซ้ำซ้อนเนื่องจากการส่งแพ็คเก็ตที่มาจากเส้นทางเดิมของโหนดที่ทำหน้าที่เป็น bordercaster เดียวกันดังตัวอย่างภาพที่ 13

สำหรับปัญหาส่วนแรกเกิดจากการเหลื่อมล้ำของโซนของแต่ละโหนดใน ZRP จะมีผลกระทบต่อการทำงานของ IERP เมื่อโหนดที่อยู่ขอบโซนได้รับ RREQ มาจาก interior node ซึ่งโหนดที่อยู่ขอบโซนดังกล่าวจะต้องทำการตรวจสอบข้อมูล ภายในโซนของตนเอง เพื่อทำการสร้างและส่ง REXT ไปยังโหนดปลายทางหรือทำการ rebordercast แพ็คเก็ตซ้ำ ด้วยการส่งข้อมูลแพ็คเก็ตไปให้ BRP เพื่อสร้างเส้นทางการส่งข้อมูลและส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนถัดไป ซึ่งการทำ bordercast เพื่อส่ง RREQ ของโหนดที่อยู่ขอบโซนนั้นอาจจะเกิดการส่ง RREQ ที่ซับซ้อนถ้าหากมีโหนดที่อยู่ขอบโซนซึ่งอยู่ใกล้เคียงกันได้รับ RREQ โดยมีเลขประจำตัวแพ็คเก็ตเดียวกันและทำการสร้างเส้นทางการส่ง RREQ ผ่านไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนที่อยู่ใกล้เคียง ถึงแม้ว่า ZRP จะมีการทำงานเกี่ยวกับการการตรวจสอบการรับ RREQ ที่ซ้ำ และการกำหนดค่าหน่วงเวลาแบบสุ่มไว้สำหรับการส่งแพ็คเก็ตในแต่ละครั้ง แต่มันก็ยังอาจจะเกิดการส่งที่ซับซ้อน เพราะในแต่ละโหนดที่อยู่ขอบโซนซึ่งอยู่ใกล้เคียงจะไม่สามารถรับรู้การสร้างเส้นทางการส่งของโหนดที่อยู่ขอบโซนที่อยู่ใกล้เคียงได้ (Thanit O. Sukumal K. and Chavalit S., 2005)

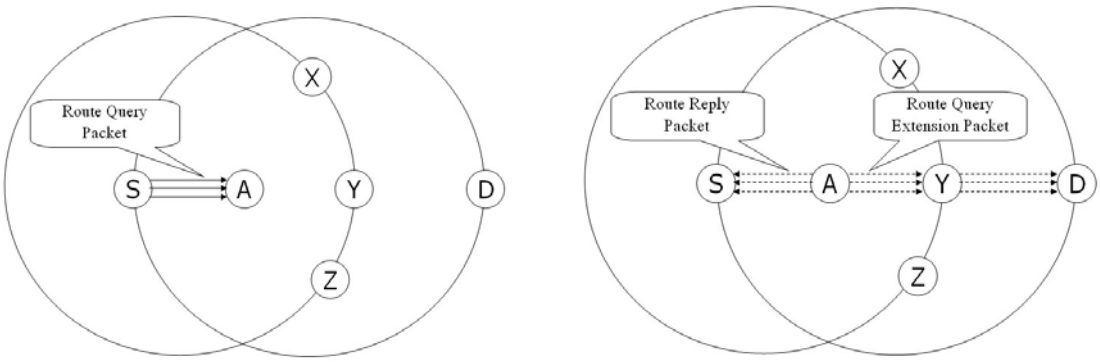



ภาพที่ 12 ตัวอย่างการส่งแพ็คเก็ตที่ซ้ำซ้อน

ดังภาพที่ 12 เป็นตัวอย่างการส่งแพ็คเก็ตที่ซับซ้อนเกิดจากการทำ rebordercast แพ็คเก็ตซ้ำ ซึ่งจากตัวอย่างกำหนดให้โซนมีขนาดเท่ากับ 2 ฮอพ เมื่อโหนด A ทำการสร้างเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตเพื่อใช้ส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนคือโหนด C และ D หลังจากนั้นเมื่อโหนด C และ D ได้รับ RREQ ก็ทำการตรวจสอบข้อมูลแพ็คเก็ตกับตารางข้อมูลสมาชิกภายในโซนที่ได้จาก IARP ของตนเอง เพื่อค้นหาโหนดปลายทาง ถ้าโหนดปลายทางไม่ได้เป็นสมาชิกอยู่ในภายในโซนของ

ตนเองก็จะทำการสร้าง RREQ และเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตเพื่อส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนถัดไป โดยโหนด C จะสร้าง RREQ และเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตเพื่อส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนคือโหนด G F H และ I โดยผ่านโหนด E และ D ตามลำดับ เช่นเดียวกับโหนด D จะสร้าง RREQ และเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตเพื่อส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนคือโหนด E และ J โดยผ่านโหนด C และ I ตามลำดับ ซึ่งจำนวนปริมาณ RREQ ที่ซ้ำซ้อนเกิดจากการเลื่อมล้ำของโซน C และโซน D ทำให้การทำ rebordercast แพ็คเก็ตซ้ำ ของโหนด C และ D จากการสร้างเส้นทางการส่ง RREQ ที่มีทิศทางผ่านไปโหนด C และ D เป็นการส่งแพ็คเก็ตให้กัน ถึงแม้ว่าจะมีการทำ Query Detection แต่ทั้งโหนด C และโหนด D ก็จะต้องส่ง RREQ ออกไปก่อนเพื่อให้โหนดที่ได้รับทำการกำจัด RREQ นั้นอีกที

ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยฉบับนี้เสนอแนวทางการตรวจสอบหาโหนดข้างเคียงก่อนการส่ง RREQ ของโหนดที่อยู่ขอบโซนเพื่อลดการส่ง RREQ ที่ซับซ้อน ด้วยเสนอวิธีการตรวจสอบหาโหนดที่อยู่ขอบโซนซึ่งอยู่ข้างเคียงก่อนทำการส่ง RREQ โดยให้โหนดที่อยู่ขอบโซนตรวจสอบจาก interior node ซึ่งเป็นโหนดที่ส่ง RREQ ด้วยการตรวจสอบการส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนใดบ้าง เพื่อให้โหนดที่อยู่ขอบโซนที่ได้รับ RREQ จะไม่สร้างเส้นทางส่งแพ็คเก็ตผ่านไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนที่อยู่ข้างเคียง ทำให้โหนดที่อยู่ขอบโซนที่ได้รับ RREQ ซึ่งมีเลขประจำตัวแพ็คเก็ตเดียวกันจะไม่สร้างเส้นทางส่งแพ็คเก็ตผ่านไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนที่โหนดผู้ส่งเคยส่งไปแล้ว เพราะเป็นแพ็คเก็ตที่มาจากโหนดผู้ส่งเดียวกัน

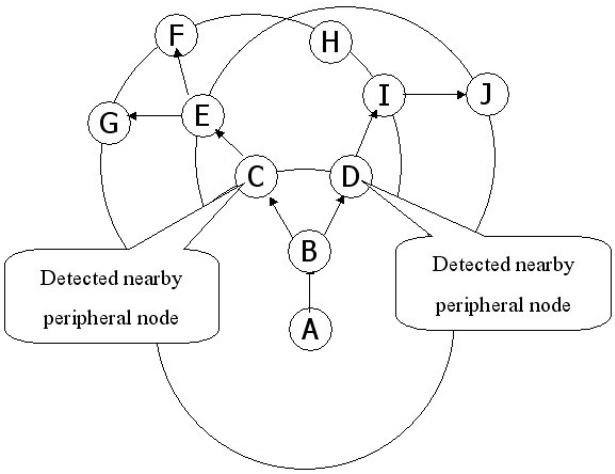



ภาพที่ 13 ตัวอย่างการส่ง RREP และ REXT ที่ซ้ำซ้อน

จากตัวอย่างภาพที่ 13 โหนด S เป็นโหนดต้นทางจะส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางคือ D ซึ่งอยู่นอกโซนของโหนด S ดังนั้นโหนด S จะสร้าง RREQ จำนวน 3 แพ็คเก็ตเพื่อส่งไปยังโหนดที่

อยู่ขอบโซนคือโหนด X Y และ Z โดยผ่านโหนด A แต่เมื่อโหนด A ได้รับ RREQ มาจากโหนด S แล้วตรวจสอบพบโหนดปลายทางเป็นสมาชิกอยู่ภายในโซนของตนเอง ก็จะสร้างแพ็คเก็ต RREP เพื่อส่งกลับไปยังโหนดต้นทาง S และ REXT เพื่อส่งไปยังโหนดปลายทาง D จำนวน 3 ครั้ง ตามจำนวน RREQ ซึ่งจากกลไกการทำงานของ ZRP โหนด A จะสร้างและส่งแพ็คเก็ตที่ซ้ำซ้อนเกิดขึ้น

ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการเพิ่มเทคนิคการตรวจสอบแพ็คเก็ตสำหรับโหนดที่ได้เคยทำการสร้าง RREP และแพ็คเก็ต REXT แล้วจะไม่ทำการสร้างและส่ง RREP และแพ็คเก็ต REXT อีก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานงานของ ZRP ให้สูงขึ้น

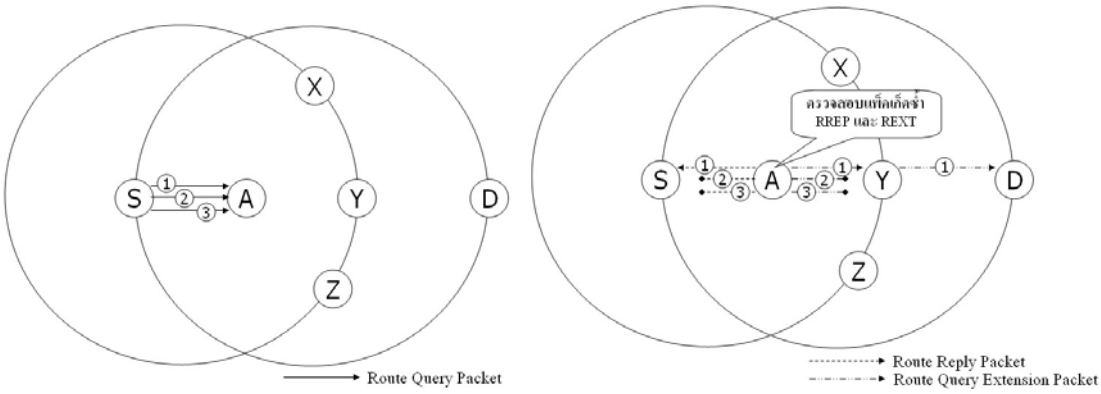



ภาพที่ 14 ตัวอย่างการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของ rebordercast แพ็คเก็ตซ้ำ

ภาพที่ 14 เป็นตัวอย่างการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของ rebordercast แพ็คเก็ตซ้ำ โดยโหนด A จะสร้างสร้างเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตและทำการส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซน คือโหนด C และโหนด D ก่อนทำการทำ rebordercast แพ็คเก็ตซ้ำ ทั้ง 2 โหนดจะทำการตรวจสอบโหนดที่อยู่ขอบโซนที่อยู่ข้างเคียงก่อน แล้วจึงทำการสร้างเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตเพื่อส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนถัดไปที่เป็นสมาชิกภายในโซนของตนโดยไม่ผ่านไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนที่อยู่ข้างเคียง ดังตัวอย่างรูปที่ 14 โหนด C จะเลือกส่ง RREQ ผ่านไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนคือโหนด F และ G โดยผ่านทางโหนด E เท่านั้น ซึ่งจะไม่ส่ง RREQ ผ่านไปทางโหนด D ถึงแม้ว่ามีโหนด H และ I เป็นโหนดที่อยู่ขอบโซนของตนเอง แต่โหนด H และ I เป็นสมาชิกภายในโซนของโหนด D เหมือนกัน เช่นเดียวกับการส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนของโหนด D ซึ่งจะไม่ส่ง RREQ ผ่านไปทางโหนด C ถึงแม้มีโหนด E ที่เป็นโหนดที่อยู่ขอบโซน ซึ่งเป็นสมาชิกอยู่ในภายใน

โซนของโหนด C ด้วย แต่จะส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนคือโหนด J ซึ่งผ่านโหนด I เท่านั้น

สำหรับปัญหาส่วนที่ 2 เป็นการลดการสร้างและส่งแพ็คเก็ต RREP และ REXT ที่ซับซ้อน ซึ่งมาจากกลไกการทำงานของ ZRP สำหรับการส่งแพ็คเก็ตด้วยวิธีการแบบการแพร่สัญญาณระบุผู้รับ (unicast) ที่จะทำการสร้างและส่ง RREP และ REXT ตามจำนวนที่ได้รับ RREQ ทำให้ปริมาณแพ็คเก็ตที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมีจำนวนมากเกินไป




ภาพที่ 15 ตัวอย่างการปรับปรุงประสิทธิภาพการส่ง RREP และ REXT ที่ซ้ำซ้อน

ภาพที่ 15 เป็นตัวอย่างการปรับปรุงประสิทธิภาพการส่ง RREP และ REXT ที่ซ้ำซ้อน โดยโหนด S เมื่อสร้าง RREQ ตามจำนวนโหนดที่อยู่ขอบโซน ซึ่งเป็นสมาชิกภายในโซนของตนเอง จำนวน 3 แพ็คเก็ต แล้วทำการส่งผ่านไปยังโหนด A ซึ่งเป็น interior node ในเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตของโหนด S หลังจากโหนด A ได้รับ RREQ ลำดับที่ 1 และตรวจสอบพบโหนดปลายทางเป็นสมาชิกอยู่ภายในโซนของตนเอง ก็จะทำการตรวจสอบในหน่วยความจำเพื่อตรวจสอบการสร้าง RREP และ REXT ของเลขประจำตัวของ RREQ ที่ได้รับ ถ้าไม่เคยสร้าง RREP และ REXT จากเลขประจำตัวของ RREQ ก็ทำการสร้าง RREP และ REXT แล้วทำการส่ง RREP กลับไปยังโหนด S ตามเส้นทางเดิม พร้อมทั้งส่ง REXT ต่อไปยังโหนดปลายทางคือ โหนด D แต่เมื่อโหนด A ได้รับ RREQ ลำดับที่ 2 และ 3 จะทำการหยุดการสร้างและส่ง RREP และ REXT เนื่องจากได้ตรวจสอบในหน่วยความจำพบว่าได้เคยสร้าง RREP และ REXT จากเลขประจำตัวของ RREQ ดังกล่าวแล้ว ซึ่งจากตัวอย่างภาพที่ 15 จะสามารถทำให้ลดปริมาณแพ็คเก็ตที่ต้องใช้ในการค้นหาเส้นทางได้มากขึ้น

**1. <u>การวางแผนการทดลอง</u>**

1.1 การเลือกขั้นตอนวิธีในโพรโทคอลจัดเส้นทาง

1.1.1 Intrazone Routing Protocol (IARP)

สำหรับการทำงานของ Intrazone เราเลือกขั้นตอนวิธีโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบรู้เวกเตอร์ระยะทาง (Distance Vector) และสำหรับป้องกันการเกิดการส่งแพ็คเก็ตวิ่งกลับไปมา (count-to-infinity) เลือกใช้การไม่ประกาศเส้นทางกลับไปยังโหนดที่ส่งตารางปรับปรุงข้อมูลมาให้ เรียกว่าเทคนิค split horizons และเนื่องจากการทำงานของ Distance Vector จะใช้แพ็คเก็ตควบคุมน้อย และมีขั้นตอนการคำนวณหาเส้นทางของแพ็คเก็ตซับซ้อนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับโพรโทคอลการจัดเส้นทางแบบรู้สถานะเชื่อมโยง (Link State) ซึ่งในการทำงานของ IARP ต้องมีการเก็บข้อมูลเส้นทางผ่านไปยังทุกโหนดที่อยู่ภายในโซนมากกว่า 1 เส้นทาง เพื่อใช้เป็นทางเลือกเมื่อเส้นทางที่ใช้อยู่เกิดใช้งานไม่ได้ และใช้เป็นข้อมูลการสร้างเส้นทางส่งแพ็คเก็ต สำหรับการทำงานของ IZRP เพื่อการค้นหาโหนดที่อยู่ข้างเคียงซึ่งได้รับแพ็คเก็ตมาจากโหนดที่เป็นผู้ส่งแพ็คเก็ตเดียวกัน และสำหรับการตรวจสอบแพ็คเก็ตที่มาจากโหนดใหม่หรือการถูกขัดจังหวะโดย Neighbor Discovery Maintenance (NDM) ก็ถูกนำมาใช้ในการทำงานของ IARP ด้วย

1.1.2 Interzone Routing Protocol (IERP)

สำหรับการทำงานของ Interzone เราเลือกใช้โพรโทคอล Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) เนื่องจากโพรโทคอล AODV มีการเก็บข้อมูลของโหนดที่จะส่งถัดไปในหน่วยความจำและที่สำคัญขนาดแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับ Interzone มีขนาดเล็กรวมทั้งการตอบกลับของแพ็คเก็ตที่สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งโพรโทคอล AODV ยังสนับสนุนการทำงานของ ZRP คือ ข้อมูลการหาเส้นทางจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำในแต่ละโหนดที่ค้นหาเส้นทาง และการเก็บข้อมูลการส่งแพ็คเก็ตของโหนดถัดไปใน AODV ทำให้สามารถส่งแพ็คเก็ตตอบกลับ (ROUTE_REPLY) ได้อย่างรวดเร็ว และสามารถส่งแพ็คเก็ตต่อไปยังโหนดปลายทางได้ ด้วยแพ็คเก็ตส่งต่อ (QUERY_EXTENSION) ซึ่งจากคุณสมบัติการทำงานดังกล่าวจะเป็นสร้างการส่งแบบสองทิศทาง (bi-directional) และสำหรับอีกคุณสมบัติหนึ่งคือทั้งโหนดต้นทางและโหนดปลายทางสามารถจัดการเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ด้วยแพ็คเก็ตสะสมเส้นทาง

(ROUTE_ACCUMULATION) โดยแพ็คเก็ตดังกล่าวจะถูกส่งกลับไปยังเส้นทางเดิมที่ได้รับโดย ระหว่างการส่งแพ็คเก็ตดังกล่าวจะมีการเก็บหมายเลขโหนดที่ส่งแพ็คเก็ตแต่ละโหนดลงในแพ็คเก็ตดังกล่าว

1.1.3 Bordercast Resolution Protocol (BRP)

การทำงานของ BRP จะช่วยสนับสนุนการทำงานของ IERP โดยทำหน้าที่เลือกเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซน, กลไกควบคุมการส่งแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทาง, การสร้างเส้นทางการส่งข้อมูล และการใช้ประโยชน์จากข้อมูลโซน ซึ่งทั้งหมดเป็นการค้นหาเส้นทางการส่งข้อมูล ซึ่งในการทำงานของ BRP เรากำหนดการส่งข้อมูลแบบการแพร่สัญญาณระบุตัวผู้รับ (unicast) เพื่อใช้ส่งแพ็คเก็ตไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซน โดย BRP สามารถกำหนดโหนดที่อยู่ขอบโซนที่ต้องการได้โดยอาศัยข้อมูลตารางเส้นทางของ IARP นอกจากนี้การส่งแพ็คเก็ตแบบ unicast ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนสามารถกำหนดผ่านเลขที่อยู่ไอพี ซึ่ง BRP จะทำการส่งแพ็คเก็ตต่อไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนดังกล่าวได้ โดยกำหนดเลขที่อยู่ไอพีถัดไปเพื่อที่จะส่งแพ็คเก็ตต่อจนไปถึงโหนดที่อยู่ขอบโซนดังกล่าว และ BRP ต้องทำการตรวจสอบการรับซ้ำของแพ็คเก็ตค้นหาเส้นทางเพื่อลดการส่งแพ็คเก็ตต่อ

1.2 การปรับปรุงประสิทธิภาพโพรโทคอลจัดเส้นทางแบบโซนด้วยการลดปริมาณแพ็คเก็ตร้องขอเส้นทาง

ในงานวิจัยฉบับนี้เราปรับปรุงกลไกการทำงานของ ZRP ด้วยกัน 2 ส่วน คือ กลไกการทำ rebordercast แพ็คเก็ตซ้ำ เพื่อส่ง RREQ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนถัดไป และกลไกการสร้าง RREP เพื่อส่งแพ็คเก็ตกลับไปยังโหนดต้นทาง และการสร้างแพ็คเก็ต REXT เพื่อส่งแพ็คเก็ตต่อไปยังโหนดปลายทาง โดยกลไกการทำงานทั้ง 2 ส่วน เราได้เขียนอธิบายการทำงานเฉพาะส่วนที่ได้ปรับปรุงการทำงานของ ZRP คือขั้นตอนเมื่อได้รับ RREQ และขั้นตอนเมื่อได้รับ RREP ส่วนการทำงานส่วนอื่นของ IZRP จะไม่แตกต่างไปจากการทำงานของ ZRP ดังนั้นเราจึงเขียนแผนภาพและอธิบายขั้นตอนการทำงานดังกล่าวในภาพที่ 16 และ 17 ตามลำดับ

ภาพที่ 16 แผนภาพขั้นตอนการทำงานของ IZRP เมื่อได้รับแพ็คเก็ต RREQ

ภาพที่ 16 แสดงขั้นตอนการทำงานของ IZRP เมื่อโหนดใดได้รับ RREQ ตามที่ถูกระบุในแพ็คเก็ตจะตรวจสอบหาโหนดปลายทางในตารางข้อมูลเส้นทางของตนเอง ถ้าหากโหนดปลายทางอยู่ภายในโซนของตนเอง ก็จะตรวจสอบในหน่วยความจำว่าเคยสร้าง RREP หรือ REXT จากหมายเลขประจำตัวแพ็คเก็ตของ RREQ ดังกล่าวหรือยัง ถ้าเคยสร้างแล้วจะทำการยุติการสร้างและการส่งของ RREP และ REXT แต่ถ้าหากไม่เคยสร้าง RREP หรือ REXT จากหมายเลขประจำตัวแพ็คเก็ตของ RREQ ดังกล่าวเลย ก็จะทำการสร้าง RREP และ REXT แล้วทำการเก็บข้อมูลทั้ง RREP และ REXT พร้อมทั้งหมายเลขประจำตัวแพ็คเก็ตของ RREQ ลงในหน่วยความจำก่อนส่ง RREP กลับไปยังเส้นทางเดิมของ RREQ และส่ง REXT ต่อให้กับโหนดถัดไปที่สามารถ

ส่งไปถึงโหนดปลายทางที่ RREQ ต้องการ แต่สำหรับถ้าโหนดปลายทางไม่ได้อยู่ภายในโซนของตนเอง โหนดที่ได้รับ RREQ ก็จะตรวจสอบว่าตนเองเป็นโหนดที่อยู่ขอบโซนที่ RREQ ดังกล่าวต้องการส่งหรือไม่ ถ้าหากไม่ใช่โหนดที่อยู่ขอบโซนตามที่ระบุใน RREQ โหนดที่ได้รับแพ็คเก็ตจะทำการส่ง RREQ ต่อไปยังโหนดถัดที่จะสามารถส่งไปถึงโหนดที่อยู่ขอบโซนของ RREQ ต้องการ แต่สำหรับกรณีที่ตนเองเป็นโหนดที่อยู่ขอบโซนที่ถูกระบุอยู่ใน RREQ ก็จะสร้าง RREQ ใหม่เพื่อทำการ rebordercast แพ็คเก็ตซ้ำ ไปยังโหนดที่อยู่ขอบโซนถัดไป แต่ก่อนทำการส่ง RREQ ใหม่ โหนดดังกล่าวจะทำการตรวจสอบหาโหนดที่อยู่ข้างเคียงโดยจะตรวจสอบแพ็คเก็ตที่ได้รับถูกส่งมาจากโหนดใด เพื่อนำหมายเลขประจำตัวโหนดที่เป็นผู้ส่ง RREQ ดังกล่าวไปค้นหาโหนดที่อยู่ข้างเคียงซึ่งมีระหว่างทางห่างจากโหนดผู้ส่ง RREQ จำนวน 1 ฮอพ จากตารางข้อมูลใน IARP ดังนั้นเราจะสามารถคาดการณ์ได้ว่าโหนดผู้ส่ง RREQ ส่งแพ็คเก็ตไปยังโหนดใดบ้าง เพื่อเราสามารถเลือกเส้นทางที่จะต้องส่ง RREQ ไม่ผ่านไปยังโหนดที่อยู่ข้างเคียงได้ เพราะโหนดที่อยู่ข้างเคียงอาจจะได้รับแพ็คเก็ต RREQ ที่มีเลขประจำตัวแพ็คเก็ตเดียวกันจากการส่งของโหนดผู้ส่งเดียวกัน แต่สำหรับ RREQ ที่จะต้องส่งผ่านไปยังโหนดที่อยู่ข้างเคียงเราจะเก็บไว้ในหน่วยความจำเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง เนื่องจากโหนดที่อยู่ข้างเคียงอาจจะไม่ได้รับ RREQ จากการส่งของโหนดผู้ส่งเดียวกันก็ได้ถ้าเกิดแพ็คเก็ตสูญหายระหว่างทางการส่ง ซึ่งระยะเวลาที่โหนดที่เก็บ RREQ ดังกล่าวจะเก็บเท่ากับระยะเวลารอคอยที่คาดว่าจะได้รับ RREP ดังสมการ p+(p-2) * jitter time เมื่อ p คือจำนวนฮอพ แต่ถ้าหากภายในระยะเวลาการรอคอย RREP ดังกล่าวไม่ได้รับ RREP ที่มีเลขประจำตัวแพ็คเก็ตเดียวกันจะทำการส่ง RREQ ที่เก็บไว้ในหน่วยความจำออกไปอีกครั้ง

ภาพที่ 17 แสดงขั้นตอนการทำงานของ IZRP เมื่อโหนดใดได้รับ RREP จะทำการตรวจสอบหา RREQ ในหน่วยความจำของตนเอง ถ้าพบ RREQ ที่มีเลขประจำตัวแพ็คเก็ตเหมือนกันกับ RREP ที่ได้รับ แสดงว่าในช่วงเวลานั้นมีเส้นทางสามารถตอบกลับไปยังโหนดต้นทางได้ จึงทำการลบข้อมูล RREQ ที่เก็บไว้ในหน่วยความจำดังกล่าว แต่ถ้าหากตรวจสอบไม่พบ RREQ ที่มีเลขประจำแพ็คเก็ตเหมือนกัน ก็จะทำการตรวจสอบว่าตนเองเป็นโหนดถัดไปที่ RREP ต้องการส่งหรือไม่ ถ้าไม่ใช่ก็จะทำการยุติการส่งของ RREP แต่ถ้าเป็นโหนดถัดไปที่ RREP ต้องการก็จะตรวจสอบในหน่วยความจำเพื่อหาโหนดถัดไปที่สามารถส่งไปถึงโหนดต้นทาง แล้วทำการแก้ไขในขอบเขตข้อมูลโหนดถัดไปในแพ็คเก็ต RREP เพื่อส่งต่อไปจนไปถึงโหนดต้นทาง ซึ่งเมื่อโหนดต้นทางได้รับแพ็คเก็ต RREP แล้วจะทำการสร้างแพ็คเก็ต Route Accumulate เพื่อสร้างเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลโดยส่งไปหาโหนดปลายทาง ซึ่งระหว่างทางการส่งจะเก็บสะสมข้อมูลหมายเลขประจำตัวโหนดไว้ในแพ็คเก็ต Route Accumulate ด้วย

ภาพที่ 17 แผนภาพขั้นตอนการทำงานของ IZRP เมื่อได้รับ RREP

1.3 เครื่องมือจำลองการทำงานของเครือข่ายไร้สาย

เครื่องมือจำลองการทำงานของเครือข่ายไร้สายที่เราเลือกใช้คือ (Global Mobile Information System Simulator - GloMoSim) ซึ่งเป็นเครื่องมือจำลองการทำงานเครือข่ายแบบมีสายและไร้สาย โดยมีการออกแบบแต่ละมอดูลตามข้อกำหนดของการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย GloMoSim ได้ใช้ PARSEC (PARallel Simulation Environment for Complex systems) ซึ่งพัฒนามาจากภาษา C เป็นเครื่องมือจัดการสำหรับการทำงานตามลำดับและการทำงานหลายอย่างพร้อมกัน

และถูกพัฒนามาจากห้องปฏิบัติการ UCLA โดยสามารถทำงานได้หลายแพลตฟอร์ม เช่น UNIX และ Windows

เราได้กำหนดค่าเบื้องต้นสำหรับเครื่องมือจำลองการทำงานเครือข่ายไร้สาย GloMoSim เพื่อจำลองการทำงานของ ZRP และ IZRP โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1.3.1 การกำหนดค่าคงที่

1.3.1.1 กำหนดระยะเวลาในการทำงานของเครือข่ายเป็น 300 วินาที

1.3.1.2 กำหนดตำแหน่งของโหนดแบบ UNIFORM

1.3.1.3 กำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ของโหนดแบบ RANDOM-WAYPOINT

1.3.1.4 กำหนดอัตราการส่งข้อมูลเป็น 11 Mbps

1.3.1.5 กำหนดรัศมีการส่ง 100 เมตร

1.3.1.6 กำหนดขนาดของโซน 1 – 4 ฮอพ

1.3.1.7 เลือกการส่งข้อมูลแบบ Constant bit rate (CBR)

1.3.1.8 กำหนดขนาดแพ็คเก็ตข้อมูล 128 ไบต์

1.3.1.9 กำหนดให้แต่ละโหนดที่มีหน้าที่ส่งข้อมูลแพ็คเก็ตโดยใช้อัตราความเร็วในการส่งแต่ละแพ็คเก็ตทุก 0.5 วินาที และจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลทั้งหมด 20 แพ็คเก็ต

1.3.1.10 กำหนดการส่งแพ็คเก็ตตรวจสอบสถานะโหนดเพื่อนบ้าน (Hello Message) ทุก 2 วินาที

1.3.1.11 กำหนดถ้าหากไม่ได้รับแพ็คเก็ต Hello Message ภายใน 3 ครั้ง ติดต่อกันให้ถือว่าโหนดเพื่อนบ้านไม่ได้อยู่ในรัศมีของตนเอง

1.3.1.12 การส่งแพ็คเก็ตในเครือข่ายมีการกำหนดขนาดของกลุ่มก้อน (chunk) ให้มีขนาดใกล้เคียงกับ MTU ในชั้นระดับ MAC

1.3.2 การทำการหนดแปรผัน

1.3.2.1 จำนวนโหนด

- 100 โหนด บนพื้นที่เครือข่าย 2 มิติ ขนาด 800 เมตร x 800 เมตร
- 150 โหนด บนพื้นที่เครือข่าย 2 มิติ ขนาด 800 เมตร x 800 เมตร

1.3.2.2 การเคลื่อนที่ของโหนด

- เคลื่อนที่ด้วยอัตราความเร็วต่ำเป็น 0 – 2 เมตรต่อวินาที

- เคลื่อนที่ด้วยอัตราความเร็วปานกลางเป็น 2 – 5 เมตรต่อวินาที
- เคลื่อนที่ด้วยอัตราความเร็วสูงเป็น 5 – 10 เมตรต่อวินาที

1.3.2.3 จำนวนโหนดที่ส่งแพ็คเก็ต

- 10 โหนด
- 20 โหนด
- 30 โหนด

1.4 การวัดประสิทธิภาพ

ในการวัดประสิทธิภาพการทำงานเราทำการทดลองทั้งหมด 100 ครั้งแล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย แต่จะไม่ทำการเก็บผลการทดลองในช่วง 5 วินาทีแรก และ 5 วินาทีสุดท้ายของการจำลองการทำงาน เนื่องจากเป็นช่วงระยะเวลาที่โหนดในเครือข่ายกำลังเรียนรู้และสร้างเครือข่าย

เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของการทำงานวิจัยฉบับนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ Zone Routing Protocol ดังนั้นเราจึงเลือกวิธีการวัดประสิทธิภาพซึ่งประกอบด้วย 5 ส่วนตัววัด คือ

1. จำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดขึ้นใน IERP คือ ปริมาณแพ็คเก็ตทั้งหมดที่ถูกสร้างขึ้นและส่งไปในเครือข่าย โดยเกิดจากการทำงานของ IERP เท่านั้น เนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้เราปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานเฉพาะส่วนของ IERP ส่วนการทำงานของ IARP เราใช้การทำงานแบบเดียวกับ ZRP ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

จำนวนแพ็คเก็ต IERP = ปริมาณ Route Request Packet
+ ปริมาณ Route Reply Packet
+ ปริมาณ Route Query Extension
+ ปริมาณ Route Accumulation Packet
+ ปริมาณ Route Repair

2. จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จ (Normalise routing load) คือ ปริมาณแพ็คเก็ตทั้งหมดที่เกิดทั้งหมดในเครือข่ายต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จถึงโหนดปลายทางสามารถคำนวณได้จากสมการ

จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล =

$$\frac{\begin{array}{l}(\text{ปริมาณแพ็คเก็ต Hello x ขนาดของแพ็คเก็ต}) \\ + (\text{ปริมาณแพ็คเก็ต IARP x ขนาดของแพ็คเก็ต}) \\ + (\text{ปริมาณแพ็คเก็ต IERP x ขนาดของแพ็คเก็ต})\end{array}}{\text{ปริมาณแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จ}}$$

3. การวัดจำนวนโอเวอร์เฮด (Overhead) คือ ปริมาณแพ็คเก็ตที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย ประกอบด้วย ปริมาณแพ็คเก็ตที่เกิดจากการทำงานของ NDP, ปริมาณแพ็คเก็ตที่เกิดจากการทำงานของ IARP และปริมาณแพ็คเก็ตที่เกิดจากการทำงานของ IERP เนื่องจากขนาดของแพ็คเก็ต NDP, IARP และ IERP มีขนาดแพ็คเก็ตที่แตกต่างกัน เราจึงไม่สามารถวัดจากจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้ ดังนั้นเราจึงเลือกการวัดประสิทธิภาพโอเวอร์เฮดจากการคำนวณขนาดแพ็คเก็ตที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย ดังสมการข้างล่าง

$$\begin{array}{rcl}\text{โอเวอร์เฮด} & = & (\text{ปริมาณแพ็คเก็ต Hello x ขนาดของแพ็คเก็ต}) \\ & & + (\text{ปริมาณแพ็คเก็ต IARP x ขนาดของแพ็คเก็ต}) \\ & & + (\text{ปริมาณแพ็คเก็ต IERP x ขนาดของแพ็คเก็ต})\end{array}$$

4. การวัดอัตราการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลสำเร็จ (Packet Delivery Fraction) คือ อัตราส่วนของแพ็คเก็ตข้อมูลที่โหนดปลายทางได้รับต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งออกมาจากโหนดต้นทาง เพื่อคำนวณหาอัตราปริมาณงานที่โพรโทคอลการจัดเส้นทางสามารถส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้สำเร็จ ดังสมการ

$$\text{Packet Delivery Ratio} = \frac{\text{จำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่โหนดปลายทางได้รับ}}{\text{จำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่โหนดต้นทางส่ง}}$$

5. การวัดค่าเฉลี่ยระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง (Average end-to-end delay) คือ ค่าของหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งเกิดมาจากช่วงระยะเวลาที่ค้นหาเส้นทาง ช่วงระยะเวลาที่แพ็คเก็ตถูกเก็บอยู่ในคิว (queue) ช่วงระยะเวลาที่ส่งแพ็คเก็ตเก่าอีก

ครั้งเนื่องจากแพ็คเก็ตสูญหาย และรวมถึงระยะเวลาที่แพ็คเก็ตวิ่งอยู่บนเครือข่าย เพื่อคำนวณหาระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของโพรโทคอลการจัดเส้นทาง

$$\text{Average End-to-End Delay} = \frac{\text{ผลรวมของระยะเวลาการส่งข้อมูลจากโหนดต้นทางจนถึงโหนดปลายทาง}}{\text{จำนวนโหนดปลายทางที่ได้รับแพ็คเก็ตข้อมูล}}$$

**2. <u>สถานที่ทำการทดลอง</u>**

ตึกปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ห้อง 308 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

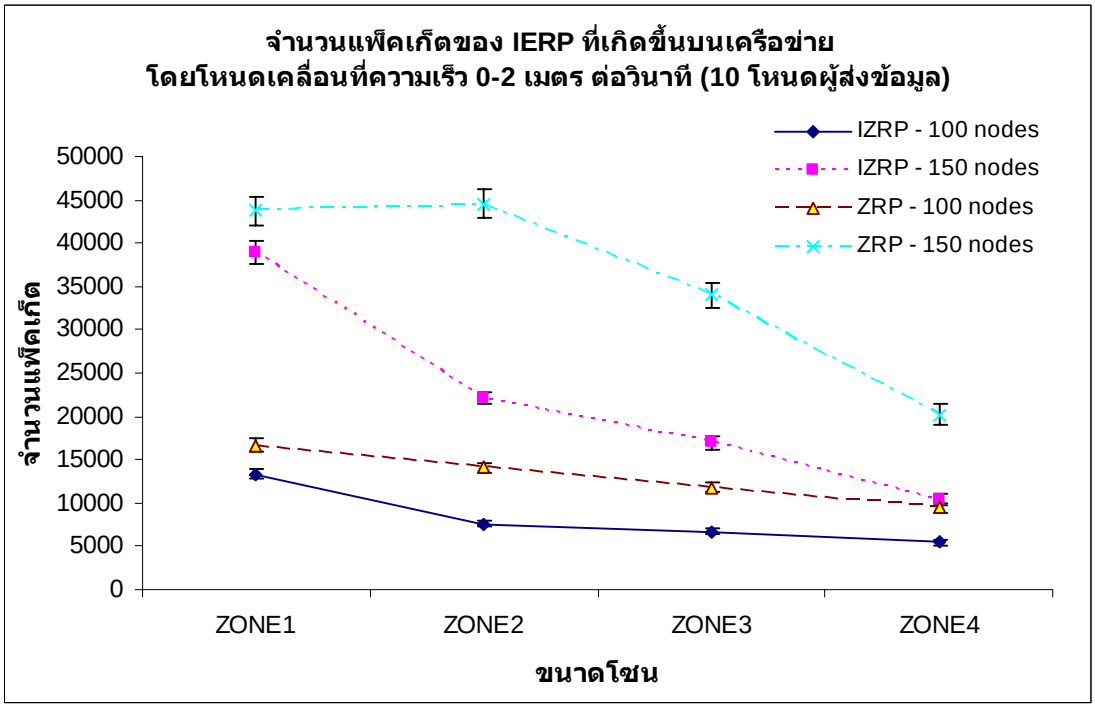
**3. <u>ระยะเวลาในการทดลอง</u>**

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | ระยะเวลาการดำเนินงาน (ปี พ.ศ. 2548 – 2549) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ผลลัพธ์ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ปี พ.ศ. 2548 | | | | | ปี พ.ศ. 2549 | | | | | | | | | | | | ปี พ.ศ. 2550 | | | |
| | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | |
| ตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ผลการตรวจเอกสาร |
| ศึกษาการทำงานของ ZRP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | เข้าใจการทำงานของ ZRP |
| ศึกษาเครื่องมือจำลองการทำงานบนเครือข่ายไร้สาย | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | เลือกใช้เครื่องมือจำลองการทำงานบนเครือข่ายไร้สาย |
| ศึกษาและพัฒนาการทำงานของ IZRP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | เข้าใจการทำงานของ IZRP |
| จำลองทำงานของ ZRP และ IZRP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ผลการทำงานของ ZRP และ IZRP |
| ทำการทดลอง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ผลการทดลองสรุปของ ZRP และ IZRP |
| วิเคราะห์ และสรุปผลการวิจัย | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ผลสรุปงานวิจัย |
| จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | รูปเล่มวิทยานิพนธ์ |

# ผลและวิจารณ์

## ผล

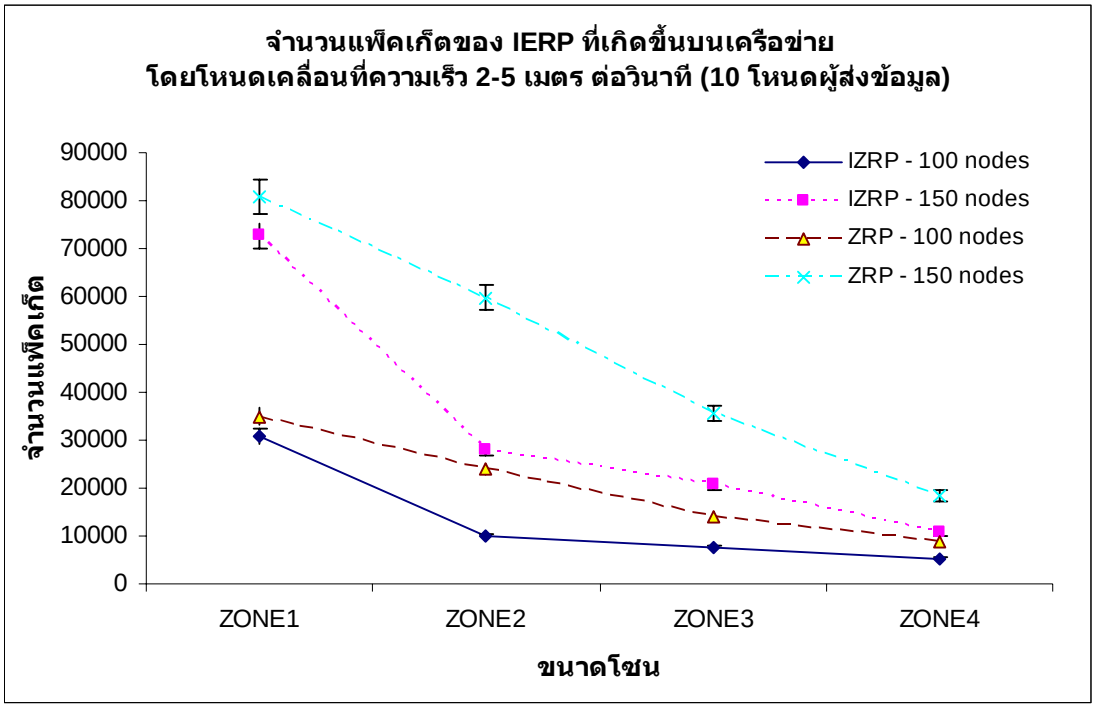
1. จำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดขึ้นใน IERP




ภาพที่ 18 จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 18 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นจากการทำงานของ IERP ทั้ง ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ช้าในช่วง 0-2 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของ IERP บน IZRP จะมีการใช้จำนวนแพ็คเก็ตน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP ซึ่ง IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ได้มากถึง 19.90%, 46.16%, 43.39% และ 41.91% ตามลำดับ ส่วนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด การทำงานของ IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ที่เกิดจากการทำงานของ IERP ได้มากกว่า ZRP ถึง 11.02%, 50.28%, 50.28% และ 48.60% ตามลำดับ ดังนั้นใน

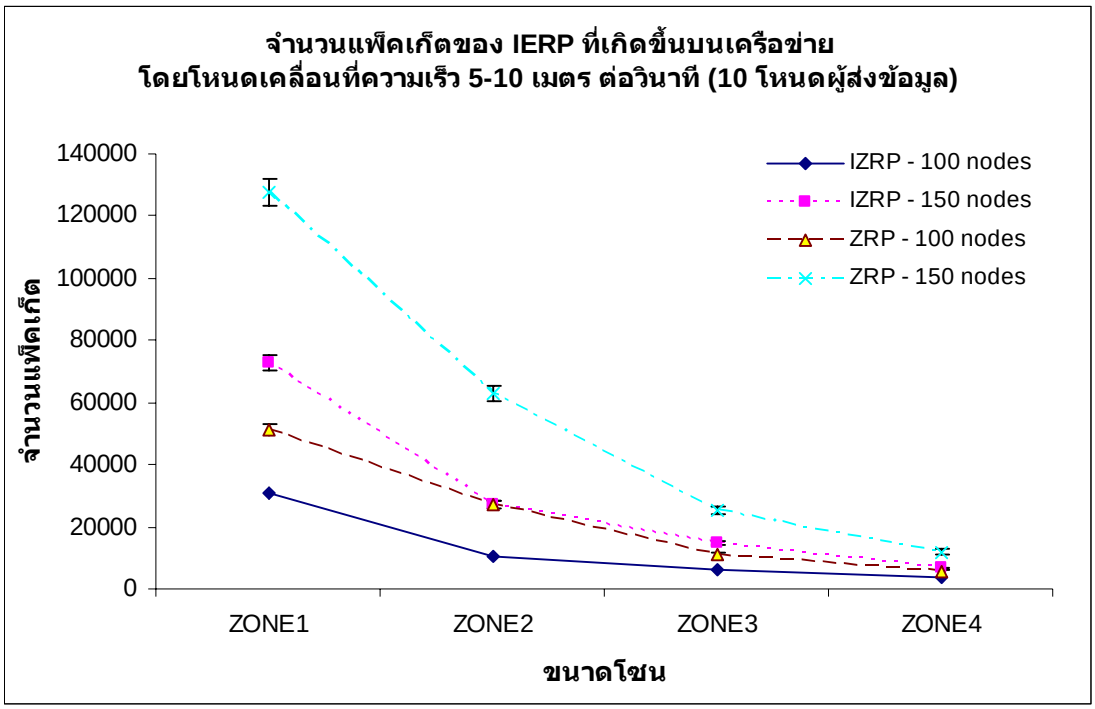
เครือข่ายที่มีโหนดจำนวนมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพดีกว่า ZRP เนื่องจาก IZRP สามารถลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนได้ โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ การทำงานของ IZRP จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก IERP ได้มากที่สุดถึง 50.28%




ภาพที่ 19 จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 19 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นจากการทำงานของ IERP ทั้ง ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางในช่วง 2-5 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของ IERP บน IZRP จะมีการใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP ซึ่ง IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ได้มากถึง 11.51%, 57.34%, 45.74% และ 39.05% ตามลำดับ ส่วนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด การทำงานของ IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ที่เกิดจากการทำงานของ IERP ได้มากกว่า ZRP ถึง 10.24%, 53.44%, 42.28% และ 42.03% ตามลำดับ ดังนั้นในเครือข่ายที่มีโหนดจำนวนมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพดีกว่า ZRP เนื่องจาก IZRP สามารถลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทาง

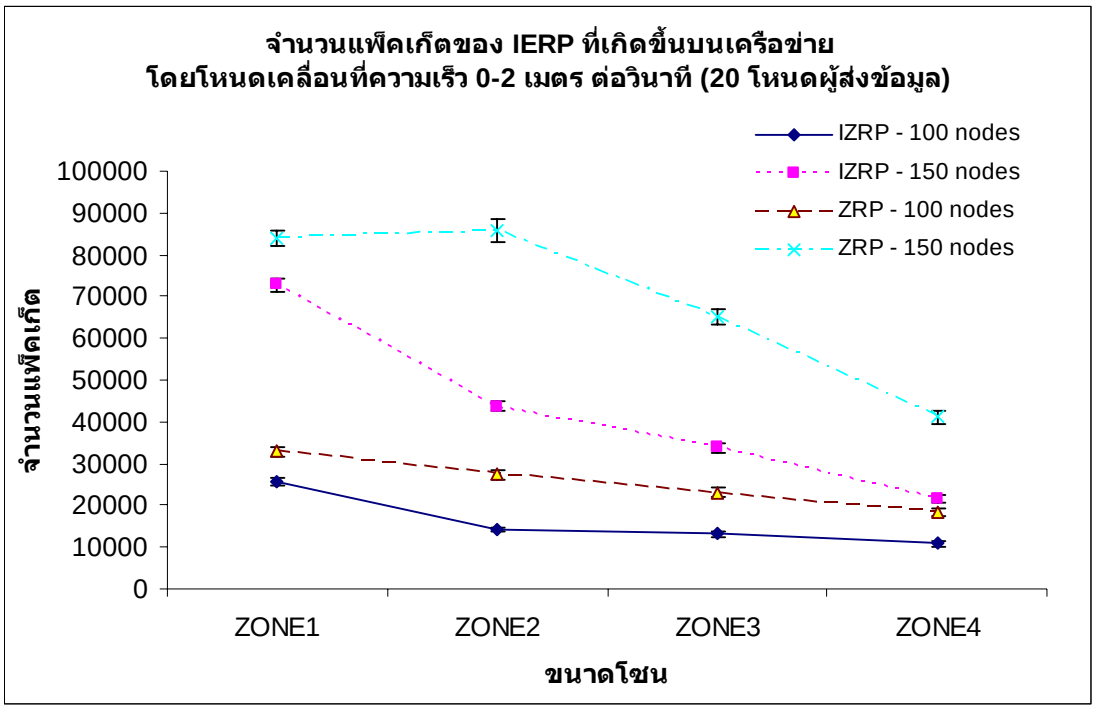
ที่ซับซ้อนได้ โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ การทำงานของ IZRP จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก IERP ได้มากที่สุด




ภาพที่ 20 จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 20 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นจากการทำงานของ IERP ทั้ง ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วในช่วง 5-10 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของ IERP บน IZRP จะมีการใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP ซึ่ง IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ได้มากถึง 39.70%, 60.61%, 44.59% และ 38.08% ตามลำดับ ส่วนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด การทำงานของ IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ที่เกิดจากการทำงานของ IERP ได้มากกว่า ZRP ถึง 43.08%, 57.31%, 42.17% และ 45.17% ตามลำดับ ดังนั้นในเครือข่ายที่มีโหนดจำนวนมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพดีกว่า ZRP เนื่องจาก IZRP สามารถลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนได้

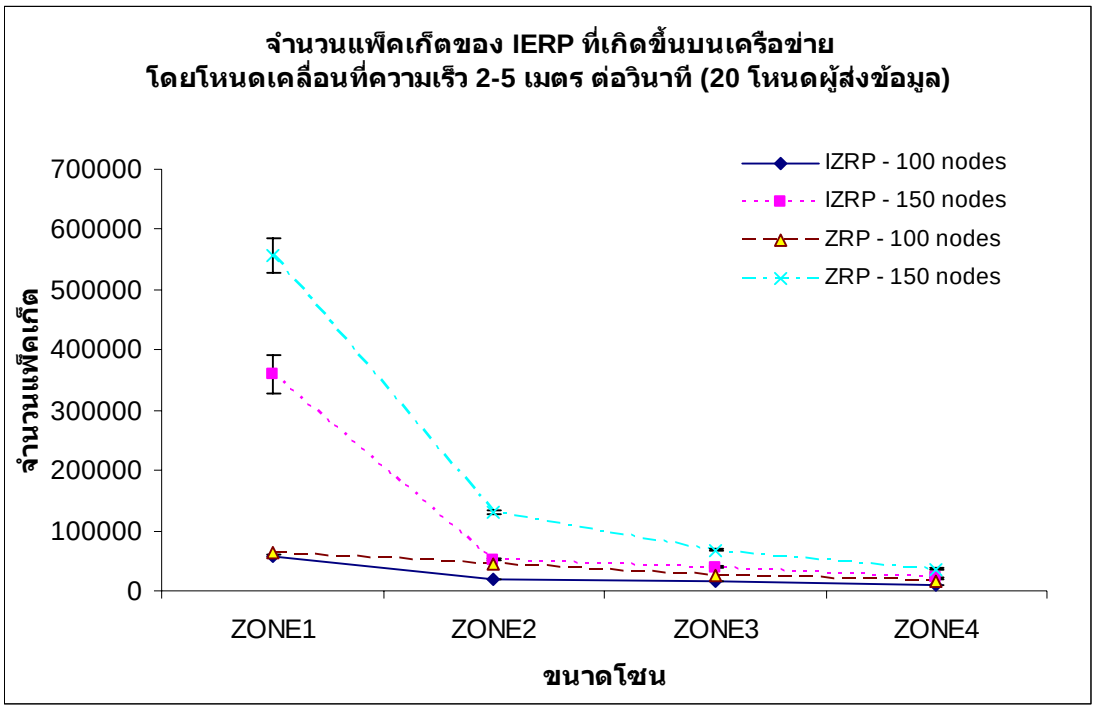
โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ การทำงานของ IZRP จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก IERP ได้มากที่สุด




ภาพที่ 21 จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 21 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นจากการทำงานของ IERP บนการทำงานของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ช้าในช่วง 0-2 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของ IERP บน IZRP จะมีการใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP ซึ่ง IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ได้มากถึง 21.32%, 47.81%, 43.17% และ 41.77% ตามลำดับ ส่วนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด การทำงานของ IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ที่เกิดจากการทำงานของ IERP ได้มากกว่า ZRP ถึง 13.00%, 49.04%, 48.14% และ 47.21% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่มีโหนดจำนวนมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพดีกว่า ZRP เนื่องจาก IZRP สามารถลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนได้ ส่งผลทำให้จำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับค้นหาเส้นทางมีจำนวนที่ลดน้อยลง

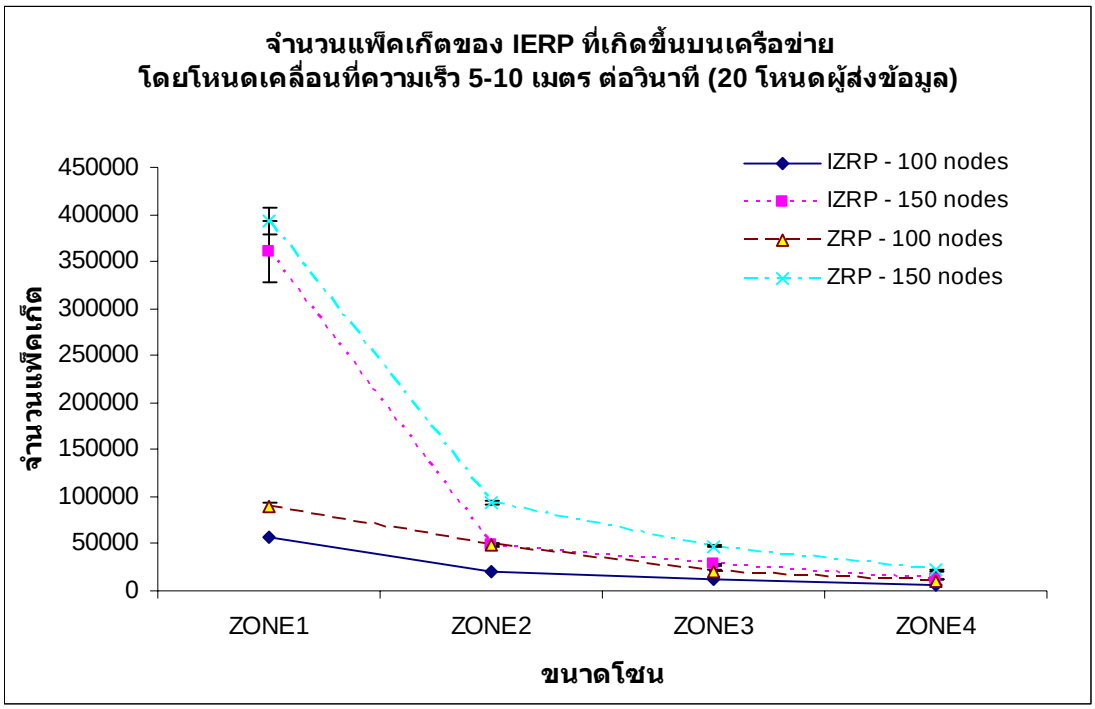
โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ การทำงานของ IZRP จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก IERP ได้มากที่สุด




ภาพที่ 22 จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 22 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นจากการทำงานของ IERP บนการทำงานของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางในช่วง 2-5 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของ IERP บน IZRP จะมีการใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP ซึ่ง IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ได้มากถึง 11.75%, 56.74%, 44.49% และ 39.02% ตามลำดับ ส่วนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด การทำงานของ IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ที่เกิดจากการทำงานของ IERP ได้มากกว่า ZRP ถึง 35.21%, 60.14%, 41.57% และ 40.81% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่มีโหนดจำนวนมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพดีกว่า ZRP เนื่องจาก IZRP สามารถลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนได้ ส่งผลทำให้จำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับค้นหาเส้นทางมีจำนวนที่ลด

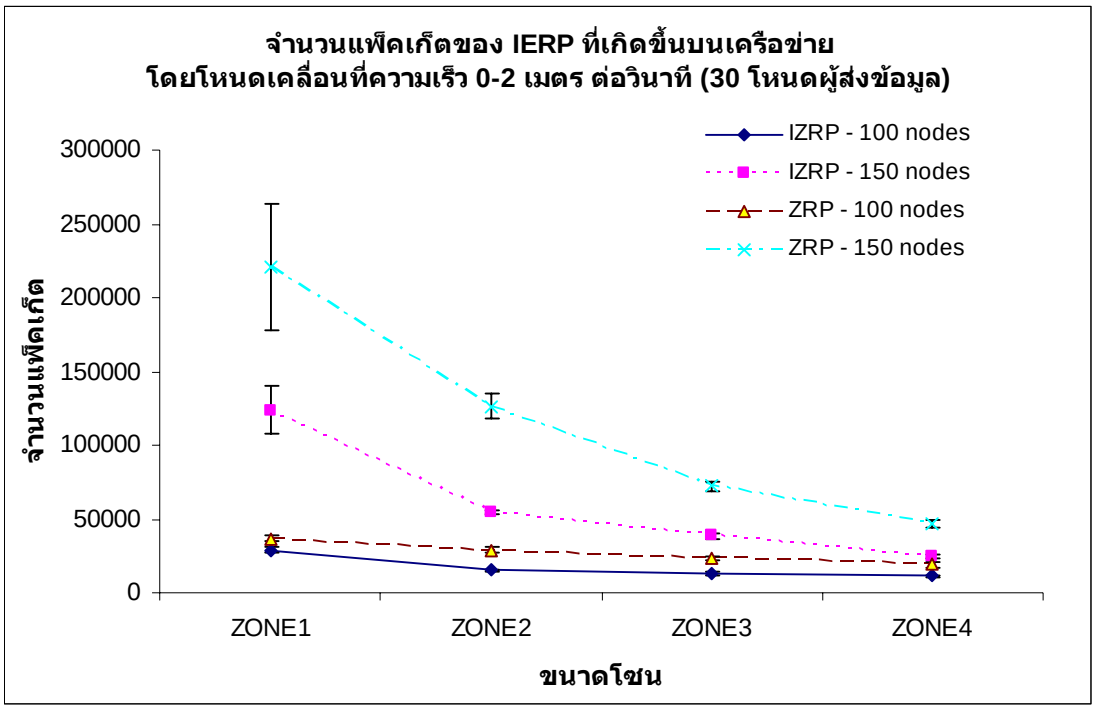
น้อยลง โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ การทำงานของ IZRP จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก IERP ได้มากที่สุด




ภาพที่ 23 จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 23 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นจากการทำงานของ IERP บนการทำงานของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วในช่วง 5-10 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของ IERP บน IZRP จะมีการใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP ซึ่ง IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ได้มากถึง 37.19%, 59.96%, 43.33% และ 39.34% ตามลำดับ ส่วนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด การทำงานของ IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ที่เกิดจากการทำงานของ IERP ได้มากกว่า ZRP ถึง 8.48%, 48.20%, 40.90% และ 44.02% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่มีโหนดจำนวนมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพดีกว่า ZRP เนื่องจาก IZRP สามารถลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนได้ ส่งผลทำให้จำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับค้นหาเส้นทางมีจำนวนที่ลดน้อยลง

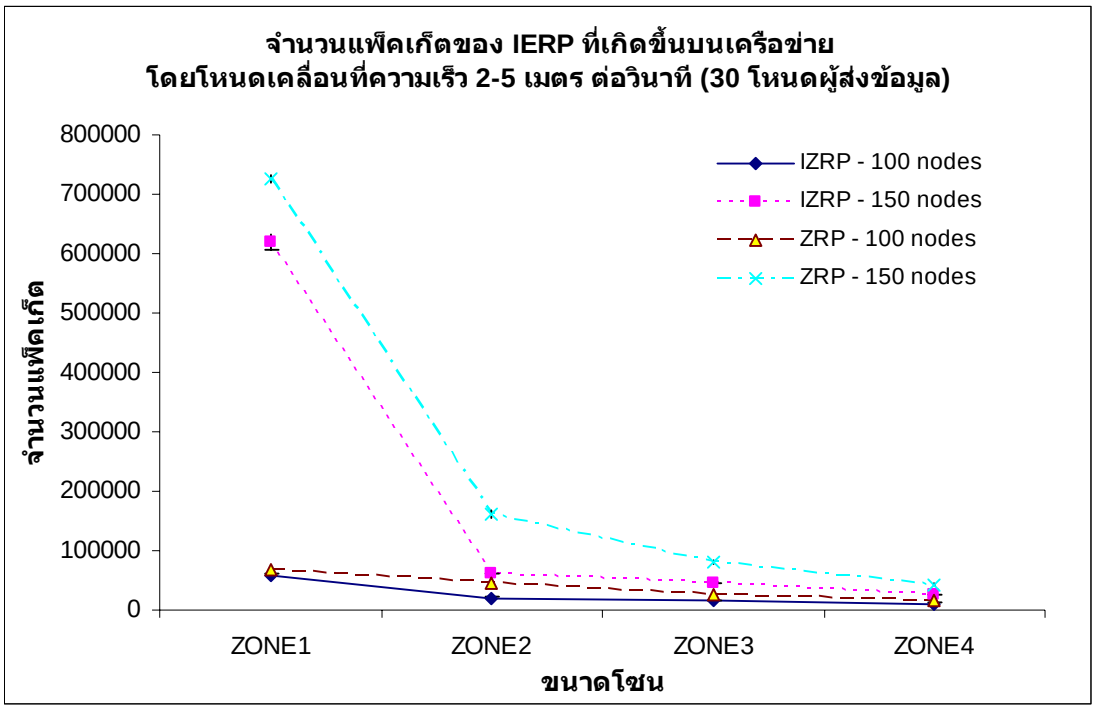
โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ การทำงานของ IZRP จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก IERP ได้มากที่สุด




ภาพที่ 24 จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 24 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นจากการทำงานของ IERP บนการทำงานของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ช้าในช่วง 0-2 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของ IERP บน IZRP จะมีการใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP ซึ่ง IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ได้มากถึง 20.83%, 48.26%, 43.89% และ 40.86% ตามลำดับ ส่วนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด การทำงานของ IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ที่เกิดจากการทำงานของ IERP ได้มากกว่า ZRP ถึง 43.74%, 56.74%, 46.07% และ 46.67% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่มีโหนดจำนวนมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพดีกว่า ZRP เนื่องจาก IZRP สามารถลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนได้ ส่งผลทำให้จำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับค้นหาเส้นทางมีจำนวนที่ลดน้อยลง

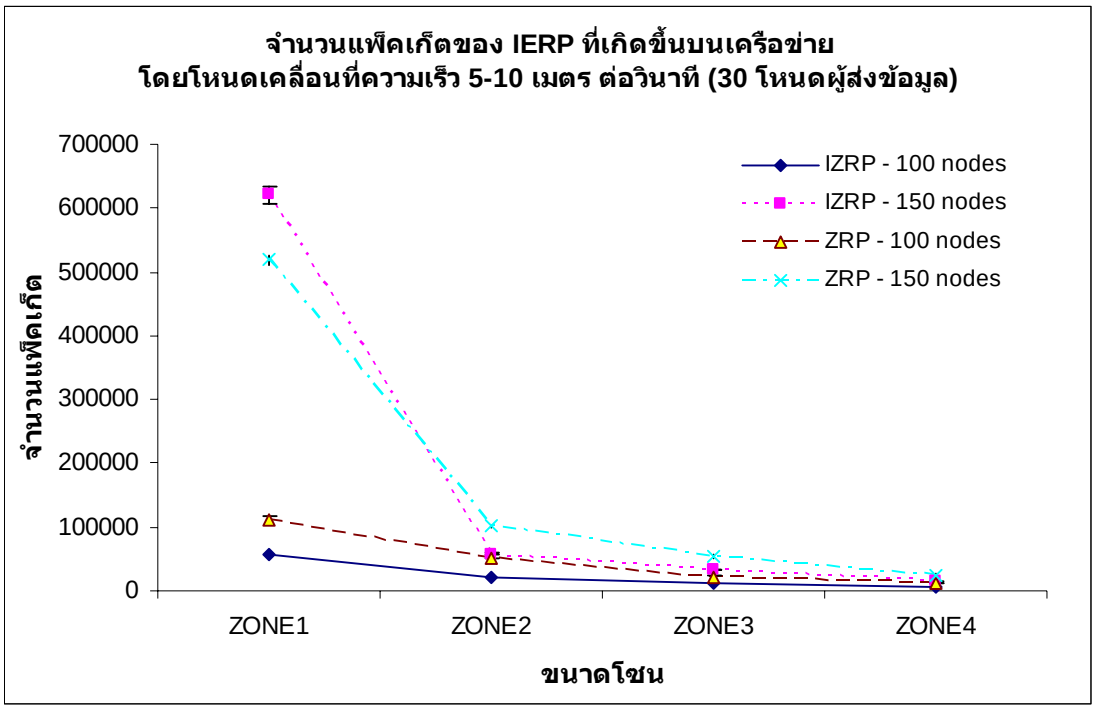
โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ การทำงานของ IZRP จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก IERP ได้มากที่สุด




ภาพที่ 25 จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 25 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นจากการทำงานของ IERP บนการทำงานของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางในช่วง 2-5 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของ IERP บน IZRP จะมีการใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP ซึ่ง IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ได้มากถึง 15.12%, 55.21%, 43.63% และ 39.60% ตามลำดับ ส่วนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด การทำงานของ IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ที่เกิดจากการทำงานของ IERP ได้มากกว่า ZRP ถึง 14.48%, 61.81%, 44.33% และ 39.85% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่มีโหนดจำนวนมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพดีกว่า ZRP เนื่องจาก IZRP สามารถลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนได้ ส่งผลทำให้จำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับค้นหาเส้นทางมีจำนวนที่ลด

น้อยลง โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ การทำงานของ IZRP จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก IERP ได้มากที่สุด

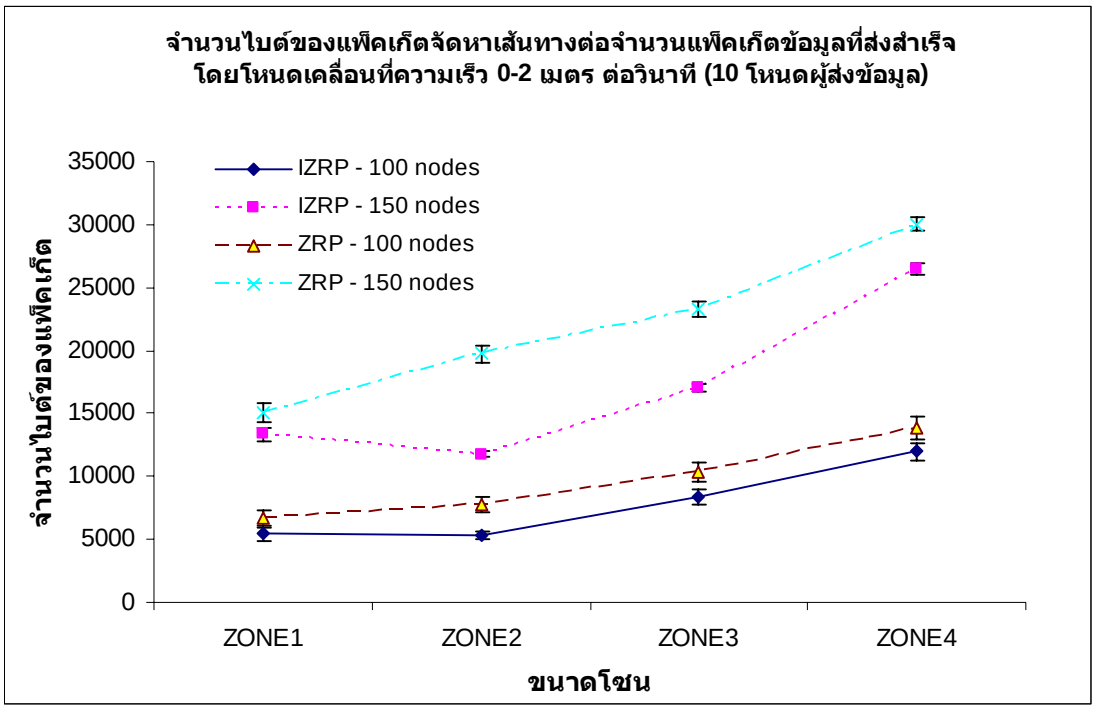



ภาพที่ 26 จำนวนแพ็คเก็ตของ IERP ที่เกิดขึ้นบนเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 26 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นจากการทำงานของ IERP บนการทำงานของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วในช่วง 5-10 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของ IERP บน IZRP จะมีการใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP ซึ่ง IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ได้มากถึง 48.47%, 56.98%, 41.66% และ 40.70% ตามลำดับ ส่วนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด การทำงานของ IZRP สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตตั้งแต่โซนขนาด 2 – 4 ฮอพ ที่เกิดจากการทำงานของ IERP ได้มากกว่า ZRP ถึง 43.49%, 38.81% และ 42.17% ตามลำดับ ส่วนโซนขนาด 1 ฮอพ จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางของ IZRP มีจำนวนมากกว่า ZRP เพียง 19.52% ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่มีโหนดจำนวนมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพดีกว่า ZRP เนื่องจาก IZRP สามารถลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหา

เส้นทางที่ซับซ้อนได้ ส่งผลทำให้จำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับค้นหาเส้นทางมีจำนวนที่ลดน้อยลง โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ การทำงานของ IZRP จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก IERP ได้มากที่สุด

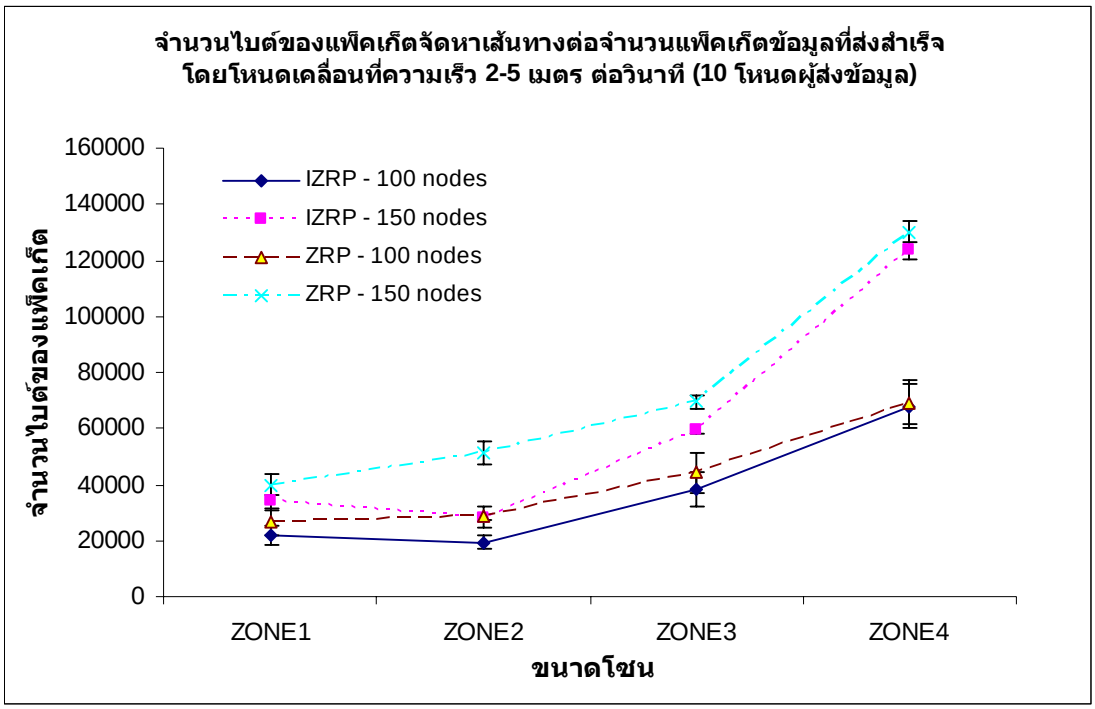
2. <u>จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จ</u>




<u>ภาพที่ 27</u> จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 27 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางเปรียบเทียบต่อกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางสำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ช้าในช่วง 0-2 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยผลจากกราฟเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ โดยเฉพาะเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 18.66%, 31.26%, 19.23% และ 13.07% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด ในโซนขนาดตั้งแต่ 1 – 4 ฮอพ การทำงานของ IZRP สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากถึง 11.37%, 40.26%,

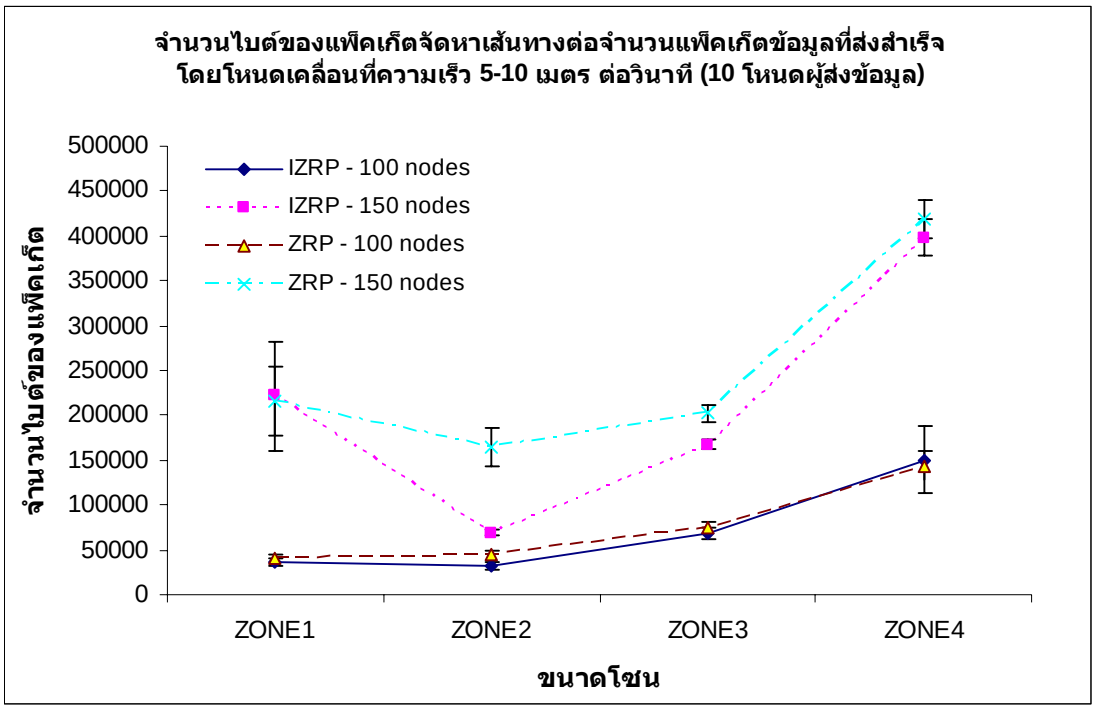
26.75% และ 11.73% ตามลำดับ ดังนั้นในเครือข่ายที่มีโหนดหนาแน่นมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าเมื่อคิดเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลต่อ 1 แพ็คเก็ต โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เนื่องจากเป็นขนาดโซนที่สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากที่สุด




ภาพที่ 28 จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 28 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางเปรียบเทียบต่อกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางสำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางในช่วง 2-5 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยผลจากกราฟเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ โดยเฉพาะเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 16.54%, 32.86%, 13.90% และ 1.98% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด ในโซนขนาดตั้งแต่ 1 – 4 ฮอพ การทำงานของ IZRP สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากถึง 13.68%,

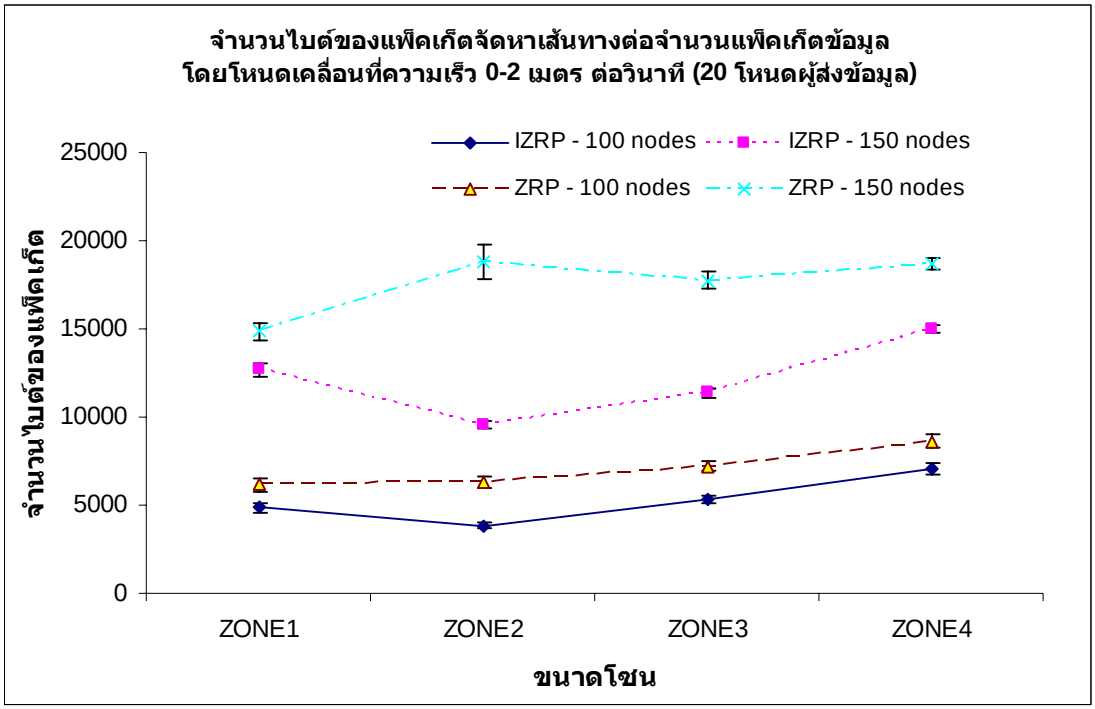
45.88%, 14.53% และ 4.95% ตามลำดับ ดังนั้นในเครือข่ายที่มีโหนดหนาแน่นมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าเมื่อคิดเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลต่อ 1 แพ็คเก็ต โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เนื่องจากเป็นขนาดโซนที่สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากที่สุด




ภาพที่ 29 จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 29 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางเปรียบเทียบต่อกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางสำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วในช่วง 5-10 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยผลจากกราฟเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 3 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 8.87%, 29.53% และ 8.98% ตามลำดับ แต่สำหรับโซนขนาด 4 ฮอพ การทำงานของ IZRP ใช้จำนวนแพ็คเก็ตนัดหาเส้นทางมากกว่า ZRP เพียง 4.32% เท่านั้น สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด ในโซนขนาดตั้งแต่ 2 – 4 ฮอพ การทำงานของ IZRP สามารถลดจำนวน

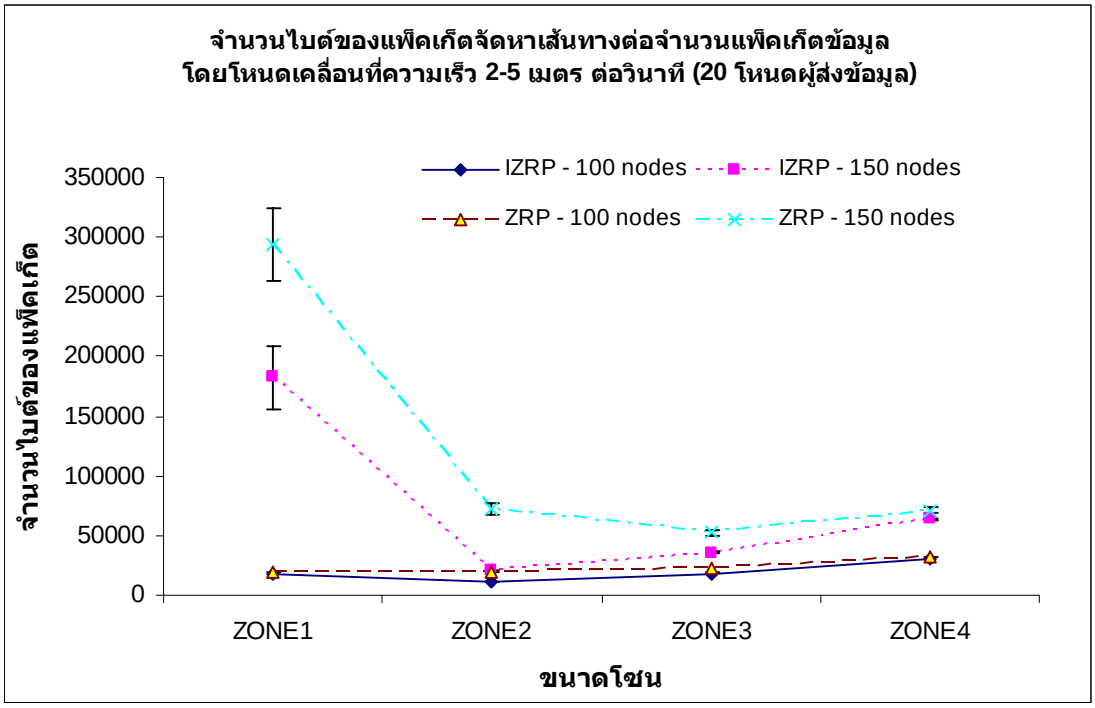
การใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากถึง 57.56%, 17.10% และ 4.95% ตามลำดับ ส่วนโซนขนาด 1 ฮอพ การทำงานของ IZRP ใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางมากกว่า ZRP 2.61% ดังนั้นในเครือข่ายที่มีโหนดหนาแน่นมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าเมื่อคิดเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลต่อ 1 แพ็คเก็ต โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เนื่องจากเป็นขนาดโซนที่สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากที่สุด




ภาพที่ 30 จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 30 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางเปรียบเทียบต่อกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางสำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ช้าในช่วง 0-2 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยผลจากกราฟเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ โดยเฉพาะเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 21.05%, 38.88%, 26.59% และ 18.19% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด ในโซนขนาดตั้งแต่ 1 – 4 ฮอพ การทำงาน

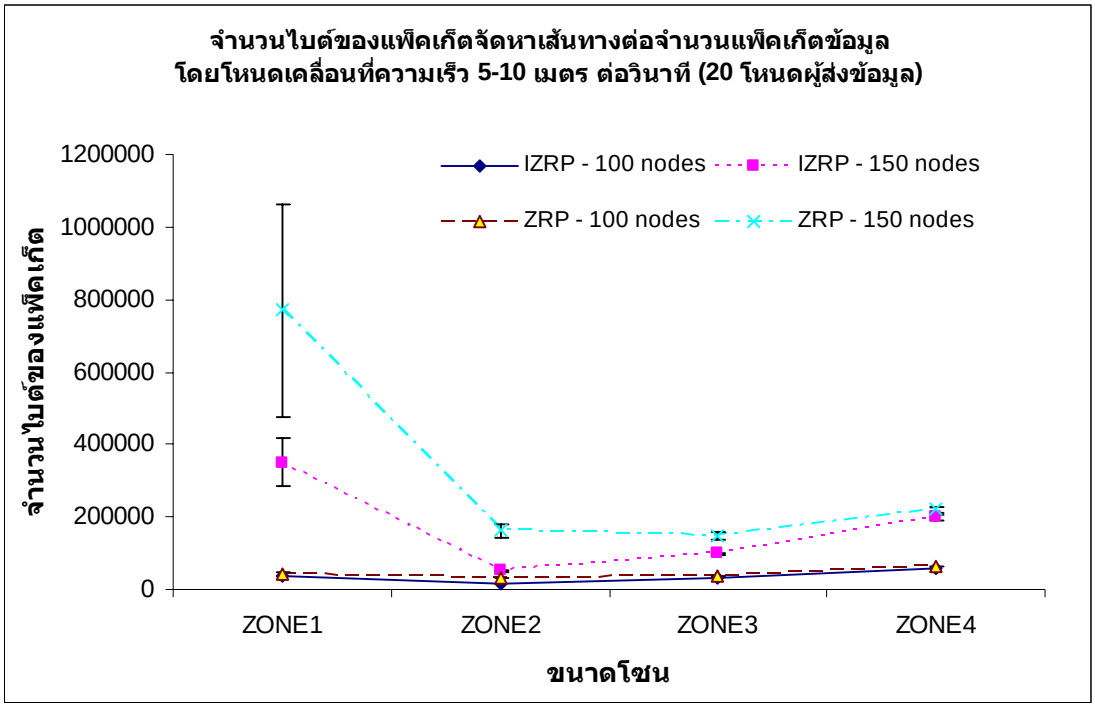
ของ IZRP สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากถึง 14.64%, 49.33%, 35.99% และ 19.60% ตามลำดับ ดังนั้นในเครือข่ายที่มีโหนดหนาแน่นมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าเมื่อคิดเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลต่อ 1 แพ็คเก็ต โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เนื่องจากเป็นขนาดโซนที่สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากที่สุด




ภาพที่ 31 จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 31 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางเปรียบเทียบต่อกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางสำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางในช่วง 2-5 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยผลจากกราฟเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ โดยเฉพาะเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 12.74%, 43.07%, 18.33% และ 6.91% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด ในโซนขนาดตั้งแต่ 1 – 4 ฮอพ

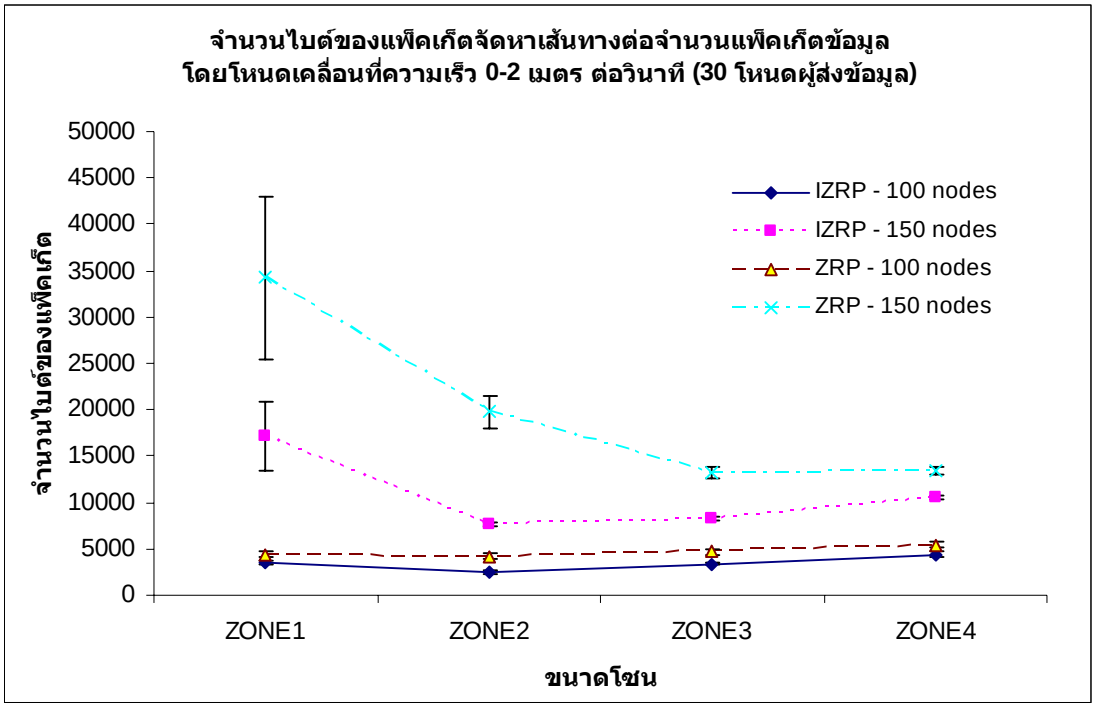
การทำงานของ IZRP สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากถึง 37.99%, 71.44%, 31.48% และ 10.99% ตามลำดับ ดังนั้นในเครือข่ายที่มีโหนดหนาแน่นมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าเมื่อคิดเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลต่อ 1 แพ็คเก็ต โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เนื่องจากเป็นขนาดโซนที่สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากที่สุด




ภาพที่ 32 จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 32 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางเปรียบเทียบต่อกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางสำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วในช่วง 5-10 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยผลจากกราฟเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ โดยเฉพาะเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 15.40%, 48.65%, 8.21% และ 3.03% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด ในโซนขนาดตั้งแต่ 1 – 4 ฮอพ การทำงาน

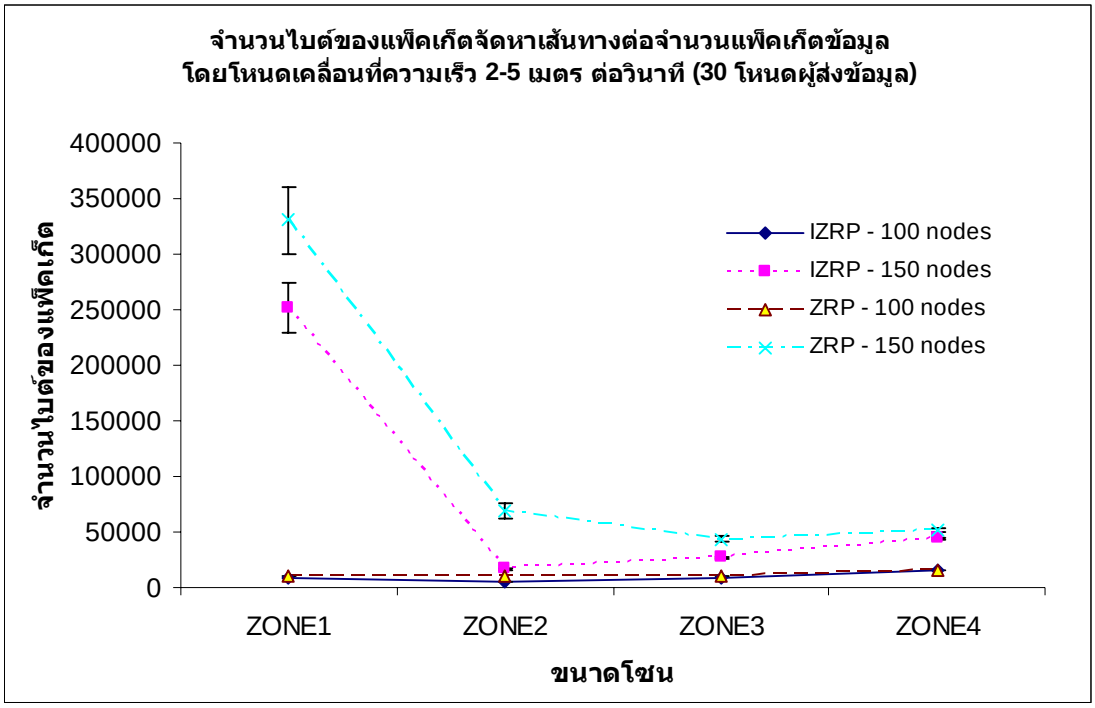
ของ IZRP สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากถึง 54.50%, 68.07%, 32.71% และ 9.95% ตามลำดับ ดังนั้นในเครือข่ายที่มีโหนดหนาแน่นมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าเมื่อคิดเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลต่อ 1 แพ็คเก็ต โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เนื่องจากเป็นขนาดโซนที่สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากที่สุด




ภาพที่ 33 จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 33 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางเปรียบเทียบต่อกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางสำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ช้าในช่วง 0-2 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยผลจากกราฟเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ โดยเฉพาะเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 20.85%, 40.02%, 27.35% และ 18.96% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด ในโซนขนาดตั้งแต่ 1 – 4 ฮอพ การทำงาน

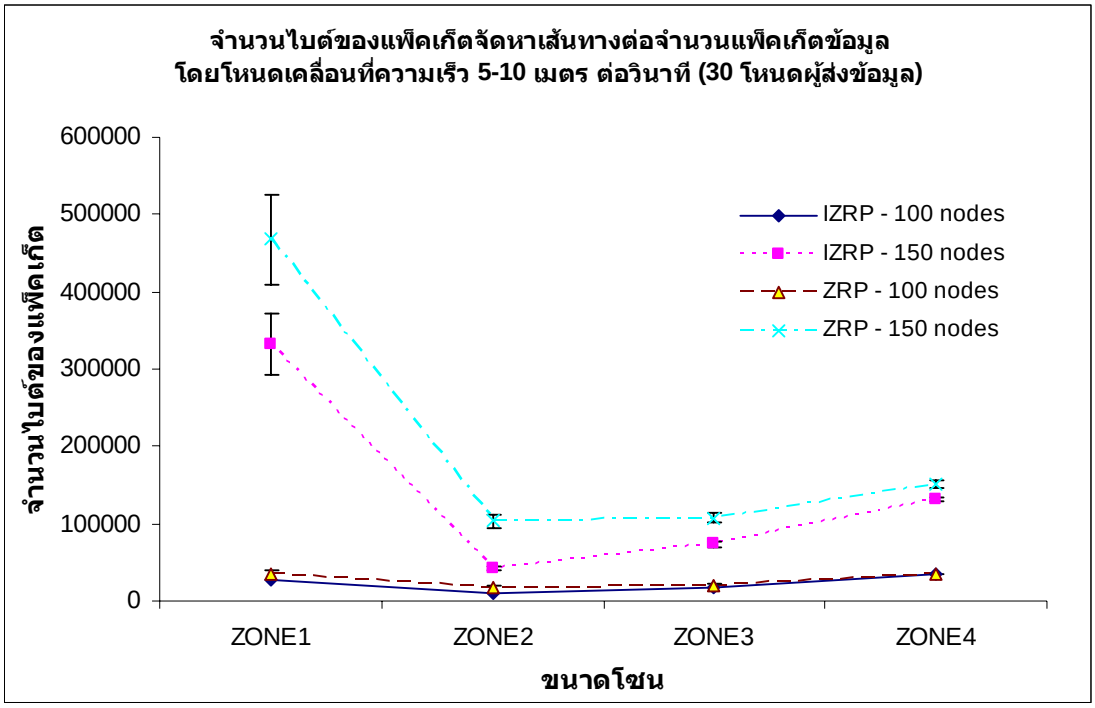
ของ IZRP สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากถึง 49.95%, 61.07%, 37.46% และ 22.09% ตามลำดับ ดังนั้นในเครือข่ายที่มีโหนดหนาแน่นมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าเมื่อคิดเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลต่อ 1 แพ็คเก็ต โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เนื่องจากเป็นขนาดโซนที่สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากที่สุด




ภาพที่ 34 จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 34 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางเปรียบเทียบต่อกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางสำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางในช่วง 2-5 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยผลจากกราฟเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ โดยเฉพาะเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 18.99%, 42.25%, 17.87% และ 7.20% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด ในโซนขนาดตั้งแต่ 1 – 4 ฮอพ

การทำงานของ IZRP สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากถึง 23.73%, 75.49%, 37.77% และ 14.41% ตามลำดับ ดังนั้นในเครือข่ายที่มีโหนดหนาแน่นมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าเมื่อคิดเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลต่อ 1 แพ็คเก็ต โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เนื่องจากเป็นขนาดโซนที่สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากที่สุด

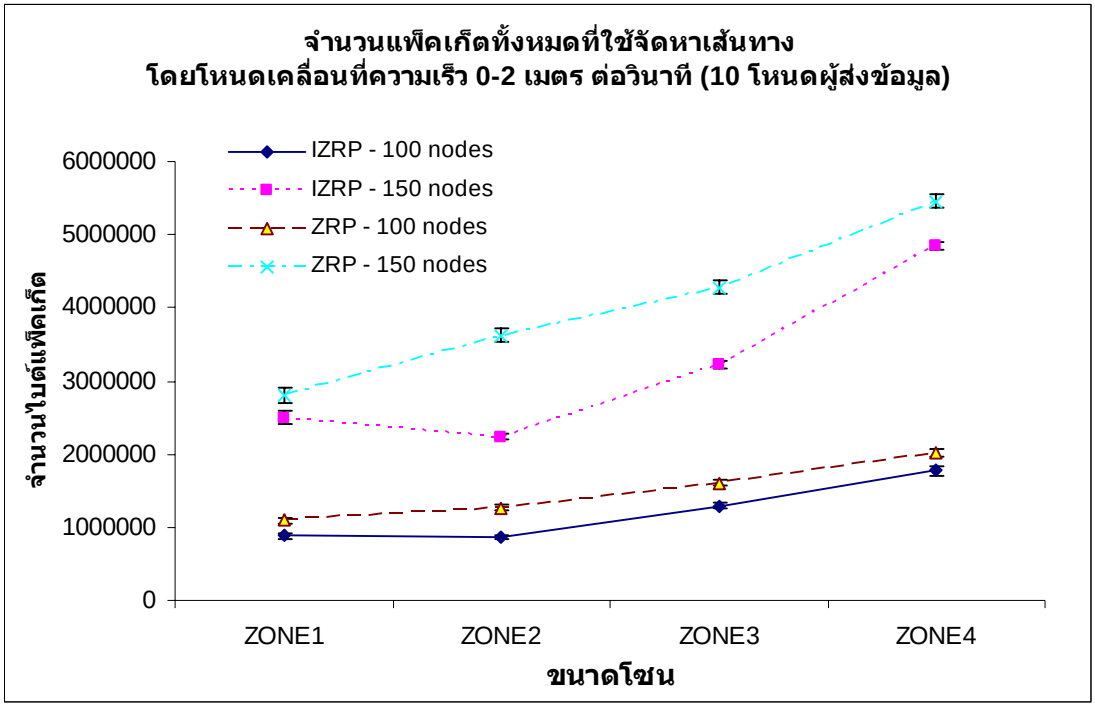



ภาพที่ 35 จำนวนไบต์ของแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 35 แสดงจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางเปรียบเทียบต่อกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางสำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วในช่วง 5-10 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยผลจากกราฟเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางน้อยกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ โดยเฉพาะเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 22.27%, 48.38%, 11.18% และ 2.56% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด ในโซนขนาดตั้งแต่ 1 – 4 ฮอพ การทำงาน

ของ IZRP สามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากถึง 29.10%, 60.07%, 31.96% และ 12.78% ตามลำดับ ดังนั้นในเครือข่ายที่มีโหนดหนาแน่นมากการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าเมื่อคิดเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลต่อ 1 แพ็คเก็ต โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เนื่องจากเป็นขนาดโซนที่สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางจาก ZRP ได้มากที่สุด

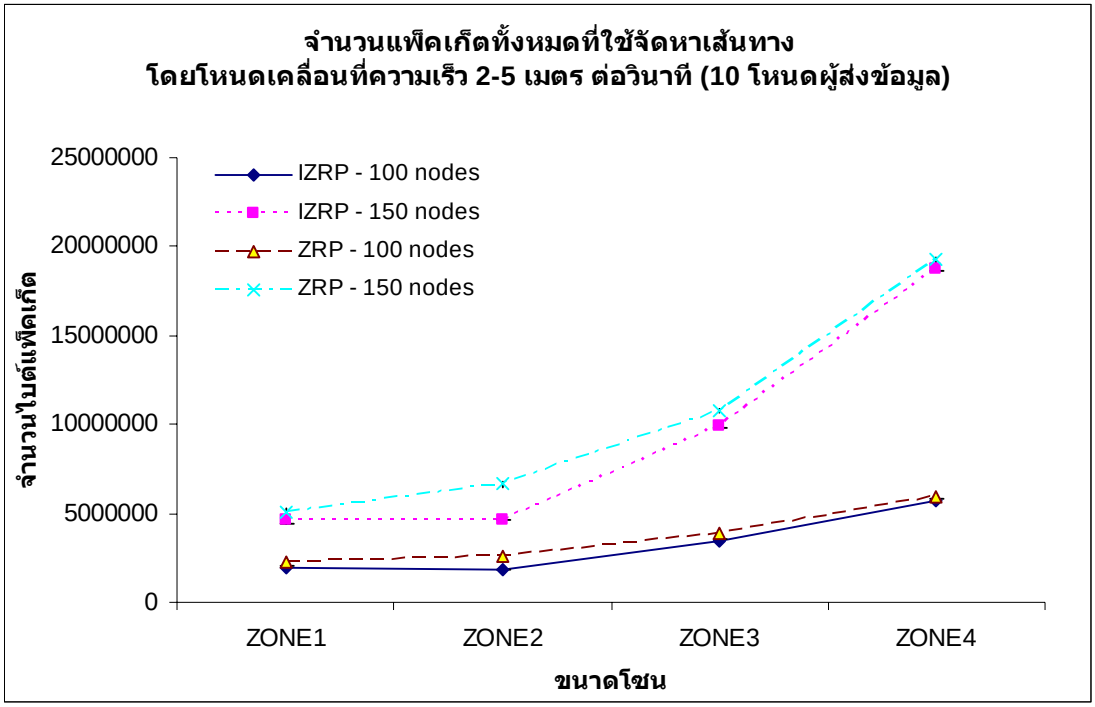
3. การวัดจำนวนโอเวอร์เฮด




ภาพที่ 36 จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 36 แสดงการใช้จำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางในเครือข่าย ซึ่งประกอบด้วยจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก NDP IARP และ IERP ของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ช้าในช่วง 0-2 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับจัดหาเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนน้อยกว่า ZRP โดยเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มี

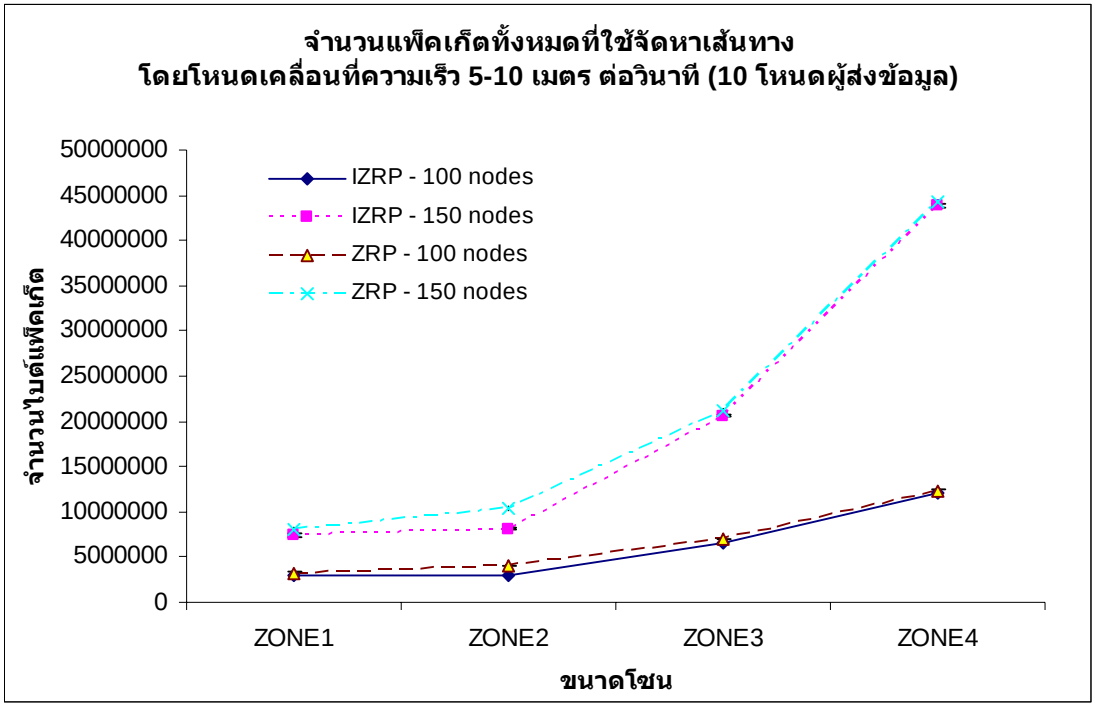
ประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 18.86%, 32.19%, 19.71% และ 12.16% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1-4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 10.69%, 38.29%, 24.80% และ 11.19% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าโดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เพราะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้จัดหาเส้นทางได้มากที่สุด




ภาพที่ 37 จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 37 แสดงการใช้จำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางในเครือข่าย ซึ่งประกอบด้วยจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก NDP IARP และ IERP ของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางในช่วง 2-5 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับจัดหาเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนน้อยกว่า ZRP โดยเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มี

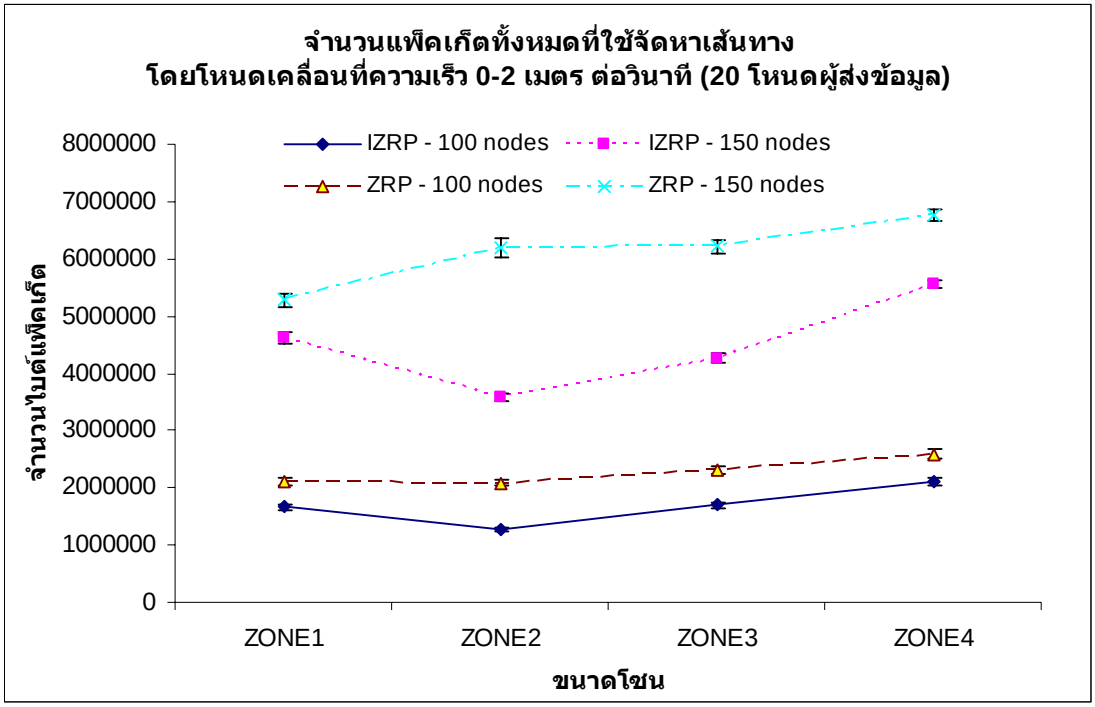
ประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 11.21%, 32.19%, 10.30% และ 3.59% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1-4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 10.06%, 29.88%, 8.62% และ 2.50% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าโดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เพราะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้จัดหาเส้นทางได้มากที่สุด




ภาพที่ 38 จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 38 แสดงการใช้จำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางในเครือข่ายซึ่งประกอบด้วยจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก NDP IARP และ IERP ของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วในช่วง 5-10 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับจัดหาเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนน้อยกว่า ZRP โดยเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มี

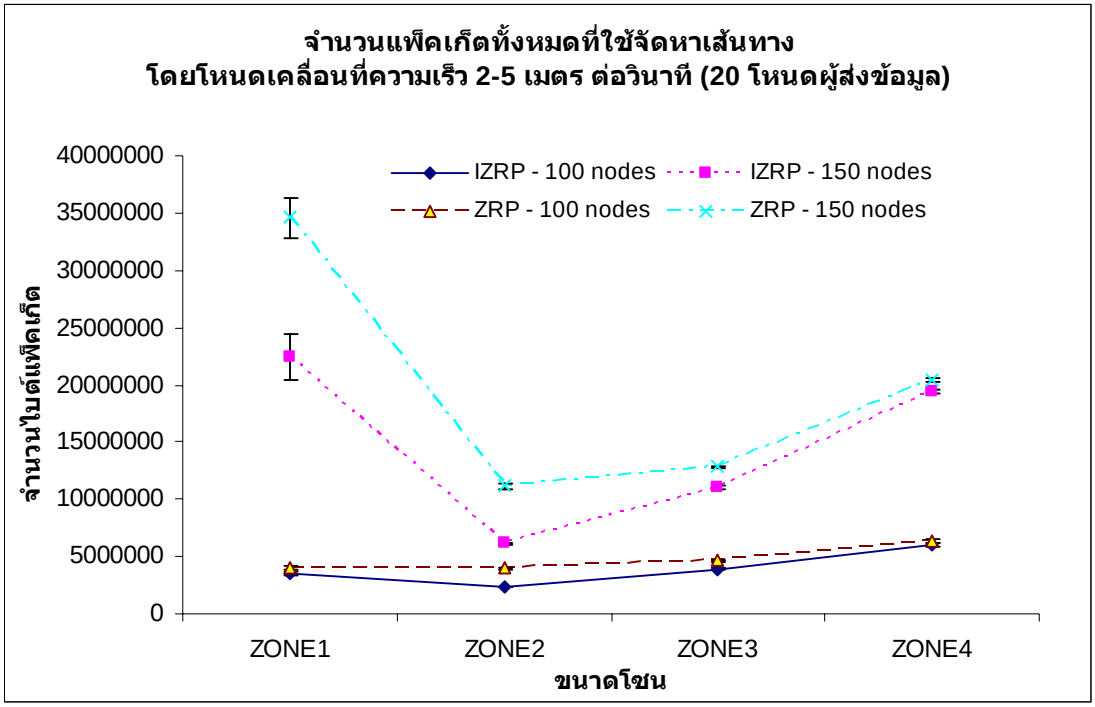
ประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 6.82%, 25.76%, 4.52% และ 1.18% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1-4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 7.92%, 21.73%, 2.99% และ 0.70% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าโดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เพราะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้จัดหาเส้นทางได้มากที่สุด




ภาพที่ 39 จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 39 แสดงการใช้จำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางในเครือข่าย ซึ่งประกอบด้วยจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก NDP IARP และ IERP ของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ช้าในช่วง 0-2 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับจัดหาเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนน้อยกว่า ZRP โดยเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มี

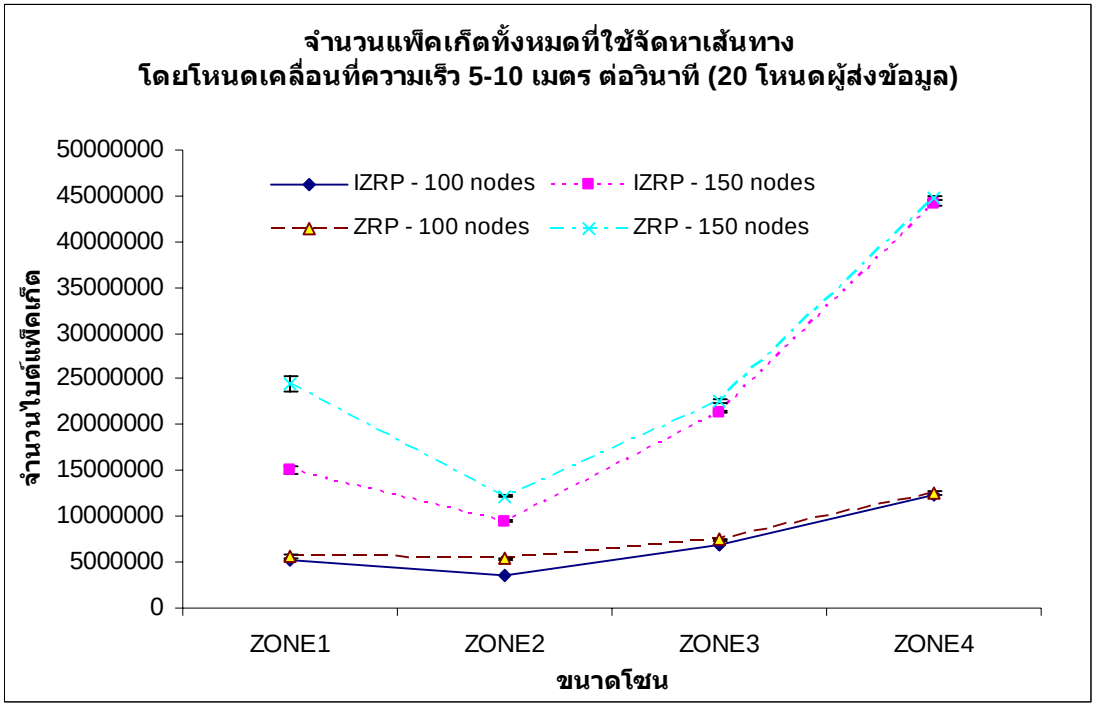
ประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 20.74%, 38.79%, 26.76% และ 18.60% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1-4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 12.80%, 42.22%, 31.36% และ 17.84% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าโดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เพราะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้จัดหาเส้นทางได้มากที่สุด




ภาพที่ 40 จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 40 แสดงการใช้จำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางในเครือข่าย ซึ่งประกอบด้วยจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก NDP IARP และ IERP ของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางในช่วง 2-5 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับจัดหาเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนน้อยกว่า ZRP โดยเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มี

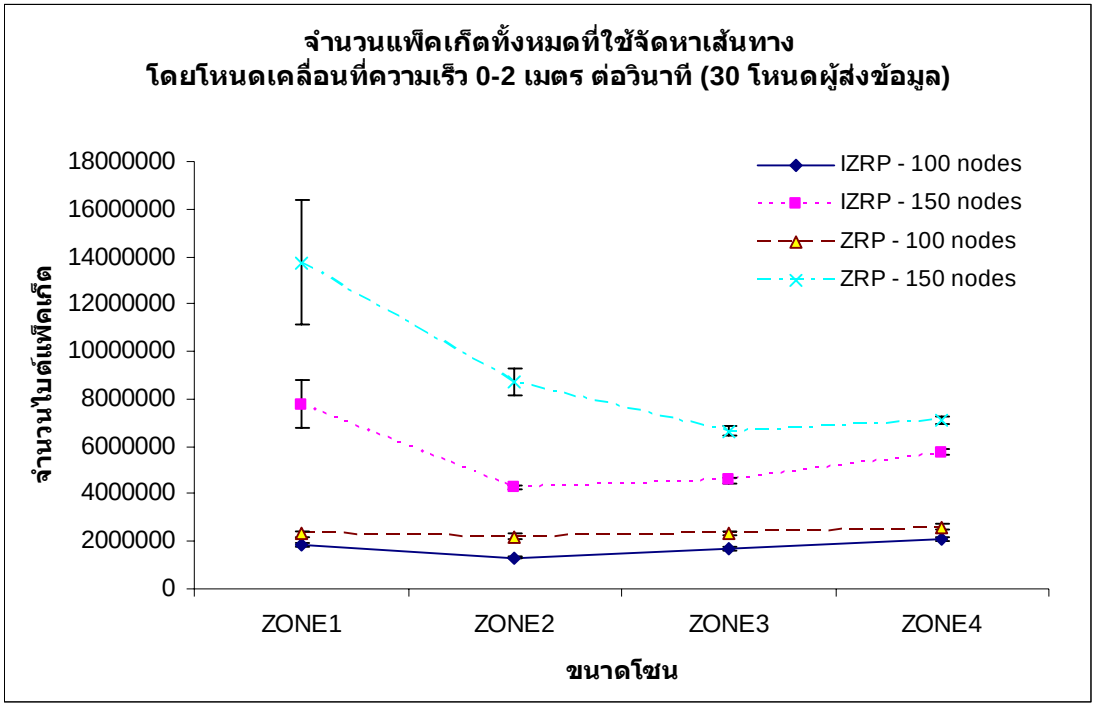
ประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 11.58%, 40.12%, 15.82% และ 6.34% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1-4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 35.10%, 44.59%, 13.73% และ 4.46% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าโดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เพราะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้จัดหาเส้นทางได้มากที่สุด




ภาพที่ 41 จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 41 แสดงการใช้จำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางในเครือข่าย ซึ่งประกอบด้วยจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก NDP IARP และ IERP ของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วในช่วง 5-10 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับจัดหาเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนน้อยกว่า ZRP โดยเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มี

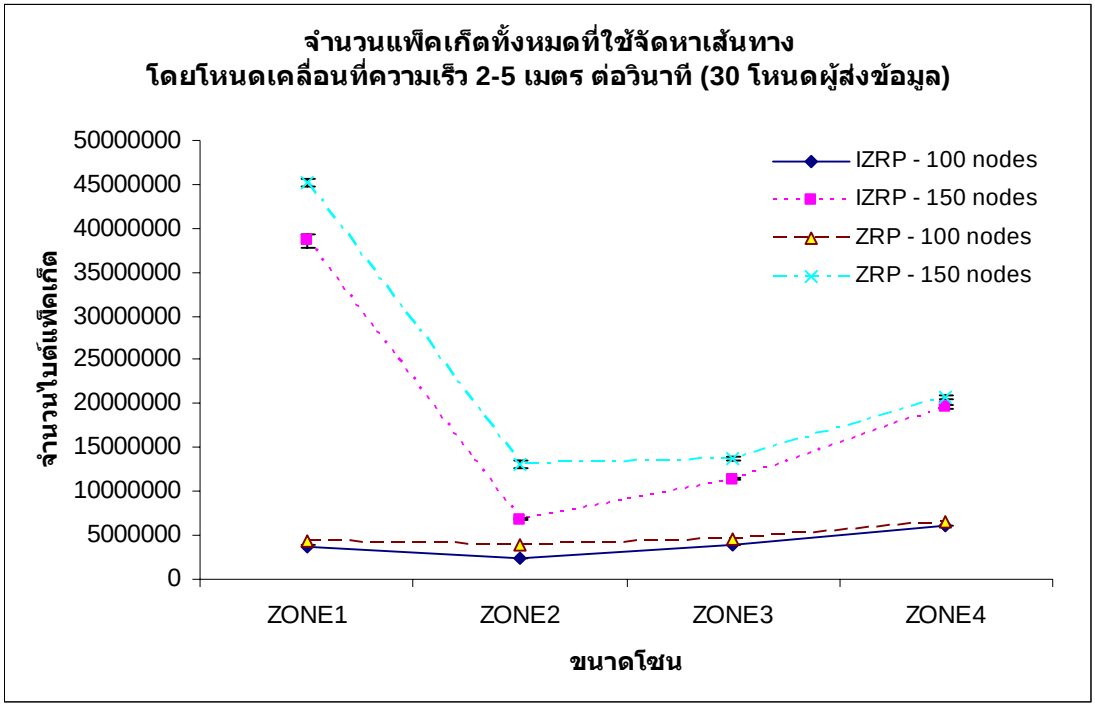
ประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 9.26%, 36.64%, 7.46% และ 2.17% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1-4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 38.45%, 22.62%, 5.17% และ 1.27% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าโดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เพราะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้จัดหาเส้นทางได้มากที่สุด




ภาพที่ 42 จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 42 แสดงการใช้จำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางในเครือข่าย ซึ่งประกอบด้วยจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก NDP IARP และ IERP ของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ช้าในช่วง 0-2 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับจัดหาเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนน้อยกว่า ZRP โดยเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มี

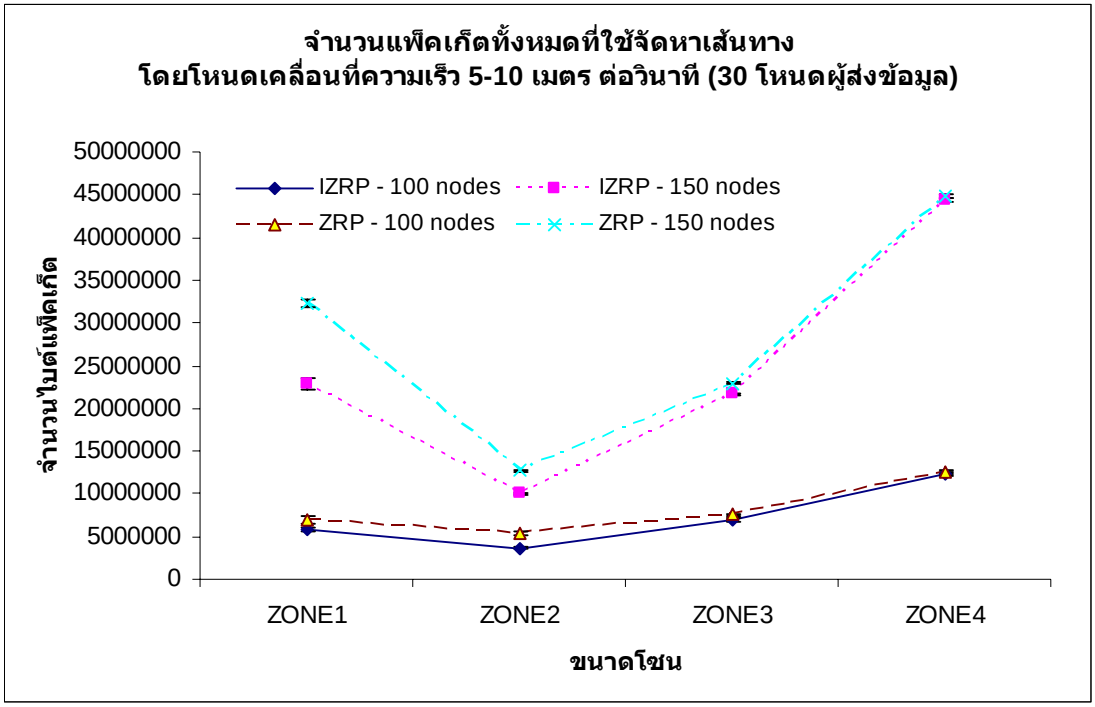
ประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 20.31%, 39.56%, 27.36% และ 18.35% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1-4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 43.45%, 51.20%, 31.10% และ 19.18% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าโดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เพราะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้จัดหาเส้นทางได้มากที่สุด




ภาพที่ 43 จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 43 แสดงการใช้จำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางในเครือข่าย ซึ่งประกอบด้วยจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก NDP IARP และ IERP ของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางในช่วง 2-5 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับจัดหาเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนน้อยกว่า ZRP โดยเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มี

ประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 14.91%, 38.76%, 15.43% และ 6.68% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1-4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 14.44%, 48.33%, 16.62% และ 5.03% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าโดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เพราะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้จัดหาเส้นทางได้มากที่สุด

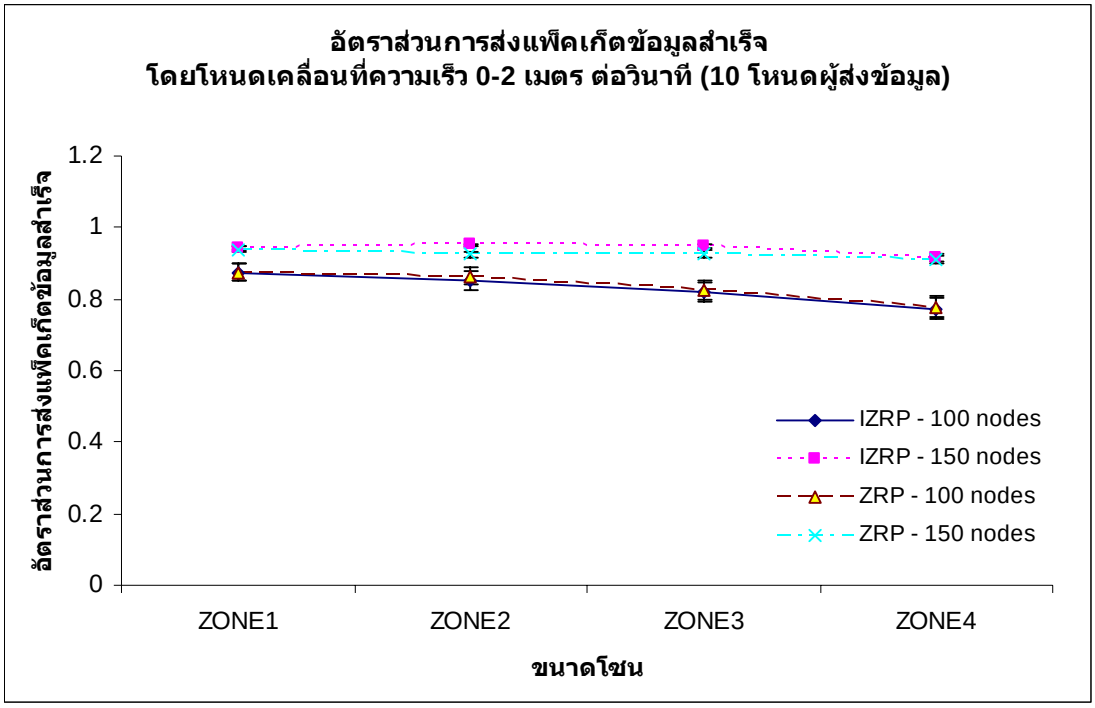



ภาพที่ 44 จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 44 แสดงการใช้จำนวนแพ็คเก็ตสำหรับจัดหาเส้นทางในเครือข่าย ซึ่งประกอบด้วยจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจาก NDP IARP และ IERP ของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วในช่วง 5-10 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด ซึ่งแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% โดยจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้สำหรับจัดหาเส้นของ IZRP จะใช้จำนวนน้อยกว่า ZRP โดยเมื่อเครือข่ายที่มีจำนวน 100 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มี

ประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 16.35%, 32.96%, 7.44% และ 2.36% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1-4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดจำนวนการใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางได้มากถึง 29.11%, 21.05%, 5.57% และ 1.26% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะสามารถใช้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางสำหรับค้นหาเส้นทางเพื่อการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้น้อยกว่าโดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ เพราะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้จัดหาเส้นทางได้มากที่สุด

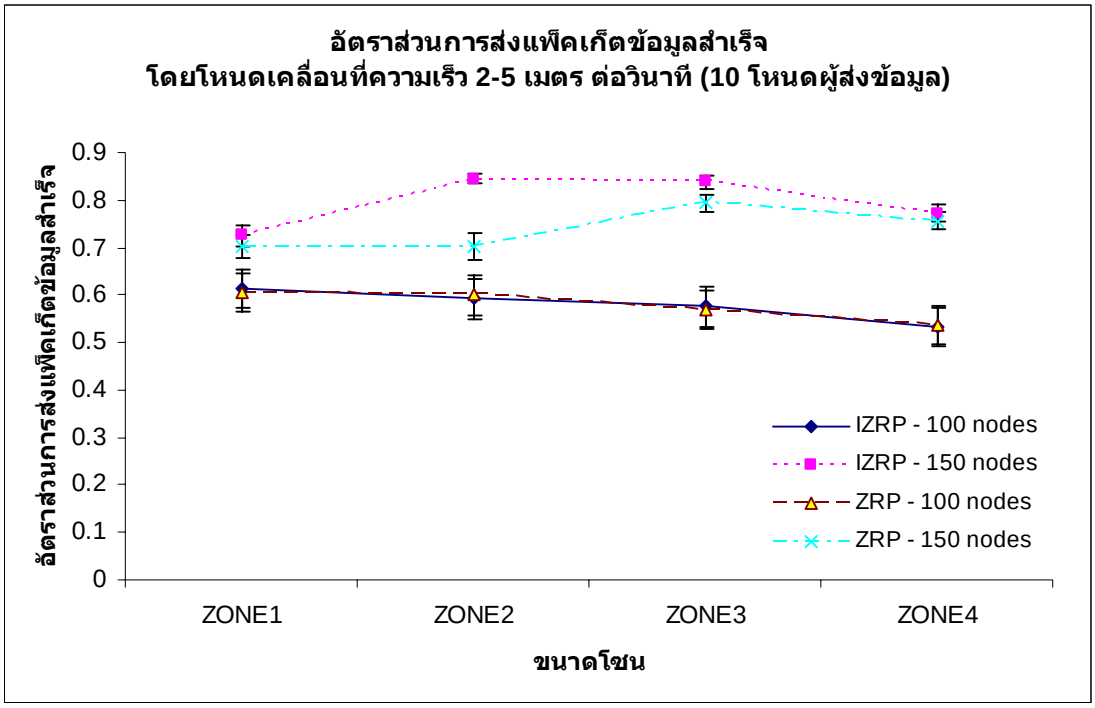
4. <u>การวัดอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลสำเร็จ</u>




<u>ภาพที่ 45</u> อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 45 แสดงอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางได้สำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ช้าในช่วง 0-2 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่ง

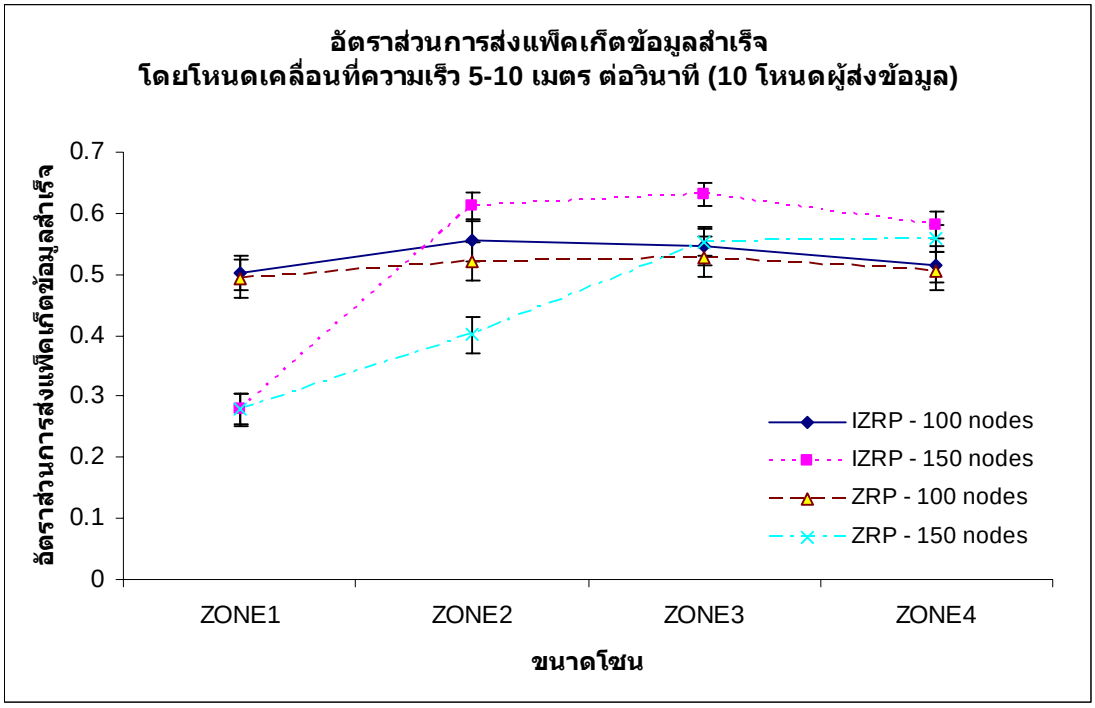
เมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของทั้ง IZRP และ ZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานที่ใกล้เคียงกัน โดยการทำงานของ IZRP ในโซนขนาด 1 ฮอพ มีอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตมากกว่า ZRP เพียง 0.09% แต่สำหรับโซน 2-4 ฮอพ IZRP มีอัตราการส่งแพ็คเก็ตน้อยกว่า ZRP เพียง 1.45%, 0.79% และ 0.47% ตามลำดับ แต่สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่า ZRP มากถึง 0.25%, 2.82%, 2.38% และ 0.57% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะ IZRP ลดจำนวนการส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนทำให้การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปจนถึงโหนดปลายทางสำเร็จและมีประสิทธิภาพมากขึ้น




ภาพที่ 46 อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 46 แสดงอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางได้สำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางในช่วง 2-5 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของทั้ง IZRP และ ZRP จะมี

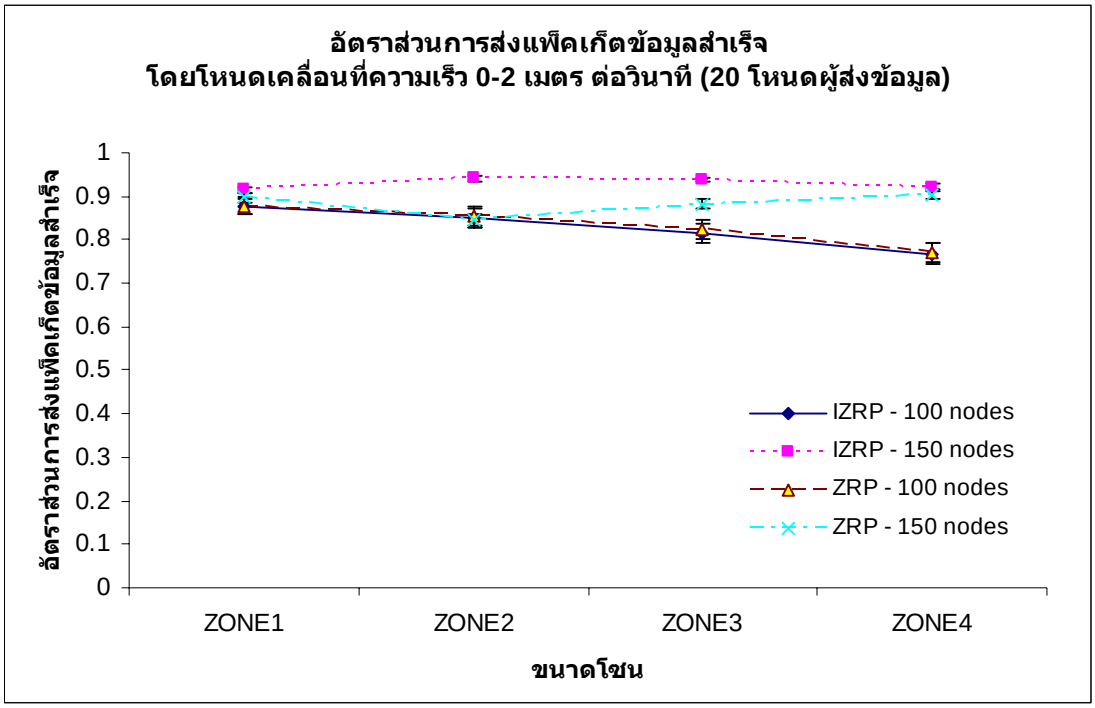
ประสิทธิภาพการทำงานที่ใกล้เคียงกัน โดยการทำงานของ IZRP ในโซนขนาด 1 และ 3 ฮอพ มีอัตราการส่วนส่งแพ็คเก็ตมากกว่า ZRP เพียง 1.25% และ 1.06% ตามลำดับ แต่สำหรับโซน 2 และ 4 ฮอพ IZRP มีอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตน้อยกว่า ZRP เพียง 1.32% และ 0.69% ตามลำดับ แต่สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่า ZRP มากถึง 3.33%, 20.26%, 5.65% และ 2.33% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะ IZRP ลดจำนวนการส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนทำให้การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปจนถึงโหนดปลายทางสำเร็จและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้มากที่สุดถึง 20.26%




ภาพที่ 47 อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 47 แสดงอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางได้สำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วในช่วง 5-10 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95%

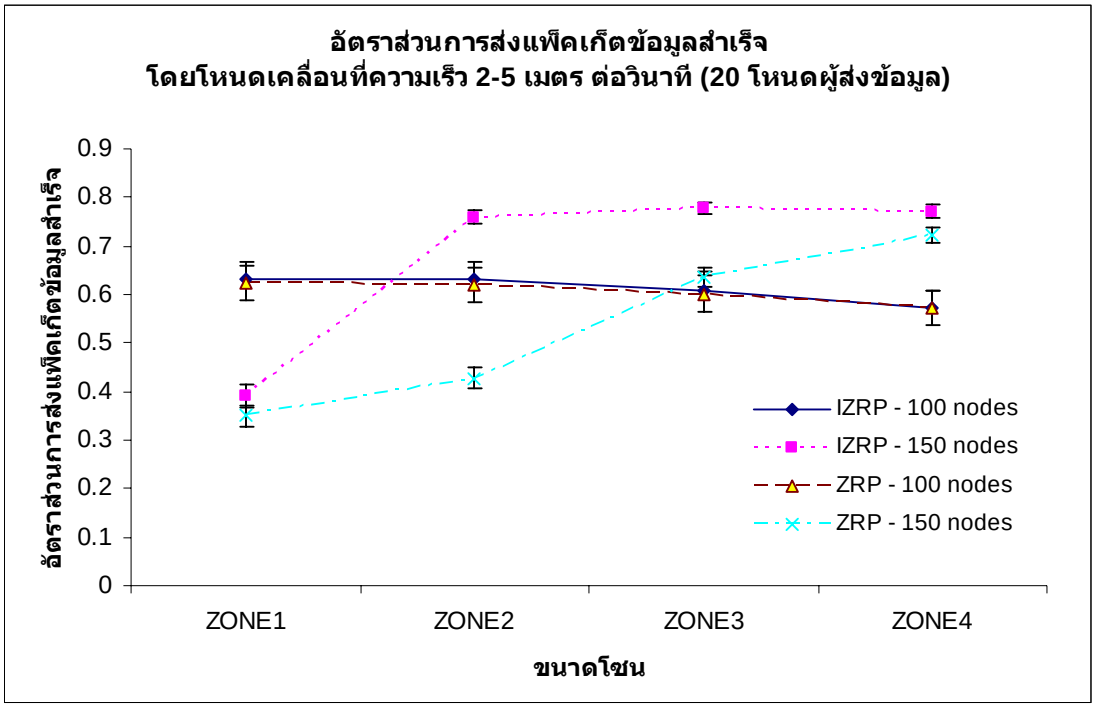
ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของIZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่า ZRP ในโซนขนาด 1-4 ฮอพ ซึ่งมีอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตมากกว่าถึง 1.83%, 6.64%, 3.45% และ 1.98% ตามลำดับ แต่สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 2 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่า ZRP มากถึง 52.91%, 14.53% และ 3.91% ตามลำดับ ส่วนโซนขนาด 1 ฮอพ การทำงานของ ZRP มีอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่า IZRP เพียงเล็กน้อย 0.70% ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะ IZRP ลดจำนวนการส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนทำให้การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปจนถึงโหนดปลายทางสำเร็จและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้มากที่สุดถึง 52.91%




ภาพที่ 48 อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด

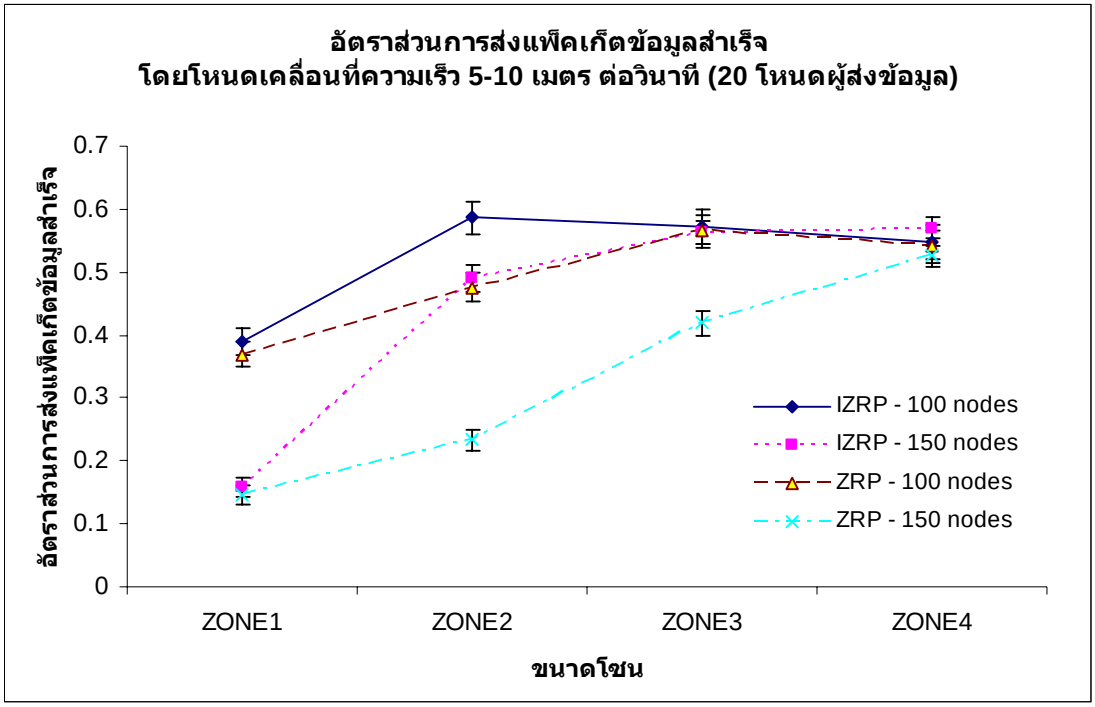
จากผลการทดลองภาพที่ 48 แสดงอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางได้สำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ช้าในช่วง 0-

2 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของทั้ง IZRP และ ZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานที่ใกล้เคียงกัน โดยการทำงานของ IZRP ในโซนขนาด 1 ฮอพ มีอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตมากกว่า ZRP เพียง 0.28% แต่สำหรับโซน 2-4 ฮอพ IZRP มีอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตน้อยกว่า ZRP เพียง 0.35%, 0.71% และ 0.51% ตามลำดับ แต่สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่า ZRP มากถึง 2.04%, 11.46%, 6.55% และ 2.11% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะ IZRP ลดจำนวนการส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนทำให้การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปจนถึงโหนดปลายทางสำเร็จและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนดสามารถเพิ่มอัตราการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้สำเร็จมากที่สุดถึง 11.46%



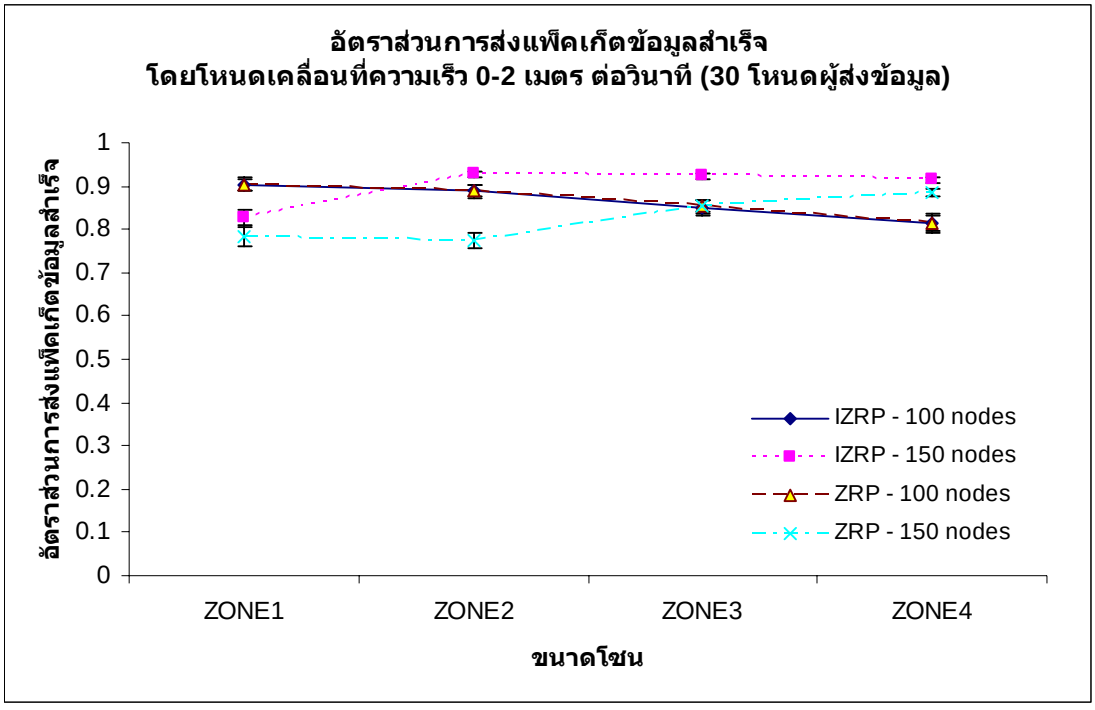

ภาพที่ 49 อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 49 แสดงอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางได้สำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางในช่วง 2-5 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของIZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งมีอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้สำเร็จมากกว่าถึง 1.20%, 1.66%, 1.28% และ 0.41% ตามลำดับ และสำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP ก็สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้สำเร็จมากกว่า ZRP มากถึง 11.99%, 77.59%, 22.43% และ 6.62% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะจากการทำงานของ IZRP ที่ช่วยลดจำนวนการส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อน ส่งผลทำให้การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปจนถึงโหนดปลายทางสำเร็จและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนดซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้มากที่สุดถึง 77.59%



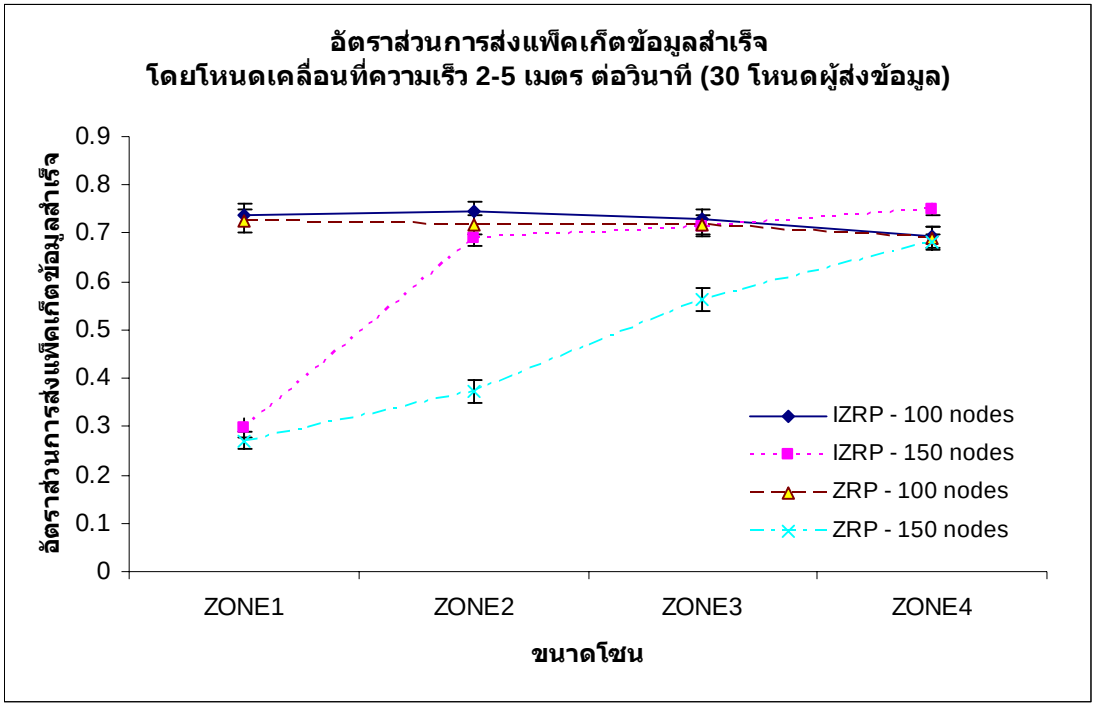

ภาพที่ 50 อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 50 แสดงอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางได้สำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วในช่วง 5-10 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของIZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งมีอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้สำเร็จมากกว่าถึง 5.66%, 23.42%, 1.27% และ 1.17% ตามลำดับ และสำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP ก็สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้สำเร็จมากกว่า ZRP มากถึง 8.85%, 110.48%, 34.45% และ 8.57% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะจากการทำงานของ IZRP ที่ช่วยลดจำนวนการส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อน ส่งผลทำให้การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปจนถึงโหนดปลายทางสำเร็จและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนดซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้มากที่สุดถึง 110.48%



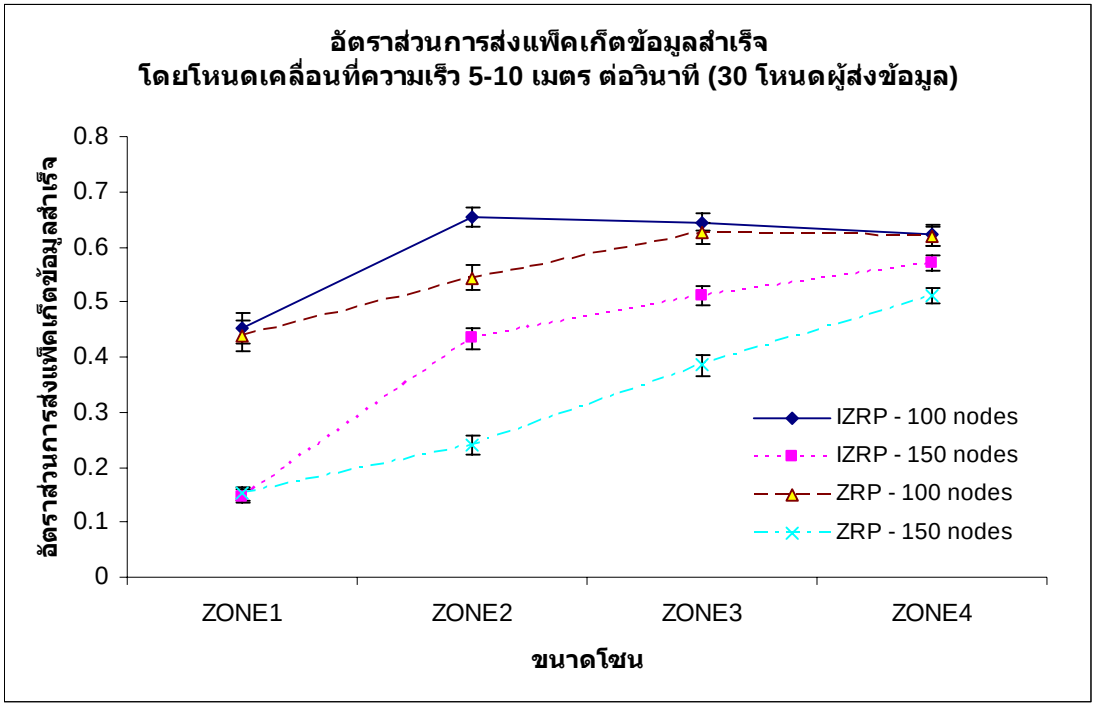

ภาพที่ 51 อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 51 แสดงอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางได้สำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ช้าในช่วง 0-2 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของทั้ง IZRP และ ZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานที่ใกล้เคียงกัน โดยการทำงานของ IZRP ในโซนขนาด 1, 2 และ 4 ฮอพ สามารถมีอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตมากกว่า ZRP เพียง 0.33%, 0.15% และ 0.44% ตามลำดับ แต่สำหรับโซนขนาด 3 ฮอพ IZRP มีอัตราการส่งแพ็คเก็ตน้อยกว่า ZRP เพียง 0.11% แต่สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่า ZRP มากถึง 5.68%, 19.94%, 8.18% และ 3.15% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะ IZRP ลดจำนวนการส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนทำให้การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปจนถึงโหนดปลายทางสำเร็จและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด สามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้สำเร็จมากที่สุดถึง 19.94%




ภาพที่ 52 อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด

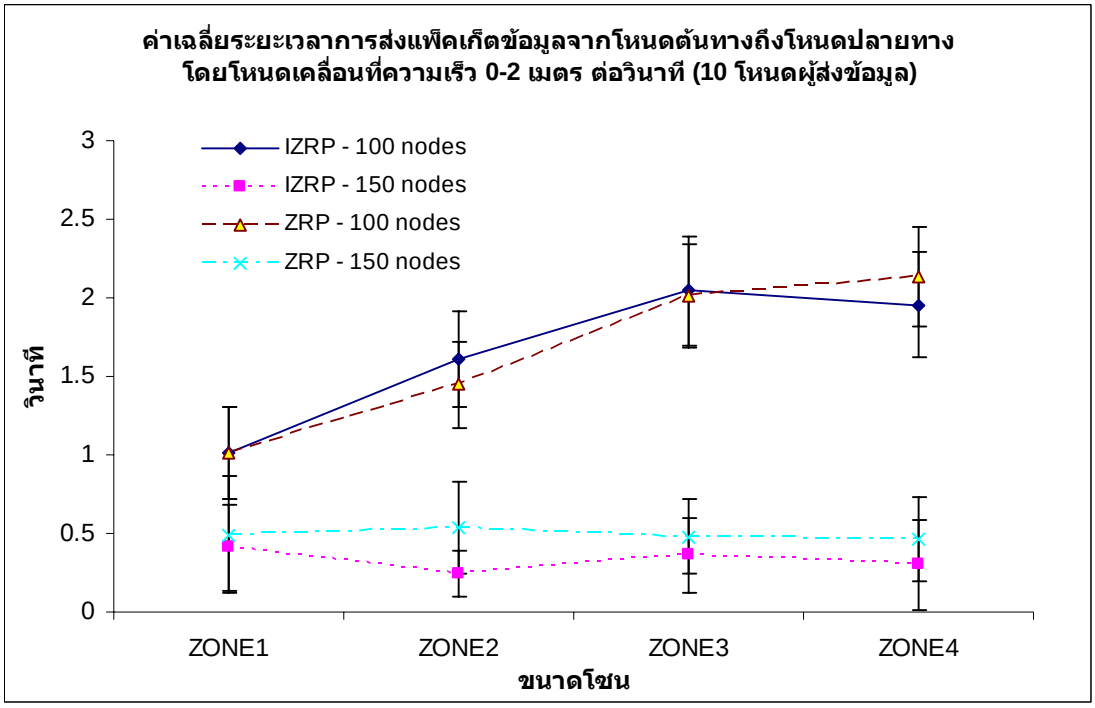
จากผลการทดลองภาพที่ 52 แสดงอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางได้สำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางในช่วง 2-5 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของIZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งมีอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้สำเร็จมากกว่าถึง 1.97%, 3.76%, 1.71% และ 0.36% ตามลำดับ และสำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP ก็สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้สำเร็จมากกว่า ZRP มากถึง 10.00%, 84.54%, 27.10% และ 9.55% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะจากการทำงานของ IZRP ที่ช่วยลดจำนวนการส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อน ส่งผลทำให้การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปจนถึงโหนดปลายทางสำเร็จและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนดซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้มากที่สุดถึง 84.54%




ภาพที่ 53 อัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางสำเร็จ โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด

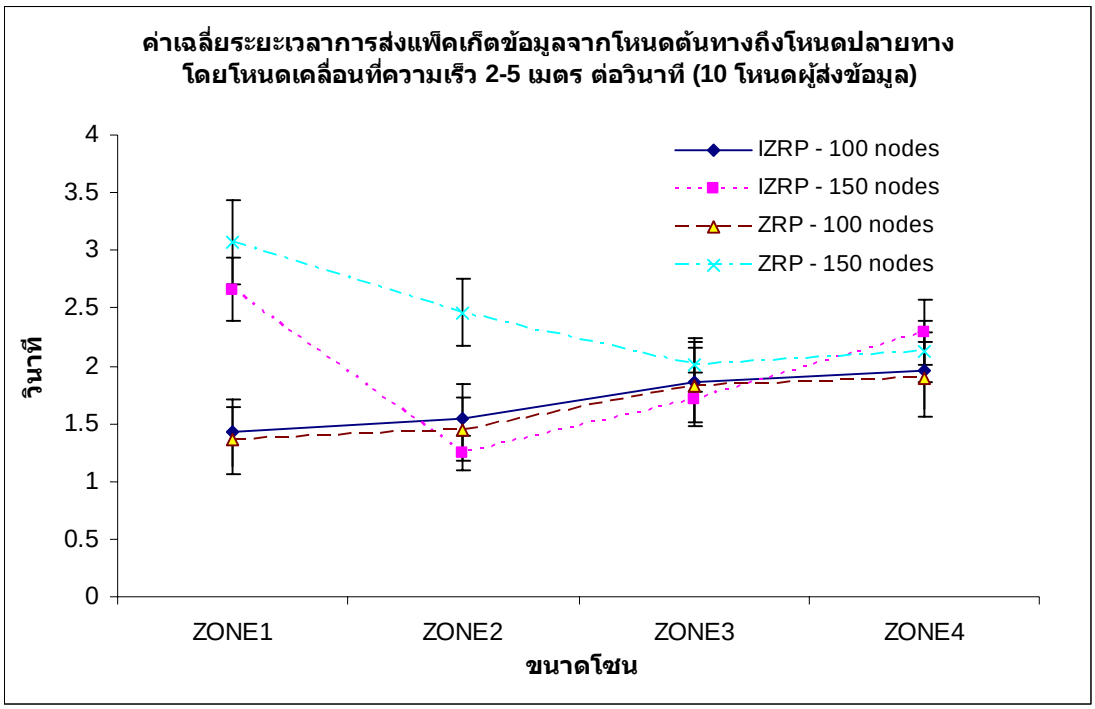
จากผลการทดลองภาพที่ 53 แสดงอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทางได้สำเร็จของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วในช่วง 5-10 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% การทำงานของIZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งมีอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้สำเร็จมากกว่าถึง 3.25%, 20.04%, 3.31% และ 0.19% ตามลำดับ และสำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP ก็สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 2 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้สำเร็จมากกว่า ZRP มากถึง 79.93%, 32.69% และ 11.64% ตามลำดับ ส่วนโซนขนาด 1 ฮอพ การทำงานของ IZRP มีประสิทธิภาพน้อยกว่า ZRP เพียงเล็กน้อย 2.80% เท่านั้น ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะจากการทำงานของ IZRP ที่ช่วยลดจำนวนการส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อน ส่งผลทำให้การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางไปจนถึงโหนดปลายทางสำเร็จและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนดซึ่งสามารถเพิ่มอัตราส่วนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้มากที่สุดถึง 79.93%

5. <u>การวัดค่าเฉลี่ยระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง</u>



ภาพที่ 54 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด

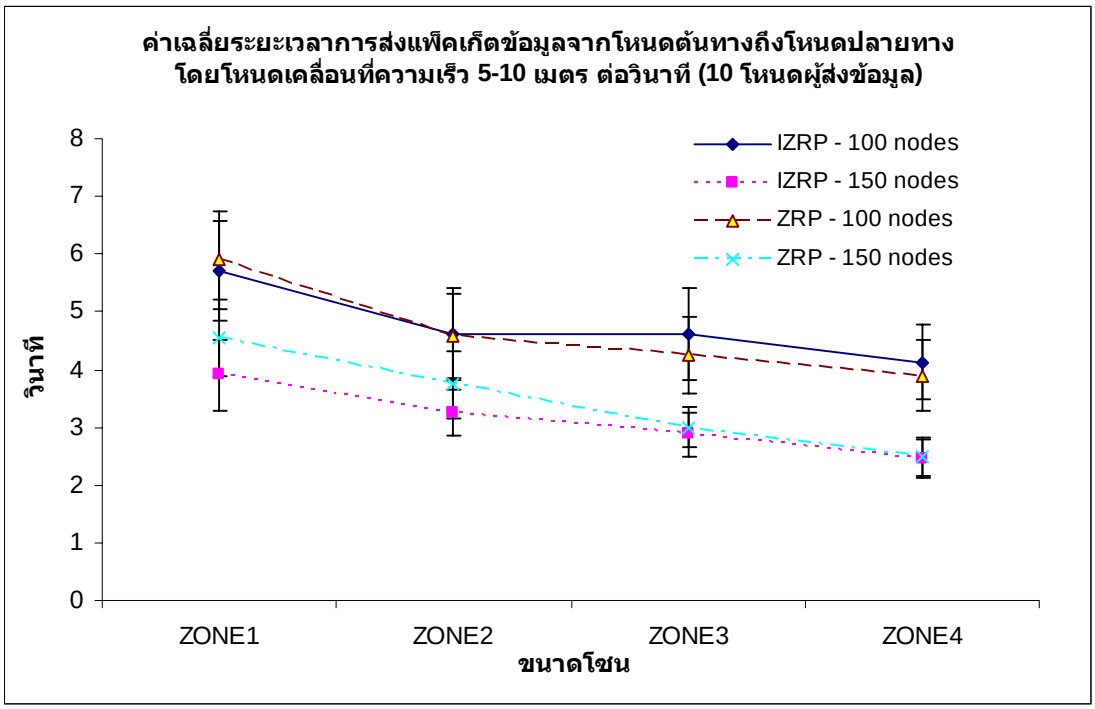
จากผลการทดลองภาพที่ 54 แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ช้า และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด โดยการทำงานของ IZRP ในโซนขนาด 1 และ 4 ฮอพ ใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP 0.18% และ 8.53% ตามลำดับ แต่สำหรับโซนขนาด 2 และ 3 ฮอพ IZRP ใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่า ZRP 11.10% และ 1.68% ตามลำดับ เนื่องจากการลดการสร้างและส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อน ซึ่งอาจจะมีการสูญหายของ RREP ระหว่างทางการส่งแพ็ตเก็ตของ IZRP ส่งผลทำให้ต้องใช้ระยะเวลาการจัดหาเส้นทางเพิ่มมากขึ้น สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP มากถึง 15.98%, 55.28%, 24.90% และ 35.33% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะ IZRP ลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนทำให้การใช้ระยะเวลาค้นหาเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตข้อมูล และการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนดสามารถลดระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากที่สุดถึง 55.28%




ภาพที่ 55 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 55 แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางในช่วง 2-5 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด โดยการทำงานของ IZRP ในโซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่า ZRP 5.11%, 6.14%, 1.67% และ 4.00% ตามลำดับ เนื่องจากการลดการสร้างและส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อน ซึ่งอาจจะมีการสูญหายของ RREP ระหว่างทางการส่งแพ็ตเก็ตของ IZRP ส่งผลทำให้ต้องใช้ระยะเวลาการจัดหาเส้นทางเพิ่มมากขึ้น สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 3 ฮอพ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP มากถึง 13.46%, 49.25% และ 15.27% ตามลำดับ แต่สำหรับโซนขนาด 4 ฮอพ การทำงานของ IZRP ใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่า ZRP 7.89% ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะ IZRP ลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนทำให้การใช้ระยะเวลาค้นหาเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตข้อมูล และ

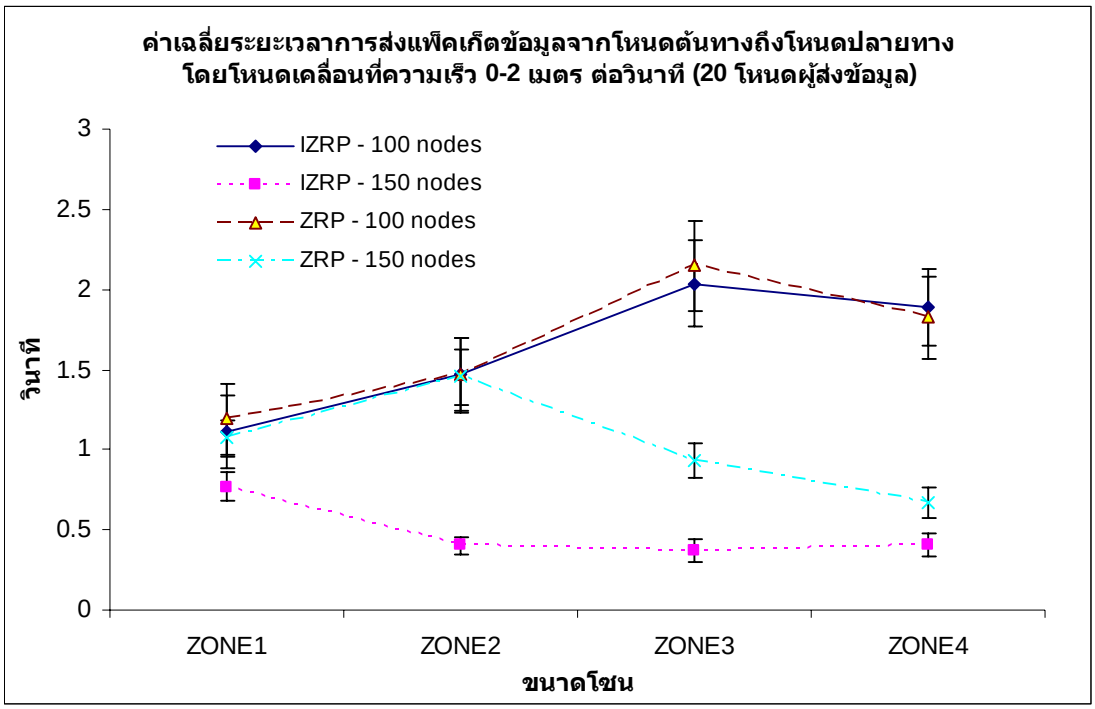
การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนดสามารถลดระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากที่สุดถึง 49.25%




ภาพที่ 56 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 10 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 56 แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วในช่วง 5-10 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด โดยการทำงานของ IZRP ในโซนขนาด 2 – 4 ฮอพ ใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่า ZRP 0.69%, 8.86% และ 6.10% ตามลำดับ เนื่องจากการลดการสร้างและส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อน ซึ่งอาจจะมีการสูญหายของ RREP ระหว่างทางการส่งแพ็ตเก็ตของ IZRP ส่งผลทำให้ต้องใช้ระยะเวลาการจัดหาเส้นทางเพิ่มมากขึ้น สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP มากถึง 13.82%, 13.29%, 4.13 และ 1.43% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะ IZRP ลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหา

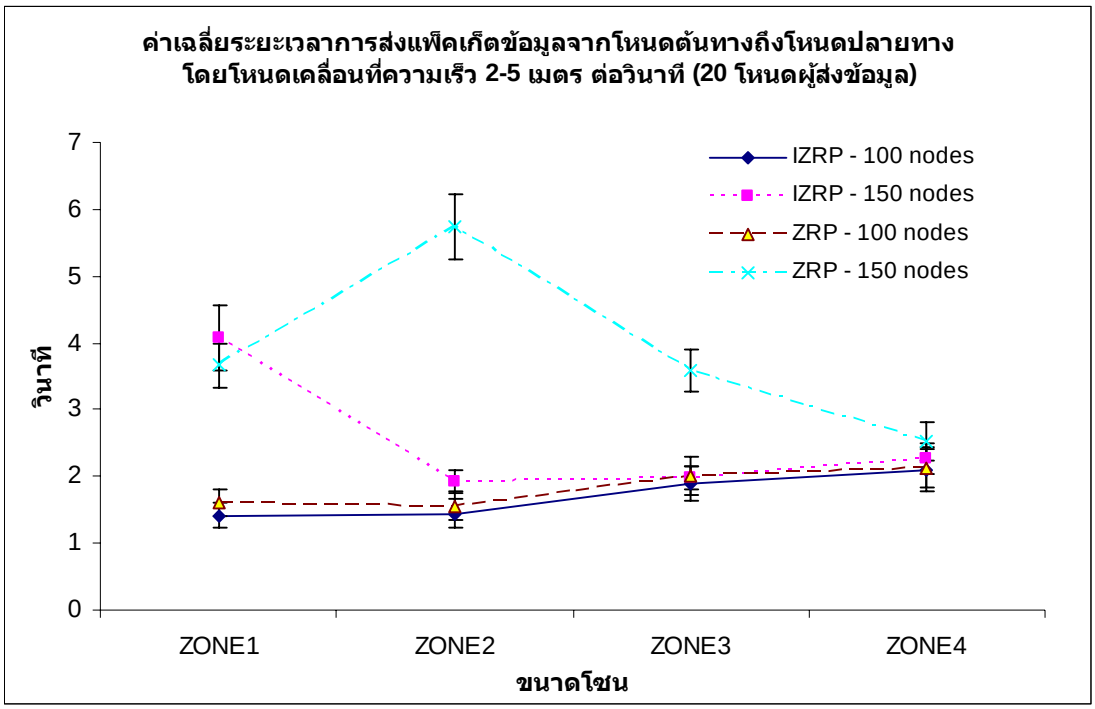
เส้นทางที่ซับซ้อนทำให้การใช้ระยะเวลาค้นหาเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตข้อมูล และการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น




ภาพที่ 57 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 57 แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ช้าในช่วง 0-2 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด โดยการทำงานของ IZRP ในโซนขนาด 1 และ 3 ฮอพ ใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP 6.51% และ 5.10% ตามลำดับ แต่สำหรับโซนขนาด 2 และ 4 ฮอพ IZRP ใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่า ZRP 0.18% และ 3.59% ตามลำดับ เนื่องจากการลดการสร้างและส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อน ซึ่งอาจจะมีการสูญหายของ RREP ระหว่างทางการส่งแพ็ตเก็ตของ IZRP ส่งผลทำให้ต้องใช้ระยะเวลาการจัดหาเส้นทางเพิ่มมากขึ้น สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP มากถึง 28.10%, 72.26%, 60.08% และ 38.84% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมาก

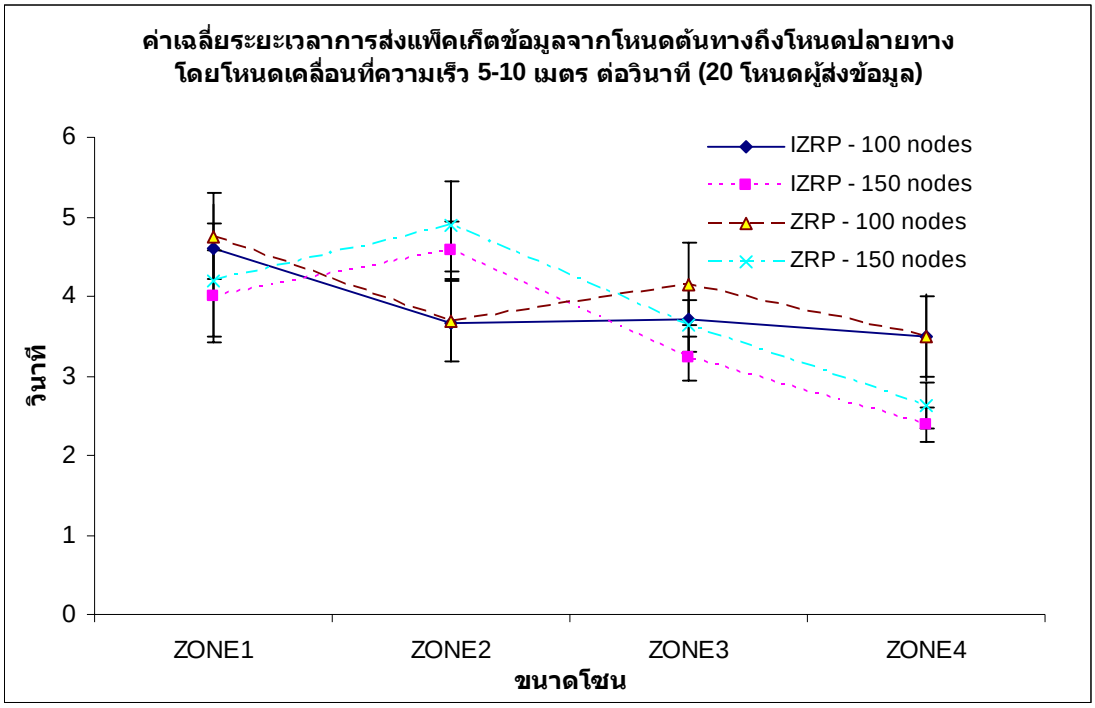
ขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะ IZRP ลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนทำให้การใช้ระยะเวลาค้นหาเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตข้อมูล และการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนดสามารถลดระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากที่สุดถึง 72.26%




ภาพที่ 58 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 58 แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางในช่วง 2-5 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด โดยการทำงานของ IZRP ในโซนขนาด 1 - 4 ฮอพ ใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP 12.20%, 7.69%, 5.77% และ 1.42% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 2 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP มากถึง 66.34%, 44.80% และ 10.51% ตามลำดับ แต่สำหรับโซนขนาด 1 ฮอพ IZRP ใช้

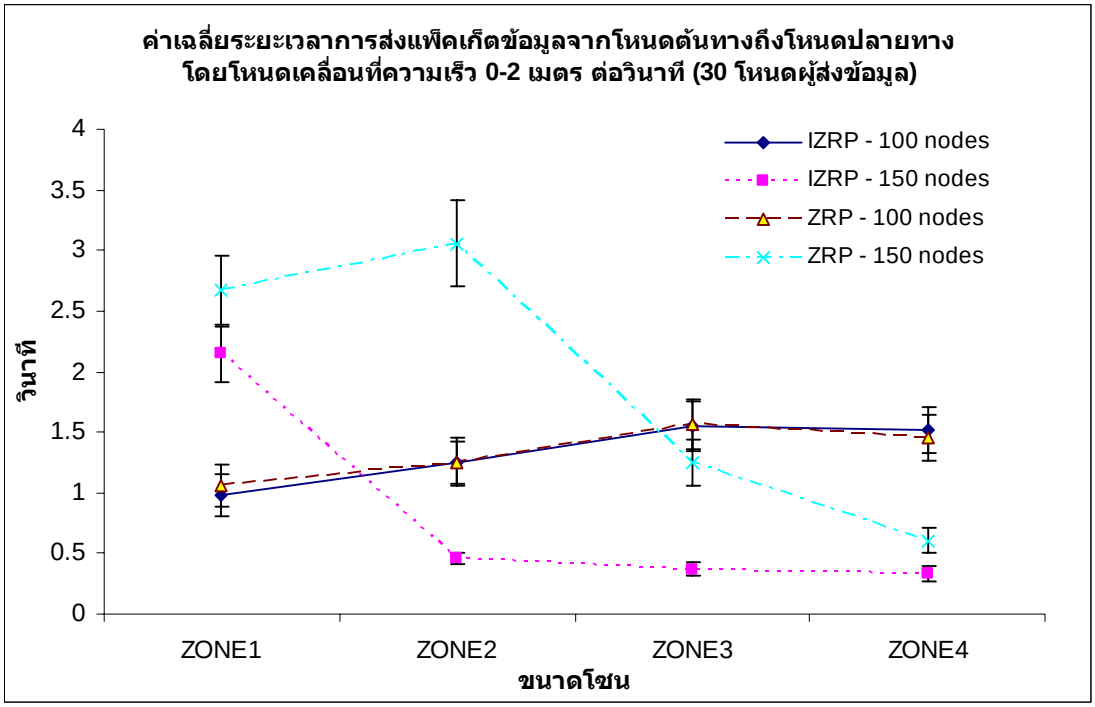
ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่า ZRP 11.24% เนื่องจากการลดการสร้างและส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อน ซึ่งอาจจะมีการสูญหายของ RREP ระหว่างทางการส่งแพ็ตเก็ตของ IZRP ส่งผลทำให้ต้องใช้ระยะเวลาการจัดหาเส้นทางเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะ IZRP ลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนทำให้การใช้ระยะเวลาค้นหาเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตข้อมูล และการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น




ภาพที่ 59 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 20 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 59 แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วในช่วง 5-10 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของ IZRP ในโซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP 3.47%, 0.79%, 10.82% และ 0.16% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP มากถึง

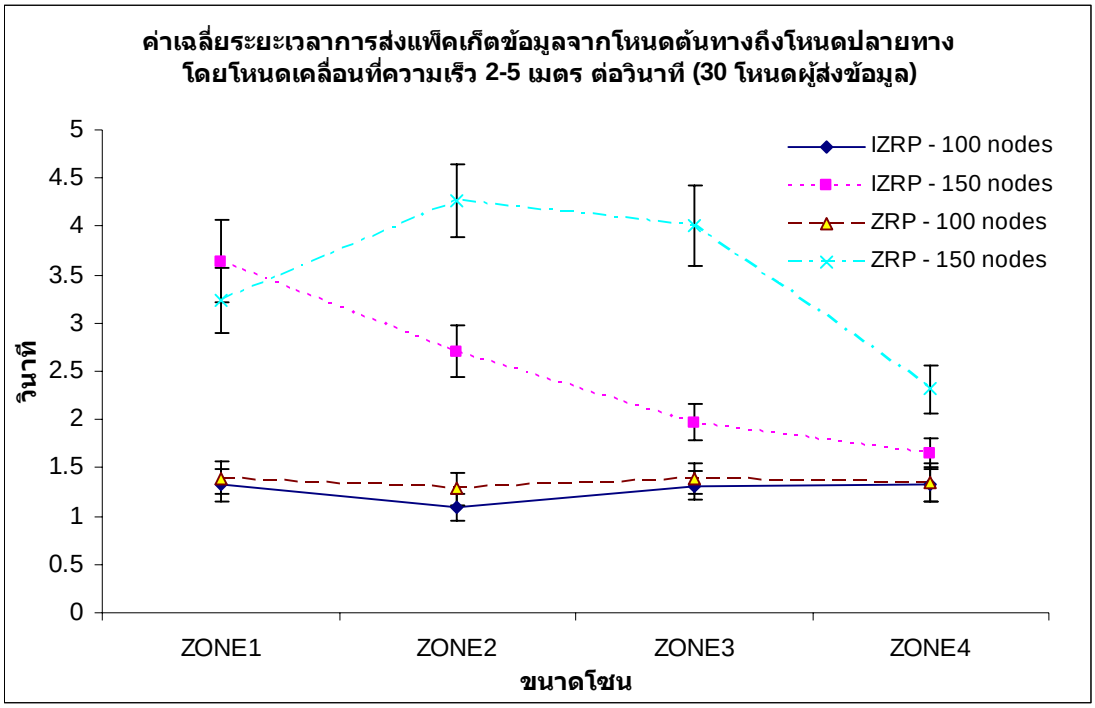
4.73%, 6.43%, 11.30 และ 9.52% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะ IZRP ลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนทำให้การใช้ระยะเวลาค้นหาเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตข้อมูล และการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น แต่โซนขนาด 2 ฮอพ เมื่อเครือข่ายมีโหนดจำนวน 150 โหนด มีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลสูงกว่าโซนขนาดอื่น ซึ่งเกิดจากโหนดมีการเคลื่อนที่เร็วและช่องสัญญาณการส่งแพ็คเก็ตของเครือข่ายมีความหนาแน่นจากปริมาณแพ็คเก็ตที่เกิดจาก IERP




ภาพที่ 60 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 0-2 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 60 แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ช้าในช่วง 0-2 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด การทำงานของ IZRP ในโซนขนาด 1 และ 3 ฮอพ ใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP 6.91% และ 0.43% ตามลำดับ แต่สำหรับโซนขนาด 2 และ 4 ฮอพ IZRP ใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่า ZRP 0.99% และ 4.40% ตามลำดับ

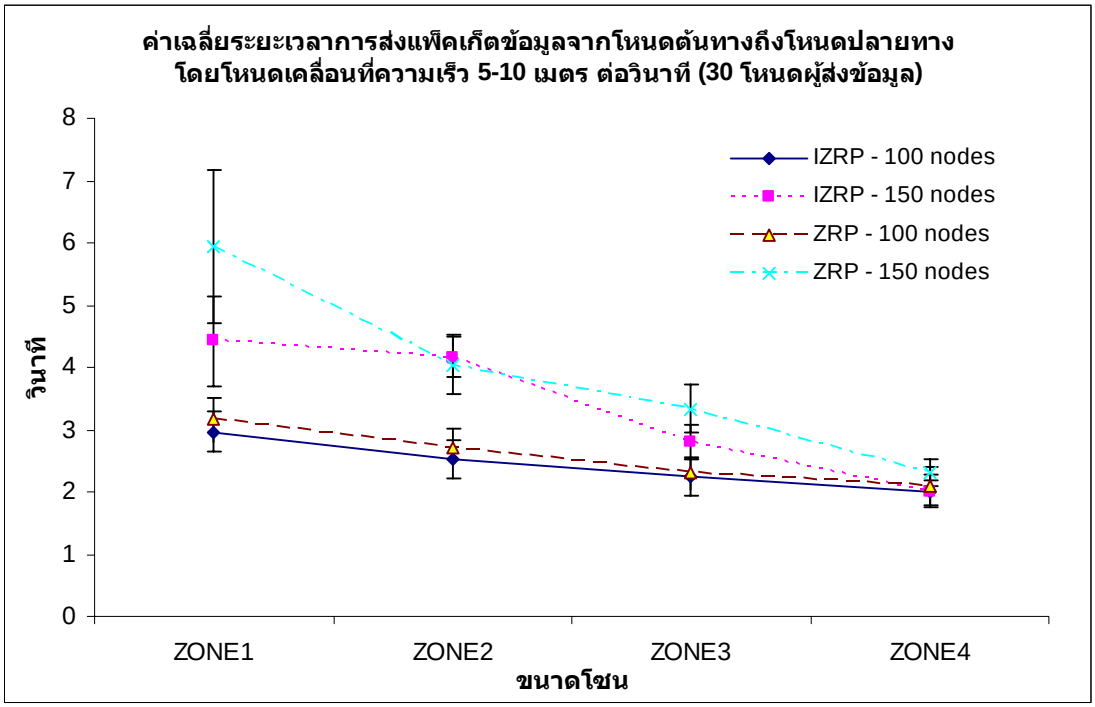
เนื่องจากการลดการสร้างและส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อน ซึ่งอาจจะมีการสูญหายของ RREP ระหว่างทางการส่งแพ็คเก็ตของ IZRP ส่งผลทำให้ต้องใช้ระยะเวลาการจัดหาเส้นทางเพิ่มมากขึ้น สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP มากถึง 19.43%, 84.81%, 70.45% และ 45.23% ตามลำดับ ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะ IZRP ลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนทำให้การใช้ระยะเวลาค้นหาเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตข้อมูล และการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนดสามารถลดระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากที่สุดถึง 84.81% ซึ่งใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่าเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด เกิดจากการลดจำนวนแพ็คเก็ตที่ซ้ำซ้อนในโซนที่มีปริมาณโหนดหนาแน่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ




ภาพที่ 61 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 2-5 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 61 แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลาง

ในช่วง 2-5 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด โดยการทำงานของ IZRP ในโซนขนาด 1 - 4 ฮอพ ใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP 5.23%, 14.25%, 5.06% และ 1.57% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 2 – 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP มากถึง 36.60%, 50.79% และ 28.96% ตามลำดับ แต่สำหรับโซนขนาด 1 ฮอพ IZRP ใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่า ZRP 12.49% เนื่องจากการลดการสร้างและส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อน ซึ่งอาจจะมีการสูญหายของ RREP ระหว่างทางการส่งแพ็ตเก็ตของ IZRP ส่งผลทำให้ต้องใช้ระยะเวลาการจัดหาเส้นทางเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะ IZRP ลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนทำให้การใช้ระยะเวลาค้นหาเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตข้อมูล และการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น




ภาพที่ 62 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยมีโหนดเคลื่อนที่ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อวินาที และมีโหนดผู้ส่งข้อมูลแพ็คเก็ต 30 โหนด

จากผลการทดลองภาพที่ 62 แสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางของ ZRP และ IZRP ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วในช่วง 5-10 เมตร/วินาที และมีการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด โดยแสดงช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเมื่อเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 100 โหนด โดยการทำงานของ IZRP ในโซนขนาด 1 – 4 ฮอพ ใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP 5.99%, 7.17%, 2.50% และ 4.60% ตามลำดับ สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดจำนวน 150 โหนด IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากกว่า ZRP ตั้งแต่โซนขนาด 1, 3 และ 4 ฮอพ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลน้อยกว่า ZRP มากถึง 25.52%, 16.08% และ 14.12% ตามลำดับ แต่สำหรับโซนขนาด 2 ฮอพ IZRP ใช้ระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากกว่า ZRP 3.02% เนื่องจากการลดการสร้างและส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อน ซึ่งอาจจะมีการสูญหายของ RREP ระหว่างทางการส่งแพ็ตเก็ตของ IZRP ส่งผลทำให้ต้องใช้ระยะเวลาการจัดหาเส้นทางเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีจำนวนมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่ากว่า ZRP เพราะ IZRP ลดจำนวนการสร้างและส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซับซ้อนทำให้การใช้ระยะเวลาค้นหาเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตข้อมูล และการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

## วิจารณ์

ตารางที่ 1 ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจากการทำงาน IERP ของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด

| | โหนดเคลื่อนที่ช้า 0-2 | | โหนดเคลื่อนที่ปานกลาง 2-5 | | โหนดเคลื่อนที่เร็ว 5-10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด |
| zone 1 | 19.90 | 11.02 | 11.51 | 10.24 | 39.70 | 43.08 |
| zone 2 | 46.16 | 50.28 | 57.34 | 53.44 | 60.61 | 57.31 |
| zone 3 | 43.39 | 50.28 | 45.74 | 42.28 | 44.59 | 42.17 |
| zone 4 | 41.91 | 48.60 | 39.05 | 42.03 | 38.08 | 45.17 |

จากค่าตารางที่ 1 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดจาก IERP ของ IZRP ในเครือข่ายที่มีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดจาก IERP ของ ZRP โดยเมื่อโหนดมีการเคลื่อนที่เร็วมากขึ้นและในเครือข่ายมีจำนวนโหนดมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตได้มากที่สุด เนื่องจากโซนตั้งแต่ขนาด 2 ฮอพขึ้นไป จะมีการทำงานทั้ง IARP และ IERP แต่โซนขนาด 2 ฮอพจะมีปริมาณแพ็คเก็ตที่เกิดจากการทำงานของ IERP จำนวนมากที่สุด ซึ่งคุณสมบัติของ IZRP ที่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่งแพ็คเก็ตที่ซับซ้อนทำให้สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2 ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจากการทำงาน IERP ของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด

| | โหนดเคลื่อนที่ช้า 0-2 | | โหนดเคลื่อนที่ปานกลาง 2-5 | | โหนดเคลื่อนที่เร็ว 5-10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด |
| zone 1 | 21.32 | 13.00 | 11.75 | 35.21 | 37.19 | 8.48 |
| zone 2 | 47.81 | 49.04 | 56.74 | 60.14 | 59.96 | 48.20 |
| zone 3 | 43.17 | 48.14 | 44.49 | 41.57 | 43.33 | 40.90 |
| zone 4 | 41.77 | 47.21 | 39.02 | 40.81 | 39.34 | 44.02 |

จากค่าตารางที่ 2 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดจาก IERP ของ IZRP ในเครือข่ายที่มีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดจาก IERP ของ ZRP โดยเมื่อโหนดมีการเคลื่อนด้วยอัตราความเร็วปานกลางและในเครือข่ายมีจำนวนโหนดมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตได้มากที่สุด บนเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่แตกต่างกัน เนื่องจากโซนตั้งแต่ขนาด 2 ฮอพขึ้นไป จะมีการทำงานทั้ง IARP และ IERP แต่โซนขนาด 2 ฮอพจะมีปริมาณแพ็คเก็ตที่เกิดจากการทำงานของ IERP จำนวนมากที่สุด ซึ่งคุณสมบัติของ IZRP ที่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่งแพ็คเก็ตที่ซับซ้อนทำให้สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 3 ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดจากการทำงาน IERP ของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด

| | โหนดเคลื่อนที่ช้า 0-2 | | โหนดเคลื่อนที่ปานกลาง 2-5 | | โหนดเคลื่อนที่เร็ว 5-10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด |
| zone 1 | 20.83 | 43.74 | 15.12 | 14.48 | 48.47 | -19.52 |
| zone 2 | 48.26 | 56.74 | 55.21 | 61.81 | 56.98 | 43.49 |
| zone 3 | 43.89 | 46.07 | 43.63 | 44.33 | 41.66 | 38.81 |
| zone 4 | 40.86 | 46.67 | 39.60 | 39.85 | 40.70 | 42.17 |

จากค่าตารางที่ 3 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดจาก IERP ของ IZRP ในเครือข่ายที่มีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่เกิดจาก IERP ของ ZRP สำหรับเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วมากขึ้น IZRP จะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเมื่อโหนดมีการเคลื่อนด้วยอัตราความเร็วปานกลางและในเครือข่ายมีจำนวนโหนดมากขึ้นการทำงานของ IZRP จะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตได้มากที่สุดบนเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่แตกต่างกัน เนื่องจากโซนตั้งแต่ขนาด 2 ฮอพขึ้นไป จะมีการทำงานทั้ง IARP และ IERP แต่โซนขนาด 2 ฮอพจะมีปริมาณแพ็คเก็ตที่เกิดจากการทำงานของ IERP จำนวนมากที่สุด ซึ่งคุณสมบัติของ IZRP ที่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่งแพ็คเก็ตที่ซับซ้อนทำให้สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่สำหรับโซนขนาด 1 ฮอพ บนเครือข่ายที่โหนดมีความหนาแน่นมาก และมีการเคลื่อนที่เร็ว อาจจะส่งผลทำให้มีปริมาณแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางมากกว่าการทำงานของ ZRP เนื่องจากการทำงานของโซนขนาด 1 ฮอพ ใน IZRP จะไม่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่งแพ็คเก็ตของโหนดที่อยู่ข้างเคียงได้ แต่จะตรวจสอบการส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อนได้ ซึ่งการที่โหนดเคลื่อนที่เร็วอาจจะทำให้มีการสูญหายของ RREP ระหว่างเส้นทางการส่ง ส่งผลให้การทำงานของ IZRP บนโซนขนาด 1 ฮอพ จำเป็นต้องใช้แพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางมากกว่าการทำงานของ ZRP เพื่อค้นหาเส้นทางสำหรับส่งแพ็คเก็ตข้อมูล

ตารางที่ 4 ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จ โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด

| | โหนดเคลื่อนที่ช้า 0-2 | | โหนดเคลื่อนที่ปานกลาง 2-5 | | โหนดเคลื่อนที่เร็ว 5-10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด |
| zone 1 | 18.66 | 11.37 | 16.54 | 13.68 | 8.87 | -2.61 |
| zone 2 | 31.26 | 40.26 | 32.86 | 45.88 | 29.53 | 57.76 |
| zone 3 | 19.23 | 26.75 | 13.90 | 14.53 | 8.98 | 17.10 |
| zone 4 | 13.07 | 11.73 | 1.98 | 4.95 | -4.32 | 4.95 |

จากค่าตารางที่ 4 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมดต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จของ IZRP ในเครือข่ายที่มีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมดต่อจำนวน

แพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จของ ZRP สำหรับเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่เร็วขึ้นและมีจำนวนโหนดมากขึ้น IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตได้มากที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติของ IZRP ที่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่งแพ็คเก็ตที่ซ้ำซ้อนของการทำงาน IERP ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลทำให้จำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลสามารถส่งสำเร็จได้มากขึ้น และจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางใน IERP ของ ZRP ลดลงเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 5 ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จ โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด

| | โหนดเคลื่อนที่ช้า 0-2 | | โหนดเคลื่อนที่ปานกลาง 2-5 | | โหนดเคลื่อนที่เร็ว 5-10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด |
| zone 1 | 21.05 | 14.64 | 12.74 | 37.99 | 15.40 | 54.50 |
| zone 2 | 38.88 | 49.33 | 43.07 | 71.44 | 48.65 | 68.07 |
| zone 3 | 26.59 | 35.99 | 18.33 | 31.48 | 8.21 | 32.71 |
| zone 4 | 18.19 | 19.60 | 6.91 | 10.99 | 3.03 | 9.95 |

จากค่าตารางที่ 5 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมดต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จของ IZRP ในเครือข่ายที่มีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมดต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จของ ZRP สำหรับเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางและมีจำนวนโหนดมากขึ้น IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตได้มากที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติของ IZRP ที่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่งแพ็คเก็ตที่ซ้ำซ้อนของการทำงาน IERP ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลทำให้จำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลสามารถส่งสำเร็จได้มากขึ้น และจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางใน IERP ของ ZRP ลดลงเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 6 ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จ โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด

| | โหนดเคลื่อนที่ช้า 0-2 | | โหนดเคลื่อนที่ปานกลาง 2-5 | | โหนดเคลื่อนที่เร็ว 5-10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด |
| zone 1 | 20.85 | 49.85 | 18.99 | 23.73 | 22.27 | 29.10 |
| zone 2 | 40.02 | 61.07 | 42.25 | 75.49 | 48.38 | 60.07 |
| zone 3 | 27.35 | 37.46 | 17.87 | 37.77 | 11.18 | 31.96 |
| zone 4 | 18.96 | 22.09 | 7.20 | 14.41 | 2.56 | 12.78 |

จากค่าตารางที่ 6 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมดต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จของ IZRP ในเครือข่ายที่มีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมดต่อจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งสำเร็จของ ZRP สำหรับเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ปานกลางและมีจำนวนโหนดมากขึ้น IZRP สามารถทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตได้มากที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติของ IZRP ที่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่งแพ็คเก็ตที่ซ้ำซ้อนของการทำงาน IERP ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลทำให้จำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลสามารถส่งสำเร็จได้มากขึ้น และจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางใน IERP ของ ZRP ลดลงเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 7 ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมด โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด

| | โหนดเคลื่อนที่ช้า 0-2 | | โหนดเคลื่อนที่ปานกลาง 2-5 | | โหนดเคลื่อนที่เร็ว 5-10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด |
| zone 1 | 18.86 | 10.69 | 11.21 | 10.06 | 6.82 | 7.92 |
| zone 2 | 31.83 | 38.29 | 32.19 | 29.88 | 25.76 | 21.73 |
| zone 3 | 19.71 | 24.80 | 10.30 | 8.62 | 4.52 | 2.99 |
| zone 4 | 12.16 | 11.19 | 3.59 | 2.50 | 1.18 | 0.70 |

จากค่าตารางที่ 7 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมด ที่ประกอบด้วยแพ็คเก็ตที่เกิดจาก NDP IARP และ IERP ของ IZRP ในเครือข่ายที่มีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงาน ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมดของ ZRP โดยสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตของ ZRP ได้เป็นจำนวนมากที่สุดถึง 38.29% โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตได้มากที่สุด บนเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่แตกต่างกันทั้ง 3 รูปแบบ เนื่องจากคุณสมบัติของ IZRP ที่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่ง RREQ ที่ซ้ำซ้อนของการทำงาน IERP และรวมทั้งการลดการสร้างและการส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลทำให้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางใน IERP ของ ZRP ลดลงเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 8 ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมด โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด

| | โหนดเคลื่อนที่ช้า 0-2 | | โหนดเคลื่อนที่ปานกลาง 2-5 | | โหนดเคลื่อนที่เร็ว 5-10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด |
| zone 1 | 20.74 | 12.80 | 11.58 | 35.10 | 9.26 | 38.45 |
| zone 2 | 38.79 | 42.22 | 40.12 | 44.59 | 34.64 | 22.62 |
| zone 3 | 26.76 | 31.36 | 15.82 | 13.73 | 7.46 | 5.17 |
| zone 4 | 18.60 | 17.84 | 6.34 | 4.46 | 2.17 | 1.27 |

จากค่าตารางที่ 8 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมด ที่ประกอบด้วยแพ็คเก็ตที่เกิดจาก NDP IARP และ IERP ของ IZRP ในเครือข่ายที่มีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงาน ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมดของ ZRP โดยสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตของ ZRP ได้เป็นจำนวนมากที่สุดถึง 44.59% โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตได้มากที่สุด บนเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่แตกต่างกันทั้ง 3 รูปแบบ เนื่องจากคุณสมบัติของ IZRP ที่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่ง RREQ ที่ซ้ำซ้อนของการทำงาน IERP และรวมทั้งการลดการสร้างและการส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลทำให้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางใน IERP ของ ZRP ลดลงเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 9 ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นต์จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมด โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด

| | โหนดเคลื่อนที่ช้า 0-2 | | โหนดเคลื่อนที่ปานกลาง 2-5 | | โหนดเคลื่อนที่เร็ว 5-10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด |
| zone 1 | 20.31 | 43.45 | 14.91 | 14.44 | 16.35 | 29.11 |
| zone 2 | 39.56 | 51.20 | 38.76 | 48.33 | 32.96 | 21.05 |
| zone 3 | 27.36 | 31.10 | 15.43 | 16.62 | 7.44 | 5.57 |
| zone 4 | 18.35 | 19.18 | 6.68 | 5.03 | 2.36 | 1.26 |

จากค่าตารางที่ 9 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการลดจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมด ที่ประกอบด้วยแพ็คเก็ตที่เกิดจาก NDP IARP และ IERP ของ IZRP ในเครือข่ายที่มีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงาน ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางทั้งหมดของ ZRP โดยสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตของ ZRP ได้เป็นจำนวนมากที่สุดถึง 51.20% โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ สามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตได้มากที่สุด บนเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่แตกต่างกันทั้ง 3 รูปแบบ เนื่องจากคุณสมบัติของ IZRP ที่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่ง RREQ ที่ซ้ำซ้อนของการทำงาน IERP และรวมทั้งการลดการสร้างและการส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลทำให้จำนวนแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางใน IERP ของ ZRP ลดลงเป็นจำนวนมาก แต่สำหรับเครือข่ายที่มีโหนดหนาแน่นและมีโหนดเคลื่อนที่เร็วโซนขนาด 1 ฮอพสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้มากกว่าโซนขนาด 2 ฮอพ เกิดจากการตรวจสอบโหนดที่อยู่ข้างเคียงเพื่อลดจำนวน RREQ ที่จะส่งกลับไปยังเส้นทางเดิม ส่งผลทำให้ปริมาณแพ็คเก็ตในเครือข่ายลดลง

ตารางที่ 10 ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นความสำเร็จในการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด

| | โหนดเคลื่อนที่ช้า 0-2 | | โหนดเคลื่อนที่ปานกลาง 2-5 | | โหนดเคลื่อนที่เร็ว 5-10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด |
| zone 1 | 0.09 | 0.25 | 1.25 | 3.33 | 1.83 | -0.70 |
| zone 2 | -1.45 | 2.82 | -1.32 | 20.26 | 6.64 | 52.91 |
| zone 3 | -0.79 | 2.38 | 1.06 | 5.65 | 3.45 | 14.53 |
| zone 4 | -0.47 | 0.57 | -0.69 | 2.33 | 1.98 | 3.91 |

จากค่าตารางที่ 10 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการเพิ่มเปอร์เซ็นต์การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางได้สำเร็จของ IZRP ในเครือข่ายที่มีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางสำเร็จของ ZRP โดยสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้สำเร็จมากสุด 52.91% โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดหนาแน่นมากและโหนดมีการเคลื่อนที่เร็วจะสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้มากที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติของ IZRP ที่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซ้ำซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งช่วยลดการใช้ช่องความกว้างแถบความถี่ของเครือข่าย ส่งผลทำให้สามารถใช้ช่องความกว้างแถบความถี่ของเครือข่ายสำหรับส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้มากขึ้น แต่สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด เปอร์เซ็นต์การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP น้อยกว่า ZRP เพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดมากจากการที่ IZRP มีการตรวจสอบการสร้างและการส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อน ทำให้มีการสร้างและส่ง RREP เพียงครั้งเดียว ซึ่งถ้าเกิด RREP สูญหายระหว่างการส่งแพ็คเก็ตส่งผลทำให้การ IZRP ต้องทำการส่งแพ็คเก็ตเพื่อค้นหาเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลใหม่

ตารางที่ 11 ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นความสำเร็จในการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด

| | โหนดเคลื่อนที่ช้า 0-2 | | โหนดเคลื่อนที่ปานกลาง 2-5 | | โหนดเคลื่อนที่เร็ว 5-10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด |
| zone 1 | 0.28 | 2.04 | 1.20 | 11.99 | 5.66 | 8.85 |
| zone 2 | -0.35 | 11.46 | 1.66 | 77.59 | 23.42 | 110.48 |
| zone 3 | -0.71 | 6.55 | 1.28 | 22.43 | 1.27 | 34.45 |
| zone 4 | -0.51 | 2.11 | 0.41 | 6.62 | 1.17 | 8.57 |

จากค่าตารางที่ 11 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการเพิ่มเปอร์เซ็นต์การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางได้สำเร็จของ IZRP ในเครือข่ายที่มีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางสำเร็จของ ZRP โดยสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้สำเร็จมากสุด 110.48% โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดหนาแน่นมากและโหนดเคลื่อนที่เร็วจะสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้มากที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติของ IZRP ที่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซ้ำซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งช่วยลดการใช้ช่องความกว้างแถบความถี่ของเครือข่าย ส่งผลทำให้สามารถใช้ช่องความกว้างแถบความถี่ของเครือข่ายสำหรับส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้มากขึ้น แต่สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด เปอร์เซ็นต์การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP น้อยกว่า ZRP เพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดมากจากการที่ IZRP มีการตรวจสอบการสร้างและการส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อน ทำให้มีการสร้างและส่ง RREP เพียงครั้งเดียว ซึ่งถ้าเกิด RREP สูญหายระหว่างการส่งแพ็คเก็ตส่งผลทำให้การ IZRP ต้องทำการส่งแพ็คเก็ตเพื่อค้นหาเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลใหม่

ตารางที่ 12 ค่าแสดงประสิทธิภาพเปอร์เซ็นความสำเร็จในการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด

| | โหนดเคลื่อนที่ช้า 0-2 | | โหนดเคลื่อนที่ปานกลาง 2-5 | | โหนดเคลื่อนที่เร็ว 5-10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด |
| zone 1 | 0.33 | 5.68 | 1.97 | 10.00 | 3.25 | -2.80 |
| zone 2 | 0.15 | 19.94 | 3.76 | 84.54 | 20.04 | 79.93 |
| zone 3 | -0.11 | 8.18 | 1.71 | 27.10 | 3.31 | 32.69 |
| zone 4 | 0.44 | 3.15 | 0.36 | 9.55 | 0.19 | 11.64 |

จากค่าตารางที่ 12 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการเพิ่มเปอร์เซ็นต์การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางได้สำเร็จของ IZRP ในเครือข่ายที่มีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางสำเร็จของ ZRP โดยสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นต์การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้สำเร็จมากสุด 84.54% โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดหนาแน่นมากและโหนดเคลื่อนที่ปานกลางจะสามารถเพิ่มเปอร์เซ็นการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้มากที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติของ IZRP ที่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซ้ำซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งช่วยลดการใช้ช่องความกว้างแถบความถี่ของเครือข่าย ส่งผลทำให้สามารถใช้ช่องความกว้างแถบความถี่ของเครือข่ายสำหรับส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้มากขึ้น แต่สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด เปอร์เซ็นต์การส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP น้อยกว่า ZRP เพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดมากจากการที่ IZRP มีการตรวจสอบการสร้างและการส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อน ทำให้มีการสร้างและส่ง RREP เพียงครั้งเดียว ซึ่งถ้าเกิด RREP สูญหายระหว่างการส่งแพ็คเก็ตส่งผลทำให้การ IZRP ต้องทำการส่งแพ็คเก็ตเพื่อค้นหาเส้นทางการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลใหม่

ตารางที่ 13 ค่าแสดงประสิทธิภาพค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด

| | โหนดเคลื่อนที่ช้า 0-2 | | โหนดเคลื่อนที่ปานกลาง 2-5 | | โหนดเคลื่อนที่เร็ว 5-10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด |
| zone 1 | 0.18 | 15.98 | -5.11 | 13.46 | 3.07 | 13.82 |
| zone 2 | -11.10 | 55.28 | -6.14 | 49.25 | -0.69 | 13.29 |
| zone 3 | -1.68 | 24.90 | -1.67 | 15.27 | -8.86 | 4.13 |
| zone 4 | 8.53 | 35.33 | -4.00 | -7.89 | -6.10 | 1.43 |

จากค่าตารางที่ 13 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP ในเครือข่ายที่มีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 10 โหนด ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ ZRP โดยสามารถลดระยะเวลาโดยเฉลี่ยของการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้มากสุด 55.28% โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดหนาแน่นมาก และมีการเคลื่อนที่ของโหนดไม่เร็วมากนัก เนื่องจากคุณสมบัติของ IZRP ที่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซ้ำซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP มีค่ามากกว่า ZRP ซึ่งเกิดมากจากการที่ IZRP มีการตรวจสอบการสร้างและการส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อน ทำให้มีการสร้างและส่ง RREP เพียงครั้งเดียว ซึ่งถ้าเกิด RREP สูญหายระหว่างการส่งแพ็คเก็ตส่งผลทำให้การ IZRP ต้องเสียระยะเวลาทำการส่งแพ็คเก็ตเพื่อค้นหาเส้นทางใหม่สำหรับส่งแพ็คเก็ตข้อมูล

ตารางที่ 14 ค่าแสดงประสิทธิภาพค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด

| | โหนดเคลื่อนที่ช้า 0-2 | | โหนดเคลื่อนที่ปานกลาง 2-5 | | โหนดเคลื่อนที่เร็ว 5-10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด |
| zone 1 | 6.51 | 28.10 | 12.20 | -11.24 | 3.47 | 4.73 |
| zone 2 | -0.18 | 72.26 | 7.69 | 66.34 | 0.79 | 6.43 |
| zone 3 | 5.10 | 60.08 | 5.77 | 44.80 | 10.82 | 11.30 |
| zone 4 | -3.59 | 38.84 | 1.42 | 10.51 | 0.16 | 9.52 |

จากค่าตารางที่ 14 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP ในเครือข่ายที่มีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 20 โหนด ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ ZRP โดยสามารถลดระยะเวลาโดยเฉลี่ยของการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้มากสุด 72.26% โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดหนาแน่นมาก และมีการเคลื่อนที่ของโหนดไม่เร็วมากนัก เนื่องจากคุณสมบัติของ IZRP ที่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซ้ำซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP มีค่ามากกว่า ZRP ซึ่งเกิดมากจากการที่ IZRP มีการตรวจสอบการสร้างและการส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อน ทำให้มีการสร้างและส่ง RREP เพียงครั้งเดียว ซึ่งถ้าเกิด RREP สูญหายระหว่างการส่งแพ็คเก็ตส่งผลทำให้การ IZRP ต้องเสียระยะเวลาทำการส่งแพ็คเก็ตเพื่อค้นหาเส้นทางใหม่สำหรับส่งแพ็คเก็ตข้อมูล

ตารางที่ 15 ค่าแสดงประสิทธิภาพค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP เมื่อเปรียบเทียบกับ ZRP โดยมีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด

| | โหนดเคลื่อนที่ช้า 0-2 | | โหนดเคลื่อนที่ปานกลาง 2-5 | | โหนดเคลื่อนที่เร็ว 5-10 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด | 100 โหนด | 150 โหนด |
| zone 1 | 6.91 | 19.43 | 5.23 | -12.49 | 5.99 | 25.52 |
| zone 2 | -0.99 | 84.81 | 14.25 | 36.60 | 7.17 | -3.02 |
| zone 3 | 0.43 | 70.45 | 5.06 | 50.79 | 2.50 | 16.08 |
| zone 4 | -4.40 | 45.23 | 1.57 | 28.96 | 4.60 | 14.12 |

จากค่าตารางที่ 15 แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP ในเครือข่ายที่มีโหนดผู้ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 30 โหนด ซึ่งมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ ZRP โดยสามารถลดระยะเวลาโดยเฉลี่ยของการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลได้มากสุด 84.81% โดยเฉพาะโซนขนาด 2 ฮอพ บนเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดหนาแน่นมาก และมีการเคลื่อนที่ของโหนดไม่เร็วมากนัก เนื่องจากคุณสมบัติของ IZRP ที่สามารถตรวจสอบการสร้างและการส่งแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางที่ซ้ำซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวนโหนด 100 โหนด ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลของ IZRP มีค่ามากกว่า ZRP ซึ่งเกิดมากจากการที่ IZRP มีการตรวจสอบการสร้างและการส่ง RREP ที่ซ้ำซ้อน ทำให้มีการสร้างและส่ง RREP เพียงครั้งเดียว ซึ่งถ้าเกิด RREP สูญหายระหว่างการส่งแพ็คเก็ตส่งผลทำให้การ IZRP ต้องเสียระยะเวลาทำการส่งแพ็คเก็ตเพื่อค้นหาเส้นทางใหม่สำหรับส่งแพ็คเก็ตข้อมูล

# สรุปและข้อเสนอแนะ

## สรุป

งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของ ZRP ให้มีประสิทธิภาพการส่ง RREQ มากยิ่งขึ้น โดยจากผลการทดลองการทำงานของ ZRP ในการส่งแพ็คเก็ตแบบ unicast สามารถทำงานได้ดีในสภาพเครือข่ายขนาดใหญ่ที่มีปริมาณการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวนไม่มาก แต่สำหรับเครือข่ายที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีการเคลื่อนที่ของโหนดตั้งแต่ระดับปานกลางและเร็วที่มีปริมาณการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวนมากการทำงานของ ZRP จะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างมาก เนื่องจากความหนาแน่นของโหนดภายในแต่ละโซนส่งผลทำให้ปริมาณแพ็คเก็ตจัดหาเส้นทางเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากก่อให้เกิดการชนกันของแพ็คเก็ตจากการส่งแพ็คเก็ต และลดประสิทธิภาพการทำงานของ ZRP ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงเสนอการตรวจสอบหาโหนดที่อยู่ข้างเคียงซึ่งได้รับ RREQ ที่เป็นแพ็คเก็ตส่งมาจากโหนดผู้ส่งเดียวกัน ก่อนทำการส่ง RREQ ในครั้งต่อไป หลังจากตรวจสอบข้อมูลในตารางเส้นทางของตนเองแล้ว และการตรวจสอบการสร้าง RREP และ REXT ก่อนการส่งแพ็คเก็ตตอบกลับของ RREQ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ ZRP ในการส่งแพ็คเก็ตแบบ unicast โดยจากผลการทดลองการทำงานของ IZRP สามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพดีกว่า ZRP เกือบทุกสภาพเครือข่าย โดยเฉพาะถ้าหากโหนดมีความหนาแน่นในเครือข่ายมากยิ่งขึ้น จะสามารถลดจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้ในการจัดหาเส้นทางได้มากที่สุด แต่การทำงานของ IZRP ที่ตรวจสอบการสร้าง RREP และ REXT ทำให้อาจจะมี RREP เพียงแพ็คเก็ตเดียวที่ใช้ส่งตอบกลับ ซึ่งถ้าเกิดสูญหายระหว่างทางจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการส่งแพ็คเก็ตข้อมูลสูงกว่า ZRP เพียงเล็กน้อย และการทำงานของ IZRP จำเป็นต้องใช้พื้นที่หน่วยความจำเพิ่มมากขึ้นเพื่อใช้การเก็บ RREQ ชั่วคราวสำหรับส่งไปยังโหนดที่อยู่ข้างเคียง และใช้เก็บข้อมูล RREP และ REXT เพื่อใช้ตรวจสอบการสร้างและส่งแพ็คเก็ตที่ซ้ำซ้อน แต่พื้นที่หน่วยความจำที่สูญเสียไปสำหรับเก็บข้อมูลเพิ่มเติมนั้นจะเป็นแค่ช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น จึงทำให้ไม่น่ามีผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่มีพื้นที่ในหน่วยความจำน้อย ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์สื่อสารไร้สายมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องรวมทั้งพื้นที่หน่วยความจำที่สามารถมีความจุมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการใช้พื้นที่หน่วยความจำที่มากขึ้นของ IZRP จึงไม่เป็นอุปสรรคถ้าหากจะนำงานวิจัยฉบับนี้ไปประยุกต์ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สื่อสารไร้สายในปัจจุบัน

จากประสิทธิภาพการทำงานของ IZRP สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการติดต่อสื่อสารของอุปกรณ์ไร้สายที่มีการเกาะกลุ่มกันมากและมีการส่งแพ็คเก็ตแบบ unicast บนพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น การนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์สื่อสารไร้สายของผู้ช่วยค้นหาผู้ประสบภัยจากตึกถล่มเวิร์ดเทรด หรือการติดต่อสื่อสารของอุปกรณ์ไร้สายในงานมหกรรมที่มีจำนวนคนใช้อุปกรณ์สื่อสารไร้สายกันมากๆ

## ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้ได้จำลองการทำงานของ ZRP ด้วยวิธีการส่งแพ็คเก็ตแบบ unicast ซึ่งพบปัญหาเมื่อโหนดที่มีหน้าที่ทำการ rebordercast แพ็คเก็ต จะต้องสร้าง RREQ เท่าจำนวนสมาชิกที่เป็น peripheral node ของตนเอง โดยถ้าหากภายในโซนของตนเองมีจำนวนสมาชิกที่เป็น peripheral node อยู่จำนวนมาก จะส่งผลทำให้แพ็คเก็ตที่อยู่ในคิวเพื่อรอส่งต่อไปยังโหนดถัดไปเต็ม ทำให้แพ็คเก็ตที่ถูกสร้างขึ้นและต้องส่งต่อไปยังโหนดถัดไปถูกกำจัดทิ้ง จึงทำให้การทำงานของ ZRP ไม่เหมาะสมกับโซนที่มีสมาชิกจำนวนมากๆ ถึงแม้ว่างานวิจัยฉบับนี้จะแก้ไขปัญหาดังกล่าวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ ZRP ให้สามารถใช้งานกับขนาดโซนที่มีสมาชิกจำนวนมากขึ้นได้ระดับหนึ่ง แต่ในสภาพเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่ไปเกาะกลุ่มกันหนาแน่นมากก็ยังเกิดปัญหาแพ็คเก็ตในคิวเต็มได้ ดังนั้นการนำ ZRP ไปใช้ในเครือข่ายที่ภายในโซนมีจำนวนสมาชิกจำนวนมากๆ ควรเลือกใช้วิธีการส่งแพ็คเก็ตแบบการแพร่สัญญาณเฉพาะกลุ่ม (multicast) เป็นวิธีการส่งแพ็คเก็ตเพียงครั้งเดียวแต่มีผู้รับแพ็คเก็ตมากกว่าหนึ่งโหนด เพื่อลดปัญหาการเกิดแพ็คเก็ตในคิวเต็ม แต่การส่งแพ็คเก็ตบบการแพร่สัญญาณเฉพาะกลุ่มของ ZRP จำเป็นต้องมีการเรียนรู้ข้อมูลข่าวสารของโซนที่อยู่ข้างเคียงมากยิ่งขึ้น ซึ่งทำให้แพ็คเก็ตที่ส่งมีขนาดใหญ่มากขึ้น จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงข้อดีและข้อเสียดังกล่าวด้วย

# เอกสารและสิ่งอ้างอิง

Beijar, Nicklas. **Zone Routing Protocol (ZRP)**. Abaliable Source: http://keskus.hut.fi/opetus/s38030/k02/Paper/08-Nicklas.pdf, September 12, 2005.

Ed, T. Clausen and P. Jacquet, Ed. 2003. **Optimized Link State Routing Protocol (OSLR).** IETF Internet Draft. Avaliable Source: http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt, January 15, 2006.

Hong, X., Kaiwin Xu, and Mario Gerla. 2002. **Scalable Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks**. IEEE Network, Vol.16(4), pp.11-21, July/August.

Haas, Z.J., Samar P. and M.R. Pearlman. 2002. **The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks**. IETF Internet Draft, draft-ietf-manet-zone-zrp-04.txt, July.

Haas, Z.J., Samar P. and M.R. Pearlman. 2002. **Intrazone Routing Protocol (IARP)**. IETF Internet Draft, draft-ietf-manet-iarp-02.txt, July.

Haas, Z.J., Samar P. and M.R. Pearlman. 2002. **Interzone Routing Protocol (IERP)**. IETF Internet Draft, draft-ietf-manet-ierp-02.txt, July.

Haas, Z.J., Samar P. and M.R. Pearlman. 2002. **Bordercasting Resolution Protocol (BRP)**. IETF Internet Draft, draft-ietf-manet- brp -02.txt, July.

Haas, Z.J. and M.R. Pearlman. 2001. **The Performance of Query Control Schemes for the Zone Routing Protocol**. IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.9, No.4, 2001, pp. 427-438.

Haas, Z.J., Samar P. and M.R. Pearlman. 1999. **Determining the Optimal Configuration for the Zone Routing Protocol**. IEEE JSAC, special issue on Ad-Hoc Networks, Vol.17, No.8, August.

Haas, Z. J., M. R. Pearlman and P. Samar. 2004. **Independent Zone Routing: An Adaptive Hybrid Routing Framework for Ad Hoc Wireless Networks**. IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.12, No.4, August 2004, pp.595-608.

Murthy , C. Siva Ram and B. S. Manoj. 2004. **Ad Hoc Wireless Networks: Architectures and Protocols**. Prentice Hall, ISBN 0-13-47023-X.

Ongthanasuk, T., Sukumal K. and Chavalit S. 2005. **Improved Zone Routing Protocol with Route Request Packet Reduction**. Join Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE 2005), Burapha University, Chonburi, Thailand, November 17-18.

Ongthanasuk, T., Sukumal K. and Chavalit S. 2006. **Improved Zone Routing Protocol by Route Request Packet Reduction with A Priori Peripheral Nodes Check**. Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2006), Ubon Ratchathani, Thailand, May 10-13.

Perkins, Charles. E. 2001. **Ad Hoc Networking**. Addison-Wesley, ISBN 0-201-30976-9.

Perkins, Charles. E., Elizabeth. M. Royer and Samir R. Das. 2003. **Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing**. IETF Internet Draft. Avaliable Source: http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt, January 15, 2006.

Perkins, Charles E., Elizabeth M. Royer, Samir R. Das and Mahesh K. Marina. 2001. **Performance Comparison of Two On-Demand Routing Protocols for Ad Hoc Network**. IEEE INFOCOM, February.

Schaumann, Jan. 2002. **Analysis of the Zone Routing Protocol**. Avaliable Source: http://www.netmeister.org/misc/zrp/zrp.pdf, September 20, 2005.

Toh, C.-K. 2002. **Ad Hoc Mobile Wireless Networks: Protocols and Systems**. Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, N.J. ISBN 0-13-007817-4.

UCLA Parallel Computing Laboratory. **GloMoSim: Global Mobile Information System Simulation Library**. Avaliable Source: http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim, September 10, 2005.