

บทที่ 4

ผลของการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาโปรโตคอลค้นหาเส้นทางเชิงกริดสำหรับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ หรือโปรโตคอลจีอาร์พี (Greedy Routing Protocol for Inter-vehicle Communication: GRP) ซึ่งมีความแตกต่างจากโปรโตคอลค้นหาเส้นทางสำหรับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะที่มีประสิทธิภาพสูงในปัจจุบัน (Karp & Kung, 2000) (Füßler, et al., 2003) (Lochert, et al., 2003) (Jing, et al., 2003) กล่าวคือ โปรโตคอลจีอาร์พีสามารถทำการจัดส่งแพ็คเก็ตข้อมูลไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการได้ โดยไม่อาศัยข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันของโหนดปลายทางจากส่วนให้บริการข้อมูล (location service) แต่จะทำการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจำนวนไม่เกิน P โหนด โดยใช้รูปแบบผสมระหว่างตัวแบบ Set Covering model และตัวแบบ Maximum Covering Location model ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3

นอกจากนี้ ในบทที่ 3 ยังได้กล่าวไว้แล้วถึงตัววัดสมรรถนะหลักของโปรโตคอล (performance metrics) จำนวน 4 ตัววัด ซึ่งผู้วิจัยใช้ในการทำการทดลองในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทาง และค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทาง

ในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงผลการทดลองบนโปรแกรมจำลองเครือข่ายเอ็นเอชทู (Network Simulator 2: NS2) เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะพลวัต (dynamic characteristics) ของโปรโตคอลจีอาร์พี ซึ่งจะเป็นการศึกษาผลกระทบต่อสมรรถนะของโปรโตคอลของค่าพารามิเตอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ (tunable parameters) จำนวน 3 ตัว ได้แก่ เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) เวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) และอายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่แต่ละโหนดจัดเก็บไว้ (t) และผลการทดลองเพื่อศึกษาสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี (Greedy Routing Protocol for Inter-vehicle Communication: GRP) ซึ่งจะเป็นการวัดและเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี (GRP) กับโปรโตคอลเอโอดีวี (Ad hoc On-demand Distance Vector Routing: AODV) (C. E. Perkins & Royer, 1999) ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่มีประสิทธิภาพสูงในกลุ่มของโปรโตคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ (MANET) และโปรโตคอลซีบีเอฟ (Contention-

based Forwarding: CBF) (Füßler, et al., 2003) ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่มีประสิทธิภาพสูงในกลุ่มของโปรโตคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายยานพาหนะ

4.1 ผลการทดลอง (Results)

ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะพลวัต (dynamic characteristics) และเพื่อศึกษาสมรรถนะ (performance) ของโปรโตคอลจีอาร์พี (GRP) บนโปรแกรมจำลองเครือข่ายเอ็นเอสทู (Network Simulator 2: NS2) ในหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ในหัวข้อ 4.1.1 – 4.1.2 ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดลองสำหรับศึกษาลักษณะเฉพาะพลวัตของโปรโตคอลจีอาร์พีเมื่อทำงานร่วมกับตัวแบบการเคลื่อนที่แรนดอมเวย์พอยต์ กล่าวโดยละเอียดคือ ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) พารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีเมื่อทำงานในเครือข่ายซึ่งโหนดมีการเคลื่อนที่ตามตัวแบบการเคลื่อนที่แรนดอมเวย์พอยต์ในหัวข้อ 4.1.1 และ 4.1.2 ตามลำดับ จากนั้นในหัวข้อ 4.1.3 – 4.1.4 ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดลองสำหรับศึกษาลักษณะเฉพาะพลวัตของโปรโตคอลจีอาร์พีเมื่อทำงานในเครือข่ายซึ่งโหนดมีการเคลื่อนที่ตามตัวแบบการเคลื่อนที่แมนฮัตตันกริด กล่าวโดยละเอียดคือ ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) พารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีเมื่อทำงานร่วมกับตัวแบบการเคลื่อนที่แมนฮัตตันกริดในหัวข้อ 4.1.3 และ 4.1.4 ถัดไปในหัวข้อ 4.1.5 – 4.1.6 ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดลองเพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีกับสมรรถนะของโปรโตคอลเอโอดีวี (C. E. Perkins & Royer, 1999) และโปรโตคอลซีบีเอฟ (Füßler, et al., 2003) เมื่อโปรโตคอลทั้งสามทำงานในเครือข่ายซึ่งโหนดมีการเคลื่อนที่ตามตัวแบบแรนดอมเวย์พอยต์และตัวแบบแมนฮัตตันกริด ตามลำดับ

4.1.1 การทดลองที่หนึ่งเพื่อศึกษาลักษณะพลวัตของโปรโตคอลจีอาร์พี (GRP) เมื่อทำงานร่วมกับตัวแบบการเคลื่อนที่แบบแรนดอมเวย์พอยต์: ผลกระทบของค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t)

การทดลองที่หนึ่งเป็นการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี ค่าพารามิเตอร์การทดลองเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4.1 กล่าวคือ เครือข่ายประกอบด้วยโหนดจำนวน 32 โหนด แต่ละโหนดเคลื่อนที่ตามตัวแบบการเคลื่อนที่แบบแรนดอมเวย์พอยต์ ด้วยความเร็ว 60 80 100 และ 180 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การทดลองครอบคลุมพื้นที่ 750 X 750 ตารางเมตร ภายในระยะเวลาการทดลอง 50 วินาที สำหรับค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตเกิดตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตเกิดตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) จะมีค่าคงที่เท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ตามลำดับ ส่วนอายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) สำหรับการทดลองที่หนึ่งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ 3 ค่าที่แตกต่างกัน คือ 2 วินาที 3 วินาที และ 4 วินาที

ตารางที่ 4.1

ค่าพารามิเตอร์การทดลองที่หนึ่งเพื่อศึกษาลักษณะพลวัตของโปรโตคอลจีอาร์พี (GRP):

ผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t)

Parameter	Value
Routing protocols	GRP
Mobility models	Random Waypoint
Simulation area	750 X 750 m ²
Simulation time	50 second
Max. node speed	60, 80, 100, 180 km/h
Traffic source	CBR, packet 100 bytes
Number of nodes	32 nodes
Source-destination pairs	10 pairs
*GRP times for S_1 , S_2 , t	1, 0.5, 2 seconds
	1, 0.5, 3 seconds
	1, 0.5, 4 seconds

ในส่วนถัดไปของหัวข้อนี้ ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดลองซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) ที่มีต่อตัววัดสมรรถนะอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทาง และค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับ ในหัวข้อ 4.1.1.1 – 4.1.1.4 ตามลำดับ

4.1.1.1 อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล (Packet Delivery Ratio)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พีเมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 2 วินาที 3 วินาที และ 4 วินาที และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อจำนวนไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่มีค่าใกล้เคียง 1.0 หรือ 100% แสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอลจีอาร์พี

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2 เมื่อกำหนดให้ $P=1$ อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เท่ากับ 3 วินาทีที่มีค่าสูงที่สุดคิดเป็น 92.25% ในขณะที่เมื่อเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์ t เป็น 2 วินาที และ 4 วินาที ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลมีค่าลดลง กล่าวคือโปรโตคอลมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยคิดเป็น 91.50% และ 88.50% ตามลำดับ

และเมื่อกำหนดให้ $P=2$ ผลการทดลองแสดงว่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เท่ากับ 3 วินาทีให้ค่าเฉลี่ยที่สูงอีกเช่นกันคิดเป็น 94% ในขณะที่เมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์ t มีค่าเท่ากับ 2 วินาที และ 4 วินาที ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยลดลง กล่าวคือโปรโตคอลมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยคิดเป็น 91.75% และ 90.25% ตามลำดับ

โปรโตคอลจีอาร์พีที่มีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยลดลงเมื่อมีการขยายช่วงเวลาที่แต่ละโหนดภายในเครือข่ายสามารถใช้งานข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่สืบค้นไว้ก่อนหน้านี้ได้ ($t=4$ วินาที) เนื่องจากการเพิ่มช่วงเวลาดังกล่าวส่งผลให้ข้อมูลสำหรับการคัดเลือกโหนดส่งต่อไม่ตรงกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้นภายในเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ในทำนองเดียวกันโปรโตคอลจีอาร์พีที่มีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยลดลงเมื่อมีการลดช่วงเวลาที่แต่ละโหนดภายในเครือข่ายสามารถใช้งานข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่สืบค้นไว้ก่อนหน้านี้ได้ ($t=2$ วินาที) เนื่องจากการกำหนดให้ข้อมูลมีอายุการใช้งานที่สั้นเกินไปจะส่งผลให้โหนดภายในเครือข่ายต้องทำการสืบค้นจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเองอยู่

บ่อยครั้ง โอกาสที่จะเกิดการชนกันของแพ็คเก็ตต่าง ๆ ภายในเครือข่ายเพิ่มสูงขึ้น ทำให้อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยลดลง

ดังนั้นผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2 บ่งชี้ว่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) สำหรับโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 3 วินาที เนื่องจากอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มหรือลดค่าของพารามิเตอร์ตัวนี้

นอกจากจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีแล้ว ตารางที่ 4.2 ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านบวกของพารามิเตอร์จำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ ที่อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ค่าหนึ่งและชุดของพารามิเตอร์ t , S_1 และ S_2 ชุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลสูงขึ้น

ในทางตรงกันข้ามตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ เมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านซึ่งใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจะผิดพลาดจากสภาพที่เกิดขึ้นจริงในเครือข่ายมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลลดลง

ตารางที่ 4.2

แสดงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t)

Max. Speed (Km/h)	Packet Delivery Ratio (P=1) (Percent)			Packet Delivery Ratio (P=2) (Percent)		
	1, 0.5, 2			1, 0.5, 2		
	1, 0.5, 2	1, 0.5, 3	1, 0.5, 4	1, 0.5, 2	1, 0.5, 3	1, 0.5, 4
60	98.00	98.00	97.00	99.00	100.00	97.00
80	95.00	95.00	92.00	93.00	97.00	96.00
100	90.00	89.00	88.00	91.00	93.00	87.00
180	83.00	87.00	77.00	84.00	86.00	81.00
Average	91.50	92.25	88.50	91.75	94.00	90.25

4.1.1.2 ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง (Average End-to-end Delay)

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางซึ่งเป็นเวลาโดยเฉลี่ยที่แพ็คเก็ตข้อมูลแต่ละแพ็คเก็ตใช้ในการเดินทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 2 วินาที 3 วินาที และ 4 วินาที และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีมีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 1 โหนด (P=1) และ 2 โหนด (P=2) ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่ต่ำแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อกำหนดให้ P=1 ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เท่ากับ 2 วินาที 3 วินาที และ 4 วินาที มีค่าประมาณ 0.89 วินาที 0.86 วินาที และ 0.74 วินาที ตามลำดับ และเมื่อกำหนดให้ P=2 ผลการทดลองแสดงว่าค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เท่ากับ 2 วินาที 3 วินาที และ 4 วินาที มีค่าประมาณ 0.69 วินาที 0.79 วินาที และ 0.87 วินาทีตามลำดับ

โดยภาพรวมแล้วผลการทดลองบ่งชี้ว่าโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่สูงขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่แต่ละโหนดภายในเครือข่ายสามารถใช้งานข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่สืบค้นไว้ก่อนหน้านี้ได้ (t) เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาดังกล่าว ข้อมูลจำนวน

โหนดเพื่อนบ้านที่แต่ละโหนดใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อไม่ทันสมัย กล่าวคือ มีความคลาดเคลื่อนไปจากสภาพความเป็นจริงภายในเครือข่าย ส่งผลให้โดยเฉลี่ยแล้วแต่ละแพ็คเก็ตข้อมูลต้องใช้เวลามากขึ้นในการเดินทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง

นอกจากจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีแล้ว ตารางที่ 4.3 ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านบวกของพารามิเตอร์จำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ ยกเว้นเมื่อ $t=4$ วินาที ที่อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ค่าหนึ่งและชุดของพารามิเตอร์ t S_1 และ S_2 ชุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางมีค่าลดลง

ในทางตรงกันข้ามตารางที่ 4.3 ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านซึ่งใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจะผิดพลาดจากสภาพที่เกิดขึ้นจริงในเครือข่ายมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.3

แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t)

Max. speed (Km/h)	Average End-to-end Delay (P=1) (Seconds)			Average End-to-end Delay (P=2) (Seconds)		
	1, 0.5, 2	1, 0.5, 3	1, 0.5, 4	1, 0.5, 2	1, 0.5, 3	1, 0.5, 4
60	0.41	0.39	0.42	0.47	0.47	0.49
80	0.69	0.61	0.75	0.50	0.63	0.77
100	0.94	0.88	0.77	0.70	0.78	0.87
180	1.53	1.55	1.02	1.10	1.27	1.35
Average	0.89	0.86	0.74	0.69	0.79	0.87

4.1.1.3 โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทาง (Average Routing Overhead)

ตารางที่ 4.4 แสดงโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พี เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 2 วินาที 3 วินาที และ 4 วินาที และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีมีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ ปริมาณโอเวอร์เฮดเฉลี่ยของโปรโตคอลที่ต่ำแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

ตารางที่ 4.4 โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางเพิ่มขึ้น เมื่อลดค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เนื่องจากการลดระยะเวลาที่โหนดภายในเครือข่ายสามารถใช้งานข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่สืบค้นไว้ก่อนหน้านี้ได้จะส่งผลให้จำนวนแพ็คเก็ตทดสอบข้อมูลเพื่อนบ้านและแพ็คเก็ตข้อมูลตอบกลับเพื่อนบ้าน (ซึ่งจัดเป็นโอเวอร์เฮดของโปรโตคอลจีอาร์พี) ที่ต้องมีการรับ-ส่งระหว่างโหนดภายในเครือข่ายมีจำนวนเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาที่โหนดภายในเครือข่ายสามารถใช้งานข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่สืบค้นไว้ก่อนหน้านี้ได้เป็นการลดปริมาณแพ็คเก็ตทดสอบข้อมูลเพื่อนบ้านและแพ็คเก็ตข้อมูลตอบกลับเพื่อนบ้าน (ซึ่งจัดเป็นโอเวอร์เฮดของโปรโตคอลจีอาร์พี) ที่ต้องมีการรับ-ส่งระหว่างโหนดภายในเครือข่าย

นอกจากจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีแล้ว ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของพารามิเตอร์จำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ ที่อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ค่าหนึ่งและชุดของพารามิเตอร์ t , S_1 และ S_2 ชุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ค่าโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.4

แสดงโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t)

Max. speed (Km/h)	Average Routing Overhead (P=1) (Packets)			Average Routing Overhead (P=2) (Packets)		
	1, 0.5, 2	1, 0.5, 3	1, 0.5, 4	1, 0.5, 2	1, 0.5, 3	1, 0.5, 4
60	375.70	360.70	336.00	415.20	409.70	357.80
80	389.90	372.70	356.20	405.70	385.80	382.60
100	325.00	356.90	310.00	358.70	341.30	342.30
180	366.70	327.40	274.20	390.10	337.70	341.70
Average	364.33	354.43	319.10	392.43	368.63	356.10

4.1.1.4 ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเกจข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับ (Average Duplicate Packet)

เมื่อเพิ่มเส้นทางสำหรับแพ็คเกจข้อมูลในการเดินทางไปยังโหนดปลายทางโดยการเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อซึ่งโหนดต้นทางต้องทำการคัดเลือก (P) ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้คือการที่โหนดปลายทางได้รับแพ็คเกจข้อมูลซ้ำซ้อน ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเกจข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับของโปรโตคอลจีอาร์พี เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 2 วินาที 3 วินาที และ 4 วินาที และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีมีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 2 โหนด ($P=2$) เนื่องจากเส้นทางที่แพ็คเกจข้อมูลสามารถเดินทางไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการนั้นมีได้มากกว่าหนึ่งเส้นทาง ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเกจข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับที่น้อยแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งให้เห็นว่าเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เท่ากับ 2 วินาที ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเกจข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับมีค่าน้อยที่สุดโดยเฉลี่ยประมาณ 0.14 แพ็คเกจ ในขณะที่ถ้ากำหนดให้อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เท่ากับ 3 วินาที และ 4 วินาที ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเกจข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับอยู่ที่ประมาณ 0.21 แพ็คเกจ และ 0.16 แพ็คเกจ

ตารางที่ 4.5

แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อ
ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t)

Max. Speed (Km/h)	Average Duplicated Packet (P=2) (Packets)		
	1, 0.5, 2	1, 0.5, 3	1, 0.5, 4
60	0.13	0.28	0.23
80	0.23	0.28	0.20
100	0.13	0.16	0.11
180	0.08	0.11	0.09
Average	0.14	0.21	0.16

4.1.2 การทดลองที่สองเพื่อศึกษาลักษณะพลวัตของโปรโตคอลจีอาร์พี (GRP) เมื่อทำงานร่วมกับตัวแบบการเคลื่อนที่แบบแรนดอมเวย์พอยต์: ผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2)

การทดลองที่สองเป็นการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) ซึ่งค่าพารามิเตอร์สำหรับการทดลองที่สองเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4.6 กล่าวคือ เครือข่ายประกอบไปด้วยโหนดจำนวน 32 โหนด แต่ละโหนดเคลื่อนที่ตามตัวแบบการเคลื่อนที่แบบแรนดอมเวย์พอยต์ ด้วยความเร็ว 60 80 100 และ 180 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การทดลองครอบคลุมพื้นที่การทดลอง 750 X 750 ตารางเมตร ภายในระยะเวลาการทดลอง 50 วินาที สำหรับค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) จะมีค่าคงที่เท่ากับ 3 วินาที ส่วนพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) เป็น 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) ชุดถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) และชุดสุดท้ายเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6

ค่าพารามิเตอร์การทดลองที่สองเพื่อศึกษาลักษณะพลวัตของโปรโตคอลจีอาร์พี (GRP):
 ผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1)
 และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2)

Parameter	Value
Routing protocols	GRP
Mobility models	Random Waypoint
Simulation area	750 X 750 m ²
Simulation time	50 second
Max. node speed	60, 80, 100, 180 km/h
Traffic source	CBR, packet 100 bytes
Number of nodes	32 nodes
Source-destination pairs	10 pairs
*GRP times for S_1 , S_2 , t	0.5, 0.25, 3 seconds
	1, 0.5, 3 seconds
	1.5, 1, 3 seconds

ในส่วนถัดไปของหัวข้อนี้ ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดลองซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) ที่มีต่อตัววัดสมรรถนะอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทาง และค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับ ในหัวข้อ 4.1.2.1 – 4.1.2.4 ตามลำดับ

4.1.2.1 อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล (Packet Delivery Ratio)

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พีเมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) ชุดถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) และชุดสุดท้ายเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีมีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่มีค่าใกล้เคียง 1.0 หรือ 100% แสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอลจีอาร์พี

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.7 เมื่อกำหนดให้ $P=1$ อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) มีค่าสูงที่สุดคิดเป็น 93% ในขณะที่เมื่อเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์ S_1 และ S_2 เป็น 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) และสุดท้าย 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยมีค่าลดลง กล่าวคือโปรโตคอลมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยคิดเป็น 92.25% และ 85.25% ตามลำดับ

และเมื่อกำหนดให้ $P=2$ ผลการทดลองแสดงว่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) ให้ค่าเฉลี่ยที่สูงอีกเช่นกันคิดเป็น 95.75% ในขณะที่เมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์ S_1 และ S_2 มีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) และสุดท้าย 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยมีค่าลดลง กล่าวคือโปรโตคอลมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยคิดเป็น 94% และ 90% ตามลำดับ

โปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยลดลงเมื่อเพิ่มช่วงเวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรองรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อสอบถามข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง ($S_1=1$ วินาที และ 1.5 วินาที) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรองรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง ($S_2=0.5$ วินาที และ 1 วินาที) เนื่องจากการเพิ่มช่วงเวลาดังกล่าวส่งผลให้ข้อมูลสำหรับการใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อไม่ตรงกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้นภายในเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา

ดังนั้นผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.7 บ่งชี้ว่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรองรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรองรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) สำหรับโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) เนื่องจากอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มค่าของพารามิเตอร์ทั้งสองตัวนี้

นอกจากจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรองรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรองรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีแล้ว ตารางที่ 4.7 ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านบวกของพารามิเตอร์จำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ที่มีต่อผลกระทบทางด้านบวกของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ ที่อัตราความสำเร็จในการเคลื่อนที่ค่าหนึ่งและชุดของพารามิเตอร์ S_1 , S_2 และ t ชุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเพิ่มสูงขึ้น

ในทางตรงกันข้ามตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ เมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านซึ่งใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจะผิดพลาดจากสภาพที่เกิดขึ้นจริงในเครือข่ายมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลลดลง

ตารางที่ 4.7

แสดงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2)

Max. Speed (Km/h)	Packet Delivery Ratio (P=1) (Percent)			Packet Delivery Ratio (P=2) (Percent)		
	0.5,0.25,3	1, 0.5, 3	1.5, 1, 3	0.5,0.25,3	1, 0.5, 3	1.5, 1, 3
60	96.00	98.00	96.00	100.00	100.00	97.00
80	97.00	95.00	91.00	98.00	97.00	95.00
100	93.00	89.00	84.00	93.00	93.00	90.00
180	86.00	87.00	70.00	92.00	86.00	78.00
Average	93.00	92.25	85.25	95.75	94.00	90.00

4.1.2.2 ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง (Average End-to-end Delay)

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางซึ่งเป็นเวลาโดยเฉลี่ยที่แพ็คเก็ตข้อมูลแต่ละแพ็คเก็ตใช้ในการเดินทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) กำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีมีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่ต่ำแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.8 เมื่อกำหนดให้ $P=1$ ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที)

พารามิเตอร์ชุดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) มีค่าประมาณ 0.51 วินาที 0.86 วินาที และ 0.81 วินาที ตามลำดับ

และเมื่อกำหนดให้ $P=2$ ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) มีค่าประมาณ 0.53 วินาที 0.79 วินาที และ 1.04 วินาที ตามลำดับ

โดยภาพรวมแล้วผลการทดลองบ่งชี้ว่าโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มช่วงเวลาที่โหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาหรือตั้งเวลารอบรับแพ็คเก็ตดังกล่าวให้นานขึ้น ส่งผลให้เวลารวมที่แพ็คเก็ตข้อมูลเดินทางไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการนั้นมีระยะเวลานานยิ่งขึ้น

นอกจากจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีแล้วตารางที่ 4.8 ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของพารามิเตอร์จำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ เมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางมีค่าเพิ่มขึ้นยกเว้นเมื่อ $S_1=1.0$ วินาที และ $S_2=0.5$ วินาที ที่ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางมีค่าลดลง

และจากตารางที่ 4.8 ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบด้านลบของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านซึ่งใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจะผิดพลาดจากสภาพที่เกิดขึ้นจริงในเครือข่ายมากขึ้นซึ่งเป็นผลให้ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.8

แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2)

Max. Speed (Km/h)	Average End-to-end Delay (P=1) (Seconds)			Average End-to-end Delay (P=2) (Seconds)		
	0.5,0.25,3	1, 0.5, 3	1.5, 1, 3	0.5,0.25,3	1, 0.5, 3	1.5, 1, 3
60	0.32	0.39	0.55	0.30	0.47	0.61
80	0.39	0.61	0.86	0.51	0.63	0.89
100	0.56	0.88	0.76	0.51	0.78	1.10
180	0.75	1.55	1.07	0.79	1.27	1.59
Average	0.51	0.86	0.81	0.53	0.79	1.04

4.1.2.3 โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทาง (Average Routing Overhead)

ตารางที่ 4.9 แสดงโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พี เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) กำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีมีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ ปริมาณโอเวอร์เฮดเฉลี่ยของโปรโตคอลที่ต่ำแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.9 โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางลดลง เมื่อเพิ่มค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) เนื่องจากตลอดเส้นทางที่แพ็คเก็ตข้อมูลเดินทางไปยังโหนดปลายทางนั้นมีจำนวนฮอปโดยเฉลี่ยลดลง จำนวนโอเวอร์เฮดของโปรโตคอลจีอาร์พีที่ทุก ๆ ฮอปต้องส่งแพ็คเก็ตสอบถาม

ข้อมูลเพื่อนบ้านและแพ็คเก็ตข้อมูลตอบกลับเพื่อนบ้าน (ซึ่งจัดเป็นโอเวอร์เฮดของโปรโตคอลจีอาร์พี) ที่ต้องมีการรับ-ส่งระหว่างโหนดภายในเครือข่ายมีจำนวนลดลงตามไปด้วย เมื่อค่าพารามิเตอร์ชุดแรกมีค่าเท่ากับ $S_1=0.5$ วินาที และ $S_2=0.25$ วินาที ชุดที่สองมีค่าเท่ากับ $S_1=1$ วินาที และ $S_2=0.5$ วินาที และชุดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ $S_1=1.5$ วินาที และ $S_2=1$ วินาที ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยจำนวนฮอปประมาณ 3.6 ฮอป 3.2 ฮอป และ 3 ฮอป ตามลำดับ

นอกจากจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนบ้านจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีแล้ว ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของพารามิเตอร์จำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ ที่อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ค่าหนึ่งและชุดของพารามิเตอร์ S_1 S_2 และ t ชุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ค่าโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.9

แสดงโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนบ้านจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2)

Max. speed (Km/h)	Average Routing Overhead (P=1) (Packets)			Average Routing Overhead (P=2) (Packets)		
	0.5,0.25,3	1, 0.5, 3	1.5, 1, 3	0.5,0.25,3	1, 0.5, 3	1.5 ,1, 3
60	441.80	360.70	321.70	466.00	409.70	337.60
80	420.30	372.70	352.70	487.40	385.80	359.30
100	393.60	356.90	283.00	425.80	341.30	324.60
180	369.60	327.40	224.50	448.10	337.70	292.30
Average	406.33	354.43	295.48	456.83	368.63	328.45

4.1.2.4 ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับ (Average Duplicate Packet)

เมื่อเพิ่มเส้นทางสำหรับแพ็คเก็ตข้อมูลในการเดินทางไปยังโหนดปลายทางโดยการเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อซึ่งโหนดต้นทางต้องทำการคัดเลือก (P) ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้คือการที่โหนดปลายทางได้รับแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อน ตารางที่ 4.10 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับของโปรโตคอลจีอาร์พี เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีมีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 2 โหนด ($P=2$) เนื่องจากเส้นทางที่แพ็คเก็ตข้อมูลสามารถเดินทางไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการนั้นมีได้มากกว่าหนึ่งเส้นทาง ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับที่น้อยแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.10 ชี้ให้เห็นว่าเมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) เท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) และ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับมีค่าน้อยที่สุดโดยเฉลี่ยประมาณ 0.21 แพ็คเก็ต ในขณะที่ถ้ากำหนดให้เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) เท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับอยู่ที่ประมาณ 0.22 แพ็คเก็ต

ตารางที่ 4.10

แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2)

Max. Speed (Km/h)	Average Duplicate Packet (P=2) (Packets)		
	0.5, 0.25, 3	1, 0.5, 3	1.5, 1, 3
60	0.40	0.28	0.28
80	0.21	0.28	0.26
100	0.09	0.16	0.19
180	0.16	0.11	0.11
Average	0.22	0.21	0.21

4.1.3 การทดลองที่สามเพื่อศึกษาลักษณะพลวัตของโปรโตคอลจีอาร์พี (GRP) เมื่อทำงานร่วมกับตัวแบบการเคลื่อนที่แบบแมนฮัตตันกริด: ผลกระทบของค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t)

การทดลองที่สามเป็นการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี ค่าพารามิเตอร์การทดลองเป็นไปตามแสดงในตารางที่ 4.1 กล่าวคือ เครือข่ายประกอบด้วยโหนดจำนวน 40 โหนด แต่ละโหนดเคลื่อนที่ตามตัวแบบการเคลื่อนที่แบบแมนฮัตตันกริด ด้วยความเร็ว 60 80 100 และ 180 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การทดลองครอบคลุมพื้นที่ 1000 X 1000 ตารางเมตร ภายในระยะเวลาการทดลอง 200 วินาที สำหรับค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) จะมีค่าคงที่เท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ตามลำดับ ส่วนอายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) สำหรับการทดลองที่หนึ่งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ 3 ค่าที่แตกต่างกัน คือ 2 วินาที 3 วินาที และ 4 วินาที

ตารางที่ 4.11

ค่าพารามิเตอร์การทดลองที่สามเพื่อศึกษาลักษณะพลวัตของโปรโตคอลจีอาร์พี (GRP):

ผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t)

Parameter	Value
Routing protocols	GRP
Mobility models	Manhattan Grid
Simulation area	1000 X 1000 m ²
Simulation time	200 second
Max. node speed	60, 80, 100, 180 km/h
Traffic source	CBR, packet 100 bytes
Number of nodes	40 nodes
Source-destination pairs	10 pairs
*GRP times for S_1 , S_2 , t	1, 0.5, 2 seconds
	1, 0.5, 3 seconds
	1, 0.5, 4 seconds

ในส่วนถัดไปของหัวข้อนี้ ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดลองซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) ที่มีต่อตัววัดสมรรถนะอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทาง และค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับ ในหัวข้อ 4.1.3.1 – 4.1.3.4 ตามลำดับ

4.1.3.1 อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล (Packet Delivery Ratio)

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พีเมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 2 วินาที 3 วินาที และ 4 วินาที และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อจำนวนไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$)

และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่มีค่าใกล้เคียง 1.0 หรือ 100% แสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอลจีอาร์พี

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.12 เมื่อกำหนดให้ $P=1$ อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เท่ากับ 2 วินาทีที่มีค่าสูงที่สุดคิดเป็น 77.22% ในขณะที่เมื่อเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์ t เป็น 3 วินาที และ 4 วินาที ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลมีค่าลดลง กล่าวคือ โปรโตคอลมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยคิดเป็น 76.31% และ 72.90% ตามลำดับ

และเมื่อกำหนดให้ $P=2$ ผลการทดลองแสดงว่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เท่ากับ 2 วินาทีให้ค่าเฉลี่ยที่สูงอีกเช่นกันคิดเป็น 82.56% ในขณะที่เมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์ t มีค่าเท่ากับ 3 วินาที และ 4 วินาที ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยลดลง กล่าวคือ โปรโตคอลมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยคิดเป็น 80.63% และ 77.05% ตามลำดับ

โปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยลดลงเมื่อมีการขยายช่วงเวลาที่แต่ละโหนดภายในเครือข่ายสามารถใช้งานข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่สืบค้นไว้ก่อนหน้านี้ได้ ($t=3$ และ $t=4$ วินาที) เนื่องจากการเพิ่มช่วงเวลาดังกล่าวส่งผลให้ข้อมูลสำหรับใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อไม่ตรงกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้นภายในเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา

ดังนั้นผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.12 บ่งชี้ว่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) สำหรับโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 2 วินาที เนื่องจากอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มค่าของพารามิเตอร์ตัวนี้

นอกจากจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีแล้ว ตารางที่ 4.12 ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านบวกของพารามิเตอร์จำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ ที่อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ค่าหนึ่งและชุดของพารามิเตอร์ t S_1 และ S_2 ชุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลสูงขึ้น

ในทางตรงกันข้ามตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ เมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านซึ่งใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจะผิดพลาดจากสภาพที่เกิดขึ้นจริงในเครือข่ายมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลลดลง

ตารางที่ 4.12

แสดงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t)

Max. Speed (Km/h)	Packet Delivery Ratio (P=1) (Percent)			Packet Delivery Ratio (P=2) (Percent)		
	1, 0.5, 2	1, 0.5, 3	1, 0.5, 4	1, 0.5, 2	1, 0.5, 3	1, 0.5, 4
60	82.27	81.14	78.86	86.14	85.00	81.82
80	78.86	76.14	74.55	83.18	82.50	76.82
100	77.95	79.55	75.00	83.64	83.41	79.09
180	69.77	68.41	63.18	77.27	71.59	70.45
Average	77.22	76.31	72.90	82.56	80.63	77.05

4.1.3.2 ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง (Average End-to-end Delay)

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางซึ่งเป็นเวลาโดยเฉลี่ยที่แพ็คเก็ตข้อมูลแต่ละแพ็คเก็ตใช้ในการเดินทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 2 วินาที 3 วินาที และ 4 วินาที และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีมีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 1 โหนด (P=1) และ 2 โหนด (P=2) ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่ต่ำแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.13 เมื่อกำหนดให้ $P=1$ ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เท่ากับ 2 วินาที 3 วินาที และ 4 วินาที มีค่าประมาณ 1.18 วินาที 1.23 วินาที และ 1.31 วินาที ตามลำดับ และเมื่อกำหนดให้ $P=2$ ผลการทดลองแสดงว่าค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เท่ากับ 2 วินาที 3 วินาที และ 4 วินาที มีค่าประมาณ 1.24 วินาที 1.33 วินาที และ 1.36 วินาทีตามลำดับ

โดยภาพรวมแล้วผลการทดลองบ่งชี้ว่าโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่สูงขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่แต่ละโหนดภายในเครือข่ายสามารถใช้งานข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่สืบค้นไว้ก่อนหน้านี้ได้ (t) เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาดังกล่าว ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่แต่ละโหนดใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อไม่ทันสมัย กล่าวคือ มีความคลาดเคลื่อนไปจากสภาพความเป็นจริงภายในเครือข่าย ส่งผลให้โดยเฉลี่ยแล้วแต่ละแพ็คเก็ตข้อมูลต้องใช้เวลามากขึ้นในการเดินทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง

นอกจากนี้ ตารางที่ 4.13 ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านซึ่งใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจะผิดพลาดจากสภาพที่เกิดขึ้นจริงในเครือข่ายมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.13

แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t)

Max. speed (Km/h)	Average End-to-end Delay (P=1) (Seconds)			Average End-to-end Delay (P=2) (Seconds)		
	1, 0.5, 2	1, 0.5, 3	1, 0.5, 4	1, 0.5, 2	1, 0.5, 3	1, 0.5, 4
60	1.29	1.11	1.47	1.24	1.21	1.29
80	1.40	1.53	1.64	1.44	1.95	1.53
100	1.05	1.11	1.15	1.02	1.05	1.38
180	0.99	1.18	1.00	1.24	1.12	1.26
Average	1.18	1.23	1.31	1.24	1.33	1.36

4.1.3.3 โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทาง (Average Routing Overhead)

ตารางที่ 4.14 แสดงโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พี เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 2 วินาที 3 วินาที และ 4 วินาที และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีมีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ ปริมาณโอเวอร์เฮดเฉลี่ยของโปรโตคอลที่ต่ำแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

ตารางที่ 4.14 โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางเพิ่มขึ้น เมื่อลดค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เนื่องจากการลดระยะเวลาที่โหนดภายในเครือข่ายสามารถใช้งานข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่สืบค้นไว้ก่อนหน้านี้ได้จะส่งผลให้จำนวนแพ็คเก็ตสอบถามข้อมูลเพื่อนบ้านและแพ็คเก็ตข้อมูลตอบกลับเพื่อนบ้าน (ซึ่งจัดเป็นโอเวอร์เฮดของโปรโตคอลจีอาร์พี) ที่ต้องมีการรับ-ส่งระหว่างโหนดภายในเครือข่ายมีจำนวนเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาที่โหนดภายในเครือข่ายสามารถใช้งานข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่สืบค้นไว้ก่อนหน้านี้ได้เป็นการลดปริมาณแพ็คเก็ตสอบถามข้อมูล

เพื่อนบ้านและแพ็คเก็ตข้อมูลตอบกลับเพื่อนบ้าน (ซึ่งจัดเป็นโอเวอร์เฮดของโปรโตคอลจีอาร์พี) ที่ต้องมีการรับ-ส่งระหว่างโหนดภายในเครือข่าย

นอกจากจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีแล้ว ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของพารามิเตอร์จำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ ที่อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ค่าหนึ่งและชุดของพารามิเตอร์ t , S_1 และ S_2 ชุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ค่าโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.14

แสดงโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t)

Max. speed (Km/h)	Average Routing Overhead (P=1) (Packets)			Average Routing Overhead (P=2) (Packets)		
	1, 0.5, 2	1, 0.5, 3	1, 0.5, 4	1, 0.5, 2	1, 0.5, 3	1, 0.5, 4
60	1414.45	1256.82	1256.73	1603.82	1584.73	1424.27
80	2064.91	1347.18	1299.27	2311.82	1618.64	1459.00
100	1220.64	1210.73	1135.82	1372.36	1355.64	1370.09
180	1141.64	1073.64	911.00	1451.82	1816.18	1212.09
Average	1460.41	1222.09	1150.70	1684.95	1593.80	1366.36

4.1.3.4 ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับ (Average Duplicate Packet)

เมื่อเพิ่มเส้นทางสำหรับแพ็คเก็ตข้อมูลในการเดินทางไปยังโหนดปลายทางโดยการเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อซึ่งโหนดต้นทางต้องทำการคัดเลือก (P) ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้คือการที่โหนดปลายทางได้รับแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อน ตารางที่ 4.15 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูล

ซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับของโปรโตคอลจีอาร์พี เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 2 วินาที 3 วินาที และ 4 วินาที และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีมีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 2 โหนด ($P=2$) เนื่องจากเส้นทางที่แพ็คเก็ตข้อมูลสามารถเดินทางไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการนั้นมีได้มากกว่าหนึ่งเส้นทาง ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับที่น้อยแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.15 ซึ่งให้เห็นว่าเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เท่ากับ 3 วินาที ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับมีค่าน้อยที่สุดโดยเฉลี่ยประมาณ 0.44 แพ็คเก็ต ในขณะที่ถ้ากำหนดให้อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) เท่ากับ 2 วินาที และ 4 วินาที ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับอยู่ที่ประมาณ 0.50 แพ็คเก็ต และ 0.55 แพ็คเก็ต

ตารางที่ 4.15

แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t)

Max. Speed (Km/h)	Average Duplicated Packet ($P=2$) (Packets)		
	1, 0.5, 2	1, 0.5, 3	1, 0.5, 4
60	0.53	0.53	0.60
80	0.51	0.42	0.59
100	0.51	0.42	0.57
180	0.45	0.38	0.44
Average	0.50	0.44	0.55

4.1.4 การทดลองที่สี่เพื่อศึกษาลักษณะพลวัตของโปรโตคอลจีอาร์พี (GRP) เมื่อทำงานร่วมกับตัวแบบการเคลื่อนที่แบบแมนฮัตตันกริด: ผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตเกิดตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตเกิดตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2)

การทดลองที่สี่เป็นการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตเกิดตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตเกิดตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) ซึ่งค่าพารามิเตอร์สำหรับการทดลองที่สี่เป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4.16 กล่าวคือ เครือข่ายประกอบไปด้วยโหนดจำนวน 40 โหนด แต่ละโหนดเคลื่อนที่ตามตัวแบบการเคลื่อนที่แบบแมนฮัตตันกริด ด้วยความเร็ว 60 80 100 และ 180 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การทดลองครอบคลุมพื้นที่การทดลอง 1000 X 1000 ตารางเมตร ภายในระยะเวลาการทดลอง 200 วินาที สำหรับค่าพารามิเตอร์อายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) จะมีค่าคงที่เท่ากับ 3 วินาที ส่วนพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตเกิดตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตเกิดตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) เป็น 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) ชุดถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) และชุดสุดท้ายเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16

ค่าพารามิเตอร์การทดลองที่สี่เพื่อศึกษาลักษณะพลวัตของโปรโตคอลจีอาร์พี (GRP): ผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2)

Parameter	Value
Routing protocols	GRP
Mobility models	Manhattan Grid
Simulation area	1000 X 1000 m ²
Simulation time	200 second
Max. node speed	60, 80, 100, 180 km/h
Traffic source	CBR, packet 100 bytes
Number of nodes	40 nodes
Source-destination pairs	10 pairs
*GRP times for S_1 , S_2 , t	0.5, 0.25, 3 seconds
	1.0, 0.5, 3 seconds
	1.5, 1.0, 3 seconds

ในส่วนถัดไปของหัวข้อนี้ ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดลองซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) ที่มีต่อตัววัดสมรรถนะอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทาง และค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับ ในหัวข้อ 4.1.4.1 – 4.1.4.4 ตามลำดับ

4.1.4.1 อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล (Packet Delivery Ratio)

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พีเมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1)

และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเกิดตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) ชดถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) และชุดสุดท้ายเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีมีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่มีค่าใกล้เคียง 1.0 หรือ 100% แสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอลจีอาร์พี

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.17 เมื่อกำหนดให้ $P=1$ อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอรับแพ็คเกิดตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเกิดตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) มีค่าสูงที่สุดคิดเป็น 82.50% ในขณะที่เมื่อเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์ S_1 และ S_2 เป็น 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) และสุดท้าย 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยมีค่าลดลง กล่าวคือโปรโตคอลมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยคิดเป็น 76.31% และ 72.50% ตามลำดับ

และเมื่อกำหนดให้ $P=2$ ผลการทดลองแสดงว่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอรับแพ็คเกิดตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเกิดตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) ให้ค่าเฉลี่ยที่สูงอีกเช่นกันคิดเป็น 85.51% ในขณะที่เมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์ S_1 และ S_2 มีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) และท้ายสุด 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยมีค่าลดลง กล่าวคือโปรโตคอลมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยคิดเป็น 80.63% และ 78.86% ตามลำดับ

โปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยลดลงเมื่อเพิ่มช่วงเวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอรับแพ็คเกิดตอบกลับเพื่อสอบถามข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง ($S_1= 1$ วินาที และ 1.5 วินาที) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเกิดตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง ($S_2= 0.5$ วินาที และ 1 วินาที)

เนื่องจากการเพิ่มช่วงเวลาดังกล่าวส่งผลให้ข้อมูลสำหรับใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อไม่ตรงกับความเป็นจริงที่เกิดขึ้นภายในเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา

ดังนั้นผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.17 บ่งชี้ว่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) สำหรับโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ประมาณ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) เนื่องจากอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มค่าของพารามิเตอร์ทั้งสองตัวนี้

นอกจากจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีแล้ว ตารางที่ 4.17 ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านบวกของพารามิเตอร์จำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ที่มีต่อผลกระทบทางด้านบวกของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ ที่อัตราความสำเร็จในการเคลื่อนที่ค่าหนึ่งและชุดของพารามิเตอร์ S_1 , S_2 และ t ชุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเพิ่มสูงขึ้น

ในทางตรงกันข้ามตารางที่ 4.17 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ เมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านซึ่งใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจะผิดพลาดจากสภาพที่เกิดขึ้นจริงในเครือข่ายมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลลดลง

ตารางที่ 4.17

แสดงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2)

Max. Speed (Km/h)	Packet Delivery Ratio (P=1) (Percent)			Packet Delivery Ratio (P=2) (Percent)		
	0.5,0.25,3	1, 0.5, 3	1.5, 1, 3	0.5,0.25,3	1, 0.5, 3	1.5, 1, 3
60	85.91	81.14	76.36	86.36	85.00	82.73
80	82.27	76.14	72.73	85.45	82.50	79.09
100	85.68	79.55	76.59	88.86	83.41	82.05
180	76.14	68.41	64.32	81.36	71.59	71.59
Average	82.50	76.31	72.50	85.51	80.63	78.86

4.1.4.2 ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง (Average End-to-end Delay)

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางซึ่งเป็นเวลาโดยเฉลี่ยที่แพ็คเก็ตข้อมูลแต่ละแพ็คเก็ตใช้ในการเดินทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) กำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีมีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่ต่ำแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.18 เมื่อกำหนดให้ $P=1$ ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที)

พารามิเตอร์ชุดถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) มีค่าประมาณ 0.79 วินาที 1.23 วินาที และ 1.50 วินาที ตามลำดับ

และเมื่อกำหนดให้ $P=2$ ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) มีค่าประมาณ 0.82 วินาที 1.33 วินาที และ 1.59 วินาที ตามลำดับ

โดยภาพรวมแล้วผลการทดลองบ่งชี้ว่าโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มช่วงเวลาที่โหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาหรือตั้งเวลารอบรับแพ็คเก็ตดังกล่าวเพื่อที่จะนำไปใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมให้นานขึ้นส่งผลให้เวลารวมที่แพ็คเก็ตข้อมูลเดินทางไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการนั้นมีระยะเวลานานยิ่งขึ้น

นอกจากจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีแล้วตารางที่ 4.18 ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของพารามิเตอร์จำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ เมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางมีค่าเพิ่มขึ้น

และจากตารางที่ 4.18 ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบด้านลบของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านซึ่งใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจะผิดพลาดจากสภาพที่เกิดขึ้นจริงในเครือข่ายมากขึ้นซึ่งเป็นผลให้ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.18

แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2)

Max. Speed (Km/h)	Average End-to-end Delay (P=1) (Seconds)			Average End-to-end Delay (P=2) (Seconds)		
	0.5,0.25,3	1, 0.5, 3	1.5, 1, 3	0.5,0.25,3	1, 0.5, 3	1.5, 1, 3
60	0.82	1.11	1.60	0.80	1.21	1.61
80	0.88	1.53	2.02	0.96	1.95	2.04
100	0.72	1.11	1.25	0.78	1.05	1.36
180	0.73	1.18	1.14	0.75	1.12	1.36
Average	0.79	1.23	1.50	0.82	1.33	1.59

4.1.4.3 โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทาง (Average Routing Overhead)

ตารางที่ 4.19 แสดงโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พี เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) กำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีมีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ ปริมาณโอเวอร์เฮดเฉลี่ยของโปรโตคอลที่ต่ำแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

จากตารางที่ 4.19 เมื่อกำหนดให้ $P=1$ ค่าเฉลี่ยโอเวอร์เฮดในการค้นหาเส้นทางโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอบรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) เท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที พารามิเตอร์ชุดถัดไปเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที

และสูงสุดท้ายเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1486.25 แพ็คเก็ต 1222.09 แพ็คเก็ต และ 1119.30 แพ็คเก็ต ตามลำดับ และเมื่อกำหนดให้ $P=2$ ผลการทดลองแสดงค่าเฉลี่ยโอเวอร์เฮดในการค้นหาเส้นทางโดยเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) เท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที พารามิเตอร์ชุดถัดไปเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที และสูงสุดท้ายเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1704.75 แพ็คเก็ต 1593.80 แพ็คเก็ต และ 1371.95 แพ็คเก็ต ตามลำดับ

โดยภาพรวมแล้วผลการทดลองบ่งชี้ว่าโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางลดลงเมื่อเพิ่มค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) เนื่องจากตลอดเส้นทางที่แพ็คเก็ตข้อมูลเดินทางไปยังโหนดปลายทางนั้นมีจำนวนฮอปโดยเฉลี่ยลดลง ดังนั้นจำนวนโอเวอร์เฮดของโปรโตคอลจีอาร์พีที่ทุก ๆ ฮอปต้องส่งแพ็คเก็ตสอบถามข้อมูลเพื่อนบ้านและแพ็คเก็ตข้อมูลตอบกลับเพื่อนบ้าน (ซึ่งจัดเป็นโอเวอร์เฮดของโปรโตคอลจีอาร์พี) ที่ต้องมีการรับ-ส่งระหว่างโหนดภายในเครือข่ายมีจำนวนลดลงตามไปด้วย

นอกจากจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีแล้วยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของพารามิเตอร์จำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ที่มีต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ ที่อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ค่าหนึ่งและชุดของพารามิเตอร์ S_1 S_2 และ t ชุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ค่าโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.19

แสดงโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2)

Max. speed (Km/h)	Average Routing Overhead (P=1) (Packets)			Average Routing Overhead (P=2) (Packets)		
	0.5,0.25,3	1, 0.5, 3	1.5, 1, 3	0.5,0.25,3	1, 0.5, 3	1.5, 1, 3
60	1543.73	1256.82	1185.18	1671.55	1584.73	1409.09
80	1575.36	1347.18	1259.09	1799.27	1618.64	1544.55
100	1445.55	1210.73	1129.36	1721.64	1355.64	1317.45
180	1380.36	1073.64	903.55	1626.55	1816.18	1216.73
Average	1486.25	1222.09	1119.30	1704.75	1593.80	1371.95

4.1.4.4 ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับ (Average Duplicate Packet)

เมื่อเพิ่มเส้นทางสำหรับแพ็คเก็ตข้อมูลในการเดินทางไปยังโหนดปลายทางโดยการเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อซึ่งโหนดต้นทางต้องทำการคัดเลือก (P) ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้คือการที่โหนดปลายทางได้รับแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อน ตารางที่ 4.20 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับของโปรโตคอลจีอาร์พี เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาทีและ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที ($S_1=1$ วินาที $S_2=0.5$ วินาที) พารามิเตอร์ชุดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ($S_1=1.5$ วินาที $S_2=1$ วินาที) และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีมีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 2 โหนด (P=2) เนื่องจากเส้นทางที่แพ็คเก็ตข้อมูลสามารถเดินทางไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการนั้นมีได้มากกว่าหนึ่งเส้นทาง ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับที่น้อยแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.20 ชี้ให้เห็นว่าเมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรองรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรองรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) เท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ($S_1=0.5$ วินาที $S_2=0.25$ วินาที) ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตเข้าสู่โซนที่โหนดปลายทางได้รับมีค่าน้อยที่สุดโดยเฉลี่ยประมาณ 0.33 แพ็คเก็ต ในขณะที่ถ้ากำหนดให้เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรองรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรองรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) เท่ากับ 1 วินาที และ 0.5 วินาที และมีค่าเท่ากับ 1.5 วินาที และ 1 วินาที ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลเข้าสู่โซนที่โหนดปลายทางได้รับอยู่ที่ประมาณ 0.44 แพ็คเก็ต และ 0.42 แพ็คเก็ต ตามลำดับ

ตารางที่ 4.20

แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลเข้าสู่โซนที่โหนดปลายทางได้รับของโปรโตคอลจีอาร์พีเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรองรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรองรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2)

Max. Speed (Km/h)	Average Duplicate Packets (P=2) (Packets)		
	0.5, 0.25, 3	1, 0.5, 3	1.5, 1, 3
60	0.37	0.53	0.52
80	0.37	0.42	0.47
100	0.33	0.42	0.38
180	0.26	0.38	0.30
Average	0.33	0.44	0.42

4.1.5 การทดลองที่ห้าเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี (GRP) เทียบกับโปรโตคอลเอโอดีวี (AODV) และโปรโตคอลซีบีเอฟ (CBF) เมื่อโหนดภายในเครือข่ายเคลื่อนที่ตามตัวแบบการเคลื่อนที่แรนดอมเวย์พอยต์

การทดลองที่ห้าเป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีเทียบกับโปรโตคอลเอโอดีวี และโปรโตคอลซีบีเอฟ ค่าพารามิเตอร์การทดลองเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4.21 กล่าวคือ เครือข่ายประกอบด้วยโหนดจำนวน 32 โหนด แต่ละโหนดเคลื่อนที่ตามตัวแบบการเคลื่อนที่แรนดอมเวย์พอยต์ ด้วยความเร็ว 60 80 100 และ 180 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การทดลองครอบคลุมพื้นที่ 750 X 750 ตารางเมตร ภายในระยะเวลาการทดลอง 50 วินาที สำหรับค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบสนองกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านหรือรับแพ็คเก็ตตอบสนองกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ตามลำดับ ส่วนอายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) สำหรับการทดลองนี้ได้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3 วินาที

ตารางที่ 4.21

ค่าพารามิเตอร์การทดลองที่ห้าเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี (GRP) เทียบกับโปรโตคอลเอโอดีวี (AODV) และโปรโตคอลซีบีเอฟ (CBF)

Parameter	Value
Routing protocols	GRP, AODV, CBF
Mobility models	Random Waypoint
Simulation area	750 X 750 m ²
Simulation time	50 second
Max. node speed	60, 80, 100, 180 km/h
Traffic source	CBR, packet 100 bytes
Number of nodes	32 nodes
Source-destination pairs	10 pairs
*GRP time for S_1 , S_2 , t	0.5, 0.25, 3 seconds

ในส่วนถัดไปของหัวข้อนี้ ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดลองซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลของการเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีเทียบกับโปรโตคอลเอไอดีวี และโปรโตคอลซีบีเอฟ ได้แก่ตัววัดสมรรถนะอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทาง และค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับ ในหัวข้อ 4.1.5.1 – 4.1.5.4 ตามลำดับ

4.1.5.1 อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล (Packet Delivery Ratio)

ภาพที่ 4.1 และ ภาพที่ 4.2 แสดงค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พีเทียบกับโปรโตคอลเอไอดีวี และโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) เวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) และอายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที 0.25 วินาที และ 3 วินาทีตามลำดับ และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อจำนวนไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่มีค่าใกล้เคียง 1.0 หรือ 100% แสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.1 เมื่อกำหนดให้ $P=1$ โปรโตคอลจีอาร์พีมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลสูงกว่าโปรโตคอลเอไอดีวีที่ทุก ๆ ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่าย โดยโปรโตคอลจีอาร์พีมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเฉลี่ยคิดเป็น 93% ในขณะที่โปรโตคอลเอไอดีวีมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยคิดเป็น 68% และโปรโตคอลซีบีเอฟมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยคิดเป็น 96.25% ซึ่งสูงกว่าโปรโตคอลจีอาร์พีเพียง 3.25% เท่านั้น

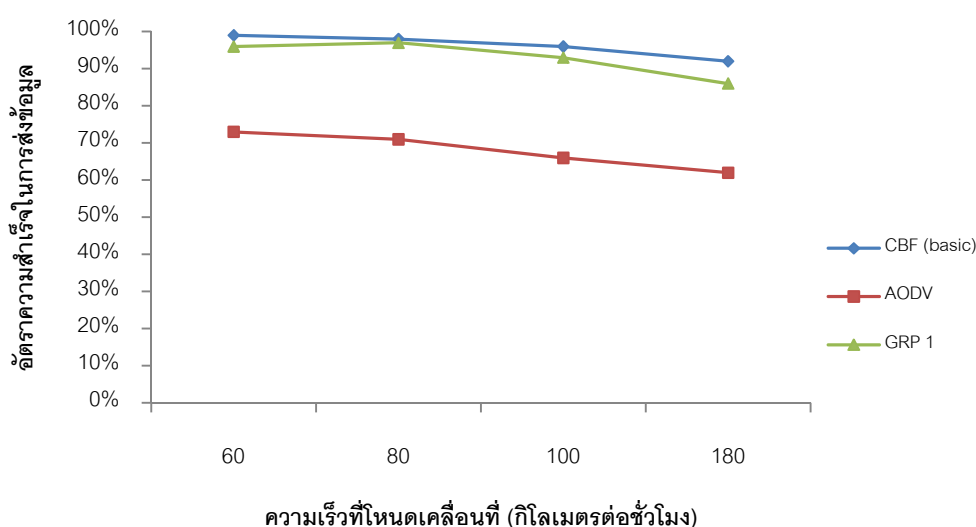
และเมื่อกำหนดให้ $P=2$ ดังแสดงในภาพที่ 4.2 โปรโตคอลจีอาร์พีมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลสูงกว่าโปรโตคอลเอไอดีวีที่ทุก ๆ ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่าย และให้อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเฉลี่ยใกล้เคียงกับโปรโตคอลซีบีเอฟ โดยโปรโตคอลจีอาร์พีมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเฉลี่ยคิดเป็น 95.75% ในขณะที่โปรโตคอลเอไอดีวีมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยคิดเป็น 68% และโปรโตคอลซีบีเอฟมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยคิดเป็น 96.25% สูงกว่าโปรโตคอลจีอาร์พีเพียง 0.50% เท่านั้น

ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านบวกของพารามิเตอร์จำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ที่มีผลต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ ที่อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ค่าหนึ่งเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลสูงขึ้น เนื่องจาก โหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้จากการหาคำตอบของแบบจำลองปัญหาดังแสดงในสมการที่ (3.8 a) – (3.8 c) เป็นโหนดส่งต่อที่ทำให้ผลรวมของจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของโหนดให้เลือกที่ได้รับเลือกมีค่ามากที่สุด เป็นการเพิ่มโอกาสให้แพ็คเก็ตข้อมูลสามารถเดินทางไปยังโหนดปลายทางได้มากยิ่งขึ้น

ในทางตรงกันข้ามภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ เมื่อโหนดภายในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านซึ่งใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจะผิดพลาดจากสภาพที่เกิดขึ้นจริงในเครือข่ายมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลลดลง

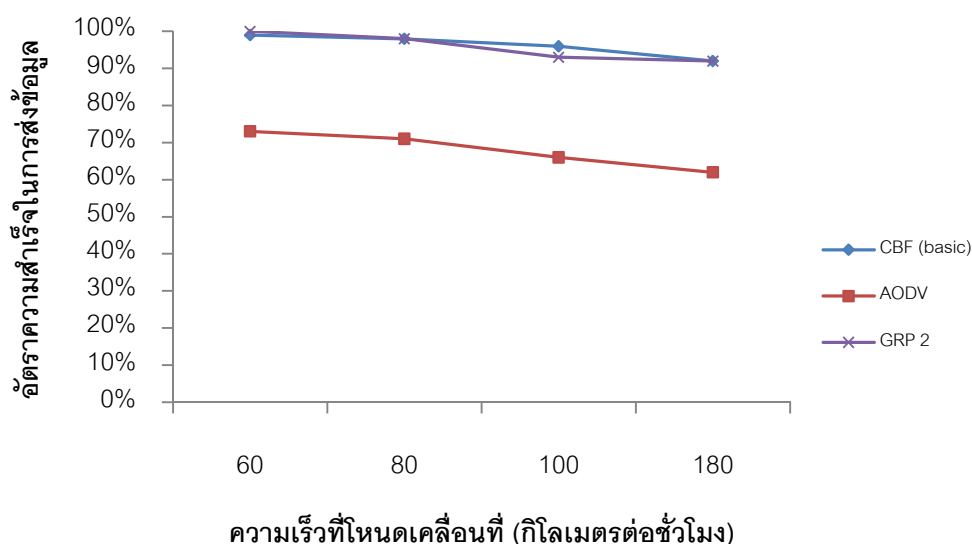
ภาพที่ 4.1

แสดงค่าเฉลี่ยอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พี โปรโตคอลเออดีวี และโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อได้ไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$)



ภาพที่ 4.2

แสดงค่าเฉลี่ยอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พี โปรโตคอลเอไอดีวี และโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อได้ไม่เกิน 2 โหนด ($P=2$)



4.1.5.2 ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง (Average End-to-end Delay)

ภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4 แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางซึ่งเป็นเวลาโดยเฉลี่ยที่แพ็คเก็ตข้อมูลแต่ละแพ็คเก็ตใช้ในการเดินทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พีเทียบกับโปรโตคอลเอไอดีวี และโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) เวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) และอายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที 0.25 วินาที และ 3 วินาทีตามลำดับ และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อจำนวนไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่ต่ำแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

จากภาพที่ 4.3 เมื่อกำหนดให้ $P=1$ ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พีเฉลี่ยมีค่าประมาณ 0.51 วินาที ในขณะที่โปรโตคอลเอไอดีวีและโปรโตคอลซีบีเอฟมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.16 วินาที และ 0.02 วินาทีตามลำดับ นั่นคือโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางสูงกว่าโปรโตคอลเอไอดีวีและโปรโตคอลซีบีเอฟประมาณ 0.35 วินาที และ 0.49 วินาที และจากภาพที่ 4.4 เมื่อกำหนดให้ $P=2$ ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอล

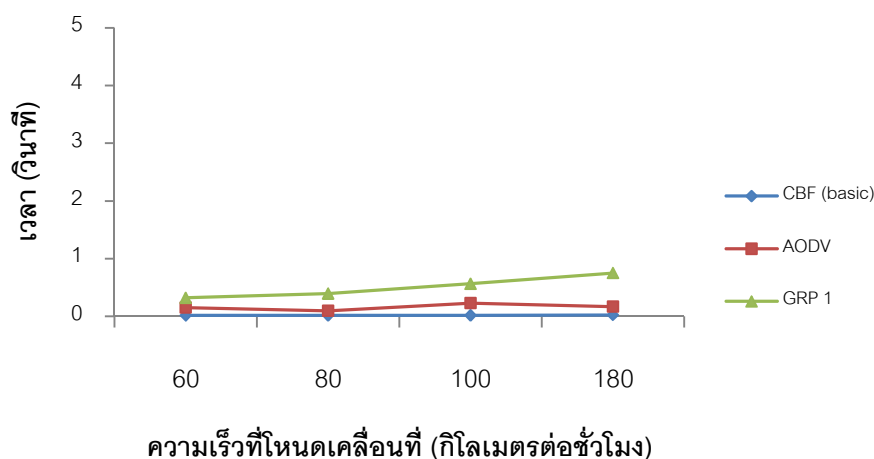
จีอาร์พีเฉลี่ยมีค่าประมาณ 0.53 วินาที ในขณะที่โปรโตคอลเอโอดีวีและโปรโตคอลซีบีเอฟมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.16 วินาที และ 0.02 วินาทีตามลำดับ

โดยภาพรวมแล้วผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่าโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางสูงกว่าโปรโตคอลเอโอดีวีและโปรโตคอลซีบีเอฟเล็กน้อย เนื่องจากโปรโตคอลจีอาร์พีมีการกำหนดเวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) ซึ่งเป็นเวลาแฝงสำหรับการทำงานในขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลเพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าในขั้นตอนการคัดเลือกโหนดส่งต่อแพ็คเก็ตข้อมูลที่เหมาะสมของโปรโตคอลจีอาร์พี จากเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พีสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับโปรโตคอลเอโอดีวีและโปรโตคอลซีบีเอฟ

นอกจากนี้ ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านซึ่งใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจะผิดพลาดไปจากสภาพที่เกิดขึ้นจริงในเครือข่ายมากขึ้นซึ่งเป็นผลให้ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางเพิ่มขึ้น

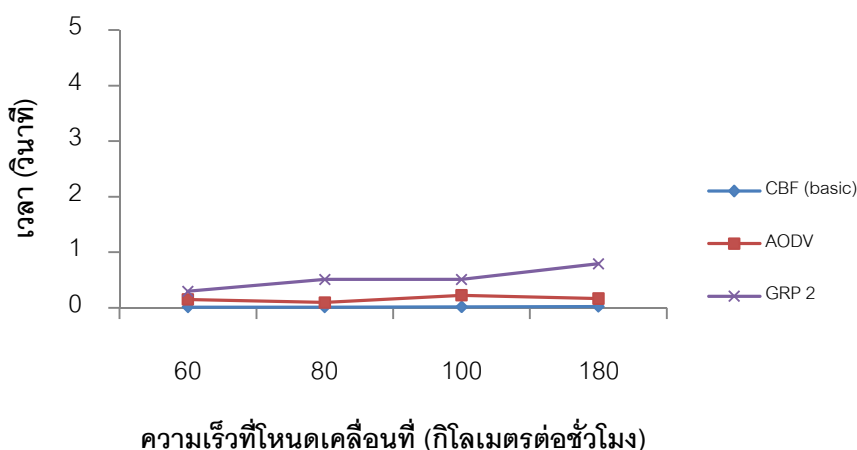
ภาพที่ 4.3

แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พี โปรโตคอลเอโอดีวี และโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อได้ไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$)



ภาพที่ 4.4

แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พี โปรโตคอลเอโอดีวี และโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อได้ไม่เกิน 2 โหนด ($P=2$)



4.1.5.3 โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทาง (Average Routing Overhead)

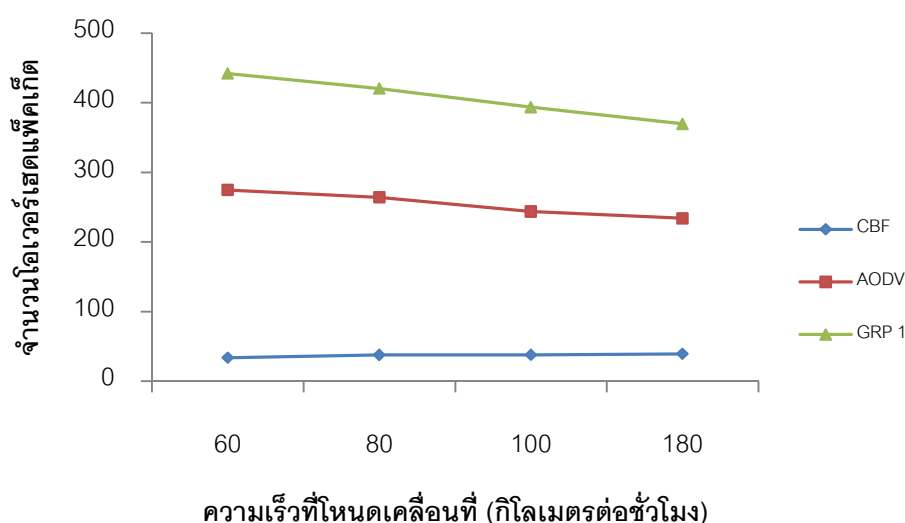
ภาพที่ 4.5 และภาพที่ 4.6 โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พี โปรโตคอลเอโอดีวีและโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) เวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) และอายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที 0.25 วินาที และ 3 วินาทีตามลำดับ และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อจำนวนไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ ปริมาณโอเวอร์เฮดเฉลี่ยของโปรโตคอลที่ต่ำแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

จากผลการทดลองภาพที่ 4.5 เมื่อกำหนดให้ $P=1$ โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พีให้ค่าเฉลี่ยมากที่สุดประมาณ 406 แพ็คเก็ต ในขณะที่โปรโตคอลเอโอดีวีมีค่าเฉลี่ยประมาณ 254 แพ็คเก็ต และโปรโตคอลซีบีเอฟมีค่าเฉลี่ยประมาณ 37 แพ็คเก็ต และจากภาพที่ 4.6 เมื่อกำหนดให้ $P=2$ โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พีให้ค่าเฉลี่ยมากที่สุดประมาณ 457 แพ็คเก็ต ในขณะที่โปรโตคอลเอโอดีวีมีค่าเฉลี่ยประมาณ 254 แพ็คเก็ต และโปรโตคอลซีบีเอฟมีค่าเฉลี่ยประมาณ 37 แพ็คเก็ต

โดยภาพรวมแล้วโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางสูงที่สุด เนื่องจากการทำงานของโปรโตคอลจีอาร์พีมีการส่งแพ็คเก็ตร้องขอ แพ็คเก็ตสำหรับสอบถามข้อมูล เพื่อนบ้าน แพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนบ้าน และแพ็คเก็ตตอบกลับ (ซึ่งจัดเป็นโอเวอร์เฮดของโปรโตคอลจีอาร์พี) ที่ต้องมีการรับ – ส่งระหว่างโหนดภายในเครือข่าย และเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ค่าโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

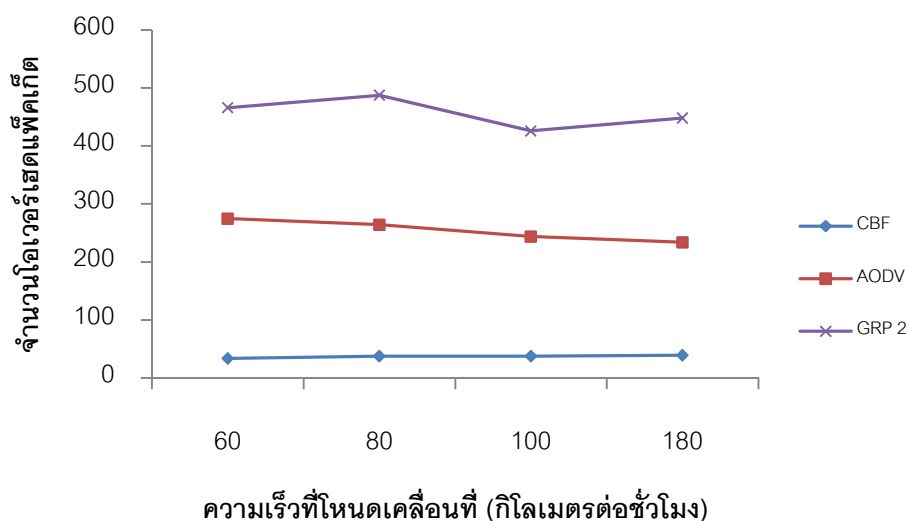
ภาพที่ 4.5

แสดงโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พี โปรโตคอลเอโอดีวี และโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อได้ไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$)



ภาพที่ 4.6

แสดงโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พี โปรโตคอลเอไอดีวี และ โปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อได้ไม่เกิน 2 โหนด ($P=2$)



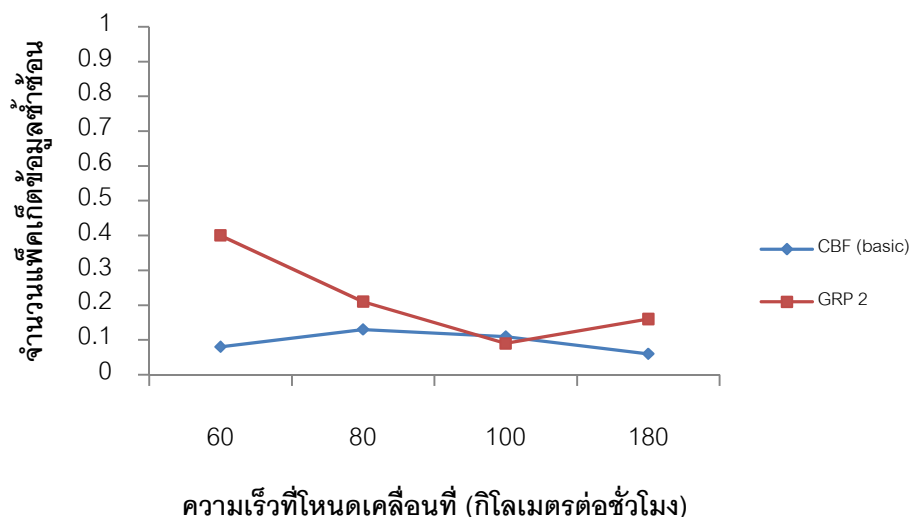
4.1.5.4 ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเกจข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับ (Average Duplicate Packet)

ภาพที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเกจข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับระหว่างโปรโตคอลจีอาร์พีเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อซึ่งโหนดต้นทางต้องทำการคัดเลือกได้ไม่เกิน 2 โหนด ($P=2$) เปรียบเทียบกับโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอรับแพ็คเกจตอบกลับ (S_1) เวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเกจตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) และอายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที 0.25 วินาที และ 3 วินาทีตามลำดับ ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเกจข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับที่น้อยแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

จากภาพที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเกจข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับโดยเฉลี่ยของโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าประมาณ 0.22 แพ็คเกจ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเกจซ้ำซ้อนโดยเฉลี่ยของโปรโตคอลซีบีเอฟมีค่าประมาณ 0.10 แพ็คเกจ

ภาพที่ 4.7

แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับของโปรโตคอลจีอาร์พี และโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อได้ไม่เกิน 2 โหนด ($P=2$)



4.1.6 การทดลองที่หกเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี (GRP) โปรโตคอลเอโอดีวี (AODV) และโปรโตคอลซีบีเอฟ (CBF) เมื่อโหนดภายในเครือข่ายเคลื่อนที่ตามตัวแบบการเคลื่อนที่แบบแมนฮัตตันกริด

การทดลองที่หกเป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีเทียบกับโปรโตคอลเอโอดีวี และโปรโตคอลซีบีเอฟ ค่าพารามิเตอร์การทดลองเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4.22 กล่าวคือ เครือข่ายประกอบด้วยโหนดจำนวน 40 โหนด แต่ละโหนดเคลื่อนที่ตามตัวแบบการเคลื่อนที่แบบแมนฮัตตันกริด ด้วยความเร็ว 60 80 100 และ 180 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การทดลองครอบคลุมพื้นที่ 1000×1000 ตารางเมตร ภายในระยะเวลาการทดลอง 200 วินาที สำหรับค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที และ 0.25 วินาที ตามลำดับ ส่วนอายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) สำหรับการทดลองนี้ได้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3 วินาที

ตารางที่ 4.22

ค่าพารามิเตอร์การทดลองที่ห้กเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี (GRP) เทียบกับโปรโตคอลเอโอดีวี (AODV) และโปรโตคอลซีบีเอฟ (CBF)

Parameter	Value
Routing protocols	GRP, AODV, CBF
Mobility models	Manhattan Grid
Simulation area	1000 X 1000 m ²
Simulation time	200 second
Max. node speed	60, 80, 100, 180 km/h
Traffic source	CBR, packet 100 bytes
Number of nodes	40 nodes
Source-destination pairs	10 pairs
*GRP time for S_1 , S_2 , t	0.5, 0.25, 3 second

ในส่วนถัดไปของหัวข้อนี้ ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดลองซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลของการเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พีเทียบกับโปรโตคอลเอโอดีวี และโปรโตคอลซีบีเอฟ ได้แก่ตัววัดสมรรถนะอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทาง และค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับ ในหัวข้อ 4.1.6.1 – 4.1.6.4 ตามลำดับ

4.1.6.1 อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล (Packet Delivery Ratio)

ภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 แสดงค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พีเทียบกับโปรโตคอลเอโอดีวี และโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อหรือรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) เวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) และอายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที 0.25 วินาที และ 3 วินาทีตามลำดับ และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อจำนวนไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ

อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่มีค่าใกล้เคียง 1.0 หรือ 100% แสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.8 เมื่อกำหนดให้ $P=1$ อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยของโปรโตคอลจีอาร์พีมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลสูงกว่าโปรโตคอลเอโอดีวีทีทุก ๆ ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่าย โดยโปรโตคอลจีอาร์พีมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยประมาณ 82.50% ในขณะที่โปรโตคอลเอโอดีวีทีมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยประมาณ 58.07% และโปรโตคอลซีบีเอฟมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยประมาณ 86.71% ซึ่งสูงกว่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พีเพียง 4.21%

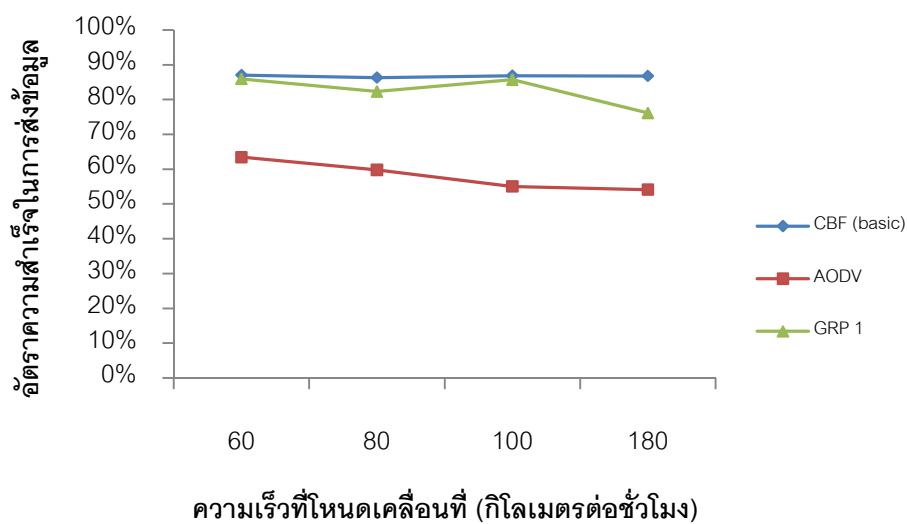
และเมื่อกำหนดให้ $P=2$ แสดงในภาพที่ 4.9 อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยของโปรโตคอลจีอาร์พีมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลสูงกว่าโปรโตคอลเอโอดีวีทีทุก ๆ ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายอีกเช่นกัน โดยโปรโตคอลจีอาร์พีมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยประมาณ 85.51% ในขณะที่โปรโตคอลเอโอดีวีทีมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยประมาณ 58.07% และโปรโตคอลซีบีเอฟมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยประมาณ 86.71% ซึ่งสูงกว่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พีเพียง 1.2%

ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านบวกของพารามิเตอร์จำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ที่มีผลต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ ที่อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ค่าหนึ่งเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลสูงขึ้น เนื่องจากโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้จากการหาคำตอบของแบบจำลองปัญหาดังแสดงในสมการที่ (3.8 a) – (3.8 c) เป็นโหนดส่งต่อที่ทำให้ผลรวมของจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของโหนดให้เลือกที่ได้รับเลือกมีค่ามากที่สุด เป็นการเพิ่มโอกาสให้แพ็คเก็ตข้อมูลสามารถเดินทางไปยังโหนดปลายทางได้มากยิ่งขึ้น

ในทางตรงกันข้ามภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ เมื่อโหนดภายในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านซึ่งใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจะผิดพลาดจากสภาพที่เกิดขึ้นจริงในเครือข่ายมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลลดลง

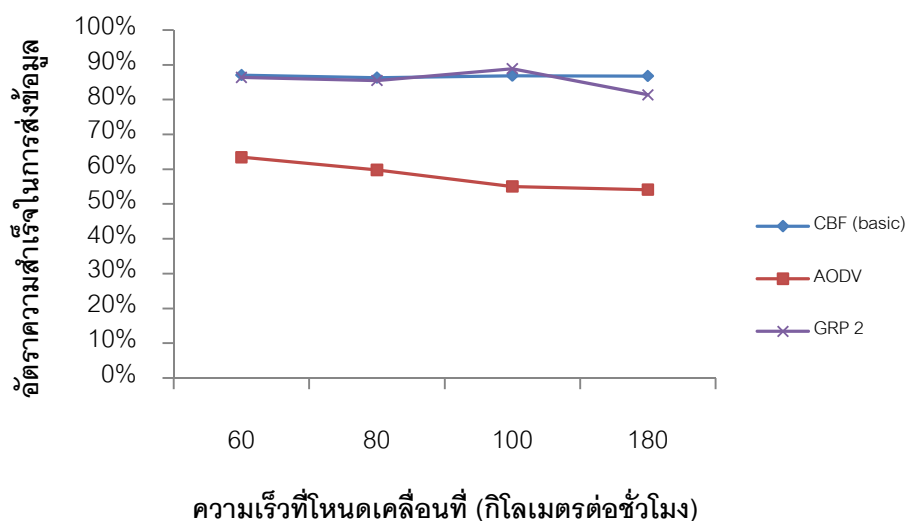
ภาพที่ 4.8

แสดงค่าเฉลี่ยอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พี โปรโตคอลเอโอดีวี และ โปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อได้ไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$)



ภาพที่ 4.9

แสดงค่าเฉลี่ยอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจีอาร์พี โปรโตคอลเอโอดีวี และ โปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อได้ไม่เกิน 2 โหนด ($P=2$)



4.1.6.2 ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง (Average End-to-end Delay)

ภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางซึ่งเป็นเวลาโดยเฉลี่ยที่แพ็คเก็ตข้อมูลแต่ละแพ็คเก็ตใช้ในการเดินทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พีเทียบกับโปรโตคอลเอไอดีวี และโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) เวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) และอายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที 0.25 วินาที และ 3 วินาทีตามลำดับ และกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อจำนวนไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่ต่ำแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

จากผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.10 เมื่อกำหนดให้ $P=1$ ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางโดยเฉลี่ยของโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าประมาณ 0.79 วินาที ในขณะที่โปรโตคอลเอไอดีวีและโปรโตคอลซีบีเอฟมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.35 วินาที และ 0.02 วินาทีตามลำดับ นั่นคือโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางสูงกว่าโปรโตคอลเอไอดีวีและโปรโตคอลซีบีเอฟประมาณ 0.44 วินาที และ 0.77 วินาที และจากภาพที่ 4.11 เมื่อกำหนดให้ $P=2$ ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พีเฉลี่ยมีค่าประมาณ 0.82 วินาที ในขณะที่โปรโตคอลเอไอดีวีและโปรโตคอลซีบีเอฟมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.35 วินาที และ 0.02 วินาทีตามลำดับ นั่นคือโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางสูงกว่าโปรโตคอลเอไอดีวีและโปรโตคอลซีบีเอฟประมาณ 0.47 วินาที และ 0.8 วินาที

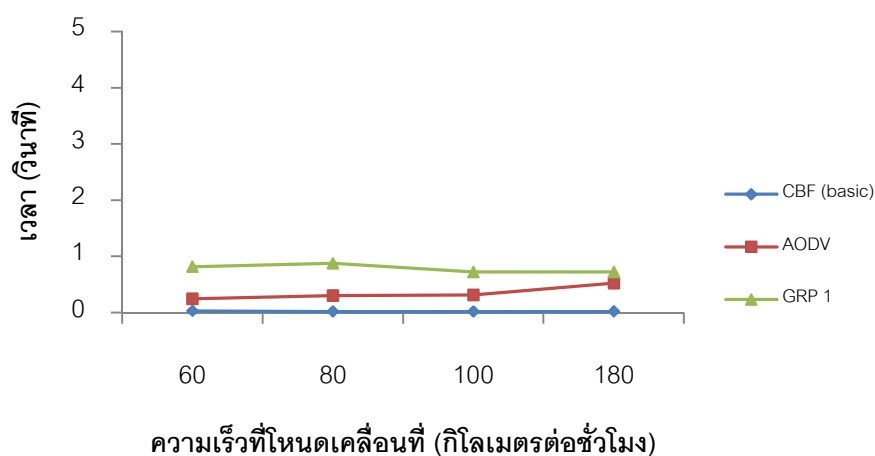
โดยภาพรวมแล้วผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่าโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางสูงกว่าโปรโตคอลเอไอดีวีและโปรโตคอลซีบีเอฟเล็กน้อย เนื่องจากโปรโตคอลจีอาร์พีมีการกำหนดเวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) และเวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) ซึ่งเป็นเวลาแฝงสำหรับการทำงานในขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลเพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าในขั้นตอนการคัดเลือกโหนดส่งต่อแพ็คเก็ตข้อมูลที่เหมาะสมของโปรโตคอลจีอาร์พี

นอกจากนี้ ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบทางด้านลบของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายต่อสมรรถนะของโปรโตคอลจีอาร์พี กล่าวคือ เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่ายเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านซึ่งใช้ในการ

คัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจะผิดพลาดไปจากสภาพที่เกิดขึ้นจริงในเครือข่ายมากขึ้นซึ่งเป็นผลให้ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางเพิ่มขึ้น

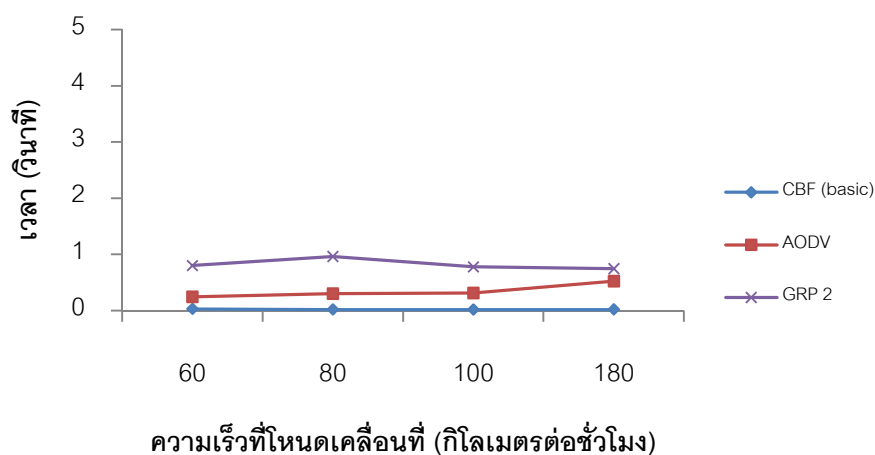
ภาพที่ 4.10

แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พี โปรโตคอลเอโอดีวี และโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อได้ไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$)



ภาพที่ 4.11

แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจีอาร์พี โปรโตคอลเอโอดีวี และโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อได้ไม่เกิน 2 โหนด ($P=2$)



4.1.6.3 โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทาง (Average Routing Overhead)

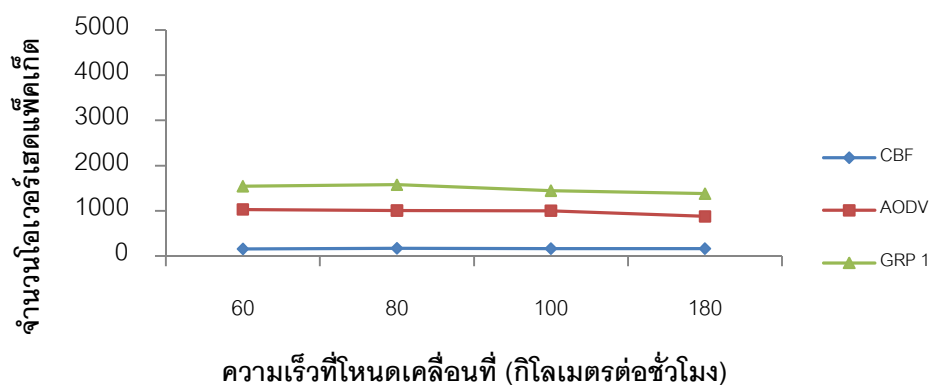
ภาพที่ 4.12 และภาพที่ 4.13 โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทางของ โปรโตคอลจีอาร์พี โปรโตคอลเอโอดีวีและโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลา สำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) เวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) และอายุของข้อมูลจำนวน โหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที 0.25 วินาที และ 3 วินาทีตามลำดับ และกำหนดให้ โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อจำนวนไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ ปริมาณโอเวอร์เฮดเฉลี่ยของโปรโตคอลที่ต่ำแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

จากผลการทดลองภาพที่ 4.12 เมื่อกำหนดให้ $P=1$ โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหา โหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พีให้ค่าเฉลี่ยมากที่สุดประมาณ 1486.25 แพ็คเก็ต ในขณะที่ โปรโตคอลเอโอดีวีมีค่าเฉลี่ยประมาณ 976.45 แพ็คเก็ต และโปรโตคอลซีบีเอฟมีค่าเฉลี่ยประมาณ 162.64 แพ็คเก็ต และจากภาพที่ 4.13 เมื่อกำหนดให้ $P=2$ โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนด ปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พีให้ค่าเฉลี่ยมากที่สุดประมาณ 1704.75 แพ็คเก็ต ในขณะที่ โปรโตคอลเอโอดีวีมีค่าเฉลี่ยประมาณ 976.45 แพ็คเก็ต และโปรโตคอลซีบีเอฟมีค่าเฉลี่ยประมาณ 162.64 แพ็คเก็ต

โดยภาพรวมแล้วโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางสูงที่สุด เนื่องจากการทำงานของโปรโตคอลจีอาร์พีมีการส่งแพ็คเก็ตร้องขอ แพ็คเก็ตสำหรับสอบถามข้อมูล เพื่อนบ้าน แพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนบ้าน และแพ็คเก็ตตอบกลับ (ซึ่งจัดเป็นโอเวอร์เฮดของ โปรโตคอลจีอาร์พี) ที่ต้องมีการรับ – ส่งระหว่างโหนดภายในเครือข่าย และเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่ง ต่อที่โหนดต้นทางจะต้องทำการคัดเลือก (P) ค่าโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางจากโหนดต้น ทางไปยังโหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

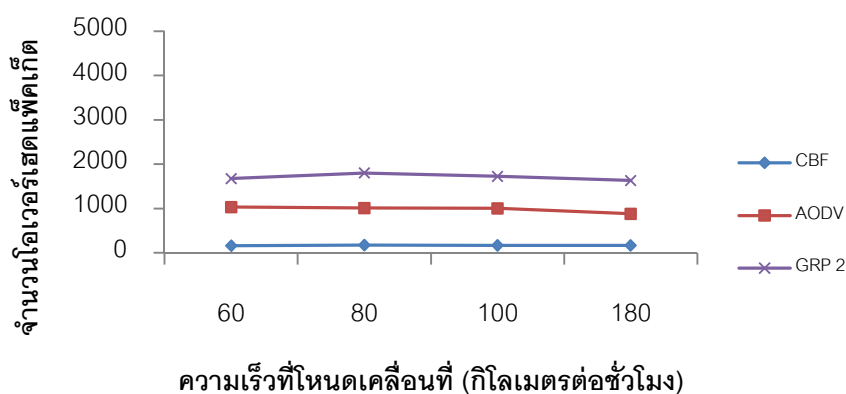
ภาพที่ 4.12

แสดงโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พี โปรโตคอลเอโอดีวี และ โปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อได้ไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$)



ภาพที่ 4.13

แสดงโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทางของโปรโตคอลจีอาร์พี โปรโตคอลเอโอดีวี และ โปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อได้ไม่เกิน 2 โหนด ($P=2$)



4.1.6.4 ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเกจข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับ (Average Duplicate Packet)

ภาพที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเกจข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับ ระหว่างโปรโตคอลจีอาร์พีเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อซึ่งโหนดต้นทางต้องทำการคัดเลือกได้ไม่เกิน

2 โหนด ($P=2$) เปรียบเทียบกับโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์เวลาสำหรับโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับ (S_1) เวลาสำหรับโหนดเพื่อนบ้านรอรับแพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนับจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง (S_2) และอายุของข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (t) มีค่าเท่ากับ 0.5 วินาที 0.25 วินาที และ 3 วินาทีตามลำดับ ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับที่น้อยแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

จากภาพที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับโดยเฉลี่ยของโปรโตคอลจีอาร์พีมีค่าประมาณ 0.33 แพ็คเก็ต ในขณะที่ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตซ้ำซ้อนโดยเฉลี่ยของโปรโตคอลซีบีเอฟมีค่าประมาณ 0.16 แพ็คเก็ต

ภาพที่ 4.14

แสดงค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อนที่โหนดปลายทางได้รับของโปรโตคอลจีอาร์พี และโปรโตคอลซีบีเอฟ เมื่อกำหนดให้โปรโตคอลจีอาร์พีคัดเลือกโหนดส่งต่อได้ไม่เกิน 2 โหนด ($P=2$)

