

การปรับปรุงสมรรถนะของโปรโตคอลจีโอราฟี่สำหรับการสื่อสารระหว่าง ยานพาหนะ

On Improvement of Greedy Routing Protocol (GRP) for Inter-Vehicle Communications

มัทนา ธรรมรักษา และ วณิดา พุทธิวิทยา

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) ต. คลองหนึ่ง อ. คลองหลวง จ. ปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ – บทความนี้นำเสนอโปรโตคอลค้นหาเส้นทางสำหรับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะจีโอราฟี่ โดยมีจุดมุ่งหมายในการส่งต่อแพ็คเกจข้อมูลไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการได้ ถึงแม้ว่าจะไม่มีส่วนให้บริการตำแหน่งอยู่ในพื้นที่นั้นก็ตาม โปรโตคอลจีโอราฟี่ที่นำเสนอในบทความนี้แตกต่างจากโปรโตคอลจีโอราฟี่ที่นำเสนอไปก่อนหน้านี้ [1] เนื่องจากทางผู้วิจัยได้พัฒนาเทคนิคที่มีประสิทธิภาพหลายเทคนิคเพื่อลดโอเวอร์เฮดในการค้นหาเส้นทางโดยที่ไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของโปรโตคอลแต่อย่างใด อีกทั้งในบทความนี้ยังได้นำเสนอผลการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างโปรโตคอลจีโอราฟี่กับโปรโตคอลเอโอดีวี [2] พบว่าเมื่อเลือกโหนดส่งต่อข้อมูลมากที่สุด 1 โหนดในแต่ละโหนด ($P=1$) โปรโตคอลจีโอราฟี่ให้ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลสูงกว่าโปรโตคอลเอโอดีวี 18% ในขณะที่ให้โอเวอร์เฮดมากกว่าโปรโตคอลเอโอดีวีประมาณ 0.18% และให้ค่าการหน่วงตลอดเส้นทางช้ากว่าโปรโตคอลเอโอดีวีประมาณ 0.88 วินาที

คำสำคัญ – เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เครือข่ายยานพาหนะ โปรโตคอลค้นหาเส้นทาง เอโอดีวี จีโอราฟี่

ABSTRACT– This article presents the Greedy Routing Protocol (GRP) for inter-vehicle communication. The protocol aims at delivering data packets to destinations even though there is no any location service available in the area. Unlike its previous version [1], the current version of GRP implements a number of efficient techniques in order to reduce protocol overhead without any performance compensation. This article also presents new performance evaluation results of the recent GRP compared to those of Ad hoc on-demand Distance Vector (AODV) protocol [2]. We found that when selecting at most one forwarding node at each hop ($P=1$), GRP had about 18% successful packet delivery ratio higher than that of AODV while introducing about 0.18% more overhead and 0.88 seconds longer end-to-end delivery delay.

KEY WORDS – MANET, VANET, routing protocol, AODV, GRP

1. บทนำ

เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ (Mobile Ad hoc Network - MANET) เป็นเครือข่ายของอุปกรณ์คำนวณแบบเคลื่อนที่ได้ที่เชื่อมต่อกันเพื่อรับส่งข้อมูลระหว่างกันโดยไม่อาศัยสถานีฐาน (base station) ไม่มีการควบคุมจากส่วนกลาง และรูปแบบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์คำนวณแบบเคลื่อนที่ได้ที่อยู่ภายในเครือข่าย หรือรูปแบบของทอพอโลยี (topology) นั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนที่ จากลักษณะดังกล่าวจึงต้องมีการพัฒนาโพรโตคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเพื่อให้อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถรับส่งข้อมูลระหว่างกันได้

โพรโตคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ [3] คือ (1) กลุ่มของโพรโตคอลที่ทำงานแบบขับเคลื่อนด้วยตาราง (table-driven) ได้แก่ DSDV [4] CGSR [5] และ WRP [6] และ (2) กลุ่มของโพรโตคอลที่ทำงานเมื่อมีการร้องขอ (on-demand) ได้แก่ AODV [2] DSR [7] TORA [8] ABR [9] และ SSR [10]

กลุ่มของโพรโตคอลที่ทำงานแบบขับเคลื่อนด้วยตารางมีคุณลักษณะร่วมที่สำคัญ คือ แต่ละโหนดภายในเครือข่ายมีการจัดเตรียมตารางซึ่งบรรจุข้อมูลเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจัดส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางใด ๆ ภายในเครือข่ายไว้ล่วงหน้า และมีการปรับปรุงข้อมูลในตารางให้ทันต่อเหตุการณ์อยู่เสมอตามช่วงเวลาที่กำหนด ข้อดีของโพรโตคอลในกลุ่มนี้คือ ไม่เสียเวลาในการประมวลผลที่แต่ละโหนดจึงส่งผลให้ค่าการหน่วงตลอดเส้นทางตลอดทาง (end-to-end delay) น้อย ส่วนข้อเสียของโพรโตคอลในกลุ่มนี้คือ สิ้นเปลืองพื้นที่สำหรับการจัดเก็บตารางข้อมูลเส้นทางที่ทุก ๆ โหนดในเครือข่าย นอกจากนี้ยังต้องมีโอเวอร์เฮด (overhead) ในการปรับปรุงข้อมูลในตารางตามช่วงเวลาที่กำหนดอีกด้วย

กลุ่มของโพรโตคอลที่ทำงานเมื่อมีการร้องขอมิมีลักษณะร่วมที่สำคัญคือ จะทำการค้นหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทางใด ๆ เมื่อโหนดต้นทางต้องการจัดส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางเท่านั้น ไม่มีการจัดเตรียมตารางเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจัดส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง

ใด ๆ ภายในเครือข่ายไว้ก่อนล่วงหน้า ข้อดีของโพรโตคอลในกลุ่มนี้คือ โอเวอร์เฮด (overhead) ในการค้นหาเส้นทางลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มโพรโตคอลที่ทำงานแบบขับเคลื่อนด้วยตาราง อย่างไรก็ตาม โพรโตคอลในกลุ่มนี้มีข้อเสียคือ เสียเวลาในการค้นหาเส้นทางถ้าโหนดปลายทางไม่เคยถูกทวงถามมาก่อน

โพรโตคอลเอโอดีวี (Ad hoc On-demand Distance Vector: AODV) [2] เป็นตัวอย่างหนึ่งของโพรโตคอลในกลุ่มที่ทำงานเมื่อมีการร้องขอ (on-demand) การทำงานของโพรโตคอลจะเริ่มต้นเมื่อโหนดต้นทางมีข้อมูลที่จะทำการจัดส่งไปให้กับโหนดปลายทางที่ต้องการให้บรอดแคสต์แพ็คเก็ตเครื่องขอเส้นทางให้กับโหนดเพื่อนบ้านจนกระทั่งแพ็คเก็ตเครื่องขอเส้นทางเดินทางไปถึงโหนดปลายทางที่ต้องการ หรือไปถึงโหนดที่ทราบเส้นทางของโหนดปลายทางดังกล่าว หลังจากนั้นโหนดปลายทางหรือโหนดที่ทราบเส้นทางทำการส่งแพ็คเก็ตตอบกลับไปยังโหนดต้นทางโดยใช้เส้นทางเดียวกันกับที่แพ็คเก็ตเครื่องขอใช้ในการเดินทางมา และพร้อมกันนั้นโหนดที่ได้รับแพ็คเก็ตตอบกลับดังกล่าวจะทำการจัดเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทางที่ค้นพบลงในตารางเส้นทางของตนเอง ข้อดีของโพรโตคอลเอโอดีวีคือ ไม่เกิดลูปในกระบวนการค้นหาเส้นทางที่จะจัดส่งข้อมูลไปให้โหนดปลายทาง และใช้แบนด์วิดท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามโพรโตคอลเอโอดีวียังมีข้อเสียคือ ไม่มีการเก็บเส้นทางอื่น ๆ ที่สามารถไปถึงโหนดปลายทางที่ต้องการเอาไว้ในแคช

เครือข่ายยานพาหนะ (Vehicular Ad hoc Network - VANET) เป็นเครือข่ายที่พัฒนามาจากเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจโดยมีการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายตามเทคโนโลยี IEEE 802.11 ไว้ภายในรถยนต์ [11] ทำให้รถยนต์สามารถติดต่อสื่อสารกันและแบ่งปันข้อมูลการจราจรระหว่างกันได้ และเนื่องจากรถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงจึงส่งผลให้รูปแบบการเชื่อมต่อของรถยนต์ที่อยู่ภายในเครือข่ายเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาโพรโตคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายยานพาหนะขึ้นมาโดยเฉพาะ

โพรโตคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายยานพาหนะที่พัฒนาขึ้นในปัจจุบันนั้นจัดอยู่ในกลุ่มของ

โปรโตคอลที่ทำการค้นหาเส้นทางแบบฐานตำแหน่ง (position-based routing protocols) กล่าวคือ จะอาศัยข้อมูลตำแหน่งซึ่งได้มาจากส่วนให้บริการตำแหน่ง (location service) ข้อมูลตำแหน่งดังกล่าวนี้ได้อีก ตำแหน่งปัจจุบันของโหนดต้นทาง (source node) โหนดเพื่อนบ้าน (neighbor node) และโหนดปลายทาง (destination node) เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกโหนดส่งต่อ (forwarding node) เพื่อเกิดข้อมูลไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการ

โปรโตคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายยานพาหนะแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม [11] คือ (1) กลุ่มของโปรโตคอลที่ใช้กลยุทธ์ในการส่งต่อแพ็คเก็ตแบบกิริติ (greedy packet forwarding scheme) ได้แก่ GSR [12] GPSR [13] SAR [14] และ (2) กลุ่มของโปรโตคอลที่ไม่ใช้เครื่องบอกตำแหน่ง (non-beacon routing scheme) CBF [15]

กลุ่มของโปรโตคอลที่ใช้กลยุทธ์ในการส่งต่อแพ็คเก็ตแบบกิริติ มีลักษณะร่วมที่สำคัญ คือ จะเลือกโหนดเพื่อนบ้านที่อยู่ใกล้กับโหนดปลายทางมากที่สุดเป็นโหนดส่งต่อข้อมูล ข้อดี คือ เหมาะกับเครือข่ายที่มีการเปลี่ยนแปลงสูง ข้อเสีย คือ วิธีการนี้จะไม่มีประสิทธิภาพเมื่อโหนดที่ทำการประมวลผลอยู่เป็นโหนดที่อยู่ใกล้กับโหนดปลายทางมากที่สุดเมื่อเทียบกับโหนดเพื่อนบ้านทั้งหมดซึ่งทำให้โหนดดังกล่าวเลือกโหนดที่จะส่งต่อแพ็คเก็ตข้อมูลต่อไปไม่ได้

กลุ่มของโปรโตคอลที่ไม่ใช้เครื่องบอกตำแหน่ง ลักษณะสำคัญของโปรโตคอลในกลุ่มนี้ คือ เป็นโปรโตคอลที่ไม่มีการส่งสารบอกตำแหน่ง (beacon message) ระหว่างโหนดภายในเครือข่าย ข้อดี คือ ลดการใช้แบนด์วิดท์ ข้อเสีย คือ ข้อมูลที่ต้องการจะส่งไปให้กับโหนดปลายทางที่ต้องการไปไม่ถึงโหนดปลายทางเนื่องจากเครือข่ายถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ (partition)

งานวิจัยฉบับนี้ทำการพัฒนาโปรโตคอลค้นหาเส้นทางเชิงกิริติสำหรับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ หรือจีโอราฟิ (Greedy Routing Protocol for inter-vehicle communication: GRP) โปรโตคอลจีโอราฟิแตกต่างจากโปรโตคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายยานพาหนะที่มีประสิทธิภาพอื่น ๆ [12]-[15] ในจุดที่โปรโตคอลสามารถทำการจัดส่งแพ็คเก็ตข้อมูลไปยังโหนดปลายทางได้ แม้ว่าในพื้นที่จะไม่มียานพาหนะข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งปัจจุบันของโหนดปลายทาง (location service)

ในการทำงานตามโปรโตคอลจีโอราฟิ แพ็คเก็ตข้อมูลจะถูกส่งต่อไปทีละช่วง (hop) ผ่านโหนดส่งต่อ (forwarding node) จากโหนดต้นทาง (source node) จนกระทั่งถึงโหนดปลายทาง (destination node) และการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจำนวนไม่เกิน $P \geq 1$ โหนดในแต่ละช่วงจะใช้ตัวแบบ (model) ผสมระหว่างตัวแบบครอบคลุมเซต (Set Covering Model) [16] และตัวแบบครอบคลุมตำแหน่งที่ตั้งมากที่สุด (Maximum Covering Location Model) [16] โดยมีจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (neighbors) ของโหนดให้เลือก (candidate node) เป็นข้อมูลนำเข้า

ผู้วิจัยได้ปรับปรุงการทำงานโปรโตคอลจีโอราฟิจากรูปแบบที่ได้มีการนำเสนอไปก่อนหน้านี้ [1] โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเป็นการลดโอเวอร์เฮดในการค้นหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง และจะต้องไม่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของโปรโตคอล ดังนี้

- ลำดับแรก โปรโตคอลจีโอราฟิได้ปรับปรุงการคัดเลือกโหนดส่งต่อ โดยให้โหนดต้นทางเท่านั้นที่ทำการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจำนวนไม่เกิน $P \geq 1$ โหนด ในขณะที่โหนดส่งต่อที่รับหน้าที่ส่งต่อข้อมูลในช่วงต่อ ๆ มา แต่ละโหนดจะทำการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจำนวนไม่เกิน $P = 1$ โหนด ส่งผลให้ภายหลังการปรับปรุงแล้ว โปรโตคอลจีโอราฟิจะจัดส่งแพ็คเก็ตข้อมูลไปยังโหนดปลายทางโดยใช้เส้นทางจำนวนไม่เกิน P เส้นทางแทนที่จะเป็น P^h เส้นทาง¹ ดังเช่นก่อนการปรับปรุง [1] การลดโอเวอร์เฮดในการค้นหาเส้นทางของโปรโตคอลโดยการลดจำนวนโหนดส่งต่อที่จะต้องมีการคัดเลือกในแต่ละช่วงจะต้องคำนึงถึงด้วยว่าจำนวนโหนดส่งต่อ (P) ที่จะต้องคัดเลือกในแต่ละช่วง (hop) เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อทั้งสมรรถนะของโปรโตคอลและค่าใช้จ่ายในการค้นหาเส้นทางของโปรโตคอล
- ลำดับที่สอง ได้มีการปรับปรุงโปรโตคอลจีโอราฟิโดยการอนุญาตให้โหนดให้เลือก (candidate

¹ เมื่อ h คือ ระยะห่าง (hop count) โดยเฉลี่ยระหว่างโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง

node) สามารถใช้ข้อมูลปริมาณโหนดเพื่อนบ้านเดิมที่มีการสืบค้นไว้ก่อนหน้านี้ได้ หากข้อมูลเดิมมีอายุไม่เกินช่วงเวลาที่กำหนด แทนที่โหนดให้เลือกจะต้องการสืบค้นปริมาณโหนดเพื่อนบ้านของตนเองทุกครั้งที่ต้องใช้งาน การลดโอเวอร์เฮดของโปรโตคอลโดยการอนุญาตให้มีการใช้ข้อมูลที่มีการสืบค้นไว้ก่อนอาจมีผลในการลดสมรรถนะของโปรโตคอลได้ หากมีการใช้งานข้อมูลที่เก่าเกินไป จนกระทั่งเป็นข้อมูลที่ไม่ถูกต้องตรงกับสถานการณ์จริงในขณะปัจจุบัน

- ลำดับที่สาม โหนดให้เลือกจะยกเลิกการส่งข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเองกลับมาที่โหนดส่งต่อ หากในระหว่างการสืบค้นได้รับข้อมูลว่ามีโหนดให้เลือกอื่น ๆ มีจำนวนโหนดเพื่อนบ้านมากกว่าของตนเอง

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบและเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลจีโอราฟิที่ได้รับการปรับปรุงดังกล่าวข้างต้นกับสมรรถนะของโปรโตคอลเอโอดีวี (Ad hoc On-demand Distance Vector: AODV) [2] โดยใช้โปรแกรมจำลองเครือข่ายเอ็นเอสทู (NS2) [17] รูปแบบการเคลื่อนที่ของเครือข่ายแบบแมนฮัตตันกริด (Manhattan Grid Model) [18] และ ตัววัดสมรรถนะโปรโตคอล (performance metrics) ได้แก่ อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล (packet delivery ratio) ค่าเฉลี่ยความหน่วงตลอดเส้นทาง (average end-to-end delay) และค่าโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง (average routing overhead)

ผลการทดลองแสดงว่า โปรโตคอลจีโอราฟิสามารถทำการจัดส่งแพ็คเกจข้อมูลไปยังโหนดปลายทางได้ แม้ว่าในพื้นที่ที่ไม่มีบริการข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งปัจจุบันของโหนดปลายทาง (location service) โดยเมื่อคัดเลือกโหนดส่งต่อไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของจีโอราฟิสูงกว่าเอโอดีวีประมาณ 18% ในขณะที่จีโอราฟิมีโอเวอร์เฮดในการทำงานสูงกว่าเอโอดีวีโดยประมาณ 0.18% และมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางช้ากว่าประมาณ 0.88 วินาที

ส่วนอื่นๆ ของบทความมีดังต่อไปนี้ หัวข้อที่ 2. จะกล่าวถึงขั้นตอนการทำงานหลักของโปรโตคอลจีโอราฟิ

อภิปรายการปรับเปลี่ยน โปรโตคอลจีโอราฟิเพื่อลดปริมาณโอเวอร์เฮดในการทำงานที่ได้ดำเนินการไปแล้ว รวมถึงตัวแบบ (model) ซึ่งใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมในแต่ละช่วงของการจัดส่งข้อมูล หัวข้อที่ 3. จะเป็นการทดสอบสมรรถนะของโปรโตคอลจีโอราฟิโดยใช้โปรแกรมจำลองเครือข่ายเอ็นเอสทู หัวข้อที่ 4. จะเป็นผลการทดสอบและการเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลจีโอราฟิกับโปรโตคอลเอโอดีวี และ ในหัวข้อที่ 5. จะเป็นการสรุปผลการทดลองและงานที่คาดว่าจะทำในอนาคต

2. โปรโตคอลค้นหาเส้นทางเชิงกริดิสำหรับการสื่อสารข้อมูลระหว่างยานพาหนะ (Greedy Routing Protocol for Inter-Vehicle Communication: GRP)

โปรโตคอลจีโอราฟิ (GRP) เป็นโปรโตคอลสำหรับค้นหาเส้นทางสำหรับจัดส่งแพ็คเกจข้อมูลจากโหนดต้นทาง (source node) ไปยังโหนดปลายทาง (destination node) ภายในเครือข่ายเคลื่อนที่ที่ยานพาหนะ โปรโตคอลจีโอราฟิทำงานโดยอาศัยข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อ (forwarding node) ที่เหมาะสมจำนวนไม่เกิน $P \geq 1$ โหนดเพื่อส่งต่อแพ็คเกจข้อมูลไปทีละช่วง (hop) จนกระทั่งถึงโหนดปลายทางที่ต้องการ ส่งผลให้โปรโตคอลจีโอราฟิสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าในพื้นที่ที่ไม่มีบริการข้อมูลตำแหน่งปัจจุบันของโหนดปลายทาง (location service) อยู่ก็ตาม

โปรโตคอลจีโอราฟิประกอบด้วยขั้นตอนการทำงาน 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล (information gathering) ขั้นตอนการคัดเลือกโหนดส่งต่อ (forwarding node) ที่เหมาะสม และ ขั้นตอนการส่งต่อแพ็คเกจข้อมูล (data packet forwarding)

2.1 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล (Information Gathering)

เริ่มปฏิบัติเมื่อโหนดภายในเครือข่ายมีแพ็กเก็ตข้อมูลที่ต้องการจัดส่งไปยังโหนดปลายทาง โหนดจะทำการบรอดแคสต์แพ็กเก็ตร้องขอ (request packet) ออกไปเพื่อสอบถามข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของโหนดเพื่อนบ้านของตนเอง หลังจากนั้น จะทำการตั้งเวลาเพื่อรอรับแพ็กเก็ตตอบกลับ (request reply packet) เป็นเวลา S_1 วินาที เมื่อเวลา S_1 หมดลง โหนดจะเริ่มทำงานในขั้นตอนถัดไป

โหนดเพื่อนบ้าน (neighboring node) ซึ่งไม่ใช่โหนดปลายทางของแพ็กเก็ตข้อมูลและไม่เคยเข้าร่วมในการจัดส่งแพ็กเก็ตข้อมูลนี้ในฐานะโหนดส่งต่อ (forwarding node) มาก่อน เมื่อได้รับแพ็กเก็ตร้องขอดังกล่าว จะทำการตรวจสอบว่ามีข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านซึ่งได้จากการสืบค้นในช่วงเวลาไม่เกิน t วินาทีหรือไม่ หากมีข้อมูลดังกล่าว โหนดเพื่อนบ้านที่ได้รับแพ็กเก็ตร้องขอจะใช้ข้อมูลที่มีการจัดเก็บไว้แล้วตอบกลับแพ็กเก็ตร้องขอ โดยไม่มีการสืบค้นข้อมูลใหม่ การใช้ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่เคยสืบค้นไว้ก่อนหน้านั้นเป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ผู้วิจัยนำมาประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงให้โปรโตคอลจอร์ฟสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม หากไม่มีข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน หรือ ข้อมูลดังกล่าวมีอายุเกินระยะเวลา t วินาที โหนดซึ่งได้รับแพ็กเก็ตร้องขอ จะทำการบรอดแคสต์แพ็กเก็ตสอบถามข้อมูลเพื่อนบ้าน (neighbor info inquiry packet) และทำการรอรับแพ็กเก็ตตอบกลับ (neighbor info reply packet) จากเพื่อนบ้านเป็นเวลา S_2 วินาที จำนวนแพ็กเก็ตตอบกลับที่ได้รับกลับมาภายในเวลา S_2 วินาที จะถูกใช้เป็นค่าคาดการณ์จำนวนโหนดเพื่อนบ้านนั่นเอง

เมื่อโหนดเพื่อนบ้านคอยจนครบตามเวลา S_2 วินาทีแล้ว จะบรอดแคสต์แพ็กเก็ตตอบกลับ (request reply) ซึ่งภายในบรรจุจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของตนเองกลับไปให้กับโหนดต้นทาง (source node) หรือโหนดส่งต่อ (forwarding node) ซึ่งเป็นโหนดที่เริ่มต้นส่งแพ็กเก็ตร้องขอ (request packet)

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้ปรับเปลี่ยนการทำงานของโปรโตคอลจอร์ฟจากรูปแบบที่ได้นำเสนอไปก่อนหน้านี้ [1]

กล่าวคือ หากมีโหนดเพื่อนบ้านใดที่ยังมิได้บรอดแคสต์แพ็กเก็ตตอบกลับไปยังโหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อ และมีจำนวนโหนดเพื่อนบ้านน้อยกว่าที่ได้ขึ้นจากการบรอดแคสต์แพ็กเก็ตตอบกลับจากโหนดเพื่อนบ้านอื่น ๆ ให้ยุติการทำงานในขั้นตอนนี้ทันที ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดปริมาณโอเวอร์เฮดในการค้นหาเส้นทางของโปรโตคอลจอร์ฟ

ในกรณีที่โหนดปลายทางได้รับแพ็กเก็ตร้องขอหรือแพ็กเก็ตสอบถามข้อมูลเพื่อนบ้าน โหนดปลายทางจะทำการตอบกลับด้วยแพ็กเก็ตตอบรับ (acknowledgement) แบบบรอดแคสต์ เป็นผลให้โหนดปลายทางได้รับการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลนั้นทันที และนอกจากนี้โหนดอื่น ๆ ที่ได้รับแพ็กเก็ตตอบรับจะหยุดส่งแพ็กเก็ตตอบกลับด้วย

2.2 ขั้นตอนการคัดเลือกโหนดส่งต่อ

โหนดต้นทาง (source node) หรือโหนดส่งต่อ (forwarding node) ซึ่งบรอดแคสต์แพ็กเก็ตร้องขอ (request packet) ออกไปจะพิจารณาโหนดเพื่อนบ้านทุกโหนดที่ตอบกลับแพ็กเก็ตร้องขอเป็นโหนดให้เลือก (candidate node) ในจำนวนโหนดให้เลือกเหล่านี้ โหนดผู้ส่งแพ็กเก็ตร้องขอจะคัดเลือกจำนวนไม่เกิน $P \geq 1$ โหนดที่เหมาะสมเพื่อทำหน้าที่เป็นโหนดส่งต่อ (forwarding node) โดยโหนดที่ได้รับคัดเลือกจะรับแพ็กเก็ตข้อมูลไปเพื่อทำหน้าที่เป็นผู้ส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลในช่วงถัดไป และเพื่อป้องกันการจัดส่งแพ็กเก็ตข้อมูลซ้ำซ้อน โหนดที่ได้รับคัดเลือกให้เป็นโหนดส่งต่อจะทำการบันทึกข้อมูลเฉพาะของแพ็กเก็ตข้อมูลเอาไว้ด้วย

โปรโตคอลจอร์ฟอาศัยตัวแบบ (model) ผสมระหว่างตัวแบบครอบคลุมเซต (Set Covering Model) [16] และตัวแบบครอบคลุมตำแหน่งที่ตั้งมากที่สุด (Maximum Covering Location Model) [16] เป็นแบบจำลองปัญหาการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจำนวนไม่เกิน $P \geq 1$ โหนด ซึ่งสามารถเขียนเป็นบทนิยามปัญหา (Problem Definition) ได้ดังนี้

บทนิยามปัญหา: คัดเลือกโหนดให้เลือกจำนวนไม่เกิน P โหนด ซึ่งทำให้ผลรวมจำนวนโหนดเพื่อนบ้านของโหนดให้เลือกที่ได้รับเลือกมีค่ามากที่สุด

² อาจเป็นโหนดต้นทาง (source node) หรือโหนดส่งต่อ (forwarding node) ที่ได้รับการคัดเลือก

จากบทนิยามปัญหาข้างต้นสามารถเขียนแสดงเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) (สมการที่ 1) และเงื่อนไขบังคับ (constraints) (สมการที่ 2 และ 3) ได้ดังนี้

$$\text{MAXIMIZE} \quad \sum_i h_i Z_i \quad (1)$$

$$\text{SUBJECT TO:} \quad \sum_i Z_i \leq P \quad (2)$$

$$Z_i = 0,1 \quad \forall_i \quad (3)$$

เมื่อกำหนดให้ h_i และ P เป็นข้อมูลนำเข้า (input) ของปัญหา ซึ่งแทนจำนวนโหนดเพื่อนบ้าน (neighboring node) ของโหนด i และจำนวนโหนดส่งต่อ (forwarding node) ที่มากที่สุดที่สามารถคัดเลือกได้ ตามลำดับ ตัวแปร Z_i เป็นตัวแปรตัดสินใจ (decision variables) ของปัญหา นั่นคือ Z_i มีค่าเป็น 1 เมื่อเลือกโหนด i เป็นโหนดส่งต่อ และ Z_i มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่เลือกโหนด i เป็นโหนดส่งต่อ

ในโปรโตคอลจอร์ฟี่ที่ได้มีการนำเสนอไว้ก่อน [1] โหนดต้นทางและโหนดส่งต่อในทุกๆ ช่วงจะใช้ค่า P เดียวกันทั้งหมด นั่นคือ ทั้งโหนดต้นทางและโหนดส่งต่อในทุกๆ ช่วงจะคัดเลือกโหนดส่งต่อจำนวนเท่า ๆ กันทั้งหมด ส่งผลให้มีแพ็คเกจข้อมูลเดินทางไปยังโหนดปลายทางโดยใช้เส้นทางที่แตกต่างกันจำนวนทั้งสิ้น P^h เส้นทาง เมื่อ h คือระยะห่าง (hop count) ระหว่างโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง

ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงโปรโตคอลจอร์ฟี่เพื่อลดจำนวนโอเวอร์เฮดในการค้นหาเส้นทางลง โดยภายหลังจากที่โหนดต้นทางทำการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมจำนวน P โหนดในช่วงแรกแล้ว โหนดส่งต่อแต่ละโหนดในช่วงอื่น ๆ จะทำการคัดเลือกโหนดส่งต่อที่เหมาะสมเพียงโหนดเดียวเท่านั้น การปรับเปลี่ยนการทำงานของโปรโตคอลจอร์ฟี่ ดังกล่าวข้างต้น จะส่งผลให้มีแพ็คเกจข้อมูลเดินทางไปยังโหนดปลายทางโดยใช้เส้นทางที่แตกต่างกันเป็นจำนวนทั้งสิ้น P เส้นทาง

2.3 ขั้นตอนการส่งต่อแพ็คเกจข้อมูล (Data Packet Forwarding)

โหนดต้นทาง (source node) หรือโหนดส่งต่อ (forwarding node) ส่งแพ็คเกจข้อมูลไปยังโหนดส่งต่อที่เหมาะสมซึ่งได้คัดเลือกเอาไว้แล้วจากขั้นตอนที่ผ่านมา โหนดส่งต่อที่เพิ่งจะได้รับแพ็คเกจข้อมูลก็จะทำงานในฐานะโหนดผู้ส่งในช่วงถัดไป นั่นคือ จะเริ่มปฏิบัติการในขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล ขั้นตอนการคัดเลือกโหนดส่งต่อ และขั้นตอนการจัดส่งแพ็คเกจข้อมูลใหม่ จนกระทั่งแพ็คเกจข้อมูลเดินทางไปยังโหนดปลายทาง

3. การวัดสมรรถนะของโปรโตคอล

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทดลองเพื่อวัดสมรรถนะของโปรโตคอลจอร์ฟี่ (GRP) เครื่องมือที่ใช้ในการทำการทดลอง และตัววัดสมรรถนะของโปรโตคอล

ผู้วิจัยใช้โปรแกรมจำลองเครือข่ายเอ็นเอสทู (NS2) [17] ในการจำลองโปรโตคอลจอร์ฟี่เพื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะกับโปรโตคอลเอโอดีวี (AODV) [2] เมื่อใช้รูปแบบการเคลื่อนที่ของเครือข่ายแบบแมนฮัตตันกริด (Manhattan Grid Model) [18] ซึ่งประกอบไปด้วยโหนดที่เคลื่อนที่ได้จำนวน 40 โหนด ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 1000×1000 ตารางเมตร คู่ของโหนดต้นทางและโหนดปลายทางได้มาจากการสุ่มเลือกมาเป็นจำนวน 10 คู่ โดยกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดที่แตกต่างกันดังนี้ 60 80 100 และ 180 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อเป็นการวัดค่าตัววัดสมรรถนะแต่ละตัวสำหรับการส่งข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางแต่ละคู่เมื่อโหนดภายในเครือข่ายใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างกัน จากนั้นจะคำนวณค่าเฉลี่ยของตัววัดสมรรถนะที่วัดได้ทั้งหมดเพื่อใช้เป็นตัวแทนสมรรถนะของโปรโตคอล

สำหรับเวลา S_1 S_2 และ t ของโปรโตคอลจอร์ฟี่ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2 นั้น ทางผู้วิจัยกำหนดค่าดังกล่าวไว้สำหรับการวัดสมรรถนะครั้งนี้เป็น 1 วินาที 0.5 วินาที และ 3 วินาที ตามลำดับ

ตารางที่ 1. สรุปพารามิเตอร์ของการทดลองเพื่อวัดสมรรถนะของโปรโตคอลจอร์ฟี่เทียบกับโปรโตคอล เอโอดีวี

Parameter	Value
Routing protocol	GRP, AODV
NS2 version	ns 2.34
Mobility model	Manhattan Grid Model
Simulation area	1000 × 1000 m ²
Simulation time	200 second
Max. node speed	60, 80, 100, 180 km/h
Traffic source	CBR, packets 100 bytes
Number of nodes	40 nodes
Source-destination pairs	10 pairs
GRP S ₁ , S ₂ , t	1, 0.5, 3 second

ตัววัดสมรรถนะของโปรโตคอล (performance metrics) ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่

- อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล (packet delivery ratio: PDR) หมายถึง สัดส่วนระหว่างแพ็กเก็ตข้อมูลที่สามารถจัดส่งไปยังโหนดปลายทางได้สำเร็จและจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลทั้งหมดที่โหนดต้นทางจัดส่ง สมการที่ (4) แสดงการคำนวณค่าตัววัดสมรรถนะอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล เมื่อกำหนดให้ $P_{receive}$ เป็นจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่โหนดปลายทางได้รับทั้งหมด และ P_{send} เป็นจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลทั้งหมดที่โหนดต้นทางจัดส่ง

$$PDR = \frac{P_{receive}}{P_{send}} \tag{4}$$

- จากสมการที่ (4) ค่าตัววัดสมรรถนะอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลนี้จะอยู่ในช่วง [0, 1] หรือ [0%, 100%] โดยค่าที่เข้าใกล้ 1 หรือ 100% จะแสดงถึงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่สูง ซึ่งก็จะหมายถึงว่าโปรโตคอลที่ทำการทดสอบมีสมรรถนะสูงนั่นเอง
- ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง (average end-to-end delay) ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของเวลาที่แต่ละแพ็กเก็ตข้อมูลใช้ในการเดินทางจากโหนดต้นทางไปถึงโหนดปลายทาง สมการที่ (5) แสดงการคำนวณค่าตัววัดสมรรถนะค่าเฉลี่ยการหน่วง

ตลอดเส้นทาง เมื่อกำหนดให้ T_{Di} และ T_{Si} แทนเวลาที่โหนดปลายทางได้รับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ i และ เวลาที่โหนดต้นทางส่งแพ็กเก็ตข้อมูลที่ i ออกมา ส่วน P_{recv} แทนจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลทั้งหมดที่โหนดปลายทางได้รับ

$$ED_{AVG} = \frac{\sum_i (T_{Di} - T_{Si})}{P_{recv}} \tag{5}$$

ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางที่ต่ำแสดงว่าโปรโตคอลสามารถค้นหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทางได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการแสดงว่าโปรโตคอลที่ทำการทดสอบมีสมรรถนะสูง

- โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทางหรือ เส้นทางที่ใช้สำหรับจัดส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง (average routing overhead) ได้แก่ จำนวนแพ็กเก็ตอื่น ๆ นอกเหนือจากแพ็กเก็ตข้อมูลที่ต้องมีการจัดส่งภายในเครือข่ายโดยเฉลี่ยเพื่อจัดส่งแพ็กเก็ตข้อมูลแต่ละแพ็กเก็ตไปยังโหนดปลายทาง ค่าตัววัดสมรรถนะโอเวอร์เฮดเฉลี่ยที่ต่ำแสดงถึงสมรรถนะที่สูงของโปรโตคอล

4. ผลการทดลอง

ในหัวข้อนี้จะขอกล่าวถึงผลจากการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะโปรโตคอลค้นหาเส้นทางจอรฟ (GRP) กับโปรโตคอลค้นหาเส้นทางเอโอคิว (AODV) ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

4.1 อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล

รูปที่ 1 และ รูปที่ 2 แสดงค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจอรฟที่เทียบกับเอโอคิว เมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 60 80 100 และ 180 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ โปรโตคอลจอรฟมีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 1 โหนด (P=1) และ 2 โหนด (P=2) ตามลำดับ

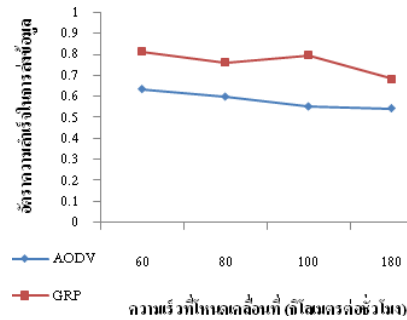
จากรูปที่ 1 พบว่า เมื่อ P=1 โปรโตคอลจอรฟมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลสูงกว่าเอโอคิว ที่ทุก ๆ ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่าย โดยโปรโตคอลจอรฟมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเฉลี่ย

คิดเป็น 76% ในขณะที่โปรโตคอลเอโอดีวีมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยคิดเป็น 58% และอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของทั้งสองโปรโตคอลจะมีค่าลดลง เมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากขึ้น

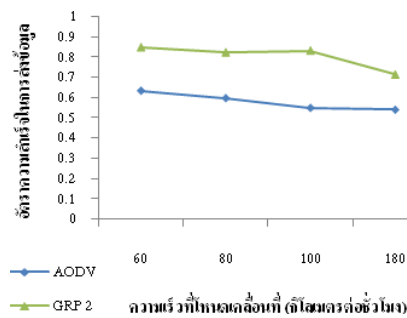
จากรูปที่ 2 พบว่า เมื่อ $P=2$ โปรโตคอลจอร์ฟี่มีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลสูงกว่าเอโอดีวี ที่ทุก ๆ ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่าย โดยโปรโตคอลจอร์ฟี่มีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเฉลี่ยคิดเป็น 81% ในขณะที่โปรโตคอลเอโอดีวียังคงมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยคิดเป็น 58% และอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของทั้งสองโปรโตคอลจะมีค่าลดลง เมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากขึ้น

รูปที่ 1 และ รูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าโปรโตคอลจอร์ฟี่มีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลสูงกว่าโปรโตคอลเอโอดีวีแม้ว่าจะมีการคัดเลือกโหนดส่งต่อจำนวนไม่เกิน 1 โหนดที่ทุก ๆ ช่วงของการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลก็ตาม และอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจอร์ฟี่มีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดส่งต่อที่จะทำการคัดเลือก (P) เนื่องจาก โหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้จากการหาค่าตอบของแบบจำลองปัญหาดังแสดงในสมการที่ (1) - (3) เป็นโหนดส่งต่อที่ทำให้ผลรวมของจำนวนโหนดเพื่อนบ้านมีค่าสูงที่สุด เป็นการเพิ่มโอกาสให้แพ็กเก็ตข้อมูลสามารถเดินทางไปยังโหนดปลายทางได้

นอกจากนี้ รูปที่ 1 และ รูปที่ 2 ยังแสดงให้เห็นอีกด้วยว่าความเร็วของโหนดที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการค้นหาเส้นทางของทั้งสองโปรโตคอลลดลง เนื่องจากเมื่อโหนดในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่ใช้ในการคัดเลือกโหนดส่งต่อจะเกิดความไม่ถูกต้อง ผิดพลาดไปจากเหตุการณ์จริงในเครือข่ายมากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 1. แสดงค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจอร์ฟี่เมื่อ $P=1$ และโปรโตคอลเอโอดีวี



รูปที่ 2. แสดงค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลจอร์ฟี่เมื่อ $P=2$ และโปรโตคอลเอโอดีวี

4.2 ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง

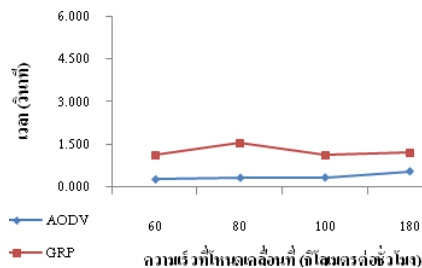
รูปที่ 3 และ รูปที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจอร์ฟี่เทียบกับเอโอดีวี เมื่อโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 60 80 100 และ 180 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และโปรโตคอลจอร์ฟี่มีจำนวนโหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้ไม่เกิน 1 โหนด ($P=1$) และ 2 โหนด ($P=2$) ตามลำดับ

จากรูปที่ 3 พบว่าโปรโตคอลจอร์ฟี่เมื่อ $P=1$ มีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางสูงกว่าโปรโตคอลเอโอดีวี ที่ทุก ๆ ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่าย โดยโปรโตคอลจอร์ฟี่มีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางเฉลี่ยแล้วประมาณ 1.23 วินาที ในขณะที่โปรโตคอลเอโอดีวีมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางเฉลี่ยแล้วประมาณ 0.35 วินาที นั่นคือโปรโตคอลจอร์ฟี่มีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางสูงกว่าเอโอดีวีประมาณ 0.88 วินาที

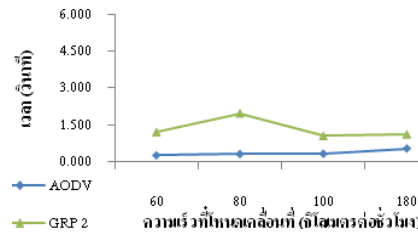
จากรูปที่ 4 พบว่าโปรโตคอลจอร์ฟี่เมื่อ P=2 มีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางสูงกว่าโปรโตคอลเอโอดีวีที่ทุก ๆ ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดภายในเครือข่าย โดยโปรโตคอลจอร์ฟี่มีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางเฉลี่ยแล้วประมาณ 1.33 วินาที ในขณะที่โปรโตคอลเอโอดีวียังคงมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.35 วินาที นั่นคือโปรโตคอลจอร์ฟี่มีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางสูงกว่าเอโอดีวีประมาณ 0.98 วินาที

รูปที่ 3 และ รูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าโปรโตคอลจอร์ฟี่ให้ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางสูงกว่าโปรโตคอลเอโอดีวีเล็กน้อย เนื่องจากโปรโตคอลจอร์ฟี่มีการกำหนดเวลาคอยรอรับข้อมูลตอบกลับจากโหนดเพื่อนบ้านเป็นเวลา S_1 และ S_2 วินาที ซึ่งเป็นเวลาแฝงสำหรับการทำงานในขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลเพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าในขั้นตอนคัดเลือกโหนดส่งต่อแพ็คเก็ตข้อมูลที่เหมาะสมของโปรโตคอลจอร์ฟี่

นอกจากนี้ รูปที่ 3 และ รูปที่ 4 ยังแสดงให้เห็นอีกว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดที่เพิ่มขึ้นนั้นมีผลต่อค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง โดยที่ถ้าความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของทั้งสองโปรโตคอลจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



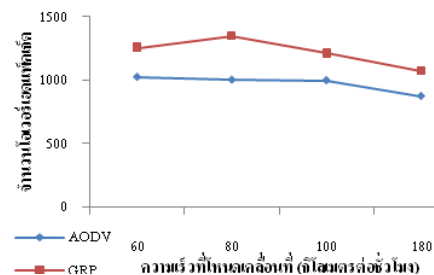
รูปที่ 3. แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจอร์ฟี่เมื่อกำหนดให้ P=1 และโปรโตคอลเอโอดีวี



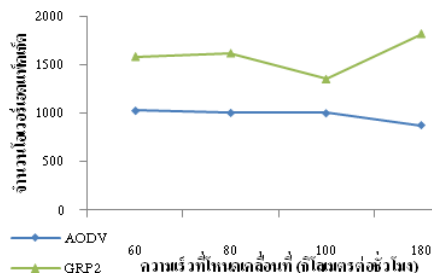
รูปที่ 4. แสดงค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางของโปรโตคอลจอร์ฟี่เมื่อกำหนดให้ P=2 และโปรโตคอลเอโอดีวี

4.3 โอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทาง

รูปที่ 5 และ รูปที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทางที่ต้องการระหว่างโปรโตคอลจอร์ฟี่และโปรโตคอลเอโอดีวี พบว่าโปรโตคอลจอร์ฟี่ให้ค่าโอเวอร์เฮดแพ็คเก็ตเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางมากกว่าโปรโตคอลเอโอดีวีอยู่ที่ประมาณ 200 และ 600 แพ็คเก็ตเมื่อกำหนดให้โหนดส่งต่อที่คัดเลือกได้เท่ากับ 1 ($P=1$) และ 2 ($P=2$) โหนดตามลำดับ เนื่องจากว่าโปรโตคอลจอร์ฟี่มีการส่งแพ็คเก็ตในการค้นหาเส้นทางแต่ละครั้งอย่างน้อยเป็นจำนวน 4 แพ็คเก็ตด้วยกัน (ได้แก่ แพ็คเก็ตร้องขอ แพ็คเก็ตสอบถามข้อมูลเพื่อนบ้าน แพ็คเก็ตตอบกลับเพื่อนบ้าน และแพ็คเก็ตตอบกลับ) เพื่อให้ได้ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่ทันต่อเหตุการณ์ และเป็นการรับประกันว่าโหนดที่ได้รับเลือกให้เป็นโหนดส่งต่อแพ็คเก็ตข้อมูลในแต่ละครั้งเป็นโหนดที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 5. แสดงโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทางของโปรโตคอลจอร์ฟี่เมื่อกำหนดให้ P=1 และโปรโตคอลเอโอดีวี



รูปที่ 6. แสดงโอเวอร์เฮดเฉลี่ยในการค้นหาโหนดปลายทางของโปรโตคอลจอร์ฟิเมื่อกำหนดให้ P=2 และโปรโตคอลเอโอดีวี

5. บทสรุป

บทความนี้นำเสนอโปรโตคอลค้นหาเส้นทางจอร์ฟิสำหรับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะหลังจากที่ได้มีการปรับปรุงแล้ว โดยวัตถุประสงค์หลักในการปรับปรุงการทำงานของโปรโตคอล ได้แก่ การลดจำนวนโอเวอร์เฮดในการค้นหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทางลงโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของโปรโตคอล บทความนี้ยังได้นำเสนอผลการวัดสมรรถนะของโปรโตคอลจอร์ฟิ และเปรียบเทียบสมรรถนะของโปรโตคอลจอร์ฟิกับโปรโตคอลเอโอดีวีซึ่งเป็นโปรโตคอลที่มีความเรียบง่ายแต่มีประสิทธิภาพสูงในการค้นหาเส้นทางภายในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ

ผู้วิจัยได้จำลองโปรโตคอลจอร์ฟิโดยใช้โปรแกรมจำลองเครือข่ายเอ็นเอสทู ทดสอบและวัดสมรรถนะของโปรโตคอลจอร์ฟิและเอโอดีวีโดยใช้สถานการณ์ที่มีรูปแบบการเคลื่อนที่ของโหนดแบบแมนฮัตตัน และโหนดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 60 80 100 และ 180 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ผลจากการทดลองพบว่าโปรโตคอลจอร์ฟิสามารถค้นหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทางได้ แม้ว่าในพื้นที่ที่ไม่มีบริการตำแหน่งปัจจุบันของโหนดปลายทางก็ตาม โดยให้ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลสูงกว่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโปรโตคอลเอโอดีวีประมาณ 18% เมื่อ P=1 และ 23% เมื่อ P=2

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทางพบว่าโปรโตคอลจอร์ฟิมีค่าเฉลี่ยการหน่วงตลอดเส้นทาง

สูงกว่าโปรโตคอลเอโอดีวีประมาณ 0.88 วินาที เมื่อ P=1 และ 0.98 วินาที เมื่อ P=2 เนื่องจากการทำงานในขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลของโปรโตคอลจอร์ฟิพื้นนี้มีการกำหนดเวลารับแพ็คเก็ตตอบกลับเนื่องจากว่าโปรโตคอลจอร์ฟิไม่ทราบว่ามีโหนดใดเป็นเพื่อนบ้านบ้าง จึงต้องมีการตั้งเวลารับแพ็คเก็ตตอบกลับเอาไว้

ในส่วนของโอเวอร์เฮดแพ็คเก็ตโปรโตคอลจอร์ฟิมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าโปรโตคอลเอโอดีวีเล็กน้อยประมาณ 200 แพ็คเก็ต เมื่อ P=1 และ 600 แพ็คเก็ต เมื่อ P=2 เนื่องจากโปรโตคอลจอร์ฟิส่งแพ็คเก็ตในการค้นหาเส้นทางแต่ละครั้งอย่างน้อย 4 แพ็คเก็ตด้วยกันเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่ทันต่อเหตุการณ์อยู่เสมอ ข้อมูลจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่ได้มานั้นเป็นข้อมูลสำคัญของโปรโตคอลจอร์ฟิที่จะนำไปใช้ในการเลือกโหนดส่งต่อแพ็คเก็ตข้อมูลที่เหมาะสมต่อไป

สำหรับงานวิจัยในอนาคตของโปรโตคอลจอร์ฟินั้นจะทำการปรับปรุงการทำงานของโปรโตคอลให้เลือกโหนดส่งต่อแพ็คเก็ตข้อมูลได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น และนอกจากนี้แล้วจะเปรียบเทียบสมรรถนะโปรโตคอลจอร์ฟิกับโปรโตคอลค้นหาเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่มีประสิทธิภาพสูงอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] มันชนา ธรรมรักษา และ วณิดา พฤทธิวิทยา, "โปรโตคอลค้นหาเส้นทางเชิงกริดสำหรับการสื่อสารระหว่างยานพาหนะ," ในงานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 3 (NCIT2010), กรุงเทพฯ, ตุลาคม 2553.
- [2] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," in *WMCSA '99: Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, New Orleans, LA, USA, February 1999, pp. 90-100.
- [3] E. M. Royer and T. Chai-Keong, "A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks," *Personal Communications, IEEE*, vol. 6, pp. 46-55, April 1999.

- [4] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for mobile computers," in *SIGCOMM '94: Proceedings of the conference on Communications architectures, protocols and applications*, London, United Kingdom, August-September 1994, pp. 234-244.
- [5] C. Ching-Chuan and M. Gerla, "Routing and multicast in multihop, mobile wireless networks," in *1997 IEEE 6th International Conference on Universal Personal Communications Record*, San Diego, CA, USA, October 1997, pp. 546-551
- [6] S. Murthy, and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "An efficient routing protocol for wireless networks," *Mobile Networks and Applications.*, vol. 1, no. 2, pp. 183-197, October 1996.
- [7] D. B. Johnson and D. A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks," *Mobile Computing*, vol. 353, no. 5, pp. 153-161, 1996
- [8] V. D. Park and M. S. Corson, "A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks," in *Proceedings of the INFOCOM '97*, Kobe, Japan, April 1997, pp. 1405-1413
- [9] T. Chai-Keong, "A novel distributed routing protocol to support ad-hoc mobile computing," in *Conference proceedings of the 1996 IEEE Fifteenth Annual International Phoenix Conference on Computers and Communications*, Scottsdale, AZ, USA, Mar 1996, pp. 480-486.
- [10] R. Dube, C. D. Rais, W. Kuang-Yeh, and S. K. Tripathi, "Signal stability-based adaptive routing (SSA) for ad hoc mobile networks," *Personal Communications, IEEE*, vol. 4, pp. 36-45, February 1997.
- [11] J. Chennikara-Varghese, W. Chen, O. Altintas, and S. Cai, "Survey of Routing Protocols for Inter-Vehicle Communications," in *The 3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networks and Services*, San Jose, CA, USA, July 2006, pp. 1-5.
- [12] C. Lochert, H. Hartenstein, J. Tian, H. Fussler, D. Hermann, and M. Mauve, "A routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments," in *Proceedings IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, Columbus, OH, USA, June 2003, pp. 156-161.
- [13] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in *MobiCom '00: Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking* Boston, Massachusetts, USA, August 2000, pp. 243-254.
- [14] T. Jing, H. Lu, and K. Rothermel, "Spatially aware packet routing for mobile ad hoc inter-vehicle radio networks," in *Proceedings IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems*, October 2003, pp. 1546-1551.
- [15] H. Füßler, J. Widmer, M. Käsemann, M. Mauve, and H. Hartenstein, "Contention-based forwarding for mobile ad hoc networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 1, pp. 351-369, November 2003.
- [16] M. S. Daskin, *Network and discrete location: models, algorithms, and applications*. Wiley, 1995.
- [17] The network simulator: NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [18] Gopinath, G. and G. Jayakumar, "Performance comparison of MANET protocols based on manhattan grid mobility model," *Journal of Mobile Communication*, vol. 2, pp. 18-26, 2008.