รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษารูปแบบการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

A Study on Load Distribution Model in Mobile Ad-hoc Networks

ผศ.ดร. สุเมธ ประภาวัต

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2561

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษารูปแบบการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

A Study on Load Distribution Model in Mobile Ad-hoc Networks

ผศ.ดร. สุเมธ ประภาวัต

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2561

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การศึกษารูปแบบการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่
แหล่งเงิน เงินรายได้ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2560 ถึง กันยายน 2561
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
หัวหน้าโครงการ ผศ.ดร.สุเมธ ประภาวัต
หน่วยงานต้นสังกัด คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ (Mobile Ad Hoc Networks) เป็นเครือข่ายที่ประกอบด้วยกลุ่มของโหนดที่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ด้วยตัวเองโดยที่ไม่ต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน ในการติดต่อสื่อสารบนระบบเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่นั้นจำเป็นต้องมีโพรโทคอลที่ทำหน้าที่ค้นหาเส้นทาง โดยโพรโทคอลส่วนใหญ่ในปัจจุบันนั้นทำการค้นหาเส้นทางโดยไม่ได้นำพลังงานของโหนดมาพิจารณาเป็นปัจจัยร่วม หากเส้นทางที่โหนดใช้ส่งข้อมูลประกอบด้วยโหนดที่กำลังจะหมดพลังงาน เส้นทางนั้นอาจจะขาดออกจากกันในระยะเวลาอันสั้น ทำให้การส่งข้อมูลไม่ต่อเนื่องและไม่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้นำเสนอโพรโทคอลการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่โดยมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงให้เส้นทางสามารถคงอยู่ได้นานขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากลไกที่นำเสนอสามารถกระจายการใช้พลังงานระหว่างโหนดในเครือข่ายได้ ซึ่งช่วยเพิ่มอายุขัยของเครือข่าย ในขณะที่ยังสามารถรักษาอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จไว้ได้ โดยแลกมากับความหน่วงในเครือข่ายที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: A Study on Load Distribution Model in Mobile Ad-hoc Networks

Researcher: Asst.Prof.Dr. Sumet Prabhavat

Faculty: Information Technology

Department: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

Mobile ad hoc networks (MANETs) is an infrastructureless wireless network, which can be formed by allowing mobile nodes to directly communicate with each other. Most conventional routing protocols select a route for data distribution without taking energy of mobile nodes into account. Route breakage may be occurred if some mobile node is over-utilized and run out of energy. This problem affects the performance of MANETs. To solve this problem, we propose an energy-aware load distribution algorithm. The objective of this work is to reduce over-utilized nodes by shifting traffic to under-utilized nodes instead. The simulation results show that our propose protocol improve network lifetime by trying to form well-balanced network while maintaining high packet delivery ratio with a small additional network delay.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง V
สารบัญภาพ VI
บทที่ 1 บทนำ 7
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 7
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ 8
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 8
1.4 ขั้นตอนการวิจัย 9
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 9
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 10
2.1 โพรโทคอลเพื่อการค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ 10
2.2 โพรโทคอลเพื่อการค้นหาเกตเวย์สำหรับเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสม 17
บทที่ 3 แนวคิดและการดำเนินงาน 20
3.1 โพรโทคอลที่ถูกนำเสนอเพื่อการกระจายภาระงานในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ 20
3.2 โพรโทคอลที่ถูกนำเสนอเพื่อการกระจายภาระงานในเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสม 23
บทที่ 4 การทดลองและประเมินผล 26
4.1 การทดลองสำหรับโพรโทคอลการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ 26
4.2 การทดลองสำหรับโพรโทคอลการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสม 29
บทที่ 5 สรุปการพัฒนา 36
บรรณานุกรม 37
ภาคผนวก ก. 39
ภาคผนวก ข 50
ภาคผนวก ค 58
ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่นำเสนอกับโพรโทคอล AODV+..... 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 กลไกการหาเส้นทางของโพรโทคอล AODV ที่โหนดต้นทาง 11
2.2 กลไกการหาเส้นทางของโพรโทคอล AODV ที่โหนดปลายทาง 12
2.3 จุดบกพร่องของ MBCR กรณีที่โหนดในเส้นทางมีพลังงานคงเหลือน้อยมาก 14
2.4 กลไกการหาเส้นทางของโพรโทคอล EACAR 16
3.1 รูปแบบของโหนดสองกลุ่มที่มีการเลือกใช้เส้นทางต่างกัน 20
3.2 กลไกการทำงานของโหนดภายใต้โพรโทคอลที่นำเสนอ 21
3.3 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอ 24
4.1 กราฟการกระจายการใช้พลังงานของโหนดในเครือข่าย 27
4.2 แสดงเวลาที่มีโหนดพลังงานหมดเกิดขึ้นเป็นตัวแรก 28
4.3 กราฟแสดงอัตราการส่งสำเร็จของแพ็คเกต 28
4.4 กราฟแสดงความหน่วงในการส่งข้อมูล 29
4.5 แสดงทอพอโลยีที่ใช้ในการวิเคราะห์ 30
4.6 แสดงพลังงานที่ลดลงของโหนดเกตเวย์ตามช่วงเวลาเมื่อใช้โพรโทคอล AODV+ 31
4.7 แสดงพลังงานที่ลดลงของโหนดเกตเวย์ตามช่วงเวลาเมื่อใช้โพรโทคอลที่ได้นำเสนอ 1 32
4.8 แสดงพลังงานที่ลดลงของโหนดเกตเวย์ตามช่วงเวลาเมื่อใช้โพรโทคอลที่ได้นำเสนอ 2 32
4.9 แสดงพลังงานที่ลดลงของโหนดเกตเวย์ตามช่วงเวลาเมื่อใช้โพรโทคอลที่ได้นำเสนอ 3 33
4.10 แสดงปริมาณเวลาก่อนที่มีโหนดเกตเวย์พลังงานหมดเกิดขึ้นเป็นตัวแรกระหว่างโพรโทคอล AODV+ และโพรโทคอลที่ได้นำเสนอ 33
4.11 แสดงผลการทดลองอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลระหว่างโพรโทคอล AODV+ และโพรโทคอลที่ได้นำเสนอ 34
4.12 แสดงผลการทดลองอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลระหว่างโพรโทคอล AODV+ และโพรโทคอลที่ได้นำเสนอ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการสื่อสารในระบบดิจิทัลได้ถูกพัฒนาประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองต่อความต้องการการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้การสื่อสารในช่องทางดังกล่าวมีความนิยมอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากมีความสะดวกรวดเร็ว และสามารถเข้าถึงได้ง่าย ด้วยปัจจัยดังกล่าวจึงทำให้เทคโนโลยีด้านการสื่อสารระบบดิจิทัลนั้นกลายเป็นสื่อกลางในการติดต่อซื้อขายภายใต้ธุรกิจแบบอีคอมเมิร์ซ การให้ความบันเทิงในรูปแบบต่าง ๆ และเป็นช่องทางติดต่อสื่อสารที่สำคัญโดยมีอุปกรณ์สมาร์ทดีไวซ์ เช่น สมาร์ทโฟนหรือแท็บเลตเป็นสื่อกลางในการเข้าถึงเครือข่ายดังกล่าว แต่ในกรณีที่เกิดสถานการณ์ฉุกเฉินยกตัวอย่างเช่นภัยพิบัติที่สร้างความเสียหายเป็นวงกว้าง จนส่งผลให้เสาสัญญาณหรือสถานีฐาน (Base Station) ที่ให้บริการเทคโนโลยีการสื่อสารยกตัวอย่างเช่น GSM 4G และ LTE ถูกทำลายหรือไม่สามารถใช้งานได้จนส่งผลให้การสื่อสารทั้งหมดหยุดชะงัก ผู้ใช้งานสมาร์ทดีไวซ์ที่อยู่ในบริเวณภัยพิบัติจะไม่สามารถติดต่อสื่อสารหรือเข้าถึงข้อมูลที่จำเป็นซึ่งอาจจะส่งผลต่อความปลอดภัยในชีวิต จากปัญหาดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดในการพัฒนาช่องทางในการติดต่อสื่อสารสำรองเพื่อเข้ามารองรับในกรณีที่โครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) ไม่สามารถใช้งานได้ ด้วยการเชื่อมโยงอุปกรณ์สมาร์ทดีไวซ์เข้าด้วยกันและสร้างเป็นเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ (MANETs) ด้วยการเชื่อมต่อแบบ Peer to Peer (P2P) ทำให้เครือข่ายดังกล่าวไม่จำเป็นต้องติดต่อผ่านเสาสัญญาณใด ๆ แต่ยังสามารถติดต่อสื่อสารหรือแลกเปลี่ยนข่าวสารระหว่างกันได้

อย่างไรก็ตาม เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่จำเป็นต้องสร้างเส้นทางในการติดต่อสื่อสารระหว่างต้นทาง และปลายทางด้วยตัวเองโดยอาศัยโพรโทคอลค้นหาเส้นทาง อุปกรณ์ต้นทางจะแพร่กระจายข้อความค้นหาเส้นทางออกไปทั่วทั้งเครือข่ายจนกระทั่งข้อความดังกล่าวเดินทางไปจนถึงปลายทางและมีการตอบกลับข้อความเพื่อสร้างเส้นทาง แต่เส้นทางที่ถูกสร้างขึ้นอาจจะไม่สามารถใช้งานได้เมื่อเวลาผ่านไปเนื่องจากรูปแบบทอพอโลยีของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้กลไกการค้นหาเส้นทางถูกเรียกใช้บ่อยครั้งเพื่อสร้างเส้นทางใหม่ ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่อุปกรณ์ใด ๆ จะถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางจากหลาย ๆ ต้นทาง ส่งผลให้อุปกรณ์ดังกล่าวสูญเสียพลังงานไปอย่างรวดเร็วจนกระทั่งอุปกรณ์ดังกล่าวไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไป

ยิ่งไปกว่านั้นเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่นั้นยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องระยะในการติดต่อสื่อสาร เนื่องจากเครือข่ายที่ถูกสร้างขึ้นด้วยเทคโนโลยีดังกล่าว ไม่สามารถติดต่อสื่อสารไปยังเครือข่ายภายนอกได้ เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่แบบผสม (Hybrid Wireless Networks: HWNs) จึงถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเสนอเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการกำหนดให้อุปกรณ์ที่ยังสามารถติดต่อสื่อสารออกไปยังเครือข่ายอื่นได้ ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์เกตเวย์ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์กลางในการสื่อสารระหว่างเครือข่าย ทำให้อุปกรณ์ที่อยู่ภายในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ สามารถติดต่อสื่อสารไปยังเครือข่ายอื่นได้ อุปกรณ์เกตเวย์ที่ทำหน้าที่ในการเป็นทางผ่านระหว่าง 2 เครือข่ายมีแนวโน้มที่จะถูกใช้พลังงานมากกว่าอุปกรณ์อื่น ๆ ส่งผลให้อุปกรณ์ดังกล่าวสูญเสียพลังงานไปอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับกรณีที่เกิดการใช้อุปกรณ์ร่วมในเครือข่ายเฉพาะกิจเช่นกัน ในกรณีที่อุปกรณ์ในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่พลังงานหมดลงอย่างรวดเร็ว จะส่งผลกระทบต่อความพร้อมใช้งานของระบบเครือข่าย รวมทั้งยังเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการค้นหาเส้นทางจากอุปกรณ์ต้นทางจานวนมากพร้อม ๆ กัน ส่งผลต่อการใช้พลังงานโดยรวม และแบนด์วิดท์ของเครือข่ายอีกด้วย

ในงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการกระจายภาระงานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบต่าง ๆ ในเครือขายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ และเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสมที่ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาข้างต้น จากนั้นจึงทาการทดสอบการทำงานของเครือข่ายเฉพาะกิจโดยการใช้แบบจำลองด้วยซอฟท์แวร์จำลองระบบเครือข่าย วิเคราะห์การทำงาน และประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ ของระบบเครือข่ายที่ใช้กลไกการค้นหาเส้นทางแบบดั้งเดิม และกลไกอื่น ๆ ที่มีการปรับปรุงพัฒนาเพิ่มเติมในด้านการกระจายภาระงาน ซึ่งผลลัพธ์เหล่านี้จะสามารถนำมาวิเคราะห์ และเลือกใช้โพรโทคอลที่เหมาะสม ทำให้อุปกรณ์ในระบบเครือข่ายมีการกระจายการใช้พลังงานได้ดี ส่งผลให้อุปกรณ์ในเครือข่ายทั้งหมดมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ซึ่งเป็นผลดีต่อการสื่อสารภายใต้สถานการณ์ฉุกเฉินที่พลังงานของอุปกรณ์ในเครือข่ายมีอยู่จำกัด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษารูปแบบ กลไก และปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกระจายภาระงานและผลกระทบต่อเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 พัฒนาแบบจำลองเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ (MANETs) โดยใช้ซอฟท์แวร์จำลองระบบเครือข่ายพัฒนาระบบการเชื่อมต่อของสมาร์ทโฟนในลักษณะ Ad hoc โดยที่ไม่ต้องพึ่งพาสถานีฐาน

1.3.2 ทดสอบการทางาน และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีของโพรโทคอลการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ต่างๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ศึกษาเทคนิคการกระจายภาระงาน

1.4.3 พัฒนาแบบจำลองเครือข่าย

1.4.4 ทำการทดสอบด้วยการจาลองโดยใช้ซอฟท์แวร์จำลองเครือข่าย

1.4.5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในแต่ละโพรโทคอล

1.4.6 รวบรวมสรุปผล และจัดทำรายงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เพื่อนำเสนอโพรโทคอลการค้นหาเส้นทางที่มีการกระจายภาระงานโดยคำนึงถึงพลังงานบนอุปกรณ์ที่ทำงานอยู่ในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

1.5.2 เป็นการรวบรวมองค์ความรู้ และแนวทางการพัฒนาโพรโทคอลการค้นหาเส้นทาง รวมถึงผลลัพธ์จากการจำลองระบบเครือข่าย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยในด้านการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 โพรโทคอลเพื่อการค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ หรือ Mobile Ad Hoc Networks (MANETs) เป็นเครือข่ายที่ประกอบด้วยโหนดสองโหนดขึ้นไป ซึ่งแต่ละโหนดนั้นจะสามารถติดต่อสื่อสารกันได้อย่างอิสระ รวมไปถึงการเชื่อมต่อของโหนดนั้นจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา และเมื่อมีโหนดใหม่เพิ่มเข้ามาในเครือข่าย โหนดดังกล่าวก็จะสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายได้ด้วยตัวเองโดยไม่จำเป็นต้องมีตัวกลางในการติดต่อสื่อสาร โดยกระบวนการค้นหาเส้นทาง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ ดังนี้

2.1.1 โพรโทคอลการค้นเส้นทางแบบโพรแอคทีฟ

โพรโทคอลการค้นเส้นทางแบบโพรแอคทีฟนั้นจะเป็นการค้นหาเส้นทางแบบ link-state กล่าวคือ มีการหาเส้นทางของโหนดทุกโหนดในเครือข่าย และจะมีการปรับปรุงเส้นทางอยู่ตลอดเวลาซึ่งในการทำงานแบบนี้ ถ้าหากถูกใช้งานในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานซึ่งเป็นข้อจำกัดของเครือข่าย และในการทำงานยังคำนึงถึงความสำเร็จในการส่งข้อมูลเป็นหลัก โดยจะมีโพรโทคอลที่ทำงานแบบโพรแอคทีฟยกตัวอย่างเช่น DSDV [1] เป็นต้น

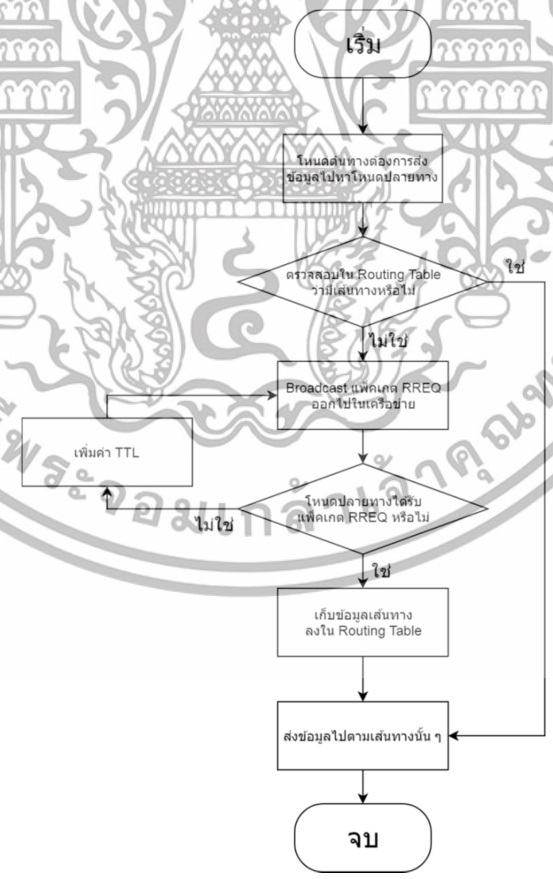
2.1.2 โพรโทคอลการค้นหาเส้นทางแบบรีแอคทีฟ

โพรโทคอลแบบรีแอคทีฟจะทำการหาเส้นทางก็ต่อเมื่อมีโหนดใดโหนดหนึ่งต้องการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง โพรโทคอลส่วนใหญ่จะเน้นที่การส่งข้อมูลให้ถึงปลายทางเช่นเดียวกับโพรโทคอลการค้นเส้นทางแบบโพรแอคทีฟ โพรโทคอลที่ถูกกล่าวถึงอย่างมากยกตัวอย่างเช่น Ad Hoc On-demand Distance Vector Routing Protocol (AODV) [2]

โพรโทคอล AODV จะเริ่มต้นการค้นหาเส้นทางเมื่อมีโหนดต้องการที่จะส่งข้อมูล ซึ่งจะหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทางโดยเริ่มค้นหาจากในตารางเส้นทางของโหนด ว่ามีเส้นทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางหรือไม่ หากมีเส้นทางแล้ว ก็จะเริ่มการส่งข้อมูลโดยใช้เส้นทางนั้นทันที แต่หากไม่มีเส้นทางอยู่ก็จะเริ่มกระบวนการค้นหาเส้นทาง โดยในการค้นหาเส้นทางของโพรโทคอล AODV จะใช้ข้อความ Route request (RREQ) ซึ่งเป็นแพ็คเกต ในการหาเส้นทางจะประกอบด้วย Source address, Source sequence number, Destination address, Destination sequence number และ Broadcast ID โดย Broadcast ID จะเพิ่มขึ้นทุกครั้งที่โหนดต้นทางสร้าง RREQ ดังนั้น Source address และ Broadcast ID จะแตกต่างกันไปในแต่ละแพ็คเกต ซึ่งจะใช้ระบุความแตกต่างของ RREQ ในแต่ละครั้ง เมื่อทำการสร้าง RREQ โหนดจะทำการแพร่กระจายข้อความดังกล่าวออกไปเพื่อ

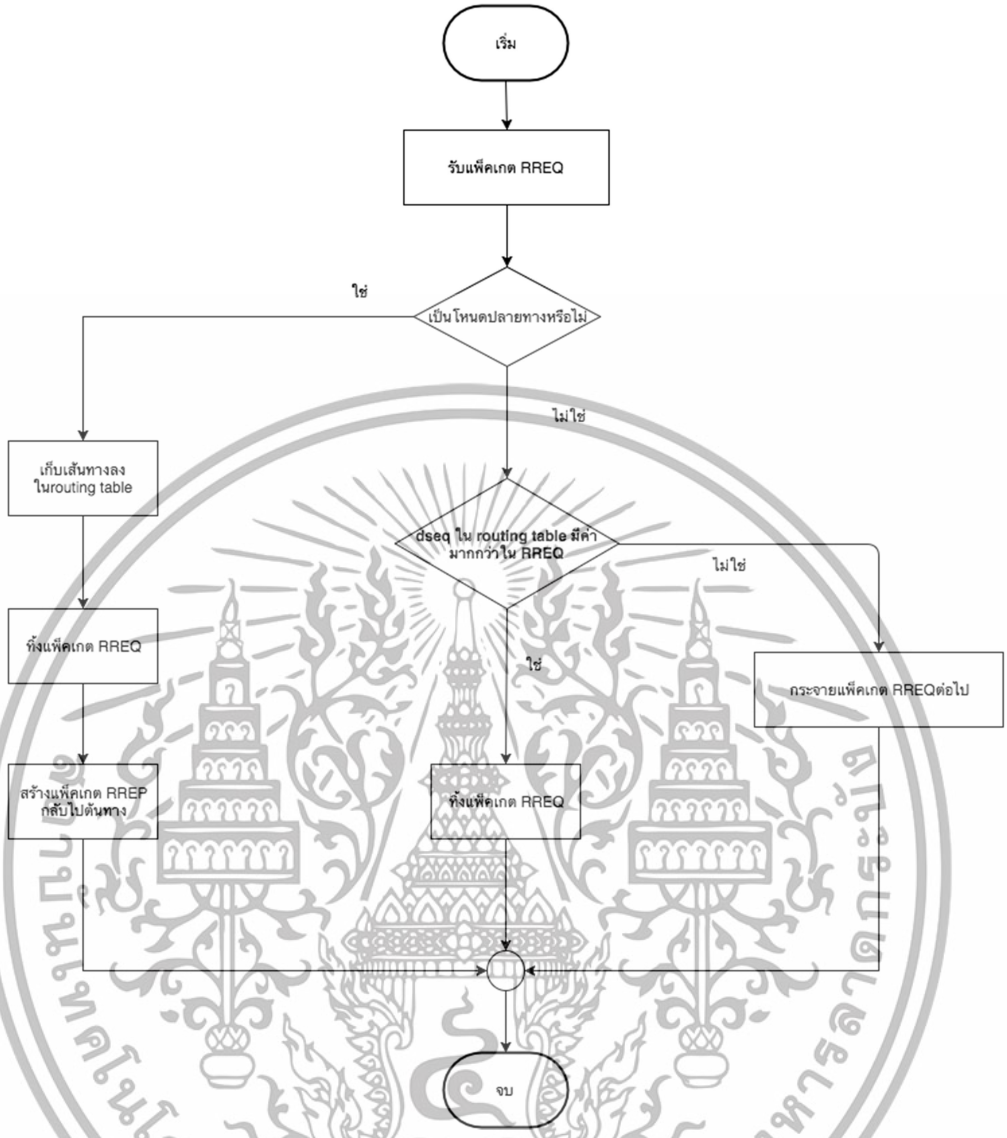
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค้นหาโหนดปลายทาง เมื่อโหนดแต่ละโหนดที่ได้รับข้อความ RREQ โหนดก็จะทำการสร้าง Reverse route entry (เส้นทางย้อนกลับมายังต้นทาง) ไว้ในโหนดของตัวเอง และเพิ่มค่าจำนวนฮ็อปขึ้น 1 หน่วย ถ้าหากมีการส่งแพ็คเกต RREQ เดิมซ้ำเข้ามา (มี Source address และ Broadcast ID เหมือนกับของ RREQ ก่อนหน้า) โหนดก็จะทำการละทิ้งข้อความ RREQ นั้นไป ในระหว่างทางการแพร่กระจายข้อความ RREQ โหนดระหว่างทางจะตรวจสอบว่าเส้นทางที่ไปยังปลายทางนั้นเป็นเส้นทางที่มีอยู่แล้วหรือเส้นทางที่มาใหม่ โดยจะเปรียบเทียบจาก Destination sequence number ภายใน RREQ กับที่อยู่ภายในตารางเส้นทางของตัวเอง ถ้าหากว่าในข้อความ RREQ มีค่า Destination sequence number ที่มากกว่าโหนดก็จะทำการแพร่กระจายข้อความ RREQ ต่อไป แต่ถ้าหากภายในตารางเส้นทาง มีค่า Destination sequence number มากกว่าหรือเท่ากันกับข้อความที่ได้รับ โหนดจะทำการส่งแพ็คเกต route reply (RREP) กลับไปยังต้นทาง ภายใน RREP จะประกอบด้วย < Source address, Destination address, Destination sequence number, Lifetime > โดยขั้นตอนของกระบวนการค้นหาเส้นทางจะสามารถตรวจสอบได้จากแผนภาพตามภาพที่ 2.1 และ 2.2



ภาพที่ 2.1 กลไกการหาเส้นทางของโพรโทคอล AODV ที่โหนดต้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 กลไกการหาเส้นทางของโพรโทคอล AODV ที่โหนดปลายทาง

2.1.3 Ad-hoc On Demand Multipath Distance Vector Routing Protocol (AOMDV)

AOMDV [3] มีกลไกการค้นหาเส้นทางแบบรีแอคทีฟเช่นเดียวกันกับโพรโทคอล AODV แต่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาเส้นทางขาดให้ดียิ่งขึ้น เพราะธรรมชาติของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ โหนดจะมีการเคลื่อนไหวอยู่เสมอ ทำให้เกิดปัญหาเส้นทางขาดสูง จึงทำให้ต้องมีการค้นหาเส้นทางใหม่บ่อยครั้งขึ้น AOMDV จึงพยายามลดความถี่ในการหาเส้นทางใหม่ด้วยการเก็บข้อมูลเส้นทางไว้เป็นเส้นทางสำรองทุกครั้งที่มีการค้นหาเส้นทางเกิดขึ้น ด้วยการเก็บข้อมูลไว้ในตารางเส้นทางสำรอง เมื่อเส้นที่ใช้อยู่ขาดก็จะเปลี่ยนไปใช้เส้นทางสำรองทันทีโดยไม่ต้องทำการค้นหาเส้นทางใหม่ จนกว่าเส้นทางสำรองจะขาดทั้งหมด จึงจะเริ่มกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค้นหาเส้นทางใหม่อีกครั้ง และโหนดปลายทางจะตอบกลับ RREQ ทั้งหมด มิได้ตอบกลับเฉพาะ RREQ แรกที่ได้รับเหมือน AODV โพรโทคอล AOMDV มีรูปแบบการค้นหาเส้นทางอยู่ 2 รูปแบบคือ

Link Disjoint Path คือ การแบ่งเส้นทางหลาย ๆ เส้นทางจากต้นทางไปยังปลายทางโดยไม่มีการใช้เส้นทางร่วมกัน โดยโหนดระหว่างทางจะอาศัยข้อมูลจาก RREQ ซึ่งจะมีการเก็บข้อมูล ที่อยู่ไอพีโหนดปลายทาง, Sequence Number และ Advertised hop count (จำนวนฮ็อปที่สูงที่สุดของแต่ละเส้นทางที่ไปยังปลายทางเดียวกัน) เมื่อโหนดปลายทางได้รับ RREQ แล้ว จะตอบกลับด้วย RREP เป็นจำนวนครั้งเท่ากับจำนวน RREQ ที่มีฮ็อปแรกไม่เหมือนกัน [4]

Node Disjoint Path คือ การกำหนดเส้นทางหลาย ๆ เส้นทางจากต้นทางไปยังปลายทางโดยระหว่างทางไม่มีการใช้โหนดร่วมกัน หลักการทำงานคือโหนดระหว่างทางที่ได้รับ RREQ ที่มี Sequence Number เดียวกัน จะบันทึกเส้นทางย้อนกลับลงในตารางเส้นทาง และแพร่กระจายเฉพาะข้อความ RREQ แรกที่ได้รับเท่านั้น ส่วน RREQ ที่ได้รับหลังจากนั้น จะบันทึกเส้นทางย้อนกลับเอาไว้เท่านั้น แต่จะไม่ทำการแพร่กระจายข้อความต่อ

2.1.4 Minimum Total Transmission Power Routing (MTPR)

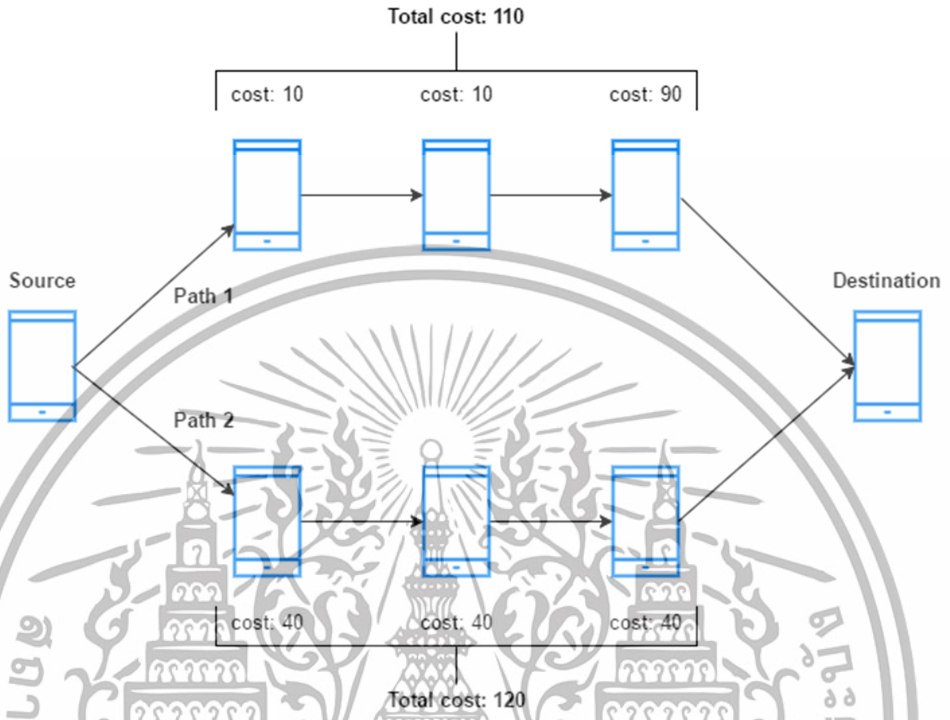
Minimum Total Transmission Power Routing หรือ MTPR [5] เป็นตัววัดการเลือกเส้นทาง (Routing Metrics) ที่พิจารณาเส้นทางจากผลรวมของพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลแต่ละแพ็คเกตจากโหนดหนึ่งไปยังโหนดถัดไป โดยเลือกเส้นทางที่ผลรวมน้อยที่สุดจากเส้นทางทั้งหมดที่เป็นไปได้มาเป็นเส้นทางในการรับ-ส่งข้อมูล แต่ข้อเสียของตัววัดนี้คือกระบวนการพิจารณาไม่ได้พิจารณาที่พลังงานที่เหลืออยู่ของโหนดแต่ละตัวโดยตรง จึงมีโอกาสที่ผลจากกระบวนการเลือกเส้นทางจะใช้โหนดเดิมซ้ำ ๆ กันเพื่อส่งข้อมูลหลาย ๆ ชุดในเวลาเดียวกัน ทำให้พลังงานแบตเตอรี่ของโหนดตัวนั้น ๆ ลดลงเร็วกว่าโหนดอื่นได้

2.1.5 Minimum battery cost routing (MBCR)

MBCR [5] ได้มีการนำพลังงานคงเหลือของโหนดมาใช้ในการพิจารณาเลือกเส้นทาง ด้วยการนำค่า cost ของแต่ละโหนดตลอดทั้งเส้นทางมารวมกัน จากนั้นจึงเลือกเส้นทางที่มีค่า cost รวมน้อยที่สุด เป็นเส้นทางในการรับ-ส่งข้อมูล โดยฟังก์ชั่นที่ใช้คำนวณ cost ของโหนดคือส่วนกลับของพลังงานที่เหลืออยู่ของโหนด ซึ่งจะสามารถสังเกตได้ว่า ยิ่งพลังงานคงเหลือของโหนดมีมากเท่าใด ผลของฟังก์ชั่นก็จะมีค่าน้อยเท่านั้น ในทางกลับกัน โหนดที่มีพลังงานคงเหลือน้อย ก็จะได้ผลของฟังก์ชั่นทีมีค่าสูงเช่นกัน นั่นหมายความว่า ในบางสถานการณ์ที่โหนดบางตัวในเส้นทาง มีพลังงานคงเหลือน้อยในระดับวิกฤต (ค่า Cost สูง) ในขณะที่โหนดตัวอื่น ๆ ที่เหลือในเส้นทางนั้นล้วนมีพลังงานคงเหลือสูง (ค่า Cost ต่ำ) แต่เมื่อนำมารวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้ว กลับมีค่า Cost รวมทั้งเส้นทางน้อยกว่าเส้นทางอื่น ซึ่งควรจะถูกเลือกเป็นเส้นทางในการรับ-ส่งข้อมูลมากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 จุดบกพร่องของ MBCR กรณีที่โหนดในเส้นทางมีพลังงานคงเหลือน้อยมาก

2.1.6 Min-Max battery cost routing (MMBCR)

ถูกพัฒนาต่อมาจาก MBCR [6] เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องในกรณีที่ในเส้นทางมีโหนดที่มีพลังงานคงเหลือน้อยมาก MMBCR พิจารณาเลือกเส้นทางโดยการนำค่าพลังงานคงเหลือที่น้อยที่สุดของโหนดในแต่ละเส้นทางมาเปรียบเทียบกัน (cost สูงที่สุดในเส้นทางนั้น ๆ) จากนั้นจึงเลือกเส้นทางที่มี cost ต่ำที่สุดจากเส้นทางทั้งหมด

2.1.7 Conditional max-min battery capacity routing (CMMBCR)

เกิดจากการนำ MTPR และ MMBCR มาทำงานร่วมกัน โดยในขั้นตอนการเลือกเส้นทาง CMMBCR [6] มีเงื่อนไขว่า จะใช้ MTPR เมื่อทุกโหนดในเส้นทางที่เป็นไปได้มีพลังงานคงเหลือในหน่วยร้อยละมากกว่า Threshold ที่กำหนดไว้ แต่หากน้อยกว่า จะใช้เปลี่ยนไปใช้ MMBCR ในการเลือกเส้นทางแทน

2.1.8 Energy Aware Congestion Adaptive Randomized Routing in MANETs with Sleep Mode (EACAR-AODV)

โพรโทคอล EACAR [7] มีพื้นฐานมาจาก AODV แบบดั้งเดิม นำมาปรับแต่งด้วยการนำ Energy Policy และ Congestion Policy มาใช้งาน โหนดแต่ละตัวจะคอยวัดค่าพลังงานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลืออยู่และความคับคั่งของตัวเอง โดยพลังงานที่เหลืออยู่ของโหนดและความคับคั่งของการรับ-ส่งข้อมูลในตัวโหนดจะถูกบรรจุลงในแพ็คเกต RREQ ไปด้วย โดยแผนภาพที่แสดงการทำงานของโพรโทคอลถูกแสดงไว้ตามภาพที่ 2.4

EACAR แบ่งสถานะของโหนดโดยพิจารณาจากระดับพลังงานและความคับคั่งได้เป็น 3 สถานะ ได้แก่ Green, Blue และ Red โดยมีค่าประจำสถานะเป็น 0, 1 และ 2 ตามลำดับ

Green state คือสถานะเริ่มต้นของโหนด เงื่อนไขของสถานะนี้คือ มีพลังงานมากกว่า 20% และ ขนาดของคิวมีขนาดน้อยกว่า 80% ของความจุบัฟเฟอร์ โหนดที่มีสถานะเป็น Green จะใช้กลไก การส่งต่อข้อความ RREQ แบบสุ่ม (Randomized RREQ forward)

Randomized RREQ forward - AODV แบบดั้งเดิมหาเส้นทางด้วยการแพร่กระจาย RREQ ออกไปทั่วเครือข่าย เป็นผลให้โอกาสที่จะเกิด Retransmission และเกิดความคับคั่งของการจราจรในเครือข่ายโดยไม่จำเป็นได้ (Broadcast Storm) ซึ่งการสูญเสียพลังงานไปโดยไม่จำเป็นนี้ สามารถแก้ไขได้ด้วยการเลือก Forward RREQ โดยใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นของ Bayesian หรือ ความน่าจะเป็นบนฐานของจำนวนฮ็อปเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานไว้สำหรับการรับ-ส่ง RREQ ชุดอื่นต่อไปและเพื่อลดภาระและความคับคั่งในเครือข่ายขณะทำการตั้งค่าการเชื่อมต่อ (Connection Setup) อีกด้วย

เมื่อโหนดที่อยู่ในสถานะ Green ได้รับ RREQ มา จะทำการคำนวณความน่าจะเป็นในการ Forward RREQ ซึ่งขึ้นกับโหนดเพื่อนบ้าน และจำนวนฮ็อป ความน่าจะเป็นนี้ มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับตัวเลขสุ่มที่โหนดสร้างขึ้นมา หากค่าของตัวเลขสุ่มต่ำกว่าความน่าจะเป็นในการ Forward RREQ โหนดก็จะทำการส่งต่อ RREQ นอกนั้นจะทำการละทิ้งแพ็คเกต

Blue state คือสถานะที่อยู่ตรงกลางระหว่าง Green และ Red มีเงื่อนไขคือ พลังงานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 20% ของพลังงานตั้งต้น หรือ ขนาดของคิวมากกว่า 80% ของความจุบัฟเฟอร์ โหนดที่อยู่ในสถานะ Blue และได้รับ RREQ มาใหม่ จะทำการละทิ้ง RREQ เพื่อไม่อนุญาตให้มีการเชื่อมต่อใหม่เกิดขึ้นที่โหนดตัวนั้น ๆ หากโหนดมีคิวสะสมลดลงหรือกลับมามีพลังงานมากกว่า 20% โหนดจะเปลี่ยนสถานะตัวเองเป็น Green และทำการส่งต่อ RREQ ตามปกติ

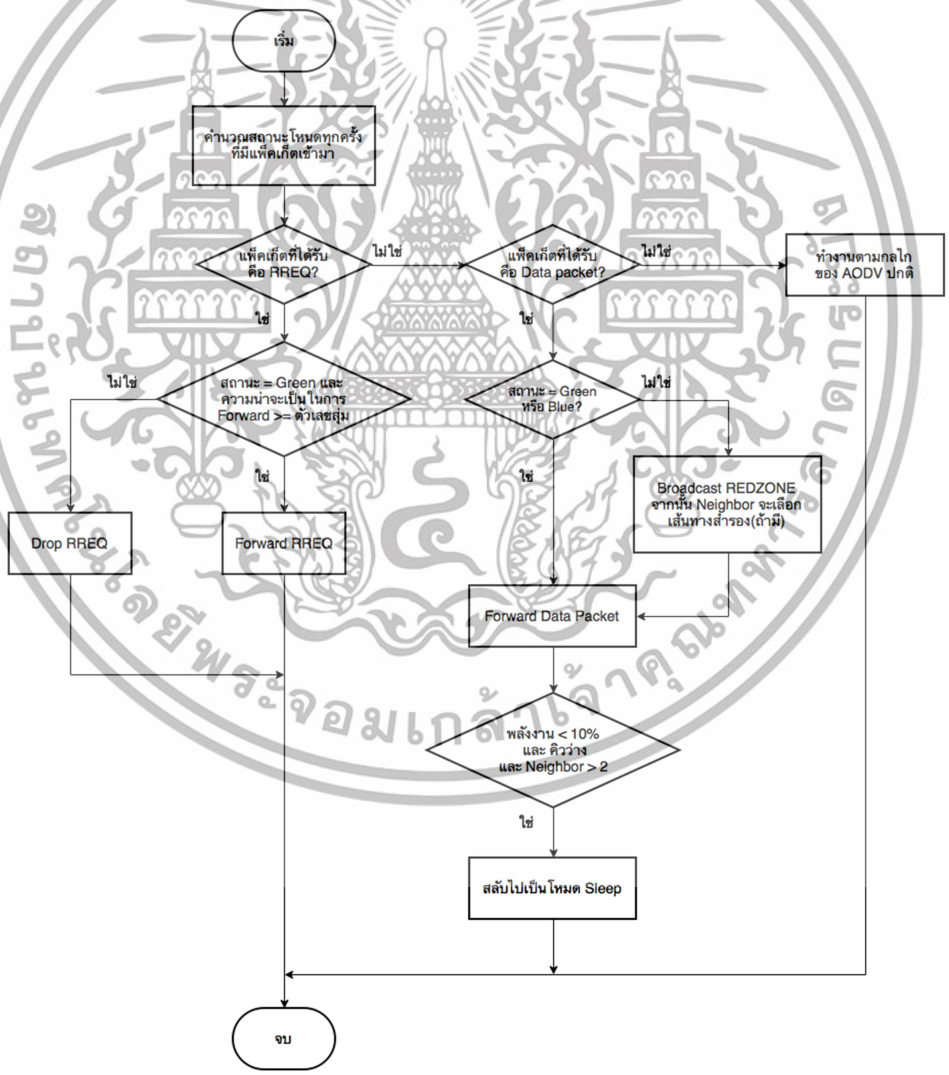
Red state คือสถานะขั้นสุดท้าย ที่โหนดจะไม่สามารถค้นหาเส้นทางได้อีก เนื่องจากโหนดมีพลังงานคงเหลือน้อยกว่า 10% หรือ ขนาดคิวมากกว่า 90% ของความจุบัฟเฟอร์ เมื่อโหนดเข้าสู่สถานะ Red เส้นทางสำรองจะถูกเลือกขึ้นมาโดยใช้แพ็คเกต REDZONE ที่มีกลไกการหาเส้นทางแบบ bidirectional ในแพ็คเกตจะมีข้อมูลของโหนดก่อนหน้า, โหนดถัดไป, โหนดต้นทาง และ โหนดปลายทางอยู่ หากโหนดมีขนาดคิวน้อยลงหรือกลับมามี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานมากขึ้นตามเงื่อนไขของสถานะ Blue หรือ Green โหนดก็จะเปลี่ยนสถานะของตัวเองไปสู่สถานะใหม่โดยอัตโนมัติ

ในการหาเส้นทางสำรองนั้น แต่ละโหนดจะต้องคอยปรับปรุงตารางโหนดเพื่อนบ้านอยู่เสมอ ซึ่งในตารางจะมีรายการโหนดเพื่อนบ้านที่มี ระดับพลังงาน และ สถานะความคับคั่งของโหนดเพื่อนบ้านนั้น ๆ อยู่ ตารางนี้จะเก็บเฉพาะโหนดเพื่อนบ้านที่มีสถานะเป็น Green เท่านั้น

Sleep Mode หลังจากส่งต่อแพ็คเกตข้อมูลไปแล้ว โหนดจะตรวจสอบพลังงานของตัวเองว่าน้อยกว่า 10% หรือไม่, ไม่มีแพ็คเกตที่รอส่งต่ออยู่ในบัฟเฟอร์ และ มีโหนดเพื่อนบ้านมากกว่า 2 หรือไม่ หากตรงเงื่อนไขทั้งหมด โหนดจะเปลี่ยนสถานะไปเป็นโหมด Sleep เพื่อประหยัดพลังงาน ซึ่งจะไม่อนุญาตให้มีการเชื่อมต่อใด ๆ เกิดขึ้นอีก



ภาพที่ 2.4 กลไกการหาเส้นทางของโพรโทคอล EACAR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 โพรโทคอลเพื่อการค้นหาเกตเวย์สำหรับเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสม

ข้อจำกัดของเครือข่ายสื่อสารเฉพาะกิจเคลื่อนที่คือสามารถติดต่อกันได้แค่ภายในเครือข่ายที่มีขอบเขตจำกัดเท่านั้น ไม่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายภายนอกหรืออินเทอร์เน็ต (Internet) ได้ ด้วยเหตุนี้จึงจะต้องมีโหนดใดโหนดหนึ่งในเครือข่ายที่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายภายนอกหรืออินเทอร์เน็ตได้ โดยโหนดนั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการติดต่อระหว่างเครือข่ายภายนอกโดยจะเรียกโหนดที่ทำหน้าที่ดังกล่าวว่า เกตเวย์ (Gateway) ซึ่งโหนดนั้นจะทำหน้าที่เป็นทั้งโหนดในเครือข่ายเช่นเดียวกับโหนดอื่น ๆ และยังทำหน้าที่เป็นโหนดเกตเวย์ (Gateway Node) เพื่อรับส่งข้อมูลจากภายนอก การที่โหนดต่าง ๆ จะทราบได้ว่าโหนดใดทำหน้าที่เป็นโหนดเกตเวย์บ้าง จะต้องทำการพึ่งพาโพรโทคอลค้นหาเกตเวย์ (Gateway Discovery) ซึ่งกลไกการค้นหาเกตเวย์นั้นจะมีความคล้ายคลึงกับการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ โดยโพรโทคอลค้นหาเกตเวย์พื้นฐานได้ถูกนำเสนอไว้ภายใต้โพรโทคอล AODV+ [8] โดยสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทดังนี้

2.2.1 การค้นหาเกตเวย์แบบโพรแอคทีฟ

การค้นหาเกตเวย์แบบโพรแอคทีฟนั้นโหนดเกตเวย์จะเป็นผู้แพร่กระจายข้อความประกาศเกตเวย์ (Gateway Advertisement : GWADV) ออกไปเป็นระยะ ๆ ทำให้โหนดต่าง ๆ ที่อยู่ในเครือข่ายทราบว่ามีโหนดใดกำลังทำหน้าที่เป็นโหนดเกตเวย์ หากต้องการส่งข้อมูลก็จะสามารถส่งได้ทันที

วิธีการค้นหาเกตเวย์แบบโพรแอคทีฟนี้มีข้อเสียคือข้อมูลในเครือข่ายจะเพิ่มมากขึ้นเพราะจำเป็นต้องประกาศ Gateway Advertisement ออกไปอยู่ตลอดเวลา แม้ว่าไม่มีโหนดใดต้องการจะใช้โหนดเกตเวย์เพื่อส่งข้อมูลออกไปภายนอกเลยก็ตาม ทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรในเครือข่ายอย่างสูญเปล่า

2.2.2 การค้นหาเกตเวย์แบบรีแอคทีฟ

การค้นหาเกตเวย์แบบรีแอคทีฟนี้จะแตกต่างจากแบบโพรแอคทีฟคือโหนดในเครือข่ายที่ไม่ใช่โหนดเกตเวย์จะเป็นผู้เริ่มต้นการค้นหาเกตเวย์เอง โดยโหนดที่ไม่ใช่จะทำการแพร่กระจาย RREQ ที่มีตัวบ่งชี้ (Flag) พิเศษที่เรียกว่า ตัวบ่งชี้ I (I - Flag) เมื่อโหนดอื่น ๆ ได้รับ RREQ_I มาก็จะทำการแพร่กระจายซ้ำ (Rebroadcast) และเมื่อ RREQ_I ถูกส่งต่อไปถึงโหนดเกตเวย์ โหนดเกตเวย์ก็จะตอบกลับไปที่โหนดต้นทางเพื่อรับส่งข้อมูลต่อไป

ข้อดีของวิธีการค้นหาเกตเวย์แบบรีแอคทีฟคือลดปัญหาการเกิดโอเวอร์เฮด (Overhead) ขึ้นในเครือข่ายเพราะจะต้องส่งข้อความไปหาเกตเวย์เมื่อโหนดต้องการเกตเวย์เท่านั้น แต่ข้อเสียคือจะเกิดความล่าช้าในการส่งข้อมูลเนื่องจากต้องทำการค้นหาเกตเวย์ใหม่ทุกครั้งที่จะมีทำการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การค้นหาเกตเวย์แบบไฮบริด

การค้นหาเกตเวย์แบบไฮบริด [9] นั้นโหนดเกตเวย์จะทำการแพร่กระจาย GWADV ออกไปแบบจำกัดฮ็อป เพื่อจำกัดขอบเขตในการส่ง GWADV ซึ่งในขอบเขตนั้นจะกลายเป็นขอบเขตของการค้นหาเกตเวย์แบบโพรแอคทีฟ ส่วนโหนดที่อยู่นอกขอบเขตนั้นจะใช้การค้นหาแบบรีแอคทีฟ ซึ่งก็คือการที่โหนดทำการส่ง RREQ ไปหาโหนดเกตเวย์เมื่อต้องการเส้นทางออกสู่เครือข่ายภายนอก แล้วโหนดเกตเวย์จะทำการตอบ RREP กลับมายังโหนดต้นทาง จากนั้นโหนดต้นทางจึงจะเริ่มส่งข้อมูล

2.2.4 การค้นหาเกตเวย์ที่มีจุดประสงค์เพื่อการกระจายภาระงาน

โดยทั่วไปหลังจากที่โหนดต้นทางทำการแพร่กระจายข้อความค้นหาเกตเวย์ไปแล้ว ในกรณีที่มีโหนดเกตเวย์มากกว่าหนึ่งตัว โหนดต้นทางมักจะเลือกใช้งานเกตเวย์ที่มีจำนวนฮ็อปจากโหนดต้นทางน้อยกว่าในการส่งข้อความ การเลือกเกตเวย์ในลักษณะนี้อาจจะเกิดปัญหาความคับคั่งของเครือข่ายที่เกตเวย์ใด ๆ ขึ้นอยู่กับรูปแบบการกระจายตัวของโหนดต้นทาง โพรโทคอล [10] จึงได้เพิ่มตัวชี้วัดในการเลือกเกตเวย์ โดยคำนึงถึงจำนวนฮ็อป และแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่ของเกตเวย์นั้น ๆ ทำให้สามารถกระจายภาระงานของเกตเวย์ได้ดียิ่งขึ้น โพรโทคอล [11] เลือกเอาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่มาใช้ในการกระจายภาระงานบนเครือข่าย ซึ่งประกอบด้วยแบนด์วิดท์ที่เหลือของเส้นทาง ความหน่วงของเส้นทาง และ ความเสถียรของเส้นทาง โดยความเสถียรของเส้นทางนั้นจะถูกคาดการณ์จากทิศทาง และความเร็วของโหนดบนเส้นทางใด ๆ โพรโทคอลนี้ถูกนำเสนอโดยใช้แนวคิดตั้งต้นจากโพรโทคอลการค้นหาเกตเวย์แบบผสม โดยข้อความ GWADV และ GWREQ จะถูกดัดแปลงเพื่อให้โหนดแต่ละโหนดเพิ่มเติมข้อมูลความหน่วง แบนด์วิดท์ และค่าชี้วัดความเสถียรของเส้นทางลงไปบนข้อความ เพื่อให้โหนดต้นทางนำมาคำนวณเป็นค่าชี้วัดประสิทธิภาพเส้นทาง โดยโหนดต้นทางจะเลือกเส้นทางที่มีค่าประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อใช้ส่งข้อมูลไปยังโหนดเกตเวย์ได้ ในกรณีที่โหนดอยู่ภายในพื้นที่การประกาศ GWADV โหนดต้นทางนั้นจะสามารถเลือกเส้นทางได้ในทันที แต่ในกรณีที่โหนดอยู่นอกพื้นที่การประกาศ GWADV โหนดจะทำการเพิ่มเติมข้อมูลชี้วัดประสิทธิภาพลงไปบนข้อความ GWREQ ก่อนแพร่กระจายข้อความออกไป เมื่อข้อความ GWREQ ถูกส่งไปถึงโหนดระหว่างทางที่มีการสำรองข้อมูลของเกตเวย์เอาไว้ โหนดนั้น ๆ จะทำการตอบกลับข้อความ GWREP ที่ผ่านการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อความ GWREQ และ ข้อมูลตัวชี้วัดประสิทธิภาพของเส้นทางที่ถูกเก็บไว้ในโหนดระหว่างทางแล้วกลับไปที่โหนดต้นทาง ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่โหนดระหว่างทางหลายตัวจะตอบกลับข้อความ GWREP ไปหาโหนดต้นทางในช่วงเวลาเดียวกัน โหนดต้นทางก็จะเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดจากโหนดระหว่างทางทั้งหมดโดยคำนึงถึงค่าชี้วัดประสิทธิภาพของเส้นทาง

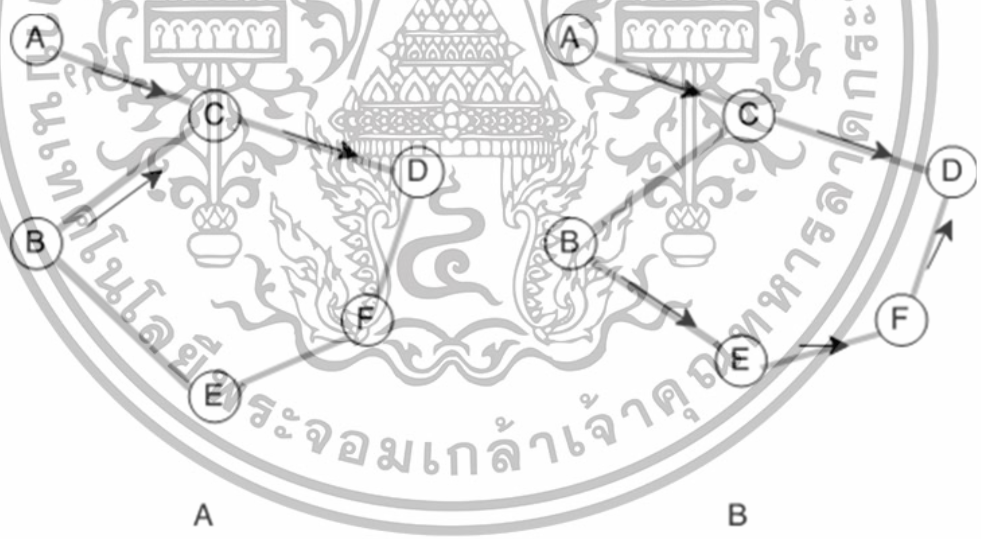
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวคิดการพัฒนาการกระจายภาระงานในบางรูปแบบได้มีการนำค่าพลังงานที่เหลือของโหนดในเครือข่ายมาช่วยในการกระจายภาระงาน โพรโทคอลที่ถูกนำเสนอใน [12] ถูกพัฒนาขึ้นจากโพรโทคอลการค้นหาเกตเวย์แบบโพรแอคทีฟ โดยมีการเพิ่มข้อมูลพลังงานเฉลี่ยของเส้นทาง พลังงานของโหนดที่เหลือน้อยที่สุดในเส้นทาง และขนาดของบัฟเฟอร์คงเหลือของโหนดใด ๆ ไปใส่ไว้ในข้อความ GWADV เพื่อให้โหนดต้นทางใช้ในการตัดสินใจเลือกเส้นทางเพื่อให้เกิดการกระจายภาระงานที่สมดุลมากยิ่งขึ้น โพรโทคอลใน [13] มีการตั้งสมมุติฐานว่าโหนดเกตเวย์นั้นสามารถเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นจึงนำความเร็วของเกตเวย์มาใช้เป็นตัวชี้วัดความเสถียรของเส้นทาง ประกอบกับจำนวนฮ็อปจากโหนดต้นทางไปยังเกตเวย์ และพลังงานที่เหลือภายในเส้นทางไปยังเกตเวย์ใด ๆ เพื่อให้โหนดต้นทางเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดไปยังเกตเวย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
แนวคิดและการดำเนินงาน

โพรโทคอลที่ได้ทำการศึกษาไปก่อนหน้านี้ไม่มีกระบวนการกระจายภาระงาน หรือมีแต่ยังไม่ดีมากพอ ซึ่งอาจจะทำให้โหนดบางโหนดถูกใช้งานมากเกินไป หรือมีการกระจุกตัวของการใช้พลังงานที่โหนดใดโหนดหนึ่ง ส่วนโพรโทคอลที่มีการใช้พลังงานมาเกี่ยวข้องเช่น CMMBCR ก็จะทำการใช้พลังงานในการตัดสินใจในส่วนของการทำกระบวนการค้นหาเส้นทาง ซึ่งเมื่อเลือกเส้นทางแล้วโหนดก็จะทำการส่งแพ็คเกตจนกว่าจะพลังงานหมดหรือไม่มีการส่งข้อความจากต้นทาง ในกรณีที่โหนดในเส้นทางใด กลายเป็นโหนดร่วมของเส้นทางอื่น ๆ จะส่งผลให้โหนดนั้นมีการใช้พลังงานมากกว่าปกติ และอาจทำให้เส้นทางขาดได้ โดยโหนดที่ทำงานหนักดังกล่าวอาจจะเป็นเพียงทางผ่านเดียวที่โหนดบางตัวมีเพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารกับโหนดอื่นก็ได้ ดังตัวอย่างในรูปภาพที่ 3.1 จะเห็นได้ว่า โหนด C เป็นเพียงเส้นทางเดียวที่โหนด A มีอยู่ หากโหนด C ถูกใช้งานอย่างหนักจนพลังงานหมด โหนด A จะไม่สามารถติดต่อกับโหนดอื่น ๆ ในเครือข่ายไปโดยปริยาย ในบทนี้จะทำการพัฒนาโพรโทคอล AODV ให้มีการกระจายการใช้พลังงานจากโหนดที่มีพลังงานเหลือน้อยไปสู่โหนดที่มีพลังงานมากกว่า เพื่อเพิ่มโอกาสในการติดต่อสื่อการระหว่างโหนดต้นทางกับโหนดปลายทาง



ภาพที่ 3.1 รูปแบบของโหนดสองกลุ่มที่มีการเลือกใช้เส้นทางต่างกัน

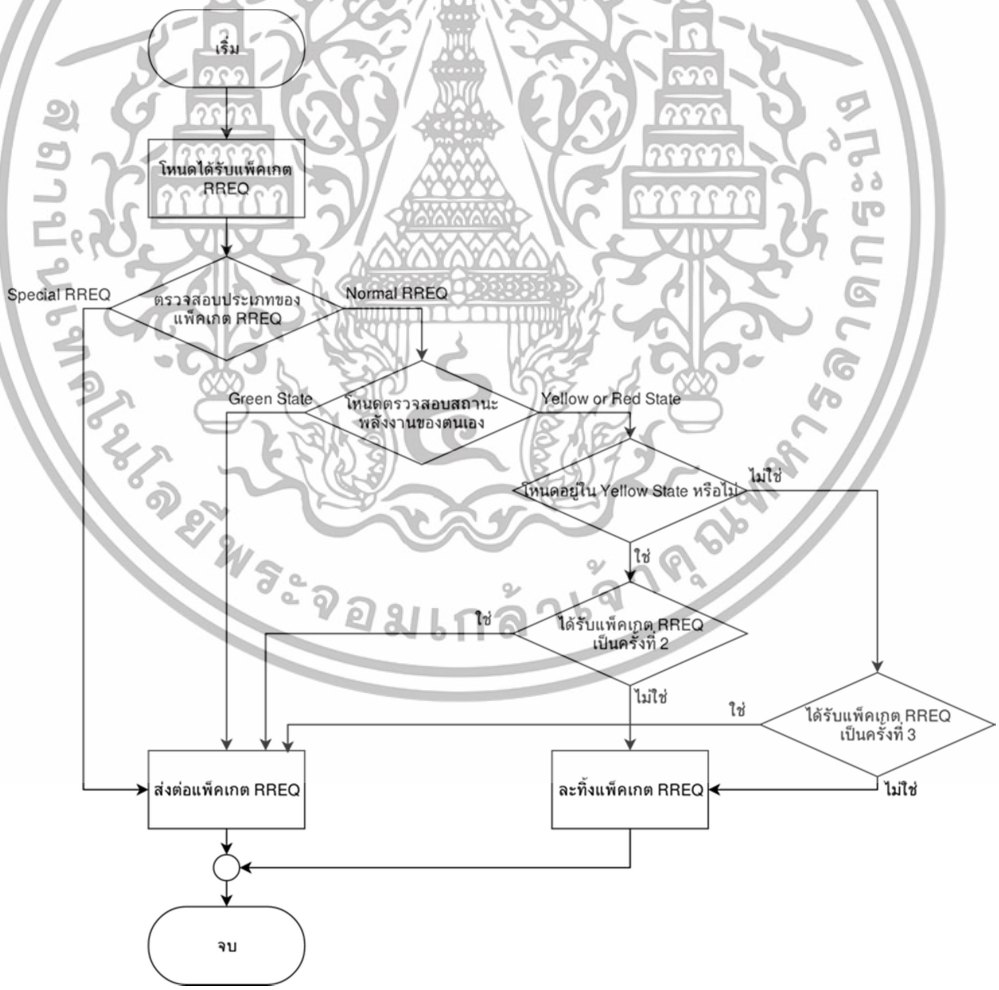
3.1 โพรโทคอลที่ถูกนำเสนอเพื่อการกระจายภาระงานในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

3.1.1 สร้างกลไกการแบ่งโหนดเป็นกลุ่มโดยใช้พลังงาน

กลไกนี้จะทำการแบ่งโหนดเป็น 3 กลุ่ม โดยใช้พลังงานเป็นตัวจำแนก โดยจะแบ่งเป็น สีเขียว,สีเหลือง และสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สีเขียวจะเป็นกลุ่มแรก โหนดที่อยู่ในกลุ่มสีเขียว คือโหนดที่มีพลังงานเหลือมากกว่า 50% เมื่อเทียบกับพลังงานเริ่มต้น ในกลุ่มนี้จะกำหนดว่าโหนดไม่ได้มีปัญหาเรื่องของพลังงานจึงทำให้ไม่มีการจำกัดเรื่องการส่งแพ็คเกตค้นหาเส้นทาง และการส่งข้อมูล
- สีเหลืองจะเป็นกลุ่มที่สอง โหนดที่อยู่ในกลุ่มสีเหลือง คือโหนดที่มีพลังงานอยู่ในช่วงมากกว่า 30% และ น้อยกว่า 50% ในกลุ่มนี้จะกำหนดว่าโหนดจะเริ่มมีปัญหาเรื่องของพลังงานจะทำให้เพิ่มข้อจำกัดในการส่งแพ็คเกตค้นหาเส้นทาง แต่จะไม่มีข้อจำกัดในส่วนของ การส่งข้อมูล
- สีแดงจะเป็นกลุ่มที่สาม โหนดที่อยู่ในกลุ่มสีแดง เมื่อพลังงานของโหนดมีน้อยกว่า 30% หมายความว่าโหนดมีปัญหาในด้านพลังงาน ทำให้ต้องเพิ่มข้อจำกัดในการแพ็คเกตค้นหาเส้นทาง ในส่วนของการส่งข้อมูล ก็จะมีการเพิ่มกลไกเพื่อกระจายการใช้พลังงานไปสู่โหนดอื่น ๆ



ภาพที่ 3.2 กลไกการทำงานของโหนดภายใต้โพรโทคอลที่นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การปรับปรุงกลไกการหาเส้นทางที่ใช้ระดับพลังงานเป็นเงื่อนไข

ในการปรับปรุงกลไกการค้นหาเส้นทาง จะใช้การแบ่งกลุ่มของโหนดเป็นตัวตัดแยกการทำงานของโหนด เพื่อที่จะทำให้การทำงานในเครือข่ายนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยจะให้โหนดที่มีพลังงานเหลือน้อยหรือ โหนดในกลุ่มสีแดง และเหลือง ได้มีการเพิ่มเงื่อนไขในการส่งแพ็คเกตค้นหาเส้นทาง เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีพลังงานน้อย และเพิ่มโอกาสในการต้นหาเส้นทางที่มีพลังงานคงเหลือที่มากขึ้น โดยกลไกที่นำเสนอจะมีหลักการทำงานดังนี้

- โหนดสีเขียวจะทำงานเช่นเดียวกับ AODV ไม่ได้กำหนดเงื่อนไขเพิ่ม
- โหนดสีเหลืองจะทำการเพิ่มเงื่อนไขในส่วนของการหาเส้นทาง โดยจะทำการยอมเป็นเส้นทางเมื่อมีการร้องขอเส้นทางมาที่โหนดดังกล่าวเป็นจำนวน 2 ครั้ง โหนดจึงจะยอมให้เป็นทางผ่านของเส้นทาง
- กลุ่มที่ 3 โหนดสีแดงจะทำการเพิ่มเงื่อนไขในการหาเส้นทางเช่นเดียวกับโหนดกลุ่มที่สอง แต่จะต้องทำการร้องขอเส้นทางมาที่โหนดดังกล่าวมากถึง 3 ครั้ง โหนดจึงจะยอมให้เป็นทางผ่านของเส้นทาง

โดยหลักการทำงานโดยรวมของกลไกการค้นหาเส้นทางสามารถตรวจสอบได้จากแผนภาพที่ถูกแสดงไว้ในภาพที่ 3.2

3.1.3 กลไกให้เกิดการเปลี่ยนเส้นทางเมื่อโหนดมีพลังงานเหลือน้อย

กลไกที่กลไกที่จะทำให้โหนดมีการเปลี่ยนเส้นทางเมื่อโหนดมีพลังงานเหลือน้อยนั้น จะเป็นการส่งแพ็คเกตพิเศษที่ชื่อว่า Low Power Notification (LPN) กลับไปยังโหนดต้นทางเพื่อเปลี่ยนแปลงเส้นทางในการส่งข้อมูล ซึ่งกลไกนี้จะช่วยให้โหนดนั้นมีการกระจายการใช้พลังงาน จากการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนเส้นทางใหม่ เพื่อไม่ทำให้การใช้พลังงานไปกระจุกตัวอยู่ที่โหนดใดโหนดหนึ่ง การทำงานของ LPN packet จะทำการส่งด้วยความถี่ตามสมการที่ถูกกำหนดเอาไว้ โดย LPN packet จะถูกส่งโดยโหนดในสถานะสีแดงเท่านั้น สำหรับขั้นตอนในการส่ง LPN packet จะคิดจากพลังงานของโหนดในขณะนั้นเป็นหลัก และมีการกำหนดค่า Threshold เพื่อใช้คำนวณจำนวนแพ็คเกตที่จะทำการส่งต่อ ก่อนที่จะส่ง LPN packet กลับไปยังโหนดต้นทาง ซึ่งงานในส่วนที่นำเสนอสมการในการคำนวณความถี่สำหรับการส่ง แพ็คเกต LPN สามารถตรวจสอบได้จาก [14] แต่ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้มีการปรับแก้สมการเพื่อแก้ไขปัญหาในกรณีที่โหนดตัวกลางที่ทำหน้าที่เป็นโหนดร่วมในหลาย ๆ เส้นทางเริ่มมีการส่งแพ็คเกต LPN โหนดจะไม่ได้สนใจว่าการส่งแพ็คเกต LPN นั้นจะส่งไปยังต้นทางใด ดังนั้นโหนดที่ส่งแพ็คเกต LPN มีโอกาสที่จะส่งแพ็คเกต LPN ไปยังต้นทางเดิมซ้ำ ๆ ส่งผลให้โหนดต้นทางที่ทำการเปลี่ยนเส้นทางจะมีแค่โหนดเดียว การกระจายการใช้พลังงานในโหนดอื่น ๆ จึงไม่มีประสิทธิภาพที่ดีมากพอ และในการส่งแพ็คเกต LPN กลับไปซ้ำ ๆ จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลให้โหนดต้นทางนั้นมีการทำการหาเส้นทางใหม่มากเกินไป จนส่งผลต่อการเกิดโอเวอร์เฮดในเครือข่าย โดยสมการใหม่ที่ถูกนำเสนอจะถูกแสดงไว้ดังสมการที่ 1

$$P_{LPN} = \begin{cases} \left(\frac{e^{-B \cdot \frac{E_c}{E_r}} - 1}{e^{-B} - 1}\right) \times P_{Max} & ; E_c \leq E_{red} \\ 0 & ; E_c > E_{red} \end{cases} \quad (1)$$

B = คือค่าคงที่ ที่ใช้ในการกำหนดความถี่การส่งแพ็คเกต LPN

E_c = พลังงานของโหนดในขณะนั้น

E_r= พลังงานเมื่อเข้าสู่สถานะ สีแดง

P_Max = จำนวนแพ็คเกตมากที่สุดก่อนที่จะทำการส่งแพ็คเกต LPN

P_(LPN) = จำนวนแพ็คเกตที่ส่งได้ก่อนจะทำการส่งแพ็คเกตLPN

จากสมการที่ 1 เมื่อโหนดมีพลังงานมากกว่าสถานะสีแดง จะไม่มีการส่งแพ็คเกต LPN แต่เมื่อโหนดเข้าสู่สถานะสีแดงจะมีการคำนวณแพ็คเกต LPN จากสมการ โดยผลที่ได้โหนดที่อยู่ในสถานะสีแดงและยังมีพลังงานเยอะนั้นจะทำการส่งแพ็คเกตข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก และการส่งแพ็คเกต LPN จะมีมากขึ้นเมื่อโหนดนั้นมีพลังงานเหลือน้อยมากๆ จะมีการส่งแพ็คเกต LPN ที่ถี่มากขึ้น โดยสมการนี้จะมีความแตกต่างจากเดิมที่พลังงานและการส่ง LPN แพ็คเกตจะลดลงอย่างคงที่ แต่สมการที่ 2 นี้จะทำให้โหนดนั้นมีส่ง LPN ถี่เมื่อพลังงานเหลือน้อย

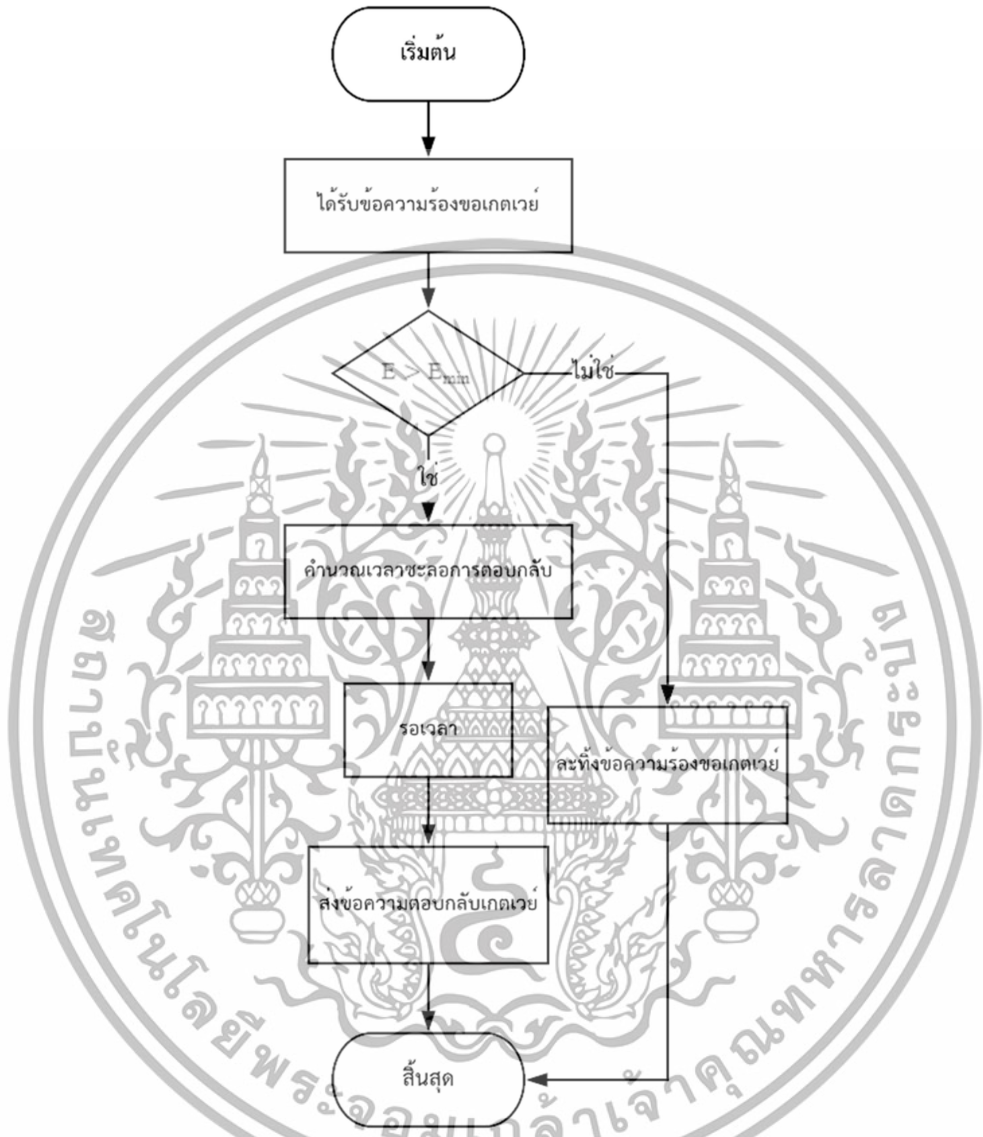
3.2 โพรโทคอลที่ถูกนำเสนอเพื่อการกระจายภาระงานในเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสม

ในการศึกษาเกี่ยวกับโพรโทคอลการค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสม ปัญหาที่เกิดขึ้นมักเกิดจากการเลือกโหนดเกตเวย์ที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลต่ออายุขัยของโหนดเกตเวย์ การที่โหนดเกตเวย์ใด ๆ สูญเสียพลังงานไปจนหมด จะทำให้โหนดต้นทางบางโหนดไม่สามารถติดต่อไปยังโหนดปลายทางได้อีกต่อไป (ณ ที่นี้คือโหนดเกตเวย์) เช่นเดียวกับปัญหาที่เกิดขึ้นในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการกระจายภาระงานในด้านต่าง ๆ เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการแก้ปัญหา และพัฒนาโพรโทคอลการค้นหาเส้นทางที่สามารถเพิ่มการกระจายภาระงานระหว่างโหนดเกตเวย์ได้

โพรโทคอลที่ถูกนำเสนอรูปแบบแรก จะนำค่าพลังงานของโหนดเกตเวย์มาใช้เป็นปัจจัยในการค้นหาเส้นทางไปยังโหนดเกตเวย์ เมื่อโหนดเกตเวย์ได้รับข้อความร้องขอเกตเวย์จากโหนดต้นทาง โหนดเกตเวย์จะไม่ตอบกลับข้อความร้องขอเกตเวย์นั้นในทันที แต่โหนดเกตเวย์จะทำการชะลอเวลาในการตอบกลับสักครู่แล้วจึงจะตอบกลับข้อความตอบกลับเกตเวย์ไปยังโหนดต้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยระยะเวลาในการชะลอการตอบกลับข้อความตอบกลับเกตเวย์นั้นขึ้นอยู่กับค่าพลังงานที่คงเหลืออยู่ ณ ขณะนั้นของโหนดเกตเวย์ โดยภาพรวมของกลไกการทำงานได้แสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอ

ระยะความหน่วงที่ใช้ในการชะลอการตอบกลับข้อความตอบกลับเกตเวย์นั้นจะแปรผกผันกับค่าพลังงานที่เหลืออยู่ของโหนดเกตเวย์ หากพลังงานของโหนดเกตเวย์มีมาก ระยะเวลาที่จะชะลอการตอบกลับข้อความของเกตเวย์จะมีค่าน้อย ในทางกลับกันถ้าพลังงานของเกตเวย์เหลือน้อย ก็จะมีการหน่วงเวลาตอบกลับของข้อความมาก กลไกดังกล่าวมีจุดประสงค์ให้โหนดต้นทางได้รับข้อความตอบกลับจากโหนดเกตเวย์ที่มีพลังงานคงเหลือมากที่สุด เพื่อให้เกิดการกระจายภาระงานระหว่างเกตเวย์ที่เหมาะสม แต่ในกรณีที่โหนดเกตเวย์มีค่าพลังงานต่ำกว่าค่าพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำสุด (Emin) ที่ถูกกำหนดเอาไว้ ซึ่งในปัจจุบันถูกกำหนดไว้ให้มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 10 ของพลังงานตั้งต้น โหนดเกตเวย์นั้นจะทำการละทิ้งข้อความค้นหาเกตเวย์ทั้งหมดไป แต่ยังคงทำหน้าที่ส่งต่อข้อความออกไปยังเครือข่ายอื่นให้โหนดต้นทางที่มีการเชื่อมต่อมายังเกตเวย์ดังกล่าวต่อไป โดยการหาค่าความหน่วง ทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความเป็นไปได้ของรูปแบบการเพิ่มความหน่วงด้วยสมการ 3 รูปแบบ เพื่อตรวจสอบว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความหน่วงรูปแบบใด ที่จะสามารถช่วยให้เกิดการกระจายภาระงานได้ดีที่สุด

$$t_D = \left(\frac{1}{E} - 1\right) \cdot \left(\frac{t_{TO} \cdot E_{min}}{1 - E_{min}}\right) \quad ; E_{min} < E \leq 1 \tag{3.1}$$

$$t_D = (1 - E) \cdot \left(\frac{t_{TO}}{1 - E_{min}}\right) \quad ; E_{min} < E \leq 1 \tag{3.2}$$

$$t_D = t_{TO} \cdot \sqrt{\frac{1 - E}{1 - E_{min}}} \quad ; E_{min} < E \leq 1 \tag{3.3}$$

โดย

t_D คือเวลาในการชะลอการตอบกลับข้อความตอบกลับเกตเวย์

t_{TO} คือระยะเวลาหมดเวลาในการรอการตอบกลับข้อความตอบกลับเกตเวย์

E คือพลังงานของโหนดเกตเวย์ที่เหลืออยู่ ณ เวลานั้น ๆ

E_{min} คือพลังงานของโหนดเกตเวย์ที่ต่ำที่สุดที่จะยอมตอบกลับข้อความตอบกลับเกตเวย์

โดยสมการที่ 1-3 เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าหน่วงเวลาการตอบกลับข้อความ ตอบกลับเกตเวย์โดยค่าความหน่วงเวลาในช่วงที่โหนดเกตเวย์ยังคงมีพลังงานสูงค่าความหน่วงเวลาก็จะมีค่าต่ำ และจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หากพลังงานของโหนดเกตเวย์ลดลง จากสมการที่ 1 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าความหน่วงเวลาจะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล ในส่วนของสมการที่ 2 จะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความหน่วงแบบคงที่ และสมการที่ 3 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความหน่วงแบบลอการิทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองและประเมินผล

4.1 การทดลองสำหรับโพรโทคอลการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

4.1.1 วิธีทำการทดลองและการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการจำลองเครือข่าย

ในการทดสอบประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่ถูกพัฒนาขึ้น ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรมจำลองระบบเครือข่าย Network Simulator 2 โดยมีจำนวนโหนด ในเครือข่าย 60 , 80 และ 100 โหนด เวลาที่ใช้ในการทดลองคือ 2000 วินาที กำหนดให้พลังงานตั้งต้นของโหนดมีค่าเท่ากับ 30 จูล โหนดต้นทางส่งข้อมูลประเภท UDP แบบ Constant Bit Rate ด้วยอัตราการส่ง 4 แพ็คเกตต่อวินาที และผลการทดลองถูกสรุปจากการกระจายโหนดแบบสุ่ม และทดลองทั้งหมด 30 ครั้ง โดยการทำการทดลงจะเริ่มจากการทดลอง โดยวางโหนดแบบ Grid โดยการทดลองนี้จะทำการพิสูจน์ว่าโพรโตคอลที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมานั้นมีความสามารถในการกระจายการใช้พลังงาน ที่ดีกว่าโพรโตคอลเดิมๆ และเมื่อทำการพิสูจน์ว่าสามารถกระจายการใช้พลังงานได้ดีกว่าแล้ว จึงทำการนำไปทดลองในโหนดที่มีการเคลื่อนที่ ที่ 5 เมตร/วินาที ซึ่งจะเป็นความเร็วโดยเฉลี่ย เพื่อพิสูจน์ว่าหากโหนดนั้นมีการเคลื่อนที่แล้ว โหนดนั้นจะสามารถกระจายการใช้พลังงานได้ดีมากขึ้นหรือไม่ และจะมีผลกระทบในด้านอื่นๆหรือไม่ โดยโพรโทคอลที่จะถูกนำมาเปรียบเทียบได้แก่ โพรโทคอล AODV, AOMDV และ AOMDV-CMMBCR

4.1.2 ตัวชี้วัดที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

ตัวชี้วัดการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจำลองที่ใช้ใน การเปรียบเทียบมีดังนี้

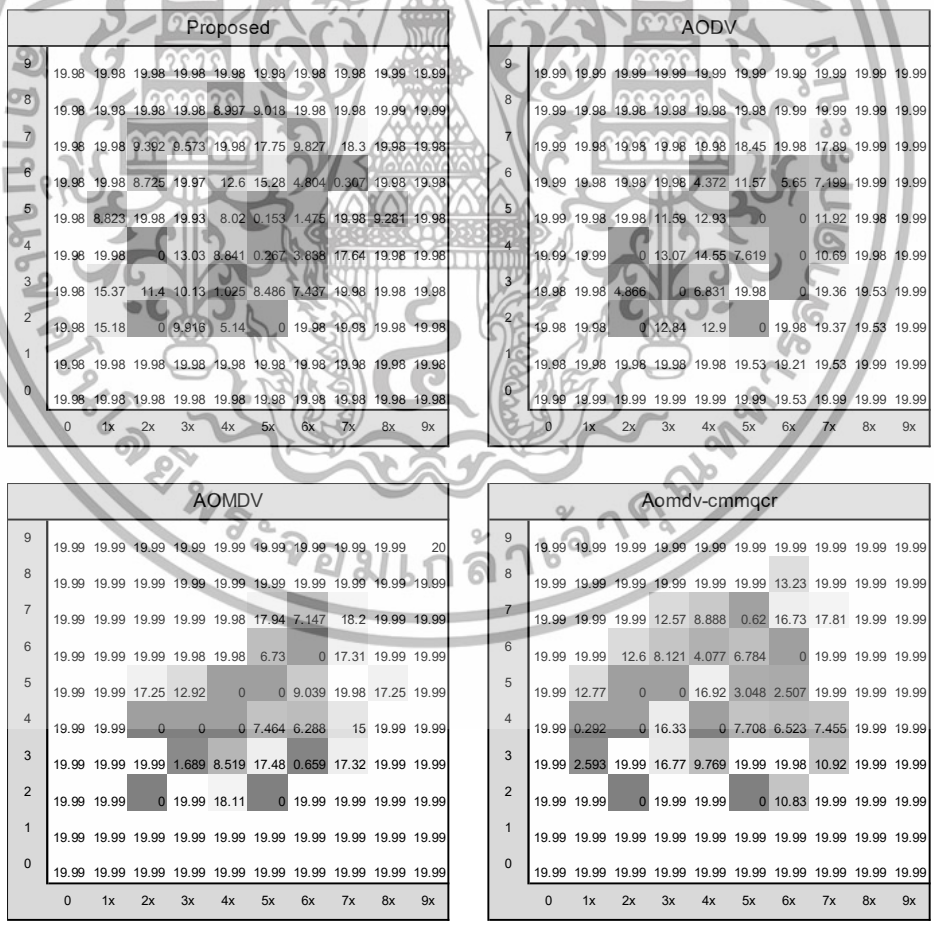
- เวลาที่มีโหนดพลังงานหมดเกิดขึ้นเป็นตัวแรก คือโหนดแรกที่ใช้พลังงานในการรับส่งข้อมูลจนพลังงานหมด จะแสดงให้เห็นว่าการกระจายการใช้พลังงานของเครือข่ายนั้นมีประสิทธิภาพดีแค่ไหน ถ้าหากมีโหนดที่พลังงานหมดเกิดขึ้นช้าก็จะแสดงให้เห็นว่าเครือข่ายนั้นสามารถกระจายการใช้พลังงานได้ดี
- อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ คือ การเปรียบเทียบจำนวนในการส่งแพ็คเกตจากต้นทางกับการรับส่งข้อมูลที่ปลายทางว่ามีอัตราส่วนเป็นเท่าใด ตัวชี้วัดนี้แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในการส่งข้อมูล ซึ่งจะบ่งบอกว่าโหนดนั้นสามารถส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางได้ดีมากน้อยแค่ไหน ที่มีตัวชี้วัดนี้เพื่อแสดงให้เห็นว่าถ้าหากมีการกระจายการใช้พลังงานแล้ว อัตราความสำเร็จของข้อมูลนั้นมีน้อยหรือมากกว่าโพรโตคอล ที่ไม่มีการกระจายการใช้พลังงาน
- ความหน่วงในการส่งข้อมูลคือเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็คเกตข้อมูลจากต้นทางถึงปลายทางโดยนับตั้งแต่เวลาที่แพ็คเกตถูกส่งออกจากโหนดต้นทางจนไปถึงเวลาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหนดปลายทางได้รับ ตัวชี้วัดนี้จะบ่งบอกว่าถ้าหากมีการกระจายการใช้พลังงานแล้วโหนดจะมีความหน่วงที่มากขึ้นหรือน้อยลงหรือไม่ เพราะการกระจายการใช้พลังงานอาจจะส่งผลให้โหนดมีความหน่วงในการส่งข้อมูลจึงได้มีการนำตัวชี้วัดนี้มาใช้บ่งบอกประสิทธิภาพของเครือข่ายเพิ่มเติม

4.1.3 ผลการทดลองเชิงวิเคราะห์

การทดลองในส่วนนี้มีจุดประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของแนวคิดที่นำเสนอ โดยผู้วิจัยทำการจัดวางโหนดแบบ Grid และพล็อตกราฟเพื่อดูอัตราการกระจายพลังงานของโหนดในเครือข่าย จากภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงพลังงานของโหนดต่าง ๆ ในรูปแบบ Contour Graph โดยแสดงออกมาเป็นสีขาวไล่ไปยังสีเทาเข้ม สีเทาเข้มหมายถึงโหนดนั้นมีพลังงานเท่ากับ 0% และสีขาวหมายถึงโหนดมีพลังงาน 100% จะเห็นได้ว่าโพรโทคอลที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น มีการกระจายการใช้พลังงานได้ดีที่สุด ดูได้จากโหนดที่มีสีเทาอ่อนหรือใกล้เคียงกับสีเทาที่มีจำนวนมากที่สุด กล่าวคือ ไม่มีโหนดที่ถูกใช้งานหนักจนเกินไปจนพลังงานหมด (สีเทาเข้ม) และไม่มีโหนดที่ว่างมากเกินไปจนไม่ถูกใช้งานเลย (สีขาว)

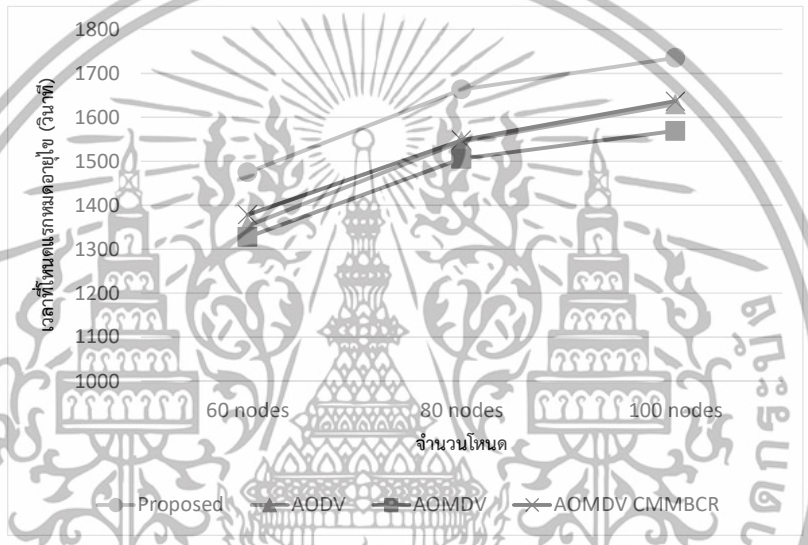


ภาพที่ 4.1 กราฟการกระจายการใช้พลังงานของโหนดในเครือข่าย

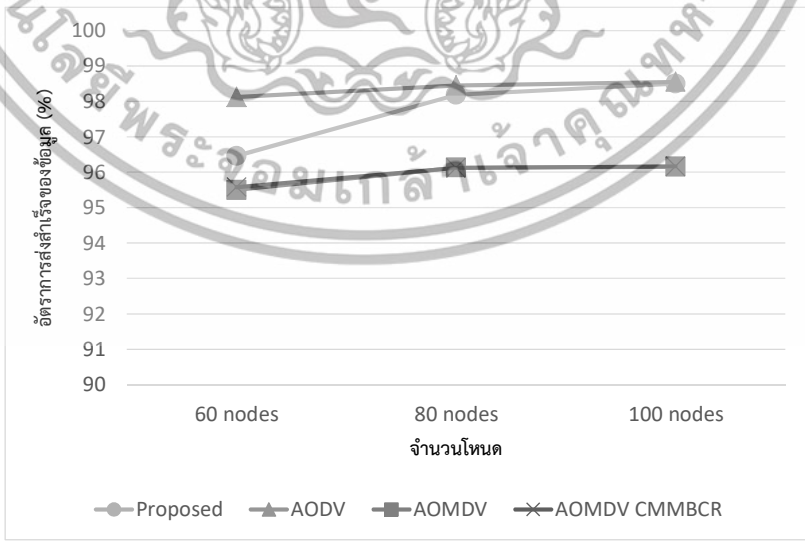
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 รูปแบบการทดลองโดยใช้โทโพโลยีแบบสุ่ม

การทดลองนี้จะกำหนดให้โหนดสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วเฉลี่ย 5 เมตรต่อวินาที จากกราฟในภาพที่ 4.2 จะแสดงให้เห็นเวลาในขณะที่โหนดตัวแรกสูญเสียพลังงานไปจนหมด โดยกราฟจะแสดงให้เห็นถึงการกระจายการใช้พลังงานไปยังโหนดอื่นๆ ในกรณีที่โหนดแรกมีพลังงานหมดช้าลง ซึ่งหมายถึงโหนดนั้นมีอายุขัยที่มากขึ้น โพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นมีอายุขัยของโหนดที่มากกว่าตัวเปรียบเทียบอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าโพรโทคอล ที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นสามารถกระจายการใช้พลังงานจากโหนดที่มีพลังงานน้อยไปยังโหนดที่มีพลังงานมากกว่าได้



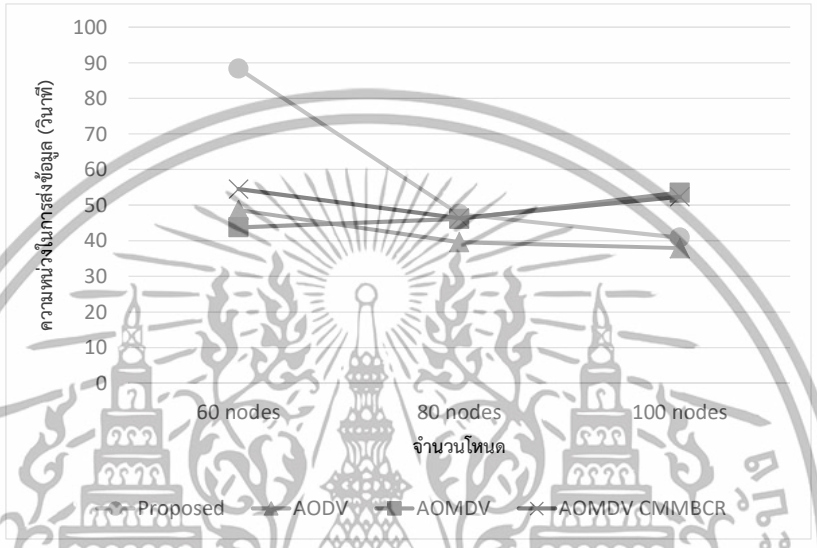
ภาพที่ 4.2 แสดงเวลาที่มีโหนดพลังงานหมดเกิดขึ้นเป็นตัวแรก



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงอัตราการส่งสำเร็จของแพ็คเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟในภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงอัตราการส่งสำเร็จของแพ็คเกตในแต่ละโหนดนั้นไม่ได้มีความแตกต่างกับโพรโทคอลอื่น ๆ มากนักถึงแม้ว่าจะได้มีการทำการกระจายภาระงานไปให้โหนดอื่นๆในเครือข่าย และเมื่อโหนดนั้นมีจำนวนมากขึ้น โพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นจะสามารถมีอัตราการส่งที่ดีขึ้น เพราะมีจำนวนโหนดคงเหลือมากกว่า ทำให้สามารถรองรับภาระงานที่มากกว่าได้



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความหน่วงในการส่งข้อมูล

จากกราฟในภาพที่ 4.4 เป็นการแสดงความหน่วงในการส่งข้อมูลโดยที่โพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นมาที่ความหนาแน่น 60 โหนดนั้นมีค่าความหน่วงที่มากที่สุดเพราะว่าต้องใช้เวลานานในการค้นหาเส้นทางใหม่ เพราะเมื่อโหนดมีพลังงานต่ำลง โหนดจะส่ง LPN แพ็คเกตออกไปเพื่อกระจายการใช้พลังงาน โดยโหนดจะเลือกเส้นทางที่มีพลังงานที่มากที่สุด โดยไม่ได้คำนึงถึงความเร็วในการส่งข้อมูล รวมไปถึงโหนดในเครือข่ายนั้นมีจำนวนที่ไม่มากพอที่จะมารับภาระที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขการกระจายภาระงานได้ แต่เมื่อโหนดมีจำนวนมากขึ้นจะเห็นได้ว่าโพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นมา เมื่อมีโหนดที่สามารถมารับภาระงานที่มากขึ้นจะทำให้โหนดนั้นมีความหน่วงในการส่งข้อมูลไม่ต่างจากโพรโทคอลอื่น ๆ

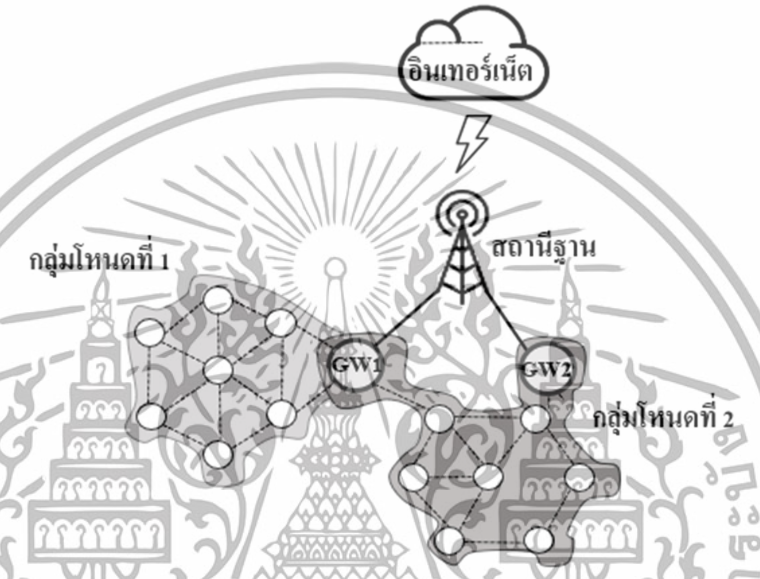
4.2 การทดลองสำหรับโพรโทคอลการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสม

ในการทดสอบประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่แบบผสม ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรมจำลองเช่นเดียวกันกับโพรทคอลก่อนหน้า แต่มีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ โดยเวลาที่ใช้ในการทดลองคือ 1000 วินาที จำนวนโหนดทั้งหมดในเครือข่ายคือ 50 โหนด ภายในพื้นที่ 700 * 250 เมตร กำหนดให้พลังงานตั้งต้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหนดเกตเวย์มีค่าเท่ากับ 10 จูล พลังงานที่โหนดใช้ในการส่งข้อมูลถูกตั้งไว้ที่ 1.3 วัตต์ ขนาดข้อมูลถูกตั้งไว้ที่ 512 ไบท์ โหนดต้นทางส่งข้อมูลประเภท UDP แบบ Constant Bit Rate ด้วยอัตราการส่ง 5 แพ็คเกตต่อวินาที และผลการทดลองถูกสรุปจากการกระจายโหนดแบบสุ่ม และผลการทดลองถูกนำมาเฉลี่ยจากผลทั้งหมด 10 ครั้ง

4.2.1 ผลการทดลองเชิงวิเคราะห์



ภาพที่ 4.5 แสดงทอพอโลยีที่ใช้ในการวิเคราะห์

ผู้วิจัยทำการสร้างทอพอโลยีที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้มีโหนดเกตเวย์ทั้งหมดจำนวน 2 โหนดในเครือข่าย และมีจำนวนโหนดในเครือข่ายทั้งหมด 10 โหนด และกำหนดให้โหนดทุกตัวในเครือข่ายนั้นเป็นโหนดต้นทางในการส่งข้อมูล รูปแบบการเชื่อมต่อของโหนดในเครือข่ายถูกแสดงไว้ตามรูปที่ 2 โดยที่กลุ่มโหนดที่ 1 สามารถเชื่อมต่อกับโหนดเกตเวย์ที่ 1 (GW1) ได้ แต่ไม่สามารถเชื่อมต่อกับโหนดเกตเวย์ที่ 2 (GW2) ได้ แต่กลุ่มโหนดที่ 2 นั้นสามารถติดต่อได้ทั้งโหนดเกตเวย์ที่ 1 และ 2 อีกทั้งกลุ่มโหนดทั้ง 2 กลุ่มโหนดนั้นจะไม่สามารถติดต่อกันเองได้ เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ในการทดลองนี้จึงกำหนดให้โหนดในเครือข่ายไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

ผลการทดลองที่ปรากฏในกราฟในส่วนถัดไปนั้น โพรโทคอลที่ถูกนำเสนอที่ 1 2 และ 3 นั้นหมายถึงโพรโทคอลที่ถูกนำเสนอนั้นมีการใช้สมการที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ จากผลลัพธ์ในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าการกระจายภาระงานระหว่างโหนดเกตเวย์นั้นสามารถช่วยเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จของโหนดต้นทางได้ เนื่องจากโหนดเกตเวย์ใด ๆ จะไม่ถูกใช้งานหนักมากกว่าอีกโหนดเกตเวย์หนึ่งจนสูญเสียพลังงานไปจนหมด ซึ่งจะส่งผลให้โหนดบางกลุ่ม

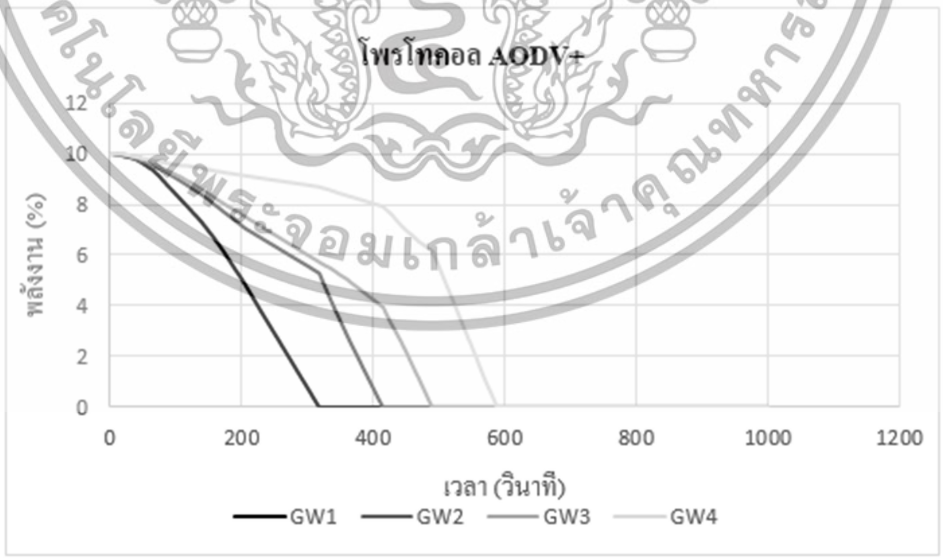
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกตัดขาดออกจากเกตเวย์ จนไม่สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้อีกต่อไป นอกจากนี้ในกราฟที่ 4.1 ยังแสดงช่วงเวลาที่โหนดแรกในเครือข่ายใช้พลังงานจนหมด ซึ่งในการทดลองนี้จะหมายถึงโหนดเกตเวย์เพราะโหนดอื่น ๆ ในเครือข่ายถูกตั้งค่าพลังงานเริ่มต้นเอาไว้สูงกว่าโหนดเกตเวย์ จากผลการทดลองเชิงวิเคราะห์ทำให้สามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มความหน่วงในการตอบกลับข้อความ GWREP สามารถทำให้เกิดการกระจายภาระงานในเครือข่ายได้ดีมากยิ่งขึ้น แต่โพรโทคอลที่ได้นำเสนอนั้นมีความหน่วงโดยเฉลี่ยมากกว่าโพรโทคอล AODV+ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เนื่องจากในโพรโทคอลที่ได้นำเสนอนั้นมีการใช้การชะลอการส่งข้อความตอบกลับการร้องขอสร้างเส้นทางจึงทำให้มีค่าความหน่วงโดยเฉลี่ยที่สูงขึ้น แต่ความหน่วงโดยเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่สูงจนเกินไปจนทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลง

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่นำเสนอกับโพรโทคอล AODV+

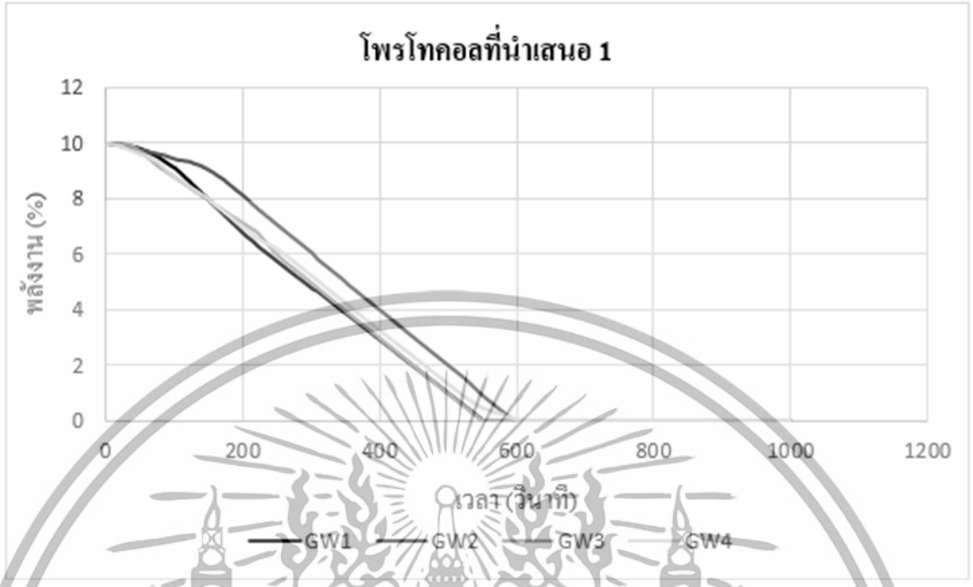
	โพรโทคอล AODV+	**โพรโทคอลที่นำเสนอ1**	**โพรโทคอลที่นำเสนอ2**	**โพรโทคอลที่นำเสนอ3**
อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล	76.5	84.13	77.2	90.63
ความหน่วงโดยเฉลี่ย	37.1	38.3	37.2	39.21
เวลาก่อนที่จะมีโหนดเกตเวย์พลังงานหมดเป็นโหนดแรก	636	755	647	855

4.2.2 รูปแบบการทดลองโดยใช้โทโพโลยีแบบสุ่ม

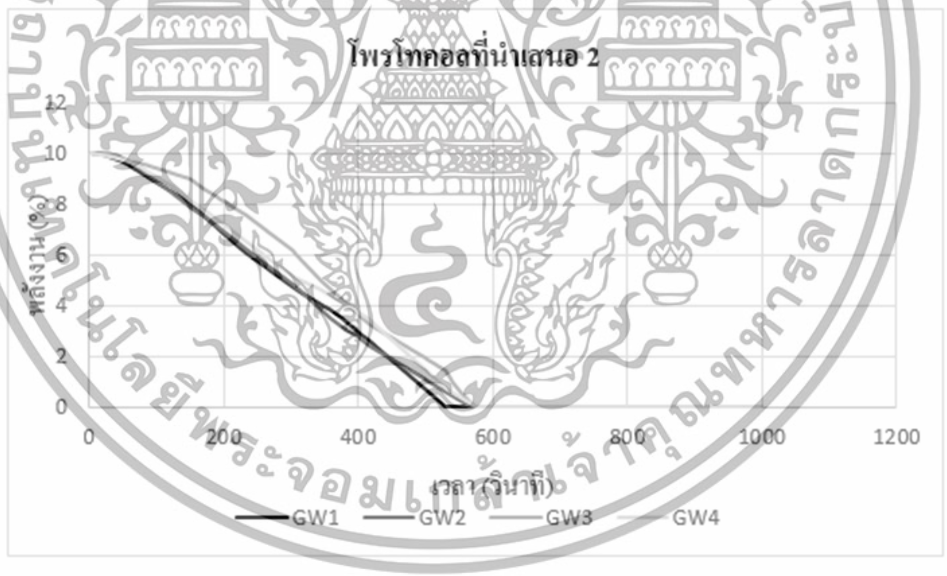


ภาพที่ 4.6 แสดงพลังงานที่ลดลงของโหนดเกตเวย์ตามช่วงเวลาเมื่อใช้โพรโทคอล AODV+

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



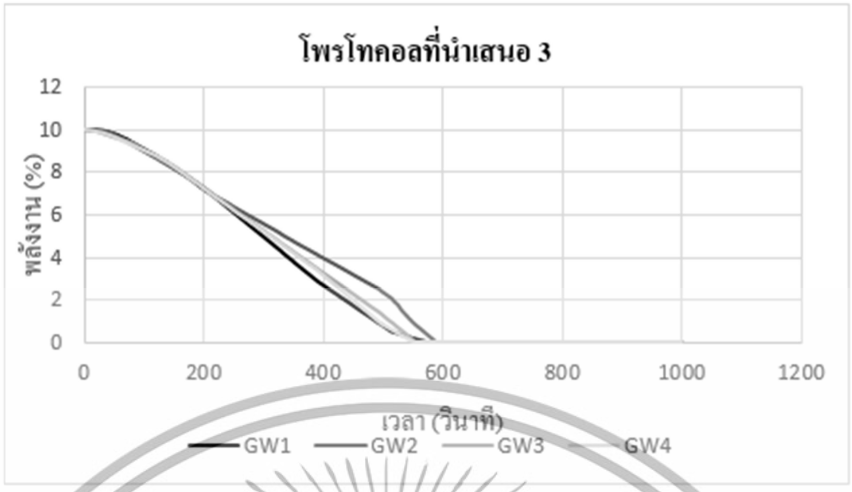
ภาพที่ 4.7 แสดงพลังงานที่ลดลงของโหนดเกตเวย์ตามช่วงเวลาเมื่อใช้โพรโทคอลที่ได้นำเสนอ 1



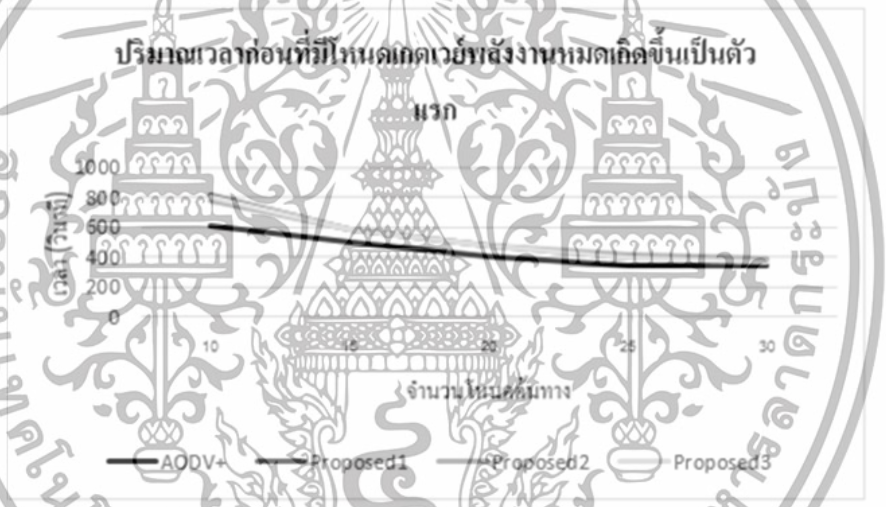
ภาพที่ 4.8 แสดงพลังงานที่ลดลงของโหนดเกตเวย์ตามช่วงเวลาเมื่อใช้โพรโทคอลที่ได้นำเสนอ 2

ในโทโพโลยีแบบสุ่มนั้นได้มีการกำหนดให้โหนดในเครือข่ายสุ่มในรูปแบบยูนิฟอร์ม โดยมีการกำหนดให้มีโหนดเกตเวย์จำนวน 4 ตัว มีจำนวน โหนดในเครือข่ายทั้งหมด 50 โหนด และมีการกำหนดให้มีโหนดในการส่งข้อมูลในเครือข่ายทั้งหมด 10, 15, 20, 25 และ 30 โหนดตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 แสดงพลังงานที่ลดลงของโหนดเกตเวย์ตามช่วงเวลาเมื่อใช้โพรโทคอลที่ได้นำเสนอ 3



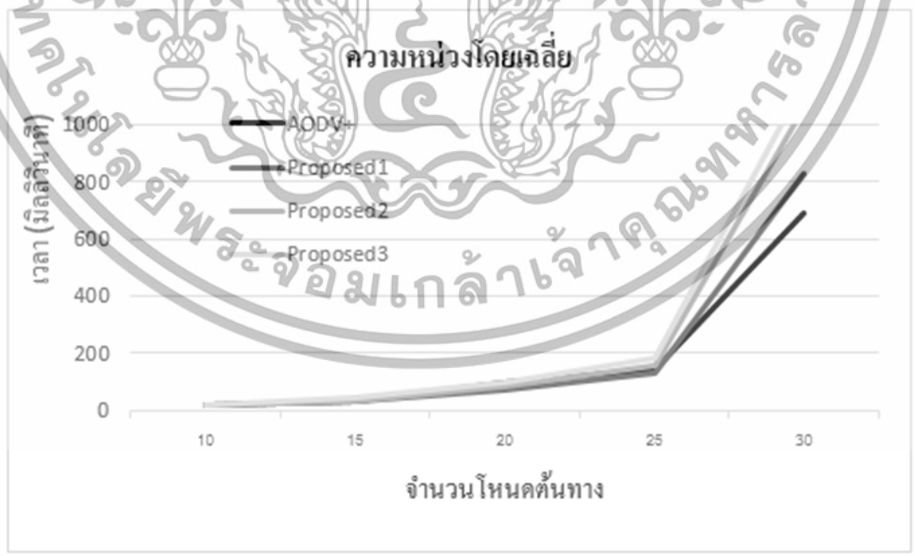
ภาพที่ 4.10 แสดงปริมาณเวลาก่อนที่มีโหนดเกตเวย์พลังงานหมดเกิดขึ้นเป็นตัวแรกระหว่างโพรโทคอล AODV+ และโพรโทคอลที่ได้นำเสนอ

จากภาพที่ 4.6 – 4.9 แสดงให้เห็นถึงพลังงานที่ลดลงของแต่ละโหนดเกตเวย์ตามช่วงเวลาในกรณีที่มีโหนดต้นทางในการส่งข้อมูลทั้งหมดเป็นจำนวน 20 โหนด หากเส้นกราฟมีแนวโน้มทจะซ้อนทับกันมากเท่าไรก็จะแสดงได้ว่าโหนดเกตเวย์แต่ละตัวนั้นมีอัตราการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกันมากขึ้นเท่านั้น โดยจากผลการทดลองนั้นโพรโทคอลที่ถูกนำเสนอมีแนวโน้มการกระจายภาระงานที่ดีกว่าโพรโทคอล AODV+ และจะเห็นได้ว่าโหนดเกตเวย์โหนดที่ 1 (GW1) ของโพรโทคอล AODV+ นั้นพลังงานจะหมดก่อนโหนดเกตเวย์โหนดอื่น ๆ ในเครือข่ายในขณะที่โหนดเกตเวย์โหนดที่ 1 (GW1) ของโพรโทคอลที่ได้นำเสนอนั้นพลังงานหมดในเวลาที่ใกล้เคียงกันกับโหนดเกตเวย์ตัวอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาตอนที่มีโหนดเกตเวย์พลังงานหมดเกิดขึ้นเป็นตัวแรกระหว่างโพรโทคอลที่ได้นำเสนอในแบบต่าง ๆ และโพรโทคอล AODV+ จะเห็นได้ว่าในโพรโทคอลที่นำเสนอนั้นมีเวลาที่โหนดเกตเวย์พลังงานหมดเป็นตัวแรกช้ากว่าโพรโทคอล AODV+ ในทุก ๆ ความหนาแน่นของโหนดต้นทางเนื่องจากในโพรโทคอลที่ได้นำเสนอนั้นโหนดเกตเวย์แต่ละตัวแบกรับภาระงานที่ใกล้เคียงกัน

ภาพที่ 4.11 แสดงผลการทดลองอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลระหว่างโพรโทคอล AODV+ และโพรโทคอลที่ได้นำเสนอ



ภาพที่ 4.12 แสดงผลการทดลองอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลระหว่างโพรโทคอล AODV+ และโพรโทคอลที่ได้นำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.11 แสดงถึงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยมีการเปรียบเทียบระหว่างโพรโทคอลที่นำเสนอกับโพรโทคอล AODV+ จะเห็นได้ว่า โพรโทคอลที่นำเสนอกับโพรโทคอล AODV+ นั้นมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากในการทดลองในสถานการณ์ที่โหนดถูกกระจายแบบสุ่มนั้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงการชนกันของข้อมูลในระหว่างการส่งข้อมูล ส่งผลให้ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของทุกโพรโทคอลนั้น มีค่าต่างจากผลวิเคราะห์ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น แต่อย่างไรก็ตามค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่ลดลงบนโพรโทคอลที่นำเสนอนั้นไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอลอย่างมีนัยสำคัญ

จากภาพที่ 4.12 แสดงถึงความหน่วงโดยเฉลี่ยของโพรโทคอลที่ได้นำเสนอรูปแบบต่าง ๆ และโพรโทคอล AODV+ โดยในโพรโทคอลที่นำเสนอนั้นโหนดเกตเวย์แต่ละพลังงานหมดในเวลาที่ใกล้เคียงกัน โหนดตัวกลางจึงต้องค้นหาเส้นทางไปยังปลายทางใหม่ในสภาวะเช่นนี้ และโหนดตัวกลางต้องรอข้อความตอบกลับเกตเวย์จากโหนดปลายทางก่อนจึงจะสามารถส่งข้อมูลได้ ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ค่าความหน่วงโดยเฉลี่ยนั้นมีค่าที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปการพัฒนา

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโพรโทคอลการค้นหาเส้นทาง และค้นหาเกตเวย์ขึ้นเพื่อทำการกระจายภาระงานให้กับโหนดในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ โดยใช้แนวคิดในการนำค่าพลังงานคงเหลือของโหนดมาเป็นส่วนหนึ่งในการกระจายภาระงาน

โพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นสำหรับกระบวนการค้นหาเส้นทาง มีการแบ่งกลุ่มโหนดออกเป็น 3 กลุ่มตามพลังงานคงเหลือของโหนด โดยในแต่ละโหนดจะมีรูปแบบการทำงานที่แตกต่างกันตามพลังงานคงเหลือในขณะนั้นๆ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า โพรโทคอลที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมานั้นสามารถกระจายการใช้พลังงานไปยังโหนดที่มีพลังงานมากกว่าได้ และทำให้โหนดที่มีพลังงานน้อยสามารถมีอายุขัยที่มากขึ้นโดยที่อัตราในการส่งข้อมูลและความหน่วงในการส่งข้อมูลนั้นไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก และยิ่งโหนดนั้นมีจำนวนเยอะขึ้นจะทำให้โพรโทคอลที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมานั้นทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพราะว่ามีโหนดที่สามารถมารองรับภาระงานเมื่อมีการกระจายภาระงานได้ แต่ถ้ามีโหนดในเครือข่ายน้อยจะส่งผลให้ความหน่วงในการส่งข้อมูลนั้นมีมากขึ้นเพราะต้องใช้เวลาในการหาเส้นทางมากขึ้น

ในส่วนโพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นสำหรับกระบวนการค้นหาเกตเวย์จะมีการนำพลังงานคงเหลือของเกตเวย์มาช่วยคำนวนเวลาที่จะชะลอการตอบกลับของเกตเวย์ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการกระจายภาระงานที่ดีขึ้นในโหนดเกตเวย์แต่ละโหนด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าจากการทดลองพบว่าโพรโทคอลที่ถูกนำเสนอที่มีอัตราการเพิ่มความหน่วงที่โหนดเกตเวย์แบบลอการิทึมให้ผลลัพธ์การทดลองที่ดีที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความหน่วงให้สูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อโหนดเกตเวย์เริ่มมีการสูญเสียพลังงาน ทำให้โหนดต้นทางได้รับการตอบกลับเส้นทางจากโหนดเกตเวย์อื่นที่มีพลังงานเหลือมากกว่าได้อย่างถูกต้อง ซึ่งช่วยทำให้โหนดเกตเวย์มีการกระจายภาระงานที่ดีมากยิ่งขึ้น

จากผลลัพธ์ของงานวิจัยทั้ง 2 ส่วน สามารถสรุปได้ว่า การกระจายภาระงานที่เหมาะสม จะทำให้โหนดในเครือข่ายมีอายุขัยโดยเฉลี่ยมากขึ้น ซึ่งจะช่วยลดโอกาสที่เส้นทางจากโหนดต้นทางไปโหนดปลายทางนั้นขาดออกจากกัน ในกรณีที่มีโหนดใดโหนดหนึ่งในเส้นทางถูกใช้พลังงานจนหมด ส่งผลให้เครือข่ายมีความเสถียรในการส่งข้อมูลมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการทดสอบการกระจายภาระงานที่ครอบคลุมทั้งกระบวนการค้นหาเส้นทาง และค้นหาเกตเวย์ ก็ยังคงเป็นอีกหนึ่งประเด็นที่หน้าสนใจและยังต้องการการทดสอบเพิ่มเติมในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] He, Guoyou. "Destination-sequenced distance vector (DSDV) protocol." Networking Laboratory, Helsinki University of Technology (2002): 1-9.

[2] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," Mobile Computing Systems and Applications, 1999. Proceedings. WMCSA '99. Second IEEE Workshop on, New Orleans, LA, 1999, pp. 90-100.

[3] Mahesh K. Marina, Samir R. Das. “On-Demand Multipath Distance Vector Routing In Ad Hoc Networks” IEEE International Conference on Network Protocols, 2001.

[4] Indrani Das, D.K. Lobiyal, C.P.Katti. “An Analysis of Link Disjoint and Node Disjoint Multipath Routing for Mobile Ad Hoc Network” I. J. Computer Network and Information Security, Vol 8, No. 3 : 52-57, 2016Z. Shu et al., "Traffic engineering in software-defined networking: Measurement and management," in IEEE Access, vol. 4, pp. 3246-3256, 2016.

[5] C.-K. Toh. “Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad Hoc Networks” IEEE Communications Magazine, June 2001

[6] Georgios Parissidis, Merkourios Karaliopoulos, Rainer Baumann, Thrasyvoulos Spyropoulos. “Routing Metrics for Wireless Mesh Networks” Computer Engineering and Networks Laboratory, February 2009

[7] Jinesh Kumar Singh, Prasun Chakrabarti, Mukesh Kalla. “Energy Aware Congestion Adaptive Randomized Routing in MANETs with Sleep Mode.” International Journal of Computer Networks and Communications Security. Vol.4, No.5 : 146–152, MAY 2016

[8] Hamidian, Ali, Ulf Körner, and Anders Nilsson. "Performance of internet access solutions in mobile ad hoc networks." International Workshop of the EuroNGI Network of Excellence. Springer Berlin Heidelberg, 2004.

[9] P. Ratanchandani and R. Kravets, "A hybrid approach to Internet connectivity for mobile ad hoc networks," Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE, New Orleans, LA, USA, 2003, pp. 1522-1527 vol.3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

[10] B. Park, W. Lee, C. Lee and C. K. Shin, "QoS-Aware Adaptive Internet Gateway Selection in Ad Hoc Wireless Internet Access Networks," 2006 3rd International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems, San Jose, CA, 2006, pp. 1-10.

[11] S. H. Bouk, I. Sasase, S. H. Ahmed and N. Javaid, "Gateway discovery algorithm based on multiple QoS path parameters between mobile node and gateway node," in Journal of Communications and Networks, vol. 14, no. 4, pp. 434-442, Aug. 2012.

[12] J. Xu and X. Zhu, "A Load-Balancing and Energy-Aware Routing Protocol for MANET Accessing Internet," 2009 Eighth IEEE International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Chengdu, 2009, pp. 571-574.

[13] F. P. Setiawan, S. H. Bouk and I. Sasase, "An Optimum Multiple Metrics Gateway Selection Mechanism in MANET and Infrastructured Networks Integration," 2008 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Las Vegas, NV, 2008, pp. 2229-2234.

[14] Rungtaveesak, Metha, Noppawit Chartkajekaew, Thananop Thongthavorn, Worrawat Narongkhachavana, and Sumet Prabhavat. "A Dynamic Routing for Load Distribution in Mobile Ad-Hoc Network." In *International Conference on Computing and Information Technology*, pp. 232-241. Springer, Cham, 2017.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานส่งเผยแพร่ในวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.

(อยู่ในระหว่างการพิจารณา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่แบบผสม

ธนานพ ทองถาวร และ สุเมธ ประภาวัต

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

Emails: thananop@it.kmitl.ac.th, sumet@it.kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่เป็นระบบเครือข่ายที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยโครงสร้างพื้นฐานส่วนกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน แต่เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่นั้นยังคงมีข้อจำกัดคือไม่สามารถเชื่อมต่อออกไปยังเครือข่ายภายนอกได้ ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสมที่ทำให้โหนดในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่สามารถติดต่อกับเครือข่ายอื่นผ่านโหนดเกตเวย์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางการสื่อสารระหว่างสองเครือข่าย ดังนั้นโหนดเกตเวย์จึงจำเป็นต้องรับภาระงานมากกว่าโหนดอื่น ๆ ส่งผลให้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดหมดลงอย่างรวดเร็ว การกระจายภาระงานให้กับโหนดเกตเวย์แต่ละโหนดอย่างเหมาะสมนั้นจึงเป็นแนวคิดที่สามารถช่วยลดภาระดังกล่าวได้ งานวิจัยชิ้นนี้จึงทำการศึกษาแนวทางในการกระจายภาระงาน ของโหนดเกตเวย์โดยใช้ปริมาณพลังงานที่เหลือของโหนดเกตเวย์เป็นปัจจัยในการช่วยกระจายภาระงาน จากการทดลองพบว่าโพรโทคอลที่นำเสนอสามารถกระจายการใช้พลังงานระหว่างโหนดเกตเวย์ได้ดีมากยิ่งขึ้น โดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพด้านอื่นของเครือข่าย

คำสำคัญ – เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่แบบผสม; การกระจายภาระงาน; เกตเวย์

1. บทนำ

เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ (Mobile Ad-Hoc Networks: MANETs) เป็นเครือข่ายไร้สายที่สามารถใช้เพื่อการติดต่อสื่อสารระหว่างโหนดเคลื่อนที่ ยกตัวอย่าง เช่น อุปกรณ์สมาร์ทโฟน เป็นต้น โดยคุณสมบัติของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่นั้น คือการสร้างระบบเครือข่ายเพื่อการติดต่อสื่อสารขึ้นมาได้ โดยไม่ต้องพึ่งพาการสนับสนุนจากโครงสร้างพื้นฐานใด ๆ โดยจะอนุญาตให้โหนดภายในเครือข่ายสามารถค้นหาเส้นทาง และติดต่อสื่อสารกันได้ด้วยตนเอง ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวนั้นทำให้เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเครือข่ายสำรองในสถานการณ์ฉุกเฉิน หรือภัยพิบัติ แต่อย่างไรก็ตามเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่นั้นยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องระยะในการติดต่อสื่อสาร เนื่องจากเครือข่ายที่ถูกสร้างขึ้นด้วยเทคโนโลยีดังกล่าว ไม่สามารถติดต่อสื่อสารไปยังเครือข่ายภายนอกได้

เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่แบบผสม (Hybrid Wireless Networks: HWNs) จึงถูกนำเสนอเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการกำหนดให้โหนดที่ยังสามารถติดต่อสื่อสารออกไปยังเครือข่ายอื่นได้ ทำหน้าที่เป็นโหนดเกตเวย์จึงจะทำหน้าที่เป็นโหนดตัวกลางในการสื่อสารระหว่างเครือข่าย ทำให้โหนดที่อยู่ภายในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ สามารถติดต่อสื่อสารไปยังเครือข่ายอื่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากโหนดในเครือข่ายเฉพาะกิจนั้นมีพลังงานอยู่อย่างจำกัด โหนดเกตเวย์ที่ทำหน้าที่ในการเป็นทางผ่านระหว่าง 2 เครือข่ายมีแนวโน้มที่จะถูกใช้พลังงานมากกว่าโหนดอื่น ๆ นอกจากนี้ โหนดที่ทำหน้าที่เป็นโหนดระหว่างทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดเกตเวย์ก็มีแนวโน้มที่จะถูกใช้พลังงานมากกว่าโหนดอื่น ๆ เช่นกัน ในกรณีที่โหนดในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่พลังงานหมดลงอย่างรวดเร็ว จะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการติดต่อสื่อสารภายในเครือข่าย จนกระทั่งทำให้โหนดไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันเอง หรือแม้กระทั่งถูกตัดขาดออกจากเครือข่ายภายนอก

งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้เกี่ยวกับการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสม โดยมีจุดประสงค์เพื่อช่วยกระจายภาระงานระหว่างโหนดในเครือข่าย ซึ่งจะช่วยยืดอายุขัยของเครือข่ายให้ยาวนานมากขึ้น และทำให้การสื่อสารระหว่างเครือข่ายมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการค้นหาเส้นทางในระบบเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่เป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยกำหนดเส้นทางที่จะใช้ส่งข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางเนื่องจากเครือข่ายลักษณะนี้ไม่ต้องพึ่งพาการค้นหาเส้นทางจากโครงสร้างพื้นฐาน ในส่วนของเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสมนั้น โหนดจะมีการใช้งานกระบวนการค้นหาเส้นทางในกรณีที่โหนดปลายทั้งนั้นอยู่ภายในพื้นที่เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ แต่ในทางตรงกันข้ามโหนดต้นทางจะเปลี่ยนไปใช้กระบวนการค้นหาเกตเวย์หากโหนดต้นทางไม่สามารถค้นหาเส้นทางไปยังปลายทางได้ หรือโหนดต้นทางทราบอยู่แล้วว่าโหนดที่ต้องการทำการติดต่อนั้นอยู่นอกเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ และจำเป็นต้องส่งข้อมูลผ่านทางโหนดเกตเวย์ เนื่องจากโหนดในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ตลอดเวลาซึ่งส่งผลต่อความเสถียรในการสร้างเส้นทาง ดังนั้นโพรโทคอลการค้นหาเส้นทางจึงเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารของเครือข่าย ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงโพรโทคอลที่ถูกใช้ในการค้นหาเส้นทาง และค้นหาเกตเวย์บนเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสม รวมไปถึงกระบวนการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสมที่น่าสนใจ

2.1. เอโอดีวีพลัส (AODV+)

เอโอดีวีพลัส [1] เป็นโพรโทคอลที่ถูกนำเสนอโดยการเพิ่มส่วนต่อขยายลงไปบนโพรโทคอลเอโอดีวี (AODV) [2] ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่ใช้ในการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่รูปแบบหนึ่ง เอโอดีวีพลัสนำเสนอโพรโทคอลในการค้นหาเกตเวย์เพิ่มเติม เพื่อทำให้โหนดสามารถสร้างเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสมได้

โพรโทคอลย่อยที่ถูกนำเสนอเพื่อการค้นหาเกตเวย์นั้นถูกแบ่งย่อยออกเป็น 3 รูปแบบดังต่อไปนี้

2.1.1. การค้นหาเกตเวย์แบบโพรแอคทีฟ

การค้นหาเกตเวย์แบบโพรแอคทีฟ จะกำหนดให้โหนดเกตเวย์ในเครือข่ายประกาศข้อความ Gateway Advertisement Message (GWADV) ออกไปทั่วเครือข่าย โหนดใดก็ตามที่ได้รับข้อความดังกล่าว จะเก็บข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดเกตเวย์เอาไว้ในตารางเส้นทางปริยาย (Default Routing Entry) ในกรณีที่โหนดต้นทางต้องการติดต่อไปยังเกตเวย์ โหนดต้นทางก็จะเรียกใช้เส้นทางที่ถูกเก็บเอาไว้มาใช้ในการส่งข้อมูล

เนื่องจากโพรโทคอลเอโอดีวีมีรูปแบบการเก็บเส้นทางแบบฮ็อปต่อฮ็อป ดังนั้นเส้นทางที่ถูกเก็บเอาไว้ภายในตารางเส้นทางปริยาย จึงเป็นที่อยู่ไอพีของโหนดถัดไปที่จะสามารถช่วยส่งต่อข้อความไปยังเกต์เวย์ได้ การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เก็บข้อมูลเส้นทางในลักษณะนี้เป็นทอด ๆ ต่อกันไป จะทำให้โหนดต้นทางสามารถส่งข้อความไปยังเกตเวย์ได้ในที่สุด

2.1.2. การค้นหาเกตเวย์แบบรีแอคทีฟ

การค้นหาเกตเวย์แบบรีแอคทีฟ จะกำหนดให้โหนดต้นทางใด ๆ ที่ต้องการส่งข้อความไปยังโหนดเกตเวย์ทำการแพร่กระจายข้อความร้องขอเกตเวย์ (Gateway Request Message : GWREQ) ออกมา เมื่อโหนดเกตเวย์ได้รับข้อความดังกล่าว โหนดเกตเวย์จะทำการตอบกลับด้วยข้อความตอบกลับเกตเวย์ (Gateway Reply Message : GWREP) ไปยังโหนดต้นทางที่ทำการร้องขอ เมื่อโหนดต้นทางได้รับข้อความ GWREP โหนดต้นทางก็จะทำการบันทึกเส้นทางย้อนกลับลงไปยังตารางเส้นทางปริยาย และเริ่มทำการส่งข้อมูลออกไปยังโหนดเกตเวย์

ในกรณีที่โหนดเกตเวย์ได้รับข้อความค้นหาเส้นทาง (Gateway Request Message : RREQ) จากโหนดต้นทางที่กำลังเรียกใช้กระบวนการค้นหาเส้นทางแบบเอโอดีวี โหนดเกตเวย์นั้นก็จะตอบกลับข้อความ GWREP ไปให้โหนดต้นทางเช่นเดียวกับการได้รับข้อความ GWREQ กระบวนการดังกล่าวจะช่วยทำให้โหนดต้นทางไม่ต้องแพร่กระจายข้อความ GWREQ ซ้ำอีก ในกรณีที่การค้นหาเส้นทางล้มเหลว โหนดต้นทางจะอนุมานว่าโหนดปลายทางนั้นอยู่ในเครือข่ายอื่นทันที และจะส่งข้อความไปที่เกตเวย์ตามเส้นทางที่ถูกสำรองเอาไว้ในตารางเส้นทางปริยาย

2.1.3. การค้นหาเกตเวย์แบบผสม

การค้นหาเกตเวย์แบบผสม [3] จะเป็นการนำรูปแบบการค้นหาเกตเวย์แบบโพรแอคทีฟ และรีแอคทีฟมารวมเข้าไว้ด้วยกัน โดยกำหนดให้โหนดเกตเวย์ประกาศข้อความ GWADV ออกไปในพื้นที่จำกัด โหนดที่อยู่ภายใต้พื้นที่การประกาศข้อความ GWADV นั้นจะสามารถส่งข้อความไปหาเกตเวย์ได้ในทันที ในส่วนของโหนดที่ไม่ได้รับการประกาศข้อความ GWADV โหนดนั้น ๆ จะทำการแพร่กระจายข้อความ GWREQ ออกไป ในกรณีที่โหนดที่มีเส้นทางไปยังเกตเวย์ที่ยังไม่หมดอายุได้รับข้อความ GWREQ โหนดนั้น ๆ สามารถสร้าง และตอบกลับข้อความ GWREP ให้โหนดต้นทางได้ทันทีเช่นเดียวกับโหนดเกตเวย์

โดยสรุป โพรโทคอลเอโอดีวีพลัสมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้ ขั้นแรกโหนดต้นทางจะแพร่กระจายข้อความร้องขอเส้นทางออกไปในรูปแบบของโพรโทคอลเอโอดีวี โดยมีการเปิดการใช้งานฟังก์ชั่นการแพร่กระจายแบบ Expanding Ring Search (ERS) [4] ร่วมอยู่ด้วย ในกรณีที่โหนดไม่สามารถหาเส้นทางไปยังปลายทางได้ โหนดจะพยายามส่งข้อความไปที่โหนดเกตเวย์ โดยคาดหวังว่าโหนดปลายทางจะอยู่ภายนอกเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ ในกรณีที่การสื่อสารประสบความสำเร็จ โหนดต้นทางจะทำการจดจำที่อยู่ไอพีของโหนดนั้น ๆ เอาไว้เพื่อบันทึกว่าการจะติดต่อไปหาโหนดดังกล่าวต้องติดต่อผ่านโหนดเกตเวย์ ในกรณีที่เส้นทางที่ใช้ในการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางดังกล่าวไม่สามารถใช้งานได้ โหนดต้นทางจะไม่ทำการเรียกใช้กระบวนการค้นหาเส้นทางอีก แต่จะเปลี่ยนไปเรียกใช้กระบวนการค้นหาเกตเวย์ได้ในทันที

2.2 โพรโทคอลการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสม

ความเป็นไปได้ในการสร้างการกระจายภาระงานบนโพรโทคอลการค้นหาเกตเวย์ ได้ถูกนำเสนอเอาไว้ในงานวิจัย [5] ในหัวข้อนี้ ผู้วิจัยจะกล่าวถึงโพรโทคอลการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสมที่ถูกพัฒนาต่อยอดขึ้นจากโพรโทคอลพื้นฐาน

โดยทั่วไปหลังจากที่โหนดต้นทางทำการแพร่กระจายข้อความค้นหาเกตเวย์ไปแล้ว ในกรณีที่มีโหนดเกตเวย์มากกว่าหนึ่งตัว โหนดต้นทางมักจะเลือกใช้งานเกตเวย์ที่มีจำนวนฮ็อปจากโหนดต้นทางน้อยกว่าในการส่งข้อความ การเลือกเกตเวย์ในลักษณะนี้อาจจะเกิดปัญหาความคับคั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเครือข่ายที่เกตเวย์ใด ๆ ขึ้นอยู่กับรูปแบบการกระจายตัวของโหนดต้นทาง โพรโทคอล [6] จึงได้เพิ่มตัวชี้วัดในการเลือกเกตเวย์ โดยคำนึงถึงจำนวนฮ็อป และแบนด์วิดท์ที่เหลืออยู่ของเกตเวย์นั้น ๆ ทำให้สามารถกระจายภาระงานของเกตเวย์ได้ดียิ่งขึ้น โพรโทคอล [7] เลือกเอาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่มาใช้ในการกระจายภาระงานบนเครือข่าย ซึ่งประกอบด้วยแบนด์วิดท์ที่เหลือของเส้นทาง ความหน่วงของเส้นทาง และ ความเสถียรของเส้นทาง โดยความเสถียรของเส้นทางนั้นจะถูกคาดการณ์จากทิศทาง และความเร็วของโหนดบนเส้นทางใด ๆ โพรโทคอลนี้ถูกนำเสนอโดยใช้แนวคิดตั้งต้นจากโพรโทคอลการค้นหาเกตเวย์แบบผสม โดยข้อความ GWADV และ GWREQ จะถูกดัดแปลงเพื่อให้โหนดแต่ละโหนดเพิ่มเติมข้อมูลความหน่วง แบนด์วิดท์ และ ค่าชี้วัดความเสถียรของเส้นทางลงไปบนข้อความ เพื่อให้โหนดต้นทางนำมาคำนวณเป็นค่าชี้วัดประสิทธิภาพเส้นทาง โดยโหนดต้นทางจะเลือกเส้นทางที่มีค่าประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อใช้ส่งข้อมูลไปยังโหนดเกตเวย์ได้ ในกรณีที่โหนดอยู่ภายในพื้นที่การประกาศ GWADV โหนดต้นทางนั้นจะสามารถเลือกเส้นทางได้ในทันที แต่ในกรณีที่โหนดอยู่นอกพื้นที่การประกาศ GWADV โหนดจะทำการเพิ่มเติมข้อมูลชี้วัดประสิทธิภาพลงไปบนข้อความ GWREQ ก่อนแพร่กระจายข้อความออกไป เมื่อข้อความ GWREQ ถูกส่งไปถึงโหนดระหว่างทางที่มีการสำรองข้อมูลของเกตเวย์เอาไว้ โหนดนั้น ๆ จะทำการตอบกลับข้อความ GWREP ที่ผ่านการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างข้อความ GWREQ และ ข้อมูลตัวชี้วัดประสิทธิภาพของเส้นทางที่ถูกเก็บไว้ในโหนดระหว่างทางแล้วกลับไปที่โหนดต้นทาง ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่โหนดระหว่างทางหลายตัวจะตอบกลับข้อความ GWREP ไปหาโหนดต้นทางในช่วงเวลาเดียวกัน โหนดต้นทางก็จะเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดจากโหนดระหว่างทางทั้งหมดโดยคำนึงถึงค่าชี้วัดประสิทธิภาพของเส้นทาง

แนวคิดการพัฒนาการกระจายภาระงานในบางรูปแบบได้มีการนำค่าพลังงานที่เหลือของโหนดในเครือข่ายมาช่วยในการกระจายภาระงาน โพรโทคอลที่ถูกนำเสนอใน [8] ถูกพัฒนาขึ้นจากโพรโทคอลการค้นหาเกตเวย์แบบโพรแอคทีฟ โดยมีการเพิ่มข้อมูลพลังงานเฉลี่ยของเส้นทาง พลังงานของโหนดที่เหลือน้อยที่สุดในเส้นทาง และขนาดของบัฟเฟอร์คงเหลือของโหนดใด ๆ ไปใส่ไว้ในข้อความ GWADV เพื่อให้โหนดต้นทางใช้ในการตัดสินใจเลือกเส้นทางเพื่อให้เกิดการกระจายภาระงานที่สมดุลมากยิ่งขึ้น โพรโทคอลใน [9] มีการตั้งสมมุติฐานว่าโหนดเกตเวย์นั้นสามารถเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นจึงนำความเร็วของเกตเวย์มาใช้เป็นตัวชี้วัดความเสถียรของเส้นทางประกอบกับจำนวนฮ็อปจากโหนดต้นทางไปยังเกตเวย์ และพลังงานที่เหลือภายในเส้นทางไปยังเกตเวย์ใด ๆ เพื่อให้โหนดต้นทางเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดไปยังเกตเวย์ได้

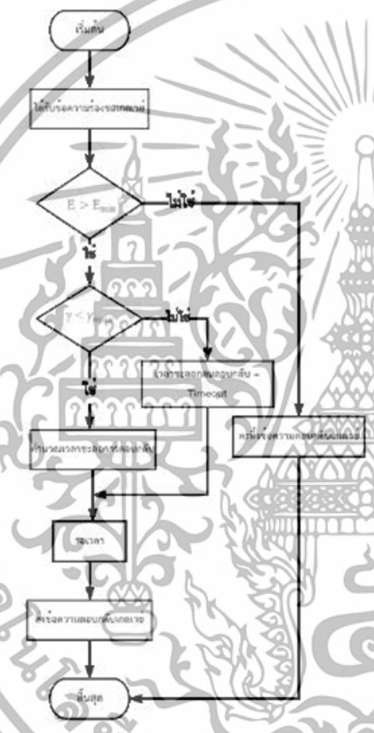
3. แนวคิดที่นำเสนอ

จากรูปแบบการกระจายภาระงานที่ถูกกล่าวถึงในบทที่ 2 นั้น การที่จะทำให้โหนดในเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสมมีการกระจายภาระงานที่ดีขึ้น โหนดระหว่างทางจำเป็นต้องเพิ่มข้อมูลที่จำเป็นที่ต้องใช้ในการตัดสินใจเลือกเส้นทางลงไปบนข้อความค้นหาเกตเวย์ไม่ว่าจะเป็น GWADV หรือ GWREQ เพื่อให้โหนดต้นทางสามารถตัดสินใจเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดได้ แต่อย่างไรก็ตามโหนดเกตเวย์เองก็ยังคงเป็นโหนดในเครือข่ายเฉพาะกิจ และมีพลังงานอยู่อย่างจำกัด ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำพลังงานคงเหลือของเกตเวย์ มาใช้เป็นตัวชี้วัดในการช่วยกระจายภาระงานโดยตรง โดยมีจุดประสงค์ให้เกตเวย์สามารถมีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากยิ่งขึ้นโดยโพรโทคอลที่ถูกนำเสนอมีรายละเอียดดังนี้

โพรโทคอลที่นำเสนอถูกพัฒนาขึ้นโดยมีพื้นฐานมาจากกลไกการค้นหาเกตเวย์แบบรีแอ็คทีฟ โดยเริ่มแรกโหนดต้นทางจะแพร่กระจายข้อความ GWREQ ออกไปทั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งเครือข่าย เมื่อโหนดเกตเวย์ได้รับข้อความ GWREQ จากโหนดต้นทาง โหนดเกตเวย์จะไม่ตอบกลับข้อความร้องขอเกตเวย์นั้นในทันที แต่โหนดเกตเวย์จะทำการชะลอเวลาในการตอบกลับสักครู่แล้วจึงจะตอบข้อความ GWREP กลับไปยังโหนดต้นทาง โดยการเพิ่มความหน่วงในการตอบกลับข้อความนั้น จะถูกคำนวณจากค่าพลังงานคงเหลือของโหนดเกตเวย์ในขณะนั้น ๆ โดยภาพรวมของกลไกการทำงานจะถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. ผังงานแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบโดยใช้แซ็คเกตเป็นปัจจัย

ระยะความหน่วงที่ใช้ในการชะลอการตอบกลับ GWREP นั้นจะแปรผกผันกับค่าพลังงานที่เหลืออยู่ของโหนดเกตเวย์ หากพลังงานของโหนดเกตเวย์มีมากระยะเวลาที่จะชะลอการตอบกลับข้อความของเกตเวย์จะมีค่าน้อย ในทางกลับกันถ้าพลังงานของเกตเวย์เหลือน้อยก็จะมีการหน่วงเวลาตอบกลับของข้อความมาก กลไกดังกล่าวมีจุดประสงค์ให้โหนดต้นทางได้รับข้อความตอบกลับจากโหนดเกตเวย์ที่มีพลังงานคงเหลือมากที่สุด เพื่อให้เกิดการกระจายภาระงานระหว่างเกตเวย์ที่เหมาะสม แต่ในกรณีที่โหนดเกตเวย์มีค่าพลังงานต่ำกว่าค่าพลังงานต่ำสุด (E_{min}) ที่ถูกกำหนดเอาไว้ ซึ่งในปัจจุบันถูกกำหนดไว้ให้มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 10 ของพลังงานตั้งต้น โหนดเกตเวย์นั้นจะทำการละทิ้งข้อความค้นหาเกตเวย์ทั้งหมดไป แต่ยังคงทำหน้าที่ส่งต่อข้อความออกไปยังเครือข่ายอื่นให้โหนดต้นทางที่มีการเชื่อมต่อมายังเกตเวย์ดังกล่าวต่อไป โดยการหาค่าความหน่วง ทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความเป็นไปได้ของรูปแบบการเพิ่มความหน่วงด้วยสมการ 3 รูปแบบ เพื่อตรวจสอบว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความหน่วงรูปแบบใด ที่จะสามารถช่วยให้เกิดการกระจายภาระงานได้ดีที่สุด

$$t_D = \left(\frac{1}{T_r} - 1\right)\left(\frac{t_{TO}\,E_{min}}{1 - T_{min}}\right) \quad ; T_{min} < T_r \le 1 \qquad (1)$$

$$t_D = (1-E)\left(\frac{t_{TO}}{1 - E_{min}}\right) \quad ; E_{min} < E \le 1 \qquad (2)$$

$$t_D = t_{TO}\sqrt{\frac{1-F_r}{1-E_{min}}} \quad ; F_{min} < F \le 1 \qquad (3)$$

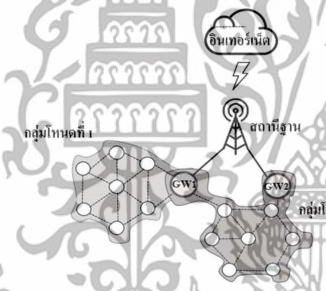
โดย T_D คือความหน่วงเวลาในการชะลอการตอบกลับข้อความ GWREP T_{TO} คือระยะหมดเวลาในการรอการตอบกลับข้อความ GWREP ของโหนดต้นทาง E คือพลังงานที่เหลือของเกตเวย์ในขณะนั้น ๆ และ E_{min} คือพลังงานของเกตเวย์ที่ต่ำที่สุดที่เกตเวย์จะยังคงตอบกลับข้อความ GWREP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสมการที่ 1-3 เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าหน่วงเวลาการตอบกลับข้อความ GWREP โดยค่าความหน่วงเวลาในช่วงที่โหนดเกตเวย์ยังคงมีพลังงานสูงค่าความหน่วงเวลาก็จะมีค่าต่ำ และจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หากพลังงานของโหนดเกตเวย์ลดลง จากสมการที่ 1 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าความหน่วงเวลาจะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล ในส่วนของสมการที่ 2 จะมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความหน่วงแบบคงที่ และสมการที่ 3 มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความหน่วงแบบลอการิทึม

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของแนวคิดที่ผู้วิจัยนำเสนอ ทางผู้วิจัยจึงออกแบบการทดลองเชิงวิเคราะห์เพื่อนำเสนอความเป็นไปได้ของแนวคิดการกระจายภาระงานด้วยการเพิ่มความหน่วงในการตอบกลับข้อความ GWREP ตามอัตราพลังงานที่เหลืออยู่ของโหนดเกตเวย์

3.1.1. รูปแบบเชิงวิเคราะห์



รูปที่ 2. แผนภาพแสดงทอพอโลยีเชิงวิเคราะห์

ผู้วิจัยทำการสร้างทอพอโลยีที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้มีโหนดเกตเวย์ทั้งหมดจำนวน 2 โหนดในเครือข่าย และมีจำนวนโหนดในเครือข่ายทั้งหมด 10 โหนด และกำหนดให้โหนดทุกตัวในเครือข่ายนั้นเป็นโหนดต้นทางในการส่งข้อมูล รูปแบบการเชื่อมต่อของโหนดในเครือข่ายถูกแสดงไว้ตามรูปที่ 2 โดยที่กลุ่มโหนดที่ 1 สามารถเชื่อมต่อกับโหนดเกตเวย์ที่ 1 (GW1) ได้ แต่ไม่สามารถเชื่อมต่อกับโหนดเกตเวย์ที่ 2 (GW2) ได้ แต่กลุ่มโหนดที่ 2 นั้นสามารถติดต่อได้ทั้งโหนดเกตเวย์ที่ 1 และ 2 อีกทั้งกลุ่มโหนดทั้ง 2 กลุ่มโหนดนั้นจะไม่สามารถติดต่อกันเองได้ เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ในการทดลองนี้จึงกำหนดให้โหนดในเครือข่ายไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ในส่วนของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองนั้นถูกแสดงไว้ดังตารางที่ 1

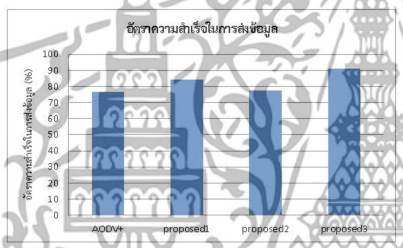
ตารางที่ 1. แสดงข้อมูลพารามิเตอร์ของเครือข่ายในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
พื้นที่จำลอง	700 × 300 เมตร
รัศมีการแพร่กระจายข้อมูล	250 เมตร
จำนวนโหนดในเครือข่าย	50 โหนด
อัตราการส่งแพ็คเก็ต	5 แพ็คเกต / วินาที
โพรโทคอลที่ใช้ส่งข้อมูล	UDP/CBR
ขนาดของข้อมูล	512 ไบต์
พลังงานเริ่มต้นของโหนดเกตเวย์	10 จูล
พลังงานที่ใช้ในการส่ง	1.3 วัตต์
เวลาในการทดลอง	1000 วินาที

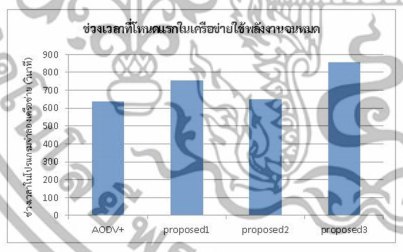
ผลการทดลองที่ปรากฏในกราฟในส่วนถัดไปนั้น โพรโทคอลที่ถูกนำเสนอที่ 1 2 และ 3 นั้นหมายถึงโพรโทคอลที่ถูกนำเสนอนั้นมีการใช้สมการที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ จากผลลัพธ์ในกราฟตามรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายภาระงานระหว่างโหนดเกตเวย์นั้นสามารถช่วยเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จของโหนดต้นทางได้ เนื่องจากโหนดเกตเวย์ใด ๆ จะไม่ถูกใช้งานหนักมากกว่าอีกโหนดเกตเวย์หนึ่งจนสูญเสียพลังงานไปจนหมด ซึ่งจะส่งผลให้โหนดบางกลุ่มถูกตัดขาดออกจากเกตเวย์ จนไม่สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้อีกต่อไป ผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถตรวจสอบได้จากกราฟในรูปที่ 4 ซึ่งแสดงช่วงเวลาที่โหนดแรกในเครือข่ายใช้พลังงานจนหมด ซึ่งในการทดลองนี้จะหมายถึงโหนดเกตเวย์เพราะโหนดอื่น ๆ ในเครือข่ายถูกตั้งค่าพลังงานเริ่มต้นเอาไว้สูงกว่าโหนดเกตเวย์ จากผลการทดลองเชิงวิเคราะห์ทำให้สามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มความหน่วงในการตอบกลับข้อความ GWREP สามารถทำให้เกิดการกระจายภาระงานในเครือข่ายได้ดีมากยิ่งขึ้น



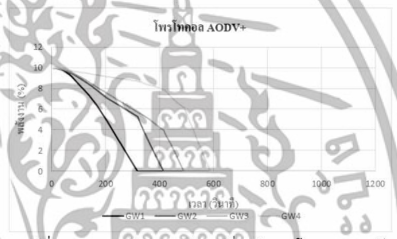
รูปที่ 3. แผนภาพแสดงอัตราสำเร็จในการส่งข้อมูลสำหรับรูปแบบเชิงวิเคราะห์



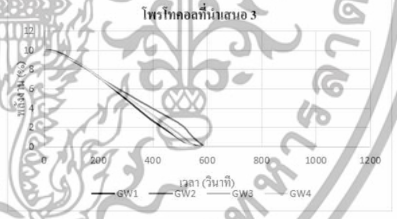
รูปที่ 4. แผนภาพแสดงช่วงเวลาที่โหนดแรกในเครือข่ายใช้พลังงานจนหมด

4. การทดลอง และประเมินผล

เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของแนวคิดที่นำเสนอ ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบโพรโทคอลที่นำเสนอเพิ่มเติมในโปรแกรมจำลองเครือข่ายภายใต้ทอพอโลยีแบบสุ่ม ในทอพอโลยีแบบสุ่มนั้นได้มีการกำหนดให้โหนดในเครือข่ายจำนวนทั้งหมด 50 โหนดถูกสุ่มลงไปในพื้นที่การจำลองด้วยการกระจายแบบยูนิฟอร์ม โดยมีการกำหนดให้มีโหนดเกตเวย์ทั้งหมดจำนวน 4 โหนด และมีการกำหนดให้มีโหนดต้นทางในการส่งข้อมูลในเครือข่ายทั้งหมด 10, 15, 20, 25 และ 30 โหนดตามลำดับ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโพรโทคอลเมื่อเครือข่ายมีปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ นั้นจะยังคงใช้พารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดไว้ในตารางที่ 1



รูปที่ 5. แสดงปริมาณพลังงานที่เหลือของโหนดเกตเวย์เมื่อเวลาการทดลองผ่านไปของโพรโทคอลเอโอดีวีพลัส



รูปที่ 6. แสดงปริมาณพลังงานที่เหลือของโหนดเกตเวย์เมื่อเวลาการทดลองผ่านไปของโพรโทคอลที่ถูกนำเสนอรูปแบบที่ 3

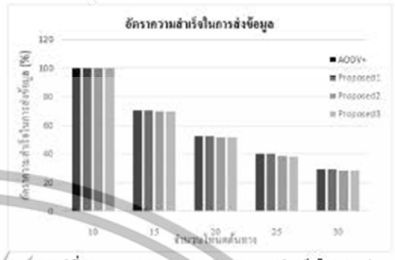
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโพรโทคอลเอโอดีวีพลัสกับโพรโทคอลที่ถูกนำเสนอด้วยสมการรูปแบบที่ 3 เนื่องจากสมการรูปแบบที่ 3 นั้นมีผลลัพธ์จากการทดลองเชิงวิเคราะห์ที่ดีที่สุด

รูปที่ 5 และรูปที่ 6 แสดงให้เห็นถึงปริมาณพลังงานที่เหลือของโหนดเกตเวย์แต่ละโหนด เมื่อเวลาการทดลองของแต่ละโพรโทคอลผ่านไป กราฟทั้ง 2 กราฟนั้นสามารถแสดงถึงอัตราการใช้พลังงานของโหนดเกตเวย์ทั้ง 4 โหนดได้ ในกรณีของโพรโทคอลเอโอดีวีพลัส โหนดเกตเวย์ทั้ง 4 โหนด มีอัตราการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน ในขณะที่โพรโทคอลที่นำเสนอโหนดเกตเวย์มีอัตราการใช้พลังงานใกล้เคียงกัน ซึ่งหมายความว่าโพรโทคอลที่ถูกนำเสนอนั้นสามารถกระจายการใช้พลังงานของโหนดเกตเวย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าโพรโทคอลเอโอดีวีพลัส

รูปที่ 7. แสดงช่วงเวลาในขณะที่โหนดเกตเวย์ตัวแรกสูญเสียพลังงานจนหมดเปรียบเทียบระหว่างโพรโคอล เอโอดีวีพลัสและโพรโทคอลที่ได้นำเสนอ

จากรูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาตอนที่มีโหนดเกตเวย์พลังงานหมดเกิดขึ้นเป็นตัวแรกระหว่างโพรโทคอลที่ได้นำเสนอที่ใช้สมการรูปแบบต่าง ๆ และโพรโทคอลเอโอดีวีพลัส จะเห็นได้ว่าในโพรโทคอลที่นำเสนอนั้นมีเวลาที่โหนดเกตเวย์พลังงานหมดเป็นตัวแรกช้ากว่าโพรโทคอลเอโอดีวีพลัสในทุก ๆ ความหนาแน่นของโหนดต้นทางเนื่องจากในโพรโทคอลที่ได้นำเสนอนั้น โหนดเกตเวย์แต่ละโหนดแบกรับภาระงานที่ใกล้เคียงกันซึ่งสอดคล้องกับกราฟในรูปที่ 5 และ 6



รูปที่ 8. ผลการทดลองอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลระหว่างโพรโทคอลเอโอดีวีพลัส และโพรโทคอลที่ถูกนำเสนอ

รูปที่ 9. ความหน่วงโดยเฉลี่ยระหว่างโพรโทคอล เอโอดีวีพลัส และโพรโทคอลที่ได้นำเสนอ

จากรูปที่ 8 แสดงถึงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยมีการเปรียบเทียบระหว่างโพรโทคอลที่นำเสนอกับโพรโทคอลเอโอดีวีพลัส จะเห็นได้ว่า โพรโทคอลที่นำเสนอกับโพรโทคอลเอโอดีวีพลัสนั้นมีค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน สาเหตุที่ผลการทดลองเชิงวิเคราะห์ และผลการทดลองในส่วนนี้มีความแตกต่างกัน เนื่องจากในการทดลองในสถานการณ์ที่โหนดถูกกระจายแบบสุ่มนั้น ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงการชนกันของข้อมูลในระหว่างการส่งข้อมูล ส่งผลให้ค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของทุกโพรโทคอล มีค่าต่างจากผลวิเคราะห์ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น แต่อย่างไรก็ตามค่าอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่ลดลงบนโพรโท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอลที่นำเสนอนั้นไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอลอย่างมีนัยสำคัญ

จากรูปที่ 9 แสดงถึงความหน่วงโดยเฉลี่ยของโพรโทคอลที่ได้นำเสนอรูปแบบต่าง ๆ และโพรโทคอลเอโอดีวีพลัส โดยโพรโทคอลที่นำเสนอนั้นโหนดเกตเวย์แต่ละพลังงานหมดในเวลาที่ใกล้เคียงกัน การที่โหนดต้นทางต้องค้นหาเส้นทางไปยังปลายทางใหม่ในสภาวะเช่นนี้จะส่งผลให้เกิดการจราจรในเครือข่ายที่มากกว่าปกติ ประกอบกับการที่โหนดต้นทางจะต้องรอข้อความตอบกลับเกตเวย์เป็นระยะเวลานานก่อนที่จะสามารถส่งข้อมูลได้ ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ค่าความหน่วงโดยเฉลี่ยนั้นมีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของโหนดมีค่าเพิ่มมากยิ่งขึ้น

5. สรุป

งานวิจัยชิ้นนี้ จัดทำขึ้นเพื่อนำเสนอแนวทางในการกระจายภาระงานของโหนดเกตเวย์ภายในเครือข่ายเฉพาะกิจแบบผสม โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแนวคิดการกระจายภาระงานรูปแบบต่าง ๆ ก่อนที่จะนำเสนอโพรโทคอลการกระจายภาระงานด้วยการเพิ่มความหน่วงในการตอบกลับของเกตเวย์ในขั้นตอนการตอบกลับข้อความ GWREP โดยในการทดลองได้มีการทดสอบอัตราการเพิ่มความหน่วงในหลาย ๆ รูปแบบ เพื่อหารูปแบบการเพิ่มขึ้นของความหน่วงที่ดีที่สุดด้วย

จากการทดลองพบว่าโพรโทคอลที่ถูกนำเสนอที่มีอัตราการเพิ่มความหน่วงที่โหนดเกตเวย์แบบลอการิทึมให้ผลลัพธ์การทดลองที่ดีที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความหน่วงให้สูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อโหนดเกตเวย์เริ่มมีการสูญเสียพลังงาน ทำให้โหนดต้นทางได้รับการตอบกลับเส้นทางจากโหนดเกตเวย์อื่นที่มีพลังงานเหลือมากกว่าได้อย่างถูกต้อง ซึ่งช่วยทำให้โหนดเกตเวย์มีการกระจายภาระงานที่ดีมากยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้ยังคงมีข้อจำกัดเกี่ยวกับการตั้งสมมติฐานเบื้องต้นอยู่จำนวนหนึ่ง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะปรับแก้ไขพารามิเตอร์ในการทดลองให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่นำเสนอได้อย่างชัดเจนในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยปีงบประมาณ 2561 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารอ้างอิง

[1] Hamidian, Ali, Ulf Körner, and Anders Nilsson. "Performance of internet access solutions in mobile ad hoc networks." International Workshop of the EuroNGI Network of Excellence. Springer Berlin Heidelberg, 2004.

[2] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," Mobile Computing Systems and Applications, 1999. Proceedings. WMCSA '99. Second IEEE Workshop on, New Orleans, LA, 1999, pp. 90-100.

[3] P. Ratanchandani and R. Kravets, "A hybrid approach to Internet connectivity for mobile ad hoc networks," Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE, New Orleans, LA, USA, 2003, pp. 1522-1527 vol.3.

[4] Duy Ngoc Pham et al., "An expending ring search algorithm for Mobile Adhoc networks," The 2010 International

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Conference on Advanced Technologies for Communications, Ho Chi Minh City, 2010, pp. 39-44.

[5] M. K. Denko and Chen Wei, "An architecture for integrating mobile ad hoc networks with the Internet using multiple mobile gateways," Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2005., Saskatoon, Sask., 2005, pp. 1097-1102.

[6] B. Park, W. Lee, C. Lee and C. K. Shin, "QoS-Aware Adaptive Internet Gateway Selection in Ad Hoc Wireless Internet Access Networks," 2006 3rd International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems, San Jose, CA, 2006, pp. 1-10.

[7] S. H. Bouk, I. Sasase, S. H. Ahmed and N. Javaid, "Gateway discovery algorithm based on multiple QoS path parameters between mobile node and gateway node," in Journal of Communications and Networks, vol. 14, no. 4, pp. 434-442, Aug. 2012.

[8] J. Xu and X. Zhu, "A Load-Balancing and Energy-Aware Routing Protocol for MANET Accessing Internet," 2009 Eighth IEEE International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Chengdu, 2009, pp. 571-574.

[9] F. P. Setiawan, S. H. Bouk and I. Sasase, "An Optimum Multiple Metrics Gateway Selection Mechanism in MANET and Infrastructured Networks Integration," 2008 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Las Vegas, NV, 2008, pp. 2229-2234.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลงานส่งเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
ครั้งที่ 14

14th National Conference on Computing and Information Technology
(NCCIT 2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาแนวทางการกระจายภาระงานสำหรับเกตเวย์ในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่
A STUDY ON GATEWAY LOAD BALANCING IN MOBILE AD-HOC NETWORK

ศุภาวรรณ คีรินทร์นนท์ สุภัสกรณ์ จิรโชคนุเคราะห์ ธนานพ ทองถาวร วรวัชร ฉรองคะชวนะ และสุเมธ ประภาวัต
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
icesupawan@hotmail.com, supasakornj@gmail.com,
thananop@it.kmitl.ac.th, 57606007@kmitl.ac.th, sumet@it.kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ (Mobile Ad-hoc Network : MANET) เป็นระบบเครือข่ายที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยโครงสร้างพื้นฐานส่วนกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน (Infrastructure-less) แต่เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่นั้นยังคงมีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถเชื่อมต่อ หรือส่งข้อมูลออกไปยังเครือข่ายภายนอกได้ ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการพัฒนาให้โหนดในเครือข่ายสามารถเชื่อมต่อออกไปยังเครือข่ายภายนอกโดยผ่าน โหนดเกตเวย์ (Gateway Node) ซึ่งอาจเป็นโหนดที่สามารถติดต่อไปยังเครือข่ายอื่นได้ และทำหน้าที่เป็นตัวกลางการสื่อสารระหว่างสองเครือข่าย ดังนั้นโหนดเกตเวย์นั้นอาจจะต้องรับภาระงานมากกว่าโหนดอื่น ๆ ส่งผลให้พลังงานที่มีอยู่จำกัดหมดลงอย่างรวดเร็ว การกระจายภาระงานให้กับเกตเวย์แต่ละตัวอย่างเหมาะสมนั้นอาจสามารถช่วยลดภาระดังกล่าวได้ งานวิจัยชิ้นนี้จึงทำการศึกษาแนวทางในการกระจายภาระงานของโหนดเกตเวย์โดยใช้ปริมาณพลังงานที่เหลือของโหนดเกตเวย์เป็นองค์ประกอบในการช่วยกระจายภาระงาน จากการทดลองพบว่าเกตเวย์สามารถกระจายพลังงานได้อย่างเท่าเทียมกันโดยไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพด้านอื่นของเครือข่าย

คำสำคัญ: เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่, โหนดเกตเวย์, การกระจายภาระงาน

Abstract

Mobile Ad-hoc Network (MANET) is an infrastructure-less wireless network. This technology can form a communication network by connecting mobile nodes together. However, it is not possible for nodes to transmit data across the network (e.g., Infrastructure, Internet). To solve this problem, the integrated MANET is proposed. If any nodes detect that it can connect to the other network, it will act as gateway node and allow any nodes in MANET to send data through it. This property cause a burden on a gateway node since It has to handle a massive amount of data which draining the limited battery resources. This paper present the load-balancing scheme on the integrated MANET by using remaining battery of gateway nodes as a balancing factor. The Simulation results show that the proposed scheme achieve better battery utilization on gateway nodes without affecting other performance of the network when compared with conventional protocol.

Keyword: Mobile Ad-hoc Network, MANETs, Gateway, Load Balancing

1. บทนำ

เทคโนโลยีการสื่อสารคือหัวใจสำคัญของระบบเครือข่าย ซึ่งในปัจจุบันการติดต่อสื่อสารส่วนใหญ่นั้นทำงานอยู่บน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบเครือข่ายแบบมีโครงสร้างพื้นฐานส่วนกลาง (Infrastructure) แต่หากเกิดเหตุไม่คาดฝันที่ทำให้ระบบโครงสร้างพื้นฐานส่วนกลางไม่สามารถทำงานได้ ก็จะทำให้การสื่อสารขัดข้อง เป็นที่มาของระบบเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ (Ad Hoc Network) ซึ่งเป็นระบบเครือข่ายแบบที่ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่เป็นตัวกลาง (Infrastructure-less) เครือข่ายดังกล่าวสามารถใช้เพื่อติดต่อสื่อสารได้ในกรณีที่เครือข่ายปกติไม่สามารถทำงานได้

โดยหนึ่งในเทคโนโลยีที่มีการทำงานภายใต้รูปแบบเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจนั้นคือ Mobile Ad Hoc Network (MANET) [1] โดย MANET นั้นเป็นระบบเครือข่ายแบบไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่เป็นตัวกลาง แต่มีข้อจำกัดคือไม่สามารถติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายภายนอกได้ ซึ่งได้มีงานวิจัยหลายชิ้นได้พยายามพัฒนาให้โหนดในเครือข่ายทำหน้าที่เป็นทางผ่านไปยังเครือข่ายภายนอกเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของ MANET โดยโหนดที่ทำหน้าที่เป็นทางผ่านไปยังเครือข่ายภายนอกนั้นจะถูกเรียกว่า "โหนดเกตเวย์ (Gateway Node)"

โหนดที่ทำหน้าที่เป็นโหนดเกตเวย์นั้นจะรับภาระงานที่หนักกว่าโหนดอื่น ๆ เนื่องจากโหนดเกตเวย์ต้องทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อเครือข่ายต่างชนิดเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งถ้าในเครือข่ายมีโหนดเกตเวย์แค่โหนดเดียว โหนดเกตเวย์นั้นก็อาจจะได้รับภาระงานที่หนักจนพลังงานหมด และไม่สามารถทำงานต่อไปได้ แต่ในความเป็นจริงการติดต่อสื่อสารไปยังเครือข่ายภายนอกมีความเป็นไปได้ที่จะมีโหนดเกตเวย์มากกว่าหนึ่งโหนดในสถานการณ์ปกติ โดยปกติแล้วเมื่อโหนดในเครือข่ายจะติดต่อไปยังเครือข่ายภายนอก โหนดต้นทางมักจะเลือกโหนดเกตเวย์ที่มีตำแหน่งอยู่ใกล้ที่สุดเพื่อเป็นทางออกไปยังเครือข่ายภายนอก ซึ่งถ้าหากโหนดเกตเวย์ใด ๆ กำลังทำหน้าที่ส่งข้อมูลอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับโหนดกลุ่มใหญ่ในเครือข่าย โหนดเกตเวย์นั้นจะได้รับภาระงานมาก ส่งผลให้พลังงานลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งโหนดเกตเวย์โหนดนั้นไม่สามารถใช้งานได้ โดยที่โหนดเกตเวย์อื่น ๆ อาจจะได้รับภาระงานที่น้อยกว่าหรือไม่ได้รับภาระงานเลยในช่วงเวลาเดียวกัน งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้มีการนำเสนอรูปแบบการกระจายภาระงานบนโหนดเกตเวย์ โดยมีความพยายามให้โหนดเกตเวย์ทุก ๆ ตัวได้รับภาระงานเท่า ๆ กัน แม้ว่าโหนดเกตเวย์นั้นจะอยู่ห่างออกไปจากโหนดอื่น ๆ ในเครือข่าย

โดยส่วนที่ 2 จะกล่าวถึงวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการกระจายภาระงานสำหรับเกตเวย์ในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ ส่วนที่ 3 จะกล่าวถึงกระบวนการทำวิจัย และโพรโทคอลที่นำเสนอ ส่วนที่ 4 จะกล่าวถึงการประเมินประสิทธิภาพและอภิปรายความแตกต่างระหว่างโพรโทคอลพื้นฐานกับโพรโทคอลที่ได้นำเสนอ และในส่วนที่ 5 จะเป็นการสรุปผลของการวิจัย

2. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 Mobile Ad-hoc Network

เครือข่ายสื่อสารเฉพาะกิจเคลื่อนที่ (Mobile Ad Hoc Network : MANET) [1] คือเครือข่ายที่ถูกสร้างขึ้นมาเป็นระบบที่มีความอิสระ (Autonomous System) ของโมบายล์โหนดที่เชื่อมต่อกันแบบไร้สาย (Wireless Link) โดยปราศจากโครงสร้างพื้นฐานของเครือข่าย (Infrastructure) หรือการจัดการควบคุมจากศูนย์กลาง (Centralized administration) โหนดสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ และสามารถจัดการตัวเองได้ ดังนั้นโทโพโลยีของเครือข่ายจึงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา และไม่สามารถคาดเดาการเปลี่ยนแปลงนั้นได้ MANET เป็นเครือข่ายที่ไร้โครงสร้างพื้นฐาน จึงไม่จำเป็นต้องมีส่วนประกอบพื้นฐาน อย่างเช่น สถานีฐาน (Base Station) ในการปฏิบัติงาน

2.2 AODV

โพรโทคอลการค้นหาเส้นทาง Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing หรือ AODV [1] เป็นโพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบรีแอคทีฟ และจะเริ่มค้นหาเส้นทางเมื่อมีโหนดต้องการที่จะส่งข้อมูล โหนดต้นทางจะสร้างเส้นทางไปยังปลายทางโดยเรียกใช้กลไกการค้นหาเส้นทาง (Route Discovery) โหนดต้นทางจะแพร่กระจายข้อความร้องขอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นทาง (Route Request: RREQ) ออกไปในเครือข่าย ถ้ามีโหนดได้รับ RREQ มาแล้วและตัวโหนดนั้นเองไม่ใช่โหนดปลายทาง โหนดนั้นก็จะทำการส่ง RREQ ต่อไป และเมื่อโหนดปลายทางได้รับ RREQ แล้ว ก็จะทำการส่งข้อความตอบกลับ (Route Reply : RREP) ไปยังโหนดต้นทาง เมื่อโหนดต้นทางได้รับ RREP แล้วก็จะทำการส่งข้อมูลกับโหนดต้นทางต่อไป

2.3 Integrated MANET with Internet

MANET นั้นมีข้อจำกัดคือสามารถติดต่อกันได้แค่ภายในเครือข่ายที่มีขอบเขตจำกัดเท่านั้น ไม่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายภายนอกได้ เพื่อจะให้โหนดในเครือข่ายสามารถส่งข้อมูลออกไปยังเครือข่ายอื่นได้ จำเป็นจะต้องมีโหนดหนึ่งทำหน้าที่เป็นทางผ่าน ซึ่งจะเรียกโหนดที่ทำหน้าที่เป็นทางผ่านนี้ว่า "โหนดเกตเวย์ (Gateway Node)" โพรโทคอล AODV+ [2] คือส่วนขยายของโพรโทคอลการค้นหาเส้นทาง AODV ที่ทำให้โหนดใน MANET สามารถส่งข้อมูลออกไปยังเครือข่ายอื่นผ่านโหนดเกตเวย์ได้ โดยวิธีการค้นหาเกตเวย์ภายใต้โพรโทคอลดังกล่าว (Gateway Discovery) [3] นั้นมี 2 ประเภท ดังนี้

2.3.1 การค้นหาเกตเวย์แบบโพรแอคทีฟ [4]

การค้นหาเกตเวย์แบบโพรแอคทีฟนั้นโหนดเกตเวย์จะเป็นผู้แพร่กระจายข้อความประกาศเกตเวย์(Gateway Advertisement : GWADV) ออกไปเป็นระยะ ๆ ทำให้โหนดต่าง ๆ ที่อยู่ในเครือข่ายทราบว่า โหนดใดกำลังทำหน้าที่เป็นโหนดเกตเวย์ หากต้องการส่งข้อมูลก็จะสามารถส่งได้ทันที

2.3.2 การค้นหาเกตเวย์แบบรีแอคทีฟ [4]

การค้นหาเกตเวย์แบบรีแอคทีฟนี้จะแตกต่างจากแบบโพรแอคทีฟตรงที่โหนดในเครือข่ายที่ไม่ใช่เกตเวย์จะเป็นผู้เริ่มต้นการค้นหาเกตเวย์เอง โดยโหนดที่ต้องการจะส่งข้อมูลออกนอกเครือข่าย จะทำการแพร่กระจายข้อความร้องขอเกตเวย์ (Gateway Request : GW_REQ) ออกไปในเครือข่าย เมื่อโหนดอื่น ๆ ได้รับข้อความร้องขอเกตเวย์มาก็จะทำการแพร่กระจายซ้ำ และเมื่อข้อความร้องขอเกตเวย์ถูกส่งต่อไปถึงโหนดเกตเวย์ โหนดเกตเวย์ก็จะตอบกลับข้อความร้องขอเกตเวย์ด้วยข้อความตอบกลับเกตเวย์ (Gateway Reply : GW_Reply) ไปที่โหนดต้นทางเพื่อให้โหนดต้นทางทราบเส้นทางไปยังโหนดเกตเวย์จากนั้นจึงเริ่มทำการรับส่งข้อมูลต่อไป

นอกเหนือจากงานวิจัยที่กล่าวไปข้างต้น ยังมีงานวิจัยอีกจำนวนหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อเครือข่าย MANET เข้ากับเครือข่ายอื่น ตัวอย่างในการพัฒนาการใช้งานเกตเวย์ในด้านต่างๆ เช่น [5] [6] [7]มีเป้าหมายในการลดโอเวอร์เฮด หรือ [8] ที่นำเสนอการส่งข้อมูลผ่านเกตเวย์มากกว่า 1 ตัวเป็นต้น

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ปัญหาวิจัย

จากวรรณกรรมที่ได้ศึกษามาในส่วนที่ 2 ผู้วิจัยจึงเห็นปัญหาของโหนดเกตเวย์ใน MANET ว่าการติดต่อสื่อสารระหว่าง MANET กับเครือข่ายภายนอกในกรณีที่มีโหนดเกตเวย์หลายตัวนั้นอาจมีโหนดเกตเวย์แค่เพียงบางตัวที่ได้รับภาระงานที่หนักกว่าโหนดเกตเวย์ตัวอื่น ๆ ส่งผลให้โหนดเกตเวย์โหนดนั้นทำงานได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพหรือไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้นการกระจายภาระงานของโหนดเกตเวย์เพื่อให้โหนดเกตเวย์แต่ละตัวได้รับภาระงานที่เท่าเทียมกัน จะส่งผลให้โหนดเกตเวย์แต่ละตัวนั้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

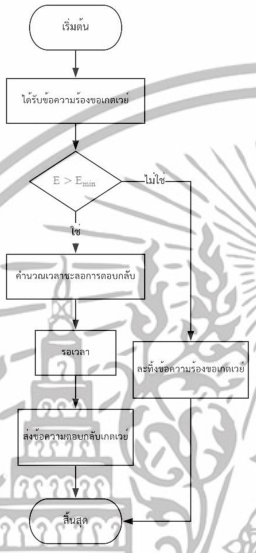
3.2 ภาพรวมของระบบ

ในกลไกการค้นหาเกตเวย์แบบรีแอคทีฟนั้น เมื่อโหนดต้นทางต้องการจะส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง แล้วโหนดต้นทางพบว่าโหนดปลายทางนั้นอยู่ภายนอกเครือข่าย MANET โหนดต้นทางจะทำการแพร่กระจายข้อความร้องขอเกตเวย์ออกไปในเครือข่าย MANET จากนั้นเมื่อโหนดเกตเวย์โหนดใด ๆ ได้รับข้อความร้องขอเกตเวย์จากโหนดต้นทางนั้น โหนดเกตเวย์จะทำการตอบกลับข้อความร้องขอเกตเวย์นั้นด้วยข้อความตอบกลับเกตเวย์ (Gateway Reply : GW_REP) จากนั้นโหนดต้นทางจะทำการส่งข้อมูลผ่านเส้นทางที่ได้รับข้อความตอบกลับเกตเวย์นั้นต่อไป โดยหากโหนดต้นทางได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อความตอบกลับเกตเวย์มาจากหลายเส้นทาง โหนดต้นทางจะใช้เส้นทางที่ส่งข้อความตอบกลับเกตเวย์มาเป็นอันดับแรกเสมอโดยไม่คำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่าย

3.3 โพรโทคอลที่นำเสนอ



ภาพที่ 1 : แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบใหม่

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำค่าพลังงานของโหนดเกตเวย์มาเป็นปัจจัยในการแก้ไขปัญหาที่กล่าวไว้ข้างต้นโดยมีวิธีการทำงานดังนี้ เมื่อโหนดเกตเวย์ได้รับข้อความร้องขอเกตเวย์จากโหนดต้นทาง โหนดเกตเวย์จะไม่ตอบกลับข้อความร้องขอเกตเวย์นั้นในทันที แต่โหนดเกตเวย์จะทำการชะลอเวลาในการตอบกลับสักครู่แล้วจึงจะตอบกลับข้อความตอบกลับเกตเวย์ไปยังโหนดต้นทาง โดยระยะเวลาในการชะลอการตอบกลับข้อความตอบกลับเกตเวย์นั้นขึ้นอยู่กับค่าพลังงานที่คงเหลืออยู่ ณ ขณะนั้นของโหนดเกตเวย์ โดยภาพรวมของกลไกการทำงานได้แสดงดังภาพที่ 1

ระยะเวลาที่ใช้ในการชะลอการตอบกลับข้อความตอบกลับเกตเวย์นั้นจะแปรผกผันกับค่าพลังงานที่เหลืออยู่ ณ ขณะนั้นของโหนดเกตเวย์ หากพลังงาน ณ ขณะนั้นของโหนดเกตเวย์มีมาก ระยะเวลาที่จะชะลอการตอบกลับข้อความของเกตเวย์จะมีค่าน้อย ในทางกลับกันถ้าพลังงานของเกตเวย์เหลือน้อย ก็จะมีการหน่วงเวลาตอบกลับของข้อความมาก กลไกดังกล่าวมีจุดประสงค์ให้โหนดต้นทางได้รับข้อความตอบกลับจากโหนดเกตเวย์ที่เหมาะสม ณ เวลาใด ๆ แต่ในกรณีที่โหนดเกตเวย์ใด ๆ ก็ตามมีพลังงานลดต่ำกว่าค่า E_{min} ซึ่งในปัจจุบันถูกกำหนดไว้ให้มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 10 ของพลังงานทั้งหมด โหนดเกตเวย์นั้นจะทำการละทิ้งข้อความต้นหาเกตเวย์ทั้งหมดไป แต่ยังคงทำหน้าที่ส่งต่อข้อความออกไปยังเครือข่ายอื่นให้โหนดต้นทางที่มีการเชื่อมต่อมายังเกตเวย์ดังกล่าวแล้วต่อไป โดยการหาค่าความหน่วงนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$t_D = \left(\frac{1}{E}-1\right) \cdot \left(\frac{t_{TO} \cdot E_{min}}{1-E_{min}}\right) \qquad (1)$$

$$\text{โดย } E_{min} < E \leq 1$$

t_D = เวลาในการชะลอการตอบกลับข้อความตอบกลับเกตเวย์

E = พลังงานของโหนดเกตเวย์ที่เหลืออยู่ ณ เวลานั้น ๆ

E_{min} = พลังงานของโหนดเกตเวย์ที่ต่ำที่สุดที่จะยอมให้ตอบกลับข้อความตอบกลับเกตเวย์

t_{TO} = ระยะเวลาหมดเวลาในการรอการตอบกลับข้อความตอบกลับเกตเวย์ของโหนดต้นทาง

ตารางที่ 1: แสดงข้อมูลสิ่งแวดล้อมของเครือข่ายในการทดลอง

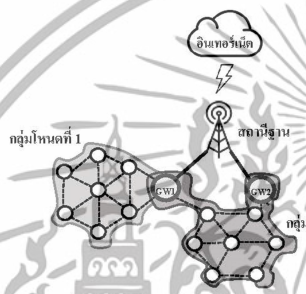
พื้นที่จำลอง	700 เมตร × 300 เมตร
รัศมีการแพร่กระจายข้อมูล	250 เมตร
จำนวนโหนดในเครือข่าย	50 โหนด
อัตราการส่งแพ็คเก็ต	5 แพ็กเก็ต/วินาที
โพรโตคอลที่ใช้ส่งข้อมูล	UDP/CBR
ขนาดของข้อมูล	512 ไบต์
พลังงานเริ่มต้นของโหนดเกตเวย์	10 จูล
พลังงานที่ใช้ในการส่ง	1.3 วัตต์
เวลาในการทดลอง	1000 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การประเมินประสิทธิภาพ

เพื่อศึกษาการกระจายพลังงานของโหนดเกตเวย์ในเครือข่ายสื่อสารเฉพาะกิจเคลื่อนที่ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมจำลองระบบเครือข่าย NS2 (Network Simulation 2) ในการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครือข่าย โดยได้มีการกำหนดข้อมูลพารามิเตอร์ของเครือข่ายดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

4.1 รูปแบบเชิงวิเคราะห์



ภาพที่ 2 : แสดงโทโพโลยีที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 2: แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่นำเสนอกับโพรโทคอล AODV+

	โพรโทคอลที่นำเสนอ	โพรโทคอลAODV+
เวลาก่อนที่จะมีโหนดเกตเวย์พลังงานหมดเป็นโหนดแรก	755 วินาที	636 วินาที
อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูล	84.13 %	76.5 %
ความหน่วงโดยเฉลี่ย	38.3 มิลลิวินาที	37.1 มิลลิวินาที

เพื่อทำการพิสูจน์แนวคิดการกระจายภาระงานของโหนดเกตเวย์ข้างต้น ผู้วิจัยทำการสร้างโทโพโลยีที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้มีโหนดเกตเวย์ทั้งหมดจำนวน 2 โหนดในเครือข่าย และมีจำนวนโหนดในเครือข่ายทั้งหมด 10 โหนด และกำหนดให้โหนดทุกตัวนั้นเป็นโหนดต้นทางในการส่งข้อมูล โดยกำหนดให้โหนดทั้งหมดไม่มีการเคลื่อนที่ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2 โดยที่กลุ่มโหนดที่ 1 สามารถเชื่อมต่อกับโหนดเกตเวย์ที่ 1 (GW1) ได้ แต่ไม่สามารถเชื่อมต่อกับโหนดเกตเวย์ที่ 2 (GW2) ได้ แต่กลุ่มโหนดที่ 2 นั้นสามารถติดต่อได้ทั้งโหนดเกตเวย์ที่ 1 และ 2 อีกทั้งกลุ่มโหนดทั้ง 2 กลุ่มโหนดนั้นจะไม่สามารถติดต่อกันเองได้

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าโพรโทคอลที่ได้นำเสนอนั้นมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นจากโพรโทคอล AODV+ เนื่องจากโหนดส่วนใหญ่ในเครือข่ายนั้นใช้โหนดเกตเวย์ตัวที่ 1 เพื่อติดต่อกับโหนดภายนอกเป็นโหนดแรก จนทำให้โหนดเกตเวย์ตัวที่ 1 นั้นสูญเสียพลังงานไปจนหมด และไม่สามารถใช้งานได้เหตุการณ์ดังกล่าวส่งผลให้กลุ่มโหนดที่ ไม่สามารถติดต่อกับเครือข่ายภายนอกได้อีกต่อไป แต่ในโพรโทคอลที่ได้นำเสนอนั้นมีความพยายามกระจายภาระงานของโหนดเกตเวย์ทั้ง 2 ตัวให้รับภาระงานที่เท่าเทียมกัน ทำให้โหนดเกตเวย์ทั้ง 2 ตัวนั้นพลังงานหมดในเวลาที่ใกล้เคียงกัน ด้วยเหตุนี้อัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลของโพรโทคอลที่ได้นำเสนอนั้นจึงมีมากกว่าโพรโทคอล AODV+ และโพรโทคอลที่ได้นำเสนอนั้นมีความหน่วงโดยเฉลี่ยมากกว่าโพรโทคอล AODV+ ดังแสดงในตารางที่ 2 เนื่องจากในโพรโทคอลที่ได้นำเสนอนั้นมีการใช้การชะลอการส่งข้อความตอบกลับการร้องขอสร้างเส้นทางจึงทำให้มีค่าความหน่วงโดยเฉลี่ยที่สูงขึ้น แต่ความหน่วงโดยเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่สูงจนเกินไปจนทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลง

4.2 รูปแบบการทดลองโดยใช้โทโพโลยีแบบสุ่ม

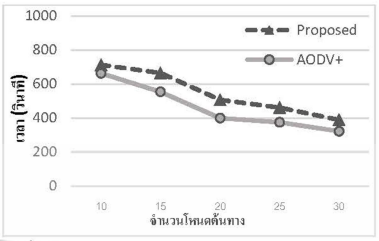
ในโทโพโลยีแบบสุ่มนั้นได้มีการกำหนดให้โหนดในเครือข่ายสุ่มในรูปแบบยูนิฟอร์ม โดยมีการกำหนดให้มีโหนดเกตเวย์จำนวน 4 ตัว มีจำนวน โหนดในเครือข่ายทั้งหมด 50 โหนด และมีการกำหนดให้มีโหนดในการส่งข้อมูลในเครือข่ายทั้งหมด 10, 15, 20, 25 และ 30 โหนดตามลำดับ

จากภาพที่ 3 และภาพที่ 4 แสดงให้เห็นถึงพลังงานที่ลดลงของแต่ละโหนดเกตเวย์ตามช่วงเวลาในกรณีที่มีโหนดต้นทางในการส่งข้อมูลจำนวน 20 โหนด หากเส้นกราฟมีแนวโน้มที่จะซ้อนทับกันมากเท่าไรก็จะแสดงได้ว่าโหนดเกตเวย์แต่ละตัวนั้น

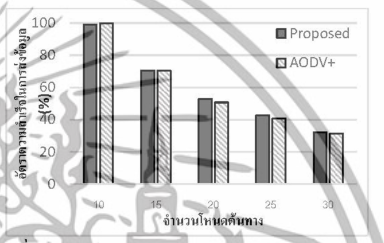
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้พลังงานที่เท่าเทียมกันมากเท่านั้น โดยจากผลการทดลองนั้น โพรโทคอลที่ได้นำเสนอมีแนวโน้มที่เส้นกราฟจะซ้อนทับกันมากกว่าโพรโทคอล AODV+ และจะเห็นได้ว่าโหนดเกตเวย์โหนดที่ 1 (GW1) ของโพรโทคอล AODV+ นั้นพลังงานจะหมดก่อนโหนดเกตเวย์โหนดอื่น ๆ ในเครือข่ายในขณะที่โหนดเกตเวย์โหนดที่ 1 (GW1) ของโพรโทคอลที่ได้นำเสนอนั้นพลังงานหมดในเวลาที่ใกล้เคียงกันกับโหนดเกตเวย์ตัวอื่น ๆ

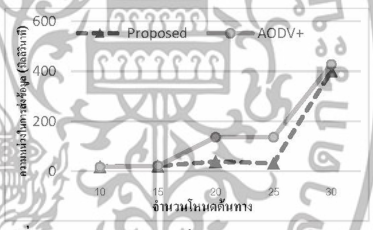
จากภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบระยะเวลาตอนที่มีโหนดเกตเวย์พลังงานหมดเกิดขึ้นเป็นตัวแรกระหว่างโพรโทคอลที่ได้นำเสนอและโพรโทคอล AODV+ จะเห็นได้ว่าในโพรโทคอลที่นำเสนอนั้นมีเวลาที่โหนดเกตเวย์พลังงานหมดเป็นตัวแรกช้ากว่าโพรโทคอล AODV+ ในทุก ๆ ความหนาแน่นของโหนดต้นทางเนื่องจากในโพรโทคอลที่ได้นำเสนอนั้นโหนดเกตเวย์แต่ละตัวแบกรับภาระงานที่ใกล้เคียงกัน



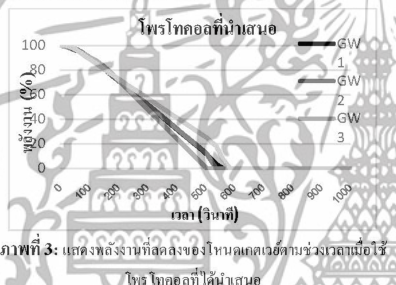
ภาพที่ 5: แสดงปริมาณเวลาก่อนที่มีโหนดเกตเวย์พลังงานหมดเกิดขึ้นเป็นตัวแรกระหว่างโพรโทคอล AODV+ และโพรโทคอลที่ได้นำเสนอ



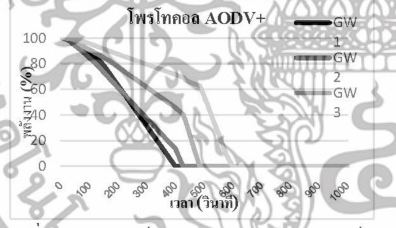
ภาพที่ 6: แสดงผลการทดลองอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลระหว่างโพรโทคอล AODV+ และโพรโทคอลที่ได้นำเสนอ



ภาพที่ 7: แสดงความหน่วงโดยเฉลี่ยระหว่างโพรโทคอล AODV+ และโพรโทคอลที่ได้นำเสนอ



ภาพที่ 3: แสดงพลังงานที่ลดลงของโหนดเกตเวย์ตามช่วงเวลาเมื่อใช้โพรโทคอลที่ได้นำเสนอ



ภาพที่ 4: แสดงพลังงานที่ลดลงของโหนดเกตเวย์ตามช่วงเวลาเมื่อใช้โพรโทคอล AODV+

จากภาพที่ 6 แสดงถึงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลโดยมีการเปรียบเทียบระหว่างโพรโทคอลที่นำเสนอกับโพรโทคอล AODV+ เนื่องจากโพรโทคอลที่นำเสนอนั้นโหนดเกตเวย์มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า AODV+ จึงส่งผลให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพรโทคอลที่นำเสนอมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลค่อนข้างใกล้เคียงหรือมากกว่าโพรโทคอล AODV+ แต่ผลลัพธ์ดังกล่าวไม่สามารถเห็นผลได้อย่างชัดเจนเช่นเดียวกับที่นำเสนอในรูปแบบเชิงวิเคราะห์ เนื่องจากโหนดในเครือข่ายนั้นมีการกระจายแบบสุ่ม ทำให้โหนดต้นทางที่ถูกตัดขาดจากเกตเวย์มีจำนวนลดลง

จากภาพที่ 7 แสดงถึงความหน่วงโดยเฉลี่ยของโพรโทคอลที่ได้นำเสนอและโพรโทคอล AODV+ โดยในโพรโทคอล AODV+ โหนดเกตเวย์ได้รับภาระงานที่หนักเกินไปจนพลังงานหมด ทำให้โหนดต้นทางจำเป็นต้องค้นหาเส้นทางไปยังเกตเวย์ตัวใหม่ และส่งผลให้เกิดความหน่วงเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น ถึงแม้ว่าในโพรโทคอลที่นำเสนอนั้นได้ใช้การชะลอการตอบกลับด้วยข้อความตอบกลับเกตเวย์ในการกระจายภาระงานของโหนดเกตเวย์แล้ว แต่ก็ยังมีความหน่วงเฉลี่ยในระบบต่ำกว่าโพรโทคอล AODV+

5. สรุป

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอโพรโทคอลการกระจายภาระงานของโหนดเกตเวย์ในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ โดยโพรโทคอลที่นำเสนอนั้นมีการกระจายภาระงานระหว่างโหนดเกตเวย์แต่ละตัวได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้โหนดเกตเวย์ทุกตัวมีระยะเวลาการทำงานโดยเฉลี่ยที่ยาวนานมากขึ้น และยังทำให้มีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้น โดยที่ไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยยะสำคัญต่อความหน่วงในระบบเครือข่ายอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย ปีงบประมาณ 2561 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Basagni, M. Sonti and I. Stojmenovic, Mobile Ad Hoc Networking, New Jersey: Wiley-IEEE Press, 2004.

[2] A. A. Hamidian, U. Korner and A. Nilsson, "A study of internet connectivity for mobile ad hoc networks in NS 2," Department of Communication Systems, Lund Insititute of Technology, Lund University, 2003.

[3] H. El-Mosrify, M. A. Mangoud and M. Rizk, "Gateway Discovery in Adhoc On-Demand Distance Vector)AODV(Routing for Internet Connectivity," in *24th National Radio Science Conference (NRSC2007)*, 2007.

[4] R. Sharma, R. Kumar and J. Prakash, "Internet Gateway Discovery Approaches in Multihop Wireless Networks," in *International Conference on Computer for Sustainable Global Development (INDIACom)*, 2016.

[5] T. Chuvanitchanon and S. Sriswadpong, "A Study on Routing and Gateway discovery models in Ad Hoc Networks for Internetwork connectivity," Faculty of Information Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 2013.

[6] ว. หลายคุณากร, ธ. โกวิชสกุล, ธ. ทองฉาวร และ ส. ประภาวัต, "เกตเวย์เพื่อการเชื่อมโยงเครือข่ายเฉพาะกิจสมาร์ทโฟนเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต," ใน *งานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Computing and Information Technology: NCCIT) ครั้งที่ 13*, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย, ก.ค. 2560.

[7] T. Thongthavorn, W. Narongkhachavana and S. Prabhavat, "Overhead Reduction of Location-Aided Gateway," in *8th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Yogyakarta, Indonesia, 2016.

[8] M. Denko and C. Wei, "An architecture for integrating mobile ad hoc networks with the Internet using multiple mobile gateways," in *Electical and Computer Engineering*, Canada, 2005.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ผลงานส่งเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับประเทศทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศครั้งที่ 10

(อยู่ในระหว่างการพิจารณา)

10th National Conference on Information Technology

(NCIT 2018)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาเส้นทางแบบไดนามิกเพื่อกระจายการใช้พลังงานในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

เมธา รุ่งทวีศักดิ์ ธนานพ ทองถาวร วรวัชร ณรงคะชวนะ
ชนากานต์ พันธ์แก้ว และ สุเมธ ประภาวัต

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
Emails: metha.boat@gmail.com ,thananop@it.kmitl.ac.th, 57606007@kmitl.ac.th, 59606100@kmitl.ac.th,sumet@it.kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

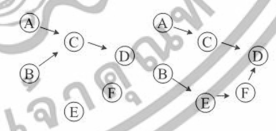
เทคโนโลยีเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ (Mobile Ad Hoc Network) เป็นเครือข่ายที่ประกอบด้วยกลุ่มของโหนดที่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ด้วยตัวเองโดยที่ไม่ต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐานในการติดต่อสื่อสารบนระบบเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่นั้นจำเป็นต้องมีโพรโทคอลที่ทำหน้าที่ค้นหาเส้นทาง โดยโพรโทคอลส่วนใหญ่ในปัจจุบันนั้นมีการค้นหาเส้นทางโดยไม่ได้นำพลังงานของโหนดมาพิจารณา ส่งผลให้การเลือกเส้นทางในการส่งข้อมูลอาจเกิดปัญหา หากเส้นทางที่โหนดใช้ส่งข้อมูลประกอบด้วยโหนดที่กำลังจะหมดพลังงาน อาจส่งผลให้เส้นทางในการส่งข้อมูลขาดทำให้การส่งข้อมูลไม่ต่อเนื่อง และไม่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้นำเสนอโพรโทคอลที่คำนึงถึงการกระจายภาระงานของโหนด เพื่อปรับปรุงให้เส้นทางสามารถคงอยู่ได้นานขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากลไกที่นำเสนอสามารถกระจายการใช้พลังงานระหว่างโหนดในเครือข่าย และเพิ่มจำนวนโหนดที่มีพลังงานคงเหลือได้โดยที่ยังสามารถรักษาอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จไว้ได้

คำสำคัญ –เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่, โพรโทคอลค้นหาเส้นทางแบบคำนึงถึงพลังงาน, อายุไขของเครือข่าย

1. บทนำ

เทคโนโลยีการสื่อสารในปัจจุบันเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินชีวิตของทุกคน โดยที่เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย ทำให้การสื่อสารผ่านสมาร์ทโฟนนั้นสามารถทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว การสื่อสารจึงเป็นสิ่งที่สำคัญต่อทุกคนเป็นอย่างมาก ถ้าหากขาดการสื่อสารนี้ไปอาจจะทำให้ระบบการทำงานต่าง ๆ ไม่สามารถทำงานได้ และส่งผลกระทบต่อระบบที่ต้องพึ่งพาเครือข่ายดังกล่าว

เทคโนโลยีการสื่อสารในปัจจุบันมีอยู่สองแบบ คือ แบบมีโครงสร้างพื้นฐาน และแบบไม่มีโครงสร้างพื้นฐาน ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือการสื่อสารแบบมีโครงสร้างพื้นฐาน โดยจะต้องมีการวางโครงข่ายเพื่อเป็นตัวกลางในการสื่อสารก่อนจึงจะสามารถติดต่อสื่อสารได้ แต่ในกรณีที่เกิดภัยพิบัติ เช่น แผ่นดินไหว อุทกภัย หรือเหตุการณ์ไม่คาดฝัน ที่ทำให้ตัวกลางนั้นเกิดความเสียหาย จะทำให้ไม่สามารถใช้งานการสื่อสารแบบมีโครงสร้างได้ ดังนั้นเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ หรือ Mobile Ad-hoc Network (MANET) จึงเข้ามามีบทบาทในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ เป็นเครือข่ายที่ไม่จำเป็นต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน แต่จะสร้างระบบเครือข่ายโดยเชื่อมต่อโมบายล์โหนดแต่ละโมบายล์โหนดเข้าด้วยกันเพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้เอง โดยจะใช้งานโพรโทคอลในการสื่อสารที่แตกต่างจากการสื่อสารแบบปกติ โดยแต่ละโมบายล์โหนด จะมีการแลกเปลี่ยนข้อความ หาเส้นทางและส่งข้อความจากต้นทางไปหาปลายทางด้วยตัวเองทำให้โมบายล์โหนดต้องรับภาระมากขึ้นในสภาวะที่มีพลังงานที่จำกัด ซึ่งโพรโทคอลส่วนใหญ่ไม่ได้มีการคำนึงถึงปริมาณพลังงานคงเหลือของโมบายล์โหนด ในกระบวนการค้นหาเส้นทางจึงจะทำให้เกิดปัญหาถ้าหากว่ามีโหนดใดโหนดหนึ่งมีการรับส่งข้อความอยู่โหนดเดียว จะทำให้โหนดนั้นพลังงานหมดอย่างรวดเร็ว และถ้าหากโหนดนั้นมีความสำคัญในการเชื่อมต่อเครือข่าย การที่โหนดนั้นพลังงานหมดอาจจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายได้ ยกตัวอย่างตามรูปที่ 1 จะสังเกตได้ว่าโหนด A จะไม่สามารถติดต่อไปยังปลายทางได้ถ้าหากโหนด C ทำงานหนักจนพลังงานหมด แต่ถ้าโหนด B มีการหาเส้นทางไปทางโหนด E จะทำให้โหนด C นั้นมีอายุยืนนานยิ่งขึ้น



รูปที่ 1 แบบจำลองการหาเส้นทางของโหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ โพรโทคอลในการค้นหาเส้นทางประเภทต่าง ๆ รวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ หรือ Mobile Ad Hoc Network (MANET)[1] ซึ่งต้องใช้โพรโทคอลหาเส้นทางในการค้นหาเส้นทางเพื่อการรับส่งข้อมูล ซึ่งการหาเส้นทางอาจเป็นแบบ Proactive [2] หรือ Reactive โดยที่ Proactive เป็นการค้นหาเส้นทางแบบ link-state คือ มีการค้นหาเส้นทางของโหนดทุกโหนดในเครือข่ายเอาไว้ล่วงหน้าก่อนส่งข้อมูล และจะมีการอัพเดทเส้นทางอยู่ตลอดเวลา

ส่วน Reactive จะเป็นแบบทำการหาเส้นทางต่อเมื่อมีโหนดใดโหนดต้องการติดต่อสื่อสารไปยังปลายทาง ซึ่งเมื่อทำการส่งข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้วจะยังคงใช้เส้นทางดังกล่าวต่อไปจนกว่าเส้นทางนั้นจะไม่สามารถใช้งานได้ และทำการค้นหาเส้นทางใหม่

2.1 Ad Hoc On-demand Distance Vector Routing (AODV)

AODV [3] คือตัวอย่างหนึ่งของโพรโทคอลหาเส้นทางแบบ Reactive ที่จะทำงานเมื่อมีการต้องการส่งข้อมูล เมื่อโหนดต้องการส่งแพ็คเกต โหนดจะเข้าไปเช็คเส้นทางที่ Routing table ก่อนว่ามีข้อมูลเส้นทางที่ระบุไปยังปลายทางที่ต้องการจะส่งหรือไม่ ถ้าหากไม่มีเส้นทางจะทำการค้นหาเส้นทาง แต่ถ้ามีจุดหมายปลายทางแล้วจะทำการส่งข้อมูลตามเส้นทางที่มีอยู่ใน Routing table ในการหาเส้นทางของ AODV จะแพร่กระจายแพ็คเกต route request (RREQ) ออกไปทั่วทั้งเครือข่าย เมื่อปลายทางได้รับแพ็คเกต RREQ จะส่งแพ็คเกต route reply (RREP) กลับมาหาโหนดต้นทาง โดยการเลือกเส้นทางนั้นโหนดต้นทางจะเลือกเส้นทางที่มีการตอบกลับข้อความ RREP กลับมาเร็วที่สุด เป็นเส้นทางที่จะส่งข้อมูลต่อไป

กระบวนการรักษาเส้นทาง (Route Maintenance) จะทำงานหากในเส้นทางมีโหนดที่ไม่สามารถใช้งานได้หรือโหนดเคลื่อนที่ออกไปจากเส้นทาง โหนดที่ไม่สามารถส่งข้อความได้จะส่งแพ็คเกต Route Error (RERR) กลับไปยังต้นทางเพื่อแจ้งให้โหนดต้นทางค้นหาเส้นทางใหม่ โดยการค้นหาเส้นทางจะทำตามวิธีการค้นหาเส้นทางข้างต้น

2.2 Ad-hoc On Demand Multipath Distance Vector Routing Protocol (AOMDV)

AOMDV [4] มีกลไกการค้นหาเส้นทางแบบ Reactive เช่นเดียวกันกับโพรโทคอล AODV ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาเส้นทางขาดให้ดียิ่งขึ้น เพราะด้วยธรรมชาติของ MANET เองที่โหนดจะมีการเคลื่อนที่อยู่เสมอ ทำให้โอกาสที่เส้นทางจะขาดเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้ต้องมีการค้นหาเส้นทางใหม่บ่อยครั้ง AOMDV จึงพยายามลดความถี่ในการหาเส้นทางใหม่ด้วยการเก็บข้อมูลเส้นทางไว้เป็นเส้นทางสำรองทุกครั้งที่มีการค้นหาเส้นทางเกิดขึ้น ด้วยการเก็บข้อมูลไว้ในตารางเส้นทางสำรอง เมื่อเส้นที่ใช้อยู่ขาดจะเปลี่ยนไปใช้เส้นทางสำรองทันทีโดยไม่ต้องทำการค้นหาเส้นทางใหม่ จนกว่าเส้นทางสำรองจะขาดทั้งหมด จึงจะเริ่มกระบวนการค้นหาเส้นทางใหม่อีกครั้ง และโหนดปลายทางจะตอบกลับแพ็คเกต RREQ ทั้งหมดที่ได้รับ มิได้ตอบกลับเฉพาะ แพ็คเกต RREQ แรกที่ได้รับเหมือนโพรโทคอล AODV

2.3 Minimum Total Transmission Power Routing (MTPR)

MTPR [5] เป็นการเลือกเส้นทาง (Routing Metrics) ที่พิจารณาเส้นทางจากผลรวมของพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลแต่ละแพ็คเกตจากโหนดหนึ่งไปยังโหนดถัดไป โดยเลือกเส้นทางที่ผลรวมน้อยที่สุดจากเส้นทางทั้งหมดที่เป็นไปได้มาเป็นเส้นทางในการรับ-ส่งข้อมูล แต่ข้อเสียของตัววัดนี้คือ กระบวนการพิจารณาไม่ได้พิจารณาที่พลังงานที่เหลืออยู่ของโหนดแต่ละตัวโดยตรง จึงมีโอกาสที่ผลจากกระบวนการเลือกเส้นทางจะใช้โหนดเดิมซ้ำ ๆ กันเพื่อส่งข้อมูลหลาย ๆ ชุดในเวลาเดียวกัน ทำให้พลังงานแบตเตอรี่ของโหนดตัวนั้น ๆ ลดลงเร็วกว่าโหนดอื่นได้

2.4 Minimum battery cost routing (MBCR)

MBCR [6] ได้มีการนำพลังงานคงเหลือของโหนดมาใช้ในการพิจารณาเลือกเส้นทาง ด้วยการนำค่า cost ของแต่ละโหนดตลอดทั้งเส้นทางมารวมกัน จากนั้นจึงเลือกเส้นทางที่มีค่า cost รวมน้อยที่สุด เป็นเส้นทางในการรับ-ส่งข้อมูล โดยฟังก์ชันที่ใช้คำนวณ cost ของโหนด คือส่วนกลับของพลังงานที่เหลืออยู่ของโหนดตามสมการที่ 1

$$f_i(E_i) = \frac{1}{E_i} \quad (1)$$

โดย E_i คือ พลังงานคงเหลือของโหนด ในรูปแบบร้อยละ (Percent)

จากสมการจะสังเกตได้ว่า ยิ่งพลังงานคงเหลือของโหนดมีมากเท่าใด ผลลัพธ์ของสมการจะมีค่าน้อยเท่านั้น ในทางกลับกันโหนดที่มีพลังงานคงเหลือน้อย จะได้ผลของฟังก์ชันที่มีค่าสูงเช่นกัน นั่นหมายความว่า ในบางสถานการณ์ที่โหนดบางตัวในเส้นทาง มีพลังงานคงเหลือน้อยในระดับวิกฤต (ค่า Cost สูง) ในขณะที่โหนดตัวอื่น ๆ ที่เหลือในเส้นทางนั้นล้วนมีพลังงานคงเหลือสูง (ค่า Cost ต่ำ) แต่เมื่อนำมารวมกันแล้ว กลับมีค่า Cost รวมทั้งเส้นทางน้อยกว่าเส้นทางอื่น ซึ่งควรจะถูกเลือกเป็นเส้นทางในการรับ-ส่งข้อมูลมากกว่า

2.5 Min-Max battery cost routing (MMBCR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกพัฒนามาจาก MBCR เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องในกรณีที่ในเส้นทางมีโหนดที่มีพลังงานคงเหลือน้อยมาก MMBCR พิจารณาเลือกเส้นทางโดยการนำค่าพลังงานคงเหลือที่น้อยที่สุดของโหนดในแต่ละเส้นทางมาเปรียบเทียบกัน จากนั้นจึงเลือกเส้นทางที่มีค่าพลังงานต่ำที่สุดจากเส้นทางทั้งหมด

2.6 Conditional max-min battery capacity routing (CMMBCR)

CMMBCR [6] เกิดจากการนำ MTPR และ MMBCR มาทำงานร่วมกัน โดยในขั้นตอนการเลือกเส้นทาง CMMBCR มีเงื่อนไขว่า จะใช้ MTPR เมื่อทุกโหนดในเส้นทางที่เป็นไปได้มีพลังงานคงเหลือในหน่วยร้อยละมากกว่า threshold ที่กำหนดไว้ และจะเปลี่ยนไปใช้ MMBCR เมื่อพลังงานคงเหลือในหน่วยร้อยละน้อยกว่า threshold

3. แนวคิดและการดำเนินงาน

จากที่ได้พัฒนาโพรโทคอล [7] ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกระจายการใช้พลังงานของโหนดในเครือข่าย โดยจะมีการแบ่งโหนดออกเป็น 3 สถานะ คือโหนดที่มีพลังงานมากกว่า 50% ของโหนด จะกำหนดให้โหนดเป็นสถานะสีเขียว ในการหาเส้นทางและการส่งข้อมูลจะทำงานเหมือนโพรโตคอล AODV ปกติ โหนดที่มีพลังงานอยู่ระหว่าง 30% ถึง 50% จะกำหนดให้โหนดเป็นสถานะสีเหลือง ในการหาเส้นทางโหนดจะต้องได้รับ แพ็คเกตหาเส้นทาง 2 ครั้ง โดยเมื่อได้รับแพ็คเกตหาเส้นทางรอบแรกจะทำการละทิ้ง และเมื่อได้รับแพ็คเกตที่สอง จึงจะยอมเป็นทางผ่านของโหนดที่ทำการส่งแพ็คเกตมา ส่วนของการส่งข้อมูลจะทำเหมือน AODV ปกติ และโหนดที่มีพลังงานน้อยกว่า 30% จะกำหนดให้โหนดมีสถานะสีแดง ในส่วนของการหาเส้นทางโหนดจะต้องได้รับแพ็คเกตหาเส้นทางสามแพ็คเกตจึงจะยอมเป็นทางผ่านของโหนดที่ทำการส่งแพ็คเกตมา ในส่วนของการส่งข้อมูลโหนดที่มีสถานะสีแดงจะมีการสร้างและส่งแพ็คเกต LPN ไปยังโหนดต้นทางเพื่อใช้ในการแจ้งการเปลี่ยนแปลงเส้นทาง โดยหวังผลให้โหนดต้นทางค้นหาเส้นทางที่มีพลังงานเหลือมากกว่า หลังจากได้ทำการศึกษาโพรโทคอลพบว่า เงื่อนไขการทำงานในส่วนของการส่งแพ็คเกต LPN ในโหนดใด ๆ จะถูกคำนวณโดยการนับจำนวนแพ็คเกตที่ทำการส่งต่อออกไปยังปลายทางโดยสามารถคิดจากสมการที่ถูกนำเสนอใน[7] เมื่อครบจำนวนที่ได้ตั้งไว้ โหนดจะส่งแพ็คเกต LPN ออกไป เพื่อให้โหนดต้นทางทำการเปลี่ยนเส้นทาง แต่ในกรณีที่โหนดตัวกลางที่ทำหน้าที่เป็นโหนดร่วมในหลาย ๆ เส้นทาง เริ่มมีการส่งแพ็คเกต LPN โหนดจะไม่ได้สนใจว่าการส่งแพ็คเกต LPN นั้นจะส่งไปยังต้นทางใด ดังนั้นโหนดที่ส่งแพ็คเกต LPN มีโอกาสที่จะส่งแพ็คเกต LPN ไปยังต้นทางเดิมซ้ำ ๆ ส่งผลให้โหนดต้นทางที่ทำการเปลี่ยนเส้นทางจะมีแค่โหนดเดียว การกระจายการใช้พลังงานในโหนดอื่น ๆ จึงไม่มีประสิทธิภาพที่ดีมากพอ และในการส่งแพ็คเกต LPN กลับไปซ้ำ ๆ จะส่งผลให้โหนดต้นทางนั้นมีการทำการหาเส้นทางใหม่มากเกินไป จนส่งผลต่อการเกิดโอเวอร์เฮดในเครือข่าย โดยผู้วิจัยมีแนวคิดการปรับปรุงโพรโทคอลดังนี้

3.1. การสร้างตารางเก็บการส่งแพ็คเกต LPN

เมื่อโหนดได้รับแพ็คเกตข้อมูลจะทำการตรวจสอบว่า ข้อมูลการจับคู่การส่งข้อมูลของโหนดต้นทาง และโหนดปลายทางใด ๆ เคยถูกบันทึกอยู่ในตารางหรือไม่ ถ้าหากไม่มีจะทำการสร้างตารางขึ้นมาและตั้งค่าลำดับการส่งแพ็คเกต เท่ากับ 0 แต่ถ้าโหนดนั้นมีตารางอยู่แล้วจะทำการนำค่าลำดับการส่งแพ็คเกต มาคำนวณว่าโหนดนั้นจะสามารถส่งแพ็คเกตข้อมูลได้เท่าใดก่อนที่จะทำการส่งแพ็คเกตLPN กลับไปยังโหนดต้นทาง โดยการที่เราทำตารางขึ้นมาจะทำให้โหนดสามารถส่ง แพ็คเกต LPN กลับไปยังโหนดที่ไม่เคยได้รับ LPN แพ็คเกตมาก่อน เพื่อทำให้โหนดได้ทำการหาเส้นทางใหม่ ๆ เพื่อแบ่งเบาภาระของโหนดที่มีพลังงานน้อย ส่งผลให้การ ค้นหาเส้นทางของโหนดน้อยลงแต่ส่งผลให้โหนดมีการกระจายการใช้พลังงานที่ดีขึ้น และการทำงานจะสามารถดูได้จากรูปที่ 2

3.2. การแก้ไขสมการที่ใช้ในการส่งแพ็คเกต LPN

$$P_{LPN} = \begin{cases} \left(\frac{e^{-B\cdot\frac{E_c}{E_T}}-1}{e^{-B}-1}\right) \times P_{Max} & ; E_c \leq E_{red} \\ 0 & ; E_c > E_{red} \end{cases} \quad (2)$$

B = คือค่าคงที่ ที่ใช้ในการกำหนดความถี่การส่งแพ็คเกต LPN

E_c = พลังงานของโหนดในขณะนั้น

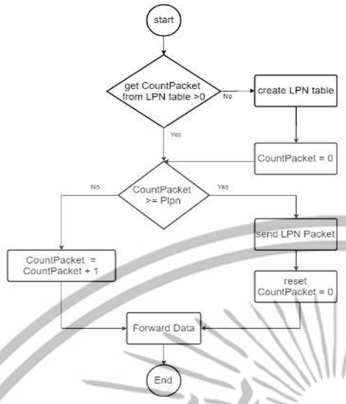
E_T= พลังงานเมื่อเข้าสู่สถานะ สีแดง

P_{Max} = จำนวนแพ็คเกตมากที่สุดก่อนที่จะทำการส่งแพ็คเกต LPN

P_{LPN} = จำนวนแพ็คเกตที่ส่งได้ก่อนจะทำการส่งแพ็คเกตLPN

ในการคำนวณหา จำนวนที่โหนดจะสามารถส่งแพ็คเกตกลับไปยังต้นทางได้นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงสมการจากสมการเดิม ในโพรโทคอลที่ [7] เป็นสมการที่ 2 โดยเมื่อโหนดมีพลังงานมากกว่าสถานะสีแดง จะไม่มีการส่งแพ็คเกต LPN แต่เมื่อโหนดเข้าสู่สถานะสีแดงจะมีการคำนวณแพ็คเกต LPN จากสมการที่สอง โดยผลที่ได้โหนดที่อยู่ในสถานะสีแดงและยังมีพลังงานเยอะนั้นจะทำการส่งแพ็คเกตข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก และการส่งแพ็คเกต LPN จะมีมากขึ้นเมื่อโหนดนั้นมีพลังงานเหลือน้อยมากๆ จะมีการส่งแพ็คเกต LPN ที่ถี่มากขึ้น โดยสมการนี้จะมีความแตกต่างจากเดิมที่พลังงานและการส่ง LPN แพ็คเกตจะลดลงอย่างคงที่ แต่สมการที่ 2 นี้จะทำให้โหนดนั้นมีส่ง LPN ถี่เมื่อพลังงานเหลือน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2. แสดงการทำงานของแพ็คเกต LPN

4. ผลการทดลอง

4.1. วิธีทำการทดลองและการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการจำลองเครือข่าย

ในการทดสอบประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่ถูกพัฒนาขึ้น ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรมจำลองระบบเครือข่าย Network Simulator 2 โดยมีจำนวนโหนดในเครือข่าย 60 , 80 และ 100 โหนด เวลาที่ใช้ในการทดลองคือ 2000 วินาที กำหนดให้พลังงานตั้งต้นของโหนดมีค่าเท่ากับ 30 จูล โหนดต้นทางส่งข้อมูลประเภท UDP แบบ Constant Bit Rate ด้วยอัตราการส่ง 4 แพ็คเกตต่อวินาที และผลการทดลองถูกสรุปจากการกระจายโหนดแบบสุ่ม และทดลองทั้งหมด 30 ครั้ง โดยการทำการทดลองจะเริ่มจากการทดลอง โดยวางโหนดแบบ *Grid* โดยการทดลองนี้จะทำการพิสูจน์ว่าโพรโตคอลที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมานั้นมีความสามารถในการกระจายการใช้พลังงาน ที่ดีกว่าโพรโตคอลเดิมๆ และเมื่อทำการพิสูจน์ว่าสามารถกระจายการใช้พลังงานได้ดีกว่าแล้ว จึงทำการนำไปทดลองในโหนดที่มีการเคลื่อนที่ ที่ 5 เมตร/วินาที ซึ่งจะเป็นความเร็วโดยเฉลี่ย เพื่อพิสูจน์ว่าหากโหนดนั้นมีการเคลื่อนที่แล้วโหนดนั้นจะสามารถกระจายการใช้พลังงานได้ดีมากขึ้นหรือไม่ และจะมีผลกระทบในด้านอื่นๆหรือไม่

4.2. ตัวชี้วัดที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

ตัวชี้วัดการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการจำลองที่ใช้ใน การเปรียบเทียบมีดังนี้

4.2.1.เวลาที่มีโหนดพลังงานหมดเกิดขึ้นเป็นตัวแรก คือโหนดแรกที่ใช้พลังงานในการรับส่งข้อมูลจนพลังงานหมด จะแสดงให้เห็นว่าการกระจายการใช้พลังงานของเครือข่ายนั้นมีประสิทธิภาพดีแค่ไหน ถ้าหากมีโหนดที่พลังงานหมดเกิดขึ้นช้าก็จะส่งแสดงให้เห็นว่าเครือข่ายนั้นสามารถกระจายการใช้พลังงานได้ดี แต่ถ้าหากมีโหนดที่พลังงานหมดเกิดขึ้นเร็ว การกระจายพลังงานของเครือข่ายก็ไม่ได้ดีมากนัก

4.2.2 อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ คือ การเปรียบเทียบจำนวนในการส่งแพ็คเกตจากต้นทางกับการรับส่งข้อมูลที่ปลายทางว่ามีอัตราส่วนเป็นเท่าใด ตัวชี้วัดนี้แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในการส่งข้อมูล ซึ่งจะบ่งบอกว่าโหนดนั้นสามารถส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางได้ดีมากน้อยแค่ไหน ที่มีตัวชี้วัดนี้เพื่อแสดงให้เห็นว่าถ้าหากมีการกระจายการใช้พลังงานแล้ว อัตราความสำเร็จของข้อมูลนั้นมีน้อยหรือมากกว่าโพรโตคอล ที่ไม่มีการกระจายการใช้พลังงาน

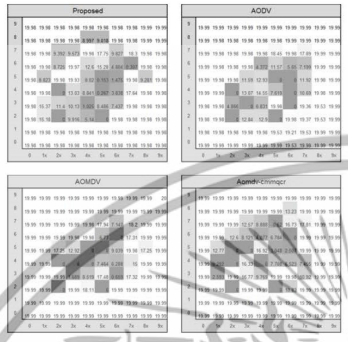
4.2.3.ความหน่วงในการส่งข้อมูลคือเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็คเกตข้อมูลจากต้นทางถึงปลายทางโดยนับตั้งแต่เวลาที่แพ็คเกตถูกส่งออกจากโหนดต้นทางจนไปถึงเวลาที่โหนดปลายทางได้รับ ตัวชี้วัดนี้จะบ่งบอกว่าถ้าหากมีการกระจายการใช้พลังงานแล้วโหนดจะมีความหน่วงที่มากขึ้นหรือน้อยลงหรือไม่ เพราะการกระจายการใช้พลังงานอาจจะส่งผลให้โหนดมีความหน่วงในการส่งข้อมูล จึงได้นำตัวชี้วัดนี้มาใช้

4.3. ผลการทดลอง

4.3.1 การทดลองโดยการจัดวางโหนดแบบ Grid

จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นพลังงานของโหนดต่าง ๆ ในรูปแบบ Contour Graph โดยแสดงออกมาเป็นสีขาวไล่ไปยังสีเทาเข้ม สีเทาเข้มหมายถึงโหนดนั้นมีพลังงานเท่ากับ 0% และสีขาวหมายถึงโหนดมีพลังงาน 100% จะเห็นได้ว่าโพรโทคอลที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น มีการกระจายการใช้พลังงานได้ดีที่สุด ดูได้จากโหนดที่มีสีเทาอ่อนหรือใกล้เคียงกับสีเทาที่มีจำนวนมากที่สุด กล่าวคือ ไม่มีโหนดที่ถูกใช้งานหนักจนเกินไปจนพลังงานหมด (สีเทาเข้ม) และไม่มีโหนดที่ว่างมากเกินไปจนไม่ถูกใช้งานเลย (สีขาว)

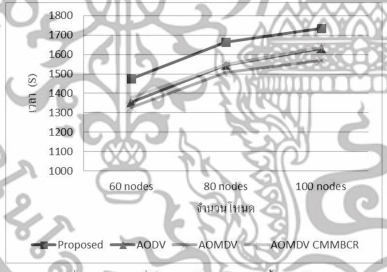
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 แสดงพลังงานที่เหลืออยู่ของแต่ละโหนด

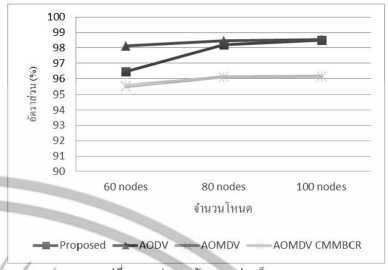
4.3.2 กำหนดให้โหนดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 5 เมตรต่อวินาที

จากกราฟในรูปที่ 4 จะแสดงให้เห็นเวลาที่โหนดตัวแรกที่ไม่สามารถใช้งานได้ โดยกราฟจะแสดงให้เห็นว่าโหนดนั้นได้การกระจายการใช้พลังงานไปยังโหนดอื่น ๆ ทำให้โหนดนั้นมีอายุขัยที่มากขึ้น ซึ่งโพรโทคอล ที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นมีอายุขัยของโหนดที่มากกว่าตัวเปรียบเทียบอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าโพรโทคอล ที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นสามารถกระจายการใช้พลังงานจากโหนดที่มีพลังงานน้อยไปยังโหนดที่มีพลังงานมากกว่าได้

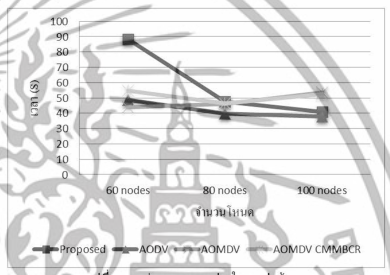


รูปที่ 4 แสดงเวลาที่มีโหนดพลังงานหมดเกิดขึ้นเป็นตัวแรก

จากกราฟในรูปที่ 5 แสดงให้เห็นถึงอัตราการส่งสำเร็จของแพ็คเกตในแต่ละโหนดนั้นไม่ได้มีความแตกต่างกับโพรโทคอลอื่น ๆ มากนักถึงแม้ว่าจะได้มีการทำการกระจายภาระงานไปให้โหนดอื่น ๆในเครือข่าย และเมื่อโหนดนั้นมีจำนวนมากขึ้น โพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นจะสามารถมีอัตราการส่งที่ดีขึ้น เพราะมีจำนวนโหนดที่มารอรับภาระงานที่มาก



รูปที่ 5 กราฟแสดงอัตราการส่งแพ็คเกต



รูปที่ 6 กราฟแสดงความหน่วงในการส่งข้อมูล

จากกราฟในรูปที่ 6 เป็นการแสดงความหน่วงในการส่งข้อมูลโดยที่โพรโทคอล ที่ได้พัฒนาขึ้นมาที่โหนด 60 โหนดนั้นมีค่าความหน่วงที่มากที่สุดเพราะว่าต้องใช้เวลานานในการหาเส้นทางใหม่ เพราะเมื่อโหนดมีพลังงานน้อยโหนดจะส่งLPN เพื่อจะการะจายการใช้พลังงาน และโหนดจะเลือกเส้นทางที่มีพลังงานที่มากที่สุด โดยไม่ได้คำนึงถึงความไวในการส่งข้อมูลรวมไปถึงโหนดในเครือข่ายนั้นมีจำนวนที่ไม่มากพอที่จะมารับภาระที่จะทำให้ความหน่วงนั้นมีอัตราเท่ากับโพรโทคอลอื่น ๆ แต่เมื่อโหนดมีจำนวนมากขึ้นจะเห็นได้ว่าโพรโทคอลที่ได้พัฒนาขึ้นมา เมื่อมีโหนดที่สามารถมารับภาระงานที่มากขึ้นจะทำให้โหนดนั้นมีความหน่วงในการส่งข้อมูลไม่ต่างจากโพรโทคอล อื่นๆ

5. บทสรุป

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าโพรโทคอลที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมานั้นสามารถกระจายการใช้พลังงานไปยังโหนดที่มีพลังงานมากกว่าได้ และทำให้โหนดที่มีพลังงานน้อยสามารถมีอายุขัยที่มากขึ้นโดยที่อัตราในการส่งข้อมูลและความหน่วงในการส่งข้อมูลนั้นไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก และยิ่งโหนดนั้นมีจำนวนเยอะขึ้นจะทำให้โพรโทคอลที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมานั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพราะว่ามีโหนดที่สามารถมารองรับภาระงานเมื่อมีการกระจายภาระงานได้ แต่ถ้ามีโหนดในเครือข่ายน้อยจะส่งผลให้ความหน่วงในการส่งข้อมูลนั้นมีมากขึ้น เพราะต้องใช้เวลาในการหาเส้นทางมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยปีงบประมาณ 2561 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารอ้างอิง

[1] Roberto G. Aldunate, Gregg E. Larson, Miguel Nussbaum, Sergio F. Ochoa, Oriel A. Herrera "Understanding the Role of Mobile Ad hoc Networks in Non-traditional Contexts", Mobile and Wireless Communication Networks, pp.199-215, 2006

[2] Georgios Parissidis, Merkourios Karaliopoulos, Rainer Baumann, Thrasyvoulos Spyropoulos "Routing Metrics for Wireless Mesh Networks" *Computer Engineering and Networks Laboratory*, February 2009

[3] Perkins, C., Belding-Royer, E., and S. Das "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing." RFC 3561, 2003

[4] Mahesh K. Marina, Samir R. Das "On-Demand Multipath Distance Vector Routing In Ad Hoc Networks" *IEEE International Conference on Network Protocols*, 2001

[5] C.-K. Toh, "Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad Hoc Networks" *IEEE Communications Magazine*, June 2001

[6] Bellman, Richard (1958), "On a routing problem", Available https://en.wikipedia.org/wiki/Bellman%E2%80%93Ford_algorithm

[7] Rungtaveesak, Metha, Noppawit Chartkajekaew, Thananop Thongthavorn, Worrawat Narongkhachavana, and Sumet Prabhavat. "A Dynamic Routing for Load Distribution in Mobile Ad-Hoc Network." In *International Conference on Computing and Information Technology*, pp. 232-241. Springer, Cham, 2017.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล สุเมธ ประภาวัต

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
Ph.D.	Information Sciences	Tohoku University, Japan	2554
วศ.ม.	วิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ	2546
วศ.บ.	วิศวกรรมไฟฟ้า	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, จ.เชียงใหม่	2537

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

1) Mobile Computing and Sensor Networks
2) Mobile Ad-hoc Network
3) Internet Traffic Engineering and Congestion Control
4) Internet and Network Appliances

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2552	บทความดีเด่น (Best Paper Award) สำหรับงานวิจัย “On the Performance Analysis of Traffic Splitting on Load Imbalancing and Packet Reordering of Bursty Traffic”	IEEE IC-NIDC Conference ประเทศจีน

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2550	ทุนการศึกษาระดับปริญญาเอกมหาวิทยาลัยโทโฮคุ ประเทศญี่ปุ่น (Monbukagakusho: MEXT)	รัฐบาลญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2550	ทุนวิจัย GCOE Program สำหรับโครงการวิจัย “Traffic Engineering for Next Generation Network”	มหาวิทยาลัยโทโฮคุ ประเทศญี่ปุ่น
2551	ทุนวิจัย GCOE Program สำหรับโครงการวิจัย “Delay-Minimized Load Distribution for Multi-path Networks”	มหาวิทยาลัยโทโฮคุ ประเทศญี่ปุ่น
2552	ทุนวิจัย GCOE Program สำหรับโครงการวิจัย “Towards Secure Quality of Services”	มหาวิทยาลัยโทโฮคุ ประเทศญี่ปุ่น
2553	ทุนผู้ช่วยสอนและผู้ช่วยนักวิจัย	มหาวิทยาลัยโทโฮคุ ประเทศญี่ปุ่น
2555	ทุน Visiting Researcher ที่ Tsuruoka NCT	Tsuruoka NCT, ประเทศญี่ปุ่น
2556	ทุนวิจัย “โครงการจัดตั้งห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา Mobile Computing and Sensor Networks”	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2556	ทุนวิจัย “โครงการวิจัยด้านเทคโนโลยีสารสนเทศร่วมกับหน่วยงานนอกคณะ”	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2556	ทุน Visiting Researcher ที่ Tsuruoka NCT	National Institute of Information and Communications Technology (NICT), ประเทศญี่ปุ่น
2558	ทุนวิจัย “เครือข่ายเฉพาะกิจแบบดีทีเอ็นบนสมาร์ทโฟนสำหรับการสื่อสารในสถานการณ์ภัยพิบัติ”	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยผ่านการพิจารณาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
2558	ทุนวิจัย “การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกลไกหาเส้นทางแบบเอปิดิมิกในเครือข่ายดีทีเอ็น”	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2559	ทุนวิจัย “การพัฒนาเครือข่ายเฉพาะกิจสมาร์ทโฟนเพื่อการสื่อสารแบบไม่พึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน”	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยผ่านการพิจารณาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)
2559	ทุนวิจัย “การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของ	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	กลไกค้นหาเส้นทางบนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่”	เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2560	ทุนวิจัย “การศึกษาประสิทธิภาพของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ที่มีการค้นหาเส้นทางแบบจำกัดขอบเขต”	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2561	ทุนวิจัย “การศึกษารูปแบบการกระจายภาระงานบนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่”	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

ผลงานเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

1) S. Utsumi, S. M. S. Zabir, **S. Prabhavat**, “A New Explicit Congestion Notification Scheme for Satellite IP Networks,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 75, pp. 169–180, Nov. 2016.
2) **S. Prabhavat**, H. Nishiyama, N. Ansari, and N. Kato, “On Load Distribution over Multipath Networks,” *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 14, no. 3, pp. 662–680, Jul. 2012.
3) **S. Prabhavat**, H. Nishiyama, N. Ansari, and N. Kato, “Effective Delay-Controlled Load Distribution over Multipath Networks,” *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, vol. 22, no. 10, pp. 1730–1741, Oct. 2011.

การเสนอผลงานวิชาการ

ผลงานเผยแพร่ในรายงานการประชุมระดับนานาชาติ

1) W. Narongkhachavana and **S. Prabhavat**, "Overhead Reduction for Route Repair in Mobile Ad Hoc Networks," *Advances in Intelligent Systems and Computing: Recent Advances in Information and Communication Technology (IC2IT 2017)*, vol. 566, Springer, 2017, pp. 222-231.
2) M. Rungtaveesak, N. Chartkajekaew, T. Thongthavorn, W. Narongkhachavana and **S. Prabhavat**, "A Dynamic Routing for Load Distribution in Mobile Ad-Hoc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Network," *Advances in Intelligent Systems and Computing: Recent Advances in Information and Communication Technology (IC2IT 2017)*, vol. 566, Springer, 2017, pp. 232-241.

3) T. Thongthavorn, W. Narongkhachavana and **S. Prabhavat**, "Overhead reduction of location-aided gateway discovery protocols," *2016 8th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Yogyakarta, Indonesia, 2016, pp. 1-6.
4) T. Choksatid, W. Narongkhachavana, and **S. Prabhavat**, "An Efficient Spreading Epidemic Routing for Delay-Tolerant Network," in *Proc. IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, Nevada, Jan. 2016, pp. 480–483.
5) W. Narongkhachavana, T. Choksatid, and **S. Prabhavat**, "An Efficient Message Flooding Scheme in Delay-Tolerant Networks," in *Proc. IEEE International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Chiangmai, Thailand, Oct. 2015, pp. 295–299.
6) T. Choksatid and **S. Prabhavat**, "An Epidemic Routing with Low Message Exchange Overhead for Delay Tolerant Networks," in *Progress in Systems Engineering, Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1089, H. Selvaraj, Ed. Springer International Publishing, 2015, pp. 429–436.
7) T. Thongthavorn, **S. Prabhavat,** and W. Narongkhachavana, "A Study on Overhead Reduction for GPS-Assisted Mobile Ad-Hoc Networks," in *Proc. IEEE Region 10 Annual International Conference (TENCON 2014)*, Bangkok, Thailand, Oct. 2014.
8) **S. Prabhavat**, R. Varakulsiripunth, and S. Utsumi, "Load Distribution using Modified RED for Multipath TCP Communication," in *Proc. IEEE International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE 2013)*, Yogyakarta, Indonesia, Oct. 2013.
9) M. Inoue, P. Tangdumrongrat, **S. Prabhavat**, S. Utsumi, S. Zabir, and N. Shiratori, "Mark-Reverse Explicit Congestion Notification for Satellite IP Networks," in *Proc.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS 2012), Bangkok, Thailand, Nov. 2012.

10) **S. Prabhavat**, N. Kato, and R. Varakulsiripunth, "Load Distribution Mechanism for Multipath TCP Communication," in *Proc. International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS 2011)*, Bangkok, Thailand, Jan. 2012.

11) **S. Prabhavat**, H. Nishiyama, N. Ansari, and N. Kato, "On the Performance Analysis of Traffic Splitting on Load Imbalancing and Packet Reordering of Bursty Traffic," in *Proc. IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content (IC-NIDC 2009)*, Beijing, China, Nov. 2009. (The Best Paper Award)

12) **S. Prabhavat**, H. Nishiyama, Y. Nemoto, N. Ansari, and N. Kato, "Load Distribution with Queuing Delay Bound over Multipath Networks: Rate control using Stochastic Delay Prediction," in *Proc. the 26th International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC 2008)*, San Diego, CA, Jun. 2008.

13) **S. Prabhavat**, R. Varakulsiripunth, "Performance Improvement on RED Based Gateway in TCP Communication Network", In *Proc. International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2004)*, Thailand, Aug. 25-27, 2004.

ผลงานเผยแพร่ในรายงานการประชุมระดับชาติ

1) ศุภาวรรณ คีรินทร์นนท์, สุภัสกรณ์ จิรโชคนุเคราะห์, ธนานพ ทองถาวร, วรวัชร ณรงคะชวนะ, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การศึกษาแนวทางการกระจายภาระงานสำหรับเกตเวย์ในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่," *งานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Computing and Information Technology: NCCIT) ครั้งที่ 14*, ขอนแก่น, ประเทศไทย, ก.ค. 2561

2) เมธา รุ่งทวีศักดิ์, ธนานพ ทองถาวร, วรวัชร ณรงคะชวนะ, ชนากานต์ พันธ์แก้ว, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การหาเส้นทางแบบไดนามิกเพื่อกระจายการใช้พลังงานในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่," *งานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Computing and Information Technology: NCCIT) ครั้งที่ 14*, ขอนแก่น, ประเทศไทย, ก.ค. 2561

3) วัชรธร หลายคุณากร, ธวัชชัย โกวิชสกุล, ธนานพ ทองถาวร, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "เกตเวย์เพื่อการเชื่อมโยงเครือข่ายเฉพาะกิจสมาร์ทโฟนเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต," *งานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Computing and Information Technology: NCCIT) ครั้งที่ 13*, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย, ก.ค. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ชนากานต์ พันธ์แก้ว, วรวัชร ณรงคะชวนะ, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "Modified BERS for Energy Efficiency in Mobile Ad Hoc Network," *รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 8*, กระบี่, ประเทศไทย, ต.ค. 2559.

5) ชนากานต์ พันธ์แก้ว, ฐิติรัตน์ ศักดิ์พิชัยมงคล, วรวัชร ณรงคะชวนะ, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การศึกษาประสิทธิภาพด้านพลังงานของกลไกค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่," *งานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Computing and Information Technology: NCCIT) ครั้งที่ 12*, ขอนแก่น , ประเทศไทย, ก.ค. 2559.

6) ธเนศ พุ่มไพจิตร, วรรณิศา กำมะหยี่, ธนานพ ทองถาวร, วรวัชร ณรงคะชวนะ, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การศึกษาประสิทธิภาพกลไกค้นหาเกตเวย์บนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่," *งานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Computing and Information Technology: NCCIT) ครั้งที่ 12*, ขอนแก่น , ประเทศไทย, ก.ค. 2559.

7) วีร์ อายุวนานนท์, ฐายิกา ทองแสง, วรวัชร ณรงคะชวนะ, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การปรับปรุงกลไกในการเลือกเส้นทางเพื่อเพิ่มโอกาสในการส่งข้อมูลภายในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่," *รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 7*, เชียงใหม่, ประเทศไทย, ต.ค. 2558.

8) วรวัชร ณรงคะชวนะ, กฤชนิพันธ์ เดิมธรณินทร์, ธีรพงษ์ โชคสถิตย์, อรุณกมล ธรรมโกฎิ์, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกลไกหาเส้นทางแบบเอปิดิมิกในเครือข่ายดีทีเอ็น," *รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 7*, เชียงใหม่, ประเทศไทย, ต.ค. 2558.

9) ปัณฑ์ชนิต สุขจิรัตติกาล, ผกามาศ จิตโสภีพงษ์, วรวัชร ณรงคะชวนะ, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การปรับปรุงประสิทธิภาพการกระจายภาระงานเพื่อลดดีเลย์สำหรับเครือข่ายเฉพากิจ," *รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 7*, เชียงใหม่, ประเทศไทย, ต.ค. 2558.

10) กฤชนิพันธ์ เดิมธรณินทร์, อรุณกมล ธรรมโกฎิ์, ธีรพงษ์ โชคสถิตย์, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "เครือข่ายติดต่อสื่อสารเฉพาะกิจบนสมาร์ทโฟน," *รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 7*, เชียงใหม่, ประเทศไทย, ต.ค. 2558.

11) ศุภโชค พงษ์ขวัญ, วรวัชร ณรงคะชวนะ, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การปรับปรุงการแบ่งโหลดเพื่อกระจายข้อมูลหลายทางบนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่," *งานประชุมวิชาการระดับประเทศ*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Computing and Information Technology: NCCIT) ครั้งที่ 10, ภูเก็ต, ประเทศไทย, พ.ค. 2557.

12) **สุเมธ ประภาวัต**, สารัช ศรีสวัสดิ์พงษ์, ทะนง ชูวณิชชานนท์, และ วรวัชร ณรงคะชวนะ, "กลไกค้นหาเกตเวย์ที่มีโอเวอร์เฮดจากการแลกเปลี่ยนข้อความต่ำสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ," *งานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Computing and Information Technology: NCCIT) ครั้งที่ 10*, ภูเก็ต, ประเทศไทย, พ.ค. 2557.
13) ธนานพ ทองถาวร, วรวัชร ณรงคะชวนะ, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การศึกษาความเป็นไปได้ในการลดโอเวอร์เฮดบนระบบเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ โดยการสร้างเงื่อนไขในการจำกัดการกระจายข้อมูลในขั้นตอนการค้นหาเส้นทาง," *รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 6*, นครราชสีมา, ประเทศไทย, ก.พ. 2557.
14) ธีรพงษ์ โชคสถิตย์, เบญจพร ปาวะรีย์, วรวัชร ณรงคะชวนะ, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การปรับปรุงกลไกการแพร่กระจายข้อความเพื่อลดการแลกเปลี่ยนข้อมูลบนเครือข่ายดีทีเอ็น," *รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 6*, นครราชสีมา, ประเทศไทย, ก.พ. 2557.
15) **สุเมธ ประภาวัต**, ทะนง ชูวณิชชานนท์, สารัช ศรีสวัสดิ์พงษ์ และ วรวัชร ณรงคะชวนะ, "การปรับปรุงกลไกค้นหาเกตเวย์เพื่อลดโอเวอร์เฮดจากการแลกเปลี่ยนข้อมูลในเครือข่ายเฉพาะกิจ," *รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 6*, นครราชสีมา, ประเทศไทย, ก.พ. 2557.
16) **สุเมธ ประภาวัต**, ธนานพ ทองถาวร, และ ณัชชา วัฒนอรุณกิจ, "การประยุกต์ใช้สมาร์ทโฟนในการแจ้งเหตุฉุกเฉิน และตำแหน่งที่อยู่ เพื่อขอรับบริการรถนาส่ง และบริการทางการแพทย์", *รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 5*, กุมภาพันธ์ 2556.
17) **สุเมธ ประภาวัต**, นิติ ชัยกะเสวี, และ ภรภัทร นนทะบรรหาญ, "การประยุกต์ใช้สมาร์ทโฟนเพื่อการพิสูจน์ตัวตนด้วยข้อมูลพิกัดจีพีเอส", *รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 5*, กุมภาพันธ์ 2556.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานเผยแพร่อื่นๆ

1) M. Inoue, P. Tangdumrongrat, **S. Prabhavat**, S. Utsumi, S. M. S. Zabir, N. Shiratori, “Mark-Reverse Explicit Congestion Notification: Concept, Analysis and Evaluation,” IEICE Technical Report, vol. 112, no. 208, NS2012-79, pp. 153-158, Sep. 2012.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้