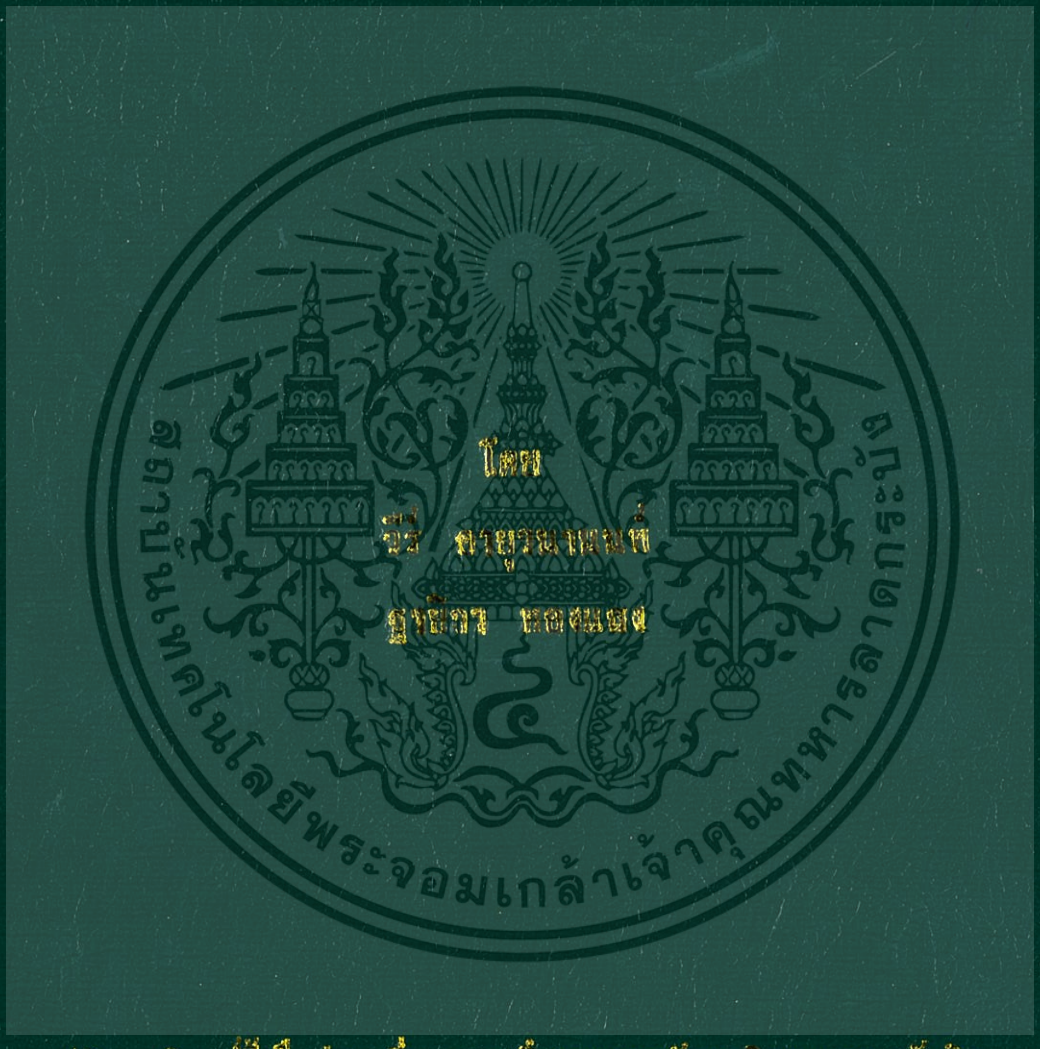
การศึกษาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งาน ของเครือข่ายแอดฮอกเคลื่อนที่

A STUDY ON AVAILABILITY IMPROVEMENT FOR MOBILE AD HOC NETWORK



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งาน ของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

A STUDY ON AVAILABILITY IMPROVEMENT FOR MOBILE AD HOC NETWORK

T144539

โดย

วีร์ อายุวนานนท์

ฐายิกา ทองแสง

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ประภาวัต

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 144539
วัน,เดือน,ปี 25 ม.ค. 2559

b0026810S
b 12813138
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON AVAILABILITY IMPROVEMENT FOR MOBILE AD HOC NETWORK

WEE AYUWANANON

THAYIKA THONGSANG

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF SCIENCE PROGRAM IN INFORMATION TECHNOLOGY

FACULTY OF INFORMATION TECNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2/2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2015

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ประจำปีการศึกษา 2557

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งาน ของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

A STUDY ON AVAILABILITY IMPROVEMENT FOR MOBILE AD HOC NETWORK

ผู้จัดทำ

1. นายวีร์ อายุวนานนท์ รหัสนักศึกษา 54070086
2. นางสาวฐายิกา ทองแสง รหัสนักศึกษา 54070021

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ประภาวัต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงาน	การศึกษาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งานของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่
นักศึกษา	นายวีร์ อายุวนานนท์ รหัสนักศึกษา 54070086
	นางสาวฐายิกา ทองแสง รหัสนักศึกษา 54070021
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ประภาวัต

บทคัดย่อ

เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่เป็นเครือข่ายที่ประกอบด้วยโมบายล์โหนด ทำงานร่วมกันโดยไม่ต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ใช้กลไกการค้นหาและเลือกเส้นทางที่มีความเฉพาะตัว เช่น โพรโทคอล AODV DSR AOMDV เป็นต้น และในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่นั้น ทรัพยากรต่างๆ มีอยู่อย่างจำกัด ทั้งความสามารถในการส่งต่อข้อมูลและพลังงานของโมบายล์โหนด อีกทั้งการรับ-ส่งข้อมูลในปัจจุบันมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมาก เราจึงควรใช้ประโยชน์สองสิ่งนี้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการพยายามเพิ่มประสิทธิภาพความพร้อมใช้งาน ซึ่งจะเป็นการใช้ความสามารถในการส่งข้อมูลและพลังงานของโหนดอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้กลไกการหลีกเลี่ยงการเลือกใช้เส้นทางที่โหนดในเส้นทางนั้นมีภาระงานมาก โดยดูจากความยาวของคิว (Queue) ในการให้บริการในแต่ละโหนดและการหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีโหนดกำลังจะตาย ซึ่งจากผลการทดลองโพรโทคอลที่นำเสนอสามารถเพิ่มปริมาณพลังงานคงเหลือในระบบและเพิ่มจำนวนโหนดคงเหลือหลังจบการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	A Study on Availability Improvement for Mobile Ad hoc Network		
Student	Mr. Wee	Ayuwananon	Student ID 54070086
	Ms. Thayika	Thongsang	Student ID 54070021
Degree	Bachelor of Science		
Program	Information Technology		
Academic Year	2014		
Advisor	Asst. Prof. Dr. Sumet Prabhavat		

ABSTRACT

A project studies on mobile ad hoc network (MANET), which can be used in situations where network infrastructure is damaged. MANET is a collaboration of mobile nodes without relying on infrastructure. However, there are major drawbacks such as topology change, limitations of energy and bandwidth. In this work, we aim to improve network performance in terms of power consumption and bandwidth utilization efficiencies. In order to reach our goals, we propose a novel MANET routing protocol which can achieve higher network availability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้นต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาประจำโครงงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ประภาวัต ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ความรู้ กำลังใจ และคอยชี้แนะแนวทาง เมื่อเจอปัญหา จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอบพระคุณอาจารย์ในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ คำสั่งสอน คำติชม ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอบคุณ นายวรวัชร ณรงคะชวนะ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดระยะเวลาในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จนสามารถพัฒนาโครงงานฉบับนี้ได้

ขอบคุณเพื่อนพี่น้องชาวไอทีลาดกระบังทุกคน ที่คอยช่วยเหลือ และคอยสนับสนุนอยู่เสมอ

ขอบคุณครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ และแรงใจ

วีร์ อายุวนานนท์

ฐายิกา ทองแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

ABSTRACT II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ V

สารบัญรูป VI

บทที่

1. บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนการพัฒนาโครงงาน 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

2. ทฤษฎีและหลักการ 3

2.1 Wireless Network 3

2.1.1 เครือข่ายไร้สายแบบพึ่งพาสถานีฐาน (Infrastructure Base) 3

2.1.2 เครือข่ายไร้สายแบบไม่ต้องพึ่งสถานีฐาน (Ad Hoc Network) 3

2.2 Mobile Ad Hoc Network (MANET) 3

2.3 Ad hoc Routing Protocol 4

2.3.1 Dynamic Source Routing (DSR) Protocol 4

2.3.2 Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing Protocol 5

2.3.3.Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV) Routing Protocol 6

2.4 Multipath Routing Protocol 6

2.4.1 Multipath Secure Reliable (MSR) Routing Protocol 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.4.2 Split Multipath Routing (SMR) Protocol 7

2.4.3 Ad hoc On Demand Multipath Distance Vector (AOMDV) Routing Protocol .7

2.4.3.1 Link Disjoint Multi-path 8

2.4.3.2 Node-Disjoint Multi-path 8

2.5 ตัวชี้วัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการกำหนดเส้นทางโพรโทคอลเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ 9

2.5.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำงาน 10

2.5.2 เทคนิคการแพร่กระจายข้อมูล 11

2.6 การวิเคราะห์การใช้พลังงานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ตามรูปแบบที่แตกต่างกัน 11

2.7 เทคนิคการค้นหาเส้นทางเพื่อความประหยัดพลังงานในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ 13

2.7.1 Minimum Transmission Power Routing (MTPR) 13

2.7.2 Minimum Battery Consumption Routing (MBCR) 13

2.7.3 Maximum Minimum Battery Consumption Routing (MMBCR) 14

2.7.4 Conditional Max-Min Battery Cost Routing (CCMBCR) 15

3.แนวคิดและการดำเนินงาน 17

3.1 การค้นหาเส้นทาง 17

3.2 การเลือกเส้นทาง 17

4.การทดลองและการประเมินผล 19

4.1 เหตุการณ์จำลองและตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 19

4.2 ผลการทดลองและตัวชี้วัด 20

5.สรุปผลการทดลอง 31

บรรณานุกรม 32

ภาคผนวก ก. 34

ประวัติผู้แต่ง 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

3.1 แผนภาพกิจกรรมการคัดเลือกเส้นทางของ Proposed protocol..... 31

4.1 กราฟ Remaining Node in Network (30 Node)..... 34

4.2 กราฟ Remaining Node in Network (40 Node)..... 35

4.3 กราฟ Remaining Node in Network (50 Node)..... 36

4.4 กราฟ Remaining Node in Network (60 Node)..... 37

4.5 กราฟ Remaining Node in Network (70 Node)..... 37

4.6 กราฟ Remaining Energy of Network..... 38

4.7 กราฟ First Node Dead..... 39

4.8 กราฟ Packet delivery ratio..... 40

4.9 กราฟ End-to-End Delay..... 41

4.10 กราฟ Normalized Routing Overhead..... 42

4.11 กราฟ Drop Packet..... 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารในปัจจุบันมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการที่สูงขึ้น ทั้งในเรื่องของเทคโนโลยีเครือข่าย เทคโนโลยีโพรโทคอลการส่งข้อมูล และอุปกรณ์การสื่อสาร โดยเฉพาะอุปกรณ์สื่อสารอย่างสมาร์ทโฟน กลายเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการดำรงชีวิต ระยะการติดต่อสื่อสารเกิดการใช้งานที่กว้างขวางมากขึ้น ส่งผลให้ต้องมีการพัฒนาคุณภาพระบบการสื่อสารเพื่อการรองรับผู้ใช้งานจำนวนมาก จากที่กล่าวมา แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของระบบการติดต่อสื่อสาร ทำให้เทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารมีการพัฒนาเกิดขึ้นหลายๆด้าน ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาติดต่อสื่อสารในรูปแบบใหม่ก็คือการติดต่อสื่อสารผ่านสมาร์ทโฟนโดยไม่ต้องพึ่งพาเครือข่ายกลาง ด้วยการใช้โมบายล์โหนดทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวกลางในการส่งข้อมูล ทำงานร่วมกันเป็นเครือข่าย รูปแบบการส่งข้อมูลดังกล่าวจะมีประโยชน์เมื่อเครือข่ายกลางเกิดปัญหาขัดข้องไม่สามารถใช้งานได้ เช่น ในสถานการณ์ภัยพิบัติหรือในสนามรบเป็นต้น

ปัญหาเรื่องจำนวนผู้ใช้งานที่มีจำนวนมากขึ้น ทำให้ปัจจัยในเรื่องความหนาแน่นของการใช้งานเครือข่าย กลายเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับการสื่อสารในปัจจุบัน ส่งผลให้การพัฒนาโพรโทคอลการสื่อสาร จำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยดังกล่าวด้วย สำหรับเทคโนโลยีเฉพาะกิจเคลื่อนที่ที่ผู้จัดทำสนใจจะทำการพัฒนา ปัญหาเรื่องความหนาแน่นจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่นำมาพิจารณาด้วย นอกจากนี้ปัจจัยอื่นๆเช่น การเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน จำนวนข้อมูลที่ต้องส่งต่อภายในเครือข่าย และระดับพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ยังเป็นข้อจำกัดที่สำคัญสำหรับการทำงานของเครือข่าย ยกตัวอย่างในสถานการณ์ หากมีผู้ใช้งานรายใดที่มือถือสมาร์ทโฟนของตนมีระดับพลังงานเหลือน้อย ก็จะมีโอกาสที่ผู้ใช้งานจะปิดอุปกรณ์เพื่อรักษาระดับพลังงานของสมาร์ทโฟนของตนไว้ ซึ่งส่งผลให้การส่งข้อมูลล้มเหลว เป็นต้น

ดังนั้นเราจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาหาและทางแก้ไขปรับปรุงข้อจำกัดเหล่านี้ ในที่นี้เราเลือกที่จะศึกษาและพัฒนากลไกการหาเส้นทาง โดยมุ่งเน้นประเด็นในเรื่องของการใช้พลังงาน เพื่อการเลือกเส้นทางที่เหมาะสม และส่งผลต่อการส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งเราจะทำการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับรูปแบบการทำงานต่างๆที่มีอยู่และปัจจัยด้านอื่นๆที่ส่งผลกระทบต่อการทำงาน เพื่อนำมาพัฒนาต่อยอด ปรับปรุงแก้ไขกลไกการเลือกเส้นทางที่จะสามารถลดหรือบรรเทาข้อจำกัดต่างๆของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ลงได้ และท้ายที่สุดเพื่อส่งผลให้เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่มีความพร้อมใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความพร้อมใช้งานของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่
2. เพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพ ด้านความพร้อมใช้งานของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่
3. เพื่อพัฒนากลไกการเลือกเส้นทางของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ให้มีความมั่นคงยั่งยืน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการรวมไปถึงเทคโนโลยีเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่แบบต่างๆ
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพความพร้อมใช้งานของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งานของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่แบบต่างๆ

1.4 ขั้นตอนการพัฒนาโครงงาน

1. ศึกษาทฤษฎี หลักการและเทคโนโลยีเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่
2. ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่
3. สร้างและใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ต่อความพร้อมใช้งานของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความพร้อมใช้งานของระบบเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความเข้าใจหลักการทำงานของระบบเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่
2. มีความเข้าใจผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งานของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 Wireless Network

ไวเลส เน็ตเวิร์ค (wireless network) เป็นเครือข่ายที่ใช้ช่องทางการส่งข้อมูลแบบไร้สาย เพื่อการเชื่อมต่อโหนดต่างๆ ภายในเครือข่ายเข้าด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นวิทยุ, แสง หรือกระบวนการการส่งข้อมูลอื่นๆก็ตาม ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายและความยุ่งยากซับซ้อนในการเดินสาย อีกทั้งยังช่วยให้การใช้งานมีความสะดวกสบาย และความคล่องตัวในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น โดยเครือข่ายไร้สายสามารถแบ่งรูปแบบการทำงานใหญ่ๆ ได้สองรูปแบบ [1] คือ

2.1.1 เครือข่ายไร้สายแบบพึ่งพาสถานีฐาน (Infrastructure Base)

เป็นเครือข่ายไร้สายที่พึ่งพาเครือข่ายการสื่อสารพื้นฐานถาวร (Infrastructure) ในการรับส่งข้อมูลภายในเครือข่าย โดยอาจจะเป็นการส่งข้อมูลผ่าน Access Point หรือ Wireless Router ซึ่งสามารถพบเห็นการใช้งานได้ทั่วไป จุดแข็งของเครือข่ายประเภทนี้ คือมีแหล่งพลังงานสถานีฐานขนาดไม่จำกัด ทำให้เครือข่ายไร้สายประเภทนี้ค่อนข้างมีความมั่นคง ไม่ว่าจะทางด้านพลังงาน หรือตำแหน่งการรับสัญญาณเนื่องจากสถานีฐานที่อยู่ในตำแหน่งที่ตายตัว

2.1.2 เครือข่ายไร้สายแบบไม่ต้องพึ่งสถานีฐาน (Ad Hoc Network)

เป็นเครือข่ายไร้สายที่ไม่ต้องพึ่งพาสถานีฐาน วิธีการรับส่งข้อมูลจะเป็นลักษณะการติดต่อสื่อสารแบบเพียร์ทูเพียร์ (Peer to Peer) คือโหนดต้นทางจะสามารถส่งต่อข้อมูลไปหาโหนดปลายทางได้เองโดยไม่ต้องผ่านเครือข่ายการสื่อสารพื้นฐานถาวร แต่การทำงานของเครือข่ายไร้สายแบบไม่ต้องพึ่งพาสถานีฐานนั้น มีจุดอ่อนเรื่องข้อจำกัดของพลังงานในแต่ละโหนดที่ต้องใช้ในการค้นหาเส้นทาง ตรวจสอบเส้นทางและส่งข้อมูล โดยหากเป็นเครือข่ายที่มีจำนวนของโหนดในเครือข่ายมากอย่างเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ (Mobile Ad Hoc Network) แล้ว แต่ละโหนดจะมีหน้าที่นอกเหนือจากการรับ-ส่งข้อมูลของตนเองอีกอย่าง คือการส่งต่อข้อมูลของผู้อื่น หรือทำหน้าที่เป็นตัวกลาง ซึ่งทำให้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดนั้นลดลงไปอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อระยะเวลาในการดำรงอยู่ของโหนด และส่งผลกระทบถึงเครือข่ายโดยรวมในทางอ้อมอีกด้วย

2.2 Mobile Ad Hoc Network (MANET)

เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ (Mobile Ad Hoc Network, MANET) คือ เครือข่ายการส่งข้อมูลบนเครื่องโทรศัพท์มือถือที่ไม่ต้องพึ่งพาเครือข่ายกลาง หรือโครงสร้างพื้นฐานใดๆ เกิดจากการทำงานร่วมกันของโมบายล์โหนด ส่งข้อมูลภายในขอบเขตของการกระจายสัญญาณของแต่ละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหนด ซึ่งแต่ละโหนดจะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวกลางการส่งข้อมูลเพื่อส่งต่อข้อมูลไปจนถึงโหนดเป้าหมาย หลักการทำงานจะคล้ายกับการทำงานของเร้าเตอร์ คือมีตารางเส้นทางของเครือข่ายอยู่ภายในตนเอง โดยเครือข่าย MANET สามารถจำแนกย่อยออกเป็นโพรโทคอลต่างๆหลายประเภท การทำงานของแต่ละโพรโทคอลก็จะมีรายละเอียดการทำงานที่มีความแตกต่างกันไป ข้อจำกัดที่ส่งผลกระทบอย่างมากของเครือข่ายประเภทนี้ ได้แก่ ปริมาณพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ความเป็นอิสระของเครือข่าย และเรื่องสัญญาณรบกวนต่างๆ

2.3 Ad hoc Routing Protocol

โพรโทคอลของเครือข่ายเฉพาะกิจ (Ad Hoc Routing Protocol) คือกฎระเบียบ แบบแผน หรือข้อบังคับที่ใช้ในการกำหนดว่า โหนดในเครือข่าย ในเวลา ณ ขณะหนึ่ง ต้องการอะไร มีการทำงานอย่างไร เช่น การส่งข้อมูล การค้นหาเป้าหมาย การตรวจสอบเส้นทาง หรือการเลือกเส้นทาง เป็นต้น ซึ่งเครือข่ายเฉพาะกิจนั้นมีความแตกต่างจากระบบเครือข่ายธรรมดา คือแต่ละโหนดสามารถเคลื่อนที่ได้ตำแหน่งไม่ตายตัว และเรื่องปริมาณพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้การทำงานต่างๆ ต้องมีรูปแบบเฉพาะตามสถานการณ์ โดยสามารถแบ่งประเภทของ Ad hoc Routing Protocol ได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

1. โปรแอคทีฟ (Proactive) เป็นการทำงานโดยการตรวจสอบเส้นทางรอไว้ก่อน ซึ่งค่อนข้างจะคล้ายคลึงกับระบบเครือข่ายทั่วไป แต่จะมีรายเอียดเล็กน้อยที่เปลี่ยนไปเมื่อใช้ในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ ตัวอย่างโพรโทคอลประเภทนี้ เช่น Destination Sequenced Distance Vector Routing (DSDV) เป็นต้น
2. รีแอคทีฟ (Reactive) เป็นลักษณะการทำงานที่ซึ่งกระบวนการค้นหาเส้นทางจะทำงานเมื่อมีการร้องขอเส้นทางเท่านั้น ตัวอย่างโพรโทคอลประเภทนี้ เช่น Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV), Dynamic Source Routing (DSR) เป็นต้น

2.3.1 Dynamic Source Routing (DSR) Protocol

Dynamic Source Routing หรือ DSR [2] เป็นโพรโทคอลการค้นหาเส้นทางที่มีกลไกการเลือกเส้นทางแบบรีแอคทีฟ โพรโทคอล DSR จะไม่มีการปรับปรุงตารางข้อมูลเส้นทางของตัวเอง แต่จะทำการส่งข้อมูลการหาเส้นทางเมื่อได้รับการร้องขอเส้นทางเท่านั้น (On-demand) โดยโหนดต้นทางจะบรอดคาสต์แพ็คเกตร้องขอเส้นทาง (Route request or RREQ) packet ไปยังโหนดเพื่อนบ้าน โหนดเพื่อนบ้านที่ได้รับ RREQ packet จะทำการบรอดคาสต์ RREQ packet กระจายไปยังโหนดข้างเคียงต่อไปเรื่อยๆ จนถึงโหนปลายทาง จนกระทั่งโหนดปลายทางได้รับ RREQ packet ก็จะทำการประมวลผลเส้นทางและส่งแพ็คเกตตอบกลับ (Route reply or RREP) packet กลับมาตามเส้นทางที่แพ็คเกตเดินทางมาถึง กลับไปยังโหนดผู้ส่งต้นทาง เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทั้งโหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ส่งต้นทาง และโหนดผู้รับปลายทางก็จะมีเส้นทางที่สามารถใช้ติดต่อกัน และเส้นทางจะยังคงอยู่จนกระทั่งเส้นทางนั้นใช้การไม่ได้ โหนดต้นทางจึงจะทำการ บรอดคาสต์ส่ง RREQ packet ค้นหาเส้นทางใหม่

หลักการทำงานของโพรโทคอล DSR มีข้อเสียในเรื่อง การไม่ปรับปรุงตารางเส้นทาง (Maintenance) ที่มีอยู่ ดังนั้น โหนดต้นทางจึงไม่สามารถทราบได้ว่าเส้นทางที่มีอยู่สามารถใช้ได้หรือไม่ หากเสียทางที่มีอยู่เกิดความเสียหายใช้การไม่ได้ โหนดต้นทางก็จะต้องมีการบรอดคาสต์ RREQ packet หาเส้นทางใหม่ และทำการส่งข้อมูลใหม่อีกครั้ง ข้อเสียในประเด็นนี้อาจส่งผลให้เกิดโอเวอร์เฮด (Overhead) ในระบบมากซึ่งส่งผลถึงการใช้พลังงานและโอกาสในการส่งไปถึงปลายทางที่ลดต่ำลง

2.3.2 Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing Protocol

Ad hoc On Demand Distance Vector หรือ AODV [3] โพรโทคอลการค้นหาเส้นทางที่มีกลไกการเลือกเส้นทางประเภทรีแอคทีฟ มีรูปแบบการทำงานมีความคล้ายคลึงกับโพรโทคอล DSR และ DSDV แต่จะมีข้อแตกต่างคือโพรโทคอล AODV จะมีความสามารถส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์ (Unicast) มัลติคาสต์ (Multicast) และ บรอดคาสต์ (Broadcast) ได้ นอกจากนี้โพรโทคอล AODV ยังมีการเพิ่มกลไกอื่นๆ เพื่อช่วยในการทำงานให้ดีขึ้นอีกด้วย

กลไกการทำงานเพิ่มเติมของโพรโทคอล AODV หลักๆแบ่งเป็น 2 ข้อ ได้แก่

1. Hello Mechanism เป็นกลไกช่วยในการติดตามโหนดที่อยู่ในเส้นทางที่ใช้ได้ (Active route) รอบๆ ตัวโหนด เพื่อตรวจสอบว่ายังคงใช้งานได้หรือไม่ โดยการบรอดคาสต์ Hello packet แลกเปลี่ยนกันระหว่างโหนดเพื่อนบ้านในเส้นทาง เมื่อโหนดเพื่อบ้านได้รับ Hello packet ก็จะทำการอัพเดทข้อมูลโหนดเพื่อนบ้านของตนเองที่อยู่ในเส้นทางอีกทอดและส่งกลับไปยังโหนดที่ส่งแพ็คเกตมา ถ้าโหนดที่รอรับ Hello packet ไม่ได้รับข้อมูลตามเงื่อนไขระยะเวลาที่ตั้งค่าไว้ โหนดก็จะบรอดคาสต์ Route error (RERR) packet กลับไปโหนดเพื่อบ้านที่เกี่ยวข้องตามข้อมูลในตารางเส้นทาง เพื่อแจ้งว่าเส้นทางนั้นใช้งานไม่ได้ (Invalid route) พร้อมกับลบเส้นทางดังกล่าวนั้นออกไป

2. Sequence Number Mechanism เป็นกลไกช่วยแก้ปัญหาการเกิดลูป (loop) ซึ่งมีกระบวนการทำงานคือ เมื่อภายในเครือข่ายมีการส่งข้อมูลอัพเดทปรับปรุงข้อมูลเส้นทางกันเป็นจำนวนมาก การที่แพ็คเกตเส้นทางเดิมจะถูกส่งต่อกลับมาหาผู้ส่งเองจึงมีความเป็นไปได้สูง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความเข้าใจผิดในเส้นทางหรืออาจจะก่อให้เกิดลูป ขึ้นในเครือข่าย โพรโทคอล AODV จึงมีกลไกมาแก้ปัญหากรณีดังกล่าว โดยเมื่อโหนดทำการค้นหาเส้นทาง ก็จะทำการเพิ่มค่า Sequence Number ค่าสูงสุดที่ตนเองมีก่อน แล้วค่อยส่งแพ็คเกตออกไป และสำหรับ RREP packet ก็จะต้องใช้กลไกการเพิ่มค่า Sequence Number ก่อนส่งแพ็คเกตออกไปเช่นกัน ซึ่งกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวจะช่วยป้องกันการสับสนว่า RREQ packet ที่ได้รับ เป็นอันใหม่หรืออันเก่า อีกทั้งป้องกันไม่ให้เกิด loop โดยการส่งซ้ำกันไปมาอีกด้วย

2.3.3. Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV) Routing Protocol

Destination-Sequenced Distance Vector Protocol หรือ DSDV [4] เป็นโพรโทคอลที่ถูกแปลงมาจากโพรโทคอลค้นหาเส้นทาง Routing Information Protocol (RIP) ด้วยหลักการทำงานแบบโปรแอคทีฟ ที่อิงเข้ากับ Bellman-Ford Algorithm คือต้องทราบข้อมูลของทุกโหนดในเครือข่าย โดยจะมีการเพิ่มค่าข้อมูลใหม่ๆ เช่น Sequence number เข้าไปช่วยในการทำงาน กระบวนการทำงานของโพรโทคอล คือโหนดจะทำการสร้างตารางเส้นทาง (Routing table) ซึ่งมีรายการของทุกโหนดในเครือข่าย โดยจะมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับโหนดเพื่อนบ้านตามระยะเวลา หรือเมื่อเครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลง การแลกเปลี่ยนข้อมูลจะแลกเปลี่ยนกับโหนดที่ติดกันเท่านั้น (Neighbor nodes) โดยโหนดจะทำการ บรอดคาสต์ (Broadcast) หรือ มัลติคาสต์ (Multicast) ตัว Routing Table Update Packet ออกไป ซึ่งจะเริ่มค่า metric ที่ 0 เมื่อโหนดที่ติดกันได้รับข้อมูล ก็จะทำการบวกค่า metric ขึ้นอีก 1 และส่งต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าทุกโหนดในเครือข่ายจะทราบถึงการเปลี่ยนแปลงใดๆที่เกิดขึ้น การอัพเดทปรับปรุงข้อมูลเส้นทางจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อแพ็คเกตข้อมูลมีหมายเลข Sequence Number ที่ใหม่กว่าของข้อมูลเดิม หรือมีค่า Sequence Number หมายเลขเดียวกัน ในกรณีที่ค่า metric มีค่าที่ต่ำกว่าข้อมูลเดิมก็สามารถอัพเดทข้อมูลได้ เส้นทางใหม่ที่ได้ก็จะไปแทนที่เส้นทางเดิมที่มีอยู่ในตารางเส้นทาง จากนั้นข้อมูลที่อัพเดทก็จะถูกส่งต่อไปยังโหนดอื่นๆในเครือข่ายจนครบทุกโหนด

2.4 Multipath Routing Protocol

[12] การส่งข้อมูลในเครือข่ายในแต่ละคู่โหนด ในความเป็นจริงมีมากกว่าหนึ่งเส้นทางที่สามารถส่งผ่านข้อมูลไปได้ การแยกข้อมูลส่งออกไปหลายๆเส้นทาง เป็นการลดปริมาณการสื่อสารไม่ให้เกิดความหนาแน่นที่เส้นทางใดเส้นทางหนึ่ง อีกทั้งยังเป็นเส้นทางสำรอง ทำให้การส่งข้อมูลมีความต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น เราเรียกการส่งข้อมูลลักษณะนี้ว่า มัลติพาธเร้าติ้ง (Multipath Routing) ซึ่งสามารถแบ่งรูปแบบการทำงานออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ Node-disjoint และ Link-disjoint

2.4.1 Multipath Secure Reliable (MSR) Routing Protocol

Multipath Secure Reliable routing protocol หรือ MSR [11] เป็นโพรโทคอลที่พัฒนาต่อยอดมาจากโพรโทคอล DSR มีลักษณะการค้นหาเส้นทางแบบรีแอคทีฟ และการทำงานในรูปแบบมัลติพาธเร้าติ้ง การติดต่อสื่อสารระหว่างคู่โหนดจะสามารถสื่อสารได้หลายเส้นทางต่อหนึ่งปลายทางได้ การทำงานเมื่อโหนดต้นทางต้องการส่งข้อมูล โหนดต้นทางก็จะทำบรอดคาสต์ RREQ packet ออกไปยังโหนดเพื่อนบ้าน โดยมีการใส่ข้อมูลลงใน RREQ packet ได้แก่ Source ID, Destination ID และ Request ID ลงไปในแพ็คเกต เมื่อ RREQ packet ไปถึงโหนดปลายทาง โหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลายทางจะทำการตั้งเวลาเป็นระยะเวลาหนึ่ง และทำการตรวจสอบข้อมูลต่างๆของ RREQ packet ซึ่งหาก RREQ packet ที่ได้รับมี Request ID เหมือนกันก็จะให้เส้นทางนั้นเป็นเส้นทางทางเลือก (Alternative path) หลังจากนั้นโหนดปลายทางจะทำการตอบ RREQ packet ด้วย RREP packet ในระยะเวลาที่ได้กำหนดไว้ โดยจะมีการเพิ่มค่า Hop count เข้าไปเพื่อให้โหนดต้นทางใช้เป็นข้อมูลในการเลือกเส้นทาง ซึ่งค่า Hop count จะเริ่มต้นเป็น 0 (ที่โหนดปลายทาง) เมื่อโหนดใดๆ ได้รับ RREP packet นั้นจะทำการเพิ่มค่า Hop count ขึ้นอีก 1 หน่วยจนกระทั่งถึงโหนดต้นทาง

2.4.2 Split Multipath Routing (SMR) Protocol

Split Multipath Routing Protocol หรือ SMR [10] เป็นโพรโทคอลที่มีลักษณะการทำงานแบบรีแอคทีฟ คือกระบวนการค้นหาเส้นทางจะเริ่มเมื่อมีการร้องขอเส้นทางเท่านั้น นอกจากนี้โพรโทคอล SMR ยังมีรูปแบบการส่งของมูลประเภทมัลติพาธเร้าติ้ง จึงทำให้มีเส้นทางในการสื่อสารมากกว่าหนึ่งเส้นทาง การทำงานเมื่อโหนดต้นทางร้องขอเส้นทาง โหนดต้นทางก็จะบรอดคาสต์ RREQ packet ออกไปยังโหนดข้างเคียง โดยจะมีการใส่ข้อมูลเพิ่มเข้าไปใน RREQ packet ประกอบไปด้วย Source ID, Sequence number เมื่อโหนดระหว่างทางได้รับ RREQ packet จะใส่หมายเลข Node ID ของตัวเองและทำการบรอดคาสต์ต่อไป หากได้รับ RREQ packet ที่ซ้ำกันก็จะทำการตรวจสอบว่ามีค่า Hop count ที่มากกว่าที่เคยส่งต่อหรือไม่ ถ้าน้อยกว่าก็จะทำการส่งต่อให้ แต่หากมากกว่าก็จะทำการทิ้ง (Drop) แพ็คเกตนั้นไป เมื่อมีเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ (Invalid route) ซึ่งอาจจะมีสาเหตุจากการเคลื่อนที่ของโหนด ความคับคั่งของเครือข่ายหรือการชนกันของแพ็คเกต หรือโหนดที่อยู่ติดกันเส้นทางที่ขาด ไม่สามารถติดต่อกับโหนดข้างเคียงได้ โหนดก็จะส่ง Route Error Message (RREQ) packet ออกไปยังโหนดเพื่อนบ้าน เมื่อโหนดเพื่อนบ้านได้รับก็จะทำการตรวจสอบว่าตัวเองนั้นมีเส้นทางที่ผ่านเส้นทางที่เสียหายหรือไม่ หากมีก็จะทำการลบเส้นทางนั้นออกไปและทำการส่งต่อแพ็คเกตนั้นต่อไป

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

Ad hoc On-Demand Multi hop Distance Vector Routing Protocol หรือ AOMDV [7] [8] เป็นโพรโทคอลที่มีกลไกการเลือกเส้นทางแบบรีแอคทีฟ พัฒนามาจากโพรโทคอล AODV มีวัตถุประสงค์เพื่อลดอัตราของการบรอดคาสต์การค้นหาเส้นทางของโพรโทคอล AODV ซึ่งจะช่วยลดเวอร์เฮด (Overhead) ในระบบลง เนื่องจากเมื่อเส้นทางหลักไม่สามารถใช้งานได้โพรโทคอล AODV จะทำการบรอดคาสต์หาเส้นทางใหม่เสมอ โดยโพรโทคอล AOMDV จะเก็บทุกเส้นทางไว้ให้ตารางเส้นทาง เส้นทางสำรองจะถูกเก็บเป็น Alternative path เมื่อเส้นทางหลักไม่สามารถใช้งานได้ ก็จะคัดเลือกเส้นทาง Alternative-path จากตารางเส้นทางโดยไม่ต้องทำการบรอดคาสต์ใหม่หาเส้นทางใหม่ ซึ่งกระบวนการคัดเลือกเส้นทาง จะคัดเลือกจากเส้นทางที่มีจำนวน Hop count น้อยสุด โดยการทำงานเริ่มจากโหนดต้นทาง มีการร้องขอเส้นทางการส่งข้อมูล โหนดต้นทางก็จะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบรอดคาสต์ RREQ packet ออกไปยังโหนดเพื่อนบ้าน จนกระทั่งถึงโหนดปลายทาง เมื่อโหนดปลายทางได้รับ RREQ packet ก็จะตอบกลับไปยังโหนดต้นทางด้วย RREP packet กลับไปทุกๆ ครั้งที่ได้รับ RREQ packet นอกจากนี้โพรโทคอล AOMDV จะมีการใช้กลไกการทำงานอื่นมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน เพื่อป้องกันการเกิดลูปในเครือข่าย ด้วยกลไก Loop-freedom และ Disjoiness ซึ่งวิธีการทำ Multipath AOMDV สามารถทำได้หลักๆ 2 แบบคือ Node Disjoint และ Link Disjoint [9]

2.4.3.1 Link Disjoint Multi-path

Link disjoint path คือ เส้นทางหลายๆเส้น ไปยังปลายทางใดปลายทางหนึ่ง แต่ละเส้นทางจะไม่มีการใช้เส้นทางที่ซ้ำกับเส้นทางอื่น โดยการใช้ข้อมูลจาก RREQ packet ที่ได้รับมาจากโหนดเพื่อนบ้านมากำหนดจำนวนสูงสุดที่จะสามารถมี Node/Link-Disjoint ที่จะสามารถไปยังปลายทางได้ ซึ่งโหนดปลายทาง และโหนดตัวกลางจะทำการเก็บข้อมูลต่างๆเอาไว้ ได้แก่ รายชื่อของโหนดถัดไป Hop count Advertised hop (Hop count ที่มากที่สุดของเส้นทางที่ไปยังปลายทางเดียวกัน) และ Sequence Number ที่ได้รับท้ายสุดที่จะไปยังปลายทางเดียวกัน โหนดตัวกลางจะยอมรับและส่งต่อ Route Advertisement ก็ต่อเมื่อมาจากโหนดข้างเคียงที่ไม่เคยส่งข้อมูลไปยังปลายทางตัวนั้นมาก่อนและเส้นทางนั้นต้องมี Hop count น้อยกว่า Advertised hop count ที่ไปยังโหนดปลายทางนั้นเท่านั้น แต่ถ้าโหนดได้รับ Route Advertisement จากโหนดเพื่อนบ้านที่เคยบอกเส้นทางไปยังโหนดปลายทางนั้นมาแล้วค่า Sequence Number จะต้องมีค่ามากกว่าที่ตนมีอยู่เดิม โหนดที่ได้รับ Route Advertisement นั้นจึงจะทำการเปลี่ยนแปลงค่า Next hop list, Advertised hop count ที่เก็บไว้อยู่

2.4.3.2 Node-Disjoint Multi-path

Node disjoint multipath path คือเส้นทางการส่งข้อมูลหลายๆเส้นไปยังปลายทางใดปลายทางหนึ่ง โดยแต่ละเส้นทางจะไม่มีการใช้โหนดซ้ำกับเส้นทางอื่น การทำงานโดยโหนดตัวกลางจะไม่ทิ้ง RREQ packet ที่ซ้ำกัน แต่จะทำการบันทึกลงในตาราง RREQ และโหนดปลายทางจะทำการตอบทุกๆ RREQ packet ที่ได้รับด้วย RREP packet เมื่อโหนดตัวกลางได้รับ RREP packet จะทำการตรวจสอบตารางกับ RREQ packet และทำการจัดส่งไปยังปลายทางด้วยเส้นทางที่สั้นที่สุด หลังจากนั้นทำการลบรายการนั้นออกจากตาราง RREQ packet อย่างไรก็ตามเมื่อโหนดได้ยินว่าโหนดข้างเคียงทำการส่งต่อ RREP packet นั้นไปแล้วก็จะทำการลบรายการนั้นออกจากตาราง RREQ packet ด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ตัวชี้วัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการกำหนดเส้นทางโพรโทคอลเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

งานวิจัย [6] จะแสดงถึงการใช้พลังงานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ตามรูปแบบสถานการณ์ที่ต่างกัน เช่น ขนาดของเครือข่ายที่ต่างกัน ความเร็วของโหนดในเครือข่าย โดยข้อมูลที่ทำการทดสอบ เป็นพลังงานที่ใช้ส่งข้อมูลหนึ่งต่อไบต์ (byte) ซึ่งจากผลการศึกษาผู้จัดทำได้สรุป ดังนี้

1. ความแตกต่างของจำนวนโหนดในเครือข่าย กำหนดความเร็วการเคลื่อนที่ของโหนดอยู่ที่ 15 m/s โดยให้เครือข่ายที่มีโหนด 16 และ 34 โหนดภายในเครือข่ายเป็นตัวแทนของเครือข่ายขนาดเล็ก 64 โหนดเป็นตัวแทนของเครือข่ายขนาดกลางและ 100 โหนดเป็นตัวแทนของเครือข่ายขนาดใหญ่ ผลการทดสอบพบว่า ยิ่งมีจำนวนโหนดในเครือข่ายมาก ค่าพลังงานที่ใช้ส่งข้อมูลต่อหนึ่งไบต์ก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้นไปด้วย โดยโพรโทคอลที่มีรูแปบบการทำงานแบบโปรแอคทีฟ อย่าง DSDV นั้นจะใช้อัตราพลังงานที่ใช้ส่งข้อมูลต่อหนึ่งไบต์มากกว่าพวกที่เป็นโพรโทคอลแบบรีแอคทีฟอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้การใช้พลังงานยังมีระดับการใช้งานที่มากกว่าอีกด้วย
2. ความแตกต่างของความเร็วของโหนดในเครือข่าย โดยการทดสอบที่ความเร็ว 0 m/s, 5 m/s, 20 m/s, 45 m/s และ 80 m/s จากผลการทดสอบพบว่ายิ่งโหนดในเครือข่ายมีความเร็วในการเคลื่อนที่มาก ปริมาณพลังงานที่ใช้ส่งข้อมูลต่อหนึ่งไบต์จะยิ่งใช้มากตามไปด้วย โดยโพรโทคอลแบบรีแอคทีฟ จะใช้พลังงานที่ใช้ส่งข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยมากกว่าโพรโทคอลแบบโปรแอคทีฟ (DSDV) และแบบกึ่งโปรแอคทีฟ (AODV) และจะเกิดความแตกต่างอย่างชัดเจน เมื่อความเร็วของโหนดในเครือข่ายมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น
3. ความแตกต่างของความคงที่ในเครือข่าย (Pause-Time) มีการทดสอบโดยใช้เวลาเมื่อแต่ละโหนดจะเปลี่ยนทิศทาง โดยค่าทดสอบยิ่งมากยิ่งแสดงให้เห็นว่าเครือข่ายนั้นมีความคงที่ในเครือข่าย ในทางกลับกันถ้าหากค่าทดสอบต่ำจะแสดงให้เห็นว่าเครือข่ายนั่นมีการเปลี่ยนแปลงมาก การเปลี่ยนแปลงและความคงที่ในที่นี้คือการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ของโหนดว่าเปลี่ยนบ่อยหรือไม่ งานวิจัยนี้ได้ทดสอบโดยกำหนดช่วงเวลาตั้งแต่ 0-10 วินาที จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าความคงที่ในเครือข่ายมีผลน้อยมากต่อการใช้พลังงาน หรือก็คือพลังงานที่ใช้ส่งข้อมูลต่อหนึ่งไบต์นั้นแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทุกค่าทดสอบ โดยโพรโทคอลแบบโปรแอคทีฟ (DSDV) ใช้พลังงานมากกว่าโพรโทคอลแบบรีแอคทีฟ (DSR) ตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดการทดสอบ
4. เครือข่ายที่โหนดมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วแตกต่างกัน มีการกำหนดค่าความเร็วของโหนดและความเร็วที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา เช่น ความเร็วโหนด 20 m/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงได้ 5 m/s หมายความว่าโหนดมีความเร็วในช่วง 15-25 m/s ซึ่งจากงานวิจัยนี้มีการทดสอบในเครือข่ายสองแบบคือ

1) เครือข่ายที่โหนดมีความเร็วต่ำ กำหนดความเร็วของแต่ละโหนดอยู่ที่ 15 m/s และสามารถเปลี่ยนแปลงได้เป็น 0 m/s, 5 m/s, 10 m/s และ 15 m/s
2) เครือข่ายที่โหนดที่มีความเร็วสูง กำหนดความเร็วของแต่ละโหนดอยู่ที่ 80 m/s และสามารถเปลี่ยนแปลงได้เป็น 0 m/s, 10 m/s, 20 m/s, 30 m/s และ 40 m/s โดยผลการทดสอบนั้นแสดงให้เห็นว่าในเครือข่ายที่มีความเร็วต่ำนั้น การเปลี่ยนแปลงความเร็วมีผลน้อยมาก ซึ่งผลทดสอบของแต่ละโพรโทคอลออกมาเท่าๆกัน โดยโพรโทคอลแบบโปรแอคทีฟ (DSDV) ใช้พลังงานมากกว่าฝั่งรีแอคทีฟ (DSR) อยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ในทางกลับกัน เมื่อพิจารณาผลการทดสอบในเครือข่ายที่มีความเร็วสูงนั้นโพรโทคอลที่ทำงานแบบรีแอคทีฟ (DSR) กลับใช้พลังงานมากกว่าโพรโทคอลที่ทำงานแบบโปรแอคทีฟ (DSDV) อย่างเห็นได้ชัด โดยเมื่อเพิ่มอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว อัตราการใช้พลังงานที่ใช้ส่งข้อมูลต่อหนึ่งไบต์ก็จะเพิ่มด้วยเช่นเดียวกัน

2.5.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำงาน

1. Mobility Pattern : คือ รูปแบบการเคลื่อนที่อาจส่งผลกระทบถึงการเชื่อมต่อระหว่างโหนด การคงอยู่ของเส้นทาง และประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเครือข่าย
2. Environmental Factor : คือ รูปแบบของพื้นที่ของเครือข่ายเป็นอีกจุดหนึ่งที่อาจจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเครือข่าย ยกตัวอย่างเช่น หากรูปแบบเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่เรียงตัวกันเป็นรูปแบบของสามเหลี่ยมก็จะทำให้เส้นทางมีความยาวมากขึ้น และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครือข่าย
3. Network Environment Parameter : คือ ค่าตัวแปรปัจจัยแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครือข่าย ได้แก่ ขนาดของเครือข่าย จำนวนโหนดภายในเครือข่าย ความเร็วและตำแหน่งของแต่ละโหนด ปริมาณช่องทางการส่งข้อมูล อัตราความผิดพลาด และความหนาแน่น ซึ่งตัวแปรต่างๆที่กล่าวมาล้วนส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายโดยรวมทั้งสิ้น
4. Radio Range : คือ กำลังของคลื่นสัญญาณของข้อมูล หากมีค่าต่ำกว่าค่ากำหนดของพลังงานตอนส่งข้อมูล ข้อมูลที่ได้รับก็จะไม่ถูกต้อง
5. Amount Of Deviation From Optimal Path โดย Optimal path คือ เส้นทางที่สั้นที่สุดที่จะไปยังเป้าหมายโดยดูจากจำนวนโหนดที่ต้องผ่าน ซึ่งในปกตินั้นการส่งข้อมูลอาจไม่ได้ใช้เส้นทางที่สั้นที่สุดเสมอไป ตัวชี้วัดนี้จึงเป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนโหนดที่ต้องผ่านใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นทางที่ไม่ได้สั้นที่สุดลบกับจำนวนโหนดที่ต้องผ่านในเส้นทางที่สั้นที่สุด (Optimal Path)

2.5.2 เทคนิคการแพร่กระจายข้อมูล

1. Self-Pruning : คือ เทคนิคการแพร่กระจายข้อมูลด้วยการใช้ Hello Massage ตรวจสอบโหนดที่อยู่ใกล้ๆ แล้วเก็บข้อมูลไว้ในรูปแบบรายชื่อเพื่อนบ้าน เมื่อโหนดใดๆได้รับแพ็คเกตข้อมูล ก็จะทำการตรวจสอบว่าผู้ส่งมีชื่ออยู่ในรายชื่อเพื่อนบ้านหรือไม่ หากมีก็จะกระจายข้อมูลต่อให้ แต่ถ้าไม่เจอในรายชื่อเพื่อนบ้าน ข้อมูลเหล่านั้นจะถูกดรอปทิ้ง
2. Scalable Broadcasting Approach : คือ เทคนิคที่พัฒนาต่อจาก Self-Pruning ซึ่งกลไกการทำงานยังคงพึ่งพา Hello Message ในสร้างรายชื่อเพื่อนบ้านและการช่วยส่งต่อข้อมูล แต่การส่งต่อข้อมูลของเทคนิคนี้จะทำการส่งต่อให้โหนดเพื่อนบ้านที่ไกลออกไป 2 ระยะโหนดเท่านั้น เพื่อให้มีระยะการแพร่กระจายข้อมูลเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม
3. Ad Hoc Broadcasting Approach : คือ เทคนิคการค้นหาเส้นทางที่พิจารณาเพียงโหนด ที่ได้รับเลือกเท่านั้น ที่จะสามารถส่งต่อข้อมูลได้ เช่น Gateway node หรือ Broadcast message header
4. Cluster based : คือ เทคนิคการค้นหาเส้นทางโดยการแบ่งกลุ่มเป็นช่วงพื้นที่การส่งต่อข้อมูล มีการคัดเลือกตัวแทนกลุ่มกันเอง ซึ่งตัวแทนจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางคอยส่งต่อข้อมูลเพียงคนเดียวให้สมาชิกภายในเครือข่าย เพื่อลดการส่งข้อมูลที่ไม่จำเป็นในเครือข่าย

2.6 การวิเคราะห์การใช้พลังงานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ตามรูปแบบที่แตกต่างกัน

งานวิจัย [6] จะแสดงถึงการใช้พลังงานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ตามรูปแบบสถานการณ์ที่ต่างกัน เช่น ขนาดของเครือข่ายที่ต่างกัน ความเร็วของโหนดในเครือข่าย โดยข้อมูลที่ทำการทดสอบ เป็นพลังงานที่ใช้ส่งข้อมูลหนึ่งต่อไบต์ (byte)

สรุปผลการศึกษา ดังนี้

1. ความแตกต่างของจำนวนโหนดในเครือข่าย กำหนดความเร็วการเคลื่อนที่ของโหนดอยู่ที่ 15 m/s โดยให้เครือข่ายที่มีโหนด 16 และ 34 โหนดภายในเครือข่ายเป็นตัวแทนของเครือข่ายขนาดเล็ก 64 โหนดเป็นตัวแทนของเครือข่ายขนาดกลางและ 100 โหนดเป็นตัวแทนของเครือข่ายขนาดใหญ่ ผลการทดสอบพบว่า ยิ่งมีจำนวนโหนดในเครือข่ายมาก ค่าพลังงานที่ใช้ส่งข้อมูลต่อหนึ่งไบต์ก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้นไปด้วย โดยโพรโทคอลที่มีรูแปบบการทำงานแบบโปรแอคทีฟ อย่าง DSDV นั้นจะใช้อัตราพลังงานที่ใช้ส่งข้อมูลต่อหนึ่งไบต์ มากกว่าพวกที่เป็นโพรโทคอลแบบรีแอคทีฟอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้การใช้พลังงานยังมีระดับการใช้งานที่มากกว่าอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความแตกต่างของความเร็วของโหนดในเครือข่าย โดยการทดสอบที่ความเร็ว 0 m/s, 5 m/s, 20 m/s, 45 m/s และ 80 m/s จากผลการทดสอบพบว่ายิ่งโหนดในเครือข่ายมีความเร็วในการเคลื่อนที่มาก ปริมาณพลังงานที่ใช้ส่งข้อมูลต่อหนึ่งไบต์จะยิ่งใช้มากตามไปด้วย โดยโพรโทคอลแบบรีแอคทีฟ จะใช้พลังงานที่ใช้ส่งข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยมากกว่าโพรโทคอลแบบโปรแอคทีฟ (DSDV) และแบบกึ่งโปรแอคทีฟ (AODV) และจะเกิดความแตกต่างอย่างชัดเจน เมื่อความเร็วของโหนดในเครือข่ายมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น

3. ความแตกต่างของความคงที่ในเครือข่าย (Pause-Time) มีการทดสอบโดยใช้เวลาเมื่อแต่ละโหนดจะเปลี่ยนทิศทาง โดยค่าทดสอบยิ่งมากยิ่งแสดงให้เห็นว่าเครือข่ายนั้นมีความคงที่ในเครือข่าย ในทางกลับกันถ้าหากค่าทดสอบต่ำจะแสดงให้เห็นว่าเครือข่ายนั่นมีการเปลี่ยนแปลงมาก การเปลี่ยนแปลงและความคงที่ในที่นี้คือการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ของโหนดว่าเปลี่ยนบ่อยหรือไม่ งานวิจัยนี้ได้ทดสอบโดยกำหนดช่วงเวลาตั้งแต่ 0-10 วินาที จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าความคงที่ในเครือข่ายมีผลน้อยมากต่อการใช้พลังงาน หรือก็คือพลังงานที่ใช้ส่งข้อมูลต่อหนึ่งไบต์นั้นแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทุกค่าทดสอบ โดยโพรโทคอลแบบโปรแอคทีฟ (DSDV) ใช้พลังงานมากกว่าโพรโทคอลแบบรีแอคทีฟ (DSR) ตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดการทดสอบ

4. เครือข่ายที่โหนดมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วแตกต่างกัน มีการกำหนดค่าความเร็วของโหนดและความเร็วที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา เช่น ความเร็วโหนด 20 m/s เปลี่ยนแปลงได้ 5 m/s หมายความว่าโหนดมีความเร็วในช่วง 15-25 m/s ซึ่งจากงานวิจัยนี้มีการทดสอบในเครือข่ายสองแบบคือ

5. เครือข่ายที่โหนดมีความเร็วต่ำ กำหนดความเร็วของแต่ละโหนดอยู่ที่ 15 m/s และสามารถเปลี่ยนแปลงได้เป็น 0 m/s, 5 m/s, 10 m/s และ 15 m/s

6. เครือข่ายที่โหนดที่มีความเร็วสูง กำหนดความเร็วของแต่ละโหนดอยู่ที่ 80 m/s และสามารถเปลี่ยนแปลงได้เป็น 0 m/s, 10 m/s, 20 m/s, 30 m/s และ 40 m/s โดยผลการทดสอบนั้นแสดงให้เห็นว่าในเครือข่ายที่มีความเร็วต่ำนั้น การเปลี่ยนแปลงความเร็วมีผลน้อยมาก ซึ่งผลทดสอบของแต่ละโพรโทคอลออกมาเท่าๆกัน โดยโพรโทคอลแบบโปรแอคทีฟ (DSDV) ใช้พลังงานมากกว่าฝั่งรีแอคทีฟ (DSR) อยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ในทางกลับกัน เมื่อพิจารณาผลการทดสอบในเครือข่ายที่มีความเร็วสูงนั้นโพรโทคอลที่ทำงานแบบรีแอคทีฟ (DSR) กลับใช้พลังงานมากกว่าโพรโทคอลที่ทำงานแบบโปรแอคทีฟ (DSDV) อย่างเห็นได้ชัด โดยเมื่อเพิ่มอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว อัตราการใช้พลังงานที่ใช้ส่งข้อมูลต่อหนึ่งไบต์ก็จะเพิ่มด้วยเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 เทคนิคการค้นหาเส้นทางเพื่อความประหยัดพลังงานในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

การค้นหาเส้นทางในชั้น Network Layer ของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ จะเป็นกระบวนการค้นหาเส้นทาง ส่วนใหญ่จะมีวัตถุประสงค์ในการพิจารณาเลือกเส้นทางโดยให้ความสำคัญในเรื่องการใช้พลังงานให้มีความคุ้มค่าที่สุด เพื่อลดการใช้พลังงานรวมของการส่งข้อมูลภายในเครือข่ายลง และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านอายุการใช้งานของแต่ละโหนดในเครือข่าย ตัวอย่างเทคนิคการค้นหาเส้นทาง โดยมุ่งประเด็นด้านการใช้พลังงานในเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ Minimum Transmission Power Routing (MTPR), Minimum Battery Cost Routing (MBCR) และ Condition Max-Min Battery Cost Routing (CMMBCR) ซึ่งจะอธิบายขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

2.7.1 Minimum Transmission Power Routing (MTPR)

[13] รูปแบบการคัดเลือกเส้นทางที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดจากเส้นทางทั้งหมด (possible route) พิจารณาจากค่าพลังงานการส่งผ่านข้อมูล (Transmission power) โดยจะคัดเลือกเส้นทางที่มีค่าพลังงานการส่งผ่านข้อมูลรวมของทุกโหนดในเครือข่ายที่น้อยที่สุด มาเป็นเส้นทางหลัก ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.1) และ (2.2)

$$P_l = \sum_{i=0}^{D-1} P(n_i, n_{n+1}) \quad for\ all\ node\ n_i \in route \tag{2.1}$$

$$P_k = \min P_l \qquad for\ l \in A \tag{2.2}$$

กำหนดให้ $P\ (n_i, n_{n+1})$ คือ ค่าพลังงานการส่งผ่านข้อมูลระหว่างโหนด,

P_l คือ ค่าพลังงานการส่งผ่านข้อมูลของแต่ละเส้นทาง,

n_0, n_D คือ โหนดต้นทางและโหนดปลายทางตามลำดับ,

P_k คือ ค่าการส่งผ่านข้อมูลที่น้อยที่สุดจากเส้นทางทั้งหมด

กระบวนการทำงานนี้ไม่ได้พิจารณาอายุการใช้งานของแต่ละโหนดโดยตรง เนื่องจากการพิจารณาเพียงค่าพลังงานการส่งผ่านข้อมูล ส่งผลให้โหนดที่มีค่าพลังงานส่งผ่านข้อมูลมาก อาจเป็นเงื่อนไขในการถูกคัดเลือกเป็นทางผ่านของเส้นทางได้ ซึ่งจะส่งผลให้โหนดดังกล่าวทำงานหนักและพลังงานแบตเตอรี่ของโหนดนั้นก็จะหมดไวมากขึ้น

2.7.2 Minimum Battery Consumption Routing (MBCR)

[13] รูปแบบการคัดเลือกเส้นทางโดยพิจาณาจากพลังงานรวมของแบตเตอรี่ของแต่ละเส้นทาง ซึ่งจะคัดเลือกเส้นทางที่มีพลังงานรวมของโหนดในเส้นทางมากที่สุด มาเป็นเส้นทางหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการส่งข้อมูล โดยสามารถคำนวณค่าพลังงานคงเหลือของแบตเตอรี่ของแต่ละโหนด ได้จากสมการ

$$f_i = \frac{1}{c_i^t} \tag{2.3}$$

กำหนดให้ f_i คือ ค่าส่วนกลับของพลังงาน

c_i^t คือ ค่าพลังงานของแบตเตอรี่คงเหลือของโหนด n_i ณ เวลา t ในรูปแบบร้อยละ (percent)

จากสมการสังเกตว่า ค่าพลังงานของโหนดมีค่ามากกว่า ค่า *f(i)* จะมีค่าน้อยกว่าค่าพลังงานของโหนดที่มีค่าน้อยกว่า เมื่อคำนวณค่าคงเหลือของแบตเตอรี่ของแต่ละโหนดในเส้นทางแล้วลำดับต่อไปคือ การคำนวณค่า Cost ของแต่ละเส้นทาง ซึ่งก็คือพลังงานคงเหลือของแบตเตอรี่รวมของทั้งเส้นทาง หลังจากนั้นก็จะคัดเลือกเส้นทางการส่งข้อมูลหลักจากเส้นทางที่มีค่า Cost น้อยที่สุด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$R_j = \sum_{i=0}^{D_j} f_i(c_i^t) \tag{2.4}$$

$$R_i = \min\{R_j \mid j \in A\} \tag{2.5}$$

กำหนดให้ R_j คือ ค่าพลังงานคงเหลือของแบตเตอรี่ทั้งหมดของแต่ละเส้นทาง i ประกอบไปด้วย D โหนด

R_i คือ ค่าพลังงานคงเหลือทั้งหมดของแบตเตอรี่ในแต่ละเส้นทางที่มีพลังงานคงเหลือมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นทางอื่นๆ (possible routes)

A คือ เซตของเส้นทางที่สามารถใช้ได้ (possible routes)

หากค่าพลังงานของเส้นทางมีค่าเท่ากัน ก็จะเลือกเส้นทางที่สั้นกว่า อย่างไรก็ตาม จากการคัดเลือกเส้นทางการพิจาณาจากค่าพลังงานรวมคงเหลือของแบตเตอรี่ พบว่าโหนดที่มีพลังงานคงเหลือน้อยมาก (ค่าส่วนกลับสูง) อาจจะเป็นปัจจัยที่ทำให้เส้นทางนั้นถูกเลือก แม้ว่าจะมีเส้นทางอื่นที่มีความเหมาะสมมากว่ากว่าก็ตาม

2.7.3 Maximum Minimum Battery Consumption Routing (MMBCR)

[13] รูปแบบการค้นหาเส้นทางที่พัฒนามาจากเทคนิค MBCR เป็นการพิจารณาเส้นทางจากโหนดที่มีพลังงานคงเหลือของแบตเตอรี่น้อยที่สุดของแต่ละเส้นทาง มาเปรียบเทียบกันแล้วเลือกเส้นทางที่มีพลังงานคงเหลือมากที่สุด เนื่องมาจากรูปแบบการค้นหาเส้นทาง MBCR เกิดปัญหาเรื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานของโหนดมากเกินความเหมาะสม (overused) เทคนิค MMBCR จึงได้พัฒนาเพื่อปรับปรุงข้อจำกัดดังกล่าว ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$R_j = \max \ f_i(c_i^t) \ for \ i \ \in route_j \tag{2.6}$$

$$R_i = \min\{R_j \mid j \ \in A\} \tag{2.7}$$

กำหนดให้ R_j คือ ค่าพลังงานส่วนกลับที่มากที่สุด ของโหนดในเส้นทาง

R_i คือ เส้นทางที่มีค่าพลังงานคงเหลือของแบตเตอรี่น้อยที่สุด เปรียบเทียบกับเส้นทางอื่นๆ แล้วมากที่สุด

การพิจารณาวิธีค้นหาเส้นทางดังกล่าว จะสังเกตได้ว่าเป็นการค้นหาเส้นทางโดยการหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีพลังงานของโหนดคงเหลือน้อย ซึ่งพิจาณาค่าพลังงานงานของโหนดโดยตรง เพื่อก่อให้เกิดความยุติธรรมต่อการใช้งานของโหนด มากกว่ารูปแบบการค้นหาเส้นทาง MTPT และ MCBR

2.7.4 Conditional Max-Min Battery Cost Routing (CCMBCR)

[13] รูปแบบการค้นหาเส้นทาง วัตถุประสงค์คือการเพิ่มอายุการใช้งานของแต่ละโหนดอย่างเหมาะสมที่สุด ซึ่งรูปแบบดังกล่าวเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างเทคนิค MTPR และ MMCBR การคัดเลือกเส้นทางโดยพิจารณาพลังงานคงแหลือของแบตเตอรี่ของโหนดทั้งหมด จะทำการเลือกตัวแทนของเส้นทาง จากโหนดที่มีค่าพลังงานคงเหลือของแบตเตอรี่น้อยที่สุดมาเปรียบเทียบอัตราส่วน Threshold หากมีค่าพลังงานมากกว่า Threshold ก็จะใช้เกณฑ์การคัดเลือกเส้นทางของ MTPR ด้วยแนวคิดที่ว่าหากค่าพลังงานอยู่ระดับที่ไม่น้อยเกินไป การส่งผ่านข้อมูลที่มีความรวดเร็วเพื่อความสำเร็จในการติดต่อสาร ย่อมจะช่วยลดภาระการทำงานของโหนดอื่นๆ และยังจะช่วยยืดระยะเวลาการคงอยู่ (lifetime) ของโหนดมากขึ้นด้วย แต่หากที่มีค่าพลังงานของน้อยกว่า Threshold จะใช้เกณฑ์การคัดเลือกเส้นทางของ MMBCR เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้งานของโหนดที่มีค่าพลังงานแบตเตอรี่คงเหลือน้อย ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก สมการดังนี้

$$R_j^c = \min c_i^t \ \ for \ i \ \in route_j \tag{2.8}$$

$$R_j^c \ \geq \ \gamma, \ for \ any \ route_j \in A \tag{2.9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ R_j คือ ค่าความจุของแบตเตอรี่ที่มีค่าน้อยที่สุด ของเส้นทาง j ณ เวลา t

A คือ เซตของเส้นทางที่เป็นไปได้ (possible route)

γ คือ ค่าสัดส่วนการพิจารณา (threshold) ซึ่งอยู่ในรูปแบบร้อยละ

จากการพิจาณาวิธีการคัดเลือกเส้นทางของ CMMBCR พบว่าประสิทธิภาพการคัดเลือกเส้นทางของเทคนิคดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วน (γ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
แนวคิดและการดำเนินงาน

โพรโทคอลที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อเลือกใช้เส้นทางโดยพิจารณาปัจจัยเรื่องการใช้พลังอย่างมีประสิทธิภาพโดยการเลือกใช้เส้นทางที่สั้นที่สุดเป็นหลัก และมีการพิจารณาถึงภาวะแวดล้อมของเครือข่ายว่ามีปัญหาด้านพลังงานหรือความคับคั่งของเครือข่ายเกิดขึ้นหรือไม่ ถ้ามีปัญหาเกิดขึ้น โพรโทคอลจะทำการเลือกใช้เส้นทางที่มีความเหมาะสมในแต่ละสถาณการณ์ได้โดยอัตโนมัติ โดยรายละเอียดขั้นตอนการทำงานของโพรโทคอลมีดังต่อไปนี้

3.1 การค้นหาเส้นทาง

กระบวนการค้นหาเส้นทางจะเป็นการพัฒนาพื้นฐานของโพรโทคอล AOMDV คือโหนดต้นทางจะกระจายคำร้องขอเส้นทาง (Route Request) ออกไปยังโหนดข้างเคียง และโหนดข้างเคียงจะทำการกระจายต่อไปเรื่อยๆ พร้อมกันสร้างเส้นทางกลับมายังโหนดต้นทาง (Reverse Path) จนกว่าจะถึงโหนดปลายทาง เมื่อโหนดปลายทางได้รับคำร้องขอเส้นทางแล้วนั้นก็จะทำการตอบกลับด้วยการส่งคำตอบรับ (Route Reply) กลับมายังโหนดต้นทาง โดยการพัฒนาผู้จัดทำได้ทำการปรับแต่งแพ็คเกตคำตอบรับ (Route Reply Packet Header) และตารางเส้นทาง (Routing Table) โดยการเพิ่มพื้นที่สำหรับใส่ค่าความยาวคิวของแต่ละโหนด เพื่อหาค่าความยาวคิวที่มากที่สุด ของแต่ละเส้นทางสำหรับตารางเส้นทางเข้าไปด้วย เมื่อโหนดระหว่างทางได้รับคำตอบรับจากโหนดปลายทางจะทำการตรวจสอบค่าความยาวของคิวในคำตอบรับว่ามีค่าความยาวคิวน้อยกว่าของตนเองหรือไม่ ถ้าน้อยกว่าโหนดก็จะทำการใส่ค่าคิวของตนเองลงในคำตอบรับและส่งต่อไปยังโหนดต้นทางต่อไป นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มพื้นที่จัดเก็บข้อมูลของ RREP packet สำหรับการเก็บค่าพลังงานของโหนดที่น้อยที่สุดของแต่ละเส้นทางไว้อีกด้วย ซึ่งกระบวนการเก็บค่าพลังงานจะมีความคล้ายคลึงกับกระบวนการ การเก็บค่าคิว ท้ายที่สุดเราจะได้ค่าคิวที่มีค่ามากที่สุด และค่าพลังงานของโหนดที่น้อยที่สุดในแต่ละเส้นทาง เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกเส้นทางต่อไป

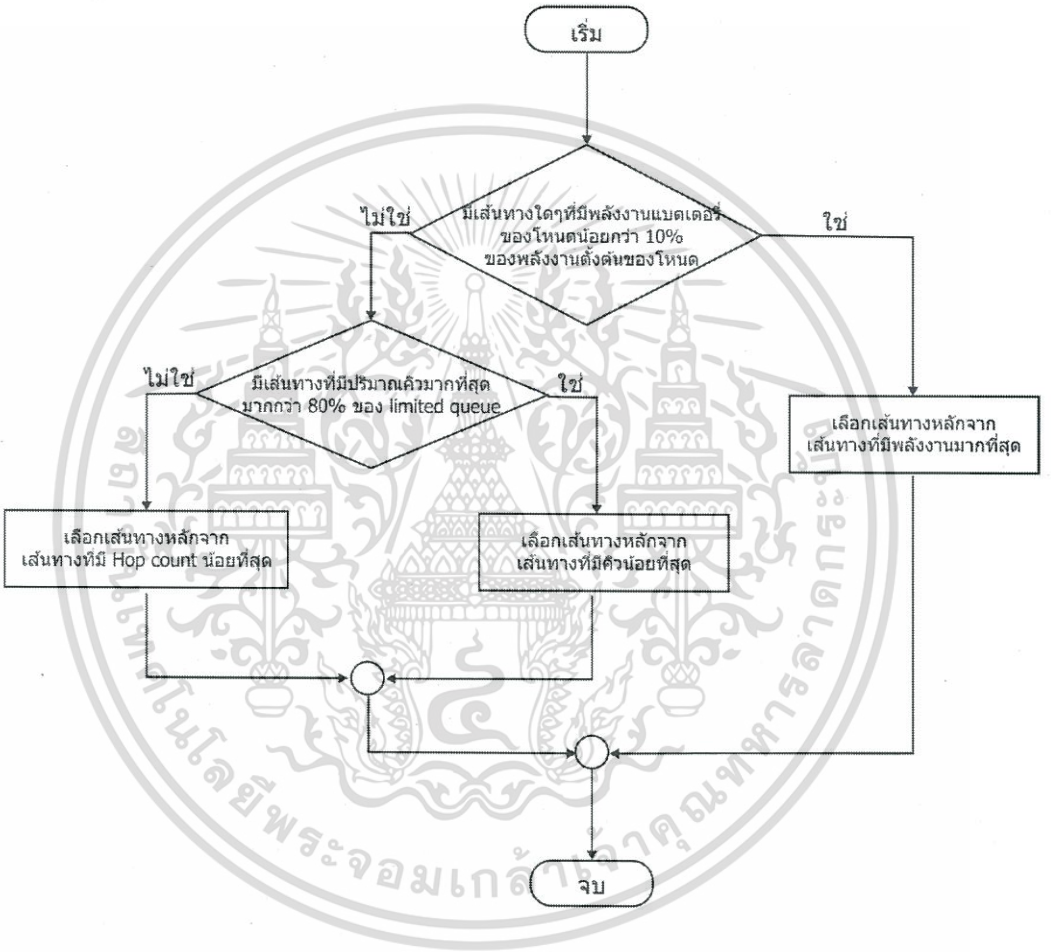
3.2 การเลือกเส้นทาง

หลังจากกระบวนการค้นหาเส้นทางเราก็จะได้ค่าคิวที่มากที่สุดและค่าพลังงานที่น้อยที่สุดของโหนดในแต่ละเส้นทาง ต่อมาโหนดต้นทางจะทำการเลือกเส้นทาง โดยหากเครือข่ายอยู่ในสภาวะปกติ ไม่มีปัญหาทั้งทางด้านพลังงานและด้านความหนาแน่นของข้อมูล การเลือกใช้เส้นทางจะคัดเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดเพื่อการประหยัดพลังงาน แต่หากพบว่าเครือข่ายอยู่ในสภาวะวิกฤต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

144539

ทางพลังงาน ซึ่งก็คือการตรวจพบว่ามีเส้นทางใดๆที่พลังงานแบตเตอรี่น้อยกว่า 10% ของพลังงานตั้งต้น โหนดก็จะเลือกใช้เส้นทางที่มีพลังงานมากที่สุด แต่ถ้าไม่มีเส้นทางไหนเลย ที่มีพลังงานต่ำกว่า 10% ของพลังงานตั้งต้น ก็จะมาพิจารณาปริมาณคิวที่มากที่สุดในตารางเส้นทาง ว่ามีค่าเกินกว่า 80% ของ limited queue หรือไม่ ถ้าใช่แสดงว่าเครือข่ายมีปัญหาภาวะวิกฤตด้านความคับคั่งของเครือข่ายของข้อมูลจึงเลือกใช้เส้นทางที่มีปริมาณคิวน้อยที่สุด ซึ่งกระบวนการทั้งหมดจะแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพกิจกรรมการคัดเลือกเส้นทางของ Proposed protocol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองหรือระบบต้นแบบ

ในการทดลองนี้เราจะมุ่งเน้นศึกษาประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่ได้รับการปรับปรุงโดยการจำลองสถานการณ์สภาพแวดล้อมที่มีความคับคั่งของเครือข่าย โดยมีค่าจำนวนการเชื่อมต่อที่จะเปลี่ยนไปในแต่ละการทดสอบและทำการจำกัดค่าคิวที่โหนดๆหนึ่งจะมีได้ไว้ที่ 10 แพ็คเกต เพื่อให้เครือข่ายเกิดความคับคั่งได้ง่ายขึ้น โดยจัดการทดสอบด้วยโปรแกรม Network Simulator 2 (NS2)

4.1 เหตุการณ์จำลองและตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

รูปแบบการเคลื่อนที่ของโหนด	สุ่มทิศทาง
ขนาดพื้นที่การทดลอง	1000 เมตร x 1000 เมตร
จำนวนโหนดในเครือข่าย	30, 40, 50, 60, 70 โหนด
ความเร็วโหนด	5 เมตร/วินาที
เวลาหยุดพักการเคลื่อนที่	ไม่มี
จำนวนโหนดที่ส่งข้อมูล	10 โหนด
รัศมีการส่งข้อมูล	250 เมตร
ความถี่ในการส่งข้อมูล	10 แพ็คเกต/วินาที
ขนาดแพ็คเกต	512 ไบต์
รูปแบบข้อมูล	ความเร็วคงที่ (อัตราข้อมูลคงที่)
เวลาที่ใช้ในการทดลอง	700 วินาที
พลังงานเริ่มต้น	400 จูล
ขนาดของคิวที่มากที่สุด (Interface Queue)	10 แพ็คแก็ต
รูปแบบของคิว	Priority Queuing
พลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูล (txPower)[14]	1.34616 วัตต์
พลังงานที่ใช้ในการรับข้อมูล (rxPower)	0.9006 วัตต์
พลังงานที่ใช้ในขณะที่ไม่รับ-ส่งข้อมูล (idlePower)	0 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองและตัวชี้วัด

ในการทดลองจะทำการวัดประสิทธิภาพด้านต่างๆ ดังนี้

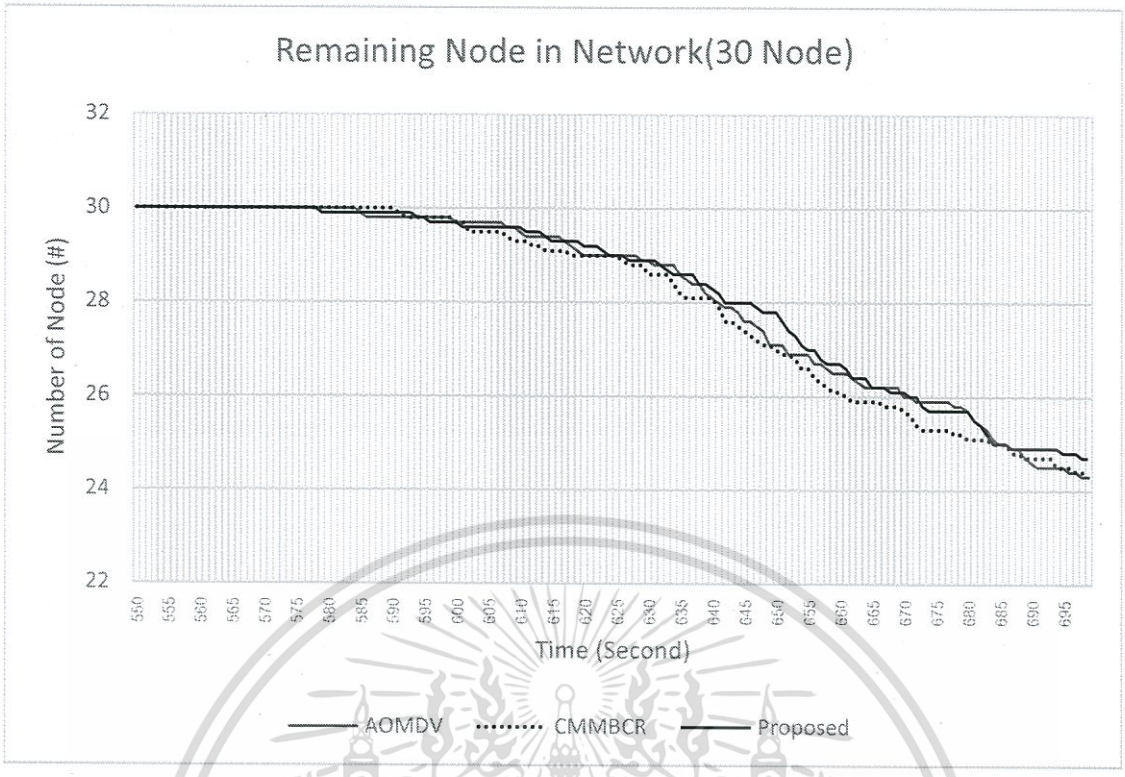
1) กราฟแสดงโหนดที่เหลืออยู่ (Remaining Node in Network)
2) พลังงานที่เหลืออยู่ของโหนดทั้งเครือข่าย (Remaining Energy of Network)
3) เวลาที่โหนดตายครั้งแรก (First Node Dead)
4) อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ (Packet Delivery Ratio)
5) ความล่าช้าในการส่งข้อมูล (End to End Delay)
6) อัตราส่วนระหว่างแพ็คเกตเส้นทางที่ใช้ในการส่งข้อมูลกับแพ็คเกตข้อมูลที่ไปถึงปลายทาง (Normalized Routing Overhead)
7) อัตราส่วนระหว่างแพ็คเกตที่ส่งกับแพ็คเกตที่ถูกทิ้ง (Drop Packet Ratio)

และมีผลการทดลองดังนี้

กลไกที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ดังนี้

1) AOMDV
2) AOMDV – CMMBCR
3) Proposed protocol

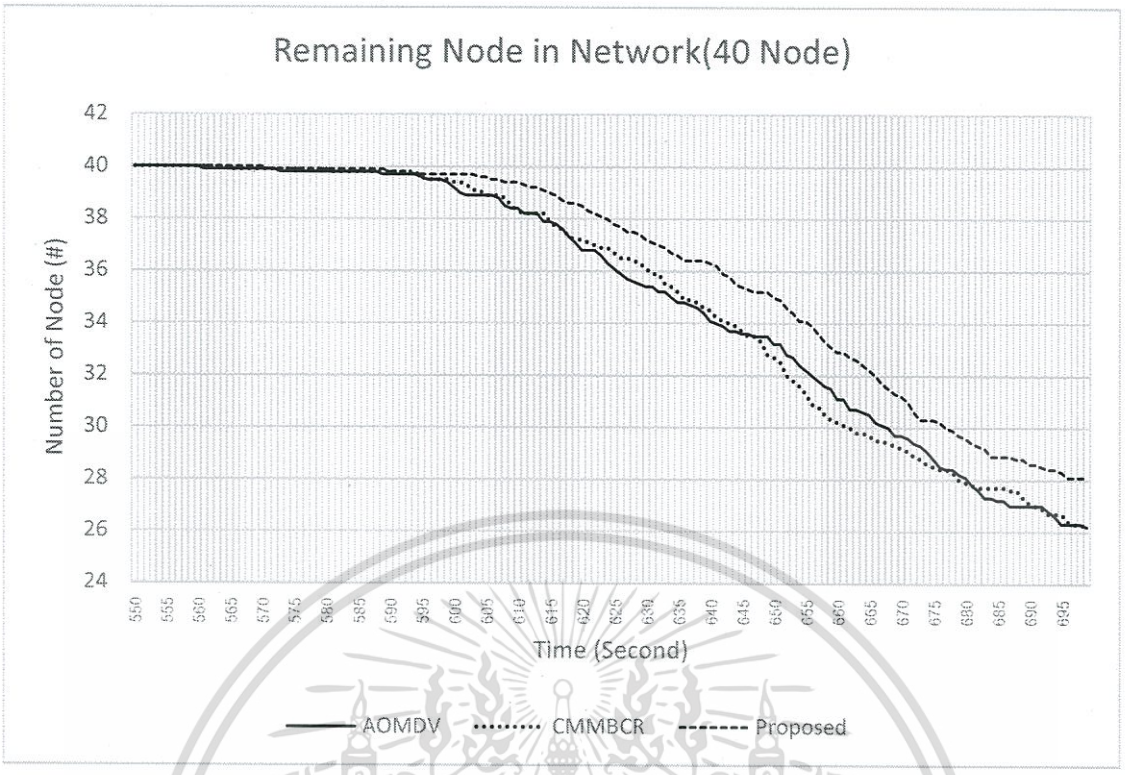
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟ Remaining Node in Network (30 Node)

ในสภาวะที่เครือข่ายมีจำนวนโหนดน้อยโพรโทคอลที่นำเสนอนั้น จะไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพเนื่องด้วยมีเส้นทางให้เลือกใช้น้อยดังผลการทดลองดังที่แสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งแม้ในบางช่วงเวลาโพรโทคอลที่นำเสนอนั้นมีจำนวนโหนดที่ยังคงทำงานอยู่ในเครือข่ายมากกว่าโพรโทคอลอื่นแต่นั่นก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

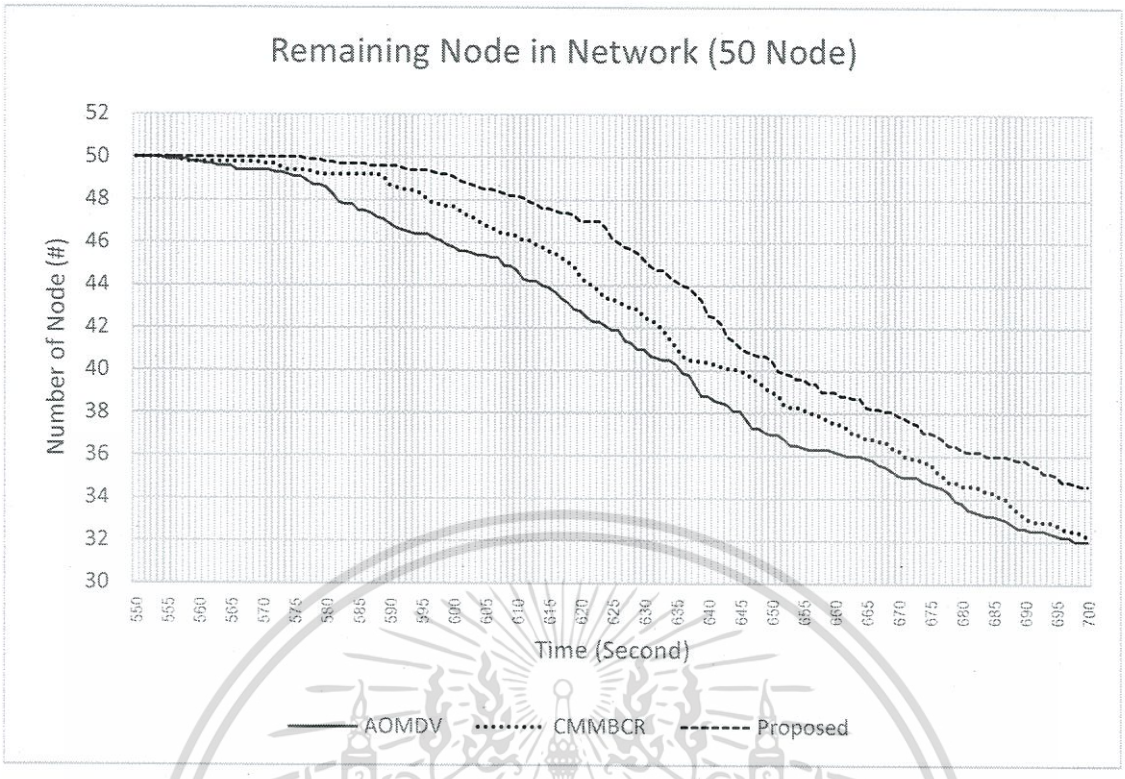
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟ Remaining Node in Network (40 Node)

จากรูปที่ 4.2 เมื่อจำนวนโหนดมีมากขึ้น (เทียบกับ 30 โหนด) การทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอนั้นเริ่มมีประสิทธิภาพดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงเวลาเดียวกันจำนวนโหนดคงเหลือในโพรโทคอลที่นำเสนอนั้นมีสูงกว่าโพรโทคอลอื่นๆอย่างเห็นได้ชัดเจน อันเนื่องมาจากการหลีกเลี่ยงการใช้งานเส้นทางที่มีโหนดใกล้ตายและไม่ใช้งานโหนดใดโหนดหนึ่งหนักเกินไป ทำให้สามารถชลอการตายของโหนดในเครือข่ายลงได้

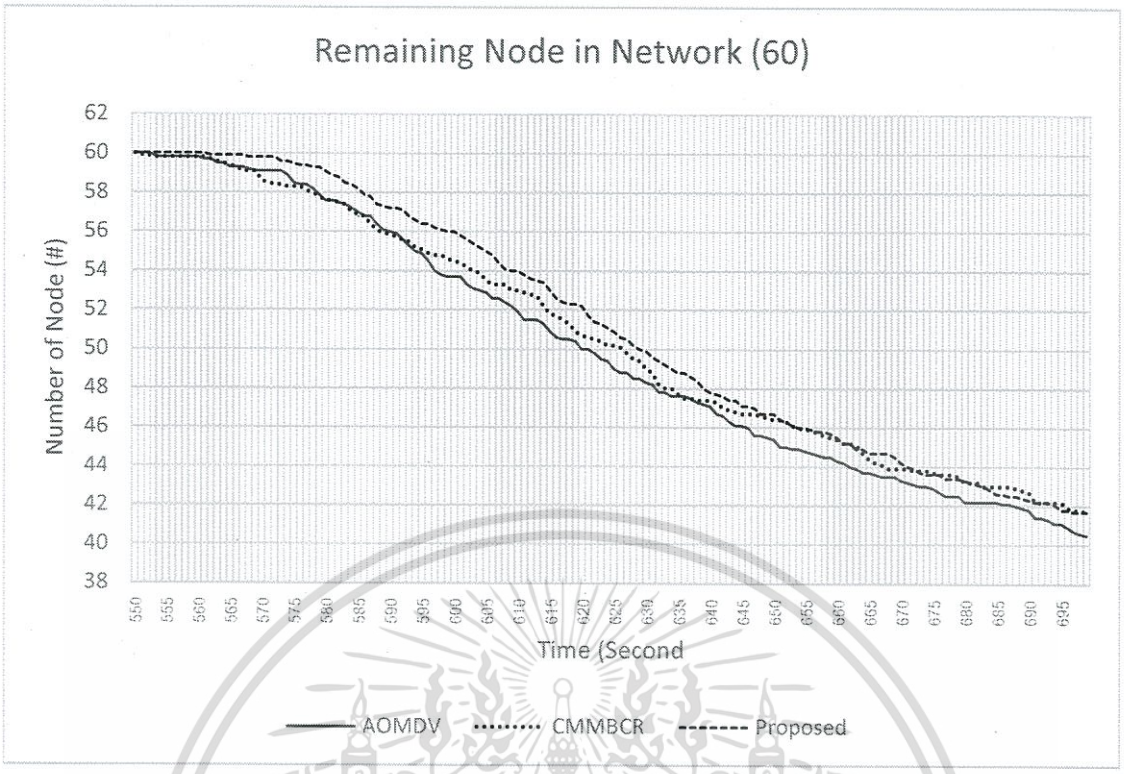
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



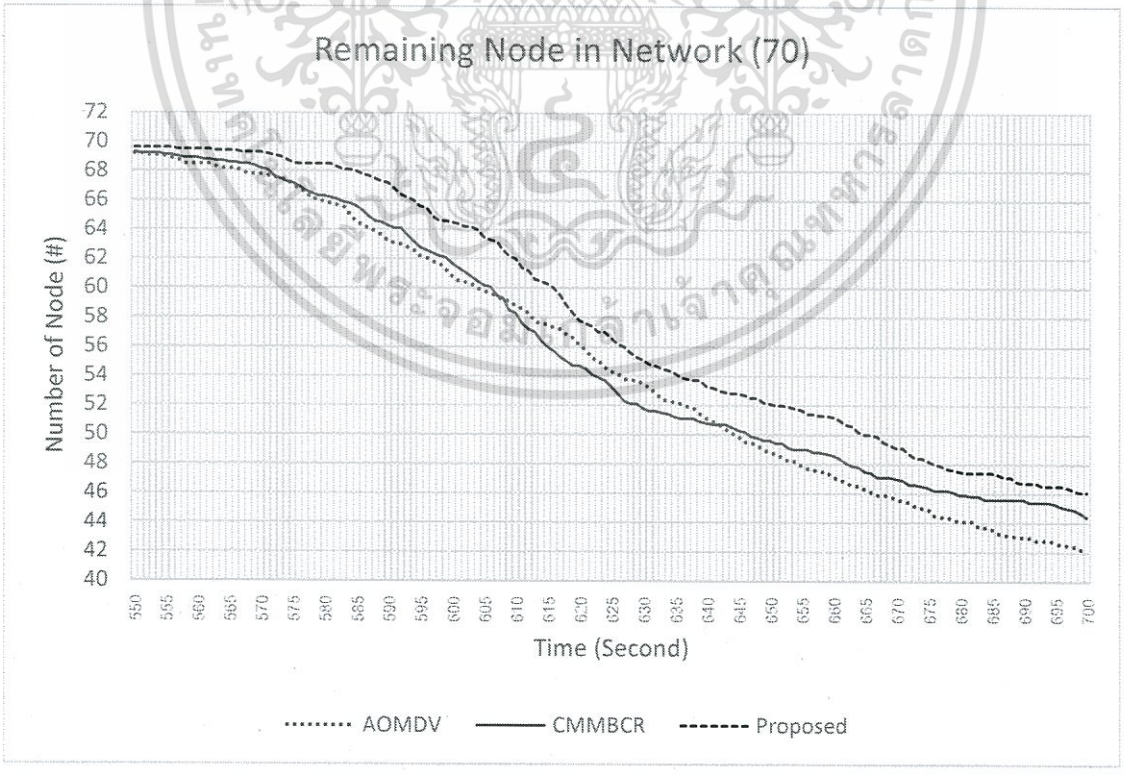
รูปที่ 4.3 กราฟ Remaining Node in Network (50 Node)

จากรูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่นำเสนอยังคงดีขึ้นต่อเนื่องในการทดลองนี้ โดยในเวลาเดียวกันโพรโทคอลที่นำเสนอมีโหนดที่พลังงานยังไม่หมดมากกว่าโพรโทคอลอื่นๆ มากที่สุดถึง 5 โหนดด้วยกัน อีกทั้งกว่าโหนดจะหมดพลังงานแล้วจำนวนลดลงมาเท่ากับโพรโทคอลอื่นๆยังใช้เวลามากกว่า 10 วินาที และจะเห็นได้ว่าโพรโทรคอล CMMBCR มีประสิทธิภาพรองลงมาจากโพรโทรคอลที่นำเสนอเนื่องจากมีการทำงานที่หลีกเลี่ยงโหนดตายได้นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



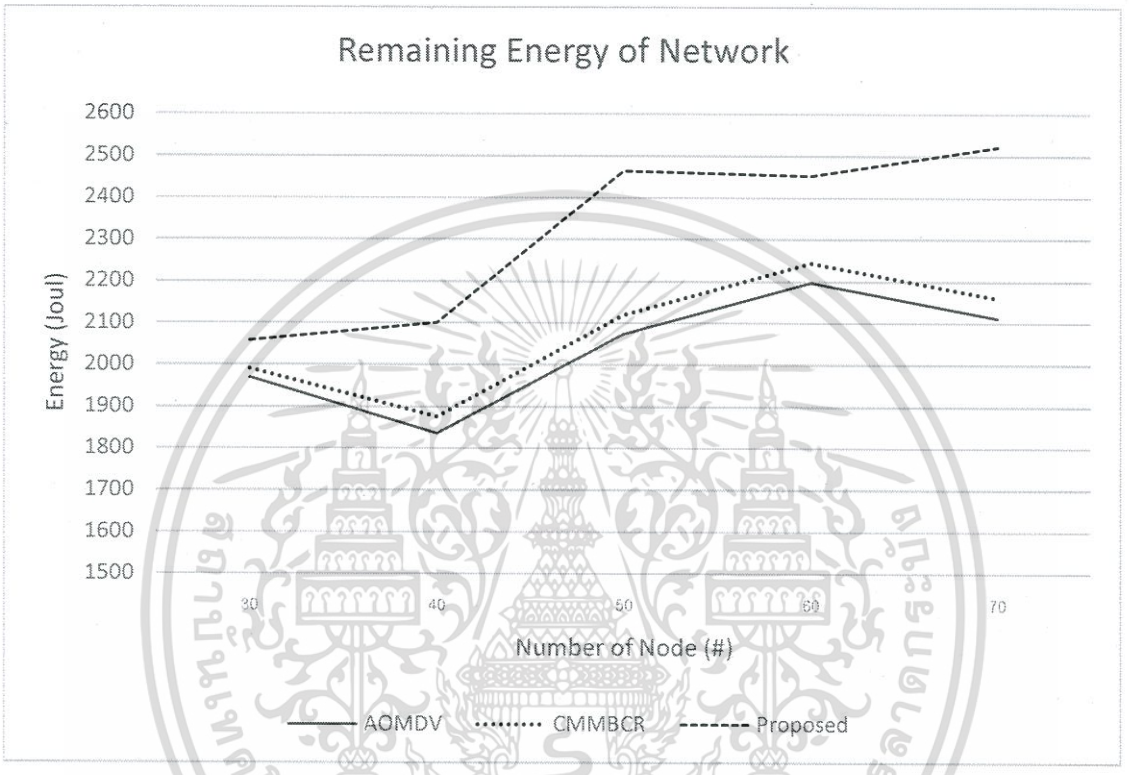
รูปที่ 4.4 กราฟ Remaining Node in Network (60 Node)



รูปที่ 4.5 กราฟ Remaining Node in Network (70 Node)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

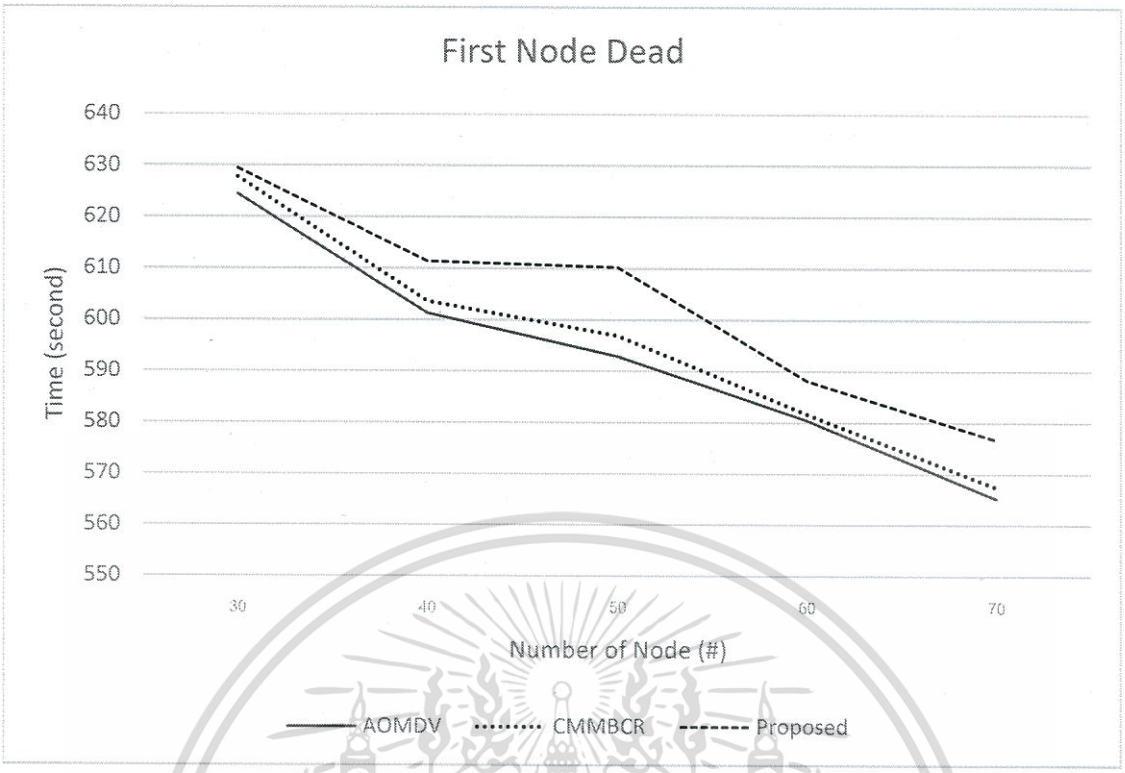
จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 โพรโพคอลที่นำเสนอยังคงทำงานได้ดีแม้ในสภาพเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดมากขึ้นต่างกันเพียงแค่ระยะเวลาที่โหนดเริ่มตายลงจะมาถึงเร็วขึ้นเนื่องจากมีโหนดภายในเครือข่ายมากขึ้นทำให้เส้นทางในการส่งข้อมูลยาวขึ้น ภาระในการส่งต่อข้อมูลของโหนดระหว่างทางก็จะเยอะขึ้น รวมไปถึงภาระการกระจายคำขอเส้นทางที่มากขึ้นตามจำนวนโหนดนั่นเอง



รูปที่ 4.6 กราฟ Remaining Energy of Network

จากรูปที่ 4.6 นั้นโพรโตคอลที่ได้นำเสนอมีพลังงานที่เหลืออยู่ในเครือข่ายมากกว่าโพรโตคอล AOMDV และ CMMBCR เนื่องด้วยโพรโตคอลที่นำเสนอนั้นมีอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จที่สูง มีค่าการทิ้งแพ็คเกตและค่าแพ็คเก็ตที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ต่ำ อีกทั้งยังเลือกใช้เส้นทางที่สั้นที่สุด เป็นเหตุให้มีพลังงานเหลือในเครือข่ายมากกว่าโพรโทคอลอื่นๆ

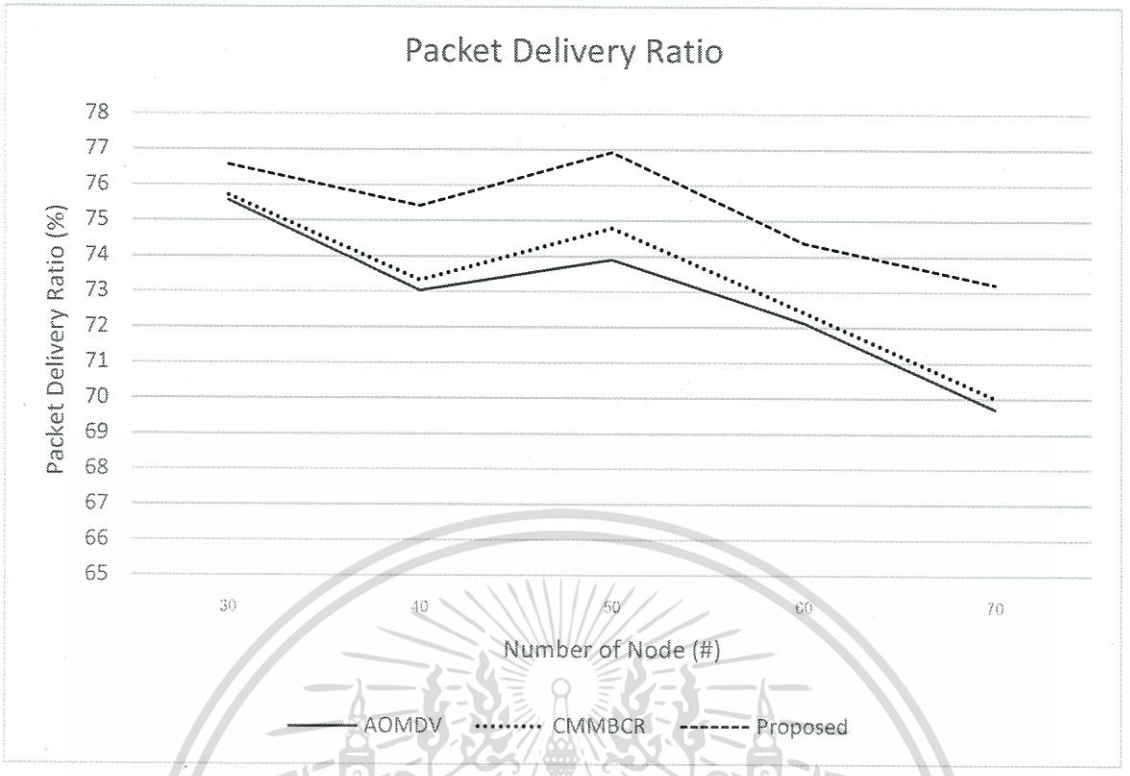
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟ First Node Dead

จากรูปที่ 4.7 โพรโทคอลที่นำเสนอมีโหนดแรกตายช้ากว่าของโพรโทคอลที่เหลือทั้งสอง อันเนื่องมาจากกลไกการทำงานที่เลือกใช้เส้นทางที่สั้นที่สุดเสมอ ทำให้ลดการใช้พลังงานลงได้ การหลีกเลี่ยงการใช้เส้นทางที่มีวิกฤตทั้งทางพลังงานและความคับคั่งของเครือข่ายทำให้ไม่มีโหนดใดถูกใช้งานจนพลังงานหมดอย่างรวดเร็ว

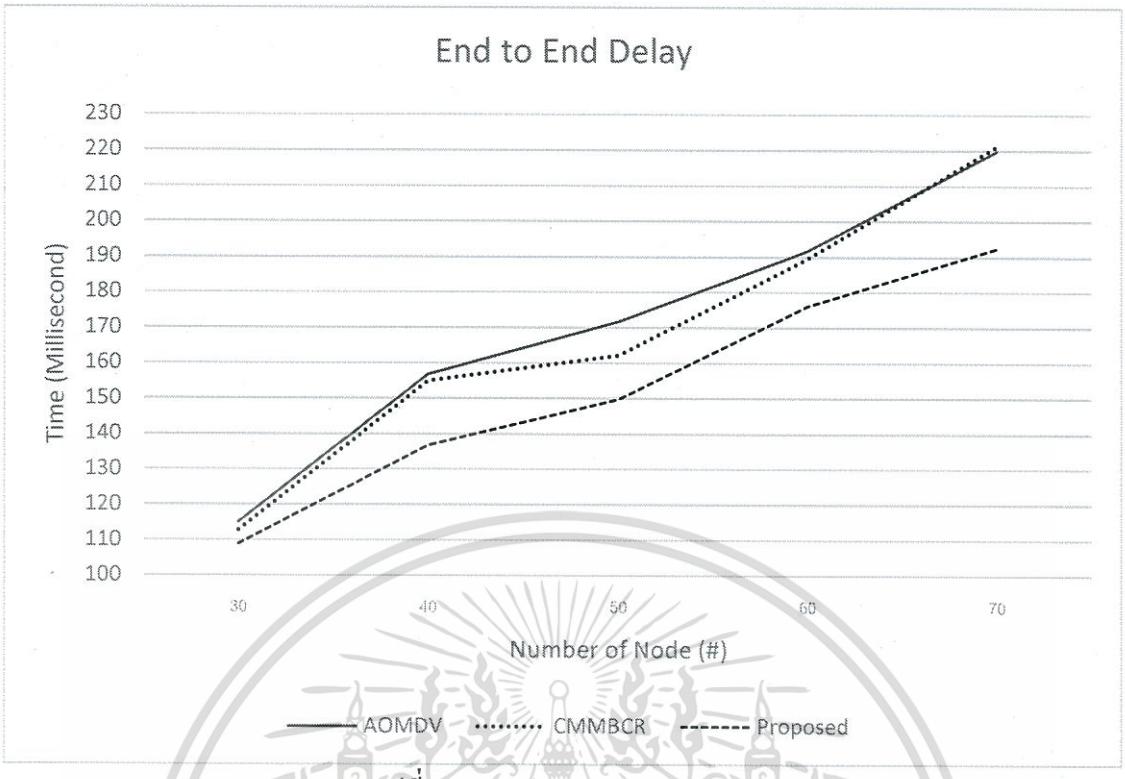
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟ Packet delivery ratio

จากรูปที่ 4.8 กราฟแสดงให้เห็นว่าโพรโทคอลที่มีการเลือกใช้เส้นทางที่มีค่าความหน่วง (Delay) น้อยที่สุดเป็นพื้นฐาน ได้แก่ AOMDV และ CMMBCR นั้นจะมีค่าอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จน้อยกว่าโพรโทคอลที่นำเสนอ ในทุกๆการทดสอบ เนื่องจากโพรโทรคอลที่นำเสนอนั้น มีการเฝ้าระวังไม่ใช้โหนดที่ใกล้ตายและโหนดที่รับภาระหนัก จึงทำให้มีระยะเวลาในการทำงานมากกว่าอยู่รับข้อมูลได้มากกว่า อีกทั้งยังสามารถเลือกใช้เส้นทางที่มีความคับคั่งของเครือข่ายน้อยที่สุดทำให้มีโอกาสถูกทิ้งกลางทางน้อยอีกด้วย

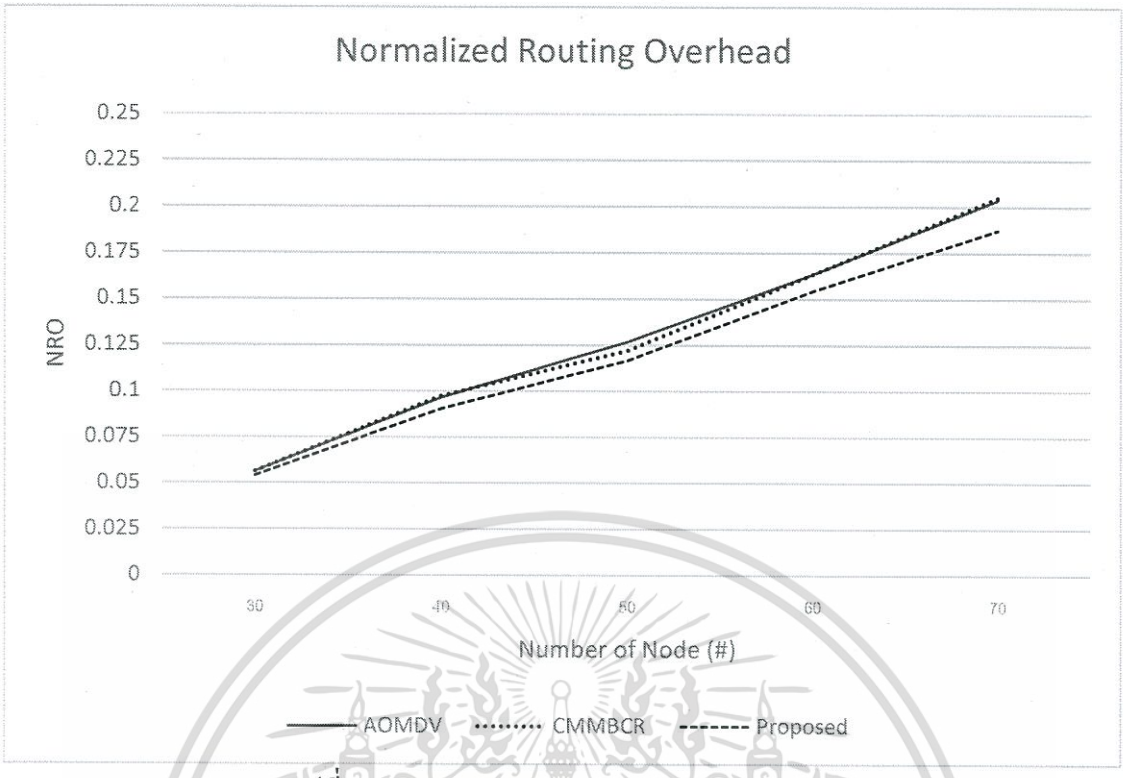
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟ End-to-End Delay

จากรูปที่ 4.9 โพรโทคอลที่มีการเลือกใช้เส้นทางที่มีค่าความหน่วง (Delay) น้อยที่สุด เช่น AOMDV และ CMMBCR นั้นจะมีค่าหน่วงเวลามากกว่าโพรโทคอลที่นำเสนอ เนื่องจากการพิจารณาจากค่าหน่วงเวลาเพียงอย่างเดียวนั้น ไม่สามารถสะท้อนความคับคั่งของเครือข่ายในเส้นทางได้เพียงพอ เนื่องจากค่าความหน่วงนั้นคำนวณจากระยะห่างของแต่ละโหนดด้วย อาจทำให้เลือกใช้เส้นทางที่มีความคับคั่งของข้อมูลแต่ระยะห่างระหว่างโหนดน้อยก็เป็นได้ ซึ่งหากเป็นเช่นนั้นก็จะทำให้เกิดความคับคั่งในเส้นทางมากขึ้นได้ ทำให้โพรโตคอลที่นำเสนอที่มีการพิจารณาว่าหากเกิดวิกฤตความคับคั่งของเครือข่ายขึ้นก็จะสามารถหลีกเลี่ยงไปใช้เส้นทางอื่นได้

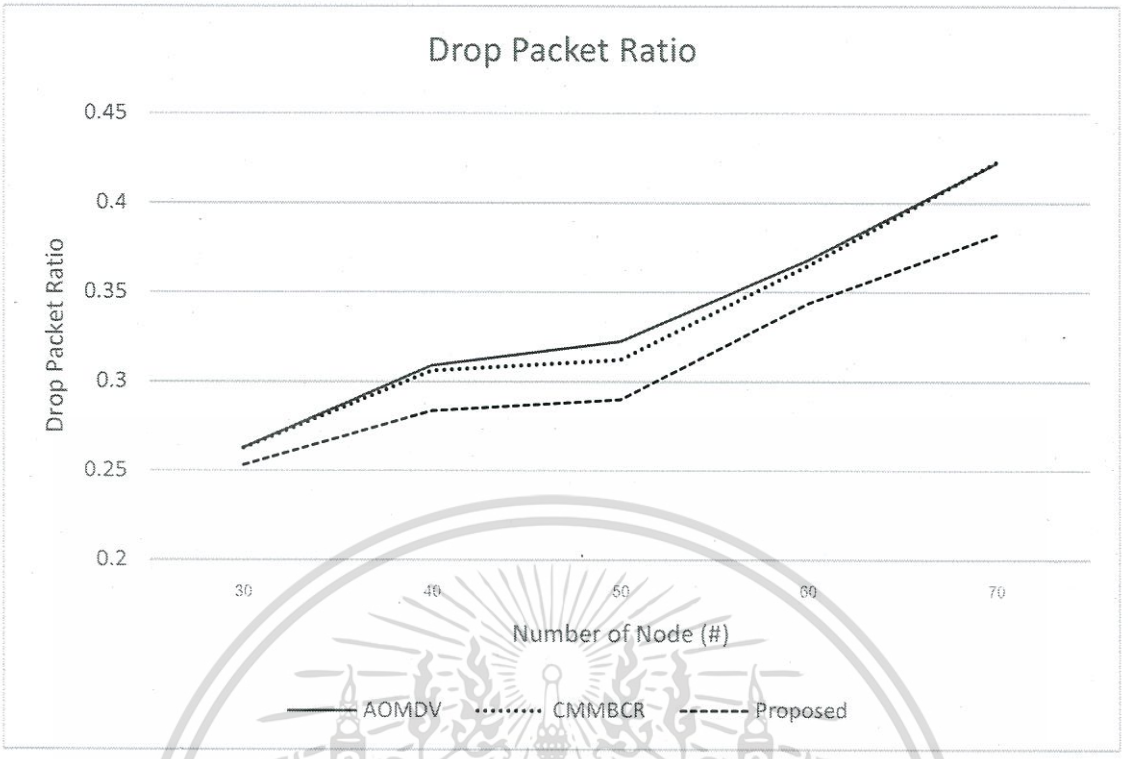
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟ Normalized Routing Overhead

จากรูปที่ 4.10 นั้นอัตราส่วนระหว่างแพ็คเกตเส้นทางที่ใช้ในการส่งข้อมูลกับ แพ็คเกตข้อมูลที่ไปถึงปลายทาง โพรโทคอลที่ใช้ค่าหน่วงเวลาเพียงอย่างเดียว อย่าง AOMDV และ CMMBCR มีค่าอัตราส่วนที่มากกว่าโพรโทรคอลที่นำเสนอ เนื่องด้วยโพรโทคอลที่นำเสนอสามารถเลือกใช้เส้นทางที่ไม่มีความหนาแน่นของข้อมูลได้ ทำให้การส่งข้อมูลมีประสิทธิภาพมากกว่าจึงทำให้มีการละทิ้งแพ็คเกตลดลง จึงทำให้แพ็คเกตเส้นทางที่ใช้ในการส่งข้อมูลนั้นลดลงไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟ Drop Packet

จากรูปที่ 4.11 โพรโทคอลที่พิจารณาเส้นทางจากค่าความหน่วงเพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถเลือกเส้นทางที่มีประสิทธิภาพได้ เนื่องจากการพิจารณาจากค่าหน่วงเวลาเพียงอย่างเดียวนั้น ไม่สามารถสะท้อนความคับคั่งของเครือข่ายในเส้นทางได้เพียงพอ เนื่องจากค่าความหน่วงนั้นคำนวณจากระยะห่างของแต่ละโหนดด้วย ทำให้อัตราการทิ้งแพ็คเกตนั้นมีค่าสูงกว่าโพรโทรคอลที่นำเสนอ ซึ่งสามารถเลือกใช้เส้นทางที่ไม่มีความหนาแน่นของข้อมูลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการพัฒนา

ในโครงงานนี้เราได้ศึกษาปัจจัยด้านความพร้อมใช้งานพร้อมพัฒนากลไกการค้นหาเส้นทางให้สามารถเลือกใช้เส้นทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการตั้งสมมติฐานว่ากลไกการเลือกเส้นทางที่ได้พัฒนานั้นจะต้องสามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งานได้ โดยกลไกการค้นหาเส้นทางที่ได้พัฒนานั้นถูกพัฒนาเพิ่มเติมบนโพรโทคอล AOMDV โดยนำใช้กลไก CMMBCR มาใช้แล้วพัฒนากลไกการหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีความคับคั่งของเครือข่ายเพิ่มลงไป โดยขั้นตอนการทำงานและเกณฑ์การคัดเลือกเส้นทางนั้นแสดงอยู่ในบทที่ 3 ของโครงงานฉบับนี้

จากผลการทดลองในบทที่ 4 ทำให้เราทราบถึงประสิทธิภาพของโพรโทคอลทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ AOMDV, AOMDV-CMMBCR และโพรโทรคอลที่นำเสนอ จะเห็นได้ว่าโพรโทคอลที่นำเสนอมีจำนวนโหนดที่ยังมีชีวิตอยู่ในเครือข่ายและพลังงานรวมของเครือข่ายมากกว่าโพรโทคอลที่นำมาเปรียบเทียบซึ่งเป็นผลมาจากกลไกลการหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีโหนดที่กำลังจะตายและเส้นทางที่มีปัญหาความคับคั่งของเครือข่ายในขณะที่ประสิทธิภาพด้านอื่นๆนั้นกลับมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นอีกด้วย เช่น อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ, ค่าหน่วงเวลาและอัตราการทิ้งแพ็คเกต ซึ่งเป็นผลเกี่ยวเนื่องจากการที่สามารถหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีปัญหาดังกล่าวได้นั่นเอง

จากข้อจำกัดของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ทั้งจากพลังงานที่มีจำกัดและสภาพเครือข่ายที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา จากการศึกษาพบว่าโพรโทคอลที่มีประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งานได้แก่ โพรโทคอลแบบรีแอคทีฟ และมีกลไกการหาเส้นทางที่สามารถหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีโหนดกำลังจะตายหรือโหนดที่มีความคับคั่ง เพื่อยืดอายุการใช้งานของโหนดและสามารถส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ตกหล่นกลางทาง เพื่อการใช้งานติดต่อสื่อสารที่มีประสิทธิในสภาวะฉุกเฉินที่ซึ่งช่องทางการส่งข้อมูลหรือพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด เป็นสิ่งสำคัญซึ่งเราควรใช้ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] IEEE Standard 802.11, 2012

Available http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf

[2] D. B. Johnson, D. A. Maltz, Y. C. Hu, and J. G. Jetcheva. "**The Dynamic Source Routing Proto-col for Mobile Ad Hoc Networks (DSR).**" Internet Engineering Task Force (IETF) draft, February 2007. [Online]

Available: http://datatracker.ietf.org/doc/rfc4728/

[3] C. E. Perkins, E. M. Belding-Royer, and S. R. Das. "**Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing**." Internet Engineering Task Force (IETF) draft, July 2003.

Available: http://datatracker.ietf.org/doc/rfc3561/

[4] Guoyou He. "**Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV) Protocol**"

Available: http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38030/k02/Papers/03-Guoyou.pdf

[5] Buruhanudeen, S. ; Othman, M. ; Othman, M. ; Ali, B.M. "**Mobility Models, Broadcasting Meth-Ods And Factors Contributing Towards The Efficiency Of The MANET Routing Protocols: Overview**" Telecommunications and Malaysia International Conference on Communications, 2007. ICT-MICC 2007. IEEE International Conference on.

[6] Jun-Hu Zhang, Hui Peng, Feng-Jing Shao."**Energy Consumption Analysis of MANET Routing Protocols based on Mobility Models**"

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

[8] Mahesh K. Marina, Samir R. Das. **"Ad Hoc On-Demand Multipath Distance Vector Routing"**, WIRELESS COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

[9] Natarajan Meghanathan. "**Performance Comparison Of Link, Node And Zone Disjoint Multi-Path Routing Strategies And Minimum Hop Single Path Routing For Mobile Ad Hoc Networks**", International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol.2, No.4, November 2010.

[10] Sung-Ju Lee, Mario Gerla. "**Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad hoc Networks**", Communications, 2001. ICC 2001. IEEE International Conference on (Volume: 10)

[11] Mariam Ahmed Moustafa, Moustafa A. Youssef, Mohamed Nazih El-Derini. "**MSR: A Multipath Secure Reliable Routing Protocol for WSNs**" Computer Systems and Applications (AICCSA), 2011 9th IEEE/ACS International Conference on.

[12] Mu'ath Obaidat, M. A. Ali Ihsan Shahwan, M.S. Obaidat, Suhaib Obeidat. "**A Novel Multipath Routing Protocol for MANETs**" Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2011 7th International Conference on.

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

[14] Laura Marie Feeney, Martin Nilsson, "**Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment**", INFOCOM 2001. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE (Volume: 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การติดตั้งโปรแกรม NS2 บนระบบปฏิบัติการ Windows

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การติดตั้งโปรแกรม NS2 บนระบบปฏิบัติการ Windows

1. ติดตั้งโปรแกรม Cygwin

1.1. ดาวโหลดโปรแกรม Cygwin จาก http://www.cygwin.com

1.2. ดำเนินการติดตั้งโปรแกรม Cygwin โดยจะมี Packet ที่ต้องการดังนี้

gcc	xorg-x11-devel
gcc-g++	xorg-x11-bin-dlls
gcc4	xorg-x11-bin-lndir
gcc4-g++	xorg-x11-etc
gnuplot	xorg-x11-fenc
make	xorg-x11-fnts
patch	xorg-x11-libs-data
perl	xorg-x11-xwin
tar	libxt-devel
X-startup-scripts	libXmu-devel
xorg-x11-base	w32api
xorg-x11-bin	

2. ติดตั้งโปรแกรม NS2

1.1 ดาวโหลด NS2-allinone (version 2.35) จาก

http://sourceforge.net/projects/nsnam/files/allinone/ns-allinone-2.35/ns-allinone-2.35.tar.gz/download

และ บันทึกลงโฟลเดอร์ C:\cygwin

1.2 แตกไฟล์ ns-allinone-2.35.tar.gz ด้วยคำสั่ง

1.2.1 gzip –d ns-allinone-2.35.tar.gz

1.2.2 tar –xvf ns-allinone-2.35.tar2

1.3 ทำการติดตั้งโปรแกรม NS2

1.2.3 เข้าไปที่โฟลเดอร์ ns-allinone-2.35

1.2.4 ใช้คำสั่ง ./install

1.2.5 แก้ไขไฟล์ ".bashrc" ซึ่งอยู่ใน home directory โดยเพิ่มข้อความต่อไปนี้

NSHOME=~/NS2/ns-allinone-2.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
OTCL_LIB=${NSHOME}/otcl-1.14
NS2_LIB=${NSHOME}/lib
export
LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:$OTCL_LIB:$
NS2_LIB
export TCL_LIBRARY=${NSHOME}/tcl8.5.8/library
PATH=$PATH:${NSHOME}/ns-2.35:${NSHOME}/nam-1.15
```

3. ปิด Cygwin แล้วเปิดใหม่

การติดตั้งโปรแกรม Eclipse Luna

1. ดาวน์โหลดโปรแกรม Java Runtime Environment (JRE) ซึ่งจำเป็นต้องมีในการรันโปรแกรม Eclipse จาก https://java.com/en/download/
2. ดำเนินการติดตั้ง Java Runtime Environment
3. ดาวน์โหลดโปรแกรม Eclipse Luna จาก https://www.eclipse.org/downloads/
4. ติดตั้งโปรแกรม Eclipse Luna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ-นามสกุล นางสาวฐายิกา ทองแสง
วัน เดือน ปีเกิด 2 ตุลาคม 2535 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ 20 ซอยสุขสวัสดิ์ 26 แยก 9 แขวงบางปะกอก เขตราษฎร์บูรณะ กรุงเทพฯ 10140
การศึกษา 2558 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อีเมลล์ tayi.ths@gmail.com

ชื่อ-นามสกุล นายวีร์ อายุวนานนท์
วัน เดือน ปีเกิด 9 สิงหาคม 2535 ที่อ่างทอง
ที่อยู่ 194 ซอยจรัญสนิทวงศ์ 12 วัดท่าพระ บางกอกใหญ่ กทม 10600
การศึกษา 2558 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อีเมลล์ razor_tp@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งานของเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่

วีร์ อายุวนานนท์ ฐายิกา ทองแสง วรวัชร ณรงคะชวนะ และ สุเมธ ประภาวัต

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

Emails: razor_tp@hotmail.com, tayi.ths@gmail.com, worravat@gmail.com, sumet@it.kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่เป็นเครือข่ายที่ประกอบด้วยโมบายล์โหนด ทำงานร่วมกันโดยไม่ต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน ใช้กลไกการค้นหาและเลือกเส้นทางที่มีความเฉพาะตัว และเนื่องจากรูปแบบการทำงานของเครือข่ายทำงานอยู่บนอุปกรณ์หลักอย่างโมบายล์โหนดเป็นหลัก ทำให้เกิดข้อจำกัดในการทำงาน ทั้งความสามารถในการส่งต่อข้อมูล พลังงานของโมบายล์โหนด อัตราการส่งข้อมูลที่มีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมากในปัจจุบัน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งานของเครือข่าย เลือกเส้นทางอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยใช้กลไกการหลีกเลี่ยงการเลือกใช้เส้นทางที่มีวิกฤตทั้งด้านพลังงานและความคับคั่งของเครือข่าย เพื่อยืดอายุการทำงานของโหนดในเครือข่ายให้มากที่สุด ซึ่งจากผลการทดลองโพรโทคอลที่นำเสนอสามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งานโดยสามารถเพิ่มปริมาณพลังงานคงเหลือและชะลอการตายของโหนดในเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ – เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่; กลไกการเลือกเส้นทาง; คิว; พลังงาน

1. บทนำ

ในปัจจุบัน มีการพัฒนาการส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์การสื่อสารเคลื่อนที่ไร้สายให้สามารถติดต่อสื่อสารโดยไม่ต้องพึ่งพาเครือข่ายการติดต่อสื่อสารพื้นฐาน หรือที่เรียกว่าระบบเครือข่ายสื่อสารเฉพาะกิจเคลื่อนที่ (Mobile Ad Hoc Network) การทำงานเกิดจากโมบายล์โหนดทำหน้าที่ส่งข้อมูลและเป็นอุปกรณ์เสมือนตัวกลางในการส่งข้อมูลด้วยตัวมันเอง ซึ่งรูปแบบการส่งข้อมูลดังกล่าวจะมีประโยชน์เป็นอย่างมากเมื่อเครือข่ายกลางเกิดปัญหาขัดข้องไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากการทำงานเกิดจากการใช้อุปกรณ์โมบายล์โหนดเป็นหลักทำให้เกิดข้อจำกัดด้านทรัพยากรในการทำงาน และโพรโทคอลการส่งข้อมูลยังไม่มีประสิทธิภาพมากนัก ผู้จัดทำจึงมีความสนใจที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายประเภทนี้ มุ่งเน้นการพัฒนาโพรโทคอลการคัดเลือกเส้นทางเป็นหลัก โดยมีแนวคิดพิจาณาในเรื่องพลังงานของโมบายล์โหนด และความหนาแน่นของข้อมูล ตั้งสมมุติฐานว่า พลังงานเป็นปัจจัยหลักสำหรับการดำรงอยู่ของอุปกรณ์โมบายล์โหนด และในเรื่องความหนาแน่นของเครือข่าย หากโมบายล์โหนดสามารถรับรู้ความคับคั่งของโมบายล์โหนดถัดๆไปแล้ว ก็จะสามารถหลีกเลี่ยงการส่งต่อข้อมูลไปยังโหนดที่มีภาระการทำงานสูงได้ ซึ่งจะพิจารณาจากลำดับการส่งข้อมูลในแต่ละโหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในเส้นทาง (Queue) ว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด เพื่อทำการหลีกเลี่ยงเส้นทางที่โหนดมีภาระงานปริมาณมาก ส่งผลให้การส่งข้อมูลเป็นไปอย่างราบรื่น มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการพัฒนาปรับปรุงกลไกการค้นหาเส้นทาง ผู้จัดทำเลือกพัฒนาบนโพรโทคอล AOMDV ซึ่งเหตุผลที่เลือกจะกล่าวต่อไปในบทที่ 2 ส่วนบทที่ 3 จะนำเสนอแนวคิดที่ได้พัฒนา บทที่ 4 นำเสนอการทดลอง และบทที่ 5 นำเสนอการสรุปผล

2. ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้อง

2.1 MANET: Mobile Ad Hoc Network

เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่คือเครือข่ายการส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์การสื่อสารเคลื่อนที่ไร้สายที่โดยไม่ต้องพึ่งพาเครือข่ายกลาง หรือโครงสร้างพื้นฐานใดๆ ซึ่งการทำงานเกิดจากการทำงานร่วมกันของโมบายโหนด ทำการส่งข้อมูลภายในขอบเขตของการกระจายสัญญาณของแต่ละโหนด แต่ละโหนดจะทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวกลางการส่งข้อมูลเพื่อส่งต่อข้อมูลไปจนถึงโหนดเป้าหมาย

เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่สามารถแบ่งประเภทการทำงานออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ 1) ประเภทการค้นหาเส้นทางแบบโปรแอกทีฟ (Proactive routing protocol) เป็นการค้นหาเส้นทางโดยมีการตรวจสอบเส้นทางไว้ก่อนเสมอ ในการทำงานเมื่อมีโมบายล์โหนดใดๆต้องการส่งข้อมูล ก็จะสามารถส่งข้อมูลได้ทันทีเพราะมีการหาเส้นทางรอไว้ก่อนแล้ว ส่งผลให้โพรโทคอลประเภทนี้ทำให้มีค่าหน่วงเวลา (Delay) ที่ต่ำและมีความแม่นยำในการส่งข้อมูลสูง ข้อจำกัดของโพรโทคอลประเภทนี้ คือการค้นหาเส้นทางอยู่ตลอดเวลา ทำให้อาจมีเส้นทางที่อาจจะไม่ถูกใช้งาน ส่งผลให้เกิดความสิ้นเปลืองในการใช้พลังงาน และการเกิดแพ็คเกตข้อมูลเครือข่ายในระบบที่มีปริมาณมาก (overhead) ตัวอย่างโพรโทคอล เช่น โพรโทคอล ดีเอสดีวี (DSDV: Destination Sequenced Distance Vector Routing) [3] เป็นต้น 2) ประเภทการค้นหาเส้นทางแบบรีแอกทีฟ (Reactive Routing Protocol) เป็นการค้นหาเส้นทางเมื่อมีการร้องขอเส้นทางเท่านั้น หลักการทำงานคือเมื่อโมบายล์โหนดต้องการส่งข้อมูล ก็จะทำการส่งคำขอร้องเส้นทาง ออกไปเพื่อค้นหาปลายทาง เมื่อปลายทางตอบกลับมาจึงจะสามารถส่งข้อมูลออกไปได้ ทำให้โพรโทคอลประเภทนี้มีค่าหน่วงเวลาสูง แต่เนื่องจากการไม่ต้องทำการค้นหาเส้นทางที่อาจจะไม่ได้ใช้ ทำให้มีระดับการใช้พลังงานที่ต่ำ และมีอัตราการเกิดแพ็คเกตข้อมูลเครือข่ายในระบบน้อยกว่าโพรโทคอลประเภทแรก ซึ่งนั่นก็เป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้เราเลือกใช้โพรโทคอล AOMDV ในการพัฒนา

2.2 Ad-hoc On demand Multipath Distance Vector

โพรโทคอล AOMDV เป็นโพรโทคอลที่ได้พัฒนาต่อยอดมาจากโพรโทคอล AODV ซึ่งมีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกันคือเป็นโพรโทคอลแบบรีแอกทีฟ ไม่เกิดลูป (Loop free) ค้นหาเส้นทางแบบโหนดต่อโหนด (Hop by hop routing) คือแต่ละโหนดมีการสร้างตารางเส้นทาง (Routing Table) ของตัวเองไว้ ซึ่งแต่ละโหนดจะมีตารางนี้แยกจากกัน เมื่อต้องการส่งข้อมูลโพรโทคอลจะส่งคำร้องขอเส้นทาง (Route Request) ออกไปยังโหนดรอบๆ (Broadcast) และโหนดที่ได้รับคำร้องก็จะทำการส่งคำขอร้องนั้นต่อไปจนกว่าจะถึงปลายทาง ในขณะที่ส่งต่อคำขอร้องนั้น โหนดที่ช่วยส่งคำร้องขอเส้นทางก็จะทำการบันทึกในตารางเส้นทางของตัวเองไว้ด้วยว่าโหนดไหนเป็นคนขอร้องและโหนดใดที่ส่งต่อคำร้องขอนั้นมา เมื่อคำร้องขอเส้นทางไปถึงยังปลายทาง ปลายทางจะตอบกลับด้วยคำตอบรับ (Route Reply) เมื่อโหนดรอบๆ โหนดปลายทางได้รับคำตอบรับ ก็จะทำการส่งต่อคำตอบรับนี้กลับไปยังโหนดต้นทางตามเส้นทางที่ได้บันทึกไว้เมื่อครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับคำร้องขอเส้นทาง ส่งต่อกันไปจนถึงโหนดต้นทางในที่สุด ซึ่งโหนดปลายทางจะเลือกใช้เส้นทางแรกที่ได้รับคำร้อง สำหรับโพรโทคอล AOMDV มีข้อแตกต่างจากโพรโทคอล AODV คือการลดความถี่ในการส่งคำร้องขอเส้นทางลง โดยการเปิดรับคำตอบรับที่ตามมาที่หลังเข้ามาเก็บไว้ในตารางเส้นทางเป็นเส้นทางสำรอง เมื่อเส้นทางหลักหมดอายุหรือไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ก็จะทำการใช้งานเส้นทางสำรองมาเป็นเส้นทางหลักทันที วิธีการนี้นอกจากจะลดความถี่ในการส่งคำร้องขอเส้นทางแล้วนั้น ยังทำให้ค่าความหน่วงลดลงอีกด้วย คือโหนดจะไม่ต้องเสียเวลาในการร้องขอเส้นทางใหม่ โดยเส้นทางที่ได้รับมานั้นจะมีความแตกต่างกันคือ ไม่ผ่านโหนดร่วมกัน (Node disjoint) หรือไม่ผ่านเส้นทางร่วมกัน (Link disjoint) ช่วยลดโอกาสในการขาดพร้อมกันทั้งสองทางให้น้อยลง นอกจากนี้ โพรโทคอล AOMDV ยังมีกลไกในการตรวจสอบการติดต่อระหว่างโหนดว่ายังใช้ได้อยู่หรือไม่อีกด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความพร้อมใช้งานของเส้นทางนั้นๆ ในกรณีที่มีโหนดที่ไม่สามารถใช้งานได้ในเส้นทาง โหนดข้างเคียงก็จะประกาศเส้นทางเสียไปยังโหนดรอบๆ เมื่อโหนดใดๆ ได้รับก็จะทำการตรวจสอบว่าเป็นส่วนหนึ่งในเส้นทางใดที่ตัวเองมีอยู่หรือไม่ ถ้ามีโหนดก็จะทำการลบเส้นทางที่เกี่ยวข้องกับเส้นทางที่เสียทั้งหมด

2.3 Conditional Max-Min Battery Cost Routing (CCMBCR)

รูปแบบการค้นหาเส้นทาง [5] วัตถุประสงค์คือการเพิ่มอายุการใช้งานของแต่ละโหนดอย่างเหมาะสมที่สุด ซึ่งรูปแบบดังกล่าวเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างเทคนิค MTPR และ MMCBR การคัดเลือกเส้นทางโดยพิจารณาพลังงานคงเหลือของแบตเตอรี่ของโหนดทั้งหมด จะทำการเลือกตัวแทนของเส้นทาง จากโหนดที่มีค่าพลังงานคงเหลือของแบตเตอรี่น้อยที่สุดมาเปรียบเทียบอัตราส่วน Threshold หากมีค่าพลังงานมากกว่า Threshold ก็จะใช้เกณฑ์การคัดเลือกเส้นทางของ MTPR ด้วยแนวคิดที่ว่าหากค่าพลังงานอยู่ระดับที่ไม่น้อยเกินไป การส่งผ่านข้อมูลที่มีความรวดเร็วเพื่อความสำเร็จในการติดต่อสาร ย่อมจะช่วยลดภาระการทำงานของโหนดอื่นๆ และยังจะช่วยยืดระยะเวลาการคงอยู่ (lifetime) ของโหนดมากขึ้นด้วย แต่หากที่มีค่าพลังงานของน้อยกว่า Threshold จะใช้เกณฑ์การคัดเลือกเส้นทางของ MMBCR เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้งานของโหนดที่มีค่าพลังงานแบตเตอรี่คงเหลือน้อย ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก สมการดังนี้

$$R_j^c = \min c_i^t \quad for\ i \in route_j \qquad (1)$$

$$R_j^c \geq \gamma, \qquad for\ any\ route_j \in A \qquad (2)$$

กำหนดให้ R_j คือ ค่าความจุของแบตเตอรี่ที่มีค่าน้อยที่สุดของเส้นทาง j ณ เวลา t

A คือ เซตของเส้นทางที่เป็นไปได้

γ คือ ค่าสัดส่วนการพิจารณา ในรูปแบบร้อยละ

จากการพิจาณาวิธีการคัดเลือกเส้นทางของ CMMBCR พบว่าประสิทธิภาพการคัดเลือกเส้นทางของเทคนิคดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วน (γ)

2.4 Simulation-based performance evaluation of queuing mechanisms for AODV routing protocol in MANET

การค้นหาเส้นทางโดยใช้เทคนิคการจัดการเรื่องคิว 4 เทคนิค ได้แก่

2.4.1. First-In-First-Out (FIFO)

เป็นการจัดการแพ็คเกตที่มาถึงแต่ละโหนดใดๆ เรียงคิวตามลำดับ แพ็คเกตที่มาถึงก่อน จะได้รับการพิจารณาก่อน ข้อจำกัดของ FIFO คือการส่งข้อมูลประเภทที่ต้องการความต่อเนื่องสูง เช่น ข้อมูลมัลติมีเดีย อาจเกิดปัญหาในการส่งข้อมูลได้ เนื่องจากการใช้โหลดการคำนวณน้อยและเป็นการคำนวณอย่างง่าย

2.4.2. Priority Queuing Algorithm (PQ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการจัดการโดยแบ่งลำดับความสำคัญ (Priority) ของคิวแพ็คเกตแต่ละเส้นทางตามความต้องการของ Quality of service (QoS) โดยแพ็คเกตที่มีลำดับความสำคัญสูงจะได้รับการบริการก่อนเรียงตามลำดับ ข้อจำกัดของ PQ คือ ความไม่ยุติธรรมต่อแพ็คเกตที่มีไพออริตี้น้อยเนื่องจากอาจไม่ได้รับการพิจารณาหากในลำดับคิวมีแพ็คเกตไพออริตี้สูงเป็นจำนวนมาก

2.4.3. Deficit Weighted Round Robin (DWRR)

เป็นการจัดการโดยแพ็คเกตจะถูกแบ่งลำดับโดยให้น้ำหนักตามความยาวแพ็คเกต และให้บริการในรูปแบบของ Round robin การทำงานเริ่มจากการกำหนดค่า Quantum ซึ่งมาจากการหาค่าเฉลี่ยของความยาวของแพ็คเกตรวมทั้งหมด (Deficit counter) เพื่อทำการเปรียบเทียบ ซึ่งค่า Quantum เป็นตัวกำหนดความเหมาะสมสำหรับการได้รับบริการ ของแพ็คเกตที่มาถึงโดยเปรียบเทียบขนาดแพ็คเกตกับค่า Quantum หากมากกว่าหรือเท่ากับค่า Quantum จึงจะได้รับบริการ จุดเด่นของ DWRR คือ มีการคำนวณที่ซับซ้อนน้อยลง และการให้บริการแพ็คเกตที่มีค่าความยาวหลากหลายได้ทั่วถึง

2.4.4. Modified Deficit Round Robin (MDRR)

เป็นการจัดการโดยคิวปรุงปรุงมาจาก DRR โดยคิวที่ไม่ว่างจะถูกให้บริการหลังคิวอื่นตามรูปแบบเทคนิค Round robin ในการให้บริการคิวแต่ละครั้งจะมีการกำหนดจำนวนของข้อมูลที่จะต้องเอาออกจากคิว นอกจากนี้ MDRR ยังมีการรักษาลำดับความสำคัญของคิวเอาไว้ด้วย

3. แนวคิดและการดำเนินการ

โพรโทคอลที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อเลือกใช้เส้นทางโดยพิจารณาปัจจัยเรื่องการใช้พลังอย่างมีประสิทธิภาพและเลือกเส้นทางที่มีขนาดคิวของโหนดที่น้อยที่สุดจากขนาดคิวที่มากที่สุดในแต่ละเส้นทาง เพื่อลดปริมาณการทิ้งแพ็คเกตและเพิ่มปริมาณพลังงานคงเหลือในระบบโดยทำการศึกษาและพัฒนาบนโพรโทคอลค้นหาเส้นทาง AOMDV [4] ซึ่งมีการรูปแบบทำงานแบบมัลติพาร์ธ คัดเลือกเส้นทางและใช้เส้นทางจนกว่าอายุของเส้นทางนั้นจะหมดไปหรือใช้งานไม่ได้

3.1. การพัฒนาส่วนต่อประสานผู้ใช้ด้วย Polymer

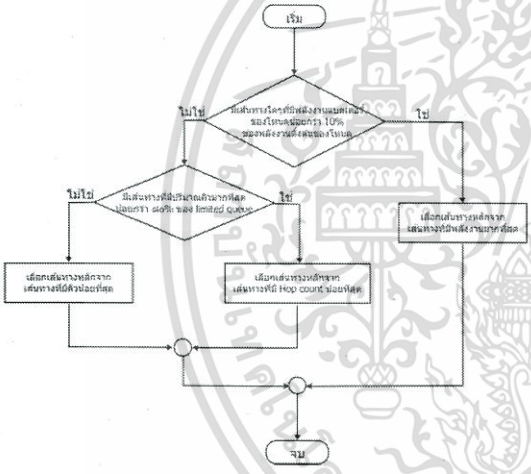
การค้นหาเส้นทางจะกระทำเหมือนโพรโทคอล AOMDV คือโหนดที่จะทำการส่งข้อมูลจะทำการกระจายคำร้องขอเส้นทาง (Route Request) ออกไปยังโหนดข้างเคียง และโหนดข้างเคียงจะทำการกระจายต่อไปเรื่อยๆ พร้อมกันสร้างเส้นทางกลับมายังโหนดต้นทาง (Reverse Path) จนกว่าจะถึงโหนดปลายทาง เมื่อโหนดปลายทางได้รับคำร้องขอเส้นทางแล้วนั้นก็จะทำการตอบกลับด้วยการส่งคำตอบรับ (Route Reply) กลับมายังโหนดต้นทาง ทางผู้จัดทำได้ทำการปรับแต่งคำตอบรับ(Route Reply Packet Header) และตารางเส้นทาง (Routing Table) โดยการเพิ่มพื้นที่สำหรับใส่ค่าความยาวคิวของแต่ละโหนดสำหรับคำตอบรับและค่าความยาวคิวที่มากที่สุดในแต่ละเส้นทางสำหรับตารางเส้นทางเข้ามาด้วย เมื่อโหนดระหว่างทางได้รับคำตอบรับจากโหนดปลายทาง จะทำการตรวจสอบค่าความยาวของคิวในคำตอบรับว่ามีค่าความยาวคิวน้อยกว่าของตนเองหรือไม่ ถ้าน้อยกว่าโหนดก็จะทำการใส่ค่าคิวของตนเองลงในคำตอบรับและส่งต่อไปยังโหนดต้นทางต่อไป การที่ทำแบบนี้เราจะได้ค่าคิวที่มีค่ามากที่สุดของโหนดในแต่ละเส้นทาง เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกเส้นทางต่อไป

3.2 การเลือกเส้นทาง

หลังจากกระบวนการค้นหาเส้นทาง เราก็จะได้ค่าคิวที่มากที่สุดและค่าพลังงานที่น้อยที่สุดของโหนดในแต่ละเส้นทาง ต่อมาโหนดต้นทางจะทำการเลือกเส้นทาง โดยหากเครือข่ายอยู่ในสภาวะปกติ ไม่มีปัญหาทั้งทางด้านพลังงานและด้านความหนาแน่นของข้อมูล การเลือกใช้เส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะคัดเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดเพื่อการประหยัดพลังงาน แต่หากพบว่าเครือข่ายอยู่ในสภาวะวิกฤตทางพลังงาน ซึ่งก็คือการตรวจพบว่ามีเส้นทางใดๆที่พลังงานแบตเตอรี่น้อยกว่า 10% ของพลังงานตั้งต้น โหนดก็จะเลือกใช้เส้นทางที่มีพลังงานมากที่สุด แต่ถ้าไม่มีเส้นทางไหนเลย ที่มีพลังงานต่ำกว่า 10% ของพลังงานตั้งต้น ก็จะมาพิจารณาปริมาณคิวที่มากที่สุดในตารางเส้นทาง ว่ามีค่าเกินกว่า 80% ของ limited queue หรือไม่ ถ้าใช่แสดงว่าเครือข่ายมีปัญหาภาวะวิกฤตด้านความคับคั่งของเครือข่ายของข้อมูลจึงเลือกใช้เส้นทางที่มีปริมาณคิวน้อยที่สุด ซึ่งกระบวนการทั้งหมดจะแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. แสดงขั้นตอนการเลือกเส้นทาง

4. การทดลองและการประเมิน

ในการทดลองนี้เราจะมุ่งเน้นศึกษาประสิทธิภาพของโปรโคอลที่ได้รับการปรับปรุง การจำลองสถานการณ์สภาพแวดล้อมที่มีความคับคั่งของข้อมูล โดยมีค่าจำนวนการเชื่อมต่อที่จะเปลี่ยนไปในแต่ละการทดสอบและทำการจำกัดค่าคิวที่โหนดๆหนึ่งจะมีได้ไว้ที่ 10 แพ็คเกต เพื่อให้เครือข่ายเกิดความคับคั่งได้ง่ายขึ้น โดยจัดการทดสอบด้วยโปรแกรม Network Simulator2 (NS2) และค่าตัวแปรควบคุมจะสามารถพบได้ที่ตาราง 1

ตารางที่ 1. แสดงขั้นตอนการเลือกเส้นทาง

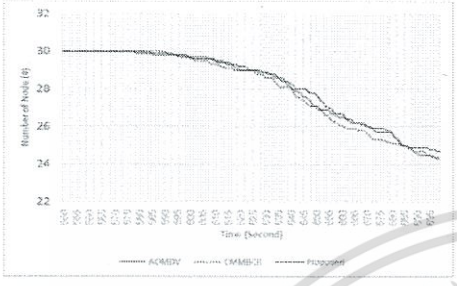
รูปแบบการเคลื่อนที่ของโหนด	สุ่มทิศทาง
ขนาดพื้นที่ทดลอง	1000 เมตร x 1000 เมตร
จำนวนโหนดในเครือข่าย	30, 40, 50, 60,70 โหนด
ความเร็วโหนด	5 เมตร/วินาที
เวลาหยุดพักการเคลื่อนที่	ไม่มี
จำนวนโหนดที่ส่งข้อมูล	10 โหนด
รัศมีการส่งข้อมูล	250 เมตร
ความถี่ในการส่งข้อมูล	10 แพ็คเกต/วินาที
ขนาดแพ็คเกต	512 ไบต์
รูปแบบข้อมูล	อัตราข้อมูลคงที่
เวลาที่ใช้ในการทดลอง	700 วินาที
พลังงานเริ่มต้น	400 จูล
ขนาดของคิวที่มากที่สุด (Interface Queue)	10 แพ็คเกต
รูปแบบของคิว	Priority Queuing
พลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูล (txPower) [14]	1.34616 วัตต์
พลังงานที่ใช้ในการรับข้อมูล (rxPower)	0.9006 วัตต์
พลังงานที่ใช้ในขณะที่ไม่รับ-ส่งข้อมูล (idlePower)	0 วัตต์

4.2 ผลการทดลองและตัวชี้วัด

ในการทดลองจะทำการวัดประสิทธิภาพด้านต่างๆดังนี้ 1) กราฟแสดงโหนดที่เหลืออยู่ (Remaining Node in Network) 2) พลังงานที่เหลืออยู่ของโหนดทั้งเครือข่าย (Remaining Energy of Network) 3) เวลาที่โหนดตายครั้งแรก (First Node Dead) 4) อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ (Packet Delivery Ratio) 5) ความล่าช้าในการส่งข้อมูล (End to End Delay) 6) อัตราส่วนระหว่างแพ็คเกตเส้นทางที่ใช้ในการส่งข้อมูลกับแพ็คเกตข้อมูลที่ไปถึงปลายทาง (Normalized Routing Overhead) 7) อัตราส่วนระหว่างแพ็คเกตที่ส่งกับแพ็คเกตที่ถูกทิ้ง

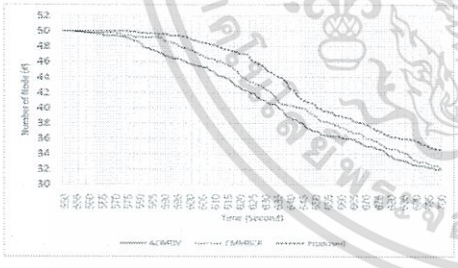
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Drop Packet Ratio) กลไกที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ดังนี้ 1) AOMDV 2) AOMDV – CMMBCR 3) Proposed protocol



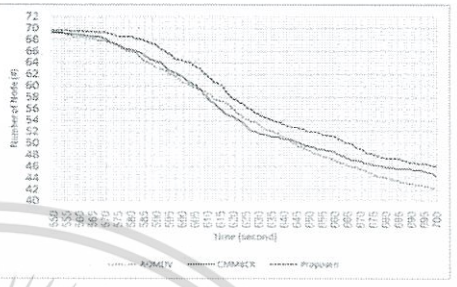
รูปที่ 2. กราฟ Remaining Node in Network (30 Node)

ในสภาวะที่เครือข่ายมีจำนวนโหนดน้อยโพรโทคอลที่นำเสนอนั้น จะไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพเนื่องด้วยมีเส้นทางให้เลือกใช้น้อยดังผลการทดลองดังที่แสดงในรูปที่ 2 ซึ่งแม้ในบางช่วงเวลาโพรโทคอลที่นำเสนอนั้นมีจำนวนโหนดที่ยังคงทำงานอยู่ในเครือข่ายมากกว่าโพรโทคอลอื่นแต่นั่นก็เพียงเล็กน้อยเท่านั้น



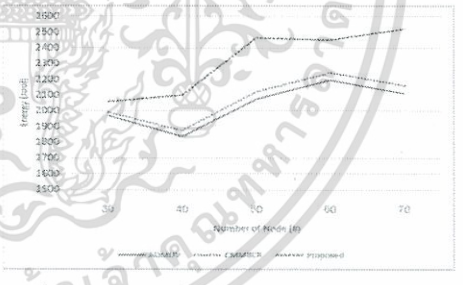
รูปที่ 3. กราฟ Remaining Node in Network (50 Node)

จากรูปที่ 3 ประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่นำเสนอยังคงดีขึ้นต่อเนื่องในการทดลองนี้โดยในเวลาเดียวกันโพรโทคอลที่นำเสนอมีโหนดที่พลังงานยังไม่หมดมากกว่าโพรโทคอลอื่นๆ มากที่สุดถึง 5 โหนดด้วยกันอีกทั้งกว่าโหนดจะหมดพลังงานแล้วจำนวนลดลงมาเท่ากับโพรโทคอลอื่นๆยังใช้เวลามากกว่า 10 วินาทีด้วยกัน และจะเห็นได้ว่าโพรโทรคอล CMMBCR มีประสิทธิภาพรองลงมาจากโพรโทคอลที่ได้นำเสนอเนื่องจากมีการทำงานที่หลีกเลี่ยงโหนดตายได้นั่นเอง



รูปที่ 4. กราฟ Remaining Node in Network(70 Node)

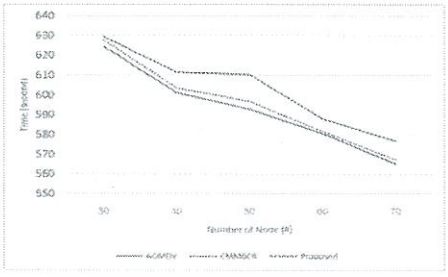
จากรูปที่ 4 โพรโพคอลที่ได้นำเสนอยังคงทำงานได้ดีแม้ในสภาพเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดมากขึ้น แตกต่างกันเพียงแค่ระยะเวลาที่โหนดเริ่มตายลงจะมาถึงเร็วขึ้นเนื่องจากมีโหนดภายในเครือข่ายมากขึ้นทำให้เส้นทางในการส่งข้อมูลยาวขึ้น ภาระในการส่งต่อข้อมูลของโหนดระหว่างทางก็จะเยอะขึ้นด้วย



รูปที่ 5. กราฟ Remaining Energy of Network

จากรูปที่ 5 นั้นโพรโตคอลที่ได้นำเสนอมีพลังงานที่เหลืออยู่ในเครือข่ายมากกว่าโพรโตคอล AOMDV และ CMMBCR เนื่องด้วยโพรโตคอลที่นำเสนอนั้นมีอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จที่สูง มีค่าการทิ้งแพ็คเกตและค่าแพ็คเก็ตที่ใช้ในการส่งข้อมูลที่ต่ำ อีกทั้งยังเลือกใช้เส้นทางที่สั้นที่สุดเป็นเหตุให้มีพลังงานเหลือในเครือข่ายมากกว่าโพรโทคอลอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

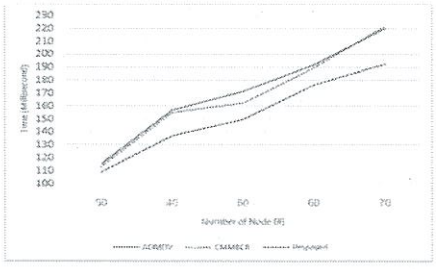


รูปที่ 6. กราฟ First Node Dead

จากรูปที่ 6 โพรโทคอลที่นำเสนอมีโหนดแรกตายช้ากว่าของโพรโทคอลที่เหลือทั้งสองอัน เนื่องมาจากกลไกการทำงานที่เลือกใช้เส้นทางที่สั้นที่สุดเสมอ ทำให้ลดการใช้พลังงานลงได้ การหลีกเลี่ยงการใช้เส้นทางที่มีวิกฤตทั้งทางพลังงานและความคับคั่งของเครือข่ายทำให้ไม่มีโหนดใดถูกใช้งานจนพลังงานหมดอย่างรวดเร็ว

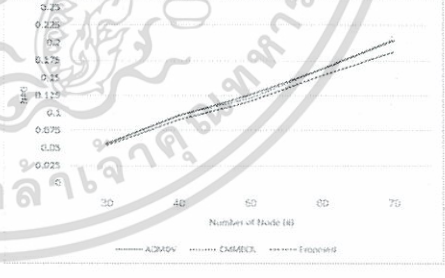
รูปที่ 7. กราฟ Packet delivery ratio

จากรูปที่ 7 กราฟแสดงให้เห็นว่าโพรโทคอลที่มีการเลือกใช้เส้นทางที่มีค่าความหน่วง (Delay) น้อยที่สุดเป็นพื้นฐาน ได้แก่ AOMDV และ CMMBCR นั้นจะมีค่าอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จน้อยกว่าโพรโทคอลที่นำเสนอ ในทุกๆ การทดสอบ เนื่องจากโพรโทคอลที่ได้นำเสนอนั้น มีการเฝ้าระวังไม่ใช้โหนดที่ใกล้ตายและโหนดที่รับภาระหนัก จึงทำให้มีระยะเวลาในการทำงานมากกว่า อยู่รับข้อมูลได้มากกว่า อีกทั้งยังสามารถเลือกใช้เส้นทางที่มีความคับคั่งของเครือข่ายน้อยที่สุดทำให้มีโอกาสถูกทิ้งกลางทางน้อยอีกด้วย



รูปที่ 8 กราฟ End-to-End Delay

จากรูปที่ 8 โพรโทคอลที่มีการเลือกใช้เส้นทางที่มีค่าความหน่วง (Delay) น้อยที่สุด เช่น AOMDV และ CMMBCR นั้นจะมีค่าหน่วงเวลามากกว่าโพรโทคอลที่นำเสนอ เนื่องจากการพิจารณาจากค่าหน่วงเวลาเพียงอย่างเดียวนั้น ไม่สามารถสะท้อนความคับคั่งของเครือข่ายในเส้นทางได้เพียงพอ เนื่องจากค่าความหน่วงนั้นคำนวณจากระยะห่างของแต่ละโหนดด้วย อาจทำให้เลือกใช้เส้นทางที่มีความคับคั่งของข้อมูลแต่ระยะห่างระหว่างโหนดน้อยก็เป็นได้ ซึ่งหากเป็นเช่นนั้นก็จะทำให้เกิดความคับคั่งในเส้นทางมากขึ้นได้ ทำให้โพรโตคอลที่นำเสนอที่มีการพิจารณาว่าหากเกิดวิกฤตความคับคั่งของเครือข่ายขึ้นก็จะสามารถหลีกเลี่ยงไปใช้เส้นทางอื่นได้

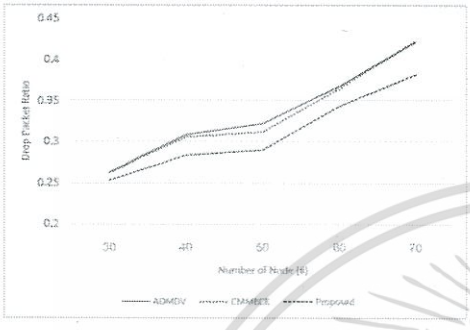


รูปที่ 9. กราฟ Normalized Routing Overhead

จากรูปที่ 9 นั้นอัตราส่วนระหว่างแพ็คเกตเส้นทางที่ใช้ในการส่งข้อมูลกับ แพ็คเกตข้อมูลที่ไปถึงปลายทางโพรโทคอลที่ใช้ค่าหน่วงเวลาเพียงอย่างเดียว อย่าง AOMDV และ CMMBCR มีค่าอัตราส่วนที่มากกว่าโพรโทคอลที่ได้นำเสนอ เนื่องด้วยโพรโทคอลที่นำเสนอสามารถเลือกใช้เส้นทางที่ไม่มีความหนาแน่นของข้อมูลได้ ทำให้การส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลมีประสิทธิภาพมากกว่าจึงทำให้มีการละทิ้งแพ็คเกตลดลง จึงทำให้แพ็คเกตเส้นทางที่ใช้ในการส่งข้อมูลนั้นลดลงไปด้วย



รูปที่ 12. กราฟ Drop Packet

จากรูปที่ 12 โพรโทคอลที่พิจารณาเส้นทางจากค่าความหน่วงเพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถเลือกเส้นทางที่มีประสิทธิภาพได้ เนื่องจากการพิจารณาจากค่าหน่วงเวลาเพียงอย่างเดียวนั้น ไม่สามารถสะท้อนความคับคั่งของเครือข่ายในเส้นทางได้เพียงพอ เนื่องจากค่าความหน่วงนั้นคำนวณจากระยะห่างของแต่ละโหนดด้วย ทำให้อัตราการทิ้งแพ็คเกตนั้นมีค่าสูงกว่าโพรโทคอลที่ได้นำเสนอ ซึ่งสามารถเลือกใช้เส้นทางที่ไม่มีความหนาแน่นของข้อมูลได้

5. บทสรุป

จากการตั้งสมมติฐาน การพัฒนากระทั่งถึงการทดลองทำให้เราทราบถึงประสิทธิภาพของโพรโทคอลทั้ง 3 อันได้แก่ AOMDV, AOMDV-CMMBCR และโพรโทคอลที่ได้นำเสนอ ในสภาวะที่เครือข่ายมีจำนวนโหนดน้อย โพรโทคอลที่ได้นำเสนอ ยังไม่สามารถทำงานได้ดีเท่าที่ควรเนื่องจากสาเหตุที่มีจำนวนโหนดน้อย เส้นทางๆ เลือกก็น้อยตามไปด้วย ทำให้ใช้กลไกการทำงานการหลีกเลี่ยงโหนดที่ใกล้ตายและหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีความคับคั่งของเครือข่ายไม่ได้อย่างเต็มที่ แต่เมื่อจำนวนโหนดภายในเครือข่ายมีจำนวนมากขึ้น โพรโทคอลที่นำเสนอจึงมีเส้นทางเลือกในการใช้งานกลไกมากขึ้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ทั้ง Packet Delivery Ratio, End to End Delay, Drop Ratio, Remaining Energy of Network โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Remaining Node in Network ซึ่งทำให้เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ที่ใช้โพรโทคอลที่ได้นำเสนอมีประสิทธิภาพด้านความพร้อมใช้งานที่ดีกว่าโพรโตคอลต้นแบบทั้ง AOMDV และ CMMBCR

เอกสารอ้างอิง

[1] IEEE Standard 802.11

[2] D. B. Johnson, D. A. Maltz, Y. C. Hu, and J. G. Jetcheva. "The Dynamic Source Routing Proto-col for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)." Internet Engineering Task Force (IETF) draft, February 2007.

[3] C. E. Perkins, E. M. Belding-Royer, and S. R. Das. "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing." Internet Engineering Task Force (IETF) draft, July 2003.

[4] Guoyou He. "Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV) Protocol"

[5] Buruhanudeen, S.; Othman, M. ; Othman, M. ; Ali, B.M. "Mobility Models, Broadcasting Meth-Ods And Factors Contributing Towards The Efficiency Of The MANET Routing Protocols: Overview" Telecommunications and Malaysia International Conference on Communications, 2007. ICT-MICC 2007. IEEE International Conference

[6] Jun-Hu Zhang, Hui Peng, Feng-Jing Shao."Energy Consumption Analysis of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MANET Routing Protocols based on Mobility Models"

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

[8] Mahesh K. Marina, Samir R. Das. "Ad Hoc On-Demand Multipath Distance Vector Routing", WIRELESS COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING.

[9] Natarajan Meghanathan. "Performance Comparison Of Link, Node And Zone Disjoint Multi-Path Routing Strategies And Minimum Hop Single Path Routing For Mobile Ad Hoc Networks", International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol.2, No.4, November 2010.

[10] Sung-Ju Lee, Mario Gerla. "Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad hoc Networks", Communications, 2001. ICC 2001. IEEE International Conference on (Volume: 10)

[11] Mariam Ahmed Moustafa, Moustafa A. Youssef, Mohamed Nazih El-Derini. "MSR: A Multipath Secure Reliable Routing Protocol for WSNs" Computer Systems and Applications (AICCSA), 2011 9th IEEE/ACS International Conference on.

[12] Mu'ath Obaidat, M. A. Ali Ihsan Shahwan, M.S. Obaidat, Suhaib Obeidat. "A Novel Multipath Routing Protocol for MANETs" Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2011 7th International Conference on.

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

[14] Laura Marie Feeney, Martin Nilsson, "Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment", INFOCOM 2001. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE (Volume: 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้