



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

ปริญญา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ในเครือข่ายไร้สาย
แอดฮอค

Link Failure Detection Improvement for Wireless Ad Hoc Networks

นามผู้วิจัย นางสาวสมฤดี กฤษสำโรง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พีรวัฒน์ วัฒนพงศ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภูงศ์ อุทโยภาส, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้เครือข่ายไร้สายแอดฮอค

Link Failure Detection Improvement for Wireless Ad Hoc Networks

โดย

นางสาวสมฤดี กฤษสำโรง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมฤดี กฤษสำโรง 2555: การปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ในเครือข่ายไร้สายแอดฮอก ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D. 68 หน้า

ระบบเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกเป็นเครือข่ายที่แต่ละโหนดสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ทำให้ลักษณะการเชื่อมต่อกันภายในเครือข่ายเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการเชื่อมต่อมีผลทำให้เส้นทางเดิมไม่สามารถใช้งานได้ เมื่อโหนดในเครือข่ายยังคงมีความต้องการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลในขณะที่เส้นทางเดิมไม่สามารถใช้งานได้แล้วนั้น โพรโทคอลการหาเส้นทางจะทำการบำรุงรักษาเส้นทางซึ่งขั้นตอนนี้ต้องใช้ระยะเวลาช่วงหนึ่งในการหาเส้นทางใหม่ แพ็กเก็ตข้อมูลที่ทำการสื่อสารอยู่ขณะนั้นจะเกิดการหน่วงเวลาหรือแพ็กเก็ตสูญหายในระหว่างที่รอให้โพรโทคอลการหาเส้นทางทำการบำรุงรักษาเส้นทาง ส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพการสื่อสาร โดยเฉพาะการสื่อสารแบบเวลาจริง

นอกจากนี้เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกมีข้อจำกัดในเรื่องทรัพยากร ทรัพยากรบางอย่างมีผลกระทบต่อความสามารถในการทำหน้าที่รับส่งข้อมูลของโหนดในเครือข่าย เช่น ค่าพลังงานคงเหลือของโหนดและปริมาณเนื้อที่ที่เหลือในคิวของโหนด ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเสนอกฎในการตรวจสอบเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ล่วงหน้าโดยพิจารณาจากทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดของระบบ ได้แก่ ค่าพลังงานของแต่ละโหนด ค่าความแรงของสัญญาณที่โหนดได้รับจากโหนดเพื่อนบ้าน และปริมาณเนื้อที่ที่เหลือในคิวของโหนด ซึ่งวิธีการดังกล่าวเมื่อได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับระบบเดิมพบว่าสามารถลดค่าหน่วงเวลาในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลที่เกิดจากการหาเส้นทางใหม่ สามารถลดอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล ทำให้การส่งแพ็กเก็ตข้อมูลสามารถทำได้อย่างต่อเนื่องแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการเชื่อมต่อภายในเครือข่ายบ่อยครั้งก็ตาม โหนดสามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลปริมาณเท่าเดิมสำเร็จได้ในเวลาที่เร็วขึ้นโดยที่โหนดแต่ละโหนดในเครือข่ายมีการใช้พลังงานมากกว่าระบบเดิมเล็กน้อย มีปริมาณโอเวอร์เฮดที่มากขึ้นกว่าระบบเดิมไม่มากนัก

Somrudee Kritsamrong 2012: Link Failure Detection Improvement for Wireless Ad Hoc Networks. Master of Engineering (Computer Engineering), Major Field: Computer Engineering, Department of Computer Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anan Phonphoem, Ph.D. 68 pages.

In Wireless Ad Hoc Networks, each node can freely move around. Hence, the connection between each node can be dynamically changed which leads to link failure. Once the link fails, the routing protocol needs to spend a period of time to recover and comes up with a new route. Meanwhile, the data packet may be lost or delayed which affects the quality of communication, especially the real – time traffic.

In addition, wireless ad hoc networks have limited resources. Certain resources, such as energy and remaining queue size, can dramatically affect the performance of each node. This research proposes a mechanism to early detect a route that is going to fail by monitoring its energy level, remaining queue size and the signal strength from neighbor nodes. The experimental results reveal that the proposed mechanism can decrease the duration for finding a new route, reduce the data lost rate and also cut down the total transmission time with a small amount of extra energy and overhead.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ ผลเพิ่ม ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้ให้คำชี้แนะในการทำงานวิจัยตลอดจนเป็นที่ปรึกษาทั้งในด้านการเรียนและการดำเนินชีวิต ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีรวัฒน์ วัฒนพงษ์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้ให้ความกรุณาชี้แนะในการทำงานวิจัย ตลอดจนคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้อันเป็นประโยชน์เพื่อให้ข้าพเจ้ามีความรู้ความสามารถและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำงานหรือต่อยอดงานวิจัยต่อไป

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยพร ใจแก้ว, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐิติวรรณ ศรีนาค และ ดร. อภิรักษ์ จันทร์สร้าง ที่ได้ให้คำแนะนำและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณกำลังใจจากเพื่อน ๆ ทุกท่านที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการบัณฑิตศึกษาของภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และเจ้าหน้าที่ของบัณฑิตวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในเรื่องต่าง ๆ

ขอขอบคุณคุณแม่และครอบครัวของข้าพเจ้าที่ได้ให้กำลังใจและอยู่เคียงข้างข้าพเจ้าเสมอไม่ว่าเวลาสุขหรือทุกข์

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่คุณแม่ครูอาจารย์ที่ได้อบรมสั่งสอนข้าพเจ้าด้วยดีเสมอมา

สมฤดี กฤษสำโรง
มีนาคม 2555

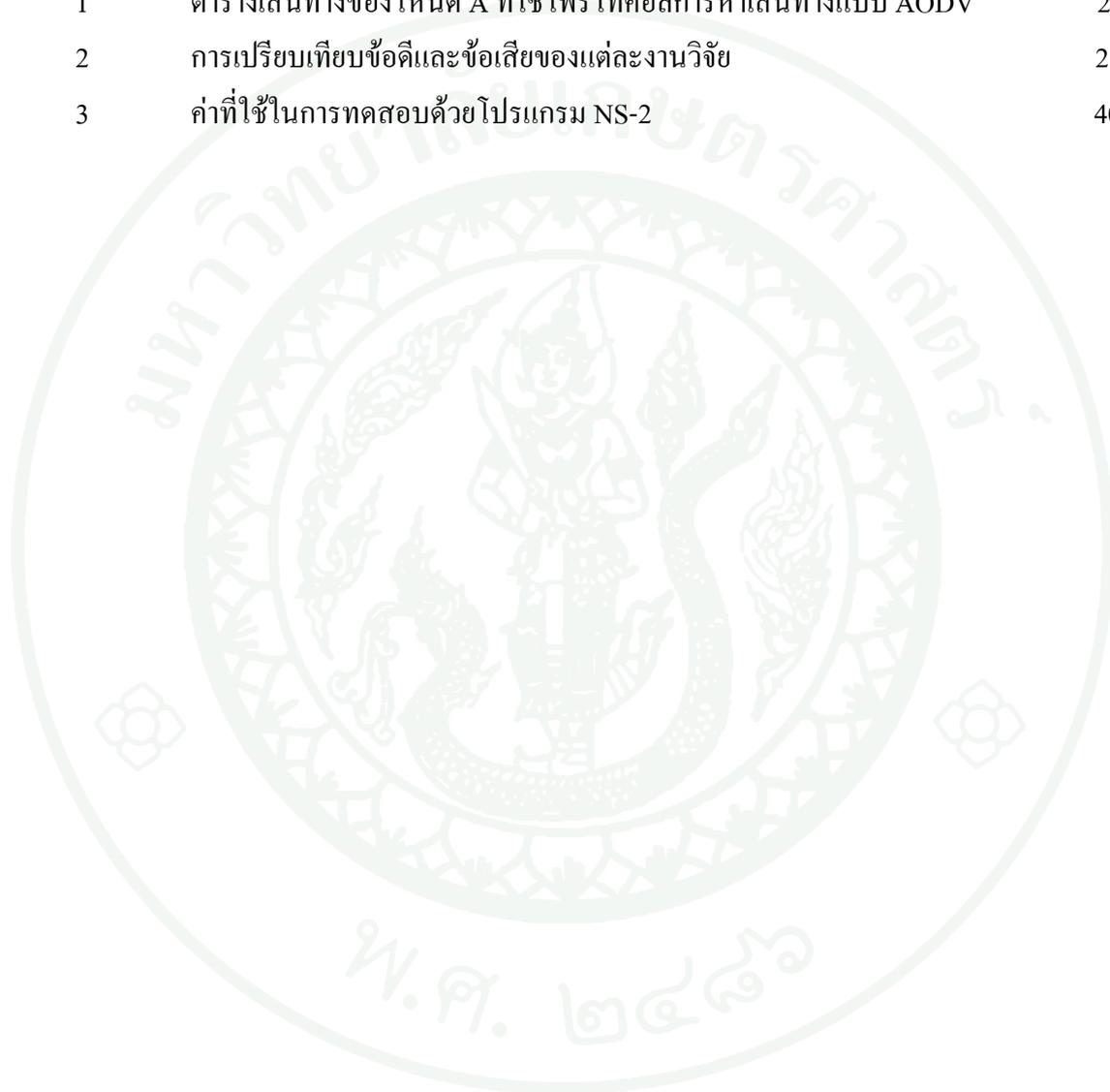
สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	32
อุปกรณ์	32
วิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	39
สรุปและข้อเสนอแนะ	63
สรุป	63
ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	65
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	68

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตารางเส้นทางของโหนด A ที่ใช้โพรโทคอลการหาเส้นทางแบบ AODV	23
2	การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละงานวิจัย	28
3	ค่าที่ใช้ในการทดสอบด้วยโปรแกรม NS-2	40



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายแบบโครงข่าย	4
2	การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอค	5
3	เครือข่ายแอดฮอคแบบฮอปเดียว (Single – Hop Ad Hoc Network)	6
4	เครือข่ายแอดฮอคแบบหลายฮอป (Multi – Hop Ad Hoc Network)	6
5	การค้นหาเส้นทางของโพรโทคอลการหาเส้นทาง DSDV	14
6	การค้นหาเส้นทางของโพรโทคอลการหาเส้นทาง AODV	15
7	การค้นหาเส้นทางของโพรโทคอล ZRP	16
8	เส้นทางไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมต่อ	17
9	ลักษณะของแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทาง	19
10	ลักษณะของแพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทาง	20
11	ลักษณะของแพ็กเก็ตแจ้งข้อผิดพลาดของเส้นทาง	20
12	ลักษณะของแพ็กเก็ตทักทาย	21
13	การส่งแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางเพื่อหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง	22
14	การส่งแพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทางไปยังโหนดต้นทาง	23
15	เส้นทางระหว่างโหนด B และ โหนด D ไม่สามารถใช้งานได้	24
16	ลักษณะของแพ็กเก็ตทักทายที่มีการฝากข้อมูลพารามิเตอร์	33
17	Finite state machine ของกลไกที่นำเสนอ (per route)	34
18	แผนภาพเวลาการทำงาน (Timing Diagram) ของระบบ	35
19	Pseudo Code ของอัลกอริทึมที่ใช้ในการตัดสินใจ	37
20	รูปแบบการเชื่อมต่อที่ใช้ในการทดลอง	39
21	เวลาที่ใช้ในการรอเส้นทางใหม่หลังจากเส้นทางเดิมใช้งานไม่ได้ (การทดลองที่ 1.1)	43
22	อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต (การทดลองที่ 1.1)	44
23	เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต 300 แพ็กเก็ตสำเร็จ (การทดลองที่ 1.1)	44
24	ค่า CDF ของ Packet Interarrival Time (การทดลองที่ 1.1)	45
25	พลังงานที่ใช้ทั้งหมดของระบบ (การทดลองที่ 1.1)	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
26	โอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นภายในระบบ (การทดลองที่ 1.1)	46
27	เวลาที่ใช้ในการรอเส้นทางใหม่หลังจากเส้นทางเดิมใช้งานไม่ได้ (การทดลองที่ 1.2)	48
28	อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต (การทดลองที่ 1.2)	49
29	เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต 1,000 แพ็กเก็ตสำเร็จ (การทดลองที่ 1.2)	49
30	ค่า CDF ของ Packet Interarrival Time (การทดลองที่ 1.2)	50
31	พลังงานที่ใช้ทั้งหมดของระบบ (การทดลองที่ 1.2)	50
32	โอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นภายในระบบ (การทดลองที่ 1.2)	51
33	เวลาที่ใช้ในการรอเส้นทางใหม่หลังจากเส้นทางเดิมใช้งานไม่ได้ (การทดลองที่ 2)	53
34	อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต (การทดลองที่ 2)	54
35	เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต 10,000 แพ็กเก็ตสำเร็จ (การทดลองที่ 2)	54
36	ค่า CDF ของ Packet Interarrival Time (การทดลองที่ 2)	55
37	พลังงานที่ใช้ทั้งหมดของระบบ (การทดลองที่ 2)	55
38	โอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นภายในระบบ (การทดลองที่ 2)	56
39	เวลาที่ใช้ในการรอเส้นทางใหม่หลังจากเส้นทางเดิมใช้งานไม่ได้ (การทดลองที่ 3)	58
40	อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต (การทดลองที่ 3)	59
41	เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต 10,000 แพ็กเก็ตสำเร็จ (การทดลองที่ 3)	59
42	ค่า CDF ของ Packet Interarrival Time (การทดลองที่ 3)	60
43	พลังงานที่ใช้ทั้งหมดของระบบ (การทดลองที่ 3)	60
44	โอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นภายในระบบ (การทดลองที่ 3)	61

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ACK	=	Acknowledgement
AODV	=	Ad Hoc On Demand Distance Vector
ARP	=	Address Resolution Protocol
BRP	=	Bordercast Resolution Protocol
CBR	=	Constant Bitrate
CDF	=	Cumulative Distribution Function
CTS	=	Clear to Send
DAG	=	Directed Acyclic Graph
DBF	=	Distributed Bellman Ford
dBm	=	Decibels per milliwatt
DDR	=	Distributed Dynamic Routing
DSDV	=	Destination-Sequenced Distance Vector
DSR	=	Dynamic Source Routing
DST	=	Destination
EWMA	=	Exponentially Weighted Averaging
FSR	=	Fisheye State Routing
HARP	=	Hybrid Ad Hoc Routing Protocol
IARP	=	Intrazone Routing Protocol
ID	=	Identification
IERP	=	Interzone Routing Protocol
IP	=	Internet Protocol
KALM	=	two dimensional Kalman filter
LS	=	Link State
LSSTT	=	Link Signal Strength Trend Table
MDA	=	Mobility Detection Algorithm
MPR	=	Multipoint relays
MRL	=	Message Retransmission List
msec	=	Millisecond

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

m/s	=	meter per second
NDP	=	Neighbor Discovery Protocol
NE	=	Node Energy
NLSST	=	Neighbor Link Signal Strength Table
OLSR	=	Optimized Link State Routing
ORG	=	Originator
PDA	=	Personal Digital Assistant
PREP	=	Path Reply
PREQ	=	Path Request
QRY	=	Query
RQ	=	Remaining Queue Size
RREP	=	Route Reply
RREQ	=	Route Request
RERR	=	Route Error
RTS	=	Request to Send
SEQ#	=	Sequence Number
SS	=	Signal Strength
THR	=	Threshold
TORA	=	Temporally-Ordered Routing Algorithm
TTL	=	Time to live
UPD	=	Update
WRP	=	Wireless Routing Protocol
ZRP	=	Zone Routing Protocol

การปรับปรุงประสิทธิภาพการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ในเครือข่ายไร้สาย

แอดฮอค

Link Failure Detection Improvement for Wireless Ad Hoc Networks

คำนำ

ปัจจุบันระบบเครือข่ายไร้สายถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากผู้ใช้งานสามารถที่จะใช้งานผ่านอุปกรณ์สื่อสารที่ทันสมัยได้หลายประเภท เพื่อให้การทำงานของเครือข่ายไร้สายดีขึ้นจึงได้มีการคิดค้นและพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับเครือข่ายไร้สายในประเด็นที่น่าสนใจหลาย ๆ ด้าน อาทิเช่น การรับประกันคุณภาพการให้บริการ การประหยัดพลังงาน การหาเส้นทาง เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาเส้นทางในเครือข่ายไร้สายได้มีผู้ทำวิจัยเป็นจำนวนมาก ทำให้ตอนนี้ระบบเครือข่ายไร้สายมีโพรโทคอลการหาเส้นทางหลากหลายให้เลือกใช้ได้ตามจุดประสงค์ของผู้ใช้งาน และสภาพแวดล้อมภายในเครือข่าย

เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอคเป็นเครือข่ายไร้สายชนิดหนึ่งซึ่งลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ภายในเครือข่ายเป็นแบบเชื่อมต่อถึงกันได้โดยตรง ไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ตัวกลางในการจัดการการเชื่อมต่อ อุปกรณ์ภายในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอคมักจะเป็นอุปกรณ์ที่สามารถพกพาหรือเคลื่อนย้ายได้ จึงกล่าวได้ว่าอุปกรณ์ทุกตัวสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เมื่ออุปกรณ์หลาย ๆ ตัวเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอค โพรโทคอลการหาเส้นทางจะเริ่มต้นทำงานเพื่อหาเส้นทางระหว่างอุปกรณ์ภายในเครือข่ายผ่านกระบวนการค้นหาเส้นทาง

การหาเส้นทางในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอคแบ่งตามลักษณะการปรับปรุงข้อมูลเส้นทางมี 3 แบบด้วยกันคือ proactive, reactive และ hybrid โดยที่การหาเส้นทางแบบ proactive จะเป็นการหาเส้นทางเตรียมไว้ล่วงหน้าสำหรับทุกอุปกรณ์ภายในเครือข่าย ในขณะที่ reactive เป็นการหาเส้นทางเมื่ออุปกรณ์ภายในเครือข่ายตัวใดตัวหนึ่งมีความต้องการส่งข้อมูล ส่วน hybrid เป็นการหาเส้นทางที่อาศัยหลักการทำงานของ proactive และ reactive ร่วมกัน ซึ่งแต่ละแบบมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกัน ข้อดีของการหาเส้นทางแบบ proactive คือ สามารถรับส่งข้อมูลได้รวดเร็ว ไม่เสียเวลารอในการหาเส้นทางเพราะมีการหาเส้นทางเตรียมไว้ก่อนแล้ว แต่มีข้อด้อยคือสิ้นเปลืองแบนด์วิดท์และเพิ่มโอเวอร์เฮดในการหาเส้นทางที่ไม่ได้มีการใช้งาน ข้อดีของการหาเส้นทางแบบ reactive คือ

มีจำนวน โอเวอร์เฮดที่น้อยกว่าแบบ proactive เพราะทำการหาเส้นทางเฉพาะเวลาที่ต้องการส่งข้อมูลเท่านั้น แต่มีข้อด้อยคือใช้เวลาในการส่งข้อมูลมากกว่า proactive เพราะต้องเสียเวลาในการหาเส้นทาง (high latency) ในส่วนการหาเส้นทางแบบ hybrid นั้นมีข้อดีคือลดจำนวน โอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นในการหาเส้นทาง ใช้เวลาในการส่งข้อมูลน้อยกว่า (reduce latency) แต่ก็มีข้อด้อยคือวิธีการทำงานซับซ้อนกว่า 2 แบบแรก

หลังจากที่ทราบเส้นทางจากกระบวนการค้นหาเส้นทาง โหนดต้นทางจะทำการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางตามเส้นทางที่ได้เตรียมไว้ แต่เมื่อเส้นทางที่ใช้งานอยู่ไม่สามารถใช้งานได้ โพรโทคอลการหาเส้นทางก็จะเริ่มกระบวนการบำรุงรักษาเส้นทาง โดยกระบวนการนี้ต้องใช้เวลาในการหาเส้นทางใหม่ ซึ่งอาจกินเวลานานเท่ากับหรือมากกว่าการหาเส้นทางเริ่มต้น และในระหว่างกระบวนการหาเส้นทางใหม่นี้ แพ็กเก็ตข้อมูลที่ทำการสื่อสารอยู่ก็จะเกิดการหน่วงเวลา (packet delay) หรือสูญหาย (packet loss) ได้ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการสื่อสาร โดยเฉพาะการสื่อสารแบบเวลาจริง (real-time traffic) เช่น การสื่อสารด้วยภาพและเสียง เหตุการณ์เช่นนี้จะยังทวีความรุนแรงขึ้นในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก เมื่อโหนดในเครือข่ายสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เส้นทางเชื่อมต่อที่ค้นหาได้อาจใช้งานได้เพียงช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ทำให้ต้องหาเส้นทางใหม่บ่อยครั้ง

งานวิจัยนี้เสนอกฎการเพิ่มประสิทธิภาพการหาเส้นทางในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก โดยการตรวจสอบเส้นทางที่มีแนวโน้มว่าจะไม่สามารถใช้งานได้ในเวลาอันใกล้ ในการตรวจสอบนี้พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบได้แก่ ค่าพลังงานของแต่ละโหนด ค่าความแรงของสัญญาณที่โหนดได้รับจากโหนดเพื่อนบ้านแต่ละตัว และปริมาณเนื้อที่ที่เหลือในคิวของโหนด โหนดสามารถเริ่มกระบวนการหาเส้นทางใหม่ตั้งแต่เส้นทางเดิมยังไม่ขาดการเชื่อมต่อ ส่งผลให้ไม่เสียเวลาในการรอเส้นทางใหม่ ทำให้สามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง ลดการหน่วงเวลาและสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล แม้ว่าจะมีผลให้มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีจำนวน โอเวอร์เฮดที่มากขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ล่วงหน้าในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก
2. เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการหาเส้นทางของระบบเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกให้ดีขึ้น
3. เพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลระหว่างโหนดให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ต่อเนื่องและลดค่าหน่วยเวลาและการสูญหายของข้อมูล

การตรวจเอกสาร

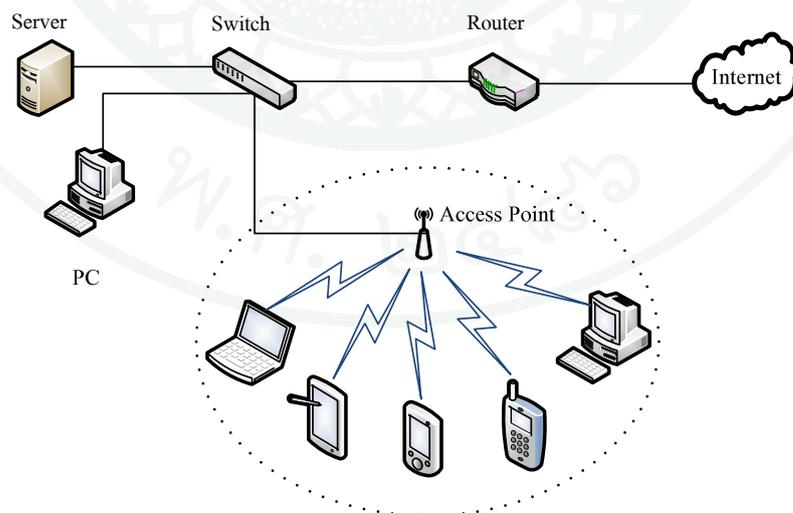
การตรวจเอกสารของวิทยานิพนธ์นี้ประกอบไปด้วย ความรู้พื้นฐานการทำงานของเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11, โพรโทคอลการหาเส้นทางในเครือข่ายไร้สาย, วิธีตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ในเครือข่ายไร้สายและรวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอค

การเชื่อมต่อบนเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11

เครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 มีลักษณะการเชื่อมต่อที่พิจารณาจากลักษณะทางตรรกะออกเป็น 2 แบบ คือ แบบโครงข่าย (Infrastructure) และแบบแอดฮอค (Ad-hoc)

1. การเชื่อมต่อแบบโครงข่าย

การเชื่อมต่อแบบโครงข่ายเป็นเครือข่ายที่อุปกรณ์ในเครือข่ายไม่สามารถที่จะติดต่อสื่อสารกันได้โดยตรงระหว่างอุปกรณ์ด้วยกัน การติดต่อสื่อสารต้องกระทำผ่านอุปกรณ์ตัวกลางที่ทำหน้าที่ในการจัดการการเชื่อมต่อ อย่างเช่น แอคเซสพอยต์ (Access Point) รูปแบบการเชื่อมต่อแสดงดังภาพที่ 1

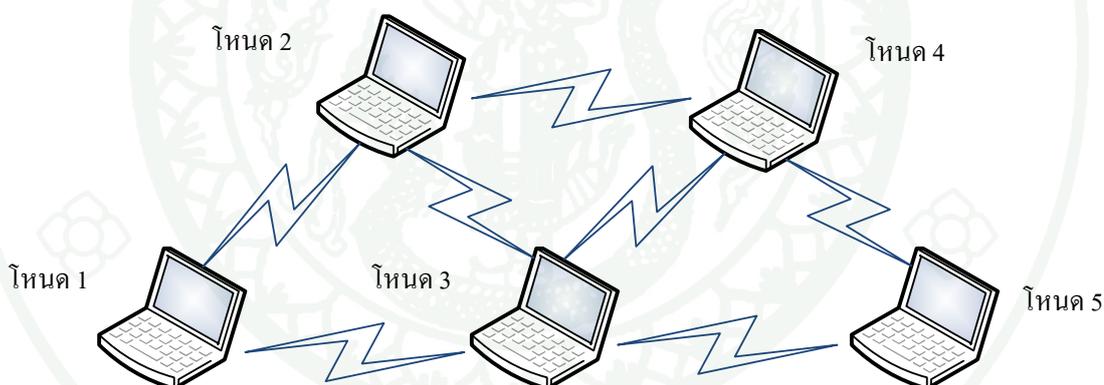


ภาพที่ 1 การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายแบบโครงข่าย

จากภาพที่ 1 การเชื่อมต่อแบบโครงข่ายจะประกอบไปด้วยสถานีแม่ข่ายและสถานีผู้ใช้งาน โดยสถานีแม่ข่ายได้แก่ อุปกรณ์แอคเซสพอยต์ ซึ่งมีตัวรับส่งสัญญาณไร้สาย และช่องทางเชื่อมต่อกับระบบอีเทอร์เน็ต (IEEE 802.3 Ethernet LAN) ทำหน้าที่คอยรับส่งสัญญาณจากสถานีผู้ใช้งานไปยังปลายทางหรือจากปลายทางไปยังสถานีผู้ใช้งาน ส่วนสถานีผู้ใช้งานได้แก่ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Notebook), แท็บเล็ตคอมพิวเตอร์, PDA, โทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ตโฟน, อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ส่วนตัว (Personal Computer) ที่มีอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ เป็นต้น

2. การเชื่อมต่อแบบแอดฮอค

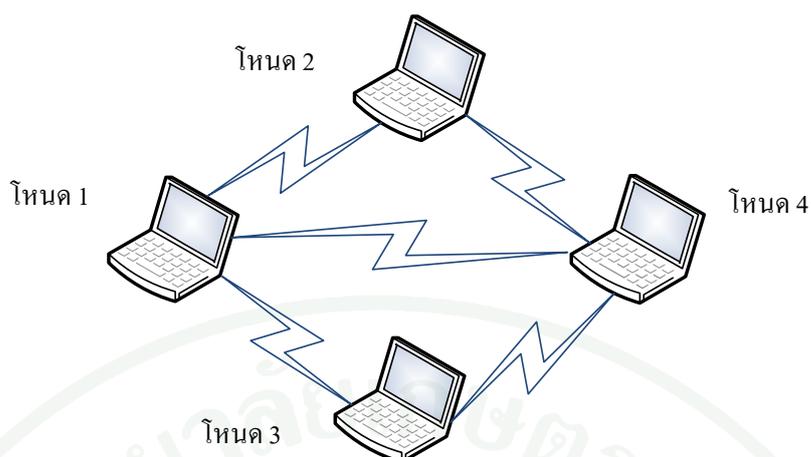
การเชื่อมต่อแบบแอดฮอคเป็นเครือข่ายที่อุปกรณ์ในเครือข่ายสามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยตรงระหว่างอุปกรณ์ด้วยกัน ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ตัวกลางในการจัดการการเชื่อมต่อ อุปกรณ์ภายในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอค ได้แก่ คอมพิวเตอร์แบบพกพา, PDA, โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น รูปแบบการเชื่อมต่อแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอค

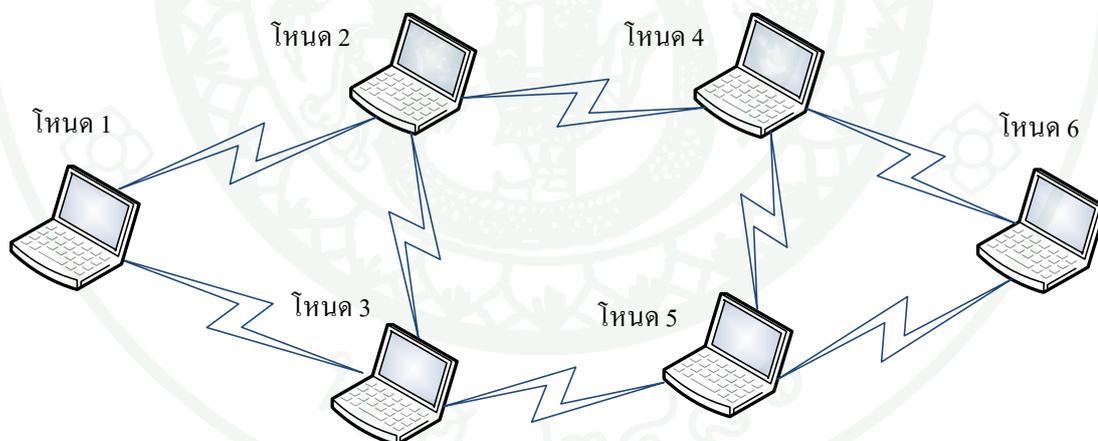
โหนด (Node) คืออุปกรณ์ใด ๆ ที่มีการเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โหนดสามารถเป็นได้ทั้งคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล, คอมพิวเตอร์แบบพกพา, แท็บเล็ตคอมพิวเตอร์, PDA, โทรศัพท์มือถือหรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่มีความสามารถในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

การสร้างเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกระยะที่ 2 ลักษณะคือ เครือข่ายที่ทุกโหนดสามารถส่งสัญญาณถึงกันได้หมดเรียกว่า เครือข่ายแอดฮอคแบบฮอปเดียว (Single – Hop Ad Hoc Network) รูปการสร้างเครือข่ายแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครือข่ายแอดฮอคแบบฮอปเดียว (Single – Hop Ad Hoc Network)

และเครือข่ายที่โหนดไม่สามารถส่งสัญญาณถึงกันได้ทั้งหมด จะต้องอาศัยโหนดข้างเคียงในการส่งผ่านข้อมูลไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการเรียกว่า เครือข่ายแอดฮอคแบบหลายฮอป (Multi – Hop Ad Hoc Network) รูปการสร้างเครือข่ายแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 เครือข่ายแอดฮอคแบบหลายฮอป (Multi – Hop Ad Hoc Network)

โปรโตคอลการหาเส้นทางในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอค

วิธีการหาเส้นทางในระบบเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอคตามลักษณะการปรับปรุงข้อมูลเส้นทาง แบ่งออกเป็น 3 ประเภท

1. Proactive routing protocols (table-driven)

เป็นโปรโตคอลการหาเส้นทางที่มีการหาเส้นทางเตรียมไว้ก่อนสำหรับทุก ๆ โหนดในเครือข่าย โดยจะมีการปรับปรุงข้อมูลเส้นทางที่เก็บไว้ในตารางเส้นทาง (routing table) เป็นระยะตามช่วงเวลาที่กำหนด

1.1 Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV) protocol

โปรโตคอลการหาเส้นทาง DSDV (Perkins and Bhagwat, 1994) มีพื้นฐานการทำงานมาจาก Distributed Bellman-Ford (DBF) algorithm โดยโหนดแต่ละโหนดจะทำการส่งข้อมูลตารางเส้นทางของตนทั้งหมดไปยังโหนดเพื่อนบ้านทุกช่วงเวลาที่กำหนด ข้อมูลในตารางเส้นทางที่ส่งให้โหนดเพื่อนบ้านได้แก่ 1) ที่อยู่ของโหนดปลายทาง (Destination address) 2) ระยะทางไปยังโหนดปลายทาง คิดเป็นจำนวนฮอป 3) หมายเลขลำดับของโหนดปลายทาง (Destination Sequence Number)

เมื่อโหนดได้รับข้อมูลตารางเส้นทางจากโหนดเพื่อนบ้านจะทำการปรับปรุงข้อมูลเส้นทางโดยพิจารณาเลือกค่าหมายเลขลำดับของโหนดปลายทางที่มีค่ามากที่สุด ถ้าหมายเลขลำดับของโหนดปลายทางมีค่าเท่ากับข้อมูลเดิมในตารางเส้นทาง โหนดจะทำการปรับปรุงข้อมูลเส้นทางนั้นเมื่อข้อมูลใหม่ที่ได้รับมามีระยะทางไปยังโหนดปลายทางที่สั้นกว่า

ในกรณีที่เครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมต่อ (topology) โหนดจะทำการส่งข้อมูลตารางเส้นทางเฉพาะที่มีการเปลี่ยนแปลงไปยังโหนดเพื่อนบ้าน ลักษณะการส่งข้อมูลในตารางเส้นทางทั้งหมดไปให้โหนดเพื่อนบ้าน เรียกว่า full dump การส่งข้อมูลในตารางเส้นทางเฉพาะที่มีการเปลี่ยนแปลงไปให้โหนดเพื่อนบ้าน เรียกว่า incremental

1.2 Wireless Routing Protocol (WRP)

โพรโทคอลการหาเส้นทาง WRP (Murthy and Garcia-Luna-Aceves, 1996) มีพื้นฐานการทำงานมาจาก Bellman-Ford algorithm โดยที่โหนดแต่ละโหนดจะทำการสร้างและปรับปรุงข้อมูลได้แก่ 1) ตารางเส้นทาง 2) ตารางระยะทาง 3) ตารางค่าใช้จ่ายของการเชื่อมโยง (link-cost table) 4) รายการแสดงข้อความที่มีการส่งซ้ำ (Message Retransmission List) ใช้ตัวย่อว่า MRL โหนดจะแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางกับโหนดเพื่อนบ้านผ่านทางข้อความอัปเดต (update message) ทุกช่วงเวลาหรือเวลาที่เครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมต่อ เมื่อได้รับข้อความจากเพื่อนบ้านที่มีข้อมูลเส้นทาง โหนดจะทำการปรับปรุงข้อมูลในตารางที่ 1-3 และส่งข้อความตอบรับ (ACK) ไปยังโหนดเพื่อนบ้านนั้นพร้อมกับบันทึกข้อมูลการตอบกลับไว้ในรายการแสดงข้อความที่มีการส่งซ้ำ นอกจากนี้โหนดแต่ละโหนดจะส่งข้อความทักทาย (Hello message) ถึงโหนดเพื่อนบ้านเพื่อเป็นการตรวจสอบโหนดเพื่อนบ้านว่ายังสามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้

1.3 Fisheye State Routing (FSR) protocol

โพรโทคอลการหาเส้นทาง FSR (Pei et al., 2000) มีหลักการทำงานในเรื่องการสร้างและปรับปรุงข้อมูลในตารางการเชื่อมต่อเหมือนกับ LS (Link State routing) (LS เป็นโพรโทคอลการหาเส้นทางแบบหนึ่งซึ่งใช้ข้อมูลสถานะการเชื่อมต่อของเราเตอร์ในการหาเส้นทางที่ดีที่สุด) แต่วิธีการส่งข้อมูลเพื่อปรับปรุงเส้นทางให้ทันสมัยนั้นแตกต่างกัน LS จะส่งข้อมูลแบบกระจายไปทุกโหนดในเครือข่าย ส่วน FSR จะส่งข้อมูลไปยังโหนดเพื่อนบ้านเท่านั้น โหนดแต่ละโหนดจะสร้างและปรับปรุงข้อมูล ได้แก่ 1) รายการโหนดเพื่อนบ้าน 2) ตารางโหนดถัดไป 3) ตารางระยะทาง 4) ตารางเส้นทาง 5) ตารางการเชื่อมต่อ โดยใช้ข้อมูลจากข้อความสถานะของการเชื่อมโยง (Link state message) ที่ได้รับจากโหนดเพื่อนบ้านในการปรับปรุงข้อมูลเหล่านี้

FSR ใช้เทคนิคฟิชอาย (Fisheye) ในการกำหนดช่วงเวลาที่แตกต่างกันสำหรับส่งข้อความสถานะของการเชื่อมโยงถึงโหนดเพื่อนบ้าน โดยจะกำหนดโหนดตรงกลางของเครือข่ายและแบ่งโหนดเพื่อนบ้านที่อยู่โดยรอบออกเป็นชั้น ๆ ตามจำนวน hop โหนดที่อยู่ชั้นเดียวกันจะใช้ช่วงเวลาในการส่งข้อความเท่ากัน โหนดชั้นในสุดจะมีการส่งข้อความถึงโหนดเพื่อนบ้านที่ดีที่สุด เพราะช่วงเวลานั้นสั้นกว่าชั้นอื่น ๆ เทคนิคนี้สามารถลดแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการส่งข้อความแลกเปลี่ยนกันได้เนื่องจากจำนวนข้อความที่ส่งในเวลาเดียวกันมีจำนวนจำกัดตามระดับชั้นของโหนดที่ได้ถูกแบ่งไว้ เมื่อโหนดได้รับข้อความสถานะของการเชื่อมโยงจากโหนดเพื่อนบ้านโหนดจะทำการ

เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้รับมากับข้อมูลเดิมที่มีอยู่ในตารางการเชื่อมต่อ ถ้าข้อมูลที่รับมามีค่าหมายเลขลำดับ (Sequence number) มากกว่า โหนดจะทำการปรับปรุงข้อมูลในตารางการเชื่อมต่อให้เป็นค่าเดียวกับข้อมูลที่รับมานั้น และทำการเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดที่ในขั้นตอนต่อไปโดยวิธีการเลือกเส้นทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางใช้ Dijkstra's algorithm ในการหาเส้นทางที่ดีที่สุด

1.4 Optimized Link State Routing (OLSR) protocol

โพรโทคอลการหาเส้นทาง OLSR (Clausen and Jacquet, 2003) มีพื้นฐานการทำงานมาจาก Link State (LS) routing เช่นเดียวกับโพรโทคอล FSR โหนดแต่ละโหนดจะสร้างและปรับปรุงข้อมูลได้แก่ 1) ตารางเพื่อนบ้าน 2) ตารางการเชื่อมต่อ 3) ตารางเส้นทาง โหนดแต่ละโหนดจะทำการเลือกกลุ่มของโหนดที่ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลซ้ำ (Multipoint relays) หรือ MPR set จากโหนดเพื่อนบ้านทั้งหมดที่มีระยะห่างจากตัวมันเอง 1 hop โดยมีเงื่อนไขว่าทุกโหนดเพื่อนบ้านที่มีระยะห่างจากตัวมันเอง 2 hop จะต้องสามารถส่งข้อมูลแบบสองทิศทาง (bi-directional) ผ่านโหนดที่ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลซ้ำที่ถูกเลือกได้ โหนดที่กำหนดกลุ่มของโหนดที่ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลซ้ำจะทำหน้าที่ในการส่งข้อความควบคุมการเชื่อมต่อ (topology control message) แบบกระจายไปยังโหนดในเครือข่ายเพื่อนำข้อมูลไปปรับปรุงตารางการเชื่อมต่อ

ข้อมูลที่อยู่ในข้อความควบคุมการเชื่อมต่อได้แก่ กลุ่มของโหนดที่ถูกเลือกให้ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลซ้ำและหมายเลขลำดับ หลังจากนั้นโหนดจะทำการปรับปรุงข้อมูลในตารางเส้นทางจากข้อมูลในตารางการเชื่อมต่อที่เปลี่ยนแปลงไป ข้อมูลในตารางเส้นทางได้แก่ ที่อยู่ของโหนดปลายทาง, ที่อยู่ของโหนดถัดไปที่ใช้ส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง และค่าประมาณของระยะทางไปยังโหนดปลายทาง ข้อมูลในตารางการเชื่อมต่อได้แก่ ที่อยู่ของโหนดที่ทำหน้าที่เป็น MPR, ที่อยู่ของโหนดถัดไปที่ใช้ส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง และหมายเลขลำดับของโหนดที่ทำหน้าที่เป็น MPR

2. Reactive routing protocols (on-demand)

เป็นโพรโทคอลการหาเส้นทางที่จะเริ่มกระบวนการหาเส้นทางเมื่อมีโหนดใดโหนดหนึ่งในเครือข่ายมีความต้องการส่งข้อมูลเท่านั้น ไม่มีการหาเส้นทางเตรียมไว้ก่อน

2.1 Dynamic Source Routing (DSR) protocol

โพรโทคอลการหาเส้นทาง DSR (Johnson and Maltz, 1996) แต่ละโหนดในเครือข่ายจะเก็บเส้นทางของต้นทาง (source route) ไว้ในแคชของเส้นทาง (route cache) ข้อมูลที่เก็บในเส้นทางของต้นทางคือลำดับของโหนดที่ใช้ในการส่งต่อข้อมูลต่าง ๆ ระหว่างโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง เมื่อโหนดมีความต้องการส่งข้อมูล โหนดจะค้นหาเส้นทางที่เก็บไว้ในแคชของเส้นทาง ถ้าพบว่ามีข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการ โหนดต้นทางจะบันทึกข้อมูลเส้นทางของต้นทางไว้ที่ส่วนหัวของข้อมูลเพื่อให้โหนดลำดับถัดไปที่อยู่ในเส้นทางสามารถใช้ข้อมูลนี้เป็นตัวบอกว่าจะส่งต่อข้อมูลไปยังโหนดปลายทางโดยผ่านโหนดตัวใดต่อไป ถ้าไม่พบข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดปลายทางที่ต้องการ โหนดจะทำการค้นหาเส้นทางโดยการส่งข้อความร้องขอเส้นทาง (route request) แบบกระจาย ข้อความร้องขอเส้นทางจะเก็บลำดับของโหนดในเส้นทางที่ข้อความร้องขอเส้นทางได้ถูกส่งผ่านไปไว้ในระเบียบเส้นทาง (route record) เมื่อโหนดปลายทางได้รับข้อความร้องขอเส้นทางจะทำการส่งข้อความตอบกลับของเส้นทาง (route reply) ไปยังโหนดปลายทางตามข้อมูลที่อยู่ในระเบียบเส้นทางของข้อความร้องขอเส้นทาง

2.2 Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) routing protocol

โพรโทคอลการหาเส้นทาง AODV (Perkins et al., 2003) แต่ละโหนดในเครือข่ายจะเก็บข้อมูลเส้นทางไว้ในตารางเส้นทาง เมื่อโหนดต้นทางมีความต้องการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางแต่ไม่มีข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทาง โหนดต้นทางจะส่งข้อความร้องขอเส้นทาง (route request: RREQ) แบบกระจายออกไปในเครือข่ายเพื่อค้นหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง เมื่อโหนดระหว่างทางได้รับข้อความร้องขอเส้นทางที่โหนดต้นทางส่งมาจะทำการตรวจสอบข้อมูลในตารางเส้นทาง ถ้ายังไม่มีข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง โหนดระหว่างทางจะบันทึกข้อมูลเส้นทางของโหนดต้นทางไว้ในตารางเส้นทางก่อนที่จะส่งข้อความร้องขอเส้นทางแบบกระจายต่อไป เมื่อโหนดปลายทางได้รับข้อความร้องขอเส้นทางจะทำการส่งข้อความตอบกลับของเส้นทาง (route reply: RREP) ไปยังโหนดต้นทางโดยผ่านโหนดระหว่างทางตามเส้นทางที่ข้อความร้องขอเส้นทางได้ส่งมาถึง หลังจากโหนดระหว่างทางได้รับข้อความตอบกลับของเส้นทางที่โหนดปลายทางส่งมา โหนดระหว่างทางจะทำการปรับปรุงข้อมูลในตารางเส้นทางก่อนส่งต่อข้อความตอบกลับของเส้นทางกลับไปยังโหนดต้นทาง นอกจากนี้โหนดแต่ละโหนดจะส่งความทักทายไปยังโหนดเพื่อนบ้านเป็นระยะเพื่อตรวจสอบสถานะของการเชื่อมโยงระหว่างโหนดเพื่อนบ้านกับตนเองว่ายังสามารถติดต่อถึงกันได้

2.3 Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA) routing protocol

โพรโทคอลการหาเส้นทาง TORA (Park and Corson, 1997) แต่ละโหนดในเครือข่าย จะทำการสร้างและปรับปรุงค่าในกราฟวัฏจักรระบุทิศทาง (directed acyclic graph: DAG) เมื่อโหนดต้นทางต้องการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางแต่ยังไม่มีข้อมูลเส้นทาง โหนดต้นทางจะทำการส่งแพ็กเก็ตสอบถาม (query: QRY) แบบกระจายและตั้งค่าตัวบ่งชี้การร้องขอเส้นทาง (route-required flag) แต่ละโหนดที่ไม่ใช่โหนดปลายทางจะสร้างแถวลำดับความสูง (height array) ของตนเองและของโหนดเพื่อนบ้าน และแถวลำดับสถานะของการเชื่อมโยง (link-state array) ระหว่างตนเองกับโหนดเพื่อนบ้าน ค่าความสูงเริ่มต้นของโหนดจะถูกตั้งค่าไว้ที่ค่าว่าง (null) และจะเปลี่ยนค่าไปตามกระบวนการทำงานของโพรโทคอล ส่วนสถานะการเชื่อมโยงระหว่างตนเองกับโหนดเพื่อนบ้านกำหนดได้จากการเปรียบเทียบค่าความสูงระหว่างตนเองกับโหนดเพื่อนบ้าน ถ้าโหนดเพื่อนบ้านมีความสูงมากกว่า จะมีสถานะการเชื่อมโยงเป็นอัพสตรีม (upstream) ถ้าโหนดเพื่อนบ้านมีความสูงน้อยกว่าจะมีสถานะการเชื่อมโยงเป็นดาวน์สตรีม (downstream)

เมื่อโหนดระหว่างทางได้รับแพ็กเก็ตสอบถาม โหนดจะตรวจสอบข้อมูลในแถวลำดับสถานะของการเชื่อมโยงและแถวลำดับความสูง ถ้าพบว่าสถานะของการเชื่อมโยงระหว่างตนเองกับโหนดปลายทางเป็นดาวน์สตรีมและแถวลำดับความสูงของตนมีค่าว่าง โหนดจะทำการตั้งค่าตัวบ่งชี้การร้องขอเส้นทาง, ปรับปรุงค่าความสูงของตนให้มีค่าเท่ากับค่าความสูงต่ำสุดของโหนดเพื่อนบ้านบวกหนึ่งและบันทึกค่าความสูงเก็บไว้ในแพ็กเก็ตอัปเดต (update: UPD) ก่อนที่จะทำการส่งแพ็กเก็ตอัปเดตแบบกระจายกลับไปยังโหนดต้นทาง เมื่อโหนดระหว่างทางได้รับแพ็กเก็ตอัปเดตจากโหนดเพื่อนบ้าน โหนดระหว่างทางจะปรับปรุงค่าความสูงของโหนดเพื่อนบ้านในแถวลำดับความสูงให้มีค่าเท่ากับค่าความสูงในแพ็กเก็ตอัปเดต, ยกเลิกการตั้งค่าตัวบ่งชี้การร้องขอเส้นทาง, ปรับปรุงค่าในแถวลำดับสถานะการเชื่อมโยงและทำการปรับปรุงค่าความสูงของตนให้มีค่าเท่ากับค่าความสูงต่ำสุดของโหนดเพื่อนบ้านบวกหนึ่งและบันทึกค่าความสูงเก็บไว้ในแพ็กเก็ตอัปเดตก่อนที่จะทำการส่งแพ็กเก็ตอัปเดตต่อไป

3. Hybrid routing protocols

เป็นโพรโทคอลการหาเส้นทางที่นำวิธีการหาเส้นทางแบบ proactive กับแบบ reactive มาประยุกต์ให้สามารถทำงานร่วมกันได้ ส่วนใหญ่โพรโทคอลในกลุ่มนี้มักจะแบ่งพื้นที่ในเครือข่ายออกเป็นโซนหรือกลุ่มเพื่อให้เหมาะสมกับวิธีการทำงานของโพรโทคอล

3.1 Zone Routing Protocol (ZRP)

โพรโทคอลการหาเส้นทาง ZRP (Hass and Pearlman, 1998) โหนดแต่ละโหนดจะกำหนดโซนของตนโดยมีตนเองเป็นศูนย์กลาง ขนาดของโซนมีรัศมีห่างจากโหนดตรงกลางโซนเท่ากับ n hops แต่ละโซนสามารถซ้อนทับกันได้ โหนดของโซนจะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือโหนดที่มีระยะห่างจากโหนดตรงกลางโซนน้อยกว่า n hops เรียกว่าโหนดภายใน (interior node) กลุ่มที่สองคือโหนดที่มีระยะห่างจากโหนดตรงกลางโซนเท่ากับ n hops เรียกว่าโหนดรอบข้าง (peripheral node) เป็นโหนดที่มีตำแหน่งอยู่บริเวณขอบของโซน

โหนดภายในจะสร้างตารางเส้นทางขึ้นล่วงหน้าเพื่อเก็บข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดภายในโซนด้วยกันซึ่งเป็นการหาเส้นทางแบบ proactive โดยอาศัยการทำงานของโพรโทคอล Intrazone routing protocol (IARP) ข้อมูลเส้นทางจะได้อาจมาจากการแลกเปลี่ยนแพ็กเก็ตสถานะของการเชื่อมโยงระหว่างโหนดภายในโซนเป็นระยะ เมื่อโหนดมีความต้องการส่งข้อมูลไปยังโหนดภายนอกโซนแต่ไม่มีข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทาง โหนดจะอาศัยการทำงานของโพรโทคอล Interzone routing protocol (IERP) ทำการหาเส้นทางให้ซึ่งเป็นการหาเส้นทางแบบ reactive โหนดจะทำการส่งแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางไปยังโหนดรอบข้างโดยอาศัยการทำงานของโพรโทคอล bordercast resolution protocol (BRP)

หลังจากที่โหนดรอบข้างได้รับแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางและได้ตรวจสอบข้อมูลในตารางเส้นทางของตนซึ่งไม่พบข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง โหนดรอบข้างจะทำการส่งต่อแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางแบบกระจายไปยังโหนดรอบข้างในโซนของตนต่อไป เมื่อโหนดรอบข้างโหนดใดได้รับแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางและพบว่ามีข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดปลายทางอยู่ในตารางเส้นทาง โหนดจะทำการส่งแพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทางไปยังโหนดปลายทางโดยอาศัยข้อมูลที่ได้รับจากแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางซึ่งได้ทำการบันทึกตำแหน่งของโหนดที่อยู่ในเส้นทางเก็บไว้ก่อนที่จะถูกส่งต่อไปยังโหนดรอบข้าง ในการปรับปรุงตารางเพื่อนบ้าน โหนดจะอาศัยการทำงานของโพรโทคอล neighbor discovery protocol (NDP) ซึ่งจะส่งบีคอนทักทาย (hello beacon) ไปยังโหนดเพื่อนบ้านทุกช่วงเวลาที่กำหนด

3.2 Hybrid Ad Hoc Routing Protocol (HARP)

โพรโทคอลการหาเส้นทาง HARP (Nikaein et al., 2001) ใช้ distributed dynamic routing (DDR) แบ่งพื้นที่ในเครือข่ายออกเป็นโซน แต่ละโซนไม่ซ้อนทับกัน แต่ละโหนดจะสร้างและปรับปรุงข้อมูลในตาราง 2 ตารางคือ ตารางภายในโซน (intra-zone table) และตารางภายนอกโซน (inter-zone table) ตารางภายในโซนจะเก็บข้อมูลเส้นทางภายในโซนซึ่งประกอบด้วยโหนดของโหนดเพื่อนบ้านและโหนดของโหนดเพื่อนบ้านที่สามารถส่งข้อมูลผ่านโหนดเพื่อนบ้านโหนดนี้ได้โดยตรง ตารางภายนอกโซนเก็บข้อมูลเส้นทางของโซนเพื่อนบ้านซึ่งประกอบด้วยโหนดที่ทำหน้าที่เป็นสะพานส่งต่อข้อมูลระหว่างโซน (gateway node), โหนดของโซนและค่าประมาณความเสถียรภาพของโซน

การหาเส้นทางภายในโซนจะเป็นแบบ proactive ส่วนการหาเส้นทางที่อยู่ภายนอกโซนจะเป็นแบบ reactive มีการส่งแพ็กเก็ตร้องขอพาท (path request: PREQ) และแพ็กเก็ตตอบกลับของพาท (path reply: PREP) ในการหาเส้นทาง แพ็กเก็ตร้องขอพาทและแพ็กเก็ตตอบกลับของพาทจะบันทึกข้อมูลได้แก่ 1) ที่อยู่ของโหนดต้นทาง 2) ที่อยู่ของโหนดปลายทาง 3) โหนดของเกตเวย์โหนด 4) ค่าประมาณความเสถียรภาพของโซน เมื่อโหนดต้นทางมีความต้องการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางที่อยู่ต่างโซนกัน โหนดต้นทางจะส่งแพ็กเก็ตร้องขอพาทไปยังโซนเพื่อนบ้านโดยผ่านทางเกตเวย์โหนด และเมื่อเกตเวย์โหนดได้รับแพ็กเก็ตร้องขอพาทจะทำการตรวจสอบข้อมูลเส้นทางในตารางภายในโซนของตน ถ้าตรวจสอบพบว่ามีข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง เกตเวย์โหนดจะทำการส่งต่อแพ็กเก็ตร้องขอพาทไปยังโหนดปลายทาง ถ้าตรวจสอบพบว่าไม่มีข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง เกตเวย์โหนดจะทำการส่งต่อแพ็กเก็ตร้องขอพาทไปยังโซนเพื่อนบ้านโดยส่งผ่านทางเกตเวย์โหนดตามข้อมูลที่อยู่ในตารางภายนอกโซนของตน เมื่อโหนดปลายทางได้รับแพ็กเก็ตร้องขอพาทจากเกตเวย์โหนด โหนดจะทำการส่งแพ็กเก็ตตอบกลับของพาทกลับไปยังโหนดต้นทางโดยเลือกเส้นทางที่เสถียรที่สุด

กระบวนการหาเส้นทางในโพรโทคอลการหาเส้นทาง

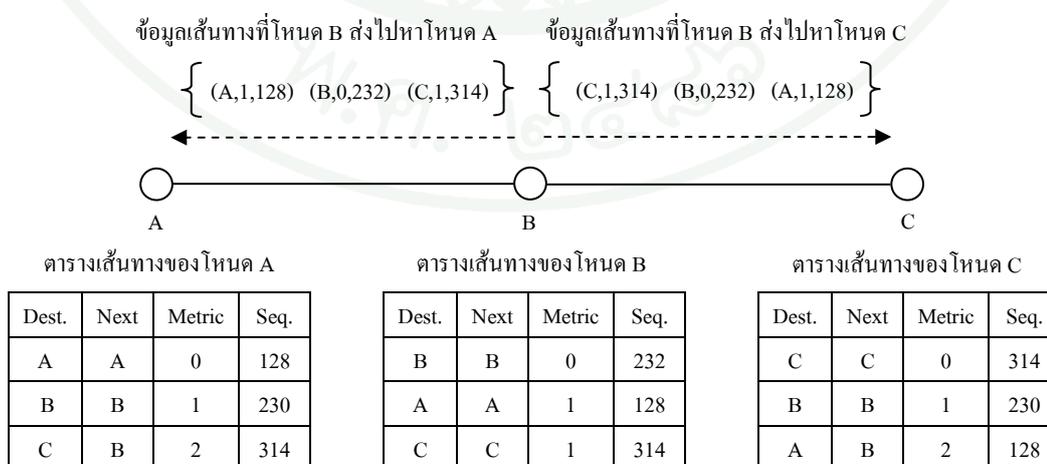
โพรโทคอลการหาเส้นทางมีหน้าที่ในการหาเส้นทางให้กับโหนดในเครือข่ายเพื่อใช้เป็นเส้นทางในการติดต่อสื่อสารกับโหนดต่าง ๆ ภายในเครือข่าย วิธีการหาเส้นทางอาจแตกต่างกันไปในแต่ละโพรโทคอลแต่หลักการทำงานของกระบวนการหาเส้นทางยังคงมีหลักการที่เหมือนกัน คือ กระบวนการหาเส้นทางจะประกอบด้วยการทำงาน 2 ส่วน

1. การค้นหาเส้นทาง (Route discovery)

การค้นหาเส้นทางของโพรโทคอลการหาเส้นทางสามารถจำแนกตามวิธีการหาเส้นทางได้ 3 กลุ่มโพรโทคอล

1.1 การค้นหาเส้นทางของโพรโทคอลในกลุ่มที่ใช้วิธีการหาเส้นทางแบบ proactive

หลังจากที่อุปกรณ์แต่ละตัวได้ทำการเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่าย โพรโทคอลการหาเส้นทางจะเริ่มค้นหาเส้นทางไปยังโหนดต่าง ๆ ในเครือข่ายตามวิธีการของตน เป็นการหาเส้นทางเตรียมไว้ก่อนที่โหนดใด ๆ ในเครือข่ายจะมีความต้องการส่งข้อมูล การค้นหาเส้นทางจะทำการส่งข้อมูลเส้นทาง (โหนดไอดี, จำนวนฮอปและหมายเลขลำดับของเส้นทาง) แลกเปลี่ยนระหว่างกันเป็นระยะ สามารถอธิบายลักษณะการทำงานของโพรโทคอลการหาเส้นทางแบบ proactive จากตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอลการหาเส้นทาง DSDV แสดงดังภาพที่ 5

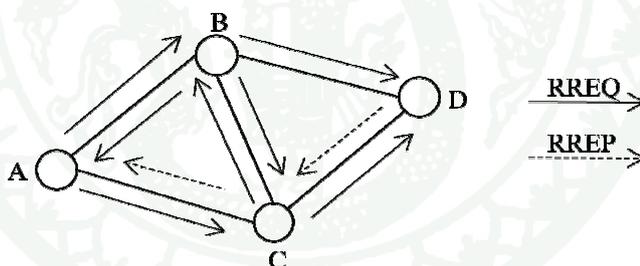


ภาพที่ 5 การค้นหาเส้นทางของโพรโทคอลการหาเส้นทาง DSDV

ภาพที่ 5 โหนด B ทำการส่งข้อมูลตารางเส้นทางของตนให้กับโหนดเพื่อนบ้านเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนด โหนด B จะเพิ่มค่าหมายเลขลำดับของตน (จาก 230 เป็น 232) ก่อนที่จะส่งข้อมูลตารางเส้นทางให้กับโหนด A และโหนด C เมื่อโหนด A และโหนด C ได้รับข้อมูลตารางเส้นทางจากโหนด B โหนดทั้งสองจะเปรียบเทียบข้อมูลตารางเส้นทางที่ได้รับกับข้อมูลเดิมที่มีอยู่ในตารางเส้นทาง พบว่าหมายเลขลำดับของเส้นทางไปยังโหนด B ที่ส่งมา (232) มีค่ามากกว่าในตารางเส้นทาง (230) ดังนั้นโหนด A และโหนด C จะทำการปรับปรุงข้อมูลในตารางเส้นทางให้เป็นข้อมูลเดียวกับที่ได้รับมา

1.2 การค้นหาเส้นทางของโปรโตคอลในกลุ่มที่ใช้วิธีการหาเส้นทางแบบ reactive

เมื่อโหนดต้นทางมีความต้องการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางและไม่มีข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง โปรโตคอลการหาเส้นทางจึงจะเริ่มค้นหาเส้นทางระหว่างโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง การค้นหาเส้นทางจะทำโดยการส่งข้อความที่ใช้ในการหาเส้นทางออกไปในเครือข่าย ไม่มีการส่งข้อมูลเส้นทางแลกเปลี่ยนกันเป็นระยะ ตัวอย่างการทำงานแสดงดังภาพที่ 6



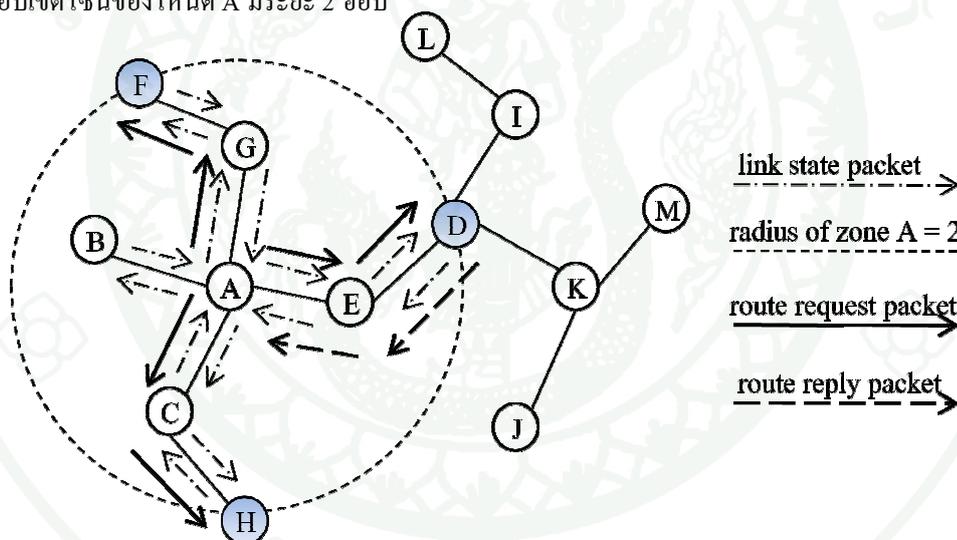
ภาพที่ 6 การค้นหาเส้นทางของโปรโตคอลการหาเส้นทาง AODV

ภาพที่ 6 เมื่อโหนด A ต้องการส่งข้อมูลไปยังโหนด D แต่ไม่มีข้อมูลในตารางเส้นทาง โหนด A จะส่งข้อความร้องขอเส้นทางไปยังโหนดเพื่อนบ้านซึ่งก็คือโหนด B และโหนด C หลังจากที่โหนด B และโหนด C ได้รับข้อความร้องขอเส้นทางจากโหนด A และพบว่าตนเองไม่ใช่โหนดปลายทาง โหนด B และโหนด C จะทำการส่งต่อข้อความร้องขอเส้นทางต่อไป เมื่อโหนด D ได้รับข้อความร้องขอเส้นทางจากโหนดเพื่อนบ้านและพบว่าเป็นการร้องขอเส้นทางมายังตนเอง โหนด D จะส่งข้อความตอบกลับของเส้นทางไปยังโหนด A ตามเส้นทาง D --> C --> A

1.3 การค้นหาเส้นทางของโพรโทคอลในกลุ่มที่ใช้วิธีการหาเส้นทางแบบ hybrid

โพรโทคอลการหาเส้นทางในกลุ่มนี้มักจะแบ่งโหนดในเครือข่ายออกเป็นกลุ่มหรือแบ่งพื้นที่ในเครือข่ายออกเป็นโซน ใช้วิธีการหาเส้นทางทั้งแบบ proactive และแบบ reactive หลังจากที่อยู่อุปกรณ์แต่ละตัวได้ทำการเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่าย โพรโทคอลการหาเส้นทางจะเริ่มหาเส้นทางให้กับโหนดที่อยู่ภายในโซนเดียวกัน เป็นการหาเส้นทางเตรียมไว้ล่วงหน้าซึ่งเป็นการหาเส้นทางแบบ proactive โดยทำการหาเส้นทางที่โหนดแต่ละโหนดสามารถส่งข้อมูลถึงโหนดใด ๆ ภายในโซนของตนได้ ดังนั้นเมื่อโหนดภายในโซนต้องการส่งข้อมูลถึงโหนดในโซนเดียวกันก็จะสามารถทำการส่งข้อมูลได้ทันที เมื่อใดที่โหนดมีความต้องการส่งข้อมูลถึงโหนดที่อยู่ภายนอกโซนของตน โพรโทคอลการหาเส้นทางก็จะเริ่มหาเส้นทางซึ่งการหาเส้นทางในลักษณะนี้เรียกว่าเป็นการหาเส้นทางแบบ reactive ตัวอย่างการทำงานแสดงดังภาพที่ 7

ขอบเขตโซนของโหนด A มีระยะ 2 ฮอป



ภาพที่ 7 การค้นหาเส้นทางของโพรโทคอล ZRP

ภาพที่ 7 โหนดที่อยู่ภายในโซนเดียวกับโหนด A จะทำการค้นหาเส้นทางและแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางผ่านแพ็กเก็ตสถานะของการเชื่อมโยงเป็นระยะ ซึ่งเป็นการหาเส้นทางเตรียมไว้ล่วงหน้าให้กับทุกโหนดในโซน เป็นวิธีการหาเส้นทางแบบ proactive เมื่อโหนด A มีความต้องการส่งข้อมูลไปยังโหนด M แต่ไม่มีข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทาง โหนด A จะส่งแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางไปยังโหนดรอบข้างซึ่ง (โหนด D, โหนด F และ โหนด H) หลังจากที่โหนด D ได้รับแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางจากโหนด A และทำการตรวจสอบข้อมูลในตารางเส้นทาง พบว่ามีข้อมูล

เส้นทางไปยัง โหนด M โหนด D จะทำการส่งแพ็กเก็ตเกิดตอบกลับของเส้นทางกลับไปหา โหนด A

2. การบำรุงรักษาเส้นทาง (Route maintenance)

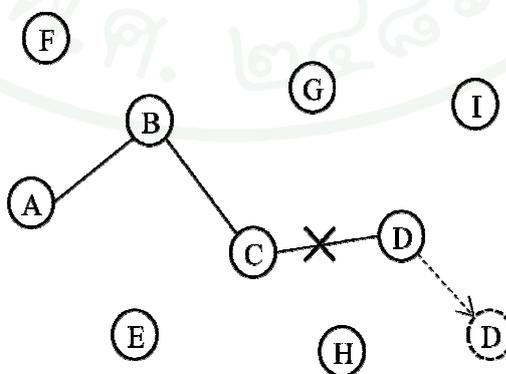
โพรโทคอลการหาเส้นทางจะเริ่มการบำรุงรักษาเส้นทางเมื่อตรวจพบว่ามีเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งระหว่าง โหนดต้นทางกับ โหนดปลายทางไม่สามารถใช้งานได้

การบำรุงรักษาเส้นทาง (Route maintenance) มีขั้นตอนในการทำงาน 2 ขั้นตอน

2.1 link failure detection การตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้

โดยปกติแล้วเมื่อเครือข่ายทำงานผ่านไประยะเวลาหนึ่ง เส้นทางที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารบางเส้นทางจะเกิดการใช้งานไม่ได้ เนื่องจากเครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมต่อ ดังภาพที่ 8 หรือเส้นทางบางส่วนอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถรับส่งข้อมูลได้อีกต่อไป โพรโทคอลการหาเส้นทางจะมีวิธีการในการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ ซึ่งจะใช้วิธีการใดในการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้นั้นขึ้นอยู่กับวิธีการทำงานที่กำหนดไว้ในแต่ละโพรโทคอลการหาเส้นทาง ตัวอย่างการทำงานแสดงดังภาพที่ 8

ภาพที่ 8 โหนด A ส่งข้อมูลไปยัง โหนด D ผ่านเส้นทาง A --> B --> C --> D ต่อมา โหนด D มีการเคลื่อนที่ไปอยู่ตำแหน่งอื่นซึ่ง โหนด C ไม่สามารถส่งข้อมูลไปถึงได้ ทำให้เส้นทางระหว่าง โหนด C และ โหนด D ไม่สามารถใช้งานได้



ภาพที่ 8 เส้นทางไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมต่อ

วิธีการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ ในโพรโทคอลการหาเส้นทางสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งสามารถพบได้ในงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโพรโทคอลการหาเส้นทาง สามารถจำแนกประเภทการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ตามลักษณะการตรวจหาเส้นทางออกเป็น 2 ประเภท

2.1.1 การตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้หลังจากที่เส้นทางนั้นไม่สามารถใช้งานได้

โพรโทคอลการหาเส้นทางสามารถหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ จากวิธีที่ 1 คือ โหนดไม่ได้รับแพ็กเก็ตใด ๆ จากโหนดเพื่อนบ้านในเวลาที่กำหนด โดยที่แพ็กเก็ตดังกล่าวอาจจะเป็นแพ็กเก็ตทักทาย (โพรโทคอล WRP, โพรโทคอล OLSR, โพรโทคอล AODV) เป็นบิตคอน (โพรโทคอล ZRP) เป็นแพ็กเก็ตที่ใช้แลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางระหว่างกัน เช่น ข้อความสถานะของการเชื่อมโยง (โพรโทคอล FSR) หรือจากวิธีที่ 2 คือการที่โหนดไม่ได้รับแพ็กเก็ตการจัดการจากชั้นแมค เช่น ไม่ได้รับข้อความตอบรับ (ACK) จากการส่งข้อมูลไปให้ใหม่จำนวน n ครั้ง (โพรโทคอล DSR) หรือใช้วิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 ร่วมกัน (โพรโทคอล DSDV)

2.1.2 การตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ก่อนที่เส้นทางนั้นจะไม่สามารถใช้งานได้จริง

วิธีการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ล่วงหน้า นั้น มักจะเป็นการทำนายสถานะของเส้นทางโดยอาศัยการเก็บรวบรวมค่าที่เราสนใจนำมาใช้พิจารณาเพื่อเป็นตัวชี้วัดสถานะของเส้นทาง เช่น พิจารณาสถานะภาพของเส้นทางจากค่าความแรงของสัญญาณ (Xu et al., 2006), (Abdule et al., 2010), (Abdule and Hassan, 2010), พิจารณาสถานะภาพของเส้นทางจากแบนด์วิดท์ร่วมกับจำนวน hop (Wu et al., 2009), พิจารณาสถานะภาพของเส้นทางจากค่าความแรงของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนร่วมกับการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล (van den Berg et al., 2010)

หลังจากที่ตรวจพบเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ โหนดที่อยู่ในเส้นทางและเป็นโหนดที่อยู่ก่อนหน้าพาทของเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ จะทำการแจ้งข้อมูลเส้นทางที่ใช้งานไม่ได้นี้ให้กับโหนดเพื่อนบ้านผ่านแพ็กเก็ตหรือข้อความตามที่ได้ตกลงไว้ในแต่ละโพรโทคอล

2.2 establish new route การหาเส้นทางใหม่เพื่อทดแทนเส้นทางเดิมที่ใช้งานไม่ได้

เมื่อโพรโทคอลการหาเส้นทางทราบว่าเส้นทางใดไม่สามารถใช้งานได้ โพรโทคอลการหาเส้นทางจะหาเส้นทางใหม่เพื่อให้โหนดต้นทางกับโหนดปลายทางสามารถที่จะติดต่อสื่อสารกันได้เหมือนเดิม โดยที่วิธีการหาเส้นทางใหม่มักจะใช้วิธีเดียวกับการค้นหาเส้นทางครั้งแรก

โพรโทคอลการหาเส้นทาง AODV

โพรโทคอลการหาเส้นทาง AODV เป็นโพรโทคอลการหาเส้นทางแบบ reactive routing protocol ที่ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก เนื่องจากมีลักษณะการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ไม่เกิดอุปสรรคที่โพรโทคอลทำการหาเส้นทาง

แพ็กเก็ตที่ใช้ในการทำงานของโพรโทคอล AODV

แพ็กเก็ตที่โพรโทคอล AODV ใช้ในกระบวนการหาเส้นทางได้แก่ แพ็กเก็ตร้องขอเส้นทาง (Route Request: RREQ), แพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทาง (Route Reply: RREP) และแพ็กเก็ตแจ้งข้อผิดพลาดของเส้นทาง (Route Error: RERR) นอกจากนี้ยังมีแพ็กเก็ตทักทาย (Hello Message) ใช้ส่งไปหาโหนดเพื่อนบ้านเพื่อเป็นการทักทายและแสดงตนว่าเป็นโหนดเพื่อนบ้านของกันและกัน

Packet type	J	R	G	D	U	Reserved	Hop count	RREQ ID	DST IP	DST SEQ#	ORG IP	ORG SEQ#

ภาพที่ 9 ลักษณะของแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทาง

จากภาพที่ 9 แพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางประกอบด้วยเขตข้อมูล (Field) จำนวน 13 เขตข้อมูล โดยข้อมูลในเขตข้อมูลที่ 1 คือชนิดของแพ็กเก็ต (มีค่าเป็น 1) ข้อมูลที่อยู่ในเขตข้อมูลที่ 2 – 6 คือตัวบ่งชี้ (flag) จะถูกตั้งค่าเพื่อแจ้งให้โหนดที่ได้รับแพ็กเก็ตทราบเรื่องใดเรื่องหนึ่งหรือกระทำเหตุการณ์บางอย่างให้สอดคล้องกับตัวบ่งชี้ นั้น ๆ อาทิเช่น ตัวบ่งชี้ J (Join) และ R (Repair) หมายถึงการส่งแพ็กเก็ตแบบมัลติแคสต์, G (Gratuitous RREP) หมายถึงถ้าโหนดระหว่างทางที่ได้รับแพ็กเก็ต RREQ นี้และตัดสินใจสร้างแพ็กเก็ต RREP ส่งไปยังโหนดต้นทางเพื่อบอกให้ส่งแพ็กเก็ต RREP ที่เป็น

Gratuitous RREP แบบยูนิแอสไปยังโหนดปลายทางด้วย, D (Destination only) หมายถึงถ้าไม่ใช่โหนดปลายทาง ไม่ต้องทำอะไรเมื่อได้รับแพ็กเก็ต RREQ นี้, U (Unknown sequence number) หมายถึงไม่ทราบค่าหมายเลขลำดับของโหนดปลายทาง เขตข้อมูลที่ 7 คือเขตข้อมูลที่สงวนไว้ (มีค่าเป็น 0) เขตข้อมูลที่ 8 คือจำนวน hop ระหว่างโหนดผู้สร้างแพ็กเก็ต RREQ กับโหนดที่รับแพ็กเก็ต RREQ เขตข้อมูลที่ 9 คือ ไอดีของแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทาง เป็นหมายเลขลำดับที่มีค่าไม่ซ้ำ เขตข้อมูลที่ 10 คือ ไอพีของโหนดปลายทาง เขตข้อมูลที่ 11 คือหมายเลขลำดับของโหนดปลายทาง เขตข้อมูลที่ 12 คือ ไอพีของโหนดผู้สร้างแพ็กเก็ต RREQ เขตข้อมูลที่ 13 คือ หมายเลขลำดับของโหนดผู้สร้างแพ็กเก็ต RREQ

Packet type	R	A	Reserved	Prefix Size	Hop count	DST IP	DST SEQ#	ORG IP	Lifetime
-------------	---	---	----------	-------------	-----------	--------	----------	--------	----------

ภาพที่ 10 ลักษณะของแพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทาง

จากภาพที่ 10 แพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทางประกอบด้วยเขตข้อมูล (Field) จำนวน 10 เขตข้อมูล โดยข้อมูลในเขตข้อมูลที่ 1 คือชนิดของแพ็กเก็ต (มีค่าเป็น 2) เขตข้อมูลที่ 2 คือตัวบ่งชี้ R (Repair) หมายถึงการส่งแพ็กเก็ตแบบมัลติแคส เขตข้อมูลที่ 3 คือตัวบ่งชี้ A (Acknowledgment) หมายถึงหลังจากได้รับแพ็กเก็ต RREP ให้ส่งแพ็กเก็ต ACK กลับไปยังโหนดที่ส่งแพ็กเก็ต RREP นี้ เขตข้อมูลที่ 4 คือเขตข้อมูลที่สงวนไว้ (มีค่าเป็น 0) เขตข้อมูลที่ 5 คือข้อมูลเดิมน้ำจำนวน 5 บิตที่บอกว่าโหนดในฮอปถัดไปสามารถถูกใช้โดยโหนดใด ๆ ก็ตามที่มีค่าของข้อมูลเดิมน้ำเส้นทางเป็นค่าเดียวกับที่กำหนด เขตข้อมูลที่ 6 คือจำนวน hop ระหว่างโหนดผู้สร้างแพ็กเก็ต RREQ กับโหนดปลายทาง เขตข้อมูลที่ 7 คือไอพีของโหนดปลายทาง เขตข้อมูลที่ 8 คือหมายเลขลำดับของโหนดปลายทาง เขตข้อมูลที่ 9 คือไอพีของโหนดผู้สร้างแพ็กเก็ต RREQ เขตข้อมูลที่ 10 คือเวลาที่โหนดผู้รับแพ็กเก็ต RREP ใช้พิจารณาเส้นทางที่ถูกต้อง มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที

Packet type	N	Reserved	DestCount	Unreachable DST IP	Unreachable DST SEQ#	Additional Unreachable DST IP	Additional Unreachable DST SEQ#
-------------	---	----------	-----------	--------------------	----------------------	-------------------------------	---------------------------------

ภาพที่ 11 ลักษณะของแพ็กเก็ตแจ้งข้อผิดพลาดของเส้นทาง

จากภาพที่ 11 แฟ้มเก็บแจ้งข้อผิดพลาดของเส้นทางประกอบด้วยเขตข้อมูล (Field) 8 เขตข้อมูล โดยข้อมูลในเขตข้อมูลที่ 1 คือชนิดของแฟ้มเก็บ (มีค่าเป็น 3) ข้อมูลที่อยู่ในเขตข้อมูลที่ 2 คือตัวบ่งชี้ N (No delete) หมายถึงไม่ให้โหนดก่อนหน้าเส้นทางที่ใช้การไม่ได้ทำการลบข้อมูลเส้นทาง ในขณะที่มีการทำ local repair เขตข้อมูลที่ 3 คือเขตข้อมูลที่สงวนไว้ (มีค่าเป็น 0) เขตข้อมูลที่ 4 คือจำนวนของโหนดที่ไม่สามารถติดต่อได้ ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 1 เขตข้อมูลที่ 5 คือไอพีของโหนดปลายทางที่ไม่สามารถติดต่อได้ เขตข้อมูลที่ 6 คือหมายเลขลำดับของโหนดปลายทางที่ไม่สามารถติดต่อได้ ถ้าข้อมูลในเขตข้อมูลที่ 5 และ 6 มีมากเกินไปที่จะเก็บได้ในเขตข้อมูล 2 เขตนี้ แฟ้มเก็บแจ้งข้อผิดพลาดของเส้นทางจะทำการเพิ่มเขตข้อมูลที่ 7 และ 8 ไว้เก็บไอพีของโหนดปลายทางที่ไม่สามารถติดต่อได้และหมายเลขลำดับของโหนดปลายทางที่ไม่สามารถติดต่อได้ ตามลำดับ

Packet type	Reserved	Hop count	DST IP	DST SEQ#	ORG IP	Lifetime
-------------	----------	-----------	-----------	-------------	-----------	----------

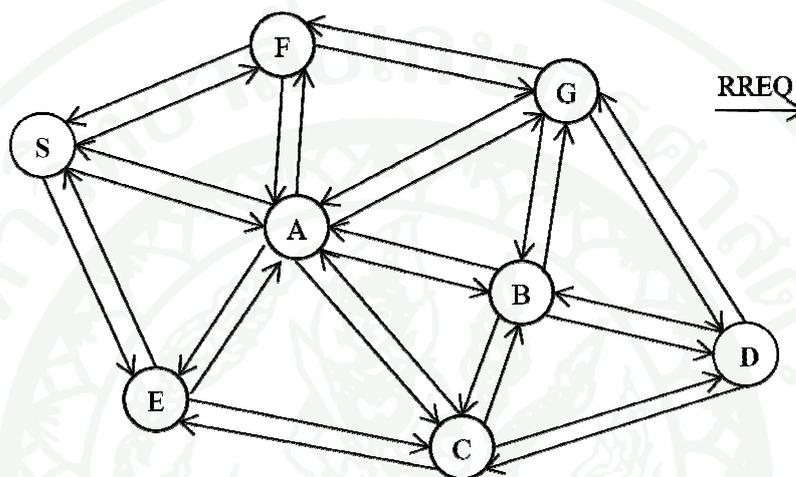
ภาพที่ 12 ลักษณะของแฟ้มเก็บตกทาย

จากภาพที่ 12 แฟ้มเก็บตกทายประกอบด้วยเขตข้อมูล (Field) 7 เขตข้อมูล โดยข้อมูลในเขตข้อมูลที่ 1 คือชนิดของแฟ้มเก็บ (มีค่าเป็น 2) เนื่องจากการส่งแฟ้มเก็บ RREP ที่มี TTL = 1 เขตข้อมูลที่ 2 คือเขตข้อมูลที่สงวนไว้ (มีค่าเป็น 0) เขตข้อมูลที่ 3 คือจำนวน hop (มีค่าเป็น 0) เขตข้อมูลที่ 4 คือไอพีของโหนดที่ส่งแฟ้มเก็บตกทาย เขตข้อมูลที่ 5 คือหมายเลขลำดับของโหนดที่ส่งแฟ้มเก็บตกทาย เขตข้อมูลที่ 6 คือไอพีของโหนดผู้สร้างแฟ้มเก็บตกทาย เขตข้อมูลที่ 7 คือเวลาที่ใช้พิจารณาความคงอยู่ของเส้นทางระหว่างโหนดที่ส่งแฟ้มเก็บตกทายกับโหนดเพื่อนบ้านมีค่าเท่ากับจำนวนครั้งที่อนุญาตให้แฟ้มเก็บตกทายสูญหายคูณกับเวลาห่างในการส่งแฟ้มเก็บตกทายแต่ละครั้ง

กระบวนการหาเส้นทางในโพรโทคอล AODV

เมื่อโหนดต้นทางมีความต้องการติดต่อสื่อสารกับโหนดปลายทาง ถ้าโหนดต้นทางไม่มีข้อมูลเส้นทางที่จะไปยังโหนดปลายทางที่ใช้งานได้อยู่ในตารางเส้นทาง โหนดต้นทางจะทำการส่งแฟ้มเก็บร้องขอเส้นทางแบบกระจายไปยังโหนดทุกโหนดในเครือข่าย โหนดระหว่างทางหลังจากได้รับแฟ้มเก็บร้องขอเส้นทางจะพิจารณาข้อมูลไอพีของโหนดผู้สร้างแฟ้มเก็บร้องขอเส้นทางกับหมายเลขลำดับของโหนดผู้สร้างแฟ้มเก็บร้องขอเส้นทางที่อยู่ในแฟ้มเก็บร้องขอเส้นทางว่าเป็นแฟ้มเก็บร้องขอเส้นทางที่เคยได้รับหรือไม่ ถ้าใช่ โหนดจะทำการทิ้งแฟ้มเก็บร้องขอเส้นทาง ถ้าพบ

ว่าเป็นแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางที่ไม่เคยได้รับมาก่อน โหนดจะนำข้อมูลที่ถูกส่งมากับแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางมาพิจารณาว่ามีข้อมูลเส้นทางที่จะไปยังโหนดปลายทางตามที่โหนดต้นทางที่เป็นเจ้าของแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางร้องขอมาหรือไม่ ถ้าไม่พบ โหนดจะทำการสร้างเอนทรีใหม่ขึ้นมาเพื่อเก็บข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดปลายทางและทำการส่งแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางแบบกระจายต่อไป ตัวอย่างการทำงานดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 การส่งแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางเพื่อหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง

จากภาพที่ 13 โหนด S ต้องการส่งข้อมูลไปยังโหนด D แต่ไม่มีข้อมูลเส้นทาง โหนด S จึงสร้างแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางขึ้นมาและทำการส่งแบบกระจายไปยังโหนดในเครือข่าย เมื่อโหนดระหว่างทางได้รับแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางและพบว่าตนเองไม่มีข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทางไปยังโหนด D เช่นกัน ก็จะทำการส่งต่อแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางแบบกระจายต่อไป

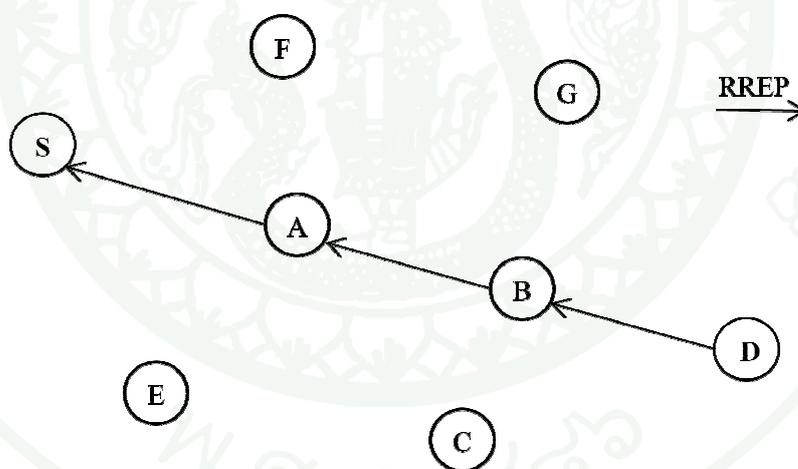
เมื่อโหนดปลายทางได้รับแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางและพบว่าเป็นแพ็กเก็ตใหม่ที่ยังไม่เคยได้รับมาก่อน โหนดปลายทางจะทำการสร้างแพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทางเพื่อส่งกลับไปที่โหนดต้นทางตามเส้นทางที่แพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางได้ถูกส่งต่อมายังโหนดปลายทาง ตัวอย่างการทำงานดังภาพที่ 14 ในระหว่างการส่งแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางกลับไปหาโหนดต้นทางผ่านโหนดระหว่างทาง โหนดระหว่างทางจะทำการปรับปรุงข้อมูลในตารางเส้นทางของตนไปด้วย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เป็นตัวอย่างการเก็บข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทางของโหนด A โดยที่ข้อมูลเส้นทางในแต่ละเอนทรีจะประกอบด้วยไอพีของโหนดปลายทาง (ในที่นี้จะแทนค่าด้วยชื่อของโหนด), หมายเลขลำดับของโหนดปลายทาง, ตัวบ่งชี้หมายเลขลำดับของโหนดปลายทาง (ในที่นี้

กำหนดค่า 1 เท่ากับ Valid), ตัวบ่งชี้ของเส้นทาง (ในที่นี้ กำหนดค่า 1 เท่ากับ Valid), ตัวต่อประสานเครือข่าย (ในที่นี้ กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1), จำนวน hop ระหว่างโหนด A กับโหนดปลายทาง, โหนดที่อยู่ตำแหน่งถัดไปในการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง, รายการของโหนดที่ใช้เส้นทางนี้ในการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง (ในที่นี้ กำหนดให้แทนค่าด้วยชื่อของโหนด) และเวลาที่เส้นทางนี้สามารถใช้งานได้

ตารางที่ 1 ตารางเส้นทางของโหนด A ที่ใช้โพรโทคอลการหาเส้นทางแบบ AODV

DST IP	DST SEQ#	Flag of DST SEQ#	Flag of routing	Network Interface	Hop count	Next hop	List of Precursors	Lifetime (second)
D	10	1	1	1	2	B	B, S	17.8363
S	06	1	1	1	1	S	B, D	15.0208



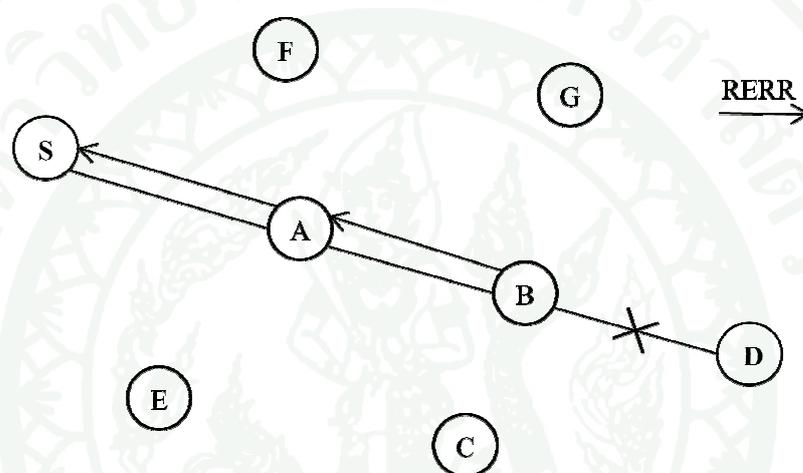
ภาพที่ 14 การส่งแพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทางไปยังโหนดต้นทาง

จากภาพที่ 14 เมื่อโหนด D ได้รับแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางจากโหนด S โหนด D จะทำการสร้างแพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทางเพื่อส่งกลับไปหาโหนด S ตามเส้นทาง D --> B --> A --> S

ในกรณีที่โหนดระหว่างทางพบว่าตนเองมีข้อมูลเส้นทางที่สามารถใช้งานได้ไปยังโหนดปลายทาง, ค่าหมายเลขลำดับของโหนดปลายทางที่เก็บไว้ในตารางเส้นทางของตนเองมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าหมายเลขลำดับของโหนดปลายทางที่อยู่ในแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางที่ได้รับมา

และตัวบ่งชี้ D ไม่ได้ถูกตั้งค่า โหนดระหว่างทางจะทำการสร้างแพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทางและส่งกลับไปยังโหนดต้นทาง โดยที่โหนดจะส่งแพ็กเก็ตเกิดตอบกลับของเส้นทาง (Gratuitous RREP) ไปหาโหนดปลายทางด้วยเช่นกันเพื่อบอกให้โหนดปลายทางทราบ

ระหว่างที่โหนดต่าง ๆ ในเครือข่ายทำงานไปเรื่อย ๆ เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าเส้นทางบางส่วนที่ไม่สามารถใช้งานได้ในขณะที่ยังมีความต้องการใช้เส้นทางนั้นในการส่งข้อมูลอยู่ ดังภาพที่ 15 จึงทำให้โพรโทคอลการหาเส้นทางจำเป็นต้องทำการซ่อมแซมเส้นทางให้กลับมาใช้งานได้



ภาพที่ 15 เส้นทางระหว่างโหนด B และ โหนด D ไม่สามารถใช้งานได้

จากภาพที่ 15 เส้นทางการส่งข้อมูลจากโหนด S ไปยังโหนด D ตรงส่วนที่เป็นเส้นทางระหว่างโหนด B กับโหนด D ไม่สามารถใช้งานได้ เมื่อโหนด B ทราบว่าเส้นทางระหว่างตนเองกับโหนด D ไม่สามารถใช้งานได้ โหนด B จะทำการปรับปรุงข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทางโดยตั้งค่าตัวบ่งชี้ของเส้นทางให้มีค่าเป็น invalid และกำหนดค่าเวลาที่เส้นทางสามารถใช้งานได้ใหม่ (เวลาปัจจุบันบวกเวลารอในการลบข้อมูลเส้นทาง) หลังจากนั้นโหนด B จะส่งแพ็กเก็ตแจ้งข้อผิดพลาดของเส้นทางไปยังโหนดที่ใช้เส้นทางนี้ในการส่งข้อมูลนั่นก็คือโหนด A หลังจากที่โหนด A ได้รับแพ็กเก็ตแจ้งข้อผิดพลาดของเส้นทาง โหนด A จะปรับปรุงข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทางก่อนที่จะส่งต่อแพ็กเก็ตแจ้งข้อผิดพลาดของเส้นทางไปยังโหนด S และเมื่อโหนด S ได้รับแพ็กเก็ตแจ้งข้อผิดพลาดของเส้นทาง โหนด S จะทำการหาเส้นทางใหม่โดยส่งแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางไปยังทุกโหนดในเครือข่าย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ ได้มีผู้ทำวิจัยและเสนอเทคนิคต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. เทคนิคการเฝ้าสังเกตการได้รับแพ็กเก็ตทักทาย (Hello) และแพ็กเก็ตตอบรับ (ACK)

(Oh and Phan, 2007) ได้เสนอวิธีหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้สำหรับ โพรโทคอลการหาเส้นทางซึ่งมีการแบ่งโหนดในเครือข่ายเป็นกลุ่มของต้นไม้ (tree-based) โหนดที่ทำหน้าที่เป็น root node คือเกตเวย์โหนด โหนดที่เชื่อมต่ออยู่กับเกตเวย์โหนดคือสมาชิกภายในกลุ่มต้นไม้ สมาชิกภายในกลุ่มต้นไม้จะทำการส่งแพ็กเก็ตทักทายถึงกันเป็นระยะ ในกรณีที่โหนดไม่ได้รับแพ็กเก็ตทักทายจากโหนดที่อยู่ลำดับล่างของตนในเวลาที่กำหนด โหนดจะถือว่าเส้นทางเชื่อมต่อระหว่างตนกับโหนดเพื่อนบ้านที่ลำดับต่ำกว่าตนเองนั้น ไม่สามารถใช้งานได้ สำหรับโหนดที่อยู่ในลำดับสูงกว่าตนเอง การไม่ได้รับแพ็กเก็ตตอบรับกลับมาหลังจากที่โหนดส่งแพ็กเก็ตทักทายไปยังโหนดเพื่อนบ้านในเวลาที่กำหนด โหนดจะถือว่าเส้นทางเชื่อมต่อระหว่างตนกับโหนดเพื่อนบ้านที่ลำดับสูงกว่าตนเองนั้น ไม่สามารถใช้งานได้

2. เทคนิคการเฝ้าสังเกตการได้รับแพ็กเก็ตสัญญาณชีพ (Heartbeat)

(Khilar et al., 2008) ได้เสนอวิธีหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกขนาดใหญ่ที่มีการจัดกลุ่มของโหนดในลักษณะที่เรียกว่าคลัสเตอร์ แต่ละโหนดในคลัสเตอร์จะทำการส่งแพ็กเก็ตสัญญาณชีพเป็นระยะไปยังคลัสเตอร์เฮดโหนด คลัสเตอร์เฮดโหนดจะบันทึกข้อมูลการได้รับแพ็กเก็ตสัญญาณชีพจากโหนดที่เป็นสมาชิกของคลัสเตอร์ลงในตารางและกำหนดเวลาที่ใช้ในการรอคอยการมาของแพ็กเก็ตสัญญาณชีพจากสมาชิกแต่ละโหนด ในครั้งแรกที่ได้รับแพ็กเก็ตสัญญาณชีพ ค่าเวลาในการรอคอยจะยังไม่ถูกคำนวณแต่จะถูกกำหนดค่าเริ่มต้นไว้ให้เหมือนกันทุกโหนด หลังจากที่ได้รับแพ็กเก็ตสัญญาณชีพจากแต่ละโหนดในครั้งที่สองเป็นต้นไป คลัสเตอร์เฮดจะคำนวณค่าเวลาในการรอคอยแพ็กเก็ตสัญญาณชีพของแต่ละโหนดให้ใหม่ทุกครั้ง โดยคิดจากการนำเวลาที่ได้รับแพ็กเก็ตสัญญาณชีพครั้งล่าสุดบวกกับเวลาที่ได้รับแพ็กเก็ตสัญญาณชีพครั้งก่อนแล้วหาค่าเฉลี่ย เมื่อคลัสเตอร์โหนดไม่ได้รับแพ็กเก็ตสัญญาณชีพจากโหนดสมาชิกใด ๆ ภายในเวลาที่ใช้ในการรอคอยการมาของแพ็กเก็ตสัญญาณชีพของโหนดสมาชิคนั้น คลัสเตอร์โหนดจะถือว่าเส้นทางระหว่างตนกับโหนดสมาชิกโหนดนั้น ไม่สามารถใช้งานได้

3. เทคนิคการเฝ้าสังเกตการได้ยินแพ็กเก็ตต่าง ๆ จากโหนดเพื่อนบ้าน

(Pandey et al., 2007) ได้เสนอวิธีการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากโหนดเคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่งที่ไม่สามารถติดต่อได้ โดยใช้เทคนิค MDA (Mobility Detection Algorithm) แต่ละโหนดมีค่าความน่าเชื่อถือเริ่มต้นเท่ากับค่าขีดแบ่ง (Threshold) MDA จะทำการเฝ้าสังเกตการได้ยินแพ็กเก็ตใด ๆ จากโหนดเพื่อนบ้านโดยกำหนดเวลาในการรอคอยการได้ยินแพ็กเก็ตใด ๆ จากโหนดเพื่อนบ้าน ถ้า MDA ไม่ได้ยินแพ็กเก็ตใด ๆ ภายในเวลาที่กำหนด MDA จะเพิ่มค่าความน่าเชื่อถือให้กับโหนดเพื่อนบ้านนั้นและสรุปว่าโหนดเพื่อนบ้านมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ แต่ถ้า MDA ได้ยินแพ็กเก็ตใด ๆ จากโหนดเพื่อนบ้านภายในเวลาที่กำหนด MDA จะยกเลิกการตั้งค่าเวลาการรอคอยและตั้งค่าความน่าเชื่อถือของโหนดเพื่อนบ้านโหนดนั้นให้มีค่าเป็นศูนย์ เมื่อใดก็ตามที่ MDA พบว่ามีกรลัมเหลวในการส่งข้อมูลไปยังโหนดเพื่อนบ้าน, โหนดไม่ได้รับแพ็กเก็ต CTS (Clear-to-Send) จากโหนดเพื่อนบ้านในระหว่างที่มีความลัมเหลวในการส่งข้อมูลไปยังโหนดเพื่อนบ้านและค่าความน่าเชื่อถือของโหนดเพื่อนบ้านมีค่าเท่ากับค่าขีดแบ่ง MDA จะสรุปว่าการที่แพ็กเก็ตสูญหายนั้นเป็นผลมาจากการที่โหนดมีการเคลื่อนที่และจะทำการแจ้งเตือนให้โพรโทคอลการหาเส้นทางหาเส้นทางใหม่

4. เทคนิคการพิจารณาค่าความแรงสัญญาณที่ได้ยินจากโหนดเพื่อนบ้าน

(Xu et al., 2006) ได้เสนอวิธีการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้จากการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณที่ได้ยินจากโหนดเพื่อนบ้าน แต่ละโหนดจะบันทึกค่าความแรงสัญญาณที่ได้ยินจากบิตคอนที่ส่งมาจากโหนดเพื่อนบ้านทุก 100 มิลลิวินาทีลงในตาราง 2 ตาราง ได้แก่ ตาราง NLSST (Neighbor Link Signal Strength Table) เก็บข้อมูลค่าความแรงสัญญาณล่าสุดที่ได้ยินจากโหนดเพื่อนบ้านแต่ละโหนด และตาราง LSST (Link Signal Strength Trend Table) เป็นตัวบอกค่าความแรงสัญญาณที่ได้ยินล่าสุดมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากราวก่อน เมื่อใดที่โหนดพบว่าค่าความแรงสัญญาณที่ได้ยินจากโหนดเพื่อนบ้านมีค่าลดลงจนอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด โหนดจะทำการตั้งค่าตัวบ่งชี้ที่บอกสถานะการใช้งานไม่ได้ของเส้นทางให้มีค่าเท่ากับหนึ่งและส่งแพ็กเก็ตแจ้งเตือนข้อผิดพลาดของเส้นทางให้กับโหนดต้นทาง

(Abduly and Hassan, 2010) ได้เสนอวิธีการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้จากการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณที่ได้ยินจากบิตคอนที่โหนดเพื่อนบ้านส่งมาทุก 100 มิลลิวินาที เช่นเดียวกับ (Xu et al., 2006) โดยตัดสินใจให้เส้นทางระหว่างตนเองกับโหนดเพื่อนบ้านไม่สามารถ

ใช้งานได้เมื่อค่าความแรงของสัญญาณที่ได้ยินมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดและจะทำการหาเส้นทางใหม่จากข้อมูลค่าความแรงสัญญาณที่เก็บไว้ในตารางค่าความแรงสัญญาณ

5. เทคนิคการพิจารณาสถานภาพของเส้นทางจากแบนด์วิดท์ร่วมกับจำนวน hop

(Wu et al., 2009) ได้เสนอวิธีตรวจสอบหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้โดยอาศัยการทำงานของ Q-Learning Algorithm แต่ละโหนดจะทำการสร้าง Q-Table เพื่อเก็บข้อมูล Q-Value ไว้ใช้ในการประเมินคุณภาพเส้นทางระหว่างโหนดปลายทางกับโหนดที่เป็นโหนดถัดไปในการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง ข้อมูลที่นำมาคำนวณเป็นค่า Q-Value ได้แก่ จำนวน hop, ค่าแบนด์วิดท์ที่คงเหลืออยู่และค่าความเสถียรภาพ โหนดจะทำการส่งข้อมูล Q-Value ฝากไปกับแพ็กเก็ตที่ตกทอด เมื่อโหนดเพื่อนบ้านได้รับแพ็กเก็ตที่ตกทอด โหนดจะนำข้อมูล Q-Value ที่ได้รับมาทำการปรับปรุงข้อมูลในตาราง Q-Table และตรวจสอบคุณภาพของเส้นทางที่ไปยังโหนดปลายทาง เมื่อโหนดพบว่าเส้นทางไปยังโหนดปลายทางที่คุณภาพดีกว่าเส้นทางเดิมที่เคยเลือกใช้ โหนดจะทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดปลายทางโดยเลือกส่งข้อมูลผ่านโหนดถัดไปที่บันทึกไว้ว่าเป็นเส้นทางที่ดีกว่าการส่งผ่านโหนดถัดไปโหนดเดิม

6. เทคนิคการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนร่วมกับการสูญหายของแพ็กเก็ตและเวลาในการเดินทางไปกลับของแพ็กเก็ต

(Van den berg et al., 2010) ได้เสนอวิธีการทำนายค่าความน่าจะเป็นที่เส้นทางไม่สามารถใช้งานได้ โดยอาศัยวิธีการทำนายค่า 3 แบบด้วยกัน คือ THR (Threshold), EWMA (exponentially weighted averaging) และ KALM (two dimensional Kalman filter) ซึ่งค่าที่นำมาใช้ในการทำนาย ได้แก่ ค่าความแรงของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน, การสูญหายของแพ็กเก็ต และเวลาเดินทางไปกลับของแพ็กเก็ต การหาค่าความน่าจะเป็นในการที่แต่ละเส้นทางจะใช้งานไม่ได้นั้นสามารถเลือกวิธีการทำนายค่าที่ต้องการจากวิธีการทำนาย 3 แบบข้างต้น ในกรณีที่เลือกวิธีการทำนายหลายแบบหรือใช้ค่าในการทำนายมากกว่า 1 ค่าในการทำนายเส้นทางจะต้องกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญให้กับการทำนายผลแต่ละครั้ง การกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญจะใช้อัลกอริทึม weighted majority ค่าความน่าจะเป็นที่เส้นทางไม่สามารถใช้งานได้คือผลรวมของค่าที่ได้จากการทำนายคูณกับค่าน้ำหนักความสำคัญของการทำนายในครั้งนั้น

งานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นต่างก็มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่างานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้มุ่งความสนใจไปที่ปัญหาที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของ โหนดและคุณภาพของเส้นทางแต่ไม่ได้สนใจทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดของเครือข่ายซึ่งก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการใช้งานไม่ได้ของเส้นทางเช่นกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ก่อนที่เส้นทางนั้นจะไม่สามารถใช้งานได้จริงโดยคำนึงถึงทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดของเครือข่าย เพื่อเป็นการลดการสูญหายของแพ็กเก็ต, ลดการหน่วงเวลาในการส่งข้อมูลที่เป็นผลมาจากการรอให้โพรโทคอลการหาเส้นทางทำการหาเส้นทางใหม่ทดแทนเส้นทางเดิม

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแต่ละงานวิจัย

งานวิจัย	ข้อดี	ข้อเสีย
(Oh and Phan, 2007)	<ol style="list-style-type: none"> 1. วิธีการง่าย ไม่ซับซ้อน 2. ไม่มีการเพิ่ม control packets 3. อาศัยการทำงานปกติของ โพรโทคอลชั้นที่ 2 มาช่วยในการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. เกิดการหน่วงเวลาในการส่งข้อมูล 2. เกิดการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล 3. เสียเวลารอในการหาเส้นทางใหม่ทดแทนเส้นทางเดิมที่ใช้งานไม่ได้ 4. ไม่คำนึงถึงทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดของระบบ
(Khilar et al., 2008)	<ol style="list-style-type: none"> 1. วิธีการง่าย ไม่ซับซ้อน 2. ไม่มีการเพิ่ม control packets 3. อาศัยการทำงานปกติของ โพรโทคอลการหาเส้นทางมาช่วยในการตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ (เฟ้าสังเกตการได้รับแพ็กเก็ตสัญญาณชีพ) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. เกิดการหน่วงเวลาในการส่งข้อมูล 2. เกิดการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล 3. เสียเวลารอในการหาเส้นทางใหม่ทดแทนเส้นทางเดิมที่ใช้งานไม่ได้ 4. ไม่คำนึงถึงทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดของระบบ

ตารางที่ 2 (ต่อ)

งานวิจัย	ข้อดี	ข้อเสีย
(Pandey et al.,2007)	<ol style="list-style-type: none"> 1. วิธีการง่าย ไม่ซับซ้อน 2. ไม่มีการเพิ่ม control packets 3. อาศัยการทำงานปกติของ โพรโทคอลชั้นที่ 2 มาช่วย ในการตรวจหาเส้นทางที่ ไม่สามารถใช้งานได้ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. สนใจเฉพาะกรณีโหนดเคลื่อนที่ 2. เกิดการหน่วงเวลาในการส่งข้อมูล 3. เกิดการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล 4. เสียเวลาในการหาเส้นทางใหม่ ทดแทนเส้นทางเดิมที่ใช้งานไม่ได้ 5. ไม่คำนึงถึงทรัพยากรที่มีอยู่อย่าง จำกัดของระบบ
(Xu et al., 2006)	<ol style="list-style-type: none"> 1. สามารถลดเวลาในการหา เส้นทางใหม่ได้ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. สนใจเฉพาะกรณีโหนดเคลื่อนที่ 2. ไม่คำนึงถึงทรัพยากรที่มีอยู่อย่าง จำกัดของระบบ
(Abdule and Hassan, 2010)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่เสียเวลาในการหา เส้นทางใหม่ทดแทนเส้นทาง เดิมที่ใช้งานไม่ได้ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. สนใจเฉพาะกรณีโหนดเคลื่อนที่ 2. ไม่คำนึงถึงทรัพยากรที่มีอยู่อย่าง จำกัดของระบบ
(Wu et al., 2009)	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่เสียเวลาในการหา เส้นทางใหม่ทดแทนเส้นทาง เดิมที่ใช้งานไม่ได้ 2. ลดจำนวน โอเวอร์เฮดที่ เกิดขึ้น 3. สามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้ มากขึ้น 	<ol style="list-style-type: none"> 1. วิธีการซับซ้อน 2. ไม่คำนึงถึงทรัพยากรที่มีอยู่อย่าง จำกัดของระบบ

ตารางที่ 2 (ต่อ)

งานวิจัย	ข้อดี	ข้อเสีย
(Van den berg et al., 2010)	1. ไม่เสียเวลารอในการหาเส้นทางใหม่ทดแทนเส้นทางเดิมที่ใช้งานไม่ได้ 2. สามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้มากขึ้น	1. วิธีการซับซ้อน 2. ไม่คำนึงถึงทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดของระบบ

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบเส้นทาง

วิธีตรวจสอบเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้วิธีต่าง ๆ นั้นมีความจำเป็นต้องใช้พารามิเตอร์เพื่อช่วยในการตรวจสอบเส้นทาง พารามิเตอร์แต่ละตัวที่นำมาใช้ระบุว่าเส้นทางยังมีสถานะที่ใช้งานได้ นั้นสามารถจำแนกตามที่มาของพารามิเตอร์ได้ 3 กลุ่ม

1. พารามิเตอร์จากแพ็กเก็ตในชั้นดาต้าลิงค์ (Data link layer) และชั้นเครือข่าย (Network layer)

พารามิเตอร์นี้ได้จากการเฝ้าดูความสม่ำเสมอของการได้รับแพ็กเก็ตที่ใช้ในกระบวนการสื่อสารได้แก่ แพ็กเก็ตตกหาย (Oh and Phan, 2007) แพ็กเก็ตสูญหาย (Khilar et al., 2008) หรือแพ็กเก็ตการจัดการในชั้นแมค เช่น Clear-to-Send packet (CTS) (Pandey et al., 2007) และแพ็กเก็ตตอบรับ (ACK packet) (Oh and Phan, 2007) ซึ่งการขาดหายไปหรือความไม่สม่ำเสมอของการได้รับแพ็กเก็ตเหล่านี้หมายถึงสถานะที่ไม่สมบูรณ์ของเส้นทางนั้น ๆ ตั้งแต่เริ่มมีปัญหาโดยส่งได้บ้างแต่ไม่สมบูรณ์ไปจนถึงการขาดการเชื่อมต่อทั้งหมด

2. พารามิเตอร์จากสัญญาณในชั้นฟิสิคัล (Physical layer)

พารามิเตอร์นี้ได้จากการพิจารณาค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับจากโหนดเพื่อนบ้านในขณะที่มีการเคลื่อนที่ (Xu et al., 2006; Abdule and Hassan, 2010)

3. พารามิเตอร์แบบผสม

ใช้พารามิเตอร์หลายตัวร่วมกันในการพิจารณา เช่น การตรวจสอบแบนด์วิดท์ร่วมกับการนับจำนวนฮอป (Wu et al., 2009) และการใช้ค่าความแรงของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนร่วมกับการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลและเวลาเดินทางไปกลับของแพ็กเก็ต (Van den berg et al., 2010)



อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพาี่ห้อ acer รุ่น TravelMate 3242NWXMi
2. โปรแกรมจำลอง ns2.29 (Network Simulator 2.29)

วิธีการ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเน้นที่การเสนอพารามิเตอร์และกระบวนการตรวจสอบเส้นทางเพื่อการเริ่มหาเส้นทางล่วงหน้าก่อนที่เส้นทางเดิมจะใช้งานไม่ได้อย่างสมบูรณ์ในระยะเวลาอันสั้น จากนั้นจะไปเรียกใช้กระบวนการบำรุงรักษาเส้นทาง เพื่อหาเส้นทางใหม่ตามโพรโทคอลที่มีอยู่เดิม งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโพรโทคอลที่มีอยู่ในปัจจุบันได้โดยการฝากข้อมูลพารามิเตอร์ไปกับแพ็กเก็ตที่โหนดต้องส่งไปให้โหนดเพื่อนบ้านทุกช่วงเวลาหรือสร้างแพ็กเก็ตใหม่ขึ้นมาเพื่อส่งข้อมูลพารามิเตอร์ให้กับโหนดเพื่อนบ้านตามระยะเวลาที่กำหนด

ในงานวิจัยนี้เลือกที่จะประยุกต์แนวความคิดเข้ากับตัวอย่างคือ โพรโทคอลการหาเส้นทางแบบ AODV เนื่องจากเป็นโพรโทคอลที่มีประสิทธิภาพดีและเป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย

1. พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบ

ในงานวิจัยนี้เสนอพารามิเตอร์ซึ่งเป็นพารามิเตอร์แบบผสมจำนวน 3 ตัวคือ

1. ค่าพลังงานของแต่ละโหนด (Node Energy: NE) โดยมีสมมติฐานว่าถ้าโหนดใดที่มีพลังงานต่ำกว่าระดับที่ตั้งไว้ (Threshold) ก็มีแนวโน้มว่าโหนดดังกล่าวจะสามารถทำการส่งข้อมูลหรือใช้งานได้ในช่วงเวลาอันสั้นก่อนที่จะไม่สามารถทำงานได้

2. ค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength: SS) ที่ได้รับจากโหนดเพื่อนบ้านแต่ละตัวจะใช้เป็นตัวช่วยตัดสินใจถึงประสิทธิภาพการเชื่อมต่อและการส่งข้อมูลของโหนดในเส้นทางส่งข้อมูล

3. ปริมาณเนื้อที่ที่เหลือในคิวของโหนด (Remaining Queue Size: RQ) โดยโหนดที่มีพื้นที่เพื่อรองรับการส่งข้อมูลที่น้อย อาจเนื่องมาจากปริมาณของข้อมูลที่มีปริมาณมากหรือโหนดนั้น ๆ ไม่สามารถทำการส่งข้อมูลได้ตามปกติ

ถ้าการส่งข้อมูลยังคงใช้เส้นทางที่มีแนวโน้มว่าจะมีปัญหาในอนาคตอันใกล้ ก็จะส่งผลต่อการสูญหายหรือหน่วงเวลาของข้อมูล จึงเป็นที่มาของการนำค่าพารามิเตอร์เหล่านี้มาช่วยตัดสินใจเริ่มกระบวนการหาเส้นทางใหม่ล่วงหน้าก่อนที่เส้นทางจะไม่สามารถใช้งานได้จริง ซึ่งส่งผลต่อการส่งข้อมูลได้ต่อเนื่อง

2. การประยุกต์กลไกที่เสนอเข้ากับโพรโทคอลหาเส้นทางแบบ AODV

พารามิเตอร์ที่ใช้ในกลไกการตรวจสอบสถานะของเส้นทางนั้นเป็นแบบการพิจารณาแบบส่วนตัว (Individual) ที่วัดค่าได้จากโหนดใด ๆ จากนั้นแต่ละโหนดจะทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลโดยการสื่อสารถึงกันด้วยการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลพารามิเตอร์ แต่เพื่อเป็นการประหยัดแบนด์วิดท์จึงเสนอให้ทำการฝากข้อมูลพารามิเตอร์ไปกับแพ็กเก็ตอื่น (piggyback)

เนื่องจาก AODV มีการใช้งานแพ็กเก็ตทักทาย กลไกที่นำเสนอจึงทำการฝากข้อมูลพารามิเตอร์ NE และ RQ ไปกับแพ็กเก็ตทักทายนี้ แสดงดังภาพที่ 16 โดยที่ค่า SS จะไม่ได้ฝากมากับแพ็กเก็ตทักทาย แต่จะได้รับข้อมูลจากระดับความแรงของสัญญาณที่ตรวจสอบได้จริงของโหนด (จากการ์ดเครือข่าย) ขณะทำการรับแพ็กเก็ตทักทายนี้

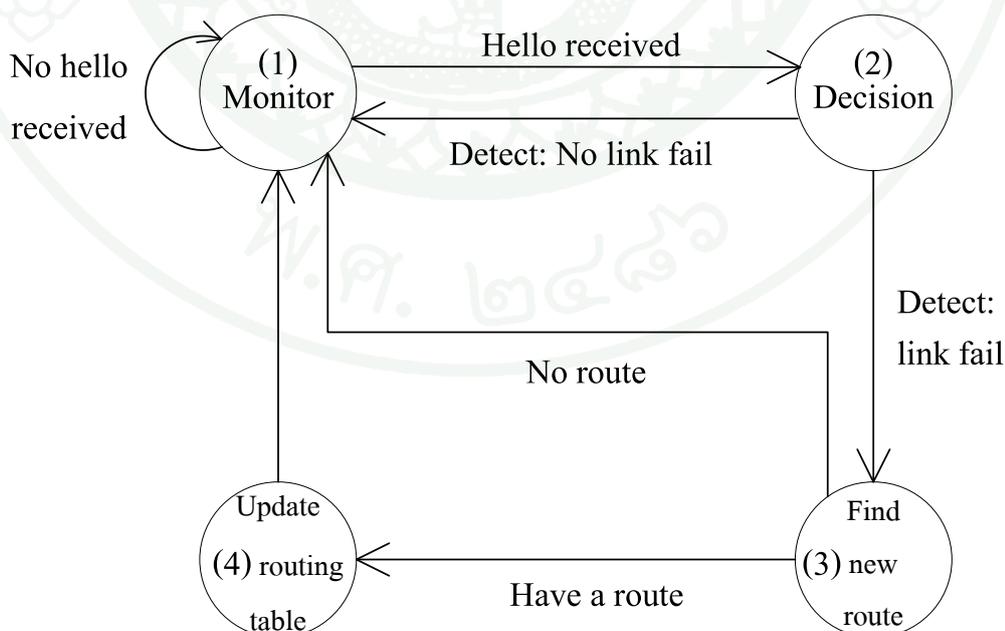
Packet type	Reserved	Hop count	DST IP	DST SEQ#	ORG IP	Lifetime	piggyback	
							NE	RQ

ภาพที่ 16 ลักษณะของแพ็กเก็ตทักทายที่มีการฝากข้อมูลพารามิเตอร์

3. Finite State Machine ของกลไกที่นำเสนอ

โหนดแต่ละโหนดจะมีสถานะการทำงาน 4 สถานะคือ

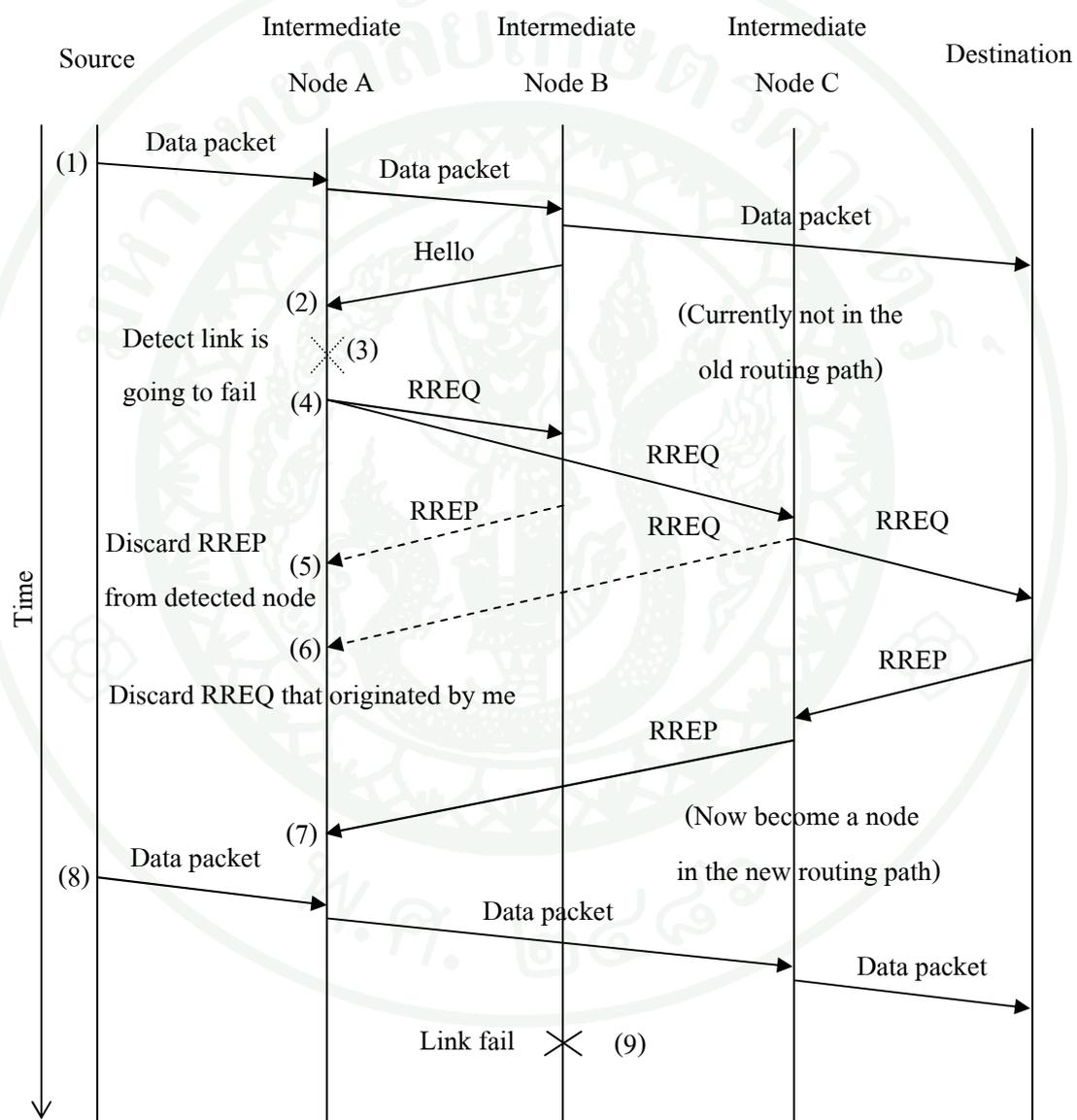
1. ตรวจสอบ (Monitor) โหนดที่อยู่ในสถานะนี้จะทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นและทำการฝากส่งไปกับแพ็กเก็ตที่ตกทาย รวมถึงการรอรับแพ็กเก็ตที่ตกทายจากโหนดเพื่อนบ้าน
2. ตัดสินใจ (Decision) ในสถานะนี้โหนดจะใช้ข้อมูลพารามิเตอร์ที่ได้รับมาเพื่อทำการตัดสินใจว่าเส้นทางดังกล่าวมีแนวโน้มว่ากำลังจะใช้งานไม่ได้หรือไม่
3. หาเส้นทางใหม่ (Find new route) เป็นการเริ่มกระบวนการค้นหาเส้นทางใหม่ หลังจากที่โหนดได้ตรวจพบแนวโน้มว่าเส้นทางปัจจุบันกำลังจะใช้งานไม่ได้ โดยจะเริ่มการส่งแพ็กเก็ตหาเส้นทางใหม่ (Route request) ตามกระบวนการหาเส้นทางตามปกติ
4. ปรับปรุงเส้นทาง (Update routing table) เมื่อโหนดได้รับแพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทาง (Route Reply) โหนดจะทำการปรับปรุงเส้นทางในตารางเส้นทางและทำการเปลี่ยนเส้นทางการส่งข้อมูลจากเดิมมายังเส้นทางใหม่ โดย Finite State Machine ของกลไกที่นำเสนอ แสดงดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 Finite State Machine ของกลไกที่เสนอ (per route)

4. แผนภาพเวลาการทำงาน (Timing Diagram) ของระบบ

กลไกที่นำเสนอเมื่อนำมาทดลองใช้งานกับโปรโตคอล AODV สามารถเขียนแผนภาพเวลาการทำงานดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 แผนภาพเวลาการทำงาน (Timing diagram) ของระบบ

จากภาพที่ 18 เวลาที่ (1) โหนดต้นทางทำการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางโดยใช้เส้นทางในตารางเส้นทาง (ผ่านโหนด A ไปยังโหนด B และจากโหนด B ไปยังโหนดปลายทาง) เมื่อเวลา

ผ่านไประยะหนึ่ง ถึงกำหนดเวลาที่โหนด B จะต้องส่งแพ็กเก็ตตกท้ายไปยังโหนดเพื่อนบ้าน โหนด B จะทำการรวบรวมข้อมูลพลังงานคงเหลือและเนื้อที่ที่เหลือในคิวของตนและสร้างแพ็กเก็ตตกท้าย พร้อมกับฝากข้อมูลเหล่านี้ไปกับแพ็กเก็ตตกท้ายที่โหนด B ส่งไปหาโหนดเพื่อนบ้าน

ณ เวลาที่ (2) โหนด A ได้รับแพ็กเก็ตตกท้ายจากโหนด B ทำให้โหนด A ทราบค่าความแรงของสัญญาณที่ได้ยินของโหนด B หลังจากนั้น โหนด A จะนำข้อมูลที่ได้จากแพ็กเก็ตตกท้ายที่โหนด B ส่งมา (พลังงานคงเหลือและเนื้อที่ที่เหลือในคิวของโหนด B) และค่าความแรงของสัญญาณที่ได้ยินของโหนด B มาใช้ในการตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อของเส้นทางระหว่างตนเองกับโหนด B ณ เวลาที่ (3) โหนด A ตรวจสอบพบว่าสถานะการเชื่อมต่อของโหนด B เริ่มไม่สามารถใช้งานได้โดยสมบูรณ์ โหนด A จึงส่งแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางเพื่อหาเส้นทางใหม่แบบกระจายออกไปในเครือข่าย ณ เวลาที่ (4) โหนด B และโหนด C เป็นโหนดเพื่อนบ้านของโหนด A จึงได้รับแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางก่อนโหนดอื่น ๆ หลังจากโหนด B ได้รับแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางจากโหนด A และพบว่าข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทางที่สามารถส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง โหนด B จึงส่งแพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทางไปยังโหนด A

ณ เวลาที่ (5) เมื่อโหนด A ได้รับแพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทางจากโหนด B โหนด A จะทิ้งแพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทางที่ส่งมาจากโหนด B เนื่องจากตรวจสอบพบว่าเป็นแพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทางที่ส่งมาจากโหนดที่มีสถานะการเชื่อมต่อที่ไม่สามารถใช้งานได้โดยสมบูรณ์ หลังจากที่โหนด C ได้รับแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางจากโหนด A โหนด C จะตรวจสอบข้อมูลตารางเส้นทาง ถ้าพบว่าไม่มีข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดปลายทางตามที่โหนด A ร้องขอมา โหนด C จะทำการส่งต่อแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางต่อไปยังโหนดเพื่อนบ้านซึ่งก็คือโหนด A และโหนดปลายทาง

ณ เวลาที่ (6) โหนด A ได้รับแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางจากโหนด C และพบว่าแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางที่ตนเองเป็นผู้สร้าง โหนด A จะทำการทิ้งแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทาง หลังจากโหนดปลายทางได้รับแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทางจากโหนด A ที่โหนด C ส่งมาและโหนดปลายทางทราบว่าเป็นการร้องขอเส้นทางมายังตนเอง โหนดปลายทางจะทำการสร้างแพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทางและส่งกลับไปที่โหนดต้นทาง ณ เวลาที่ (7) เมื่อโหนด A ได้รับแพ็กเก็ตตอบกลับของเส้นทางที่ส่งมาจากโหนด C ที่สถานะการเชื่อมต่ออยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้โดยสมบูรณ์ โหนด A จะทำการปรับปรุงข้อมูลในตารางเส้นทางให้เป็นข้อมูลเส้นทางใหม่ (ผ่านโหนด A ไปยังโหนด C และจากโหนด C ไปยังโหนดปลายทาง) แทนเส้นทางเดิม ทำให้เวลาที่ (8) โหนดต้นทางสามารถส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางได้อย่างต่อเนื่องแม้ว่าโหนด B จะไม่สามารถใช้งานได้ ณ เวลาที่ (9) ก็ตาม

5. กระบวนการพิจารณาและตัดสินใจสถานะของเส้นทางจากพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้

จากสถานะตัดสินใจตาม Finite State Machine โหนดจะนำค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่า (NE, SS และ RQ) มาใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาและตัดสินใจว่าเส้นทางระหว่างตนเองกับโหนดเพื่อนบ้านเส้นทางใดกำลังจะใช้งานไม่ได้โดยมีอัลกอริทึมในการตัดสินใจดังภาพที่ 19 กำหนดให้ Y คือค่าผลรวมที่ได้จากการคำนวณ

```

1   if (NE > NE threshold)
2       then { flag NE = 1 } else { flag NE = 0 }
3   if (SS > SS threshold)
4       then { flag SS = 1 } else { flag SS = 0 }
5   if (RQ > RQ threshold)
6       then { flag RQ = 1 } else { flag RQ = 0 }
7   Y = ((NE' * W1) + (SS' * W2) + (RQ' * W3))
8   if ((flag NE = 0) || (flag RQ = 0) || (flag SS = 0) || (Y < Threshold))
9       then { send route request }

```

ภาพที่ 19 Pseudo Code ของอัลกอริทึมที่ใช้ในการตัดสินใจ

ตัวอย่างการคำนวณค่า Y

สมมติให้โหนด A และ B เป็นโหนดที่เชื่อมต่อกันในเส้นทางหลักของการส่งข้อมูล โหนด A ได้รับข้อมูลจากโหนด B ผ่านแพ็กเก็ตที่ตกท้าย ด้วยค่าความแรงของสัญญาณ (SS) เท่ากับ 6.09×10^{-10} เดซิเบลต่อมิลลิวัตต์ (dBm) ที่มีข้อมูลว่าโหนด B มีพลังงานคงเหลือ (NE) เท่ากับ 10 จูล (joules) และมีเนื้อที่ที่เหลือในคิว (RQ) เท่ากับ 20 แพ็กเก็ต

$$Y = ((NE' * W_1) + (SS' * W_2) + (RQ' * W_3)) \quad (1)$$

โดยที่ W_1 คือค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญของพลังงานคงเหลือ

W_2 คือค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญของค่าความแรงของสัญญาณ

W_3 คือค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญของเนื้อที่ที่เหลือในคิว

ค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญพิจารณาจากความถี่ในการเกิดการใช้งานไม่ได้ของเส้นทางตามพารามิเตอร์แต่ละตัว โดยจากการทดลองได้ค่าถ่วงน้ำหนักของ W_1 , W_2 และ W_3 เท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.2 ตามลำดับ

หลักการในการเลือกค่า Threshold มีเงื่อนไขที่ต้องคำนึงถึงคือ ต้องหาเส้นทางใหม่ได้สำเร็จก่อนที่เส้นทางเดิมจะใช้งานไม่ได้อย่างสมบูรณ์และค่า Threshold นั้นจะต้องเป็นค่าน้อยสุดที่โหนดสามารถส่งข้อมูลได้ต่อเนื่องก่อนที่กระบวนการหาเส้นทางใหม่จะเสร็จสิ้น

โดยค่า Threshold สำหรับ NE, SS, RQ และ Y ที่ใช้งานนั้นได้จากการพิจารณาเงื่อนไขดังกล่าวประกอบกับการสังเกตจากการทดลอง (trial-and-error) โดยในการทดสอบนี้ใช้ค่าเท่ากับ 0.81 จูล, 3.96×10^{-10} เดซิเบลต่อมิลลิวัตต์, 10 แพ็กเก็ตและ 10 หน่วย ตามลำดับ

ในการคำนวณค่า Y จะต้องทำการปรับข้อมูล (normalization) โดยแปลงค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวให้อยู่ในอัตราส่วนที่คิดเทียบจากร้อยเปอร์เซ็นต์ก่อน ในที่นี้กำหนดให้ NE', SS' และ RQ' คือค่าที่ได้รับการปรับข้อมูลแล้ว

ตามตัวอย่างนี้สมมติให้ พลังงานตั้งต้นมีค่าเท่ากับ 100 จูล พื้นที่ในคิวเท่ากับ 50 แพ็กเก็ตและความแรงสัญญาณที่สามารถส่งข้อมูลได้เท่ากับ 2.82×10^{-1} เดซิเบลต่อมิลลิวัตต์ ดังนี้

$$NE' = ((100 * 10) / 100)$$

$$SS' = ((100 * 6.09 \times 10^{-10}) / 2.82 \times 10^{-1}) = 2.16 \times 10^{-7}$$

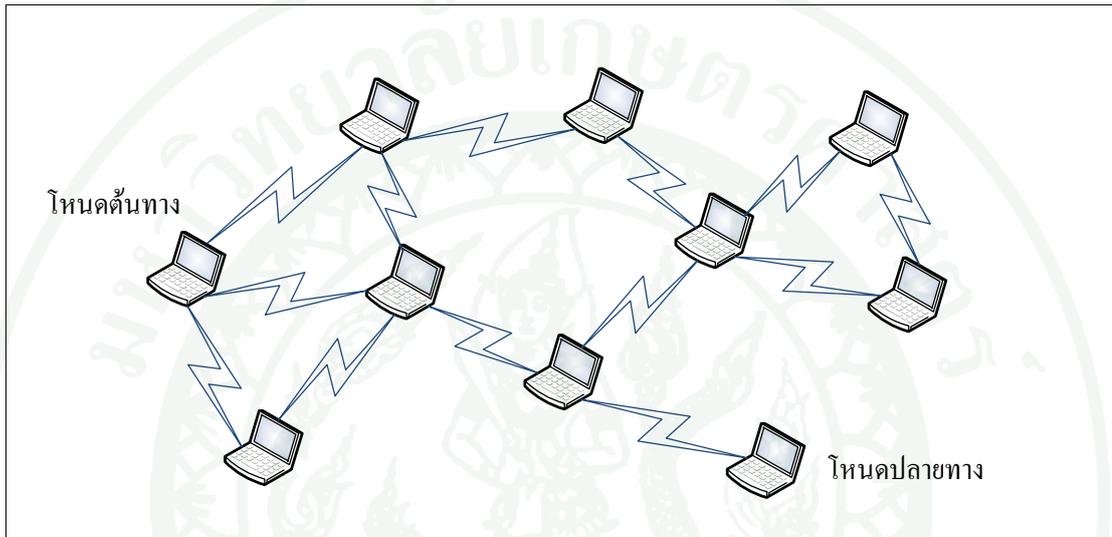
$$RQ' = (100 * 20) / 50 = 40$$

$$Y = (10 * 0.3) + (2.16 \times 10^{-7} * 0.5) + (40 * 0.2) = 11$$

จากตัวอย่างนี้ โหนด A จะยังไม่ส่งแพ็กเก็ตหาเส้นทางใหม่ เนื่องจากเงื่อนไขที่ NE, SS และ RQ มีค่ามากกว่าค่า Threshold และ Y มีค่ามากกว่าค่า Threshold เช่นกัน

ผลและวิจารณ์

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบด้วยโปรแกรมซิมูเลชัน NS-2 (Network Simulator 2) เวอร์ชัน 2.29 โดยได้ทำการแก้ไขโปรแกรมในส่วนที่เกี่ยวข้องกับโปรโตคอล AODV ให้สามารถทำงานร่วมกับกลไกที่นำเสนอ



ภาพที่ 20 รูปแบบการเชื่อมต่อที่ใช้ในการทดลอง

รูปแบบการเชื่อมต่อที่ใช้ในการทดลองแสดงดังภาพที่ 20 ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อเครือข่ายในลักษณะแอดฮอกภายใต้มาตรฐาน IEEE802.11 และ IEEE802.11b ในพื้นที่จำลองการทำงานขนาด 400 x 800 เมตร การวางโหนดกระจายแบบสุ่ม มีคู่สนทนาทำการส่งข้อมูลแบบ CBR (Constant bit rate) มีการกำหนดค่าสำหรับส่วนประกอบของเครือข่ายที่ใช้ในการทดลองดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าที่ใช้ในการทดลองด้วยโปรแกรม NS-2 สำหรับการทดลองที่ 1.1-1.2

ลำดับที่	ส่วนประกอบของเครือข่าย	ค่าที่ตั้งไว้
1	ประเภทของช่องสัญญาณ	WirelessChannel
2	แบบจำลองการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ	TwoRayGround
3	ประเภทของสายอากาศ	OmniAntenna
4	ประเภทของชั้นการเชื่อมต่อ	Link Layer (LL)
5	ประเภทของอินเตอร์เฟซคิว	DropTail/PriQueue
6	จำนวนแพ็กเก็ตสูงสุดที่อยู่ในอินเตอร์เฟซคิว	50
7	ประเภทของอินเตอร์เฟซของเครือข่าย	WirelessPhy
8	ประเภทของแมค	802.11
9	จำนวนของโมบายโหนด	15
10	โพรโทคอลการหาเส้นทาง	AODV
11	แบบจำลองในการเคลื่อนที่ของโหนด	Random way point
12	ความเร็วของโหนดในการเคลื่อนที่	0, 1, 3, 5 เมตรต่อวินาที
13	แบบจำลองพลังงานของโหนดแบบสุ่ม	uniform
14	แบบจำลองของพลังงาน	EnergyModel
15	ประเภทของการส่งข้อมูล	CBR over UDP
16	ขนาดของแพ็กเก็ต	512 ไบต์
17	อัตราในการส่งข้อมูล	4 แพ็กเก็ตต่อวินาที(16 kbps)
18	เวลาในการจำลองระบบ	120 วินาที

การทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทำงานของโพรโทคอลการหาเส้นทาง AODV กับโพรโทคอลการหาเส้นทาง AODV ที่ทำงานร่วมกับกลไกที่นำเสนอโดยทำการทดลอง 3 การทดลองด้วยกัน ประกอบด้วย

1. การทดลองที่ 1 การทดสอบสมมติฐาน “โพรโทคอลการหาเส้นทางที่สามารถตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ล่วงหน้าทำให้ลดการหน่วงเวลาในการรอเส้นทางใหม่และลดการสูญหายของแพ็กเก็ตได้” มี 2 การทดลองย่อย

1.1 ทดสอบด้วยการส่งข้อมูลในอัตรา 16 Mbps และ โหนดในเครือข่าย 15 โหนด

1.2 ทดสอบด้วยการส่งข้อมูลในอัตรา 130 Mbps และ โหนดในเครือข่าย 15 โหนด

2. การทดลองที่ 2 ศึกษาผลกระทบต่อระบบกรณีที่มีการส่งข้อมูลในอัตราที่แตกต่างกัน

3. การทดลองที่ 3 ศึกษาผลกระทบต่อระบบกรณีเพิ่มจำนวน CBR connections

การทดลองที่ 1.1

วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ว่าเมื่อโพรโทคอลการหาเส้นทางสามารถตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ล่วงหน้าจะทำให้ลดการหน่วงเวลาในการรับส่งข้อมูลและลดการสูญหายของแพ็กเก็ตได้เมื่อเปรียบเทียบกับโพรโทคอลการหาเส้นทาง AODV และศึกษาผลกระทบที่มีต่อระบบโดยรวม

วิธีการทดลอง

1. วิธีการเชื่อมต่อแสดงดังภาพที่ 20 โดยใช้มาตรฐาน IEEE 802.11
2. จำลองระบบตามค่าในตารางที่ 3 โดยที่พลังงานเริ่มต้นของแต่ละโหนดมีค่าอยู่ระหว่าง 5 - 40 จูล
3. ผลการทดลองในแต่ละจุดที่ได้ คือค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองจำนวน 5 ครั้ง

ผลการทดลอง

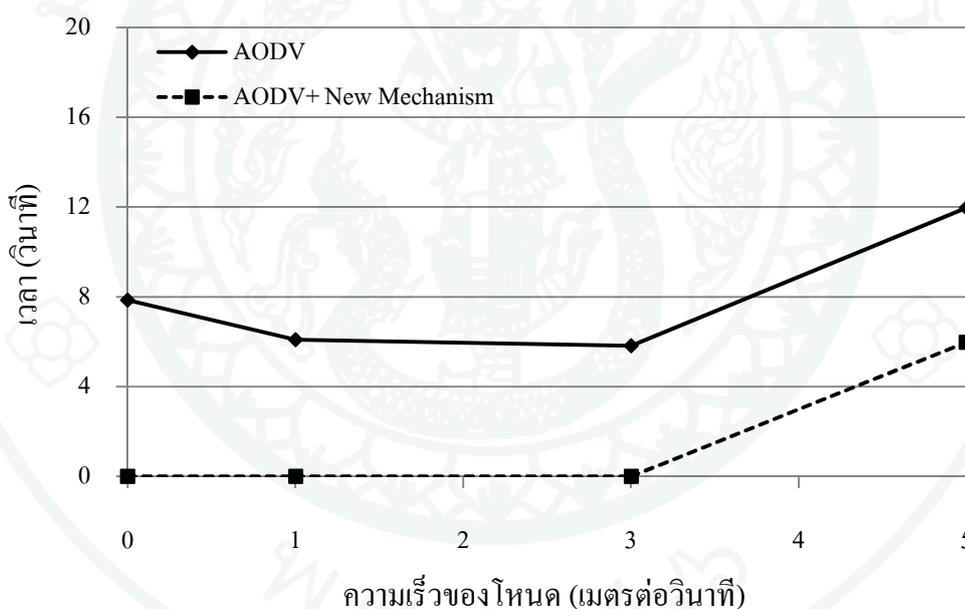
จากการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อระบบในด้านเวลาที่ใช้ในการรอเพื่อให้ได้เส้นทางใหม่, อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต, เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตจำนวน 300 แพ็กเก็ตสำเร็จ, ค่า CDF ของ Packet Interarrival Time, พลังงานที่ใช้ทั้งหมดของระบบและจำนวนโอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นภายในระบบ แสดงดังภาพที่ 21 – 26

สรุปและวิจารณ์

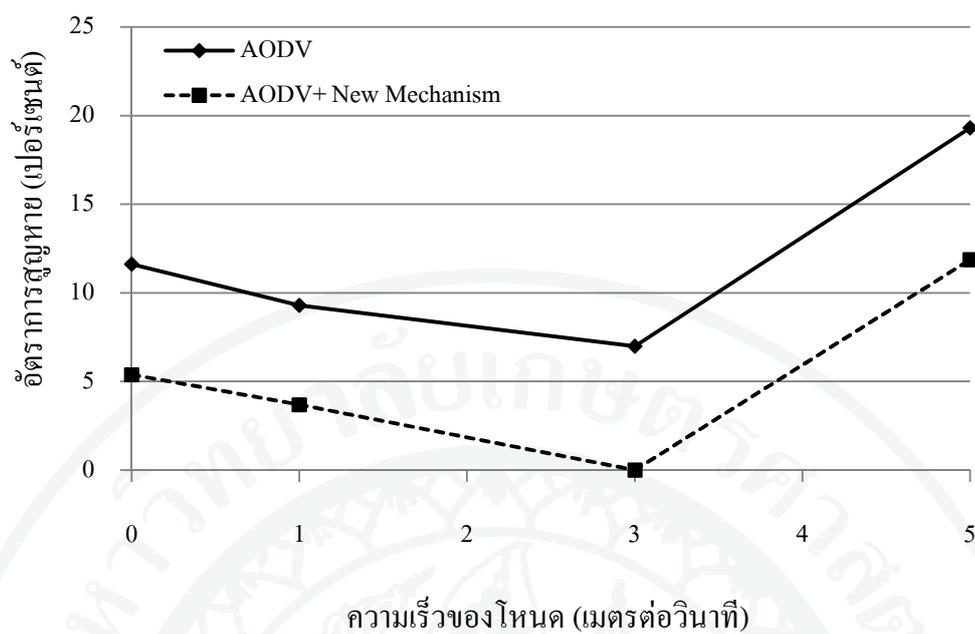
เมื่อได้ทำการทดสอบระบบ โดยได้ทำการเปรียบเทียบกลไกที่นำเสนอกับโพรโทคอล AODV พบว่าระบบที่เสนอสามารถหาเส้นทางใหม่ได้โดยไม่มีการหน่วงเวลาในกรณีที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่น้อย (หยุดนิ่ง และไม่เกิน 3 m/s) และลดลงได้มากที่ความเร็วสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนั้นเพราะโหนดมีการเคลื่อนที่น้อยจึงทำให้โอกาสที่การเชื่อมต่อระหว่างโหนดจะมีการเปลี่ยนแปลงจนทำให้เส้นทางไม่สามารถใช้งานได้ นั่นเป็นไปได้น้อยกว่าโหนดที่มีการเคลื่อนที่สูงและประกอบกับการที่

โพรโทคอลการหาเส้นทางสามารถหาเส้นทางล่วงหน้าได้สำเร็จทุกครั้งจึงทำให้ไม่มีการหน่วงเวลาเกิดขึ้นดังแสดงในภาพที่ 21

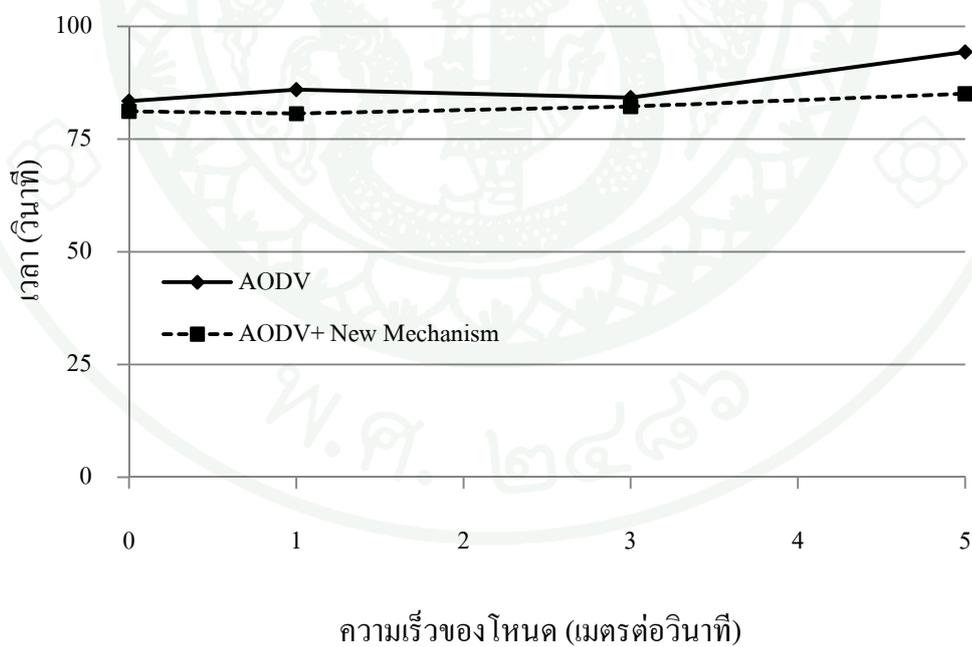
ภาพที่ 22 เมื่อเปรียบเทียบกับโพรโทคอล AODV พบว่ากลไกที่นำเสนอสามารถลดอัตราการสูญหายของข้อมูลได้ระหว่าง 50-100% เหตุผลที่สามารถลดการสูญหายของข้อมูลได้ถึง 100 % นั้นจะเกิดขึ้นในกรณีที่โพรโทคอลการหาเส้นทางสามารถหาเส้นทางล่วงหน้าได้สำเร็จทุกครั้ง เนื่องจากการหาเส้นทางต้องอาศัยการส่งต่อแพ็กเก็ตผ่านโหนดระหว่างทาง การเคลื่อนที่ของโหนดในบางครั้งมีผลทำให้โหนดไม่มีโหนดเพื่อนบ้านที่จะทำหน้าที่เป็นโหนดระหว่างทางในการส่งต่อแพ็กเก็ตไปยังโหนดปลายทาง และเมื่อทดสอบส่งข้อมูลจำนวน 300 แพ็กเก็ต พบว่ากลไกที่นำเสนอใช้เวลาในการส่งข้อมูลน้อยกว่า 1-2% ดังแสดงในภาพที่ 23 โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ค่า CDF (Cumulative Distribution Function) พบว่ากลไกที่นำเสนอมีค่าที่ดีกว่า ดังแสดงในภาพที่ 24



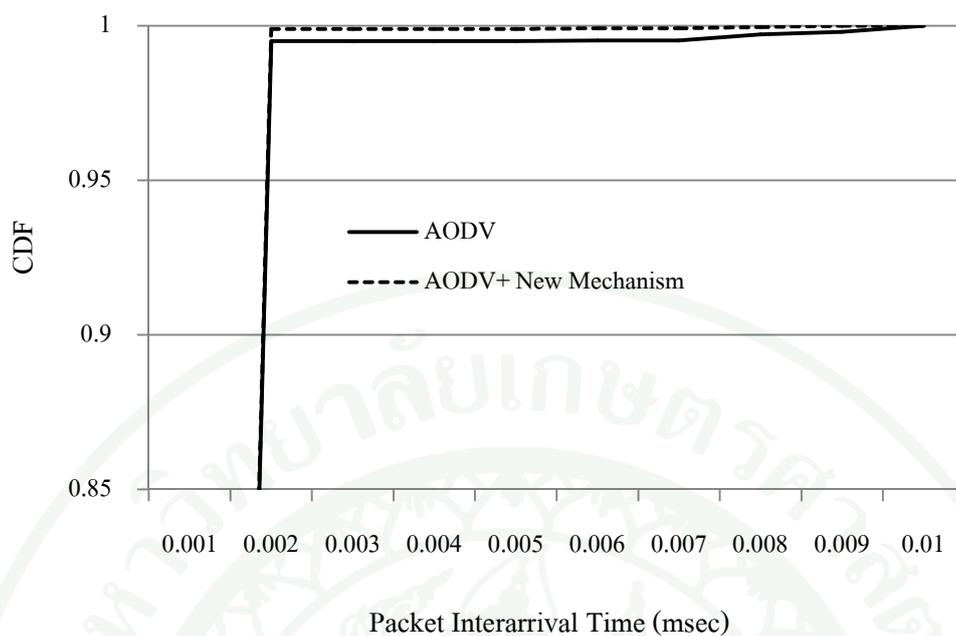
ภาพที่ 21 เวลาที่ใช้ในการรอเส้นทางใหม่หลังจากเส้นทางเดิมใช้งานไม่ได้



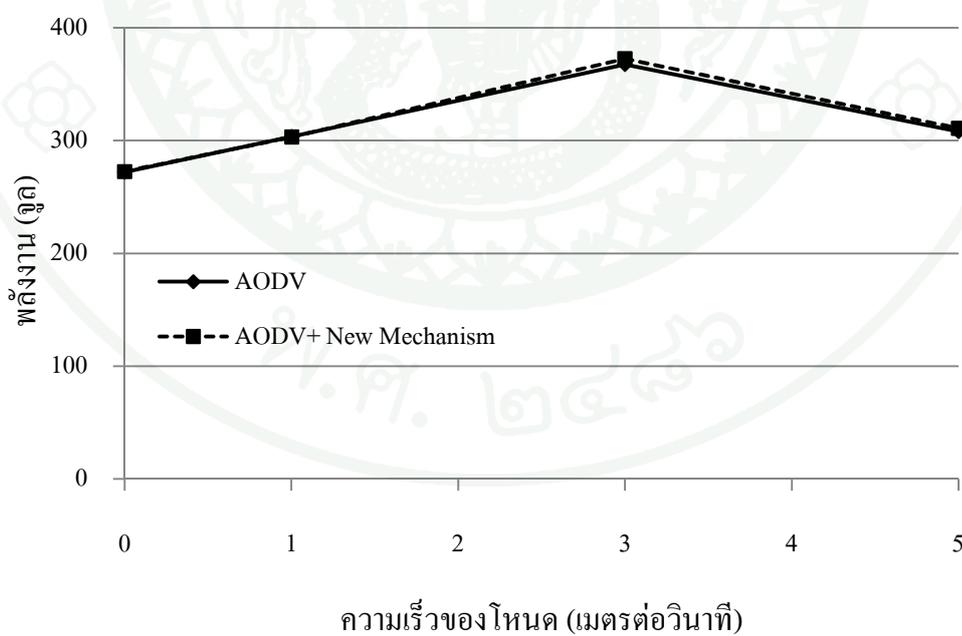
ภาพที่ 22 อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต



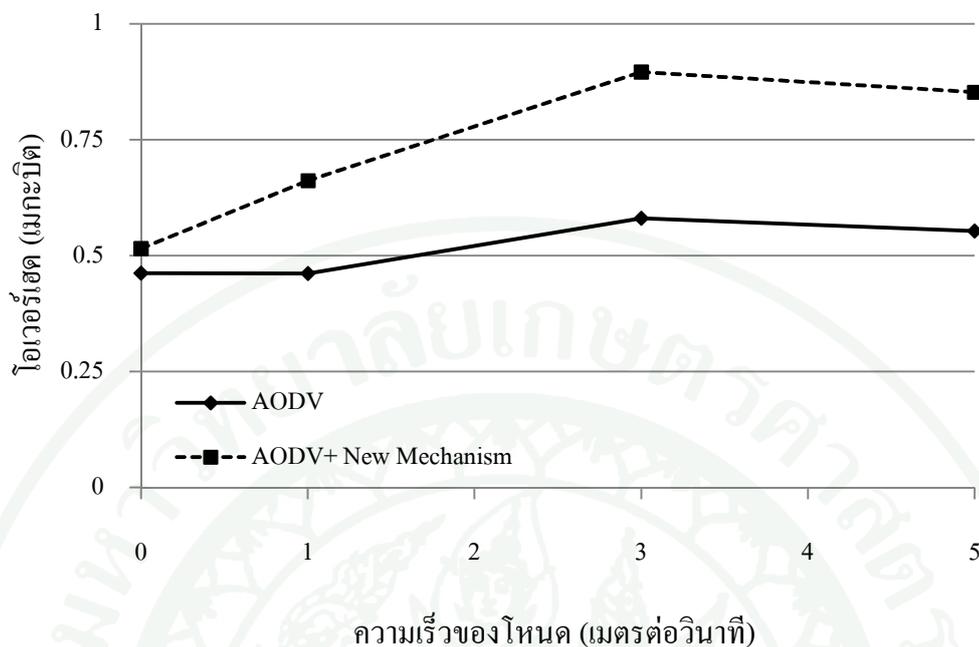
ภาพที่ 23 เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต 300 แพ็กเก็ตสำเร็จ



ภาพที่ 24 ค่า CDF ของ Packet Interarrival Time ของการทดลองครั้งที่ 1 เมื่อโหนดมีความเร็วในการเคลื่อนที่ 3 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 25 พลังงานที่ใช้ทั้งหมดของระบบ



ภาพที่ 26 โอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นภายในระบบ

ภาพที่ 25 เมื่อทำการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ทั้งหมด พบว่ากลไกที่นำเสนอใช้พลังงานมากกว่า AODV เพียง 1-2% และเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณโอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้น ในสภาวะที่โหนดไม่มีการเคลื่อนที่ พบว่ากลไกที่นำเสนอมีปริมาณโอเวอร์เฮดเพิ่มขึ้นจากระบบเดิมเพียง 1% และเพิ่มมากขึ้นในอัตราที่สูงเมื่อโหนดมีความเร็วในการเคลื่อนที่สูงขึ้น ที่เป็นเช่นนั้นเพราะการที่โหนดมีความเร็วในการเคลื่อนที่สูงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการเชื่อมต่อของโหนดภายในเครือข่ายบ่อยครั้ง ส่งผลให้โพรโทคอลการหาเส้นทางต้องหาเส้นทางใหม่ทดแทนเส้นทางเดิมมากขึ้น ประกอบกับเส้นทางใหม่ที่ได้มีคุณภาพการเชื่อมต่ออ่อนแอ ทำให้เส้นทางนั้นมีอายุการใช้งานที่สั้น โพรโทคอลการหาเส้นทางต้องทำการหาเส้นทางใหม่ทดแทนเส้นทางเดิมบ่อย ๆ จึงทำให้โอเวอร์เฮดในระบบมีปริมาณสูงกว่าระบบเดิม (สูงสุดเกือบ 50%) ดังแสดงในภาพที่ 26

การทดลองที่ 1.2

วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ว่าเมื่อโพรโทคอลการหาเส้นทางสามารถตรวจหาเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ล่วงหน้าจะทำให้ลดการหน่วงเวลาในการรับส่งข้อมูลและลดการสูญหายของแพ็กเก็ตได้เมื่อเปรียบเทียบกับโพรโทคอลการหาเส้นทาง AODV และศึกษาผลกระทบที่มีต่อระบบโดยรวม

วิธีการทดลอง

1. วิธีการเชื่อมต่อแสดงดังภาพที่ 20 โดยใช้มาตรฐาน IEEE 802.11
2. จำลองระบบตามค่าในตารางที่ 3 โดยเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลจาก 16 kbps เป็น 130 kbps และพลังงานเริ่มต้นของแต่ละโหนดมีค่าอยู่ระหว่าง 10 - 50 จูล
3. ผลการทดลองในแต่ละจุดที่ได้ คือค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองจำนวน 5 ครั้ง

ผลการทดลอง

จากการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อระบบในด้านเวลาที่ใช้ในการรอเพื่อให้ได้เส้นทางใหม่, อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต, เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตจำนวน 1,000 แพ็กเก็ตสำเร็จ, ค่า CDF ของ Packet Interarrival Time, พลังงานที่ใช้ทั้งหมดของระบบและจำนวนโอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นภายในระบบ แสดงดังภาพที่ 27 – 32

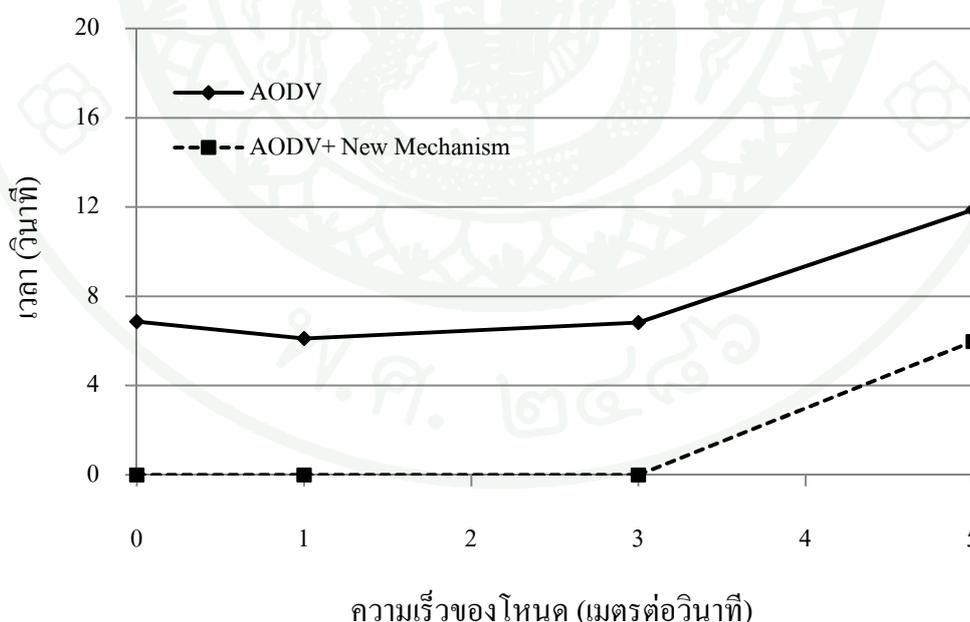
สรุปและวิจารณ์

เมื่อได้ทำการทดสอบระบบ โดยได้ทำการเปรียบเทียบกลไกที่นำเสนอกับโพรโทคอล AODV พบว่าระบบที่เสนอสามารถหาเส้นทางใหม่ได้แม้จะเพิ่มปริมาณการส่งข้อมูลโดยไม่มีการหน่วงเวลาในกรณีที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่น้อย (หยุดนิ่ง และไม่เกิน 3 m/s) และลดลงได้มากที่ความเร็วสูงขึ้น เพราะโหนดที่มีการเคลื่อนที่สูง มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเส้นทางการส่งข้อมูลบ่อยครั้งขึ้นกว่าโหนดที่มีการเคลื่อนที่น้อย ดังแสดงในภาพที่ 27

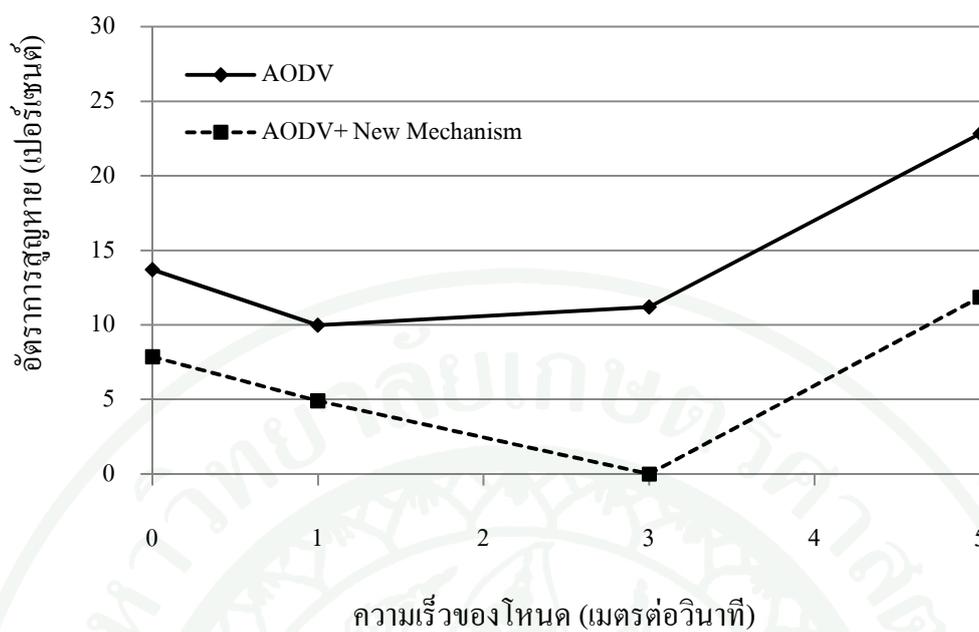
ภาพที่ 28 เมื่อเปรียบเทียบกับโพรโทคอล AODV พบว่ากลไกที่นำเสนอสามารถลดอัตราการสูญหายของข้อมูลได้ระหว่าง 50-100% (ลดได้สูงสุด 100 % ในกรณีที่หาเส้นทางล่วงหน้าสำเร็จทุกครั้งก่อนที่เส้นทางเดิมจะใช้งานไม่ได้ เนื่องจากโหนดค้นทางมีโหนดข้างเคียงที่สามารถช่วยส่งผ่านข้อมูลไปยังโหนดปลายทางได้)

เมื่อทดสอบด้วยการส่งข้อมูลจำนวน 1,000 แพ็กเก็ต พบว่ากลไกที่นำเสนอใช้เวลาโดยรวมในการส่งข้อมูลน้อยกว่า เนื่องจากสามารถส่งข้อมูลได้ต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 29 โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ค่า CDF (Cumulative Distribution Function) พบว่าเมื่อโหนดไม่มีการเคลื่อนที่มีผลทำให้โหนดมีการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมต่อหรืออาจไม่มีการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมต่อเกิดขึ้น กลไกที่นำเสนอมีค่าใกล้เคียงกับระบบเดิม (ต่างกันไม่เกิน 1%) ดังแสดงในภาพที่ 30

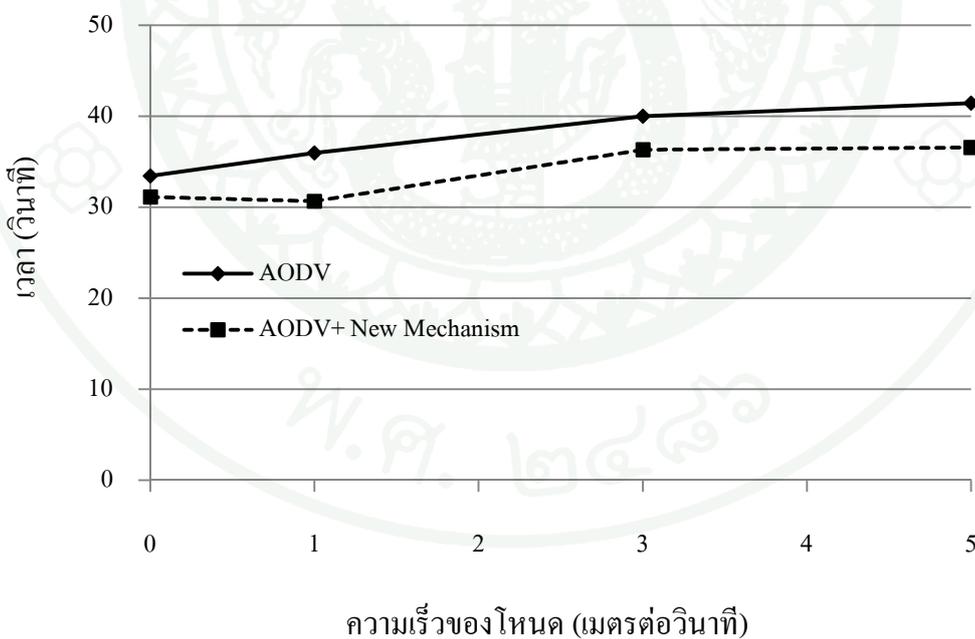
ภาพที่ 31 เมื่อทำการเปรียบเทียบพลังงานโดยรวมทั้งหมดของทุกโหนด พบว่ากลไกที่นำเสนอใช้พลังงานมากกว่าระบบเดิมเพียง 1-4% ปริมาณ โอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นภายในระบบเมื่อเทียบกับโพรโทคอลเดิมมีค่าที่ไม่ต่างกันมากเมื่อโหนดมีความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำ แต่เมื่อโหนดมีความเร็วในการเคลื่อนที่สูงขึ้น ปริมาณ โอเวอร์เฮดก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วยดังแสดงในภาพที่ 32



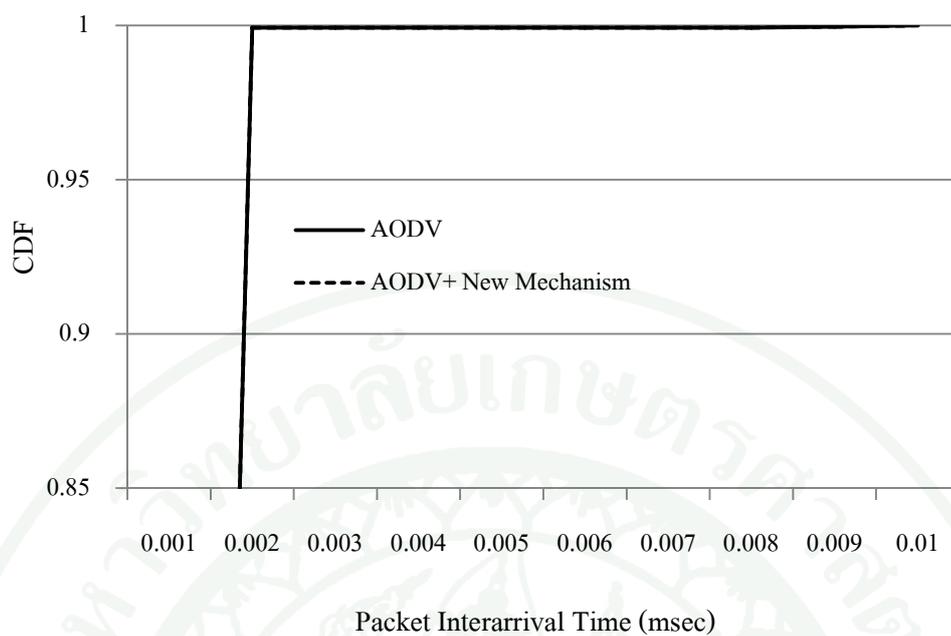
ภาพที่ 27 เวลาที่ใช้ในการรอเส้นทางใหม่หลังจากเส้นทางเดิมใช้งานไม่ได้



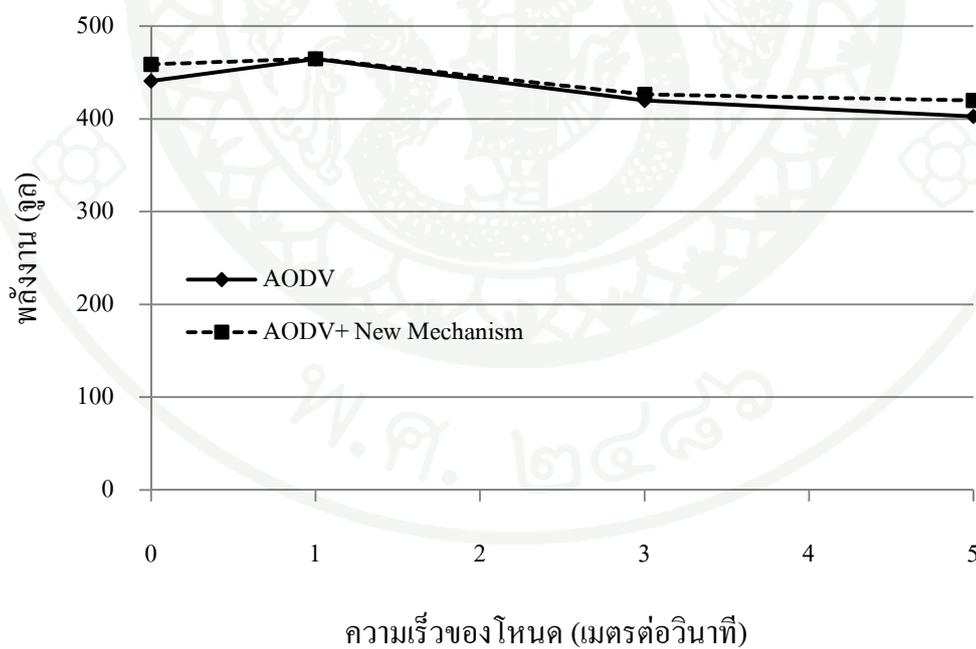
ภาพที่ 28 อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต



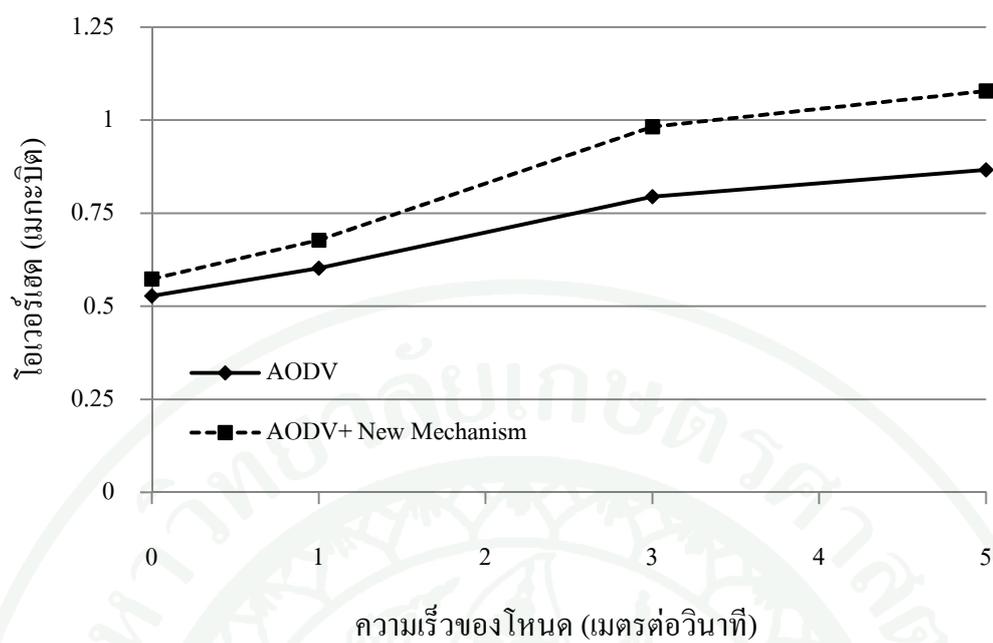
ภาพที่ 29 เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต 1,000 แพ็กเก็ตสำเร็จ



ภาพที่ 30 ค่า CDF ของ Packet Interarrival Time ของการทดลองครั้งที่ 4 ที่โหนดไม่มีการเคลื่อนที่



ภาพที่ 31 พลังงานที่ใช้ทั้งหมดของระบบ



ภาพที่ 32 โอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นภายในระบบ

การทดลองที่ 2

วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาผลกระทบต่อระบบกรณีการส่งข้อมูลในอัตราที่แตกต่างกันและโหนดมีความเร็วในการเคลื่อนที่สูง

วิธีการทดลอง

1. วิธีการเชื่อมต่อแสดงดิงภาพที่ 20 โดยใช้มาตรฐาน IEEE 802.11b
2. จำลองระบบตามค่าในตารางที่ 3 โดยได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าบางอย่าง ดังนี้
 - 2.1 อัตราการส่งข้อมูลที่ 1, 3, 5 และ 8 Mbps ตามลำดับ
 - 2.2 พลังงานเริ่มต้นของแต่ละโหนดมีค่าอยู่ระหว่าง 20 - 50 จูล
 - 2.3 ความเร็วของโหนดในการเคลื่อนที่เท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที
 - 2.4 จำนวนแพ็กเก็ตสูงสุดที่อยู่ในอินเตอร์เฟซคิวเท่ากับ 100
3. ผลการทดลองในแต่ละจุดที่ได้ คือค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองจำนวน 5 ครั้ง

ผลการทดลอง

จากการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อระบบในด้านเวลาที่ใช้ในการรอเพื่อให้ได้เส้นทางใหม่, อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต, เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตจำนวน 10,000 แพ็กเก็ตสำเร็จ, ค่า CDF ของ Packet Interarrival Time, พลังงานที่ใช้ทั้งหมดของระบบและจำนวนโอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นภายในระบบ แสดงดิงภาพที่ 33 – 38

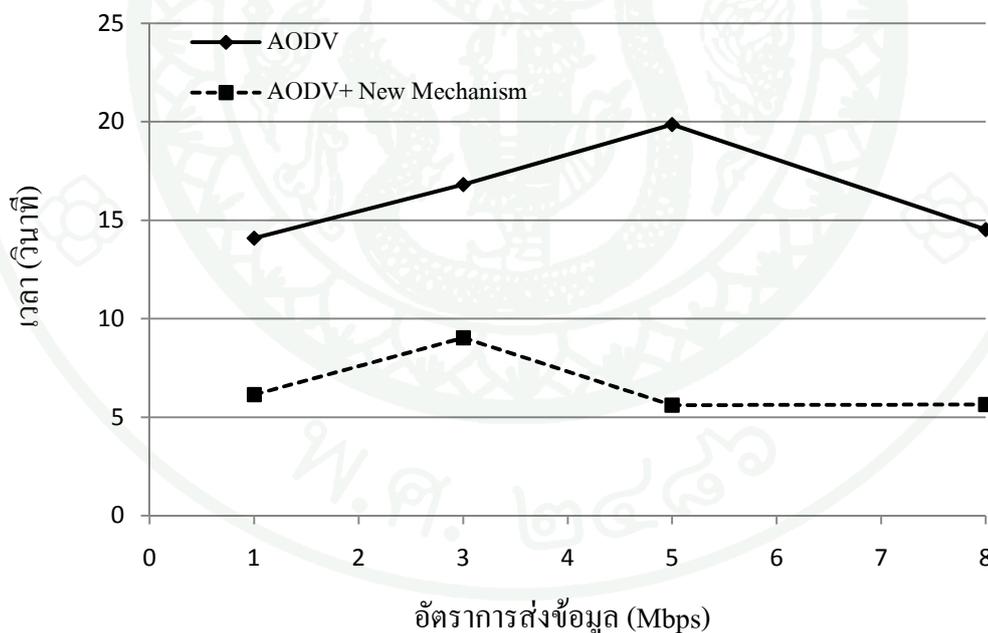
สรุปและวิจารณ์

เมื่อได้ทำการทดสอบระบบ โดยได้ทำการเปรียบเทียบกลไกที่นำเสนอกับโปรโตคอล AODV พบว่าระบบที่เสนอสามารถลดการหน่วงเวลาในการส่งข้อมูลได้มากกว่า 50 % เพราะตลอดการทดสอบไม่มีการทดสอบครั้งใดที่โปรโตคอลการหาเส้นทางสามารถหาเส้นทางล่วงหน้าได้สำเร็จทุกครั้ง เนื่องจากไม่มีโหนดระหว่างทางที่อยู่ใกล้เคียงที่สามารถส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลไปหาโหนดปลายทางได้ ทำให้ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 33

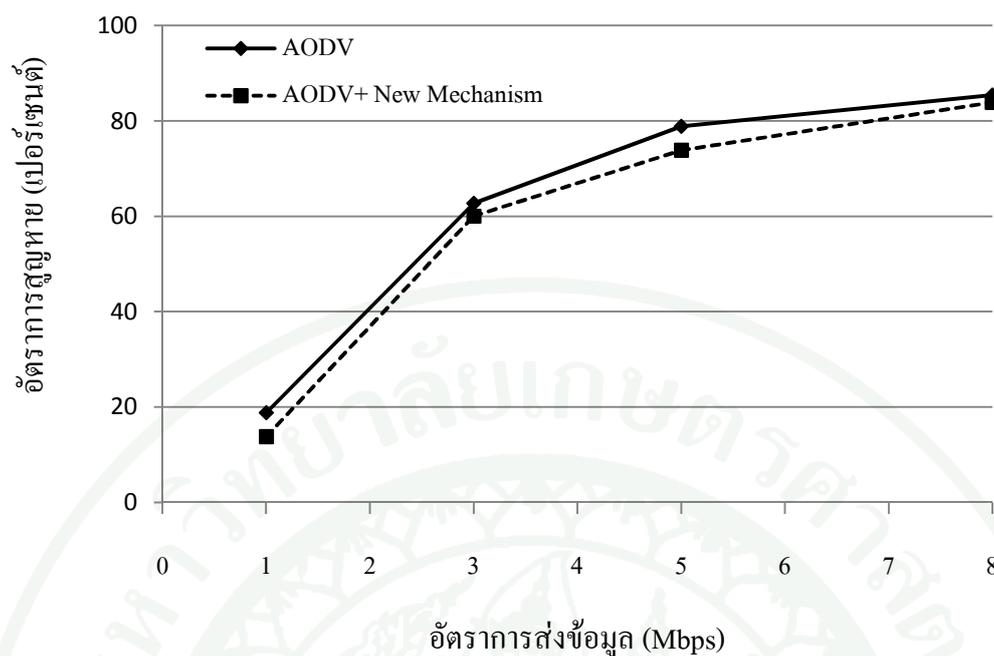
เนื่องจากโพรโทคอลการหาเส้นทางไม่สามารถหาเส้นทางล่วงหน้าได้สำเร็จทุกครั้ง ทำให้โหนดไม่สามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง แพ็กเก็ตที่ต้องรอเส้นทางใหม่เป็นเวลานานมักจะถูกโยนทิ้ง จึงทำให้ผลการทดสอบของกลไกที่นำเสนอยังคงมีอัตราการสูญหายของข้อมูลแม้จะน้อยกว่าในระดับที่ไม่มากนักก็ตาม ดังแสดงในภาพที่ 34

ภาพที่ 35 เมื่อทดสอบระบบ โดยการส่งข้อมูลจำนวน 10,000 แพ็กเก็ต พบว่ากลไกที่เสนอใช้เวลาที่น้อยกว่าในการส่งแพ็กเก็ตให้สำเร็จ และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่า CDF (Cumulative Distribution Function) ดังแสดงในภาพที่ 36 พบว่ากลไกที่นำเสนอมีค่าที่ดีกว่าระบบเดิม

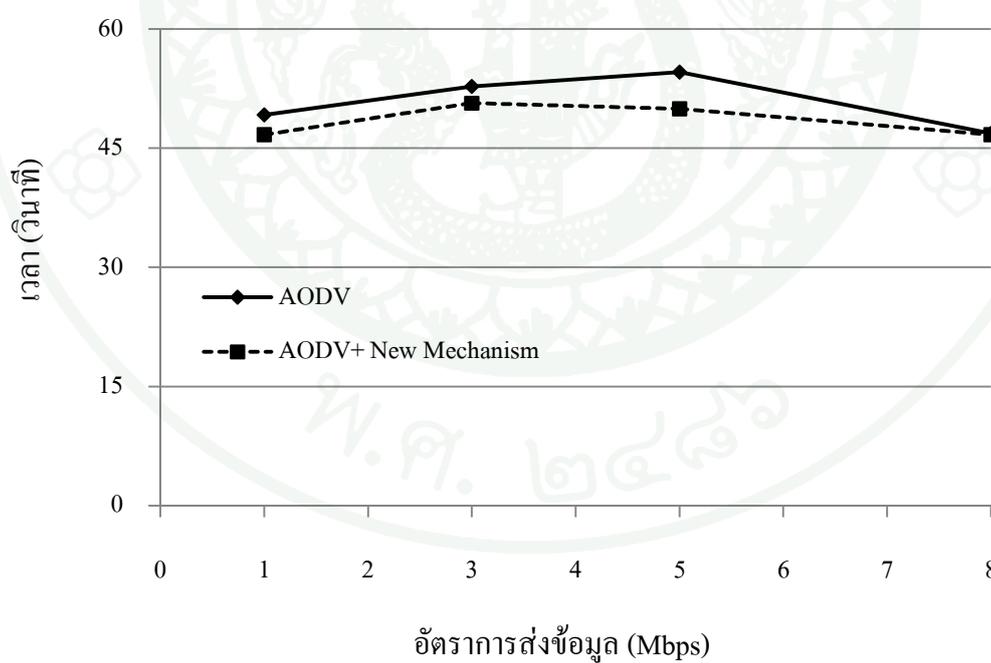
เมื่อเปรียบเทียบกลไกที่นำเสนอกับระบบเดิมในด้านการใช้พลังงานทั้งหมดของระบบพบว่า กลไกที่นำเสนอมีการใช้พลังงานใกล้เคียงกับระบบเดิมมาก โดยใช้พลังงานมากกว่าระบบเดิม 1-4% เมื่อมีการส่งข้อมูลในอัตราที่สูงและปริมาณโอเวอร์เฮดมากกว่า 1-2% ดังแสดงในภาพที่ 37 และ 38 ตามลำดับ



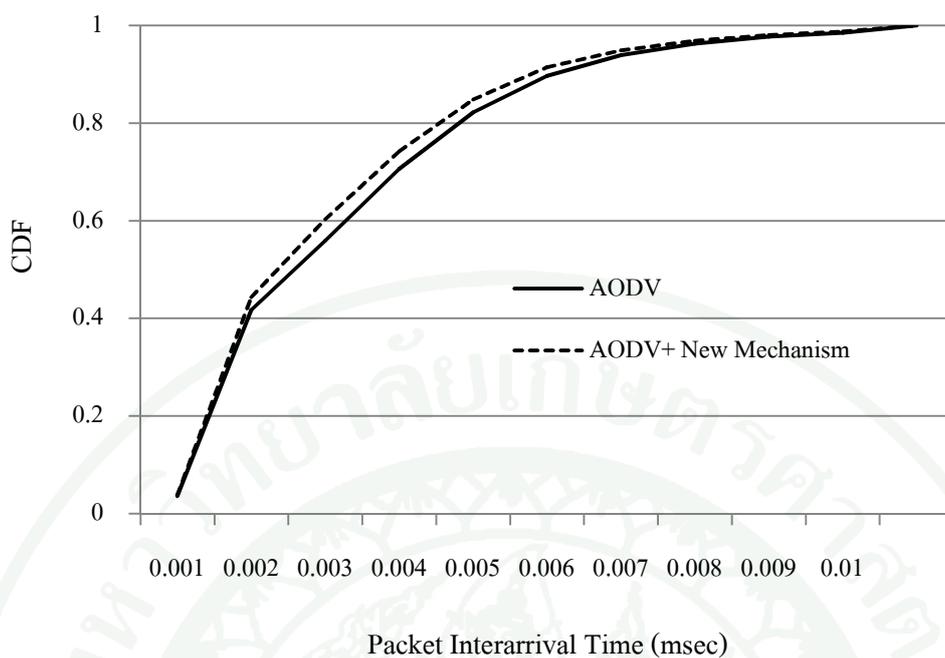
ภาพที่ 33 เวลาที่ใช้ในการรอเส้นทางใหม่หลังจากเส้นทางเดิมใช้งานไม่ได้



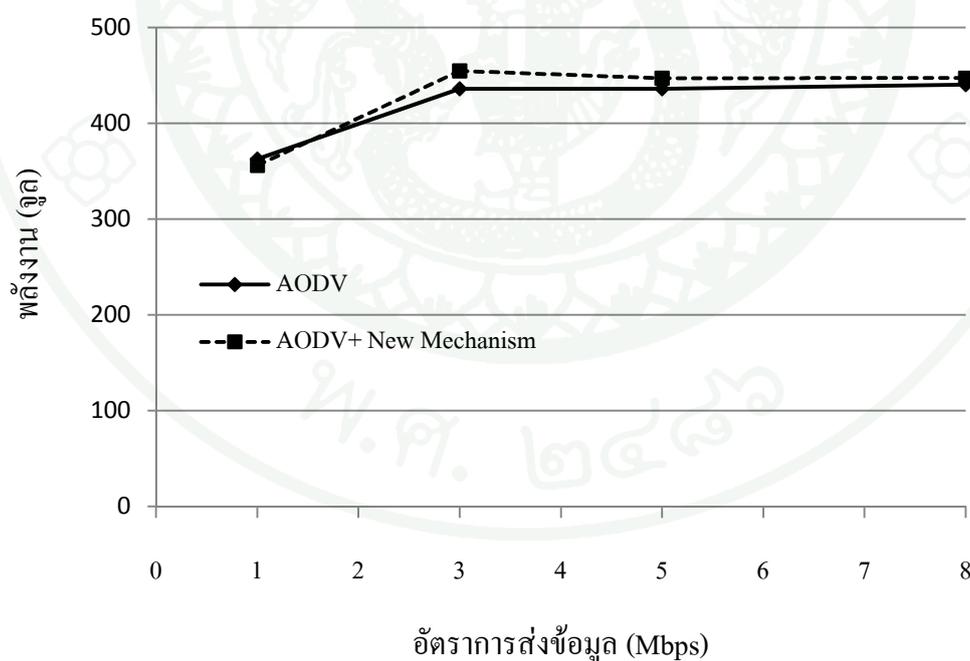
ภาพที่ 34 อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต



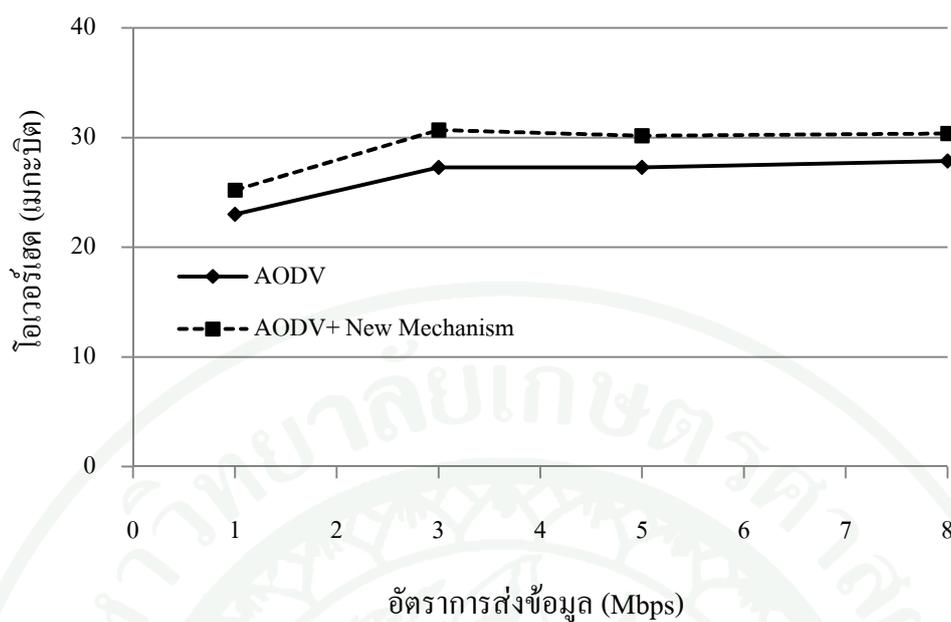
ภาพที่ 35 เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต 10,000 แพ็กเก็ตสำเร็จ



ภาพที่ 36 ค่า CDF ของ Packet Interarrival Time ของการทดลองครั้งที่ 1 ที่การส่งข้อมูล 3 Mbps



ภาพที่ 37 พลังงานที่ใช้ทั้งหมดของระบบ



ภาพที่ 38 โอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นภายในระบบ

การทดลองที่ 3

วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาผลกระทบต่อระบบกรณีเพิ่มจำนวนคู่ของ CBR connections ในการส่งข้อมูลและ โหนดมีความเร็วในการเคลื่อนที่สูง

วิธีการทดลอง

1. วิธีการเชื่อมต่อแสดงดิงภาพที่ 20 โดยใช้มาตรฐาน IEEE 802.11b
2. จำลองระบบตามค่าในตารางที่ 3 โดยได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าบางอย่าง ดังนี้
 - 2.1 จำนวนคู่ของ CBR connections เท่ากับ 1, 2, 3 และ 4 คู่ตามลำดับ
 - 2.2 อัตราการส่งข้อมูล 123 แพ็กเก็ตต่อวินาที (0.5 Mb/s)
 - 2.3 พลังงานเริ่มต้นของแต่ละโหนดมีค่าอยู่ระหว่าง 20 - 50 จูล
 - 2.4 ความเร็วของโหนดในการเคลื่อนที่เท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที
 - 2.5 จำนวนแพ็กเก็ตสูงสุดที่อยู่ในอินเตอร์เฟซคิวเท่ากับ 100
3. ผลการทดลองในแต่ละจุดที่ได้ คือค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองจำนวน 5 ครั้ง

ผลการทดลอง

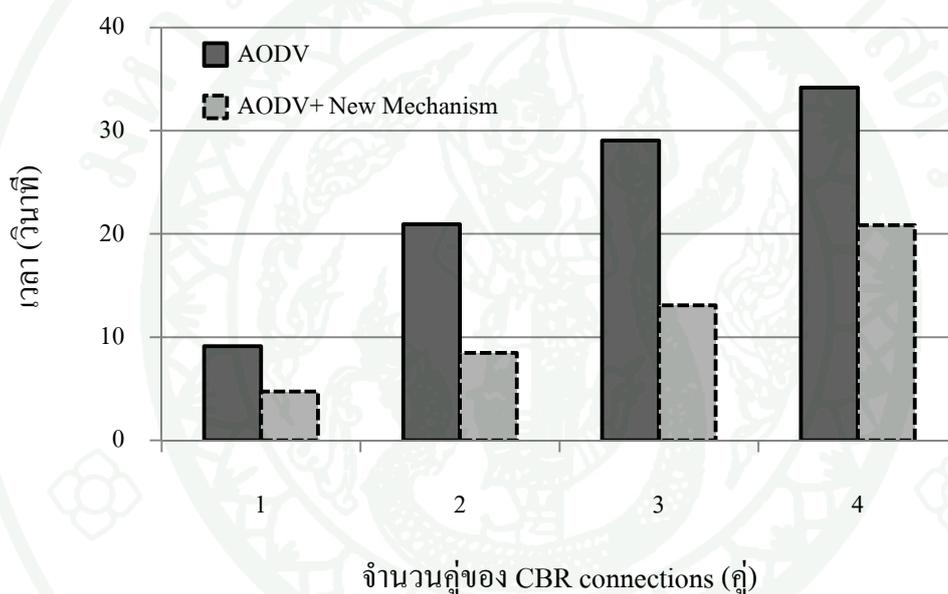
จากการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อระบบในด้านเวลาที่ใช้ในการรอ เพื่อให้ได้เส้นทางใหม่, อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต, เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตจำนวน 10,000 แพ็กเก็ตสำเร็จ, ค่า CDF ของ Packet Interarrival Time, พลังงานที่ใช้ทั้งหมดของระบบและจำนวน โอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นภายในระบบ แสดงดิงภาพที่ 39 – 44

สรุปและวิจารณ์

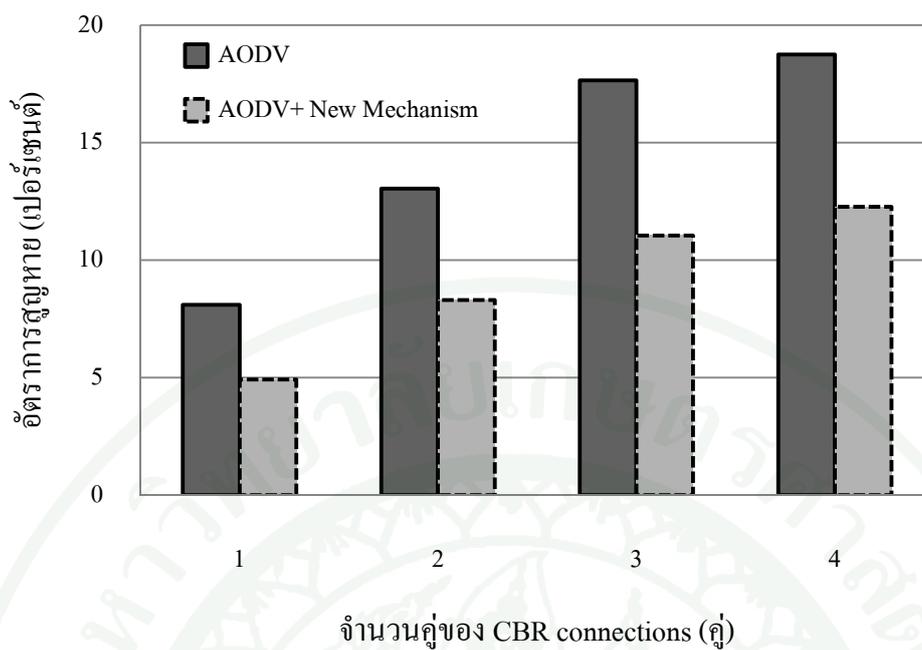
เมื่อได้ทำการทดสอบระบบ โดยได้ทำการเปรียบเทียบกลไกที่นำเสนอกับ โพรโทคอล AODV พบว่ากลไกที่นำเสนอสามารถลดการหน่วงเวลาในการส่งข้อมูลได้มากกว่า 50% แม้จะมีการเพิ่มจำนวนคู่ของ CBR connections ดังแสดงในภาพที่ 39

กลไกที่นำเสนอสามารถลดอัตราการสูญหายของข้อมูลได้มากกว่า 30% เมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบกับระบบเดิม เนื่องจากโพรโทคอลการหาเส้นทางไม่สามารถทำการหาเส้นทางล่วงหน้าได้สำเร็จทุกครั้งเพราะไม่มีโหนดระหว่างทางที่สามารถส่งต่อแพ็กเก็ตไปยังโหนดปลายทางได้จึงทำให้ได้ผลทดสอบดังแสดงในภาพที่ 40

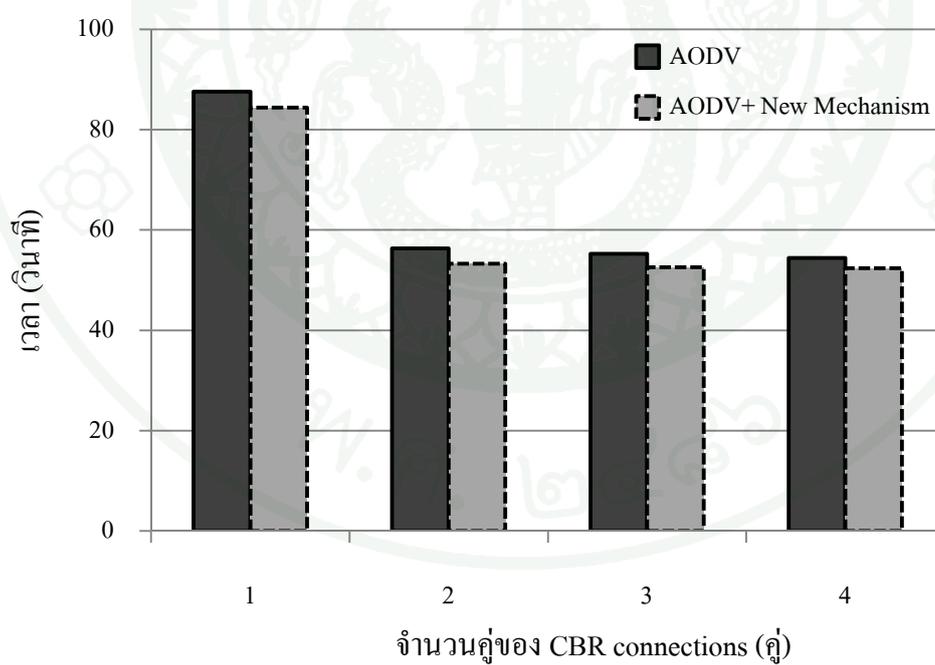
ภาพที่ 41 เมื่อทดสอบระบบโดยการส่งข้อมูลจำนวน 10,000 แพ็กเก็ต พบว่ากลไกที่เสนอใช้เวลาที่น้อยกว่าในการส่งแพ็กเก็ตให้สำเร็จและเมื่อทำการวิเคราะห์ค่า CDF (Cumulative Distribution Function) ดังแสดงในภาพที่ 42 พบว่ากลไกที่เสนอมีค่าที่ดีกว่าระบบเดิม



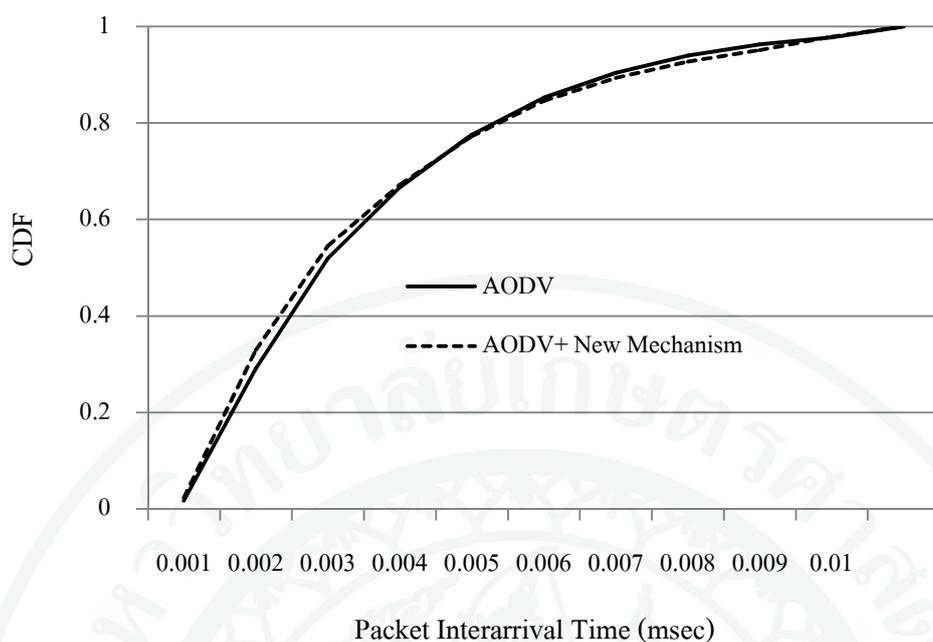
ภาพที่ 39 เวลาที่ใช้ในการรอเส้นทางใหม่หลังจากเส้นทางเดิมใช้งานไม่ได้



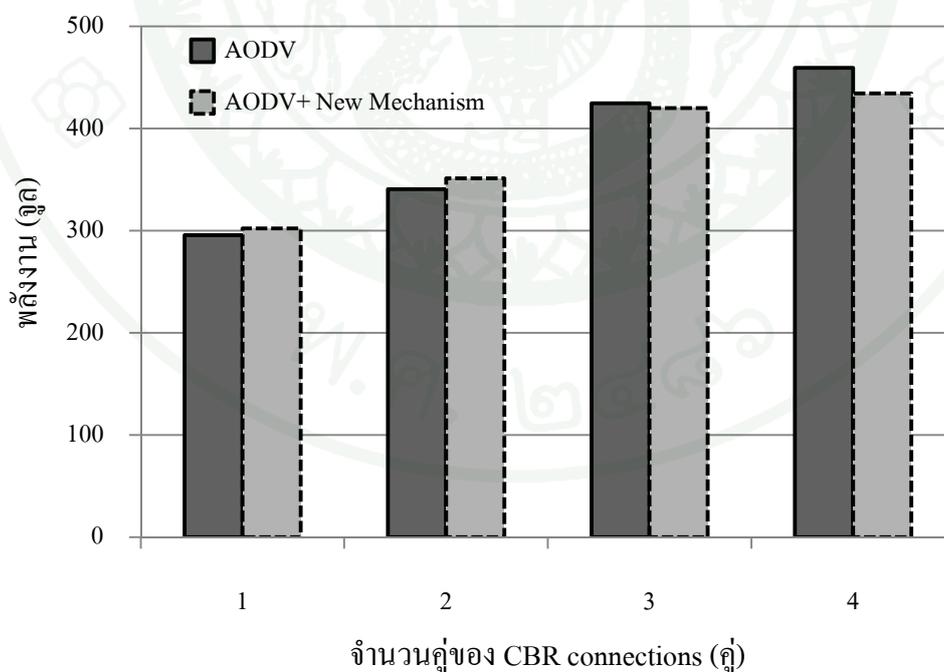
ภาพที่ 40 อัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต



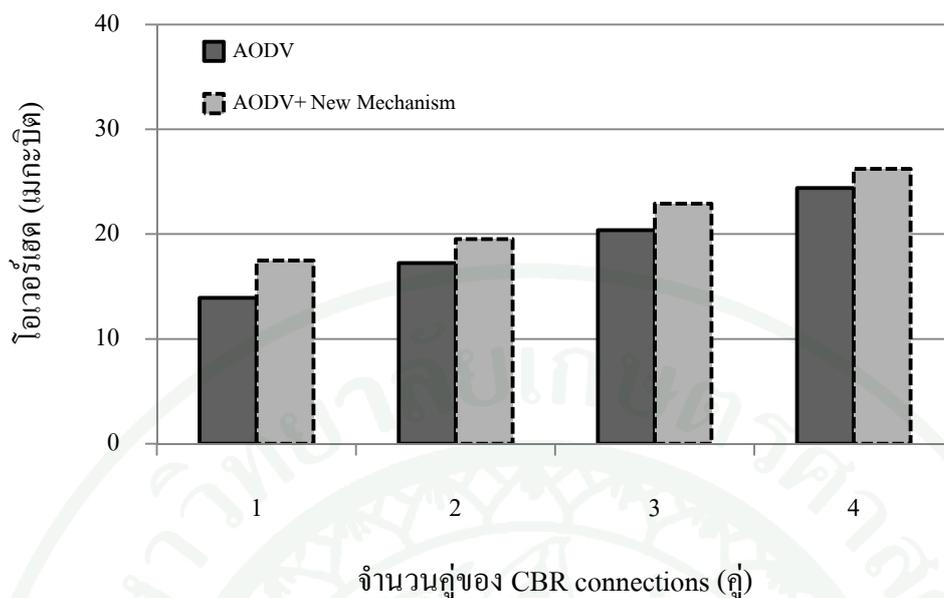
ภาพที่ 41 เวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ต 10,000 แพ็กเก็ตสำเร็จ



ภาพที่ 42 ค่า CDF ของ Packet Interarrival Time ของการทดลองครั้งที่ 1 ที่การส่งข้อมูล 2 CBR connections



ภาพที่ 43 พลังงานที่ใช้ทั้งหมดของระบบ



ภาพที่ 44 โอเวอร์โหลดที่เกิดขึ้นภายในระบบ

เมื่อเปรียบเทียบกลไกที่นำเสนอกับระบบเดิมในด้านการใช้พลังงานทั้งหมดของระบบพบว่ากลไกที่นำเสนอมีการใช้พลังงานใกล้เคียงกับระบบเดิมมากโดยมีความแตกต่างทางด้านค่าพลังงานอยู่ในระดับที่น้อยกว่า 5% ดังแสดงในภาพที่ 43 และปริมาณ โอเวอร์โหลดที่เกิดขึ้นในระบบมากกว่าระบบเดิม 1-2% เมื่อสังเกตจะพบว่าโอเวอร์โหลดจะเพิ่มปริมาณมากขึ้นตามจำนวนคู่ของ CBR connections ดังแสดงในภาพที่ 44

วิเคราะห์พลังงานที่ใช้ไปทั้งหมดของระบบ

เมื่อได้ทำการศึกษาผลการทดลองที่ได้จากการทำงานของโปรแกรมจำลองระบบเครือข่าย NS-2 เกี่ยวกับค่าของพลังงานที่ใช้ไปทั้งหมดของระบบ พบว่าพลังงานของโหนดจะลดลงเมื่อมีการส่งแพ็กเก็ตประเภทต่างๆ ซึ่งการส่งแพ็กเก็ตแต่ละประเภทยังมีการใช้พลังงานที่ต่างกัน สามารถเรียงลำดับการใช้พลังงานจากน้อยไปมากได้ดังนี้

1. แพ็กเก็ต RTS (0.000576 จูล) และ CTS (0.000628 จูล)
2. แพ็กเก็ตทักทาย (Hello) (0.000791 จูล)
3. แพ็กเก็ต ARP Request (0.001112 จูล) และ แพ็กเก็ต ARP Reply (0.000796 จูล)
4. แพ็กเก็ตที่ใช้ในกระบวนการค้นหาเส้นทาง
(RREQ 0.001252 จูล , RREP 0.000924 จูล , REER 0.004685 จูล)
5. แพ็กเก็ต CBR (0.00489 จูล)

เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการส่งแพ็กเก็ตประเภทต่างๆระหว่างระบบเดิมกับกลไกที่นำเสนอพบว่ากลไกที่นำเสนอใช้พลังงานในการส่งแพ็กเก็ตทักทายมากกว่าระบบเดิม 5% (จาก 0.000791 จูล เป็น 0.000831 จูล) ทั้งนี้ เนื่องจากได้มีการเพิ่มเขตข้อมูล (Field) จำนวน 2 เขตข้อมูล ขนาดรวมกัน 5 bytes เพื่อใช้เก็บค่าพลังงานคงเหลือของโหนดและปริมาณเนื้อที่ที่เหลือในคิว ส่วนการส่งแพ็กเก็ตประเภทอื่นนั้นมีการใช้พลังงานในการส่งแพ็กเก็ตไม่ต่างกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการตรวจสอบเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ล่วงหน้าโดยพิจารณาจากพลังงานที่เหลือของโหนด ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้อินและพื้นที่ที่เหลือในคิวของโหนด ลักษณะการตรวจสอบเส้นทางเป็นแบบกระจาย โดยที่แต่ละโหนดในเครือข่ายจะทำหน้าที่ในการตรวจสอบคุณภาพของการเชื่อมต่อระหว่างตนเองกับโหนดเพื่อนบ้านเป็นระยะตามช่วงเวลาที่มีการส่งแพ็กเก็ตเกิดทักทายหากัน เมื่อโหนดพบว่าคุณภาพการเชื่อมต่อมีความเสี่ยงในการที่จะไม่สามารถใช้งานได้ในไม่ช้า โหนดจะเริ่มค้นกระบวนการหาเส้นทางใหม่ทันทีและจะทำการเปลี่ยนเส้นทางการส่งข้อมูลไปยังเส้นทางใหม่เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการหาเส้นทาง

กลไกที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโพรโทคอลหาเส้นทางทั่วไป เนื่องจากพารามิเตอร์ที่นำมาพิจารณาในการตัดสินใจเรื่องคุณภาพของการเชื่อมต่อของเส้นทางต่าง ๆ ระหว่างโหนดกับโหนดเพื่อนบ้านเป็นค่าที่สามารถหาได้จากการทำงานทั่วไปของโหนดในเครือข่ายไม่ว่าผู้ดูแลระบบจะเลือกใช้โพรโทคอลการหาเส้นทางแบบใด ส่วนวิธีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโหนดอาจจะเลือกใช้วิธีฝากข้อมูลไปกับแพ็กเก็ตเดิมที่มีอยู่แล้วในระบบ หรือจะสร้างแพ็กเก็ตใหม่เพื่อฝากข้อมูล โดยเฉพาะก็สามารถทำได้ แต่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีฝากข้อมูลที่ต้องใช้ในการพิจารณาคุณภาพการเชื่อมต่อไปกับแพ็กเก็ตที่มีการใช้งานอยู่แล้วในระบบเพื่อประหยัดแบนด์วิดท์

จากการทดสอบพบว่ากลไกที่นำเสนอสามารถลดค่าหน่วยเวลาที่เกิดจากการรอเส้นทางใหม่เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลและลดการสูญหายของข้อมูลได้โดยมีการใช้พลังงานรวมของระบบใกล้เคียงกับระบบเดิมแม้ว่าจะมีโอเวอร์เฮดเพิ่มขึ้นเนื่องจากต้องเพิ่มข้อมูลส่วนการจัดการ

นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะการเชื่อมต่อของโหนดภายในเครือข่ายและการเคลื่อนที่ของโหนดมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอลการหาเส้นทางเป็นอย่างมาก ถ้าลักษณะการเชื่อมต่อของโหนดอยู่ในลักษณะที่ไม่ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมต่อระหว่างโหนดก็ครั้งก็ตามตรงใดที่โหนดต้นทางกับโหนดปลายทางมีโหนดระหว่างทางที่สามารถทำหน้าที่ในการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลให้ได้ กลไกที่เราได้นำเสนอจะเป็นตัวช่วยให้ระบบสามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลภายในระบบได้อย่างต่อเนื่อง ไม่มีการสูญหายของแพ็กเก็ต เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเดิมแม้ว่าจะมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 1-4%

เมื่อเปรียบเทียบเรื่องโอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นในระบบ พบว่ากลไกที่นำเสนอมีโอเวอร์เฮดที่มากกว่าระบบเดิม เนื่องจากการฝากส่งข้อมูลที่ใช้ในการพิจารณาคุณภาพของการเชื่อมต่อ และการเลือกเส้นทางใหม่ของโพรโทคอลการหาเส้นทาง AODV พิจารณาจากจำนวนฮอปที่น้อยกว่าและหมายเลขลำดับของแพ็กเก็ตร้องขอเส้นทาง ทำให้เส้นทางใหม่ที่ทำได้ไม่ใช่เส้นทางที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้กลไกที่เสนอแจ้งโพรโทคอลการหาเส้นทางให้ทำการหาเส้นทางใหม่มากขึ้น แทนที่จะช่วยลดจำนวนการหาเส้นทางให้ลดลงเพื่อช่วยลดปริมาณ โอเวอร์เฮดของระบบ

แม้ว่าระบบจะสามารถตรวจสอบเส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้ล่วงหน้า แต่การตรวจสอบเส้นทางล่วงหน้าจะไม่ช่วยให้การทำงานของระบบดีขึ้นในกรณีที่ไม่มีโหนดตัวกลางที่สามารถรับส่งข้อมูลระหว่างโหนดต้นทางกับโหนดปลายทางได้เนื่องจากไม่สามารถหาเส้นทางได้สำเร็จ การเลือกเส้นทางใหม่โดยพิจารณาทรัพยากรที่มีช่วยยืดระยะเวลาในการหาเส้นทางใหม่ออกไปได้ ลดการเกิดโอเวอร์เฮด ประหยัดทรัพยากรของระบบที่จะใช้ในการหาเส้นทาง

ข้อเสนอแนะ

นอกจากจะใช้วิธีการหาเส้นทางตามโพรโทคอลการหาเส้นทางที่เลือกใช้งานนั้นแล้ว ให้พิจารณาค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวมาเป็นตัวช่วยตัดสินใจในการเลือกเส้นทางใหม่ด้วย เพื่อให้ได้เส้นทางใหม่ที่มีอายุการใช้งานที่นาน, ลดจำนวนครั้งในการหาเส้นทางใหม่และช่วยลดปริมาณโอเวอร์เฮดที่เกิดขึ้นในระบบ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

อนันต์ ผลเพิ่ม. 2550. **แลนไร้สาย**. บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

Abdule, S.M. and S. Hassan. 2010. Divert failure route protocol based on AODV, pp. 67-71. *In Proceedings of the 2nd International Conference on Network Applications, Protocols and Services*. IEEE Computer Society, Alor Seta, Kedah Darul Aman, Malaysia.

_____, _____ and M.M. Kadhum. 2010. An improvement of link failure maintenance in ad hoc wireless network. *IJCSIS* 8(5): 182-188.

Clausen, T. and P. Jacquet. 2003. **Optimization Link State Routing Protocol (OLSR)**. Internet Engineering Task Force. Available source: www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt, October 16, 2007.

Haas, Z.J., M.R. Pearlman and P. Samar. **The Zone Routing Protocol (ZRP) for Ad Hoc Networks**. Internet Engineering Task Force. Available source: <http://tools.ietf.org/html/draft-ietf-manet-zone-zrp-04.txt>, October 16, 2007.

Johnson, D.B. and D.A. Maltz. 1996. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks, pp. 153-181. *In* T. Imielinski and H. Korth, eds. **Mobile Computing**. Kluwer Academic Publishers, United States of America.

Khilar, P.M., J.K. Singh and S. Mahapatra. 2008. Design and evaluation of a failure detection algorithm for large scale ad hoc networks using cluster based approach, pp. 153-158. *In Proceedings of the International Conference on Information Technology 2008*. IEEE Computer Society, Washington D.C., United States of America.

Murthy, S. and J.J. Garcia-Luna-Aceves. 1996. An efficient routing protocol for wireless networks. **Mobile Networks and Applications** 1(2): 183-197.

- Nikaein, N., C. Bonnet and N. Nikaein. 2001. HARP – hybrid ad hoc routing protocol, pp. 281-288. *In Proceedings of the 1st International Symposium on Telecommunications*. Iran Telecom Research Center, Teheran, Iran.
- Oh, H. and P.A. Tan. 2007. A mobility management and routing protocol using tree architecture for internet connectivity of mobile ad hoc networks, pp. 967-972. *In Proceedings of the 16th International Conference on Computer Communications and Networks*. IEEE, Hawaii, United States of America.
- Pandey, M., R. Pack, L. Wang, Q. Duan and D. Zappala. 2008. To repair or not to repair: helping ad hoc routing protocols to distinguish mobility from congestion, pp. 2311-2315. *In Proceedings of the 26th Institute of Electrical and Electronics Engineers International Conference on Computer Communications*. IEEE Communication Society, Anchorage, Alaska, United States of America.
- Park, V.D. and M.S. Corson. 1997. A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks, pp. 1405-1413. *In Proceedings of the 16th Institute of Electrical and Electronics Engineers International Conference on Computer Communications*. IEEE Communication Society, Kobe, Japan.
- Pei, G., M. Gerla and T. Chen. 2000. Fisheye state routing in mobile ad hoc networks, pp. 71-78. *In Proceedings of the International Conference on Distributed Computing Systems Workshop on Wireless Networks and Mobile Computing 2000*. IEEE Computer Society, Taipei, Taiwan.
- Perkins, C.E., E.M. Royer and S.R. Das. 2003. **Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing**. Internet Engineering Task Force. Available source: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>, October 16, 2007.

_____ and P. Bhagwat. 1994. Highly dynamic destination sequenced distance vector routing (DSDV) for mobile computers, pp. 234-244. **In Proceedings of the Association for Computing Machinery Special Interest Group on Data Communication Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications 1994.** ACM, London, England.

Van den berg, E., A. Cisneros, I. Hokelek, K. Parmeswaran, S. Samtani, J. Sucec, J.L. Simbol, A. Staikos and G.B. Rucker. 2010. Improving link failover efficiency in MANETs using modular prediction, pp. 1-6. **In Proceedings of the 33rd Institute of Electrical and Electronics Engineers Sarnoff Symposium.** IEEE, Princeton, New Jersey, United States of America.

Wu, C., K. Kumekawa and T. Kato. 2009. A MANET protocol considering link stability and bandwidth efficiency, pp. 1-8. **In Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers International Conference on Ultra Modern Telecommunications 2009.** IEEE, St. Petersburg, Russia.

Xu, Y., Z. Liu and Y. Cao. 2006. A novel algorithm to detect link failure of AODV based on 802.11 WLAN, pp. 1-4. **In Proceedings of the 1st Institution of Engineering and Technology International Conference on Wireless, Mobile and Multimedia Networks.** IET, Hangzhou, China.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นางสาวสมฤดี กฤษสำโรง
เกิดวันที่ 15 กรกฎาคม 2521
สถานที่เกิด เขตพญาไท จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา วท.บ. (วิทยาการคอมพิวเตอร์) มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ตำแหน่งปัจจุบัน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ
ทุนการศึกษาที่ได้รับ

