กลยุทธ์การจัดเส้นทางในโครงข่ายแอดฮอกเคลื่อนที่เพื่อการรับรู้ข้อมูลจราจรในสภาพแวดล้อมเมือง

นาย นิภัทร พึ่งสวัสดิ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ROUTING STRATEGY IN MOBILE AD HOC NETWORKING FOR TRAFFIC INFORMATION ENQUIRY IN URBAN ENVIRONMENT

Mr. Nipat Poongsawad

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กลยุทธ์การจัดเส้นทางในโครงข่ายแอดฮอกเคลื่อนที่เพื่อการรับรู้ข้อมูลจราจรในสภาพแวดล้อมเมือง
โดย	นาย นิภัทร พึ่งสวัสดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นิภัทร พึ่งสวัสดิ์ : กลยุทธ์การจัดเส้นทางในโครงข่ายแอดฮอกเคลื่อนที่เพื่อการรับรู้ข้อมูลจราจรในสภาพแวดล้อมเมือง. (ROUTING STRATEGY IN MOBILE AD HOC NETWORKING FOR TRAFFIC INFORMATION ENQUIRY IN URBAN ENVIRONMENT) อ. ที่ปรึกษา: ผศ. ดร. ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร, หน้า 112.

เนื่องมาจากทอพอโลยีเปลี่ยนแปลงเร็วเกินกว่าที่จะใช้กลยุทธ์การจัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีที่เคยใช้ได้ผลอย่างมีประสิทธิภาพบนพื้นที่เปิดกว้าง งานวิจัยหลายจึงชิ้นเลือกใช้กลยุทธ์การจัดเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง เพื่อเอาชนะปัญหาสภาพเคลื่อนที่ของโนดที่สูง และการกีดขวางสัญญาณของตึกสูงในการสื่อสารแบบแอดฮอกระหว่างรถยนต์ในสภาพแวดล้อมเมือง แต่อย่างไรก็ตามในสภาวะการจราจรที่เคลื่อนตัวได้ช้า กระบวนการสร้างเส้นทางก่อนการส่งก็ยังคงให้อัตราส่วนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดที่ดี อีกทั้งยังใช้ช่องสัญญาณควบคุมที่น้อยกว่ากลยุทธ์หาเส้นทางแบบอิงตำแหน่งที่ใช้ข้อมูลตำแหน่งอีกด้วย

วิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอแนวคิดการนำคุณลักษณะเด่นของการจัดเส้นทาง ทั้งแบบอิงทอพอโลยีและแบบอิงตำแหน่ง มาเพื่อผสมผสานกันเพื่อเพิ่มอัตราส่วนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดและลดอัตราการละทิ้งแพ็กเกตให้น้อยลง โดยกลยุทธ์การจัดเส้นทางแบบปรับเปลี่ยนได้นี้จะเลือกใช้กระบวนการหาเส้นทางให้เหมาะกับลักษณะเฉพาะการเคลื่อนที่ของรถยนต์บริเวณนั้น ในส่วนแรกของวิทยานิพนธ์เสนอการวิเคราะห์คุณลักษณะเด่นของทั้งกลยุทธ์แบบอิงทอพอโลยี และแบบอิงตำแหน่ง กระบวนการจำกัดพื้นที่การกระจายสัญญาณเพื่อลดอัตราการชนกันของแพ็กเกต เสนอการเลือกใช้กลยุทธ์การจัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีบริเวณที่มีโนดคับคั่ง และมีสภาพการเคลื่อนที่ได้ต่ำ และเลือกใช้กลยุทธ์การจัดเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง ในบริเวณที่มีโนดเบาบางกว่าแต่มีการบังคับตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่ของโนดให้อยู่ในทางเดียวและตรง เช่นการเคลื่อนที่ตามกันของรถยนต์ที่วิ่งจากแยกสู่แยก ทำให้ได้กลยุทธ์การจัดเส้นทางใหม่แบบผสมผสาน (Hybrid routing protocols) ที่ใช้ลักษณะการเคลื่อนที่เป็นหลักเกณฑ์ วิเคราะห์กระบวนการสื่อสารด้วยวิธีการจำลองผลด้วยโปรแกรม NS-2 กลยุทธ์การจัดเส้นทางนี้สามารถช่วยเพิ่มอัตราส่วนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดและลดอัตราการละทิ้งแพ็กเกตให้น้อยลงได้อย่างเห็นได้ชัด

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2550

##4870348821 : MALOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: MANETs (MOBILE AD-HOC NETWORKS), TRAFFIC INFORMATION, ROUTING.

NIPAT POONGSAWAD : ROUTING STRATEGY IN MOBILE AD HOC NETWORKING FOR TRAFFIC INFORMATION ENQUIRY IN URBAN ENVIRONMENT. THESIS ADVISOR: CHAIYACHET SAIVICHIT, Ph.D. pp 112.

Many existing woks have tried to overcome the mobility and non-line-of-sight problems in urban environment wireless ad hoc networks communication using position-based unicast routing algorithm. Due to frequently change in network topology, topology-based algorithms can not provide high packet delivery ratio as there are in open space. However in case of low node mobility, Topology-based still offers moderated packet delivery ratio with lower signaling overhead.

In this thesis, combining between benefit of both topology-based and position-based becomes a new routing protocol that provides a outstanding packet delivery ratio with less dropped packet. This adaptive routing protocol adapts itself with local mobility pattern. The first is for analysis of both topology-based and position-based for its benefits over each other. The protocol defines forwarding zone to reduce packet collision. Using topology-based in dense zone and position-based in the other zone. Make some redundant path and routing decision from existing position information. A new hybrid routing protocol which choose forwarding strategy from node mobility is simulated by NS-2. This protocol can subsequently increase packet delivery ratio with less latency.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering Student's signature นิภัทร พูนสวัสดิ์

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature Chaiy Saiv

Academic year 2007

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเป็นอย่างยิ่งด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เชาวน์ดิศ อัศวกุล ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการวิจัย ตลอดจนความเมตตาและเอาใจใส่ต่อผู้ทำวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้กำเนิด ความรักและความอบอุ่นที่มีให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการสื่อสารซึ่งเป็นสถานที่ทำวิจัย รวมถึงเพื่อน พี่ และน้องนิสิตทุกท่าน รวมถึงกลุ่มพี่จากภาคคอมพิวเตอร์ ที่คอยช่วยเหลือ ให้ความรู้ คำแนะนำ และกำลังใจที่ดี จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ลุล่วงไปด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญภาพ ..... ฎ
สารบัญตาราง ..... ฑ
บทที่
1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 แนวทางของวิทยานิพนธ์ 6
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์ 7
1.4 ขอบเขตการวิจัย 7
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน 8
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8
1.7 ประมวลวิทยานิพนธ์ 8
2 ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่ 10
2.1.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของโครงข่ายแอดฮอกที่เคลื่อนที่แบบสุ่ม 10
2.1.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่ Car following model 13
2.2 พื้นฐานกลไกการควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง 17
2.2.1 โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางชนิดที่ไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Free MAC Protocol) 17
2.2.2 โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางชนิดที่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Based MAC Protocol) 18
2.3 การควบคุมการเข้าถึงตัวกลางตามมาตรฐาน IEEE 802.11 (Medium Access Control หรือ MAC) 19
2.3.1 ปัญหาสถานีซ่อนเร้นและปัญหาสถานีที่รับสัญญาณได้ 22
2.3.2 การแก้ไขปัญหาสถานีซ่อนเร้นและปัญหาสถานีที่รับสัญญาณได้ 24
2.3.3 Inter-Frame Spacing (IFS) 25
2.4 กลยุทธ์การหาเส้นทางในโครงข่ายแอดฮอก 26
2.4.1 จำแนกกลยุทธ์การหาเส้นทางแบบแอดฮอก 26
2.4.2 Ad Hoc On-demand Distance-Vector Routing Protocol (AODV) 30
2.4.3 การหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง (Position-based routing) 34
2.4.3.1 Greedy packet forwarding 35
2.4.3.2 การเลือกส่งต่อแบบจำกัดทิศทาง (Restricted Directional Flooding) 37
2.4.3.3 Contention-based forwarding 37
2.4.3.4 Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR) 39
2.5 สรุป 42
3 การประเมินสมรรถนะของกลยุทธ์ต้นแบบ 43
3.1 สมรรถนะของโปรโตคอลต้นแบบ 44
3.1.1 อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด (Packet delivery ratio) 44
3.1.2 ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกต (Delay time) 47
3.1.3 จำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC (amount of data transmitted on MAC) 50
3.2 สรุป 53

4 กลไกของกลยุทธ์การหาเส้นทางที่นำเสนอ 55
4.1 นิยามพื้นที่จำกัดการกระจายข้อมูลการสื่อสารระหว่างผู้ส่งรายเดียวกับผู้รับรายเดียว (Unicast) พื้นที่โนดคับคั่ง และพื้นที่รอบแยกที่มีส่วนนำแพ็กเกตสู่ปลายทาง 56
4.1.1 พื้นที่ที่มีส่วนร่วมกระจายข้อมูลการสื่อสารระหว่างผู้ส่งรายเดียวกับผู้รับรายเดียว (Forwarding-zone) 58
4.1.2 พื้นที่โนดคับคั่ง (Junction-zone หรือ J-zone) 61
4.1.3 พื้นที่รอบแยกที่มีส่วนนำแพ็กเกตสู่ปลายทาง (Interfacing-zone) 62
4.2 พารามิเตอร์ ลักษณะแพ็กเกต และชนิดของโหมดการส่งที่ใช้ในกลยุทธ์หาเส้นทางนี้ 63
4.2.1 พารามิเตอร์ 63
4.2.2 ชนิดของแพ็กเกต 65
4.2.3 โหมดการทำงาน 65
4.3 กระบวนการบริการเส้นทางพร้อมข้อมูลตำแหน่ง กระบวนการส่งต่อแพ็กเกต และการรักษาเส้นทางและข้อมูลตำแหน่ง 65
4.3.1 กระบวนการเมื่อโนดของโปรโตคอล DVOG รับแพ็กเกต (“recv”) 66
4.3.2 กระบวนการเตรียมเส้นทางของโปรโตคอล DVOG (“rt_resolve”) 68
4.3.3 กระบวนการเมื่อโนดรับแพ็กเกตให้สัญญาณ (Signaling packet) ของโปรโตคอล DVOG (“recvDVOG”) 71
4.3.4 กระบวนการส่งแพ็กเกตร้องขอเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งของโปรโตคอล DVOG (“sendRREQ”) 72
4.3.5 กระบวนการเลือกโนดผู้รับรายถัดไปในการส่งต่อ (forward) ของโปรโตคอล DVOG (“forward”) 78
4.3.6 กระบวนการเมื่อโนดรับแพ็กเกตร้องขอเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งของโปรโตคอล DVOG (“recvRREQ”) 80
4.3.7 กระบวนการเมื่อโนดรับแพ็กเกตตอบเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งของโปรโตคอล DVOG (“recvRREP”) 83
4.3.8 การจัดการเส้นทางเสียหาย 84
4.3.9 การชำระตารางการรับรู้สัญญาณแพร่กระจาย ตารางเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งและ ... 85
4.4 ตัวอย่างการหาเส้นทางของกลยุทธ์หาเส้นทางที่นำเสนอ 86
4.5 สรุป 88

5 การจำลองกลยุทธ์จัดเส้นทางที่นำเสนอ 89
5.1 สภาวะแวดล้อมของการจำลอง 89
5.2 ผลการจำลองและการวิเคราะห์ 90
5.2.1 ปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่าย 90
5.2.1.1 ผลของปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่ายที่มีต่ออัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด 90
5.2.1.2 ผลของปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่ายที่มีต่อค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกต.. 99
5.2.1.3 ผลของปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่ายที่มีต่อจำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้ 103
5.2.2 ปรับเปลี่ยนสภาพเคลื่อนที่ได้เฉลี่ยของโนด 104
5.2.2.1 ผลของปรับเปลี่ยนสภาพเคลื่อนที่ได้เฉลี่ยของโนดในโครงข่ายที่มีต่ออัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด 104
5.2.2.2 ผลของปรับเปลี่ยนสภาพเคลื่อนที่ได้เฉลี่ยของโนดในโครงข่ายที่มีต่อค่าประวิง เวลาเฉลี่ยของแพ็กเกต 105
5.2.1.3 ผลของปรับเปลี่ยนสภาพเคลื่อนที่ได้เฉลี่ยของโนดในโครงข่ายที่มีต่อจำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้ 106
5.3 สรุป 107
6 บทสรุปและข้อเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต 108
6.1 สรุปผลการวิจัย 108
6.2 ข้อเสนองานวิจัยในอนาคต 108
รายการอ้างอิง 110
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 112

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1. รูปแบบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่โดยใช้ Random Walk ใน 2 มิติ 12
รูปที่ 2.2 รูปแบบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่โดยใช้ Random Walk ใน 2 มิติ (ระยะทางคงที่) 12
รูปที่ 2.3 รูปแบบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่โดยใช้ Random Waypoint..... 13
รูปที่ 2.4 ช่วงเวลาของโครงข่ายของโปรโตคอลชนิดที่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ..... 19
รูปที่ 2.5 การเพิ่มแบบ Exponential ของ contention window (CW)..... 21
รูปที่ 2.6. กลไกของ IEEE 802.11 21
รูปที่ 2.7 ปัญหาสถานีซ่อนเร้นและปัญหาสถานีที่มองเห็น 23
รูปที่ 2.8 ปัญหาสถานีซ่อนเร้น 24
รูปที่ 2.9 กลไกของ IEEE 802.11 DCF 25
รูปที่ 2.10 จำแนกประเภทโปรโตคอลหาเส้นทางของโครงข่ายแอดฮอกไร้สาย 27
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการหาเส้นทางของกลยุทธ์ AODV 32
รูปที่ 2.12 การหาเส้นทางแบบ Greedy..... 35
รูปที่ 2.13 การหาเส้นทางแบบ Greedy ขัดข้อง 36
รูปที่ 2.14. ตัวอย่างของพื้นที่ที่กำหนดใน DREAM 37
รูปที่ 2.15. Packet Progress (พิสัยสัญญาณวิทยุ 250 เมตร) 39
รูปที่ 2.16. ตัวอย่างของกราฟเชิงระนาบสองรูปแบบคือ GG-graph และ RNG-graph รูปซ้าย: Full-graph ของระบบที่ประกอบด้วยโนด 200 โนดในบริเวณ 2000x2000 ตารางเมตร ด้วยพิสัยสัญญาณวิทยุ 250 เมตร รูปกลาง: GG-graph ซึ่งเป็นเซตย่อยของ Full-graph รูปขวา: RNG-graph ซึ่งเป็นเซตย่อยของทั้ง GG-graph และ Full-graph..... 40
รูปที่ 2.17. การเดินทางของแพ็กเกตบนด้านของกราฟเชิงระนาบ 41
รูปที่ 3.1 จำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้เมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนโนด..... 45
รูปที่ 3.2 ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตเมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนโนด 47
รูปที่ 3.3 การกระจายตัวของค่าประวิงเวลาแพ็กเกตของ 49
รูปที่ 3.4 การกระจายตัวของค่าประวิงเวลาของแพ็กเกต 49
รูปที่ 3.5 จำนวนข้อมูลในชั้นสื่อสารย่อย MAC เมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนโนด 51
รูปที่ 3.6 จำนวนการชนกันของแพ็กเกตในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC..... 53
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการสร้างพื้นที่กระจายข้อมูล (Forwarding zone) 57

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างที่มีส่วนร่วมกระจายข้อมูลการสื่อสาร 59
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างพื้นที่โนดคับคั่ง เท่ากับ 100 เมตรและ 61
รูปที่ 4.4 Flow chart แสดงกระบวนการเมื่อ 67
รูปที่ 4.5 Flow chart แสดงกระบวนการเตรียมเส้นทาง 69
รูปที่ 4.6 Flow chart แสดงกระบวนการเมื่อโนด 72
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการสร้างเส้นทางพิเศษในบริเวณทางแยกหรือบริเวณโนดคับคั่ง 75
รูปที่ 4.8 Flow chart แสดงกระบวนการส่งแพ็กเกต 76
รูปที่ 4.9 Flow chart แสดงกระบวนการเลือกโนดผู้รับรายถัดไป 77
รูปที่ 4.10 Flow chart แสดงกระบวนการเมื่อโนดรับแพ็กเกตร้องขอเส้นทาง 82
รูปที่ 4.11 Flow chart แสดงกระบวนการเมื่อโนดรับแพ็กเกตตอบเส้นทาง 84
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างโครงข่ายแอดฮอกเคลื่อน 87
รูปที่ 5.1 อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด เมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่าย 91
รูปที่ 5.2 แสดงตัวอย่างการละทิ้งและสูญหายของแพ็กเกตข้อมูล โดยโนดผู้กำเนิดแพ็กเกตและโนดระหว่างทางของโปรโตคอล Greedy ตามตำแหน่งบนพื้นที่จำลอง 92
รูปที่ 5.3 แสดงตัวอย่างการละทิ้งและสูญหายของแพ็กเกตข้อมูล โดยโนดผู้กำเนิดแพ็กเกตและโนดระหว่างทางของโปรโตคอล Greedy ตามตำแหน่งบนพื้นที่จำลอง (ภาพมุมสูง) 93
รูปที่ 5.4 ตัวอย่างสถานการณ์ที่กระบวนการส่งต่อแบบ Greedy ต้องละทิ้งแพ็กเกต (Greedy-failed) 95
รูปที่ 5.5 แสดงตัวอย่างการละทิ้งและสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลโดยโนดผู้กำเนิดแพ็กเกตและโนดระหว่างทางของโปรโตคอล AODV ตามตำแหน่งบนพื้นที่จำลอง 95
รูปที่ 5.6 แสดงตัวอย่างการละทิ้งและสูญหายของแพ็กเกตข้อมูล โดยโนดผู้กำเนิดแพ็กเกตและโนดระหว่างทางของโปรโตคอล AODV ตามตำแหน่งบนพื้นที่จำลอง (ภาพมุมสูง) 96
รูปที่ 5.7 แสดงตัวอย่างการละทิ้งและสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลโดยโนดผู้กำเนิดแพ็กเกตและโนดระหว่างทางของโปรโตคอล DVOG ตามตำแหน่งบนพื้นที่จำลอง 97
รูปที่ 5.8 แสดงตัวอย่างการละทิ้งและสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลโดยโนดผู้กำเนิดแพ็กเกตและโนดระหว่างทางของโปรโตคอล DVOG ตามตำแหน่งบนพื้นที่จำลอง 98
รูปที่ 5.9 ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตเมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่าย 99
รูปที่ 5.10 แสดงตัวอย่างการประวิงเวลาสะสมที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆบนพื้นที่จำลองของโปรโตคอล Greedy 100

รูปที่ 5.11 แสดงตัวอย่างการประวิงเวลาสะสมที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆบนพื้นที่จำลองของโปรโตคอล AODV 101
รูปที่ 5.12 แสดงตัวอย่างการประวิงเวลาสะสมที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆบนพื้นที่จำลองของ 101
รูปที่ 5.13 แสดงตัวอย่างการประวิงเวลาที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆบนพื้นที่จำลอง 102
รูปที่ 5.14 จำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้ 104
รูปที่ 5.15 อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด เมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วเฉลี่ยของโนดในโครงข่าย 105
รูปที่ 5.16 ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตเมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วเฉลี่ยของโนดในโครงข่าย 106
รูปที่ 5.17 จำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้ 107

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ใน IEEE 802.11 22

ตารางที่ 4.1 ตารางพารามิเตอร์ ลักษณะแพ็กเกต และชนิดของโหมดการส่งที่ใช้ในกลยุทธ์หาเส้นทางนี้ 63

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างตารางเส้นทางและตำแหน่งของโนดตัวอย่างหมายเลข 16 70

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างตารางการรับรู้สัญญาณแพร่กระจายของโนดตัวอย่างหมายเลข 17 80

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันนี้มีการใช้งานเทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคมกันอย่างแพร่หลาย การพัฒนาศักยภาพของโครงข่ายจึงเป็นหัวข้อที่นักวิจัยและผู้เชี่ยวชาญให้ความสนใจเป็นอย่างมาก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งที่ได้นำเสนอแนวคิดการพัฒนารูปแบบและวิธีการ ที่จะช่วยพัฒนาให้โครงข่ายโทรคมนาคมมีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยเนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่นำมาศึกษา จากนั้นได้เสนอแนวทางวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขั้นตอนการดำเนินการ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โครงข่ายแอดฮอก (Ad Hoc Network) นั้นแตกต่างจากโครงข่ายมีสาย (wired network) เนื่องจากแต่ละโนดในโครงข่ายมีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ (mobility) อย่างอิสระโดยปราศจากจุดเชื่อมต่อกลาง (access point) ซึ่งเป็นเหตุให้ทอพอโลยีของโครงข่ายแอดฮอกมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา แต่เนื่องจากแต่ละโนดมีความสามารถจัดเส้นทางส่งข้อมูลได้ด้วยตัวโนดเอง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้โครงข่ายแอดฮอก ไม่จำเป็นต้องอาศัยควบคุมตัวกลางเป็นตัวส่งสัญญาณควบคุม ดังเช่นในระบบเซลลูล่าร์ แต่ละโนดจะสามารถสื่อสารกันได้โดยตรงถ้าคู่โนดที่ต้องการสื่อสารกันอยู่ในช่วงพิสัยสัญญาณวิทยุของกันและกัน แต่ถ้าคู่โนดที่ต้องการสื่อสารกันอยู่ห่างกันออกไป การสื่อสารนั้นจำเป็นจะต้องอาศัยโนดอื่นเป็นตัวกลาง (intermediate nodes) ส่งข้อมูลต่อไปยังโนดปลายทาง (destination node)

เนื่องจากในปัจจุบันมีการให้ความสำคัญกับระบบขนส่งที่สะดวก ปลอดภัย และน่าเชื่อถือได้เป็นอย่างมาก จึงมีหน่วยงานมากมายทั้งในประเทศไทยและนานาชาติถูกตั้งขึ้นเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของระบบขนส่ง หลายผลงานวิจัยมุ่งความสนใจไปที่ความปลอดภัยของระบบ ป้องกันความสูญเสียที่อาจเกิดจากอุบัติเหตุเนื่องจากการชนกันอย่างรุนแรงของรถยนต์ การพัฒนาระบบเตือนภัยล่วงหน้าแม้เพียงช่วงเวลาสั้นๆก่อนถึงจุดเกิดเหตุนอกเหนือจากการอาศัยเพียงความสามารถของผู้ขับเพียงลำพัง อีกทั้งในยามที่สภาวะแวดล้อมการขับขี่ไม่ดีนัก เช่นเมื่อมีหมอกลงจัดผู้ขับขี่จะไม่สามารถ

มองเห็นได้อย่างชัดเจนจากระยะไกลทำให้การตัดสินใจควบคุมยานพาหนะนั้นทำได้ยาก ระบบโครงข่ายสื่อสารข้อมูลเพื่อช่วยเหลือผู้ขับนี้จะมีประโยชน์เป็นอย่างมาก

นอกจากนี้แล้วข้อมูลที่อาจจะเป็นที่ต้องการสื่อสารระหว่างรถยนต์นั้น อาจจะเป็นข้อมูลที่ทำให้การใช้ทรัพยาการร่วมกันเช่น ถนน ได้ดีขึ้นหรืออาจจะเป็นข้อมูลที่อำนวยความสะดวกแก่ผู้ขับขี่เช่นการสอบถามข้อมูลการจราจร เช่นการจราจรในตัวเมืองขนาดใหญ่ที่มีสภาพคับคั่งและมิอาจคาดเดาได้เช่นกรุงเทพมหานคร การได้มาซึ่งข้อมูลการจราจรเพื่อการตัดสินใจที่ถูกต้องนั้นมีค่าอย่างมาก เมื่อผู้ขับขี่ต้องการเดินทางสู่จุดหมายหนึ่งๆ ถ้าผู้ขับขี่มีข้อมูลการจราจรบนเส้นทางหลายๆเส้นทางสู่จุดหมายก็จะสามารถเลือกเส้นทางหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับตนได้ ข้อมูลการจราจร ณ ทางแยกทุกแยกและถนนทุกสายที่ต้องผ่านสู่จุดหมาย รวมกันเป็นข้อมูลการจราจรบนเส้นทางหนึ่งๆ บนเส้นทางหนึ่งอาจจะมีทั้งช่วงถนนที่สภาพการจราจรคับคั่ง ขณะที่อีกถนนถัดไปสามารถเคลื่อนตัวได้ดีและสามารถใช้ความเร็วที่สูงกว่า ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องใช้โปรโตคอลจัดเส้นทางที่สามารถจัดเส้นทางส่งต่อข้อมูลได้ดี ทั้งสภาวะที่มีความหนาแน่นโนดสูง รถติด การจราจรคับคั่ง และในสภาวะที่โนดเบาบางหรือบริเวณที่รถยนต์ใช้ความเร็วได้สูง

สำหรับกระบวนการส่งข้อมูลและการจัดเส้นนั้น [1][2][3] เสนอกระบวนการส่งแบบจุดสู่จุดในสภาวะโนดเคลื่อนที่เช่นรถยนต์ แต่เนื่องจากการส่งสัญญาณในสภาวะแวดล้อมแบบเมืองนั้นจะประสบกับปัญหาการขัดขวางการส่งสัญญาณโดยตรงจากจุดสู่จุด เนื่องจากการกีดขวางจากตึกหรือผลของการลดทอนสัญญาณจาก multi-path fading [1][2][3] จึงพยายามจะพัฒนากระบวนการจัดเส้นทางในสภาวะแวดล้อมเช่นนี้ แทนการใช้เพียงกลยุทธ์จัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยี f[5] ข้อมูลตำแหน่งของโนดถูกนำเข้ามาช่วยในการจัดเส้นทาง โดยการติดตั้งอุปกรณ์บอกตำแหน่งเช่น GPS (Global Positioning System) โดยคาดว่าเมื่อใช้ข้อมูลเพิ่มมากขึ้นประสิทธิภาพของกลยุทธ์การจัดเส้นทางก็จะดีขึ้น แต่ก็มีบางสภาวะแวดล้อมที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากสัญญาณจากดาวเทียมเพื่อบอกตำแหน่งได้เช่นเมื่อโนดอยู่บนถนนใต้ทางรถไฟลอยฟ้าในเมืองหลวงที่คับคั่ง อัลกอริทึมหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง (Position-based routing) [4][5] นี้ก็จะไม่สามารถทำงานได้ นอกจากนี้ยังมีการใช้หลักการทางกราฟ [6] เข้ามาประกอบกับข้อมูลตำแหน่งจากโนดข้างเคียงเพื่อสร้างเป็นเส้นทางอ้อมผ่านรอบสิ่งกีดขวาง [6] ทั้งนี้การใช้ประโยชน์จากข้อมูลตำแหน่งของโนดผ่านกระบวนการจัดเส้นทางแบบอิงตำแหน่งจะสามารถลดข้อจำกัดบางประการของกระบวนการหาเส้นทางแบบอิงทอพอโลยี (topology-based routing) ไปได้ เช่นโนดผู้ส่งไม่จำเป็นต้องสร้างเส้นทางที่แน่นอนก่อนการส่งและบำรุงรักษาเส้นทางทุกครั้งที่มีการเลื่อนตำแหน่งของโนด ดั่งเช่นใน [7][8] ได้แสดงการทำงานของกล

ยุทธ์การจัดเส้นทางแบบอิงตำแหน่งที่ใช้หลักการกระจายอำนาจการตัดสินใจ (distributed decision) เลือกโนดผู้ส่งรายถัดไป

หลากหลายงานวิจัยที่มุ่งพัฒนาระบบการจราจรที่ปลอดภัยยิ่งขึ้น นอกนั้นในบางงานวิจัยยังคาดหวังว่าจะสามารถสื่อสารข้อมูลตามความต้องการของผู้ใช้ระบบได้ด้วยโครงข่ายสื่อสารไร้สายนี้อีกด้วยเช่น

งานวิจัย [9] กล่าวถึงการประยุกต์ใช้โปรโตคอลสื่อสารเลเยอร์ต่างๆประกอบกันขึ้นเป็นระบบเตือนภัยการชนกันอย่างรุนแรงของรถยนต์ในชื่อ Cooperative Collision Avoidance โปรโตคอลที่เสนอใช้ในระดับโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC คือ Dedicated Short Range Communication (DSRC) ซึ่งพัฒนาโดย ASTM และ IEEE ในปี 2546 ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการสื่อสารระหว่างรถยนต์กับรถยนต์หรือระหว่างรถยนต์กับเสากระจายสัญญาณริมทางที่ระดับความเร็วเฉลี่ยของรถยนต์บนถนนไฮเวย์ ด้วยพิสัยสัญญาณประมาณ 1000 เมตร ที่คลื่นความถี่ขนาด 5.9 GHz นอกจากนี้ยังกล่าวถึงความเหมาะสมของการใช้ DSRC เหนือการใช้โปรโตคอลเช่น IEEE 802.11 ว่าในสภาวะการเคลื่อนที่ได้ลักษณะนี้โปรโตคอล DSRC ให้เสถียรภาพที่ดีกว่า อีกทั้ง IEEE802.11 ยังประสบปัญหาค่าวิสัยสามารถที่ต่ำในกระบวนการสื่อสารหลายฮอป และยังกล่าวถึงการใช้โปรโตคอล DSRC ร่วมกับโปรโตคอลหาเส้นทางเช่น AODV ว่าจะประสบกับปัญหาค่าประวิงเวลาแพ็กเกตที่สูง ทำยังผลให้การแจ้งเตือนนั้นอาจจะล่าช้าและให้ผลการป้องกันที่ไม่ดีเท่าที่ควร งานวิจัยนี้จึงเสนออีกกระบวนการนึงและให้ผลการจำลองออกมาในรูปแบบของ จำนวนรถที่สามารถหลีกเลี่ยงการชนเป็นลูกโซ่ที่ความเร็วเฉลี่ยและความหนาแน่นรถยนต์ค่าต่างๆ

งานวิจัย [10] เสนอ การสื่อสารข้อมูลระหว่างรถยนต์กับรถยนต์และการสื่อสารสู่ตัวกระจายข้อมูลริมทาง โดยที่ข้อมูลที่สื่อสารนั้นอาจจะเป็นข้อมูลที่ช่วยเสริมการขับขี่เพื่อความปลอดภัย (Driver assistance) ไปจนถึงข้อมูลบริการหรือโฆษณาต่างๆที่อิงตำแหน่ง เช่นตำแหน่งและโปรโมชั่นของร้านค้าบริเวณนั้น นอกจากนั้นแล้วยังทำการทดลองติดตั้งและใช้งานกับกลุ่มรถยนต์จริงจำนวนหกคันอีกด้วย

งานวิจัย [11] เสนอการสื่อสารระหว่างรถยนต์ด้วยกระบวนการหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง ข้อมูลที่สื่อสารเพื่อความปลอดภัยนั้นได้แก่ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆรอบรถยนต์เช่นข้อมูลจากถุงลมนิรภัย ข้อมูลการกระจัดของรถ ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ควบคุมระบบไฟฟ้าและระบบขับเคลื่อน ข้อมูลแรงดันลมยาง ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตรวจจับการชน โปรโตคอลออกแบบสำหรับการสื่อสารแบบการสื่อสารระหว่างผู้ส่งรายเดียวกับผู้รับรายเดียวเพื่อใช้กับรถยนต์ที่วิ่งบนไฮเวย์ โดยใช้แนวคิดการแบ่งถนนออกเป็นเซลล์เสมือนเพื่อจัดตั้งโนดผู้จัดการกลาง คือโนดที่อยู่ใกล้ใจกลางเซลล์เสมือนนั้นที่สุด

อีกทั้งยังใช้แนวคิดการจัดลำดับความสำคัญของแพ็กเกตเพื่อให้ได้ระบบเสริมความปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพสูงสุดอีกด้วย

ส่วนกลุ่มของงานวิจัยที่มุ่งพัฒนากลยุทธ์การจัดเส้นทางได้แก่

งานวิจัย [3] ออกแบบกลยุทธ์การจัดเส้นทางแบบอิงตำแหน่งในชื่อ Geographical Source Routing ใช้โปรแกรมจำลองผลด้วยโนด (รถยนต์) วิ่งอยู่ในสภาพแวดล้อมถนนเมือง เปรียบเทียบตึกและมุมถนนในเมืองเป็นสิ่งกีดขวาง ใช้หลักการ Source Routing เพื่อเลือกกลุ่มของทางแยกที่จะนำแพ็กเกตสู่ปลายทางได้ด้วยระยะทางที่สั้นที่สุด จำลองการเคลื่อนที่ของรถยนต์ด้วย จำลองผลเปรียบเทียบกับอีกสองโปรโตคอลจัดเส้นทางแบบที่ไม่อิงตำแหน่งคือ AODV และ DSR

งานวิจัย [1] ประยุกต์ใช้กลยุทธ์หาเส้นทางแบบ Greedy [7] กับสภาพแวดล้อมเมือง พร้อมกับเสนอกระบวนการจำกัดพื้นที่การกระจายข้อมูล และเรียกระบบนี้ว่ากระบวนการหาเส้นทางแบบไร้การเชื่อมต่อคือไม่มีการสร้างเส้นทางการส่งข้อมูลก่อนการส่ง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับทั้งโปรโตคอล AODV DSR และ LAR

งานวิจัย [6] เสนอการใช้ข้อมูลตำแหน่งของตนร่วมกับข้อมูลจากโนดข้างเคียง เพื่อคำนวณหาเส้นทางอ้อมสิ่งกีดขวางด้วยความช่วยเหลือของข้อมูลตำแหน่งผ่านทฤษฎีกราฟ โดยกระบวนการตัด (disable) บางการเชื่อมต่อกับโนดข้างเคียงให้เหลือเพียงการเชื่อมต่อที่ทำให้ทอพอโลยีของโครงข่ายเป็นกราฟที่ไม่ตัดกันหรือกราฟระนาบ (Planar Graph) โดยวิธี GG (Gabriel Graph) และ RGN (Relative Neighbor Graph) ทำให้ได้การจัดการหาเส้นทางคล้ายการหาเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีแต่สร้างเส้นทางก่อนการส่งจริง สำหรับกระบวนการส่งต่อจัดให้มีโหมดการส่งต่อสองโหมดคือโหมดการส่งต่อแบบ Greedy ในยามที่มีโนดที่เหมาะสมอยู่ในบริเวณมุ่งไปข้างหน้าสู่โนดปลายทาง แต่ถ้าไม่มีจะใช้โหมดการจัดเส้นทางอ้อมคือส่งแพ็กเกตต่อไปยังโนดข้างเคียงหนึ่งที่อยู่ซ้ายมือนับจากเส้นตรงระหว่างโนดผู้ส่งและโนดปลายทาง (Right hand rule) เรื่อยไปจนกว่าจะสามารถกลับสู่โหมด Greedy ได้

งานวิจัย [12] ใช้การหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง มีกระบวนการจำกัดตำแหน่งของกลุ่มผู้รับ โดยให้กลุ่มของโนดผู้รับซึ่งจะเป็นผู้ส่งรายถัดไปอยู่ในบริเวณของรูปทรงกรวย ที่มีรัศมีปากกรวยเท่ากับระยะไกลที่สุดที่โนดปลายทางจะเคลื่อนที่ไปได้ในช่วงเวลาเท่ากับค่าประวิงเวลาเฉลี่ยแพ็กเกตสู่โนดปลายทาง

งานวิจัย [2] กลยุทธ์การบริการตำแหน่ง (Location service) ที่คล้ายคลึงกับกระบวนการส่งต่อ DREAM วิธีการหลักของ LAR คือการจำกัดพื้นที่และจำนวนโนดที่จะส่งต่อแพ็กเกตร้องขอ เมื่อโนดผู้ร้องขอรู้ข้อมูลตำแหน่งที่มีข้อมูลตำแหน่งเก่าที่หมดอายุของโนดปลายทางอยู่แล้ว โดย LAR นิยามพื้นที่การส่งต่อแพ็กเกตร้องขอตำแหน่งออกเป็นสองรูปแบบคือ (1) รูปสี่เหลี่ยมมุมฉากที่มีเส้นทแยงมุมเป็นเส้นตรงระหว่างโนดผู้ส่งและโนดปลายทาง (2) กำหนดให้โนดที่อยู่ไกลจากโนดปลายทางมากกว่าโนดผู้ส่งปัจจุบัน ไม่ส่งต่อแพ็กเกต ซึ่งเป็นกระบวนการเดียวกันกับการส่งต่อของ Greedy

งานวิจัย [7] เสนอการจำกัดพื้นที่เพื่อเลือกโนดผู้ส่งต่อรายถัดไป สามรูปแบบคือ (1) จำกัดพื้นที่การส่งต่อให้แคบกว่ากระบวนการ Greedy เพื่อกำจัดหรือลดการส่งแพ็กเกตซ้ำซ้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ในกระบวนการ basic-Greedy โดยทำให้สองโนดใดๆที่ได้รับสิทธิในการส่งต่อแบบ Greedy สามารถสื่อสารกันได้โดยตรง ส่งผลให้การส่งสัญญาณของโนดผู้ส่งรายแรกไปยกเลิกการส่งของโนดใดๆที่กำลังจะส่งสัญญาณออกต่อมาได้ทัน (2) ขยายการจำกัดพื้นที่จากข้อ (1) ออกเป็นพื้นที่คล้ายสามเหลี่ยม (Reuleaux Triangle) เพื่อเพิ่มจำนวนโนดที่มีโอกาสส่งต่อได้ โดยที่ยังคงแนวคิดที่สองโนดใดๆนั้นยังคงสื่อสารกันได้โดยตรง (3) เพิ่มแพ็กเกต Request To Forward (RTF) / Clear To Forward (CTF) ในกระบวนการจัดเส้นทางเพื่อป้องกันการซ้ำซ้อนของแพ็กเกตที่ถูกยกเลิกไม่ทันเมื่อสองโนดนั้นอยู่ใกล้กันมาก ทำให้การการชนกันของแพ็กเกตในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC นั้นลดลง

งานวิจัย [14] เสนอระเบียบวิธีการจัดเส้นทางแบบสร้างเส้นทางเมื่อต้องการส่งข้อมูล โปรโตคอลมีกระบวนการร้องขอเส้นทาง แต่ละโนดจะเก็บเส้นทางนั้นในแบบ Distance Vector ข้อมูลจะถูกส่งซ้ำทางเดิมจนกว่าจบการส่งข้อมูลหรือเส้นทางนั้นเสียหายไป โปรโตคอลยังกำหนดให้มีกระบวนการซ่อมแซมเส้นทางหากเส้นทางเสียหายและยังมีความต้องการส่งข้อมูลอยู่ แต่ด้วยจุดด้อยของการหาเส้นทางก่อนที่จะส่งข้อมูลนั้น ทำให้โปรโตคอลลักษณะมีค่าประวิงแพ็กเกตสูงเมื่อเทียบกับโปรโตคอลที่เตรียมเส้นทางไว้ก่อนหน้า

งานวิจัย [14] เสนอโปรโตคอลจัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยี ที่ใช้กระบวนการจัดเส้นทางแบบ Link State โปรโตคอลจะแนบเส้นทางทั้งเส้นทางไปกับแพ็กเกตข้อมูลทำให้ได้กระบวนการส่งต่อที่ทนทานหากโครงข่ายมีการเปลี่ยนแปลงทอพอโลยีต่ำ แต่อย่างไรก็ตามการจัดเส้นทางลักษณะนี้ทำให้แพ็กเกตมีขนาดใหญ่มากหากโครงข่ายมีขนาดใหญ่และมีโนดจำนวนมาก

งานวิจัย [15] เสนอการปรับเปลี่ยนการจัดเส้นทางแบบ Bellman-Ford ให้เหมาะสมกับสภาพการเคลื่อนที่ได้ของระบบ MANETs โดยใช้แนวคิดจากโปรโตคอล RIP เพื่อมุ่งลดปัญหาการส่ง

ต่อข้อมูลเป็นลูปเมื่อทอพอโลยีเปลี่ยนแปลงเนื่องจากโนดเคลื่อนที่ ด้วยกระบวนการลำดับหมายเลขของแพ็กเกต

จากงานวิจัยที่ผ่านมานั้นมีบางงานวิจัยที่พยายามพัฒนาโปรโตคอลจัดเส้นทางที่เหมาะสำหรับการจัดเส้นทางในสภาพแวดล้อมเมือง หลายงานวิจัยพยายามใช้โปรโตคอลจัดเส้นทางที่ออกแบบมาสำหรับใช้สื่อสารในพื้นที่เปิดกว้างมาใช้กับการสื่อสารระหว่างรถยนต์หรือรถยนต์กับเสากระจายสัญญาณในเมือง แต่จะเห็นว่ายังไม่มีงายวิจัยใดที่ออกแบบกลยุทธ์จัดเส้นทางโดยนำเอาลักษณะเฉพาะของการเคลื่อนที่ได้ (mobility) ของรถยนต์ในสภาพแวดล้อมเมืองมาใช้พัฒนาโปรโตคอลจัดเส้นทาง

เพื่อสมรรถนะที่ดีกว่าในการส่งต่อข้อมูลในสภาวะการเคลื่อนที่ได้ดังกล่าวข้างต้น วิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งพัฒนาโปรโตคอลจัดเส้นทาง ที่คำนึงถึงลักษณะเฉพาะการเคลื่อนที่ได้ของรถยนต์ในสภาพแวดล้อมเมือง (in-city car-mobility characteristic) คือรถยนต์ในเมืองจะเคลื่อนตัวได้ดีเมื่ออยู่ระหว่างทางแยก (ดีกว่า ณ บริเวณทางแยก) โดยมีความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างรถน้อยเมื่อรถที่วิ่งไปทางเดียวกัน ซึ่งเหมาะกับการจัดเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง และเมื่อรถจอดหยุดนิ่งหรือชะลอตัวเมื่อมาถึงทางแยก เนื่องจากสัญญาณไฟจราจร รถเกือบทุกคันบริเวณแยกจะอยู่ในสภาวะหยุดนิ่งชั่วขณะ ซึ่งเหมาะกับการใช้การจัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยี ดังการประเมินสมรรถนะในบทที่ 3

1.2 แนวทางของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอระเบียบวิธีในการจัดเส้นทางของระบบโครงข่ายสื่อสาร MANETs ด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนกลยุทธ์การหาเส้นทางแบบปรับเปลี่ยน ตามสภาพการเคลื่อนที่ได้บริเวณนั้น เพื่อลดขนาดความยาวของเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีของโปรโตคอลจัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยี และคาดว่าจะลดการละทิ้งแพ็กเกตได้ โปรโตคอลจะแบ่งโซนรับผิดชอบออกเป็นโซนที่ใช้กระบวนจัดเส้นทางด้วยโปรโตคอลจัดเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง ซึ่งใช้โปรโตคอล Greedy เป็นโปรโตคอลต้นแบบ และโซนที่ใช้กระบวนจัดเส้นทางด้วยโปรโตคอลจัดเส้นทางแบบทอพอโลยี ซึ่งใช้โปรโตคอล AODV เป็นโปรโตคอลต้นแบบ การแบ่งโซนนั้นจะพิจารณาตามลักษณะการเคลื่อนที่ได้และความหนาแน่นของโนดเป็นหลัก

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์

พัฒนากลยุทธ์การจัดเส้นทางที่เหมาะสมกับการสื่อสารข้อมูลระหว่างโนดเคลื่อนที่ได้ในระบบแอดฮอก (Mobile Ad-hoc Networks) ภายใต้สภาพแวดล้อมเมือง โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงสมรรถนะของกระบวนการจัดเส้นทางด้วยพารามิเตอร์ดังนี้

1. อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด (Packet delivery ratio)
2. ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกต (Delay time)
3. จำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้ (MAC-Bytes per Successfully Delivered Packet)

1.4 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะศึกษา และออกแบบกลยุทธ์การจัดเส้นทางของโครงข่ายแอดฮอกแบบเคลื่อนที่ในสภาพแวดล้อมเมือง โดยเลือกผสมผสานกลยุทธ์ที่ปรากฏอยู่ให้สอดคล้องกับลักษณะเฉพาะสภาพเคลื่อนที่ของรถยนต์ ที่มีสภาพการเคลื่อนตัวที่แตกต่างกันในแต่ละบริเวณ โดยจะแบ่งสภาพการเคลื่อนที่ของรถยนต์ออกเป็นสองแบบ คือสภาพการเคลื่อนที่ต่ำ ณ บริเวณทางแยก และสภาพการเคลื่อนที่ที่สูงกว่า ณ บริเวณระหว่างแยก แล้วเลือกใช้กลยุทธ์จัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยี ณ บริเวณทางแยก และกลยุทธ์จัดเส้นทางแบบอิงตำแหน่งบริเวณถนนระหว่างแยก ออกแบบการผสานกันของทั้งสองอัลกอริทึมนี้ เพื่อให้เกิดการทำงานที่ไม่ซ้ำซ้อน เปรียบเทียบสมรรถนะของกลยุทธ์นี้กับกลยุทธ์ต้นแบบด้วยพารามิเตอร์ดังนี้ อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด (Packet delivery ratio) ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกต (Delay time) จำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้ (MAC-Bytes per Successfully Delivered Packet)

งานวิจัยจะพิจารณาและออกแบบเพียงหน้าที่ของชั้นการจัดเส้นทาง (Routing layer) เท่านั้น โดยการสนับสนุนของชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC IEEE 802.11 และจะกำหนดให้ขนาดของแพ็กเกตคงที่ไม่ขึ้นกับชนิดของข้อมูล การศึกษาจะใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ของโนดให้ได้รูปแบบการเคลื่อนที่ที่คล้ายคลึงกับการเคลื่อนที่จริงของรถยนต์ในสภาพแวดล้อมเมือง ด้วยโปรแกรม MITSIMLab และจำลองผลการทดลองด้วยโปรแกรม NS-2 ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองชนิดเหตุการณ์แบบเต็มหน่วย (Discrete event simulation) เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะกับโปรโตคอลต้นแบบ

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้ากลยุทธ์การจัดเส้นทาง
2. วิเคราะห์ความเหมาะสมทางทฤษฎีของกลยุทธ์การจัดเส้นทางที่น่าจะสามารถใช้ได้ดีกับสภาพการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในสภาพแวดล้อมเมือง
3. จำลองผลเพื่อพิสูจน์แนวคิดข้างต้น
4. ออกแบบโปรโตคอลจากโปรโตคอลต้นแบบทั้งสอง
5. สรุป วิเคราะห์ผลการจำลองที่ได้ และทำรายงานฉบับสมบูรณ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำกลยุทธ์การจัดเส้นทางนี้ไปใช้กับการสื่อสารข้อมูลระหว่างรถยนต์แบบแอดฮอกในสภาพแวดล้อมเมือง เพื่อให้ได้สมรรถนะการจัดเส้นทางที่ดีและเชื่อถือได้

1.7 ประมวลวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 บท คือ

บทที่ 1 บทนำ: ประกอบด้วยเนื้อหาแนวคิดเบื้องต้นเกี่ยวกับกลยุทธ์การหาเส้นทางที่มีใช้มาในอดีต และความสำคัญของของปัญหาที่พิจารณา

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง: ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานของงานวิจัย โดยจะประกอบด้วยการอธิบายแบบจำลองที่การเคลื่อนที่ของโนด ที่เกี่ยวข้องกับการจำลองผลในวิทยานิพนธ์นี้ กลไกพื้นฐานของการเข้าใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน กลยุทธ์จัดเส้นทางที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 การประเมินสมรรถนะของกลยุทธ์ต้นแบบ: บทนี้ประกอบด้วยการประเมินสมรรถนะของกลยุทธ์การจัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยี ซึ่งใช้โปรโตคอล AODV เป็นโปรโตคอลต้นแบบ และแบบอิงตำแหน่งภูมิศาสตร์ (Greedy) ซึ่งใช้โปรโตคอล Greedy เป็นโปรโตคอลต้นแบบ

บทที่ 4 กลไกของกลยุทธ์การหาเส้นทางที่นำเสนอ: บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของกลยุทธ์ที่นำเสนอ ซึ่งประกอบด้วย การนิยามบริเวณโนดคับคั่ง การจำกัดพื้นที่การกระจายข้อมูล พารามิเตอร์ต่างๆของโปรโตคอล ชนิดของแพ็กเกตที่ใช้ในของโปรโตคอล กระบวนการทำงานของโปรโตคอล รวมทั้งตัวอย่างการทำงานของโปรโตคอล

บทที่5 การจำลองกลยุทธ์หาเส้นทางที่นำเสนอ: บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดการจำลอง ผลการทดลอง พร้อมทั้งผลการทดลองและบทวิเคราะห์ในสองส่วนคือ ปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่าย และปรับเปลี่ยนสภาพเคลื่อนที่ได้เฉลี่ยของโนด

บทที่ 6 บทสรุป: บทสรุปผลการวิจัยและคุณประโยชน์ทั้งหมดที่มีในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้อเสนองานวิจัยในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่

การจำลองแบบการเคลื่อนที่ของโนดนั้นควรจะเหมือนกับการเคลื่อนที่จริงของโนดเคลื่อนที่แบบที่พิจารณา การเปลี่ยนความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ต้องเกิดขึ้นและเกิดในช่วงเวลาที่เหมาะสม ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงการทำงานของแบบจำลองการเคลื่อนที่ทั้งหมด 3 แบบ 2 แบบแรกสำหรับโครงข่ายแอดฮอกที่เคลื่อนที่แบบสุ่มบนพื้นที่เปิดกว้าง และอีกหนึ่งแบบนึงจะกล่าวถึงการเคลื่อนที่แบบจำลองการเคลื่อนที่ Car following model [16]

- Random Walk Mobility Model: เป็นรูปแบบการจำลองการเคลื่อนที่ที่ง่ายซึ่งมีการสุ่มทิศทางและความเร็ว
- Random Waypoint Mobility Model: แบบจำลองการเคลื่อนที่นี้จะมีช่วงเวลาที่โนดเคลื่อนที่จะหยุด ระหว่างการเปลี่ยนทิศทาง และความเร็ว
- Car following model เป็นการจำลองการเคลื่อนที่เสมือนรถยนต์วิ่งตามกันในสภาพแวดล้อมเมือง

2.1.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่ของโครงข่ายแอดฮอกที่เคลื่อนที่แบบสุ่ม

ในส่วนนี้จะอธิบายถึง 2 รูปแบบของแบบจำลองการเคลื่อนที่ ที่ถูกนำเสนอสำหรับประเมินประสิทธิภาพของโครงข่ายแอดฮอก คือ Random Walk Mobility Model และ Random Waypoint Mobility Model ซึ่งเป็นแบบจำลองพื้นฐานที่ถูกใช้โดยนักวิจัยมากสุด

(1) Random Walk: แบบจำลองการเคลื่อนที่นี้ โนดเคลื่อนที่จะเคลื่อนที่จากตำแหน่งปัจจุบันไปยังตำแหน่งใหม่โดยการสุ่มเลือกทิศทางและความเร็วเพื่อที่จะเดินทางไป ความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ใหม่นั้นเลือกแบบสุ่มจากช่วงที่สามารถระบุได้คือ [-speedmin, speedmax] และ [-0, 2¶] ตามลำดับ แต่ละการเคลื่อนที่ใน Random Walk Mobility Model เกิดขึ้นในช่วงค่าคงที่เวลา t หรือค่าคงที่ระยะทางที่เคลื่อนที่ d ไปได้ ที่จุดสิ้นสุดการเคลื่อนที่ค่าทิศทางและความเร็วใหม่จะถูกสุ่ม

อีกครั้ง ถ้าโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ไปชนขอบของพื้นที่จำลองมันจะกระเด้งออกมากลับมุมที่ถูกระบุ (ทิศทางตั้งฉาก) กับทิศทางที่เข้ามาจากนั้นโนดเคลื่อนที่ก็เคลื่อนที่ต่อตามเส้นทางนั้น

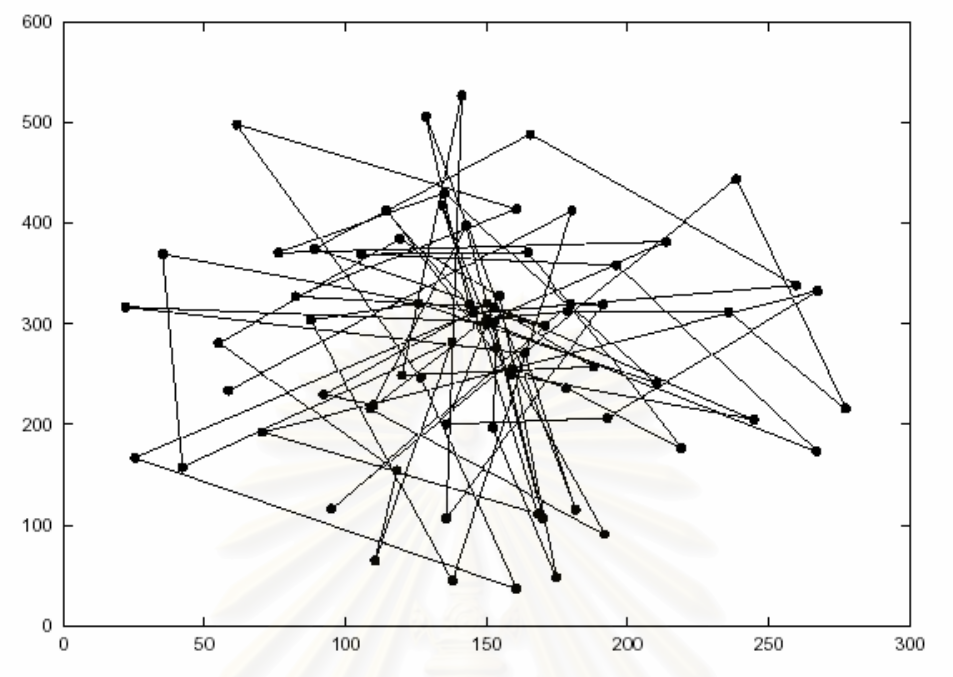
การจำลองแบบ Random Walk Mobility Model ได้ถูกพัฒนาขึ้นในหลายรูปแบบรวมไปถึงใน 1 มิติ 2 มิติ 3 มิติ และ d มิติ ได้มีการพิสูจน์ว่า Random Walk ในหนึ่งหรือสองมิติจะวิ่งกลับเข้าหาจุดเริ่มต้นอย่างแน่นอนด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ 1 คุณสมบัตินี้ทำให้แน่ใจว่า Random Walk แสดงแบบจำลองการเคลื่อนที่ซึ่งการเคลื่อนที่จะอยู่รอบๆจุดเริ่มต้น โดยปราศจากการเคลื่อนที่ที่โนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ไปไกลจากจุดเริ่มต้นแล้วไม่กลับมาที่จุดเดิม

Random Walk Mobility Model 2 มิติ ได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เพราะว่าพื้นผิวโลกถูกจำลองโดยแสดงเป็น 2 มิติ รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของการเคลื่อนที่ที่ใช้แบบจำลอง 2 มิติ โดยโนดเคลื่อนที่จะเดินทางแต่ละครั้งด้วยเวลา 60 วินาทีก่อนเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ ในรูปที่ 2.2 เป็นตัวอย่างการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่โดยการเคลื่อนที่แต่ละครั้งมีระยะทางที่คงที่ก่อนการสุ่มเลือกเส้นทางใหม่

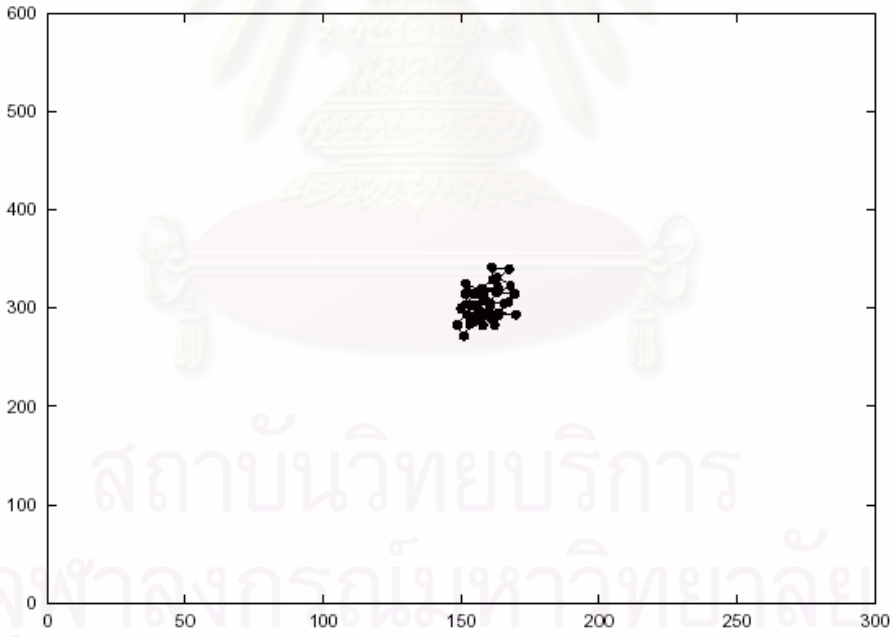
Random Walk Mobility Model เป็นรูปแบบการเคลื่อนที่ที่ไม่มีความจำ (memoryless) เพราะว่าทิศทางและความเร็วการเคลื่อนที่ในปัจจุบันของโนดเคลื่อนที่ไม่ขึ้นกับทิศทางและความเร็วของการเคลื่อนที่ในอดีต คุณสมบัตินี้ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่ไม่สมจริงขึ้น เช่น การหยุดกะทันหัน และการเปลี่ยนทิศทางกะทันหัน

ถ้าระยะเวลาในการเคลื่อนที่แต่ละครั้ง (ระยะทาง) ถูกกำหนดให้มีค่าน้อย จากนั้นแล้วรูปแบบการเคลื่อนที่จะถูกสุ่มอยู่ในพื้นที่ที่จำกัดเป็นส่วนเล็กๆของพื้นที่จำลอง รูปที่ 2 .2 แสดงประเภทการเคลื่อนที่แบบธรรมชาติสถิต (static nature) ตามที่แสดง โนดเคลื่อนที่ไม่เคลื่อนที่ไปไกลจากตำแหน่งเริ่มต้น ดังนั้นถ้าเป้าหมายของการสังเกตประสิทธิภาพเพื่อสำหรับประเมินเครือข่ายกึ่งสถิต จะต้องตั้งค่าคงที่ที่จะเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ให้มีค่าน้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1. รูปแบบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่โดยใช้ Random Walk ใน 2 มิติ



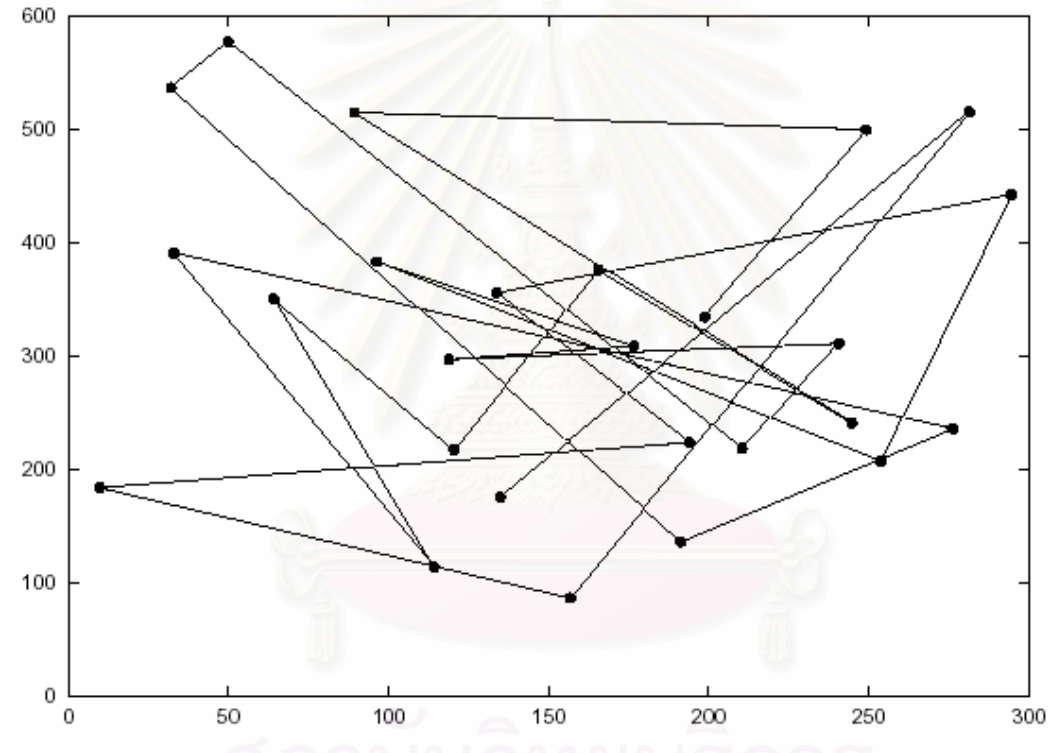
รูปที่ 2.2 รูปแบบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่โดยใช้ Random Walk ใน 2 มิติ (ระยะทางคงที่)

(2) Random Waypoint

Random Waypoint Mobility Model มีช่วงเวลาที่โนดหยุด (pause time) ในระหว่างการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่หรือความเร็ว โนดเคลื่อนที่จะอยู่ที่ที่ตำแหน่งหนึ่งในช่วงเวลาที่กำหนด

เมื่อหมดช่วงเวลานั้นโนดเคลื่อนที่จะสุ่มเลือกตำแหน่งที่จะไปในพื้นที่จำลอง และความเร็วจะสุ่มระหว่าง [-minspeed, maxspeed] หลังจากนั้นโนดเคลื่อนที่จะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ได้เลือกกับค่าความเร็วที่สุ่มได้ เมื่อเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่ง
เป้าหมายโนดเคลื่อนที่จะหยุดที่ระยะเวลาที่กำหนดทแล้วจึงทำการสุ่มเลือกตำแหน่งกับความเร็วอีกครั้ง

รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่โดยใช้ Random Waypoint Mobility Modelรูปแบบการเคลื่อนที่นี้จะคล้ายกับ Random Walk Mobility Model ถ้าช่วงเวลาที่หยุดเป็นศูนย์ และ [-minspeed, maxspeed] = [-speedmin, speedmax]



รูปที่ 2.3 รูปแบบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่โดยใช้ Random Waypoint

2.1.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่ Car following model

ในส่วนนี้จะมุ่งความสนใจไปยังรูปแบบของกระบวนการเดินรถแบบหนึ่ง คือรูปแบบที่รถขับตามๆกันไปบนถนนที่มีช่องทางเดินรถเพียงช่องทางเดียว (Car following) เหตุที่ให้ความสนใจเฉพาะการเดินรถลักษณะนี้เนื่องจากเป็นรูปแบบที่พบเห็นได้มากในเมือง มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ครบสมบูรณ์ และยังเป็นรูปแบบที่ง่ายเมื่อเทียบกับการเดินรถรูปแบบอื่นอีกด้วย แม้กระทั่งในการใน

งานจริงบนถนนที่มาหลายช่องทางเดินแต่มีสภาพการไหลที่คล่องตัว แบบจำลองการเดินรถแบบนี้ก็ยังเป็นแบบจำลองที่ให้ความแม่นยำสูงอยู่เช่นกัน

เมื่อรถเคลื่อนตามกันไปด้วยระยะห่างเฉลี่ย S (Space) และความเร็วเฉลี่ย V (Velocity) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและความเร็วสัมพันธ์กับความจุของช่องทางเดินรถทางเดียว C (Capacity) ดังนี้

$$C = (1000)\frac{V}{S} \tag{2.1}$$

เมื่อ

C คือ ความจุของช่องทางเดินรถทางเดียว (คันต่อชั่วโมง)

V คือ ความเร็วเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

S คือ ระยะห่างเฉลี่ยจากกันชนหลังของรถคันหน้าถึงกันชนหน้าของรถคันหลัง (เมตร)

นอกจากนี้ผลจาการศึกษาของ Highway Capacity Manual (1950) กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและระยะห่างไว้ดังสมการนี้

$$S = \alpha + \beta V + \gamma V^2 \tag{2.2}$$

เมื่อค่าของสัมประสิทธิ์ α β และ γ นั้นเป็นได้หลายค่า โดยความหมายทางกายภาพนั้นได้แก่

α คือ ความยาวยังผลของตัวถังรถ (Effective vehicle length), L (เมตร)

β คือ ช่วงเวลาปฏิกิริยา (Reaction time), T (วินาที)

γ คือ ส่วนกลับของสองเท่าอัตราชะลอสูงสุดของรถคันหลัง (Reciprocal of twice the maximum average deceleration of a following vehicle)

เทอม γV^2 เพิ่มขึ้นมาเพื่อสำรองระยะห่างระหว่างรถ เมื่อรถคันหน้าต้องการเบรคให้หยุดอย่างฉับพลันและไม่ให้เกิดการชน โดยมีค่าปรกติ $\gamma \approx 0.023 \sec^2/ ft$

นอกจากนั้นยังสามารถตีความหมายทางกายภาพของสัมประสิทธิ์ γ ในรูปแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่แม่นยำขึ้นได้ว่า

$$\gamma = 0.5(a_f^{-1} - a_l^{-1}) \quad (2.3)$$

เมื่อ a_f และ a_l คืออัตราชะลอเฉลี่ยสูงสุดของรถคันตามและรถคันนำตามลำดับ สมการนี้ต้องการชี้ให้เห็นถึง การอนุญาติให้ประสิทธิภาพการเบรคของรถทั้งสองนั้นต่างกันได้โดยไม่เกิดการชนกัน

สมการที่ 2.2 นี้สามารถใช้วิเคราะห์ได้จริงกับระบบที่รถแต่ละคันพยายามรักษาความเร็ว และระยะห่างให้คงที่ (การจราจรกระแสคงตัว (Steady-state traffic stream)) การวิเคราะห์รถที่เคลื่อนตามกันไปนี้จะเป็นการเชื่อมต่อการวิเคราะห์แบบจุลภาค (Microscopic approaches) ซึ่งคำนึงถึงพฤติกรรมการเคลื่อนตามกันของรถแต่ละคันเป็นหลักกับการวิเคราะห์แบบมหภาค (Macroscopic approaches) ซึ่งคำนึงถึงการไหลและความคงตัวของการจราจรเป็นหลัก

การพัฒนาแบบจำลอง (Model development)

แบบจำลองรถเคลื่อนตามกันนี้มีสมมุติฐานว่า รถที่เคลื่อนตามกันด้วยระยะห่างศูนย์ถึง 100 หรือ 125 เมตรนั้นจะมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงต่อกัน และยังสมมุติอีกว่าคนขับทุกคนอยู่ในภาวะตื่นตัวสามารถควบคุมระบบขับขี่ และสั่งการควบคุมรถได้อย่างฉับพลัน โดยภารกิจขับขี่บนถนนทางเดินรถเดียวที่ปราศจากการแซงนั้นประกอบด้วยภารกิจย่อยอันได้แก่

1. การรับรู้ (Perception)

คนขับจะรวบรวมข้อมูลรอบข้างที่มาจากการมองเห็นเป็นหลัก ข้อมูลโดยมากจะมาจากการเคลื่อนที่ของรถคันหน้าและสิ่งที่คนขับนั้นรับรู้ได้อย่างรวดเร็วเช่น ความเร็วรถยนต์ ความเร็วสัมพัทธ์ ความเร่ง การเบรคกระทันหัน ระยะห่าง อัตราการเปลี่ยนแปลงระยะห่าง การชน เป็นต้น

2. การตัดสินใจ (Decision making)

การตีความเพื่อตัดสินใจนั้นจะอยู่บนพื้นฐานของความทราบรู้รถยนต์คันนั้นๆ รวมทั้งประสบการณ์ของผู้ขับขี่เอง จากประสบการณ์ในปัจจุบันและที่ผ่านมาจะพัฒนาไปสู่การตอบสนองอัตโนมัติหรือที่เรียกว่า “ทักษะการขับขี่”

3. การควบคุม (Control)

คนขับที่มีทักษะจะสามารถกระทำการควบคุมรถได้อย่างนุ่มนวลและฉับพลัน ผ่านการป้อนกลับแบบพลวัตจากสถานะของรถและถนน

ที่ผ่านมา Tustin (1947) Ellson (1949) และ Taylor (1949) พยายามจะจำลองคนขับออกเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผ่านฟังชันถ่ายโอน แต่ฟังชันถ่ายโอนที่เป็นได้นั้นไม่ได้เป็นได้อย่างเดียว คนขับจะตอบสนองต่อสิ่งเร้าต่างๆกันภายใต้เงื่อนไขและสภาพแวดล้อมที่ต่างๆกัน นอกจากนั้นการตอบสนองยังขึ้นอยู่กับตัวบุคคล คือไม่ได้เป็นการตอบสนองเฉพาะอย่างเมื่อพบสถานการณ์หนึ่งๆ ณ เวลาหนึ่งที่มีสิ่งเร้าเกิดขึ้น ผู้ขับขี่ก็จะตอบสนองดั่งสมการความสัมพันธ์สิ่งเร้าต่อการตอบสนองดังสมการที่ 2.4 ที่ว่า

$$Respond(t) = \lambda \times Stimulus(t) \tag{2.4}$$

เมื่อ λ เป็นตัวประกอบสัดส่วนสัมพันธ์สิ่งเร้าสู่การตอบสนองหรือการควบคุม สิ่งเร้านั้นประกอบด้วยหลายส่วนเช่น ความเร็ว ความเร็วสัมพัทธ์ ระยะห่างระหว่างรถ อัตราเร่ง สมรรถนะของรถยนต์ ระดับกระตุ้นขีดเริ่มของผู้ขับขี่ แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยบางตัวอาจจะส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อการตัดสินใจ ดังนั้นการจำลองมักจะสมมุติว่าผู้ขับพยายามจะตามรถคันหน้าและหลีกเลี่ยงการชน

เนื่องด้วยความเร็วสัมพัทธ์นั้นมีบทบาทมากในการป้องกันการชนและการเร่งหนีอย่างรวดเร็วของรถคันหน้า ดังนั้นจึงให้ตัวแปรความเร็วสัมพัทธ์นั้นเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลกระทบต่อการตอบสนอง ทันทีที่ผู้ขับขี่สังเกตุเห็นสิ่งเร้าผู้ขับขี่จะตอบสนองเมื่อเวลาผ่านไปเพียงเล็กน้อย นั้นคือมีการประวิงเวลา (T) เกิดขึ้น ผู้ขับจะตอบสนองในรูปของความเร่งและความหน่วงโดยการเหยียบคันเร่งหรือเหยียบเบรค ดังนั้นการตอบสนองนั้นจึงสามารถเขียนได้ในรูปของความเร่ง

$$Respond(t) = a_f(t) = \ddot{x}_f(t) \tag{2.5}$$

เมื่อ $x_i(t)$ ตำแหน่งของรถคันที่ i บนถนน ณ เวลา t

จากสมการ 2.4 และ 2.5 จะได้ความสัมพันธ์ของสิ่งเร้าต่อการตอบสนอง (Chandler et al. 1958) เป็น

$$\ddot{x}_f(t) = \lambda \times [\dot{x}_l(t-T) - \dot{x}_f(t-T)] \tag{2.6}$$

ซึ่งเทียบเท่ากับ

$$\ddot{x}_f(t+T) = \lambda \times [\dot{x}_l(t) - \dot{x}_f(t)] \qquad (2.7)$$

สำหรับแบบจำลองที่แม่นยำกว่านั้นต้องการการจำลององค์ประกอบย่อย อันได้แก่ แบบจำลองของคนขับ ปฏิกริยาโต้ตอบระหว่างรถยนต์และถนน ความเชื่อมโยงระหว่างคนขับ และรถยนต์ นอกจากนี้ยังรวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างรถที่พิจารณากับรถที่อยู่ไกลออกไปอีกด้วย

2.2 พื้นฐานกลไกการควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง

เนื่องจากโดยปกติในโครงข่ายสื่อสารไร้สายอาจจะมีผู้ใช้บริการในเวลาเดียวกันเป็นจำนวนมากและด้วยแบนด์วิดท์ในโครงข่ายไร้สายที่มีความจำกัด ดังนั้นโครงข่ายจึงไม่สามารถที่จะให้บริการแก่ผู้ใช้ทั้งหมดได้ในเวลาเดียวกัน ทำให้ต้องมีส่วนที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการเข้าถึงตัวกลางหรือช่องสัญญาณของโครงข่าย ซึ่งส่วนนี้จะเรียกว่า โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (Medium Access Control Protocol หรือ MAC) ซึ่งโปรโตคอล MAC เป็นเพียงหนึ่งในสองโปรโตคอลในชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data link layer) ตามมาตรฐานของแบบจำลองอ้างอิง 7 ชั้น (Open Systems Interconnection (OSI) Reference Model) โดยโปรโตคอลอีกส่วนหนึ่งในชั้นเชื่อมโยงข้อมูลนี้ก็คือ LLC (Logical Link Layer) โปรโตคอล LLC จะมีหน้าที่ต่อร่วม (Interface) โปรโตคอลชั้นโครงข่าย (Network layer protocol) และโปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง ทำให้โปรโตคอลต่างชนิดกันทำงานร่วมกันได้เป็นอย่างดี โปรโตคอล MAC นี้มีความสำคัญในการจัดสรรแบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับผู้ใช้บริการในแต่ละรายที่กำลังมีความต้องการในการส่งข่าวสาร โดยสามารถจำแนกประเภทการเข้าถึงตัวกลางตามลักษณะการทำงานได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

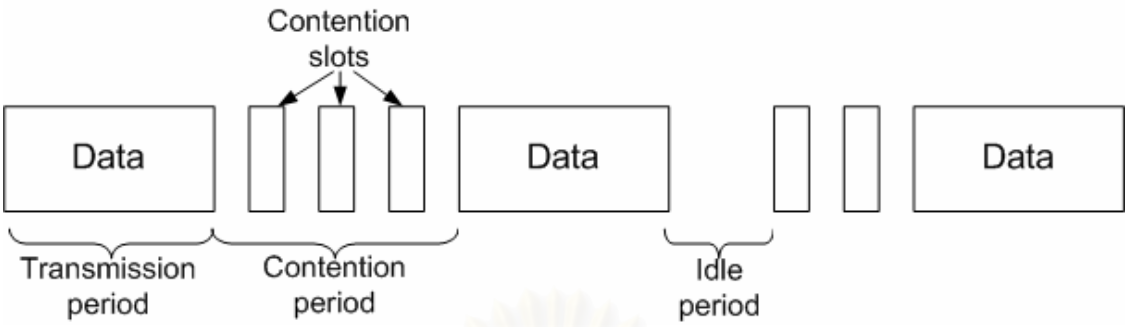
2.2.1 โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางชนิดที่ไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Free MAC Protocol)

โปรโตคอลที่ไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณนี้ โครงข่ายจะจัดสรรช่องสัญญาณที่มีอยู่ให้กับผู้ใช้บริการแต่ละรายแบบตายตัว โดยผู้ใช้บริการแต่ละรายจะได้รับส่วนแบ่งช่องสัญญาณย่อย

หนึ่งช่องซึ่งผู้ใช้บริการแต่ละรายจะสามารถใช้ช่องสัญญาณหนึ่งช่องของตนเท่านั้น ข้อดีของโปรโตคอลประเภทนี้คือ จะไม่เกิดการชนกันของข่าวสารของผู้ใช้บริการแต่ละราย ส่วนข้อเสียของโปรโตคอลแบบนี้คือ ไม่สามารถใช้แบนด์วิดท์ที่มีอย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพสูงสุดได้ เนื่องจากจำนวนผู้ใช้บริการที่สามารถรองรับได้จะมีค่าจำกัดตามค่าจำนวนช่องสัญญาณที่มีอยู่ เมื่อมีผู้ใช้บริการรายใหม่เข้ามายังโครงข่ายขณะที่ไม่มีช่องสัญญาณเหลือ โครงข่ายจะไม่สามารถให้บริการกับผู้ใช้รายใหม่ได้แม้ว่าจะมีผู้ใช้บางรายที่ได้รับการจัดสรรช่องสัญญาณแล้วไม่ได้ส่งข่าวสารใด ๆ ณ เวลานั้นเลยก็ตาม ทำให้เกิดการสูญเสียแบนด์วิดท์ส่วนนั้นไป ตัวอย่างของโปรโตคอลที่ไม่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ เช่น การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access, FDMA) การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access, TDMA) หรือ การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access, CDMA) เป็นต้น

2.2.2 โปรโตคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางชนิดที่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ (Contention-Based MAC Protocol)

โปรโตคอลชนิดที่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณจะไม่มีการจัดสรรช่องสัญญาณอย่างตายตัวให้กับผู้ใช้บริการแต่ละราย ดังนั้นผู้ใช้บริการทุกรายที่ต้องการส่งข่าวสาร ณ เวลาใดก็ตามจะต้องช่วงชิงช่องสัญญาณที่มีอยู่กับผู้ใช้รายอื่น ดังรูปที่ 2.4 ข้อดีของโปรโตคอลประเภทนี้คือ ไม่จำกัดจำนวนผู้ใช้บริการในโครงข่ายและสามารถรองรับทราฟฟิกที่มีขนาดปรับเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลาได้ ส่วนข้อเสียของโปรโตคอลชนิดนี้คือ ในกรณีที่ทราฟฟิกของโครงข่ายมีค่าสูงหรือมีผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมาก ระบบจะขาดเสถียรภาพในการทำงานเนื่องจากการชนกันของแพ็กเกตของผู้ใช้บริการจะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งข้อเสียนี้จะส่งผลให้ไม่สามารถคาดการณ์เวลาประวิงของแพ็กเกตแต่ละแพ็กเกตได้ ตัวอย่างของโปรโตคอลที่มีการแข่งขันในการเข้าถึงตัวกลาง เช่น อะโลฮาแบบดั้งเดิม (Pure ALOHA) อะโลฮาแบบช่อง (Slotted ALOHA) และการเข้าถึงหลายทางแบบตรวจรู้คลื่นพาห์ (Carrier Sense Multiple Access หรือ CSMA) เป็นต้น



รูปที่ 2.4 ช่วงเวลาของโครงข่ายของโปรโตคอลชนิดที่มีการช่วงชิงช่องสัญญาณ

2.3 การควบคุมการเข้าถึงตัวกลางตามมาตรฐาน IEEE 802.11 (Medium Access Control หรือ MAC)

การควบคุมการเข้าถึงตัวกลางตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้แบ่งโหมดการทำงานเป็น 2 โหมดคือ โหมด DCF (Distributed Coordinate Function) เป็นวิธีการเข้าถึงตัวกลางแบบไม่ใช้ศูนย์กลางการควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง โดย DCF จะใช้โปรโตคอล CSMA (Carrier Sense Multiple Access) ร่วมกับ binary exponential back-off เพื่อเป็นการลดการชนกันของข้อมูล ส่วนอีกโหมดคือ โหมด PCF (Point Coordinate Function) เป็นการเข้าถึงตัวกลางแบบนี้เป็นการใช้ศูนย์กลางการควบคุมการเข้าถึง ซึ่งเหมาะสำหรับการส่งข้อมูลแบบ real-time

การเข้าถึงตัวกลางแบบ PCF เป็นโหมดที่อนุญาตให้อุปกรณ์ภายในโครงข่ายสามารถต่อกับโครงข่ายอื่นได้ โดยการเข้าถึงตัวกลางแบบนี้จะใช้ศูนย์กลางหรือจุดเข้าถึงในการรับส่งข้อมูล ในโหมด PCF นี้โครงข่ายประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ประเภทได้แก่ สถานีผู้ใช้ (Client Station) ซึ่งก็คืออุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (Desktop) คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค (Notebook) หรือเครื่องช่วยงานส่วนบุคคลแบบดิจิทัล (PDA) และสถานีแม่ข่ายหรือจุดเข้าถึง ซึ่งทำหน้าที่ต่อสถานีผู้ใช้เข้ากับโครงข่ายอื่น โดยสถานีผู้ใช้จะสามารถรับส่งข้อมูลโดยตรงกับสถานีแม่ข่ายที่ให้บริการแก่สถานีผู้ใช้นั้นอยู่เท่านั้น ส่วนสถานีแม่ข่ายจะทำหน้าที่ส่งต่อ (Forward) ข้อมูลที่ได้รับจากสถานีผู้ใช้ไปยังจุดหมายปลายทาง หรือส่งต่อข้อมูลที่ได้รับจากโครงข่ายอื่นมายังสถานีผู้ใช้ โดย BSS (Basic Service Set) หมายถึงบริเวณของโครงข่าย IEEE 802.11 WLAN ที่มีสถานีแม่ข่าย 1 สถานี ซึ่งสถานีผู้ใช้ภายในขอบเขตของ BSS นี้ทุกสถานีจะต้องสื่อสารข้อมูลผ่านสถานีแม่ข่ายดังกล่าวเท่านั้น และ ESS (Extended Service Set) หมายถึงบริเวณของโครงข่าย IEEE 802.11 WLAN ที่ประกอบด้วย BSS มากกว่า 1 BSS ซึ่งได้รับการต่อเข้าด้วยกัน สถานีผู้ใช้สามารถเคลื่อนย้ายจากพื้นที่บริการของ BSS หนึ่งไปอยู่ในอีก BSS หนึ่งได้

โดย BSS เหล่านี้จะทำการใช้งานข้ามเขต (Roaming) หรือติดต่อสื่อสารกันเพื่อโอนย้ายการให้บริการสำหรับสถานีผู้ใช้ดังกล่าว

ในกรณีของโหมด DCF (Distributed Coordination Function) จะใช้กับโครงข่ายที่ไม่ใช้ศูนย์กลางในการควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง เป็นโครงข่ายที่ไม่มีสถานีแม่ข่ายและไม่มีการต่อกับโครงข่ายอื่น บริเวณของโครงข่าย IEEE 802.11 WLAN ในโหมดนี้จะถูกเรียกว่า Independent Basic Service Set (IBSS) ซึ่งสถานีผู้ใช้หนึ่งสามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกับสถานีผู้ใช้อื่น ๆ ในเขต IBSS เดียวกันได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านสถานีแม่ข่าย แต่สถานีผู้ใช้จะไม่สามารถรับส่งข้อมูลกับโครงข่ายอื่น ๆ ได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า แต่ละสถานีผู้ใช้จะรับส่งข้อมูลได้ภายในระยะการส่งข้อมูลเท่านั้น

วิธีการทำงานของ binary exponential back-off นั้น จะทำงานเมื่อสถานีที่มีเฟรมข้อมูลที่จะส่ง จะทำการตรวจดูช่องสัญญาณจนกระทั่งช่องสัญญาณว่างซึ่งช่วงเวลานี้มีค่าเท่ากับ DIFS (Distributed InterFrame Space) ซึ่งเรื่องช่วงเวลาในการรอนี้จะกล่าวถึงอีกครั้งในหัวข้อต่อไป หลังจากนั้นสถานีต้นทางจะรอเป็นระยะเวลาเท่ากับ random back -off interval หรือ binary exponential back-off จึงจะส่งข้อมูลได้ โดยค่า random back-off interval นี้จะมีค่าอยู่ในช่วง $[0, CW-1]$ โดยที่ CW คือ back-off window size ณ เวลาปัจจุบัน ในการพยายามส่งข้อมูลครั้งแรกนี้ CW จะมีค่าเท่ากับ $CW_{\min}$ (Initial back-off window size) ถ้าการส่งข้อมูลล้มเหลวหรือเกิดการชนกันของแพ็กของข้อมูลขึ้น ค่า CW จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของค่าเดิมจนมีค่าเท่ากับ $CW_{\max}$ (Maximum window size) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 หลังจากนั้นเมื่อสถานีปลายทางได้รับข้อมูลแล้วจะส่ง ACK (Acknowledgement frame) ในช่วงเวลา SIFS (Short InterFrame Space) ในขณะที่สถานีต้นทางจะคอย ACK จากสถานีปลายทาง ถ้าไม่ได้รับ ACK ภายในช่วงเวลา ACK timeout หรือตรวจพบว่ามีเฟรมข้อมูลอื่นส่งข้อมูลอยู่ด้วยก็จะกลับไปทำขั้นตอนการกำหนดค่า random back-off intervalใหม่ซึ่งค่า back-off นี้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.8)

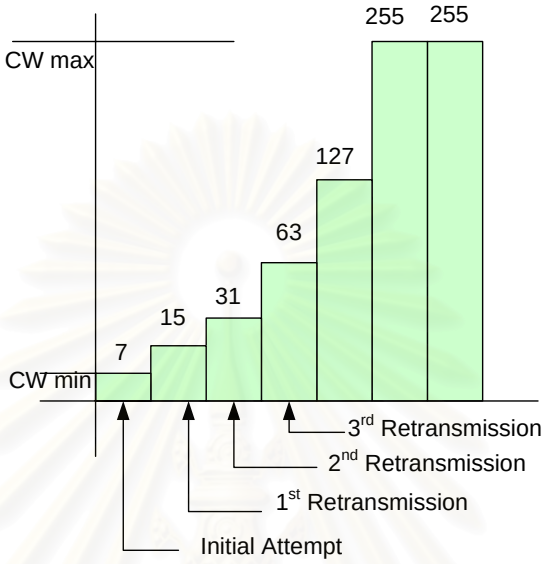
$$back\text{-}off\ \ time\ =\ rand(0, CW) \times slottime \tag{2.8}$$

โดยที่

CW คือ ขนาดความกว้างของหน้าต่างการช่วงชิง (Contention window size)

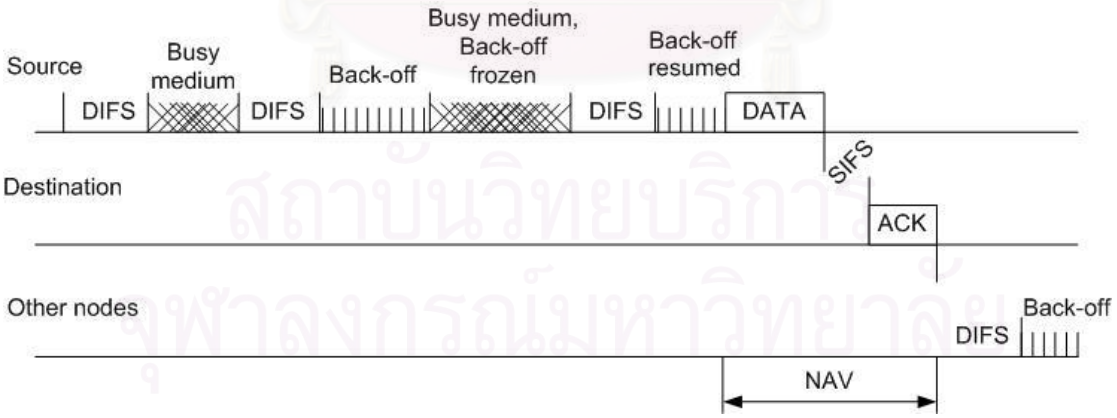
slottime คือ ผลรวมของเวลาที่ต้องใช้ในการตรวจวัดเฟรม เวลาการประวิงในการเดินทาง เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากเครื่องรับไปเป็นเครื่องส่ง และเวลาที่ใช้ในการส่ง

สัญญาณไปยังชั้นควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (MAC layer) เพื่อบอกสถานะของตัวกลาง ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ค่า slottime มีค่าเท่ากับ 20 μsec



รูปที่ 2.5 การเพิ่มแบบ Exponential ของ contention window (CW)

ถ้ามีสถานีอื่นส่งข้อมูลในช่วงเวลา back-off นี้ การนับค่า back-off นี้จะหยุดและจะเริ่มนับอีกครั้งหนึ่งหลังจากช่องสัญญาณว่างเป็นช่วงเวลาเท่ากับ DIFS ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6. กลไกของ IEEE 802.11

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ใน IEEE 802.11

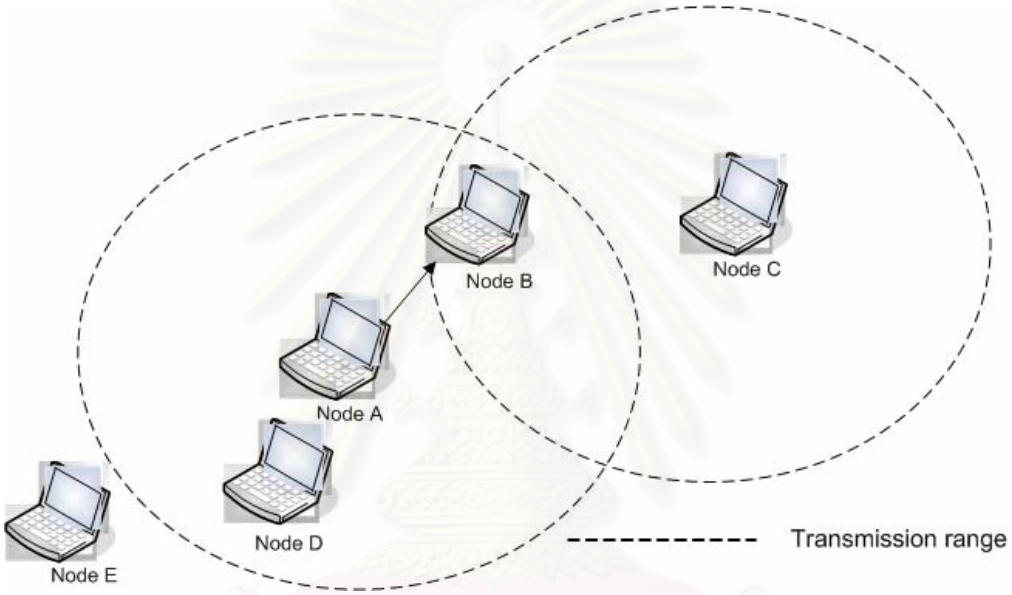
Parameter	802.11 (FHSS)	802.11 (DSSS)	802.11 (IR)	802.11b	802.11a
tslot	50 μsec	20 μsec	8 μsec	20 μsec	9 μsec
SIFS	28 μsec	10 μsec	10 μsec	10 μsec	16 μsec
PIFS	SIFS + tslot				
DIFS	SIFS + (2 * tslot)				
Operating Frequency	2.4 GHz	2.4 GHz	850–950 nm	2.4 GHz	5 GHz
Maximum Data Rate	2 Mbps	2 Mbps	2 Mbps	11 Mbps	54 Mbps
CW_{min}	15	31	63	31	15
CW_{max}	1023	1023	1023	1023	1023

เนื่องจากการสื่อสารแบบแอดฮอก แต่ละโนดสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ฉะนั้น ปัญหาการชนกันของข้อมูล (Collision) จึงเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา ถึงแม้มีการใช้โปรโตคอล CSMA/CA เพื่อช่วยในการจับจองช่องสัญญาณแล้วก็ตาม โดยปัญหาที่สำคัญที่ทำให้เกิดการชนกันของแพ็กเกต คือ ปัญหาสถานีที่ซ่อนเร้นโดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 ปัญหาสถานีซ่อนเร้นและปัญหาสถานีที่รับสัญญาณได้

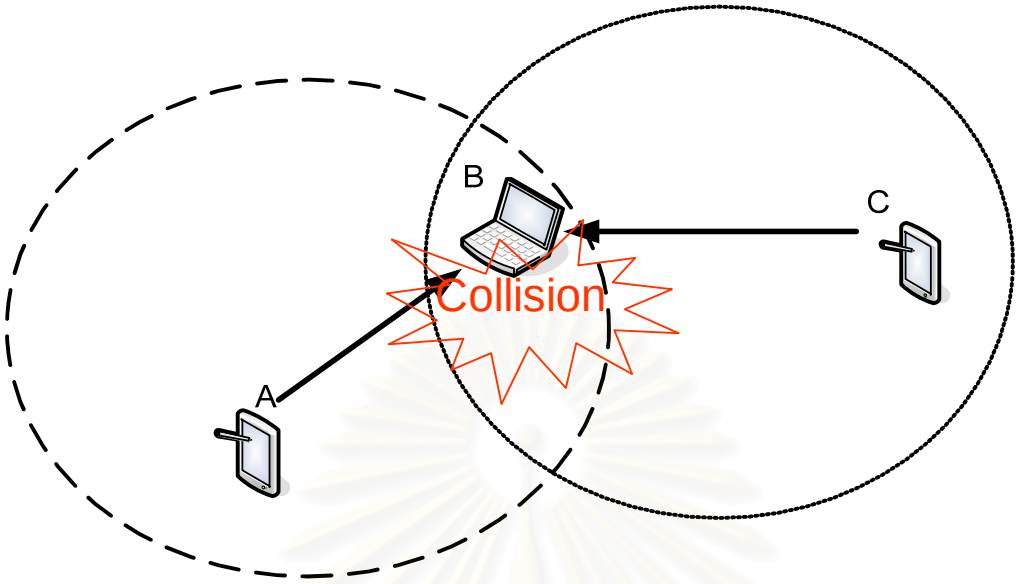
ปัญหาสถานีซ่อนเร้น (Hidden terminal problem) เป็นปัญหาหนึ่งที่เกิดในโครงข่ายไร้สาย ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดจากความไม่เข้าใจกันของโนดในโครงข่ายอันเนื่องมาจากมีโนดที่ต้องการส่งข้อมูลบางโนดไม่ได้อยู่ในขอบเขตการส่งคลื่นสัญญาณของโนดที่กำลังส่งสัญญาณออกมา แต่อยู่ในขอบเขตการส่งคลื่นสัญญาณของโนดรับเดียวกัน และเมื่อส่งข้อมูลออกมาทำให้เกิดการรบกวนหรือทำให้เกิดการชนกันของแพ็กเกตขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.7 จากรูปโนด A กำลังส่งแพ็กเกตไปยังโนด B ในขณะเดียวกันโนด C ตรวจสอบช่องสัญญาณพบว่าช่องสัญญาณว่างจึงส่งแพ็กเกตไปยังโนด B เช่นกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการชนกันของแพ็กเกตที่โนด B ขึ้น

ปัญหาสถานีที่รับสัญญาณได้ (Exposed terminal problem) เป็นปัญหาที่เกิดจากโนดที่ต้องการส่งข้อมูลโนดหนึ่งอยู่ในขอบเขตการส่งคลื่นสัญญาณของโนดที่ส่งข้อมูลอยู่อีกโนดหนึ่ง ทำให้โนดไม่สามารถส่งข้อมูลได้ทั้ง ๆ ที่การส่งข้อมูลทั้งสองไม่ได้อยู่ในเส้นทางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2.7 จากรูปโนด A กำลังส่งข้อมูลไปยังโนด B ในขณะเดียวกันโนด D ต้องการส่งข้อมูลไปยังโนด E แต่เนื่องจากโนด D อยู่ในขอบเขตการส่งคลื่นสัญญาณของโนด A ทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลได้ ซึ่งปัญหานี้ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการส่งแพ็กเกตในโครงข่ายลดลง



รูปที่ 2.7 ปัญหาสถานีซ่อนเร้นและปัญหาสถานีที่มองเห็น

ปัญหาสถานีซ่อนเร้น (Hidden terminal problem) เป็นปัญหาหนึ่งที่เกิดในโครงข่ายไร้สาย ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดจากที่โนดในโครงข่ายมากกว่าหนึ่งโนดส่งแพ็กเกตพร้อมกัน อันเนื่องมาจากเมื่อมีโนดที่ต้องการส่งข้อมูลบางโนด ไม่ได้อยู่ในขอบเขตการส่งคลื่นสัญญาณของโนดที่กำลังส่งสัญญาณออกมา แต่อยู่ในขอบเขตการส่งคลื่นสัญญาณของโนดรับเดียวกัน และเมื่อส่งข้อมูลออกมาส่งผลกระทบหรือทำให้เกิดการชนกันของแพ็กเกตขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.8 จากรูปโนด A กำลังส่งแพ็กเกตไปยังโนด B ในขณะเดียวกันโนด C ตรวจสอบช่องสัญญาณพบว่าช่องสัญญาณว่างจึงส่งแพ็กเกตไปยังโนด B เช่นกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการชนกันของแพ็กเกตที่โนด B ขึ้น



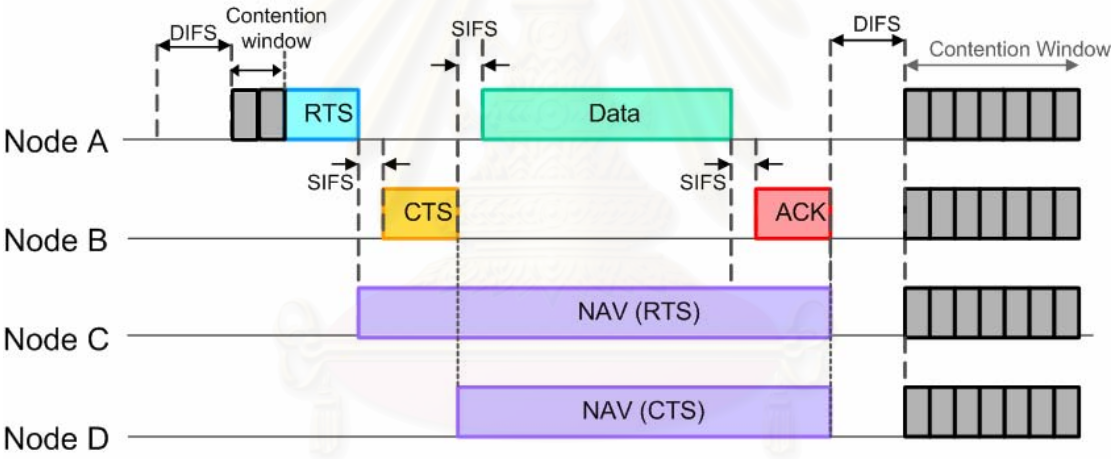
รูปที่ 2.8 ปัญหาสถานีซ่อนเร้น

2.3.2 การแก้ไขปัญหาสถานีซ่อนเร้นและปัญหาสถานีที่รับสัญญาณได้

การตรวจสอบการชนกันของข้อมูลสามารถกระทำได้ โดยการใช้โปรโตคอล CSMA/CD ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่มีประสิทธิภาพในการตรวจสอบช่องสัญญาณอย่างมาก แต่เนื่องจากเทคนิค CSMA/CD ไม่สามารถนำมาใช้กับ WLAN ซึ่งใช้การสื่อสารแบบไร้สายได้ สาเหตุหลักคือการตรวจสอบการชนกันของสัญญาณในระหว่างที่ทำการส่งสัญญาณ จะต้องใช้อุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่เป็น Full Duplex (สามารถรับและส่งสัญญาณในเวลาเดียวกันได้) ซึ่งจะมีราคาแพงกว่าอุปกรณ์รับส่งคลื่นวิทยุที่ไม่สามารถรับและส่งสัญญาณในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้แต่ละสถานีใน BSS หรือ IBSS อาจไม่ได้ยินสัญญาณจากสถานีอื่นทุกสถานีได้

การหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณนั้นตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้ใช้กลไกที่เรียกว่า Virtual Carrier Sense เพื่อแก้ไขปัญหาที่แต่ละโนดใน BSS หรือ IBSS อาจไม่ได้ยินสัญญาณจากโนดอื่นบางโนด กลไกดังกล่าวมีการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.9 เมื่อโนดที่ต้องการจะส่งข้อมูลได้รับสิทธิในการเข้าถึงตัวกลางแล้วจะส่งแพ็กเกตสั้นๆ ที่เรียกว่า RTS (Request To Send) เพื่อเป็นการจองช่องสัญญาณ ก่อนที่จะส่งแพ็กเกตข้อมูลจริง ซึ่งแพ็กเกต RTS ประกอบไปด้วยระยะเวลาที่คาดว่าจะใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ (Duration ID) รวมถึงที่อยู่ของโนดต้นทางและโนดปลายทาง เมื่อโนดปลายทางได้รับแพ็กเกต RTS ก็จะตอบรับกลับมาด้วยการส่งแพ็กเกต CTS (Clear To Send) ซึ่ง

จะบ่งบอกข้อมูลระยะเวลาที่คาดว่าโนดต้นทางจะส่งข้อมูลนั้นจะใช้ช่องสัญญาณจนแล้วเสร็จ หลักการก็คือทุกๆโนดใน BSS หรือ IBSS ควรจะได้รับแพ็กเกต RTS หรือไม่ก็ CTS อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งสองอย่าง เมื่อได้รับ RTS หรือ CTS โนดทุก ๆ โนดจะทราบถึงว่าช่วงเวลาที่ระบุไว้ใน Duration ID ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ช่องสัญญาณจะถูกใช้และทุกโนดที่ยังไม่ได้รับสิทธิในการเข้าถึงตัวกลางจะตั้งค่า NAV (Network Allocation Vector) ให้เท่ากับ Duration ID ซึ่งแสดงถึงช่วงเวลาที่ยังไม่สามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้ หรือเพื่อเป็นการเตือนให้ทราบว่าช่องสื่อสารไม่ว่าง ซึ่งสัญญาณ NAV เป็นเพียงสัญญาณภายในแต่ละโนดที่สมมติขึ้นมาเพื่อบอกให้โนดนั้น ๆ หยุดการส่งสัญญาณในช่วงเวลานั้น ๆ ซึ่งไม่มีการส่งสัญญาณนั้นจริงในโครงข่าย โดยโนดทุก ๆ โนดจะใช้กลไก Virtual Carrier Sense ดังกล่าวผนวกกับการฟังสัญญาณในช่องสัญญาณจริงๆ ในการตรวจสอบว่าช่องสัญญาณว่างอยู่หรือไม่ โนดที่ส่งข้อมูลจะต้องรอรับ ACK (Acknowledgement) จากโนดที่ส่งข้อมูลไปให้ หากไม่ได้รับ ACK กลับมาภายในเวลาที่กำหนดจะถือว่าเกิดการชนของแพ็กเกตขึ้นและต้องทำการส่งข้อมูลเดิมซ้ำต่อไป



รูปที่ 2.9 กลไกของ IEEE 802.11 DCF

2.3.3 Inter-Frame Spacing (IFS)

Inter-Frame Spacing คือ ช่วงเวลาระหว่างการส่งข้อมูลสองเฟรมใด ๆ โดยมีอยู่ด้วยกัน 4 แบบ คือ SIFS, PIFS, DIFS และEIFS ซึ่งช่วงเวลาเหล่านี้ยังเป็นตัวระบุถึงระดับความสำคัญของการเข้าใช้ตัวกลาง โดยค่า IFS ที่น้อยกว่าจะมีระดับความสำคัญของการเข้าใช้ตัวกลางที่สูงกว่า เนื่องจากระยะเวลาที่รอคอยเพื่อที่จะเข้าใช้ตัวกลางมีค่าน้อยกว่านั่นเอง

- Short inter-frame spacing (SIFS) เป็นช่วงเวลาที่สั้นที่สุดใน IFS และมีระดับความสำคัญของการเข้าใช้ส่วนกลางสูงสุด ซึ่งถูกใช้กับข่าวสารควบคุมที่สั้นๆ เช่น การตอบรับสำหรับข้อมูล และการตอบสนองการสอบถามข้อมูล
- PCF Inter-Frame Spacing (PIFS) เป็นเวลาการคอยที่มีค่าอยู่ระหว่าง SIFS และ DIFS ซึ่งใช้กับบริการที่เป็นเวลาจริง ดังนั้นจึงเหมาะกับโพรโตคอลแบบ PCF
- DCF Inter-Frame Spacing (DIFS) ใช้กับสถานีซึ่งทำงานภายใต้โหมด DCF สำหรับการส่งแพ็กเกต
- Extended Inter-Frame Spacing (EIFS) เป็นช่วงเวลาที่ยาวที่สุดของ IFS และเป็นการเข้าใช้ส่วนกลางที่มีระดับความสำคัญต่ำสุด EIFS ใช้สำหรับการเข้าจังหวะใหม่ ในกรณีที่ชั้นสื่อสารกายภาพตรวจเจอการรับเฟรมของชั้น MAC เกิดความผิดพลาด

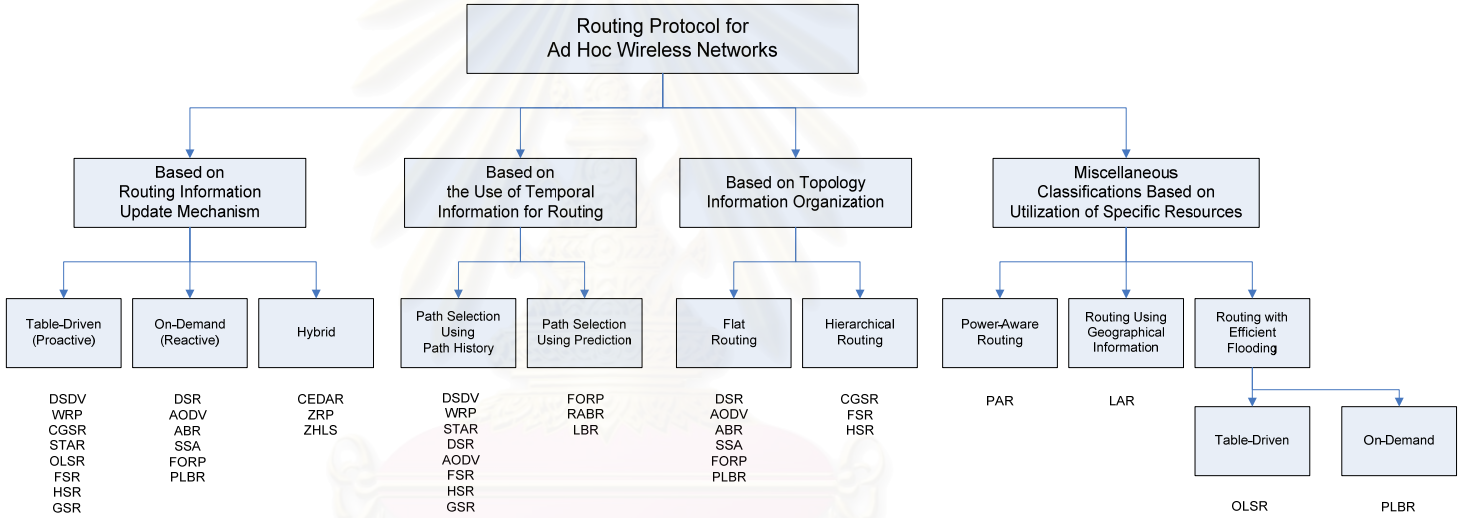
2.4 กลยุทธ์การหาเส้นทางในโครงข่ายแอดฮอก

2.4.1 จำแนกกลยุทธ์การหาเส้นทางแบบแอดฮอก

โปรโตคอลหาเส้นทางของโครงข่ายแอดฮอกไร้สายสามารถจำแนกออกได้หลายลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 บางโปรโตคอลสามารถจัดอยู่ได้ในหลายหมวด โดยสามารถจำแนกได้เป็นสี่หลักเกณฑ์การจำแนกดังนี้

- ตามกระบวนการปรับปรุงข้อมูลการข้อมูลเส้นทาง (Routing information update mechanism)
- ตามการเลือกใช้ข้อมูลในปัจจุบันหรือในอนาคต (Use temporal information for routing)
- ตามลักษณะทอพอโลยี (Routing topology)
- ตามการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรต่างๆ (Utilization of specific resources)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.10 จำแนกประเภทโปรโตคอลหาเส้นทางของโครงข่ายแอดฮอกไร้สาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(1) การจำแนกตามกระบวนการปรับปรุงข้อมูลการข้อมูลเส้นทาง (Routing information update mechanism)

การหาเส้นทางจองโครงข่ายแอดฮอกแบบไร้สายสามารถจำแนกได้เป็นสามประเภทตามกระบวนการปรับปรุงข้อมูลการข้อมูลเส้นทางคือ

1. ประเภทเตรียมเส้นทางไว้ล่วงหน้า (Proactive or Table-driven routing protocols)

โปรโตคอลประเภทนี้ แต่ละโนดจะตระเตรียมและปรับปรุงเส้นทางสู่โนดอื่นๆในรูปของทอพอโลยีโครงข่ายอยู่เสมอ ด้วยการกระจายสัญญาณแลกเปลี่ยนข้อมูลทอพอโลยีกัน โดยทั่วไปมักใช้การกระจายทุกทิศทุกทาง (Floods) ไปทั่วทั้งโครงข่าย และเมื่อไรที่โนดต้องการเส้นทางสู่โนดใดๆ ก็เพียงรันโปรโตคอลหาเส้นทางคำนวณหาเส้นทางจากข้อมูลที่ได้เตรียมไว้ล่วงหน้านั้น

2. ประเภทหาเส้นทางเมื่อต้องการ (Reactive or on-demand routing protocols)

โปรโตคอลประเภทนี้ ไม่มีกระบวนการเก็บรักษาข้อมูลข้อมูลโครงข่าย โปรโตคอลจะหาเส้นทางที่ต้องการเมื่อต้องการด้วยการสร้างการเชื่อมต่อ ดังนี้โนดในโครงข่ายจะไม่แลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางเมื่อไม่มีควมต้องการ

3. ประเภทผสมผสาน (Hybrid routing protocols)

โปรโตคอลนี้จะรวมเอาข้อได้เปรียบของจากทั้งสองโปรโตคอลข้างต้น โนดใดๆที่อยู่ห่างออกไประยะหนึ่งถูกกำหนดให้อยู่ในโซนที่ใช้การหาเส้นทางแบบเตรียมไว้ล่วงหน้า และสำหรับโนดที่ไกลกว่านั้นจัดให้มีการหาเส้นทางเมื่อต้องการ

(2) การจำแนกตามการเลือกใช้ข้อมูลในปัจจุบันหรือในอนาคต (Use temporal information for routing)

โปรโตคอลประเภทนี้จำแนกด้วยเกณฑ์การเลือกใช้ข้อมูลตามกาลเวลา เนื่องจากโครงข่ายแอดฮอกแบบไร้สายนั้นอาจมีสภาพเคลื่อนที่ได้ที่สูงและทำให้มีโอกาสที่ลิงค์จะเสียหายได้มากกว่าโครงข่ายแบบมีสาย ดังนั้นการเลือกใช้ข้อมูลเส้นทางจากประเภทความเก่าใหม่ของข้อมูลนั้นจะ

ส่งผลกระทบเป็นอย่างมากต่ออายุของเส้นทาง โปรโตคอลในจำพวกนี้สามารถแยกออกได้เป็นสองประเภทคือ

1. โปรโตคอลที่เลือกเส้นทางจากข้อมูลในอดีตเป็นหลัก (Routing protocols using past temporal imformation)

โปรโตคอลเลือกที่จะใช้ข้อมูลสถานะของลิงค์ในอดีตหรือในปัจจุบันทำการตัดสินใจเลือกเส้นทาง เช่นอัลกอริทึมรันกระบวนการหาเส้นทางกับข้อมูลการเชื่อมต่อได้ของลิงค์ที่มีอยู่ เส้นทางที่ได้นี้จะมีความเสถียรมากในขณะนั้นและค่าความเสถียรจะลดลงเรื่อยๆตามเวลา การเปลี่ยนแปลงของทอพอโลยีเพียงลิงค์เดียวอาจทำให้เส้นทางนั้นเสียหาย และเป็นผลในต้องทำการบูรณะเส้นทางต่อมา

2. โปรโตคอลที่เลือกเส้นทางจากข้อมูลในอนาคตเป็นหลัก (Routing protocols using future temporal imformation)

โปรโตคอลจะใช้การคาดเดาข้อมูลการเชื่อมต่อได้ของลิงค์ในอนาคตเพื่อคาดเดาหาเส้นทาง ข้อมูลที่มีผลต่ออายุของเส้นทางอันได้แก่ ข้อมูลพลังงานที่เหลือของโนด ข้อมูลอัตราการใช้พลังงาน ข้อมูลการทำนายตำแหน่งในอนาคต ข้อมูลการทำนายสภาวะการเชื่อมต่อของลิงค์ในอนาคต

(3) การจำแนกตามการเลือกเส้นทางจากข้อมูลในอดีตเป็นหลัก (Routing protocols using past temporal information)

ในระบบอินเตอร์เน็ตเลือกใช้กระบวนจัดหาเส้นทางทอพอโลยีเชิงลำดับชั้น เพื่อมุ่งที่จะลดข้อมูลที่เก็บในอุปกรณ์จัดเส้นทางกลาง แต่ในโครงข่ายที่พิรณานี้ด้วยขนาดที่เล็กกว่าระบบอินเตอร์เน็ตมาก ทำให้สามารถเลือกใช้ได้ทั้งแบบทอพอโลยีเชิงราบและเชิงลำดับชั้น

1. การหาเส้นทางแบบทอพอโลยีเชิงราบ (Flat topology routing protocols)

โปรโตคอลชนิดนี้ใช้การลำดับหมายเลขโนดแบบราบเหมือนกับในมาตรฐาน IEEE 802.3 LANs

2. การหาเส้นทางแบบทอพอโลยีเชิงลำดับ (Hierarchical topology routing protocols)

โปรโตคอลที่ใช้กระบวนการหาเส้นทางลักษณะนี้ ใช้การจำลองโครงข่ายเสมือนเชิงลำดับชั้น (Logical hierarchy) ร่วมกับกลยุทธ์การลำดับหมายเลขโนด โดย

การจัดเชิงลำดับชั้นนี้อาจจะแบ่งลำดับชั้นตามพื้นที่ทางภูมิศาสตร์หรือจากจำนวนฮอป เป็นต้น

(4) การจำแนกตามการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรต่างๆ (Utilization of specific resources)

โปรโตคอลจัดเส้นทางที่มีการประยุกต์ใช้เฉพาะด้านนั้น อาจจะมีกระบวนการจัดเส้นทางโดยใช้ประโยชน์จากทรัพยากรในการตัดสินใจจัดเส้นทาง ทรัพยากรดังกล่าวอันได้แก่เช่น

1. **ข้อมูลพลังงานร่วมการตัดสินใจหาเส้นทาง (Power-aware routing)**

   โปรโตคอลมีจุดประสงค์จะลดการใช้พลังงาน อันเป็นปัจจัยที่มีค่าที่สุดของโครงข่ายแอดฮอกบางชนิดเช่น โครงข่ายเซ็นเซอร์ แนวคิดการประหยัดพลังงานนี้อาจจะครอบคลุมเฉพาะพื้นที่หรือทั้งโครงข่ายก็ได้

2. **ข้อมูลตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ร่วมการตัดสินใจหาเส้นทาง (Geographical information assisted routing)**

   โปรโตคอลมุ่งเพิ่มประสิทธิภาพของการบวนการหาเส้นทางและลดจำนวนสัญญาณควบคุมด้วยการใช้ข้อมูลตำแหน่ง

2.4.2 Ad Hoc On-demand Distance-Vector Routing Protocol (AODV)

AODV ใช้แนวคิดแบบ On-demand ในกระบวนการร้องขอเส้นทางคือจะมีกระบวนการร้องขอและสร้างเส้นทางเฉพาะเมื่อมีโนดใดต้องการส่งข้อมูล ใช้กระบวนการหมายเลขลำดับปลายทาง (Destination Sequence Number) ในการบ่งบอกถึงอายุของเส้นทาง ความแตกต่างระหว่างโปรโตคอล AODV และ DSR คือ DSR ใช้กระบวนการหาเส้นทางโดยโนดต้นทาง (Source Routing) แพ็กเกต DSR จะบันทึกข้อมูลเส้นทางทั้งหมดเข้าไปในแพ็กเกตด้วย แต่ใน AODV โนดต้นทางและโนดระหว่างทางจะเก็บข้อมูลหมายเลขของโนดถัดไป (next-hop) สู่โนดปลายทางหนึ่งๆ ในกระบวนการหาเส้นทางแบบ On-demand โนดต้นทางจะกระจาย (floods) แพ็กเกตร้องขอเส้นทาง (Route Request Packet) เมื่อใดที่เส้นทางสู่โนดปลายทางที่ต้องการนั้นใช้การไม่ได้ และเป็นไปได้ที่จะมีหลายเส้นทางหลายเส้นทางจากการร้องขอหนึ่งครั้ง และอีกความต่างที่โดดเด่นของโปรโตคอล AODV เหนือโปรโตคอลอื่นๆคือ โปรโตคอล AODV ใช้หมายเลขลำดับปลายทางเพื่อบอกถึงความ

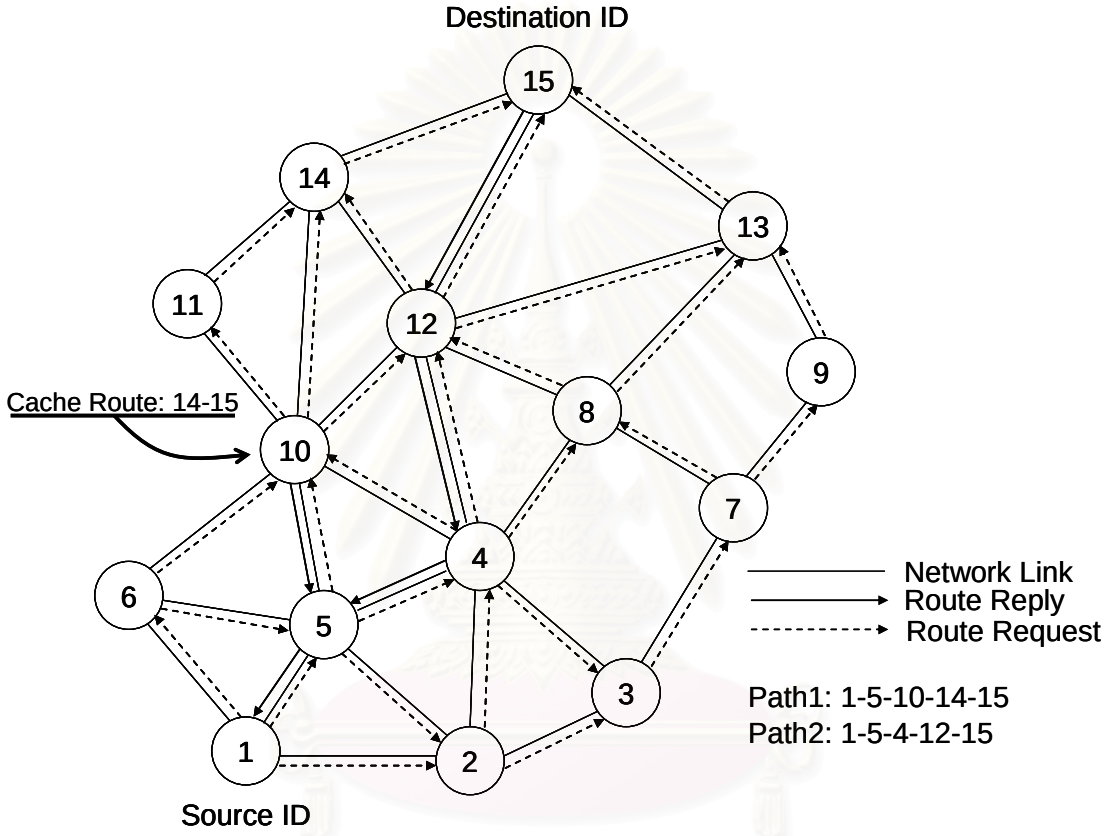
ใหม่ของเส้นทาง ดังนั้นโนดจะปรับปรุงเส้นทางตามแพ็กเกตที่ได้รับมาเมื่อหมายเลขลำดับปลายทางในแพ็กเกตที่รับมามีค่ามากกว่าหลายเลขลำดับปลายทางของเส้นทางเดียวกับที่เก็บไว้ในโนด

แพ็กเกตร้องขอเส้นทางหนึ่งๆ จะประกอบด้วยหมายลขโนดผู้ร้องขอ (Source ID) หมายเลขโนดปลายทาง (Destination ID) หมายเลขลำดับต้นทาง (Source Sequence Number) หมายเลขลำดับปลายทาง (Destination Sequence Number) หมายเลขลำดับการกระจายสัญาณ (Broadcast ID) และค่าชีวิตแพ็กเกต (Time-To-Live (TTL))

หมายเลขโนดปลายทางจะบอกถึงความใหม่ของเส้นทางสู่โนดปลายทางที่โนดต้นทางรับรู้ เมื่อโนดระหว่างทางได้รับแพ็กเกตร้องขอเส้นทาง โนดจะเลือกที่จะส่งต่อแพ็กเกตหรือส่งแพ็กเกตตอบเส้นทาง (Route Reply Packet) ถ้ามีเส้นทางสู่โนดปลายทางที่ร้องขอ การตัดสินว่าเส้นทางที่โนดระหว่างทางนั้นมีจะใช้ได้หรือไม่ จะพิจารณาจากหมายเลขลำดับปลายทางของเส้นทางที่มีเทียบกับหมายเลขลำดับปลายทางในแพ็กเกตร้องเส้นทาง ในกรณีถ้าได้รับแพ็กเกตร้องขอหลายครั้ง ถ้าพิจารณาคู่หมายเลขแพ็กเกตและหมายเลขโนดผู้ร้องขอแล้วเห็นว่าเป็นแพ็กเกตซ้ำ โนดจะละทิ้ง (drop) แพ็กเกตซ้ำซ้อนนั้น โนดระหว่างทางหรือโนดปลายทางเองที่มีเส้นทางที่ใหม่และใช้การได้มีสิทธิที่จะส่งแพ็กเกตตอบเส้นทางสู่โนดผู้ร้องขอ โนดระหว่างทางเมื่อได้รับแพ็กเกตร้องขอเส้นทางจะบันทึกหมายเลยการกระจายข้อมูลและหมายเลขโนดก่อนหน้าผู้ส่งแพ็กเกตให้เอาไว้ แล้วจะลบข้อมูลนี้ถ้าไม่ได้รับแพ็กเกตตอบเส้นทางภายในเวลาที่กำหนด กระบวนการนี้ช่วยให้โนดระหว่างทางทราบว่าตนนั้นไม่ได้อยู่ในเส้นทางหลัก (Active path) จากโนดต้นทางสู่โนดปลายทาง และเมื่อโนดระหว่างทางรับแพ็กเกตตอบเส้นทางโนดจะเก็บข้อมูลหมายเลขของโนดผู้ส่งแพ็กเกตมาให้ก่อนหน้านี้ไว้เพื่อจะใช้เป็นเส้นทางในการส่งแพ็กเกตสู่โนดปลายทางต่อไป

รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างของกระบวนการหาเส้นทาง โนดหมายเลข 1 เริ่มต้นกระบวนการหาเส้นทางโดยสร้างและกระจายแพ็กเกตร้องขอเส้นทางสู่โนดหมายเลข 15 สมมุติให้แพ็กเกตมีค่าหมายเลขลำดับปลายทางเท่ากับ 3 และหมายเลขลำดับต้นทางเท่ากับ 1 เมื่อโนด 2 5 และ 6 ได้รับแพ็กเกตจะตวจสอบเส้นทางสู่โนดปลายทางที่ร้องขอ ในกรณีที่ไม่มีเส้นทางโนดจะกระจายแพ็กเกตสู่โนดข้างเคียงต่อไป ในที่นี้โนดหมายเลข 3 4 และ 10 เป็นโนดข้างเคียงขอโนด 2 5 และ 6 และสมมุติว่าทั้งโนดหมายเลข 3 และ 10 มีเส้นทางโดยโนดหมายเลข 3 มีค่าหลายเลขลำดับปลายทางเท่ากับ 1 และ 4 สำหรับโนดหมายเลข 10 โดยผ่านเส้นทาง 3-7-9-13-15 และ 10-14-15 ตามลำดับ เนื่องจากโนดหมายเลข 3 มีเส้นทางสู่โนดหมายเลข 15 ที่เก่ากว่าที่โนดหมายเลข 1 มีอยู่ แต่โนดหมายเลข 10 มีเส้นทางที่ใหม่ และถ้าแพ็กเกตร้องขอเส้นทางถึงโนดปลายทางผ่านเส้นทาง 4-12-15 หรือเส้นทางอื่น โนดปลายทางหมายเลข 15 จะส่งแพ็กเกตตอบเส้นทาง ในกรณีนี้โนดผู้ร้องขอจะ

ได้รับแพ็กเกตตอบเส้นทางหลายครั้ง โนดระหว่างทางทั้งหมดที่ได้รับแพ็กเกตตอบเส้นทางจะปรับปรุงเส้นทางของตนถ้าข้อมูลในแพ็กเกตนั้นใหม่กว่า (ตรวจสอบจากค่าหมายเลขลำดับปลายทาง) และถ้าหมายเลขลำดับปลายทางมีค่าเท่ากับโนดจะปรับปรุงเส้นทางถ้าเส้นทางใหม่นั้นมีจำนวนฮอปจากโนดต้นทางสู่โนดปลายทางที่น้อยกว่า



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการหาเส้นทางของกลยุทธ์ AODV

AODV ไม่มีกระบวนการซ่อมแซมเส้นทางแบบเพียงบริเวณที่เส้นทางเสียหาย (locally repair) แต่เมื่อใดที่มีการแจ้งเตือนว่าลิงค์เสียหายจากกระบวนการกระจายแพ็กเกตทักทายยืนยันสภาวะการเชื่อมต่อหรือผ่านการแจ้งเตือนผ่านชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC โนดปลายทั้งสองข้างจะได้รับรู้ (โนดต้นทางและโนดปลายทาง) เมื่อใดที่โนดต้นทางรับรู้ถึงความเสียหายนี้ โนดจะสร้างเส้นทางใหม่ถ้ายังมีความต้องการจากเลเยอร์บน แต่ถ้าโนดระหว่างทางเป็นผู้รับรู้ลิงค์เสียหายแล้ว โนดนั้นจะแจ้งเตือนโนดปลายด้วยการส่งแพ็กเกตตอบเส้นทางชนิดหนึ่งที่มีค่าฮอปเท่ากับอนันต์

จากรูปที่ 2.11 สมมุติลิงค์ระหว่างโนดหมายเลข 4 และ 5 เสียหายทั้งสองโนดนี้จะแจ้งเตือนไปยังโนดปลายของฝั่งตน โนดปลายทั้งสองจะลบเส้นทางที่เสียหายนั้นออก โนดต้นทางอาจทำการสร้างเส้นทางใหม่ด้วยหมายเลขการกระจายสัญญาณใหม่และหมายเลขลำดับปลายทางเดิม

การป้องกันไม่ให้โนดใช้เส้นทางผ่านไปยังข่ายเชื่อมโยงที่เกิดข้อผิดพลาดดังกล่าวอีก ทุกโนดที่ได้ข้อความจากแพ็กเกต RERR จะต้องทำการตรวจสอบในตารางเส้นทางเดินของข้อมูลของตนเองว่ามีเส้นทางใดบ้างที่ต้องใช้โนดดังกล่าวเพื่อไปยังโนดปลายทาง ถ้าตรวจพบว่ามีเส้นทางดังกล่าวโนดจะทำการลบเส้นทางนั้นละทิ้งไป ในส่วนขั้นตอนในการตรวจสอบสถานะของข่ายเชื่อมโยงว่าเกิดความเสียหายหรือไม่นั้นมีด้วยกัน 2 วิธีคือ การใช้ความสามารถของกระบวนการในชั้นข่ายเชื่อมโยงและชั้นเครือข่าย

วิธีแรกคือ ใช้การแพร่กระจายแพ็กเกตข่าวสารทักทาย (Hello message) โนดจะทำการแพร่กระจาย hello message ไปยังโนดข้างรอบข้างซึ่งประกอบไปด้วย ข้อมูลเฉพาะตัวของโนดนั้นและหมายเลขแสดงลำดับของโนด โดยที่ค่าหมายเลขแสดงลำดับของโนดจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงสำหรับการส่ง hello message โดย hello message ได้ถูกป้องกันไม่ให้มีการทำการแพร่กระจายแพ็กเกตต่อไปอีกครั้ง หลังจากได้รับมาในครั้งแรกด้วยการตั้งค่า Time To Live (TTL) เท่ากับ 1 วินาที ภายหลังจากที่โนดรอบข้างได้รับแพ็กเกตดังกล่าวแล้วโนดก็จะต้องทำการปรับปรุงข้อมูลการเชื่อมต่อท้องถิ่น (Local Connectivity) แต่ถ้าโนดไม่ได้รับ hello message เป็นจำนวนเท่ากับ allowed_hello_loss ติดต่อกันหรือช่วงเวลาที่กำหนดจากโนดรอบข้าง แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมต่อท้องถิ่นจากเดิมออกไป (ข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหายหรือไม่มีการเชื่อมต่อกัน) ซึ่งถ้าเป็นกรณีที่ไม่ได้รับจากโนดรอบข้างที่ใช้งานในการส่งข้อมูลอยู่ โนดก็จะตัดสินว่าข่ายเชื่อมโยงถัดไปเกิดความเสียหายไม่สามารถส่งข้อมูลต่อไปได้

วิธีที่สองคือ การใช้ link-layer notification ซึ่งเป็นกระบวนการจากมาตรฐาน IEEE 802.11 โดยแต่ละครั้งที่มีการส่งแพ็กเกตไปยังโนดถัดไปที่กำลังใช้งานอยู่ โนดจะต้องมีการตรวจสอบการเชื่อมต่อด้วยวิธีต่างๆ เช่น การไม่ได้รับแพ็กเกตการตอบรับจากการส่ง (Acknowledge) หรือ การไม่ได้รับแพ็กเกต Clear to send (CTS) หลังจากที่ส่ง Ready To Send (RTS) ออกไปแล้ว

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเลือกใช้วิธีแรกคือ การใช้แพ็กเกตข่าวสารทักทายในการตรวจจับความผิดพลาดของข่ายเชื่อมโยงและตรวจสอบสถานะของการเชื่อมต่อแบบท้องถิ่น เนื่องจากวิธีนี้ทำให้โนดสามารถตรวจจับความผิดพลาดได้อย่างรวดเร็วแตกต่างจากวิธีที่สองที่จะต้องรอจนกว่าจะมีการรับส่งแพ็กเกตระหว่างโนดขึ้นจริง ๆ จึงจะสามารถตรวจจับข้อผิดพลาดได้ ซึ่งผลดังกล่าวอาจจะทำให้เกิดการสูญเสียของแพ็กเกตข้อมูลเป็นจำนวนมาก เมื่อเทียบกับวิธีการแบบแพ็กเกตข่าวสาร

ทักทายที่จะต้องใช้จำนวนโอเวอร์เฮด (Overhead) แพ็กเกตมากขึ้นเพื่อตรวจจับการทำงานดังกล่าว นอกจากนั้นวิธีที่สองเป็นวิธีที่ไม่มีความสามารถในการพิจารณาว่าโนดใดเป็นโนดรอบข้าง (มีการเชื่อมต่อแบบท้องถิ่น) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการทำให้โปรโตคอลการค้นหาเส้นทางมีประสิทธิภาพในด้านการอนุรักษ์มากขึ้น

2.4.3 การหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง (Position-based routing)

จากประโยชน์ข้อมูลตำแหน่งของโนด (ทุกโนดทราบตำแหน่งของตน) กระบวนการหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง (Position-based routing) นี้สามารถลดข้อจำกัดบางประการของกระบวนการหาเส้นทางแบบอิงทอพอโลยี (Topology-based routing) ได้ เพราะกระบวนการหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่งนี้ไม่ต้องอาศัยการสร้างและรักษาเส้นทาง นอกจากนี้โนดยังไม่ต้องเก็บและอัพเดตตารางเส้นทางอีกด้วย โดยแต่ละโนดทราบตำแหน่งของตนผ่านทางอุปกรณ์บริการตำแหน่ง (positioning-service) เช่น GPS เป็นต้น

กระบวนการหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่งประกอบด้วยสองขั้นตอนคือ

(1) กระบวนการบริการตำแหน่ง (Location service)

(2) การส่งต่อแพ็กเกต (Forwarding packet)

กระบวนการบริการตำแหน่ง (Location service) ทำให้ผู้ส่งทราบถึงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของโนดปลายทางที่ต้องการสื่อสารด้วย และใช้ตำแหน่งนั้นแนบไปพร้อมแพ็กเกตข้อมูลส่งสู่โนดปลายทาง ส่วนการตัดสินใจเลือกเส้นทางนั้นขึ้นกับตำแหน่งของโนดปลายทางที่แนบมากับแพ็กเกต และตำแหน่งโนดข้างเคียงของโนดที่กำลังส่ง

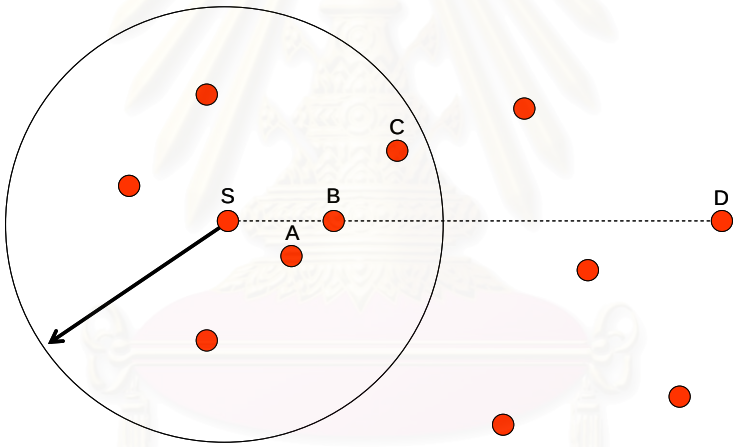
เนื่องจากในโปรโตคอลที่จะพัฒนาขึ้นนี้ ไม่ได้มุ่งพัฒนากระบวนการบริการตำแหน่ง จึงจะไม่กล่าวถึงการจำแนกประเภทของการบริการตำแหน่งในที่นี้

และเมื่อโนดผู้ส่งมีข้อมูลตำแหน่งของโนดปลายทางแล้วก็จะแนบข้อมูลตำแหน่งของโนดปลายทางนี้ไปกับแพ็กเกตข้อมูล เมื่อโนดใดรับที่โนดระหว่างทางรับแพ็กเกตนี้ก็จะสามารถทราบถึงพิกัดของโนดปลายทางได้โดยไม่ต้องใช้บริการตำแหน่งอีก ตราบใดที่ข้อมูลตำแหน่งนั้นยังมีความเที่ยงตรงอยู่ ในบางชนิดของกลยุทธ์การจัดเส้นทางแบบอิงตำแหน่งนั้น มีการใช้กระบวนการ piggyback เพื่อปรับปรุงตำแหน่งของโนดปลายทางอยู่เสมอ โดยการแนบตำแหน่งล่าสุดของโนด

ปลายทางมากับแพ็กเกตที่มีทิศทางจากโนดปลายทางสู่โนดต้นทาง เช่นแพ็กเกต Acknowledgement โดยตัวอย่างการส่งต่อแพ็กเกต (Forwarding strategies) ของกลยุทธ์หาเส้นทางที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

2.4.3.1 Greedy packet forwarding

โนดผู้ส่งจะบันทึกตำแหน่งของโนดผู้ปลายทาง ที่ได้มาจากบริการตำแหน่งไปพร้อมแพ็กเกต เมื่อโนดระหว่างทางโนดถัดไป (next hop) ที่ถูกระบุในแพ็กเกต ก็จะส่งต่อไปยังโนดถัดไปที่อยู่ในทิศที่มุ่งสู่โนดปลายทาง ขั้นตอนเหล่านี้จะเกิดซ้ำๆจนกว่าแพ็กเกตนั้นถึงโนดปลายทาง มีหลายแนวคิดที่ใช้ในการเลือกโนดใดโนดหนึ่งที่เหมาะสมที่สุดที่จะถูกเลือกโดยโนดผู้ส่งให้เป็นโนดถัดไป ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การหาเส้นทางแบบ Greedy

เมื่อโนดแหล่งกำเนิด S ต้องการส่งแพ็กเกตสู่โนดปลายทาง D แล้ววิธีการเลือกโนดผู้ส่งต่อรายถัดไปอาจได้แก่

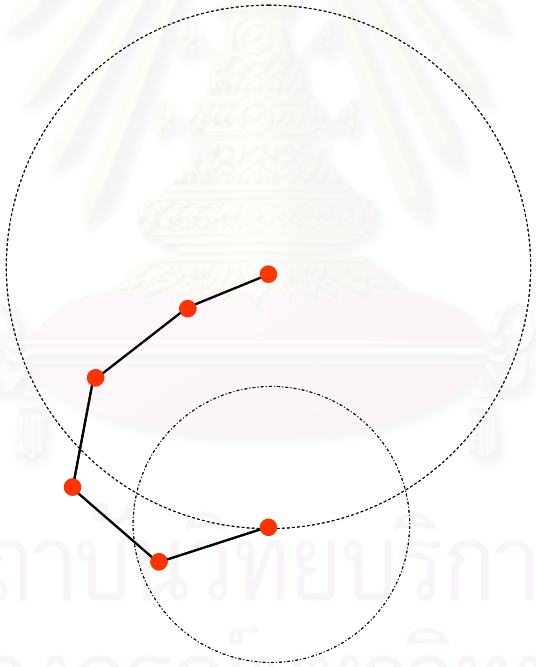
(1) ส่งสู่โนดไกลที่สุดที่ทำได้ เช่นส่งสู่โนด C

(2) ส่งสู่โนดที่ใกล้ที่สุดไปข้างหน้า เช่นส่งสู่โนด A

(3) ส่งสู่โนดที่อยู่ในแนวสู่โนดปลายทางมากที่สุด เช่นส่งสู่โนด B

เนื่องจากกระบวนการส่งต่อนี้มักจะนิยามให้มีกระบวนการส่งแพ็กเกตทักทายทุก ๆ คาบเวลาคงที่ค่าหนึ่งอยู่แล้วหรือที่เรียกว่า ฮัลโหลแพ็กเกต ฮัลโหลแพ็กเกตนี้จะระบุหมายเลขของโนดและข้อมูลตำแหน่งปัจจุบัน เมื่อโนดข้างเคียงได้รับแพ็กเกตนี้ก็จะเก็บข้อมูลนี้ไว้ในตาราง ข้อมูลในตารางนี้จะถูกชำระออกเมื่ออายุของระเบียน (entry) นั้นหมดลงทุกๆคาบเวลาคงที่เช่นกัน ทั้งนี้คาบเวลาของการส่งสัญญาณฮัลโหลและคาบเวลาการชำระตารางข้อมูลนั้นมักจะตั้งให้มีค่าเท่ากัน และถ้าโครงข่ายมีสภาพเคลื่อนที่ได้สูงค่าทั้งสองนี้มักจะมีค่าต่ำๆเพื่อให้ระบบสามารถระบุตำแหน่งเลือกโนดถัดไปได้อย่างถูกต้อง

แต่ถ้าในขณะนั้นไม่มีโนดข้างเคียงใดในตารางข้อมูล อยู่ในรัศมีพิสัยสัญญาณวิทยุรายใด ที่อยู่ในตำแหน่งมุ่งหน้าสู่โนดปลายทาง ก็จะไม่สามารถใช้การส่งต่อแบบ Greedy ได้อีกต่อไป จึงต้องใช้อัลกอริทึมที่สามารถหาเส้นทางอ้อม (สิ่งกีดขวางหรือบริเวณที่ปราศจากโนด) ไปได้ดังรูปที่ 2.13

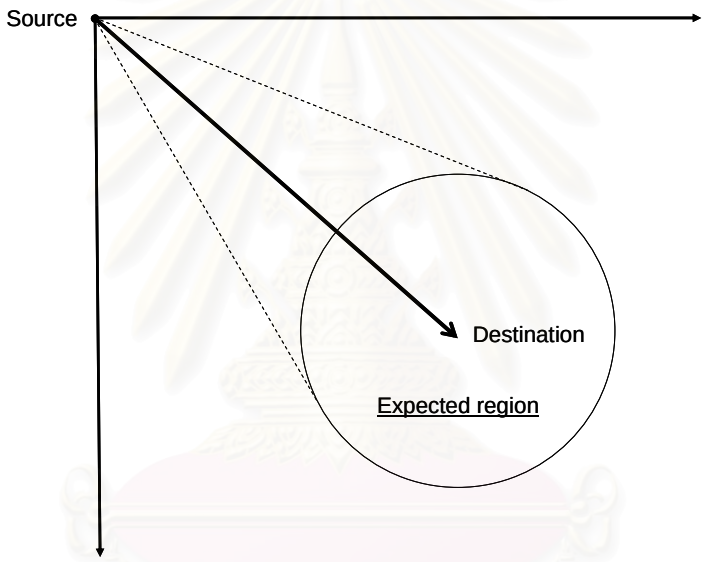


รูปที่ 2.13 การหาเส้นทางแบบ Greedy ขัดข้อง

กลยุทธ์ที่สามารถกู้เส้นทางคืนได้เมื่อการส่งแบบ Greedy ขัดข้อง ได้แก่ GPSR [14] เป็นต้น

2.4.3.2 การเลือกส่งต่อแบบจำกัดทิศทาง (Restricted Directional Flooding)

เช่นในกลยุทธ์ DREAM [12] ที่จำกัดเซตของโนดที่มีสิทธิจะเป็นผู้ส่งต่อรายถัดไป จะต้องอยู่ในบริเวณที่กำหนดเท่านั้น ดังรูปที่ 2.14 ใช้การหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง มีกระบวนการจำกัดตำแหน่งของกลุ่มผู้รับ โดยให้กลุ่มของโนดผู้ส่งต่อรายถัดไปอยู่ในบริเวณของรูปทรงกรวยที่มีรัศมีปากกรวยเท่ากับระยะไกลที่สุดที่โนดปลายทางจะเคลื่อนที่ไปได้ในช่วงเวลาเท่ากับค่าประวิงเวลาเฉลี่ยสู่โนดปลายทาง และจะทำกระบวนการคำนวณรูปทรงกรวยนี้ซ้ำๆ จนกระทั่งถึงโนดปลายทาง



รูปที่ 2.14. ตัวอย่างของพื้นที่ที่กำหนดใน DREAM

2.4.3.3 Contention-based forwarding

แนวคิดของ Contention-based forwarding [7] คือการมอบหน้าที่การตัดสินใจเลือกโนดผู้ส่งต่อรายถัดไป ให้เป็นหน้าที่ของโนดข้างเคียงแทนที่จะเป็นหน้าที่ของโนดที่กำลังส่งเอง การส่งต่อแบบ contention-based นั้นประกอบด้วยสามขั้นตอนคือ

(1) โนดที่กำลังส่งต่อกระจายสัญญาณออกไปสู่โนดข้างเคียงในรัศมีพิสัยสัญญาณวิทยุทั้งหมด

(2) โนดข้างเคียงทั้งหมดที่ได้รับสัญญาณพยายามแข่งขันกันเองเพื่อ “สิทธิ์” การส่งต่อสัญญาณแต่เพียงผู้เดียว ในช่วง contention period 1โนดจะพิจารณาว่าตนนั้นเหมาะสมเพียงใดที่จะได้ทำหน้าที่เป็นผู้ส่งต่อเป็นรายถัดไป

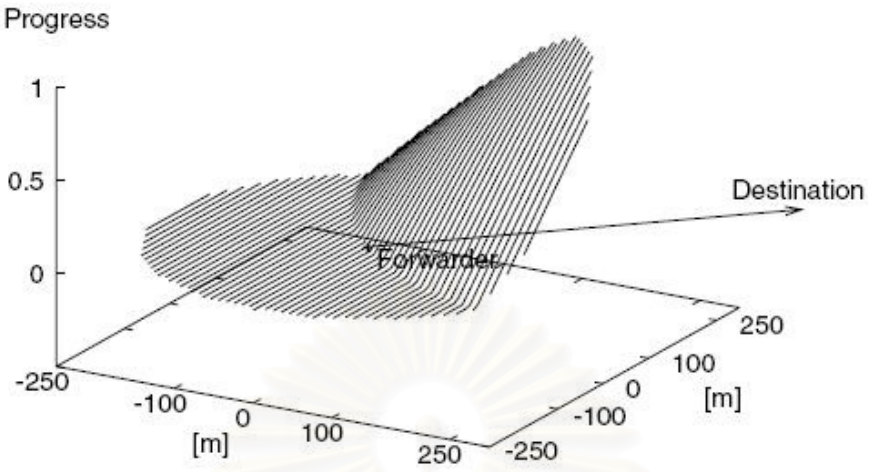
(3) โนดที่เหมาะสมที่สุดจะตั้งตนขึ้นเป็นโนดผู้ส่งต่อรายถัดไป และ “Suppress” หรือยกเลิกสิทธิ์การส่งต่อนี้ของโนดอื่นๆ

กระบวนการกระจายอำนาจเลือกสรรโนดหนึ่งจากหลายโนดนั้นเป็นปัญหาใหญ่ที่พบบ่อยครั้งในระบบโครงข่ายคอมพิวเตอร์ หรือแม้แต่ในระบบควบคุมการแอกเซส (Medium Access Control) บนตัวกลางของ LAN ทั้งในระบบมีสายและไร้สาย วิธีหลักของกระบวนการนี้ได้แก่ การนับถอยหลัง (Timer) แต่ละโนดจะตั้งเวลาเริ่มต้นแบบสุ่มจากนั้นเริ่มนับถอยหลังพร้อมๆกัน โนดใดที่เวลาสิ้นสุดก่อนจะเป็นโนดที่ถูกเลือกและการนับถอยหลังของโนดอื่นๆจะถูกยกเลิกพร้อมกับหน้าที่รับผิดชอบของโนดเหล่านั้น

ในกระบวนการ Timer-based อย่างง่าย การตัดสินเลือกโนดผู้ส่งต่อรายถัดไป ทุกโนดจะรับสัญญาณจากโนดที่กำลังส่ง แล้วพิจารณาว่าตนนั้นอยู่ใกล้โนดปลายทางมากกว่าโนดที่กำลังส่งหรือไม่ ถ้าโนดอยู่ใกล้โนดปลายทางมากกว่า เวลาจะถูกนับถอยหลังจะถูกเซ็ตขึ้นแบบสุ่มและโนดใดเวลาสิ้นสุดก่อนก็จะได้รับสิทธิ์เป็นโนดผู้ส่งต่อรายถัดไป แต่ถ้ามีหลายโนดที่อยู่ใกล้โนดปลายทางมากกว่าโนดผู้ส่งแล้ว โนดใดควรจะได้รับสิทธิ์เป็นโนดผู้ส่งต่อรายถัดไป แทนที่จะตั้งค่าเวลาเริ่มต้นนับถอยหลังแบบสุ่ม [7] เสนอให้ตั้งค่าเวลาเริ่มต้นนับถอยหลังตาม Progress ของโนดสู่โนดปลายทางเพื่อการส่งต่อแพ็กเกตสู่โนดปลายทางแบบ Greedy progress, Progress (P) จึงถูกนิยามให้เป็น

$$P(f, z, n) = \max\{0, \frac{dist(f, z) - dist(n, z)}{r_{radio}}\} \qquad (2.9)$$

เมื่อ f คือตำแหน่งของโนดผู้ส่ง z คือตำแหน่งของโนดปลายทาง และ n คือตำแหน่งของโนดข้างเคียงที่ได้รับสัญญาณ $dist$ คือระยะยูคลิดระหว่างสองโนด (Euclidean distance) และ r_{radio} คือพิสัยสัญญาณวิทยุ ดังรูปที่ 2.15 แสดงความเหมาะสมของโนดหนึ่งๆที่จะเป็นโนดผู้ส่งรายถัดไป ซึ่งเป็นฟังก์ชันขึ้นกับตำแหน่งของโนดนั้นๆ



รูปที่ 2.15. Packet Progress (พิสัยสัญญาณวิทยุ 250 เมตร)

ใน [1] ได้เสนอการเลือกค่าเริ่มต้นนับถอยหลังดังสมการ 2.10

$$t(P) = T(1-P) \tag{2.10}$$

เมื่อ T คือค่าความหน่วงเวลาสูงสุด

2.4.3.4 Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR)

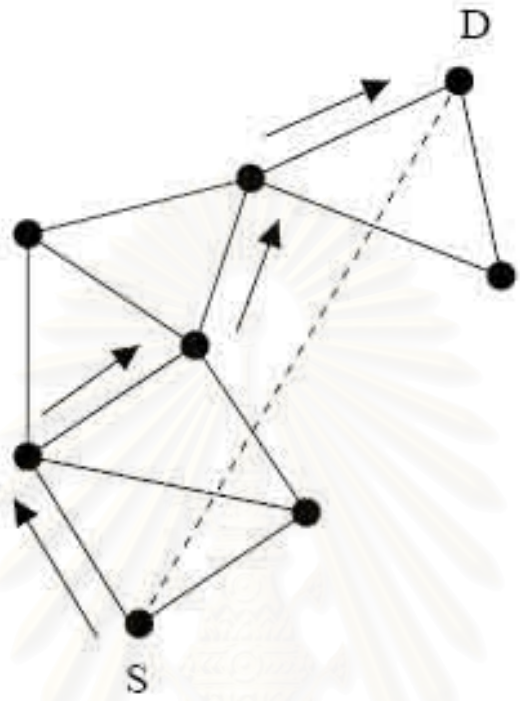
จากข้อดีของการส่งต่อแบบ Greedy ที่โนดผู้ส่งไม่จำเป็นต้องทราบตำแหน่งของโนดข้างเคียง แต่ก็มีข้อเสียหนึ่งที่ต้องแก้ไขคือ เมื่อการส่งต่อสู่โนดปลายทางมีเพียงเส้นทางเดียวที่เป็นได้และโนดข้างเคียงทั้งหมดอยู่ในตำแหน่งที่ออกห่างจากโนดปลายทางเมื่อเทียบกับโนดผู้ส่งเองดังรูปที่ 2.13 แต่ด้วยวิธีการ GPSR เพียงโนดทราบเพียงตำแหน่งของโนดข้างเคียง ก็จะสามารถหาเส้นทางอ้อมผ่านไปได้ อัลกอริทึมรับรองว่าจะมีอย่างน้อยหนึ่งเส้นทางสู่โนดปลายทาง ถ้ากราฟนั้นยังเป็นกราฟเชื่อมต่อ โดยใช้กฎมือขวา (Right-hand-rule) กับกระบวนการกราฟเชิงระนาบ (Planar graph) พิจารณาการส่งต่อแบบทีละแพ็กเกต

กราฟเชิงระนาบคือกราฟที่ไม่มีการตัดกันของเส้นเชื่อม (เส้นขอบ) เมื่อเซตของโนดในโครงข่ายแอดฮอกสามารถพิจารณาเป็นจุดยอดและมีเส้นเชื่อมเชื่อมระหว่างจุดยอด ถ้าสองโนดนั้นอยู่ในพิสัยสัญญาณวิทยุของกันและกัน ดังรูปที่ 2.16

รูปที่ 2.16. ตัวอย่างของกราฟเชิงระนาบสองรูปแบบคือ GG-graph และ RNG-graph รูปซ้าย: Full-graph ของระบบที่ประกอบด้วยโนด 200 โนดในบริเวณ 2000x2000 ตารางเมตร ด้วยพิสัยสัญญาณวิทยุ 250 เมตร รูปกลาง: GG-graph ซึ่งเป็นเซตย่อยของ Full-graph รูปขวา: RNG-graph ซึ่งเป็นเซตย่อยของทั้ง GG-graph และ Full-graph

การส่งต่อผ่านเส้นเชื่อมของกราฟย่อยเชิงระนาบนั้นคือการส่งไปบนชุดของเส้นเชื่อมหรือหน้า (Face) ของกราฟสู่โนดปลายทางดังรูปที่ 2.17 แสดงการส่งต่อในภาวะกู้กลับ (recovery mode) จากการขัดข้องของการส่งแบบ Greedy

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.17. การเดินทางของแพ็กเกตบนด้านของกราฟเชิงระนาบ

บนแต่ละหน้า แพ็กเกตจะถูกส่งต่อผ่านเส้นวงรอบด้านในโดยใช้กฎมือขวา คือส่งต่อแพ็กเกตไปให้กับเส้นเชื่อมที่วางตัวอยู่ในทิศทวนเข็มนาฬิกาเทียบกับเส้นเชื่อมก่อนหน้า เมื่อใดที่เส้นเชื่อมเส้นถัดไปตัดกับเส้นระหว่างโนดแหล่งกำเนิดกับโนดปลายทาง ให้พิจารณาว่าจุดตัดนั้นอยู่ใกล้โนดปลายทางมากกว่าจุดตัดอื่นๆก่อนหน้านี้หรือไม่ ถ้าเป็นจริง ให้เริ่มนับว่าเป็นชุดของเส้นเชื่อมใหม่ และให้ส่งต่อแพ็กเกตไปให้กับเส้นเชื่อมถัดไปติดกับเส้นเชื่อม ที่ตั้งใจก่อนหน้านี้ในทิศทวนเข็มนาฬิกา ส่วนหัวของแพ็กเกตนั้นจะประกอบด้วยข้อมูลเพิ่มเติมเช่น ตำแหน่งของโนดเมื่อเข้าสู่ภาวะกู้กลับ ตำแหน่งของจุดตัดล่าสุดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนชุดของเส้นเชื่อมและเส้นขอบแรกของชุดของเส้นเชื่อมปัจจุบัน

2.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงพื้นฐานของโครงข่ายแอดฮอก โดยอธิบายถึงแบบจำลองการเคลื่อนที่ในพื้นที่เปิดกว้างและแบบจำลองการเคลื่อนที่ของโนดเช่นรถยนต์ที่วิ่งบนถนนในเมืองหรือ Car following model การเข้าใช้ช่องสัญญาณร่วมกันของโนดในโครงข่าย การจำแนกประเภทของกลยุทธ์การจัดเส้นทางของโครงข่ายแอดฮอก นอกจากนั้นแล้วยังกล่าวถึงตัวอย่างของกลยุทธ์จัดหาเส้นทางที่เกี่ยวข้องทั้งกลยุทธ์การจัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีและแบบอิงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ ซึ่งในบทนี้ได้กล่าวถึงตัวอย่างของกระบวนการจัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีชื่อ AODV เอาไว้ นอกจากนี้แล้วบทนี้ยังอธิบายถึงกระบวนการของกลยุทธ์การหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์อันได้แก่ โปรโตคอล Greedy DREAM Contention-based forwarding และ GPSR เอาไว้อีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การประเมินสมรรถนะของกลยุทธ์ต้นแบบ

กลยุทธ์จัดเส้นทางจะนำเสนอต่อไป เป็นกลยุทธ์การหาเส้นทางที่เกิดจากการผสมผสาน (Hybrid routing protocols) ระหว่างกลยุทธ์การจัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีและแบบอิงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ จึงมีความจำเป็นต้องวิเคราะห์สมรรถนะโดยรวมของโปรโตคอลต้นแบบ เพื่อนำสมรรถนะที่เด่นนั้นมาใช้ในโปรโตคอลที่จะพัฒนาและลดกระบวนการใดๆที่เป็นต้นเหตุของจุดด้อยสมรรถนะให้ได้มากที่สุด ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้โปรโตคอล Ad Hoc On-demand Distance Vector (AODV) เป็นต้นแบบของโปรโตคอลหาเส้นทางแบบอิงทอพอโลยี และใช้ Greedy-based routing เป็นโปรโตคอลต้นแบบของโปรโตคอลหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง

ในการประเมินสมรรถนะของโปรโตคอลต้นแบบนี้ สมรรถนะที่สำคัญและสนใจสำหรับโปรโตคอลการหาเส้นทางสื่อสารระหว่างรถแบบแอดฮอกในที่นี้ได้แก่ อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด (Packet delivery ratio) ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกต (Delay time) จำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยทั้งหมด (amount of data transmitted on MAC)

เพื่อจำลองสมรรถนะของทั้งโปรโตคอล AODV และ Greedy ดังกล่าวข้างต้น วิทยานิพนธ์นี้ใช้การจำลองที่มีสภาวะแวดล้อมการจำลองดังนี้

- การจำลองนี้เขียนโดยโปรแกรม NS-2 ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองชนิดเหตุการณ์แบบเต็มหน่วย (Discrete Event Simulation)
- ใช้มาตรฐาน IEEE 802.11b สำหรับชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC ซึ่งมีความสามารถในการส่งข้อมูลขนาด 2 Mbps แต่ละโนดมีพลังงานไม่จำกัด ในการจำลองกำหนดให้ทุกโนดมีพิสัยสัญญาณวิทยุเท่ากันขนาด 250 เมตร
- ทุกโนดสามารถเป็นตัวกำเนิดแพ็กเกตข้อมูลได้ โดยมีช่วงระยะเวลาการเข้ามาของแพ็กเกตเฉลี่ย 0.25 วินาทีต่อแพ็กเกต
- จำนวนคู่โนดที่ต้องการสื่อสารจำนวน 20 คู่โนดเชื่อมต่อ (maximum connection)

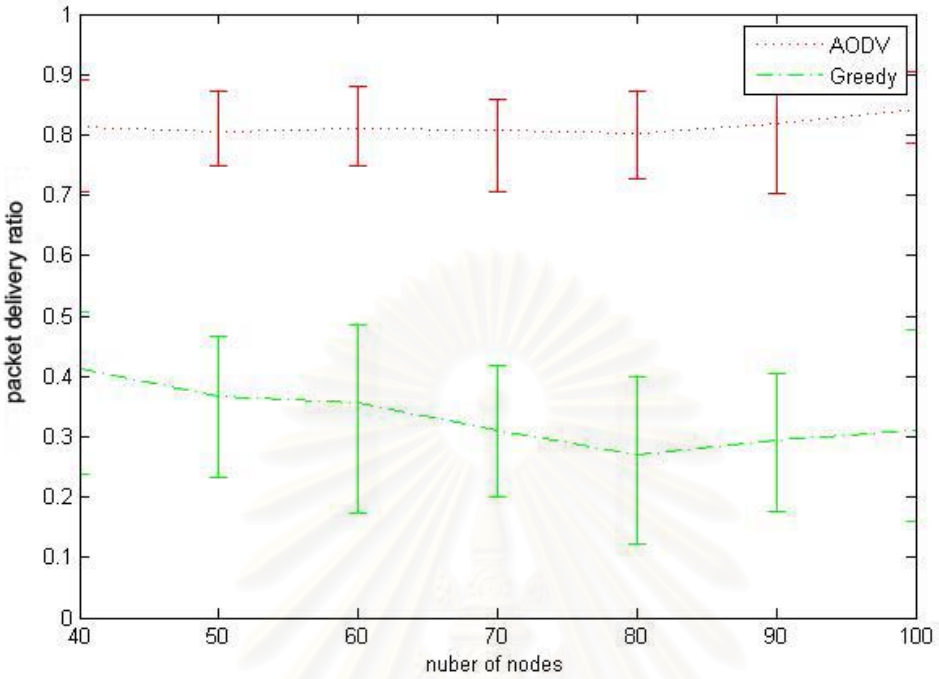
- จำลองการเคลื่อนที่แบบ Random Way Point บนพื้นที่เปิดกว้างขนาด 1000 เมตร x 1000 เมตร
- การจำลองเพื่อพิจารณาสมรรถนะเด่นของทั้งสองกลยุทธ์นี้โดยการ ปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่ายระหว่าง 40 ถึง 100 โนด ด้วยความเร็วเฉลี่ย 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

3.1 สมรรถนะของโปรโตคอลต้นแบบ

จากผลการทดลองดังรูปที่ 3.1 ถึง 3.5 จะเห็นว่าโปรโตคอลหาเส้นทางทั้งสองนี้มีสมรรถนะที่ต่างกันในสมรรถนะต่างๆดังนี้

3.1.1 อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด (Packet delivery ratio)

จากรูปที่ 3.1 สำหรับโปรโตคอล Greedy เมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่ายเพิ่มขึ้นจาก 40 เป็น 100 จำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้กลับมีค่าลดลงอย่างช้าๆประมาณ 5-10% เนื่องจากเมื่อจำนวนโนดเพิ่มมากขึ้นจึงมีการใช้ช่องสัญญาณเพื่อกระจายแพ็กเกตให้สัญญาณก็เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้โปรโตคอล Greedy จะกระจายแพ็กเกตทักทาย ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลตำแหน่งของตนทุกๆ คาบเวลาเท่ากับ HELLO_INTERVAL ด้วยขนาดของแพ็กเกตทักทายของโปรโตคอล Greedy ที่มีขนาดใหญ่กว่าของโปรโตคอล AODV อยู่มาก (แพ็กเกตทักทายขนาด 104 Bytes สำหรับโปรโตคอล Greedy และ 44 Bytes สำหรับโปรโตคอล AODV) เมื่ออัตราการชนของแพ็กเกตให้สัญญาณเพิ่มมากขึ้นจนส่งผลการรบกวนถึงกระบวนการส่งสัญญาณ RTS/CTS ของแพ็กเกตข้อมูล ทำให้แพ็กเกตข้อมูลไม่สามารถส่งต่อได้และเกิดการละทิ้งแพ็กเกตตามมา แม้ว่าจำนวนโนดในโครงข่ายจะเพิ่มขึ้นและจำนวนของการเชื่อมต่อระหว่างโนด (connectivity) จะเพิ่มมากขึ้นด้วยก็ตาม แต่ผลของการชนกันของแพ็กเกตให้สัญญาณนั้นก็ยังคงมีผลมากกว่า ผลดีที่ได้จากการเพิ่มขึ้นของการเชื่อมต่อ



รูปที่ 3.1 จำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้เมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนโนด

นอกจากแพ็กเกตให้สัญญาณทั้งชนิดแพ็กเกตทักทาย (hello packet) แล้วโปรโตคอลทั้งสองนี้ยังมีการส่งแพ็กเกตร้องขอตำแหน่ง (position-service) สำหรับโปรโตคอล Greedy และแพ็กเกตร้องขอเส้นทางสำหรับโปรโตคอล AODV ด้วยแพ็กเกตให้สัญญาณที่มีขนาดใหญ่กว่าของโปรโตคอล Greedy อีกทั้งโปรโตคอล Greedy ยังต้องส่งแพ็กเกตเพื่อร้องขอตำแหน่งนี้ซ้ำๆ หลายครั้งก่อนจะได้รับแพ็กเกตตอบข้อมูลตำแหน่ง เพราะอัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดของ Greedy มีค่าต่ำ ทำให้โอกาสที่แพ็กเกตตอบข้อมูลตำแหน่งจะมาถึงโนดผู้ร้องขอนั้นมีน้อย ในขณะที่กระบวนการส่งแพ็กเกตเพื่อสร้างเส้นทางของโปรโตคอล AODV นั้นมีเพียงในช่วงเริ่มต้นระบบหรือเมื่อมีความต้องการส่งข้อมูลครั้งแรกเท่านั้น แต่หลังจากนั้นโปรโตคอล AODV จะร้องขอเส้นทางก็ต่อเมื่อมีความเสียหายของเส้นทางเกิดขึ้นและยังมีความต้องการส่งข้อมูลอยู่เท่านั้น

จาก [7] ได้พิจารณาเปรียบเทียบสมรรถนะระบบโครงข่ายที่ใช้การหาเส้นทางด้วยโปรโตคอล Greedy หลายชนิดไว้เช่นกัน แต่ด้วยจำนวนโนดต่อพื้นที่ที่น้อยกว่ามาก (100-400 โนดบนพื้นที่เปิดกว้างขนาด 2000 เมตร x 2000 เมตร หรือ 25-100 โนดต่อตารางกิโลเมตร) จึงยากที่จะเปรียบเทียบกับระบบที่กำลังสนใจที่จำนวนรถยนต์ต่อหน่วยพื้นที่ในเมืองนั้นอาจมีค่าสูงมาก

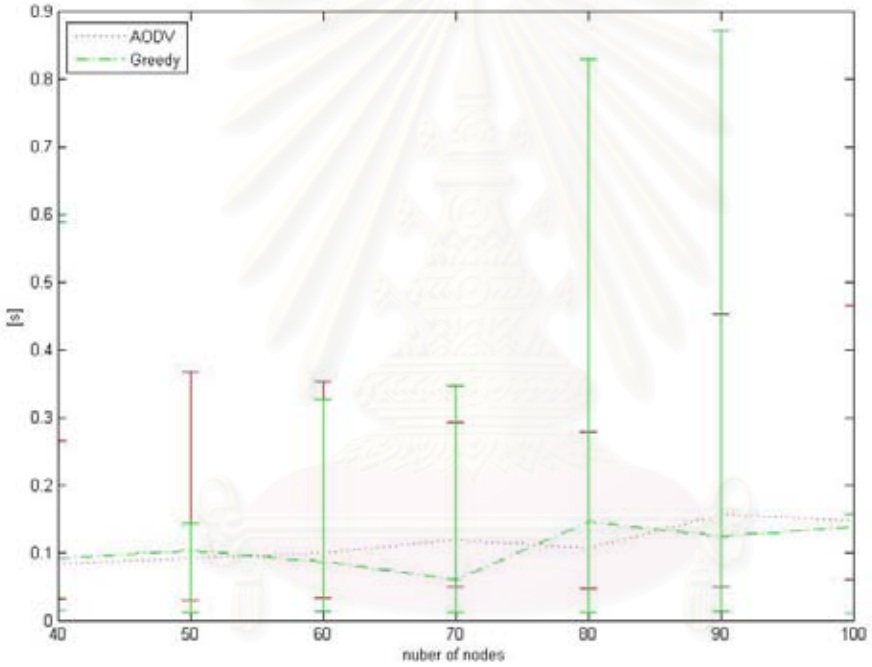
สำหรับโปรโตคอล AODV การป้องกันไม่ให้โนดใช้เส้นทางผ่านไปยังข่ายเชื่อมโยงที่เกิดข้อผิดพลาดอีกเมื่อเกิดการขาดการเชื่อมต่อระหว่างโนด โดยการกระจายแพ็กเกตแจ้งเส้นทางเสียหาย RERR เมื่อโนดระหว่างทางใดได้รับแพ็กเกต RERR จะต้องทำการตรวจสอบในตารางเส้นทางของตนเองว่า มีเส้นทางใดบ้างที่ต้องใช้การเชื่อมต่อหรือโนดดังกล่าวเป็นเส้นทางไปยังโนดปลายทาง ถ้าตรวจพบว่ามีเส้นทางดังกล่าวโนดจะทำการลบเส้นทางนั้นละทิ้งไป ในส่วนขั้นตอนในการตรวจสอบสถานะของข่ายเชื่อมโยงว่าเกิดความเสียหายหรือไม่นั้นมีด้วยกัน 2 วิธีคือ (1) การใช้ความสามารถของกระบวนการในชั้นข่ายเชื่อมโยงโดยการใช้ link-layer notification ซึ่งเป็นกระบวนการที่ได้จากมาตรฐาน IEEE 802.11 และ (2) การใช้ความสามารถของชั้นโครงข่ายโดยการแพร่กระจายแพ็กเกตข่าวสารทักทาย (hello message) ซึ่งในการจำลองนี้เลือกให้โปรโตคอล AODV ใช้วิธีการแพร่กระจายแพ็กเกตข่าวสารทักทาย เพื่อให้การเปรียบระหว่างโปรโตคอล AODV และ Greedy เป็นไปอย่างสมเหตุสมผล อีกทั้งวิธีนี้ไม่ต้องจนกว่าจะมีการรับส่งแพ็กเกตระหว่างโนดขึ้นจริง ๆ จึงจะสามารถตรวจจับข้อผิดพลาดได้ ซึ่งผลดังกล่าวอาจจะทำให้เกิดการสูญเสียของแพ็กเกตข้อมูลก่อนตรวจจับได้

ดังนั้นโปรโตคอล Greedy ในที่นี้จึงเป็นแบบ Greedy-Basic ที่ไม่มีการสื่อสารกลับจากชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC เมื่อมีการสูญเสียการเชื่อมต่อกับโนดข้างเคียง (Link layer notification) ซึ่งโนดข้างเคียงที่อยู่ใกล้ขอบของพิสัยสัญญาณวิทยุ มักจะเป็นโนดถูกเลือกให้เป็นผู้รับรายถัดไปเพราะมีค่า progress สูงที่สุด ดังนั้นการส่งแพ็กเกต RTS แล้วไม่ได้รับการตอบรับ CTS เนื่องจากโนดนั้นได้เคลื่อนออกจากพิสัยไปแล้วของโปรโตคอล Greedy จึงส่งผลให้ค่าของอัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดมีค่าน้อยลง ต่างจากโปรโตคอล AODV ที่แม้มีกลยุทธ์การเลือกโนดผู้รับรายถัดไป (การสร้างเส้นทางแบบ Distance Vector) แบบเลือกให้เส้นทางมีจำนวนฮอปต่ำที่สุด ด้วยการเลือกเส้นทางที่ใกล้เคียงเส้นตรงมากที่สุดนี้ ที่ไม่จำเป็นต้องเป็นการส่งต่อให้ไกลที่สุดเหมือนกับโปรโตคอล Greedy อีกทั้งการสร้างเส้นทางของโปรโตคอล AODV นั้นเป็นการร่วมกันตัดสินใจของโนดระหว่างทางหลายโนด ที่โนดระหว่างทางที่มีเส้นทางล่าสุดเท่านั้นที่จะตอบเส้นทาง โดยการร้องขอนี้จะกระทำเมื่อต้องการส่งข้อมูล ดังนั้นข้อมูลเส้นทางที่ได้มานั้นจะเป็นข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน ไม่เหมือนกับข้อมูลตำแหน่งที่ใช้ในการเลือกเส้นทางของโปรโตคอล Greedy ที่ใช้ข้อมูลปรับปรุงเพียงในคาบเวลา HELLO_INTERVAL ที่ระบุเท่านั้น ดังนั้นข้อมูลเส้นทางที่โปรโตคอล AODV ใช้จึงเป็นข้อมูลที่ใหม่และ real-time กว่าข้อมมูลตำแหน่งที่โปรโตคอล Greedy ใช้

เมื่อจำนวนโนดในระบบที่ใช้กลยุทธ์หาเส้นทาง AODV มีจำนวนสูงขึ้นบนพื้นที่เปิดกว้าง (open space) ด้วยความสามารถในการรักษาเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีอย่างเป็นระบบของ

โปรโตคอล AODV ทำให้อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดมีค่าสูงกว่าโปรโตคอล Greedy ในทุกสภาวะแวดล้อมการจำลอง และแม้ว่าการเพิ่มจำนวนโนดในโครงข่ายเป็นการเพิ่มโอกาสการชนกันของแพ็กเกตให้สัญญาณ แต่เนื่องจากแพ็กเกตให้สัญญาณของโปรโตคอลมีขนาดเล็กกว่าของโปรโตคอล Greedy จึงเป็นไปได้ที่การชนกันของแพ็กเกตที่เพิ่มมากขึ้นนั้นถูกชดเชยได้ด้วยการสร้างเส้นทางที่คงทนด้วยจำนวนการเชื่อมต่อที่เพิ่มมากขึ้นของโปรโตคอล AODV

3.1.2 ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกต (Delay time)



รูปที่ 3.2 ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตเมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนโนด

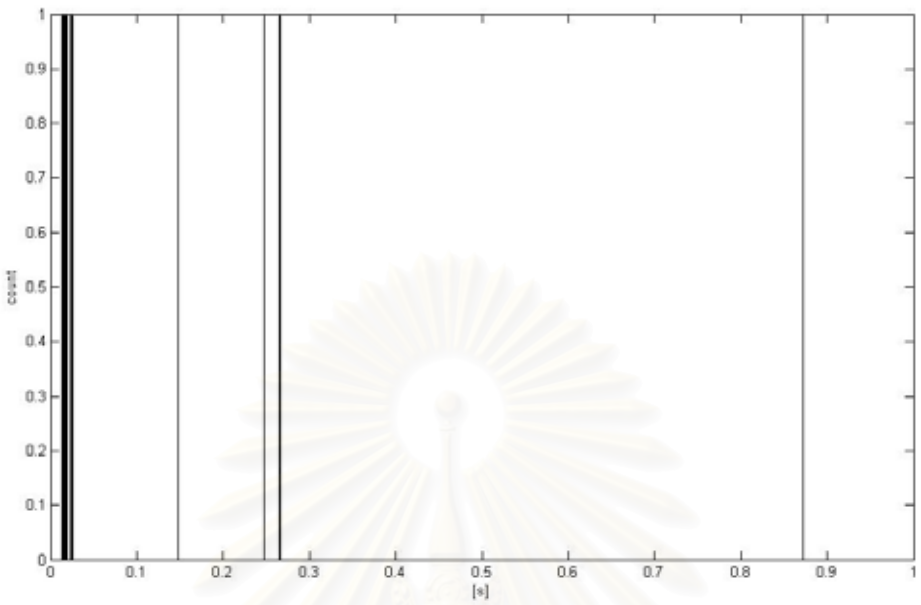
รูปที่ 3.2 แสดงค่าการประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกต ตลอดการทดลองค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของทั้งสองโปรโตคอลมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่ถ้าพิจารณาจากค่าพิสัยของผลการทดลองซ้ำหลายรอบแล้วจะเห็นว่าในช่วงต้นคือช่วงจำนวนโนดประมาณ 40 โนดโปรโตคอล Greedy ให้ค่าประวิงเวลาช่วงที่ต่ำกว่าโปรโตคอล AODV แต่เมื่อจำนวนโนดในโครงข่ายเพิ่มมากขึ้น การกระจายตัวของค่าประวิงเวลาของแพ็กเกตระหว่างการทดลองแต่ละครั้งนั้นมีมากขึ้นเรื่อยๆ จนเมื่อจำนวนโนดในโครงข่ายมากกว่า 70 โนด ค่าประวิงเวลาสูงที่สุดของโปรโตคอล Greedy นั้นกลับสูงกว่าโปรโตคอล

AODV แต่ทั้งนี้ค่าประวิงเวลาต่ำที่สุดของโปรโตคอล Greedy มีค่าต่ำกว่าค่าประวิงเวลาต่ำที่สุดของโปรโตคอล AODV ในทุกการปรับเปลี่ยนจำนวนโนด

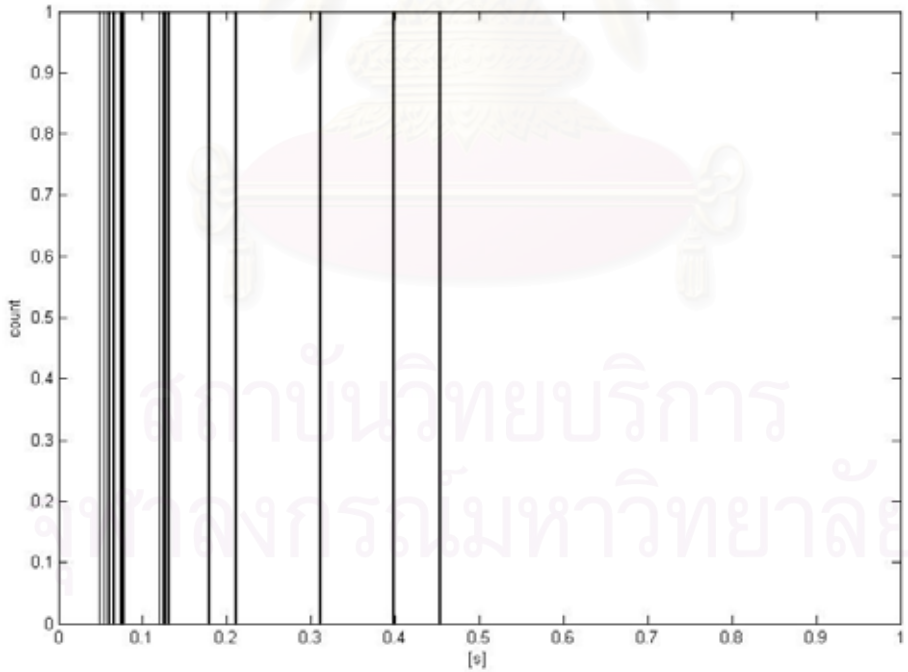
เมื่อจำนวนโนดเพิ่มมากขึ้น กระบวนการร้องขอตำแหน่งของโปรโตคอล AODV จะทำงานได้ช้าลง เพราะเมื่อจำนวนโนดเพิ่มมากขึ้นการส่งแพ็กเกตในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC มีการชนกันมากขึ้น กระบวนการ back-off ของ IEEE 802.11 ทำให้เกิดการส่งซ้ำหรือการเลื่อนการส่งแพ็กเกตออกไป การร้องขอเส้นทางแต่ละครั้งจึงต้องใช้เวลานานมากขึ้นเมื่อโนดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีเส้นทางแล้วกระบวนการส่งต่อแพ็กเกตข้อมูลที่มีกระบวนการ RTS/CTS ก็จะช่วยป้องกันการชนกันของแพ็กเกตและยังช่วยประกันค่าประวิงเวลาของแพ็กเกตในระดับนึง เปรียบเทียบกับการร้องขอข้อมูลตำแหน่งขอโปรโตคอล Greedy เมื่อโปรโตคอลได้รับแพ็กเกตตอบข้อมูลเส้นทางแล้ว โปรโตคอลจะใช้เส้นทางนี้ในการจัดเส้นทางจนกว่าข้อมูลตำแหน่งนี้จะถูกลบเมื่อหมดอายุ ไม่เหมือนกับโปรโตคอล AODV ที่นอกจากการสูญเสียเส้นทางเนื่องจากการลบข้อมูลเส้นทางเมื่อหมดอายุแล้ว การสูญเสียเส้นทางยังเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้ต้องร้องขอเส้นทางใหม่ โปรโตคอล AODV จึงได้รับผลของการเพิ่มขึ้นของค่าประวิงเวลามากกว่าโปรโตคอล Greedy เนื่องจากการร้องขอเส้นทางบ่อยครั้งกว่าการร้องขอข้อมูลตำแหน่งของโปรโตคอล Greedy

แต่ถ้าพิจารณาตัวอย่างการกระจายตัวของค่าประวิงเวลาแพ็กเกตของการทดลองซ้ำหลายๆรอบด้วยจำนวนโนดในโครงข่ายจำนวน 90 โนด ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 จะเห็นว่าทั้งสองโปรโตคอลมีลักษณะการกระจายตัวของค่าประวิงเวลาระหว่างการทดลองแต่ละครั้งที่ต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 การกระจายตัวของค่าประวิงเวลาแพ็กเกตของ
โปรโตคอล Greedy ที่จำนวนโนดเท่ากับ 90



รูปที่ 3.4 การกระจายตัวของค่าประวิงเวลาของแพ็กเกต
โปรโตคอล AODV ที่จำนวนโนดเท่ากับ 90

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.3 แสดงกราฟการกระจายตัวของค่าประวิงเวลาในแต่ละรอบการทดลองของโปรโตคอล Greedy จะเห็นว่าค่าประวิงนั้นเกาะกลุ่มกันอยู่ที่ค่าต่ำ แต่มีการทดลองหนึ่งที่ให้ค่าประวิงเวลาสูงมาก ทำให้เกิดผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยโดยรวม

รูปที่ 3.4 แสดงกราฟการกระจายตัวของค่าประวิงเวลาในแต่ละรอบการทดลองของโปรโตคอล AODV เห็นว่าค่าประวิงเวลากระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมออยู่ในช่วงแคบกว่าการกระจายตัวของโปรโตคอล Greedy และเกาะกลุ่มอยู่ที่ค่าที่สูงกว่าค่าประวิงเวลาของโปรโตคอล Greedy ที่เกาะกลุ่มกัน

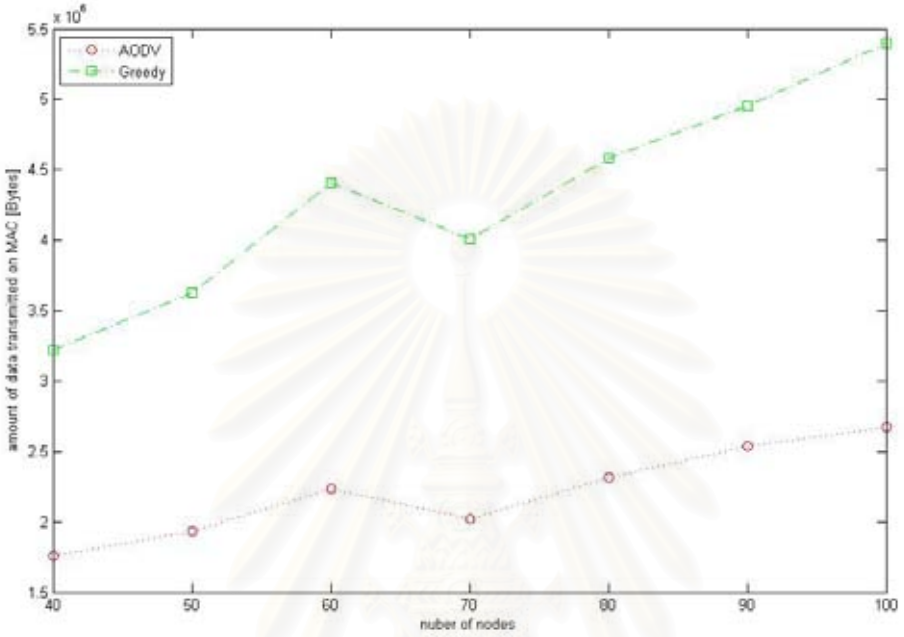
จากรูปที่ 3.3 และ 3.4 สรุปได้ว่าค่าประวิงเวลาแพ็กเกตของการจำลองแต่ละรอบของการทดลองของ Greedy เกาะกลุ่มอยู่ที่ค่าต่ำกว่าโปรโตคอล AODV แต่ความแปรผันของค่าประวิงเวลาแพ็กเกตของโปรโตคอล Greedy นั้นมีค่าสูงกว่า

ในทุกย่านการปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่ายโปรโตคอล Greedy ให้ค่าประวิงเวลาต่ำที่สุดต่ำกว่าโปรโตคอล AODV แต่เหตุที่เมื่อจำนวนโนดในระบบเพิ่มสูงขึ้นแล้วการกระจายตัวของ Greedy สูงขึ้นเรื่อยๆ เป็นเพราะโปรโตคอล Greedy พยายามเลือกส่งต่อสู่โนดที่ไกลที่สุดแต่อาจจะไม่ใช่โนดที่อยู่ในทิศตรงสู่ปลายทาง ทำให้เมื่อจำนวนโนดเพิ่มมากขึ้น โปรโตคอล Greedy จึงใช้จำนวนฮอปมากกว่าโปรโตคอล AODV ที่ใช้ทอพอโลยีหาเส้นทางที่จำนวนฮอปน้อยที่สุด อีกทั้งโปรโตคอล Greedy มีอัตราการชนกันของแพ็กเกตสูงมากเมื่อปริมาณการใช้ช่องสัญญาณให้สัญญาณสูง ทำให้แพ็กเกตตอบข้อมูลตำแหน่งสูญหาย ส่งผลให้โนดผู้ส่งต้องรอจนมีความต้องการส่งแพ็กเกตมาอีกครั้งจึงจะเริ่มกระบวนการร้องขอตำแหน่งอีกครั้งซึ่งในที่นี้จะใช้เวลา 250 มิลลิวินาที (ที่ injection rate ขนาด 0.25 แพ็กเกตต่อวินาที) หรือมากกว่านั้นถ้าการร้องขอนั้นเป็นการร้องขอซ้ำ และยังไม่หมดเวลาการรอการตอบกลับ

3.1.3 จำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC (amount of data transmitted on MAC)

รูปที่ 3.5 แสดงปริมาณข้อมูลในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC กราฟนี้เป็นผลรวมของการส่งสัญญาณในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยของทั้งแพ็กเกตให้สัญญาณและแพ็กเกตข้อมูล โดยการนับจำนวนข้อมูลที่ส่งในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC นี้จะนับทั้งการส่งสัญญาณและการรับสัญญาณในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย เพราะว่าเมื่อใดที่มีการส่งหรือการรับก็ตาม โนดบริเวณนั้นทุกโนดจะไม่

สามารถส่งหรือรับสัญญาณใดๆได้อีก ถือว่าเป็นการเสียโอกาสการส่งสัญญาณ จึงนิยามให้นับทั้งปริมาณของสัญญาณที่รับและส่ง



รูปที่ 3.5 จำนวนข้อมูลในชั้นสื่อสารย่อย MAC เมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนโนด

แต่เนื่องจากการทดลองนี้กำหนดให้ข้อมูลที่ส่งจริงนั้นมีค่าเท่ากันตลอดการทดลอง คือ ทุกโนดสามารถเป็นตัวกำเนิดแพ็กเกตข้อมูลได้ โดยมีช่วงระยะเวลาการเข้ามาของแพ็กเกตเฉลี่ยเท่ากับ 0.25 วินาทีต่อแพ็กเกต และจำนวนคู่โนดที่ต้องการสื่อสาร 20 คู่โนดเชื่อมต่อ (maximum connection) ทำให้ผลต่างระหว่างเส้นของกราฟนั้นเป็นผลต่างของการใช้ช่องสัญญาณจากแพ็กเกตให้สัญญาณเท่านั้น จะเห็นว่าปริมาณการใช้ช่องสัญญาณของแพ็กเกตให้สัญญาณในโปรโตคอล Greedy มีค่าสูงกว่าโปรโตคอล AODV เพราะโปรโตคอล Greedy ออกแบบให้กระจายข้อมูลตำแหน่งของตนสู่โนดข้างเคียงทุกๆคาบเวลาที่กำหนด (hello interval) ขณะที่โปรโตคอล AODV จะกระจายเพียงข้อมูลหมายเลขโนดที่มีขนาดเล็กกว่าข้อมูลตำแหน่งเป็นอย่างมาก เพื่อบอกถึงสภาวะเชื่อมต่อของตนกับโนดข้างเคียง (connectivity) อีกทั้งในบริการข้อมูลตำแหน่งและกระบวนการส่งต่อข้อมูลนั้นโปรโตคอล Greedy ยังแนบข้อมูลตำแหน่งเข้าไปในแพ็กเกต ด้วยทำให้แพ็กเกตของโปรโตคอล Greedy ทุกชนิดมีขนาดใหญ่ เช่นแพ็กเกตทักทายของโปโตคอล AODV ที่มีขนาด 44 Bytes ขณะที่แพ็กเกตทักทายของ

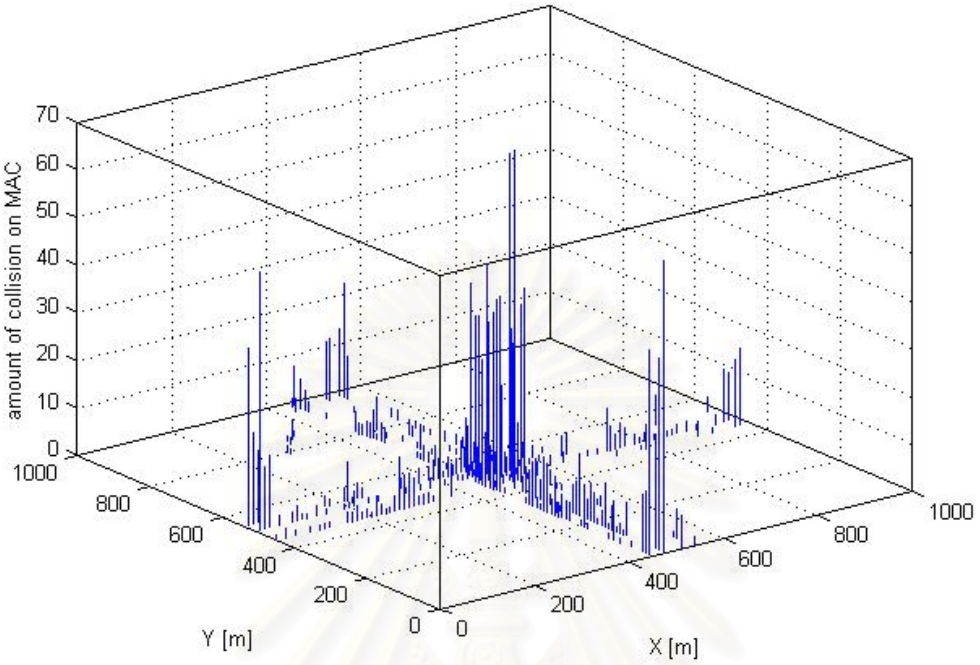
โปรโตคอล Greedy มีขนาดสูงถึง 104 Bytes นอกจากนั้นแล้วจะเห็นว่า ทั้งสองโปรโตคอลนี้มีแนวโน้มที่จะกระจายแพ็กเกตให้สัญญาณสูงขึ้นเมื่อจำนวนโนดเพิ่มขึ้น

โดยสรุปโปรโตคอล Greedy ให้ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยต่อแพ็กเกตและจำนวนแพ็กเกตที่ส่งได้ที่ต่ำกว่า นั้นคือโปรโตคอล Greedy ทำงานได้เร็วกว่าแต่มีอัตราการละทิ้งแพ็กเกตที่สูงกว่าโปรโตคอล AODV นอกจากนั้นโปรโตคอล Greedy ยังใช้ช่องสัญญาณในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC ที่มากกว่าภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน

จากข้างต้นเป็นจำลองการสื่อสารระหว่างโนดบนพื้นที่เปิดกว้างที่การเชื่อมต่อระหว่างโนดนั้นสามารถทำได้รอบทิศทาง การสื่อสารสามารถเกิดขึ้นได้บนทุกๆพื้นที่ ทั้งการเกิดและละทิ้งแพ็กเกตมีโอกาสเกิดขึ้นได้ และกระจายตัวทั่วกันทั้งพื้นเปิดกว้างนี้ แต่ในสถานะการที่วิทยานิพนธ์นี้สนใจ การเคลื่อนของรถยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่เพียงบนถนนเท่านั้น บริเวณทางแยกจะเป็นบริเวณที่มีรถยนต์รวมทั้งการใช้ช่องสัญญาณสื่อสารจำนวนมาก อีกทั้งการสื่อสารระหว่างคู่โนดใดๆ ที่อยู่ห่างไกลกัน แพ็กเกตจะต้องเดินทางผ่านจากแยกสู่แยก ทำให้บริเวณทางแยกเป็นบริเวณที่มีการใช้ช่องทางการสื่อสารเป็นจำนวนมาก

รูปที่ 3.6 แสดงถึงจำนวนการชนกันของแพ็กเกตของโครงข่ายสื่อสารที่มีการจัดเส้นทางด้วยโปรโตคอล Greedy ระหว่างรถยนต์บนถนนที่วางตัวแบบกากบาท มีหนึ่งทางแยกอยู่ที่พิกัด (500,500) เมื่อโนดเคลื่อนที่ออกจากแยกในทิศทางออกจากพื้นที่จำลอง โนดซึ่งเป็นรถยนต์นี้ก็จะไปหยุดต่อแถวเสมือนการติดสัญญาณไฟจราจรที่อีกแยกถัดไปโดยรอบ ที่ทางแยกที่มีพิกัด (0,500) (500,1000) (1000,500) และ (500,0) จะเห็นว่าบริเวณที่มีจำนวนโนดคับคั่งดังกล่าวมีจำนวนการชนกันของแพ็กเกตมีค่าสูงเนื่องมากจากมีการสื่อสารที่ผ่านบริเวณนี้มาก ขณะที่บริเวณที่มีโนดเบาบางกว่าคือถนนระหว่างสองทางแยก จะมีการชนกันของแพ็กเกตที่น้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด ฉะนั้นในการออกแบบโปรโตคอลเพื่อใช้กับการสื่อสารที่มีสภาพการเคลื่อนที่ของโนดลักษณะนี้ จำเป็นจะต้องออกแบบให้โปรโตคอลจัดเส้นทางนั้นสามารถลดหรือทนทานต่อผลกระทบของการชนกันของแพ็กเกตที่ทางแยกให้ได้มากที่สุด คือจะต้องใช้โปรโตคอลที่ให้ค่าอัตราแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดที่สูง เพราะอัตราการส่งแพ็กเกตสำเร็จที่สูงนั้นหมายถึงการละทิ้งแพ็กเกตที่น้อยกว่าและการชนกันของแพ็กเกตที่น้อยกว่า

ในขณะที่บริเวณที่มีการชนกันของแพ็กเกตที่น้อยกว่าการเลือกใช้โปรโตคอลทำงานส่งต่อได้เร็วกว่าก็จะชดเชยการประวิงเวลาจากผลของการชนกันของแพ็กเกตข้างต้นนั้น



รูปที่ 3.6 จำนวนการชนกันของแพ็กเกตในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC ของโปรโตคอล Greedy แจกแจงตามตำแหน่งทางภูมิศาสตร์

3.2 สรุป

จากการประเมินสมรรถนะของโปรโตคอลต้นแบบข้างต้นนี้ แสดงให้เป็นชัดเจนว่าโปรโตคอลทั้งสองต่างมีสมบัติและกระบวนการทำงานที่ต่างกัน ทำให้แต่ละโปรโตคอลนั้นเหมาะที่จะใช้ในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน แม้ว่าโปรโตคอล Greedy นั้นจะให้อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดที่ต่ำกว่าโปรโตคอล AODV แต่ในบางกรณีเช่น เมื่อระบบต้องการข้อมูลที่มีค่าประวิงเวลาที่น้อยมาก เช่น การประยุกต์ใช้การจัดเส้นทางกับระบบเสริมความปลอดภัยของระบบจราจร ที่จะแจ้งเตือนผู้ขับขี่เพื่อให้ผู้ขับขี่นั้นสามารถหลบหลีกอันตรายที่กำลังจะมาถึงได้ ในเวลาอันสั้น เช่นการเตือนเมื่อรถยนต์เคลื่อนที่เข้าสู่ทางร่วม การมาถึงของแพ็กเกตแจ้งเตือนที่เร็วขึ้นแม้เพียงเล็กน้อย จะทำให้ระบบการแจ้งเตือนนั้นเปี่ยมประสิทธิภาพยิ่งมาก เมื่อคำนึงถึงผลของค่าประวิงเวลาแพ็กเกตร่วมกับ ค่าประวิงเวลาการตัดสินใจของผู้ขับขี่ และระยะทางการหยุดรถ ในขณะที่การประยุกต์ใช้โปรโตคอลจัดเส้นทางที่มีการส่งข้อมูลขนาดใหญ่ และมีแพ็กเกตจำนวนมาก อัตราส่วน

แพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดนั้นจะกลายเป็นปัจจัยสำคัญที่น่าจะต้องคำนึงถึงมากกว่า

เมื่อพิจารณาการพัฒนาโปรโตคอลจัดเส้นทางที่ เหมาะสมกับการจัดเส้นทางในสภาพแวดล้อมเมืองแล้ว ในบริเวณที่มีการชนกันของแพ็กเกตสูงเช่นบริเวณทางแยกนั้น น่าจะเลือกใช้โปรโตคอลที่มีขนาดของแพ็กเกตให้สัญญาณที่มีขนาดเล็ก เพราะโปรโตคอลที่มีขนาดแพ็กเกตให้สัญญาณเล็กนั้น จะให้อัตราการชนกันของแพ็กเกตที่ต่ำกว่า ในที่นี้จึงจะเลือกใช้โปรโตคอล AODV ขณะที่การส่งต่อแพ็กเกตเป็นทางตรง จากแยกสู่แยกนั้น โปรโตคอล Greedy น่าจะให้สมรรถนะที่ดี เพราะในการส่งทางตรง โปรโตคอล Greedy ที่จัดเส้นทางด้วยข้อมูลตำแหน่งนั้น น่าจะให้จำนวนฮอปที่น้อยกว่าการจัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยี และด้วยจำนวนฮอปที่น้อยกว่าของการส่งต่อระหว่างแยกสู่แยก นั้นหมายถึงค่าประวิงเวลาที่น้อยกว่า การจัดเส้นทางด้วยโปรโตคอล Greedy ระหว่างแยกสู่แยกจึงน่าจะช่วยชดเชยค่าประวิงเวลาของการจัดเส้นทางด้วยโปรโตคอล AODV บริเวณแยกได้ ทำให้ได้ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตของโปรโตคอลใหม่ที่มีค่าต่ำลงเมื่อเทียบกันการใช้เพียงโปรโตคอล AODV ในการจัดเส้นทางทั้งหมด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

กลไกของกลยุทธ์การหาเส้นทางที่นำเสนอ

จากบทประเมินสมรรถนะของโปรโตคอลต้นแบบ ทั้งโปรโตคอลหาเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีและโปรโตคอลหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง ซึ่งโปรโตคอลต้นแบบที่นำมาพิจารณาคือ โปรโตคอล AODV และ โปรโตคอล Greedy ตามลำดับ ทั้งสองต่างโปรโตคอลนี้มีสมรรถนะที่โดดเด่นแตกต่างกัน ข้อมูลที่ต้องการค่าประวิงเวลาที่น้อยและเป็นข้อมูลแบบ real-time เช่นการสื่อสารเพื่อเตือนภัยอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นข้างหน้า การเตือนภัยการเบรคของรถยนต์อย่างกระทันหันที่ต้องการค่าประวิงเวลาที่ต่ำมาก การหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่งที่ไม่ต้องสร้างเส้นทางก่อนการส่ง แม้จะให้อัตราส่วนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดที่ต่ำกว่า แต่ให้ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยที่ต่ำกว่ามาก ก็สมควรยกมาพิจารณา แต่ในปัญหาที่จะพิจารณาต่อไปนี้จะประยุกต์ใช้กลยุทธ์การหาเส้นทางกับการสื่อสารข้อมูลที่ไม่ใช่ข้อมูลแบบ real-time ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยอาจจะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยกว่าอัตราส่วนของแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด ตัวอย่างการสื่อสารลักษณะนี้อันได้แก่ การสื่อสารข้อมูลสภาพการจราจรเพื่อประมาณเวลาที่ต้องใช้ในการเดินทางสู่ปลายทาง (traveling time) หรือข้อมูลศูนย์บริการน้ำมัน ร้านอาหาร ห้างสรรพสินค้าบริเวณนั้น

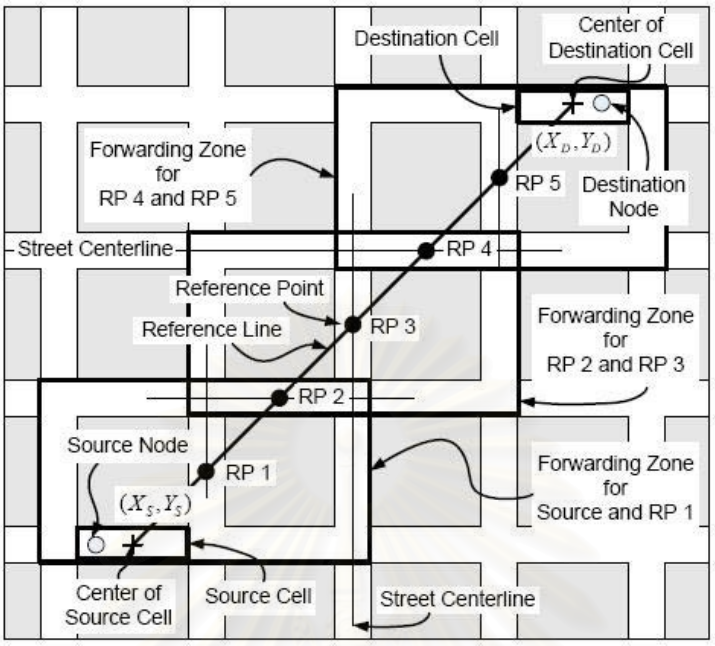
โปรโตคอลที่พัฒนาขึ้นมานี้ต้องการรวมเอาสมรรถนะเด่นของทั้งสองกลยุทธ์ต้นแบบนี้เข้าไว้ด้วยกัน โดยพยายามคงอัตราส่วนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดที่มีค่าสูงของโปรโตคอล AODV เอาไว้ และลดสมรรถนะด้อยของค่าประวิงเวลาเฉลี่ยที่มีค่าสูงของโปรโตคอล AODV ที่ต้องการการสร้างเส้นทางก่อนการส่งข้อมูล โดยการใช้โปรโตคอลที่ไม่ต้องสร้างเส้นทางในการส่งต่อบนถนนทางตรงจากแยกสู่แยก เพราะการสื่อสารข้ามพื้นที่ที่ไม่ใช่ถนน (คือตึกสูง) นั้นทำไม่ได้ โดยใช้การเคลื่อนที่ตามกันของรถยนต์ให้เป็นประโยชน์ นอกจากนี้ยังจะนำข้อมูลตำแหน่งที่มีอยู่มาเพิ่มความมั่นใจในการจัดเส้นทางด้วยการคำนวณการเชื่อมต่อ (connectivity) ก่อนการจัดเส้นทางด้วยกระบวนการจัดเส้นทางแบบ AODV อีกด้วย การผสมผสานนี้จะให้ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยแพ็กเกตที่น้อยกว่าการใช้เพียงโปรโตคอล AODV เพียงลำพัง และเนื่องจากโปรโตคอลนี้เกิดจากการผสมผสาน (Hybrid routing protocols) ระหว่างโปรโตคอล AODV และโปรโตคอล Greedy จึงตั้งชื่อโปรโตคอลใหม่นี้เป็น Distance Vector On-demand Greedy (DVOG)

4.1 นิยามพื้นที่จำกัดการกระจายข้อมูลการสื่อสารระหว่างผู้ส่งรายเดียวกับผู้รับรายเดียว (Unicast) พื้นที่โนดคับคั่ง และพื้นที่รอบแยกที่มีส่วนนำแพ็กเกตสู่ปลายทาง

เนื่องจากโปรโตคอลนี้ออกแบบให้สามารถปรับเปลี่ยนกลยุทธ์การจัดเส้นทางได้ตามปริมาณความคับคั่งของโนดในบริเวณนั้นๆ ในส่วนนี้จึงจะกล่าวถึงการนิยามบริเวณที่ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ของโนดที่แตกต่างกัน ในหัวข้อพื้นที่โนดคับคั่ง (Junction-zone หรือ J-zone) และจะนิยามบริเวณที่จะมีการปรับเปลี่ยนการใช้งานระหว่างกลยุทธ์การจัดเส้นทางทั้งสอง ในหัวข้อพื้นที่รอบแยกที่มีส่วนนำแพ็กเกตสู่ปลายทาง (Interfacing-zone) ทั้งนี้การนิยามบริเวณทั้งสองนี้จะใช้หลักเกณฑ์การเคลื่อนที่ของโนดเป็นหลัก

ในเบื้องต้นนี้จะพิจารณาปัญหาการออกแบบโปรโตคอลนี้ เพียงในสภาพแวดล้อมถนนที่มีแยกอยู่ห่างกัน 500 เมตรและไม่มีถนนย่อยหรือซอยระหว่างแยก ซึ่งอาจเป็นเหตุให้การเคลื่อนที่ของรถยนต์ชะลอตัวได้ เช่นในงานวิจัย [1] ได้นิยาม Forwarding zone ที่ทำหน้าที่จำกัดขอบเขตของพื้นที่กระจายแพ็กเกตข้อมูล หรือในที่นี้เรียกว่า พื้นที่ที่มีส่วนร่วมในการส่งต่อแพ็กเกตสื่อสารระหว่างผู้ส่งรายเดียวกับผู้รับรายเดียว (unicast) โดยวิธีการนิยามพื้นที่กระจายข้อมูลที่ได้กล่าวไว้จะกระทำโดยการลากเส้นตรงระหว่างโนดผู้ส่ง (Forwarder) และโนดปลายทาง ดังรูปที่ 4.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการสร้างพื้นที่กระจายข้อมูล (Forwarding zone)
ของการส่งต่อแพ็กเกตข้อมูลระหว่างโนดคู่หนึ่งจาก [1]

แล้วพิจารณาพื้นที่กระจายข้อมูลโดย พิจารณาบล็อกที่เส้นตรงนั้นพาดผ่าน (บล็อกคือพื้นที่ที่ถูกปิดล้อมด้วยถนน เช่น ถนนแบบตาตารางสี่เหลี่ยม (Manhattan grid) วิธีการนี้จะนับรวมถนนทั้งสี่ด้านของบล็อกเป็นส่วนหนึ่งของบล็อกด้วย) และเรียกเซตของบล็อกที่เส้นตรงพาดผ่านนั้นว่าเป็น Forwarding zone ของการสื่อสารแพ็กเกตระหว่างผู้ส่งรายเดียวกับผู้รับรายเดียวของแพ็กเกตนั้น รถยนต์ทุกคันที่อยู่ใน Forwarding zone นั้นจะต้องมีส่วนร่วมในการส่งต่อแพ็กเกตข้อมูล และรถยนต์ที่ไม่ได้อยู่ใน Forwarding zone นี้จะละเลยแพ็กเกตข้อมูลนั้นไป เนื่องจากโปรโคอลหาเส้นทางในข้างต้นนี้ [1] ทำงานด้วยระบบ timer-based (ดังกล่าวในบทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง) การกำหนด Forwarding-zone จะช่วยให้โปรโตคอล Greedy ชนิดนี้ทำงานได้ดียิ่งขึ้น

แต่ในกระบวนการพิจารณาพื้นที่กระจายข้อมูลดังกล่าวในข้างต้นนั้น สมมุติให้ถนนนั้นเปรียบเสมือนเส้น แต่ในความเป็นจริงแล้วถนนมีความกว้าง ที่รถยนต์จะวางตัวอยู่ในตำแหน่งใดในเลนใดของถนนก็ได้ วิทยานิพนธ์จึงเสนอวิธีการพิจารณาแบบใหม่ที่คำนึงถึงโอกาสที่บล็อกใดๆควรมีส่วนร่วมเป็นพื้นที่ที่มีส่วนร่วมกระจายข้อมูล โดยการใช้อัตราส่วนการพาดผ่านของเส้นตรง ที่พาดผ่านแต่ละบล็อกในการตัดสินใจ นอกจากนี้ยังออกแบบให้สามารถใช้ได้กับถนนรูปทรงและความกว้างของถนนขนาดใดๆได้อีกด้วย

4.1.1 พื้นที่ที่มีส่วนร่วมกระจายข้อมูลการสื่อสารระหว่างผู้ส่งรายเดียวกับผู้รับรายเดียว (Forwarding-zone)

พื้นที่ที่มีส่วนร่วมกระจายข้อมูลจะช่วยจำกัดขอบเขตการกระจายข้อมูล ไม่ให้รบกวนบริเวณอื่นที่มิได้อยู่ในทิศทางนำสู่ปลายทาง และยังเป็นการช่วยเลือกผู้รับรายถัดไปอีกขั้นหนึ่ง นอกจากการพิจาราณาเลือกโนดผู้รับรายถัดไปโดยโปรโตคอลจัดเส้นทางโดยลำพัง โปรโตคอลจัดเส้นทางที่ออกแบบนี้ จึงมีนิยามพื้นที่ที่มีส่วนร่วมในการกระจายข้อมูลระหว่างคู่โนดหนึ่งๆไว้ ว่าคือ ยูเยียน (Union) ของ*บล็อกที่มีส่วนร่วม*ในการสื่อสารระหว่างคู่โนดผู้ส่งรายปัจจุบัน (Forwarder) และโนดปลายทาง โดยบล็อกคือพื้นที่ที่ถูกปิดล้อมด้วยถนน เช่น ถนนแบบตาตารางสี่เหลี่ยม (Manhattan grid) วิธีการนี้จะไม่นับรวมถนนทั้งสี่ด้านของบล็อกเป็นส่วนหนึ่งของบล็อกด้วย การตัดสินการมีส่วนร่วมในการสื่อสารของบล็อกใดๆมีดังนี้

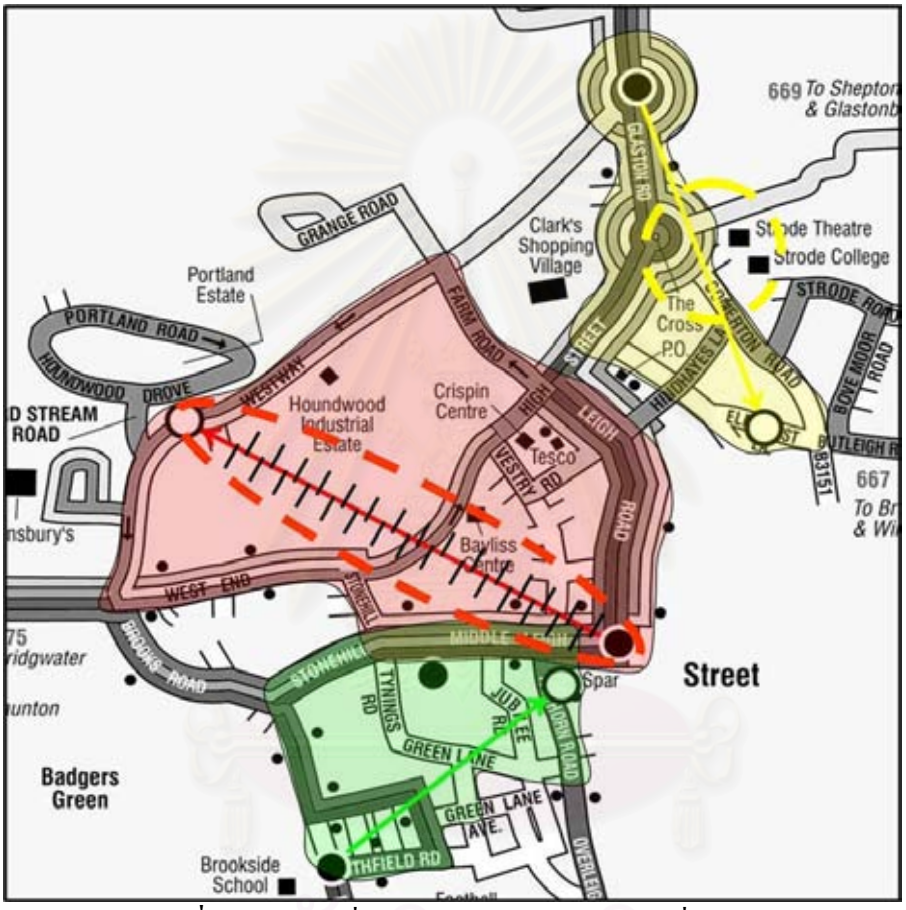
(1) ลากเส้นตรงระหว่างโนดผู้ส่งรายปัจจุบัน (Forwarder) และโนดปลายทางด้วยข้อมูลตำแหน่งของโนดปลายทางจากส่วนหัว (Header) ของแพ็กเกตข้อมูลที่แนบมาโดยโนดต้นทางเมื่อโนดต้นทางทราบตำแหน่งของโนดปลายทางจากการร้องขอข้อมูลเส้นทางและตำแหน่ง

(2) สร้างกิ่งที่ตั้งฉากกับเส้นตรงข้างต้นด้วยความยาวเท่ากับ *swing _ size* ทุกๆระยะเท่ากับ *step _ size* แบบสลับฟันปลาซ้ายขวา ซึ่งวิธีการพิจารณาการมีส่วนร่วมของบล็อกนี้จะใช้ปลายของกิ่งข้างต้นในการนับการมีส่วนร่วมของบล็อกที่กำลังพิจารณา ถ้าปลายของกิ่งวางตัวอยู่ในบล็อก

ในการจำลองผล กำหนดให้ *swing _ size* มีค่าเท่ากับความกว้างของถนน โดยความกว้างของถนนในที่นี้หมายถึงระยะระหว่างไหล่ทางของถนนสองฝั่งที่สวนกัน ซึ่งในการจำลองนี้มีค่าเท่า 30 เมตร และกำหนดให้ *step _ size* มีค่าเท่ากับ 3 เมตร (การกำหนดค่า *step _ size* นี้ได้มาจากการทดลองคำนวณด้วยวิธีที่เสนอ เทียบกับการเลือกด้วยวิธีใน [1] และความซับซ้อนในการคำนวณเมื่อขนาดของ *step _ size* มีค่าน้อยลง)

(3) นับจำนวนกิ่งที่พาดผ่านบล็อกแต่ละบล็อก ถ้าปลายของกิ่งนั้นอยู่ในบล็อกนั้นๆจะนับว่ากิ่งนั้นพาดผ่านบล็อกที่กำลังพิจารณา และจะนับว่าบล็อกนั้นมี

ส่วนร่วมในการส่งต่อถ้ามีกิ่งพาดผ่านเป็นจำนวนเท่ากับ *count* เมื่อ *count* มีค่าคงที่ ในการจำลองผล กำหนดให้ *count* มีค่าเท่ากับ 3 (การกำหนดค่า *count* นี้ได้มาจากการทดลองคำนวณด้วยวิธีที่เสนอ เทียบกับการเลือกด้วยวิธีใน [1])



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างที่มีส่วนร่วมกระจายข้อมูลการสื่อสาร
ระหว่างผู้ส่งรายเดียวกับผู้รับรายเดียว

การนับบล็อกมีส่วนร่วมนั้น ทำได้ด้วยการคำนวณด้วยพารามิเตอร์ข้างต้นคือ *swing _ size step _ size* และ *count* ที่อาจปรับเปลี่ยนให้ใกล้เคียงกับการตัดสินพื้นที่ที่มีส่วนร่วมกระจายข้อมูลจากวิธีใน [1] ควบคู่ระยะระหว่างโนดผู้ส่งและโนดปลายทาง แต่ทั้งนี้ถ้าปรับใช้พารามิเตอร์ให้มีค่าละเอียดมากเช่น การกำหนดให้ *step _ size* มีค่าน้อยลง เพื่อให้ได้จำนวนการสุ่มตัวอย่าง (sampling) มากขึ้น แล้วใช้การกำหนดค่า *count* แบบแปรผันตรงกับระยะทางระหว่างโนดผู้

ส่งกับโนดปลายทาง การตัดสินนี้จะแม่นยำยิ่งขึ้นแต่ก็เป็นที่มาของความซับซ้อน (complexity) ในการคำนวณที่จะสูงขึ้นตามกันไปแบบเชิงเส้นอีกด้วย

ต่อมาเป็นการตัดสินว่าโนดพิจารณานั้นวางอยู่ในบล็อกใด เนื่องจากการตัดสินว่าโนดผู้ส่งรายปัจจุบันจะส่งแพ็กเกตต่อให้โนดข้างเคียงโนดใดนั้น โนดผู้ส่งจะต้องคำนวณทั้งพื้นที่ที่มีส่วนร่วมในการส่งแพ็กเกตและยังต้องคำนวณว่าโนดข้างเคียงที่มีการเชื่อมต่อกับตนอยู่โนดใดที่เหมาะสมและอยู่ในพื้นที่ที่มีส่วนร่วมในการส่งต่อข้างต้นนี้บ้าง ถ้าอินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของเซต (ในที่นี้พิจารณาว่าโนดหนึ่งๆที่บนถนนควรจะถูกนับว่าอยู่ทั้งในสองบล็อกที่มีด้านคือถนนเส้นนี้ จึงใช้คำว่าเซตในการนิยามกลุ่มของบล็อก) ของบล็อกที่โนดมีส่วนร่วมกับเซตของบล็อกที่เส้นตรงระหว่างโนดผู้ส่งและโนดปลายทางพาดผ่านมีส่วนร่วมไม่เป็นศูนย์ ให้นับว่าโนดนั้นมีส่วนร่วมในการสื่อสารระหว่างผู้ส่งรายเดียวกับผู้รับรายเดียวครั้งนั้น กล่าวคือโนดผู้ส่งมีโอกาสจะเลือกโนดนั้นให้เป็นผู้รับรายถัดไปได้ โนดที่ไม่ไม่มีคุณสมบัติตามนี้จะไม่มีสิทธิ์ได้รับเลือกนั้นคือไม่มีส่วมร่วมในการส่งต่อแพ็กเกตนั้นเอง

โดยการพิจารณาว่าโนดวางอยู่ในบล็อกใด พิจารณาโดย

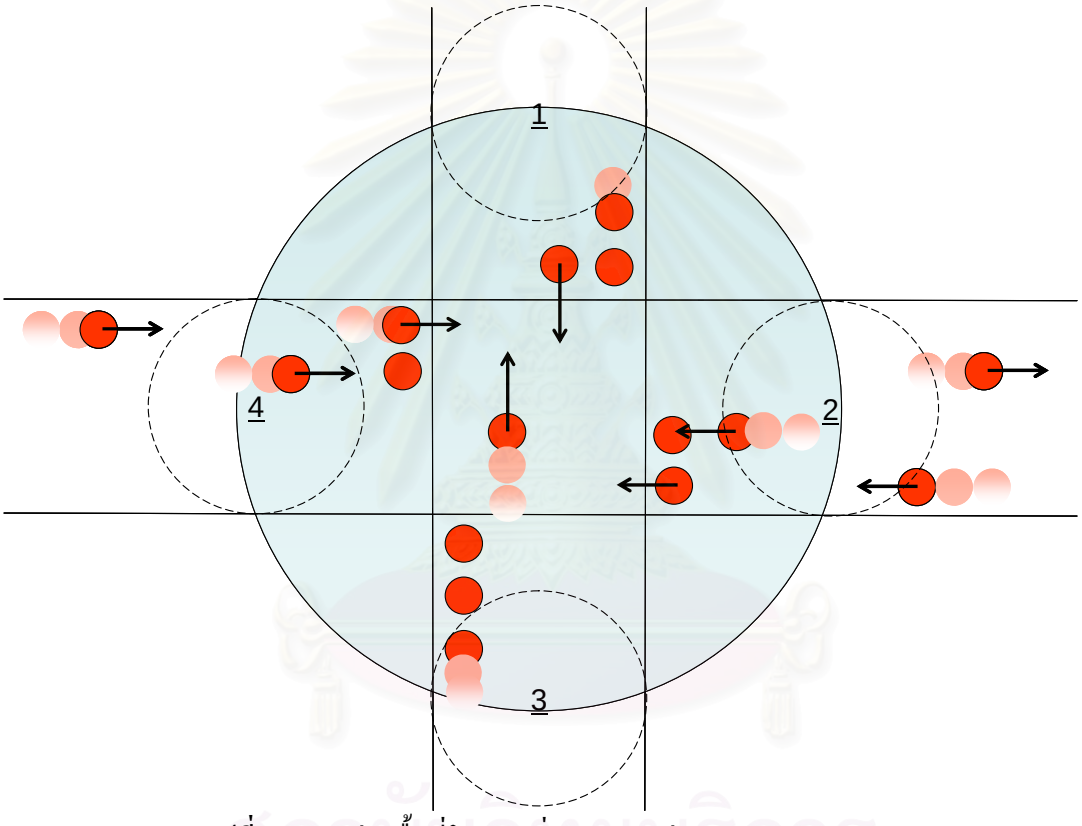
(1) ต่อกิ่งออกไปโดยรอบโนดด้วยรัศมีเท่ากับ swing_size ในที่นี้ให้มีกิ่งทั้งหมดแปดกิ่งโดยรอบ เนื่องด้วยลักษณะถนนที่ยกมาพิจารณาและจำลองนี้เป็นถนนแบบตาตาราง (Manhattan grid) ที่มีเพียงถนนที่ตั้งฉากและขนานกับแกน x และ y และการวางตัวของรถยนต์บนถนนนั้นก็มีทิศทางตามยาวไปกับถนน ถ้ากำหนดให้มีการต่อกิ่งออกไปเพียงสี่กิ่งแต่ละกิ่งทำมุม 90 องศา มีโอกาสที่กิ่งนั้นจะไม่พาดผ่านบล็อกใดเลยเช่น เมื่อรถยนต์อยู่กลางสี่แยก ถ้าลากกิ่งออกไปตามแกน x และ y ปลายของกิ่งนั้นจะไม่พาดผ่านบล็อกใดเลย

(2) ถ้าปลายของกิ่งนั้นพาดผ่านบล็อกใด ให้นับว่าโนดนั้นมีส่วนร่วมกับบล็อกนั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 พื้นที่โนดคับคั่ง (Junction-zone หรือ J-zone)

จากการสังเกตสภาพเคลื่อนที่ได้ (mobility) ของรถยนต์บริเวณทางแยกโดยทั่วไปแล้ว พอสรุปได้ว่าบริเวณทางแยกมีสภาพการเคลื่อนที่ได้ที่ต่ำกว่าในช่วงของถนนบริเวณระหว่างแยกถึงแยก ดังรูป 3.8



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างพื้นที่โนดคับคั่ง r_{J-zone} เท่ากับ 100 เมตรและ
พื้นที่รอบแยกที่มีส่วนนำแพ็กเกตสู่ปลายทาง $r_{Interfacing-zone}$ เท่ากับ 35 เมตร

รูป 4.3 แสดงพื้นที่ในวงกลมคือบริเวณที่มีการเคลื่อนที่ของรถยนต์ที่ต่ำเนื่องจากสัญญาณไฟจราจร แม้ในกรณีที่แยกนั้นไม่มีสัญญาณไฟและการจราจรคล่องตัวผู้ขับขี่ก็จำเป็นจะต้องชะลอความเร็วเมื่อถึงทางแยก นอกจากนี้ยังมีการนิยามวงกลมเส้นประหมายเลข 1-4 คือพื้นที่รอบแยกที่มีส่วนนำแพ็กเกตสู่ปลายทางสี่พื้นที่รอบทางแยก (Interfacing-zone) ที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป โปรโตคอลที่พัฒนานี้ต้องการจะใช้ประโยชน์ขณะที่สภาพการเคลื่อนที่ต่ำนี้ และกำหนดให้ใช้

โปรโตคอลหาเส้นทางที่มีการสร้างเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีในบริเวณนี้ (local path) เพราะจากการประเมินสมรรถนะแล้วเห็นว่าบริเวณนี้มีอัตราการละทิ้งแพ็กเกตสูงกว่าดังเช่นรูปที่ 3.6 จึงนิยามให้พื้นที่รอบแยก ระยะรัศมีเท่ากับ r_{J-zone} เมตรเป็นบริเวณที่เรียกว่า พื้นที่โนดคับคั่ง (Junction-zone หรือ J-zone)

ค่ารัศมี r_{J-zone} นี้อาจปรับเปลี่ยนได้ด้วยการประเมินสมรรถนะโปรโตคอลหาจุดที่โปรโตคอลหาเส้นทางทำงานได้ดีที่สุด หรือค่า r_{J-zone} อาจจะมีค่าปรับเปลี่ยนได้อย่างอัตโนมัติ (Adaptive) ในการใช้งานจริงของโปรโตคอล โดยอาจจะมีค่าปรับเปลี่ยนตามพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น จำนวนรถยนต์บริเวณทางแยกขณะนั้น ขนาดของทางแยก อัตราเร็วเฉลี่ยของรถยนต์บริเวณแยก อัตราการส่งข้อมูล (injection rate) เป็นต้น แต่ในที่นี้เพื่อลดความซับซ้อนของพารามิเตอร์ในการจำลองผล จึงนิยามให้ r_{J-zone} มีค่าคงที่เท่ากับ 100 เมตร

4.1.3 พื้นที่รอบแยกที่มีส่วนนำแพ็กเกตสู่ปลายทาง (Interfacing-zone)

พื้นที่รอบแยกที่มีส่วนนำแพ็กเกตสู่ปลายทาง (Interfacing-zone) คือพื้นที่มีรัศมีเท่ากับ $r_{Interfacing-zone}$ เมตรรอบจุดตัดระหว่างขอบหรือเส้นรอบวงของพื้นที่โนดคับคั่ง กับถนนสู่แยก เมื่อแพ็กเกตถูกส่งเข้ามาสู่ทางแยก และต้องการส่งต่อไปยังโนดปลายทางที่อยู่ห่างออกไปโดยแพ็กเกตนั้นต้องเคลื่อนที่ผ่านทางแยกนี้ไปก่อน เนื่องด้วยโปรโตคอลได้กำหนดให้มีการสร้างเส้นทางอิงทอพอโลยีแบบ On-demand ในแบบของโปรโตคอล AODV ไว้เพียงบริเวณทางแยก (local path) คือในรัศมีขนาด r_{J-zone} ของ J-zone เท่านั้น เมื่อแพ็กเกตข้อมูลที่ถูกส่งโดยโนดที่ทำงานในโหมด *DVOGMODE_GREEDY* (คือโหมดการหาเส้นทางของโปรโตคอล DVOG ที่ใช้การหาเส้นทางแบบโปรโตคอล Greedy โนดจะทำงานในโหมด *DVOGMODE_GREEDY* เมื่อโนดนั้นอยู่นอก J-zone นอกจากนั้นแล้วถ้าโนดอยู่ใน J-zone โนดจะใช้การหาเส้นทางแบบโปรโตคอล AODV) เข้ามาสู่แยก และถูกรับไว้โดยโนดผู้รับที่ทำงานในโหมด *DVOGMODE_AODV* โนดผู้รับนี้มีหน้าที่ส่งแพ็กเกตต่อไปยังโนดปลายทาง (ในที่นี้ให้โนดปลายทางอยู่ไกลออกไปจากแยกนี้โดยแพ็กเกตต้องเคลื่อนผ่านแยกนี้ไปก่อน) โนดจะทำการส่งต่อแบบ Geocasting ผ่านเส้นทางที่สร้างไว้แล้วแบบผู้ส่งรายเดียวกับผู้รับรายเดียว (unicast) ซึ่งการเส้นทางนั้นคือ local path ที่สร้างไว้ก่อนนี้แล้ว ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ *กระบวนการบริการเส้นทางพร้อมข้อมูลตำแหน่งและกระบวนการส่งต่อแพ็กเกต* โดยพื้นที่ที่โนดผู้ส่งจะเลือกส่งต่อไปนั้น คือหนึ่งในสามพื้นที่ในอีกด้านนึงของแยกที่ไม่ใช่บนถนนที่ตนอยู่ ซึ่งพื้นที่นั้นก็คือพื้นที่รอบแยกที่มีส่วนนำแพ็กเกตสู่ปลายทาง (Intefacing-zone) เช่นเมื่อแพ็กเกตเข้ามาทางพื้นที่ Interfacing-zone

หมายเลข 4 และต้องการส่งต่อไปยังโนดปลายทางที่อยู่เลย Interfacing-zone หมายเลข 1 ไปโปรโตคอลจะใช้เส้นทาง local path ภายในวงกลมเส้นทึบในการส่งต่อแพ็กเกตสู่โนดที่อยู่ในวงกลมหมายเลข 1

4.2 พารามิเตอร์ ลักษณะแพ็กเกต และชนิดของโหมดการส่งที่ใช้ในกลยุทธ์หาเส้นทางนี้

ส่วนนี้แสดงค่าของพารามิเตอร์ของระเบียบวิธีที่เสนอที่ใช้ในแต่ละโนด เพื่อสำหรับเก็บข้อมูล ชนิดของแพ็กเกต และโหมดการทำงานของระเบียบวิธีนี้

4.2.1 พารามิเตอร์

ตารางที่ 4.1 ตารางพารามิเตอร์ ลักษณะแพ็กเกต และชนิดของโหมดการส่งที่ใช้ในกลยุทธ์หาเส้นทางนี้

พารามิเตอร์ควบคุมระยะช่วงการเชื่อมต่อ (TTL)	
TTL _ START	ค่าฮอปเริ่มต้นในการส่งแพ็กเกตร้องขอข้อมูลเส้นทางและตำแหน่ง
TTL _ INCREMENT	จำนวนฮอปที่เพิ่มขึ้นแต่ละครั้งที่การร้องขอไม่เกิดผล
TTL _ THRESHOLD	ค่าจำนวนฮอปขีดขั้นมากที่สุดก่อนการเพิ่มค่าฮอปเพิ่มเป็นค่าที่มากที่สุด (*TTL _ MAX*)
TTL _ MAX	จำนวนฮอปสูงสุดของแพ็กเกตให้สัญญาณ
NETWORK _ DIAMETER	จำนวนฮอปสูงสุดของโครงข่าย (นิยามโดยสมการ 3.1)
พารามิเตอร์ของตารางเส้นทางและตำแหน่งของโนด	
rt _ dst _	หมายเลขโนดปลายทาง
rt _ dst _ x _	พิกัด *x* ของโนดปลายทาง
rt _ dst _ y _	พิกัด *y* ของโนดปลายทาง
rt _ nexthop _	โนดผู้ส่งรายถัดไปสู่โนดปลายทางหมายเลข *rt _ dst _*

rt _ hops _	จำนวนฮอปที่ใช้สู่โนดปลายทาง
rt _ seqno _	หมายเลขลำดับบอกความอายุของเส้นทาง (route sequence number)
rt _ flags _	ค่าสถานะบอกความพร้อมใช้งานได้ของเส้นทาง
rt _ exp_	เวลาหมดอายุของเส้นทางและตำแหน่ง
rt _ req _ timeout _	เวลาหมดช่วงการรอคอยแพ็กเกตร้องขอเส้นทางและข้อมูลตำแหน่ง พร้อมที่จะส่งแพ็กเกตร้องขออีกครั้งถ้าต้องการ
rt _ req _ cnt _	จำนวนการร้องขอที่ร้องขอไปแล้วด้วยค่า *TTL* สูงสุด (*NETWORK _ DIAMETER*) แต่ยังไม่ได้รับแพ็กเกตตอบเส้นทางและข้อมูลตำแหน่ง
rt _ request _ last _ ttl _	ค่าช่วงการเชื่อมต่อของการร้องขอเส้นทางและตำแหน่งครั้งก่อน
MY _ ROUTE _ TIMEOUT	คาบเวลาอายุของข้อมูลเส้นทางและตำแหน่ง
พารามิเตอร์ของตารางการรับรู้การสัญญาณแพร่กระจายของโนด	
bid _ src _	หมายเลขโนดผู้กระจายแพ็กเกตแพร่สัญญาณ
bid _ uid _	หมายเลขระบุแพ็กเกตแพร่สัญญาณ
bid _ exp_	เวลาการชำระรายนาม (entry) แพ็กเกตแพร่สัญญาณ ที่เคยได้รับรู้
HELLO _ INTERVAL	คาบเวลาการส่งสัญญาณยืนยันสภาวะเชื่อมต่อแก่โนดข้างเคียงหรือแพ็กเกตทักทาย
พารามิเตอร์ของตารางเก็บรายนามโนดข้างเคียง	
nb _ addr _	หมายเลขโนดข้างเคียง
nb _ x _	พิกัด x ของโนดข้างเคียง
nb _ y _	พิกัด y ของโนดข้างเคียง
nb _ exp_	เวลาการชำระรายนาม (entry) โนดข้างเคียง
พารามิเตอร์เกี่ยวข้องบริเวณคับคั่งและพื้นที่ขอบบริเวณคับคั่ง	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CAR _ LENGHT _	ความยาวเฉลี่ยของรถยนต์
r_{J-zone}	รัศมีของพื้นที่โนดคับคั่งรอบทางแยก (J-zone)
$r_{Interfacing-zone}$	รัศมีของพื้นที่รอบแยกที่มีส่วนนำแพ็กเกตสู่ปลายทาง (Interfacing-zone)

4.2.2 ชนิดของแพ็กเกต

ชนิดของแพ็กเกต	
PT _ DVOG	แพ็กเกตให้สัญญาณ (signaling packet) ของโปรโตคอล DVOG
DVOGTYPE _ HELLO	แพ็กเกตทักทายเพื่อยืนยันสภาวะเชื่อมต่อแก่โนดข้างเคียงพร้อมตำแหน่งทางภูมิศาสตร์แก่โนดข้างเคียง
DVOGTYPE _ RREQ	แพ็กเกตร้องขอข้อมูลเส้นทางและตำแหน่งทางภูมิศาสตร์
DVOGTYPE _ RREP	แพ็กเกตตอบข้อมูลเส้นทางและตำแหน่งทางภูมิศาสตร์
DVOGTYPE _ RERR	แพ็กเกตแจ้งเส้นทางเสียหาย

4.2.3 โหมดการทำงาน

โหมดการทำงาน	
DVOGMODE _ GREEDY	โหมดการส่งต่อเมื่อโนดอยู่นอกบริเวณคับคั่งซึ่งใช้การหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่งเป็นหลัก
DVOGMODE _ AODV	โหมดการส่งต่อเมื่อโนดอยู่ในบริเวณคับคั่งซึ่งใช้การหาเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีเป็นหลัก

4.3 กระบวนการบริการเส้นทางพร้อมข้อมูลตำแหน่ง กระบวนการส่งต่อแพ็กเกต และการรักษาเส้นทางและข้อมูลตำแหน่ง

ในการส่งแพ็กเกตข้อมูลสู่ปลายทางของกลยุทธ์จัดเส้นทาง แบบอิงข้อมูลตำแหน่งนั้น จำเป็นต้องมีกระบวนการบริการตำแหน่ง และกลยุทธ์จัดเส้นทางอิงทอพอโลยีนั้น จำเป็นต้องมีการสร้างเส้นทาง ถึงแม้ว่ามีหลายผลงานในอดีตที่พัฒนาเพียงกระบวนการบริการตำแหน่ง เช่นใน [15] ของ

การจัดเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง วิทยานิพนธ์นี้จึงได้เสนอการบริการตำแหน่งที่เหมาะสมกับแนวคิดการผสมผสานโปรโตคอลต้นแบบ AODV และ Greedy ไว้ ด้วยกระบวนการบริการตำแหน่งแบบพื้นฐานที่มักใช้การแพร่กระสัญญาณ (Flooding) เพื่อค้นหา (search) โนดปลายทางหมายเลขที่ต้องการ ซึ่งเป็นกระบวนการที่คล้ายกับการสร้างเส้นทางของโปรโตคอล AODV ที่ใช้การแพร่กระจายสัญญาณ (แต่การแพร่กระจายสัญญาณสร้างเส้นทางของโปรโตคอล AODV ยังที่มีความสามารถในการทำ expansion-ring อีกด้วย คือโปรโตคอลจะเริ่มแพร่กระจายสัญญาณออกไปด้วยค่า *TTL* ต่ำๆ ก่อนที่จะเพิ่มค่า *TTL* ขึ้น ถ้ายังไม่ได้รับแพ็กเกตตอบเส้นทาง (Route-Reply หรือ RREP)) แต่ในกระบวนการแพร่กระจายสัญญาณของโปรโตคอล AODV นั้นมีจุดประสงค์ในการสร้างเส้นทางเพียงอย่างเดียว ซึ่งต่างจากจุดประสงค์ของการแพร่กระจายสัญญาณของโปรโตคอล Greedy ที่ต้องการเพียงข้อมูลตำแหน่งของโนดปลายทาง โปรโตคอลที่พัฒนานี้จึงที่ผสมผสานกระบวนการสร้างเส้นทางของโปรโตคอล AODV เข้ากับกระบวนการบริการตำแหน่งของโปรโตคอล Greedy ด้วยการกระจายแพ็กเกตที่เรียกว่า*แพ็กเกตร้องขอเส้นทางและข้อมูลตำแหน่ง*ในคราวเดียว

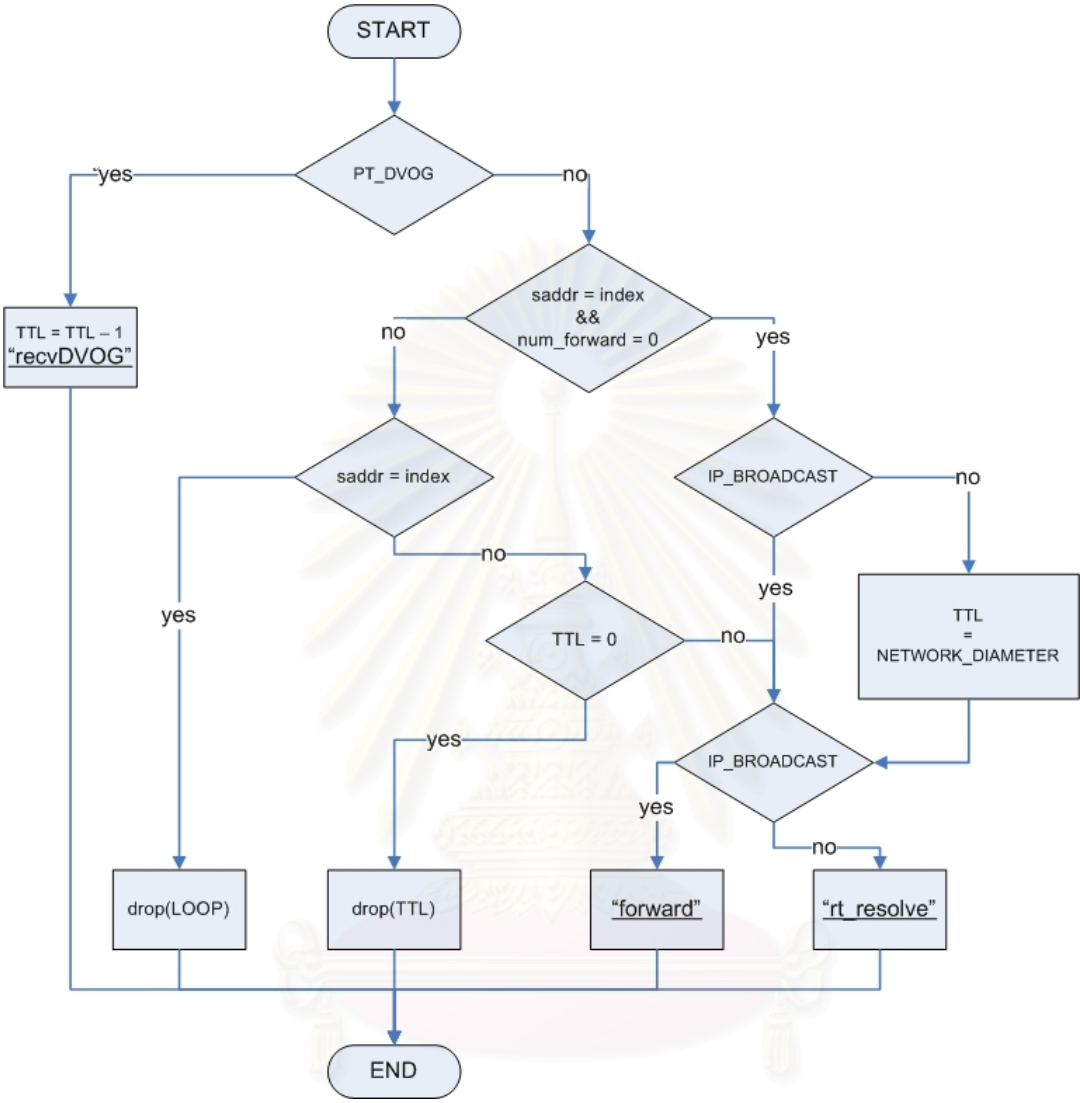
โดยกระบวนการสร้างเส้นทางแบบ Distance Vector พร้อมบริการตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของโนดปลายทาง และกระบวนการส่งต่อขอโปรโตคอลที่ออกแบบมานั้น มีกระบวนการย่อยหลายกระบวนการ หัวข้อต่อไปนี้จะอธิบายกระบวนการที่สำคัญ โดยเรียงตามกระบวนการที่โปรโตคอลจะดำเนินการเมื่อมีความต้องการส่งแพ็กเกตข้อมูล ซึ่งมีดังต่อไปนี้

4.3.1 กระบวนการเมื่อโนดของโปรโตคอล DVOG รับแพ็กเกต (“recv”)

ในระดับของโปรโตคอลเลเยอร์ชั้นโครงข่าย (Network layer) DVOG ที่พิจารณานี้แพ็กเกตที่เกี่ยวข้องได้แก่ แพ็กเกตข้อมูล ซึ่งอาจจะเป็นแพ็กเกต CBR (Constant Bit Rate) แพ็กเกต TCP (Transmission Connection Protocols) หรือแพ็กเกตข้อมูลที่ต้องการสื่อสารชนิดอื่นจากการรับและส่งจากชั้นสื่อสารเลเยอร์บนและล่างคือชั้นการขนส่ง (Transportation Layer) และชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer) ตามลำดับ และแพ็กเกตอีกประเภทคือแพ็กเกตให้สัญญาณของโปรโตคอล DVOG เอง ในที่นี้จะเรียกแพ็กเกตชนิดนี้ว่า PT_DVOG (Packet DVOG) ซึ่งประกอบด้วยแพ็กเกตสี่ชนิดคือ *DVOGTYPE _ HELLO* *DVOGTYPE _ RREQ* *DVOGTYPE _ RREP* และ *DVOGTYPE _ RERR*

เมื่อมีแพ็กเกตเข้ามาสู่โปรโตคอลชั้นโครงข่ายโปรโตคอลจะทำงานดังแสดงในรูปที่

4.4



รูปที่ 4.4 Flow chart แสดงกระบวนการเมื่อ
โนดของโปรโตคอล DVOG รับแพ็กเกต ("recv")

ด้วยขั้นตอน "recv" (receive) โปรโตคอลจะพิจารณาว่าเป็นแพ็กเกตนี้เป็นชนิดใด ระหว่างแพ็กเกตข้อมูลหรือแพ็กเกตให้สัญญาณ ถ้าเป็นแพ็กเกตชนิดให้สัญญาณ โปรโตคอลจะลดค่า TTL ลง '1' แล้วส่งไปแยกชนิดของแพ็กเกตให้สัญญาณต่อไปด้วยกระบวนการ "recvDVOG" แต่ถ้าแพ็กเกตไม่ใช่แพ็กเกตให้สัญญาณแต่เป็นแพ็กเกตข้อมูล โปรโตคอลจะตรวจสอบ ถ้าแพ็กเกตนี้ตน (ซึ่ง

มีหมายเลขประจำโนดคือ index) เป็นผู้สร้าง (i.e. saddr = index) และ ไม่เคยได้รับการส่งต่อมาก่อน (i.e. num_forward = 0) อีกทั้งยังเป็นแพ็กเกตข้อมูล (คือไม่ใช่แพ็กเกตให้สัญญาณ (IP_BROADCAST)) โปรโตคอลจะกำหนดให้แพ็กเกตที่กำลังจะส่งออกไปเป็นครั้งแรกนี้มีค่า TTL เท่ากับค่า NETWORK_DIAMETER

$$NETWORK_DIAMETER = \max(\min(D(n_i, n_j))) \quad (3.1)$$

โดยที่

n_i คือ โนดหมายเลข i โดยที่ มีค่าเท่ากับ 1, 2, …,จำนวนโนดในโครงข่าย

n_j คือ โนดหมายเลข j โดยที่ มีค่าเท่ากับ 1, 2, …,จำนวนโนดในโครงข่าย

$D(a,b)$ คือ จำนวนฮอปของการส่งข้อมูล ระหว่างโนด a และโนด b

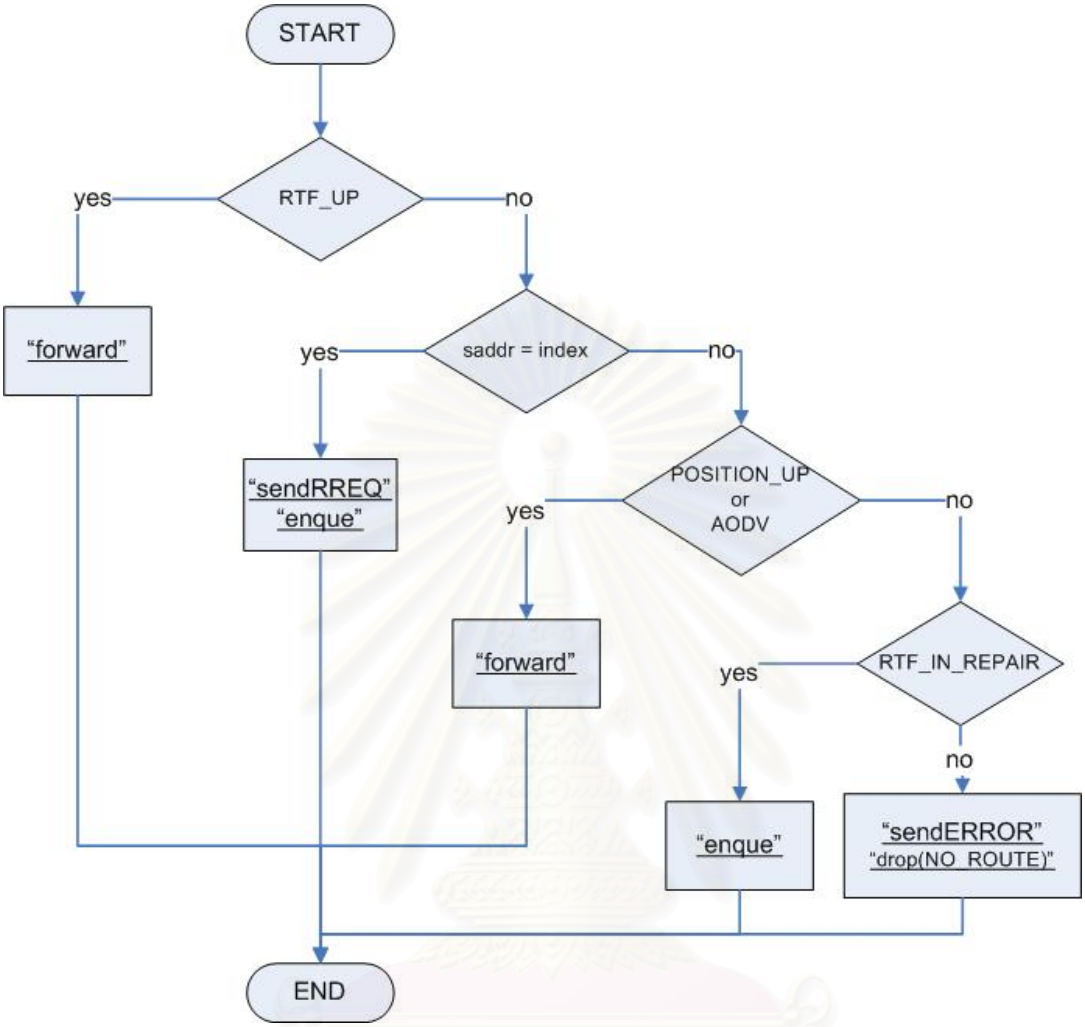
ในทางปฏิบัติค่า $NETWORK_DIAMETER$ นี้จะถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่สำหรับโครงข่ายขนาดหนึ่งๆ

นอกจากนี้แล้วถ้าตนเป็นผู้สร้างแพ็กเกตนี้ขึ้นจริง แต่แพ็กเกตนี้กลับเคยถูกส่งต่อๆกันมาแล้ว นั่นหมายถึงเกิดการส่งเป็นลูปขึ้น โปรโตคอลจะละทิ้งแพ็กเกตข้อมูลนี้ด้วยสาเหตุว่าแพ็กเกตนี้ถูกส่งวนเป็นลูป (drop(LOOP))

นอกจากนั้นแล้วถ้าแพ็กเกตข้อมูลที่เข้ามาในกระบวนการ "recv" แล้วมีค่า TTL เท่ากับ '0' โปรโตคอลจะละทิ้ง (drop(TTL)) แพ็กเกตนั้น ด้วยสาเหตุว่าแพ็กเกตนั้นหมดอายุ (TTL = 0)

4.3.2 กระบวนการเตรียมเส้นทางของโปรโตคอล DVOG ("rt_resolve")

จากข้างต้นถ้าโปรโตคอลต้องการส่งแพ็กเกตข้อมูลนี้ออกไปจริง โปรโตคอลจะประมวลหาเส้นทางด้วยกระบวนการแบบอิงตำแหน่งหรือทอพอโลยีด้วยกระบวนการ "rt_resolve" ดังแสดงในรูปที่ 3.10 แต่ถ้าเป็นแพ็กเกตชนิด $IP_BROADCAST$ โปรโตคอลจะสั่งให้ "forward" ซึ่งการส่งแพ็กเกตให้สัญญาณนี้จะเป็นการส่งต่อแบบแพ็กเกตแพร่กระจายสัญญาณ (Broadcast) คือไม่ต้องมีการเตรียมเส้นทางแต่อย่างใด



รูปที่ 4.5 Flow chart แสดงกระบวนการเตรียมเส้นทาง
ของโปรโตคอล DVOG ("rt_resolve")

ในกระบวนการเตรียมเส้นทางเพื่อส่งต่อแพ็กเกตข้อมูลของโปรโตคอล DVOG ("rt_resolve") โนดจะหาเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีจากตารางเส้นทางที่มีอยู่ ดังตัวอย่างตารางที่ 4.2 ของโนดตัวอย่างหมายเลข 16 ตารางเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งนี้จะเก็บข้อมูลอันได้แก่เส้นทางแบบอิงทอพอโลยีพร้อมข้อมูลตำแหน่ง ซึ่งเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีนี้จะได้จากการสร้าง reverse path setup หรือ forward path setup โดยกระบวนการสร้างเส้นทางกลับจากโนดระหว่างทางใดๆสู่โนดต้นทางหรือ reverse path setup นั้นจะกระทำเมื่อโนดได้รับแพ็กเกตร้องขอเส้นทางและตำแหน่ง และกระบวนการสร้างเส้นทางจากโนดระหว่างทางใดๆสู่โนดปลายทางหรือ forward path setup นั้นจะกระทำเมื่อโนด

ได้รับแพ็กเกตตอบข้อมูลเส้นทางและตำแหน่ง ดังจะอธิบายต่อไปในกระบวนการ "recvRREQ" และ "recvRREP"

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างตารางเส้นทางและตำแหน่งของโนดตัวอย่างหมายเลข 16

rt _ dst _	*rt _ nexthop _*	*rt _ hops _*	*rt _ flags _*	*rt _ seqno _*	*rt _ dst _ x _*	*rt _ dst _ y _*	*rt _* exp_
17	10	3	*RTF _ DOWN*	45	485.00	356.23	150.30043
3	5	7	*RTF _ UP*	65	515.00	879.27	145.00231
2	13	5	*RTF _ DOWN*	78	345.50	515.00	151.23052

ข้อมูลที่เก็บในตารางเส้นทางและตำแหน่งนี้ได้แก่ หมายเลขโนดปลายทาง (*rt _ dst _*) โนดผู้ส่งรายถัดไปสู่โนดปลายทางหมายเลข *rt _ dst _* (*rt _ nexthop _*) จำนวนฮอปที่ต้องใช้สู่โนดปลายทาง (*rt _ hops _*) สถานะบอกความพร้อมใช้งานได้ของเส้นทาง (*rt _ flags _*) ซึ่งมีสถานะเป็นได้ 3 สถานะคือ *RTF _ UP* (Routing Flags UP คือสถานะเส้นทางพร้อมใช้งาน) *RTF _ DOWN* (Routing Flags DOWN คือสถานะเส้นทางไม่พร้อมใช้งาน) หรือ *RTF _ IN _ REPAIR* (Routing Flags in Repair คือสถานะเส้นทางกำลังรอการซ้อมแซม) หมายเลขบอกความอายุของเส้นทาง (route sequence number) (*rt _ seqno _*) นอกจากข้อมูลที่ใช้สร้างเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีแล้วโปรโตคอลนี้ยังมีการแนบข้อมูลตำแแหน่งในแพ็กเกตให้สัญญาณชนิดร้องขอเส้นทางและชนิดตอบเส้นทางด้วย ซึ่งนี้ได้แก่ ข้อมูลพิกัด x ของโนดปลายทาง (*rt _ dst _ x _*) พิกัด y ของโนดปลายทาง (*rt _ dst _ y _*) เวลาหมดอายุของเส้นทางและตำแหน่ง *rt_exp_* นอกจากนี้แล้วการปรับปรุงข้อมูลพิกัดยังสามารถทำได้เมื่อโนดได้รับแพ็กเกตแพร่กระจายข่าวสารทักทาย (hello packet)

ถ้าเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีที่เก็บไว้นี้มีค่า *rt _ flags _* เป็น *RTF _ UP* โนดจะส่งต่อแพ็กเกตนั้นทันที ไม่ว่าในขณะนั้นโนดจะกำลังทำงานในโหมด *DVOGMODE _ GREEDY* หรือ *DVOGMODE _ AODV* เพราะว่าถ้า *rt _ flags _* มีสถานะเป็น *RTF _ UP* แล้วหมายถึงข้อมูลมีความสมบูรณ์ทั้งข้อมูลเส้นทางและข้อมูลตำแหน่ง แต่ถ้าโนดไม่มีข้อมูลแต่ตนเองเป็นเจ้าของแพ็กเกตนี้โปรโตคอลอนุญาติให้โนดสามารถเก็บ ("enque") แพ็กเกตไว้ใน buffer ก่อนเพื่อส่งแพ็กเกตร้องขอเส้นทางและตำแหน่ง ("sendRREQ") และรอการตอบกลับ แต่ทั้งนี้พื้นที่การเก็บแพ็กเกตนี้ก็มีขนาดจำกัดที่ 50 แพ็กเกต ถ้ามีการเก็บแพ็กเกตมากเกินจำนวนนี้ก็จะเกิดการ over flow ทำให้เกิดการละ

ทิ้งแพ็กเกตด้วยเหตุต่างๆในระดับชั้นโครงข่ายสื่อสารนี้ แต่ถ้าโนดนี้เป็นโนดระหว่างทางเมื่อไม่มีข้อมูลเส้นทางแล้วโปรโตคอลนี้ออกแบบให้มีการสำรองอีกวิธีการส่งต่อ ถ้าตรวจสอบแล้วว่ามีข้อมูลตำแหน่งของโนดข้างเคียงที่อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม (มีโนดหมายเลข i ที่มีค่า $\sim progress_i$ มากกว่า '0' เมื่อ $\sim progress_i$ คือความเหมาะสมการเป็นโนดผู้รับรายถัดไปของโนดข้างเคียงตัวที่ i มีค่าระหว่าง $(0,\infty)$ ถ้าโนดใดมีค่า $\sim progress_i$ ต่ำที่สุดจะเป็นโนดที่เหมาะสมที่สุด เครื่องหมาย ~ ในที่นี้แสดงการแปรผกผันระหว่างค่า $\sim progress_i$ กับค่าความเหมาะสม) และอยู่ในพื้นที่ที่มีส่วนร่วมในการส่งต่อ ("POSITION_UP")

ซึ่งวิธีสำรองนั้นคือการส่งต้องโดยใช้ข้อมูลตำแหน่งถ้าโนดนี้กำลังทำงานในโหมด $DVOGMODE_GREEDY$ แต่ถ้าโนดนี้กำลังทำงานในโหมด $DVOGMODE_AODV$ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เส้นทาง แต่โนดนี้ไม่ใช่โนดต้นกำเนิดแพ็กเกต โปรโตคอลจะส่ง*แพ็กเกตร้องขอเส้นทางพิเศษ* ในกระบวนการ "forward" ที่จะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 4.3.5 แต่ถ้าการส่งในกระบวนการ "rt_resolve_" มีสถานะของ $rt_flags_$ เป็น RTF_IN_REPAIR คือมีการตรวจพบการขาดการเชื่อมต่อในระดับโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC ด้วยกระบวนการการแพร่กระจายแพ็กเกตข่าวสารทักทาย (hello message) หรือการใช้ link-layer notification ทำให้เส้นทางนั้นต้องการการซ่อมแซม แพ็กเกตจะถูกเก็บไว้เพื่อรอการซ่อมแต่ถ้าสถานะของ $rt_flags_$ เป็นอย่างอื่นคือ RTF_DOWN โนดจะละทิ้งแพ็กเกตข้อมูลและเข้าสู่กระบวนการส่งแพ็กเกตแจ้งเส้นทางเสียหายและหาเส้นทางใหม่ถ้ายังมีความต้องการ ด้วยกระบวนการ ("sendERROR")

4.3.3 กระบวนการเมื่อโนดรับแพ็กเกตให้สัญญาณ (Signaling packet) ของโปรโตคอล DVOG ("recvDVOG")

รูปที่ 4.6 แสดงกระบวนการ ("recvDVOG") ในกรณีที่โนดรับแพ็กเกตให้สัญญาณของโปรโตคอล DVOG โนดจะจำแนกแพ็กเกตออกเป็น 4 ชนิดคือ

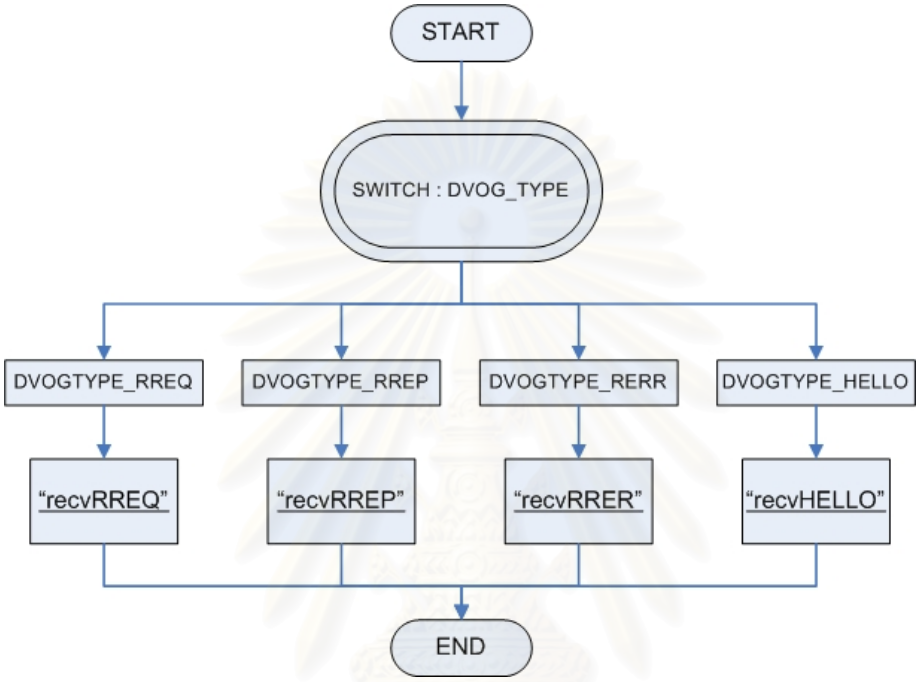
(1) แพ็กเกตร้องขอเส้นทางและตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ ($DVOGTYPE_RREQ$)

(2) แพ็กเกตตอบเส้นทางและตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ ($DVOGTYPE_RREP$)

(3) แพ็กเกตแจ้งเส้นทางเสียหาย ($DVOGTYPE_RERR$)

(4) แพ็กเกตยืนยันสภาวะเชื่อมต่อแก่โนดข้างเคียงพร้อมตำแหน่งทางภูมิศาสตร์แก่โนดข้างเคียงหรือแพ็กเกตข่าวสารทักทาย ($DVOGTYPE_HELLO$)

จากนั้นกระบวนการ ”recvDVOG” จะส่งต่อแพ็กเกตไปกระทำการต่างๆตามชนิดข้างต้นด้วยกระบวนการ “recvRREQ” “recvRREP” “recvRERR” และ “recvHELLO” ตามลำดับ ซึ่งจะกล่าวในลำดับถัดไป



รูปที่ 4.6 Flow chart แสดงกระบวนการเมื่อโนดรับแพ็กเกตให้สัญญาณ (signaling packet) ของโปรโตคอล DVOG (“recvDVOG”)

4.3.4 กระบวนการส่งแพ็กเกตร้องขอเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งของโปรโตคอล DVOG (“sendRREQ”)

กล่าวถึงกระบวนการส่งแพ็กเกตร้องขอเส้นทางและข้อมูลตำแหน่ง (“sendRREQ”) เมื่อโนดมีความต้องการจะสร้างและขอเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีหรือแม้กระทั่งการส่งต่อที่ต้องการเพียงข้อมูลตำแหน่งก็ตาม โนดจะทำการสร้างแพ็กเกตชนิด *DVOGTYPE _ RREQ* ทั้งนี้มีกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 3.12

ขั้นแรกโปรโตคอลจะตรวจสอบ หาก *rt _ flags _* มีสถานะเป็น *RTF _UP* ซึ่งเป็นสถานะที่โนดมีข้อมูลเส้นทางและตำแหน่งสามารถใช้ในการส่งต่อได้ โปรโตคอลจะไม่อนุญาติให้

สร้างและส่งแพ็กเกตร้องขอขึ้นอีก หรือแม้ในกรณีที่เส้นทางสู่โนดที่ต้องการ (*rt_dst_*) ยังอยู่ระหว่างการรอแพ็กเกตตอบเส้นทาง และข้อมูลตำแหน่งอยู่ ด้วยการตรวจสอบสถานะของค่า *rt_req_timeout_* ถ้ามีค่าน้อยกว่าเวลาปัจจุบัน (*CURRENTTIME*) หมายถึงหมดเวลาการรอคอยแพ็กเกตร้องขอเส้นทางและตำแหน่งที่ส่งออกไปก่อนหน้านี้แล้ว ถ้ามีความต้องการส่งแพ็กเกตร้องขอซ้ำอีกครั้งก็สามารถทำได้ แต่ถ้ายังอยู่ในช่วงที่โนดกำลังรอการตอบกลับอยู่ กระบวนการพิจารณาส่งคำร้องขอนี้จะสิ้นสุดและไม่อนุญาติให้ส่งแพ็กเกตร้องซ้ำอีกครั้ง นอกจากนี้โนดยังตรวจสอบว่าเส้นทางที่ร้องขอนั้นมีการร้องขอซ้ำๆ โดยที่ยังไม่ได้รับแพ็กเกตตอบรับกลับมาเป็นจำนวนกี่ครั้งแล้ว ด้วยการตรวจสอบค่า *rt_req_cnt_* ถ้ามีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ (*RREO_RETIRES*) โปรโตคอลจะไม่อนุญาติให้ส่งแพ็กเกตร้องขออีกเพราะอาจจะเป็นได้ที่โนดปลายทางนั้นไม่สามารถติดต่อได้หรือเกิด disconnected graph ทำให้การส่งแพ็กเกตร้องขอออกมาเรื่อยๆนั้นเป็นการสูญแบนด์วิดท์โดยเปล่าประโยชน์ พร้อมกันนี้โปรโตคอลจะละทิ้งทุกแพ็กเกตที่เคยเก็บไว้เพื่อรอเส้นทางหรือข้อมูลตำแหน่งออกจาก buffer ด้วยกระบวนการ "drop(NO_ROUTE)"

ถ้าโปรโตคอลอนุญาติให้สามารถส่งแพ็กเกตร้องขอได้แล้ว โปรโตคอลจะคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆเช่น จำนวนฮอปที่แพ็กเกตร้องนี้จะเดินทางไปก่อนที่จะหมดอายุ (*TTL*) ซึ่งในที่นี้ได้ใช้กระบวนการที่เรียกว่า Expansion Ring Search คือโปรโตคอลจะค่อยๆขยายวงรอบของการกระจายแพ็กเกตร้องขอออกไป ด้วยการเริ่มส่งแพ็กเกตร้องขอที่มีค่า *TTL* น้อยก่อนที่จะเพิ่มค่า *TTL* ขึ้นถ้าการร้องขอครั้งก่อนไม่เป็นผล

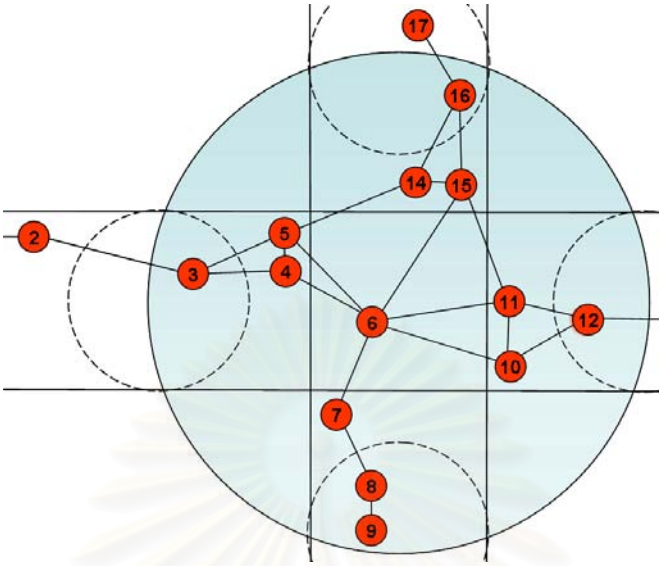
กระบวนการ Expansion Ring Search

โปรโตคอลตรวจสอบสถานะของค่า *rt_request_last_ttl_* ซึ่งจะแสดงถึงค่าช่วงการเชื่อมต่อของการร้องขอเส้นทางและตำแหน่งครั้งก่อนที่ไม่เป็นผล ถ้าค่านี้มีค่าเป็น '0' หมายถึงเส้นทางนี้ไม่เคยร้องขอเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งของโนดปลายทางนั้นมากก่อน โปรโตคอลจะให้ค่า *TTL* ขอแพ็กเกตร้องขอมีค่าเท่ากับ *TTL_START* (ค่าฮอปเริ่มต้นในการส่งแพ็กเกตร้องขอเส้นทางและตำแหน่ง) แต่ถ้าค่า *rt_request_last_ttl_* มีค่ามากกว่า *TTL_THRESHOLD* (ค่าจำนวนฮอปขีดขั้นมากที่สุดก่อนที่จะเพิ่มเป็น *TTL_MAX* ในกรณีที่การร้องขอครั้งก่อนหน้าไม่เป็นผล) ในกรณีนี้โปรโตคอลจะเพิ่มให้ค่า *TTL* ของแพ็กเกตมีค่าเท่ากับ *TTL_MAX* เพราะด้วยการส่งแพ็กเกตร้องขอเส้นทางด้วยค่า *TTL* ต่ำๆที่ผ่านมา

โปรโตคอลยังไม่ได้รับการตอบเส้นทาง โดยที่ค่า *TTL_THRESHOLD* มีค่าน้อยกว่า *TTL_MAX* เสมอ และค่า *TTL_MAX* ให้มีค่าเท่ากับ NETWORK_DIAMETER แต่ถ้าค่า *rt_request_last_ttl_* ยังมีค่าน้อยกว่า *TTL_THRESHOLD* โปรโตคอลก็จะเพิ่มให้ค่า *TTL* มีค่าสูงขึ้นครั้งละเท่ากับ *TTL_INCREMENT* (จำนวนฮอปที่เพิ่มขึ้นแต่ละครั้ง) จนกว่าจะได้รับแพ็กเกตตอบเส้นทางและข้อมูลตำแหน่ง

อันดับต่อไปคือการกำหนดค่า *rt_req_timeout_* ซึ่งแสดงเวลาหมดช่วงการรอคอยแพ็กเกตร้องขอเส้นทางและข้อมูลตำแหน่ง พร้อมที่จะส่งแพ็กเกตร้องขออีกครั้งถ้ายังมีความต้องการเส้นทาง โปรโตคอลจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับเวลาของการเดินทางเฉลี่ยผ่านจำนวนฮอปที่กำหนดให้ไปในข้างต้น (*TTL*) โดยโปรโตคอลจะประมาณค่าเฉลี่ยการประวิงเวลาการเดินทางผ่านหนึ่งฮอปจากค่า perhoptime ที่ได้จากสถิติของการร้องขอครั้งก่อน แต่ถ้าเป็นการร้องขอครั้งแรก โปรโตคอลจะกำหนดให้ค่า perhoptime นี้มีค่าเท่ากับ *NODE_TRAVERSAL_TIME* พร้อมกันนี้ ถ้าการร้องขอนี้เป็นการร้องขอด้วยค่า *TTL* เท่ากับ *TTL_MAX* โปรโตคอลจะเพิ่มเวลาการรอคอยแพ็กเกตตอบเส้นทางให้เป็นพิเศษเป็นจำนวนเท่าของจำนวนครั้งที่เคยได้ร้องขอ (*rt_req_cnt_*) ด้วยค่า *TTL_MAX* เพราะการร้องขอครั้งก่อนอาจจะไม่เป็นผลเพราะการตอบเส้นทางนั้นมาถึงช้าเกินไปทำให้ต้องร้องขอซ้ำ แต่ทั้งนี้ค่า *rt_req_timeout_* นี้จะมีค่ามากที่สุดได้เท่ากับ *MAX_RREQ_TIMEOUT*

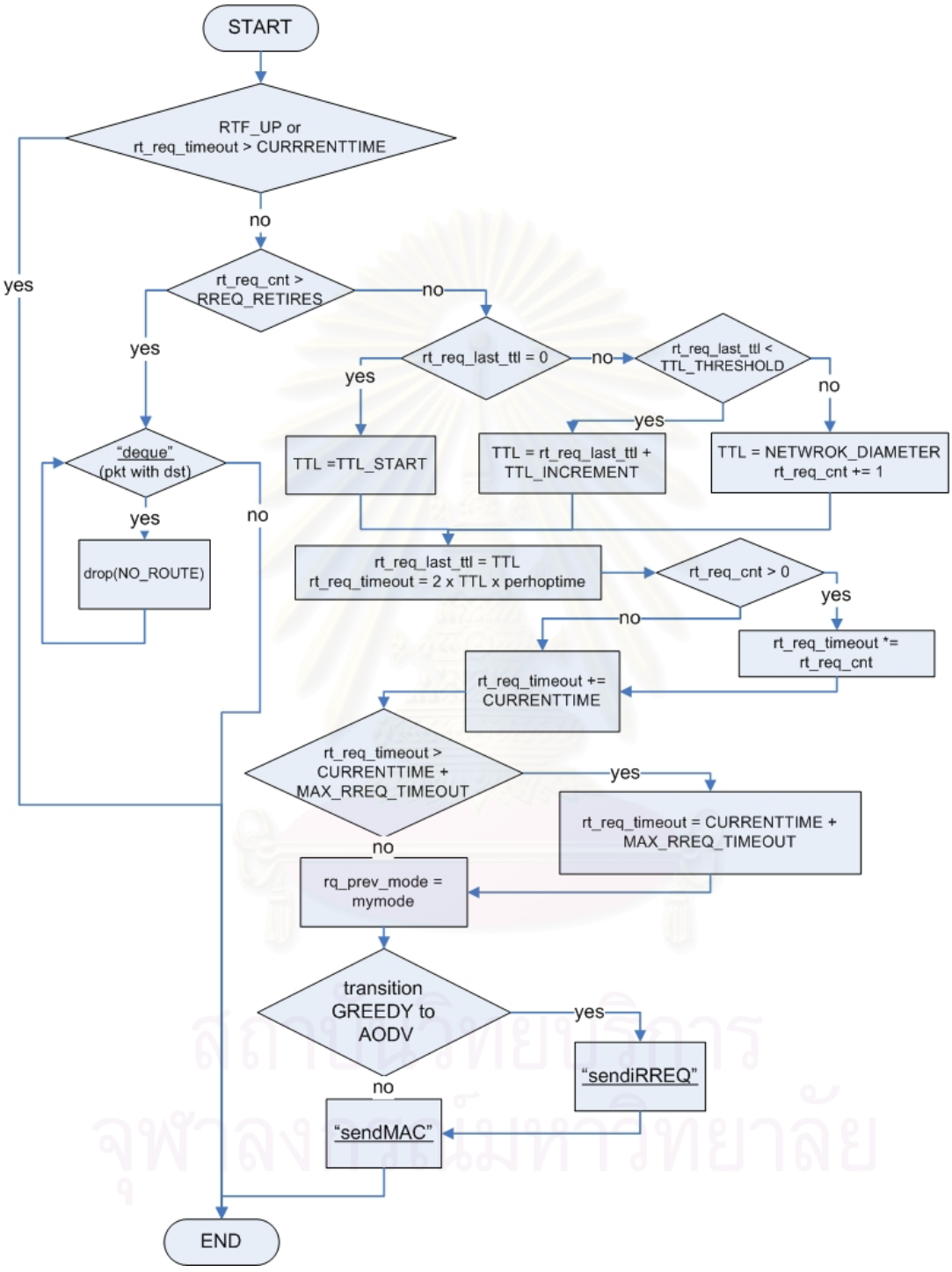
โปรโตคอลยังกำหนดให้มีการบันทึกโหมดการทำงานขณะนั้น ในทุกครั้งของการส่งต่อแพ็กเกตข้อมูล เพื่อให้โปรโตคอลจะได้ใช้ประโยชน์จากการตรวจสอบการเปลี่ยนโหมดการทำงาน (transition) ซึ่งโปรโตคอลจะสร้างและส่งแพ็กเกตร้องขอเส้นทางพิเศษเมื่อแพ็กเกตเข้าสู่บริเวณพื้นที่คับคั่ง (forwarding zone) ด้วยกระบวนการที่เรียกว่า "sendiRREQ" (send-implicite-route-request) กล่าวคือเมื่อโนดใดให้กำเนิดแพ็กเกตร้องขอในบริเวณ Interfacing-zone หรือมีแพ็กเกตร้องขอใดเข้ามายัง Interfacing-zone โดยมีการเปลี่ยนแปลงโหมดจากการทำงานก่อนหน้า ที่เป็น *DVOGMODE_GREEDY* ไปเป็น *DVOGMODE_AODV* โปรโตคอลจะส่งแพ็ตเกตร้องขอเส้นทางพิเศษเพื่อสร้างเส้นทางระหว่างโนดที่อยู่ใน Interfacing zone ทั้งสี่ด้านของทางแยกในกรณีที่เป็นสี่แยกเช่นโครงข่ายตัวอย่างในรูปที่ 4.7



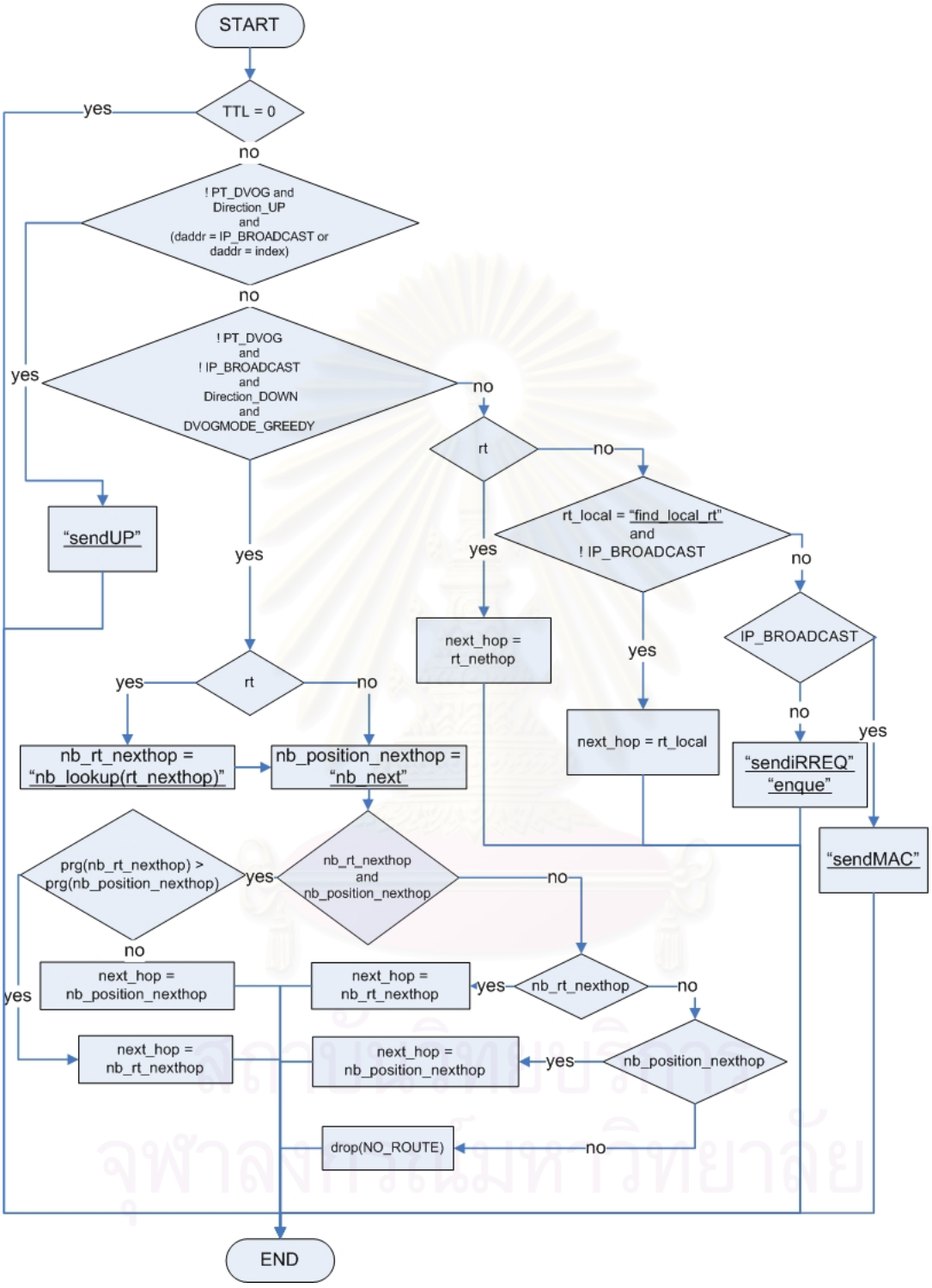
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการสร้างเส้นทางพิเศษในบริเวณทางแยกหรือบริเวณโนดคับคั่ง

เมื่อโนดหมายเลข 3 รับแพ็กเกตร้องขอเส้นทางมาจากโนดหมายเลข 2 โนดหมายเลข 3 คือโนดที่อยู่ในบริเวณ interfacing zone จะสร้างแพ็กเกตร้องขอเส้นทางพิเศษ แพ็กเกตจุดประสงค์ในการสร้างเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีสู่โนดหมายเลข 8 9 12 และ 16 เส้นทางที่มีจุดต้นทางและปลายทางเพียงในบริเวณพื้นที่คับคั่งเดียวกันนี้เรียกว่า local path ซึ่งมีไว้ใช้ในยามที่โนดในบริเวณพื้นที่คับคั่งพยายามส่งแพ็กเกตข้อมูลผ่านบริเวณพื้นที่คับคั่ง ด้วยกระบวนการหาเส้นทางแบบอิงทอพอโลยี (*DVOGMODE _ AODV*) เมื่อแพ็กเกตร้องขอนี้มาถึงโนดในบริเวณ Interfacing-zone ของอีกฝั่งของทางแยกโนดเหล่านั้น เส้นทาง reverse path (ในที่นี้คือเส้นทางที่มีทิศทางกลับสู่โนดหมายเลข 3) จะถูกสร้างขึ้นทำให้โนดเหล่านั้นมีเส้นทางสู่โนดหมายเลข 3 นอกจากนี้แล้วโนดอื่นๆที่อยู่ใกล้ใจกลางแยกก็จะสร้างเส้นทาง reverse path เช่นกัน ดังเช่นโนดหมายเลข 6 เป็นต้น และเมื่อโนดปลายทางตอบส่งแพ็กเกตตอบเส้นทางและตำแหน่งกลับมา ถ้าแพ็กเกตนั้นผ่านทางแยกนี้ ก็จะทำให้โนดในบริเวณพื้นที่คับคั่งมีเส้นทาง forward path (ในที่นี้คือเส้นทางที่มีทิศทางจากโนดหมายเลข 3 สู่โนดหมายเลข 8 9 12 หรือ 16) แบบ local path อีกด้วย ทั้งนี้กระบวนการ “sendiRREQ” มีกระบวนการคล้ายกระบวนการ “sendRREQ” คือทีกระบวนการ Expansion Ring แต่จะระบุโนดปลายทางแบบระบุตำแหน่ง (Geocasting)

เมื่อโปรโตคอลกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแพ็กเกตร้องขอแล้วโปรโตคอลจะส่งแพ็กเกตนี้ผ่านไปยังชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC ด้วยกระบวนการ “sendMAC”



รูปที่ 4.8 Flow chart แสดงกระบวนการส่งแพ็กเกต
ร้องขอเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งของโปรโตคอล DVOG ("sendRREQ")



รูปที่ 4.9 Flow chart แสดงกระบวนการเลือกโนดผู้รับรายถัดไป
ในการส่งต่อ (forward) ของโปรโตคอล DVOG ("forward")

4.3.5 กระบวนการเลือกโนดผู้รับรายถัดไปในการส่งต่อ (forward) ของโปรโตคอล DVOG ("forward")

ดังรูปที่ 3.13 แสดงกระบวนการส่งต่อแพ็กเกต กระบวนการนี้ดูแลการส่งต่อทั้งแพ็กเกตชนิดแพ็กเกตข้อมูลและแพ็กเกตให้สัญญาณ โดยแพ็กเกตสองชนิดนี้มีกระบวนการส่งต่อที่แตกต่างกันตามชนิดของแพ็กเกตและโหมดการทำงานขณะนั้นของโนด เมื่อมีแพ็กเกตที่ต้องการส่งต่อด้วยกระบวนนี้ กระบวนเริ่มด้วยการจะตรวจสอบค่า *TTL* ถ้ามีค่าเท่ากับ '0' จะไม่ส่งแพ็กเกตต่อ นอกจากนี้แล้ว โปรโตคอลจะกรองเอาแพ็กเกตข้อมูลที่มีจุดหมายถึงตนเอง ซึ่งโปรโตคอลในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC ได้ตรวจสอบแล้วจึงส่งแพ็กเกตนี้มาให้โปรโตคอล DVOG และถ้ามีหมายเลขปลายทางสู่ตน โปรโตคอลในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยจะเปลี่ยนค่าทิศทางของแพ็กเกต (packet direction) เป็น "Direction_UP" คือแพ็กเกตนี้จะถูกกำหนดให้ส่งต่อไปยังโปรโตคอลชั้นบนต่อไปด้วยกระบวนการ "sendUP" ซึ่งโปรโตคอลชั้นบนในที่นี้คือชั้นการขนส่ง (Transportation layer) แต่ถ้าตนไม่ใช่โนดหลานทางโปรโตคอลจะส่งต่อแพ็กเกตในฐานะที่ตนเป็นโนดระหว่างทาง (intermediate node) ด้วยการตรวจสอบว่าตนนั้นอยู่ในโหมด *DVOGMODE _ GREEDY* หรือไม่ ในโหมดนี้ ถ้าโนดทำงานในโหมด *DVOGMODE _ GREEDY* แพ็กเกตข้อมูลจะถูกส่งต่อด้วยกระบวนการหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง แต่โปรโตคอลจะตรวจสอบก่อนว่าตนมีเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีหรือไม่ (rt) ซึ่งเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีนี้จะระบุโนดผู้รับรายถัดไปเอาไว้ (*rt _ nexthop _*) ซึ่งอาจจะเป็นโนดหมายเลขเดียวกับการเลือกแบบอิงตำแหน่งที่จะกล่าวต่อไปก็ได้ ถ้ามีเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีแล้วโปรโตคอลจะยืนยันสภาวะการเชื่อมต่อ (connectivity) อีกครั้งผ่านกระบวนการ "nb_lookup" (neighbor lookup) ถ้าตรวจสอบแล้วยืนยันว่ายังมีการเชื่อมต่อกับโนดหมายเลข *rt _ nexthop _* จริง โนดนี้จึงจะมีสิทธิเลือกโนดนี้เป็นโนดผู้รับรายถัดไป พร้อมกันนี้โปรโตคอลก็จะพิจารณาหาโนดที่เหมาะสมผ่านกระบวนการหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่งด้วยกระบวนการ "nb_next" (neighbor next) ที่จะเลือกโนดผู้รับรายถัดไป (next_hop) จากการคำนึงถึงพื้นที่ที่มีส่วนร่วมในการส่งต่อ (forwarding zone) ร่วมกับค่าความเหมาะสมของโนดนี้ที่จะเป็นโนดผู้รับรายถัดไป ด้วยการคำนวณค่า $\sim progress_i$ โปรโตคอลคือกระบวนการ "nb_next" จะเลือกโนดข้างเคียงโนดเดียวเท่านั้นที่มีค่า $\sim progress_i$ น้อยที่สุด ซึ่งนิยามไว้ดังสมการที่ 3.1

$$\sim progress_i = \frac{dis\tan ce(neighbor_i, destination)}{dis\tan ce(mynode, destination)} \quad (3.1)$$

โดยที่

$\sim progress_i$	คือความเหมาะของการเป็นโนดผู้รับรายถัดไปของโนดข้างเคียงตัวที่ i ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง $(0,\infty)$
distance(x,y)	คือระยะทางระหว่าง x และ y
mynode	คือตำแหน่งภูมิศาสตร์ของโนดปัจจุบัน
$neighbor_i$	คือตำแหน่งภูมิศาสตร์ของโนดข้างเคียงตัวที่ i
destination	คือตำแหน่งภูมิศาสตร์ของโนดปลายทาง

ผลการเลือกโนดผู้รับรายถัดไป ทั้งจากการเลือกแบบอิงตำแหน่งและทอพอโลยีอาจจะเป็นโนดหมายเลขเดียวกันหรือต่างกันก็ได้ หรืออาจจะได้โนดผู้รับรายถัดไปเพียงโนดเดียวจากวิธีใดวิธีหนึ่ง ในกรณีที่เลือกได้สองโนดจากทั้งสองวิธี โปรโตคอลจะเลือกโนดที่มีค่า $\sim progress_i$ น้อยกว่า คือเลือกโนดที่อยู่ไกลจากโนดผู้ส่งมากกว่านั่นเอง แต่ถ้าไม่สามารถเลือกโนดใดได้เลยทั้งจากการเลือกแบบอิงตำแหน่งและแบบอิงทอพอโลยี โปรโตคอลจะละทิ้งแพ็กเกตด้วยสาเหตุว่าไม่มีเส้นทางและไม่สามารถเลือกโนดใดเป็นโนดผู้รับรายถัดไปได้ (“drop(NO_ROUTE)”)

แต่ถ้าแพ็กเกตเป็นชนิดแพ็กเกตให้สัญญาณ (IP_BROADCAST) โปรโตคอลจะแพร่กระจายสัญญาณต่อไป ด้วยกระบวนการ (“sendMAC”) โดยไม่ต้องการการหาเส้นทาง

แต่ถ้าโนดกำลังทำงานในโหมด *DVOGMODE _ AODV* โปรโตคอลต้องจัดสรรเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีให้ ด้วยการหาเส้นทาง (local path) ที่มีอยู่ เพื่อส่งแพ็กเกตไปยังอีกฝั่งของทางแยกหรือ Interfacing-zone ในอีกฝั่งขอแยกนั่นเอง ด้วยการตรวจสอบเส้นทาง (rt) สู่โนดปลายทางก่อน ถ้ามีโปรโตคอลจะเลือก *rt _ nexthop _* ให้เป็นโนดผู้รับรายถัดไป ถ้าไม่มีจะเข้าสู่กระบวนการ “find_local_rt” กระบวนนี้จะหาเส้นทางด้วยวิธี Geocasting สู่โนดที่อยู่ในบริเวณ Interfacing-zone ถัดไปที่เหมาะที่สุดด้วยการคำนวณ $\sim progress_i$ โนดใดที่มีค่า $\sim progress_i$ น้อยที่สุดและอยู่ใน Interfacing-zone อีกฝั่งนึงของแยก ที่โนดใน Interfacing-zone นั้นจะพาแพ็กเกตตรงสู่โนดปลายทางได้ โดยโปรโตคอลจะเลือกโนดที่มีสมบัติดังข้างต้นและจะระบุหมายเลขและตำแหน่งของโนดนั้นลงในแพ็กเกต พร้อมกับระบุโนดผู้รับรายถัดไปที่จะนำแพ็กเกตสู่โนดใน Interfacing-zone ที่ระบุนั้นๆ เว้นแต่ถ้าโนดปลายทางนั้นอยู่ในบริเวณพื้นที่คับคั่งนั้น โนดจะเลือกเส้นทางสู่โนดปลายทางแทน

ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเส้นทางใดที่นำแพ็กเกตผ่านแยกไปได้ คือไม่มีเส้นทางสู่โนดใน Interfacing-zone ถัดไปที่เหมาะสม โปรโตคอลจะส่งแพ็กเกตร้องขอเส้นทางพิเศษที่มีค่า TTL เท่ากับ *TTL _ START* ออกไปยังโนดใน Interfacing-zone อีกฝั่งนึงของแยกและจะเก็บแพ็กเกตข้อมูลไว้ก่อนที่จะส่งอีกครั้งเมื่อได้รับการตอบเส้นทาง ซึ่งการส่งแพ็กเกตร้องขอเส้นทางในกรณีนี้มีลักษณะการทำงานที่คล้ายการส่งแพ็กเกตแบบ Geocasting ที่ระบุโนดใดก็ได้ในบริเวณนั้นๆ ในกรณีที่เป็นสี่แยก โปรโตคอลจะร้องขอเส้นทางไปยังบริเวณ Interfacing-zone สามโซนที่ไม่ใช่บริเวณ Interfacing-zone ของตน และเมื่อกลุ่มของโนดในบริเวณ Interfacing-zone ที่ไกลออกไปนั้นได้รับแพ็กเกตร้องขอเส้นทางนี้ซึ่งเป็นไปได้ที่จะมีหลายโนดได้รับแพ็กเกตร้องขอนี้พร้อมๆกัน กระบวนการ timer contention ที่ทำงานแบบ DCF (Distributed Coordination Function) จะถูกใช้ในการเลือกโนดผู้ตอบเส้นทางเพียงผู้เดียวในพื้นที่ Interfacing-zone หนึ่งๆ

4.3.6 กระบวนการเมื่อโนดรับแพ็กเกตร้องขอเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งของโปรโตคอล DVOG ("recvRREQ")

กระบวนการ "recvRREQ" ดังแสดงในรูปที่ 4.10 เมื่อใดที่โนดรับแพ็กเกตให้สัญญาณชนิดร้องขอเส้นทางเข้ามา โนดจะตรวจสอบว่าเกิดการส่งเป็นลูปขึ้นหรือไม่ ด้วยการตรวจสอบหมายเลขโนดผู้ส่ง (i.e. saddr = indaex) จากนั้นยังตรวจสอบว่าเคยได้รับแพ็กเกตให้สัญญาณนี้มาก่อนหรือไม่ ด้วยวิธีการบันทึกหมายแพ็กเกตกระจายสัญญาณคู่กับหมายเลขของโนดผู้ให้กำเนิดแพ็กเกต ดังตัวอย่างตารางการรับรู้สัญญาณแพร่กระจายในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างตารางการรับรู้สัญญาณแพร่กระจายของโนดตัวอย่างหมายเลข 17

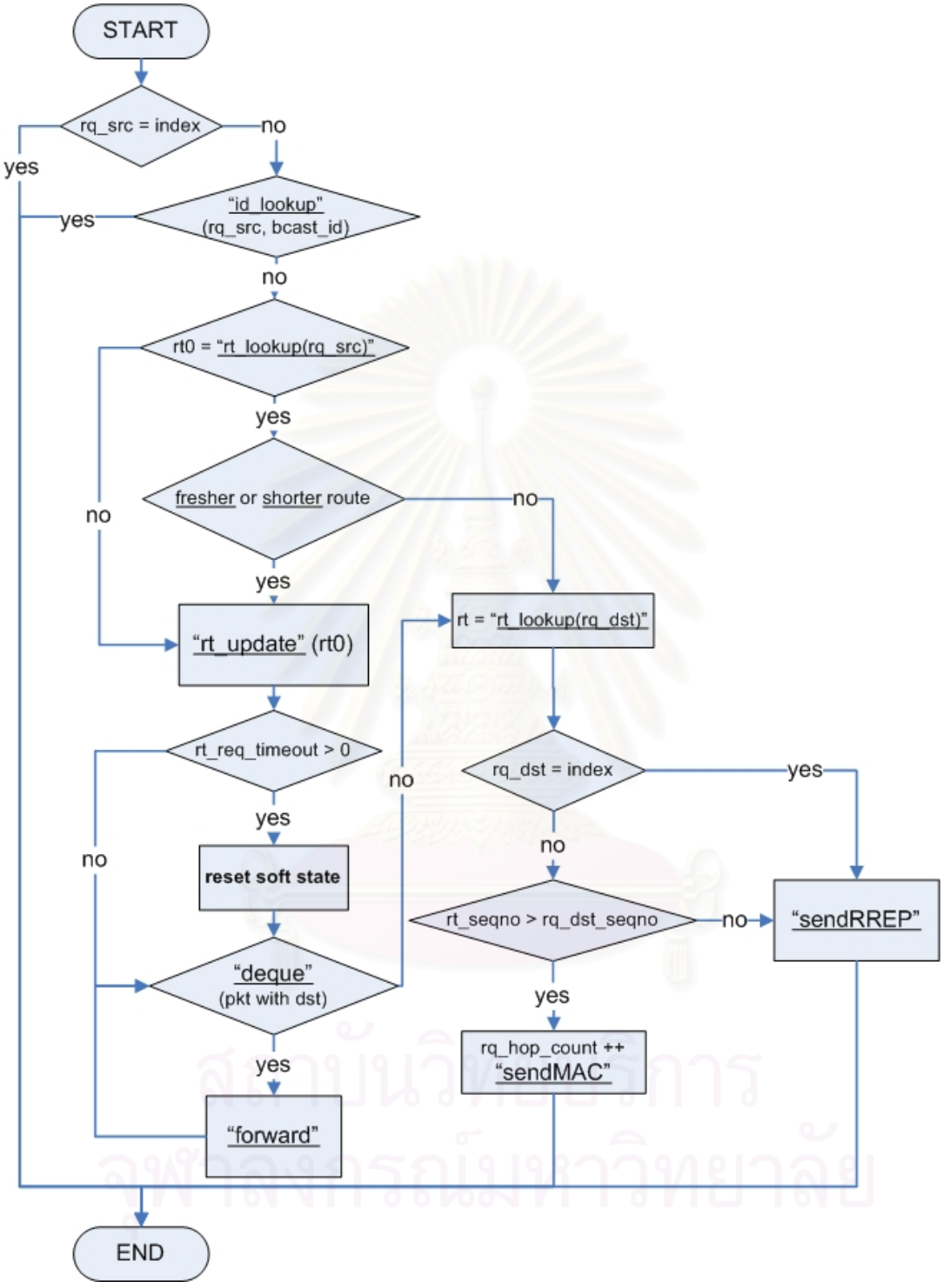
bid _ src _	*bid _ uid _*	*bid _* exp_
16	539	34.00356
9	540	34.01543
13	560	34.01559

ทั้งนี้โปรโตคอลจะกระทำการใดๆกับแพ็กเกตเพียงครั้งเดียว และโนดจะละเลยแพ็กเกตที่ได้เคยดำเนินการไปแล้ว จากนั้นโปรโตคอลจะเริ่มกระบวนการสร้าง reverse path setup ด้วย

การพิจารณาเส้นทางจากตนเองสู่โนดผู้ให้กำเนิดแพ็กเกตร้องขอนี้ แต่ถ้าตนมีเส้นทางอยู่แล้ว โปรโตคอลจะตรวจสอบว่าเส้นทางที่มีนั้นมีความเก่าใหม่หรือมีจำนวนฮอปมากน้อยอย่างไร ถ้าเส้นทางได้รับมาใหม่นั้นมีค่า $rq_src_seqno_$ ที่มากกว่า (ซึ่งค่า $rq_src_seqno_$ บ่งชี้ถึงอายุของข้อมูลเส้นทางและตำแหน่งของโนดต้นทาง) และมีจำนวนฮอปที่น้อยกว่าโปรโตคอลจะปรับปรุงเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งตามแพ็กเกตที่ได้รับมา และเมื่อปรับปรุงข้อมูลเส้นทางที่แล้ว โนดจะตรวจสอบดูว่าเป็นข้อมูลเส้นทางหรือข้อมูลตำแหน่งที่ตนเองกำลังรอการตอบคำร้องขอหรือไม่ ถ้าข้อมูลที่ได้มานี้ตอบข้อมูลเส้นทางดังกล่าวโปรโตคอลจะทำกระบวนการ "reset soft state" เพื่อเป็นการบันทึกว่าได้รับข้อมูลเส้นทางนั้นๆแล้วและมีเส้นทางสู่โนดที่เคยร้องขอจริง เพื่อเป็นการยืนยันว่าโนดปลายทางนั้นสามารถติดต่อได้และใช้เป็นข้อมูลประกอบการส่งแพ็กเกตร้องขอสู่โนดนี้ในครั้งต่อไปถ้าต้องการ เพราะถ้าโนดใดๆร้องขอเส้นทางเดิมซ้ำและไม่ได้รับการตอบเส้นทางเลย โนดจะพิจารณาว่าโนดปลายทางนั้นไม่สามารถติดต่อได้ โดยการ "reset soft state" นั้นประกอบด้วยกระบวนการกำหนดค่าให้ $rt_req_timeout_$ และ $rt_req_cnt_$ มีค่าเป็น '0' และหลังจากการสร้างและปรับปรุงเส้นทาง reverse path แล้วโปรโตคอลจะตรวจสอบว่ามีแพ็กเกตที่ต้องการส่งไปยังโนดนั้นหรือไม่ ("deque(pkt with dst)") และพิจารณาส่งแพ็กเกตต่อไป

หลังจากโปรโตคอลสร้าง reverse path แล้วขั้นตอนต่อไปคือการพยายามส่งแพ็กเกตตอบเส้นทาง ถ้าตนเองคือโนดที่ถูกร้องขอเส้นทาง (ไม่ว่าจะเป็นโนดที่ถูกระบุด้วยหมายเลขหรือด้วยการร้องขอแบบ Geocasting) หรือตนมีข้อมูลเส้นทางที่ใหม่พอเมื่อเทียบกับความต้องการที่ระบุแพ็กเกตร้องขอ กล่าวคือถ้าค่า $rt_seqno_$ มีค่ามากกว่า $rt_dst_seqno_$ ในแพ็กเกต โปรโตคอลจะตอบแพ็กเกตตอลเส้นทางและข้อมูลตำแหน่ง แต่ถ้าโนดไม่สามารถตอบเส้นทางได้โปรโตคอลก็จะสั่งให้ส่งแพ็กเกตนี้ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

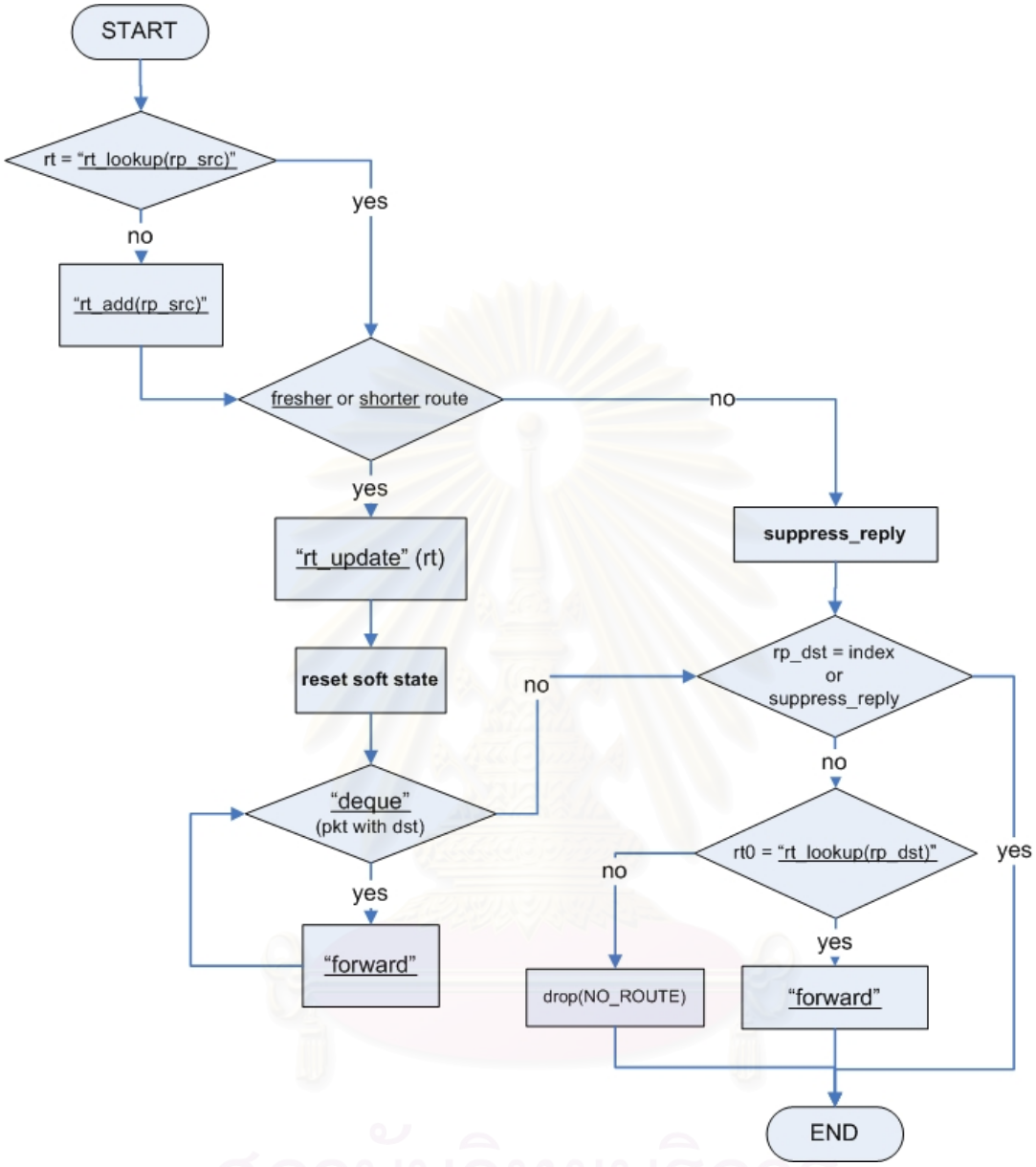


รูปที่ 4.10 Flow chart แสดงกระบวนการเมื่อโนดรับแพ็กเกตร้องขอเส้นทาง และข้อมูลตำแหน่งของโปรโตคอล DVOG ("recvRREQ")

4.3.7 กระบวนการเมื่อโนดรับแพ็กเกตตอบเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งของโปรโตคอล DVOG ("recvRREP")

กระบวนการเมื่อได้รับแพ็กเกตตอบเส้นทาง หรือ "recvRREP" ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.11 นี้คล้ายคลึงกับเมื่อโนดได้รับแพ็กเกตร้องขอเส้นทาง คือทันทีที่โนดใดได้รับแพ็กเกตจะตรวจสอบความเก่าใหม่ของเส้นทางที่ตนมีเทียบกับข้อมูลที่ได้รับมา ถ้าข้อมูลที่รับมานั้นใหม่กว่าโนดจะปรับปรุงและสร้าง forward path setup โดย forward path คือการเส้นทางจากโนดนั้นๆสู่โนดปลายทาง และถ้ามีการปรับปรุงเส้นทางจริงโปรโตคอลจกระทำกระบวนการ "reset soft state" และส่งแพ็กเกตข้อมูลตามเส้นทางที่ปรับปรุงแล้วนี้ถ้าต้องการ แต่ถ้าข้อมูลที่รับมาเก่ากว่าข้อมูลเส้นทางและตำแหน่งที่ตนมีอยู่หรือตนเองคือโนดผู้ร้องขอโนดจะ "suppress_reply" แพ็กเกตตอบเส้นทางนั้น คือโนดจะไม่ส่งต่อแพ็กเกตตอบเส้นทางไปอีก เพราะเส้นทางที่ใหม่กว่าที่ตนมีนี้อาจจะถูกส่งไปยังโนดผู้ร้องขอก่อนหน้านี้แล้ว แต่ถ้าแพ็กเกตไม่ได้ถูกโปรโตคอล "suppress_reply" โนดจะพยายามหาเส้นทางไปยังปลายทางของแพ็กเกตตอบเส้นทางคือโนดผู้ร้องขอจากตารางข้อมูลเส้นทางและตำแหน่ง และจะส่งต่อแพ็กเกตด้วยกระบวนการ "sendMAC" ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 Flow chart แสดงกระบวนการเมื่อโนดรับแพ็กเกตตอบเส้นทาง และข้อมูลตำแหน่งของโปรโตคอล DVOG ("recvRREP")

4.3.8 การจัดการเส้นทางเสียหาย

เมื่อโปรโตคอลรับรู้ถึงการหมดสภาพของเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีทั้งจาก *rt_exp_* และการยกเลิกเส้นทางที่ผ่านโนดข้างเคียงที่ถูกชำระออกจากตารางโนดข้างเคียงแล้ว โปรโตคอลจะ

กระจายสัญญาณแจ้งเส้นทางเสียหายออกไปด้วยแพ็กเกตชนิด *DVOGTYPE _ RERR* ด้วยขนาดช่วงการเชื่อมต่อเท่ากับ '1' โนดที่รับรู้จะปรับให้สถานะการใช้การได้ของเส้นทางและตำแหน่ง (*rt _ flags _*) มีค่าเป็น *RTF _ DOWN* และยังจะตรวจสอบอีกว่าถ้ามีโนดข้างเคียงใดที่ใช้ตนเป็นเส้นทางสู่ปลายทางเดียวกันนั้น โปรโตคอลจะส่งแพ็กเกตนี้ต่อไป แต่เมื่อชำระข้อมูลเส้นทางและตำแหน่งออกไปแล้วจะไม่ร้องของข้อมูลเส้นทางและตำแหน่งใหม่ถ้ายังไม่มีความต้องการส่งข้อมูล

4.3.9 การชำระตารางการรับรู้สัญญาณแพร่กระจาย ตารางเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งและตารางเก็บรายนามโนดข้างเคียงที่หมดอายุ

(1) ตารางการรับรู้สัญญาณแพร่กระจาย

ทุกๆคาบเวลา *broadcast _ id _ save _* โปรโตคอลจะลบข้อมูลการรับรู้แพ็กเกตแพร่สัญญาณใดๆที่มีค่า *bid_exp_* น้อยกว่าเวลาปัจจุบันออกจากตารางการรับรู้สัญญาณแพร่กระจาย

(2) ตารางเส้นทางและข้อมูลตำแหน่ง

ทุกๆคาบเวลา *MY _ ROUTE _ TIMEOUT* โปรโตคอลจะลบข้อมูลเส้นทางและตำแหน่งที่มีค่า *rt_exp_* น้อยกว่าเวลาปัจจุบันออกจากตารางเส้นทางและข้อมูลตำแหน่ง

(3) ตารางเก็บรายนามโนดข้างเคียง

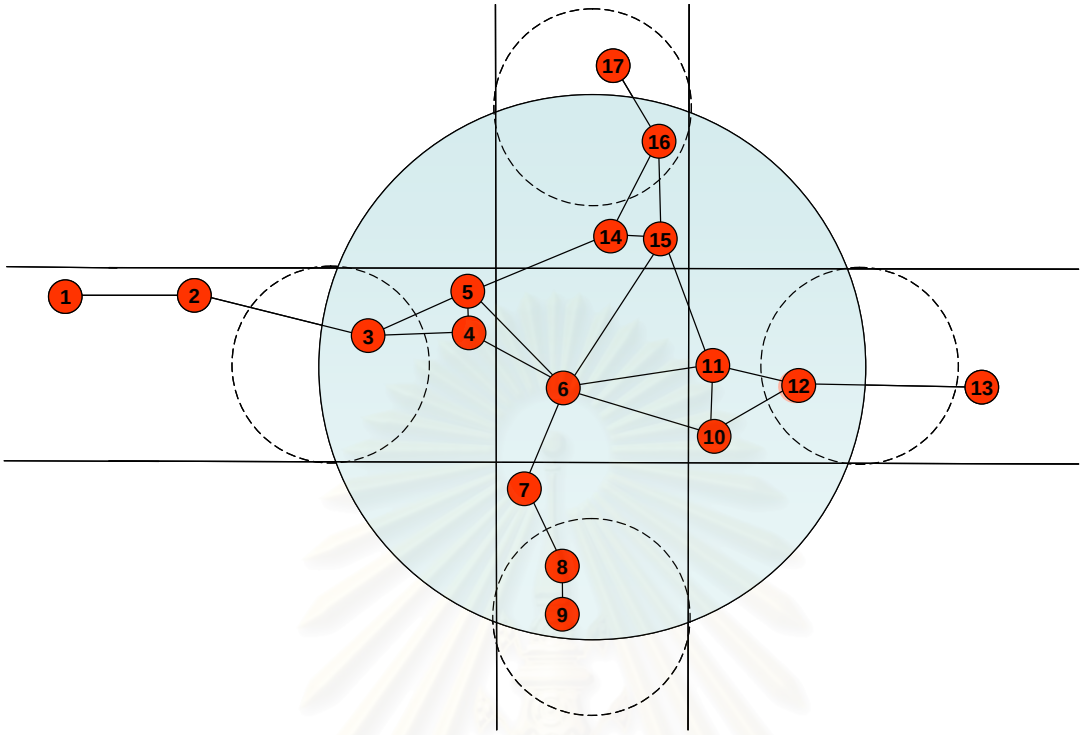
ทุกๆคาบเวลา *HELLO _ INTERVAL* โปรโตคอลจะลบข้อมูลโนดข้างเคียงที่มีค่า *nb_exp_* น้อยกว่าเวลาปัจจุบันออกจากตารางเก็บรายนามโนดข้างเคียง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 ตัวอย่างการหาเส้นทางของกลยุทธ์หาเส้นทางที่นำเสนอ

เนื่องจากงานโปรโตคอลที่พัฒนาขึ้นนี้แบ่งเป็นสองส่วน อันได้แก่การบริการเส้นทางและข้อมูลตำแหน่ง และอีกส่วนคือการส่งต่อ unicast แพ็กเกต

รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างของกระบวนการหาเส้นทางและข้อมูลตำแหน่ง และการส่งต่อ unicast แพ็กเกตในที่นี้ อาจจะเป็นแพ็กเกตข้อมูลหรือแพ็กเกตตอบข้อมูลเส้นทางและตำแหน่ง ในที่นี้โนดหมายเลข 1 มีความต้องการส่งแพ็กเกตข้อมูลสู่โนดหมายเลข 17 จึงเริ่มต้นกระบวนร้องขอเส้นทางและข้อมูลตำแหน่ง โดยสร้างและกระจายแพ็กเกตร้องขอสู่โนดหมายเลข 17 สมมุติให้แพ็กเกตมีค่าหมายเลขลำดับปลายทาง ($rt_dst_seqno_$) เท่ากับ 3 และหมายเลขลำดับต้นทาง ($rt_src_seqno_$) เท่ากับ 1 เมื่อโนดหมายเลข 2 ได้รับแพ็กเกตจะตรวจสอบว่ามีเส้นทางสู่โนดปลายทางที่ร้องขอหรือไม่ พร้อมกับสร้าง reverse path ซึ่งในที่นี้คือเส้นทางจากโนดหมายเลข 2 สู่โนดหมายเลข 1 ถ้าข้อมูลที่โนดหมายเลข 2 ได้รับมานั้นใหม่กว่าที่มีอยู่ โดยตรวจสอบความเก่าใหม่ของเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งนั้น สามารถตรวจสอบจากค่าหมายเลขลำดับต้นทาง ในกรณีที่โนดหมายเลข 2 ไม่มีเส้นทางสู่โนดปลายทางที่ร้องขอ โนดจะกระจายแพ็กเกตต่อไป ในที่นี้โนดหมายเลข 4 และ 5 เป็นโนดข้างเคียงของโนดหมายเลข 3 และสมมุติว่าทั้งโนดหมายเลข 4 และ 5 มีเส้นทางสู่โนดปลายทาง โดยโนดหมายเลข 4 และ 5 มีค่าหลายเลขลำดับปลายทางเท่ากับ 1 และ 4 โดยผ่านเส้นทาง 4-5-14-16-17 และ 5-14-16-17 ตามลำดับ เนื่องจากโนดหมายเลข 4 มีเส้นทางสู่โนดหมายเลข 17 ที่เก่ากว่าที่โนดหมายเลข 1 มี แต่โนดหมายเลข 5 มีเส้นทางที่ใหม่กว่า โนดหมายเลข 5 จึงส่งแพ็กเกตตอบข้อมูลเส้นทางและตำแหน่ง สู่โนดหมายเลข 1 ในอีกมุมหนึ่ง ถ้าแพ็กเกตร้องขอเส้นทางนั้นถึงโนดปลายทางจริงโดยผ่านเส้นทาง 5-14-15-16-17 หรือเส้นทางอื่น โนดปลายทางหมายเลข 17 จะส่งแพ็กเกตตอบเส้นทาง ในกรณนี้โนดผู้ร้องขอจะได้รับแพ็กเกตตอบเส้นทางหลายครั้ง โนดระหว่างทางทั้งหมดที่ได้รับแพ็กเกตตอบเส้นทางจะปรับปรุงเส้นทางของตน ถ้าข้อมูลในแพ็กเกตนั้นใหม่กว่าที่ตนมี (โดยตรวจสอบจากค่าหมายเลขลำดับปลายทาง) และสร้าง forward path คือเส้นทางสู่โนดหมายเลข 17 ถ้าหมายเลขลำดับปลายทางในแพ็กเกตมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับข้อมูลที่มีอยู่ หรือเส้นทางใหม่นั้นมีจำนวนฮอปจากโนดนั้นๆสู่โนดปลายทางที่น้อยกว่า



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างโครงข่ายแอดฮอกเคลื่อน
ที่ที่ใช้โปรโตคอลหาเส้นทาง DVOG แสดงการเชื่อมต่อระหว่างคู่โนดด้วยสันตรง

นอกจากนั้นแล้วโปรโตคอล DVOG ยังกำหนดให้มีการสร้างเส้นทาง local path ซึ่งในที่นี้โนดหมายเลข 3 จะให้กำเนิด*แพ็กเกตร้องขอเส้นทางและตำแหน่งพิเศษ*ขึ้นมา เนื่องจากโนดหมายเลข 3 เป็นโนดที่เปลี่ยนโหมดการทำงานของแพ็กเกตจาก *DVOGMODE _ GREEDY* มาเป็น *DVOGMODE _ AODV* การส่งแพ็กเกตร้องขอพิเศษแบบ Geocasting นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อร้องขอข้อมูลเส้นทางและตำแหน่งของโนดหมายเลข 8 9 12 และ 16 ซึ่งเป็นโนดที่อยู่ในบริเวณ Interfacing-zone ทันทีที่โนดหมายเลข 8 12 และ 16 ได้รับแพ็กเกตร้องขอนี้โนดจะส่งแพ็กเกตตอบเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งทันที การส่งแพ็กเกตตอบเส้นทางของโนดหมายเลข 8 ทำให้การส่งแพ็กเกตตอบเส้นทางของโนดหมายเลข 9 นั้นถูกยกเลิกไป ทั้งนี้โนดใดได้รับแพ็กเกตร้องขอหรือแพ็กเกตตอบเส้นทางและตำแหน่ง โนดจะสร้าง reverse path และ forward path เหมือนดังกล่าวในข้างต้น ทำให้ขณะนี้โนดหมายเลข 17 มีเส้นทางสู่โนดหมายเลข 1 โนดหมายเลข 8 12 และ 16 มีเส้นทางสู่โนดหมายเลข 3

เมื่อโนดหมายเลข 17 ส่งแพ็กเกตตอบเส้นทางและตำแหน่งสู่โนดหมายเลข 1 แบบ unicast สู่โนดข้างเคียงคือโนดหมายเลข 16 ด้วยกระบวนการจัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยี ถ้าโนดหมายเลข 17 นั้นมีเส้นทาง แต่ถ้าไม่มีโนดหมายเลข 16 จะเลือกโนดผู้รับรายถัดไปโดยหารจัดเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง แล้วโหมดการทำงานถูกเปลี่ยนจาก DVOGMODE_GREEDY สู่โหมด DVOGMODE_AODV เมื่อโนดหมายเลข 16 รับแพ็กเกต จากนี้โนดหมายเลข 16 จะพยายามส่งแพ็กเกตสู่โนดหมายเลข 1 ด้วยกระบวนการจัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยี ถ้าโนดหมายเลข 16 นั้นมีเส้นทางสู่โนดหมายเลข 1 แต่ถ้าไม่มีโนดหมายเลข 16 จะหาเส้นทางแบบ local path ด้วยการตรวจสอบตารางเส้นทางของตนและหาเส้นทางที่มุ่งสู่ Interfacing-zone ในอีกฝั่งนึง ซึ่งโนดใน Interfacing-zone ดังกล่าวได้แก่โนดหมายเลข 3 8 9 และ 12 (ถ้าโนดหมายเลข 16 มีข้อมูลของโนดหมายเลข 8 9 และ 12) แต่จากการพิจารณาโดยโนดหมายเลข 16 พบว่า โนดหมายเลข 8 9 และ 12 ไม่ได้อยู่ในพื้นที่ที่ทีส่วนร่วมในการส่งต่อแพ็กเกตนี้ ซึ่งจะส่งจากโนดหมายเลข 16 สู่โนดหมายเลข 1 โนดหมายเลข 3 จึงเป็นโนดเดียวที่จะถูกเลือก แต่ถ้ามีอีกโนดหนึ่งอีกข้างโนดหมายเลข 3 โปรโตคอลจะเลือกส่งแพ็กเกตไปยังโนดที่มีค่า $\sim progress_i$ น้อยที่สุด ดังนั้นโนดหมายเลข 3 จึงถูกเลือกให้เป็นโนดปลายทางเพื่อส่งแพ็กเกตตอบเส้นทางนี้ข้ามผ่านทางแยก และเลือกโนดผู้รับรายถัดไปเป็นโนดหมายเลข 14 เมื่อโนดหมายเลข 14 รับแพ็กเกตนี้มาก็จะดำเนินการเหมือนโนด 16 เว้นแต่ถ้าโนดหมายเลข 14 ไม่มีเส้นทางสู่โนดหมายเลข 3 โนดหมายเลข 14 จะร้องขอเส้นทางสู่โนดในบริเวณ Interfacing-zone ที่โนดหมายเลข 3 อยู่ และใช้เส้นทางนี้ในการส่งต่อ ทันทีที่แพ็กเกตตอบเส้นทางถึงโนดหมายเลข 3 โนดหมายเลข 3 จะหาเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีจากโนดหมายเลข 3 สู่โนดหมายเลข 1 แต่ถ้าไม่มีโนดหมายเลข 3 จะเลือกโนดผู้รับรายถัดไปโดยใช้กระบวนการจัดเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง ในที่นี้โนดข้างเคียงหมายเลข 2 จะถูกเลือก เมื่อแพ็กเกตตอบเส้นทางถึงโนดหมายเลข 1 ข้อมูลเส้นทางและตำแหน่งสู่โนดหมายเลข 17 ก็พร้อมที่จะส่งแพ็กเกตข้อมูลจากโนดหมายเลข 1 สู่โนดหมายเลข 17 ด้วยกระบวนการเช่นเดียวกันกับการส่งแพ็กเกตตอบเส้นทางแบบ unicast จากโนดหมายเลข 17 สู่โนดหมายเลข 1

4.5 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอกลยุทธ์การจัดเส้นทางที่นำเสนอ ผ่านกระบวนการต่างๆ การจัดการข้อมูลเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งที่หมดอายุ พารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการจัดเส้นทาง รวมถึงการนิยามพื้นที่ต่างๆ โดยแบ่งพื้นที่โดยใช้เกณฑ์อัตราการเคลื่อนที่ของรถยนต์เป็นหลัก นอกจากนี้ยังอธิบายตัวอย่างของกลยุทธ์การจัดเส้นทางที่นำเสนอนี้อีกด้วย

บทที่ 5

การจำลองกลยุทธ์จัดเส้นทางที่นำเสนอ

ในส่วนนี้จะทำการจำลองระเบียบวิธีที่ได้นำเสนอมา เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับโปรโตคอลต้นแบบ AODV และ Greedy ที่นำมาผสมผสาน ส่วนแรกจะกล่าวถึงสถานะแวดล้อมพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการจำลอง และส่วนที่สองจะทำการแสดงและวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 สภาวะแวดล้อมของการจำลอง

การจำลองนี้เขียนโดยโปรแกรม NS-2 ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลอง ชนิดเหตุการณ์แบบเต็มหน่วย (discrete event simulation) และใช้โปรโตคอลมาตรฐาน IEEE 802.11b สำหรับชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC แต่ละโนดมีพลังงานในการส่งข้อมูลไม่จำกัด แต่ในการจำลองผลนั้นกำหนดให้ทุกโนดมีระยะพิสัยสัญญาณวิทยุขนาด 250 เมตร ทุกโนดสามารถเป็นตัวกำเนิดแพ็กเกตข้อมูลได้ โดยมีช่วงระยะเวลาการเข้ามาของแพ็กเกตเฉลี่ย 0.25 วินาทีต่อแพ็กเกต จำนวนโนดที่ต้องการสื่อสาร 20 คู่ การเชื่อมต่อ โครงข่ายสื่อสารทำการสื่อสารนาน 300 วินาที และจำลองการเคลื่อนที่ของโนด(รถยนต์)เคลื่อนที่ บนถนนในสภาพแวดล้อมเมืองด้วยโปรแกรม MITSIMLab ถนนที่ใช้จำลองวางตัวแบบกากบาทบนพื้นที่ขนาด 1000 เมตร x 1000 เมตร มีสี่แยกอยู่ตรงกลาง ถนนขาไปและกลับฝั่งละสองช่องการจราจร ช่องการจราจรกว้าง 3 เมตร ถนนขาไปและขากลับห่างกัน 30 เมตร (วัดจากเส้นกลางของถนน) การส่งสัญญาณเลี้ยวอ้อมทางแยกนั้นสามารถทำได้ถ้ามีจำนวนกิ่งที่พาดผ่านบล็อกน้อยกว่า 30 % ของจำนวนกิ่งทั้งหมดระหว่างคู่โนดนั้นๆ (พิจารณาจำนวนกิ่งที่พาดผ่านบล็อกแบบเดียวกันกับการเลือกพื้นที่ที่มีส่วนร่วมในการส่งต่อ โดยคำนวณกิ่งระหว่างโนดสองโนดใดที่อยู่ในพิสัยสัญญาณกันและกัน คือคู่โนดจะมีการเชื่อมต่อกัน ถ้าปราศจากตึกหรือบล็อกกั้นขวาง) การจำลองเพื่อประเมินสมรรถนะของทั้งสามกลยุทธ์นี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

(1) ปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่ายระหว่าง 40 ถึง 200 โนดด้วยความเร็วเฉลี่ย 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

(2) ปรับเปลี่ยนความเร็วเฉลี่ยของโนดในโครงข่ายระหว่าง 20 ถึง 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โนดในโครงข่ายจำนวน 100 โนด

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการบอกสมรรถนะ

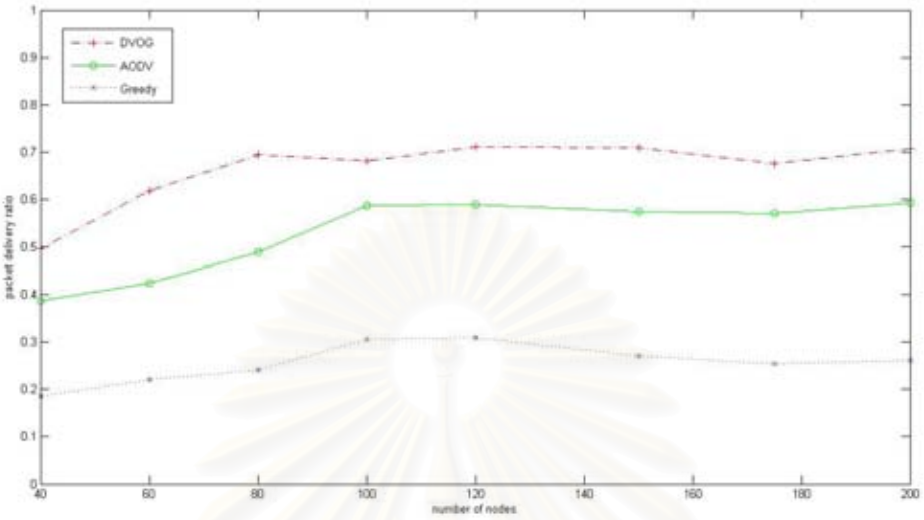
- อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด (Packet Delivery Ratio) คือจำนวนแพ็กเกตข้อมูลที่โนดต้นสามารถส่งสู่โนดปลายทางได้สำเร็จต่อจำนวนแพ็กเกตทั้งหมด ภายในช่วงระยะเวลาการจำลอง
- ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกต (Delay Time) คือเวลาเฉลี่ยการส่งแพ็กเกตหนึ่งแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จ
- จำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้ (MAC-Bytes per Successfully Delivered Packet) คือปริมาณสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยเฉลี่ยต่อการส่งแพ็กเกตข้อมูลสำเร็จหนึ่งแพ็กเกต

5.2 ผลการจำลองและการวิเคราะห์

5.2.1 ปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่าย

5.2.1.1 ผลของปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่ายที่มีต่ออัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด

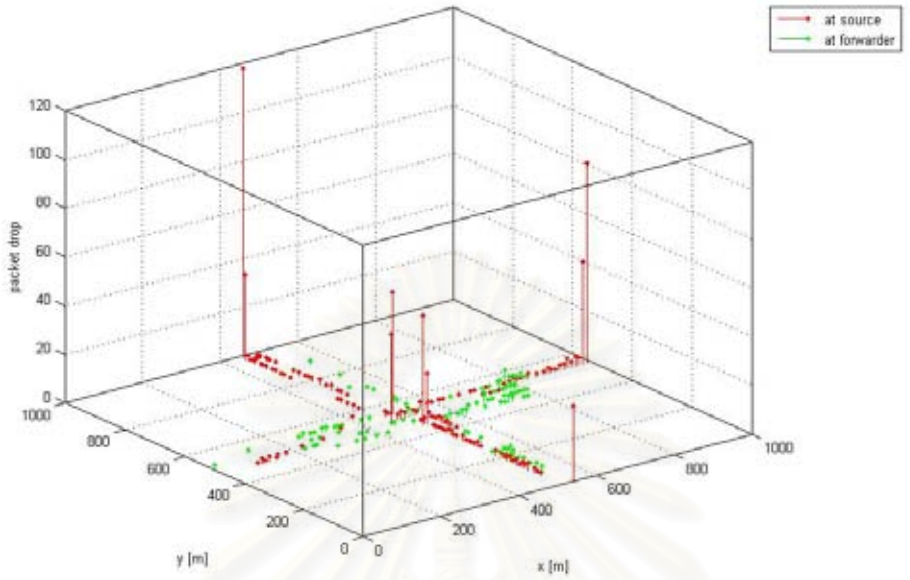
รูปที่ 5.1 แสดงอัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดของโปรโตคอล DVOG จะเห็นว่าอัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดมีค่าสูงกว่าทั้งโปรโตคอลการหาเส้นทาง AODV และ Greedy ในทุกช่วงการปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่าย โดยให้อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อจำนวนโนดในโครงข่ายเพิ่มขึ้นจาก 40-60 โนด เนื่องจากเมื่อจำนวนโนดเพิ่มขึ้นแล้วจำนวนการเชื่อมต่อระหว่างคู่โนดก็มากขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อจำนวนโนดเพิ่มขึ้นจาก 60 โนดขึ้นไปอัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดกลับมีค่าคงที่ เพราะผลร้ายของจำนวนแพ็กเกตให้สัญญาณที่เพิ่มขึ้นมากตามจำนวนโนดทำให้เกิดการชนกันของแพ็กเกตให้สัญญาณและการช่วงชิงกันใช้ช่องสัญญาณที่มากขึ้น ทำให้ผลดีจากการเพิ่มจำนวนการเชื่อมต่อระหว่างคู่โนดนั้นถูกลบล้าง



รูปที่ 5.1 อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด เมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่าย

ขณะที่โปรโตคอล Greedy จะให้อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดที่แปรผันน้อยกว่าทั้งโปรโตคอล DVOG และ AODV ทั้งนี้เพราะโปรโตคอล Greedy ไม่ได้มีกระบวนการสร้างเส้นทางเหมือนในโปรโตคอล AODV และ DVOG ที่แพ็กเกตจำนวนมากจะสามารถส่งได้สำเร็จด้วยโอกาสที่สูง ถ้าเส้นทางนั้นสร้างได้สำเร็จ ทำให้ทั้งโปรโตคอล AODV และ DVOG จึงมีโอกาสที่จะละทิ้งแพ็กเกตครั้งหลายแพ็กเกตเมื่อไม่ได้รับแพ็กเกตตอบเส้นทางในเวลาที่กำหนด ทำให้ค่าอัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดของโปรโตคอลที่มีการสร้างเส้นทางแปรผันมากกว่าโปรโตคอลที่ไม่มีการสร้างเส้นทางเมื่อจำนวนโนดเพิ่มขึ้น ขณะที่โปรโตคอล Greedy ใช้การพิจารณาเลือกเส้นทางแบบรายแพ็กเกตทำให้การส่งต่อของแต่ละแพ็กเกตไม่ขึ้นต่อกัน

ถ้าพิจารณาถึงสาเหตุที่ทำให้ อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดมีค่าไม่ถึง 100% ก็เพราะมีการละทิ้งและการสูญหายของแพ็กเกตนั่นเอง รูปที่ 5.2 และ 5.4 ถึง 5.8 แสดงสถานการณ์ตัวอย่างการละทิ้งและสูญหายของแพ็กเกตข้อมูล ณ โนดต้นทางและโนดระหว่างทาง ด้วยจำนวนโนดในโครงข่าย 200 โนด อัตราเร็วเฉลี่ย 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีจำนวนโนดที่ต้องการสื่อสาร 20 การเชื่อมต่อคู่โนด โดยมีช่วงระยะเวลาการเข้ามาของแพ็กเกตเฉลี่ยเท่ากับ 0.25 วินาทีต่อแพ็กเกต โครงข่ายสื่อสารทำการสื่อสารนาน 100 วินาที



รูปที่ 5.2 แสดงตัวอย่างการละทิ้งและสูญหายของแพ็กเกตข้อมูล โดยโนดผู้กำเนิดแพ็กเกตและโนดระหว่างทางของโปรโตคอล Greedy ตามตำแหน่งบนพื้นที่จำลอง

การละทิ้งแพ็กเกต ณ โนดต้นทางในที่นี้นั้น เกิดจากการละทิ้งอันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ ตามแต่ชนิดของโปรโตคอลหาเส้นทาง ในโปรโตคอล DVOG กระบวนการที่จะทำให้เกิดการละทิ้งแพ็กเกตได้นั้น ได้แก่

(1) เมื่อกระบวนการ “rt_purge” (route purge) ทำงาน ซึ่งกระบวนการนี้จะทำงานลบเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งที่หมดอายุทุกๆ คาบเวลาเท่ากับ *MY _ ROUTE _ TIMEOUT* พร้อมกันนี้จะละทิ้งแพ็กเกตข้อมูลที่รอการส่งต่อด้วยการใช้ข้อมูลเส้นทางและตำแหน่งดังกล่าวไปด้วย

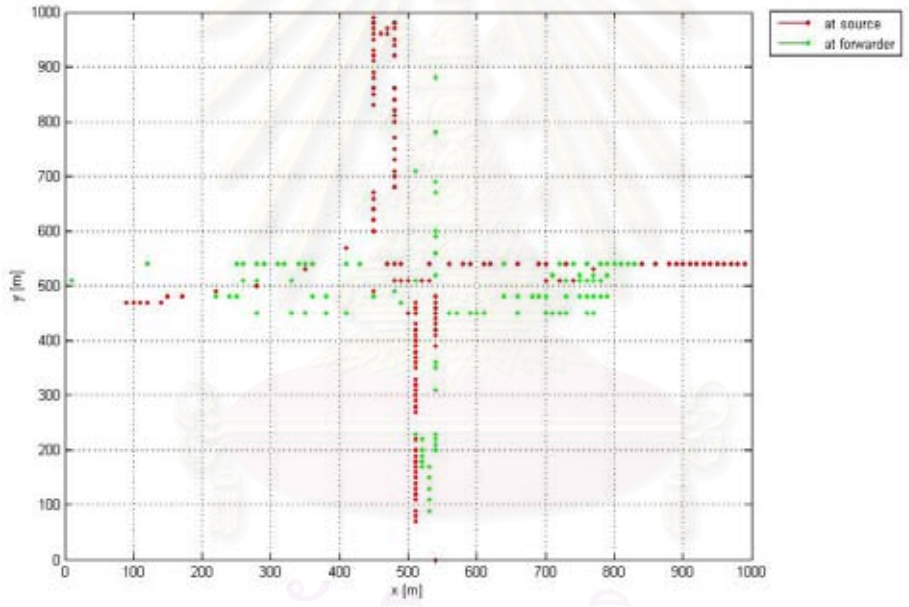
(2) ในกระบวนการ “recvRREQ” เมื่อโนดระหว่างทางรับแพ็กเกตตอบเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งมาแล้ว ไม่มีเส้นทางหรือข้อมูลตำแหน่ง (reverse route) เพื่อส่งแพ็กเกตคำตอบกลับสู่โนดผู้ร้องขอ ทำให้แพ็กเกตคำตอบนี้ถูกละทิ้ง นอกจากนี้ยังทำให้โนดผู้ร้องขอข้อมูลนี้ไม่ได้รับข้อมูลเส้นทางและตำแหน่ง ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการละทิ้งแพ็กเกตข้อมูลตามมาอีก

(3) เมื่อโนดตัดสินใจที่จะส่งแพ็กเกตต่อผ่านกระบวนการ “forward” แต่กลับไม่มีเส้นทางและข้อมูลตำแหน่งของโนดข้างเคียงที่เหมาะสม

(4) เมื่อโนดต้องการส่งแพ็กเกตร้องขอแต่การร้องขอไปยังโนดปลายทางนั้นๆ เป็นการร้องขอซ้ำๆ จนเกินจำนวนที่โปรโตคอลอนุญาติ ทำให้โนดตั้งสมมุติฐานว่า ไม่เส้นทางใดที่สามารถ

ติดต่อไปยังโนดปลายทางที่ร้องขอนั้นได้ คือโครงข่ายเกิดเป็น disconnected graph โปรโตคอลจึงละทิ้งทุกแพ็กเกตที่มีปลายทางสู่โนดที่ไม่สามารถติดต่อได้นั้น

จะเห็นว่าสาเหตุหลักสาเหตุหนึ่งของการละทิ้ง (drop) แพ็กเกตข้อมูลนั้นคือ การไม่มีเส้นทางสู่ปลายทาง เนื่องจากการตอบกลับข้อมูลเส้นทางช้าเกินไป หรือสูญหายของแพ็กเกตตอบเส้นทาง อีกทั้งกระบวนการป้องกันแพ็กเกตซ้ำซ้อน กำหนดให้มีการตอบเส้นทางเพียงครั้งเดียวเมื่อได้รับแพ็กเกตร้องขอเส้นทางหนึ่งๆ ทำให้ระบบต้องรอจนกว่าจะได้รับอนุญาติให้ส่งแพ็กเกตร้องขอซ้ำอีกครั้ง ตามมาด้วยการหมดอายุของแพ็กเกตข้อมูลที่เก็บไว้เพื่อรอการส่งออกเมื่อมีเส้นทาง ต้องถูกละทิ้งครั้งละหลายสิบแพ็กเกต ทำให้เกิดการละทิ้งแพ็กเกต ณ โนดต้นทาง เช่นในกรณีของโปรโตคอล Greedy ที่แสดงด้วยจุดสีแดงที่อยู่ต่อกันเป็นกลุ่มในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แสดงตัวอย่างการละทิ้งและสูญหายของแพ็กเกตข้อมูล โดยโนดผู้กำเนิดแพ็กเกตและโนดระหว่างทางของโปรโตคอล Greedy ตามตำแหน่งบนพื้นที่จำลอง (ภาพมุมสูง)

เมื่อพิจารณาเพียงโปรโตคอล Greedy แล้วสาเหตุหลักอีกสาเหตุนึง ที่แพ็กเกตข้อมูลเกิดการสูญหายหรือถูกละทิ้ง คือเมื่อการส่งต่อแบบ Greedy เข้าสู่โหมด Greedy-failed ดังแสดงด้วยตัวอย่างในรูปที่ 5.4 ซึ่งเส้นทึบสีดำแสดงการมีการเชื่อมต่อระหว่างโนดข้างเคียง ในที่นี้สมมุติให้โนดหมายเลข 23 ต้องการส่งต่อแพ็กเกตไปยังโนดหมายเลข 48 เมื่อโนดหมายเลข 35 และ 38 รับแพ็กเกตข้อมูลแล้ว กระบวนการ DCF จะเลือกโนดที่เหมาะจะเป็นโนดผู้ส่งต่อไป ในที่นี้โนดหมายเลข 35

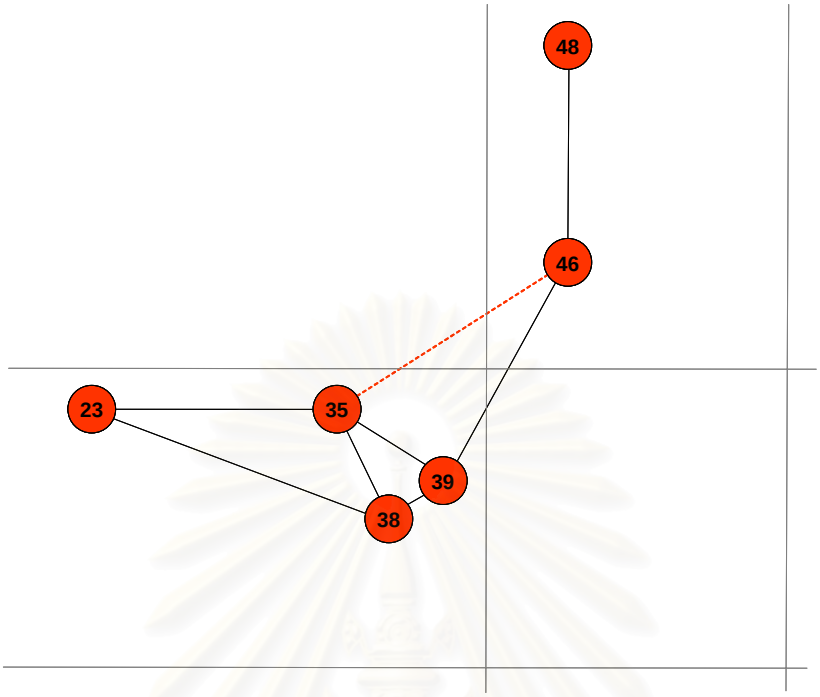
เป็นโนดที่อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ดังพิจารณาด้วยสมการ 2.9 และ 2.10 (เพราะเป็นโนดที่ใกล้โนดปลายทางที่สุดเมื่อเทียบกับโนดข้างเคียงอื่นๆ ของโนดหมายเลข 25) ทำให้โนดหมายเลข 35 ได้ส่งแพ็กเกตออกก่อน และจะมีผลให้การส่งออกของโนดหมาย 38 จะถูกยกเลิก จากนั้นโนดหมายเลข 35 จะพยายามส่งแพ็กเกต ต่อไปยังโนดปลายทาง แต่กลับไม่มีโนดผู้รับรายถัดไปรายใดที่เหมาะสม

$$P(f,z,n) = \max\{0, \frac{dist(f,z) - dist(n,z)}{r_{radio}}\} \tag{2.9}$$

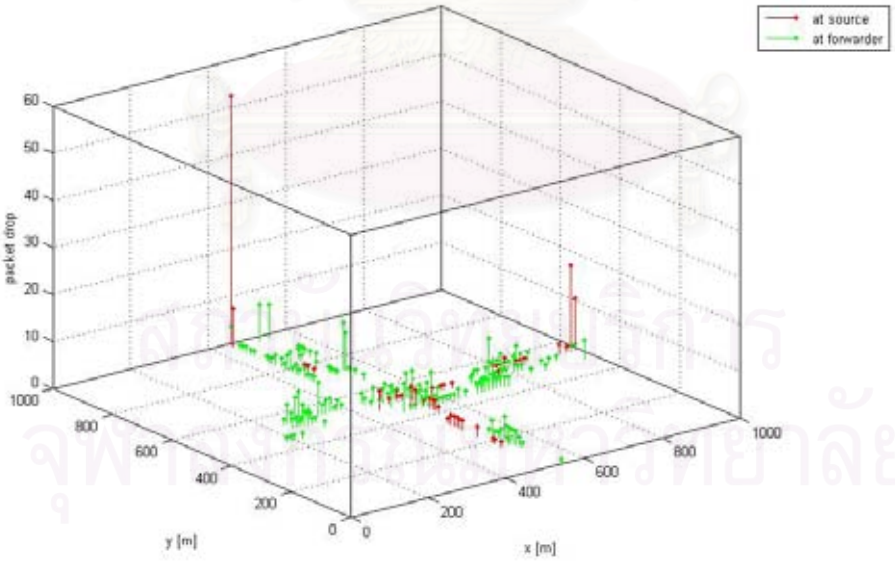
$$t(P) = T(1-P) \tag{2.10}$$

ทำให้ไม่สามารถเลือกโนดผู้รับรายถัดไปได้ เป็นเหตุให้แพ็กเกตถูกละทิ้ง ทั้งนี้การส่งต่อจากโนดหมายเลข 35 ไปยังโนดหมายเลข 46 นั้นอาจจะทำได้ ถ้าการขวางกันของมุมตึกบริเวณนั้นมีน้อย แต่ในที่นี้พิจารณาว่า ไม่มีการเชื่อมต่อระหว่างโนดหมายเลข 35 และ 46 จากเหตุการณ์ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่า แพ็กเกตมักจะถูกละทิ้งเมื่อโนดผู้ส่งอยู่ใกล้ริมถนน ซึ่งอาจเกิดได้ทั้งการละทิ้ง ณ โนดต้นทางและโนดระหว่างทางดังรูปที่ 5.3 และเมื่อพิจารณาสาเหตุนี้ร่วมกับรูปที่ 5.2 จะเห็นว่ามีการละทิ้งแพ็กเกตด้วยเหตุนี้กระจายอยู่ทั่วบริเวณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

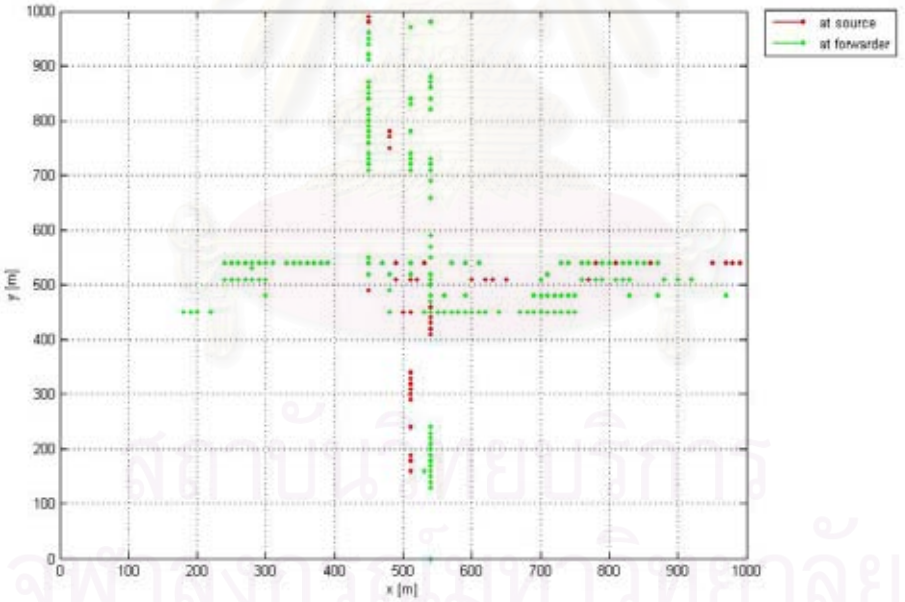


รูปที่ 5.4 ตัวอย่างสถานการณ์ที่กระบวนการส่งต่อแบบ Greedy ต้องละทิ้งแพ็กเกต (Greedy-failed)



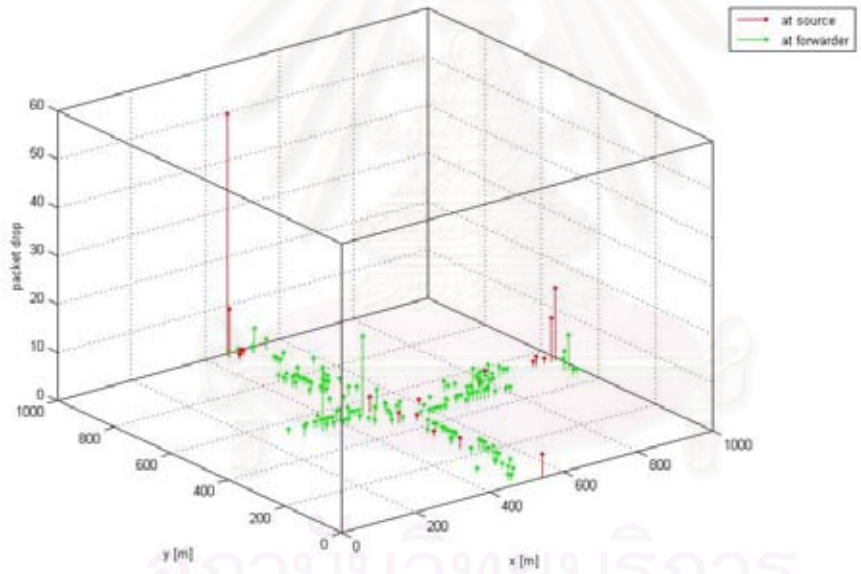
รูปที่ 5.5 แสดงตัวอย่างการละทิ้งและสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลโดยโนดผู้กำเนิดแพ็กเกตและโนดระหว่างทางของโปรโตคอล AODV ตามตำแหน่งบนพื้นที่จำลอง

ขณะที่โปรโตคอล AODV จะเลือกโนดผู้รับรายถัดไปจากเส้นทางที่มีอยู่ ทั้งนี้มิได้ใช้ความรู้สภาพการเชื่อมต่อได้กับโนดข้างเคียงประกอบการพิจารณา แม้ว่าจะมีการส่งสัญญาณทักทายเพื่อปรับปรุงสภาพการเชื่อมต่อกับโนดข้างเคียงทุกคาบเวลาหนึ่งๆ ส่งผลให้โนดผู้รับรายถัดไปที่เลือกจากเส้นทางนั้นอาจจะเคลื่อนออกจากระยะพิสัยสัญญาณวิทยุไปแล้ว ทำให้เส้นทางที่เลือกไว้ก่อนหน้านั้นใช้การไม่ได้ ขณะที่ชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC พยายามส่งแพ็กเกต RTS เป็นจำนวนหนึ่ง และโนดก็ยังคงรอการตอบแพ็กเกต CTS และเก็บแพ็กเกตที่ต้องการส่งไว้ จนกระทั่งแพ็กเกตนั้นหมดอายุหรือไม่การไม่ได้รับแพ็กเกตทักทายจากโนดข้างเคียง ที่ขาดการติดต่อไปในช่วงเวลาที่กำหนด ก็จะแสดงให้เห็นว่าลิงค์นั้นได้ขาดการเชื่อมต่อไปแล้ว ซึ่งอาจจะช้าเกินไปที่จะรักษาแพ็กเกตข้อมูลไว้ และเป็นอีกที่มาของการละทิ้งแพ็กเกตเนื่องจากเกิดการเข้าใจผิดว่าเส้นทางนั้นยังคงใช้การได้ เหตุการณ์นี้แสดงการละทิ้งได้ ณ โนดระหว่างทางซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.6 จุดสีเขียวที่อยู่ต่อกันเป็นกลุ่ม เกิดจากการละทิ้งแพ็กเกต ณ โนดเดิมซ้ำๆ จนเกิดเป็นกลุ่มของจุดที่อยู่ต่อกัน เมื่อโนดนั้นเคลื่อนที่ไปเรื่อยๆ ก่อนที่โปรโตคอลจะตรวจพบความเสียหาย และสร้างเส้นทางใหม่

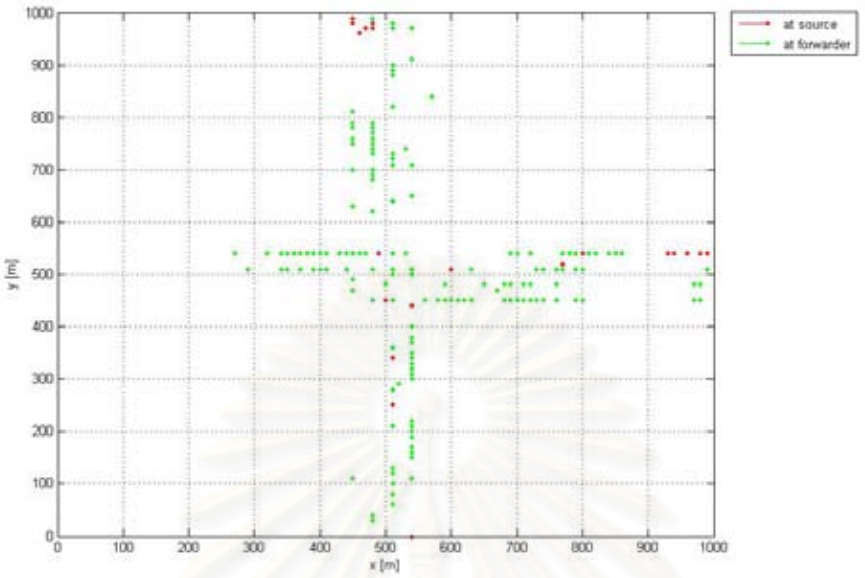


รูปที่ 5.6 แสดงตัวอย่างการละทิ้งและสูญหายของแพ็กเกตข้อมูล โดยโนดผู้กำเนิดแพ็กเกตและโนดระหว่างทางของโปรโตคอล AODV ตามตำแหน่งบนพื้นที่จำลอง (ภาพมุมสูง)

กล่าวถึงโปรโตคอล DVOG ที่พยายามลดขนาดความยาวของเส้นทางการสื่อสารแบบอิงทอพอโลยีที่เสียหายได้ลง จากการเส้นทางจากต้นทางสู่ปลายทางซึ่งอาจเป็นระยะทางหลายฮอป ให้เหลือเพียงการสร้างเส้นทางขนาด 2-3 ฮอปบริเวณทางแยก ประกอบกับกระบวนการสร้างเส้นทางแบบ local route บริเวณทางแยกเป็นการลดโอกาสที่โนดผู้ส่งต่อจะไม่มีเส้นทางสู่โนดปลายทาง เมื่อโนดนั้นอยู่บริเวณทางแยก แม้การสร้างเส้นทางสำรองนี้อาจจะต้องสูญเสียแพ็กเกตให้สัญญาณเพิ่มเติม ทำให้โอกาสการชนกันและการละทิ้งของแพ็กเกตข้อมูลเพิ่มขึ้นก็ตามแต่ แต่จากผลการทดลองรูปที่ 5.7 และ 5.8 จะเห็นว่าโปรโตคอล DVOG มีจำนวนการละทิ้งแพ็กเกต ทั้งจากโนดต้นทางและโนดระหว่างทางที่ต่ำกว่า ทั้งนี้เพราะโปรโตคอล DVOG มีกระบวนการหาเส้นทางสำรอง (redundant route) ถ้าโนดที่บริเวณทางแยกต้องการส่งแพ็กเกตต่อ แต่หาเส้นทางจากตนสู่โนดปลายทางไม่พบแล้ว ยังจะสามารถใช้เส้นทางสำรองนี้ที่สร้างโดยการส่งแพ็กเกตร้องขอพิเศษไว้ก่อนหน้านี้แล้วได้



รูปที่ 5.7 แสดงตัวอย่างการละทิ้งและสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลโดยโนดผู้กำเนิดแพ็กเกตและโนดระหว่างทางของโปรโตคอล DVOG ตามตำแหน่งบนพื้นที่จำลอง



รูปที่ 5.8 แสดงตัวอย่างการละทิ้งและสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลโดยโนดผู้กำเนิดแพ็กเกตและโนดระหว่างทางของโปรโตคอล DVOG ตามตำแหน่งบนพื้นที่จำลอง

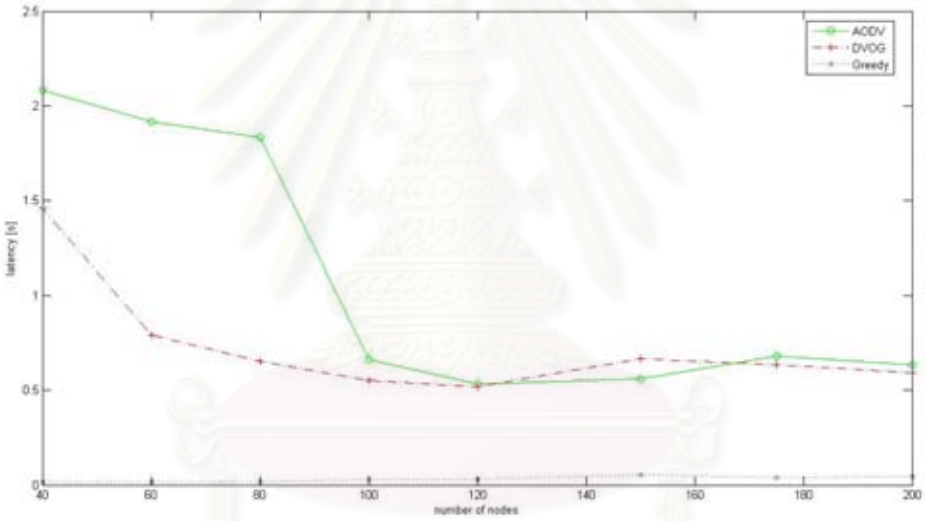
นอกจากนี้แล้วในโปรโตคอล DVOG การส่งต่อบริเวณจากทางแยกสู่ทางแยกกำหนดให้ใช้เส้นทางแบบทอพอโลยีเป็นอันดับแรก โดยการเลือกใช้ข้อมูลเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีนี้ โปรโตคอล DVOG กำหนดให้มีการตรวจสอบและยืนยันสภาพการเชื่อมต่อ ด้วยข้อมูลตำแหน่งก่อนทุกครั้ง ในกรณีถ้ามีข้อมูลเส้นทางนั้นๆ แต่ถ้าไม่มีเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีแล้ว จะใช้การส่งต่อแบบโปรโตคอล Greedy ที่เลือกโนดผู้รับรายถัดไปจากโนดข้างเคียงโดยใช้ข้อมูลเส้นทางประกอบการพิจารณาด้วยสมการที่ 3.1

จะเห็นว่าด้วยกระบวนการนี้ ซึ่งต่างจากการเลือกเส้นทางของโปรโตคอล AODV ที่เลือกเส้นทางจากเส้นทางที่สร้างเอาไว้แล้วก่อนหน้าโดยไม่ได้คำนึงสภาพการเชื่อมต่อขณะนั้น และต่างจากการเลือกเส้นทางของโปรโตคอล Greedy ที่เลือกเส้นทางเพียงจากการคำนวณความเหมาะสมด้วยข้อมูลตำแหน่ง โดยไม่ได้คำนึงถึงทอพอโลยีทำให้เกิดปัญหา Greedy-failed ทำให้ทั้งโปรโตคอล AODV และโปรโตคอล Greedy มีอัตราการละทิ้งแพ็กเกตที่สูงกว่าโปรโตคอล DVOG เพราะโปรโตคอล DVOG จะเลือกใช้เส้นทางที่คงทนและมีการยืนยันสภาพการเชื่อมต่อในระดับโครงข่ายสื่อสารด้วยความช่วยเหลือของข้อมูลตำแหน่ง นอกจากนี้ ปัญหาการละทิ้งแพ็กเกตต่อเนื่อง เมื่อเส้นทางนั้นเสียหายแต่โปรโตคอลยังคงใช้เส้นทางเดิมของโปรโตคอล AODV นั้นก็ลดลงเพราะโปรโตคอล

DVOG สามารถปรับเลือกเส้นทางจากข้อมูลที่ดีที่สุด ระหว่างข้อมูลตำแหน่งและข้อมูลเส้นทาง เมื่อส่งต่อในโหมด DVOGMODE_GREEDY และมีเส้นทางสำรองสำหรับการส่งต่อในโหมด DVOGMODE_AODV

5.2.1.2 ผลของปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่ายที่มีต่อค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกต

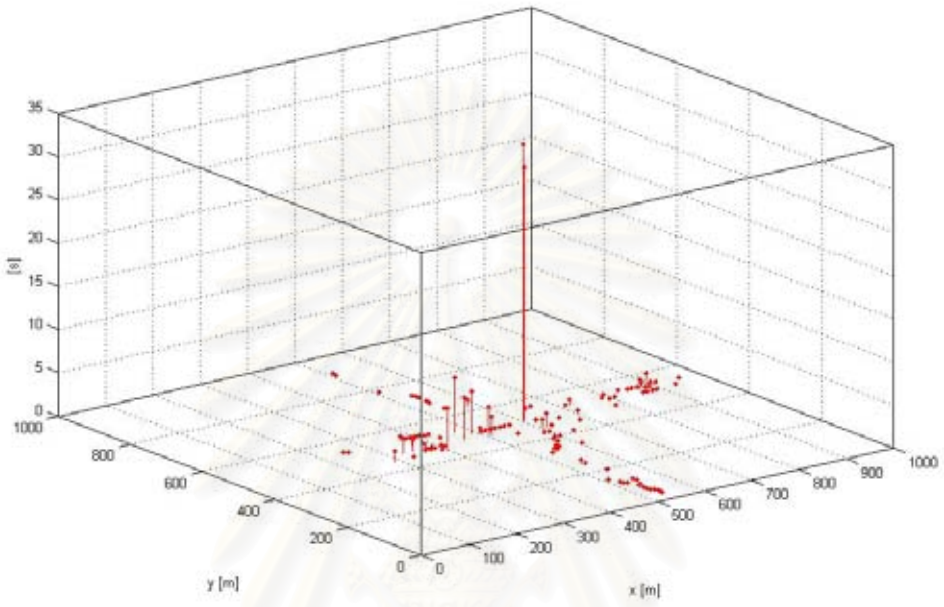
นอกจากโปรโตคอล Greedy จะให้ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตต่ำในสภาวะแวดล้อมพื้นที่เปิดกว้างแล้ว ในสถาวะแวดล้อมถนนในเมืองโปรโตคอล Greedy ก็ยังคงให้ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตที่ต่ำมากอีกเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตเมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่าย

แม้ในสภาวะแวดล้อมพื้นที่เปิดกว้าง ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยแพ็กเกตของโปรโตคอล Greedy และ AODV ยังแยกตัวกันไม่ชัดเจน เพราะโปรโตคอล Greedy เสียเวลามากในการส่งต่ออย่างไร้การควบคุมทิศทาง แต่ในสถาวะแวดล้อมถนนในเมืองนี้ที่ถนนช่วยบังคับทิศทางของการส่งต่อโปรโตคอล Greedy จึงได้เปรียบในการส่งตามทางตรงของถนน ดังตัวอย่างในรูปที่ 5.10 แสดงตัวอย่างการประวิงเวลาที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆบนพื้นที่จำลองของโปรโตคอล Greedy ด้วยจำนวนโนดในโครงข่ายจำนวน 200 โนด อัตราเร็วเฉลี่ย 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีจำนวนโนดที่ต้องการสื่อสาร 20 คู่

โนดเชื่อมต่อ โดยมีช่วงระยะเวลาการเข้ามาของแพ็กเกตเฉลี่ยเท่ากับ 0.25 วินาทีต่อแพ็กเกต โครงข่ายสื่อสารทำการสื่อสารนาน 100 วินาที

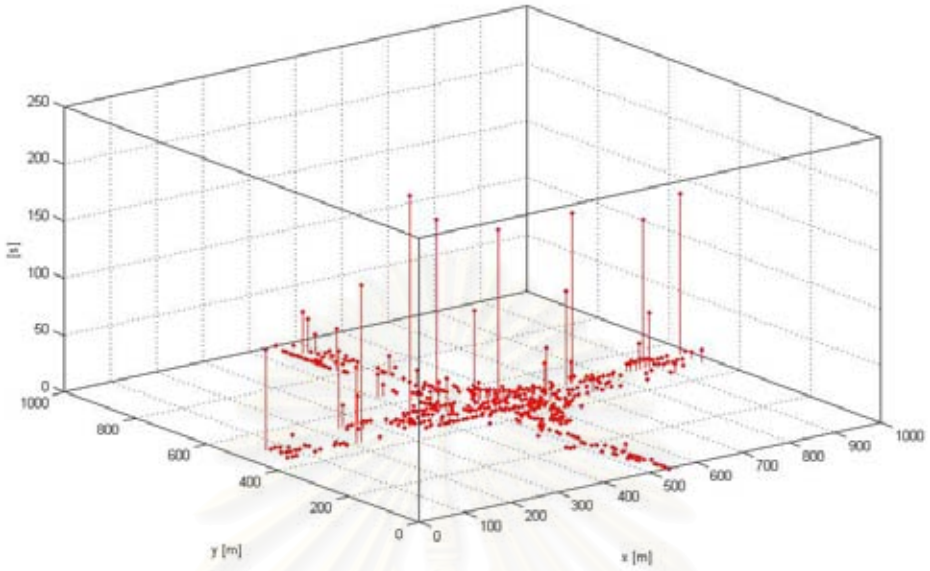


รูปที่ 5.10 แสดงตัวอย่างการประวิงเวลาสะสมที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆบนพื้นที่จำลองของโปรโตคอล Greedy

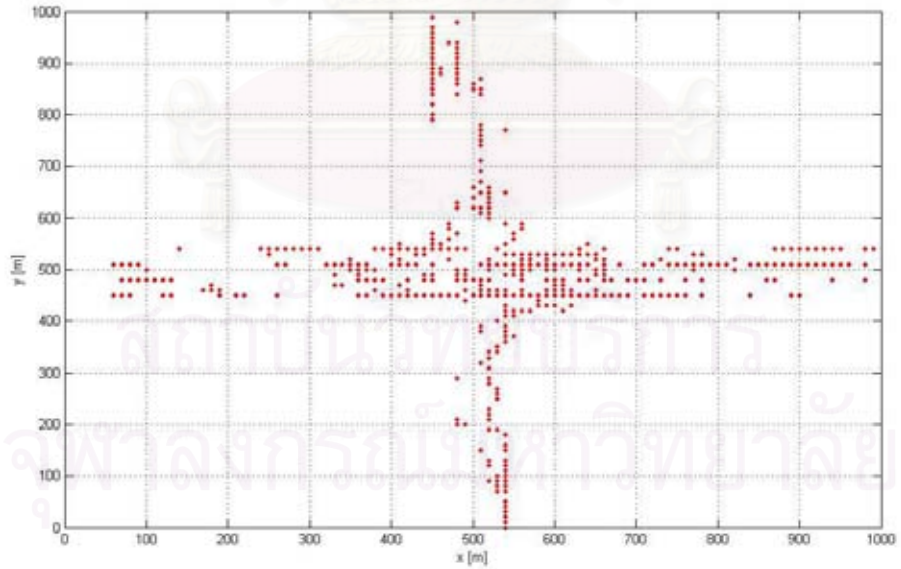
ในขณะที่รูปที่ 5.11 และ 5.12 แสดงเหตุการณ์เดียวกันนี้ด้วยโปรโตคอล AODV และ DVOG จะเห็นว่าในรูปที่ 5.10 มีจำนวนเส้นกราฟที่เบาบางกว่า เนื่อง 2 สาเหตุคือ

(1) กราฟค่าประวิงเวลาสะสมนี้ จะแสดงค่าประวิงเวลาสะสมเมื่อแพ็กเกตมีการเคลื่อนที่จากโนดนึงสู่อีกโนดนึงเท่านั้น เนื่องจากโปรโตคอล Greedy มีการละทิ้งแพ็กเกตที่โนดต้นทางที่สูงกว่าโปรโตคอล AODV และ DVOG มาก ดังรูปที่ 5.2 5.5 และ 5.7 ซึ่งมีการละทิ้งแพ็กเกต ณ โนดต้นทางสูงสุดถึง 120 53 และ 50 แพ็กเกตตามลำดับที่พิกัด (500,1000) ทำให้แพ็กเกตไม่เคลื่อนออกจากโนดต้นทาง จึงไม่ได้ถูกแสดงในกราฟค่าประวิงเวลาสะสมนี้

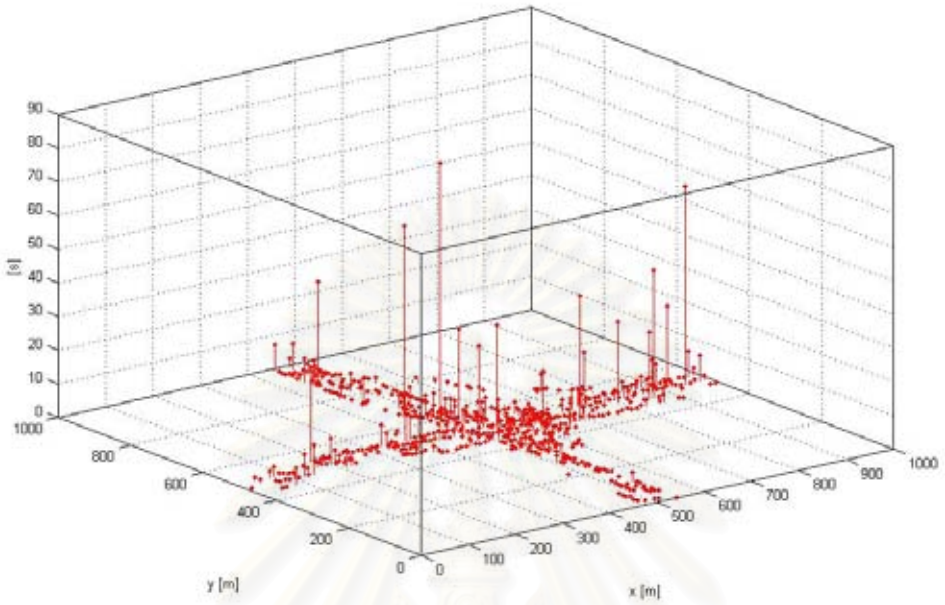
(2) สำหรับแพ็กเกตที่สามารถส่งต่อได้สำเร็จหรือแม้แต่แพ็กเกตที่ส่งออกไปแล้วถูกละทิ้ง ณ โนดระหว่างทาง โปรโตคอล Greedy สามารถทำการส่งต่อได้เร็วกว่าโปรโตคอล AODV และ DVOG มาก



รูปที่ 5.11 แสดงตัวอย่างการประวิงเวลาสะสมที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆบนพื้นที่จำลองของโปรโตคอล AODV



รูปที่ 5.12 แสดงตัวอย่างการประวิงเวลาสะสมที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆบนพื้นที่จำลองของโปรโตคอล DVOG (ภาพมุมสูง)



รูปที่ 5.13 แสดงตัวอย่างการประวิงเวลาที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งต่างๆบนพื้นที่จำลองของโปรโตคอล DVOG

กล่าวถึงโปรโตคอล AODV และ DVOG จะเห็นว่าช่วงที่ปริมาณโนดยังเบาบาง (40-100 โนด) ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้โปรโตคอล DVOG ให้ค่าประวิงเวลาที่ต่ำกว่าเพราะเมื่อโนดเบาบางโอกาสการเสียเส้นทางที่สร้างไว้ก่อนของโปรโตคอล AODV นั้นมีมาก ทำให้ผลของการร้องขอเส้นทางทั้งเส้นทางใหม่ทำให้ต้องรอการตอบการร้องขอนี้เป็นเวลานาน เพราะโปรโตคอล AODV ยังคงใช้เส้นทางแบบอิงทอพอโลยีที่มีระยะยาวจากโนดต้นทางสู่โนดปลายทาง ซึ่งยาวกว่าการสร้างเส้นทางแบบ local route ของโปรโตคอล DVOG เมื่อเปรียบเทียบการสร้างเส้นทางของโปรโตคอล AODV กับโปรโตคอล DVOG ที่ใช้ประโยชน์จากเส้นทางสำรองบริเวณทางแยก ร่วมกับการใช้การจัดหาเส้นทางแบบ Greedy ในบางส่วน ทำให้ไม่จำเป็นต้องร้องขอเส้นทางใหม่ทุกครั้งที่ทราบว่าเส้นทางเสียหาย หรือเมื่อไม่มีเส้นทางโนดก็ยังคงมีข้อมูลตำแหน่งเพื่อหาเส้นทางสำรองอยู่ แต่ทั้งนี้โปรโตคอล DVOG จะร้องขอเส้นทางใหม่ เมื่อข้อมูลตำแหน่งที่เคยมีอยู่ได้ถูกชำระทิ้งเมื่อหมดอายุด้วยคาบเวลาที่กำหนด (ข้อมูลเส้นทางก็จะถูกชำระไปพร้อมกับข้อมูลเส้นทางแบบอิงทอพอโลยี) ทั้งนี้สามารถสังเกตุได้จากค่าประวิงเวลาสะสมในรูปที่ 5.11 และ 5.13 จะเห็นว่า

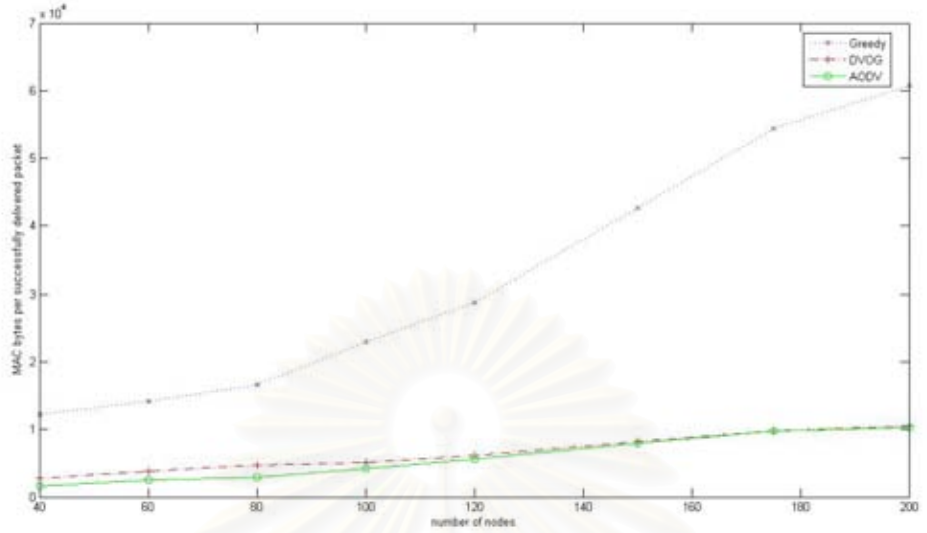
โปรโตคอล AODV ให้ค่าประวิงเวลาสะสมสูงสุด (250 วินาที ณ พิกัด (350,450)) สูงกว่าโปรโตคอล DVOG (90 วินาที ณ พิกัด (450,450))

แต่เมื่อโนดเพิ่มขึ้นมากพอที่จะทำให้โครงข่ายมีการเชื่อมต่อที่มั่นคงขึ้น คือเมื่อจำนวนโนดเพิ่มมากขึ้นแล้วจะมีโนดกระจายอยู่ทั่วบริเวณ (เมื่อเทียบกับขนาดของรัศมีพิสัยสัญญาณที่ใช้จำลอง) ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตของโปรโตคอล AODV และโปรโตคอล DVOG จึงให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก เพราะด้วยการเชื่อมต่อระหว่างคู่โนดที่เพิ่มมากขึ้นนี้ ทำให้โอกาการการสูญเสียเส้นทางของทั้งสองโปรโตคอลมีน้อยลง

5.2.1.3 ผลของปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่ายที่มีต่อจำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้

รูปที่ 5.14 แสดงจำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้หรืออาจจะหมายถึง “ความสิ้นเปลือง” ของการสูญเสียการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อการได้มาซึ่งการส่งแพ็กเกตสำเร็จหนึ่งแพ็กเกต จะเห็นว่าทุกโปรโตคอลมีจำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สูงขึ้นเมื่อจำนวนโนดในโครงข่ายเพิ่มขึ้น และโปรโตคอล Greedy มีความสิ้นเปลืองสูงมากที่สุด เนื่องจากขนาดแพ็กเกตให้สัญญาณที่มีค่าใหญ่ด้วยข้อมูลตำแหน่งในแพ็กเกตให้สัญญาณ อีกทั้งจำนวนแพ็กเกตข้อมูลที่ส่งได้สำเร็จมีค่าต่ำ เมื่อเปรียบเทียบอีกสองโปรโตคอลจะเห็นว่าโปรโตคอลที่นำเสนอมีอัตราการเพิ่มขึ้นจำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สูงกว่าโปรโตคอล AODV เล็กน้อยในช่วงโนดเบาบาง แม้ว่าจำนวนแพ็กเกตที่ส่งได้สำเร็จของโปรโตคอล DVOG นั้นจะมีค่าสูงกว่า เพราะว่าโปรโตคอลมีกระบวนการบริการตำแหน่ง และการกระจายแพ็กเกตทักทายที่มีข้อมูลตำแหน่งที่มีขนาดใหญ่ประกอบอยู่ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



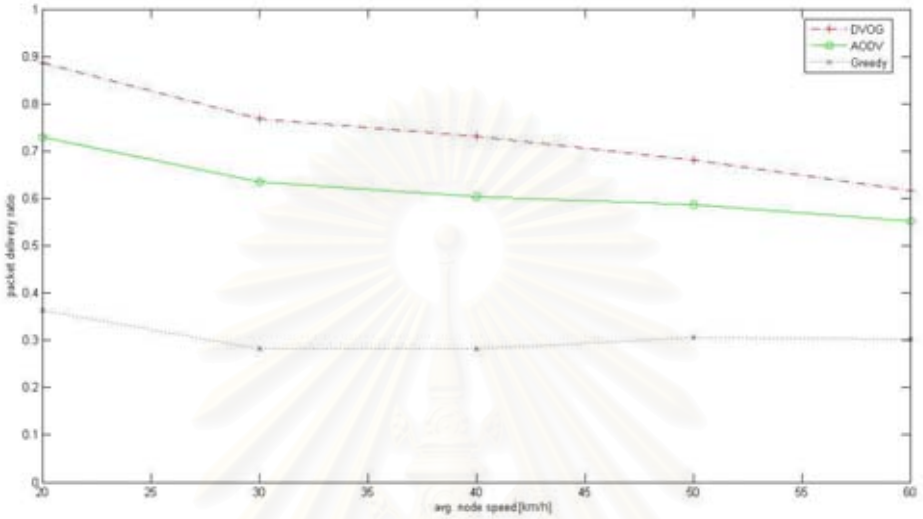
รูปที่ 5.14 จำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้เมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนโนดในโครงข่าย

5.2.2 ปรับเปลี่ยนสภาพเคลื่อนที่ได้เฉลี่ยของโนด

5.2.2.1 ผลของปรับเปลี่ยนสภาพเคลื่อนที่ได้เฉลี่ยของโนดในโครงข่ายที่มีต่ออัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด

เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราเร็วเฉลี่ยของโนด ในย่านที่เหมาะสมกับการเคลื่อนที่จริงของรถยนต์บนถนนในเมือง ดังรูปที่ 5.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วเฉลี่ยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด ทั้งโปรโตคอล AODV และโปรโตคอล DVOG มีค่าอัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดน้อยลงเมื่ออัตราเร็วเฉลี่ยให้เพิ่มขึ้น โดยที่โปรโตคอล AODV มี*อัตราการลดลง*ของอัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดที่น้อยกว่าโปรโตคอล DVOG เพราะโปรโตอล AODV นั้นใช้เส้นทางเดียวกันตลอดจากโนดต้นทางสู่โนดปลายทางทำให้เส้นทางนี้ทนทานต่อการการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของโนดมากกว่า อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของอัตราเร็วเฉลี่ยนั้นทำให้โปรโตคอล DVOG มีโอกาสการสูญเสียโนดที่มีเส้นทางแบบ local route บริเวณ interfacing-zoen ง่ายยิ่งขึ้นเมื่ออัตราเร็วเฉลี่ยของโนดสูงขึ้น ทำให้โปรโตคอล DVOG ได้รับผลกระทบจากอัตราเร็วเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นได้มากกว่า ส่วนโปรโตคอล Greedy นั้นมีความแปรปรวนของอัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดน้อยมาก เพราะโปรโตคอล Greedy ไม่ได้อ้างอิงการเส้นทางที่อาจจะเสียหายได้ง่าย การเก็บเพียงสภาพการเชื่อมต่อกับ

โนดข้างเคียงเมื่ออัตราเร็วเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงจึงเป็นวิธีที่คงทนกว่า แต่ก็ยังคงให้อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดน้อยกว่าอีกทั้งสองโปรโตคอล

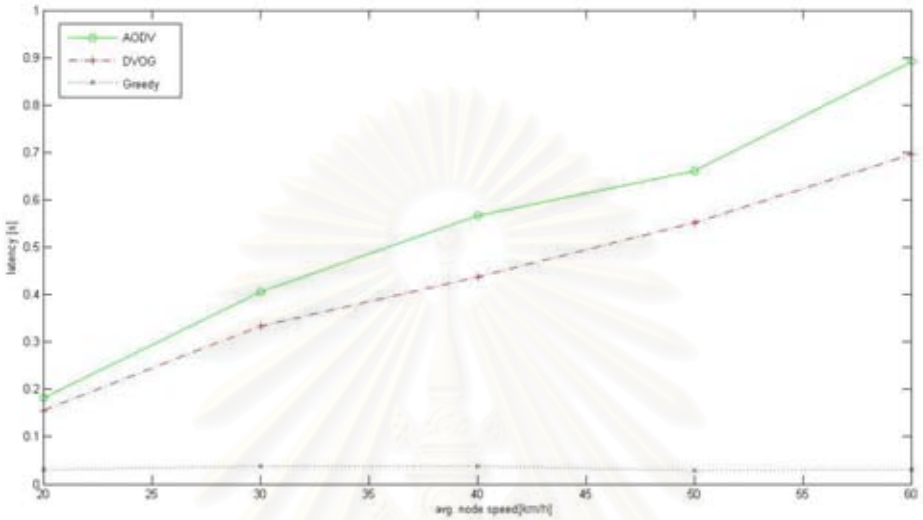


รูปที่ 5.15 อัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด เมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วเฉลี่ยของโนดในโครงข่าย

5.2.2.2 ผลของปรับเปลี่ยนสภาพเคลื่อนที่ได้เฉลี่ยของโนดในโครงข่ายที่มีต่อค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกต

จากรูปที่ 5.16 แสดงให้เห็นว่าโปรโตคอล AODV ให้ให้ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยแพ็กเกตสูงกว่าอีกสองโปรโตคอล และเหตุที่ทุกย่านของโปรโตคอล AODV ให้ค่าประวิงเฉลี่ยแพ็กเกตสูงกว่าโปรโตคอล DVOG เพราะโปรโตคอล AODV เสียเวลาในการร้องขอและรอแพ็กเกตตอบเส้นทางมาก ขณะที่โปรโตคอล DVOG ออกแบบให้มีการร้องขอข้อมูลเส้นทางและตำแหน่งที่น้อยครั้งกว่า (เนื่องจากที่จำนวนโนดในโครงข่ายเท่ากับ 100 โนดยังเป็นช่วงที่โนดเบาบางสำหรับสภาพแวดล้อมการจำลองนี้ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.2.1.1) ส่วนค่าประวิงเฉลี่ยแพ็กเกตของโปรโตคอล Greedy ที่มีค่าต่ำมาก ทั้งนี้โปรโตคอล AODV และ DVOG นั้นมีการสร้างเส้นทางที่อาจจะเสียหายได้ง่ายขึ้น เมื่ออัตราเร็วเฉลี่ยของโนดในโครงข่ายเพิ่มสูงขึ้น ทั้งสองโปรโตคอลนี้จึงได้รับผลกระทบทำให้ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตสูงขึ้น แต่การปรับเปลี่ยนอัตราเร็วเฉลี่ยจาก 20 ถึง 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงนี้ไม่ได้ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงลำดับของค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตระหว่างโปรโตคอลแต่อย่างใด คือ

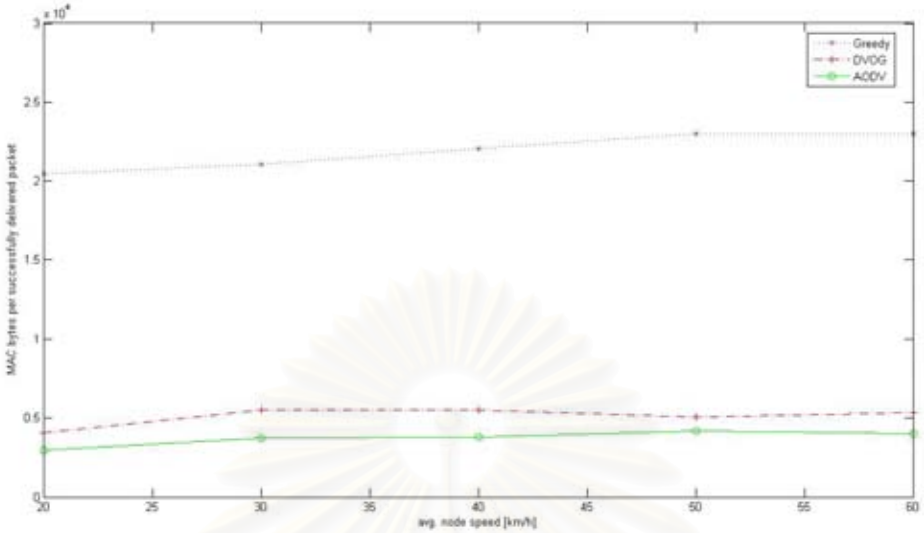
โปรโตคอล Greedy ยังคงให้ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยต่ำที่สุด ขณะที่โปรโตคอล AODV ให้ค่าค่าประวิงเวลาเฉลี่ยสูงที่สุดตลอดการปรับเปลี่ยน เมื่อจำนวนโนดในโครงข่ายเท่ากับ 100 โนด



รูปที่ 5.16 ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตเมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วเฉลี่ยของโนดในโครงข่าย

5.2.1.3 ผลของปรับเปลี่ยนสภาพเคลื่อนที่ได้เฉลี่ยของโนดในโครงข่ายที่มีต่อจำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้

จากรูปที่ 5.17 จะสังเกตุเห็นว่าจำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้ของแต่ละโปรโตคอล ค่อนข้างคงที่เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราเร็วเฉลี่ย เมื่อจำนวนโนดในโครงข่ายมีจำนวนคงเดิม ทำให้การใช้ช่องสัญญาณเพื่อกระจายแพ็กเกตให้สัญญาณจึงมีขนาดเท่าเดิม และจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้นั้นมีระดับที่ค่อนข้างคงที่ เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราเร็วเฉลี่ย จึงส่งผลให้จำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้มีค่าเกือบคงที่ตลอดการปรับเปลี่ยนจำนวนโนด แต่อย่างไรก็ตามแต่โปรโตคอลที่ใช้ข้อมูลตำแหน่งในการจัดเส้นทางเช่นโปรโตคอล Greedy จะต้องปรับปรุงข้อมูลตำแหน่งบ่อยครั้งขึ้นเมื่ออัตราเร็วเฉลี่ยของโนดเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.17 จำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้เมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วเฉลี่ยของโนดในโครงข่าย

5.4 สรุป

จากผลการทดลอง กลยุทธ์การจัดเส้นทางที่ออกแบบขึ้นมานี้ มีการผสมผสานสมรรถนะเด่นจากโปรโตคอลต้นแบบ อีกทั้งยังมีการสร้างเส้นทางสำรองและการใช้ข้อมูลตำแหน่งเพื่อยืนยันสภาพการเชื่อมต่อ ส่งผลให้มีการปรับปรุงสมรรถนะด้านอัตราส่วนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้สำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมด ในทางที่ทำให้สมรรถนะดีขึ้นจากกลยุทธ์การจัดเส้นทางต้นแบบอย่างเห็นได้ชัด แต่ยังมีข้อเสียอยู่บางประการ เช่น ที่การใช้แพ็กเกตให้สัญญาณที่มีขนาดใหญ่ ทำให้จำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้มีค่าเพียงพอใช้ได้ แต่ก็ยังไม่ดีเท่ากับกลยุทธ์การจัดเส้นทางต้นแบบ AODV ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตที่ดีกว่าการจัดเส้นทางด้วยโปรโตคอล AODV เพียงเมื่อจำนวนโนดในโครงข่ายมีเบาบาง แต่จะให้คาประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตใกล้เคียงกับโปรโตคอล AODV มากเมื่อจำนวนโนดเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ดีกลยุทธ์การจัดเส้นทางที่พัฒนาขึ้นมานี้อาจสามารถใช้ได้ดีกับการสื่อสารข้อมูล ที่ให้ความสำคัญกับอัตราส่วนของแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดเป็นหลัก หรือใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีจำนวนโนดในโครงข่ายเข้าร่วมระบบสื่อสารจำนวนไม่หนาแน่นนัก โดยตัวอย่างการสื่อสารลักษณะนี้อันได้แก่ การสื่อสารข้อมูลสภาพการจราจรเพื่อประมาณเวลาที่ต้องใช้ในการเดินทางสู่ปลายทาง (traveling time) หรือข้อมูลศูนย์บริการน้ำมัน ร้านอาหาร ห้างสรรพสินค้าบริเวณนั้น เป็นต้น

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอแนวคิดการนำจุดเด่นของการหาเส้นทางการการจัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยี ผสมผสานกลยุทธ์กับกลยุทธ์การจัดเส้นทางแบบอิงตำแหน่ง ในส่วนแรกของงานวิทยานิพนธ์เสนอการวิเคราะห์คุณลักษณะเด่นของทั้งกลยุทธ์แบบอิงทอพอโลยีและอิงตำแหน่ง กระบวนการจำกัดพื้นที่การกระจายสัญญาณเพื่อลดอัตราการชนกันของแพ็กเกต ซึ่งเป็นปัญหาทำให้เกิดการทิ้งของแพ็กเกตข้อมูลและอัตราส่วนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จที่ต่ำ การพัฒนากลยุทธ์ที่จะใช้กับการเคลื่อนที่ได้ของรถยนต์บนถนนในสภาพแวดล้อมเมือง จึงเสนอการใช้กลยุทธ์การจัดเส้นทางแบบอิงทอพอโลยีบริเวณที่มีโนดคับคั่งและมีสภาพการเคลื่อนที่ที่ต่ำ และเลือกใช้กลยุทธ์การหาเส้นทางแบบอิงตำแหน่งในบริเวณที่โนดเบาบางกว่า แต่มีการบังคับตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่ของโนด เช่นการเคลื่อนที่ตามกันของรถยนต์ที่วิ่งระหว่างแยกสู่แยก

จากผลการจำลองจึงสรุปได้ ว่ากลยุทธ์การหาเส้นทางที่พัฒนาขึ้นนี้ทำให้อัตราการทิ้งแพ็กเกตที่น้อยลง ส่งผลให้อัตราส่วนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดนั้นมีค่าสูงขึ้นกว่ากลยุทธ์การจัดเส้นทางต้นแบบคือ AODV และ Greedy ขณะที่ค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเกตก็มีการปรับปรุงในทางที่ดีเช่นกัน แต่ก็ยังไม่สามารถเทียบได้กับค่าประวิงเวลาเฉลี่ยของกลยุทธ์การจัดเส้นทาง Greedy แต่ด้วยขนาดของข้อมูลข้อมูลตำแหน่งที่ใช้ในการให้สัญญาณ ทำให้จำนวนการสื่อสารในชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อยต่อจำนวนแพ็กเกตที่สามารถส่งได้ ยังคงมีค่าสูงกว่ากลยุทธ์การจัดเส้นทาง AODV นั้นคือการใช้ช่องสัญญาณเพื่อการให้สัญญาณยังมีอยู่มาก ซึ่งยังเป็นข้อเสียของโปรโตคอลนี้

6.2 ข้อเสนองานวิจัยในอนาคต

1. ออกแบบกระบวนการประสานงานระหว่างกลยุทธ์หาเส้นทางนี้ กับชั้นโครงข่ายสื่อสารย่อย MAC (MAC callback) ทั้งนี้คาดว่าการอเพิ่มเติมในส่วนนี้อาจจะทำให้อัตราส่วนแพ็กเกตที่ส่งสำเร็จต่อแพ็กเกตทั้งหมดมีค่าสูงขึ้น เพราะจากการจำลองผลการทดลองพบว่า เมื่อเส้นทางที่สร้างไว้เสียหาย ในบางครั้งโปรโตคอลก็ยังคงพยายามส่งแพ็กเกตไปยังเส้นทางนั้นๆ เพราะไม่

ทราบถึงการสูญเสียของเส้นทางนั้นๆ ในทันที ทำให้ในบางครั้งเกิดการละทิ้งแพ็กเกตข้อมูลจำนวนมาก

2. ควรพิจารณาระบบนี้กับสภาวะถนนที่มีซอย คือมีพื้นที่คับคั่งที่อยู่ติดๆ กันมากกว่านี้ อีกทั้งยังควรทดสอบกับถนนแบบรูปแบบใดๆ และถนนแบบจำลองถนนไฮเวย์ นอกเหนือจากถนนแบบตาตารางที่ทดสอบในที่นี้ เพื่อพิสูจน์ว่ากลยุทธ์นี้สามารถใช้ได้ดีกับในทุกๆ สภาวะการณ์
3. การทำให้กลยุทธ์จัดเส้นทางนี้ สามารถปรับเปลี่ยนเลือกระหว่างกลยุทธ์แบบอิงทอพอโลยีหรือแบบอิงตำแหน่ง ได้อย่างฉับพลันตามสภาพการจราจรขณะนั้น อีกทั้งในบางชั่วขณะที่มีการสื่อสารคับคั่งขึ้นมา การปรับเปลี่ยนมาใช้กลยุทธ์จัดเส้นทางที่ใช้ช่องสัญญาณน้อยกว่าเช่นกลยุทธ์แบบอิงตำแหน่ง อาจช่วยลดโอกาสการชนกันของแพ็กเกตได้ ซึ่งอาจจะทำให้ได้ค่าอัตราส่วนแพ็กเกตที่ส่งได้ต่อแพ็กเกตทั้งหมดที่สูงขึ้นได้อีก
4. เพิ่มโมเดลการสะท้อนหรือผลกระทบใดๆ อันเนื่องมาจากการกีดขวางของตึกสูง เพื่อความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นของการจำลองผลการทดลอง
5. การคำนึงถึงทิศทางการเคลื่อนตัวของโนดผู้รับหรือโนดที่มีส่วนร่วมในการส่งต่อ เช่นถ้ากลยุทธ์สามารถระบุให้เลือกโนดที่กำลังเคลื่อนที่ตามกันได้ ด้วยค่าความเร็วสัมพัทธ์ที่น้อย อาจจะทำให้เส้นทางที่สร้างขึ้นนั้นสามารถใช้งานได้ยาวนานขึ้น ทั้งนี้สามารถทำได้ง่ายเนื่องจากโนดในโปรโตคอลนี้มีการติดตั้งอุปรณ์บอกตำแหน่งอยู่แล้ว
6. ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้โปรโตคอลจัดเส้นทางแบบ On-demand ในการสร้างเส้นทางเพราะคำนึงถึงข้อดีของการสร้างเส้นทางเฉพาะคู่โนดที่ต้องการสื่อสาร แต่การเลือกใช้โปรโตคอลจัดเส้นทางแบบ Proactive นั้นก็เป็นอีกประเด็นที่น่าสนใจ เพราะการสร้างเส้นทางแบบ Full-mesh บริเวณทางแยก อาจทำให้ค่าประวิงเวลาที่ต้องใช้ลดลง คือไม่ต้องรอการสร้างเส้นทางเมื่อมีแพ็กเกตผ่านเข้ามาบริเวณทางแยกแล้วไม่มีเส้นทางรองรับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] Ai H. Ho, Yao H. Ho, and Kien A. Hua, A Connectionless Approach to Mobile Ad Hoc Networks in Street Environment. Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV 2005), Nevada, USA, (June 2005): 575- 582.

[2] Ho Y.H., Ho A.H., Hua K.A., and Tai Do, Adapting Connectionless Approach to Mobile Ad Hoc Networks in Obstacle Environment. Proc. of IEEE Wireless pervasive Computing, 2006 1st International Symposium, (Jan 2006): 1-7.

[3] C. Lochert, H. Hartenstein, J. Tian, H. Füßler, D. Herrmann, and M. Mauve, A Routing Strategy for Vehicular Ad Hoc Networks in City Environments. In Proc. of IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV2003), Columbus, OH, (June 2003): 156–161.

[4] Silvia Giordiano, Ivan Stojmenovic, and Ljubica Blazevic, Position Based Routing Algorithms for Ad-hoc Networks: A Taxonomy, (July 2001)

[5] M. Mauve, J. Widmer, and H. Hartenstein, A survey on position-based routing in mobile ad-hoc networks. IEEE Network Magazine, vol. 15, no. 6, (Nov 2001): 30–39.

[6] B. Karp and H. T. Kung, GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless network. In Proc. of MobiCom 2000, Boston, MA, USA, (Aug. 2000): 243-254.

[7] H. Fubler, J. Widmer, M. Kasemann, M. Mauve, and H. Hartenstein, Contention-based forwarding for mobile ad hoc networks. Ad Hoc networks, vol. 1, 4 (Nov. 2003): 351-369.

[8] M. Heissenbuttel, T. Braun, T. Bernoulli, and M. Wälchli, BLR: Beacon-Less Routing Algorithm for Mobile Ad-Hoc Networks. Computer Communications Journal vol. 27, 11 (1 July 2004): 1076-1086.

[9] Subir Biswas, Raymond Tatchikou, and Francois Dion, Vehicle-to-Vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety. IEEE Communications Magazine, (Jan 2006)

[10] Wilfried Enkelmann, Fleetnet - applications for inter-vehicle communication. Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium, (June 2003): 162-167.

[11] A. Durresi, M. Durresi, and L. Barolli, Sensor Inter-vehicle Communication for Safer Highways. In Proceedings of the First International Workshop on Ubiquitous Smart Worlds USW 2005, Taipei, Taiwan, (March 27-29, 2005): 599-604.

[12] S. Basagni, I. Chlamtac, V. R. Syrotiuk, and B.A. Woodward, A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM). Proc. of the Fourth annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, (October 25-30, 1998): 76–84.

[13] C. E. Perkins and E. M. Royer, Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing. IETF Inter Draft, draft-ietf-manet-aodv-09.txt, (November 2001), (Work in Progress).

[14] D. B. Johnson and D. A. Maltz, The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc network. Internet Draft, Mobile Ad Hoc Network (MANET) Working Group, IETF, (October 1999)

[15] C. Perkins and P. Bhagwat, Highly dynamic destination-sequence distance-vector routing (DSDV) for mobile computers. Computer Communication Review, (October 1994): 234-244.

[16] Richard W. Rothery. Traffic Flow Theory – Car following models (Chapter 4). Transportation Research Board report, United States Department of Transportation – Federal Highway Administration, (1999): 2.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย นิภัทร พึ่งสวัสดิ์ เกิดวันที่ 2 สิงหาคม พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดนนทบุรี เข้ารับการในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544 และได้สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย