



ผลกระทบของวิธีการให้สัญญาณ การแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ และการเคลื่อนที่  
ของเซนเซอร์ไร้หนวด ต่อสมรรถนะของโพรโทคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน

**Effects of Signaling, Radio Propagation and Mobility  
on the Performance of Directed Diffusion Protocol**

อภิเดช บูรณวงศ์

**Apidet Booranawong**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of**

**Master of Engineering in Electrical Engineering**

**Prince of Songkla University**

**2552**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของวิธีการให้สัญญาณ การแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ และการเคลื่อนที่  
ของเซนเซอร์ โหนด ต่อสมรรถนะของโพรโทคอลโคเร็คทีคิฟิควันซ์

ผู้เขียน นายอภิเดช บุรณวงศ์

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิกลม ชีรภาพจรเดช)

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐา จินดาเพชร)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิกลม ชีรภาพจรเดช)

..... กรรมการ  
(ดร.สกุณา เจริญปัญญาศักดิ์)

..... กรรมการ  
(ดร.กวิน ฉัตรานนท์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของวิธีการให้สัญญาณ การแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ และการเคลื่อนที่  
ของเซนเซอร์ โหนด ต่อสมรรถนะของโพรโทคอลโคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น  
ผู้เขียน นายอภิเดช บูรณวงศ์  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา 2552

### บทคัดย่อ

โพรโทคอลโคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น เป็นโพรโทคอลการจัดเส้นทางที่ถูกพัฒนาขึ้น  
สำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย โพรโทคอลนี้ได้รับความนิยมในการพัฒนาเป็นงานวิจัยอย่าง  
ต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์พบว่า ผลกระทบของการ  
เคลื่อนที่ของเซนเซอร์ โหนด การแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ และวิธีการให้สัญญาณ ต่อสมรรถนะ  
ของโพรโทคอลโคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น เป็นประเด็นวิจัยที่น่าสนใจและยังไม่เคยมีงานวิจัยใดศึกษาทั้ง  
ผลกระทบร่วมกันของทั้งสามประเด็นนี้มาก่อน ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษาและ  
ปรับปรุงโพรโทคอลการจัดเส้นทางโคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่นทั้งสามประเด็นวิจัยดังกล่าว ประเด็นแรก  
การเคลื่อนที่ของเซนเซอร์ โหนดจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการจัดเส้นทางในเครือข่าย ซึ่ง  
กระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลโคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่นต้นแบบ ไม่ได้พิจารณาถึงผลกระทบนี้  
ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบดังกล่าว โดยวิธีจำลองการทำงานด้วย NS2  
version 2.33 ทำการปรับเปลี่ยนความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดเพื่อศึกษาลักษณะการใช้  
พลังงานของโหนดในเครือข่าย ผลจากการวิจัยพบว่าเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดเพิ่มขึ้น  
การใช้พลังงานของโหนดในเครือข่ายจะเพิ่มขึ้นตาม แต่ถ้าโหนดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากเกินไป  
จะส่งผลให้โหนดไม่สามารถจัดเส้นทางได้ ลักษณะการใช้พลังงานก็จะน้อยลง ประเด็นที่สอง โดย  
ปกติแล้ว ความแรงของสัญญาณวิทยุมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยและเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่มอัน  
เนื่องมาจากสภาพแวดล้อมระหว่างโหนด ซึ่งส่งผลต่อการรับส่งสัญญาณของโหนดในเครือข่าย  
ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงผลกระทบจากการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุต่อสมรรถนะของ  
โพรโทคอลโคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น สำหรับประเด็นวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา โมเดลการแพร่กระจาย  
สัญญาณวิทยุสองรูปแบบที่ต่างกัน คือ โมเดล Two-ray ground reflection ซึ่งเป็นโมเดลในเชิงอุดม  
คติ และโมเดล Shadowing ซึ่งเป็นโมเดลที่ให้คุณลักษณะของสัญญาณใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อม  
จริง ผลกระทบต่อสมรรถนะของการจัดเส้นทางวัดจากปริมาณการให้สัญญาณของโหนดใน  
เครือข่าย และการใช้พลังงานของโหนด ผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าโพรโทคอล

ไดเร็กต์เด็คคิฟไฟวชั่นที่ถูกใช้ในโมเดล Shadowing มีปริมาณการให้สัญญาณโพรโทคอลที่สูง และใช้พลังงานมากกว่ากรณีที่เป็นโมเดล Two-ray ground reflection อันเนื่องมาจากการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุที่มีการแกว่ง นอกจากนี้ โหนดจะมีอายุการใช้งานสั้นลงในกรณีที่เครือข่ายมีโหนดจำนวนมาก ประเด็นสุดท้าย ในกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไดเร็กต์เด็คคิฟไฟวชั่น โหนดในเครือข่ายใช้พลังงานสูงในขั้นตอนของการส่งข้อความ Interest และ Exploratory data จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า โดยส่วนใหญ่ นักวิจัยได้นำเสนอวิธีการลดการให้สัญญาณ ในขั้นตอนของการส่งข้อความ Interest มีงานวิจัยจำนวนน้อยที่สนใจพัฒนาโพรโทคอลเพื่อลดสัญญาณ Exploratory data สำหรับประเด็นวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไดเร็กต์เด็คคิฟไฟวชั่น โดยวิธีการลดปริมาณการให้สัญญาณ Exploratory data ผลจากการทำวิจัยแสดงให้เห็นว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถลดปริมาณการให้สัญญาณ Exploratory data และประหยัดพลังงานได้สูงกว่าโพรโทคอลไดเร็กต์เด็คคิฟไฟวชั่นในรูปแบบเดิม

คำสำคัญ      โพรโทคอลการจัดเส้นทาง เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย การใช้พลังงาน

**Thesis Title** Effects of Signaling, Radio Propagation and Mobility  
on the Performance of Directed Diffusion Protocol

**Author** Mr. Apidet Booranawong

**Major Program** Electrical Engineering

**Academic Year** 2009

### ABSTRACT

Lately, a new paradigm of routing protocol called directed diffusion (DD) has been developing for wireless sensor networks and receiving a lot of attention by researchers in this area. However, no work in the literature has studied the effects of mobility, radio propagation and signaling on the performance of DD. These three research issues are investigated in this thesis. First, the movements of sensor nodes can cause many effects of routing scheme during a path set-up. How well DD performs in mobile environments is important. To address this research issue, this thesis performs a set of simulation experiments by using NS2 version 2.33 and evaluates the total energy consumption in the systems while varying speeds of mobile sensor nodes. The numerical results show that the energy consumption in the case of slowly moving nodes is higher than the case of static nodes. In contrast, the fast moving node case shows less energy consumption because the routing path is hardly setup. Second, radio signals change rapidly and randomly in mobile wireless environments. Therefore, the effects of radio characteristics must be considered. To address this research issue, models of two-ray ground reflection with and without shadow fading are studied. This work evaluates the number of transmission times and energy consumption of the network while varying the number of mobile nodes in a specified area. The numerical results show that the scenarios that add the shadowing model require signaling overhead and energy consumption higher than the case of including only the two-ray ground reflection model. Further, the network lifetime is shorten in dense mobile wireless sensor networks since high routing protocol signaling due to fading burns up all energy of nodes in the systems. Finally, the sensor nodes send interest and exploratory data messages for setting up paths by flooding in the original DD. This approach consumes high amount of energy in the network. Some research work in the literature studies how to solve this flooding problem by reducing

the interest messages. Little work has been done on reducing the exploratory data. Accordingly, this thesis proposes a new routing scheme by modifying the original DD to reduce the number of the exploratory data messages. The numerical results show that the proposed scheme can reduce the number of exploratory data message and consumes energy less than the original DD protocol.

Keywords: routing protocol, wireless sensor networks, energy consumption

## กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงความขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิกรม ชีรภาพจรเดช ประธานกรรมการที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้กรุณาให้การสนับสนุนและฝึกฝนการทำวิจัย กรุณาอุทิศเวลาให้คำปรึกษา แนะนำความรู้ในด้านการทำวิจัย เอกสาร ข้อมูลต่างๆเป็นอย่างดี รวมทั้งขัดเกลากระบวนการคิดและให้กำลังใจในการแก้ปัญหาตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย ทองหนู กรรมการสอบโครงร่างและกรรมการสอบความก้าวหน้างานวิจัยที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยเสมอมา และตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณีฎฐา จินดาเพ็ชร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ทั้งยังเป็นกรรมการสอบโครงร่างและกรรมการสอบความก้าวหน้างานวิจัย ที่ได้กรุณาอุทิศเวลาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัย และตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร. สกุนา เจริญปัญญาศักดิ์ และ ดร. กวิน ฉัตรานนท์ (ผู้ทรงคุณวุฒิ) ที่ได้กรุณาอุทิศเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ วิจารณ์ผลงาน และตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้ทุนการศึกษาแก่ข้าพเจ้าระหว่างการศึกษา

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอด จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการประสานงานต่าง ๆ

ขอขอบคุณ พี่ๆ และเพื่อน ๆ รวมทั้งน้องๆ นักศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอโน้มรำลึกถึงพระคุณของบิดามารดาและครอบครัว ที่ส่งเสริมสนับสนุน ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ให้กำลังใจที่ดีเยี่ยม และทุนทรัพย์แก่ข้าพเจ้าตลอดมา จนกระทั่งทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ

อภิเดช บุรณวงศ์

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(12)
รายการภาพประกอบ	(13)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย.....	1
1.2 การตรวจเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเด็นวิจัย.....	2
1.3 ประเด็นวิจัย.....	11
1.3.1 การจัดเส้นทางของโพรโทคอลไดเร็กต์ดีดิวชันถูกพิจารณาให้ รองรับผลกระทบต่างๆที่สามารถเกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมจริง.....	11
1.3.1.1 ผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนด (Mobility) ต่อ การจัดเส้นทาง.....	12
1.3.1.2 ผลกระทบจากการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุต่อการจัดเส้นทาง...	12
1.3.2 การให้สัญญาณ โอเวอร์เฮดสำหรับโหนดในเครือข่าย (Signaling overhead).....	13
1.4 วัตถุประสงค์.....	14
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	14
1.6 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	14
1.7 ผลการวิจัย.....	15
2. ทฤษฎีและหลักการ.....	17
2.1 บทนำ.....	17
2.2 โพรโทคอลไดเร็กต์ดีดิวชัน.....	18
2.2.1 กระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไดเร็กต์ดีดิวชัน.....	19
2.3 โมเดลต่างๆที่ใช้ประกอบในการจำลองการทำงาน.....	23
2.3.1 โมเดลพลังงาน.....	23
2.3.2 โมเดลการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนด.....	25
2.3.2.1 โมเดล Random waypoint.....	26



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2.2 โมเดล Random waypoint สำหรับ NS2.....	28
2.3.3 โมเดลการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุ.....	31
2.3.3.1 โมเดล Free space.....	31
2.3.3.2 โมเดล Two-ray ground reflection .....	32
2.3.3.3 โมเดล Shadowing.....	32
3. ผลกระทบจากวิธีการให้สัญญาณ การเคลื่อนที่ของโหนดและการแกว่งของสัญญาณวิทยุ ต่อสมรรถนะของโพรโทคอลไคเร็คเต็ดดิฟฟิวชั่น.....	34
3.1 การศึกษาการให้สัญญาณของโพรโทคอลไคเร็คเต็ดดิฟฟิวชั่น.....	34
3.1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	34
3.1.2 การออกแบบการทดลอง.....	34
3.1.3 ผลการทดลองการให้สัญญาณของโพรโทคอลไคเร็คเต็ดดิฟฟิวชั่น.....	36
3.2 ผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของโหนดต่อสมรรถนะของโพรโทคอลไคเร็คเต็ด ดิฟฟิวชั่น.....	40
3.2.1 บทนำ.....	40
3.2.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง.....	40
3.2.3 การออกแบบการทดลอง.....	40
3.2.4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง .....	42
3.2.5 สรุปผลการทดลอง.....	45
3.3 ผลกระทบจากการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุต่อสมรรถนะของโพรโทคอลไคเร็ค เต็ดดิฟฟิวชั่น.....	46
3.3.1 บทนำ.....	46
3.3.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง.....	46
3.3.3 การออกแบบการทดลอง.....	47
3.3.4 ตัววัด.....	48
3.3.5 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	49
3.3.5.1 เครือข่ายขนาดเล็ก.....	49

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5.2 เครื่องข่ายขนาดใหญ่.....	54
3.3.6 สรุปผลการทดลอง.....	56
4. การลดสัญญาณ Exploratory data สำหรับโปรโตคอลโคเร็คทีดคิฟิวซ์ในเครือข่าย เซนเซอร์ไร้สาย.....	57
4.1 บทนำ.....	57
4.2 การลดสัญญาณ Exploratory data.....	59
4.3 ผลกระทบจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดและการแกว่งของสัญญาณวิทยุ (Sensitivity analysis).....	62
4.3.1 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนด.....	62
4.3.1.1 การทดลองการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนด.....	62
4.3.1.2 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองการเคลื่อนที่ของ เซนเซอร์โหนด.....	63
4.3.2 การแกว่งของสัญญาณวิทยุ.....	68
4.3.2.1 การทดลองการแกว่งของสัญญาณวิทยุ.....	68
4.3.2.2 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองการแกว่งของ สัญญาณวิทยุ.....	69
4.4 การประเมินสมรรถนะของ EDR algorithm.....	73
4.4.1 โมเดลที่ใช้ประกอบการทดลอง.....	73
4.4.1.1 โมเดลพลังงาน.....	73
4.4.1.2 โมเดลการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนด.....	74
4.4.1.3 โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ.....	75
4.4.2 การทดลอง.....	75
4.4.3 การวัด.....	77
4.4.4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	77
4.5 สรุปผลการทดลอง.....	81
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	82
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	82

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า	
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	84
5.2.1 ปัญหา.....	84
5.2.2 ข้อเสนอแนะ.....	84
บรรณานุกรม.....	85
ภาคผนวก.....	87
ภาคผนวก ก.....	88
ประวัติผู้เขียน.....	92

## รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2-1	ค่า Path loss exponent ที่สภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน..... 33
2-2	ค่า Shadowing deviation ที่สภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน..... 33
3-1	พารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดให้กับการทดลอง..... 35
3-2	พารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดให้กับการทดลอง..... 41
3-3	พารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดให้กับการทดลอง..... 48
4-1	พารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดให้กับการทดลอง..... 76

## รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1-1 ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย.....	2
1-2 กระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชั่น.....	4
1-3 สถานะและการรับส่งสัญญาณของโหนดสำหรับโพรโทคอล IDD.....	6
1-4 การรับส่งสัญญาณ Exploratory data ของ SR-DD.....	9
1-5 เส้นทางการรับส่งสัญญาณ Exploratory data ของ SR-DD.....	9
2-1 การติดต่อระหว่างโหนดไปยังผู้ใช้.....	17
2-2 ข้อความ Interest กระจายไปในเครือข่าย.....	20
2-3 การกำหนด Gradient หลังจากที่ได้รับข้อความ Interest.....	20
2-4 Exploratory event ส่งกลับไปตามเส้นทางที่รับข้อความ Interest มา.....	21
2-5 การกำหนด Data Gradient.....	22
2-6 การยืนยันเส้นทางที่เป็น Lowest delay path (Reinforcement path).....	22
2-7 ข้อมูลถูกส่งตามเส้นทางที่ถูกยืนยัน.....	22
2-8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของโหนดสำหรับ Independent mobility model.....	26
2-9 ลักษณะการเคลื่อนที่ของโหนดสำหรับ Group-based mobility model.....	26
2-10 ลักษณะการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดสำหรับ Random waypoint model.....	27
2-11 การเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดโดยแสดงทิศทางและปลายทางในการเคลื่อนที่.....	28
2-12 แสดงคำสั่งเพื่อใช้งาน Random waypoint model.....	28
2-13 แสดงคำสั่งเพื่อใช้งาน Random waypoint model, version 1.....	30
2-14 แสดงคำสั่งเพื่อใช้งาน Random waypoint model, version 2.....	30
3-1 ลักษณะเครือข่ายและตำแหน่งของเซนเซอร์โหนด.....	34
3-2 ขอบเขตการส่งสัญญาณของเซนเซอร์โหนด.....	36
3-3 การรับส่งสัญญาณ Interest ในเครือข่าย.....	36
3-4 การรับส่งสัญญาณ Exploratory data ในเครือข่าย.....	37
3-5 การรับส่งสัญญาณ Reinforcement ในเครือข่าย.....	38
3-6 การรับส่งสัญญาณ Data ในเครือข่าย.....	38
3-7 จำนวนครั้งของการรับส่งสัญญาณ Interest packet, Exploratory data, Reinforcement และ Data.....	39

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3-8 การส่งสัญญาณ Interest, Exploratory data, Reinforcement และ Data.....	40
3-9 การรับส่งข้อมูลของโหนดในเครือข่ายตาม Routing path.....	43
3-10 การรับส่งข้อมูลของโหนดตาม Routing path เมื่อโหนดในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่...	43
3-11 การใช้พลังงานทั้งหมดของระบบเมื่อโหนดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วในช่วงต่างๆ.....	44
3-12 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ โพรโทคอล.....	50
3-13 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่ใช้ในการจัดเส้นทาง.....	50
3-14 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณการจัดเส้นทางที่รับส่งได้สำเร็จ.....	51
3-15 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณการจัดเส้นทางที่รับส่งได้ไม่สำเร็จ.....	51
3-16 ค่าความแรงของสัญญาณที่โหนดรับได้ต่อระยะทาง.....	52
3-17 ขอบเขตของสัญญาณของโหนด.....	53
3-18 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ โพรโทคอลที่รับส่งได้ไม่สำเร็จ.....	54
3-19 พลังงานรวมทั้งหมดที่โหนดในเครือข่ายใช้.....	54
3-20 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ โพรโทคอล.....	55
3-21 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ โพรโทคอลที่รับส่งได้ไม่สำเร็จ.....	55
3-22 พลังงานรวมทั้งหมดที่โหนดในเครือข่ายใช้.....	56
4-1 การส่งข้อความ Exploratory data ของ โพรโทคอล Directed diffusion ในรูปแบบเดิม.....	60
4-2 การส่งข้อความ Exploratory data ของ โพรโทคอล EDR.....	60
4-3 การส่งข้อความ Exploratory data ของ EDR.....	61
4-4 ตำแหน่งของโหนดในเครือข่าย กรณีทดสอบปัจจัยการเคลื่อนที่ของโหนด.....	63
4-5 Routing setup complete.....	63
4-6 จำนวนข้อความ Interest ก่อนที่จะมีการส่งข้อความ Exploratory data.....	65
4-7 จำนวนของการรับส่งสัญญาณทั้งหมดของระบบ.....	66
4-8 พลังงานรวมทั้งหมดที่โหนดในเครือข่ายใช้.....	67
4-9 ตำแหน่งของโหนดในเครือข่าย กรณีทดสอบปัจจัยการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ....	69
4-10 Routing setup complete.....	69
4-11 จำนวนข้อความ Interest ก่อนที่จะมีการส่งข้อความ Exploratory data.....	71

## รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
4-12 พลังงานรวมทั้งหมดที่โหนดในเครือข่ายใช้.....	72
4-13 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Exploratory data.....	77
4-14 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่ใช้ในการจัดเส้นทาง.....	78
4-15 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Exploratory data.....	79
4-16 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่ใช้ในการจัดเส้นทาง.....	79
4-17 พลังงานรวมทั้งหมดที่โหนดในเครือข่ายใช้.....	81

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor networks) [1] คือการนำอุปกรณ์เซนเซอร์เข้ามาเชื่อมต่อหรือรวมเข้ากับโหนด ในบางครั้งเราเรียกโหนดเหล่านั้นว่า เซนเซอร์โหนด เพื่อตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของสิ่งแวดล้อมที่เราสนใจ และผู้ใช้สามารถนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมรอบตัวเรา หรือตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้โดยอัตโนมัติ ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านนี้ได้เป็นที่สนใจอย่างแพร่หลาย จึงได้มีการศึกษา วิจัย และพัฒนาระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายอย่างต่อเนื่อง เพื่อที่จะนำเทคโนโลยีด้านนี้มาใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสมในสาขาต่างๆ เช่น ทางการเกษตร ทางการแพทย์ ทางการทหาร ทางด้านการค้าและอุตสาหกรรม ระบบเตือนภัยพิบัติ เป็นต้น เซนเซอร์โหนดสามารถตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของสิ่งแวดล้อมที่เราสนใจ อันได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มแสง ความชื้น ตรวจหาการเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต ฯลฯ และรายงานผลมายังผู้ใช้ ผ่านสถานีฐาน (Sink หรือ Base station) โดยผ่านทางระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรืออินเทอร์เน็ต

การจัดหาเส้นทางในการรับส่งข้อมูลของตัวส่งและตัวรับมีผลต่อสมรรถนะของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย สำหรับการจัดหาเส้นทางเพื่อส่งข้อมูลออกจากเครือข่ายเป็นประเด็นที่ควรคำนึงถึง เนื่องจากในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมีโหนดจำนวนมาก การเลือกโหนดที่เหมาะสมเพื่อเป็นเส้นทางในการติดต่อสื่อสารต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ หากทำการออกแบบให้โหนดต้องทำการประมวลผลที่ซับซ้อน ใช้หน่วยความจำที่สิ้นเปลือง ใช้เวลาในการจัดเส้นทางนาน และใช้พลังงานมาก เหล่านี้เป็นต้น ก็จะทำให้โหนดใช้พลังงานหมดอย่างรวดเร็ว และไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นการออกแบบโพรโทคอลการจัดเส้นทางที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญและท้าทายในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

ปัจจุบันในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายได้มีการพัฒนาโพรโทคอลการจัดเส้นทางสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่วัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบและลักษณะของการใช้งาน โพรโทคอลการจัดเส้นทางรูปแบบหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นและได้รับการยอมรับคือ โพรโทคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน (Directed diffusion) [2] เป็นโพรโทคอลที่มีประสิทธิภาพเป็นรากฐานให้กับงานวิจัยอื่นๆ แต่จากการตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในหัวข้อ 1.2 พบว่า โพรโทคอลนี้ยังคงสามารถพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในด้านต่างๆดังนี้ การจัด



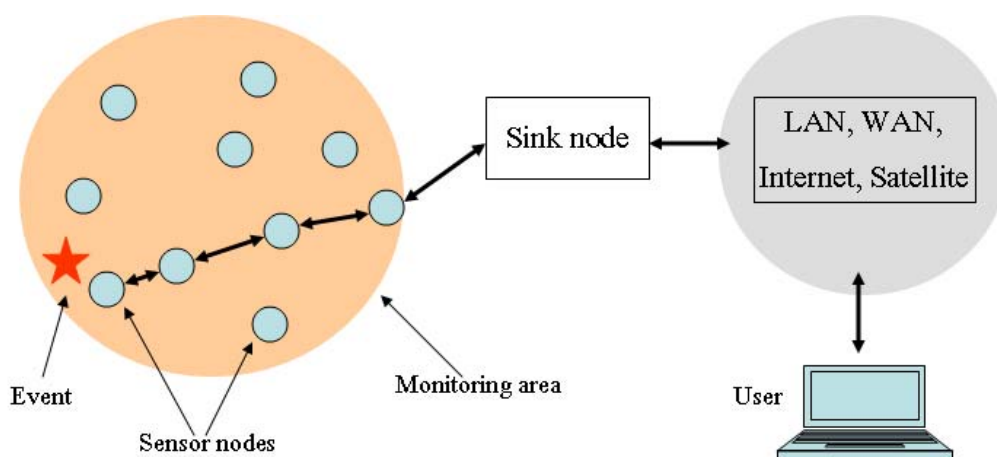
เส้นทางสำหรับรับส่งข้อมูลในเครือข่ายถูกพิจารณาให้รองรับเงื่อนไขต่างๆที่สามารถเกิดขึ้นได้ในสภาพแวดล้อมจริง และการประหยัดพลังงานของโหนดในระบบเครือข่ายโดยวิธีการลดปริมาณการให้สัญญาณโอเวอร์เฮดจากกระบวนการจัดเส้นทาง (รายละเอียดอยู่ในหัวข้อประเด็นวิจัย)

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการวิจัย และพัฒนาต่อยอดจากโปรโตคอลไดเร็กต์เคดดิฟฟิวชันในรูปแบบเดิม ให้มีประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่มีลักษณะเฉพาะด้านดังที่กล่าวมา ผลจากการศึกษาและพัฒนาจะเป็นแนวทางในการพัฒนาโปรโตคอลการจัดเส้นทางที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

## 1.2 การตรวจเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเด็นวิจัย

1.2.1 I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks, " in *IEEE Communications Magazine*, pp. 102-114, August 2002. [1]

ปัจจุบันการสื่อสารไร้สายได้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีส่งผลให้มีการนำอุปกรณ์ เซนเซอร์โหนดจำนวนมากที่มีความสามารถในการสื่อสารกันแบบไร้สายมาเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่าย ซึ่งเรียกว่า เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อเก็บข้อมูลจากการตรวจวัดสิ่งแวดล้อมที่สนใจ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาตัดสินใจว่าจะต้องดำเนินการควบคุมระบบอย่างไร หรือสามารถนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ ซึ่งเทคโนโลยีทางด้านเครือข่ายเซนเซอร์นี้สามารถประยุกต์ใช้ในหลายๆด้าน แต่ละด้านมีการออกแบบและใช้งานที่ต่างกัน



ภาพประกอบ 1-1 ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

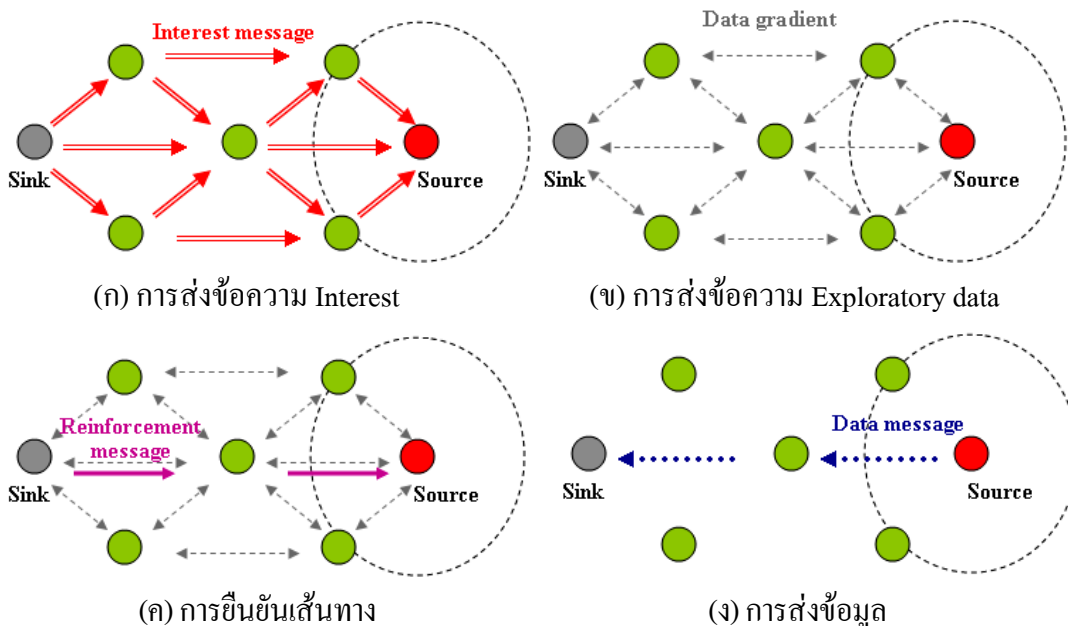
กระบวนการทำงานของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายสามารถอธิบายด้วยภาพประกอบ 1-1 เซนเซอร์โหนดที่ได้ข้อมูลเหตุการณ์ (Event) ที่สนใจจากการตรวจวัด ไม่สามารถส่งข้อมูลมายังสถานีฐานได้โดยตรงเพราะกำลังที่น้อยเกินไปของโหนด (โหนดที่ถูกร้องขอข้อมูลอยู่ห่างจากสถานีฐานมาก) ดังนั้นโหนดจึงพยายามใช้โหนดที่อยู่ข้างเคียงเป็นตัวกลางในการนำข้อมูลจากเครือข่ายออกมายังสถานีฐาน ซึ่งการติดต่อในลักษณะนี้เรียกว่าการติดต่อแบบ Multi-hop จากนั้นข้อมูลจากสถานีฐานจะส่งถึงผู้ใช้ (User) ผ่านทางระบบเครือข่ายเฉพาะที่ (LAN) ระบบเครือข่ายบริเวณกว้าง (WAN) อินเทอร์เน็ต ระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ และระบบดาวเทียม

ความต้องการในการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ทำให้เกิดประเด็นวิจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้ การออกแบบให้อุปกรณ์เซนเซอร์โหนดมีการใช้พลังงานต่ำ มีขนาดเล็ก สะดวกและทนทานต่อการใช้งาน ประหยัดค่าใช้จ่าย มีประสิทธิภาพในการรับรู้ (Sensing) ประมวลผล (Processing) และสื่อสารกับโหนดอื่นๆ (Communicating) รวมทั้งการออกแบบพัฒนาโปรโตคอลที่มีกระบวนการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ซับซ้อน มีความสามารถในการประหยัดพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดของเซนเซอร์โหนด

**1.2.2 C. Intanagonwivat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion for Wireless Sensor Networking," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 11, No. 1, February 2003. [2]**

โปรโตคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน เป็นโปรโตคอลการจัดเส้นทางในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาเป็นงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง การจัดเส้นทางของโปรโตคอลนี้จะใช้ข้อมูลเป็นศูนย์กลาง (Data-centric) กล่าวคือในการจัดเส้นทางเพื่อนำข้อมูลจากปลายทางมายังผู้ใช้นั้น โหนดจะอาศัยข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดเส้นทาง โหนดต่างๆจะทำการรับส่งข้อความโดยการพิจารณาจากข้อมูลที่ฝากมาในข้อความนั้นๆ

การจัดเส้นทางสำหรับนำข้อมูลออกมายังผู้ใช้เกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีการร้องขอ (Query) จากโหนดต้นทางของการจัดเส้นทาง (Sink node) ก่อน โหนดต้นทางส่งข้อความที่อธิบายถึงภาระงาน (Task) ที่ต้องการไปยังโหนดต่างๆในเครือข่ายในลักษณะแบบ Hop-by-hop โดยโหนดจะช่วยกันส่งต่อสัญญาณหรือข้อความไปยังโหนดข้างเคียงเป็นทอดๆ เมื่อข้อความถูกส่งถึงโหนดปลายทางของการจัดเส้นทาง (Source node) แล้ว ข้อมูลที่โหนดปลายทางได้จากการตรวจวัด จะถูกตรวจสอบว่าตรงกับข้อมูลในข้อความที่โหนดต้นทางขอไปหรือไม่ กระบวนการนี้เรียกว่า Attribute-value pairs หากข้อมูลทั้งสองแหล่งตรงกันข้อมูลที่ถูกร้องขอก็จะถูกส่งมายังโหนดต้นทาง



ภาพประกอบ 1-2 กระบวนการจัดเส้นทางของโปรโตคอลไดเร็กต์ดีฟไฟวชัน

โปรโตคอลไดเร็กต์ดีฟไฟวชันมีการทำงาน 4 ขั้นตอน คือ การส่งข้อความ Interest (Interest propagation) การส่งข้อความ Exploratory data (Exploratory data propagation) การยืนยันเส้นทาง (Path reinforcement) และการส่งข้อมูลเซนเซอร์ (Data propagation) แสดงดังภาพประกอบ 1-2 (รายละเอียดแสดงในบทที่ 2) เมื่อโหนดต้นทางต้องการข้อมูลจากปลายทาง จะทำการส่งข้อความ Interest กระจายไปยังโหนดต่างๆภายในเครือข่ายโดยวิธีการ Flooding โหนดที่รับข้อความ Interest มา จะบันทึกข้อความนั้นไว้ซึ่งจะบอกให้รู้ว่าโหนดใดส่งมา เมื่อข้อความ Interest ถูกส่งถึงปลายทาง โหนดปลายทางจะทำการส่งสัญญาณ Exploratory data ตอบกลับไปยังทุกๆเส้นทางที่เคยรับข้อความ Interest มา โหนดอื่นๆในเครือข่ายกระทำเช่นเดียวกัน จนกระทั่งข้อความ Exploratory data ส่งถึงโหนดต้นทาง เส้นทางที่ข้อความ Exploratory data ส่งถึงโหนดต้นทางเป็นเส้นทางแรก จะถูกเลือกและยืนยันเส้นทางเพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูล โดยโหนดต้นทางจะส่งข้อความ Reinforcement ตอบกลับไปยังปลายทาง หลังจากนั้นโหนดปลายทางจะส่ง Data ตามเส้นทางที่ถูกยืนยันนั้น

หมายเหตุ: ความหมายของ Source คือโหนดต้นทางที่ทำการตรวจวัดสิ่งแวดล้อมที่สนใจ Sink คือโหนดปลายทางที่ร้องขอข้อมูลจากการตรวจวัดเพื่อส่งต่อไปยังผู้ใช้ อย่างไรก็ตามสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ศึกษาเรื่องกระบวนการจัดเส้นทาง ดังนั้นจะเรียก Source ว่าโหนดปลายทาง เพราะหมายถึงโหนดปลายทางของการจัดเส้นทาง และ เรียก Sink ว่าโหนดต้นทาง ซึ่งหมายถึงโหนดต้นทางของการจัดเส้นทาง

1.2.3 Z. Li, H. Shi, "Design of Gradient and Node Remaining Energy Constrained Directed Diffusion Routing for WSN," International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCom 2007, pp. 2600-2603, September 2007. [3]

สำหรับโพรโทคอลไดเรกต์ดิฟฟิวชัน เช่นเซอร์โหนดภายในเครือข่ายจะทำการรับและส่งข้อความ Interest โดยวิธีการ Flooding ซึ่งวิธีนี้จะเกิดการสูญเสียพลังงานจำนวนมากในระบบ บทความนี้นำเสนอวิธีการจัดเส้นทางให้มีประสิทธิภาพเมื่อพิจารณาในด้านการใช้พลังงานในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย วิธีนี้เรียกว่า Gradient and Node Remaining Energy Constrained Directed Diffusion Routing (GRE-DD)

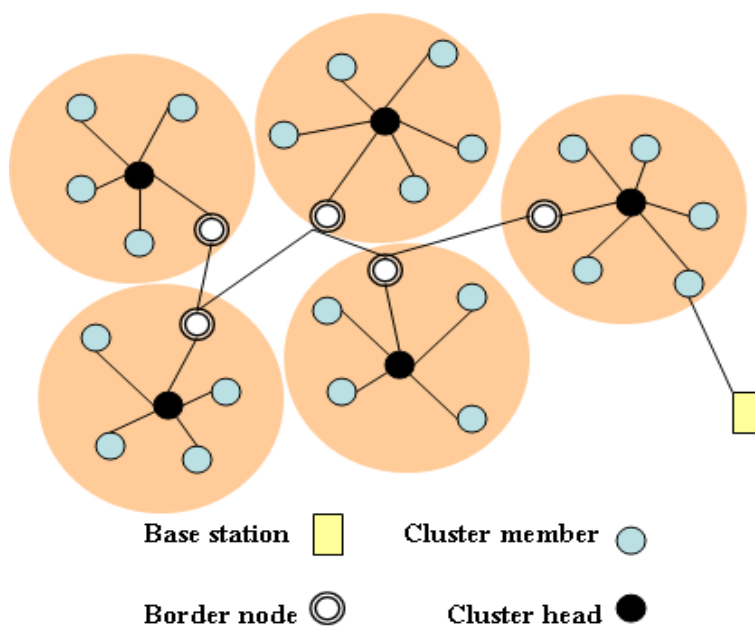
กระบวนการของวิธี GRE-DD มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ เมื่อโหนดรับข้อความ Interest จะทำการนับค่าพารามิเตอร์ที่เรียกว่า Gradient diffusion depth ให้เพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วย เมื่อข้อความนี้ถูกส่งต่อไปยังโหนดอื่น โหนดที่รับก็จะทำการนับให้ Gradient diffusion depth เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งหน่วยเช่นกัน ซึ่งข้อความ Interest นี้จะถูกส่งต่อไปยังโหนดในเครือข่ายเป็นทอดๆ ค่า Gradient diffusion depth ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง วิธีนี้จะมีการกำหนดค่า Gradient diffusion depth ที่มากที่สุดให้กับระบบซึ่งจะช่วยลดปริมาณการรับส่งข้อความ Interest ภายในระบบ กล่าวคือข้อความ Interest จะหยุดทันทีเมื่อมีค่า Gradient diffusion depth มากกว่าค่าที่ถูกกำหนดไว้ ตัวอย่าง ถ้ากำหนดให้ค่า Gradient diffusion depth เท่ากับ 5 นั้นหมายความว่าข้อความ Interest จะถูกกระจายไปได้ 5 ครั้งในเครือข่าย ถ้าเกินครั้งที่ 5 โหนดนั้นๆก็จะไม่ส่งข้อความ interest นั้นต่อไป นอกจากนี้ยังได้ทำการกำหนดค่าพลังงานที่น้อยที่สุดที่ยังคงมีเหลืออยู่ของโหนด ซึ่งการกำหนดดังกล่าวจะทำให้แต่ละโหนดสามารถรู้ได้ว่าสามารถรับส่งข้อความร่วมกับโหนดอื่นๆในเครือข่ายได้หรือไม่ ระหว่างที่ข้อความ Interest กระจายอยู่ในเครือข่าย ภายใต้เงื่อนไขของค่า Gradient diffusion depth แต่ละโหนดที่รับข้อความ Interest จะตรวจสอบก่อนว่า พลังงานที่เหลืออยู่ของโหนดนั้นๆมากกว่าค่าพลังงานต่ำสุดที่ถูกกำหนดไว้หรือไม่ ถ้ามากกว่าก็จะกระจายข้อความต่อไปยังโหนดอื่นๆ แต่ถ้าน้อยกว่าโหนดนั้นๆก็จะหยุดส่งข้อความทันที โหนดทุกโหนดในเครือข่ายจะกระทำตามกระบวนการดังกล่าว

ผลการจำลองการทำงานชี้ให้เห็นว่า วิธีการ GRE-DD ที่นำเสนอสามารถลดเวลาในการจัดเส้นทางของโพรโทคอล (End-to-end delay) สามารถลดการใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองของระบบ ทำให้โหนดมีอายุการใช้งานที่นานขึ้น

**1.2.4 Y. Cui, I. Cao, "An Improved Directed Diffusion for Wireless Sensor Networks," International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCom 2007, pp. 2380-2383, September 2007. [4]**

ในโปรโตคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน เมื่อโหนดค้นหาต้องการข้อมูลจากโหนดปลายทาง โหนดค้นหาจะส่งข้อความ Interest ไปยังโหนดต่างๆภายในเครือข่ายแบบ Flooding จนถึงปลายทาง วิธีการเช่นนี้จะเป็นการสูญเสียพลังงานอันเนื่องจากการให้สัญญาณ (Signaling overhead) หรือเกิด Heavy traffic ทั้งยังเป็นการทำให้ระบบต้องใช้เวลาในการจัดเส้นทางสำหรับรับส่งข้อมูล จากเหตุผลดังกล่าว บทความนี้จึงได้นำเสนอโปรโตคอลที่ชื่อว่า Improved Directed Diffusion (IDD)

โปรโตคอลนี้จะทำการกำหนดให้มีโหนดจำนวนหนึ่งซึ่งเรียกว่า Cluster members แล้วทำการเลือกโหนดจำนวนหนึ่งขึ้นมาเป็นโหนด Cluster heads ข้อความ Interest จาก Base station จะถูกกระจายจากโหนด Cluster heads หนึ่งสู่อีกโหนด Cluster heads หนึ่งผ่านทางโหนด Border จนถึงโหนดปลายทาง โดยที่โหนด Cluster heads จะส่งต่อข้อความไปยังโหนด Cluster members โหนดที่เป็น Cluster members ทำหน้าที่ในการตรวจหาสิ่งที่สนใจ แล้วทำการรับส่งข้อมูลกับโหนดที่เป็น Cluster heads ของตัวโหนดเอง นอกจากนี้โหนดที่เป็น Cluster heads ยังทำหน้าที่ในการ บีบข้อมูล (Compression) และรวมข้อมูล (Aggregation) ที่รับมาจาก Cluster members แสดงดังภาพประกอบ 1-3



ภาพประกอบ 1-3 สถานะและกำรับส่งสัญญาณของโหนดสำหรับโปรโตคอล IDD

ผลการจำลองการทำงาน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าโพรโทคอลที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในด้านการใช้พลังงานสูงกว่าโพรโทคอล DD และสามารถลดเวลาในการรับส่งข้อมูล ทำให้ระบบมีอายุการทำงานที่นานขึ้น เนื่องจากโพรโทคอล IDD มีการกระจายข้อความ Interest ที่จำกัดเฉพาะโหนดที่เป็นโหนด Cluster heads ซึ่งเป็นการลดปริมาณการส่งข้อความ Interest ทั้งยังส่งผลให้สามารถลดปริมาณการให้สัญญาณในขั้นตอนการส่งข้อความ Exploratory data และทำให้ขั้นตอน Reinforcement path และ Data สามารถเกิดขึ้นได้เร็วอีกด้วย

**1.2.5 S. Zhoa, F. Yu, B. Zhao, "An Energy Efficient Directed Diffusion Routing Protocol," International Conference on Computational Intelligence and Security, CIS, pp. 1067-1072, December 2007. [5]**

ความสามารถในการประหยัดพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบโพรโทคอลค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย การยืนยันเส้นทางที่จะส่งข้อมูล (Path reinforcement) ในโพรโทคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน ถูกพิจารณาจากเส้นทางสำรวจที่มีการส่งข้อมูลเร็วที่สุด วิธีการดังกล่าวไม่ได้สนใจเรื่องการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นบทความนี้จึงได้นำเสนอโพรโทคอลการจัดเส้นทางสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่มีวิธีการเลือกเส้นทางที่จะส่งข้อมูล Path reinforcement ซึ่งคำนึงถึงการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับโพรโทคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน

โดยการปรับปรุงขั้นตอนการเลือกที่จะยืนยันเส้นทางโดยพิจารณาจาก 4 ประเด็น ประเด็นแรกคือ พิจารณาพลังงานรวมที่ใช้ไปในเส้นทางนั้นๆ ประเด็นที่สองคือ พิจารณาพลังงานเฉลี่ยที่เหลืออยู่ของโหนดในเส้นทางนั้นๆ เส้นทางใดที่มีพลังงานเฉลี่ยที่เหลืออยู่ของโหนดมากก็ จะสามารถทำงานได้นานกว่า ประเด็นที่สามคือ โหนดที่มีพลังงานน้อยที่สุดในเส้นทางนั้นๆ จะเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สามารถบอกได้ว่า เส้นทางนั้นๆ จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ยาวนานแค่ไหน และประเด็นสุดท้าย พิจารณาการเชื่อมต่อของโหนด กล่าวคือ ถ้าโหนดใดที่เชื่อมต่ออยู่กับโหนดข้างเคียงเป็นจำนวนมาก พลังงานของโหนดนั้นก็จะถูกใช้อย่างรวดเร็ว

ซึ่งผลการจำลองการทำงาน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าโพรโทคอลที่นำเสนอ มีประสิทธิภาพในด้านการใช้พลังงาน ทำให้เกิดความสมดุลทางด้านพลังงานและยืดอายุการทำงานของระบบมากกว่าโพรโทคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน

**1.2.6 K. Lyes, B. Nadjib, "On the Performance of Directed Diffusion in Dense Sensor Networks," The 4<sup>th</sup> International Conference on Innovations in Information Technology, pp. 113-117, November 2007. [6]**

โพรโทคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน เป็นโพรโทคอลการจัดเส้นทางสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ใช้ข้อมูลเป็นศูนย์กลาง (Data-centric) โพรโทคอลนี้ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพในหลายๆด้าน อย่างไรก็ตามถ้าโพรโทคอลนี้ถูกใช้ในระบบเครือข่ายที่มีความหนาแน่นของโหนดจำนวนมากๆ (Dense sensor networks) ผลจากการที่ระบบจะต้องมีการรับส่งข้อมูลจำนวนมากจากหลายๆโหนดในเครือข่าย จะส่งกระทบผลต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่ใช้

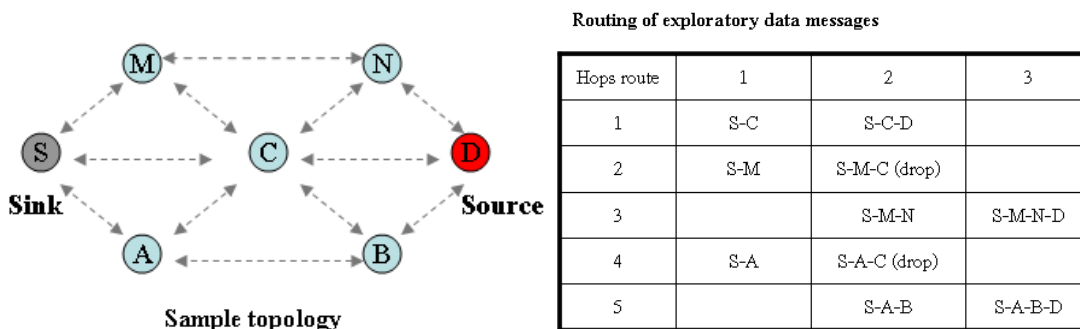
ทางผู้เสนอบทความเชื่อว่า ทางเลือกหนึ่งในการศึกษาและพิจารณาประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายที่มีโหนดจำนวนมาก สามารถทำได้โดยการเพิ่มขอบเขตการส่งสัญญาณของโหนด เหตุผลเนื่องจากว่า การทำเช่นนี้จะเป็นการเพิ่มจำนวนโหนดข้างเคียงให้แต่ละโหนดในเครือข่าย ดังนั้นการประเมินประสิทธิภาพของโพรโทคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน สำหรับเครือข่ายที่มีความหนาแน่นของโหนดจำนวนมากๆ ในบทความนี้จะใช้วิธีดังกล่าว

ผลจากการทดลองชี้ให้เห็นว่าโหนดในเครือข่ายมีการให้สัญญาณที่สูงขึ้น มีการชนกันของข้อมูลมากขึ้นและส่งผลให้โหนดใช้พลังงานเพิ่มขึ้น จากการเพิ่มขอบเขตการส่งสัญญาณของโหนด

**1.2.7 N. Hu and D. Zhang, "Source Routing Directed Diffusion in Wireless Sensor Networks, "Asia Network for Scientific Information, Information Technology Journal 5(3): pp. 534-539, 2006. [7]**

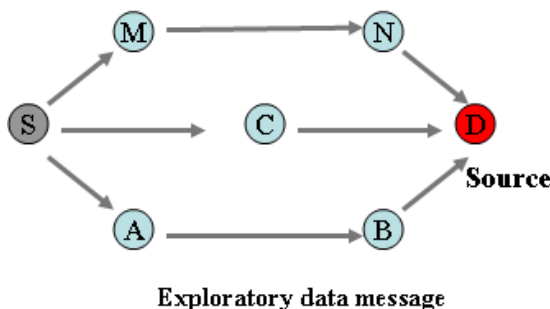
ในกระบวนการการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน โหนดใช้พลังงานสูงในขั้นตอนการส่งสัญญาณ Exploratory data ของโหนดปลายทางตอบกลับไปยังโหนดต้นทาง เนื่องจากโหนดจะต้องส่งสัญญาณ Exploratory data กลับไปยังทุกเส้นทางที่เคยรับข้อความ Interest มา บทความนี้ได้พัฒนากระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชันเดิม ซึ่งเรียกว่า Source routing directed diffusion (SR-DD)

SR-DD จะทำการลดการให้สัญญาณ Exploratory data โดยการตรวจสอบข้อความ Exploratory data ที่รับมา ในข้อความ Exploratory data จะบอกว่าเป็นข้อความที่ถูกส่งมาจากโหนดใด ถ้าเคยรับข้อความจากโหนดนั้นแล้วจะปฏิเสธและไม่กระจายข้อความนั้นต่อไปอีก แสดงดังภาพประกอบ 1-4



ภาพประกอบ 1-4 การรับส่งสัญญาณ Exploratory data ของ SR-DD

จากภาพประกอบ 1-4 โหนด S ซึ่งเป็น Source ส่งข้อความ Exploratory data กลับไปยังโหนดต้นทาง (โหนด D) โหนด S กระจายข้อความนี้ให้โหนด C, M และ A หลังจากนั้นทั้งสามโหนดจะกระจายข้อความนี้ต่อไปยังโหนดข้างเคียง โดยโหนด M ส่งต่อข้อความไปยังโหนด N และโหนด C โหนด N รับข้อความและกระจายต่อ โหนด C รับข้อความแต่ไม่กระจายต่อ (Drop) เนื่องจากโหนด C ตรวจสอบข้อความที่รับมาพบว่าเคยรับข้อความ Exploratory data นี้แล้วจากโหนด S โหนดอื่นๆในเครือข่ายก็กระทำเช่นเดียวกัน ทำให้ได้เส้นทางในการส่งสัญญาณ Exploratory data ดังภาพประกอบ 1-5



ภาพประกอบ 1-5 เส้นทางารรับส่งสัญญาณ Exploratory data ของ SR-DD

ผลที่ได้จะทำให้เกิดเส้นทางที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณ Exploratory data คือ S-C-D, S-M-N-D และ S-A-B-D ซึ่งสามารถลดจำนวนการรับส่งสัญญาณ Exploratory data ในเครือข่าย ส่งผลให้โหนดสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าโปรโตคอลโคเร็คเต็ดดิฟฟิวชันในรูปแบบเดิม



**1.2.8 J. Jang, "A Study on a Sequenced Directed Diffusion Algorithm for Sensor Networks," The 9<sup>th</sup> International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT2007, pp. 679-683, February 2007. [8]**

เนื่องจากเซนเซอร์โหนดมีพลังงานที่จำกัด ดังนั้นจึงเป็นเรื่องสำคัญมากที่การออกแบบโปรโตคอล จะต้องพิจารณาถึงประสิทธิภาพทางการใช้พลังงาน โปรโตคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน เป็นโปรโตคอลการจัดเส้นทางสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ได้รับความนิยมในการทำวิจัย แต่ขั้นตอนการส่ง Interest packet และ Exploratory data message เพื่อค้นหาเส้นทางสำหรับรับส่งข้อมูล เป็นวิธีการที่สิ้นเปลืองพลังงานอันเนื่องจากการส่งแบบ Flooding ดังนั้นบทความนี้นำเสนอโปรโตคอลใหม่ (ปรับปรุงจากโปรโตคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชันเดิม) ที่ชื่อว่า Sequenced directed diffusion ที่มีการควบคุมการส่งสัญญาณด้วยค่า Threshold เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ด้วยวิธีการดังนี้

วิธีแรก ทำการเพิ่ม Sequence number ของ Interest packet และ Exploratory data message ซึ่งการทำเช่นนี้จะทำให้โหนดไม่รับข้อมูลที่ซ้ำซ้อน (ตรวจสอบ Sequence number ของข้อความที่รับมา ถ้าเคยรับข้อความหรือ Sequence number นั้นแล้วให้หยุดส่งต่อข้อความดังกล่าว) วิธีการที่สอง เมื่อโหนดรับ Interest packet มาโหนดแต่ละโหนดในเครือข่ายจะตรวจสอบพลังงานกับค่า Threshold ที่เหลือของโหนดเอง ก่อนที่จะส่ง Interest packet นั้น วิธีการเช่นนี้จะทำให้ระบบสามารถใช้พลังงานได้อย่างสมดุล ผู้เสนอบทความเรียกว่า Threshold directed diffusion

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า โปรโตคอลที่นำเสนอมีประสิทธิภาพทางการใช้พลังงานมากกว่าโปรโตคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน โหนดสามารถประหยัดพลังงานจากการลดการให้สัญญาณ Interest/Exploratory data และโหนดในเครือข่ายสามารถใช้พลังงานได้อย่างสมดุลจากการตรวจสอบพลังงานกับค่า Threshold ที่เหลือของโหนด

**1.2.9 J. Liu, Y. Li, Q. Chen, Y. Kuang, L. Hu Y. Kuang, K. Long, "Energy and Storage Efficient Directed Diffusion for Wireless Sensor Networks," International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCom 2007, pp. 2460-2463, September 2007. [9]**

บทความนี้เสนอโปรโตคอลการจัดเส้นทางสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่เรียกว่าโปรโตคอล Energy and Storage Efficient Directed Diffusion (ESEDD) ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่ถูกพัฒนามาจากโปรโตคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน โดยโปรโตคอลที่นำเสนอนี้จะแก้ปัญหาในสองประเด็นที่เป็นข้อจำกัดของโปรโตคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน เดิม

ประเด็นแรก จากกระบวนการจัดเส้นทางโหนดจะต้องเก็บข้อมูลของทุกโหนดที่อยู่ข้างเคียง (หลังจากโหนดรับสัญญาณจากโหนดข้างเคียง โหนดจะจำไว้ทุกสัญญาณว่าเป็นสัญญาณอะไร Interest, Exploratory data อื่นๆ และสัญญาณนั้นมาจากโหนดใด) จะทำให้เกิดปัญหาความไม่สมดุลกันของการใช้พลังงาน บางโหนดจะต้องบันทึกข้อมูลของโหนดข้างเคียงมาก ส่วนบางโหนดจะบันทึกข้อมูลของโหนดข้างเคียงน้อย ผู้เสนอบทความได้เสนอวิธีการที่ทำให้โหนดเลือกเก็บข้อมูลของโหนดที่อยู่ข้างเคียงเพียงบางโหนด โดยการเลือกเก็บข้อมูลของโหนดที่ส่งสัญญาณมาเป็นลำดับแรกๆ

ประเด็นที่สอง ในการจัดเส้นทางจะพิจารณาถึงพลังงานที่เหลืออยู่ของโหนด กล่าวคือ หลังจาก Interest ส่งถึงปลายทางจะเป็นขั้นตอนการส่งข้อมูลกลับไปยังโหนดต้นทาง โหนดจะต้องตัดสินใจเลือกว่าจะส่งสัญญาณไปยังโหนดข้างเคียงใด โดยการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่เหลืออยู่ของโหนดเหล่านั้น (โหนดสามารถตรวจสอบค่าพลังงานของโหนดข้างเคียงได้จากข้อความ Interest ที่รับมา) จากนั้นโหนดจะตัดสินใจเลือกโหนดที่มีพลังงานที่เหลือสูงกว่าโหนดอื่นก็จะทำตามวิธีนี้จนกว่าข้อมูลจะถูกส่งถึงโหนดต้นทาง

ผลการจำลองการทำงานชี้ให้เห็นว่า โพรโทคอลที่นำเสนอมีความสามารถในการประหยัดพลังงานทำให้ระบบมีอายุการทำงานที่ยาวนานขึ้น ทั้งยังทำให้ระบบมีความสมดุลด้านการใช้พลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับโพรโทคอลไครีเคต์เคคิฟิวชัน ที่เป็นรูปแบบเดิม

### 1.3 ประเด็นวิจัย

จากการตรวจเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในหัวข้อ 1.2 ได้แสดงให้เห็นถึงปัญหาหรือข้อจำกัดของโพรโทคอลไครีเคต์เคคิฟิวชัน ทั้งยังแสดงถึงการปรับปรุงโพรโทคอลนี้ในประเด็นที่แตกต่างกันของในแต่ละบทความ จากการทบทวนบทความดังกล่าว หัวข้อนี้ได้สรุปส่วนของประเด็นวิจัยที่ยังไม่มีการศึกษาเพื่อพัฒนาโพรโทคอลไครีเคต์เคคิฟิวชันสำหรับวิทยานิพนธ์นี้

#### 1.3.1 การจัดเส้นทางของโพรโทคอลไครีเคต์เคคิฟิวชัน ถูกพิจารณาให้รองรับผลกระทบต่างๆ ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในสภาพแวดล้อมจริง

ในการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไครีเคต์เคคิฟิวชัน การพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆ ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในสภาพแวดล้อมจริงขณะทำการจัดเส้นทาง จะทำให้การจำลองการทำงานของโพรโทคอลนี้ได้สมรรถนะ (Performance) ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงเข้าไปอีก ทั้งยังทำให้สามารถเห็นถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลที่นำมาพิจารณา

ตัวอย่างเช่น การที่เซนเซอร์โหนดมีการเคลื่อนที่ขณะที่มีการจัดเส้นทางสำหรับรับส่งข้อมูล (กรณีที่เซนเซอร์โหนดติดอยู่กับ กลุ่มคน ผุงสัตว์ และพาหนะ เป็นต้น) ซึ่งเป็นที่แน่นอนว่าเหตุการณ์ดังกล่าวจะต้องมีผลกระทบต่อการจัดเส้นทางหรือการรับส่งสัญญาณของโหนด เส้นทางที่ถูกเลือกอาจไม่สามารถใช้ในการรับส่งข้อมูลก็เป็นได้ หรือเลวร้ายกว่านั้นอาจจะไม่สามารถจัดเส้นทางได้เลย นอกจากนี้แล้วก็ยังมีผลกระทบที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมอื่นๆอีกที่มีผลต่อการจัดเส้นทาง ได้แก่ คุณลักษณะของสัญญาณวิทยุที่มีการเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งในการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไดเร็กต์เดดลิฟไฟวชันนั้นไม่ได้พิจารณาถึงเงื่อนไขเหล่านี้ ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาทำให้ประเด็นดังกล่าว จำเป็นจะต้องถูกพิจารณาเพิ่มเข้าไปสำหรับกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไดเร็กต์เดดลิฟไฟวชัน

### 1.3.1.1 ผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนด (Mobility) ต่อการจัดเส้นทาง

โพรโทคอลไดเร็กต์เดดลิฟไฟวชันจะมีความสามารถในการจัดเส้นทางสูงขึ้น ถ้าในกระบวนการจัดเส้นทางรองรับการเคลื่อนที่ของโหนด การติดต่อสื่อสารจะต้องดำเนินต่อไปได้เมื่อโหนดเคลื่อนที่ขณะที่มีการรับส่งสัญญาณ ซึ่งนั่นก็หมายความว่า จะต้องมีส่วนรองรับการเชื่อมต่อระหว่างโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง หรือการที่สามารถบอกได้ว่าโหนดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วในช่วงใดที่ทำให้การจัดเส้นทางของโพรโทคอลนี้ยังคงทำงานได้ดี หรือสามารถวิเคราะห์ได้ว่าความเร็วของโหนดมีผลต่อพารามิเตอร์ใดบ้าง ก็จะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการใช้งานและการพัฒนาโพรโทคอลไดเร็กต์เดดลิฟไฟวชัน

วิธีการวิจัยในประเด็นนี้ คือการทำให้โหนดเคลื่อนที่โดยการเพิ่มโมเดลการเคลื่อนที่ของโหนดระหว่างการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไดเร็กต์เดดลิฟไฟวชัน ศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดต่อกระบวนการจัดเส้นทาง รวมทั้งปัญหาที่จะเกิดต่อโพรโทคอลการจัดเส้นทาง

### 1.3.1.2 ผลกระทบจากการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุต่อการจัดเส้นทาง

คุณลักษณะของสัญญาณวิทยุ มีผลกระทบต่อกรรับส่งสัญญาณของโหนดในเครือข่าย การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณวิทยุในสภาวะการใช้งานจริงจะมีผลต่อความแรงของสัญญาณที่โหนดรับได้ (Received signal strength) และความผิดพลาดของข้อมูล (Error rate) ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องของข้อมูล สัญญาณวิทยุจะมีการแกว่งจากสภาพแวดล้อมที่แปรปรวน เช่น การเคลื่อนไหวของวัตถุและสิ่งกีดขวางภายในระยะขอบเขตของสัญญาณ การเคลื่อนไหวของตัวโหนดเองหรือตัวที่อยู่รอบๆข้าง เป็นต้น ผลดังกล่าวทำให้โหนดรับสัญญาณวิทยุ

ที่ถูกส่งมายังโหนดฝ่ายส่งไม่เฉพาะเพียงแต่สัญญาณที่ส่งมายังตัวรับโดยตรง (Line of sight) แต่ยังรวมถึงสัญญาณที่มีการสะท้อน (Reflection) เลี้ยวเบน (Diffraction) และกระจาย (Scattering) [10] [11] หรือเรียกว่า Multipath propagation

โดยปกติแล้วกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไคเร็กเตดดิฟฟิวชัน ไม่ได้เพิ่มรายละเอียดหรือพิจารณาประเด็นดังที่กล่าวไป โพรโทคอลไคเร็กเตดดิฟฟิวชันเดิมใช้โมเดลสัญญาณวิทยุเป็น Two-Ray Ground reflection ซึ่งมีคุณลักษณะของสัญญาณวิทยุค่อนข้างเป็นเชิงอุดมคติ ดังนั้นถ้ามีการเพิ่มโมเดลสัญญาณวิทยุที่มีการกำหนดสภาพแวดล้อมให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงเข้าไปแล้ว การจำลองการทำงานของโพรโทคอลนี้จะสามารถวิเคราะห์สมรรถนะได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงยิ่งขึ้น หรือสามารถเห็นถึงปัญหาที่จะเกิดต่อโพรโทคอลการจัดเส้นทาง

วิธีการวิจัยในประเด็นนี้ จะเป็นการเพิ่มโมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุที่แตกต่างกันในกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไคเร็กเตดดิฟฟิวชัน ได้แก่ โมเดล Two-ray ground reflection ซึ่งเป็นโมเดลในเชิงอุดมคติ และโมเดล Shadowing ซึ่งมีการเพิ่มผลกระทบจากการแกว่งของสัญญาณเข้าไปซึ่งใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง ศึกษาและวิเคราะห์การให้สัญญาณรวมทั้งปัญหาที่จะเกิดต่อโพรโทคอลการจัดเส้นทาง

### 1.3.2 การให้สัญญาณโอเวอร์เฮดสำหรับโหนดในเครือข่าย (Signaling overhead)

โพรโทคอลไคเร็กเตดดิฟฟิวชัน มีลักษณะการทำงานหรือกระบวนการจัดเส้นทางที่ทำให้เกิดการให้สัญญาณโอเวอร์เฮด (Signaling overhead) ที่มากสำหรับโหนดในเครือข่าย ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นในขั้นตอนของ การกระจายข้อความ Interest ส่งไปยังโหนดต่างๆในเครือข่าย โดยวิธีการ Flooding จากโหนดต้นทางจนถึงโหนดปลายทาง และนอกจากนี้ปัญหาดังกล่าวได้เกิดขึ้นในขั้นตอนของการส่งสัญญาณ Exploratory data เพื่อเตรียมเส้นทางให้เป็นทางเลือกแก่โหนดใช้ในการยืนยันเส้นทางและรับส่งข้อมูล ผลจากการให้สัญญาณจากวิธีการดังกล่าวทำให้โหนดในเครือข่ายมีการใช้พลังงานมากซึ่งเป็นการลดอายุการใช้งานของโหนด ดังนั้นจะต้องมีการลดการให้สัญญาณดังกล่าว

วิธีการวิจัยในประเด็นนี้ ทำการศึกษาให้เห็นถึงปัญหาการให้สัญญาณของโพรโทคอล ด้วยวิธีการศึกษากระบวนการจัดเส้นทางหรือการส่งสัญญาณในการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไคเร็กเตดดิฟฟิวชัน เมื่อเห็นถึงปัญหานั้นว่าเกิดในขั้นตอนใด ก็ดำเนินการลดสัญญาณนั้นๆด้วยวิธีการที่เหมาะสม

#### 1.4 วัตถุประสงค์

ทำการออกแบบและปรับปรุงโพรโทคอลการจัดเส้นทางสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายจากโพรโทคอลไดเร็กต์ดีดิวชันด้วยการจำลองการทำงาน โดยที่โพรโทคอลที่ได้จะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากโพรโทคอลเดิมในประเด็นวิจัย ดังนี้

- ในกระบวนการการจัดเส้นทางสำหรับรับส่งข้อมูลของโหนดในเครือข่าย ถูกพิจารณาให้รองรับเงื่อนไขต่างๆที่สามารถเกิดขึ้นได้ในสภาพแวดล้อมจริง ได้แก่ การที่เซนเซอร์โหนดมีการเคลื่อนที่ และผลกระทบจากการแกว่งของสัญญาณวิทยุ
- ในกระบวนการจัดเส้นทางโหนดสามารถประหยัดพลังงานจากการลดการให้สัญญาณ

#### 1.5 ขอบเขตการวิจัย

- 1.5.1 วิเคราะห์สมรรถนะของโพรโทคอลไดเร็กต์ดีดิวชัน โดยใช้โปรแกรม NS2 (Network simulator) เพื่อศึกษาปัญหาของโพรโทคอล
- 1.5.2 ปรับปรุงกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไดเร็กต์ดีดิวชัน ให้มีลักษณะเฉพาะตามวัตถุประสงค์โครงการ

#### 1.6 วิธีการดำเนินงานวิจัย

- 1.6.1 ศึกษาโพรโทคอลไดเร็กต์ดีดิวชัน
- 1.6.2 ศึกษาการใช้งานโปรแกรมจำลองการทำงาน NS2
- 1.6.3 จำลองการทำงานของโพรโทคอลไดเร็กต์ดีดิวชัน กับโปรแกรม NS2 และแสดงให้เห็นว่าปัญหาที่จะทำการวิจัยในหัวข้อประเด็นวิจัยเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจริง ประกอบด้วย
  - ศึกษาผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดต่อสมรรถนะของโพรโทคอลไดเร็กต์ดีดิวชัน ด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนด เพื่อศึกษาการให้สัญญาณและลักษณะการใช้พลังงานของโหนดในเครือข่ายรวมทั้งวิเคราะห์ผลที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของโหนดต่อกระบวนการจัดเส้นทาง ทำการวัดปริมาณการให้สัญญาณและการใช้พลังงานของโหนดในเครือข่าย

- ศึกษาผลกระทบจากการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุต่อสมรรถนะของ โพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น เพื่อศึกษาการให้สัญญาณและ ลักษณะการใช้พลังงานของโหนดในเครือข่ายรวมทั้งวิเคราะห์ผลที่เกิดจากการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุต่อกระบวนการจัดเส้นทาง ทำ การวัดปริมาณการให้สัญญาณและการใช้พลังงานของโหนดใน เครือข่าย
- ทำการวัดปริมาณการให้สัญญาณ Interest, Exploratory data, Reinforcement และ Data ของโหนดในเครือข่ายในกระบวนการจัด เส้นทางของโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น

1.6.4 วิเคราะห์ผลจากการศึกษาใน 1.6.3 และใช้เป็นแนวทางปรับปรุงโพรโทคอล ไคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น

1.6.5 วิเคราะห์และสรุปผลการปรับปรุงโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น

1.6.6 ตรวจสอบ สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

## 1.7 ผลการวิจัย

จากการศึกษา ทฤษฎี หลักการ ตลอดจนผลกระทบของวิธีการให้สัญญาณจาก กระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น พบว่าในกระบวนการจัดเส้นทางของ โพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น โหนดในเครือข่ายมีการให้สัญญาณโพรโทคอลที่สูง (Signaling overhead) อันได้แก่ การรับส่งสัญญาณ Interest และ Exploratory data (สัญญาณที่ใช้เพื่อจัดหา เส้นทางในการรับส่งข้อมูล) ซึ่งเป็นผลให้โหนดในเครือข่ายมีการใช้พลังงานที่สูง นอกเหนือจาก ประเด็นดังกล่าวพบว่า ประเด็นเรื่องการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุและการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์ โหนดยังส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น ดังกล่าวจึงเป็นที่มาของประเด็น วิจัยในการศึกษา ผลกระทบของวิธีการให้สัญญาณ, การแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ และการเคลื่อนที่ ของเซนเซอร์โหนดต่อสมรรถนะของไคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น

จากการศึกษาถึงปัญหาและข้อจำกัดของโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่นในบทที่ 3 ในหัวข้อผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของโหนดต่อสมรรถนะของโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น ซึ่งได้นำเสนอและตีพิมพ์ใน [12] พบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดและจำนวนโหนด (Node size) ส่งผลกระทบต่อกระบวนการรับส่งสัญญาณโพรโทคอลและการใช้พลังงาน ความเร็วในการ เคลื่อนที่ของโหนดและขนาดของเครือข่ายที่ต่างกันจะส่งผลต่อการให้สัญญาณและการใช้พลังงาน ที่ต่างกันด้วย เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดเพิ่มขึ้น ลักษณะการใช้พลังงานของโหนดใน

เครือข่ายก็จะเพิ่มขึ้นอันเนื่องจากโหนดพยายามจะจัดเส้นทางให้ได้ จนถึงความเร็วในช่วงหนึ่งแต่หลังจากความเร็วในช่วงนั้น โหนดจะใช้พลังงานน้อยลง อันเนื่องมาจากความเร็วที่สูงเกินไปทำให้โหนดไม่สามารถติดต่อกับโหนดอื่นๆได้

ส่วนผลการวิจัยในหัวข้อผลกระทบจากการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุต่อสมรรถนะของโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชัน แสดงให้เห็นว่า คุณลักษณะของสัญญาณวิทยุจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอล ทำให้โหนดมีการใช้ปริมาณสัญญาณที่สูงและเป็นผลให้โหนดในเครือข่ายมีการใช้พลังงานสูงตาม กล่าวคือเมื่อมีการใช้โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุที่มีคุณลักษณะ หรือรูปแบบการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุที่ต่างกันในกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชัน ผลที่ได้จากการทดลองก็จะแตกต่างกัน โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุที่ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริง จะให้ผลการทดลองที่ทำให้เห็นถึงการให้สัญญาณรวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นได้ดีกว่า ซึ่งผลการวิจัยในประเด็นดังกล่าวได้นำเสนอและตีพิมพ์ใน [13]

นอกจากที่กล่าวแล้วผลการทดลองการวัดปริมาณการใช้สัญญาณของโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชัน พบว่าโหนดมีปริมาณการใช้สัญญาณที่สูงมากในขั้นตอนการส่งสัญญาณ Interest และ Exploratory data เนื่องจากการส่งสัญญาณ Interest โดยวิธีการ Flooding และการส่งสัญญาณ Exploratory data ตอบกลับไปยังทุกๆเส้นทางที่เคอร์รับข้อความ Interest มา

ผลการศึกษาดังรายละเอียดในบทที่ 3 เป็นแนวทางในการออกแบบพัฒนาโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชันที่นำเสนอในบทที่ 4 โดยการปรับปรุงกระบวนการจัดเส้นทางที่เรียกว่า EDR algorithm (Exploratory Data Reduction) ซึ่งเป็นการลดการใช้สัญญาณ Exploratory data โพรโทคอลที่นำเสนอสามารถลดการใช้สัญญาณที่มากเกินไปจนความจำเป็น และประหยัดพลังงานมากกว่าโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชันในรูปแบบเดิม ผลการวิจัยดังกล่าวได้นำเสนอและตีพิมพ์ใน [14]

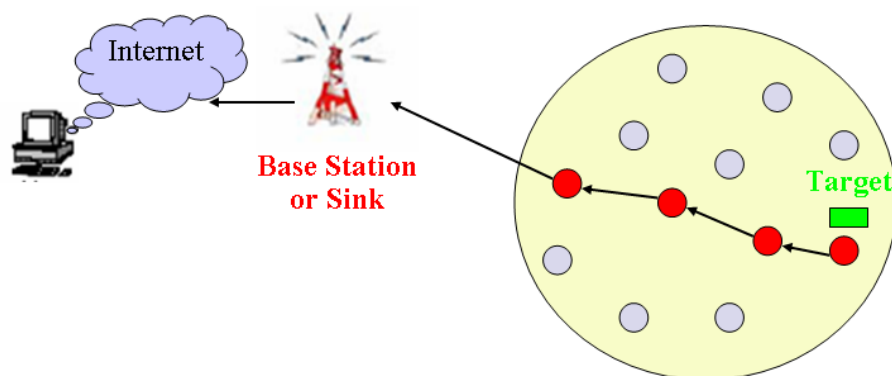
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎี หลักการที่นำมาอ้างอิงและใช้เป็นองค์ความรู้ประกอบในการทำวิจัย รวมไปถึงวิธีการใช้งานโมเดลต่างๆที่ใช้ในโปรแกรมจำลองการทำงาน NS2 นอกจากนี้ได้กล่าวมาแล้วยังมีหัวข้อประเด็นวิจัยที่เป็นส่วนสำคัญในการสร้างและพัฒนางานวิจัยขึ้นมา โดยในบทนี้จะเริ่มต้นด้วยบทนำที่กล่าวถึงความรู้พื้นฐานทางด้านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย และความสำคัญของโพรโทคอลการจัดเส้นทาง จากนั้นจะเป็นส่วนของโพรโทคอลไดเร็กต์ดีดิกฟิวชัน ซึ่งจะกล่าวถึงหลักการและกระบวนการจัดเส้นทาง หลังจากเป็นส่วนหนึ่งของโมเดลต่างๆที่ใช้ประกอบในการจำลองการทำงาน ท้ายสุดกล่าวถึงประเด็นวิจัยซึ่งเป็นส่วนเสนอแนวคิดเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาโพรโทคอลไดเร็กต์ดีดิกฟิวชันสำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้

#### 2.1 บทนำ

เทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย [15] เป็นการนำอุปกรณ์เซนเซอร์จำนวนมาก (เซนเซอร์โหนด) มาเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่าย เพื่อตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของสิ่งแวดล้อมที่สนใจ ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านนี้ได้มีการศึกษา วิจัย และพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อที่จะนำเทคโนโลยีด้านนี้มาใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสมและสามารถประยุกต์ใช้งานได้ในหลายๆสาขา เซนเซอร์โหนดสามารถตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของสิ่งแวดล้อมที่เราสนใจและรายงานผลมายังผู้ใช้ ผ่านสถานีฐาน (Sink หรือ Base station) โดยผ่านทางระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือ อินเทอร์เน็ต ดังแสดงในภาพประกอบ 2-1



ภาพประกอบ 2-1 การติดต่อระหว่างโหนดไปยังผู้ใช้



จะเห็นได้ว่าเซนเซอร์โหนดที่ตรวจหาข้อมูลที่เราสนใจได้แล้วไม่สามารถส่งข้อมูลมายังสถานีฐานได้โดยตรง เพราะกำลังส่งที่น้อยเกินไปของโหนด (โหนดที่ถูกร้องขอข้อมูลอยู่ห่างจากสถานีฐานมาก) ดังนั้นโหนดจึงพยายามใช้โหนดที่อยู่ข้างเคียงเป็นตัวกลางในการนำข้อมูลออกมายังสถานีฐานเพื่อที่จะติดต่อกับผู้ใช้ โดยการติดต่อในลักษณะนี้เรียกว่าเป็นติดต่อแบบ Multi-hop การติดต่อในลักษณะนี้จะเป็นการช่วยให้ข้อมูลที่ตรวจหาได้จากโหนดสามารถถูกส่งไปยังสถานีฐานหรือซิงค์ได้ ทั้งยังเป็นการช่วยประหยัดพลังงานให้แก่โหนด เพราะโหนดสามารถส่งข้อมูลโดยใช้กำลังส่งน้อยๆ ไปยังโหนดข้างเคียง

สำหรับการส่งข้อมูลที่โหนดตรวจหาได้กลับมายังผู้ใช้นั้น หากโหนดอยู่ไกลเกินกว่าที่จะติดต่อสถานีฐานได้โดยตรงเนื่องจากกำลังส่งของโหนดไม่เพียงพอ จึงต้องมีการส่งข้อมูลดังกล่าวผ่านโหนดที่อยู่ข้างเคียงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไปถึงผู้ใช้ ทั้งนี้จะสังเกตเห็นว่าในการจัดหาเส้นทางเพื่อส่งข้อมูลออกมานั้น จึงเป็นประเด็นหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงเพราะแน่นอนย่อมมีโหนดจำนวนมากในเครือข่าย การเลือกโหนดที่เหมาะสมเพื่อเป็นเส้นทางจึงเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ ดังนั้นการออกแบบโพรโทคอลการจัดเส้นทาง จึงเป็นสิ่งมีความสำคัญและท้าทายมากในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย นั่นก็คือ ถ้าเราออกแบบโพรโทคอลการจัดเส้นทางแล้วสามารถทำให้ โหนดประหยัดพลังงาน ลดการประมวลผลที่ซับซ้อน รองรับการเคลื่อนที่ของโหนด รับประกันว่าข้อมูลสามารถส่งถึงสถานีฐานหรือซิงค์ รวดเร็วในการส่งข้อมูล เหล่านี้ก็จะส่งผลดีต่อประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการออกแบบโพรโทคอลการจัดเส้นทางที่ดีจะส่งผลดีต่อประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

## 2.2 โพรโทคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน (Directed diffusion protocol)

โพรโทคอลไดเร็กต์ดิฟฟิวชัน [2][16] เป็นโพรโทคอลการจัดเส้นทางในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่ถูกพัฒนาออกมาแรกๆ และเป็นพื้นฐานให้แก่งานวิจัยอื่นๆ ซึ่งปัจจุบันก็ได้มีงานวิจัยที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ในการจัดหาเส้นทางในโพรโทคอลนี้ โหนดทุกโหนดที่อยู่ในเครือข่ายจะมีความสำคัญเท่ากัน กล่าวคือทุกโหนดจะทำหน้าที่เหมือนกัน มีขีดความสามารถเท่ากัน โดยไม่มีการแบ่งว่า โหนดใดมีประสิทธิภาพการทำงานมากกว่ากัน ดังนั้นทุกโหนดก็สามารถตรวจหาข้อมูล (Sensing task) ได้เหมือนกัน การหาเส้นทางของแต่ละโหนดในกระบวนการนี้จึงเป็นการนำกระบวนการของการใช้ข้อมูลเป็นจุดศูนย์กลาง (Data centric) มาใช้กับแต่ละโหนดในเครือข่าย โดยกระบวนการดังกล่าวจะไม่สนใจการให้รหัส หรือเลขประจำตัวกับโหนดเพราะโหนดในเครือข่ายมีเป็นจำนวนมาก สำหรับการจัดหาเส้นทางของโพรโทคอลนี้ ชั้นแรกสถานีฐานจะเป็นฝ่าย

ร้องขอ (Query) ข้อมูลที่ต้องการจะทราบไปยังพื้นที่ที่ต้องการก่อน จากนั้นสถานีฐานก็จะทำการรอข้อมูลจากเซนเซอร์โหนดที่อยู่ในบริเวณดังกล่าวส่งข้อมูลกลับออกมา ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์โหนดจึงต้องเป็นข้อมูลที่แสดงถึงรายละเอียดต่างๆ ที่สถานีฐานต้องการได้อย่างครบถ้วน

ดังที่กล่าวมาเบื้องต้น โพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชันนี้เป็น โพรโทคอลที่ใช้ข้อมูลเป็นจุดศูนย์กลางและจะจัดเส้นทางให้ก็ต่อเมื่อได้รับการร้องขอก่อน จะไม่มีการปรับปรุงข้อมูลตลอดเวลา โดยข้อมูลที่ถูกร้องขอจากสถานีฐานนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบจับคู่ (Attribute-value pairs) กับข้อมูลของโหนดเพื่อไปให้ถึงโหนดปลายทาง โดยการออกแบบโพรโทคอลนี้จะยึดหลักการผสมหรือรวมกันของข้อมูล (Data aggregation) ที่มาจากแหล่งข้อมูลหลายๆแหล่ง (Multiple sources) เพื่อจัดหาเส้นทางที่แน่นอนที่สุดไปยังปลายทาง ทั้งนี้เพื่อจัดการส่งที่เกินความจำเป็นของโหนดต่างๆในเครือข่าย ลดจำนวนของการส่งให้เหลือน้อยที่สุดและประหยัดพลังงานเพื่อให้โหนดมีชีวิตการทำงานที่ยาวนานที่สุด

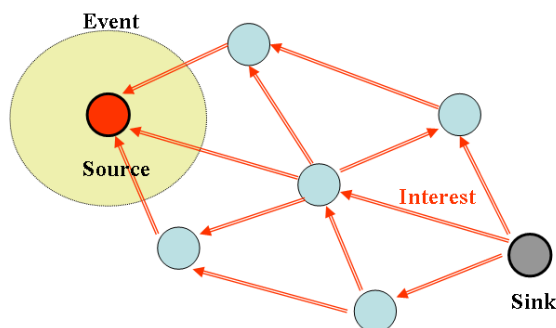
### 2.2.1 กระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชัน

เมื่อสถานีฐานหรือซิงค์ต้องการทราบข้อมูลบางอย่างจากโหนด สถานีฐานจะร้องขอข้อมูลไปยังเครือข่าย สถานีฐานจะกระจายข้อความที่สนใจหรือเรียกว่า Interest (เป็นข้อความที่มีอัตราการส่งข้อมูลน้อยๆ (Low data-rate: 1 event per second) ไปยังโหนดต่างๆ ที่อยู่ในเครือข่ายแบบ Hop-by-hop โดยเป็นการกระจายข้อความนี้ผ่านโหนดเพื่อนบ้านหรือโหนดที่อยู่ติดกันไปเรื่อยๆจนถึงโหนดปลายทางที่มีข้อมูลอยู่ (โหนดที่เราต้องการข้อมูล) ดังภาพประกอบ 2-2 ข้อความ Interest จะอธิบายงานที่ต้องการให้เครือข่ายทำ ขณะที่ข้อความ Interest ถูกกระจายไป โหนดที่ได้รับข้อความ Interest ก็จะเก็บข้อมูลที่ได้จากข้อความ Interest ไว้ในโหนดนั้นๆ (Interest cache) โดยจะมีข้อมูลที่บอกว่า โหนดใดหรือซิงค์ใดส่งข้อความ Interest นั้นมา โหนดหรือซิงค์นั้นต้องการข้อมูลชนิดใด เป็นต้น เมื่อโหนดเก็บข้อมูลนี้ไว้แล้ว โหนดก็จะทำการส่ง Interest ต่อไปยังโหนดใกล้เคียง โหนดใกล้เคียงก็จะทำในลักษณะเดียวกัน แล้วส่งต่อ Interest ตลอดในเครือข่ายจนถึงโหนดปลายทาง

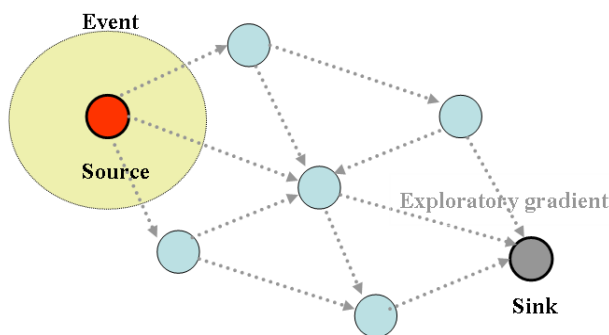
ตัวอย่างของข้อความ Interest ที่ร้องขอจากสถานีฐาน

```
Type=wheeled vehicle           //detect vehicle location
Interval=1 s                     // event data rate
Timestamp=01 : 22 : 35          // time to generate interest
ExpiresAt=01 : 30 : 40         // expires at time
Rect=[-100, 100, 200, 400]     //from sensors within rectangle
```

ขณะที่ข้อความ Interest ถูกส่งกระจายออกไปในเครือข่าย เส้นทางระหว่างโหนดที่มีการรับข้อความ Interest ก็จะถูกกำหนดขึ้นหรือเรียกว่า Exploratory Gradient ซึ่งจะถูกกำหนดขึ้นที่โหนดที่มีการรับข้อความ Interest ใน Exploratory Gradient มีข้อมูลที่ระบุว่าโหนดใดส่งข้อความ Interest มา (Exploratory Gradient เป็นสถานะ (State) ที่เกิดขึ้นกับโหนดที่รับข้อความ Interest มา ไม่ได้เป็นการส่งสัญญาณ) เมื่อข้อความ Interest ถูกส่งถึงโหนดปลายทาง Exploratory Gradient ก็จะถูกกำหนดขึ้นทั้งระบบ ซึ่งการกำหนด Exploratory Gradient นี้เป็นการสร้างเส้นทางไว้เป็นทางเลือกให้แก่ข้อมูลที่จะเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดในการส่งข้อมูล ทั้งยังเป็นการสำรองเส้นทางไว้กรณีเส้นทางที่ถูกเลือกเกิดเสียหาย แสดงดังภาพประกอบ 2-3



ภาพประกอบ 2-2 ข้อความ Interest กระจายไปในเครือข่าย

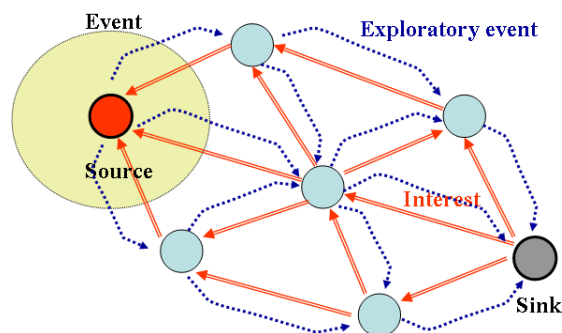


ภาพประกอบ 2-3 การกำหนด Gradient หลังจากทีโหนดรับข้อความ Interest

ทันทีที่โหนดปลายทางได้รับข้อความ Interest และ ข้อความ Interest ที่รับได้ matching กันกับข้อมูลที่โหนดต้นทางต้องการ (Sensing data) โหนดปลายทางจะส่งข้อความ Exploratory event หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Exploratory data (Low data-rate: 1 event per second) กลับไปตามเส้นทางที่รับข้อความ Interest นั้นมา แสดงดังภาพประกอบ 2-4

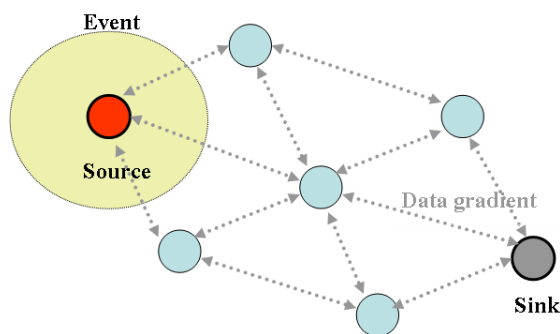
## Sensing data

Type=wheeled vehicle //type of vehicle seen  
 Instance=truck // instance of this type  
 Location=[125, 200] // node location  
 Intensity=0.6 //signal amplitude measure  
 Confidence=0.85 //confidence in the match  
 Timestamp=01 : 20 : 40 //local event generation time

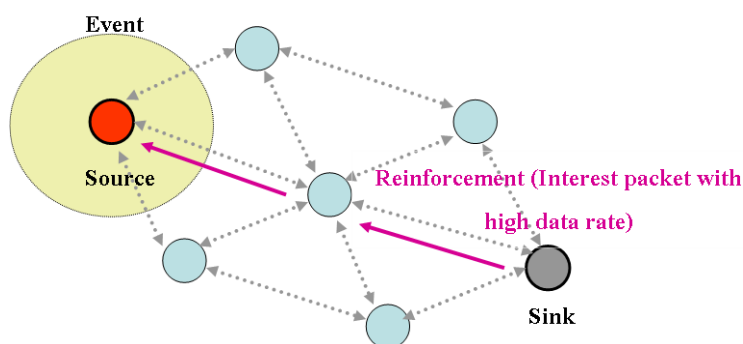


ภาพประกอบ 2-4 Exploratory event ส่งกลับไปตามเส้นทางที่รับข้อความ Interest มา

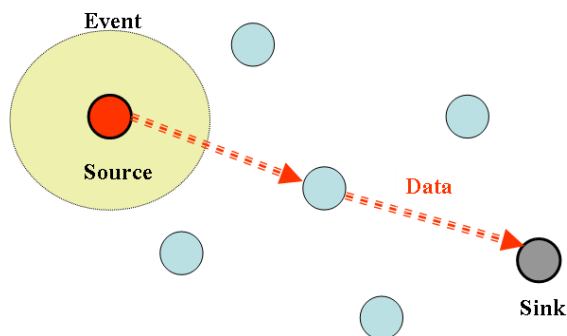
ตลอดเส้นทางที่ Exploratory event ถูกส่งกลับไปยังโหนดต้นทาง Data gradient ก็จะถูกกำหนดขึ้น ซึ่ง Data gradient ที่ถูกกำหนดขึ้นนี้เป็นตัวบ่งบอกว่า โหนดที่อยู่ในเส้นทางนั้นๆ มีการเชื่อมต่อกันแสดงดังภาพประกอบ 2-5 เส้นทางใดที่ข้อความ Interest มาถึงโหนดปลายทางเป็นเส้นทางแรก แสดงว่าเส้นทางนั้นเป็น Lowest-delay-path ดังนั้น Exploratory event ที่ส่งกลับไปก็จะไปถึงโหนดต้นทางก่อนเส้นทางอื่นๆ สำหรับโปรโตคอลไดเร็กต์เด็คดิฟิวชัน จะเลือกเส้นทางนี้เป็นเส้นทางที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล และจะยืนยันเส้นทางนี้ (Reinforcement path) โดยการส่งข้อความ Interest เดิม (Higher data rate: 10 events per millisecond) ไปยังโหนดปลายทาง แสดงภาพประกอบ 2-6 เส้นทางที่ถูกยืนยันถูกเรียกว่า Positive reinforcement ส่วนข้อความ Interest จากเส้นทางอื่นๆที่ค่อยๆมาถึงโหนดปลายทางหรือมาถึงหลังจากเส้นทางที่เป็น lowest-delay-path โหนดปลายทางก็จะส่ง Exploratory data กลับไปตามเส้นทางนั้นๆเช่นกัน เมื่อ Exploratory data ถูกส่งถึงต้นทางโหนดต้นทาง จะทำการยืนยันเส้นทางนั้นให้เป็น negative reinforcement path โดยการส่งข้อความ Interest เดิม (data rate น้อยกว่าเส้นทางแรก) ไปยังโหนดปลายทาง เพื่อให้เส้นทางดังกล่าวเป็นเส้นทางสำรองไว้กรณีเส้นทางแรกเสียหาย แสดงดังภาพประกอบ 2-7



ภาพประกอบ 2-5 การกำหนด Data Gradient



ภาพประกอบ 2-6 การยืนยันเส้นทางที่เป็น Lowest delay path (Reinforcement path)



ภาพประกอบ 2-7 ข้อมูลถูกส่งตามเส้นทางที่ถูกยืนยัน

หมายเหตุ: ในขั้นตอนการจัดหาเส้นทาง การกำหนดให้การส่งสัญญาณ Interest และ Exploratory data เป็น Low data rate เพื่อลดความเสี่ยงในการให้สัญญาณทำให้โหนดประหยัดพลังงาน (ทั้งนี้เพราะเป็นการส่งด้วยวิธี Flooding ในกรณีการส่ง Interest และการส่งสัญญาณกลับไปยังทุกๆเส้นทางที่มีการรับส่ง Interest เข้ามา ในกรณีการส่ง Exploratory event) ส่วนในขั้นตอนการยืนยันเส้นทาง Reinforcement path และรับส่ง Data จะกำหนดให้การส่งสัญญาณเป็น High data rate เนื่องจากสามารถจัดหาเส้นทางในการรับสัญญาณได้แล้ว

## 2.3 โมเดลต่างๆที่ใช้ประกอบในการจำลองการทำงาน [19]

จากประเด็นวิจัยตามวัตถุประสงค์ของโครงการ การจำลองการทำงานจำเป็นต้องเพิ่ม 3 โมเดล ดังต่อไปนี้

### 2.3.1 โมเดลพลังงาน

โมเดลพลังงาน (Energy model) ถูกพัฒนาขึ้นใช้กับโปรแกรม NS2 (แนะนำโปรแกรมจำลองการทำงานแสดงในภาคผนวก ก Network simulator version 2) โมเดลนี้บ่งบอกถึงระดับการใช้พลังงานของเซนเซอร์โหนด เมื่อทำการกำหนดพลังงานเริ่มต้นให้กับทุกๆโหนดในเครือข่ายผ่านตัวแปร `initialEnergy_` ก่อนทำการ Run แบบจำลองทุกๆโหนดในเครือข่ายจะมีค่าพลังงานนี้เป็นค่าเริ่มต้น และเมื่อทำการ Run โปรแกรม ทุกๆการรับส่ง Packet ของเซนเซอร์โหนดพลังงานที่กำหนดไว้ในตอนเริ่มต้นของโหนดก็จะถูกใช้ไป เราสามารถกำหนดค่ากำลังที่ใช้ในการรับหรือส่ง Packet ของตัวรับและตัวส่งสัญญาณ ในตอนเริ่มต้นได้โดยกำหนดผ่านทางตัวแปร `txPower` (กำลังที่ใช้ในการส่งสัญญาณของตัวส่ง) และ `rxPower` (กำลังที่ใช้ในการรับสัญญาณของตัวรับ) ดังนั้นทุกเวลาที่ทำการจำลองการทำงาน จะสามารถตรวจสอบได้ว่าเซนเซอร์โหนดใช้พลังงานไปเท่าไร นอกจากนี้โมเดลพลังงานยังสามารถทำให้เราเข้าถึงสถานะพลังงานของโหนดได้ขณะที่จำลองการทำงาน โดยสังเกตจากสีของเซนเซอร์โหนด (สังเกตได้จาก Animation ใน NS2) กล่าวคือเมื่อเรากำหนดค่าพลังงานในตอนเริ่มต้นให้กับโหนดแล้ว โหนดในเครือข่ายจะกลายเป็นสีเขียว และเมื่อทำการ Run โปรแกรมเซนเซอร์โหนดก็จะลดค่าพลังงานนั้นลงไปทุกๆการรับส่ง packet จนถึงจุดหนึ่งที่โหนดเริ่มหมดพลังงานเซนเซอร์โหนดจะกลายเป็นสีเหลือง และถ้าเซนเซอร์โหนดหมดพลังงานก็จะแสดงสีแดงออกมาให้เห็น สำหรับโปรแกรม NS2 โมเดลพลังงานถูกสร้างไว้ในไฟล์ `energymodel.cc` และ `energymodel.h`

The c++ energy model class

```
class EnergyModel : public TclObject {
public:
    EnergyModel(double energy) {energy_ = energy;}
    inline double energy() {return energy_;}
    inline void setenergy(double e) {energy_ = e;}
    virtual void DecrTxEnergy(double txtime, double P_tx) {
        energy_ -= (P_tx * txtime);
    }
};
```

```

}
virtual void DecrRcvEnergy(double rcvtime, double P_rcv) {
    energy_ -= (P_rcv * rcvtime);
}
protected:
    double energy_;
};

```

จาก Class ข้างบน มีตัวแปรที่สำคัญคือ energy\_ ซึ่งเก็บระดับพลังงานปัจจุบันไว้ และมีฟังก์ชัน ที่สำคัญ 2 ฟังก์ชันคือ DecrTxEnergy ที่จะลดพลังงานเมื่อมีการส่งข้อมูล (Transmit) โดยพลังงานที่ลดไป ก็มีค่าเท่ากับ  $P_{tx} * \text{transmit time}$  ส่วน DecrRxEnergy จะลดพลังงานเมื่อมีการรับข้อมูล (Receive) มีค่าเท่ากับ  $P_{rcv} * \text{receive time}$  ( $P_{tx}$  คือ txPower และ  $P_{rcv}$  คือ rxPower)

นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดค่า Idle power ก่อนทำการ Run แบบจำลองได้ โดยที่ค่านี้เป็นค่ากำลังการเปิดสัญญาณเพื่อรับส่งสัญญาณของโหนด ซึ่งโหนดจะมีการใช้พลังงานในส่วนนี้ไปกรณีที่โหนดอยู่ใน IDLE state การใช้งาน Energy model กับโปรแกรม NS2 จะต้องทำการกำหนด (Configuration) ให้กับเซนเซอร์โหนด ดังนี้

```

$ns_ node-config -energyModel $energymodel \
    -rxPower $opt(rxPower) \
    -txPower $opt(txPower)\
    -idlePower $opt(idlePower)\
    -initialEnergy $opt(initialenergy)

```

และหลังจากการ Run โปรแกรมจากการจำลองการทำงาน (file.tcl) สามารถดูค่าพลังงานที่เหลืออยู่ (Remaining energy) จากไฟล์ที่ถูกสร้างขึ้น (file.tr) ดังตัวอย่าง

```

s 60.000001000 _0_ AGT --- 30504297 diffusion 0 [0 0 0 0] [energy 2.972714 ei 1.921 es 0.000
et 0.018 er 0.088] ----- [0:254 0:255 32 0]

```

```

r 60.000001000 _0_ RTR --- 30504297 diffusion 0 [0 0 0 0] [energy 2.972714 ei 1.921 es 0.000
et 0.018 er 0.088] ----- [0:254 0:255 32 0]
s 60.000001000 _1_ AGT --- 503803434 diffusion 0 [0 0 0 0] [energy 2.994650 ei 1.923 es
0.000 et 0.005 er 0.078] ----- [1:254 1:255 32 0]
r 60.000001000 _1_ RTR --- 503803434 diffusion 0 [0 0 0 0] [energy 2.994650 ei 1.923 es 0.000
et 0.005 er 0.078] ----- [1:254 1:255 32 0]
s 60.000001000 _2_ AGT --- 1374534841 diffusion 0 [0 0 0 0] [energy 2.981294 ei 1.921 es
0.000 et 0.008 er 0.089] ----- [2:254 2:255 32 0]
r 60.000001000 _2_ RTR --- 1374534841 diffusion 0 [0 0 0 0] [energy 2.981294 ei 1.921 es
0.000 et 0.008 er 0.089] ----- [2:254 2:255 32 0]

```

โดยที่ energy: total remaining energy  
ei: energy consumption in IDLE state  
es: energy consumption in SLEEP state  
et: energy consumed in transmitting packets  
er: energy consumed in receiving packets

### 2.3.2 โมเดลการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนด [17]

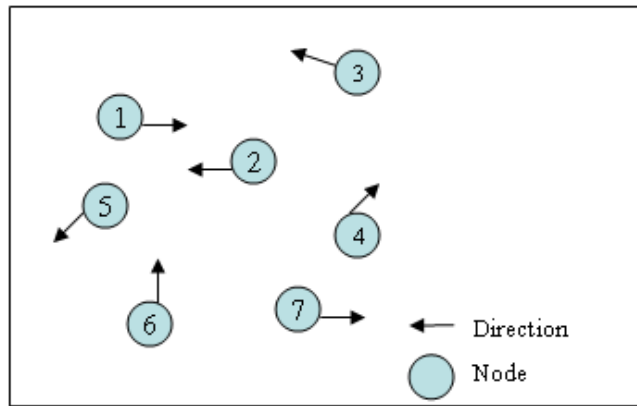
โมเดลการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดถูกออกแบบมาเพื่ออธิบายรูปแบบการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดภายในเครือข่าย โมเดลนี้บอกถึงลักษณะ ความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนด เซนเซอร์โหนดจะมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าไร สามารถเลือกทิศทางการเคลื่อนที่ได้อย่างไร จะเคลื่อนที่ในเวลาไหน และจะเปลี่ยนความเร็วและทิศทางอย่างไร เหล่านี้สามารถอธิบายได้ด้วยโมเดลนี้ ปัจจุบันโมเดลการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดมีหลายรูปแบบแล้วแต่วัตถุประสงค์ว่าจะใช้ในลักษณะงานใด แต่อย่างไรก็ตามในภาพรวมแล้วโมเดลการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดที่ใช้สำหรับจำลองการทำงาน (Simulation) ในเครือข่าย สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. โมเดลที่โหนดมีการเคลื่อนที่แบบอิสระ (Independent mobility model)
2. โมเดลที่โหนดมีการเคลื่อนที่แบบกลุ่ม (Group-based mobility model)

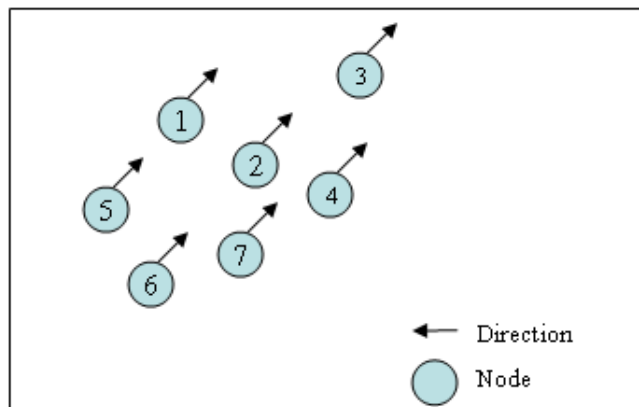
ใน Independent mobility model การเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดแต่ละตัวจะเป็นอิสระจากเซนเซอร์โหนดอื่นๆในเครือข่าย สำหรับ Group-based mobility model ลักษณะการ



เคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดในแต่ละกลุ่มของเซนเซอร์โหนดในเครือข่ายจะมีความสัมพันธ์กัน แสดงดังภาพประกอบ 2-8 และ 2-9



ภาพประกอบ 2-8 ลักษณะการเคลื่อนที่ของโหนดสำหรับ Independent mobility model



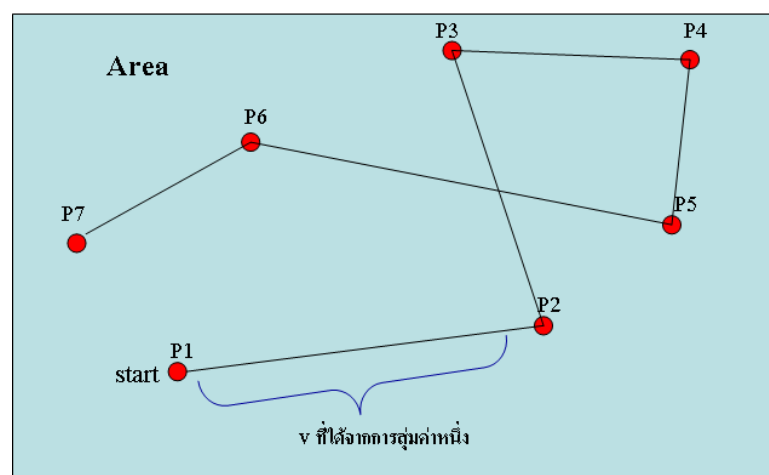
ภาพประกอบ 2-9 ลักษณะการเคลื่อนที่ของโหนดสำหรับ Group-based mobility model

### 2.3.2.1 โมเดล Random waypoint [18]

Random waypoint model เป็นโมเดลการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดที่ถูกพัฒนาขึ้นมาแรกๆ และนำไปใช้อย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์สมรรถนะในด้านต่างๆของระบบ เมื่อการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในด้านต่างๆของระบบที่สนใจ โมเดลนี้เซนเซอร์โหนดมีการเคลื่อนที่แบบอิสระ (Independent mobility model) กล่าวคือลักษณะการเคลื่อนที่ของแต่ละเซนเซอร์โหนดจะเป็นอิสระจากเซนเซอร์โหนดอื่นๆในเครือข่าย สำหรับโมเดลนี้เซนเซอร์โหนดทุกๆตัวในเครือข่ายจะเลือกความเร็วและทิศทางเคลื่อนที่โดยใช้วิธีการ

แบบสุ่ม (Random) ในการเคลื่อนที่แต่ละครั้งเซนเซอร์โหนดจะสุ่มเลือกความเร็วและทิศทางโดยมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอกรูป (Uniform distribution) ความเร็วในการเคลื่อนที่จะถูกสุ่มเลือกขึ้นมาในช่วง  $[0, V_{max}]$  เมื่อ  $V_{max}$  คือความเร็วสูงสุดที่กำหนดไว้สำหรับทุกๆ โหนดในเครือข่าย และทิศทางในการเคลื่อนที่ก็จะถูกสุ่มเลือกขึ้นมาซึ่งอยู่ในช่วง  $0$  ถึง  $\pi$

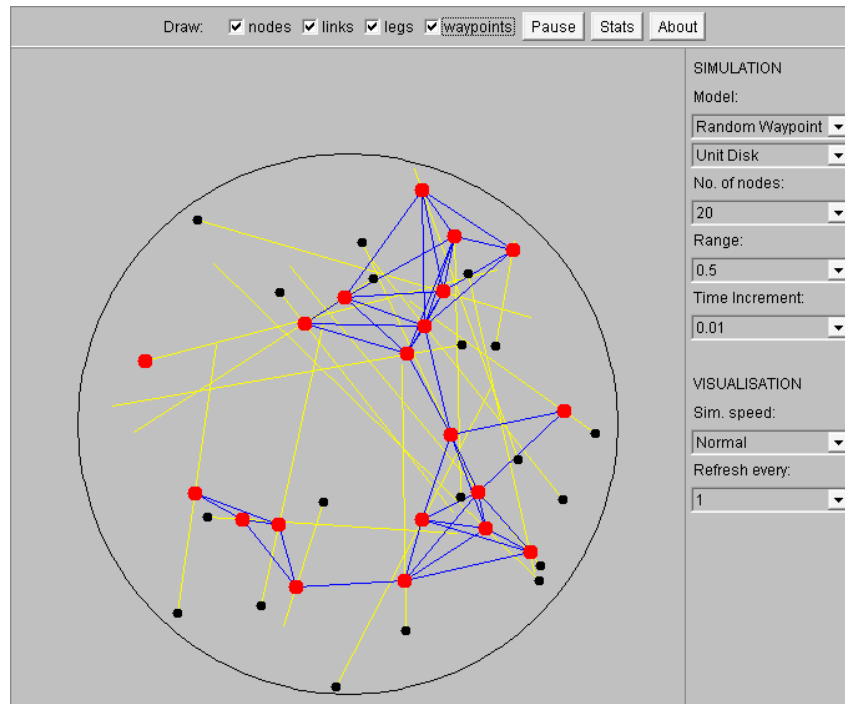
หลังจากที่เซนเซอร์โหนดเคลื่อนที่ไปถึงปลายทาง (ในทิศทางและความเร็วที่สุ่มได้) เซนเซอร์โหนดจะหยุดด้วยช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า Pause time และหลังจากเวลานี้เซนเซอร์โหนดจะเริ่มกระบวนการเดิมใหม่ซึ่งนั่นก็คือ ทำการสุ่มเลือกค่าความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนที่สำหรับครั้งต่อไป แสดงดังภาพประกอบ 2-10



ภาพประกอบ 2-10 ลักษณะการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดสำหรับ Random waypoint model

ตัวอย่างลักษณะการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดจากจุด P1 ไปยังจุด P2 ด้วยทิศทางและความเร็วที่ถูกเลือกขึ้นมาแบบสุ่มในรูปแบบ Uniform distribution และหลังจากที่ไปถึงปลายทาง ณ P2 เซนเซอร์โหนดจะหยุดด้วยเวลาช่วงหนึ่งเท่ากับ Pause time หลังจากช่วงเวลานี้เซนเซอร์โหนดจะทำการสุ่มเลือกค่าความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนที่ครั้งใหม่ ซึ่งก็คือ P2 ไปยัง P3 สำหรับ Random waypoint model จะทำตามกระบวนการดังกล่าวจนทั้งหมดเวลาจำลองการทำงาน

ตัวอย่างการจำลองการทำงานของ Random waypoint model: จำลองการทำงานของเซนเซอร์โหนดเมื่อโหนดมีการเคลื่อนที่ โดยใช้ Random Waypoint Simulator v.1.1 by Esa Hyttia (2004-2005) แสดงดังภาพประกอบ 2-11



ภาพประกอบ 2-11 การเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดโดยแสดงทิศทางและปลายทางในการเคลื่อนที่

### 2.3.2.2 โมเดล Random waypoint สำหรับ NS2

การใช้ Random waypoint model ในการจำลองการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดในเครือข่ายโดยใช้โปรแกรม NS2 สามารถทำตามขั้นตอนดังนี้

```

~/ns-allinone-2.33/ns-2.33/indep-utils/cmu-scen-gen/setdest
Administrator@zn-9a2a134b0ed ~
$ cd ns-allinone-2.33/ns-2.33/indep-utils/cmu-scen-gen/setdest
Administrator@zn-9a2a134b0ed ~/ns-allinone-2.33/ns-2.33/indep-utils/cmu-scen-gen/setdest
$ ./setdest
usage:
<original 1999 CMU version (version 1)>
./setdest -v <1> -n <nodes> -p <pause time> -M <max speed>
-t <simulation time> -x <max X> -y <max Y>
OR
<modified 2003 U.Michigan version (version 2)>
./setdest -v <2> -n <nodes> -s <speed type> -m <min speed> -M <max speed>
-t <simulation time> -P <pause type> -p <pause time> -x <max X>
-y <max Y>
(Refer to the script files make-scen.csh and make-scen-steadystate.csh for detail.)
Administrator@zn-9a2a134b0ed ~/ns-allinone-2.33/ns-2.33/indep-utils/cmu-scen-gen/setdest

```

ภาพประกอบ 2-12 แสดงคำสั่งเพื่อใช้งาน Random waypoint model

จากภาพประกอบ 2-12 เข้าไปยังไฟล์ ns-allinone-2.33, ns-2.33, idep-utils, cmu-scen-gen และ setdest ตามลำดับ setdest จะเป็นคำสั่งที่ใช้ในการสร้างไฟล์ที่กำหนดให้โหนดมีการเคลื่อนที่ จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้คำสั่ง ./setdest โปรแกรมก็จะแสดงวิธีการใช้งานให้เห็น โปรแกรม NS2 สร้าง Mobility model ไว้ 2 รูปแบบคือ

**รูปแบบที่ 1** <original 1999 CMU version <version 1>>  
 ./setdest -v <1> -n <nodes> -p <pause time> -M <max speed>  
 -t <simulation time> -x <max X> -y <max Y>

จากคำสั่ง ทำการสร้างไฟล์ที่กำหนดให้โหนดมีการเคลื่อนที่ โดยกำหนดให้ v <1> คือ รูปแบบเดิมในการสร้างไฟล์ที่โหนดมีการเคลื่อนที่ -n <nodes> คือ จำนวนโหนดในเครือข่าย -p <pause time> คือ ช่วงเวลาที่เซนเซอร์โหนดหยุดการเคลื่อนที่ก่อนที่จะค้นหาทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่ครั้งใหม่ -M <max speed> คือ ความเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่ -t <simulation time> คือ เวลาที่ใช้ในการจำลองการทำงาน -x <max X> คือขนาดพื้นที่ในแนวแกน X ที่กำหนดให้เครือข่าย -y <max Y> คือขนาดพื้นที่ในแนวแกน Y ที่กำหนดให้เครือข่าย และเมื่อต้องการใช้งานจะใช้คำสั่งดังตัวอย่าง

```
./setdest -v 1 -n 30 -p 0 -M 5.0 -t 50.0 -x 500.0 -y 500
```

จากตัวอย่างคำสั่งเป็นการกำหนดให้โหนดมีการเคลื่อนที่โดยใช้ Version 1 โหนดในเครือข่ายมีจำนวน 30 โหนด ช่วงเวลาที่เซนเซอร์โหนดหยุดการเคลื่อนที่ก่อนที่จะค้นหาทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่ครั้งใหม่เป็น 0 วินาที ความเร็วสูงสุดของการเคลื่อนที่เท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที เวลาที่ใช้ในการจำลองการทำงาน 50 วินาที ขนาดพื้นที่ที่กำหนดให้เครือข่าย 500\*500 เมตร เมื่อใช้คำสั่งดังกล่าวผลที่ได้คือ โปรแกรมจะสร้างโหนดขึ้นมาเท่ากับจำนวนที่ต้องการ แล้วกำหนดตำแหน่งของโหนดแบบสุ่มให้กับแต่ละโหนดภายในพื้นที่ที่กำหนดในตอนเริ่มแรก หลังจากนั้น แต่ละโหนดในเครือข่ายก็จะเคลื่อนที่โดยลักษณะการเคลื่อนที่ที่ใช้ Random waypoint model ในการเลือกทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่ (เลือกขึ้นมาแบบสุ่มโดยมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอกกรุป Uniform distribution) และถ้าต้องการเก็บข้อมูลที่ได้จากการสร้างสามารถเขียนคำสั่งโดยใช้เครื่องหมาย > และตามด้วยชื่อไฟล์ แสดงดังภาพประกอบ 2-13

```
./setdest -v 1 -n 30 -p 0 -M 5.0 -t 50.0 -x 500.0 -y 500 >
30_nodes_mobility.tcl
```

```
~/ns-allinone-2.33/ns-2.33/indep-utils/cmu-scen-gen/setdest
Administrator@nzn-9a2a134b0ed ~/ns-allinone-2.33/ns-2.33/indep-utils/cmu-scen-gen/setdest
$ ./setdest -v 1.0 -n 30.0 -p 0.0 -M 5.0 -t 50.0 -x 500.0 -y 500.0>30_nodes_mobility.tcl
Administrator@nzn-9a2a134b0ed ~/ns-allinone-2.33/ns-2.33/indep-utils/cmu-scen-gen/setdest
$
```

ภาพประกอบ 2-13 แสดงคำสั่งเพื่อใช้งาน Random waypoint model, version 1

จากตัวอย่างคำสั่งเป็นการเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของโหนดที่ได้ไว้ในไฟล์ 30\_nodes\_mobility.tcl เมื่อทำการจำลองการทำงาน สามารถเรียกไฟล์นี้ไปใช้งานกับไฟล์หลักที่ต้องการได้เลย

รูปแบบที่ 2 <modified 2003 U.Michigan version <version 2>>

```
./setdest -v <2> -n <nodes> -s <speed type> -m <min speed> -M<max speed> -t <simulation time> -P <pause type> -p <pause time> -x <max X> -y <max Y>
```

จากคำสั่งเป็นการกำหนดให้โหนดมีการเคลื่อนที่โดยใช้ Version 2 ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยมีข้อแตกต่างจาก Version แรกคือ Speed type และ Pause time จะมีสองรูปแบบให้เลือกใช้คือ 1 เป็น Uniform distribution และ 2 เป็น Normal distribution ส่วนความเร็วจะอยู่ในช่วง Min speed และ Max speed และเมื่อต้องการใช้งานจะใช้คำสั่งดังกล่าวอย่าง แสดงดังภาพประกอบ 2-14

```
./setdest -v 2 -n 30 -s 2 -m 3.0 -M 5.0 -t 50.0 -P 2 -p 0.0 -x 500.0 -y 500 > 30_nodes_mobility.tcl
```

```
~/ns-allinone-2.33/ns-2.33/indep-utils/cmu-scen-gen/setdest
Administrator@nzn-9a2a134b0ed ~/ns-allinone-2.33/ns-2.33/indep-utils/cmu-scen-gen/setdest
$ ./setdest -v 2 -n 30 -s 2 -m 3.0 -M 5.0 -t 50.0 -P 2 -p 0.0 -x 500.0 -y 500.0>30_nodes_mobility.tcl
Administrator@nzn-9a2a134b0ed ~/ns-allinone-2.33/ns-2.33/indep-utils/cmu-scen-gen/setdest
$
```

ภาพประกอบ 2-14 แสดงคำสั่งเพื่อใช้งาน Random waypoint model, version 2

### 2.3.3 โมเดลการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุ

โมเดลการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุเป็น โมเดลที่ใช้สำหรับคำนวณหาค่าความแรงของสัญญาณ (Received signal strength) ของโหนดที่รับสัญญาณ สำหรับ NS2 เวอร์ชัน 2.33 มี โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ 3 รูปแบบที่ถูกเตรียมไว้ให้ใช้งาน คือ Free space model, Two-ray ground reflection model และ Shadowing model

#### 2.3.3.1 โมเดล Free space

โมเดลนี้เป็นโมเดลการหาค่า Received signal power ในเชิงอุดมคติ กำหนดให้ โหนดมีการส่งสัญญาณโดยที่ขอบเขตของสัญญาณมีลักษณะเป็นวงกลม ความแรงของสัญญาณที่ โหนดฝ่ายรับที่ระยะทางใดๆสามารถหาได้จากสัญญาณที่ถูกส่งจาก โหนดฝ่ายส่งไปยังโหนดฝ่ายรับ ได้โดยตรง (Line-of-sight) แสดงดังสมการที่ 2.1

$$P_r(d) = (P_t * G_t * G_r * \lambda^2) / (4\pi)^2 d^2 L \dots (2.1)$$

เมื่อกำหนดให้  $P_r$  คือความแรงของสัญญาณที่รับได้ในหน่วยวัตต์  $P_t$  คือกำลังส่ง ในหน่วยวัตต์  $G_t$  และ  $G_r$  คืออัตราขยายของเสาอากาศฝ่ายส่งและฝ่ายรับตามลำดับ  $\lambda$  คือความยาวคลื่น และ  $L$  คือ System loss (สำหรับ NS2 จะกำหนดให้  $G_t$ ,  $G_r$  และ  $L$  มีค่าเป็น 1)

ดังที่ได้กล่าวในข้างต้นสำหรับโมเดลนี้โหนดจะมีขอบเขตการส่งสัญญาณออกใน ลักษณะเป็นวงกลม ถ้าโหนดโหนดฝ่ายรับอยู่ในขอบเขตวงกลมหรือขอบเขตสัญญาณของโหนด ฝ่ายส่ง โหนดจะสามารถรับสัญญาณได้ทุกสัญญาณ แต่ถ้าโหนดโหนดฝ่ายรับอยู่นอกขอบเขต วงกลมหรือขอบเขตสัญญาณโหนดจะไม่สามารถรับสัญญาณได้เลย สำหรับวิธีการใช้งาน โมเดลนี้ ใน NS2 จะต้องกำหนดหรือ configuration ให้กับโปรแกรมดังนี้

```
$ns_ node-config -propType Propagation/FreeSpace
set prop [new Propagation/FreeSpace]
$ns_ node-config -propInstance $prop
```

### 2.3.3.2 โมเดล Two-ray ground reflection

โมเดล Two-ray ground reflection เป็นโมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุในรูปแบบ Large-scale สำหรับโมเดลนี้ค่าความแรงของสัญญาณที่โหนดรับได้จะขึ้นตรงต่อฟังก์ชันระยะทาง ความแรงของสัญญาณที่รับได้ไม่ได้ถูกพิจารณาจากสัญญาณที่ถูกส่งจากโหนดฝ่ายส่งไปยังโหนดฝ่ายรับได้โดยตรง (Line-of-sight) แต่เพียงกรณีเดียว แต่ความแรงของสัญญาณที่รับได้เกิดจากผลรวมของสัญญาณที่ส่งตรงมายังตัวรับสัญญาณโดยตรง (Line of site) และสัญญาณที่สะท้อนพื้นโลกมายังตัวรับ (Ground reflection) แสดงการคำนวณดังสมการที่ 2.2

$$P_r(d) = (P_t * G_t * G_r * h_t^2 * h_r^2) / d^4 L \dots (2.2)$$

เมื่อกำหนดให้  $P_r$  คือความแรงของสัญญาณที่รับได้ในหน่วยวัตต์  $P_t$  คือกำลังส่งในหน่วยวัตต์  $G_t$  และ  $G_r$  คืออัตราขยายของเสาอากาศฝ่ายส่งและฝ่ายรับตามลำดับ  $h_t$  และ  $h_r$  คือความสูงของเสาอากาศฝ่ายส่งและฝ่ายรับตามลำดับ และ  $L$  คือ System loss

สำหรับวิธีการใช้งานโมเดลนี้ใน NS2 จะต้องกำหนดหรือ configuration ให้กับโปรแกรมดังนี้

```
$ns_ node-config -propType Propagation/TwoRayGround
set prop [new Propagation/ TwoRayGround]
$ns_ node-config -propInstance $prop
```

### 2.3.3.3 โมเดล Shadowing

สำหรับโมเดล Two-ray ground reflection นั้นค่าความแรงของสัญญาณที่โหนดรับได้ขึ้นตรงต่อฟังก์ชันระยะทางซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว ค่าความแรงของสัญญาณที่โหนดรับได้ไม่ได้ขึ้นตรงต่อฟังก์ชันระยะทางเพียงอย่างเดียว ความแรงของสัญญาณจะมีการแกว่งแบบสุ่มที่มีความแปรปรวนในทุกๆระยะทางที่โหนดรับสัญญาณ เนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของสัญญาณวิทยุที่เจอสิ่งกีดขวางในเครือข่าย ดังนั้นสัญญาณที่มาถึงยังตัวรับจึงมาจากหลายๆเส้นทาง (Multipath propagation effects) ดังนั้นโมเดลที่ได้ถูกพิจารณาประเด็นดังกล่าวก็คือ โมเดล Shadowing นั่นเอง โมเดลนี้ได้เพิ่มส่วนของการแจกแจงความน่าจะเป็นในการคำนวณค่าความแรงของสัญญาณเข้าไป ซึ่งเป็นรูปแบบ Gaussian random distribution หรือ log-normal distribution ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้แสดงดังสมการที่ 2.3

$$[P_r(d)/P(d_0)]_{dB} = -10\beta \log(d/d_0) + X_{dB} \dots\dots (2.3)$$

เมื่อกำหนดให้  $P_r(d)$  คือความแรงของสัญญาณเฉลี่ยที่รับได้ที่ระยะทาง  $d$   $P_r(d_0)$  คือความแรงของสัญญาณที่ระยะทางอ้างอิงที่  $d_0$  ค่า  $\beta$  คือ Path loss exponent ซึ่งค่านี้ขึ้นตรงต่อสภาพแวดล้อม  $X_{dB}$  คือ Gaussian random distribution ที่มีค่ากลางที่ศูนย์และมีค่าความแปรปรวนเป็น  $\sigma_{dB}$  ค่านี้เรียกว่า shadowing deviation สามารถกำหนดค่าของ  $\beta$  และ  $\sigma_{dB}$  ได้จากตารางที่ 2-1 และ 2-2

ตารางที่ 2-1 ค่า Path loss exponent ที่สภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน

Environment		$\beta$
Outdoor	Free space	2
	Shadowed urban area	2.7 to 5
In building	Line-of-sight	1.6 to 1.8
	Obstructed	4 to 6

ตารางที่ 2-2 ค่า shadowing deviation ที่สภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน

Environment	$\sigma_{dB}$ (dB)
Outdoor	4 to 12
Office, hard partition	7
Office, soft partition	9.6
Factory, line-of-sight	3 to 6
Factory, obstructed	6.8

ในการกำหนดสภาพแวดล้อมที่ต้องการให้โปรแกรมจำลองการทำงาน NS2 ผู้ใช้จะต้องเลือกค่า  $\beta$  และ  $\sigma_{dB}$  ที่ต้องการจากตารางที่ 2-1 และ 2-2 ที่ก่อน หลังจากเลือกได้แล้วก็ทำการ configuration ให้กับโปรแกรมดังนี้

```

$ns_ node-config -propType Propagation/Shadowing
set prop [new Propagation/ Shadowing]

$prop set pathlossExp_ 2.0                :# path loss exponent
$prop set std_db_ 4.0                    :# Shadowing deviation (dB)
$prop set dist0_ 1.0                      :# reference distance (m)

$ns_ node-config -propInstance $prop
    
```



### บทที่ 3

## ผลกระทบจากวิธีการให้สัญญาณ การเคลื่อนที่ของโหนดและการแกว่งของสัญญาณวิทยุ ต่อสมรรถนะของโปรโตคอลไดเร็กต์ดีดิวซ์

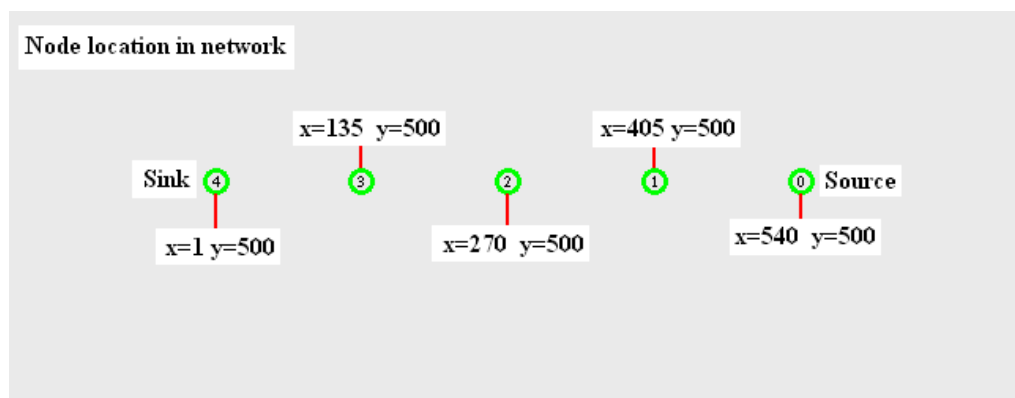
บทนี้เป็นรายละเอียดการทดลอง เพื่อแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของโปรโตคอลไดเร็กต์ดีดิวซ์ ผลจากการศึกษาในบทนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดแนวทางในการพัฒนาโปรโตคอลไดเร็กต์ดีดิวซ์ในบทที่ 4 เนื้อหาในบทนี้เริ่มด้วย การศึกษาการให้สัญญาณของโปรโตคอลไดเร็กต์ดีดิวซ์ ที่ใช้ในกระบวนการจัดเส้นทางตลอดจนการรับส่งสัญญาณข้อมูลหัวข้อถัดไป เป็นผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดต่อสมรรถนะของโปรโตคอลไดเร็กต์ดีดิวซ์ และท้ายสุดกล่าวถึงผลกระทบของการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุต่อสมรรถนะของโปรโตคอลไดเร็กต์ดีดิวซ์ในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

### 3.1 การศึกษาการให้สัญญาณของโปรโตคอลไดเร็กต์ดีดิวซ์

#### 3.1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของการศึกษาการให้สัญญาณของโปรโตคอลไดเร็กต์ดีดิวซ์ เป็นการพยายามทำความเข้าใจกระบวนการจัดเส้นทาง และศึกษาปริมาณการรับส่งสัญญาณของเซนเซอร์โหนดในเครือข่ายของโปรโตคอลไดเร็กต์ดีดิวซ์ จากทฤษฎีการทดลอง ศึกษาผลที่เกิดจากการรับส่งสัญญาณของเซนเซอร์โหนดในเครือข่าย อันได้แก่ Interest, Exploratory data, Reinforcement และ Data

#### 3.1.2 การออกแบบการทดลอง



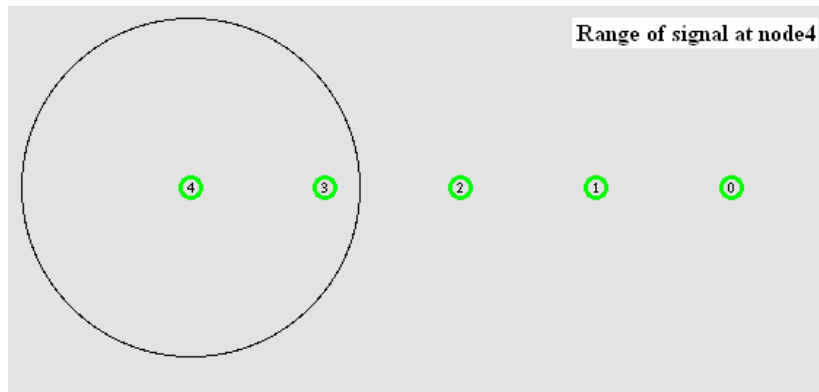
ภาพประกอบ 3-1 ลักษณะเครือข่ายและตำแหน่งของเซนเซอร์โหนด

จำลองการทำงานโดยใช้ NS2 version 2.33 ลักษณะเครือข่ายและตำแหน่งของเซนเซอร์โหนดแสดงดังภาพประกอบ 3-1 ในเครือข่ายประกอบด้วยเซนเซอร์โหนดจำนวน 5 โหนด คือโหนดที่ 0 ถึงโหนดที่ 4 อยู่ในตำแหน่ง  $x=540$  เมตร  $y=500$  เมตร,  $x=405$  เมตร  $y=500$  เมตร,  $x=270$  เมตร  $y=500$  เมตร,  $x=135$  เมตร  $y=500$  เมตร และ  $x=1$  เมตร  $y=500$  เมตร ( $z=0$  เมตร) ตามลำดับ โดยที่โหนดที่ 4 เป็นสถานีฐาน (Sink) ทำการส่งสัญญาณไปยังปลายทางคือโหนดที่ 0 (Source) โดยใช้โปรโตคอลไดเร็กต์ดีดิกฟิวชัน เป็นโปรโตคอลการจัดเส้นทางเพื่อทำการรับส่งข้อมูลระหว่างโหนดในเครือข่าย

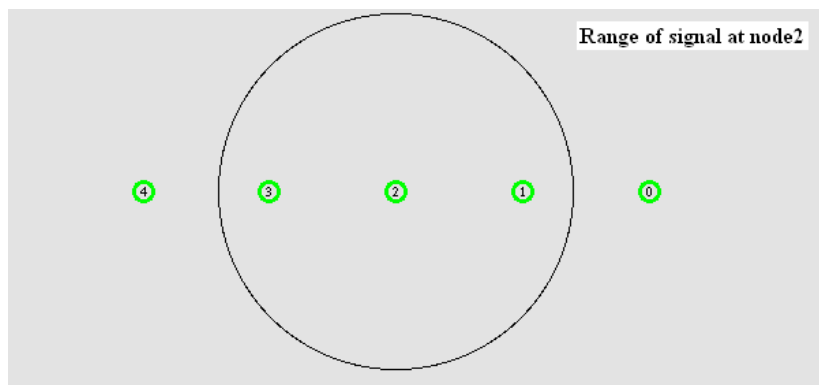
ทำการเพิ่มโหนดทีละ 5 โหนดในแต่ละการทดลองจนถึง 20 โหนด ในทุกๆการทดลองโหนดไม่มีการเคลื่อนที่ กำหนดให้โหนดทุกโหนดในเครือข่ายมีพลังงานเริ่มต้นที่ 10 J โหนดส่งข้อมูลด้วยกำลังส่งสัญญาณ (Transmit power) 660 mW และรับข้อมูลด้วยกำลังรับสัญญาณ (Received power) 395 mW โดยที่ขอบเขตสัญญาณของโหนดเท่ากับ 250 เมตร [2][16] (ค่าเหล่านี้กำหนดมาจาก AT&T's Wavelan PCMCIA card) การจำลองนี้ใช้โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุแบบ Two-ray ground reflection พารามิเตอร์ทั้งหมดที่ใช้ในการจำลองการทำงานแสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 พารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดให้กับการทดลอง

Parameters	Values
Simulation times	70 minutes
Network sizes	5, 10, 15 and 20 nodes
Sink and source nodes	One sink and one source. Sink node's location is $x=1$ m, $y=500$ , $z=0$ Source node's location is $x=540$ m, $y=500$ m, $z=0$
Transmission range	250 m
<i>RXThersh</i> and <i>CSThresh</i> (carrier-sense threshold and received threshold)	$3.65262 \times 10^{-10}$ W, $1.559 \times 10^{-11}$ W Two-ray ground reflection model
Transmission / Received /Idle power/ Initial energy	0.6 W / 0.3 W / 0.035W /10J [2][16]
MAC	IEEE 802.11[2][16]



(ก)

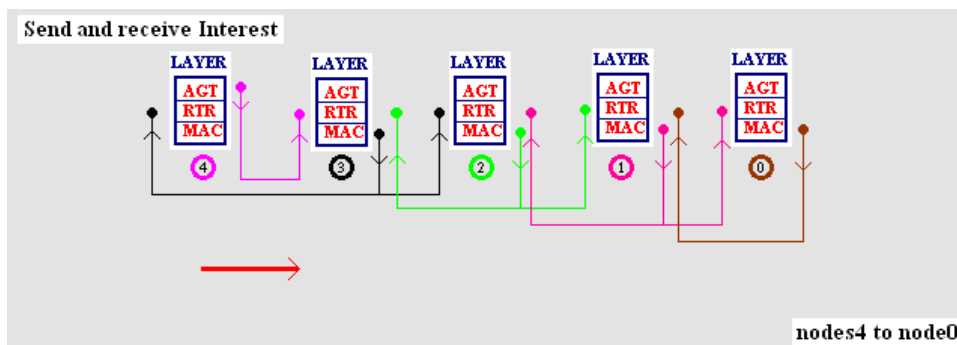


(ข)

ภาพประกอบ 3-2 ขอบเขตการส่งสัญญาณของเซนเซอร์โหนด

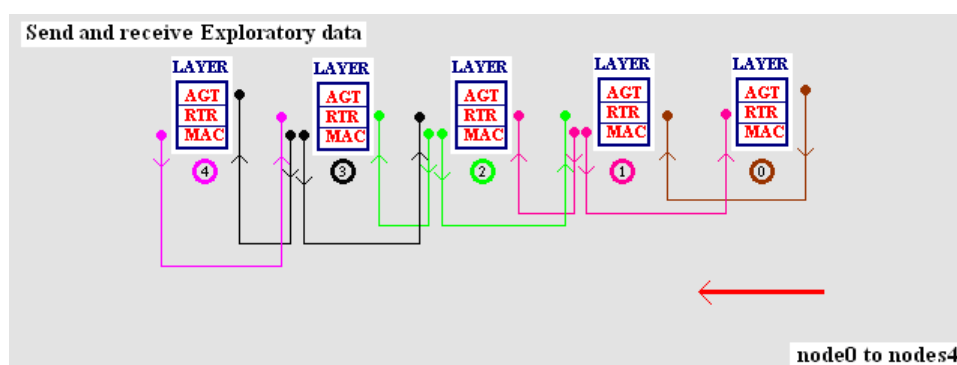
ภาพประกอบ 3-2 แสดงขอบเขตการส่งสัญญาณของเซนเซอร์โหนด ในการทดลองนี้จากรูปจะเห็นได้ว่าโหนดแต่ละโหนดทำการรับส่งสัญญาณได้เฉพาะโหนดที่อยู่ข้างเคียงในลักษณะแบบ 1-hop

### 3.1.3 ผลการทดลองการให้สัญญาณของโปรโตคอลไดเร็กต์ดีฟิฟิวชั่น



ภาพประกอบ 3-3 การรับส่งสัญญาณ Interest ในเครือข่าย

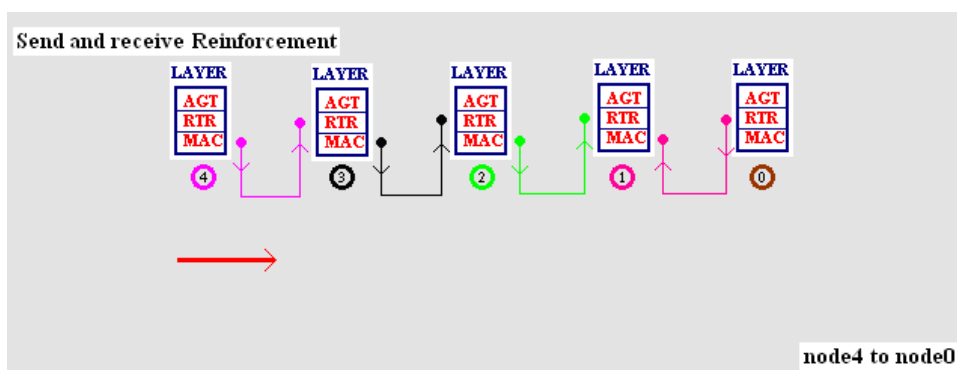
จากภาพประกอบ 3-3 สัญญาณ Interest ถูกกำหนดขึ้นที่โหนดที่ 4 ส่งไปยังโหนดปลายทางผ่านโหนด 4-3-2-1-0 ตามลำดับ จากรูปโหนดที่ 4 สร้างข้อความ Interest ที่ชั้น Application layer แทนด้วยตัวแปร AGT แล้วส่งต่อไปยังชั้น Routing layer แทนด้วยตัวแปร RTR จากนั้นจะส่งข้อความนี้ออกไปยังโหนดในเครือข่ายที่ชั้น Mac layer แทนด้วยตัวแปร MAC ในลักษณะ Broadcast ทุกโหนดในเครือข่ายจะมีการรับส่งสัญญาณวิทยุที่ชั้นนี้ โหนดที่อยู่ใกล้เคียงโหนดที่ 4 ก็จะได้รับสัญญาณนี้ ซึ่งนั่นก็คือโหนดที่ 3 โหนดที่ 3 รับสัญญาณ Interest ที่ชั้น Mac layer แล้วส่งต่อไปยังชั้น Routing layer ของโหนดเอง หลังจากนั้นโหนดที่ 3 จะส่งข้อความนี้ที่ชั้น Mac layer ในลักษณะ Broadcast ซึ่งโหนดใกล้เคียงที่ได้รับสัญญาณนี้ก็คือ โหนดที่ 4 และ โหนดที่ 2 กระบวนการนี้จะต่อเนื่องจนกว่าข้อความหรือสัญญาณ Interest ส่งถึงโหนด 0 ปลายทาง ซึ่งกระบวนการรับส่งสัญญาณดังที่ได้กล่าวมาจะเป็น Flooding กล่าวคือโหนด 4 ส่งสัญญาณไปยังโหนด 3 เมื่อโหนด 3 ได้รับจะทำการ Broadcast สัญญาณต่อ โหนดที่ได้รับคือ 4 และ 2 ในขั้นตอนนี้โหนด 2 ทำการ Broadcast สัญญาณต่อ แต่โหนดที่ 4 จะไม่ส่งสัญญาณต่อเนื่องมาจากเคยส่งสัญญาณนี้มาแล้ว



ภาพประกอบ 3-4 การรับส่งสัญญาณ Exploratory data ในเครือข่าย

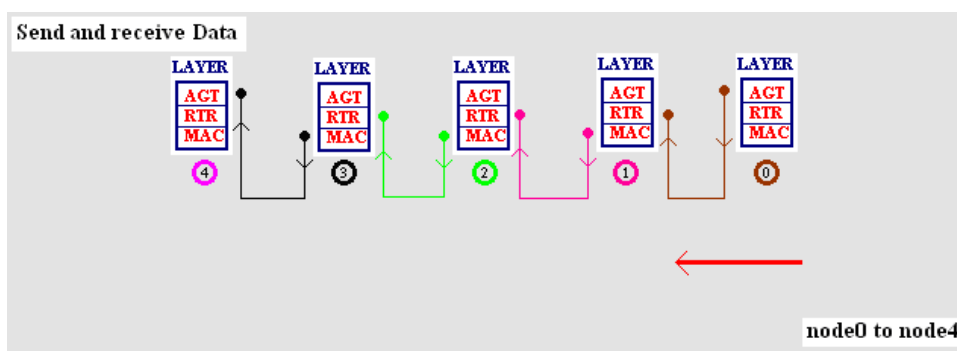
เมื่อโหนดที่ 0 ซึ่งเป็นโหนดปลายทางรับสัญญาณ Interest แล้ว กระบวนการต่อไปจะเป็นการส่งข้อความ Exploratory data กลับไปยังโหนดที่ 4 ซึ่งเป็นโหนดต้นทาง (กระบวนการนี้เป็นการจัดเตรียมเส้นทางเพื่อเป็นทางเลือกให้โหนดต้นทางเลือกเส้นทางที่เหมาะสมรับส่งข้อมูลกับโหนดปลายทาง) โหนดที่ 0 สร้างข้อความ Exploratory data แล้วส่งกลับไปตามเส้นทางที่เคยได้รับข้อความ Interest มา จากภาพประกอบ 3-4 ในขั้นการรับข้อความ Interest โหนด 0 รับข้อความ Interest มาจากโหนด 1 ดังนั้นในขั้นตอนนี้โหนด 0 ก็จะส่ง Exploratory data กลับไปยังโหนด 1 แสดงดังภาพประกอบ 5 ลักษณะการส่งสัญญาณในกระบวนการนี้จะเป็นแบบ Unicast ซึ่งนั่นก็คือโหนดส่งจะกำหนดว่าจะส่งสัญญาณไปยังโหนดใด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าจำนวนครั้งของการ

รับส่งสัญญาณ Exploratory data จะมากกว่าการรับส่งสัญญาณ Interest ซึ่งเป็นแบบ Broadcast สังเกตจากภาพประกอบ 5 โหนดที่ 1, 2 และ 3 จะมีการส่งสัญญาณออก 2 ครั้ง ยกตัวอย่างเช่น โหนดที่ 1 จะตอบ Exploratory data กลับไปยังโหนดที่ 2 และ 0 เพราะเคยรับ Interest มาจากสองโหนดนี้ ดังนั้น โหนด 1 จึงต้อง Unicast จำนวนสองครั้งคือ โหนด 1 ไป 2 และ โหนด 1 ไป 0 ภาพประกอบ 3-4 Exploratory data ถูกสร้างที่ชั้น Application layer ที่โหนด 0 ส่งไปยังปลายทางคือโหนดที่ 4 เก็บไว้ที่ชั้น Application layer เช่นกัน



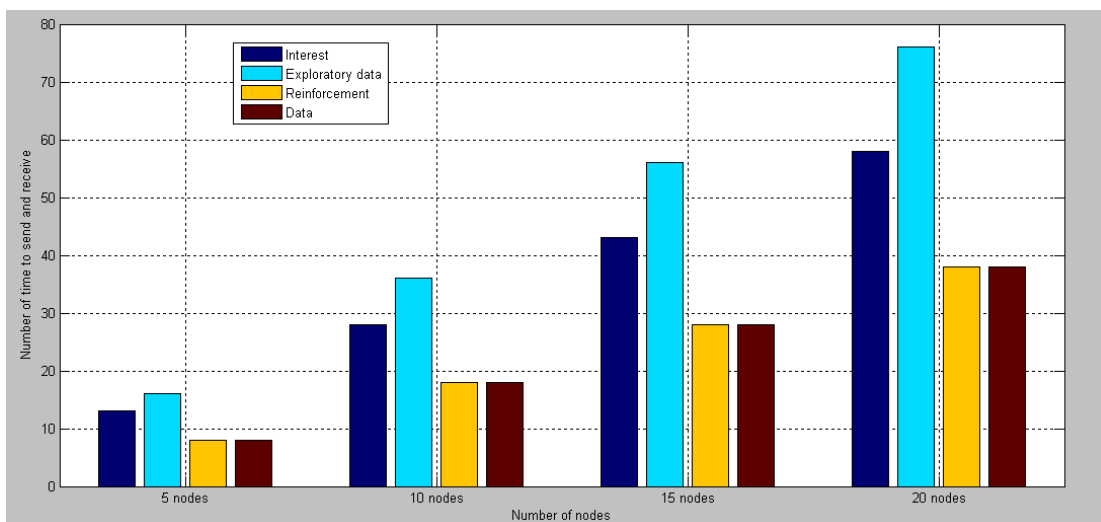
ภาพประกอบ 3-5 การรับส่งสัญญาณ Reinforcement ในเครือข่าย

หลังจากที่โหนดที่ 4 รับสัญญาณ Exploratory data แล้ว กระบวนการถัดไปจะเป็นการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดหรือยืนยันเส้นทางที่จะใช้ในการรับส่งข้อมูลกันระหว่างโหนดต้นทางและโหนดปลายทางโดยการส่งสัญญาณ Reinforcement ที่โหนดที่ 4 ไปยังปลายทาง ในที่นี้คือ 4-3-2-1-0 ตามลำดับ โดยที่ลักษณะการส่งสัญญาณในกระบวนการนี้จะเป็นแบบ Unicast แสดงดังภาพประกอบ 6 (สำหรับการทดลองนี้ ตำแหน่งของโหนดเรียงกันเส้นทางที่ให้เลือกมีเพียงเส้นทางเดียวนั่นก็คือ 4-3-2-1-0) แสดงดังภาพประกอบ 3-5



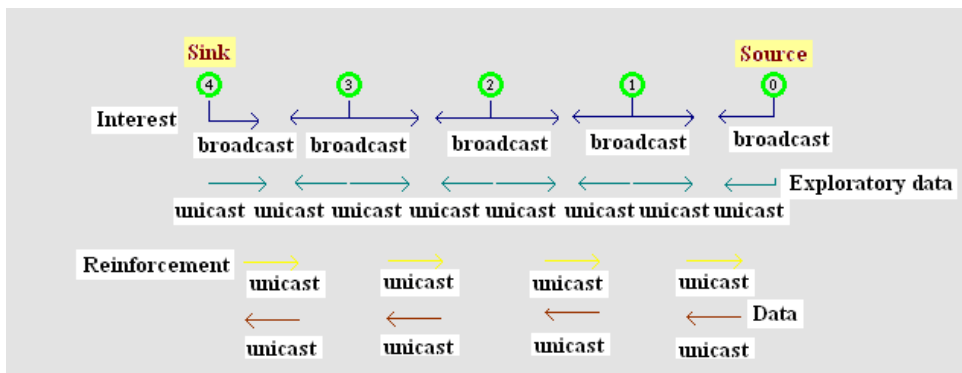
ภาพประกอบ 3-6 การรับส่งสัญญาณ Data ในเครือข่าย

ภาพประกอบ 3-6 โหนดที่ 0 ส่งข้อมูลที่ได้จากการตรวจหา (Sensing data) ไปให้โหนดต้นทางตามเส้นทางที่ถูกยืนยันโดย Reinforcement ในที่นี้คือ 0-1-2-3-4 ตามลำดับ Data ที่ชั้น Application layer ที่โหนดที่ 0 ส่งไปยังปลายทางคือโหนดที่ 4 เก็บไว้ที่ชั้น Application layer เช่นกัน



ภาพประกอบ 3-7 จำนวนครั้งของการรับส่งสัญญาณ Interest, Exploratory data, Reinforcement และ Data

จากภาพประกอบ 3-7 แสดงจำนวนครั้งของการรับส่งสัญญาณ Interest, Exploratory data, Reinforcement และ Data เมื่อทำการเพิ่มจำนวนโหนดในเครือข่ายจาก 5, 10, 15 และ 20 โหนดตามลำดับ กราฟการทดลองแสดงให้เห็นว่า จำนวนครั้งของการรับส่งสัญญาณ Exploratory data มีจำนวนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การรับส่งสัญญาณ Interest, Reinforcement และ Data และเมื่อเครือข่ายมีจำนวนโหนดมากขึ้น จำนวนครั้งของการรับส่งสัญญาณ (Interest, Reinforcement และ Data) ก็จะเพิ่มขึ้นตาม เหตุผลที่ Exploratory data มีจำนวนครั้งของการรับส่งสัญญาณมากกว่าสัญญาณอื่นๆ ก็เป็นเพราะ ในกระบวนการรับส่ง Exploratory data โหนดจะส่ง Exploratory data ตอบกลับในทุกๆ การรับ Interest เข้ามา อธิบายดังตัวอย่างภาพประกอบ 3-8 (Interest จำนวนครั้งของการรับส่งสัญญาณเท่ากับ 13 ครั้ง, Exploratory data จำนวนครั้งของการรับส่งสัญญาณเท่ากับ 16 ครั้ง, Reinforcement และ Data จำนวนครั้งของการรับส่งสัญญาณเท่ากับ 8 ครั้ง)



ภาพประกอบ 3-8 การส่งสัญญาณ Interest, Exploratory data, Reinforcement และ Data

### 3.2 ผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดต่อสมรรถนะของไดเรกต์ดีดิวชัน

#### 3.2.1 บทนำ

ในการจัดเส้นทางสำหรับรับส่งข้อมูลของโหนดในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย หากโหนดมีการเคลื่อนที่ ผลจากการเคลื่อนที่ของโหนดจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการจัดเส้นทางของโหนดในเครือข่าย และเมื่อการจัดเส้นทางเปลี่ยนแปลงก็จะส่งผลกระทบต่อลักษณะการใช้พลังงานของโหนด จากการสำรวจเอกสารตีพิมพ์พบว่าในกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไดเรกต์ดีดิวชันไม่ได้มีการพิจารณาถึงผลกระทบนี้ ดังนั้นการทดลองนี้ศึกษาผลกระทบดังกล่าว ทำการปรับเปลี่ยนความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดเพื่อศึกษาลักษณะการใช้พลังงาน (Energy consumption) ของโหนดในเครือข่าย ผลจากการทดลองพบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดจะส่งผลกระทบต่อการจัดเส้นทางและลักษณะการใช้พลังงานของโหนด นั่นก็คือเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดเพิ่มขึ้น การใช้พลังงานของโหนดในเครือข่ายจะเพิ่มขึ้นตาม แต่ถ้าโหนดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากเกินไปการติดต่อกันระหว่างโหนดเพื่อที่จะจัดเส้นทางจะไม่สามารถทำได้ ลักษณะการใช้พลังงานก็จะน้อยลงตาม

#### 3.2.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

ศึกษาผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดและการให้สัญญาณต่อสมรรถนะของโพรโทคอลไดเรกต์ดีดิวชัน ด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนด ทำการวัดการใช้พลังงานของโหนดในเครือข่าย

#### 3.2.3 การออกแบบการทดลอง

จำลองการทำงานโดยใช้ NS2 version 2.33 กำหนดให้ในเครือข่ายมีโหนดจำนวน 15 โหนดในตอนเริ่มต้น ทำการเพิ่มโหนด 5 โหนดในแต่ละการทดลองจนถึง 35 โหนด

ภายในพื้นที่ 670 เมตร \* 670 เมตร กำหนดให้ทุกๆการทดลองโหนดต้นทางอยู่ที่ตำแหน่ง  $x=70$  เมตร  $y=70$  เมตร และ  $z=0$  เมตร เทียบกับจุดอ้างอิงที่กำหนดให้เป็นจุดกำเนิด  $x=0$  เมตร,  $y=0$  เมตร และ  $z=0$  เมตร โหนดนี้จะส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางคือโหนดที่อยู่ตำแหน่ง  $x=620$  เมตร,  $y=620$  เมตร และ  $z=0$  เมตร ในทุกๆการทดลองโหนดต้นทางและโหนดปลายทางไม่มีการเคลื่อนที่ การจัดเส้นทางสำหรับรับส่งข้อมูลใช้โพรโทคอลไดเร็กต์เดดคิฟฟิวิชั่น กำหนดให้โหนดทุกโหนดในเครือข่ายมีพลังงานเริ่มต้นที่ 10 J โหนดส่งข้อมูลด้วยกำลังส่งสัญญาณ (Transmit power) 660 mW และรับข้อมูลด้วยกำลังรับสัญญาณ (Received power) 395 mW โดยที่ขอบเขตสัญญาณของโหนดเท่ากับ 250 เมตร [2][16] (ค่าเหล่านี้กำหนดมาจาก AT&T's Wavelan PCMCIA card)

ทำการทดลองที่ 15 โหนด, 20 โหนด, 25 โหนด, 30 โหนด และ 35 โหนด ตามลำดับ ในแต่ละการทดลองทำการเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดที่อยู่ในเครือข่ายดังนี้ 0 m/s (ไม่มีการเคลื่อนที่), 0.1-2 m/s, 2.5-3.5 m/s, 4-8 m/s, 8-10 m/s, 10-12 m/s และ 12-14 m/s ตามลำดับ แต่ละช่วงความเร็วมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอกรูป (Uniform distribution) สำหรับทุกๆการทดลอง พารามิเตอร์ทั้งหมดที่ใช้ในการจำลองการทำงานแสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 พารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดให้กับการทดลอง

Parameters	Values
Simulation times	200 minutes
Network sizes	15, 20, 25, 30 and 35 nodes
Sink and source nodes	One sink and one source. Sink node's location is $x=70m, y=70, z=0$ Source node's location is $x=620 m, y=620m, z=0$
Dimension of the topology	All sensor nodes, except a sink and a source, are randomly located and moving in 670 m*670 m
Mobility speed	Uniformly distributed: 0 m/s (No-movement), 0.1-2 m/s, 2.5-3.5 m/s, 4-8 m/s, 8-10 m/s, 10-12 m/s and 12-14 m/s
Transmission range	250 m
<i>RXThersh</i> and <i>CSThresh</i> (carrier-sense threshold and received threshold)	$3.65262 \times 10^{-10}$ W, $1.559 \times 10^{-11}$ W Two-ray ground reflection model



Transmission / Received /Idle power/ Initial energy	0.6 W / 0.3 W / 0.035W /10J [2][16]
MAC	IEEE 802.11[2][16]

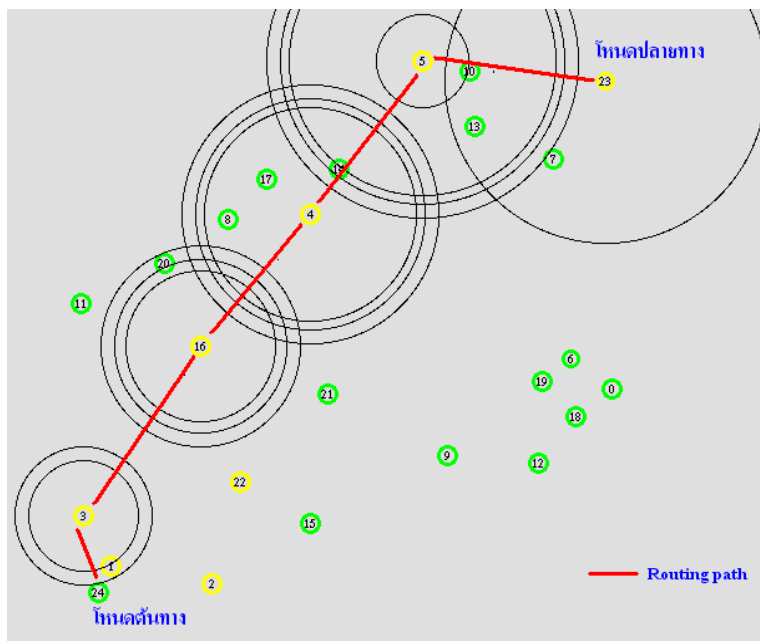
ทำการวัดสมรรถนะของโพรโทคอลโคเร็คเต็ดดิฟฟิวชันในด้านการใช้พลังงานของเซนเซอร์โหนดเมื่อเซนเซอร์โหนดมีการเคลื่อนที่ โดยการวัดค่า Energy consumption จากการจำลอง 5 ครั้งในแต่ละกรณีและนำค่าเฉลี่ยมาใช้ในการวิเคราะห์ผล สำหรับทุกๆการทดลอง ซึ่งค่าพลังงานนี้จะเป็นตัวแสดงให้เห็นว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดและจำนวนเซนเซอร์โหนดจะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของโคเร็คเต็ดดิฟฟิวชัน ซึ่งค่า Energy consumption สามารถหาได้จากฟังก์ชันโมเดลพลังงานที่เพิ่มลงไปในการทดลอง โมเดลพลังงานนี้ถูกพัฒนาขึ้นใช้กับ NS-2 เพื่อบ่งบอกถึงระดับการใช้พลังงานของเซนเซอร์โหนด โดยการกำหนดค่าพลังงานเริ่มต้น (Initial energy) ให้กับเซนเซอร์โหนด ในทุกๆครั้งของการรับส่งข้อมูลของโหนดพลังงานที่กำหนดไว้ในตอนเริ่มต้นจะลดลง โดยที่สามารถกำหนดค่าพลังงานที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลได้ ระดับพลังงานของเซนเซอร์โหนดจะลดลงเท่ากับ ค่าพลังงานที่ใช้ส่ง  $P_{tx} * \text{transmit time}$  และพลังงานที่ใช้รับ  $P_{rcv} * \text{receive time}$  โดยที่  $P_{tx}$  และ  $P_{rcv}$  คือค่ากำลังส่งสัญญาณ (Transmit power) และกำลังรับสัญญาณ (Received power) ตามลำดับ

รูปแบบและลักษณะการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดอาศัย โมเดลการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดซึ่งถูกออกแบบมาเพื่ออธิบายรูปแบบการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดภายในเครือข่าย สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ Random waypoint model ลักษณะการเคลื่อนที่ของแต่ละเซนเซอร์โหนดในโมเดลนี้จะเป็นอิสระจากเซนเซอร์โหนดอื่นๆในเครือข่าย เซนเซอร์โหนดทุกๆตัวในเครือข่ายจะเลือกความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนที่โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (random) ในการเคลื่อนที่แต่ละครั้งเซนเซอร์โหนดจะสุ่มเลือกความเร็วและทิศทางโดยใช้รูปแบบของ Uniform distribution ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่จะถูกสุ่มเลือกขึ้นมาค่าหนึ่งจาก Uniform distribution ในช่วง  $[0, V_{max}]$  เมื่อ  $V_{max}$  คือความเร็วสูงสุดที่กำหนดไว้สำหรับทุกๆโหนดในเครือข่าย และทิศทางในการเคลื่อนที่ที่จะถูกสุ่มเลือกขึ้นมาจาก Uniform distribution ในช่วง 0 ถึง  $\pi$

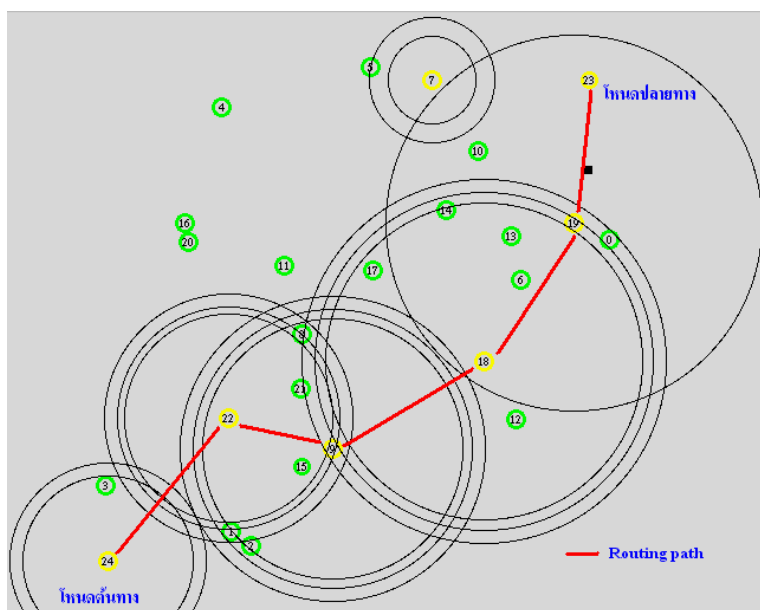
### 3.2.4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลจากการจำลองการทำงาน จะเห็นการส่งข้อมูลของโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางผ่านโหนดต่างๆในเครือข่าย และจากการเพิ่ม Energy model เข้าไปทำให้สามารถตรวจวัดการใช้พลังงาน Energy consumption ขณะทำการจัดเส้นทางเพื่อรับส่งข้อมูลของโหนดในเครือข่าย

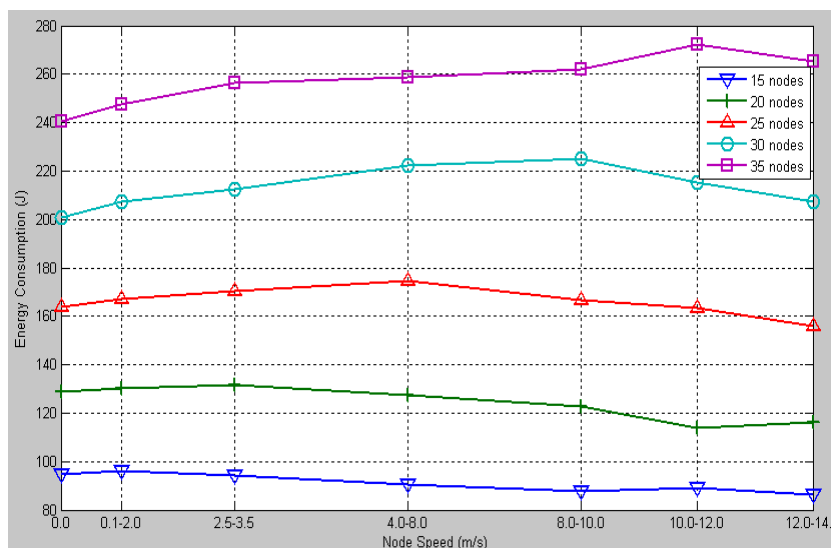
ได้ แสดงดังภาพประกอบ 3-9 และ 3-10 เห็นได้ว่าการรับส่งสัญญาณของโหนดตาม Routing path กรณีที่โหนดไม่มีการเคลื่อนที่และ โหนดมีการเคลื่อนที่แตกต่างกัน ผลจากการที่โหนดเคลื่อนที่จะได้ Routing path เส้นทางใหม่เกิดขึ้น



ภาพประกอบ 3-9 การรับส่งข้อมูลของโหนดตาม Routing path



ภาพประกอบ 3-10 การรับส่งข้อมูลของโหนดตาม Routing path เมื่อ โหนดมีการเคลื่อนที่



ภาพประกอบ 3-11 การใช้พลังงานทั้งหมดของระบบเมื่อโหนดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วในช่วงต่างๆ

จากผลการทดลองในภาพประกอบ 3-11 เมื่อกำหนดให้เครือข่ายมีโหนด 35 โหนด ขณะที่การจัดเส้นทางสำหรับรับส่งข้อมูล โหนดไม่มีการเคลื่อนที่ การใช้พลังงาน (Energy consumption) ทั้งหมดของระบบจะมีค่าน้อยกว่าตอนที่โหนดเริ่มมีการเคลื่อนที่ สังเกตได้ว่าเมื่อโหนดเริ่มมีการเคลื่อนที่ ที่ความเร็ว 0.1-2 m/s ค่าการใช้พลังงานทั้งหมดของระบบก็จะเพิ่มขึ้น และค่าการใช้พลังงานของระบบจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆเมื่อโหนดเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ ค่าการใช้พลังงานของระบบจะเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความเร็วของโหนดอยู่ในช่วง 10-12 m/s และหลังจากความเร็วในช่วงนี้ไป โหนดก็จะมีลักษณะการใช้พลังงานที่น้อยลง สังเกตได้ว่าที่ความเร็ว 12-14 m/s ค่าการใช้พลังงานทั้งหมดของระบบมีค่าน้อยลง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อเครือข่ายมีจำนวนโหนดที่ต่างกัน ช่วงของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดที่ทำให้โหนดใช้พลังงานสูงสุดจะแตกต่างกันด้วย เช่นถ้าในเครือข่ายมีโหนดจำนวน 25 โหนด ช่วงความเร็วที่ทำให้ค่าการใช้พลังงานรวมของระบบมากที่สุดอยู่ที่ความเร็ว 4-8 m/s แต่แนวโน้มหรือลักษณะการใช้พลังงานของแต่ละจำนวนโหนดในเครือข่ายจะเหมือนกัน

จากการที่โหนดทำการรับส่งข้อมูลขณะมีการเคลื่อนที่ จะทำให้มีโอกาสสูงที่ไม่สามารถรับส่งข้อมูลกันได้ เนื่องจากโหนดเคลื่อนที่ออกจากขอบเขตสัญญาณของโหนดฝ่ายส่ง ดังนั้นถ้าข้อมูลที่ส่งแล้วฝ่ายรับไม่ได้รับข้อมูลนั้น การจัดเส้นทางสำหรับรับส่งข้อมูลกันระหว่างโหนดต้นทางและโหนดปลายทางก็ไม่สามารถเกิดขึ้น โหนดก็จะพยายามจัดเส้นทางใหม่ พลังงานที่ใช้ไปก็จะเพิ่มขึ้น ในช่วงที่ความเร็วนี้ก็ยังไม่มีส่งผลกระทบต่อการจัดเส้นทางของโหนด

การเกิด Re-routing ก็มีไม่บ่อยครั้ง การใช้พลังงานก็จะใกล้เคียงกับการที่โหนดไม่มีการเคลื่อนที่ แต่จะมีช่วงความเร็วหนึ่งที่เป็นช่วงที่ส่งผลกระทบต่อโหนดพยายามส่งข้อมูลหรือจัดเส้นทางให้ได้ หรือนั่นก็คือ Re-routing เกิดขึ้นบ่อยมาก การใช้พลังงานในช่วงนี้จะสูงมากกว่าช่วงอื่นๆ โดยช่วงนี้เป็นช่วงที่โหนดในเครือข่ายยังคงสามารถจัดเส้นทางเพื่อรับส่งข้อมูลระหว่างต้นทางและปลายทางได้อยู่ และเมื่อพ้นช่วงความเร็วนี้ไปโหนดจะไม่สามารถทำการรับส่งข้อมูลได้ และไม่สามารถจัดเส้นทางได้เลย การเกิด Re-routing ก็ไม่เกิดขึ้น เนื่องจากโหนดเคลื่อนที่เร็วจนทำให้ไม่สามารถติดต่อกันได้ ซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่าโหนดจะใช้พลังงานน้อยลงเมื่อความเร็วสูงมากๆ

เมื่อพิจารณาถึงกระบวนการรับส่งสัญญาณของโพรโทคอลโคเร็คเตดดิฟฟิวชัน จะเห็นได้ว่าการจัดเตรียมเส้นทางสำหรับรับส่งข้อมูลของโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง โหนดต้นทางจะร้องขอข้อมูลจากโหนดปลายทางโดยการส่งสัญญาณที่เรียกว่า Interest ไปยังโหนดต่างๆในเครือข่าย โหนดปลายทางที่รับ Interest จะส่ง Exploratory data กลับมา หลังจากนั้นโหนดต้นทางก็จะทำการยืนยันเส้นทางโดยการส่ง Reinforcement กลับไปยังปลายทางเพื่อให้ปลายทางส่งข้อมูล (Sensing data) กลับมา ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อทฤษฎีและหลักการ จะเห็นได้ว่าในทุกๆ ขั้นตอนของการรับส่งสัญญาณ ถ้าเกิดโหนดมีการเคลื่อนที่ เช่น ในขั้นตอนของการส่ง Interest ถ้า Interest เกิดสูญหายอันเนื่องมาจากโหนดที่รับ Interest เคลื่อนที่ออกนอกขอบเขตสัญญาณของโหนดฝ่ายส่ง โหนดฝ่ายส่งก็ต้องพยายามที่จะจัดเส้นทางใหม่โดยการส่ง Interest อีกครั้ง และถ้าการเคลื่อนที่ของโหนดไม่เร็วมากจนเกินไปที่ทำให้การพยายามจัดเส้นทางสามารถทำได้ การรับส่งสัญญาณกันของแต่ละโหนดในเครือข่ายก็จะมียาก ผลที่ตามมาคือมีการรับส่งสัญญาณกันเพื่อจัดเตรียมเส้นทางและรับส่งข้อมูล เช่น รับส่ง Exploratory data, Reinforcement, Sensing data เป็นต้น พลังงานรวมของระบบก็จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าโหนดมีการเคลื่อนที่เร็วมาก ถึงแม้ว่าโหนดฝ่ายส่งจะพยายามส่ง Interest แต่โหนดฝ่ายรับวิ่งออกนอกขอบเขตของสัญญาณของตัวส่งก่อนจะได้รับ Interest การรับส่งสัญญาณกันของแต่ละโหนดในเครือข่ายในขั้นต่อไปก็จะมียาก การจัดเส้นทางไม่สามารถทำได้ การใช้พลังงานรวมของระบบก็จะลดลง

ในขั้นตอนของการส่งสัญญาณอื่นๆเช่น Exploratory data, Reinforcement และ Sensing data ก็เช่นเดียวกัน หากการส่งล้มเหลว ก็จะมีการพยายามที่จะส่งสัญญาณใหม่ และลักษณะการใช้พลังงานก็จะสัมพันธ์กับช่วงความเร็วในลักษณะเดียวกันดังที่ได้กล่าวมา

### 3.2.5 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดและจำนวนโหนดมีผลต่อการจัดเส้นทางต่อโพรโทคอลโคเร็คเตดดิฟฟิวชันและการใช้พลังงานของโหนดใน

เครือข่าย โหนดที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่แตกต่างกันและมีจำนวนโหนดในเครือข่ายที่ต่างกันจะมีลักษณะการใช้พลังงานที่ต่างกัน แต่มีแนวโน้มที่เหมือนกัน คือเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดเพิ่มขึ้น ลักษณะการใช้พลังงานของโหนดในเครือข่ายก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงความเร็วในช่วงหนึ่ง แต่หลังจากความเร็วในช่วงนั้น โหนดจะใช้พลังงานน้อยลง

### 3.3 ผลกระทบจากการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุต่อสมรรถนะของโพรโทคอลไคเร็คเต็ดดิฟฟิวชัน

#### 3.3.1 บทนำ

การแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุส่งผลกระทบอย่างสูงต่อประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางของโพรโทคอลการจัดเส้นทาง โดยปกติแล้วสัญญาณวิทยุจะมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยและเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่มอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อม ผลดังกล่าวส่งผลกระทบต่อสัญญาณที่ทำการรับส่งกันของโหนดในเครือข่ายเพื่อที่จะจัดเส้นทางหรือทำการรับส่งข้อมูล ดังนั้นเราจำเป็นจะต้องพิจารณาว่าการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุจะส่งผลอย่างไรบ้างต่อโพรโทคอลการจัดเส้นทางไคเร็คเต็ดดิฟฟิวชัน จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาผลกระทบจากการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุต่อโพรโทคอลไคเร็คเต็ดดิฟฟิวชัน ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองโดยการศึกษา สมรรถนะของโพรโทคอลไคเร็คเต็ดดิฟฟิวชัน ในโมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุที่ต่างกันสองรูปแบบคือ โมเดล Two-ray ground reflection ซึ่งเป็นโมเดลในเชิงอุดมคติที่ผู้ออกแบบโพรโทคอลไคเร็คเต็ดดิฟฟิวชันใช้ในการออกแบบและเปรียบเทียบสมรรถนะโพรโทคอล และโมเดล Shadowing ซึ่งเป็นโมเดลที่ให้คุณลักษณะของสัญญาณใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริง ทำการวัดจำนวนของสัญญาณที่มีการรับส่งกันของโหนดในเครือข่าย และการใช้พลังงานของโหนด โดยทำการวัดที่จำนวนโหนดต่างกันในพื้นที่เดียวกัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า โพรโทคอลไคเร็คเต็ดดิฟฟิวชันที่ถูกใช้ในโมเดล Shadowing มีการให้สัญญาณโพรโทคอลที่สูง และใช้พลังงานมากกว่ากรณีที่เป็นโมเดล Two-ray ground reflection ยิ่งไปกว่านั้นอายุการทำงานของโหนดในเครือข่ายก็สั้น อันเนื่องมาจากการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุที่มีการแกว่ง ผลที่ได้จากการทดลองนี้ทำให้เห็นถึงปัญหาและสามารถวิเคราะห์การให้สัญญาณจากระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไคเร็คเต็ดดิฟฟิวชันได้ดียิ่ง ซึ่งจะเป็แนวทางในการพัฒนากระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไคเร็คเต็ดดิฟฟิวชันต่อไป

#### 3.3.2 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อศึกษาการให้สัญญาณและลักษณะการใช้พลังงานของโหนดในเครือข่าย รวมทั้งวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุต่อกระบวนการจัดเส้นทางของ

โพรโทคอลไดเร็กต์ดีดดิฟฟิวชั่น ทำการวัดปริมาณการให้สัญญาณและการใช้พลังงานของโหนดในกรณีที่ใช้โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุที่แตกต่างกันคือ โมเดล Two-ray ground reflection และโมเดล Shadowing

### 3.3.3 การออกแบบการทดลอง

จำลองการทำงานโดยใช้ NS2 version 2.33 เพิ่มโมเดลพลังงานลงไปเพื่อทำการวัดการใช้พลังงานของโหนดในเครือข่าย ยิ่งกว่านั้นทำการเพิ่มโมเดลการเคลื่อนที่ของโหนด (Random way point model) เพื่อให้โหนดมีการเคลื่อนที่และส่งผลต่อการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุ

กำหนดให้ในเครือข่ายมีจำนวนโหนดสองขนาดคือ Small scale และ Large scale สำหรับ Small scale กำหนดให้เครือข่ายมีโหนดจำนวน 15, 20, 25, 30 และ 35 โหนดตามลำดับ สำหรับ Large scale กำหนดให้เครือข่ายมีโหนดจำนวน 25, 50, 75, 100 และ 125 โหนดตามลำดับ

กำหนดเวลาในการจำลองการทำงานเป็น 70 นาที โหนดอยู่ภายในพื้นที่ 670 เมตร \* 670 เมตร ในทุกๆการทดลองโหนดต้นทางอยู่ที่ตำแหน่ง  $x=70$  เมตร,  $y=70$  เมตร และ  $z=0$  เมตร (เทียบกับจุดอ้างอิงที่กำหนดให้เป็นจุดกำเนิด  $x=0$  เมตร,  $y=0$  เมตร และ  $z=0$  เมตร (ส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางคือโหนดที่อยู่ตำแหน่ง  $x=620$  เมตร,  $y=620$  เมตร และ  $z=0$  เมตร (ในหลายๆการทดลองโหนดต้นทางและโหนดปลายทางไม่มีการเคลื่อนที่) กำหนดให้โหนดทุกโหนดในเครือข่ายมีพลังงานเริ่มต้นที่ 5 J โหนดส่งข้อมูลด้วยกำลังส่งสัญญาณ (Transmit power) 660 mW และรับข้อมูลด้วยกำลังรับสัญญาณ (Received power) 395 mW โดยที่ขอบเขตสัญญาณของโหนดเท่ากับ 250 เมตร [2][16] (ค่าเหล่านี้กำหนดมาจาก AT&T's Wavelan PCMCIA card) รูปแบบการเคลื่อนที่ที่ใช้ของเซนเซอร์โหนดในเครือข่ายเป็นแบบ Random waypoint ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดที่อยู่ในเครือข่ายมีค่า 0.1-2 m/s และช่วงความเร็วมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอกรูป

ในแต่ละขนาดของเครือข่ายทำการการทดลองสองรูปแบบคือ รูปแบบแรกใช้โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุแบบ Two-ray ground reflection รูปแบบที่สองใช้โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุแบบ Shadowing กำหนดให้ Carrier-sense threshold (CSThersh) และ Received threshold (RXThersh) สำหรับโมเดล Two-ray ground reflection มีค่า  $3.65262 \times 10^{-10}$  W,  $1.559 \times 10^{-11}$  W ตามลำดับ สำหรับโมเดล Shadowing มีค่า  $1.082 \times 10^{-14}$  W,  $4.61817 \times 10^{-16}$  W ตามลำดับ ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากการจำลอง 5 ครั้งในแต่ละกรณีและนำค่าเฉลี่ยมาใช้ในการวิเคราะห์ผล สำหรับทุกๆการทดลอง พารามิเตอร์ทั้งหมดที่ใช้ในการจำลองการทำงานแสดงดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 พารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดให้กับการทดลอง

Parameters	Values
Simulation times	70 minutes
Network sizes	15, 20, 25, 30 and 35 nodes (Small scale network) 25, 50, 75, 100 and 125 nodes (Large scale network)
Sink and source nodes	One sink and one source. Sink node's location is $x=70m, y=70, z=0$ Source node's location is $x=620 m, y=620m, z=0$
Dimension of the topology	All sensor nodes, except a sink and a source, are randomly located and moving in $670 m*670 m$
Mobility speed	Uniformly distributed between 0.1-2.0 m/s
Transmission range	250 m
<i>RXThersh</i> and <i>CSThresh</i> (carrier-sense threshold and received threshold)	$3.65262 \times 10^{-10} W, 1.559 \times 10^{-11} W$ for Two-ray ground reflection model $1.082 \times 10^{-14} W, 4.61817 \times 10^{-16} W$ for Shadowing model
Transmission / Received /Idle power/ Initial energy	0.6 W / 0.3 W / 0.035W / 5J [2][16]
MAC	IEEE 802.11[2][16]

### 3.3.4 ตัววัด

เปรียบเทียบสมรรถนะของโพรโทคอลโคเรียคเต็คดีฟิวชั่นเมื่อกำหนดให้ใช้โมเดลสัญญาณวิทยุแตกต่างกัน ในด้านต่างๆดังนี้

1. จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ โพรโทคอลทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดในเครือข่าย สำหรับตัววัดนี้เป็นการวัดจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Interest, Exploratory data, Reinforcement และ Data ทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงทุกๆเหตุการณ์ที่มีการให้สัญญาณของโพรโทคอล

2. จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่ใช้ในการจัดเส้นทางทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดในเครือข่าย ตัววัดนี้เป็นการวัดจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Interest, Exploratory data, และ Reinforcement ทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยไม่นับ

รวมสัญญาณข้อมูล Data) ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงการให้สัญญาณของโพรโทคอลที่ใช้ในการจัดเส้นทาง ก่อนที่จะมีการรับส่งข้อมูล

3. จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณการจัดเส้นทางที่รับส่งได้สำเร็จ ทั้งหมดของ เซนเซอร์โหนดในเครือข่าย

4. จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณการจัดเส้นทางที่รับส่งได้ไม่สำเร็จ ทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดในเครือข่าย เป็นการวัดจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Interest, exploratory data, และ Reinforcement ที่ไม่สำเร็จทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงกระบวนการถึงกระบวนการจัดเส้นทางใหม่ของโพรโทคอล (Re-routing)

5. จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณโพรโทคอลที่รับส่งได้ไม่สำเร็จ ทั้งหมดของ เซนเซอร์โหนดในเครือข่าย เป็นการวัดจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Interest, Exploratory data, Reinforcement และ Data ที่ไม่สำเร็จทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง ซึ่งจะเป็นการรวมกันของ 4. และ Data packet drop

6. พลังงานรวมทั้งหมดที่โหนดในเครือข่ายใช้ ตัววัดนี้เป็นการวัดค่าพลังงานที่ ทุกๆโหนดในเครือข่ายใช้ไปจากการรับส่งสัญญาณโพรโทคอลเพื่อจัดเตรียมเส้นทางและรับส่ง ข้อมูล ตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนกระทั่งหมดเวลาการจำลองการทำงาน

### 3.3.5 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

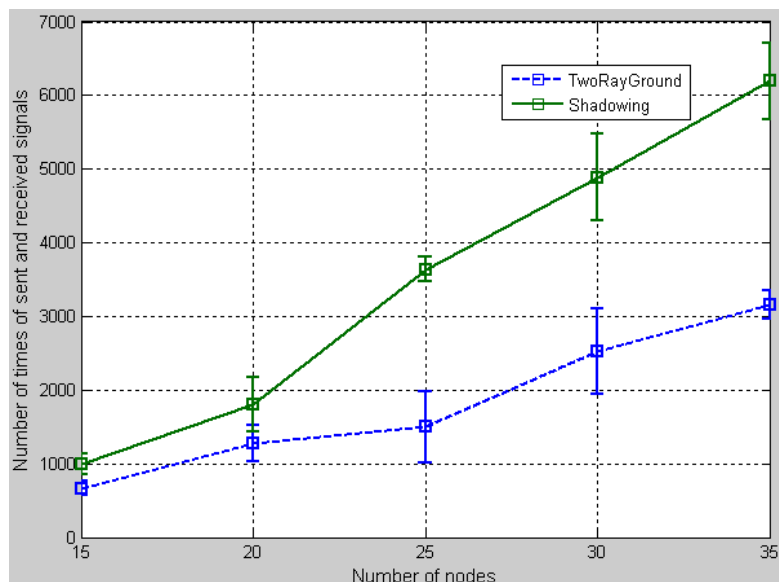
#### 3.3.5.1 เครือข่ายขนาดเล็ก

ในส่วนนี้ได้ทำการทดลองที่เครือข่ายมีโหนดจำนวน 15, 20, 25, 30 และ 35 โหนดตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 3-12 ถึง 3-19 โดยที่ค่า Error bar ที่แสดงใน ผลการทดลองคือค่า Confidence interval

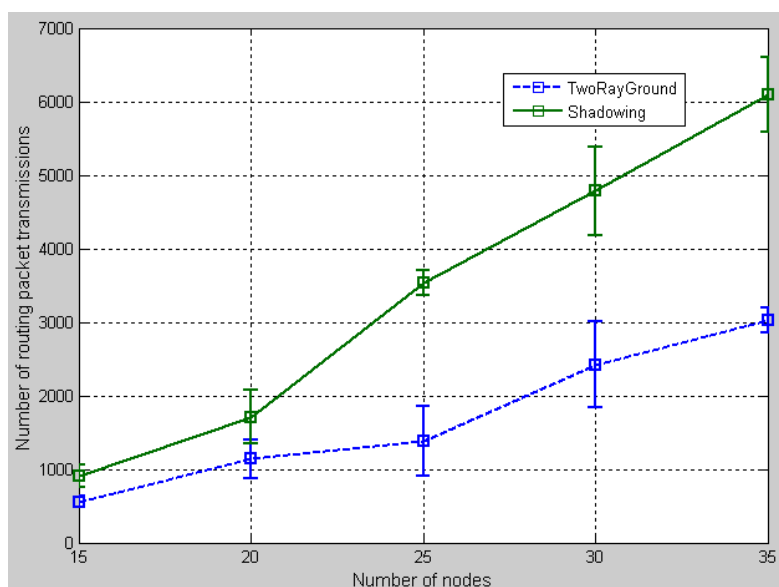
ภาพประกอบ 3-12 และ 3-13 แสดงจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณโพรโทคอล ทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดในเครือข่าย และจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่ใช้ในการจัด เส้นทางทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดในเครือข่าย ภาพประกอบ 3-12 ชี้ให้เห็นว่าจำนวนครั้งในการ รับส่งสัญญาณโพรโทคอล ซึ่งรวมจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Interest, Exploratory data, Reinforcement และ Data ทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทางในกรณี Shadowing สูงกว่ากรณี Two-ray ground reflection ในภาพประกอบ 3-13 ก็เช่นเดียวกัน ซึ่งทั้งสอง รูปสังเกตได้ว่าจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่ใช้ในการจัดเส้นทางของโพรโทคอล สูงกว่า จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณข้อมูล Data ดังนั้นเห็นได้ชัดว่าการปรับปรุงพัฒนากระบวนการจัด



เส้นทางโพรโทคอลให้มีประสิทธิภาพลดการให้สัญญาณที่มากเกินไปจนความจำเป็นของโพรโทคอลจะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานของโหนดในเครือข่ายได้



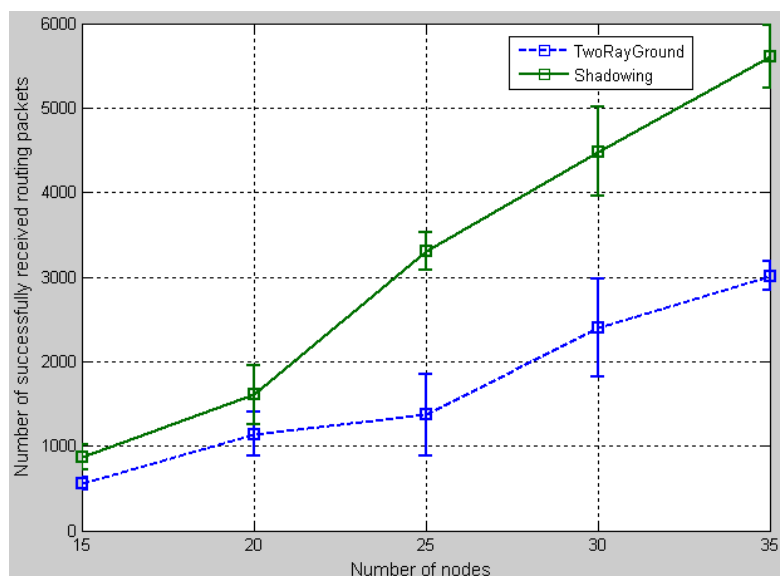
ภาพประกอบ 3-12 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณโพรโทคอล



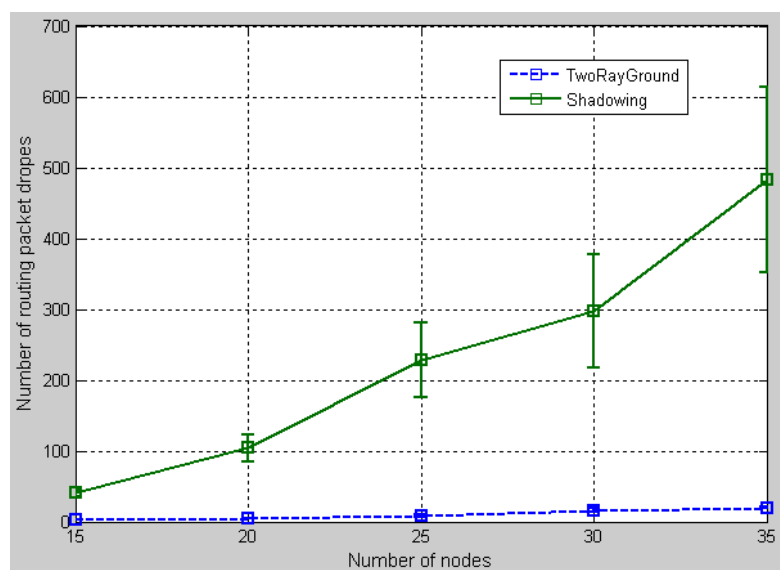
ภาพประกอบ 3-13 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่ใช้ในการจัดเส้นทาง

ภาพประกอบ 3-14, 3-15 และ 3-18 แสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดจากการแกว่งของสัญญาณวิทยุ จะเห็นได้ว่าจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่รับส่งได้ไม่สำเร็จ Packet drop จะสูงมากกรณีที่เป็น Shadow fading ยิ่งไปกว่านั้นจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่รับส่งได้ไม่สำเร็จ Packet drop เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มจำนวนโหนดในเครือข่าย ซึ่งการเพิ่มขึ้นของจำนวน Packet drop

จะทำให้โหนดสูญเสียพลังงานในการส่งสัญญาณ จากผลการทดลองที่ได้สามารถอธิบายได้ว่า ในกรณีที่ใช้โมเดลการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุเป็นแบบ Shadowing ผลจาก Fading จะทำให้จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณและจำนวน packet drop เกิดสูง ก่อนที่จะมีการจัดเส้นทางได้สำเร็จ ผลที่ตามมาคือโหนดในเครือข่ายจะให้พลังงานมากในการพยายามที่จะจัดเส้นทางให้สำเร็จ ภาพประกอบ 3-19 แสดงให้เห็นถึงผลดังกล่าว เมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายเพิ่มขึ้น การใช้พลังงานของโหนดก็มากขึ้นตาม



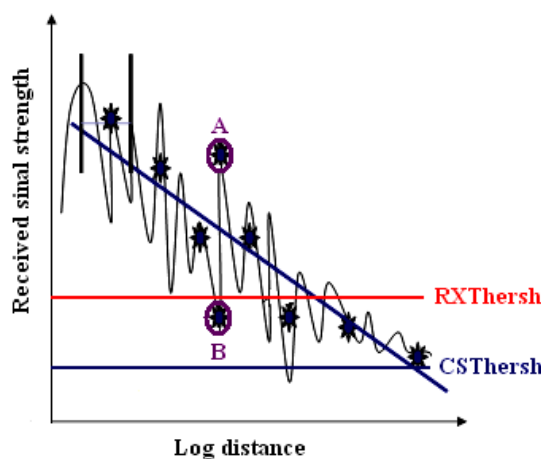
ภาพประกอบ 3-14 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณการจัดเส้นทางที่รับส่งได้สำเร็จ



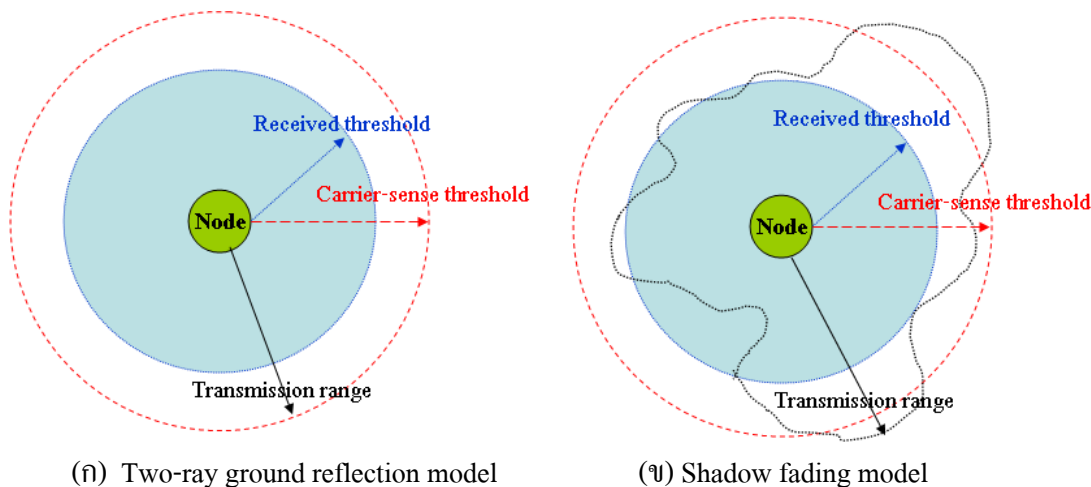
ภาพประกอบ 3-15 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณการจัดเส้นทางที่รับส่งได้ไม่สำเร็จ

จากภาพประกอบ 3-12 ถึง 3-19 สาเหตุที่ Fading ทำให้จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณจนส่งผลให้โหนดในเครือข่ายใช้พลังงานสูง สามารถอธิบายได้ว่า ในกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไดเรกต์เคดดิฟฟิวชั่น โหนดต้นทางต้องการข้อมูลจากโหนดปลายทาง โดยการกระจายข้อความ Interest ไปยังทุกๆ โหนดในเครือข่ายด้วยกระบวนการ Flooding เช่นเดียวกัน เมื่อโหนดปลายทางรับข้อความ Interest นั้นๆ โหนดปลายทางก็จะส่งข้อความ Exploratory data กลับไปยังทุกๆ เส้นทางที่รับข้อความ Interest มาจนถึงโหนดต้นทาง สัญญาณ Interest และ Exploratory data นี้ก่อให้เกิดการให้สัญญาณการจัดเส้นทางที่มากเกินไป และส่งผลให้โหนดมีการใช้พลังงานที่สูง อันเป็นผลมาจากกระบวนการ Flooding และยิ่งกว่านั้นเมื่อมีการเพิ่มโมเดล Shadowing ที่มีลักษณะการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริง ยิ่งทำให้เห็นถึงปัญหาดังกล่าวชัดขึ้นอีก

ในกรณีโมเดล Shadowing โหนดมีโอกาสสูงที่จะไม่สามารถรับส่งสัญญาณได้สำเร็จ เนื่องจากผลของ Fading โปรแกรมจำลองการทำงาน NS2 ใช้โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุในการคำนวณหาค่าความแรงของสัญญาณที่โหนดรับได้ ถ้าโหนดรับกลุ่มข้อมูลด้วยค่าความแรงของสัญญาณที่สูงกว่า Received threshold หรือ RXThresh โหนดก็จะรับกลุ่มข้อมูลนั้นได้ ถ้าค่าความแรงของสัญญาณอยู่ระหว่าง Received threshold และ Carrier-sense threshold หรือ CSThresh โหนดก็จะรับกลุ่มข้อมูลนั้นได้แต่แบบมีความผิดพลาด ส่วนสัญญาณที่อยู่นอกขอบเขตสัญญาณของโหนดฝ่ายส่ง ค่าความแรงของสัญญาณนั้นจะต่ำกว่า Carrier-sense threshold โหนดจะไม่สามารถรับสัญญาณนั้นๆ ได้ แสดงดังภาพประกอบ 3-16

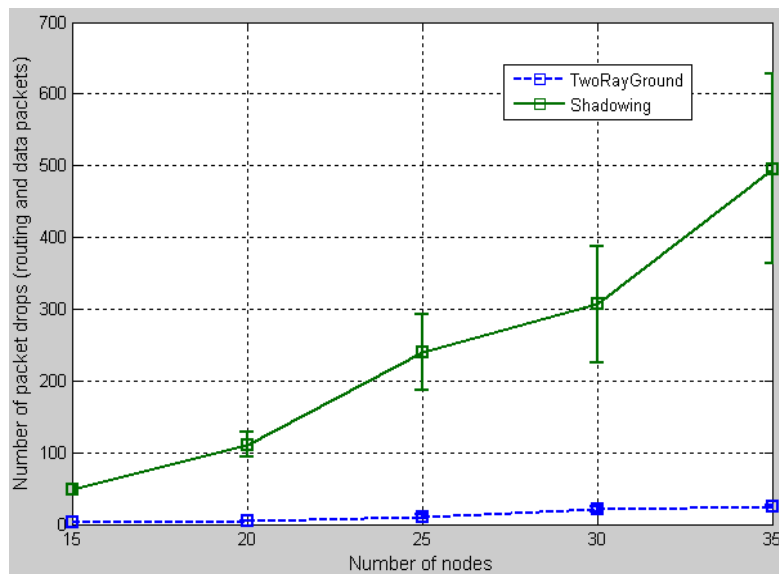


ภาพประกอบ 3-16 ค่าความแรงของสัญญาณที่โหนดรับได้ต่อระยะทาง

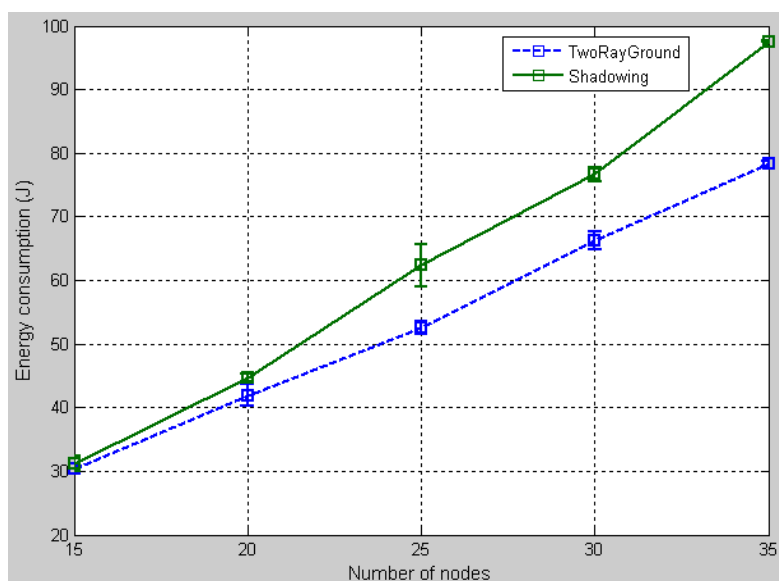


ภาพประกอบ 3-17 ขอบเขตของสัญญาณของโหนด

กรณีที่ไม่เกิดการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุเป็นแบบ Two-ray ground reflection ความแรงของสัญญาณที่โหนดรับได้เป็นผลมาจากระยะทางระหว่างโหนดเท่านั้น กล่าวคือโหนดฝ่ายรับที่อยู่ในขอบเขตสัญญาณ (Transmission range) ซึ่งเป็นวงกลม ดังภาพประกอบ 3-17 (ก) สามารถรับกลุ่มข้อมูลจากโหนดฝ่ายส่งได้ แต่เหตุการณ์ลักษณะนี้เป็นเชิงอุดมคติไม่ตรงกับในทางปฏิบัติจริง ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะมีการแกว่งในทุกๆระยะทางที่โหนดทำการรับส่งสัญญาณหรือ Packet นั้นๆในสภาพแวดล้อมจริง ความแรงของสัญญาณมีการแกว่งในลักษณะแบบสุ่มและมีความแปรปรวน ดังนั้นถึงแม้ว่าโหนดฝ่ายรับจะอยู่ใกล้หรืออยู่ในขอบเขตสัญญาณของโหนดฝ่ายส่ง ก็มีโอกาสสูงที่โหนดจะรับสัญญาณด้วยความแรงของสัญญาณที่ต่ำกว่า Received threshold หรือ Carrier-sense threshold ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นในโมเดล Shadowing แสดงดังภาพประกอบ 3-17 (ข) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการกำหนดให้โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุเป็นแบบ Shadowing จะทำให้โปรโตคอลการจัดเส้นทางมีลักษณะการให้สัญญาณโปรโตคอลที่สูงกว่ากรณีโมเดล Two-ray ground reflection ทั้งนี้เนื่องจากในกรณีโมเดล Shadowing มีโอกาสสูงที่โหนดจะไม่ประสบความสำเร็จในการรับส่งสัญญาณโปรโตคอล เช่น สัญญาณ Interest และ Exploratory data ซึ่งเป็นผลของ Fading จึงมีโอกาสูงที่ความแรงของสัญญาณที่รับได้จะต่ำกว่า Received threshold หรือรับสัญญาณที่มีความผิดพลาดสูง หรือไม่สามารรับสัญญาณได้เลยเนื่องจากความแรงของสัญญาณที่รับได้จะต่ำกว่า Carrier-sense threshold ดังนั้นเป็นไปได้สูงที่ไม่สามารถจัดเส้นทางได้สำเร็จ โหนดในเครือข่ายจึงพยายามที่จะจัดเส้นทางให้ได้ Re-routing เป็นผลให้จำนวนครั้งของการรับส่งสัญญาณโปรโตคอลมากกว่ากรณี Two-ray ground reflection model และทำให้โหนดใช้พลังงานเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบ 3-18 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณโปรโตคอลที่รับส่งได้ไม่สำเร็จ

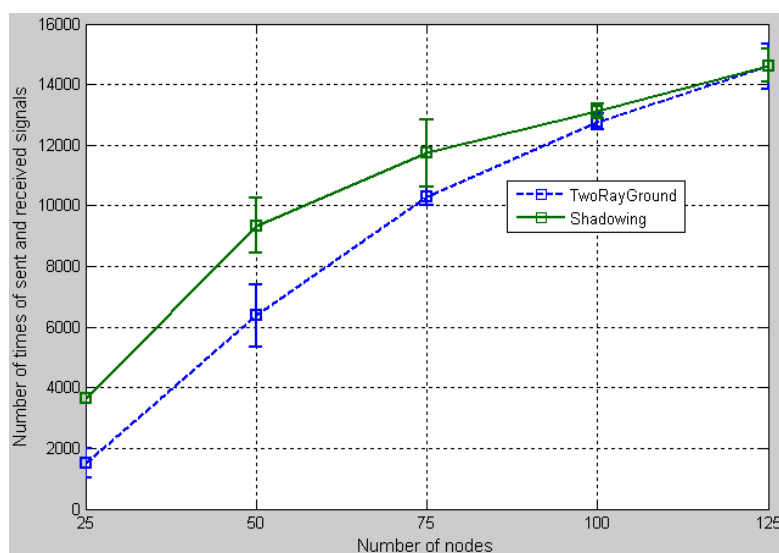


ภาพประกอบ 3-19 พลังงานรวมทั้งหมดที่โหนดในเครือข่ายใช้

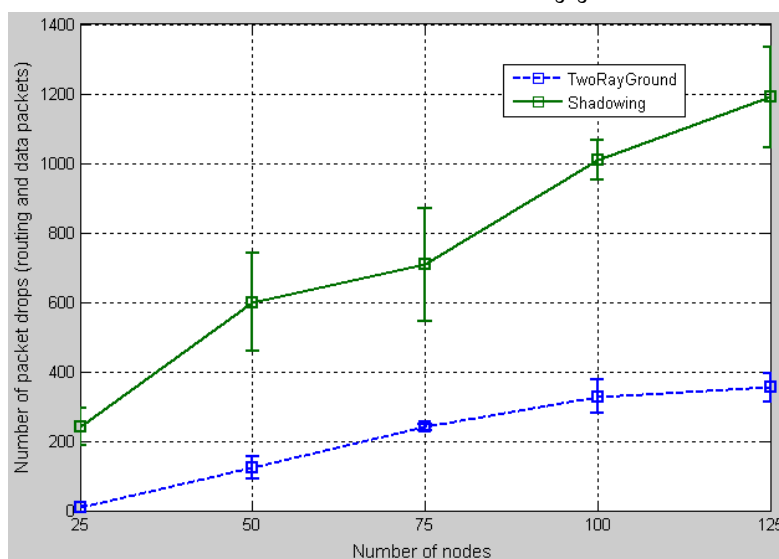
### 3.3.5.2 เครือข่ายขนาดใหญ่

ในส่วนนี้เป็นการแสดงให้เห็นถึงผลของ Shadowing fading ต่อสมรรถนะของโปรโตคอลเมื่อพิจารณาขนาดของโหนดในเครือข่ายเป็น 25 ถึง 125 โหนด ในการทดลองนี้ผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 3-20 ถึง 3-22 ทั้งสามรูปมีลักษณะแนวโน้มที่เหมือนกันกับกรณีเครือข่ายขนาดเล็ก ภาพประกอบ 3-21 มีแนวโน้มของผลการทดลองที่เป็นลักษณะเดียวกันกับภาพประกอบ 3-18

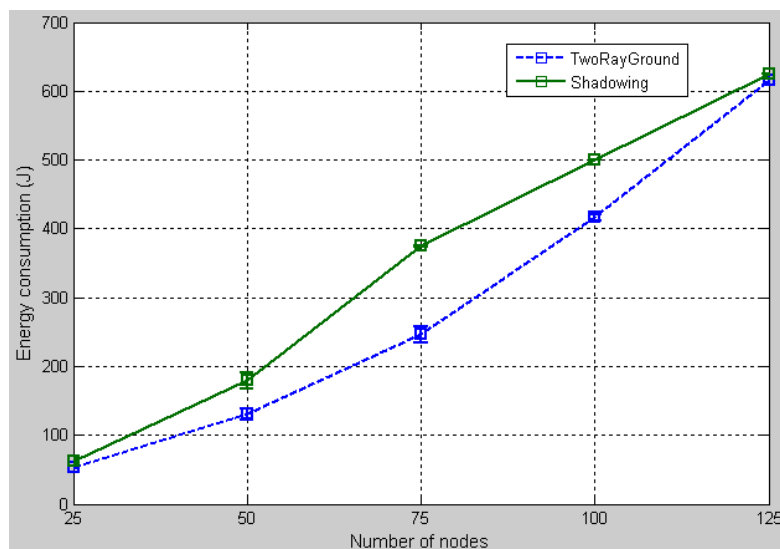
ภาพประกอบ 3-20 และ 3-22 ก็เช่นเดียวกันแนวโน้มเป็นลักษณะเพิ่มขึ้น แต่ที่ขนาดของจำนวนโหนดเป็น 100 และ 125 กราฟที่ได้มีลักษณะลู่เข้าก็เป็นเพราะโหนดโดยส่วนใหญ่ในเครือข่ายหมดพลังงานไม่สามารถรับส่งสัญญาณได้ก่อนที่จะหมดเวลาจำลองการทำงาน จะเห็นว่าจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณและการใช้พลังงานจะค่อยๆเพิ่มขึ้นในช่วงขนาดจำนวนโหนดเป็น 75 โหนดเป็นต้นไป และ จำนวนโหนดที่หมดพลังงานกรณี Shadowing ก็มากกว่า กรณี Two-ray ground reflection จากผลการทดลองสังเกตได้ว่าในกรณี Shadowing ที่ขนาดจำนวนโหนดเป็น 100 และ 125 โหนดในเครือข่ายจะพยายามจัดเส้นทางให้ได้ตลอดเวลาจำลองการทำงาน ไม่มีการรับส่งสัญญาณ Data เกิดขึ้นที่ขนาดของเครือข่ายนี้ ผลทำให้โหนดโดยส่วนใหญ่หมดพลังงาน และไม่สามารถดำเนินกระบวนการจัดเส้นทางได้สำเร็จ



ภาพประกอบ 3-20 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณโปรโตคอล



ภาพประกอบ 3-21 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณโปรโตคอลที่รับส่งได้ไม่สำเร็จ



ภาพประกอบ 3-22 พลังงานรวมทั้งหมดที่โหนดในเครือข่ายใช้

### 3.3.6 สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการแสดงให้เห็นถึงปัญหาในประเด็นวิจัยที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ โพรโทคอล ใดเร็คเต็คติฟไฟวชั่น ในสภาพแวดล้อมการใช้งานที่ต่างกัน โมเดลการแพร่กระจาย สัญญาณวิทยุที่ให้ผลการทดลองที่ต่างกันถูกนำเสนอในการทดลองข้างต้น Two-ray ground reflection โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุในอุดมคติ และเป็นโมเดลที่ผู้ออกแบบโพรโทคอล ใดเร็คเต็คติฟไฟวชั่น ใช้ในการออกแบบและเปรียบเทียบสมรรถนะโพรโทคอลไม่เพียงพื่อต่อการศึกษผลกระทบที่เกิดจากการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุต่อกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอล ใดเร็คเต็คติฟไฟวชั่น เนื่องจากไม่ได้พิจารณา การแกว่งของสัญญาณวิทยุที่โหนดรับเข้าไป Shadowing model ได้เพิ่มประเด็นดังกล่าวเข้าไปซึ่งใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง Shadowing Fading ทำให้เห็นถึงปริมาณการให้สัญญาณที่เพิ่มขึ้น และการใช้พลังงานที่สูงขึ้นของ โพรโทคอล ใดเร็คเต็คติฟไฟวชั่น ผลที่ได้จากการทดลองนี้ทำให้เห็นถึงปัญหาซึ่งจะทำให้เห็น แนวทางในการพัฒนากระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอล ใดเร็คเต็คติฟไฟวชั่นต่อไปในบทที่ 4

## บทที่ 4

### การลดสัญญาณ Exploratory Data สำหรับโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชันในเครือข่าย เซนเซอร์ไร้สาย

บทนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชัน ตามวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ โดยวิธีการลดการให้สัญญาณ Exploratory data ของโหนดในเครือข่าย ซึ่งได้แนวทางในการพัฒนาจากบทที่ 3 ที่แสดงให้เห็นถึงปัญหาหรือ ข้อจำกัดของโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชัน เดิม ผู้วิจัยได้พัฒนากระบวนการจัดเส้นทางโดยการ ปรับปรุงขั้นตอนการให้สัญญาณ Exploratory data และทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของโพรโทคอลที่นำเสนอกับโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชัน

#### 4.1 บทนำ

ในกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชัน โหนดต้นทางจะทำการส่งข้อความ Interest โดยวิธีการ Flooding ไปยังโหนดต่างๆในเครือข่ายเพื่อค้นหาโหนดปลายทาง ขั้นตอนนี้เรียกว่า Interest propagation เมื่อโหนดปลายทางรับข้อความ Interest แล้ว โหนดปลายทางจะส่งข้อความ Exploratory data ตอบกลับไปยังเครือข่ายในทุกๆเส้นทางที่รับข้อความ Interest มา จนกระทั่งถึงโหนดต้นทาง ขั้นตอนนี้เรียกว่า Exploratory data propagation หลังจากนั้น โหนดต้นทางจะทำการยืนยันเส้นทางกลับไปยังปลายทางเพื่อที่จะใช้เส้นทางนั้นสำหรับรับส่งข้อมูลที่ได้จากการตรวจหา กลับมายังโหนดต้นทาง

ขั้นตอนของการส่งข้อความ Interest และ Exploratory data ของโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชัน เป็นวิธีการที่ทำให้เซนเซอร์โหนดในเครือข่ายใช้พลังงานมาก ในระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเซนเซอร์โหนดมีพลังงานที่จำกัดจากแบตเตอรี่ และในบางงานอาจมีความยากที่จะเปลี่ยนแบตเตอรี่ให้แก่เซนเซอร์โหนดทั้งหมดพลังงาน ดังนั้นความสามารถในการประหยัดพลังงานของเซนเซอร์โหนดจึงเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณาในการออกแบบโพรโทคอล จากข้อจำกัดในกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชันที่มีผลต่อการใช้พลังงาน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนากระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชัน วิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้คือ การลดสัญญาณ Exploratory data ในเครือข่ายในขั้นตอนที่โหนดปลายทางส่งข้อความ Exploratory data กลับมายังโหนดต้นทางเพื่อที่จะทำการยืนยันเส้นทางสำหรับรับส่งข้อมูล ซึ่งในปัจจุบันวิธีการลดการให้สัญญาณของโพรโทคอลที่มากเกินไปในเครือข่าย ยังคงเป็นประเด็นวิจัยในการออกแบบโพรโทคอลทางด้านระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย



จากการทบทวนวรรณกรรมในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยส่วนใหญ่ นักวิจัยได้นำเสนอวิธีการลดการให้สัญญาณของโพรโทคอลไคเร็กเตดดิฟฟิวชันในขั้นตอนของการส่งข้อความ Interest (Interest propagation) มีงานวิจัยจำนวนน้อยที่สนใจพัฒนาโพรโทคอลเพื่อลดสัญญาณ Exploratory data ยกตัวอย่างเช่นงานวิจัยที่ [17] ในงานวิจัยนี้ เซนเซอร์โหนดในเครือข่ายจะทำการตรวจสอบข้อความ Exploratory data ที่ถูกส่งมาจากโหนดปลายทางโดยวิธีการดูรายละเอียดในข้อความที่เรียกว่า Packet identifier ถ้าเคยรับข้อความนั้นแล้วก็จะปฏิเสธการรับครั้งนั้นๆ เพื่อเป็นการลดจำนวนการส่งข้อความเดียวกันไปยังโหนดอื่นๆในเครือข่าย วิธีการนี้สามารถลดจำนวนการให้สัญญาณของโพรโทคอลไคเร็กเตดดิฟฟิวชันและส่งผลให้เซนเซอร์โหนดสามารถประหยัดพลังงานจากการลดจำนวนการรับส่งสัญญาณ Exploratory data แต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวเซนเซอร์โหนดในเครือข่ายยังคงมีการให้สัญญาณโพรโทคอลที่มากอยู่ เนื่องจากเซนเซอร์โหนดจำนวนทั้งหมดในเครือข่ายมีการรับและส่งข้อความ Exploratory data ในครั้งแรกที่ยังไม่เคยรับข้อความนี้

บทนี้ได้นำเสนอวิธีการลดการให้สัญญาณของโพรโทคอลไคเร็กเตดดิฟฟิวชัน โดยวิธีการลดจำนวนการรับส่งข้อความ Exploratory data ซึ่งเรียกว่า Exploratory Data Reduction (EDR) ในวิธีการที่นำเสนอนี้ จำนวนครั้งของการรับส่งสัญญาณ Exploratory data ในเครือข่ายจะถูกลดลง จากการกำหนดให้โหนดเลือกส่งข้อความ Exploratory data ได้เฉพาะบางโหนดที่อยู่ใกล้เคียงในขอบเขตสัญญาณของโหนดเอง โหนดข้างเคียงที่รับข้อความนี้ไปก็จะดำเนินการในลักษณะเดียวกัน การที่โหนดเลือกส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงใดบ้างนั้น จะบ่งบอกถึงจำนวนเส้นทางที่เกิดขึ้นในเครือข่ายในขั้นตอน Exploratory propagation โดยกระบวนการของโพรโทคอลไคเร็กเตดดิฟฟิวชันแล้ว จะมีแค่เพียงเส้นทางเดียวที่ถูกยืนยันซึ่งนั่นก็คือเส้นทางที่ข้อความ Exploratory data ถูกส่งกลับมายังต้นทางเร็วที่สุด เส้นทางอื่นๆที่เกิดขึ้นก็จะเป็นทางเลือกหรือเป็นเส้นทางสำรองในกรณีที่เส้นทางแรกเสียหายจนสูญเสียการติดต่อจากกรณีใดๆก็ตาม เช่น โหนดภายในเส้นทางหมดพลังงาน ถูกทำลายจากสภาพแวดล้อม โหนดได้รับผลกระทบจากการแกว่งของสัญญาณวิทยุ และการเคลื่อนที่ของโหนดในเครือข่าย เป็นต้น ในการกำหนดว่าโหนดจะส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงจำนวนกี่โหนดนั้นจะถูกพิจารณาจากลักษณะสภาพแวดล้อมของเครือข่าย วิธีการที่นำเสนอแตกต่างจากวิธีการส่งข้อความ Exploratory data ในรูปแบบเดิม (Original directed diffusion) กล่าวคือในโพรโทคอลรูปแบบเดิมนั้นโหนดจะส่งข้อความ Exploratory data ไปยังทุกๆโหนดที่อยู่ข้างเคียงในขอบเขตสัญญาณที่ส่งข้อความ Interest มา ถึงแม้ว่าวิธีการในแบบเดิมนั้นจะ Robust กว่า กล่าวคือมีจำนวนเส้นทางมากพอให้โหนดต้นทางเลือกเพื่อยืนยันเส้นทางในการรับส่งข้อมูลกรณีที่มีหลายเส้นทางได้รับความเสียหาย แต่อย่างไรก็ตามวิธีการแบบเดิมก็ไม่ได้มีความเหมาะสมในทุกๆเหตุการณ์และโหนดในเครือข่ายยังต้องใช้เวลาในการกำหนดเส้นทางและพลังงานที่มากกว่า

อย่างไรก็ตามวิธีการที่นำเสนอ Exploratory Data Reduction (EDR) ก็ยังคงมีข้อจำกัดอยู่ ในการกำหนดว่าโหนดจะส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงจำนวนกี่โหนด ถูกกำหนดขึ้นในขั้นตอนเริ่มต้นโดยผู้ออกแบบ โดยพิจารณาจากสภาพแวดล้อมที่กำหนดให้กับโปรแกรมจำลองการทำงานซึ่งขึ้นอยู่กับหลายๆปัจจัย เช่น การเคลื่อนที่ของโหนด และ โมเดลการเคลื่อนที่ของสัญญาณวิทยุ เป็นต้น โดยที่การกำหนดดังกล่าวไม่ได้เกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้น ณ ขณะนั้น

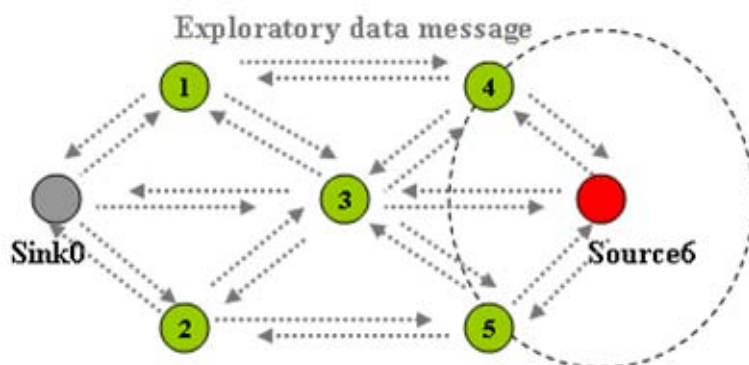
งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึง วิธีการลดจำนวนเส้นทางหรือจำนวนโหนดข้างเคียงที่จะส่งข้อความ Exploratory data และผลที่เกิดจากวิธีการนั้น EDR ที่นำเสนอบ่งบอกว่าถ้าเกิดสภาพแวดล้อมในเครือข่ายส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะของสัญญาณวิทยุและมีผลต่อการรับส่งข้อมูลของโหนดดังที่กล่าวในเบื้องต้น ก็จำเป็นที่จะต้องสำรองเส้นทางไว้กรณีที่เป็นไปได้ว่าเส้นทางแรกหรือเส้นทางอื่นๆเกิดเสียหาย

ผลจากการจำลองการทำงานโดยโปรแกรม NS2 แสดงให้เห็นว่าโพรโทคอลที่นำเสนอสามารถลดจำนวนครั้งการรับส่งข้อความ Exploratory data ของโหนดในเครือข่ายได้ หรือนั่นก็คือสามารถลดการให้สัญญาณที่มากเกินไปของโพรโทคอล ไคเร็คเต็คดิฟฟิวชัน รูปแบบเดิมส่งผลให้โหนดในเครือข่ายสามารถประหยัดพลังงาน และโหนดใช้เวลาในการจัดเส้นทางสำหรับรับส่งข้อมูลได้รวดเร็วกว่ากรณีการทำงานของโพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชันรูปแบบเดิม

ในหัวข้อถัดไปของบทนี้ จะอธิบายถึงกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลที่นำเสนอ จากนั้นจะเป็นส่วนของ การศึกษาผลกระทบจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดและการแกว่งของสัญญาณวิทยุ สุดท้ายเป็นส่วนของการทดลองการลดสัญญาณ Exploratory data

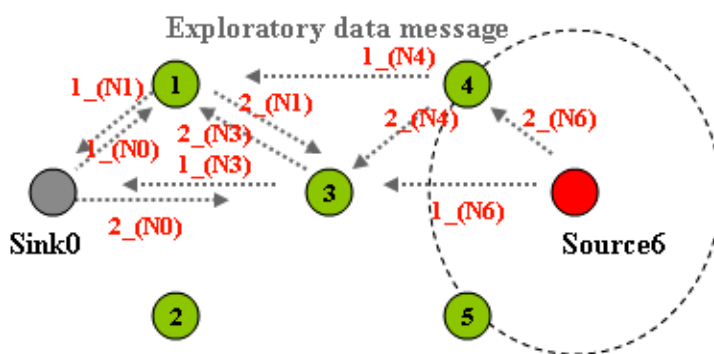
#### 4.2 การลดสัญญาณ Exploratory data

จากที่ได้กล่าวในตอนต้น โพรโทคอลไคเร็คเต็คดิฟฟิวชันแบบเดิม โหนดปลายทางค้นหาโหนดต้นทางโดยการส่งข้อความ Exploratory data กลับไปยังทุกเส้นทางที่มีการรับข้อความ Interest มา ผลจากกระบวนการดังกล่าวทำให้โหนดในเครือข่ายใช้พลังงานสิ้นเปลืองจากการรับส่งข้อความ Exploratory data ที่มากเกินไปจนเกินไป แสดงดังภาพประกอบ 4-1



ภาพประกอบ 4-1 การส่งข้อความ Exploratory data ของโพรโทคอลโคเร็คเต็ดคิฟิวซ์ในรูปแบบเดิม

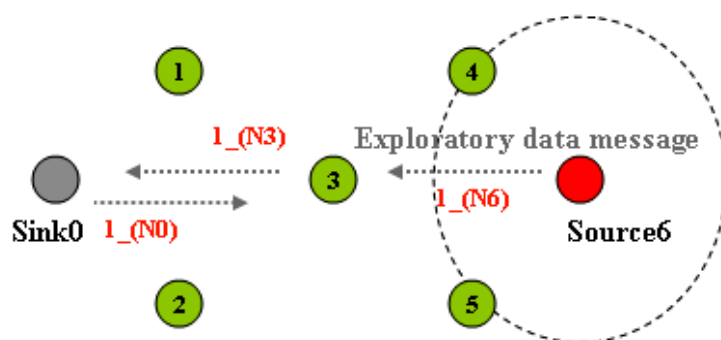
จะเห็นได้ว่าหลังจากที่โหนดปลายทาง Source6 รับข้อความ Interest จากโหนดในเครือข่ายที่ถูกส่งจากโหนดต้นทาง Sink0 ในขั้นตอน Interest propagation แล้ว โหนดปลายทางจะส่งข้อความ Exploratory data กลับไปยังทุกๆ เส้นทางที่มีการรับข้อความ Interest มาจนกระทั่งถึงโหนดต้นทาง Sink0 สำหรับโพรโทคอลที่นำเสนอเรียกว่า Exploratory Data Reduction แสดงวิธีการทำงานดังภาพประกอบ 4-2



ภาพประกอบ 4-2 การส่งข้อความ Exploratory data ของโพรโทคอล EDR

หลังจากที่โหนดปลายทาง Source6 รับข้อความ Interest แล้ว จะตัดสินใจส่งข้อความ Exploratory data กลับไปยังโหนดที่ส่งข้อความ Interest เข้ามาเฉพาะข้อความ Interest ที่รับมาในลำดับแรก และลำดับที่สองโดยการตรวจสอบจากตารางการจัดเส้นทาง (Routing table) ของโหนดเอง กรณีนี้คือกำหนดให้ทุกๆ โหนดในเครือข่ายสามารถส่งข้อความ Exploratory data ตอบกลับไปยังโหนดที่ส่งข้อความ Interest มาจำนวนสองโหนด จากรูปจะเห็นได้ว่าหลังจาก Source6 ตรวจสอบตารางการจัดเส้นทางของโหนดเองก็จะส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดที่ 3 เป็นลำดับแรก 1\_(N6) และส่งไปยังโหนดที่ 4 เป็นลำดับที่สอง 2\_(N6) (โดยที่ตัวเลขตัวหน้าบ่งบอกว่า เป็นลำดับใดที่ส่งข้อความออกไป N หมายถึง โหนด และตัวเลขที่ตามหลัง N หมายถึง โหนดที่เท่าไรที่ส่งข้อความออกไป) จะเห็นได้ว่า Source6 จะไม่ส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดที่ 5 เนื่องจากว่าโหนดที่ 5 ส่งข้อความ Interest มาในลำดับที่สาม เมื่อโหนด 3 รับข้อความไปแล้วก็จะส่งต่อ Exploratory data ไปยังโหนดที่ 0

(1\_(N3)) และ โหนดที่ 1 (2\_(N3)) ตามลำดับ ส่วน โหนดที่ 4 และ โหนดอื่นๆ ที่รับข้อความ Exploratory data ไปแล้วจะดำเนินตามกระบวนการดังกล่าวเช่นเดียวกัน ผลที่ได้จากการที่แต่ละ โหนดรับส่งข้อความเฉพาะสองโหนดข้างเคียง จะเกิดสองเส้นทางที่เป็นเส้นทางที่โหนดปลายทางติดต่อกับโหนดต้นทางได้เร็วสุด (Sink0-3-Source6) และรองลงมา (Sink0-1-4-Source6) โหนดต้นทาง Sink0 จะทำการยืนยันเส้นทางแค่เพียงหนึ่งเส้นทางซึ่งนั่นก็คือเส้นทางที่ Exploratory data ตอบกลับมาเร็วที่สุดเพื่อเป็นเส้นทางสำหรับรับส่งข้อมูล ส่วนเส้นทางอื่นใช้เส้นทางสำรองกรณีเส้นทางแรกเกิดเสียหายจากกรณีใดๆก็ตาม



ภาพประกอบ 4-3 การส่งข้อความ Exploratory data ของ EDR

ภาพประกอบ 4-3 แสดงการส่งข้อความ Exploratory data ของ EDR โหนดจะเลือกส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงเพียงโหนดเดียวที่รับข้อความ Interest มาเร็วที่สุด นั่นก็คือ Source6 ส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดที่ 3 1\_(N6) เพียงโหนดเดียว โหนดอื่นๆ ดำเนินการในลักษณะเดียวกัน การเลือกส่งเพียงแค่โหนดเดียวทำให้โหนดประหยัดพลังงานได้สูงสุดจากการลดจำนวนการรับส่งข้อความ Exploratory data ในเครือข่าย และใช้เวลาน้อยในขั้นตอนการจัดเส้นทาง

EDR สามารถกำหนดได้ว่าจะให้โหนดเลือกที่จะส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงจำนวนกี่โหนดก็เพื่อที่จะให้เกิดประโยชน์ในการใช้งาน ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในหลายด้าน ยกตัวอย่างเช่น ถ้าระบบเครือข่ายที่เซนเซอร์โหนดไม่มีการเคลื่อนที่และการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุในพื้นที่ใช้งานได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมน้อย เป็นต้น อาจจะไม่มีความจำเป็นที่จะต้องสำรองหรือเตรียมเส้นทางไว้จำนวนมาก เนื่องจากว่ามีโอกาสสูงที่การเตรียมเส้นทางเพียงแค่นึงหรือสองเส้นทางแล้วเส้นทางนั้นสามารถใช้งานได้ ก็จะสามารถลดเวลาในการรับส่งสัญญาณและประหยัดพลังงานให้กับโหนดได้มากส่งผลให้โหนดมีอายุการทำงานที่ยาวนานขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าระบบเครือข่ายได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมสูง เช่น เซนเซอร์โหนดมีการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง การแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมสูง การสำรองเส้นทางไว้ในจำนวนที่มากขึ้นก็มีความจำเป็น ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสการจัดเส้นทางให้สำเร็จสูงขึ้น

#### 4.3 ผลกระทบจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดและการแกว่งของสัญญาณวิทยุ

โดยปกติแล้วสภาพแวดล้อมในเครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงบ่อย การกำหนดจำนวนของโหนดข้างเคียงของ EDR ที่จะส่งข้อความ Exploratory data ไปนั้น สามารถพิจารณาได้จากความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นในเครือข่ายขณะที่โหนดมีการจัดเส้นทาง การกำหนดจำนวนของโหนดข้างเคียงสามารถพิจารณาได้จาก ความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดในเครือข่าย และการแกว่งของสัญญาณวิทยุ อย่างไรก็ตามการทดลองในหัวข้อนี้ เป็นการทดลองที่สุ่มมาเพื่อศึกษาผลกระทบจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดในเครือข่าย และการแกว่งของสัญญาณวิทยุ ส่วนการทดลองที่มีการวิเคราะห์ผลทางสถิติ จะอยู่ในหัวข้อที่ 4.4

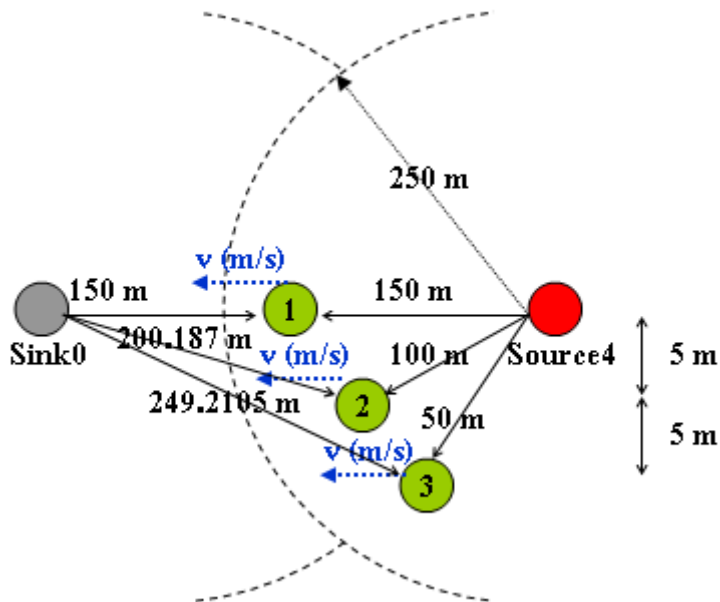
##### 4.3.1 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนด

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดจะส่งผลต่อการรับส่งสัญญาณระหว่างโหนด การวิเคราะห์ให้เห็นว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดค่าใดหรือช่วงใดที่ EDR ควรกำหนดจำนวนของโหนดข้างเคียงเป็นเท่าไรมีความสำคัญมากในด้านการใช้ประโยชน์ การเคลื่อนที่ของโหนดด้วยความเร็วที่ยังคงสามารถรับส่งสัญญาณกับโหนดอื่นได้ หรือโพรโทคอลยังคงสามารถจัดเส้นทางได้ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องกำหนดให้ EDR มีการส่ง Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงจำนวนมากหรือนั้นก็คือจำนวนเส้นทางสำรองกรณีเส้นทางแรกไม่สามารถใช้ในการสื่อสารได้ไม่จำเป็นต้องเตรียมไว้หลายๆเส้นทาง วิธีการดังกล่าวสามารถประหยัดพลังงานได้สูงและทำให้ EDR สามารถจัดเส้นทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ

##### 4.3.1.1 การทดลอง การเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนด

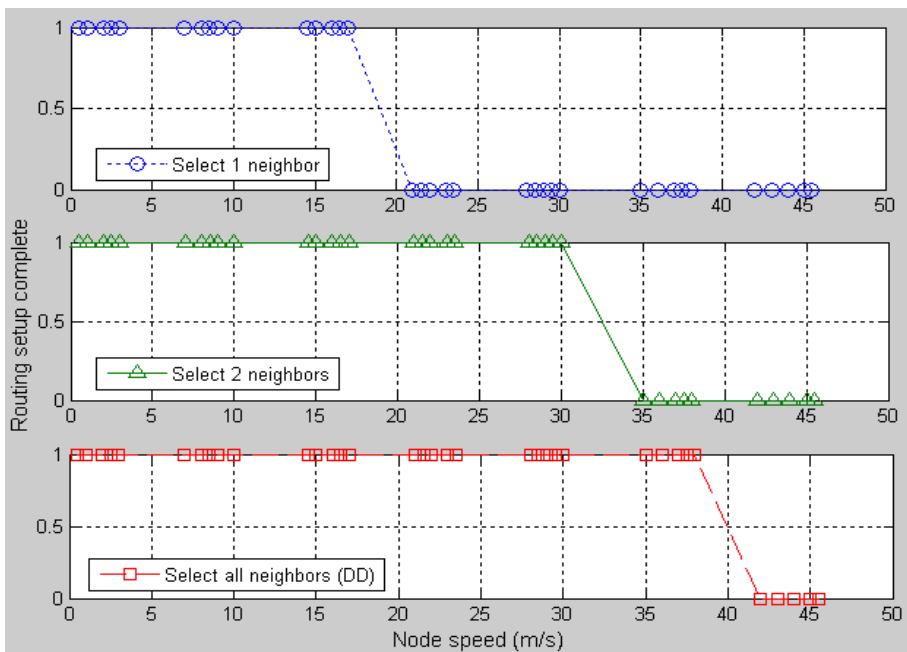
กำหนดให้เครือข่ายมีโหนด 5 โหนดภายในพื้นที่ 670 เมตร \* 670 เมตร โหนดต้นทางคือโหนดที่ 0 อยู่ที่ตำแหน่ง  $x=50$  เมตร,  $y=335$  เมตร และ  $z=0$  เมตร) ส่งข้อมูล ผ่านโหนดที่ 1 (ตำแหน่ง  $x=200$  เมตร,  $y=335$  เมตร และ  $z=0$  เมตร), 2 (ตำแหน่ง  $x=250.125$  เมตร,  $y=330$  เมตร และ  $z=0$  เมตร) และ 3 (ตำแหน่ง  $x=299.0098$  เมตร,  $y=325$  เมตร และ  $z=0$  เมตร) ไปยังโหนดปลายทางคือโหนดที่ 4 อยู่ที่ตำแหน่ง  $x=350$  เมตร,  $y=335$  เมตร และ  $z=0$  เมตร ในทุกๆการทดลองโหนดต้นทางและโหนดปลายทางไม่มีการเคลื่อนที่ แสดงดังภาพประกอบ 4-4 กำหนดให้โหนดทุกโหนดในเครือข่ายมีพลังงานเริ่มต้นที่ 5 J โหนดส่งข้อมูลด้วยกำลังส่งสัญญาณ (Transmit power) 660 mW และรับข้อมูลด้วยกำลังรับสัญญาณ (Received power) 395 mW โดยที่ขอบเขตสัญญาณของโหนดเท่ากับ 250 เมตร [2][16] (ค่าเหล่านี้กำหนดมาจาก AT&T's Wavelan PCMCIA card) โหนดที่ 1 เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง  $x=50$  เมตร,  $y=335$  เมตร  $z=0$  เมตร โหนดที่ 2 เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง  $x=50$  เมตร,  $y=330$  เมตร  $z=0$  เมตร และโหนดที่ 3 เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง  $x=50$  เมตร,  $y=325$  เมตร  $z=0$  เมตร (เคลื่อนที่ไปทาง Source 0) โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดที่อยู่ในเครือข่ายมีค่า 0.1-45 m/s กำหนดการทดลองเป็น 3

รูปแบบคือ ให้โหนดปลายทางส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงได้จำนวน 1 โหนด (Select 1 neighbor), 2 โหนด (Select 2 neighbors) และทุกๆโหนดข้างเคียงที่รับข้อความ Interest มา (Select all neighbor หรือเรียกว่า DD, Directed diffusion) ตามลำดับ ใช้โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุแบบ Two-ray ground reflection



ภาพประกอบ 4-4 ตำแหน่งของโหนดในเครือข่าย กรณีทดสอบปัจจัยการเคลื่อนที่ของโหนด

4.3.1.2 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง การเคลื่อนที่ของโหนด



ภาพประกอบ 4-5 Routing setup complete

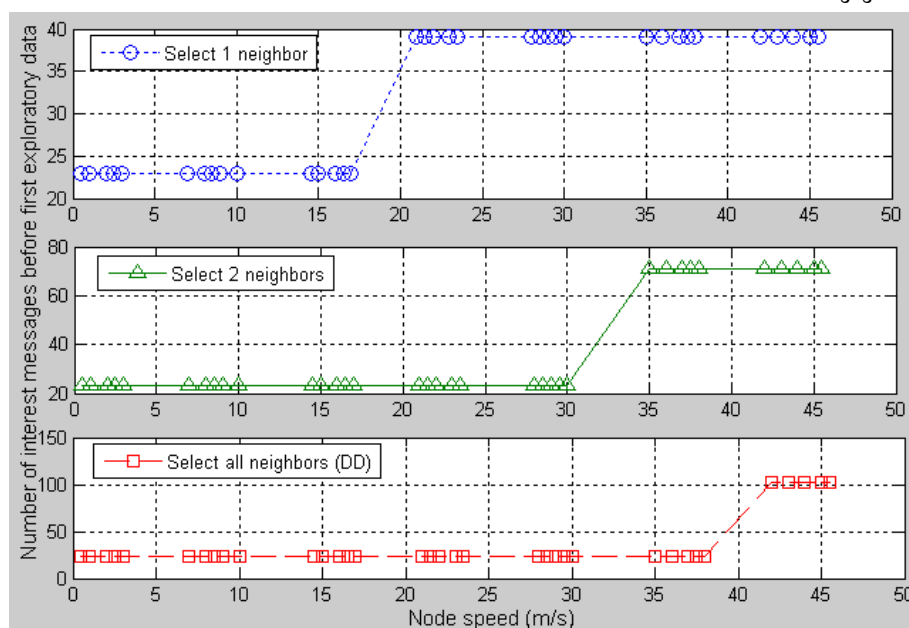
ผลการทดลองภาพประกอบ 4-5 แสดง Routing setup complete จะเห็นว่าเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดสูงขึ้น โอกาสที่โหนดไม่สามารถจัดเส้นทางได้ก็สูงขึ้นตาม การกำหนดให้ EDR มีการส่ง Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงเพียงเส้นทางเดียว (Select 1 neighbor) โหนดสามารถจัดเส้นทางได้เฉพาะในช่วงความเร็ว 0.1 ถึง 17 m/s เท่านั้น (กำหนดให้การจัดเส้นทางสำเร็จมีค่าเท่ากับ 1 ไม่สำเร็จมีค่าเป็น 0) ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงความเร็วดังกล่าว ขณะที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดยังมีค่าน้อยๆอยู่ขั้นตอนของการส่งข้อความ Interest, Exploratory data , Reinforcement และ Data สามารถทำได้สำเร็จโหนดที่ 1, 2 และ 3 ยังอยู่ในขอบเขตสัญญาณของ Sink 0 และ Source 4 นั่นคือความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อรับส่งสัญญาณโปรโตคอล ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในช่วงความเร็วน้อยๆเดิมโหนด 1, 2 และ 3 ก็อยู่ในขอบเขตสัญญาณของ Sink 0 อยู่แล้ว เมื่อโหนดเคลื่อนที่มาทาง Sink 0 การรับส่งสัญญาณระหว่างกันก็ไม่ใช่ปัญหาเนื่องจากยังเข้ามาใกล้ขอบเขตสัญญาณของ Sink 0 และขณะเดียวกันในช่วงความเร็วน้อยๆนี้โหนด 1, 2 และ 3 ก็ยังไม่ได้มีการเคลื่อนที่ออกจากขอบเขตสัญญาณของ Source 4 การจัดเส้นทางจึงมีโอกาสสำเร็จได้สูง

เมื่อความเร็วสูงขึ้น (มากกว่า 17 m/s) การทดลองนี้ Sink 0 สามารถส่งข้อความ Interest ได้ถึงปลายทางแต่ในขั้นตอนการส่งข้อความ Exploratory data กลับไปยังต้นทาง Source 4 เลือกส่งเพียงแค่หนึ่งเส้นทางที่มีข้อความ Interest มาถึงเป็นลำดับแรก ซึ่งนั่นคือ source 4 จะส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดที่ 1 แต่ช่วงความเร็วที่ช่วงนี้โหนดที่ 1 เคลื่อนที่ออกจากขอบเขตสัญญาณของ Source 4 แล้ว กระบวนการจัดเส้นทางจึงไม่สามารถทำต่อไปได้ ถึงแม้ว่าโหนดที่ 2 และ 3 ยังคงอยู่ในขอบเขตสัญญาณของ Source 4 อยู่ และสามารถติดต่อกับ Sink 0 ได้ แต่การที่กำหนดให้ EDR โหนดเลือกเส้นทางเดียวและเป็นเส้นทางแรกที่รับข้อความ Interest มา เมื่อเส้นทางนี้ไม่สามารถติดต่อก็กระบวนการจัดเส้นทางเลยหยุดที่ขั้นตอนนี้ ดังนั้นทางเลือกก็คือต้องทำการสำรองเส้นทางเพื่อที่จะให้การจัดเส้นทางดำเนินไปได้สำเร็จ

จะเห็นได้ว่าเมื่อกำหนดให้ EDR มีการส่ง Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงสองโหนดหรือสองเส้นทาง (Select 2 neighbors) โหนดสามารถจัดเส้นทางได้ในช่วงความเร็ว 0.1 ถึง 31 m/s และถ้ากำหนดให้ส่งทุกจำนวนโหนดข้างเคียง (Select all neighbors (DD)) โหนดสามารถจัดเส้นทางได้ในช่วงความเร็ว 0.1 ถึง 38 m/s ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า ในช่วงความเร็วที่ Interest ยังคงส่งถึงปลายทาง มีการส่งข้อความ Exploratory data กลับไปยังต้นทาง Source 4 เลือกส่งสองเส้นทางหรือทุกๆเส้นทางที่มีข้อความ Interest มาถึงตามลำดับ ซึ่งนั่นคือ Source 4 จะส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดที่ 1 ก่อนเพราะรับ Interest มาเป็นลำดับแรก ถึงแม้ว่าช่วงความเร็วนี้โหนดที่ 1 เคลื่อนที่ออกจากขอบเขตสัญญาณของ Source 4 แล้ว แต่กระบวนการจัดเส้นทางก็ยังสามารถทำต่อไปได้ เพราะโหนดที่ 2 และ 3 ยังคงอยู่ในขอบเขตสัญญาณของ Source 4 อยู่ ดังนั้น Source 4 สามารถส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดที่ 2 ได้อีกหนึ่งเส้นทาง (กรณี Select 2 neighbors) หรือ Source 4 สามารถ

ส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดที่ 2 และ 3 ได้อีกสองเส้นทาง (กรณี Select all neighbors (DD)) ซึ่งสามารถติดต่อกับ Sink 0 ได้ จากผลการทดลองเห็นได้ว่าการเพิ่มจำนวนโหนดข้างเคียงที่จะส่งข้อความ Exploratory data ไปนั้น จะช่วยเพิ่มโอกาสในการจัดเส้นทางได้สำเร็จของโพรโทคอล

ภาพประกอบ 4-6 แสดงจำนวนของข้อความ Interest ที่ส่งจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางก่อนที่จะโหนดปลายทางจะส่งข้อความ Exploratory data กลับ (Number of interest message before first exploratory data) จะเห็นได้ว่าข้อความ Interest ที่ส่งจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางมีจำนวนมากเมื่อข้อความ Interest ไปไม่ถึงปลายทางหรือนั่นก็คือในช่วงความเร็วสูงๆ เช่น กรณี Select 1 neighbor ที่ความเร็วมากกว่า 17 m/s กรณี Select 2 neighbors ที่ความเร็วมากกว่า 31 m/s และกรณี Select all neighbors ที่ความเร็วมากกว่า 38 m/s ถ้าโหนดสามารถส่งข้อความ Interest ถึงปลายทาง (โดยวิธีการ Flooding) จำนวนของข้อความ interest จะเท่ากับ 23 แต่ถ้าข้อความ Interest ไปไม่ถึงปลายทาง จำนวนข้อความ Interest ก็จะเพิ่มมากขึ้นทุกๆช่วงเวลาของการส่งข้อความ Interest แต่จำนวนที่เพิ่มขึ้นจะไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากโหนดมีการเคลื่อนที่ออกนอกขอบเขตสัญญาณ



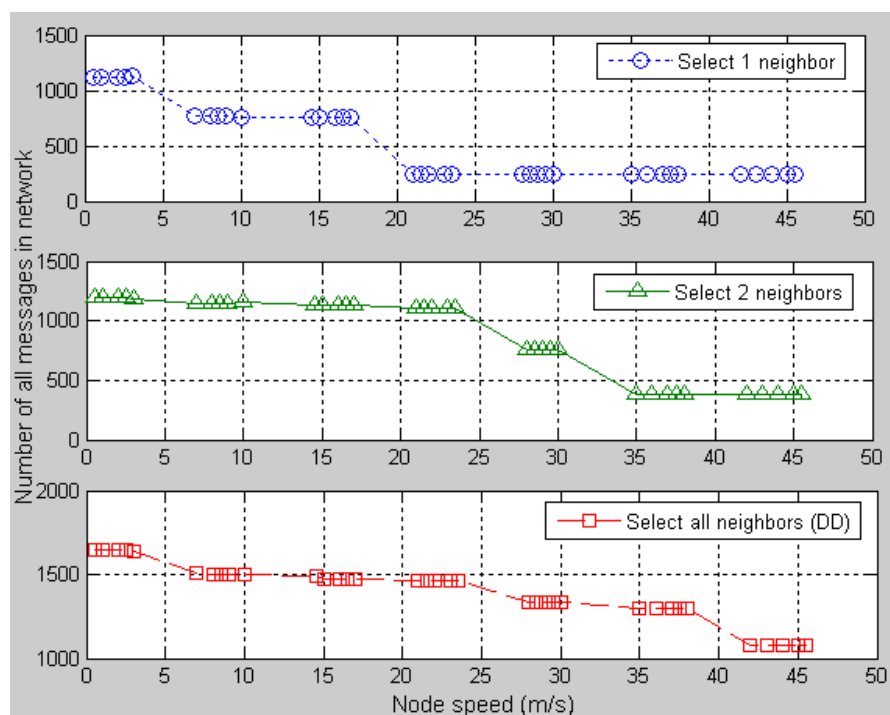
ภาพประกอบ 4-6 จำนวนข้อความ Interest ก่อนที่จะมีการส่งข้อความ Exploratory data

อย่างไรก็ตามผลจากความเร็วที่เริ่มสูงขึ้นโอกาสที่สัญญาณ Drop ก็มีสูงขึ้นตามกล่าวคือ จากผลการทดลองเห็นได้ว่าในช่วงที่ความเร็วสูงขึ้นจำนวนของการรับส่งสัญญาณทั้งหมดของระบบจะน้อยลงแสดงดังภาพประกอบ 4-7 สามารถอธิบายได้ว่า ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดต่ำๆ โหนดมีการส่งข้อความ Interest ไปยังปลายทาง โหนดปลายทางส่ง Exploratory data มายังต้นทาง มีการยืนยันเส้นทาง Reinforcement และโหนดปลายทางส่งข้อมูล Data มายังต้นทางได้สำเร็จ เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นโหนดค่อยๆเคลื่อนที่ออกจากขอบเขตสัญญาณของ Source 4 ไปทาง Sink 0 โหนด

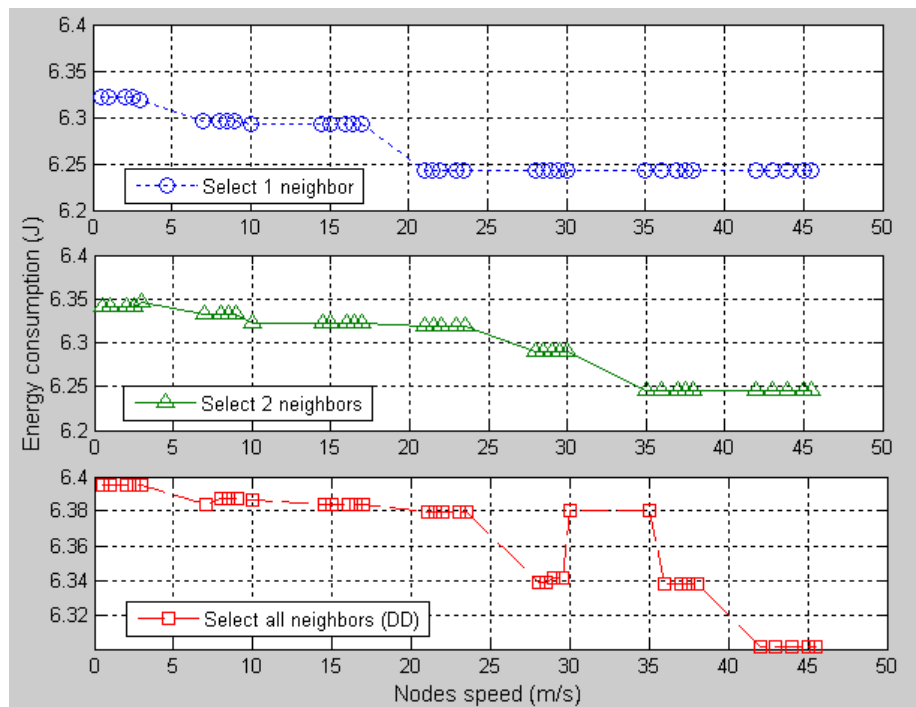


เคลื่อนที่ออกนอกขอบเขตสัญญาณขณะที่มีการส่งข้อมูล Data กลับไปยังต้นทาง ข้อมูล Data จะถูก drop ก่อนสัญญาณหรือข้อความอื่นๆ เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นอีก โหนดเคลื่อนที่ออกนอกขอบเขตสัญญาณเร็วขึ้นกว่าเดิม ดังนั้นสัญญาณที่ Drop ก็มีมากกว่าเดิมนั่นก็คือข้อความ Reinforcement และ Data แนวโน้มการ Drop ของสัญญาณจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วสูงขึ้น จนกระทั่งโหนดไม่สามารถรับส่งสัญญาณ Exploratory data, Reinforcement และ Data ได้ อันเนื่องมาจากโหนดมีการเคลื่อนที่สูงมากจน Interest ไปไม่ถึงปลายทาง (Sink 0 เริ่มส่งข้อความ Interest ไปยังโหนด 1, 2 และ 3 แต่ทั้งสามโหนดเคลื่อนที่ออกจากขอบเขตสัญญาณของ Source 4 แล้ว) ดังนั้นเมื่อความเร็วสูงมากจึงเห็นเพียงแค่การส่งสัญญาณ Interest ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในภาพประกอบ 4-7 จำนวนการรับส่งสัญญาณทั้งสามรูปแบบ Select 1 neighbor, Select 2 neighbors และ Select all neighbors ลดลงเมื่อความเร็วสูงขึ้น (จำนวนสัญญาณคงที่เมื่อไม่สามารถจัดเส้นทางได้)

จำนวนการรับส่งสัญญาณรูปแบบ Select all neighbors (DD) จะมากกว่า Select 2 neighbors และ Select 1 neighbor ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการกำหนด Select all neighbors (DD) การรับส่งข้อความ Exploratory data ที่สูงกว่า Select 2 neighbors และ Select 1 neighbor นอกจากนี้ โอกาสการจัดเส้นทางได้สำเร็จที่ความเร็วมากกว่าที่สูงกว่า ดังนั้นจำนวนการรับส่งข้อความ Reinforcement และ Data ก็สูงขึ้นตาม ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ Select all neighbors (DD) มีการใช้พลังงานที่สูงกว่า Select 2 neighbors และ Select 1 neighbor ตามลำดับ แสดงดังภาพประกอบ 4-8



ภาพประกอบ 4-7 จำนวนของการรับส่งสัญญาณทั้งหมดของระบบ



ภาพประกอบ 4-8 พลังงานรวมทั้งหมดที่โหนดในเครือข่ายใช้

จากภาพประกอบ 4-8 เห็นได้ว่าการกำหนดให้โหนดต้องส่งข้อความ Exploratory data ไปยังทุกๆ โหนดที่รับข้อความ Interest มาจำนวนมากๆ การใช้พลังงานของโหนดในเครือข่ายก็สูงตาม ดังนั้นถ้าในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่ของโหนดไม่เร็วมากนักก็กำหนดให้โหนดส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงจำนวนไม่มากก็เพียงพอ หรือนั่นก็คือสำรองเส้นทางไม่ต้องมากเกินไปจนเกินไป ยกตัวอย่างเช่น ถ้าโหนดมีความเร็วในการเคลื่อนที่อยู่ในช่วง 15-30 m/s (ดูภาพประกอบ 4-5 ประกอบ) การกำหนดให้โหนดส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงจำนวนสองเส้นทางก็เพียงพอแล้วที่โหนดสามารถจัดเส้นทางในการรับส่งสัญญาณได้สำเร็จ ทั้งยังเป็นการประหยัดพลังงานให้แก่โหนดในเครือข่าย อีกทางเป็นการยืดอายุการทำงานของโหนดในเครือข่ายอีกทางเล็ก

### 4.3.2 การแกว่งของสัญญาณวิทยุ

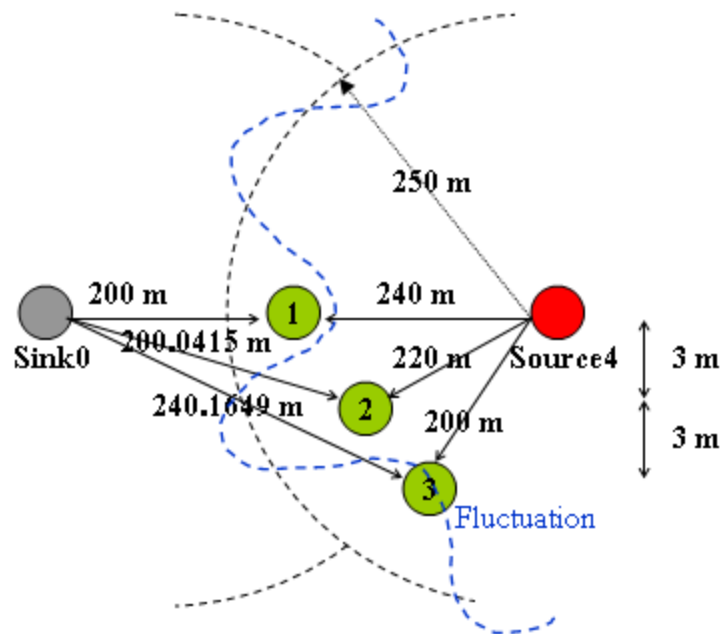
การแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุ ส่งผลกระทบต่อ การรับส่งสัญญาณหรือการจัดเส้นทางของโหนดในเครือข่าย คุณลักษณะของสัญญาณวิทยุมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยและเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม ความแรงของสัญญาณที่โหนดรับได้จะมีการแกว่งในทุกๆระยะทางและทุกครั้งที่โหนดรับส่งสัญญาณ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพแวดล้อมในเครือข่ายเอง สัญญาณที่โหนดรับได้มีการแกว่งอันเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสัญญาณวิทยุที่เจอกับสิ่งกีดขวางของเครือข่าย การเคลื่อนที่ของโหนด การรบกวนจากสัญญาณอื่นๆ เป็นต้น ผลจากการแกว่งของสัญญาณวิทยุทำให้มีโอกาสสูงที่กระบวนการจัดเส้นทางไม่สามารถเกิดขึ้นได้ (รายละเอียดส่วนนี้อยู่ในบทที่ 3 ในหัวข้อผลกระทบจากการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุต่อสมรรถนะของโพรโทคอลไดเร็กต์ดีคิฟิฟิวชัน) ดังนั้นการวิเคราะห์ให้เห็นว่าเมื่อมีความแปรปรวนในการแกว่งของสัญญาณวิทยุเกิดขึ้น การพิจารณาจำนวนของโหนดข้างเคียงที่จะส่งข้อความ Exploratory data ของ EDR ควรเป็นเท่าไรที่จะเหมาะสมทั้งในเรื่องของการให้สัญญาณและการใช้พลังงานของโหนด จึงเป็นประเด็นที่มีประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัย อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้เป็นการนำเสนอแนวทางการศึกษาเท่านั้น ผลของงานนี้ไม่สามารถสรุปประเด็นจำนวนที่เหมาะสมได้

#### 4.3.2.1 การทดลองการแกว่งของสัญญาณวิทยุ

กำหนดให้เครือข่ายมีโหนด 5 โหนดภายในพื้นที่ 670 เมตร \* 670 เมตร โหนดต้นทางคือโหนดที่ 0 อยู่ที่ตำแหน่ง  $x=50$  เมตร,  $y=335$  เมตร และ  $z=0$  เมตร) ส่งข้อมูล ผ่านโหนดที่ 1 (ตำแหน่ง  $x=250$  เมตร,  $y=335$  เมตร และ  $z=0$  เมตร), 2 (ตำแหน่ง  $x=270.021$  เมตร,  $y=332$  เมตร และ  $z=0$  เมตร) และ 3 (ตำแหน่ง  $x=290.0900$  เมตร,  $y=329$  เมตร และ  $z=0$  เมตร) ไปยังโหนดปลายทางคือโหนดที่ 4 อยู่ที่ตำแหน่ง  $x=490$  เมตร,  $y=335$  เมตร และ  $z=0$  เมตร (ในทุกๆการทดลองโหนดต้นทางและโหนดปลายทางไม่มีการเคลื่อนที่) แสดงดังภาพประกอบ 4-9 กำหนดให้โหนดทุกโหนดในเครือข่ายมีพลังงานเริ่มต้นที่ 5 J โหนดส่งข้อมูลด้วยกำลังส่งสัญญาณ (Transmit power) 660 mW และรับข้อมูลด้วยกำลังรับสัญญาณ (Received power) 395 mW โดยที่ขอบเขตสัญญาณของโหนดเท่ากับ 250 เมตร [2][16] (ค่าเหล่านี้กำหนดมาจาก AT&T's Wavelan PCMCIA card)

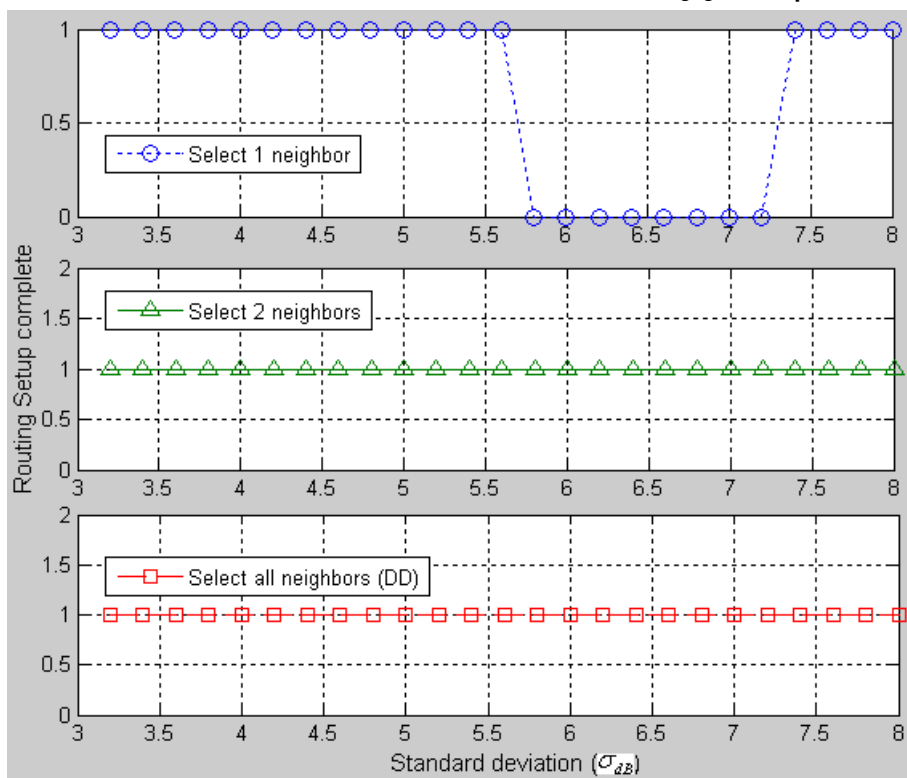
ใช้โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุเป็นแบบ Shadowing (รายละเอียดอยู่ในบทที่ 3 ในหัวข้อผลกระทบจากการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุต่อสมรรถนะของโพรโทคอล ไดเร็กต์ดีคิฟิฟิวชัน) การเพิ่มโมเดล Shadowing ให้กับโปรแกรม NS2 ในงานวิจัยนี้ กำหนดให้  $\beta$  (Path loss exponent) มีค่าเท่ากับ 4 และทำการปรับเปลี่ยนค่า  $\sigma_{dB}$  (Shadowing deviation) ตั้งแต่ 3.2 ถึง 8 โดยเพิ่มค่าทีละ 0.2 (ค่า Shadowing deviation สามารถดูได้จากตารางที่ 2.1 และ 2.2) นอกจากนี้กำหนดให้โอกาสในการรับข้อมูลได้อย่างถูกต้องเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ที่ระยะทาง 250 เมตร กำหนดการทดลองเป็น 3 รูปแบบ

คือ ให้โหนดปลายทางส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงได้จำนวน 1 โหนด (Select 1 neighbor), 2 โหนด (Select 2 neighbors) และทุกๆโหนดข้างเคียงที่รับข้อความ Interest มา (Select all neighbor หรือเรียกว่า DD, Directed diffusion) ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4-9 ตำแหน่งของโหนดในเครือข่าย กรณีทดสอบปัจจัยการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ

4.3.2.2 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง การแกว่งของสัญญาณวิทยุ



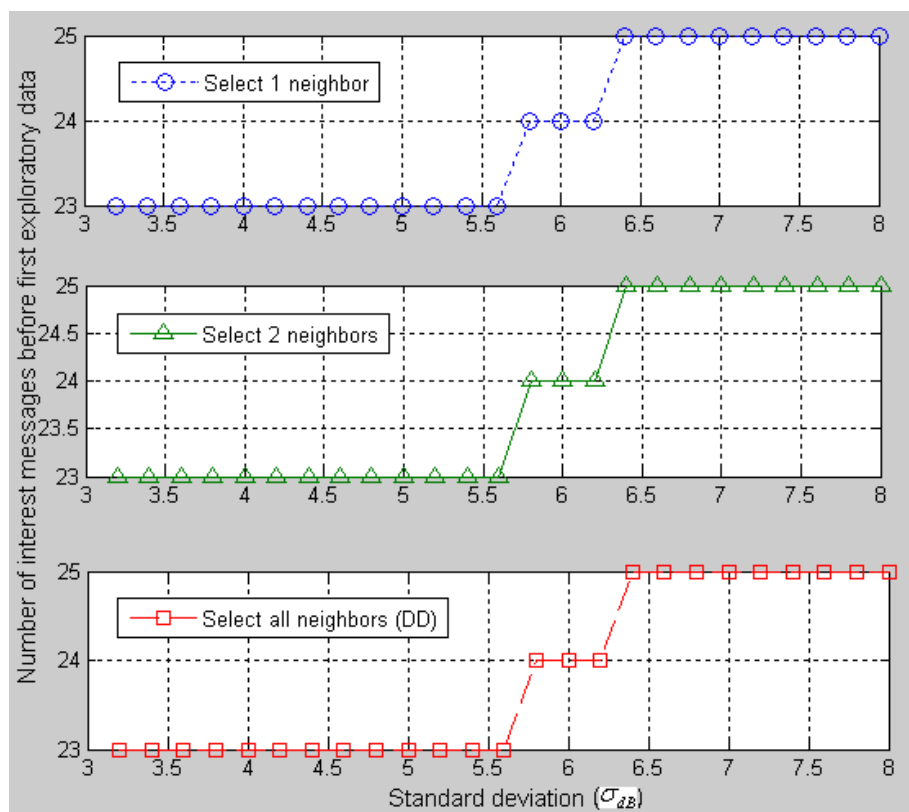
ภาพประกอบ 4-10 Routing setup complete

ผลการทดลองภาพประกอบ 4-10 แสดง Routing setup complete จะเห็นว่าเมื่อการแกว่งของสัญญาณสูงขึ้น (Shadow deviation) โอกาสที่โหนดสามารถจัดเส้นทางได้จะแตกต่างจากกรณีการทดลองเป็นแบบการเคลื่อนที่ของโหนดในหัวข้อที่แล้วมา กล่าวคือในกรณีการเคลื่อนที่ของโหนดเมื่อความเร็วสูงขึ้น โอกาสในการจัดเส้นทางล้มเหลวก็จะสูงขึ้นตาม

เมื่อกำหนดให้ EDR มีการส่ง Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงเพียงเส้นทางเดียว (Select 1 neighbor) โหนดสามารถจัดเส้นทางได้เฉพาะในช่วงที่ Standard deviation เป็น 3.2 ถึง 5.6 และยังมีช่วง 7.4 ถึง 8 (กำหนดให้การจัดเส้นทางสำเร็จมีค่าเท่ากับ 1 ไม่สำเร็จมีค่าเป็น 0) ส่วนในช่วง 5.8 ถึง 7.2 โหนดไม่สามารถจัดเส้นทางได้สำเร็จ เหตุใดถึงเป็นเช่นนั้น สามารถอธิบายได้ว่า ในช่วงที่การแกว่งของสัญญาณมีค่าน้อยๆ (Standard deviation มีค่าน้อยๆ) ไม่ได้ส่งผลให้การรับส่งสัญญาณ Interest, Exploratory data ระหว่างโหนดขาดการเชื่อมต่อ การจัดเส้นทางจึงมีโอกาสสำเร็จสูง แต่เมื่อการแกว่งของสัญญาณมีค่ามากขึ้น (5.8 ถึง 7.2) โอกาสที่การรับส่งสัญญาณระหว่างโหนดขาดการเชื่อมต่อก็มีสูงขึ้นตาม ดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากผลของ Shadow fading ความแรงของสัญญาณมีการแกว่งในลักษณะแบบสุ่มและมีความแปรปรวน ดังนั้นถึงแม้ว่าโหนดฝ่ายรับจะอยู่ใกล้หรืออยู่ในขอบเขตสัญญาณของโหนดฝ่ายส่ง ก็มีโอกาสสูงที่โหนดจะรับสัญญาณด้วยความแรงของสัญญาณที่ต่ำกว่า Received threshold หรือ Carrier-sense threshold รายละเอียดส่วนนี้ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ในหัวข้อผลกระทบจากการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุต่อสมรรถนะของโพรโทคอล ใดเร็ค เติคคิฟิวชั่น

ในกรณีที่กำหนดให้ EDR เป็น Select 1 neighbor นั้นหมายความว่า Source 4 ส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงเพียงแค่เส้นทางเดียว Source 4 –Node 1-Sink 0 โอกาสที่การเชื่อมต่อระหว่าง Link ของ Source 4 –Node 1 และ Node 1-Sink 0 ไม่สำเร็จเกิดขึ้นสูง การขาดการเชื่อมต่อเพียงแค่ link เดียวก็เป็นผลให้กระบวนการจัดเส้นทางไม่สามารถดำเนินไปได้ ส่วนในช่วง 7.4 ถึง 8 เหตุที่โหนดสามารถจัดเส้นทางได้สำเร็จก็เป็นเพราะด้วยค่าการแกว่งของสัญญาณที่สูงมาก ในขั้นตอนการส่งข้อความ Interest ของ Sink 0 สามารถส่งถึง Source 4 ได้โดยตรง เช่นเดียวกัน Source 4 ก็สามารถส่ง Exploratory data ไปยัง Sink 0 ได้โดยตรง เมื่อกำหนดให้ EDR มีการส่ง Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงสองโหนดหรือสองเส้นทาง (Select 2 neighbors) โหนดสามารถจัดเส้นทางได้ทุกครั้ง เป็นเพราะช่วงการแกว่งของสัญญาณมีค่า 5.8 ถึง 7.2 แสดงว่า Source 4 สามารถส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงได้สองเส้นทาง Source 4 ไปยังโหนด 1 และ Source 4 ไปยังโหนด 2 ทำให้มีโอกาสสูงที่เส้นทางแรก Source 4 ไปยังโหนด 1 ไม่สำเร็จ แต่เส้นทางที่สอง Source 4 ไปยังโหนด 2 สามารถส่งได้สำเร็จ ดังนั้นการจัดเส้นทางในช่วงนี้จึงสามารถทำได้ และด้วยเหตุผลเดียวกันกับในช่วง 7.4 ถึง 8 ในขั้นตอนการส่งข้อความ Interest ของ Sink 0 สามารถส่งถึง Source 4 ได้โดยตรง และสามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกันเมื่อกำหนดให้ EDR มีการส่ง Exploratory data ไปยัง

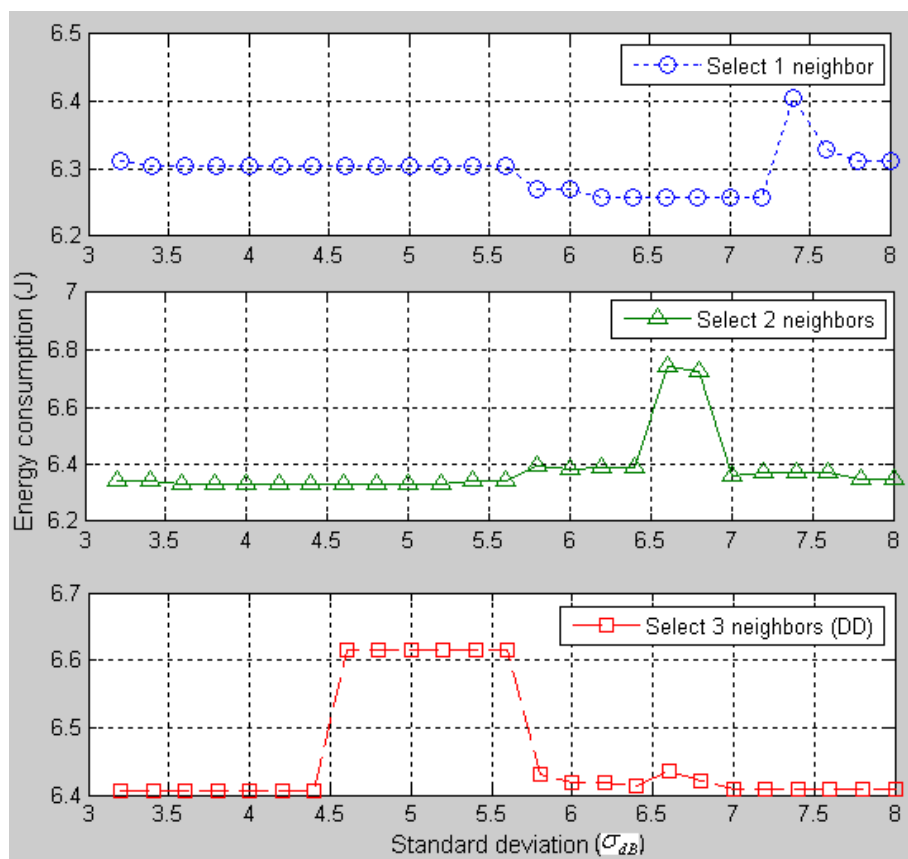
โหนดข้างเคียงได้ทุกๆโหนด (Select all neighbors (DD)) และโอกาสในการจัดเส้นทางได้สำเร็จก็สูงกว่าเช่นกัน



ภาพประกอบ 4-11 จำนวนข้อความ Interest ก่อนที่จะมีการส่งข้อความ Exploratory data

ภาพประกอบ 4-11 แสดงจำนวนของข้อความ interest ที่ส่งจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางก่อนที่โหนดปลายทางจะส่งข้อความ Exploratory data กลับ จะเห็นได้ว่า กรณี Select 1 neighbor, Select 2 neighbors และกรณี Select all neighbors (DD) จำนวนของการรับส่งข้อความ Interest มีค่าเท่ากันในทุกๆช่วงที่การแกว่งของสัญญาณ ในช่วง 3.2 ถึง 5.6 จำนวนของข้อความ Interest จะเท่ากับ 23 ในช่วง 5.8 ถึง 7.2 จำนวนของข้อความ interest จะเท่ากับ 24 เป็นเพราะ Sink 0 ส่งข้อความ Interest ถึง Source 4 ได้โดยตรง แต่เหตุผลที่ทำไมใน Select 1 neighbor การจัดเส้นทางช่วงนี้จึงไม่สำเร็จ ก็เป็นเพราะว่าตอนที่ Source 4 ถูกกำหนดให้ส่ง Exploratory data กลับไปยังเส้นโหนดในเส้นทางแรกเพียงเส้นทางเดียวที่รับข้อความ Interest มา นั่นก็คือ Sink 0 แต่ Source 4 ไม่สามารถส่งถึง Sink 0 ได้ในการแกว่งของสัญญาณช่วงนี้ การจัดเส้นทางเลขดำเนินไปไม่สำเร็จ แต่กรณี Select 2 neighbors หรือ Select all neighbors ถึงแม้ว่า source 4 ไม่สามารถส่งถึง Sink 0 ได้ แต่ยังมีเส้นทางอื่นๆอีกที่เป็นเส้นทางที่สำรองไว้ ( เส้นทางที่รับข้อความ Interest มาเป็นลำดับถัดๆไป) นั่นคือ Source 4 – Node 1 หรือ Source 4 –Node 2 นั่นเอง ในช่วง 7.4 ถึง 8 จำนวนของข้อความ Interest จะเท่ากับ 25 เป็น

เพราะ Sink 0 ส่งข้อความ Interest ถึง source 4 ได้โดยตรง เช่นเดียวกัน Source 4 ก็สามารถส่งข้อความ Interest ถึง Sink 0 ได้



ภาพประกอบ 4-12 พลังงานรวมทั้งหมดที่โหนดในเครือข่ายใช้

จากภาพประกอบ 4-12 เห็นได้ชัดว่า การที่ EDR กำหนดให้โหนดต้องส่งข้อความ Exploratory data ไปยังทุกๆโหนดที่รับข้อความ Interest มาจำนวนมากๆ การใช้พลังงานของโหนดในเครือข่ายก็สูงตาม (Select all neighbors (DD) > Select 2 neighbors > Select 1 neighbors) เนื่องความแตกต่างของการให้สัญญาณ Exploratory data ที่แตกต่างเป็นผลให้จำนวนของสัญญาณ Reinforcement และ Data ก็ต่างกันด้วย กล่าวคือ การให้สัญญาณ Exploratory data จำนวนมากขึ้น เป็นผลให้โอกาสในการจัดเส้นทางสำเร็จได้สูงขึ้น เมื่อมีการจัดเส้นทางได้สำเร็จจำนวนของสัญญาณ Reinforcement และ Data ก็จะมากขึ้นตาม

กรณี Select 1 neighbor ในช่วง 3.2 ถึง 5.6 โหนดสามารถจัดเส้นทางได้ การรับส่งสัญญาณและการใช้พลังงานเลขสูงกว่าช่วง 5.8 ถึง 7.2 ส่วนในช่วง 7.4 ถึง 8 โหนดเริ่มมีการจัดเส้นทางได้อีกมีการรับส่งสัญญาณเพิ่มขึ้น มีสัญญาณ Exploratory data และ data ทำให้โหนดใช้พลังงานสูงขึ้น

กรณี Select 2 neighbors และ Select all neighbors (DD) ช่วง 3.2 ถึง 8 โหนดสามารถจัดเส้นทางได้ การรับส่งสัญญาณและการใช้พลังงานค่อยๆสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะเมื่อมีการแกว่งของสัญญาณมีค่าสูงขึ้นโอกาสที่โหนดจะส่งได้ไกลขึ้นก็มีมาก การ Flooding ข้อความ Interest message ก็มากขึ้นตาม และการเพิ่มจำนวน Exploratory data เข้าไปโอกาสในการจัดเส้นทางสำเร็จได้สูงขึ้น สัญญาณ Reinforcement และ Data ก็จะมากขึ้นตาม

ดังนั้นผลจากการใช้พลังงานของโหนด กรณีที่มีการแกว่งของสัญญาณวิทยุไม่สูงมาก ควรกำหนดให้โหนดส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงจำนวนน้อยก็เพียงพอ หรือนั้นก็คือสำรองเส้นทางไม่ต้องมากเกินไปจนความจำเป็น ยกตัวอย่างเช่น ถ้าการแกว่งของสัญญาณวิทยุอยู่ในช่วง 3.2-5.6 การกำหนดให้โหนดส่งข้อความ Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงจำนวนเส้นทางเดียวก็เพียงพอแล้วที่โหนดสามารถจัดเส้นทางในการรับส่งสัญญาณได้สำเร็จทั้งยังเป็นการประหยัดพลังงานให้แก่โหนดในเครือข่าย อีกทางเป็นการยืดอายุการทำงานของโหนดในเครือข่ายอีกทางเลือก

#### 4.4 การประเมินสมรรถนะของ EDR algorithm

##### 4.4.1 โมเดลที่ใช้ประกอบการทดลอง

การศึกษาการให้สัญญาณของโพรโทคอลที่นำเสนอจำเป็นต้องเพิ่มโมเดลต่างๆที่เกี่ยวข้องให้แก่โปรแกรมจำลองการทำงาน ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 โมเดลดังรายละเอียดต่อไปนี้

##### 4.4.1.1 โมเดลพลังงาน

ในการวัดสมรรถนะของโพรโทคอลโคเร็คเต็คดิฟฟิวชันในด้านการใช้พลังงานของเซนเซอร์โหนดจะทำการวัดค่า Energy consumption และนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผล ซึ่งค่าพลังงานนี้จะเป็นตัวแสดงให้เห็นว่าเมื่อเซนเซอร์โหนดมีการรับส่งสัญญาณ เช่น Interest และ Exploratory data หรือสัญญาณโพรโทคอลอื่นๆจะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของโคเร็คเต็คดิฟฟิวชันอย่างไร ซึ่งค่า Energy consumption สามารถหาได้จากฟังก์ชัน โมเดลพลังงาน ที่เพิ่มลงไปในการทดลอง โมเดลพลังงานนี้ถูกพัฒนาขึ้นใช้กับ NS2 เพื่อบ่งบอกถึงระดับการใช้พลังงานของเซนเซอร์โหนด โดยการกำหนดค่าพลังงานเริ่มต้น (Initial energy) ให้กับเซนเซอร์โหนด ในทุกๆครั้งของการรับส่งข้อมูลของโหนดพลังงานที่กำหนดไว้ในตอนเริ่มต้นจะลดลง โดยที่สามารถกำหนดค่าพลังงานที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลได้ระดับพลังงานของเซนเซอร์โหนดจะลดลงเท่ากับ ค่าพลังงานที่ใช้ส่ง  $P_{tx} * \text{transmit time}$  และพลังงานที่ได้รับ  $P_{rcv} * \text{receive time}$  โดยที่  $P_{tx}$  และ  $P_{rcv}$  คือค่ากำลังของตัวส่งสัญญาณ และกำลังของตัวรับสัญญาณ ตามลำดับ แสดงการคำนวณดังสมการที่ 4.1 และ 4.2

$$DecrTxEnergy = P_{tx} * txTime.....(4.1)$$

$$DecrRcvEnergy = P_{rcv} * rcvTime.....(4.2)$$



เมื่อกำหนดให้  $txTime$  คือเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณและ  $rcvTime$  คือเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณ

ในการจำลองสภาพแวดล้อมการทำงานให้ใกล้เคียงกับลักษณะสภาพแวดล้อมจริง จำเป็นจะต้องกำหนดให้เซนเซอร์โหนดมีการเคลื่อนที่ ทั้งนี้เนื่องจากการเคลื่อนที่ของโหนดต่างๆ ในเครือข่ายจะส่งผลกระทบต่อสัญญาณที่โหนดทำการรับส่ง กรณีการจัดเส้นทางที่กำลังดำเนินอยู่แล้ว โหนดมีการเคลื่อนที่ออกจากขอบเขตของสัญญาณของโหนดฝ่ายส่งจะทำให้มีโอกาสสูงที่โหนดจะไม่สามารถทำการสื่อสารกันได้ ระยะทางระหว่างโหนดฝ่ายส่งและโหนดฝ่ายรับจะมีผลต่อความแรงของสัญญาณวิทยุ ถ้าโหนดฝ่ายรับอยู่ห่างจากโหนดฝ่ายส่งมากก็จะเป็ผลให้ความแรงของสัญญาณวิทยุมีค่าต่ำ และระดับความแรงของสัญญาณวิทยุนี้เองจะมีผลต่อข้อมูลที่โหนดรับได้ กล่าวคือ ถ้าระดับความแรงของสัญญาณวิทยุมีค่าน้อยๆจะทำให้ข้อมูลที่รับได้มีความผิดพลาดสูง ซึ่งผลที่ตามมาก็คือ ถ้าโหนดรับข้อมูลที่มีความผิดพลาดสูง โอกาสที่จะมีการจัดเส้นทางใหม่ (Re-routing) ก็มีมากขึ้น ทำให้โหนดเกิดการสูญเสียพลังงานและสิ้นเปลืองเวลาในการจัดเส้นทางใหม่นั้น

#### 4.4.1.2 โมเดลการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนด

นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดยังมีผลต่อสัญญาณวิทยุและข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งในเครือข่ายโดยที่ไม่ได้เป็นผลมาจากระยะทางหรือระยะห่างระหว่างโหนด กล่าวคือการเคลื่อนที่ของโหนดจะทำให้สัญญาณวิทยุถูกรบกวนหรือมีการเกิด Multipath fading และ Shadowing ที่โหนดฝ่ายรับ สัญญาณที่รับได้มีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดสูง โอกาสที่จะมีการจัดเส้นทางใหม่ก็มีสูงขึ้นเช่นกัน หรือกรณีที่แย่ที่สุดก็คือโหนดไม่สามารถรับข้อมูลได้เลย ในการจำลองรูปแบบและลักษณะการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดอาศัย โมเดลการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนด ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่ออธิบายรูปแบบการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดภายในเครือข่าย สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ Random waypoint model โมเดลนี้ลักษณะการเคลื่อนที่ของแต่ละเซนเซอร์โหนดจะเป็นอิสระจากเซนเซอร์โหนดอื่นๆในเครือข่าย เซนเซอร์โหนดทุกๆตัวในเครือข่ายจะเลือกความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่โดยใช้วิธีการแบบสุ่ม (Random) ในการเคลื่อนที่แต่ละครั้งเซนเซอร์โหนดจะสุ่มเลือกความเร็วและทิศทางในช่วง  $[0, V_{max}]$  เมื่อ  $V_{max}$  คือความเร็วสูงสุดที่กำหนดไว้สำหรับทุกๆโหนดในเครือข่าย และทิศทางในการเคลื่อนที่ก็จะถูกสุ่มเลือกขึ้นมาซึ่งอยู่ในช่วง  $0$  ถึง  $\pi$  โดยมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอกรูป ซึ่งการเพิ่มประเด็นการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดไปในโปรแกรมจำลองการทำงานจะทำให้สามารถเห็นถึงลักษณะการทำงานและการให้สัญญาณของโปรโตคอลได้ชัดเจนขึ้น

#### 4.4.1.3 โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ

โมเดลท้ายสุดที่ถูกพิจารณาเข้าไปสำหรับการงานวิจัยนี้คือ โมเดลการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุ โดยปกติแล้วการเคลื่อนที่ของสัญญาณวิทยุจะมีผลกระทบโดยตรงต่อกระบวนการรับส่งสัญญาณของโพรโทคอลการจัดเส้นทาง คุณลักษณะของสัญญาณวิทยุจะเปลี่ยนแปลงบ่อยและเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม การกำหนดโมเดลรูปแบบการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อสมรรถนะของโพรโทคอลการจัดเส้นทางแตกต่างกันด้วย ดังนั้นเพื่อที่จะศึกษาผลกระทบจากการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุ ต่อการให้สัญญาณของโพรโทคอลไคเร็คเตดดิฟฟิวชันและเพื่อที่จะเห็นผลได้ชัดเจนว่า EDR มีผลอย่างไรในการให้สัญญาณของโพรโทคอล จึงมีจำเป็นพิจารณาโมเดลสัญญาณวิทยุที่แตกต่างกันคือ โมเดล Two-ray ground reflection และ Shadowing (รายละเอียดอยู่ในบทที่ 1 และ 3)

การเพิ่มโมเดล Shadowing ให้กับโปรแกรม NS2 ในการทดลองนี้ กำหนดให้  $\beta$  มีค่าเท่ากับ 4 และ  $\sigma_{dB}$  เท่ากับ 4 นอกจากนี้กำหนดให้โอกาสในการรับข้อมูลได้อย่างถูกต้องเป็น 95 เปอร์เซนต์ที่ระยะทาง 250 เมตร

#### 4.4.2 การทดลอง

การทดลองนี้ศึกษาวิธีการให้สัญญาณของโพรโทคอลไคเร็คเตดดิฟฟิวชัน และการลดจำนวนสัญญาณที่มากเกินไปของระบบโดยวิธีการลดสัญญาณ Exploratory data ด้วยการจำลองการทำงานโดยใช้ NS2 version 2.33 ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะในด้านต่างๆ (Metrics) ของโพรโทคอลไคเร็คเตดดิฟฟิวชันในรูปแบบเดิม และโพรโทคอลที่นำเสนอ

กำหนดให้ในเครือข่ายมีโหนดจำนวน 15 โหนดในตอนเริ่มต้น ทำการเพิ่มโหนดทีละ 5 โหนดในแต่ละการทดลองจนถึง 35 โหนดภายในพื้นที่ 670 เมตร \* 670 เมตร ในทุกๆการทดลอง โหนดต้นทางอยู่ที่ตำแหน่ง  $x=70$  เมตร,  $y=70$  เมตร และ  $z=0$  เมตร (เทียบกับจุดอ้างอิงที่กำหนดให้เป็นจุดกำเนิด  $x=0$  เมตร,  $y=0$  เมตร และ  $z=0$  เมตร) ส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางคือโหนดที่อยู่ตำแหน่ง  $x=620$  เมตร,  $y=620$  เมตร และ  $z=0$  เมตร (ในหลายๆการทดลองโหนดต้นทางและโหนดปลายทางไม่มีการเคลื่อนที่) กำหนดให้โหนดทุกโหนดในเครือข่ายมีพลังงานเริ่มต้นที่ 5 J โหนดส่งข้อมูลด้วยกำลังส่งสัญญาณ (Transmit power) 660 mW และรับข้อมูลด้วยกำลังรับสัญญาณ (Received power) 395 mW โดยที่ขอบเขตสัญญาณของโหนดเท่ากับ 250 เมตร [2][16] (ค่าเหล่านี้กำหนดมาจาก AT&T's Wavelan PCMCIA card) รูปแบบการเคลื่อนที่ที่ใช้ของเซนเซอร์โหนดในเครือข่ายเป็นแบบ Random waypoint ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดที่อยู่ในเครือข่ายมีค่า 0.1-2 m/s และช่วงความเร็วมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอกรูป

เปรียบเทียบทั้งสองโปรโตคอลโดยทำการทดลองที่จำนวนโหนด 15 โหนด, 20 โหนด, 25 โหนด, 30 โหนด และ 35 โหนดตามลำดับ ในแต่ละขนาดของเครือข่ายทำการทดลองสองรูปแบบคือ รูปแบบแรกใช้โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุแบบ Two-ray ground reflection รูปแบบที่สองใช้โมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุแบบ Shadowing กำหนดให้ Carrier-sense threshold (CSThersh) และ Received threshold (RXThersh) มีค่า  $3.65262 \times 10^{-10}$  W,  $1.559 \times 10^{-11}$  W สำหรับโมเดล Two-ray ground reflection ตามลำดับ และ  $1.082 \times 10^{-14}$  W,  $4.61817 \times 10^{-16}$  W สำหรับโมเดล Shadowing ตามลำดับ ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากการจำลอง 5 ครั้งในแต่ละกรณีและนำค่าเฉลี่ยมาใช้ในการวิเคราะห์ผลโดยที่ค่า Error bar ที่แสดงในผลการทดลองคือค่า Confidence interval สำหรับทุกๆการทดลอง พารามิเตอร์ทั้งหมดที่ใช้ในการจำลองการทำงานแสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 พารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดให้กับการทดลอง

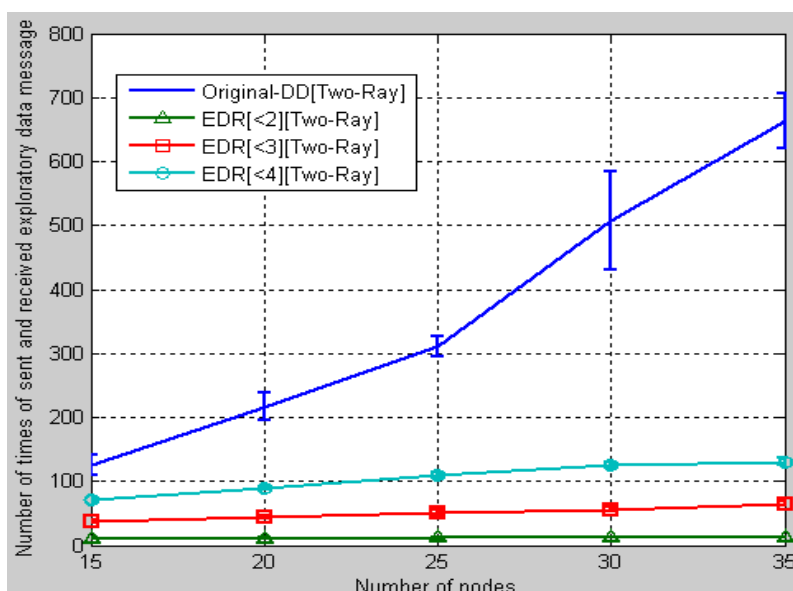
Parameters	Values
Simulation times	70 minutes
Network sizes	15, 20, 25, 30 and 35 nodes
Sink and source nodes	One sink and one source. Sink node's location is $x=70m, y=70, z=0$ Source node's location is $x=620 m, y=620m, z=0$
Dimension of the topology	All sensor nodes, except a sink and a source, are randomly located and moving in $670 m \times 670 m$
Mobility speed	Uniformly distributed between 0.1-2.0 m/s
Transmission range	250 m
<i>RXThersh</i> and <i>CSThersh</i> (carrier-sense threshold and received threshold)	$3.65262 \times 10^{-10}$ W, $1.559 \times 10^{-11}$ W for Two-ray ground reflection model $1.082 \times 10^{-14}$ W, $4.61817 \times 10^{-16}$ W for Shadowing model
Transmission / Received / Idle power / Initial energy	0.6 W / 0.3 W / 0.035 W/ 5J [2][16]
MAC	IEEE 802.11[2][16]

#### 4.4.3 การวัด

เปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างโพรโทคอลไดเร็กต์ดิสเพิฟิวชัน (Original Directed diffusion: original-DD) และโพรโทคอลที่นำเสนอ (Exploratory data reduction: EDR) ในด้านดังนี้

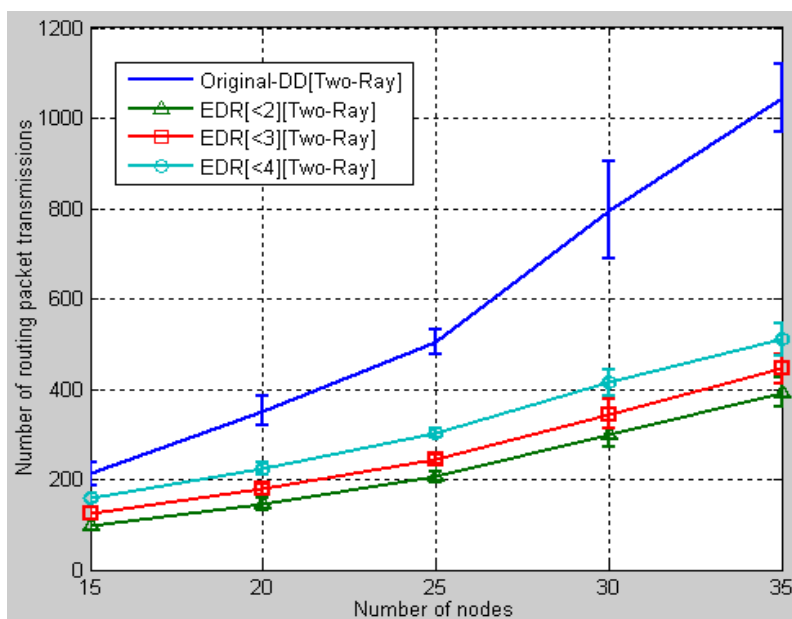
1. จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Exploratory data ทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดในเครือข่าย สำหรับตัววัดนี้เป็นการวัดจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Exploratory data ทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างในการให้สัญญาณ Exploratory data ของ original-DD และ EDR
2. จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่ใช้ในการจัดเส้นทางทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดในเครือข่าย ตัววัดนี้เป็นการวัดจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Interest, exploratory data, และ Reinforcement ทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดจากโหนดต้นทางถึงโหนดปลายทาง โดยไม่นับรวมสัญญาณข้อมูล (Data) ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงการให้สัญญาณของโพรโทคอลที่ใช้ในการจัดเส้นทางก่อนที่จะมีการรับส่งข้อมูล
3. พลังงานรวมทั้งหมดที่โหนดในเครือข่ายใช้ ตัววัดนี้เป็นการวัดค่าพลังงานที่ทุกๆ โหนดในเครือข่ายใช้ไปจากการรับส่งสัญญาณโพรโทคอลเพื่อจัดเตรียมเส้นทางและรับส่งข้อมูลตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนกระทั่งหมดเวลาการจำลองการทำงาน

#### 4.4.4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง การลดสัญญาณ

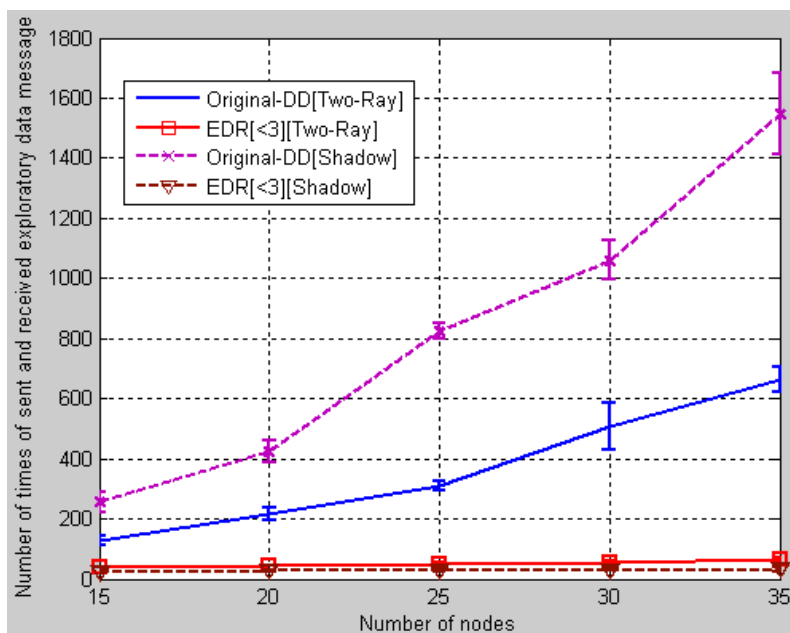


ภาพประกอบ 4-13 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Exploratory data

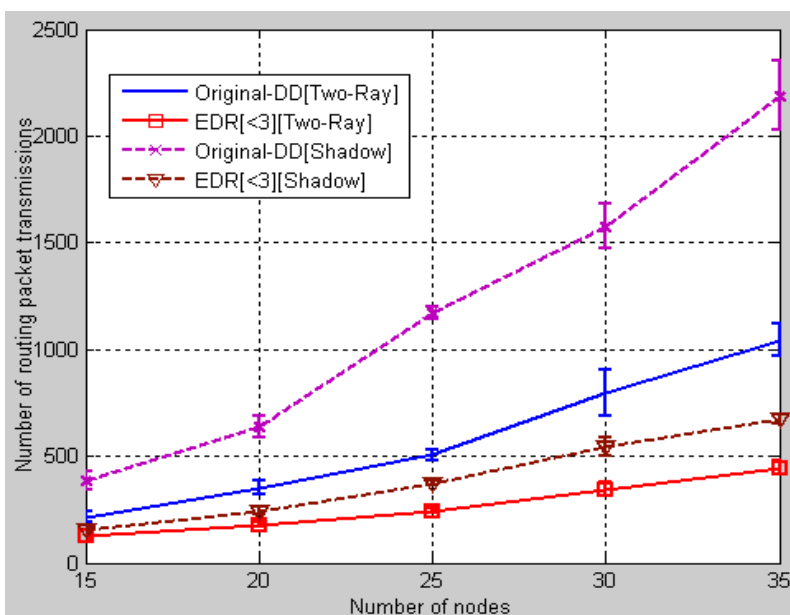
จากผลการทดลองในภาพประกอบ 4-13 แสดงให้เห็นว่าโพรโทคอลที่นำเสนอ EDR[Two-Ray] (ใช้โมเดลการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุเป็นแบบ Two-ray ground reflection) สามารถลดจำนวนครั้งของการรับส่งข้อความ Exploratory data ได้มากกว่า Original-DD[Two-Ray] โพรโทคอลที่นำเสนอสามารถกำหนดได้ว่าจะให้โหนดส่งข้อความ Exploratory data ให้แก่โหนดข้างเคียงจำนวนกี่โหนด การให้โหนดเลือกส่งไปยังโหนดข้างเคียงเพียงโหนดเดียว EDR[<2][Two-Ray] สามารถลดจำนวนการใช้สัญญาณ Exploratory data ของเครือข่ายได้มากกว่า การให้โหนดเลือกส่งไปยังโหนดข้างเคียงสองโหนด EDR[<3][Two-Ray] และสามโหนด EDR[<4][Two-Ray] หรือมากกว่านั้น การกำหนดให้โหนดเลือกส่งไปยังโหนดข้างเคียงได้เท่ากับจำนวนของโหนดข้างเคียงที่มากที่สุดของโหนดใดโหนดหนึ่งในเครือข่าย ผลที่ได้จะเป็นกรณี Original-DD[Two-ray] ยกตัวอย่างเช่นในเครือข่ายมีโหนดทั้งหมด 20 โหนด โหนดที่ 1 มีจำนวนโหนดข้างเคียงจำนวน 5 โหนดซึ่งโหนดที่ 1 นี้เป็นโหนดที่มีจำนวนโหนดข้างเคียงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับโหนดอื่นๆ นั่นหมายความว่าถ้ากำหนดให้ EDR[<6][Two-Ray] การกำหนดดังกล่าวก็จะเป็นกรณี Original-DD[Two-ray] เนื่องจากการให้โหนดเลือกส่งไปยังโหนดข้างเคียงได้ 5 โหนดนั้น โหนดอื่นๆ ในเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดข้างเคียงที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 โหนดก็สามารถส่งข้อความ Exploratory data ให้แก่โหนดข้างเคียงได้ครบทุกโหนด จากผลการทดลองเมื่อทำการเพิ่มจำนวนโหนดในเครือข่ายจาก 15, 20, 25, 30, และ 35 โหนด แนวโน้มการรับส่งข้อความ Exploratory data สำหรับ EDR ก็ยังคงน้อยกว่ากรณี Original-DD[Two-ray] และผลที่ได้ในภาพประกอบ 4-14 แสดงให้เห็นว่า EDR สามารถลดจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่ใช้ในการจัดเส้นทางทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดในเครือข่าย ซึ่งเป็นการวัดจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Interest, Exploratory data, และ Reinforcement รวมกันได้เช่นเดียวกัน



ภาพประกอบ 4-14 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่ใช้ในการจัดเส้นทาง



ภาพประกอบ 4-15 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Exploratory data



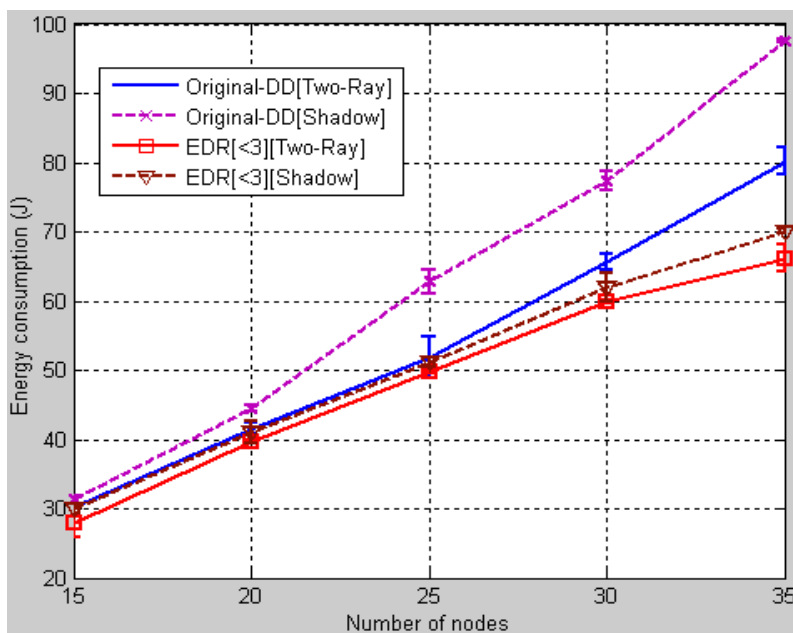
ภาพประกอบ 4-16 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่ใช้ในการจัดเส้นทาง

ภาพประกอบ 4-15 แสดงจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Exploratory data ทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดในเครือข่าย (Number of times of sent and received exploratory data message) และภาพประกอบ 4-16 แสดงจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่ใช้ในการจัดเส้นทางทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดในเครือข่าย เมื่อมีการพิจารณาถึงผลของโมเดลการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุที่แตกต่างกันต่อ Original-DD และโปรโตคอลที่นำเสนอ EDR จะเห็นได้ว่าทั้งสองรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อโปรโตคอลถูกใช้งานในเครือข่ายที่สภาพแวดล้อมมีลักษณะใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงโดยการเพิ่ม Shadow fading ผล

ที่ได้คือจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณจะสูงกว่ากรณีที่เป็นโมเดล Two-ray ground reflection ส่วนจำนวนของสัญญาณโพรโทคอลในกรณี EDR[<3][Two-Ray] และ EDR[<3][Shadow] ที่นำเสนอยังคงน้อยกว่ากรณี Original-DD[Two-ray] และ Original-DD[Shadow]

ในภาพประกอบ 4-15 ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Exploratory data กรณี EDR[<3][Shadow] ต่ำกว่า EDR[<3][Two-Ray] ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในโมเดล Shadowing ขั้นตอนการส่งสัญญาณ Interest โหนดต่างๆในเครือข่ายมีโอกาสที่จะรับสัญญาณจากโหนดที่อยู่ห่างจากโหนดเองมากกว่า 250 เมตร โดยข้อมูลไม่มีความผิดพลาด นั่นหมายความว่าโหนดต่างๆในเครือข่ายจะมีจำนวนโหนดข้างเคียงที่มากขึ้น จึงมีการให้สัญญาณ Interest จึงสูงในขั้นตอนนี้ เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการส่งสัญญาณ Exploratory data โหนดปลายทางจะส่งสัญญาณนี้ไปยังโหนดข้างเคียงจำนวนสองโหนดที่โหนดปลายทางได้รับสัญญาณ Interest เป็นลำดับแรกและลำดับที่สอง ซึ่งทั้งสองโหนดที่รับก็คือโหนดที่อยู่ไกลสุดและรองลงมาจากโหนดปลายทาง (เนื่องมาจากในขั้นตอนการส่งสัญญาณ Interest โหนดทั้งสองนี้สามารถส่งสัญญาณถึงโหนดปลายทางได้) โหนดทั้งสองที่รับสัญญาณจากโหนดปลายทางก็จะดำเนินการในลักษณะเดียวกัน จึงมีโอกาสสูงที่ภายในพื้นที่ 670 เมตร \* 670 เมตร (Sensor field) จะมีโหนดที่ทำการรับส่งสัญญาณ exploratory data จำนวนน้อย เนื่องจากจำนวน Hop น้อยๆโหนดต้นทางก็สามารถรับสัญญาณ Exploratory data ได้ และยังเครือข่ายมีจำนวนโหนดหนาแน่นขึ้นภายในพื้นที่ขนาดเดียวกัน ก็ยิ่งทำให้โหนดสามารถติดต่อกับโหนดที่อยู่ห่างจากโหนดเองมากกว่า 250 เมตรได้ง่าย ส่วนกรณีโมเดล Two-ray ground โหนดจะส่งสัญญาณ Exploratory data ไปยังโหนดข้างเคียงได้ไกลสุดก็คือที่ขอบของสัญญาณ (250 เมตร) และมีโอกาสที่จะเกิด Error โหนดที่ทำการรับส่งสัญญาณ Exploratory data มีจำนวนมากกว่ากรณีโมเดล Shadowing จำนวน Hops ก็สูงกว่าที่จะทำให้สัญญาณ Exploratory data สามารถส่งถึงโหนดต้นทาง (หมายเหตุ: ไม่เสมอไปที่ Fading effect ทำให้การส่งสัญญาณไกลเกิน 250 เมตร เฉพาะการทดลองนี้ที่จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณ Exploratory data กรณี EDR[<3][Shadow] ต่ำกว่า EDR[<3][Two-Ray] )

ในภาพประกอบ 4-16 จำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่ใช้ในการจัดเส้นทางทั้งหมดของเซนเซอร์โหนดในเครือข่ายกรณี EDR[<3][Shadow] สูงกว่า EDR[<3][Two-Ray] ก็เป็นเพราะการนับจำนวนครั้งในการรับส่งสัญญาณที่ใช้ในการจัดเส้นทางเป็นการนับรวมจำนวนครั้งของสัญญาณ Interest โดยวิธี Flooding เข้าไปด้วย ซึ่งมีจำนวนมากในกรณีโมเดล Shadowing การรวมจำนวนครั้งของสัญญาณ Exploratory data เข้าไปก็ยิ่งทำให้มากขึ้น



ภาพประกอบ 4-17 พลังงานรวมทั้งหมดที่โหนดในเครือข่ายใช้

ภาพประกอบ 4-17 แสดงพลังงานรวมทั้งหมดที่โหนดในเครือข่ายใช้ ซึ่งวัดจากการที่ทุกๆ โหนดในเครือข่ายใช้พลังงานจากการรับส่งสัญญาณ โพรโทคอลเพื่อจัดเตรียมเส้นทางและรับส่งข้อมูล พลังงานรวมทั้งหมดที่โหนดในเครือข่ายใช้กรณี Shadowing จะสูงกว่ากรณี Two-ray ground reflection และพลังงานรวมทั้งหมดที่โหนดในเครือข่ายใช้สำหรับ Original-DD[Two-ray] และ Original-DD[Shadow] มีค่าสูงกว่าโพรโทคอลที่นำเสนอทั้ง EDR[<3][Two-Ray] และ EDR[<3][Shadow] ทั้งนี้เนื่องจากว่าโพรโทคอลที่นำเสนอมีความสามารถในการกำหนดจำนวนโหนดข้างเคียงที่รับส่งสัญญาณ เป็นผลให้ EDR สามารถลดจำนวนของข้อความ Exploratory data ได้ซึ่งทำให้โหนดในเครือข่ายกรณีที่ใช้โพรโทคอลที่นำเสนอ EDR สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าการที่โหนดในเครือข่ายตอบกลับสัญญาณ Exploratory data โดยการส่งไปยังทุกๆ โหนดข้างเคียงที่รับข้อความ Interest มาในรูปแบบเดิม

#### 4.5 สรุปผลการทดลอง

ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า โพรโทคอลที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการลดการให้สัญญาณโพรโทคอลที่มากเกินไป ด้วยวิธีการลดการให้สัญญาณ Exploratory data ในกระบวนการจัดเส้นทางของโพรโทคอลใดเร็คเตดดิฟฟิวชันในรูปแบบเดิม ส่งผลให้โหนดในเครือข่ายสามารถประหยัดพลังงานและโหนดใช้เวลาในการกำหนดเส้นทางสำหรับรับส่งข้อมูลได้รวดเร็วมากขึ้น



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

หลังจากได้ทำการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมโทคอลการจัดเส้นทางไดเร็กต์ดีดิวชัน ตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยดังกล่าวในบทที่ 3 และ 4 มาแล้ว ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัย ปัญหาและอุปสรรคในการทำงานวิจัย รวมทั้งวิจารณ์และข้อเสนอแนะสำหรับการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมโทคอลการจัดเส้นทางไดเร็กต์ดีดิวชันที่มีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการศึกษาและเป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยทางด้านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย หรือด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาวิจัยแสดงให้เห็นว่า การจัดหาเส้นทางในการรับส่งข้อมูลของโหนดมีผลต่อสมรรถนะของระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ดังนั้นการพัฒนาโปรแกรมโทคอลการจัดเส้นทางที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นประเด็นที่ท้าทายในการทำวิจัย จากการศึกษาทบทวนเอกสารตีพิมพ์พบว่า ผลกระทบของวิธีการให้สัญญาณ การแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ และการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดต่อสมรรถนะของโปรแกรมโทคอลไดเร็กต์ดีดิวชัน เป็นประเด็นวิจัยที่น่าสนใจและก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในแง่ขององค์ความรู้ที่ได้รวมทั้งการใช้งานโปรแกรมโทคอลที่ได้รับการพัฒนา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและปรับปรุงโปรแกรมโทคอลการจัดเส้นทางไดเร็กต์ดีดิวชันตามประเด็นวิจัยดังกล่าว

สำหรับการทำวิจัย จำเป็นต้องศึกษาให้เห็นถึงปัญหาและข้อจำกัดของโปรแกรมโทคอลไดเร็กต์ดีดิวชันตามประเด็นวิจัยที่ได้นำเสนอไว้โดยวิธีการทดลอง เพื่อที่จะทำให้เข้าใจถึงกระบวนการจัดเส้นทางและข้อจำกัดของโปรแกรมโทคอลได้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นในบทที่ 3 จึงเป็นการศึกษาในประเด็น กระบวนการให้สัญญาณของโปรแกรมโทคอลไดเร็กต์ดีดิวชัน การจัดเส้นทางของโปรแกรมโทคอลไดเร็กต์ดีดิวชันที่พิจารณาถึงผลกระทบต่างๆที่สามารถเกิดขึ้นได้ในสภาพแวดล้อมจริง อันได้แก่การจัดเส้นทางที่พิจารณาถึงการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนด และการจัดเส้นทางที่พิจารณาถึงคุณลักษณะของสัญญาณวิทยุ ในการศึกษากระบวนการให้สัญญาณจากกระบวนการจัดเส้นทางของโปรแกรมโทคอลไดเร็กต์ดีดิวชันพบว่า ในกระบวนการจัดเส้นทางโหนดในเครือข่ายมีการให้สัญญาณโปรแกรมโทคอลที่สูง ได้แก่ การรับส่งสัญญาณ Interest และ Exploratory data ผลจากวิธีการให้สัญญาณโปรแกรมโทคอลที่สูงนี้ส่งผลต่อการใช้พลังงานของโหนดในเครือข่าย ในส่วนของการจัดเส้นทางที่พิจารณาถึงการเคลื่อนที่ของเซนเซอร์โหนดพบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดและขนาดของเครือข่าย มี

ผลต่อกระบวนการรับส่งสัญญาณและการใช้พลังงาน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนดและขนาดจำนวนโหนดที่ต่างกันจะส่งผลกระทบต่อการใช้สัญญาณและพลังงานที่ต่างกัน ส่วนการทดลองในประเด็นการจัดเส้นทางที่พิจารณาถึงคุณลักษณะของสัญญาณวิทยุ เป็นการจำลองการทำงานที่พิจารณาให้โปรโตคอลไดเร็กต์ดีดพิฟิวชันถูกใช้ในสภาพแวดล้อมจริง ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าความแปรปรวนของสัญญาณวิทยุหรือการแกว่งของสัญญาณวิทยุ ส่งผลกระทบต่อกระบวนการจัดเส้นทางของโปรโตคอล ทำให้โหนดมีการใช้สัญญาณที่สูงมากเป็นผลให้โหนดมีการใช้พลังงานสูงตาม

ผลการศึกษาในบทที่ 3 เป็นแนวทางในการออกแบบพัฒนาโปรโตคอลไดเร็กต์ดีดพิฟิวชัน ซึ่งแสดงในบทที่ 4 การลดสัญญาณ Exploratory data โดยการพัฒนากระบวนการจัดเส้นทางที่เรียกว่า EDR algorithm ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโปรโตคอลที่นำเสนอสามารถลดการใช้สัญญาณโอเวอร์เฮดในขั้นตอนการส่ง Exploratory data และโหนดสามารถประหยัดพลังงานมากกว่าโปรโตคอลไดเร็กต์ดีดพิฟิวชันในรูปแบบเดิม

อย่างไรก็ตามวิธีการที่นำเสนอก็ยังคงมีข้อจำกัดอยู่ กล่าวคือการลดจำนวนการส่งข้อความ Exploratory data ของโหนด ถูกกำหนดโดยผู้ออกแบบในตอนเริ่มต้นของการจำลองการทำงาน ซึ่งไม่ได้เกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นในเครือข่ายขณะที่จำลองการทำงาน ซึ่งการลดจำนวนการส่งข้อความ Exploratory data นี้ควรจะพิจารณาจากสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นในระหว่างการจำลองการทำงาน ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายๆปัจจัย เช่น การเคลื่อนที่ของโหนด และ การแกว่งของสัญญาณวิทยุ เป็นต้น นอกจากนี้แล้ว โปรโตคอลไดเร็กต์ดีดพิฟิวชันในรูปแบบเดิมค่อนข้างจะ Robust กว่า EDR กล่าวคือมีจำนวนเส้นทางมากพอให้โหนดค้นทางเลือกเพื่อยืนยันเส้นทางในการรับส่งข้อมูลกรณีที่มีหลายเส้นทางได้รับความเสียหาย

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

### 5.2.1 ปัญหา

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงโพรโทคอลโคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น ต่อยอดจากรูปแบบเดิม ดังนั้นในขั้นตอนของการศึกษาโปรแกรม ในโปรแกรมจำลองการทำงาน NS2 ที่เดิมได้ถูกเขียนขึ้นจากผู้อื่นค่อนข้างยุ่งยากในการทำความเข้าใจโปรแกรม ซึ่งความเข้าใจในโปรแกรมจะเป็นพื้นฐานในขั้นตอนการแก้ไข พัฒนาโพรโทคอลโคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น

### 5.2.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทำวิจัย ผู้วิจัยพบว่า ข้อเสนอแนะต่อไปนี้จะเป็แนวทางในการพัฒนาโพรโทคอลการจัดเส้นทาง โคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น ที่มีประสิทธิภาพ

- 5.2.2.1 ในการศึกษาเรื่อง ผลกระทบจากการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุต่อสมรรถนะของโพรโทคอลโคเร็คเต็คดิฟฟิวชั่น การเลือกโมเดลการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุที่มีคุณลักษณะของสัญญาณวิทยุใกล้เคียงสภาพการใช้งานจริงมากที่สุดจะทำให้สามารถวิเคราะห์ผลได้ดียิ่งขึ้น และส่งผลต่อแนวทางการพัฒนาโพรโทคอลที่มีประสิทธิภาพ การเพิ่มโมเดลการแพร่สัญญาณวิทยุ Rayleigh และ Rician fading ในการจำลองการทำงานอาจให้ผลการวิจัยที่น่าสนใจ
- 5.2.2.2 EDR algorithm ที่นำเสนอยังคงมีข้อจำกัดอยู่ นั่นคือการกำหนดจำนวนของโหนดข้างเคียงที่ส่งข้อความ Exploratory data ไป ถูกกำหนดขึ้นในขั้นตอนเริ่มต้นโดยผู้ออกแบบ การกำหนดดังกล่าวไม่ได้เกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในเครือข่ายขณะนั้นๆ ดังนั้นการเลือกจำนวนการส่งข้อความ Exploratory data ที่เกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติด้วยวิธีการ หรือพิจารณาจากใดๆ ก็ตาม เช่นพิจารณาจาก การเคลื่อนที่ของโหนด และการแพร่กระจายของสัญญาณวิทยุ จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจและเป็นแนวทางการพัฒนาในอนาคตอีกทางเลือก

### บรรณานุกรม

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," in IEEE Communications Magazine, pp. 102-114, August 2002.
- [2] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion for Wireless Sensor Networking," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 11, No. 1, February 2003.
- [3] Z. Li, H. Shi, "Design of Gradient and Node Remaining Energy Constrained Directed Diffusion Routing for WSN," International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCom 2007, pp. 2600-2603, September 2007.
- [4] Y. Cui, I. Cao, "An Improved Directed Diffusion for Wireless Sensor Networks," International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCom 2007, pp. 2380-2383, September 2007.
- [5] S. Zhoa, F. Yu, B. Zhao, "An Energy Efficient Directed Diffusion Routing Protocol," International Conference on Computational Intelligence and Security, CIS, pp. 1067-1072, December 2007.
- [6] K. Lyes, B. Nadjib, "On the Performance of Directed Diffusion in Dense Sensor Networks," The 4<sup>th</sup> International Conference on Innovations in Information Technology, pp. 113-117, November 2007.
- [7] N. Hu and D. Zhang, "Source Routing Directed Diffusion in Wireless Sensor Networks," Asia Network for Scientific Information, Information Technology Journal 5(3): pp. 534-539, 2006.
- [8] J. Jang, "A Study on a Sequenced Directed Diffusion Algorithm for Sensor Networks," The 9<sup>th</sup> International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT2007, pp. 679-683, February 2007.
- [9] J. Liu, Y. Li, Q. Chen, Y. Kuang, L. Hu Y. Kuang, K. Long, "Energy and Storage Efficient Directed Diffusion for Wireless Sensor Networks," International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCom 2007, pp. 2460-2463, September 2007.
- [10] M. Tan, J. He, J. Jiang, "The Probe Into Reflection Model of Large-scale Fading," International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCom 2007, pp. 1064-1067, September 2007.

- [11] R. Agrawal, "Performance of routing strategy (Bit Error Based) in fading environments for mobile Ad-hoc network," Proceedings of 7<sup>th</sup> IEEE International Conference on Personal Wireless Communications, ICPWC 2005, pp. 550-554, January 2005.
- [12] A. Booranawong and W. Teerapabkajorndet, "Effects of Mobility on the Performance of Directed Diffusion Protocol," Proc. Electrical Engineering conference (EECON), 2008.
- [13] A. Booranawong and W. Teerapabkajorndet, "Impact of Radio Propagation on the Performance of Directed Diffusion Routing in Mobile Wireless Sensor Networks," Proc. International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology (ICESIT), 2009.
- [14] A. Booranawong and W. Teerapabkajorndet, "Reduction of Exploratory Data Messages on Directed Diffusion in Mobile Wireless Sensor Networks," Proc. Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTIT), 2009.
- [15] K. Akkaya and M. Younis, "A Survey of Routing Protocols in Wireless Sensor Networks," in the Elsevier Ad Hoc Network Journal, Vol. 3/3 pp. 325-349, 2005.
- [16] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks," Proceedings of ACM MobiCom '00, pp. 56-67 Boston, MA, 2000.
- [17] T. H. Ahmed, "Simulation of Mobility and Routing in Ad Hoc Networks using Ant Colony Algorithms," International Conference on Information Technology, Coding and Computing, ITCC 2005, Vol 2, pp 698-703, April 2005.
- [18] S. Gowrishanker, T. G. Basavaraju and S. K. Sarker, "Effect of Random Mobility Models Pattern in Mobile AD hoc Networks," IJCSNS International Journal of Computer Science and Network security, Vol.7 No.6, June 2007.
- [19] The VINT Project, "The ns Manual (formerly ns Notes and Documentation)," A Collaboration between researchers at UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, April 2008.

**ภาคผนวก**

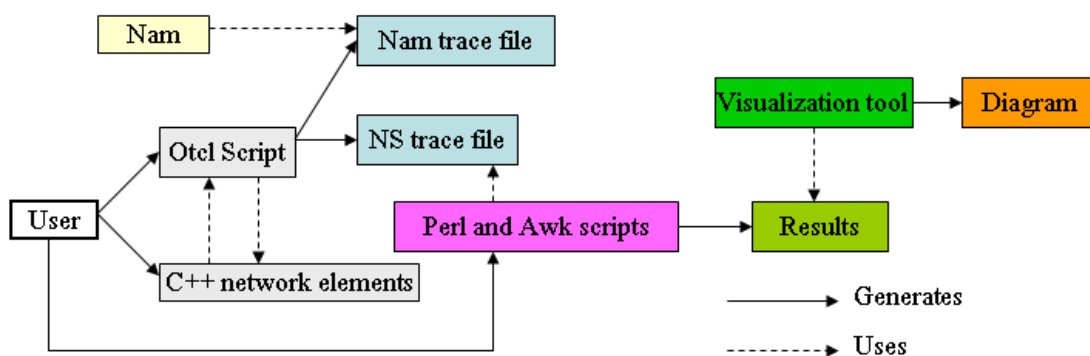
**ภาคผนวก ก Network Simulator version 2 (NS2)**

## ก1. บทนำ

การพัฒนาาระบบเครือข่ายนั้นจะต้องมีการวางโครงสร้างและระบบผ่านอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการเชื่อมต่อเครือข่ายมากมาย ในการที่จะติดตั้งระบบเครือข่ายสำหรับการใช้งานนั้นจะต้องมีการทดสอบการทำงานของระบบเครือข่าย จึงเป็นการยากที่จะทดสอบการทำงานของระบบเครือข่ายโดยการทดสอบผ่านอุปกรณ์ต่างๆที่ได้ทำการวางระบบไว้แล้ว เนื่องจากการวางระบบเครือข่ายต้องใช้งบประมาณและเวลามากจึงไม่คุ้มค่าที่จะทดสอบการทำงานของระบบเครือข่ายโดยการทดสอบผ่านอุปกรณ์ที่ใช้ในความเป็นจริง ทั้งยังเป็นการเสี่ยงต่อระบบเครือข่ายจากความผิดพลาดในการทดสอบจริง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการจำลองการทำงานของระบบเครือข่ายแทนการทดสอบจริง เพื่อที่จะได้ทำการศึกษาการทำงานของระบบเครือข่ายในด้านต่างๆ เช่น พฤติกรรมการขนส่ง Packet ในการรับส่งข้อมูล การศึกษาการทำงานของ Traffic บนระบบเครือข่าย การศึกษาการกระบวนการทำงานของโปรโตคอล และการประเมินสมรรถนะของเครือข่าย เป็นต้น นอกจากนี้แล้ว การมีโปรแกรมที่ช่วยในการจำลองการทำงานของระบบเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพยังก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษา และพัฒนางานวิจัยทางด้านระบบเครือข่ายอีกด้วย

ปัจจุบันโปรแกรมการจำลองการทำงานของระบบเครือข่าย NS2 (Network simulator version 2) ได้รับความนิยมจากผู้ใช้นักวิจัย NS2 เป็น Open source สามารถที่จะ Run ได้ทั้งบน Linux, FreeBSD, SunOS, Solaris และ Window ถูกพัฒนาขึ้นโดย ISI (Information Sciences Institute) โปรแกรมจำลองการทำงานของ NS2 เป็น Discrete event simulator สนับสนุนการจำลองการทำงานของ TCP, Routing, Multicast protocols over wired และ Wireless (Local และ Satellite) network และ Wireless sensor network เป็นต้น ทั้งยังมีความสามารถในการแสดงรายละเอียดของผลจากการจำลองการทำงานออกมาในรูปแบบกราฟิก

## ก2. หลักการทำงานของ NS2

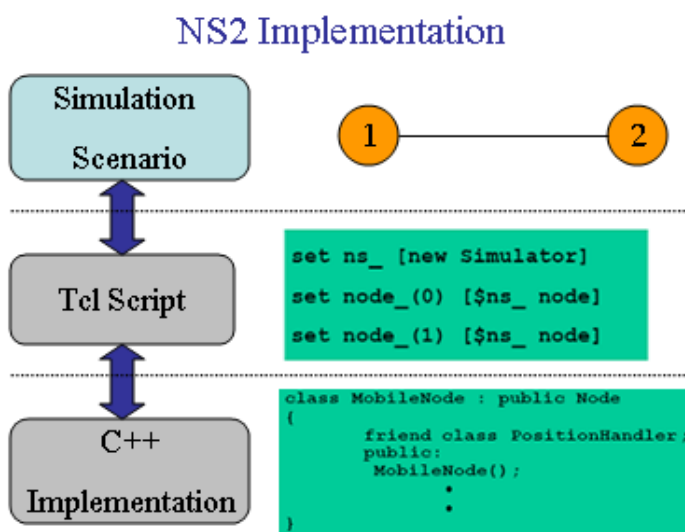


ภาพประกอบ ก-1 โครงสร้างการทำงานของ NS



จากภาพประกอบ ก-1 ผู้ใช้สามารถสร้าง Otcl Scrip, C++ network elements และ Perl/Awk scripts เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบจำลองการทำงานของเครือข่าย โดยผู้สร้าง C++ network ขึ้นมาเพื่อให้เป็น Object ที่อยู่ใน Library ที่สามารถเรียกใช้ได้โดยเรียกใช้ผ่าน Command ของ Otcl Script ซึ่งมี Otcl linkage เป็นตัวที่จะเรียก Object ใน library ขึ้นมาใช้งานเมื่อ Otcl Script ถูกประมวลผล

หลังการประมวลผล Otcl Script จะสร้าง Nam trace file และ NS trace file ซึ่งตัว Nam trace file ที่ได้นั้นจะถูกเรียกใช้โดย Nam เพื่อที่จะนำไปประมวลผลและแสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟิก ในส่วนของ Perl และ Awk scripts นั้นจะเรียกใช้ Ns trace file เพื่อนำ Ns trace file มา Filter ให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็น Results ซึ่งจะถูกรวบรวมโดย Visualization tool เช่น Xgraph หรือ Gnuplot เพื่อที่จะนำมาสร้างกราฟที่แสดงผลการจำลองการทำงานของเครือข่าย โดยการประมวลผลของ NS2 แสดงดัง ภาพประกอบ ก-2



ภาพประกอบ ก-2 การประมวลผลของ NS2

ภาษาที่ใช้ใน NS2 มีอยู่สองภาษาคือ C++ และ Otcl โดยมีการใช้งานที่ต่างกันดังนี้

#### 1. C++

- ใช้สร้างโพรโทคอล และ Application Agent
- สามารถกำหนดคุณสมบัติและกระบวนการทำงานของ Packet ตามที่ผู้ต้องการ
- ใช้เปลี่ยนการทำงานของ Object ใน C++ เพื่อเอาไว้ปรับใช้กับ Non-standard policies

## 2. Otcl (Object Tool Command Language)

- ใช้ในการเขียน Simulation script, Configuration และ Setup
- ทดสอบผลของ Network parameter โดยการทำการเปลี่ยนแปลงค่าใน Object ของ C++
- วิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์โดยใช้การ Trace และแสดงผลทางหน้าจอ

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายอภิเดช บุรณวงศ์	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5010120120	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้าโทรคมนาคม)	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์	2550

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนค่าเล่าเรียน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์