ปัจจัยที่มีผลต่อความเท่าเทียมกันในการให้ความร่วมมือส่งต่อข้อมูลของโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ

FACTORS EFFECTING FAIRNESS COOPERATION IN MANET

นวลพรรณ ศรีพ้ำ

NUALPARN SRIFA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-IT-M-001-055

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัจจัยที่มีผลต่อความเท่าเทียมกันในการให้ความร่วมมือส่งต่อข้อมูลของโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ

FACTORS EFFECTING FAIRNESS COOPERATION IN MANET

นวลพรรณ ศรีฟ้า

NUALPARN SRIFA

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....82647
วัน,เดือน,ปี.....21 ก.ค. 2551

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-IT-M-001-055

FACTORS EFFECTING FAIRNESS COOPERATION IN MANET

NUALPARN SRIFA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN INFORMATION TECHNOLOGY

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

KMITL-2008-IT-M-001-055

COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ปัจจัยที่มีผลต่อความเท่าเทียมกันในการให้ความร่วมมือส่งต่อข้อมูลของโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ
นักศึกษา นางสาว นวลพรรณ ศรีฟ้า
รหัสประจำตัว 46066220
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ
แขนงวิชา วิทยาการสารสนเทศ
พ.ศ. 2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. โชติพัชร์ ภรณวลัย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ดร. รัตติกร วรากุลศิริพันธ์

บทคัดย่อ

เนื่องจากทรัพยากรบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เป็นทรัพยากรที่ได้รับมาจากโหนดที่เข้าร่วมกับเครือข่าย การส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายสามารถทำได้โดยการส่งต่อข้อมูลของโหนดที่อยู่ในเครือข่าย ซึ่งโหนดจะต้องใช้ทรัพยากรของโหนดในการทำหน้าที่นี้ ทรัพยากรที่มีอยู่บนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจถูกจำกัดด้วยพลังงานของแต่ละโหนดบนเครือข่าย แต่การนำเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจไปใช้งานในกรณีที่แต่ละโหนดมีความเป็นอิสระจากกัน ทำให้โหนดย่อมคำนึงผลประโยชน์ที่จะได้รับจากเครือข่ายเปรียบเทียบกับสิ่งที่โหนดจะต้องเสียให้กับเครือข่ายเป็นสำคัญ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการศึกษาเกี่ยวกับค่าความยุติธรรมบนเครือข่าย ที่แสดงถึงประโยชน์ที่โหนดได้รับเปรียบเทียบกับสิ่งที่โหนดเสียไปจากการเข้าร่วมเครือข่าย และแสดงถึงความร่วมมือร่วมใจของโหนดบนเครือข่าย รวมทั้งศึกษาว่าปัจจัยใดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจที่มีผลกระทบต่อค่าความยุติธรรม ในการวัดค่าความยุติธรรมของเครือข่ายเราทำการทดลองโดยใช้ซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู และใช้ค่าพลังงานเป็นตัวแทนของทรัพยากรของโหนด เนื่องจากพลังงานเป็นทรัพยากรที่สำคัญที่สุดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมการส่งต่อข้อมูลของโหนดบนเครือข่ายมีผลต่อค่าความยุติธรรมอย่างไร และปัจจัยใดของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจที่มีผลกระทบค่าความยุติธรรม

Thesis	Factors Effecting Fairness Cooperation in MANET.
Student	Miss Nualparn Srifa
Student ID.	46066220
Degree	Master of Science
Program	Information Science
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Chotipat Pornavalai
Co Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Rattikorn Varakulsiripunth

ABSTRACT

Due to network resources in MANET are inherited from the mobile nodes' resources. Transfering data in MANET is relayed from node to node as multi-hop behavior. Relaying data consumes resources of intermediate node. But all MANET resources are limited by mobile node resource, because mobile nodes work on their battery. If we apply MANET in environment that each user is independent, they will concern about their benefits. Therefore we study to MANET Fairness that show node's benefit compare with loss and show cooperation of node in MANET. And we study how each factors effect to fairness on MANET. We evaluate fairness by using simulator NS-2. And we use energy to represent resources of node because energy is the strictest in MANET. Simulation results will show that how mobile nodes's behavior and MANET's factor affect to Fairness in MANET.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดีด้วยคำแนะนำ คำปรึกษาจาก และความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จาก รศ. ดร. โชติพัชร์ ภรณวลัย ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ รศ. ดร. รัตติกร วรากูลศิริพันธุ์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ข้าพเจ้ารู้สึกทราบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสองท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในห้องแล็ป Intelligent Internet Research คณะเทคโนโลสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะเทคโนโลยีสารสนเทศทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือตลอดมา โดยเฉพาะในส่วนงานบริการทางวิชาการและวิจัย และงานบริการการศึกษา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นวลพรรณ ศรีฟ้า

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... ..1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา..... ...2

1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ขอบเขตการวิจัย.....3

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....4

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย..... 5

2.1 เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ..... 5

2.1.1 มาตรฐานไอทริปเปิลอี 802.11 7

2.1.2 การทำงานของไอทริปเปิลอี802.11 ในโอเอสไอโมเดล 8

2.1.2.1 การทำงานในชั้นฟิสิกซ์คอลเลเยอร์..... 8

2.1.2.2 การทำงานในชั้นดาต้าลิงค์เลเยอร์..... 9

2.2 เราติ้งโปรโตคอลบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ..... 12

2.2.1 โปรแอ็กทีฟเราติ้งโปรโตคอล..... 12

2.2.1.1 ดีเอสดีวี..... 12

2.2.1.2 โอแอลเอสอาร์..... 12

2.2.2 รีแอ็คทีฟเราติ้งโปรโตคอล 13

2.2.2.1 ดีเอสอาร์..... 13

2.2.2.2 เอโอดีวี..... 15

2.3 แนวคิดของงานวิจัย..... 16

2.3.1 ความเป็นอิสระจากกันของโหนด..... 17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2 บทบาทหน้าที่และทรัพยากรของโหนดบนเครือข่าย 17

2.4 พฤติกรรมการเห็นแก่ตัวของโหนดและการจูงใจโหนดที่เห็นแก่ตัว 18

2.4.1 วิธีที่อ้างอิงตามชื่อเสียงของโหนด 20

2.4.2 วิธีการจูงใจโหนดหรือการใช้เงินจำลอง 20

2.4.1.1 การใช้เซอร์ติฟิเคต 21

2.4.1.2การใช้เครดิต 21

2.4.1.3 การจูงใจด้วยวิธีอื่นๆ 22

2.5 การทดลองแบบซิมมูเลชั่น 23

2.5.1 โมบิลิตี้โมเดลสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ 23

2.5.1.1 แรนดอมวอล์คโมบิลิตี้โมเดล 23

2.5.1.2 แรนดอมเวย์พอยต์โมบิลิตี้โมเดล 24

2.5.1.3 เรฟเฟอร์เรนซ์พอยต์กรุ๊ปโมบิลิตี้โมลหรืออาร์พีจีเอ็ม 25

2.5.1.4 เกาซ์มาร์คอฟโมเดล 26

บทที่ 3 การหาค่าความยุติธรรมของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจและการปรับแต่งซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู 29

3.1 ความเป็นธรรมของการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ 30

3.1.1 ความเป็นธรรมในระดับโหนด 30

3.1.2 ความเป็นธรรมในระดับเครือข่าย 31

3.2 พลังงานในซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู 32

3.3 วิธีการคิดค่าพลังงานที่ได้จากเอ็นเอสทู 33

3.3.1 ประเภทเพ็กเก็ตที่มีในงานวิจัยชิ้นนี้ 32

3.3.2 เทรสไฟล์ของเอ็นเอสทู 34

3.3.2.1 เทรสไฟล์ที่แสดงเหตุการณ์ 34

3.3.2.2 เทรสของพลังงาน 37

3.3.2.3 เทรสของการเคลื่อนที่ 38

3.3.2.4 เทรสไฟล์ที่แก้ไข 38

3.3.3 วิธีการคิดค่าพลังงานจากเทรสไฟลีที่แก้ไขแล้ว 39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.3.1 การคำนวนหาพลังงานของแต่ละเหตุการณ์บนซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทูที่ถูกแก้ไขแล้ว 39
3.3.3.2 การเลือกพลังงานของแต่ละเหตุการณ์มาคิดค่าความยุติธรรม 40

บทที่ 4 ความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจในการทดลองบนซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู 42
4.1 การออกแบบการทดลองเพื่อวัดค่าความยุติธรรม 42
4.1.1 เครือข่ายที่ไม่มีความคับคั่งหรือมีความคับคั่งของข้อมูลน้อย 43
4.1.2 เครือข่ายที่มีความคับคั่ง 44
4.1.3 โหนดในเครือข่ายมีพลังงานจำกัด 44
4.1.4 โหนดเคลื่อนที่แบบอาร์พีจีเอ็ม 44
4.1.5 ใช้เอโอดีวีเป็นเราติ้งโปรโตคอล 45
4.2 ผลการทดลอง 45
4.2.1 การทดลองที่ 1 เครือข่ายไม่คับคั่ง 46
4.2.2 การทดลองที่ 2 เครือข่ายมีความคับคั่ง 51
4.2.3 การทดลองที่ 3 โหนดมีพลังงานจำกัด 55
4.2.4 การทดลองที่ 4 อาร์พีจีเอ็ม 59
4.2.5 การทดลองที่ 5 เอโอดีวี 63
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง 68

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 71
5.1 สรุปผลงานวิจัย 71
5.2 ข้อเสนอแนะ 73

บรรณานุกรม 74

ภาคผนวก 76

ประวัติผู้เขียน 89

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 วิธีการทำงานของ IEEE 803.22 ที่อัตราการส่งข้อมูลต่างๆ 9

4.1 การทดลองและตัวแปรของการทดลอง 43

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 มาตรฐานไอทริปเปิลอี 802.11 ในโอเอสไอโมเดล 8

2.2 ช่วงความถี่ไดเร็กซีเควินซ์สเปรดสเป็กตรัม 9

2.3 ค่าแม็กแอดเดรสของอุปกรณ์ไอทริปเปิลอี 802.11 10

2.4 ปัญหาโหนดที่มองไม่เห็น 11

2.5 ขั้นตอนการส่งข้อมูลบนไอทริปเปิลอี802.11 11

2.6 มัลติพอยท์รีเลย์โหนด 13

2.7 เรารีพายที่ประกอบไปด้วยเส้นทางการส่งข้อมูลของดีเอสอาร์ 14

2.8 การทำเรารีเควสต์ของเอโอดีวี 16

2.9 เส้นทางการส่งเรารีพายของเอโอดีวี 16

2.10 โทโปโลจีที่แสดงถึงความไม่เท่าเทียมกันในการทำงานของโหนด 19

2.11 สถาปัตยกรรมของสไปรท์ 21

2.12 การเคลื่อนที่แบบแรนดอมเวย์อวล์คในเทอมของเวลา 24

2.13 การเคลื่อนที่แบบเราดอมเวย์พอยท์ในเทอมของเวลา 25

2.14 การเคลื่อนที่แบบอาร์พีจีเอ็ม 26

2.15 มุมของการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนไปเมื่อโหนดเข้าใกล้กรอบ (ในหน่วยดีกรี) 27

2.16 การเคลื่อนที่แบบเกาซ์มาคอฟโมบิลิตี้โมเดล 28

3.1 การตั้งค่าพลังงานบนซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู 33

3.2 ตัวอย่างของคอนโทรเมสเสจในเทรสไฟล์ 34

3.3 ตัวอย่างของเทรสไฟล์แบบใหม่ 35

3.4 เทรสไฟล์แสดงค่าพลังงาน 38

3.5 เทรสแสดงการเคลื่อนที่ของโหนด 38

3.6 ส่วนที่แก้ไขบนซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู 39

3.7 วิธีการจำแนกพลังงานสำหรับการคิดค่าความยุติธรรม 40

4.1 ตัวอย่างค่าความยุติธรรมระดับโหนด 46

4.2 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดที่เครือข่ายมีการใช้งานสูงที่ผู้ใช้จำนวน 20 โหนดและมี 10 คู่การสื่อสาร 47

4.3 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดที่เครือข่ายมีการใช้งานสูงที่ผู้ใช้จำนวน 40 โหนด และ 20 คู่การสื่อสาร 47

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

4.4 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดที่เครือข่ายมีการใช้งานสูงที่ผู้ใช้จำนวน 60 โหนดและ 30 คู่การสื่อสาร 48
4.5 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านบวกของการทดลองที่ 1 48
4.6 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านลบของการทดลองที่ 1 49
4.7 ค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมในระดับโหนดของการทดลองที่ 1 50
4.8 ค่าอัตราการส่งข้อมูลของการทดลองที่ 1 50
4.9 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายของการทดลองที่ 1 51
4.10 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านบวกของการทดลองที่ 2 52
4.11 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านลบของการทดลองที่ 2 52
4.12 ค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมระดับโหนดของการทดลองที่ 2 53
4.13 อัตราการส่งข้อมูลของการทดลองที่ 2 54
4.14 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายของการทดลองที่ 2 54
4.15 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านบวกของการทดลองที่ 3 56
4.16 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านลบของการทดลองที่ 3 56
4.17 ค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมในระดับโหนดของการทดลองที่ 3 57
4.18 อัตราการส่งข้อมูลของการทดลองที่ 3 58
4.19 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายของการทดลองที่ 3 58
4.20 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านบวกของการทดลองที่ 4 60
4.21 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านลบของการทดลองที่ 4 60
4.22 ค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมในระดับโหนดของการทดลองที่ 4 61
4.23 อัตราการส่งข้อมูลของการทดลองที่ 4 62
4.24 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายของการทดลองที่ 4 63
4.25 ตัวอย่างค่าความยุติธรรมในระดับโหนดในการทดลองที่ 5 64
4.26 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านบวกของการทดลองที่ 5 65
4.27 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านลบของการทดลองที่ 5 65
4.28 ค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมในระดับโหนดของการทดลองที่ 5 66
4.29 อัตราการส่งข้อมูลของการทดลองที่ 5 66
4.30 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายของการทดลองที่ 5 67

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

4.31 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายที่ใช้เอโอดีวีเป็นเราติ้งโปรโตคอล โดยคิดเฉพาะโหนดที่มีส่วนร่วมกับเครือข่ายเท่านั้น 69
4.31ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายที่ใช้ดีเอสอาร์เป็นเราติ้งโปรโตคอลจากการทดลองที่ 1 โดยคิดเฉพาะโหนดที่มีส่วนร่วมกับเครือข่ายเท่านั้น 70

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ (Mobile Ad Hoc Network – MANET) เป็นเครือข่ายที่ได้รับความนิยมในการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากความแพร่หลายของอุปกรณ์เครือข่ายและคุณสมบัติพิเศษของเครือข่าย เช่น เป็นเครือข่ายที่ไม่มีโครงข่าย (No Infrastructure) ซึ่งทำให้ง่ายต่อการใช้งาน ผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่ได้ตลอดเวลาที่เชื่อมต่ออยู่กับเครือข่าย (Node Mobility) โดยที่ไม่หลุดจากการเชื่อมต่อเมื่อโหนดเคลื่อนที่อยู่ในบริเวณที่มีสัญญาณของโหนดข้างเคียง ทุกๆ โหนดบนเครือข่ายมีหน้าที่เหมือนกัน (Homogenous manner network) คือ โหนดจะต้องทำหน้าที่เป็นต้นทางและปลายทางของการส่งข้อมูลและยังต้องให้ความร่วมมือกับเครือข่ายในการส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นๆ อีกด้วย จากคุณสมบัติข้อนี้ทำให้โหนดจะสูญเสียทรัพยากรส่วนหนึ่งไปกับการรับและส่งข้อมูล แต่เนื่องจากโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจส่วนมากเป็นอุปกรณ์ประเภท พีดีเอ หรือแล็ปท็อปที่มีแบ็ตเตอร์รี่เป็นแหล่งพลังงาน ทำให้ทรัพยากรบนเครือข่ายไร้สายมีอยู่อย่างจำกัด จากคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นเครือข่ายที่น่าสนใจสำหรับการศึกษาวิจัย

จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีการศึกษาเกี่ยวกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจโดยการใช้เราติ้งโปรโตคอลของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ (MANET Routing Protocol) เพื่อค้นหาเส้นทางระหว่างต้นทางไปยังปลายทาง เมื่อมีการส่งข้อมูล โหนดที่อยู่ระหว่างทางของการสื่อสารจะต้องทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง และโหนดระหว่างทางจะต้องสูญเสียทรัพยากรของโหนดเพื่อใช้ในการรับหรือส่งข้อมูลแต่ละครั้ง มีโหนดบางส่วนพยายามรักษาทรัพยากรของตัวเองไว้ เพื่อยืดอายุการเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายให้นานที่สุดและเพื่อให้โหนดสามารถรับหรือส่งข้อมูลของตนเองได้มากที่สุด เราเรียกโหนดประเภทนี้ว่าเป็นโหนดที่มีพฤติกรรมที่เห็นแก่ตัว (Selfish Behavior) [7] เนื่องจากโหนดไม่ให้ความร่วมมือกับเครือข่ายแต่ยังคงรับบริการต่างๆ จากเครือข่ายอยู่ พฤติกรรมของโหนดเหล่านี้ทำให้เกิดผลเสียต่ออัตราการส่งข้อมูลของเครือข่าย ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับข้อเสียของการมีโหนดที่เห็นแก่ตัวเหล่านี้อยู่ในเครือข่ายและพยายามนำเสนอวิธีการจูงใจเพื่อให้โหนดเหล่านี้ให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลมากยิ่งขึ้น [7, 8, 13] รวมทั้งการกำหนดบทลงโทษโหนดที่เห็นแก่ตัวเหล่านี้เพื่อป้องกันไม่ให้โหนดมีพฤติกรรมเห็นแก่ตัว งานวิจัยเหล่านี้พยายามให้โอกาสแก่โหนดที่เคยได้ส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นเป็นจำนวนมากได้มีโอกาสในการส่งข้อมูลของตนเองมากกว่าโหนดที่ไม่เคยส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นเลย

แต่ที่ผ่านมายังไม่มีงานวิจัยชิ้นไหนที่ศึกษาเกี่ยวกับประโยชน์ที่แต่ละโหนดได้รับเปรียบเทียบกับสิ่งที่โหนดเสียไปจากการเข้าร่วมกับเครือข่าย ในงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ทำการศึกษาโดยใช้ค่าความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจในเชิงปริมาณ ซึ่งทให้เราสามารถเปรียบเทียบถึงความแตกต่างของความยุติธรรมได้อย่างชัดเจน โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดและค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่าย ซึ่งค่าความยุติธรรมในระดับโหนดจะแสดงให้เห็นว่าโหนดที่เข้าร่วมกับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจได้รับประโยชน์หรือเสียประโยชน์อย่างไร และสำหรับค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายจะแสดงให้เห็นว่าโหนดในเครือข่ายนั้นๆ มีพฤติกรรมในการร่วมมือกับเครือข่ายอย่างไรเปรียบเทียบกับพฤติกรรมในการทำงานเพื่อตนเองของโหนด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจโดยเฉพาะการให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลของโหนด โดยใช้ค่าความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นตัวชี้วัด โดยใช้การทดลองบนซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู และศึกษาว่าปัจจัยต่างๆ บนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมีผลกระทบต่อค่าความยุติธรรมอย่างไร

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากเส้นทางการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ถูกเลือกโดยเราติ้งโปรโตคอล ซึ่งเราติ้งโปรโตคอลจะเลือกเส้นทางที่คิดว่าดีที่สุดจากต้นทางไปยังปลายทาง โดยที่แต่ละเราติ้งโปรโตคอลจะมีปัจจัยและวิธีการค้นหาเส้นทางที่แตกต่างกัน ซึ่งโหนดที่ถูกเลือกโดยเราติ้งโปรโตคอลจะต้องทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูล การเลือกเส้นทางโดยเราติ้งโปรโตคอลที่มีอยู่ในปัจจุบันสามารถทำให้การส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่คำนึงถึงภาระในการส่งต่อข้อมูลของโหนด เนื่องจากโหนดที่ทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรของโหนดเองในการส่งต่อข้อมูล

เนื่องจากเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเกิดจากการรวมตัวของผู้ใช้แต่ละคน ดังนั้นทรัพยากรของเครือข่ายจึงได้มาจากทรัพยากรของโหนดแต่ละโหนด ดังนั้นการให้บริการจากเครือข่ายย่อมใช้ทรัพยากรของโหนดบนเครือข่ายด้วยเช่นกัน ทรัพยากรที่มีอยู่บนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เช่น แบนวิดท์ หรือหน่วยประมวลผล ต่างถูกจำกัดด้วยทรัพยากรพลังงานที่แต่ละโหนดมีอยู่ เนื่องจากอุปกรณ์บนเครือข่ายมีแบตเตอร์รี่เป็นแหล่งพลังงานดังนั้นพลังงานจึงเป็นทรัพยากรที่สำคัญที่สุดสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ

พลังงานส่วนมากของโหนดบนเครือข่ายถูกใช้ไปกับการรับหรือส่งข้อมูล งานวิจัยชิ้นนี้แยกพฤติกรรมของโหนดบนเครือข่ายได้จากการใช้พลังงานของโหนดออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) การใช้พลังงานเพื่อส่งข้อมูลของตนเอง 2) การใช้พลังงานเพื่อส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่น 3) การที่โหนดได้รับประโยชน์จากการเพื่อส่งต่อข้อมูลของโหนด ซึ่งเราจะนำพฤติกรรมการใช้พลังงานทั้ง 3 รูปแบบนี้มาคิดเป็นค่าความยุติธรรม การศึกษาถึงความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ จะช่วยให้เราเข้าใจถึงพฤติกรรมต่างๆ ของโหนดมากยิ่งขึ้น เนื่องจากโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่ไร้สายมีความเป็นอิสระจากกัน ดังนั้นความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลบนเครือข่ายของแต่ละโหนดอาจจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับแรงจูงใจที่โหนดได้รับ ค่าความยุติธรรมที่เราต้องการวัดจะช่วยสะท้อนถึงแรงจูงใจของโหนดบนเครือข่าย และความร่วมมือกันส่งข้อมูลของโหนดบนเครือข่าย

และนอกจากนี้ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดยังแสดงถึงโอกาสในการได้ส่งต่อข้อมูลของแต่ละโหนด เนื่องจากงานวิจัยประเภทที่ต้องการจูงใจโหนดที่เห็นแก่ตัวให้มีส่วนร่วมกับเครือข่าย [7, 8, 13] ด้วยการกำหนดค่าเงินจำลองเพื่อใช้เป็นค่าใช้จ่ายในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย งานประเภทนี้กำหนดให้รายรับของโหนดได้มาจากการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่น ดังนั้นโอกาสในการได้ส่งต่อข้อมูลจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณาในงานวิจัยเหล่านี้

ดังนั้นเราควรศึกษาว่าพฤติกรรมการส่งต่อข้อมูลของโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจบนสภาวะแวดล้อมแบบต่างๆ เป็นอย่างไร เพื่อที่จะได้ทราบถึงพฤติกรรมการส่งต่อข้อมูลบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจได้อย่างถูกต้อง

1.4 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการส่งข้อมูลของโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ โดยใช้ค่าความยุติธรรมของเครือข่ายเฉพาะกิจเป็นตัวชี้วัด เราได้แบ่งค่าความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) ความยุติธรรมในระดับโหนด และ 2) ความยุติธรรมในระดับเครือข่าย และเราได้ทดลองวัดค่าความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจในเชิงปริมาณ โดยเราใช้ค่าพลังงานเป็นตัวแทนของทรัพยากรที่โหนดเคลื่อนที่ใช้ไปในการทำงานบนเครือข่าย เนื่องจากพลังงานเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญมากที่สุดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เราทำการทดลองโดยใช้ซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทูและใช้เครือข่ายแลนไร้สายไอทริปเปิ้ลอี (IEEE) 802.11 เป็นดาต้าลิงค์เลเยอร์ เราแบ่งการทดลองวัดค่าความยุติธรรมออกเป็น 5 การทดลอง โดยการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองเพื่อดูผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมของเครือข่าย ค่าพารามิเตอร์ที่เราปรับเปลี่ยนได้แก่ ค่าอัตราการส่งข้อมูลของซีบีอาร์ ค่าพลังงานของโหนดเคลื่อนที่ เราติ้งโปรโตคอล และรูปแบบการเคลื่อนที่ของโหนด

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย หลักการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สายแบบ IEEE 802.11 และลักษณะเฉพาะของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจที่จำเป็นต้องคำนึงถึงในการศึกษาเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เช่น การค้นหาเส้นทางการส่งข้อมูลบนเครือข่ายไร้สายโดยเราติ้งโปรโตคอล แนวคิดของงานวิจัย

บทที่ 3 นำเสนอค่าความยุติธรรมของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจบน วิธีการคำนวนค่าความยุติธรรม และการจำลองเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจโดยใช้ซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู และการปรับแต่งซิมมูเลเตอร์ให้แสดงผลลัพธ์ตามที่ต้องการ

บทที่ 4 ค่าความยุติธรรมที่วัดได้ในการทดลองแบบต่างๆ เพื่อวัดผลกระทบที่เกิดกับค่าความยุติธรรมจากปัจจัยบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ วิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจในการทดลอง

บทที่ 5 บทสรุปของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นเครือข่ายที่สะดวกต่อการใช้งานของผู้ใช้ เนื่องจากผู้ใช้สามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายได้โดยไม่ต้องใช้โครงข่าย แต่ผู้ใช้จะต้องมีอุปกรณ์เครือข่ายสำหรับติดต่อกับเครือข่าย เช่น การ์ดแลนไร้สาย (Wireless LAN card 802.11) ซึ่งปัจจุบันการ์ดแลนชนิดนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายและมักจะถูกติดตั้งมาพร้อมกับเครื่องคอมพิวเตอร์พกพา เช่น แล็ปท็อป หรือ พีดีเอ ทำให้ผู้ใช้สามารถเชื่อมต่อหรือสร้างเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจได้ง่าย โดยเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเกิดจากการรวมตัวกันของโหนดไร้สายแต่ละโหนด และการการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เกิดจากความร่วมมือของผู้ใช้แต่ละคนบนเครือข่าย โดยการส่งต่อข้อมูลจากโหนดต้นทาง ไปยังโหนดข้างเคียงและส่งต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งข้อมูลถึงโหนดปลายทาง

เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมีคุณสมบัติหลายอย่างที่เป็นลักษณะเฉพาะ เช่น โหนดสามารถเคลื่อนที่ได้ในขณะที่เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่าย ทรัพยากรของเครือข่ายมีอยู่อย่างจำกัด เป็นต้น ซึ่งลักษณะเหล่านี้ทำให้เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เป็นเครือข่ายที่น่าสนใจต่อการทำวิจัย

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงประโยชน์และการนำเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจไปใช้งาน และทฤษฎีพื้นฐานของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ความสำคัญและที่มาของงานวิจัยรวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และซิมมูเลเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ

2.1 เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ

เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นเครือข่ายที่น่าสนใจ เพราะเป็นเครือข่ายที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในหลายสถานการณ์ เช่น ในสนามรบหรือการกู้ภัย เนื่องจากเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมีคุณสมบัติพิเศษทางเครือข่ายหลายประการ ดังนั้นการวิจัยเกี่ยวกับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ผู้วิจัยจำเป็นต้องศึกษาถึงหลักการทำงานพื้นฐานและลักษณะเฉพาะของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจได้อย่างถูกต้อง ลักษณะต่างๆ ของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมีดังต่อไปนี้

1. เครือข่ายแบบไม่มีโครงข่าย (No Infrastructure) เนื่องจากโหนดอย่างน้อย 2 โหนดสามารถสร้างเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจได้ โดยที่โหนดมีเพียงแค่อุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย เช่น อินเทอร์เฟสไอทริปเปิ้ลอี 802.11 ติดตั้งมาด้วยเท่านั้น โดยไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เครือข่ายอื่นๆ เลย เช่น ฮับหรือสวิทช์ ทำให้เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมีความยืดหยุ่นในการนำไปใช้งานสูง เรา

สามารถนำเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจไปใช้ในพื้นที่ที่ไม่มีโครงข่ายได้ โดยไม่ต้องจัดเตรียมอุปกรณ์ใดๆ ไว้ก่อน และนอกจากนี้โหนดยังสามารถเชื่อมต่อหรือยกเลิกการเชื่อมต่อกับเครือข่ายได้ตลอดเวลา

2. มีการส่งข้อมูลต่อกันเป็นทอดๆ (Multi-hop data transfer) โหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจสามารถส่งข้อมูลไปให้โหนดอื่นบนเครือข่ายที่ไม่อยู่ในรัศมีการส่งข้อมูลของตนเองได้ โดยการที่โหนดต้นทางจะส่งข้อมูลไปให้โหนดข้างเคียงที่อยู่ในรัศมีการส่งข้อมูลของตัวเอง และโหนดนั้นจะทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูลต่อไปให้กับโหนดถัดไปที่อยู่ในรัศมีการส่งของตัวเองไปเรื่อยๆ จนกระทั่งข้อมูลไปถึงโหนดปลายทาง

3. โหนดสามารถเคลื่อนที่ได้ในระหว่างการติดต่อสื่อสาร เนื่องจากพื้นที่การให้บริการของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจคือ พื้นที่ที่สัญญาณวิทยุของโหนดในเครือข่ายครอบคลุมถึง ดังนั้นถ้าโหนดมีการเคลื่อนที่ไปกับโหนดข้างเคียงทำให้โหนดไม่หลุดจากการเชื่อมต่อ แต่การเคลื่อนที่ของโหนดส่งผลให้โทโปโลจี (Topology) ของเครือข่ายสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา การออกแบบโปรแกรมประยุกต์สำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจบางประเภทจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณสมบัติข้อนี้ด้วย เช่น การออกแบบเราติ้งโปรโตคอล

4. ความปลอดภัยของข้อมูล เนื่องจากเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจใช้คลื่นวิทยุเป็นฟิสิกซ์คอลเลเยอร์ ทำให้โหนดสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระภายในบริเวณที่สัญญาณวิทยุของโหนดอื่นเชื่อมถึง แต่สัญญาณวิทยุสามารถถูกรบกวนได้โดยสัญญาณวิทยุในช่วงความถี่ใกล้เคียงจึงทำให้ข้อมูลที่ส่งมาถูกรบกวนได้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลงหรือไม่สามารถส่งข้อมูลได้เลย และเนื่องจากสัญญาณมีการแพร่กระจายในวงกว้างจึงอาจส่งผลต่อความปลอดภัยของข้อมูลได้ เนื่องจากผู้ไม่หวังดีสามารถเข้าถึงข้อมูลที่ส่งผ่านช่องสัญญาณได้ง่าย

5. ทรัพยากรที่จำกัดของเครือข่าย เพราะเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นเครือข่ายที่เกิดจากการรวมตัวของผู้ใช้งานเครือข่าย และเนื่องจากเป็นเครือข่ายที่ไม่มีโครงข่ายดังนั้นแต่ละโหนดที่อยู่ในเครือข่ายนอกจากจะทำหน้าที่เป็นผู้ใช้บริการแล้วยังต้องทำหน้าที่เป็นผู้ให้บริการในส่วนของโครงข่ายอีกด้วย ดังนั้นทรัพยากรที่มีอยู่ของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจจึงเป็นทรัพยากรที่ได้มาจากทรัพยากรของโหนดแต่ละโหนดที่เข้าร่วมเครือข่าย ซึ่งโหนดเหล่านี้ล้วนมีทรัพยากรต่างๆ อยู่อย่างจำกัด เช่น หน่วยประมวลผล หน่วยความจำ นอกเหนือจากทรัพยากรเหล่านี้แล้ว พลังงานยังเป็นทรัพยากรที่จำกัดที่สุดสำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่เหล่านี้เพราะอุปกรณ์เหล่านี้ใช้พลังงานจากแบตเตอร์รี่เป็นหลัก

6. แต่ละโหนดมีความสามารถในการทำงานที่เหมือนกัน (Homogeneous) เนื่องจากโหนดสามารถเป็นได้ทั้งผู้รับหรือผู้ส่งข้อมูล และยังสามารถทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นได้ในขณะเดียวกัน ซึ่งแตกต่างจากเครือข่ายประเภทอื่นที่มีการแยกหน้าที่ของต้นทาง-ปลายทางและโหนดที่ส่งต่อข้อมูลอย่างชัดเจน

7. ไม่มีการจัดการแบบรวมศูนย์ (No centralize administration) โทโปโลจีของเครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากการเคลื่อนที่และการเข้าออกของโหนด จึงเป็นการยากที่จะจัดหาโหนดมาทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของเครือข่าย และนอกจากนี้โหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นโหนดที่มีประสิทธิภาพประสิทธิภาพใกล้เคียงกันเนื่องจากข้อจำกัดของโหนดเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงไม่มีโหนดใดโหนดหนึ่งที่เหมาะสมกับหน้าที่ในการจัดการเครือข่าย

เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ ทำงานอยู่บนแอดฮ็อกโหมดของเครือข่ายแลนไร้สายมาตรฐาน 802.11 มาตรฐานแลนไร้สาย 802.11 ยังถูกพัฒนาเป็นมาตรฐานย่อยๆ อื่นอีก เช่น มาตรฐานแลนไร้สาย 802.11a, 802.11b, 802.11g และอื่นๆ

2.1.1 มาตรฐานไอทริปเปิลอี 802.11 (IEEE 802.11)

มาตรฐานแลนไร้สายไอทริปเปิลอี 802.11 เริ่มประกาศใช้โดยไอทริปเปิลอีในปี ค.ศ. 1997 ซึ่งในมาตรฐานนี้มีการใช้ฟิสิกซ์คอลเลเยอร์ (Physical Layer) และมีเดียมแอกเซสคอลโทร (Medium Access Control) แบบใหม่ และแบ่งการทำงานของอุปกรณ์ 802.11 ได้ 2 รูปแบบคือ 1) การติดต่อระหว่างอุปกรณ์ด้วยกันโดยไม่มีโครงข่าย ซึ่งเรียกว่าการติดต่อแบบเฉพาะกิจ (Ad hoc mode) 2) สามารถเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่าย (Infrastructure mode) โดยเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์แอกเซสพอยท์ (Access point) เพื่อส่งข้อมูลไปยังระบบเครือข่ายแลนแบบอีเทอร์เน็ต (Ethernet) ได้ โดยมีอัตราการส่งข้อมูลอยู่ที่ 1 เม็กกะบิตต่อวินาที และอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดอยู่ที่ 2 เม็กกะบิตต่อวินาที ซึ่งอัตราการส่งข้อมูลจะขึ้นอยู่กับชนิดของใช้ฟิสิกซ์คอลเลเยอร์ที่เลือกใช้

มาตรฐาน 802.11 มีตัวกลางในชั้นใช้ฟิสิกซ์คอลเลเยอร์ให้เลือกถึง 3 ชนิดด้วยกัน ประกอบด้วยตัวกลางที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Wave) 2 ชนิด และอีกชนิดคือคลื่นอินฟราเรด (Infrared) เนื่องจากต้องการให้มาตรฐาน 802.11 สามารถใช้งานได้ในทุกๆ ประเทศทั่วโลก ดังนั้นจึงเลือกให้ตัวกลางที่เป็นความถี่วิทยุให้ทำงานที่ย่านความถี่สาธารณะสากล (Industrial, scientific and medical - ISM band) เป็นหนึ่งในตัวกลางประเภทความถี่วิทยุ แต่ช่วงของแบนวิดท์ (Bandwidth) จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของแต่ละประเทศ เช่น ในสหภาพยุโรปใช้ในช่วงความถี่ 2.412 ถึง 2.472 จิกะเฮิร์ต ในประเทศญี่ปุ่นใช้ในช่วงความถี่ 2.412 ถึง 2.484 จิกะเฮิร์ต เป็นต้น

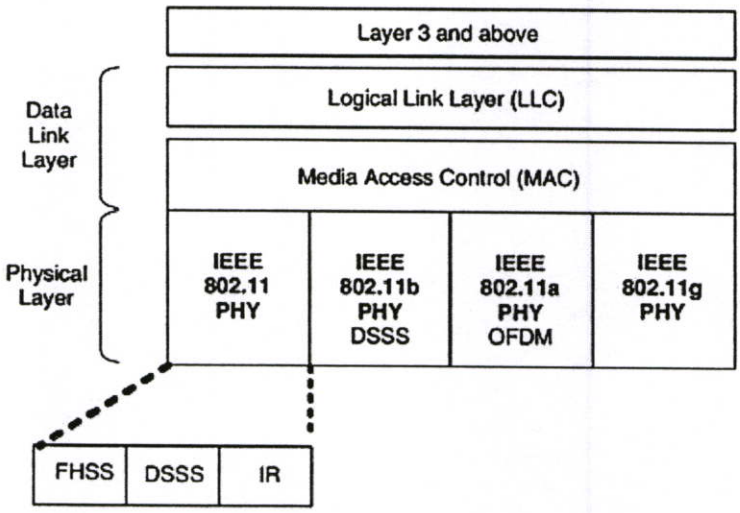
เนื่องจากอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดของ 802.11 มีเพียง 2 เม็กกะบิตต่อวินาทีเท่านั้น ซึ่งถือว่าน้อยเกินไปสำหรับการส่งข้อมูลที่มีขนาดใหญ่และข้อมูลของโปรแกรมประยุกต์ ประเภทมัลติมีเดีย (multimedia application) ดังนั้นจึงมีการพัฒนามาตรฐานไอทริปเปิลอี 802.11 เพิ่มเติม ได้แก่ มาตรฐานไอทริปเปิลอี 802.11a และ 802.11b โดยมีการแก้ไขเพียงส่วนของฟิสิกซ์คอลเลเยอร์เท่านั้น

แต่ในประเทศไทยอนุญาตให้ใช้เฉพาะคลื่นวิทยุที่ความถี่สากลเท่านั้น ซึ่งก็คือมาตรฐานไอทริปเปิลอี 802.11b มีอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดอยู่ที่ 11 เม็กกะบิตต่อวินาที และมีอัตรา

การส่งข้อมูลอื่นๆ อยู่ที่ 5.5, 2, 1 เม็กกะบิตต่อวินาที ตัวมาตรฐานมีกลไกสำหรับการรองรับอัตราการส่งข้อมูลจากอัตราการส่งข้อมูลที่แตกต่างกันนี้ ซึ่งในอัตราการส่งข้อมูลที่ 1, 2 เม็กกะบิตต่อวินาทีนั้นออกแบบตามอัตราการส่งข้อมูลจากมาตรฐานไอทริปเปิลอี 802.11 ให้ทำงานได้บนช่วงความถี่คลื่นวิทยุ

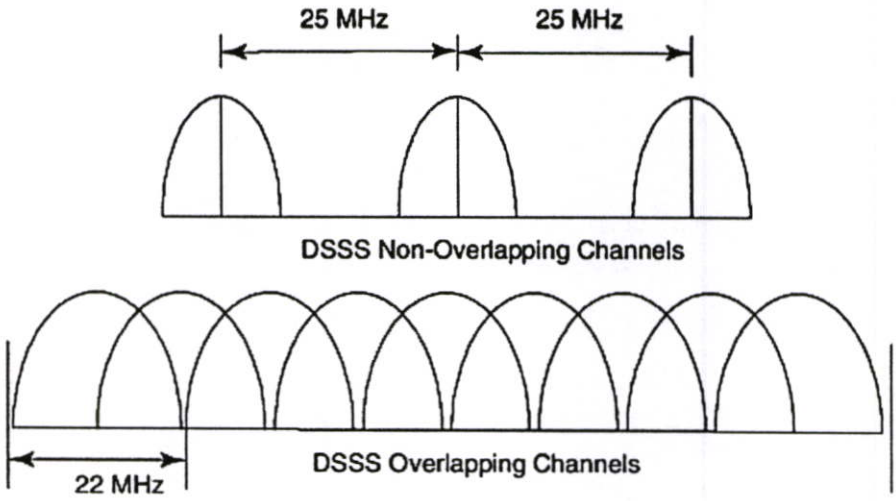
2.1.2 การทำงานของไอทริปเปิลอี 802.11 ในโอเอสไอโมเดล (OSI Model)

เราสามารถแบ่งการทำงานของมาตรฐานไอทริปเปิลอี 802.11 ตามโอเอสไอโมเดลได้เป็น 2 เลเยอร์ ได้แก่ ดาต้าลิงค์เลเยอร์ (Data Link Layer) และฟิสิกซ์คอลเลเยอร์ ซึ่งในแต่ละเลเยอร์จะกำหนดวิธีการทำงานตามหน้าที่ของแต่ละเลเยอร์ไว้



รูปที่ 2.1 มาตรฐานไอทริปเปิลอี 802.11 ในโอเอสไอโมเดล

2.1.2.1 การทำงานในชั้นฟิสิกซ์คอลเลเยอร์ ในชั้นนี้ได้กำหนดวิธีการทำงานของฟิสิกซ์คอลมีเดียม (Physical Medium) ให้สามารถรองรับอัตราการส่งข้อมูลที่ 5.5 เม็กกะบิตต่อวินาที และที่ 11 เม็กกะบิตต่อวินาที แต่ต้องใช้ตัวกลางเป็นคลื่นวิทยุและทำงานอยู่บนย่านความถี่สาธารณะสากลเท่านั้น ซึ่งใช้วิธีแบบไดเร็กซีเควนซ์สเปรดสเป็กตรัม (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS) ดังรูปที่ 2.2 เพื่อแบ่งช่วงความถี่ทั้งหมดออกเป็นช่วงความถี่ย่อยๆ และเลือกช่วงความถี่ย่อยนั้นมาใช้ส่งข้อมูลตามรูปที่ 2.1 อัตราการส่งข้อมูลบนมาตรฐานไอทริปเปิลอี 802.11 ขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุ คือ ถ้าอยู่ในบริเวณที่มีคลื่นสัญญาณที่ดีก็สามารถส่งข้อมูลได้ที่ 5.5 หรือ 11 เม็กกะบิตต่อวินาที แต่ถ้าคลื่นสัญญาณไม่ดีก็จะส่งข้อมูล 1 หรือ 2 เม็กกะบิตต่อวินาที วิธีการที่ 802.11 ใช้ในการส่งข้อมูลที่อัตราต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.2 ช่วงความถี่ไดเร็กซีเควนซ์สเปรดสเปกตรัม

ตารางที่ 2.1 วิธีการทำงานของไอทริปเปิลอี 802.11 ที่อัตราการส่งข้อมูลต่างๆ

Data Rate	Code	Modulation	Symbol Rate	Bit / Symbol
1 Mbps	11 bit Braker	DBPSK	1 Msps	1
2 Mbps	11 bit Braker	DBPSK	1 Msps	2
5.5 Mbps	8 bit CCK or PBCC	DQPSK	1.375 Msps	4
11 Mbps	8 bit CCK or PBCC	DQPSK	1.375 Msps	8

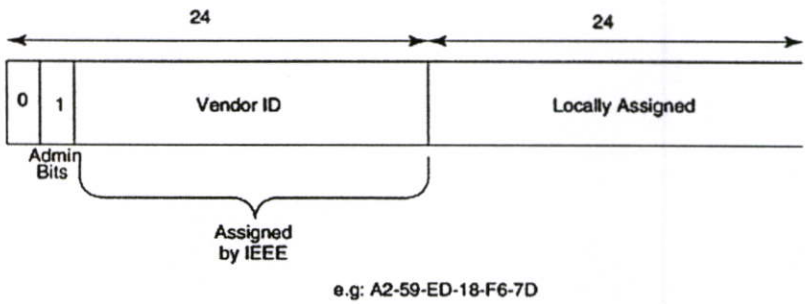
CCK : complementary code keying

PBCC : packet binary convolutional keying

2.1.2.2 การทำงานในชั้นดาต้าลิงค์เลเยอร์ การออกแบบในเลเยอร์นี้สำหรับมาตรฐานไอทริปเปิลอี 802.11 เตรียมไว้เพื่อรองรับความสามารถที่ผู้ใช้หลายคนสามารถใช้ตัวกลางร่วมกันได้ (Multiple users share a medium) ความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ส่ง (Reliable) และรวมถึงคุณสมบัติอื่นๆ ที่มีในชั้นมีเดียมแอกเซสคอนโทลเลเยอร์ (Medium Access Control Layer) เช่น ไซคลิกรีดันแดนซีเช็กซัม (Cyclic Redundancy Checksum - CRC) การแยกส่วนเพ็กเก็จ (Packet fragmentation) และเพิ่มความสามารถในด้านความปลอดภัย ซึ่งในเลเยอร์นี้แบ่งออกเป็นอีก 2 เลเยอร์ย่อย ได้แก่ โลจิคอลลิงค์เลเยอร์ (Logical Link Layer - LLC) และมีเดียแอ็กเซสคอนโทล (Media Access Control - MAC) สำหรับชั้นโลจิคอลลิงค์เลเยอร์ การทำงานในชั้นนี้เหมือนกับมาตรฐานแลนอื่นๆ คือ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางการเชื่อมต่อการทำงานระหว่างเน็ตเวิร์คเลเยอร์ (Network Layer) และฟิซิกส์คอลเลเยอร์ แต่ในชั้นมีเดียแอ็กเซสคอนโทลเลเยอร์มาตรฐานไอทริปเปิลอี 802.11 ได้จัดเตรียมวิธีการต่างๆ ที่เหมาะสมกับเครือข่ายไร้สายไว้มากมาย

เช่น การจัดการแอดเดรส (Addressing) ฟิสิกซ์คอลแคเรียเซนซ์ (Physical Carrier Sense) ความน่าเชื่อถือและความคงทนของข้อมูล (Reliability and Robustness) การจัดการพลังงาน (Power management) และด้านความปลอดภัย (Security)

1) การจัดการแอดเดรสมีการใช้รูปแบบแม็กแอดเดรส (MAC Address) แบบเดียวกับมาตรฐานไอทริปเปิลอี 802.3 ดังรูปที่ 2.3 โดยมีแอดเดรสต้นทาง (Source Address) และแอดเดรสปลายทาง (Destination Address) และมีส่วนที่เพิ่มเติมขึ้นมาสำหรับมาตรฐานไอทริปเปิลอี 802.11 เพื่อใช้เป็นแอดเดรสของผู้ส่ง (Transmitter Address - TA) และแอดเดรสของผู้รับ (Receiver Address - RA) และค่าเบสิกเซ็ตไอเด็นติไฟเอร์ (Basic Set Identifier - BBS ID)

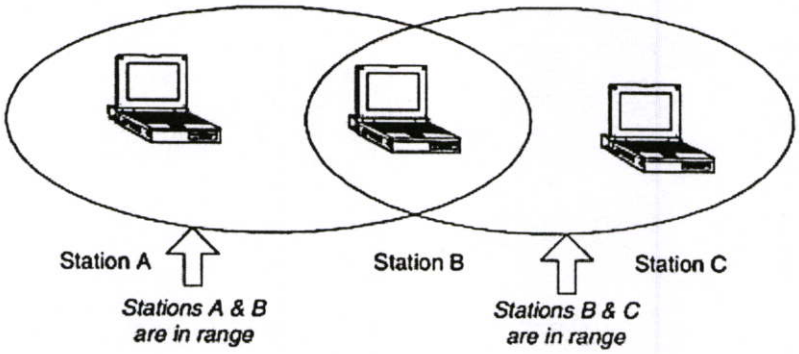


รูปที่ 2.3 ค่าแม็กแอดเดรสของอุปกรณ์ไอทริปเปิลอี 802.11

2) ฟิสิกซ์คอลแคเรียเซนซ์ อุปกรณ์เครือข่ายใน 802.11 เป็นแบบใช้ตัวกลางร่วมกัน (Shared medium) และอุปกรณ์แต่ละชิ้นสามารถตรวจสอบได้ว่ามีอุปกรณ์อื่นๆ กำลังส่งข้อมูลผ่านตัวกลางนี้อยู่หรือไม่ ดังนั้นวิธีการซีเอสเอ็มเอ (Carrier Sense Multiple Access – CSMA) จึงสามารถนำมาใช้กับ 802.11 ได้ แต่อุปกรณ์ใน 802.11 สามารถตรวจสอบการชน (Collision Detection) กันของข้อมูลได้ยาก ดังนั้นจึงไม่สามารถนำวิธีการตรวจสอบการชนกันของข้อมูลจาก 802.3 มาใช้ได้จึงได้พัฒนาวิธีการป้องกันการชนของข้อมูล (collision avoidance) ขึ้นมา โดยกำหนดให้ เมื่อผู้รับได้รับข้อมูลและตรวจสอบแล้วว่าข้อมูลที่ได้รับมาถูกต้องก็จะส่งค่าแอ็กโนวเลจเม้นต์ (Acknowledge) กลับไป ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะเป็นการเพิ่มโอเวอร์เฮด (Overhead) ให้กับการส่งข้อมูลแต่ก็มีส่วนช่วยในการสร้างความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลให้แก่ตัวกลางแบบไร้สาย แต่ในการใช้งานจริงยังคงมีปัญหา เนื่องจากแต่ละโหนดสามารถตรวจสอบการใช้งานของตัวกลางได้แค่ในรัศมีของตนเองเท่านี้ ซึ่งเป็นที่มีของปัญหาโหนดที่มองไม่เห็น (Hidden Node Problem)

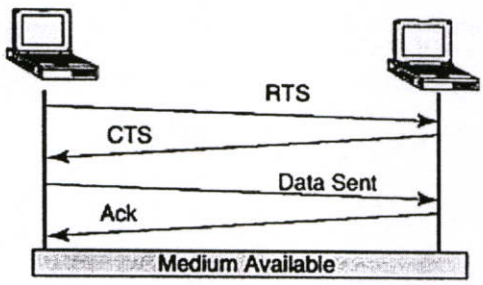
ปัญหาโหนดที่มองไม่เห็น จากรูปที่ 2.4 มีโหนดไร้สายอยู่ 3 โหนดเชื่อมต่อกันด้วยไอทริปเปิลอี 802.11 ซึ่งโหนด A และ B สามารถเชื่อมต่อกัน และเป็นเช่นเดียวกันในโหนด B และโหนด C แต่โหนด A และโหนด C ไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้ ดังนั้นเมื่อโหนด A และโหนด

C ส่งข้อมูลมายัง โหนด B พร้อมๆ กันแล้วโหนด B จะไม่สามารถรับข้อมูลที่ถูกต้องได้เลย เนื่องจากข้อมูลจากโหนด A ชนกับข้อมูลจากโหนด C



รูปที่ 2.4 ปัญหาโหนดที่มองไม่เห็น

วิธีการแก้ปัญหาโหนดที่มองไม่เห็น สามารถทำได้โดยเพิ่มข้อความอีก 2 แบบ ได้แก่ รีเควสทูเซ้นต์ (RTS - Request to Send) และเคลียร์ทูเซ้นต์ (CTS - Clear to Send) การใช้งาน 2 ข้อความนี้คือนี้คือ เมื่อเครื่อง A ต้องการจะส่งข้อมูลไปยังเครื่อง B จะเริ่มโดยการส่งรีเควสทูเซ้นต์ไปก่อน เพื่อบอกให้เครื่อง B ทราบว่าโหนด A ต้องการส่งข้อมูลหา B และให้โหนด B เตรียมตัวรับข้อมูล เมื่อโหนด B ได้รับรีเควสทูเซ้นต์อย่างถูกต้องก็จะส่งเคลียร์ทูเซ้นต์ออกมา เพื่อที่จะบอกโหนด A ว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลแล้ว ซึ่งเคลียร์ทูเซ้นต์นี้ทั้งโหนด A และ C จะได้รับทั้งคู่ แต่จะมีเพียงโหนด A เท่านั้นที่สามารถส่งข้อมูลได้เพราะเคลียร์ทูเซ้นต์เป็นการตอบรับต่อรีเควสทูเซ้นต์ของโหนด A ตามรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการส่งข้อมูลบนไอทริปเปิลอี 802.11

3) ความน่าเชื่อถือและความคงทนของข้อมูล มาตรฐานไอทริปเปิลอี 802.11 ใช้วิธีแฟรกเม้นเทชั่น และไซคลิกรีดันแดนซีเช็กซัม (Cyclic Redundancy Checksum - CRC) การทำแฟรกเม้นเทชั่นคือการแยกข้อมูลที่ต้องการส่งออกเป็นส่วนเล็กๆ แล้วส่งออกไป เมื่อผู้รับได้รับ

ข้อมูลก็จะนำข้อมูลส่วนเล็กๆ นำมาประกอบกันเป็นข้อมูลเดิมก่อนที่จะแตกออกมา การทำแบบนี้มีข้อดีในสภาวะที่มีการส่งข้อมูลจำนวนมาก (congested environment) หรือสภาวะที่มีการรบกวนมาก (interference) เพราะถ้าข้อมูลเกิดการเสียหายจนต้องส่งข้อมูลซ้ำก็จะส่งเป็นข้อมูลขนาดเล็กๆ ส่วนการทำไซคลิกรีดันแดนซีเช็กซัมนั้นใช้เพื่อให้ฝั่งรับสามารถตรวจสอบได้ว่าข้อมูลที่ได้รับมานั้นถูกต้องหรือไม่

4) การจัดการพลังงาน (Power management) เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน อุปกรณ์ 802.11 สามารถยกเลิกการทำงานของตัวรับส่งสัญญาณของตัวเองได้ โดยใช้กลไกที่เรียกว่าพาวเวอร์เซฟโหมด (Power Save Mode) ในการแจ้งแก่เครื่องอื่นๆ ว่าต้องการจะทำงานแบบต่อเนื่อง (aware mode) หรือแบบไม่ต่อเนื่อง (power save mode) การทำงานในพาวเวอร์เซฟโหมดเครื่องไวร์เลสโอสต์จะแจ้งแก่เครื่องอื่นๆ ว่าจะหยุดการทำงานเป็นระยะเวลาเท่าไร จึงจะมาตรวจสอบว่ามีข้อมูลส่งมาหรือไม่ ถ้าตรวจสอบแล้วมีข้อความมาเครื่องผู้รับจะได้รับแจ้งด้วยวิธีการบรอดคาส (broadcast)

2.2 เราติ้งโปรโตคอลบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ

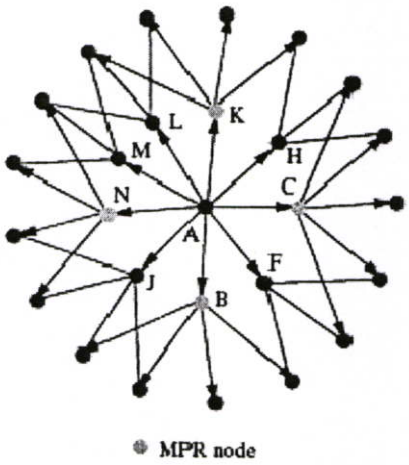
ก่อนการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางในเครือข่าย โหนดจะต้องรู้ว่าจะต้องส่งข้อมูลไปตามเส้นทางใดในเครือข่าย โดยเราติ้งโปรโตคอลจะทำหน้าที่ในการค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการส่งข้อมูล เราแบ่งประเภทของเราติ้งโปรโตคอลสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจไว้ 2 ประเภทหลักๆ คือ

2.2.1 โปรแอ็กทีฟเราติ้งโปรโตคอลหรือเทเบิ้ลไดร์เว่น (Pro-active Routing Protocol or Table-driven) เราติ้งโปรโตคอลในกลุ่มนี้จะค้นหาเส้นทางระหว่างโหนดไปยังทุกโหนดปลายทางที่อยู่ในเครือข่ายเป็นระยะๆ อยู่ตลอดเวลาไม่ว่าโทโปโลจีจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ก็ตาม ข้อแตกต่างระหว่างแต่ละเราติ้งโปรโตคอลประเภทนี้คือ วิธีการอัพเดทเราติ้ง การตรวจสอบเราติ้ง และข้อมูลที่เก็บไว้ในตารางเราติ้ง (Routing Table) ตัวอย่างของเราติ้งโปรโตคอลประเภทนี้ได้แก่

2.2.1.1 ดีเอสดีวี (Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector routing protocol – DSDV) [1] ใช้วิธีดิสแทนซ์เว็กเตอร์ (Distance Vector) ในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดเพียงเส้นทางเดียว เส้นทางที่ได้จากดีเอสดีวีสามารถรับประกันได้ว่าไม่มีโหนดซ้ำในเส้นทาง (No loop) มีการอัพเดทข้อมูลเส้นทาง 2 วิธีคือ 1) อัพเดทข้อมูลทั้งหมด (Full dump update) วิธีการนี้จะส่งข้อมูลเราติ้ง (Routing Information) ทั้งหมดออกไป และอีกวิธีคือ 2) อัพเดทเฉพาะข้อมูลที่เปลี่ยนแปลง (Incremental) จะส่งเฉพาะข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงหลังจากการส่งข้อมูลทั้งหมดไป แต่ดีเอสดีวียังคงทำให้เกิดโอเวอร์เฮด (Overhead) จำนวนมากกับเครือข่าย เนื่องจากดีเอสดีวีต้องมีการอัพเดทข้อมูล

เราติ้งตามระยะเวลาที่กำหนด โดยมีโอเวอร์เฮดเป็น $O(N^2)$ ทำให้ดีเอสดีวีไม่เหมาะกับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจที่มีโหนดจำนวนมาก เพราะต้องใช้แบนวิดท์ในการอัพเดทมาก

2.2.1.2 โอแอลเอสอาร์ (Optimized Link State Routing Protocol - OLSR) [2] ใช้หลักการการหาเส้นทางด้วยวิธีลิงค์สเตท (Link State) แต่โอแอลเอสอาร์ปรับปรุงวิธีการประกาศลิงค์สเตทจากการที่เดิมทุกโหนดจะต้องประกาศลิงค์สเตทของตนเองให้กับโหนดอื่นๆ ในเครือข่ายทั้งหมด โดยการให้โหนดบางโหนดทำหน้าที่ในการบรอดแคสข้อมูลลิงค์สเตท เราเรียกโหนดเหล่านี้ว่ามัลติพอยท์ดีสทรีบิวชั่นรีเลย์หรือเรียกสั้นๆ ว่าแอ็มพีอาร์ (Multipoint Distribution Relays – MPRs) แอ็มพีอาร์เป็นโหนดที่ถูกเลือกโดยโหนดเพื่อนบ้านที่อยู่ในระยะ 2 ฮ็อป ว่าทุกๆ โหนดสามารถรับข้อความที่บรอดเคสโดยโหนดนี้ได้ ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยลดโอเวอร์เฮดลงเป็นอย่างมาก ตัวอย่างเช่น ในรูป โหนด A สามารถเลือกโหนด B, C, K และ N เป็นแอ็มพีอาร์เนื่องจากโหนดเหล่านี้ครอบคลุมทุกโหนดที่อยู่ 2 ฮ็อปถัดไป แต่ละโหนดจะเลือกเส้นทางที่มีจำนวนฮ็อปน้อยที่สุดเป็นเส้นทางที่ดีที่สุด ไปยังปลายทางแต่ละจุด โดยใช้ข้อมูลโทโปโลจีที่มีอยู่



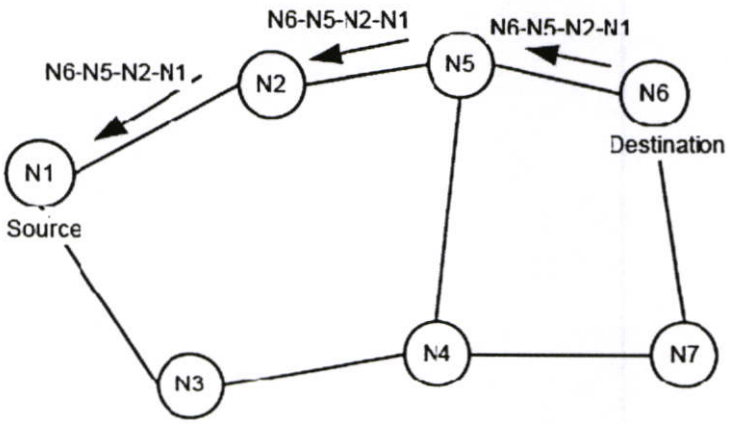
รูปที่ 2.6 มัลติพอยท์รีเลย์โหนด

2.2.2 Reactive Routing Protocol (On-demand) เราติ้งโปรโตคอลประเภทนี้จะค้นหาเส้นทาง เมื่อโหนดต้องการจะส่งข้อมูลเท่านั้น ข้อเสียของเราติ้งโปรโตคอลประเภทนี้ คือ โหนดจะต้องรอให้เราติ้งโปรโตคอลค้นหาเส้นทางเสร็จก่อนจึงจะสามารถส่งข้อมูลออกไปได้ ตัวอย่างของเราติ้งโปรโตคอลประเภทนี้ได้แก่

2.2.2.1 ดีเอสอาร์ (Dynamic Source Routing – DSR) ใช้หลักการของซอร์สเราติ้งในการค้นหาเส้นทาง โดยที่แต่ละแพ็กเกจจะมีข้อมูลของเส้นทางไปยังปลายทางที่สมบูรณ์ และในดีเอสอาร์แต่ละโหนดจะมีทำแคชเพื่อเก็บรักษาเส้นทางที่ได้เรียนรู้มาด้วย การหาเส้นทางของดีเอสอาร์แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ช่วง 1) เราดิสโควเวอร์รี่ (Route Discovery) และ 2) เราแมน

เทนแนนซ์ (Route Maintenance) เมื่อโหนดต้องการที่จะส่งข้อมูล โหนดจะตรวจสอบแคชของตัวเองก่อน ถ้ามีเส้นทางที่ต้องการ โหนดต้นทางจะรวมข้อมูลของเส้นทาง (Routing Information) ไปไว้ในแพ็กเกจที่จะส่งก่อนที่จะส่งไป แต่ถ้าไม่มีเส้นทางที่ต้องการ โหนดต้นทางจะเริ่มทำเราดิสโควเวอร์รี่โดยการบรอดคาสเรารีเควสต์แพ็กเกจ ในเรารีเควสต์แพ็กเกจประกอบไปด้วยแอดเดรสของโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง และยูนีคนัมเบอร์ของการรีเควสต์ โหนดที่ได้รับเรารีเควสต์จะตรวจสอบแคชของตนเอง ถ้าไม่มีเส้นทางไปยังปลายทาง โหนดจะต่อแอดเดรสของตัวเองไว้ในเรารีเควสต์แพ็กเกจแล้วจึงส่งต่อไปยังโหนดเพื่อนบ้าน เพื่อจำกัดโอเวอร์เฮดของการส่งเรารีเควสต์ โหนดจะทำอย่างนี้ก็ต่อเมื่อโหนดไม่เคยได้รับเรารีเควสต์นี้มาก่อนและไม่มีแอดเดรสของมันอยู่ในแพ็กเกจนั้น และเมื่อเรารีเควสต์ไปถึงปลายทางหรือโหนดที่มีเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง โหนดจะส่งเรารีพายกลับไป ถ้าโหนดที่ตอบกลับเป็นโหนดปลายทางมันจะรวบรวมแอดเดรสของดหนดที่เรารีเควสต์ถูกส่งผ่านมา หรือถ้าโหนดที่ตอบกลับเป็นโหนดที่มีเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง มันจะรวบรวมแอดเดรสที่เรารีเควสต์ถูกส่งผ่านมาเข้ากับเส้นทางที่มีอยู่ในเราแคช หลังจากที่สร้างเรารีพายแล้ว โหนดที่สร้างจำเป็นต้องส่งเรารีพายกลับไปให้โหนดต้นทางมี 3 วิธีที่จะส่งเรารีพายกลับไป คือ 1) โหนดมีเส้นทางไปยังต้นทางพร้อมอยู่แล้ว 2) เครือข่ายมีลิงค์เป็นแบบสมมาตร (Symmetric Link or bi-directional) เรารีพายจะถูกส่งกลับไปในเส้นทางที่เรารีเควสต์ถูกส่งมา 3) ถ้าลิงค์เป็นแบบไม่สมมาตร (Asymmetric Link or uni-directional) โหนดจะเริ่มทำเราดิสโควเวอร์รี่กลับไปหาโหนดต้นทาง โดยจะส่งเส้นทางที่ได้ค้นพบกลับไปในเรารีเควสต์ใหม่นี้

เมื่อดาต้าลิงค์เลเยอร์ตรวจพบการเชื่อมต่อที่ขาดหายไป เราเออเรอร์ (ROUTE_ERROR) จะถูกส่งกลับไปยังต้นทาง และเมื่อโหนดต้นทางได้รับเราเออเรอร์แล้ว โหนดต้นทางจะทำเราดิสโควเวอร์รี่อีกครั้ง และทุกเส้นทางที่มีลิงค์นี้อยู่จะถูกลบออกไปจากแคชของโหนดระหว่างทางทันทีที่เราเออเรอร์ถูกส่งไปยังต้นทาง



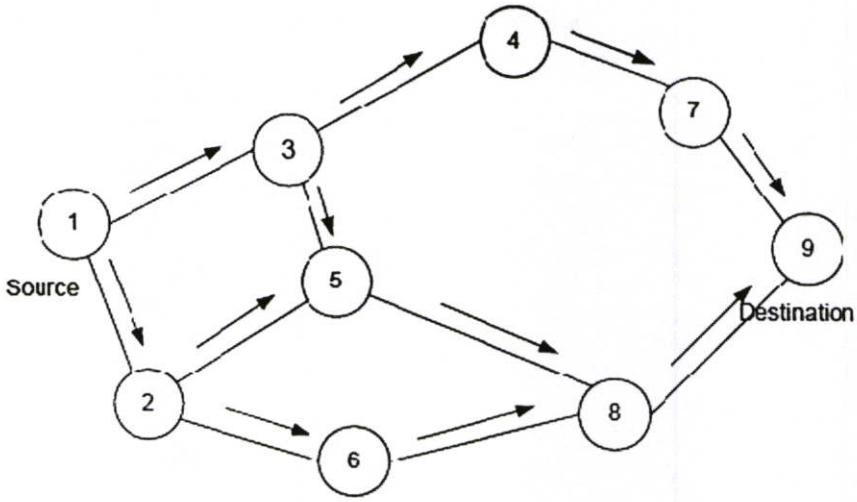
รูปที่ 2.7 เรารีพายที่ประกอบด้วยเส้นทางการส่งข้อมูลของดีเอสอาร์

2.2.2.2 เอโอดีวี (Ad-Hoc On-demand Distance Vector – AODV) [3] เป็นเราติ้งโปรโตคอลที่พัฒนามาจากดีเอสดีวี โดยลดจำนวนครั้งของการบรอดคาสลงจากเดิมที่เป็นการบรอดคาสตามคาบเวลา มาเป็นการบอรดคาสตามความต้องการ โหนดที่ไม่อยู่ในเส้นทางที่ถูกเลือกก็ไม่ต้องเข้าร่วมกับการแลกเปลี่ยนข้อมูลเราติ้ง เมื่อโหนดต้นทางต้องการที่จะส่งข้อมูลหาโหนดปลายทางและโหนดยังไม่มีเส้นทางในการส่งข้อมูล ข้อมูลเราติ้งที่แต่ละโหนดเก็บไว้คือค่าเน็กฮ็อป (Next Hop) ที่ไปยังปลายทางแต่ละจุด และข้อมูลนี้จะหมดอายุไม่ได้ใช้ภายในระยะเวลาที่กำหนด นอกจากนี้เอโอดีวียังปรับปรุงเดสทิเนชั่นซีเควนซ์นัมเบอร์ (Destination Sequence Number) ที่ใช้ในดีเอสดีวีให้เหมาะกับเราติ้งโปรโตคอลแบบออนดีมาน (On-demand)

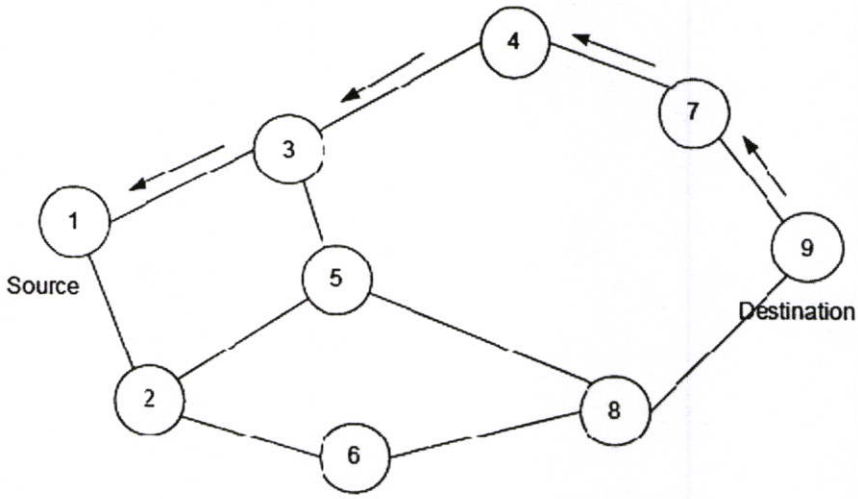
เมื่อโหนดต้นทางต้องการที่จะส่งข้อมูลไปหาโหนดปลายทาง แต่ยังไม่มีเส้นทางที่จะส่ง โหนดต้นทางจะเริ่มทำเราดิสคัฟเวอร์รี่ (Route Discovery) โดยการบรอดเคสเราเรีเควสต์ (RREQ) ที่ประกอบไปด้วยที่อยู่ของโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง บรอดคาสไอดี (Broadcast ID) และซีเควนซ์นันเบอร์ของปลายทางกับซีเควนซ์นัมเบอร์ของต้นทาง การใช้ซีเควนซ์นัมเบอร์เพื่อป้องกันเส้นทางที่วนซ้ำและเพื่อให้ได้เส้นทางที่ใหม่ที่สุดอยู่เสมอ เพื่อลดโอเวอร์เฮดในการฟลัดข้อมูล (Flooding overhead) โหนดจะยกเลิกเราเรีเควสต์ที่เคยได้รับมาแล้ว ตอนเริ่มแรก RREQ จะมีค่าไทม์ทูลิฟ (Time to Live – TTL) ที่น้อย แต่ถ้ายังไม่สามารถหาปลายทางได้ค่า TTL จะเพิ่มขึ้นในเราเรีเควสต์ต่อมา

ในเอโอดีวี แต่ละโหนดจะเก็บแคช (cache) ของเราเรีเควสต์ที่ได้รับ และเก็บเส้นทางย้อนกลับไปหาต้นกำเนิดของเราเรีเควสต์ เมื่อเราเรีเควสต์ไปถึงโหนดปลายทางหรือถึงโหนดที่มีเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง โหนดจะตรวจสอบว่าซีเควนซ์นัมเบอร์ของโหนดปลายทางที่ทราบอยู่แล้วกับที่ระบุมาในเราเรีเควสต์ เพื่อที่ให้ได้เส้นทางที่ใหม่สุดอยู่เสมอ ถ้าซีเควนซ์นัมเบอร์ของปลายทางมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับที่ได้รับในเราเรีเควสซ์โหนดจะสร้างเราเรีพาย (RREP) และส่งกลับไปตามเส้นทางเดิมไปยังโหนดต้นทาง เอโอดีวีจะใช้ได้กับลิงค์ที่สมมาตร (Symmetric links) เท่านั้น ในขณะที่โหนดระหว่างถามได้รับเราเรีพายแต่ละโหนดจะอัพเดทตารางเน็กซ์ฮ็อปเกี่ยวกับโหนดปลายทางที่ได้รับ และเส้นทางที่ได้จากเราเรีพายที่มีค่าซีเควนซ์นัมเบอร์ของโหนดปลายทางที่ต่ำกว่าจะถูกยกเลิกไป

เอโอดีวีใช้วิธีของเฮลโหลเมสเสจ (Hello message) ในการบอกโหนดเพื่อนบ้านถึงการดำรงอยู่ของตนเอง ดังนั้นสถานะของลิงค์ไปยังโหนดถัดไปจะสามารถตรวจสอบได้เสมอ เมื่อไรที่โหนดพบว่าลิงค์ขาดหายไปมันจะบรอดเคสเราเออเรอร์ (RERR) ไปให้กับโหนดเพื่อนบ้าน และโหนดเพื่อนบ้านจะส่งเราเออเรอร์ไปให้กับโหนดที่ได้รับผลกระทบจากลิงค์ที่หายไปนี้ เมื่อโหนดต้นทางได้รับเราเออเรอร์และโหนดยังคงต้องการติดต่อกับโหนดปลายทางต่อไป โหนดจะเริ่มทำเราดิสโควเวอร์รี่อีกครั้ง



รูปที่ 2.8 การทำเรารีเควสต์ของเอโอดีวี



รูปที่ 2.9 เส้นทางการส่งเรารีพายของเอโอดีวี

2.3 แนวคิดของงานวิจัย

เราเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เนื่องจากเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นเครือข่ายที่มีความแพร่หลายทั้งในด้านการใช้งานและในด้านการวิจัย ลักษณะที่เรานำมาเปรียบเทียบ ได้แก่ ความเป็นอิสระจากกันของแต่ละโหนด ทรัพยากรและพฤติกรรมของโหนดในเครือข่าย การส่งต่อข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง และนอกจากนี้เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจยังมีลักษณะเฉพาะของตัวเองที่จำเป็นต้องคำนึงถึงสำหรับการทำงานวิจัย เช่น โหนดสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ไม่มีการจัดการแบบรวมศูนย์

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3.1 ความเป็นอิสระจากกันของโหนด เนื่องจากเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเกิดจากการรวมตัวกันของโหนด ซึ่งแต่ละโหนดสามารถทำการเปลี่ยนแปลงภายในโหนดได้โดยไม่ส่งผลกระทบกับเครือข่าย หรือถ้าโหนดบางโหนดออกหรือเข้ามาร่วมกับเครือข่ายก็ไม่ส่งผลกระทบกับโหนดที่มีอยู่แล้ว เราพิจารณาความเป็นอิสระของโหนดใน 2 แง่มุม ได้แก่

1) ความเป็นอิสระจากกันในด้านของการจัดการ เครือข่ายอินเตอร์เน็ตเป็นเครือข่ายที่มีขนาดใหญ่ จึงยากที่จะจัดการเครือข่ายแบบรวมศูนย์ ดังนั้นเครือข่ายอินเตอร์เน็ตจะแยกกลุ่มของการจัดการออกเป็นออโตโนมัสซิสเต็ม (Autonomous System - AS) ซึ่งแต่ละออโตโนมัสซิสเต็มจะมีการจัดการที่แตกต่างกันไปตามวิธีการของตนเอง แต่ละออโตโนมัสซิสเต็มจะจัดเตรียมทรัพยากรและการเชื่อมต่อไว้ให้กับผู้ใช้ของตัวเอง และยอมส่งต่อข้อมูลจากออโตโนมัสซิสเต็มหนึ่งไปยังอีกออโตโนมัสซิสเต็มอื่นได้โดยมีเงื่อนไข เช่น การจ่ายค่าเชื่อมต่อระหว่างผู้ให้บริการอินเตอร์เน็ต เส้นทางสำหรับการส่งข้อมูลผ่านออโตโนมัสซิสเต็มได้มาจากเราติ้งโปรโตคอลที่เรียกว่า บีจีพี (Border Gateway Routing Protocol – BGP) ซึ่งหลักการหาเส้นทางของบีจีพีคือ จะเลือกเส้นทางตามนโยบายของผู้ดูแล (Policy-based Routing Protocol) ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ได้ตกลงกันไว้ก่อนระหว่างแต่ละออโตโนมัสซิสเต็ม การเปลี่ยนแปลงภายในออโตโนมัสซิสเต็มจะไม่ส่งผลกระทบกับออโตโนมัสซิสเต็มอื่นๆ

เราสามารถเปรียบเทียบโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ได้กับออโตโนมัสซิสเต็ม เนื่องจากโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจสามารถจัดการการทำงานและทรัพยากรของตนเองได้อย่างอิสระโดยไม่ส่งผลกระทบกับโหนดอื่นๆ ในเครือข่าย

2) ความเป็นอิสระจากกันในด้านการจัดสรรทรัพยากร เนื่องจากโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เป็นของผู้ใช้แต่ละคน ดังนั้นผู้ใช้จึงมีสิทธิในการเปลี่ยนแปลงสิ่งต่างๆ ของอุปกรณ์ของตนเองโดยไม่ส่งผลกระทบกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ

2.3.2 บทบาทหน้าที่และทรัพยากรของโหนดบนเครือข่าย เครือข่ายอินเทอร์เน็ตให้บริการโดยผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตหรือไอเอสพี (ISP – Internet Service Provider) ถ้าผู้ใช้ต้องการเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผู้ใช้จะต้องจ่ายค่าเชื่อมต่อให้กับผู้ให้บริการ ซึ่งทางผู้ให้บริการจะจัดเตรียมการเชื่อมต่อและทรัพยากรเครือข่าย เช่น การประมวลผลเส้นทาง แบนวิดท์ เป็นต้น และผู้ใช้บริการจำเป็นต้องจ่ายค่าบริการเพื่อที่จะใช้ทรัพยากรเหล่านี้ แต่บนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจได้รับทรัพยากรเครือข่ายมาจากความร่วมมือของผู้ใช้แต่ละคน ดังนั้นผู้ใช้บริการจะต้องทำหน้าที่เป็นผู้ให้บริการเครือข่ายในเวลาเดียวกัน โดยไม่มีการคิดค่าใช้จ่าย ทรัพยากรของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์พกพา เช่น พีดีเอ หรือแล็ปท็อป อุปกรณ์เหล่านี้จะมีทรัพยากรสำหรับการประมวลผล แบนวิดท์ที่จำกัดเมื่อเทียบกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และนอกจากนี้อุปกรณ์เหล่านี้ทำงานโดยใช้พลังงานจากแบตเตอร์รี่เป็นหลัก ดังนั้นพลังงานจึงเป็นทรัพยากรที่

82647

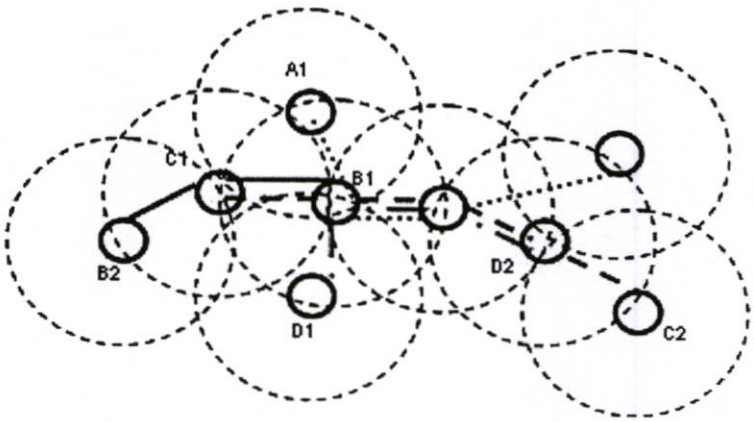
สำคัญที่สุดสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ โหนดจึงจำเป็นต้องจัดสรรทรัพยากรเหล่านี้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจนอกจะคำนึงถึงลักษณะพิเศษของเครือข่ายแล้ว ยังควรจะคำนึงความเป็นอิสระจากกันของแต่ละโหนดด้วย เนื่องจากเราสามารถนำเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมาให้บริการในสถาวะแวดล้อมที่ผู้ใช้มีความเป็นอิสระจากกันสูง เช่น การให้บริการในบริเวณสนามบิน เป็นต้น เนื่องจากการให้บริการในลักษณะนี้ผู้ใช้จะให้ความร่วมมือกับเครือข่ายอย่างไม่เต็มที่ เพราะต้องการที่จะสงวนทรัพยากรของตนเองไว้สำหรับการส่งข้อมูลของตนเองโดยไม่ยอมส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆ ซึ่งแตกต่างกับการนำเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมาใช้งานในบริเวณที่เกิดภัยพิบัติ หรือในหน่วยงานทางทหารที่ทุกโหนดร่วมมือร่วมใจกับอย่างเต็มที่

2.4 พฤติกรรมการเห็นแก่ตัวของโหนดและการจูงใจโหนดที่เห็นแก่ตัว

เนื่องจากการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เป็นการส่งข้อมูลแบบมัลติฮ็อป (Multi-hop) ซึ่งโหนดระหว่างทางจะต้องส่งต่อข้อมูลไปเป็นทอดๆ จนกว่าข้อมูลจะไปถึงปลายทาง สำหรับโหนดที่ต้องการที่จะรักษาพลังงานของตัวเองไว้ โหนดจะปฏิเสธที่จะส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่น โหนดเหล่านี้จะใช้พลังงานไปกับการรับ-ส่งข้อมูลของตัวเองเท่านั้น ซึ่งพฤติกรรมนี้เป็นพฤติกรรมที่เห็นแก่ตัว (Selfish Behavior) และส่งผลกระทบต่ออัตราการส่งข้อมูลสำเร็จของเครือข่าย ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากศึกษาเกี่ยวกับวิธีการตรวจจับโหนดที่มีพฤติกรรมเห็นแก่ตัว และคิดค้นวิธีการจูงใจให้ทุกโหนดให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูล รวมทั้งกำหนดบทลงโทษแก่โหนดที่ไม่ให้ความร่วมมือ

แต่การไม่ให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลในเครือข่าย มีด้วยกันหลายสาเหตุ เช่น จากรูปที่ 2.10 มีโหนดอยู่ทั้งหมด 9 โหนด มีการเชื่อมต่ออยู่ 4 คู่ คือ ระหว่างโหนด A1 กับ A2 โหนด B1 กับโหนด B2 โหนด C1 กับโหนด C2 และโหนด D1 กับโหนด D2 โหนด B1 จะต้องทำหน้าที่เป็นปลายทางการสื่อสารกับโหนด B2 และจะต้องส่งต่อข้อมูลให้กับการสื่อสารอีก 3 คู่ในเวลาเดียวกัน ส่งผลให้พลังงานของโหนด B1 สูญเสียพลังงานสูงกว่าโหนดอื่นในเครือข่าย ในขณะที่โหนดที่อยู่รอบนอกของเครือข่ายไม่ต้องใช้พลังงานในการส่งต่อข้อมูล แสดงให้เห็นถึงความไม่เท่าเทียมกันถึงโอกาสในการส่งต่อข้อมูล เนื่องจากโหนด B1 เสียพลังงานกับการส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นเป็นจำนวนมาก และโหนด B1 มีความต้องการที่จะส่งข้อมูลของตัวเองด้วย แต่โหนด B1 นั้นมีพลังงานอยู่จำนวนจำกัด ดังนั้นโหนด B1 อาจจะปฏิเสธการส่งข้อมูลของโหนดอื่นเพื่อเก็บพลังงานไว้ใช้ในการส่งข้อมูลของตนเอง ซึ่งพฤติกรรมแบบนี้ของโหนด B1 อาจทำให้อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ (Throughput) ของเครือข่ายลดลงได้ ในกรณีนี้เราไม่ควรเรียกโหนด B1 ว่าเป็นโหนดที่เห็นแก่ตัว



รูปที่ 2.10 โทโปโลจีที่แสดงถึงความไม่เท่าเทียมกันในการทำงานของโหนด

งานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษาถึงการให้ความร่วมมือกับเครือข่ายของโหนดอย่างละเอียด เช่น การศึกษาถึงพลังงานที่โหนดใช้ไปกับกิจกรรมต่างๆ เมื่อให้ความร่วมมือกับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรมความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลของโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจจึงมีความจำเป็น งานวิจัยชิ้นนี้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบต่อโหนดเนื่องจากการให้ความร่วมมือกับเครือข่าย และอัตราการส่งข้อมูลของเครือข่ายที่โหนดมีพฤติกรรมในการให้ความร่วมมือกับเครือข่ายในระดับที่ต่างกัน งานวิจัยนี้ใช้พลังงานเป็นตัวชี้วัดผลกระทบต่อโหนด เนื่องจากพลังงานเป็นทรัพยากรที่สำคัญที่สุดของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ

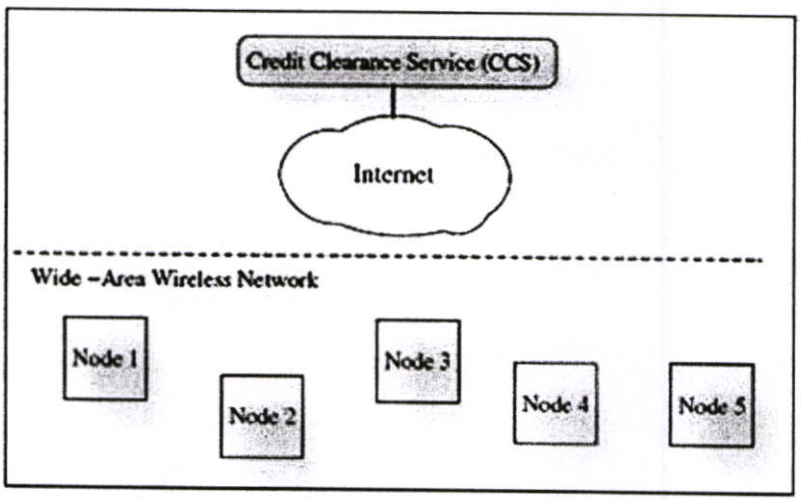
โหนดที่มีพฤติกรรมที่ไม่ดีต่อเครือข่าย (Misbehavior Node) บนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ สามารถแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ 1) โหนดที่มีพฤติกรรมเห็นแก่ตัว (Selfish Node) โหนดจะไม่ให้ความร่วมมือกับเครือข่ายในการส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่น และพยายามทำให้ตัวเองได้รับประโยชน์สูงสุดจากเครือข่ายอยู่เสมอ การที่โหนดไม่ให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลเพราะโหนดต้องการที่จะรักษาพลังงานของตนเองไว้ แล้วใช้พลังงานนี้ไปกับการรับ-ส่งข้อมูลของตนเองเท่านั้น ถึงแม้ว่าพฤติกรรมของโหนดที่เห็นแก่ตัวเหล่านี้จะทำให้อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จของเครือข่ายลดลง แต่โหนดไม่ได้มีเจตนาในการทำให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพแย่ลง เพราะโหนดที่เห็นแก่ตัวนี้คำนึงถึงผลประโยชน์ของตัวเองเป็นหลักเท่านั้น ซึ่งแตกต่างจากโหนดประเภทที่ 2 คือโหนดที่ประสงค์ร้ายต่อเครือข่าย (Malicious Node) ที่ต้องการทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลงโดยตั้งใจ โดยมิได้คำนึงถึงประโยชน์ของตนเอง โหนดจะก่อกวนเครือข่ายในรูปแบบต่างๆ เช่น พยายามส่งข้อมูลออกมาเพื่อให้เกิดการชนกันของข้อมูล หรือการจำกัดรัศมีการส่งของโหนดตัวเอง เพื่อหลอกโหนดต้นทางว่าได้ส่งข้อมูลไปหาโหนดปลายทางแล้ว พฤติกรรมเหล่านี้บางพฤติกรรมเราสามารถสร้างกลไกในการป้องกันการจู่โจม แต่บางวิธีเราก็ไม่สามารถป้องกันได้ ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ต้องการจูงใจให้โหนดที่เห็นแก่ตัว ให้ความร่วมมือ

กับการส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นๆ และกำหนดบทลงโทษให้กับโหนดที่ไม่ให้ความร่วมมือกับเครือข่ายหรือโหนดที่มีพฤติกรรมประสงค์ร้ายบางพฤติกรรมเท่านั้น งานวิจัยเหล่านี้ออกเป็น

2.4.1 วิธีที่อิงตามชื่อเสียงของโหนด (Reputation Based) [6] นำเสนอวิธีการในการตรวจจับโหนดที่มีพฤติกรรมไม่ดีและกำหนดบทลงโทษ โดยใช้วอทช์ด็อก (watchdog) และพาธราเทอร์ (pathrater) วอทช์ด็อกมีหน้าที่ในการตรวจจับโหนดที่มีพฤติกรรมไม่ดี โดยหลังจากที่โหนดส่งข้อมูลออกไปแล้ว โหนดจะยังคงเก็บข้อมูลไว้ในบัฟเฟอร์ (buffer) ต่อไป และจะคอยฟังว่าโหนดที่รับข้อมูลต่อไปนั้นได้ส่งต่อข้อมูลไปให้โหนดถัดไปหรือไม่ ถ้ามีการส่งข้อมูล วอทช์ด็อกก็จะลบข้อมูลที่ส่งแล้วออกจากบัฟเฟอร์ แต่ถ้าไม่มีการส่งข้อมูลภายในระยะเวลาที่กำหนด (timeout) วอทช์ด็อกจะให้คะแนนความล้มเหลวของโหนดนี้เพิ่มขึ้น (failure) จนเมื่อค่าความล้มเหลวสูงขึ้นจนถึงระดับที่กำหนดไว้ วอทช์ด็อกจะส่งข้อความไปบอกโหนดต้นทางว่าโหนดที่ถูกจับตามองเป็นโหนดที่มีพฤติกรรมไม่ดี ทำให้โหนดอื่นๆ มีข้อมูลของโหนดที่ไม่ดีเหล่านี้อยู่ ส่วนพาธราเทอร์ทำหน้าที่ในการเลือกเส้นทางโดยหลีกเลี่ยงโหนดที่มีพฤติกรรมไม่ดี โดยใช้ข้อมูลจากวอทช์ด็อก และถ้าโหนดไม่ดีเหล่านี้ต้องการส่งข้อมูลไปในเครือข่าย พาธราเทอร์ของโหนดที่มีข้อมูลจะปฏิเสธในการส่งข้อมูลของโหนดไม่ดีเป็นการลงโทษโหนดที่ไม่ยอมส่งข้อมูลให้โหนดอื่น [7] ได้นำเสนอวิธีการค้นหาโหนดที่เห็นแก่ตัวโดยปรับปรุงข้อเสียหลายอย่างของวอทช์ด็อก เนื่องจากวอทช์ด็อกใช้โหนดเพียงโหนดเดียวในการจับตาดูโหนดข้างเคียงและการตัดสินความผิด แต่การจับตาดูเพียงโหนดเดียวอาจไม่ถูกต้องเนื่องจากการชนกันของคลื่นวิทยุในเครือข่ายไร้สาย วิธีการนี้จึงนำเสนอให้โหนดเพื่อนบ้านของโหนดที่ถูกจับตาดูช่วยกันจับตาดูและลงคะแนนตัดสินความผิด และถ้าโหนดถูกตัดสินว่ามีความผิดแล้วโหนดเพื่อนบ้านจะปฏิเสธการส่งต่อข้อมูลของโหนดนั้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อเป็นการลงโทษ และจูงใจให้โหนดนั้นเลิกพฤติกรรมที่เห็นแก่ตัว แต่ถ้าโหนดที่ถูกจับตามองยังคงมีพฤติกรรมที่เห็นแก่ตัวอยู่มันจะถูกปฏิเสธการต่อข้อมูลจากโหนดเพื่อนบ้านเป็นระยะเวลาที่ยาวนานกว่าเดิม และวิธีการนี้ได้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหา เรื่องโหนดที่อยู่ตรงกลางเครือข่ายจะต้องทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นมากกว่าโหนดที่อยู่รอบนอก โหนดที่อยู่ตรงกลางนี้จะเสียพลังงานมากกว่าโหนดที่อยู่รอบนอก โดยการให้โหนดประกาศระดับพลังงานที่เหลืออยู่ให้โหนดข้างเคียงทราบ โหนดข้างเคียงจะประเมินระยะเวลาที่เหลืออยู่ของโหนดนั้น และจะยอมส่งต่อข้อมูลให้โหนดนั้นตามระยะเวลาที่ได้ประเมินไว้

2.4.2 วิธีการจูงใจโหนดหรือการใช้เงินจำลอง หลักการคือระบบจะสมมติเงินจำลองขึ้นมา และกำหนดว่าโหนดจะต้องจ่ายเงินเป็นค่าจ้างในการส่งต่อข้อมูล สำหรับโหนดที่ส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นจะได้รับเงินมาไว้สำหรับใช้จ่ายในการส่งข้อมูลของตัวเอง และโหนดจะพยายามสร้างเครดิตให้มากที่สุดโดยที่ยังรักษาระดับพลังงานให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยังสามารถส่งข้อมูล

ได้ ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อกำหนดเกี่ยวกับเครดิตที่แตกต่างกัน เช่น [8] นำเสนอสไปรท์ เป็นวิธีการที่จูงใจผู้ใช้ให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูล และรายงานการกระทำของตนเองอย่างซื่อสัตย์ วิธีการคือ เมื่อโหนดได้รับเมสเสจ โหนดจะหาเมสเสจไดเจสท์ (Message Digest) ของเมสเสจนั้นเพื่อใช้เป็นในรับของ (receipt) และนำใบรับของนี้ไปขึ้นเงินกับเครดิตเคลียร์แรนซ์เซอร์วิส (Credit Clearance Service – CCS) สไปรท์กำหนดว่าโหนดที่ส่งข้อมูลได้สำเร็จจะได้รับค่าตอบแทนที่สูงกว่าโหนดที่ไม่สำเร็จ และผู้ส่งจะเป็นผู้จ่ายให้กับโหนดระหว่างทางทั้งหมด ซึ่งค่าใช้จ่ายที่ผู้ส่งต้องจ่ายจะสูงกว่าค่าใช้จ่ายที่โหนดระหว่างทางทั้งหมดได้รับรวมกัน เพื่อป้องกันการร่วมมือกันโกงของโหนดระหว่างทาง สไปรท์เป็นวิธีแรกที่แต่ละโหนดไม่จำเป็นจะต้องมีฮาร์ดแวร์ที่สามารถทนต่อการติดสินบนได้ และระบบทั้งหมดทำงานบนซอฟต์แวร์



รูปที่ 2.11 สถาปัตยกรรมของสไปรท์

การจูงใจโหนดเพื่อให้ความร่วมมือกับเครือข่ายมากขึ้น ยังมีอีกหลายประเด็นที่จำเป็นต้องคำนึง ดังต่อไปนี้

2.4.1.1 การใช้เซอร์ติฟิเคต (certificate) เนื่องจากโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ สามารถเชื่อมต่อหรือยกเลิกการเชื่อมต่อกับเครือข่ายได้ตลอดเวลา รวมทั้งโหนดสามารถเคลื่อนที่ภายในเครือข่ายได้อย่างอิสระ และเป็นเครือข่ายที่ไม่มีการจัดการแบบรวมศูนย์ จึงทำให้ไม่เหมาะที่จะมีเซอร์ติฟิเคตออโธริตี้ (Certificate Authority - CA) ที่ต้องทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงไม่มีโหนดใดเหมาะสมที่จะทำหน้าที่เป็นเซอร์ติฟิเคตออโธริตี้เซอร์เวอร์

2.4.1.2 การใช้เครดิต (Credit-based) ในระบบการจูงใจ โหนดจะต้องส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นเพื่อให้ได้รับเครดิตไว้ใช้สำหรับการส่งข้อมูลของตัวเอง การจัดการเครดิตในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจให้ถูกต้องและน่าเชื่อถือเป็นเรื่องที่ยุ่งยากเนื่องจากการที่เครือข่าย

เคลื่อนที่เฉพาะกิจไม่มีการจัดการแบบรวมศูนย์ และโหนดในเครือข่ายไร้สายสามารถเชื่อมต่อและยกเลิกการเชื่อมต่อได้ตลอดเวลา การที่เครือข่ายจะจดจำค่าเครดิตของทุกโหนดไว้ตลอดเวลานั้นเป็นเรื่องยาก และพฤติกรรมของโหนดคือจะส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นเพื่อเพิ่มเครดิตให้ตัวเองให้ได้มากที่สุด จนกระทั่งพลังงานของโหนดเหลืออยู่ในระดับที่กำหนดโหนดจึงหยุดการส่งต่อข้อมูล ซึ่งวิธีการนี้อาจจะไม่ได้ผลอย่างดีที่สุดในหลายๆ กรณี เช่น โหนดที่ต้องการจะส่งข้อมูลแต่ไม่มีเครดิต และไม่อยู่ในตำแหน่งที่สามารถส่งต่อข้อมูลให้โหนดได้ การนำเครดิตมาใช้จะทำให้โหนดนี้ไม่สามารถส่งข้อมูลได้เลย

2.4.1.3 การจูงใจบางวิธีการ เช่น [8] เครือข่ายไร้สายแบบเฉพาะกิจจำเป็นต้องเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเพื่อจัดการกับเครดิตของแต่ละโหนด ซึ่งการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเฉพาะกิจไม่จำเป็นจะต้องติดต่อกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเสมอไป อาจจะเป็นส่งข้อมูลกันระหว่างโหนดก็ได้ ดังนั้นถ้าส่วนการตรวจสอบเครดิตทำอยู่บนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตแล้วจะเป็นการบังคับให้ทุกครั้งที่ใช้เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ จะต้องติดต่อกับเครืออินเตอร์เน็ต หรือบางวิธีการ [6] [7] โหนดจำเป็นจะต้องจับตาดูการทำงานของโหนดข้างเคียง ดังนั้นโหนดจะต้องมีอินเทอร์เฟสการ์ดที่สามารถจับตาดูการทำงานของโหนดอื่นได้ (Promiscuous mode) ซึ่งการทำงานในโหมดนี้โหนดจะต้องเสียพลังงานส่วนนึงไปกับการจับตาดู

สำหรับงานวิจัยประเภทที่กำหนดบทลงโทษโดยการตัดโหนดที่ไม่ให้ความร่วมมือออกจากเครือข่ายเลย ทำให้โหนดเหล่านี้ไม่มีโอกาสที่จะกลับมาให้ความร่วมมือกับเครือข่ายอีกแล้ว ดังนั้นการแก้ปัญหาด้วยการจูงใจให้โหนดเหล่านี้หันมาให้ความร่วมกับเครือข่ายจึงเป็นเรื่องที่ดีกว่า และวิธีการจูงใจที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่งคือการใช้เงินจำลอง โดยโหนดจะได้รับเงินเมื่อส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นๆ โดยมีโหนดที่ได้รับประโยชน์จากการส่งต่อข้อมูลนี้เป็นผู้จ่ายเงิน ซึ่งโหนดที่ได้รับประโยชน์อาจจะเป็นโหนดต้นทางหรือโหนดปลายทางหรือทั้งสองโหนดก็ได้ขึ้นอยู่กับวิธีการของผู้ออกแบบ แต่วิธีการนี้ยังมีข้อเสียคือ ไม่ได้คำนึงความเท่าเทียมในการทำงานของโหนด ยกตัวอย่างเช่น โหนดต้องการจะให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลกับเครือข่าย แต่โหนดไม่ได้รับการเลือกให้ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลต่อจากเราติ้งโปรโตคอลทำให้โหนดไม่มีโอกาสในการส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นเลย มีผลให้โหนดเหล่านี้ไม่มีเงินจำลองเพื่อที่ใช้ในการส่งข้อมูลของตนเองผ่านเครือข่าย และนอกจากนี้ควรคำนึงถึงความเป็นอิสระจากกันของแต่ละโหนดทำให้พฤติกรรมเครือข่ายของแต่ละโหนดแตกต่างกัน รวมถึงแรงจูงใจสำหรับการให้ความร่วมมือกับเครือข่ายที่ต่างกัน งานวิจัยที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับผลประโยชน์ที่โหนดได้รับกับทรัพยากรที่โหนดเสียไป ซึ่งสิ่งเหล่านี้คือแรงจูงใจที่ทำให้โหนดให้ความร่วมมือกับเครือข่าย งานวิจัยชิ้นนี้ใช้พลังงานที่โหนดใช้ไปเหล่านี้ มาคำนวนหาค่าความยุติธรรมที่เกิดขึ้นในเครือข่ายเพื่อให้เห็นถึงผลประโยชน์ที่โหนดเสียและได้รับจากการเข้าร่วมเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ซึ่งเราสามารถนำค่าความยุติธรรมที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อสร้างแรงจูงใจที่เหมาะสมกับโหนดในเครือข่ายได้

2.5 การทดลองแบบซิมมูเลชั่น

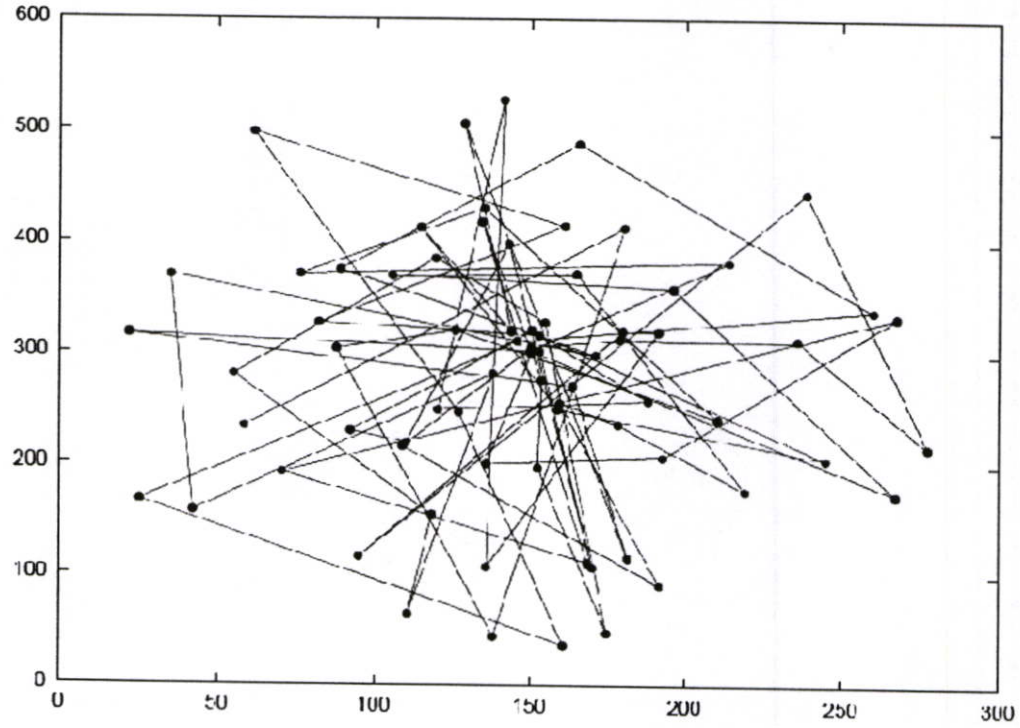
การทำซิมมูเลชั่น เป็นการทดลองวัดประสิทธิภาพของเครือข่ายวิธีการหนึ่ง แต่มีข้อดีในด้านประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลากว่าการทำอีมูเลชั่น (Emulation) และการพัฒนาโปรโตไทป์ (Prototype) ที่มีการใช้ฮาร์ดแวร์จริงร่วมด้วย ซิมมูเลชั่นนั้นง่ายต่อการทดสอบวัดผลการประสิทธิภาพของเครือข่าย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงบางอย่างเกิดขึ้นในเครือข่าย เช่น เปลี่ยนหรือเพิ่มเติมโปรโตคอลในการทำงาน หรือเปลี่ยนโทโปโลจีของเครือข่าย เป็นต้น ซิมมูเลเตอร์สำหรับงานวิจัยทางด้านเครือข่ายมีหลายตัวด้วยกัน เช่น อ็อปเน็ต (Opnet) เอ็นเอสทู (NS2) ออมเน็ตพลัสพลัส (OMnet++) สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ทดลองโดยใช้ซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู

เอ็นเอสทูเป็นซิมมูเลเตอร์ประเภทดิสครีตอีเวนต์ (Discrete Event) ที่ถูกพัฒนามาเพื่อใช้ในงานวิจัยทางด้านเครือข่าย ซึ่งแต่เดิมเป็นเครือข่ายแบบมีสายทั้งหมด และต่อมาได้มีการพัฒนาให้สามารถซิมมูเลชั่นเครือข่ายประเภทไร้สาย เช่น เครือข่ายแลนไร้สาย หรือเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจได้ โดยกลุ่มโมนาช (Monarch Group) เอ็นเอสทูเวอร์ชั่นปัจจุบัน (NS 2.31) ได้จัดเตรียมสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เช่น เราติ้งโปรโตคอลสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ โมบิลิตี้โมเดลไอทริปเปิลอี 802.11 แม็กโปรโตคอล ทำให้เอ็นเอสทูเป็นซิมมูเลเตอร์ที่ได้รับความนิยมสูงสำหรับงานวิจัยด้านเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ [4]

2.5.1 โมบิลิตี้โมเดลสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ (MANET Mobility Model) เพื่อให้การทดลองได้ผลที่ใกล้เคียงกับการทำงานจริงมากที่สุด ดังนั้นจึงต้องมีการจำลองรูปแบบการเคลื่อนไหวของผู้ใช้ในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ (Mobility Model) เราแบ่งประเภทของแบบจำลองการเคลื่อนไหวของโหนดออกเป็น 2 ประเภทคือ 1) เทรส (Trace) คือ รูปแบบการเคลื่อนไหวที่ได้มาจากการใช้งานจริง ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องจริงๆ โดยเฉพาะเมื่อการสังเกตเกิดจากเครือข่ายขนาดใหญ่และใช้เวลาในการสังเกตนานพอสมควร แต่การจะสังเกตเพื่อให้ได้แบบการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์เป็นเรื่องยาก ดังนั้นจึงมีโมบิลิตี้โมเดลอีกแบบนึงคือ 2) ซินเทติก (Synthetic) เป็นการจำลองการเคลื่อนไหวของโหนดให้เหมือนจริงมากที่สุดโดยไม่ต้องมีการเทรส การเคลื่อนไหวจะมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทางของโหนดจะเกิดขึ้นในเวลาที่เหมาะสมอย่างมีเหตุผล ตัวอย่างของโมบิลิตี้โมเดลประเภทนี้ ได้แก่

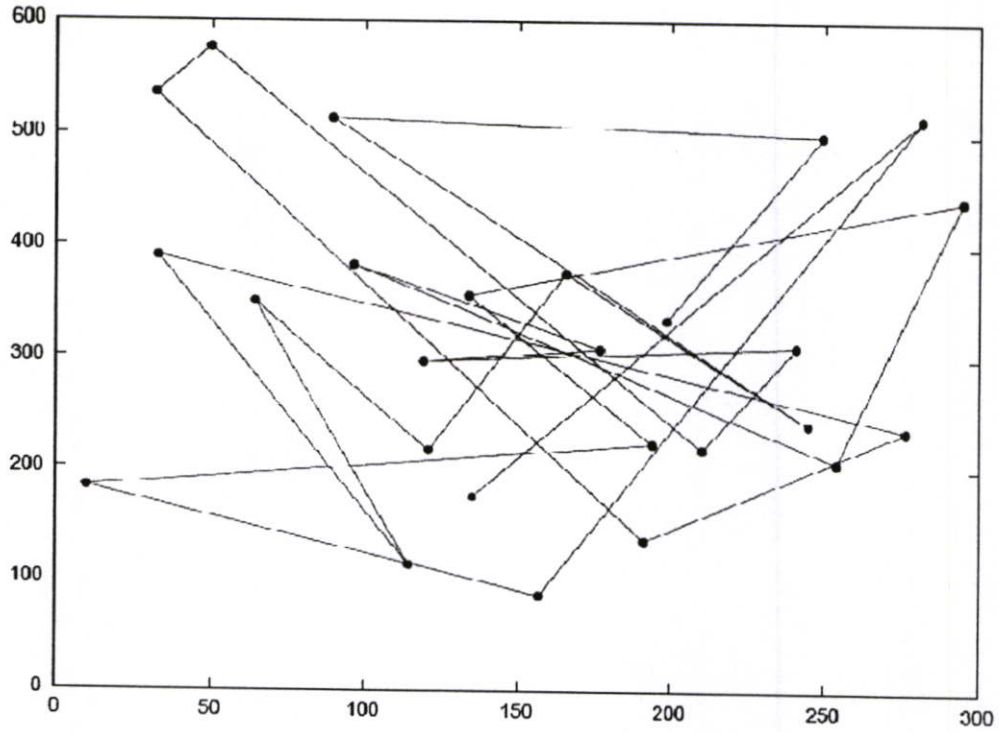
2.5.1.1 แรนดอมวอล์คโมบิลิตี้โมเดล (Random Walk Mobility Mode) ทุกโหนดจะเคลื่อนที่แบบที่ไม่สามารถคาดเดาได้ โหนดจะเคลื่อนออกจากที่อยู่ปัจจุบันไปยังที่อยู่ใหม่โดยสุ่มเลือกทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่ โดยตัวเลขความเร็วที่สุ่มออกมาได้จะอยู่ในช่วงความเร็วต่ำสุดถึงความเร็วสูงสุดที่ได้กำหนดไว้แล้ว และทิศทางอยู่ในช่วง [0, 2¶] ถ้าโหนดเคลื่อนที่ไปถึงขอบของพื้นที่การทดลองโหนดจะเด้งออกจากขอบตามมุมที่ตกกระทบและเคลื่อนที่ต่อไป

ข้อดีของการเคลื่อนที่แบบนี้คือ ใช้หน่วยความจำน้อยเนื่องจากการกำหนดตำแหน่งและทิศทางของโหนดในปัจจุบันไม่จำเป็นต้องจดจำตำแหน่งที่ผ่านมา แต่ยังมีความไม่สมจริงคือโหนดอาจจะหยุดกระทันหันและเลี้ยวแบบหักมุมในทันที ตามรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การเคลื่อนที่แบบแรนดอมวอล์คในเทอมของเวลา

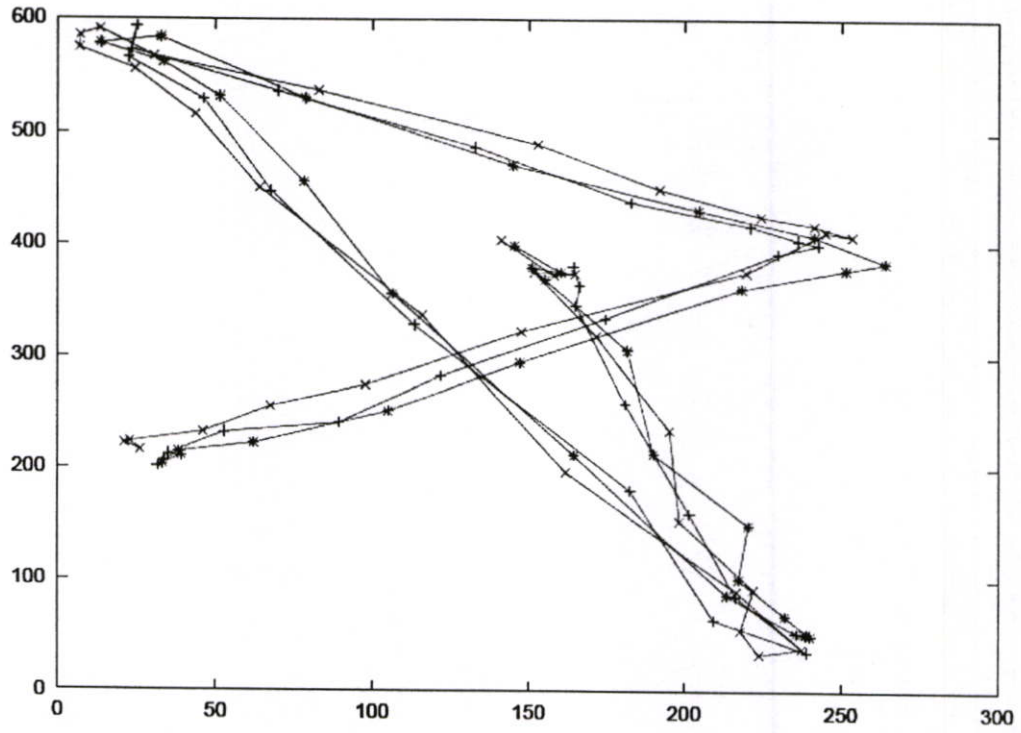
2.5.1.2 แรนดอมเวย์พอยต์โมบิลิตี้โมเดล (Random Waypoint Mobility Model) ปรับปรุงมากจากแรนดอมวอล์คโมบิลิตี้โมเดล โดยการเพิ่มเวลาหยุด (Pause Time) ในระหว่างการเปลี่ยนทิศทาง เมื่อโหนดหยุดครบกำหนดเวลาโหนดถึงจะสุ่มเลือกจุดหมายใหม่ที่อยู่ในพื้นที่การทดลอง และเลือกเวลาอย่างมีแบบแผนกระจายอยู่ในช่วง [minspeed, ,maxspeed] โหนดก็จะเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายด้วยความเร็วที่เลือกไว้ เมื่อไปถึงโหนดก็จะหยุดอยู่จบครบเวลาที่กำหนดแล้วจึงเริ่มการทำงานใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 2.13 การเคลื่อนที่แบบแรนดอมเวย์พอยท์ในเทอมของเวลา

2.5.1.3 เรฟเฟอร์เรนซ์พอยต์กรุ๊ปโมบิลิตี้โมเดลหรืออาร์พีจีเอ็ม (Reference Point Group Mobility Model - RPGM) แสดงการเคลื่อนที่แบบเป็นกลุ่ม โดยที่แต่ละโหนดจะเคลื่อนที่แบบสุ่มภายในกลุ่ม การเคลื่อนที่แบบเป็นกลุ่มจะอิงจากโหนดศูนย์กลางของกลุ่ม จากรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นว่ามี 3 โหนดเคลื่อนที่แบบอาร์พีจีเอ็ม การเคลื่อนที่ของโหนดศูนย์กลางสามารถเลือกใช้โมเดลการเคลื่อนที่แบบใดก็ได้

อาร์พีจีเอ็มถูกออกแบบมาเพื่อเลียนแบบการเคลื่อนที่ของกลุ่มให้ความช่วยเหลือ (Rescue) ยกตัวอย่างเช่น ในระหว่างการให้ความช่วยเหลือ สุนัขตำรวจจะเคลื่อนไหวโดยมีมนุษย์เป็นจุดศูนย์กลาง และทั้งคู่เคลื่อนที่ไปหาผู้เคราะห์ร้าย



รูปที่ 2.14 การเคลื่อนไหวแบบอาร์พีจีเอ็ม

2.5.1.4 เกาซ์มาร์คอฟโมเดล (Guass-Markov) ถูกออกแบบมาให้เหมาะสมกับระดับของการสุ่มที่แตกต่างกันโดยใช้จูนนิ่งพารามิเตอร์ตัวเดียว (one tuning parameter) ตอนเริ่มต้นแต่ละโมบายโหนดจะมีค่าความเร็วและทิศทางของตัวเอง และในขณะเวลา n โหนดจะเคลื่อนที่ด้วยค่าความเร็วและทิศทางใหม่ ซึ่งคำนวนโดยอิงจากความเร็วและทิศทางที่ผ่านมา ตามสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$s_n = \alpha s_{n-1} + (1-\alpha)\bar{s} + \sqrt{(1+\alpha^2)}s_{xn-1} \quad (2.1)$$

$$d_n = \alpha d_{n-1} + (1-\alpha)\bar{d} + \sqrt{(1+\alpha^2)}dd_{xn-1} \quad (2.2)$$

โดยที่ค่า s_n และ d_n คือ ความเร็วและทิศทางใหม่ของโมบายโหนดที่เวลา n ค่า α เป็นค่าจูนนิ่งพารามิเตอร์ มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยค่า 0 คือ การสุ่มทั้งหมดและ 1 คือการเคลื่อนที่แบบเป็นเส้นตรง $\bar{s}$ และ $\bar{d}$ คือค่าคงที่เฉลี่ยของความเร็วและทิศทางเมื่อ n เข้าใกล้อินฟินิตี้ และ S_{xn-1} และ d_{xn-1} คือค่าตัวแปรสุ่มจากการกระจายแบบเกาซ์เซียน

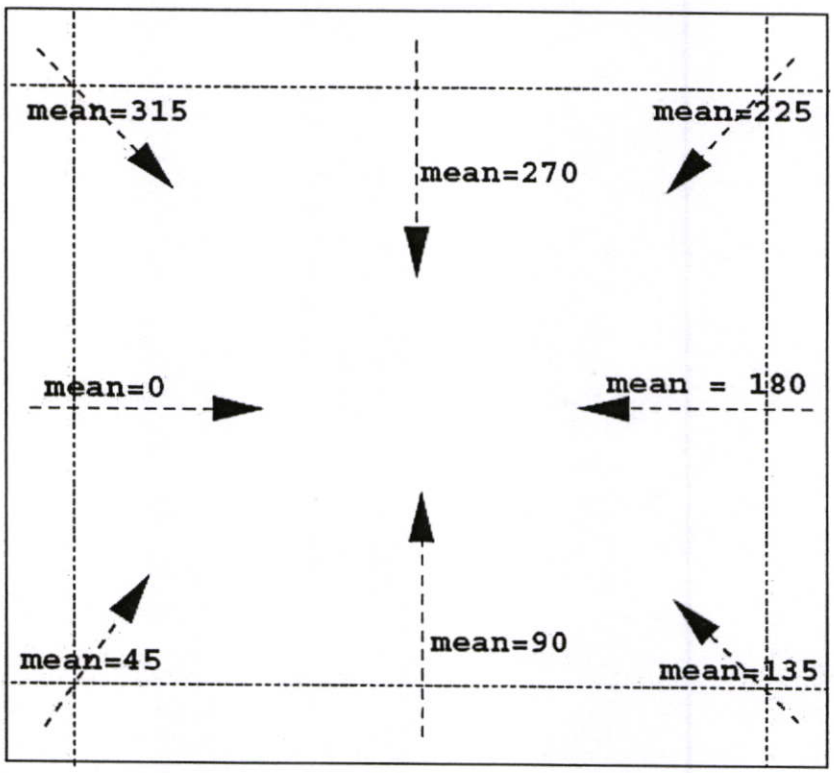
สำหรับในรอบเวลาถัดไป ค่าตำแหน่งจะได้จากการคำนวนจากตำแหน่ง เวลาและทิศทางในปัจจุบันตามสมการที่ 2.3 และ 2.4

$$x_n = x_{n-1} + s_{n-1}\cos x_{n-1} \quad (2.3)$$

$$y_n = y_{n-1} + s_{n-1}\sin d_{n-1} \quad (2.4)$$

โดยที่ค่า (x_n, y_n) และ (x_{n-1}, y_{n-1}) คือ ค่าพิกัด x และ y ของโหนด ณ เวลาที่ n^{th} และ (n-1)st ตามลำดับ และ s_{n-1} และ d_{n-1} คือความเร็วและทิศทางของโหนดตามลำดับ ที่เวลา (n-1)st

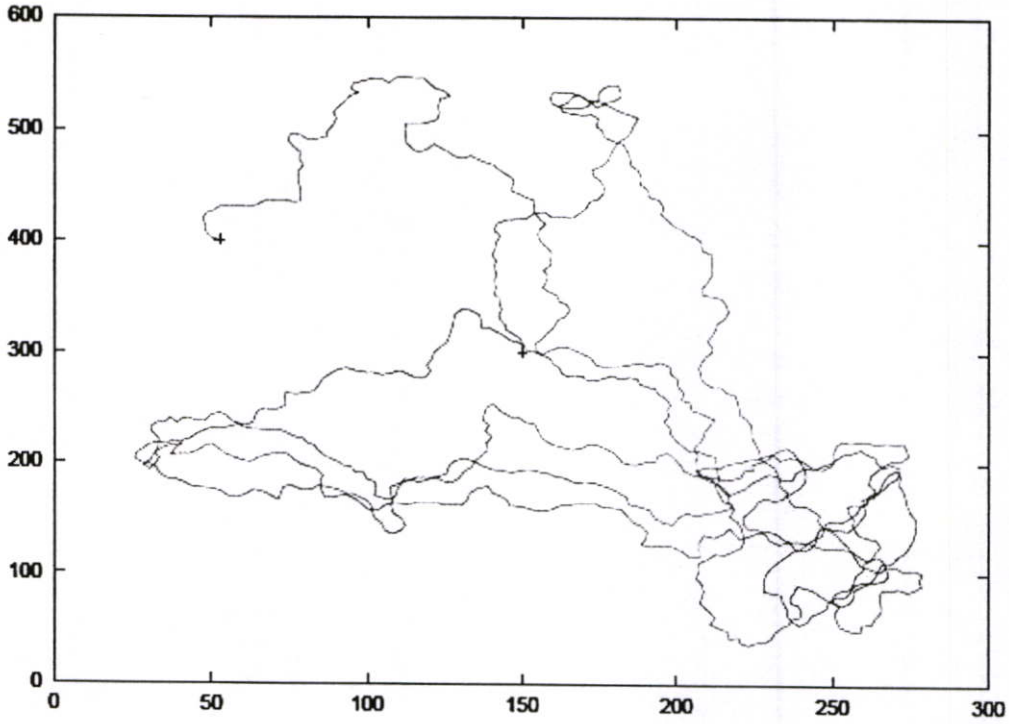
เพื่อให้แน่ใจว่าโหนดไม่ได้เคลื่อนที่อยู่ที่ขอบพื้นที่ โมบายโหนดจะถูกบังคับให้เคลื่อนออกห่างจากของเมื่ออยู่ในระยะที่ใกล้กับขอบ ตัวอย่างเช่น เมื่อโมบายโหนดเคลื่อนที่ใกล้กับขอบด้านขวาของการซิมมูเลชั่นค่า $\bar{d}$ จะเปลี่ยนเป็น 180 องศา ดังนั้นโหนดจะเคลื่อนที่ออกห่างจากขอบด้านขวา ค่าเฉลี่ยของทิศทางสำหรับตำแหน่งขอบที่ต่างกัน ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 มุมของการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนไปเมื่อโหนดเข้าใกล้กรอบ (ในหน่วยดีกรี)

และในรูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบเกาซ์มาคอฟโมบิลิตี้โมเดล โดยโหนดเริ่มต้นที่กลางพื้นที่ของการซิมมูเลชั่นที่พิกัด (150, 300) และเคลื่อนที่เป็นเวลา 1000 วินาที และตั้งค่า n เป็น 1 วินาที และ α คือ 0.75 sxn-1 และ dxn-1 เลือกมาจากแรนดอมเกาซ์เซียนดิสทริบิวชั่นที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และมีการกระจายมาตรฐาน (standard deviation) เป็น 1 ค่า $\bar{S}$ คงที่ที่ 10 เมตรต่อวินาที และ $\bar{d}$ เริ่มต้นที่ 90 องศาและจะเปลี่ยนตลอดเวลาขึ้นอยู่กับระยะที่ห่างจากขอบ

เกาซ์มาคอฟโมบิลิตี้โมเดล ทำให้ไม่มีการหยุดอย่างกระทันหันของโหนดและไม่มีการเลี้ยวหักมุมเหมือนกับโมเดลที่ผ่านมาดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่แบบเกาซ์มาคอฟโมบิลิตี้โมเดล

เราสามารถจำลองการทำงานของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจที่ต้องจากได้จากการทดลองบนซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู ซึ่งสามารถจำลองสิ่งต่างๆ บนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจได้ ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่ของโหนด การส่งข้อมูลระหว่างโหนด สัญญาณวิทยุและการลดทอน นอกจากนี้เอ็นเอสทูยังเตรียมเทรสไฟล์ที่แสดงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ณ เวลาต่างๆ ได้ ทำให้เราสามารถวัดค่าต่างๆ ในเครือข่ายได้อย่างถูกต้อง

บทที่ 3
การคิดค่าความยุติธรรมของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจและการปรับแต่งซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู

เนื่องจากพฤติกรรมการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ส่งด้วยวิธีการส่งต่อกันเป็นทอดๆ ผ่านโหนดที่อยู่ในเครือข่าย ทำให้โหนดที่เข้าร่วมกับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจจะได้รับประโยชน์จากการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายและโหนดจะต้องเสียทรัพยากรจากการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆ ซึ่งผลประโยชน์ที่โหนดได้รับเปรียบเทียบกับสิ่งที่โหนดเสียไปจะเป็นแรงจูงใจของโหนดในการทำงานเพื่อเครือข่าย ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงนำเสนอวิธีการวัดค่าความยุติธรรมในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจในเชิงปริมาณ โดยแบ่งออกเป็น 1) ค่าความยุติธรรมในระดับโหนด และ 2) ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่าย ซึ่งค่าความยุติธรรมในระดับโหนดจะแสดงให้เห็นว่าแต่ละโหนดมีความได้เปรียบหรือเสียเปรียบอย่างไร เมื่อโหนดเข้าร่วมกับเครือข่าย ความได้เปรียบของโหนดคือ การที่ข้อมูลถูกส่งผ่านเครือข่ายโดยการส่งต่อข้อมูลของโหนดระหว่างทาง ส่วนความเสียเปรียบของโหนดคือ การที่โหนดใช้พลังงานของโหนดไปกับการส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่น และสำหรับค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายจะแสดงให้เห็นว่า โหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมีความร่วมมือกันช่วยส่งต่อข้อมูลผ่านเครือข่ายเป็นอย่างไร การวัดค่าความยุติธรรมในเชิงปริมาณนี้ทำให้เราสามารถระบุได้ว่าความยุติธรรมที่วัดได้ มีความแตกต่างกันมากน้อยอย่างไร

เนื่องจากความสะดวกในการใช้งานเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ (Mobile Ad Hoc Network – MANET) และความแพร่หลายของอุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย รวมถึงประสิทธิภาพที่ดีในการส่งข้อมูล [5] ทำให้เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจสามารถนำมาใช้งานได้ในพื้นที่ที่ไม่มีโครงข่าย (No Infrastructure) เช่น พื้นที่ที่เกิดภัยพิบัติ พื้นที่ทางการทหาร การนำเครือข่ายไปใช้งานในลักษณะนี้ผู้ใช้งานเครือข่ายทุกคนเหล่านี้ล้วนมีจุดมุ่งหมายไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นจึงเกิดความร่วมมือร่วมใจกันในเครือข่ายและผู้ใช้เต็มใจที่จะให้ทรัพยากรของตัวเองกับเครือข่าย แต่สำหรับการใช้งานในกรณีอื่นๆ เช่น การเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจในบริเวณสนามบิน ผู้ใช้อาจไม่เต็มใจที่จะส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆ เนื่องจากต้องการจะประหยัดพลังงานไว้ส่งข้อมูลของตัวเอง ซึ่งการไม่ให้ความร่วมมือกับเครือข่ายนี้อาจจะส่งผลกระทบให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลงได้ มีงานวิจัยจำนวนมากได้คิดค้นวิธีการจูงใจให้โหนดหันมาให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมากขึ้น เพื่อทำให้ทรูพุตของเครือข่ายสูงขึ้น แต่งานวิจัยเหล่านี้แบ่งพฤติกรรมของโหนดออกเป็น 2 ประเภทเท่านั้น ได้แก่ โหนดที่ให้ความร่วมมือกับเครือข่าย และโหนดที่ไม่ให้ความร่วมมือกับเครือข่ายเลยหรือ

ตำแหน่งของโหนดทำให้บางครั้งโหนดไม่สามารถให้ความร่วมมือกับเครือข่ายได้ตามที่โหนดต้องการ และจากความเป็นอิสระจากกันของโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจจึงอาจทำให้โหนดให้ความร่วมมืออย่างไม่เต็มที่ก็ได้

ในบทที่ 3 นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของความยุติธรรมในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เช่น วิธีการคำนวนหาค่าความยุติธรรม การแยกพลังงานที่โหนดใช้ออกเป็นประเภทต่างๆ เป็นต้น และองค์ประกอบต่างๆ ของซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทูที่เกี่ยวข้องกับการคิดพลังงานของโหนดเคลื่อนที่ เช่น ความหมายและรายละเอียดต่างๆ ของเทรสไฟล์ การแก้ไขซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทูเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในการคิดพลังงานตามที่ต้องการ

3.1 ความเป็นธรรมของการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ

เนื่องจากการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เป็นการส่งข้อมูลแบบมัลติฮ๊อป ข้อมูลจากต้นทางจะถูกส่งไปยังปลายทางโดยผ่านการส่งต่อของโหนดระหว่างทาง โดยโหนดต้นทางจะส่งข้อมูลให้กับโหนดข้างเคียงและโหนดนั้นก็จะส่งข้อมูลต่อไปให้กับโหนดข้างเคียงของมัน จนกระทั่งข้อมูลเดินทางถึงปลายทาง โดยโหนดต้นทางจะเลือกว่าจะส่งข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้านใดนั้นขึ้นอยู่กับเราติ้งโปรโตคอลที่โหนดเลือกใช้ เมื่อโหนดเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจโหนดจะได้รับประโยชน์จากการรับหรือส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ และโหนดจะต้องใช้พลังงานของตนเองเพื่อส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆในเครือข่าย ดังนั้นค่าความเป็นธรรมของการส่งข้อมูลบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจสามารถใช้เปรียบเทียบประโยชน์ที่โหนดได้รับและสิ่งที่โหนดเสียไปจากการเข้าร่วมเครือข่าย และนอกจากนี้ยังมีความยุติธรรมที่แสดงถึงภาพรวมของเครือข่ายว่าโหนดที่อยู่ในเครือข่ายมีพฤติกรรมการร่วมมือกันในเครือข่ายเป็นอย่างไร สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้เราใช้พลังงานเป็นตัวชี้วัดถึงประโยชน์ที่โหนดเสียหรือได้รับ ดังนั้นเราจึงมีค่าความยุติธรรมบนเครือข่ายอยู่ 2 ประเภท ได้แก่

3.3.1 ความเป็นธรรมในมุมมองของโหนด (Node fairness) คือ ค่าความเป็นธรรมที่โหนดเปรียบเทียบสิ่งที่โหนดได้รับและสิ่งที่โหนดเสียจากการเข้าร่วมเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ สิ่งที่โหนดได้รับประโยชน์คือ ข้อมูลที่รับหรือส่งผ่านเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ซึ่งสิ่งที่โหนดเสียไปคือ การส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่น เพราะในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นโหนดจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรของโหนดในการดำเนินงาน และเนื่องจากพลังงานจัดเป็นทรัพยากรที่สำคัญที่สุดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเราจึงใช้พลังงานในการคิดสิ่งที่โหนดได้รับและสิ่งที่โหนดเสียไป การคำนวนหาค่าความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ จะคำนวนมากจากพลังงานที่โหนดใช้ไปในการส่งต่อข้อมูลประเภทเพย์โหลด (Pay load) เท่านั้น เนื่องจากข้อมูล

ประเภทนี้สามารถระบุผู้ที่ได้รับประโยชน์จากเครือข่ายได้อย่างชัดเจน ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดสามารถหาได้จากสมการที่ 3.1

$$Node\ Fairness_i = \frac{n(Take_i - Give_i)}{\sum_{j=1}^{n}(Take_j - Give_j)} \quad (3.1)$$

โดยค่า

- Give คือ พลังงานที่โหนดระหว่างทางใช้ในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง โดยถือว่าเป็นพลังงานที่โหนดระหว่างทางใช้เพื่อโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง
- Take คือ พลังงานที่โหนดระหว่างทางใช้ไปสำหรับการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง โดยถือว่าเป็นประโยชน์ที่โหนดต้นทางและโหนดปลายทางได้รับ
- n คือ จำนวนโหนดทั้งหมดที่อยู่ในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ
- i คือ โหนดที่ต้องการหาค่าความยุติธรรมในระดับโหนด

ถ้าโหนดบนเครือข่ายมีค่าความยุติธรรมในระดับโหนดเป็นบวก แสดงว่าโหนดได้รับประโยชน์จากเครือข่าย โดยการที่ข้อมูลของโหนดถูกส่งต่อผ่านเครือข่ายโดยโหนดระหว่างทางทำให้โหนดระหว่างทางต้องเสียพลังงานเพื่อการส่งต่อข้อมูลมากกว่าพลังงานที่โหนดใช้ไปในการส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นๆ ในทางกลับกันถ้าค่าความยุติธรรมในระดับของโหนดมีค่าเป็นลบแสดงให้เห็นว่าโหนดต้องใช้พลังงานในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่น มากกว่าพลังงานที่โหนดอื่นใช้ไปสำหรับการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนด

แต่ถ้าค่าความยุติธรรมในระดับโหนดมีค่าเป็นศูนย์ อาจจะเกิดจาก 2 กรณีคือ 1) โหนดได้รับประโยชน์และเสียประโยชน์จากเครือข่ายเท่าเทียมกันหรือ 2) โหนดไม่ได้เข้าร่วมกับการส่งต่อข้อมูลผ่านเครือข่ายเลย

3.3.2 ความเป็นธรรมในระดับเครือข่าย (Network fairness) คือ ค่าที่แสดงให้เห็นภาพรวมเครือข่าย ว่ามีความร่วมมือร่วมใจในการส่งต่อข้อมูลของโหนดมากน้อยเพียงใด โดยค่าความยุติธรรมคิดจากการเปรียบเทียบพลังงานที่แต่ละโหนดใช้ไปเพื่อตนเองและใช้ไปเพื่อโหนดอื่น

$$Network\ Fairness = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Give_i - Itself_i)}{n} \quad (3.2)$$

โดยค่า

- Give คือ พลังงานที่โหนดระหว่างทางใช้ในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง โดยถือว่าเป็นพลังงานที่โหนดระหว่างทางใช้เพื่อโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง
- Itself คือ พลังงานที่โหนดต้นทางใช้สำหรับการส่งข้อมูลของตนเอง หรือพลังงานที่โหนดปลายทางใช้เพื่อรับข้อมูลของตนเอง
- n คือ จำนวนโหนดทั้งหมดที่อยู่ในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ

ถ้าเครือข่ายใดสามารถวัดค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายได้เป็นบวกจะแสดงให้เห็นว่าโหนดในเครือข่ายนี้มีความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลเป็นอย่างดี เนื่องจากโหนดบนเครือข่ายนี้ได้ใช้พลังงานของโหนดไปกับการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นมากกว่าการใช้พลังงานเพื่อส่งข้อมูลของโหนดเอง ซึ่งถ้าค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายมีค่าติดลบจะหมายความว่าโหนดในเครือข่ายนี้ใช้พลังงานเพื่อการส่งข้อมูลของตนเองมากกว่าการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่น

3.2 พลังงานในซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู

ซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทูพัฒนาโมเดลสำหรับการคำนวนค่าพลังงานของโหนดซึ่งก็คือเอ็นเนจีโมเดล โดยเอ็นเนจีโมเดลจะรับผิดชอบการคิดคำนวนและจัดการพลังงานทั้งหมดของโหนดบนการซิมมูเลชั่น เช่น การกำหนดค่าพลังงานเริ่มต้นของโหนด การคำนวนการใช้พลังงานของแต่ละโหนด โดยการทำงานของเอ็นเนจีโมเดลคือไฟล์ ns/energymodel [.cc และ .h] และถูกเรียกใช้โดย ns/wireless-phy.cc, ns/cmu-trace.cc, ns/tcl/lib[ns-lib.tcl, ns-node.tcl, ns-mobilenode.tcl] พลังงานในเอ็นเอสทูเอ็นเนจีโมเดลจะลดลงก็ต่อเมื่อโหนดมีการรับหรือส่งข้อมูล

1) พลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูล ได้มาจากกำลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูล (P_tx) หน่วยเป็นวัตต์คูณด้วยเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล หน่วยเป็นวินาที
2) พลังงานที่ใช้ในการรับข้อมูล ได้มาจากกำลังงานที่ใช้ในการรับข้อมูล (P_rx) หน่วยเป็นวัตต์คูณด้วย เวลาที่ใช้ในการรับข้อมูล หน่วยเป็นวินาที

โดยที่ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าต่างๆ ของพลังงานได้ผ่านทางโอทีซีแอลอินเทอร์เฟส (Otcl Interface) ที่กำหนดไว้ให้ เช่น ในรูปที่ 3.1 แสดงว่าในการซิมมูเลชั่นนี้ แต่ละโหนดมีพลังงานเริ่มต้น 10 จูล และใช้กำลังงานในการส่งข้อมูลที่ 0.6 วัตต์ และใช้กำลังงานในการรับข้อมูลที่ 0.3 วัตต์

```
$ns_ node-config -energyModel $energymodel \
                 -rxPower $p_rx 0.3\
                 -txPower $p_tx 0.6\
                 -initialEnergy $initialenergy 10
```

รูปที่ 3.1 การตั้งค่าพลังงานบนซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู

3.3 วิธีการคิดค่าพลังงานที่ได้จากเอ็นเอสทู

เนื่องจากเราใช้พลังงานเป็นตัวชี้วัดในการคำนวนหาค่าความยุติธรรม ดังนั้นเราจำเป็นต้องทราบว่าแต่ละโหนดบนการทำซิมมูเลชั่นนั้นใช้พลังงานไปกับกิจกรรมใดเป็นจำนวนเท่าไร ซึ่งซิมมูเลชั่นเอ็นเอสทูแสดงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการซิมมูเลชั่นด้วยเทรสไฟล์ โดยมีรายละเอียดเช่น พลังงานของโหนดในขณะนั้น ตำแหน่งของโหนด รายละเอียดข้อมูลในชั้นแม็กเลเยอร์ เป็นต้น แต่เทรสไฟล์ที่เอ็นเอสทูเตรียมไว้ให้ ยังไม่มีข้อมูลของพลังงานตามที่เราต้องการ ดังนั้นจึงต้องมีการแก้ไขซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในเทรสไฟล์ตามที่เราต้องการ ซึ่งรายละเอียดของเทรสไฟล์มีอยู่บนเอ็นเอสทูมีดังนี้

3.3.1 ประเภทเพ็กเก็ตที่มีในงานวิจัยชิ้นนี้ เนื่องจากเราทดลองเพื่อหาความยุติธรรมที่เกิดขึ้นบนเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ ดังนั้นเราจึงมีการจำลองการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย โดยในการทดลองนี้ใช้ข้อมูลประเภทซีบีอาร์แทนข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการส่ง เครือข่ายจะต้องส่งข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางตามเส้นทางของเราติ้งโปรโตคอล เครือข่ายค้นหาเส้นทางการส่งข้อมูลโดยการแลกเปลี่ยนเราติ้งเมสเสจระหว่าง และนอกจากนี้ยังมีเมสเสจของโปโตคอลต่างๆ ที่ทำให้เครือข่ายสามารถส่งข้อมูลได้อย่างสมบูรณ์ ประเภทของเพ็กเก็จที่ปรากฏอยู่บนการซิมมูเลชั่นมีดังต่อไปนี้

1) **ซีบีอาร์ (CBR – Constant Bit Rate)** ใช้ในการส่งข้อมูลประเภทยูดีพี ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลในทิศทางเดียว คือจากต้นทางไปยังปลายทาง โดยไม่มีการตอบกลับจากปลายทางมายังต้นทาง เราสามารถกำหนดค่าของซีบีอาร์ได้ดังนี้ จำนวนเพ็กเก็ตที่ต้องการส่งทั้งหมดใน 1 คอนเน็กชั่น ขนาดของเพ็กเก็ต จำนวนเพ็กเก็ตที่ส่งภายใน 1 วินาที (Interval)

2) **อาร์พ (ARP – Address Resolution Protocol)** เป็นโปรโตคอลสำหรับการจับคู่ระหว่างแม็กแอด เดรสกับไอพีแอดเดรส ซึ่งโปรโตคอลอาร์พบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจทำงานเหมือนกับบนเครือข่ายแลนอื่นๆ

3) **คอนโทรลแมสเสจ (Control Messge)** จากปัญหาโหนดที่ซ่อนอยู่ (Hidden Node Problem) ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุการชนกันของข้อมูลบนเครือข่ายแลนไร้สาย ดังนั้นมาตรฐานแลนไร้สายจึงได้พัฒนา คอนโทรลเมจเสจซึ่งประกอบไปด้วย รีเควสท์ทูเซ้น เคลียร์ทูเซ้น และแอ็คโนวเลจเม้นต์ เพื่อที่จะป้องกันปัญหา แต่ทางมาตรฐานไม่ได้บังคับว่าการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายแลนไร้สายทุกๆ ครั้งจะต้องใช้คอนโทรลแมสเสจ แต่โดยปกติแล้วเอ็นเอสทูจะใช้คอนโทรลแมสเสจกับทุกๆ การส่งข้อมูล ซึ่งสามารถยกเลิกได้โดยใช้คำสั่ง Mac/802_11 set RTSThreshold 3000 ซึ่งหมายความว่าให้ใช้คอนโทรลเมสเสจเมื่อเพ็กเก็ตที่จะส่งมีขนาดมากกว่า 3000 ไบต์ ซึ่งไม่สามารถเป็นไปได้สำหรับมาตรฐานแลนไร้สาย 802.11 ลงในไฟล์ซิมมูเลชั่น ตัวอย่างของคอนโทรลเมสเสจในเทรสไฟล์แสดงดังรูปที่ 3.2 ซึ่งแสดงการรับและส่งคอนโทรลเมสเสจประเภทรีเควสทูเซ้นและเคลียร์ทูเซ้นระหว่างโหนดที่ 31 และโหนดที่ 1

```
s -t 368.430266744 -Hs 31 -Hd -2 -Ni 31 -Nx 577.78 -Ny 412.87 -Nz 0.00 -Ne 4.038834 -Nl MAC -Nw --- -Ma 14be -Md 1 -Ms 1f -Mt 0
r -t 368.430619135 -Hs 1 -Hd -2 -Ni 1 -Nx 674.58 -Ny 346.58 -Nz 0.00 -Ne 5.393085 -Nl MAC -Nw --- -Ma 14be -Md 1 -Ms 1f -Mt 0
s -t 368.430629135 -Hs 1 -Hd -2 -Ni 1 -Nx 674.58 -Ny 346.58 -Nz 0.00 -Ne 5.393085 -Nl MAC -Nw --- -Ma 1384 -Md 1f -Ms 0 -Mt 0
r -t 368.430933526 -Hs 31 -Hd -2 -Ni 31 -Nx 577.78 -Ny 412.87 -Nz 0.00 -Ne 4.038532 -Nl MAC -Nw --- -Ma 1384 -Md 1f -Ms 0 -Mt 0
```

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างของคอนโทรลเมสเสจในเทรสไฟล์

4) **เราติ้งเมสเสจ (Routing Message)** เป็นข้อมูลที่โหนดแลกเปลี่ยนกันเพื่อค้นหาเส้นทางสำหรับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ซึ่งในงานวิจัยนี้เราใช้ดีเอสอาร์เป็นเราติ้งโปรโตคอล ดังนั้นเราติ้งเมสเสจของโปรโตคอลดีเอสอาร์ เช่น ดีเอสอาร์เราติ้งรีเควสต์ ดีเอสอาร์เราติ้งรีพลาย เป็นต้น

3.3.2 เทรสไฟล์ของเอ็นเอสทู เทรสไฟล์ในส่วนของการทดลองเครือข่ายไร้สายพัฒนาโดยซีเอ็มยูโปรเจค ซึ่งปัจจุบันเป็นเทรสไฟล์เวอร์ชั่น 2 หรือเรียกว่านิวเทรสฟอร์เม็ต ซึ่งสามารถเรียกใช้เทรสใหม่ได้โดยเพิ่มคำสั่ง $ns use-newtrace ลงไปในไฟล์ซิมมูเลชั่น ในงานวิจัยนี้เราใช้เทรสไฟล์แบบใหม่ ซึ่งประกอบด้วยเทรส 3 ประเภทด้วยกัน

3.3.2.1 เทรสที่แสดงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบนการซิมมูเลชั่น และรายละเอียดของเหตุการณ์เพื่อที่จะทราบว่าในระหว่างการซิมมูเลชั่นเกิดเหตุการณ์ใดขึ้นบ้าง ซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทูได้

จัดเตรียมเทรสไฟล์ที่แสดงรายละเอียดต่างๆ ของเหตุการณ์ไว้ รายละเอียดของเทรสไฟล์ เช่น เหตุการณ์ที่เกิดขึ้น เกิดขึ้นที่โหนดใด พลังงานของโหนดนั้นเป็นอย่างไร ข้อมูลที่ส่งเป็นข้อมูลประเภทใด ตัวอย่างของเทรสไฟล์แสดงไว้ในรูปที่ 3.3

```
s -t 0.267662078 -Hs 0 -Hd -1 -Ni 0 -Nx 5.00 -Ny 2.00 -Nz 0.00 -Ne
-1.000000 -Nl RTR -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 0.255 -Id -1.255 -It
message -Il 32 -If 0 -Ii 0 -Iv 32
s -t 1.511681090 -Hs 1 -Hd -1 -Ni 1 -Nx 390.00 -Ny 385.00 -Nz 0.00 -Ne
-1.000000 -Nl RTR -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 1.255 -Id -1.255 -It
message -Il 32 -If 0 -Ii 1 -Iv 32
s -t 10.000000000 -Hs 0 -Hd -2 -Ni 0 -Nx 5.00 -Ny 2.00 -Nz 0.00 -Ne
-1.000000 -Nl AGT -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 0.0 -Id 1.0 -It tcp -Il 1000 -If
2 -Ii 2 -Iv 32 -Pn tcp -Ps 0 -Pa 0 -Pf 0 -Po 0
r -t 10.000000000 -Hs 0 -Hd -2 -Ni 0 -Nx 5.00 -Ny 2.00 -Nz 0.00 -Ne
-1.000000 -Nl RTR -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 0.0 -Id 1.0 -It tcp -Il 1000 -If
2 -Ii 2 -Iv 32 -Pn tcp -Ps 0 -Pa 0 -Pf 0 -Po 0
r -t 100.004776054 -Hs 1 -Hd 1 -Ni 1 -Nx 25.05 -Ny 20.05 -Nz 0.00 -Ne
-1.000000 -Nl AGT -Nw --- -Ma a2 -Md 1 -Ms 0 -Mt 800 -Is 0.0 -Id 1.0 -It
tcp -Il 1020 -If 2 -Ii 21 -Iv 32 -Pn tcp -Ps 0 -Pa 0 -Pf 1 -Po 0
s -t 100.004776054 -Hs 1 -Hd -2 -Ni 1 -Nx 25.05 -Ny 20.05 -Nz 0.00 -Ne
-1.000000 -Nl AGT -Nw --- -Ma 0 -Md 0 -Ms 0 -Mt 0 -Is 1.0 -Id 0.0 -It ack -Il 40
-If 2 -Ii 22 -Iv 32 -Pn tcp -Ps 0 -Pa 0 -Pf 0 -Po 0
```

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างของเทรสไฟล์แบบใหม่

ความหมายของเทรสไฟล์

ความหมายของเทรสไฟล์แบ่งตามลำดับของช่องที่นำมาแสดงได้ดังนี้

1) **เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นที่โหนด** โดยที่
   - ก. S คือ โหนดส่งเพ็กเก็ตออกไป
   - ข. R คือ โหนดรับเพ็กเก็ตเข้ามา
   - ค. D คือ โหนดดร็อปเพ็กเก็ต
   - ง. F คือ โหนดส่งต่อเพ็กเก็ต
2) **เวลา**
   - ก. –t แสดงให้เห็นเวลาที่เกิดเหตุการณ์นั้นๆ บนซิมมูเลชั่น
3) **คุณสมบัติของโหนด** ซึ่งจะขึ้นต้นด้วย –N
   - ก. –Ni คือ โหนดไอดี
   - ข. –Nx คือ ค่าตำแหน่งของโหนดในแกน x
   - ค. –Ny คือ ตำแหน่งของโหนดในแกน y
   - ง. –Nz คือ ตำแหน่งของโหนดในแกน z
   - จ. –Ne คือ ระดับพลังงานของโหนด

ฉ. –Nl คือ ระดับในการ trace เช่น AGT คือ การเทรสในระดับเอเจนท์ของโหนด, RTR คือ การเทรสในระดับเราติ้ง, MAC คือ การเทรสในระดับแม็กเลเยอร์

ช. –Nw คือ เหตุผลที่โหนดครีอปเพ็กเก็ต

- "END" – ครีอปเพ็กเก็ตเมื่อจบการซิมมูเลชั่น
- "COL" – ครีอปเพ็กเก็ตเมื่อเกิดการชนกันในชั้นแม็กเลเยอร์
- "DUP" – ครีอปเพ็กเก็ตเมื่อแม็กแอดเดรสซ้ำกัน
- "ERR" – ครีอปเพ็กเก็ตเมื่อเกิดความผิดพลาดในชั้นแม็ก
- "RET" – ครีอปเพ็กเก็ตเมื่อจำนวนครั้งในการลองใหม่ถึงที่กำหนด
- "STA" – ครีอปเพ็กเก็ตเมื่อสเตทไม่ถูกต้อง
- "BSY" – ครีอปเพ็กเก็ตเมื่อแม็กไม่ว่าง
- "NRTE" – ครีอปเพ็กเก็ตเมื่อไม่มีเส้นทางในการส่งข้อมูล
- "LOOP" – ครีอปเพ็กเก็ตเมื่อเส้นทางวนซ้ำ
- "TTL" – ครีอปเพ็กเก็ตเมื่อค่าไทม์ทูลีฟเป็นศูนย์
- "TOUT" – ครีอปเพ็กเก็ตเมื่อเพ็กเก็ตหมดอายุ (หมดเวลาที่อยู่ในคิว)
- "CBK" – ครีอปเพ็กเก็ตเมื่อเพ็กเก็ตถูกเรียกกลับโดยเราติ้ง
- "IFQ" – ครีอปเพ็กเก็ตเมื่อคิวเต็ม
- "ARP" – ครีอปเพ็กเก็ตเมื่อคิวของอาร์พเต็ม
- "OUT" – ครีอปเพ็กเก็ตโดยโหนดที่อยู่นอกเหนือโดเมน

4) ข้อมูลเพ็กเก็ตในระดับไอพี ซึ่งจะมี –I นำหน้า

ก. –Is แสดงโดยที่อยู่ต้นทาง.พอร์ทของต้นทาง

ข. –Id แสดงโดยที่อยู่ปลายทาง.พอร์ทของปลายทาง

ค. –It ชนิดของเพ็กเก็ต

ง. –Il ขนาดของเพ็กเก็ต

จ. –If โฟล์วไอดี

ฉ. –Ii ค่ายูนิคไอดี

ช. –Iv ค่าทีทีแอล

5) ข้อมูลของฮ็อปถัดไป

ก. –Hs ค่าไอดีของโหนดนี้

ข. –Hd ค่าไอดีของฮ็อปถัดไป

6) ข้อมูลในระดับแม็กเลเยอร์

ก. –Ma ช่วงเวลา

ข. –Md อีเธอร์เน็ตแอ็ดเดรสของปลายทาง

ค. –Ms อีเธอร์เน็ตแอ็ดเดรสของต้นทาง

ง. –Mt ชนิดของอีเธอร์เน็ต

7) **ข้อมูลในระดับแอพพลิเคชั่น** จะประกอบด้วยข้อมูลของโปรแกรมประยุกต์แบบต่างๆ เช่น ARP, TCP หรือเราติ้งโปรโตคอล เช่น DSR ข้อมูลประเภทนี้จะขึ้นต้นด้วย -P

ก. –P arp ข้อมูลของแอดเดรสรีโซลูชั่นโปรโตคอล

- –Po คือ อาร์พรีเควสต์หรือรีพลาย
- –Pm คือ ค่าแม็กแอดเดรสของต้นทาง
- –Ps คือ แอดเดรสต้นทาง
- –Pa คือ ค่าแม็กแอดเดรสปลายทาง
- –Pd คือ แอดเดรสปลายทาง

ข. –P dsr เป็นเพ็กเก็ตประเภทเราติ้งโปรโตคอล ชื่อว่าดีเอสอาร์

- –Pn แสดง จำนวนโหนดที่เพ็กเก็ตเดินทางผ่านมา
- –Pq คือ เราติ้งรีเควสต์
- –Pi คือ ซีเควนซ์นัมเบอร์ของเรารีเควสต์
- –Pp คือ เราติ้งรีพลาย
- –Pl คือ ความยาวของการรีพลาย
- –Pe แสดง ต้นทางของซอร์ทเราติ้ง -> ปลายทางของซอร์ทเราติ้ง
- –Pw แสดง ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น
- –Pm คือ จำนวนข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น
- –Pc แสดง ว่าต้องรายงานข้อผิดพลาดให้กับโหนดใด
- –Pb คือ ไม่สามารถลิงค์จาก a-> b ได้

ค. –P cbr รายละเอียดของข้อมูลประเภทคอนสเต้นท์บิตเรท

- –Pi คือ ค่าซีเควนซ์นัมเบอร์
- –Pf คือ จำนวนครั้งที่เพ็กเก็ตนี้ถูกฟอร์เวิร์ด
- –Po คือ จำนวนที่เหมาะสมที่สุดในการฟอร์เวิร์ด

ซึ่งข้อมูลเทรสไฟล์เหล่านี้กำลังอยู่ในช่วงการพัฒนา ดังนั้นอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงได้

3.3.2.2 เทรสของพลังงาน ตัวอย่างเทรสของระดับพลังงานบนโหนด

```
N -t 190.457613 -n 8 -e 6.787152
N -t 190.457614 -n 6 -e 6.154187
N -t 190.457614 -n 4 -e 6.591763
N -t 190.457614 -n 2 -e 6.233338
```

รูปที่ 3.4 เทรสแสดงค่าพลังงาน

ความหมายของเทรสนี้คือ

1) N คือ เทรสของพลังงาน
2) –t คือ เวลาที่พลังงานของโหนดเปลี่ยนไป
3) –n คือ โหนดที่พลังงานเปลี่ยนไป
4) –e คือ พลังงานที่คงเหลืออยู่ที่โหนด ณ ขณะนั้น

3.3.2.3 เทรสของการเคลื่อนที่

```
M 1.00000 0 (671.20, 964.48, 0.00), (274.14, 333.60), 3.52
M 1.00000 1 (241.43, 699.24, 0.00), (915.94, 684.89), 2.88
M 1.00000 2 (929.71, 918.84, 0.00), (691.86, 632.31), 4.61
M 1.00000 3 (917.70, 558.29, 0.00), (316.68, 139.96), 2.81
```

รูปที่ 3.5 เทรสแสดงการเคลื่อนที่ของโหนด

จากรูปที่ 3.5 ทำให้เราทราบว่าที่วินาทีที่ 1 ในการชิมมูเลชั่น โหนด 0 ได้เคลื่อนที่จากพิกัด 671.20 ในแนวแกน พิกัด 964.48 ในแนวแกน y และพิกัดที่ 0 ในแนวแกน z เคลื่อนที่ไปยังจุดที่ x = 274.14, y = 333.60 ด้วยความเร็วคงที่ที่ 3.52 เมตรต่อวินาที

แต่จากเทรสไฟล์ที่มีอยู่ในขณะนี้ไม่สามารถแสดงพลังงานที่ใช้ไปในแต่ละเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากพลังงานที่โหนดแสดงในเหตุการณ์ s เกิดขึ้นที่ข้อมูลอยู่ในชั้นแม็กเลเยอร์ของโหนด ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการส่งจริงๆ จะคิดเพื่อข้อมูลเดินทางผ่านชั้นฟิสิกซ์คอลเลเยอร์ไปแล้ว ทำให้พลังงานที่อยู่ในเหตุการณ์ s ไม่ใช่พลังงานที่โหนดใช้ไป แต่เป็นพลังงานของโหนดก่อนที่โหนดส่งข้อมูล และเมื่อโหนดส่งข้อมูลออกไปแล้ว ไม่มีเหตุการณ์ N ที่แสดงพลังงานที่เปลี่ยนไปจากเหตุการณ์ s จึงต้องมีการแก้ไขชิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทูเพื่อให้แสดงพลังงานที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ s ได้อย่างถูกต้อง

3.3.2.4 เทรสไฟล์ที่แก้ไข

วิธีที่งานวิจัยชิ้นนี้แก้ไขให้เทรสไฟล์สามารถแสดงพลังงานที่เกิดจากการส่งข้อมูลโหนดได้อย่างถูกต้องตามที่ต้องการ โดยกำหนดให้ชิมมูเลเตอร์แสดงเทรสพลังงาน (N trace) ทันทีหลังจากที่พลังงานในโหนดเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นหลังจากโหนดเกิดเหตุการณ์ส่งข้อมูล (S event) ทันทีที่เพ็กเก็ตถูกส่งออกจากโหนดและพลังงานเกิดการเปลี่ยนแปลงชิมมูเลเตอร์จะแสดง

เทรสพลังงานของโหนดนั้นขึ้นมาทันที ทำให้เราทราบได้ว่าพลังงานที่โหนดใช้ในการส่งข้อมูลเป็นเท่าไร

การทำงานของซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู เมื่อข้อมูลถูกส่งออกจากไวรเลสฟิสิกซ์คอล จะมีการเรียกเมธธอดเอ็นเนจีของอ็อปเจ็กเอ็นเนจีโมเดล เพื่อคำนวนหาพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูล และถ้าพลังงานของโหนดเหลืออยู่น้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ อ็อปเจ็กโมบายโหนดก็จะเรียกเมธธอดล็อกเอ็นเนจีด้วยพารามีเตอร์ 0 (Method log_energy(0)) เพื่อบันทึกในเทรสไฟล์ว่าพลังงานของโหนดเหลือเท่ากับศูนย์ ซึ่งเราแก้ไขโดยการเพิ่มข้อแม้ไปว่าถ้าพลังงานเหลือมากกว่าศูนย์ให้เรียกเมธธอดล็อกเอ็นเนจีด้วยพารามีเตอร์ 1 (Method log_energy(1)) เพื่อให้ซิมมูเลเตอร์บันทึกค่าพลังงานที่เหลืออยู่ในปัจจุบันของโหนดลงไปในเทรสไฟล์ โดยการแก้ไขที่ไฟล์ wireless-phy.cc ตามที่แสดงในรูปที่ 3.6

```
285            if (em()->energy() <= 0) {
286                em()->setenergy(0);
287                ((MobileNode*)node())->log_energy(0);
288            } else {
289                ((MobileNode*)node())->log_energy(1);
290                    }
```

รูปที่ 3.6 ส่วนที่แก้ไขบนซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู

จากการแก้ไข ทำให้เมื่อโหนดส่งข้อมูลผ่านทางไวร์เลสฟิสิกซ์คอลแล้ว ซิมมูเลเตอร์จะแสดงระดับพลังงานที่เหลืออยู่ของโหนดทันทีไม่ว่าพลังงานที่เหลืออยู่จะน้อยกว่าศูนย์หรือไม่ก็ตาม

3.3.3 วิธีการคิดค่าพลังงานจากเทรสไฟล์ที่แก้ไขแล้ว

3.3.3.1 การคำนวนหาพลังงานของแต่ละเหตุการณ์บนซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทูที่ถูกแก้ไขแล้ว เทรสไฟล์ใหม่ที่ได้จากการแก้ไขซิมมูเลเตอร์จะมีลำดับการแสดงผลของพลังงานดังต่อไปนี้

1) เมื่อโหนดมีการส่งเพ็กเก็ต ลำดับในเทรสไฟล์จะเป็นเหตุการณ์ s และตามด้วย N ของโหนดเดียวกัน ดังนั้นถ้าเรานำพลังงานในเหตุการณ์ s ซึ่งเป็นพลังงานก่อนที่โหนดจะส่งข้อมูล มาลบด้วยพลังงานในเหตุการณ์ N คือพลังงานของโหนดที่เปลี่ยนแปลงไป จะได้เป็นพลังงานที่โหนดใช้ในการส่งข้อมูลของเหตุการณ์ s

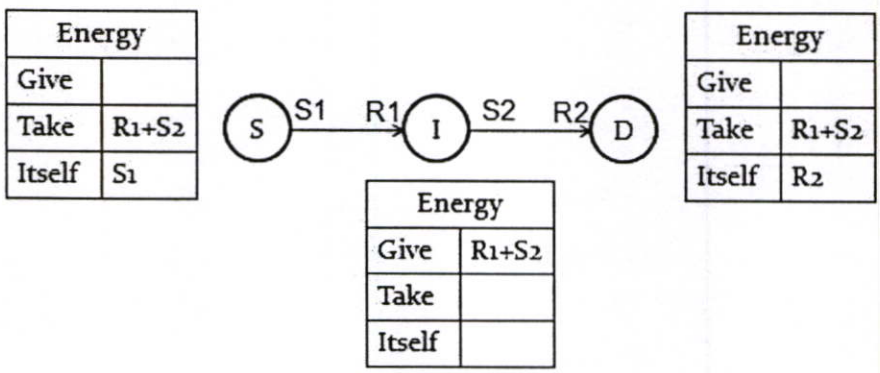
2) เมื่อโหนดรับเพ็กเก็ต ลำดับในเทรสไฟล์จะเป็นเหตุการณ์ N และตามด้วย r ซึ่งทั้ง 2 เหตุการณ์จะมีพลังงานเท่ากัน ดังนั้นค่าพลังงานที่โหนดใช้ในการรับเพ็กเก็ตคือพลังงานของโหนดในเหตุการณ์ก่อนหน้าลบด้วยพลังงานของเหตุการณ์ r หรือ N

3) เมื่อโหนดดร็อปเพ็กเก็ต ลำดับในเทรสไฟล์จะเป็นเหตุการณ์ N และตามด้วย d อย่างน้อย 1 ครั้ง ซึ่งพลังงานในเหตุการณ์ N และ d ทั้งหมดจะเท่ากัน ดังนั้นพลังงานที่โหนดใช้ในการรับเพ็กเก็ตก่อนที่จะดร็อปคิดได้จากพลังงานก่อนหน้าลบด้วยพลังงานของเหตุการณ์ N หรือ d

4) เมื่อโหนดได้ยินเพ็กเก็ตของโหนดอื่น โหนดจะใช้พลังงานไปกับการตรวจจับข้อมูลของโหนดอื่น (sense) ที่อยู่ในรัศมีการตรวจจับของโหนด ซึ่งโหนดจะต้องรับข้อมูลเข้ามาประมวลผล ค่าพลังงานที่ใช้จึงเท่ากับพลังงานที่โหนดใช้ในการรับเพ็กเก็ต คิดได้จากพลังงานของโหนดที่เหตุการณ์ก่อนหน้า ลบด้วยพลังงานของโหนดที่เหตุการณ์ N ในปัจจุบัน

จากเทรสไฟล์ที่เกิดขึ้นเราจำแนกประเภทของการใช้พลังงานของโหนดจากประเภทเพ็กเก็จที่โหนดรับ-ส่ง ได้เป็น 5 ประเภทดังนี้ 1) การรับ-ส่งข้อมูลประเภทคอนโทรเมสเสจ 2) การรับ-ส่งข้อมูลซีบีอาร์ 3) การรับ-ส่งข้อมูลอาร์พ 4) การรับ-ส่งข้อมูลเราติ้ง 5) การฟังข้อมูลในช่องสัญญาณ ซึ่งการฟังข้อมูลช่องสัญญาณจะเกิดขึ้นในกรณีที่โหนดอยู่ในรัศมีการส่งสัญญาณของโหนดข้างเคียงแต่โหนดไม่ได้เป็นปลายทางการสื่อสารโหนดจึงไม่รับข้อมูล หรือกรณีที่โหนดอยู่ในรัศมีของการทำแคร์เรียเซนซ์ของโหนดต้นทางซึ่งโหนดจะไม่สามารถทราบได้ว่าข้อมูลที่โหนดต้นทางส่งมาคืออะไร

3.3.3.2 การเลือกพลังงานของแต่ละเหตุการณ์มาคิดค่าความยุติธรรม การคิดค่าความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจคิดจากข้อมูลที่โหนดต้องการจะรับและส่งเท่านั้น (ข้อมูลประเภทที่ 2) ไม่ได้คิดถึงการรับส่งเพ็กเก็ตอื่นๆ ที่โหนดต้องใช้เพื่อเตรียมเส้นทางในการรับส่งข้อมูล เช่น เพ็กเก็ตของเราติ้ง อาร์พเพ็กเก็ต คอนโทรลแมสเสจ เป็นต้น สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้เราเลือกส่งข้อมูลเป็นแบบคอนสเท้นบิตเรท (CBR) โดยกำหนดโฟลว์ไอดีของแต่ละคู่การสื่อสารไว้



รูปที่ 3.7 วิธีการจำแนกพลังงานสำหรับการคิดค่าความยุติธรรม

โหนดต้นทางเอส (Node S) ต้องการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางดี (Node D) ผ่านทางโหนดระหว่างทางไอ (Node I) โดยโหนดเอสเริ่มส่งข้อมูลไปให้กับโหนดไอก่อน โดยเอสใช้พลังงานในการส่งเท่ากับเอสหนึ่ง (S1) พลังงานเอสหนึ่งคิดเป็นพลังงานที่โหนดเอสใช้เพื่อกิจกรรมของตนเอง และโหนดไอใช้พลังงานในการรับเท่ากับอาร์หนึ่ง (R1) และโหนดไอส่งข้อมูลต่อไปให้โหนดดี โดยใช้พลังงานในการส่งออกเท่ากับเอสสอง (S2) ซึ่งพลังงานที่โหนดไอใช้ในการรับและส่งต่อข้อมูลคิดเป็นพลังงานที่โหนดไอทำให้กับโหนดเอสและโหนดดี ส่วนโหนดดีใช้พลังงานในการรับเพ็กเก็ตเท่ากับอาร์สอง (R2) คิดเป็นพลังงานที่โหนดดีทำเพื่อตัวเอง

จากทั้งหมดที่ได้กล่าวมาในบทนี้ ทำให้เราสามารถคำนวนหาพลังงานที่แต่ละโหนดใช้ไปเพื่อการรับหรือส่งข้อมูลบนซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทูได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นเราสามารถแยกพลังงานที่แต่ละโหนดใช้ไปตามประเภทที่เราต้องการ เพื่อนำมาใช้ในการคำนวนหาค่าความยุติธรรมทั้งในระดับโหนดและในระดับเครือข่ายต่อไป

บทที่ 4
ความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจในการทดลองบนซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู

การส่งข้อมูลบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เกิดจากความร่วมมือของโหนดบนเครือข่าย ข้อมูลจะถูกส่งออกมาจากโหนดต้นทางและส่งต่อโดยโหนดระหว่างทาง โหนดจะได้ประโยชน์จากเครือข่ายเมื่อโหนดได้ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายหรือได้รับข้อมูลที่ส่งผ่านมาจากเครือข่าย และโหนดจะเสียผลประโยชน์เมื่อโหนดใช้พลังงานของตนเองในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆ ค่าความยุติธรรมระดับโหนดในงานวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นว่าประโยชน์ที่โหนดได้รับเปรียบเทียบกับพลังงานที่โหนดเสียไปเป็นอย่างไร และสำหรับค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายจะแสดงให้เห็นว่าโหนดในเครือข่ายได้ทำงานเพื่อเครือข่ายหรือเพื่อตัวโหนดเองมากกว่ากัน

จากงานวิจัยประเภทที่สร้างแรงจูงใจให้กับโหนดที่เห็นแก่ตัวโดยการใช้ค่าเงินจำลองเพื่อสมมติเป็นค่าใช้จ่ายในการรับหรือส่งข้อมูลบนเครือข่ายในปัจจุบันได้กำหนดให้การคิดค่าใช้จ่ายตามปริมาณของข้อมูลที่โหนดส่ง โดยถ้าข้อมูลมีปริมาณมากและโหนดที่ทำหน้าที่ในการส่งต่อมีจำนวนมากค่าใช้จ่ายก็จะมากตามไปด้วย และสำหรับโหนดที่ทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูลมีการส่งต่อข้อมูลปริมาณมากโหนดก็จะได้รับค่าจ้างจำนวนมาก ซึ่งถ้าโหนดต้องการที่ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจโหนดจะต้องทำงานส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆ ก่อนเพื่อที่จะมีเงินมาเป็นค่าใช้จ่ายของตัวโหนดเอง จากการทดลองเพื่อวัดค่าความยุติธรรมจะแสดงให้เห็นว่าโอกาสที่แต่ละโหนดได้รับในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆ เป็นอย่างไรในสถาวะแวดล้อมแบบต่างๆ

ในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงการออกแบบการทดลองเพื่อวัดค่าความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจบนซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู โดยการควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดอลงเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์กับค่าความยุติธรรม และการวิเคราะห์ผลการทดลองในแต่ละการทดลอง และสรุปภาพรวมของความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ

4.1 การออกแบบการทดลองเพื่อวัดค่าความยุติธรรม

จากบทที่ 3 เราได้นิยามความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ความยุติธรรมในระดับโหนด และความยุติธรรมในระดับเครือข่าย เราวัดค่าความยุติธรรมจากการทดลองบนซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู โดยใช้พลังงานที่โหนดใช้ไปกับกิจกรรมการรับส่งข้อมูลทั้งที่เป็นข้อมูลของโหนดเองและที่เป็นการส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นในการคำนวนหาค่า

ความยุติธรรม เนื่องจากทรัพยากรพลังงานเป็นทรัพยากรที่สำคัญที่สุดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เราออกแบบการทดลองเพื่อดูค่าของความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจในสภาวะแวดล้อมแบบต่างๆ โดยการควบคุมปัจจัยของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเพื่อสร้างสิ่งแวดล้อมทางเครือข่ายที่ต่างกัน เช่น จำนวนคู่ของการสื่อสารที่โหนดส่งผ่านเครือข่าย จำนวนข้อมูลที่แต่ละโหนดส่งผ่านเครือข่าย และจำนวนโหนดที่เข้าร่วมกับเครือข่าย เป็นต้น ดังนั้นเราจึงออกแบบการทดลองเพื่อวัดค่าความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ โดยมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ต่างๆ กันสำหรับแต่ละการทดลอง ทุกการทดลองมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมือนกันดังนี้

1) จำนวนโหนดเริ่มต้นตั้งแต่ 10 โหนด และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ครั้งละ 10 โหนดจนกระทั่งมีจำนวนโหนดทั้งหมด 100 โหนด

2) ส่งข้อมูลประเภทคอนสเต้นท์บิตเรทจำนวนตั้งแต่ 10 20 และ 30 คู่การส่งข้อมูลตามลำดับ โดยในแต่ละคู่การสื่อสารส่งข้อมูลจำนวน 1000 เพ็กเก็จ ขนาด 512 กิโลไบต์

3) การทดลองจำลองอยู่ในพื้นที่เปิดขนาด 1000x1000 ตารางเมตร

4) ใช้มาตรฐานแลนไร้สาย IEEE 802.11 เป็นคาด้าลิงค์เลเยอร์ มีรัศมีการส่งข้อมูลที่ 250 เมตร และรัศมีการเซนซ์ข้อมูลที่ 550 เมตร

5) ใช้เวลาการทดลองจำนวน 1000 วินาทีในแต่ละการทดลอง โดยโหนดต้นทางจะเริ่มการส่งข้อมูลระหว่างเวลาที่ 100 – 200 วินาทีแรกของการทดลอง

และสำหรับค่าพารามิเตอร์ที่ต่างกันสามารถแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ประเภทดังนี้ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การทดลองและตัวแปรของแต่ละการทดลอง

	CBR (PPS)	Energy (Joule)	Routing Protocol	Mobility Model
การทดลองที่ 1	4	100	DSR	RDWP
การทดลองที่ 2	20	100	DSR	RDWP
การทดลองที่ 3	4	10	DSR	RDWP
การทดลองที่ 4	4	100	DSR	RPGM
การทดลองที่ 5	4	100	AODV	RDWP

RDWP – Random Waypoint Mobility Model

RPGM – Reference Point Group Mobility Model

4.1.1. เครือข่ายไม่มีความคับคั่งหรือมีความคับคั่งของข้อมูลน้อย การทดลองนี้เป็นบรรทัดฐานเพื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ปรับเปลี่ยนตัวแปรอื่นๆ เราติ้งโปรโตคอลที่เลือกใช้คือ

ดีเอสอาร์ เนื่องจากดีเอสอาร์เป็นเราติ้งโปรโตคอลที่อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จที่สูง และถูกนำไปใช้ในการซิมมูเลชั่นบ่อยครั้ง ดีเอสอาร์เป็นเราติ้งโปรโตคอลที่ใช้วิธีการค้นหาเส้นทางแบบซอร์สเราติ้ง และเป็นเราติ้งโปรโตคอลที่ทำงานแบบออนดีมานด์ทำให้มีโอเวอร์ในการค้นหาเส้นทางต่ำกว่าเราติ้งแบบโปรเอ็กทีฟ แต่ละโหนดบนเครือข่ายกำหนดค่าพลังงานไว้ที่ 100 จูล ซึ่งเพียงพอต่อการรันซิมมูเลชั่นที่กำหนดไว้โดยที่พลังงานของโหนดไม่หมดในระหว่างการซิมมูเลชั่น และโหนดในการทดลองมีการเคลื่อนที่แบบแรนดอมเวย์พอยต์เนื่องจากการเคลื่อนที่แบบนี้เป็นโมเดลการเคลื่อนที่แบบสุ่มซึ่งเราไม่สามารถคาดเดาตำแหน่งของโหนดล่วงหน้าได้เลย ผลการทดลองนี้จะแสดงให้ถึงความยุติธรรมของเครือข่ายในสภาวะที่โหนดบนเครือข่ายมีการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอยู่ตลอด และข้อมูลจะไม่ถูกดรอปเนื่องจากความคับคั่งของข้อมูล แต่การให้บริการของเครือข่ายย่อมมีทั้งช่วงเวลาที่เครือข่ายไม่มีความคับคั่งของข้อมูลและช่วงเวลาที่มีความคับคั่งของข้อมูล ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะแสดงความยุติธรรมในสภาวะที่เครือข่ายเกิดความคับคั่งของข้อมูล

4.1.2. เครือข่ายมีความคับคั่ง การทดลองนี้คงพารามิเตอร์ต่างๆ จากการทดลองที่ 1 ไว้ แต่เปลี่ยนอัตราการส่งข้อมูลจากเดิมส่งข้อมูลที่ 4 เพ็กเก็จต่อวินาทีเป็น 20 เพ็กเก็จต่อวินาที เพื่อทำให้เครือข่ายมีความคับคั่งเนื่องจากเครือข่ายไม่สามารถส่งข้อมูลออกจากเครือข่ายได้ทัน ผลการทดลองนี้จะใช้เปรียบเทียบกับการทดลองที่ 1 เพื่อให้เห็นความแตกต่างของความยุติธรรมเมื่อเครือข่ายมีความคับคั่งเกิดขึ้น

4.1.3. โหนดในเครือข่ายมีพลังงานจำกัด การทดลองจำลองมาจากการใช้งานจริงของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เพราะโหนดเคลื่อนที่บนเครือข่าย มักจะมีแหล่งพลังงานมาจากแบตเตอร์รี่ซึ่งมีพลังงานจำกัด แต่การทดลองนี้ยังไม่เหมือนกับการใช้จริงมากนัก เนื่องจากการทดลองนี้กำหนดให้แต่ละโหนดบนเครือข่ายมีพลังงานที่เท่ากัน แต่ในความเป็นจริงเนื่องจากความมีอิสระจากกันของแต่ละโหนดทำให้แต่ละโหนดเข้าร่วมกับเครือข่ายโดยที่มีระดับพลังงานแตกต่างกัน

4.1.4. โหนดเคลื่อนที่แบบอาร์พีจีเอ็ม เนื่องจากโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นรูปแบบการเคลื่อนของโหนดจึงมีหลากหลาย ในการซิมมูเลชั่นจึงได้จำลองรูปแบบการเคลื่อนที่เป็นโมบิลิตี้โมเดลต่างๆ การเคลื่อนที่แบบอาร์พีจีเอ็มก็เป็นหนึ่งรูปแบบที่ได้รับความนิยมมากแบบหนึ่ง เนื่องจากผู้ใช้สามารถเคลื่อนกันแบบเป็นกลุ่ม แต่สมาชิกในกลุ่มเคลื่อนที่กันอย่างไม่มีแบบแผน เช่น การเคลื่อนที่แบบกองทหาร สมาชิกที่อยู่ในกองเดียวกันมีการเคลื่อนที่เป็นกลุ่มไปด้วยกัน แต่สมาชิกสามารถเคลื่อนได้อย่างมีอิสระภาพในกลุ่ม

4.1.5. ใช้เอโอดีวีเป็นเราติ้งโปรโตคอล โปรโตคอลเอโอดีวีเป็นเราติ้งโปรโตคอลแบบออนดีมานด์อีกโปรโตคอลหนึ่งที่ได้รับความนิยมสูงอีกโปรโตคอลหนึ่ง แต่เอโอดีวีใช้วิธีการดีสเทนซ์เว็กเตอร์ในการค้นหาเส้นทาง และมีการกำหนดอายุของเส้นทางที่ค้นพบ ถ้าเส้นทางที่ค้นพบไม่ถูกใช้งานในช่วงอายุเส้นทางนั้นจะถูกลบทิ้งโดยอัตโนมัติ [14]

ในแต่ละการทดลองเราทำการทดลองจำนวน 100 ครั้งโดยปรับเปลี่ยนคู่ของโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง และทิศทางการเคลื่อนที่ของโหนดแบบสุ่ม เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงในแต่ละการทดลอง เราจะแสดงผลการทดลองและบทวิเคราะห์ไว้ในหัวข้อถัดไป

4.2 ผลการทดลอง

ในแต่ละการทดลอง เราจะแสดงผลของค่าความยุติธรรมในระดับโหนด ค่าความยุติธรรมระดับเครือข่าย ค่าอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ สำหรับค่าความยุติธรรมในระดับโหนดแบ่งผลการทดลองออกเป็นฝั่งที่ได้รับผลประโยชน์จากเครือข่ายและฝั่งที่เสียผลประโยชน์จากการเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่าย เพื่อให้เข้าใจภาพรวมของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในการทดลอง ค่าความยุติธรรมที่แสดงไว้ในผลการทดลองคิดจากการใช้พลังงานเพื่อการส่งข้อมูลประเภทเพย์โหลดเท่านั้น โดยผลการทดลองถูกแสดงไว้ด้วยกราฟดังต่อไปนี้

1) ความได้เปรียบจากการส่งต่อข้อมูลผ่านเครือข่าย แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยของโหนดที่ได้ประโยชน์จากการส่งต่อข้อมูลบนเครือข่าย (มีค่าความยุติธรรมในระดับโหนดเป็นบวก) มีค่าเป็นเท่าไร และจำนวนโหนดและจำนวนคู่ของการสื่อสารมีผลอย่างไรต่อโหนดที่ได้เปรียบ

2) ความเสียเปรียบจากการส่งต่อข้อมูลผ่านเครือข่าย แสดงให้เห็นค่าเฉลี่ยของโหนดที่เสียเปรียบจากการส่งต่อข้อมูลบนเครือข่ายหรือโหนดที่ทำงานเพื่อเครือข่ายมากเกินไป (มีค่าความยุติธรรมในระดับโหนดเป็นลบ) มีค่าเป็นเท่าไร และจำนวนโหนดและจำนวนคู่ของการสื่อสารมีผลอย่างไรต่อโหนดที่เสียเปรียบ

3) ค่าความแปรปรวนของข้อมูล แสดงถึงความแปรปรวนของค่าความยุติธรรมในระดับโหนดของแต่ละโหนด

4) ค่าอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จของเครือข่าย แสดงถึงประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายจากต้นทางไปยังปลายทางของเครือข่าย ซึ่งค่ารีเลทีฟทรูพุต (Relative Throughput) ที่เกิดขึ้นอาจจะเกิดจากการส่งข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางโดยตรง หรือส่งผ่านโหนดระหว่างทางก็ได้

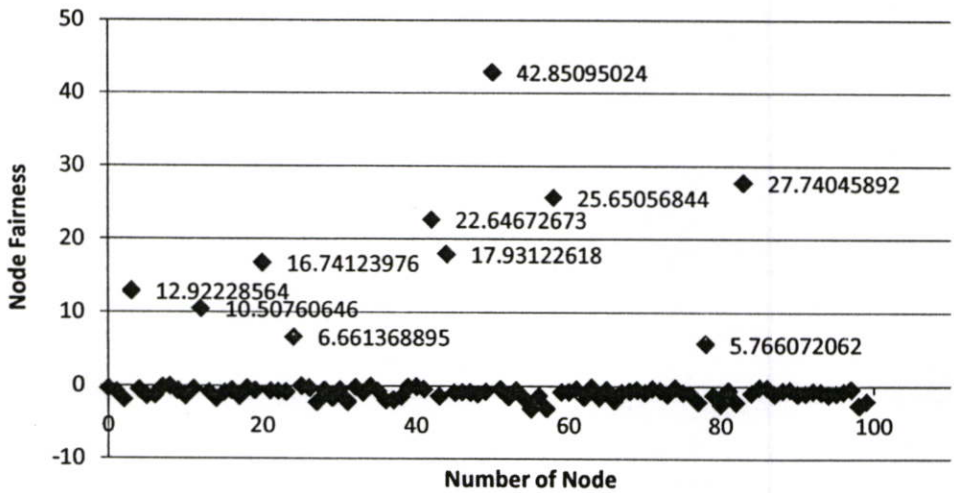
5) ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่าย คือ ค่าที่เปรียบเทียบระหว่างพลังงานที่แต่ละโหนดในเครือข่ายใช้เพื่อการส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่น และเพื่อการส่งข้อมูลของตนเอง ถ้าค่าความ

ยุติธรรมในระดับเครือข่ายมีค่าเป็นบวกจะแสดงให้เห็นว่าโหนดในเครือข่ายมีความร่วมมือกันส่งต่อข้อมูลของเครือข่ายมากกว่าการใช้พลังงานไปกับการส่งข้อมูลของตนเอง

ซึ่งจากทั้ง 5 กราฟจะทำให้เราเห็นว่าพฤติกรรมการส่งต่อข้อมูลของโหนดบนเครือข่ายเป็นอย่างไร และภาพรวมของความยุติธรรมในการทดลองนั้นๆ

4.2.1 การทดลองที่ 1 เครือข่ายไม่คับคั่ง

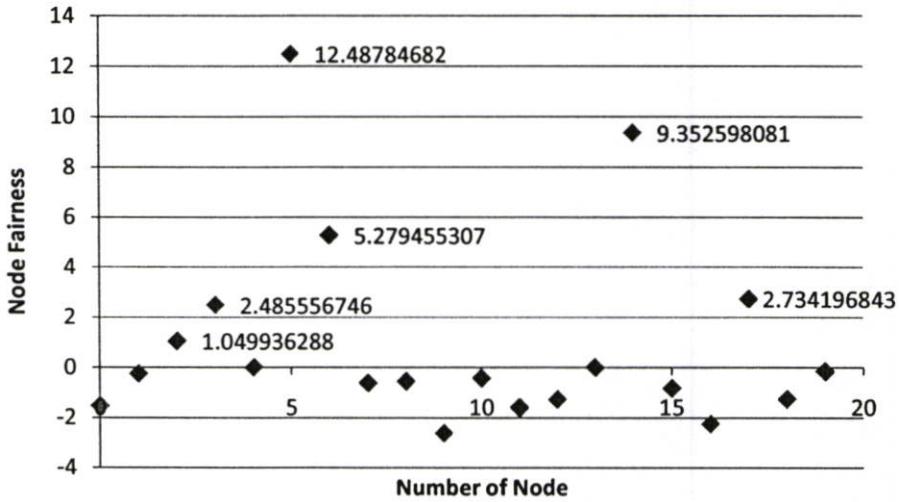
ในรูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างของค่าความยุติธรรมของแต่ละโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ จากการการทดลองที่จำนวน 100 โหนดและมีคู่การสื่อสารจำนวน 10 คู่ ผลปรากฏว่ามีจำนวนหนึ่งเท่านั้นที่ได้รับประโยชน์จากเครือข่าย แต่ในขณะที่โหนดส่วนมากต่างเสียผลประโยชน์ให้กับเครือข่าย ถึงแม้ว่าแต่ละโหนดจะเสียผลประโยชน์ไม่มากนัก แต่ผู้ใช้โดยทั่วๆ ไป เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายเพื่อหวังผลประโยชน์จากการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย ดังนั้นการที่โหนดส่วนมาเสียประโยชน์จากการเชื่อมต่อจึงอาจเป็นแรงกระตุ้นให้โหนดมีพฤติกรรมที่เห็นแก่ตัวได้ ซึ่งจะส่งผลเสียต่อเครือข่ายในภายหลัง



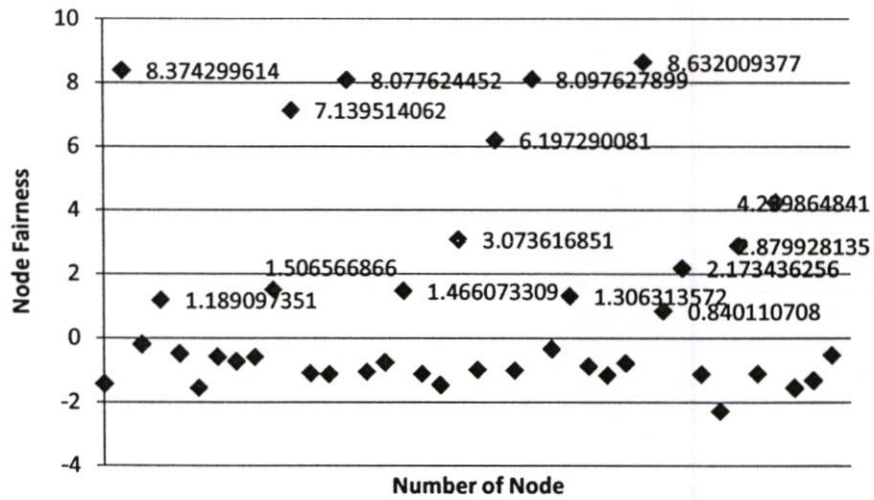
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างค่าความยุติธรรมในระดับโหนด

ในรูปที่ 4.2 4.3 และ 4.4 แสดงถึงค่าความยุติธรรมในระดับโหนด ในสถาวะที่ทุกโหนดในเครือข่ายมีการแข่งขันกันเพื่อรับหรือส่งข้อมูลของตนเอง เช่นในรูปที่ 4.2 มีโหนดอยู่ในเครือข่ายจำนวน 20 โหนด และมีคู่การสื่อสารทั้งหมด 10 คู่การสื่อสาร ซึ่งทุกโหนดในเครือข่ายมีส่วนร่วมในการรับหรือส่งข้อมูล จากผลการทดลองทั้ง 3 รูปสามารถสรุปผลได้ว่าในเครือข่ายที่ใช้ดีเอสอาร์เป็นเราติ้งโปรโตคอล โหนดส่วนมากให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูล และให้ความร่วมมือในระดับที่ใกล้เคียงกันและโหนดเหล่านี้ยังมีการเสียประโยชน์จาก

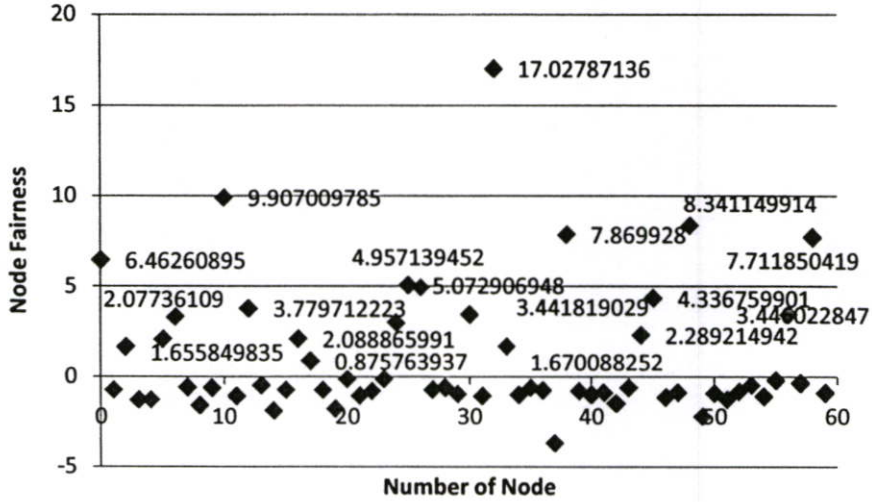
เข้าร่วมกับเครือข่ายมากกว่าประโยชน์ที่ได้รับ และก็ยังคงมีโหนดกลุ่มหนึ่งที่ได้รับประโยชน์จากเครือข่ายมากกว่าที่เสียประโยชน์ได้แก่โหนดที่มีค่าความยุติธรรมในระดับโหนดเป็นบวก



รูปที่ 4.2 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดที่เครือข่ายมีการใช้งานสูงที่ผู้ใช้จำนวน 20 โหนด และ 10 คู่การสื่อสาร

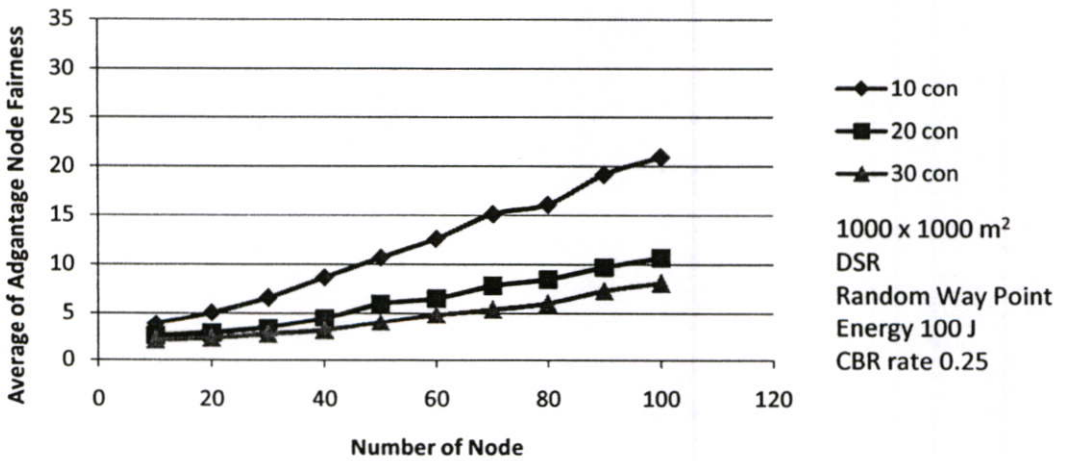


รูปที่ 4.3 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดที่เครือข่ายมีการใช้งานสูงที่ผู้ใช้จำนวน 40 โหนด และ 20 คู่การสื่อสาร



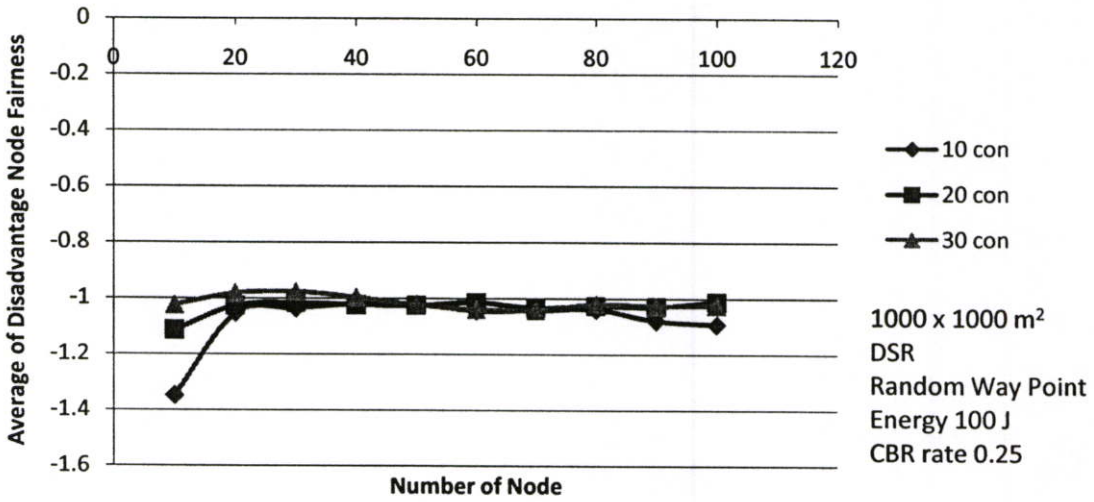
รูปที่ 4.4 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดที่เครือข่ายมีการใช้งานสูงที่ผู้ใช้จำนวน 60 โหนด และ 30 คู่การสื่อสาร

ในรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อความได้เปรียบของโหนด คือ จำนวนโหนดและคู่การสื่อสาร เมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้นจะทำให้โหนดได้ที่ประโยชน์จากการส่งต่อข้อมูลบนเครือข่ายจะได้รับประโยชน์จากการส่งต่อข้อมูลของเครือข่ายมากยิ่งขึ้น เนื่องจากจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้นในเครือข่ายจะทำให้เพิ่มโอกาสในการส่งต่อข้อมูลมากยิ่งขึ้น แต่ถ้าการทดลองที่จำนวนโหนดเท่ากันแต่มีคู่การสื่อสารที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้โหนดมีการได้เปรียบลดน้อยลงเนื่องจากโหนดมีการแข่งขันที่จะส่งข้อมูลมากขึ้น แย่งชิงช่องสื่อสารกันมากขึ้น และมีการกระจายผลประโยชน์ไปยังโหนดต้นทางและปลายของคู่การสื่อสารมากยิ่งขึ้น



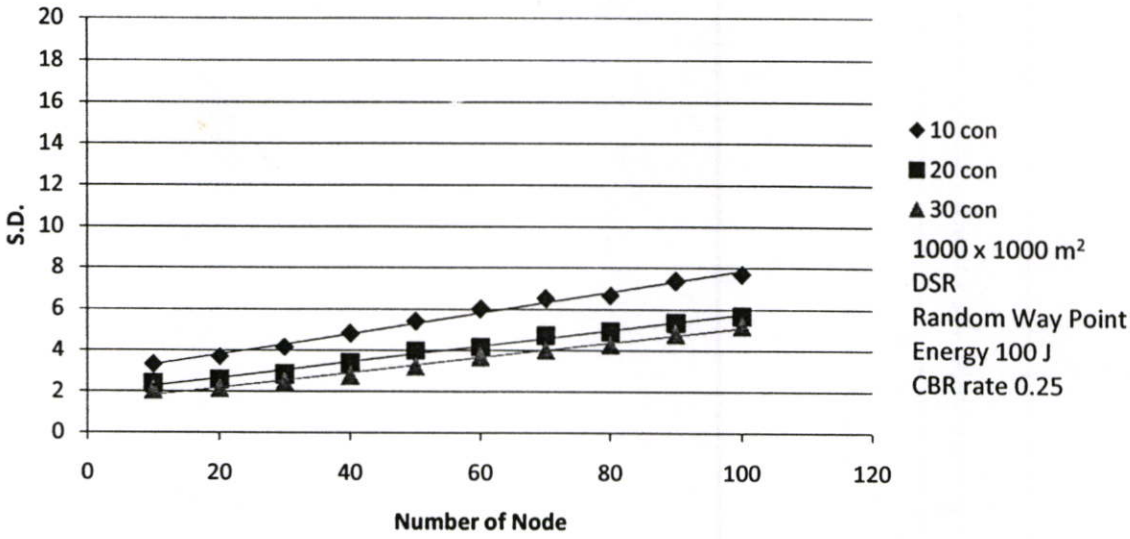
รูปที่ 4.5 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านบวกของการทดลองที่ 1

แต่ในด้านของโหนดที่เสียเปรียบตามรูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของโหนดที่เสียเปรียบมีค่าใกล้เคียงลบหนึ่ง ตั้งแต่มีจำนวนโหนดในเครือข่ายตั้งแต่ 20 โหนดขึ้นไปแสดงให้เห็นว่าแต่ละโหนดมีความแตกต่างระหว่างประโยชน์ที่ได้รับจากการส่งต่อข้อมูลและการส่งต่อข้อมูลให้กับเครือข่าย (หรือเรียกว่า ค่าความเสียเปรียบของโหนด) ในอัตราที่ใกล้เคียงกันที่ทุกคู่ของการสื่อสาร หมายความว่าโหนดในเครือข่ายต่างให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลของเครือข่ายเป็นอย่างดี แต่ในการทดลองที่มีจำนวนโหนด 10 โหนด ที่ 10 คู่การสื่อสารค่าความเสียเปรียบของโหนดมีเยอะกว่าที่คู่การสื่อสารอื่น แสดงให้เห็นว่าโหนดที่ให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลได้ให้ความร่วมมือกับเครือข่ายเป็นอย่างมาก



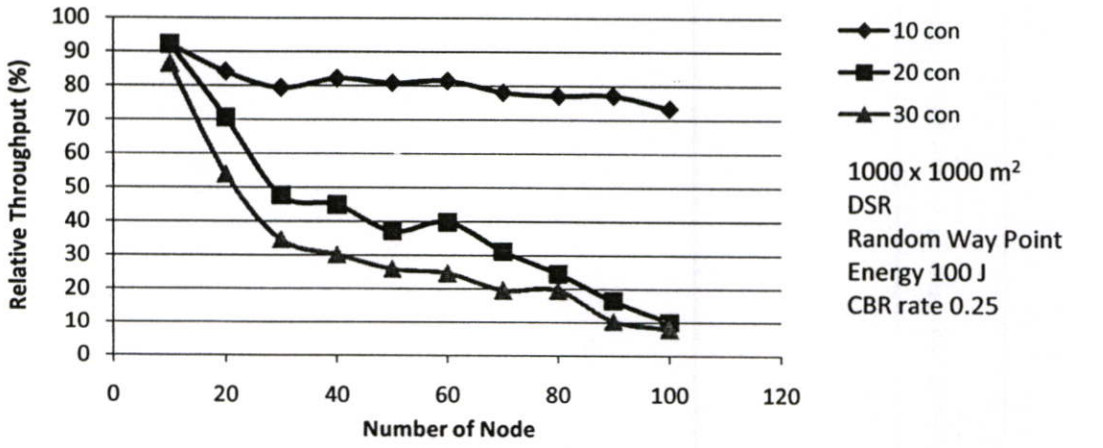
รูปที่ 4.6 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านลบของการทดลองที่ 1

และสำหรับค่าความแปรปรวนของค่าความยุติธรรมของโหนดตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระหว่างโหนดที่ได้เปรียบและโหนดที่เสียเปรียบที่ 10 คู่ของการสื่อสารมากกว่าที่ 20 และ 30 คู่ตามลำดับ และค่าความแปรปรวนมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้น หมายความว่าความแตกต่างระหว่างโหนดที่ได้ประโยชน์และโหนดที่เสียประโยชน์จะมีมากขึ้นเมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายมีมากขึ้น แต่ค่าจะลดลงเมื่อจำนวนของคู่การสื่อสารมีมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าในภาวะที่มีการสื่อสารมากในเครือข่ายความแตกต่างระหว่างโหนดที่ได้ประโยชน์จากเครือข่ายและโหนดที่เสียประโยชน์ให้กับเครือข่ายลดลง



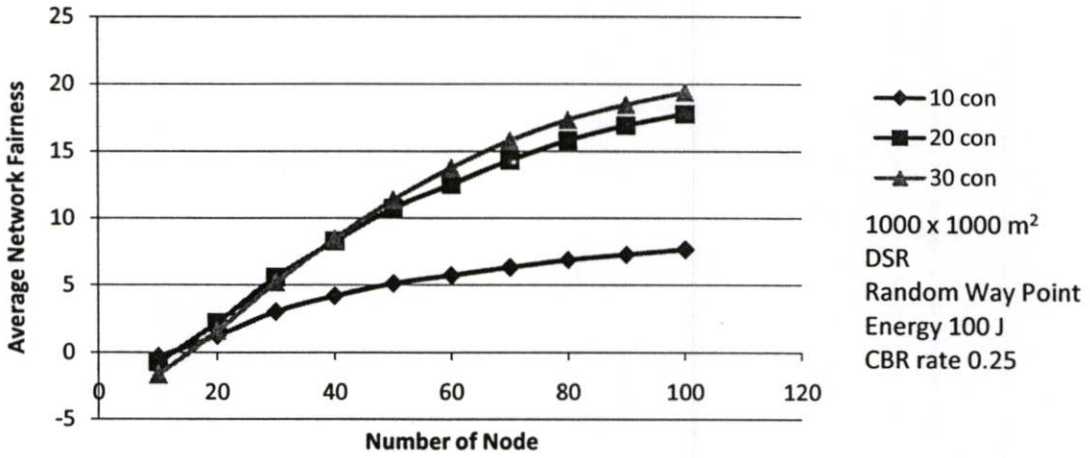
รูปที่ 4.7 ค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมในระดับโหนดของการทดลองที่ 1

ค่าอัตราการส่งข้อมูลตามรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าที่ 10 คู่ของการสื่อสารมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่าที่ 20 และ 30 คู่ตามลำดับ เนื่องจากการแข่งกันส่งข้อมูลน้อยที่สุด โดยอัตราการส่งข้อมูลจะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้น อัตราการลดลงที่ 10 คู่การสื่อสารน้อยกว่าที่ 20 และ 30 คู่การสื่อสารมาก เนื่องจากเครือข่ายมีความสามารถในการให้บริการการส่งข้อมูลได้อย่างจำกัด ดังนั้นเมื่อคู่ของการสื่อสารเพิ่มขึ้นทำให้มีข้อมูลจำนวนมากถูกส่งเข้ามาในเครือข่าย แต่เครือข่ายไม่สามารถที่จะส่งต่อข้อมูลนี้ให้ไปถึงปลายทางได้



รูปที่ 4.8 ค่าอัตราการส่งข้อมูลของการทดลองที่ 1

ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายตามรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าที่ 10 คู่การสื่อสารโหนดมีผลต่างระหว่างการใช้พลังงานเพื่อตนเองมากกว่าการใช้พลังงานเพื่อเครือข่าย มากกว่าที่ 20 และ 30 คู่การสื่อสารอยู่มาก ซึ่งที่ 10 คู่การสื่อสารมีการใช้พลังงานเพื่อตนเองน้อยกว่าที่ 20 และ 30 คู่การสื่อสาร ดังนั้นกราฟจึงแสดงให้เห็นว่าที่ 20 และ 30 คู่การสื่อสารโหนดยังคงพลังงานส่วนมากไปกับการทำงานเพื่อเครือข่าย



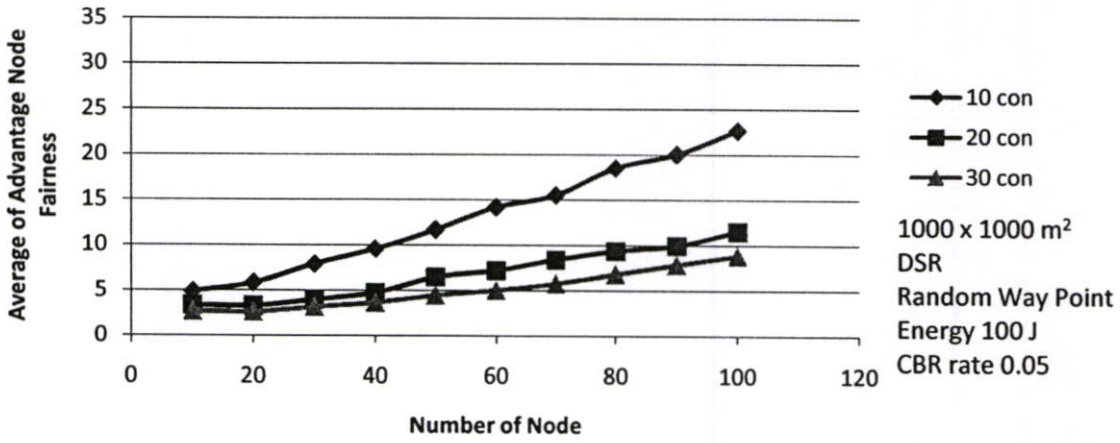
รูปที่ 4.9 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายของการทดลองที่ 1

เราใช้ผลจากการทดลองนี้เกณฑ์ในการเปรียบเทียบความแตกต่างกับการทดลองอื่นๆ ที่มีการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าโหนดที่เข้าร่วมกับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมีทั้งโหนดที่ได้รับประโยชน์จากเครือข่ายและโหนดที่เสียประโยชน์ ซึ่งค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมเพิ่มขึ้นตามจำนวนโหนดแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระหว่างโหนดที่ได้เปรียบและโหนดที่เสียเพิ่มขึ้นตามจำนวนโหนด สำหรับโหนดที่ได้รับประโยชน์จากเครือข่ายจะได้รับประโยชน์เพิ่มมากขึ้นเมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายมากขึ้น แต่สำหรับโหนดที่เสียประโยชน์จะกระจายการทำงานเพื่อเครือข่ายออกไป โดยที่ไม่เป็นภาระหนักที่โหนดใดโหนดหนึ่งมากเกินไป สำหรับสภาพแวดล้อมทางเครือข่ายแบบนี้เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับเครือข่ายของกองทหารหรือหน่วยกู้ภัย เนื่องจากโหนดส่วนมากเต็มใจที่ร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดเพียงบางโหนดสำหรับการส่งข้อมูลที่มีความสำคัญ

4.2.2 การทดลองที่ 2 เครือข่ายมีความคับคั่ง

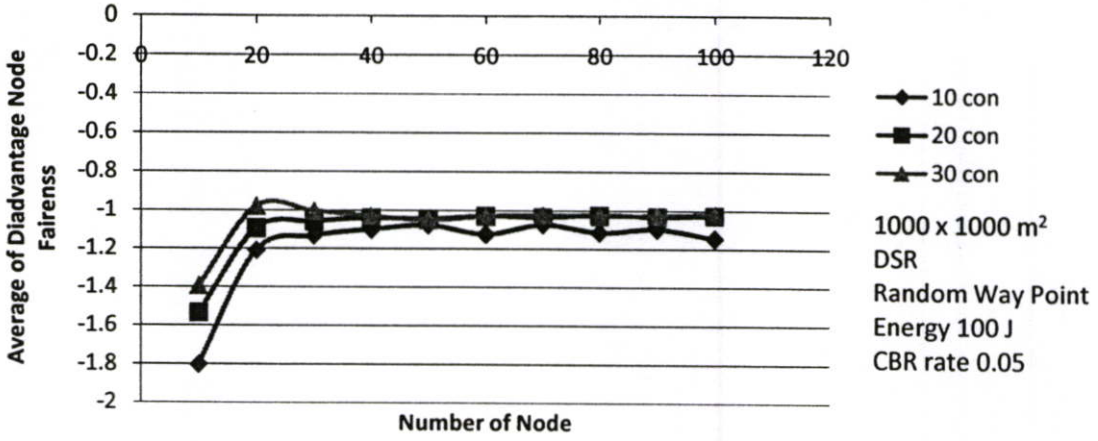
ในการทดลองนี้เราได้เพิ่มอัตราการส่งข้อมูลของซีบีอาร์เพิ่มขึ้นจากเดิมส่งที่ 4 เพ็กเก็จต่อวินาที มาเป็นส่งข้อมูลที่ 20 เพ็กเก็จต่อวินาที เพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครือข่ายในขณะที่เครือข่ายเกิดความคับคั่ง โดยคงที่ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ จากการทดลองที่ 1 ไว้

จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของโหนดที่ได้เปรียบที่จำนวนคู่การสื่อสาร 10 คู่ มีค่ามากกว่าที่จำนวนคู่การสื่อสาร 20 และ 30 คู่ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ากลุ่มโหนดที่ได้เปรียบจะยังคงได้เปรียบต่อไปเมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเส้นทางในการส่งข้อมูลเพิ่มมากขึ้นเหมือนกับการทดลองที่ 1 แสดงให้เห็นว่าอัตราการส่งข้อมูลเข้าสู่เครือข่ายไม่มีผลต่อแนวโน้มความได้เปรียบของโหนดมากนัก



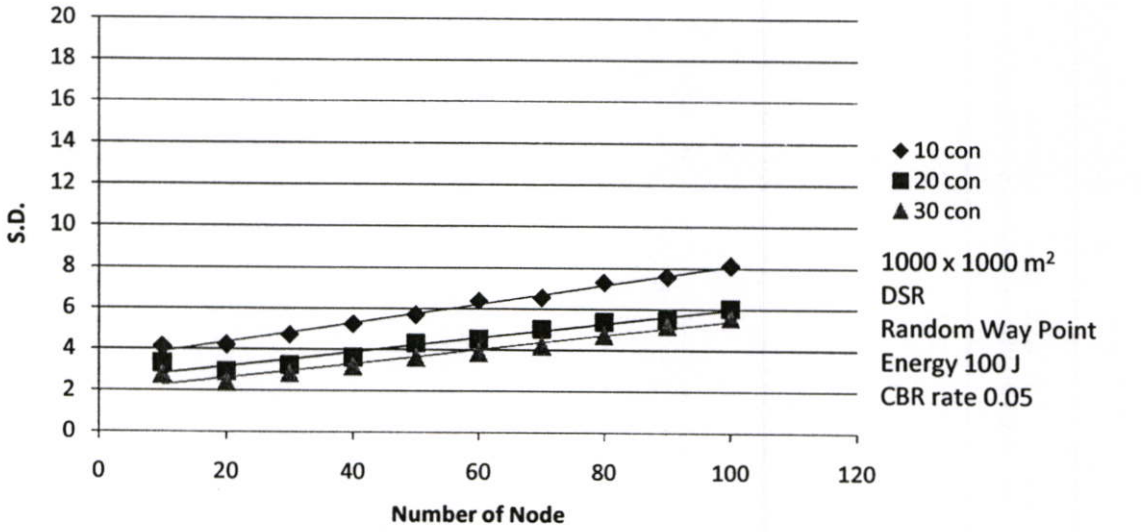
รูปที่ 4.10 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านบวกของการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าในสภาพแวดล้อมที่มีการส่งข้อมูลที่คับคั่ง โหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจยังคงให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลให้กับเครือข่ายเป็นอย่างดี ในการทดลองที่จำนวนโหนดน้อยพบว่าโหนดที่ให้ความร่วมมือกับเครือข่ายจะต้องทำงานมากกว่าที่การทดลองที่จำนวนโหนดเยอะกว่า เช่นในการทดลองที่ 10 โหนด ค่าความยุติธรรมของโหนดมีค่าติดลบมากกว่าที่การทดลองอื่นๆ



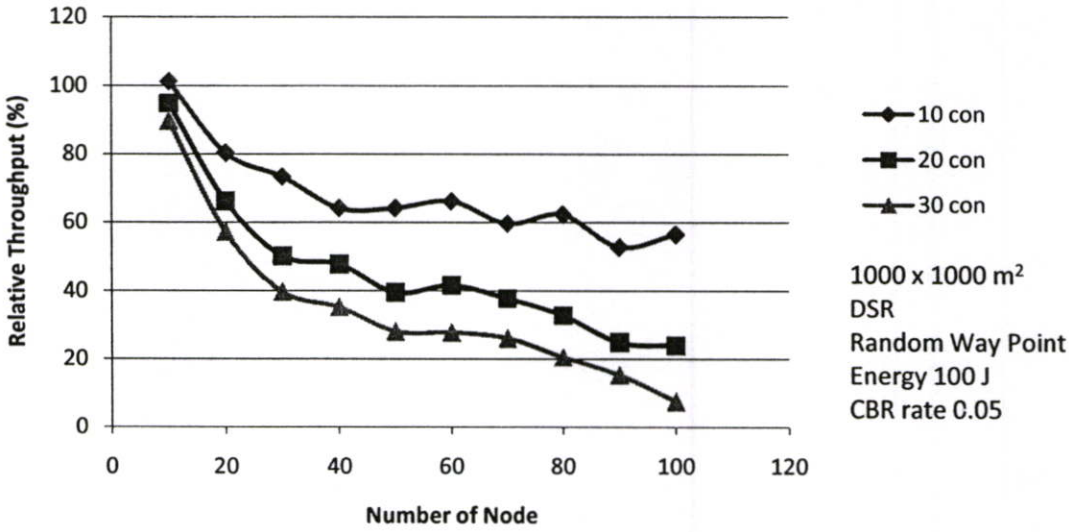
รูปที่ 4.11 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านลบของการทดลองที่ 2

และสำหรับค่าความแปรปรวนของค่าความยุติธรรมของโหนดตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระหว่างโหนดที่ได้เปรียบและโหนดที่เสียเปรียบที่ 10 คู่ของการสื่อสารมากกว่าที่ 20 และ 30 คู่ตามลำดับ และค่าความแปรปรวนมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้น หมายความว่าความแตกต่างระหว่างโหนดที่ได้ประโยชน์และโหนดที่เสียประโยชน์จะมีมากขึ้นเมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายมีมากขึ้น แต่ค่าจะลดลงเมื่อจำนวนของคู่การสื่อสารมีมากขึ้น



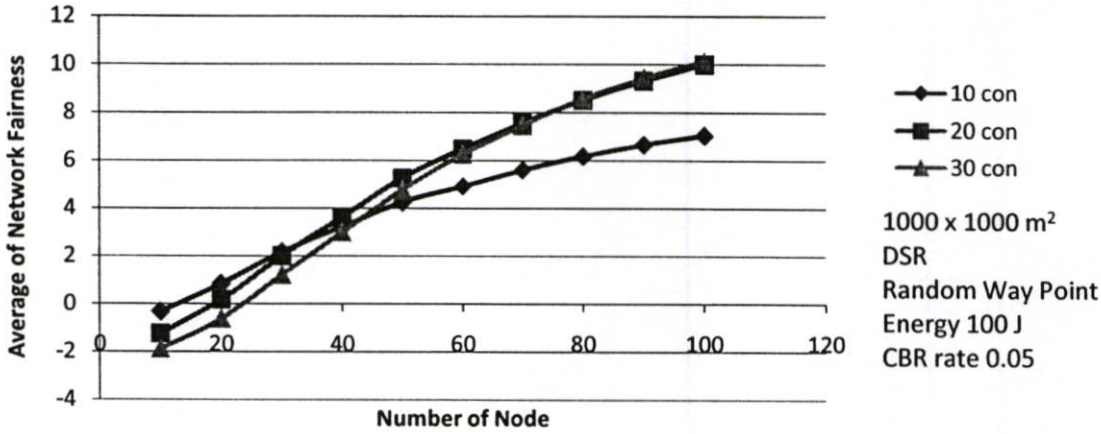
รูปที่ 4.12 ค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมในระดับโหนดของการทดลองที่ 2

ค่าทรูพุตตามรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าที่ 10 คู่ของการสื่อสารมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่าที่ 20 และ 30 คู่ตามลำดับ และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้น โดยที่ 30 คู่การสื่อสารมีอัตราการลดลงมากกว่าที่ 20 และ 10 คู่การสื่อสาร และแตกต่างจากการทดลองที่ 1 คืออัตราการลดลงของ 10 คู่การสื่อสารต่ำกว่ามาก เนื่องจากโหนดมีการส่งข้อมูลในอัตราที่สูงขึ้น ทำให้เครือข่ายมีความคับคั่งมากขึ้น ทำให้ข้อมูลบางส่วนถูกดร็อปเนื่องจากโหนดระหว่างไม่มีพื้นนี้บัฟเฟอร์เพียงพอที่จะส่งข้อมูลทั้งหมดได้



รูปที่ 4.13 อัตราการส่งข้อมูลของการทดลองที่ 2

ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายตามรูปที่ 4.14 เนื่องจากการทดลองที่ 2 เป็นการทดลองที่โหนดส่งข้อมูลเข้าสู่เครือข่ายเป็นจำนวนมาก จนเครือข่ายเกิดความคับคั่ง ซึ่งการที่โหนดใช้พลังงานเพื่อการส่งข้อมูลของตนเอง ทำให้โหนดอื่นๆ ต้องใช้พลังงานเพื่อการส่งต่อข้อมูลของโหนดนั้น ซึ่งการส่งต่อข้อมูลผ่านเครือข่ายนั้นจะทำได้เพียงแค่ขีดความสามารถของเครือข่าย ส่งผลให้พลังงานที่ถูกใช้ไปเพื่อส่งต่อข้อมูลถึงขีดจำกัดของเครือข่าย แต่ในขณะที่โหนดต้นทางเมื่อมีเส้นทางการส่งข้อมูลไปยังโหลดปลายทางก็จะส่งข้อมูลออกมาเรื่อยๆ ตามอัตราที่เราได้กำหนดไว้ จึงทำให้ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายค่อยๆ ถึงจุดสูงสุดเมื่อจำนวนโหนดและจำนวนการสื่อสารเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.14 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายของการทดลองที่ 2

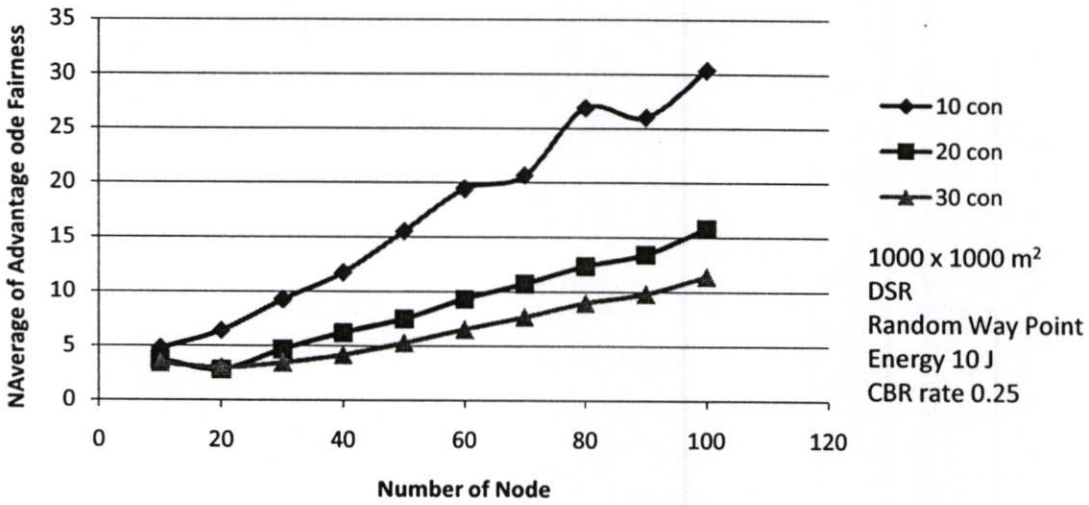
ในการทดลองที่เครือข่ายมีความคับคั่งของข้อมูล ยังคงมีโหนดที่ได้รับประโยชน์จากเครือข่ายและโหนดที่เสียผลประโยชน์จากเครือข่ายอยู่เหมือนเดิม และความแตกต่างระหว่างโหนดทั้ง 2 ประเภทยังคงเพิ่มขึ้นตามจำนวนโหนด และลดลงตามจำนวนคู่การสื่อสาร แต่สำหรับค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายมีค่าน้อยกว่าในเครือข่ายที่ไม่มีความคับคั่ง เนื่องจากแต่ละโหนดที่เป็นต้นทางและปลายทางของการสื่อสารมีการใช้พลังงานเพื่อรับหรือส่งข้อมูลของตนเองมากยิ่งขึ้น แต่แนวโน้มการเติบโตของค่าความยุติธรรมเป็นเหมือนกับการทดลองที่ 1

4.2.3 การทดลองที่ 3 โหนดมีพลังงานจำกัด

การทดลองนี้ได้กำหนดค่าพลังงานของโหนดเคลื่อนที่ไว้ที่ 10 จูล ทำให้แต่ละโหนดมีพลังงานอย่างจำกัดในการส่งข้อมูลบนเครือข่าย ซึ่งจำลองมากจากใช้งานจริงของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเนื่องจากโหนดบนเครือข่ายมีพลังงานจำกัด แต่สิ่งที่แตกต่างจากการใช้งานจริงคือทุกโหนดในการทดลองคงมีพลังงานเท่ากัน ดังนั้นผลการทดลองนี้จึงแสดงให้เห็นเพียงว่า การที่โหนดมีพลังงานจำกัดมีผลกระทบอย่างไรกับความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ

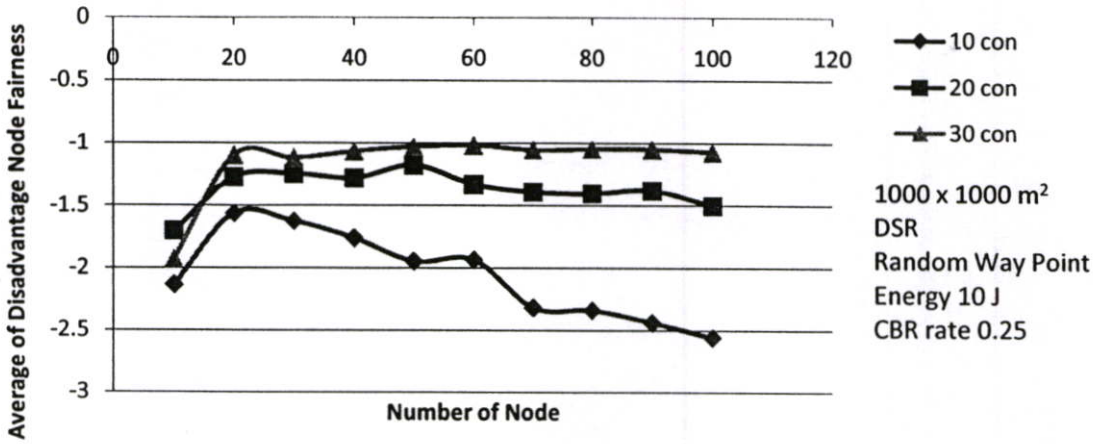
ผลการทดลองในรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของโหนดที่ได้เปรียบที่จำนวนคู่การสื่อสาร 10 คู่มีค่ามากกว่าที่จำนวนคู่การสื่อสาร 20 และ 30 คู่ตามลำดับ เหมือนกับแนวโน้มของการทดลองที่ 1 แต่ในการทดลองที่ 3 ค่าความยุติธรรมของโหนดที่ได้เปรียบมีค่ามากกว่าการทดลองที่ 1 เพราะว่าการที่โหนดเข้าร่วมกับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ โหนดต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่งไปกับกิจกรรมต่างๆ ของเครือข่าย เช่น การค้นหาเส้นทางการสื่อสาร การตรวจสอบช่องสัญญาณ ดังนั้นในสภาพแวดล้อมที่โหนดมีพลังงานจำกัดทำให้โหนดมีพลังงานเพื่อที่จะใช้ในการส่งข้อมูลประเภทอื่นๆ ลดลง ซึ่งถ้าโหนดนำพลังงานที่เหลืออยู่มาใช้เพื่อส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่น โหนดจะไม่มีพลังงานเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอื่นๆ อีกเลย ซึ่งหมายความว่าโหนดจะไม่ได้รับประโยชน์จากการเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่าย ทำให้ความแตกต่างระหว่างพลังงานที่โหนด

ได้รับประโยชน์จากเครือข่ายและพลังงานที่โหนดใช้ไปเพื่อเครือข่ายแตกต่างกันมาก จึงทำให้ค่าความได้เปรียบจึงมีค่ามากกว่าการทดลองที่ 1



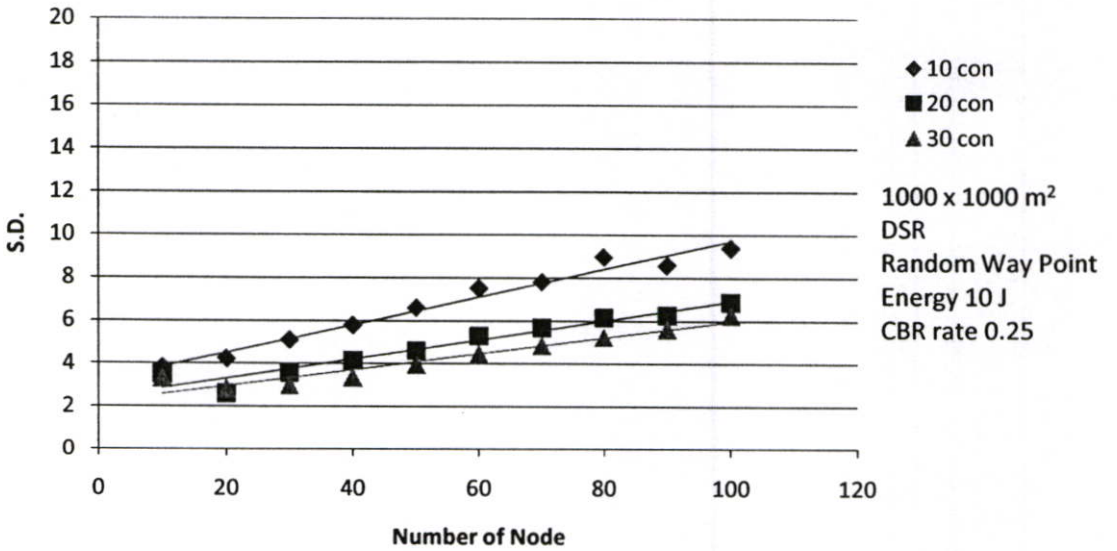
รูปที่ 4.15 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านบวกของการทดลองที่ 3

สำหรับโหนดที่เสียประโยชน์ตามรูปที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยของโหนดที่เสียเปรียบในการทดลองที่ 10 คู่การสื่อสารมีค่าลดต่ำลงเรื่อยๆ สวนทางกับจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโหนดที่ทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูลจำนวนหนึ่งได้ใช้พลังงานที่เหลืออยู่ของตนเองไปกับการส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นเพียงอย่างเดียว จึงทำให้ค่าการทำงานเพื่อเครือข่ายมีค่าติดลบลงเรื่อยๆ แต่ที่ 20 และ 30 คู่การสื่อสารค่าของโหนดที่เสียผลประโยชน์มีแนวโน้มว่าคงที่โดยที่ 30 คู่การสื่อสารมีค่าใกล้เคียงกับลบหนึ่ง และที่ 20 คู่การสื่อสารค่าจะอยู่ที่ -1.4 แสดงให้เห็นว่าโหนดในการทดลองที่ 20 และ 30 คู่การสื่อสารมีการทำงานที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากที่ 20 และ 30 คู่การสื่อสารโหนดมีการแข่งขันกันเพื่อที่ส่งข้อมูลของตนเองมากยิ่งขึ้น



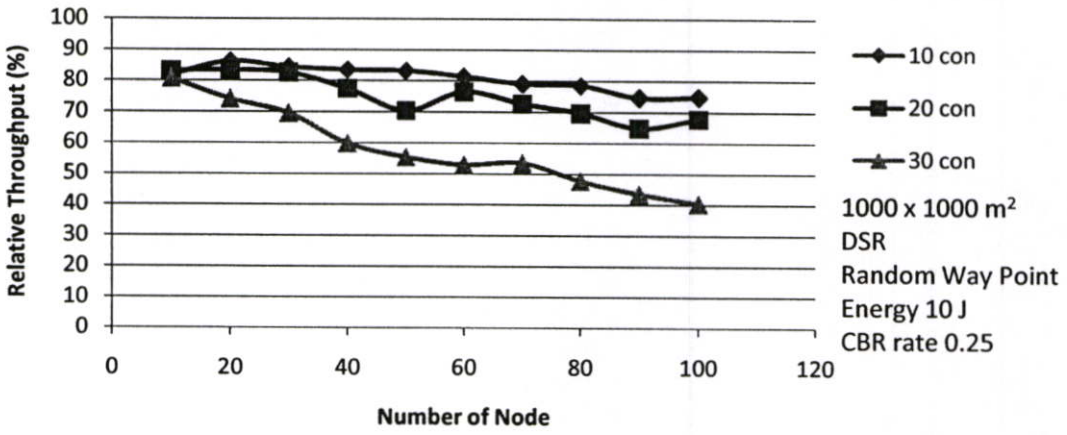
รูปที่ 4.16 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านลบของการทดลองที่ 3

ค่าความแปรปรวนของค่าความยุติธรรมของโหนดในรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระหว่างโหนดที่ได้เปรียบและโหนดที่เสียเปรียบที่ 10 คู่ของการสื่อสารมากกว่าที่ 20 และ 30 คู่ตามลำดับ และค่าความแปรปรวนมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้น หมายความว่าความแตกต่างระหว่างโหนดที่ได้ประโยชน์และโหนดที่เสียประโยชน์จะมีมากขึ้นเมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายมีมากขึ้น แต่ค่าจะลดลงเมื่อจำนวนของคู่การสื่อสารมีมากขึ้น



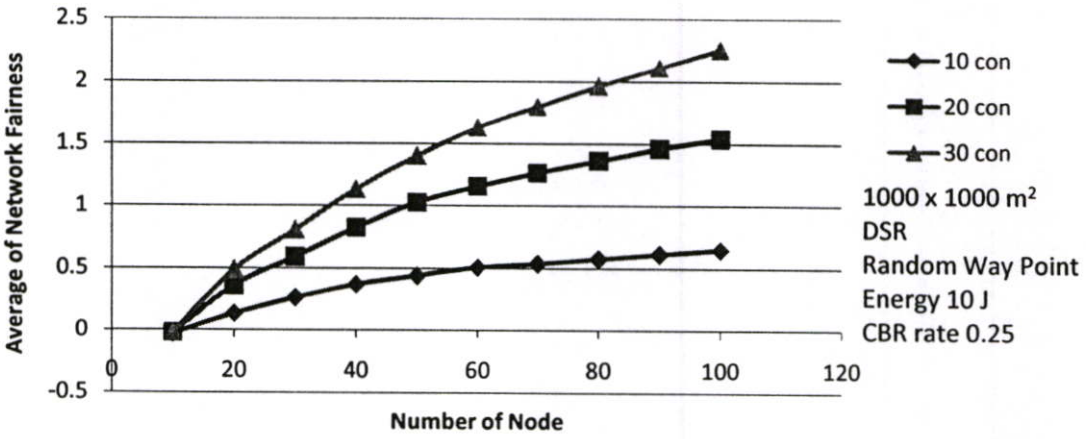
รูปที่ 4.17 ค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมในระดับโหนดของการทดลองที่ 3

ค่าทรูพุตตามรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าที่ 10 คู่ของการสื่อสารมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่าที่ 20 และ 30 คู่ตามลำดับ แต่ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่ 10 คู่การสื่อสารมีอัตราการลดลงน้อยกว่าที่ 20 และ 30 คู่การสื่อสารตามลำดับ สาเหตุของการค่อยๆ ลดลงของอัตราการส่งข้อมูลในการทดลองนี้ เนื่องจากเมื่อโหนดใช้พลังงานในการส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นจนหมดแล้ว เส้นทางในการส่งข้อมูลจะขาดหายไป โหนดต้นทางจะหยุดการส่งข้อมูลออกมาและจะทำการค้นหาเส้นทางใหม่อีกครั้ง จนกระทั่งพบเส้นทางการส่งข้อมูลใหม่จึงเริ่มต้นส่งข้อมูลอีกครั้ง ทำให้ข้อมูลไม่ได้ถูกส่งเข้ามาเครือข่ายในจำนวนที่มากเกินไปจนเกิดความคับคั่งและทำให้อัตราการส่งข้อมูลลดลงอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.18 อัตราการส่งข้อมูลของการทดลองที่ 3

ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายตามรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าในสภาพแวดล้อมเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจที่โหนดมีพลังงานจำกัด โหนดก็ยังคงให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆ มากกว่าพลังงานที่โหนดใช้ไปเพื่อตนเอง แต่ความแตกต่างระหว่างพลังงานที่โหนดที่เพื่อเครือข่ายและพลังงานที่โหนดทำเพื่อตัวเองจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มมากขึ้นและจำนวนคู่การสื่อสารเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.19 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายของการทดลองที่ 3

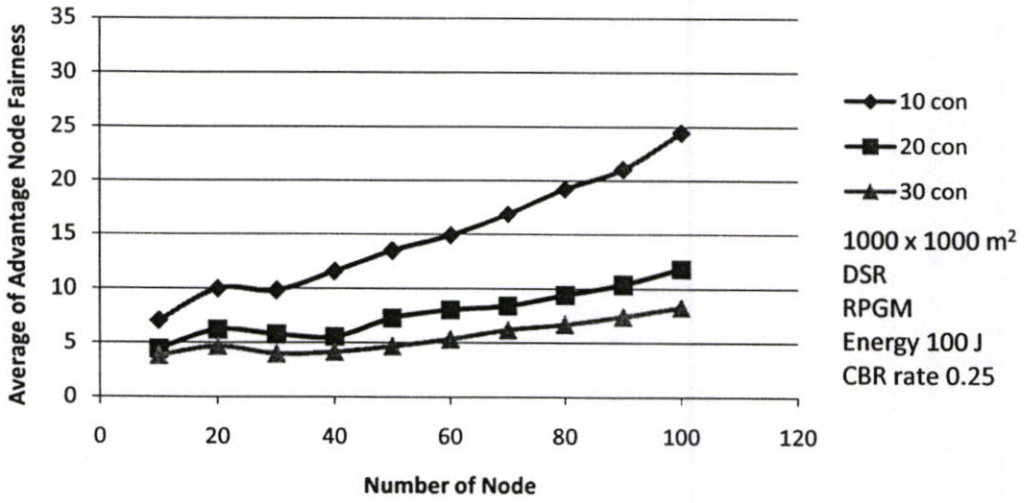
จากการทดลองที่ 3 โหนดมีพลังงานจำกัด โหนดจะใช้พลังงานไปกับการส่งข้อมูลต่างๆ ไปกับการรับหรือส่งข้อมูลการเตรียมเส้นทางการสื่อสาร เช่น การค้นหาเส้นทางการสื่อสาร การตรวจสอบช่องสัญญาณ ทำให้โหนดมีพลังงานในการส่งข้อมูลที่น้อยลงเมื่อเทียบกับการทดลองอื่น ดังนั้นในสภาพแวดล้อมที่โหนดมีพลังงานจำกัดทำให้โหนดมีพลังงานเพื่อจะใช้ในการส่งข้อมูลประเภทอื่นๆ ลดลง ซึ่งถ้าโหนดนำพลังงานที่เหลืออยู่มาใช้เพื่อส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่น โหนดจะไม่มีพลังงานเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอื่นๆ อีกเลย ซึ่งโหนดจำนวนหนึ่งในการทดลองนี้ได้นำพลังงานที่เหลืออยู่มาใช้กับการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่น โดยที่โหนดเหล่านี้ไม่ได้รับประโยชน์จากเครือข่าย ซึ่งจะทำให้เห็นความได้เปรียบและเสียเปรียบของโหนดในเครือข่ายอย่างชัดเจน ถ้าเราเปรียบเทียบการทดลองนี้กับการใช้งานเครือข่ายจริงๆ ที่แต่ละโหนดมีพลังงานจำกัดและเมื่อเข้าร่วมกับเครือข่ายที่โหนดมีความได้เปรียบและเสียเปรียบอย่างมาก จะส่งผลให้โหนดมีแรงจูงใจในการเข้าร่วมกับเครือข่ายน้อย

4.2.4 การทดลองที่ 4 อาร์พีจีเอ็ม

การทดลองนี้เปลี่ยนค่าโมบิลิตี้โมเดลจากแรนดอมเวย์พอย์ต มาเป็นการเคลื่อนที่แบบอาร์พีจีเอ็มเพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นจากโมบิลิตี้โมเดล เนื่องจาก [11] ได้กล่าวไว้ว่าโมบิลิตี้โมเดลมีผลต่อการใช้พลังงานบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ดังนั้นเราจึงทำการทดลองนี้เพื่อดูว่าโมบิลิตี้โมเดลมีผลต่อความยุติธรรมหรือไม่

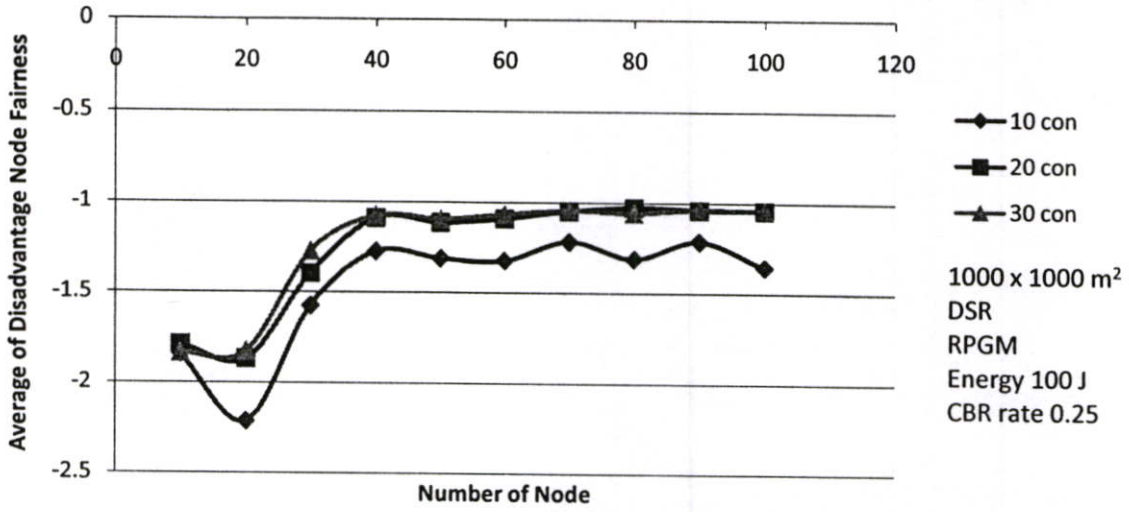
รูปแบบการเคลื่อนที่ของโหนดแบบอาร์พีจีเอ็ม คือ โหนดจะแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ โดยที่โหนดในกลุ่มจะเคลื่อนที่ไปด้วยกันทั้งกลุ่ม และสำหรับการเคลื่อนที่ของโหนดภายในกลุ่มจะเป็นแบบเรนดอมเวย์พอยต์

ผลการทดลองในรูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าโหนดที่ได้ผลประโยชน์จากเครือข่ายจะได้รับผลประโยชน์มากขึ้นเมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายเพิ่มมากขึ้น โดยที่ 10 คู่การสื่อสารอัตราการเพิ่มขึ้นจะสูงกว่าที่ 20 และ 30 คู่การสื่อสารตามลำดับ เนื่องจากโหนดที่ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายจะยังคงได้รับความร่วมมือจากโหนดอื่นๆ ในการส่งต่อข้อมูล จึงทำให้โหนดที่ได้รับประโยชน์จะยังคงได้รับประโยชน์ต่อไป แต่เมื่อคู่การสื่อสารเพิ่มมากขึ้นทำให้การแข่งขันในการส่งข้อมูลสูงขึ้น มีผลให้ความร่วมมือในเครือข่ายลดลง



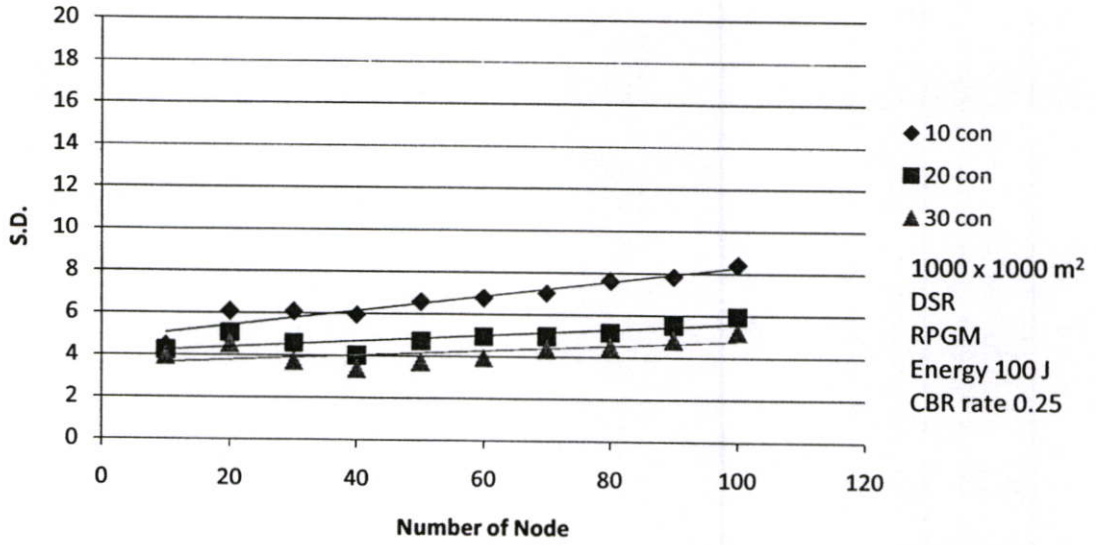
รูปที่ 4.20 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านบวกของการทดลองที่ 4

จากรูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่าโหนดส่วนมากให้ความร่วมมือกับทำงานเพื่อเครือข่าย แต่ที่ 10 คู่การสื่อสารมีโหนดจำนวนหนึ่งไม่มีส่วนร่วมกับเครือข่าย เนื่องจากการสื่อสารไม่เกี่ยวข้องกับสมาชิกภายในกลุ่มเลย จึงทำให้ค่าความยุติธรรมมีค่าติดลบมากกว่าที่การทดลองอื่น แต่ที่การทดลองที่ 20 และ 30 คู่การสื่อสารมีจำนวนโหนดเข้าร่วมกับการสื่อสารเยอะขึ้น จึงทำให้โหนดให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลมากขึ้น



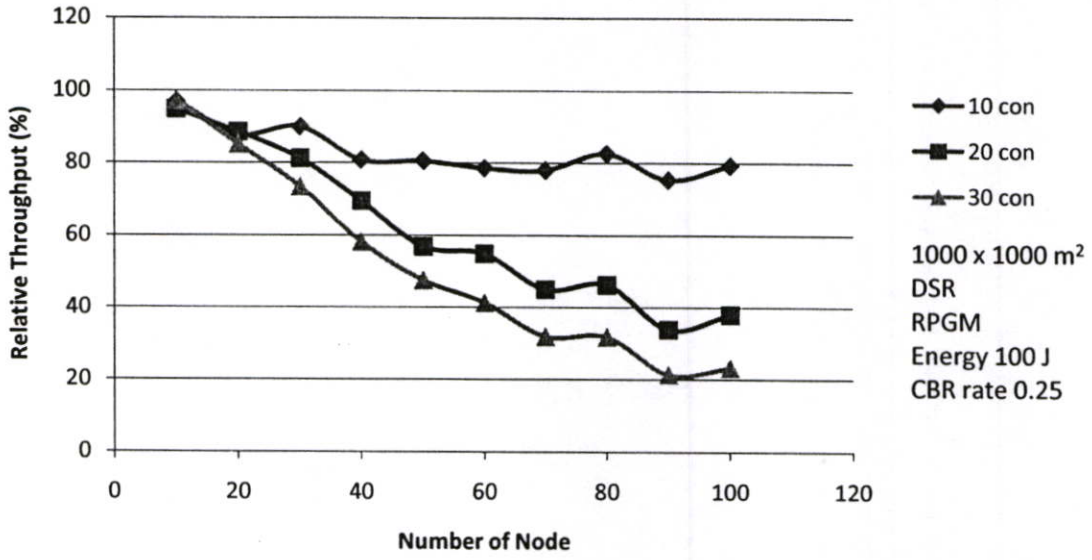
รูปที่ 4.21 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านลบของการทดลองที่ 4

ค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมของโหนดตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.22 แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระหว่างโหนดที่ได้เปรียบและโหนดที่เสียเปรียบที่ 10 คู่ของการสื่อสารมากกว่าที่ 20 และ 30 คู่ตามลำดับ และค่าความแปรปรวนมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้น หมายความว่าความแตกต่างระหว่างโหนดที่ได้ประโยชน์และโหนดที่เสียประโยชน์จะมีมากขึ้นเมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายมีมากขึ้น แต่ค่าจะลดลงเมื่อจำนวนของคู่การสื่อสารมีมากขึ้น



รูปที่ 4.22 ค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมในระดับโหนดของการทดลองที่ 4

จากรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่าอัตราการส่งข้อมูลที่ 10 คู่การสื่อสาร มีอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จสูงกว่าที่ 20 และ 30 คู่การสื่อสารตามลำดับ และแนวโน้มการส่งข้อมูลที่ 10 คู่การสื่อสารมีแนวโน้มที่จะคงที่เมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้น แตกต่างกับที่ 20 และ 30 คู่การสื่อสารที่มีแนวโน้มลดลง

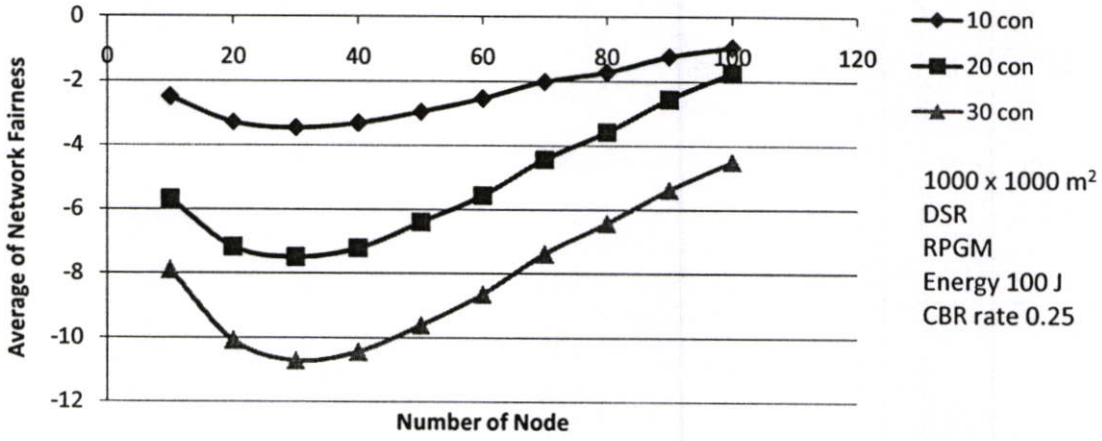


รูปที่ 4.23 อัตราการส่งข้อมูลของการทดลองที่ 4

จากรูปที่ 4.24 สาเหตุที่ความยุติธรรมในระดับเครือข่ายมีค่าติดลบเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบอาร์พีจีเอ็มโหนดจะเคลื่อนที่กันเป็นกลุ่มๆ เมื่อโหนดต้องการสื่อสารระหว่างกลุ่มตำแหน่งของกลุ่ม 2 กลุ่มจะต้องอยู่ในรัศมีการส่งข้อมูลของกันและกันหรือต้องส่งผ่านโหนดที่ไม่ใช่สมาชิกของกลุ่มต้นทางและกลุ่มปลายทาง ส่งผลให้โหนดที่มีโอกาสในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นมีจำนวนน้อย ดังนั้นพลังงานที่โหนดใช้ไปกับการทำเพื่อเครือข่ายจึงน้อยเมื่อเทียบกับการทดลองอื่น จึงส่งผลให้ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายมีค่าติดลบ แต่เมื่อจำนวนโหนดเพิ่มมากขึ้น จำนวนสมาชิกในแต่ละกลุ่มก็เพิ่มมากขึ้น ทำให้โหนดมีโอกาสในการส่งต่อข้อมูลไปให้กับโหนดอื่นๆ มากยิ่งขึ้นทำให้ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายมีค่าสูงขึ้น และเนื่องจากโหนดที่การทดลองที่ 30 คู่การสื่อสารจะใช้พลังงานเพื่อการส่งข้อมูลของตนเองมากกว่าที่ 20 และ 10 คู่การสื่อสารตามลำดับ

เนื่องจากโหนดเคลื่อนที่กันเป็นกลุ่มๆ ทำให้ที่จำนวนโหนดน้อยการกระจายของโหนดในเครือข่ายมีน้อย ดังนั้นข้อมูลที่ส่งสำเร็จในการทดลองนี้ส่วนมากจะเป็นการส่งข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แต่เมื่อจำนวนโหนดเพิ่มมากขึ้นทำให้จำนวน

ต้นทางไปยังโหนดปลายทางที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน แต่เมื่อจำนวนโหนดเพิ่มมากขึ้นทำให้จำนวนโหนดในแต่ละกลุ่มเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้การกระจายตัวของโหนดกระจายกันได้ดีขึ้น ทำให้การส่งข้อมูลให้กับโหนดที่อยู่นอกกลุ่มของตนเองมีมากขึ้น



รูปที่ 4.24 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายของการทดลองที่ 4

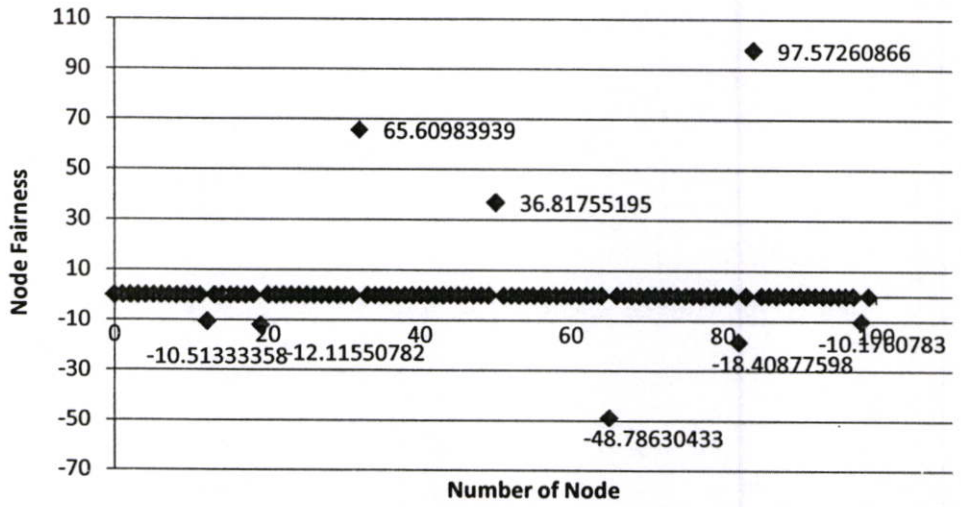
การเปลี่ยนโมเดลการเคลื่อนที่ของโหนดมีผลกระทบต่อค่าความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจในระดับเครือข่ายมาก เนื่องจากในการทดลองนี้เป็นการเคลื่อนที่แบบเป็นกลุ่ม การส่งข้อมูลออกไปให้กับโหนดนอกกลุ่มจึงทำยากเพราะต้องรอให้โหนดแต่ละกลุ่มเคลื่อนที่มาอยู่ในรัศมีการส่งข้อมูลของกันและกันก่อน จึงจะส่งข้อมูลได้ ทำให้โหนดเครือข่ายลักษณะนี้มีโอกาสการทำงานเพื่อเครือข่ายน้อยกว่าการทดลองอื่นๆ จึงส่งผลให้ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายน้อยกว่าการทดลองอื่น แต่สำหรับความยุติธรรมในระดับโหนดจะไม่ได้รับผลกระทบมากนัก เนื่องจากว่าเมื่อโหนดต้นทางเริ่มส่งข้อมูลเข้าสู่เครือข่าย โหนดอื่นๆ ในเครือข่ายต่างร่วมแรงร่วมใจกันส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดต้นทาง จึงทำให้โหนดที่ได้รับประโยชน์จากเครือข่ายจะยังคงได้รับประโยชน์ต่อไป และภาระในการส่งต่อข้อมูลผ่านเครือข่ายก็ตกเป็นภาระของโหนดใดโหนดหนึ่งมากเกินไป

4.2.5 การทดลองที่ 5 เอโอดีวี

การทดลองนี้เปลี่ยนเราติ้งโปรโตคอลจากดีเอสอาร์มาเป็นเอโอดีวี เนื่องจากปัจจุบันมีการคิดค้นเราติ้งโปรโตคอลจำนวนมากที่สามารถทำงานได้ดีในสภาพแวดล้อมของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ และเอโอดีวีก็เป็นหนึ่งในเราติ้งโปรโตคอลจำนวนนั้น และนอกจากนี้เอโอดีวีและดีเอสอาร์ต่างก็เป็นเราติ้งโปรโตคอลประเภทออนดีมานด์เหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่วิธีการ

ค้นหาเส้นทางเนื่องจากดีเอสอาร์ใช้วิธีการของซอร์สเราติ้งแต่เอโอดีวีใช้วิธีการของดิสเทนซ์เว็กเตอร์

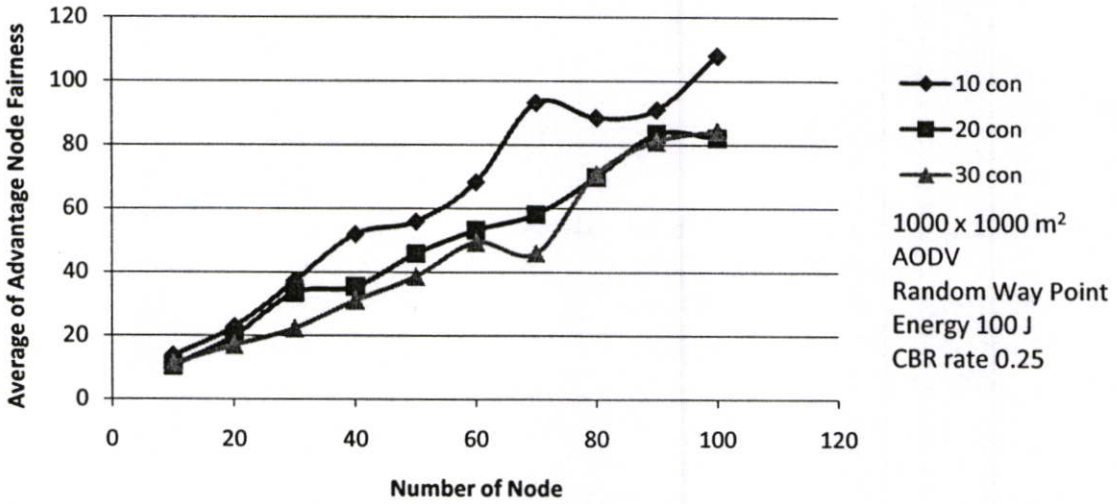
จากรูปที่ 4.25 แสดงค่าความยุติธรรมของแต่ละโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจในการทดลองนี้ ซึ่งใช้เอโอดีวีเป็นเราติ้งโปรโตคอล จากกราฟเราพบว่าโหนดส่วนมากมีค่าความยุติธรรมในระดับโหนดเป็นศูนย์ แสดงว่าโหนดได้รับประโยชน์จากเครือข่ายและใช้พลังงานในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆ เท่าเทียมกัน ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วการที่โหนดจะใช้พลังงานอย่างเท่าเทียมกันพอดีเป็นเรื่องยาก ดังนั้นค่าความยุติธรรมที่เท่ากับศูนย์หมายความว่าโหนดส่วนมากในเครือข่ายไม่มีส่วนร่วมกับเครือข่าย ทั้งการส่งข้อมูลเข้าไปในเครือข่าย และการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆ และยังพบอีกว่ากลุ่มโหนดที่ได้เปรียบจะมีค่าความยุติธรรมในระดับโหนดอยู่ในระดับที่สูง และโหนดที่เสียเปรียบมีค่าความยุติธรรมในระดับโหนดที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความยุติธรรมในระดับโหนดของโหนดทั้งเครือข่าย



รูปที่ 4.25 ค่าความยุติธรรมของโหนดในการทดลองที่ 5

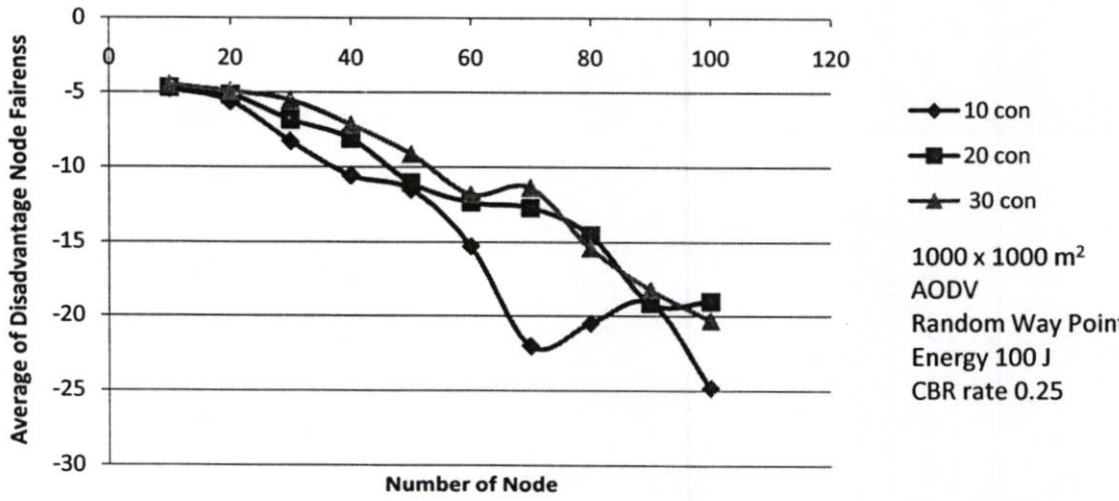
ผลการทดลองในรูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่าโหนดที่ได้ผลประโยชน์จากเครือข่ายจะได้รับผลประโยชน์มากขึ้นเมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายเพิ่มมากขึ้น โดยที่ 10 คู่การสื่อสารอัตราการเพิ่มขึ้นจะสูงกว่าที่ 20 และ 30 คู่การสื่อสาร โดยที่ 20 คู่การสื่อสารได้รับประโยชน์จากการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายดีกว่าที่ 30 คู่การสื่อสารอยู่เล็กน้อย ค่าความได้เปรียบของโหนดในการทดลองนี้สูงกว่าการทดลองอื่นๆ มาก เนื่องจากการค้นหาเส้นทางด้วยเราติ้งโปรโตคอลเอโอดีวีจะได้เส้นทางที่ดีที่สุดเพียงเส้นทางเดียว ข้อมูลจะถูกส่งผ่านเส้นทางจนกระทั่งไม่สามารถส่งข้อมูลได้ หลังจากนั้นค่อยเริ่มกระบวนการค้นหาเส้นทางใหม่ แต่ในโปรโตคอลดีเอสอาร์จะมีการสร้าง

เส้นทางสำรองไว้ เมื่อเส้นทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเสียหาย โหนดต้นทางก็จะส่งข้อมูลโดยใช้เส้นทางสำรองแทน ทำให้การกระจายงานของดีเอสอาร์ดีกว่า



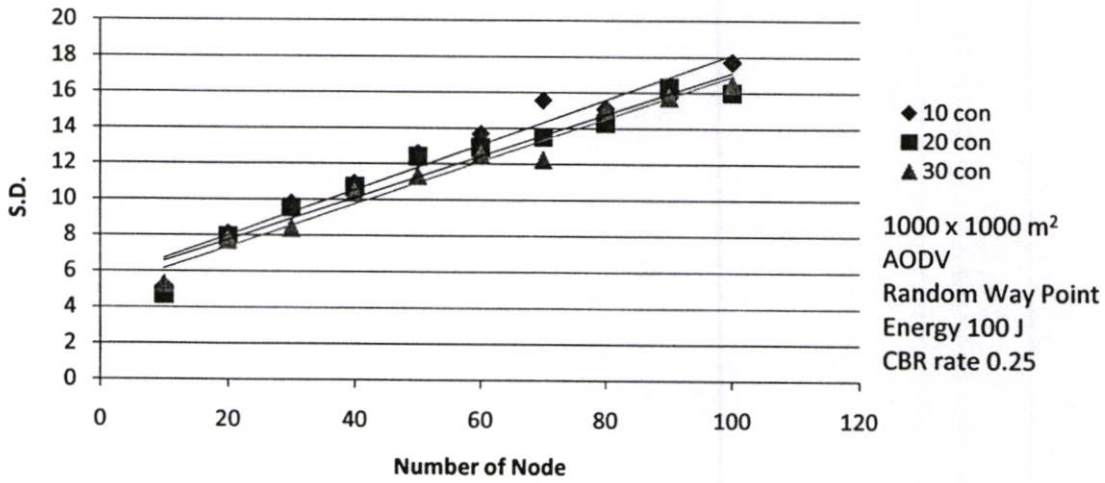
รูปที่ 4.26 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านบวกของการทดลองที่ 5

ผลการทดลองในรูปที่ 4.27 แสดงให้เห็นว่าในการทดลองนี้ไม่มีการกระจายการทำงาน ทั้งในการทดลองที่ 10 20 และ 30 คู่การสื่อสาร และเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้นค่าความยุติธรรมก็ยิ่งแย่ลง



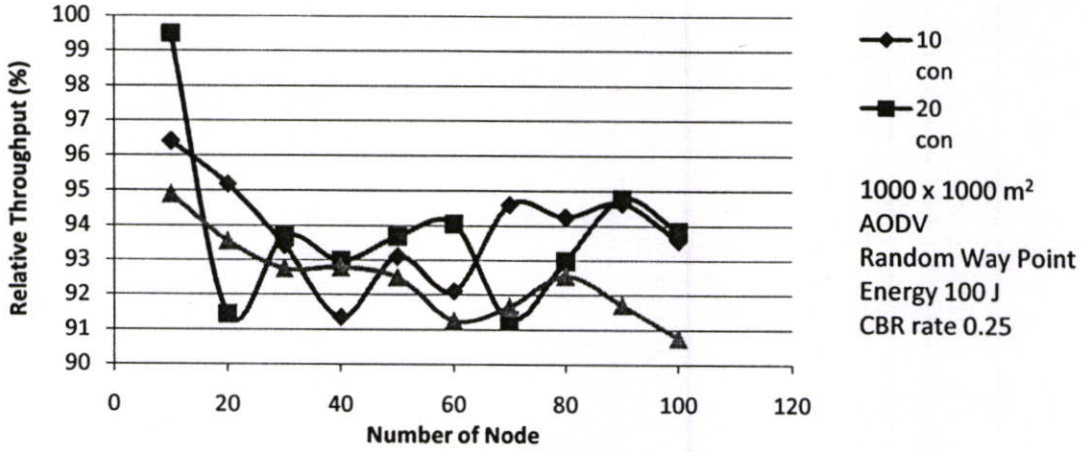
รูปที่ 4.27 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านลบของการทดลองที่ 5

และสำหรับค่าความแปรปรวนของค่าความยุติธรรมของโหนดตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.28 แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระหว่างโหนดที่ได้เปรียบและโหนดที่เสียเปรียบที่ 10 คู่ของการสื่อสารมากกว่าที่ 20 และ 30 คู่ตามลำดับ แต่ความแตกต่างระหว่างแต่ละคู่การสื่อสารมีไม่มากนัก และค่าความแปรปรวนมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้น หมายความว่าความแตกต่างระหว่างโหนดที่ได้ประโยชน์และโหนดที่เสียประโยชน์จะมีมากขึ้นเมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายมีมากขึ้น แต่ค่าจะลดลงเมื่อจำนวนของคู่การสื่อสารมีมากขึ้น ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความแปรปรวนในการทดลองนี้มีค่าสูงกว่าการทดลองอื่นมาก



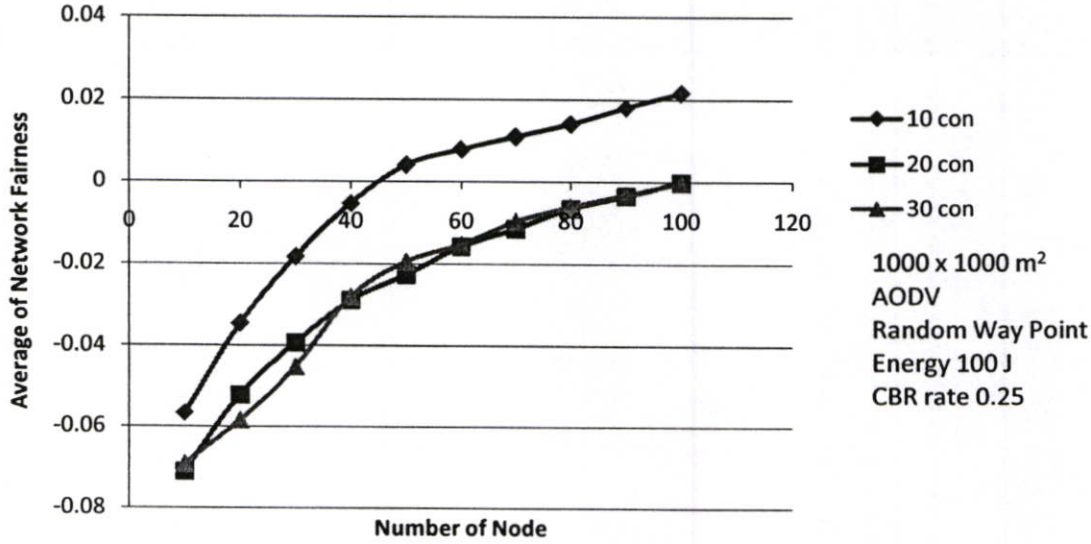
รูปที่ 4.28 ค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมในระดับโหนดของการทดลองที่ 5

ค่าทรูพุตตามรูปที่ 4.29 แสดงให้เห็นว่าอัตราการส่งข้อมูลในการทดลองนี้มีการแกว่งเล็กน้อยอยู่ในช่วงตั้งแต่ 90 – 95 % ทั้งการทดลองที่ 10 20 คู่การสื่อสาร แต่ที่ 30 คู่การสื่อสารค่าอัตราการส่งข้อมูลมีแนวโน้มลดลงตามจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากโหนดมีการแข่งขันกันสูง ค่าอัตราการส่งข้อมูลของเอโอดีวีสูงกว่าของดีเอสอาร์มาก



รูปที่ 4.29 อัตราการส่งข้อมูลของการทดลองที่ 5

จากค่าของความยุติธรรมในระดับเครือข่ายในรูปที่ 4.30 ในช่วงการทดลองที่มีจำนวนโหนดน้อยค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายมีค่าติดลบแสดงว่าโหนดมีการทำเพื่อตนเองมากกว่าที่จะทำงานให้กับเครือข่าย แต่เมื่อจำนวนโหนดเพิ่มมากขึ้นเป็น 50 โหนดที่ 10 คู่การสื่อสารโหนดในเครือข่ายจะเริ่มทำงานเพื่อเครือข่ายมากยิ่งขึ้นและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้น แต่ที่ใน 20 และ 30 คู่การสื่อสารโหนดโหนดจะทำเพื่อตัวเองน้อยลงเรื่อยๆ จนโหนดทำงานเพื่อตัวเองและเพื่อเครือข่ายเท่าๆ กันที่การทดลอง 100 โหนด



รูปที่ 4.30 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายของการทดลองที่ 5

การส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเคลื่อนที่โดยใช้เอโอดีวีเป็นเราติ้งโปรโตคอล ทำให้เกิดความไม่ยุติธรรมบนเครือข่ายเป็นอย่างมาก เนื่องจากการค้นหาเส้นทางของเอโอดีวีใช้วิธีการเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยใช้จำนวนฮ็อปเป็นหลัก ดังนั้นกระบวนการค้นหาเส้นทางโดยใช้วิธีการของดิสเทนซ์เว็กเตอร์จึงใช้เวลานานเพื่อให้ได้เส้นทางที่ดีที่สุด และผลลัพธ์ที่ได้คือจะมีโหนดจำนวนหนึ่งเท่านั้นมาทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูล ส่งผลให้กลุ่มโหนดที่เสียเปรียบเป็นโหนดที่ต้องทำงานเพื่อเครือข่ายอย่างหนัก ซึ่งแตกต่างกับการทดลองก่อนหน้านี้ที่ใช้ดีเอสอาร์เป็นเราติ้งโปรโตคอล เนื่องจากดีเอสอาร์ใช้แคสในการเก็บข้อมูลเส้นทางที่เคยได้ค้นพบไปแล้ว เมื่อเส้นทางการส่งข้อมูลขาดหายไปเนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น การเคลื่อนที่ของโหนด ดีเอสอาร์จะค้นหาเส้นทางใหม่จนกระทั่งพบโหนดที่มีแคชไปยังโหนดปลาย ซึ่งทำให้การส่งข้อมูลของดีเอสอาร์สามารถทำงานตอบสนองกับเครือข่ายที่มีการเปลี่ยนแปลงโทโปโลจีอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้โหนดที่ทำงานด้วยดีเอสอาร์จะมีการร่วมมือกันทำงานเพื่อส่งต่อข้อมูลผ่านเครือข่ายมากกว่าเอโอดีวี

4.3 วิเคราะห์การทดลอง

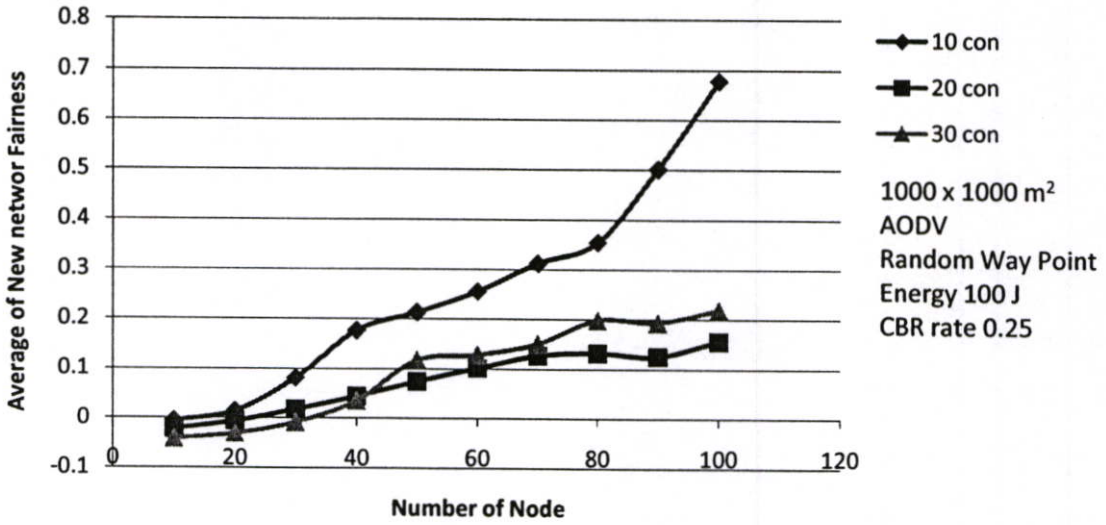
เมื่อมีการเริ่มต้นการสื่อสารบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ โหนดต้นทางจะเริ่มค้นหาเส้นทางการส่งข้อมูลโดยใช้เราติ้งโปรโตคอล เมื่อได้เส้นทางที่ต้องการแล้วโหนดจึงจะเริ่มส่งข้อมูลไปให้กับโหนดข้างเคียง และโหนดข้างเคียงก็จะส่งข้อมูลต่อไปให้กับโหนดข้างเคียงของตนเองต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งข้อมูลไปถึงโหนดปลายทาง ในการส่งข้อมูลซีบีอาร์แต่ละครั้งโหนดจะต้องส่งคอนโทรลเมสเสจไปให้กับโหนดค้างเคียงก่อน เพื่อป้องกันข้อมูลชนกันเนื่องจากปัญหาโหนดที่มองไม่เห็น และเมื่อโหนดข้างเคียงได้รับข้อมูลครบถ้วนแล้ว โหนดจะส่งแอ็คคอนโทรลเมสเสจกลับมาเพื่อแจ้งว่าโหนดได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว แต่ถ้าเราติ้งโปรโตคอลไม่สามารถค้นหาเส้นทางจากต้นทางไปหาโหนดปลายทางได้ โหนดต้นทางจะไม่ส่งข้อมูลเข้าสู่เครือข่ายเลย ดังนั้นเมื่อเราเพิ่มจำนวนโหนดมากขึ้น โอกาสที่เราติ้งโปรโตคอลจะค้นพบเส้นทางก็มีมากขึ้น และเมื่อมีเส้นทางการสื่อสารแล้วโหนดต้นทางจะเริ่มส่งข้อมูลซีบีอาร์ตามอัตราที่เรากำหนดไว้ ถ้าข้อมูลที่เราส่งมีจำนวนมากเกินไป เนื่องจากจำนวนคู่การสื่อสารที่เยอะ หรืออัตราการส่งข้อมูลของซีบีอาร์มากเกินไปจะทำให้เกิดความคับคั่งในเครือข่าย และทำให้อัตราการส่งข้อมูลลดต่ำลง

สำหรับค่าความยุติธรรมในระดับโหนด โหนดสามารถค้นหาเส้นทางการส่งข้อมูลได้ โหนดจะได้รับประโยชน์จากการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย ทำให้โหนดอยู่ในกลุ่มที่มีค่าความ

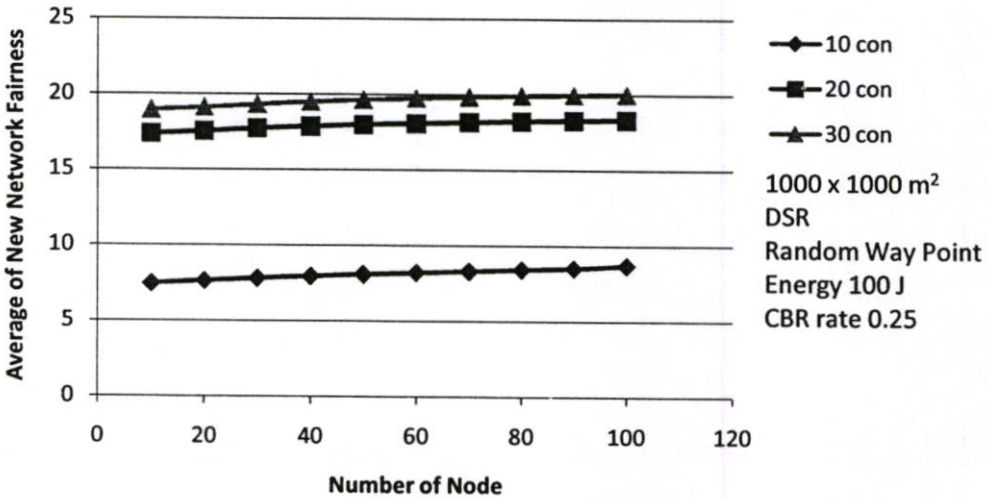
ยุติธรรมในระดับโหนดเป็นบวก และสำหรับโหนดอื่นๆ ทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูลให้ โหนดเหล่านี้จะอยู่ในกลุ่มของค่าความยุติธรรมในระดับโหนดเป็นลบ จากการที่มีโหนดที่ได้รับประโยชน์และเสียประโยชน์อยู่ในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างกลุ่มของโหนดที่ได้ประโยชน์และกลุ่มที่เสียประโยชน์ ซึ่งโหนดส่วนมากของเครือข่ายเป็นโหนดที่เสียประโยชน์ ความแตกต่างของประโยชน์ที่โหนดได้รับและสิ่งที่โหนดเสียให้กับเครือข่าย จะเป็นแรงจูงใจที่ทำให้โหนดเกิดความเห็นแก่ตัว ซึ่งจะส่งผลให้เครือข่ายมีอัตราการส่งข้อมูลที่สำเร็จลดลงจากโหนดที่เห็นแก่ตัว [14]

ความยุติธรรมในระดับเครือข่ายแสดงให้เห็นภาพรวมของการร่วมมือกันของโหนดในเครือข่าย ในการทดลองที่ 4 อาร์พีจีเอ็มค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายมีค่าที่ติดลบตลอดทุกช่วงการทดลอง และการทดลองที่ 5 เอโอดีวีเป็นการทดลองที่ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายบางช่วงการทดลองมีค่าติดลบ แสดงให้เห็นว่าที่สองการทดลองนี้โหนดมีการทำเพื่อตนเองสูงกว่าการทำเพื่อเครือข่าย ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าเครือข่ายนี้เป็นเครือข่ายที่มีความร่วมมือร่วมใจกันน้อย และเมื่อเข้าร่วมกับเครือข่ายโหนดอาจจะจำเป็นต้องใช้พลังงานของโหนดเพื่อใช้ในการส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่นโดยที่โหนดไม่ได้รับผลประโยชน์กลับคืนมา

ผลการทดลองในการทดลองที่ 5 ใช้เอโอดีวีเป็นเราติ้งโปรโตคอลพบว่า โหนดในเครือข่ายจำนวนมากไม่มีส่วนร่วมกับกิจกรรมทางเครือข่าย หมายความว่าโหนดเหล่านี้อาจจะเป็นโหนดที่ไม่มีส่วนร่วมกับเครือข่ายตั้งแต่แรกหรือไม่ได้ส่งข้อมูลเข้าสู่เครือข่ายเนื่องจากเราติ้งโปรโตคอลไม่สามารถค้นหาเส้นทางในการส่งข้อมูลได้ และไม่ได้มีส่วนร่วมในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆ ด้วย ดังนั้นเราจึงต้องการวัดค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายโดยคิดเฉพาะโหนดที่มีส่วนร่วมกับเครือข่ายเท่านั้น ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่า โหนดที่มีส่วนร่วมในการทดลองที่ 5 จะให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลของเครือข่ายเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนโหนด สำหรับการคิดค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายของการทดลองที่ 1 ตามรูปที่ 4.32 แสดงให้เห็นว่าโหนดที่ให้ความร่วมมือบนเครือข่ายที่ใช้ดีเอสอาร์เป็นเราติ้งโปรโตคอลจะให้ความร่วมมือมากขึ้นเมื่อมีจำนวนคู่การสื่อสารเพิ่มมากขึ้น แต่จะไม่เพิ่มขึ้นหรือเพิ่มเล็กน้อยตามจำนวนโหนด



รูปที่ 4.31 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายที่ใช้เอโอดีวีเป็นเราติ้งโปรโตคอล โดยคิดเฉพาะโหนดที่มีส่วนร่วมกับเครือข่ายเท่านั้น



รูปที่ 4.32 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายที่ใช้ดีเอสอาร์เป็นเราติ้งโปรโตคอลจากการทดลองที่ 1 โดยคิดเฉพาะโหนดที่มีส่วนร่วมกับเครือข่ายเท่านั้น

จากการทดลองพบว่าปัจจัยต่างๆ ของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจล้วนส่งผลกระทบต่อค่าความยุติธรรมของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ไม่ว่าจะเป็นจำนวนคโหนด คู่ของการสื่อสาร ปริมาณเพ็กเก็จที่ส่งผ่านเครือข่าย เป็นต้น สำหรับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความยุติธรรมเป็นอย่างมากคือเราติ้งโปรโตคอลและการโมบิลิตี้โมเดล เนื่องจากสองปัจจัยนี้ส่งผลต่อการเลือกโหนดที่จะทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูล ซึ่งในการใช้งานจริงเราไม่สามารถควบคุมรูปแบบการเคลื่อนที่

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นเครือข่ายที่มีลักษณะเฉพาะมากมาย เช่น เป็นเครือข่ายที่ไม่มีโครงข่าย โหนดสามารถเคลื่อนที่ได้ตลอดเวลาที่มีการสื่อสารผ่านเครือข่าย เป็นต้น ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอคุณสมบัติความเป็นอิสระจากกันของแต่ละโหนด เนื่องจากเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นเครือข่ายที่เกิดจากการรวมตัวของโหนดบนเครือข่าย ทรัพยากรของเครือข่ายก็เป็นทรัพยากรที่ได้มาจากทรัพยากรของแต่ละโหนด ทรัพยากรต่างๆ บนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมีอยู่อย่างจำกัด เนื่องจากทรัพยากรแต่ละโหนดถูกจำกัดด้วยแบตเตอร์รี่ที่เป็นแหล่งพลังงานของโหนด ดังนั้นเราจึงจัดได้ว่าพลังงานเป็นทรัพยากรที่สำคัญที่สุดของเครือข่าย ดังนั้นถ้าโหนดใช้พลังงานของโหนดไปเพื่อเครือข่าย ก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายสูง แต่ถ้าโหนดใช้พลังงานเพื่อตัวโหนดเองเพียงอย่างเดียว จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาการใช้พลังงานของโหนดจึงมีผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายโดยตรง

งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอการวัดค่าการใช้พลังงานของโหนดบนเครือข่าย โดยใช้ค่าความยุติธรรมเป็นตัวชี้วัด ซึ่งเราแบ่งค่าความยุติธรรมบนเครือข่ายออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) ความยุติธรรมในระดับโหนด ซึ่งจะแสดงถึงประโยชน์ที่โหนดได้รับจากการใช้พลังงานของโหนดระหว่างทางในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดเปรียบเทียบกับพลังงานที่โหนดใช้ในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆ บนเครือข่าย 2) ความยุติธรรมในระดับเครือข่าย แสดงให้เห็นถึงความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆ เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานเพื่อการส่งข้อมูลของตัวโหนดเอง ค่าความยุติธรรมคิดมาจากพฤติกรรมการใช้พลังงานของโหนดบนเครือข่ายไร้สาย โดยเราแยกการใช้พลังงานของโหนดเป็นดังต่อไปนี้ 1) การใช้พลังงานเพื่อส่งข้อมูลของโหนดเอง 2) การใช้พลังงานเพื่อส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่น 3) ประโยชน์ที่โหนดได้รับจากการส่งต่อข้อมูลโดยโหนดอื่น

จากการทดลองพบว่าโหนดเข้าร่วมกับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมีทั้งโหนดที่ได้รับประโยชน์จากเครือข่ายและโหนดที่เสียประโยชน์จากเครือข่าย แต่จำนวนโหนดที่เสียประโยชน์จากการเข้าร่วมเครือข่ายมีมากกว่า เนื่องจากเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นเครือข่ายที่ส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางได้โดยการส่งต่อข้อมูลของโหนดระหว่างทาง ยิ่งจำนวนฮ็อปในการส่งข้อมูลมาก จำนวนโหนดระหว่างทางก็ต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทำให้โหนดจะต้องทำงานเพื่อเครือข่ายมากยิ่งขึ้น แต่โหนดเหล่านี้อาจจะมีโอกาสในการได้รับประโยชน์จากเครือข่ายไม่มากนัก

เนื่องจากการที่ตัวโหนดเองมีพลังงานจำกัด ทำให้โหนดเหล่านี้มีค่าความยุติธรรมเป็นลบหรือเสียเปรียบจากการเข้าร่วมกับเครือข่ายนั่นเอง แต่สำหรับโหนดที่ได้ประโยชน์จากการเข้าร่วมเครือข่าย โหนดเหล่านี้จะใช้พลังงานไปเพื่อการส่งข้อมูลของตนเองทำให้โหนดสามารถส่งข้อมูลของตนเองผ่านเครือข่ายได้เรื่อยๆ จนกระทั่งเครือข่ายไม่สามารถให้บริการได้ แต่ในความเป็นจริงเนื่องจากความเป็นอิสระของโหนดในเครือข่าย เช่น การใช้งานเครือข่ายในสถานที่สาธารณะต่างๆ แต่ละโหนดจะมีการตอบสนองต่อเครือข่ายที่แตกต่างกัน เช่น จำนวนข้อมูลที่ต้องการส่งผ่านเครือข่าย ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลของเครือข่าย

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ได้รับผลกระทบจากรูปแบบการเคลื่อนที่ของโหนด และเราติ้งโปรโตคอลที่เลือกใช้เป็นอย่างมาก เนื่องจากตำแหน่งที่อยู่ของโหนดมีผลต่อการเลือกเส้นทางการส่งต่อข้อมูลของแต่ละเราติ้งโปรโตคอล สำหรับการใช้งานจริงของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจโหนดสามารถเคลื่อนที่ในรูปแบบต่างๆ กันได้อย่างอิสระ แต่สำหรับปัจจัยอื่น เช่น ระดับพลังงานของโหนด ความคับคั่งในเครือข่าย มีผลต่อความยุติธรรมบนเครือข่ายน้อย ดังนั้นสิ่งที่ควรคำนึงในการใช้งานเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจควรจะเป็นเราติ้งโปรโตคอลเพื่อให้โหนดบนเครือข่ายมีค่าความยุติธรรมในระดับโหนดที่ใกล้เคียงกัน

วิธีการจูงใจให้โหนดให้ความร่วมมือกับเครือข่ายด้วยการกำหนดค่าเงินจำลองขึ้นมา โดยผู้ส่งข้อมูลหรือผู้รับข้อมูลจะเป็นผู้เสียค่าใช้จ่ายในการส่งข้อมูล และผู้ที่ทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูลจะเป็นผู้ที่ได้รับเงินจำลองเข้ามา เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลของตนเองต่อไป แต่จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าแต่ละโหนดบนเครือข่ายมีโอกาสที่จะส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆ ไม่เท่าเทียมกัน เนื่องจากตำแหน่งของโหนดและการเลือกโหนดในเส้นทางการส่งข้อมูลของเราติ้งโปรโตคอล ซึ่งถ้าเรานำวิธีการใช้เงินจำลองไปใช้อาจจะทำให้เครือข่ายไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพเนื่องจากโหนดมีค่าเงินจำลองไม่เพียงพอต่อการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย ซึ่งถือว่าเป็นการเสียโอกาสในการใช้งานเครือข่าย

การทดลองในงานวิจัยนี้ทดลองบนซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทู โดยใช้มาตรฐานแลนไร้สายไอทริปเปิ้ลอี 802.11 ซึ่งผลการทดลองสามารถใช้เป็นแนวทางของการทดลองที่ใช้มาตราฐานไอทริปเปิ้ลอีแบบอื่นๆ ได้ เนื่องจากพลังงานส่วนมากที่โหนดใช้ไปกับการรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งอินเทอร์เฟสแลนไร้สายตามมาตรฐานต่างๆ ยังคงใช้หลักการเดียวกันตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 ถึงแม้ว่าในมาตรฐานไอทริปเปิ้ลอี 802.11 แบบใหม่จะมีการเพิ่มเติมวิธีการประหยัดพลังงานของโหนด ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การเพิ่มสเตทการทำงานของอินเทอร์เฟสแลนไร้สาย หรือ การเซนซ์ซิ่งข้อมูลเฉพาะส่วนแม็กเฮดเดอร์เท่านั้นถ้าไม่ใช่ข้อมูลของโหนดก็จะไม่มีการฟังข้อมูลต่อไป แต่วิธีการเหล่านี้ไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในการรับและส่งต่อข้อมูลของโหนด จึงทำให้ไม่มีผลต่อการคิดค่าความยุติธรรมของโหนด

5.2 ข้อเสนอแนะ

การคิดพลังงานบนซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทูคิดจากการที่มีข้อมูลส่งผ่านอินเตอร์เฟสแลนไร้สาย ทั้งการส่งข้อมูลเข้าหรือออกจากอินเตอร์เฟสก็ตาม ดังนั้นการที่โหนดรับฟังข้อมูลเพื่อตรวจสอบช่องสัญญาณ ก็จะทำให้เห็นรับฟังข้อมูลที่ส่งผ่านช่องสัญญาณด้วย ซึ่งซิมมูเลเตอร์เอ็นเอสทูในปัจจุบันโหนดจะรับฟังข้อมูลมาทั้งหมด แต่ในความเป็นจริงอินเทอร์เฟสสามารถรับข้อมูลแค่ในส่วนเฮดเดอร์ก็เพียงพอที่จะตัดสินใจว่าควรจะรับข้อมูลต่อไปจนหมดหรือไม่ ซึ่งถ้าโหนดตัดสินใจไม่รับข้อมูลต่อจะทำให้โหนดสามารถประหยัดพลังงานได้

ทรัพยากรของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจประกอบด้วยหลายอย่างด้วยกัน เช่น แบนวิดท์ หน่วยประมวลผล เป็นต้น ซึ่งเราสามารถนำทรัพยากรเหล่านี้มาใช้ในการคำนวนหาค่าความยุติธรรมได้เช่นเดียวกับทรัพยากรพลังงาน หรือใช้ค่าของทรัพยากรหลายตัวร่วมกันในการคำนวนหาค่าความยุติธรรมก็ได้

เพื่อให้เกิดความยุติธรรมขึ้นบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ เราควรจะเลือกเราติ้งโปรโตคอลที่ทำมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูง มีโอเวอร์เฮดในการค้นหาเส้นทางที่น้อย และนอกจากนี้เราติ้งโปรโตคอลควรมีคุณสมบัติในการเลือกโหนดในเส้นทางการสื่อสารโดยคำนึงถึงความยุติธรรมในการทำงานของแต่ละโหนดด้วย เพราะการที่โหนดมีค่าความยุติธรรมในระดับโหนดที่แตกต่างกัน จะมีเป็นแรงจูงใจให้โหนดเกิดความเห็นแก่ตัวได้ เพื่อให้แต่ละโหนดมีความยุติธรรมในระดับโหนดเท่าเทียมกัน ควรพัฒนาเราติ้งโปรโตคอลที่เลือกโหนดในการส่งต่อข้อมูลโดยการใช้ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายเป็นเมตริกซ์หนึ่งในการคำนวนหาเส้นทาง หรือมีการเพิ่มวิธีการสำหรับการกระจายค่าความยุติธรรมในการส่งต่อข้อมูลของโหนดอย่างเท่าเทียมกัน

แต่เนื่องจากวิธีการคำนวนหาค่าความยุติธรรมในงานวิจัยชิ้นนี้ คำนวนโดยใช้ภาพรวมของทั้งเครือข่าย แต่เนื่องจากเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นเครือข่ายที่ไม่มีการจัดการแบบรวมศูนย์ดังนั้นการรวมรวบข้อมูลทั้งหมดจึงทำได้ยาก จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอวิธีการรวมรวบข้อมูลไว้หลายวิธีเช่น การประกาศข้อมูลการทำงานไปในเครือข่ายด้วยวิธีการฟลัดดิ้ง (Flooding) วิธีการนี้สามารถทำให้ข้อมูลกระจายไปทั่วทั้งเครือข่าย แต่จะทำให้เกิดโอเวอร์เฮดในเครือข่ายสูง หรือวิธีการรายงานการทำงานผ่านไปยังเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเพื่อรวบรวมข้อมูลที่ถูกต้องโดยการใช้เซอร์ติฟิเคต (Certificate-based report) แต่วิธีการนี้มีข้อเสียเนื่องจากคุณสมบัติของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจทำให้การนำเซอร์ติฟิเคตมาใช้เป็นที่ยาก และการใช้งานเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจไม่จำเป็นต้องใช้เป็นเครือข่ายในการติดต่อกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเสมอไป ดังนั้นจึงควรมีวิธีการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของโหนดที่เหมาะสมกับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเพื่อที่แต่ละโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจสามารถคำนวนหาค่าความยุติธรรมได้อย่างถูกต้องต่อไป

บรรณานุกรม

[1] C.E. Perkins and P. Bhagwar. "Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for mobilie computers", **ACM Computer Communication Review**, Vol 24, No. 4, (ACM SIGCOMM' 94) Oct. 1994 pp. 234-244

[2] P. Jacquet, P. Muhlethaler, and A. Qayyum, "Optimized Link State Routing Protocol", IETF MANET, **Internet draft 1998**

[3] C.E. Perkins and E.M. Royer. "Ad hoc on demand Distance Vector routing, mobile computing systems and applications", 1999. **Proceeding. WMCSA '99. Second IEEE Workshop on Mobile Computing. System and Application.** 25-26 Febuary 1999, p90-100.

[4] S. Kurkowski, T. Camp and M. Colagrosso. "MANET simulation studies: the incredible", **SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.**, Vol. 9, No. 4, October 2005, p55-160.

[5] H.-Y. Hsieh and R. Sivakumar, "Performance comparison of cellular and multi-hop wireless networks: A quantitative study," in **Joint International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems (SIGMETRICS) 2001,** Cambridge, MA, June 2001. [Online] Available: http://gunpowder.stanford.edu/~laik/projects/adhoc/mitigating.pdf

[6] S. Marti, T Guili, K. Lai, and M. Baker, "Mitigating Routing Misbehavior in Mobile Ad Hoc Networks." In **Proceedings of The Sixth International Conference on Mobile Computing and Networking 2000,** Boston, MA, Aug. 2000. [Online]. Available: http://gunpowder.stanford.edu/~laik/projects/adhoc/mitigating.pdf

[7] Y. Wang and M. Singhal, "A light-weight solution for selfish nodes problems considering battery status in wireless ad-hoc networks" In **proceeding of Wireless And Mobile Computing, Networking And Communications,** August 2005, Vol 3, p299-306., Montreal, Cananda.

[8] S. Zhong, J. Chen and and Y.R. Yang, "Sprite: A Simple, Cheat-Proof, Credit-Based System for Mobile Ad-Hoc Networks" **INFOCOM,** March 2003, Vol. 3, p1987-1997

[9] V. Naoumov and T. Gross, "Simulation of large ad hoc networks", In **Proceeding of the sixth ACM international workshop on Modeling analysis and simulation of wireless and mobile systems,** 2003, p50-57

[10] K. Fall and K. Varadhan, The ns Manual, Jan 2007

[11] B. Chen and C. H. Chang, "Mobility Impact on Energy Conservation of Ad Hoc Routing Protocols", **SSGRR**. 2003, Italy, July 2- August 2, 2003.

[12] V. Naoumov and Th. Gross, "Simulation of Large Ad hoc Networks", Proceedings of the **MSWiM'03,** 2003, pp. 50-57.

[13] L. M. Feeney and M. Nilsson, "Investigating the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in an Ad Hoc Networking Environment," in **IEEE INFOCOM,** 2001.

[14] T. Roughgarden, E. Tardos, "How selfish routing is bad?" **Journal of the ACM (JACM),** March 2002, p. 236-259

[15] Samir R. Das, Charles E. Perkins, and Elizabeth M. Royer. "Performance Comparison of Two On-demand Routing Protocols for Ad Hoc Networks." **Proceedings of the IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM),** Tel Aviv, Israel, March 2000, p. 3-12.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. **N. Srifa**, C. Pornavalan and R. Varakulsiripunth, **"A Policy Based Negotiation Protocol for Services Agreement in Mobile Ad Hoc Networks"**, In Proceeding of International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS 2005), pp. 143-147 Bangkok, Thailand, December 2005
2. C. Pornavalai, **N. Srifa** and R. Varakulsiripunth, **"Designing of Policy-based Negotiation Protocol on MANET"**, In Proceeding of International Symposium on Communications and Information Technologies 2006 (ISCIT 2006), Bangkok, Thailand, October 2006

FIFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION, COMMUNICATIONS & SIGNAL PROCESSING

ICICS2005

IEEE

6 – 9 December 2005, Bangkok, Thailand

SPONSOR & ORGANISER
Faculty of Engineering, KMITL, Thailand
School of EEE, NTU, Singapore

in cooperation with
Research Center for Communications and Information Technology, KMITL, Thailand

HONORARY CONFERENCE CHAIRS
T Paungma, KMITL
M H Er, NTU

ORGANISING COMMITTEE

Advisors
M Krairiksh, KMITL
F Cheevasuvit, KMITL
K Dejhan, KMITL
K Chamnongthai, KMUTT
T Wakabayashi, Tokai Univ.
P Prapinmongkolkarn, NTC
S N Koh, NTU
A C Kot, NTU

General Chairs
J Ngamwiwit, KMITL
K H Li, NTU

Program Chairs
O Pinngern, KMITL
W Benjapolakul, CU
Y P Tan, NTU

Secretary
T Benjanarasuth, KMITL
E Gunawan, NTU

Special Sessions Chairs
R Varakulsiripunth, KMITL
T Angkaew,CU
W Kongprawechnon, TU
A Makur, NTU

Tutorial Chairs
P Sooraksa, KMITL
P Supnithi, KMITL
S K Bose, NTU

Finance Chairs
N Leelaruji, KMITL
K C Teh, NTU

Exhibition Chairs
O Sangaroon, KMITL
P Marziliano, NTU

Local Arrangement Chairs
A W Lothongkum, KMITL
Y K Chong, NTU

Publication Chairs
N Chotikakamthorn, KMITL
E L Tan, NTU

Publicity Chairs
A Thanachayanont, KMITL
K H Yap, NTU

INTERNATIONAL LIAISON

Australia
H R Wu, RMIT

China
Pingzhi Fan, Southwest Jiaotong University

Germany
Joachim Hagenauer, Munich Univ. of Tech.

India
Ram Gopal Gupta, Ministry of Information Tech.

Japan
Osamu Ono, Institute of Applied DNA Computing.

Korea
Yo-Sung Ho, Gwangju Inst. of Science and Tech.

Malaysia
Borhanuddin Mohd. Ali, UPM

Switzerland
Martin Vetterli, EPFL

Taiwan
Tihao Chiang, National Chiao Tung Univ.

USA
Shih-Fu Chang, Columbia Univ.

TECHNICAL CO-SPONSORSHIP
- IEEE Communications Society
- IEEE Signal Processing Society
- IEEE Circuits and Systems Society
- IEEE Singapore Communications Chapter
- IEEE Singapore Signal Processing Chapter
- IEEE Singapore Circuits and Systems Chapter
- IEEE Communications Society, Thailand Chapter

CALL FOR PAPERS

The past four International Conferences on Information, Communications and Signal Processing were great successes with, on average, over 500 papers reviewed and attended by more than 300 international participants in each conference. Following on these successes, we are pleased to announce that ***ICICS2005***, the fifth International Conference on Information, Communications and Signal Processing will be held in Bangkok, Thailand from 6 to 9 December 2005. The conference will be co-organised by the School of Electrical and Electronic Engineering, Nanyang Technological University, Singapore (NTU) and the Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand (KMITL), in cooperation with the Research Center for Communications and Information Technology, Thailand. The conference will cover areas in Information Engineering, Communication Systems and Signal Processing. There will be tutorial sessions as well as invited sessions. Papers describing original work in, but not limited to, the following technical areas are invited:

MULTIMEDIA SYSTEMS: Media generation and integration, multimedia databases and servers, digital libraries, multimedia analysis and understanding, indexing and retrieval, media-on-demand, multimedia security, multimedia watermarking. user and application interface, hypertext and hypermedia, computer graphics and visualisation, virtual reality, multimedia games and entertainment, multimedia over IP, wireless multimedia, multimedia middleware and groupware, multimedia coding, multimedia standards and applications, and others.

COMPUTER SYSTEMS: Computer databases, electronic commerce, high performance computing, neural and fuzzy computing, evolutionary computing, internet computing, grid computing, parallel and distributed computing, bio-computing, computer vision, computer architectures, data storage systems, real-time systems, fault-tolerant systems, intelligent systems, embedded systems, systems engineering, software engineering, knowledge engineering, data mining, and others.

SIGNAL PROCESSING: Audio/speech processing and coding, adaptive signal processing, multidimensional signal processing, statistical signal processing, array processing, image/video analysis and processing, image/video coding and transmission, genomic signal processing and bioinformatics, signal detection and estimation, system identification and modelling, time-frequency and time-scale analysis, digital filters, wavelets and filter banks, CAD for VLSI digital signal processors, rapid prototyping and hardware/software co-design, signal processing for biomedical applications, signal processing for communications, emerging DSP applications, and others.

COMMUNICATIONS: Coding, modulation, equalisation, spread spectrum, wireless communications, mobile, cellular, ultra-wideband (UWB) technology, CDMA, multi-rate and multi-carrier communications, power-line communications, PCN, optical fibre, satellite, microwave circuits and systems, antennas, propagation, software radio, system simulation, EMI/EMC, and others.

NETWORKING: Optical networks, wireless networks, mobile IP networks, home and ubiquitous networks, ad-hoc wireless networks, peer-to-peer networks, multimedia networks, intelligent networks, broadband and high speed networks, internet, network management, network architecture and protocols, flow and congestion control, routing, cross-layer design and optimization, network security, network traffic characterisation, tele-traffic engineering, network design and analysis, quality of services, network applications, and others.

Submission of Papers: Authors are invited to submit a full paper in the form of an electronic file in PDF format. Full papers should have a maximum of 5 pages in double-column format and use 10 pt Times Roman or similar fonts.

Correspondence: All submissions and correspondence can be conducted through ICICS2005 homepage:

Home Page: http://www.icics.org/
Email: secretariat@icics.org

Important Dates

Full Paper Submission Deadline	:	**June 15, 2005**
Notification of Acceptance	:	**August 15, 2005**
Camera-Ready Copy Due	:	**September 15, 2005**

Special Sessions and Tutorials: The conference will feature special sessions and tutorials on specialised topics of interests. To propose a special session, please contact the Special Sessions Chair, A. Makur (EAMakur@ntu.edu.sg) and provide the session names of 5-6 potential papers and authors. To organise a half/full day tutorial, please submit a proposal to the Tutorial Chair, S. K. Bose (ESKBose@ntu.edu.sg). All proposals should be submitted by July 1, 2005.

IEEE COMMUNICATIONS SOCIETY

IEEE Signal Processing Society

IEEE CAS Society

A Policy Based Negotiation Protocol for Services Agreement in Mobile Ad Hoc Networks

Nualparn Srifa
Faculty of Information Technology & Research Center for Communications and Information Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand
S6066220@kmitl.ac.th

Chotipat Pornavalai
Faculty of Information Technology & Research Center for Communications and Information Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand
chotipat@it.kmitl.ac.th

Ruttikorn Varakulsiripunth
Faculty of Engineering & Research Center for Communications and Information Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand
Kvruttik@kmitl.ac.th

Abstract—**In this paper, we have proposed an approach of negotiation protocol for services agreement between two wireless nodes in ad hoc networks. Protocol principles are based on peculiarities of mobile nodes and mobile users on MANET, i.e., user autonomy, node functionality and resource management. Mobile users can use this negotiation protocol for defining its network functions in MANET based on their policy. Service level agreements between two wireless nodes can be renegotiated depending on current user's application requirements and available resources. Protocol is designed to be able to negotiate on many parameters such as route, link bandwidth or QoS. We also present a scenario in MANET to show the effectiveness of our proposed protocol.**

Keywords—**MANET, negotiation protocol, user policy.**

I. INTRODUCTION

At present, the high progressive technology leads to the creation of modern network such as Mobile Ad hoc Network (MANET) [1]. Advantages of this network are rapid deployment, robustness, flexibility and support for mobility which is suitable for the environment like, battlefield or disaster recovery; moreover it can be used anywhere and anytime. The specific characteristics of MANET are the arbitrary and dynamic combination of mobile nodes or mobile hosts that have rapid and random alterations. Therefore, it is considered as multi-hop topology with no network infrastructure and no centralized administrator. The limitations of MANET are inherited from those in the case of wireless link; limited bandwidth and high error rate, resulting in the difficulties in protocol development.

In another aspect, MANET has a problem with mobile node equipments on the limitation of hardware resource sush as CPU, memory, battery, and bandwidth. But these resources are usually consumed as shared resource in MANET to forward information of other users, to exchange routing information, etc. Each user does not have ability to manage its resources, though he/she is the owner of the mobile equipments or resources. Users should have the right to utilize the resource as he or she would like to, such as, the ability to allocate the remaining resources from each user to the network, the ability of unwilling to participate in exchange routing information of information forwarding.

According to the characteristics of multi-hop topology of MANET, information transfer is needed to proceed from one node to the adjacent node in hop-by-hop manner. Therefore, the agreement between node and its neighbor node is required. Consequently, a protocol to be used by each user in the network is needed to fulfill the requirement for both node and its neighboring node. This protocol should provide the information for each user to satisfy the provided services from each other and also provide the allocation of limited resources wisely by using user policy.

Therefore this paper presents a negotiation protocol for each wireless node to agree with its adjacent nodes for service agreement. We propose several types of attributes to indicate requested service value from its neighbor node. The node that provided services, checks requested attributes and values, with its policy and replies result, accept or reject or re-negotiate, to its neighbor node.

The remainder of the paper is organized as follow. In section II, recites related work both wired network and wireless network. Section III presents negotiation protocol overview, including all protocol's components and messages. In section IV, we describe protocol with a scenario which details protocol messages usability. The last section is our future works and paper conclusion.

II. RELATED WORKS AND MOTIVATION

So far, the study of MANET mainly concentrated on routing protocol, power saving, QoS, and security. This paper would like to present MANET in the aspect of network autonomy and resource management. Due to MANET is constructed from the combination of each user who provides

shared network resource which is different from wired network and infrastructure mode in wireless network, in which service provider provides network management and network services.

Therefore, we will compare several aspects between MANET and the Internet as it is used to represent the wired network and infrastructure mode of wireless network, because of its popularity on those networks in the subsection *A)*. The descriptions of the related works are in subsection *B)*.

A. Comparisons between MANET and the Internet

1). Mobile Node's Roles and Resources

There are two different node types on the Internet, those are 1) network edge or node (host) and 2) network cores (routers/switches). Hosts perform as the source or destination of communication whereas routers work for serving the applications of hosts by searching for the routes, store and forward data according to routing table. But in MANET, every wireless node has both host and router roles at the same time.

MANET resources such as processing unit, memory and link bandwidth are limited comparing to the wired networks. These resources belong to the owner or user of the mobile node on MANET. They should not be used in the uncontrollable manners by activities such as consuming a lot of CPU time for calculating another node route, using link bandwidth for forwarding other users data. These activities may not be directly useful to the owner of the mobile node.

Therefore in our opinion, mobile node should be able to manage its roles by weighting the functionalities that it wants to participate in the MANET and allocating its resource to each role varying its willingness based on its defined policy.

2). Autonomous System (AS)

On the Internet, autonomous system is a group of routers that managed by the same administration. In term of routing on the Internet, there are two groups of routing protocols.

a) Intra-AS routing protocol is used to find routes among the routers within the AS. Most of Intra-AS routing protocols find the best routes based on the metric such as hop-count, cost, and bandwidth.

b) Inter-AS routing protocol is used to exchange routing information between AS. Border Gateway Protocol (BGP) [2] is now the de-facto standard on the Internet for Inter-AS routing protocol. BGP exchanges routing based on the configured policy on the routers in the AS.

On the other hand, in MANET, users are not in the same administration control. They administer their mobile equipment by themselves. Therefore, a mobile node is autonomy. However, users need to maintain their connections via MANET to other users. We analogize a wireless node on MANET as an AS on the Internet.

With the above reasons, path management on MANET should be similar to Inter-domain routing more than Intra-domain routing. Administrator of ASs/mobile nodes should have right to manage their autonomy. Applying policy-based to MANET is a good solution to meet this aspect.

B. Related Research Works on MANET

All current MANET's routing protocols are modified on the existing routing protocols operating within fixed network. For example, Destination Sequence Distance Vector (DSDV) [3] is based on Bellman-Ford routing mechanism similar to RIP, and Global State Routing (GSR) [4] used link state algorithm. These routing algorithms for MANET are similar to Intra-domain routing. But no MANET routing protocol performs with policy-based routing protocol as BGP does. According to the discussion in Section 2.1.2, MANET routing protocol implementations should not follow Intra-domain routing. So MANET needs a new negotiation protocol to negotiate the exchange of routing information based on the policy similar to the Inter-domain routing protocol.

QoS is an important requirement for the MANET to interconnecting with wired networks that support QoS and for real time applications running on MANET. A Flexible Quality of Service Model for Mobile Ad Hoc Networks (FQMM) [5] attempts to propose a QoS model for MANET to take advantage of both IntServ [6] and DiffServ [7]. For applications with high priority, per-flow QoS guarantees of IntServ are provided. On the other hand, applications with lower priorities achieve DiffServ per-class differentiation. FQMM inherits advantages from IntServ and DiffServ. But it also gets inheritance aspects such as scalability problem from IntServ. IntServ and DiffServ are usually used in the corporate network that required the same administration domain. Because we consider each node in the MANET as an autonomous system, deploying IntServ or DiffServ required policy-based negotiation protocol in the MANET.

FQMM categorize mobile nodes into three groups: (a) Ingress nodes that classifying, marking and policing packets, (b) Interior nodes that forwarding data following DiffServ's Per Hop Behavior (PHB), and (c) Egress nodes which are the destination nodes. In FQMM model, all MANET nodes perform their roles as router and provide QoS for other nodes in the network. Acting FQMM's roles such as Ingress node and Interior nodes will put more surplus loads for these mobile nodes. Users should have their own policy for controlling their mobile node roles and manage consuming resource for each role.

The research in [8] and [9] have proposed algorithms to perform QoS routing. They cluster wireless nodes into many communities, composing of slave-node and super-node. Super-node will have too much load, because it must maintain all its slave-node's IP address into its routing table, and search a route in virtual route discovery phase for every path that pass its cluster. SRL algorithm suggests using any algorithms for electing super-nodes. We recommend that the election of super-node should be done based on considering the autonomy of each mobile node. Therefore we need policy-based negotiation between each mobile node when electing super-nodes. Also super-node should have authority for determining that it needs to join other nodes' virtual paths or not.

In this paper, we propose a negotiation protocol based on user policy by considering about above-mentioned MANET's characteristics. Our protocol has two main characteristic; 1) a

mobile user has right to control their resources that are provided to their neighbors, and 2) a mobile user can choose to perform its preferable network roles, base on its policy.

III. Model Overview and Protocol

Our protocol is a new policy based negotiation protocol. Users negotiate with its adjacent node about service cooperation between two nodes. This protocol will satisfy users by allowing them to enforce their network activities with policy. This negotiation protocol design mediates to MANET constrains which described in section II. The protocol has 3 phases.

In the first phase, a mobile node negotiates with its adjacent nodes to be the neighbors. Mobile node can get adjacent node's IP address by using multicast hello packets. After that, each node creates a neighbor table for maintain adjacent node's information such as neighbor node's identity, information and services to be negotiated.

In the next phase, these two nodes use the negotiation protocol for negotiating services between their neighbor nodes. Each requested service is described by its attributes. The node, that received requested services, will examine requested services' attributes with its policy for decision about exchanged service. Node will negotiate using protocol for satisfying request and acquiring service from its neighbor node. When the situation changed, wireless node can use negotiation protocol again to change its requirement. If a node wants to stop negotiated service, it will send end connection message.

Then the last phase is started. After node sent end connection message, it terminates all MANET connections, clears neighbor table data and releases all hold resources. Node that received end connection message will delete information about sent node from its neighbor table and release resource that reserved for that node.

A. Protocol's Components

In our proposed protocol, there are three components those are 1) *Node Exchange Information (NEI),* 2) *Service Exchange Information (SEI),* and 3) *User Policy*. Mobile nodes use *NEI* and *SEI* to exchange node and services negotiation information respectively. For example, *NEI* is used by mobile node for advertising information about itself to neighbors, and requesting additional information from its neighbors for making decision. It composes of many attributes that describe detail of the information that is important to the mobile node on MANET. We categorize *NEI* into two groups which 1) *Mandatory NEI* and 2) *Optional NEI.* Mobile node must send *Mandatory NEI* such as "Host's Identification", to all neighbors. *Optional NEI* is used for asking addition information from its neighbors. Examples of *NEI* and their attributes are as the following.

- **Group identification**: Mobile nodes in MANET can join into a group for the purpose such as users in the same company gather into a group for serving company applications. Example of attribute for this *NEI* is "*Group name*".
- **Host's identification**: A mobile node can serve to some nodes with special priority. To do that it needs to know its neighbor node's identification. In this example, Host's Identification's attribute may be "*Mobile node's IP address*" or "*Mobile node's MAC Address*"
- **Mobility speed identification**: Mobile users can set a policy to prefer the neighbors with slowly moving node rather than fast moving node, because of their connection stability. Attribute of this mobility speed identification is "*Mobility speed rank*". Its values might be "*Slow, Normal, and Fast*".

Mobile nodes can use *SEI* to request for service from its neighbor nodes. Examples of *SEI* and their attributes are as the following.

- **Routing service**: This is an important service on MANET because of it is used during MANET route discovery process. In case of a mobile node allows to forward routing information to other nodes, it implies that mobile node agrees to let other mobile nodes' data to traverse through it. Due to all current MANET routing protocols do not support for this feature, routing with policy-base. For this approach, we must modify existing routing protocol to support policy-based. A primary attribute of routing service is "*Forwarding routing information*". Its possible value is either "*Forward*" or "*Not forward*".
- **Bandwidth reservation service (BRS)**: A mobile node uses amount of its bandwidth for forwarding its adjacent nodes' data. It shares its bandwidth for other nodes. In the other hand, mobile node sends its data by using another node's bandwidth together. BRS is a service for reserving neighbor nodes' bandwidth for forwarding mobile node's data. Examples of BRS' attributes are "*Bandwidth Quantity*", "*Amount user for this bandwidth*".

User Policy is used to define all mobile nodes decisions and behaviors. There are four components in the *User policy* those are 1) *Policy agent*, 2) *Resource Manager*, 3) *Policy database (rules)* and 4) *Neighbor table,* as shown in "Fig. 1". Policy agent is a coordinator for other policy components. It sends and receives messages with other mobile nodes. After that it interprets the messages and sends the signal to the other components. Resource manager has ability to control all mobile node resources such as bandwidth. It manages allocated resources for its entire neighbor nodes. The next component is policy database or rules that are set by user for controlling all network activities of that mobile node. And the last component is neighbor table that created by policy agent when mobile node successfully negotiated with its neighbors. Its contents are "neighbor node name", "negotiated service" and "negotiated service value".

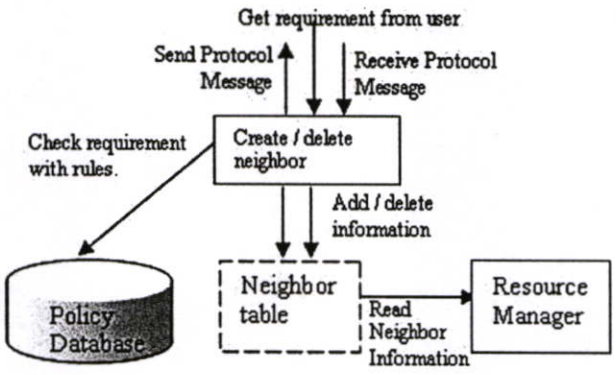


Figure 1: Components of user policy.

B. *Protocol Message*

We divide protocol message into 4 groups by its usage as following.

1) Set up neighbor node: Protocol is started when a node sends message to its adjacent node for requesting to be a neighbor and advertising its NEI. If adjacent node accepts or rejects that requirement, it finishes at this phase. Messages in this phase composed of following.

- *Hello (node_identifier)*: Mobile node multicast hello message to discover all its adjacent nodes' IP address.
- *Req_NBR (Mandatory NEIs, Mandatory NEI attributes, Mandatory NEI attribute values, adjacent_node_identifier)*: This message is used to ask node with adjacent node identifier to be the neighbor. It also sends its *Mandatory NEI* to this adjacent node.
- *Res_NBR (Mandatory NEIs, Mandatory NEI attributes, Mandatory NEI attribute values, requested_node_identifier)*: Node that received Req_NBR uses this message to response to the requested node to accept or reject the request. To accept the request it sends its *Mandatory NEI* value in this response message, otherwise with null value.
- *Req_NEI (Optional NEIs, Optional NEI attributes, request node's Optional NEI attribute values, adjacent_node_identifier)*: Mobile node uses this message for asking more information about its neighbor nodes.
- *Res_NEI (Optional NEIs, Optional NEI attributes, Response node's Optional NEI attribute values, request_node_identifier)*: Responded node informs its *Optional NEI* value to adjacent node with this message.

2) Negotiation for Services: Mobile node uses this message type for negotiated SEI between two neighbor nodes.

- *Req_SEI (SEIs, SEI attributes, request SEI attribute values, offer SEI attribute values)*: Mobile node, which wants to negotiate services with its neighbor nodes, will send this message for informing its request service. *SEIs* field is used to define the desired service of mobile node. Each *SEI* has many attributes. The requested and offered attributes and its values are also included in this message.
- *Res_SEI (SEIs, SEI attributes, request SEI attribute values, acceptable SEI attribute values)*: Mobile node sends this message to response to its neighbor node's request *(Req_SEI)*. Content of acceptable SEI attribute values fields are values that responded node has ability to serve the requested node.

3) Maintain Neighbor: Node needs to know about its neighbor's status. If the neighbor node was down, cause to waste holding resources for that node. Therefore maintaining neighbor state is required. We proposed to maintain neighbor node status by using keep-alive message.

- *Keep-alive (interval)*: Keep-alive message was sent periodic to all its neighbors. If a node does not receive keep-alive from its neighbor with in a timeout, three times of the interval, it will assume that its neighbor was down. It then releases all holding resources for that node.

4) End connection: When a node wants to cancel all negotiated services or finish using services, it will send end connection to its entire neighbors. Neighbor nodes will release all allocated resources. All end connection messages are sent with code format to explain the reason to terminate the neighbor relation.

- *End_Connection (code)*: Terminate connection code show cause of termination.

MANET characteristics such as limited resources, rapid topology changes would make end-to-end negotiation not scalable and protocol overhead very high. We believe that more scalable solution would be the protocol that can negotiate only between each pair of neighbor. In our proposed protocol, negotiation is done between adjacent nodes only, and after two nodes finish negotiation, only keep-alive message is required for maintaining their negotiated services. Therefore, we can keep the protocol overhead low; at the same time provide more scalability.

IV. SCENARIO

In this section, we describe function of our protocol using the following scenario. An example MANET has 9 mobile nodes that run DSR [10] routing protocol. Assume that there are 4 source node, i.e., A1, B1, C1 and D1 want to connect to destination A2, B2, C2 and D2 respectively.

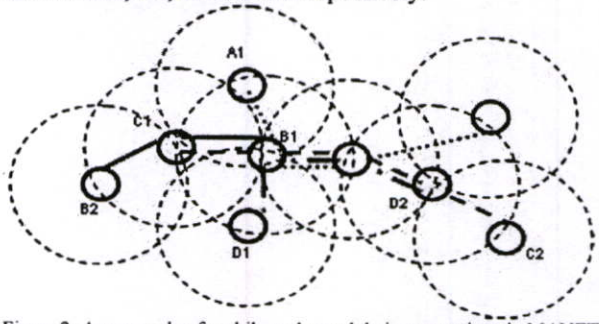


Figure 2: An example of mobile nodes and their connections in MANET.

Connections are started when nodes searching route that learned by routing protocol, to their destinations. Suppose that the routes used in the all four connections are shown in "Fig. 2". The bottleneck will occur at node B1. It uses a lot of resources for transferring data of other users. For solving this problem, supposed that all nodes run our proposed negotiation protocol for controlling their service under control of their policies.

Node B1 sets its policy as following rules.

- 60% of resources for its application and the rest for other nodes in network.
- For remaining resources
  - Lowest priority is assigned to all nodes in MANET.
  - Offer low priority to its neighbor nodes.
  - Prefer to serve neighbor node that have the same group name with medium priority.
  - Prefer to serve neighbor node with high priority if that neighbor node also offer high priority service.

After all nodes get their routes, every node set other nodes with lowest priority. Due to all nodes discover their adjacent nodes by using routing protocol; they do not need to use "*Hello Message*" to discovery again. Node A1, C1 and D1 want to get better service than lowest priority so they send *Req_NBR* message with their node identifications to B1. Resource manager of B1 checks for the remaining resources and found that it can serve to all requests. B1' policy agent then sends *Res_NBR* with its identification to them to accept the request, and changes these node priorities to low priority. Then these four nodes' policy agents create their neighbor tables that contain their neighbors' information. A1 user knows that B1 is in the same group, so it sends *Req_NEI* to B1 to inform its group name. After B1 receives this message, it adds A1's group name into its neighbor table and changes A1's priority to medium. An authentication may be necessary at this step to ensure that A1 did not spoof its own group name.

When B1 wants to send its data to B2 through C1, It offers high priority to C1, and asks for high priority from C1 as well. C1 then checks its policy and accepts B1's requirement, supposed that C1's policy allowed to do so. Both B1 and C1 then change each priority from low to high.

V. CONCLUSION AND FUTURE WORKS

In this paper, we proposed a new approach of negotiation protocol on MANET. Our protocol has the motivation from the autonomy of each node in the MANET. With our protocol, users have ability to control their resources and network activities through their policies. All MANET resources are used to satisfy the resource owner's satisfaction while allowing for negotiation to serve other users. Performance analysis of our proposed protocol will be done using simulation in our future works.

REFERENCES

[1] Corson, S. and J. Macker, "Mobile ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations", IETF RFC 2501, January 1999.

[2] Rekhter Y., and Li T., "A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)", IETF RFC 1771, March 1995.

[3] C.E. Perkins, T.J. Watson, "Highly dynamic destination sequenced distance vector routing (DSDV) for mobile computers", ACM SIGCOMM' 94, Conference on Communications Architecture, London, UK, 1994.

[4] Tsu-Wei Chen and Mario Gerla, "Global State Routing Scheme for Ad-hoc Wireless Networks", IEEE ICC 1998.

[5] Xiao, H, KG Seah, A Lo and KC Chua, "A Flexible Quality of Service Model for Mobile Ad Hoc Networks", IEEE Vehicular Technology Conference 2000-spring, Tokyo, Japan, May 2000.

[6] R. Braden, D. Clark, and S. Shenker, "Integrated services in the Internet architecture: an overview", IETF RFC 1633, June 1994.

[7] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss, "An architecture for differentiated services", IETF RFC 2475, Dec 1998.

[8] Yixin Dong, Tingzhou Yang, Dimitrios Makrakis and Ioannis Lambadaris, "Supernode-based Reverse Labeling Algorithm: QoS Support in Mobile Ad hoc Wireless Network", CCECE 2002, Winnipeg, Cannada, May 2002.

[9] Yixin Dong, Tingzhou Yang, Dimitros Makrakis, "SRL-Enabled QoS Model for Mobile Ad hoc Networks", IEEE 2002, June 2002.

[10] D. Johnson, Dave Maltz, Y Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks", IETF Internet draft, July 2004.

International Symposium on Communications And Information Technologies 2006 (ISCIT 2006)

October 18-20, 2006

Grand Mercure Fortune Hotel, Bangkok, Thailand

Organizing Committee

General Chair
Tawil Paungma
KMITL, Thailand

General Co-Chairs
Yoshikazu Miyanaga
Hokkaido University, Japan
Zhou Zheng
BUPT, China

Technical Program Chairs
Kobchai Dejhan
KMITL, Thailand
Akira Taguchi
Musashi Institute of Technology, Japan
Honggang Zhang
CREATE-NET, Trento, Italy

Special Session Chairs
Itthichai Arungsrisangchai
KMITL, Thailand
Hiroshi Ochi
Kyushu Institute of Technology, Japan
Shuo-Yen Robert Li
CUHK, Hong Kong

Tutorial/Exhibits Chairs
Takao Onoye
Osaka University, Japan
Jirasak Chanwutitham
KMITNB, Thailand

Registration Chairs
Anantawat Kunakorn
KMITL, Thailand
Phaophak Sirisuk
MUT, Thailand
Napat Sra-ium
KMITL, Thailand

Publicity Chairs
Katsuya Kondo
Hyogo University, Japan
Chuwong Pongcharoenphanich
KMITL, Thailand

Local Arrangement Chairs
Kosin Chamnongthai
KMUTT, Thailand
Somsak Mitatha
KMITL, Thailand

Finance Chair
Phichet Moungnoul
KMITL, Thailand

General Secretary
Somkiat Lerkvaranyu
KMITL, Thailand

ISCIT2006 Secretary
E-mail: somkiat@telecom.kmitl.ac.th

International Steering Committee

Sawasd Tantaratana, Chair
Sirindhorn Inter. Inst. of Tech., Thailand
Yoshikazu Miyanaga
Hokkaido University, Japan
Wanlop Surakampontorn
KMITL, Thailand
Kazi Ahmed
Asian Institute of Technology, Thailand
Huynh Ngoc Phien
Asian Institute of Technology, Thailand
Chidchanok Lursinsap
Chulalongkorn University, Thailand
Jae-Sam Park
Incheon City College, Korea
Yong-Hwan Lee
Seoul National University, Korea
Yoshio Itoh
Tottori University, Japan
Sarwono Sutikno
Institut Teknologi Bandung, Indonesia
David Ngo Chek Ling
Multimedia University, Malaysia
Pansak Sirirutchatapong
NECTEC, Thailand
Toshio Wakabayashi
Tokai University, Japan
Byunt-Tae Chung
Incheon City College, Korea
Zhou Zheng
BUPT, China
Kobchai Dejhan
KMITL, Thailand
Monai Krairiksh
KMITL, Thailand
Kosin Chamnongthai
KMUTT, Thailand
Somsak Choomchuay,
KMITL, Thailand (Secretariat)

Final Call for Papers

The 2006 International Symposium on Communications and Information Technologies will be held in Bangkok. The ISCIT presents every possibility on new information technologies. Prospective authors are invited to submit their papers reporting original work as well as tutorial overviews in all areas of information technologies and communications. The topics for regular sessions include, but are not limited to, the followings:

1. Computer and Information
- 1.1 Artificial Intelligence and Applications
- 1.2 Computer Networks
- 1.3 Computer Systems and Applications
- 1.4 Internet Technologies and Applications
- 1.5 Modeling and Simulation
- 1.6 Natural Language Processing
- 1.7 Storage Systems and Techniques
- 1.8 System Software
- 1.9 Others

2. Communication Systems
- 2.1 Communication Theory
- 2.2 High Speed Networks
- 2.3 Multimedia Services and Technologies
- 2.4 Network Management and Design
- 2.5 Intelligent Communication Systems and Network Protocols
- 2.6 Signal Processing for Communications
- 2.7 Wireless/Mobile Communications
- 2.8 Wideband Communications, UWB
- 2.9 Others

3. Signal Processing
- 3.1 Adaptive, Multimedia and Multirate Signal
- 3.2 Mixed Signal Processing
- 3.3 Speech Processing and Coding
- 3.4 Video Processing and Coding
- 3.5 Digital Filters and Filter Banks
- 3.6 Wavelets and Multirate Signal Processing
- 3.7 Fast Computations for Signal Processing and Communication Systems
- 3.8 Intelligent Signal Processing for Communications & Systems
- 3.9 Security Signal Processing
- 3.10 Optical Signal Processing
- 3.11 Noise Control
- 3.12 Video and Multimedia Technology & Communications
- 3.13 Audio/Acoustic Signal Processing
- 3.14 Others

4. Circuits and Systems
- 4.1 Analog Circuits, Filters and Data Conversion
- 4.2 Analog and Mixed Signal Processing
- 4.3 Numerical Methods and Circuit Simulation
- 4.4 Circuits and Systems for Communications
- 4.5 Neural Networks and Fuzzy Logic Processing
- 4.6 Others

5. VLSI
- 5.1 Analog and Digital ICs for Communications
- 5.2 Low Power Design & VLSI Physical Synthesis
- 5.3 Modeling, Simulation and CAD Tools
- 5.4 VLSI Architecture for Signal Processing
- 5.6 Others

6. Emerging Technologies in Communications and Information Technologies

Author's Schedule:

Deadline for Submission of Full Paper:	August 1, 2006
Notification of Acceptance:	September 1, 2006
Deadline for Submission of Camera Ready Paper:	September 15, 2006

Authors are invited to submit a full paper according to posted guidelines. Only electronic submissions will be accepted via the Web at:

http://www.telecom.kmitl.ac.th/iscit2006/

Authors are expected to present their papers at the Symposium upon acceptance and presenting authors are required to register for the Symposium.

Proposals for special sessions should be e-mailed to **kaitthic@kmitl.ac.th** by August 15, 2006.

Check the symposium website for up-to-date information:

http://www.telecom.kmitl.ac.th/iscit2006/

Designing of Policy-based Negotiation Protocol on MANET

Chotipat Pornavalai*, Nualparn Srifa* and Ruttikorn Varakulsiripunth†
Research Center for Communications and Information Technology and
*Faculty of Information Technology
Tel: +66-2-737-2551 ext 523
E-mail: chotipat@it.kmitl.ac.th, s6066220@kmitl.ac.th
† Faculty of Engineering
Tel: +66-2-737-3000 ext. 3335, Fax. +66-2-739-2429
E-mail: kvruttik@kmitl.ac.th
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

Abstract— **Due to many unique characteristics on the MANET environment such as node's autonomy, highly limited and shared resources, dynamic topology, etc. And these characteristics introduce to the new MANET aspects such as node autonomy, node's roles and resources. The needs for each node to control its resources and roles participated on the MANET is increasing. In this paper we proposed a design of policy-based negotiation protocol that users are able to control their resources. We also describe the design goals, its design principles and negotiation process of our proposed protocol.**

I. INTRODUCTION

Mobile Ad Hoc Network (MANET) [1] is constructed by a number of MANET nodes. They connect to their adjacent nodes via the wireless communication such as wireless LAN (IEEE 802.11). Advantages of MANET are rapid deployment, no infrastructure, robustness and support for node mobility. Usually MANET stations are light weight mobile devices such as laptop or PDA. These devices have limited resources such as battery life time. And the general data-link protocol for these devices which is IEEE 802.11 has a number of limitations such as distance, data transmission bandwidth, etc. Moreover, MANET topology will be changed frequently due to node mobility during node life time. These are constrains that we need to consider when designing a protocol that work well in MANET environment.

Furthermore, MANET transfer data in multi-hop manners which means that source node send data to its adjacent node, and data will be relayed to the next node over and over until it reaches destination. Therefore, to be participated in MANET environment, the intermediate nodes must spend their resources to serve other nodes' applications as well. Resources consuming in this manner may not be satisfied by station owner who forwards a lot of other nodes' data.

There are many aspects in the MANET such as node mobility, limited resources, and unreliable data link layer protocol. These aspects are quite well studied in many research litterateurs. In this paper, we introduce two new aspects node autonomy and manageable node roles and resources. We proposed the solution for these aspects in the previous paper [6] by creating the policy-based negotiation protocol for MANET.

Hence, in this paper, we propose the design and its principles for policy-based negotiation protocol and its framework to allow users to control their devices activities and consuming resources as their desires. The proposed protocol is also designed to cope with many constrains of the MANET environment, such as dynamic topology, high error rate transmission, etc.

The remainder of this paper is organized as follow. In Section 2 we present our motivation for this protocol and the related works. Our protocol design goals and principles are described in Section 3. In Section 4, we present the design goals, and its principles and some detail of the proposed policy-based negotiation protocol including its components and messages. The last section contains conclusion and our future works.

II. MOTIVATION AND RELATED WORKS

In this section, we will briefly describe our MANET aspects and motivation of proposed protocol by comparing MANET with the Internet and survey several researches on MANET protocol and energy consumption. The more detail can be found in our previous work in [6].

2.1) Motivation

Because of the Internet is the most popular network, its architecture was designed carefully for scalability, stability and etc. Comparing MANET to the Internet, we found two special additional aspects of MANET that must be considered for designing MANET protocol. Hence, these two aspects are 1) node's autonomy and 2) node's roles and resources.

Node's autonomy: each MANET node belongs to each user. So we can analogize a MANET device to an autonomous system on the Internet. Users should have rights to control their own devices. But today we do not have any

0-7803-9740-X/06/$20.00 ©2006 IEEE

protocols that allow users to administer their MANET devices' network activities. In the Internet autonomous system, we used a BGP [7], policy-based routing protocol, to manage Internet routes. In the same way, we also apply policy-based protocol to MANET for allowing users to manage their MANET devices.

Node's Role & Resource: There are mainly two roles for data transmission on the Internet, i.e. host and router. Host is a source and destination of data transfer while router relays data from source to destination. Relaying data will consume a lot of energy which is the strictest resource, comparing to the idle state as describe in [8], In Internet, each device has individual role. But in MANET each device must play both roles.

Therefore users must provide and share resources such as computing unit, storage, and network bandwidth to the MANET. Generally MANET devices are mobile devices also these devices do not have such excessive resources. Each roles of MANET need the different amount of resources. These mobile device resources are consumed by their own applications or serving the other applications such as computing route, relaying data. To manage their own resources more efficiently, users should have the ability to control consuming resource by node's acting roles.

2.2 Related works

There is a possibility to use MANET as gateway to the Internet. Internet applications will produce large amount of data that injected into the MANET. It must support these applications data such as high content web page, multimedia or real-time application. Therefore, provide QoS for MANET is an essential solution for improving network performance. There are two famous QoS providing protocol on the Internet, 1) IntServ [2] and RSVP [3] and 2) DiffServ [4]. But they cannot be applied to MANET directly. FQMM [5] proposed a QoS model for MANET by getting advantages of IntServ, per-flow guaranteed for high priority applications, and DiffServ, serve per-class QoS for lower priority applications. FQMM still reserves QoS along the path. Hence, it needs a large number of messages for preparing QoS in a dynamic topology of MANET. Usually IntServ and DiffServ are deployed in the same administration domain. But as described earlier, in the MANET, each node exhibits as autonomy. Therefore FQMM cannot be used to manage resources of each users's own resources. In addition, it could not cope well with the dynamic topology changes of the MANET.

Therefore, it is clear that we need a protocol that allows users to administer their MANET devices and to negotiate with other users on the MANET to manage its own resources and request other users' resources.

III. Design Protocol

As already mentioned, MANET has many special characteristics due to its wireless physical link such as high data lost rate, low bandwidth capacity and node mobility. The protocol should be designed considering these characteristic of the MANET. We studied many of MANET researches and defined our four design goals that cope with MANET characteristics in subsection 3.1. We also introduce three mechanisms or principles for achieving these design goals as describes in "Design Principles" subsection.

3.1 Design Goals

1). Minimize protocol overhead: Due to limited resource of MANET, minimize protocol overheads is an important aspect in MANET. Number of protocol exchanging messages is considered as one of the protocol overhead. The information of state that mobile node must retain can be determined as the overhead of MANET as well. Because negotiation protocol will add extra overhead to the node itself and to the MANET, minimizing it would be the one of the important design goals.

2). Tolerate to dynamic topology and routing: MANET topology tends to be changed very frequently due to mobility of the users. Since user can connect to MANET arbitrarily which causes the node to come up and down at difference places, therefore routing on the MANET tends to be updated very frequent as well. The protocol that is too sensitive to the dynamic topology changes will produce a lot of exchanging messages, which affect to the resources such as network bandwidth and energy consuming.

3). Cope with the unreliable lower-layer protocols: MANET data link protocol has a high error rate data transmission because of nature of wireless link. And it is sensitive to the interference. Also sending messages may be lost without any notification to the sender. The network layer protocol, IP, does not provide any reliable transmission mechanism. The TCP, reliable transport layer protocol, on the other hands, is not suitable to MANET environment because of its high overheads that effect to the performance of the network.

4). Independent of routing protocol: In [6] we proposed that each MANET node exhibits as an autonomous system. Node's owner should have rights to administer their devices, including the choice of the routing protocols. The negotiation protocol should be flexible by separating the routing and negotiation, and be able to run on any routing protocols that nodes in the MANET agree.

3.2 Design Principles

1). Negotiate only with the adjacent nodes: Whole path negotiation will produce a lot of message because of rapid changing of routing and topology. For example, if one of the nodes along the path was moving out, route recovery and re-negotiated process will be started again. Hence, we propose one hop negotiation approach, that MANET nodes only negotiate the requested services from its adjacent nodes, 1-hop neighbors. By using this approach, protocol will reduce unnecessary recovery message and tolerate to high changing topology and not rely on any routing protocols. Though the level of the services negotiated may not be as good as end-to-

end negotiation, but with the highly adaptive network such as MANET, end-to-end negotiation tends to be interrupted more frequently.

2). Soft-state: The hard-state protocol needs explicit messages for informing the changes of the state. After negotiated, a node may allocate some resource for serving to the other nodes. If it loses a cancel message, this will waste the limited resource of MANET due to node in MANET can disappear by many reasons such as node mobility or lack of battery. Therefore, there are many advantages to implement soft-state and keep-alive message to MANET protocol. Two nodes that finish the negotiation must send keep-alive messages for maintaining the negotiated services. If they do not receive keep-alive message for a time period, they will release their allocated resources. Node can change to idle state and release all allocated resource faster than hard-state because of soft-state uses timeout to trigger the state stored on that node. Using keep-alive messages will consume a number of energy but this should be a worthwhile price to free the holding resources.

3). Best-effort negotiation: In high interference or high noise network, it may be difficult for a node to send packets to its adjacent neighbors. In this case, negotiated session will be broken because of lacking of keep-alive messages. Attempting to reconnect the negotiated session to that node may not be significant because provided services from that node tend to be unreliable.

On the other hands, in a very congested network, every node will compete for the shared resources such as bandwidth to send its own data. Anyways, competing for bandwidth on a wireless link depends on the media access protocols being used by the MANET nodes. If there is no such protocol and it is difficult to have a successful negotiated session between two nodes because of lacking of resources, the successful and negotiated services tend to be unreliable as well. Therefore, in the case, doing best-effort negotiation seems to be sufficient in the MANET environment.

IV. Protocol Overview

In this paper we modify our protocol components and the negotiation process from our previous published paper [6], we proposed definable User Policy, and two types of Exchange Information, Node Exchange Information (NEI) and Service Exchange Information (SEI). The NEI is used to exchange any essential information from its adjacent node to identify node's owner and SEI is used for requesting provided services from adjacent nodes. Each Exchange Information has its own attributes for describing their properties. User policy is used to collect defined rules and to control serving negotiated services. We describe detail of these our protocol component in subsection 4.1 and how these protocol components cooperate in the subsection 4.2.

4.1 Protocol Components

1) NEI: Each node has its own characteristics that can be described by using NEI. User may need this information from other adjacent nodes to make a decision for providing services during negotiation process. An example of NEI is node's movement that has speed and direction as its attributes. Such information can be used to justify the reliability of the services provided negotiated nodes. And node may update NEI during the session for providing the most recent information.

2) SEI: Users are able to negotiate their requested services by describing its required service and attributes via SEI. Generally SEI is the services for forwarding data such as bandwidth, delay or jitter. The SEI can be extended easily to include new services in the future. When two nodes completed the negotiation, they will allocate their resources for serving the negotiated services. These negotiated services may be changed or renegotiated because of the fluctuated resources.

3) User policy: Users are able to manage their resources by defining their requirements and decisions into their *User Policies*. It composes of four components *1) Policy Agent, 2) Resource Manager, 3) Policy Database (rules)* and *4) Neighbor Table*. Policy agent behaves as a coordinator for the other policy components by sending and receiving all controlling signal and user messages. Resource manager handle all mobile node's resources for serving to the negotiated services. For example, it manage queue for forwarding data of adjacent node. The next component is policy database or rules that are set by user for controlling all node roles. Neighbor table component is created by policy agent when mobile node successfully negotiation with its neighbors and it will be deleted after all negotiated service was canceled or time out. The figure 1 shows how these components interact with each other.

4.2 Negotiation Process

The proposed protocol will work in three phases. In the first phase, user will discover their adjacent nodes. This can be done by using existing mechanisms of MANET routing protocol's node discovery, such as AODV.

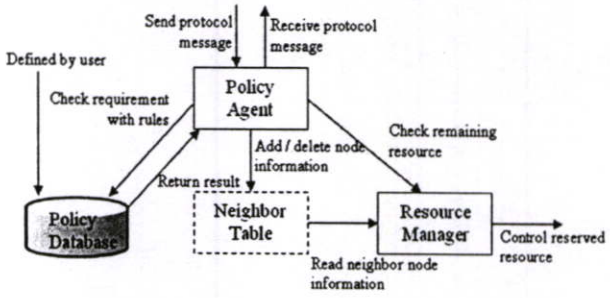


Figure 1 Interactions between protocol components.

The second phase is a negotiation phase. Before the negotiation will be started, users may need some authentication to prove its authenticity. This function is an option in our protocol. User can choose any authentication

processes such as username and password to authentication its adjacent nodes. We do not describe the authentication process in this paper.

Users can define their requirement and decision rule into their *User Policy*, such as preferable services for some nodes that have some special characteristics. These node characteristics will be sent through NEI. Negotiation starts when node sends the request for a service or identifies itself and its attributes that describe service or node information via SEI and/or NEI to an adjacent node. This is a one hop negotiation approach as stated in design principle. Two negotiating nodes will negotiate for their desired services until their demands can be met as defined in the *User Policy*. To maintain negotiated session, keep-alive messages must be sent periodically. Users may negotiate more than one service from an adjacent node, or to multiple adjacent nodes simultaneous. Our protocol will attempt to negotiate as best as the network environment can support. The fail negotiation will be renegotiated again after its waiting time reaches back-off timer. If back-off time reaches to the threshold, protocol will stop the negotiation for this session.

The last phase is the termination phase. Although our protocol is soft-state protocol, we provide the process for releasing resources before timeout. Because soft-state must wait for timeout to restore its states, allocated resources may be not utilized efficiently, depending on the agreed timeout value. This mechanism is possible to introduce the higher network performance.

V. CONCLUSIONS AND FUTURE WORKS

In this paper, we present a design of the policy-based negotiation protocol on MANET. We describe its design goals and principles that cope with the strict environments of the MANET. With this approach, users have rights to control their roles and resources as their desires. And each node behaves as autonomy in MANET. We also provide protocol components for managing node's resources and negotiating requested services from adjacent nodes, and including some detail about how these components work together. Performance evaluation and analysis will be done in the future works by using NS-2 [9] network simulator.

REFERENCES

[1] Carson, S. and J. Macker, "Mobile ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations", IETF RFC 2501, January 1999.

[2] R. Braden, D. Clark, and S. Shenker, "Integrated services in the Internet architecture: an overview", IETF RFC 1622, June 1994.

[3] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog, S. Jamin. "Resource ReServation Protocol (RSVP)" IETF RFC 2205, Sep 1997

[4] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss, "An architecture for differentiated services", IETF RFC 2475, Dec 1998.

[5] Xiao, H, KG Seah, A Lo and KC Chua, "A Flexible Quality of Service Model for Mobile Ad Hoc Networks", IEEE Vehicular Technology Conference 2000-spring, Tokyo, Japan. May 2000.

[6] N. Srifa, C. Pornavalai, R. Varakulsiripunth, "A policy-based negotiation protocol for Mobile Ad Hoc Network", IEEE International Conference on Information, Communication and Signal Processing, Nov 2005

[7] Rekhter Y., and Li T., "A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)", IETF RFC 1771, March 1995.

[8] L. M. Feeney, M. Nilsson, "Investigating the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in an Ad Hoc Networking Environment" IEEE Infocom, 2001

[9] "NS2 network simulator" [Online], available World Wide Web, URL: http://www.isi.edu/nsnam/ns

ประวัติผู้เขียน

น.ส. นวลพรรณ ศรีฟ้า เกิดเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ 2524 ที่จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ แขนงวิชาวิทยาการสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2546