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 เป็นดาต้าลิงค์เลเยอร์ 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 เราตั้งโปรโตคอลที่เลือกใช้คือ

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

4.1.2. เครือข่ายมีความคับคั่ง การทดลองนี้คงพารามิเตอร์ต่างๆ จากการทดลองที่ 1 ไว้ แต่เปลี่ยนอัตราการส่งข้อมูลจากเดิมส่งข้อมูลที่ 4 เพ็กเก็จต่อวินาทีเป็น 20 เพ็กเก็จต่อวินาที เพื่อทำให้เครือข่ายมีความคับคั่งเนื่องจากเครือข่ายไม่สามรถส่งข้อมูลออกจากเครือข่ายได้ทัน 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

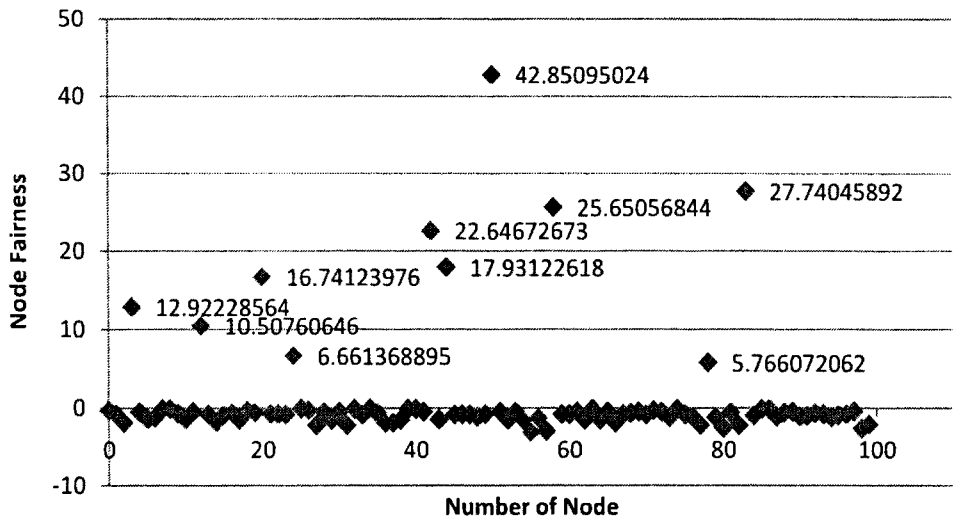
5) ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่าย คือ ค่าที่เปรียบเทียบระหว่างพลังงานที่แต่ละโหนดในเครือข่ายใช้เพื่อการส่งต่อข้อมูลของโหนดอื่น และเพื่อการส่งข้อมูลของตนเอง ถ้าค่าความ

ยุติธรรมในระดับเครือข่ายมีค่าเป็นบวกจะแสดงให้เห็นว่าโหนดในเครือข่ายมีความร่วมมือกันส่งต่อข้อมูลของเครือข่ายมากกว่าการใช้พลังงานไปกับการส่งข้อมูลของตนเอง

ซึ่งจากทั้ง 5 กราฟจะทำให้เราเห็นว่าพฤติกรรมการส่งต่อข้อมูลของโหนดบนเครือข่ายเป็นอย่างไร และภาพรวมของความยุติธรรมในการทดลองนั้นๆ

4.2.1 การทดลองที่ 1 เครือข่ายไม่ดับดั่ง

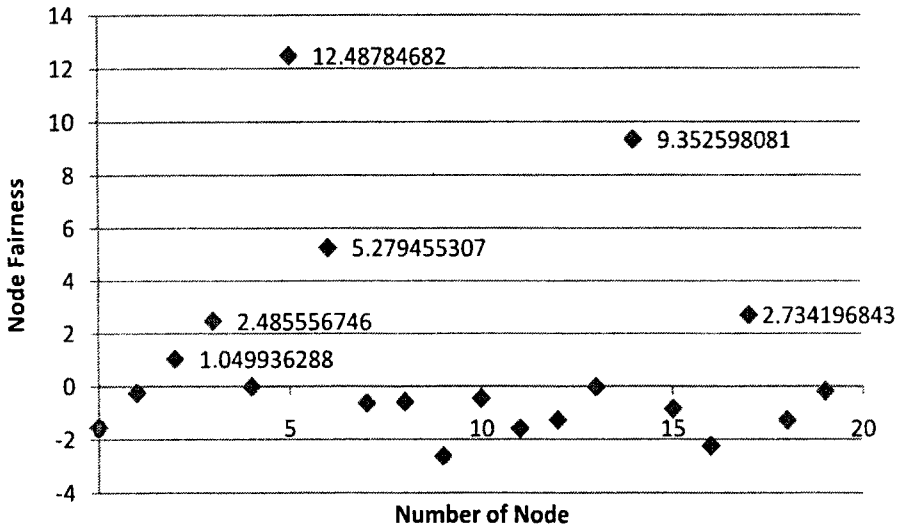
ในรูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างของค่าความยุติธรรมของแต่ละโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ จากการการทดลองที่จำนวน 100 โหนดและมีคู่การสื่อสารจำนวน 10 คู่ ผลปรากฏว่ามีจำนวนหนึ่งเท่านั้นที่ได้รับประโยชน์จากเครือข่าย แต่ในขณะที่โหนดส่วนมากต่างเสียผลประโยชน์ให้กับเครือข่าย ถึงแม้ว่าแต่ละโหนดจะเสียผลประโยชน์ไม่มากนัก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



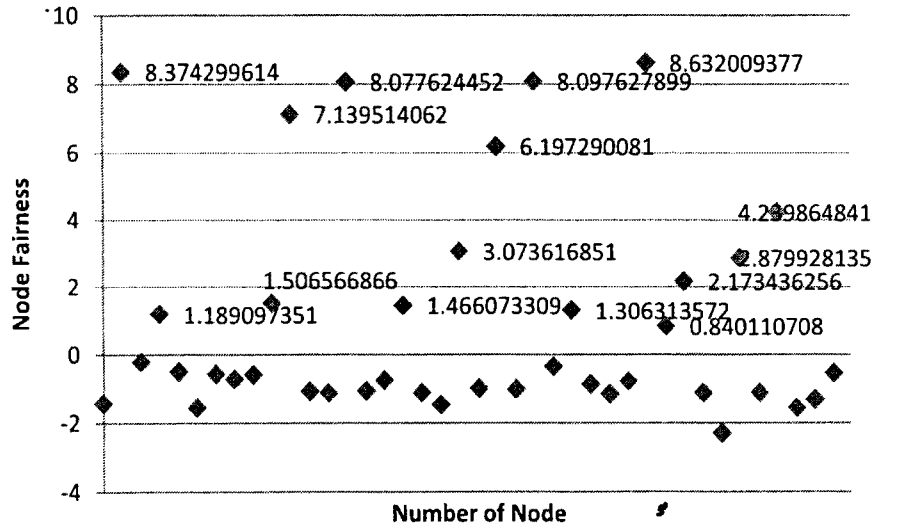
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างค่าความยุติธรรมในระดับโหนด

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

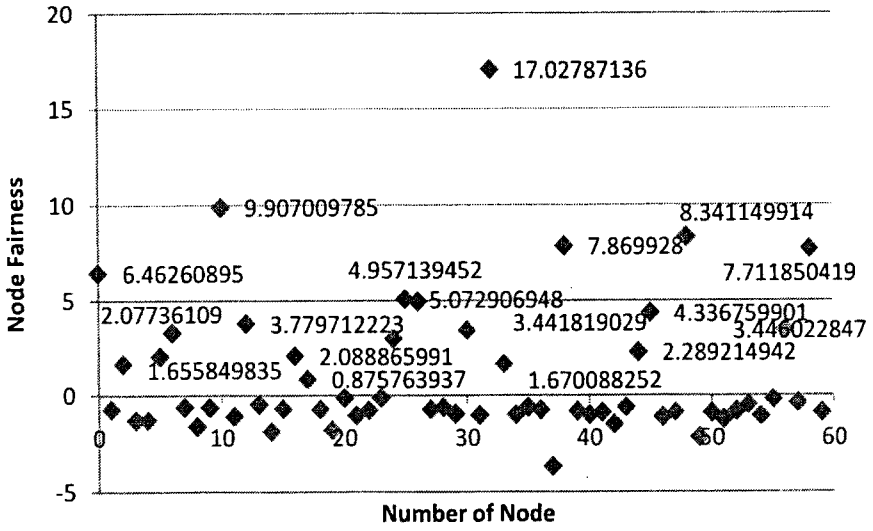
เข้าร่วมกับเครือข่ายมากกว่าประโยชน์ที่ได้รับ และก็ยังคงมีโหนดกลุ่มหนึ่งที่ได้รับประโยชน์จากเครือข่ายมากกว่าที่เสียประโยชน์ได้แก่โหนดที่มีค่าความยุติธรรมในระดับโหนดเป็นบวก



รูปที่ 4.2 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดที่เครือข่ายมีการใช้งานสูงที่ผู้ใช้จำนวน 20 โหนด และ 10 คู่การสื่อสาร

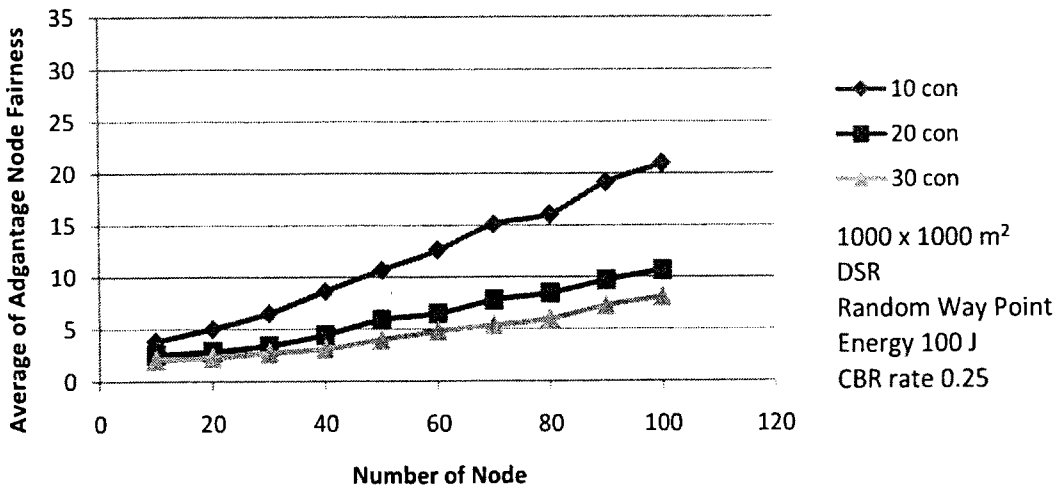


รูปที่ 4.3 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดที่เครือข่ายมีการใช้งานสูงที่ผู้ใช้จำนวน 40 โหนด และ 20 คู่การสื่อสาร



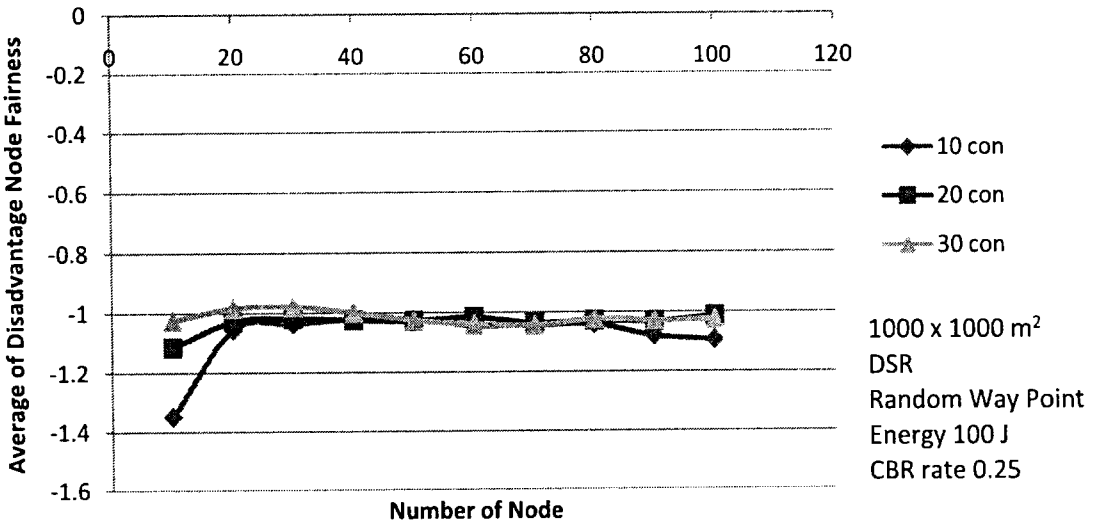
รูปที่ 4.4 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดที่เครือข่ายมีการใช้งานสูงที่ผู้ใช้จำนวน 60 โหนด และ 30 คู่การสื่อสาร

ในรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อความได้เปรียบของโหนด คือ จำนวนโหนดและคู่การสื่อสาร เมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้นจะทำให้โหนดได้ที่ประโยชน์จากการส่งต่อข้อมูลบนเครือข่ายจะได้รับประโยชน์จากการส่งต่อข้อมูลของเครือข่ายมากยิ่งขึ้น เนื่องจากจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้นในเครือข่ายจะทำให้เพิ่มโอกาสในการส่งต่อข้อมูลมากยิ่งขึ้น แต่ถ้าการทดลองที่จำนวนโหนดเท่ากันแต่มีคู่การสื่อสารที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้โหนดมีการได้เปรียบลดน้อยลงเนื่องจากโหนดมีการแข่งขันที่จะส่งข้อมูลมากขึ้น แย่งชิงช่องสื่อสารกันมากขึ้น และมีการกระจายผลประโยชน์ไปยังโหนดต้นทางและปลายของคู่การสื่อสารมากยิ่งขึ้น



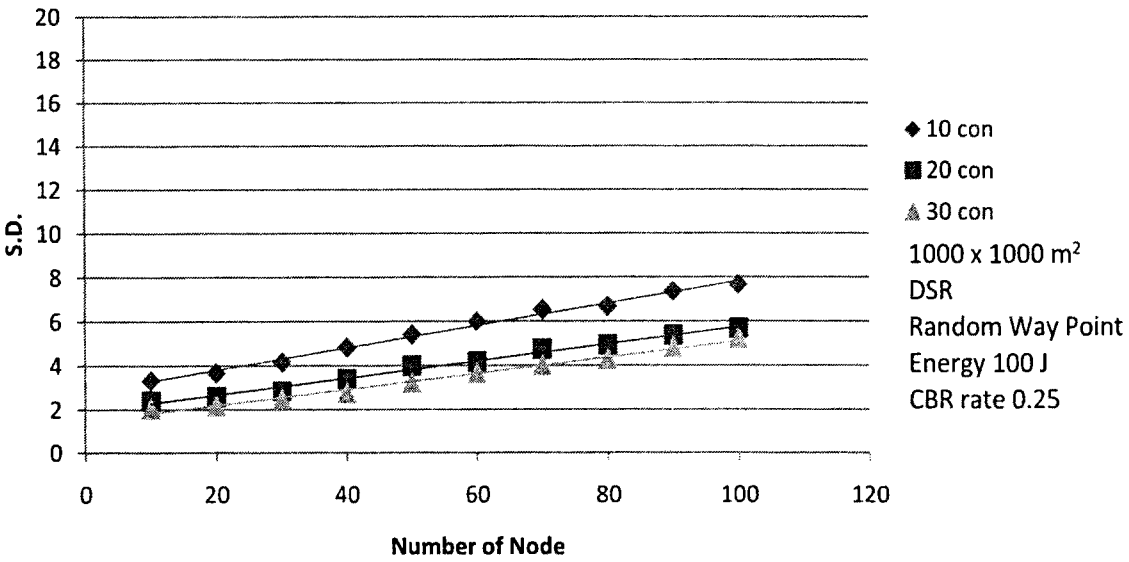
รูปที่ 4.5 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านบวกของการทดลองที่ 1

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



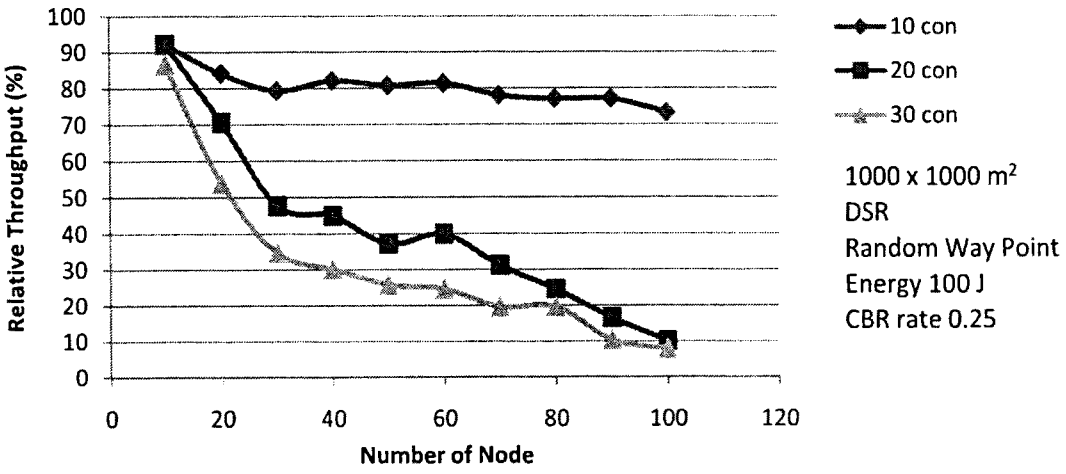
รูปที่ 4.6 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านลบของการทดลองที่ 1

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



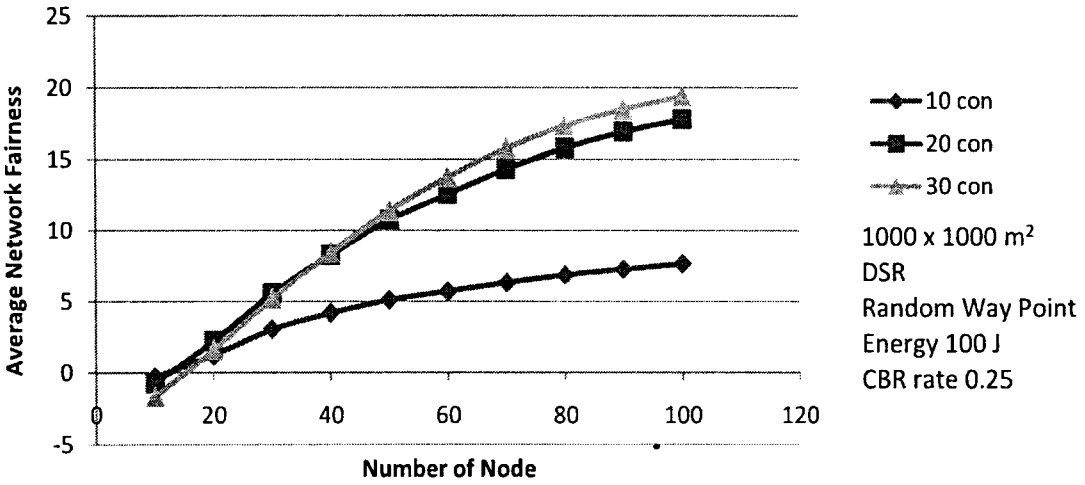
รูปที่ 4.7 ค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมในระดับโหนดของการทดลองที่ 1

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



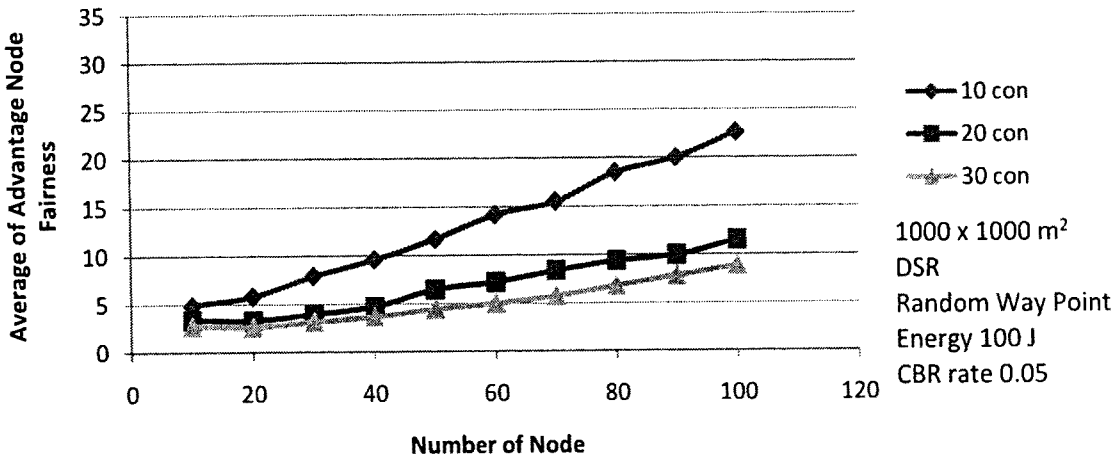
รูปที่ 4.9 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายของการทดลองที่ 1

เราใช้ผลจากการทดลองนี้เกณฑ์ในการเปรียบเทียบความแตกต่างกับการทดลองอื่นๆ ที่มีการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าโหนดที่เข้าร่วมกับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมีทั้งโหนดที่ได้รับประโยชน์จากเครือข่ายและโหนดที่เสียประโยชน์ ซึ่งค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมเพิ่มขึ้นตามจำนวนโหนดแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระหว่างโหนดที่ได้เปรียบและโหนดที่เสียเพิ่มขึ้นตามจำนวนโหนด สำหรับโหนดที่ได้รับประโยชน์จากเครือข่ายจะได้รับประโยชน์เพิ่มมากขึ้นเมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายมากขึ้น แต่สำหรับโหนดที่เสียประโยชน์จะกระจายการทำงานเพื่อเครือข่ายออกไป โดยที่ไม่เป็นภาระหนักที่โหนดใดโหนดหนึ่งมากเกินไป สำหรับสภาพแวดล้อมทางเครือข่ายแบบนี้เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับเครือข่ายของกองทหารหรือหน่วยกู้ภัย เนื่องจากโหนดส่วนมากเต็มใจที่ร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดเพียงบางโหนดสำหรับการส่งข้อมูลที่มีความสำคัญ

4.2.2 การทดลองที่ 2 เครือข่ายมีความคับคั่ง

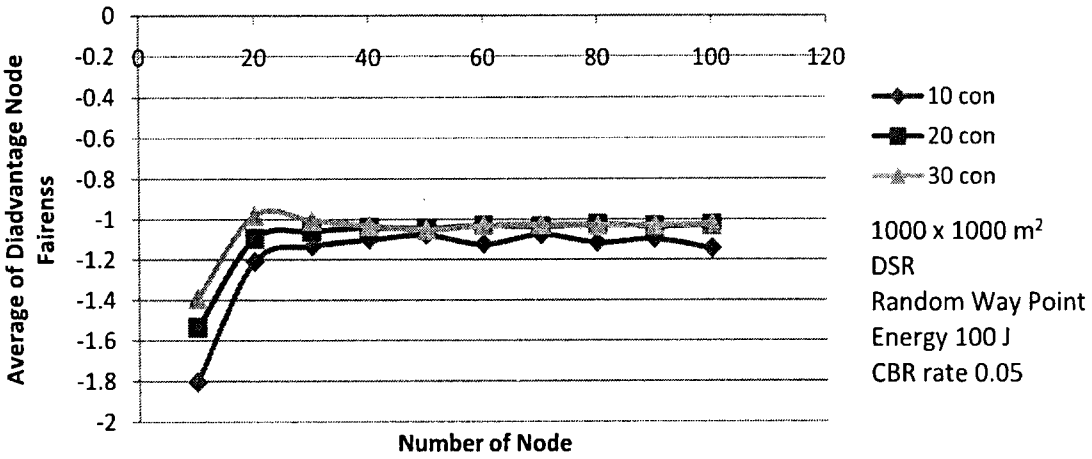
ในการทดลองนี้เราได้เพิ่มอัตราการส่งข้อมูลของซีบีอาร์เพิ่มขึ้นจากเดิมส่งที่ 4 เพ็กเก็จต่อวินาที มาเป็นส่งข้อมูลที่ 20 เพ็กเก็จต่อวินาที เพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครือข่ายในขณะที่เครือข่ายเกิดความคับคั่ง โดยคงที่ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ จากการทดลองที่ 1 ไว้

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



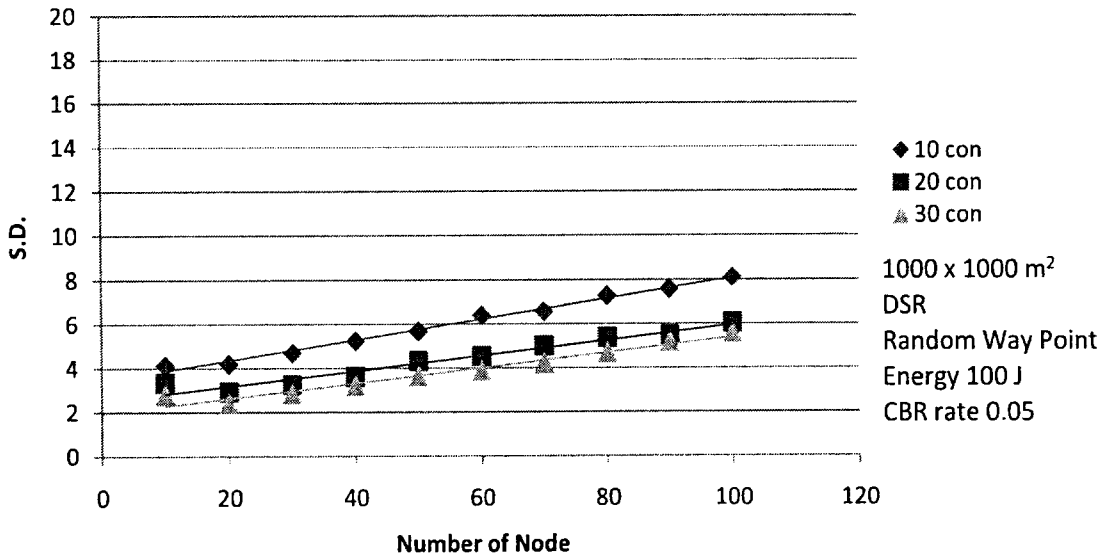
รูปที่ 4.10 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านบวกของการทดลองที่ 2

รูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าในสภาพแวดล้อมที่มีการส่งข้อมูลที่คับคั่ง โหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจยังคงให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลให้กับเครือข่ายเป็นอย่างดี ในการทดลองที่จำนวนโหนดน้อยพบว่าโหนดที่ให้ความร่วมมือกับเครือข่ายจะต้องทำงานมากกว่าที่การทดลองที่จำนวนโหนดเยอะกว่า เช่นในการทดลองที่ 10 โหนด ค่าความยุติธรรมของโหนดมีค่าติดลบมากกว่าที่การทดลองอื่นๆ



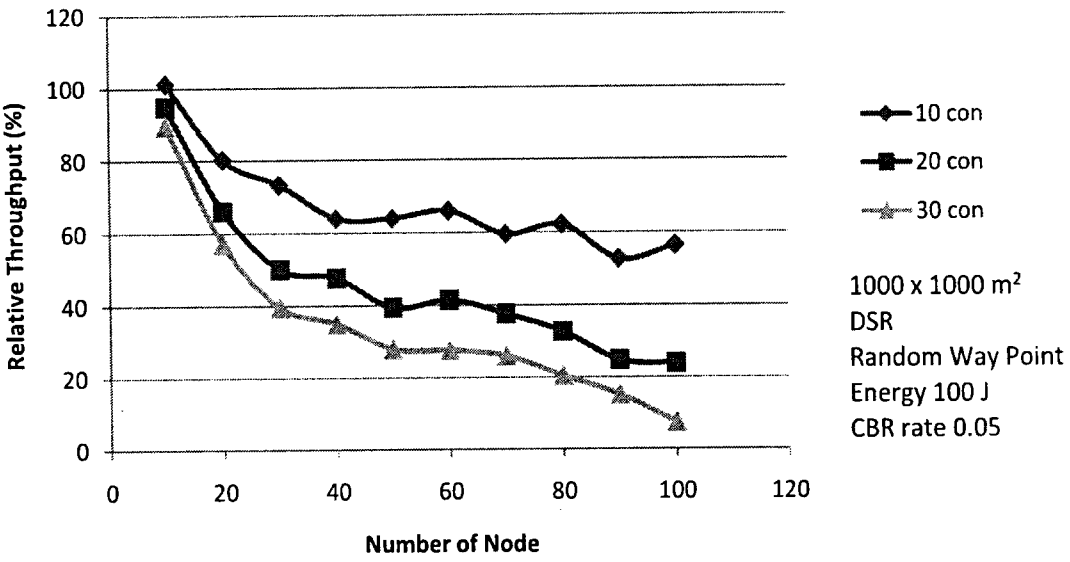
รูปที่ 4.11 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านลบของการทดลองที่ 2

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



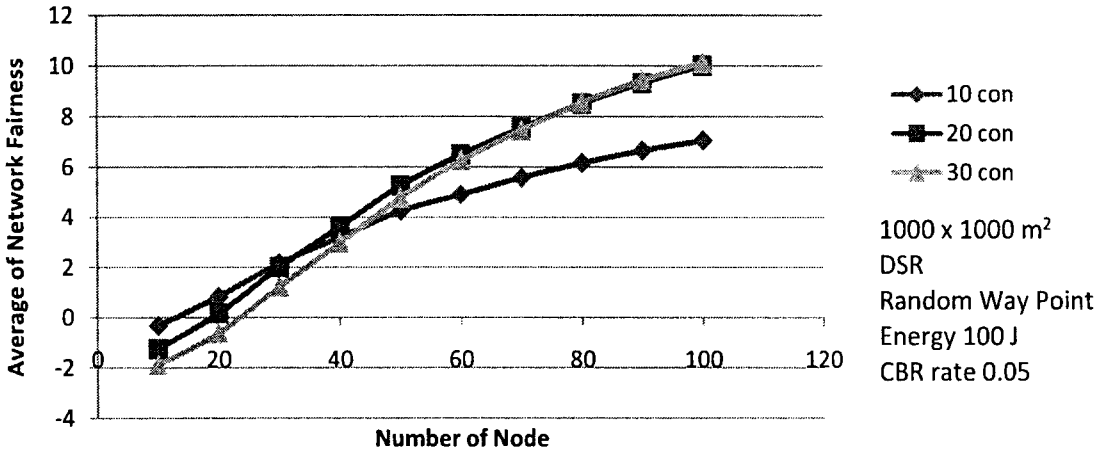
รูปที่ 4.12 ค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมในระดับโหนดของการทดลองที่ 2

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

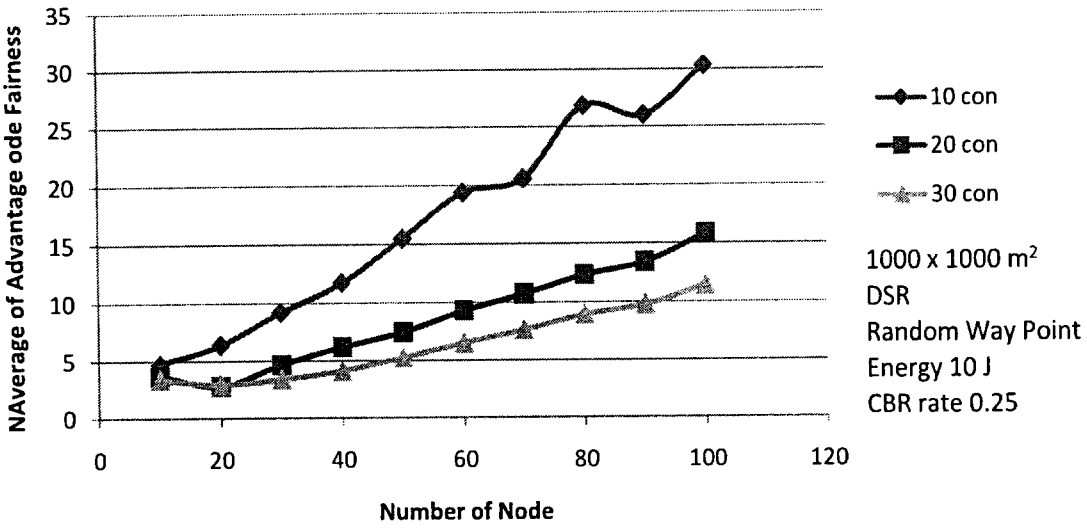
ในการทดลองที่เครือข่ายมีความคับคั่งของข้อมูล ยังคงมีโหนดที่ได้รับประโยชน์จากเครือข่ายและโหนดที่เสียผลประโยชน์จากเครือข่ายอยู่เหมือนเดิม และความแตกต่างระหว่างโหนดทั้ง 2 ประเภทยังคงเพิ่มขึ้นตามจำนวนโหนด และลดลงตามจำนวนคู่การสื่อสาร แต่สำหรับค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายมีค่าน้อยกว่าในเครือข่ายที่ไม่มีความคับคั่ง เนื่องจากแต่ละโหนดที่เป็นต้นทางและปลายทางของการสื่อสารมีการใช้พลังงานเพื่อรับหรือส่งข้อมูลของตนเองมากยิ่งขึ้น แต่แนวโน้มการเติบโตของค่าความยุติธรรมเป็นเหมือนกับการทดลองที่ 1

4.2.3 การทดลองที่ 3 โหนดมีพลังงานจำกัด

การทดลองนี้ได้กำหนดค่าพลังงานของโหนดเคลื่อนที่ไว้ที่ 10 จูล ทำให้แต่ละโหนดมีพลังงานอย่างจำกัดในการส่งข้อมูลบนเครือข่าย ซึ่งจำลองมากจากใช้งานจริงของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเนื่องจากโหนดบนเครือข่ายมีพลังงานจำกัด แต่สิ่งที่แตกต่างจากการใช้งานจริงคือทุกโหนดในการทดลองคงมีพลังงานเท่ากัน ดังนั้นผลการทดลองนี้จึงแสดงให้เห็นเพียงว่า การที่โหนดมีพลังงานจำกัดมีผลกระทบอย่างไรกับความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ

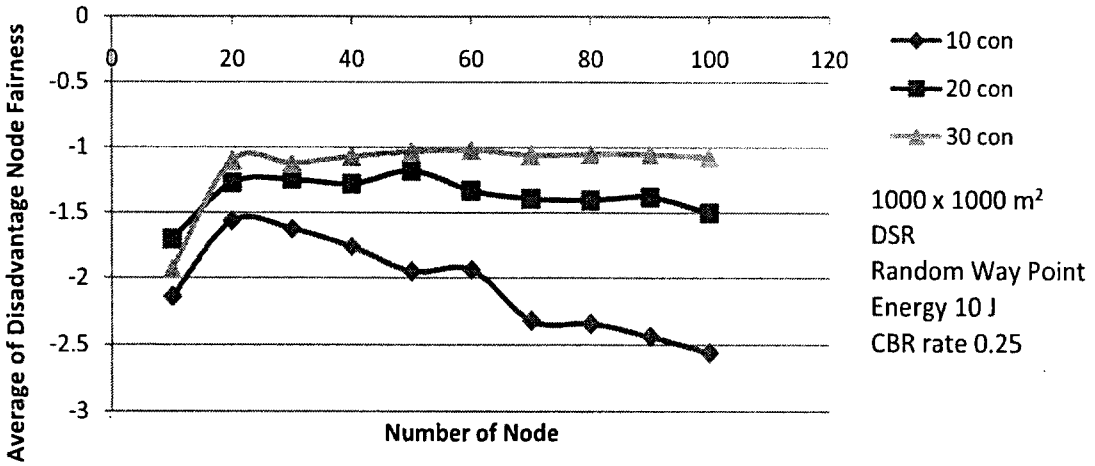
ผลการทดลองในรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของโหนดที่ได้เปรียบที่จำนวนคู่การสื่อสาร 10 คู่มีค่ามากกว่าที่จำนวนคู่การสื่อสาร 20 และ 30 คู่ตามลำดับ เหมือนกับแนวโน้มของการทดลองที่ 1 แต่ในการทดลองที่ 3 ค่าความยุติธรรมของโหนดที่ได้เปรียบมีค่ามากกว่าการทดลองที่ 1 เพราะว่าการที่โหนดเข้าร่วมกับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ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

ได้รับประโยชน์จากเครือข่ายและพลังงานที่โหนดใช้ไปเพื่อเครือข่ายแตกต่างกันมาก จึงทำให้ค่าความได้เปรียบจึงมีค่ามากกว่าการทดลองที่ 1



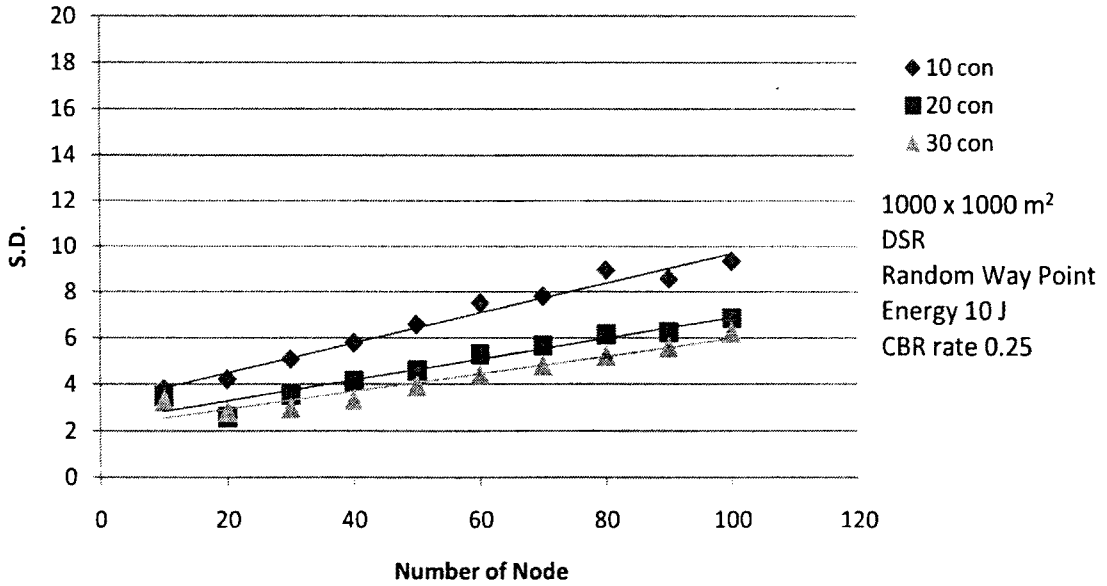
รูปที่ 4.15 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านบวกของการทดลองที่ 3

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



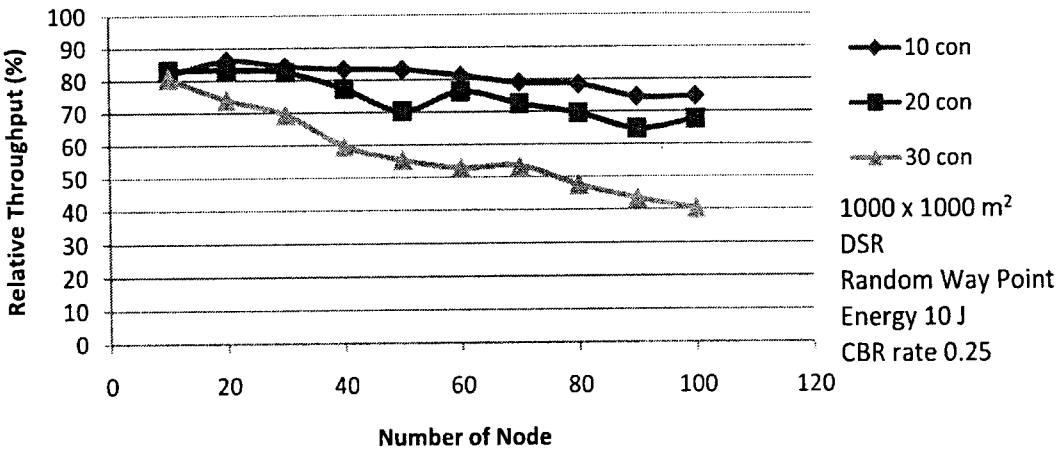
รูปที่ 4.16 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านลบของการทดลองที่ 3

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



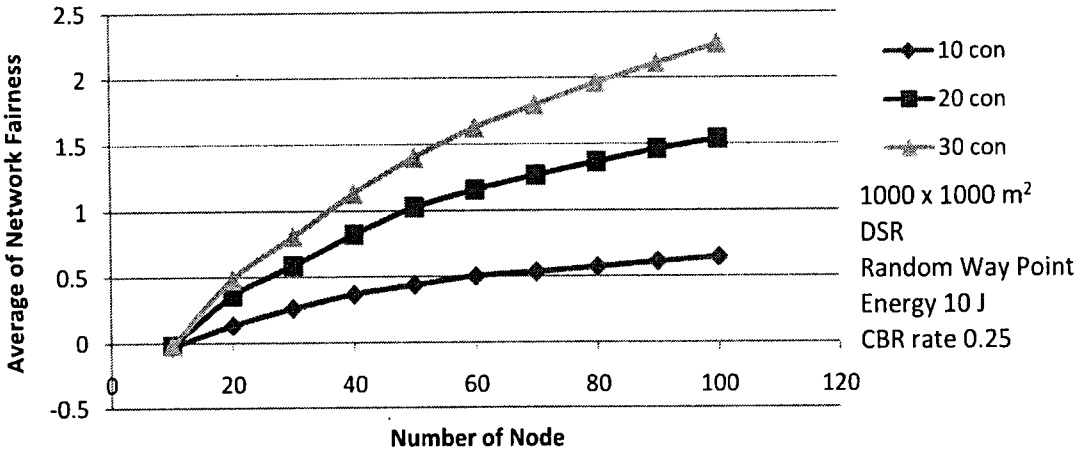
รูปที่ 4.17 ค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมในระดับโหนดของการทดลองที่ 3

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



รูปที่ 4.18 อัตราการส่งข้อมูลของการทดลองที่ 3

ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายตามรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าในสภาพแวดล้อมเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจที่โหนดมีพลังงานจำกัด โหนดก็ยังคงให้ความร่วมมือในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆ มากกว่าพลังงานที่โหนดใช้ไปเพื่อตนเอง แต่ความแตกต่างระหว่างพลังงานที่โหนดที่เพื่อเครือข่ายและพลังงานที่โหนดทำเพื่อตัวเองจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มมากขึ้นและจำนวนคู่การสื่อสารเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.19 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายของการทดลองที่ 3

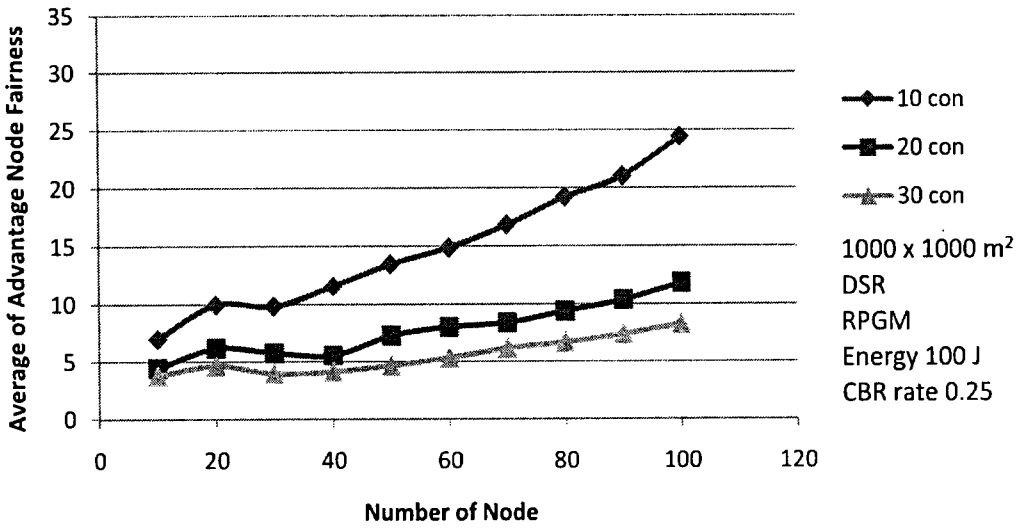
จากการทดลองที่ 3 โหนดมีพลังงานจำกัด โหนดจะใช้พลังงานไปกับการส่งข้อมูลต่างๆ ไปกับการรับหรือส่งข้อมูลการเตรียมเส้นทางการสื่อสาร เช่น การค้นหาเส้นทางการสื่อสาร การตรวจสอบช่องสัญญาณ ทำให้โหนดมีพลังงานในการส่งข้อมูลที่น้อยลงเมื่อเทียบกับการทดลองอื่น ดังนั้นในสภาพแวดล้อมที่โหนดมีพลังงานจำกัดทำให้โหนดมีพลังงานเพื่อจะใช้ในการส่งข้อมูลประเภทอื่นๆ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

4.2.4 การทดลองที่ 4 อาร์พีจีเอ็ม

การทดลองนี้เปลี่ยนค่าโมบิลิตี้โมเดลจากแรนดอมเวย์พอย์ต มาเป็นการเคลื่อนที่แบบอาร์พีจีเอ็มเพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นจากโมบิลิตี้โมเดล เนื่องจาก [11] ได้กล่าวไว้ว่าโมบิลิตี้โมเดลมีผลต่อการใช้พลังงานบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ดังนั้นเราจึงทำการทดลองนี้เพื่อดูว่าโมบิลิตี้โมเดลมีผลต่อความยุติธรรมหรือไม่

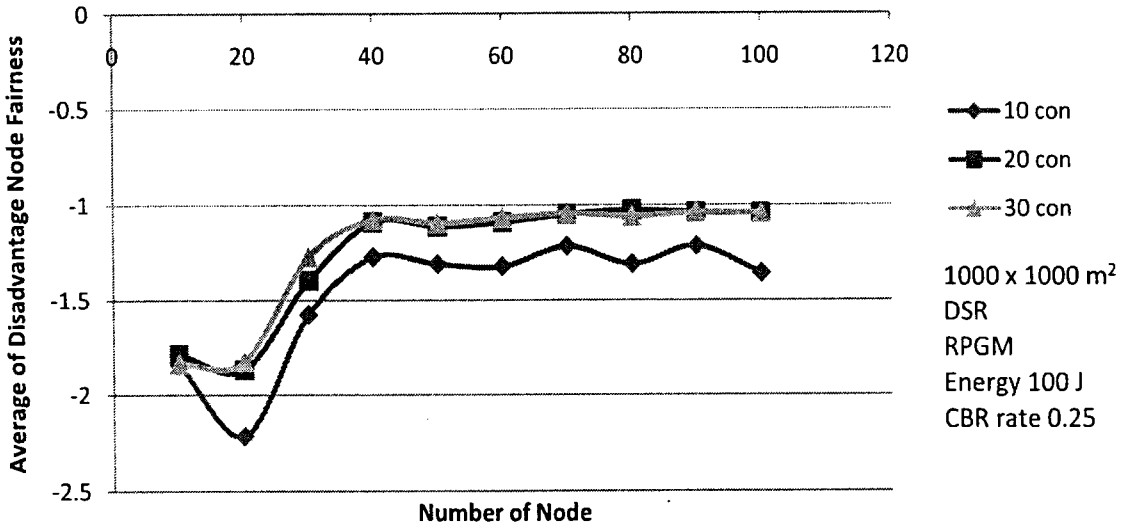
รูปแบบการเคลื่อนที่ของโหนดแบบอาร์พีจีเอ็ม คือ โหนดจะแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ โดยที่โหนดในกลุ่มจะเคลื่อนที่ไปด้วยกันทั้งกลุ่ม และสำหรับการเคลื่อนที่ของโหนดภายในกลุ่มจะเป็นแบบเรนดอมเวย์พอยต์

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



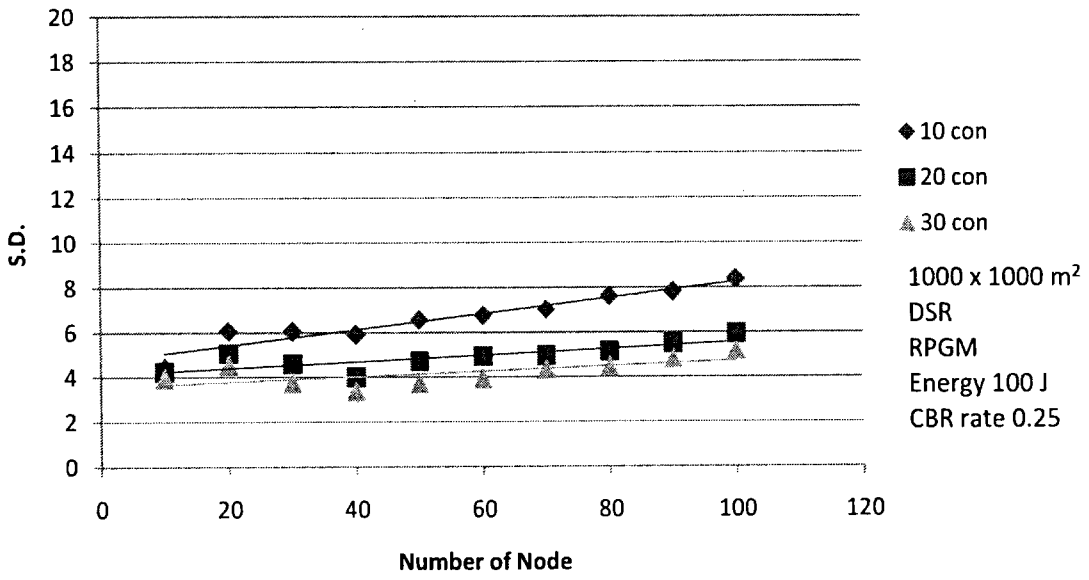
รูปที่ 4.20 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านบวกของการทดลองที่ 4

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



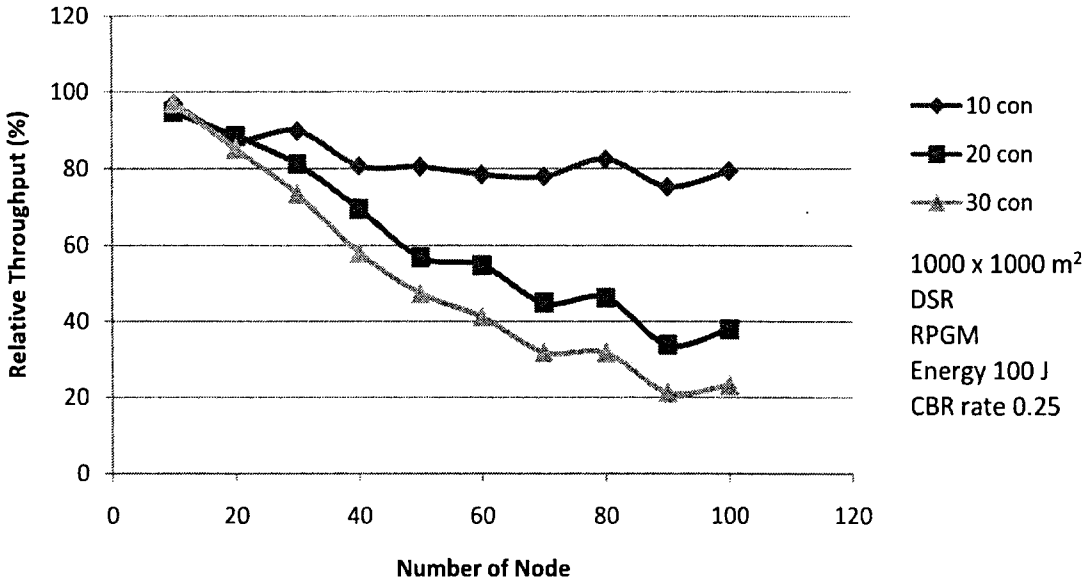
รูปที่ 4.21 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านลบของการทดลองที่ 4

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

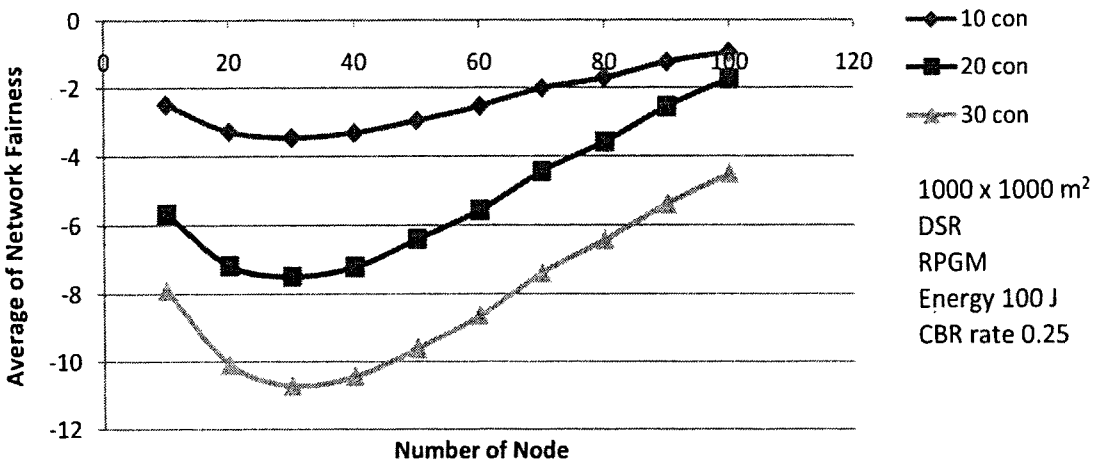


รูปที่ 4.23 อัตราการส่งข้อมูลของการทดลองที่ 4

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

โหนดในแต่ละกลุ่มเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้การกระจายตัวของโหนดกระจายกันได้ดีขึ้น ทำให้การส่งข้อมูลให้กับโหนดที่อยู่นอกกลุ่มของตนเองมีมากขึ้น



รูปที่ 4.24 ค่าความยุติธรรมในระดับเครือข่ายของการทดลองที่ 4

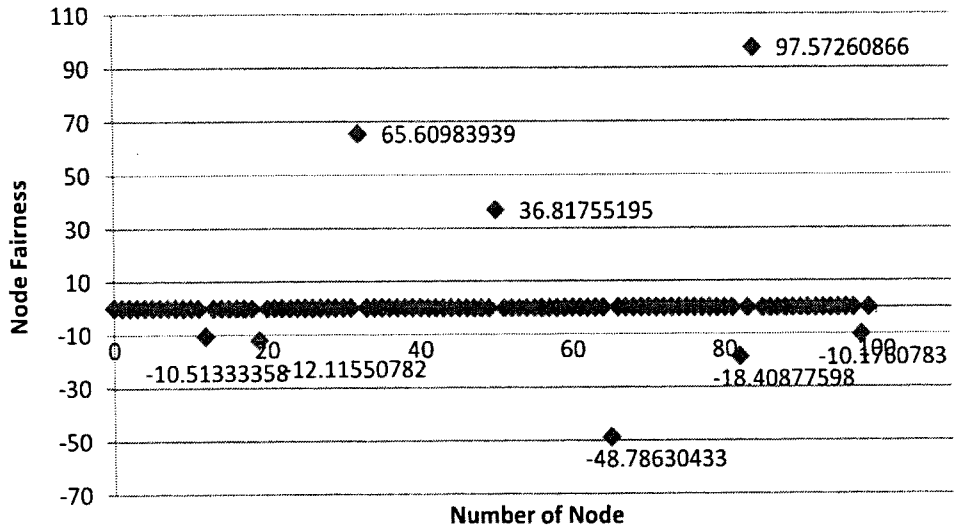
การเปลี่ยนโมเดลการเคลื่อนที่ของโหนดมีผลกระทบต่อค่าความยุติธรรมบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจในระดับเครือข่ายมาก เนื่องจากในการทดลองนี้เป็นการเคลื่อนที่แบบเป็นกลุ่ม การส่งข้อมูลออกไปให้กับโหนดนอกกลุ่มจึงทำยากเพราะต้องรอให้โหนดแต่ละกลุ่มเคลื่อนที่มาอยู่ในรัศมีการส่งข้อมูลของกันและกันก่อน จึงจะส่งข้อมูลได้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

4.2.5 การทดลองที่ 5 เอโอดีวี

การทดลองนี้เปลี่ยนเราติ้งโปรโตคอลจากดีเอสอาร์มาเป็นเอโอดีวี เนื่องจากปัจจุบันมีการคิดค้นเราติ้งโปรโตคอลจำนวนมากที่สามารถทำงานได้ดีในสภาพแวดล้อมของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ และเอโอดีวีก็เป็นหนึ่งในเราติ้งโปรโตคอลจำนวนนั้น และนอกจากนี้เอโอดีวีและดีเอสอาร์ต่างก็เป็นเราติ้งโปรโตคอลประเภทออนดีมานด์เหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่วิธีการ

ค้นหาเส้นทางเนื่องจากดีเอสอาร์ใช้วิธีการของซอร์สเราติ้งแต่เอโอดีวีใช้วิธีการของดิสเทนซ์เว็กเตอร์

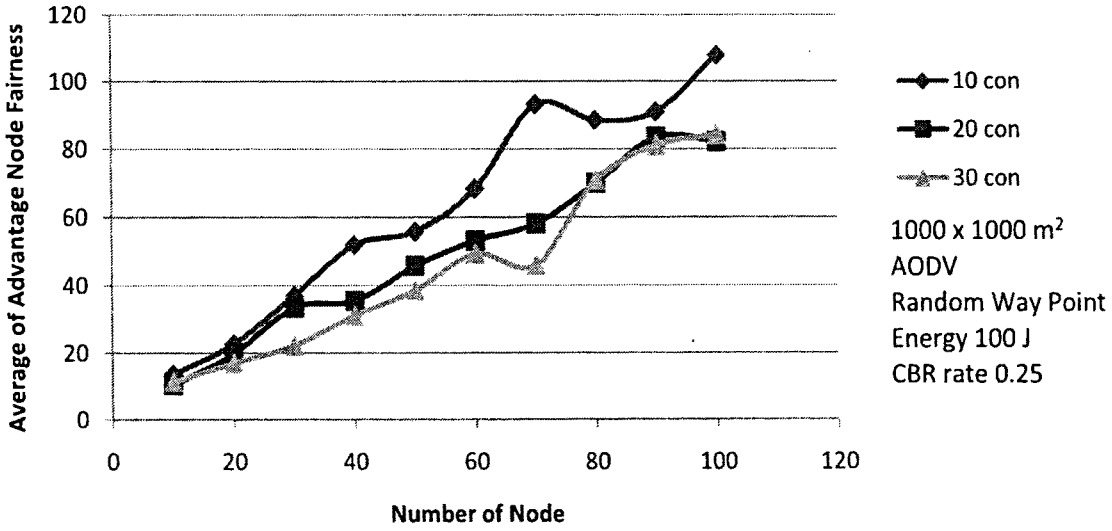
จากรูปที่ 4.25 แสดงค่าความยุติธรรมของแต่ละโหนดบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจในการทดลองนี้ ซึ่งใช้เอโอดีวีเป็นเราติ้งโปรโตคอล จากกราฟเราพบว่าโหนดส่วนมากมีค่าความยุติธรรมในระดับโหนดเป็นศูนย์ แสดงว่าโหนดได้รับประโยชน์จากเครือข่ายและใช้พลังงานในการส่งต่อข้อมูลให้กับโหนดอื่นๆ เท่าเทียมกัน ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วการที่โหนดจะใช้พลังงานอย่างเท่าเทียมกันพอดีเป็นเรื่องยาก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



รูปที่ 4.25 ค่าความยุติธรรมของโหนดในการทดลองที่ 5

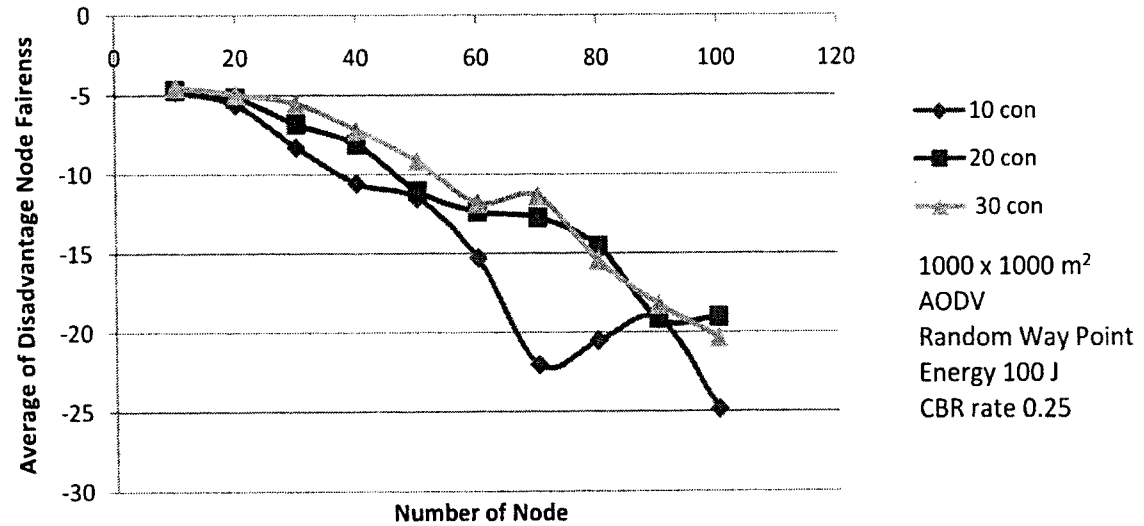
ผลการทดลองในรูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่าโหนดที่ได้ผลประโยชน์จากเครือข่ายจะได้รับผลประโยชน์มากขึ้นเมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายเพิ่มมากขึ้น โดยที่ 10 คู่การสื่อสารอัตราการเพิ่มขึ้นจะสูงกว่าที่ 20 และ 30 คู่การสื่อสาร โดยที่ 20 คู่การสื่อสารได้รับประโยชน์จากการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายดีกว่าที่ 30 คู่การสื่อสารอยู่เล็กน้อย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

เส้นทางสำรองไว้ เมื่อเส้นทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเสียหาย โหนดต้นทางก็จะส่งข้อมูลโดยใช้เส้นทางสำรองแทน ทำให้การกระจายงานของดีเอสอาร์ดีกว่า



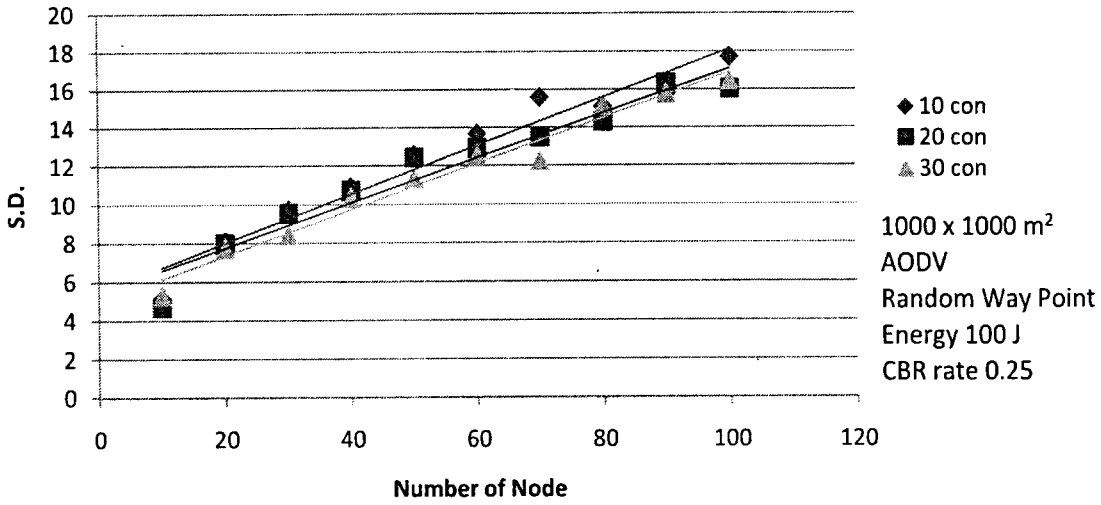
รูปที่ 4.26 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านบวกของการทดลองที่ 5

ผลการทดลองในรูปที่ 4.27 แสดงให้เห็นว่าในการทดลองนี้ไม่มีการกระจายการทำงาน ทั้งในการทดลองที่ 10 20 และ 30 คู่การสื่อสาร และเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้นค่าความยุติธรรมก็ยิ่งแย่ลง



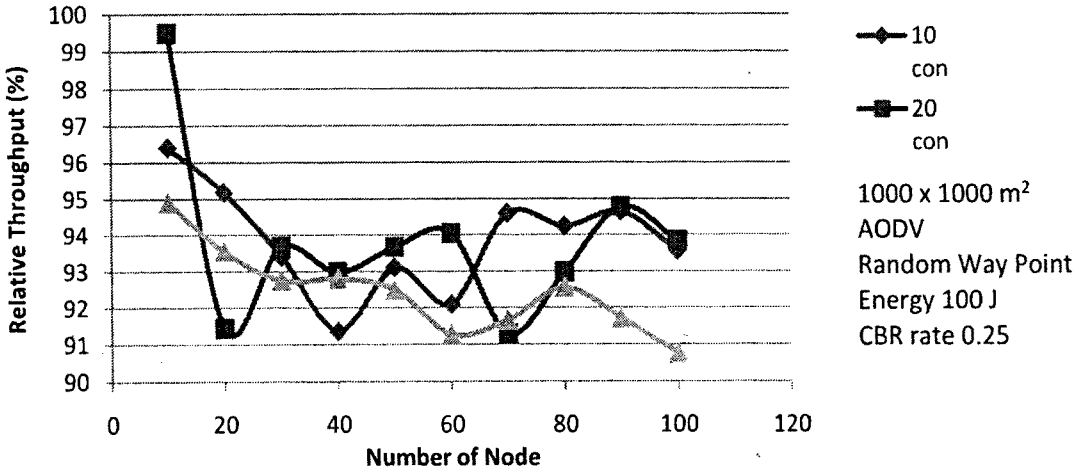
รูปที่ 4.27 ค่าความยุติธรรมในระดับโหนดด้านลบของการทดลองที่ 5

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



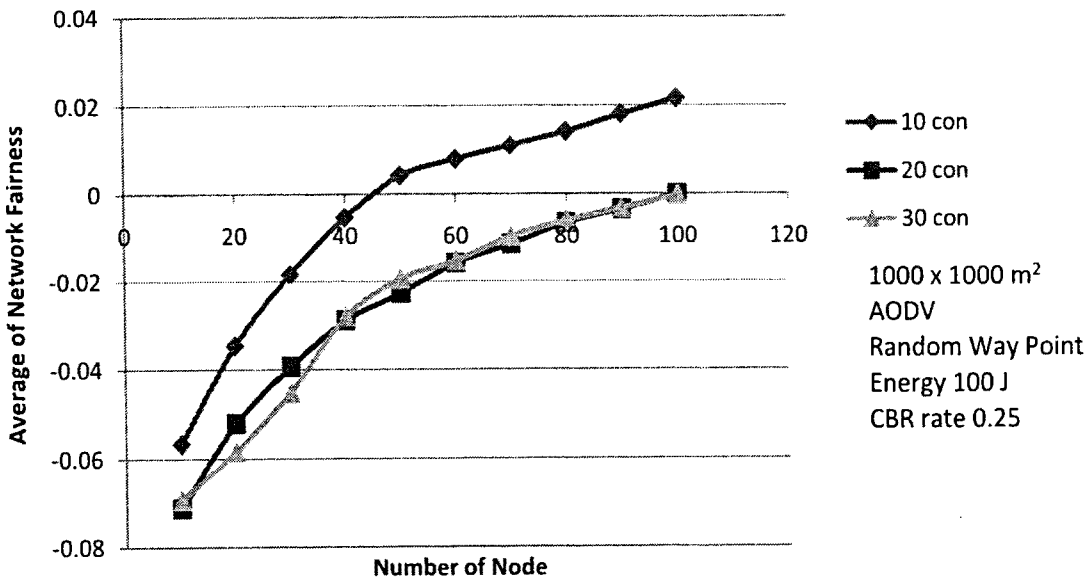
รูปที่ 4.28 ค่าความแปรปรวนของความยุติธรรมในระดับโหนดของการทดลองที่ 5

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

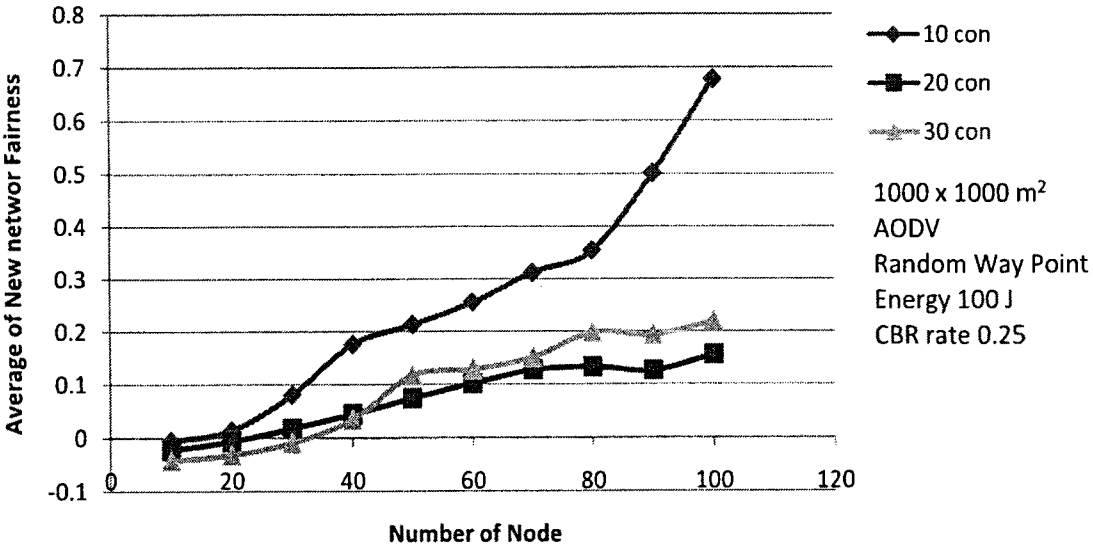
เมื่อมีการเริ่มต้นการสื่อสารบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ โหนดต้นทางจะเริ่มค้นหาเส้นทางการส่งข้อมูลโดยใช้เราติ้งโปรโตคอล เมื่อได้เส้นทางที่ต้องการแล้วโหนดจึงจะเริ่มส่งข้อมูลไปให้กับโหนดข้างเคียง และโหนดข้างเคียงก็จะส่งข้อมูลต่อไปให้กับโหนดข้างเคียงของตนเองต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งข้อมูลไปถึงโหนดปลายทาง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

สำหรับค่าความยุติธรรมในระดับโหนด โหนดสามารถค้นหาเส้นทางการส่งข้อมูลได้ โหนดจะได้รับประโยชน์จากการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย ทำให้โหนดอยู่ในกลุ่มที่มีค่าความ

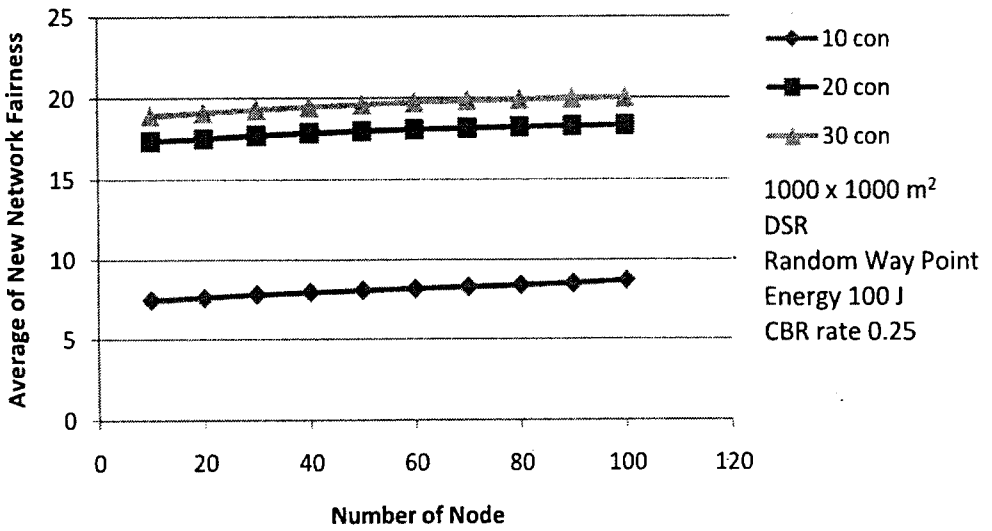
ยุติธรรมในระดับโหนดเป็นบวก และสำหรับโหนดอื่นๆ ทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูลให้ โหนดเหล่านี้จะอยู่ในกลุ่มของค่าความยุติธรรมในระดับโหนดเป็นลบ จากการที่มีโหนดที่ได้รับประโยชน์และเสียประโยชน์อยู่ในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างกลุ่มของโหนดที่ได้ประโยชน์และกลุ่มที่เสียประโยชน์ ซึ่งโหนดส่วนมากของเครือข่ายเป็นโหนดที่เสียประโยชน์ 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 ไม่ว่าจะเป็นจำนวนดโหนด คู่ของการสื่อสาร ปริมาณเพ็กเก็จที่ส่งผ่านเครือข่าย เป็นต้น สำหรับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความยุติธรรมเป็นอย่างมากคือเราติ้งโปรโตคอลและการโมบิลิตี้โมเดล เนื่องจากสองปัจจัยนี้ส่งผลต่อการเลือกโหนดที่จะทำหน้าที่ในการส่งต่อข้อมูล ซึ่งในการใช้งานจริงเราไม่สามารถควบคุมรูปแบบการเคลื่อนที่

ของโหนดได้ ดังนั้นถ้าเราต้องการให้เกิดความยุติธรรมขึ้นในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเรา จำเป็นต้องมีเราติ้งโปรโตคอลที่เลือกเส้นทางการส่งข้อมูลได้อย่างเป็นธรรม