

การควบคุมอัตราการส่งข้อมูล บนเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11 แบบตาข่าย
เพื่อจัดการสภาวะขาดแคลนและความไม่เท่าเทียมกัน

Transmission Rate Control in IEEE 802.11 Wireless Mesh Network
for Starvation and Unfairness Management

ชัชพล นุโยค¹, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง¹, อนันต์ ผลเพิ่ม^{1,2}

Chatchapol Nuyok¹, Aphirak Jansang¹, Anan Phonphoem^{1,2}

บทคัดย่อ

Wireless Mesh Network (WMN) เป็นหนึ่งในตัวเลือกที่ช่วยลดภาระค่าใช้จ่าย และเพิ่มความสะดวกรวดเร็วการติดตั้งให้บริการเครือข่าย แต่หากเครือข่ายนั้นมีปริมาณการส่งข้อมูลหรือมีผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมาก ก็จะทำให้เกิดการแย่งชิงการส่งข้อมูลกันในระหว่างทาง ทำให้ผู้ใช้บริการที่อยู่ไกลอาจส่งข้อมูลได้น้อยกว่าหรืออาจไม่สามารถแย่งชิงการส่งข้อมูลได้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบการควบคุมอัตราการส่งข้อมูล บนเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11 แบบตาข่าย เพื่อจัดการสภาวะขาดแคลนและความไม่เท่าเทียมกัน โดยการกำหนดอัตราการรับเข้าข้อมูล ซึ่งใช้ทั้ง Local rate control และ Flow learning จากผลการวิจัยพบว่า ระยะห่างระหว่างจุดติดตั้งจำนวน hop และจำนวนเส้นทางข้อมูลที่ไหลผ่าน เป็นตัวแปรสำคัญในการช่วยเพิ่มโอกาสในการส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้บริการที่อยู่ไกล รวมทั้งช่วยปรับอัตราการส่งข้อมูลของแต่ละโหนด ให้มีอัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสม ซึ่งสามารถช่วยลดปัญหาความไม่เท่าเทียมกันในการส่งข้อมูล และลดสภาวะความขาดแคลนได้

ABSTRACT

Wireless Mesh Network (WMN) is an interesting technology to reduce installation costs and time for providing network services. However, if the number of users or bandwidth requirement has been increased, each node has to compete for network resources. In this research, the transmission rate control in IEEE 802.11 WMN for starvation and unfairness management has been proposed. The mechanism defines the allowed rate for each user by using both Local rate control and Flow learning techniques. From the experiments, the distance between nodes, the number of hops, and number of flows are three important parameters for enhancing the sending opportunity of the far-away node and balancing throughput for all nodes. The results showed that all nodes in the system have equally likely fair throughput while no starvation node occurs.

Key Words: Wireless Mesh Network (WMN), Data Rate Control, Fairness, Starvation

E-mail address: anan.p@ku.ac.th

¹ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

²ผู้นิพนธ์ประสานงาน, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

²Corresponding author, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

คำนำ

เทคโนโลยีการสื่อสารในปัจจุบัน ให้ความสนใจเทคโนโลยีแบบไร้สายเป็นอย่างมาก เนื่องจากช่วยอำนวยความสะดวก และมีความรวดเร็วในการติดตั้งให้บริการ เช่น การให้บริการแบบโครงข่ายหลัก (Backbone), การให้บริการในเมือง (MAN), การให้บริการตามท้องถนน, การให้บริการภายในอาคาร, Sensor Network เป็นต้น Wireless Mesh Network (WMN) ถูกพัฒนาจากอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สาย ที่ส่งข้อมูลแบบจุดต่อจุด (Point to Point) และมีการส่งต่อกันมากกว่า 2 โหนด (Node) โดยอุปกรณ์เหล่านี้จะมีความสามารถในการเรียนรู้และเลือกเส้นทาง (Bahr, M., 2007) แต่ในการส่งข้อมูลต่อกันหลายๆโหนด (Multi-hop) อาจทำให้เกิดข้อมูลสูญหาย (Packet lost), ความหน่วงเวลา (Delay) และอัตราการรับส่งข้อมูล (Throughput) ลดน้อยลงตามจำนวน hop ที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่อัตราการส่งข้อมูลภายในโครงข่ายมีปริมาณการส่งข้อมูลมาก หรือมีข้อมูลคับคั่ง ซึ่งจะทำให้เกิดการแย่งชิง (Camp and Knightly, 2008) ภายในโครงข่าย และทำให้ผู้ใช้บริการบางรายอาจไม่มีโอกาสในการส่งข้อมูล หรือเรียกว่าการเกิดสภาวะขาดแคลน (Starvation)

ซึ่งในปัจจุบันมีนักวิจัยให้ความสนใจ และเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาการเกิดสภาวะขาดแคลนและความไม่เท่าเทียมกัน (Unfairness) (Bo and Matt, 2008; Lee and Kuo, 2001; Kamran *et al.*, 2012) ของ WMN อย่างแพร่หลาย งานวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นการแก้ปัญหาการเกิดสภาวะขาดแคลน (Starvation) และความไม่เท่าเทียมกัน (Unfairness) ด้วยแนวคิดในการกำหนดอัตราการรับข้อมูลเข้า ก่อนส่งข้อมูลต่อไปยัง WMN โดยพิจารณาจากระยะห่างระหว่างโหนด (Node) จำนวน hop และทิศทางของการส่งข้อมูลบน WMN เพื่อกำหนดอัตราการส่งข้อมูลอย่างเหมาะสม ซึ่งผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสามารถช่วยลดปัญหาการเกิดสภาวะขาดแคลนและความไม่เท่าเทียมกันภายในโครงข่ายได้

การทำงานและปัญหาของ Wireless Mesh Network

ในกระบวนการรับส่งข้อมูลของ WMN มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องการข้องกับประสิทธิภาพการทำงานอยู่ 3 ปัจจัยหลัก ดังนี้

1. ระยะห่างระหว่างโหนด

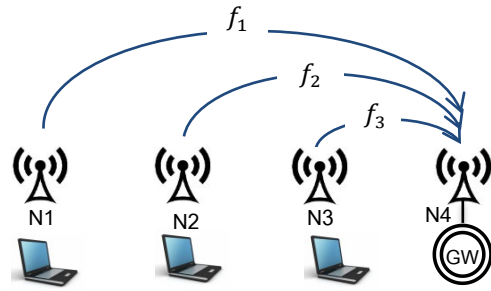
ในการติดตั้งโหนด ระยะที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลภายในโครงข่าย จากข้อมูลของ Huang *et al.* (2008) ที่ได้ออกแบบระยะห่างระหว่างโหนด ในการวางจุดติดตั้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่ง ซึ่งระยะการวางโหนดที่ใกล้กันจะได้ Throughput ที่มากขึ้น แต่หากใกล้เกินไป นอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองค่าอุปกรณ์ในการติดตั้ง ยังก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนกัน (Interference) ภายในโครงข่ายได้

2. การส่งข้อมูลแบบ Multi-hop

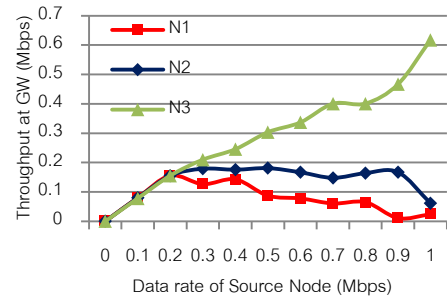
การส่งข้อมูลแบบ Multi-hop Wireless ตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ทำงานบนพื้นฐานของ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) (อนันต์, 2550) โดยเฉพาะโหนดที่อยู่ใกล้ Gateway จะมีโอกาสในการรับส่งข้อมูลมากกว่าโหนดที่อยู่ไกล อันเนื่องมาจากกระบวนการในการแย่งชิง

ช่องสัญญาณ (Contention) และเป็นผู้รับข้อมูลที่ถูกส่งต่อ (Forwarding) จากโหนดอื่นๆ (Camp and Knightly, 2008) ส่งผลให้อัตราการรับส่งข้อมูล (Throughput) ของโหนดที่อยู่ไกลลดลงตามจำนวน hop ที่เพิ่มขึ้น

จากการทดสอบเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ทำการจำลองการทำงาน เพื่อศึกษาผลกระทบการส่งข้อมูลแบบ Multi-hop ซึ่งมีการเชื่อมต่อตาม Figure 1 (a) และผลการทดลองตาม Figure 1 (b) จากการส่งข้อมูลพร้อมกันของทั้ง 3 โหนดไปยัง Gateway พบว่าอัตราการส่งของโหนด N1 และ N2 มีอัตราการส่งที่ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเทียบกับ N3 ที่มีโอกาสในการช่วงชิงเข้าใช้สื่อได้มากกว่า เนื่องจากอยู่ใกล้ Gateway มากกว่า



(a) WMN Topology



(b) Throughput at Gateway

Figure 1 Preliminary study for Multi-hop WMN effect

3. ลักษณะการไหลของข้อมูล (Data Flow)

WMN มีการเชื่อมต่อกันของโหนด โดยข้อมูลของบางโหนดต้องมีการส่งผ่านโหนดอื่นๆที่เชื่อมต่อ ซึ่งหากมีโหนดที่มีการเชื่อมต่อมาก ก็จะมีปริมาณข้อมูลจากโหนดอื่นส่งผ่านเป็นปริมาณมากด้วย ส่งผลให้ความสามารถในการส่งข้อมูลของตนเองลดน้อยลง ดังนั้นในการกำหนดอัตราการส่งที่แต่ละโหนดควรพิจารณาจำนวน Flow ที่ไหลผ่าน เพื่อช่วยควบคุมอัตราการส่ง Kamran *et al.* (2012) ได้ใช้วิธีการกำหนดอัตราการส่งแบบรวมศูนย์โดยทำการควบคุมที่ Gateway และพิจารณาจากความสามารถในการส่งของข้อมูลแบบ End-to-End ของ Flow นั้นๆ ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาสภาวะขาดแคลนและความไม่เท่าเทียมกันได้ แต่การส่งข้อมูลระหว่างภายในเครือข่ายก็จะมีประสิทธิภาพที่ดีพอ

อุปกรณ์และวิธี

ผู้วิจัยได้เสนอความคิดในการควบคุมการส่งข้อมูลทั้งระบบเป็นแบบกระจาย (Distributed) โดยออกแบบให้มีการควบคุมอัตราการรับเข้าข้อมูลของแต่ละโหนด (Local Node) โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ 3 ตัวคือ จำนวน hop จากต้นทางถึงปลายทาง จำนวน Flow ที่มีการไหลผ่าน และระยะห่างระหว่างโหนด ซึ่งจะทำให้การพิจารณาอัตราการรับเข้าข้อมูลของแต่ละโหนดทุกโหนด ตลอดเส้นทางของการส่งข้อมูล โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

1. การเรียนรู้จำนวนเส้นทาง (Flow Learning)

งานวิจัยนี้ใช้ OLSR (Optimized Link State Routing Protocol) ในการเรียนรู้เส้นทาง โดยแต่ละโหนด N_k จะมีการตรวจสอบตารางเส้นทาง (Routing Table) หากพบว่าเป็นผู้ส่งที่มีปลายทางเดียวกันแต่ต้นทาง

ต่างกัน เมื่อรับ RTS (Request To Send) จาก N_{k-1} จะทำการแนบข้อมูลจำนวน Flow (F_Q) ไปพร้อมกับการส่ง CTS (Clear To Send)

2. การคำนวณอัตราการรับเข้าข้อมูลของผู้ใช้งานที่เชื่อมต่อกับโหนด

ในการกำหนดอัตราการรับเข้าข้อมูล (R) ที่โหนดแต่ละโหนด (N_k) ของผู้ใช้งาน (i) ที่อยู่ภายในโหนดนั้นๆ จะนำพารามิเตอร์ทั้งสามตัว มาทำการคำนวณตามสมการดังนี้

$$R_k^i = \frac{C_{max}}{\frac{d}{100} * H * (F + F_k)}$$

โดยที่

$$H = \begin{cases} h & ; h < 4 \\ 4 & ; h \geq 4 \end{cases}$$

$$F = \begin{cases} 0 & ; F_Q = F_k \\ F_Q & ; F_Q > F_k \end{cases}$$

R_k^i คือ อัตราการรับข้อมูลของผู้ใช้งานเครือข่าย (local user) แต่ละคน (i) ที่เชื่อมต่อกับ N_k (Mbps)

i คือ จำนวน Flow ของผู้ใช้งานภายในโหนดนั้นๆ (งานวิจัยนี้กำหนดให้ 1 โหนด มีจำนวน 1 Flow)

C_{max} คือ ค่า Throughput สูงสุดที่ระหว่าง N_k ไปยัง N_{k-1} ที่เป็นเส้นทางส่งผ่านข้อมูล (Mbps)

d คือ ระยะห่างระหว่าง N_k ไปยัง N_{k-1} ที่เป็นเส้นทางส่งผ่านข้อมูล (เมตร)

h คือ จำนวน hop ในการส่งต่อ จาก N_k ไปยังโหนดปลายทาง (ในที่นี้คือ Gateway, N_0)

F_Q คือ จำนวน Flow ของโหนดอื่นที่ต้องส่งผ่าน N_k

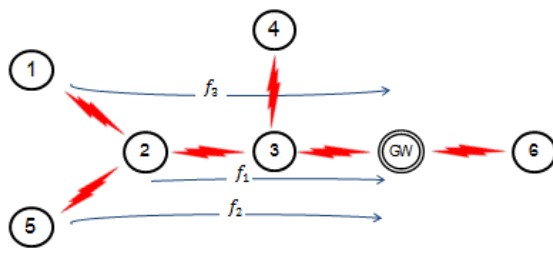
F_k คือ จำนวน local Flow ($\sum i$) ที่เชื่อมต่อกับ N_k

ผลการทดลอง

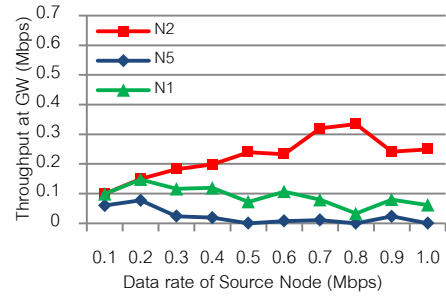
ในงานวิจัยนี้ใช้การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม Network Simulator NS3 Version 3.16 (The National Science Foundation and the Planète group, 2012) โดยทำการกำหนดค่าพื้นฐานการทำงานของแต่ละโหนด ให้มีรูปแบบเดียวกันคือ มีเสาอากาศจำนวน 1 ชุด ทำงานบนย่านความถี่ 2.4 GHz มีอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดที่ 1 Mbps (ซึ่งตั้งค่านับเลขขึ้นเป็นแบบ DSSS) โดยมีระยะห่างระหว่างโหนดที่ 125 เมตร ทำการทดสอบการส่งข้อมูลโดยสร้าง traffic แบบ UDP จากโหนดต้นทางสู่โหนดปลายทาง (Gateway)

ในการทดสอบ จะทำการส่งข้อมูล UDP เริ่มต้นที่ 0.1 Mbps และทำการเพิ่มค่าขึ้นครั้งละ 100 kbps จนถึงค่า 1 Mbps แต่ละครั้งใช้เวลาในการทดสอบ 50 วินาที และทำการวัดผล Throughput ที่ Gateway ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาประสิทธิภาพการส่งข้อมูลเมื่อมีรูปแบบการส่งข้อมูลของโหนดที่ต่างกัน แยกเป็น 2 รูปแบบหลัก คือ รูปแบบ A1 – A3 (เมื่อมีการส่งผ่านข้อมูลมายังโหนดร่วม) และรูปแบบ B (เมื่อมีบางโหนดส่งตรงโดยไม่ผ่านโหนดอื่น) ดัง Figure 2-5

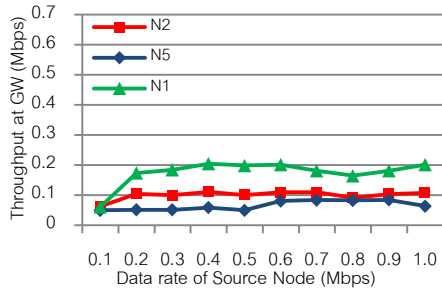
รูปแบบ A1 : การส่งระยะไกล (3 hop) จำนวน 2 โหนด และการส่งระยะใกล้ (2 hop) จำนวน 1 โหนด



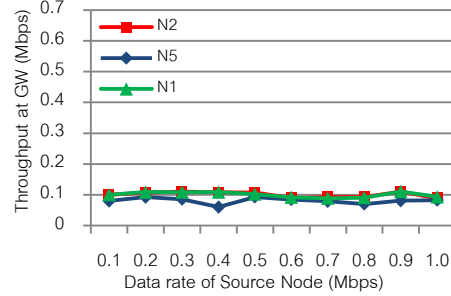
(a)



(b)



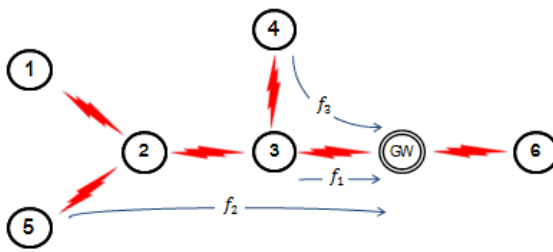
(c)



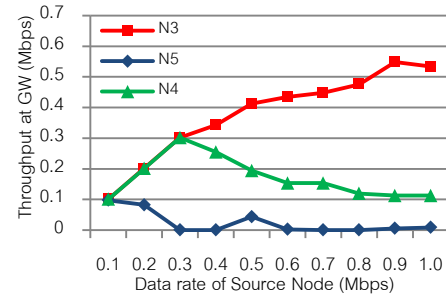
(d)

Figure 2 Throughput Comparison of Topology A1 (a) Network Topology, (b) Without Control, (c) With Local rate control, (d) Our proposed (Local rate control + Flow Learning)

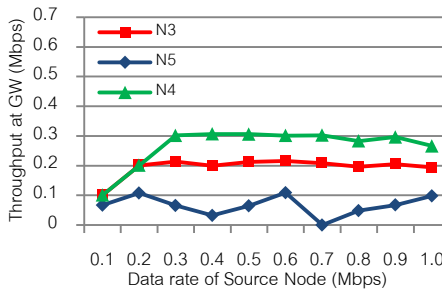
รูปแบบ A2 : การส่งที่มีจำนวน hop ไม่เท่ากัน (1, 2, และ 3 hop)



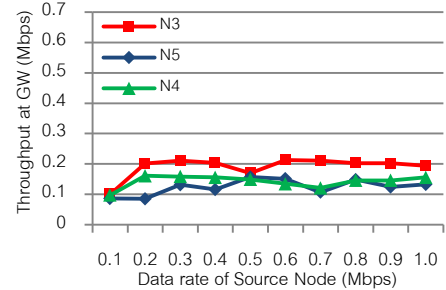
(a)



(b)



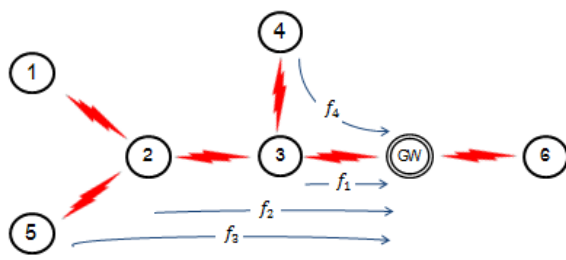
(c)



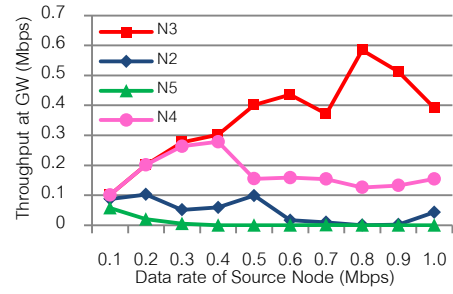
(d)

Figure 3 Throughput Comparison of Topology A2 (a) Network Topology, (b) Without Control, (c) With Local rate control, (d) Our proposed (Local rate control + Flow Learning)

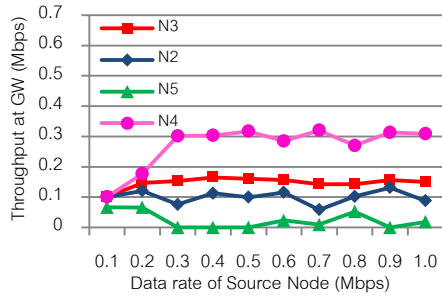
รูปแบบ A3 : การส่งที่ระยะไม่เท่ากัน และมีจำนวนโหนดที่ส่งข้อมูลมากขึ้น



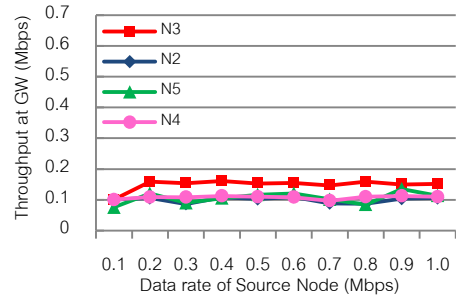
(a)



(b)



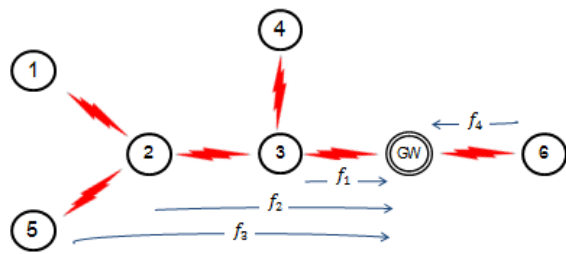
(c)



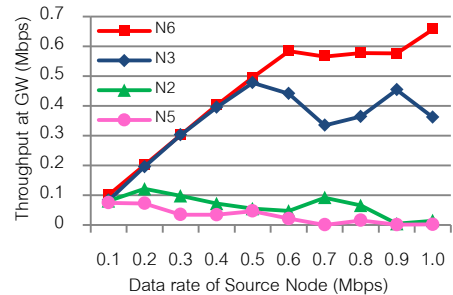
(d)

Figure 4 Throughput Comparison of Topology A3 (a) Network Topology, (b) Without Control, (c) With Local rate control, (d) Our proposed (Local rate control + Flow Learning)

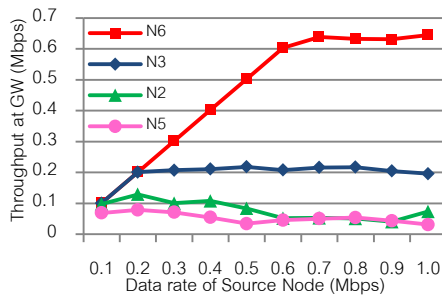
รูปแบบ B : เมื่อมีโหนดอิสระ (ไม่ส่งผ่านโหนดอื่น) ร่วมด้วย



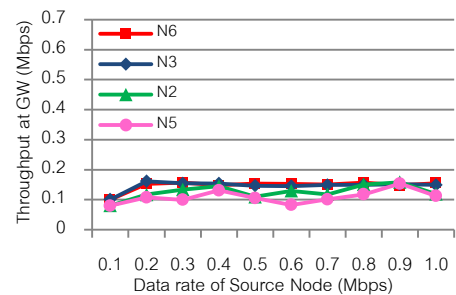
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 5 Throughput Comparison of Topology B (a) Network Topology, (b) Without Control, (c) With Local rate control, (d) Our proposed (Local rate control + Flow Learning)

อธิบายผลการทดลอง

ในการทดลองรูปแบบ A1, A2 และ A3 (Figure 2 – 4) เป็นการทดสอบการส่งข้อมูลผ่านโหนดร่วม โดยรูปแบบ A1 มีจำนวน hop ที่อยู่ไกลเท่ากัน 3 hop จำนวน 2 โหนด และ 2 hop จำนวน 1 โหนด, รูปแบบ A2 มีจำนวน hop ที่อยู่ไกลไม่เท่ากัน 1, 2 และ 3 hop จำนวนอย่างละ 1 โหนด, รูปแบบ A3 เป็นรูปแบบผสมที่มีจำนวน hop เท่ากัน 2 hop จำนวน 2 โหนด และไม่เท่ากัน 1 และ 3 hop จำนวนอย่างละ 1 โหนด จากการทดลองพบว่าในสภาวะปกติที่ไม่มี การควบคุม (Figure 2 (b), 3 (b), และ 4 (b)) โหนดที่อยู่ไกลจะส่งข้อมูลได้น้อยหรือบางครั้งไม่สามารถส่งข้อมูลได้เลยซึ่งเกิดสภาวะขาดแคลน ในขณะที่บางโหนดสามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งที่สูงมากซึ่งเป็นปัญหาความไม่เท่าเทียม

เมื่อมีการควบคุมการส่งข้อมูลที่พิจารณาเฉพาะ Local rate control เพียงอย่างเดียว (Figure 2 (c), 3 (c), และ 4 (c)) แม้ว่าความไม่เท่าเทียมในการส่งจะมีลักษณะที่ดีขึ้น แต่เมื่อพิจารณาที่โหนดที่มีจำนวน hop ที่เท่ากันเช่นในรูปแบบ A1 ตามรูป Figure 2 (c) แม้ว่าโหนด N1 และ N5 จะมีจำนวน hop ที่เท่ากัน แต่ความสามารถในการแย่งชิงการส่งข้อมูลไม่เท่ากันทำให้ N1 สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่า N5 เกือบ 2 เท่า และเมื่อพิจารณาจำนวน hop ที่ต่างกัน ดังในรูปแบบ A2 ตามรูป Figure 3(c) พบว่าโหนดที่มีจำนวน hop มากกว่า (N5) จะส่งข้อมูลได้น้อยกว่าโหนดที่อยู่ใกล้ Gateway มากกว่า (N3 และ N4) อย่างเห็นได้ชัด และเมื่อพิจารณา รูปแบบ A3 ตามรูป Figure 4 (c) ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน

ในขณะที่รูปแบบการส่งผ่านข้อมูลที่มีโหนดอิสระร่วมอยู่ด้วย ปัญหาความไม่เท่าเทียมกันก็จะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังรูปแบบ B ตามรูป Figure 5(c) พบว่าโหนด N6 ที่เป็นโหนดอิสระ สามารถส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราการส่งที่สูงมากเมื่อเทียบกับโหนดอื่นที่เหลือ

เมื่อพิจารณารูปแบบการส่งตาม A1, A2, และ A3 ตามรูป Figure 2 (d), 3 (d), และ 4 (d) ที่มีการส่งแบบมีโหนดร่วม พบว่าเมื่อมีการเพิ่มการควบคุมด้วย Flow Learning ทุกโหนดจะมีการปรับอัตราการรับเข้าข้อมูล ส่งผลให้แต่ละโหนดมีปริมาณการส่งที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณารูปแบบการส่งที่มีโหนดอิสระตามรูปแบบ B ก็พบว่าทุกโหนด รวมถึงโหนดอิสระก็มีการปรับอัตราการรับเข้า ส่งผลให้ทุกโหนดมีอัตราการส่งข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน ดังรูป Figure 5(d)

สรุปและวิจารณ์

จากการศึกษาการส่งข้อมูลในเครือข่ายแบบ WMN พบว่าหากไม่มีการควบคุมอัตราการส่งข้อมูลของโหนดแต่ละโหนด จะทำให้โหนดบางโหนดที่มีความสามารถในการแย่งชิงสื่อสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่า ดังผลการทดลองพบว่าโหนดที่อยู่ไกล (จำนวน hop มาก) จะส่งข้อมูลได้น้อยหรืออาจเกิดสภาวะขาดแคลนเป็นบางช่วง ในขณะที่โหนดที่อยู่ใกล้ (จำนวน hop น้อย) จะส่งข้อมูลได้มากกว่า ก่อให้เกิดความไม่เท่าเทียมกันในการส่งบนโครงข่าย แม้ว่าจะมีความพยายามในการควบคุมโดยใช้ Local rate control ก็สามารถปรับความเท่าเทียมกันของการส่งข้อมูลได้ในระดับหนึ่ง แต่ก็ไม่อาจแก้ปัญหาได้ในหลายกรณีเช่น โหนดอิสระเป็นต้น แต่จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้พบว่า การเพิ่มพารามิเตอร์ต่างๆ โดยเฉพาะการเพิ่มคุณสมบัติของ Flow Learning ทำให้ทุกโหนดในระบบเกิดความเท่าเทียมกันโดยที่ไม่มีโหนดใดเกิดสภาวะขาดแคลน ในส่วนของค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นนั้นจะเป็นในส่วนของ การเพิ่มหน่วยความจำที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลจำนวน flow ที่ไหลผ่าน และเพิ่มภาระการคำนวณที่แต่ละโหนด โดยข้อมูลที่ส่งเพิ่มในแต่ละโหนดจะใช้เป็นการแนบข้อมูล (ไม่เกิน 6 byte) ไปกับการตอบ

กลับ (CTS) และส่ง notice packet ขนาดเล็ก ไปยังโหนดที่กำลังเชื่อมต่อ ซึ่งมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบปริมาณการส่งข้อมูลทั้งหมด อย่างไรก็ตามในอนาคตควรมีการศึกษาพารามิเตอร์อื่นและการตั้งค่า เพื่อปรับแต่งให้แต่ละโหนดให้สามารถส่งข้อมูลได้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Bahr, M. 2007. Update on the hybrid wireless mesh protocol of IEEE 802.11s. **Mobile Adhoc and Sensor Systems** (2007) : Accession no.9859942
- Bo, W. and M.K. Matt. 2008. QoS-aware fair rate allocation in wireless mesh networks. **Computer Communications** (2008) vol. 31:1276–1289
- Camp, J. and E.W. Knightly. 2008. The IEEE 802.11s extended service set mesh networking standard. **Communications Magazine** (2008) vol. 46 :120-126. Accession no.10144688
- Huang, J.H., L.C. Wang, C.J. Chang and Senior Member. 2008. QoS provisioning in a scalable wireless mesh network for intelligent transportation systems. **IEEE Transactions on vehicular technology** vol. 57, no. 5, SEPTEMBER, 2008
- Kamran, J.S., A.S.W. Paul and K. Martim. 2012. Mechanisms for centralized flow rate control in 802.11-based wireless mesh network. **Journal Computer Networks** : 884-901
- Lee, J.F. and W.H. Kuo. 2010. Fairness provisioning in multi-hop wireless backhaul networks. **Computer Communications** (2010) vol. 33 : 1767–1772
- The National Science Foundation and the Planète group. **Network Simulator**. Available Source: <http://www.nsnam.org/ns-3-16>, December 21, 2012
- อนันต์ ผลเพิ่ม. 2550. แลนไร้สาย. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ