

ภาคผนวก

ผลงานทางวิชาการ



THE 10TH NATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING AND INFORMATION TECHNOLOGY

PROCEEDINGS OF NCCIT 2014

THE 10TH NATIONAL CONFERENCE ON COMPUTING AND INFORMATION TECHNOLOGY

8TH-9TH MAY 2014

ANGSANA LAGUNA PHUKET, THAILAND

WWW.NCCIT.NET

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY NORTH BANGKOK

บทความวิจัย

การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
ครั้งที่ 10

8-9 พฤษภาคม 2557

โรงแรมอังกูรา ลากูนา ภูเก็ต



คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

WWW.IT.KMUTNB.AC.TH

เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย IEEE802.15.4 แบบหลายเกตเวย์ Multiple Gateways System for Wireless Sensor Network IEEE802.15.4

ชนะเดช แยมคลี (Chanadej Yamcle)¹ และชัยพร เขมะภักตะพันธ์ (Chaiyaporn Khemapatapan)²

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

¹y_chanadej@hotmail.com, ²chaiyaporn@dpu.ac.th

บทคัดย่อ

การทำงานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายโดยทั่วไปจะมีการส่งข้อมูลที่ได้จากโหนดเซนเซอร์ไปยังโหนดโคออดิเนเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเกตเวย์เชื่อมต่อกับเครือข่ายภายนอกที่มีอยู่เพียง 1 โหนด เพื่อส่งข้อมูลออกจากเครือข่ายไปยังปลายทางที่ต้องการ อย่างไรก็ตามเมื่อโหนดที่เป็นเกตเวย์เกิดการเสียหายจะทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลออกนอกเครือข่ายนั้นได้ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการเพิ่มโหนดที่เป็นเกตเวย์จำนวน 2 โหนด และประยุกต์โปรโตคอลการค้นหาเส้นทางแบบ AODV กับเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE802.15.4 ร่วมกับการเปลี่ยนเกตเวย์ที่ใช้เป็นโหนดปลายทางในกรณีที่โหนดที่เป็นเกตเวย์โหนดดั้งเดิมไม่สามารถทำงานได้

ผลการทดสอบโดยการจำลองการทำงานผ่านโปรแกรม Network Simulator 2 (NS-2) พบว่าค่า Throughput ของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายที่เสนอนี้น่าสูงขึ้นเฉลี่ย 1.35 Kbps และค่า Packet Delivery Ratio (PDR) มีค่าสูงขึ้นเฉลี่ย 5.39% เมื่อเทียบกับเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายแบบดั้งเดิม

คำสำคัญ: เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย AODV หลายเกตเวย์

Abstract

The operation of wireless sensor network (WSN) is normally forwarding data from sensor node to gateway node or coordination node which connects to another network. The gateway node will subsequently transfer the data to the specific destination. When the gateway node has been damaged, the data cannot be sent out. Thus, this research presents a method by adding 2 gateway nodes and applying the routing protocol AODV over

IEEE802.15.4 WSN including gateway changing when a default gateway node comes to shutdown.

The results from the simulation using NS2 program found that throughput and Packet Delivery Ratio (PDR) of the proposed WSN increase averagely 1.35 Kbps and 5.39%, respectively, in comparison with conventional WSN.

Keyword: AODV, Wireless Sensor Network, Multiple Gateway, IEEE802.15.4

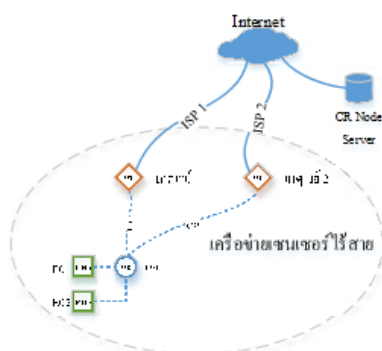
1. บทนำ

ในปัจจุบันเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายหรือ WSN ถูกนำมาใช้งานจริงในภาคสนามอย่างแพร่หลายทั่วโลก ในประเทศไทย มีการนำมาใช้ในงานด้านการสำรวจทางธรณีวิทยาเช่น การตรวจจับการเคลื่อนดินถล่ม งานด้านการทหาร งานด้านการเกษตร เช่นการตรวจวัด อุณหภูมิ ความชื้นในดิน [1], [2] ในการนำเอาตัวเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ก็เพื่อการเก็บข้อมูลที่ต้องการที่หน้างาน และส่งข้อมูลที่ได้เข้ามาที่ส่วนกลางเพื่อประมวลผล ซึ่งโดยโครงสร้างของ WSN จะมีการส่งข้อมูลจากโหนดเซนเซอร์มายังโหนดที่เป็นเกตเวย์ผ่านโหนดเรเลเตอร์ ซึ่งโหนดปลายทางที่เป็นโหนดโคออดิเนเตอร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นเกตเวย์ จะมีอยู่เพียงแค่โหนดเดียวภายในเครือข่าย [3] ดังนั้นเมื่อโหนดเกตเวย์ได้รับความเสียหายก็จะไม่สามารถรับและส่งข้อมูลที่ร้อง การออกนอกเครือข่ายได้ จนทำให้ข้อมูลเกิดการสูญหายสาเหตุเนื่องจากปัญหาเรื่องพลังงานและขนาดของหน่วยความจำที่มีขนาดจำกัด

ถึงแม้ว่าจะมีการแก้ปัญหาโดยการเพิ่มขนาดหน่วยความจำของตัวโหนดที่เป็นเกตเวย์ให้มีขนาดมากขึ้น เพื่อเพิ่มการ

รองรับข้อมูลจากตัวโหนดเซนเซอร์ที่ต้องส่งเข้ามาที่ตัวโหนดที่เป็นเกตเวย์ ในขณะที่ไม่สามารถส่งข้อมูลออกนอกเครือข่ายได้ชั่วคราว แต่ก็ไม่สามารถแก้ปัญหาในกรณีที่โหนดเกิดความเสียหายจนไม่สามารถส่งและรับข้อมูลได้แบบถาวร

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ และวิธีการในการเพิ่มโหนดที่เป็นเกตเวย์จาก 1 โหนด เป็น 2 โหนด ซึ่งในเบื้องต้นจะทำการเพิ่มจำนวนโหนดที่เป็นเกตเวย์แค่ 1 โหนด เนื่องจากสามารถแสดงให้เห็นถึงกรณีที่เกิด SPOF ที่โหนดได้ในทอพอโลยีแบบเดียวกัน ซึ่งโหนดที่เพิ่มจะอยู่ไกลกว่าโหนดเดิมและทดสอบโดยการส่งข้อมูลแบบ Constant Bit Rate (CBR) ผ่านโปรโตคอล Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) โดยจะทำการเปรียบเทียบปริมาณ Throughput ระหว่างโหนดที่เป็นเกตเวย์จาก 1 และ 2 โหนด ในกรณีที่โหนดที่เป็นเกตเวย์ 1 หยุดทำงาน



ภาพที่ 1: เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายแบบ 2 เกตเวย์

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

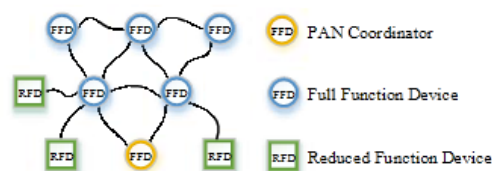
2.1 เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย IEEE802.15.4

WSN มีหลายสถาบันที่ช่วยกันพัฒนา ซึ่ง Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) เป็นสถาบันที่มุ่งเน้นที่ชั้นที่ 1 กายภาพ (Physical layer) และชั้นที่ 2 ชั้นสื่อสารข้อมูล (Data link) ส่วน Internet Engineering Task Force (IETF) จะมุ่งเน้นไปที่ชั้นที่ 3 ชั้นเครือข่าย (Network layer) และชั้นที่สูงกว่าขึ้นไป ตามการจัดเรียงใน OSI model

โครงสร้างของ WSN จะมีโหนดที่เป็นเกตเวย์ ซึ่งทำหน้าที่ระบุช่องทางทางการสื่อสารภายในเครือข่ายระหว่างโหนดในเครือข่าย เพื่อไม่ทับซ้อนกัน และป้องกันการกวนกันของคลื่น

ความถี่ (Interference) โดยการสแกนหาระดับของพลังงานแต่ละช่องที่รับได้ ซึ่งโหนดใดๆ ที่อยู่ในช่วงสัญญาณเดียวกันกับโหนดเกตเวย์ และต้องการจะเชื่อมต่อกับเครือข่าย เพื่อส่งข้อมูลไปยังตัวโหนดเกตเวย์ โหนดเหล่านั้นก็จะทำการส่งสัญญาณแจ้งเตือนออกมาร้องขอ (Beacon request) เพื่อขอเข้าร่วมเครือข่าย ซึ่งจะมีเพียงโหนดที่เป็นเกตเวย์เท่านั้นที่จะตอบสนองต่อการร้องขอเหล่านี้ได้

WSN จะประกอบไปด้วยโหนดต่างๆ จำนวนมาก แต่สามารถแบ่งออกเป็นสองแบบหลักคือ โหนดที่มีฟังก์ชันการทำงานแบบเต็ม Full-function device (FFD) และโหนดที่ถูกตัดฟังก์ชันที่ไม่จำเป็นออก Reduced-function device (RFD) ซึ่งในเครือข่ายจะต้องประกอบไปด้วย FFD อย่างน้อย 1 ตัวเพื่อทำหน้าที่เป็น PAN coordinator โดยตัวโหนดที่เป็น FFD จะสามารถทำหน้าที่เป็นโหนดเรดเดอร์ และโหนดที่เป็นเกตเวย์ โดยโหนดเรดเดอร์จะทำหน้าที่ในการจัดหาเส้นทางให้กับโหนดต่างๆ ที่ต้องการส่งข้อมูลไปยังโหนดที่เป็นเกตเวย์ โดยโหนดนี้จะทำหน้าที่ในการจัดการเครือข่าย และสามารถทำหน้าที่เป็นเกตเวย์ โดยการเพิ่มส่วนของการ์ดติดกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เพื่อนำข้อมูลที่ได้ใช้ และโหนดประเภท RFD จะทำหน้าที่เป็นโหนดเซนเซอร์ ซึ่งจะเก็บข้อมูลจากตัวเซนเซอร์ต่างๆ ที่ทำงาน เช่น อุณหภูมิ จากนั้นจะส่งข้อมูลไปยังโหนดที่เป็นเกตเวย์ผ่านทางโหนดเรดเดอร์



ภาพที่ 2: โครงสร้างของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย

2.2 Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV)

AODV[4] เป็นโปรโตคอลเส้นทางตามมาตรฐาน RFC3561 ที่ใช้ทรัพยากรในการประมวลผล และหน่วยความจำน้อย จึงเหมาะกับ WSN ที่ต้องการเน้นเรื่องประหยัดพลังงาน AODV ใช้หลักการแบบ distance vector ของ Bellman-Ford ในการสร้างเส้นทาง และเป็นโปรโตคอลแบบ On-Demand ซึ่งจะท่า

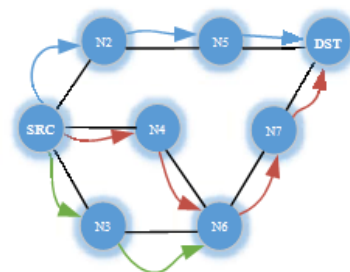
การสร้างเส้นทางเมื่อต้องการส่งข้อมูล ทำให้ลดการ Broadcast RREQ ได้ ตัวโปรโตคอล AODV จะพยายามทำให้โหนดนั้นๆ ได้รับเส้นทางโดยเร็วที่สุดเมื่อมีการกำหนดโหนดปลายทางใหม่ โดยอาศัยกระบวนการปรับปรุง และตรวจสอบเส้นทาง ที่ไปยังโหนดข้างเคียงว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ หรือเมื่อโครงสร้างเครือข่ายเปลี่ยนแปลง โดยให้โหนดนั้นๆ ยกเลิกการใช้เส้นทางที่ไม่สามารถใช้งานได้

โปรโตคอล AODV ประกอบไปด้วย Message ต่างๆ คือ Route Request (RREQ) Route Replies (RREP) Route Errors (RERR) เมื่อใดที่โหนดต้นทางต้องการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง โหนดต้นทางจะ Broadcasts Message RREQ เพื่อค้นหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทางนั้น และเส้นทางจะถูกสร้างขึ้นเมื่อ Message RREQ ไปถึงยังโหนดปลายทาง หรือในโหนดระหว่างเส้นทางนั้นมีเส้นทางที่สามารถไปยังโหนดปลายทาง อยู่ในตารางเส้นทาง โหนดนั้นก็จะส่งส่ง Message RREP กลับไปยังโหนดต้นทางโดยวิธีการ Unicast

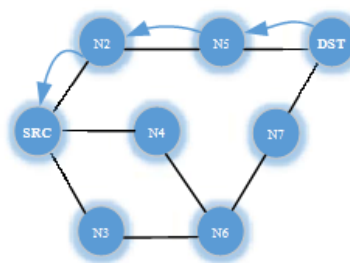
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Xuan He, Yuanchen Ma และ Mika Mizutani ได้นำเสนอ Efficient Multiple Gateway System for WSN Management in BEMS [5] ซึ่งเป็นการเพิ่มโหนดโคออดิเนเตอร์ย่อยๆ ขึ้นมา แต่โหนดเหล่านี้ถ้าต้องการส่งข้อมูลออกนอกเครือข่าย จะต้องส่งผ่านโหนดที่เป็นเกตเวย์หลัก ดังนั้นเมื่อโหนดโคออดิเนเตอร์หลักได้รับความเสียหาย ทำให้เกิด Single of Failure (SPOF) ข้อมูลก็จะไม่สามารถส่งออกนอกเครือข่ายได้เช่นเดิม

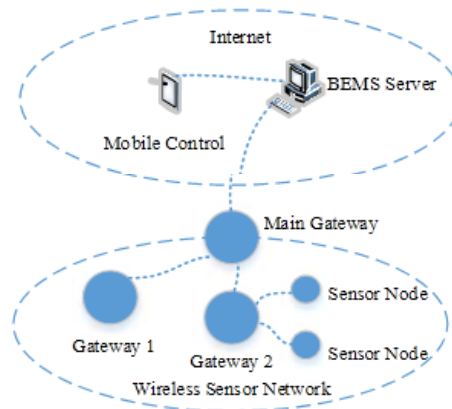
งานวิจัยของ Zahia Bidai, Hafid Haffaf, Moufida Maimour ได้นำเสนอ Node disjoint multi-path routing for zigbee cluster-tree Wireless Sensor Networks [6] โดยต้องการส่งข้อมูลที่ขนาดใหญ่ เช่น ภาพเคลื่อนไหว ผ่านทางหลายเส้นทางไปยังโหนดปลายทางโคออดิเนเตอร์เดียว ปัญหาที่เกิดขึ้นคือมีการชนกันของข้อมูลที่โหนดปลายทาง และมีการกวนกันของข้อมูลระหว่างเส้นทาง จึงไม่สามารถเพิ่มปริมาณ Throughput ได้มาก และไม่ส่งข้อมูลออกนอกเครือข่ายไปใช้งานได้ ในกรณีนี้ที่โหนดที่เป็นเกตเวย์เสีย จึงทำให้เกิด SPOF ในเครือข่ายได้



ภาพที่ 3: โหนดต้นทางกระจาย RREQ Message



ภาพที่ 4: โหนดปลายทางตอบ RREP Message



ภาพที่ 5: Efficient Multiple Gateway System for WSN Management in BEMS

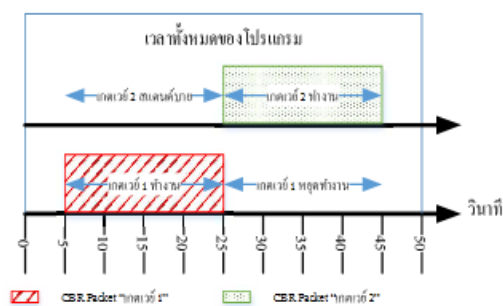
3. วิธีการดำเนินงาน

การจำลองการทำงานของระบบผ่าน โปรแกรม Network Simulator (NS-2) โดยมีการสร้างทอพอโลยีที่ประกอบด้วย โหนดต้นทางจำนวน 1 โหนด และโหนดปลายทางจำนวน 1 และ 2 โหนด โดยมีการกำหนดช่วงเวลาการทำงานของเกตเวย์

ดังภาพที่ 5 และทำการส่งข้อมูล CBR ที่มีจำนวนต่างๆ คือ 6000, 7000, 8000, 9000, 10000 packets เพื่อตรวจวัดค่า Throughput และค่า Packets Delivery Ratio (PDR) ของเครือข่าย ในกระบวนการจำลองการทำงานจะแบ่งเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 จำลองการทำงานในกรณีที่มี 1 เกตเวย์ ทำงานเป็นระยะเวลา 50 วินาที โดยวินาทีที่ 5 จะเริ่มส่งข้อมูล CBR เข้าไปในโหนดต้นทาง R0 และกำหนดโหนดปลายทางเป็น R8 เมื่อเวลาผ่านไป 20 วินาที คือวินาทีที่ 25 กำหนดให้โหนดปลายทาง R8 หยุดทำงานจนกระทั่งถึงวินาทีที่ 45 รวมเป็นระยะเวลา 40 วินาที

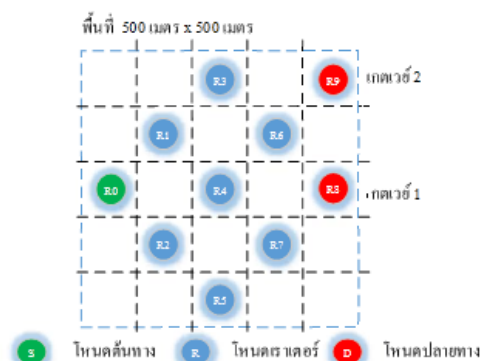
ส่วนที่ 2 จำลองการทำงานในกรณีที่มี 2 เกตเวย์ ทำงานเป็นระยะเวลา 50 วินาที โดยวินาทีที่ 5 จะเริ่มส่งข้อมูล CBR เข้าไปในโหนดต้นทาง R0 และกำหนดโหนดปลายทางเป็น R8 เมื่อเวลาผ่านไป 20 วินาที คือวินาทีที่ 25 กำหนดให้โหนดปลายทาง R8 หยุดทำงาน ในขณะที่โหนดที่เป็นเกตเวย์ 2 จะเริ่มทำงานแทนเมื่อรู้ว่าโหนดที่เป็นเกตเวย์ 1 หยุดทำงาน ซึ่งตัวโหนดที่เป็นเกตเวย์ 2 จะทำงานจนกระทั่งถึงวินาทีที่ 45 เป็นระยะเวลา 20 วินาที รวมเวลาในการจำลองทั้งหมด 40 วินาที ซึ่งแบ่งเป็นโหนดที่เป็นเกตเวย์ 1 ทำงาน 20 วินาที และโหนดที่เป็นเกตเวย์ 2 ทำงาน 20 วินาที



ภาพที่ 6: ช่วงเวลาการทำงานของเกตเวย์



ภาพที่ 7: ทอพอโลยีแบบ 1 เกตเวย์



ภาพที่ 8: ทอพอโลยีแบบ 2 เกตเวย์

การจำลองการทำงานจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบดังนี้

จำนวนโหนด (1 เกตเวย์)	9	โหนด
จำนวนโหนด (2 เกตเวย์)	10	โหนด
ชนิดข้อมูลที่ส่ง	Constant Bit Rate (CBR)	
รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น	Two Ray Ground Model	
ขนาดข้อมูลที่ส่ง	100	ไบต์
ขนาดทอพอโลยี	500 เมตร x 500 เมตร	
โปรโตคอลระดับ MAC	IEEE 802.15.4	
โหนดต้นทาง	1	โหนด
โหนดปลายทาง (1 เกตเวย์)	1	โหนด
โหนดปลายทาง (2 เกตเวย์)	1	โหนด
ระยะเวลาในการจำลอง	40	วินาที
โปรโตคอลเส้นทาง	AODV	

หลังจากจำลองการทำงานของ WSN ทั้ง 2 แบบ แล้วจะได้ข้อมูลเป็น trace ไฟล์ ซึ่งบันทึกค่าเหตุการณ์ต่างๆ ไว้ที่เวลาต่างๆ โดยจะนำข้อมูลที่ได้เหล่านี้มาหาค่าเฉลี่ย Throughput และค่า Packets Delivery Ratio (PDR) ของเครือข่ายจากชุดโค้ด (Pseudo Code) ดังนี้

```

1 ALGORITHM THROUGHPUT (SOURCE_CBR, DESTINATION_CBR, TIME)
2 INPUT SOURCE_CBR      # CBR_PACKET AT SOURCE NODE
3 INPUT DESTINATION_CBR  # CBR_PACKET AT DESTINATION NODE
4 INPUT TIME             # SIMULATION TIME
5 OUTPUT THROUGHPUT
6 THROUGHPUT_RATIO = 0
7   THROUGHPUT = ((DESTINATION_CBR/SOURCE_CBR)/TIME)*1000
8 RETURN (THROUGHPUT)    #Throughput (Kbps)
9

```

ภาพที่ 9: การหาค่า Throughput

```

10 ALGORITHM PDR (SOURCE_CBR, DESTINATION_CBR)
11 INPUT SOURCE_CBR      # CBR_PACKET AT SOURCE NODE
12 INPUT DESTINATION_CBR  # CBR_PACKET AT DESTINATION NODE
13 OUTPUT PDR
14 PDR = 0
15   PDR = ((DESTINATION_CBR/SOURCE_CBR)*100
16 RETURN (PDR)          # Packet Delivery Ratio (PDR%)
17
18

```

ภาพที่ 10: การหาค่า PDR

ภาพที่ 9 แสดงการหาค่า Throughput ของ WSN แบบที่มี 1 เกตเวย์ โดยการหาค่า CBR packets ขาออกที่โหนด R8 เทียบกับขาเข้าที่โหนด R0 แล้วเทียบกับเวลาที่ใช้ในการจำลองคือ 40 วินาที ส่วน WSN แบบ 2 เกตเวย์ โดยการหาค่า CBR packets ขาออกที่โหนด R8 บวกกับโหนด R9 เทียบกับขาเข้าที่โหนด R0 แล้วเทียบกับเวลาที่ใช้ในการจำลองคือ 40 วินาที

ภาพที่ 10 แสดงการหาค่า PDR ของ WSN แบบ 1 เกตเวย์ โดยการหาค่า CBR packets ขาออกที่โหนด R8 เทียบกับขาเข้าที่โหนด R0 ส่วนของเครือข่ายแบบ 2 เกตเวย์ โดยการหาค่า CBR packets ขาออกที่โหนด R8 บวกกับโหนด R9 เทียบกับขาเข้าที่โหนด R0

4. ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบการจำลองส่งข้อมูล CBR ใน WSN แบบ 1 เกตเวย์

ทำการทดสอบโดยการส่งข้อมูล CBR ที่มีอัตราข้อมูลที่แตกต่างกันเข้าไปที่โหนดต้นทาง R0 โดยมีโหนดปลายทาง R8

ตารางที่ 1: ผลการทดลองใน WSN แบบ 1 เกตเวย์

Parameter	Sending Data (Packets)				
	6000	7000	8000	9000	10000
Simulate time (s)	40	40	40	40	40
Data Receive R8 (Packets)	2999	3192	3192	3192	3192
Avg. Throughput R8 (Kbps)	12.50	11.40	9.98	8.87	7.98
Packet Delivery Ratio (R8) (%)	49.98	45.60	39.90	35.47	31.92
Packet Drops (R8) (Packets)	3001	3808	4808	5808	6808

จากตารางที่ 1 ค่า Throughput และค่า PDR จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวน CBR packets มีปริมาณมากขึ้นจะทำให้ Throughput และค่า PDR มีค่าที่น้อยลง เนื่องจากตัวโหนดไม่สามารถรองรับปริมาณข้อมูลที่มีจำนวนมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากข้อมูลที่รับได้ในโหนด R8 ขณะที่จำนวน CBR packets ตั้งแต่ 7000 ขึ้นไปมีค่าเท่าเดิม และเมื่อพิจารณาในส่วนของจำนวน Packets Drops จะเห็นว่ามีความมากขึ้นเรื่อยๆ อันเป็นผลมาจากการที่โหนด R8 หยุดทำงาน

4.2 การทดสอบการจำลองส่งข้อมูล CBR ใน WSN แบบ 2 เกตเวย์

ทำการทดสอบโดยการส่งข้อมูล CBR เข้าไปที่โหนดต้นทาง R0 โดยมีโหนดปลายทาง R8 และ R9 จากตารางที่ 2 ผลที่ได้เมื่อมีการหาค่าปริมาณ Throughput และค่า PDR จะเห็นว่าที่จำนวนปริมาณ CBR packets ต่างๆ ปริมาณค่าของ Throughput และค่า PDR ของเครือข่ายที่มี 2 เกตเวย์ มีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับแบบเครือข่ายที่มี 1 เกตเวย์ เนื่องจากตัวโหนด R9 ที่ทำหน้าที่เป็นเกตเวย์ 2 สามารถช่วยรองรับปริมาณข้อมูลที่มีจำนวนมากขึ้นได้

จากกราฟในภาพที่ 11 และ 12 แสดงการเปรียบเทียบค่า Throughput และค่า PDR ของเครือข่ายแบบ 1 และ 2 เกตเวย์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครือข่ายแบบ 2 เกตเวย์ สามารถทำได้สูงกว่าแบบเครือข่าย 1 เกตเวย์ ซึ่งปริมาณ Throughput ที่การส่ง Packets 6000 มีค่ามากกว่าที่ส่ง Packets 10000 นั้น เนื่องจากถ้าดูที่ตารางที่ 2 พบว่าจำนวน Packets Drop ของเกตเวย์ 2 มีค่า

มากขึ้นเมื่อมีการส่งข้อมูลมากขึ้น เนื่องจากเกตเวย์ 2 อยู่ไกลสุด ทำให้ Buffer ที่โหนดระหว่างทางเต็ม ทำให้ Packets ที่ถูกส่งมาใหม่ถูก Drop ไป แต่โดยรวมของการจำลองที่ระดับ CBR packets ต่างๆ พบว่าในเครือข่าย 2 เกตเวย์ สามารถทำได้สูงกว่าแบบเครือข่าย 1 เกตเวย์

ตารางที่ 2: ผลการทดลองใน WSN แบบ 2 เกตเวย์

Parameter	Sending Data (Packets)				
	6000	7000	8000	9000	10000
Simulate time (s)	40	40	40	40	40
Data Received R8 (Packets)	2999	3192	3192	3192	3192
Data Received R9 (Packets)	887	634	159	54	54
Avg. Throughput R8+R9 (Kbps)	16.19	13.66	10.47	9.02	8.12
Packet Delivery Ratio R8+R9 (%)	64.77	54.66	41.89	36.07	32.46
Packet Drops R8+R9 (Packets)	2114	3174	4649	5754	6754



ภาพที่ 11: ปริมาณ Throughput



ภาพที่ 12: สัดส่วนการส่งข้อมูลสำเร็จ PDR

5. ข้อสรุปและเสนอแนะ

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า WSN แบบ 2 เกตเวย์ สามารถให้ปริมาณ Throughput ของเครือข่าย และค่า PDR% ที่ดีกว่าการใช้ WSN แบบ 1 เกตเวย์ โดยการใช้โปรโตคอลเส้นทาง AODV และโหนดภายในเครือข่ายไม่มีการเคลื่อนที่ แต่ในกรณีที่มีความหนาแน่นของข้อมูลในเครือข่ายจำนวนมาก ส่วนต่างของค่า Throughput ของเครือข่าย และค่า PDR นั้นจะมีค่าไม่สูงมาก โดยพบว่าค่า Throughput มีค่าสูงขึ้นเฉลี่ย 1.35 Kbps และค่า Packet Delivery Ratio (PDR) มีค่าสูงขึ้นเฉลี่ย 5.39% เมื่อเทียบกับ WSN แบบเดิมที่มี 1 เกตเวย์

ข้อเสนอแนะควรทำการปรับปรุงตัวโปรโตคอลเส้นทาง Ad-hoc On-Demand Distance Vector (AODV) ให้สามารถปรับตัวเกตเวย์ใหม่ในเครือข่ายได้เองโดยอัตโนมัติ และแบ่งภาระการทำงานของตัวโหนดที่เป็นเกตเวย์ เมื่อเกตเวย์ปัจจุบันไม่สามารถส่งหรือรับข้อมูลได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] อนุรักษ์ เชษฐม และ ชัยพร เขมะภาคพันธ์, "การประยุกต์เครือข่ายตรวจสอบสัญญาณไร้สายเพื่อประมวลผลข้อมูลความเร็วสูงสำหรับช่วยตัดสินใจในการตัดสินใจกักกันผลผลิตกระแสไฟฟ้า, การประชุมการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครั้งที่ 2, 26 พฤศจิกายน 2553, หน้า 620-629.
- [2] นภาพร พิมพ์ และ ประโยชน์ คำสวัสดิ์, "การบีบอัดข้อมูลในเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย" *ECTI-CARD 2013* หน้า 173-178.
- [3] Luca De Nardis and Maria-Gabriella, "Overview of the IEEE 802.15.4/4a standards for low data rate Wireless Personal Data Networks" *WPNC 2007, Handover, Germany, March 2007*.
- [4] P. Manoyut and W. Suntiamorntut, "Modified Local Repair in AODV for LoWPANs" (*IMCOM 2012*), Kuala Lumpur, Malaysia, February 2012.
- [5] Xuan He and Yuanchen Ma, "Efficient Multiple Gateway System for WSN Management in BEMS" *Networked Sensing Systems (INSS)*, Belgium, June 2012.
- [6] Zahia Bidai and Hafid Haffaf "Node disjoint multi-path routing for zigbee cluster-tree Wireless Sensor Networks", *Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, Ouarzazate, Morocco, April 2011.