

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

Performance Analysis of Wireless Sensor Networks

พรวิชัย พมพิทักษ์ (Phonevixay Phompheephak)* ดร.ชัชชัย คุณบัว (Chatchai Khunboa)**

บทคัดย่อ

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (wireless sensor networks) หรือ เทคโนโลยีเพื่อการตรวจจับแบบไร้สาย เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้เกิดการพัฒนาการตรวจจับสภาพต่างๆของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ระดับค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ หรือการจัดการด้านการขนส่ง และอุตสาหกรรม รวมไปถึงการใช้งานด้านสาธารณสุข เช่น การติดตามผู้ป่วย การบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจ เป็นต้น โดยการทำงานจำเป็นต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของระบบเพื่อให้ค่าที่ถูกต้อง ดังนั้นบทความนี้เป็นการนำเสนอการศึกษาการใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อทำการวิเคราะห์การสูญหายของแพ็กเก็ต (packet loss) ที่ระยะต่างๆ ในสภาพแวดล้อมที่อยู่กลางแจ้งความยาว 90 เมตร และกว้าง 9 เมตร โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างการสูญหายของแพ็กเก็ตกับขนาดของข้อมูล (payload), จำนวนของแพ็กเก็ต, ช่วงเวลาของการส่งข้อมูล (mean of inter-arrival time) และระยะห่างของตัวเซ็นเซอร์ ผลลัพธ์จากทดลองพบว่า การสูญหายของแพ็กเก็ตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของข้อมูล และ จำนวนของแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน การสูญหายของแพ็กเก็ตจะมีค่าลดลง เมื่อมีการเพิ่มขึ้นช่วงเวลาของการส่งข้อมูล

ABSTRACT

Wireless Sensor Networks (WSN) provides a methodology in order to gather the environment information such as temperature, humidity and carbon monoxide level. Also it can be used in logistic, industrial and included in healthcare such as heart rate. The performance of networks is one of the important factors in order to apply this network. Therefore, this paper presents the performance of the wireless sensor network by analyzing a number of packet losses. At the begin, we test in an outdoor environment, 90x9 Sq.m. Results show that the number of packet losses has a relationship between the payload sizes, the number of packets, mean of inter-arrival time and the distance of the sensor. The number of packet losses is increased when the payload sizes and the number of packets are increased, otherwise the number of packet losses decreases when the mean of inter-arrival time is increased.

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพ มาตรฐาน IEEE 802.15.4 Zigbee

Key Words : Performance, IEEE 802.15.4, Zigbee

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย หรือ เทคโนโลยีเพื่อการตรวจจับแบบไร้สาย เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้เกิดการพัฒนาการตรวจจับสภาพต่างๆของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ระดับค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ หรือการจัดการด้านการขนส่ง และอุตสาหกรรม รวมไปถึงการใช้งานด้านสาธารณสุข เช่น การติดตามผู้ป่วย การบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจ เป็นต้น ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นระบบที่ใช้พลังงานต่ำ สามารถทำงานได้ตลอดเวลา โดยอาศัยเพียงพลังงานจากแบตเตอรี่ สะดวกในการติดตั้ง บำรุงรักษา สามารถสร้างและขยายขนาดเครือข่ายให้มีขนาดใหญ่ได้ เพื่อรองรับการตรวจจับในพื้นที่ที่มีบริเวณกว้างได้ และส่งผลที่ได้เข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์

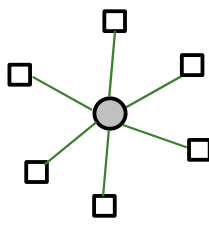
การทราบถึงประสิทธิภาพของเครือข่ายก่อนนำไปประยุกต์ใช้ถือเป็นปัจจัยหนึ่งของการสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพ ดังตัวอย่างการดำเนินการธุรกิจของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งต้องอาศัยเครื่องจักรจำนวนมากในกระบวนการผลิต การขัดข้องของเครื่องจักรโดยปราศจากการแจ้งเตือนแก่ผู้ดูแลระบบ อาจทำให้เกิดการสูญเสียเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้สร้างชุดอุปกรณ์เพื่อประยุกต์ใช้รับส่งข้อมูล บนระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ในการสร้างเครือข่ายให้สามารถเรียกดูข้อมูลจากจุดต่างๆได้ และทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเครือข่าย โดยวัดอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตในการส่งข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 หรือ Zigbee ได้ถูกกำหนดให้เป็นมาตรฐานสากลโดยสหพันธ์ซิกบี (Zigbee Alliance) ซึ่งได้กำหนดมาตรฐานของระดับชั้น Physical (PHY) และ Media Access Control (MAC) เป็นมาตรฐานสำหรับเครือข่ายไร้สายระยะใกล้ความเร็วต่ำ หรือ Low Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPAN), (Shahin, F. 2008) ชั้น PHY ที่ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐานนี้มีการใช้ 3 ย่านความถี่ คือ

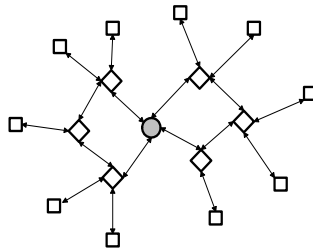
2.4-2.4835 GHz โดยอัตราความเร็วของข้อมูล (bit rate or BR) 250 kbps มีอยู่ 16 ช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณที่ 11-26, ความถี่ 902-928 MHz ที่ BR = 40 kbps มีอยู่ 10 ช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณที่ 1-10 และความถี่ 868-868.6 MHz ที่ BR = 20 kbps มีอยู่ 1 ช่องสัญญาณ คือช่องสัญญาณที่ 0 โดย ความถี่ 2.4 GHz ถือว่าเป็นความถี่ที่ใช้กันมากที่สุดในโลก

ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายระยะใกล้ความเร็วต่ำได้แบ่งชนิดอุปกรณ์ออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้ Full Function Device (FFD) และ Reduce Function Device (RFD) ซึ่ง FFD สามารถสื่อสารได้กับทุกอุปกรณ์ สามารถทำหน้าที่เป็น PAN coordinator, เร้าเตอร์ หรือ อุปกรณ์ปลายทาง (End Device) ได้ สำหรับ RFD จะถูกใช้ในอุปกรณ์ปลายทางโดยการส่งผ่านของข้อมูลจาก RFD หนึ่งไปยังอีก RFD หนึ่งจะผ่านทาง FFD เท่านั้น

นอกจากนี้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 สามารถรองรับโทโปโลยีแบบต่างๆได้แก่ การเชื่อมต่อแบบ Star, แบบเพียร์ทูเพียร์ และแบบ mesh ดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2 สำหรับโครงสร้างแบบ Star การเชื่อมต่อภายในเครือข่ายจะถูกควบคุมด้วย PAN Coordinator เพียงอันเดียว โดย PAN Coordinator นี้จะเป็นเสมือนผู้ดูแลเครือข่าย ทำหน้าที่จัดการกับโหนดภายในเครือข่าย และเก็บข้อมูลของโหนดต่างๆ ในส่วนเครือข่ายแบบเพียร์ทูเพียร์จะประกอบด้วย PAN Coordinator เช่นเดียวกับแบบ star การเชื่อมโยงแบบเพียร์ทูเพียร์ทุกอุปกรณ์สามารถสื่อสารกับอุปกรณ์ข้างเคียงได้โดยตรง



ภาพที่ 1 เครือข่ายแบบ Star



ภาพที่ 2 เครือข่ายแบบ

เพียร์ทูเพียร์



Coordinator

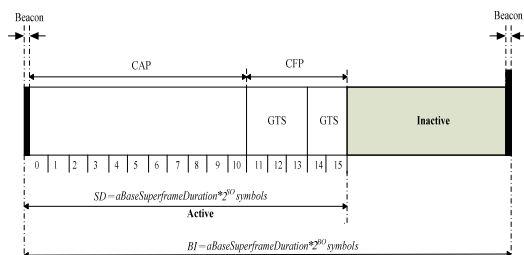


Router



End device

ในการใช้พลังงานให้บรรลุผลและมีประสิทธิภาพที่ดีนั้น Zigbee สามารถทำงานในเครือข่ายแบบ beacon-enabled โดยโครงสร้างของซูเปอร์เฟรม (superframe) แสดงดังภาพที่ 3 (Jelena et al., 2008)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของซูเปอร์เฟรม

ซูเปอร์เฟรมใช้สำหรับควบคุมการเข้าถึงช่องสัญญาณ ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดย Network Coordinator ในการส่ง beacon ตามช่วงเวลาที่กำหนดเพื่อใช้ในการเข้าถึงช่องสัญญาณในแต่ละช่วงเวลา (Time Slot) แต่ละซูเปอร์เฟรมจะประกอบด้วยสองส่วนคือ Active และ Inactive ความยาวของ beacon interval (BI) และส่วน active ซึ่งอ้างอิงโดย superframe duration (SD) ที่ถูกกำหนดโดยสองค่าพารามิเตอร์คือ beacon order (BO) และ superframe order (SO) ตามลำดับ ในส่วน Active ถูกแบ่งออกเป็น 16 slot ซึ่งประกอบด้วยสาม

ส่วน คือ beacon, Contention Access Period (CAP) และ Contention Free Period (CFP)

การศึกษาประสิทธิภาพของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ทำได้หลายวิธี เช่น การทำจำลองรูปแบบและวิธีการทดลองวัดจริง ซึ่งประสิทธิภาพของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 บนเครือข่ายแบบ Star โดยมี 21 โหนด ที่ประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมถูกวิเคราะห์โดย (Feng et al., 2008) ซึ่งได้ทำการวัดอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต เวลาที่เสียไปในการส่งข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง Goodput และพลังงานที่ใช้ โดยใช้ Network Simulation Version 2 (NS2) ในการทำจำลองรูปแบบ โดยทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าของ beacon order และ superframe order (Khaled et al., 2007) ได้คำนวณอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต อัตราความแรงของสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio) โดยใช้ MatLab/Simulink model ในการทดลองโดยวิธีเปลี่ยนแปลงอัตราการส่ง และกำลังที่ใช้ในเวลาที่ส่งข้อมูล สำหรับการวัด Throughput จริงของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เมื่อเวลาทำงานในสถานะแวดล้อมเดียวกันกับระบบ Bluetooth และ Wireless Local Area Network ซึ่งการทดสอบเป็นการใช้วิธี Testbed โดยเปลี่ยนแปลงการเข้าใช้ช่องสัญญาณ และระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ดังกล่าว (Wilson et al., 2007) ได้ทำการวัด Throughput, Packet Delivery Ratio และ Delay บนระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบบ Multi-hop โดยการใช้ NS2 กับกรวัดจริงที่ใช้ Freescale MC13193 Evaluation Kit ในการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงแพ็กเก็ต sizes และ traffic loads (Jeong et al., 2008) ได้ทำการคำนวณประสิทธิภาพของมาตรฐาน IEEE 802.15.4 บนชั้น MAC โดยการปรับค่า BE (Backoff Exponent) แบบใหม่จากเดิมที่มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ให้ค่า default ของ minBE (minimum BE) ในขอบเขต 3 และ aMaxBE (maximum BE) อยู่ในขอบเขต 5 เพื่อใช้สำหรับ random ค่าของ BE สำหรับการทดลองนี้ได้ทำการจำลองรูปแบบ โดยนำใช้ NS2 โดยที่กำหนด minBE มี

ค่า 1 ถึง 3 และ aMaxBE มีค่าคงที่ ที่ 5 จากผลการทดลองโดยการปรับค่า minBE สองรูปแบบโดยผลลัพธ์จากการทำ simulation แสดงให้เห็นว่าในการเปลี่ยนแปลงค่า minBE จะให้ปริมาณงาน (Throughput) มากกว่า minBE ดั้งเดิม (minBE=3) ประมาณ 4 เท่า ซึ่งเป็นผลให้ประสิทธิภาพของระบบของเครือข่ายเพิ่มขึ้นประมาณ 45%

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างชุดอุปกรณ์ในการประยุกต์ใช้รับส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้ Zigbee ในการสร้างเครือข่ายให้สามารถเรียกดูข้อมูลจากจุดต่างๆ
2. ทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายในโทโปโลยีแบบเพียร์ทูเพียร์

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

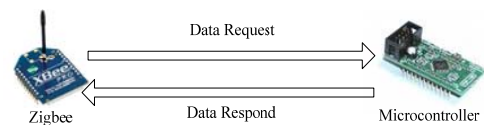
งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบวงจรขึ้นมาเพื่อจะนำอุปกรณ์ Zigbee มาใช้งานตามที่ต้องการ โดยเลือกใช้โมดูล ZigBee Pro ZNET 2.5 ของบริษัท MaxStream ซึ่งทำการออกแบบ 2 วงจรคือ วงจรภาครับ และวงจรภาคส่ง โดยแบ่งเป็นภาครับ 1 ชุด

ภาครับ คือ ชุดอุปกรณ์ที่นำไปติดตั้งในบริเวณที่ต้องการแสดงผลโดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ต RS-232 ซึ่งทำหน้าที่รับข้อมูลจากชุดอุปกรณ์ภาคส่งเพื่อแสดงผลใน โปรแกรมประยุกต์ที่ได้พัฒนาขึ้น และนำข้อมูลที่ได้รับนั้นไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบเครือข่าย



ภาพที่ 4 การทำงานของชุดอุปกรณ์ภาครับ

ภาคส่ง คือ ชุดอุปกรณ์ที่นำไปติดตั้งในบริเวณที่มีการติดตั้งในตำแหน่งที่ต้องการทดสอบ ซึ่งประกอบด้วย ZigBee ไมโครคอนโทรลเลอร์ และแบตเตอรี่ โดยเมื่อ Zigbee ของภาคส่งได้รับคำสั่งขอข้อมูลแล้ว จะส่งคำสั่งขอข้อมูลนี้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเลือกใช้โมดูล ATmega 168 เพื่อส่งข้อมูลตอบกลับไปที่ภาครับ



ภาพที่ 5 การทำงานของชุดอุปกรณ์ภาคส่ง

การทดลอง

ในการทดลองได้ทำการกำหนด ระยะห่างระหว่าง Coordinator และเราเตอร์ เป็น 30 เมตร 60 เมตร และ 90 เมตรตามลำดับ ช่วงเวลาของการส่งข้อมูลระหว่างเราเตอร์และCoordinator มีค่า 1, 2 และ 3 วินาที ความยาวของข้อมูลสูงสุดที่ส่งแต่ละครั้งจะต้องไม่เกิน 80 ไบต์ สำหรับตัวแปรอื่นๆที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบ

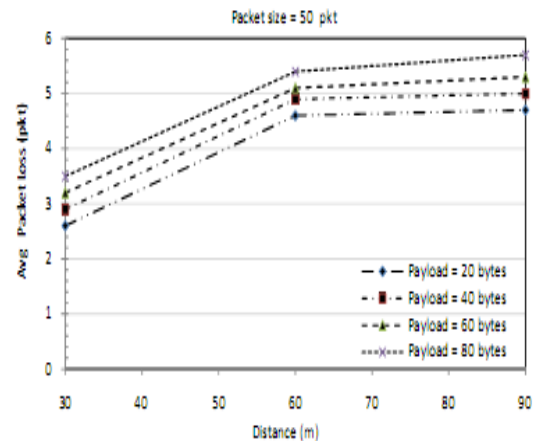
Parameter	Value
Network topology	peer-to-peer
No. of node	1 Coordinate, 1 Router
No. of Packets	10, 30, 50 packets
mean of inter-arrival time	1, 2, 3 second
Payload size	20, 40, 60, 80 bytes
Data communication modes	Direct transfer
Distances	30, 60, 90 m
Performance metric	Packet Loss
No. of tests	10

ผลการทดลอง การวิจารณ์ผล

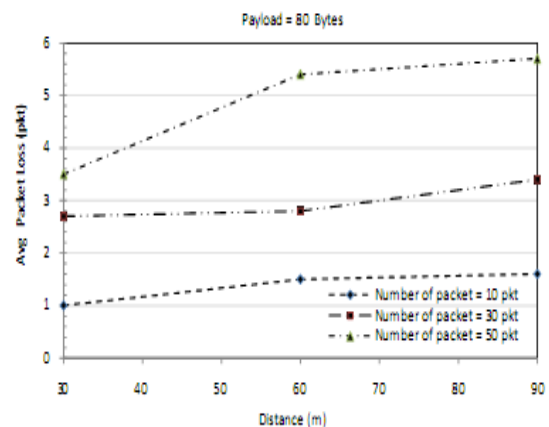
ในส่วนนี้เป็นการแสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์สามระยะของเซ็นเซอร์ไร้สายบนเครือข่ายแบบเพียร์ทูเพียร์ สำหรับการทดลองที่เราศึกษามีสาม Testbed ซึ่งในการทดลองระยะห่างระหว่าง Coordinator และเราเตอร์ คือ 30 60 และ 90 เมตร ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองถูกวางไว้บนเก้าอี้ไม้สูงจากพื้นดิน 0.5 เมตร ขณะที่ payload มีค่า 20, 40, 60, และ 80 ไบต์ ซึ่งจำนวนของแพ็กเก็ตมีค่า 10, 30 และ 50 แพ็กเก็ต สำหรับช่วงเวลาของการส่งข้อมูลมีค่า 1, 2 และ 3 วินาที

ผลลัพธ์ของการทดลองถูกแสดงในภาพที่ 6, 7 และ 8 ตามลำดับ ภาพที่ 6 ผลกระทบของการสูญหายแพ็กเก็ตจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของ payload และระยะห่างระหว่าง Coordinator และเราเตอร์ จากภาพแสดงให้เห็นว่าการสูญหายของแพ็กเก็ต มีการเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของ payload และระยะห่างมีการเพิ่มขึ้น สำหรับภาพที่ 7 ผลกระทบของการสูญหายแพ็กเก็ตจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนของแพ็กเก็ต และระยะห่างระหว่าง Coordinator และเราเตอร์ จากภาพ

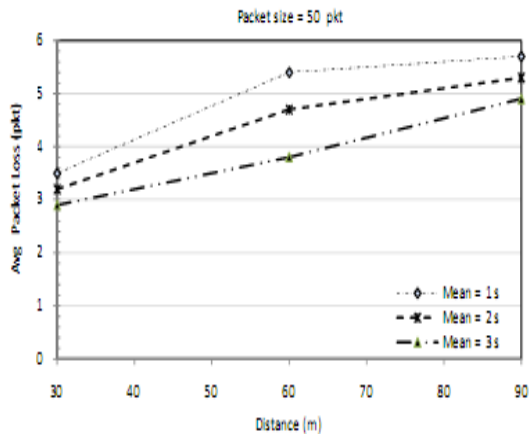
แสดงให้เห็นว่าการสูญหายของแพ็กเก็ตมีการเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนของแพ็กเก็ต และระยะห่างมีการเพิ่มขึ้น ส่วนภาพที่ 8 ผลกระทบของการสูญหายแพ็กเก็ตจากการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาของการส่งข้อมูล จากภาพแสดงให้เห็นว่าการสูญหายของแพ็กเก็ตมีการลดลงเมื่อเวลาของการส่งข้อมูล (Mean) มีค่าเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 6 ผลกระทบของการสูญหายแพ็กเก็ตจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของ payload และระยะห่างของตัวเซ็นเซอร์



ภาพที่ 7 ผลกระทบของการสูญหายแพ็กเก็ตจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนของแพ็กเก็ตและระยะห่างของตัวเซ็นเซอร์



ภาพที่ 8 ผลกระทบของการสูญหายแพ็กเก็ตเกิดจากการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาของการส่งข้อมูลและระยะห่างของตัวเซ็นเซอร์

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ในโทโปโลยีแบบเพียร์ทูเพียร์ ซึ่งแต่ละจุดห่างกัน 30, 60 และ 90 เมตร จากการทดลองสร้างเครือข่ายสามารถเรียกดูข้อมูลตามจุดต่างๆ ที่ต้องการได้ และทำการวัดประสิทธิภาพของระบบ ผลการวิจัยพบว่า การสูญหายของแพ็กเก็ตมีการเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของ payload และจำนวนของแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน การสูญหายของแพ็กเก็ตจะมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของช่วงเวลาของการส่งข้อมูล (mean of inter-arrival time)

จากการทดลองสามารถนำระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้โดยเลือกใช้ขนาดของข้อมูลที่เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมนั้นๆ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณนายภาคย์ สรณเสาวภาคย์ และ น.ส. ดุษฎี ทวีวรรณบุญย์ ที่ได้ช่วยจัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Feng, C., Nan, W., Reinhard, G., and Falko, D. 2008. Performance Evaluation of IEEE 802.15.4 LR-WPAN for Industrial Applications. NJ: IEEE Inc: 89-96.
- Jeong, G., Yong, H., Cho., and Hyogon, K. 2006. Performance Evaluation of IEEE 802.15.4 MAC with Difference back-off ranges in Wireless Sensor Network. NJ: IEEE Inc: 1-5.
- Jelena. M. and Vojislav. B. 2008. Wireless Personal Area Networks Performance Interconnection and Security with IEEE 802.15.4. Manitoba. Canada: Wiley.
- Khaled, S., Maryam. A., Mohamed, B., Imad, J., Farag, S., and Abderrahmane, L. 2007. Performance Evaluation of IEEE 802.15.4 Experimental and Simulation Results. Academy Publisher: 29-37.
- Shahin, F. 2008. ZigBee Wireless Networks and Transceiver. Burlington. U.S.A: Newnes.
- Wilson, T.H., Woon., and Tat-Chee, W. 2007. Performance evaluation of IEEE 802.15.4 Wireless multi-hop networks: simulation and Testbed approach. Inderscience: 1743-8225.