ระบบตรวจวัดตามเวลาจริงภายในบริเวณบ้านโดยการใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
Real-Time Home Monitoring System using Wireless Sensor Network

ภาคย์ สธนเสาวภาคย์[1]

Pak Satanasaowapak[1]

Received: 23 May 2016 ; Accepted: 3 October 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบตรวจวัดตามเวลาจริงภายในบริเวณบ้านโดยการใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เซ็นเซอร์โหนดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกออกแบบให้ตรวจวัดสภาพแวดล้อมต่างๆ แบ่งเป็น 2 สถานการณ์ คือ การตรวจวัดในพื้นที่แบบปิด (ภายในบ้าน) และการตรวจวัดพื้นที่แบบเปิด (ภายนอกบ้าน) สำหรับในพื้นที่ปิดมี 5 ตัวแปรที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ ความสว่างของแสง ระดับคุณภาพของอากาศ ระดับรังสีอัลตราไวโอเลตและการเคลื่อนที่ และในพื้นที่เปิดมี 5 ตัวแปรที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นในดิน ระดับคุณภาพอากาศ ระดับรังสีอัลตราไวโอเลต และการตรวจจับน้ำฝน โดยงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้สถาปัตยกรรมของ Raspberry Pi ให้เป็นเซิร์ฟเวอร์โหนดที่ทำหน้าที่รับข้อมูลต่างๆ ที่ถูกตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์โหนด ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บลงในฐานข้อมูล เพื่อแจ้งให้ผู้พักอาศัยได้ทราบผ่านทางเว็บซ็อคเก็ต ผลการทดสอบประสิทธิภาพพบว่า 1) การตั้งค่าความถี่ในการส่งข้อมูลที่ต่ำจะส่งผลให้ค่าความล่าช้าของข้อมูลมีน้อยและมีอัตราการได้รับข้อมูลที่เพิ่มขึ้น 2) การกำหนดโหมด sleep ในอุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจะทำให้อุปกรณ์ประหยัดพลังงานและมีระยะเวลาในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น 3) การใช้ฐานข้อมูลประเภท NoSQL สำหรับการเก็บข้อมูลตามเวลาจริงจะมีความเร็วในการเขียนข้อมูลมากกว่าฐานข้อมูลประเภท SQL และ 4) ในส่วนของการทดสอบการแสดงผลของระบบตรวจวัดตามเวลาจริงนั้น ระบบสามารถทำงานได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด ยิ่งไปกว่านั้นระบบที่ออกแบบขึ้นยังใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ

คำสำคัญ: ระบบตรวจวัดในบริเวณบ้านตามเวลาจริง ระบบตรวจวัด เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

Abstract

This research aimed to develop a real-time home monitoring system using a wireless sensor network and evaluate the performance of the system. The sensor node used in this study was designed to measure two environments: In a closed area. Five variables were measured; temperature, brightness of light, levels of air quality, levels of ultraviolet radiation and movement. In an open area, five variables were measured, including temperature, soil moisture, levels of air quality, levels of ultraviolet radiation and raindrop detection. Raspberry Pi architecture was applied to be a server node that received the data detected by the sensor node. The data were stored in the database and semt to the residents via web socket. The results included the following. 1) Setting low frequency data transmission resulted in less delay of the data and packet delivery ratio was increased. 2) Setting the sleep mode in a wireless sensor network device can help save energy and the lifetime of sensor node increased. 3) Using NoSQL database to store real-time data resulted in higher speed in writing the data than that of SQL database. 4) According to the test results of the real-time monitoring system, the system can work without errors. Moreover, the designed system consumed low power.

Keywords: Real-time Monitoring System, Home Monitoring System, Wireless Sensor Network

---

[1] *อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000,*

[1] *Lecturer, Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakham University. Maha Sarakham, 44000, Thailand.*

Corresponding author: Pak Satanasaowapak, Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakham University, Nakorn Sawan Rd. Talad District. Amphor Muang, Maha Sarakham, 44000, Thailand. E-mail: pak.satanasaowapak@gmail.com

บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวัน ซึ่งจะเห็นได้จากการพัฒนาระบบเครือข่ายให้มีประสิทธิภาพและครอบคลุมพื้นที่ให้มากที่สุด ในอนาคตระบบเครือข่ายภายในบ้านจะไม่เป็นเพียงการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอินเทอร์เน็ตเท่านั้นแต่จะมีการเชื่อมต่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในบ้านซึ่งอุปกรณ์แต่ละชนิดจะให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แตกต่างกัน

ระบบตรวจวัดตามเวลาจริงภายในบริเวณบ้านจะเป็นสิ่งที่จำเป็นในอนาคต ระบบนี้จะทำให้เจ้าของบ้านได้รับรู้ถึงข้อมูลต่างๆ และสามารถนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ได้ ยกตัวอย่างเช่น การรับรู้ถึงอุณหภูมิภายในบ้าน ถ้าอุณหภูมิต่ำจะทำให้เจ้าของบ้านสามารถทราบได้ว่าอาจจะมีการเปิดใช้เครื่องปรับอากาศหรือถ้าหากมีอุณหภูมิสูงเกินไปอาจจะเกิดจากเหตุอัคคีภัย การรับรู้ถึงค่าปริมาณแสงภายในบ้านจะทำให้เจ้าของบ้านทราบถึงการเปิดไฟภายในบ้าน การรับรู้ถึงความชุ่มชื้นในดินจะทำให้เจ้าของบ้านทราบความต้องการน้ำของต้นไม้และช่วยให้ใช้ทรัพยากรน้ำคุ้มค่ามากที่สุด สำหรับตัวกลางการส่งข้อมูลในการระบบตรวจวัดในงานวิจัยนิยมใช้เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย[1] และเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย[2]

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาและวัดประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดตามเวลาจริงภายในบริเวณบ้านที่ใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เนื่องจากเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจะไม่ใช้ IP Address ร่วมกับเครือข่ายไร้สาย ซึ่งระบบที่พัฒนาจะแสดงผลและเก็บข้อมูลตามเวลาจริง โดยมีเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดได้แก่ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน เซ็นเซอร์วัดคุณภาพอากาศ เซ็นเซอร์วัดรังสีอัลตราไวโอเลต เซ็นเซอร์วัดน้ำฝน เซ็นเซอร์วัดแสงสว่าง และเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว ข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนดแต่ละตัวจะถูกส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์โหนดเพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลตามเวลาจริง นอกจากนี้ยังสามารถดูภาพผ่านกล้องที่ติดตั้งเอาไว้ในเครือข่ายไร้สายได้อีกด้วย

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจวัดข้อมูลตามเวลาจริงจะมีการเก็บข้อมูลหลากหลายชนิดตามสถานการณ์ที่ต้องการตรวจวัด ดังแสดงใน (Table 1) ยกตัวอย่างเช่น การตรวจวัดคุณภาพน้ำ[1,3] จะตรวจวัดค่าความเป็นกรดด่าง ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อุณหภูมิและการนำไฟฟ้า เป็นต้น การตรวจวัดทางด้านสุขภาพ[2] จะวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิตและอุณหภูมิของร่างกาย เป็นต้น การตรวจวัดในโรงงานอุตสาหกรรม[4] จะนิยมตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น ในด้านการเกษตรจะมีการติดตามการกระจายสินค้าทางการเกษตรตามเวลาจริงโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายร่วมกับเครือข่าย GSM[5] เป็นต้น การตรวจวัดในด้านสิ่งก่อสร้าง[6,7,8] จะตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน ค่าความเข้มแสงและการแตกร้าวของอิฐ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้การตรวจวัดจำนวนอุปกรณ์ที่เปิดใช้งาน Bluetooth ในบริเวณที่กำหนดเพื่อนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต[9] อุปกรณ์เซ็นเซอร์โหนดที่ใช้สร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมีหลายชนิด เช่น MSP430, CC2430, XBee Pro[10] เป็นต้น มีการนำ Raspberry Pi[9, 11] มาประยุกต์ร่วมกับ XBee Pro เพื่อเพิ่มความสามารถเซ็นเซอร์โหนด และมีการประยุกต์ใช้สมาร์ทโฟน[2] มาทำเป็นเซ็นเซอร์โหนดเพื่อความสะดวกในการดูข้อมูลแบบพกพาได้ การเก็บค่าจากเซ็นเซอร์โหนดจะมีช่วงเวลาตั้งแต่ 1 วินาทีไปจนถึง 10 นาทีต่อการส่งข้อมูลหนึ่งครั้งไปยังเซิร์ฟเวอร์โหนดซึ่งถ้าข้อมูลที่ต้องการตรวจวัดมีความสำคัญมากอาจจะจำเป็นที่จะต้องมีความถี่ในการส่งข้อมูลสูงแต่จะส่งผลให้การใช้พลังงานของเซ็นเซอร์โหนดมีมากขึ้น ในทางกลับกันการตรวจวัดค่าที่ไม่มีผลกระทบมากและไม่เปลี่ยนแปลงบ่อยก็จะใช้ความถี่ในการส่งข้อมูลต่ำ ซึ่งการกำหนดให้เซ็นเซอร์ปรับเปลี่ยนช่วงเวลาในการส่งจะสามารถทำให้เพิ่มระยะเวลาการใช้งานของอุปกรณ์ได้[12] ซึ่งระยะเวลาในการเก็บข้อมูลของแต่ละงานวิจัยจะมีตั้งแต่ 3 ชั่วโมงไปจนถึง 2 เดือน ซึ่งขึ้นอยู่กับการนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล งานวิจัยส่วนมากจะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเซิร์ฟเวอร์โหนดและเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลประเภท SQL นอกจากนี้ยังสามารถเก็บข้อมูลลงใน log file[12] และรับค่ามาเป็นข้อมูลดิบ[3]เพื่อแสดงผลเท่านั้น ในส่วนของการแสดงผลข้อมูลนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่จะแสดงผลบนเว็บไซต์ นอกจากนี้ยังประยุกต์ให้แสดงผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น[12] ในการรับข้อมูลและแสดงผลตามเวลาจริงนั้นอาจจะใช้เครือข่ายอื่นเข้ามาช่วยในการเข้าถึง ซึ่งในงานวิจัยต่างๆ ได้ใช้เทคโนโลยี เช่น GPRS, UMTS, 3G หรือ Wi-Fi ในการรับและเข้าถึงข้อมูลตามเวลาจริงจากระยะไกล

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการใช้ Raspberry Pi มาแทนที่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์โหนดเพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดการใช้พลังงาน การใช้โมดูล XBee Pro ในการสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย และการใช้ฐานข้อมูล MongoDB[13] แทนการใช้ฐานข้อมูล SQL โดยผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบความเร็วในการเขียนข้อมูลของฐานข้อมูลดังกล่าว นอกจากนี้ยังได้พัฒนาการแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บซ็อคเก็ต ซึ่งจะช่วยให้สามารถประมวลผลข้อมูลและแสดงผลตามเวลาจริงได้อย่างต่อเนื่องโดยที่ไม่ต้องทำการโหลดหน้าเว็บใหม่ ระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นถูกออกแบบให้ใช้พลังงานต่ำที่สุด

Table 1 Related research

Related Work	Another Network	Sampling Interval	Monitor Point	Tested Time	Sensor Node	Measurement	Server	Database	Display
[1]	GPRS	10 min	5	5 days	MSP430 + CC2430	pH, DO, Temperature	PC	N/A	N/A
[2]	GPRS/ Wi-Fi/3G	~ 1 s	1	3 hours	Acer E3 Smart Phone (Android)	Heart Rate, Blood Pressure, Body Temperature	PC	SQLite	Android / Web
[3]	GPRS	self-configures	3	~ 11 hours	ZigBee	pH, DO, Temperature, Conductivity	PC	Raw Data	Web
[6]	UMTS/ GPRS	10 min	3	55 days	MSP430 + CC2420	Temperature, Humidity, Rain, Light, Masonry Cracks	PC	SQL	Web (Java)
[9]	Wi-Fi	2 min	4	2 hours	RasPi + XBee	Detect Bluetooth Device	PC	N/A	Web
[12]	N/A	1s	4	1 month	ZigBee	CO	PC	Log File	Computer

วัตถุประสงค์

(1) เพื่อสร้างระบบตรวจวัดตามเวลาจริงภายในบริเวณบ้านโดยการใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายให้สามารถใช้งานได้จริง (2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบตรวจวัดตามเวลาจริงในบริเวณบ้านโดยการใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่สร้างขึ้น

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวิธีการศึกษาดังต่อไปนี้

1) การติดตั้งเซ็นเซอร์โหนด เซิร์ฟเวอร์โหนดและคาเมราโหนดเซ็นเซอร์โหนด คือ อุปกรณ์ XBee Pro S2 ZB 50mW ที่ทำหน้าที่เป็น end device โดยเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ตรวจวัดดังแสดงใน (Table 2) ซึ่งในงานวิจัยนี้มีเซ็นเซอร์โหนดจำนวน 10 ชุด

เซิร์ฟเวอร์โหนด คือ อุปกรณ์ XBee Pro S2 ZB 50mW ที่ทำหน้าที่เป็น coordinator โดยเชื่อมต่อกับ Raspberry Pi 2 Model B โดยส่วนของเว็บซ็อค-เก็ตที่ใช้แสดงผลจะอยู่ในส่วนนี้

คาเมราโหนด คือ Raspberry Pi ที่เชื่อมต่อกับโมดูล Raspberry Pi Camera ทำหน้าที่เป็นกล้องตรวจจับภายในบ้านและส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายเพื่อแสดงผลผ่านทางเว็บซ็อคเก็ต

ผู้วิจัยได้ติดตั้งโหนดต่างๆ บนพื้นที่ทดลองขนาด 16 เมตร x 16 เมตร ดังแสดงใน (Figure 1) ซึ่งจะแสดงตำแหน่งของโหนดที่ใช้ในการทดลองนี้ โดยที่เซ็นเซอร์โหนดทุกตัวจะติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์โหนดโดยตรง ซึ่งไม่ผ่านรีเลย์โหนด

Table 2 Grove sensor module for home monitoring[14]

Sensors	Power	Standby Current Supply	Status in Web Socket
Temperature	3.3 - 6 V	40 - 50 μA	Cold / Cool / Warm / Hot / Very Hot
Moisture	3.3 - 5 V	0 - 35 mA	Air / Dry Soil / Humid Soil / Water
UV	3 - 5.1 V	0.31 mA	Low / Moderate / High / Very High / Extreme
Air Quality	5 V	40-60 mA	Air Fresh / Low Pollution / High Pollution
Light	3 - 5 V	0.5 - 3 mA	Dark / Normal / Bright
PIR	3 - 5 V	100 - 150 μA	No Motion / Motion Detected
Water	4.75 - 5.25 V	< 20mA	Clearing Up / Raining

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงใน (Figure 2) และแผนภาพระบบตรวจวัดตามเวลาจริงภายในบริเวณบ้าน โดยการใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแสดงใน (Figure 3) ซึ่งเป็นการออกแบบระบบให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด ผู้วิจัยได้แบ่งการตรวจวัดออกเป็น 2 บริเวณ คือ ภายนอกบ้านและภายในบ้าน

ภายนอกบ้าน

ค่าที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นภายในดิน คุณภาพอากาศ รังสีอัลตราไวโอเลต และการตรวจวัดน้ำฝน โดยติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความชื้นภายในดินไว้ใต้ต้นไม้ และเซ็นเซอร์อื่นๆ ไว้กลางแจ้ง

ภายในบ้าน

ค่าที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ คุณภาพอากาศ รังสีอัลตราไวโอเลต แสง และการเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังมีคาเมราโหนดที่ทำหน้าที่แสดงภาพตามเวลาจริง เซ็นเซอร์แต่ละตัวจะติดตั้งกระจายไปตามบริเวณบ้าน

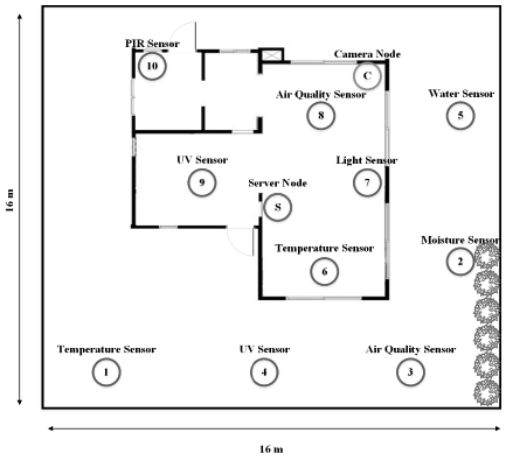

Figure 1 Testing ground and location of sensor nodes in the house

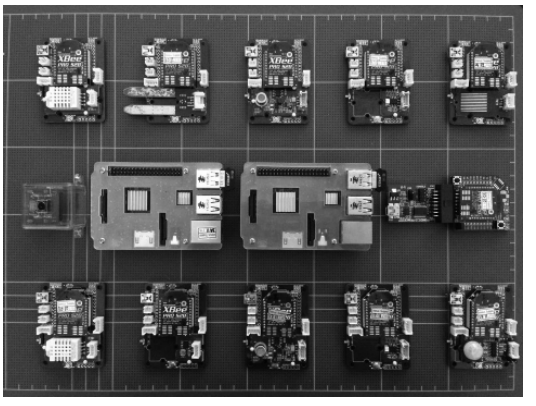

Figure 2 Equipment used in the experiment

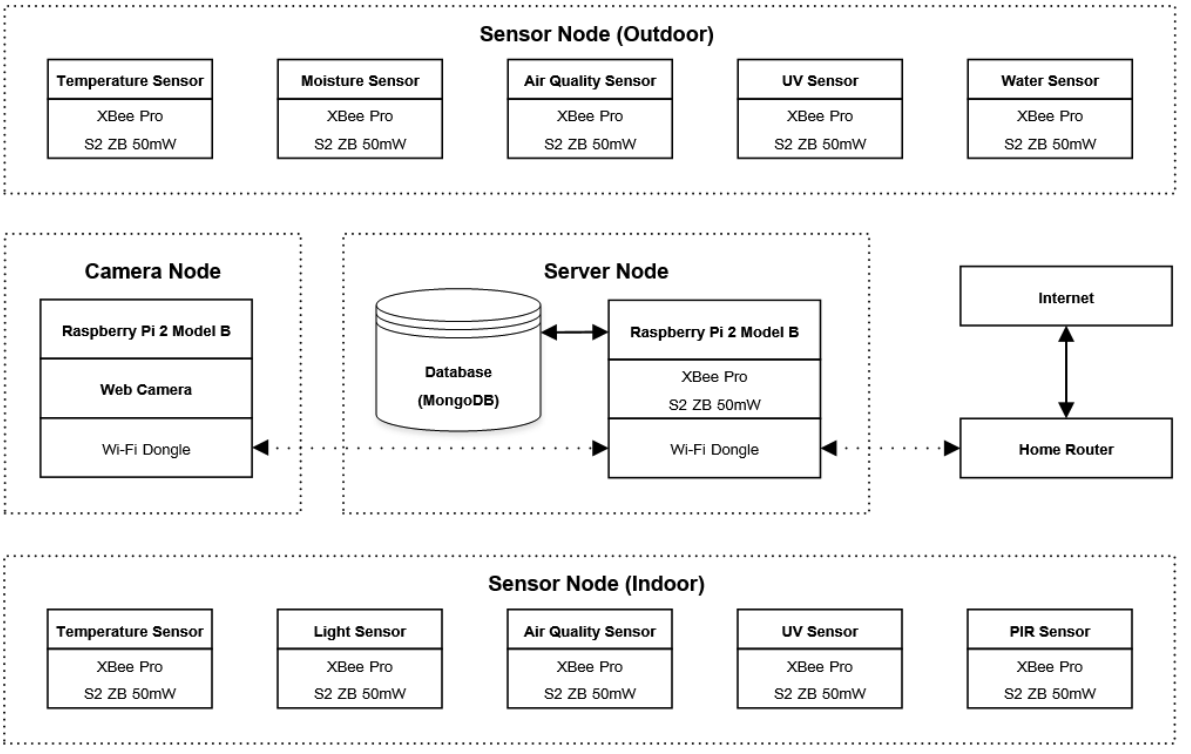

Figure 3 Schematic diagram of the real-time monitoring system

2) การออกแบบและพัฒนาระบบแสดงผลบนเว็บ ซ็อคเก็ตเซิร์ฟเวอร์โหนดจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนดแล้วนำมาแสดงผลแบบตามเวลาจริงผ่าน เว็บซ็อคเก็ตที่พัฒนาขึ้นจาก Node.js และจะเก็บข้อมูลจากแต่ละเซ็นเซอร์ลงฐานข้อมูล MongoDB[13] สำหรับข้อมูลที่ส่งมาจากแต่ละเซ็นเซอร์โหนดจะส่งมาในรูปแบบของเลขฐานสิบหก ซึ่งผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมในการถอดรหัสเพื่อใช้ในการแสดงข้อมูลผ่านเว็บซ็อคเก็ตและได้ออกแบบส่วนแสดงผลข้อมูลให้แสดงค่าจากเซ็นเซอร์โหนดทั้งหมดภายในหน้าเดียวเพื่อความง่ายในการดูข้อมูลดังแสดงใน (Figure 4) ในส่วนของคาเมราโหนดแสดงใน (Figure 5) โดยโมดูลกล้องจะถูกติดตั้งกับ Raspberry Pi อีกชุดหนึ่งซึ่งแยกออกจากเซิร์ฟเวอร์โหนดการเข้าดูข้อมูลภาพจากกล้อง สามารถดูได้ผ่านทาง IP Address ของคาเมราโหนด

Figure 4 Monitoring system via the web socket

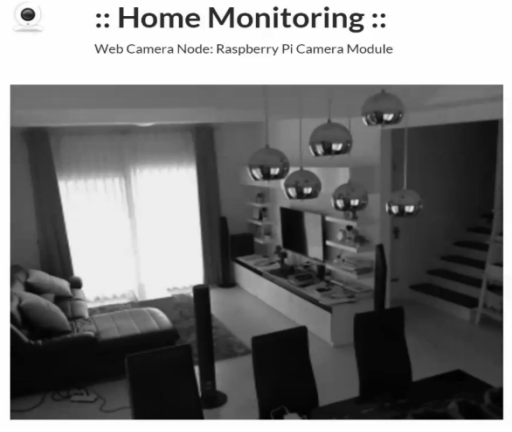

Figure 5 Image from the web camera

3) การทดสอบค่าความล่าช้าของข้อมูลและอัตราการได้รับข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ใช้ในการทดลองสามารถกำหนดความถี่ในการส่งข้อมูลได้ตั้งแต่ 0.05 วินาที ถึง 65.535 วินาที โดยผู้วิจัยได้เลือกช่วงเวลาในการเปรียบเทียบระหว่าง 1 วินาทีกับ 60 วินาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกับค่าความถี่ในการส่งข้อมูลสูงสุดและต่ำสุดของตัวอุปกรณ์ ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบความถี่ในการส่งข้อมูลดังกล่าวเพื่อทดสอบผลกระทบของช่วงเวลาในการส่งข้อมูลที่มีผลต่อความล่าช้าของข้อมูลและอัตราการได้รับข้อมูล

4) การทดสอบระยะเวลาการใช้งานของเซ็นเซอร์โหนดผู้วิจัยทดสอบโดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 500 mAh 3.7 V เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับเซ็นเซอร์โหนด โดยเปรียบเทียบระหว่างโหมด no sleep และโหมด sleep

5) การเปรียบเทียบความเร็วในการเขียนข้อมูลของฐานข้อมูลผู้วิจัยได้ปรียบเทียบความเร็วในการเขียนข้อมูลระหว่างฐานข้อมูล MySQL กับฐานข้อมูล MongoDB ที่เป็นฐานข้อมูลแบบ NoSQL โดยใช้ข้อมูลชุดเดียวกันที่ได้รับจากเซ็นเซอร์โหนดทุกตัวที่ส่งออกมาในขณะนั้น ซึ่งข้อมูลถูกส่งทุกๆ 60 วินาที ข้อมูลจะถูกเก็บในฐานข้อมูล MySQL ก่อน เพื่อคำนวณเวลาในการเขียนข้อมูล หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลไปเก็บลงในฐานข้อมูล MongoDB และคำนวณเวลาอีกครั้ง กระบวนการดังกล่าวใช้เวลาในการทดสอบ 1 วัน ซึ่งการคำนวณความเร็วในการเขียนข้อมูลของฐานข้อมูลทั้งสอง ผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมเพื่อจับเวลาตั้งแต่เริ่มกระบวนการเขียนข้อมูลจนกระทั่งเขียนข้อมูลลงฐานข้อมูลสำเร็จโดยใช้สูตรดังนี้

$$T_{Elapsed} = \frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N}(T_{End(i)} - T_{Start(i)})\right)$$

กำหนดให้ตัวแปร $T_{Elapsed}$ เป็นเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเขียนฐานข้อมูล ตัวแปร N เป็นจำนวนของข้อมูลที่ได้รับทั้งหมด ตัวแปร T_{End} เป็นเวลาที่บันทึกข้อมูลเสร็จสิ้น และตัวแปร T_{Start} เป็นเวลาที่เริ่มบันทึกข้อมูล การเก็บข้อมูลตามเวลาจริงนั้นความเร็วในการเขียนข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทำงานที่ต่อเนื่องของระบบ ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่[2,6] นิยมใช้ฐานข้อมูล MySQL ในการเก็บข้อมูลและมีบางงานวิจัย[12] ได้เก็บข้อมูลลงใน SD card

6) การทดสอบการแสดงผลของระบบตรวจวัดตามเวลาจริงผู้วิจัยทดสอบระบบโดยการเปิดระบบไว้ 2 เดือน เพื่อหาข้อผิดพลาดของระบบ โดยติดตั้งเซ็นเซอร์โหนดเข้ากับแหล่งจ่ายพลังงานภายในบ้าน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดสอบค่าความล่าช้าของข้อมูลและอัตราการได้รับข้อมูล

ผู้วิจัยวัดประสิทธิภาพจากการส่งข้อมูลจำนวน 26 ไบต์ของแต่ละเซ็นเซอร์โหนดระหว่างช่วงเวลาการส่งข้อมูลทุก 1 วินาทีกับ 60 วินาที โดยเก็บข้อมูลเป็นเวลา 1 วัน ผลการทดลองพบว่า สำหรับความถี่ในการส่งข้อมูลทุก 1 วินาที ค่าเฉลี่ยของ

ค่าความล่าช้าของข้อมูลและค่าเฉลี่ยของอัตราการได้รับข้อมูลมีค่าเท่ากับ 13.51 มิลลิวินาทีและ 99.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสำหรับความถี่ในการส่งข้อมูลทุก 60 วินาที ค่าเฉลี่ยของค่าความล่าช้าของข้อมูลและค่าเฉลี่ยของอัตราการได้รับข้อมูลมีค่าเท่ากับ 10.67 มิลลิวินาทีและ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงใน (Figure 6) และ (Figure 7) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความถี่ในการส่งข้อมูลสูงมีผลทำให้ค่าความล่าช้าของข้อมูลเพิ่มขึ้นและ อัตราการได้รับข้อมูลลดลง ซึ่งในการทดลองนี้อาจจะมีผลกระทบค่าความล่าช้าของข้อมูลและอัตราการได้รับข้อมูลน้อย เนื่องจากระยะห่างของเซ็นเซอร์โหนดที่ติดตั้งอยู่ภายในและภายนอกบริเวณบ้านแต่ละจุดอยู่ไม่ไกลกันมากอีกทั้งจำนวนเซ็นเซอร์โหนดก็มีจำนวนไม่มาก

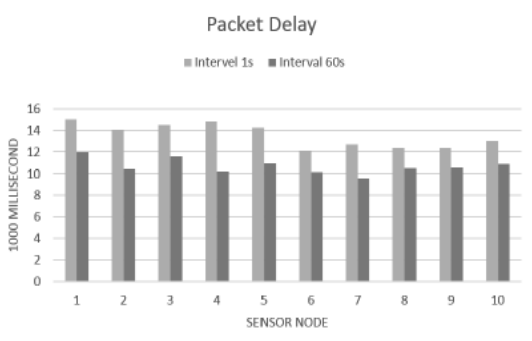

Figure 6 Comparison of packet delay

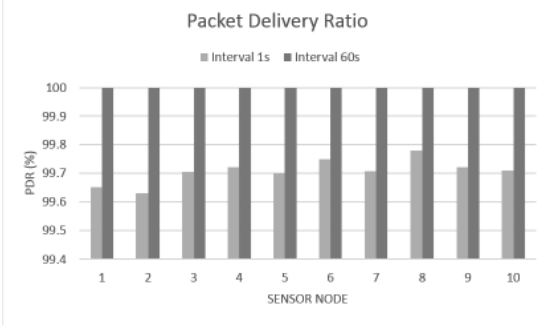

Figure 7 Comparison of packet delivery ratio

ผลการทดสอบระยะเวลาการใช้งานของเซ็นเซอร์โหนด

ผู้วิจัยได้ทดสอบการใช้พลังงานของเซ็นเซอร์โหนดโดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ 500 mAh ที่มีแรงดัน 3.7 โวลต์ การทดลองเป็นการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานระหว่างสถานะการทำงานของโหมด sleep และ no sleep (สำหรับการทำงานในโหมด sleep ผู้วิจัยได้ตั้งค่าให้เซ็นเซอร์โหนดตื่นขึ้นมาและส่งข้อมูลจำนวน 1 ครั้ง หลังจากที่ส่งข้อมูลแล้วเซ็นเซอร์โหนดจะ sleep เพื่อรอการตื่นขึ้นมาส่งข้อมูลในนาทีถัดไป) โดยมีความถี่ในการส่งข้อมูลทุก 60 วินาที ผลที่ได้แสดงใน (Figure 8) ซึ่งเซ็นเซอร์วัดคุณภาพอากาศจะมีเวลาคงอยู่ในระบบประมาณ 3 ชั่วโมงสำหรับโหมด no sleep และ 12 ชั่วโมงสำหรับโหมด sleep ส่วนเซ็นเซอร์อื่น ๆ จะมีเวลาคงอยู่ในระบบประมาณ 9 ชั่วโมง สำหรับโหมด no sleep และมากกว่า 24 ชั่วโมงสำหรับโหมด sleep ซึ่งจะเห็นได้ว่า เซ็นเซอร์ตรวจจับคุณภาพอากาศจะคงอยู่ในระบบได้ไม่นานเนื่องจากใช้กระแสไฟฟ้ามากกว่าเซ็นเซอร์ชนิดอื่น ผู้วิจัยแนะนำว่าการใช้งานจริงควรตั้งค่าเซ็นเซอร์โหนดให้เป็นโหมด sleep เพื่อการประหยัดพลังงานสูงสุด นอกจากนี้การต่อเซ็นเซอร์โหนดเข้ากับแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านร่วมกับแบตเตอรี่ภายนอกจะช่วยให้ระบบสามารถคงอยู่ได้นานที่สุดอีกด้วย สำหรับเซ็นเซอร์โหนดที่อยู่ภายนอกบ้านอาจจะใช้พลังงานทางเลือก เช่น การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับเซ็นเซอร์โหนด

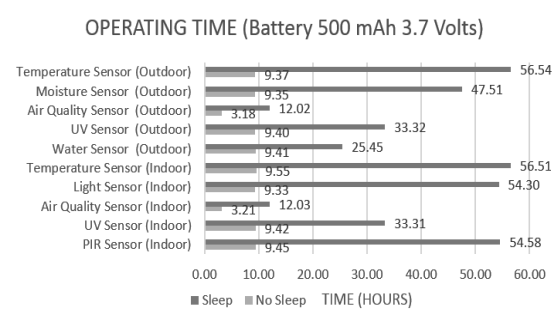

Figure 8 Operating time of each sensor node

ผลการเปรียบเทียบความเร็วในการเขียนข้อมูลของฐานข้อมูล

ผลการทดลองพบว่าระยะเวลาเฉลี่ยในการเขียนข้อมูลของฐานข้อมูล MySQL ในแต่ละครั้งใช้เวลาเฉลี่ย 0.1106 วินาที และ MongoDB ใช้เวลาเฉลี่ย 0.0174 วินาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ฐานข้อมูล MongoDB ทำให้สามารถเขียนข้อมูลลงในฐานข้อมูลได้เร็วขึ้นซึ่งเหมาะสมกับระบบที่ต้องบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลอยู่ตลอดเวลา

ผลการทดสอบการแสดงผลของระบบตรวจวัดตามเวลาจริง

ผู้วิจัยทดสอบระบบโดยการเปิดใช้เป็นเวลา 2 เดือน พบว่าระบบสามารถทำงานได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด ในส่วนของเซิร์ฟเวอร์โหนดมีการใช้งานของหน่วยประมวลผลเฉลี่ยประมาณ 5.8 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ และมีการใช้หน่วยความจำประมาณ 53.25 เปอร์เซ็นต์ เซ็นเซอร์โหนดสามารถส่งข้อมูลมายังเซิร์ฟเวอร์โหนดได้ตามที่ตั้งค่าเอาไว้โดยมีการส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์ครั้งละ 24 ไบต์ มายังเซิร์ฟเวอร์โหนดในระบบเครือข่ายนี้จะมีข้อมูลไม่เกิน 2 เมกกะไบต์ต่อวัน สำหรับฐานข้อมูลนั้นสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องและใช้พื้นที่ในการเก็บ

ข้อมูลประมาณ 140 ไบต์ต่อการเก็บข้อมูลหนึ่งครั้ง ซึ่งใน 1 วันจะมีข้อมูลที่เก็บลงในฐานข้อมูลน้อยกว่า 10 เมกกะไบต์ ในส่วนของการแสดงผลตามเวลาจริงผ่านเว็บซ็อคเก็ตนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อมีการรับค่ามาจากเซ็นเซอร์โหนด สำหรับค่าของเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ผู้วิจัยได้ทำการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล MongoDB และทำการเฉลี่ยค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ในแต่ละชั่วโมงของวันซึ่งแสดงใน (Figure 9)

สรุปผลการทดลอง

ระบบตรวจวัดตามเวลาจริงนั้นจำเป็นที่จะต้องเปิดระบบเพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูลอยู่ตลอดเวลา การออกแบบระบบที่ดีควรต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการทำงานและการใช้พลังงานของระบบ การใช้ Node.js จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในส่วนของการแสดงผลตามเวลาจริงซึ่งจะทำให้สามารถแสดงผลโดยไม่จำเป็นต้องโหลดหน้าเว็บใหม่ การใช้ฐานข้อมูลประเภท NoSQL เช่น MongoDB จะทำให้เวลาในการเขียนข้อมูลลงฐานข้อมูลเร็วกว่าฐานข้อมูลประเภท SQL ยิ่งไปกว่านั้นการใช้ Raspberry Pi เป็นเซิร์ฟเวอร์แทนเครื่องคอมพิวเตอร์จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบและประหยัดพลังงานมากขึ้น การตั้งค่าอุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในโหมด sleep จะช่วยให้ระบบประหยัดพลังงานมากขึ้น และการตั้งช่วงเวลาในการส่งข้อมูลที่เหมาะสมจะช่วยลดค่าความล่าช้าของข้อมูลและเพิ่มอัตราการได้รับข้อมูลอีกด้วย นอกจากนี้การใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจะทำให้เกิดเครือข่ายส่วนบุคคลภายในบริเวณที่กำหนด กล่าวคือ จะไม่เกิดสัญญาณรบกวนเครือข่ายไร้สายและไม่มีการใช้ไอพีแอดเดรสเดียวกับเครือข่ายไร้สายที่มีอยู่

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

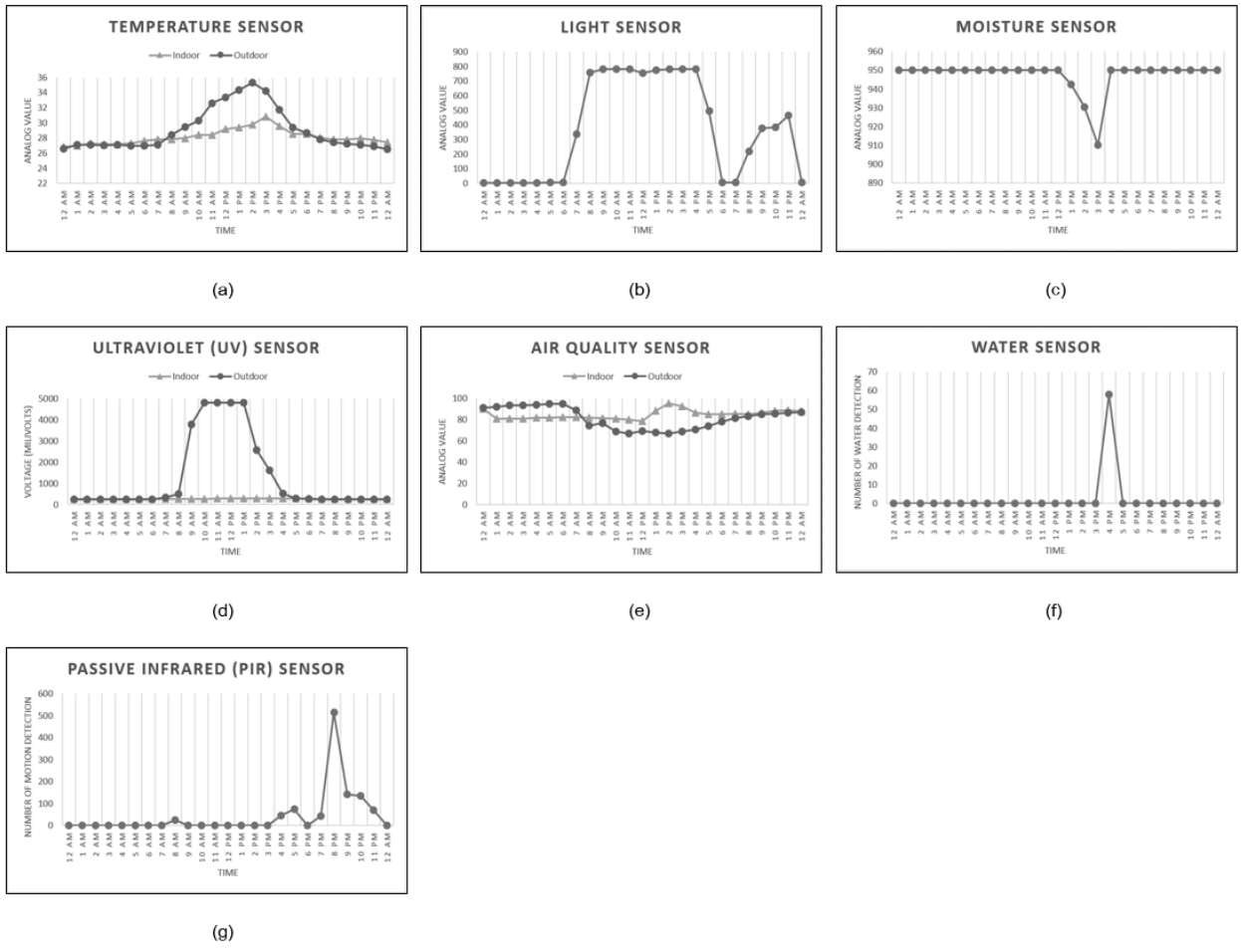

Figure 9 Average sample value of each sensor node

เอกสารอ้างอิง

1. Jinfeng Li, Shun Cao. A Low-cost Wireless Water Quality Auto-monitoring System. International Journal of Online Engineering (iJOE) 2015; 11(3):37-41.
2. Priyanka Kakria, N. K. Tripathi and Peerapong Kitipawang. A Real-Time Health Monitoring System for Remote Cardiac Patients Using Smartphone and Wearable Sensors International Journal of Teleme dicine and Applications 2015; 2015:11 pages.
3. Xiaoci Huang, Jianjun Yi, Shaoli Chen and Xiaomin Zhu. A Wireless Sensor Network-Based Approach with Decision Support for Monitoring Lake Water Quality. Journal of Sensors 2015; 15:29273-29296.
4. Jiachen Yang, Jianxiong Zhou, Zhihan Lv, Wei and Houbing Song. A Real-Time Monitoring System of Industry Carbon Monoxide Based on Wireless Sensor Networks. Journal of Sensors 2015; 15:29535-29546.
5. Daesik Ko, Yunsik Kwak and Seokil Song. Real Time Traceability and Monitoring System for Agricultural Products Based on Wireless Sensor Network. International Journal of Distributed Sensor Networks Volume 2014; 2014:7 Pages.
6. Alessandro Mecocci and Andrea Abrardo. Monitoring Architectural Heritage by Wireless Sensors Networks: San Gimignano — A Case Study. Journal of Sensors 2014; 14:770-778.
7. Miroslaw Skibniewski, Hui-Ping Tserng, Shen-Haw Ju, Chung-Wei Feng, Chih Ting Lin, Jen-Yu Han, Kai-Wei Weng, Shu-Chien Hsu. Web-Based Real Time Bridge Scour Monitoring System for Disaster Management. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering 2014; 9(1):17-25.
8. Xinqing Xiao, Tianyu Zhu, Lin Qi, Liliana Mihaela Moga and Xiaoshuan Zhang. MS-BWME: A Wireless Real-Time Monitoring System of Brine Well Mining Equipment. Journal of Sensors 2014; 14:19877-19896.
9. Joyoung Lee, Zijia Zhong, Bo Du, Slobodan Gutesa, and Kitae Kim. Low-Cost and Energy-Saving Wireless Sensor Network for Real-Time Urban Mobility Monitoring System. Journal of Sensors 2015; 2015: 8 Pages. digi.com [internet]. XBee Pro [cited 3 August 2015]. Available from: http://www.digi.com/.raspberrypi.org [internet]. Raspberry Pi [cited 27 July 2015]. Available from: https://www.raspberrypi.org/.
10. Petros Spachos and Dimitrios Hatzinakos. Real-Time Indoor Carbon Dioxide Monitoring Through Cognitive Wireless Sensor Networks. IEEE Sensors Journal 2016; 16(2):506-514.
11. mongodb.org [internet]. MongoDB [cited 9 September 2015]. Available from: https://www.mongodb.org/.
12. seeedstudio.com [internet]. Grove System [cited 20 August 2015]. Available from: http://www.seeedstudio.com/wiki/Grove_System/.