ระบบสมองกลฝังตัวติดตามการใช้งานอาคารผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์

Embedded system for building usage tracking through the computer network

อรรถศาสตร์ นาคเทวัญ*

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

*E-mail: athasart.na@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในอาคารหรือสถานที่ต่าง ๆ มีความจำเป็นต้องตรวจสอบการใช้งานอาคารอย่างสม่ำเสมอเพื่อความปลอดภัย และลดการสูญเสียพลังงานจากการละเลยของผู้ใช้งาน ดังนั้นจึงได้นำเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบ และติดตามการใช้งานอาคาร โดยพัฒนาเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งแบบอิสระสามารถรับรู้ถึงการใช้งานอาคารอย่างต่อเนื่องที่สะดวกต่อการนำไปใช้ โดยไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในอาคาร งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบสมองกลฝังตัวติดตามการใช้งานอาคารผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยออกแบบระบบให้ตรวจวัดปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเคลื่อนไหว อุณหภูมิ และปริมาณแสงสว่าง จากนั้นจะประมวลผลข้อมูลจากอัลกอริธึมต้นไม้ตัดสินใจที่ได้กำหนดไว้เพื่อวิเคราะห์การใช้งานอาคาร เช่น มีการใช้งาน ไม่มีการใช้งาน และเปิดเครื่องปรับอากาศไว้โดยไม่ได้ใช้งาน เป็นต้น จากนั้นส่งข้อมูลการวิเคราะห์ผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สายมายังส่วนประมวลผลกลางของระบบที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กต้นทุนต่ำ และนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาเก็บบันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูล ทำการประมวลผลเพื่อการแสดงผลในรูปแบบของภาพกราฟฟิก ข้อความ กราฟข้อมูล และการแจ้งเตือนตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ โดยได้มีการทดสอบระบบกับอาคารเรียนของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ผลการทดสอบระบบพบว่าอุปกรณ์ตรวจสอบการใช้งานอาคารสามารถตรวจวัดข้อมูลได้อย่างถูกต้อง โดยมีค่าความผิดพลาดในการวัดค่าอุณหภูมิไม่เกิน 1% ค่าความผิดพลาดในการวัดค่าปริมาณแสงไม่เกิน 4% และสามารถตรวจจับความเคลื่อนไหวได้ในพื้นที่ 2 x 6 ตารางเมตร และสามารถแสดงผลได้ผ่านโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์

คำสำคัญ: ระบบสมองกลฝังตัว เครือข่ายคอมพิวเตอร์ สภาพแวดล้อม

Abstract

Inside a place or building are should be always checked the usage. It is important about the security and energy reduction from user. Therefore, electronics and computer technology were applied for investigation and tracking inside the building. The building usage tracking device was developed to be easy to use and independent installation without connecting other electrical devices. The aims of the study were to design and develop embedded system for building usage tracking through the computer network. The system was designed for detection of three environmental factors: motion, temperature and light. The data processing was evaluated by decision tree algorithms. After analysis, the building usage data was presented in several types such as, room in use, room not in use and air conditioner turned on without user, etc. Analyzed data were then sent via local wireless computer network to central data processing. All data were recorded in database, processed to display in terms of graphics, messages, graphs and notified. The system was tested in the building of KMITL Prince of Chumphon Campus and the results showed that the device had accurate measurement. The percentage error of temperature and light were not over 1% and 4%, respectively. In addition, the device also detected the motion in the area of 2 x 6 square meters and the system could be displayed via web browser.

Keywords: Embedded system, Computer network, Environment

1. ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการขยายตัวของอาคารสิ่งปลูกสร้างเพิ่มมากขึ้นตามกระขยายตัวของเศษฐกิจ ส่งผลต่อการใช้พลังงานของประเทศไทยได้มีแนวโน้มเพิ่มสูงมากขึ้นในทุกด้าน โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นพลังงานที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งมีอัตราการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นในภาคอุตสาหกรรม และธุรกิจในหลายภาคส่วนทั้งภาครัฐบาล และภาคเอกชน ได้ให้ความสนใจกับการลดปริมาณการใช้งานพลังงานเพราะนั่นคือต้นทุนที่ต้องสูญเสียไปในการดำเนินกิจการต่าง ๆ ขององค์กร ซึ่งในความเป็นจริงการใช้พลังงานในการดำเนินกิจการต่าง ๆ นั้น ไม่สามารถลดปริมาณการใช้งานลงได้เพราะนั่นคือการใช้พลังงานงานอย่างแท้จริง แต่มีการใช้พลังงานอีกส่วนหนึ่งที่ถูกใช้ไปโดยไม่เกิดประโยชน์ เช่น การเปิดไฟ เปิดเครื่องปรับอากาศ ในพื้นที่ที่ไม่มีการใช้งาน หากสามารถติดตามการใช้งานในส่วนต่าง ๆ เหล่านี้ โดยเฉพาะภายในอาคารสิ่งปลูกสร้างก็จะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานในองค์กรลงได้ และในปัจจุบันประเทศไทยได้ก้าวเข้าสู่ยุคประเทศไทย 4.0 เทคโนโลยีพัฒนาเข้าสู่ยุคที่เรียกว่า Internet of Things (IoT) เครื่องมือเครื่องใช้ และระบบต่าง ๆ ถูกพัฒนาให้เชื่อมต่อถึงกันเป็นเครือข่ายเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันบนระบบอินเตอร์เน็ต สามารถรับรู้ตัดสินใจ และมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างแต่ละอุปกรณ์ บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ และประมวลผลข้อมูลทั้งหลายที่เก็บได้จากเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดต่าง ๆ (Al-Fuqaha, et al., 2015)

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นประเด็นปัญหาสำคัญที่น่าสนใจในการวิจัยคือ การพัฒนาอุปกรณ์ระบบสมองกลฝังตัวให้มีมาตรฐานการเชื่อมต่อการสื่อสารกับบนโปรโตคอล TCP/IP บนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ และอินเตอร์เน็ต อุปกรณ์ระบบสมองกลฝังตัวเหล่านั้นก็จะเป็นส่วนหนึ่งของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ได้ (Zanella, et al., 2014) นั่นก็หมายความว่าอุปกรณ์ระบบสมองกลฝังตัวสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกับอุปกรณ์อื่นในระบบได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจในการพัฒนาอุปกรณ์สมองกลฝังตัวสำหรับติดตามการใช้งานอาคาร ที่ติดตั้งได้แบบอิสระสามารถรับรู้ถึงการใช้งานอาคารอย่างต่อเนื่อง สะดวกต่อการนำไปใช้งาน ไม่ต้องเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในอาคาร ที่ และสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย ที่มีความสามารถในการตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในห้องของอาคารต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความเข้มแสง ค่าอุณหภูมิ ค่าความเคลื่อนไหวของวัตถุ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการใช้งานอาคาร คือ มีการใช้งาน ไม่มีการใช้งาน เปิดไฟฟ้าส่องสว่างไว้โดยไม่ใช้งาน เปิดเครื่องปรับอากาศไว้โดยไม่ได้ใช้งาน และมีการเคลื่อนไหวภายในห้องที่ไม่ได้ใช้งานสามารถเก็บข้อมูลไว้เรียกดูในภายหลังได้ สามารถประมวลผลได้ด้วยตนเองเพื่อการตัดสินใจแจ้งเตือน และสามารถส่งข้อมูลการตรวจวัดออกไปในระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ (Mainetti, et al., 2015)

2. วัตถุประสงค์

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษา และสร้างระบบสมองกลฝังตัวสำหรับติดตามการใช้งานอาคาร โดยประประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ และการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ และอินเตอร์เน็ต เข้ากับอาคารเพื่อให้เป็นอาคารอัจฉริยะ มีอุปกรณ์ตรวจจับความเคลื่อนไหวเพื่อระบุถึงการมีผู้ใช้งานอยู่ในห้อง อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิเพื่อระบุถึงการใช้เครื่องปรับอากาศ มีอุปกรณ์ตรวจจับความเข้มแสงเพื่อระบุถึงการ เปิด-ปิด ไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบสามารถแสดงผลการติดตามการใช้งานอาคารในรูปแบบภาพกราฟฟิกที่เข้าใจง่าย มีระบบการแจ้งเตือนบนจอภาพถึงห้องต่าง ๆ ภายในอาคารที่ไม่มีการใช้งาน แต่เปิดไฟฟ้าแสงสว่าง และเครื่องปรับอากาศไว้ ซึ่งระบบนี้จะสามารถแจ้งเตือนผู้ดูแลอาคารได้โดยไม่จำเป็นจะต้องเดินตรวจตราตลอดเวลา และยังสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังการใช้งานห้องต่าง ๆ ได้ จากฐานข้อมูลในระบบ

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ได้มีงานวิจัยที่ออกแบบระบบเครือข่ายเซนเซอร์ฝังตัวสำหรับการตรวจสอบพลังงาน เพื่อประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรม (Doyle, et al., 2015) ในระบบนี้ได้ใช้อุปกรณ์สำเร็จรูปที่มีอยู่ในท้องตลาดซึ่งมีราคาสูง มีการออกแบบระบบให้มีการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์เซนเซอร์แต่ละตัวด้วยเครือข่ายของ Zigbee และยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อมและส่งข้อมูลเพื่อแสดงผลการตรวจวัดต่าง ๆ เช่น การวัดอุณหภูมิและส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบอินเตอร์เน็ต (Sisinni, et al.,

2016) ซึ่งทำงานอยู่บนระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย IoT สำหรับการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ซึ่งก็ใช้ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเช่นกัน ซึ่งหากพิจารณาแล้วพบว่าการเลือกใช้ระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ที่มีการสื่อสารด้วย Zigbee ตามมาตรฐานของเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั้น จะมีความซับซ้อนในการออกแบบการสื่อสารระหว่างแต่ละโหนด ต้องมีการกำหนดให้โหนดใดเป็น Gateway และต้องกำหนดเส้นทางการสื่อสารข้อมูลที่เรียกว่า Routing ในแบบต่าง ๆ ตามความเหมาะสมในการใช้งาน และสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์เซนเซอร์หลักกับเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ซึ่งพบว่าต้องมีการส่งต่อข้อมูลจากอุปกรณ์เซนเซอร์ต้นทางผ่านไปยังอุปกรณ์เซนเซอร์ตัวกลางจนกระทั่งถึงอุปกรณ์เซนเซอร์หลัก จึงจะส่งข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายได้

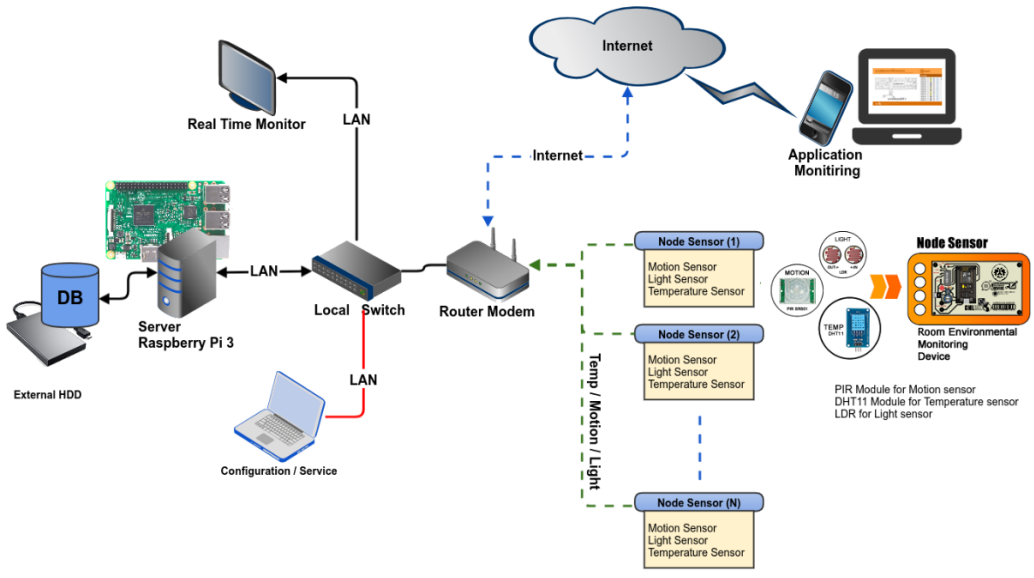
จึงมีแนวคิดในการใช้งานระบบสื่อสารข้อมูลด้วยระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายภายในอาคาร (Palicot, et al., 2016) ซึ่งโดยปกติในการวางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์จะออกแบบให้สามารถเข้าถึงได้จากทุกตำแหน่งในอาคาร ซึ่งในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สายได้มีการกำหนดวิธีการเชื่อมต่อ และการกำหนดเส้นทางการสื่อสารข้อมูลไว้แล้ว การใช้งานจึงไม่ยุ่งยากเพียงแค่กำหนดหมายเลข IP Address และ Gateway ตามข้อกำหนดของระบบเครือข่ายก็สามารถสื่อสารข้อมูลได้ทันที

4. วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาถึงการใช้งานห้องในอาคารโดยเฉพาะห้องเรียน หรือห้องในสำนักงานถึงพฤติกรรมการใช้งานห้อง พบว่าห้องต่าง ๆ เหล่านี้เมื่อมีการใช้งานจะมีการเปิดไฟฟ้าส่องสว่าง เปิดเครื่องปรับอากาศ และมีการเคลื่อนไหวของผู้ใช้งานห้องอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นในกระบวนการศึกษา และดำเนินการวิจัยจึงเริ่มต้นจากการออกแบบระบบในภาพรวม การพิจารณาเลือกอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพแวดล้อมที่มีความเหมาะสม การออกแบบระบบการตรวจวัด การสื่อสารข้อมูล การประมวลผล และการแสดงผลข้อมูลตามลำดับ ในการออกแบบระบบมีจุดประสงค์ให้ระบบที่สร้างขึ้นสามารถตรวจสอบการใช้งานห้องภายในอาคารได้ และระบบที่สร้างขึ้นจะต้องใช้งบประมาณไม่สูง สามารถนำไปติดตั้งใช้งานได้ง่ายโดยอิสระไม่ต้องเชื่อมต่อ หรือติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้อง โดยจะแยกศึกษาเป็นส่วน ๆ ดังนี้

4.1 การออกแบบระบบ

ในการออกแบบระบบได้พิจารณาถึงการทำงานของระบบที่จะต้องสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตรวจสอบการใช้งานห้องภายในอาคารได้หลายชุด และใช้วิธีการสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐานการสื่อสารแบบไร้สาย IEEE 802.11 ส่งผ่านข้อมูลการตรวจวัดมายังอุปกรณ์ประมวลผล และเก็บข้อมูลขนาดเล็ก Raspberry Pi และสร้างระบบการแสดงผลข้อมูลสรุปบนเว็บเบราว์เซอร์ เพื่อให้สามารถแสดงผลได้บนทุกแพลตฟอร์มดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพระบบสมองกลฝังตัวติดตามการใช้งานอาคารผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์

4.2 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบการใช้งานห้อง

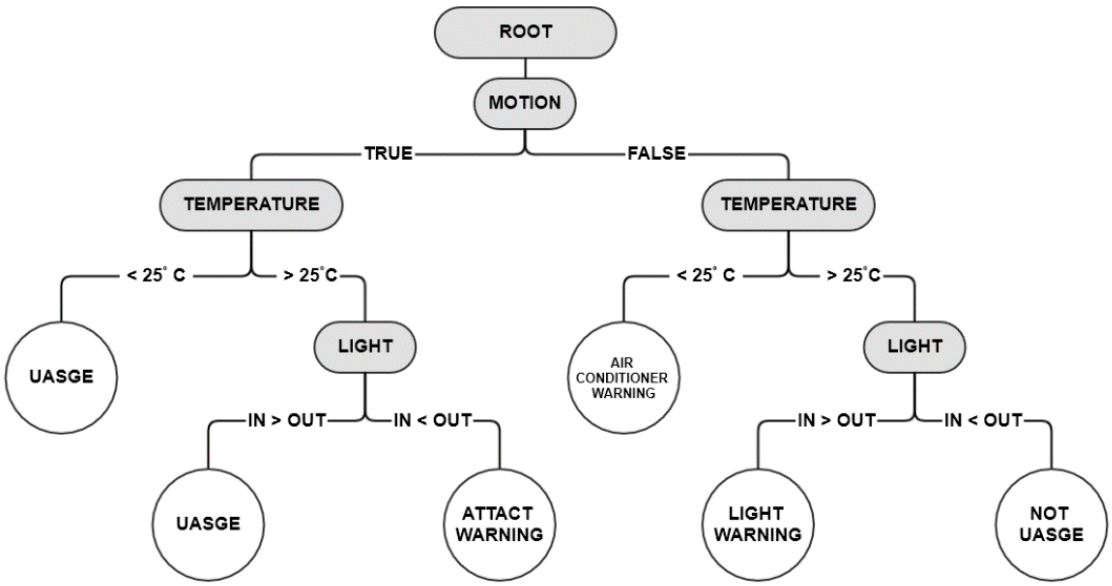
การพิจารณาเลือกอุปกรณ์ตรวจสอบการใช้งานห้อง มีข้อพิจารณาจากที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น คือการตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าส่องสว่าง เครื่องปรับอากาศ และการเคลื่อนไหวภายในห้อง ซึ่งทั้งหมดนี้จะต้องออกแบบให้อยู่ในชุดเดียวกันเพื่อความสะดวกในการใช้งานจริง และมีความเที่ยงตรงของข้อมูลในการตรวจสอบ โดยอุปกรณ์ประมวลผลสำหรับการตรวจสอบการใช้งานห้องในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ NodeMCU V2 ซึ่งเป็น Arduino Microcontroller + Wifi ESP8266 Module ซึ่งเมื่ออุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจสอบค่าต่าง ๆ ภายในห้อง แล้วอุปกรณ์ประมวลผลนี้จะประมวลผล และส่งข้อมูลที่ได้ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายไปยังอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่เป็นเครื่องแม่ข่ายหลักต่อไป โดยได้กำหนดตัวตรวจวัดในระบบเป็น 3 ชนิด คือ แสงสว่าง อุณหภูมิ และการเคลื่อนไหว

1. ตัวตรวจวัดแสงสว่าง ตรวจสอบการ เปิด-ปิด ไฟฟ้าส่องสว่าง เลือกใช้ตัวต้านทานปรับค่าตามแสง LDR (Light Dependent Resistor) โดยใช้ LDR จำนวน 2 ตัว เพื่อตรวจสอบสภาพแสงสว่างภายใน และภายนอกห้อง

2. ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ ตรวจสอบการ เปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศ เลือกใช้โมดูลวัดอุณหภูมิ DHT11 ที่มีค่าความผิดพลาด ±0.5°C โดยค่าความถูกต้องอยู่ในระหว่าง –10°C to +85°C ซึ่งครอบคลุมสภาพอุณหภูมิในการอยู่อาศัยปกติ

3. ตัวตรวจวัดการเคลื่อนไหว ตรวจสอบการเคลื่อนไหวภายในห้อง เลือกใช้โมดูลตรวจจับการเคลื่อนไหว PIR HC-SR501 ซึ่งสามารถตั้งระยะในการตรวจจับความเคลื่อนไหวได้ในระยะ 3 – 7 เมตร โดยมีรัศมีในการตรวจจับที่ 140 องศา ซึ่งสามารถใช้ตรวจจับการเคลื่อนไหวภายในห้องได้

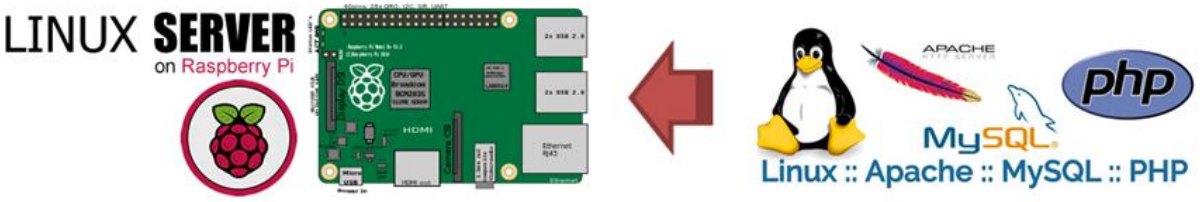
ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบการใช้งานห้องภายในอาคาร จะต้องส่งผ่านข้อมูลการวัดค่าจากเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิดเข้ามายังอุปกรณ์ประมวลผล NodeMCU เพื่อเขียนโปรแกรมประมวลผลการตรวจวัดเพื่อตัดสินใจว่าในขณะนั้น ๆ มีลักษณะการใช้งานห้องอย่างไร โดยใช้อัลกอริธึมของ Decision Tree ในการตัดสินใจดังรูปที่ 2 โดยมีการทำการสอบเทียบกับเครื่องมือตรวจวัดมาตรฐาน และการทดลอง เพื่อความถูกต้องของการตรวจวัด และประมวลผล



รูปที่ 2 ต้นไม้ตัดสินใจสำหรับประมวลผลการใช้งานห้องในอาคาร

4.3 อุปกรณ์ประมวลผล จัดเก็บข้อมูล และโปรแกรมการแสดงผล

ในงานวิจัยนี้ได้มีจุดประสงค์ในการสร้างระบบที่มีราคาถูก และสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ตรวจวัดได้อย่างเป็นระบบเปิด ที่มีโปรโตคอลการสื่อสารข้อมูลแบบ TCP/IP ซึ่งเป็นมาตรฐานกลางในการสื่อสารบนระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน จึงได้เลือกเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก Raspberry PI มาเป็นอุปกรณ์ประมวลผลกลางของระบบดังรูปที่ 3 โดยใช้ระบบปฏิบัติการ Linux เป็นระบบปฏิบัติการเครือข่าย และเลือกใช้โปรแกรมที่เป็น Open source ทั้งหมด มี Apache เป็นโปรแกรมให้บริการเว็บเซอร์วิส MySQL เป็นโปรแกรมจัดการระบบฐานข้อมูล และใช้ภาษา HTML และ PHP ในการเขียนโปรแกรมเก็บข้อมูล และการแสดงผล



รูปที่ 3 อุปกรณ์ประมวลผลกลาง และระบบปฏิบัติการในระบบ

5. ผลและวิจารณ์

ระบบสมองกลฝังตัวติดตามการใช้งานอาคารผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ที่ได้ออกแบบตามงานวิจัยนี้มีผลการศึกษา และผลการทดลอง แยกเป็นประเด็นความถูกต้องของการตรวจวัดค่าสภาพแวดล้อม ความถูกต้องของการประมวลผลตรวจสอบการใช้งานห้อง และการแสดงผลข้อมูลการใช้งานห้อง ดังนี้

5.1 ผลการศึกษาการตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในห้อง

แยกเป็นการตรวจวัดค่าปริมาณแสงสว่าง ค่าอุณหภูมิ และค่าการเคลื่อนไหว ดังตารางที่ 1 เป็นข้อมูลการตรวจวัดค่าอุณหภูมิในช่วงการใช้งานระหว่าง 20 – 65 °C เทียบกับเครื่องวัดมาตรฐาน Yokogawa TM10 Thermo Collector แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นตามหลักการของงานวิจัยนี้สามารถตรวจวัดได้อย่างถูกต้อง มีค่าร้อยละของความผิดพลาด(% Error) สูงสุดที่ 1% และตารางที่ 2 แสดงผลการตรวจวัดค่าปริมาณแสงสว่าง ที่ให้ค่าการตรวจวัดเทียบกับเครื่องมือวัดแสงมาตรฐาน Yokogawa 51002 Illuminance Meter พบว่ามีค่าร้อยละของความผิดพลาด(%Error) สูงสุดที่ 4% ในช่วงการทดสอบ0 - 100,000 lx และผลของการทดสอบตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วย PIR HC SR501 ซึ่งจะให้ Output เป็นลอจิก 1 เมื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ และให้ Output เป็นลอจิก 0 เมื่อไม่สามารถตรวจจับความเคลื่อนไหวได้ แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 3 โดยทำการทดลองซ้ำในแต่ละระยะของพื้นที่จำนวน 3 ครั้ง ซึ่งพบว่าสามารถตรวจจับความเคลื่อนไหวได้ในระยะขอบเขต 2 x 6 เมตร ซึ่งสามารถนำมาใช้งานตรวจจับความเคลื่อนไหวภายในห้องได้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ (DHT11 ±0.5°C accuracy from −10°C to +85°C) เทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิมาตรฐาน

เครื่องวัดมาตรฐาน (°C)	อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น (°C)	ค่าความผิดพลาด (°C)
20	20.2	0.2
25	25.1	0.1
30	30.3	0.3
35	35.2	0.2
40	40.1	0.1
45	45.2	0.2
50	50.3	0.3
55	55.1	0.1
60	60.3	0.3
65	65.2	0.2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจวัดค่าปริมาณแสงสว่าง (LDR) เทียบกับเครื่องวัดปริมาณแสงมาตรฐาน

เครื่องวัดมาตรฐาน (lx)	อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น (lx)	ค่าความผิดพลาด (lx)
0	0	0
100	96	4
500	487	13
1,000	984	16
5,000	5,087	87
10,000	9,860	140
50,000	49,420	580
100,000	98,745	1,255

ในกระบวนการประมวลผลตรวจสอบการใช้งานห้องได้ตรวจวัดปริมาณแสงสว่างภายนอกห้อง และภายในห้อง ตรวจวัดค่าอุณหภูมิภายในห้อง ตรวจจับการเคลื่อนไหวภายในห้อง และประมวลผลข้อมูลด้วย Decision Tree ที่ได้ออกแบบไว้ตามรูปที่ 2 โดยกำหนดอุณหภูมิภายในห้องเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 25 °C โดยผลลัพธ์จากการประมวลผลจะสรุปเป็น 5 ลักษณะ คือ มีการใช้งานห้อง ไม่มีการใช้งานห้อง เปิดเครื่องปรับอากาศไว้โดยไม่มีการใช้ห้อง เปิดไฟฟ้าส่องสว่างไว้โดยไม่มีการใช้ห้อง และมีการเคลื่อนไหวภายในห้องที่ไม่ได้ใช้งาน

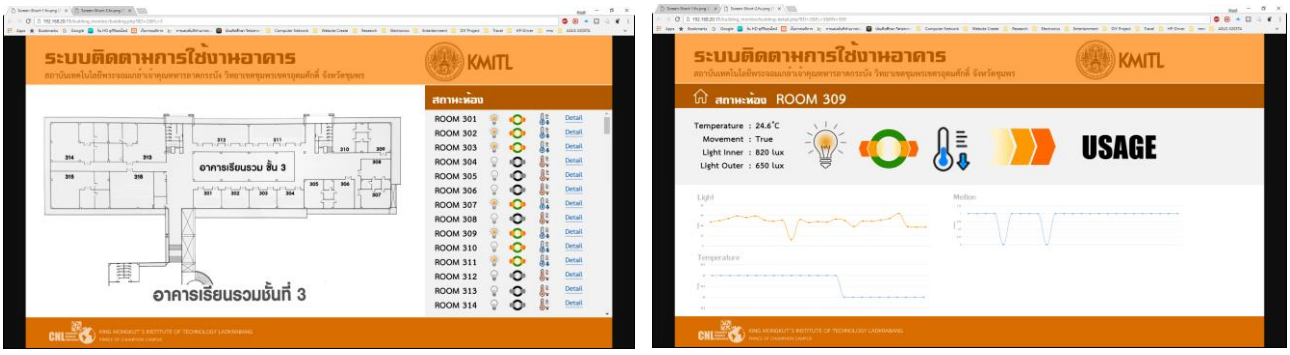
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความเคลื่อนไหว PIR HC SR501

พื้นที่ตรวจจับ (ตารางเมตร)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1 x 1 เมตร	✓	✓	✓
1 x 2 เมตร	✓	✓	✓
1 x 3 เมตร	✓	✓	✓
1 x 4 เมตร	✓	✓	✓
1 x 5 เมตร	✓	✓	✓
1 x 6 เมตร	✓	✓	✓
1 x 7 เมตร	✘	✘	✘
2 x 1 เมตร	✓	✓	✓
2 x 2 เมตร	✓	✓	✓
2 x 3 เมตร	✓	✓	✓
2 x 4 เมตร	✓	✓	✓
2 x 5 เมตร	✓	✓	✓
2 x 6 เมตร	✓	✓	✓
2 x 7 เมตร	✘	✘	✘

เมื่อ ✓ = ตรวจจับความเคลื่อนไหวได้ และ ✘ = ตรวจจับความเคลื่อนไหวไม่ได้

5.2 ผลการศึกษาการแสดงผลข้อมูลการตรวจสอบการใช้งานห้องภายในอาคาร

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบการใช้งานห้องภายในอาคารของในแต่ละโหนดจะถูกส่งมาประมวลผล และเก็บลงระบบฐานข้อมูลที่ได้ออกแบบไว้ในตัว Raspberry PI และสร้างโปรแกรมแสดงผลในรูปแบบของกราฟ ข้อความ และการแจ้งเตือนตามเงื่อนไขที่กำหนด ผ่านทางหน้าเว็บเพจบนอุปกรณ์ต่าง ๆ อาทิ สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยสามารถใช้โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์เชื่อมต่อเข้ามาเพื่อดูข้อมูลได้ โดยข้อมูลที่แสดงจะแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ข้อมูลแบบปัจจุบัน และข้อมูลสถิติรายชั่วโมง และสามารถเลือกดูข้อมูลของแต่ละโหนดได้ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 หน้าจอแสดงผลการติดตามการใช้งานอาคาร

5.3 วิจารณ์ผลการศึกษา

จากการทดลองของงานวิจัยนี้พบว่า ระบบสมองกลฝังตัวติดตามการใช้งานอาคารผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ได้ออกแบบขึ้นนี้มีความสามารถในการตรวจสอบการใช้งานห้องภายในอาคารได้ และสามารถติดตามสถานะการใช้งานห้องต่าง ๆ ภายในอาคารได้ ช่วยให้ผู้ดูแลอาคารทราบถึงปริมาณการใช้งานอาคาร และสามารถแจ้งเตือนกรณีเปิดไฟฟ้าส่องสว่างหรือเปิดเครื่องปรับอากาศไว้

โดยไม่ได้ใช้งาน ตลอดจนถึงสามารถแจ้งเตือนกรณีมีผู้บุกรุกเข้าไปในห้องที่ไม่มีการใช้งานอีกด้วย ซึ่งตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งอุปกรณ์เซ็นเซอร์เพื่อให้ได้ผลการตรวจจับที่ดีที่สุดสำหรับการใช้งาน ในกรณีทำการทดลองตรวจสอบการใช้งานห้องเรียนคือ ติดตั้งไว้บริเวณเหนือประตูทางเข้าด้านหน้าห้องจะสามารถตรวจจับได้ครอบคลุมบริเวณด้านหน้าห้องเรียน ซึ่งเป็นบริเวณที่อาจารย์ทำการสอน หรือหากเป็นห้องทำงานอื่น ๆ ตำแหน่งในการติดตั้งที่เหมาะสมคือตำแหน่งที่มุมของการตรวจจับความเคลื่อนไหวส่องไปถึงยังโต๊ะทำงาน ซึ่งอุปกรณ์สามารถกำหนดค่าความไวในการตรวจจับ(sensitivity) ได้ตามความเหมาะสมของการใช้งาน จากการทดสอบระบบพบว่าเมื่อมีการเคลื่อนไหวของบุคคลที่อยู่ในพื้นที่การตรวจจับ เช่น การเปลี่ยนอิริยาบถ อุปกรณ์สามารถตรวจจับความเคลื่อนไหวนั้นได้ แต่หากบุคคลอยู่ในลักษณะนิ่งเฉย เช่น การนอนหลับ อุปกรณ์จะไม่สามารถตรวจจับบุคคลได้แต่หากเมื่อมีการพลิกตัวก็จะสามารถตรวจจับได้ทันที ซึ่งระบบก็ยังคงต้องการการพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความครอบคลุมในการตรวจวัดค่าอื่น ๆ เช่น ตรวจจับควันไฟ ตรวจจับแก๊ส และตรวจวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า เป็นต้น โดยระบบนี้ได้ออกแบบให้มีมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลที่เป็นสากลสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบอื่น ๆ ได้ง่าย เพื่อให้เกิดเป็นระบบ IoT ที่มีความสามารถสูงขึ้น เพียงแค่ทราบข้อมูลเว็บเซอร์วิสที่กำหนดไว้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่เหมือนกับงานวิจัยนี้

6. สรุปผล

ระบบสมองกลฝังตัวติดตามการใช้งานอาคารผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้ มีความถูกต้องของการตรวจ วัดค่าสภาพแวดล้อม โดยมีค่าความผิดพลาดสูงสุดไม่เกิน 4% การส่งข้อมูลระหว่างโหนดตรวจสอบกับอุปกรณ์ประมวลผลหลัก ผ่านระบบเครือข่ายไร้สายสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้เพียงเครือข่ายภายในโดยไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตก็สามารถตรวจวัดและบันทึกข้อมูลไว้ในเครื่องประมวลผลหลัก Raspberry Pi สามารถเรียกดูข้อมูลได้ทันทีแบบเรียลไทม์ และเรียกดูย้อนหลังได้จากอุปกรณ์ต่าง ๆ บนทุกแพลตฟอร์มโดยใช้เว็บเบราว์เซอร์ และที่สำคัญเป็นระบบที่มีต้นทุนไม่สูง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., and Ayyash, M. 2015. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. **IEEE Communication Surveys & Tutorials**. 17(4): 2347–2376.

Doyle, F., Duarte, M.J.R., and Cosgrove, J. 2015. Design of an Embedded Sensor Network for Application in Energy Monitoring of Commercial and Industrial Facilities. **Energy Procedia**. 83: 504-514.

Mainetti, L., Mighali, V., and Patrono, L. 2015. A Software Architecture Enabling the Web of Things. **IEEE Internet of Things Journal**. 2: 445-454.

Palicot, J., Moy, C., Résimont, B., and Bonnefoi, R. 2016. Application of Hierarchical and Distributed Cognitive Architecture Management for the Smart Grid. **Ad Hoc Networks**. 41: 86–98.

Sisinni, E., Depari, A., and Flammini, A. 2016. Design and Implementation of a Wireless Sensor Network for Temperature Sensing in Hostile Environments. **Sensors and Actuators**. 237: 47-55.

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., and Zorzi, M. 2014. Internet of Things for Smart Cities. **IEEE Internet of Things Journal**. 1(1): 22–32.