รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ปีที่ ๑
เรื่อง

การจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อช่วยประหยัดพลังงานและเพิ่มความปลอดภัยในอาคาร

Appliance classification to monitor power consumption with wireless sensor network for energy saving and ensuring buildings' safety

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๗

คณะผู้วิจัย

นายณัฐนนท์	ลีลาตระกูล	หัวหน้าโครงการวิจัย
นางอุรีรัฐ	สุขสวัสดิ์ชน	ผู้ร่วมวิจัย
นายโกเมศ	อัมพวัน	ผู้ร่วมวิจัย
นายจักริน	สุขสวัสดิ์ชน	ผู้ร่วมวิจัย
นางสาวสุนิสา	ริมเจริญ	ผู้ร่วมวิจัย
นางสาวกรชวัล	ชายผา	ผู้ร่วมวิจัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าจากการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าที่แต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งถูกควบคุมด้วยระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยเปรียบเทียบเทคนิคการจำแนก 4 วิธี ได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) นาอีฟเบย์ (Naïve Bayes) โครงข่ายประสาทเทียม (Neuron Network) และซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เพื่อหาเทคนิคการจำแนกที่เหมาะสม

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสในรูปแบบปลั๊กไฟฟ้าและนำไปใช้กับทุก ๆ จุดที่เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานอยู่ ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกส่งมาที่ส่วนกลางผ่านระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย จุดมุ่งหมายที่ออกแบบให้ตรวจจับกระแสไฟฟ้าในจุดที่เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานงานอยู่เพื่อให้ระบบสามารถถูกพัฒนาต่อยอดให้รับรู้ได้อัตโนมัติว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าถูกย้ายไปอยู่ที่ตำแหน่งใด สามารถควบคุมการเปิด/ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ สามารถระบุอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องระมัดระวังเป็นพิเศษเช่น กาต้มน้ำร้อน อันจะส่งผลให้สามารถเพิ่มความปลอดภัยในครัวเรือน ช่วยลดการสิ้นเปลืองพลังงาน และเพิ่มคุณภาพชีวิตได้ในอนาคต

จากการทดสอบกับเครื่องใช้ไฟฟ้าตัวอย่าง 40 เครื่อง และเปรียบเทียบความถูกต้องของการจำแนกของทั้ง 4 เทคนิค คณะผู้วิจัยพบว่า 1) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการใช้ไฟฟ้าเป็นข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการจำแนกสถานะของอุปกรณ์ไฟฟ้า 2) ต้นไม้ตัดสินใจ (C4.5) ให้ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดที่ 5.73% กฎที่ได้จากแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจจะถูกนำไปใช้ในอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เพื่อให้การจำแนกประเภทของเครื่องใช้ไฟฟ้ารวดเร็วขึ้น

Abstract

This paper presents a performance comparison of 4 classification techniques (i.e., Decision Tree, Naïve Bayes, Neuron Network, and Support Vector Machine) for appliance classification by analyzing each appliance's electricity usage sent via a wireless sensor network. To measure actual electrical power consumed by each device, we designed sensor circuits, each of which is deployed inside each power outlet. The measured data are sent to a centralized system via a wireless sensor network (which can also be used to deliver control commands to turn on/off each appliance).

The system uses the data to classify a type of each appliance connected to each of the outlet. Since this research is to be detecting electrical usage at each outlet (instead of at the main circuit like previous works), the system can be developed further to help identifying the abnormal operation of each appliance, and to automatically recognize the device when it is moved to another outlet, making possible automatic appliance on/off control. As a result, it could promote home safety and energy savings without affecting users' normal behaviors.

Comparing the accuracies of classifying 40 electric devices using the four techniques, we found that 1) standard deviation of measured electricity usage is necessary for classifying appliance statuses, and 2) the classification error is 5.73% if a decision tree (i.e., C4.5 algorithm) is applied. In additional, we deployed classification rules derived by the decision tree in the detector hardware for faster appliance classifications.

สารบัญ

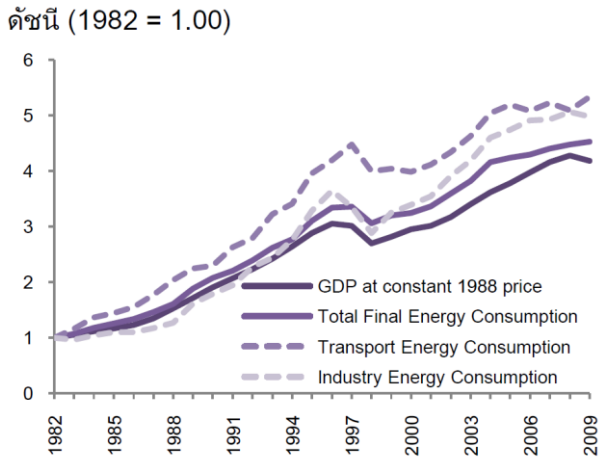
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 4
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย 5
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 17
3.1 ขั้นตอนประกอบฮาร์ดแวร์และติดตั้ง 17
3.2 ขั้นตอนทดลองรับส่งข้อมูล 18
3.3 ขั้นตอนการศึกษาเทคนิคการจำแนกข้อมูลและเตรียมข้อมูล 18
3.4 ขั้นตอนการจำแนกข้อมูล 18
3.5 ขั้นตอนการประเมินผลการจำแนกข้อมูล 19
บทที่ 4 ผลการทดลอง 20
4.1 การทดลอง 20
4.2 การจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า 22
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 30
บรรณานุกรม 25
ภาคผนวก 28

บทที่ 1
บทนำ

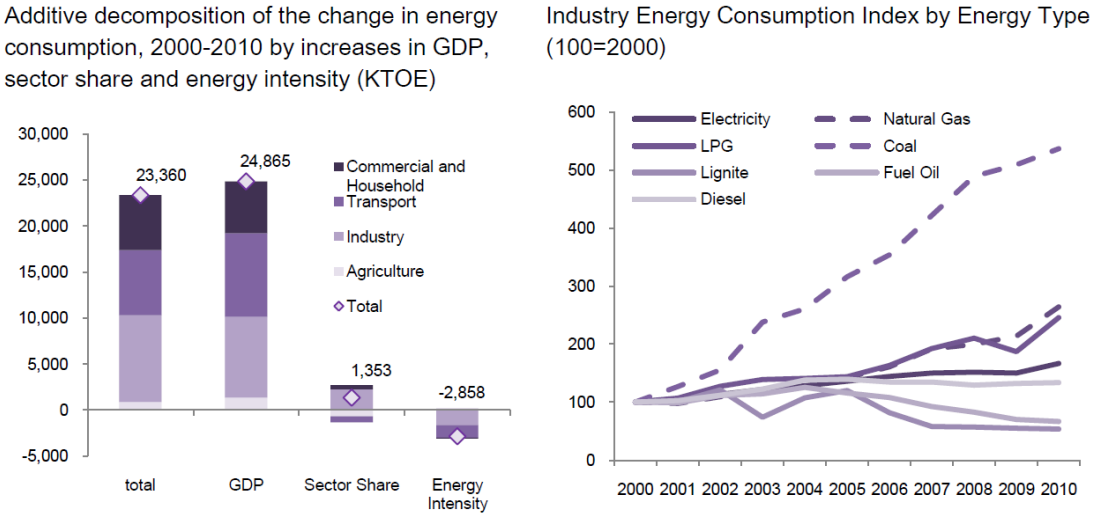
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญของการดำรงชีวิตของมนุษย์ กิจกรรมการดำเนินชีวิตประจำวัน ทั้งในเรื่องส่วนตัว การทำงาน หรือการพักผ่อนหย่อนใจ มนุษย์สร้างสิ่งประดิษฐ์ที่อำนวยความสะดวกให้กับชีวิตมากเท่าไรพลังงานไฟฟ้าก็ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นเท่านั้น จะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่เราได้บริโภคกันอยู่นี้ล้วนได้รับมาจากทรัพยากรธรรมชาติ ทั้งสิ้น และเป็นที่ทราบกันดีว่าการที่ประชากรมนุษย์ได้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากมายมหาศาล ประกอบกับมนุษย์นั้นมีความต้องการที่ไม่สิ้นสุด มนุษย์จึงคิดค้น พัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์เอง ภายใต้เงื่อนไขของการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าในอนาคตมนุษย์เราอาจไม่เหลือทรัพยากรธรรมชาติเพื่อนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้า (ไม่นับรวมพลังงานแสงอาทิตย์) และหากโลกมีการใช้พลังงานในระดับที่เป็นอยู่และไม่มีการค้นพบเพิ่มเติมแล้ว คาดว่าโลกจะมีแหล่งสำรองน้ำมันใช้ไปได้อีกประมาณ 42 ปี ก๊าซธรรมชาติประมาณ 64 ปี และถ่านหินประมาณ 220 ปี (นับตั้งแต่ปี 2540)

การผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยต้องใช้พลังงานจาก ก๊าซธรรมชาติ ลิกไนต์ น้ำมันเตา พลังน้ำ น้ำมันดีเซล พลังงานทดแทน และพลังงานไฟฟ้าที่ซื้อ ซึ่งทุกการผลิตย่อมส่งผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมไม่มากก็น้อย เช่น การเผาไหม้จะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซเหล่านี้ถ้ามีในปริมาณมาก ๆ และรวมตัวกับความชื้นในอากาศจะเกิดเป็นฝนกรด ทำให้เกิดพิษต่อสิ่งมีชีวิต ทำลายทรัพย์สิน ส่วนการสร้างเขื่อนเพื่อเก็บน้ำในการผลิตพลังงานไฟฟ้าต้องมีการทำลายป่าไม้เพื่อใช้บริเวณกักเก็บน้ำ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศน์ กระทบกระเทือนต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืช สัตว์ และมนุษย์ ที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นและบริเวณใกล้เคียง อีกทั้งยังเกิดปัญหาความขัดแย้งระหว่างประชาชนในชุมชนกับหน่วยงานของรัฐ และหรือองค์กรที่เกี่ยวข้องด้วย ซึ่งปัจจุบันรัฐได้ให้ความสำคัญทั้งในเรื่อง การอนุรักษ์พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเกิดจากการผลิตพลังงานเป็นอย่างมาก เช่น พ.ร.บ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 การรณรงค์ในโครงการต่าง ๆ ซึ่งการบริโภคพลังงานได้เพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกันกับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ดังรูปที่ 1-1 และส่วนใหญ่จะมีถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันดีเซลเป็นแหล่งพลังงานหลักในภาคอุตสาหกรรม ดังรูปที่ 1-2



รูปที่ 1-1 การบริโภคพลังงานของประเทศไทย



รูปที่ 1-2 อัตราการใช้พลังงานในแต่ละภาคส่วนและความต้องการใช้แหล่งพลังงานหลัก

นอกจากนั้นแล้วการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากเกินความจำเป็นนี้มีผลกระทบทำให้เกิดปัญหามลภาวะและปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมาอย่างมากมายไม่ว่าจะเป็นปัญหาโลกร้อน (Global Warming) หรือแม้กระทั้งปัญหาเรื่องน้ำมันขาดแคลน และ ปัจจุบันปัญหาการสูญเสียพลังงานจากการใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ นั้น เป็นปัญหาที่สำคัญที่เราไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยตัวเอง ไม่ว่าจะเป็นการที่เราเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าทิ้งไว้โดยที่ไม่มีการใช้งาน และการที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเสื่อมประสิทธิภาพทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าปกติ อุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ มีการทำงานที่ดีหรือไม่ มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าไร และมีประสิทธิภาพในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้ามากน้อยแค่ไหน ซึ่งปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นทั้งในภาคครัวเรือน และภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นเหล่านี้ จะเป็นปัญหาเชื่อมโยงไปถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของประเทศอีกด้วย

ผู้วิจัยมองว่าการประหยัดพลังงานที่ดีจะต้องแก้ไขที่ต้นเหตุคือการใช้งานของผู้ใช้งานเอง และต้องไม่ทำให้มาตรฐานการดำเนินชีวิตประจำวันของแต่ละคนลดน้อยถอยลงไป เป็นการประหยัดจาก “ส่วนเกินของการใช้ชีวิตประจำวัน” หรือ “พฤติกรรมและความเคยชินที่ก่อให้เกิดการใช้พลังงานสิ้นเปลือง” เช่น การลืมปิดไฟโรงรถ การเสียบกาน้ำร้อนเอาไว้ในขณะที่ไม่มีคนอยู่บ้าน เป็นต้น นอกจากนี้การตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้น ผู้ใช้ส่วนใหญ่ใช้ความรู้สึกในการตรวจสอบ โดยที่ไม่สามารถประเมินอุปกรณ์แต่ละชนิดได้ว่ามีการใช้พลังงานที่ผิดปกติ หรือสูญเสียพลังงานไปมากน้อยเพียงใด เช่น พัดลมที่เปิดไว้โดยที่ไม่มีผู้ใช้งาน ไฟเพดานที่เปิดทิ้งไว้โดยไม่มีคนอยู่ ตู้เย็นที่เสื่อมสภาพมีอัตราการใช้ไฟฟ้ามากกว่าตู้เย็นปกติ ซึ่งในความจริงแล้วปัญหาข้างต้นเหล่านี้หากเรารู้แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ เราก็สามารถวิเคราะห์และวางแผนในการจัดการด้านพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ไม่ต้องใช้แค่ความรู้สึก ดั้งนั้นการลดปัญหาการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ จำเป็นต้องจำแนกชนิดของอุปกรณ์และข้อมูลการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ เพื่อให้ระบบนำมาประกอบการตัดสินใจในการบริหารจัดการด้านพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และมีความถูกต้องแม่นยำสูง ในการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจึงเสนอระบบที่สามารถที่จะรับรู้ และมีความฉลาดในการวิเคราะห์อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานส่วนเกินนั้น ๆ ได้

กอปรกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าเป็นส่วนสำคัญในการลดค่าใช้จ่ายในภาคครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม และการใช้พลังงานโดยรวมของประเทศ เห็นได้จากมีการวิจัยและพัฒนาในด้านการประหยัดพลังงานอยู่มากมาย ซึ่งปัจจุบันมีการมุ่งเน้นพื้นฐานการใช้พลังงานที่ประหยัดและการปลูกจิตสำนึกด้านการใช้พลังงาน

พฤติกรรมและความเคยชินในการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า นอกจากจะก่อให้เกิดการใช้พลังงานสิ้นเปลืองแล้วยังอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อทรัพย์สินและชีวิตอีกด้วย เช่น การเปิดเตารีดทิ้งไว้โดยไม่ใช้เป็นเวลานาน ๆ การเปิดเตาไฟฟ้าทิ้งไว้เป็นเวลานาน ๆ อาจทำให้เกิดเพลิงไหม้ใหญ่ได้ เนื่องจากอุปกรณ์ที่จะถูกพัฒนาขึ้นจากงานวิจัยชิ้นนี้ สามารถแยกประเภทอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ และ มีตัวอุปกรณ์รับรู้หลายชนิด รวมทั้งตัววัดอุณหภูมิด้วย ทำให้สามารถตรวจจับความผิดปกติของพฤติกรรมผู้ใช้ไฟฟ้าและแจ้งเตือนผู้ใช้ให้ตัดสินใจตัดไฟ (โดยผ่าน Web application) หรือ ถ้าผู้ใช้ต้องการตั้งค่าให้อุปกรณ์ตัดไฟอัตโนมัติเมื่อพบความผิดปกติ ระบบก็จะตัดไฟอัตโนมัติจากเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉพาะเครื่องนั้นได้

ดังนั้น คณะผู้ทำวิจัยจึงนำทฤษฎีของงานวิจัยที่ได้ศึกษา มาพัฒนาเป็นอุปกรณ์และระบบตรวจสอบการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ประโยชน์ได้จริง โดยตัวเครื่องที่จะพัฒนาขึ้นสามารถสื่อสารโดยใช้ เทคโนโลยี Wireless Sensor Network ทำให้การติดตั้งใช้งานมีความสะดวกขึ้น เพื่อสนับสนุนให้การวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นระบบที่เรียนรู้ได้โดยลดข้อจำกัดด้านเวลา ด้านสถานที่ เพื่อประโยชน์ในการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการจัดการข้อมูลด้านพลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ เกิดประสิทธิผลสูงสุด และมีความปลอดภัย ซึ่งเมื่อข้อมูลการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ได้รับการเก็บรวบรวม ความท้าทายที่สำคัญต่อไปคือการจำแนกประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้า และระบุการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เพื่อที่จะเป็นข้อเสนอแนะในการควบคุมและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ เพื่อป้องกันปัญหาพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปอันเกิดจากไฟที่ถูกเปิดทิ้งไว้ในห้องที่ไม่มีคนอยู่

เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เสื่อมสภาพจากการทำงานอันเกิดจากวงจรไฟฟ้าเสื่อมสภาพลง เรานำข้อมูลการตรวจจับการใช้กระแสไฟฟ้านี้มาทำการวิเคราะห์ โดยมีเป้าหมายคือ 1) เพื่อให้ผู้ใช้ลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ ในขณะที่ไม่ได้ใช้งาน 2) เพิ่มความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้ โดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่มาวิเคราะห์เกี่ยวกับการสูญเสียพลังงาน ที่แปรผันในแต่ละช่วงเวลาของการใช้งาน และนำมาควบคุมการปิดหรือเปิดการใช้งานโดยอัตโนมัติ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและส่งเสริมการสร้างองค์ความรู้ที่เป็นพื้นฐานของอุปกรณ์ Wireless Sensor Network สำหรับใช้ในการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาการนำอุปกรณ์ตรวจจับต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ ในการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า (Current Sensor), อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature Sensor), อุปกรณ์ตรวจจับความเคลื่อนไหว (Motion Sensor), อุปกรณ์ตรวจจับแสง (Light Sensor) และอื่น ๆ
3. เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าให้ดีกว่าเทคนิคการใช้ Multi-Modal Sensing ของผู้วิจัยเดิม (Anthony Rowe, 2011)
4. เพื่อศึกษาเทคนิคการรู้จำชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า สำหรับใช้ในการพัฒนาการรู้จำการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในรูปแบบที่ต่างกัน
5. เพื่อให้สามารถตรวจสอบและบ่งชี้ถึงอุปกรณ์ที่ผิดปกติและการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด
6. เพื่อนำข้อมูลการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์มาวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการควบคุมและลดการใช้พลังงานที่สูญเปล่าลง
7. พัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยี ที่ช่วยประหยัดพลังงาน และเพิ่มความปลอดภัย ซึ่งตั้งอยู่บนฐานองค์ความรู้ (knowledge-based innovation and technology) และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มศักยภาพ
8. เป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานที่สูญเสียเปล่าที่เกิดในภาคครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม ภาครัฐ และเป็นแนวทางในการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่สิ้นเปลืองลง
9. เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำแนวความคิดที่ได้นำเสนอ ไปทำการพัฒนาหรือประยุกต์ใช้ในงานวิจัยของตนเองต่อไป

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

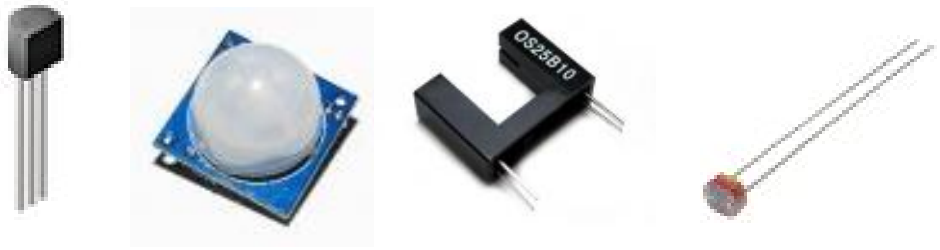
1. การวิจัยชิ้นนี้มุ่งที่จะศึกษาและพัฒนา เทคโนโลยี Wireless Sensor Network และ อุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลภาระ (Load) ที่อุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้นใช้ในแต่ละช่วงเวลาประกอบกับสภาพแวดล้อมที่วัดค่าได้ แล้วนำมาวิเคราะห์ โดยข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึกและนำมาจำแนกตามประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ

2. ข้อมูลข้างต้น จะถูกนำมาใช้เป็นตัวเปรียบเทียบหาความผิดปกติ และการใช้พลังงานที่สิ้นเปลือง เพื่อทำการแจ้งเตือนผู้ใช้ โดยผู้ใช้สามารถควบคุมการใช้ไฟของอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้นผ่าน Web-based application เพื่อลดการใช้พลังงานสิ้นเปลือง และเพิ่มความปลอดภัยให้กับชีวิตและทรัพย์สิน

3. ชนิดของตัวรับรู้ (Sensor) ที่ถูกใช้ในงานวิจัยได้แก่:-

อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟ (Current Sensor, ถูกใช้ในการตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้) อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature Sensor) อุปกรณ์ตรวจจับความเคลื่อนไหว (Motion Sensor) อุปกรณ์ตรวจจับการผ่านด้วยแสง (Photo Interrupters, ถูกใช้ในการตรวจจับการเสียบปลั๊กไฟ) อุปกรณ์ตรวจจับแสง (Light Sensor) จะถูกติดตั้งในตัวอุปกรณ์ที่สื่อสารผ่านอุปกรณ์ Wireless Sensor Network ซึ่งมีการสื่อสารแบบไร้สาย มาตรฐาน ZigBee (IEEE 802.15.4) ซึ่งมีย่านความถี่อยู่ที่ 2.4 GHz อัตรารับส่งข้อมูล 250 Kbps ข้อมูลที่ได้จากการตรวจจับจะถูกส่งผ่านมาที่เครื่องแม่ข่ายเพื่อนำมาวิเคราะห์พฤติกรรมรูปแบบการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น ๆ

รูปที่ 1-3 อุปกรณ์ Wireless Sensor Network ที่ใช้ในงานวิจัย



(a) (b) (c) (d)

รูปที่ 1-4 (a) Temperature Sensor, (b) Motion Sensor, (c) Photo Interrupter, (d) Light Sensor (LDR)

4 ประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัย ต้องเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้รับมาตรฐานสากล ซึ่งใช้ระดับแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน 220 V 50 Hzโดยมีการแบ่งประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าตามแต่ละชนิดการใช้งานดังแสดงในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำมาใช้ในงานวิจัย

ประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า
เครื่องรับโทรทัศน์
เครื่องรับวิทยุ
ตู้เย็น
เครื่องปรับอากาศ
เครื่องทำน้ำอุ่น
เครื่องซักผ้า
เตารีด
หม้อหุงข้าว
คอมพิวเตอร์
มอร์นิเตอร์
เครื่องทำน้ำร้อน
หลอดไฟเพดาน
โคมไฟตั้งโต๊ะ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ได้พัฒนาองค์ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการรู้จำรูปแบบการใช้ไฟฟ้า และ รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมภายในห้อง โดยผลสำเร็จที่ได้ จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผลเพื่อการจำแนกอุปกรณ์รับรู้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย Wireless Sensor Network (WSN)

งานวิจัยนี้ใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย Wireless Sensor Network (WSN) ในการสื่อสารมาตรฐาน IEEE 802.15.4 (Zigbee) ซึ่งผู้วิจัยทำการศึกษาข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยจาก Zigbee and Xbee BASIC (บริษัท วีนัส ซัพพลาย จำกัด, 2555), The comparison of Wi-Fi Bluetooth and ZigBee (SENA TECHNOLOGIES, INC., 2012), ZigBee Software Architecture (NXP Semiconductors, 2012), Hands-On ZigBee : Implementing 802.15.4 with Microcontrollers (Fred Eady, 2007) และ XBee Datasheet เพื่อเป็นความรู้เบื้องต้นในการใช้งาน และได้ศึกษาการนำ Zigbee มาประยุกต์ใช้กับระบบกันขโมยไร้สาย โดยใช้ Zigbee Security Automation with Zigbee นำเสนอโดยกลกรณ์ วงศ์ภาติกะเสรี,อรุณี รติกานต์ (2555) ด้วย ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลรายละเอียดดังต่อไปนี้

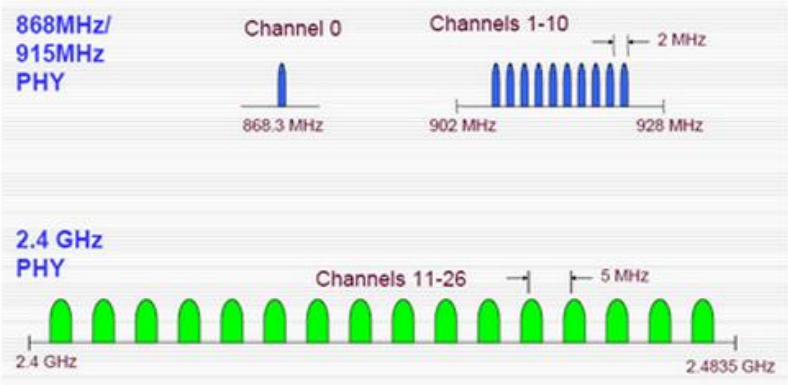
2.1.1 ความรู้เบื้องต้นมาตรฐานการสื่อสาร Zigbee (IEEE 802.15.4)

ZigBee คือมาตรฐานการสื่อสารแบบไร้สาย โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 802.15 ที่มีการทำงานแบบ Wireless Personal Area Network (WPAN) ซึ่ง ZigBee นี้เป็นชื่อทางการค้าและมีมาตรฐาน IEEE 802.15.4 ที่มีการใช้งานกับอุปกรณ์ จำพวก Low Data Rate WPAN (LR-WPAN) คือ รองรับการทำงานประเภท Low Data Rate และ Long Battery Life ซึ่งเป็นอุปกรณ์ Sensor ที่เกี่ยวข้องกับด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม และการรักษาความปลอดภัย

ZigBee มีทางเข้าช่องสัญญาณหลาย ๆ ทางเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกัน โดยการใช้ Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA – CA) ซึ่งมี Topology แบบ Star, Peer-to-Peer, Mesh ทั้งนี้แต่ละอุปกรณ์จะมีแอดเดรสที่มีความยาว 64 หรือ 16 บิต (รองรับได้ 64,000 อุปกรณ์) และมีระยะการสื่อสารในช่วง 10-75 เมตร โดยใช้ความถี่ที่ช่วงของ unlicensed RF worldwide ซึ่งมี 3 ย่านความถี่และในแต่ละความถี่มีอัตราการรับส่งข้อมูลดังตารางที่ 2-1 และรูปที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ย่านความถี่ของ ZigBee

ย่านความถี่	ช่องสัญญาณ	อัตรารับส่งข้อมูล
2.4 GHz	16 Channels	250 Kbps
915 GHz	10 Channels	40 Kbps
868 GHz	1 Channel	20 Kbps



รูปที่ 2-1 ย่านความถี่ของ ZigBee (อ้างอิง: ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary, Sinem Coleri Ergen, eecs.berkeley.edu, September 10, 2004)

โดยความถี่ 2.4-2.4835 GHz สามารถใช้งานได้ทั่วโลก และความถี่ 868-870 MHz และ 902-928 MHz ใช้งานได้ในพื้นที่ของอเมริกาเหนือ, ยุโรป, ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ โดยการสื่อสารระยะใกล้แบบ Zigbee แตกต่างจากการสื่อสารแบบ Wi-Fi และ แบบบลูทูธ ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 การเปรียบเทียบในมาตรฐานเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย

	ZigBee	**Wi-Fi**	**Bluetooth**
Range	10-100 meters	50-100 meters	10 – 100 meters
Networking Topology	Ad-hoc, peer to peer, star, or mesh	Point to hub	Ad-hoc, very small networks
Operating Frequency	868 MHz (Europe) 2.4 GHz (worldwide)	2.4 and 5 GHz	2.4 GHz
Complexity	Low	High	High
Power Consumption	Very low	High	Medium
Security	128 AES plus application layer security		64 and 128 bit encryption
Typical Applications	Industrial control and monitoring, sensor networks, building automation,	Wireless LAN connectivity, broadband Internet access	Wireless connectivity between devices such as phones, PDA, laptops, headsets

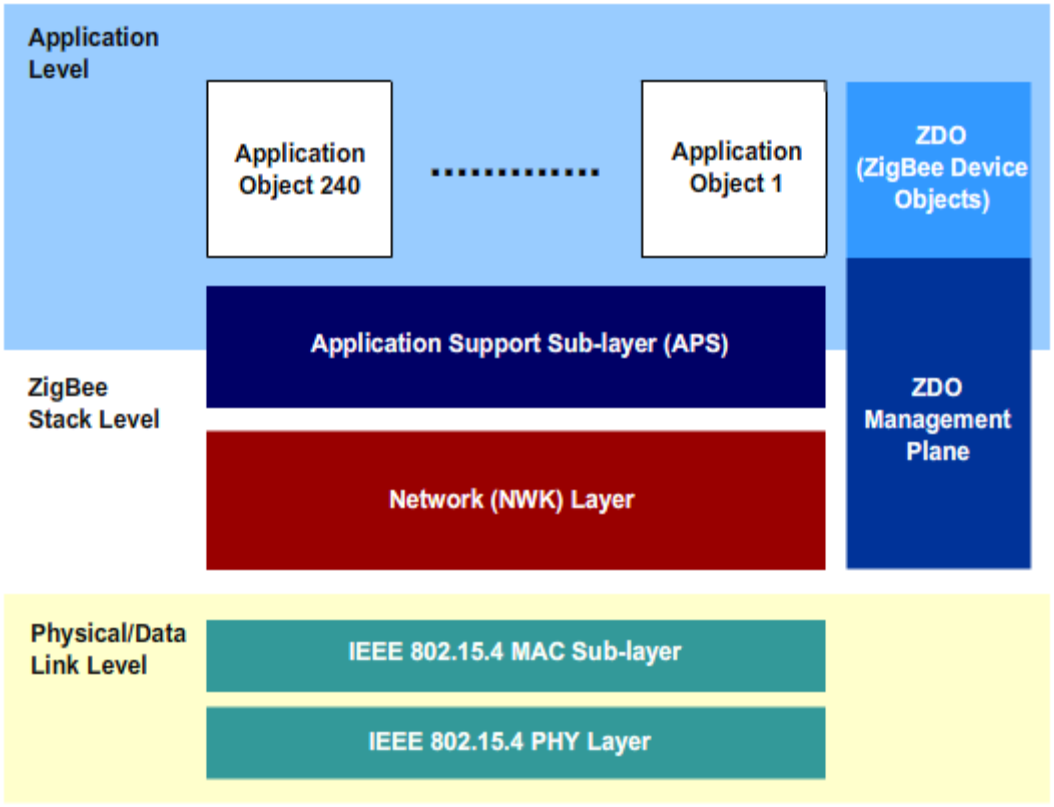
2.1.2 โครงสร้างของโพรโทคอล ZigBee

โครงสร้างของโพรโทคอล ZigBee ถูกแบ่งออกเป็น 3 ชั้นหลัก ๆ คือ

Application layer เป็นชั้นที่มีส่วนของ Endpoint อยู่ เรียกว่า Application framework โดยมี ZigBee Device Object (ZDO) ทำหน้าที่ในการจัดการในการเข้าถึงและใช้งาน Application layer

Application support sub-layer ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรมของ Application layer และทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลรวมถึงการจัดการด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ Application layer

Network layer ทำหน้าที่ในการ routing ข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางที่อาจอยู่ภายในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างเครือข่ายกัน



รูปที่ 2-2 ZigBee Protocol

2.1.3 ชนิดของอุปกรณ์ ZigBee

ชนิดของอุปกรณ์ ZigBee ถูกแบ่งอยู่ 2 ชนิดหลัก ๆ คือ

1. Full Function Device: FFD เป็น Router ที่เป็นสื่อกลางในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์อื่น ๆ ใช้พลังงานจาก power line ทำงานได้ในทุก Topology และสามารถทำเป็นจุดเชื่อมต่อกันได้

2. Reduced Function Device: RFD เหมาะแก่การเชื่อมต่อภายในเครือข่าย ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ไม่สามารถถ่ายทอดข้อมูลจากอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ ทำได้ง่ายในเครือข่ายที่เป็นแบบ Star

ตารางที่ 2-3 ชนิดของ ZigBee

Device Type	Services Offered	Typical Power Source	Typical Receiver Configuration
Full Function Device (FFD)	Most or all	Mains	On when Idle
Reduced Function Device (RFD)	Limited	Battery	Off when Idle

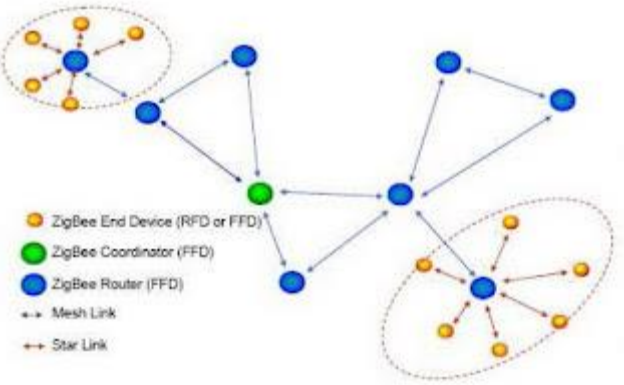
2.1.4 หน้าที่ของอุปกรณ์ ZigBee

อุปกรณ์ ZigBee นี้มีการแบ่งหน้าที่ออกเป็น 3 ประเภท ดังรูปที่ 2-3 และตารางที่ 2-4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ ZigBee ในแต่ละหน้าที่ ได้แก่

ZigBee Coordinators เป็นจุดที่ประสานเชื่อมต่อกัน ทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลในเครือข่ายเชื่อมโยงเครือข่ายระหว่าง End device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือCoordinator กับ Router กำหนด address ให้กับ device ที่อยู่ในวงเครือข่ายไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการ Routing เส้นทาง ซึ่งเทียบได้กับ FFD

ZigBee Routers ทำหน้าที่จัดการเส้นทางของข้อความที่ส่งผ่านภายในโครงข่ายระหว่างคู่ของโหนดใด ๆ ซึ่งเทียบได้กับ FFD

ZigBee End Devices เป็นโหนดที่อยู่ในส่วนของผู้ใช้งาน เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะใช้รับสัญญาณจาก Sensor ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงาน โดยสามารถเป็นได้ทั้งแบบ RFD และ FFD ขึ้นอยู่กับ sensor ที่ใช้



รูปที่ 2-3 หนึ่ง ZigBee coordinator ต่อหนึ่งเครือข่าย

ตารางที่ 2-4 หน้าที่ของ Zigbee

Zigbee Protocol Device	ชนิดของอุปกรณ์	การทำงานทั่วไป
Coordinator	FFD	มีหนึ่งตัวต่อหนึ่งเครือข่าย, จัดสรรที่อยู่ของอุปกรณ์ในเครือข่าย, รักษาตารางการจับคู่ (binding table)
Router (ตัวหาเส้นทาง)	FFD	จะมีหรือไม่มีก็ได้, ช่วยเพิ่มระยะครอบคลุมของเครือข่ายไร้สาย, ช่วยทำให้มีจำนวนโหนดร่วมในเครือข่ายมากกว่าหนึ่งโหนด. อาจทำหน้าที่เหมือนตัวปลายทางด้วย
End Device (ตัวปลายทาง)	FFD or RFD	ทำการตามสังเกตุการณ์ (monitor) และ/หรือทำหน้าที่ควบคุม

2.1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เครือข่ายไร้สาย

บทความอธิบายเกี่ยวกับเทคโนโลยีเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ ได้แก่ Chee-Yee Chong และ S.P. Kumar (2003) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges"; Deborah Estrin, David Culler, และ Kris Pister (2002) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "Connecting the Physical World with Pervasive Networks"; G.J. Pottie และ W.J. Kaiser (2000) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "Wireless Integrated Sensor Networks"; และ I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, และ E. Cayirci (2002) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "A Survey on Sensor Networks" โดยผลงานวิจัยทั้ง 4 พยายามให้ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ การประยุกต์ใช้ในแบบต่างๆ (เช่น การประยุกต์ใช้ในค่ายทหาร, การประยุกต์ใช้เป็นเครื่องดักจับภัยพิบัติ, การประยุกต์ใช้ในการดักจับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไปในตัวคนไข้และในโรงพยาบาล, การประยุกต์ใช้ในบ้าน ฯลฯ) นอกจากนี้ งานวิจัยดังกล่าวยังกล่าวถึง ข้อจำกัดและประเด็นที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้

เอกสารเกี่ยวกับการออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ ได้แก่ Robert Faludi (2010) เสนอผลงานเขียนในหนังสือชื่อ “Building Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing” ซึ่งแนะนำวิธีการใช้โปรแกรมเครื่องมือสำเร็จรูปในการพัฒนาเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้อย่างง่าย รวมถึงการติดตั้งเครื่องเกตเวย์เพื่อให้เครือข่ายอุปกรณ์รับรู้สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ต; N. Katenka, E. Levina, และ G. Michailidis (2007) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง “A Cost-Efficient Approach to Wireless Sensor Network Design” ซึ่งออกแบบเครือข่ายโดยการวางอุปกรณ์รับรู้แบบสุ่ม เป้าหมายหลักของงานวิจัยชิ้นนี้คือการประหยัดต้นทุนโดยรวมของเครือข่ายให้ได้มากที่สุด โดยที่เครือข่ายต้องสามารถครอบคลุมพื้นที่กำหนดและอุปกรณ์ทุกตัวในเครือข่ายสามารถติดต่อถึงกันได้; A. Tiwari, P. Ballal, และ F. Lewis (2007) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง “Energy-efficient wireless sensor network design and implementation for condition-based maintenance” โดยได้เสนอการออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้สำหรับการส่งข้อมูลแบบทันที (Real-time) โดยได้พัฒนาทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และโพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางสำหรับการเฝ้าสังเกตเครื่องจักรกล ระบบที่ถูกนำเสนอได้คำนึงถึงรูปแบบการวางอุปกรณ์รับรู้และเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลที่

ทำให้ประหยัดพลังงาน; Chiranjib Patra, Anjan Guha Roy, Samiran Chattopadhyay, และ Parama Bhaumik (2010) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง “Designing Energy-Efficient Topologies for Wireless Sensor Network: Neural Approach” โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเส้นประสาท (Neural network) ในการวางจุดที่ตั้งของอุปกรณ์รับรู้แต่ละตัว การออกแบบจุดที่ตั้งดังกล่าวมุ่งเน้นไปในเรื่องการประหยัดพลังงาน นอกจากนี้เครือข่ายสามารถปรับจุดที่ตั้งของอุปกรณ์ได้เองเมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไป

เอกสารการวิจัยที่มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้เครือข่ายอุปกรณ์รับรู้สำหรับเฝ้าสังเกตเฉพาะทาง ได้แก่ Heemin Park, Jeff Burke, และ Mani B. Srivastava (2007) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง “Design and implementation of a wireless sensor network for intelligent light control” โดยได้เสนอระบบควบคุมความสว่างของไฟสำหรับการผลิตสื่อเพื่อสันทนาการ ระบบควบคุมไฟดังกล่าวใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) เพื่อเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าส่องสว่างของไฟในจุดต่าง ๆ ให้เร็วที่สุด เพื่อที่จะฉายไปที่บุคคลหรือวัตถุเป้าหมายที่กำลังเคลื่อนที่ โดยค่าความส่องสว่างที่ได้จะเป็นไปตามที่ผู้ตั้งค่าได้ทำการตั้งค่าไว้ตั้งแต่แรก; C. Sharp, S. Schaffert, A. Woo, N. Sastry, C. Karlof, S. Sastry, D. Culler (2005) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง “Design and implementation of a sensor network system for vehicle tracking and autonomous interception” โดยได้นำเสนอเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้เพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของพาหนะของสายลับและช่วยหุ่นยนต์ไล่ล่าในการจับพาหนะของสายลับ ระบบเครือข่ายดังกล่าวมีกลวิธีในการเลือกผู้นำอัตโนมัติ, การเลือกเส้นทาง, การรวมข้อมูลไว้ด้วยกันเพื่อลดขนาดของข้อมูล และการควบคุมหุ่นยนต์แบบปิด นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาและใช้คุณสมบัติเชิงพื้นที่และทางกายภาพของสิ่งแวดล้อมซึ่งทำให้การออกแบบง่ายขึ้นและใช้ได้จริงในภาคสนามมากขึ้น; Thangavelu, A., K. Bhuvaneswari and K. Kumar (2007) ได้เสนอระบบติดตามและนำทางยานพาหนะโดยใช้ WiFi ในการติดต่อสื่อสาร; Erin-Ee-Lin Lau, Boon-Giin Lee, Seung-Chul Lee, and Wan-Young Chung (2008) นำเสนอวิธีระบุตำแหน่งและตรวจจับวัตถุทั้งในที่ร่มและกลางแจ้งอย่างแม่นยำโดยใช้อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย (CC2431 Chipcon, นอร์เวย์) ที่ใช้มาตรฐาน IEEE802.15.4 แบบเดียวกับ Zigbee โดยที่อุปกรณ์จะทำการคำนวณและประมาณค่าเพื่อระบุตำแหน่งโดยใช้ความเข้มของสัญญาณ วิธีการนี้จะทำการคำนวณระยะทางจากความเข้มของสัญญาณการรับส่งระหว่างโหนดที่ใช้อ้างอิง และโหนดที่ต้องการระบุตำแหน่ง; Y. Kim และ คณะ (2009) ใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณสิ่งแวดล้อมเช่น สัญญาณแม่เหล็ก แสง และ เสียงเพื่อประมาณการใช้ไฟฟ้าภายในห้อง; J. Lifton และ คณะ (2007) เสนอการออกแบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์สำหรับปลั๊กไฟฟ้าที่สามารถตรวจจับกระแสไฟ ศักย์ไฟฟ้า เสียง แสง การสั่นสะเทือน ความเคลื่อนไหว และอุณหภูมิ; M. Zeifman (2011) สร้างอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เพื่อทดสอบเซ็นเซอร์ TED – The Energy Detective สำหรับการตรวจสอบการใช้ปริมาณไฟฟ้าที่แผงวงจรหลัก

2.2 การประมวลผลข้อมูล

2.2.1 การจำแนกข้อมูล

จากการศึกษาการจำแนกประเภทข้อมูลจากหนังสือ Han, J., Kamber, M. 2000., “Data Mining Concepts and Techniques”, Morgan Kaufmann นั้นกล่าวว่า การจำแนกประเภทข้อมูลเป็นกระบวนการสร้างโมเดลจัดการข้อมูล ให้อยู่ในกลุ่มที่กำหนดมาให้ โดยจะนำข้อมูลส่วนหนึ่งมาสอนให้ระบบเรียนรู้ (training data) เพื่อจำแนกข้อมูล

ออกเป็นกลุ่มตามที่ได้กำหนดไว้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการเรียนรู้คือ โมเดลจำแนกประเภทข้อมูล (classifier model) และจะนำข้อมูลส่วนที่เหลือจากข้อมูลสอนระบบเป็นข้อมูลที่ใช้ทดสอบ (testing data) ซึ่งกลุ่มที่แท้จริงของข้อมูลที่ใช้ทดสอบนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับกลุ่มที่หามาได้จากโมเดลเพื่อทดสอบความถูกต้อง และปรับปรุงโมเดลจนกว่าจะได้ค่าความถูกต้องในระดับที่น่าพอใจ หลังจากนั้น เมื่อมีข้อมูลใหม่เข้ามา เราจะนำข้อมูลมาผ่านโมเดล งานวิจัยตัวอย่างเกี่ยวกับการจัดกลุ่มข้อมูล เช่น งานวิจัยของ Gehtke, J และคณะ (1998) เรื่อง A framework for fast decision tree construction of large datasets มีการนำต้นไม้ช่วยการตัดสินใจ (Decision tree) มาช่วยในการจัดการกับข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีสำคัญวิธีหนึ่งในการจำแนกประเภทข้อมูล โดยต้นไม้ช่วยการตัดสินใจจะมีลักษณะคล้ายโครงสร้างต้นไม้ที่แต่ละโหนดแสดงคุณลักษณะ (attribute), แต่ละกิ่งแสดงผล ในการทดสอบ และลีฟโหนด (leaf node) แสดงกลุ่มที่กำหนดไว้ ซึ่งต้นไม้ช่วยการตัดสินใจนี้ง่ายต่อการปรับเปลี่ยนเป็นกฎการจำแนกประเภทข้อมูล (Classification rule)

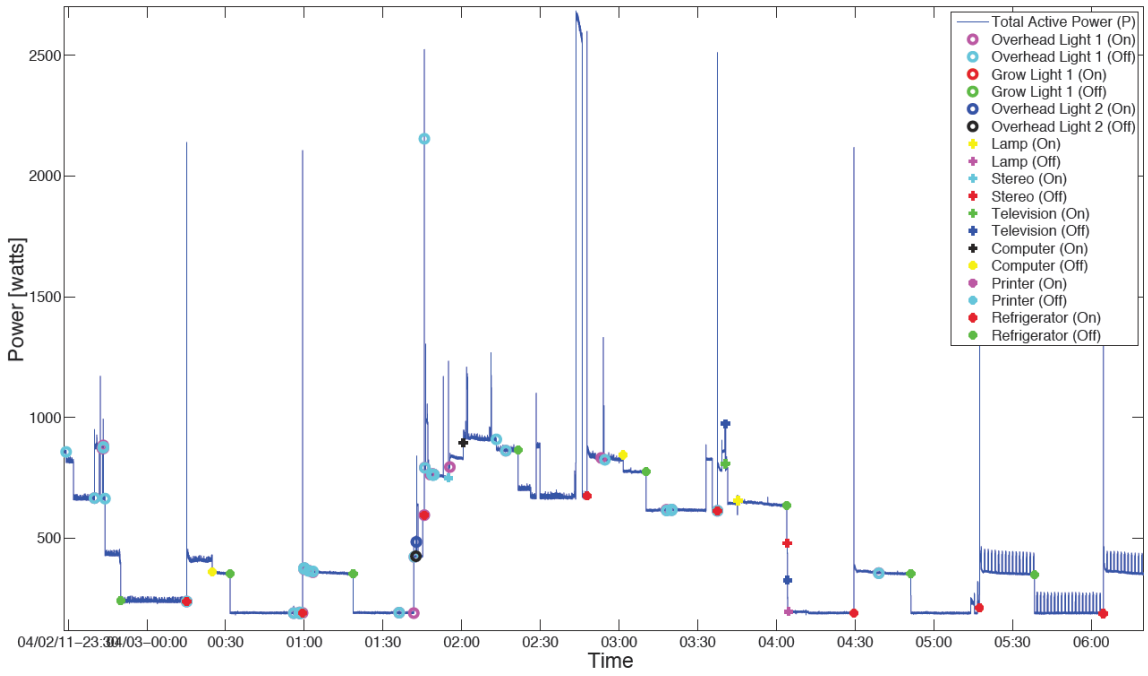
2.2.2 การทำเหมืองข้อมูลแบบหากฎความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเป็นระยะ ๆ

หลังจากที่ได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ มาแล้ว ทางผู้วิจัยจำเป็นต้องแยกประเภทของเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านั้นออกมาให้ได้เพื่อใช้ในการแยกประเภทการตรวจสอบความผิดปกติและพลังงานที่สูญเสียไปของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด ข้อมูลของเครื่องใช้ไฟฟ้ามีลักษณะเป็นแบบระยะ ๆ เป็นประจำ (Periodic) ทางผู้วิจัยจึงศึกษาบทความทางวิชาการ และข้อมูลที่น่าจะนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยชิ้นนี้ได้ ดังนี้

Akshat Surana, R. Uday Kiran, และ P. Krishna Reddy (2554) ได้เสนองานวิจัยเรื่อง “An Efficient Approach to Mine Periodic-Frequent Patterns in Transactional Databases” ซึ่งได้กล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับการเรียกใช้งานข้อมูลในระบบฐานข้อมูลเพียงชั่วขณะของรูปแบบการทำธุรกรรมที่พบบ่อย ที่เรียกว่า “Periodic-frequent” ซึ่งเกิดจากข้อจำกัดแบบเดียว “Single Constraints” ทำให้เกิดปัญหาการค้นหาที่ยากลำบากและต้องเกิดขึ้นบ่อย ๆ จากปัญหานี้ทำให้คณะวิจัยได้นำเสนอรูปแบบที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นโดยคำนึงถึงอัตราการเกิดขึ้นของข้อมูล (Periodicity) ในการประมวลผลด้วย ซึ่งผลการทดลองของผู้เขียนแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการนำเสนอวิธีนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีเดิม

2.2.1 การใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณไฟฟ้าและสิ่งแวดล้อมภายในบ้าน

Anthony Rowe (2011) ได้นำเสนอ หลักการ Multi Modal Sensing มาเป็นหลักการในการแยกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้การใช้อัตราการใช้พลังงาน (Watt) ของเครื่องใช้ไฟฟ้าในการจำแนกชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า



รูปที่ 2-4 โหลดการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้าแยกตามช่วงเวลา

ในงานวิจัยนี้ ได้มีการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าโดยดูจากโหลดการใช้ของแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้าในแต่ละห้อง ดังรูปที่ 2-4 ซึ่งค่าที่วัดออกมาได้นี้มาจากการตรวจจับสนามแม่เหล็ก Electromagnetic field (EMF) จากการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ และยังใช้ควบคู่ไปกับการตรวจจับความเคลื่อนไหว ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย Wireless Sensor Network (WSN) และนำข้อมูลในการตรวจจับสัญญาณนั้นมาจำแนกประเภทของเครื่องใช้ไฟฟ้าออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำงานเมื่อมีผู้ใช้งาน เช่น โทรทัศน์ (Active Appliances), อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำงานตลอดเวลา (Background Appliances) เช่น ตู้เย็น และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำงานเมื่อมีผู้อยู่ใช้งานหรือไม่ใช้งานก็ได้ (Passive Appliances) เช่น เครื่องซักผ้า ซึ่งท้ายสุดแล้วจะนำมาตรวจหาความผิดปกติและพลังงานที่สูญเสียไปโดยไม่จำเป็นของการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ

Gab-Su Seo และคณะ (2010) ศึกษารูปแบบการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านเพื่อนำข้อมูลรูปแบบไปออกแบบระบบไฟฟ้ากระแสตรงในบ้านที่จะนำมาใช้แทนไฟฟ้ากระแสสลับ งานวิจัยชิ้นนี้มีข้อจำกัดคล้ายกับงานวิจัยของ Anthony นั่นคือ ระบบสามารถจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าได้เป็นหมวดใหญ่ ๆ (แบบใช้มอเตอร์ แบบใช้ความร้อน แบบใช้วงจรไฟฟ้า) เท่านั้น

งานวิจัยของ M. Ito และ คณะ (2004) และ งานของ T. Saitoh และ คณะ (2008) เสนอคุณสมบัติของกระแสไฟฟ้า เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ฯลฯ ที่ระบบตรวจวัดเพื่อนำไปใช้รู้จำเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธี nearest neighbors (ขั้นตอนวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด); งานวิจัยของ (H. Serra, 2005) ใช้วิธีการจำกลุ่มระดับการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อระบุชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้จำนวนครั้งที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานถึงระดับหนึ่ง ๆ ; งานวิจัยของ (T. Kato, 2009) เสนอระบบเครือข่ายในบ้านซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ปลั๊กไฟฟ้าอัจฉริยะที่ตรวจจับการใช้ศักย์และกระแสไฟฟ้า แล้ว

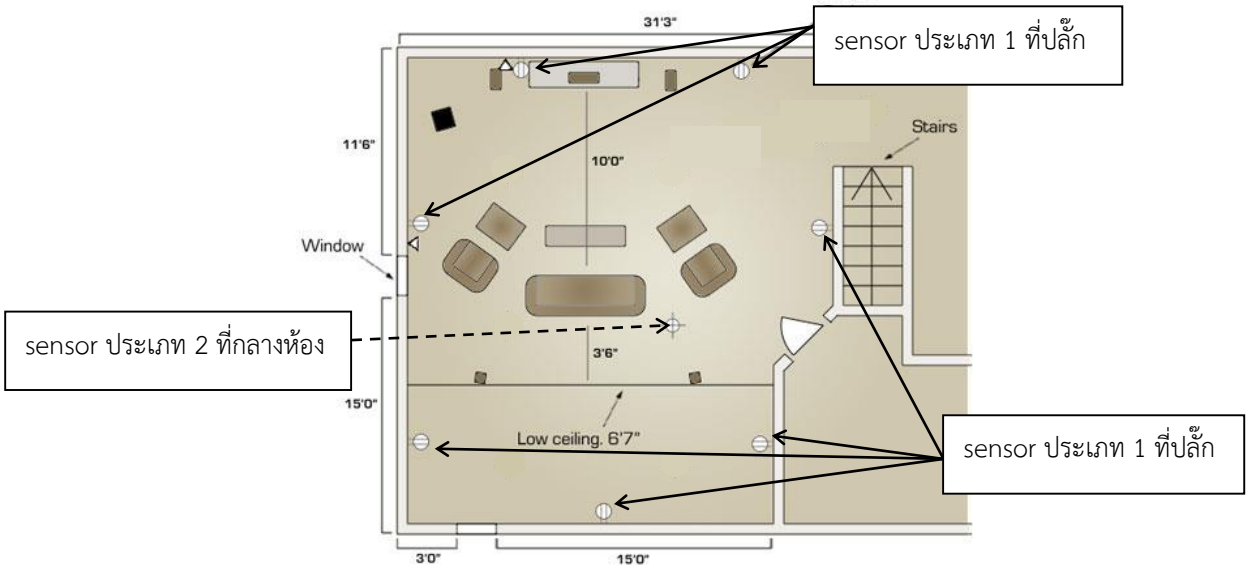
นำมาประมวลผลโดยใช้วิธี one-class SVM เพื่อจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้า งานวิจัยทั้งหมดในหัวข้อ 2.4.3 นี้ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของกระแสไฟฟ้าเท่านั้น คณะผู้ทำวิจัยคาดว่า ความแม่นยำในการจำแนกจะมีค่ามากขึ้นเมื่อใช้ข้อมูลสิ่งแวดล้อมอื่นเช่น อุหณภูมิของห้อง เสียง แสง การเคลื่อนไหว ร่วมด้วย

Patel และคณะ (2007) เสนอการใช้ Fast Fourier Transform และ SVM กับข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เซ็นเซอร์หนึ่งตัวซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณรบกวนที่เส้นกระแสไฟฟ้าหลัก เพื่อใช้ทำนายสถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น การเปิดปิดเครื่อง การใช้งานทั่วไป; Gu-yuan Lin และคณะ (2010) เสนอมิเตอร์อัจฉริยะที่ใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่แผงวงจรหลักของบ้าน ข้อมูลดังกล่าวผนวกกับข้อมูลพฤติกรรมของผู้ใช้ถูกนำมาใช้กับขั้นตอนวิธี k-NN, Navie Bayes, และ SVM เพื่อเดาสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า; Yu-Hsiu Lin และ คณะ (2011) ใช้ขั้นตอนวิธี Fuzzy C-Means clustering and optimization กับข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่แผงวงจรหลัก เพื่อใช้ทำนายสถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้าว่าเป็นสถานะเก็บพลังงาน (energizing) หรือสถานะคายพลังงาน (de-energizing); A.G. Ruzzelli และ คณะ (2010) เสนอระบบชื่อ RECAP ซึ่งสามารถจำแนกและทำโพรไฟล์ของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ โดยใช้ข่ายงานประสาทเทียมกับข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ตรวจวัดมาจากจุดเดียวที่อุปกรณ์จ่ายไฟหลัก; Schoofs และ คณะ (2010) เสนอระบบชื่อ ANNOT ที่ทำงานร่วมกับ RECAP โดยตรวจวัดการใช้พลังงานที่อุปกรณ์จ่ายไฟหลัก ตรวจวัดเสียงและคลื่นแม่เหล็กที่อุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ตรวจวัดสัญญาณรบกวนที่สายส่งไฟฟ้า จากนั้นใช้ข่ายงานประสาทเทียมเพื่อจำแนกและให้คำอธิบายประกอบ (annotation) สถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละเครื่อง; งานวิจัยทั้งหมดในหัวข้อ 2.4.4 นี้ต่างจากงานวิจัยที่คณะผู้วิจัยกำลังนำเสนอในโครงการนี้ เนื่องเพราะ 1) งานวิจัยดังกล่าวเสนอการติดตั้งอุปกรณ์วัดไฟฟ้าที่อุปกรณ์จ่ายไฟหลัก จึงเป็นการวัดการใช้พลังงานที่จุดเดียว ค่าที่วัดได้เป็นผลรวมของการใช้พลังงานไฟฟ้าของทุก ๆ เครื่องใช้ไฟฟ้า อาจทำให้ความแม่นยำในการจำแนกเครื่องใช้มีค่าไม่มากนัก 2) นอกจากนี้งานวิจัยดังกล่าวมุ่งออกไปที่การตรวจวัดสัญญาณ (ส่งข้อมูลมาที่ส่วนกลางเพื่อประมวลผลอย่างเดียว) ไม่ได้คำนึงถึงการควบคุมการเปิดปิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัว ตรงกันข้ามกับงานวิจัยชิ้นนี้ที่ใช้อุปกรณ์สื่อสารบนโปรโตคอล Zigbee ซึ่งถูกติดตั้งที่ปลั๊กไฟฟ้า ทำให้สามารถรับคำสั่งให้เปิดหรือปิดวงจรไฟฟ้าได้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนประกอบฮาร์ดแวร์และติดตั้ง

ในขั้นตอนนี้ คณะผู้วิจัยจะประกอบตัวอุปกรณ์ต่าง ๆ (Wireless chip และ อุปกรณ์เซ็นเซอร์ต่าง ๆ) รวมไว้ในแผงวงจรซึ่งช่วยทำให้ตัวอุปกรณ์มีขนาดกระทัดรัดขึ้นและสามารถไปติดตั้งได้จริง โดยอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ประกอบขึ้นมี 2 ประเภท ได้แก่:- 1) ประเภทติดตั้งที่ปลั๊กไฟ ซึ่งประกอบด้วย wireless chip อุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า และ อุปกรณ์ตรวจจับการเสียบปลั๊กไฟ (Photo Interrupter) จะถูกติดตั้งอยู่ที่ปลั๊กไฟแต่ละปลั๊ก (โดยมีสมมติฐานว่า ผู้ใช้จะเสียบอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างมากเพียงหนึ่งตัวต่อหนึ่งปลั๊กไฟเท่านั้น) และ 2) ประเภทติดตั้งที่บริเวณกลางห้อง ซึ่งประกอบด้วย wireless chip อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ อุปกรณ์ตรวจจับความเคลื่อนไหว อุปกรณ์ตรวจจับแสง และ อุปกรณ์ตรวจจับเสียง รูปที่ 3-1 แสดงตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์ทั้งสองประเภท โดยข้อมูลจากอุปกรณ์ทั้งสองประเภทจะถูกส่งมารวมไว้ที่เครื่องแม่ข่ายผ่านสัญญาณวิทยุไร้สายเพื่อรอการประมวลผล



รูปที่ 3-1 การติดตั้งอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ประเภทแรกตามปลั๊กไฟ 7 จุด และ ประเภทที่สอง บนเพดานกลางห้อง 1 จุด (โดยไม่ต้องเดินสายไฟ)

3.2 ขั้นตอนทดลองรับส่งข้อมูล

หลังจากที่คณะผู้วิจัยประกอบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และติดตั้งแล้ว คณะผู้วิจัยจะทดลองรับส่งข้อมูลที่อุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจจับได้ ในขั้นตอนนี้มีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ประสิทธิภาพการส่งข้อมูลผ่านทางสัญญาณวิทยุของอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลไร้สาย (Xbee chip) เนื่องจากสัญญาณบางชนิดเช่นสัญญาณกระแสไฟฟ้าและสัญญาณเสียงจะถูกจับและส่งให้เครื่องแม่ข่ายตลอดเวลา (แบบ Real-time) แต่อุปกรณ์สื่อสารข้อมูลไร้สายนี้มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถรับประกันได้ทั้งในเรื่องของความหน่วงที่อาจเกิดขึ้นในเครือข่ายและเรื่องของการสูญหายของข้อมูล หากผลการทดลองระบุว่าการรับส่งสัญญาณที่เสนอนี้มีความหน่วงหรืออัตราการสูญหายของข้อมูลมากเกินไป คณะผู้วิจัยวางแผนที่จะเพิ่ม micro controller เพื่อช่วยในคัดเลือก (sampling and filter) ค่าสัญญาณที่จะส่งผลต่อความแม่นยำในการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้า

3.3 ขั้นตอนการศึกษาเทคนิคการจำแนกข้อมูลและเตรียมข้อมูล

คณะผู้วิจัยวางแผนศึกษาเทคนิคการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยเริ่มต้นจากการศึกษาวิธีการจำแนกข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าชื่อ Multi-Modal Sensing ซึ่งเป็นวิธีการที่ M. Berges และคณะ (2011) ใช้ในการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยผู้วิจัยจะเตรียมข้อมูลโดยเพิ่มชนิดของอุปกรณ์ Sensor และชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าให้มากขึ้นกว่างานวิจัยที่มีมาในอดีต เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการจำแนกของขั้นตอนวิธีดังกล่าวเทียบกับผลการทดลองเดิมของ Berges

ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เซ็นต์เซอร์ต่าง ๆ ในข้างต้นจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบของคุณลักษณะของสัญญาณต่าง ๆ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะถูกนำมาใช้เป็นต้นแบบในการสร้างข้อมูลสัญญาณเทียมของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ แล้วเก็บลงในฐานข้อมูลที่จะใช้ทดสอบขั้นตอนวิธีการจำแนกข้อมูลในขั้นตอนต่อไป

3.4 ขั้นตอนการจำแนกข้อมูล

หลังจากได้ข้อมูลข้างต้นแล้ว ผู้วิจัยจะทดลองใช้เทคนิคหลายเทคนิคที่เคยถูกเสนอมาแล้วในงานวิจัยในอดีตนำมาเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพว่าเทคนิคใดจะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล (Data preparation) ก่อนที่จะส่งไปเข้าสู่กระบวนการหาอัลกอริทึมและวิเคราะห์ เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากเนื่องมาจากเป็นขั้นตอนที่ป้อนอินพุตเข้าไปในระบบหรือโปรแกรมโดยโปรแกรมที่ใช้ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Weka เวอร์ชั่น 3.6.2 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ด้านการทำเหมืองข้อมูลที่ได้รับการยอมรับและแพร่หลายทั่วโลกโดยโปรแกรมรับแฟ้มงาน (File) ที่อยู่ในรูปแบบที่ถูกต้อง จากนั้นจึงผ่านกระบวนการในการทำการจำแนกประเภท

การสร้างโมเดลระบบและการสอนข้อมูล (Building Models and Train Datasets) การเรียนรู้แบบมีการควบคุม (Supervised Learning) เป็นการเรียนรู้ซึ่งต้องมีชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Training Data) ซึ่งมีทั้งชุดข้อมูลที่เป็นอินพุต และเอาต์พุต ชุดข้อมูลที่ได้มาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลนี้ ยังไม่อยู่ในรูปของเครื่องกลเรียนรู้ (Machine Learning Pattern) เพราะยังไม่มีคลาสแอทริบิวต์ (Class attribute) ที่เป็นตัวบอกสถานะว่าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดไหน ดังนั้นในการเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ทดสอบในกระบวนการทดสอบเพื่อสร้างโมเดลต้นแบบการจำแนกข้อมูลการทำเหมืองข้อมูล จึง

ต้องมีการกำหนดคลาสแอทริบิวต์ในด้านขวาสุดของข้อมูล (ชื่อว่า CLASS_STATE) โดยบ่งบอก ถึงชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า และ State ของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นๆ ก่อนที่จะนำข้อมูลผ่านกระบวนการจำแนกประเภท ซึ่งจะใช้โปรแกรม Weka เป็นเครื่องมือในการจำแนกประเภทต่อไป

ในการใช้เทคนิคเพื่อสร้างตัวแบบในการจำแนกข้อมูล ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Weka ซึ่งข้อมูลที่โหลดเข้าโปรแกรม Weka นี้เป็นชุดข้อมูลของการใช้กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ข้อมูลมีแถว (Instances) ทั้งหมด 9,456 แถว และคอลัมน์ (Attributes) ทั้งหมด 6 คอลัมน์ ได้แก่ ประเภทของข้อมูลในแอตทริบิวต์ (Type) จำนวนข้อมูลในแอตทริบิวต์ที่ขาดหายไป (Missing) จำนวนข้อมูลที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Distinct) จำนวนข้อมูลที่ปรากฏขึ้นแค่ครั้งเดียวในแอตทริบิวต์ (Unique) ค่าน้อยสุดในแอตทริบิวต์ (Minimum) ค่ามากสุดในแอตทริบิวต์ (Maximum) ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแอตทริบิวต์ (Stadard Deviation) ซึ่งมีแอตทริบิวต์ในการจำแนกคือ State ซึ่งบ่งบอกสถานะของการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละสถานะ

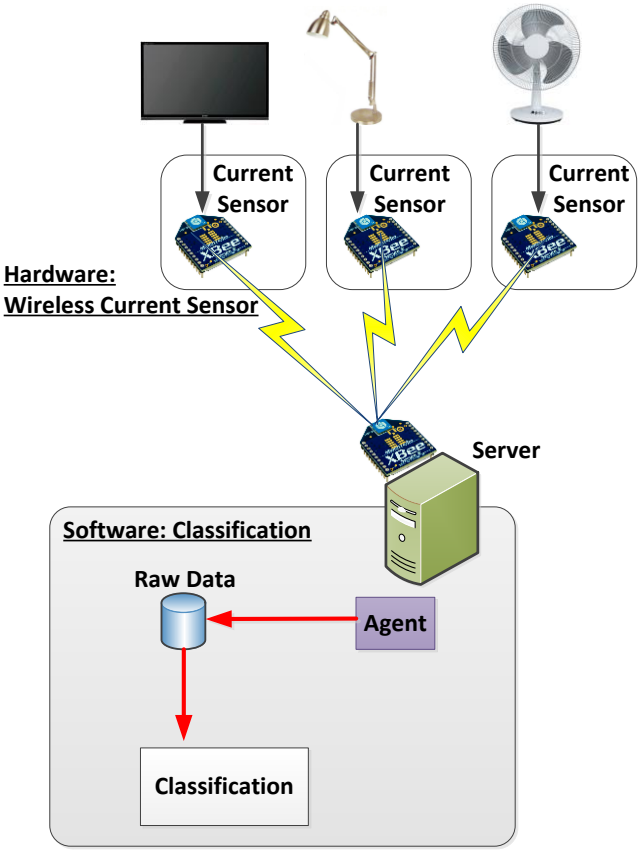
3.5 ขั้นตอนการประเมินผลการจำแนกข้อมูล

ในขั้นตอนการประเมินผลการจำแนกชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้า ผู้วิจัยจะนำข้อมูลส่วนที่สองที่แบ่งในขั้นตอนก่อนหน้า มาทำการจำแนกเพื่อวัดประสิทธิภาพความแม่นยำของการจำแนกชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบหาขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมสำหรับการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

การทดลองการทำงานของระบบวัดการใช้กระแสไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยระบบประกอบไปด้วยส่วนรับข้อมูลที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานงาน (Coordinator) ใช้รับข้อมูลการตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ส่งมาจาก End Device ดังรูป โดยเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าถูกออกแบบให้ใช้กับปลักเสียบผนังซึ่งควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลก่อนที่จะส่งผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายไปยังส่วนรับข้อมูล โดยแสดงเป็นกระบวนการดังต่อไปนี้ (รูปที่ 4-1)



รูปที่ 4-1 รูปแบบการทำงานของระบบ

ในการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์มายังเครื่องแม่ข่ายกลางจะมีข้อมูลที่ส่ง ตามตารางที่ 4-1 ได้แก่ ค่าน้อยสุด (Min), ค่ามากสุด (Max), ค่ากลาง (Mean), ค่าเฉลี่ย (Average), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของ

ค่า 4000 ค่าที่อ่านได้มาจากอุปกรณ์ตรวจวัดกระแส นอกจากนี้ยังส่งค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสไฟฟ้าจริง (Root Mean Square) ที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ในขณะนั้น

ตารางที่ 4-1 ตัวแปรที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งค่ามาให้กับเครื่องแม่ข่าย

ตัวแปร	สมการ	ความหมาย
$D_{min,t}$	$Min\{D_i, \dots, D_{i-3999}\}$	ค่าน้อยสุดของค่าที่วัด
$D_{max,t}$	$Max\{D_i, \dots, D_{i-3999}\}$	ค่ามากสุดของค่าที่วัด
$D_{mean,t}$	$\frac{(D_{max,t} + D_{min,t})}{2}$	ค่ากลางของค่าที่วัด
$D_{avg,t}$	$\frac{D_t}{4000}$	ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัด
$D_{sd,t}$	$\sqrt{\frac{1}{4000}\sum(D_i - D_{avg,t})^2}$	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่วัด
$I_{rms,t}$	$\sqrt{\frac{1}{4000}\sum {I_i}^2}$	ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสไฟฟ้าจริง

Dt = ผลรวมข้อมูลที่อ่านจาก Sensor จำนวน 4000 รายการ

= Di + Di+1 + … + Di-3999

I = ค่ากระแสไฟฟ้า

ในการเก็บข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า มาให้ฝั่งเครื่องแม่ข่าย โดยผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ทำหน้าที่เป็น Coordinator ซึ่งข้อมูลที่รับเข้ามานี้จะมีโปรแกรม Agent ตัวหนึ่งทำหน้าที่จัดเก็บในรูปแบบแฟ้มข้อความ (CSV ไฟล์ที่ขั้นด้วยคอมม่า) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป ตัวอย่างค่าข้อมูลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4-2 ซึ่งข้อมูลที่อ่านได้จากอุปกรณ์ปลายทางประกอบด้วย ค่าวันที่และเวลาที่อ่าน รหัสอุปกรณ์ บรรทัดที่อ่าน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้

ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ามีทั้งหมด 9,456 รายการจากอุปกรณ์ไฟฟ้ารวม 40 อุปกรณ์ โดยข้อมูลการใช้ไฟฟ้าประกอบด้วย 5 คอลัมน์ ได้แก่ ค่าน้อยสุด ค่ามากสุด ค่ากลาง ค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระแสไฟฟ้า และนำข้อมูลเหล่านี้มาจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยขั้นตอนวิธี

ตารางที่ 4-2 ข้อมูลที่เครื่องแม่ข่ายรับมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย

Date Time	EQU	LINE	MIN	MAX	MEAN	AVG	SD
2013/02/26 06:59:56	#U1	1	509	510	509.50	509.54	0.50
2013/02/26 06:59:57	#U1	2	509	511	510.00	509.55	0.50
2013/02/26 06:59:59	#U1	3	509	511	510.00	509.53	0.50
2013/02/26 07:00:00	#U1	4	508	511	509.50	509.53	0.50
2013/02/26 07:00:01	#U1	5	509	511	510.00	509.54	0.50
2013/02/26 07:00:03	#U1	6	509	510	509.50	509.54	0.50
2013/02/26 07:00:04	#U1	7	430	511	470.50	484.94	30.72
2013/02/26 07:00:05	#U1	8	430	510	470.00	484.04	30.91
2013/02/26 07:00:06	#U1	9	430	510	470.00	484.01	30.87
2013/02/26 07:00:08	#U1	10	431	511	471.00	484.34	30.74
2013/02/26 07:00:09	#U1	11	431	510	470.50	484.59	30.66
2013/02/26 07:00:10	#U1	12	431	510	470.50	484.32	30.79

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นแบบหลายสถานะ ตัวอย่างเช่นพัดลมมีอยู่ 3 สถานะ หากดูจากค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด หรือค่าเฉลี่ย ของการเปิดพัดลมแต่ละเบอร์ จะพบว่าค่าเหล่านี้จะไม่สามารถแยกสถานะของการใช้งานกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์นั้น ๆ ได้เลย ซึ่งแตกต่างจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการใช้กระแสไฟฟ้าจะพบว่าสามารถแยกสถานะได้อย่างชัดเจน

4.2 การจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้ได้เลือก 4 เทคนิคมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาว่าเทคนิคใดเหมาะสมที่สุดในการสร้างตัวแบบ ตารางที่ 4-3 แสดง ค่าพารามิเตอร์ของแต่ละเทคนิคที่ให้ผลการจำแนกได้แม่นยำที่สุด

ตารางที่ 4-3 ข้อมูลที่เครื่องแม่ข่ายรับมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย

เทคนิคการจำแนก	พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง	ค่าที่ให้ผลการจำแนกมากที่สุดในแต่ละเทคนิค
ต้นไม้การตัดสินใจ (C4.5)	Confidence factor	0.5
	Minimum number of instances	1
นาอีฟเบย์	-	-
โครงข่ายประสาทเทียม	Hidden layers	(จำนวนคุณลักษณะ + จำนวน class) / 2
	Learning rate	0.2
	Training time	500
ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน	Cost	27
	Gamma	1.0

วิธีที่ 1. เทคนิคการใช้ต้นไม้การตัดสินใจ

การทำต้นไม้การตัดสินใจ ผู้วิจัยได้ใช้ขั้นตอนวิธี C4.5 เพื่อใช้ในการทำชุดข้อมูลทดสอบ มีผลลัพธ์ดังรูปที่ 4-2

- เวลาที่ใช้ในการคำนวนเทคนิคนี้อยู่ที่ 0.32 วินาที

- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลถูกต้อง 8,914 รายการ หรือคิดเป็น 94.27% ของข้อมูลทั้งหมด

```
   a   b   c   d   e   f   g   h   i   j   k   l   m   n   o   p   q   r   s   t   <-- classified as
  73   0   0   0  90   0   0   0   0   0   0   0  34   0   6   0   0   0   0   0 |   a = HairdryerS0
   0 209   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0 |   b = HairdryerS1
   0   0 188   2   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0 |   c = HairdryerS2
   0   0   1 117   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0 |   d = HairdryerS3
   6   0   0   0 249   0   0   0   0   0   0   0  15   0   6   0   0   0   0   0 |   e = FanS0
   0   0   0   0   0 252   6   6   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0 |   f = FanS1
   0   0   0   0   0  13 211  10   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0 |   g = FanS2
   0   0   0   0   0   3   9 226   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0 |   h = FanS3
   0   0   0   0   0   0   0   0 488   0  20   0   6   0   0   0   0   0   1   0 |   i = IronS0
   0   0   0   0   0   0   0   0   0 364   0   0   0   1   0   0   0   0   0   1 |   j = IronS1
   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0 380   1   0   0   0   0   2   0   0   0 |   k = LampS0
   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0 621   0   0   0   0   0   0   0   0 |   l = LampS1
   5   0   0   0   1   0   0   0  16   0   2   0 2140   0   0   0   0   0   0   0 |   m = RefS0
   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   1   0 2741   0   3   0   0   0   0 |   n = RefS1
   2   0   0   0  10   0   0   0   0   0  12   0   6   0 253   0   1   0   0   0 |   o = TVS0
   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0 342   0   1   0   0 |   p = TVS1
   0   0   0   0   0   0   0   0   2   0   4   0   4   0   0   0  38   0   1   0 |   q = BlenderS0
   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   3   0   0   0  24   0   0 |   r = BlenderS1
   0   0   0   0   0   0   0   0   2   0   0   0   0   0   2   0   6   0  64   0 |   s = MocrowaveS0
   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0 150 |   t = MocrowaveS1
```

รูปที่ 4-2 ผลลัพทธ์เทคนิคการใช้ต้นไม้การตัดสินใจ

วิธีที่ 2. เท็คนิคการใช้นาอีฟเบย์

การใช้เทคนิควิธีนาอีฟเบย์ มีผลลัพธ์ ดังรูปที่ 4-3

- เวลาที่ใช้ในการคำนวนเทคนิคนี้อยู่ที่ 0.03 วินาที

- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลถูกต้อง 7,432 รายการ หรือคิดเป็น 78.53% ของข้อมูลทั้งหมด

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	<-- classified as
203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a = HairdryerS0
0	160	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	0	2	0	0	0	0	b = HairdryerS1
0	46	75	69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	c = HairdryerS2
0	0	2	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	d = HairdryerS3
185	0	0	0	82	7	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	e = FanS0
0	0	0	0	0	179	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	f = FanS1
0	0	0	0	0	146	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	g = FanS2
0	0	0	0	0	158	78	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	h = FanS3
0	0	0	0	0	0	0	0	434	0	61	0	0	0	0	0	1	0	19	0	i = IronS0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	365	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	j = IronS1
0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	371	5	0	0	0	0	6	0	0	0	k = LampS0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	618	0	2	0	0	0	0	0	0	l = LampS1
65	0	0	0	0	0	0	0	121	0	43	21	1870	1	0	0	2	0	41	0	m = RefS0
0	0	2	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2740	0	0	0	0	0	1	n = RefS1
63	0	0	0	184	0	0	0	0	0	34	0	1	0	0	0	2	0	0	0	o = TVS0
0	2	2	0	15	5	0	0	0	0	0	0	0	313	0	6	0	0	0	1	p = TVS1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	31	0	2	0	q = BlenderS0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	19	0	0	r = BlenderS1
0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	8	0	0	0	0	0	18	0	42	0	s = MocrowaveS0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	78	0	4	0	36	0	0	0	0	0	32	t = MocrowaveS1

รูปที่ 4-3 ผลลัพทธ์เทคนิคการใช้นาอีฟ เบย์

วิธีที่ 3. เท็คนิคการใช้โครงข่ายประสาทเทียม

การใช้โครงข่ายประสาทเทียม มีผลลัพธ์ ดังรูปที่ 4-4

- เวลาที่ใช้ในการคำนวนเทคนิคนี้อยู่ที่ 73.05 วินาที

- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลถูกต้อง 7,236 รายการ หรือคิดเป็น 76.53% ของข้อมูลทั้งหมด

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	<-- classified as
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	203	0	0	0	0	0	0	0	a = HairdryerS0
0	123	0	1	0	1	0	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b = HairdryerS1
0	0	182	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	c = HairdryerS2
0	0	1	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	d = HairdryerS3
0	0	0	0	86	4	0	0	0	0	0	0	185	0	1	0	0	0	0	0	e = FanS0
0	0	0	0	0	149	0	115	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	f = FanS1
0	0	0	0	0	69	0	165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	g = FanS2
0	0	0	0	0	3	0	233	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	h = FanS3
0	0	0	0	0	0	0	0	322	0	3	190	0	0	0	0	0	0	0	0	i = IronS0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	352	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	j = IronS1
0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	374	0	0	0	0	0	0	0	0	k = LampS0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	620	0	0	0	0	0	0	0	0	l = LampS1
0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	44	175	1935	0	0	0	0	0	0	0	m = RefS0
0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2736	0	0	0	4	0	4	n = RefS1
0	0	0	0	104	0	0	0	2	0	1	33	115	0	29	0	0	0	0	0	o = TVS0
0	0	0	0	6	16	0	4	0	1	0	4	0	174	0	134	0	5	0	0	p = TVS1
0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	42	0	0	0	0	0	0	0	0	q = BlenderS0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	12	0	11	r = BlenderS1
0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	2	40	0	0	0	0	0	0	0	0	s = MocrowaveS0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	110	t = MocrowaveS1

รูปที่ 4-4 ผลลัพธ์เทคนิคการใช้โครงข่ายประสาทเทียม

วิธีที่ 4. เท็คนิคการใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

การใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน มีผลลัพธ์ ดังรูปที่ 4-5

- เวลาที่ใช้ในการคำนวนเทคนิคนี้อยู่ที่ 6.54 วินาที

- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลถูกต้อง 8,688 รายการ หรือคิดเป็น 91.88% ของข้อมูลทั้งหมด

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	<-- classified as
58	0	0	0	116	0	0	0	0	0	0	0	24	0	5	0	0	0	0	0	a = HairdryerS0
0	202	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	b = HairdryerS1
0	0	174	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	c = HairdryerS2
0	0	0	107	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	d = HairdryerS3
48	0	0	0	220	1	0	0	0	3	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	e = FanS0
0	0	0	0	0	232	19	10	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	f = FanS1
0	0	0	0	0	27	190	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	g = FanS2
0	0	0	0	0	7	21	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	h = FanS3
0	0	0	0	0	0	0	0	418	3	51	0	39	0	0	0	1	0	3	0	i = IronS0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	366	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	j = IronS1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	375	2	3	0	0	0	1	0	0	0	k = LampS0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	617	0	0	0	0	0	0	0	0	l = LampS1
11	0	0	0	13	0	0	0	30	2	7	2	2081	0	0	0	6	0	12	0	m = RefS0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	2733	0	3	0	0	0	0	n = RefS1
29	0	0	0	32	0	0	0	0	1	34	0	2	0	183	1	1	0	1	0	o = TVS0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	2	1	323	0	0	0	0	p = TVS1
0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	21	0	4	0	0	0	17	0	2	0	q = BlenderS0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	r = BlenderS1
0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	16	0	0	0	0	0	10	0	36	0	s = MocrowaveS0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	142	t = MocrowaveS1

รูปที่ 4-5 ผลลัพธ์เทคนิคการใช้ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

การเปรียบเทียบตัวแบบ และประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบ

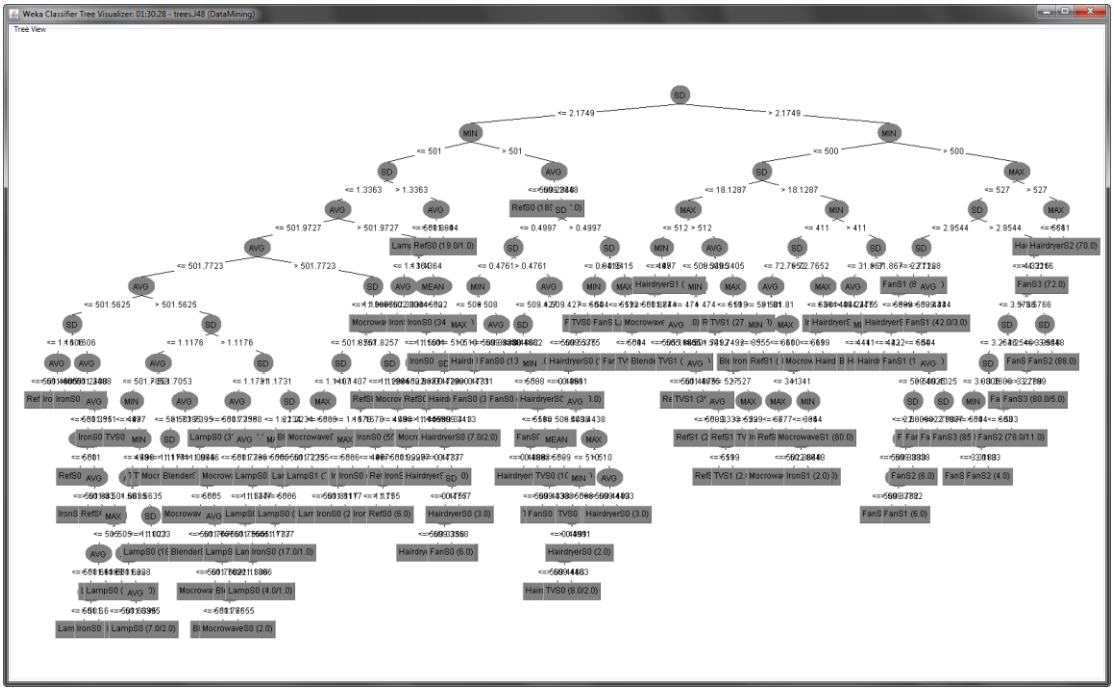
จากผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบ 4 เทคนิคที่แสดงมา สามารถสรุปผลตามตารางที่ 4-4 โดยจะเห็นว่าค่าความถูกต้องของการจำแนกด้วยเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจมีค่าความถูกต้องมากที่สุดอยู่ที่ 94.07% (ใช้การตรวจสอบไขว้

แบบ 10-Fold และ กำหนดค่าปัจจัยความเชื่อมั่น (CF) ที่ 0.5 และ จำนวนข้อมูลในโหนดของต้นไม้ขั้นต่ำ (M) ที่ 1) รองลงมาคือ เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เทคนิควิธีนาอีฟเบย์ และเทคนิควิธีโครงข่ายประสาทเทียม ตามลำดับ

ตารางที่ 4-4 สรุปเปรียบเทียบ 4 เทคนิคในการจำแนกประเภท

	ต้นไม้การตัดสินใจ (C4.5)	**นาอีฟเบย์**	**โครงข่ายประสาทเทียม**	**ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน**
เวลา (วินาที)	0.32	0.03	73.05	6.54
ความถูกต้องในการจำแนก (%)	94.27	78.53	76.53	91.88
Precision	0.942	0.808	0.738	0.923
Recall	0.943	0.785	0.765	0.919

ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิคต้นไม้การตัดสินใจโดยใช้อัลกอลิทึม C4.5 มีประสิทธิภาพสูงกว่าเทคนิคนาอีฟ เบย์ และ เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม ผลการปรับค่าตัวแปร ผู้วิจัยวัดประสิทธิภาพของการจำแนกที่ดีที่สุดด้วยวิธี Cross-Validation แบบ Folds 10 โดยพิจารณาจากค่าความถูกต้อง (Correctly) สูงสุดอยู่ที่ 94.2682% ค่าความแม่นยำ (Precision) สูงสุดอยู่ที่ 0.942 ค่าระลึก (Recall) สูงสุดอยู่ที่ 0.943 และค่าอัตราการรู้จำ (F-Measure) สูงสุดอยู่ที่ 0.941 ดังนั้น การปรับค่าตัวแปรปัจจัยความเชื่อมั่น (Confidences Factor) ที่ค่าเท่ากับ 0.5 และ จำนวนข้อมูลขั้นต่ำ (Minimum Number Pruning) ที่ค่าเท่ากับ 1 ทำให้แบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจที่มีเปอร์เซนต์ความถูกต้องสูงที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงนำเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ สามารถแสดงออกมาในรูปแบบของแบบจำลองแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจสำหรับทำนายการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ดังแสดงในรูปตัวอย่างของต้นไม้ตัดสินใจในรูปที่ 4-6 มีจำนวน Leaf อยู่ที่ 195 และมีขนาดของต้นไม้ อยู่ที่ 389



รูปที่ 4-6 ตัวอย่างแบบจำลองแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจสำหรับทำนายการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด

การนำตัวแบบไปใช้จริง

จากเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจที่ได้เปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพจนได้แบบจำลองแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจสำหรับทำนายการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ซึ่งสมารถนำไปใช้ในอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยลักษณะของกฎจะอยู่ในรูปแบบ IF ... THEN ... เป็นรูปแบบโปรแกรมภาษา C

ซึ่งผู้วิจัยพบว่าเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจนอกจากจะดีกว่าเทคนิคอื่น ในแง่ของความถูกต้อง และความรวดเร็วแล้ว การเขียนโปรแกรมในอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ในเชิงการตัดสินใจแบบใช้เงื่อนไข IF ... THEN ... จะทำให้การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับทำงานได้เร็ว และง่ายต่อการพัฒนาเนื่องด้วยเงื่อนไขการตัดสินใจไม่ซับซ้อน ซึ่งเป็นข้อดีของการนำเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจไปใช้ ตัวอย่างของกฎที่ได้จากต้นไม้การตัดสินใจมีดังนี้

IF (SD <= 2.1749)
IF (MIN > 501)
IF (AVG <= 509.2848)
Classify as RefS0
ELSE IF (SD > 0.4997)
IF (SD <= 0.9415)
IF (MIN <= 504)
Classify as FanS0

เมื่อลองนำข้อมูลในรายการที่ 1478 ซึ่งมีข้อมูลดังต่อไปนี้:- MIN=504.0, MAX=515.0, MEAN=509.5, AVG=509.3883 and SD=1.2985 กฎจะจำแนกจากตัวอย่างกฎ ได้ผลการจำแนกคือพัดลมทำงานในสถานะ 0 หรือเมื่อนำข้อมูลรายการที่ 5007 ซึ่งมีข้อมูลดังต่อไปนี้:- MIN=508.0, MAX=510.0, MEAN=509.0, AVG= 509.1133 and SD=0.3477 กฎจะจำแนกได้เครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นตู้เย็นกำลังทำงานในสถานะ 0

สาเหตุที่อาจทำให้ผลการจำแนกมีความแม่นยำต่ำ

1. ตัวแบบนาอีฟเบย์

ตัวแบบนาอีฟเบย์ให้ผลลัพธ์ในการจำแนกต่ำที่สุด (ทำนายผิดพลาดที่ 21.47%) โดยค่าปริยายแล้ว ตัวแบบนาอีฟเบย์ที่ทำงานโดยโปรแกรมประยุกต์ WEKA อนุมานว่าข้อมูลที่เป็นตัวเลขมีการกระจายแบบเกาส์เสียน และประมาณการคุณลักษณะที่เป็นตัวเลขให้เป็นชื่อแทนตัวเลข ซึ่งการกระทำในลักษณะดังกล่าวอาจส่งผลให้ความแม่นยำในการทำนายผลของตัวแบบนาอีฟเบย์ต่ำลง และในขณะเดียวกันค่าของแต่ละคุณลักษณะอาจมีความใกล้เคียงกันมาก เป็นการยากที่ตัวแบบนาอีฟเบย์จะจำแนกความแตกต่างของอุปกรณ์ไฟฟ้าบนพื้นฐานของการประมาณการคุณลักษณะที่เป็นตัวเลขให้เป็นชื่อแทนตัวเลข จากตัวอย่างด้านล่างแสดงให้เห็นถึงการทำนายที่ผิดพลาดคือ

ทำนายเป็น : ตู้เย็นทำงานอยู่ในสถานะ 1
คลาสที่เป็นจริง : เครื่องเป่าผมทำงานอยู่ในสถานะ 1
ค่าของข้อมูล [Min, Max, Mid-range, Avg, SD]: [499, 510, 504.5, 506.37, และ 3.85]

เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยของทุกคุณลักษณะของตู้เย็นทำงานอยู่ในสถานะ 1 พบว่า ค่าเฉลี่ยของข้อมูล Min, Max, Mid-range, Avg, และ SD คือ 489.64, 521.72, 505.68, 505.64, และ 9.66 ตามลำดับ จะเห็นว่าข้อมูลของเครื่องเป่าผมที่ทำงานในสถานะ 1 มีความใกล้เคียงกันมากกับข้อมูลโดยส่วนใหญ่ของตู้เย็นทำงานในสถานะที่ 1 ซึ่งอาจทำให้เกิดความสับสนในการจำแนกดังกล่าว

2. ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียบแบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น

ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียบแบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น ถึงแม้ว่าเป็นขั้นตอนวิธีที่เป็นที่นิยมแต่จากผลการทดลองให้ผลลัพธ์ในการจำแนกที่ต่ำกับข้อมูลของเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยอาจเกิดจาก 1) ตัวแบบชนิดนี้ให้ผลการทำนายที่ต่ำกับข้อมูลที่มีลักษณะเป็นโครงสร้างสูงและข้อมูลลักษณะชุดข้อมูลเวลา 2) ขั้นตอนวิธีแบบขั้นตอนการส่งค่าย้อนกลับ (Backpropagation) spite of being fast, might fall into a local minimum at a high risk.

3. ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสร้างไฮเปอร์เพลนเพื่อแยกอุปกรณ์ไฟฟ้าออกเป็นหนึ่งคลาสหรือมากกว่า หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง เมื่อไฮเปอร์เพลนถูกสร้างขึ้นข้อมูลของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ด้านหนึ่งของไฮเปอร์เพลนก็จะจำแนกเป็นคลาสหนึ่ง ขณะที่ข้อมูลที่อยู่ในด้านอื่น ๆ ของไฮเปอร์เพลนก็จะถูกจำแนกเป็นคลาสต่าง ๆ เช่นกัน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วข้อมูลที่อยู่ในด้านต่างของไฮเปอร์เพลนอาจไม่อยู่ในคลาสนั้น ๆ ก็เป็นได้ โดยเป็นที่ทราบกันดีว่าตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนจะไม่สามารถจำแนกข้อมูลได้ผลลัพธ์ที่ดีนักเมื่อข้อมูลเหล่านั้นมีความผิดปกติจำนวนมาก จากตัวอย่างด้านล่างแสดงให้เห็นถึงการทำนายที่ผิดพลาดคือ

ทำนายเป็น : เตารีดทำงานอยู่ในสถานะ 1

คลาสที่เป็นจริง : ตู้เย็นทำงานอยู่ในสถานะ 1

ค่าของข้อมูล [Min, Max, Mid-range, Avg, SD]: [411, 610, 510.5, 509.16, และ 34.99]

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะข้อมูลของตู้เย็น [489.64, 521.72, 505.68, 505.64, และ 9.66] เทียบกับค่าของข้อมูลด้านบน (ซึ่งคลาสที่เป็นจริงคือตู้เย็นทำงานอยู่ในสถานะ 1) พบว่ามีค่าที่แตกต่างกันมากซึ่งอาจเกิดจากข้อมูลที่มีความผิดปกติทำให้การจำแนกยังให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีก็เป็นได้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการเปรียบเทียบวิธีการจำแนกชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยวิเคราะห์ข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล โดยเปรียบเทียบ 4 เทคนิคได้แก่ ต้นไม้ตัดสินใจ โครงข่ายประสาทเทียม นาอีฟเบย์ และ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เพื่อหาวิธีการจำแนกชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับในรูปแบบปลั๊กไฟฟ้าและนำไปใช้กับทุก ๆ จุดที่อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียบใช้งานอยู่ ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกส่งมาส่วนกลางผ่านระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อนำมาช่วยจำแนกหาชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ไฟฟ้า จำนวน 8 ชนิด ชนิดละ 5 เครื่อง ทั้งหมดเป็นจำนวน 40 เครื่อง โดยทำการตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ในทุกสถานะจากสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง ซึ่งข้อมูลที่ได้มาเพื่อวิเคราะห์มีจำนวนข้อมูล 9,456 รายการ

คณะผู้วิจัยพบว่าต้นไม้ตัดสินใจ ที่ใช้อัลกอริทึม C4.5 มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดอยู่ที่ 5.73% เมื่อจำแนกโดยกำหนดค่าปัจจัยความเชื่อมั่นที่ 0.5 และ จำนวนข้อมูลขั้นต่ำที่ 1 อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และกฎการจำแนกที่นำเสนอสามารถนำเป็นตัวแบบเพื่อไปประยุกต์ใช้งานได้จริง และเป็นส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานในที่อยู่อาศัย

สำหรับงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อในปีงบประมาณ ๒๕๕๘ คณะผู้วิจัยวางแผนที่จะพัฒนาระบบต่อให้สามารถจำแนกชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้าหลากชนิดขึ้น และ ให้สามารถจำแนกในกรณีที่มีเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายตัวต่อกับเต้าเสียบ อีกประเด็นหนึ่งคือการเพิ่มระยะทางและลดค่าความผิดพลาดของการส่งข้อมูลของตัวอุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย นอกจากนี้ ระบบจะมีการสั่งงานให้ ปิด หรือ เปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าได้อย่างชาญฉลาดและอัตโนมัติ โดยเรียนรู้จากข้อมูลพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้และข้อมูลสิ่งแวดล้อมอื่นภายในอาคาร เพื่อดูแลทั้งด้านการใช้พลังงานและความปลอดภัยในอาคาร

ผลงานวิจัยในรายงานสมบูรณ์ฉบับนี้ยังไม่ได้รับการตีพิมพ์และอยู่ในระหว่างการพิจารณาจากกรรมการในงานประชุมวิชาการ AINTECT 2014 โดยผลงานวิจัยนี้เป็นงานต่อยอดจากงานวิจัยที่ได้ถูกตีพิมพ์ในงานประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 9 (NCCIT2013) ที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในหัวข้อเรื่อง “ระบบการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายเพื่อช่วยประหยัดพลังงาน” ตามเอกสารแนบในภาคผนวก

บรรณานุกรม

[1] Schoofs, A.; Guerrieri, A.; Delaney, D.T.; O'Hare, G.; Ruzzelli, A.G.; , "ANNOT: Automated Electricity Data Annotation Using Wireless Sensor Networks," Sensor Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), 2010 7th Annual IEEE Communications Society Conference on , vol., no., pp.1-9, 21-25 June 2010.

[2] Berges, M.; Rowe A.; , "Poster: Appliance Classification and Energy Management Using Multi-Modal Sensing," The 3rd ACM Workshop On Embedded Sensing Systems For Energy-Efficiency In Buildings (BuildSys), held in conjunction with ACM SenSys, November 2011.

[3] Ergen, S. (2004, September 10). *ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary* [Online]. Available: http://pages.cs .wisc.edu /~suman/courses/838/papers/zigbee.pdf

[4] Yu-Hsiu Lin, Men-Shen Tsai, Chin-Sheng Chen, "Applications of fuzzy classification with fuzzy c-means clustering and optimization strategies for load identification in NILM systems," in Proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems , pp. 859-866, 2011 : 859-866

[5] Digi International Inc. (2008, September). *XBee®/XBee-PRO® OEM RF Modules* [Online]. Available FTP: ftp://ftp1.digi.com/support/documentation File: 90000982_A.pdf

[6] SENA TECHNOLOGIES, INC. (2012, June 2). *The comparison of Wi-Fi, Bluetooth and Zigbee* [Online]. Available: http://www.sena.com/blog/?p=359

[7] NXP Semiconductors. (2012, June 2). *Zigbee Software Architecture: Detailed Architecture* [Online]. Available: http://www.jennic.com/elearning/zigbee/files/html/module3/module3-4 .htm

[8] Eady, F., *Hands-On Zigbee: Implementing 802.15.4 with Microcontroller*. Burlington, MA: Newnes; 2007.

[9] บริษัท วีนัส ซัพพลาย จำกัด. (2 มิถุนายน 2555). *Zigbee and Xbee BASIC ตอน Zigbee คืออะไร* [Online]. Available: http://www.thaieasyelec.com/electronics-in-chapter/what-is-zigbee.html

[10] กลกรณ์ วงศ์ภาติกะเสรี, อรุณี รติกานต์. (2 มิถุนายน 2555). *ระบบกันขโมยไร้สาย โดยใช้ Zigbee Security Automation with Zigbee* [Online]. Available: http://www.vcharkarn.com/project/view/386

[11] Surana, A.; Kiran, R. U.; and Reddy, P. K.; , "An efficient approach to mine periodic-frequent patterns in transactional databases," In Proceedings of the 15th international conference on New Frontiers in Applied Data Mining (PAKDD'11), Longbing Cao, Joshua Zhexue Huang, James Bailey, Yun Sing Koh, and Jun Luo (Eds.). Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 254-266.

[12] Han, J.; Kamber, M.; , *Data Mining Concepts and Techniques*. Waltham, MA: Morgan Kaufmann; 2000.

[13] Gehtke, J.; Ramakrishnan, R.; Ganti, V; , “Rainforest - A framework for fast decision tree construction of large datasets”, In Proceeding of International Conference Very Large Database, p.416-427, 1998.

[14] สมพัฒน์ รุ่งตะวันเรืองศรี, *Electric Circuits June 2000*, Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, Prince of Songkla University; 2000.

[15] Chee-Yee Chong; Kumar, S.P., "Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges," Proc IEEE, August 2003.

[16] Deborah Estrin, David Culler, and Kris Pister, "Connecting the Physical World with Pervasive Networks," IEEE Pervasive Computing, 1,1 (Jan.-March 2002).

[17] G.J. Pottie, W.J. Kaiser, "Wireless Integrated Sensor Networks," Communication of the ACM, May 2000.An overview with more of a signal processing viewpoint.

[18] Akyildiz, I.F., W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, August, 102-114 (2002).

[19] N. Katenka, E. Levina, and G. Michailidis. “A Cost-Efficient Approach to Wireless Sensor Network Design,” Technical report #474, Dept. of Statistics, Univ.of Michigan, 2007.

[20] Tiwari, Ankit et. al, “Energy-efficient wireless sensor network design and implementation for condition-based maintenance,” ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN) Volume 3 Issue 1, March 2007.

[21] Chiranjib Patra, Anjan Guha Roy, Samiran Chattopadhyay, and Parama Bhaumik, “Designing Energy-Efficient Topologies for Wireless Sensor Network: Neural Approach,” International Journal of Distributed Sensor Networks, Volume 2010.

[22] Heemin Park , Jeff Burke, and Mani B. Srivastava, “Design and implementation of a wireless sensor network for intelligent light control,” Proceedings of the 6th international conference on Information processing in sensor networks, April 25-27, 2007, Cambridge, Massachusetts, USA.

[23] C. Sharp, S. Schaffert, A. Woo, N. Sastry, C. Karlof, S. Sastry, and D. Culler, “Design and implementation of a sensor network system for vehicle tracking and autonomous interception,” Proceeedings of the Second European Workshop on (2005), pp. 93-107.

[24] Thangavelu, A., K. Bhuvaneswari and K. Kumar, 2007. Location identification and vehicle tracking using VANET (VETRAC). IEEE Int. Conf. Sign. Proc. Commun. Network., 1: 112-116.

[25] Erin-Ee-Lin Lau, Boon-Giin Lee, Seung-Chul Lee, and Wan-Young Chung, “Enhanced RSSI-Based High Accuracy Real-Time User Location Tracking System for Indoor and Outdoor Environments,” International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, Vol. 1, No. 2, June 2008.

[26] Gab-Su Seo, Jongbok Baek, Chul Woo Bak, Hyunsu Bae, Bohyung Cho, "Power Consumption Pattern Analysis of Home Appliances for DC-based Green Smart Home," 전력전자학회 2010 년도 전력전자학술대회 논문집, pp. 240~241, 2010.7

[27] Gu-yuan Lin, Shih-chiang Lee, Hsu, J.Y.-J., Wan-rong Jih, "Applying power meters for appliance recognition on the electric panel," Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2010 the 5th IEEE Conference on , vol., no., pp.2254-2259, 15-17 June 2010

[28] M. Ito, R. Uda, S. Ichimura, K. Tago, T. Hoshi, and Y. Matsushita, “A method of appliance detection based on features of power waveform,” in Applications and the Internet, 2004. Proceedings. 2004 International Symposium on, 2004, pp. 291–294.

[29] T. Saitoh, Y. Aota, T. Osaki, R. Konishi, and K. Sugahara, “Current Sensor based Non-intrusive Appliance Recognition for Intelligent Outlet,” in ITC-CSCC 2008, 2008.

[30] H. Serra, J. Correia, A. Gano, A. de Campos, and I. Teixeira, “Domestic power consumption measurement and automatic home appliance detection,” in Intelligent Signal Processing, 2007 IEEE International Workshop on, 2005, pp. 128–132.

[31] T. Kato, H. Cho, D. Lee, T. Toyomura, and T. Yamazaki, “Appliance Recognition from Electric Current Signals for Information-Energy Integrated Network in Home Environments,” Ambient Assistive Health and Wellness Management in the Heart of the City, vol. 5597, pp. 150–157, June 2009.

[32] Y. Kim, T. Schmid, Z. Charbiwala, and M. Srivastava, “ViridiScope: design and implementation of a fine grained power monitoring system for homes,” in Proceedings of the 11th international conference on Ubiquitous computing. ACM, 2009, pp. 245–254.

[33] S. Patel, T. Robertson, J. Kientz, M. Reynolds, and G. Abowd, “At the flick of a switch: Detecting and classifying unique electrical events on the residential power line (nominated for the best paper award),” in 9th International Conference, UbiComp 2007, Innsbruck, Austria, September 16-19, 2007. Proceedings, ser. Lecture Notes in Computer Science, vol. 4717. Springer Berlin / Heidelberg, September 2007, pp. 271–288.

[34] A.G. Ruzzelli, G.M.P. O’Hare, A. Schoofs, C. Nicolas, “Real-Time Recognition and Profiling of Appliances through a Single Electricity Sensor,” In Seventh Annual IEEE Communications

Society Conference on Sensor, Mesh, and Ad Hoc Communications and Networks (SECON'10), 2010

[35] J. Lifton, M. Feldmeier, Y. Ono, C. Lewis, J.A. Paradiso, "A Platform for Ubiquitous Sensor Deployment in Occupational and Domestic Environments," Information Processing in Sensor Networks, 2007. IPSN 2007. 6th International Symposium on , vol., no., pp.119-127, 25-27 April 2007

[36] M. Zeifman, K. Roth, "Non-Intrusive Appliance Load Monitoring (NIALM): Review and Outlook," In International Conference on Consumer Electronics Las Vegas, Nevada, USA, 2011

ภาคผนวก

ระบบการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจสอบพลังงานไฟฟ้า ผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน

Appliance classification to monitor power consumption with wireless sensor network for saving energy

วรเชษฐ์ บัวสุวรรณ[1] และ ณัฐนนท์ ลีลาตระกูล[2]

ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

[1]54910167@live.buu.ac.th, [2]nutthanon@buu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอการจำแนกอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจจับค่าการใช้กระแสไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ผ่านระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ในการวัดค่าการใช้งานกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงของแต่ละอุปกรณ์นั้น ผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับในรูปแบบปลั๊กไฟฟ้าและนำไปใช้กับทุก ๆ จุดที่อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียบใช้งานอยู่ ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกส่งมาส่วนกลางผ่านระบบเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อนำมาช่วยจำแนกหาชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ ซึ่งใช้เทคนิคแบบอิงกฎเกณฑ์โดยระบบผู้เชี่ยวชาญ (Rule-Based Expert System) คณะผู้วิจัย ฯ คาดว่าระบบที่นำเสนอจะสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคาร เนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้การตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ปลายทาง (แทนที่จะตรวจสอบที่แผงไฟฟ้าส่วนกลาง) ทำให้สามารถรับรู้ถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวว่ามีสภาวะการทำงานที่ปกติหรือไม่ และลดข้อจำกัดในเรื่องการย้ายอุปกรณ์ไปใช้ยังจุดอื่น ๆ โดยระบบสามารถรับรู้ได้อัตโนมัติว่าตัวอุปกรณ์ย้ายไปอยู่ที่ตำแหน่งใด และยังสามารถถูกพัฒนาต่อให้มีการควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวแบบอัตโนมัติได้อีกด้วย อันจะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานโดยไม่กระทบต่อพฤติกรรมของผู้ใช้ จากการทดสอบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวอย่าง จำนวน 40 เครื่อง คณะผู้วิจัยพบว่า 1) กฎการจำแนกที่มีประสิทธิภาพต้องใช้ข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานด้วย และ 2) ระบบที่นำเสนอสามารถจำแนกประเภทได้อย่างถูกต้องโดยมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 5%

คำสำคัญ: การจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เทคนิคแบบอิงกฎเกณฑ์ ระบบผู้เชี่ยวชาญ

Abstract

This research presents a Rule-based system for appliance classification by analyzing each appliance's electricity usage. The data are measured by sensor nodes and sent to a server through a wireless sensor network. To measure actual electrical power consumed by each device, we designed sensor circuits, each of which is deployed inside each power outlet. Then, the measured data can be sent to the centralized system via the wireless sensor network. The system use the data to classify a type of each appliance connected to each of the outlet based on rules derived by experts aiming to save energy. Since this research is to be detecting electrical usage at each outlet (instead of at the main circuit), the system can be developed further to help identifying the abnormal operation of each electrical appliance, and to automatically recognize the device as it is moved to another outlet, making possible automatic on/off control of each device. So, it will provide the energy savings without affecting to normal behavior of the users. The test result from 40 devices show 1) standard deviation of measured electrical current is am import metric for deriving the efficient classification rules, and 2) the system can classify correctly with 5% error.

Keyword: Appliance Classification, Wireless Sensor Network, Rule-Based, Expert System.

1. บทนำ

ปัญหาการสูญเสียพลังงานจากการใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ นั้น เป็นปัญหาที่สำคัญ ที่เราไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยตัวเอง ไม่ว่าจะเป็นการที่เราเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าทิ้งไว้โดยที่ไม่มีการใช้งาน และการที่เครื่องใช้ไฟฟ้าเสื่อมประสิทธิภาพทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าปกติ ปัญหาสภาพการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ เช่น การทำงานเป็นปกติหรือไม่ มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าไร และมีประสิทธิภาพในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้ามากน้อยแค่ไหน สามารถเกิดขึ้นทั้งในภาคครัวเรือน และภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นเหล่านี้ เป็นปัญหาเชื่อมโยงไปถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของประเทศ

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้านเกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ และเป็นส่วนหนึ่งของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในอาคารที่อยู่อาศัย ทำให้เจ้าของบ้านไม่สามารถรับรู้จากใบแจ้งค่าไฟฟ้าว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดมีอัตราการใช้ไฟฟ้ามากน้อยเพียงใด ไม่สามารถประเมินอุปกรณ์แต่ละชนิดได้ว่ามีการใช้พลังงานที่ผิดปกติ หรือสูญเสียพลังงานไปมากน้อยเพียงใด เช่น พัดลมที่เปิดไว้โดยที่ไม่มีผู้ใช้งาน หลอดไฟเพดานที่เปิดทิ้งไว้โดยไม่มีคนอยู่ ตู้เย็นที่เสื่อมสภาพมีอัตราการใช้ไฟฟ้ามากกว่าตู้เย็นปกติ ซึ่งหากเรารู้แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ เราก็สามารถวิเคราะห์และวางแผนในการจัดการด้านพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ไม่ต้องใช้ความรู้สึกของผู้ใช้ในการคาดเดา

อัตราการใช้กระแสไฟฟ้ารวมทั้งพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้ (จากการตรวจจับความเคลื่อนไหว แสง เสียง และความร้อนของสภาพแวดล้อม) สามารถถูกนำมาใช้ตรวจสอบการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้าน โดยค่าต่าง ๆ ข้างต้นถูกส่งผ่านระบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สายพลังงานต่ำ (Low-Power Wireless Sensor Network) นอกจากนี้เครือข่ายไร้สายช่วยทำให้ระบบส่วนกลางสามารถเข้าถึง ควบคุมและตรวจสอบอุปกรณ์รับรู้ (เซนเซอร์) จากระยะไกลได้ ทำให้สะดวกที่จะจัดการการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแบบทันที (Real Time) คณะผู้วิจัยเห็นว่าการประหยัดพลังงานด้วยวิธีวิเคราะห์การกินไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าพร้อมกับพฤติกรรมของผู้ใช้เป็นวิธีที่ดี เพราะแก้ไขที่ต้นเหตุคือการใช้งานไฟฟ้าเปลืองของผู้ใช้ได้ โดยไม่ทำให้มาตรฐานการดำเนินชีวิตประจำวันของแต่ละคนลดน้อยถอยลงไป เป็นการประหยัดจาก “ส่วนเกินของการใช้ชีวิตประจำวัน” (ในงานวิจัยที่นำเสนอนี้ คณะผู้วิจัยใช้แต่ข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าในการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าเท่านั้น ข้อมูลพฤติกรรมของผู้ใช้จะถูกนำมาใช้ในงานที่จะดำเนินการต่อไปเพื่อการจำแนกที่แม่นยำขึ้น)

เพื่อตอบโจทย์ปัญหาการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารบ้านเรือนดังกล่าว ทำให้ระบบต้องมีความสามารถจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำและเป็นอัตโนมัติ (ระบบต้องการความรู้หรือข้อมูลเข้าจากผู้ใช้ตามครัวเรือนน้อยที่สุด) โดยหลังจากการจำแนก ระบบจะรู้ได้ว่าอุปกรณ์ชนิดใดกำลังถูกใช้งานอยู่ที่ใด ทำให้สามารถตัดสินใจในการบริหารจัดการด้านพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และมีความถูกต้องแม่นยำ ในการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจึงเสนอระบบที่สามารถที่จะจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ และรับรู้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา ด้วยอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อตรวจจับการใชกระแสไฟฟ้าที่อุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละเครื่องใช้ในช่วงเวลาจริง

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยศึกษาบทความอธิบายเกี่ยวกับเทคโนโลยีเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย ได้แก่ Chee-Yee Chong และคณะ (2003) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges" [1]; Deborah Estrin และคณะ (2002) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "Connecting the Physical World with Pervasive Networks" [2]; G.J. Pottie และคณะ (2000) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "Wireless Integrated Networks Sensor" [3]; และ I.F. Akyildiz และคณะ (2002) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่อง "A Survey on Sensor Networks" [4] โดยผลงานวิจัยทั้ง 4 พยายามให้ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย การประยุกต์ใช้ในแบบต่าง ๆ (เช่น การประยุกต์ใช้ในค่ายทหาร, การประยุกต์ใช้เป็นเครื่องดักจับภัยพิบัติ, การประยุกต์ใช้ในการดักจับสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไปในตัวคนไข้และในโรงพยาบาล, การประยุกต์ใช้ในบ้าน ฯลฯ) นอกจากนี้ งานวิจัยดังกล่าวยังกล่าวถึง ข้อจำกัดและประเด็นที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย

ในการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ของงานวิจัยในอดีต การตรวจวัดโหลดของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป จะวัดค่าการใช้กระแสไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวเป็นหลัก ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจะถูกนำมาจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า ในงานวิจัย “Applying Power Meters for Appliance Recognition on the Electric Panel” [5] วัดพลังงานไฟฟ้า (Watt) ที่ตู้ไฟฟ้าหลักของบ้าน (Main Circuit) โดยมีการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า จากอุปกรณ์ตรวจจับพลังงานไฟฟ้า “Watt Meter” โดยจะทำการเก็บข้อมูลที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า จำนวน 7 ตัวอย่าง ก่อนที่ทำการสรุปผลข้อมูลส่งไปยังส่วนกลาง โดยมีการวัดค่ากลาง (Mean), ค่ามากสุด (Max), ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root mean square), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation), ค่าตัวประกอบยอดคลื่น (Crest Factor), ค่าสัมประสิทธิ์ของรูปคลื่นไฟฟ้า (Form Factor), อัตราค่ายอดต่อค่าเฉลี่ย (Peak to average ratio) และช่วงเวลาที่อุปกรณ์จะเปลี่ยนสถานะจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่น้อยที่สุดไปเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่มากที่สุด

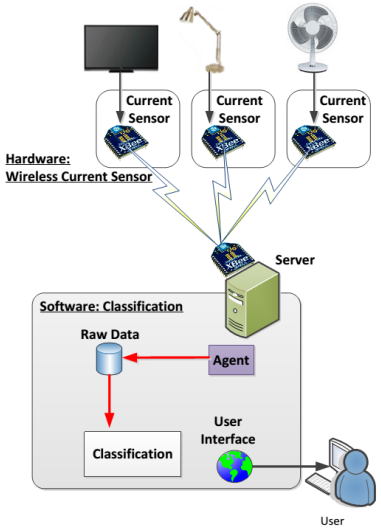
งานวิจัย “ANNOT: Automatic Electricity Data Annotation Using Wireless Sensor Network” [6] เสนอวิธีการตรวจวัดและประเมินการใช้พลังงานของเครื่องใช้ในบ้าน โดยมีการตรวจสอบกระแสไฟฟ้าจุดเดียวที่ตู้ไฟฟ้าหลักของบ้าน ซึ่งเซนเซอร์ต่าง ๆ (ได้แก่ เซนเซอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิ แสง เสียง และความสั่นสะเทือนเมื่อมีคนเปิดหรือปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า) ถูกนำมาเป็นส่วนหนึ่งของการตรวจสอบโหลดการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้า

ปัญหาของระบบการตรวจวัดของทั้ง [5 และ 6] ที่กล่าวมาคือ การวัดค่ากระแสไฟฟ้า ณ จุด ๆ เดียว (ที่ตู้ไฟฟ้าหลัก) แม้อาจจะทำให้ประหยัดต้นทุนในการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าก็จริง แต่ไม่สามารถควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ในแต่ละจุดย่อยได้ การจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าได้อาศัยความน่าจะเป็นที่อาจทำให้การจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าผิดพลาด อีกทั้งระบบไม่สามารถรู้ตำแหน่งของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ เมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้น ผู้ใช้จำเป็นต้องรู้ที่ตั้งของอุปกรณ์นั้น ๆ เอง ดังนั้นงานวิจัย [5 และ 6] ไม่สามารถช่วยผู้ใช้ในกรณีที่ผู้ใช้เคลื่อนย้ายอุปกรณ์ไฟฟ้าไปใช้งานยังตำแหน่งอื่น ๆ ในบ้าน และต้องการควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวผ่านเครือข่ายทางไกล ผู้ใช้จึงจำเป็นต้องใช้เครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สายเข้ามาช่วย โดยจำเป็นต้องวางอุปกรณ์รับรู้ไว้ใกล้เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัว ถึงจะสามารถตรวจสอบสภาพการใช้งานของอุปกรณ์นั้น ๆ และควบคุมการเปิดปิดได้ แต่การซื้ออุปกรณ์รับรู้หลายๆชนิดมาใช้ในการวิเคราะห์นั้นก็อาจจะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายขึ้นอีกด้วย

คณะผู้วิจัยเห็นว่า ราคาของเครือข่ายไร้สายมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ ทำให้คุ้มค่าหากเราสามารถตรวจสอบการใช้ไฟฟ้า และควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัวโดยระบบสามารถควบคุมผ่านเครือข่ายได้แบบอัตโนมัติ ทำให้เกิดการประหยัดพลังงานได้โดยไม่กระทบต่อพฤติกรรมของผู้ใช้งาน

3. การติดตั้งเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย และ การจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการจำแนกประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้า คณะผู้วิจัยออกแบบระบบโดยมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่: ส่วนฮาร์ดแวร์ที่ใช้ตรวจจับลักษณะการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด และส่วนการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ดังแสดงในภาพที่ 1

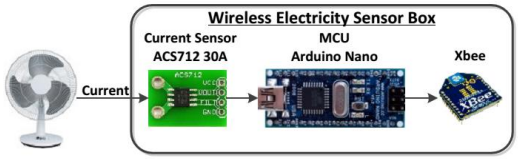


ภาพที่ 1: ระบบจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านเครือข่ายอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย

3.1 ส่วนฮาร์ดแวร์ที่ใช้ตรวจจับลักษณะการใช้ไฟฟ้า

ในการวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าแบบต่อในวงจร (In Line) โดยใช้ไอซีตรวจสอบกระแสไฟฟ้า เบอร์ ACS712-30A เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าในช่วง -30A ถึง 30 A ซึ่ง

การวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ออกมาจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า จะถูกแปลงออกมาเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า โดยมีอัตราการแปลงค่าอยู่ที่ 66 mV/A ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้านี้ จะถูกส่งมาให้แผ่นวงจร Arduino Nano [7] ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล ATMEGA 32U4 โดยมีความเร็วนาฬิกาอยู่ที่ 16 MHz เป็นตัวประมวลผล โดยจะทำการเก็บข้อมูลที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้าจำนวน 4000 ตัวอย่าง แล้วจึงสรุปข้อมูลก่อนส่งไปให้กับเครื่องแม่ข่ายกลางผ่าน เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) [8] โดยมีรูปแบบการทำงานทางด้านฮาร์ดแวร์ของของอุปกรณ์รับรู้ไร้สาย ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2: การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย

ในการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์มายังเครื่องแม่ขายกลางจะมีข้อมูลที่ส่ง ตามตารางที่ 1 ได้แก่ ค่าน้อยสุด (Min), ค่ามากสุด (Max), ค่ากลาง (Mean), ค่าเฉลี่ย (Average), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของค่าที่อ่านได้มาจากอุปกรณ์ตรวจวัดกระแส นอกจากนี้ยังส่งค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสไฟฟ้าจริง (Root Mean Square) ที่อุปกรณ์ไฟฟ้าใช้ในขณะนั้น

ตารางที่ 1: ตัวแปลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งค่ามาให้กับเครื่องแม่ข่าย

ตัวแปล	สมการ	ความหมาย
$D_{\text{min,t}}$	$Min\{D_i, \ldots, D_{i-3999}\}$	ค่าน้อยสุดของค่าที่วัด
$D_{\text{max,t}}$	$Max\{D_i, \ldots, D_{i-3999}\}$	ค่ามากสุดของค่าที่วัด
$D_{\text{mean,t}}$	$\frac{(D_{max,t} + D_{min,t})}{2}$	ค่ากลางของค่าที่วัด
$D_{\text{avg,t}}$	$\frac{D_t}{4000}$	ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัด
$D_{\text{sd,t}}$	$\sqrt{\frac{1}{4000}\sum(D_i - D_{avg,t})^2}$	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่วัด
$I_{\text{rms,t}}$	$\sqrt{\frac{1}{4000}\sum I_i^2}$	ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสไฟฟ้าจริง

D_t = ผลรวมข้อมูลที่อ่านจาก Sensor จำนวน 4000 รายการ
$= D_i + D_{i+1} + \ldots + D_{i-3999}$
I = ค่ากระแสไฟฟ้า

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบต้นแบบ ดังภาพที่ 3 และนำไปวัดกับอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวน 8 ชนิด ตามตารางที่ 2 โดยทำการทดสอบชนิดละ 5 ตัว รวมทั้งหมด 40 ตัว

ภาพที่ 3: ต้นแบบอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย

เมื่อเครื่องแม่ข่ายรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ส่งผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย ข้อมูลจะถูกจัดเก็บในรูปแบบแฟ้มข้อความ (Text File) ก่อนที่จะนำเข้าระบบฐานข้อมูล ตัวอย่างค่าข้อมูลที่ได้ถูกแสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2: ข้อมูลที่เครื่องแม่ข่ายรับมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย

Date Time	MIN	MAX	MEAN	AVG	SD	IRMS
2013/02/26 06:59:56	509	510	509.50	509.54	0.50	0.04
2013/02/26 06:59:57	509	511	510.00	509.55	0.50	0.04
2013/02/26 06:59:59	509	511	510.00	509.53	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:00	508	511	509.50	509.53	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:01	509	511	510.00	509.54	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:03	509	510	509.50	509.54	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:04	430	511	470.50	484.94	30.72	2.39
2013/02/26 07:00:05	430	510	470.00	484.04	30.91	2.30
2013/02/26 07:00:06	430	510	470.00	484.01	30.87	2.28
2013/02/26 07:00:08	431	511	471.00	484.34	30.74	2.28
2013/02/26 07:00:09	431	510	470.50	484.59	30.66	2.31
2013/02/26 07:00:10	431	510	470.50	484.32	30.79	2.32

3.2 การจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า

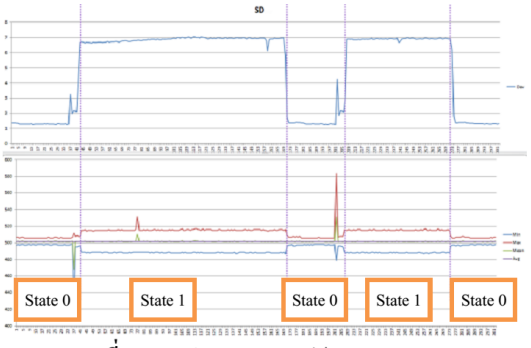
การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จะสามารถแยกสถานะของอุปกรณ์โดยดูได้จากค่า เบี่ยงเบนมาตรฐานของการกินกระแสไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ ซึ่งจะแบ่งออกได้ 2 จำพวก คือ อุปกรณ์ไฟฟ้า แบบสองสถานะ (Single State) และอุปกรณ์แบบหลายสถานะ (Multiple States) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3: ลักษณะการใช้งานและสถานะของอุปกรณ์แต่ละชนิด

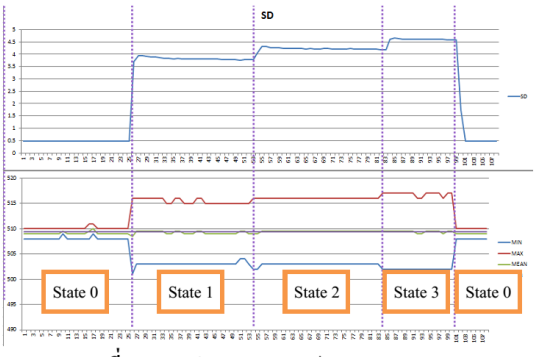
อุปกรณ์	ลักษณะใช้งาน	สถานะ
โคมไฟตั้งโต๊ะ	คนมีส่วนร่วม	Binary State
เครื่องรับโทรทัศน์	คนมีส่วนร่วม	Binary State
ตู้เย็น	เปิดทำงานตลอดเวลา	Binary State
พัดลม	คนมีส่วนร่วม	Multiple States
เครื่องเป่าผม	คนมีส่วนร่วม	Multiple States
เตารีด	คนมีส่วนร่วม	Binary State
เตาอบไมโครเวฟ	เปิดใช้และปิดเอง	Binary State
เครื่องคอมพิวเตอร์	คนมีส่วนร่วม	Binary State

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นแบบสองสถานะ เช่น โทรทัศน์ คณะผู้วิจัยพบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงตามการเปิดปิดอุปกรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 4 ส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นแบบหลายสถานะ ตัวอย่างเช่นลักษณะการใช้ไฟฟ้าของพัดลมในภาพที่ 5 (กราฟด้านบนแสดงถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละสถานะ, กราฟด้านล่างแสดงถึงค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่ากลาง และค่าเฉลี่ย) มีอยู่ 3 สถานะ หากดูจากค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด หรือค่าเฉลี่ย ของการเปิดพัดลมแต่ละเบอร์ จะพบว่าค่าเหล่านี้ไม่สามารถแยกสถานะของการใช้งานกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์นั้น ๆ ได้เลย ซึ่งแตกต่างจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการใช้กระแสไฟฟ้าพบว่าสามารถแยกสถานะได้อย่างชัดเจน

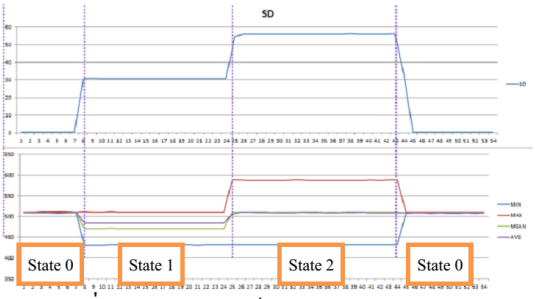
อย่างไรก็ตามค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่ากลาง และค่าเฉลี่ย นั้นยังมีความจำเป็นในการแยกอุปกรณ์ไฟฟ้า เพราะอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะแล้วค่าเหล่านี้จะแปรผันตาม ตัวอย่างเช่น เครื่องเป่าผม ดังภาพที่ 6 จะเห็นว่าในสถานะที่ 1 ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่ากลาง และค่าเฉลี่ย จะมีค่าต่ำ แต่เมื่อเปลี่ยนสถานะมาเป็นสถานะที่ 2 ค่าสูงสุดจะเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4: กราฟข้อมูลองโทรทัศน์เป็นแบบสองสถานะ



ภาพที่ 5: กราฟข้อมูลของพัดลมเป็นแบบหลายสถานะ



ภาพที่ 6: กราฟข้อมูลของเครื่องเป่าผมเป็นแบบหลายสถานะ

เทคนิคในการสร้างกฎ (Rule-Based) จากข้อมูลที่เก็บจะถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของค่าตัวแปรในแต่ละสถานะ และสร้างแบบจำลองกฎในการตัดสินใจ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 7 โดยลักษณะของกฎจะอยู่ในรูปแบบ IF … THEN … หลังจากนั้นนำข้อมูลที่สรุปได้มาจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า

Item	Rule-Based	Light		TV		Refrigeration		Fan				Hair Dryer				Iron		Microwave		PC	
		0	1	0	1	0	1	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	0	1	0	1
Min	Xmin <=400																x		x		
	401 <= Xmin <=420														x						
	421 <= Xmin <=480													x							
	481 <= Xmin <=490				x																x
	Xmin >= 491	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x			x		x		x	
Max	Xmax <=500																				
	501 <= Xmax <=520	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x		x		x	x
	521 <= Xmax <=590												x								
	Xmax >= 591													x	x		x		x		
Mean	Xmean <=510	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x
	511 <= Xmean												x								
Avg	Xavg <=510	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x
	511 <= Xmean												x								
S.D.	Xsd <= 1.2	x				x		x				x				x		x			
	1.3 <= Xsd <=1.5			x			x														x
	1.5 <= Xsd <=20		x																		
	2.1 <= Xsd <=4.0								x												
	4.1 <= Xsd <=5.0									x	x										
	5.1 <= Xsd <=6.0																				x
	6.1 <= Xsd <=25			x																	
	26 <= Xsd <=40												x								
	41 <= Xsd <= 60																				
	60 <= Xsd <=65													x	x						
	66 <= Xsd <=95																		x		
	Xsd >=95																x				

ภาพที่ 7: ตารางกฎในการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า

4. ผลการดำเนินการวิจัย

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองกับอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวอย่างชนิดละ 5 ตัวคละยี่ห้อคละรุ่นกัน โดยทดลองปิด และ เปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ในทุกสถานะ จากผลการทดลอง ในตารางที่ 4 พบว่าระบบส่วนกลางสามารถใช้กฎในการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าและสถานะได้ถูกต้อง โดยสามารถจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ได้ถูกต้อง ยกเว้นเตาอบไมโครเวฟมีการจำแนกอุปกรณ์ผิดผลาด 2 ตัว คิดเป็น 40% ของอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดเตาอบไมโครเวฟ ผลโดยรวมจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำการตรวจวัดจำนวน 40 ตัว พบว่ามีการตรวจสอบเต้าอบไมโครเวฟผิดพลาด 2 ตัว ซึ่งทำให้ค่าความผิดพลาดโดยรวมอยู่ที่ 5% ของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดที่ได้ทำการทดสอบ

ตารางที่ 4: ผลการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด

อุปกรณ์	การทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด		
	จำนวน	ไม่ผ่าน	% ความผิดพลาด
โคมไฟตั้งโต๊ะ	5		0%
เครื่องรับโทรทัศน์	5		0%
ตู้เย็น	5		0%
พัดลม	5		0%
เครื่องเป่าผม	5		0%
เตารีด	5		0%
เตาอบไมโครเวฟ	5	2	40%
เครื่องคอมพิวเตอร์	5		0%
รวม	40	2	5%

5. สรุป

งานวิจัยนี้เสนอวิธีจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยกฎที่สร้างขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญ ระบบที่นำเสนอสามารถตรวจสอบการใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายมาที่ส่วนกลาง ซึ่งระบบผู้เชี่ยวชาญ (Rule-Based Expert System) จะใช้กฎที่อิงกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสถิติอื่น ๆ ในการจำแนกชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างแม่นยำ (มีค่าความผิดพลาดของทั้งระบบอยู่ที่ 5%) สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง เพื่อเป็นตัวช่วยในการประหยัดพลังงานในที่อยู่อาศัย

งานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไป คณะผู้วิจัยวางแผนที่จะพัฒนาต่อให้ระบบสามารถจำแนกชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้าหลากชนิดขึ้น อีกประเด็นหนึ่งคือการเพิ่มระยะทางและลดค่าความผิดพลาดของการส่งข้อมูลของตัวอุปกรณ์เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย นอกจากนี้ ระบบควรที่จะมีการสั่งงานให้ ปิด หรือ เปิด เครื่องใช้ไฟฟ้าได้อย่างชาญฉลาดโดยเพิ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้และข้อมูลสิ่งแวดล้อมอื่นภายในอาคาร

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยระบบการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อช่วยประหยัดพลังงานนี้ ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา ปีงบประมาณ 2556

เอกสารอ้างอิง

[1] Chee-Yee Chong, and S. P. Kumar, “Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges,” *Proceedings of IEEE*, Vol.91, No.8, 2003.

[2] D. Estrin, D. Culler, K. Pister, and G. Sukhatme, “Connecting the Physical World with Pervasive Networks,” *IEEE Pervasive Computing*, Vol.1, No.1, pp.59–69, 2002.

[3] G.J. Potttie and W.J. Kaiser, “Wireless Integrated Network Sensors,” *Communication of the ACM*, Vol.43, No.5, pp.551-58, 2000.

[4] Akyildiz,I.F., Weilian, S., Sankarasubramaniam, Y.,and Cayirci, “A survey on sensor networks,” *Communications Magazine, IEEE*, Vol.40, No.8, pp102 - 114., 2002.

[5] Shih-chiang Lee , Hsu, J.Y.-J. , Wan-rong Jih, “Applying power meters for appliance recognition on the electric panel,” *Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2010 the 5th IEEE Conference*, 2010.

[6] Schoofs, A., Guerrieri, A., Delaney, O'Hare, G. Ruzzelli, “ANNOT: Automated Electricity Data Annotation Using Wireless Sensor Networks,” *2010 7th Annual IEEE Communications Society Conference*, pp.1-9, 2010.

[7] Arduino.cc , *Arduino Nano User Manual*, http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf, pp. 1-5, 2012.

[8] Digi International Inc., *XBee®/XBee-PRO® RF Modules -802.15.4 - v1.xEx*,http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982_K.pdf, pp. 1-70, 2012