รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อช่วยประหยัดพลังงานและเพิ่มความปลอดภัยในอาคาร

ณัฐนนท์ ลีลาตระกูล

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๘

รหัสโครงการ 2558A10802390
สัญญาเลขที่ 18/2558

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อช่วยประหยัดพลังงานและเพิ่มความปลอดภัยในอาคาร

ณัฐนนท์ ลีลาตระกูล

คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 18/2558

Acknowledgment

This work was financially supported by the Research Grant of Burapha University through National Research Council of Thailand (Grant no. 18/2558).

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการออกแบบสมาร์ทปลั๊ก และ ระบบบริหารจัดการและควบคุมสมาร์ทปลั๊ก โดยระบบที่พัฒนาขึ้นรับข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าที่แต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งถูกเฝ้าดู (monitor) และ ถูกควบคุมด้วยระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ระบบที่นำเสนอสามารถระบุ (จำแนก) ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกเสียบอยู่กับสมาร์ทปลั๊กและอนุญาตให้ผู้ใช้เปิด/ปิดแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านเว็บไซต์หรือสมาร์ทโฟน ผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสในรูปแบบรางปลั๊กไฟฟ้าและนำไปใช้กับทุก ๆ จุดที่เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานอยู่ (แทนที่จะนำไปใช้ที่แผงวงจรหลัก หรือ main circuit เพียงจุดเดียว) เพื่อให้ระบบรู้ได้อัตโนมัติว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าถูกย้ายไปอยู่ที่ตำแหน่งใด ทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมการเปิด/ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้ระบบยังสามารถวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าที่ผิดปกติจากการใช้งานประจำและแจ้งเตือนผู้ใช้ได้

Abstract

This work presents a smart plug design and a management-and-control system. The system collects appliances' electricity usage sent via a wireless sensor network. It later classifies the appliances connected to each smart plug. We also develop a web application allowing users to control each appliance via a website or mobile phone. The system analyzes the data to classify each appliance connected to each outlet (instead of only at the main circuit) so that the system could know where the classified appliances are located. Furthermore, the system is developed to help identifying the abnormal operation of each appliance, and to automatically recognize the devices when they are moved to another outlet, making possible automatic appliance on/off control.

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 เนื้อหาของเรื่องที่เคยมีผู้ทำการวิจัยมาก่อน 1

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 3

1.3 วัตถุประสงค์ 3

1.4 ขอบเขตการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 เนื้อเรื่อง 5

2.1 รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีดำเนินการวิจัย 5

2.1.1 วงจรสมาร์ทปลั๊ก 5

2.1.2 ระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ผ่านทางเว็บ 8

2.1.3 การจำแนกประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้า 9

2.1.4 การแจ้งเตือนเมื่อตรวจพบความผิดปกติของการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า 16

2.2 ผลการวิจัย 17

2.2.1 การเข้าสู่ระบบหรือลงทะเบียนเพื่อสร้างบัญชีผู้ใช้ใหม่ 18

2.2.2 การเพิ่มข้อมูลอุปกรณ์ Smart Plug เข้ามาในระบบเพื่อบริหารจัดการและควบคุม 19

2.2.3 การดูข้อมูลสรุปการใช้งานกระแสไฟฟ้าในแต่ละเดือนและข้อมูลการเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เสียบอยู่บน Smart plug 20

2.2.4 การทดสอบกฎ 22

บทที่ 3 อภิปรายผลการวิจัย 26

3.1 ประเภทของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำมาจำแนก 26

3.2 การคัดเลือกแอททริบิวต์สำหรับการจำแนก 26

3.3 การเลือกฮาร์ดแวร์สำหรับใช้ในระบบ 27

3.4 ขั้นตอนวิธีสำหรับการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า 27

บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ 30
บทที่ 5 ผลผลิต 31
บรรณานุกรม 32
ภาคผนวก 34

บทที่ 1
บทนำ

1.1 เนื้อหาของเรื่องที่เคยมีผู้ทำการวิจัยมาก่อน

ผลการสำรวจในงานวิจัยเรื่องประสิทธิผลของการตอบสนองเมื่อได้รับข้อมูลการใช้พลังงาน (Darby, 2006) ยืนยันว่าการตรวจสอบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและรายงานผลให้ผู้ใช้ทราบแบบเวลาจริงช่วยให้ผู้ใช้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าการส่งผลการใช้เป็นรายสัปดาห์หรือรายเดือน ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่พยายามตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าและส่งผลให้กับผู้ใช้แบบเวลาจริง เช่น งานวิจัยของ Hart (1992) เสนอวิธีตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยการตรวจวัดพลังงานที่จุดรวมหลักของระบบไฟฟ้า (Main circuit) และงานวิจัยของ Tapia et al. (2006) เสนอวิธีตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจวัดติดตั้งที่อุปกรณ์ไฟฟ้าและบริเวณใกล้เคียง ซึ่งแนวทางการวิจัยทั้งสองแนวทางนี้ต่างมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ระบบที่ตรวจจับพลังงานไฟฟ้าที่อยู่ตรงจุดรวมหลักสามารถลดความซับซ้อนของการติดตั้ง ใช้ต้นทุนต่ำ แต่มีข้อเสียคือความแม่นยำในการทำนายผลต่ำกว่าวิธีแรก เนื่องจากข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ตรวจจับจากจุดรวมหลักนั้นประกอบไปด้วยข้อมูลของอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมาก ทำให้ต้องใช้ขั้นตอนวิธีที่ซับซ้อนเพื่อจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้น นอกจากนี้ยังไม่สามารถทราบได้ว่า อุปกรณ์ใดทำงานอยู่ ณ จุดใด ทำให้การพัฒนาต่อยอดระบบทำได้ยาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยเลือกแนวทางการวิจัยโดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจวัดติดตั้งที่อุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อให้ระบบสามารถพัฒนาต่อยอดให้รับรู้ได้อัตโนมัติว่า เครื่องใช้ไฟฟ้าถูกย้ายไปอยู่ที่ตำแหน่งใด ระบบสามารถควบคุมการเปิด/ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ อันจะส่งผลให้สามารถเพิ่มความปลอดภัยในครัวเรือน ช่วยลดการสิ้นเปลืองพลังงานและเพิ่มคุณภาพชีวิตได้ในอนาคต และปัจจุบันแนวโน้มของราคาอุปกรณ์ตรวจจับขนาดเล็กมีราคาถูกลงพร้อมกับความสามารถที่เพิ่มมากขึ้นทั้งด้านการส่งข้อมูลและการตรวจจับได้หลากหลาย ทำให้การสร้างอุปกรณ์เพื่อนำไปติดตั้งยังอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นไปได้ในทางปฏิบัติมากขึ้น

สำหรับการจำแนกและการเลือกคุณลักษณะที่ใช้จำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า งานวิจัยของ Hart (1992) ได้แบ่งประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้าไว้ 3 ประเภท ตามจำนวนของสถานะการทำงาน คือ 1. ประเภทที่มีเพียงสองสถานะ (เช่น หลอดไฟ โทรทัศน์) 2. ประเภทที่มีมากกว่าสองสถานะ แต่จำนวนของสถานะจำกัด (เช่น พัดลม ไดร์เป่าผม) 3. ประเภทที่มีจำนวนสถานะไม่จำกัด (เช่น สว่าน หลอดไฟปรับความสว่างได้)

งานวิจัยของ Zoha et al. (2012) ได้เสนอการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้รูปแบบการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์หรือเรียกว่าลายเซ็นต์การใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์โดยพิจารณา พลังงานจริง (Real power), พลังงานปฏิกิริยา (Reactive power), พลังงานปรากฏ (Apparent power), แรงดัน root mean square (Vrms), ค่ากระแส root mean square (Irms), ค่ากระแสสูงสุด (Imax), ค่ากระแสต่ำสุด (Imin), ค่ากระแสเฉลี่ย (Iavg),

การเกิดฮาร์โมนิค, การเกิดสัญญาณรบกวน, รูปแบบการเปลี่ยนสถานะ (Repeatable transient), ระยะเวลาการเปลี่ยนสถานะ (Transient response Time) เป็นต้น งานวิจัย Low-Rate Wireless Personal Area Networks IEEE Standard ใช้คุณลักษณะของพลังงานจริง (Real Power) เพื่อจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยพบว่าสามารถจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานมาก (เช่น เครื่องทำความร้อนและปั๊มน้ำ) ได้อย่างแม่นยำ แต่ไม่สามารถจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีรูปแบบการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกันได้ดีพอ

งานวิจัยของ Hart (1992) และ Drenker and Kadar (1999) พยายามแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของพลังงานจริงและพลังงานปฏิกิริยาทำให้จำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทที่ 1 และ 2 ได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตามก็ยังคงมีปัญหาเรื่องการซ้อนทับกันของคุณลักษณะในระนาบ P-Q ของอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่ำ

งานวิจัยของ Srinivasan et al. (2006) เสนอการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยการสกัดสัญญาณรบกวนในขณะที่มีการเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยต้องใช้อุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานที่ความถี่สูงถึงจะสามารถสกัดสัญญาณรบกวนได้ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มักมีราคาสูง งานวิจัยของ Kato et al. (2009) ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) กับค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์เพื่อจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า

งานวิจัยของ Jiang et al. (2009) เสนอสถาปัตยกรรมในการออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าไปติดตั้งยังอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวและส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้ด้วยโปรโตคอล 6LoWPAN บนเครือข่าย IPv6 ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4 และแสดงข้อมูลในลักษณะของเว็บแอ็พพลิเคชัน งานวิจัยนี้เป็นต้นแบบสำหรับการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายของผู้วิจัย โดยผู้วิจัยเลือกใช้ ACS712 Current Sensor Carrier -20 to +20A เป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า วัดได้ทั้งกระแสไฟ DC และ AC สามารถวัดกระแสที่ไหลได้ 2 ทิศทาง ทั้งค่าบวกและค่าลบที่มีขนาด 30A (±30A) ให้ค่า Output เป็น Analog Voltage 66 mV/A โดยมี Center ที่ 2.5 V (มีค่า typical error น้อยกว่า 1.5%) ซึ่งเหมาะสมสำหรับวัดกระแสเครื่องใช้ไฟฟ้าตามบ้าน (ขนาดมิเตอร์ตามบ้าน 3A - 15A โหลดได้มากสุด 9A – 45A)

ถึงแม้ว่าปัจจุบันนี้จะมีสมาร์ทปลั๊กออกจำหน่ายในท้องตลาด และสามารถควบคุมการเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสมาร์ทโฟนได้อยู่แล้ว แต่ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นไม่ได้จำแนกประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างอัตโนมัติ ซึ่งการจำแนกแบบอัตโนมัตินี้ก็เป็นข้อได้เปรียบประการหนึ่งของงานวิจัยที่นำเสนอนี้ ในส่วนของขั้นตอนวิธีที่ใช้จำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า ผู้วิจัยได้พัฒนาต่อมาจากงานวิจัยของวรเชษฐ์ บัวสุวรรณ (2556) และ Panphotong et al. (2014) โดยปรับปรุงอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ในการตรวจจับและส่งสัญญาณ รวมทั้งปรับพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธีในการสร้างกฎเพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ผลการทดลองพบว่าได้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง 98.34% ซึ่งมากกว่างานวิจัยในอดีต

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การสิ้นเปลืองพลังงานที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์ของเครื่องใช้ไฟฟ้าอาจเกิดขึ้นได้ทั้งในภาคครัวเรือนและในภาคธุรกิจ ซึ่งเจ้าของบ้านหรือเจ้าของธุรกิจไม่สามารถพิจารณาได้จากใบแจ้งค่าไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบว่าอุปกรณ์แต่ละชนิดมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผิดปกติ มีอัตราการใช้ไฟฟ้ามากน้อยหรือสูญเสียพลังงานอย่างไร เช่น พัดลมที่เปิดทิ้งไว้โดยไม่มีผู้ใช้งาน หลอดไฟเพดานที่เปิดทิ้งไว้โดยไม่มีคนอยู่ ตู้เย็นที่เสื่อมสภาพมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าตู้เย็นปกติ เหล่านี้ เป็นต้น ซึ่งหากเรารู้แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ เราก็สามารถวิเคราะห์และวางแผนในการบริหารจัดการเพื่อลดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์เหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวคิดในการออกแบบและสร้างสมาร์ทปลั๊ก ที่พัฒนาบนเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่สามารถจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อให้ทราบถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ภายในบ้านหรือสำนักงานว่ามีอุปกรณ์ใดบ้างและมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาเป็นเช่นไร โดยการตรวจจับรูปแบบค่ากระแสไฟฟ้าที่รางปลั๊กซึ่งอาจมีหลายอุปกรณ์ไฟฟ้าเสียบใช้งานอยู่และใช้เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายในการส่งข้อมูลมายังเครื่องแม่ข่ายเพื่อจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

นอกจากตัวสมาร์ทปลั๊กที่เป็นอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์แล้ว ผู้วิจัยยังได้นำเสนอซอฟต์แวร์ที่เป็นระบบบริหารจัดการและควบคุมสมาร์ทปลั๊ก ที่สามารถลงทะเบียนปลั๊ก เพิ่มปลั๊กเข้าบัญชีของตนเอง เก็บประวัติการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า และควบคุมการเปิด/ปิด ปลั๊กผ่านเว็บไซต์หรือสมาร์ทโฟน ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อมีการตรวจพบความผิดปกติของการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าอาจมีการเปิดใช้งานนานเกินกว่าพฤติกรรมปกติเนื่องจากผู้ใช้ลืมปิดสวิตซ์ นอกจากการแจ้งเตือนอัตโนมัติ ระบบยังอนุญาตให้ผู้ใช้เพิ่มกฎการแจ้งเตือนโดยผู้ใช้เองผ่าน GUI ที่ถูกออกแบบมาให้ผู้ใช้ทั่วไปสามารถใช้งานได้ง่าย

1.3 วัตถุประสงค์

1. เพื่อจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ จากการตรวจจับรูปแบบการใช้กระแสไฟฟ้าตรงปลั๊กที่อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียบใช้งาน ซึ่งหนึ่งปลั๊กอาจมีหลายอุปกรณ์ไฟฟ้าใช้งานพร้อมกัน

2. เพื่อจัดเก็บข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ภายในครัวเรือนและนำมาพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีที่สามารถนำข้อมูลการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์มาวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานที่สูญเปล่าลงได้ในอนาคต

3. เพื่อสร้างระบบบริหารจัดการและควบคุมสมาร์ทปลั๊ก

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาและพัฒนาการนำเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless sensor network) เพื่อการจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าตรงปลั๊กไฟฟ้า โดยอาจมีหลายอุปกรณ์ไฟฟ้าใช้งานพร้อมกัน และนำเทคนิคการ

จำแนกแบบต่าง ๆ มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เพื่อหาโมเดลที่ดีที่สุดสำหรับการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สามารถนำไปใช้ในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายได้

2. ระบบบริหารจัดการและควบคุมสมาร์ทปลั๊ก สามารถลงทะเบียนปลั๊ก เพิ่มปลั๊กเข้าบัญชีของตนเอง เก็บประวัติการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า และควบคุมการเปิด/ปิด ปลั๊กผ่านเว็บไซต์หรือสมาร์ทโฟน ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อมีการตรวจพบความผิดปกติของการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ จากการตรวจจับรูปแบบการใช้กระแสไฟฟ้าตรงปลั๊กที่อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียบใช้งานได้
2. สามารถนำข้อมูลการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์มาวิเคราะห์ และแจ้งเตือนในกรณีที่มีการใช้งานผิดปกติได้
3. ได้ระบบสำหรับบริหารจัดการและควบคุมสมาร์ทปลั๊ก

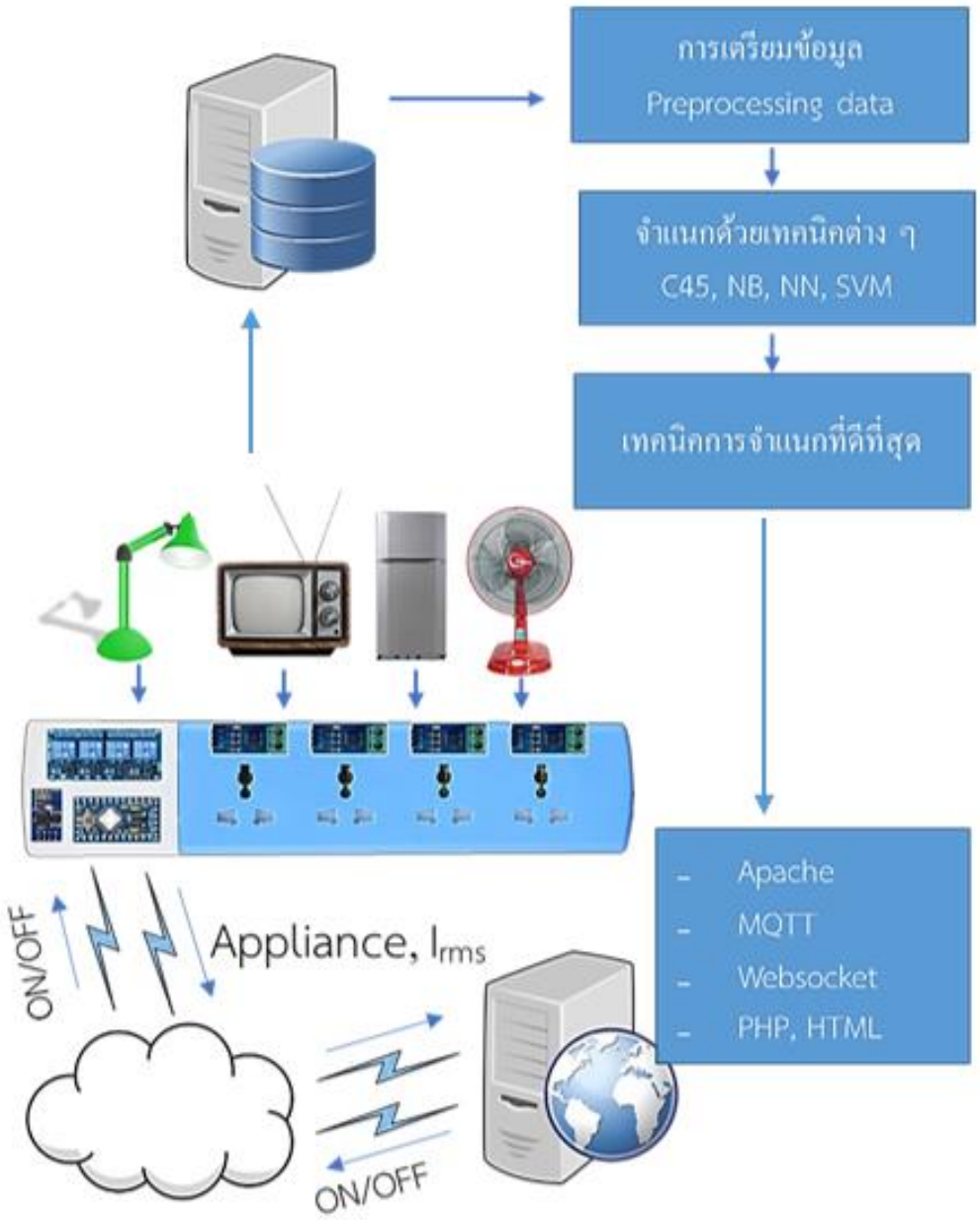
บทที่ 2
เนื้อเรื่อง

2.1 รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างสมาร์ทปลั๊ก ที่สามารถวิเคราะห์และทราบว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เสียบใช้ไฟอยู่นั้นเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดใด มีการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าจาก ที่มีการใช้ไฟฟ้าจาก Smart Plug เพื่อบันทึกสถิติการใช้งานพลังงานไฟฟ้าแบบเวลาจริง (Real time) เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์การใช้งานไฟฟ้าในแต่ละวัน แต่ละเดือน และนำมาสู่การควบคุมการใช้งานไฟฟ้าและเป็นผลให้ประหยัดพลังงานมากขึ้นได้ โดยสมาร์ทปลั๊กที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถถูกควบคุมให้เปิด/ปิด จากที่ใดก็ได้ ผ่านทางเว็บไซต์หรือสมาร์ทโฟน

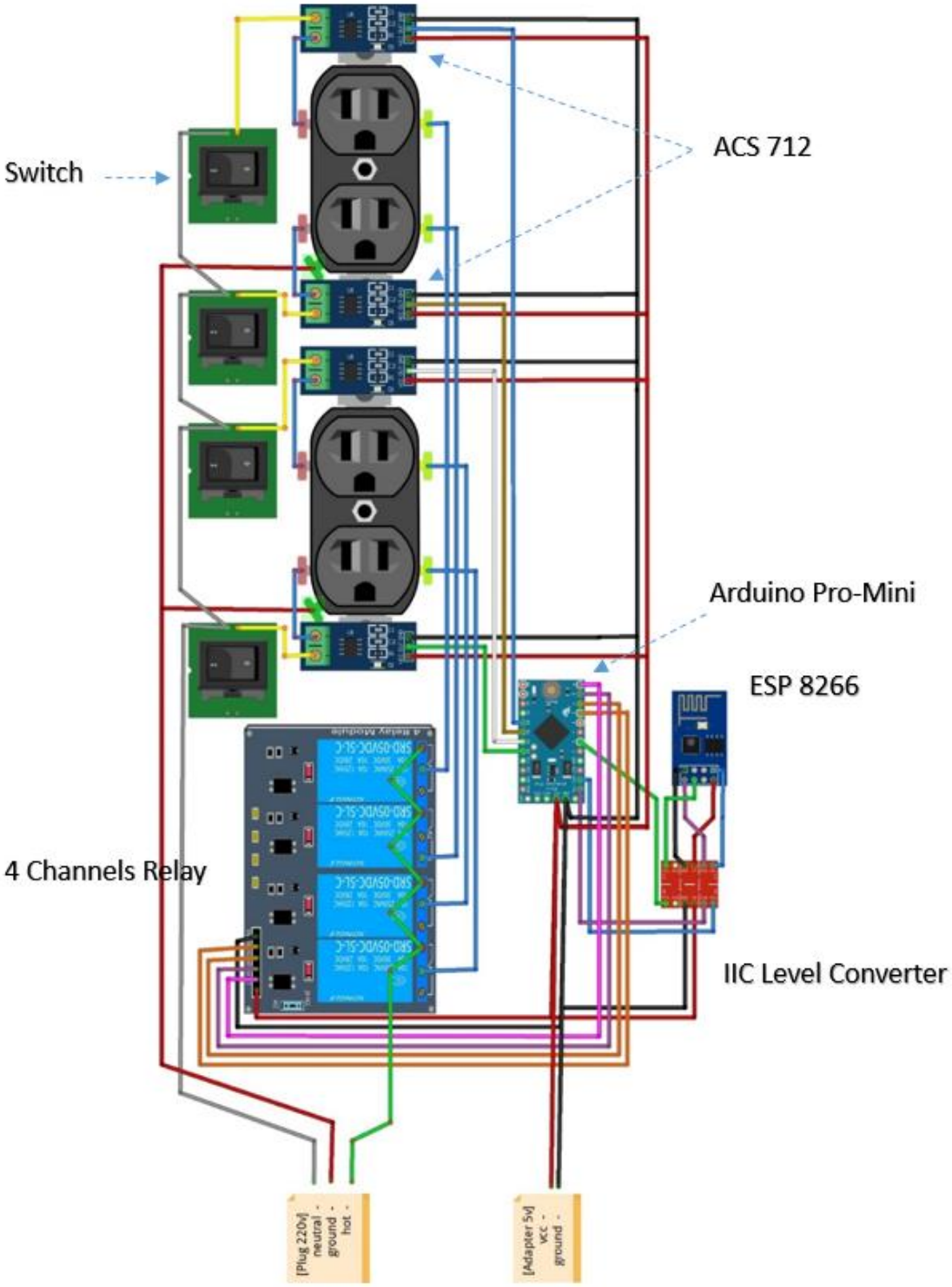
2.1.1 วงจรสมาร์ทปลั๊ก

การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการออกแบบโครงสร้างของปลั๊กและศึกษาการทำงานของตัวอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าตรงปลั๊กต่อพ่วง ซึ่งอาจมีหลายอุปกรณ์ไฟฟ้าใช้งานพร้อมกัน โดยในงานวิจัยนี้ใช้เซ็นเซอร์ ACS712 ต่อพ่วงกับไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino Pro-mini เพื่อจัดเก็บและคำนวณข้อมูลกระแสไฟฟ้าพร้อมส่งเข้าจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล โครงสร้างการทำงานของระบบแสดงดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1: โครงสร้างและการทำงานของระบบ

หลังจากที่ออกแบบอุปกรณ์สำหรับตรวจจับกระแสไฟฟ้าแล้ว ผู้วิจัยได้ต่อเชื่อมให้ตัวตรวจจับส่งข้อมูลมาที่เครื่องแม่ข่าย ภาพที่ 2-2 แสดงวงจรอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่สามารถส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย



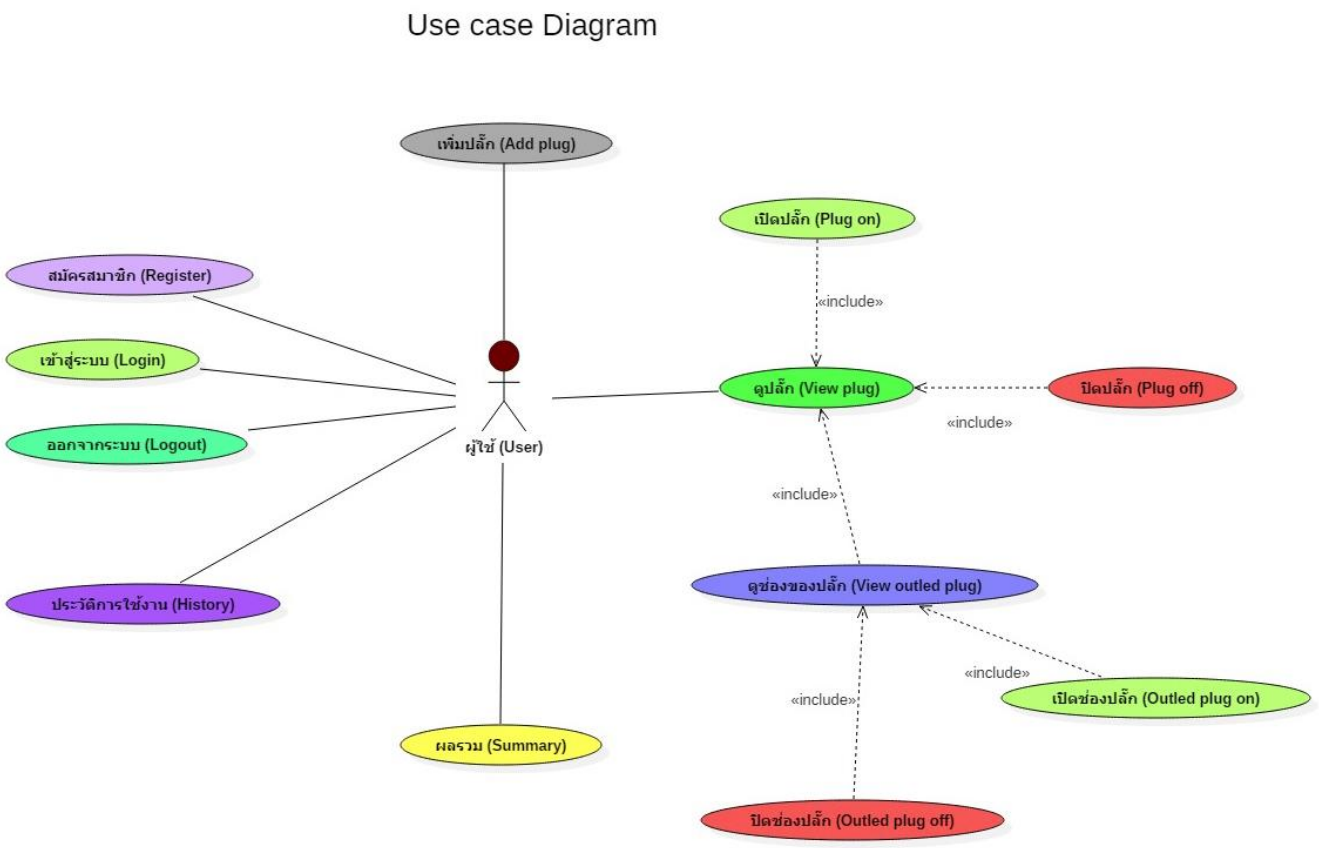
ภาพที่ 2-2: แผนภาพวงจรอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่สามารถส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย

2.1.2 ระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ผ่านทางเว็บ

สมาร์ทปลั๊กที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถสั่งเปิด/ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าจากที่ใดก็ได้ ผ่านทางเว็บไซต์หรือสมาร์ทโฟน ผู้วิจัยได้พัฒนาแอพพลิเคชันในการควบคุมดังกล่าวผ่านเว็บ ซึ่งฟังก์ชันการทำงานของระบบมีดังนี้

- การเข้าสู่ระบบและการสร้างบัญชีผู้ใช้งานใหม่
- เพิ่มข้อมูลอุปกรณ์ Smart Plug เข้าระบบเพื่อบริหารจัดการ
- สั่งเปิด/ปิดปลั๊กไฟ
- ดูข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้ารวม
- ดูข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าในแต่ละปลั๊ก
- สามารถทราบ (จำแนก หรือ classify) ได้ว่ามีอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดใดเสียบอยู่กับปลั๊กนั้น ๆ (รายละเอียดในหัวข้อ 2.1.3)
- แก้ไขข้อมูลชื่อ,ที่อยู่ของปลั๊ก หรือลบอุปกรณ์ Smart plug ออกจากระบบ
- ดูข้อมูลสรุปการใช้งานกระแสไฟฟ้าในแต่ละเดือน และข้อมูลประวัติการเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เสียบอยู่บนอุปกรณ์ Smart plug
- ตรวจสอบความผิดปกติของพฤติกรรมการใช้งานและแจ้งเตือน (ดังรายละเอียดในหัวข้อ 2.1.4)

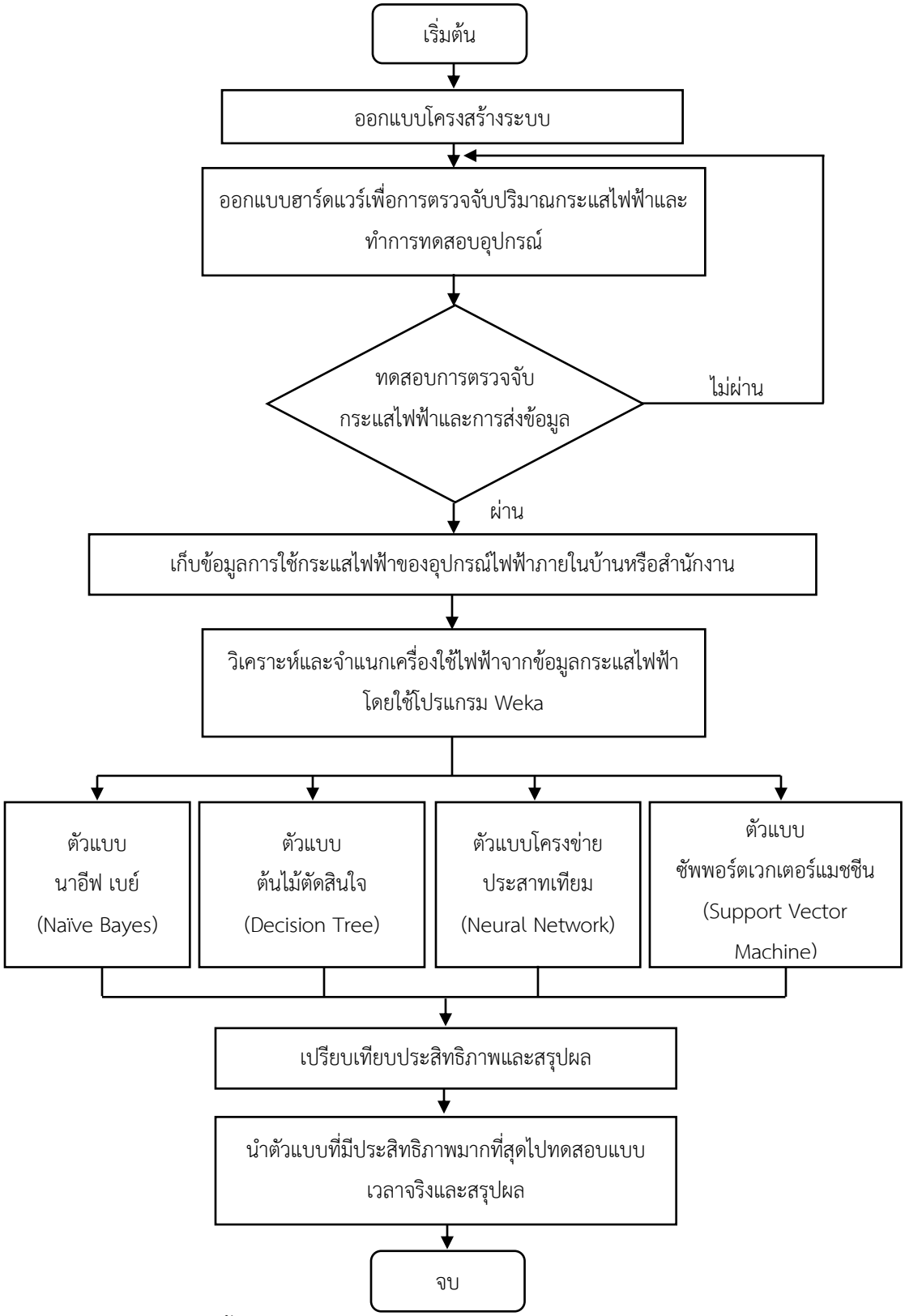
แผนภาพยูสเคสในการออกแบบระบบแสดงดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3: แผนภาพยูสเคส

2.1.3 การจำแนกประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้า

การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการออกแบบโครงสร้างของระบบและศึกษาการทำงานของตัวอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าตรงปลั๊กต่อพ่วงซึ่งอาจมีหลายอุปกรณ์ไฟฟ้าใช้งานพร้อมกัน โดยในงานวิจัยนี้ใช้เซ็นเซอร์ ACS712 ต่อพ่วงกับไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino Pro-mini เพื่อจัดเก็บและคำนวณข้อมูลกระแสไฟฟ้าพร้อมส่งเข้าจัดเก็บในระบบคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมเวก้า (Weka) ผ่านเทคนิคการจำแนก 4 วิธี ได้แก่ นาอีฟเบย์ (Naïve Bayes) ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) และซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพในแต่ละเทคนิคดังกล่าวเพื่อหาตัวแบบที่ดีที่สุดสำหรับการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้า พร้อมนำวิธีที่ดีที่สุดนี้มาทำการทดลองแบบเวลาจริงโดยส่งผลลัพธ์การจำแนกไปยังเครื่องแม่ข่ายและสามารถสั่งเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ ดังขั้นตอนในภาพที่ 2-4



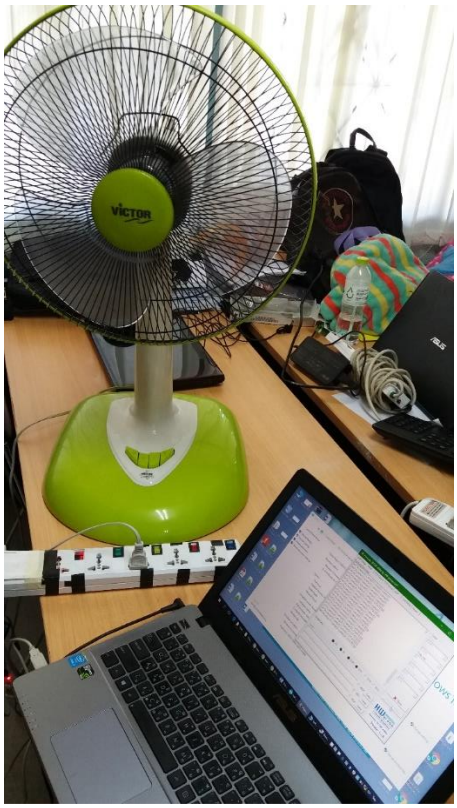
ภาพที่ 2-4: แผนภาพขั้นตอนการวิเคราะห์และจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวน 40 อุปกรณ์โดยมีชื่อเจ้าของผลิตภัฑณ์และรุ่นดังแสดงในตารางที่ 2-1 และภาพที่ 2-5 เป็นตัวอย่างเป็นการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของพัดลมโดยมีลำดับการดำเนินการดังนี้

ตารางที่ 2-1 รายชื่อผลิตภัณฑ์และรุ่นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

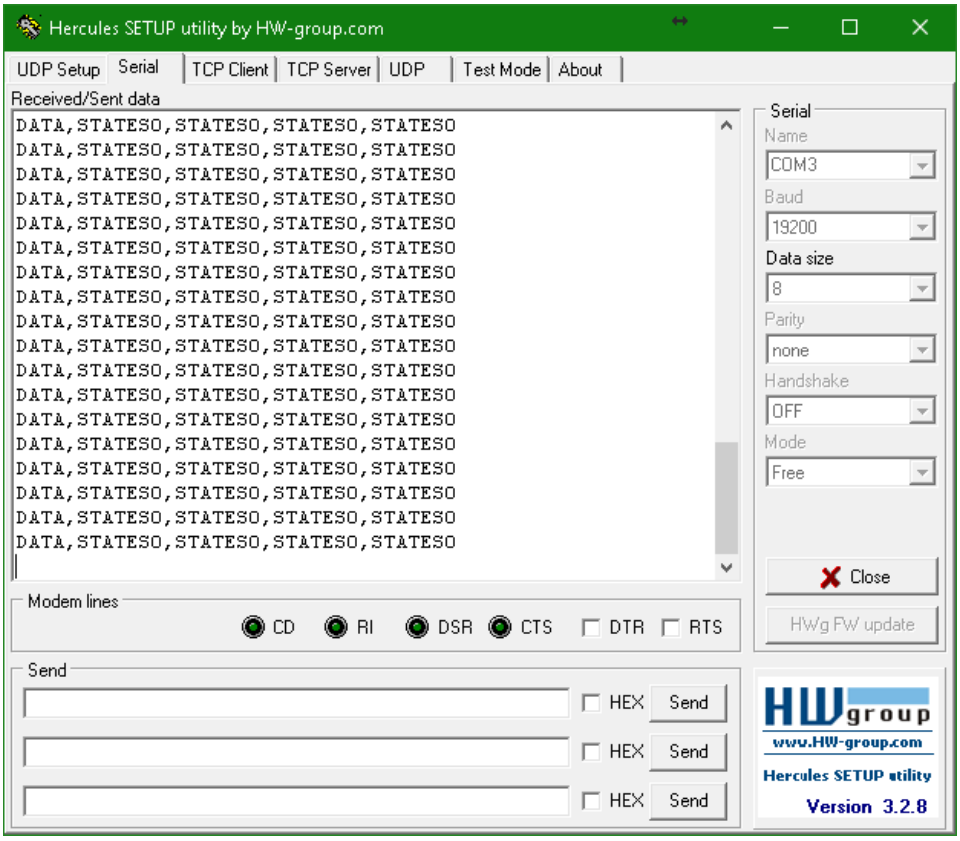
อุปกรณ์ไฟฟ้า	**กำลังไฟฟ้า (วัตต์)**
พัดลมตั้งโต๊ะ 14 นิ้ว Hatari รุ่น HA-T14M2	39
พัดลมตั้งโต๊ะ 16 นิ้ว Hatari รุ่น HC-S16M5	50
พัดลมตั้งโต๊ะ 16 นิ้ว IMARFLEX รุ่น IF-778	56
พัดลมตั้งโต๊ะ 16 นิ้ว MITSUBISHI รุ่น D16-GV	46
พัดลมตั้งโต๊ะ 16 นิ้ว VICTOR รุ่น TF-1610	56
กาต้มน้ำ 1.8 ลิตร KASHIWA รุ่น EK-180	1,500
กาต้มน้ำ 2 ลิตร Imarflex รุ่น IF-283	1,500
กาต้มน้ำ 1.6 ลิตร SHARP รุ่น KP-A16S	610
ไดร์เป่าผม Guangming Professional 2000W	2,000
ไดร์เป่าผม IMARFLEX รุ่น BD133	1,300
ไดร์เป่าผม LESASHA รุ่น LS023	1,000
ไดร์เป่าผม Panasonic รุ่น EH5171	1,500
ไดร์เป่าผม Philips ProCare รุ่น HP8260	2,300
เตารีด Electrolux รุ่น ESi501	1,500
เตารีด Philips รุ่น HD1120	1,000
เตารีด Sharp รุ่น AM-475	1,000
เตารีด Tefal Maestro	2,200
โคมไฟตั้งโต๊ะ E14 MAX	40
โคมไฟตั้งโต๊ะ MAX-40-W-R50	40
ไมโครเวฟ ขนาด 20 ลิตร ELECTROLUX รุ่น EMM2016W	800
ไมโครเวฟ LG Intellowave MS-202W	800
ไมโครเวฟ LG รุ่น MS2427BW	1,200
ไมโครเวฟ Samsung รุ่น GE87Q	1,300

อุปกรณ์ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
ไมโครเวฟ SHARP รุ่น R247	2,000
ตู้เย็น 13.3 คิว Sharp รุ่น sj-x43t	164
ตู้เย็น 6.7 คิว Hitachi รุ่น R-Z190SV	150
ตู้เย็น Panasonic รุ่น NR-A1853	90
ตู้เย็น 4.94 คิว PHILCO รุ่น CG-51	-
ตู้เย็น Toshiba รุ่น GR-B145Z	70
โทรทัศน์ LG FLATRON	40
โทรทัศน์ Samsung Billingual	48
โทรทัศน์ SAMSUNG LA40B550K1RXXT	250
โทรทัศน์ Sharp LC-32LE260M	41



ภาพที่ 2-5: การเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของพัดลม

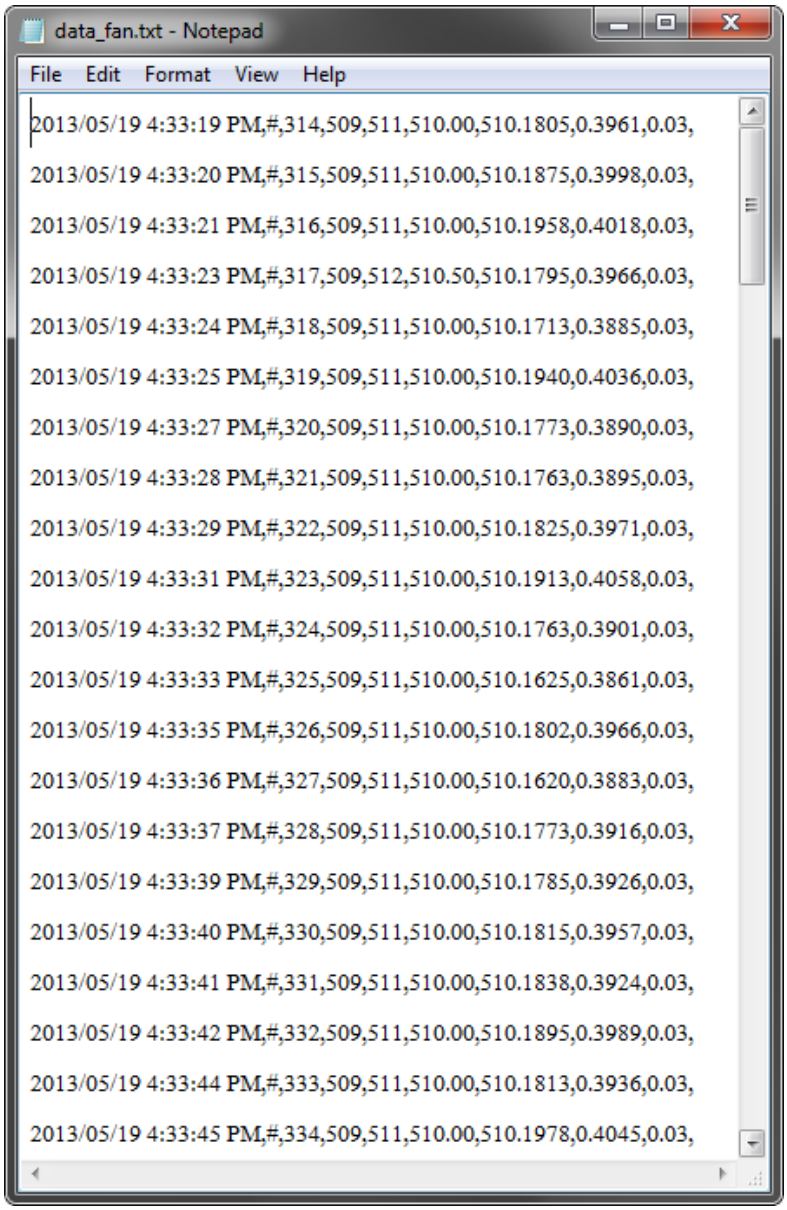
เมื่อโปรแกรมทำงาน ค่าที่ส่งมาจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า (sensor) จะส่งข้อมูลมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เปิดการเชื่อมต่อผ่านพอร์ตอนุกรมซึ่งในการเก็บข้อมูลนี้ใช้โปรแกรม Hercules SETUP utility by HW-group.com ทำการบันทึกลงไฟล์ ดังแสดงในภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6: ข้อมูลที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า

ซึ่งข้อมูลที่เครื่องคอมพิวเตอร์อ่านได้ประกอบด้วย ค่าวันที่และเวลาที่อ่าน รหัสอุปกรณ์ บรรทัดที่อ่าน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่ากระแสไฟฟ้าที่วัด ดังภาพที่ 2-7

ผู้ทดลองทำการเปลี่ยนสถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้าตัวที่ทำการทดสอบ เช่น พัดลม กดสวิตช์เบอร์ 1 ทิ้งไว้ 2 นาที หลังจากนั้น กดสวิตช์เบอร์ 2 ทิ้งไว้อีก 2 นาที และกดสวิตช์เบอร์ 3 ทิ้งไว้อีก 2 นาที จนครบทุกสถานะ โดยไฟล์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบ Text file เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การจำแนกประเภทต่อไป



ภาพที่ 2-7: ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บรวบรวม

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยพบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าถูกแบ่งได้เป็น 2 จำพวก คือ อุปกรณ์ไฟฟ้า แบบสองสถานะ (Binary state) และอุปกรณ์แบบหลายสถานะ (Multiple states) ดังตารางที่ 2-2

ในการเก็บข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้ามาจัดเก็บในระบบคอมพิวเตอร์จะใช้โปรแกรม Hercules SETUP utility by HW-group.com ซึ่งข้อมูลที่รับเข้ามานี้จะถูกจัดเก็บในรูปแบบแฟ้มข้อความ (CSV ไฟล์ที่ขั้นด้วยคอมม่า) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป ตัวอย่างค่าข้อมูลที่ได้ ดังตารางที่ 2-3 ข้อมูลที่อ่านได้จาก

อุปกรณ์ปลายทางประกอบด้วย ค่าวันที่และเวลาที่อ่าน รหัสอุปกรณ์บรรทัดที่อ่าน ค่าต่ำสุดค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้

ตารางที่ 2-2 ลักษณะการใช้งานและสถานะของอุปกรณ์แต่ละชนิด

อุปกรณ์	**ลักษณะใช้งาน**	**สถานะ**
โคมไฟตั้งโต๊ะ	คนมีส่วนร่วม	BinaryState
เครื่องรับโทรทัศน์	คนมีส่วนร่วม	BinaryState
ตู้เย็น	เปิดทำงานตลอดเวลา	BinaryState
พัดลม	คนมีส่วนร่วม	MultipleStates
เครื่องเป่าผม	คนมีส่วนร่วม	MultipleStates
เตารีด	คนมีส่วนร่วม	BinaryState
เตาอบไมโครเวฟ	คนมีส่วนร่วม	BinaryState
กาต้มน้ำร้อน	คนมีส่วนร่วม	BinaryState

ตารางที่ 2-3 ข้อมูลที่รับมาจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า

Date Time	**EQU**	**LINE**	**MIN**	**MAX**	**MEAN**	**AVG**	**SD**	**IRMS**
2013/02/26 06:59:56	#U1	1	509	510	509.50	509.54	0.50	0.04
2013/02/26 06:59:57	#U1	2	509	511	510.00	509.55	0.50	0.04
2013/02/26 06:59:59	#U1	3	509	511	510.00	509.53	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:00	#U1	4	508	511	509.50	509.53	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:01	#U1	5	509	511	510.00	509.54	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:03	#U1	6	509	510	509.50	509.54	0.50	0.04
2013/02/26 07:00:04	#U1	7	430	511	470.50	484.94	30.72	2.39
2013/02/26 07:00:05	#U1	8	430	510	470.00	484.04	30.91	2.30
2013/02/26 07:00:06	#U1	9	430	510	470.00	484.01	30.87	2.28
2013/02/26 07:00:08	#U1	10	431	511	471.00	484.34	30.74	2.28
2013/02/26 07:00:09	#U1	11	431	510	470.50	484.59	30.66	2.31
2013/02/26 07:00:10	#U1	12	431	510	470.50	484.32	30.79	2.32

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ปรับปรุงขั้นตอนวิธีในการจำแนกประเภทอุปกรณ์ไฟฟ้า จากงานวิจัยของวรเชษฐ์ บัวสุวรรณ (2556) และ Panphotong et al. (2014) โดยได้ปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ กล่าวคือ ใช้บอร์ด Arduino รุ่น Pro Mini ใช้เซนเซอร์ที่ให้พิกัด 20 A. แทนที่จะเป็น 30 A. เหมือนในงานเก่า ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลการใช้ไฟจากอุปกรณ์นานขึ้น พร้อมทั้งปรับจูนพารามิเตอร์ของทุกอัลกอริทึมให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

ผลการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้ 4 ขั้นตอนวิธีแสดงในตารางที่ 2-4 จากผลการทดลองข้างต้นทำให้ทราบว่าเทคนิคการจำแนกตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจให้ผลลัพธ์การจำแนกแม่นยำมากที่สุด (98.34%) ซึ่งดีกว่าผลจากงานวิจัยของวรเชษฐ์ บัวสุวรรณ (2556) และ Panphotong et al. (2014) ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเทคนิคการจำแนกตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ จากนั้นนำกฎที่ได้ไปเขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบการจำแนกกับข้อมูลจากการใช้กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบเวลาจริง

ตารางที่ 2-4: สรุปผลการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 4 วิธี

Attribute	Classification Technique			
	Decision Tree	Naïve Bayes	Neural Network	Support Vector Machine
Time (Seconds)	0.66	0.06	195.37	6.54
% Correctly	98.34%	81.02%	89.23%	95.96%
% Incorrectly	1.66%	18.98%	10.77%	4.04%
Precision	0.983	0.828	0.898	0.961
Recall	0.983	0.810	0.892	0.960

2.1.4 การแจ้งตือนเมื่อตรวจพบความผิดปกติของการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลประวัติการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ของผู้ใช้แต่ละคน ข้อมูลนี้ถูกนำมาใช้ในการตรวจความผิดปกติของการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น อาจมีการใช้งานนานผิดปกติ โดยวิธีการตรวจสอบที่นำเสนอมี 3 วิธี คือ

1) ตรวจสอบจากค่าเฉลี่ยการใช้งาน

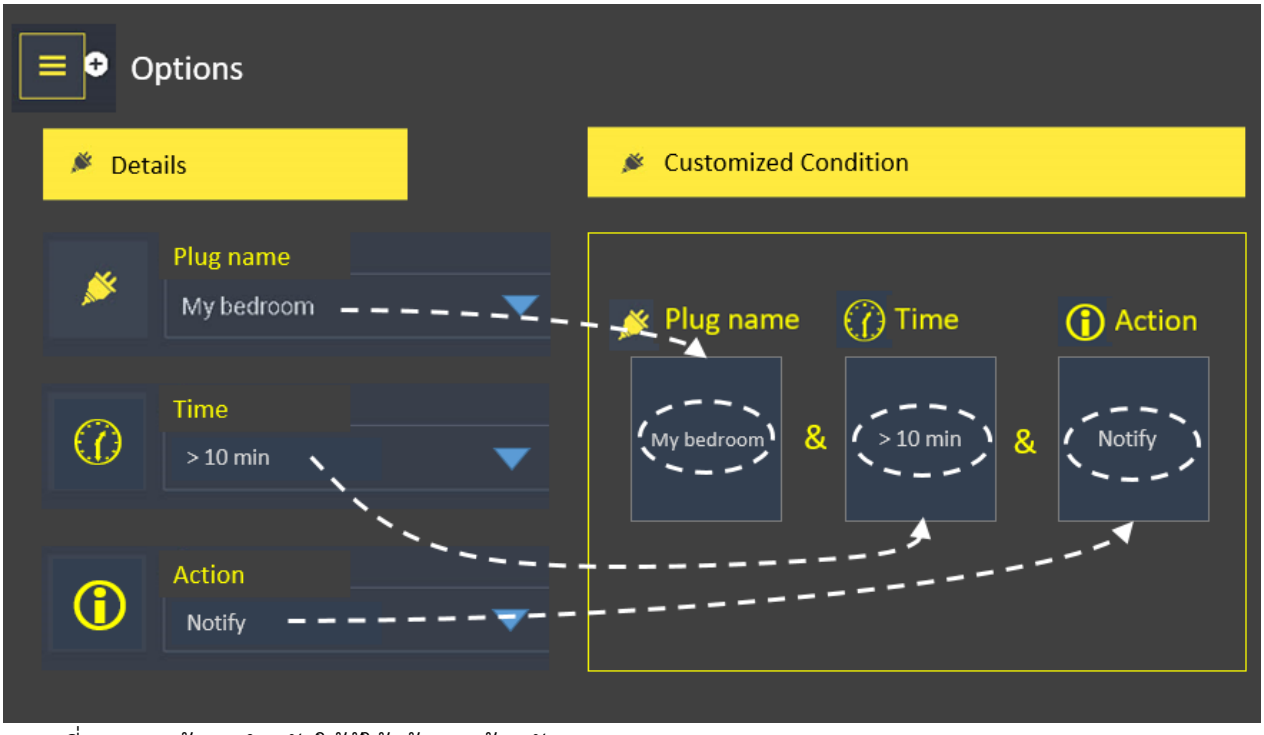
ผู้วิจัยนำข้อมูลการใช้งานแต่ละอุปกรณ์มาหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Exponential Moving Average: EMA) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Exponential Moving Deviation) ในรายชั่วโมง รายวัน รายเดือน เพื่อตรวจสอบการใช้งานสำหรับอุปกรณ์ที่ผู้ใช้มักใช้ทุกวัน หรือ นาน ๆ ใช้ครั้งหนึ่ง ระบบจะทำการแจ้งเตือนผ่าน Line notification เมื่อมีการใช้งานมากกว่าค่า EMA เกินกว่า 4 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ตรวจสอบจากกฎ

ผู้วิจัยนำข้อมูลการใช้งานมาทำเหมืองข้อมูล เพื่อหากฎความสัมพันธ์ (Association rule) ว่าอุปกรณ์ใดมักมีการใช้งานพร้อมกัน และระยะเวลาที่ใช้นานเพียงใด ใช้เมื่อไรบ้าง บ่อยแค่ไหน เป็นต้น โดยผู้วิจัยเลือกกฎที่มีค่าความเชื่อมั่น (Confidence) ที่มากกว่า 50% มาเป็นกฎที่ใช้ในการแจ้งเตือน ดังตัวอย่าง เช่น กฎ “ถ้า เป็นเครื่องไมโครเวฟ แล้ว การใช้ไฟไม่เกิน 10 ครั้งต่อสัปดาห์ และ ใช้ไม่เกิน 3 นาที” มีค่าความมั่นใจเกิน 50% และไม่มีกฎใดสำหรับไมโครเวฟที่มีค่าความมั่นใจเกิน 50% อีก หากเครื่องแม่ข่ายวิเคราะห์ข้อมูลแล้วพบว่า มีคนใช้อุปกรณ์ที่เป็นเครื่องไมโครเวฟเกิน 3 นาที ซึ่งไม่เป็นไปตามกฎ ระบบจะแจ้งเตือนผ่าน Line Notify ทันที

3) ผู้ใช้สร้างกฎด้วยตัวเอง

ผู้ใช้สามารถสร้างกฎได้ด้วยตัวเองผ่านระบบที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ผู้ใช้ใช้งานได้ง่าย ผู้ใช้สามารถสร้างเงื่อนไขการแจ้งเตือน โดยเพียงแค่ drag&drop ชื่อของปลั๊ก, เงื่อนไขของเวลา และ การกระทำ (เช่น จะให้แจ้งเตือน หรือ จะให้ เปิด/ปิด อัตโนมัติ) ภาพที่ 2-8 แสดงหน้าจอสำหรับให้ผู้ใช้สร้างกฎด้วยตนเอง



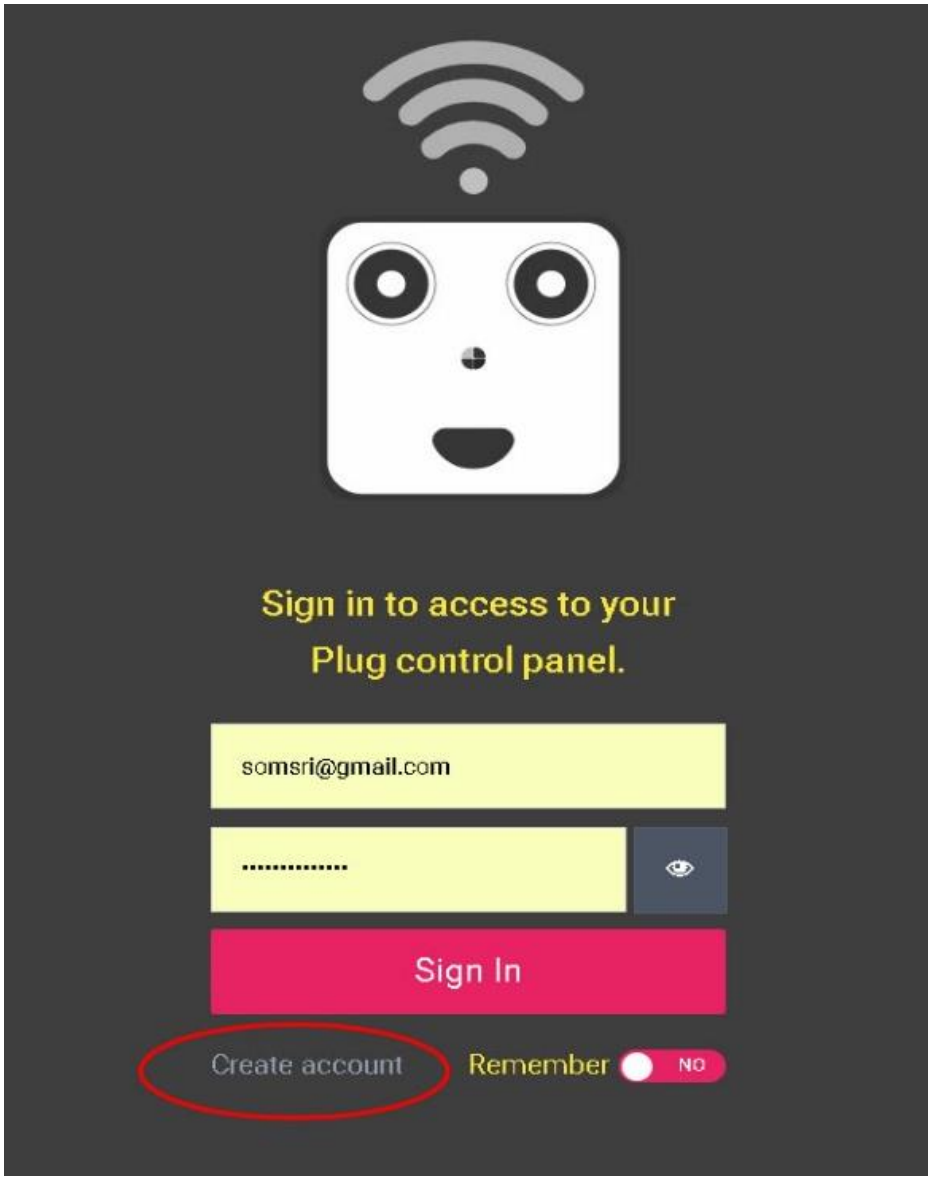
ภาพที่ 2-8: หน้าจอสำหรับให้ผู้ใช้สร้างกฎด้วยตัวเอง

2.2 ผลการวิจัย

ในหัวข้อนี้นำเสนอผลการทดสอบการทดสอบใช้งานระบบบริหารจัดการสมาร์ทปลั๊ก รายละเอียดดังนี้

2.2.1 การเข้าสู่ระบบหรือลงทะเบียนเพื่อสร้างบัญชีผู้ใช้ใหม่

การใช้งานระบบ Smart plug web application ผู้ใช้จำเป็นจะต้องมีบัญชีผู้ใช้งานในระบบก่อนถึงจะสามารถตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ Smart Plug ได้ ดังนั้นถ้ายังไม่มีบัญชีในระบบผู้ใช้สามารถสร้างบัญชีใหม่ได้โดยเลือก Create account ในหน้า Login เข้าสู่ระบบ ดังภาพที่ 2-9



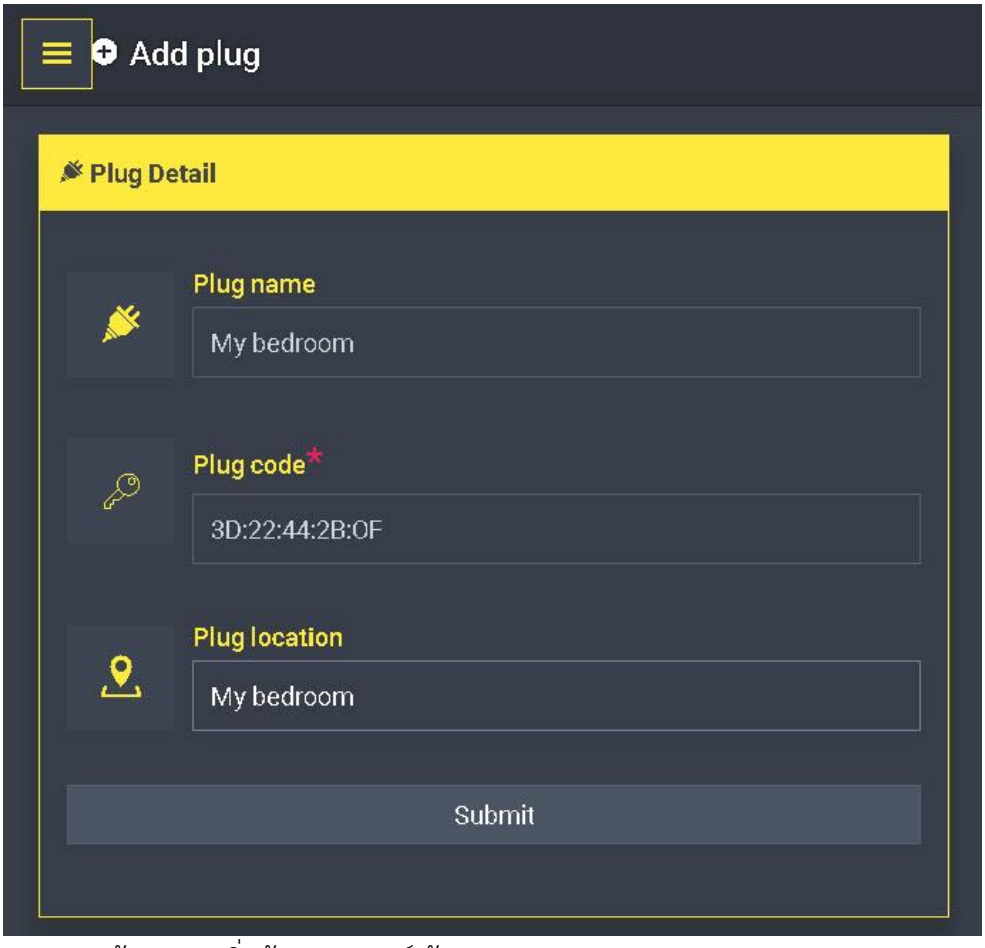
ภาพที่ 2-9: หน้าจอสำหรับเข้าสู่ระบบหรือสร้างบัญชีผู้ใช้ใหม่

2.2.2 การเพิ่มข้อมูลอุปกรณ์ Smart Plug เข้ามาในระบบเพื่อบริหารจัดการและควบคุม

หากผู้ใช้เข้าสู่ระบบแล้วเป็นครั้งแรก ระบบจะไม่มีข้อมูลของ Smart Plug ใด ๆ ดังนั้นผู้ใช้ต้องเพิ่มข้อมูล Smart Plug โดยไปที่เมนู Add Plug กรอกข้อมูล ชื่อปลั๊ก, รหัสปลั๊ก (ดูรหัสที่ตัว Smart plug), สถานที่ที่ใช้งาน ดังภาพที่ 2-10

เมื่อเพิ่มข้อมูล Smart plug เข้ามาในระบบจะเห็นการทำงานของอุปกรณ์ดังภาพที่ 2-11 ผู้ใช้จะสามารถบริหารจัดการอุปกรณ์ได้เช่น สามารถสั่งเปิด/ปิดปลั๊กไฟ, ดูข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้ารวม, ดูข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าในแต่ละปลั๊ก และสามารถทราบได้ว่ามีอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดใดเสียบอยู่กับปลั๊กนั้น ๆ ได้

เมื่อผู้ใช้คลิ๊กเลือกอุปกรณ์ Smart plug แล้ว สามารถแก้ไขข้อมูลชื่อ,ที่อยู่ของปลั๊ก ที่เรากรอกข้อมูลไว้ในหน้า Add Plug ได้ หรือลบอุปกรณ์ Smart plug ออกจากระบบ นอกจากนี้ยังสามารถสั่งการเปิด/ปิดแต่ละช่องปลั๊กที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าเสียบอยู่ได้อย่างอิสระอีกด้วย



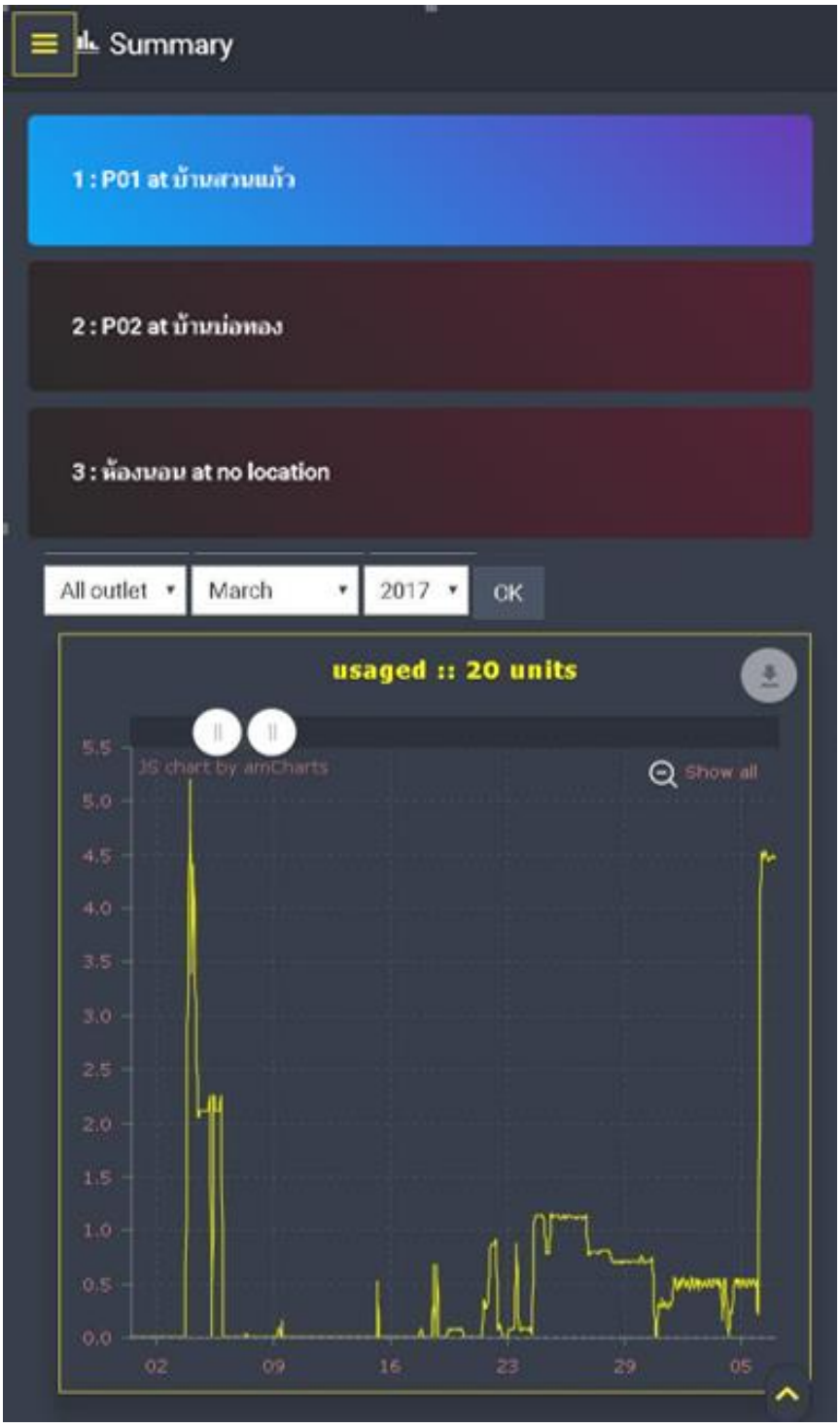
ภาพที่ 2-10: แสดงหน้าจอการเพิ่มข้อมูลอุปกรณ์เข้าระบบ

ภาพที่ 2-11: รายการอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เสียบใช้งานอยู่

2.2.3 การดูข้อมูลสรุปการใช้งานกระแสไฟฟ้าในแต่ละเดือนและข้อมูลการเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เสียบอยู่บน Smart plug

เมื่อผู้ใช้ต้องการทราบว่ามีการใช้งานกระแสไฟฟ้ามากน้อยเพียงใดในแต่ละเดือนผู้ใช้สามารถเข้าไปที่เมนู Summary โดยสามารถเลือกดูแยกในแต่ละอุปกรณ์ Smart plug หรือดูข้อมูลสรุปรวมทุกอุปกรณ์ Smart plug ได้ ดังภาพที่ 2-12 และมีการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เป็นหน่วย (Unit: KW-hour) เพื่อง่ายต่อการนำไปคิดคำนวณค่าไฟฟ้า

นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลประวัติการเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าได้โดยไปที่เมนู History เลือกวัน-เวลาที่ต้องการ ดังภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-12: ข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้ารวมหรือแยกแต่ละอุปกรณ์

ภาพที่ 2-13: ประวัติการเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า

2.2.4 การทดสอบกฎ

เมื่อได้กฎการจำแนกจากตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ผู้วิจัยนำกฎที่ได้เขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบการจำแนกกับข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบเวลาจริงโดยทดสอบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อไปนี้ 1.พัดลม 2.โทรทัศน์ 3.ไดร์เป่าผม 4.ไมโครเวฟ 5.โคมไฟตั้งโต๊ะ ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบการทดสอบเป็น 3 การทดสอบหลักได้แก่ 1.ทดสอบครั้งละหนึ่งอุปกรณ์กับแต่ละช่องของปลั๊กไฟ 2.ทดสอบครั้งละสองอุปกรณ์กับคู่ปลั๊กพร้อมกัน 1, 2 และ 3, 4 และ 3.ทดสอบทีละสี่อุปกรณ์กับ 4 ช่องของปลั๊กไฟ โดยการทดลองแต่ละครั้งจะมี

การส่งข้อมูลการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าทุก ๆ วินาที ซึ่งจะได้ข้อมูลประมาณ 100 ค่าต่อหนึ่งการทดสอบ หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลมาสรุปผลโดยมีผลการทดสอบดังนี้

2.2.4.1 ทดสอบครั้งละหนึ่งอุปกรณ์กับแต่ละช่อง (4 ช่อง) ของปลั๊กไฟ

จากตารางที่ 2-5 พบว่าระบบสามารถจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ถูกต้องเกือบทุกอุปกรณ์ในทุก ๆ ช่องปลั๊กไฟยกเว้นพัดลมสถานะ 1 และ 2 พบว่าไม่สามารถจำแนกได้ถูกต้อง โดยผลการจำแนกเป็นพัดลมสถานะ 3 แทน และนอกจากนี้ยังพบว่าไมโครเวฟจำแนกได้แม่นยำ 2 ช่องปลั๊กไฟ (96% และ 90%) ส่วนอีก 2 ช่องปลั๊กไฟไม่แม่นยำ (3.3%,3.3%)

ตารางที่ 2-5: ผลการจำแนกแบบเวลาจริงกับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 5 ชนิดโดยการทดสอบครั้งละหนึ่งอุปกรณ์

อุปกรณ์ไฟฟ้า	ปลั๊กช่อง 1	ปลั๊กช่อง 2	ปลั๊กช่อง 3	ปลั๊กช่อง 4
พัดลม State1	0%	0%	0%	0%
พัดลม State2	33.6%	23.3%	10%	53.3%
พัดลม State3	100%	100%	100%	100%
ไดร์เป่าผม State1	100%	100%	100%	100%
ไดร์เป่าผม State2	100%	100%	100%	100%
โทรทัศน์ State1	77.7%	100%	100%	100%
ไมโครเวฟ State1	96%	90%	3.33%	3.3%
โคมไฟตั้งโต๊ะ State1	100%	100%	100%	100%

2.2.4.2 ทดสอบครั้งละสองอุปกรณ์กับคู่ปลั๊กพร้อมกัน 1, 2 และ 3, 4

เมื่อนำอุปกรณ์ไฟฟ้า 2 อุปกรณ์มาทดลองจำแนกพร้อมกันโดยทดสอบเป็นคู่ปลั๊กคือ 1,2 และ 3,4 โดยในการทดสอบนี้จะเลือกใช้สถานะที่แม่นยำที่สุดในการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าเช่น เลือกใช้พัดลมสถานะ 3 มาใช้ในการทดสอบคู่กับอุปกรณ์อื่น ๆ เป็นต้น ซึ่งจากผลการจำแนกดังตาราง 2-6 พบว่าเมื่อนำไมโครเวฟมาทดสอบการจำแนกร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นจะส่งผลให้ผลการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาจับคู่มีความแม่นยำลดลงอย่างเห็นได้ชัด เช่น ไมโครเวฟ - พัดลม หรือ ไมโคเวฟ - โคมไฟตั้งโต๊ะ เป็นต้น

ตารางที่ 2-6: ผลการจำแนกแบบเวลาจริงกับอุปกรณ์ไฟฟ้า 2 ชนิดทำงานพร้อมกัน

อุปกรณ์ไฟฟ้า	ปลั๊กช่อง 1, 2	ปลั๊กช่อง 3,4	ค่าเฉลี่ยคู่ปลั๊ก (1+3)/2, (2+4)/2
พัดลม State3, ไดร์เป่าผม State1	100%, 100%	100%, 100%	100%, 100%
พัดลม State3, ไมโครเวฟ State1	0%, 100%	0%, 0%	0%, 50%
พัดลม State3, โทรทัศน์ State1	100%, 73.3 %	100%, 100%	100%, 86.65%
พัดลม State3, โคมไฟตั้งโต๊ะ State1	100%, 100%	100%, 100%	100%, 100%
ไดร์เป่าผม State1, โทรทัศน์ State1	100%, 24.89%	100%, 0%	100%, 12.45%
ไดร์เป่าผม State1, ไมโครเวฟ State1	100%, 100%	100%, 100%	100%, 100%
ไดร์เป่าผม State1, โคมไฟตั้งโต๊ะ State1	100%, 100%	100%, 100%	100%, 100%
โทรทัศน์ State1, โคมไฟตั้งโต๊ะ State1	99.3%, 100%	100%, 100%	99.65%, 100%
โทรทัศน์ State1, ไมโครเวฟ State1	71%, 0%	92%, 64%	81.5%, 32%
ไมโครเวฟ State1, โคมไฟตั้งโต๊ะ State1	0%, 100%	0%, 0%	0%, 50%

2.2.4.3 อุปกรณ์ไฟฟ้า 4 อุปกรณ์ทดสอบการจำแนกพร้อมกันทั้ง 4 ช่องปลั๊กไฟ

เมื่อนำอุปกรณ์ไฟฟ้า 4 อุปกรณ์มาทดลองจำแนกพร้อมกัน (โดยเลือกสถานะอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จำแนกได้แม่นยำที่สุด) พบว่าโทรทัศน์มีผลการจำแนกต่ำลงกว่าการใช้อุปกรณ์เดี่ยว ๆ ในทุกปลั๊ก ส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น (พัดลม, ไดร์เป่าผม, โคมไฟตั้งโต๊ะ) สามารถจำแนกได้อย่างแม่นยำ ดังแสดงในตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7: ผลการจำแนกแบบเวลาจริง 4 อุปกรณ์ทดสอบการจำแนกพร้อมกันทั้ง 4 ช่องปลั๊กไฟ

อุปกรณ์ไฟฟ้า	ปลั๊ก 1, 2, 3, 4
โคมไฟตั้งโต๊ะ, พัดลม, ไดร์เป่าผม, โทรทัศน์	100%, 100%, 100%, 24.5%
โทรทัศน์, โคมไฟตั้งโต๊ะ, พัดลม, ไดร์เป่าผม	65%, 100%, 100%, 100%
ไดร์เป่าผม, โทรทัศน์, โคมไฟตั้งโต๊ะ, พัดลม	100%, 18%, 100%, 100%
พัดลม, ไดร์เป่าผม, โทรทัศน์โคมไฟตั้งโต๊ะ	100%, 100%, 13.75%, 100%

บทที่ 3
อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองเก็บข้อมูล สร้างตัวแบบในการจำแนกประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้า และ ระบบบริหารจัดการสมาร์ทปลั๊ก ผู้วิจัยได้รวบรวมประเด็นต่าง ๆ มาอภิปรายดังนี้

3.1 ประเภทของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำมาจำแนก

เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีใช้อยู่ปัจจุบันสามารถแบ่งประเภทตามจำนวนของสถานะการทำงาน ได้ 3 ประเภท คือ 1. ประเภทที่มีเพียงสองสถานะ (เปิด-ปิด) เช่น หลอดไฟ โทรทัศน์ 2. ประเภทที่มีมากกว่าสองสถานะแต่จำนวนของสถานะจำกัด เช่น พัดลม ไดร์เป่าผมและ 3. ประเภทที่มีจำนวนสถานะไม่จำกัด เช่น สว่าน หลอดไฟปรับความสว่างได้ โดยในงานวิจัยนี้มุ่งหวังการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าตามประเภทอุปกรณ์ไฟฟ้า 2 ประเภทคือ 1.ประเภทที่มีเพียงสองสถานะ (เปิด-ปิด) 2. ประเภทที่มีมากกว่าสองสถานะแต่จำนวนของสถานะจำกัด

3.2 การคัดเลือกแอททริบิวต์สำหรับการจำแนก

มีงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้ศึกษาวิธีการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยใช้รูปแบบการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้า (หรือเรียกว่าลายเซ็นต์การใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์) โดยพิจารณา พลังงานจริง (Real power), พลังงานปฏิกิริยา (Reactive power), พลังงานปรากฏ (Apparent power), แรงดัน root mean square (Vrms), ค่ากระแส root mean square (Irms), ค่ากระแสสูงสุด (Imax), ค่ากระแสต่ำสุด (Imin), ค่ากระแสเฉลี่ย (Iavg), การเกิดฮาร์โมนิค, การเกิดสัญญาณรบกวน, รูปแบบการเปลี่ยนสถานะ (Repeatable transient), ระยะเวลาการเปลี่ยนสถานะ (Transient response time) เป็นต้น

งานวิจัยนี้ใช้ค่ากระแสไฟฟ้าในการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยนำค่ากระแสไฟฟ้า 500 ค่าในหนึ่งวินาทีมาคำนวณทางสถิติเพื่อหาค่าน้อยสุด (Min), ค่ามากสุด (Max), ค่ากลาง (Mid-range), ค่าเฉลี่ย (Average) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ซึ่งการทดลองได้ยืนยันว่าค่าทางสถิติเหล่านี้สามารถนำมาใช้จำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำดังเช่นในงานวิจัย Design and implementation of a high-fidelity AC metering network มีการนำค่าของกระแสไฟฟ้าร่วมกับแรงดันไฟฟ้าซึ่งให้ผลความแม่นยำมากกว่า 84% โดยใช้ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม

3.3 การเลือกฮาร์ดแวร์สำหรับใช้ในระบบ

การตรวจจับข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ใช้ ACS712 Current Sensor Carrier -20 to +20A เป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า วัดได้ทั้งกระแสไฟ DC และ AC สามารถวัดกระแสที่ไหลได้ 2 ทิศทาง ทั้งค่าบวกและค่าลบที่มีขนาด 20A (±20A) ซึ่งอยู่ในช่วงการวัดที่เหมาะสมในใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าตามอาคารบ้านเรือนหรือสำนักงาน (ขนาดมิเตอร์ตามบ้าน 5A - 15A โหลดได้มากสุด 15A – 45A) นอกจากนี้ยังง่ายต่อการนำไปใช้งานและราคาถูก

ในงานวิจัยนี้ใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino Pro-mini เพื่อการคำนวณและการประมวลผลข้อมูลทั้งในส่วนของการจัดเก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้าและการคำนวณเพื่อการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบเวลาจริงจากกฎที่ได้จากการทดลองพร้อมส่งข้อมูลไปแสดงผลยังเครือข่ายผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย ผู้วิจัยเลือกใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino Pro-mini เพราะมีขนาดเล็กมีความสามารถครบถ้วนตามความต้องการของระบบเช่น สามารถเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้าได้อย่างน้อย 4 เซ็นเซอร์ สามารถเชื่อมต่อกับโมดูลเครือข่ายไร้สาย ESP8266 (ESP8266-01) เพื่อส่งข้อมูล และสามารถเชื่อมต่อกับรีเลย์เพื่อควบคุมการเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ นอกจากนี้Arduino Pro-mini และ ESP8266 ยังมีราคาถูกมากทำให้ตัวอุปกรณ์จำแนกที่สร้างขึ้นในระบบมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้งานจริง

3.4 ขั้นตอนวิธีสำหรับการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้ข้อมูลกระแสไฟฟ้า ผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการจำแนกที่เป็นที่นิยมโดยทั่วไป 4 วิธี คือ นาอีฟเบย์ ต้นไม้ตัดสินใจ (J48) โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (MLP) และซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ผู้วิจัยสร้างตัวแบบโดยใช้ข้อมูลที่จัดเก็บและผ่านการจัดเตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในโปรแกรม WEKA เวอร์ชั่น 4.9.0 โดยผู้วิจัยทำการปรับจูนพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละตัวแบบเพื่อให้ผลการจำแนกสูงสุดในแต่ละเทคนิคดังที่ได้กล่าวไปในบทก่อนหน้า

ผลการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าจากชุดข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรงรางปลั๊กในงานวิจัยนี้พบว่าตัวแบบการจำแนกต้นไม้ตัดสินใจโดยใช้ขั้นตอนวิธี J48 ให้ผลลัพธ์การจำแนกแม่นยำมากที่สุดรองลงมาคือตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (MLP) และตัวแบบนาอีฟเบย์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาข้อมูลและผลการจำแนกในแต่ละตัวแบบสามารถวิเคราะห์สรุปผลได้ดังนี้

ตัวแบบนาอีฟเบย์

ตัวแบบนาอีฟเบย์ให้ผลลัพธ์ในการจำแนกต่ำที่สุด (ทำนายผิดพลาดที่ 18.98%) โดยค่าปริยายแล้ว ตัวแบบนาอีฟเบย์ที่ทำงานโดยโปรแกรมประยุกต์ WEKA อนุมานว่าข้อมูลที่เป็นตัวเลขมีการกระจายแบบเกาส์เสียน และประมาณการคุณลักษณะที่เป็นตัวเลขให้เป็นชื่อแทนตัวเลข ซึ่งการกระทำในลักษณะดังกล่าวอาจส่งผลให้ความ

แม่นยำในการทำนายผลของตัวแบบนาอีฟเบย์ต่ำลง 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

ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียบแบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น

ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียบแบบเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น ถึงแม้ว่าเป็นขั้นตอนวิธีที่เป็นที่นิยมแต่จากผลการทดลองให้ผลลัพธ์ในการจำแนกที่ต่ำกับข้อมูลของเครื่องใช้ไฟฟ้า ด้วยอาจเกิดจากตัวแบบชนิดนี้ให้ผลการทำนายไม่แม่นยำกับข้อมูลที่มีลักษณะเป็นโครงสร้างสูงและข้อมูลลักษณะชุดข้อมูลเวลา (Time series data) และ/หรืออาจเกิดจากขั้นตอนวิธีแบบขั้นตอนการส่งค่าย้อนกลับที่ทำงานเร็วทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local minimum at a high risk)

ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนสร้างไฮเปอร์เพลนเพื่อแยกอุปกรณ์ไฟฟ้าออกเป็นหนึ่งคลาสหรือมากกว่า หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง เมื่อไฮเปอร์เพลนถูกสร้างขึ้นข้อมูลของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ด้านหนึ่งของไฮเปอร์เพลนก็จะจำแนกเป็นคลาสหนึ่ง ขณะที่ข้อมูลที่อยู่ในด้านอื่น ๆ ของไฮเปอร์-เพลนก็จะถูกจำแนกเป็นคลาสต่าง ๆ เช่นกัน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วข้อมูลที่อยู่ในด้านต่าง ๆ ของไฮเปอร์เพลนอาจไม่อยู่ในคลาสนั้น ๆ ก็เป็นได้ โดยเป็นที่ทราบกันดีว่าตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนจะไม่สามารถจำแนกข้อมูลได้ผลลัพธ์ที่ดีนักเมื่อข้อมูลเหล่านั้นมีความผิดปกติ (Outlier) จำนวนมาก 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) พบว่ามีค่าที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยของตู้เย็นมากซึ่งอาจเกิดจากข้อมูลที่มีความผิดปกติทำให้การจำแนกยังให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีก็เป็นได้

บทที่ 4
สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างสมาร์ทปลั๊กซึ่งเป็นอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ และนำเสนอระบบซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมและบริหารจัดการสมาร์ทปลั๊กผ่านเว็บและสมาร์ทโฟน ระบบที่นำเสนอช่วยให้ผู้ใช้สามารถเพิ่มอุปกรณ์เข้ากับปลั๊ก จำแนกประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าได้อย่างอัตโนมัติ ควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านทางเว็บไซต์หรือสมาร์ทโฟน สามารถดูประวัติการใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ผ่านระบบ สามารถตรวจสอบและแจ้งเตือนผู้ใช้ได้ว่ามีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ผิดไปจากพฤติกรรมปกติหรือไม่

การนำตัวแบบการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้ามาใช้ทดสอบแบบเวลาจริง ผู้วิจัยเขียนกฎที่ได้จากตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจใส่เข้าไปยังอุปกรณ์ตรวจจับค่ากระแสไฟฟ้าโดยเมื่อมีการเสียบปลั๊กอุปกรณ์ไฟฟ้าบนเครื่องตรวจวัดกระแสไฟฟ้านี้จะทำการคำนวณเปรียบเทียบค่าที่ได้กับแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจและส่งผลการจำแนกไปยังเครื่องแม่ข่ายส่วนกลางผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย โดยผู้วิจัยได้จัดทำระบบการแสดงผลข้อมูลบนหน้าเว็บไซต์ซึ่งตัวระบบสามารถแสดงผลการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เสียบกับรางปลั๊กอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้านี้แบบเวลาจริงพร้อมสามารถสั่งเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ทันที

จากผลการดำเนินการวิจัยผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ทำให้ระบบสามารถจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าได้มากขึ้น
2. ควรใช้ NETPIE แทนการตั้ง MQTT Broker เองเพื่อลดความยุ่งยากในการติดตั้งและการบริหารจัดการด้วยตนเอง นอกจากนี้ NETPIE ยังมี PLATFORM สำหรับให้บริการเชื่อมต่อสื่อสารและมีไลบรารีให้ใช้งานมากมายและสามารถบริหารจัดการได้อย่างง่ายดายผ่านเว็บไซต์
3. ทำให้ระบบมีการสั่งงานเปิด/ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าได้อย่างชาญฉลาดโดยเรียนรู้จากข้อมูลพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้และข้อมูลสิ่งแวดล้อมอื่นภายในอาคาร เพื่อดูแลทั้งด้านการใช้พลังงานและความปลอดภัยในอาคาร

บทที่ 5
ผลผลิต

ผลงานตีพิมพ์ในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ ดังรายละเอียดต่อไปนี้:-

เกรียงศักดิ์ ปานโพธิ์ทอง, ณัฐนนท์ ลีลาตระกูล, & สุนิสา ริมเจริญ (2018). ระบบจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบควบคุมสมาร์ทปลั๊ก. การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่14 (NCCIT-2018).

บรรณานุกรม

วรเชษฐ์ บัวสุวรรณ และ ณัฐนนท์ ลีลาตระกูล, “ระบบการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน,” *Proceedings of the 9th National Conference on Computing and Information Technology*, 2013.

K. Panphotong, W. Buasuwarn and N. Leelathakul, “A Comparative Analysis of Appliance Classifiers for Wireless Classification System,” *Proceedings of the Asian Internet Engineering Conference*, 2014.

S. Darby, “The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption: A Review for Defra of the Literature on Metering, Billing and Direct Displays,” *Technical Report for Environmental Change Institute*, University of Oxford: Oxford, UK, 2006.

G. W. Hart, “Nonintrusive appliance load monitoring,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 80, pp. 1870-1891, 1992.

E. M. Tapia, S. S. Intille, L. Lopez, and K. Larson, “The design of a portable kit of wireless sensors for naturalistic data collection,” *Proceedings of Pervasive*, 2006.

A. Zoha, A. Gluhak, I., M. A. Imran and S. Rajasegarar, “Non-Intrusive Load Monitoring Approaches for Disaggregated Energy Sensing: A Survey,” *Sensors*, vol. 12, no. 12, pp. 16838-16866, 2012.

The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks*, IEEE Standard, 2011.

S. Drenker and A. Kader, “Nonintrusive monitoring of electric loads,” *IEEE Computer Applications in Power*, vol. 12, no. 4, 1999.

D. Srinivasan, W. Ng and A. Liew, “Neural-network-based signature recognition for harmonic source identification,” *IEEE Trans. Power Del*. vol. 21, pp. 398–405, 2006.

T. Kato, H. S. 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*, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 5597, 2009.

X. Jiang, S. Dawson-Haggerty, P. Dutta, and D. Culler, “Design and implementation of a high-fidelity AC metering network,” *Proceedings of the Eighth International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, 2009.

E. W. Weisstein, "*Exponential Moving Average*," From MathWorld--A Wolfram Web Resource.

C. Zhang and S. Zhang. “*Association Rule Mining: Models and Algorithms*,” Springer-Verlag, 2002.

ภาคผนวก

การตีพิมพ์ผลงานวิจัย

การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่14 (NCCIT-2018)

5 – 6 กรกฎาคม 2561

จ.เชียงใหม่

ระบบจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบควบคุมสมาร์ทปลั๊ก

Appliance Classification, Anomaly Detection, Management, and Controlling Systems for Smart Plugs

เกรียงศักดิ์ ปานโพธิ์ทอง(Kriengsak Panphotong), ณัฐนนท์ ลีลาตระกูล(Nutthanon Leelathakul)

และ สุนิสา ริมเจริญ (Sunisa Rimcharoen)

คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา

isdat@it.buu.ac.th, nutthanon@buu.ac.th, rsunisa@buu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการออกแบบสมาร์ทปลั๊ก และ ระบบบริหารจัดการและควบคุมสมาร์ทปลั๊ก โดยระบบที่พัฒนาขึ้นรับข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าที่แต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งถูกเฝ้าดู (monitor) และ ถูกควบคุมด้วยระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ระบบที่นำเสนอสามารถระบุ (จำแนก) ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกเสียบอยู่กับสมาร์ทปลั๊ก และอนุญาตให้ผู้ใช้เปิด/ปิดแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านเว็บไซต์หรือสมาร์ทโฟน ผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสในรูปแบบรางปลั๊กไฟฟ้าและนำไปใช้กับทุก ๆ จุดที่เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานอยู่ (แทนที่จะนำไปใช้ที่แผงวงจรหลัก หรือ main circuit เพียงจุดเดียว) เพื่อให้ระบบรู้ได้อัตโนมัติว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าถูกย้ายไปอยู่ที่ตำแหน่งใด ทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมการเปิด/ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้ระบบยังสามารถวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าที่ผิดปกติจากการใช้งานประจำและแจ้งเตือนผู้ใช้ได้

คำสำคัญ: สมาร์ทปลั๊ก เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ระบบบริหารจัดการ ระบบควบคุม ระบบตรวจจับความผิดปกติ

Abstract

This work presents a smart plug design and a management-and-control system. The system collects appliances' electricity usage sent via a wireless sensor network. It later classifies the appliances connected to each smart plug. We also develop a web application allowing users to control each appliance via a website or mobile phone. The system analyzes the data to classify each appliance connected to each outlet (instead of only at the main circuit) so that the system could know where the classified appliances are located. Furthermore, the system is developed to help identifying the abnormal operation of each appliance, and to automatically recognize the devices when they are moved to another outlet, making possible automatic appliance on/off control.

Keyword: smart plug, wireless sensor, management system, control system, anomaly detection system.

1. บทนำ

การสิ้นเปลืองพลังงานที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์ของเครื่องใช้ไฟฟ้าอาจเกิดขึ้นได้ทั้งในภาคครัวเรือนและในภาคธุรกิจ ซึ่งเจ้าของบ้านหรือเจ้าของธุรกิจไม่สามารถพิจารณาได้จากใบแจ้งค่าไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบว่าอุปกรณ์แต่ละชนิดมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผิดปกติ มีอัตราการใช้ไฟฟ้ามากน้อยหรือสูญเสียพลังงานอย่างไร เช่น พัดลมที่เปิดทิ้งไว้โดยไม่มีผู้ใช้งาน หลอดไฟเพดานที่เปิดทิ้งไว้โดยไม่มีคนอยู่ ตู้เย็นที่เสื่อมสภาพมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าตู้เย็นปกติ เหล่านี้ เป็นต้น ซึ่งหากเรารู้แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ เราก็สามารถวิเคราะห์และวางแผนในการบริหารจัดการ

เพื่อลดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์เหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวคิดในการออกแบบและสร้างสมาร์ทปลั๊ก ที่พัฒนาบนเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่สามารถจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อให้ทราบถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ภายในบ้านหรือสำนักงานว่ามีอุปกรณ์ใดบ้างและมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาเป็นเช่นไร โดยการตรวจจับรูปแบบค่ากระแสไฟฟ้าที่รางปลั๊กซึ่งอาจมีหลายอุปกรณ์ไฟฟ้าเสียบใช้งานอยู่และใช้เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายในการส่งข้อมูลมายังเครื่องแม่ข่ายเพื่อจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

นอกจากตัวสมาร์ทปลั๊กที่เป็นอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์แล้ว ผู้วิจัยยังได้นำเสนอซอฟต์แวร์ที่เป็นระบบบริหารจัดการและควบคุมสมาร์ทปลั๊ก ที่สามารถลงทะเบียนปลั๊ก เพิ่มปลั๊กเข้าบัญชีของตนเอง เก็บประวัติการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า และควบคุมการเปิด/ปิด ปลั๊กผ่านเว็บไซต์หรือสมาร์ทโฟน ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อมีการตรวจพบความผิดปกติของการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าอาจมีการเปิดใช้งานนานเกินกว่าพฤติกรรมปกติเนื่องจากผู้ใช้ลืมปิดสวิตซ์ นอกจากการแจ้งเตือนอัตโนมัติ ระบบยังอนุญาตให้ผู้ใช้เพิ่มกฎการแจ้งเตือนโดยผู้ใช้เอง ผ่าน GUI ที่ถูกออกแบบมาให้ผู้ใช้ทั่วไปสามารถใช้งานได้ง่าย

ถึงแม้ว่าปัจจุบันนี้จะมีสมาร์ทปลั๊กออกจำหน่ายในท้องตลาด และสามารถควบคุมการเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านสมาร์ทโฟนได้อยู่แล้ว แต่ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นไม่ได้จำแนกประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างอัตโนมัติ ซึ่งการจำแนกแบบอัตโนมัตินี้ก็เป็นข้อได้เปรียบประการหนึ่งของงานวิจัยที่นำเสนอนี้ ในส่วนของขั้นตอนวิธีที่ใช้จำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า ผู้วิจัยได้พัฒนาต่อมาจากงานวิจัย [1-2] โดยปรับปรุงอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ในการตรวจจับและส่งสัญญาณ รวมทั้งปรับพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธีในการสร้างกฎเพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ผลการทดลองพบว่าได้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง 98.34% ซึ่งมากกว่างานวิจัยในอดีต

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวางอุปกรณ์ตรวจจับการใช้พลังงานอุปกรณ์ไฟฟ้า

ผลการสำรวจในงานวิจัยเรื่องประสิทธิผลของการตอบสนองเมื่อได้รับข้อมูลการใช้พลังงาน [3] ยืนยันว่าการตรวจสอบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและรายงานผลให้ผู้ใช้ทราบแบบเวลาจริงช่วยให้ผู้ใช้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าการส่งผลการใช้เป็นรายสัปดาห์หรือรายเดือน ดังนั้นจึงมีงานวิจัยที่พยายามตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าและส่งผลให้กับผู้ใช้แบบเวลาจริง เช่น งานวิจัย [4] เสนอวิธีตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยการตรวจวัดพลังงานที่จุดรวมหลักของระบบไฟฟ้า (Main circuit) และ งานวิจัย [5] เสนอวิธีตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจวัดติดตั้งที่อุปกรณ์ไฟฟ้าและบริเวณใกล้เคียง ซึ่งแนวทางการวิจัยทั้งสองแนวทางนี้ต่างมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ระบบที่ตรวจจับพลังงานไฟฟ้าที่อยู่ตรงจุดรวมหลักสามารถลดความซับซ้อนของการติดตั้ง ใช้ต้นทุนต่ำ แต่มีข้อเสียคือความแม่นยำในการทำนายผลต่ำกว่าวิธีแรก เนื่องจากข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ตรวจจับจากจุดรวมหลักนั้นประกอบไปด้วยข้อมูลของอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมาก ทำให้ต้องใช้ขั้นตอนวิธีที่ซับซ้อนเพื่อจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้น นอกจากนี้ยังไม่สามารถทราบได้ว่า อุปกรณ์ใดทำงานอยู่ ณ จุดใด ทำให้การพัฒนาต่อยอดระบบทำได้ยาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยเลือกแนวทางการวิจัยโดยอาศัยอุปกรณ์ตรวจวัดติดตั้งที่อุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อให้ระบบสามารถพัฒนาต่อยอดให้รับรู้ได้อัตโนมัติว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าถูกย้ายไปอยู่ที่ตำแหน่งใด ระบบสามารถควบคุมการเปิด/ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ อันจะส่งผลให้สามารถเพิ่มความปลอดภัยในครัวเรือน ช่วยลดการสิ้นเปลืองพลังงานและเพิ่มคุณภาพชีวิตได้ในอนาคต และปัจจุบันแนวโน้มของราคาอุปกรณ์ตรวจจับขนาดเล็กมีราคาถูกลงพร้อมกับความสามารถที่เพิ่มมากขึ้นทั้งด้านการส่งข้อมูลและการตรวจจับได้หลากหลาย ทำให้การสร้าง

อุปกรณ์เพื่อนำไปติดตั้งยังอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นไปได้ในทางปฏิบัติมากขึ้น

2.2 การจำแนกและการเลือกคุณลักษณะที่ใช้จำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า

งานวิจัย [4] ได้แบ่งประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้าไว้ 3 ประเภท ตามจำนวนของสถานะการทำงาน คือประเภท .1 ประเภท .2 ที่มีเพียงสองสถานะ (เช่น หลอดไฟ โทรทัศน์) ที่มีมากกว่าสองสถานะ แต่จำนวนของสถานะจำกัด (เช่น พัดลม ไดร์เป่าผม) ประเภทที่มีจำนวนสถานะไม่จำกัด .3 (เช่น สว่าน หลอดไฟปรับความสว่างได้)

งานวิจัย [6] เสนอการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้รูปแบบการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์หรือเรียกว่าลายเซ็นต์การใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์โดยพิจารณา พลังงานจริง (Real power), พลังงานปฏิกิริยา (Reactive power), พลังงานปรากฏ (Apparent power), แรงดัน root mean square (Vrms), ค่ากระแส root mean square (Irms), ค่ากระแสสูงสุด (Imax), ค่ากระแสต่ำสุด (Imin), ค่ากระแสเฉลี่ย (Iavg), การเกิดฮาร์โมนิค, การเกิดสัญญาณรบกวน, รูปแบบการเปลี่ยนสถานะ (Repeatable transient), ระยะเวลาการเปลี่ยนสถานะ (Transient response Time) เป็นต้น งานวิจัย Low-Rate Wireless Personal Area Networks [7] ใช้คุณลักษณะของพลังงานจริง (Real Power) เพื่อจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยพบว่า สามารถจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานมาก (เช่น เครื่องทำความร้อนและปั๊มน้ำ) ได้อย่างแม่นยำ แต่ไม่สามารถจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีรูปแบบการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกันได้ดีพอ

งานวิจัย [4] และ [8] พยายามแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของพลังงานจริงและพลังงานปฏิกิริยาทำให้จำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทที่ 1 ได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตามก็ยังคงมีปัญหาเรื่อง 2 และ การซ้อนทับกันของคุณลักษณะในระนาบP-Q ของอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่ำ

งานวิจัย [9] เสนอการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยการสกัดสัญญาณรบกวนในขณะที่มีการเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยต้องใช้อุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานที่ความถี่สูงถึงจะสามารถสกัดสัญญาณรบกวนได้ ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มักมีราคาสูง งานวิจัย [10] ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) กับค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์เพื่อจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า

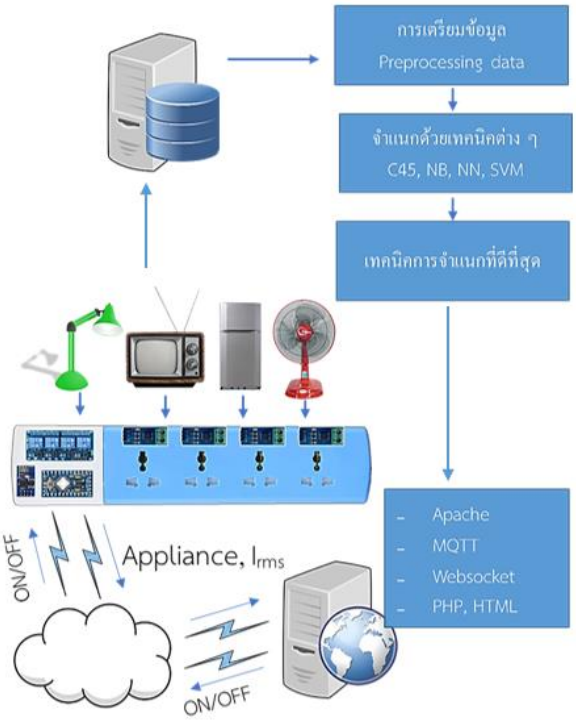
งานวิจัย [11] เสนอสถาปัตยกรรมในการออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าไปติดตั้งยังอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวและส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้ด้วยโปรโตคอล 6LoWPAN บนเครือข่าย IPv๓ 6ามมาตรฐาน IEEE และแสดงข้อมูลในลักษณะของ 4.15.802 เว็บแอ็พพลิเคชัน งานวิจัยนี้เป็นต้นแบบสำหรับการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไร้สายของผู้วิจัย โดยผู้วิจัยเลือกใช้ ACS712 Current Sensor Carrier -20 to +20A เป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า วัดได้ทั้งกระแสไฟ DC และ AC สามารถวัดกระแสที่ไหลได้ ทิศทาง ทั้งค่าบวกและค่าลบ 2 30 ที่มีขนาดA (30±A) ให้ค่า Output เป็น Analog Voltage 66 mV/A โดยมี Center ที่ 5.2 V (มีค่า typical error น้อยกว่า ซึ่งเหมาะสมสำหรับวัดกระแส (%5.1 3 เครื่องใช้ไฟฟ้าตามบ้าน (ขนาดมิเตอร์ตามบ้านA - 15A โหลดได้มากสุด 9A – 45A)

3. สมาร์ทปลั๊ก

ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างสมาร์ทปลั๊ก ที่สามารถวิเคราะห์และทราบว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เสียบใช้ไฟอยู่นั้นเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดใด มีการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าจาก ที่มีการใช้ไฟฟ้าจาก Smart Plug เพื่อบันทึกสถิติการใช้งานพลังงานไฟฟ้าแบบเวลาจริง (Real time) เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์การใช้งานไฟฟ้าในแต่ละวัน แต่ละเดือน และนำมาสู่การควบคุมการใช้งานไฟฟ้าและเป็นผลให้ประหยัดพลังงานมากขึ้นได้ โดยสมาร์ทปลั๊กที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถถูกควบคุมให้เปิด/ปิด จากที่ใดก็ได้ ผ่านทางเว็บไซต์หรือสมาร์ทโฟน

3.1 วงจรสมาร์ทปลั๊ก

การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการออกแบบโครงสร้างของปลั๊กและศึกษาการทำงานของตัวอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าตรงปลั๊กต่อพ่วง ซึ่งอาจมีหลายอุปกรณ์ไฟฟ้าใช้งานพร้อมกัน โดยในงานวิจัยนี้ใช้เซ็นเซอร์ ACS712 ต่อพ่วงกับไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino Pro-mini เพื่อจัดเก็บและคำนวณข้อมูลกระแสไฟฟ้าพร้อมส่งเข้าจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล โครงสร้างการทำงานของระบบแสดงดังภาพที่ 1

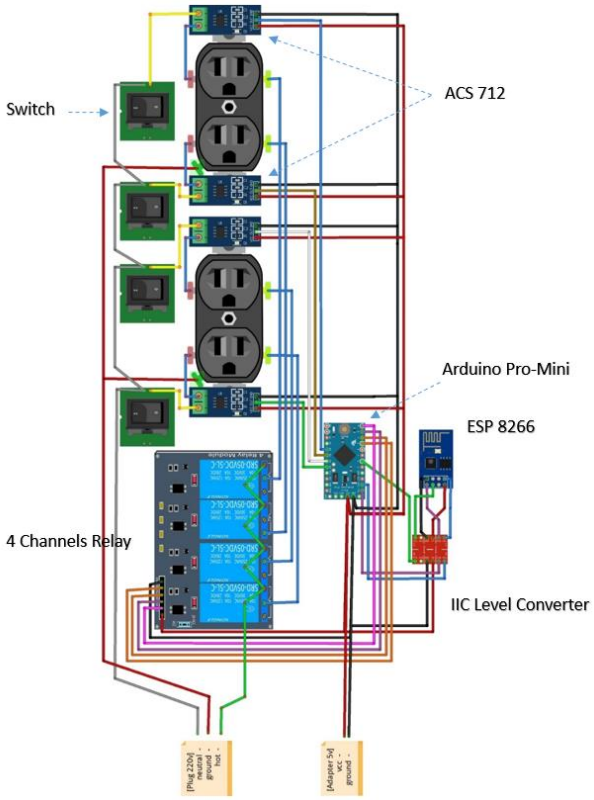


ภาพที่ 1: โครงสร้างและการทำงานของระบบ

หลังจากที่ออกแบบอุปกรณ์สำหรับตรวจจับกระแสไฟฟ้าแล้ว ผู้วิจัยได้ต่อเชื่อมให้ตัวตรวจจับส่งข้อมูลมาที่เครื่องแม่ข่าย ภาพที่ 2 แสดงวงจรอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่สามารถส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย

3.2 ระบบบริหารจัดการอุปกรณ์ผ่านทางเว็บ

สมาร์ทปลั๊กที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถสั่งเปิด/ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าจากที่ใดก็ได้ ผ่านทางเว็บไซต์หรือสมาร์ทโฟน ผู้วิจัยได้พัฒนาแอพพลิเคชันในการควบคุมดังกล่าวผ่านเว็บ ซึ่งฟังก์ชันการทำงานของระบบมีดังนี้



ภาพที่ 2: แผนภาพวงจรอุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่สามารถส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย

- การเข้าสู่ระบบและการสร้างบัญชีผู้ใช้งานใหม่
- เพิ่มข้อมูลอุปกรณ์ Smart Plug เข้าระบบเพื่อบริหารจัดการ
- สั่งเปิด/ปิดปลั๊กไฟ
- ดูข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้ารวม
- ดูข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าในแต่ละปลั๊ก
- สามารถทราบ (จำแนก หรือ classify) ได้ว่ามีอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดใดเสียบอยู่กับปลั๊กนั้น ๆ (รายละเอียดในหัวข้อ 3.3)
- แก้ไขข้อมูลชื่อ,ที่อยู่ของปลั๊ก หรือลบอุปกรณ์ Smart plug ออกจากระบบ
- ดูข้อมูลสรุปการใช้งานกระแสไฟฟ้าในแต่ละเดือนและข้อมูลประวัติการเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เสียบอยู่บนอุปกรณ์ Smart plug

- ตรวจสอบความผิดปกติของพฤติกรรมการใช้งานและแจ้งเตือน (ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.4)

3.3 การจำแนกประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้า

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ปรับปรุงขั้นตอนวิธีในการจำแนกประเภทอุปกรณ์ไฟฟ้า จากงานวิจัย [1] และ [2] โดยได้ปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ กล่าวคือ ใช้บอร์ด Arduino รุ่น Pro Mini ใช้เซนเซอร์ที่ให้พิกัด 20 A. แทนที่จะเป็น 30 A. เหมือนในงานเก่า ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลการใช้ไฟจากอุปกรณ์นานขึ้น พร้อมทั้งปรับจูนพารามิเตอร์ของทุกอัลกอริทึมให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

ผลการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้ 4 ขั้นตอนวิธีแสดงในตารางที่ 1 จากผลการทดลองข้างต้นทำให้ทราบว่าเทคนิคการจำแนกตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจให้ผลลัพธ์การจำแนกแม่นยำมากที่สุด (98.34%) ซึ่งดีกว่าผลจากงานวิจัย [1-2] ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเทคนิคการจำแนกตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ จากนั้นนำกฎที่ได้ไปเขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบการจำแนกกับข้อมูลจากการใช้กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบเวลาจริง

ตารางที่ 1: สรุปผลการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้ง 4 วิธี

Attribute	Classification Technique			
	Decision Tree	Naïve Bayes	Neural Network	Support Vector Machine
Time (Seconds)	0.66	0.06	195.37	6.54
% Correctly	98.34%	81.02%	89.23%	95.96%
% Incorrectly	1.66%	18.98%	10.7%7	4.04%
Precision	983.0	0.828	0.898	0.961
Recall	0.983	0.810	0.892	0.960

3.4 การแจ้งตือนเมื่อตรวจพบความผิดปกติของการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลประวัติการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ของผู้ใช้แต่ละคน ข้อมูลนี้ถูกนำมาใช้ในการตรวจความผิดปกติของการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น อาจมีการใช้งานนานผิดปกติ โดยวิธีการตรวจสอบที่นำเสนอมี 3 วิธี คือ

1) ตรวจสอบจากค่าเฉลี่ยการใช้งาน

ผู้วิจัยนำข้อมูลการใช้งานแต่ละอุปกรณ์มาหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Exponential Moving Average: EMA) [12] และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Exponential Moving Deviation) ในรายชั่วโมง รายวัน รายเดือน เพื่อตรวจสอบการใช้งานสำหรับอุปกรณ์ที่ผู้ใช้มักใช้ทุกวัน หรือ นาน ๆ ใช้ครั้งหนึ่ง ระบบจะทำการแจ้งเตือนผ่าน Line notification เมื่อมีการใช้งานมากกว่าค่า EMA เกินกว่า 4 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

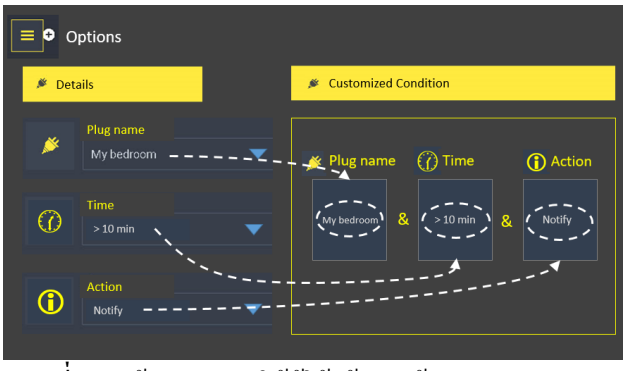
2) ตรวจสอบจากกฎ

ผู้วิจัยนำข้อมูลการใช้งานมาทำเหมืองข้อมูล เพื่อหากฎความสัมพันธ์ (Association rule) [13] ว่าอุปกรณ์ใดมักมีการใช้งานพร้อมกัน และระยะเวลาที่ใช้นานเพียงใด ใช้เมื่อไรบ้าง บ่อยแค่ไหน เป็นต้น โดยผู้วิจัยเลือกกฎที่มีค่าความเชื่อมั่น (Confidence) ที่มากกว่า 50% มาเป็นกฎที่ใช้ในการแจ้งเตือน ดังตัวอย่าง เช่น

กฎ “ถ้า เป็นเครื่องไมโครเวฟ แล้ว การใช้ไฟไม่เกิน 10 ครั้งต่อสัปดาห์ และ ใช้ไม่เกิน 3 นาที” มีค่าความมั่นใจเกิน 50% และไม่มีกฎใดสำหรับไมโครเวฟที่มีค่าความมั่นใจเกิน 50% อีก หากเครื่องแม่ข่ายวิเคราะห์ข้อมูลแล้วพบว่ามีคนใช้อุปกรณ์ที่เป็นเครื่องไมโครเวฟเกิน 3 นาที ซึ่งไม่เป็นไปตามกฎ ระบบจะแจ้งเตือนผ่าน Line Notify ทันที

3) ผู้ใช้สร้างกฎด้วยตัวเอง

ผู้ใช้สามารถสร้างกฎได้ด้วยตัวเองผ่านระบบที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ผู้ใช้ใช้งานได้ง่าย ผู้ใช้สามารถสร้างเงื่อนไขการแจ้งเตือน โดยเพียงแค่ drag&drop ชื่อของปลั๊ก, เงื่อนไขของเวลา และ การกระทำ (เช่น จะให้แจ้งเตือน หรือ จะให้ เปิด/ปิด อัตโนมัติ) ภาพที่ 3 แสดงหน้าจอสำหรับให้ผู้ใช้สร้างกฎด้วยตนเอง



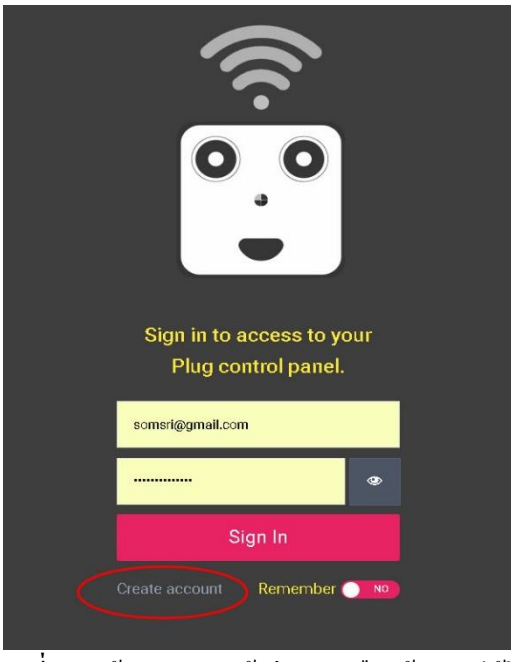
ภาพที่ 3: หน้าจอสำหรับให้ผู้ใช้สร้างกฎด้วยตัวเอง

4. ผลการทดลอง

การทดสอบใช้งานระบบบริหารจัดการสมาร์ทปลั๊ก

1. เข้าสู่ระบบหรือลงทะเบียนเพื่อสร้างบัญชีผู้ใช้ใหม่

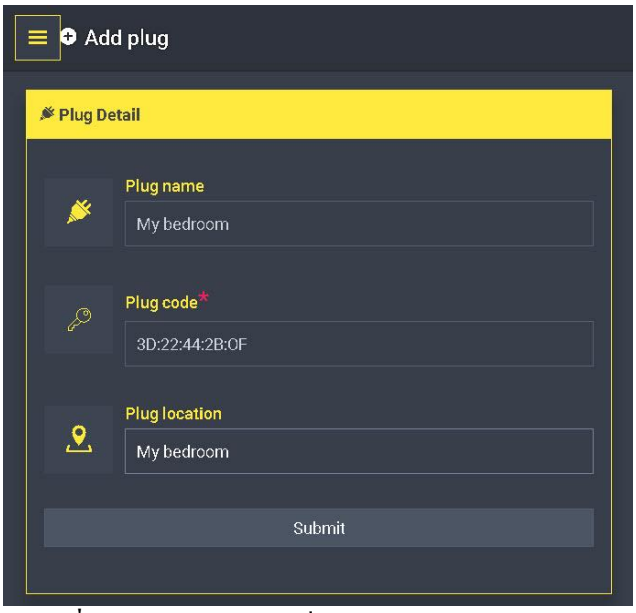
การใช้งานระบบ Smart plug web application ผู้ใช้จำเป็นจะต้องมีบัญชีผู้ใช้งานในระบบก่อนถึงจะสามารถตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ Smart Plug ได้ ดังนั้นถ้ายังไม่มีบัญชีในระบบผู้ใช้สามารถสร้างบัญชีใหม่ได้โดยเลือก Create account ในหน้า Login เข้าสู่ระบบ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4: หน้าจอสำหรับเข้าสู่ระบบหรือสร้างบัญชีผู้ใช้ใหม่

2. การเพิ่มข้อมูลอุปกรณ์ Smart Plug เข้ามาในระบบเพื่อบริหารจัดการและควบคุม

หากผู้ใช้เข้าสู่ระบบแล้วเป็นครั้งแรก ระบบจะไม่มีข้อมูลของ Smart Plug ใด ๆ ดังนั้นผู้ใช้ต้องเพิ่มข้อมูล Smart Plug โดยไปที่เมนู Add Plug กรอกข้อมูล ชื่อปลั๊ก , ดู) รหัสปลั๊กรหัสที่ตัว Smart plug), สถานที่ที่ใช้งาน ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5: แสดงหน้าจอการเพิ่มข้อมูลอุปกรณ์เข้าระบบ

เมื่อเพิ่มข้อมูล Smart plug เข้ามาในระบบจะเห็นการทำงานของอุปกรณ์ดังภาพที่ 6 ผู้ใช้จะสามารถบริหารจัดการอุปกรณ์ได้เช่น สามารถสั่งเปิด/ปิดปลั๊กไฟดูข้อมูล , ดูข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าในแต่ ,การใช้กระแสไฟฟ้ารวมละปลั๊ก และสามารถทราบได้ว่ามีอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดใดเสียบอยู่กับปลั๊กนั้น ๆ ได้

ภาพที่ 6: รายการอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เสียบใช้งานอยู่

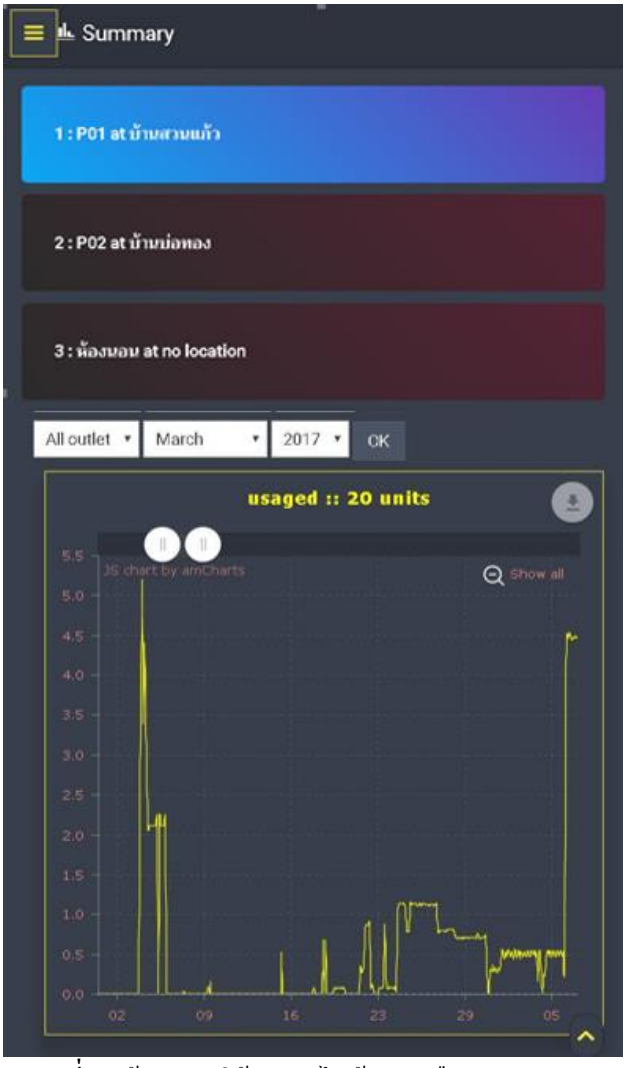
เมื่อผู้ใช้คลิ๊กเลือกอุปกรณ์ Smart plug แล้ว สามารถแก้ไขข้อมูลชื่อ ที่อยู่ของปลั๊ก ที่เรากรอกข้อมูลไว้ในหน้า, Add Plug ได้ หรือลบอุปกรณ์ Smart plug ออกจากระบบ นอกจากนี้ยังสามารถสั่งการเปิด/ปิดแต่ละช่องปลั๊กที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าเสียบอยู่ได้อย่างอิสระอีกด้วย

3. การดูข้อมูลสรุปการใช้งานกระแสไฟฟ้าในแต่ละเดือน และข้อมูลการเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เสียบอยู่บน Smart plug

เมื่อผู้ใช้ต้องการทราบว่ามีการใช้งานกระแสไฟฟ้ามากน้อยเพียงใดในแต่ละเดือนผู้ใช้สามารถเข้าไปที่เมนู Summary โดยสามารถเลือกดูแยกในแต่ละอุปกรณ์ Smart plug หรือดูข้อมูลสรุปรวมทุกอุปกรณ์ Smart plug ได้ ดังภาพที่ 7 และมีการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เป็นหน่วย (Unit: KW-hour) เพื่อง่ายต่อการนำไปคิดคำนวณค่าไฟฟ้า

นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถดูข้อมูลประวัติการเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าได้โดยไปที่เมนู History เลือกวัน-เวลาที่ต้องการ ดังภาพที่ 8

จากการทดสอบการทำงานของระบบในแต่ละปลั๊กหรือการทำงานพร้อมกันหลาย ๆ ปลั๊ก ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบให้สามารถจำแนกและส่งผลการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านเครือข่ายไร้สาย เมื่อนำอุปกรณ์ไฟฟ้า 4 อุปกรณ์มาทดลองจำแนกพร้อมกัน พบว่า พัดลม, ไดร์เป่าผม, โคมไฟตั้งโต๊ะ สามารถจำแนกได้อย่างแม่นยำ ส่วนโทรทัศน์ให้ผลการจำแนกยังไม่ค่อยแม่นยำเท่าไร ดังแสดงในตารางที่ 2



ภาพที่ 7: ข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้ารวมหรือแยกแต่ละอุปกรณ์

ตารางที่ 2: ผลการจำแนกแบบเวลาจริง 4 อุปกรณ์ทดสอบการจำแนกพร้อมกันทั้ง 4 ช่องปลั๊กไฟ

อุปกรณ์ไฟฟ้า	ปลั๊ก 1, 2, 3, 4
โคมไฟตั้งโต๊ะ ,ไดร์เป่าผม ,พัดลม , โทรทัศน์	100%, 100%, 100%, 24.5%
โทรทัศน์ไดร์ ,พัดลม ,โคมไฟตั้งโต๊ะ , เป่าผม	65%, 100%, 100%, 100%
ไดร์เป่าผม ,โคมไฟตั้งโต๊ะ ,โทรทัศน์ , พัดลม	100%, 18%, 100%, 100%
พัดลม ,ไดร์เป่าผม ,โทรทัศน์, โคมไฟตั้งโต๊ะ	100%, 100%, 13.75%, 100%

ภาพที่ 8: ประวัติการเปิด/ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า

5. สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างสมาร์ทปลั๊กซึ่งเป็นอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ และนำเสนอระบบซอฟต์แวร์สำหรับควบคุมและบริหารจัดการสมาร์ทปลั๊กผ่านเว็บและสมาร์ทโฟน ระบบที่นำเสนอช่วยให้ผู้ใช้สามารถเพิ่มอุปกรณ์เข้ากับปลั๊ก จำแนกประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าได้อย่างอัตโนมัติ ควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านทางเว็บไซต์หรือสมาร์ทโฟน สามารถดูประวัติการใช้งานอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ผ่านระบบ สามารถตรวจสอบและแจ้งเตือนผู้ใช้ได้ว่ามีการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ผิดไปจากพฤติกรรมปกติหรือไม่

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 18/2558

เอกสารอ้างอิง

[1] วรเชษฐ์ บัวสุวรรณ และ ณัฐนนท์ ลีลาตระกูล, "ระบบการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน," *Proceedings of the 9 th National Conference on Computing and Information Technology*, 2013.

[2] K. Panphotong, W. Buasuwarn and N. Leelathakul, "A Comparative Analysis of Appliance Classifiers for Wireless Classification System," *Proceedings of the Asian Internet Engineering Conference*, 2014.

[3] S. Darby, "The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption: A Review for Defra of the Literature on Metering, Billing and Direct Displays," *Technical Report for Environmental Change Institute*, University of Oxford: Oxford, UK, 2006.

[4] G. W. Hart, "Nonintrusive appliance load monitoring," *Proceedings of the IEEE*, vol. 80, pp. 1870-1891, 1992.

[5] E. M. Tapia, S. S. Intille, L. Lopez, and K. Larson, "The design of a portable kit of wireless sensors for naturalistic data collection," *Proceedings of Pervasive*, 2006.

[6] A. Zoha, A. Gluhak, I., M. A. Imran and S. Rajasegarar, " Non- Intrusive Load Monitoring Approaches for

Disaggregated Energy Sensing: A Survey," *Sensors*, vol. 12, no. 12, pp. 16838-16866, 2012.

[7] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks*, IEEE Standard, 2011.

[8] S. Drenker and A. Kader, "Nonintrusive monitoring of electric loads," *IEEE Computer Applications in Power*, vol. 12, no. 4, 1999.

[9] D. Srinivasan, W. Ng and A. Liew, "Neural-network-based signature recognition for harmonic source identification," *IEEE Trans. Power Del.* vol. 21, pp. 398-405, 2006.

[10] T. Kato, H. S. 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*, *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 5597, 2009.

[11] X. Jiang, S. Dawson-Haggerty, P. Dutta, and D. Culler, " Design and implementation of a high-fidelity AC metering network," *Proceedings of the Eighth International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, 2009.

[12] E. W. Weisstein, "*Exponential Moving Average*," From MathWorld--A Wolfram Web Resource.

[13] C. Zhang and S. Zhang. "*Association Rule Mining: Models and Algorithms*," Springer-Verlag, 2002.