รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
Appliance classification via wireless sensor network

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย
จาก
คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา
ปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๖

คณะผู้วิจัย
นายณัฐนนท์ ลีลาตระกูล
นายเหมรัศมิ์ วชิรหัตถพงศ์
นางสาวสุนิสา ริมเจริญ

คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการจำแนกอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจจับค่าการใช้กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละเครื่อง ผ่านระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ซึ่งถูกใช้เพื่อ วัดค่าและส่งผ่านข้อมูลการใช้งานกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริง ผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับในรูปแบบปลั๊กไฟฟ้าและนำไปใช้กับทุก ๆ จุดที่อุปกรณ์ไฟฟ้าเสียบใช้งานอยู่ ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะถูกส่งมาส่วนกลางผ่านระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อนำมาจำแนกหาชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ

ผู้วิจัยคาดว่าระบบที่นำเสนอจะสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคาร เนื่องจากในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยใช้การตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ปลายทาง (แทนที่จะตรวจสอบที่แผงไฟฟ้าส่วนกลาง) ทำให้สามารถรับรู้ถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวว่ามีสภาวะการทำงานที่ปกติหรือไม่ และลดข้อจำกัดในเรื่องการย้ายอุปกรณ์ไปใช้ยังจุดอื่น ๆ โดยระบบยังสามารถถูกพัฒนาต่อให้สามารถตรวจสอบการย้ายตำแหน่งของอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติได้ และให้มีการควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวแบบอัตโนมัติได้อีกด้วย อันจะทำให้เกิดการประหยัดพลังงานโดยไม่กระทบต่อพฤติกรรมของผู้ใช้

จากการทดสอบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าตัวอย่าง จำนวน 40 เครื่อง คณะผู้วิจัยพบว่า 1) กฎการจำแนกที่มีประสิทธิภาพต้องใช้ข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานด้วย และ 2) ระบบที่นำเสนอสามารถจำแนกประเภทอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องโดยมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 5.73% เมื่อจำแนกโดยใช้อัลกอริทึม C4.5 สร้างแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจ

Abstract

This research presents a system for appliance classification by analyzing each appliance's electricity usage. 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. The system uses the data to classify a type of each appliance connected to each of the outlet 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 a result, it could provide the energy savings without affecting users' normal behaviors.

The test result from 40 electric devices show 1) standard deviation of measured electrical current is an important metric for deriving efficient classification rules, and 2) the proposed system can classify appliances correctly with 5.73% error if a decision tree derived by C4.5 is applied.

สารบัญ

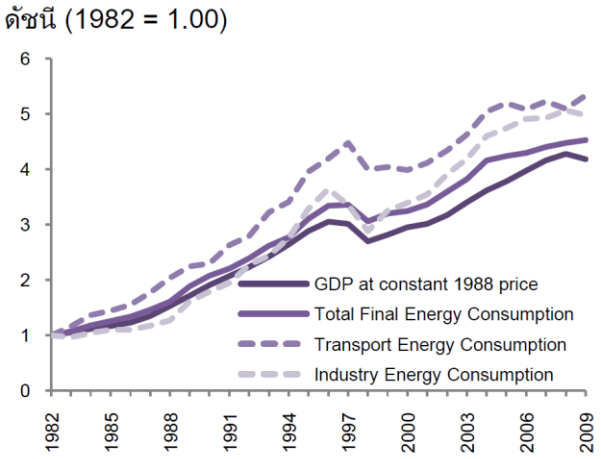
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย 4
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ 5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 14
3.1 ขั้นตอนประกอบฮาร์ดแวร์และติดตั้ง 14
3.2 ขั้นตอนทดลองรับส่งข้อมูล 14
3.3 ขั้นตอนการศึกษาเทคนิคการจำแนกข้อมูลและเตรียมข้อมูล 15
3.4 ขั้นตอนการจำแนกข้อมูล 15
3.5 ขั้นตอนการประเมินผลการจำแนกข้อมูล 16
บทที่ 4 ผลการทดลอง 17
4.1 การทดลอง 17
4.2 การจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า 19
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 24
บรรณานุกรม 25
ภาคผนวก 28

บทที่ 1
บทนำ

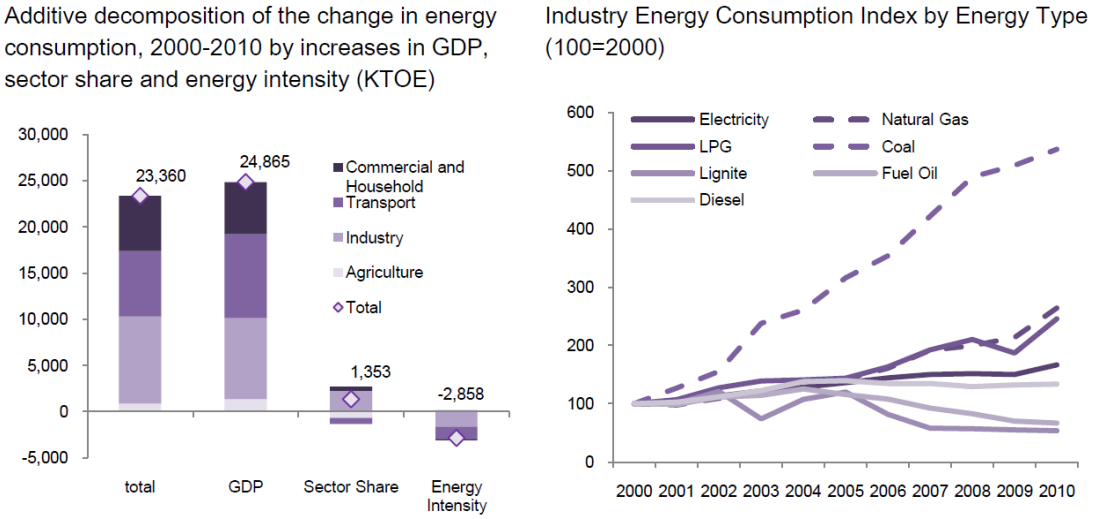
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญของการดำรงชีวิตของมนุษย์ กิจกรรมการดำเนินชีวิตประจำวันทั้งในเรื่องส่วนตัว 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 ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดีเซลเป็นแหล่งพลังงานหลักในภาคอุตสาหกรรม ดังรูปที่ 1-2



รูปที่ 1-1 การบริโภคพลังงานของประเทศไทย



รูปที่ 1-2 อัตราการใช้พลังงานในแต่ละภาคส่วนและความต้องการใช้แหล่งพลังงานหลัก

นอกจากนั้นแล้วการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากเกินความจำเป็นนี้มีผลกระทบทำให้เกิดปัญหามลภาวะและปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมาอย่างมากมายไม่ว่าจะเป็นปัญหาโลกร้อน (Global Warming) หรือแม้กระทั่งปัญหาเรื่องน้ำมันขาดแคลน 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 การ

เสียบกาน้ำร้อนเอาไว้ในขณะที่ไม่มีคนอยู่บ้าน เป็นต้น นอกจากนี้การตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้น ผู้ใช้ส่วนใหญ่ใช้ความรู้สึกในการตรวจสอบ โดยที่ไม่สามารถประเมินอุปกรณ์แต่ละชนิดได้ว่ามีการใช้พลังงานที่ผิดปกติ หรือสูญเสียพลังงานไปมากน้อยเพียงใด เช่น พัดลมที่เปิดไว้โดยที่ไม่มีผู้ใช้งาน ไฟเพดานที่เปิดทิ้งไว้โดยไม่มีคนอยู่ ตู้เย็นที่เสื่อมสภาพมีอัตราการใช้ไฟฟ้ามากกว่าตู้เย็นปกติ ซึ่งในความจริงแล้วปัญหาข้างต้นเหล่านี้หากเรารู้แนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ เราก็สามารถวิเคราะห์และวางแผนในการจัดการด้านพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ไม่ต้องใช้แค่ความรู้สึก ดั้งนั้นการลดปัญหาการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ จำเป็นต้องจำแนกชนิดของอุปกรณ์และข้อมูลการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ เพื่อให้ระบบนำมาประกอบการตัดสินใจในการบริหารจัดการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และมีความถูกต้องแม่นยำสูง ในการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจึงเสนอระบบที่สามารถที่จะรับรู้ และมีความฉลาดในการจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า

กอปรกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าเป็นส่วนสำคัญในการลดค่าใช้จ่ายในภาคครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม และการใช้พลังงานโดยรวมของประเทศ เห็นได้จากมีการวิจัยและพัฒนาในด้านการประหยัดพลังงานอยู่มากมาย ซึ่งปัจจุบันมีการมุ่งเน้นพื้นฐานการใช้พลังงานที่ประหยัดและการปลูกจิตสำนึกด้านการใช้พลังงาน

พฤติกรรมและความเคยชินในการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า นอกจากจะก่อให้เกิดการใช้พลังงานสิ้นเปลืองแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อทรัพย์สินและชีวิตอีกด้วย เช่น การเปิดเตารีดทิ้งไว้โดยไม่ใช้เป็นเวลานาน ๆ การเปิดเตาไฟฟ้าทิ้งไว้เป็นเวลานาน ๆ อาจทำให้เกิดเพลิงไหม้ใหญ่ได้ เนื่องจากอุปกรณ์ที่จะถูกพัฒนาขึ้นจากงานวิจัยชิ้นนี้ สามารถแยกประเภทอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ และ มีตัวอุปกรณ์รับรู้หลายชนิด รวมทั้งตัววัดอุณหภูมิด้วย ทำให้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อตรวจจับความผิดปกติของพฤติกรรมผู้ใช้ไฟฟ้าและแจ้งเตือนผู้ใช้ให้ตัดสินใจตัดไฟ (โดยผ่าน Web application) หรือ ถ้าผู้ใช้ต้องการตั้งค่าให้อุปกรณ์ตัดไฟอัตโนมัติเมื่อพบความผิดปกติ ระบบก็จะตัดไฟอัตโนมัติจากเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉพาะเครื่องนั้นได้

ดังนั้น คณะผู้ทำวิจัยจึงนำเสนองานวิจัยชิ้นนี้เพื่อแก้ปัญหาข้างต้น โดยมีเป้าหมายดังนี้:- 1. ใช้ทฤษฎีของงานวิจัยที่ได้ศึกษามาพัฒนาเป็นอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เพื่อเก็บข้อมูลที่จะถูกนำมาใช้จำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ประโยชน์ได้จริง โดยตัวเครื่องที่จะพัฒนาขึ้นสามารถส่งข้อมูลโดยใช้ เทคโนโลยี Wireless Sensor Network ซึ่งทำให้การติดตั้งใช้งานมีความสะดวกขึ้น เพื่อสนับสนุนให้การวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยขั้นตอนวิธีจะสามารถเรียนรู้ได้โดยลดข้อจำกัดด้านเวลา ด้านสถานที่ เพื่อประโยชน์ในการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการจัดการข้อมูลด้านพลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุดในอนาคต 2. งานวิจัยที่นำเสนอนี้ มุ่งเน้นไปที่การจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าตามบ้านเรือนต่าง ๆ ซึ่งจะมีจำนวนมากและมีหลายชนิด ดังนั้นเมื่อข้อมูลการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ (จากบ้านอย่างน้อย 20 บ้าน) ได้ถูกเก็บรวบรวม ความท้าทายที่สำคัญต่อไปคือการจำแนกประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อที่จะใช้เป็นข้อมูลในการเสนอแนะการควบคุมและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ เช่นป้องกันปัญหาพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปอันเกิดจากไฟที่ถูกเปิดทิ้งไว้ในห้องที่ไม่มีคนอยู่ หรือ แจ้งเตือนว่ามีเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เสื่อมสภาพจากการทำงานอันเกิดจากวงจรไฟฟ้าเสื่อมสภาพลง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและสร้างองค์ความรู้ที่เป็นพื้นฐานของอุปกรณ์ Wireless Sensor Network สำหรับใช้ในการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้า และ ต้นแบบอุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า

2. เพื่อศึกษาการนำอุปกรณ์ตรวจจับต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ ในการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจตรวจจับสัญญาณต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า (Current Sensor), อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature Sensor), อุปกรณ์ตรวจจับความเคลื่อนไหว (Motion Sensor), อุปกรณ์ตรวจจับแสง (Light Sensor)

3. เพื่อศึกษาเทคนิคการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้เทคนิค Multi-Modal Sensing และ วิเคราะห์ผลการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อ ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก (ศึกษาผลกระทบของจำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อการแม่นยำในการจำแนก) และ ใช้ตัว Sensor ที่จะมาวัดสัญญาณหลายชนิดขึ้น (นอกเหนือจากวัดสัญญาณกระแสและศักย์ไฟฟ้า)

4. เป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานที่สูญเสียเปล่าที่เกิดในภาคครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม ภาครัฐ และเป็นแนวทางในการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่สิ้นเปลืองลง

5. เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำแนวความคิดที่ได้นำเสนอ ไปทำการพัฒนาหรือประยุกต์ใช้ในงานวิจัยของตนเองต่อไป

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1 งานวิจัยชิ้นนี้มุ่งที่จะศึกษาและประยุกต์ใช้ เทคโนโลยี Wireless Sensor Network และ อุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลภาระ (Load) ที่อุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้นใช้ในแต่ละช่วงเวลา ประกอบกับสภาพแวดล้อมที่วัดค่าได้ โดยอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า และ ตรวจจับการเสียบปลั๊กไฟ (Photo Interrupter) จะถูกติดตั้งอยู่ที่ปลั๊กไฟแต่ละปลั๊ก (โดยมีสมมติฐานว่า ผู้ใช้จะเสียบอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างมากเพียงหนึ่งตัวต่อหนึ่งปลั๊กไฟเท่านั้น) ส่วนอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ ความเคลื่อนไหว แสง และเสียง จะถูกติดตั้งในสถานที่เหมาะสมบริเวณกลางห้องแต่ละห้อง

2 ชนิดของตัวรับรู้ (Sensor) ที่ถูกใช้ในงานวิจัยได้แก่:-

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

3. ประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัย ต้องเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้รับมาตรฐานสากล ซึ่งใช้ระดับแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน 220 V 50 Hz โดยมีการแบ่งประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าตามแต่ละชนิดการใช้งานดังนี้

- 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

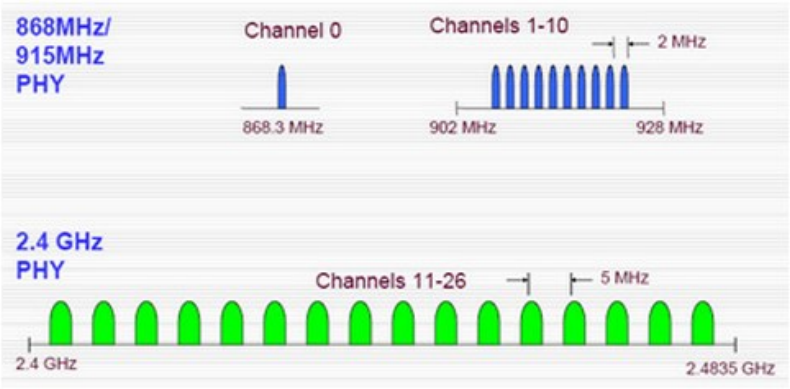
2.1.1 ความรู้เบื้องต้นมาตรฐานการสื่อสาร Zigbee (IEEE 802.15.4)

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 ย่านความถี่และในแต่ละความถี่มีอัตราการรับส่งข้อมูล ดังตารางที่ 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, home control and	Wireless LAN connectivity, broadband Internet access	Wireless connectivity between devices such as phones, PDA, laptops, headsets

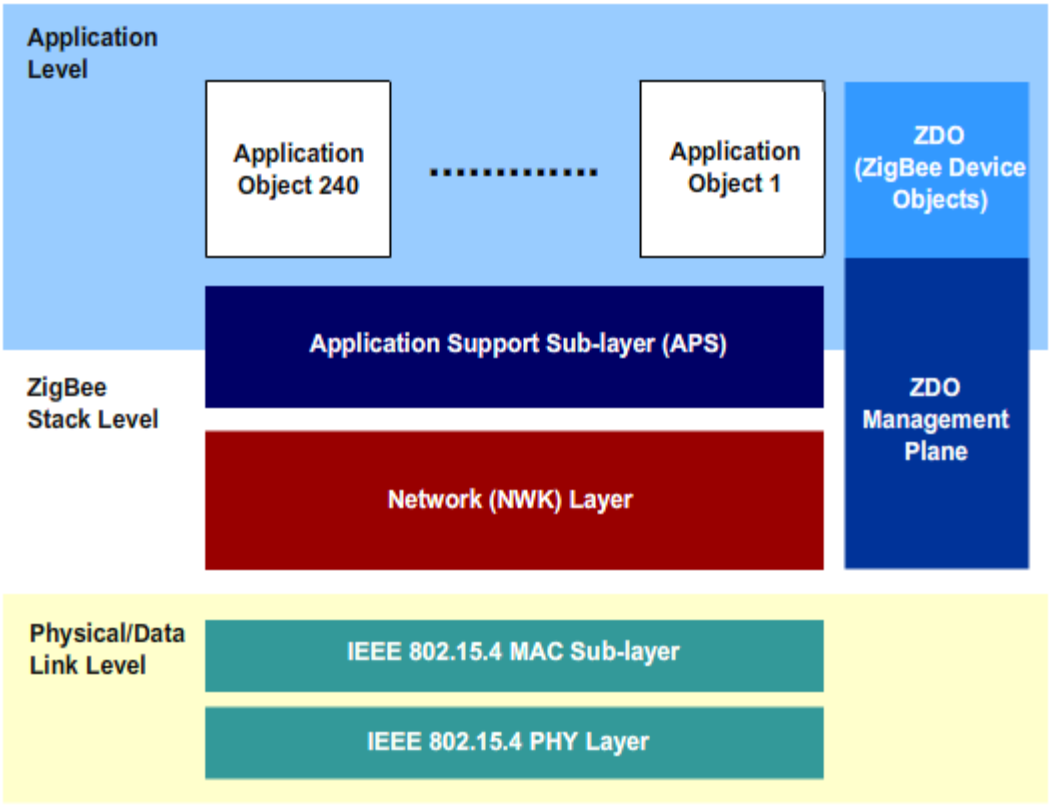
2.1.2 โครงสร้างของโพรโทคอล ZigBee

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

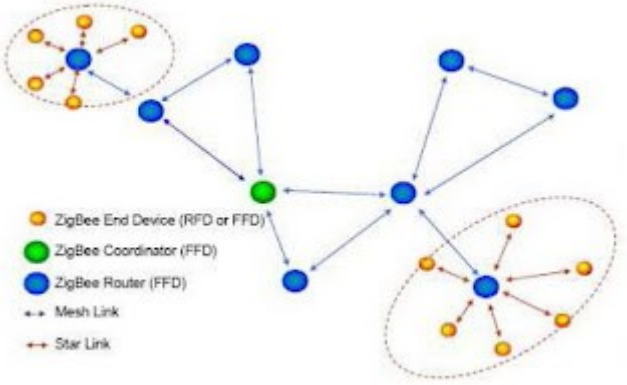
2.1.4 หน้าที่ของอุปกรณ์ ZigBee

อุปกรณ์ ZigBee นี้มีการแบ่งหน้าที่ออกเป็น 3 ประเภท ดังรูปที่ 5 และตารางที่ 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 ระบบที่ถูกนำเสนอได้คำนึงถึงรูปแบบการวางอุปกรณ์รับรู้และเวลาที่ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลที่ทำให้ประหยัดพลังงาน; 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) ในการวางจุดที่ตั้งของอุปกรณ์รับรู้แต่

ละตัว 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) เพื่อจำแนกข้อมูลออกเป็นกลุ่มตามที่ได้กำหนดไว้ 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) แสดง

กลุ่มที่กำหนดไว้ ซึ่งต้นไม้ช่วยการตัดสินใจนี้ง่ายต่อการปรับเปลี่ยนเป็นกฎการจำแนกประเภทข้อมูล (Classification rule)

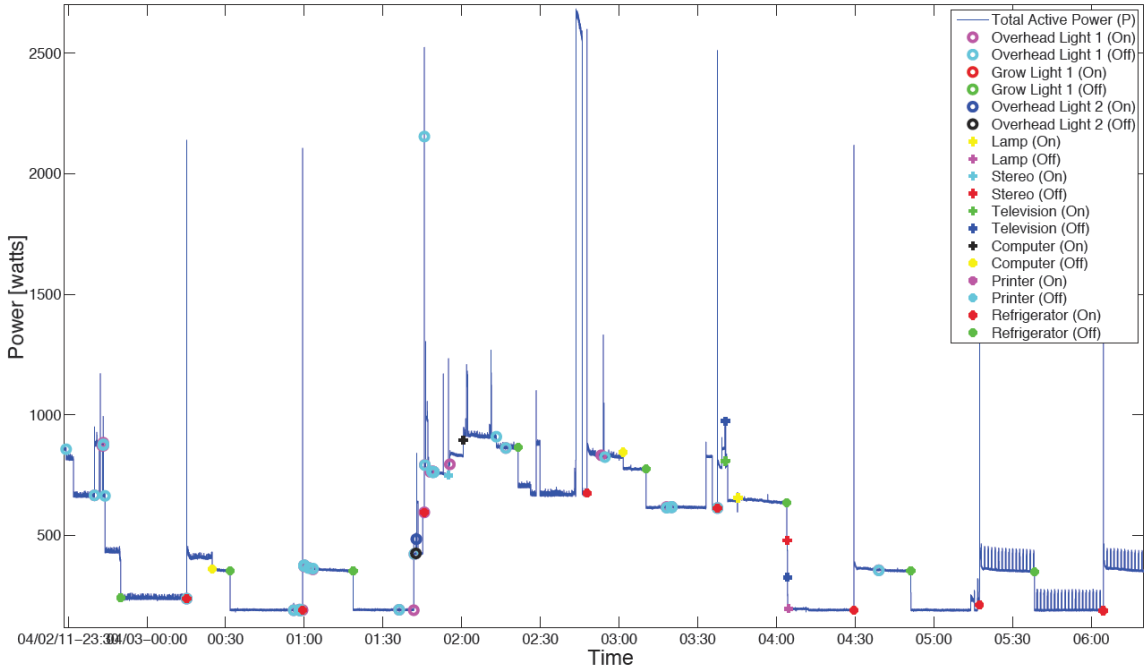
2.2.2 การทำเหมืองข้อมูลแบบหากฎความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเป็นระยะ ๆ

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 ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้

สาย 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

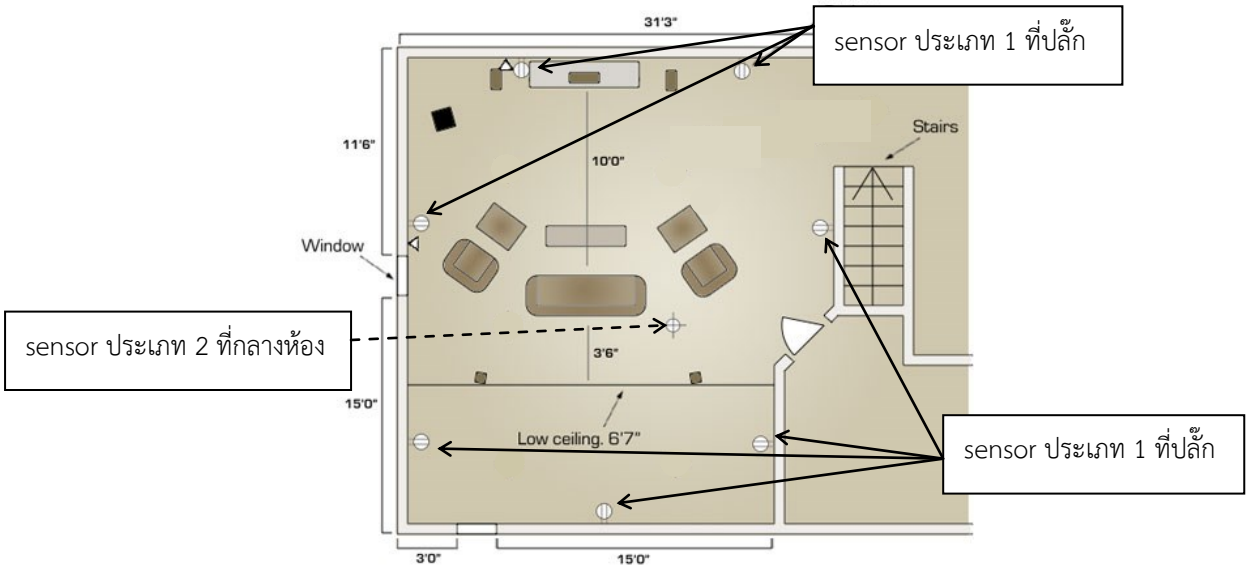
งานวิจัยของ M. Ito และ คณะ (2004) และ งานของ T. Saitoh และ คณะ (2008) เสนอคุณสมบัติของกระแสไฟฟ้า เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ฯลฯ ที่ระบบตรวจวัดเพื่อนำไปใช้รู้จำเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธี nearest neighbors (ขั้นตอนวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด); งานวิจัยของ (H. Serra, 2005) ใช้วิธีการจำกลุ่มระดับการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อระบุชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้จำนวนครั้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

ให้เครื่องแม่ข่ายตลอดเวลา (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 จึงต้องมีการกำหนดคลาสแอทริบิวต์ในด้านขวาสุดของข้อมูล (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) และ

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแอตทริบิวต์ (Stadard Deviation) ซึ่งมีแอตทริบิวต์ในการจำแนกคือ State ซึ่งบ่งบอกสถานะของการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละสถานะ

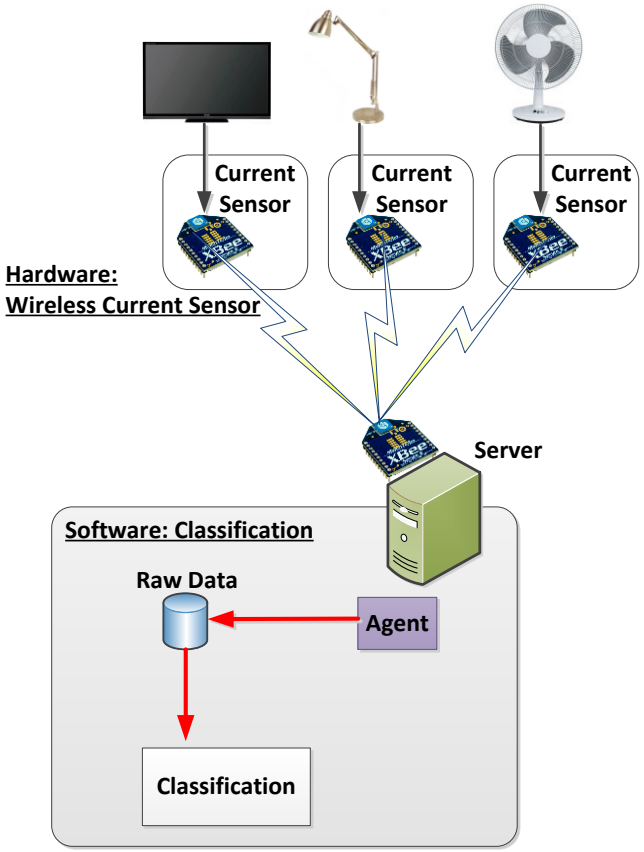
3.5 ขั้นตอนการประเมินผลการจำแนกข้อมูล

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) ของค่า 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

ตารางที่ 4-2 ข้อมูลที่เครื่องแม่ข่ายรับมาจากอุปกรณ์ตรวจวัดไร้สาย

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

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

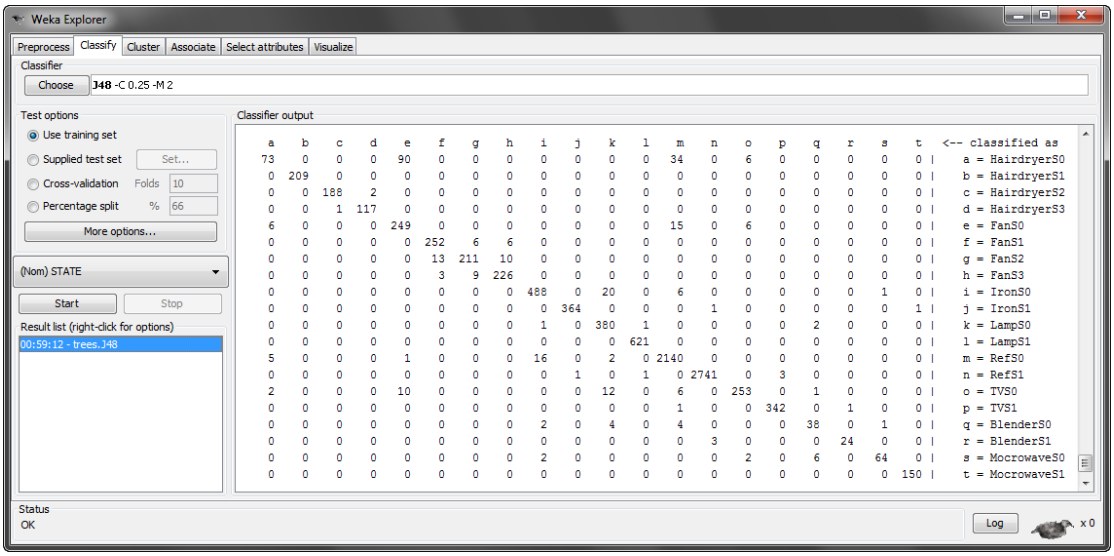
4.2 การจำแนกอุปกรณ์ไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้ได้เลือก 3 เทคนิคมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาว่าเทคนิคใดเหมาะสมที่สุดในการสร้างตัวแบบ ได้แก่ 3 เทคนิควิธีดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

วิธีที่ 1. เทคนิคการใช้ดีซิชันทรี

การทำดีซิชันทรี ผู้วิจัยได้ใช้ขั้นตอนวิธี C4.5 เพื่อใช้ในการทำชุดข้อมูลทดสอบ โดยมีผลลัพธ์ ดังรูปที่ 4-2

- เวลาที่ใช้ในการคำนวนเทคนิคนี้อยู่ที่ 0.16 วินาที
- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลถูกต้อง 9,130 รายการ หรือคิดเป็น 96.5525% ของข้อมูลทั้งหมด
- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลไม่ถูกต้อง 326 รายการ หรือคิดเป็น 3.4475% ของข้อมูลทั้งหมด



รูปที่ 4-2 ผลลัพทธ์เทคนิคการใช้ดีซิชั่นทรี

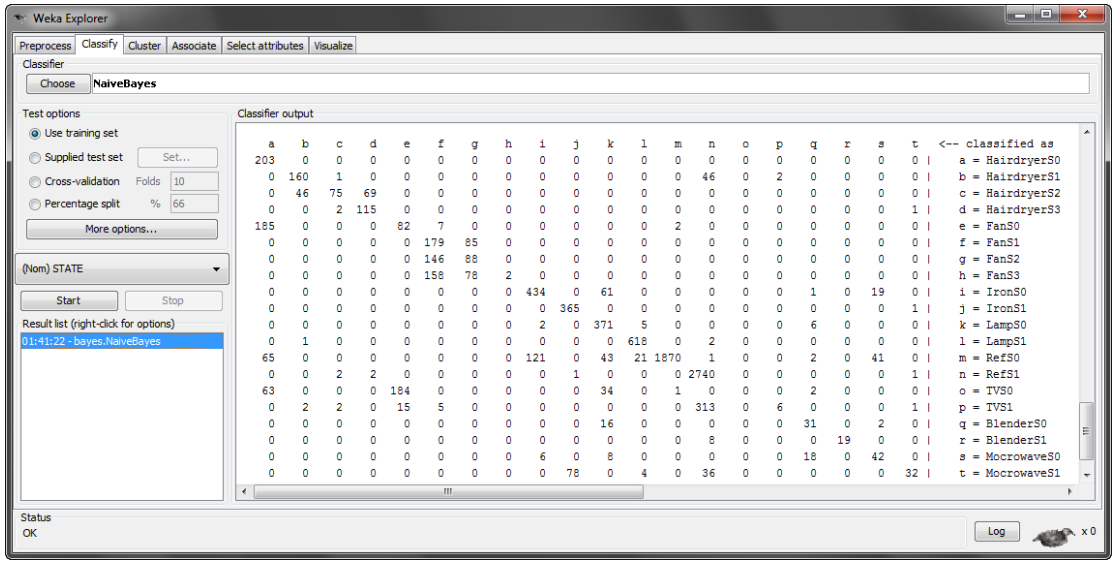
วิธีที่ 2. เท็คนิคการใช้นาอีฟ เบย์

การใช้เทคนิควิธีนาอีฟ เบย์ มีผลลัพธ์ ดังรูปที่ 4-3

- เวลาที่ใช้ในการคำนวนเทคนิคนี้อยู่ที่ 0.06 วินาที

- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลถูกต้อง 7,432 รายการ หรือคิดเป็น 78.5956% ของข้อมูลทั้งหมด

- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลไม่ถูกต้อง 2,024 รายการ หรือคิดเป็น 21.4044% ของข้อมูลทั้งหมด



รูปที่ 4-3 ผลลัพทธ์เทคนิคการใช้นาอีฟ เบย์

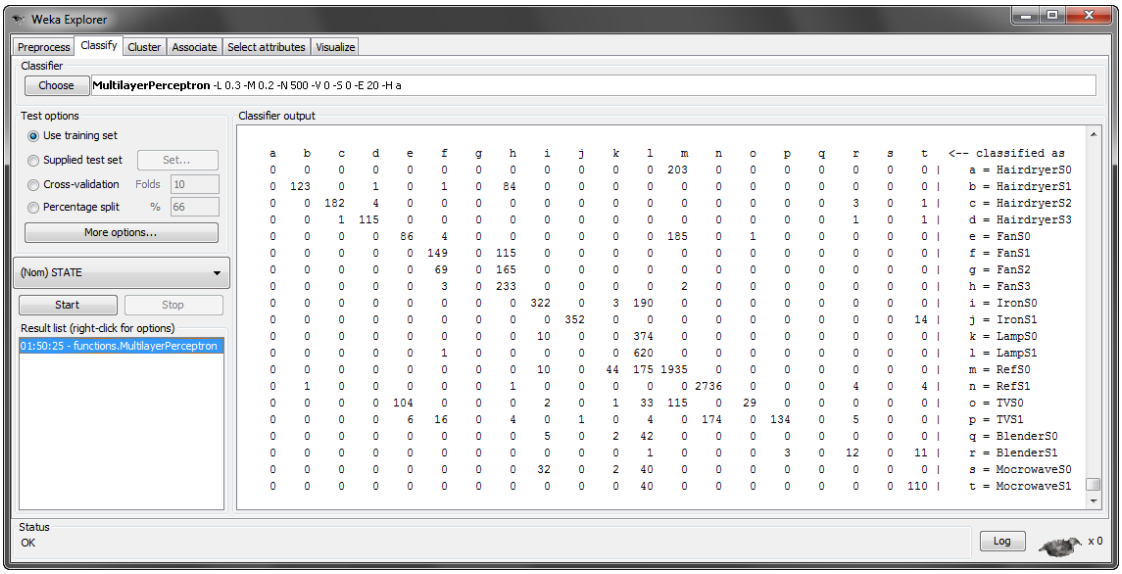
วิธีที่ 3. เท็คนิคการใช้นิวรอนเน็ตเวิร์ก

การใช้นิวรอนเน็ตเวิร์ก มีผลลัพธ์ ดังรูปที่ 4-4

- เวลาที่ใช้ในการคำนวนเทคนิคนี้อยู่ที่ 45.82 วินาที

- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลถูกต้อง 7,138 รายการ หรือคิดเป็น 75.4865% ของข้อมูลทั้งหมด

- จากข้อมูลที่มี 9,456 รายการนั้น มีการทำนายข้อมูลไม่ถูกต้อง 2,318 รายการ หรือคิดเป็น 24.5135% ของข้อมูลทั้งหมด



รูปที่ 4-4 ผลลัพทธ์เทคนิคการใช้นิวรอนเน็ตเวิร์ก

การเปรียบเทียบตัวแบบ และประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบ

จากผลลัพทธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบ 3 เทคนิคที่แสดงมา สามารถสรุปผลตามตารางที่ 4-3 โดยจะเห็นว่าค่าความถูกต้องของการจำแนกด้วยเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจมีค่าความถูกต้องมากที่สุดอยู่ที่ 94.07% (ใช้การตรวจสอบไขว้แบบ 10-Fold ที่กำหนดค่า CF=0.25 และ M=2) รองลงมาคือเทคนิควิธีนาอีฟเบย์ และเทคนิควิธีโครงข่ายประสาทเทียม ตามลำดับ

ตารางที่ 4-3 สรุปเปรียบเทียบ 3 เทคนิคในการจำแนกประเภท

Attribute	Classification Technique		
	Decision Tree	Naïve Bayes	Neuron Network
Time (Seconds)	0.16	0.16	54.94
% Correctly	94.0673%	78.5321%	78.0034%
% Incorrectly	5.9330%	21.4679%	21.9966%
Precision	0.939	0.808	0.756
Recall	0.941	0.785	0.778
F-Measure	0.939	0.754	0.755

หลังจากที่ผู้วิจัยได้เลือกเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจในการสร้างตัวแบบเพื่อนำไปใช้งานจริง (เนื่องจากความแม่นยำสูงกว่าอีก 2 เทคนิคมาก) ผู้วิจัยจำเป็นต้องปรับตัวแปรของต้นไม้ตัดสินใจเพื่อให้ได้ตัวแบบที่มีค่าประสิทธิภาพดีที่สุด โดยผู้วิจัยทำการปรับค่าตัวแปรในการทดสอบดังนี้

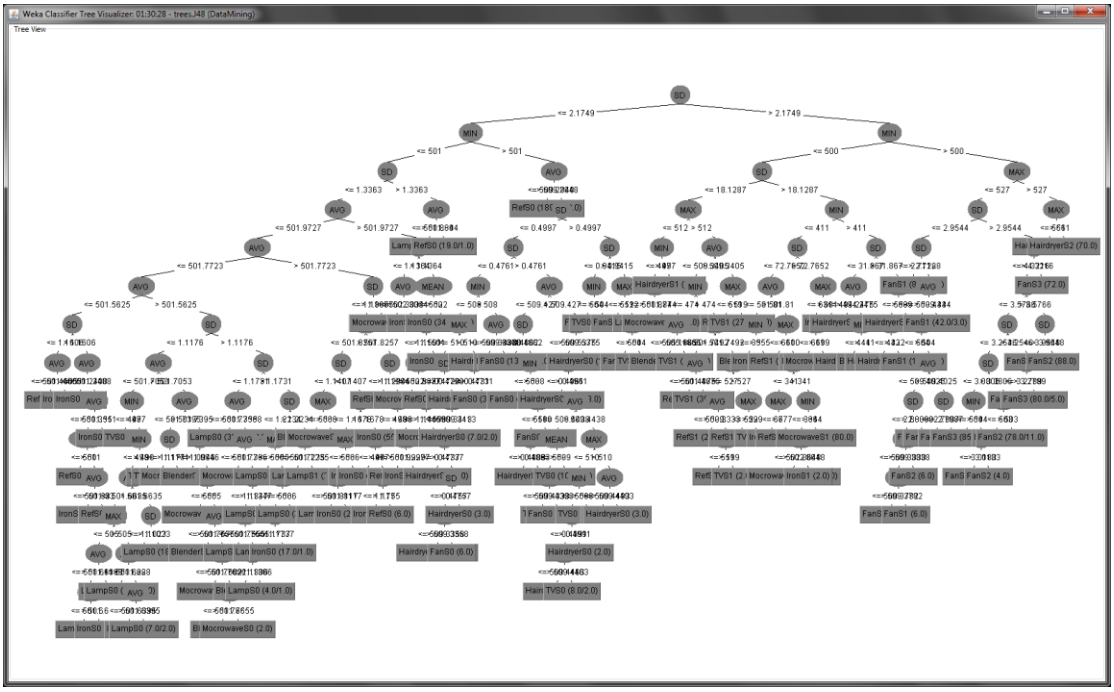
1. Confidences Factor (CF) มีการกำหนด 3 ค่าคือ 0.1, 0.25 และ 0.5
2. Minimum Number Pruning (M) มีการกำหนดค่าคือ 1 และ 2

แบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจที่มีเปอร์เซนต์ความถูกต้องในการจำแนกกลุ่มสูงสุด และมีเปอร์เซนต์ความถูกต้องในการทำนายผลสูงสุด โดยใช้แบบจำลองที่มีการใช้พารามิเตอร์ต่างกัน 2 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ตารางเปรียบเทียบพารามิเตอร์ในการเลือกใช้ต้นไม้ตัดสินใจ

Confidences Factor (CF)	Minimum Number Pruning (M)	Time	% Correctly	Leaves	Tree	Precision	Recall	F-Measure
0.1	1	0.15	94.1413	125	249	0.941	0.941	0.991
0.25	1	0.17	94.2047	171	341	0.941	0.942	0.940
0.5	1	0.17	94.2682	195	389	0.942	0.943	0.941
0.1	2	0.16	94.0778	101	201	0.941	0.941	0.940
0.25	2	0.28	94.0673	143	285	0.939	0.941	0.939
0.5	2	0.16	94.0567	159	317	0.940	0.941	0.939

ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเทคนิคดีซิชันทรีโดยใช้อัลกอลิทึม C4.5 มีประสิทธิภาพสูงกว่าเทคนิคนาอีฟเบย์ 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 4-5 มีจำนวน Leaf อยู่ที่ 195 และมีขนาดของต้นไม้ อยู่ที่ 389



รูปที่ 4-5 ตัวอย่างแบบจำลองแผนภาพต้นไม้ตัดสินใจสำหรับทำนายการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด

การนำตัวแบบไปใช้จริง

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

ซึ่งผู้วิจัยพบว่าเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจนอกจากจะดีกว่าเทคนิคนาอีฟ เบย์ และ เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม ในแง่ของความถูกต้อง และความรวดเร็วแล้ว การเขียนโปรแกรมในอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ในเชิงการตัดสินใจแบบใช้เงื่อนไข IF ... THEN ... จะทำให้การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับทำงานได้เร็ว และง่ายต่อการพัฒนาเนื่องด้วยเงื่อนไขการตัดสินใจไม่ซับซ้อน ซึ่งเป็นข้อดีของการนำเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีจำแนกชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ โดยผู้วิจัยพบว่ากฎที่สร้างจากเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจมีความแม่นยำในการจำแนกสูงกว่ากฎที่สร้างขึ้นโดยใช้เทคนิคนาอีฟเบย์ และเทคนิคนิวรอนเน็ตเวิร์ก ระบบที่นำเสนอสามารถตรวจสอบการใช้กระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมาที่ระบบส่วนกลาง ซึ่งระบบจะใช้กฎที่อิงกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าทางสถิติอื่น ๆ ในการจำแนกชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างแม่นยำ ซึ่งระบบมีค่าเปอร์เซ็นต์ของการทำนายถูกต้อง (Percentage Correct) ของเทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจอยู่ที่ 94.2682 % โดยค่าที่สามารถสืบค้นคำตอบสูงสุด (Precision) มีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 0.942 ค่าที่ได้จากการตรวจพบข้อมูล (Recall) มีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 0.943 และค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่สามารถสืบค้นคำตอบสูงสุดกับค่าที่ได้จากการตรวจพบข้อมูล (F-measure) มีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 0.941 เมื่อใช้กฎที่ได้จากเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ ระบบที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง และเป็นส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานในที่อยู่อาศัย

ส่วนหนึ่งในงานวิจัยนี้ได้ถูกตีพิมพ์ ในงานประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 9 (NCCIT2013) ที่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในหัวข้อเรื่อง “ระบบการจำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้การตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน”

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