ระบบเฝ้าสังเกตการใช้ไฟฟ้าด้วยการประมวลผลภาพของการส่องสว่าง

นายศรัณยู ชมภูพล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENERGY MONITORING SYSTEM USING IMAGE PROCESSING ON ILLUMINATION

Mr. Sarunyoo Chomphoophon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบเฝ้าสังเกตการใช้ไฟฟ้าด้วยการประมวลผลภาพของการส่องสว่าง
โดย	นายศรัณยู ชมภูพล
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรีย์ พุ่มรินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย ลีลารัศมี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรีย์ พุ่มรินทร์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเฉลิม โปรา)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สัญญา มิตรเอม)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ศรัณยู ชมภูพล : ระบบเฝ้าสังเกตการใช้ไฟฟ้าด้วยการประมวลผลภาพของการส่องสว่าง (ENERGY MONITORING SYSTEM USING IMAGE PROCESSING ON ILLUMINATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. สุรีย์ พุ่มรินทร์, 40 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอระบบเฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยการประมวลผลภาพของการส่องสว่าง ไฟสถานะการทำงาน หรืออุปกรณ์แสดงสถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆในที่ทำงาน ได้แก่ หลอดไฟ จอคอมพิวเตอร์ และเครื่องปรับอากาศ โดยอุปกรณ์เฝ้าสังเกตการใช้ไฟฟ้าสามารถส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายไร้สายเข้าสู่เครื่องบริการเพื่อเก็บข้อมูลและประมวลผล รวมไปถึงการแสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแบบสรุปให้กับผู้ใช้งาน

การออกแบบอุปกรณ์เฝ้าสังเกตการใช้ไฟฟ้านี้ได้เลือกใช้บอร์ด Raspberry Pi 2 model B ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์แบบสมองกลฝังตัวที่มีขนาดเล็กมาใช้สร้างอุปกรณ์เฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยเลือกใช้โมดูลกล้องที่ออกแบบมาสำหรับบอร์ดนี้โดยเฉพาะ และมีโมดูลสื่อสารไร้สายเพื่อให้อุปกรณ์สามารถส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ตได้ ส่วนการออกแบบส่วนชุดคำสั่งภายในระบบนั้นเลือกใช้ระบบปฏิบัติการ Raspbian ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการลินุกซ์ พัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาไพทอนร่วมกับไลบารี่ OpenCV และ TensorFlow โดยออกแบบส่วนชุดคำสั่งตรวจจับสถานะหลอดไฟ จอมอนิเตอร์ และ เครื่องปรับอากาศ รวมถึงการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานและการออกแบบระบบเก็บข้อมูลบนเครื่องบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

5670393021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEYWORDS: DIGITAL IMAGE PROCESSING / ENERGY MONITORING / ILLUMINATION / RASPBERRY PI / CAMERA MODULE

SARUNYOO CHOMPHOOPHON: ENERGY MONITORING SYSTEM USING IMAGE PROCESSING ON ILLUMINATION. ADVISOR: ASST. PROF. SUREE PUMRIN, Ph.D., 40 pp.

This thesis proposes an energy monitoring system using image processing on illumination, lighting status, or marker of various appliances such as lamps, monitors, and air conditioner. The monitoring device sends and collects energy consumption data via wireless network to server. The system user interface provides an energy consumption summary report to an end user.

A small single board computer, Raspberry Pi model B, is the main processing of the energy monitoring device. The Raspberry Pi specific camera module is also adopted to capture images. The internal operating system is based on Raspbian, which is a Linux operating system. The illumination and lighting status monitoring algorithm is developed in Python programing with OpenCV and TensorFlow libraries. In addition, the user interface is also developed for collecting energy consumption data on server.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Electrical Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Electrical Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องระบบเฝ้าสังเกตการใช้ไฟฟ้าด้วยการประมวลผลภาพของการส่องสว่างสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือและคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรีย์ พุ่มรินทร์ ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาและสนับสนุนมาโดยตลอดทั้งในการทำวิทยานิพนธ์ การเรียนและงานวิจัย

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านจากห้องปฏิบัติการวิจัยการออกแบบวงจรฝังตัวและวงจรรวม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำในการค้นคว้าวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญรูปภาพ 1

สารบัญตาราง 3

บทที่ 1 บทนำ 4

1.1 ที่มาและความสำคัญ 4

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 6

1.3 ขอบเขตการวิจัย 6

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย 6

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 การประมวลผลภาพ 8

2.1.1. ปริภูมิสี 8

2.1.2. การเปลี่ยนปริภูมิสี RGB ให้เป็นเป็นปริภูมิสี HSV 9

2.1.3. การแยกส่วนของภาพ (Image Segmentation) 10

2.1.4 โครงข่ายแบบคอนโวลูชันนอล (Convolutional Neural Networks) 10

2.1.4. OpenCV (Open Source Computer Vision Library) 11

2.1.5. TensorFlow 12

2.3. การสื่อสาร 13

บทที่ 3 การออกแบบระบบซอฟแวร์และฮาร์ดแวร์ 14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.1 การออกแบบอุปกรณ์บันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้า 14
3.1.1. คุณสมบัติของ Raspberry Pi 2 Model B 15
3.1.2. คุณสมบัติของโมดูลกล้อง 15
3.1.3. คุณสมบัติของโมดูลสื่อสารไร้สาย 16
3.2 การออกแบบซอฟแวร์ในส่วนอุปกรณ์ 16
3.2 1 การออกแบบขั้นตอนวิธีตรวจจับสถานะหลอดไฟ 17
3.2.2 การออกแบบขั้นตอนวิธีตรวจจับสถานะของเครื่องปรับอากาศ 19
3.2.3 การออกแบบขั้นตอนวิธีตรวจจับสถานะของจอมอนิเตอร์ 21
3.3 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน 24
3.4 การออกแบบระบบเครื่องบริการ 24
3.4.1 การออกแบบระบบฐานข้อมูล 26
3.4.2 การออกแบบระบบการมองข้อมูลด้วยกราฟ 27
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 28
4.1 การทดลองความแม่นในการตรวจจับหาหลอดไฟและชนิดของหลอดไฟ 28
4.1.1 การทดลองวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของหลอดไฟ 9 ตัวอย่าง 28
4.1.2 การทดลองการความแม่นในการตรวจจับหาหลอดไฟ และชนิดของหลอดไฟ 31
4.2 การทดลองวัดความแม่นในการตรวจจับสถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้า 33
บทที่ 5 ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ 35
5.1 สรุป 35
5.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 35
5.3 ข้อเสนอแนะ 35
รายการอ้างอิง 37
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 40

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2-1 ปริภูมิสี RGB 8
รูปที่ 2-2 ปริภูมิสี HSV 9
รูปที่ 2-3 ทดสอบการแยกส่วนของภาพในโปรแกรม Matlab 10
รูปที่ 2-4 Convolutional neural network 11
รูปที่ 2-5 ตัวอย่างการประมวลผลภาพโดยใช้ OpenCV บนบอร์ด Raspberry Pi 12
รูปที่ 2-6 ตัวอย่าง HTTP Header และ HTTP Response 13
รูปที่ 3-1 ภาพรวมของระบบเฝ้าสังเกตการใช้ไฟฟ้า 14
รูปที่ 3-2 บอร์ด Raspberry Pi 2 Model B 15
รูปที่ 3-3 โมดูลกล้อง 15
รูปที่ 3-4 โมดูลสื่อสารไร้สาย 16
รูปที่ 3-5 อุปกรณ์เฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการออกแบบ 16
รูปที่ 3-6 ผังการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด 17
รูปที่ 3-7 เปรียบเทียบภาพถ่ายที่ใช้ความเร็วชัตเตอร์ 1/18 วินาทีกับ 1/160 วินาที 18
รูปที่ 3-8 ผังงานการทำงานของโปรแกรมตรวจจับหลอดไฟ 19
รูปที่ 3-9 เครื่องปรับอากาศที่ได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์แสดงสถานะ 20
รูปที่ 3-10 ผังงานการทำงานของโปรแกรมตรวจจับเครื่องปรับอากาศ 20
รูปที่ 3-11 ผังงานการทำงานของโปรแกรมตรวจจับจอมอนิเตอร์ 22
รูปที่ 3-12 หน้าจอการตั้งค่าโปรแกรมผ่านเว็บเบราว์เซอร์ 23
รูปที่ 3-13 ส่วนติดต่อผู้ใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ 24
รูปที่ 3-14 หน้าจัดการ Cloud Server 25
รูปที่ 3-15 ระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ 25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3-16 ตราสัญลักษณ์ของ InfluxDB 26
รูปที่ 3-17 หน้าจอการจัดการฐานข้อมูล 26
รูปที่ 3-18 หน้าจอแสดงการใช้พลังงาน 27
รูปที่ 4-1 Wiring Diagram ของเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า WT110 28
รูปที่ 4-2 การต่อสายของเครื่องมือวัดพลังงาน WT110 29
รูปที่ 4-3 การจัดพื้นที่ทดสอบการวัดกำลังไฟฟ้า 29
รูปที่ 4-4 ภาพหลอดไฟที่ได้ทำการทดลอง 31
รูปที่ 4-5 สถานที่ที่ใช้ทำการทดลอง 33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3-1 คุณสมบัติของเครื่องบริการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ 25

ตารางที่ 4-1 หลอดไฟที่ใช้ในการทดลอง 30

ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองการวัดพลังงานที่วัดได้จริงจากหลัดไฟจาก 9 ตัวอย่าง 30

ตารางที่ 4-3 ผลการทดลองความแม่นในการตรวจจับหาชนิดของหลอดไฟ ทดลองทีละ 1 หลอด ... 32

ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองความแม่นในการตรวจจับหาชนิดของหลอดไฟ ทดลองทีละ 4 หลอด ... 32

ตารางที่ 4-5 สถานะเครื่องใช้ไฟฟ้าเทียบกับการตรวจจับที่ได้จากอุปกรณ์ในช่วงเวลา 16 ชั่วโมง 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้ามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น และการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นทุกวันทำให้เกิดปัญหาโลกร้อนตามมา ในงานวิจัยนี้นำเสนอการประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านและสำนักงาน โดยการให้ผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าสามารถรับรู้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ เพื่อปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าให้สามารถลดการใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองได้[1]

ระบบเฝ้าสังเกตการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันจำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ชื่อว่า “มิเตอร์อัจฉริยะ” [2] ซึ่งต้องนำมิเตอร์อัจฉริยะนี้ไปติดตั้งที่ตู้ควบคุมไฟฟ้าหลักเพื่อวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าและเก็บบันทึกค่าการใช้พลังงานได้ และถ้าต้องการเฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้าพร้อมกันหลายๆ อุปกรณ์ไฟฟ้า จำเป็นจะต้องติดตั้งมิเตอร์อัจฉริยะนี้เพิ่มขึ้นตามจำนวนที่ต้องการ จึงทำให้ระบบนี้มีราคาสูงขึ้น ในปัจจุบันมีระบบเฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้าออกมาขายมากมาย แต่ละผลิตภัณฑ์ก็มีข้อดี-ข้อเสียต่างกัน เช่น

“OpenEnergyMonitor” [3] เป็นโครงการโอเพนซอร์สสำหรับระบบเฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ สามาถนำมาพัฒนาต่อและสามารถสร้างได้ง่าย ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นเซนเซอร์โหนดวัดพลังงานไฟฟ้า (emonTX), ส่วนกลางสำหรับติดต่อกับเซนเซอร์โหนดชนิดไร้สายและวัดพลังงานไฟฟ้าได้ในตัว (emonPI), เซนเซอร์โหนดสำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น(emonTH), ส่วนกลางสำหรับติดต่อกับเซนเซอร์โหนดชนิดไร้สาย และส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (emonCMS) มีข้อดีคือสามารถวัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 4 อุปกรณ์ด้วยโหนดวัดพลังงานโหนดเดียว

“EFERGY” [4] เป็นระบบที่รวมมิเตอร์อัจฉริยะและปลั๊กอัจฉริยะ[5] หลายตัวเข้าด้วยกันเพื่อที่จะสามารเฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้าได้จากจุกเดียว ซึ่งจะมีจอแสดงผลรายงานเช่น อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ละวัน, ราคาค่าไฟ เป็นต้น แต่ละโหนดวัดพลังงานไฟฟ้าจะเชื่อมต่อกันด้วยการติดต่อแบบไร้สาย ทำให้ง่ายต่อการติดตั้ง และยังมีอีกหลายผลิตภัณฑ์ที่มีการทำงานของระบบเหมือนกับข้างต้น เช่น TED [6], ECO EYE [7] และ Onset [8] เป็นต้น

“Ecoisme” [9] เป็นระบบเฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เซนเซอร์เพียงจุดเดียวที่สะพานไฟหลักของบ้าน อุปกรณ์นี้จะสามารถตรวจจับ การใช้ไฟฟ้าแยกตามการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อัตโนมัติ โดยไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์วัดไฟเพิ่มเลย อุปกรณ์นี้จะใช้หลักการวิเคราะห์การใช้

พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟคงที่ เช่น เตาไฟฟ้าและเตารีด เป็นต้น และใช้หลักการวิเคราะห์สเปกตรัมของของกระแสไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟไม่คงที่ เช่น โทรทัศน์ และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ซึ่งทำให้สามารถแยกแยะการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดได้ และอุปกรณ์นี้ยังสามารถแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานได้ เช่น ลืมปิดเตารีด ลืมปิดประตูตู้เย็น เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์นี้ยังไม่ได้ว่างขายจริง เพียงแต่ยังอยู่ในช่วงระดมทุน

สำหรับระบบเฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบข้างต้นมีข้อเสียคือ จำเป็นต้องใช้ช่างสำหรับการติดตั้งระบบเฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้าเดิม และระบบแบบนี้มีราคาแพงมากเมื่อเทียบกับราคาของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการเฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้า เช่น ระบบแสงสว่าง พัดลม หรือจอมอนิเตอร์ เป็นต้น

ที่ผ่านมานั้นการที่เราจะวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปนั้นจะใช้การวัดกระแสและแรงดันโดยตรงกับสายไฟ ซึ่งการที่จะต้องไปเพิ่มเติมแก้ไขกับการติดตั้งที่มีอยู่แล้วนั้น ทำให้ยากต่อการติดตั้งระบบเฝ้าดูพลังงานไฟฟ้า จึงมีการคิดค้นระบบใหม่ที่ไม่จำเป็นต้องไปวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันโดยตรง [10] ทำให้ง่ายต่อการติดตั้งมากขึ้น แต่ก็ยังต้องแลกมาด้วยจำนวนเซนเซอร์ที่มากขึ้น เช่น ถ้าต้องการวัดพลังงานการใช้ไฟฟ้าของตู้เย็น โดยระบบนี้จะใช้การวัดแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากคอมเพรสเซอร์ทำงาน และวัดไฟที่เกิดจากการเปิดตู้เย็น แล้วนำมาคำนวณพลังงานที่ใช้จริงได้ ซึ่งระบบนี้ก็ยังมีข้อเสียคือ ถ้ามีหลายเครื่องใช้ไฟฟ้า ต้องใช้เซนเซอร์จำนวนหลายตัว

ในงานวิจัยนี้จึงจะเน้นที่ระบบแสงสว่างเพราะไม่สามารถใช้ปลั๊กอัจฉริยะในการวัดพลังงานที่ใช้ไปได้ และระบบนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ช่างในการติดตั้ง สามารถติดตั้งได้ง่ายด้วยตัวเอง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้กล้องในการตรวจจับการทำงานของระบบแสงสว่างและนำมาคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในแต่ละห้องซึ่งจะใช้เพียงหนึ่งอุปกรณ์ภายในแต่ละห้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเสนอระบบเฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้หลักการประมวลผลภาพแบบเวลาจริง
2. เพื่อหาขั้นตอนที่ใช้ในการตรวจสอบสถานะเปิด-ปิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีหลอดไฟบ่งบอกสถานะได้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างระบบเฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่างโดยใช้หลักการประมวลผลภาพ
2. สามารถตรวจจับชนิดของหลอดไฟโดยตรวจสอบเทียบกับรูปร่างจากฐานข้อมูลได้อัตโนมัติ
3. ฐานข้อมูลชนิดหลอดไฟจำนวน 50 หลอด
4. สามารถคำนวณพลังงานการใช้ไฟฟ้าโดยการให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าได้เอง
5. สามารถตรวจสอบสถานะทำงานของเครื่องปรับอากาศว่าเปิด-ปิดได้ จากหลอดไฟที่แสดงสถานะแสดงการทำงาน
6. สามารถตรวจสอบสถานะทำงานของจอมอนิเตอร์ว่าเปิด-ปิดได้จากความสว่างของจอ
7. ออกแบบและสร้างระบบจัดเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและส่วนแสดงผลกับผู้ใช้แบบเวลาจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีการประมวลผลภาพ
2. ศึกษาการเขียนโปรแกรมโดยใช้ไลบารี่ OpenCV บนบอร์ด Raspberry Pi
3. ศึกษาการเขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับ Cloud Server
4. เขียนโปรแกรมบน Raspberry Pi เพื่อตรวจจับการใช้พลังงานของหลอดไฟ
5. เขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับระบบฐานข้อมูล
6. เขียนโปรแกรมเพื่อแสดงผลฝั่งผู้ใช้งาน
7. ทดสอบการทำงานของระบบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ระบบการเฝ้าสังเกตการพลังงานไฟฟ้าที่มีสามารถติดตั้งได้ง่าย โดยไม่ต้องใช้ช่างผู้ชำนาญการ
2. ได้ขั้นตอนวิธีการประมวลผลภาพที่มีประสิทธิภาพสำหรับการตรวจจับสถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้า คือ หลอดไฟ เครื่องปรับอากาศ และจอมอนิเตอร์
3. หน้าเว็บสำหรับสรุปข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า พร้อมทั้งกราฟการใช้พลังงานแบบเวลาจริง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

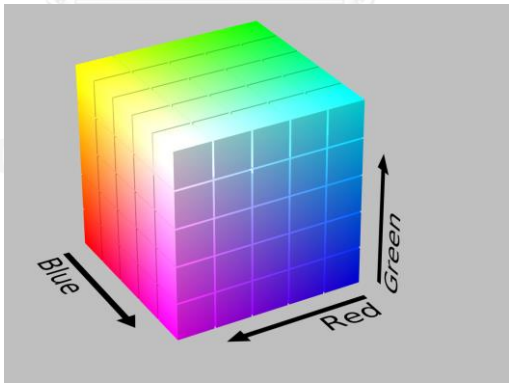
2.1 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ คือ การนำภาพถ่ายทางดิจิตอล โดยการใช้ขั้นตอนวิธีการต่างๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่อยู่ภายในภาพนั้น ซึ่งในบทนี้จะอธิบายเฉพาะพื้นฐานและขั้นตอนที่ใช้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ได้แก่ ปริภูมิสี การแยกส่วนของภาพ โครงข่ายคอนโวลูชันนอล OpenCV และ TensorFlow

2.1.1. ปริภูมิสี

ปริภูมิสีนั้นมีอยู่หลายปริภูมิ เช่น RGB(Red, Green และ Blue), HSV(Hue, Saturation และ Value), CMYK(Cyan, Magenta, Yellow และ Black) และ CIE(International Commission on Illumination) เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะปริภูมิสี RGB และ HSV

1. ปริภูมิสี RGB เป็นระบบสีที่ประกอบด้วยแม่สี 3 สี คือ สีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงิน เมื่อนำมาผสมผสานกันทำให้เกิดสีต่างๆ ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบภาพดิจิตอล ซึ่งค่า RGB ที่ได้จากกล้องจะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 255



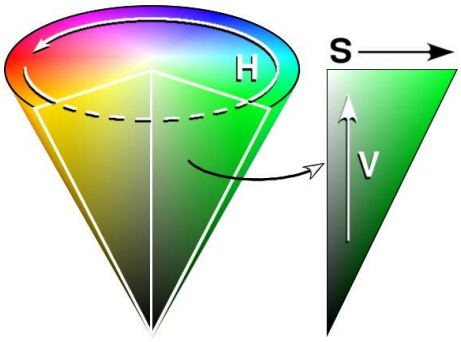
รูปที่ 2-1 ปริภูมิสี RGB

2. ปริภูมิสี HSV เป็นปริภูมิสีที่ซึ่งเสนอโดย

   H หมายถึง Hue คือ ค่าโทนสีต่างๆ มีค่าตั้งแต่ 0 – 360 องศา

   S หมายถึง Saturation คือ ค่าความเข้มของสี มีค่าตั้งแต่ 0 – 100

   V หมายถึง Value คือ ค่าความสว่างของสี มีค่าตั้งแต่ 0 – 100 โดยจะมีสีขาวเมื่อมีค่าเป็น 100



รูปที่ 2-2 ปริภูมิสี HSV

2.1.2. การเปลี่ยนปริภูมิสี RGB ให้เป็นเป็นปริภูมิสี HSV

แปลงค่า RGB ให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ดังสมการที่ (2-1)

$$R' = \frac{R}{255}$$
$$G' = \frac{G}{255} \qquad (2\text{-}1)$$
$$B' = \frac{B}{255}$$

การเปลี่ยนปริภูมิสี RGB ให้เป็นปริภูมิสี HSV ดังสมการ (2-2) (2-3) และ (2-4)

$$H = \begin{cases} 0°, \Delta = 0 \\ 60° \times \left(\frac{G'-B'}{\Delta} \bmod 6 \right), C_{\max} = R' \\ 60° \times \left(\frac{B'-R'}{\Delta} + 2 \right), C_{\max} = G' \\ 60° \times \left(\frac{R'-G'}{\Delta} + 4 \right), C_{\max} = B' \end{cases} \qquad (2\text{-}2)$$

$$S = \begin{cases} 0, C_{\max} = 0 \\ \frac{\Delta}{C_{\max}}, C_{\max} \neq 0 \end{cases} \qquad (2\text{-}3)$$

$$V = C_{\max} \qquad (2\text{-}4)$$

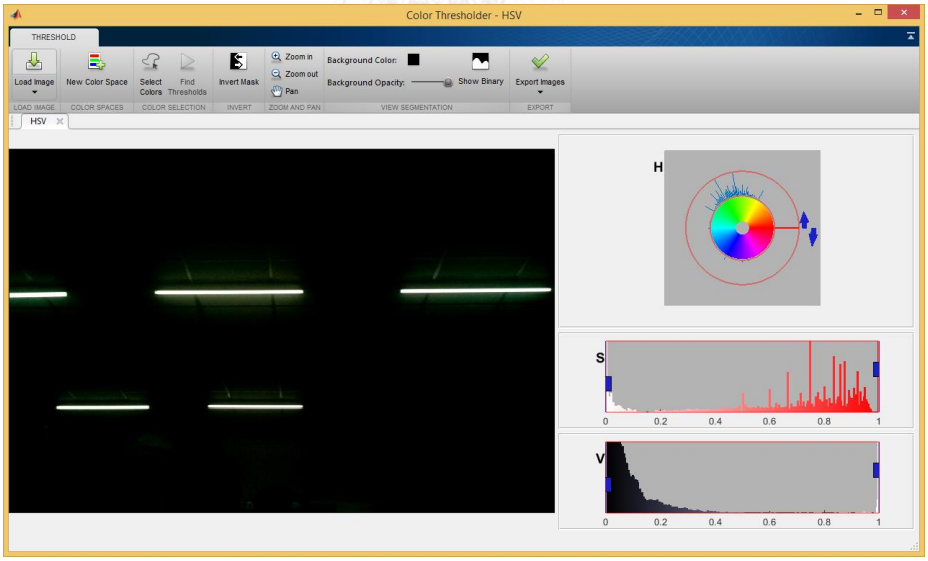
โดยที่

$$C_{\max} = \max(R', G', B')$$
$$C_{\min} = \min(R', G', B')$$
$$\Delta = C_{\max} - C_{\min}$$

2.1.3. การแยกส่วนของภาพ (Image Segmentation)

กระบวนการแยกส่วนของภาพนั้นจะทำให้สามารถแยกข้อมูลของภาพส่วนที่ต้องการออกมาได้ การแยกส่วนของภาพสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้กระบวนการทำขีดแบ่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะสนใจตำแหน่งและสีของหลอดไฟเพื่อใช้ในการจำแนกชนิดของหลอดไฟ การแยกส่วนของภาพมีขั้นตอน ดังนี้

1. แปลงปริภูมิสีจาก RGB ให้เป็นปริภูมิสี HSV
2. ทำการกำหนดช่วงของค่า H, S และ V เพื่อทำขีดแบ่ง ซึ่งจะได้ส่วนของภาพที่เราสนใจ และแปลงภาพให้เป็นภาพขาวดำ ดังรูปที่ 2-4

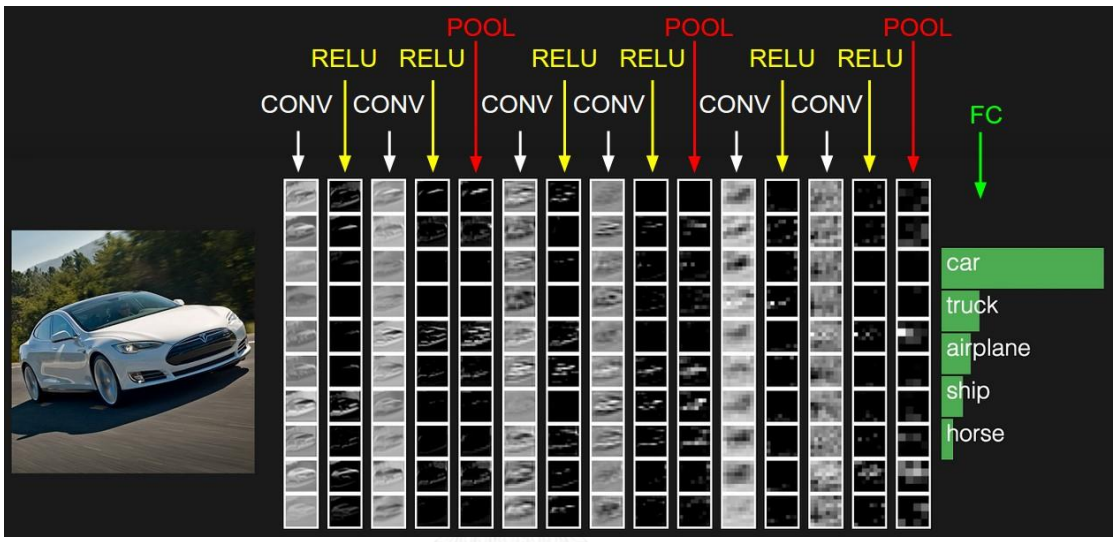


รูปที่ 2-3 ทดสอบการแยกส่วนของภาพในโปรแกรม Matlab

2.1.4 โครงข่ายแบบคอนโวลูชันนอล (Convolutional Neural Networks)

โครงข่ายแบบคอนโวลูชันนอลสามารถรู้จำวัตถุจากภาพ เช่น รถยนต์ ป้ายจราจร สัญญาณไฟจราจร และวัตถุอื่นๆได้

การทำงานของโครงข่ายแบบคอนโวลูชันนอล คือจะมองรูปภาพที่เข้ามาเป็นสามมิติโดยประกอบด้วยความกว้าง ความสูง และจุดสีบนรูปภาพซึ่งจะประกอบด้วยสีแดง เขียวและน้ำเงิน (RGB) แล้วนำภาพมาทำคอนโวลูชันเพื่อหาคุณสมบัติเด่น ในแต่ละชั้นของการคอนโวลูชันก็จะได้คุณสมบัติเด่นออกมา แล้วขั้นตอนสุดท้ายจึงนำคุณสมบัติเด่นที่ได้มาจากการคอนโวในแต่ละขั้นมาใส่แบบจำลอง Machine Learning เพื่อเรียนรู้อีกที



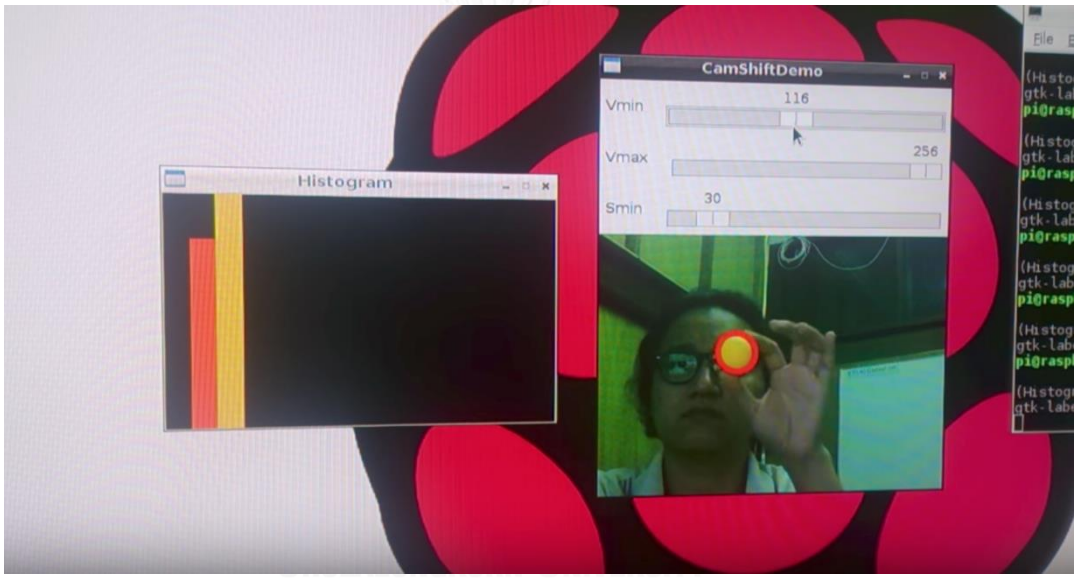
รูปที่ 2-4 โครงข่ายแบบคอโวลูชัน

2.1.4. OpenCV (Open Source Computer Vision Library)

OpenCV [11] หรือ Open Source Computer Vision Library เป็นไลบารี่ที่ใช้สำหรับพัฒนาโปรแกรมให้สามารถประมวลผลภาพและงานทางด้านการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) ประกอบไปด้วยขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการประมวลผลภาพมากกว่า 100 ขั้นตอนวิธี ไลบารี่นี้ถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรมภาษา C และ C+ และสามารถอินเตอร์เฟสกับภาษาอื่นได้ เช่น Python Java และ Matlab เป็นต้น ตัวอย่างการประมวลผลภาพโดยใช้ OpenCV ที่พัฒนาด้วยภาษา Pythonดังรูปที่ 2-5 และ OpenCV ประกอบด้วยโมดูลต่างๆ ดังนี้

- Core คือ โมดูลพื้นฐานที่เกี่ยวกับการจัดการข้อมูลของรูปภาพ การจัดการเมทริกซ์ของข้อมูลต่างๆ
- Improc คือ โมดูลสำหรับการประมวลผลภาพทั้งในแบบเป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น การกรองรูปภาพต่างๆ การหมุนภาพ การเปลี่ยนขนาดภาพ การเปลี่ยนปริภูมิสี การสร้างฮิสโทแกรม

- video คือ โมดูลการวิเคราะห์วีดิทัศน์โดยจะประกอบด้วยขั้นตอนวิธีต่างๆ เช่น การคำนวณหาค่าการเคลื่อนไหว การลบพื้นหลังของภาพ และการติดตามวัตถุ
- calib3d คือ โมดูลในการสอบเทียบกล้องถ่ายรูปเดี่ยวและกล้องแบบการเห็น 3 มิติ การประมาณค่าพิกัดของวัตถุและองค์ประกอบการสร้างภาพ 3 มิติ
- features2d คือ โมดูลสำหรับตรวจจับคุณลักษณะเด่นของภาพ
- objdetect คือ โมดูลสำหรับการตรวจจับวัตถุต่างๆ เช่น ใบหน้า ลูกตา รถยนต์ เป็นต้น
- highgui คือ โมดูลสำหรับสร้างหน้าติดต่อผู้ใช้
- gpu คือ โมดูลสำหรับใช้ GPU เพื่อเร่งการประมวลผลภาพ



รูปที่ 2-5 ตัวอย่างการประมวลผลภาพโดยใช้ OpenCV บนบอร์ด Raspberry Pi

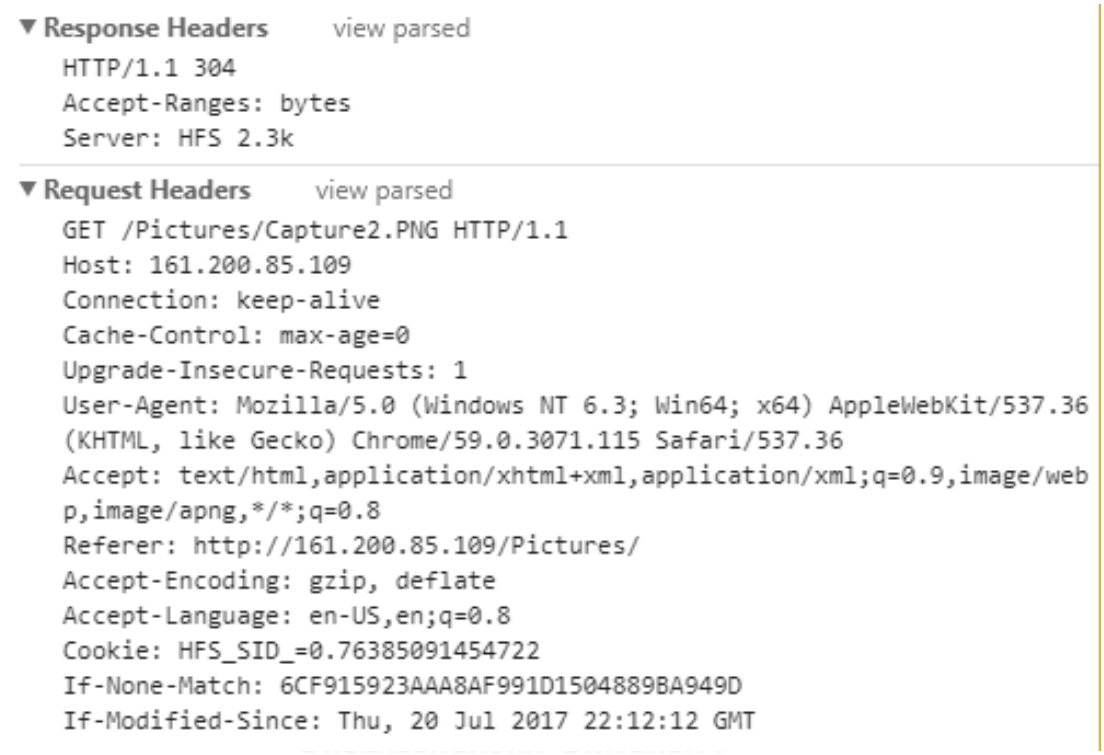
2.1.5. TensorFlow

TensorFlow [12] เป็นไลบารี่ซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สสำหรับการคำนวณเชิงตัวเลขโดยใช้กราฟการไหลของข้อมูล ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยนักวิจัยและวิศวกรที่ Google เพื่อวัตถุประสงค์ในการใช้พัฒนาการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และการวิจัยเครือข่ายประสาทเทียบแบบลึก (Deep Neural Networks)

TensorFlow สามารถทำงานบนซีพียูหลายตัว หรือ GPU หลายตัวพร้อมๆกันได้ และปรับใช้ได้กับคอมพิวเตอร์ที่เป็นเครื่องบริการ คอมพิวเตอร์พกพาโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือคอมพิวเตอร์แบบสมองกลฝังตัวที่มีขนาดเล็กได้

2.3. การสื่อสาร

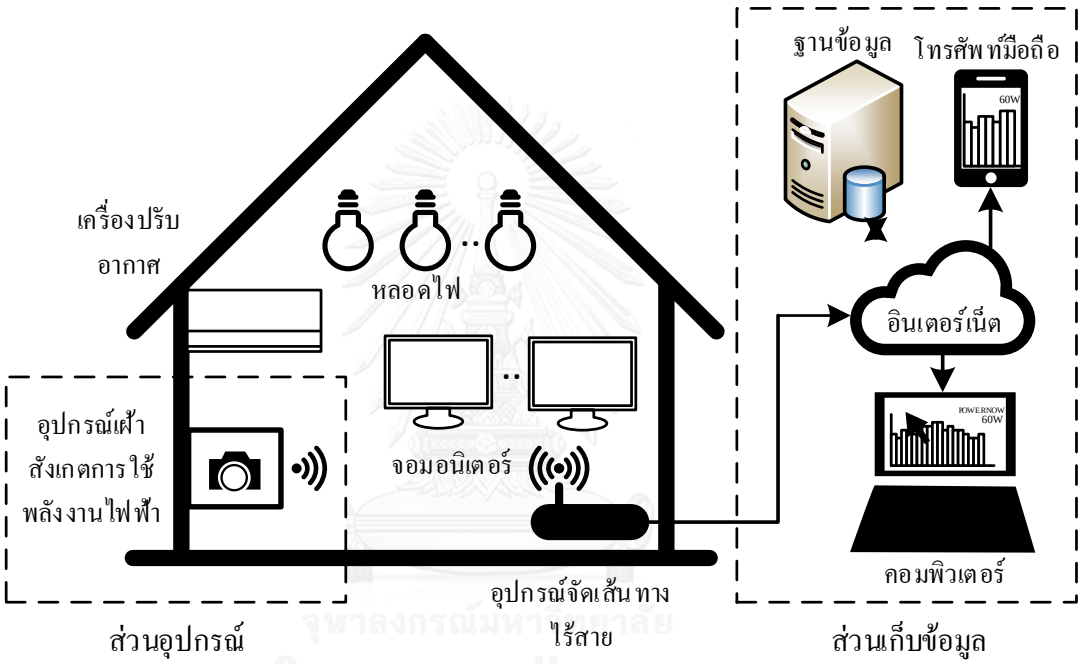
ในระบบนี้จะใช้การสื่อสารแบบไร้สาย หรือมีสายผ่านสายแลน โดยใช้โพรโทคอล HTTP ในการส่งข้อมูลไปยังเครื่องบริการ โดยเครื่องบริการจะทำการเปิดพอร์ตรอรับการเชื่อมต่อของเครื่องลูกข่ายที่จะส่งข้อความร้องขอเข้ามา เมื่อได้รับการร้องขอแล้ว เครื่องบริการก็จะตอบรับข้อความด้วยสถานะอันหนึ่ง เช่น "HTTP/1.1 200 OK" ตามด้วยข้อมูลของมันเอง ยกตัวอย่าง HTTP Header และ HTTP Response ดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 ตัวอย่าง HTTP Header และ HTTP Response

บทที่ 3
การออกแบบระบบซอฟแวร์และฮาร์ดแวร์

ระบบนี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้อุปกรณ์สามารถบันทึกการใช้พลังงานภายในบ้านได้หลายๆ ห้อง หรือภายในอาคารต่างๆ แต่ใช้เครื่องบริการเดียวกันผ่านอุปกรณ์จัดเส้นทางไร้สาย (wireless router) ภายในระบบบันทึกการใช้พลังงานประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกการใช้พลังงาน และ ระบบฐานข้อมูล

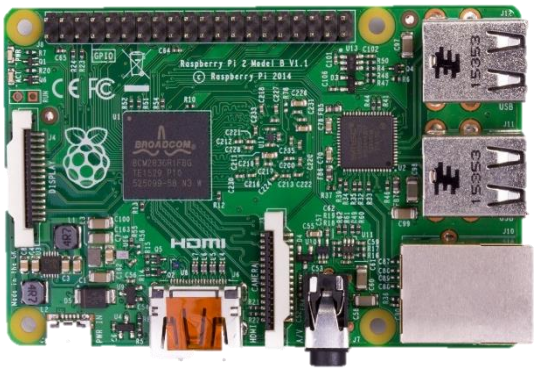


รูปที่ 3-1 ภาพรวมของระบบเฝ้าสังเกตการใช้ไฟฟ้า

3.1 การออกแบบอุปกรณ์บันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้า

ฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์นี้ได้เลือกใช้บอร์ด Raspberry Pi 2 Model B ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์สำหรับสมองกลฝังตัวที่มีขนาดเล็กมาใช้สร้างอุปกรณ์เฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยใช้หลักการประมวลผลภาพ ซึ่งการประมวลผลภาพจำเป็นต้องใช้หน่วยประมวลผลที่มีความเร็วสูงมาก ดังนั้นจึงเลือกใช้บอร์ดนี้ โดยบอร์ดมีคุณสมบัติตามหัวข้อ 3.1.1 และเลือกใช้โมดูลกล้องที่ออกแบบมาสำหรับบอร์ดนี้โดยเฉพาะ ซึ่งมีคุณสมบัติตามหัวข้อที่ 3.1.2 และมีโมดูลสื่อสารไร้สายเพื่อให้อุปกรณ์สามารถส่งข้อมูลผ่านอินเตอร์เน็ตได้ ซึ่งมีคุณสมบัติตามหัวข้อ 3.1.3

3.1.1. คุณสมบัติของ Raspberry Pi 2 Model B



รูปที่ 3-2 บอร์ด Raspberry Pi 2 Model B

- โปรเซสเซอร์ Broadcom BCM2836 900MHz
- หน่วยประมวลผลภาพ Broadcom VideoCore IV
- แรมขนาด 1 กิกะไบต์
- 40 Pin สำหรับเชื่อต่อ GPIO
- High-Definition Multimedia Interface (HDMI) 1 พอร์ต
- USB Host 4 พอร์ต
- Micro SD Card 1 ช่อง

3.1.2. คุณสมบัติของโมดูลกล้อง

รูปที่ 3-3 โมดูลกล้อง

- ความละเอียด 8 ล้านจุดภาพ
- ใช้เซนเซอร์ Sony IMX219 ซึ่งเป็นเซนเซอร์ชนิด CMOS
- สามารถถ่ายวีดีโอได้สูงสุด 90 เฟรมต่อวินาทีที่ความละเอียด 640x480 จุดภาพ

3.1.3. คุณสมบัติของโมดูลสื่อสารไร้สาย

รูปที่ 3-4 โมดูลสื่อสารไร้สาย

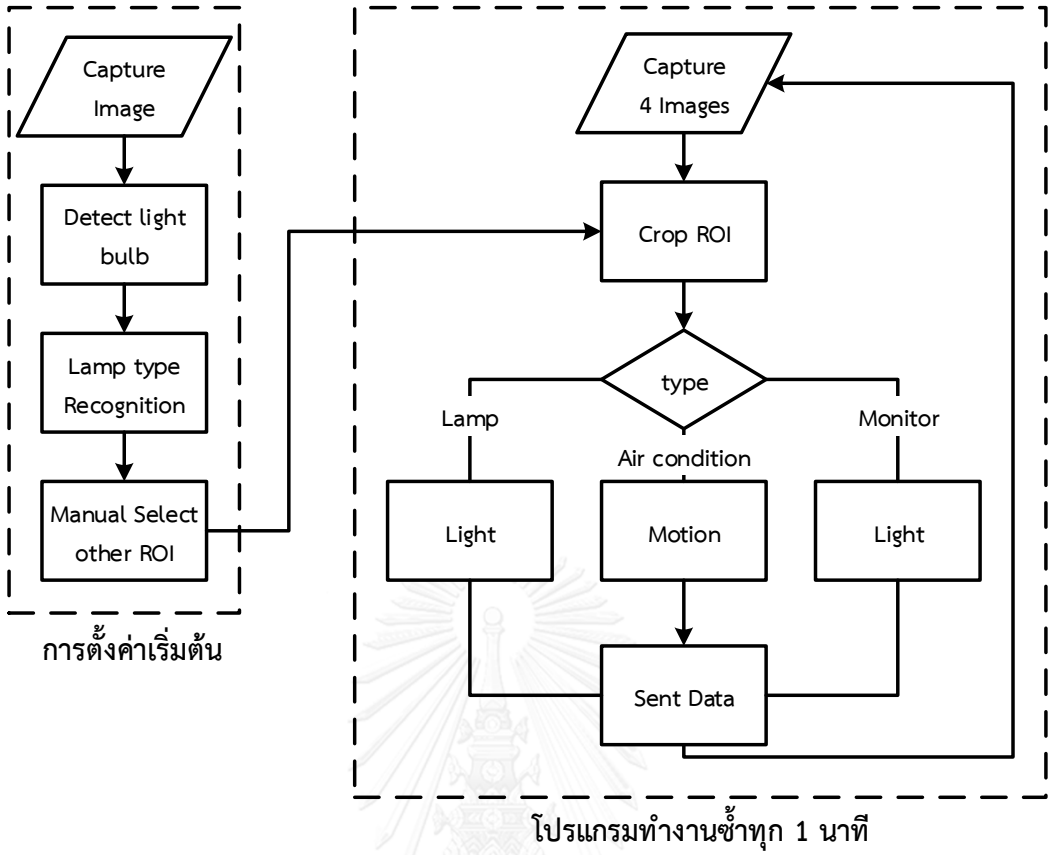
- รองรับการเชื่อต่อ USB 2.0
- เชื่อมต่อที่ความเร็วสูงสุด 150 ล้านบิตต่อวินาที

จากการออกแบบจะอุปกรณ์เฝ้าสังเกตการใช้ไฟฟ้าดังรูปที่ 3-5

รูปที่ 3-5 อุปกรณ์เฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการออกแบบ

3.2 การออกแบบซอฟแวร์ในส่วนอุปกรณ์

ระบบปฏิบัติการที่ใช้บนบอร์ด Raspberry Pi คือ Raspbian ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการลินุกซ์ เพราะมีประสิทธิภาที่ดี และสามารถพัฒนาโปรแกรมได้ง่าย โดยจะพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาไพทอน ร่วมกับไลบารี่ OpenCV และ TensorFlow โดยจะมีผังการทำงานดังรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-6 ผังการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด

3.2 1 การออกแบบขั้นตอนวิธีตรวจจับสถานะหลอดไฟ

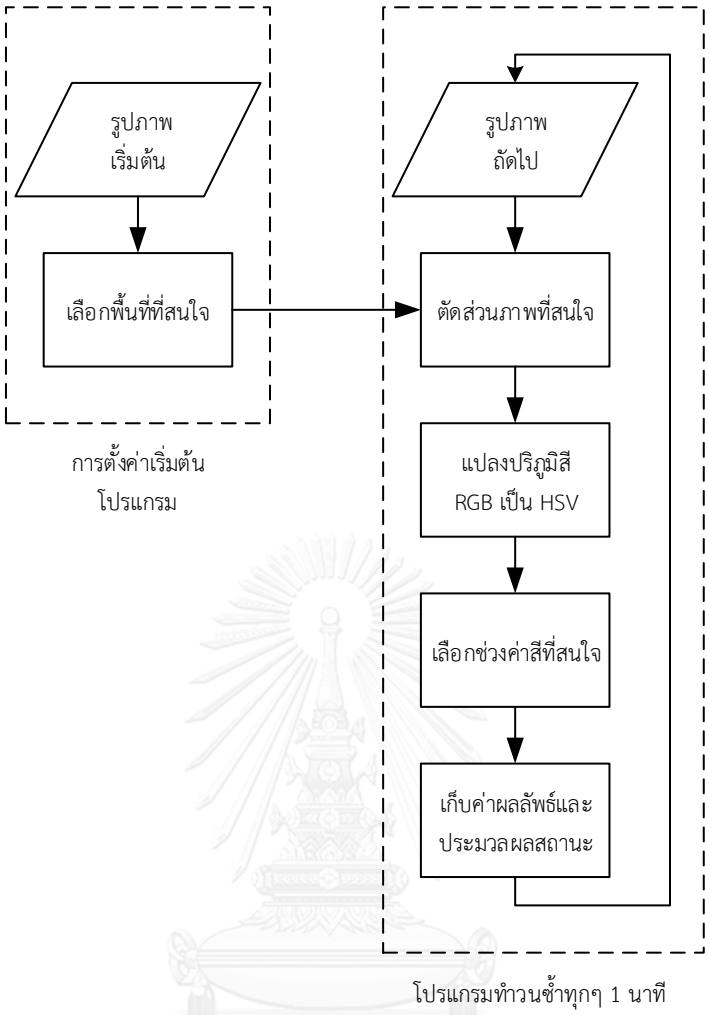
การออกแบบขั้นตอนวิธีตรวจจับสถานะหลอดไฟโดยมีการทำงานดังรูปที่ 3-6

1. เริ่มด้วยการตั้งค่าโปรแกรม โดยการเลือกส่วนที่สนใจของหลอดไฟแต่ละหลอด
2. โปรแกรมจะทำงานทุก 1 นาทีโดยเริ่มจากการถ่ายภาพ โดยจะถ่ายภาพที่ความเร็วชัตเตอร์มีค่า 1/160 วินาที โดยภาพที่ได้จะมีมีพื้นหลังที่ดำมากกว่าภาพปกติ ดังรูปที่ 3-6
3. ทำการตัดส่วนภาพที่สนใจ นั่นก็คือภาพหลอดไฟแต่ละหลอด
4. แปลงปริภูมิสีจาก RGB เป็น HSV
5. เลือกช่วงค่าขีดแบ่งที่ค่าของ V แล้วแปลงเป็นภาพขาวดำ
6. นับจำนวนจุดภาพที่เป็นสีขาว แล้วทำการประมวลผล

7. คำนวณอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการนำจำนวนหลอดไฟที่อยู่ในภาพคูณกับค่าพลังงานที่ใช้ของชนิดหลอดไฟนั้น ซึ่งในที่นี้คือหลอด LED Tube มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าหลอดละ 20 วัตต์
8. ส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าขึ้นไปยังเครื่องบริการ และโปรแกรมนี้จะกลับไปเริ่มโปรแกรมใหม่หลังจาก 1 นาที

รูปที่ 3-7 เปรียบเทียบภาพถ่ายที่ใช้ความเร็วชัตเตอร์ 1/18 วินาทีกับ 1/160 วินาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3-8 ผังงานการทำงานของโปรแกรมตรวจจับหลอดไฟ

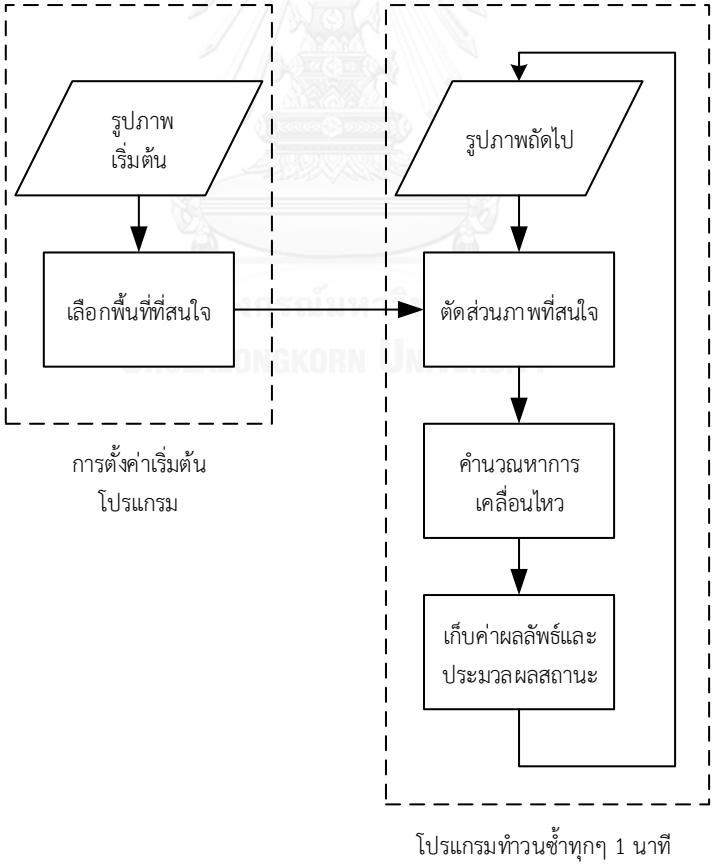
3.2.2 การออกแบบขั้นตอนวิธีตรวจจับสถานะของเครื่องปรับอากาศ

ขั้นตอนวิธีที่ได้ทำการออกแบบนั้นสามารถตรวจจับสถานะของเครื่องปรับอากาศ โดยเครื่องปรับอากาศได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์แสดงการไหลของอากาศ ซึ่งเมื่อเครื่องปรับอากาศทำงานจะมีการเคลื่อนไหว ดังรูปที่ 3-7 ซึ่งโปรแกรมจะมีผังงานการทำงานดังรูปที่ 3-8 ดังนี้

1. เริ่มด้วยการตั้งค่าโปรแกรมโดยการเลือกส่วนที่สนใจของเครื่องปรับอากาศคือ อุปกรณ์แสดงการไหลของอากาศ ที่ทำให้บ่งบอกสถานะการทำงานของเครื่องปรับอากาศนี้
2. จากนั้นโปรแกรมจะทำงานตรวจสอบสถานะทุกๆ 1 นาที โดยการถ่ายภาพจำนวน 5 รูป ที่อัตรา 10 รูปต่อวินาที
3. นำภาพที่ได้ในแต่ละเฟรมมาทำการคำนวณหาการเคลื่อนไหวของภาพ

4. คำนวณอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยนำค่าประมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ได้จากป้ายประจำเครื่อง
5. ส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าขึ้นไปยังเครื่องบริการ และโปรแกรมนี้จะกลับไปเริ่มโปรแกรมใหม่หลังจาก 1 นาที

รูปที่ 3-9 เครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์แสดงสถานะ



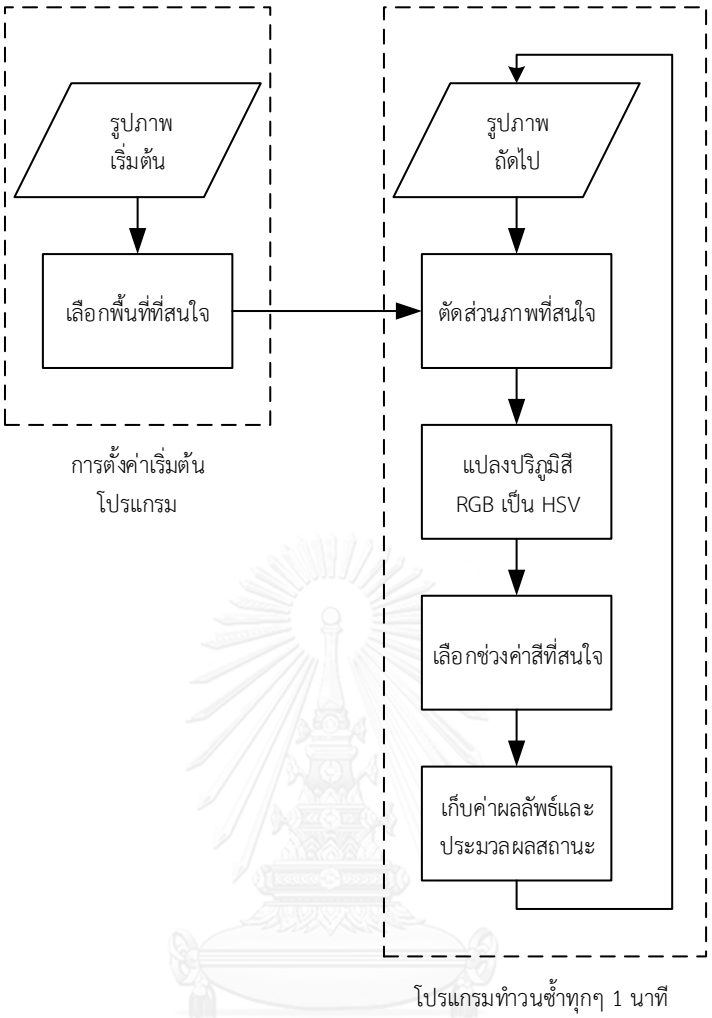
รูปที่ 3-10 ผังงานการทำงานของโปรแกรมตรวจจับเครื่องปรับอากาศ

3.2.3 การออกแบบขั้นตอนวิธีตรวจจับสถานะของจอมอนิเตอร์

ขั้นตอนวิธีที่ได้ออกแบบนั้นมีการทำงานดังรูปที่ 3-9

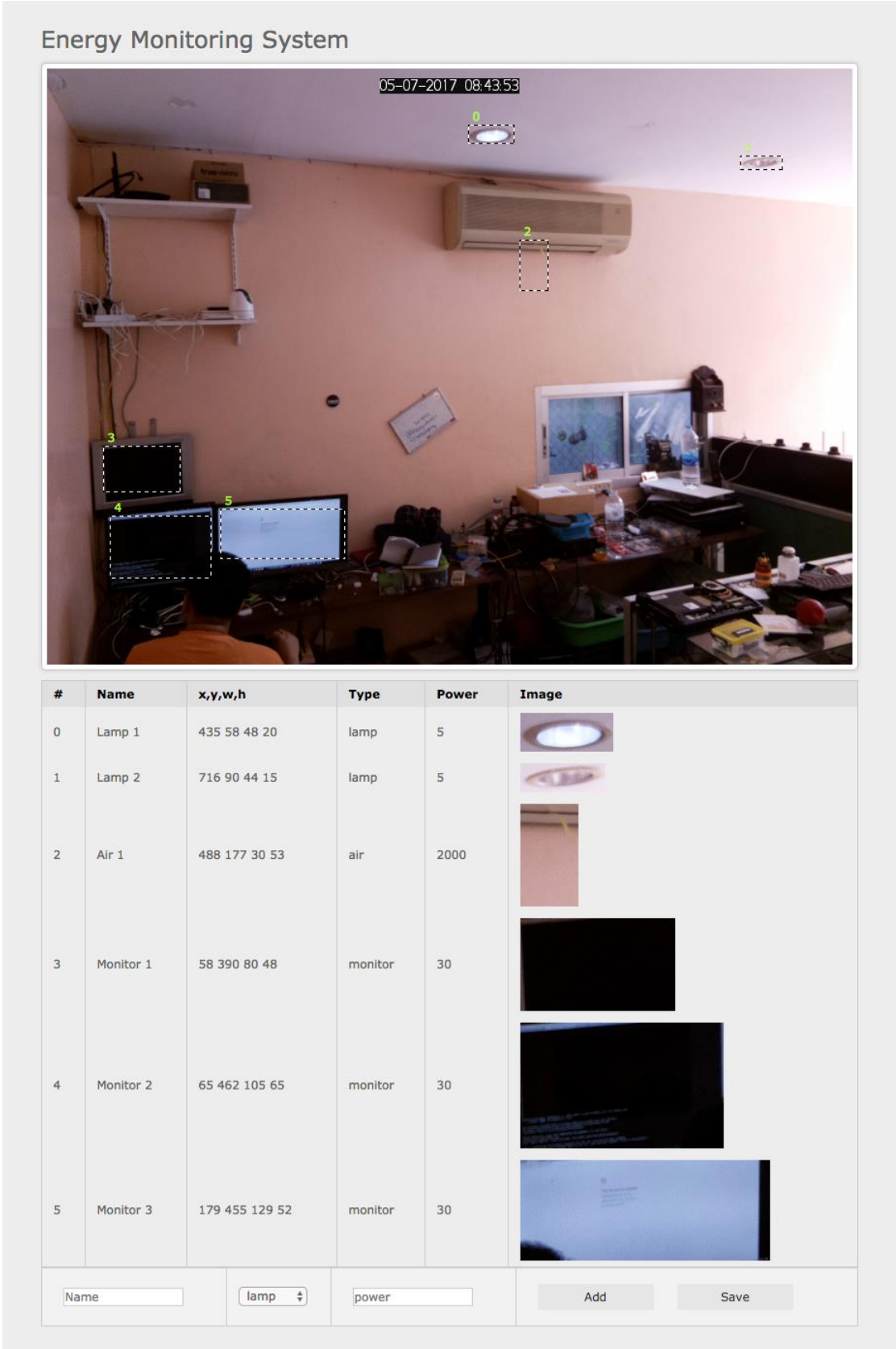
1. เริ่มด้วยการตั้งค่าโปรแกรมโดยการเลือกส่วนที่สนใจของจอมอนิเตอร์คือบริเวณแสดงผลของจอดังรูปที่ 3-10
2. จากนั้นโปรแกรมจะทำงานตรวจสอบสถานะทุกๆ 1 นาที โดยการถ่ายภาพจำนวน 5 รูป ที่อัตรา 10 รูปต่อวินาที
3. นำภาพที่ได้ในแต่ละภาพมาทำการคำนวณหาการเครื่องไหวของภาพ
4. คำนวณอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยนำค่าประมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ได้จากป้ายประจำเครื่อง
5. ส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าขึ้นไปยังเครื่องบริการ และโปรแกรมนี้จะกลับไปเริ่มโปรแกรมใหม่หลังจาก 1 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3-11 ผังงานการทำงานของโปรแกรมตรวจจับจอมอนิเตอร์

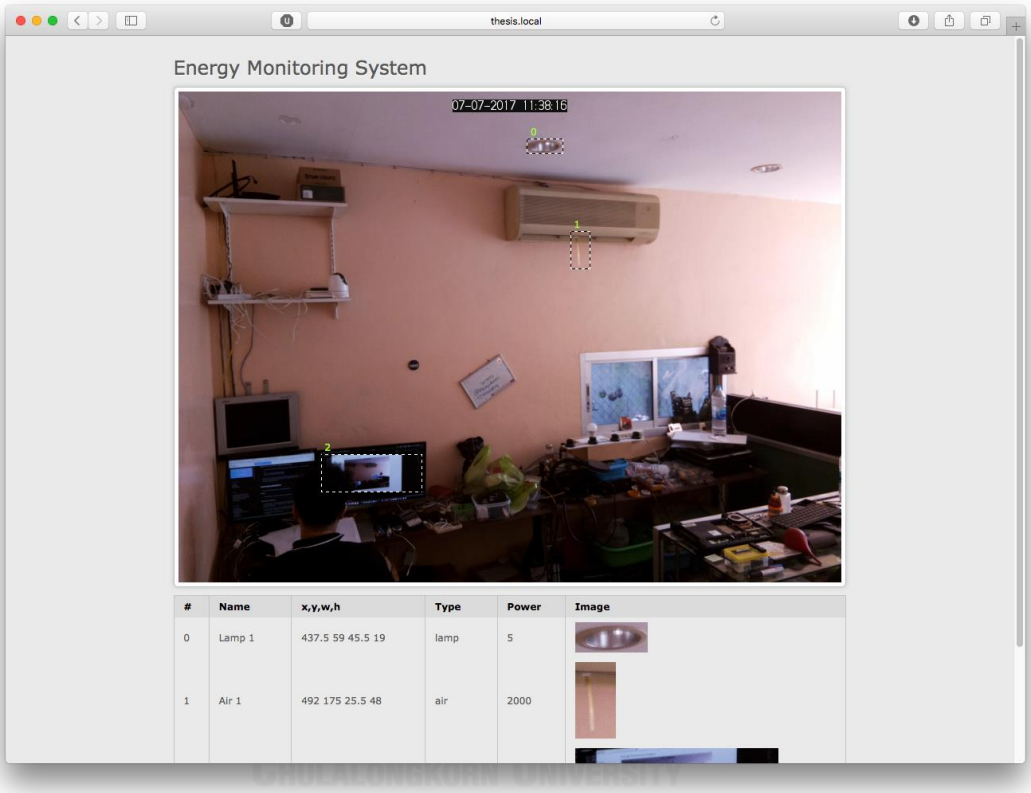
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3-12 หน้าจอการตั้งค่าโปรแกรมผ่านเว็บเบราว์เซอร์

3.3 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน

ส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่ได้ออกแบบมานั้นจะรองรับการใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งทำให้สามารถใช้งานได้กับทุกอุปกรณ์ในปัจจุบัน เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ โน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ เป็นต้น โดยส่วนติดต่อผู้ใช้งานนี้จะใช้เพื่อกำหนดอุปกรณ์ที่จะสังเกตการใช้ไฟฟ้า และกำหนดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 3-13



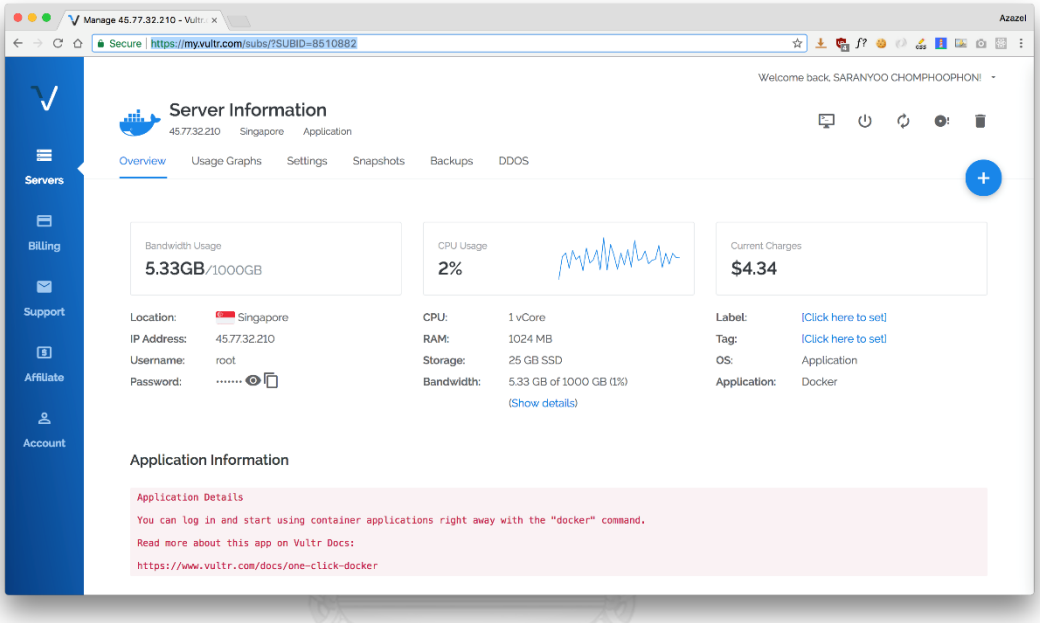
รูปที่ 3-13 ส่วนติดต่อผู้ใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์

3.4 การออกแบบระบบเครื่องบริการ

ได้เลือกใช้เครื่องบริการของ Vulr [13] ซึ่งเป็นผู้ให้บริการ Cloud Server เพราะเทียบจากคุณสมบัติและราคาแล้วเป็น Cloud Server ที่มีราคาถูกที่สุดในตอนนี้ มีราคาอยู่ที่ 5 เหรียญสหรัฐต่อเดือน โดยมีคุณสมบัติดังตารางที่ 3-1 และมีหน้าจัดการดังรูปที่ 3-14 ซึ่ง Cloud Server นี้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ และใช้ Docker เป็นตัวจัดการ Container ต่างๆดังรูปที่ 3-15

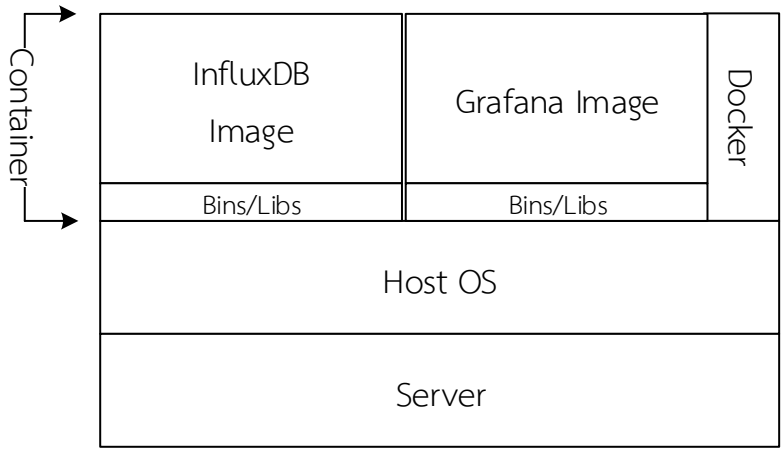
ตารางที่ 3-1 คุณสมบัติของเครื่องบริการที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ชนิดซีพียู	1 vCore
แรม	1024 เมกะไบต์
หน่วยความจำฮาร์ดไดรฟ์	25 กิกะไบต์



รูปที่ 3-14 หน้าจัดการ Cloud Server

Chulalongkorn University



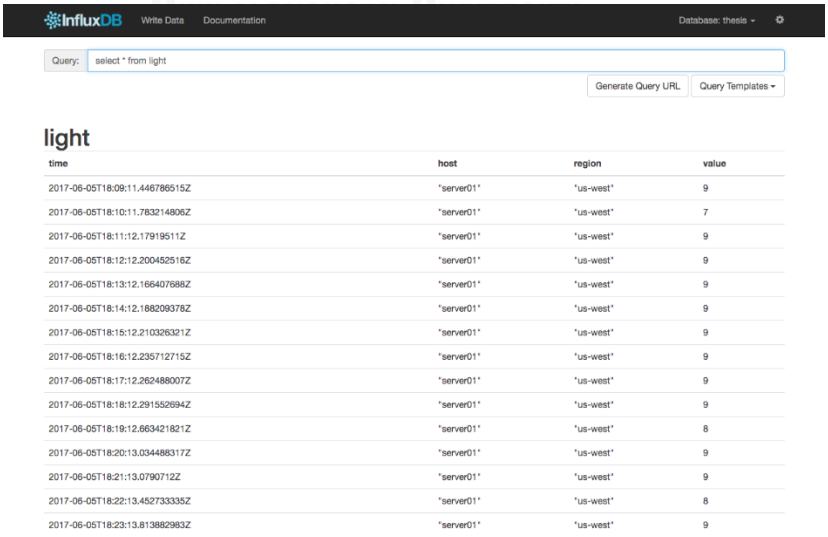
รูปที่ 3-15 ระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้

3.4.1 การออกแบบระบบฐานข้อมูล

ในส่วนของระบบฐานข้อมูลนั้นได้เลือกใช้ InfluxDB [14] โดยมีตราสัญลักษณ์ดังรูปที่ 3-15 InfluxDB เป็นซอฟแวร์ฐานข้อมูลที่เปิดเผยรหัสซึ่งถูกพัฒนาโดย InfluxData ด้วยภาษา Go ฐานข้อมูลนี้ยังสามารถรองรับการขยายเครื่องบริการเพื่อให้สามารถรองรับผู้ใช้งานได้มากขึ้นได้โดยง่าย

InfluxDB เป็นฐานข้อมูลที่เหมาะเหมาะสำหรับการจัดเก็บข้อมูลที่เรียงตามเวลาโดยเฉพาะ โดยจะมีคุณสมบัติที่สามารถจัดการข้อมูลที่เรียงตามเวลา เช่น การหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลในช่วงเวลาต่างๆ การหาค่าสูงสุด-ต่ำสุด และการหาค่าทางสถิติต่างๆ และสามารถสืบค้นข้อมูลได้ตามเวลาจริง นำไปใช้ในงานต่างๆ เช่น การตรวจสอบการดำเนินงาน การวัดแอพพลิเคชันข้อมูลอินเทอร์เน็ตของข้อมูลสิ่งต่างๆและการวิเคราะห์แบบเรียลไทม์ และยังมีคุณสมบัติเด่นที่สามารถลดพื้นที่การเก็บข้อมูลโดยทำการแปลงข้อมูลที่มีระยะเวลานานๆ ให้ลดการใช้ข้อมูลโดยการแปลงค่าเหล่านั้นให้เป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยโดยอัตโนมัติ โดยมีหน้าจอการจัดการฐานข้อมูลดังรูปที่ 3-16

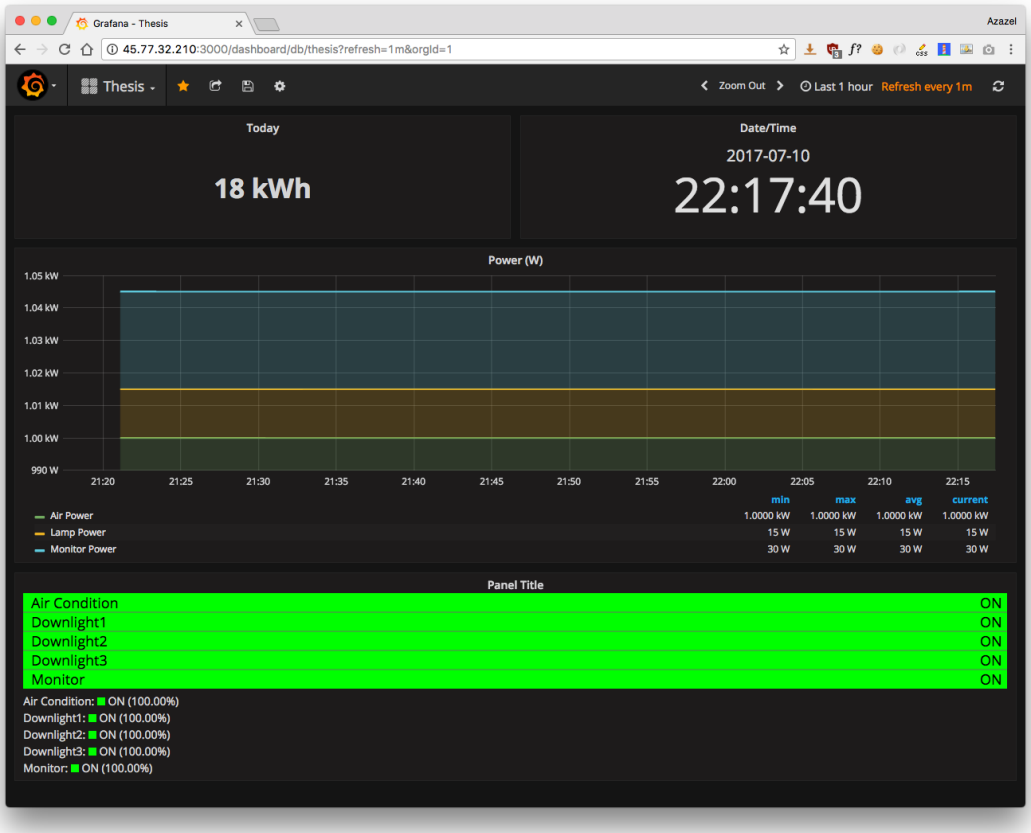
รูปที่ 3-16 ตราสัญลักษณ์ของ InfluxDB



รูปที่ 3-17 หน้าจอการจัดการฐานข้อมูล

3.4.2 การออกแบบระบบการมองข้อมูลด้วยกราฟ

เลือกใช้ Grafana [15] เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลเนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่ายและสามารถใช้งานคู่กับ InfluxDB ได้ง่าย และสามารถทำการคำนวณข้อมูลให้เป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละคาบเวลาแล้วนำไปวาดกราฟได้ และได้ออกแบบหน้าจอแสดงการใช้พลังงานดังรูปที่ 3-18



รูปที่ 3-18 หน้าจอแสดงการใช้พลังงาน

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

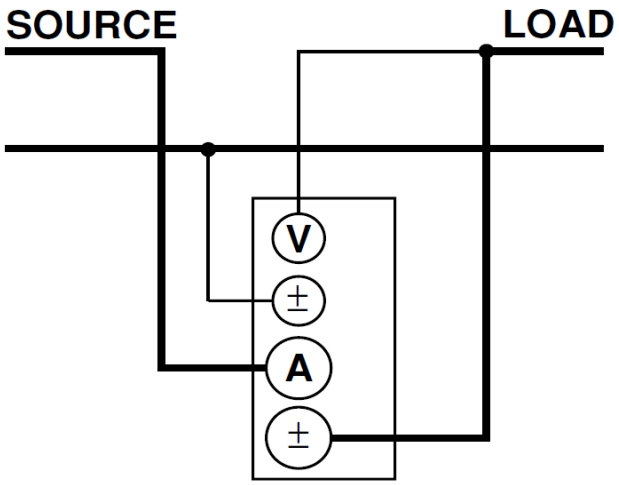
ในบทนี้ได้กล่าวถึงการทดลองโดยจะแบ่งเป็น 3 การทดลองคือ 1. การทดลองความแม่นในการตรวจจับหาหลอดไฟและชนิดของหลอดไฟ 2. การทดลองความแม่นในการตรวจจับสถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้า 3 ชนิด คือ หลอดไฟ เครื่องปรับอากาศ และจอมอนิเตอร์

4.1 การทดลองความแม่นในการตรวจจับหาหลอดไฟและชนิดของหลอดไฟ

เนื่องจากระบบเฝ้าสังเกตการใช้พลังงานไฟฟ้าใช้การวัดสถานะการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งเป็นการวัดแบบทุติยภูมิ เพื่อการคำนวณหาประสิทธิภาพโดยรวมของระบบจะใช้ความแม่นในการนำค่ากำลังงานของอุปกรณ์แต่ละตัวมาใช้วิเคราะห์การใช้พลังงาน จึงต้องมีการวัดเทียบเพื่อให้ได้กำลังงานที่แท้จริงของหลอดไฟมาใส่ในฐานข้อมูล

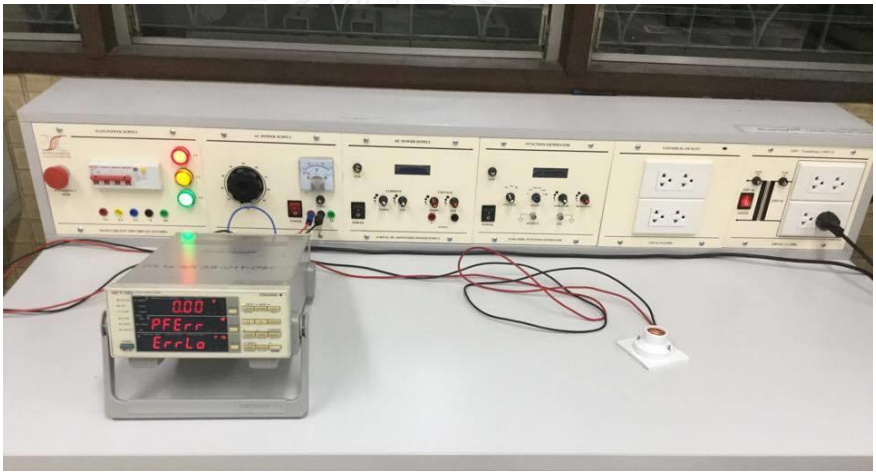
4.1.1 การทดลองวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของหลอดไฟ 9 ตัวอย่าง

ในการทดลองนี้ได้ใช้เครื่องมือวัดกำลังงาน Yogokawa WT110 ซึ่งสามารถวัดค่ากำลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ได้เช่น กำลังงานไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) มีหน่วยเป็น (W) , กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ(Reactive Power) มีหน่วยเป็นวาร์ (Var) ,กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) มีหน่วยเป็นวีเอ (VA) ซึ่งในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่กำลังไฟฟ้าจริงเนื่องจากเป็นส่วนที่มีผลต่อค่าใช้ไฟฟ้า การต่อวงจรทดสอบใช้วงจรในรูปที่ 4-1 และแสดงการต่อวงจรจริงดังรูปที่ 4-2 ในการทดลองได้จัดพื้นที่การทดลองดังในรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-1 Wiring Diagram ของเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า WT110

รูปที่ 4-2 การต่อสายของเครื่องมือวัดพลังงาน WT110



รูปที่ 4-3 การจัดพื้นที่ทดสอบการวัดกำลังไฟฟ้า

การทดลองได้นำหลอดไฟที่มีในท้องตลาดจำนวน 9 หลอด โดยมีคุณสมบัติดังตาราง ที่ 4-1 และมีผลการทดลองดังตารารงที่ 4-2 โดยคำนวณค่าความผิดพลาดจากสมการที่ 4-1

$$\%\text{ความผิดพลาด} = \left|\frac{\text{ค่าที่ได้จากบนฉลาก} - \text{ค่าที่ได้จากการวัดจริง}}{\text{ค่าที่ได้จากการวัดจริง}}\right| \times 100\% \qquad (4\text{-}1)$$

ตารางที่ 4-1 หลอดไฟที่ใช้ในการทดลอง

หมายเลขหลอด	รุ่นของหลอดไฟ	Lumen (Lm)	Color temp (k)
1	Sylvania Eco ToLEDo A60	400	2700
2	EVO OL-7W	-	6500
3	EVE LED A60 7W D	595	6500
4	Neo 9W Day Light 3U	500	6500
5	EVE LED A60 7W W	470	3000
6	EVE Standard 2U 14W	790	2700
7	Panasonic LED NEO 7W Cool Daylight	540	6500
8	Philips 25W clear Lustre shape	-	2700
9	Panasonic LED NEO 7W Warm White	480	3000
10	Panasonic Incandescent Lamp 60W	630	2700

ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองการวัดพลังงานที่วัดได้จริงจากหลัดไฟจาก 9 ตัวอย่าง

หมายเลขหลอด	กำลังงานบนฉลาก (วัตต์)	กำลังงานที่วัดได้ (วัตต์)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	5	4.6	8.7
2	7	5.5	27.27
3	7	7.3	4.29
4	9	7.6	18.42

5	7	6.8	2.94
6	14	16.6	15.66
7	7	6.8	2.94
8	25	23.3	7.3
9	7	6.8	2.94

4.1.2 การทดลองการความแม่นในการตรวจจับหาหลอดไฟ และชนิดของหลอดไฟ

ทดลองโดยการใช้หลอดไฟ 9 ตัวอย่างจากการทดลองที่ 4.1.1 ว่างห่างจากอุปกรณ์ที่ออกแบบระยะ 2 เมตร ภายในภาพมีหลอดไฟ 1 และ 4 หลอดดังรูปที่ 4-4 โดยมีผลการตรวจจับหาชนิดหลอดไฟที่ทำการทดลองที่ภาพละ 1 หลอดดังตารางที่ 4-3 และทดลองที่ภาพละ 4 หลอดได้ผลตารางที่ 4-4

รูปที่ 4-4 ภาพหลอดไฟที่ได้ทำการทดลอง

ตารางที่ 4-3 ผลการทดลองความแม่นในการตรวจจับหาชนิดของหลอดไฟ ทดลองทีละ 1 หลอด

หมายเลขหลอด	หมายเลขหลอดที่ตรวจจับได้	% ค่าความผิดพลาด
1	1	0
2	2	0
3	3	0
4	4	0
5	9	100
6	6	0
7	7	0
8	8	0
9	9	0

ตารางที่ 4-4 ผลการทดลองความแม่นในการตรวจจับหาชนิดของหลอดไฟ ทดลองทีละ 4 หลอด

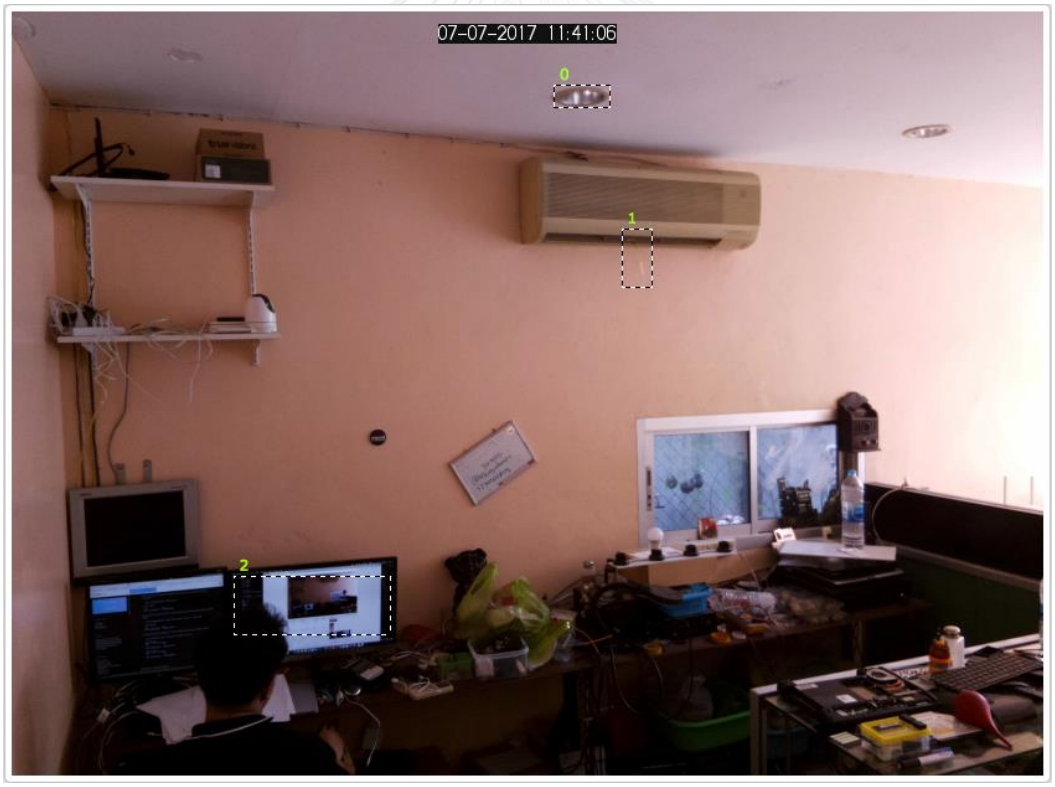
หมายเลขหลอด				หมายเลขหลอดที่ตรวจจับได้				% ค่าความผิดพลาด
8	6	4	2	8	6	4	2	0
8	3	7	1	8	1	3	1	50
8	6	1	5	8	6	1	9	25
4	2	7	3	4	2	3	3	25
9	5	7	3	9	1	3	3	50
5	1	7	9	1	1	1	7	75

จากผลการทดลองตารางที่ 4-3 จะเห็นว่าสามารถตรวจจับหาชนิดหลอดไฟได้ความแม่น 88% และสาเหตุที่ตรวจจับผิดพลาดเนื่องจากหลอดไฟหมายเลข 5 และหลอดไฟหมายเลข 9 มีขนาดและสีของหลอดไฟใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4-5

รูปที่ 4-5 หลอดไฟหมายเลข 5 และหมายเลข 9

4.2 การทดลองวัดความแม่นในการตรวจจับสถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้า

การทดลองนี้ได้ทำการทดลองกับห้องที่ดังรูปที่ 4-5 โดยจะทำการตรวจจับสถานะเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 3 ชนิด คือ หลอดไฟโคมดาวไลท์ที่ใช้หลอด LED 5W เครื่องปรับอากาศขนาด 12000BTU โดยตั้งค่าการสวิง และจอมอนิเตอร์ขนาด 23 นิ้ว โดยจะทำการเปลี่ยนสถานะทุกๆ 2 ชั่วโมง ซึ่งจะรวมเป็นการประมวลผลทั้งหมด 960 รอบ ได้ผลดังตารางที่ 4-6



รูปที่ 4-6 สถานที่ที่ใช้ทำการทดลอง

ตารางที่ 4-5 สถานะเครื่องใช้ไฟฟ้าเทียบกับการตรวจจับที่ได้จากอุปกรณ์ในช่วงเวลา 16 ชั่วโมง

สถานะเครื่องใช้ไฟฟ้า			ความแม่นในการตรวจจับสถานะ (%)		
เครื่องปรับอากาศ	หลอดไฟ	จอมอนิเตอร์	เครื่องปรับอากาศ	หลอดไฟ	จอมอนิเตอร์
ปิด	ปิด	ปิด	95.8	100	100
ปิด	ปิด	เปิด	95.8	100	98.33
ปิด	เปิด	ปิด	97.5	100	100
ปิด	เปิด	เปิด	97.5	100	98.33
เปิด	ปิด	ปิด	95.8	100	100
เปิด	ปิด	เปิด	95.8	100	98.33
เปิด	เปิด	ปิด	97.5	100	100
เปิด	เปิด	เปิด	97.5	100	98.33

จากผลการทดลองจะเห็นว่าการตรวจจับสถานะเครื่องปรับอากาศในช่วงที่เปิดหลอดไฟ จะมีค่าความแม่นในการตรวจจับสถานะมากกว่าช่วงที่ปิดไฟ เนื่องจากการประมวลผลภาพจำเป็นต้องใช้แสงสว่างที่มากพอ จึงจะทำการตรวจจับได้ดี

จากผลการทดลองจะเห็นว่าการตรวจจับสถานะจอมอนิเตอร์มีความผิดพลาดเกิดขึ้น เนื่องจากการตรวจจับสถานะมอนิเตอร์จะตรวจจับในช่วงสีดำ ในระหว่างใช้งานอาจจะมีภาพสีดำทั้งจอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
ข้อสรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอทางเลือกในการเฝ้าสังเกตการณ์ใช้งานไฟฟ้าภายในอาคารโดยเน้นไปที่การติดตั้งที่สะดวกง่ายดาย ไม่ต้องใช้ความชำนาญในการติดตั้ง เป็นระบบเฝ้าสังเกตการณ์ที่ไม่จำเป็นต้องดัดแปลงระบบไฟฟ้าและอาคารที่มีอยู่แล้ว ยังผลให้สามารถเข้าถึงผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นการการตระหนักถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

จากระบบที่นำเสนอผู้วิจัยได้เริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลหลอดไฟโดยการถ่ายภาพ และวัดค่าการใช้พลังงานของหลอดแต่ละชนิด เพื่อนำมาเป็นข้อมูลให้ระบบปัญญาประดิษฐ์ได้เรียนรู้ในการแยกแยะชนิดของหลอด ซึ่งใช้ในการระบุพลังงานของหลอดไฟที่พบได้อย่างอัตโนมัติทั้งนี้หากระบบแยกแยะชนิดหลอดแบบอัตโนมัติไม่ได้ในบางกรณีผู้ใช้สามารถใส่ค่าอัตราการใช้พลังงานของแต่ละหลอดได้เอง

จากการทดสอบการวัดค่ากำลังงานการใช้ไฟฟ้าของหลอดไฟแต่ละชนิดเทียบกับค่าที่ระบุที่ฉลากนั้นพบว่ามีความคาดเคลื่อนอยู่ประมาณ 30% ซึ่งถือว่าค่อนข้างเยอะในงานวิจัยนี้จึงใช้ค่าที่วัดจริงใส่ในฐานข้อมูลแทนค่าที่มีในฉลาก

จากการทดลองความแม่นในการตรวจจับสถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้าเราสามารถสรุปได้ว่าในทุกๆสถานะสามารถวัดสถานะหลอดไฟได้ความแม่น 100% ในสภาวะที่เปิดไฟสามารถวัดสถานะเครื่องปรับอากาศได้ความแม่น 99% ส่วนจอมอนิเตอร์สามารถวัดสถานะตอนปิดได้ความแม่น 100%

5.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ชุดเฝ้าสังเกตการการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่ติดตั้งง่าย
2. หน้าเว็บสำหรับสรุปข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า พร้อมทั้งกราฟการใช้พลังงานแบบเวลาจริง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากระบบเป็นข้อมูลทุติยภูมิซึ่งทำให้ไม่สามารถระบุค่าที่แม่นได้ ซึ่งหากหลอดไฟที่ใช้ไม่ได้อยู่ในฐานข้อมูลการวัดพลังงานจริงจะทำให้ค่าพลังงานที่อ่านได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ประมาณ 30% เพื่อความแม่นที่มากขึ้นทางผู้วิจัยเสนอให้นำข้อมูลจาก

มิเตอร์วัดพลังงานของห้องหรืออาคารนั้น ๆมาเป็น ข้อมูลในการปรับปรุงค่าการบริโภคพลังงานด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์อีกช่องทางหนึ่ง

2. สามารถพัฒนาเพิ่มเติมให้ตรวจสอบการเสื่อมสภาพของหลอดไฟเช่นอัตราการส่องสว่างที่ลดลง หรือ หลอดขาด จากการวัดความเข้มแสงแต่ละหลอดและ ดูสถานะว่าหลอดขาดหรือไม่จากการตรวจจับสวิตซ์ไฟ
3. สามารถพัฒนาเพิ่มเติมให้เก็บอายุการใช้งานของหลอดแต่ละหลอดเพื่อการวางแผนดูแลรักษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. S, R.d., et al., *Time-of-Use Tariff Design Under Uncertainty in Price-Elasticities of Electricity Demand: A Stochastic Optimization Approach.* IEEE Transactions on Smart Grid, 2013. **4**(4): p. 2285-2295.
2. Xiaohong, H., et al. *Smart meter deployment optimization for efficient electrical appliance state monitoring*. in *Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2012 IEEE Third International Conference on*. 2012.
3. *OpenEnergyMonitor*. [cited 2015 23 June]; Available from: http://openenergymonitor.org/emon/.
4. *Home Of Energy Monitors, Electricity Meters, Power Display*. [cited 2015 23 June]; Available from: http://efergy.com/.
5. Morsali, H., et al. *Smart plugs for building energy management systems*. in *Smart Grids (ICSG), 2012 2nd Iranian Conference on*. 2012.
6. *The Energy Detective Electricity Monitor*. [cited 2015 23 June]; The Energy Detective (TED) is an electricity monitor that will help lower your electricity bill by providing real-time data on a wireless display and interactive software. For use with residential and commercial applications.]. Available from: http://www.theenergydetective.com/.
7. *Eco-Eye | Real Time Electricity Monitors | UK*. [cited 2015 23 June]; Designers and Manufacturers of Eco-Eye, real time electricity monitors made in Britain designed to help reduce energy consumption and save money.]. Available from: http://www.eco-eye.com/.
8. *Onset HOBO Data Logger*. [cited 2015 23 June]; Onset HOBO energy water monitoring applications, field research data loggers, environmental weather stations, HOBO data loggers, Onset Computer Corporation]. Available from: http://www.onsetcomp.com/.
9. *Ecoisme - energy saving has never been so easy*. [cited 2015 23 June]; Available from: https://ecois.me/en.

10. Kim, Y., et al., *ViridiScope: design and implementation of a fine grained power monitoring system for homes*, in *Proceedings of the 11th international conference on Ubiquitous computing*. 2009, ACM: Orlando, Florida, USA. p. 245-254.
11. *OpenCV library*. July 19, 2017]; Available from: http://opencv.org/.
12. *TensorFlow*. Available from: https://www.tensorflow.org/.
13. *Vultr*. July 18, 2017]; High Performance SSD Cloud.]. Available from: https://www.vultr.com/.
14. InfluxData. *InfluxDB*. July 18, 2017]; InfluxData (InfluxDB) | Time Series Database Monitoring Metrics & Events]. Available from: https://www.influxdata.com/.
15. *Grafana Labs*. July 18, 2017]; Grafana - The open platform for analytics and monitoring]. Available from: https://grafana.com/.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศรัณยู ชมภูพล เกิดเมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดอุตรดิตถ์ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือปีกาศึกษา 2555 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University