0143.98734pt

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือนที่เป็นไปตามโพรโทคอล HomeKit และ ECHONET Lite

นายอธิวัฒน์ ภูชำนิพัฒนนันท์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEM CONFORMING TO HOMEKIT AND ECHONET LITE PROTOCOLS

Mr. Athiwat Phuchamniphatthananun

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2019
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือนที่เป็นไปตามโพรโทคอล HomeKit และ ECHONET Lite
โดย	นายอธิวัฒน์ ภูชำนิพัฒนนันท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเฉลิม โปรา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรีย์ พุ่มรินทร์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเฉลิม โปรา)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.อมร จิรเสรีอมรกุล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อธิวัฒน์ ภูชำนิพัฒนนันท์: ระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือนที่เป็นไปตามโพรโทคอล HomeKit และ ECHONET Lite (A HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEM CONFORMING TO HOMEKIT AND ECHONET LITE PROTOCOLS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.วันเฉลิม โปรา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือนซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมคำนวณแบบ รวมศูนย์ ประกอบด้วยคอนโทรลเลอร์ 1 ตัวและเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน 4 ชนิด ได้แก่ ตู้เย็น หลอดแอลอีดี เครื่องทำน้ำอุ่น และเครื่องปรับอากาศ โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดถูกปรับปรุงและพัฒนาให้กลายเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดที่สามารถสื่อสารแบบไร้สายผ่านโพรโทคอล ECHONET Lite ร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ ในโพรโทคอลเดียวกันได้ นอกจากนี้ยังนำเสนอการพัฒนาเกตเวย์สำหรับสื่อสารกับอุปกรณ์หรือตัวแทนปัญญาที่ใช้โพรโทคอลอื่น ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเกตเวย์สำหรับสื่อสารกับโพรโทคอล HomeKit

การปรับปรุงและพัฒนาตู้เย็นและหลอดแอลอีดีเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดทำได้โดยการศึกษาการทำงานของวงจรควบคุมและส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ของเครื่องใช้ไฟฟ้า จากนั้นออกแบบวงจรควบคุมใหม่โดยสามารถทำงานร่วมกับส่วนประกอบของเครื่องใช้ไฟฟ้าเดิมได้ จากนั้นแทนที่วงจรควบคุมด้วยวงจรที่ออกแบบขึ้น โดยให้มีการดัดแปลงวัสดุโครงสร้างเท่าที่จำเป็น เครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดสามารถทำงานได้ตามฟังก์ชันการทำงานปกติเมื่อไม่ได้เชื่อมต่อกับเครือข่าย และจะมีความสามารถเกี่ยวกับการเพิ่มประโยชน์ใช้สอยหรือการประหยัดพลังงานมากขึ้นเมื่อสามารถรับ/ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไปยังคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผลและสั่งการได้

เครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดทำงานโดยการประโยชน์ใช้สอยให้มากที่สุด ไม่ใช้พลังงานอย่างสูญเปล่า อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องถูกนำมาใช้เพื่อทดสอบการติดต่อสื่อสารระหว่างตู้เย็นชาญฉลาดและคอนโทรลเลอร์ด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานของตู้เย็นลงได้อย่างน้อย 6.38% และลดช่วงเวลาการเก็บรักษาอาหารในอุณหภูมิที่สูงเกินไปได้อย่างน้อย 33.54% ซึ่งผู้ใช้งานสามารถประนีประนอมระหว่างช่วงเวลาในการเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิอุ่นเกินไปให้สูงขึ้นแลกกับการลดการใช้พลังงานลงได้อีก หรือการทำงานเพื่อลดค่าไฟฟ้าเนื่องจากการคิดค่าไฟฟ้าด้วยอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ หรือเข้าร่วมมาตรการความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้า สำหรับการทำงานของหลอดแอลอีดีนั้น ตัวควบคุมสามารถเรียนรู้การเลือกความสว่างที่เหมาะสมได้

ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อนิสิต ....
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ....
ปีการศึกษา	2562	

6070424621: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEYWORDS: HEMS / DEMAND RESPONSE / HOMEKIT / ECHONET LITE / SMART HOME / HOME AUTOMATION

ATHIWAT PHUCHAMNIPHATTHANANUN: A HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEM CONFORMING TO HOMEKIT AND ECHONET LITE PROTOCOLS. ADVISOR: ASST.PROF. WANCHALERM PORA, Ph.D.

This thesis proposes a centralized home energy management system (HEMS) consisting of a HEMS controller and four smart appliances, namely, a domestic refrigerator, an LED light fixture, a water heater and an air-conditioner which are improved with wireless communication capability conforming to ECHONET Lite protocol. An ECHONET Lite/HomeKit gateway is also presented in the thesis to demonstrate a heterogeneous network, that is, a communication between devices with different network protocols.

An improvement of a domestic refrigerator and an LED light fixture is done by inspection of an original control circuit and designs a new control circuit with wireless capability as well as compatibility with the existing peripherals to substitute the original one, where the enclosure is left intact or modified as much as necessary. The improved smart appliance functionality remains the same when working offline and its utility or efficiency will be enhanced when operating online with HEMS controller.

A smart appliance aims to maximize its utility, namely, its usefulness regarding to its energy consumption. A simple machine learning algorithm is implemented in the HEMS controller to control the ECHONET Lite-based smart domestic refrigerator. The result demonstrates that the refrigerator can achieve 6.38% less energy consumption for refrigeration cycle and 7.18% for defrost cycle. Users can set the priority to either utility or power saving according to time-of-use rate or demand response. The conversion of non-dimmable LED light fixture to the dimmable one is also shown in this thesis.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Electrical Engineering Student's Signature ....
Field of Study: Electrical Engineering Advisor's Signature ....
Academic Year: 2019

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนต้องขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเฉลิม โปรา (อาจารย์โป๊ป) อาจารย์ที่ปรึกษาของผู้เขียน นับว่าเป็นความโชคดีอย่างมากของผู้เขียนที่ได้เป็นนิสิตในที่ปรึกษา แม้ว่าในระหว่างทางผู้เขียนประสบปัญหาทั้งที่ตนเองเป็นต้นเหตุหรือไม่ใช่ก็ตาม ในวันที่ผู้เขียนรู้สึกหดหู่ สิ้นหวัง อาจารย์ยังคงหยิบยื่นโอกาสและช่วยหาทางออกให้กับปัญหาโดยที่ผู้เขียนเองก็ไม่คาดคิดว่าจะได้รับ

นอกจากนี้ ผู้เขียนต้องขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำห้องปฏิบัติการฯ ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรีย์ พุ่มรินทร์ อาจารย์บุญช่วย ทรัพย์มนชัย และรองศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย ลีลารัศมี ที่คอยสนับสนุน ให้คำปรึกษา รวมทั้งวิธีแก้ปัญหาในระหว่างที่ผู้เขียนใช้ชีวิตในห้องปฏิบัติการฯ และ ดร. อมร จิรเสรีอมรกุล (อาจารย์ตี้) ที่ตอบรับและให้ความอนุเคราะห์ร่วมเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และช่วยให้คำปรึกษาและคำแนะนำเกี่ยวกับงานประชุมวิชาการ

ขอขอบคุณพี่จู ปิยะวรรณ มะธิปิไข สำหรับความช่วยเหลือในทุก ๆ เรื่องโดยเฉพาะเรื่องการเบิกจ่ายงบประมาณที่ทำให้ผู้เขียนทำงานได้อย่างรวดเร็วและไม่ขาดสภาพคล่องทางการเงิน ขอขอบคุณพี่ตั้ม พงษ์พจน์ ชัยบุญเรือง พี่ฝ้าย อานนท์ หม้อสุวรรณ และพี่ชิว สราวุฒิ เดชจรัส สำหรับคำปรึกษาและการแก้ปัญหาด้านเทคนิค ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ร่วมรุ่นอย่างพี่ปูน ยานู ปันน์ ที่อยู่เป็นเพื่อนคู่คิดตลอดที่ผู้เขียนศึกษาและดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณรุ่นพี่ในแล็บอย่างพี่อาร์ม พี่พริก พี่ก็อต จิต กุ สำหรับคำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์กับผู้เขียน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก อาจารย์ที่ปรึกษา ทุนสนับสนุนการไปนำเสนอผลงานวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ข

กิตติกรรมประกาศ ค

สารบัญ ง

สารบัญรูป ซ

สารบัญตาราง ฏ

1 บทนำ **1**

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.1.1 แนวโน้มความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้น 1

1.1.2 การเข้าสู่สังคมสูงอายุ 1

1.1.3 ความสามารถในการทำงานระหว่างระบบที่ใช้โพรโทคอลในการสื่อสารต่างกัน . . 2

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์ 3

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์ 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย 4

1.5.1 ขั้นตอนและกรอบเวลาการดำเนินงาน 4

1.5.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย 4

2 การทบทวนวรรณกรรม **6**

2.1 การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น 6

2.1.1 การทำความเย็นของตู้เย็น 6

2.1.2 การละลายน้ำแข็งแบบปรับตัว 7

2.2 การสื่อสารสำหรับบ้านชาญฉลาด 8

2.2.1 ตัวกลางในการสื่อสาร 8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.2 โพรโทคอลในการสื่อสาร 8

2.3 ระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือน 9

2.3.1 ระบบแต้มคะแนนสำหรับกำหนดสิทธิ์ในการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า 10

2.3.2 การรู้จำรูปแบบการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าจากองค์ประกอบกำลัง 11

3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 12

3.1 แบบจำลองของการสื่อสารด้วยมาตรฐาน ECHONET Lite 12

3.1.1 ชั้นประยุกต์ใช้งาน 12

3.1.2 ชั้นการนำเสนอและชั้นช่วงเวลา 14

3.1.3 ชั้นขนส่ง 15

3.2 สถาปัตยกรรมระบบของ ECHONET Lite 16

3.2.1 โหนด 17

3.2.2 ออบเจ็กต์ ECHONET Lite 18

3.2.3 คุณสมบัติของออบเจ็กต์อุปกรณ์ 18

3.2.4 เซอร์วิสของ ECHONET Lite 19

3.3 ระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือน 20

3.4 โพรโทคอลอุปกรณ์ HomeKit 21

3.4.1 ชนิดของอุปกรณ์บนโพรโทคอล HomeKit 22

3.4.2 การสื่อสารและความปลอดภัย 22

3.4.3 เซอร์วิสของ HomeKit 23

3.5 การทำงานของตู้เย็น 23

3.5.1 อุณหพลศาสตร์ของตู้เย็น 24

3.5.2 ประสิทธิภาพของตู้เย็น 26

3.6 การเรียนรู้ของเครื่อง 26

3.6.1 การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง 27

4 การบริหารจัดการพลังงานสำหรับครัวเรือน 30

4.1 ประโยชน์ใช้สอยกับการใช้พลังงานไฟฟ้า 30

4.2 แบบแผนในการจัดการพลังงานครัวเรือน 32

5 สถาปัตยกรรมระบบ 33

5.1 ฮาร์ดแวร์ 34

5.1.1 แหล่งจ่ายไฟ 35

5.1.2 การวัดกำลังไฟฟ้า 35

5.1.3 ส่วนต่อประสานระหว่างมนุษย์และเครื่องจักร 36

5.1.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ไร้สาย 36

5.1.5 ตัวรับรู้ 36

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.1.6 สวิตช์ที่สามารถควบคุมได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า 38
5.2 เฟิร์มแวร์ 38
5.2.1 ส่วนต่อประสานระหว่างมนุษย์และเครื่องจักร 38
5.2.2 การควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด 39
5.2.3 การจัดการพลังงาน 39
5.2.4 การอ่านค่าจากตัวรับรู้ 40
5.2.5 การเชื่อมต่อไวไฟ 40
5.2.6 มิดเดิลแวร์สำหรับการสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite 40
5.3 ส่วนต่อประสาน 41
5.4 เครือข่าย 42

6 เครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด **46**
6.1 ตู้เย็นชาญฉลาดที่เป็นไปตามมาตรฐาน ECHONET Lite/HomeKit 47
6.1.1 การทำงานของตู้เย็นก่อนการปรับปรุง 47
6.1.2 การปรับปรุงและพัฒนาให้เป็นตู้เย็นชาญฉลาด 48
6.1.3 อุณหภูมิในการถนอมอาหาร 49
6.1.4 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้เย็น 50
6.1.5 ตัวรับรู้อุณหภูมิไร้สาย 51
6.1.6 การประเมินประโยชน์ใช้สอยของตู้เย็น 53
6.1.7 ฮาร์ดแวร์และการกระทำที่ตู้เย็นกระทำได้ 53
6.1.8 การละลายน้ำค้างแข็ง 54
6.1.9 การสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite/HomeKit 55
6.2 หลอดไฟฉลาดที่เป็นไปตามมาตรฐาน ECHONET Lite 56
6.2.1 การทำงานของหลอดไฟก่อนการปรับปรุง 56
6.2.2 การปรับปรุงและพัฒนาให้เป็นหลอดไฟชาญฉลาด 56
6.2.3 ความสว่างกับการใช้พลังงานของหลอดแอลอีดี 57
6.2.4 การสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite/HomeKit 58
6.3 เครื่องทำน้ำอุ่นชาญฉลาด 59
6.3.1 การสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite/HomeKit 59
6.3.2 การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำอุ่น 60
6.4 รีโมทควบคุมเครื่องปรับอากาศ 62
6.4.1 การสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite/HomeKit 63

7 บทสรุป **64**
7.1 สรุปผลการดำเนินงาน 64
7.2 ระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือน 64

7.3 เครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด 65
7.3.1 ตู้เย็นชาญฉลาด 65
7.3.2 หลอดแอลอีดีชาญฉลาด 65
7.3.3 เครื่องทำน้ำอุ่น 66
7.3.4 เครื่องปรับอากาศ 66
7.4 แนวทางในการพัฒนาต่อ 67
7.4.1 ระบบบ้านอัตโนมัติ 67
7.4.2 การนำปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้ของเครื่องมาใช้บนคอนโทรลเลอร์ 67
7.4.3 ความปลอดภัยและสิทธิในการเข้าถึงของผู้ใช้งาน 67

บรรณานุกรม **68**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูป

1.1 สถิติความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในประเทศไทย [1] 2

1.2 แผนภูมิแกนต์แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ 5

2.1 การสะสมของน้ำค้างแข็งบนคอยล์เย็นขณะที่คอมเพรสเซอร์ของตู้เย็นทำงาน (a) เมื่อคอมเพรสเซอร์เริ่มต้นทำงาน (b) เมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงานเป็นเวลานาน 7

2.2 รูปแบบการให้พลังงานขดลวดความร้อนที่ใช้ในการละลายน้ำแข็ง (a) ให้พลังงานแบบคงตัวช่วงเวลาหนึ่ง (b) ให้พลังงานเป็นรูปสัญญาณพัลส์ (c) ให้พลังงานสูงที่สุดแล้วค่อย ๆ ลดการให้พลังงานทีละขั้น 8

2.3 แบบแผนความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน [2] 10

2.4 แบบแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ 11

3.1 แบบจำลองโอเอสไอและตัวอย่าง 13

3.2 เฮดเดอร์กับเพย์โหลดของข้อมูลของแต่ละลำดับชั้น 13

3.3 มิดเดิลแวร์ของมาตรฐาน ECHONET Lite บนแบบจำลองโอเอสไอ 14

3.4 รูปแบบเฟรมข้อความของ ECHONET Lite 15

3.5 โพรโทคอลการสื่อสารในชั้นขนส่ง (a) โพรโทคอล TCP (b) โพรโทคอล UDP 16

3.6 แผนภาพแสดงการสื่อสารระหว่างโหนดภายในระบบประยุกต์ใช้งานและโดเมน 17

3.7 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าเข้ากับโดเมนในโพรโทคอล ECHONET Lite (a) เครื่องปรับอากาศ Full ECHONET Lite (b) ตู้เย็น non-ECHONET Lite เชื่อมต่อเข้ากับ ECHONET Lite มิดเดิลแวร์อแดปเตอร์ 17

3.8 การทำงานของเซอร์วิสการอ่านข้อมูลอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้จากเครื่องปรับอากาศ 20

3.9 การทำงานของเซอร์วิสการอ่านข้อมูลอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้จากเครื่องปรับอากาศ 20

3.10 การใช้งาน HEMS สำหรับมาตรการ DR (a) กำหนดเพดานและจำกัดการใช้พลังงาน (b) ใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (c) กระจายช่วงเวลาของการใช้พลังงาน 21

3.11 การใช้งานอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดร่วมกับโพรโทคอล HomeKit (a) การเรียกใช้งาน Siri ผ่านการสั่งการด้วยเสียง (b) การควบคุมอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดด้วยแอปบ้าน 21

3.12 แผนภาพบล็อคการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์บนโพรโทคอล HomeKit 23

3.13 การถ่ายเทความร้อนและพลังงานเป็นไปอย่างมีทิศทาง (a) ความร้อนถ่ายเทจากแก้วกาแฟไปยังสภาพแวดล้อม (b) การให้ความร้อนกับตัวต้านทานไม่ทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้า 25
3.14 (a) ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (b) ระบบทำความเย็นในตู้เย็น 25
3.15 (a) วัฏจักรในระบบทำความเย็น (b) ทิศทางของงานและการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการทำความเย็น 26
3.16 เปรียบเทียบรูปแบบของปัญญาประดิษฐ์ (a) ปัญญาประดิษฐ์แบบการใช้กฎเป็นฐาน (b) ปัญญาประดิษฐ์แบบการเรียนรู้ของเครื่อง 27
3.17 แผนภาพบล็อคของการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง 28
3.18 แผนภาพต้นไม้ของสถานะ การกระทำ และรางวัลก่อนการสำรวจ 29
3.19 แผนภาพต้นไม้ของสถานะ การกระทำ และรางวัลหลังการสำรวจ แสดงเส้นทางละโมบและเส้นทางเหมาะที่สุด 29

4.1 ภาพเปรียบเทียบการใช้งานหลอดไฟ (a) วัดความสว่างได้ 54.4 lux เมื่อปิดไฟ (b) วัดความสว่างได้ 405 lux เมื่อเปิดไฟ 31
4.2 การประเมินประโยชน์ใช้สอยของเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด (a) แบบมีปฏิสัมพันธ์วัตถุอื่นที่ไม่ใช่ผู้อาศัย (b) แบบมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อาศัย 32

5.1 สถาปัตยกรรมระบบประมวลผลข้อมูลแบบรวมศูนย์ 33
5.2 แผนภาพบล็อคของวงจรควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด 34
5.3 แผ่นวงจรพิมพ์ที่เป็นวงจรควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด (ไม่มีตัวรับรู้) 34
5.4 (a) ภาวะไฟฟ้าตกของไฟเลี้ยงไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อเชื่อมต่อไวไฟ (b) การใช้ตัวเก็บประจุต่อคร่อมกับแหล่งจ่ายไฟของไมโครคอนโทรลเลอร์ไร้สายเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดภาวะไฟตก 35
5.5 แผนภาพบล็อคแสดงการทำงานของตัวรับรู้กระแสเชิงเส้น 36
5.6 ส่วนต่อประสานระหว่างมนุษย์และเครื่องจักรที่เป็นอุปกรณ์อินพุต (a) สวิตช์กระดก (b) สวิตช์ปุ่มกดชั่วขณะ (c) สวิตช์สัมผัส (d) สวิตช์เอ็นโคดเดอร์แบบหมุนได้รอบ 37
5.7 โมดูลไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ที่นำมาใช้ 37
5.8 การทำงานของสวิตช์ที่สามารถควบคุมได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า (a) การควบคุมระดับการทำงานด้วยการกล้ำความกว้างของพัลส์ (b) การควบคุมเฟสด้วยตัวเรียงกระแสชนิดควบคุมด้วยซิลิคอน 38
5.9 กองซ้อนบนระบบปฏิบัติการเวลาจริงของเฟิร์มแวร์ควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด 39
5.10 ผังงานแสดงการเริ่มต้นทำงานของโหนด 41
5.11 ข้อความ ECHONET Lite ที่อุปกรณ์ส่งไปยังออบเจ็กต์โพรไฟล์เมื่อเริ่มทำงาน 42
5.12 ผังงานแสดงการประมวลผลข้อความ ECHONET Lite 43

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.13 แผนภาพบล็อคแสดงการเปลี่ยนสถานะการทำงานของตัวประมวลผลข้อความ ECHONET Lite . . . 43
5.14 ระบบอย่างง่ายสำหรับทดสอบอุปกรณ์ว่าสามารถสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite ได้ . . . 44
5.15 แพคเก็ตมอนิเตอร์แสดงการตอบกลับจากอุปกรณ์ที่เป็นไปตามมาตรฐาน ECHONET Lite 44
5.16 ส่วนต่อประสานระหว่างเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดกับมนุษย์และเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดกับเครื่องจักร . . . 44
5.17 อุปกรณ์ในระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือนที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ . . . 45

6.1 การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องใช้ไฟฟ้าให้เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด . . . 46
6.2 ตู้เย็น MITSUBISHI รุ่น MR-FV22 ที่ถูกนำมาปรับปรุงและพัฒนา . . . 47
6.3 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนสถานะการทำงานของตู้เย็นก่อนการปรับปรุง . . . 48
6.4 กราฟแสดงสัญญาณควบคุมคอมเพรสเซอร์ ขดลวดความร้อนสำหรับละลายน้ำแข็งและอุณหภูมิที่วัดได้ . . . 48
6.5 แผนภาพบล็อคแสดงการทำงานของตู้เย็นก่อนการปรับปรุง . . . 49
6.6 แผนภาพบล็อคแสดงการทำงานของตู้เย็นชาญฉลาด . . . 50
6.7 วงจรสำหรับควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็น (a) วงจรควบคุมการทำงานของตู้เย็นเดิม (b) วงจรควบคุมการทำงานของตู้เย็นที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ . . . 50
6.8 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการถนอมอาหาร (a) ช่องแช่เย็น (b) ช่องแช่แข็ง . . . 51
6.9 กราฟแสดงอุณหภูมิของช่องแช่เย็นเทียบกับเวลาและการทำงานของคอมเพรสเซอร์เทียบกับเวลา (a) $T_{Rth} = 0.5$°C (b) $T_{Rth} = 1.0$°C [3] . . . 51
6.10 (a) ส่วนประกอบตัวรับรู้อุณหภูมิไร้สาย (b) การใช้งานตัวรับรู้อุณหภูมิไร้สาย . . . 52
6.11 แผนภาพบล็อคแสดงการใช้งานอุณหภูมิที่วัดได้จากตัวรับรู้อุณหภูมิไร้สาย . . . 52
6.12 การประเมินประโยชน์ใช้สอยของตู้เย็น . . . 54
6.13 อุปกรณ์ของระบบทำความเย็นภายในตู้เย็น (a) คอมเพรสเซอร์ (b) พัดลมคอยล์เย็น (c) ขดลวดความร้อนสำหรับละลายน้ำแข็ง . . . 54
6.14 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของตัวรับรู้ไร้สายที่เก็บในช่องแช่เย็นเทียบกับเวลาระหว่างตัวควบคุมเดิมกับตัวควบคุมที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ . . . 55
6.15 วงจรของหลอดไฟแอลอีดีแบบผสม . . . 57
6.16 ส่วนประกอบภายในหลอดไฟที่เลือกใช้ (a) แผ่นวงจรของหลอดไฟซึ่งทำมาจากแผ่นวงจรพิมพ์และไดโอดเปล่งแสง (b) วงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับขับหลอดไฟ . . . 58
6.17 แผนภาพบล็อคแสดงการทำงานของหลอดไฟก่อนการปรับปรุง . . . 58
6.18 แผนภาพบล็อคแสดงการทำงานของหลอดไฟชาญฉลาด . . . 59
6.19 การจัดอุปกรณ์สำหรับการทดลองความสว่างกับการใช้พลังงานของหลอดแอลอีดี . . . 59
6.20 การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำอุ่นใน 1 วัน . . . 61
6.21 การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำอุ่นเป็นเวลา 3 สัปดาห์ . . . 62

6.22 เครื่องทำน้ำอุ่นได้ถูกติดตั้งในห้องอาบน้ำอาคารปฏิบัติการ ESID 62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

3.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างโพรโทคอล TCP และ UDP 16
3.2 กลุ่มของอุปกรณ์ตามมาตรฐาน ECHONET Lite [4] 18
3.3 EOJ ของอุปกรณ์ ECHONET Lite ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ [4] [5] 18
3.4 EPC ที่จำเป็นต้องระบุสำหรับอุปกรณ์ ECHONET Lite ทุกตัว 19
3.5 EPC ที่จำเป็นต้องระบุเพิ่มจากตารางที่ 3.4 สำหรับอุปกรณ์ชนิด home air conditioner . 19
3.6 HAP Accessory Information Service [6] 23

5.1 สถานะการทำงานของของตัวประมวลผลข้อความ ECHONET Lite 41
5.2 อุปกรณ์ทั้งหมดในระบบบริหารจัดการพลังงาน 45

6.1 คุณสมบัติของตู้เย็นที่ใช้ในการทดลอง 49
6.2 สถานะของอุณหภูมิช่องเก็บของในตู้เย็นและประโยชน์ใช้สอยในการถนอมอาหาร 53
6.3 การกระทำของตู้เย็นในการถนอมอาหาร 54
6.4 EPC ที่ระบุเพิ่มจากตารางที่ 3.4 สำหรับอุปกรณ์ชนิด refrigerator 55
6.5 HAP Temperature Sensor Service [6] 56
6.6 คุณสมบัติของหลอดไฟตามที่ระบุบนบรรจุภัณฑ์ 57
6.7 LED Illumination Experiment 60
6.8 EPC ที่ระบุเพิ่มจากตารางที่ 3.4 สำหรับอุปกรณ์ชนิด general lighting 60
6.9 HAP Light Bulb Service [6] 60
6.10 EPC ที่ระบุเพิ่มจากตารางที่ 3.4 สำหรับอุปกรณ์ชนิด electric water heater 61
6.11 HAP Heater Cooler Service [6] 63

7.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

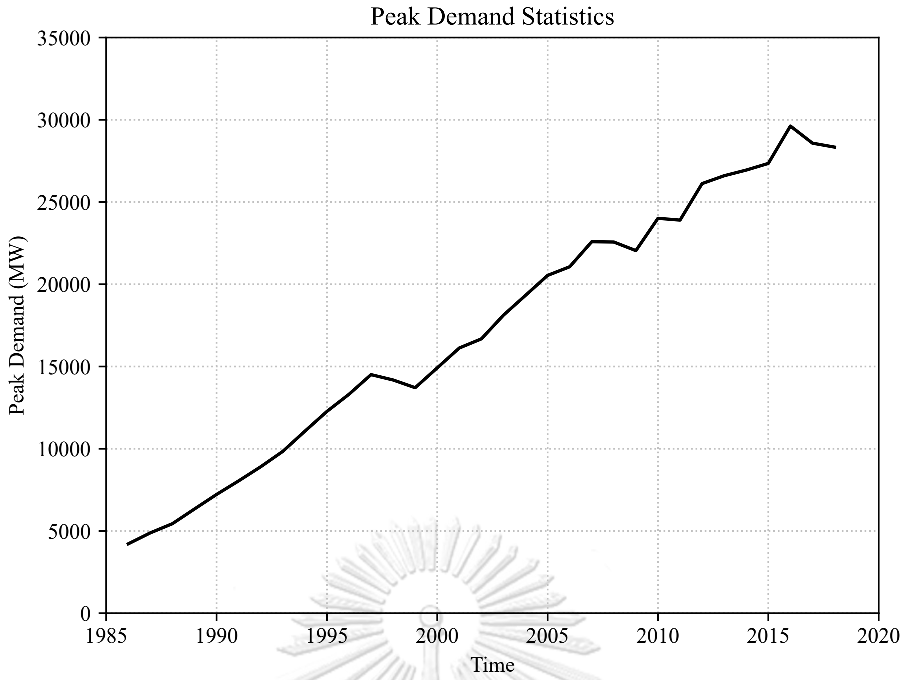
1.1.1 แนวโน้มความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้น

จากสถานการณ์พลังงานไทย ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 1.1 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสภาวะวิกฤตทางด้านพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากไม่สามารถผลิตหรือจัดหาพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอกับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด การส่งเสริมให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเข้าร่วมมาตรการความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้า (demand response program) โดยให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนวิถีการดำเนินชีวิตเพื่อเปลี่ยนแปลงแบบแผนการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อลดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด หรือลดความแตกต่างของความต้องการใช้พลังงาน ไฟฟ้าในช่วงออนพีค (on peak) และออฟพีค (off peak) ลง ทำให้ผู้ผลิตไฟฟ้าสามารถพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระยะสั้นและชะลอการลงทุนในโครงสร้างพื้นฐาน ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เข้าร่วมมาตรการจะได้รับผลตอบแทนเป็นเงินสด ส่วนลดค่าไฟฟ้า หรืออัตราค่าไฟฟ้าที่ต่ำกว่าอัตราปกติ การศึกษาและพัฒนามาตรการดังกล่าวทำให้เกิดผลประโยชน์ร่วมกันทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้า อันเป็นประโยชน์ต่อการจัดการสภาวะวิกฤตด้านพลังงานไฟฟ้า และเสริมความมั่นคงด้านพลังงานไฟฟ้าทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.1.2 การเข้าสู่สังคมสูงอายุ

ผู้สูงอายุ หมายถึงบุคคลซึ่งมีอายุเกินหกสิบปีบริบูรณ์ขึ้นไป [7] ในปี พ.ศ. 2558 ประชากรที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไปในประเทศไทยคิดเป็นร้อยละ 14 ของจำนวนประชากรไทยทั้งหมด ดังรูปที่ 2 ใน [8] ด้วยความก้าวหน้าทางการแพทย์และระบบสาธารณสุข ทำให้ประชากรโลกมีอายุขัยเฉลี่ยมากขึ้นเมื่อเทียบกับช่วงเวลาสามทศวรรษก่อนหน้า ประกอบกับอัตราการเกิดที่ลดน้อยลง ในอีก 20 ปีข้างหน้าจึงคาดว่าอัตราส่วนของผู้สูงอายุในประเทศไทยจะมีค่าสูงกว่าร้อยละ 25 ของประชากรทั้งหมด [7–9] เนื่องจากผู้สูงอายุมีร่างกายที่เสื่อมถอย ทำให้การดำเนินชีวิตประจำวันมีความยากลำบากกว่าสมัยหนุ่มสาว ประกอบ



รูปที่1.1: สถิติความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในประเทศไทย [1]

กับผู้สูงอายุมักมีโรคประจำตัวที่จำเป็นต้องได้รับการดูแล รักษา ติดตามอาการอย่างใกล้ชิดและสม่ำเสมอ อุปกรณ์ชาญฉลาดจะช่วยทำให้ผู้สูงอายุสามารถดำเนินกิจวัตรประจำวันได้อย่างสะดวกยิ่งขึ้นและทำให้ผู้สูงอายุพึ่งพาตัวเองได้มากขึ้น ลดความจำเป็นในการพึ่งพาผู้อื่น อุปกรณ์ชาญฉลาดจึงเป็นหนึ่งในเครื่องมือในการแก้ปัญหาเหล่านี้

1.1.3 ความสามารถในการทำงานระหว่างระบบที่ใช้โพรโทคอลในการสื่อสารต่างกัน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

โพรโทคอล (protocol) หรือศัพท์บัญญัติว่า *เกณฑ์วิธี* คือชุดข้อกำหนดที่ระบุรายละเอียดกระบวนวิธีการสื่อสารเพื่อให้การติดต่อสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ในเครือข่ายเกิดขึ้นได้ ทำให้อุปกรณ์ในเครือข่ายสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างเป็นระบบ โพรโทคอลจึงเปรียบเสมือนภาษากลางที่อุปกรณ์ภายในเครือข่ายใช้สื่อสารระหว่างกัน

มาตรฐาน (standard) ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อเป็น*แนวทาง* (guideline) ให้อุปกรณ์ที่ถูกออกแบบและสร้างขึ้นมาใหม่สามารถทำงานร่วมกันได้ เพราะในความเป็นจริงผู้ผลิตมักคำนึงถึงเพียง*ความเข้ากันได้* (compatibility) ระหว่างอุปกรณ์ที่ผลิตโดยผู้ผลิตเดียวกันเท่านั้น ไม่ได้คำนึงถึง*ความสามารถในการทำงานระหว่างกัน* (interoperability) อาจด้วยปัจจัยทางด้านธุรกิจหรืออะไรก็ตามแต่ ทำให้อุปกรณ์จากต่างผู้ผลิตไม่สามารถทำงานร่วมกันได้หรือทำงานร่วมกันได้อย่างมีข้อจำกัดแม้จะอยู่ในเครือข่ายเดียวกันก็ตาม เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว *มาตรฐานเปิด* (open standard) จึงถูกพัฒนาขึ้นโดยองค์กรกำหนดมาตรฐาน (standard-developing organization: SDO) อย่างเช่นองค์การมาตรฐานสากล (International Organization for

Standardization: ISO) สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU) หรือคณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐานสาขาอิเล็กทรอเทคนิกส์ (International Electrotechique Commission :IEC) เป็นต้น มาตรฐานเปิดอาจถูกพัฒนาร่วมกันโดยกลุ่มองค์กรธุรกิจในกิจการค้าร่วม (consortium/forum) อย่างเช่น เวิลด์ไวด์เว็บคอนซอร์เทียม (World Wide Web Consortium: W3C) กลุ่มองค์กรกำหนดมาตรฐานบลูทูธ (Bluetooth Special Interest Group) หรือกลุ่มองค์กรกำหนดมาตรฐานยูเอสบี (USB Implementers Forum: USB-IF) เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิทยานิพนธ์

1. เพื่อพัฒนาและปรับปรุงเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในครัวเรือนให้เป็นอุปกรณ์ชาญฉลาดที่เป็นไปตามมาตรฐาน ECHONET Lite
2. เพื่อพัฒนาเกตเวย์เชื่อมต่อระหว่าง HomeKit เฟรมเวิร์กกับระบบอุปกรณ์ชาญฉลาดที่เป็นไปตามมาตรฐาน ECHONET Lite

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. พัฒนาและปรับปรุงตู้เย็น MITSUBISHI รุ่น MR-FV22 โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้
    1.1. สามารถทำความเย็นและละลายน้ำแข็งได้เช่นเดิม
    1.2. เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้และเป็นไปตามมาตรฐาน ECHONET Lite
    1.3. สามารถวัดการใช้พลังงานและกำลังไฟฟ้าของตัวตู้เย็นเองได้
    1.4. ปรับปรุงระบบละลายน้ำแข็งคอยล์เย็นอัตโนมัติ
    1.5. จากการปรับปรุงในข้อ 1.4. ตู้เย็นใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง*อย่างน้อย 5%* เมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุงโดยยังคงอุณหภูมิในระดับที่เหมาะสมสำหรับการถนอมอาหาร
2. พัฒนาและปรับปรุงหลอดไฟแอลอีดีชนิดที่ไม่สามารถหรี่แสงได้ แรงดันไฟฟ้า 220 V โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้
    2.1. ให้ความสว่างเช่นเดิมและหรี่แสงได้
    2.2. สามารถวัดการใช้พลังงานและกำลังไฟฟ้าของตัวหลอดไฟเองได้
    2.3. เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้และเป็นไปตามมาตรฐาน ECHONET Lite
3. พัฒนาเกตเวย์เชื่อมต่อระหว่างโพรโทคอล HomeKit และ ECHONET Lite
4. นำเสนอการสาธิตการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ในเครือข่าย ได้แก่ เกตเวย์ ตู้เย็น หลอดไฟ เครื่องปรับอากาศ และเครื่องทำน้ำอุ่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยลดการใช้พลังงานทั้งในระยะสั้นและในระยะยาว โดยกำหนดเพดานการใช้พลังงานไฟฟ้า และควบคุมการทำงานหรือการใช้พลังงานของอุปกรณ์ชาญฉลาดได้
2. ประหยัดค่าใช้จ่ายในระยะยาว เพราะการใช้ระบบอัตโนมัติอาจมีค่าติดตั้งสูงกว่าค่าจ้างผู้ดูแล แต่ในระยะยาว ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบอัตโนมัติจะน้อยกว่าค่าจ้างผู้ดูแล
3. เพิ่มความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน โดยผู้ใช้จะทราบข้อมูลจากการแจ้งเตือนสถานะผิดปกติของอุปกรณ์ชาญฉลาดหรือการใช้พลังงานที่ผิดปกติได้ทันที
4. เป็นการเตรียมตัวเข้าสู่สังคมสูงอายุที่ผู้อยู่อาศัยมีความคล่องแคล่วน้อยลงและอาจต้องอยู่เพียงลำพัง ทำให้ผู้สูงอายุสามารถช่วยเหลือตนเองได้
5. สามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดจากระยะไกลโดยไม่ต้องเข้าถึงตัวอุปกรณ์ ทำให้ผู้ใช้งานดำเนินกิจวัตรประจำวันได้อย่างสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น
6. ระบบอัตโนมัติส่งเสริมการใช้ชีวิตอย่างมีแบบแผนจนกลายเป็นนิสัยและ/หรือกิจวัตรประจำวัน ช่วยลดการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการบ้านที่ไม่จำเป็น และทำให้ผู้ใช้จดจ่อกับเรื่องที่สำคัญได้มากขึ้น
7. ส่งเสริมการใช้งานมาตรฐานเปิดทำให้อุปกรณ์ชาญฉลาดสามารถทำงานร่วมกันได้โดยไม่จำเป็นต้องผลิตโดยผู้ผลิตเดียวกัน เพิ่มทางเลือกให้ทั้งผู้ผลิต นักพัฒนา และผู้บริโภค
8. ในอนาคตอันใกล้ บ้านชาญฉลาดอาจกลายเป็นส่วนหนึ่ง/หรือทำงานร่วมกับหุ่นยนต์ได้

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

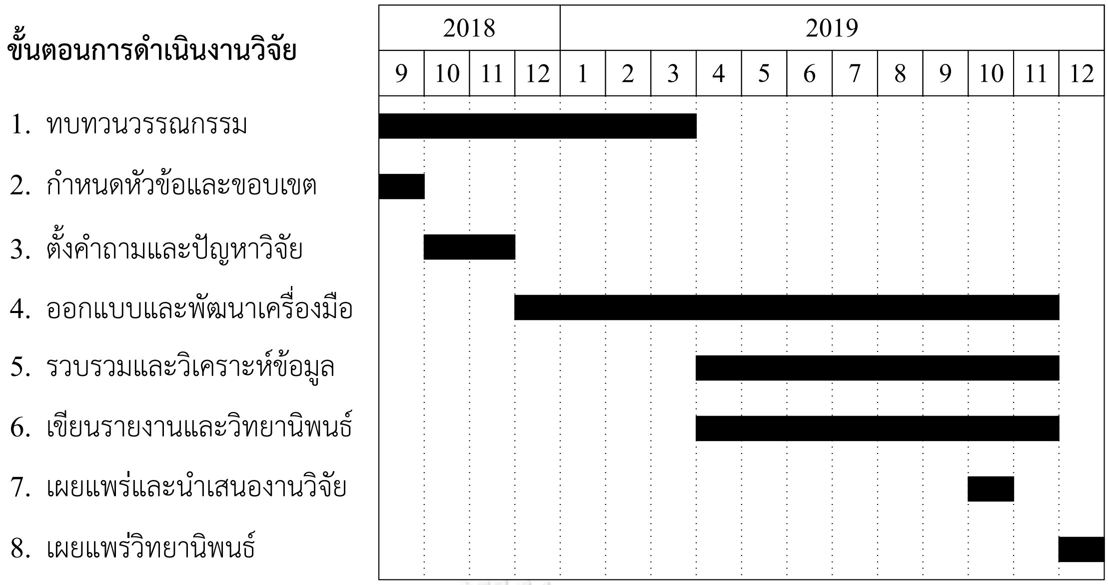
1.5.1 ขั้นตอนและกรอบเวลาการดำเนินงาน

วิทยานิพนธ์นี้ได้เริ่มดำเนินงานตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2561 (ค.ศ. 2018) โดยประกอบด้วย 8 ขั้นตอนและคาดว่าจะแล้วเสร็จภายในระยะเวลา 16 เดือน ดังรูปที่ 1.2

1.5.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

สมมติฐาน

1. การควบคุมวัฏจักรที่ใช้ในการทำความเย็นและละลายน้ำแข็งของตู้เย็นด้วยวงจรควบคุมที่สามารถเชื่อมต่อและสื่อสารกับคอนโทรลเลอร์ HEMS สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้



รูปที่1.2: แผนภูมิแกนต์แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและวิทยานิพนธ์

2. การควบคุมการทำงานของหลอดไฟด้วยวงจรที่สามารถเชื่อมต่อและสื่อสารกับคอนโทรลเลอร์ HEMS เพื่อทำงานเฉพาะเมื่อมีผู้อยู่อาศัยสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้

กระบวนการรวบรวมข้อมูล

ใช้การเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ โดยเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยไอซีสำหรับวัดพลังงานที่ได้สอบเทียบกับเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำตามมาตรฐาน เปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างวงจรเดิมและวงจรที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

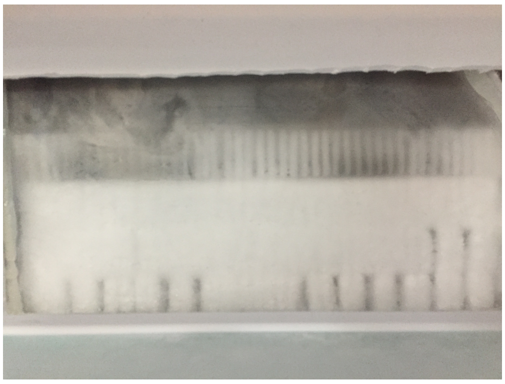
2.1 การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น

ระบบทำระบบปรับสภาวะอากาศ (heating, ventilation and air-conditioning system) ใช้พลังงานถึง 20% ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด จัดเป็นประเภทของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่กินพลังงานมากที่สุดในโลก [10] ในขณะที่ตู้เย็นที่ใช้ภายในครัวเรือน (domestic refrigerator) ใช้พลังงานคิดเป็น 11% และ 7.2% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในประเทศออสเตรเลียและสหรัฐอเมริกา ตามลำดับ [11, 12] ดังนั้นการศึกษาและวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจึงมีความจำเป็นสำหรับการจัดการด้านพลังงานในระยะยาว

2.1.1 การทำความเย็นของตู้เย็น

ระบบทำความเย็นที่ประสบความสำเร็จเชิงพาณิชย์มากที่สุด ณ เวลาที่ทำงานวิจัยคือระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (vapor-compression refrigeration system: VCRS) เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเทียบกับการทำความเย็นด้วยวิธีอื่น มีความซับซ้อนน้อย และมีความทนทาน นอกเหนือจากการปรับปรุงคอมเพรสเซอร์ (compressor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักในระบบทำความเย็น งานวิจัย [13] ศึกษาความสามารถในการสกัดกั้นความร้อน (thermal insulation) ไม่ให้ส่งผ่านจากภายนอกตู้เย็นของฉนวนสุญญากาศ (vacuum insulation) เปรียบเทียบกับฉนวนโฟม (foam insulation) และได้ข้อสรุปว่าฉนวนสุญญากาศป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าฉนวนโฟม แต่มีข้อจำกัดในกระบวนการผลิตเชิงพาณิชย์และความทนทานทำให้ไม่สามารถแข่งขันเชิงพาณิชย์ในตลาดกับตู้เย็นที่มีฉนวนโฟมเป็นฉนวนความร้อนได้

สารทำความเย็น (refrigerant) ต่าง ๆ ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเชิงกลของตู้เย็น จากการศึกษาพบว่าไฮโดรฟลูออโรโอเลฟิน (hydro-fluoro-olefins: HFO) มีศักยภาพในการพัฒนาประสิทธิภาพ แต่จำเป็นต้องเปลี่ยนโครงสร้างของระบบทำความเย็นแบบอัดไอของตู้เย็นทั้งหมด ไม่สามารถนำมาแทนที่สารทำความเย็นเดิมได้ทันที จึงยังไม่สามารถแข่งขันเชิงพาณิชย์ได้ [14]



(a) (b)

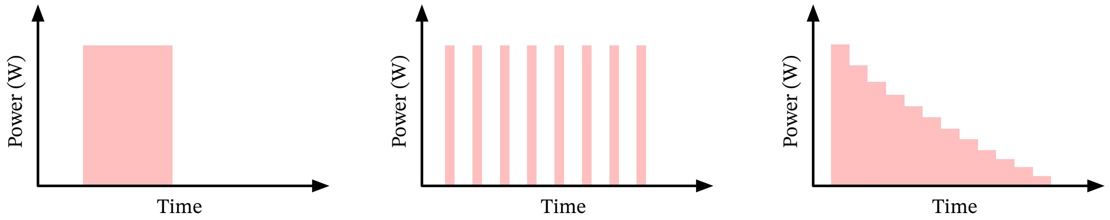
รูปที่2.1: การสะสมของน้ำค้างแข็งบนคอยล์เย็นขณะที่คอมเพรสเซอร์ของตู้เย็นทำงาน (a) เมื่อคอมเพรสเซอร์เริ่มต้นทำงาน (b) เมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงานเป็นเวลานาน

2.1.2 การละลายน้ำแข็งแบบปรับตัว

ขณะที่คอมเพรสเซอร์ของตู้เย็นทำงาน อุณหภูมิของคอยล์เย็นจะลดต่ำลงจนต่ำกว่าจุดน้ำค้าง (dew point) ไอน้ำในอากาศบริเวณนั้นจึงควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำเกาะที่ผิวของคอยล์เย็น และเมื่ออุณหภูมิของคอยล์เย็นลดต่ำลงจนต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (freezing point) หยดน้ำที่เกาะกลายเป็นน้ำแข็ง โดยปกติแล้วอุณหภูมิของคอยล์เย็นจะลดต่ำลงจนต่ำกว่าทั้งจุดน้ำค้างและจุดเยือกแข็ง ไอน้ำในอากาศจึงเกิดการระเหิดกลับ (deposition) กล่าวคือ ไอน้ำจะเปลี่ยนสถานะจากแก๊สเป็นของแข็ง เกิดเป็นน้ำค้างแข็ง (frost) ทันที รูปที่ 2.1 แสดงการสะสมของน้ำค้างแข็งบนคอยล์เย็นขณะที่คอมเพรสเซอร์ของตู้เย็นทำงาน

การเกิดและสะสมของน้ำค้างแข็ง (frost deposition) ลดทอนประสิทธิภาพของในการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศและคอยล์เย็น [15] ทำให้ประสิทธิภาพของตู้เย็นลดลงเมื่อเวลาผ่านไป จึงได้มีการนำขดลวดความร้อนติดตั้งในบริเวณคอยล์เย็นเพื่อละลายน้ำแข็ง อย่างไรก็ดี การทำงานของขดลวดความร้อนเพื่อละลายน้ำแข็งทำให้อาหารที่เก็บมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนไปด้วย การละลายน้ำแข็งแบบปรับตัว (adaptive defrost) จึงเป็นความพยายามในการหาค่าเหมาะที่สุด (optimization) สำหรับระยะเวลาที่ใช้ละลายน้ำแข็งทำให้เราใช้งานตู้เย็นด้วยประสิทธิภาพมากที่สุด

งานวิจัย [16] ศึกษาผลกระทบของการละลายน้ำแข็งที่มีต่อประสิทธิภาพของตู้เย็น โดยเปรียบเทียบรูปแบบการให้พลังงานขดลวดความร้อนในหนึ่งคาบของการละลายน้ำแข็ง และรูปแบบการติดตั้งขดลวดความร้อนที่มีต่อประสิทธิภาพของตู้เย็น พบว่าการให้ความร้อนในการละลายน้ำแข็งสูงที่สุดในตอนเริ่มต้น และแบบค่อย ๆ ลดการให้พลังงานขดลวดความร้อนทีละขั้น ดังรูปที่ 2.2c มีประสิทธิภาพของการละลายน้ำแข็งดีที่สุด และการใช้ขดลวดความร้อนแบบบรรจุในแท่งแก้ว (glass tube) มีประสิทธิภาพของการละลายน้ำแข็งสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขดลวดแบบกระจายตัวและขดลวด Calrod®



(a) (b) (c)

รูปที่2.2: รูปแบบการให้พลังงานขดลวดความร้อนที่ใช้ในการละลายน้ำแข็ง (a) ให้พลังงานแบบคงตัวช่วงเวลาหนึ่ง (b) ให้พลังงานเป็นรูปสัญญาณพัลส์ (c) ให้พลังงานสูงที่สุดแล้วค่อย ๆ ลดการให้พลังงานทีละขั้น

2.2 การสื่อสารสำหรับบ้านชาญฉลาด

2.2.1 ตัวกลางในการสื่อสาร

การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (power line communication: PLC) เป็นเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารสำหรับการรับ/ส่งข้อมูลผ่านระบบนำจ่ายกระแสไฟฟ้า จัดเป็นการสื่อสารแบบมีสาย (wired communication) ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีมาแต่แรกเริ่ม (primitive) อยู่แล้วในทุกอาคาร อย่างไรก็ดีเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดหรืออุปกรณ์พกพาในยุคใหม่นั้นมักใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เพื่อเลี้ยงวงจรควบคุม อุปกรณ์เหล่านี้จึงไม่ได้ใช้พลังงานโดยตรงจากเต้ารับซึ่งจ่ายพลังงานในรูปแบบไฟฟ้ากระแสสลับ เพราะต้องผ่านหม้อแปลง วงจรเรียงกระแสและวงจรกรองต่าง ๆ ก่อน อุปกรณ์เหล่านี้จึงไม่สามารถสื่อสารผ่านระบบนำจ่ายกระแสไฟฟ้าโดยตรงได้ ประกอบกับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย (wireless communication) ที่ถูกพัฒนาขึ้นมามีข้อจำกัดทางกายภาพน้อยกว่าการสื่อสารแบบมีสาย กล่าวคือ การสื่อสารแบบไร้สายระหว่างอุปกรณ์จะต้องอยู่ในบริเวณที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเดินทางได้ แต่การสื่อสารแบบมีสายจะต้องใช้ตัวนำในการสื่อสาร ในทางปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงการเดินสายไฟภายในอาคารทำได้ยาก การสื่อสารแบบไร้สายจึงกลายเป็นมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ที่ออกแบบและผลิตขึ้นมาใหม่โดยปริยาย

2.2.2 โพรโทคอลในการสื่อสาร

ECHONET (Energy Conservation and Homecare Network: ECHONET, อ่านว่า *เอค-โค-เน็ต*) เป็นโพรโทคอลในการสื่อสารสำหรับบ้านชาญฉลาด ส่วน ECHONET Lite เป็นมาตรฐานที่มีต้นแบบมาจากมาตรฐาน ECHONET แต่ไม่มีข้อกำหนดในเรื่องมาตรฐานการสื่อสารการสื่อสารระดับล่าง ทำให้นักพัฒนาระบบทำงานใช้เวลาในการพัฒนาน้อยลง ECHONET Lite เป็นหนึ่งในมาตรฐานเปิดสำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้านชาญฉลาดได้ถูกคิดค้นและออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหาดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 1.1.3 [4]

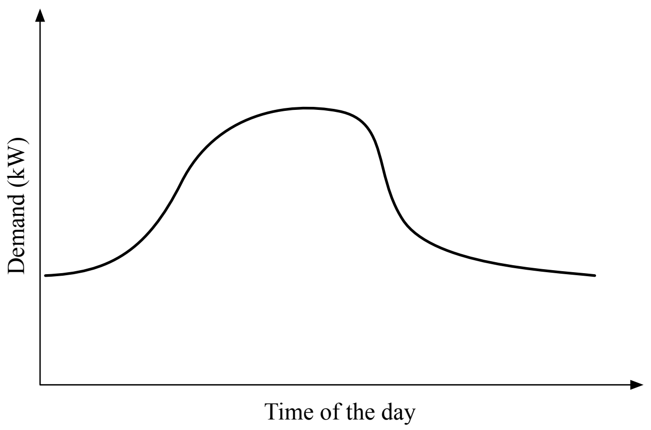
2.3 ระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือน

ระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือน (home energy management system: HEMS) คือการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานด้วยฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ควบคุม อุปกรณ์เหล่านี้สามารถสื่อสารบนเครือข่ายเพื่อทำงานร่วมกันเป็นระบบได้ HEMS ได้ถูกพูดถึงในงานวิจัยเป็นจำนวนมาก และโดยทั่วไปแล้ว หากต้องการพัฒนาให้อุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ถูกผลิตขึ้นมาแล้วมีความสามารถในการสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นได้ จำเป็นจะต้องพัฒนา*มิดเดิลแวร์* (middleware) ซึ่งอาจประกอบด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์หรือเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อเป็นตัวกลางระหว่าง*คอนโทรลเลอร์* (controller) ของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นๆ กับสื่อกลางที่ต้องการใช้สำหรับสื่อสารภายในเครือข่าย ตัวอย่างเช่น การออกแบบเครือข่าย HEMS โดยใช้สายไฟฟ้าภายในบ้านเป็นสื่อกลาง [17] เป็นการใช้งานสายทองแดงซึ่งโดยปกติแล้วทำหน้าที่ส่งพลังงาน แต่ส่งข้อมูลทับซ้อนไปบนสายทองแดงเดียวกันโดยใช้วิธีการกล้ำสัญญาณหรือการมอดูเลต (modulation) และใช้มาตรฐาน ECHONET สำหรับการรับส่งข้อมูล นอกจากการสื่อสารบนสายไฟฟ้าหรือสายทองแดงแล้ว HEMS ยังสามารถนำมาใช้งานบนเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่เป็นมาตรฐานอย่างเช่น Wi-Fi (IEEE 802.11) [18] Bluetooth (IEEE 802.15) [19] และ Zigbee (IEEE 802.15.4) [20] เป็นต้น ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีจะมีจุดเด่นและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน เช่น การใช้พลังงาน *อัตราบิต* (bit rate หรือ data rate) ระยะครอบคลุม ความซับซ้อน ราคา เป็นต้น ซึ่งผู้ออกแบบจะพิจารณาตามความเหมาะสม

มาตรการความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้า (demand response: DR) คือการส่งเสริมให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปรับตัวโดยเปลี่ยนวิถีการดำเนินชีวิตเพื่อเปลี่ยนแปลงแบบแผนการใช้พลังงานไฟฟ้า แบบแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีความคล้ายคลึงกันจากทุกครัวเรือน [2] ส่งผลให้ความต้องการใช้พลังงานระหว่างวันแตกต่างกันมากระหว่างช่วงออฟพีคและออนพีคดังรูปที่ 2.3 ทำให้ผู้ผลิตจำเป็นต้องลงทุนเพิ่มใน*โครงสร้างพื้นฐาน* (infrastructure) อันได้แก่การสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่ม การขยายระบบสายส่งและจำหน่ายเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวันซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแต่ละปี [1] เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสภาวะวิกฤตทางด้านพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอกับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด ในประเทศไทย คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ได้ดำเนินการศึกษาโครงการพัฒนามาตรการดังกล่าว [21] เพื่อลดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด และลดความแตกต่างของความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงออนพีคและออฟพีคลง ทำให้ผู้ผลิตไฟฟ้าสามารถพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าในระยะสั้นและชะลอการลงทุนในโครงสร้างพื้นฐาน โดยใช้*สิ่งจูงใจทางการเงิน* (financial incentive) ให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเข้าร่วมด้วยผลตอบแทนบางอย่าง อาจอยู่ในรูปแบบของส่วนลดค่าไฟฟ้า หรืออัตราค่าไฟฟ้าที่ต่ำกว่าอัตราปกติ เป็นต้น การศึกษาและพัฒนามาตรการดังกล่าวทำให้เกิดผลประโยชน์ร่วมกันทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้า อันเป็นประโยชน์ต่อการจัดการสภาวะวิกฤตด้านพลังงานไฟฟ้าและเสริมความมั่นคงด้านพลังงานไฟฟ้าทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

อัลกอริทึม (algorithm) หรือ *ขั้นตอนวิธี* ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาให้คอนโทรลเลอร์ HEMS สามารถทำงานเป็น*ระบบอัตโนมัติ* (automation) ได้ โดยคอนโทรลเลอร์จะตัดสินใจเลือกเปิด/ปิดหรือเปลี่ยนแปลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

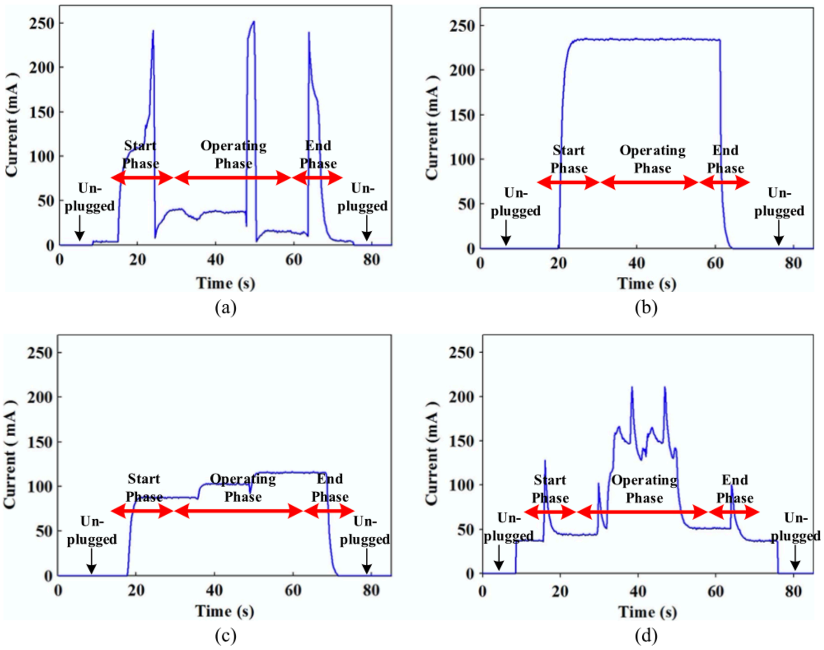


รูปที่2.3: แบบแผนความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน [2]

รูปแบบการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในเครือข่ายให้เป็นไปตามมาตรการ DR ความต้องการของผู้ใช้ สภาพแวดล้อมและสถานการณ์ที่ระบบรับรู้

2.3.1 ระบบแต้มคะแนนสำหรับกำหนดสิทธิ์ในการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า

นอกเหนือไปจากฐานกฎความรู้ (rule-based) ได้มีการศึกษาการนำระบบแต้มคะแนนมาใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อลดการใช้พลังงานแต่คงความสะดวกสบายและความพึงพอใจของผู้ใช้ [22] ซึ่งในบทความดังกล่าวได้จำแนกเครื่องใช้ไฟฟ้าออกเป็น 5 หมวดหมู่ ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ, เครื่องทำน้ำร้อน, เครื่องอบผ้า, ยานยนต์ไฟฟ้าและประเภทอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กล่าว อัลกอริทึมที่ได้นำเสนอในบทความใช้ระบบการให้คะแนนเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยจัดลำดับความสำคัญตามวิถีการดำเนินชีวิตของผู้ใช้หรือรูปแบบการทำงานตามที่ผู้ใช้กำหนด ตัวอย่างเช่น หากผู้ใช้งานมีสุขภาพไม่แข็งแรง มีความจำเป็นต้องอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ไม่ร้อนและไม่เย็นจนเกินไป ผู้ใช้สามารถกำหนดให้เครื่องปรับอากาศมีความสำคัญสูงที่สุดในฤดูร้อน ในขณะที่เครื่องทำน้ำร้อนอาจเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความสำคัญต่ำที่สุด อัลกอริทึม HEMS จะคำนวณแต้มคะแนนทุกช่วงเวลาหนึ่งและอนุญาตให้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีแต้มคะแนนสูงที่สุดได้สิทธิ์ในการทำงานก่อน ตัวอย่างเช่น หากผู้ใช้งานต้องการให้เครื่องปรับอากาศควบคุมอุณหภูมิห้องให้มีค่าไม่สูงกว่า 27 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิห้องมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ เครื่องปรับอากาศที่ได้รับแต้มคะแนนสูงสุดจะได้ทำงานก่อนและจะทำงานจนกว่าอุณหภูมิจะลดต่ำลงกว่า 27 องศาเซลเซียส ขณะนี้เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ ที่มีแต้มคะแนนต่ำกว่า HEMS อาจอนุญาตให้ทำงานได้ไม่เต็มพิกัดกำลังหรือไม่อนุญาตเลย ขึ้นอยู่กับระดับความสำคัญ และเมื่อเวลาผ่านไป อุณหภูมิของห้องลดลงต่ำว่า 27 องศาเซลเซียสมากเท่าไหร่ แต้มคะแนนของเครื่องปรับอากาศจะยิ่งลดลง จนเมื่อเวลาผ่านไป แต้มคะแนนของเครื่องปรับอากาศไม่ใช่ค่าสูงที่สุดแล้ว เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นที่มีแต้มคะแนนเป็นอันดับแรกในขณะนั้นจะได้สิทธิ์ในการทำงานต่อไป



รูปที่2.4: แบบแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

2.3.2 การรู้จำรูปแบบการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าจากองค์ประกอบกำลัง

อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning) ได้ถูกศึกษาและนำมาใช้ในระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือน บทความ [23] นำเสนอการรู้จำกระแสไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านเต้ารับด้วยชุดโพรโทคอลแบบ UPnP (Universal Plug and Play) เพื่อพยากรณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจากชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้า องค์ประกอบกำลัง (power component) การใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นคุณสมบัติ (feature) ของแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง รูปที่ 2.4 แสดงแบบแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3

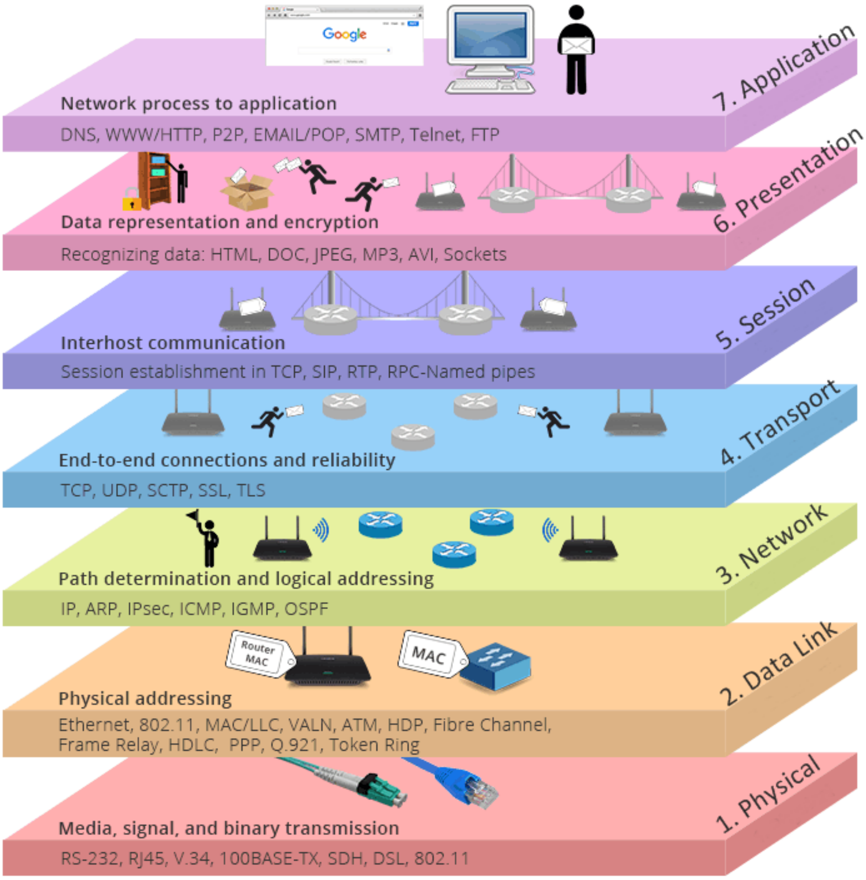
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 แบบจำลองของการสื่อสารด้วยมาตรฐาน ECHONET Lite

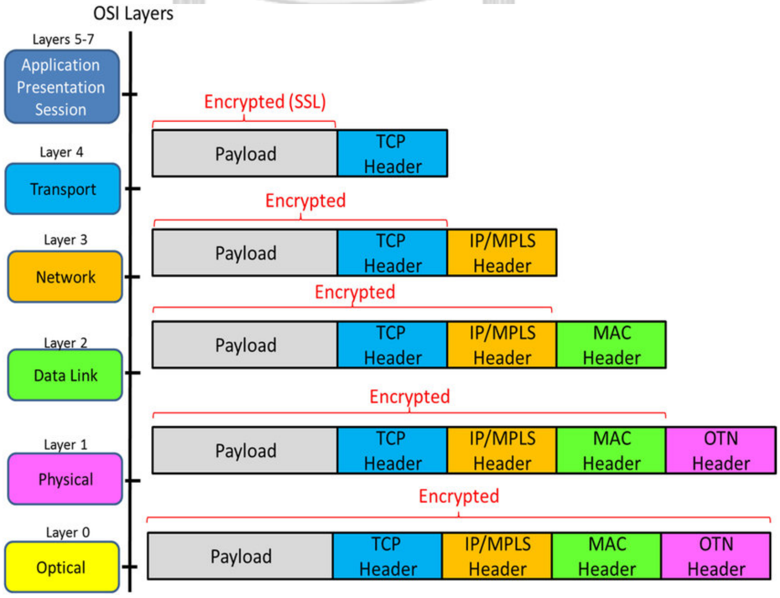
แบบจำลอง*โอเอสไอ* (OSI: Open System Interconnection, ISO/IEC 7498-1) ถูกพัฒนาและนำเสนอโดยองค์การมาตรฐานสากลหรือไอเอสโอ เพื่อเป็นมาตรฐาน ในการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์จากผู้ผลิตที่แตกต่างกันให้สามารถสื่อสารและทำงานร่วมกันได้ [24] นำเสนอด้วยแผนภาพซึ่งประกอบด้วยรูปแบบข้อมูล 7 ลำดับชั้น เริ่มจากลำดับชั้นบนสุด ได้แก่ ชั้นประยุกต์ใช้งาน (application layer) ชั้นการนำเสนอ (presentation layer) ชั้นช่วงเวลา (session layer) ชั้นขนส่ง (transportation layer) ชั้นเครือข่าย (network layer) ชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (data link layer) และชั้นกายภาพ (physical layer) ซึ่งเป็นลำดับชั้นล่างสุด การส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งไปยังคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่งจะผ่านการเปลี่ยนแปลงรูปแบบข้อมูลทั้ง 7 ชั้น ดังรูปที่ 3.1 เมื่อข้อมูลส่งผ่านลำดับชั้นบนไปยังชั้นล่างจะถูกเพิ่ม*เฮดเดอร์* (header) ที่เป็นโพรโทคอลของการสื่อสารของชั้นนั้นเข้ากับ*เพย์โหลด* (payload) ทำให้ข้อมูลมีความยาวเพิ่มขึ้นจากชั้นบนลงล่าง ดังรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าแต่ละชั้นจะต้องทำงานร่วมกันโดยมีลักษณะเป็นกองซ้อนหรือสแตก (stack) หรือโพรโทคอลสแตก (protocol stack)

3.1.1 ชั้นประยุกต์ใช้งาน

ชั้นประยุกต์ใช้งานเป็นชั้นบนสุดในแบบจำลองโอเอสไอ ทำหน้าที่เป็น*ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้* (user interface: UI) เพื่อรับ/ส่งข้อมูลกับผู้ใช้งานโดยตรงหรืออาจจะเรียกว่าเป็นอินพุตกับ/เอาต์พุต ชั้นประยุกต์ใช้งานมักประกอบด้วย*ซอฟต์แวร์แอปพลิเคชัน* (application software) สื่อสารโดยใช้โพรโทคอลตามลักษณะข้อมูล ตัวอย่างโพรโทคอลในชั้นประยุกต์ใช้งานที่ใช้กันแพร่หลายได้แก่ *เอชทีทีพี* (HyperText Transfer Protocol: HTTP) *เว็บซ็อกเก็ต* (WebSocket) *เทลเน็ต* (Telnet) *เอฟทีพี* (File Transfer Protocol) *เอสเอ็มทีพี* (Simple Mail Transfer Protocol: SMTP) *ดีเอนเอส* (Domain Name System: DNS) เป็นต้น



รูปที่3.1: แบบจำลองโอเอสไอและตัวอย่าง



รูปที่3.2: เฮดเดอร์กับเพย์โหลดของข้อมูลของแต่ละลำดับชั้น

ซอฟต์แวร์แอปพลิเคชันที่ใช้งานบนอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่มีความซับซ้อนน้อย จึงมีขนาดเล็ก มักไม่เกิน 1 เมกะไบต์ และอุปกรณ์ไฟฟ้ามีข้อจำกัดในด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล *ไมโครคอนโทรลเลอร์* (microcontroller) และ*ระบบฝังตัว* (embedded system) จึงมักเป็นตัวเลือกลำดับต้นๆ ที่ใช้ในการประมวลผลซอฟต์แวร์เหล่านี้เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ซอฟต์แวร์ที่ทำงานบนระบบฝังตัวอาจเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า*เฟิร์มแวร์* (firmware)

นักพัฒนามีหน้าที่ออกแบบเฟิร์มแวร์ให้ทำงานร่วมกับโพรโทคอลในลำดับชั้นที่ต่ำกว่าโดยใช้งาน*ไลบรารี* (library) ที่มาพร้อมกับ*ชุดพัฒนาซอฟต์แวร์* (software development kit: SDK) ไลบรารีประกอบด้วยโปรแกรมที่ทำหน้าที่เป็น*ส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์* หรือ*เอพีไอ* (application programming interface: API) ทำให้นักพัฒนาสามารถสื่อสารกับโพรโทรคอลอื่นที่ไม่ได้อยู่ในเฟิร์มแวร์ได้สะดวก ร่นระยะเวลาในการพัฒนา

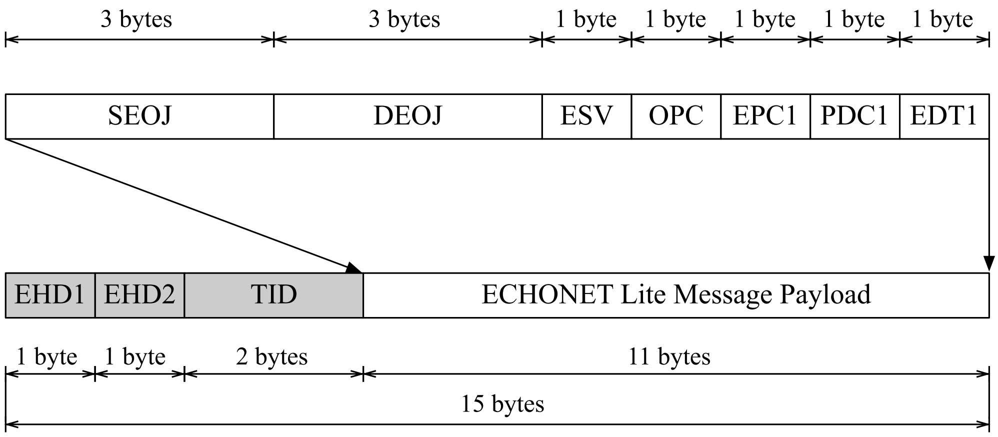
3.1.2 ชั้นการนำเสนอและชั้นช่วงเวลา

สำหรับชั้นการนำเสนอและชั้นช่วงเวลาในมาตรฐาน ECHONET Lite จะเรียกรวมกันว่ามิดเดิลแวร์ หรือบล็อกประมวลผลการสื่อสาร (communication processing block) ซึ่งเป็นตัวเชื่อมระหว่างชั้นประยุกต์ใช้งานและชั้นขนส่ง ประกอบด้วย*ออบเจ็กต์อุปกรณ์* (device object) และ*ออบเจ็กต์โพรไฟล์* (profile object) ดังรูปที่ 3.3 ออบเจ็กต์ทั้งสองชนิดนี้คือออบเจ็กต์ ECHONET Lite (ECHONET Lite object: EOJ)

นักพัฒนาจะต้องระบุรูปแบบของข้อมูลซึ่งในมาตรฐานเอคโคเน็ตไลต์จะเรียกว่า*ข้อความ* (message) ซึ่งมีรูปแบบเดียวกันกับ*เฟรม* (frame) ที่ใช้รับ/ส่งข้อมูลในลำดับชั้นล่าง ข้อความประกอบด้วยอุปกรณ์ต้นทาง (source EOJ: SEOJ) อุปกรณ์ปลายทาง (destination EOJ: DEOJ) รหัสเซอร์วิส (ECHONET Lite service code: ESV) จำนวนคุณสมบัติในเฟรม (number of processing properties: OPC) คุณสมบัติ (ECHONET Lite property name: EPC) ตัวนับลำดับคุณสมบัติ (property data counter: PDC) และข้อมูลของคุณสมบัติ (ECHONET Lite property data: EDT) โดยเขียนเป็น

OSI Layer	
7	Application Software / API
6	ECHONET Lite Communication Processing Block
5	
4	Layer 1 to 4 are not specified
3	
2	
1	

รูปที่3.3: มิดเดิลแวร์ของมาตรฐาน ECHONET Lite บนแบบจำลองโอเอสไอ



รูปที่3.4: รูปแบบเฟรมข้อความของ ECHONET Lite

แผนภาพได้ดังรูปที่ 3.4 โดยเราสามารถมอง SEOJ, DEOJ, ESV, OPC, EPC, PDC และ EDT ว่าเป็นเพย์โหลดในเฟรมข้อความ ECHONET Lite เมื่อรวมกันส่วนที่เป็นเฮดเดอร์ของเฟรมข้อความแล้วจะได้ว่าแต่ละเฟรมข้อความ ECHONET Lite มีความยาวอย่างน้อย 15 ไบต์ นอกจากนี้ในแต่ละเฟรมข้อความอาจประกอบด้วยส่วนที่เป็นข้อมูลคุณสมบัติของออบเจ็กต์อุปกรณ์ (EPC, PDC และ EDT) ได้มากกว่า 1 ชุด กล่าวคือ หากต้องการส่งข้อมูลคุณสมบัติของออบเจ็กต์อุปกรณ์ n ชุด ความยาวเฟรมข้อความจะมีจำนวนไบต์เท่ากับ $12 + 3n$ ไบต์

3.1.3 ชั้นขนส่ง

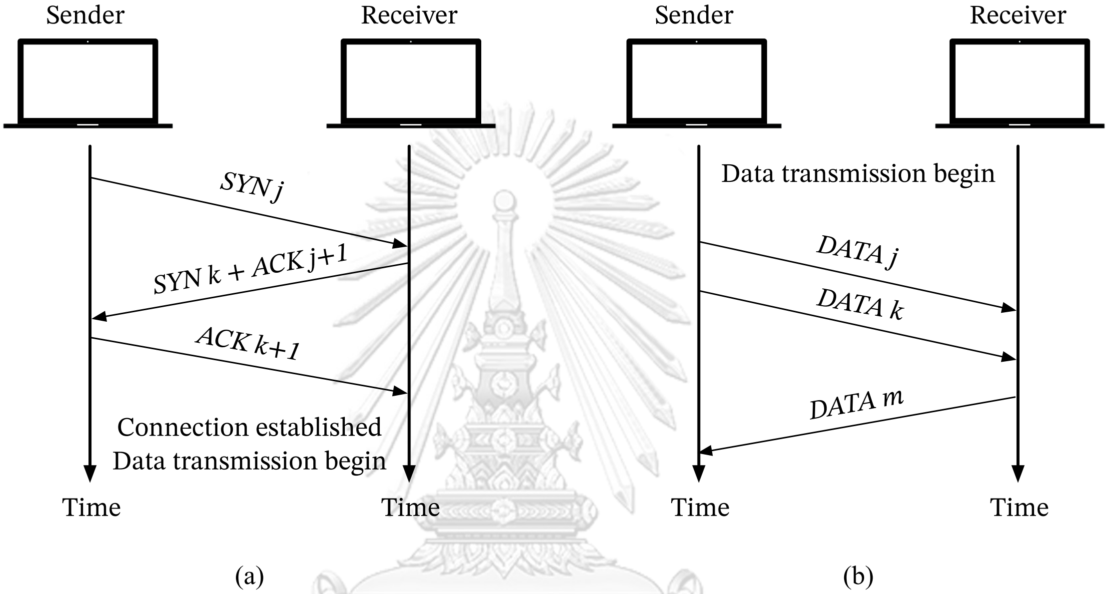
โพรโทคอลในชั้นขนส่งที่เป็นที่รู้จักกันดีและเข้ากันได้กับมาตรฐานเอคโคเน็ตไลต์ได้แก่โพรโทคอล *ทีซีพี* (Transmission Control Protocol: TCP) และ*ยูดีพี* (User Datagram Protocol: UDP)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

TCP เป็นโพรโทคอลที่อุปกรณ์ต้นทางและปลายทางจะต้องสร้างการเชื่อมต่อ (establish connection) ก่อนเริ่มส่งข้อมูลโดยการส่งสัญญาณตอบรับเสมือนการจับมือ (handshake) ระหว่างอุปกรณ์ต้นทางและปลายทางเมื่อมีการส่งข้อมูลไปแล้วด้วยสัญญาณตอบรับ (acknowledge: ACK) อุปกรณ์ปลายทางได้รับข้อมูลครบถ้วนหรือไม่ หากไม่ครบจะต้องส่งข้อมูลซ้ำ (retransmission) ดังรูปที่ 3.5a ดังนั้นโพรโทคอลนี้จึงเหมาะกับการส่งข้อมูลที่ต้องการความน่าเชื่อถือ ไม่ต้องการให้เกิดข้อผิดพลาด ในขณะที่ UDP เป็นโพรโทคอลที่อุปกรณ์ต้นทางและปลายทางไม่จำเป็นต้องสร้างการเชื่อมต่อ ดังนั้นจึงไม่ต้องใช้สัญญาณตอบรับ ดังรูปที่ 3.5b ข้อดีของโพรโทคอลยูดีพีคือมีความเร็วสูงกว่าทีซีพีเนื่องจากไม่ต้องรอการจับมือ แต่ข้อมูลอาจสูญหายระหว่างทางได้ ความแตกต่างของทั้งสองโพรโทคอลแสดงดังตารางที่ 3.1 มาตรฐาน ECHONET Lite รองรับการสื่อสารในชั้นขนส่งทั้งโพรโทคอล TCP และ UDP

ตารางที่3.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างโพรโทคอล TCP และ UDP

Properties	TCP	UDP
Connectivity	Connection-oriented	Connectionless
Flow control	Yes	No
Error Checking & Correction	Yes	No
Retransmission of Lost Packets	Yes	No
Reliability	Higher	Lower
Data Rate	Lower	Higher
Routing Scheme	Unicast only	Unicast, Multicast, Broadcast
Example Application Services	HTTP, FTP, SMTP	VoIP, DNS, DHCP



รูปที่3.5: โพรโทคอลการสื่อสารในชั้นขนส่ง (a) โพรโทคอล TCP (b) โพรโทคอล UDP

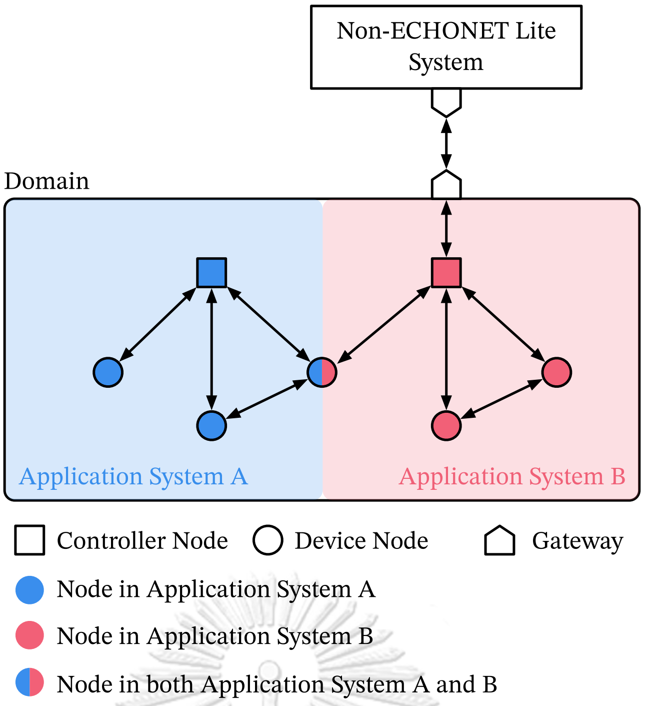
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 สถาปัตยกรรมระบบของ ECHONET Lite

อุปกรณ์ทุกชนิดสามารถสื่อสารด้วยโพรโทคอลเดียวกันภายใต้*โดเมน* (domain) เดียวกัน *ระบบประยุกต์ใช้งาน* (application system) ระบบหนึ่งประกอบด้วยตัวควบคุมหรือคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ตั้งแต่หนึ่งอุปกรณ์ขึ้นไป อุปกรณ์ชิ้นหนึ่งสามารถนำไปใช้งานได้มากกว่าหนึ่งระบบประยุกต์ การสื่อสารกับอุปกรณ์ที่อยู่นอกโดเมนที่ไม่สามารถสื่อสารด้วยโพรโทคอลเดียวกันได้จะต้องผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่าเกตเวย์ ดังรูปที่ 3.6 ทั้งนี้อุปกรณ์หรือคอนโทรลเลอร์อาจเรียกรวมกันว่า*โหนด* (node)

3.2.1 โหนด

โหนดคือหน่วยในโดเมนที่สามารถสื่อสารระหว่างโหนดด้วยกันด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite แต่ละโหนดประกอบด้วยออบเจ็กต์โพรไฟล์และออบเจ็กต์อุปกรณ์อย่างน้อยหนึ่งอุปกรณ์ เราสามารถแบ่ง



รูปที่3.6: แผนภาพแสดงการสื่อสารระหว่างโหนดภายในระบบประยุกต์ใช้งานและโดเมน

รูปที่3.7: การเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าเข้ากับโดเมนในโพรโทคอล ECHONET Lite (a) เครื่องปรับอากาศ Full ECHONET Lite (b) ตู้เย็น non-ECHONET Lite เชื่อมต่อเข้ากับ ECHONET Lite มิดเดิลแวร์อแดปเตอร์

CHULALONGKORN UNIVERSITY

หมวดหมู่ของอุปกรณ์เป็น 2 ชนิด ได้แก่ อุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่าย ECHONET Lite ได้ (Full ECHONET Lite device) ดังรูปที่ 3.7a อุปกรณ์ที่ไม่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่าย ECHONET Lite ได้ (ECHONET Lite-ready หรือ non-ECHONET Lite device) [4] โดยสามารถทำให้อุปกรณ์เหล่านี้ใช้งานกับเครือข่าย ECHONET Lite ได้โดยผ่าน*มิดเดิลแวร์อะแดปเตอร์* (middleware adapter) ดังรูปที่ 3.7b

3.2.2 ออบเจ็กต์ ECHONET Lite

รหัสอุปกรณ์หรือรหัส EOJ ของอุปกรณ์ประกอบด้วยข้อมูลขนาด 3 ไบต์ คือ รหัสกลุ่ม (class group หรือ superclass) 1 ไบต์ รหัสชนิดอุปกรณ์ (class) 1 ไบต์และรหัสอินสแตนซ์ (instance code) 1 ไบต์

ตารางที่3.2 กลุ่มของอุปกรณ์ตามมาตรฐาน ECHONET Lite [4]

Group Code	Group Name
0x00	Sensor-related device class group
0x01	Air conditioner-related class group
0x02	Housing/facility-related device class group
0x03	Cooking/housework-related device class group
0x04	Health-related device class group
0x05	Management/control-related device class group
0x06	AV-related device class group
0x07-0x0D	Reserved for future use
0x0E	Profile class group
0x0F	User definition class group
0x10-0xFF	Reserved for future use

ตารางที่3.3 EOJ ของอุปกรณ์ ECHONET Lite ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ [4] [5]

Superclass: Data	Class: Data	Instance No.	EOJ
Air conditioner: 0x01	Home air conditioner: 0x30	1	0x013001
Air conditioner: 0x01	Home air conditioner: 0x30	2	0x013002
Cooking/Household: 0x03	Refrigerator: 0xB7	1	0x03B701
Housing/Facility: 0x02	General lighting: 0x90	1	0x029001
Housing/Facility: 0x02	Electric water heater: 0x6B	1	0x026B01
Management/Control: 0x05	Controller: 0xFF	1	0x05FF01

อุปกรณ์ที่เป็นกลุ่มและชนิดเดียวกันในเครือข่ายจะมีรหัสอินสแตนซ์ที่ไม่ซ้ำกัน

ออบเจ็กต์โพรไฟล์เป็นออบเจ็กต์พิเศษที่ถูกสร้างขึ้นพร้อมกับโหนดเสมอ และมี EOJ = 0x0EF001 ออบเจ็กต์โพรไฟล์ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่บรรยายคุณลักษณะของโหนดนั้นๆ เช่น ว่าเป็นอุปกรณ์ชนิดใดหรือประกอบด้วยอุปกรณ์ชนิดใดบ้าง และช่วยในการค้นหาอุปกรณ์ ECHONET Lite ทั้งหมดในโดเมน ส่วนออบเจ็กต์อุปกรณ์หมายถึงอุปกรณ์ที่จับต้องและทำงานได้จริงทางกายภาพ เช่น เครื่องปรับอากาศ เซ็นเซอร์ หลอดไฟ ม่าน เป็นต้น ผู้พัฒนาโพรโทคอลเอคโคเน็ตไลต์ได้จัดสรรกลุ่มของอุปกรณ์ไว้ดังตารางที่ 3.2 และตัวอย่าง EOJ ของอุปกรณ์ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

3.2.3 คุณสมบัติของออบเจ็กต์อุปกรณ์

ออบเจ็กต์อุปกรณ์เก็บข้อมูลคุณสมบัติหรือ EPC แสดงสถานะหรือรูปแบบการทำงานของอุปกรณ์นั้นๆ ตัวอย่างเช่น สถานะของเครื่องปรับอากาศประกอบด้วยสถานะการทำงาน รูปแบบการทำงาน อุณหภูมิที่ตั้งไว้ สถานะผิดปกติ เป็นต้น ออบเจ็กต์อุปกรณ์ของอุปกรณ์ต่างชนิดจะเก็บข้อมูลแตกต่างกันตามรูปแบบการทำงานของอุปกรณ์นั้นๆ คุณสมบัติต่างๆ ของออบเจ็กต์อุปกรณ์ได้ถูกกำหนดชื่อและชนิดของข้อมูลไว้แล้ว ตารางที่ 3.4 [5] แสดงคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับอุปกรณ์ ECHONET Lite ทุกตัว ส่วนตารางที่ 3.5 แสดงคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับโหนดชนิดเครื่องปรับอากาศ

ตารางที่3.4 EPC ที่จำเป็นต้องระบุสำหรับอุปกรณ์ ECHONET Lite ทุกตัว

EPC	Property name	Data type	Data size	Remarks
0x80	Operation status	uint8	1	ON: 0x30, OFF: 0x31
0x81	Installation Location	uint8	1 or 17	
0x82	Version Information	uint8	4	
0x88	Fault status	uint8	1	Faulty: 0x41, Functioning: 0x42
0x8A	Manufacturer code	uint8	3	
0x9D	Status change property map	uint8	1-17	
0x9E	Set property map	uint8	1-17	
0x9F	Get property map	uint8	1-17	

ตารางที่3.5 EPC ที่จำเป็นต้องระบุเพิ่มจากตารางที่ 3.4 สำหรับอุปกรณ์ชนิด home air conditioner

EPC	Property name	Data type	Data size	Unit	Remarks
0x8F	Power-saving operation setting	uint8	1	–	Power-saving: 0x41, Normal operation: 0x42
0xB0	Operation mode	uint8	1	–	Automatic: 0x41, Cooling: 0x42, Heating: 0x43, etc.
0xB3	Set temperature value	uint8	1	˚C	Range: 0x00-0x32 (0-50 ˚C)
0xBB	Measured room temperature	int8	1	˚C	Range: 0x80-0x7D (–128-125 ˚C)
0xA0	Air flow rate setting	uint8	1	–	Automatic: 0x41, Manual Range: 0x31-0x38

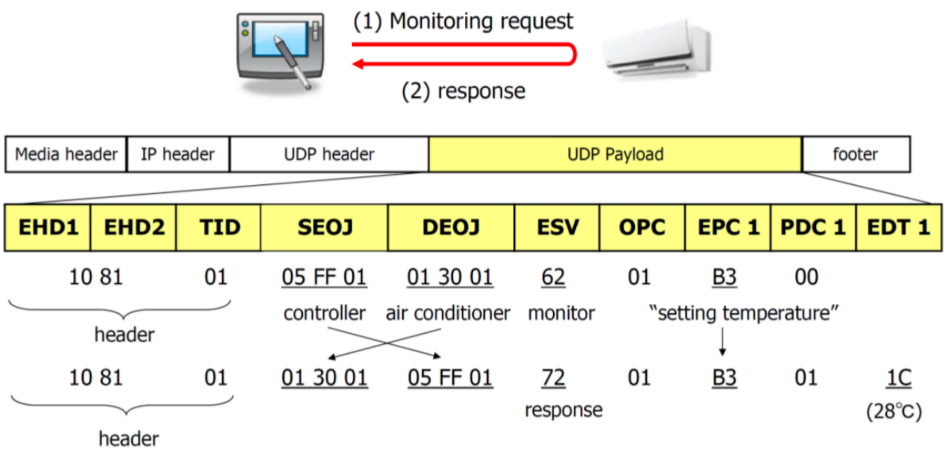
3.2.4 เซอร์วิสของ ECHONET Lite

ในการสื่อสารระหว่างโหนดบนเครือข่ายเอคโคเน็ตไลต์ คำสั่งระหว่างอุปกรณ์ต้นทางและปลายทางจะเรียกว่าเซอร์วิส (service) และจะใช้รหัสเซอร์วิสหรืออีเอสวีในการระบุคำสั่งที่ต้องการ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือการ*อ่าน* (read/get) *เขียน* (write/set) และ*แจ้งเตือน* (notify) ตามกฎการเข้าถึง (access rule) ของคุณสมบัตินั้นๆ ตัวอย่างของเซอร์วิสการอ่านและเขียนแสดงดังรูปที่ 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ

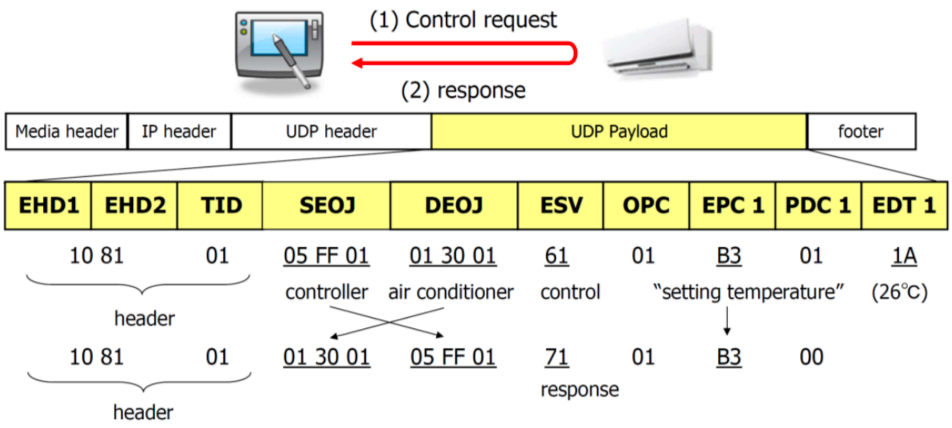
3.3 ระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือน

HEMS เป็นระบบอัตโนมัติประกอบขึ้นจากฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และเครือข่ายที่สามารถรับรู้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อตัดสินใจตามกฎเกณฑ์ที่ผู้ใช้งานได้กำหนดไว้ ตัวอย่างการใช้ระบบแต้มคะแนนในการจัดลำดับความสำคัญและสิทธิ์ในการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าในงานวิจัย [25, 26] มีแผนภาพแสดงอุปกรณ์ไฟฟ้าดังรูปที่ 2-15 และได้แสดงความแตกต่างก่อนและหลัง HEMS ดังรูปที่ 3.10a ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกำหนดเพดานการใช้พลังงานไฟฟ้าทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดไม่สามารถทำงานพร้อมกันได้ ทำให้การใช้พลังงานสูงสุดมีค่าลดลงและใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยการใช้พลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

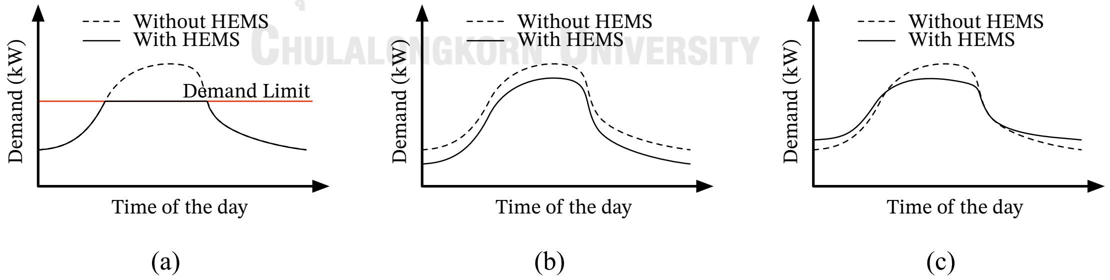


รูปที่3.8: การทำงานของเซอร์วิสการอ่านข้อมูลอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้จากเครื่องปรับอากาศ



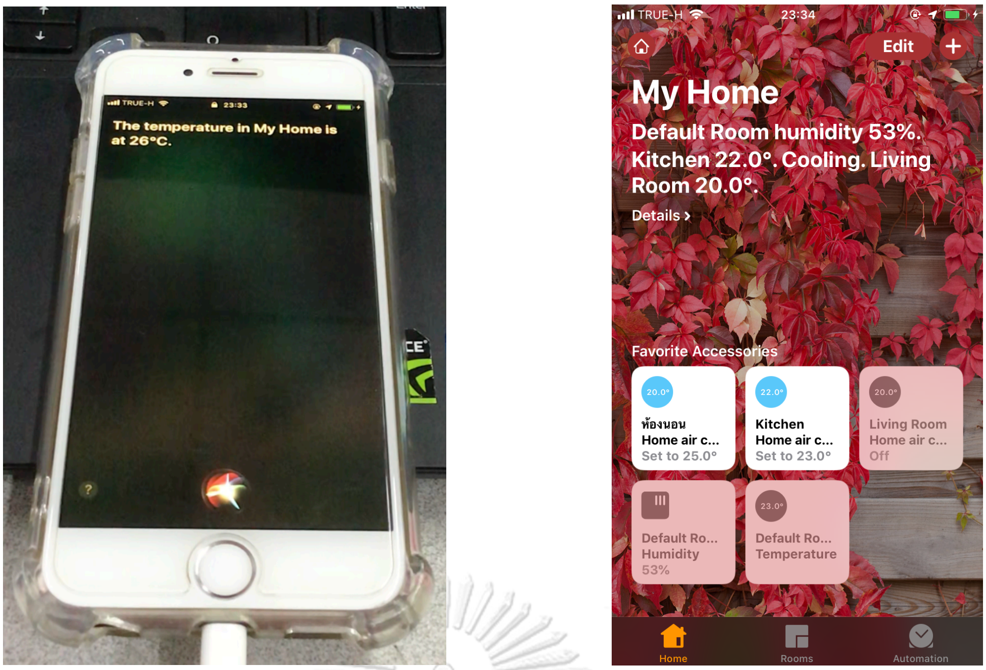
รูปที่3.9: การทำงานของเซอร์วิสการอ่านข้อมูลอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้จากเครื่องปรับอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่3.10: การใช้งาน HEMS สำหรับมาตรการ DR (a) กำหนดเพดานและจำกัดการใช้พลังงาน (b) ใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (c) กระจายช่วงเวลาของการใช้พลังงาน

ตลอดวันมากขึ้น



(a) (b)

รูปที่3.11: การใช้งานอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดร่วมกับโพรโทคอล HomeKit (a) การเรียกใช้งาน Siri ผ่านการสั่งการด้วยเสียง (b) การควบคุมอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดด้วยแอปบ้าน

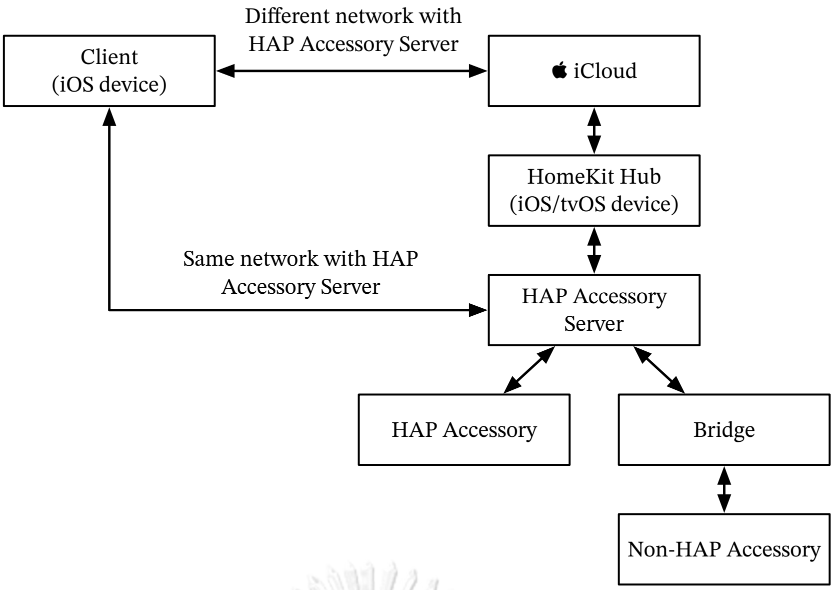
3.4 โพรโทคอลอุปกรณ์ HomeKit

โพรโทคอลอุปกรณ์*โฮมคิต* (HomeKit Accessory Protocol: HAP) เป็นโพรโทคอลที่บริษัทแอปเปิลถือกรรมสิทธิ์ในการเป็นเจ้าของ อุปกรณ์ที่ใช้โพรโทคอลดังกล่าวสามารถใช้งานเซอร์วิสร่วมกับอุปกรณ์ของแอปเปิล ทำให้สามารถสั่งงานอุปกรณ์ชาญฉลาดด้วยเสียงพูด (speech recognition) หรือตั้งเวลาและ/หรือเงื่อนไขการทำงาน (scene) ผ่านผู้ช่วยอัจฉริยะ Siri หรือแอปบ้าน (home app) ได้ ดังรูปที่ 3.11a และ 3.11b ตามลำดับ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วถูกออกแบบมาให้รองรับการสื่อสารกับอุปกรณ์ของ Apple ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ macOS หรือ iOS เท่านั้น

3.4.1 ชนิดของอุปกรณ์บนโพรโทคอล HomeKit

ไคลเอนต์ HAP

ไคลเอนต์ HAP (HAP client) บนโพรโทคอล HomeKit คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นคอนโทรลเลอร์โดยรับส่งข้อมูลจากแอกเซสซอรีเซิร์ฟเวอร์ HAP (HAP accessory server)



รูปที่3.12: แผนภาพบล็อคการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์บนโพรโทคอล HomeKit

วัตถุแอกเซสซอรี HAP

วัตถุแอกเซสซอรี (accessory object) แทนอุปกรณ์ที่จับต้องได้จริงที่เชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์

แอกเซสซอรีเซิร์ฟเวอร์ HAP

คืออุปกรณ์ที่ติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นด้วยโพรโทคอล HomeKit และรู้จักอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ที่ Apple ได้กำหนดไว้ใน [6]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บริดจ์

บริดจ์ (bridge) คือแอกเซสซอรีเซิร์ฟเวอร์ HAP ชนิดพิเศษ ทำหน้าที่เป็นเกตเวย์สำหรับโพรโทคอล HomeKit กับโพรโทคอลอื่น ในวิทยานิพนธ์นี้ผู้เขียนเลือกใช้ HomeBridge [27] ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์จำลองแอกเซสซอรีเซิร์ฟเวอร์ HAP ที่มีอยู่บนระบบปฏิบัติการ iOS รูปที่ 3.12 แสดงแผนภาพบล็อคการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์บนโพรโทคอล HomeKit

3.4.2 การสื่อสารและความปลอดภัย

โพรโทรคอล HomeKit รองรับการสื่อสารในชั้นขนส่ง 2 รูปแบบ คือ Bluetooth LE และ IP โดยอุปกรณ์จะสื่อสารด้วยโพรโทคอลชนิดใดชนิดหนึ่งหรือทั้งสองชนิดก็ได้

ตารางที่3.6 HAP Accessory Information Service [6]

Property	Value
UUID	0000003E-0000-1000-8000-0026BB765291
Type	public.hap.service.accessory-information
Required characteristics	Firmware Revision
	Identity
	Manufacturer
	Model
	Name
	Serial Number
Optional characteristics	Accessory Flags
	Hardware Revision

สำหรับความปลอดภัยได้ระบุไว้ในชั้นช่วงเวลา โดยเป็นการสื่อสารแบบเข้ารหัสจากต้นทางถึงปลายทาง (end-to-end encryption: E2EE) และมีการพิสูจน์ตัวจริงระหว่างอุปกรณ์ต้นทางและปลายทางเสมอ (mutual authentication) ซึ่งทำได้โดยการจับคู่ (pairing) ระหว่างอุปกรณ์ที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการ iOS และแอกเซสซอรี (accessory)

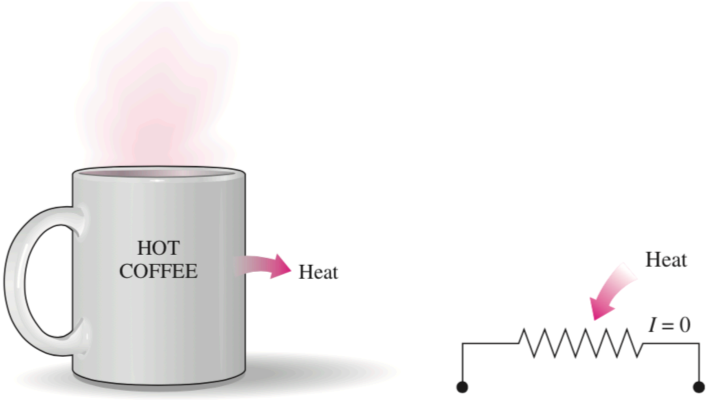
3.4.3 เซอร์วิสของ HomeKit

ในทำนองเดียวกันกับโพรโทคอล ECHONET Lite เซอร์วิสโพรโทคอล HomeKit ถูกจัดกลุ่มตามลักษณะการทำงานของอุปกรณ์นั้น ๆ อย่างไรก็ดีวัตถุแอกเซสซอรี HAP จะต้องมีเซอร์วิสที่ Apple กำหนดให้มี ดังตารางที่ 3.6 ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 3.4

3.5 การทำงานของตู้เย็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตู้เย็นถูกคิดค้นและประดิษฐ์ขึ้นมาสำหรับเก็บ*อาหารที่เสื่อมเสียง่าย* (perishable food) ซึ่งมีสาเหตุจาก จุลินทรีย์ที่ทำให้*อาหารเน่าเสีย* (food spoilage) และตู้เย็นยังช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของ*จุลินทรีย์ก่อโรค* (pathogen) เนื่องจากจุลินทรีย์เหล่านี้เจริญเติบโตได้ช้าในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำดังรูปที่ 1 ใน [28] ตู้เย็นทำงานโดยการลดอุณหภูมิและรักษาระดับอุณหภูมิในช่องเก็บของให้เป็นไปตามที่กำหนด ตู้เย็นที่ใช้ในครัวเรือนมักแบ่งช่องเก็บของออกเป็นหลายส่วนตามประโยชน์ใช้สอย แต่โดยทั่วไปแล้วเราสามารถจำแนกประเภทของช่องเก็บของได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ *ช่องแช่แข็ง* (freezer compartment) และ*ช่องแช่เย็น* (refrigerator compartment) องค์การอาหารและยาสหรัฐได้ระบุอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บหรือถนอมอาหารไว้ที่ 40 °F (4.44 °C) สำหรับช่องแช่เย็น และ 0 °F (−17.78 °C) สำหรับช่องแช่แข็ง [29]



(a) (b)

รูปที่3.13: การถ่ายเทความร้อนและพลังงานเป็นไปอย่างมีทิศทาง (a) ความร้อนถ่ายเทจากแก้วกาแฟไปยังสภาพแวดล้อม (b) การให้ความร้อนกับตัวต้านทานไม่ทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้า

3.5.1 อุณหพลศาสตร์ของตู้เย็น

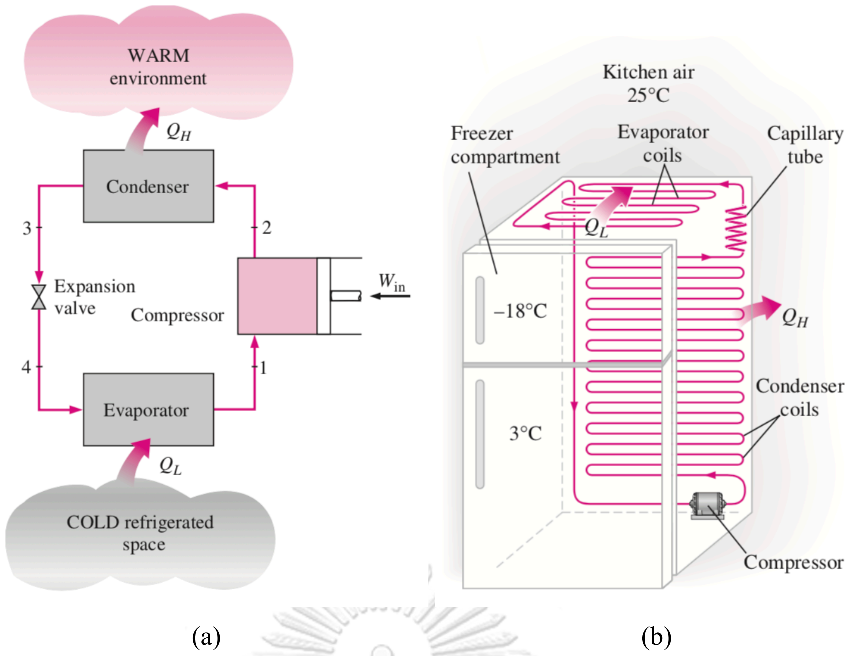
ตู้เย็นหรืออุปกรณ์ทำความเย็น[1]ที่ใช้กันในครัวเรือนมีวิธีการลดอุณหภูมิที่คล้ายกัน คือ ใช้การถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศภายนอกตู้เย็นโดยอาศัยหลักการทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamics)

กฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ กล่าวว่า *ความร้อน* (heat) จะถ่ายเทจาก*แหล่งความร้อน* (hot reservoir) ไปยัง*แหล่งความเย็น* (cold reservoir) อย่างเป็นธรรมชาติ (spontaneous) แต่ความร้อนจะไม่สามารถถ่ายเทจากแหล่งความเย็นไปยังแหล่งความร้อนได้เอง [Clausius (1854), p. 86.] ตัวอย่างเช่น เมื่อวางแก้วกาแฟร้อนไว้ในห้อง เมื่อเวลาผ่านไป อุณหภูมิของกาแฟจะลดลงมาเท่ากับอุณหภูมิห้อง แต่อุณหภูมิของกาแฟจะเพิ่มขึ้นสูงกว่าอุณหภูมิห้องเองไม่ได้ หรือการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับตัวต้านทานจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน แต่การให้ความร้อนกับตัวต้านทานไม่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า *กระบวนการ* (process) ถ่ายเทความร้อนและพลังงานที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างมีทิศทางและไม่สามารถย้อนกลับได้ เพราะ*เอนโทรปี* (entropy) ของระบบอิสระไม่มีทางที่จะลดลงในกระบวนการใดๆ มีแต่จะเพิ่มขึ้นเท่านั้น (monotinically increasing)

ตู้เย็นลดอุณหภูมิด้วย*ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ* (vapor-compression refrigeration) ที่ควบคุม*ความดัน* (pressure) และ*ปริมาตร* (volume) ของสารทำความเย็น โดยทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิภายในตู้เย็นในบริเวณถ่ายเทพลังงาน และทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกตู้เย็นในบริเวณถ่ายเทพลังงาน เพื่อทำให้ความร้อนภายในตู้เย็นสามารถถ่ายเทไปยังสารทำความเย็นและถ่ายเทไปยังอากาศภายนอกตู้เย็นได้ ทำให้ตู้เย็นสามารถลดอุณหภูมิโดยไม่ขัดแย้งกับกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ รูปที่ 3.14a แสดงแผนภาพระบบทำความเย็นแบบอัดไอ รูปที่ 3.14b แสดงระบบทำความเย็นภายในตู้เย็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

[1] สภาพที่มีอุณหภูมิต่ำ



รูปที่3.14: (a) ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ (b) ระบบทำความเย็นในตู้เย็น

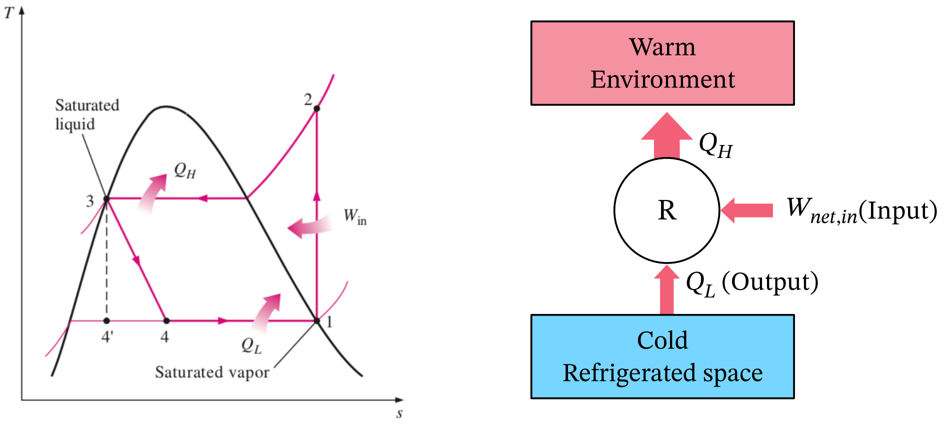
กระบวนการในระบบทำความเย็นแบบอัดไอสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ 1) การเพิ่มความดันของสารทำความเย็นด้วย*คอมเพรสเซอร์* ทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น 2) *การควบแน่น* (condensation) ของสารทำความเย็นเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนภายในสารทำความเย็นไปยังอากาศภายนอก 3) การ*ขยายตัว* (expansion) หรือลดความดันของสารทำความเย็นเพื่อ*ระเหย* (evaporization) ทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นลดลง และ 4) การถ่ายเทความร้อนภายในตู้เย็นกับสารทำความเย็นผ่าน*คอยล์เย็น* (evaporator) ทำให้อุณหภูมิภายในตู้เย็นลดลง เป็นอันครบวัฏจักรในระบบทำความเย็น ดังแสดงในรูปที่ 3.15a กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนที่ตรงข้ามกับ*เครื่องยนต์ความร้อน* (heat engine) โดยให้งานเข้าไปในระบบทำให้ความร้อนสามารถถ่ายเทจากแหล่งความเย็นไปยังแหล่งความร้อนได้ ดังรูปที่ 3.15b

3.5.2 ประสิทธิภาพของตู้เย็น

ประสิทธิภาพของตู้เย็นสามารถบอกได้จากค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (coefficient of performance: COP) ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของความร้อนที่นำออกไปจากตู้เย็นได้ต่อพลังงานทั้งหมดที่ใช้ ดังสมการ (3.1)

$$COP = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{Q_L}{W_{net,in}} \tag{3.1}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



(a) (b)

รูปที่3.15: (a) วัฏจักรในระบบทำความเย็น (b) ทิศทางของงานและการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการทำความเย็น

3.6 การเรียนรู้ของเครื่อง

การเรียนรู้ของเครื่อง (machine learning: ML) เป็นสาขาหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence: AI) ให้คำจำกัดความโดย Samuel (1959) กล่าวว่า

> *การเรียนรู้ของเครื่องเกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบให้สามารถเรียนรู้ (learn) และพัฒนาตนเองจากประสบการณ์ (experience) โดยไม่อาศัยการโปรแกรมอย่างชัดแจ้ง (explicit programming)*

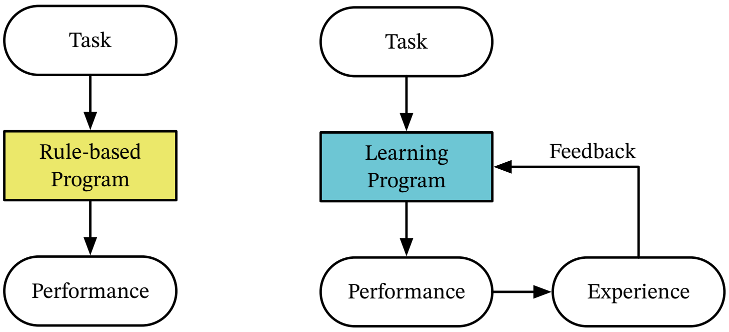
และคำจำกัดความโดย Mitchell (1997) กล่าวว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

> *การเรียนรู้ของเครื่องคือการโปรแกรมให้ตัวแทนปัญญาเรียนรู้จากประสบการณ์ E เพื่อทำงาน (task) T ได้โดยมีประสิทธิผล (performance) P เมื่อโปรแกรมนั้นสามารถทำงาน T ที่วัดผลด้วย P แล้วพัฒนาขึ้นจากประสบการณ์ E*

จากคำจำกัดความทั้งสองนี้ เราสามารถอนุมานได้ว่าการเรียนรู้ของเครื่องนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเมื่อตัวแทนปัญญาเรียนรู้จากประสบการณ์ รูปที่ 3.16 เปรียบเทียบรูปแบบโปรแกรมปัญญาประดิษฐ์ระหว่างการโปรแกรมแบบใช้กฎเป็นฐาน (rule-based program) และการเรียนรู้ของเครื่องหรือโปรแกรมเรียนรู้ (learning program) ซึ่งจะนำผลลัพธ์ที่ได้เป็นประสบการณ์ ป้อนกลับไปยังโปรแกรมเพื่อเพิ่มประสิทธิผลในการทำงานครั้งต่อไป

หนึ่งในปัญหาที่ได้รับความสนใจในปัจจุบันเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้งานการเรียนรู้ของเครื่อง คือการเพิ่มประสิทธิภาพทางวิศวกรรม ซึ่งเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าเหมาะที่สุด (optimization)



(a) (b)

รูปที่3.16: เปรียบเทียบรูปแบบของปัญญาประดิษฐ์ (a) ปัญญาประดิษฐ์แบบการใช้กฎเป็นฐาน (b) ปัญญาประดิษฐ์แบบการเรียนรู้ของเครื่อง

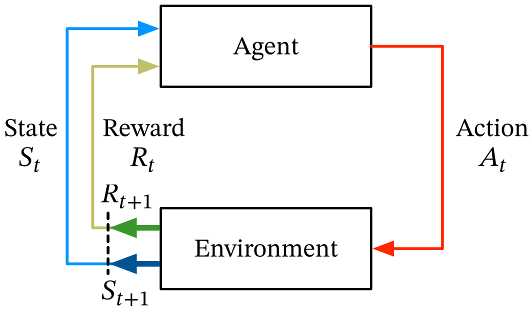
แม้ว่าการเรียนรู้ของเครื่องจะใช้วิธีการทางสถิติเพื่อสร้างสมมติฐาน (hypothesis) ที่สร้างขึ้นจากข้อมูล และนำไปใช้พยากรณ์ (predict) ข้อมูลที่อยู่นอกเหนือจากชุดข้อมูล (dataset) ให้มีความแม่นยำสูงที่สุด หรืออีกนัยหนึ่ง ให้มีความผิดพลาดน้อยที่สุด การเรียนรู้ของเครื่องเป็นกระบวนทำซ้ำการที่ต้องทำอย่างต่อเนื่อง และมีข้อมูลเพิ่มเข้ามาในชุดข้อมูลอยู่สม่ำเสมอ ดังนั้นการหาผลเฉลยรูปแบบปิด (closed-form solution) ด้วยวิธีการวิเคราะห์ (analytical method) จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าอัลกอริทึมวิธีการทำซ้ำ (iterative method) หนึ่งในตัวอย่างที่เห็นภาพได้ชัดคือ การหาเส้นตรงที่เหมาะสมและเป็นตัวแทนของข้อมูลในการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวด้วยสมการปรกติ (normal equation) และการเคลื่อนลงตามความชัน (gradient descent) ซึ่งมีเป้าหมายในการหาค่าพารามิเตอร์ θ_0 และ θ_1 ที่ทำให้ฟังก์ชันต้นทุน (cost function) มีค่าต่ำที่สุด เมื่อมีข้อมูลใหม่เพิ่มขึ้นมา อัลกอริทึมวิธีการทำซ้ำอย่างการเคลื่อนลงตามความชันจะคำนวณเฉพาะชุดข้อมูลที่เพิ่มขึ้นมาใหม่ ในขณะที่วิธีการวิเคราะห์อย่างการใช้สมการปรกติต้องคำนวณด้วยข้อมูลทั้งหมดในชุดข้อมูล ทำให้การเคลื่อนลงตามความชันเหมาะสมกว่าที่จะนำมาใช้ในระยะยาว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

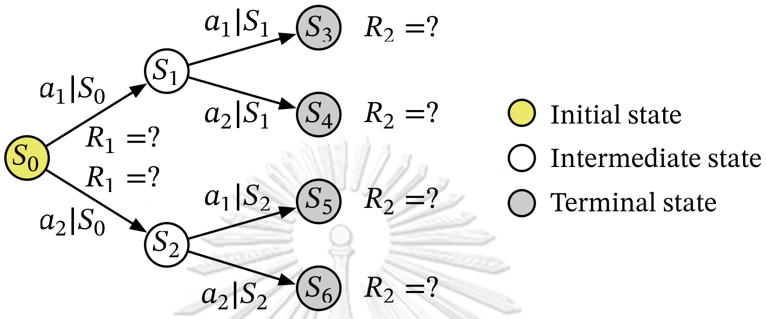
3.6.1 การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง

การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (reinforcement learning: RL) เป็นหนึ่งในวิธีการเรียนรู้เพื่อให้ตัวแทนปัญญาตัดสินใจเลือกการกระทำ (action) ต่อสิ่งแวดล้อม (environment) อันทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ (state) ของตัวแทนปัญญาเพื่อทำให้ได้รางวัลหรือผลตอบแทน (reward) ซึ่งเป็นเป้าหมาย (goal) สูงที่สุด องค์ประกอบของการเรียนรู้แบบเสริมกำลังสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.17

ในการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง ตัวแทนปัญญาจะมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมอยู่ตลอดเวลา เพื่อลองผิดลองถูก (trial and error) เก็บข้อมูลของสิ่งแวดล้อมแล้วนำมาสร้างแบบจำลอง (model) สำหรับการตัดสินใจเลือกการกระทำ การตัดสินใจเลือกการกระทำแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การสำรวจ (exploration) และการเสาะแสวง (exploitation) การสำรวจเป็นการกระทำเพื่อทำให้ตัวแทนปัญญามีข้อมูลของสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยไม่จำเป็นว่าการกระทำที่เลือกไปจะต้องเป็นการกระทำที่ได้รางวัลสูงที่สุด ณ ขณะนั้น แต่หวังผลรางวัลคาดหวังสะสม (expected cumulative reward) สูงที่สุด ส่วนการเสาะแสวงเป็นการ



รูปที่3.17: แผนภาพบล็อคของการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง

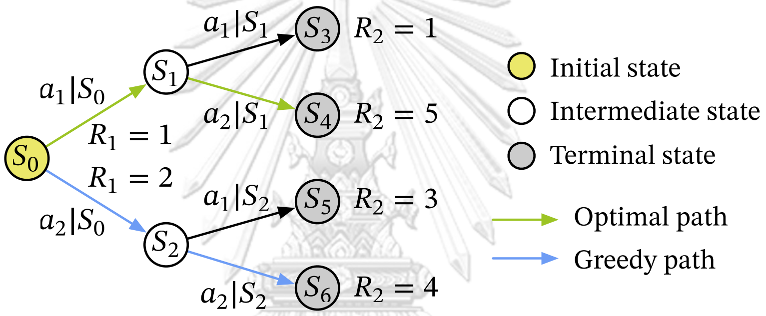


รูปที่3.18: แผนภาพต้นไม้ของสถานะ การกระทำ และรางวัลก่อนการสำรวจ

ตัดสินใจเลือกการกระทำที่ตัวแทนปัญญามั่นใจว่าจะให้รางวัลสูงที่สุดเท่านั้น อาจกล่าวได้ว่า การเสาะแสวงเป็นการตัดสินใจแบบละโมบ (greedy) ส่วนการสำรวจเป็นการตัดสินใจแบบไม่ละโมบ (non-greedy) นั่นเอง

รูปที่ 3.17 แสดงแผนภาพต้นไม้ (tree) เมื่อตัวแทนปัญญาเริ่มต้นการสำรวจสิ่งแวดล้อมที่ไม่รู้จัก กำหนดให้ S_n แทนสถานะที่ n $a_t|S_n$ แทนการกระทำที่เวลา t เมื่ออยู่ในสถานะ S_n และ R_t แทนผลรางวัลคาดหวังสะสมที่เวลา t การสำรวจสถานะและรางวัลของตัวแทนปัญญาเป็นการค้นหาเชิงลึก (depth-first search) กล่าวคือ ตัวแทนปัญญาจะเริ่มต้นตัดสินใจตั้งแต่สถานะเริ่มต้น (initial state) จนอยู่ในสถานะสุดท้าย (terminal state) จากนั้นจะกลับมาเริ่มต้นที่สถานะเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่งโดยเลือกตัดสินใจไม่ซ้ำกับเส้นทางเดิมเพื่อเก็บข้อมูลรางวัลเมื่อตัดสินใจกระทำแล้วไปยังสถานะที่ไม่รู้จัก และเมื่อทราบรางวัลจากทุกเส้นทางแล้ว จึงเสาะแสวงเลือกตัดสินใจเฉพาะเส้นทางที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้รางวัลมากที่สุด ดังรูปที่ 3.19 อย่างไรก็ดีหากการสำรวจเป็นแบบละโมบ อาจทำให้ตัวแทนปัญญาเสาะแสวงจากเส้นทางที่ไม่ใช่เส้นทางเหมาะที่สุด (suboptimal) แทน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่3.19: แผนภาพต้นไม้ของสถานะ การกระทำ และรางวัลหลังการสำรวจ แสดงเส้นทางละโมบและเส้นทางเหมาะที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4

การบริหารจัดการพลังงานสำหรับครัวเรือน

4.1 ประโยชน์ใช้สอยกับการใช้พลังงานไฟฟ้า

เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน (home appliance หรือ domestic appliance) คือเครื่องจักรกลไฟฟ้า (electrical machine) หรืออุปกรณ์ไฟฟ้า (electrical equipment) ที่มีหน้าที่เฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับงานบ้าน (housekeeping) เช่น การถนอมอาหาร การทำอาหาร การทำความสะอาด เป็นต้น เพื่ออำนวยความสะดวก (convenience) ความสบาย (comfort) ให้กับผู้อาศัยภายในบ้าน ตัวอย่างเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านได้แก่ เครื่องปรับอากาศ เครื่องทำน้ำร้อน เครื่องล้างจาน เตาแม่เหล็กไฟฟ้า ตู้เย็น หลอดไฟ เป็นต้น

เครื่องใช้ไฟฟ้าจะใช้พลังงานได้อย่างเป็นประโยชน์ (useful) เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน (intended use) ตัวอย่างเช่น หลอดไฟหรือโคมไฟส่องสว่าง มีหน้าที่ให้ความสว่างในบริเวณที่มีผู้อาศัยและมีแสงสว่างแวดล้อม (ambient light) ไม่เพียงพอ หลอดไฟจะมีประโยชน์เมื่อสามารถเพิ่มทัศนวิสัยหรืออำนวยความสะดวกในการดำเนินกิจวัตรในสถานที่ที่มีแสงสว่างแวดล้อม หรือแสงสว่างจากธรรมชาติ (daylight) ไม่เพียงพอ หากใช้หลอดไฟให้ความสว่างในเวลากลางวัน ในบริเวณที่มีแสงสว่างจากธรรมชาติส่องเข้ามาได้ และเพิ่มทัศนวิสัยเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์ หรือเป็นการทำให้เปลืองเสียเปล่า (waste) รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบการใช้งานหลอดไฟในเวลากลางวัน ความสว่างที่วัดได้จากเครื่องมือวัดเมื่อเปิดไฟมีค่ามากกว่าขณะปิดไฟกว่า 644% แต่หากคำนึงถึงการใช้งานสถานที่ เช่น การใช้เป็นทางผ่านระหว่างห้องหนึ่งไปยังห้องหนึ่ง ผู้ใช้งานอาจไม่รู้สึกว่ามีความจำเป็นจะต้องให้สถานที่มีความสว่างเพิ่มขึ้น เพราะไม่ว่าที่ความสว่าง 54.4 lux หรือ 405 lux ผู้อาศัยสามารถสัญจรได้โดยไม่ชนกับสิ่งกีดขวาง ในกรณีนี้ถือว่าการเปิดไฟไม่ทำให้เกิดประโยชน์ใช้สอย แต่หากเป็นการใช้งานห้องเพื่อทำงานที่ต้องใช้สายตาหรือการอ่านหนังสือ ผู้ใช้งานอาจรู้สึกอึดอัดเนื่องจากแสงสว่างแวดล้อมไม่เพียงพอและต้องเปิดไฟเพื่อเพิ่มแสงสว่าง

เราสามารถนิยามประโยชน์ใช้สอย (utility) ได้ว่าเป็นความสามารถในการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อ

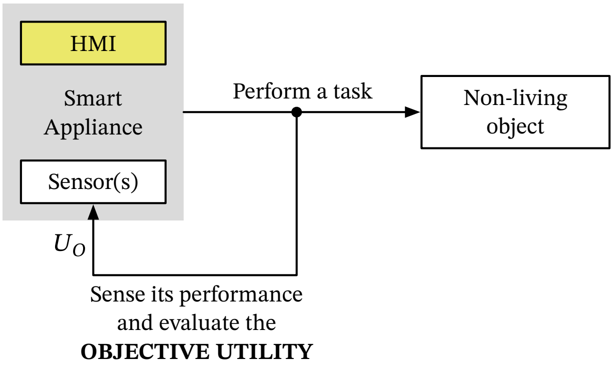
(a) (b)

รูปที่4.1: ภาพเปรียบเทียบการใช้งานหลอดไฟ (a) วัดความสว่างได้ 54.4 lux เมื่อปิดไฟ (b) วัดความสว่างได้ 405 lux เมื่อเปิดไฟ

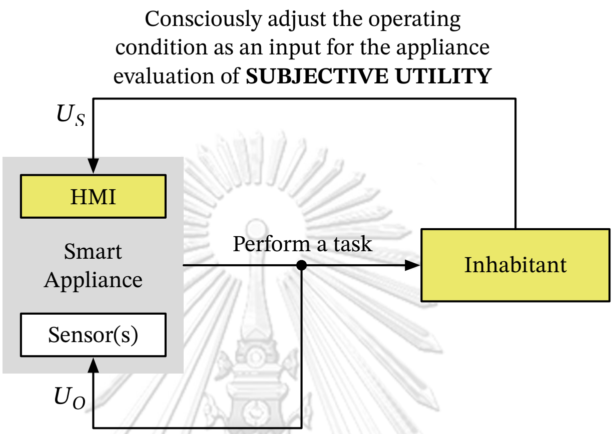
ทำประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ของเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยมีตัววัดเชิงวัตถุวิสัย (objective) ที่ชัดเจน และการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่ออำนวยความสะดวกในการดำเนินกิจวัตรเพื่อเพิ่มความพอใจ (satisfaction) ความสะดวกความสบาย ทั้งทางตรงและเชิงสุนทรียภาพ (aesthetic) โดยมีตัววัดเชิงจิตวิสัยหรืออัตวิสัย (subjective) ที่ขึ้นอยู่กับความรู้สึกส่วนบุคคล ตัวอย่างตัววัดประโยชน์ใช้สอยของหลอดไฟคือ การเปิดไฟในที่ที่มีผู้อาศัยและมีแสงสว่างแวดล้อมไม่เพียงพอในการดำเนินกิจวัตร จะเกิดประโยชน์ ในขณะที่การเปิดไฟในที่ที่มีผู้อาศัยแต่มีแสงสว่างแวดล้อมอยู่แล้ว การเปิดไฟขณะผู้อาศัยนอนหลับ หรือการเปิดไฟขณะผู้อาศัย ถือเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างสูญเปล่า ตัววัดดังกล่าวจัดเป็นตัววัดเชิงวัตถุวิสัย ในขณะที่การกำหนดระดับความสว่างที่พอเหมาะกับการดำเนินกิจวัตรของแต่ละบุคคลอาจไม่เท่ากัน ตัววัดดังกล่าวจัดเป็นตัววัดแบบจิตวิสัย ระดับของประโยชน์ใช้สอยสามารถกำหนดได้ดังสมการที่ 4.1 เมื่อ U_A คือประโยชน์ใช้สอยรวม U_O คือประโยชน์ใช้สอยเชิงเชิงวัตถุวิสัย U_S คือประโยชน์ใช้สอยเชิงเชิงจิตวิสัย P คือกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด และ a, b และ c คือสัมประสิทธิ์ความสำคัญในการประเมินประโยชน์ใช้สอย

$$U_A = aU_O + bU_S - cP \tag{4.1}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



(a)



(b)

รูปที่4.2: การประเมินประโยชน์ใช้สอยของเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด (a) แบบมีปฏิสัมพันธ์วัตถุอื่นที่ไม่ใช่ผู้อาศัย (b) แบบมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อาศัย

4.2 แบบแผนในการจัดการพลังงานครัวเรือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

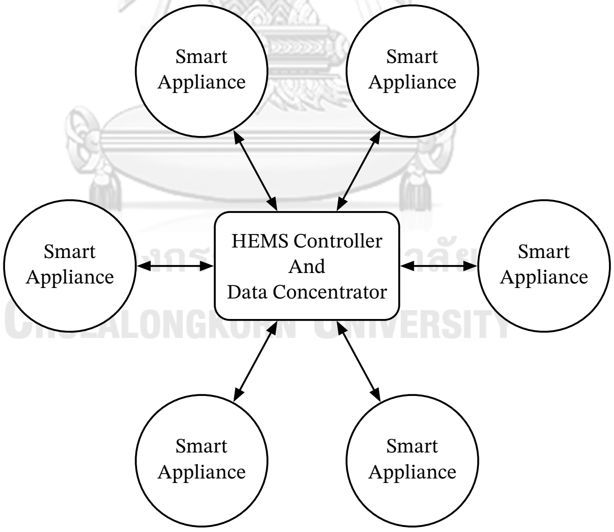
เครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดจะทำงานโดยหาค่าเหมาะสมในการทำงานเพื่อทำให้เกิดประโยชน์ใช้สอยมากที่สุด ซึ่งแตกต่างจากประสิทธิภาพ (efficiency) ในการทำงาน กล่าวคือ หลอดไฟที่มีประสิทธิภาพสูงมากหรือมีค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง (หน่วยวัด lm/W) อาจไม่มีประโยชน์หากเปิดทำงานในบริเวณที่ไม่มีผู้อาศัย หรือยังคงเปิดทิ้งไว้เมื่อผู้อาศัยไม่อยู่ในบริเวณดังกล่าวแล้ว รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบการประเมินประโยชน์ใช้สอยของเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดระหว่างวัตถุอื่นที่ไม่ใช่ผู้อาศัยและผู้อาศัย

เครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาพรวมโดยทำให้มีผลกระทบต่อความพึงพอใจ ความสะดวกและความสบายของผู้อาศัยน้อยที่สุด นอกจากนี้ HEMS ยังช่วยส่งเสริมการเข้าร่วมมาตรการความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้าของผู้อาศัย

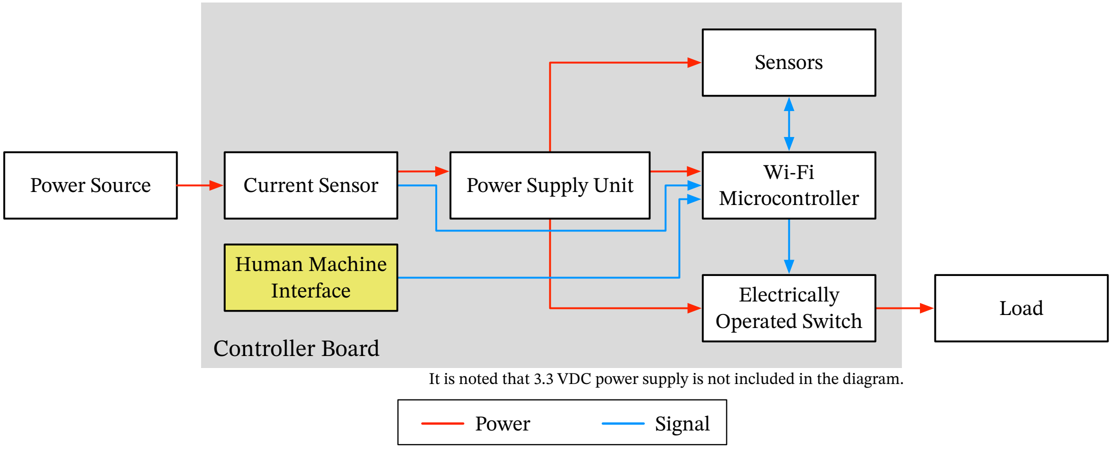
บทที่ 5

สถาปัตยกรรมระบบ

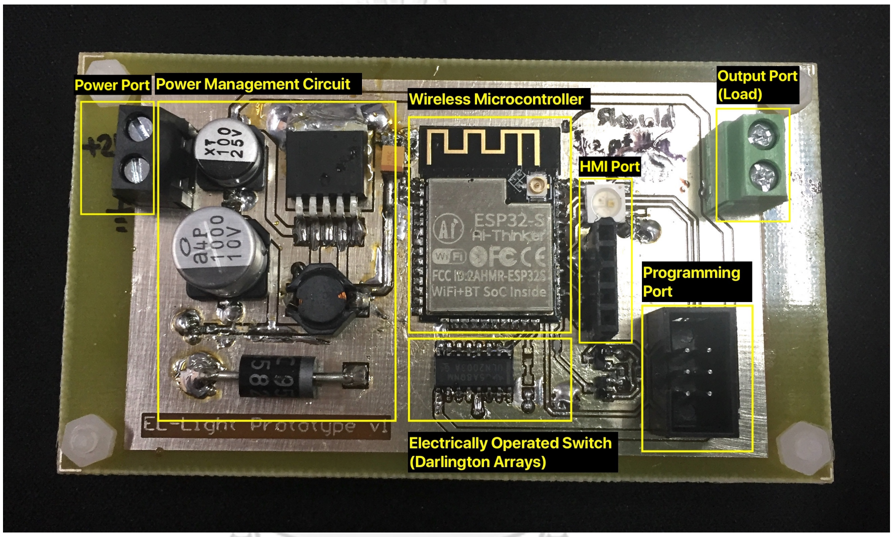
ระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือนที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์มีรูปแบบสถาปัตยกรรมระบบประมวลผลข้อมูลแบบรวมศูนย์ (centralized computing) กล่าวคือในระบบจะประกอบด้วยโหนดที่ทำหน้าที่เป็นคอนโทรลเลอร์และศูนย์รวมข้อมูลเพียงโหนดเดียว ส่วนโหนดที่เหลือเป็นโหนดเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดที่ทำงานร่วมกับระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือนได้ ดังรูปที่ 5.1



รูปที่5.1: สถาปัตยกรรมระบบประมวลผลข้อมูลแบบรวมศูนย์



รูปที่5.2: แผนภาพบล็อคของวงจรควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด

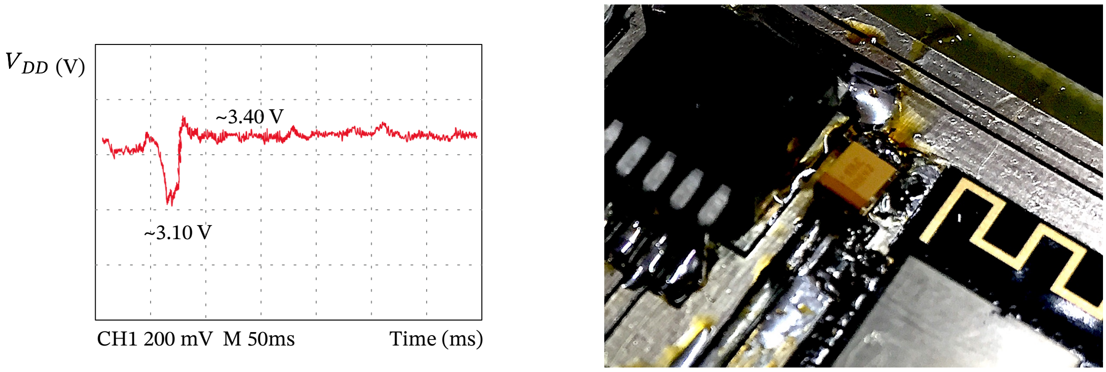


รูปที่5.3: แผ่นวงจรพิมพ์ที่เป็นวงจรควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด (ไม่มีตัวรับรู้)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.1 ฮาร์ดแวร์

วงจรควบคุมหลักสร้างขึ้นจากแผ่นวงจรพิมพ์ (printed circuit board: PCB) ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 4 ชนิดเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า ได้แก่ *แหล่งจ่ายไฟ* (power supply) *ตัวรับรู้* (sensor) *ไมโครคอนโทรลเลอร์ไร้สาย* (wireless microcontroller) *สวิตซ์*ที่สามารถควบคุมได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า (electrically operated switch) และ*โหลด*หรือภาระทางไฟฟ้าซึ่งเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบที่มีประโยชน์ในการใช้งาน รูปที่ 5.2 แสดงทิศทางการจ่ายพลังงานและทิศทางสัญญาณควบคุมระหว่างอุปกรณ์หลักทั้ง 4 ชนิด นอกจากนี้ยังได้เพิ่มพอร์ตสำหรับจ่ายพลังงาน พอร์ตสำหรับเชื่อมต่อกับโหลด และพอร์ตสำหรับโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ (programming port) ดังรูปที่ 5.3



(a) (b)

รูปที่5.4: (a) ภาวะไฟฟ้าตกของไฟเลี้ยงไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อเชื่อมต่อไวไฟ (b) การใช้ตัวเก็บประจุต่อคร่อมกับแหล่งจ่ายไฟของไมโครคอนโทรลเลอร์ไร้สายเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดภาวะไฟตก

5.1.1 แหล่งจ่ายไฟ

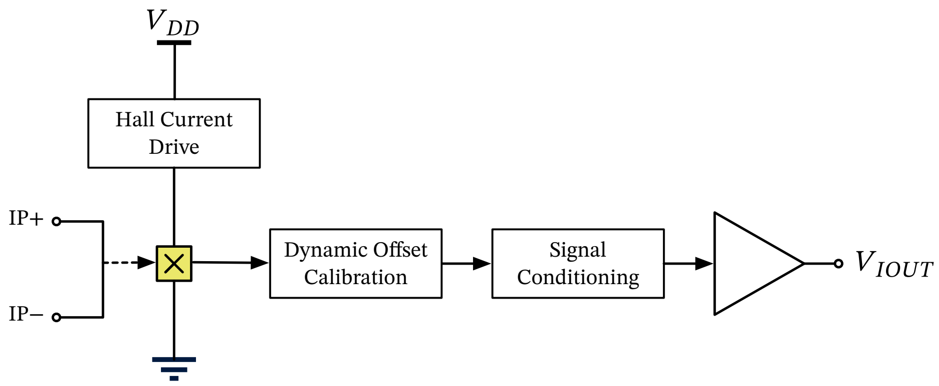
แหล่งจ่ายพลังงานในครัวเรือนเป็นระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 220 VAC ความถี่ 50 Hz ส่วนแรงดันที่จ่ายให้กับโหลดขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยทั่วไปมักเป็นแบบ 12/24 VDC หรือ 110/220 VAC ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์และตัวรับรู้ต้องการไฟเลี้ยง 3.3 VDC ดังนั้นจึงออกแบบแหล่งจ่ายไฟโดยให้เอาต์พุตเป็นไฟเลี้ยง 3 ระดับคือ 220 VAC 50 Hz, 12/24 VDC และ 3.3 VDC

ไมโครคอนโทรลเลอร์ไร้สายจะใช้กำลังไฟฟ้ามากขณะเริ่มต้นเชื่อมต่อกับเครือข่ายไวไฟ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดภาวะไฟฟ้าตก (brownout) และเริ่มใหม่ (restart) ดังรูปที่ 5.4a จึงได้ต่อตัวเก็บประจุแทนทาลัมที่มีค่าความต้านทานอนุกรมสมมูล (equivalent series resistance: ESR) ต่ำคร่อมบริเวณพอร์ตจ่ายไฟของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังรูปที่ 5.4b เพื่อลดผลกระทบดังกล่าว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.1.2 การวัดกำลังไฟฟ้า

การวัดกำลังไฟฟ้าหรืออัตราการใช้พลังงานได้โดยการใช้ชิป ACS712 ซึ่งเป็นตัวรับรู้กระแสเชิงเส้นที่ทำงานโดยอาศัยปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall effect) วัดกระแสที่ไหลเข้าแหล่งจ่ายไฟเพื่อวัดพลังงานที่ใช้ ให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นแรงดัน มีค่าแรงดันกระแสศูนย์ (zero-current output voltage) ที่ $0.5V_{DD}$ และมีค่าความไว (sensitivity) 185±5 mV/A แรงดันเอาต์พุตของชิปจะถูกป้อนให้กับตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (analog-to-digital converter: ADC) เพื่อคำนวณพลังงานที่ใช้ รูปที่ 5.5 แสดงแผนภาพบล็อคของตัวรับรู้กระแสเชิงเส้นที่ทำงานโดยอาศัยปรากฏการณ์ฮอลล์



รูปที่5.5: แผนภาพบล็อคแสดงการทำงานของตัวรับรู้กระแสเชิงเส้น

5.1.3 ส่วนต่อประสานระหว่างมนุษย์และเครื่องจักร

ส่วนต่อประสานระหว่างมนุษย์และเครื่องจักร (human machine interface: HMI) คืออุปกรณ์ที่มนุษย์สามารถใช้ประสาทสัมผัสรับรู้หรือสั่งงานได้ สวิตช์กระดก (rocker switch) รูปที่ 5.6a เป็นสวิตช์ขั้วเดียว (single pole) นิยมนำมาใช้ตัดต่อวงจรให้พลังงานเนื่องจากสร้างได้ง่ายและมีความทนทาน แต่ไม่เหมาะในการควบคุมเนื่องจากมีการจดจำตำแหน่งทางกล ทำให้ไม่สามารถควบคุมด้วยกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง สวิตช์ปุ่มกดชั่วขณะ (momentary push button switch) รูปที่ 5.6b สวิตช์สัมผัส (touch switch) รูปที่ 5.6c และสวิตช์เอ็นโคดเดอร์แบบหมุนได้รอบ (rotary encoder switch) 5.6d จึงเหมาะกับการควบคุมเพราะเป็นสวิตช์แบบไม่จดจำสถานะ (stateless switch) สำหรับการรับรู้ เรานิยมใช้หลอดแอลอีดีสำหรับไฟแสดงสถานะเนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่ายและมีความทนทาน ส่วนหน้าจอแสดงผลจะนำมาใช้หากการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้ามีความซับซ้อนและมีรายละเอียดในการควบคุมมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

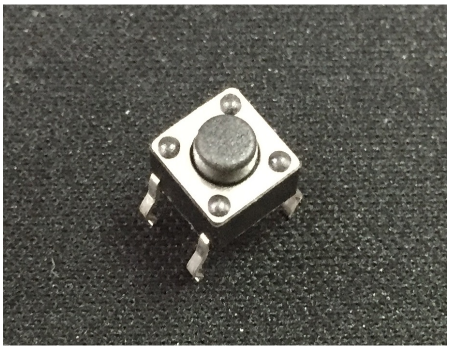
5.1.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ไร้สาย

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้จะต้องสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายไวไฟ เพื่อให้ง่ายในการออกแบบและพัฒนา ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 รูปที่ 5.7 ซึ่งเป็นระบบบนชิปที่มีตัวรับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ หน่วยประมวลผลเบสแบนด์ (baseband processor) และคอนโทรลเลอร์สื่อกลาง (media access controller: MAC) อยู่ในตัว นอกจากนี้ยังมีอินเทอร์เฟสการสื่อสารแบบอนุกรมที่เป็นมาตรฐานและตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลซึ่งจำเป็นสำหรับการอ่านข้อมูลจากตัวรับรู้

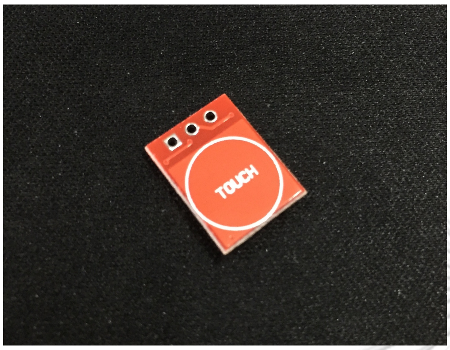
5.1.5 ตัวรับรู้

ตัวรับรู้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าทำหน้าที่เก็บข้อมูลส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประเมินประโยชน์ใช้สอย กล่าวคือ ประเมินการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าว่าทำงานได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่ เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำความเย็นหรือความร้อนจะต้องมีตัวรับรู้สำหรับวัดอุณหภูมิ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ให้แสงสว่างจะ

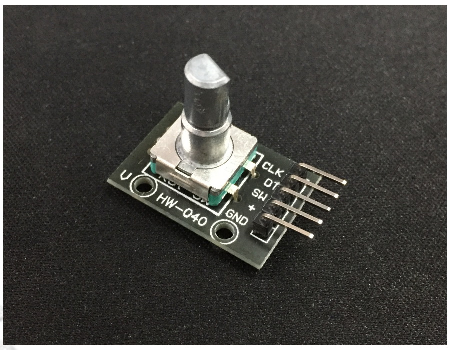
(a)



(b)

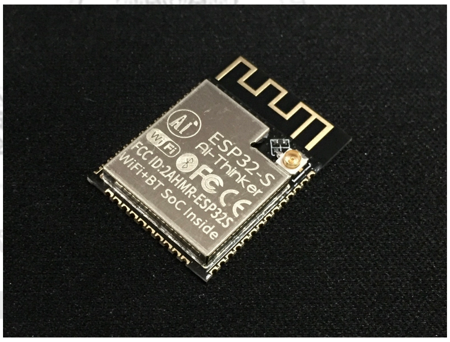


(c)



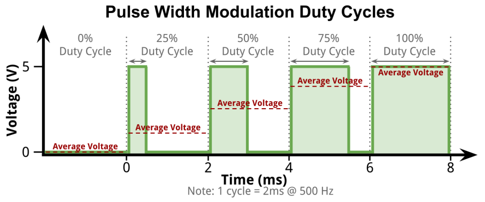
(d)

รูปที่5.6: ส่วนต่อประสานระหว่างมนุษย์และเครื่องจักรที่เป็นอุปกรณ์อินพุต (a) สวิตช์กระดก (b) สวิตช์ปุ่มกดชั่วขณะ (c) สวิตช์สัมผัส (d) สวิตช์เอ็นโคดเดอร์แบบหมุนได้รอบ

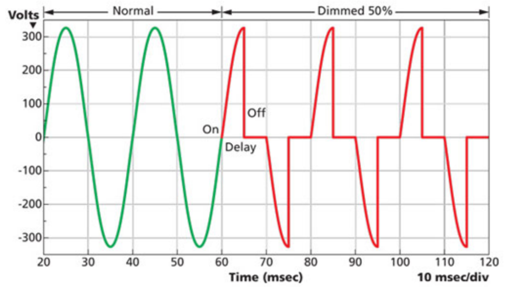


รูปที่5.7: โมดูลไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ที่นำมาใช้

ต้องมีตัวรับรู้ความเข้มแสง ตัวรับรู้ตรวจจับการเคลื่อนไหวของรังสีอินฟราเรดซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากมนุษย์ผู้ใช้งาน เป็นต้น ตัวรับรู้เป็นหนึ่งในส่วนประกอบของระบบควบคุมอัตโนมัติโดยใช้หลักการป้อนกลับเชิงลบเพื่อควบคุมการทำงานของโหลดในเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือเป็นสิ่งที่ให้ข้อมูลกับการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อหาค่าเหมาะสมที่สุดในการทำงาน นอกจากนี้ตัวรับรู้ยังรวมไปถึงตัวรับรู้สำหรับวัดกระแสและแรงดันเพื่อวัดกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดใช้ในการทำงาน



(a)



(b)

รูปที่5.8: การทำงานของสวิตช์ที่สามารถควบคุมได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า (a) การควบคุมระดับการทำงานด้วยการกล้ำความกว้างของพัลส์ (b) การควบคุมเฟสด้วยตัวเรียงกระแสชนิดควบคุมด้วยซิลิคอน

5.1.6 สวิตช์ที่สามารถควบคุมได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า

เราสามารถสั่งให้โหลดทำงาน หยุดการทำงาน หรือควบคุมระดับการทำงานของโหลดโดยการควบคุมสวิตช์ที่สามารถควบคุมได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น การใช้รีเลย์สำหรับการควบคุมแบบเปิด/ปิดที่มีคาบเวลากว้างสำหรับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ การใช้ทรานซิสเตอร์สำหรับการควบคุมโหลดไฟฟ้ากระแสตรงแบบเปิด/ปิดด้วยการกล้ำความกว้างของพัลส์ ดังรูปที่ 5.8a และการควบคุมเฟส (phase control) ด้วยอุปกรณ์ตัวเรียงกระแสชนิดควบคุมด้วยซิลิคอน (silicon-controlled rectifier: SCR) ดังรูปที่ 5.8b เป็นต้น

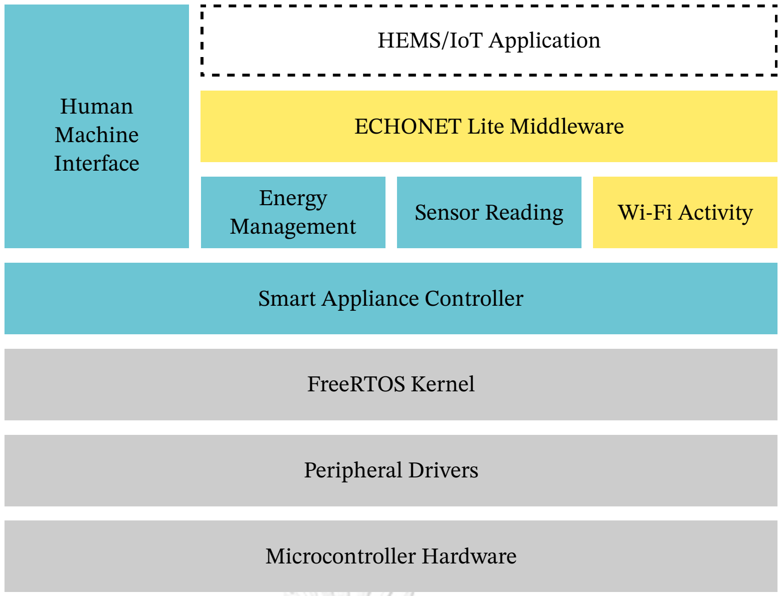
5.2 เฟิร์มแวร์

การออกแบบเฟิร์มแวร์ของเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดจะต้องคำนึงถึงการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าเดิม การตอบสนองต่อผู้ใช้อย่างทันที การทำงานส่วนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง และจะต้องทำงานได้โดยที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับเครือข่าย ผู้วิจัยจึงออกแบบให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานทั้งหมดบนเคอร์เนล FreeRTOS ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการแบบเวลาจริง ให้เครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดสามารถทำงานหลายอย่างในเวลาเดียวกันได้ รูปที่ 5.9 แสดงการแบ่งงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดออกเป็นทาสก์ต่าง ๆ ที่มีลักษณะเป็นกองซ้อนบนระบบปฏิบัติการเวลาจริง กล่าวคือ งานที่อยู่ด้านบนจะต้องการการทำงานของงานด้านล่างด้วย เช่น การสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite จะทำได้ก็ต่อเมื่อเชื่อมต่อกับเครือข่ายไวไฟแล้วเท่านั้น

5.2.1 ส่วนต่อประสานระหว่างมนุษย์และเครื่องจักร

เฟิร์มแวร์ส่วนต่อประสานระหว่างมนุษย์และเครื่องจักรทำงานโดยรับค่าจากอุปกรณ์อินพุต เช่น ปุ่มกด สวิตช์ เป็นต้น และส่งค่าไปแสดงผลยังหน้าจอแสดงผลหรือหลอดไฟแสดงสถานะเพื่อแจ้งให้ผู้ใช้งานรับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่5.9: กองซ้อนบนระบบปฏิบัติการเวลาจริงของเฟิร์มแวร์ควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด

ทราบสถานะและการตอบสนองของเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด ตัวอย่างเช่น ไฟแสดงสถานะการทำงานและการเชื่อมต่อกับเครือข่ายของเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด เป็นต้น

5.2.2 การควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด

เฟิร์มแวร์ส่วนการควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด (smart appliance controller) ทำงานโดยควบคุมสวิตช์ขับโหลด เช่น รีเลย์ ทรานซิสเตอร์ เป็นต้น ตามเงื่อนไขการทำงานที่ผู้ใช้กำหนดหรือจากการตัดสินใจของเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด รวมไปถึงการทำงานเบื้องหลังอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนสถานะของเครื่องสถานะจำกัดของตัวเครื่องใช้ไฟฟ้าเอง หรือการสื่อสารบนโพรโทคอล ECHONET Lite เป็นต้น

CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.2.3 การจัดการพลังงาน

เฟิร์มแวร์ส่วนการจัดการพลังงาน (energy management) ทำงานโดยวัด บันทึก และวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดเทียบกับประโยชน์ที่ผู้ใช้งานได้รับ จากนั้นระบุเงื่อนไขของการทำงานที่ทำให้ผู้ใช้งานได้รับประโยชน์หรือความพึงพอใจสูงที่สุด โดยการใช้พลังงานต่ำที่สุดและสอดคล้องกับนโยบายหรือการกำหนดค่าของผู้ใช้งาน อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องจะถูกนำมาใช้ในเฟิร์มแวร์ส่วนนี้เพื่อทำนายพฤติกรรมของผู้ใช้งานจะถูกนำมาใช้งานในส่วนนี้

5.2.4 การอ่านค่าจากตัวรับรู้

เฟิร์มแวร์ส่วนการอ่านค่าจากตัวรับรู้ (sensor reading) ทำงานโดยอ่านข้อมูลการวัดจากตัวรับรู้ที่เชื่อมต่อทางไฟฟ้ากับพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ อาจเป็นการอ่านค่าลอจิก ค่าแอนะล็อก หรือการส่งการร้องขอเพื่ออ่านข้อมูล (read request) ไปยังตัวรับรู้ที่อยู่บนระบบบัส

5.2.5 การเชื่อมต่อไวไฟ

เฟิร์มแวร์ส่วนการเชื่อมต่อไวไฟ (Wi-Fi activity) ทำงานโดยตรวจสอบการเชื่อมต่อกับเครือข่ายไวไฟที่กำหนด และเชื่อมต่อใหม่ทุกครั้งเมื่อขาดการเชื่อมต่อกับเครือข่าย ทำงานร่วมกับหัวข้อ 5.2.6 ส่วนมิดเดิลแวร์สำหรับการสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite

5.2.6 มิดเดิลแวร์สำหรับการสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite

เฟิร์มแวร์ส่วนมิดเดิลแวร์สำหรับการสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite (ECHONET Lite Middleware) ทำงานเมื่อมีข้อความส่งเข้ามายังบัฟเฟอร์ ตีความหมายของข้อความ จากนั้นทำงานตามคำสั่งที่ได้รับ เฟิร์มแวร์ส่วนนี้อาจรวมไปถึงโพรโทคอลการสื่อสารอื่น ๆ สำหรับการทำงานของสิ่งของบนแพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เมื่อโหนด ECHONET Lite เริ่มต้น (start-up) จะมีลำดับการทำงานดังรูปที่ 5.10 กล่าวคือ ตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อเครือข่าย หากเชื่อมต่อเครือข่ายสำเร็จให้ประกาศชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าบนโหนดและสถานะการทำงานเพื่อแจ้งให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อื่นในเครือข่ายทราบ หากไม่ได้เชื่อมต่อกับเครือข่ายจะพยายามเชื่อมต่อทุก ๆ ช่วงเวลาหนึ่ง รูปที่ 5.11 แสดงข้อความ ECHONET Lite ที่อุปกรณ์ส่งไปยังออบเจ็กต์โพรไฟล์เมื่อเริ่มทำงาน

การประมวลผลข้อความ ECHONET Lite สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.12 กล่าวคือ เมื่อมีข้อความเข้ามายังบัฟเฟอร์ข้อความจะตรวจสอบว่าเป็นเซอร์วิสประเภทใด หากเป็นเซอร์วิสกำหนดค่า (SETC) จะเก็บข้อมูลเข้าตัวแปรสำหรับนำไปสั่งงานเครื่องใช้ไฟฟ้าและตอบกลับข้อมูลที่ได้รับ หากเป็นการถามข้อมูล (GET หรือ INF_REQ) จะตอบกลับเฉพาะข้อมูลที่ถาม

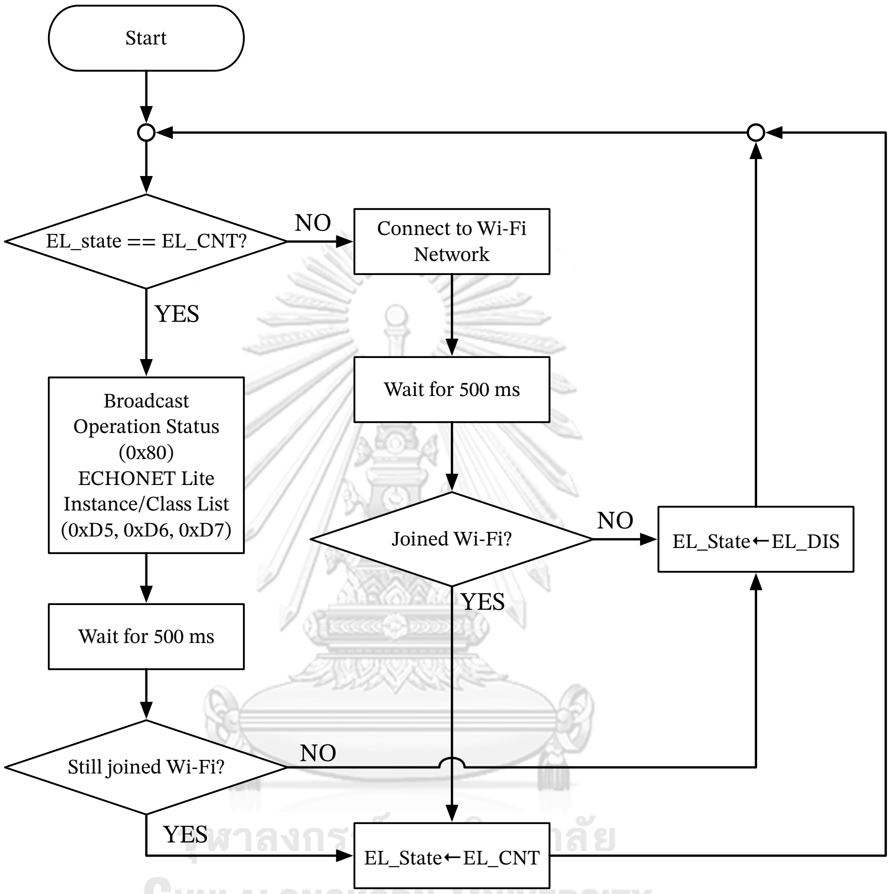
ภาพรวมการทำงานของตัวประมวลผลข้อความสามารถแบ่งออกเป็น 5 สถานะ ดังตารางที่ 5.1 และมีการเปลี่ยนสถานะเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่เข้าเงื่อนไขดังรูปที่ 5.13

เริ่มต้นทดสอบการทำงานจากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมาเองด้วยระบบที่ง่ายที่สุด ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์เพียง 2 ชนิดคืออุปกรณ์ชนิดให้ความสว่างทั่วไปและคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 5.14 จากแพคเก็ตมอนิเตอร์ ดังรูปที่ 5.15 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการบรอดคาสต์ (transmit: T) จาก 224.0.23.0 ซึ่งเป็นมัลติคาสต์แอดเดรสของเอคโคเน็ตไลต์ มีการตอบกลับ (receive: R) จาก 192.168.1.100 ด้วยเซอร์วิส 0x72 ซึ่งหมายถึงการตอบกลับค่าที่อ่าน (property value read response)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่5.1 สถานะการทำงานของของตัวประมวลผลข้อความ ECHONET Lite

No.	State name	Description
1	RESET	Initial state
2	EL_DIS	Disconnected from the network
3	EL_CNT	Connected to the network
4	EL_PRC	ECHONET Lite Messages received and being processed
5	EL_FLT	Fault detected

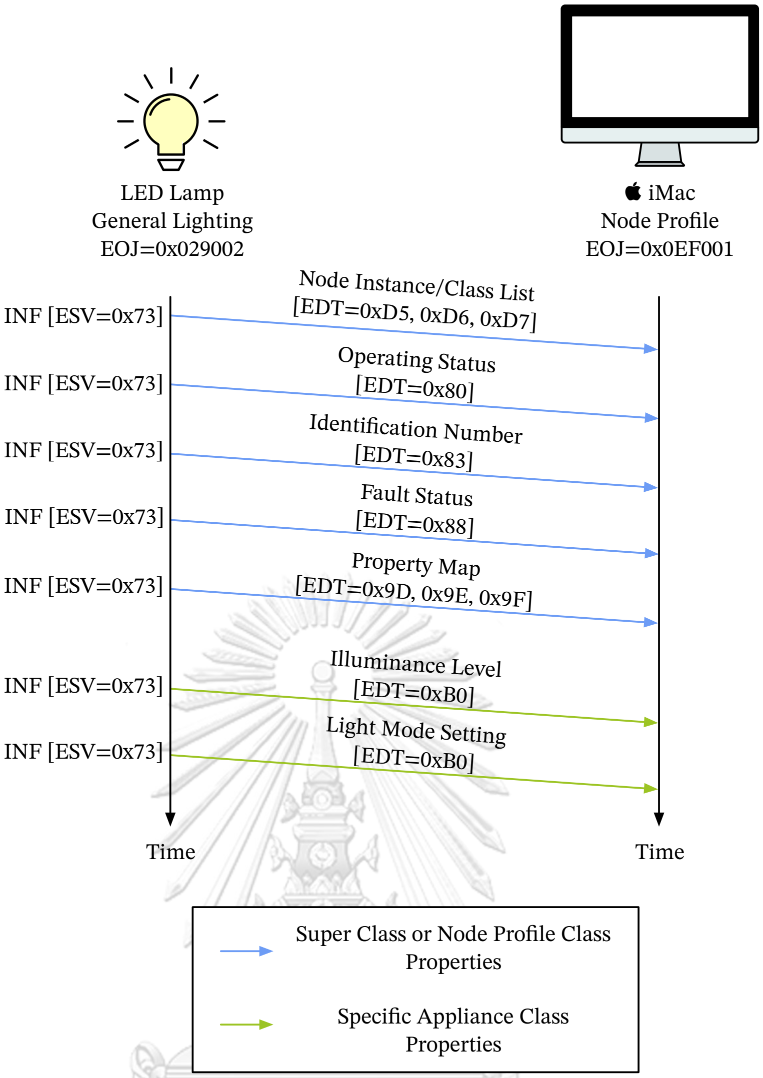


รูปที่5.10: ผังงานแสดงการเริ่มต้นทำงานของโหนด

ซึ่งบอกว่าเป็นอุปกรณ์ชนิดออบเจกต์โพรไฟล์ (0x0EF001) ที่ประกอบด้วยออบเจกต์อุปกรณ์ 0x029001 ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ชนิดให้ความสว่างทั่วไป (general lighting)

5.3 ส่วนต่อประสาน

ผู้ใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดคือมนุษย์และตัวแทนปัญญา โดยมนุษย์จะมีปฏิสัมพันธ์กับเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดผ่านส่วนต่อประสานระหว่างมนุษย์และเครื่องจักร (human machine interface: HMI) และตัวแทนปัญญาจะมีปฏิสัมพันธ์กับเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดผ่านส่วนต่อประสานระหว่างเครื่องจักร



รูปที่5.11: ข้อความ ECHONET Lite ที่อุปกรณ์ส่งไปยังออบเจ็กต์โพรไฟล์เมื่อเริ่มทำงาน

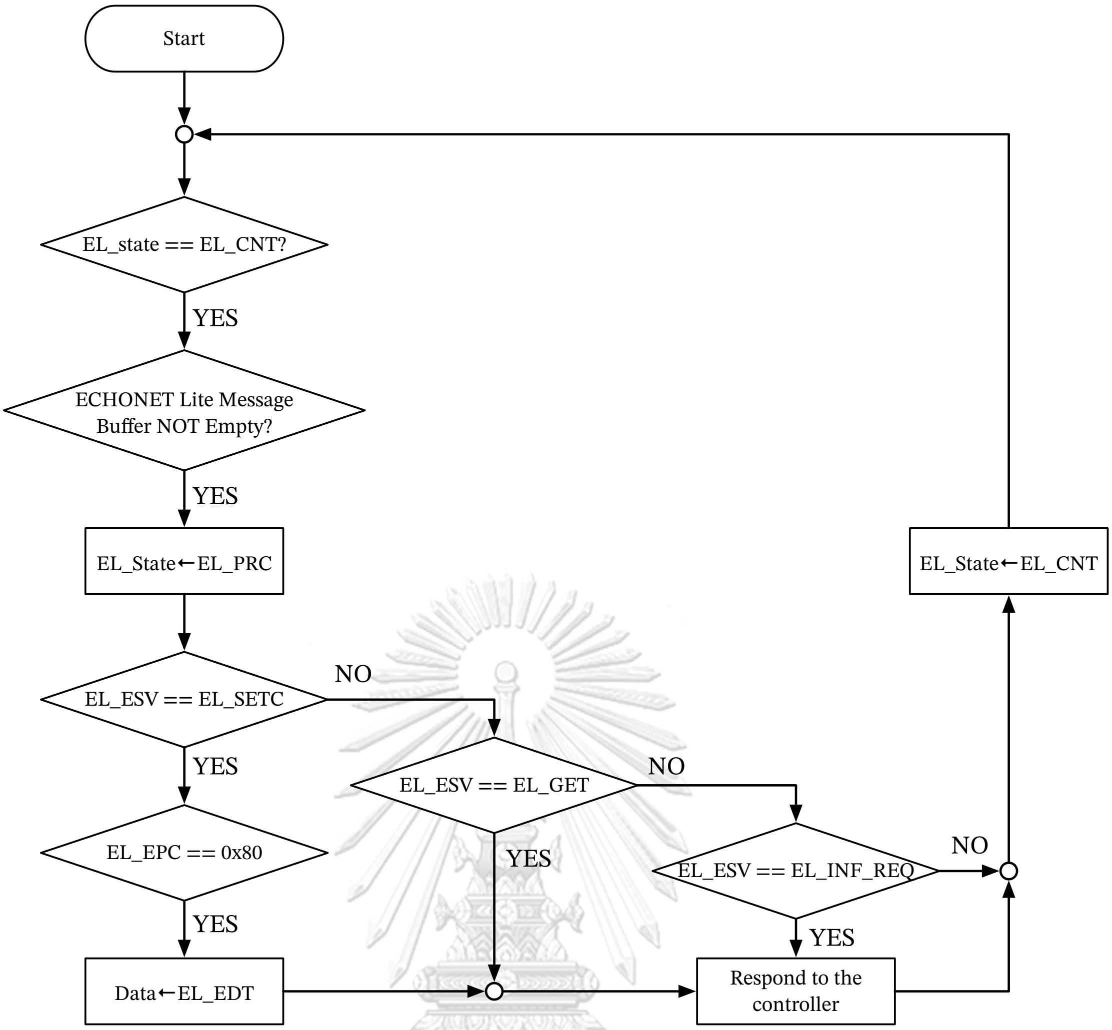
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กับเครื่องจักร (machine-to-machine: M2M) นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ออกแบบให้ผู้ใช้งานที่เป็นมนุษย์สามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านคอนโทรลเลอร์ที่สื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite และตัวแทนปัญญาอย่าง Siri เพื่อสื่อสารกับเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดผ่านแพลตฟอร์ม HomeKit ไปยังส่วนต่อประสานระหว่างเครื่องจักรกับเครื่องจักรของเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดอีกทีหนึ่ง ดังรูปที่ 5.16

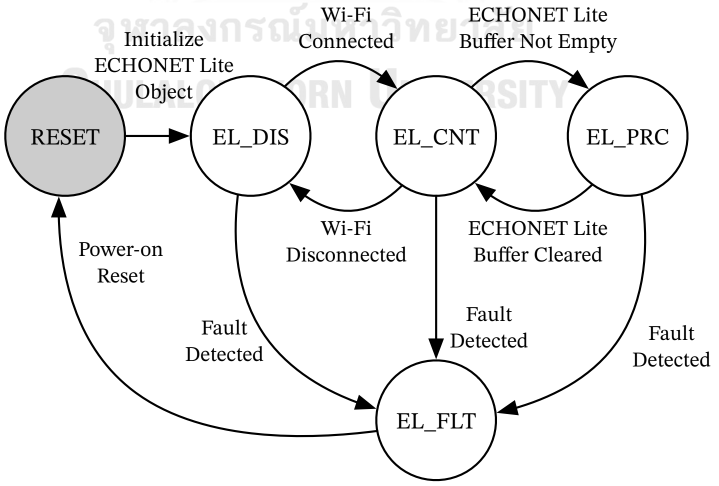
5.4 เครือข่าย

เครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดจะติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นผ่านเครือข่ายไร้สาย ผู้วิจัยได้เลือกใช้มาตรฐานไวไฟเป็นมาตรฐานกลางในการรับ/ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ และใช้โพรโทคอล ECHONET Lite ซึ่งออกแบบมาสำหรับระบบบริหารจัดการพลังงานโดยเฉพาะสำหรับการรับ/ส่งข้อความระหว่างอุปกรณ์

ระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือนที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์

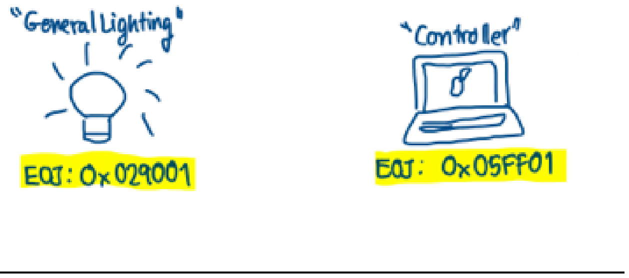


รูปที่5.12: ผังงานแสดงการประมวลผลข้อความ ECHONET Lite

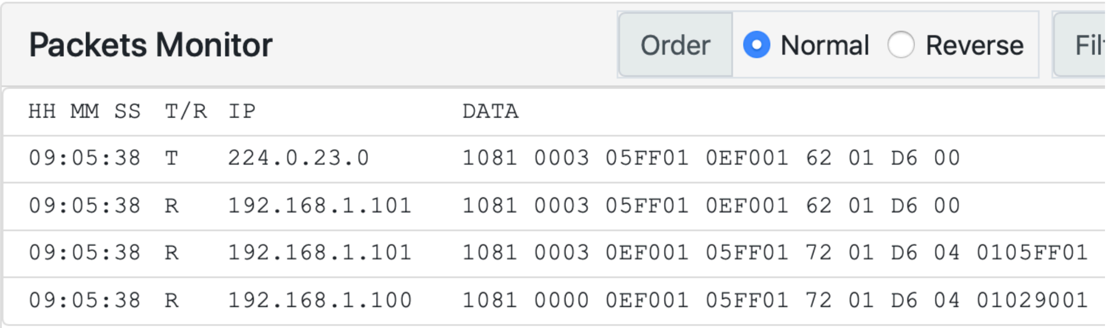


รูปที่5.13: แผนภาพบล็อคแสดงการเปลี่ยนสถานะการทำงานของตัวประมวลผลข้อความ ECHONET Lite

ตั้งโต๊ะหรือคอมพิวเตอร์พกพาสำหรับทำหน้าที่เป็นคอนโทรลเลอร์ในระบบบริหารจัดการพลังงาน



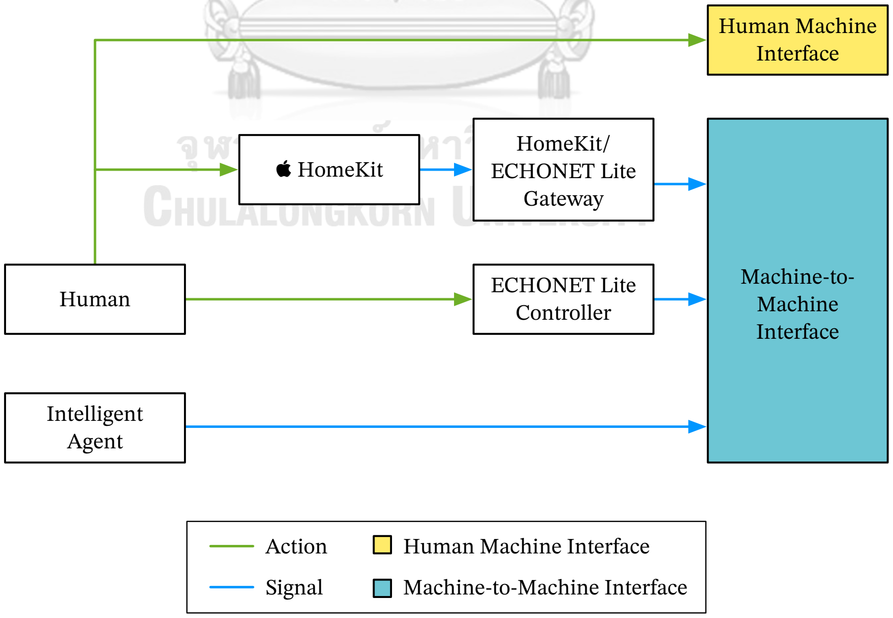
รูปที่5.14: ระบบอย่างง่ายสำหรับทดสอบอุปกรณ์ว่าสามารถสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite ได้



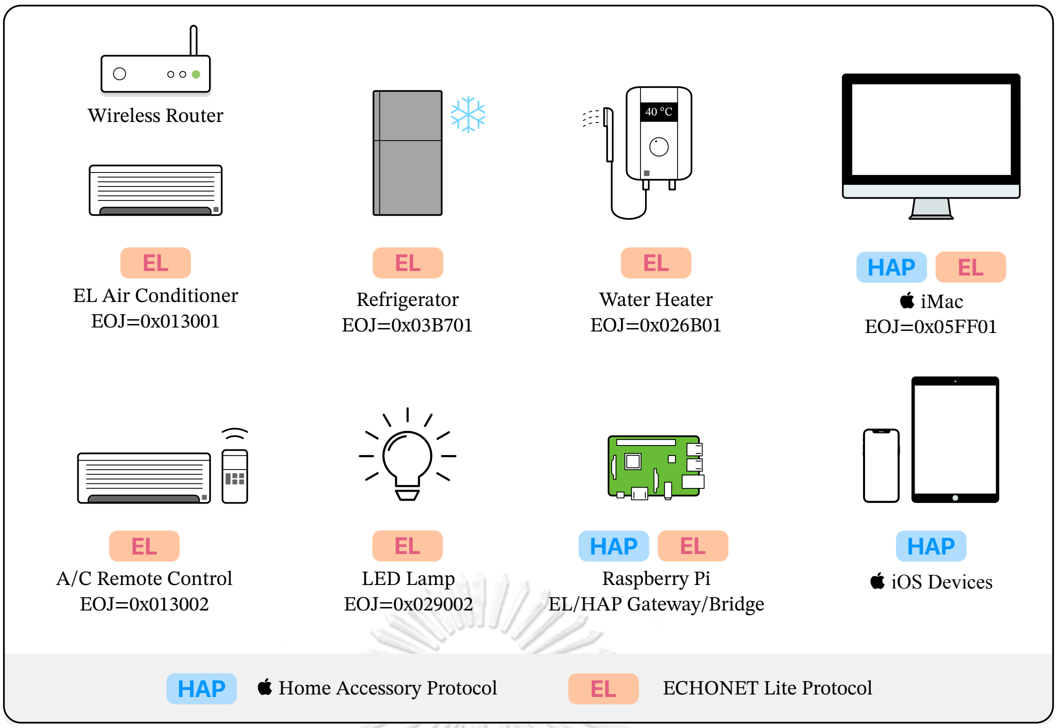
Packets Monitor — Order: Normal / Reverse — Fil

HH MM SS	T/R	IP	DATA
09:05:38	T	224.0.23.0	1081 0003 05FF01 0EF001 62 01 D6 00
09:05:38	R	192.168.1.101	1081 0003 05FF01 0EF001 62 01 D6 00
09:05:38	R	192.168.1.101	1081 0003 0EF001 05FF01 72 01 D6 04 0105FF01
09:05:38	R	192.168.1.100	1081 0000 0EF001 05FF01 72 01 D6 04 01029001

รูปที่5.15: แพคเก็ตมอนิเตอร์แสดงการตอบกลับจากอุปกรณ์ที่เป็นไปตามมาตรฐาน ECHONET Lite



รูปที่5.16: ส่วนต่อประสานระหว่างเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดกับมนุษย์และเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดกับเครื่องจักร



รูปที่5.17: อุปกรณ์ในระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือนที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์

ตารางที่5.2 อุปกรณ์ทั้งหมดในระบบบริหารจัดการพลังงาน

No.	Device Name	ECHONET Lite Device Class	Design Proposed
1	Refrigerator	Refrigerator	Yes
2	LED Lamp	General Lighting	Yes
3	Air Conitioner A [1]	Home air conditioner	No
4	Air Conitioner B	Home air conditioner	In [30]
5	Water heater	Water heater	In [30]
6	Desktop/Laptop Computer	Controller	Yes
7	Raspberry Pi	Gateway	Yes
8	Wireless Router	Non-ECHONET Lite	No

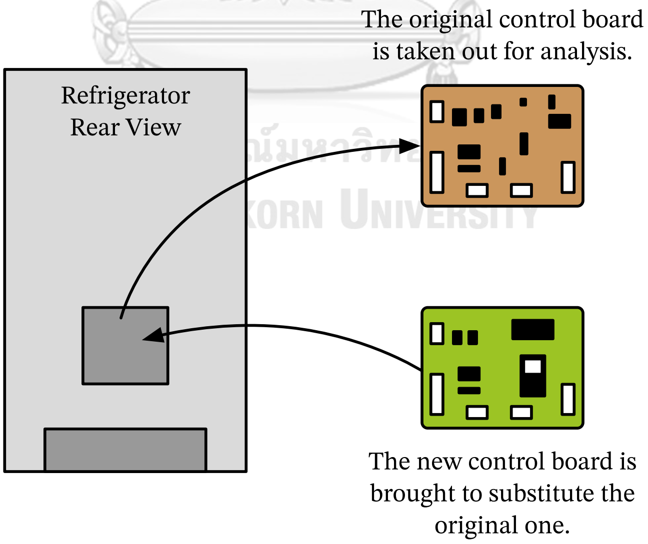
[1] A reference Full-ECHONET Lite device from Mitsubishi Electric

คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยว (single board computer) สำหรับเป็นเกตเวย์ทำหน้าที่เป็นตัวกลางของการสื่อสารระหว่างโพรโทคอล ECHONET Lite (EL) และ HomeKit Accessory Protocol (HAP) เครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด และอุปกรณ์เครือข่ายที่ทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมต่อแบบไร้สาย (wireless access point) รูปที่ 5.17 และตารางที่ 5.2 แสดงอุปกรณ์ทั้งหมดในระบบบริหารจัดการพลังงานที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 6

เครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด

การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดนั้นทำได้โดยการ*ตรวจสอบ* (examine) การทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าเดิมว่าได้มีการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปแบบอื่นด้วยโหลดชนิดใดและทำให้เกิดประโยชน์ได้อย่างไร จากนั้น*ออกแบบ* (design) วงจรควบคุมการทำงานและนำไป*แทนที่* (substitute) วงจรควบคุมการทำงานเดิม โดยคงความเข้ากันได้กับอุปกรณ์ที่มีมากับเครื่องใช้ไฟฟ้าเดิม ซึ่งทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้ายังสามารถทำงานอย่างมีประโยชน์และไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย โดยให้มีการดัดแปลงหรือแก้ไขวัสดุส่วนที่เป็นฉนวนและโครงสร้างเท่าที่จำเป็น รูปที่ 6.1 แสดงการแทนที่บอร์ดควบคุมที่ออกแบบขึ้นมาใหม่ แทนที่บอร์ดควบคุมเดิมโดยสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์เดิมภายในตู้เย็นได้



รูปที่6.1: การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องใช้ไฟฟ้าให้เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด

รูปที่6.2: ตู้เย็น MITSUBISHI รุ่น MR-FV22 ที่ถูกนำมาปรับปรุงและพัฒนา

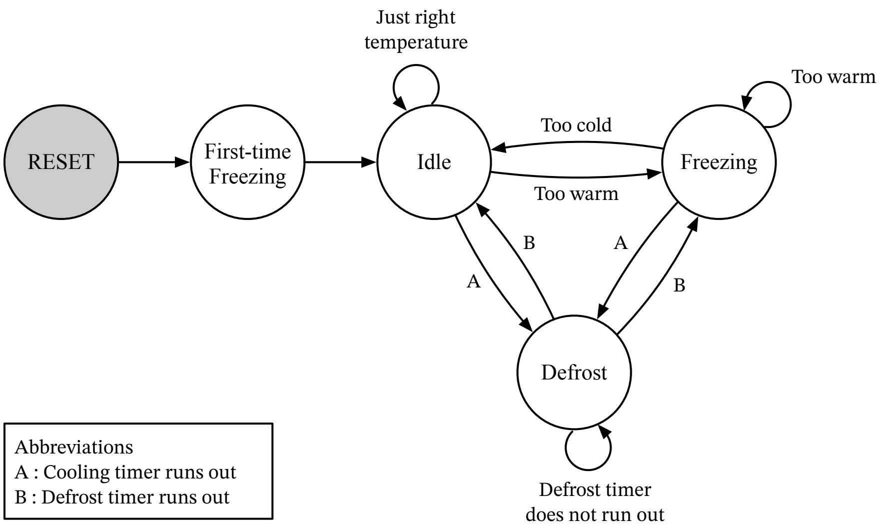
6.1 ตู้เย็นชาญฉลาดที่เป็นไปตามมาตรฐาน ECHONET Lite/HomeKit

ตู้เย็น MITSUBISHI รุ่น MR-FV22 รูปที่ 6.6 เป็นตู้เย็นแบบนอนอินเวอร์เตอร์ (non-inverter) 2 ประตู ที่ใช้ในครัวเรือน (domestic refrigerator) มีระบบละลายน้ำแข็งอัตโนมัติ (no frost หรือ frost free หรือ automatic defrost) ถูกนำมาแก้ไขวงจรสำหรับควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการละลายน้ำแข็งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตู้เย็น โดยยังคงใช้โครงสร้าง ฉนวน การเดินสายภายใน และระบบทำความเย็นแบบอัดไอเช่นเดิม ตารางที่ 6.1 แสดงคุณสมบัติของตู้เย็นที่ใช้ในการทดลอง

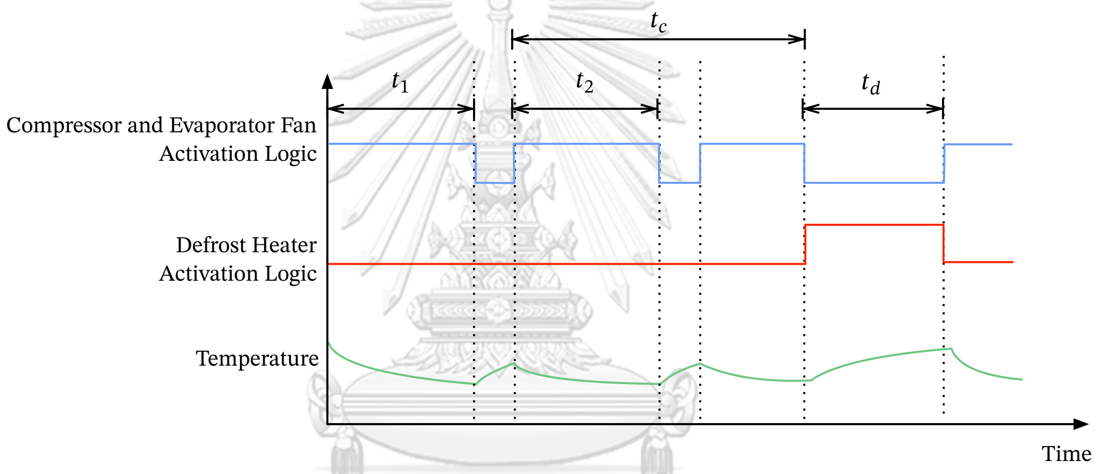
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.1.1 การทำงานของตู้เย็นก่อนการปรับปรุง

สำหรับตู้เย็นรุ่นนี้ เมื่อเริ่มต้นทำงาน คอมเพรสเซอร์และพัดลมคอยล์เย็นจะทำงานเป็นระยะเวลา t_1 จากนั้นคอมเพรสเซอร์และพัดลมคอยล์เย็นของตู้เย็นจะเริ่มทำงานเป็นระยะเวลา t_2 เมื่ออุณหภูมิที่ตัวรับรู้วัดได้มีค่าสูงกว่าที่กำหนด และเมื่อครบอีกระยะเวลา t_c คอมเพรสเซอร์และพัดลมคอยล์เย็นจะหยุดทำงาน และขดลวดความร้อนสำหรับละลายน้ำแข็ง (defrost heater) จะเริ่มทำงานเป็นระยะเวลา t_d รูปที่ 6.3 แสดงสถานะการทำงานของตู้เย็นก่อนการปรับปรุง รูปที่ 6.4 แสดงสัญญาณควบคุมคอมเพรสเซอร์ ขดลวดความร้อนสำหรับละลายน้ำแข็ง และอุณหภูมิที่วัดได้



รูปที่6.3: แผนภาพแสดงการเปลี่ยนสถานะการทำงานของตู้เย็นก่อนการปรับปรุง



รูปที่6.4: กราฟแสดงสัญญาณควบคุมคอมเพรสเซอร์ ขดลวดความร้อนสำหรับละลายน้ำแข็งและอุณหภูมิที่วัดได้

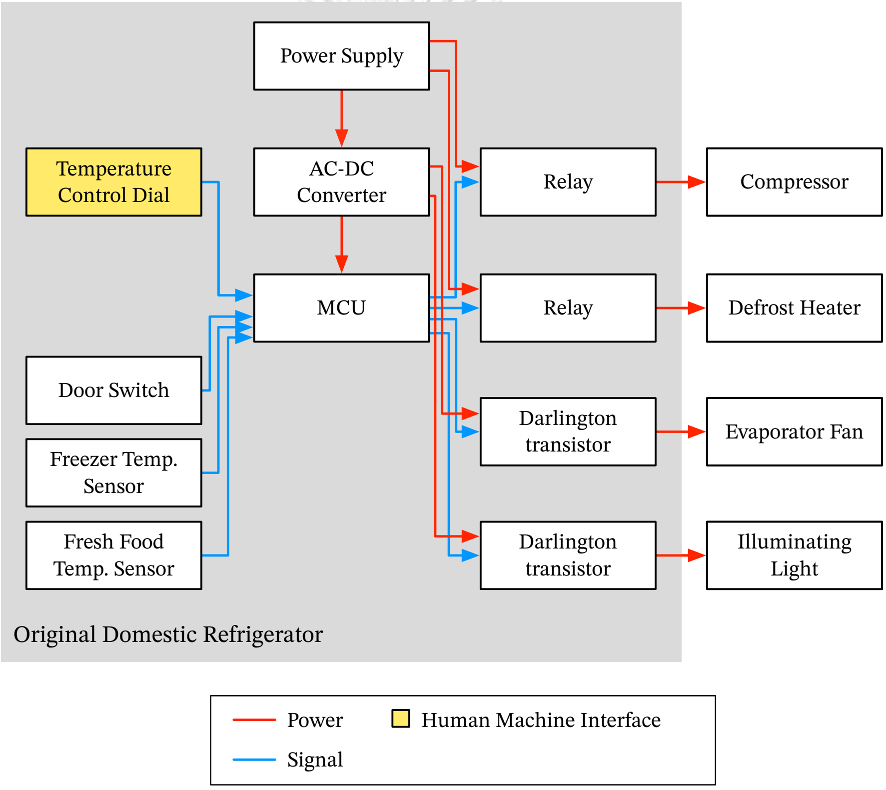
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.1.2 การปรับปรุงและพัฒนาให้เป็นตู้เย็นชาญฉลาด

หน้าที่หลักของตู้เย็นคือการถนอมอาหารสำหรับผู้อาศัย ดังนั้นผู้อาศัยจะต้องเข้าถึงอาหารที่เก็บรักษาในตู้เย็นทางกายภาพอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องมีการควบคุมโดยผู้อาศัยจากระยะไกล ในการรักษาความเย็นเพื่อถนอมอาหาร ตู้เย็นจะต้องรักษาอุณหภูมิให้ไม่สูงเกิน –18°C สำหรับอาหารที่เก็บในช่องแช่แข็ง และ 4°C และไม่จำเป็นต้องเป็นอุณหภูมิที่มีค่าแม่นยำ สำหรับอาหารที่เก็บในช่องแช่เย็น การลดอุณหภูมิลงต่ำกว่านี้จะไม่เกิดประโยชน์ในการถนอมอาหารและเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าโดยไม่จำเป็น การละลายน้ำแข็งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใช้พลังงานไฟฟ้ามากและทำให้อาหารที่เก็บในตู้เย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นการหาจุดพอดีในการควบคุมการทำความเย็นและการละลายน้ำแข็งจึงมีความจำเป็นเพื่อให้ตู้เย็นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

ตารางที่6.1 คุณสมบัติของตู้เย็นที่ใช้ในการทดลอง

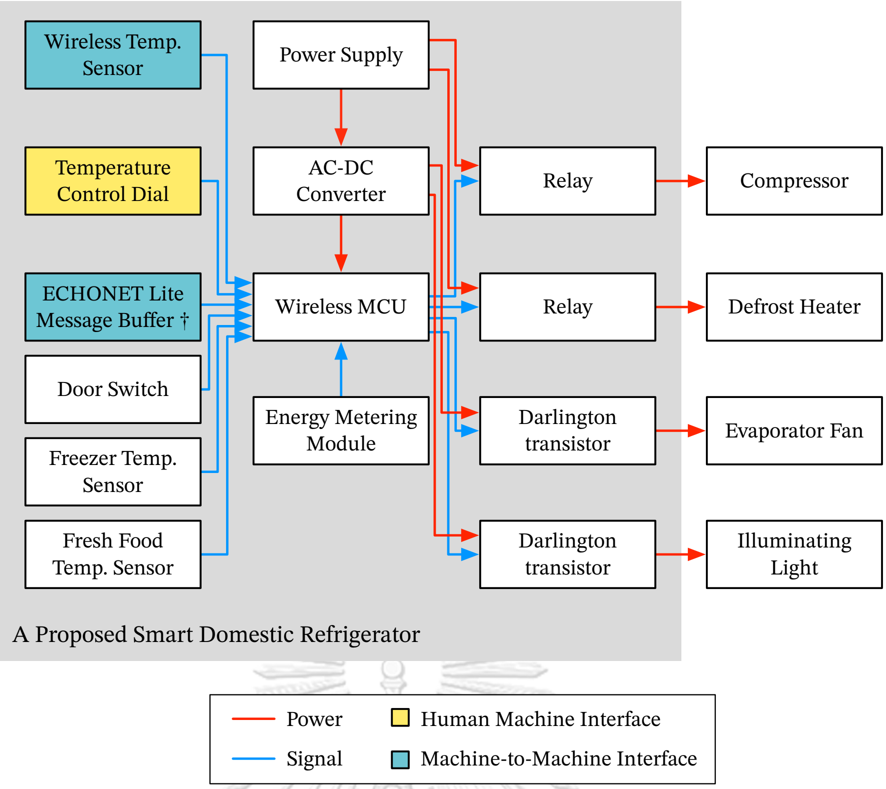
Parameter	Value
No. of doors	2
Freezer compartment volume (L)	59
Fresh food compartment volume (L)	145
Defrost mechanism	Auto (frost-free)
Freezer position	Top
Refrigerant	R134a
Rated voltage (V)	220-240
Power rating (W)	76
Compressor type	Non-inverter
Compressor RLA (A)	0.33
Compressor LRA (A)	5
Defrost heater power rating (W)	111



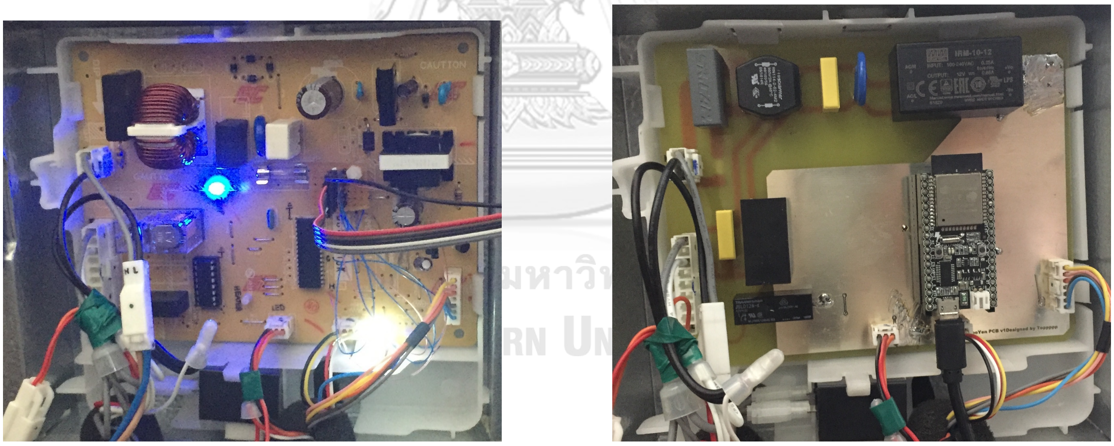
รูปที่6.5: แผนภาพบล็อคแสดงการทำงานของตู้เย็นก่อนการปรับปรุง

6.1.3 อุณหภูมิในการถนอมอาหาร

จากแนวคิดของการปรับปรุงและพัฒนาในหัวข้อที่แล้ว เราสามารถแบ่งช่วงของอุณหภูมิของช่องแช่เย็นและอุณหภูมิของช่องแช่แข็งออกเป็น 3 สถานะ ได้แก่ เย็นเกินไป (too cold, T_{R1} และ T_{F1}) พอเหมาะ (just right, T_{R2} และ T_{F2}) และอุ่นเกินไป (too warm, T_{R3} และ T_{F3}) ดังรูปที่ 6.8a และ 6.8b



รูปที่6.6: แผนภาพบล็อคแสดงการทำงานของตู้เย็นชาญฉลาด

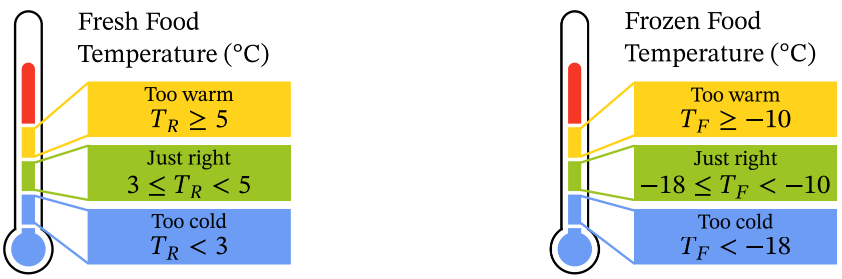


(a) (b)

รูปที่6.7: วงจรสำหรับควบคุมการทำงานของระบบทำความเย็น (a) วงจรควบคุมการทำงานของตู้เย็นเดิม (b) วงจรควบคุมการทำงานของตู้เย็นที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์

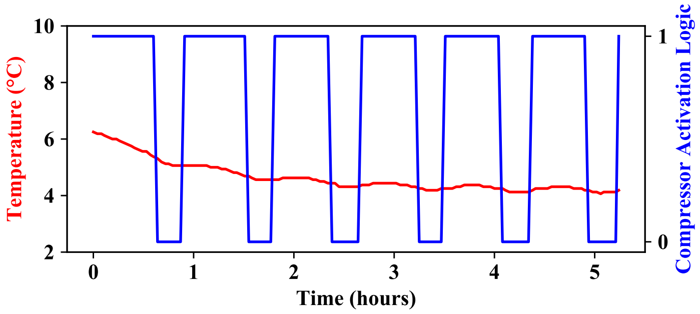
6.1.4 การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้เย็น

สำหรับตู้เย็นแบบนอนอินเวอร์เตอร์ที่ได้เลือกใช้ ตู้เย็นจะควบคุมอุณหภูมิโดยอาศัยหลักการควบคุมแบบตัดต่อ (on-off control หรือ bang-bang control) ในการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ กล่าวคือ คอมเพรสเซอร์จะทำงานเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงกว่า $T_R + T_{Rth}/2$ และหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิต่ำ

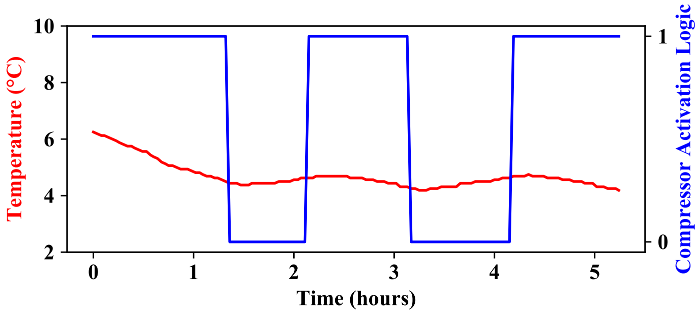


(a) (b)

รูปที่6.8: อุณหภูมิที่เหมาะสมในการถนอมอาหาร (a) ช่องแช่เย็น (b) ช่องแช่แข็ง



(a)



(b)

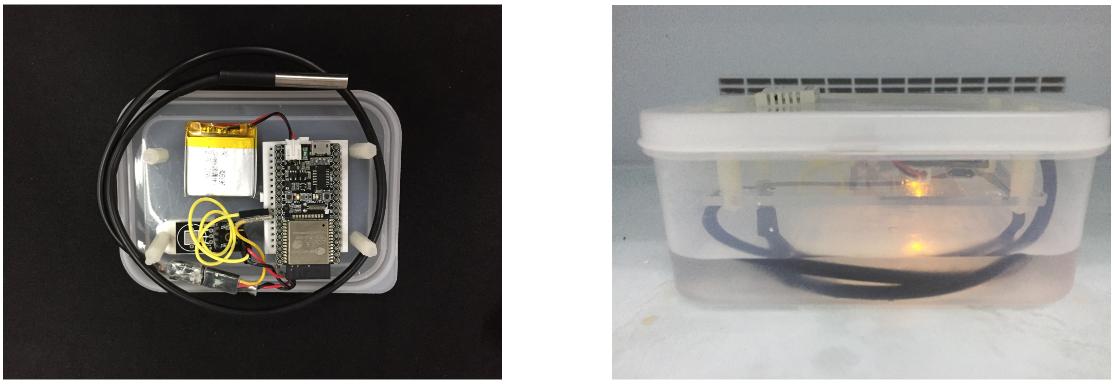
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่6.9: กราฟแสดงอุณหภูมิของช่องแช่เย็นเทียบกับเวลาและการทำงานของคอมเพรสเซอร์เทียบกับเวลา (a) $T_{Rth} = 0.5$°C (b) $T_{Rth} = 1.0$°C [3]

กว่า $T_R - T_{Rth}/2$ เมื่อ T_{Rth} คือช่วงไร้การตอบสนอง (deadband) ของอุณหภูมิในช่องแช่เย็น รูปที่ 6.9 แสดงอุณหภูมิของช่องแช่เย็นเทียบกับเวลาและการทำงานของคอมเพรสเซอร์เทียบกับเวลาโดยกำหนดช่วงไร้การตอบสนองไม่เท่ากัน

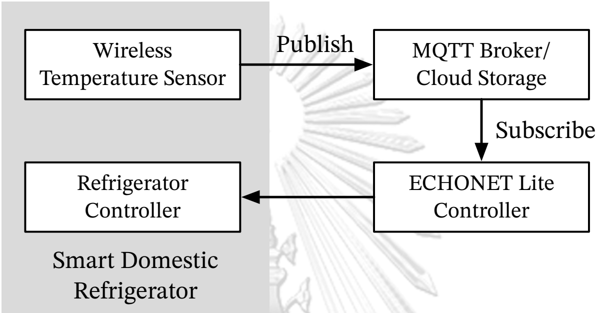
6.1.5 ตัวรับรู้อุณหภูมิไร้สาย

ตัวรับรู้อุณหภูมิไร้สาย (wireless temperature sensor) เป็นโหนดตัวรับรู้ไร้สาย (wireless sensor node: WSN) ได้ถูกออกแบบและนำมาใช้งานร่วมกับบอร์ดควบคุมเพื่อหลีกเลี่ยงการดัดแปลงโครงสร้างซึ่งเป็นฉนวนความร้อน รูปที่ 6.10b แสดงตัวรับรู้อุณหภูมิไร้สายประกอบด้วยโมดูลไมโครคอนโทรลเลอร์ไร้สาย



(a) (b)

รูปที่6.10: (a) ส่วนประกอบตัวรับรู้อุณหภูมิไร้สาย (b) การใช้งานตัวรับรู้อุณหภูมิไร้สาย



รูปที่6.11: แผนภาพบล็อคแสดงการใช้งานอุณหภูมิที่วัดได้จากตัวรับรู้อุณหภูมิไร้สาย

ที่มีชิปจัดการพลังงานแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ตัวรับรู้อุณหภูมิและความชื้น ตัวรับรู้อุณหภูมิแบบกันน้ำได้นำปลายจุ่มลงในน้ำมวล 100 กรัมเพื่อเลียนแบบค่าความจุความร้อนเนื่องจากน้ำในอาหาร ดังรูปที่ 6.10b กล่าวคือ 418.1 J/K สำหรับน้ำมวล 100 กรัมและ 205.0 J/K สำหรับน้ำแข็งมวล 100 กรัม การใช้น้ำในการจำลองอาหารทำให้วัดอุณหภูมิอาหารได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าการวัดอุณหภูมิของอากาศภายในตู้เย็น

ตัวรับรู้อุณหภูมิไร้สายสื่อสารกับตัวแทนปัญญาด้วยเอพีไอ ThingSpeak ซึ่งทำงานบนโพรโทคอล MQTT (message queuing telemetry transport) เพื่อพับลิช (publish) และบันทึกอุณหภูมิที่วัดได้ ตัวแทนปัญญาจะรับรู้ข้อมูลอุณหภูมิที่วัดได้จากการสับสไครบ์ (subscribe) แล้วจึงตัดสินใจสั่งควบคุมการทำงานของตู้เย็น ดังรูปที่ 6.11 เนื่องจากต้องการให้ตัวรับรู้อุณหภูมิไร้สายทำงานร่วมกับตู้เย็นเท่านั้น หากตัวแทนปัญญาไม่ได้รับข้อมูลจากตัวรับรู้ไร้สาย ตู้เย็นจะทำงานโดยใช้อุณหภูมิที่วัดได้จากตัวรับรู้อุณหภูมิภายในที่เชื่อมต่อด้วยสายกับบอร์ดควบคุมในการตัดสินใจแทน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่6.2 สถานะของอุณหภูมิช่องเก็บของในตู้เย็นและประโยชน์ใช้สอยในการถนอมอาหาร

State	Fresh Food Preservation Utility (U_{OR})	Frozen Food Preservation Utility (U_{OF})
$S_1 = \{S_{R1}, S_{F1}\}$	0	0
$S_2 = \{S_{R1}, S_{F2}\}$	0	+1
$S_3 = \{S_{R1}, S_{F3}\}$	0	$-0.5 \times (T_F - T_{Fth}/2)$
$S_4 = \{S_{R2}, S_{F1}\}$	+1	0
$S_5 = \{S_{R2}, S_{F2}\}$	+1	+1
$S_6 = \{S_{R2}, S_{F3}\}$	+1	$-0.5 \times (T_F - T_{Fth}/2)$
$S_7 = \{S_{R3}, S_{F1}\}$	$-(T_R - T_{Rth}/2)$	0
$S_8 = \{S_{R3}, S_{F2}\}$	$-(T_R - T_{Rth}/2)$	+1
$S_9 = \{S_{R3}, S_{F3}\}$	$-(T_R - T_{Rth}/2)$	$-0.5 \times (T_F - T_{Fth}/2)$

6.1.6 การประเมินประโยชน์ใช้สอยของตู้เย็น

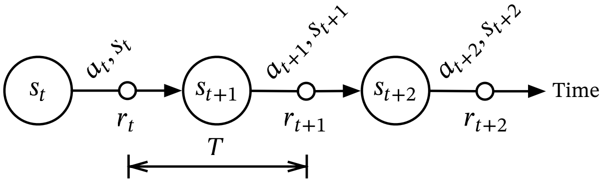
ข้อมูลที่ได้จากตัวรับรู้อุณหภูมิไร้สายนำมาใช้ประเมินประโยชน์ใช้สอยของตู้เย็น อุณหภูมิในช่วงพอเหมาะและเย็นเกินไปเป็นสถานะที่ตัวแทนปัญญาซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของตู้เย็นจะได้รับรางวัล เนื่องจากสามารถถนอมอาหารได้ตามวัตถุประสงค์ ส่วนสถานะอุ่นเกินไปตัวแทนปัญญาจะถูกปรับโทษ (penalty) หรือรางวัลค่าติดลบ (negative reward) เนื่องจากทำให้อายุการเก็บรักษาของอาหารสั้นลง ซึ่งรางวัลดังกล่าวนี้หมายถึงประโยชน์ใช้สอยเชิงวัตถุวิสัย U_O ดังสมการ (6.1) นั่นเอง โดย U_{OR} หมายถึงประโยชน์ใช้สอยที่ได้รับเมื่อเก็บอาหารในช่องแช่เย็นในช่วงอุณหภูมิที่กำหนด และ U_{OF} หมายถึงประโยชน์ใช้สอยที่ได้รับเมื่อเก็บอาหารในช่องแช่แข็งในช่วงอุณหภูมิที่กำหนด ตู้เย็นชาญฉลาดถนอมอาหารเพียงอย่างเดียว การทำความเย็นของตู้เย็นไม่เกิดประโยชน์ใช้สอยกับผู้อาศัยโดยตรง พจน์ U_S ในสมการ (4.1) จึงมีค่าเป็นศูนย์ ตารางที่ 6.2 แสดงประโยชน์ใช้สอยที่ประเมินได้เมื่อตู้เย็นสามารถรักษาอุณหภูมิช่องเก็บของได้ในช่วงสถานะต่าง ๆ และรูปที่ 6.12 แสดงแผนภาพการเปลี่ยนสถานะและการเลือกการกระทำของตู้เย็นเมื่อเวลาต่าง ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

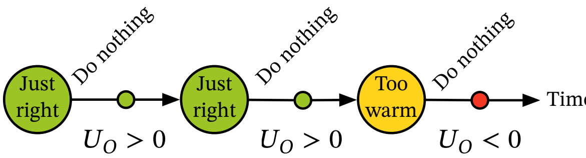
$$U_O = c_1 U_{OR} + c_2 U_{OF} \tag{6.1}$$

6.1.7 ฮาร์ดแวร์และการกระทำที่ตู้เย็นกระทำได้

รูปที่ 6.13 แสดงอุปกรณ์ของระบบทำความเย็นภายในตู้เย็น คอมเพรสเซอร์ (รูปที่ 6.13a) จะทำงานร่วมกับพัดลมคอยล์เย็น (รูปที่ 6.13b) เพื่อลดอุณหภูมิในช่องแช่แข็งและช่องแช่เย็น และจะหยุดทำงานทั้งคู่เมื่อขดลวดความร้อนสำหรับละลายน้ำแข็ง (รูปที่ 6.13c) เริ่มทำงาน เรากำหนดการกระทำของตู้เย็นออกเป็น 5 การกระทำ ดังตารางที่ 6.3



(a)



(b)

รูปที่6.12: การประเมินประโยชน์ใช้สอยของตู้เย็น

ตารางที่6.3 การกระทำของตู้เย็นในการถนอมอาหาร

Action	Action Name	Operating component(s)
a_I	Idle	None
a_C	Freezing	Compressor
a_F	Ventilation	Evaporator Fan
a_{CF}	Freezing & Ventilation	Compressor and Evaporator Fan
a_H	Defrosting	Defrost Heater

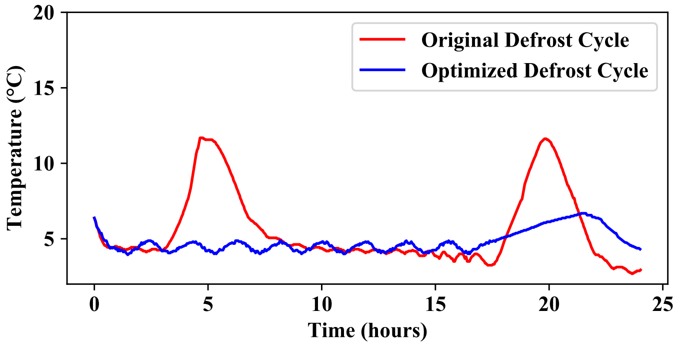
(a) (b) (c)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่6.13: อุปกรณ์ของระบบทำความเย็นภายในตู้เย็น (a) คอมเพรสเซอร์ (b) พัดลมคอยล์เย็น (c) ขดลวดความร้อนสำหรับละลายน้ำแข็ง

6.1.8 การละลายน้ำค้างแข็ง

จากหัวข้อ 2.1.2 พบว่าการสะสมของน้ำค้างแข็งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างมวลภายในช่องเก็บของของตู้เย็นกับคอยล์เย็น ดังนั้นตู้เย็นจึงต้องละลายน้ำแข็งทุก ๆ ระยะเวลาหนึ่ง การควบคุมการละลายน้ำค้างแข็งสำหรับตู้เย็นชาญฉลาดใช้การควบคุมแบบตัดต่อวงจรขดลวดความร้อนสำหรับละลายน้ำแข็ง โดยละลายน้ำแข็งให้ส่งผลกระทบกับอาหารที่เก็บไว้ในช่องแช่แข็งและช่องแช่เย็นให้น้อยที่สุด รูปที่ 6.14 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องแช่เย็นระหว่างการละลายน้ำแข็งด้วยบอร์ดควบคุมเดิมกับใช้การใช้คอนโทรลเลอร์ HEMS โดยการเรียนรู้ของเครื่องจะหาค่าเหมาะที่สุดของเวลาที่ใช้



รูปที่6.14: กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิของตัวรับรู้ไร้สายที่เก็บในช่องแช่เย็นเทียบกับเวลาระหว่างตัวควบคุมเดิมกับตัวควบคุมที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์

ตารางที่6.4 EPC ที่ระบุเพิ่มจากตารางที่ 3.4 สำหรับอุปกรณ์ชนิด refrigerator

EPC	Property name	Data type	Data size	Unit	Remarks
0xB0	Door open/close status	uint8	1	–	Door open=0x41 Door close=0x42
0xD1	Measured refrigerator compartment temperature	uint8	1	°C	Range: 0x81–0x7E (–127–126°C)
0xD2	Measured freezer compartment temperature	uint8	1	°C	Range: 0x81–0x7E (–127–126°C)
0xDA	Measured electric current consumption	uint8	2	0.1 A	Range: 0x0000–0xFFFD (0–6553.3A)
0xE0	Maximum allowable temperature setting level	uint8	8	°C	Range: 0x81–0x7E (–127–126°C)
0xB7[1]	Defrost heater status	uint8	1	–	ON=0x41 OFF=0x42
0xF7[1]	Defrost heater funciton	uint8	1	–	ON=0x41 OFF=0x42

[1] User-defined EPCs

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการทำความร้อนสำหรับขดลวดละลายน้ำแข็งด้วยประโยชน์ใช้สอยที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับการทำความเย็น

6.1.9 การสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite/HomeKit

สำหรับออบเจ็กต์อุปกรณ์ชนิดตู้เย็น ผู้วิจัยได้ระบุ EPC เพิ่มเติมจากตารางที่ 3.4 ดังตารางที่ 6.4 ซึ่งสังเกตว่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับขดลวดความร้อนได้ถูกกำหนดเพิ่มเข้าไปสำหรับควบคุมการทำงาน

เนื่องจากเซอร์วิสการทำงานของตู้เย็นไม่ได้ถูกระบุไว้ในมาตรฐาน [6] ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ตู้เย็นเป็นตัวรับรู้อุณหภูมิบนโพรโทคอล HomeKit เนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีการสั่งงานระยะไกลโดยผู้อาศัยเพื่อควบคุมตู้เย็น ตารางที่ 6.5 แสดงเซอร์วิสสำหรับตัวรับรู้อุณหภูมิบนโพรโทคอล HomeKit โดยคุณสมบัติอุณหภูมิปัจจุบัน (Current Temperature) จะเป็นค่าเดียวกันกับ EPC=0xD1 ของโพรโทคอล ECHONET Lite

ตารางที่6.5 HAP Temperature Sensor Service [6]

Property	Value
Required iOS Version	iOS 9 or later
UUID	0000008A-0000-1000-8000-0026BB765291
Type	public.hap.service.sensor.temperature
Required characteristics	Current Temperature
Optional characteristics	Name
	Status Active
	Status Fault
	Status Low Battery
	Status Tampered

6.2 หลอดไฟฉลาดที่เป็นไปตามมาตรฐาน ECHONET Lite

6.2.1 การทำงานของหลอดไฟก่อนการปรับปรุง

หลอดไฟที่เลือกใช้เป็นหลอดไฟที่ใช้แหล่งกำเนิดแสงด้วยไดโอดเปล่งแสงหรือหลอดแอลอีดี คุณสมบัติของหลอดไฟตามที่ระบุบนบรรจุภัณฑ์ได้แสดงดังตารางที่ 6.6

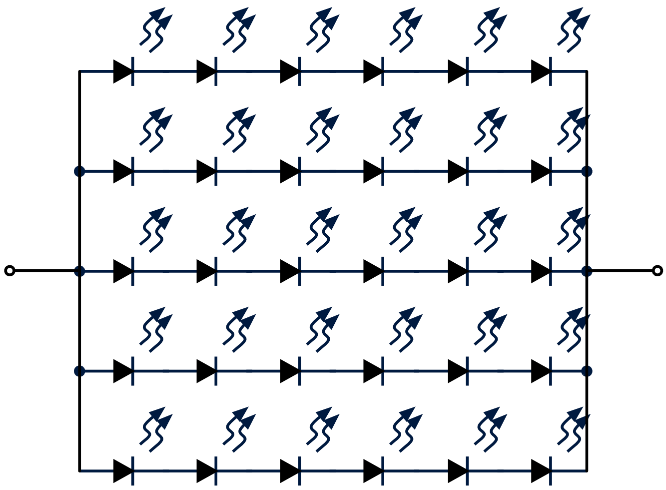
เมื่อศึกษาและตรวจสอบโครงสร้างและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของหลอดไฟ พบว่าหลอดไฟถูกออกแบบมาสำหรับใช้งานกับสวิตช์ไฟฟ้าเพื่อควบคุมการส่องสว่างของหลอดไฟด้วยการเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงาน โดยออกแบบให้มนุษย์เป็นผู้ควบคุมการทำงานโดยใช้มือออกแรงบนฉนวนไฟฟ้าสำหรับเปลี่ยนตำแหน่งของหน้าสัมผัสเพื่อควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า การทำงานของหลอดไฟด้วยแผนภาพบล็อคดังรูปที่ 6.17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.2.2 การปรับปรุงและพัฒนาให้เป็นหลอดไฟชาญฉลาด

แนวคิดในการปรับปรุงและพัฒนา

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับสัญญาณควบคุมจากจีพีไอโอโดยตรงจากสวิตช์เอ็นโคดเดอร์ซึ่งเป็นสวิตช์ไม่จดจำสถานะ สำหรับการควบคุมทางกายภาพเพื่อเปิด/ปิดการทำงานและปรับระดับความสว่าง และรับคำสั่งแบบไร้สายเป็นข้อความผ่านโพรโทคอล ECHONET Lite ซึ่งจะต้องโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ให้สามารถประมวลข้อความคำสั่งและเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สายได้ ทำให้สามารถสั่งงานหรือควบคุมโคมไฟแอลอีดีด้วยมนุษย์หรือตัวแทนชาญฉลาดได้ แผนภาพบล็อกการทำงานของโคมไฟแอลอีดีหลังการปรับปรุงสามารถแสดงดังรูปที่ 6.18



รูปที่6.15: วงจรของหลอดไฟแอลอีดีแบบผสม

ฮาร์ดแวร์

จากส่วนประกอบหลอดไฟ รูปที่ 6.16a และ 6.16b ทำให้เราทราบวงจรหลอดแอลอีดีมีรูปแบบการเชื่อมต่อเป็นแบบผสมทั้งอนุกรมและขนานดังรูปที่ 6.15 เราจึงสามารถขับหลอดแอลอีดีแบบปรับระดับความสว่างได้ด้วยการมอดูเลตความกว้างพัลส์ผ่านวงจรขับกระแสคงตัวและควบคุมด้วยตัวจับเวลาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ แหล่งจ่ายไฟจึงมีหน้าที่ให้พลังงานกับวงจรขับและไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยหลอดไฟแอลอีดีจะถูกควบคุมด้วยสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์เท่านั้น

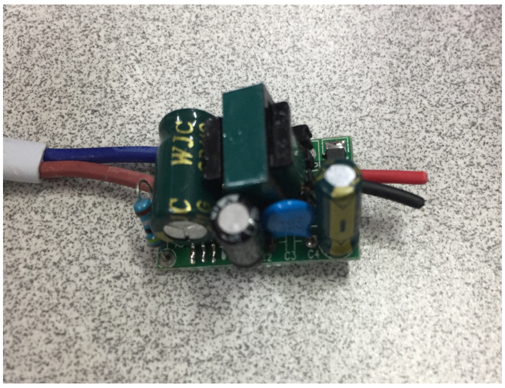
6.2.3 ความสว่างกับการใช้พลังงานของหลอดแอลอีดี

สำหรับการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างการกำหนดระดับความสว่างด้วยดิวตีไซเคิล กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ และความสว่างที่วัดได้ แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 6.19 และได้ผลการทดลองดังตารางที่ 6.7 ซึ่งพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (coefficient of determination: R-squared) ของกำลังไฟฟ้าและความสว่างเทียบกับดิวตีไซเคิล 0.9982 และ 0.9996 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ากำลังไฟฟ้าและความสว่างมี

ตารางที่6.6 คุณสมบัติของหลอดไฟตามที่ระบุบนบรรจุภัณฑ์

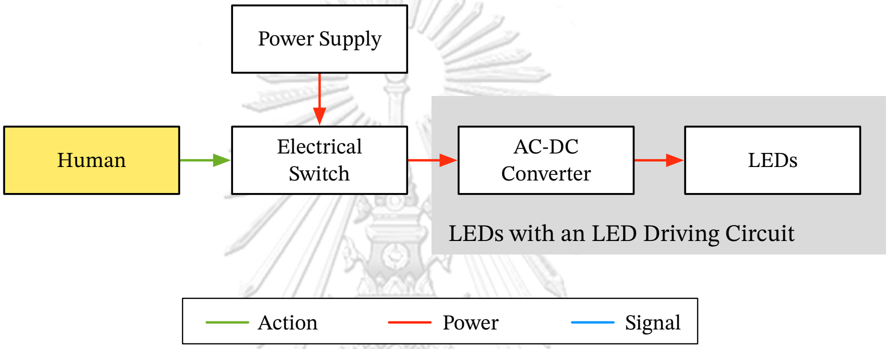
Parameter	Value
Category	Ambient Indoor Lighting
Light source	Light-emitting diode (LED)
Power rating (W)	6
Luminous output (lm)	520
Luminous efficacy (lm/W)	87
Color temperature (K)	6,500 (Daylight)
Dimmability	No

(a)



(b)

รูปที่6.16: ส่วนประกอบภายในหลอดไฟที่เลือกใช้ (a) แผ่นวงจรของหลอดไฟซึ่งทำมาจากแผ่นวงจรพิมพ์และไดโอดเปล่งแสง (b) วงจรแหล่งจ่ายไฟสำหรับขับหลอดไฟ



รูปที่6.17: แผนภาพบล็อคแสดงการทำงานของหลอดไฟก่อนการปรับปรุง

ความสัมพันธ์เชิงเส้นกับดิวตีไซเคิลของสัญญาณ PWM

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

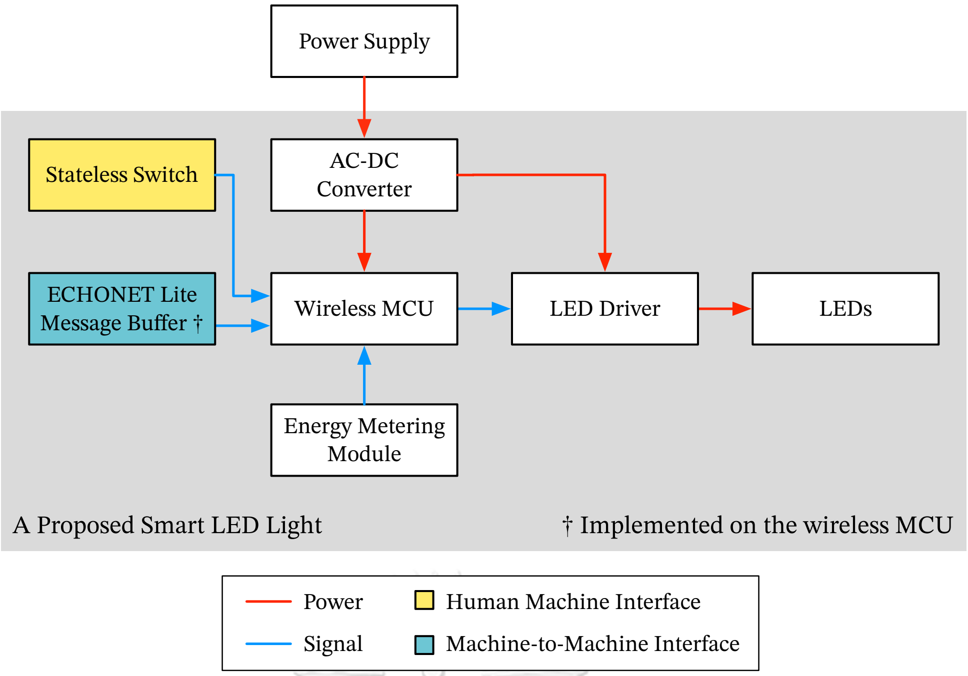
6.2.4 การสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite/HomeKit

สำหรับออบเจ็กต์อุปกรณ์ชนิดหลอดไฟ ผู้วิจัยได้ระบุ EPC เพิ่มเติมจากตารางที่ 3.4 ดังตารางที่ 6.8 และได้กำหนดเซอร์วิสบนโพรโทคอล HomeKit สำหรับหลอดไฟชาญฉลาดดังตารางที่ 6.9 โดยสถานะการทำงานและความสว่างจะเป็นค่าเดียวกันกับ EPC=0x80 และ EPC=0xB0 ตามลำดับ

6.3 เครื่องทำน้ำอุ่นชาญฉลาด

6.3.1 การสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite/HomeKit

สำหรับออบเจ็กต์อุปกรณ์ชนิดเครื่องทำน้ำอุ่น ผู้วิจัยได้ระบุ EPC เพิ่มเติมจากตารางที่ 3.4 ดังตารางที่ 6.10และได้กำหนดเซอร์วิสบนโพรโทคอล HomeKit สำหรับหลอดไฟชาญฉลาดดังตารางที่ 6.9 โดย



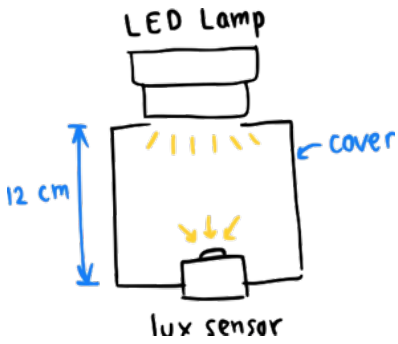
รูปที่6.18: แผนภาพบล็อคแสดงการทำงานของหลอดไฟชาญฉลาด

สถานะการทำงานและความสว่างจะเป็นค่าเดียวกันกับ EPC=0x80 และ EPC=0xB0 ตามลำดับ

เนื่องจากเซอร์วิสการทำงานของเครื่องทำน้ำอุ่นไม่ได้ถูกระบุไว้ในมาตรฐาน [6] และไม่มี EPC ใด ๆ สอดคล้องกับการสั่งงานหรือแสดงผล ดังนั้นผู้วิจัย จึงตัดการสั่งการและแสดงผลผ่านโพรโทคอล HomeKit ออก

6.3.2 การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำอุ่น

การทดสอบการใช้งานเครื่องทำน้ำอุ่น HITACHI รุ่น HES-35V-WH พิกัดกำลังไฟฟ้า 3500 วัตต์ ได้เก็บข้อมูลตลอด 1 วัน และเก็บผลการใช้งานเป็นเวลา 3 สัปดาห์ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 6.20 และ 6.21 โดยได้ทำการติดตั้งเครื่องทำน้ำอุ่นในห้องอาบน้ำของอาคารปฏิบัติการ ESID ดังรูปที่ 6.22 กำลังไฟฟ้า



รูปที่6.19: การจัดอุปกรณ์สำหรับการทดลองความสว่างกับการใช้พลังงานของหลอดแอลอีดี

ตารางที่6.7 LED Illumination Experiment

PWM duty cycle (%)	Measured current (A)	Calculated power (W)	Measured illuminance (lux)	Efficiency (lux/W)
0	0.024	0.576	25	43.40277778
10	0.073	1.752	814	464.6118721
20	0.125	3.000	1500	500.0000000
30	0.18	4.320	2340	541.6666667
40	0.235	5.640	3150	558.5106383
50	0.293	7.032	3930	558.8737201
60	0.35	8.400	4650	553.5714286
70	0.415	9.960	5450	547.1887550
80	0.475	11.40	6220	545.6140351
90	0.544	13.056	6920	530.0245098
100	0.603	14.472	7610	525.8430072

ตารางที่6.8 EPC ที่ระบุเพิ่มจากตารางที่ 3.4 สำหรับอุปกรณ์ชนิด general lighting

EPC	Property name	Data type	Data size	Unit	Remarks
0xB0	Illuminance level	uint8	1	%	Range: 0x00–0x64 (0–100%)
0xB6	Lighting mode setting	uint8	1	–	Auto=0x41 Main lighting=0x42 Night lighting=0x43 Color lighting=0x45

ตารางที่6.9 HAP Light Bulb Service [6]

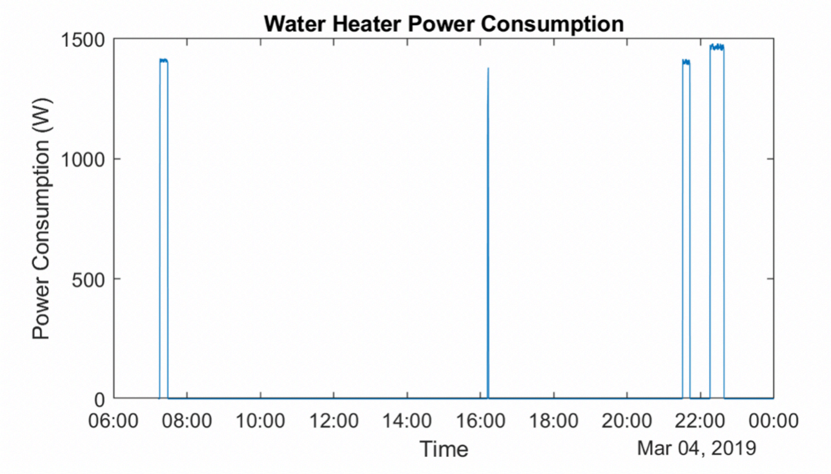
Property	Value
UUID	00000043-0000-1000-8000-0026BB765291
Type	public.hap.service.lightbulb
Required characteristics	On
Optional characteristics	Brightness Hue Name Saturation Color temperature

ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำที่ผู้ใช้ต้องการ ซึ่งผู้ใช้แต่ละคนอาจมีความต้องการแตกต่างกัน และใช้งานเป็นระยะเวลาไม่เท่ากัน ทำให้ปริมาณการใช้งานในแต่ละวันแตกต่างกันไป อีกทั้งในวันเสาร์และอาทิตย์ เป็นวันที่ไม่มีการใช้งานเลย จึงมีค่าพลังงานที่ใช้ประมาณศูนย์หน่วย

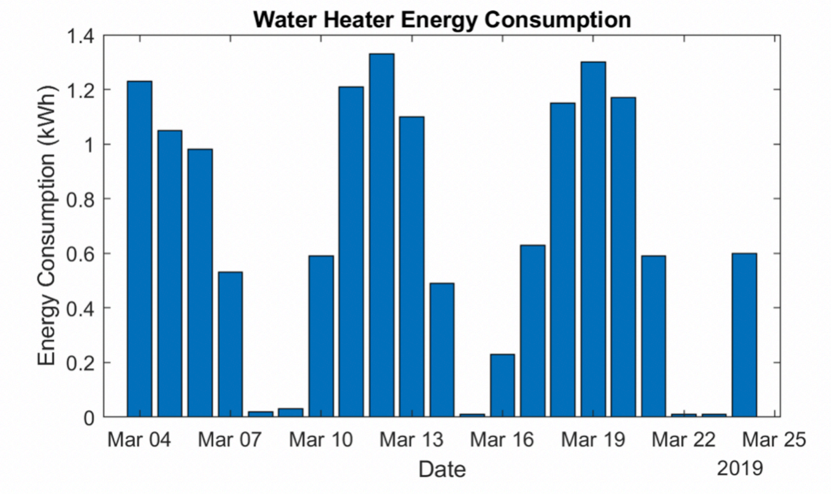
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่6.10 EPC ที่ระบุเพิ่มจากตารางที่ 3.4 สำหรับอุปกรณ์ชนิด electric water heater

EPC	Property name	Data type	Data size	Unit	Remarks
0xB0	Automatic water heating setting	uint8	1	–	Automatic=0x41 Non-automatic stopped=0x43 Non-automatic used=0x42
0xB2	Water heater status	uint8	1	–	Heating=0x41 Not heating=0x42)
0xC0	Daytime reheating permission setting	uint8	1	–	Permitted=0x41 Not permitted=0x42
0xC3	Hot water supply sta-tus	uint8	1	–	Supplying hot water=0x41 Not supplying hot water=0x42
0xE3	Automatic bath water heating mode setting	uint8	1	–	ON=0x41 OFF=0x42



รูปที่6.20: การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำอุ่นใน 1 วัน



รูปที่6.21: การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำอุ่นเป็นเวลา 3 สัปดาห์

รูปที่6.22: เครื่องทำน้ำอุ่นได้ถูกติดตั้งในห้องอาบน้ำอาคารปฏิบัติการ ESID

6.4 รีโมทควบคุมเครื่องปรับอากาศ

รีโมทควบคุมเครื่องปรับอากาศสามารถควบคุมเครื่องปรับอากาศจากระยะไกลได้ แต่ไม่สามารถรับรู้สถานะการทำงานที่แท้จริงของเครื่องปรับอากาศได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.4.1 การสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite/HomeKit

ตารางที่ 3.5 แสดงสำหรับออบเจ็กต์อุปกรณ์ชนิดเครื่องปรับอากาศ และสำหรับเซอร์วิสการทำงานของเครื่องปรับอากาศบนโพรโทคอล HomeKit ได้แสดงดังตารางที่ 6.11

ตารางที่6.11 HAP Heater Cooler Service [6]

Property	Value
Required iOS Version	iOS 9 or later
UUID	000000BC-0000-1000-8000-0026BB765291
Type	public.hap.service.heater-cooler
Required characteristics	Active
	Current temperature
	Current heater cooler state
	Target heater cooler state
Optional characteristics	Name
	Rotation speed
	Temperature display unit
	Swing mode
	Cooling threshold
	Heating threshold
	Lock physical control

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 7

บทสรุป

7.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ผู้วิจัยได้ดำเนินงานครบถ้วนตามขอบเขต ดังตารางที่ 7.1 ได้แก่ การปรับปรุงและพัฒนาตู้เย็นเป็นตู้เย็นชาญฉลาด โดยตู้เย็นยังสามารถทำงานตามฟังก์ชันเดิมได้แม้ไม่ได้เชื่อมต่อกับเครือข่าย สามารถสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นหรือคอนโทรลเลอร์ด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite/HomeKit และปรับปรุงกระบวนการทำความเย็นและระบบละลายน้ำแข็งเพื่อลดการใช้พลังงานลง และได้ปรับปรุงและพัฒนาหลอดแอลอีดีให้เป็นหลอดแอลอีดีชาญฉลาดที่สามารถหรี่แสง วัดการใช้พลังงานของตัวเอง และสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นหรือคอนโทรลเลอร์ด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite/HomeKit ได้ นอกจากนี้ยังได้ออกแบบเกตเวย์สำหรับการสื่อสารระหว่างโพรโทคอล ECHONET Lite และ HomeKit และสาธิตการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ด้วยโพรโทคอลทั้งสองชนิดนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

7.2 ระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือน

จากการที่เครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดทุกชนิดสามารถเชื่อมต่อในเครือข่ายและผ่านโพรโทคอล ECHONET Lite ได้ ทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมการใช้งานและการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์มากที่สุดผ่านตัวควบคุมหรือคอนโทรลเลอร์ของระบบบริหารจัดการพลังงานในครัวเรือน การปิดการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อตรวจจับได้ว่าไม่มีผู้ใช้งาน เช่น การปิดหลอดไฟเมื่อตรวจพบว่าไม่มีผู้อาศัยในบริเวณที่ต้องการความสว่าง หรือมีความสว่างแวดล้อมเพียงพอต่อการดำเนินกิจวัตรแล้ว การประนีประนอมระหว่างความสะดวกสบายของผู้ใช้งานและการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อลดการใช้พลังงานลง เช่น การลดอุณหภูมิของน้ำในเครื่องทำน้ำอุ่นลงเล็กน้อยเพื่อลดการใช้พลังงาน ในขณะที่ผู้ใช้งานยังรู้สึกพึงพอใจกับอุณหภูมิของน้ำเป็นต้น

7.3 เครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาด

7.3.1 ตู้เย็นชาญฉลาด

สำหรับตู้เย็นชาญฉลาดได้ถูกศึกษารูปแบบการทำงาน ออกแบบและพัฒนาบอร์ดควบคุมซึ่งติดตั้งอยู่ด้านหลังของตู้เย็นใหม่โดยคงความสามารถในการทำงานของตู้เย็นและการทำงานของบอร์ดควบคุมร่วมกับอุปกรณ์เดิมไว้ ตู้เย็นจึงสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สายแบบวายฟายและสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite ได้ ทำให้ผู้ใช้สามารถรับรู้สถานะต่าง ๆ ของตู้เย็นได้ โดยหากตู้เย็นมีความผิดปกติ ไม่สามารถทำความเย็นได้จะสามารถแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานรับทราบ เพื่อที่จะเปลี่ยนที่จัดเก็บอาหารภายในตู้เย็นเพื่อป้องกันการเน่าเสีย นอกจากนี้ความสามารถในการสั่งงานจากระยะไกลยังถูกพัฒนาเพิ่มเข้าไปทำให้สามารถนำตู้เย็นไปใช้งานร่วมกับระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือนเพื่อลดการใช้พลังงานลงได้

7.3.2 หลอดแอลอีดีชาญฉลาด

ได้นำโคมไฟที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมาดัดแปลง โดยตัดวงจรเดิมออกและเปลี่ยนเป็นวงจรที่ได้ออกแบบและพัฒนาเข้าไปใหม่ ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สายแบบวายฟายและสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite ได้ นอกจากนี้ยังสามารถปรับระดับความสว่างได้อีกด้วย

หลอดไฟชาญฉลาดที่สามารถปรับระดับความสว่างได้สามารถนำไปใช้กับที่พักอาศัยที่อาจมีกิจกรรมที่เหมาะกับแสงหรือความสว่างที่แตกต่างกัน เช่น ห้องนั่งเล่นหรือห้องรับแขกที่ต้องการแสงโทนขาวเหลืองเพื่อให้ความรู้สึกอบอุ่น ผ่อนคลายกับผู้ใช้ ห้องทำงานที่ต้องการแสงขาวเพื่อกระตุ้นให้ร่างกายตื่นตัว

ตารางที่7.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการขอบเขตงานวิจัย	**ผลการดำเนินงาน**
1.1 ตู้เย็นสามารถทำความเย็นและละลายน้ำแข็งได้เช่นเดิม	✓
1.2 ตู้เย็นสามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้และเป็นไปตามมาตรฐาน ECHONET Lite	✓
1.3 ตู้เย็นสามารถวัดการใช้พลังงานและกำลังไฟฟ้าของตัวตู้เย็นเองได้	✓
1.4 ปรับปรุงระบบละลายน้ำแข็งคอยล์เย็นอัตโนมัติ	✓
1.5 ตู้เย็นใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลงอย่างน้อย 5%	✓
2.1 หลอดแอลอีดีสามารถให้ความสว่างเช่นเดิมและหรี่แสงได้	✓
2.2 หลอดแอลอีดีสามารถวัดการใช้พลังงานและกำลังไฟฟ้าของตัวหลอดไฟเองได้	✓
2.3 หลอดแอลอีดีสามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้และเป็นไปตามมาตรฐาน ECHONET Lite	✓
3 พัฒนาเกตเวย์เชื่อมต่อระหว่างโพรโทคอล HomeKit และ ECHONET Lite	✓
4 การสาธิตการทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ในเครือข่าย ได้แก่ เกตเวย์ ตู้เย็น หลอดไฟ เครื่องปรับอากาศ และเครื่องทำน้ำอุ่น	✓ [1]

[1] The simultaneous operation of four smart appliances is not presented.

มีสมาธิในการทำงาน โดยทั้งหมดนี้สามารถใช้งานได้จากโคมไฟชาญฉลาดแบบเดียวกัน เพียงแค่ตั้งค่าความสว่างและโทนสีของหลอดไฟตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ร่วมกับม่านไฟฟ้าและเซ็นเซอร์วัดความสว่างเพื่อควบคุมความสว่างที่เหมาะสมกับกิจกรรมที่ทำอย่างแม่นยำได้อีกด้วย

7.3.3 เครื่องทำน้ำอุ่น

เครื่องทำน้ำอุ่นถูกปรับปรุงบอร์ดควบคุมโดยเพิ่มความสามารถการเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สายแบบวายฟายและสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite กับเครื่องใช้ไฟฟ้าและคอนโทรลเลอร์ภายในเครือข่าย และโพรโทคอล MQTT กับแพลทฟอร์ม NETPIE ทำให้สามารถบันทึกข้อมูลการใช้งานและการใช้พลังงานได้ตลอดเวลา นอกจากนี้ยังได้ทดสอบและสาธิตการสั่งงานเครื่องทำน้ำอุ่นผ่านเว็บเบราว์เซอร์ที่สื่อสารกับ NETPIE ด้วย อย่างไรก็ดี การใช้งานเครื่องทำน้ำอุ่นยังคงทำในลักษณะเดิมเพราะมนุษย์เป็นผู้ใช้งานขณะชำระล้างร่างกาย กล่าวคือให้ผู้ใช้งานปิด/เปิดการทำงานผ่านสวิตช์หน้าตัวเครื่องและควบคุมอุณหภูมิของน้ำด้วยตัวหมุนหน้าตัวเครื่องเช่นเดิม ไม่จำเป็นต้องทำผ่านอุปกรณ์พกพาหรืออย่างอื่น แต่การเพิ่มความสามารถในการควบคุมระยะไกลสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ ตัวอย่างเช่น หากผู้ใช้ยินยอมให้กำหนดเพดานการใช้พลังงานของทั้งระบบ ระบบจะสามารถสั่งงานให้เครื่องทำน้ำอุ่นทำความร้อนต่ำกว่าจุดที่ผู้ใช้ตั้งไว้เล็กน้อยและทำให้ผู้ใช้ไม่รู้สึกเย็นเกินไปขณะใช้งาน ทำให้ช่วยลดการใช้พลังงานลงได้

7.3.4 เครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศไม่ได้ถูกแก้ไขวงจรภายในตัวเครื่อง แต่ตัวรีโมทถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นมาใหม่ให้สามารถทำงานกับวงจรรับสัญญาณรีโมทเดิมที่มีอยู่บนเครื่องปรับอากาศได้ รีโมทที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นมาใหม่นี้สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สายแบบไวไฟและสื่อสารด้วยโพรโทคอล ECHONET Lite และ MQTT เช่นเดียวกับเครื่องทำน้ำอุ่น ทำให้สามารถบันทึกข้อมูลการใช้งานและการใช้พลังงานได้ตลอดเวลาเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิที่รีโมทของเครื่องปรับอากาศเพื่อเก็บข้อมูลพลังงาน ณ ตำแหน่งของรีโมทที่อยู่ภายในห้อง และนำมาใช้งานร่วมกับเกตเวย์สำหรับซอฟต์แวร์เฟรมเวิร์ก HomeKit การสั่งงานเครื่องปรับอากาศสามารถทำได้ทั้งจากรีโมท จากแอปพลิเคชัน Home และการสั่งงานด้วยเสียงผู้ช่วยอัจฉริยะ Siri บนอุปกรณ์ที่ทำงานด้วยระบบปฏิบัติการ iOS หรือ macOS นอกจากนี้ยังสามารถทำเป็นระบบอัตโนมัติซึ่งจะเปิด/ปิดการทำงานตามเวลาหรือตามตำแหน่งของผู้ใช้จาก Location Service ทำให้สามารถปรับอุณหภูมิของห้องให้อยู่ในช่วงที่ผู้ใช้งานจะรู้สึกสบายโดยเปิดทำงานก่อนเวลาที่ผู้ใช้งานจะไปถึงเล็กน้อย หรือสามารถปิดใช้งานทันทีเมื่อไม่มีผู้ใช้งานแล้ว เป็นต้น

7.4 แนวทางในการพัฒนาต่อ

7.4.1 ระบบบ้านอัตโนมัติ

ด้วยวิถีชีวิตในยุคปัจจุบัน ผู้ใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดมักมีพฤติกรรมดำเนินชีวิตแบบเป็นกิจวัตร ดังนั้นเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดสามารถทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้เพื่อเพิ่มความสะดวกและรวดเร็วกับผู้ใช้งานได้ ตัวอย่างเช่น โคมไฟจะเปิดทำงานเองในเวลาเช้าก่อนผู้ใช้งานตื่นจากการนอนหลับเพื่อกระตุ้นให้ร่างกายของผู้ใช้งานสดชื่นและตื่นได้ง่ายขึ้น ซึ่งเป็นการเลียนแบบแสงอาทิตย์ในธรรมชาติ หรือม่านไฟฟ้าจะเปิดขึ้นเองให้แสงอาทิตย์ส่องเข้ามาหาผู้ใช้งานได้ เป็นต้น

7.4.2 การนำปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้ของเครื่องมาใช้บนคอนโทรลเลอร์

ปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้ของเครื่องสามารถนำมาใช้งานเพื่อหาจุดที่พอดี จุดเหมาะสมแบบเป็นไปอย่างอัตโนมัติตามพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้ ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ควรปรับ ที่ผู้ใช้งานจะรู้สึกสบาย ไม่ร้อนหรือไม่หนาวจนต้องปรับอุณหภูมิด้วยตัวเอง และเมื่อมีการเพิ่มหรือลดจำนวนผู้ใช้งาน คอนโทรลเลอร์สามารถเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมเช่นเดียวกันได้เอง นอกจากนี้ยังสามารถนำปัญญาประดิษฐ์และการเรียนรู้ของเครื่องมาใช้ในระบบบริหารจัดการพลังงานครัวเรือนได้เพื่อลดการใช้พลังงานลงโดยพยายามลดความสะดวกสบายและความพึงพอใจของผู้ใช้งานลงให้น้อยที่สุด ตัวอย่างเช่น การหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการชำระล้างร่างกายที่เวลา อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิร่างกายผู้ใช้ โดยที่ผู้ใช้ยังคงรู้สึกสะดวกสบายและพึงพอใจ เป็นต้น

7.4.3 ความปลอดภัยและสิทธิในการเข้าถึงของผู้ใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ถึงแม้ว่าโพรโทคอล ECHONET Lite จะทำให้การสื่อสารระหว่างเครื่อง (machine to machine communication) เป็นไปได้ง่ายและเป็นรูปแบบมาตรฐาน แต่โพรโทรคอลนี้ไม่ได้นิยามสิทธิในการเข้าถึงใด ๆ ทั้งสิ้น ผู้ใดที่สามารถเข้าร่วมในเครือข่ายสามารถใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าชาญฉลาดได้ทันที ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องเพิ่มระบบความปลอดภัยหรือการกำหนดสิทธิของผู้ใช้เพื่อทำให้ผู้ใช้งานไม่สามารถสั่งงานเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อรบกวนผู้ใช้งานอื่นในกรณีที่ระบบมีผู้ใช้งานมากกว่าหนึ่งคน หรือการป้องกันบุคคลภายนอกที่อาจไม่ประสงค์ดีในการเข้าถึงและสั่งงานอุปกรณ์ภายในบ้านได้ อันอาจก่อให้เกิดอันตรายในชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้งานได้

บรรณานุกรม

[1] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด. gsso9..vvv-doon-fn-sg.hmcdw-ogo.dm.dm,dmdqfxrs'shrshbr.dkdbsqhbhsx,rs'shrshb, 2018.

[2] Powerwise. Demand side management. gsso9..vvv-onvdqvhrd-fnu-'d.dm.qdrd'qbg.oqnfq'lldr,oqnidbsr.cdl'mc,rhcd,l'm'fdldms-gslk, 2011.

[3] A.Phuchamniphatthananun and W.Pora (in press). A smart domestic refrigerator with energy efficiency improvement. *IEEE APCCAS 2019 Conference Proceedings*, 2019.

[4] ECHONET CONSORTIUM. The ECHONET Lite specification. Technical report, ECHONET CONSORTIUM, July 2018.

[5] ECHONET CONSORTIUM. ECHONET SPECIFICATION: APPENDIX Detailed Requirements for ECHONET Device objects. Technical report, ECHONET CONSORTIUM, 2015.

[6] Apple Developer. Homekit accessory protocol specification (non-commercial version).

[7] กระทรวงพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. พระราชบัญญัติผู้สูงอายุ พ.ศ. ๒๕๔๖ (ฉบับแก้ไข พ.ศ. ๒๕๕๓), 2010.

[8] ปราโมทย์ประสาทกุล ปัทมาว่าพัฒนวงศ์. ประชากรไทยในอนาคต. *สารประชากร มหาวิทยาลัยมหิดล*, 2006.

[9] Department ofEconomic and Social Affairs. Population Division.United Nations. World population prospects the 2017 revision, 2017.

[10] PiotrDomanski Jean-LucDupont etal. 38th informatory note on refrigeration technologies. *International Institute of Refrigeration*, 2019.

[11] Department ofTreasury and Finance,Government ofSouthAustralia. Saving energy at home, 2008.

[12] U.S.Department ofEnergy. Buildings energy data book march 2011, prepared for the building technologies program, energy efficiency and renewable energy, 2011.

[13] H.F. Eberhardt. Vacuum insulation panels (vip) in energy efficient cooling appliances for improving the environment of our children's world. *8th International Vacuum Insulation Symposium*, 2007.

[14] O.Abdelaziz P.Bansal, E.Vineyard. Advances in household appliances - a review. *Applied Thermal Engineering*, 2011.

[15] FrancoisDurier AureliaLeoni, MicheleMondot etal. State-of-the-art review of frost deposition on flat surfaces. *International Journal of Refrigeration*, 2016.

[16] Paula V.Pereira CláudioMelo, Fernando T.Knabben. An experimental study on defrost heaters applied to frost-free household refrigerators. *Applied Thermal Engineering*, 2013.

[17] M.Inoue; T. Higuma; Y. Ito; N. Kushiro;H. Kubota. Network architecture for home energy management system. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2003.

[18] DunluPeng LeiWang and Ting Zhang. Design of smart home system based on Wi-Fi smart plug. *International Journal of Smart Home*, 2015.

[19] GiovanniPau MarioCollotta. A novel energy management approach for smart homes using bluetooth low energy. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2015.

[20] S.Rahman M.Kuzlu, M.Pipattanasomporn. Hardware demonstration of a home energy management system for demand response applications. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2012.

[21] สานักงานคณะกรรมการกากับกิจการพลังงาน. มาตรการความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้าและอัตรา demand response.

[22] S.Rahman M.Kuzlu, M.Pipattanasomporn. Hardware demonstration of a home energy management system for demand response applications. *IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID*, 2012.

[23] Seong-Joong Kim. Appliance recognition unit for home energy management system with upnp network. *IEEE SYSTEMS JOURNAL*, 2017.

[24] International ElectrotechnicalCommission International Organizationfor Standardization. Information technology - open systems interconnection - basic reference model. Technical report, ISO/IEC, 1994.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

[25] Manisa Pipattanasomporn ; Murat Kuzlu ;Saifur Rahman. An algorithm for intelligent home energy management and demand response analysis. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2012.

[26] M.Kuzlu ; M. Pipattanasomporn ;S. Rahman. Hardware demonstration of a home energy management system for demand response applications. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2012.

[27] nfarina. Homebridge.

[28] DA Ratkowsky; J Olley; TA McMeeki; and ABall. Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures. *Journal of Bacteriology*, 1982.

[29] U.S. FDA. Are you storing food safely? gssor9..vvv-ec'-fnu.bnmrtldqr. bnmrtldq,toc'sdr.'qd,xnt,rsnqhmf,ennc,r'edkx, 2018.

[30] ณฐพล ตันสังวรณ์. *การพัฒนาเครื่องปรับอากาศชาญฉลาดและเครื่องทำน้ำร้อนชาญฉลาดที่เป็นไปตามโพรโทคอล MQTT และ ECHONET LITE*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2017.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY